

中国二氧化碳减排技术 潜力和成本研究

Potential and Cost Study on China's Carbon Mitigation Technologies

戴颜德 胡秀莲 等著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国二氧化碳减排技术潜力和成本研究/戴颜德,胡秀莲等著.
—北京:中国环境出版社,2013.4
ISBN 978-7-5111-1270-5

I. ①中… II. ①戴… ②胡… III. ①二氧化碳—减量—排气—研究—中国 IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 006404 号

出版人 王新程
责任编辑 高峰
文字编辑 王海冰
责任校对 尹芳
封面设计 宋瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765(编辑管理部)
010-67112739(第三图书出版中心)
发行热线: 010-67125803 010-67113405(传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷
经 销 各地新华书店
版 次 2013 年 5 月第一版
印 次 2013 年 5 月第一次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 22.5
字 数 416 千字
定 价 78.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

课 题 组

课题组组长：

戴彦德 国家发改委能源研究所 副所长 研究员
胡秀莲 国家发改委能源研究所 研究员

课题组成员：

谭春青 中科院工程热物理研究所 研究员
张华良 中科院工程热物理研究所 博士
王文堂 中国化工节能技术协会 教授级高工
杨云博 中国有色金属工业协会 教授级高工
邵朱强 中国有色金属工业协会 高工
曾学敏 中国水泥协会 教授级高工
魏庆芄 清华大学建筑学院建筑节能研究中心 副教授
肖 贺 清华大学建筑学院建筑节能研究中心 硕士
王彦佳 清华大学核能技术研究院 副教授
许光清 人民大学资源环境学院 副教授
姚愉芳 社科院数量经济与技术研究所 研究员
郭倩怡 国家发改委能源研究所 研究助理
苗 韧 国家发改委能源研究所 博士
冯 超 人民大学资源环境学院 博士
程 伟 北京德瑞沃德低碳技术中心 研究助理

课题咨询和评审专家：

- 白荣春 全国能源基础与管理标准化技术委员会 副主任
周大地 国家发改委能源研究所 研究员
何建坤 清华大学 教授
潘家华 社科院城市发展与环境研究所 研究员
周凤起 国家发改委能源研究所 研究员
孙翠华 国家发改委应对气候变化司 副司长
刘鸿志 国家环保部科技司副司长
彭斯震 国家科技部中国 21 世纪议程管理中心 副主任
韩爱兴 国家住房和城乡建设部建筑节能与科学技术司 副司长
蒋兆理 国家发改委应对气候变化司 处长
刘幼农 国家住房和城乡建设部科技发展促进中心 副处长
康相武 国家科技部社会发展司 处长
高建刚 交通运输部政策法规司 处长
张阿玲 清华大学核能技术研究院 教授
汪 澜 中国建筑材料科学研究院 高工
郦秀萍 中国钢铁规划研究总院 博士
李永亮 中国石油和化学工业联合会 处长
周伏秋 国家发改委能源研究所 研究员
胡 敏 能源基金会低碳发展之路项目 主任
陈灵艳 能源基金会低碳发展之路项目 经理

前 言

IPCC 第四次评估报告指出,全球应对气候变化的实践表明,技术减排才是真正的长效手段。现在及未来的温室气体减排均将高度依赖于技术的革新与实践。人类减缓气候变化的成本和速度将在一定程度上取决于未来减缓排放的有益技术的成本下降、性能和可获取性(IPCC,2007)。麦肯锡 2008 年发布的“减排成本曲线”中明确列出了各种技术的减排成本,认为到 2030 年可以实现 270 亿吨 CO₂ 的减排,其中超过 70% 可以通过现有技术实现,剩下的也可以通过即将商业化的技术的推广来实现。而且,通过应用能效技术,有 70 亿吨 CO₂ 的减排量减排成本为负值,可以带来正的投资效益。国际能源署(IEA)在《能源技术展望 2010》中,对现有和先进的清洁能源技术等低碳技术的现状以及前景进行了深度评估并提出,能源可持续发展是有可能实现的,其中科技将是关键因素,能源效率、CO₂ 捕获和封存、可再生能源和核电等低碳技术都非常重要。

在国家科技部气候变化领域“十一五”科技支撑计划项目中,应用由下而上和由上而下模型相结合的方法,在宏观和微观两个层面对中国终端部门减缓气候变化的关键技术及其减排效果进行了评价。国家科技部、国家气象局和中科院联合组织了国内近百名专家撰写的第二部《气候变化国家评估报告》和第二部《气候变化科学评估报告》中,均纳入了对中国能源供应与终端利用部门减缓技术与潜力的分析与评价的内容。另外,国家财政部 CDM 基金赠款项目,中科院应对气候变化等项目,以及众多国内外研究机构也从不同的角度开展了针对中国部门、行业或技术的减排潜力和成本的分析研究。

基于对上述相关研究成果和文献的回顾发现,由于各研究项目的范围、目标、要回答的问题、研究的重点、研究者所站的角度和应用的研究方法不同,致使研究结果的深度、广度、结论以及对政策制定的支持力度等均存在较大的区别。

减缓气候变化是符合中国可持续发展内在需求的自主选择。从长期发展角度看,中国必须走出一条适合中国具体国情的低碳发展道路,以促进低碳转型,实现可持续发展。国内外众多相关研究成果显示,在中国工业部门的钢铁、化工、水泥、有色金属等高耗能行业,以及建筑和交通领域提高能源效率和减排 CO₂ 的潜力仍然很大。深入研究这些部门和行业节能减排技术的现状和发展趋势、减排潜力和成本、减排技术实施的优先顺序和时序、减排技术的减排效果对部门和行业减排目标的影响、对国家 2020 年实现碳强度比 2005 年下降 40% ~45% 目标的潜在影响以及持续发挥技术进步对节能减排的关键作用具

有重要意义。研究成果可为国家、部门和行业制定节能减排战略、规划和技术政策等提供相应的支持。

为此,在国家发展和改革委员会和美国能源基金会的支持下,国家发展和改革委员会能源研究所主持并组织了清华大学建筑学院建筑节能研究中心、清华大学核能技术研究院、人民大学资源环境学院、社会科学院数量经济与技术研究所、中国科学院工程热物理所、中国化工节能技术协会、中国有色金属工业协会、中国水泥协会、北京德瑞沃德低碳技术中心的专家共同开展了“中国主要部门和行业 2020 年 CO₂ 减排技术的潜力和成本研究”。

研究以 2020 年为目标年,重点分析了中国交通和建筑领域,钢铁、化工、有色金属和水泥四个高耗能、高排放行业从目前到 2020 年的能源消费、CO₂ 排放和减排技术的现状和发展趋势;根据既定的原则在这些部门和行业遴选出了 88 项关键减排技术;应用增量(边际)成本分析方法详细评估了每一项减排技术的增量减排成本、减排潜力和所需投资;评估了实施这些减排技术对实现主要部门和行业减排目标,以及中国 2020 年 GDP 碳强度下降目标的潜在贡献;基于调查研究,分析了实施这些关键减排技术的障碍和政策需求;有针对性的提出了促进部门和行业减排技术推广应用的政策建议。

本书是在这项研究成果的基础上完成的。全书分为综合篇、部门和行业篇以及调研报告三个部分。我们希望这项研究成果能够帮助政策制定者、企业领导者、学术界、工程技术人员以及其他对节能减排技术感兴趣的各个方面做出更完善的决策,并帮助他们找到经济可行、普及推广潜力大、可供优先选择的减排技术,以应对可持续发展过程中所面临的减缓 CO₂ 排放的挑战。

课题研究过程中,我们有幸得到了国家发改委应对气候变化司、国家科技部社会发展司、国家环保部科技司、国家住房和城乡建设部科技司、交通运输部政策法规司、国家科技部中国 21 世纪议程管理中心、全国能源基础与管理标准化技术委员会、国家发改委能源研究、清华大学、社科院城市发展与环境研究所、中国建筑材料科学研究院、中国钢铁规划研究总院、中国石油和化学工业联合会、能源基金会低碳发展之路项目的领导和专家的大力支持和指导,在此一并先后向他们表示崇高的敬意和衷心的感谢!

由于对各部门减排技术的认知、识别、选择存在一定的局限性,特别是无法预测未来可能产生的更先进的技术;对技术本身的减排率、技术的普及率、技术的经济特性等的判断受到缺乏系统数据支持等因素的影响,在分析技术的减排潜力和成本过程中均存在扩大和缩小技术减排效果和成本高低等问题,进而导致分析结果的不确定性。这些问题有待在以后的研究和实践过程中加以克服和完善。

作者

2013 年 4 月于北京

Potential and Cost Study on China's Carbon Mitigation Technologies

Abstract

Practice of global response to climate change shows that the technological reduction is the real long-term means. The greenhouse gas emission reduction of the present and the future will be highly dependent on innovation and implementation of technology. To some extent, the cost, performance, and accessibility (IPCC, 2007) of some beneficial technologies for reducing the future emissions will be determined by the cost and speed of climate change mitigation. The “Abatement Cost Curve” (McKinsey, 2008) issued by McKinsey clearly lists the abatement cost of various technologies, suggesting that 27 billion tons of CO₂ emission reduction can be realized by 2030, of which more than 70% can be achieved by available technologies, and the remaining can also be achieved by the promotion of the upcoming commercial technologies. Moreover, through the application of energy-efficient technologies, emission reduction cost of 7 billion tons of CO₂ is negative, which indicates that positive investment returns are achievable.

In “Energy Technology Outlook 2010”, International Energy Agency (IEA) conducts an in-depth assessment about the current situation and prospects of the existing and advanced clean energy technologies and other low-carbon technologies, and proposes that sustainable energy development is possible, and science and technology will be the key factor, in which low-carbon technologies on energy efficiency, CCS, renewable energy and nuclear power are very important.

In the science and technology supportive projects of the 11th FYP in the field of climate change proposed by the Ministry of Science and Technology, the combination of the bottom-up and top-down models is applied to evaluate the key technology of climate change mitigation and its emission reduction effect of our terminal department in the macro and micro levels. Contents of China's energy supply and the analysis and evaluation of reduction technologies and potential of the terminal department are

included in the second part of the National Climate Change Assessment Report and the second part of the Climate Change Science Assessment Report, composed by almost a hundred experts jointly and organized by the Ministry of Science and Technology, the National Weather Service and the Chinese Academy of Sciences. In addition, the CDM Fund Grant project of Ministry of Finance, climate change coping project of the Chinese Academy of Sciences, the IEA, McKinsey, LNBL as well as numerous domestic and foreign research institutions have carried out the analysis and research of the reduction potential and cost for sectors, industries or technologies of China from different aspects.

Based on the related research results mentioned above and literature review, it can be seen that due to the differences in the range, goals, questions to be answered and focus on the research projects, the angles and the research methods applied by the researchers, the depth and the breadth of the research results, conclusions and the support for policies and so on are greatly varied.

The mitigation of climate change is an automatic selection that is in line with the internal demand of national sustainable development. From the long-term development perspective, China must take a low carbon development path suitable for its specific national conditions, to promote the low-carbon transition and achieve sustainable development. China has promised internationally the target of CO₂ emissions reduction in 2020, based on which the intensity of CO₂ emissions per unit of GDP will be decreased by 40% to 45% in 2020 compared with that in 2005. To achieve this goal, China has developed related strategic plans and policies. In the process of realizing emission reduction targets of China's 11th FYP, technological progress has played an important role. In the implementation of the 12th FYP and the more long-term future carbon reduction planning objectives, the contribution of technology will still continue to play a key role.

This study takes year 2020 as the target year, focuses on the analysis of energy consumption and CO₂ emissions trends of transportation and construction sectors and such four high energy consumption, high emission industries as iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement from the present to 2020, selects and assesses in detail the reduction potential and cost of 92 key emission reduction technologies, analyses the obstacles, investment and policy requirements of implementing these key emission reduction technologies, estimates the potential contribution of the emission reduction potential of these technologies to the decrease of 40% to 45% of China's carbon intensity of GDP in 2020 compared with 2005,

and comes up with policies and recommendations to promote the popularization and application of low-carbon emission reduction technology.

We hope that the results of this study can help policy-makers, business leaders, academics and other aspects with interest to make better decisions, and help them find economically viable emission reduction technology with clear priority to cope with challenges in the process of sustainable development.

The main conclusions and policy recommendations of this study are summarized below.

(1) From present to 2020, the potential of improving energy efficiency and reducing CO₂ emission in China's iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement industries and transportation and construction sector will still be big.

Energy conservation contributes not only to the growth of the national economy greatly, but also to the mitigation of greenhouse gas emissions. However, compared with the needs of national economic development and the international advanced level, China's energy intensity of GDP, energy consumption per unit of major energy-consuming products, and the energy efficiency of major energy-consuming equipment are far behind with varying degrees of gap, and the potential of conserving energy and improving energy efficiency is still big. In 2012, the unit energy consumption of major products of China's iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement industries was still higher than the international advanced level (the average of the leading countries in the world). The comprehensive energy consumption is 10 % higher in the large and medium-sized iron and steel enterprises, 6% higher in the cement industry, 10% higher in the caustic soda industry, 28% higher in the copper smelting industry and 34% higher in the ethylene industry.

Compared with developed countries, the overall efficiency of energy use of buildings in China is relatively low, including the insulation level of the building, the operating efficiency of the heating boilers and air conditioners and other electrical equipment which fall behind to a certain degree. And about 90% of China's current buildings are in the common problem of high energy consumption. From the technological level, the technological advance and backward of the energy use technology co-exist, while the proportion of the latter is much higher than that of the former. The results showed that during the 11th FYP period, apart from the significant decrease of energy consumption per unit area of centralized heating buildings in the northern town along with the promotion of energy conservation work,

the energy intensity of the other types of buildings showed a rising trend year by year. In 2010, the energy consumption intensity per unit building area increased from $12.5 \text{ kgce/m}^2 \cdot \text{a}$ in 2005 to $14.8 \text{ kgce/m}^2 \cdot \text{a}$, an average annual growth of 3.4%.

Due to the influence of many complex factors such as the macroeconomic development, urbanization process, China's transportation industry rapidly develops. Compared with 2005, in 2010, only the holding volume of civilian vehicles (including passenger cars, trucks and other cars) grew by nearly 2-fold, the holding rate of civilian vehicles per thousand people grew by 1.8 times, and the former is about the same level with that of United States in 1920s and that of Japan in 1965. In 2010, the average fuel consumption of China's passenger car's unit volume of service is about 14% higher than that in Europe in 2006 and nearly 50% higher than that in Japan in 2005.

According to the researching results, due to the continued growth of energy services demand of our industry, transportation and construction sectors from present to 2010, the energy consumption and CO₂ emissions will also show a growing trend. In 2020, the CO₂ emissions of the iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement industries will increase from 3.21 billion tons in 2010 to 4.22 billion tons, and from 22 million tons in 2010 to 3.22 billion tons in construction and transportation sectors. The total CO₂ emissions of the four industries and two sectors will account for 64% and 70% of the required CO₂ emissions of the 40% and 45% emission reduction target scenario.

CO₂ emissions mitigation technologies and practices are in constant development, and many of these technologies focus on energy terminal departments such as industry, transportation and construction. The results show that in the iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement industries, as well as construction and transportation sectors, continued popularization and application of the advanced, efficient and low-carbon emissions and cost effective CO₂ emissions reduction technology is an important way to achieve the goal of decreasing the carbon intensity per unit GDP in 2020.

(2) Before 2020, iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement industries are the priorities and areas of focus on the realizing technological mitigation potential, because they have big emission reduction potential and relatively low abatement costs.

The evaluation results of this study on more than 40 selected emission reduction

technologies of the iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement industries suggest that through the implementation of these mitigation technologies, CO₂ reduction potential of 319 million tons can be achieved by 2015, with the proportions of iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement accounting for 75.3% , 6.5% , 5.0% and 13.2% respectively; CO₂ reduction potential of 420 million tons can be achieved by 2020, with the proportions of iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement accounting for 68.6% , 8.6% , 4.6% and 18.2% respectively. The focus is on the emission reduction technology which can bring positive investment returns among the selected technologies, and the emission reduction potential realized by a positive cost accounts for 18.3% and 23% of that in the current.

If the emission reduction technologies are ranked in accordance with the size of the emission reduction potential, the preferential emission reduction technologies in the steel industry are such as the low calorific value gas combined with cycle power generation, all blast furnace gas boiler combustion technology, coal moisture control technology, converter negative energy steel and dry coke quenching technology and so on; the preferential emission reduction technologies in the chemical industry are such as closed calcium carbide furnace, soda ash new shift gas alkali manufacturing technology, production of high purity CO gas technology with CO₂ as the gasification agent, caustic soda ion-exchange membrane electrolytic cell membrane electrode technology, synthesis of ammonia synthesis loop molecular sieve technology and carbon dioxide degradable plastics technology and so on; the preferential emission reduction technologies in the non-ferrous metals industry are such as enhanced and efficient technology of current prebaked aluminum electrolytic cell, aluminum reduction cell diversion structure technology and new regenerative vertical retort furnace combustion technology and so on; the preferential emission reduction technologies in the cement industry are such as cement industry priority mitigation technologies such as cement kiln co-processing waste technology, carbide slag instead of limestone technology, cement kiln co-sludge disposal technology and pure low temperature waste heat power generation technology and so on.

The analysis results of abatement cost of the selected technologies show that the abatement cost of the selected technologies of the steel industry in 2020 is negative, from negative 1086 yuan/ton CO₂ (all blast furnace gas boiler combustion technology) to negative 254 yuan/ton CO₂ (regenerative heating furnace of steel rolling technology); the abatement cost of the selected technologies of the chemical

industry in 2020 changes from negative 923 yuan/ton CO₂ (carbon dioxide production of dimethyl carbonate two technology) to positive 814 yuan/ton CO₂ (caustic soda ion-exchange membrane electrolytic cell membrane electrode technology); the emission reduction potential of the emissions reduction technology with negative marginal abatement cost in the non-ferrous metals industry in 2020 accounts for 95%, and the cost is in the range of negative 530 yuan/ton CO₂ to negative 1935 yuan/ton CO₂; the abatement cost of oxygen bottom-blowing smelting technology is the highest, up to 2234 yuan/ton CO₂; the abatement cost of the five selected emission reduction technologies in the cement industry is in the range of negative 3.82 yuan/ton CO₂ to 439 yuan/ton CO₂. The abatement cost of pure low temperature waste heat power generation technology is negative 3.82 yuan/ton CO₂; the abatement cost of carbide slag instead of limestone technology is 439 yuan/ton CO₂.

In summary, before 2020, the cost-effective emission reduction technologies with bigger emission reduction potential of iron and steel, chemicals, non-ferrous metals and cement industries include technologies that can improve energy efficiency, new processes and new technologies, by-products and waste recycling technology, raw materials and fuel substitution technology.

(3) Before 2020, transportation is an area with fastest growing CO₂ emissions and technological emission reduction potential, whose abatement cost is relatively high.

With the continued growth of transportation volume of services and the energy demanded, the average annual growth rate of CO₂ emissions of the transportation sector is about 4.6% from 2010 to 2020; while in the same period, that of the whole nation, the industry and the construction sector is less than 3.9%. Therefore, from present to 2020, transportation is an area with fastest growing CO₂ emissions and technological emission reduction potential.

The analysis results of abatement cost of the 17 selected technologies in the transportation sector show that in 2020, the technological emission reduction potential will increase from 42 million tons CO₂ in 2015 to 113 million tons of CO₂. The five technologies with the maximum emission reduction potential are as following in order: efficient diesel trucks, to increase the proportion of cargo inland shipping commitments and to improve bus travel rate, homogeneous charge compression ignition technology HDDI-gasoline vehicle applications as well as non-plug-in hybrid automotive technology. The total emission reduction potential of the five technologies is about 83 million tons CO₂, accounting for about 70% of the total emission

reduction potential of the transportation sector in 2020.

The analysis results of abatement cost of the selected technologies show that in 2020, to improve automobile fuel economy technology can bring positive investment returns, and the emission reduction potential of these technologies account for 45% of the total emission reduction potential. The abatement cost of technologies such as pure electric vehicles and cellulose ethanol fuel alternative class is relatively high, and the main factor is the high investment costs of these new technologies (including R&D costs, laboratory costs, technological facilities construction costs and equipment purchase costs) and limited penetration rate.

(4) Before 2020, the construction is a potential focus area on achieve the technological emission reduction potential, but the abatement cost of most technologies is greatly uncertain.

The analysis results of abatement cost of the 34 selected technologies in the construction sector show that in 2020, the technological emission reduction potential will increase from 188 million tons CO₂ in 2015 to about 414 million tons CO₂. The previous ten technologies on annual emission reduction potential in 2020 are new residential construction's implementation of the 65% energy efficiency standards, new public buildings with incandescent lamps eliminated, efficient refrigerators, household biogas digesters, efficient and energy-saving stoves, high efficiency cogeneration systems and related technologies, envelope structure transformation of houses in the north, passive design, urban residential solar water heaters and existing public buildings incandescent lamp transformation. In 2020, these 10 technologies will achieve emission reduction potential of 310 million tCO₂, accounting for 75% of the total emission reduction potential of the construction sector.

In the 10 technologies with bigger emission reduction potential, the abatement cost of the northern houses' envelope structure transformation, passive design, new residential construction's implementation of the 65% energy efficiency standards and household biogas digesters is 622 yuan/ton CO₂, 250 yuan/ton CO₂, 181 yuan/ton CO₂ and 16 yuan/ton CO₂, respectively. The emission reduction potential of these four technologies accounts for 47% of the emission reduction potential of the 10 technologies.

To calculate the abatement cost of the emission reduction technologies of the construction sector, in addition to the use of the technological area or promotion volume, the influence of project price changes on the incremental value of investment

and larger differences between the practical application of emission reduction technologies and cost calculation modes and other reasons are also necessary. Therefore, the analysis result of the abatement cost of emission reduction technologies of construction sector is uncertain to some degree.

(5) The technological emission reduction potential contributes about 21 % to 32% to the emissions under the country's emission reduction goal in 2020.

Based on the scenario analysis, the result show that in 2015, the emission reduction potential of the selected technologies of the four industries and two sectors accounts for 42% of the CO₂ needed to reduce under our country's emission reduction goal of 40% and 26% under 45% ; in 2020, the emission reduction potential of the selected technologies of the four industries and two sectors accounts for 32% of the CO₂ needed to reduce under the emission reduction goal of 40% and 21% under 45% .

(6) The popularization and promotion of emission reduction technologies need to overcome a variety of obstacles.

The constant perfections of the external environment, systems and policies are needed to realize the technological emission reduction potential of terminal departments cost-effectively. Compared to traditional technologies, the constant popularization and application of advanced, efficient and low-carbon emissions and cost-effective CO₂ capture and storage technologies have larger potential for CO₂ emission reduction. But in reality, to achieve the emission reduction potential of these technologies, it depends on not only the improvement of energy efficiency of the technology itself, rate of reducing the abatement costs and technology promotion efforts, but also the tremendous efforts to overcome the economic, social, behavioral and (or) institutional obstacles.

(7) The analysis of CO₂ emission reduction potential and cost of the subject of the four industries and two sectors is uncertain to a certain degree.

Due to various departments' limited awareness, identity and selection, especially the impossibility to predict the future advanced technologies; factors lacking system data support of the judgment of the emission reduction rate of the technology itself, the penetration rate of the technology and the economic properties, there are problems of enlarging and mitigating emission reduction results and high or low cost in the process of analyzing the technological emission reduction potential and cost, leading to the uncertainty of the analysis results. These problems will be conquered and perfected in the future research and practice process.

To promote the popularization and application of low-carbon abatement technologies, the study proposes the following policy recommendations:

(1) Organizing as soon as possible to develop the sector and industry low-carbon emission reduction technology system, implementation road map, development strategy and plans, in order to promote the implementation of emission reduction technologies in order of priority and timing;

(2) Developing R&D capabilities of advanced low-carbon emission reduction technologies, promoting the innovation and development of low-carbon emission reduction technologies, to make the development of low-carbon emission reduction technologies better adapt to the international economic structure and industrial transition to low-carbon industry;

(3) Using energy savings, carbon trading, voluntary agreements of market mechanisms and the implementation of strong financial incentives to promote the promotion and application of the low-carbon emission reduction technologies;

(4) Creating innovative investment and financing system, strengthening and enlarging the carbon emission reduction benefits of energy conservation investment (synergies);

(5) Starting as soon as possible to study and establish a standard system in the low-carbon field and develop corresponding standards to regulate the development and application of low-carbon emission reduction technologies, monitor and evaluate, and promote the progress of low-carbon emission reduction technologies;

(6) Strengthening the capacity building of enterprise level and helping enterprises to establish greenhouse gas data collection and management system to lay the foundation for enterprises to implement low-carbon transformation strategy. Such a system should include data demand system, data source identification system, the responsibility system for data collection, data quality control system and the database system; guiding the enterprises to carry out the diagnosis and online monitoring of the energy consumption indicators and their benchmarking and analysis to identify weaknesses and take corrective action; strengthening energy consumption statistics and supervision; improving the energy consumption statistics in the whole production process of enterprises; ensuring the reality of statistics; building step-by-step analysis reporting system and reporting on time; assessing evaluation mechanism.

目 录

第一篇 综 合 篇

中国主要行业和部门2020年二氧化碳减排技术的潜力和成本研究

引言	3
1 主要行业和部门二氧化碳排放现状及发展趋势	7
1.1 钢铁、化工、有色金属和水泥行业	7
1.1.1 行业发展	7
1.1.2 行业能源消费	12
1.1.3 行业二氧化碳排放	17
1.2 建筑部门	18
1.2.1 部门的界定和能源消耗特点	18
1.2.2 建筑能源消费	20
1.2.3 建筑部门二氧化碳排放	23
1.3 交通运输部门	25
1.3.1 发展现状和趋势	25
1.3.2 能源消费	28
1.3.3 能耗强度	31
1.3.4 二氧化碳排放总量	33
2 行业和部门关键减排技术选择	35
2.1 减排技术的定义	35
2.2 减排技术选择的原则	36
2.3 减排技术选择	37
3 减排技术的潜力和减排成本分析	46
3.1 分析方法	46
3.1.1 一般性概念	46

3.1.2	减排技术潜力分析方法	46
3.1.3	减排技术成本分析方法	47
3.1.4	绘制技术减排成本曲线	48
3.2	行业减排技术潜力和成本分析	49
3.2.1	钢铁工业	49
3.2.2	化学工业	50
3.2.3	有色金属工业	53
3.2.4	水泥行业	54
3.2.5	行业小结	56
3.3	部门减排技术潜力和成本分析	59
3.3.1	建筑部门	59
3.3.2	交通部门	63
4	技术减排潜力贡献率分析	66
4.1	对本行业和部门二氧化碳排放的影响	66
4.2	对国家 GDP 碳强度下降减排目标的影响	69
4.3	不确定性问题	72
5	推广和普及减排技术的障碍分析	73
5.1	国外相关文献调研	73
5.2	本项目部门和行业专家对障碍的分析	76
5.3	国家政策对克服技术推广障碍的作用评估	79
6	结论和政策建议	82
6.1	研究结论	82
6.2	政策建议	85
	参考文献	93

第二篇 行业和部门篇

第一章 钢铁行业 2020 年二氧化碳减排技术的潜力和成本分析

1	钢铁行业的现状和发展趋势	97
1.1	能源消费和二氧化碳排放现状	97

1.2	钢铁行业未来能源消费形势和二氧化碳排放趋势	103
1.3	钢铁行业促进节能减排的政策措施	111
2	关键减排技术的选择	115
2.1	关键减排技术的定义与界定	115
2.2	关键减排技术选择的原则	115
2.3	关键减排技术	116
3	关键减排技术的减排潜力和成本分析	122
3.1	关键减排技术减排潜力分析	122
3.2	实现单位减排潜力的成本分析	127
4	实施关键减排技术的障碍与政策需求	137
4.1	实施关键减排技术的障碍	137
4.2	政策建议	139
	结束语	141
	参考文献	142

第二章 化工行业 2020 年二氧化碳减排技术的潜力和成本分析

1	中国化工行业的现状和发展趋势	144
1.1	能源消费和二氧化碳排放状况	144
1.1.1	合成氨	147
1.1.2	烧碱	149
1.1.3	纯碱	149
1.1.4	电石	150
1.1.5	黄磷	151
1.2	能源消费和二氧化碳排放趋势	152
1.3	促进节能减排的政策措施	153
2	关键减排技术选择	160
2.1	关键减排技术在化工行业的定义和界定	160
2.2	关键减排技术选择的原则	160
2.3	关键减排技术描述	160

3	关键减排技术的减排潜力和减排成本分析	163
3.1	合成氨	163
3.1.1	氨合成回路分子筛节能技术	163
3.1.2	JR 型氨合成塔系统	165
3.2	烧碱	166
3.2.1	离子膜电解槽膜极距技术	166
3.2.2	氯化氢合成余热利用技术	168
3.3	纯碱	169
3.3.1	新型变换气制碱技术	169
3.3.2	联碱不冷碳化技术	170
3.4	电石	171
3.4.1	密闭电石炉技术	171
3.4.2	电石炉低压补偿	172
3.5	黄磷	173
3.5.1	黄磷尾气净化及综合利用	173
3.5.2	三相六根石墨电极黄磷电炉	174
3.6	二氧化碳降解塑料	175
3.7	工业废气二氧化碳合成碳酸丙烯酯	177
3.8	酯交换法二氧化碳生产碳酸二甲酯	178
3.9	以二氧化碳为气化剂生产高纯一氧化碳	180
3.10	二氧化碳驱油 (CCUS)	182
3.11	超临界液体二氧化碳发泡技术 (LCD)	183
4	实施关键减排技术的障碍、投资和政策需求	185
4.1	实施关键减排技术的障碍	185
4.2	实施关键减排技术的投资需求	185
4.3	实施关键减排技术的政策建议	186

第三章 有色金属行业 2020 年二氧化碳减排技术的潜力和成本分析

1	有色金属行业的现状和发展趋势	188
1.1	能源消费和二氧化碳排放现状	188

1.2	能源消费和二氧化碳排放趋势	190
1.3	促进节能减排的政策措施	190
2	关键减排技术选择	193
2.1	关键减排技术在有色金属行业的界定	193
2.2	关键减排技术的选择原则	193
2.3	关键减排技术描述	193
3	关键减排技术减排潜力和成本分析	194
3.1	铝电解槽新型导流结构节能组合技术	194
3.2	新型阴极结构铝电解槽节能技术	195
3.3	预焙铝电解槽电流强化与高效节能综合技术	196
3.4	氧气底吹炼铜技术	197
3.5	液态高铅渣直接还原技术	200
3.6	新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术	202
4	实施关键减排技术的投资和政策需求	204
4.1	投资需求	204
4.2	政策措施建议	204

第四章 水泥行业 2020 年二氧化碳减排技术的潜力和成本分析

1	水泥行业的现状	206
1.1	基本概况	206
1.2	全国水泥及熟料产量	206
1.3	水泥工业增加值	206
1.4	技术装备水平	207
1.5	水泥工业能源消费结构	207
1.6	水泥万元增加值能耗	208
1.7	水泥单位产品能耗	208
1.8	单位产品能耗比较	208
1.9	二氧化碳排放现状	210

2	水泥行业未来发展趋势	212
2.1	水泥需求量	212
2.2	“十二五”期间的主要发展目标	212
2.3	能源消费量和碳排放趋势	213
3	水泥行业关键减排技术选择	214
3.1	关键减排技术选择原则	214
3.2	关键减排技术选择	214
3.2.1	纯低温余热发电技术	214
3.2.2	水泥窑协同处置生活垃圾、污泥等废物	215
3.2.3	粉磨节能技术	217
3.2.4	电石渣替代石灰石	218
3.2.5	其他节能技术	219
3.3	关键减排技术汇总	220
4	关键减排技术减排潜力及成本分析	222
4.1	纯低温余热发电技术	222
4.2	水泥窑协同处置污泥技术	223
4.3	水泥窑协同处置生活垃圾技术	224
4.4	水泥辊磨终粉磨技术	225
4.5	电石渣替代石灰石技术	226
4.6	关键技术减排潜力及成本分析结果汇总	227
5	实施关键减排技术的政策建议	228

第五章 建筑部门2020年减排技术的潜力和成本分析

引言	230
1 建筑部门能耗统计分类方法	233
2 建筑部门能耗和二氧化碳排放现状与发展趋势	237
2.1 建筑部门各类型建筑面积现状与趋势	237
2.2 建筑部门能源消费现状与趋势	238
2.3 建筑部门二氧化碳排放现状和趋势	242

2.4	“十一五”期间建筑部门主要节能减排效果	245
3	建筑部门关键减排技术评估	246
3.1	关键减排技术的定义和界定	246
3.2	关键减排技术选择	248
3.3	关键减排技术成本分析	251
3.4	关键减排技术潜力估算	254
4	实施关键减排技术的障碍、投资和政策需求	261
4.1	实施关键减排技术的障碍	261
4.2	实施关键减排技术的投资需求	261
4.3	实施关键减排技术的政策需求	262
	参考文献	264

第六章 交通部门2020年减排技术的潜力和成本分析

引言	266
1 交通部门的现状和发展趋势	268
1.1 交通部门能源消费与二氧化碳排放现状	268
1.1.1 客货周转量	268
1.1.2 能源总消费量	268
1.1.3 能耗强度	272
1.1.4 二氧化碳总排放与人均排放强度	279
1.2 交通部门能源消费和二氧化碳排放趋势	280
1.2.1 发展驱动因素分析	280
1.2.2 能源消费与二氧化碳排放总量预测	283
1.2.3 小结	285
1.3 促进节能减排的政策措施	287
1.3.1 “十一五”期间主要措施节能减排效果	287
1.3.2 交通运输部门2015年、2020年主要节能措施展望	287
2 交通部门关键减排技术选择	290
2.1 关键减排技术的定义和界定	290
2.2 关键减排技术选择	290

3	关键减排技术的减排成本和潜力分析	292
3.1	关键减排技术成本计算	292
3.2	关键减排技术减排潜力分析	294
4	实施关键减排技术的障碍、投资和政策需求	299
4.1	实施关键减排技术的障碍	299
4.2	实施关键减排技术的投资需求	300
4.3	实施关键减排技术的政策需求	300
	参考文献	307

第三篇 调研报告

中国重点耗能行业推广和普及节能减排技术的障碍和对策分析

1	现有障碍分析评述	312
1.1	文献调研	312
1.2	本项目行业专家对障碍的分析	315
1.3	国家政策对克服技术推广障碍的作用评估	317
2	节能减排技术实施过程分析	320
2.1	节能减排技术实施过程描述	320
2.2	实施过程各阶段影响因素分析	321
2.3	实施过程参与者行为分析	326
3	现有减排技术分类对技术推广和普及的局限性分析	329
3.1	减排技术界定及分类方法	329
3.2	减排技术分类对技术推广与普及的局限性	329
3.3	有利于减排技术推广与普及的分类方法	329
4	案例研究	331
5	政策建议	334
	参考文献	335

中国主要行业和部门 2020 年二氧化碳 减排技术的潜力和成本研究

引言

国际能源机构(International Energy Agency, IEA)出版的《能源技术展望:面向 2050 年的情景与战略》报告中的重要结论之一是:如果不采取相应的对策,到 2050 年全球能源需求和二氧化碳排放将翻一番以上。这些能源需求增量以及二氧化碳排放增量中的大部分来自发展中国家。能源技术开发可以带领全球能源部门进入更加可持续的轨道。5 个技术发展情景(分别为路线图情景;低可再生能源情景;低核能情景;无二氧化碳捕集与封存情景和低能效情景)表明,采用现有或者正在开发的技术,可以在 2050 年将全球能源领域的二氧化碳排放恢复到目前水平。与基准情景相比,这 5 个情景产生的巨大差别来源于:交通、工业和建筑行业的能源增效;一次能源发电转向无碳的核能和可再生能源发电,而燃气和燃煤电站也采用了二氧化碳捕集与封存(CCS)手段,从而导致发电行业的显著脱碳。

5 个技术发展情景还表明:能源增效对二氧化碳减排的贡献为 31%~53%;二氧化碳捕集与封存(CCS)技术的贡献为 20%~28%;替代燃料的贡献为 11%~16%;可再生能源的贡献为 5%~16%;核能为 2%~10%;生物交通燃料为 6%;其他技术为 1%~3%。第 6 个情景(技术附加情景)对核能、可再生能源、先进生物燃料和氢能燃料电池技术的发展做出了更乐观的假设。根据这些假设,2050 年二氧化碳排放量将比目前水平降低 16%;氢能和生物燃料提供了 34%的交通能源,将石油需求恢复到目前的需求水平。

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告预计 2030 年之前能够实现商业化的关键减缓技术主要如下:

能源供应部门:改进能源供应和配送效率;燃料转换:煤改气;核电;可再生热和电(水电、太阳能、风能、地热、生物能);热电联产;尽早利用 CCS(如储存清除二氧化碳的天然气);碳捕获和封存(CCS)用于燃气、生物质或燃煤发电设施;先进的核电;先进的可再生能源,包括潮汐能和海浪能、聚光太阳能和太阳

光伏电池。

交通运输部门:更节约燃料的机动车;混合动力车;清洁柴油;生物燃料;方式转变:公路运输改为轨道和公交系统;非机动化交通运输(自行车,步行);土地使用和交通运输规划;第二代生物燃料;高效飞行器;先进的电动车、混合动力车,其电池储电能力更强、使用更可靠。

建筑部门:高效照明和采光;高效电器和加热、制冷装置;改进炊事炉灶,改进隔热;被动式和主动式太阳能供热和供冷设计;替换型冷冻液,氟利昂气体的回收和回收利用;商用建筑的一体化设计,包括技术,诸如提供反馈和控制的智能仪表;太阳光伏电池一体化建筑。

工业部门:高效终端使用电气设备;热、电回收;材料回收利用和替代;控制非二氧化碳气体排放;各种大量流程类技术;提高能效;碳捕获和封存技术用于水泥、氨和铁的生产;惰性电极用于铝的生产。

IPCC 减缓气候变化工作组对 2010 年和 2020 年全球温室气体排放潜力进行了估算,各个产业部门均有可能以较低的成本甚至是净收益来实现较大幅度的减排。其中,建筑物通过提高电器、设备的能源效率和改善建筑结构等措施可减排二氧化碳 15%~30%。工业部门通过提高能源和原材料使用效率等技术措施,到 2020 年减排潜力可达 700~1 500MtC/a。交通部门轻型汽车能源效率技术的进展比预料的要快,混合动力汽车燃料经济性已提高 50%~100%。通过新技术的应用,到 2020 年交通部门可减排二氧化碳约为 15%~30%。由于能源供应和部门减排涉及大量资金和新技术,因而在 2010 年的减排量只有交通部门的一半,但到 2020 年减排量将与交通部门持平。从总量上看,到 2020 年,主要部门温室气体低成本减排的技术潜力可达 3 600~5 050MtC/a。减排量相当于同期全球排放总量预测值的 20%~30%。

麦肯锡出版的《中国的绿色革命:实现能源与环境可持续发展的技术选择》报告中着重讨论了在基准情景之上中国提高能效、减少温室气体排放的额外潜力。充分挖掘所有技术的最大潜力,不仅可以大大改善中国的能源安全形势,同时可以把 2030 年温室气体排放量控制在约 80 亿 t(减排情景),只比 2005 年高 10% 左右。减排情景比基准情景中的 2030 年温室气体排放量少了将近一半。总减排潜力达 67 亿 t,其中:建筑和家电使用部门 11 亿 t;道路运输 6 亿 t;高排放工业 16 亿 t;电力 28 亿 t;农林 6 亿 t。

要实现减排情景中巨大减排潜力需要相当可观的新增投资。报告估计要实现全部潜力,中国在今后 20 年平均每年需新增资本投入 1 500 亿~2 000 亿欧元。其中约 1/3 的投资将产生经济回报;1/3 将产生较低到中等程度的经济成本,还有 1/3 将会产生巨大的经济成本。

除了经济成本外,还有不少影响技术应用的障碍,包括:社会成本(例如,实

施新技术导致的就业转移)、政府行政成本、信息和交易成本等。这些障碍都将限制中国完全实现技术潜力的能力。

在气候变化背景下,潜力是指随着时间的推移能够实现,但尚未实现的减缓量或适应量。经济潜力指温室效应气体(Greenhouse Gases, GHG)的减缓量,它考虑了社会成本和效益以及社会贴现率,同时假设市场效率通过政策和措施而提高,并且各种障碍被清除。然而,目前自下而上和自上而下的经济潜力研究在考虑生活方式选择和包括所有外部因素(如局地空气污染)方面存在局限性。

针对市场潜力的研究能够用于向决策者通报有关减缓潜力的信息(包括现行的政策和障碍),而针对经济潜力的研究表示如果出台适当的新政策和附加政策,清除各种障碍并纳入社会成本和效益,则可取得什么样的结果。因此,经济潜力一般大于市场潜力。减缓潜力的估算使用不同类型的方法。

2010 年中国钢铁、化工、水泥和有色金属行业的能源消费量和二氧化碳排放量分别占工业能源消费量的 51% 和二氧化碳排放量的 63%; 占全国能源消费量的 37% 和二氧化碳排放量的 45%。2005 年至 2010 年,这四个行业的能源消费量年均增长了 7.8%, 而二氧化碳排放量年均增长了 8.3%。尽管近 10 年以来,这些行业的能源利用效率有所提高,二氧化碳排放强度大幅度降低,但是这些成效不足以抵消这些行业产品产量的大幅度增长,这也是导致这些行业二氧化碳排放增长快于能源消费增长的原因之一。到 2020 年,由于中国经济的发展以及工业化和城市化进程对上述这些行业产品的需求均呈增长趋势,如果不采取成本有效的减排技术和措施,这些行业二氧化碳排放继续上升的趋势难以改变。

建筑和交通运输部门能源消费与二氧化碳排放、人口及收入的增长、人们的生活和出行方式选择、汽车保有量和人均住房面积的增长、对石油的依赖等因素密切相关,而且发展的潜力远远大于工业部门。2010 年中国建筑物运行与交通运输部门能源消费量分别为 6.77 亿 t 标准煤和 3.29 亿 t 标准煤,分别约占中国能源消费总量的 21% 和 10%。众多研究显示,到 2020 年中国建筑和交通运输部门的能源消费量将分别超出 10 亿 t 标准煤和 5.5 亿 t 标准煤,其二氧化碳排放量也将随之增长。

可见,对于中国能否实现 2020 年单位 GDP 碳强度比 2005 年下降 40%~45% 的减排目标,未来 8 年是十分重要的,只有广泛采用成本有效的、可大规模开发和推广的节能减排技术,燃料和原料替代技术、余能回收利用技术、新能源技术并实施技术转型,才能大幅度削减上述四个行业和两个部门的二氧化碳排放量。

因此,应用技术经济评价方法,识别中国交通运输和建筑部门,钢铁、水泥、

有色金属和化工行业从目前到 2020 年关键的二氧化碳减排技术,分析这些技术的减排成本和潜力,探讨实施这些减排技术的投资和政策需求,对这些行业和部门确定优先减排技术领域,对支持有关政府部门制定和完善有利于减排技术实施和推广的激励政策,促进“十二五”和 2020 年减排目标的实现均具有重要意义。

1 主要行业和部门二氧化碳排放现状及发展趋势

根据课题既定的研究目标和范围,本研究报告中主要行业界定为:钢铁、化工、有色金属和水泥行业;主要部门界定为建筑和交通运输部门。

1.1 钢铁、化工、有色金属和水泥行业

1.1.1 行业发展

2010年中国GDP总量由2005年的18.49万亿元增加到31.45万亿元(2005年价),年均增长率为11.2%。以工业为主的第二产业是中国改革开放以来经济社会发展的持续推动力。“十一五”以来,中国工业化进程继续加快,工业增加值从2005年的7.723万亿元增加到2010年的13.434万亿元(2005年价),年均增长率为11.7%,超过中国GDP年均增长率0.5个百分点。工业对国民经济的贡献率(工业增加值增量与GDP增量之比)由2005年的43.4%增加到2010年的49.2%,第三产业则由43.3%下降到38.5%(中国统计年鉴,2011)。图1-1-1和图1-1-2分别给出了2005年至2010年中国GDP和工业增加值及其年增长率的变化趋势。

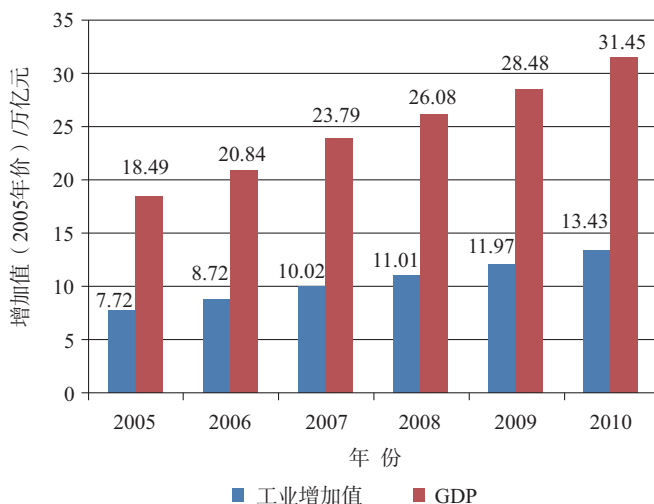


图 1-1-1 2005—2010 年中国 GDP 和工业增加值的变化趋势

2010年钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业的工业增加值从2005年的13 626亿元增加到24 950亿元,年均增长率为12.9%,超过工业增加值年均增

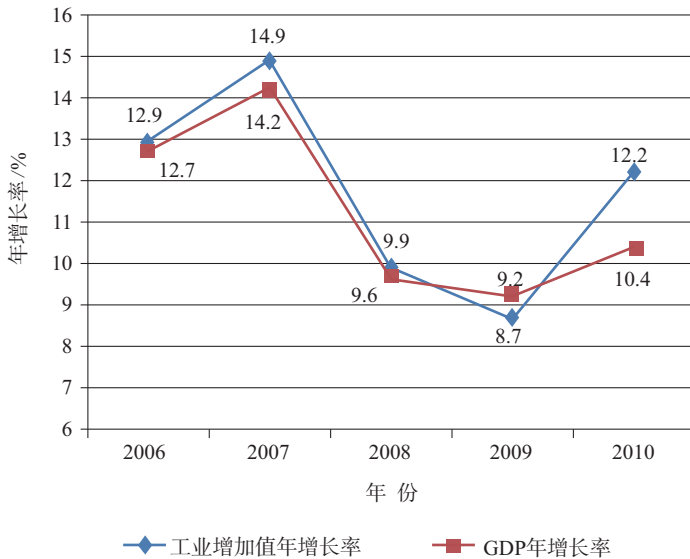


图 1-1-2 2005—2010 年中国 GDP 和工业增加值年增长率变化趋势

长率 1.2 个百分点。四个行业的工业增加值占工业增加值总量的比重由 2005 年的 18.6% 下降到 2010 年的 17.6%，仅下降了一个百分点（见图 1-1-3）。由此可见，中国工业产业内部的行业结构调整仍面临挑战。表 1-1-1 列出了钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业 2005 年至 2010 年工业增加值及其构成和年均增长率变化。

表 1-1-1 钢铁等四个行业 2005—2010 年工业增加值及其构成和年均增长率变化

行业	工业增加值/亿元		工业增加值构成/%		年均增长率/%
	2005 年	2010 年	2005 年	2010 年	2005—2010 年
工业合计	77 231	134 339	100.00	100.00	11.7
钢铁	5 777	10 671	7.48	7.94	13.3
化工	4 987	12 252	6.46	9.12	19.7
有色金属	2 675	4 602	3.46	3.43	11.5
水泥	822	1 938	1.06	1.44	18.7
其他工业	62 970	104 876	81.53	78.07	10.7

中国快速的工业化和城市化进程，驱动了基础设施建设的规模与速度，致使对工业产品的需求不断增加。由于主要工业品产量持续翻番，中国已成为名副其实的工业生产大国，主要工业产品产量均居世界前列。2010 年，中国的粗

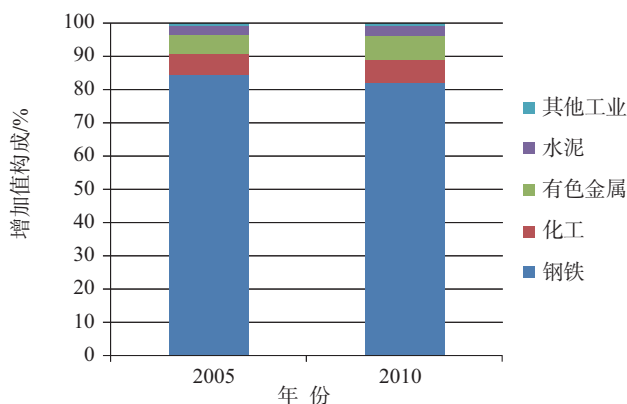


图 1-1-3 2005—2010 年中国工业增加值构成变化

钢、煤炭、水泥、化肥、棉布、电视机等上百种产品产量稳居世界首位,其中:粗钢产量由2000年的1.29亿t增加到2010年的6.37亿t,年均增长17.3%;水泥产量从2000年的5.97亿t增长到2010年的18.8亿t,年均增长12.2%;平板玻璃产量从2000年的1.84亿重量箱增至2010年的6.63亿重量箱,年均增长13.2%(中国统计摘要,2011)。短短10年内,中国粗钢产量翻了两番多,水泥和平板玻璃的产品产量均翻了一番多。2010年中国的粗钢、水泥、平板玻璃、建筑陶瓷、化学纤维等产品产量占世界总产量的比重已超出50%。钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业2000年至2010年主要产品产量变化及产品产量增长指数见表1-1-2和图1-1-4。

表 1-1-2 钢铁等四个行业 2000—2010 年主要产品产量变化

年 份	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010
粗钢/亿 t	1.29	3.53	4.19	4.89	5.03	5.72	6.37
水泥/亿 t	5.97	10.69	12.37	13.61	14.24	16.44	18.8
硫酸/万 t	2 427	4 545	5 033	5 413	5 098	5 961	7 091
纯碱/万 t	834	1 421	1 560	1 765	1 855	1 945	2 029
烧碱/万 t	668	1 240	1 512	1 759	1 926	1 832	2 087
原铝 ^① /万 t	279	779	927	1 234	1 317	1 287	1 565
合成氨/万 t	3 364	5 200	5 590	5 790	5 000	5 136	4 965
电石/万 t	340	895	1 170	1 363	1 361	1 503	1 700
乙烯/万 t	470	756	941	1 028	988	1 073	1 419

资料来源:中国统计年鉴,2011。

① 2009年开始电解铝产品名称改为原铝。

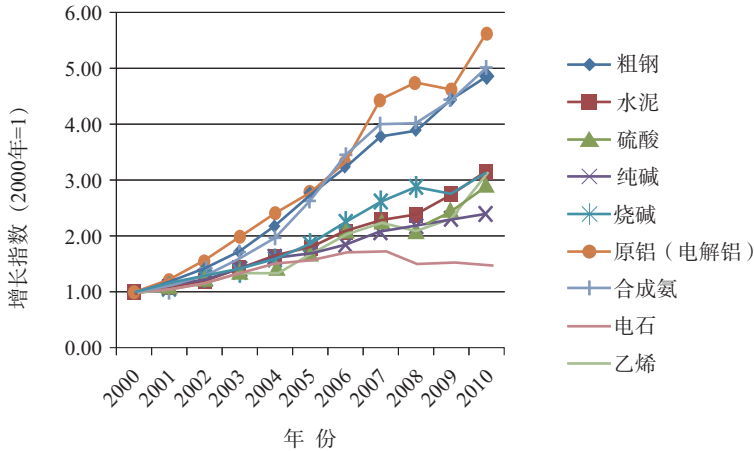


图 1-1-4 2000—2010 年钢铁等四个行业主要产品产量增长指数变化

从图 1-1-4 可以看出,近 10 年钢铁等四个行业的主要产品产量增长指数除电石、纯碱和硫酸产品外,其他 6 种产品的增长指数均在 3 以上,粗钢已接近 5,合成氨已达到 5,而原铝产品超过了 5。“十一五”期间,国家实行了推进企业组织结构调整和兼并,鼓励企业通过强强联合和上下游一体化经营,提高产业集中度的政策,在规模以上工业企业户数由 2005 年的 26.6 万户增加到 45 万户以上的情况下,产业集中度仍有明显提高。例如,前 10 家钢铁企业的产业集中度 2010 年达到了 48.6%,比 2005 年提高了 13.2 个百分点;20 家水泥企业集团的产业集中度提高到 45%;前 10 家铜冶炼企业和前 10 家原铝企业占全行业产品产量的比重分别达到了 76% 和 64%,促进了这些行业的技术进步和节能减排工作的实施。

基于行业已有规划数据,相关研究项目以及本课题行业专家报告的研究结果显示,2015 年和 2020 年钢铁、化工、有色金属和水泥四个高耗能行业的增加值和主要产品产量的增长速度与“十一五”期间相比均有不同程度的放缓。特别是主要产品产量的年均增长速度大幅度下降,粗钢产量年均增长速度从“十一五”期间的 13% 将分别下降到“十二五”和“十三五”期间的 3.3% 和 1.3%;合成氨产量年均增长速度从“十一五”期间的 10% 将分别下降到“十二五”和“十三五”期间的 1.4% 和 1.4%;原铝产量年均增长速度从“十一五”期间的 15% 将分别下降到“十二五”和“十三五”期间的 8.1% 和 2.8%;水泥产量年均增长速度下降幅度最大,从“十一五”期间的 12% 将分别下降到“十二五”和“十三五”期间的 4.6% 和 0.8% (见表 1-1-4)。这也预示着中国的水泥产量有可能在 2020 年左右达到峰值,粗钢、合成氨和原铝的产量也将有可能在 2020 年左右接近峰值。

钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业的增加值年均增长速度在“十二五”和“十三五”期间略有下降(见表 1-1-3),而且下降幅度与四个行业主要产品产量增长速度的下降幅度要低得多,这预示着在未来 8~10 年中国钢铁、化工、有色金属和水泥四个高耗能行业的产品结构趋于优化,附加值高的产品品种和产量将进一步提高。以化工行业为例,从 2005 年一直到 2020 年化学工业均保持了很高的发展速度,但由于大宗化工产品,特别是合成氨、烧碱、纯碱、电石等高耗能产品产量的增长速度却慢得多,而附加值较高的精细化学品、新型专用化学品的发展速度将很快,进而在发展的过程中实现了产品结构的优化,对化工行业的节能和减缓碳排放将起到促进作用。

从钢铁等四个行业 2020 年主要产品产量增长指数看,除有色金属行业的电石和镁大于 2.3 以外,其他行业产品产量增长指数均在 1.5~1.7。

钢铁等四个行业 2015 年和 2020 年主要产品产量增长指数见图 1-1-5。

表 1-1-3 钢铁等四个行业 2015 年和 2020 年工业增加值及年均增长率

行 业	工业增加值/亿元			年均增长率/%		
	2010 年	2015 年	2020 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2015—2020 年
钢铁工业	10 671	17 186	25 252	13.3	10.00	8.00
化学工业	12 252	22 574	41 591	19.7	13.00	13.00
有色金属工业	4 602	7 412	11 937	11.5	10.00	10.00
水泥行业	1 938	3 121	4 586	18.7	10.00	8.00
合计	29 463	50 293	83 366	15.6	11.3	10.6

数据来源:行业报告。

表 1-1-4 钢铁等四个行业 2015 年和 2020 年主要产品产量及年均增长率

行 业	主要产品产量/万 t			年均增长率/%		
	2010 年	2015 年	2020 年	2005—2010 年	2010—2015 年	2015—2020 年
粗钢	63 700	75 000	80 000	13	3.3	1.3
合成氨	5 221	5 600	6 000	10	1.4	1.4
烧碱	2 087	2 700	3 400	11	5.3	4.7
纯碱	2 029	2 550	3 000	7.4	4.7	3.3
电石	1 462	2 700	3 600	14	13.1	5.9
原铝	1 624	2 400	2 750	15	8.1	2.8
水泥	187 600	235 000	245 000	12	4.6	0.8

数据来源:行业报告。

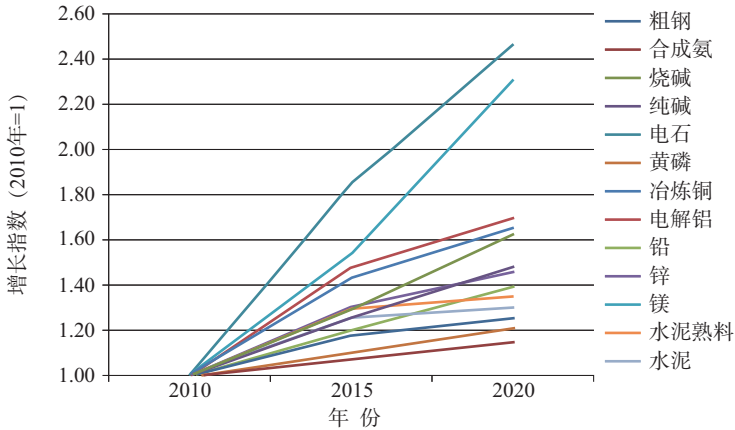


图 1-1-5 钢铁等四个行业 2015 年和 2020 年主要产品产量增长指数

1.1.2 行业能源消费

由于重化工业的快速发展,导致中国工业部门能源消费量持续增长。2010 年工业部门能源消费量超过了 23 亿 t 标准煤(发电煤耗计算法,见图 1-1-6),占全国能源消费总量的 71%,而且这个占比从 2000 年开始一直持续到 2010 年。工业部门中的钢铁、化工、有色金属和水泥行业的能源消费量占工业部门能源消费总量的 51.2%,与 2000 年相比增加了近 8 个百分点,见图 1-1-7(中国能源统计年鉴,2011)。

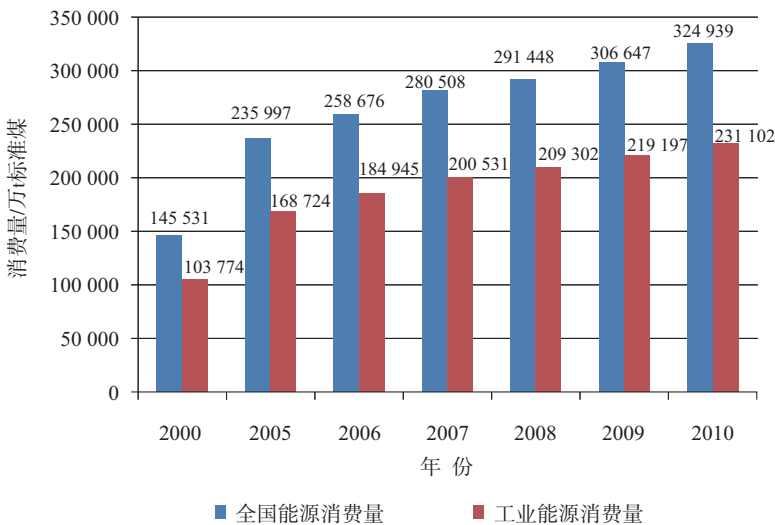


图 1-1-6 2000—2010 年全国能源消费量和工业能源消费量

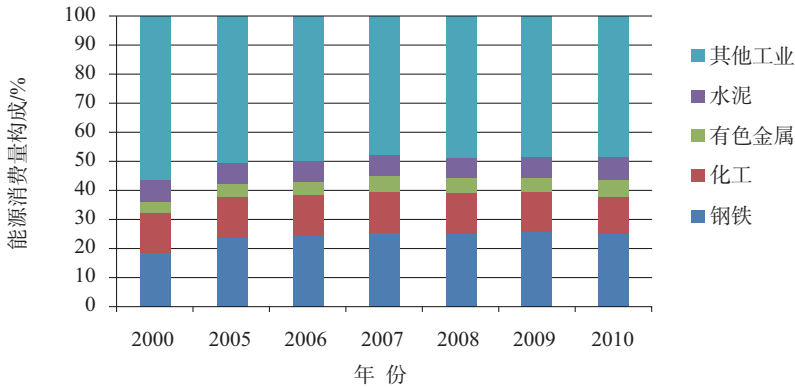


图 1-1-7 2000—2010 年分行业工业能源消费量构成

尽管中国的能源消费总量、工业能源消耗量以及除水泥行业以外的其他行业的能源消费量在“十一五”期间均呈增长趋势,但与“十五”期间相比,年均增长率则呈现大幅度下降的趋势,其中钢铁行业下降幅度最大,约 8 个百分点(见图 1-1-8)。

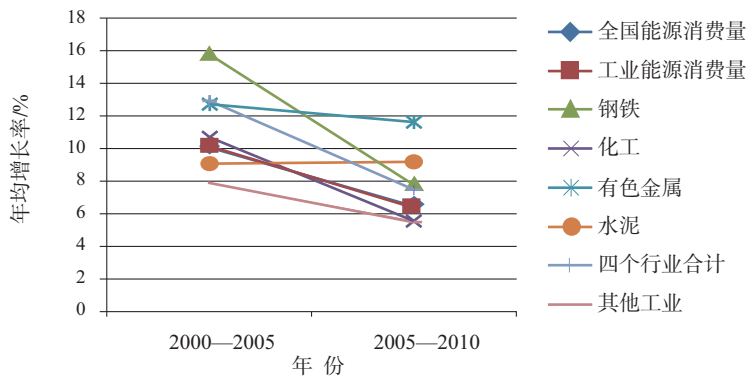


图 1-1-8 中国“十五”和“十一五”期间能源消费量年均增长率

“十一五”期间中国单位 GDP 能源强度年均下降率为 4.4%，基本上完成了国家既定的 2010 年比 2005 年 GDP 能源强度下降 20% 的节能目标。“十一五”期间工业增加值能源强度年均下降率为 4.9%，钢铁、化工和水泥三个高耗能行业增加值能源强度的下降率均高于工业部门的平均水平,尤其是化工行业 and 水泥行业,年均下降率分别高达 14.6% 和 8.8%。有色金属行业增加值能源强度在“十一五”期间略有上升。

中国 2005—2010 年 GDP 能源强度,工业以及钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业的增加值能源强度变化情况见表 1-1-5,图 1-1-9 和图 1-1-10。

表 1-1-5 钢铁等四个行业 2005—2010 年能源强度变化

行业	2005 年		2010 年		年均变化率	
	能源消费量/ 万 t 标准煤	能源强度/ (t 标准煤/万元)	能源消费量/ 万 t 标准煤	能源强度/ (t 标准煤/万元)	能源消费量/ %	能源强度/ %
工业合计	168 724	2.18	231 102	1.72	6.5	-4.9
钢铁	39 544	6.85	57 534	5.39	7.8	-4.9
化工	23 849	4.78	29 689	2.42	4.5	-14.6
有色金属	7 404	2.77	12 841	2.79	11.6	0.1
水泥	11 728	14.27	18 180	9.38	9.2	-8.8
其他工业	86 227	1.37	112 858	1.08	5.5	-4.9

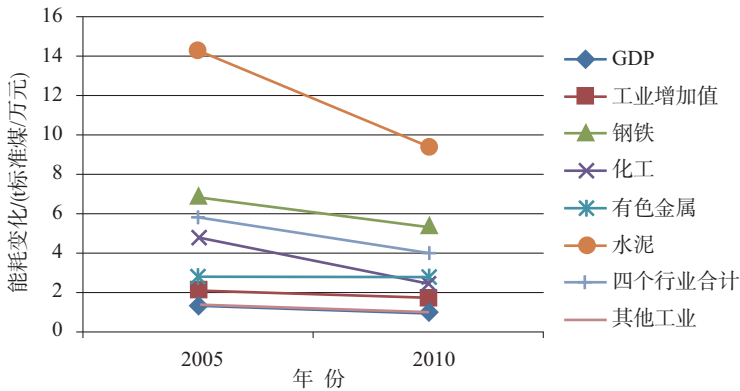


图 1-1-9 “十一五”期间 GDP、工业及四个行业的增加值能耗变化

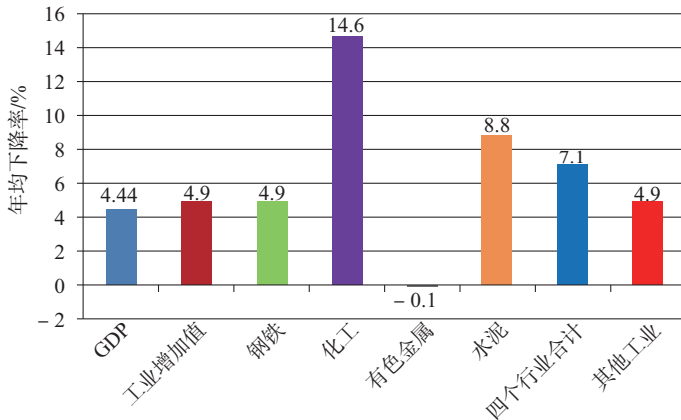


图 1-1-10 “十一五”期间 GDP、工业及四个行业的增加值能耗年均下降率

20 世纪 90 年代以来,中国通过实施各项节能政策与技术措施,取得了显著的节能效果。一些高效节能技术的普及率大幅度提高。例如,2010 年与 2005 年相比,在钢铁行业大中型企业烧结余热发电技术普及率由不到 1% 提高到 10%;1 000m³ 以上高炉炉顶余热发电技术 (TRT) 普及率由约 80% 提高到了近 100%,其中湿法 TRT 占 70%,干法 TRT 占 30%;干法熄焦技术普及率由 35% 提高到 83%;蓄热式燃烧技术普及率由 10% 提高到 20%。水泥行业的水泥窑纯低温余热发电技术的普及率由 4% 提高到 48%。化工行业的合成氨综合节能改造技术由小于 1% 提高到 30%;离子膜法占烧碱产量的比重由 34% 增加到 76%;大中型硫黄制酸装置低温热能回收技术的普及率由 5% 提高到 26%。有色金属行业的电解铝生产的大型预焙槽技术产量所占比重由 80% 提高到 90% (王庆一,2011)。

大型设备和先进节能技术的普及和推广应用,促进了这些行业单位产品能源消费量不同程度的下降(见表 1-1-6 和图 1-1-11),使得终端能源利用效率显著提高。

表 1-1-6 钢铁等四个行业主要产品单位能耗变化

主要产品	中国					国际先进水平
	2000 年	2005 年	2008 年	2009 年	2010 年	
全行业吨钢综合能耗/(kg 标准煤/t)	1 475	1 019	975	973	950	—
大中型企业吨钢综合能耗/(kg 标准煤/t)	906	760	729	717	701	—
钢可比能耗/(kg 标准煤/t)	784	732	709	697	681	610
电解铝交流电耗/(kWh/t)	15 418	14 575	14 323	14 171	13 979	14 100
铜冶炼综合能耗/(kg 标准煤/t)	1227	780	549	509	500	360
水泥综合能耗/(kg 标准煤/t)	181	167	151	139	126	118
乙烯/(kg 标准煤/t)	1 125	1 073	1 010	976	950	629
烧碱综合能耗/(kg 标准煤/t)	1 439	1 297	1 124	1 040	1 006	910
纯碱综合能耗/(kg 标准煤/t)	406	396	355	323	—	310
电石电耗/(kWh/t)	3 475	3 450	3 440	3 395	3 340	3 000

注:①国际先进水平是居世界领先水平的国家的平均值;

②中外历年产品综合能耗中,电耗均按发电煤耗折算标准煤;

③2010 年中国大中型钢铁企业产量占全国的 86.2%。国际先进水平为日本;

④电解铝交流电耗,加拿大 Alma 公司为 12 900kWh/t;

⑤中国乙烯生产主要用石脑油做原料,国际先进水平为中东地区,主要用乙烷做原料;

⑥烧碱综合能耗是隔膜法和离子膜法的加权平均值。

数据来源:国家统计局;工业和信息化部;中国煤炭工业协会;中国电力企业联合会;中国钢铁工业协会;中国有色金属工业协会;中国建筑材料工业协会;《砖瓦工业大气污染物排放标准》编制说明,2009 年 11 月;中国建筑陶瓷工业协会;中国化工节能技术协会;中国造纸协会;中国化纤协会;日本能源经济研究所,日本能源与经济统计手册 2011 年版;日本钢铁协会;韩国钢铁协会;日本水泥协会;日本能源学会志;IEA, Energy Statistics of OECD Countries。

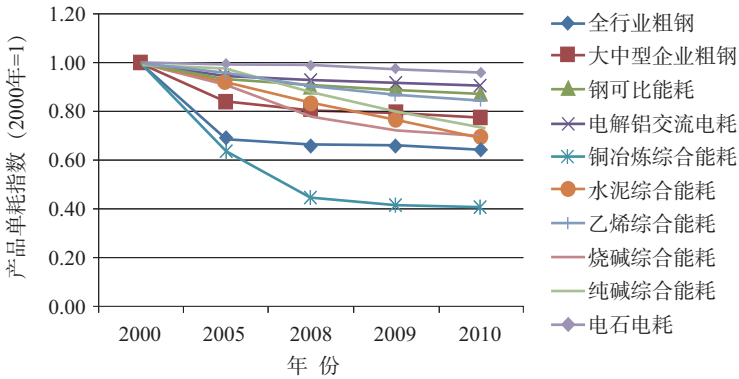


图 1-1-11 钢铁等四个行业 2000—2010 年主要产品单耗下降指数变化

例如,2010 年与 2005 年相比有大中型钢铁企业吨钢综合能耗下降了 8%;有色金属行业的电解铝交流电耗下降了 4%;铜冶炼综合能耗下降了 59%;水泥综合能耗下降了 30%;乙烯综合能耗下降了 16%;烧碱综合能耗下降了 30% 等。

与此同时,2010 年与 2005 年相比,中国高能效设备的规模迅速扩大,在钢铁和建材行业表现得尤为突出。例如,在钢铁行业大于 1 000m³ 高炉占炼铁产能比重由 21% 上升到 60%;新型干法产量占水泥产量比重由 40% 提高到 80% 以上等。

能源节约不仅对国民经济增长的贡献明显增大,也对减缓温室气体的排放作出了贡献。然而,与国民经济发展需要和国际先进水平相比,中国无论是单位 GDP 能源强度、主要耗能产品单位能耗、主要耗能设备能源利用效率等均有不同程度的差距,节能和提高能源效率的潜力仍然很大。

2010 年,除有色金属行业的电解铝单位产品能耗已经低于国际先进水平,处于国际领先地位外,中国的吨钢可比能耗、铜冶炼综合能耗、水泥综合能耗、乙烯综合能耗和烧碱综合能耗与国际先进水平相比仍分别高出 10%、28%、6%、34% 和 10%。

尽管影响能源效率和单位产品能耗水平的因素很多且非常复杂,诸如能源结构和质量、企业规模、原料路线、装备技术水平、节能技术普及率、资源回收利用等,但分析数据显示,中国主要工业产品能耗与国际先进水平相比仍存在一定差距,节能潜力和节能难度均不容忽视,也说明工业部门是中国实现节能和减缓二氧化碳排放的优先和重点领域(胡秀莲等,2011)。

国内众多研究成果表明,2015 年至 2020 年,中国一些主要高耗能产品产量将达到峰值(能源所,2009;LBNL,2010;UNDP,2009)。在此期间,由于受能源

效率提高、技术进步、产业和产品结构变化、能源消费结构优化以及其他行业迅速发展等因素的影响,工业部门的终端能源需求量将由 2010 年的 21.67 亿 t 标准煤增加到 2020 年的 30 亿 ~ 36 亿 t 标准煤。其中,工业能源消费量将占到 57% ~ 68%。钢铁、化工、有色金属和水泥行业的能源需求量占工业部门终端能源需求量的比重将由 2010 年的 57% 下降到 2020 年的约 53% (中国能源统计年鉴,2010;能源所,2009)。

1.1.3 行业二氧化碳排放

2010 年中国工业部门矿物燃料燃烧排放二氧化碳约 52.3 亿 t,约占全国二氧化碳排放总量的 70%。行业专家分析结果显示,2010 年钢铁、化工、有色金属和水泥行业排放的二氧化碳约 32.1 亿 t,占工业排放量的 61%;2015 年四个行业的二氧化碳排放量将增加到 39.1 亿 t,其中钢铁、化工、有色金属和水泥行业的排放量分别占 33%、25%、11% 和 32%;2020 年四个行业的二氧化碳排放量将继续增加到 42.2 亿 t,其中钢铁、化工、有色金属和水泥行业的排放量分别占 30%、28%、11% 和 31%。四个行业的二氧化碳排放量及分行业排放量构成见图 1-1-12 和图 1-1-13。

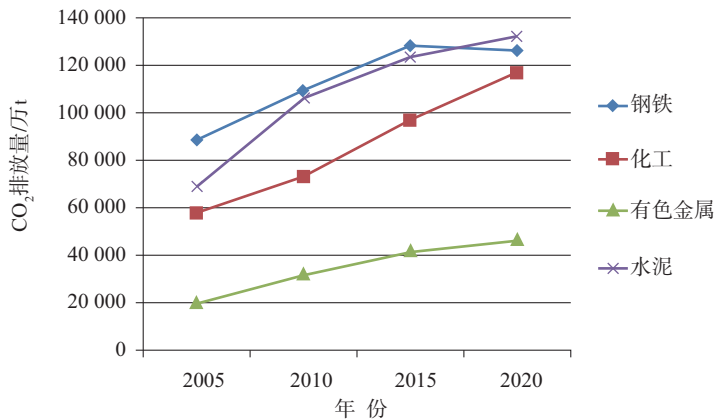


图 1-1-12 钢铁等四个行业 2015—2020 年 CO₂ 排放量

综上所述,从目前到 2020 年工业部门的二氧化碳排放量呈持续增长趋势,是中国减缓碳排放的重点领域。而钢铁、化工、有色金属和水泥行业则是工业部门减缓二氧化碳排放的优先和重点领域。在未来 10 年中,持续地推广应用技术先进、节能减排效果好、节能减排潜力大、碳减排成本低、推广普及空间大、具有持续竞争力的碳减排技术和成本有效的二氧化碳捕集和封存技术是中国工业部门减缓碳排放的重要途径。

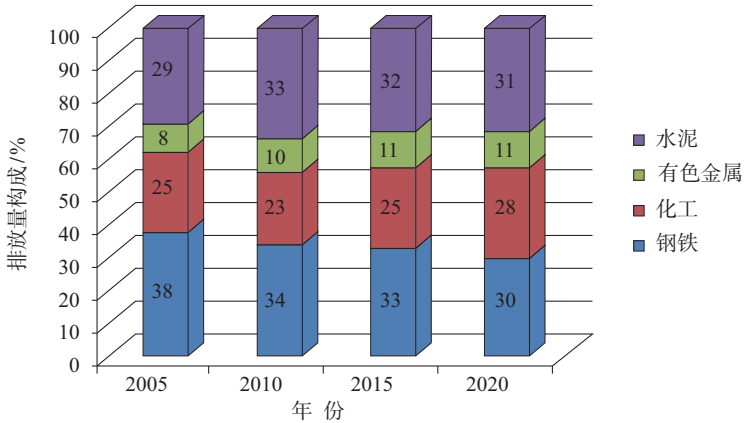


图 1-1-13 钢铁等四个行业 2015—2020 年 CO₂ 排放量构成

1.2 建筑部门

1.2.1 部门的界定和能源消耗特点

本报告中将建筑部门界定为居住建筑和公共建筑两类,中国建筑能耗的总体特点为:

(1) 南方和北方地区^①气候差异大,仅北方地区采用全面的冬季采暖,南北采暖能耗差别巨大。中国处于北半球的中低纬度地区,地域广阔,从南到北分别跨越严寒、寒冷、夏热冬冷、温和以及夏热冬暖等多个气候带。

(2) 城乡住宅能源消费数量和结构差异大。中国城市以煤、电、燃气等商品能源为主;而在农村,除部分煤、电等商品能源外,秸秆、薪柴等生物质能仍为很多地区农村居民的主要能源。城乡居民平均每年消费性支出差异大于 3 倍,城乡居民各类电器保有量和使用方式也存在较大差异。

(3) 公共建筑除采暖外的单位建筑面积能耗,随着规模和服务标准不同有很大差别。

为了更加清晰明确地进行比较分析,本报告中,除了按照终端耗能源用途划分为采暖、空调、家用电器、炊事和生活热水外,还将建筑运行能耗归纳划分为四类:北方城镇集中采暖能耗;城镇住宅除集中采暖外能耗(包括以户为单元的分散采暖能耗);公共建筑除集中采暖外能耗(包括全楼或楼内的分散采暖能

^① “北方地区”指采取集中供热方式的省、自治区和直辖市,包括:北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、辽宁省、吉林省、黑龙江省、山东省、河南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。

耗);农村住宅^①能耗。

2010年,中国总建筑面积约为456.5亿m²,其中城镇住宅144亿m²,城镇公建74亿m²,农村住宅234亿m²。根据联合国最新人口预测,中国2030年总人口将达到14.6亿,而城市化率将可能突破65%。基于这些宏观预测数据,以及国内的相关研究,本课题设定了4个情景分析了中国未来建筑面积的发展。

基准情景(S0):按分建筑类型的人均面积以现有趋势外推的情景,到2020年中国总建筑面积将达到578.7亿m²,较2010年增长了26.8%。

控制面积扩展情景(S1):设定2030年分类建筑的人均建筑面积增长上限值,线性回归得到逐年数据。到2020年中国总建筑面积将达到494.9亿m²,较2010年增长了8.2%。

平衡经济发展情景(S2):城镇住宅、城镇公建总面积年增长率逐年减缓(线性降低)模型,农村住宅采用人均面积线性增长模型;到2020年中国总建筑面积将达到578.2亿m²,较2010年增长了26.7%。

高收入发达国家趋势情景(S3):若以高收入发达国家(如美国)趋势预测情景,到2020年中国总建筑面积将达到815亿m²,较2010年增长近80%,这是一个不实际的发展趋势。

在这个研究中,将以平衡经济发展情景(S2)作为分析的基础。4个情景的分类建筑面积发展趋势见表1-1-7。

表1-1-7 中国建筑面积现状及发展趋势

单位:亿m²

年份	现状		现有趋势外推 基准情景(S0)		控制面积扩展 情景(S1)		平衡经济发展 情景(S2)		高收入发达国家 趋势情景(S3)	
	2005	2010	2015	2020	2015	2020	2015	2020	2015	2020
建筑总面积	385.9	456.5	524.9	578.7	475.3	494.9	507.5	578.2	631.4	815.0
城镇住宅	107.7	144.0	173.2	200.3	162.9	183.2	173.9	214.6	228.7	327.2
城镇公建	56.8	74.1	95.6	107.0	87.8	97.6	104.0	134.6	109.6	145.3
农村住宅	221.4	233.9	256.1	271.4	224.6	214.1	232.6	229.0	293.1	342.5

注:①中国总建筑面积=城镇住宅面积+城镇公建面积+农村住宅面积(说明:农村公建面积数量极少,故纳入农村住宅面积当中,即农村住宅面积=农村总建筑面积);

②中国2030年人口预测为14.6亿(联合国预测结果);

③中国2030年城市化率预测为65%(中国发展研究基金会预测结果)。

① 由于统计数据限制,在本报告中,将农村中的公共建筑(如学校、卫生所、小商店、行政机关等)归为农村住宅建筑当中,并不归入公共建筑领域。

1.2.2 建筑能源消费

应用中国建筑能耗模型(China Building Energy Model, CBEM)对中国建筑能耗现状和逐年发展过程的计算结果显示,2010年中国建筑能源消费量约为6.77亿t标准煤,与2005年相比增长了40%,近5年占全国能源消费总量的比重基本维持在约20%(见表1-1-8)。建筑能耗结构以煤和电为主,2010年建筑部门电力消费量近1万亿kWh,比2005年增长了66%,约占全社会用电量的20%(见图1-1-14和图1-1-15)。随着中国建筑面积的持续增长,未来建筑部门的用电量将继续保持增长趋势。

2010年采暖用能占建筑能源消费总量的37%,其次是炊事用能占17%,照明和空调各占12%,热水和家电各占11%(见图1-1-16)。

2010年若以建筑类型划分,北方城镇集中采暖用能占24.10%,城镇住宅除集中采暖外用能占24.12%;城镇公共建筑除集中采暖外用能占25.64%;农村住宅用能占26.11%(见图1-1-17)。

表 1-1-8 2005—2010 年中国建筑部门能源消费量及占全国能源消费量的比重

年 份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
建筑总能耗 ^① /Mt 标准煤	481.93	506.44	544.71	581.06	628.17	677.46
全国总能耗 ^② /Mt 标准煤	2 359.97	2 586.76	2 805.08	2 914.48	3 066.47	3 250
建筑占全国总能耗比例	20.4%	19.6%	19.4%	19.9%	20.49%	20.85%

注:①杨秀,中国建筑能耗模型 CBEM,建筑节能研究中心,清华大学,2010。

②全国总能耗数据来源:中国统计年鉴 2010,表 7-2。全国能源消费总量包括原煤和原油及其制品、天然气、电力,不包括低热值燃料、生物质能和太阳能等的利用,为一次能耗。

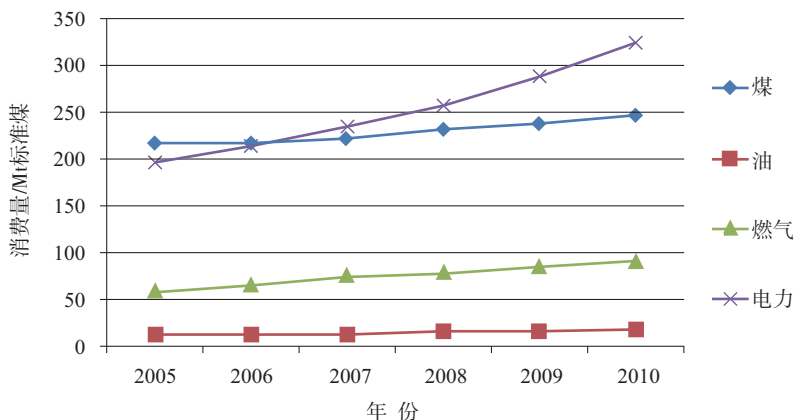


图 1-1-14 2005—2010 年分能源品种的建筑能源消费量

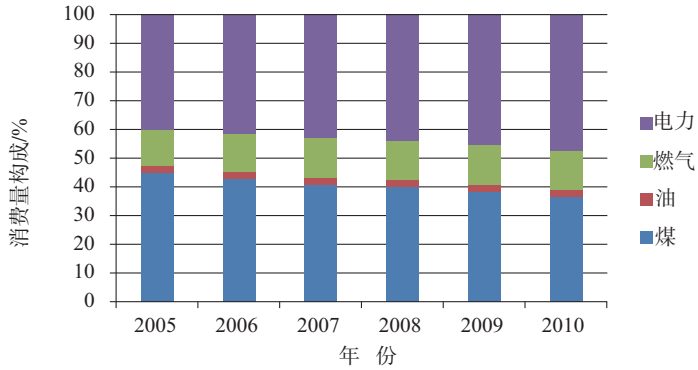


图 1-1-15 2005—2010 年分能源品种的建筑能源消费量构成

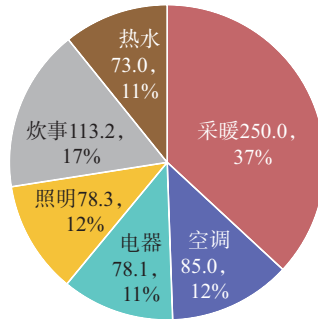


图 1-1-16 2010 年建筑部门分用途能源消费量及其构成

注：①不包括农村生物质能，能源消费量为百万吨标准煤；

②农村分项比例根据《中国建筑节能年度发展报告 2010》中图 11-6 农村建筑比例估算。

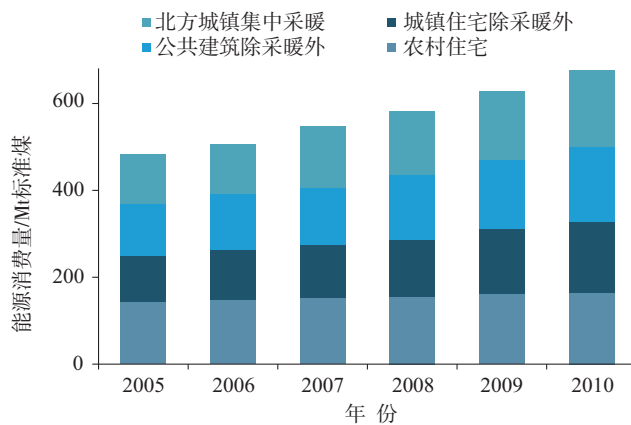


图 1-1-17 2005—2010 年建筑类型的建筑能源消费量

影响单位建筑面积能源强度的因素有很多,主要有用能技术、激励政策、能源品种和价格、居民收入水平、建筑面积变化、生活和用能方式、建筑所处地域与气候因素等。本研究对这些影响因素进行了系统的分析并参考了相关研究项目的分析,结果显示中国单位建筑面积能耗强度由2005年的12.5kg标准煤/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$)增加到2010年的14.8kg标准煤/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$),呈逐年上升趋势(见图1-1-18)。近5年来,除北方城镇集中采暖建筑的单位面积能耗随着节能减排工作的推进而显著下降外,其他各类建筑能耗强度均表现出不同程度的增长。

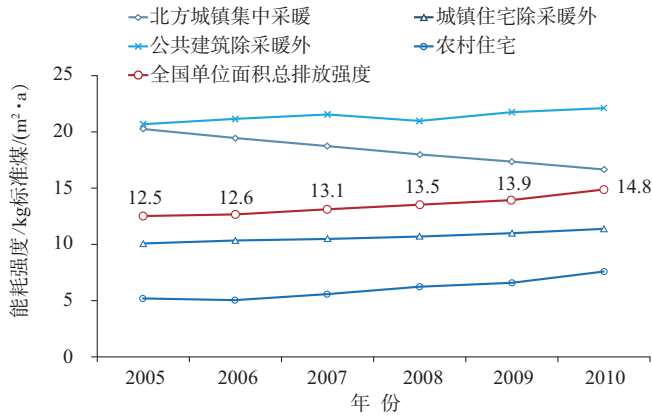


图 1-1-18 2005—2010 年中国单位建筑面积能耗强度变化

中国正处在城市化进程中,随着城市化率的提高,预计建筑部门未来无论是建筑面积还是能源消费都将维持较快的增长速度。到2015年和2020年,中国建筑部门能源消费量将由2010年的6.77亿t标准煤分别增加到8.21亿t标准煤和9.96亿t标准煤(见表1-1-9),能源消费结构将逐渐向电力与燃气倾斜。同时,由于社会经济发展及人民生活水平提高,终端消费中家电与空调类比例将上升;四个建筑子类中,公共建筑除集中采暖外能耗将打破现有均衡局面,可能将成为耗能比例最大的建筑类型。因此,建筑部门将是中国未来潜在的节能减碳重点领域。

表 1-1-9 中国建筑部门2015年和2020年能源消费总量与结构

类 别	单 位	2005年	2010年	2015年	2020年	
		实际数据		预测值		
能源消费量 ^①	Mt 标准煤	481.93	677.46	821	996	
能源消费量分能源品种构成 ^②	煤	%	44.0	36.0	28.0	20.0
	油	%	3.0	3.0	3.0	3.0
	燃气	%	12.0	14.0	17.0	19.0
	电力	%	41.0	47.0	52.0	58.0

续表

类别	单位	2005年	2010年	2015年	2020年	
		实际数据		预测值		
能源消费量分用途构成划分 ^③	采暖	%	N. A	37.0	33.0	30.7
	空调	%	N. A	12.0	12.4	13.3
	家电	%	N. A	11.0	13.0	14.3
	照明	%	N. A	12.0	12.2	13.6
	炊事	%	N. A	17.0	17.5	15.7
	热水	%	N. A	11.0	11.9	12.3
能源消费量分建筑类型构成划分 ^④	北方城镇集中采暖	%	29.5	24.1	20.0	18.0
	城镇住宅除集中采暖外	%	22.4	24.1	25.0	27.0
	公共建筑除集中采暖外	%	23.7	26.1	29.0	32.0
	农村住宅	%	24.4	25.6	26.0	23.0

注:①2015年、2020年能源消费总量估算方法:分类建筑面积采用表1-1-7中情景2——平衡发展模式;分类建筑单位面积能耗强度采用2010年现状值;

②2015年、2020年分品种能源消费比例根据现有趋势外推,同时考虑逐渐加强天然气消费比例、减少燃煤消耗比例;

③N. A. 为没有相应数据,2010年比例为根据年鉴数据与实际调查数据的拆分值,2015年、2020年比例为推测值;

④2015年、2020年数据为现有趋势外推结果。

1.2.3 建筑部门二氧化碳排放

2005—2010年,中国建筑部门二氧化碳排放量与强度均呈逐年增长态势,排放总量由10.1亿tCO₂增长到14.5亿tCO₂,年增长率约为7.4%;单位建筑面积的二氧化碳排放强度由26.3kgCO₂/(m²·a)增长到31.0kgCO₂/(m²·a),年增长率约为3.3%(见表1-1-10)。

2005—2010年在四类建筑用能中,北方城镇集中采暖和公共建筑除集中采暖外二氧化碳排放量相对比较大,占建筑总排放量的比重相对也较大;北方城镇集中采暖单位面积二氧化碳排放强度相对下降幅度较大,而农村住宅单位面积的二氧化碳排放强度呈逐年上升态势(见表1-1-10)。

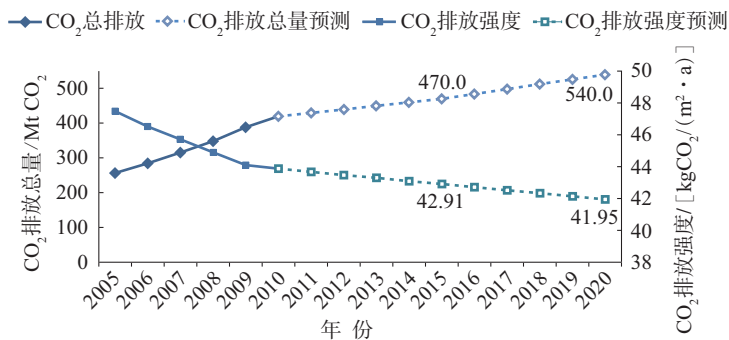
到2015年和2020年,中国建筑部门二氧化碳排放量将由2010年的14.47亿t分别增加到17.8亿t和21.2亿t。2010—2020年农村住宅的二氧化碳排放量增长速度为6.5%,比排放总量增长速度高出2.6个百分点,其单位建筑面积的碳排放强度年均增长速度比建筑部门平均增长速度高出4.9个百分点;公共建筑除集中采暖外二氧化碳排放强度与其他建筑类型相比下降幅度较大(见表1-1-10),图1-1-19则给出了不同建筑类型2005—2020年的二氧化碳排放量和单位建筑面积碳排放强度的变化趋势。

表 1-1-10 2005—2020 年中国建筑部门 CO₂ 排放总量与排放强度

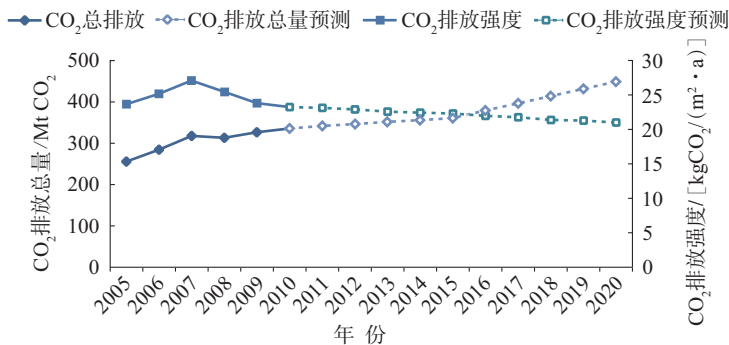
类别	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2015年	2020年
	实际数据						预测值*	
CO ₂ 排放总量 (MtCO ₂)	1 014	1 118	1 228	1 266	1 373	1 447	1 780	2 120
其中:								
北方城镇集中采暖	256	284	315	347	388	419	470	540
城镇住宅除集中采暖外	254	283	318	313	325	336	360	450
公共建筑除集中采暖外	269	300	324	329	364	383	420	550
农村住宅	235	251	271	277	296	309	540	580
CO ₂ 排放强度/[kgCO ₂ /(m ² ·a)]	26.3	27.9	29.6	29.4	30.5	31.0	33.8	36.7
其中:								
北方城镇集中采暖	47.48	46.53	45.7	44.89	44.09	43.87	42.91	41.95
城镇住宅除集中采暖外	23.62	25.06	26.92	25.41	23.87	23.33	22.15	20.97
公共建筑除集中采暖外	47.3	48.69	48.69	46.22	49.18	48.67	44.77	40.87
农村住宅	10.61	11.1	11.75	11.76	12.38	12.64	18.98	25.33

注: *:2015年、2020年 CO₂ 排放总量预测方法:

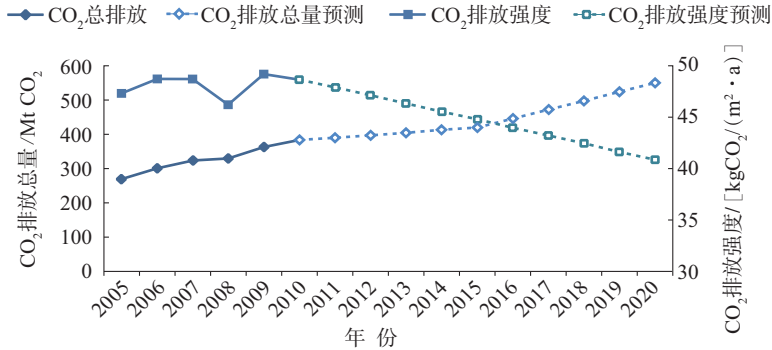
- ① 2011—2020年逐年分类建筑面积:采用情景2预测结果;
- ② 分类建筑单位面积能耗强度采用2010年现状值;
- ③ ①×②得到建筑四个子类总能耗与 CO₂ 排放总量,再除以①得到 CO₂ 排放强度。



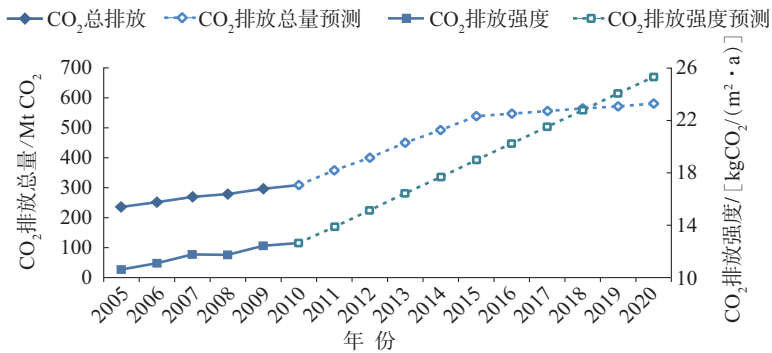
(a) 北方城镇集中采暖



(b) 城镇住宅除集中采暖外



(c) 公共建筑除集中采暖外



(d) 农村住宅

图 1-1-19 2005—2020 年中国分类型建筑的 CO₂ 排放量和排放强度变化

1.3 交通运输部门

1.3.1 发展现状和趋势

中国交通部门“十一五”期间旅客和货物周转量增长迅猛(见图 1-1-20)。2010 年,旅客周转量为 27 894.3 亿人·km,较 2006 年增加了 45.3%;货物周转量为 141 837.4 亿 t·km,较 2006 年增加了 60%。“十一五”期间,旅客和货物周转量的年平均增长率分别为 9.8% 和 12.1%,均超过了交通部门能耗和二氧化碳排放的平均年增幅,这也间接证明了交通运输部门平均每单位生产量实际能耗在“十一五”期间有所下降。

经济增长和收入增长是中国交通运输业客货运周转量增长的主要驱动因素。本研究以现有趋势外推得到 2015 年、2020 年中国交通运输业分部门客货运周转量预测值(见表 1-1-11)。

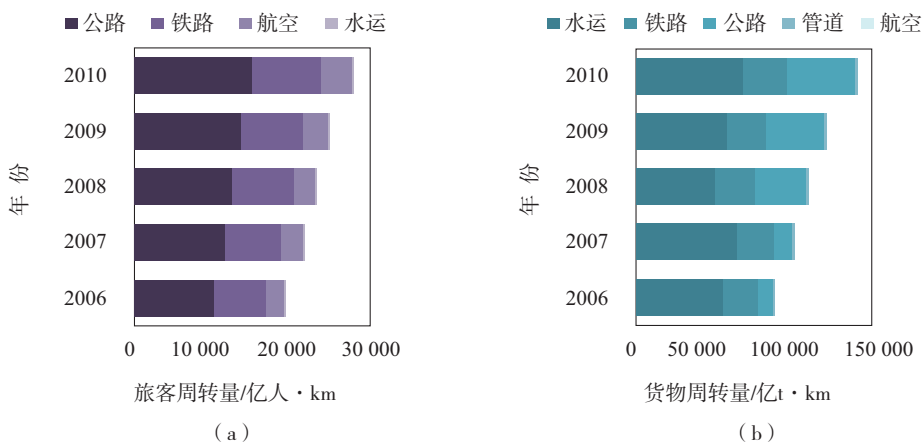


图 1-1-20 2006—2010 年中国交通部门分运输方式的客货运周转量

资料来源:《中国统计年鉴 2011》表 16-7,表 16-9。

表 1-1-11 2005—2020 年中国交通业客货运周转量

年 份		2005	2010	2015	2020
客运	客运总周转量	17 466	27 894	30 437	41 789
	公路/亿人·km	9 292	15 021	18 191	22 285
	铁路/亿人·km	6 062	8 762	10 625	12 798
	航空/亿人·km	2 045	4 039	5 168	6 666
	水运/亿人·km	68	72	61	59
货运	货运总周转量	80 258	141 837	180 864	229 900
	水运/亿 t·km	49 672.3	68 428	90 568	113 440
	铁路/亿 t·km	20 726.0	27 644	34 618	41 693
	公路/亿 t·km	8 693.2	43 390	52 350	70 460
	管道/亿 t·km	1 088.0	2 197	3 114	4 025
	航空/亿 t·km	78.9	179	214	280

根据预测结果,至 2020 年,中国客运周转量将达到 41 807.1 亿人·km,较 2010 年增长了 49.8%;而货物周转量将达到 229 990 亿 t·km,较 2010 年增长了 62.1%。这个测算结果与《2050 年中国能源和碳排放报告》中给出的预测结果比较相近,见表 1-1-12。

表 1-1-12 本研究中客货运周转量预测值与国内相关研究结果比较

单位:10 亿 km

	2010 年		2015 年		2020 年	
	本研究	2050 报告	本研究	2050 报告	本研究	2050 报告
水运	6 842.8	7 949	9 056.8	—	11 344.0	12 296
铁路	2 764.4	2 692	3 461.8	—	4 169.3	4 003
公路	4 339.0	3 565	5 235.0	—	7 046.0	6 853
管道	219.7	209	311.4	—	402.5	651
航空	17.9	12	21.4	—	28.0	29

注:2050 报告:2050 中国能源和碳排放报告,2050 中国能源和碳排放课题组,表 14-40;交通周转量(低碳和强化低碳情景)。由于该研究在 2010 年前进行,因此 2010 年“2050”报告值为预测值,“本研究”值为年鉴实际统计值。2050 报告中客运周转量 2010 年基准值差别较大,因此不具有可比性,故不在此表中列出比较。

由于受宏观经济发展、城市化进程等多方面复杂因素的影响,中国民用汽车(包括载客汽车、载货汽车和其他汽车)^①保有量在过去五年迅速提高。到 2010 年末已由 2005 年的 2 693.7 万辆增加到 7 801.8 万辆,5 年增长了近 2 倍,中国民用汽车每千人保有率由 2005 年的 20.7 辆增加到 58.2 辆,增长了 1.8 倍,前者约为美国 20 世纪 20 年代和日本 1965 年的同期水平。

中国汽车保有量在未来的增长潜力巨大,很多研究机构和学者针对中国 2020 年、2030 年和 2050 年三个时间节点的汽车保有量开展了研究。国家发展和改革委员会牵头开展的“中国能源综合发展战略与政策研究”和美国加州大学戴维斯分校的相关研究分别给出了中国 2020 年的汽车保有量的最低预测值和最高预测值,其范围为 1.1 亿~3.3 亿辆;清华大学中国车用能源研究中心(China Automotive Energy Research Center, CAERC)的分析预测值为 2.7 亿辆。

日本能源经济研究所和清华大学中国车用能源研究中心分别给出了中国 2030 年汽车保有量的最低与最高预测值,其范围为 2.3 亿~4.4 亿辆;国际能源机构(IEA)的预测值居中,约为 3.4 亿辆。清华大学中国车用能源中心、2050 中国能源和碳排放研究课题组以及美国阿贡国家实验室对中国 2050 年的汽车保有量预测结果非常相近,均为 5.7 亿~5.9 亿辆(见图 1-1-21)。

^① 中国民用汽车保有量,指每统计期末,在公安交通管理部门按照《机动车注册登记工作规范》,已注册登记领有民用各车辆牌照的全部汽车数量。汽车保有量统计的主要分类:根据汽车结构分为载客汽车、载货汽车和其他汽车;根据汽车所有者不同,分为个人(私人)汽车、单位汽车;根据汽车的使用性质分为营运汽车、非营运汽车;根据汽车大小规格不同,载客汽车分为大型、中型、小型和微型,载货汽车分为重型、中型和微型。

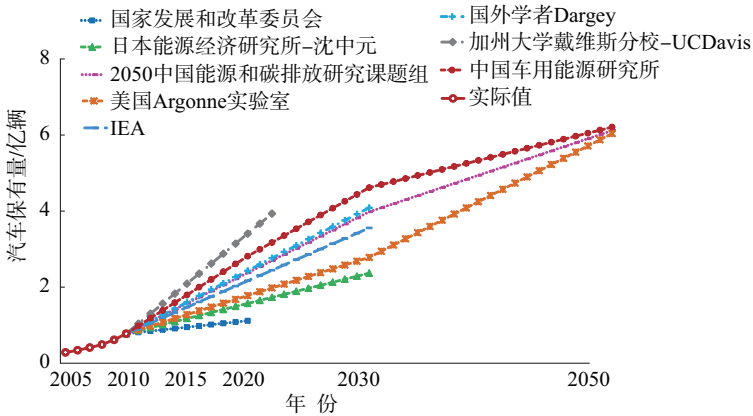


图 1-1-21 相关机构对中国民用汽车保有量研究预测综述

数据来源:①国家发展和改革委员会,中国能源综合发展战略与政策研究,2004. <http://www.efchina.org/CSEPCN/FReports.do?act=detail&id=149>②沈中元,利用收入分布曲线预测中国汽车保有量.环境科学研究所,28(8):11-15.③2050中国能源和碳排放报告,2050中国能源和碳排放研究课题组,北京:科学出版社,2009.④Gargay J, Gately D, Sommer M. Vehicle ownership and income growth, worldwide: 1960—2030. Energy Journal, 28(4):143-170.⑤IEA, World Energy Outlook 2007.⑥中国车用能源展望 2012,清华大学中国车用能源研究中心,北京:科学出版社,2012.⑦中国汽车工业年鉴 2011,表 22-17:中国历年汽车保有量。

1.3.2 能源消费

根据日本能源经济研究所能源数据和模型中心 2011 年发布的世界主要国家交通运输业终端能源总消费量的统计数据,全世界 2009 年交通运输业终端总能耗约为 3 263 百万 t 标准煤。其中,中国约为 230 百万 t 标准煤,约是美国的 1/5 和日本的 2 倍。表 1-1-13 给出了世界主要国家 2008 年和 2009 年交通部门终端能源消费量和年均增长幅度。2009 年与 2008 年相比,全世界交通总能耗约下降 1.4%;美国等世界主要发达国家下降了 2.5% 以上;而中国增长了 3.2%,增幅水平低于印度、巴西等其他发展中国家,与亚洲平均年增幅接近。与 1995 年相比全世界交通部门能源消费量增长了近 45%,而中国的增长超过了 2 倍。

表 1-1-13 2008 年和 2009 年世界主要国家交通部门终端能源消费量比较

单位: Mt 标准煤

国家	世界	美国	加拿大	英国	德国	法国	日本	中国
2008 年	3 308.6	858.6	81.1	61.9	76.6	63.6	111.1	222.9
2009 年	3 262.9	825.7	78.9	59.6	77	63.4	108.7	230
年增幅/%	-0.014	-0.038	-0.028	-0.037	0.006	-0.002	-0.029	0.032
较 1995 年增长率/%	0.436	0.065	0.136	-0.115	-0.142	-0.02	-0.163	2.182

参考清华大学中国车用能源研究中心开发的中国车用能源技术模型(TCAEM)的有关参数,结合中国逐年交通运输部门的国家统计局数据,研究给出的计算结果表明,“十一五”期间,中国交通运输业终端能源消耗量由2006年的2.12亿t标准煤增长到2010年的3.29亿t标准煤,增长了50%以上,增速超过了全国能源消费量的平均增速。2010年中国公路能耗约为2.69亿t标准煤,约占交通部门能源消费量的82%,致使公路运输成为交通部门能源消费的大户和重中之重(见图1-1-22和表1-1-23)。

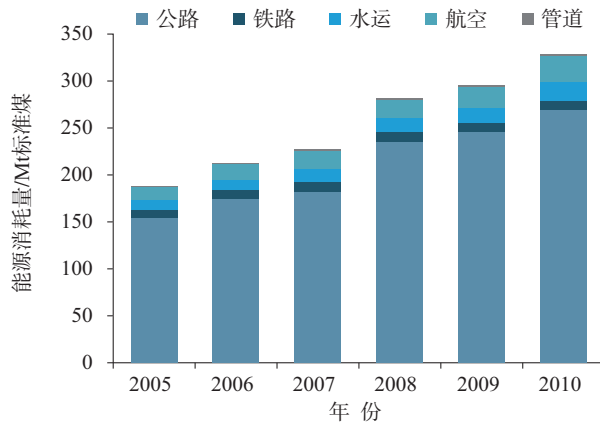


图 1-1-22 2005—2010 年中国交通运输部门分运输方式的能源消耗量

表 1-1-14 2005—2010 年中国交通部门终端能源消耗

年 份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
交通业终端总能耗 ^①	187.83	212.45	227.21	282.35	295.76	329.08
其中:公路/Mt 标准煤	153.93	174.08	182.45	235.10	245.77	269.17
铁路/Mt 标准煤	9.40	9.60	10.24	10.48	9.89	10.00
水运/Mt 标准煤	9.99	11.59	14.00	15.60	16.17	20.09
航空/Mt 标准煤	13.70	16.02	19.13	19.72	22.42	28.18
管道/Mt 标准煤	0.81	1.16	1.39	1.45	1.51	1.64
全国终端总能耗 ^②	2 257.8	2 475.6	2 684.1	2 775.2	2 920.3	3 079.9
交通业占终端能耗比例/%	8.3	8.6	8.5	10.2	10.1	10.7

①数据来源:清华大学中国车用能源中心。

②《中国能源统计年鉴2011》表4-1:能源消费总量和构成(采用电热当量算法)。

由于中国货运与客运能源主要以柴油和汽油为主,因此两者的消耗量占中国交通运输业总消耗量的80%以上。其中,汽油消耗比例逐年降低,由2006年的36%下降到了2010年的28%;柴油消耗比例稳中有升,由2006年的50%上涨到了2010年的54%;天然气比例逐年上升明显,由2006年的不足1%增加到了2010年的3%;而航空煤油与燃料油比例并没有发生变化。

另外,中国私人小汽车的迅猛发展也是中国交通运输部门能源消费快速增长的主要原因。2005年私人小汽车的油耗量不到3 000万t,到2010年迅速增加到5 000多万t,占全国交通能耗的比例也上升了10个百分点(见图1-1-23)。

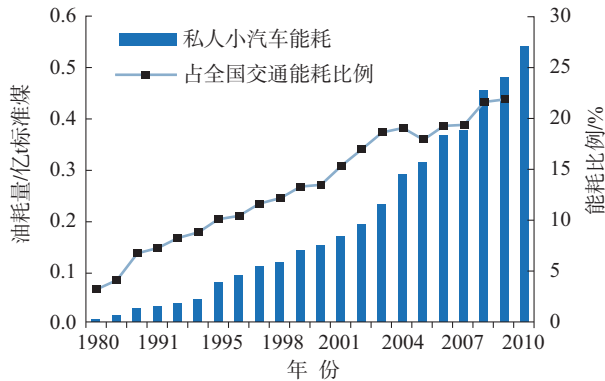


图 1-1-23 中国私人小汽车油耗量和占交通能耗比例的变化

由于交通服务量需求的持续增长,到2015年和2020年,中国交通部门的能源消费量将随之增长。2015年和2020年将分别增长到4.48亿t标准煤和5.53亿t标准煤,柴油所占比重将有较大幅度的增加,见表1-1-15。

表 1-1-15 2015年和2020年中国交通部门能源消费量及构成

年 份	2005	2010	2015	2020	
能源消费量 Mt 标准煤	187.8	329.1	448.1	552.9	
能源消费结构	柴油/%	48.3	53.9	57.7	61.6
	汽油/%	37.7	27.7	18.0	7.8
	航空煤油/%	7.3	8.6	10.0	12.0
	燃料油/%	5.3	5.3	7.4	8.9
	电/%	1.2	1.1	3.5	3.2
	天然气/%	0.2	2.7	3.0	5.0
	新能源/%	—	—	0.5	1.5

数据来源:清华大学中国车用能源研究中心。

1.3.3 能耗强度

表1-1-1-16给出了2005—2010年不同交通运输方式的能耗强度,从中可以看出,除水运、铁路内燃机车和公路汽油车能耗有所增加外,其余交通方式的能耗强度都较“十一五”初期有明显下降。

(1) 铁路

中国在“十五”期间已基本完成了内燃机和电动机车替代蒸气机车的结构性改革,至2010年,中国铁路机车拥有量约为1.83万台,其中内燃机车约占54.7%,电力机车约占45.0%。“十一五”期间,中国内燃机车每万吨公里耗油量逐年增长,由2006年的24.3kg增加到2010年的26.4kg,年平均增长率约为2.1%;而中国电力机车每万吨公里耗电量基本保持逐年下降趋势,由2006年的110kWh下降至2010年的102.4kWh,下降了7%。

由此可见,虽然内燃机车单耗较“十五”期间有明显上升,但电力机车单耗的下降,将有利于推进全面提高中国铁路电气化率的政策实施,并将取得巨大的节能减排效果。

表1-1-16 2005—2010年中国交通运输部门不同运输方式的能耗强度

运输方式	运输机具	单位	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年
公路	汽油客车	L/10 ² t·km	13.2	12.8	13.1	N. A	N. A	N. A
	柴油客车	L/10 ² t·km	11.6	11.2	11.2	N. A	N. A	N. A
	汽油货车	L/10 ² t·km	8	7.9	8.3	N. A	N. A	N. A
	柴油货车	L/10 ² t·km	6.3	6.5	6.3	N. A	N. A	N. A
铁路	单位运输工作量综合能耗	t标准煤/Mt·km	6.48	6.12	5.78	5.6	5.33	4.94
	单位运输工作量主营综合能耗	t标准煤/Mt·km	N. A	4.84	4.61	4.54	4.28	4
	电力机车	kWh/万t·km	111.8	110	109.5	110.6	107.9	102.4
	内燃机车	kg/万t·km	24.6	24.3	24.6	24.9	25.2	26.4
	高速铁路	kWh/万t·km	—	—	—	—	—	259
航空	耗油	kg/万t·km换算	0.336	0.327	0.309	0.312	0.308	0.298
水运	耗油	kg/万t·km换算	7	5	12	N. A	N. A	6.51

注:①N. A:当年年鉴缺少此数据;

②营运客车折算系数:汽油客车1L汽油=0.73kg,1kg汽油=1.4714kg标准煤;柴油汽车1L柴油=0.85kg,1kg柴油=1.4571kg标准煤;

③铁路数据来源:中华人民共和国铁道部2010年铁道部统计公报,铁道部统计中心,2011.5.9;高速铁路单耗数据来源:王天宁,丁巍.高速铁路能源消耗影响因素的探讨,上海节能,2011(11):25-28.

④航空折算系数:1kg航空煤油=1.4539kg标准煤;

⑤水运折算系数:1kg燃料油=1.4286kg标准煤。

(2) 公路

“十一五”初期^①,由于《乘用车燃料消耗量限值标准》的出台与实施,中国乘用车整体能耗水平得到很大改善。中国公路货车的百吨公里燃油消耗维持不变或略有上升,客车的单耗有明显下降。公路汽油货车的百吨公里燃油消耗从“十五”末期的8L上升到了2007年的8.3L,柴油货车单耗基本不变;汽油客车的百吨公里耗油量从“十五”末期的13.2L下降到13.1L,柴油客车从11.6L下降到11.2L。

(3) 水运

中国水运能耗约占交通运输业终端总能耗的6.1%,其主要能源消耗为柴油和燃料油。中国水运货物总周转量在2010年达到峰值,约为68 427.5亿t·km,而水运单耗在2007年的每千吨公里耗油量约为12kg,远远高出了2005年7kg的水平。因此,水运行业具有较大的节能潜力。

(4) 航空

随着中国人民生活水平的日益提高,航空运输已经成为越来越多人的出行选择,航空业在“十一五”期间发展态势迅猛。旅客周转量由2006年的2 371亿人公里增长到了2010年的4 039亿人公里,增加了70.4%;而航线里程则由2.89百万公里增加到3.33百万公里,增加了15.2%。因此,航空运输部门在中国交通运输业节能减排中占有越来越重要的位置。“十一五”期间,中国航空单耗稳定下降,每吨公里耗油量由2006年的0.327kg下降到2009年的0.308kg。

(5) 管道

管道运输是用管道作为运输工具的一种长距离输送液体和气体物资的运输方式,是一种专门由生产地向市场输送石油、煤和化学产品的运输方式,是统一运输网中干线运输的特殊组成部分。由于统计数据的限制,中国并没有针对管道运输能耗的统计,但有研究表明,发达国家采用管道运输石油,每吨公里的能耗不足铁路的1/7,在大量运输时运输成本与水运接近。以运输石油为例,管道运输、水路运输、铁路运输的运输成本之比约为1:1:1.7。

基于对交通运输部门的上述分析,参考国内外相关研究,结合对中国交通运输部门的发展趋势和节能潜力,本研究估算了交通运输部门2015年和2020年分交通运输方式的能源强度变化趋势,见表1-1-17。

^① 《中国交通年鉴2010》缺少2008—2010年公路客货车单耗的统计数据。

表 1-1-17 2015—2020 年中国交通运输部门不同交通运输方式的能耗强度变化

交通方式		2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
公路	汽油客车/L/10 ² t·km	13.2	N. A	12.7	12.5
	柴油客车/L/10 ² t·km	11.6	N. A	11.2	11.0
	汽油货车/L/10 ² t·km	8	N. A	6.9	6.4
	柴油货车/L/10 ² t·km	6.3	N. A	5.46	5.04
铁路	单位运输工作量 综合能耗/t 标准煤/10 ³ t·km	6.48	4.94	4.45	3.96
航空	每吨公里耗油/kg 标油/10 ³ t·km	0.336	0.298	0.280	0.262
水运	每千吨公里耗油/kg 标油/10 ³ t·km	7	N. A	11	10

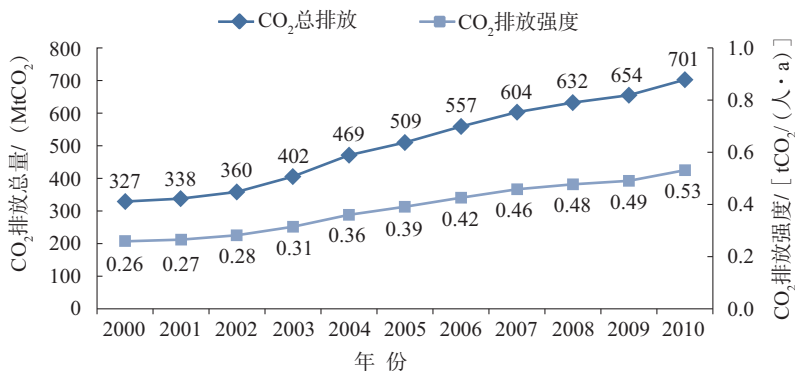
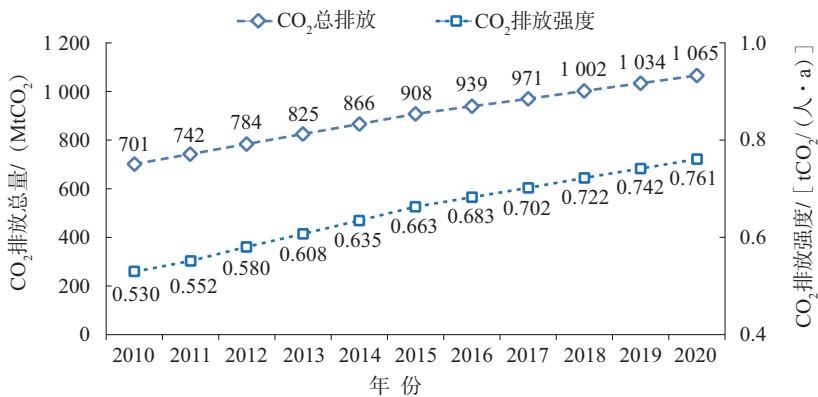
注:N. A 无统计数据。

- ①2015 年、2020 年预测数据来源:IEA, World Energy Outlook 2007;
- ②2015 年、2020 年分品种能源消费比例根据现有趋势外推,同时考虑新能源在 2050 年比例将可能达到 5% (工信部预测),由此估算 2015 年、2020 年新能源比例;
- ③2015 年、2020 年预测数据来源:IEA, World Energy Outlook 2007;
- ④根据下文计算结果提出减排目标;
- ⑤2015 年、2020 年客货运周转量分别根据分部门 2000—2010 年实际统计数据趋势外推;
- ⑥现有关于 2020 年综合政策参考情景的研究下,客车燃油经济性相对 2010 年减少 5%,货车燃油经济性相对 2010 年减少 20% (数据来源:《中国车用能源展望》);铁路单耗较 2010 年下降 10% (铁道部,《深入贯彻落实科学发展观,进一步开创铁路现代化建设新局面》);航空单耗 2020 年较 2005 年下降 22% 指标完成(中国民用航空局出台《关于加快推进节能减排工作的指导意见》)。

1.3.4 二氧化碳排放总量

2006—2010 年,随着交通运输部门服务量和能源消费量的增长,交通部门的二氧化碳排放总量与人均排放强度呈逐年增长态势。排放总量由 2005 年的 5.6 亿 t 增加到 2010 年的 7.0 亿 t,年增长率为 6.6%;人均二氧化碳排放强度由 425kgCO₂/(人·a) 增长到 530kgCO₂/(人·a),年增长率为 6.3% (见图 1-1-24)。

2015—2020 年,随着交通运输业能源消费的快速增长,二氧化碳排放量将呈增长趋势。二氧化碳排放量将分别达到 9.08 亿 t 和 10.65 亿 t,与 2010 年相比分别增长了 29.5% 和 52.6%;二氧化碳排放量增长到 660kgCO₂/(人·a) 和 760kgCO₂/(人·a),与 2010 年相比分别增长了 53% 和 43% (见图 1-1-25)。

图 1-1-24 2000—2010 年中国交通部门 CO₂ 排放总量与人均排放强度图 1-1-25 2015—2020 年中国交通部门 CO₂ 排放总量与人均排放强度

2 行业和部门关键减排技术选择

2.1 减排技术的定义

减排技术是指一种在其寿命期内产生的 CO₂ 当量排放比其他技术方案排放量低的技术。例如,化工、石化、冶金、建材、有色金属、电力、交通、建筑等行业和部门先进、高效和低碳的能源服务技术和余能回收利用技术;替代燃料技术;核能、太阳能、风能、生物质能等可新能源和可再生能源技术以及二氧化碳捕获与埋存等能有效控制温室气体排放的各种新技术。

先进和高效的能源服务技术一般是指在生产出相同数量和质量的能源服务产品时,能减少能源消耗的技术;或者是以同样数量的能源消耗量,能生产出比原来数量更多和质量相同(或更好)的能源服务产品的技术。例如,钢铁行业先进的焦炉和高炉技术、熔融还原炼钢技术、转炉负能炼钢技术等;化工行业的烧碱离子膜技术、大型先进的合成氨生产技术、密闭式电石炉生产技术等;有色金属行业的铝电解槽新型导流结构节能组合技术、液态高铅渣直接还原技术、氧气底吹炼铜技术等;水泥行业的新型干法水泥窑、高效变频电动机等技术。

余热回收利用技术是指回收利用可燃性余热、载热性余热和有压性余热的技术。可燃性余热是指用能工艺装置排放出来的,具有化学热值和物理显热,可作燃料利用的可燃物,主要如:放散的高炉气、焦炉气、转炉气、油田伴生气、炼油气、矿井瓦斯、炭黑尾气、纸浆黑液、甘蔗渣、木屑、可燃垃圾等;载热性余热是指用能工艺装置排出的废气和产品、物料、废物、工质等所带走的高温热以及化学反应热等,主要如:锅炉与窑炉排出的烟道气,燃气轮机、内燃机等动力机械的排气,焦炭、钢铁铸件、水泥、炉渣所携带的高温显热,凝结水、冷却水、放散热风等带走的显热以及排放的废气潜热等;有压性余热通常又叫余压(能),它是指排气、排水等有压液体的能量。

由于工业余热温度的高低将影响余热回收利用的方式和利用技术的选择,所以余热资源也通常按温度高低分为:高温余热, $T \geq 650^{\circ}\text{C}$;中温余热, $230^{\circ}\text{C} \leq T < 650^{\circ}\text{C}$ 和低温余热, $T < 230^{\circ}\text{C}$ 三种类型。

目前,在高耗能工业行业被广泛利用的余热(能)回收利用技术有很多。主要如:钢铁行业的干法熄焦技术(CDQ)、高炉炉顶压差发电技术(TRT)、纯烧高炉煤气锅炉技术、蓄热式轧钢加热炉技术、低热值煤气燃气-蒸气联合循环发电技术(CCPP)、低品位余热利用技术(300°C 以下)、高炉渣显热、钢渣显热、球

团矿余热的回收利用技术等;水泥行业的纯低温余热发电技术以及化工行业的氯化氢合成余热利用技术等。

替代燃料技术是指可以替代常规化石燃料的能源利用技术。开发替代燃料并使之形成一个新兴的能源产业是解决 21 世纪内化石能源,特别是石油资源枯竭的主要措施之一。现阶段的替代燃料技术主要如替代石油、燃料油的煤代油、气代油技术以及甲醇、乙醇、生物燃料等替代汽油、柴油的技术。目前,被广泛用于交通运输行业的替代燃料技术主要如:燃气(尤指天然气)汽车、混合动力汽车、生物燃料汽车、(煤基)醇醚类燃料汽车、(纯)电动汽车、燃料电池(电动)汽车等。

新能源和可再生能源利用技术,主要如:核能、水能、风能、太阳能光伏、生物质能等发电技术,太阳能热水器、热泵供暖等技术。

二氧化碳捕获与封存技术(Carbon Capture and Storage,碳捕获与封存)是将二氧化碳从工业排放源和与能源相关的排放源中分离出来,将其输送到封存地并与大气长期隔离的过程。CCS 技术新的发展趋势是将生产过程中排放的二氧化碳进行提纯,继而投入到新的生产过程中进行循环再利用,而不是简单地封存。

国际能源署(IEA)根据技术的发展状况和政府对市场化的促进政策水平,将工业减排技术划分为竞争性技术(目前可以获得的技术,例如钢铁行业的 TRT)、新型技术(尚未广泛应用的技术,例如熔融还原技术)和突破型技术(减排效果显著,但需要进一步研发的技术,例如制浆造纸业的黑液气化技术);将低碳技术分为三种类型,即减碳技术(指降低能源消耗,进而减少温室气体排放的技术)、无碳技术(没有温室气体排放的技术,例如核能、太阳能、风能、生物质能等可再生能源技术)和去碳技术(指消耗温室气体的技术,例如二氧化碳捕获与埋存(CCS),利用二氧化碳生产化工产品等技术)。

2.2 减排技术选择的原则

依据国家“十一五”、“十二五”期间有关工业节能减排的相关法律法规;国家和行业节能减排政策和能效标准;行业发展和节能规划;对“十一五”实际节能减排成效以及对行业减排技术现状和发展趋势的分析和评价,并参考国际上工业节能减排最佳实践技术案例以及本行业的特点,本着技术先进、节能减排成效突出、节能减排潜力大、减排成本相对较低、推广普及空间大、具有可持续竞争力等原则选择并确定了本行业从目前到 2020 年潜在的减排技术。

(1) 钢铁行业。根据减排技术的技术性特征、经济性特性,并考虑知识产权和技术的可实施性等因素,确定了钢铁行业减排技术选择的原则为:

1) 已经产业化的先进技术,技术推广应用潜力大,技术的实施对实现整个

行业的减排目标贡献大,技术具有可持续竞争力。

2) 成本有效的减排技术。

3) 优先选择具有自主知识产权,并在国内钢铁企业已有成功示范案例的先进减排技术。

(2) 化学工业。选择本行业减排技术的主要原则是:技术先进、节能减排效果好、投资和减排成本低、节能减排潜力大、推广普及空间大、具有持续竞争力等。

(3) 有色金属行业。选择本行业减排技术的主要原则是:减排潜力大、投资相对较小、推广空间大、具有较强竞争力的减排技术。

(4) 水泥行业。选择本行业减排技术的主要原则是:国家政策支持、减排潜力大、推广空间大、竞争力强、先进高效率、受企业欢迎的节能减排技术。

(5) 建筑部门。选择减排技术的主要原则是:依据国家“十一五”和“十二五”期间建筑节能领域相关法律法规、行业发展和规划报告,结合“十一五”实际节能减排效果分析与权威专家访谈等方式,最终通过比较分析选出本部门节能减排效果好、推广普及空间大、具有持续竞争力的多项技术,再进行进一步的成本与潜力估算。减排技术选择的原则主要有以下几点:

1) 以 2020 年以前能够实施并可获得减排效果的技术为主,不过多考虑现在尚处于研发或实验阶段的现行推广量较小的新技术措施。

2) 2010 年推广面积在 200 万 m^2 以上或推广量在 100 万个以上的减排技术措施。

3) 单项技术措施节能率在 8%~65%。

4) 具有实际工程应用经验与实际测试结果的技术。

(6) 交通部门。交通部门的减排技术,指通过实施可有效降低交通工具运输过程中的实际能源消耗及二氧化碳排放的技术措施。主要包括结构性措施和技术性措施两种。本报告的减排技术措施选择,主要依据国家“十一五”和“十二五”期间交通部门相关法律法规、行业发展和规划报告,并结合“十一五”实际节能减排效果分析、权威专家访谈与研究团队研讨等方式,最终比选出本部门节能减排效果好、推广普及空间大、具有持续竞争力的减排技术,并对其进行减排潜力和减排成本的分析。

2.3 减排技术选择

(1) 钢铁、化工、有色金属和水泥四大高耗能行业基于各自对本行业减排技术的界定和选择原则,遴选并确定了各行业在 2020 年之前拟重点推广应用的减排技术(见表 1-2-1 至表 1-2-4)。其中,钢铁工业选择了 13 项技术,化学工业选择了 17 项技术,有色金属行业选择了 6 项技术,水泥行业选择了 5 项技术。

表 1-2-1 钢铁行业减排技术选择

序号	技术名称	技术特征描述
1	干熄焦技术 (CDQ)	可回收 80% 的红焦显热, 平均每熄 1t 焦炭可回收 3.9MPa、450℃ 的蒸气 0.45~0.6t。平均每熄 1t 红焦可净发电 95~110kWh。扣除干熄焦自身的能源消耗, 包括低压蒸气、氮气、电力、纯水等, 采用干熄焦技术平均可降低炼焦能耗约 40kg 标准煤/t, 折合减少 CO ₂ 排放量约 94kg/t 焦
2	煤调湿技术 (CMC)	保持装炉煤水分稳定在约 6%, 然后装炉炼焦。可提高焦炉生产能力 11%、炼焦耗热量减少 15%、焦炭粒度分布均匀、焦炭强度提高 11%~15%, 或在保证焦炭质量的前提下可多配弱黏结性煤 8%~10%, 生产稳定和便于自动化管理等方面。采用煤调湿技术, 每生产 1t 焦炭可减少 CO ₂ 排放约为 0.1t
3	烧结余热回收技术 (SPHR)	目前大多采用烧结机烟气和冷却机废气余热锅炉回收蒸气方式, 生产 1t 烧结矿可回收余热蒸气 80~100kg, 如回收后的蒸气用于发电, 可回收电 10kWh/t, 相当于节能 3.4kg 标准煤/t, 减少 CO ₂ 排放约 8kg/t。烧结矿和钢比例约为 1.6。因此 1t 钢可减少 CO ₂ 排放 12.8kg
4	高炉炉顶 压差发电 技术 (TRT)	TRT 一般可回收高炉鼓风机所需能量的 25%~30%, 吨铁可发电 20~40kWh。目前湿式 TRT 吨铁发电量仅为 28~32 kWh, 截至 2010 年已基本全部安装, 如果改造成干式 TRT, 发电量还可增加 30%, 若按吨铁发电 30kWh 计算, 折合节约标准煤 10.2kg, 相当于减少 CO ₂ 排放约 24kg
5	高炉喷煤 综合技术	喷煤的制粉和喷吹所需的能耗在 20~35kg 标准煤/t。高炉每喷吹 1t 煤粉, 就可以产生炼铁系统用能结构节约 100kg 标准煤/t 的效果。按 2007 年国内重点大中型钢铁企业高炉喷吹煤比平均 135kg 标准煤/t 计算, 则可节能 9.45kg 标准煤/t, 折合 CO ₂ 排放量为 22 kg 标准煤/t
6	锅炉全部燃烧 高炉煤气技术	每吨铁产生高炉煤气量按 2 100m ³ 计算, 除钢铁厂自用外, 2/3 用于发电, 高炉煤气热值取 3 100kJ/m ³ , 即每吨铁产生高炉煤气热值为 6 510MJ, 换算成标准煤为 222kg。采用高炉余热锅炉技术, 2/3 煤气用于发电, 则 1t 铁可节约 CO ₂ 排放量 0.348t
7	转炉煤气回收利用	采用干法转炉煤气回收系统, 吨钢煤气回收量可达 80m ³ , 除去自耗电 6.2kWh/t, 可降低吨钢能耗约 14.4kg 标准煤, 相当于减排 CO ₂ 34kg
8	转炉低压饱和 蒸气发电	吨钢发电近 15kWh, 折合 510kg 标准煤, 相当于减排 CO ₂ 约 13kg。某钢厂在应用转炉低压饱和和蒸气发电技术后, 实现了吨钢发电近 15kWh, 折合 5.1kg 标准煤, 相当于吨钢减排 CO ₂ 为 12kg
9	转炉负能炼钢 工艺技术	转炉负能炼钢技术回收煤气平均回收量达到 90m ³ /t 钢; 蒸气平均回收量 80kg/t 钢。吨钢产品可节能 23.6kg 标准煤, 折合减少 CO ₂ 排放量 55kg

续表

序号	技术名称	技术特征描述
10	蓄热式轧钢加热炉技术	在燃烧器燃烧的时候,空气或煤气通过蓄热体被迅速预热到 1 000℃ 以上,由于换向系统的快速换向达到周期性的燃烧,可得到基本稳定的炉温,每小时蓄热 20 ~ 30 个周期,换热效率达到 85% 以上。利用该节能技术,可使炉窑热效率比常规加热炉提高 10% ~ 30%,能耗降低 30% ~ 40%
11	炉烟气余热回收利用技术	炉炼钢过程中会产生大量的高温含尘烟气(1 000 ~ 1 400℃),烟气显热占电炉炼钢总能耗的 10% 以上。吨钢可回收蒸气 140 ~ 200kg
12	低热值伴生气联合循环发电	该技术的热电转换效率可达 40% ~ 45%,接近以天然气和柴油为燃料的类似燃气轮机联合循环发电水平;用相同的煤气量,该技术比常规锅炉蒸气多发电 70% ~ 90%,同时,用水量仅为同容量常规燃煤电厂的 1/3,污染物排放量也明显减少
13	能源管理中心	能源管理中心是对钢厂的水、电、风、蒸气、煤气、氧气、氮气等能源进行集中管理和全面监视,及时分析和进行动态调整,可实现总厂和二级厂矿能源管理数据共享。按 2010 年中国重点大中型钢铁企业吨钢综合能耗 607kg 标准煤计算,吨钢可节约约 30.4kg 标准煤,相当于减排 CO ₂ 约 78kg

表 1 - 2 - 2 化学工业减排技术选择

序号	技术名称	技术特征描述
1	氨合成回路分子筛节能技术	采用该技术改造后节能效果明显,吨氨高压蒸气消耗降低 0.144t、中压蒸气降低 0.072 9t
2	JR 型氨合成塔系统	JR 型氨合成塔内件采用独特的换热结构,充分利用氨触媒具有的宽温和高温活性的特点,采用多段绝热方式进行氨的合成,触媒利用充分,可以达到最高的氨净值从而降低循环量,减少电耗和冷量消耗
3	离子膜电解槽膜极距技术	膜极距单元槽电压比原有单元槽下降 140mV 和 180mV,吨碱直流电耗降低约 100kWh 和 120kWh
4	氯化氢合成余热利用技术	使氯化氢合成的热能利用率提高到 70%,副产蒸气压力可在 0.2 ~ 1.4MPa 间任意调节,可并入中、低压蒸气网使用,使热能得到充分利用
5	新型变换气制碱技术	将合成氨系统脱碳与联碱制碱两道工序合二为一,省去合成氨系统脱碳工序的投资,降低了能耗,生产系统为闭路循环系统,无废水排放
6	联碱不冷碳化技术	联碱不冷碳化技术,取消传统碳化塔生产过程中必须使用的冷却水箱,实现不冷碳化,适用于联碱法制碱工程项目中的碳化工序,具有降耗减排的显著效果,已入选纯碱行业清洁生产技术推广方案推广技术目录
7	密闭电石炉	密闭电石炉生产 1t 电石烟气排放量仅为 400m ³ ,其中 CO ₂ 含量为 2%

续表

序号	技术名称	技术特征描述
8	用密闭电石炉尾气生产甲醇联产合成氨工艺	本工艺采用以电石尾气联产甲醇和合成氨,通过合理调整变换比以实现电石尾气利用的最大化、经济效益的最大化。不仅最大限度地利用了电石炉尾气,减少了排放量,同时又创造了经济效益
9	电石炉低压补偿	某公司在容量为 25 000kVA 的电石炉上安装二次低压补偿装置,投资 185 万元,年节电收益 212.45 万元,项目简单投资回收期 10.5 个月。该项目年节电 670 万 kWh,折算年节约标准煤 2 422t,年减排 CO ₂ 1 377t
10	黄磷尾气净化及综合利用项目	川投化工 8 台炉子尾气净化回收利用后,年减排 CO ₂ 约 20 万 t,年回收尾气量折标准煤 5 万 t
11	三相六根石墨电极黄磷电炉	与三相三根石墨电极 10 000t/a 电炉相比:①年产量增加 1 200t/a,同比增长 25%;②电耗 14 000kWh/t 黄磷,同比下降 8.9%;③电极消耗 18kg/t 黄磷,同比下降 31%。单台装置年节约资金 1 000 万元以上
12	CO ₂ 降解塑料	该技术每生产 1t 塑料需要消耗 0.5tCO ₂ ,CO ₂ 基聚合物不但可以减少对石油的消耗,而且环境适应性也很理想
13	工业废气 CO ₂ 合成碳酸丙烯酯	目前国内多采用环氧丙烷与 CO ₂ 合成法生产碳酸丙烯酯,生产 1t 碳酸丙烯酯需要消耗 0.5tCO ₂
14	CO ₂ 生产碳酸二甲酯	采用超临界条件,催化二氧化碳和环氧丙烷反应生成碳酸丙烯酯。
15	以 CO ₂ 为气化剂生产高纯 CO 气	以焦炭为原料,氧和二氧化碳为气化剂,采用固定床部分氧化还原法连续气化制 CO 气
16	CO ₂ 驱油 (CCUS)	CO ₂ 被注入井下后,有 50%~60% 被永久封存于地下,剩余的 40%~50% 则随着油田伴生气返回地面。但通过原油伴生气 CO ₂ 捕集纯化,可将伴生气 CO ₂ 回收,并就地回注驱油,进一步降低了 CO ₂ 驱油成本
17	超临界液体 CO ₂ 发泡技术 (LCD)	该技术的优点是采用液态 CO ₂ 作为发泡剂,既保护环境,又降低成本,是一项很有前途的替代丁烷的技术

表 1-2-3 有色金属工业减排技术选择

序号	技术名称	技术特征描述
1	铝电解槽新型导流结构节能组合技术	铝电解槽新型导流结构节能组合技术通过对电解槽阴极与内衬结构改造、先进的工艺操作与控制,大幅度降低了极距,使铝电解高效率稳定运行,形成保温节能型铝电解槽
2	新型阴极结构铝电解槽节能技术	采取改变现行铝电解槽槽底的碳阴极平底结构为阴极表面具有凸起的阴极结构,起到减缓阴极铝液表面流速和波动作用,达到提高铝电解槽阴极液面稳定的目的,从而可以通过降低电解极距来降低电解槽电压,从而降低电耗

续表

序号	技术名称	技术特征描述
3	预焙铝电解槽 电流强化与高效节能 综合技术	针对中国低阳极电流密度以及氧化铝来源广的特点,开发出“五低三窄一高”铝电解新工艺,即:低温、低过热度、低氧化铝浓度、低槽电压、低阳极效应系数、窄物料平衡工作区、窄热平衡工作区、窄磁流体稳定性调节区和高阳极电流密度,实现了铝电解高效节能的目标
4	氧气底吹炼铜技术	混合矿料连续从炉顶加料口加入炉内的高温熔池中,氧气和空气通过底部氧枪连续送入炉内的铜硫层,氧气以大量的小气泡动态地悬浮于熔体中,有很大的气-液相接触面积,完成熔炼过程
5	液态高铅渣 直接还原技术	密闭的还原炉结构和高效能的热还原工艺,减少了烟气热量损失,解决了高铅渣铸块储运过程中碎末飞扬现象,既减少了有价金属损失,资源得到最大利用,环境又得以改善,系统生产环境良好
6	新型蓄热竖罐 还原炉燃烧技术	新型蓄热式竖罐还原炉主要由模块化炉体、蓄热式燃烧器、立式还原系统、装料和出渣系统、真空与管道系统、检测和自动控制系统等组成,吨粗镁能耗大幅降低

表 1-2-4 水泥行业减排技术选择

序号	技术名称	技术特征描述
1	纯低温余热 发电技术	在新型干法水泥熟料煅烧过程中,由窑尾预热器、窑头熟料冷却机等排掉的 400℃ 以下低温废气余热,转换为电能并回用于水泥生产,可使水泥熟料生产综合电耗降低 60% 或水泥生产综合电耗降低 30% 以上,可减少 CO ₂ 等废气的排放,还避免了水泥窑废气余热直接排入大气造成的热岛现象,有利于保护环境
2	水泥窑协同处置 生活垃圾	与其他生活垃圾处置废方式相比具有节能、环保、经济的比较优势,可替代水泥生产所需的部分燃料和原料,减少天然矿物资源的消耗,有利于水泥行业低碳发展,同时可节约土地资源
3	水泥窑协同处置 污泥等废物	以 600t/d 的水泥窑为例,通过协同处置污泥等废物,每年可节约标准煤 1.36 万 t,减少 CO ₂ 排放 3.4 万 t,避免污泥填埋而减少甲烷排放 5 000t,相当于每年减少 CO ₂ 排放 10.5 万 t
4	水泥辊磨终 粉磨技术	粉磨是水泥生产过程中用电量最大的环节。粉磨水泥时辊磨的粉磨效率是球磨机的 1.6 ~ 1.8 倍,系统节电 30% 以上。对磨机系统进行优化并加强管理,可使水泥综合电耗平均降低 1kWh/t。2010 年中国水泥年产量已达 18.8 亿 t,若按水泥粉磨电耗,则每年可节电 20 亿 kWh。每度电价以 0.6 元计,则每年减少粉磨成本近 12 亿元;相当节标准煤 70 万 t,减少 CO ₂ 排放 177 万 t
5	电石渣替代 石灰石技术	2 000 万 t 电石渣可替代 2 700 万 t 石灰石,相应减少 CO ₂ 排放 1 188 万 t,吨 CO ₂ 减排成本 790 元

(2) 建筑和交通部门基于各自对本部门减排技术的界定和选择原则, 遴选并确定了本部门在 2020 年之前拟重点推广应用的减排技术。其中, 建筑部门选择了 34 项技术(见表 1-2-5)。交通部门则按照公路、铁路、水运和航空四种交通运输方式共选择了 17 项减排技术(见表 1-2-6)。

表 1-2-5 建筑部门减排技术选择

建筑能耗子类	编号	技术内容	技术特征描述
北方城镇集中供暖(7项)	A1	北方既有住宅围护结构改造	根据“50%或65%节能标准”, 居住建筑采暖节能效果较1980年标准建筑采暖耗热量降低50%~65% ^a
	A2	新建住宅建筑实施“65%节能标准”	居住建筑采暖节能效果较1980年标准建筑采暖耗热量降低50%~65% ^b
	A3	高效热电联产系统及相关技术	平均建筑耗热量下, 热源侧可节省一次能耗约5kg标准煤/(m ² ·a) ^c
	A4	燃气锅炉替代燃煤锅炉	平均建筑耗热量下, 热源侧可节省一次能耗约4kg标准煤/(m ² ·a) ^d
	A5	工业余热供暖再利用	各行业可回收利用的余热资源约为余热总资源的60% ^e
	A6	既有住宅建筑供热计量改造	供热计量改造, 可实现采暖耗热量节能10%~15% ^f , 至少完成具备改造价值的老旧住宅面积的35%以上 ^g
	A7	新建住宅建筑实施热表计量与相关技术	供热计量改造, 可实现采暖耗热量节能10%~15% ^h
城镇住宅除采暖外(8项)	B1	基于ICT技术的住宅能源管理系统	家庭能源管理系统, 将家电产品等能耗设备网络化, 可实现家用电耗节省15% ⁱ
	B2	城镇住宅太阳能热水器	全国七省市生活热水调研平均值约为34.3MJ/(m ² ·a) ^j , 太阳能热水系统节能率约为41% ^k
	B3	高效洗衣机	1级能效波轮式洗衣机较5级每轮耗电量节省0.02kWh/kg; 1级能效滚筒式洗衣机较5级节省0.16kWh/kg ^l
	B4	高效冰箱	根据估算, 1级能效家用冰箱(240L)约比5级能效日节省电耗0.54kWh/d ^m
	B5	高效平板电视	根据估算, 1/2级平板电视较3级平板电视(32寸)每台年平均节省29.2kWh/a ⁿ
	B6	高效家用空调器	中国城镇典型住宅家用空调年耗电量约为2.1kWh/(m ² ·a), 高效空调的节能率约为18% ^o
	B7	既有住宅白炽灯改造	以每日每只灯具平均运行2小时估算, 以8W节能灯替换住宅中现有40W白炽灯, 每只年节电量约为23.4kWh/a

续表

建筑能耗子类	编号	技术内容	技术特征描述
城镇住宅 除采暖外(8项)	B8	新建住宅白炽灯淘汰	以每日每只灯具平均运行 2h 估算,三种白炽灯替换方案下,每只年节电量分别约为: ①20W 节能灯替换 100W 白炽灯,每只年节电量 58.4kWh/a; ②12W 节能灯替换 60W 白炽灯,每只年节电量 35.0kWh/a; ③3W 节能灯替换 15W 白炽灯,每只年节电量 8.8kWh/a
公共建筑除 采暖外(10项)	C1	被动式设计	即在公共建筑设计中引进自然通风与自然采光因素,以节省机械空调或人工照明电耗。公共建筑空调系统平均电耗约为 $45\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,照明系统电耗约为 $30\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^p$,节能率约为 5%
	C2	地源热泵	对运行中项目实测表明,夏季设备平均 COP 约为 4.5 ^q (常规离心式电制冷机约为 5.5) ^r ,冬季系统 COP 约为 1.39(常规供热系统约为 2~3) ^s 。
	C3	温湿度独立控制	较常规楼宇供冷系统,节能率约为 30% ^t
	C4	信息机房热管空调	对部分移动通信基站设备实测,空调系统节能率约为 30%~40% ^u
	C5	既有公建空调系统节能改造	通过冷机改造、水泵风机变频等措施,空调系统能效比 EER _s 平均可由 1.5~2.5 提高到 2.5~3.5 ^v
	C6	公建太阳能热水器	北京市宾馆饭店类公建,生活热水耗量(热力站处)约为 $71\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})^n$,节能率同 B2
	C7	既有公建白炽灯改造	同 B7
	C8	新建公建 LED 灯应用	以每日每只灯具平均运行 2h 估算,以 3WLED 灯替换新建公建中 8W 节能灯,每只年节电量约为 3.65kWh/a
	C9	新建公建白炽灯淘汰	同 B8
	C10	能源监测与分项计量系统	配合诊断与低成本无成本改造,实际工程中年节电量约为 5%~8% ^x
农村住宅 (9项)	D1	被动式太阳房	被动式太阳房(直接受益式、集热墙和集热蓄热墙式,以及附加阳光间式)平均节能率为 60%~65% ^y
	D2	围护结构改造	根据对北方 14 个省市农村能耗的调查,中国北方农村地区单位建筑面积生活用能平均值约为 14kg 标准煤/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})^z$,其中采暖热耗约占 52% ^{aa} ,实际改造工程节能率约为 60% ^{ab}

续表

建筑能耗子类	编号	技术内容	技术特征描述
农村住宅 (9项)	D3	秸秆压缩	2009年新增秸秆固化厂35处,年新增秸秆固化产量12.8万t ^{ac}
	D4	节能吊炕	节能吊炕较传统土炕每铺节能约832kg标准煤/a ^{ad} ,2009年全国农村新增节能吊炕月41.07万铺 ^{ae}
	D5	高效土暖气	较常规系统节能率约8%
	D6	农村太阳能热水器	农村生活热水平均耗热量约为8.78MJ/(m ² ·a) ^{af} ,节能率同B2
	D7	地板辐射供热系统	中国北方农村地区采暖耗热量同D2,较常规供热系统节能率约40%
	D8	高效节能灶	较普通柴灶实测节能率约为15%,2009年新增月354.6万户 ^{ag}
	D9	户用沼气池	2009年新增沼气池数量约为5.19万池 ^{ah}

注:由于夏热冬暖地区城镇采暖主要采用分户分散采暖方式,采暖需热量较低且使用模式较为节约,与其他四类相比实际能耗及排放量明显较小,故在关键减排技术中暂不考虑与夏热冬暖地区城镇采暖类相关的措施。

表 1-2-6 交通部门减排技术选择

子部门	子类	编号	技术内容	技术特征描述
公路	汽车燃油经济性	A1	高效柴油轿车	替代传统汽油机轿车,热效率提高,燃油消耗率降低11% ^a
		A2	均值压燃技术(HCCI)柴油车应用	全新内燃机缸内燃烧概念,热损耗低,燃烧周期短。相比传统柴油机或汽油机,燃油效率可提高12%~33% ^b
		A3	均值压燃技术(HCCI)汽油车应用	
		A4	汽油机缸内直喷技术(GDI)	降低节流损失,配合采用进气增压技术、高压压缩比发动机和多气门技术等,可降低燃油消耗2%~15% ^c
		A5	高效汽油货车	通过改进发动机、重货轻量化、子午线轮胎、改善路况等多种手段,燃油单耗可降低约16% ^d
		A6	高效柴油货车	
	混合动力汽车	A7	插电式混合动力汽车	较常规混合动力系统增加了电能配比,燃油经济性可提升50%以上,每百公里耗油量和耗电量约为2.2kg/100km和5.43kWh/100km ^e
		A8	非插电式混合动力汽车	以内燃机为主要驱动装置,电驱动系统为辅助驱动装置。不同车型的节油率可以达到15%~50% ^f

续表

子部门	子类	编号	技术内容	技术特征描述
公路	纯电动车	A9	纯电动车	完全由电能驱动,每百公里平均耗电量为 18kWh ^e
	天然气汽车	A10	天然气出租车	以天然气替代传统汽油,在汽车上安装气瓶及配套设施。已在部分示范城市的出租车行业集中试点,现有保有量达到 100 万辆 ^b
	替代燃料	A11	纤维素乙醇	非粮原料燃料乙醇在燃烧时,温室气体排放量比汽油低 90%。研究表明,汽车不经改造即可使用加入了 10% 燃料乙醇的汽油 ⁱ
		A12	生物柴油	相关研究表明,汽车使用生物柴油 CO ₂ 排放量较普通柴油可降低约 80% ⁱ 。现实际年利用量约 40 万 t
	结构性调整	A13	提高公交出行率	根据交通运输部研究,每百公里人均能耗,公共汽车约为小汽车的 8.4%,电车为 3.4%~4%,地铁为 5%。有关研究表明,公交分担率每提高 1%,可减排 166 万~352 万 tCO ₂ ^k
铁路	结构性调整	B1	提高铁路电气化率	至 2020 年,中国铁路营业里程将达到 12 万 km,电气化率将突破 60% ^l ,铁路网结构更趋合理
水运	结构性调整	C1	货运结构调整——提高内河航运承载比例	2020 年,全国内河航运货运量将达到 30 亿 t 以上,逐渐对铁路及公路货运进行分流 ^m 。单位运输量内河航运能耗约为公路运输的 10%,铁路运输的近 70%,高效节能 ⁿ
航空	降低单耗	D1	综合低成本改造技术	如翼型改造、机身机构改造(轻型座椅)、加强机身清洁等,降低航运单耗
		D2	桥载设备替代辅助动力单元(APU)	以固定在机场廊桥的电源机组或空调机组,依靠电力向飞机供应能源,较 APU 平均每架次可减少燃油消耗约 200L ^o

资料来源:a、b. 王建昕,王志,2010;c. 杨嘉林,2008;d. 王蕾,2008;e. 姜伟,张君鸿,张鹏君,2011;f. 清华大学中国车用能源研究中心,2012;g. 网络资料(中国 10 款纯电动汽车资料),2011;h. 网络资料(天然气出租车),2011;i. 张杰,李岩,许海朋等,2008;j. 马其华,宋建桐,2007;k. 清华大学低碳政策研究所,2011;l. 铁道部,2004;m. 国务院,2011;n. 张卫,曹淑艳,李庆祥,2007;o. 网络资料(APU 地面使用),2010.

3 减排技术的潜力和减排成本分析

3.1 分析方法

3.1.1 一般性概念

经济学用于气候变化政策评价研究领域主要有两方面的内容:一是评估气候变化可能对社会经济带来的影响。二是评估减缓碳排放的成本和潜力,并分析各种减缓政策的成本和效益,以选择合适的减缓政策和达到以最小的成本实现减排和减缓气候变化的目标。

为保证估计结果的可比性和逻辑的透明性,对气候变化减缓政策进行经济性评价时首先要确定评价的系统边界和目标。对系统边界的选择依赖于研究范围和分析工具,在目前的研究中,评价的系统边界分为三个层次:项目层次、部门层次和宏观经济层次。评价的范围可能是项目(技术)、企业、行业、部门、城市、地区、国家、全球。根据界定的系统边界,评价的目标可能是单项减排技术或组合减排技术的碳减排成本和潜力,也可能是单项减缓政策及组合减缓政策的碳减排成本和潜力,或者是评价气候变化导致的经济损失等。

对于不同层次的分析要确定相应的评价指标体系和选择适应的经济性评价方法和模型。项目层面的碳减排经济性分析的方法主要有:成本效益分析(CBA);成本有效性分析(CEA);生命周期分析方法等。部门和宏观经济层面的碳减缓排放的经济性分析一般采用各种模型方法。部门层面可利用“部分均衡”模型,宏观经济层面可利用一般均衡模型。评价气候变化成本的模型方法主要有投入—产出模型、宏观经济模型、一般均衡模型以及能源部门模型等。这些综合评价模型又可以分为两大类:技术政策的优化模型和评价模型。

本研究针对钢铁、化工、有色金属和水泥四个高耗能行业,以及发展速度快、能源消耗增长潜力大的建筑和交通运输两个部门 2010—2020 年被选择的主要减排技术措施进行深入分析,以了解这些技术措施的适用性、碳减排潜力和成本。

3.1.2 减排技术潜力分析方法

IPCC 在第四次评估报告的结论中显示了估算碳减排潜力和成本的复杂性。报告指出:对减缓成本和潜力的估算取决于有关未来社会经济增长、技术变化和消费模式的假设。特别是对有关技术推广的驱动因素、长期的技术性能和成本变化的假设等都会对估算过程和结果产生影响并导致一定的不确定性。

此外,若将行为 and 生活方式转变的影响纳入分析过程则更加困难。

可见在对技术措施的减排潜力和成本分析过程中,既要考虑微观层面的影响因素,又要考虑宏观层面的影响因素,而最困难的是要确定(或假设)反映微观和宏观影响因素的具体参数,及反映这些参数水平值的价值量和物理量参数。例如,在估算技术减排潜力时,需要设定行业和部门在未来不同年份以及目标年份的能源服务量需求,要判断出各项减排技术的减排率及其在未来不同年份的普及率等;在估算技术的减排成本时则需要收集减排技术的寿命期、投资成本、运行和维护成本等经济性参数。

因此,根据既定的研究对象、范围和目标,选择和确定适应的研究方法非常关键。在气候变化背景下,潜力是指随着时间的推移能够实现,但尚未实现的温室气体减缓量或适应量。在本报告中所考虑的技术减排潜力是指通过实施被选择的减排技术,在其寿命期内产生的二氧化碳排放量,与参考技术(基准线技术)在其寿命期内产生的二氧化碳排放量之差。或者描述为:某项关键减排技术与基准线技术在其寿命期内获得同等产品产量或服务量时的二氧化碳排放量之差。

减排技术的减排潜力计算方法见式(1):

$$D = (B - A) \times C \quad (1)$$

式中: D ——减排技术的减排潜力, tCO_2 ;

A ——减排技术寿命期内生产单位产品(或服务量)的 CO_2 排放量, tCO_2/t 产品或 $tCO_2/\text{单位服务量}$;

B ——基准线技术寿命期内生产单位产品的 CO_2 排放量, tCO_2/t 产品或 $tCO_2/\text{单位服务量}$;

C ——技术寿命期内的产品产量(服务量), t 或服务量单位。

技术寿命期内的产品产量(服务量)代表着减排技术的普及率。在对技术的碳减排潜力进行分析的过程中,对减排技术普及率的设定非常关键,普及率设定的客观性直接影响到对减排技术潜力估算的客观性。本课题研究过程中,根据各专题研究对行业和部门减排技术现状和发展趋势的分析,国家有关政府部门发布的行业和部门规划,对相关行业协会进行调研获得的数据,公开发表的相关文章以及国内领先研究机构和专家的研究成果等,确定了行业和部门所选择的每项减排技术本身的减排率及其在不同时期的普及率。

3.1.3 减排技术成本分析方法

应用上述减排潜力分析方法对每一项减排技术估算了2010—2020年相对于参考(基准线)技术的减排潜力后,应用增量(边际)成本分析方法计算了每一项减排技术的增量减排成本。

增量(边际)成本在经济学中的概念是指每增加一个单位产品产量所增加

的成本。例如,生产第一个产品时成本为 10 元,而生产两个产品时成本为 15 元,则增加第二个单位产品时,成本增加了 5 元,这 5 元就是第二个产品的增量(边际)成本。可以证明,当平均成本等于增量(边际)成本时,平均成本最低。增量(边际)成本是经济分析中的一个重要概念。20 世纪 80 年代以来,增量(边际)成本分析方法被广泛应用于节能技术的增量节能成本的分析中。

本研究中减排技术的成本是指技术的资本投资、运营和维护成本,扣除由能源效率等其他方面效益带来的成本节约后,分摊到使用该技术后每年每吨减排量上的单位成本。为体现初始资本投资的时间价值,要求取相应的贴现率将本行业或部门的减排技术的资本投资在该技术的整个寿命周期中摊销。

技术增量减排成本的简化计算方法见公式(2):

$$C_m = (C_n - C_1) / (P_1 - P_n) \quad (2)$$

式中: C_m ——m 减排技术的增量成本,元/tCO₂;

C_n ——减排技术的所有成本,元;

C_1 ——基准线技术的所有成本,元;

P_1 ——基准线技术的 CO₂ 排放量,tCO₂;

P_n ——减排技术的 CO₂ 排放量,tCO₂。

减排成本可正可负。成本为负表示与基准线技术相比,某项减排技术在寿命周期中能产生净的经济效益或实现减排;成本为正,则代表着相对于基准线技术而言获得减排潜力需要发生新增成本。

综上所述,由于估算技术减排潜力和成本是一项非常复杂的工作,需要考虑的因素很多,外加技术本身的差异性、数据的缺乏,无法分析技术的外部性影响,很难考虑能源价格变化、消费方式的影响以及政策等因素的影响,因此在分析过程中没有针对一些影响因素做统一规定,例如,能源价格的动态与静态值,贴现率的取值等,而要求行业 and 部门专家根据本行业 and 部门的实际状况和对未来可能的变化趋势的判断自行确定。

实际上不同减排技术的成本通常都与技术带来的能源节约相挂钩,且关系密切。能源价格越高,减排技术在经济性上就会更加有利,反之亦然。

3.1.4 绘制技术减排成本曲线

绘制技术减排成本曲线的目的是将行业 and 部门所选减排技术的潜力和成本进行按序整合后,绘制在一张要素图上。各行业 and 部门的技术减排成本曲线反映出不同技术的减排潜力上限以及实施这些技术减排潜力的真实要素成本。同样减排曲线还可以作为分析工具,对行业 and 部门的各种减排技术进行优先排序。

作为本课题的研究成果之一,本研究分别绘制了钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业以及建筑和交通运输部门的减排技术成本曲线。

3.2 行业减排技术潜力和成本分析

钢铁、化工、有色金属和水泥四大高耗能行业基于各自识别、选择并确定的各行业在 2010—2020 年重点推广应用的關鍵减排技术(见表 1-2-1 至表 1-2-4),应用本研究课题既定的技术减排潜力和成本分析方法,分析得到了各行业所遴选的减排技术到 2020 年可实施的技术减排潜力和成本,并绘制了减排技术的成本曲线。

3.2.1 钢铁工业

钢铁行业是四个行业中二氧化碳减排潜力最大的行业。行业报告分析结果显示,未来十年钢铁行业一些行之有效的节能减碳技术将进一步得到推广和普及。例如,2020 年与 2010 年相比,重点钢铁企业的干熄焦技术普及率将由 73% 提高到 95%;先进的干法高炉余压发电技术的普及率将由 16% 提高到 40%;煤调湿技术普及率由 40% 提高到 60%;节能减碳潜力较大的锅炉全部燃烧高炉煤气技术的普及率由 20% 提高到 30%,与 2010 年相比 2020 年这项技术的二氧化碳减排潜力可增加 60%,达到 6 264 万 t;转炉负能炼钢技术普及率由 10% 提高到 50%,可实现的二氧化碳减排潜力将是 2010 年的 2.5 倍;低热值半生气联合循环发电技术的普及率由 15% 提高到 30%,即可实现二氧化碳减排潜力 1.16 亿 t,约占所选 13 项减排技术总减排潜力的 40%。

总之,钢铁行业通过推广普及被选择的 13 项减排技术,到 2015 年和 2020 年可实现的二氧化碳减排潜力分别为 2.4 亿 t 和 2.88 亿 t,占钢铁行业既定的 2015 年和 2020 年二氧化碳减排目标的 41% 和 39% (见钢铁行业报告)。钢铁行业 13 项被选减排技术的减排潜力构成见图 1-3-1。

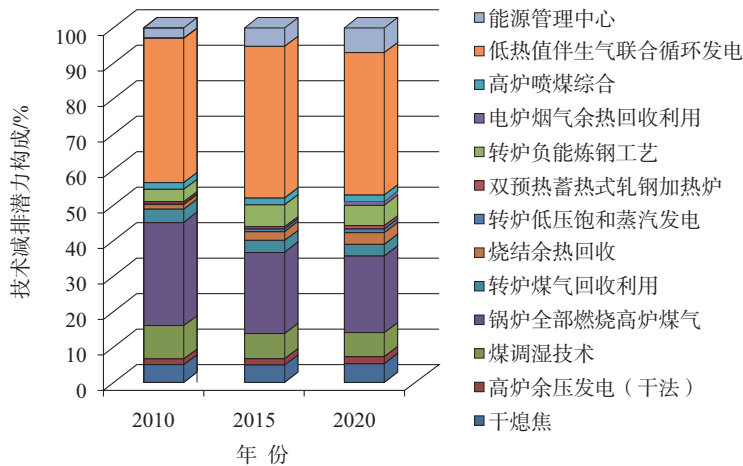


图 1-3-1 钢铁行业被选减排技术的减排潜力构成

按照课题组既定的减排技术成本分析方法,对钢铁行业被选择的 13 项减排技术减排成本分析结果显示,13 项减排技术的边际减排成本均为负值,范围在 $-1\ 086 \sim -254$ 元/ tCO_2 ,即被分析的 13 项减排技术均为成本有效的减排技术。

钢铁行业 13 项减排技术 2010 年至 2020 年减排成本变化曲线见图 1-3-2,2020 年的减排技术成本曲线见图 1-3-3。

由图 1-3-2 可见,2010 年到 2020 年,高炉炉顶余压发电、干熄焦和转炉煤气回收利用技术的减排成本相对较低而且下降幅度也较大。

由于钢铁行业被选的 13 项减排技术均是比较成熟、节能效果非常好、持续被推广的技术,所以较好的节能效益导致技术的投资回收期较短,外加技术的寿命期相对较长,即使考虑了 6% 的贴现率等因素,技术的减排成本仍为负成本。这充分说明,未来 8 年,这 13 项技术是钢铁行业实现减排潜力的关键技术,应予以重视。

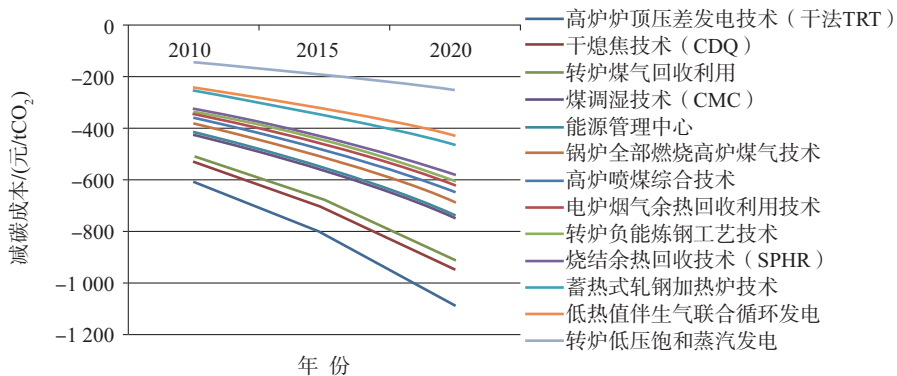


图 1-3-2 钢铁行业被选减排技术 2010—2020 年减排成本变化曲线

3.2.2 化学工业

化学工业是四个行业中产品种类最多的行业,也是二氧化碳减排潜力比较大的行业。行业报告分析结果显示,“十一五”期间化学工业保持了很高的发展速度,随着下一个景气周期的来临,“十二五”至“十三五”期间,化学工业仍将保持比较高速发展的态势。但由于大宗化工产品,特别是合成氨、烧碱、纯碱、电石等高耗能产品基本上处于供应过剩的状态,加之受节能政策等因素的影响,其产量增长不会很快,而高附加值的精细化学品、新型专用化学品的发展速度将加快,这将有利于降低全行业的单位增加值能耗。

本课题研究中,化学工业共选择了 17 项减排技术,覆盖了合成氨、烧碱、纯碱、电石和黄磷 5 个传统的高耗能产品。此外,还选择了 4 项二氧化碳回收利

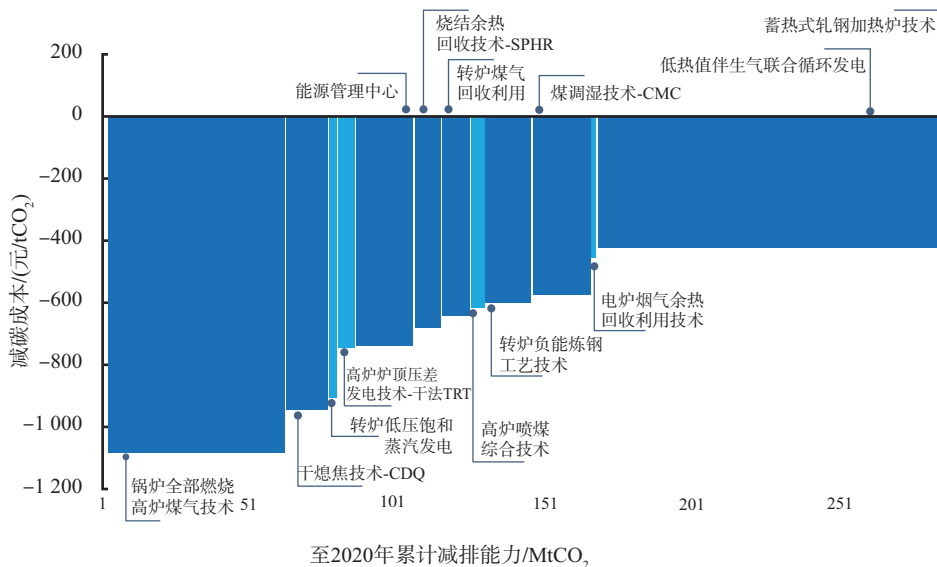


图 1-3-3 钢铁行业 2020 年减排技术成本曲线

用技术,例如,二氧化碳降解塑料、工业废气二氧化碳合成碳酸丙烯酯、二氧化碳生产碳酸二甲酯和以二氧化碳为气化剂生产高纯一氧化碳气的技术。行业专家对被选的 17 项减排技术中的 12 项技术进行了减排潜力和成本分析。

化工行业选择的减排技术相对于钢铁行业在 2020 年之前的普及率要低。例如,2020 年与 2010 年相比,合成氨行业的氨合成回路分子筛技术的普及率仅从 2% 提高到 17%;烧碱行业的离子膜电解槽膜极距技术和烧碱氯化氢合成余热利用技术的普及率分别从 16% 和 1.4% 提高到 24% 和 12%;纯碱行业的新型变换气制碱技术和纯碱联碱不冷碳化技术的普及率分别从 15% 和 4.4% 提高到 33% 和 10%;电石行业的密闭式电石炉技术和电石炉低压补偿技术的普及率分别从 29% 和 7% 提高到 46% 和 22%,其中,密闭式电石炉技术是化工行业被选技术中减排潜力最大技术,占 2020 年 12 项技术减排潜力的 52%。减排技术的普及率相对较低,说明化工行业这些减排技术的应用潜力相对较大。

总之,化学工业通过推广普及被选择的 12 项减排技术,到 2015 年和 2020 年可实现的二氧化碳减排潜力分别为 1 802 万 t 和 3 152 万 t,仅占化工行业设定的 2015 年和 2020 年二氧化碳减排目标的 4% 和 5%。化学工业 12 项被选减排技术的减排潜力构成见图 1-3-4。

按照课题组既定的减排技术成本分析方法,对化工行业被选择的 12 项减排技术的减排成本分析结果显示,2020 年 12 项减排技术中边际减排成本为负值的减排潜力仅占 7.2%;减排成本在 9~189 元/tCO₂ 的减排潜力占 88%;只

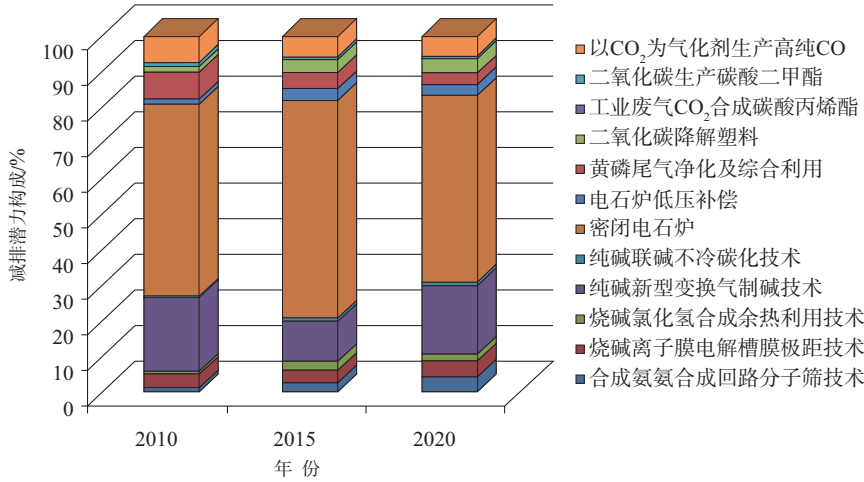


图 1-3-4 化学工业被选减排技术的减排潜力构成

有 1 项技术,即烧碱行业的离子膜电解槽膜极距技术的减排成本高于 800 元/ tCO_2 ,其减排潜力仅占 4.6%。从减排技术成本变化幅度来看,2010 年到 2020 年,烧碱离子膜电解槽膜极距技术的减排成本下降幅度比较大,从 2010 年的 1481 元/ tCO_2 下降到 2020 年的 814 元/ tCO_2 。

分析结果显示,到 2015 年和 2020 年化工行业要实现既定的二氧化碳减排目标,需要在更为广泛的领域深入挖掘、推广、普及、开拓二氧化碳减排技术,包括二氧化碳回收利用技术。

化工行业被选的 12 项减排技术 2010 年至 2020 年减排成本变化曲线见图 1-3-5,2020 年的减排技术成本曲线见图 1-3-6。

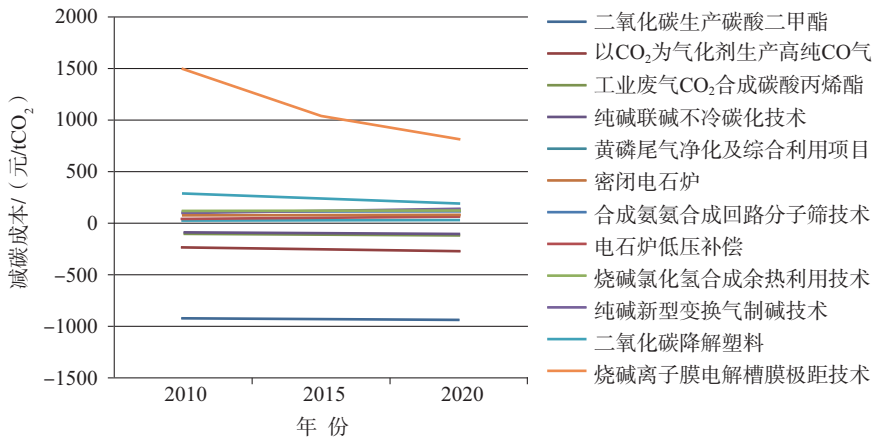


图 1-3-5 化工行业被选减排技术 2010—2020 年减排成本变化曲线

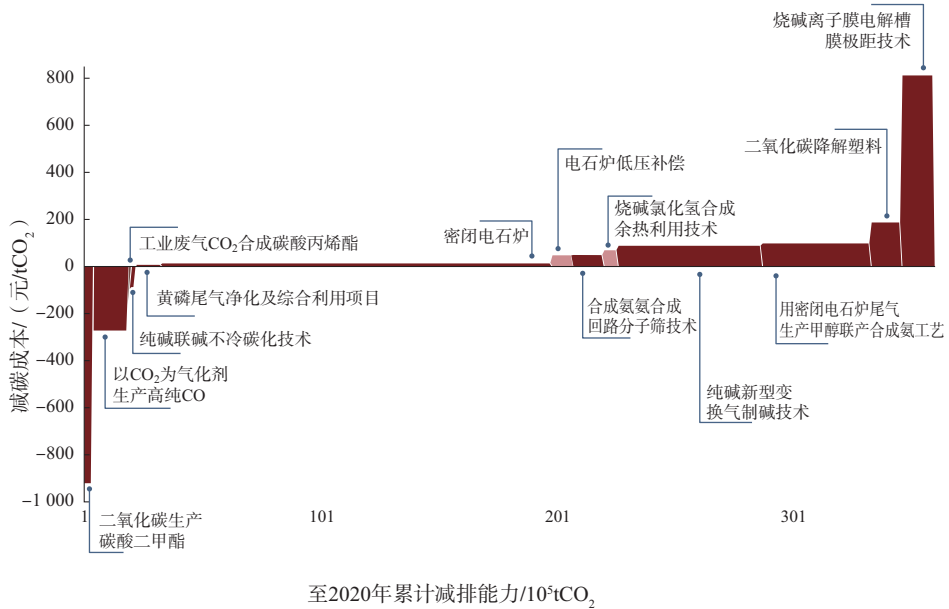


图 1-3-6 化工行业 2020 年减排技术成本曲线

3.2.3 有色金属工业

有色金属工业的单位增加值二氧化碳排放强度在工业部门中仅次于钢铁、建筑材料和化学工业,排在第四位,因此,有色金属工业既是高耗能行业也是二氧化碳减排潜力比较大的行业。行业报告分析结果显示,铝制品生产和铜冶炼是有色金属工业的能耗大户,而且以耗电为主。因此,在被选的 6 项减排技术中有 3 项与制铝相关。其中,铝电解槽新型导流结构节能组合技术与新型阴极结构铝电解槽技术是可以二选一的技术。

2020 年与 2010 年相比,铝电解槽新型导流结构节能组合技术与新型阴极结构铝电解槽技术的普及率将由 10% 提高到 30%;预焙铝电解槽电流强化与高效节能技术是中国自主开发的新技术,其普及率将由 8% 提高到 40%;氧气底吹炼铜技术的普及率将由 2.2% 提高到 15.5%;液态高铅渣直接还原技术的普及率将由 2.4% 提高到 26%;新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术(制镁)技术的普及率将由 17% 提高到 33%。

综上所述,有色金属工业通过推广普及被选择的 6 项减排技术,到 2015 年和 2020 年可实现的二氧化碳减排潜力分别为 1 606 万 t 和 1 946 万 t,分别占有色金属工业 2015 年和 2020 年二氧化碳预计排放量的 4% 和 5%。有色金属工业被选减排技术的减排潜力构成见图 1-3-7。

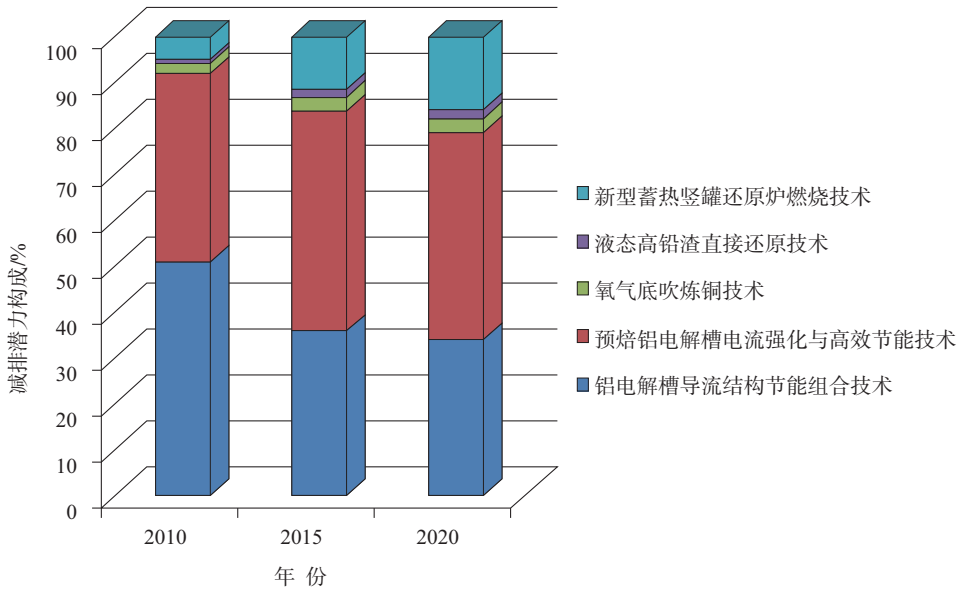


图 1-3-7 有色金属工业被选减排技术的减排潜力构成

按照课题组既定的减排技术成本分析方法,对有色金属工业被选择的 6 项减排技术的减排成本分析结果显示,2020 年边际减排成本为负值的减排技术的二氧化碳减排潜力占 95%,减排成本在 $-1\ 935 \sim -530$ 元/ tCO_2 ;氧气底吹炼铜技术的减排成本最为昂贵,高达 2 234 元/ tCO_2 ;液态高铅渣直接还原技术的减排成本为 563 元/ tCO_2 。2010—2020 年氧气底吹炼铜技术的减排成本从 4 000 元/ tCO_2 下降到 2 234 元/ tCO_2 ,下降幅度最大,其次是新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术从 $-1\ 100$ 元/ tCO_2 下降到 $-1\ 935$ 元/ tCO_2 。

有色金属工业被选技术 2010—2020 年减排成本变化曲线见图 1-3-8, 2020 年的减排技术成本曲线见图 1-3-9。

3.2.4 水泥行业

行业报告分析结果显示,2010 年水泥行业的二氧化碳排放量超过了 10 亿 t,约占全社会二氧化碳排放量的 13%,是中国二氧化碳减排潜力比较大的行业。2020 年水泥行业将继续在存量和增量生产线上推广纯低温余热发电技术,重视水泥窑协同处置污泥和生活垃圾技术,推广辊磨终粉磨水泥技术和电石渣替代石灰石制水泥技术,以达到减排二氧化碳的目的。

2020 年与 2010 年相比,水泥窑纯低温余热发电技术的普及率将由 69% 提高到 80%;应用水泥窑协同处置污泥技术处置污泥量从 37 万 t 增加到 1 763 万 t;应用水泥窑协同处置生活垃圾技术处置生活垃圾量从 31 万 t 增加到 1 512 万 t;

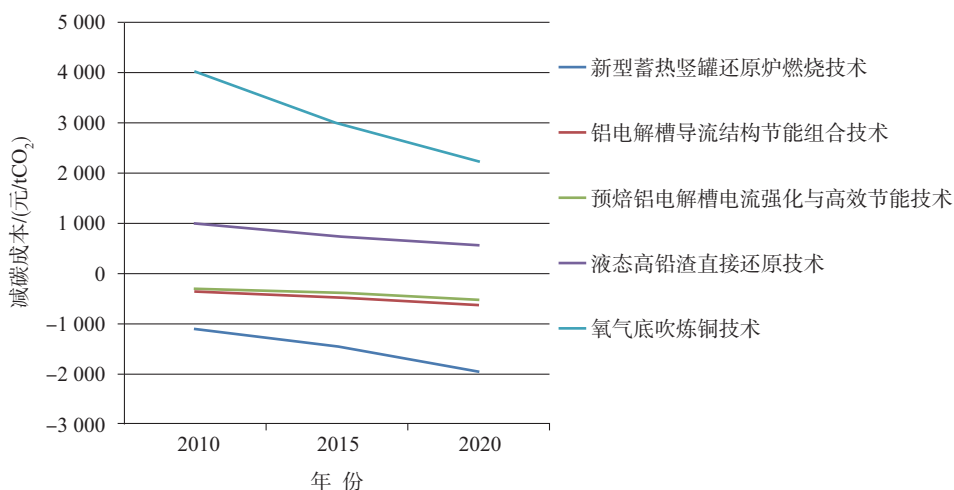


图 1-3-8 有色金属行业被选减排技术 2010—2020 年减排成本变化曲线

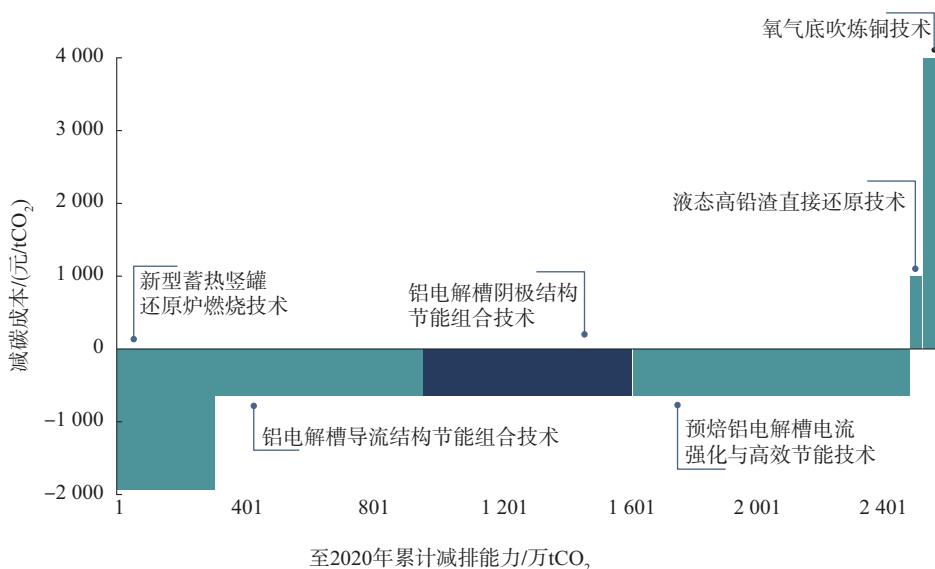


图 1-3-9 有色金属工业 2020 年减排技术成本曲线

辊磨终粉磨水泥技术的普及率由 0.3% 提高到 12.2%；应用电石渣替代石灰石制水泥技术将电石渣利用量由 388 万 t 增加到 3 488 万 t。

水泥行业通过推广普及上述被选减排技术,到 2015 年和 2020 年可实现二氧化碳减排潜力分别可达到 4202 万 t 和 7 638 万 t,占水泥行业 2015 年和 2020 年二氧化碳预计排放量的 3.4% 和 5.8%。

水泥行业被选减排技术的减排潜力构成见图 1-3-10。从中可以看到,2015 年和 2020 年,应用水泥窑协同处置污泥和生活垃圾技术的应用对被选技术减排潜力的贡献最大,2015 年占 50%,2020 年占 60%。

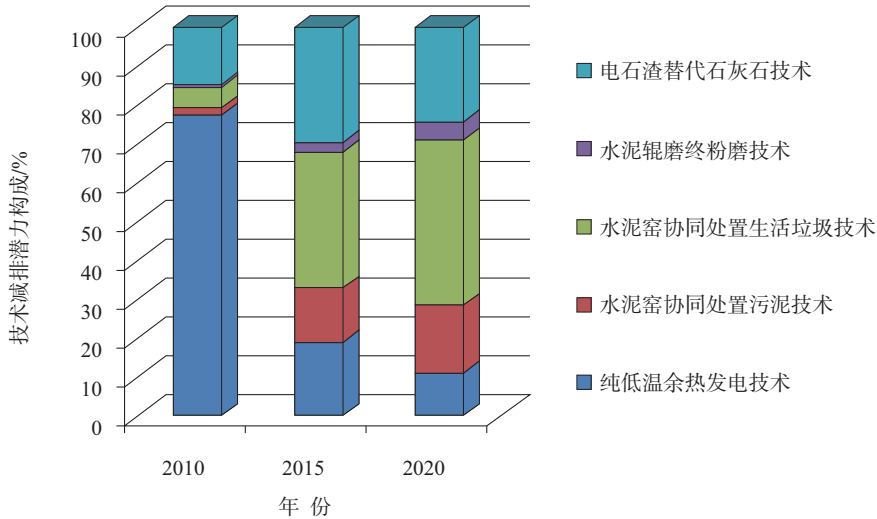


图 1-3-10 水泥行业被选减排技术的减排潜力构成

按照课题组既定的减排技术成本分析方法,水泥行业专家邀请了天津、南京和合肥的水泥设计研究院的工程设计人员,参与了对水泥行业所选减排技术的潜力和成本分析工作。分析结果显示,水泥行业选择的 5 项减排技术的成本在 439 ~ -3.82 元/tCO₂。其中纯低温余热发电技术的减排成本为 -3.82 元/tCO₂;应用电石渣替代石灰石制水泥技术为 439 元/tCO₂。

水泥行业被选技术 2010—2020 年的减排成本变化曲线见图 1-3-11,2020 年的减排技术成本曲线见图 1-3-12。

3.2.5 行业小结

综上所述,对钢铁、化工、有色金属和水泥四大行业 37 项被选减排技术评价的结果表明,通过实施 37 项减排技术,2010 年、2015 年和 2020 年可实现二氧化碳减排潜力分别为 1.59 亿 t、3.19 亿 t 和 4.20 亿 t(见图 1-3-13)。

2015 年可实现的 3.19 亿 tCO₂ 中,钢铁、化工、有色金属和水泥四大行业分别占 75.3%、6.5%、5.0% 和 13.2%;2020 年可实现的 4.20 亿 tCO₂ 中,钢铁、化工、有色金属和水泥四大行业分别占 68.6%、8.6%、4.6% 和 18.2%(见图 1-3-14)。

2010 年、2015 年和 2020 年通过正成本可实现的技术减排潜力分别为 1 135 万 t、5 899 万 t 和 9 927 万 t,分别占当年减排潜力的 7.1%、18.3% 和 23%。

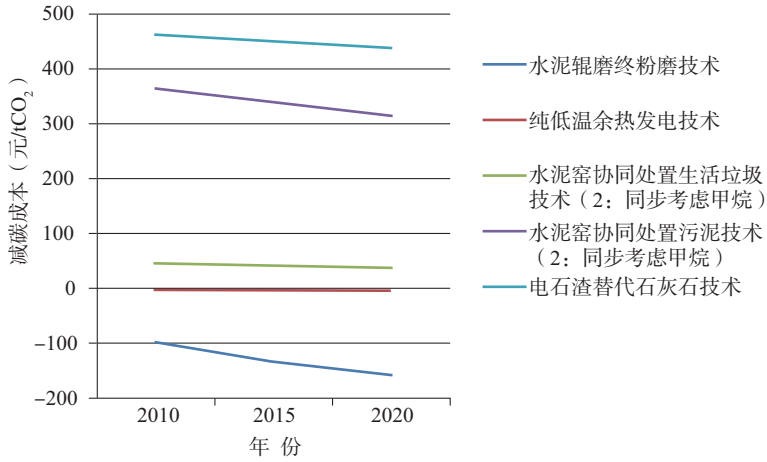


图 1-3-11 水泥行业被选减排技术 2010—2020 年减排成本变化曲线

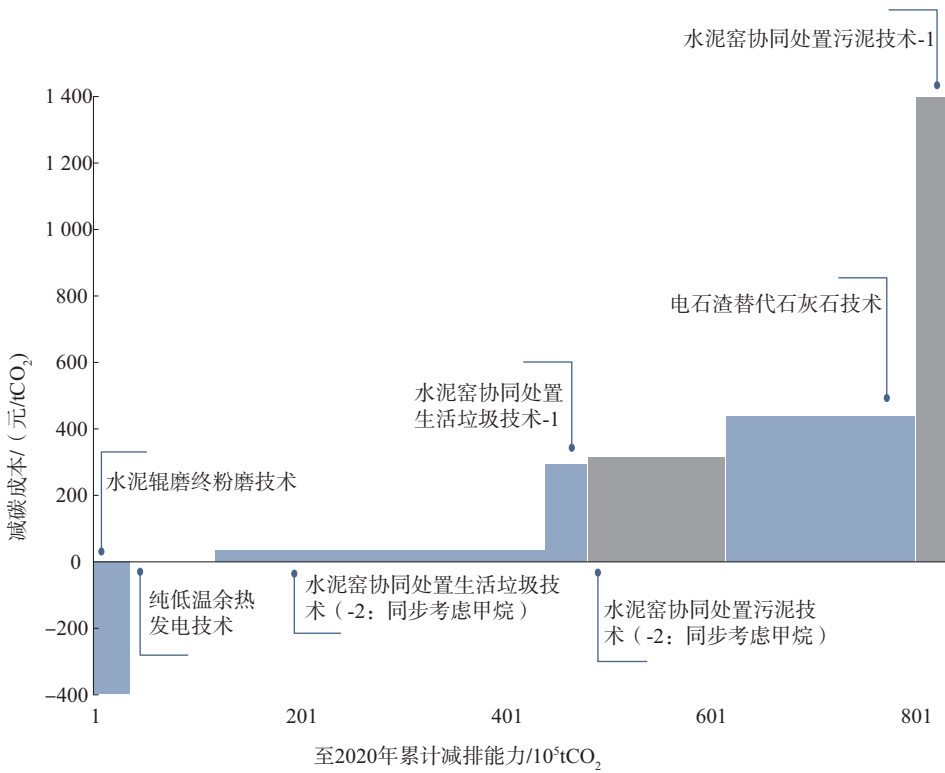


图 1-3-12 水泥行业 2020 年减排技术成本曲线

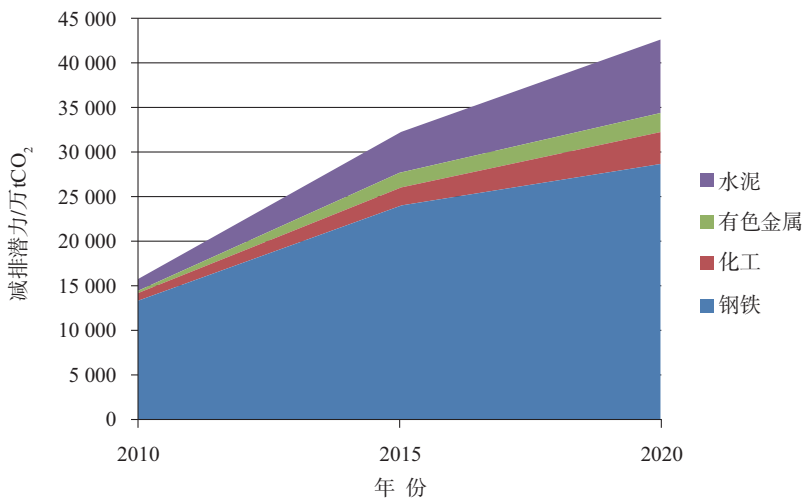


图 1-3-13 钢铁、化工、有色金属和水泥行业技术减排潜力

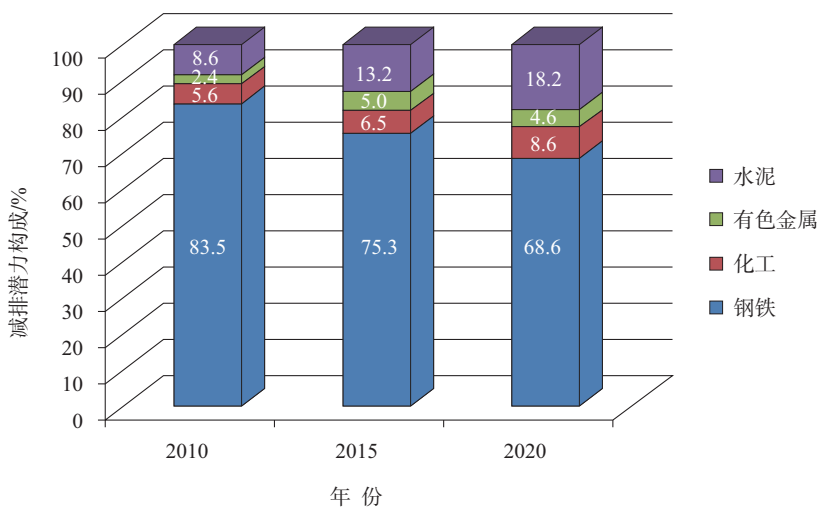


图 1-3-14 钢铁、化工、有色金属和水泥行业技术减排潜力构成

图 1-3-15 显示了 2020 年钢铁、化工、有色金属和水泥行业减排技术成本曲线汇总。

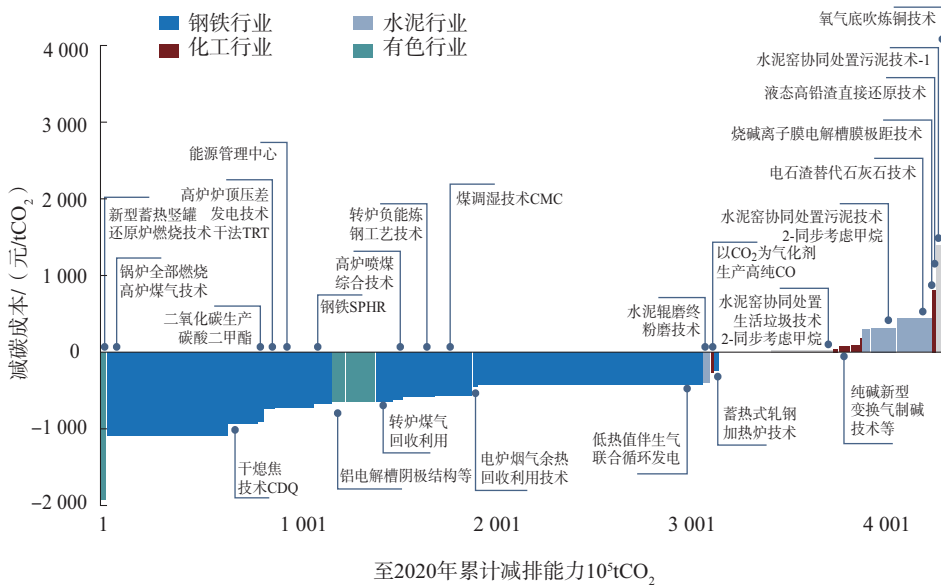


图 1-3-15 钢铁、化工、有色金属和水泥行业 2020 年减排技术成本曲线汇总

3.3 部门减排技术潜力和成本分析

3.3.1 建筑部门

(1) 关键减排技术成本分析

本报告中共考察了建筑领域内 34 项减排技术的边际减碳成本(以下简称减排成本),其中 23 项是 2020 年当年节能潜力超过 100 万 tCO₂ 的技术。其中四个领域中至 2020 年累计减排潜力最大的技术措施分别为:新建住宅实施“65% 节能标准”,新建公共建筑白炽灯淘汰,高效冰箱和农村户用沼气池。

图 1-3-16 为上述 34 项节能减排技术 2020 年的减排成本曲线,从中可以看出,其中有 18 项为减排成本为负的技术,且基本在建筑领域得到了广泛应用,具体技术的减排成本分析结果见表 1-3-1。由于这些技术得到了有力的政策支持,部分技术已经在“十一五”期间得到了规模化推广,并将在“十二五”及“十三五”期间继续发挥重要的节能减排作用;部分技术在“十二五”初期刚刚进行尝试(例如,新建建筑的白炽灯淘汰路线图、利用工业余热供暖、高效平板电视能效等级评定等),预计将在未来十年取得重要的节能减排效果。

同时可以发现,有 5 项技术在 2015 年、2020 年的减排成本由正变负,累计节能量的积极效应逐渐超过投资增量,因此这 5 项技术在 2016—2020 年要特别关注,相应政策也在“十二五”基础上做出相应调整。

需要特别说明的是,减排成本的计算强烈依赖于各项技术的普及率、节能

率和投资费用,部分技术若保持现行政策的外推趋势,普及率较小,节能收益并不显著,减排成本为正,但其节能潜力空间仍然较大,例如既有公共建筑围护结构改造;而部分技术由于现行具体工程价格较高原因,因此投资增量计算取值较大,减排成本为正,如公共建筑被动式设计,但如果采用更为合理的被动式设计方案,投资增量可能大大降低甚至为零,那么此项技术的减排成本为负,也是2015—2020年值得重点推广的技术之一。

同时,减排技术的实际应用效果与本研究减排成本的计算差异也与实际使用模式密切相关。例如家用高效节能空调的减排成本约为738.7元/tCO₂,相关学者^①通过测试分析发现:节能空调年运行小时数超过2000h才具备经济性,而中国中部和北部地区每户的空调年运行小时数远远不足2000h(例如北京不足500h),因而造成了节能空调不经济的现象。

表 1-3-1 2015 年、2020 年建筑部门关键减排技术的边际减排成本

单位:元/tCO₂

		技术内容	2015 年	2020 年
第 I 类:北方城镇 集中采暖	技术 A1	北方既有住宅围护结构改造	920.4	622.0
	技术 A2	新建住宅建筑实施“65% 节能标准”	350.8	181.3
	技术 A3	高效热电联产系统及相关技术	313.6	-51.2
	技术 A4	燃气锅炉替代燃煤锅炉	-101.8	46.4
	技术 A5	工业余热供暖再利用	-610.8	-341.3
	技术 A6	既有住宅建筑供热计量改造	378.2	26.5
	技术 A7	新建住宅建筑实施热表计量与相关技术	390.1	71.2
第 II 类:城镇住宅 除集中采暖外	技术 B1	基于 ICT 技术的住宅能源管理系统	4 303.4	3 298.5
	技术 B2	城镇住宅太阳能热水器	-82.7	-125.7
	技术 B3	高效洗衣机	122.7	-41.8
	技术 B4	高效冰箱	-161.1	-157.7
	技术 B5	高效平板电视	-567.2	-323.5
	技术 B6	高效家用空调器	2 747.8	1 846.7
	技术 B7	既有住宅白炽灯改造	-178.0	-177.7
	技术 B8	新建住宅白炽灯淘汰	-185.7	-155.9
第 III 类:公共建筑 除集中采暖外	技术 C1	被动式设计	360.2	249.6
	技术 C2	地源热泵	4 861.7	4 464.3
	技术 C3	温湿度独立控制	201.3	-23.4
	技术 C4	信息机房热管空调	-278.6	-253.8

^① 李兆坚. 中国城镇住宅空调生命周期能耗与资源消耗研究[D]. 北京:清华大学建筑技术科学系,2007.

续表

		技术内容	2015 年	2020 年
第Ⅲ类:公共建筑 除集中采暖外	技术 C5	既有公建空调系统节能改造	83.0	-93.9
	技术 C6	公建太阳能热水器	-112.7	-180.4
	技术 C7	既有公建白炽灯改造	-212.6	-239.1
	技术 C8	新建公建 LED 灯应用	630.3	28.4
	技术 C9	新建公建白炽灯淘汰	-226.2	-48.5
	技术 C10	能源监测与分项计量系统	185.7	-155.9
第Ⅳ类:农村住宅	技术 D1	被动式太阳房	941.6	834.5
	技术 D2	围护结构改造	905.7	774.7
	技术 D3	秸秆压缩	-248.2	-184.4
	技术 D4	节能吊炕	-390.7	-251.4
	技术 D5	高效土暖气	870.7	278.7
	技术 D6	农村太阳能热水器	509.9	116.3
	技术 D7	地板辐射供热系统	1 322.7	1 264.8
	技术 D8	高效节能灶	-174.6	-161.4
	技术 D9	户用沼气池	263.2	15.5

(2)关键减排技术潜力估算

表 1-3-2 为本研究最终计算的建筑行业 34 项关键技术 2015 年、2020 年当年减排潜力汇总,2015 年减排总潜力约为 1.88 亿 tCO₂,2020 年减排总潜力约为 4.14 亿 tCO₂。

表 1-3-2 2015 年、2020 年建筑行业关键减排技术减排潜力汇总

单位: MtCO₂

		技术内容	2015 年	2020 年
第Ⅰ类:北方城镇 集中采暖	技术 A1	北方既有住宅围护结构改造	6.84	14.04
	技术 A2	新建住宅建筑实施“65% 节能标准”	38.18	82.09
	技术 A3	高效热电联产系统及相关技术	7.05	15.85
	技术 A4	燃气锅炉替代燃煤锅炉	1.48	5.41
	技术 A5	工业余热供暖再利用	1.29	2.59
	技术 A6	既有住宅建筑供热计量改造	5.72	5.72
	技术 A7	新建住宅建筑实施热表计量与相关技术	5.16	11.81

续表

		技术内容	2015年	2020年
第Ⅱ类:城镇住宅 除集中采暖外	技术 B1	基于 ICT 技术的住宅能源管理系统	0.04	0.08
	技术 B2	城镇住宅太阳能热水器	5.48	10.96
	技术 B3	高效洗衣机	1.22	2.45
	技术 B4	高效冰箱	26.03	52.07
	技术 B5	高效平板电视	4.69	9.38
	技术 B6	高效家用空调器	5.24	10.48
	技术 B7	既有住宅白炽灯改造	2.11	2.54
	技术 B8	新建住宅白炽灯淘汰	3.52	14.01
第Ⅲ类:公共建筑 除集中采暖外	技术 C1	被动式设计	5.93	11.86
	技术 C2	地源热泵	0.41	0.41
	技术 C3	温湿度独立控制	0.23	0.70
	技术 C4	信息机房热管空调	0.22	0.44
	技术 C5	既有公建空调系统节能改造	3.02	6.04
	技术 C6	公建太阳能热水器	3.40	6.81
	技术 C7	既有公建白炽灯改造	8.45	10.14
	技术 C8	新建公建 LED 灯应用	0.01	0.02
	技术 C9	新建公建白炽灯淘汰	14.09	56.06
	技术 C10	能源监测与分项计量系统	5.93	11.86
第Ⅳ类:农村住宅	技术 D1	被动式太阳房	0.10	0.27
	技术 D2	围护结构改造	2.90	7.39
	技术 D3	秸秆压缩	1.34	4.04
	技术 D4	节能吊炕	4.63	9.26
	技术 D5	高效土暖气	1.12	3.51
	技术 D6	农村太阳能热水器	1.75	3.50
	技术 D7	地板辐射供热系统	0.02	0.05
	技术 D8	高效节能灶	7.91	17.12
	技术 D9	户用沼气池	18.51	37.01
合计			188.13	414.10

注:表中数据为 2015 年、2020 年当年减排潜力。

2020 年减排潜力排名前 10 位的节能措施(见表 1-3-3),其减排潜力总和超过减排总量的 70%,当年约可实现 3.1 亿 t 二氧化碳的减排潜力(见图 1-3-16)。

表 1-3-3 建筑部门 2020 年减排潜力前 10 位的减排技术的减排潜力和成本

	技术编号	技术措施	减排潜力/ (百万 tCO ₂)	边际减排成本/ (元/tCO ₂)
1	A2	新建住宅建筑实施“65% 节能标准”	82.1	181.3
2	C9	新建公建白炽灯淘汰	56.1	-221.3
3	B4	高效冰箱	52.1	-157.7
4	D9	户用沼气池	37.0	15.5
5	D8	高效节能灶	17.1	-161.4
6	A3	高效热电联产系统及相关技术	15.9	-51.2
7	A1	北方既有住宅围护结构改造	14.0	621.9
8	C1	被动式设计	11.9	249.6
9	B2	城镇住宅太阳能热水器	11.0	-125.7
10	C7	既有公建白炽灯改造	10.1	-239.1
合计			307.2	—

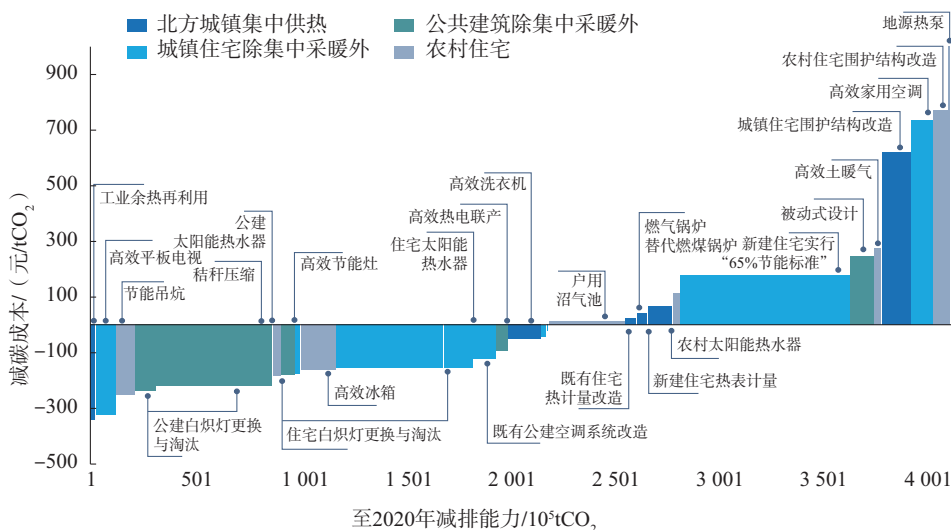


图 1-3-16 建筑部门 2020 年关键减排技术的减排成本曲线

3.3.2 交通部门

(1) 减排技术成本分析

本报告中共考察了交通部门内 17 项减排技术的减碳成本,其中 15 项均是 2020 年节能潜力超过 100 万 t 二氧化碳的技术。而其中燃油经济性和各子部门的结构调整措施最为重要,两者减排潜力综合超过总减排潜力的 80%。

图 1-3-17 为上述 17 项减排技术的减排成本与至 2020 年的减排成本曲线,从中可以看出,其中 7 项技术减排成本为负,且逐渐在交通部门得到大力推广与应用。每项技术 2015 年、2020 年减排成本见表 1-3-4。其中,有 3 项技

术在 2015 年、2020 年的减排成本由正变负,累计节能量的积极效应逐渐超过投资增量,分别是汽油机缸内直喷技术(GDI)、均质压燃技术(HCCI)和插电式混合动力汽车,需要在 2016—2020 年加大政策扶持。

与建筑部门相比,交通部门的关键减排技术减排成本较高,这主要与新技术高额的投资费用(包括研发费用、实验费用、技术设施建设费用和设备购置费用)以及有限的普及率直接相关。以电动汽车技术为例,据统计数据显示,电动车平均日均运营里程 80~90km,其中,单次充电运营里程最远为 130km,因此必须在一定的辐射半径下建造换电站或充电站。长安造 MINI 纯电动汽车比普通汽车每辆售价高出 10 万~15 万元,但单条换电站的基础设施建设至少需要 3 000 万元,而满足 50 辆电动车充电的充电站基础设施建设约需要 1 200 万元。这无疑加大了新技术的投资增量成本,因而提高了单位减排量减排成本。

表 1-3-4 2015 年、2020 年交通部门关键减排技术减排成本分析

单位:元/tCO₂

子部门	技术种类及编号		技术内容	2015 年	2020 年
公路	汽车燃油经济性	技术 A1	高效柴油轿车	1 840.7	-2 641.5
		技术 A2	均值压燃技术(HCCI) - 柴油车应用	2 040.4	-1 114.4
		技术 A3	均值压燃技术(HCCI) - 汽油车应用	-426.7	-1 941.2
		技术 A4	汽油机缸内直喷技术(GDI)	-1 081.1	-2 281.1
		技术 A5	高效汽油货车	-941.7	-2 250.6
		技术 A6	高效柴油货车	-312.6	-1 690.0
	混合动力汽车	技术 A7	插电式混合动力汽车	3 042.7	-966.1
		技术 A8	非插电式混合动力汽车	2 160.2	352.5
	纯电动车	技术 A9	纯电动车	5 300.2	4 128.8
	天然气汽车	技术 A10	天然气出租车	-983.2	-4 505
	替代燃料	技术 A11	纤维素乙醇	856.0	633.7
		技术 A12	生物柴油	285.0	37.7
	结构性调整	技术 A13	提高公交出行率	-241.9	-641.2
铁路	结构性调整	技术 B1	提高电气化率	1 509.8	1 405.0
水运	结构性调整	技术 C1	货运结构调整 - 提高内河航运承载比例	-2 851.0	-3 096.0
航空	降低单耗	技术 D1	综合低成本改造技术	3 615.2	771.5
		技术 D2	桥载设备替代辅助动力单元(APU)	1 796.0	746.2

(2) 减排技术减排潜力分析

表 1-3-5 为本研究最终计算的交通部门 17 项关键技术 2015 年、2020 年当年减排潜力汇总,2015 年减排总潜力约为 0.42 亿 t 二氧化碳,2020 年减排总潜力约为 1.13 亿 t 二氧化碳。

表 1-3-5 2015 年、2020 年交通部门关键减排技术减排潜力汇总

单位: MtCO₂

子部门	技术种类及编号	技术内容	2015 年	2020 年
公路	汽车燃油经济性	技术 A1 高效柴油轿车	0.26	2.37
		技术 A2 均值压燃技术(HCCI) - 柴油车应用	0.02	0.35
		技术 A3 均值压燃技术(HCCI) - 汽油车应用	4.00	14.68
		技术 A4 汽油机缸内直喷技术(GDI)	1.32	4.86
		技术 A5 高效汽油货车	0.09	0.32
		技术 A6 高效柴油货车	8.22	28.52
	混合动力汽车	技术 A7 插电式混合动力汽车	0.29	3.58
		技术 A8 非插电式混合动力汽车	0.70	7.03
	纯电动车	技术 A9 纯电动车	0.30	2.48
	天然气汽车	技术 A10 天然气出租车	1.52	2.28
	替代燃料	技术 A11 纤维素乙醇	2.02	4.04
		技术 A12 生物柴油	1.19	2.39
	结构性调整	技术 A13 提高公交出行率	6.54	15.88
铁路	结构性调整	技术 B1 提高电气化率	0.66	12.67
水运	结构性调整	技术 C1 货运结构调整 - 提高内河航运承载比例	11.50	16.98
航空	降低单耗	技术 D1 综合低成本改造技术	0.75	1.84
		技术 D2 桥载设备替代辅助动力单元(APU)	2.64	4.25
合计			42.01	113.10

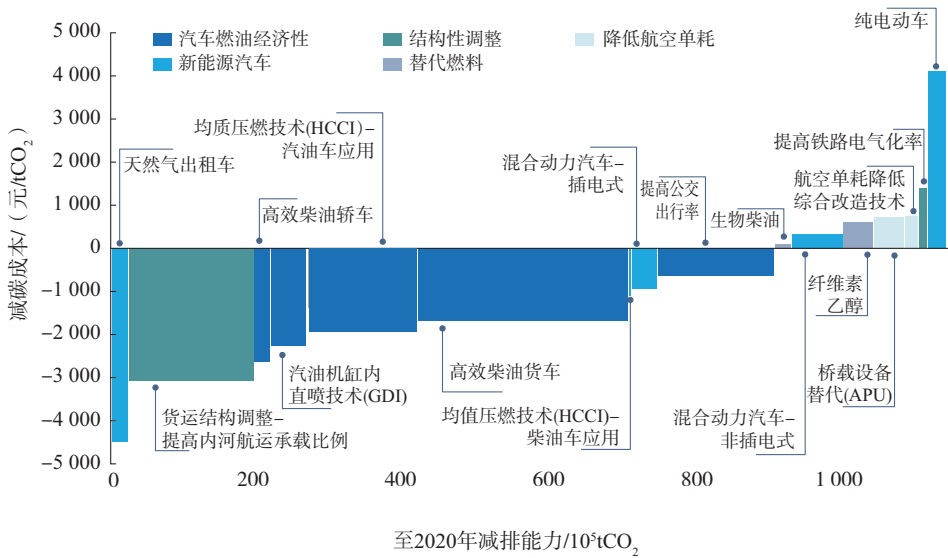


图 1-3-17 2020 年中国交通运输业关键减排技术减排潜力与成本分析

4 技术减排潜力贡献率分析

4.1 对本行业和部门二氧化碳排放的影响

(1) 四个工业行业

目前,由于国家尚没有将2015年单位GDP碳强度下降目标和2020年GDP碳强度比2005年下降40%~45%的减排目标分解到行业 and 部门层面,因此在本研究中只能根据行业对其2015年和2020年二氧化碳排放量的估算值来看四个行业被选技术的减排潜力对行业二氧化碳排放的影响。

钢铁行业:2020年钢铁行业被选的13项减排技术的减排潜力共计2.87亿t二氧化碳,其中低热值伴生气联合循环发电的减排潜力占40%,锅炉全部燃烧高炉煤气、煤调湿和转炉负能炼钢技术分别占22%、6.7%和5.7%,这4项技术的减排潜力占减排总潜力的74.4%。其余25.6%的减排潜力主要由高炉喷吹煤粉、高炉余压发电(干法)、干熄焦、转炉煤气回收利用、烧结合热回收等技术贡献。

钢铁行业专家在其行业报告中估算了钢铁行业2015年和2020年的二氧化碳减排目标分别为5.9亿t和7.4亿t,如果钢铁行业被选的13项减排技术的减排潜力得以实现,对其2015年和2020年减排目标的贡献率可分别达到41%和39%。

化工行业:2020年化工行业被选的12项减排技术的减排潜力共计3152万t二氧化碳,其中密闭电石炉的减排潜力占52%,新型变换气制纯碱技术占19%,年减排潜力超过100万t的合成氨合成回路分子筛、烧碱离子膜电解槽膜极距、黄磷尾气净化及综合利用、二氧化碳降解塑料和以二氧化碳为气化剂生产高纯一氧化碳气等5项技术的减排潜力占19%。其余10%的减排潜力主要由烧碱氯化氢合成余热利用、纯碱联碱不冷碳化、电石炉低压补偿、工业废气二氧化碳合成碳酸丙烯酯和二氧化碳生产碳酸二甲酯等技术贡献。

化工行业如按照其2015年和2020年单位增加值碳强度比2010年分别下降40%和50%估算,其被选减排技术的减排潜力仅占其2015年减排目标的4%和2020年减排目标的5%。

有色金属行业:2020年有色金属行业被选的5项减排技术的减排潜力共计1946万t二氧化碳,其中预焙铝电解槽电流强化与高效技术的减排潜力占45%,铝电解槽导流结构技术占34%,新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术占16%。其余5%的减排潜力由氧气底吹炼铜和液态高铅渣直接还原技术贡献。

有色金属行业专家在报告中给出了其 2015 年和 2020 年二氧化碳排放量数据,据此分析,其被选减排技术的减排潜力仅占其 2015 年二氧化碳排放量的 4% 和 2020 年排放量的 5%。

水泥行业:2020 年水泥行业被选的 5 项减排技术的减排潜力共计 7 637 万 t 二氧化碳,其中水泥窑协同处置生活垃圾技术的减排潜力占 42%,电石渣替代石灰石技术占 24%,水泥窑协同处置污泥技术 18%。其余 16% 的减排潜力由纯低温余热发电和水泥辊磨终粉磨技术贡献。

水泥行业专家在报告中给出了其 2015 年和 2020 年二氧化碳排放量数据,据此分析,其被选减排技术的减排潜力仅占其 2015 年二氧化碳排放量的 3.4% 和 2020 年排放量的 5.8%。

(2) 建筑和交通部门

建筑和交通部门则应用情景分析方法,分析了各类型减排技术的贡献度。

建筑部门:建筑部门 2015 年基准情景的总二氧化碳排放量约为 17.8 亿 t。有效实施 34 项节能减排措施后,则四个子领域共可以实现 1.88 亿 t 二氧化碳的减排潜力,因此 2015 年减排情景下的总二氧化碳排放量将下降到 15.9 亿 t。北方城镇集中采暖、城镇住宅除采暖外、公共建筑除采暖外与农村住宅四个子领域的减排贡献率分别为 34.9%、25.7%、19.2% 和 20.4% (见图 1-4-1)。

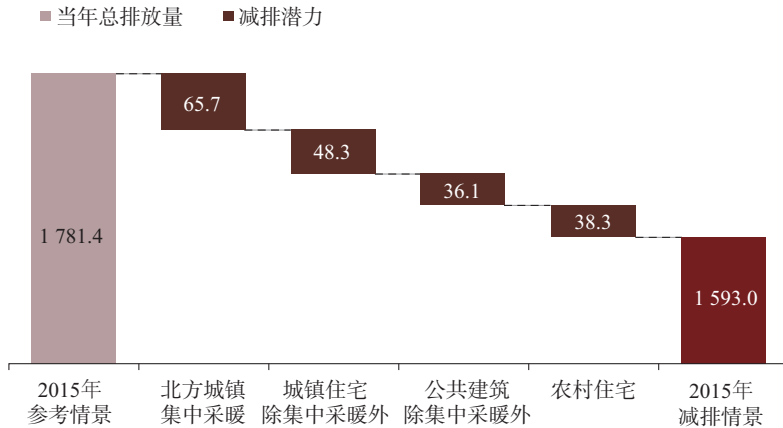


图 1-4-1 建筑部门 2015 年基准情景 CO₂ 排放量与减排情景减排潜力 (单位: MtCO₂)

2015 年,在北方城镇集中采暖领域的 65.7Mt 二氧化碳减排潜力中,新建建筑实施节能标准、高效热电联产技术、住宅安装热量表、既有住宅围护结构改造措施对减排潜力的贡献率分别为 58%、11%、16.5% 和 10%。其他 4.5% 为利用工业余热供暖和供热锅炉改造等措施的贡献。

在城镇住宅除集中采暖外领域的 48.3Mt 二氧化碳减排潜力中,高效冰箱

的贡献占 54%。高效家用空调、太阳能热水器和高效平板电视的贡献占 32%，其他 14% 的贡献来自淘汰白炽灯和利用高效洗衣机。

在公共建筑除集中采暖外领域的 36.1Mt 二氧化碳减排潜力中，淘汰白炽灯贡献占 63%，太阳能热水器、高效集中空调、地源热泵等技术措施贡献占 37%。

在农村住宅领域的 38.3Mt 二氧化碳减排潜力中，户用沼气池的贡献占 48%，高效节能灶占 21%，节能炕灶占 12%，其余 19% 分别来源于地板辐射供热系统、太阳能热水器、高效土暖气、围护结构改造等技术措施。

综上所述，2015 年减排潜力排名前 10 位的节能措施，其减排潜力总和已超过减排总量的 70%，约可实现 1.3 亿 t 二氧化碳节能潜力，此 10 项节能措施依次为：新建住宅实施“65% 节能标准”(A2)，高效冰箱推广(B4)，农村户用沼气池(D9)，新建公建白炽灯淘汰(C9)，既有公建白炽灯替换(C7)，高效节能灶(D8)，高效热电联产及相关技术(A3)，既有住宅围护结构改造(A1)，公建被动式设计(C1)和既有住宅热计量改造(A6)。

建筑部门 2020 年基准情景的总二氧化碳排放量约为 21.6 亿 t。有效实施 34 项节能减排措施后，则四个子领域共可以实现 4.14 亿 t 二氧化碳的减排潜力。因此，2020 年减排情景下的总二氧化碳排放量将下降到 17.5 亿 t。北方城镇集中采暖、城镇住宅除采暖外、公共建筑除集中采暖外与农村住宅四个子领域的减排贡献率分别为 33.2%、24.6%、22.3% 和 19.9% (见图 1-4-2)。

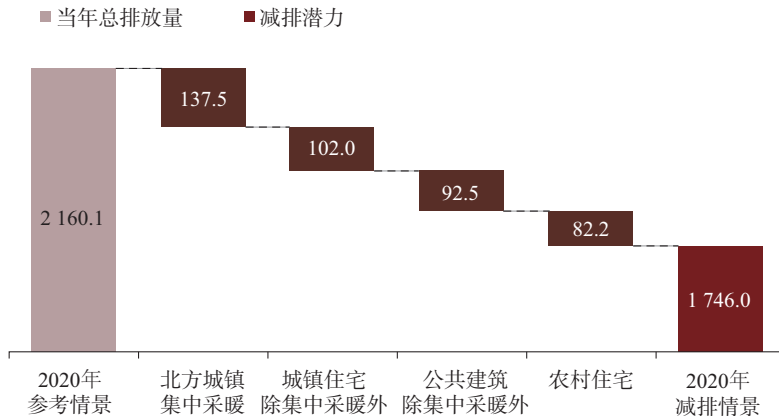


图 1-4-2 建筑部门 2020 年基准情景 CO₂ 排放量与减排情景减排潜力 (单位: MtCO₂)

2020 年减排潜力排名前 10 位的减排措施的减排潜力总和超过减排总量的 70%，约可实现 3.1 亿 t 二氧化碳节能潜力。

交通运输部门:2015 年中国交通运输业参考情景总排放约为 9.08 亿 t 二氧化碳，减排情景总排放约为 8.66 亿 t 二氧化碳，较参考情景减排 4.6%，其中

燃油经济性、结构性调整、新能源汽车与替代燃料和降低航空单耗四个方面的减排贡献率分别为33.1%、44.5%、14.3%和8.1% (见图 1-4-3),可见汽车燃油经济性和交通运输结构性调整仍然起到决定性作用。新能源汽车与替代燃料,由于在未来五年受到推广量限制,其减排贡献率仍有较大空间提高。

从各子部门的具体减排措施来评测,减排潜力最大的 5 项技术依次为:提高内河航运承担货运的比例(技术 C1)、高效柴油货车(技术 A6)、提高公交出行率(技术 A13)、均值压燃技术 HDDI - 汽油车应用(技术 A3)以及桥载设备替代辅助动力单元 APU(技术 D2),总减排潜力约为 0.38 亿 t 二氧化碳,超过 2015 年交通运输业总减排潜力的 90%。

2020 年中国交通运输业参考情景总排放约为 10.65 亿 t 二氧化碳,减排情景总排放约为 9.52 亿 t 二氧化碳,较参考情景减排 10.6%,其中燃油经济性、结构性调整、新能源汽车与替代燃料和降低航空单耗四个方面的减排贡献率分别为 45.2%、30.2%、19.3%和 5.4% (见图 1-4-4)。新能源汽车与替代燃料,由于技术和市场的日趋成熟,其推广量迅速扩大,减排潜力有所增长。

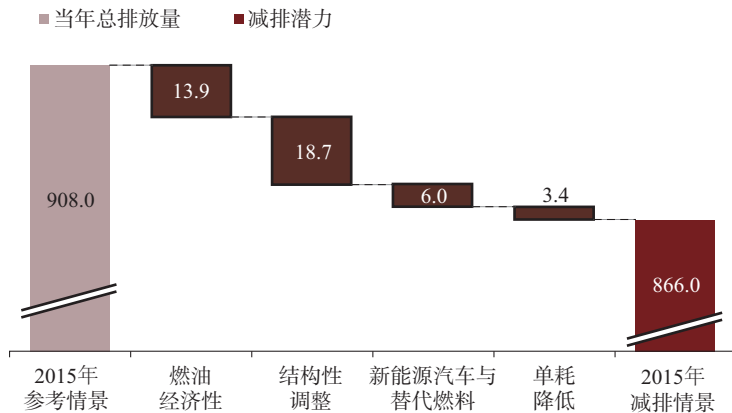


图 1-4-3 2015 年中国交通运输业主要减排措施的减排潜力 (单位: MtCO₂)

从各子部门的具体减排措施来评测,减排潜力最大的 5 项技术依次为:高效柴油货车(技术 A6)、提高内河航运承担货运的比例(技术 C1)、提高公交出行率(技术 A13)、均质压燃技术 HDDI - 汽油车应用(技术 A3)以及非插电式混合动力汽车(技术 A8),总减排潜力约为 0.83 亿 t 二氧化碳,超过 2020 年交通运输业总减排潜力的 70%。

4.2 对国家 GDP 碳强度下降减排目标的影响

为了分析行业和部门被选技术的二氧化碳减排潜力对国家 GDP 碳排放强度下降目标的影响,本研究设定了三个情景。

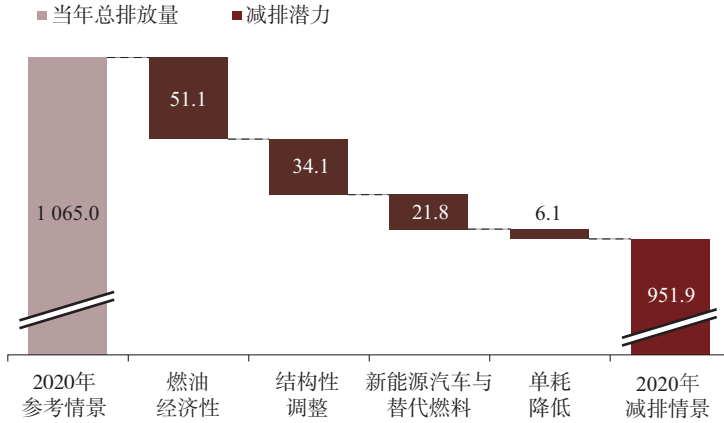


图 1-4-4 2020 年中国交通运输业主要减排措施的减排潜力(单位: MtCO_2)

基准情景: GDP 碳强度冻结情景, 根据实际情况, 2010 年中国单位 GDP 碳强度已由 2005 年的 $2.95\text{tCO}_2/\text{万元}$ 下降到 2010 年的 $2.33\text{tCO}_2/\text{万元}$, 在此基础上, 将 2020 年单位 GDP 碳排放强度在冻结在 2010 年水平上。

碳强度下降 40% 情景(简称 40% 情景): 按照国家既定的减排目标, 2020 年单位 GDP 二氧化碳强度相比 2005 年下降 40%。

碳强度下降 45% 情景(简称 45% 情景): 按照国家既定的减排目标, 2020 年单位 GDP 二氧化碳强度相比 2005 年下降 45%。

三个情景的 GDP 年均增长率设定相同, 即 2010—2015 年 GDP 年均增长率设定为 8%; 2015—2020 年 GDP 年均增长率设定为 7%。不同情景下的 GDP 碳强度见图 1-4-5, 由此估算得出的三个情景下全国 2015—2020 年的二氧化碳排放量, 见图 1-4-6。

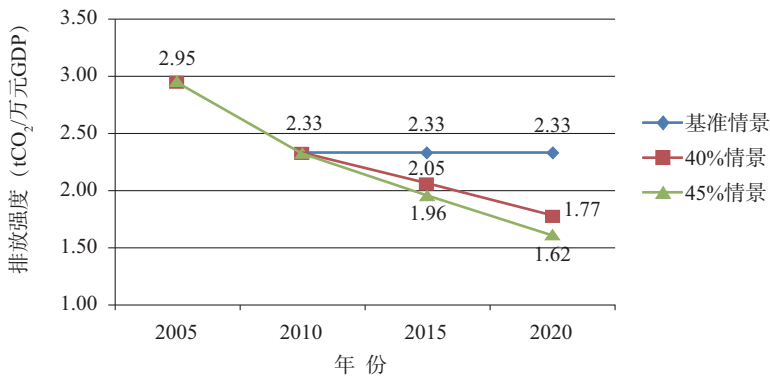


图 1-4-5 三个不同情景下单位 GDP 碳排放强度

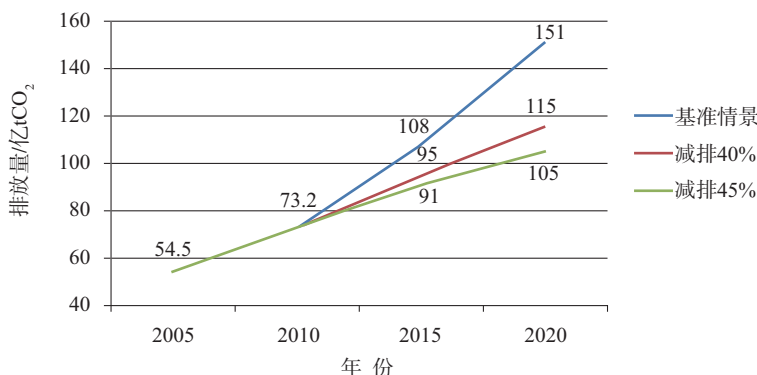


图 1-4-6 三个不同情景下 CO₂ 排放量

由图 1-4-6 可知,在基准情景下,中国二氧化碳排放量由 2005 年的 54.5 亿 t 分别增加到 2010 年的 73.2 亿 t,2015 年的 108 亿 t 和 2020 年的 151 亿 t。如果实现 2020 年与 2005 年相比单位 GDP 碳强度下降 40% 的减排目标,则 2015 年和 2020 年的二氧化碳排放量分别为 95 亿 t 和 115 亿 t。如果实现 2020 年与 2005 年相比单位 GDP 碳强度下降 45% 的减排目标,则 2015 年和 2020 年的二氧化碳排放量分别下降到 91 亿 t 和 105 亿 t。

相对于基准情景若实现 40% 的减排目标情景,到 2015 年和 2020 年需分别减排二氧化碳 13 亿 t 和 36 亿 t;相对于基准情景若实现 45% 的减排目标情景,到 2015 年和 2020 年需分别减排二氧化碳 17 亿 t 和 46 亿 t。

基于图 1-4-1 至图 1-4-3 可计算出不同情景的减排量,进而即可简化计算出本课题选择的行业和部门减排技术的减排潜力对实现减排目标的影响(见表 1-4-1)。计算结果显示,2015 年技术减排潜力占实现 40% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 42%,占实现 45% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 26%;2020 年技术减排潜力占实现 40% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 32%,占实现 45% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 21%。

表 1-4-1 行业和部门被选减排技术的减排潜力对实现减排目标的影响

年 份	2015	2020
基准情景与 40% 的减排目标情景相比需要减排的 CO ₂ /亿 t	13	17
基准情景与 45% 的减排目标情景相比需要减排的 CO ₂ /亿 t	36	46
本研究在四个行业和两个部门选择的减排技术的减排潜力/亿 t	5.49	9.47
减排技术的减排潜力占实现 40% 的减排目标情景减排量的比重/%	42	32
减排技术的减排潜力占实现 45% 的减排目标情景减排量的比重/%	26	21

4.3 不确定性问题

由于对各部门减排技术的认知、识别、选择存在一定的局限性,特别是无法预测未来可能产生的更先进的技术;对技术本身的减排率、技术的普及率、技术的经济特性等的判断受到缺乏系统数据支持等因素的影响,在分析技术的减排潜力和成本过程中均存在扩大和缩小技术减排效果以及提高或降低技术减排成本等问题,进而导致对减排技术潜力和成本分析结果的不确定性。这些问题有待在以后的研究和实践过程中加以克服和完善。

5 推广和普及减排技术的障碍分析

很多种类的技术都可以带来减少二氧化碳排放的效果。对中国而言,从目前到 2020 年在重点耗能部门和行业,提高能源利用效率、降低化石能源和电力消费、余能和废弃物的回收和综合利用以及二氧化碳回收利用等技术是主要的节能和减排技术。因此,减排技术推广和普及的障碍在很大程度上等同于节能技术推广和普及的障碍。

事实上,在全球范围内的研究人员一直都没有停止过总结提高能源效率的障碍、分析产生障碍的原因和探讨克服障碍的对策。IEA 在近期发表的研究报告中对提高能效在 OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, 经济合作与发展组织, OECD) 国家的障碍进行了重新梳理,总结出九大障碍 (IEA, 2011), 世界可持续发展工商理事会 (WBCSD) 认为障碍来自 10 个方面 (WBCSD, 2011); PEW 中心对大公司能效改进的障碍做了更为详细的分析,按企业内部运作、供应链管理、产品与服务三方面共总结出 19 个障碍 (Prindle, 2010); 国内研究人员把障碍分为认识障碍、技术障碍和融资障碍三大类; 泰国工业行业能效提高障碍调查显示,节能技改投资的不确定性、技改效果的不确定性和为技改中断生产是工业企业认为的首要障碍,中小企业普遍反映是缺乏融资渠道,而企业内部缺乏节能知识和人才也是企业不敢投资节能技改的另一重要原因 (Hasanbeigi, 2010)。

5.1 国外相关文献调研

IEA 在近期发表的研究报告中对提高能效在 OECD 国家的障碍进行了重新梳理,总结出九大障碍 (IEA, 2011):

- (1) 初始投资成本高;
- (2) 主要负责人不重视;
- (3) 投资者不了解能效产品;
- (4) 风险披露不足;
- (5) 贴现率问题;
- (6) 外部效益难以量化;
- (7) 激励难以在承租人和业主之间分割;
- (8) 对节能技术缺乏认识;
- (9) 缺乏合格的技术人员。

IEA 认为,激励难以在承租人和业主之间分割、对节能技术缺乏认识和缺

乏合格的技术人员三大障碍主要发生在建筑能效提高领域,其他障碍存在于各个行业。

世界可持续发展工商理事会(WBCSD)总结了推广能效技术的主要障碍和产生障碍的原因,见表1-5-1。

表 1-5-1 WBCSD 对推广能效技术的主要障碍分析

障碍	产生障碍的原因
能源价格低或多变	1. 对高碳能源的补贴 2. 价格不含环境成本
初始投资成本高	3. 缺乏资金
已有技术扩散缓慢	4. 缺乏采用技术的技能、知识和支持 5. 分裂的和非综合性的工业结构
传统的商业模式	6. 缺乏鼓励能源公司降低客户消费的措施
客户以及能源需求的多样性	7. 没有一个技术可以解决所有问题
建筑的初始投资成本高和回收期长	8. 投资居民建筑或新汽车的资金缺乏,多数消费者只看重当前的消费费用
缺乏信息	9. 关于未来能源价格和可选的能效措施的信息缺失或不完整
激励分割	10. 做节能决定的人不获利(例如建筑物所有者和承租人)
投资的不确定性和风险	11. 不确定性增加额外费用
消费者行为	12. 能效投资的优先权低 13. 缺乏对能源支出的关注和相关信息
投资成本高于预期	14. 项目成本没有包括所有的交易成本

来源:WBCSD,2011。

比较 IEA 和 WBCSD 的分析可以发现,尽管对障碍的提炼和总结程度有差异,但其中很多内容的实质是相同的,WBCSD 更侧重从公司的角度分析问题,公司包括能源服务公司、节能设备生产公司和能源供应公司。

针对企业特别是工业企业能效改进,国内有些研究人员把障碍分为认识障碍、技术障碍和融资障碍三大类。认识障碍指企业高管对节能减排的重要性和紧迫性的认识还有待提高,也就是 IEA 提出的主要负责人不重视。技术障碍包括企业缺乏权威、有效的信息,很难判断技术的真假,对技术的选择和风险评估把握不准;技术的拥有者、设备供应商或节能服务公司可能夸大节能效果,实施后节能量远低于可研报告中的数据,造成不良影响,这与 IEA 总结的风险披露不足、初始投资成本高和贴现率问题有关。融资障碍主要针对银行对节能项目的评估把握不准、担心贷款无法回收而对节能技改项目的融资要求过于谨慎,

也就是投资者不了解能效产品。

泰国工业行业能效提高障碍调查显示,节能技改投资的不确定性、技改效果的不确定性和为技改中断生产是工业企业认为的首要障碍,中小企业普遍反映是缺乏融资渠道,而企业内部缺乏节能知识和人才也是企业不敢投资节能技改的另一重要原因(Hasanbeigi,2010)。

PEW 中心(美国的一个非营利机构)对大公司能效改进的障碍做了更为详细的分析,按企业内部运作、供应链管理、产品与服务三方面共总结出如下 19 个障碍(Prindle,2010),见表 1-5-2。

表 1-5-2 PEW 对能效改进障碍的分析

障碍	产生障碍的原因
1. 缺乏项目资金	节能项目竞争力低于其他具有优先权的项目
2. 过短的回收期要求	公司对节能投资的回报要求太高,一些有回报的项目不在考虑范围内;受公司发展的可持续性影响,对节能投资缺乏动力
3. 主要负责人不重视	公司用能设备采购和用能设备管理部门不如负责支付能源费用的部门重要
4. 缺乏人力和经验开发项目	公司没有专职人员和具有合适专业技能的人员实施能效项目
5. 缺乏把握节能机会的能力	公司自身没有专业人员来确定节能机会,公司的节能项目可能只集中在一个分公司进行,没有扩展到全公司
6. 技术的可获得性	新的节能技术尚未市场化或仍处于研发阶段,缺少成熟技术的供应商
7. 计量困难	缺乏能源消费计量,导致确定、评价和核查节能量具有挑战性。由于能源对公司运行的各个方面都有直接或间接的影响,认为测量很复杂
8. 无法进入公司大宗采购	节能不是整个公司优先考虑的问题,通常只是少数部门或几个人的责任,造成实施困难
9. 缺少高管的回应和承诺	集团层面和高管不将能效作为优先考虑的问题或认为能效不在他们的责任范围内
10. 企业文化固有的价值观不包括能效	企业日常运作不包括能效改进和创新
11. 收集和管理供应链数据困难	由于成本高、保密和能源数据收集复杂,供货商可能不想测量、收集和共享数据,因此很难从供货商处获得数据。公司可能发现如果想自己测量供应链的碳足迹,要面对大量并且多样化的供货商,只好放弃

续表

障碍	产生障碍的原因
12. 缺乏把握在供应链方面节能机会的能力	由于缺乏通过节能降低成本和其他协同效益的意识,供货商不对节能做出承诺
13. 供货商缺乏能效的知识和技能	供货商没有专业技能去确定和实施能效项目
14. 对供应商的能效政策、目标缺乏足够的检测和核查	公司对供货商没有直接控制权,导致其实施能效措施和监测能源数据十分困难
15. 缺乏产品信息	顾客无法获得节能产品的成本效益和节能量的信息
16. 初始成本高、顾客支付意向低	很难说服顾客先支付较高的成本以换取日后的回报
17. 工程障碍	公司通过扩大规模来应付技术局限而不是设计更多的节能产品
18. 规则障碍	当利润与能源销售量挂钩,电力局没有积极性鼓励客户提高能效
19. 销售困难	当客户做出购买决定时,能效不是优先考虑的因素,推进能效产品和服务的销售是一个挑战

国内外对节能障碍的研究表明,尽管对节能障碍的分类和表述有所不同,但各国研究人员对障碍的认识基本达成共识,许多障碍具有共性,存在于很多国家,只是某些障碍在一些国家或特定时期表现得更为突出。受经济发展水平、技术研发能力、公众教育程度等多方面因素影响,发展中国家推广节能减排技术的障碍更多一些。但一些表述相同的障碍对于不同的主体意义不同,例如初始投资成本高这一障碍,我们从20世纪80年代出版的文献中就能发现它的存在,直到今天仍然是节能的一大障碍。同样是购买节能产品,对于家庭、政府机构和非营利组织是一种消费行为,节能意识、支付能力及预算是决定是否购买的主要因素,很少考虑到多支付的成本几年可以从节约的能源支出中回收;而对于工业企业,这种购买是一种投资行为,投资回收期的长短是重要的考虑因素。因此,某项政策对不同对象的作用和影响力度可能差别很大。

5.2 本项目部门和行业专家对障碍的分析

来自建筑和交通部门,钢铁、有色金属、水泥和化工行业的专家根据本部门和本行业的实际情况对减排技术推广与普及的障碍进行了分析,在部门和行业研究报告的基础上,表1-5-3用障碍分析常用的表述方式汇总了部门和行业专家对障碍进行分析的结果。

表 1-5-3 部门和行业专家对障碍分析结果汇总

部门和行业	减排技术推广与普及的障碍
建筑	<ol style="list-style-type: none"> 1. 初始投入较高。如工业余热再利用供暖,其设备及管网投资巨大,工程方案需要依照工业工艺余热性质与周围居民小区规划“量身定做”,这些都无形中加大了与替代技术(小区区域锅炉房)相比的投资,影响了技术推广量。 2. 能源价格体系尚待完善。如热电联产技术及新能源技术,由于现有项目的并网与上网电价尚缺乏法律体系保障,因此存在部分项目“上马”后遭遇了实际运行中的种种阻碍。 3. 节能评价体系存在缺陷。每种节能措施的实际节能效果,都应该来源于实际能耗运行数据,而非节能技术的简单堆砌。 4. 重设计,轻运行。本研究中的多项关键技术,如高效热电联产及其相关技术,既有公建空调系统节能改造等,都缺乏具备一定专业知识的运行管理人员进行精细化运行管理,以至于不能保障技术实施效果。 5. 缺乏建筑全过程管理体系和目标责任制。“设计”→“运行”→“修正设计”→“再运行”这种螺旋式上升方式,是节能技术的设计初衷能够充分落实并实现节能效果的保障。然而,现有建筑体制与方法中,由于“设计”与“运行”的独立,导致了很多优秀的节能设计想法并没有得到充分落实,而“运行”中的宝贵经验也没有能够及时反馈给设计环节。因此,建立和完善全过程管理体系尤为重要
交通	<ol style="list-style-type: none"> 1. 核心技术、高新技术与世界先进水平仍存在差距。中国汽车、航空与船舶等的传统发动机高新节能技术创新不足,核心技术和零部件制造工艺仍存在依赖国外企业的现象,自主品牌发展受限;而新能源汽车的研究内容和研究思路不够清晰,对有关技术的基础性研究不足,积累经验相对较少。 2. 新能源汽车、替代燃料规模受限,成本较高。目前,PEV 和 HEV 所使用的蓄电池组的价格依然较高,虽然国家斥巨资补助,并出台了相应的财政政策,但由于其规模受限,成本难以大幅度降低,多数消费者仍然难以承受,制约了市场的发展。 3. 基础配套设施亟待完善。如与电动汽车配套的充电站、充电桩、充电接口等城市基础设施和服务体系匮乏,严重影响了电动汽车使用人群的出行半径,进而影响了电动汽车的产业发展和推广量。 4. 公共交通发展相对迟缓,同时受到机动车保有量激增的冲击。中国多数城市的公交分担率不足 15%,虽然部分城市的公交优先政策陆续出台,公交基础投资逐渐加大,但公共交通发展仍然相对迟缓。随着中国城市机动车保有量的不断激增,加之部分城市交通规划欠佳,导致交通拥堵现象严重,使得公共交通出行速度缓慢,从而严重影响了市民选择公共交通的比例。 5. 缺乏对产品、技术及项目的科学管理与实际效果认证体系。实际调研结果发现,中国 2008 年启动的“十城千辆”示范工作的实际效果并不理想,多数示范城市存在盲目上报指标、示范工程获得审批后不落实等“形象工程”现象,新能源汽车、替代燃料等示范项目存在管理真空现象,亟须有关部门落实责任制、建立并完善监管和评价体系、实事求是、积极认真地以实际节能量说话

续表

部门和行业	减排技术推广与普及的障碍
钢铁	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技术的可获得性。企业在扩大规模上投入较多,而用于节能减排技术开发的投入不足;一些企业开发了好的节能减排技术,出于自身利益的考虑,不愿意在行业内共享;而对于已经具有成套成熟节能减排技术的行业,国家在推广技术、设立专项支持方面,也显得力度不够。 2. 意识不强。企业各层次人员的节能减排意识均有待提高。 3. 外部效益难以量化。尚未形成健全的节能减排税收支持政策体系,相应的能源环境税制如碳税、能源税等没有正式出台。 4. 信息披露不足。节能减排监察体系尚未建立,执法主体不明确,执法监管队伍能力建设滞后;能源消费统计与计量方法和制度不完善,有些统计数据准确性、及时性差,科学统一的节能减排统计指标体系、监测体系尚未建立。 5. 定价机制不健全。资源性产品价格市场化改革进程缓慢,反映资源稀缺程度和供求关系的能源价格形成机制还远没有建立起来。 6. 技术识别和保护能力差。普遍缺乏对技术的判断能力,关键减排技术的知识产权保护不得力
化工	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技术开发能力和力量不足。目前的减排技术开发能力和力量明显不能满足节能减排的需要,而且开发力量分散,不能形成合力,造成重大技术开发项目难以取得进展。 2. 企业的技术开发动力不足。科研机构开发了很多技术,但大都停留在小试、中试阶段,需要在企业进行工业化试验才能真正取得成功。因此,需要企业对技术继续进行开发。然而,企业对继续开发的热情不足,不愿承担风险,导致很多技术难以真正在工业生产中应用。 3. 资金支持力度不足。国家对先进节能减排技术的开发,尤其是应用于工业行业的节能减排技术开发的支持力度不足
有色金属	<ol style="list-style-type: none"> 1. 资金不足。国家科技经费用于共性、关键技术开发的资金强度明显不足且比较分散。 2. 重大、关键性技术研发滞后。有色金属行业种类多,产业链长,在重点行业重大、关键性的技术研发滞后
水泥	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水泥行业协同处置废弃物缺乏政策支持。水泥行业协同处置废弃物和生活垃圾有利于能源节约和环境保护。但国家对此缺乏优惠政策。 2. 政策不落实。地方税务部门为维护地方利益不执行中央的有关规定,本可以享受税收优惠的企业得不到税收减免。 3. 余热发电并网难,收费不统一。电力部门要求水泥企业根据余热发电量的多少向电力部门交纳“系统备用费,上网费、并网费或管理费”等,企业并网时要将收费条款写进并网协议。水泥企业认为所收费用很不合理,而且各省市、地区所收费用差别很大

综上所述不难看出,部门和行业专家对障碍的分析主要集中在缺乏适合企业采用的减排技术方面,国家和企业投入不足、研发与应用脱节是产生这一障碍的原因,这也从另一方面反映出工业节能的复杂性和多样化,大量通用的节

能技术需要根据具体生产工艺进行二次开发和系统集成。水泥行业专家提出的障碍比较具体,但反映出一个比较普遍存在的问题,即不同行业对中央政府推进节能减排政策的解读和执行程度存在一定的差异也是导致一些障碍的主要原因。

5.3 国家政策对克服技术推广障碍的作用评估

中国政府为克服节能减排障碍出台了大量鼓励节能减排的政策,这些政策的实施极大地促进了能源效率提高的同时,也显现了一些问题,特别是在第十二个和第十三个五年规划时期,国家不仅对能效改进提出了更高的目标,而且对温室气体减排业提出了具体目标,各级政府部门会进一步将既定的节能减排目标分解和落实到具体企业。因此,在第十一个五年规划期间已经付出极大努力的基础上,如何进一步提高和落实新一轮的节能减排目标是所有企业所面临的问题和挑战。

钢铁、有色金属、化工和水泥行业的企业其主营业务都是向市场提供原材料,不生产终端设备,但对终端设备寿命生命周期的碳足迹有重大影响,能源成本在生产总成本中的比例较高是共性。表 1-5-4 选取“十一五”期间国家着力推进的节能政策和措施,评价它们对钢铁、有色金属、化工和水泥行业的企业促进能效改进的作用。

表 1-5-4 政策相关措施作用评价

政策措施	政策措施实施作用评价
单位产品能源消耗 限额国家标准	实行强制标准有利于克服认识障碍。在已颁布的单位产品能源消耗限额国家标准中多数产品属于这四个行业,企业通过对照标准,看到与先进企业在能效方面的差距。但标准的制定宽紧不一,有些产品能源消耗限额标准较低,企业可以轻易达到,有的企业能耗水平大大低于标准中先进水平数值,对企业节能的促进作用不强;对标准的执行情况检查不够,削弱了标准的强制性作用;一些地方要求企业上报数据,但对企业无信息反馈,企业无法横向比较,对节能效果的好坏心里没底,挫伤了节能的积极性。标准本身无法指导企业确定节能机会
节能量指标	对克服认识障碍有帮助。政府给重点用能企业下达节能量指标,由于缺乏长期的研究数据积累,指标的确定、分配、计算方法等方面存在一系列问题,有的企业在基年能耗数字上做文章,有的企业靠新建生产线扩大产能来实现节能目标,这样的问题不仅存在于地方重点企业(ERI, 2010b),千家企业中也有

续表

政策措施	政策措施实施作用评价
能源审计	<p>能源审计是克服技术障碍的重要手段。政府要求千家企业在规定时间内必须完成能源审计,由于时间紧和人员短缺,能源审计报告的水平相差很大。合格的能源审计对企业确定节能机会和制定节能计划起到决定性作用,而差的审计报告对企业帮助十分有限。曾经有一份大型水泥厂的能源审计报告,除了把近两年能源消耗数据和能源账单做了整理和分析外,只提出了两项节能项目建议,一是建设余热发电装置,二是安装电机变频调速器,对废气的温度、流量、电机负荷情况只字未提,把能源审计做成了财务审计,缺乏必要的技术含量。调研结果显示,多数能源审计质量有待提高,大量关于能源审计的培训做成了宣讲节能形势和培训填表(LNBL, 2010),虽然这是必要的和不可缺少的。面对少则十几万元、多则几十万元甚至上百万元的能源审计费用,除非政府强制要求,企业主动做能源审计的积极性不高</p>
节能奖励	<p>各级政府制定了节能奖励办法,每节约1t标准煤,奖金从300元到几十元不等。这一做法给全社会传递了政府非常重视节能的信号,也调动了企业节能的积极性。企业获得奖金表明它已采用了节能减排技术,奖金起到了锦上添花的作用,而对克服采用节能技术的障碍作用不大</p>
能效对标	<p>将整个生产过程划分为许多单元,分别衡量每个单元能源强度与先进水平的差距,比单位产品能源消耗限额国家标准更具体,便于企业确定在哪个环节浪费了能源,对克服技术障碍有一定帮助。能效对标需要平衡方法的细致程度与对标过程的复杂性,方法越细,越有利于企业确定节能机会,但过程越复杂,越需要企业收集大量数据。很多企业参加了对标培训,除政府、工业协会要求的试点企业外,其他企业使用对标工具的积极性不高(HIP, 2011)</p>
能源服务公司	<p>政府大力扶植能源服务产业发展,出台一系列优惠和支持政策。但从已获得国家认可备案的能源服务公司的主要节能业务和技术产品看,多数公司的业务领域在建筑节能和工业通用系统节能,缺少熟悉高耗能行业具体生产工艺的能源服务公司。能源服务公司给工厂提供的节能建议方案缺乏针对性,难以说服企业采纳。要求能源服务公司熟悉各行业具体生产工艺不现实,国外能源服务公司的主要服务对象也不是工业企业,大企业内部有自己的机构和技术力量从事节能工作,中国少数大企业也是这样做的,但多数企业缺乏这样的能力。在工业能耗占总能耗70%的情况下,现阶段中国能源服务公司应更偏向服务于工厂</p>
节能投资担保	<p>对克服能源服务公司融资障碍有帮助。但担保额较小,与工业企业节能技改所需资金相比,作用有限</p>

续表

政策措施	政策措施实施作用评价
行业准入标准、上大压小、淘汰落后产能	通过规定新建生产能力最小规模来限制低效企业和生产能力过快膨胀。通常设备大型化提高能源效率,但这也可能成为部分地区、企业扩大生产规模的借口。生产能力过剩降低了设备运转率,影响能源效率提高
十大重点节能工程	燃煤工业锅炉(窑炉)改造、余热余压利用、电机系统节能、能量系统优化四大重点节能工程与这四个行业直接相关。“十一五”期间,吨钢综合能耗由 694kg 标准煤降到 605kg 标准煤,下降了 12.8%,水泥综合能耗下降了 24.6%,乙烯综合能耗下降了 11.6%,合成氨综合能耗下降了 14.3%,钢铁行业干熄焦技术普及率由不足 30% 提高到 80% 以上,水泥行业低温余热回收发电技术由开始起步提高到 55%,烧碱行业离子膜法烧碱比重由 29% 提高到 84.3% (节能信息报,2011)。国家财政的重点支持是这些节能减排技术快速推广的重要原因
千家企业节能行动	国家对选出的千家企业能效改进给予高度关注,很多项目和投入都集中在这一千家企业,“十一五”期间千家企业实现节能 1.5 亿 t 标准煤(节能信息报,2011)。入选的千家企业 2006 年能源消费占工业能源消费的一半,但这一概念不是十分清晰,因为千家企业既包括能源生产和转换企业,也包括终端用能企业,是否存在重复计算以及节能量通过何种途径获得信息不公开问题
节能(能源)管理	加强能源管理是节能的重要手段。一些企业投入几百万元甚至上千万元安装在线数据收集和监测系统。在如何使用数据、通过数据分析发现节能机会方面还有巨大的改进空间

以上分析表明,国家出台的大量政策都在某种程度上为克服减排技术推广与普及障碍提供了帮助,同时也存在许多问题和改进空间。但在如何把银行等融资机构纳入节能激励的范围之内、鼓励银行大力开展节能减排业务方面的政策和措施还有待加强。

6 结论和政策建议

6.1 研究结论

(1)从目前到2020年,中国钢铁、化工、有色金属和水泥等工业行业以及交通运输和建筑部门提高能源效率和二氧化碳减排潜力仍然很大

能源节约不仅对国民经济增长贡献明显,也将有利于减缓温室气体的排放。然而,与国民经济发展的需要和国际先进水平相比,中国的GDP能源强度、主要耗能产品单位能耗和主要耗能设备的能源利用效率均存在不同程度的差距,节能和提高能源效率的潜力仍然很大。2010年中国钢铁、化工、有色金属和水泥等行业的主要产品单位能耗仍高于国际先进水平(世界领先水平国家的平均值),其中,大中型钢铁企业吨钢可比能耗高出10%,水泥综合能耗高出6%,烧碱高出10%,铜冶炼综合能耗高出28%,乙烯综合能耗高出34%。

与发达国家相比,中国建筑物的能源利用总体效率还比较低,包括建筑物的隔热水平、采暖锅炉的运行效率、空调等用电设备的能源利用效率等都存在一定的差距,全国既有建筑中约90%还普遍存在着能耗较高的问题。从技术水平看,建筑部门的能源利用技术先进与落后并存,而后者的比例要远高于前者。研究结果显示,“十一五”期间,除北方城镇集中采暖建筑的单位面积能耗随着节能减排工作的推进而显著下降外,其他各类建筑能耗强度均呈逐年上升趋势。2010年中国单位建筑面积能耗强度由2005年的12.5kg标准煤/(m²·a)增加到14.8kg标准煤/(m²·a),年均增长3.4%。

由于受宏观经济发展、城市化进程等多方面复杂因素的影响,中国交通运输业发展迅速。2010年与2005年相比,仅民用汽车(包括载客汽车、载货汽车和其他汽车)保有量增长了近2倍,中国民用汽车每千人保有率增长了1.8倍,前者约为美国20世纪20年代和日本1965年的同期水平。2007年中国乘用车单位服务量平均燃油消耗量分别比欧洲和日本1995年的水平高出2%和22%,与欧洲和日本最近的数据比较,中国乘用车单位服务量平均燃油消耗量比欧洲2006年的水平高出约14%,比日本2005年的水平高出约50%。

研究结果显示,由于从目前到2020年随着中国工业、交通和建筑部门能源服务量需求的持续增长,能源消费量和二氧化碳排放量也将呈现增长趋势。到2020年钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业的二氧化碳排放量将从2010年的32.1亿t增加到42.2亿t,建筑和交通运输部门的二氧化碳排放量将从2010年

的 22 亿 t 增加到 32.2 亿 t。这四个行业和两个部门的二氧化碳排放总量将分别占实现 40% 和 45% 减排目标情景所要求的二氧化碳排放量的 64% 和 70%。

减缓二氧化碳排放的技术和实践一直在不断的发展中,其中许多技术集中在工业、交通运输和建筑等能源终端利用部门。研究表明,在钢铁、化工、有色金属和水泥四个行业以及建筑和交通运输部门持续推广应用先进、高效、低碳排放和成本有效的二氧化碳减排技术是实现中国 2020 年单位 GDP 碳强度下降目标的重要途径。

(2)2020 年以前,中国钢铁、化工、有色金属和水泥等工业行业是实现技术减排潜力的优先和重点领域,减排潜力大,减排成本相对较低

本研究对钢铁、化工、有色金属和水泥四大行业 30 多项被选减排技术评价结果表明,通过实施这些减排技术,到 2015 年和 2020 年可实现二氧化碳减排潜力分别为 3.19 亿 t 和 4.20 亿 t。2015 年可实现的 3.19 亿 t 二氧化碳中,钢铁、化工、有色金属和水泥四大行业分别占 75.3%、6.5%、5.0% 和 13.2%;2020 年可实现的 4.20 亿 t 二氧化碳中,钢铁、化工、有色金属和水泥四大行业分别占 68.6%、8.6%、4.6% 和 18.2%。被选技术的减排成本以负成本为主,通过正成本可实现的技术减排潜力分别占当年减排潜力的 18.3% 和 23%。

若按照减排潜力大小对减排技术进行排序,钢铁行业的优先减排技术主要如:低热值伴生气联合循环发电、锅炉全部燃烧高炉煤气、煤调湿技术、转炉负能炼钢、干法干熄焦技术等;化工行业的优先减排技术主要如:密闭电石炉、纯碱新型变换气制碱技术、以二氧化碳为气化剂生产高纯一氧化碳气技术、烧碱离子膜电解槽膜极距技术、合成氨氨合成回路分子筛技术、二氧化碳降解塑料技术等;有色金属行业的优先减排技术主要如:预焙铝电解槽电流强化与高效技术、铝电解槽导流结构技术、新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术等;水泥行业的优先减排技术主要如:水泥窑协同处置生活垃圾技术、电石渣替代石灰石技术、水泥窑协同处置污泥技术、纯低温余热发电技术等。

被选技术的减排成本分析结果显示,钢铁行业被选技术 2020 年的减排成本均为负成本,从 -1 086 元/t 二氧化碳(锅炉全部燃烧高炉煤气技术)至 -254 元/t 二氧化碳(蓄热式轧钢加热炉技术);化工行业被选技术 2020 年的减排成本从 -923 元/t 二氧化碳(二氧化碳生产碳酸二甲酯技术)至 814 元/t 二氧化碳(烧碱离子膜电解槽膜极距技术);有色金属行业 2020 年边际减排成本为负值的减排技术的二氧化碳减排潜力占 95%,减排成本在 -530 元/t 二氧化碳至 -1 935 元/t 二氧化碳;氧气底吹炼铜技术的减排成本最为昂贵,高达 2 234 元/t 二氧化碳;水泥行业选择的 5 项减排技术的成本在 -3.82 元/t 二氧化碳到 439 元/t 二氧化碳。其中纯低温余热发电技术的减排成本为 -3.82 元/t 二氧化碳;应用电石渣替代石灰石制水泥技术为 439 元/t 二氧化碳。

综上所述,2020年以前,钢铁、化工、有色金属和水泥四大行业成本有效及减排潜力比较大的减排技术主要包括提高能源效率的技术、新工艺和新技术、副产品和废弃物回收利用技术、原料和燃料替代技术等。2020年以后,除上述技术外,大量的、更加先进的低碳技术将被开发和应用。诸如钢铁工业的低碳炼钢技术、高炉炉顶煤气循环技术(TGRBF)、先进的直接还原工艺(UL-CORED)、新型熔融还原工艺(HIsarna)、电解铁矿石工艺、水泥行业的生态水泥生产技术、水泥和化工行业的碳捕集技术等。

(3)2020年以前,交通运输部门是二氧化碳排放量和技术减排潜力均增长最快的部门,相对而言技术减排成本偏高

随着交通运输部门服务量和能源需求量的持续增长,2010—2020年交通运输部门的二氧化碳排放量年均增长速度约4.6%,而同期全国、工业和建筑部门的二氧化碳排放量的年均增长速度均低于3.9%。因此,2010—2020年,交通运输部门是中国二氧化碳排放量和技术减排潜力均增长最快的部门。

本研究对交通运输部门17项被选节能减排技术的分析结果显示,2015年交通运输部门的技术减排潜力约0.42亿t二氧化碳,到2020年增加到1.13亿t二氧化碳。其中,减排潜力最大的5项技术依次为:高效柴油货车、提高内河航运承担货运的比例、提高公交出行率、均质压燃技术HDDI-汽油车应用以及非插电式混合动力汽车技术,这5项技术的总减排潜力约为0.83亿t二氧化碳,约占2020年交通运输部门总减排潜力的70%。

被选技术的减排成本分析结果显示,2020年提高汽车燃油经济性类的技术减排成本均为负值,而且这些技术的减排潜力占总减排潜力的比重达45%。纯电动汽车、燃料替代类的纤维素乙醇等技术的减排成本相对较高,主要影响因素是这些新技术高额的投资费用(包括研发费用、实验费用、技术设施建设费用和设备购置费用)以及有限的技术普及率。

(4)2020年以前,建筑部门是实现技术减排潜力的潜在重点领域,大部分技术的减排成本不确定性比较大

本研究对建筑部门34项被选节能减排技术的分析结果显示,2015年可实现的技术减排潜力1.88亿t二氧化碳,2020年可实现的技术减排潜力约为4.14亿t二氧化碳。2020年减排潜力前10位的技术依次是:新建住宅建筑实施“65%节能标准”、新建公建白炽灯淘汰、高效冰箱、户用沼气池、高效节能灶、高效热电联产系统及相关技术、北方既有住宅围护结构改造、被动式设计、城镇住宅太阳能热水器和既有公建白炽灯改造。2020年这10项技术可实现减排潜力3.1亿t二氧化碳,占建筑部门总减排潜力的75%。

在减排潜力较大的10项技术中,中国北方地区既有住宅围护结构改造、被动式设计、新建住宅建筑实施“65%节能标准”和户用沼气池四项技术的减排

成本为正成本,分别为 622 元/t 二氧化碳、250 元/t 二氧化碳、181 元/t 二氧化碳和 16 元/t 二氧化碳。这四项技术的减排潜力占 10 项技术减排潜力的 47%。

在计算建筑部门减排技术成本时,除了强烈依赖于各项技术推广面积或推广量,还受到工程价格变化对投资增量取值的影响,以及减排技术实际应用与成本计算模式之间存在的较大差异性等原因,导致建筑部门技术减排成本分析结果存在较大的不确定性。

(5) 技术减排潜力对国家 2020 年减排目标的贡献为 21%~32%

基于情景分析结果显示,2015 年四个行业和两个部门被选择技术的减排潜力占中国实现 40% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 42%,占实现 45% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 26%;2020 年四个行业和两个部门被选择技术的减排潜力占实现 40% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 32%,占实现 45% 减排目标情景需要减排二氧化碳量的 21%。

(6) 推广和普及减排技术需要克服各种障碍

成本有效地实现终端部门的技术减排潜力需要外部环境、制度和政策的不断完善。持续推广应用先进、高效、低碳排放和成本有效的二氧化碳捕集和封存技术与传统技术相比,存在较大的二氧化碳减排潜力。但在现实中,要实现这些技术的减排潜力除了取决于技术本身能源效率提高和减排成本降低的速率以及技术推广的力度以外,还需要付出克服经济、社会、行为和(或)体制上的种种障碍的巨大努力。

(7) 本课题对四个行业和两个部门的二氧化碳减排技术潜力和成本的分析存在一定的不确定性

由于对各部门减排技术的认知、识别、选择存在一定的局限性,特别是无法预测未来可能产生的更先进的技术;对技术本身的减排率、技术的普及率、技术的经济特性等的判断受到缺乏系统数据支持等因素的影响,在分析技术的减排潜力和成本过程中均存在扩大和缩小技术减排效果以及成本高低等问题,进而导致分析结果的不确定性。这些问题有待在以后的研究和实践过程中加以克服和完善。

6.2 政策建议

(1) 制定部门和行业低碳减排技术体系、实施路线图、发展战略和规划

全球应对气候变化的实践表明,技术减排才是真正的长效手段。根据一项由独立的非营利性组织气候集团(The Climate Group)和全球电子行业可持续发展倡议(GeSI)最新发布的报告,如果改变现有企业及公民使用技术的方法,到 2020 年,每年可减少 15% 人为制造的全球温室气体排放,并通过提高能源效率在全球范围内为企业节约费用 5 000 亿欧元(4 000 亿英镑/8 000 亿美元)。

2012年6月21日,ENEP新闻中心在一篇关于新兴国家为了重大的经济及气候利益开始淘汰低效照明灯的报道中指出,用于照明的电力约占全球电力消耗的20%,占全球二氧化碳排放量的6%。在发展中国家和中等收入国家每年通过淘汰白炽灯而节省的电量相当于至少250个大型燃煤电厂的发电量,可减少约210亿美元的投资成本,减少4.9亿t二氧化碳排放,相当于122万辆中型轿车的排放量。

另外,在全球范围内诸如:交通领域的电动汽车、插电式混合动力汽车、燃料电池汽车技术等新型交通工具以及交通系统信息化和智能化;建筑领域的低碳高效的供热、制冷和通风技术,分布式能源系统,高效蓄能技术,零能耗建筑;低成本的碳捕获与封存技术(CCS);新一代核能、太阳能热利用和光伏光热发电、风电技术装备、智能电网、生物质能利用技术;工业领域的生态水泥、熔融还原炼钢、燃料和原料替代等节能、低碳和减排技术都在研发或被广泛应用中。

可见,低碳减排技术正逐渐成为全球应对气候变化背景下的新兴技术领域并得到迅速发展。在这些技术中以可再生能源和提高能源利用效率为代表的低碳和减排技术对应对气候变化所起到的关键作用已得到世界银行、IEA,麦肯锡、国家发改委和科技部等国内外权威机构的共同认可。

因此,2020年之前应针对交通、建筑领域以及工业部门的主要耗能和碳排放行业制定低碳减排技术开发和推广规划、行动措施、保障机制及实施路线图,以明确部门和行业关键减排技术的研发、示范、市场化和规模化进程,及推广应用这些关键技术的优先顺序和时序,促进这些技术向高端制造业、战略性新兴产业和信息化产业渗透,以实现中国减排效率的趋同与赶超至关重要。为了确保这些关键技术的实施,应在机制、资金、税收、市场、管理等方面制定相应的扶持政策。同时,部门和行业应将其低碳减排技术发展和推广应用规划纳入部门和行业的整体发展规划以及国家层面的相应规划之中。

另外,在国家层面应制定国家中、长期低碳和减排技术发展战略和规划,专项规划或行动计划。例如,国家发改委于2011年11月发布的《中国逐步淘汰白炽灯路线图》,2011—2016年通过该路线图的实施,预计新增照明电器行业产值约80亿元,新增就业岗位1.5万个,形成年节电480亿kWh、年减少二氧化碳排放4800万t的能力。再如,2012年6月20日国务院发布的《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》,到2015年,中国纯电动汽车和插电式混合动力汽车累计产销量力争达到50万辆;到2020年,纯电动汽车和插电式混合动力汽车生产能力达200万辆、累计产销量超过500万辆,燃料电池汽车、车用氢能源产业与国际同步发展。

(2) 提高低碳减排技术研发能力,促进低碳减排技术的创新和发展

低碳减排技术创新将是解决气候变化问题的关键,它可以减少政策措施的

成本,并为私营部门提供新的机遇(OECD)。根据当前中国应对气候变化,减缓二氧化碳排放所面临的严峻形势以及2020年减排目标的总体要求,低碳减排技术必须为实现中国二氧化碳减排目标提供技术支撑。因此,必须加大宏观管理、政策引导、组织协调和投入力度,提高技术创新和研发能力。进一步加强与应对气候变化相关的科学研究体系、技术开发体系、科技服务体系建设,调动科技人员从事减缓与适应气候变化领域研究和产业化的积极性和创造性。加快减缓和适应气候变化领域重大技术的研发、示范和推广,注重相关领域重大技术的创新。特别是先进高效的机动车、电动汽车技术,先进高耗能制造技术、可再生能源和废弃物利用技术、新型工艺技术、新型材料技术、温室气体资源化利用技术以及二氧化碳捕集、利用与封存技术等。

例如,通过制定更加严格的能效和排放标准是推动企业进行技术创新、开发低碳减排技术的有效方式。目前,欧盟已形成了乘用车二氧化碳排放及油耗法规体系、基于乘用车燃料消耗量的财税政策和油耗标识这三大控制乘用车二氧化碳排放的支柱政策。相比之下,中国尚未将二氧化碳的排放指标纳入标准法规体系中;而从油耗标准的角度来看,中国虽然正在制定更加严格的标准,但《第三阶段乘用车燃料消耗量评价方法及指标》(草案)提出的2015年的燃油标准限值折算成碳排放量后仍高于日本、欧洲和韩国的目标值。近期制定与国际先进水平接轨的油耗标准、建立二氧化碳排放标准,远期建立更加完善的标准法规体系,可以推动企业不断研发和应用更先进的低碳减排技术,实现技术升级。

再如,通过提高研发能力,开展温室气体资源化技术与开发。温室气体本身是一种物资,排放到大气中会引起温室效应,但在合适的化工过程中,它是一种资源、一种化工原料。由二氧化碳、瓦斯气等生产各种化工产品,不仅可以减少温室气体排放,而且可以减少石油、天然气等化石能源的消耗。在减少温室气体排放的众多途径中,进行资源化利用是最有前途的,值得花大力气进行开发,国家有关部门应大幅增加对温室气体资源化利用技术开发的支持力度。目前,中国的技术开发水平处于世界的前列,但仍处于起步阶段,亟须做好以下工作:①确定温室气体资源化利用技术开发方向;②确定资源化利用的重点开发技术;③制定温室气体资源化利用的发展规划,包括“十二五”规划和中长期规划;④制定温室气体资源化利用支持政策;⑤制订温室气体资源化利用的推进方案。

继续支持工业企业建立技术研发中心,鼓励建立各种形式的技术联盟,支持企业技术研发中心、科研设计单位、高等院校在低碳减排技术领域持续地开展基础研究和重大技术的超前研发、联合攻关、示范和推广。

(3)利用市场机制和实施强有力的激励政策促进低碳减排技术的推广应用

利用市场机制和经济手段,采取强制性和激励性机制和政策促进低碳减排技术的推广应用。要尽早实施碳定价政策,包括征收碳税和建立碳减排交易机制,规范自愿减排和强制碳贸易活动,鼓励和支持碳排放权交易试点,适时尽早征收碳税,制定低碳认证制度,开展低碳认证试点,制定低碳产品和技术标准,实施融资和补贴等政策,激励民众低碳消费和企业产品结构升级,控制温室气体排放。中央和地方政府在财政投入的同时,应通过建立各种财政机制拓宽投融资渠道,鼓励社会、企业和私人资金的投入。

例如,中央财政和省级地方财政应安排专项资金,支持部门和行业开展先进低碳减排技术的研发、示范和推广应用,支持跨行业的共性减排技术的研发、示范和推广应用,如工业余热发电技术等。对于所需投资和工程影响都比较大的低碳减排技术,国家发改委和能源局应予以优先审批,并给予优先上网等政策支持。

再如,对应用国产关键低碳减排技术或设备的企业应获得优先采购权,同时获得税收优惠及投资抵免政策,可考虑按照设备投资额的一定比例从企业当年的应纳税额中抵免。

对应用节能和资源综合利用的矿山开采技术、粉磨技术、煅烧技术、可替代原燃材料技术、变频调速技术、低温余热发电技术、自动检测控制技术及其他技术实现的碳减排量应给予财政奖励。

建议国家有关部门鼓励全国 600 多个大中型城市的新型干法水泥厂承担城市废物处置任务;鼓励建设以协同处置城市废弃物为主要功能的水泥项目,放宽项目核准限制,并给予贷款支持和财政补助(一条水泥窑协同处置改造工程投资费用在 8 000 万~10 000 万元。建议按每个改造工程给予 10% 的财政补助。“十二五”期间力争完成 100 个改造工程,总补助费用是 10 亿元)。同时制定处置不同废物的资金补偿标准,并监督落实。对于协同处置城市废弃物和工业废渣的水泥企业给予税收优惠。

通过碳税贴息方式支持工业部门的低碳技术改造,提高企业应用低碳减排技术的积极性。借鉴节能补贴办法,国家按减排量对低碳减排技术进行资金补贴。

(4) 中国主要部门和行业中、远期低碳减排技术发展的重点领域和选择

1) 从目前至 2020 年低碳减排技术发展的重点领域和选择

工业部门推广应用与普及新工艺新技术,持续提高能源利用效率;副产品和废弃物的回收利用、原料和燃料替代技术以及二氧化碳捕获和封存技术(CCS)在水泥和钢铁生产中的应用技术等均是减少二氧化碳排放的重要选择。通过提高燃料经济性标准、提高内燃机效率、实现车用动力混合化、使用插电式混合动力电动汽车和燃料电池汽车可在交通运输领域实现深度减排。区域集

中供热、高效照明、节能电器、墙体保温和太阳能热利用等技术对建筑领域近期内实现成本有效的减排二氧化碳至关重要。

2)2020 年以后低碳减排技术发展的重点领域和选择

围绕提高减缓温室气体排放和促进低碳经济的科技支撑能力,加强工业、建筑和交通领域提高能源效率和先进低碳技术的研究与开发,推进工业固碳领域关键技术的研发,解决碳捕集、利用与封存等关键技术的成本降低和市场化推广应用等问题,提出以下中国主要部门和行业未来低碳减排技术发展的重点领域和方向。

①高效、低碳和先进的终端能源利用技术:以提高能源效率,降低碳排放和促进循环经济发展为目标,研究开发适用于工业、交通和建筑等终端能源利用领域的先进技术。主要如:新型熔融还原、电解铁矿石工艺、先进的直接还原等先进低碳的炼钢技术,先进的六段预热干法熟料生产技术和水泥窑脱碳技术,应用于工业部门、低成本的 CCS 技术,工业余能余热梯级综合利用技术等;应用于交通领域的新型燃料汽车、纯电动汽车、燃料电池电动汽车及混合动力汽车等;应用于建筑领域的高效热泵技术,太阳能热系统和使用氢燃料电池的热电冷三联供系统、低碳和零碳建筑等。

②燃料和原料替代技术:以替代燃料、节约原材料、拓展生物质资源利用和降低碳排放为目标,研究开发适用家庭用的固体成型燃料技术、生物质转化为纤维素乙醇等醇类燃料、生物质气化后转化为烃类燃料以及生物油脂转化为生物柴油技术。水泥窑协同处置污泥、生活垃圾和回收利用废塑料等技术。以二氧化碳为气化剂生产高纯一氧化碳气,二氧化碳驱油,超临界液体二氧化碳发泡技术等温室气体资源化利用技术等。

(5)创新投融资体制,强化和放大节能投资的碳减排效益(协同效益)

“十一五”期间,中国直接用于提高能源效率的资金投入总规模(五年累计)达8 466. 25亿元人民币,占同期全社会固定资产投资总额的0. 92%。其中,中央和地方政府投入(预算内资金、财政奖励专项资金和地方政府配套资金)占总规模的17. 68%;社会资金(银行绿色信贷、企业自有资金、节能服务产业自有资金、国际机构的能效资金、股权融资、信托等形式获得的资金)占82. 32%。

在8 466. 25亿元人民币的资金投入总规模中,用于项目投资以直接推动能源利用效率提高的资金占95%,用于技术研发和推广、机构能力建设等可持续节能能力提升、加强节能基础工作等方面的投资仅占5%。

在8 042. 7亿元人民币的项目投资中,投入工业领域用于节能技术改造、奖励和补贴淘汰落后产能的资金占76. 5%;投入建筑领域用于既有建筑节能改造、可再生能源应用和节能监管体系建设的资金占12. 7%;投入交通运输领域用于推动主要运输方式能耗下降的资金占6. 6%;投入其他领域的资金

占4.2%。

“十二五”期间,为了实现国家16%的节能目标,对能效投资需求的总规模将进一步加大。然而,如何强化和放大节能投资的碳减排效益,在实现16%的节能目标的同时,实现17%的减碳目标是创新投融资体制的关键所在。

建议中央、地方和有关政府部门,金融机构以及部门、行业和企业在对节能项目进行资金支持的同时要关注资金投入后的碳减排效益,并以节能减排效益最大化为原则,选择投资项目,评估投资效果,实行补贴、奖励、担保、税收、价格等优惠政策,建立考核制度和标准,试行节能量和碳交易机制,推进节能减排的市场化进程。逐步建立起来源稳定、模式创新、责任明确、制度完善、市场化强劲的节能减排投资的长效机制。

1) 交通运输部门

①创新投融资体制,拓宽融资渠道:对于交通命脉或重要基础设施,仍坚定不移地采用政府直接投资方式,而对于新能源汽车、替代燃料研发等具有明显外部性且投资盈利较低、风险较大的项目或设施,可以灵活采用市场化较高的投融资方式,以政府和企业共同承担,并在相关法律法规的完善下,逐渐引导企业发挥重要作用。

②加大对基础设施的投资建设:拉动交通基础设施建设投资,对应对中国客运、货运需求的持续快速增长及国民经济增长的稳定需求具有重要作用。至2020年,中国交通部门可以重点增大高速铁路、西部干线铁路、国家高速公路网、内河航运网和城市内及城际间快轨交通的基础设施投资,全面优化全国交通运输网络。

③加快智能交通系统投资:中国智能交通产业可能成为未来10年交通运输业重要的投资方向,逐渐形成“四个体系(高速公路智能交通体系、水上智能交通体系、铁路智能交通体系以及城市智能交通体系)”和“三大系统(通信系统、监控系统和收费系统)”的特色行业,从而拉动部分对智能交通前端的视频监控设备厂商、整体解决方案厂商以及城市智能交通运营商的风险投资。

2) 建筑部门

①亟须充分发掘大型公共建筑改造的投资价值:大型公共建筑指建筑面积在2万 m^2 以上,且使用中央空调系统的公共建筑。根据实际测试发现,商场、办公楼等大型公共建筑,由于其空调系统能耗通常占其总能耗的40%~50%,且较为普遍地存在系统设计选型不匹配、施工质量漏洞、设备效率不佳等情况。从上文计算结果可以看出,对既有公共建筑空调系统的节能改造,可以在2020年实现约600万t二氧化碳的减排能力。通过节能诊断、调试改造等回收期在三年内的低成本措施通常可以有效获得5%~10%的节能量,因此具有可观的投资回报率,应予以充分关注。

②加强政府对节能减排技术的投资监管和宏观调控。政府应在下面两个方面做出持续努力:

制订针对建筑行业关键节能减排技术的中长期规划,完善投融资的法规体系和优惠政策;政府投资方式应尽量减少资本金注入、直接补贴等直接投资,应更多地采取根据实际节能量的奖励、减息等措施的间接投资,并且逐渐配合完善“持续节能量评测考核机制”、“以奖代补”、“以奖促治”的法规条例,充分发掘行业积极性。

逐渐打破对能源行业的过度垄断,通过优惠的投融资、税收、奖励等政策充分发挥社会市场,但对新能源行业、合同能源管理、能源监测与分项计量等行业应加强行业监管,建立较为完善的市场准入机制,充分实现宏观调控。

③政府应加强对重点建筑节能减排技术产业的研发投资:针对本研究中现有推广量较小但减排前景广阔的关键技术,如工业余热供暖、信息机房热管空调、农村生物质能源等技术,由于其研发成本较大,企业较难承担,故应在前期加强国家的研发投入,也可采取鼓励政策吸引企业研发团队的参与。

④应利用经济与政策杠杆加强终端能源用户的主动作用:可通过能源费调整、价格补贴等手段充分发挥建筑终端用能用户节能减排的主观能动性,逐渐实现在集中供热、照明、空调等方面的“部分时间、部分空间”的自主调节。

3) 工业部门

①关键减排技术专项资金支持:中央财政和省级地方财政安排关键减排技术专项资金,支持钢铁、化工、有色金属、水泥等行业开展先进低碳减排技术的研发、示范和推广应用。支持跨行业的共性低碳减排技术的研发、示范和推广应用。如余热发电和联合循环发电技术等。

②减排技术开发的投资:实施减排技术首先应做好技术开发工作,技术必须是真正可靠、完善的,才能产生应有的效果。因此,减排技术的投资应首先在技术开发上加大投资。联合国开发计划署发布的《2010年中国人类发展报告——迈向低碳经济和社会的可持续未来》指出,中国实现未来低碳经济的目标,至少需要60多种骨干技术支持,而在这60多种技术中有42种是中国目前不掌握的核心技术。这表明,对中国而言,70%的减排核心技术需要“进口”,必将增加减排技术的成本。所以中国应加大技术开发的投入,按照技术可行、经济合理的原则,研究提出中国低碳发展的技术路线图,促进高能效、低碳排放的技术研发和推广应用,逐步建立节能和能效、洁净煤和清洁能源、新能源和可再生能源以及自然碳汇等多元化的低碳技术体系。

③减排技术示范应用的投资:有些减排技术,例如,化工行业的二氧化碳降解塑料的生产,其项目投资比较大,一个1万t/a二氧化碳降解塑料项目,需要1.4亿元以上的资金投入,单从经济效益考虑,项目的投资风险很大。一般企业

难以承担这么高的投资风险。对于此类重大项目,需要政府、金融机构、企业多方投资,才能满足关键减排技术示范应用的要求。

(6) 尽快开始研究和建立低碳领域的标准体系和制定相应标准

标准化关系到低碳减排技术(产品)的研究与开发、示范、初步商业化及完全商业化的各个阶段。为落实国家与节能减排相关的各项政策,提高低碳技术水平,建立低碳评估、监测和考核制度,拓展低碳发展理论,促进低碳进步,补充和完善低碳法律法规体系,建议有关部门和机构尽快开始组织研究和建立低碳领域的标准体系和相应的标准,包括:基础标准(术语、计量、统计、图形符号等)、方法标准、技术标准、管理标准、检测、监测标准、评价标准等。根据现有基础可有选择性地编制相关的通则、总则、导则和细则,根据需要确定标准的层次,包括:国家标准、地方标准、部门标准、行业标准、企业标准、产品标准等。

(7) 加强企业层面的能力建设

结合落实《万家企业节能低碳行动实施方案》开展培训工作,提高企业技术和管理人员对企业温室气体核算、排放清单编制、未来排放趋势和潜力分析、识别减排技术措施、制订减排实施计划和规划等方面的能力。

企业低碳发展是一个转型的过程,需要包括观念、制度、政策、管理等全方位的转型,因此,企业必须加强自身的机构能力建设,尤其是企业高层应首先提高低碳意识,具体负责低碳战略的制定、实施、监督、考核和对外交流,并将低碳纳入企业的管理和考核体系。

企业应建立温室气体数据收集及管理系统,为企业实施低碳转型战略奠定基础。这一系统应包括数据需求系统、数据源的鉴别系统、数据收集责任制、数据质量控制系统以及数据库系统等。

指导企业开展能耗指标诊断与在线监测、能耗指标的对标与分析,找出薄弱环节,采取改进措施。加强能耗统计和监督。完善企业生产全流程能耗统计,确保统计数据真实,建立逐级分析报告制度,按级按时上报及建立考核考评机制等。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中国能源统计年鉴 2006—2011. 北京: 中国统计出版社, 2007—2011.
- [2] 2050 中国能源和碳排放研究课题组. 2050 中国能源和碳排放报告. 北京: 科学出版社, 2009 - 09 - 23.
- [3] 国家发展和改革委员会能源研究所课题组. 中国 2050 年低碳发展之路: 能源需求暨碳排放情景分析. 北京: 科学出版社, 2009.
- [4] 国际能源机构 IEA. 《世界能源展望, 2007》. IEA, 2008.
- [5] 国际能源机构 IEA. 能源技术展望: 面向 2050 年的情景与战略. IEA, 2009.
- [6] 麦肯锡. 中国的绿色革命: 实现能源与环境可持续发展的技术选择. 2009.
- [7] IPCC. 气候变化第四次评估报告. IPCC, 2008.
- [8] 胡秀莲, 等. 中国减缓部门碳排放的技术潜力分析[J]. 中外能源, 2007 年 8 月, 12 卷 4 期.
- [9] 王庆一. 中国可持续能源项目参考资料[M]. 2011 能源数据, 2011.
- [10] 赵家荣. 重点耗能行业能效对标指南[M]. 北京: 中国环境出版社, 2009.
- [11] 交通运输部规划司. 2011, 2010 年公路水路交通运输行业发展统计公报.
- [12] 铁道部统计中心. 2011, 中华人民共和国铁道部 2010 年铁道统计公报.
- [13] 钢铁研究总院, 中国钢铁工业协会. 钢铁行业单位产品能耗限额国家标准应用指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [14] 国宏美亚(北京)工业节能减排技术促进中心. 2010 中国工业节能进展报告[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [15] 国务院发展研究中心. 中国城镇化: 前景、战略与政策[M]. 北京: 中国发展出版社, 2010.
- [16] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展报告[M]. 北京: 中国建筑出版社, 2006—2011.
- [17] 中国城市能耗状况与节能政策研究课题组. 城市消费领域的用能特征与节能途径[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [18] 中国工程院. 中国能源中长期(2030, 2050)发展战略研究, 可再生能源卷/中国能源中长期发展战略研究项目组[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [19] 住房和城乡建设部科技发展促进中心. 中国建筑节能发展报告 2010[M]. 北京: 中国建筑出版社, 2011.

-
- [20] 中国化工节能技术协会. 中国石油和化工行业节能进展报告 2010, 2011.
- [21] 工信部. 建材工业“十二五”发展规划, 2011.
- [22] 工信部. 水泥工业“十二五”发展规划, 2011.
- [23] 工信部. 钢铁工业“十二五”发展规划, 2011.
- [24] 工信部. 石油和化学工业“十二五”发展规划, 2011.
- [25] 工信部. 工业节能“十二五”规划, 2012.
- [26] 国家发改委. 国家重点节能技术推广目录(第一、二、三、四批), 2008—2012.
- [27] 吴添祖, 冯勤, 欧阳仲健. 技术经济学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.

第一章 钢铁行业 2020 年二氧化碳减排技术的潜力和成本分析

1 钢铁行业的现状和发展趋势

1.1 能源消费和二氧化碳排放现状

钢铁工业是全球第二大工业能耗部门,同时还是全球最大的二氧化碳工业排放源,其生产过程中的二氧化碳排放量占全球总量的 5%~6%,约占工业排放量的 30%。图 2-1-1 为全球工业部门能耗;图 2-1-2 为全球工业直接排放二氧化碳情况。

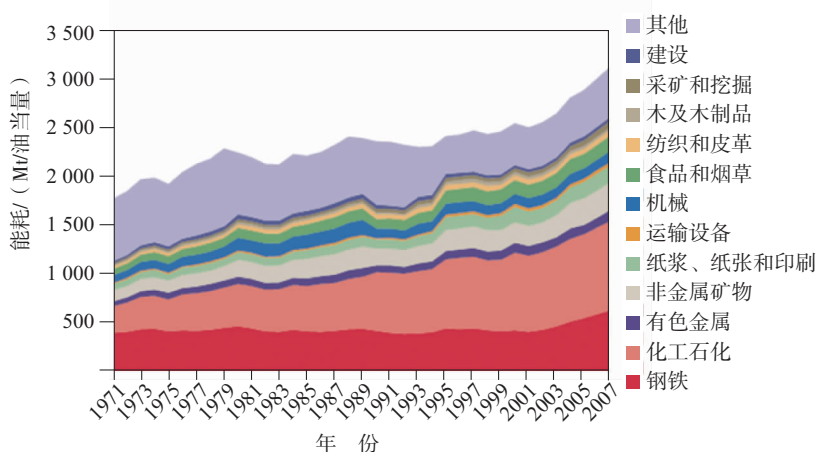
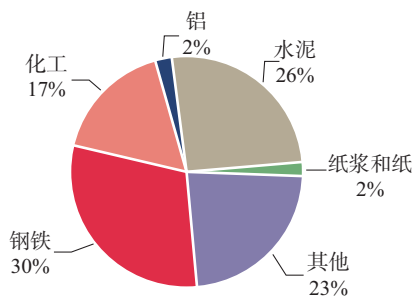


图 2-1-1 全球工业部门能耗

数据来源:IEA. Energy Technology Perspectives 2010。

钢铁工业是国民经济重要的基础原材料工业。中国是世界最大的钢铁生产与消费国,已连续 14 年保持世界第一。2010 年全球粗钢产量约为 14.1 亿 t,同比增长 15.0%,而据中国钢铁工业协会统计,2010 年中国钢产量约为 6.3 亿 t,占世界钢产量的 44.3% 以上,钢材消费量占世界总量的 35%。“十一五”时

图 2-1-2 全球工业直接排放 CO₂ 情况

数据来源:IEA. Energy Technology Perspectives, 2010。

期,中国粗钢产量由 3.5 亿 t 增加到 6.3 亿 t,年均增长 12.2%。“十一五”时期,中国钢产量见图 2-1-3。2010 年,钢铁工业实现工业总产值 7 万亿元,占全国工业总产值的 10%;资产总计 6.2 万亿元,占全国规模以上工业企业资产总值的 10.4%。图 2-1-4 为 2009 年世界各国钢产量比重。

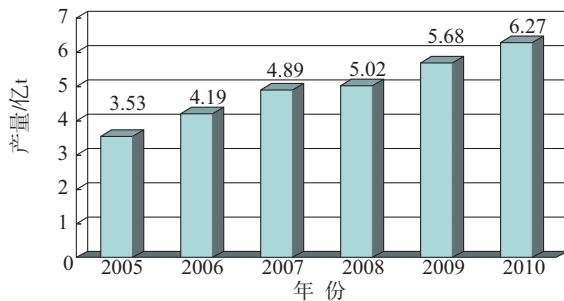


图 2-1-3 “十一五”期间中国钢铁产量

数据来源:中国能源统计年鉴,2010。

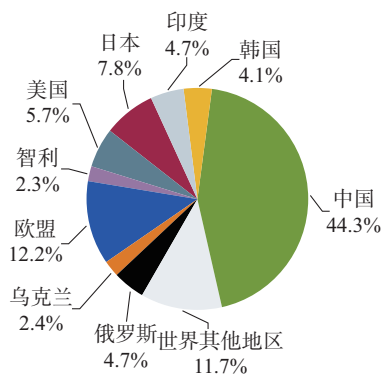


图 2-1-4 2009 年世界各国钢产量比重

数据来源:IEA and IISI,2009。

(1) 钢铁工业不仅是耗能大户也是二氧化碳排放大户

中国钢铁行业的能源利用效率低,吨钢综合能耗较高。钢铁工业能耗占全国总能耗的 15%~19%,同口径相比,吨钢综合能耗高于国际先进水平约 15%。重点大中型企业按照工序能耗计算,48.6% 的烧结工序、37.8% 的炼铁工序、76% 的转炉工序、38.7% 的电炉工序能耗高于《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》国家强制性标准中的参考限定值(电力折标系数按当量值计算),13% 的焦化工序能耗高于《焦炭单位产品能源消耗限额》国家强制性标准中的参考限定值(电力折标系数按当量值计算)。高炉、转炉煤气放散率分别达到 6% 和 10%,余热资源回收利用率不足 40%。

“十一五”期间,钢铁工业能耗由 2005 年的 3.95 亿 t 增加到 2009 年的 5.64 亿 t,而且与水泥、石化等行业能耗占全国总能耗比不断下降的趋势不同,钢铁工业的能耗占比总体呈现上升的趋势,由 2005 年的 16.8% 增加到 2009 年的 18.4%,其中占工业的比重由 2005 年的 23.4% 增加到 2009 年的 25.7%。中国主要行业和部门能源消费量及占总消费量的比重见表 2-1-1。

表 2-1-1 主要行业和部门能源消费量及占总消费量的比重

单位:万 t 标准煤

年 份		2005	2006	2007	2008	2009	2010	
全国消费总量		235 997	258 676	280 508	291 448	306 647	324 939	
工 业	采掘	消费量	13 914	14 247	15 240	17 050	17 585	18 399
		占比/%	5.9	5.5	5.4	5.9	5.7	5.7
	石化	消费量	35 772	38 494	42 066	42 708	44 274	46 272
		占比/%	15.2	14.9	15	14.6	14.4	14.2
	钢铁	消费量	39 544	44 730	50 186	51 863	56 404	57 534
		占比/%	16.8	17.3	17.9	17.8	18.4	17.7
	电力自用	消费量	17 668	19 424	20 339	20 145	21 016	24 205
		占比/%	7.5	7.5	7.2	6.9	6.8	7.4
	非金属矿物制品	消费量	21 310	22 637	23 111	25 460	26 882	27 683
		占比/%	9	8.7	8.2	8.7	8.8	8.5
工 业	工业消费总量	消费量	168 723	184 945	200 531	209 302	219 197	231 102
		占比/%	71.5	71.5	71.5	71.8	71.5	71.1
		钢铁占工业能源消费比重/%	23.4	24.2	25	24.8	25.7	24.9
建筑部门	消费量	3 403	3 761	4 127	3 812	4 562	6 226	
	占比/%	1.4	1.5	1.5	1.3	1.5	1.9	
交通部门	消费量	18 391	20 284	21 959	22 917	23 692	26 068	
	占比/%	7.8	7.8	7.8	7.9	7.7	8.0	

续表

年 份		2005	2006	2007	2008	2009	2010
其他部门	消费量	85 995	95 099	103 480	107 493	112 232	118 552
	占比/%	36.4	36.8	36.9	36.9	36.6	36.5

数据来源:中国能源统计年鉴,2010。

(2) 中国钢铁行业的主要污染物排放仍然偏高

重点大中型企业吨钢烟粉尘、二氧化硫排放量与国外先进钢铁企业相比尚有较大差距,通过国家及地方政府清洁生产审核的钢铁企业仅 1.4%,其中重点大中型企业约 30%;钢铁行业氮氧化物、二氧化碳、二噁英等污染物减排尚处于研究探索阶段。由此可见,中国钢铁行业的能耗与排放地位“举足轻重”,节能减排潜力巨大^[3,4]。因此,《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》明确指出:“要重点研究开发冶金、化工、建材等流程工业和交通运输业等主要高耗能领域的节能技术与装备^[5]”。

由于钢铁生产的能耗高、二氧化碳排放高,中国钢铁工业的二氧化碳排放占全世界总排放的比重较大,国际钢铁协会(IISI)和国际能源署(IEA)报告认为世界钢铁二氧化碳排放的 50% 以上为中国钢铁企业排放^[6],这给中国政府在国际气候谈判中的话语权形成了较大压力。2005 年中国吨钢二氧化碳排放量约为 2 515kg(即二氧化碳排放系数为 2.515),而德国只有 1 300kg,日本为 1 652kg^[7]。不同研究报告计算的中国 2010 年二氧化碳排放系数在 1.5 ~ 2.0^[8~12]。本报告采用文献[11]中 2010 年吨钢二氧化碳排放系数为 1.75 计算,则去年中国钢铁行业的二氧化碳排放量接近 11 亿 t。图 2-1-5 为“十一五”期间钢铁工业能源情况。

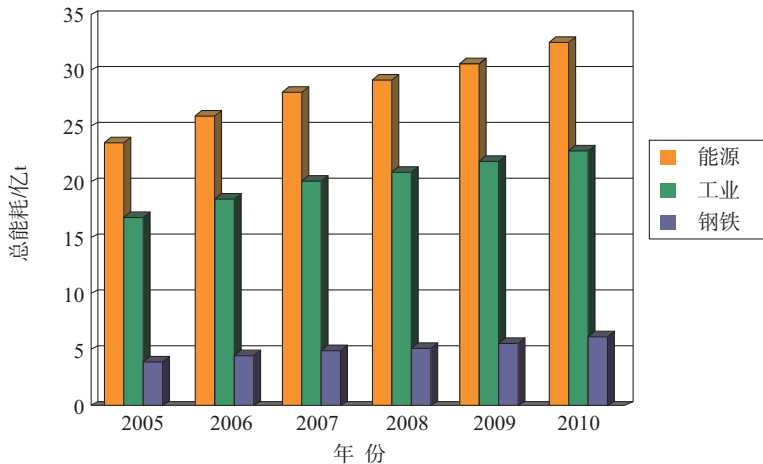


图 2-1-5 “十一五”期间钢铁行业能耗、工业、能源与全国总能耗情况

“十一五”期间,中国钢铁行业的节能减排工作取得显著进展,行业整体综合能耗明显降低。重点推广了以“三干三利用”为代表的重点领域节能减排措施。即:干法熄焦、高炉煤气干式除尘、转炉煤气干式除尘的“三干”技术;水的综合利用,以副产煤气(焦炉、高炉、转炉)为代表的二次能源利用,以高炉渣、转炉渣为代表的固体废弃物综合利用的“三利用”措施,产生了较好的节能减排效果。钢铁生产主要工序能耗稳步下降。2010年,重点统计钢铁企业各项节能减排指标全面改善,吨钢综合能耗降至607kg标准煤、耗新水量 4.1m^3 、二氧化硫排放量 1.63kg ,与2005年相比分别下降12.8%、52.3%和42.4%。固体废弃物综合利用率由90%提高到94%^[13]。图2-1-6为“十一五”期间重点大中型企业吨钢能耗。

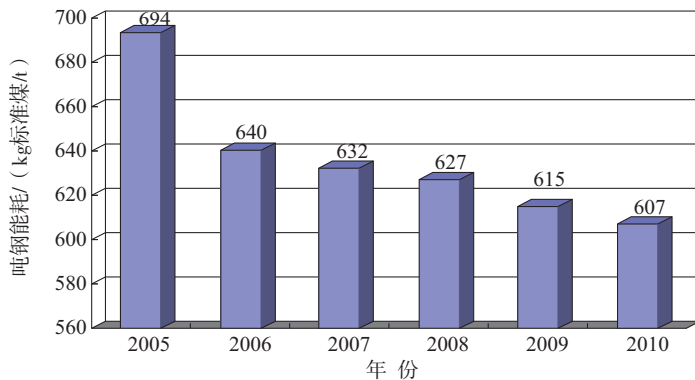


图 2-1-6 “十一五”期间重点大中型企业吨钢能耗

数据来源:《钢铁工业“十二五”规划》和中国钢铁协会。

(1) 加强工序节能

钢铁生产过程中,物质和能源转化过程贯穿始终,主要由焦化—烧结—炼铁—炼钢—连铸—轧钢等工序组成,各工序能耗占流程总能耗的百分比分别约为8%、18%、64%、1%和9%。典型钢铁生产流程见图2-1-7。“十一五”期间,在钢铁制造流程功能拓展理念的指导下,钢铁行业节能技术的普及率显著提高,以干熄焦(CDQ)和高炉炉顶压差发电透平(TRT)为例,重点企业的普及率由2005年的26%和71%分别提高到2009年的73%和96%(1000m^3 以上高炉)^[14],有力地推动了钢铁行业的节能减排,使得各工序能耗显著降低。与2005年相比,2009年重点统计钢铁企业焦化工序能耗由 139.64kg 标准煤/t焦降至 121.48kg 标准煤/t焦(电力折系数按当量值计算),烧结工序能耗由 60.13kg 标准煤/t矿降至 55.47kg 标准煤/t矿,炼铁工序能耗由 445.71kg 标准煤/t铁降至 417.02kg 标准煤/t铁,转炉工序能耗由 18.65kg 标准煤/t钢降至 4.84kg 标准煤/t钢,电炉工序能耗由 96.93kg 标准煤/t钢降至 75.99kg 标准煤/t钢^[13]。表2-1-2为钢铁生

产各工序及工序能耗占流程总能耗百分比。

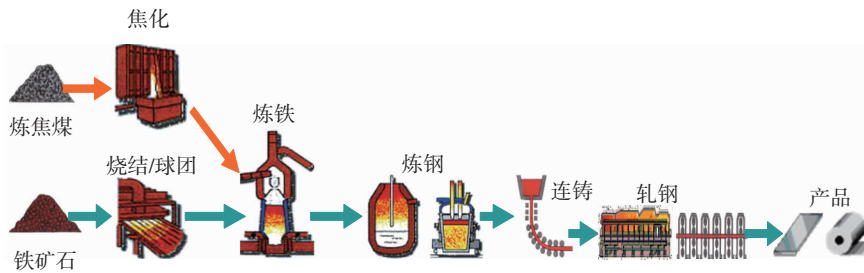


图 2-1-7 典型高炉—转炉—热轧钢铁生产流程

表 2-1-2 钢铁生产各道工序描述及工序能耗占流程总能耗的百分比

工序	工序功能描述	能耗/%
焦化	煤转变为焦炭,为炼铁工序提供还原剂和燃料	<6
烧结	铁矿预处理,为炼铁工序提供原料	8~12
炼铁	铁矿石还原为铁水	0.7
炼钢	铁水冶炼成初步脱氧的钢水,经二次冶炼成为合格钢水	<1
连铸—轧钢	钢水连续凝固为连铸坯,经连续热轧加工成各类钢材	0.1

(2) 推广伴生气(二次能源)发电技术

钢铁生产过程中产生大量余热余能,吨钢余热余能资源总量约为 455kg 标准煤,其中,高炉煤气等低热值伴生气的化学能约占余热余能总有效能的 67%。中国钢铁企业的余热余能回收利用率很低,仅为 45.6%,而国际先进企业,如日本的新日铁可达 92% 以上^[15]。过去五年,全行业推广伴生可燃煤气发电技术。2010 年与 2005 年相比,焦炉煤气回收利用率由 95.5% 提高到 98.3%,高炉煤气回收利用率由 90.7% 提高到 96.1%。吨钢转炉煤气回收量由 47.5m³/t 提高到 76.5m³/t。企业自发电比例由 27.44% 提高到约 35%^[16]。

(3) 促进管理和结构节能

1)“十一五”期间,强化产业政策和项目管理,建立企业能源管理中心。重点统计钢铁企业 1 000m³ 及以上高炉生产能力所占比例由 48.3% 提高到 60.9%,全行业 1 000m³ 以上大型高炉比重由 21% 上升到 34%^[16],100t 及以上炼钢转炉生产能力所占比例由 44.9% 提高到 56.7%,大部分企业已配备铁水预处理、钢水二次精炼设施,精炼比达到 70%。

2)淘汰落后炼钢产能 8 761 万 t、炼铁产能 14 581 万 t,均大幅超额完成预定目标。

3)联合重组步伐加快。跨地区重组不断推进,宝钢重组新疆八一钢铁、韶

钢和宁波钢铁,武钢重组鄂钢、柳钢和昆钢股份,鞍钢联合重组攀钢,首钢重组水钢、长治钢铁、贵阳钢铁和通化钢铁,沙钢重组河南永钢,华菱钢铁重组无锡钢厂等基本完成。区域联合重组取得新进展,相继组建了河北钢铁集团、山东钢铁集团、渤海钢铁集团、新武安钢铁集团,河北钢铁集团还探索以渐进式股权融合方式重组了区域内 12 家钢铁企业。

由于上述节能减排措施得当,整个“十一五”期间实现节能总量约 4 611 万 t 标准煤,相当于减排 1.08 亿 t 二氧化碳,有力地保证了国家“十一五”提出的 GDP 能耗下降 20%、主要污染物排放下降 10% 目标的实现^[13]。

1.2 钢铁行业未来能源消费形势和二氧化碳排放趋势

(1) 中国能源消费形势与钢铁行业面临的挑战

钢铁工业的发展首先要满足未来一段时期内国家经济社会宏观发展的需要,钢铁工业的节能减排工作也应紧紧围绕国家各类规划提出的经济发展目标和行业发展目标,特别是节能减排目标。目前国家已经发布了一系列“十二五”发展规划,这些规划对钢铁行业的节能减排工作提出了严峻挑战。

《中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年(2011—2015 年)规划纲要》提出的“十二五”目标为:国内生产总值年均增长 7%,全国总人口控制在 139 000 万人,单位国内生产总值能源消耗降低 16%,单位国内生产总值二氧化碳排放降低 17%^[17]。

《能源发展“十二五”规划》提出的 2015 年能源消费总量目标为 41 亿 t 标准煤,年均增速控制在约 4.8%^[18]。

工信部 2010 年《钢铁工业节能减排的指导意见》明确要求:到 2011 年底,重点大中型钢铁企业吨钢综合能耗不超过 620kg 标准煤;吨钢耗用新水量低于 5m³,水重复利用率 95% 以上;吨钢烟粉尘排放量小于 1.0kg,吨钢二氧化硫排放量低于 1.8kg,吨钢化学需氧量排放量低于 0.2kg;二次能源基本实现回收利用;钢渣综合利用率 94%,铁渣综合利用率 97%,尘泥综合利用率 99%,尾矿综合利用率 10%。钢铁工业新增 2 200 万 t 标准煤的节能能力,污染物排放浓度和排放总量双达标。到“十二五”末,重点大中型企业基本建成资源节约型、环境友好型企业,能耗、水耗达到国际先进水平。吨钢综合能耗不超过 615kg 标准煤,主要生产工序能耗全部达到国家《粗钢生产主要工序单位产品能源消耗限额》和《焦炭单位产品能源消耗限额》限定值(电力折标系数按当量值计算)。全面实施综合污(废)水回收利用,钢铁联合企业废水基本实现“零”排放;氮氧化物、二噁英等污染物排放得到有效控制。大幅提升废钢资源循环利用水平,铁钢比降低 5 个百分点。全国钢铁行业初步形成资源节约型、环境友好型发展模式^[20]。表 2-1-3 为“十二五”时期钢铁工业发展主要指标。

最新发布的《钢铁工业“十二五”发展规划》采用三种方法对2015年国内粗钢消费量进行了预测。①行业消费调研法。调查分析建筑、机械、汽车、交通、矿山、石油化工等13个主要下游行业的“十二五”用钢需求,预测2015年消费量为7.5亿t左右。②地区消费平衡法。根据各省市公布的“十二五”国内生产总值发展目标,结合各地区现有钢材消费水平和发展趋势,预测2015年消费量为8.2亿t。③消费系数和回归分析法。根据《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》提出的目标,设定了“十二五”期间国民经济快速、较快和适度三种不同发展情景,综合采用国内生产总值钢材消费系数法、固定资产投资钢材消费系数法和回归分析法,预测2015年消费量分别为8.1亿t、7.5亿t和7.1亿t。最后综合预测,2015年国内粗钢导向性消费量约为7.5亿t。在此基础上,进一步采用国内生产总值消费系数法和人均粗钢法,预测中国粗钢需求量可能在“十二五”期间进入峰值弧顶区,最高峰可能出现在2015—2020年,峰值7.7亿~8.2亿t,此后峰值弧顶区仍将持续一个时期^[21]。

表 2-1-3 “十二五”时期钢铁工业发展主要指标

序号	指标	2005年	2010年	2015年	累计增长/%
1	行业前十家产业集中度提高/%	34.7	48.6	60	11.4*
2	单位工业增加值能耗降低/%	—	—	—	18
3	单位工业增加值 CO ₂ 排放降低/%	—	—	—	18
4	重点企业平均吨钢综合能耗降低/kg 标准煤	694	607	≤580**	≥4
5	吨钢耗新水量降低/m ³	8.6	4.1	≤4.0	≥2.4
6	吨钢 SO ₂ 排放量降低/kg	2.83	1.63	≤1	≥39
7	吨钢 COD 降低/kg	0.25	0.07	0.065	7
8	固体废弃物综合利用率提高/%	90	94	≥97	≥3*
9	研究与实验发展经费占主营业务收入比/%	0.9	1.1	≥1.5	≥0.5*

注:*为2015年比2010年增加或减少的百分点;**为重点统计企业。

(2) 国际环保压力

中国钢铁工业面临着严峻的国际环保压力。目前,中国已经缔约或签署国际环境公约达50余项,包括《联合国气候变化框架公约》《京都议定书》《斯德哥尔摩公约》《鹿特丹公约》《巴塞尔公约》等。作为负责任的大国,中国政府承诺到2020年:单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降40%~45%,非化石能源占一次能源消费的比重达到约15%。

在国际气候谈判中,中国一直都强调人均二氧化碳排放远远低于发达国家的

事实,以争得应有的公平的发展权利和发展空间。但近年来,中国二氧化碳排放的特点不仅表现在总量的加快,而且速度也急剧增长^[22],考虑到钢铁行业二氧化碳排放量在中国二氧化碳排放总量中比例较高,约为 15%,因此钢铁行业二氧化碳排放量的迅速增加是中国人均二氧化碳排放增长的重要原因之一。由于中国钢铁生产中的铁钢比例高、电炉钢比例低以及钢铁产业集中度低和冶金装备容量偏小等原因,中国钢铁工业二氧化碳排放量占全球钢铁工业二氧化碳总排放量的 51%,而欧盟、日本、俄罗斯、美国以及其他一些国家钢铁工业二氧化碳排放量分别占全球钢铁工业二氧化碳总排放量的 12%、8%、7%、5%、17%^[23]。表 2-1-4 为主要发达国家与发展中国家人均碳排放变化。

表 2-1-4 主要发达和发展中国家人均碳排放变化^[22]

单位:tCO₂/人

国家	1990 年	2000 年	2008 年	2009 年	2000—2009 年变化百分比/%
美国	19.5	20.5	18.6	17.2	-16
德国	12.9	10.5	10.0	9.3	-11
日本	9.4	10.0	10.3	9.2	-8
英国	10.3	9.3	8.8	8.1	-14
俄罗斯	15.7	10.8	12.2	11.2	3
中国	2.2	2.8	5.6	6.1	113
印度	0.8	1.0	1.4	1.4	38
巴西	1.5	2.0	2.1	1.9	-1
墨西哥	3.7	3.8	4.2	4.2	8
南非	7.3	6.8	8.2	8.0	18

数据来源:Olivier and Peters 2010。

(3) 钢铁行业二氧化碳排放趋势

为了获得未来一段时期中国钢铁行业二氧化碳的减排潜力,首先要了解未来中国钢铁行业二氧化碳排放趋势。中国正处于工业化快速发展阶段,钢铁的需求量还将继续增加,按国际上工业化国家人均钢铁年需求量 400~700kg 标准进行计算(美国最高时达到 711kg,韩国最高时达到约 750kg)^[24~27]。中国按未来 5~20 年的人均需求量分别为 520kg、550kg 和 600kg 计算,假设全部钢铁自给自足,不考虑进出口等因素影响(美国、欧盟等西方发达国家在完成工业化后钢铁进口量逐渐增加,需求量和生产量相差较大)。表 2-1-5 为 2009 年人均能源消耗与钢产量等指标的国际比较。

表 2-1-5 2009 年人均能源消耗与钢产量等指标的国际比较^[24-27]

	中国	美国	欧盟	日本	俄罗斯	世界
人口/百万	1 331.4	306.8	499.8	127.6	141.8	6 810
人均一次能源消费量/kg 标准煤	2 297	10 151	4 638	5 194	6 400	2 342
人均钢铁需求量/kg	423	416	400	606	528	260
人均钢产量/kg	429	189	278	686	422	179
人均 CO ₂ 排放量/tCO ₂	4.53	19.2	7.75	9.55	10.8	4.38

“十二五”期末的 2015 年,中国人口 13.9 亿,钢铁需求约为 7.2 亿 t;假设 2020 年人口 14.4 亿,钢铁需求约为 8 亿 t(基本与《钢铁工业“十二五”发展规划》预测的导向性消费量相符);实现工业化时拥有 15 亿人口来计算,届时中国钢铁年需求将达到约 9 亿 t。随着国家和钢铁工业节能减排政策的强化和碳减排技术的普及应用,假设 2015 年和 2020 年吨钢二氧化碳排放系数分别为 1.71 和 1.58(受制于能源结构和生产流程,中国钢铁行业未来十年的吨钢二氧化碳排放系数仍将与国际先进水平仍有一定差距)^[28,29],则 2015 年和 2020 年中国钢铁工业二氧化碳的总排放将达到 12.8 亿 t 和 12.6 亿 t。未来十年中国钢铁行业二氧化碳排放量预测见表 2-1-6。表 2-1-7 为钢铁行业总现状与未来发展趋势。

表 2-1-6 未来十年中国钢铁行业 CO₂ 排放量预测

年 份	2010	2015	2020
粗钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
吨钢 CO ₂ 排放强度/(tCO ₂ /t 粗钢)	1.75	1.71	1.58
CO ₂ 排放量/亿 t	10.97	12.85	12.64

表 2-1-7 钢铁行业的总现状与未来发展趋势

年 份	2005	2010	2015	2020
全部工业增加值/亿元	76 190	160 030	235 137	314 666
钢铁行业工业增加值/亿元	5 777	10 671	17 186	25 252
单位工业增加值能耗/(t 标准煤/万元)	4.27	3.27	2.68	≤2.2
能源消费量/万 t 标准煤	39 544	56 404 [#]	70 914	73 033
CO ₂ 排放量/亿 t	8.88	10.97	12.85	12.64
CO ₂ 减排目标/亿 t	—	4.4 [*]	5.9 [*]	7.4 [*]
主要产品产量(实物量单位)	3.53	6.37	7.5	8
主要产品单位能耗/(t 标准煤/t 钢)	0.694	0.607	≤0.58 ^{**}	≤0.56 ^{**}

注: # 为 2009 年数据; * 为以 2005 年为基准年的结果; ** 为重点统计企业。

(4) 钢铁行业二氧化碳减排新技术发展趋势

根据“十一五”工业节能的实践经验,60%的节能成果依靠调整产业产品结构来实现;30%的节能成果依靠推广节能技术来实现;10%的节能成果依靠先进的工业过程能源管理来实现^[30]。从某种意义上讲,后两者都是技术创新(本报告将管理技术也归入技术创新)的结果,而且随着国家宏观结构调整的逐步完善,未来技术进步在节能减排中的地位愈加重要。“十二五”时期,中国钢铁工业节能减排、环境保护工作将面对低碳经济及更严格的污染物排放标准等新形势、新压力,由单一技术、单一工序节能减排技术向系统集成优化转变,力争在重点技术领域有所突破,真正做到从末端治理向源头治理、向过程控制方面转变,持续深化节能减排工作。

为应对气候变化,目前世界各国对钢铁工业节能减排的关注上升到了前所未有的高度。2004 年欧盟制定了“超低 CO₂ 炼钢”计划(ULCOS),氧气高炉—煤气循环炼铁是其核心技术之一,目标是 2020 年实现工业生产。2007 年,日本钢铁学会携同六大钢铁公司制定了“钢铁工业低 CO₂ 排放技术路线”(COURSE 50),其核心是开发创新的炼铁工艺,采用重整焦炉煤气用于高炉炼铁,目标是二氧化碳减排 30% (每吨粗钢二氧化碳排放量从 1.64t 降低到 1.15t)^[31]。具体排放技术路线见图 2-1-8。显而易见,世界各国正力图通过加快钢铁工业节能技术的研发,来推动减排目标的实现。未来中国钢铁工业实施节能减排的前沿技术主要包括低品位余热利用技术(300℃ 以下)、高炉渣显热、钢渣显热、球团矿余热的回收利用技术、全氧高炉炼铁技术、直接还原和熔融还原技术等。

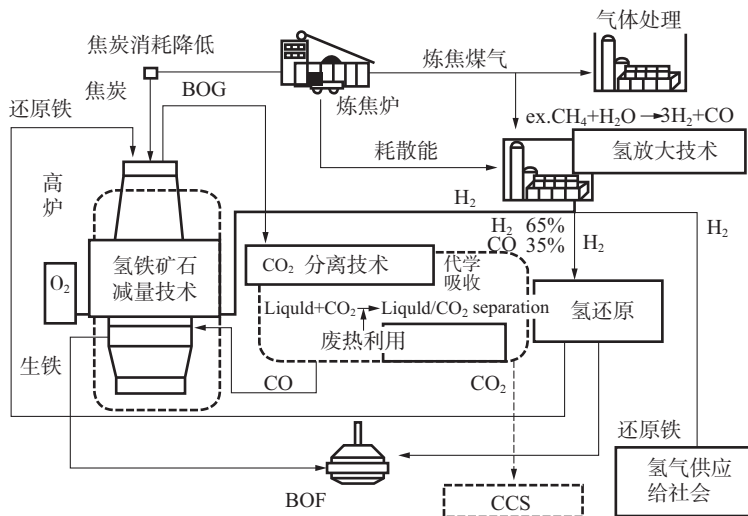


图 2-1-8 日本 COURSE 50 新炼铁技术

1) 全氧高炉炼铁技术:全氧高炉炼铁技术以现有高炉为基础,用氧气(含氧量达到 90% 以上)取代空气鼓风,部分炉顶煤气经二氧化碳分离、加热后从炉身和炉缸喷入高炉,达到增加喷煤量、降低焦比的目的(见图 2-1-9)。该技术的实施可以实现炼铁工序碳耗下降 25%;煤比 $> 200\text{kg/t}$ 铁;焦比 $< 220\text{kg/t}$ 铁,高炉生产效率提高 $\geq 30\%$,二氧化碳减排 10% ~ 25%,直接经济效益实现吨铁生产成本降低 70 元以上。目前正进行 120m^3 炉顶煤气循环氧气鼓风高炉设计及关键装置开发,“十二五”期间拟开展工程示范^[31]。

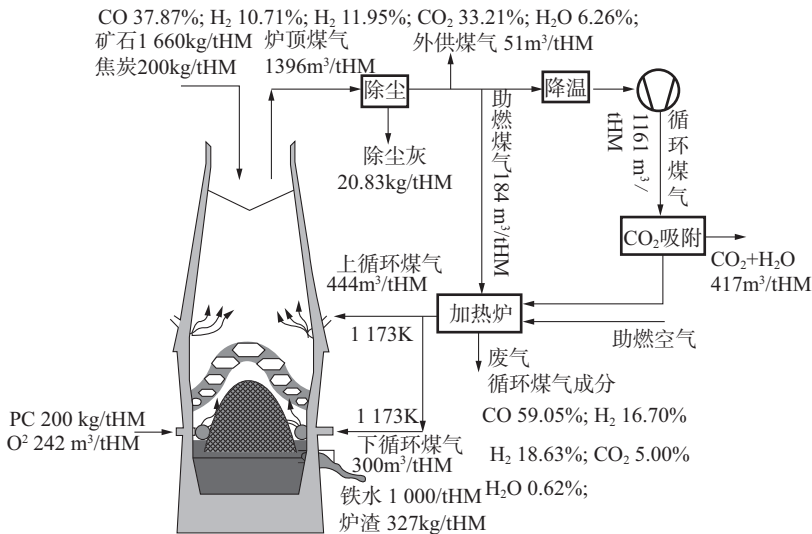


图 2-1-9 全氧高炉炼铁技术

2) 高炉富氧喷吹焦炉煤气技术:高炉富氧喷吹焦炉煤气技术的发展现状是:在富氢还原气体还原特性、高炉喷吹焦炉煤气炉内反应机理等基础研究的基础上,进行工艺流程设计及焦炉煤气净化加压、重整、加热及喷吹等关键技术和设备的研究开发,开展焦炉煤气喷吹工业试验,焦炉煤气喷吹量 $> 100\text{m}^3/\text{t}$ 铁,置换比 $\geq 0.45\text{kg}(\text{焦炭})/\text{m}^3(\text{焦炉煤气})$,燃料比降低 10%,二氧化碳减排 10% ~ 20%,高炉生产效率提高 10%。该技术目前尚处于研发试验阶段,还不具备大范围推广应用的条件。

3) 新一代 TMCP(控轧控冷)技术:以超快冷为核心的可控无级调节钢材冷却技术;以相变和析出为基础、冷却路径可控技术;细晶、析出、相变综合强化技术,离线热处理在线化技术;其中节省钢材合金用量 30%;提高钢材强度 100 ~ 200MPa,大幅度提高冲击韧性,节约钢材使用量 5% ~ 10%;提高生产效率 35% 以上;节能 10% ~ 15%。该技术目前尚处于研发试验阶段,还不具备大范围推广应用的条件。

4) 非高炉炼铁技术:非高炉炼铁技术主要包括直接还原和熔融还原工艺。直接还原是在低于熔化温度之下还原成海绵铁的炼铁生产过程,其产品叫直接还原铁,也称海绵铁(DRI);熔融还原是指一切不用高炉冶炼液态生铁的方法。气基竖炉 Midrex 和 HYL 法是最成功、生产规模最大的直接还原工艺,回转窑是煤基直接还原的主要方法^[32]。气基工艺的产量约占世界总产量的 80%,煤基直接还原仅占 20%。其中 HYL-ZR 是一种新型气基自重整直接还原工艺,可以利用焦炉煤气、高炉煤气、氧气顶吹转炉煤气或者煤制气来还原铁矿石(球团矿或球团矿与块矿的混合物)以生产海绵铁,是 21 世纪全世界钢铁界的前沿技术,是技术发展的方向,但目前还存在较多重大技术问题需要突破^[54]。图 2-1-10 为 HYL-ZR 直接还原工艺流程。

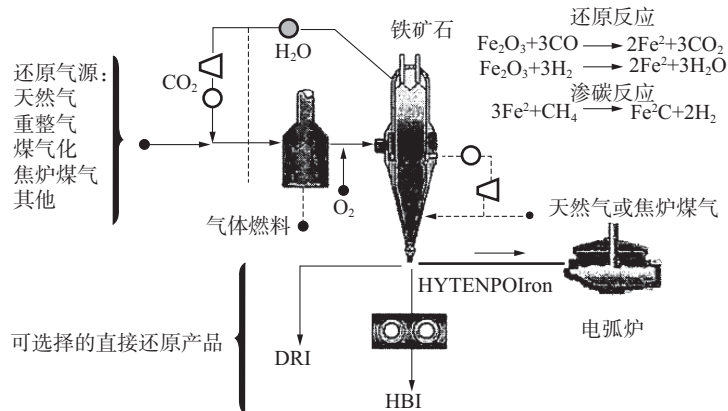


图 2-1-10 HYL-ZR 直接还原工艺流程

5) 特大型高炉技术:钢铁消费量的急剧增长和能源价格上涨以及各国对于环境保护的要求,都在促使炼铁高炉向大型化、高效化、清洁化发展。截至 2009 年 11 月,全世界共有 9 座 5 500m³ 以上的特大型炼铁高炉,包括中国京唐钢铁 1 号高炉(容积 5 500m³)和世界最大的沙钢华盛 5 860m³ 高炉,该高炉每天可生产 1.3 万 t 铁水,足够装满 90 只 150t 铁水罐,年产量高达 500 万 t,年产值超过 120 亿元。项目总投资 18 亿元,采用世界最先进的富氧喷煤系统、煤气洗涤循环系统、净化水增压系统、TRT 余热发电、炉前脱硅及高效除尘环保等节能减排先进技术,装备水平居世界前列,吨铁能耗比国内同类装备降低约 40%,烟尘粉尘排放量可减少约 15%,技术经济指标达到国际一流水平。该技术的工程投资大,技术集成度高,需要配套一系列节能减排装备,而且对原材料要求较高,具有一定特殊性,是否应在全国大范围推广目前存有一定的争议。图 2-1-11 为日本 JFE 钢铁千叶厂 4 650m³ 高炉模型。

6) 二氧化碳捕集技术(CCS):钢铁工业 CCS 技术可以借鉴工业上捕集二氧

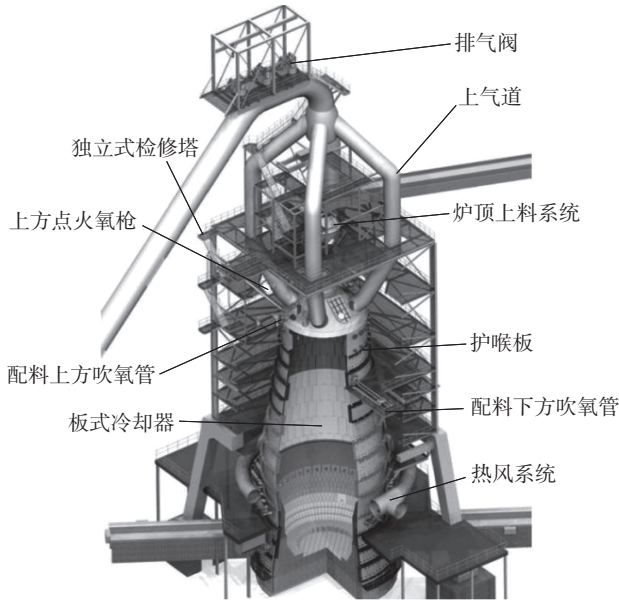


图 2-1-11 日本 JFE 钢铁千叶厂 4 650m³ 高炉模型

化碳的方法。工业上二氧化碳捕集技术一般包括吸收分离法(包括物理吸收法和化学吸收法)、吸附分离法、膜分离法和低温蒸馏法等^[33]。

①液相吸收法。液相吸收法包括物理吸收法和化学吸收法。典型的物理吸收法有加压水洗法、Flour 法、NHD 法、Purisol 法、Rectisol 法(低温甲醇)等。该法的关键是确定优良的吸收剂,必须对二氧化碳的溶解度大、选择性好、沸点高、无腐蚀、无毒性且性能稳定^[34]。物理吸收法的分离效果并不理想,回收率较低,其优点是能耗低,溶剂可用闪蒸再生,一般可在常温下操作^[35]。化学吸收法是使原料气和化学溶剂在吸收塔内发生化学反应,二氧化碳被吸收至溶剂中成为富液,富液进入脱析塔加热分解出二氧化碳,从而达到分离回收二氧化碳的目的。尽管化学吸收法在燃煤工厂烟气脱二氧化碳等领域都有应用,但仍存在能耗过高的问题。

②膜吸收法。所谓膜吸收法^[36],即在薄膜一侧有化学吸收液存在,气体和吸收液不直接接触,二者分别在膜两侧流动,膜本身对气体没有选择性,只起到隔离气体和吸收液的作用,膜壁上的孔径足够大,可以使得气体分子自由扩散至吸收液侧,通过吸收液的选择性吸收达到分离气体某一组分的目的。膜分离法结构紧凑,操作简单,对环境影响小,但使用温度不超过 150℃,不太适合烟道气中二氧化碳的分离回收。

③低温蒸馏法。低温蒸馏法利用二氧化碳易液化的特点(临界温度为

30.98℃,临界压力为 7.375MPa),在二氧化碳高纯气的液化和纯化方面有着广泛的商业应用,尤其是当气体组分之间沸点相差较大时,此法生产成本更低。低温蒸馏法对于高浓度二氧化碳的回收较为经济^[37],可获得液态二氧化碳,便于运输和储存,回收率高,纯度高。该法的缺点是设备庞大、能耗较高^[38],考虑到经济性原则,一般钢铁行业不采用此法。

④吸附分离法。吸附分离法^[39]可分为变压吸附法(PSA)和变温吸附法(TSA)及变温变压吸附法(PTSA)。通常工业上较多采用 PSA 法,PSA 法工艺简单,设备投资小,能耗较低,适应能力强,无设备腐蚀问题,但该法的吸附容量有限,需要大量吸附剂,吸附解吸频繁,要求设备自动化程度高。

需要说明的是,考虑到经济性原则,一般钢铁行业不采用上述 CCS 技术。而据预测,至 2020 年,整个钢铁工业 CCS 的减排潜力不到 0.09 亿 t^[51],表明在未来十年该项技术对钢铁行业减排的贡献不大,并非主流和关键技术,因此本报告不专门进行研究。表 2-1-8 为几种 CCS 技术原理与经济特征比较。

表 2-1-8 几种 CCS 技术的原理与经济特征比较

分离方法	基本原理	分离特点及效果	经济性
化学与物理吸附	利用某些固体吸附剂对 CO ₂ 的可逆吸附作用	过程简单、无腐蚀,但对 CO ₂ 回收率不高	能耗低、成本低
溶剂吸收法	物理吸收、化学吸收	分离效果好,可获得浓度高达 99.9%	投资费用大,能耗高,回收成本高
低温蒸馏法	利用 CO ₂ 和其他气体的沸点差异,使 CO ₂ 相变,而其他组分不变	适用于高浓度混合气(CO ₂ >60%),分离效果差	投资费用大,能耗高,回收成本高
气体分离薄膜	基于 CO ₂ 与其他气体透过膜材料的速率不同	装置简单、寿命长、操作简单,分离效率高	投资较省,能耗低

1.3 钢铁行业促进节能减排的政策措施

中国在“十一五”期间采取了一系列政策措施促进钢铁工业的节能减排,主要包括以下方面。

(1) 调整产业结构,大力淘汰落后产能,推进企业联合重组

加快淘汰落后生产工艺装备和产品,促进工业结构优化升级。2010 年 10 月,工信部制定了《部分工业行业淘汰落后生产工艺装备和产品指导目录(2010 年本)》和《钢铁行业生产经营规范条件》,对节能减排、淘汰落后产能的目标任务和工作组织做出了明确部署和要求^[42]。《节能减排综合性方案的通知》公布

“十一五”时期淘汰钢铁工业的落后生产力,淘汰 300m³ 以下高炉 1 亿 t,年产 20 万 t 及以下的小转炉、小电炉 5 500 万 t。2004 年起,对电解铝、铁合金、电石、烧碱、水泥和钢铁 6 个高耗能行业实行差别电价政策。从 2010 年 6 月 1 日起,限制类和淘汰类企业加价标准分别从加价 0.05 元/kWh 和 0.2 元/kWh,提高到 0.1 元/kWh 和 0.3 元/kWh,同时对钢铁产品加征 5%~10% 出口关税,钢坯、钢锭、生铁等产品出口关税税率由 10% 提高到 15%。2008 年 1 月 1 日起,钢坯、焦炭出口税率由 15% 提高到 25%,部分钢材由 5% 提高到 15%。2010 年 5 月 12 日,国家发展和改革委员会、国家电监会、国家能源局联合下发通知,要求限期取消对钢铁等高耗能企业用电价格优惠。

推进企业联合重组,提高集中度。2009 年 3 月发布的《钢铁产业调整和振兴规划》中提出要积极推进企业重组,提高产业集中度。2010 年 6 月发布的《国务院办公厅关于进一步加大节能减排力度,加快钢铁工业结构调整的若干意见》中提出,力争到 2015 年,国内排名前 10 的钢铁企业集团钢产量占全国产量的比例达到 60% 以上,推动钢铁工业结构调整迈上一个新台阶。2010 年公布的《钢铁行业生产经营规范条件》和《钢铁业联合重组指导意见》中提出将 800 余家钢铁企业重组减少到约 200 家的总体目标。在上述规划、通知和指导意见的推动下,目前中国钢铁产业的产业集中度略有提升,2008 年中国有 70 家大中型钢铁企业,产量占全国的 83%。2009 年 1 000 万 t 产能企业达 11 家,其粗钢产量达到 2.6 亿 t,占全部产能的 45%,相比 2008 年的 41% 进一步提升。产能在 2 000 万 t 以上的企业达 6 家,分别是河北钢铁集团、宝钢集团、武钢集团、鞍本集团、江苏沙钢集团和山东钢铁集团,其粗钢产量达 1.9 亿 t,占全国的 33%。2009 年中国前 5 名钢铁企业产能占全国比重达 29%,前 10 名比重达 43%。预计至 2012 年,通过联合重组,前 5 名钢铁集团占总产能的 45% 以上^[43]。

(2) 加强政策引导,促进节能减排技术应用

一方面,国家出台了一系列方针、政策和行业标准,促进钢铁工业开展节能减排技术应用。《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》在重点发展领域中的优先主题中明确指出将支持发展 TRT 和副产煤气发电。国家先后发布三批《国家重点节能技术推广目录》,其中与钢铁工业有关的达到了 15 项^[44-46],这些节能技术推广应用的同时也极大地促进了钢铁行业的减排工作。此外,还有《钢铁产业发展政策》、《钢铁产业调整和振兴规划》、《促进中部地区原材料工业结构调整和优化升级方案》、《促进钢铁企业兼并重组指导意见》、《钢铁行业烧结烟气脱硫实施方案》、《钢铁企业能源管理中心建设实施方案》、《钢铁企业烧结合余热发电技术推广实施方案》、《钢铁工业节能减排指导意见》以及一些地方性政策措施等都明确对钢铁工业开展节能减排技术应用给予

政策倾斜。

另一方面,国家通过财政投入、项目补助、节能基金等形式,逐步加大对钢铁工业节能减排和废弃物综合利用等方面的投资。建设了一批具有国际先进水平的行业清洁生产环境友好型企业,钢铁企业的社会形象有了很大改善。对企业节能技改,由中央和地方财政给予贷款贴息,补贴额度为 50%。2007 年 8 月,国家开始实施节能减排技术改造财政奖励,采取“以奖代补”方式,每节约 1t 标准煤奖励 200~250 元。据中国钢铁协会统计,2009 年重点统计钢铁企业仅污染防治投入占固定资产总投资比重就达到 8.9%,比 2005 年提高了 2.7 个百分点。

(3) 健全法规标准,加强监督,强化节能减排目标责任

国家修订颁布了节约能源法,发布并实施了涉及钢铁行业高耗能产品能耗限额强制性国家标准,并对执行情况开展了严格的专项督查,组织开展企业节能减排行动,推动落实目标责任,开展能源审计,编制节能规划,实施能效水平对标,公告能源利用状况等。工信部还要求对不达标钢铁企业立即停产改造,改造无望或经改造仍不能达标的企业要列入淘汰名单。国务院发布了节能减排统计监测考核实施方案,将“十一五”节能减排目标分解落实到各级人民政府和重点高耗能企业。从 2008 年起,国家每年对节能减排目标责任进行现场评价考核,考核结果向社会公布,形成了目标明确、责任清晰、一级抓一级、一级考核一级的节能减排目标责任制。

(4) 推广清洁发展机制(CDM),鼓励开展国际碳交易

清洁发展机制(CDM)是指发达国家通过提供资金和技术的方式,与发展中国家开展项目级的合作,通过项目所实现的“经核证的减排量”(CERs),用于发达国家缔约方完成《京都议定书》下规定的关于减少本国温室气体排放的承诺。中国于 1998 年 5 月签署并于 2002 年 8 月核准了《京都议定书》。随后,为进一步实现对 CDM 项目的有效管理,同时为充分利用 CDM 提供的激励机会,中国政府成立了由相关部门组成的清洁发展机制国家审核理事会(Designated National Authority, DNA),并于 2005 年 10 月 12 日发布实施了《清洁发展机制项目运行管理办法》。随着产业发展,钢铁业余能利用类项目逐步参与到 CDM 的行列之中,目前主要集中于以下领域:①余热回收利用,主要包括干熄焦余热发电(CDQ)、烧结矿余热发电。②富余煤气回收利用,主要为回收富余的焦炉煤气、转炉煤气和高炉煤气,建设燃气-蒸气联合循环发电(CCPP)、全燃高炉煤气电站等。③高炉炉顶煤气余压发电(TRT)技术。由于钢铁行业节能减排项目的前期投入较大、技术水平要求高,因此在项目建设过程中配合 CDM 的开发,为中国钢铁业利用国外资金以及引进先进技术带来了机遇。

(5) 实施合同能源管理(EPC),发展节能服务产业

合同能源管理(EPC)是指节能服务公司与用能单位以契约的形式约定节

能项目的节能目标,节能服务公司为实现节能目标向用能单位提供必要的服务,用能单位以节能效益支付节能服务公司的投入及其合理利润的节能服务机制。2010年4月2日,国务院办公厅下发了《关于加快推行合同能源管理,促进节能服务产业发展的意见》。财政部、国家发改委联合印发了《合同能源管理项目财政奖励资金管理暂行办法》,安排中央财政补贴资金20亿元,支持节能服务公司采用合同能源管理机制对企业实施节能改造。据统计,2009年中国钢铁行业合同能源管理项目投资总额不到30亿元人民币,占当年全国合同能源管理项目投资总额15%~20%,并将保持强劲增长,预计在“十二五”期间,将保持50%以上的年增长率^[48]。实践证明,合同能源管理机制可以让用能企业在零投资、零风险的情况下,达到较好的节能减排效果。

2 关键减排技术的选择

2.1 关键减排技术的定义与界定

依靠科技创新和技术进步,提升技术水平,是中国钢铁工业节能减排工作的关键。目前,钢铁行业的减排技术主要可分为先进、高效、节能技术和碳捕获、利用与封存(Carbon Capture, Utilization and Storage)技术。

先进、高效、节能技术是一种间接减排技术,它并不以直接减少二氧化碳为手段和目的,而是通过提高转化和利用效率、强化余能回收利用等方式减少能源的消耗,其二氧化碳减排量假设为生产等量被参照的其他能源所产生的二氧化碳排放量。此类技术按成熟度又可分为:①相对成熟技术,包括干法熄焦技术(CDQ)、高炉炉顶压差发电技术(TRT)、纯烧高炉煤气锅炉技术、蓄热式轧钢加热炉技术等。②国外成熟、国家明确支持研发的技术,包括低热值煤气燃气-蒸气联合循环技术(CCPP)、转炉负能炼钢技术等。③难点与前沿技术,主要包括低品位余热利用技术(300℃以下)、高炉渣显热、钢渣显热、球团矿余热的回收利用技术、全氧高炉炼铁技术、直接还原和熔融还原技术等。

钢铁行业的CCUS技术是指将炼铁过程中的二氧化碳收集起来,用各种方法储存以避免其排放到大气中的一种技术,包括二氧化碳捕集、运输以及封存3个环节。目前以二氧化碳捕集技术(CCS)为主,主要包括液相吸收技术、膜吸收技术、吸附分离技术、低温蒸馏技术等^[49]。

2.2 关键减排技术选择的原则

本调研报告所选择的关键减排技术主要参考国务院和国家各部委颁布的相关规划、通知和指导意见等,主要包括《节能环保产业规划》、《国家重点节能技术推广目录》(1、2、3批)、《国家重点行业清洁生产技术导向目录》(1、2、3批)、《重大节能技术示范与产业化工程》、《国家能源科技“十二五”规划》、《“十二五”能源领域节能专项建议》、《“十二五”战略性新兴产业发展重点咨询研究之节能环保产业咨询报告》、《中国科学院支撑服务国家战略性新兴产业科技行动计划之节能环保产业》。除此之外,还通过专家推荐、参考国外正在研究或应用的最新成果、调研部分钢铁企业和科研院所(济钢、包钢、唐钢、北京科技大学、中国钢铁协会等)等渠道征集了部分减排技术。在调研大量减排技术的基础上,通过分析其技术特征、经济特征和知识产权归属等,选择未来一段时期

在钢铁行业可以开展的关键减排技术。

(1) 技术特征

共性及关键点:能够被普遍应用,其产业化可共享并对整个行业的减排产生深度影响,能提高产业竞争力,而且适应科技发展趋势,有重大意义和推广价值。

成熟度:应是刚刚出现、基本成熟或已经成熟,正处于快速增长期,且具有较好应用前景的技术。

可靠性:具有高可靠性,故障率低、易维修。

(2) 经济特征

单位减排量投资:具有一定的价格竞争力。

投资回收期:投资回收期合理,未来能够通过市场机制推广。

市场前景:有良好的市场前景,能形成较大的产业规模。

运行维护费用:运营维护费用合理。

(3) 知识产权和可实施性

知识产权:优先支持具有自主知识产权的技术,比如国产替代进口和国外技术;同时有条件地引进国外先进减排技术。

成功案例:在国内外钢铁企业已有成功运行或已完成示范。

2.3 关键减排技术

根据国家“十二五”发展规划和钢铁产业调整与振兴规划的总体部署,结合国内外钢铁行业减排技术的发展形势,未来在钢铁行业还将继续开展高温高压干熄焦(CDQ)、高炉炉顶压差发电(干式 TRT)、焦炉烟道气煤调湿、烧结余热发电、大型联合循环发电(CCPP)、高炉干法除尘、转炉干法除尘、蓄热式燃烧、钢铁企业能源管理中心等节能减排技术的应用。

(1) 干法熄焦技术(CDQ)

干法熄焦是用循环惰性气体做热载体,由循环风机将冷的循环气体输入到红焦冷却室冷却,高温焦炭至 250℃ 以下排出。吸收焦炭显热后的循环热气导入废热锅炉回收热量产生蒸气。循环气体冷却、除尘后再经风机返回冷却室,如此循环冷却红焦。采用干熄焦可回收 80% 的红焦显热,平均每熄 1t 焦炭可回收 3.9MPa、450℃ 的蒸气 0.45 ~ 0.6t^[50]。若将这些干熄焦产生的蒸气发电,采用全凝机组时,平均每熄 1t 红焦净发电 95 ~ 110kWh。扣除干熄焦自身的能源消耗,包括低压蒸气、氮气、电力、纯水等,采用干熄焦平均可降低炼焦能耗 40kg 标准煤/t^[50]。

(2) 煤调湿技术(CMC)

煤调湿是“装炉煤水分控制工艺”的简称,是将炼焦煤料在装炉前去除一部分

水分,保持装炉煤水分约稳定在 6%,然后装炉炼焦。CMC 不同于煤预热和煤干燥,CMC 有严格的水分控制措施,能确保入炉煤水分恒定。通过直接或间接加热来降低并稳定控制入炉煤的水分,不追求最大限度地去除入炉煤的水分(11%~12%),而只把水分稳定在相对低的水平(6%),既可达到增加效益的目的,又不因水分过低而引起焦炉和回收系统操作的困难,使入炉煤密度增大、焦炭及化工产品增产、焦炉加热用煤气量减少、焦炭质量提高和焦炉操作稳定等效果。主要效益体现在焦炉生产能力提高 11%、炼焦耗热量减少 15%、焦炭粒度分布均匀、焦炭强度提高 11%~15%,或在保证焦炭质量的前提下可多配弱黏结性煤 8%~10%^[50],生产稳定和便于自动化管理等方面。

(3) 烧结余热回收技术(SPHR)

烧结余热回收是提高烧结能源利用效率、降低烧结工序能耗的途径之一。烧结废气余热回收利用的方式主要有以下四种:①利用余热锅炉产生蒸气或提供热水,直接利用;②用冷却器的排气代替烧结机点火器的助燃空气或用于预热助燃空气;③将余热锅炉产生的蒸气通过透平及其他装置转换成电力;④将排气直接用于预热烧结机的混合料。目前大多采用烧结机烟气和冷却机废气余热锅炉回收蒸气方式,生产每吨烧结矿可回收余热蒸气 80~100kg。如回收后的蒸气用于发电,可回收电力 10kWh/t^[50],相当于节能 3.4kg 标准煤/t,减少二氧化碳排放约 8.7kg/t。

(4) 高炉炉顶压差发电技术(TRT)

高炉煤气余压回收透平发电装置将高炉副产煤气的压力能、热能转换为电能,既回收了减压阀组释放的能量,又净化了煤气,且降低了由高压阀组控制炉顶压力而产生的超高噪声污染,不产生二次污染。TRT 发电成本低,一般可回收高炉鼓风机所需能量的 25%~30%,吨铁可发电 20~40kWh,如果高炉煤气采用干法除尘,发电量还可以约增加 30%^[50]。TRT 是国际上公认的有价值的二次能源回收装置,属于《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》的重点发展领域。

(5) 高炉喷煤综合技术

高炉喷吹煤粉是降低炼铁焦比、减少生铁成本的最直接和最有效的方法,其节能和环保效果也得到普遍认同,并已经成为中国炼铁技术进步的核心标志之一。2006 年中国重点钢铁企业焦化工序能耗为 123.41kg 标准煤/t,喷煤的制粉和喷吹所需的能耗在 20~35kg 标准煤/t。高炉每喷吹 1T 煤粉,就可以产生炼铁系统用能结构节约 100kg 标准煤/t 的效果^[51]。目前高炉采用 200kg/t 以上的大喷煤量是体现了采用非焦煤直接用于炼铁、资源合理利用和节能的综合技术;精料和高风温是提高喷煤量的基础,大喷煤、低焦比条件下的高炉煤气流合理分布是大喷煤技术的突破口。中国喷煤技术发展较快,多个厂家新建和

投产了喷煤装置,但喷煤的综合技术工艺、大型高炉喷吹技术和煤比有待提高。

(6) 锅炉全部燃烧高炉煤气技术

冶金高炉煤气含有一定量的一氧化碳,煤气热值约 $3\ 100\text{kJ}/\text{m}^3$ 。除用于钢铁厂炉窑的燃料外,余下煤气可供锅炉燃烧。由于锅炉一般是缓冲用户,煤气参数不稳定,长期以来仅为小比例掺烧,多余煤气排入大气,这样既浪费了能源又污染了大气环境。当采用稳定煤气压力且对锅炉本体进行改造等措施后,可实现高炉煤气的全部利用,并可以确保锅炉安全运行。与新建燃煤锅炉房相比,全烧高炉煤气锅炉房由于没有上煤、除灰设施,具有占地小、投资省、运行费用低等优点,具有明显的经济效益和环境效益^[52]。

(7) 转炉煤气回收利用

转炉煤气是钢铁企业重要的二次能源,其热值约为 $1\ 800\text{kcal}/\text{m}^3$ 。根据回收转炉煤气有显热和潜热两种不同形式,转炉工序回收的二次能源形式也有转炉煤气和余热蒸气两种。转炉煤气回收及转炉蒸气回收可大大降低转炉工序能耗。转炉煤气回收主要有湿法和干法两种,其中干法转炉煤气回收系统是湿法工艺的代表,LT法转炉煤气回收系统是干法工艺的代表。转炉干法除尘(LT法)与湿法除尘(OG法)相比,吨钢可节电 3.72kWh ,折合 1.26kg 标准煤,可多回收煤气 21.4m^3 ,相当于节能 5.5kg 标准煤。采用干法转炉煤气回收系统,吨钢煤气回收量可达 80m^3 ^[50],除去自耗电 $6.2\text{kWh}/\text{t}$,可降低吨钢能耗约 14.4kg 标准煤。该系统净化效率高、能耗低,可以部分或完全补偿转炉炼钢过程的能耗,有望实现转炉无能耗炼钢的目标,有很好的经济效益和环境效益。

(8) 转炉低压饱和蒸气发电

转炉低压饱和蒸气发电工艺技术,是通过改造转炉炼钢现有烟道蒸气产生系统,开发应用高效饱和蒸气脱水装置、蒸气蓄能稳压技术和汽轮机级间除湿再热技术等,提高蒸气压力、产量和干度,将周期性、不连续的蒸气变为连续的、参数波动平缓的蒸气,通过专用低参数冲动式低品位热能凝汽式汽轮机发电。利用钢铁厂生产过程中的余热产生低压饱和蒸气,不需要任何额外的燃料,不污染大气,消除了转炉排放富余蒸气时产生的噪声,技术可靠,经济合理,符合国家循环经济的产业政策。吨钢发电近 15kWh ^[50],折合 510kg 标准煤,相当于减排二氧化碳约 13kg 。

(9) 转炉负能炼钢工艺技术

通过回收利用生产过程中的转炉煤气和蒸气等二次能源,使转炉炼钢工序消耗的总能量小于回收的总能量,故称为转炉负能炼钢。转炉炼钢工序过程中消耗的能量主要包括:氧气、氮气、焦炉煤气、电和使用外厂蒸气,回收的能量主要是转炉煤气和蒸气,煤气平均回收量达到 $90\text{m}^3/\text{t}$ 钢;蒸气平均回收量 $80\text{kg}/\text{t}$ 钢。吨钢产品可节能 23.6kg 标准煤^[53],折合减少二氧化碳排放量 60.4kg ,有效

地改善区域环境质量。中国转炉钢的比例超过 80%，推广此项技术对钢铁行业清洁生产意义重大。

(10) 蓄热式轧钢加热炉技术

采用蓄热方式(蓄热室)实现炉窑废气余热的极限回收,同时将助燃空气、煤气预热至高温,从而大幅度提高炉窑热效率的节能、环保新技术。蓄热体燃烧器的基本原理是高换热面积的蓄热小球把高温气流分割成小股气流,气流通通过蓄热体形成强烈的紊流,冲破气流的层流层,使气流和蓄热体之间高效热传递,使烟气的余热快速传递给蓄热体,使蓄热体达到蓄热目的。在燃烧器燃烧的时候,空气或煤气通过蓄热体被迅速预热到 1 000℃ 以上,由于换向系统的快速换向达到周期性的燃烧,可得到基本稳定的炉温,每小时蓄热 20 ~ 30 个周期,换热效率达到 85% 以上^[55]。利用该节能技术,可使炉窑热效率比常规加热炉提高 10% ~ 30%,能耗降低 30% ~ 40%^[56]。

(11) 高效连铸技术

利用洁净钢水,高强度、高均匀的一冷、二冷,高精度的振动、导向、拉桥、切割设备运行,在高质量的基础上,以高拉速为核心,实现高连浇率、高作业率的连铸系统技术与装备。主要包括接近凝固温度的浇铸、中间包整体优化、二冷水动态控制、铸坯变形的优质化、引锭、电磁连铸六方面的技术和装备。

(12) 电炉烟气余热回收利用技术

炉炼钢过程中会产生大量的高温含尘烟气(约 1 000 ~ 1 400℃),烟气显热占电炉炼钢总能耗的 10% 以上。该系统的技术原理是:电炉第四孔的炉气,经炉盖弯管和移动弯管烟道之间的间隙,进入移动弯管烟道,同时抽入一定量的炉外空气,以燃烬炉气中的一氧化碳等可燃气体形成高温烟气,高温烟气依次经过沉降室、汽化烟道、余热锅炉及节能器生产一定压力的蒸气供生产生活使用,同时经余热利用系统后的烟气温度降到约 250℃,与来自大密闭罩及屋顶除尘罩温度为 60℃ 的二次废气相混合,混合后的废气温度低于 130℃,进除尘器净化,并经风机排往大气,吨钢可回收蒸气 140 ~ 200kg^[57]。

(13) 低热值伴生气联合循环发电

低热值伴生气联合循环发电系统根据“温度对口,梯级利用”的基本原理,将布雷顿循环与朗肯循环相结合,提高钢铁工业可燃伴生气的利用效率。其系统流程是:从煤气总管来的高炉煤气与焦炉煤气掺混并除尘,再经过煤气压缩机压缩,高压煤气进入燃气轮机燃烧,推动燃气轮机做功发电,排出的烟气经过余热锅炉产生蒸气,蒸气带动汽轮机第二次发电。该技术的热电转换效率可达 40% ~ 45%,接近以天然气和柴油为燃料的类似燃气轮机联合循环发电水平;用相同的煤气量,该技术比常规锅炉蒸气多发电 70% ~ 90%,同时,用水量仅为同容量常规燃煤电厂的 1/3,污染物排放量也明显减少^[50]。

(14) 能源管理中心

能源管理中心对钢厂的水、电、风、蒸气、煤气、氧气、氮气等能源进行集中管理和全面监视,及时分析和进行动态调整,可实现总厂和二级厂矿能源管理数据共享。能源管理中心可以达到以下效果:①提高各类能源的使用效率,实现各类能源介质的优化调控,促进节能降耗;②减少能源中心定员,节约成本,提高工作效率;③调度管理人员,使他们更全面地了解能源系统,提高能源管理水平;④及时发现能源系统故障,加快故障处理速度,使能源系统更安全;⑤使能源系统的运行监视、操作控制、数据查询、信息管理实现图形化、直观化和定量化。最终可实现全企业节能5%的效果^[58]。按2010年中国重点大中型钢铁企业吨钢综合能耗607kg标准煤计算,吨钢可节能约30.4kg标准煤,相当于减排二氧化碳约78kg。

表2-1-9为钢铁行业重点节能减排技术。

表2-1-9 钢铁行业重点节能减排技术

序号	技术名称	技术特征
1	全氧高炉炼铁技术	炼铁工序碳耗下降25%,煤比>200kg/t铁,焦比<220kg/t铁,高炉生产效率提高≥30%,CO ₂ 减排10%~25%,直接经济效益实现吨铁生产成本降低70元以上,目前处于小规模工程示范阶段
2	高炉富氧喷吹焦炉煤气技术	焦炉煤气喷吹量>100m ³ /t铁,置换比≥0.45kg(焦炭)/m ³ (焦炉煤气),燃料比降低10%,CO ₂ 减排10%~20%,高炉生产效率提高10%,目前处于研发试验阶段
3	新一代TMCP(控制轧控冷)技术	节约钢材使用量5%~10%,提高生产效率35%以上,节能10%~15%,目前处于研发试验阶段
4	非高炉炼铁技术	气基工艺的产量约占世界总产量的80%,煤基直接还原仅占20%,21世纪全世界钢铁界的前沿技术,存在较多技术难题
5	Tecnored炼铁工艺技术	工艺利用了含碳和铁的废料,并且不使用焦炭或烧结矿,因而省去焦炉和烧结厂,巴西圣保州建造Tecnored工业示范厂,设计能力为250t/d,对中国存在一定参考意义
6	SCOPE21炼焦技术	低品位原料煤的配比可增加至50%,大幅度缩短炼焦时间,干馏炉产生的NO _x 锐减30%,百万吨规模的焦炉CO ₂ 排放与传统焦炉相比削减量达到约40万t,2008年新日铁公司Ohita厂5号焦炉作为SCOPE21的首台设备正式投产,代表21世纪高产无污染大型焦炉技术,有待向其他国家推广
7	特大型高炉技术	集成其他配套节能设备后,吨铁能耗比国内同类装备降低约40%,烟尘粉尘排放量可减少约15%,具有一定特殊性,是否应在全国大范围推广存有一定的争议

续表

序号	技术名称	技术特征
8	CO ₂ 捕集技术	包括吸收分离法(包括物理和化学吸收法)、吸附分离法、膜分离法和低温蒸馏法等,潜力不大,非主流和关键技术,目前不具备大规模推广条件
9	干熄焦技术	回收 80% 的红焦显热,平均每熄 1t 焦炭可回收 3.9MPa、450℃ 的蒸气 0.45~0.6t,降低炼焦能耗约 40kg 标准煤/t,减少 CO ₂ 排放量约 94kg/t 焦,属于重点推广技术
10	高炉余压发电技术	吨铁发电 30kWh 计算,折合节约标准煤 10.2kg,相当于减少 CO ₂ 排放约 24kg,属于重点推广(改造)技术
11	煤调湿技术	每生产 1t 焦炭可减小 CO ₂ 排放约为 0.1t,属于重点推广技术
12	锅炉全部燃烧高炉煤气技术	1t 铁可节约 CO ₂ 排放量为 0.348t,属于重点推广技术
13	转炉煤气回收利用技术	吨钢煤气回收量可达 80m ³ ,除去自耗电 6.2kWh/t,可降低吨钢能耗约 14.4kg 标准煤,属于重点推广技术
14	烧结余热回收技术	每吨烧结矿可回收余热蒸气 80~100kg,如回收后的蒸气用于发电,可回收电 10kWh/t,属于重点推广技术
15	转炉低压饱和蒸气发电技术	吨钢发电近 15kWh,折合节能 5.1kg 标准煤,属于重点推广技术
16	双预热蓄热式轧钢加热炉技术	热效率提高约 30%,普通加热炉吨钢能耗 34.6kg 标准煤/t,节能 10.4kg 标准煤/t,属于重点推广技术
17	转炉负能炼钢工艺技术	煤气平均回收量达到 90m ³ /t 钢;蒸气平均回收量 80kg/t 钢,吨钢产品可节能 23.6kg 标准煤,属于重点推广技术
18	高效连铸技术	主要包括接近凝固温度的浇铸、中间包整体优化、二冷水动态控制、铸坯变形的优质化、引锭、电磁连铸六方面的技术和装备,属于重点推广技术
19	电炉烟气余热回收利用技术	吨钢可回收蒸气 140~200kg,吨钢节能 11.8kg 标准煤,属于重点推广技术
20	高炉喷煤综合技术	喷煤的制粉和喷吹所需的能耗在 20~35kg 标准煤/t。高炉每喷吹 1t 煤粉,就可以产生炼铁系统用能结构节约 100kg 标准煤/t 的效果,属于重点推广技术
21	低热值伴生气联合循环发电技术	吨铁平均产生高炉煤气量 2 100m ³ ,高炉煤气热值约 3 100kJ/m ³ ,即每吨铁产生高炉煤气热值为 6 510MJ,利用高炉煤气进行伴生气联合循环发电时,焦炉煤气的配比约为 15%,焦炉煤气热值约 17 000kJ/m ³ ,属于重点推广技术
22	能源管理中心	可实现全企业节能 1%~5% 的效果,属于重点推广技术

3 关键减排技术的减排潜力和成本分析

3.1 关键减排技术减排潜力分析

(1) 干熄焦技术

采用干熄焦大约可以降低炼焦能耗 40kg 标准煤/t,折合减少二氧化碳排放量约 94kg/t 焦。本调研报告的电力折算值取 0.34kg 标准煤/kWh,发电二氧化碳排放因子取 0.8kg/kWh。干熄焦技术的减排潜力见表 2-1-10。

表 2-1-10 干熄焦技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
单位焦炭的 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 焦)	0.094	0.094	0.094
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
焦比*/(kg/t)	500	450	400
焦炭需求量/亿 t	3.13	3.38	3.2
普及率/%	22.5**	35	50
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	662	1 112	1 504

注:* 此处焦比为全行业平均值,截至 2009 年前 3 个季度,中国大中型钢铁企业炼铁平均焦比为 373kg/t 铁,其中宝钢和武钢的炼铁焦比分别为 291kg/t 铁和 317kg/t 铁。

** 此数据为全行业普及率,截至 2009 年重点企业的干熄焦比例为 73%,重点企业的焦炭产量只占全国焦炭产量的 22%~25%,"十二五"规划目标 2015 年重点企业的干熄焦比例为 95%。

(2) 高炉余压发电技术(干式)

TRT 一般可回收高炉鼓风机所需能量的 25%~30%,吨铁可发电 20~40kWh。目前湿式 TRT 吨铁发电量仅为 28~32kWh,截至 2010 年已基本全部安装,如果改造成干式 TRT,发电量还可增加约 30%,若按吨铁发电 30kWh 计算,折合节约标准煤 10.2kg,相当于减少二氧化碳排放约 24kg。干式高炉余压发电技术的减排潜力见表 2-1-11。

表 2-1-11 高炉余压发电技术的减排潜力(干法)

年 份	2010	2015	2020
吨铁 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 铁)	0.024	0.024	0.024
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8

续表

年 份	2010	2015	2020
高炉炼铁比例/%	90	85	75
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率(干法)/%	16	30	40
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	216	459	576

注:截至 2009 年,中国重点钢铁企业 1 000m³ 以上高炉 TRT 配备率达到 96%,其中干式 TRT 比例约为 20%。

(3) 煤调湿技术

采用煤调湿技术后:1) 煤料含水量从 11% 下降至 6% 时,炼焦耗热量相当于节省了 310MJ/t,折合 11kg 标准煤/t,相当于减少二氧化碳排放量 26kg/t。2) 由于装炉煤水分的降低,使装炉煤堆密度提高,干馏时间缩短,因此,焦炉生产能力可以提高 7%~11%,相当于节省标准煤 11kg 标准煤/t,减少二氧化碳排放 26kg/t。3) 节能的社会效益是减少温室效应,当用焦炉烟道废气作为热源时,平均每吨入炉煤可减少约 35.8kg 的二氧化碳排放量,按 1t 煤炼焦 0.75t 计算,即吨焦减少 47.7kg 的二氧化碳排放量。因此,采用煤调湿技术,每生产 1t 焦炭可减小二氧化碳排放约为 0.1t。煤调湿技术的减排潜力见表 2-1-12。

表 2-1-12 煤调湿技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
单位焦炭的 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 焦)	0.1	0.1	0.1
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
焦比/(kg/t)	500	450	400
焦炭需求量/亿 t	3.13	3.38	3.2
普及率/%	40	50	60
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	1 252	1 690	1 920

(4) 锅炉全部燃烧高炉煤气技术

每吨铁产生高炉煤气量按 2 100m³ 算,除钢铁厂自用外,2/3 用于发电,高炉煤气热值取 3 100kJ/m³,即每吨铁产生高炉煤气热值为 6 510MJ,换算成标准煤为 222kg 标准煤/t。采用高炉余热锅炉技术,2/3 煤气用于发电,则 1t 铁可节约二氧化碳排放量为 0.348t。锅炉全部燃烧高炉煤气技术的减排潜力见表 2-1-13。

表 2-1-13 锅炉全部燃烧高炉煤气技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨铁 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 铁)	0.348	0.348	0.348
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
高炉炼铁比例/%	90	85	75
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	20	25	30
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	3 925	5 550	6 264

(5) 转炉煤气回收利用技术

采用干法转炉煤气回收系统,吨钢煤气回收量可达 80m³,除去自耗电 6.2 kWh/t,可降低吨钢能耗约 14.4kg 标准煤,相当于减排二氧化碳为 34kg。转炉煤气回收利用技术的减排潜力见表 2-1-14。

表 2-1-14 转炉煤气回收利用技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 铁)	0.034	0.034	0.034
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
转炉炼铁比例/%	90	85	75
转炉钢产量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	25	35	45
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	479	759	918

(6) 烧结合热回收技术

目前大多采用烧结机烟气和冷却机废气余热锅炉回收蒸气方式,生产每吨烧结矿可回收余热蒸气 80~100kg,如回收后的蒸气用于发电,可回收电 10kWh/t,相当于节能 3.4kg 标准煤/t,减少二氧化碳排放约 8kg/t。烧结矿和钢比例约为 1.6。因此 1t 钢可减少二氧化碳排放 12.8kg。烧结合热回收技术的减排潜力见表 2-1-15。

表 2-1-15 烧结合热回收技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.013	0.013	0.013
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
普及率/%	20	60	90
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	163	585	936

(7) 转炉低压饱和蒸气发电技术

某钢厂在应用转炉低压饱和蒸气发电技术后,实现了吨钢发电近 15kWh,折合 5.1kg 标准煤,相当于吨钢减排二氧化碳为 12kg。转炉低压饱和蒸气发电技术的减排潜力见表 2-1-16。

表 2-1-16 转炉低压饱和蒸气发电技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.012	0.012	0.012
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
转炉炼铁比例/%	90	85	75
转炉钢产量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	5	25	40
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	33	191	288

(8) 蓄热式轧钢加热炉技术

双预热加热炉比普通加热炉热效率提高约 30%,普通加热炉吨钢能耗 34.6kg 标准煤/t,节能 10.4kg 标准煤/t,折合减排二氧化碳约 24kg/t。双预热蓄热式轧钢加热炉技术的减排潜力见表 2-1-17。

表 2-1-17 双预热蓄热式轧钢加热炉技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.024	0.024	0.024
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
普及率/%	5	10	15
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	75	180	288

(9) 转炉负能炼钢工艺技术

转炉负能炼钢技术回收煤气平均回收量达到 90m³/t 钢;蒸气平均回收量 80kg/t 钢。吨钢产品可节能 23.6kg 标准煤,折合减少二氧化碳排放量 55kg。转炉负能炼钢工艺技术的减排潜力见表 2-1-18。

表 2-1-18 转炉负能炼钢工艺技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.055	0.055	0.055
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
转炉炼铁比例/%	90	85	75
转炉钢产量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	15	40	50
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	465	1 436	1 650

(10) 电炉烟气余热回收利用技术

按吨钢可回收蒸气 140 ~ 200kg, 吨钢节能 11.8kg 标准煤计算, 折合吨钢减少二氧化碳排放量 28kg。电炉烟气余热回收利用技术的减排潜力见表 2-1-19。

表 2-1-19 电炉烟气余热回收利用技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.028	0.028	0.028
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
电炉炼钢比例/%	10	15	25
电炉钢产量/亿 t	0.63	1.125	2
普及率/%	10	30	50
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	18	95	280

(11) 高炉喷煤综合技术

喷煤的制粉和喷吹所需的能耗在 20 ~ 35kg 标准煤/t。高炉每喷吹 1t 煤粉, 就可以产生炼铁系统用能结构节约 100kg 标准煤/t 的效果。按 2007 年国内重点大中型钢铁企业高炉喷吹煤比平均 135kg 标准煤/t 计算, 则可节能 9.45kg 标准煤/t, 折合二氧化碳排放量为 22kg 标准煤/t。高炉喷煤综合技术的减排潜力见表 2-1-20。

表 2-1-20 高炉喷煤综合技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.022	0.022	0.022
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
高炉炼铁比例/%	90	85	75
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	20	30	40
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	248	421	528

(12) 低热值伴生气联合循环发电技术

每吨铁产生高炉煤气量按 2 100m³ 计算, 高炉煤气热值取 3 100kJ/m³, 即每吨铁产生高炉煤气热值为 6 510MJ, 利用高炉煤气进行伴生气联合循环发电时, 焦炉煤气的配比约为 15%, 焦炉煤气热值按 17 000kJ/m³ 计算, 全部换算成标准煤为 411kg 标准煤/t。假设 2/3 煤气用于发电, 则采用伴生气联合循环发电

时,1t 铁可节约二氧化碳排放量为 0.644t。低热值伴生气联合循环发电技术的减排潜力见表 2-1-21。

表 2-1-21 低热值伴生气联合循环发电技术的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.644	0.644	0.644
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
高炉炼铁比例/%	90	85	75
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	15	25	30
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	5 448	10 272	11 592

(13) 能源管理中心

通过能源中心企业可以对能源管理进行优化,可实现全企业节能 1%~5% 的效果。按 2010 年中国重点大中型钢铁企业吨钢综合能耗 607kg 标准煤,吨钢可节约 18kg 标准煤,相当于减排二氧化碳约 42kg。能源管理中心的减排潜力见表 2-1-22。

表 2-1-22 能源管理中心的减排潜力

年 份	2010	2015	2020
吨钢 CO ₂ 减排量/(tCO ₂ /t 产品)	0.042	0.042	0.042
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
普及率/%	15	40	60
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	395	1 260	2 016

3.2 实现单位减排潜力的成本分析

(1) 干熄焦技术

参考 2008 年 10 月邯钢新区 1、2 号干熄焦,项目总投资 1.58 亿元,年产干熄焦 209 万 t,干熄焦投资成本 76 元/t 焦,假设装置运行周期为 12 年,则不考虑贴现率的成本分摊 6.3 元/(t 焦·a)。运行与维护费用 2.5 元/t 焦。干熄焦带来的收益为 40kg 标准煤/t,折合发电 118kWh/t,电价按 0.45 元/kWh 计算,则折合约 53 元/t 焦,当年总成本为 $6.3 + 2.5 - 53 = -44.2$ 元/t 焦,若贴现率取 6%,并且对投资、成本和效益均贴现(下同),则干熄焦技术的减排成本分析结果见表 2-1-23。

表 2-1-23 干熄焦技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
干熄焦技术的所有成本/(亿元/a)	-35	-78.6	-142.3
焦炭需求量/亿 t	3.13	3.38	3.2
普及率/%	22.5	35	50
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	662	1 112	1 504
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-529	-707	-946

(2) 高炉余压发电技术(干法)

高炉炉容 5 050m³, 年产铁水 420 万 t, 高炉产能为 0.083 万 t/m³。2 000m³ 的高炉, 总投资 4 100 万元, 2.05 万元/m³, 则项目投资为 24.7 元/t 铁。运行与维护成本 1 元/t 铁。设备运行周期 10 年, 成本分摊 2.5 元/t 铁, 余压发电收益为 13.5 元/t 铁。当年总成本为 2.5 + 1.0 - 13.5 = -10 元/t 铁。考虑贴现率后的高炉余压发电技术(干法)的减排成本分析结果见表 2-1-24。

表 2-1-24 高炉余压发电技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
高炉余压发电技术的所有成本/(亿元/a)	-9	-25.6	-43
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
高炉炼铁比例/%	90	85	75
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率(干法)/%	16	30	40
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	216	459	576
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-417	-558	-747

注:截至 2009 年,中国重点钢铁企业 1 000m³ 以上高炉 TRT 配备率达到 96%, 其中干式 TRT 比例约为 20%。

(3) 煤调湿技术

以 JN43-80 为例, 年产焦炭 70 万 t, 总投资 2 500 万元, 即 35.7 元/t 焦。运行和维护费用 1.4 元/t 焦。设备运行周期 10 年, 成本分摊为 3.6 元/t 焦。采用该技术后每吨焦可节省 37.2kg 标准煤^①, 每吨标准煤 1 000 元, 约节省 37.2 元/t 焦。当年总成本 3.6 + 1.4 - 37.2 = -32.2 元/t 焦。考虑贴现率后的煤调湿技术的减排成本分析结果见表 2-1-25。

① 考虑利用焦炉烟道废热所带来的成本节约。

表 2-1-25 煤调湿技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
煤调湿技术的所有成本/(亿元/a)	-40.3	-72.8	-110.7
焦炭需求量/万 t	3.13	3.38	3.2
普及率/%	40	50	60
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	1 252	1 690	1 920
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-322	-431	-577

(4) 锅炉全部燃烧高炉煤气技术

以一台 75t/h 全烧高炉煤气锅炉为例,年燃用高炉煤气 $5.83 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。参考某 20t/h 全烧高炉煤气锅炉项目总投资 600 万元。75t/h 锅炉总投资为 2 250 万元,年可利用的高炉煤气对应的铁水产量为 27.8 万 t。则每吨铁投资为 81 元/t。运行和维护费用 3 元/t 铁。设备运行周期 10 年,成本分摊 8.1 元/t。采用全烧高炉煤气锅炉能节省 222kg 标准煤,可节省 222 元/t 铁。总体来说采用全烧高炉煤气锅炉的成本为 $8.1 + 3 - 222 = -211$ 元/t 铁。考虑贴现率后的锅炉全部燃烧高炉煤气技术的减排成本分析结果见表 2-1-26。

表 2-1-26 锅炉全部燃烧高炉煤气技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
锅炉全部燃烧高炉煤气技术的成本/(元/a)	-238	-450	-680
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	20	25	30
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	3 925	5 550	6 264
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-606	-811	-1 086

(5) 转炉煤气回收利用技术

以莱钢某转炉煤气回收设备为例,年产 166 万 t,转炉煤气回收年费用 1 974 万元,即 12 元/t。运行维护成本 1 元/t。设备运行周期 10 年,成本分摊 1.2 元/t,转炉煤气回收利用节能 14.4kg 标准煤/吨钢,节约成本 14.4 元/t 钢。总成本 $1.2 + 1 - 14.4 = -12.2$ 元/t 钢。考虑贴现率后的转炉煤气回收利用技术的减排成本分析结果见表 2-1-27。

表 2-1-27 转炉煤气回收利用技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
转炉煤气回收利用技术的所有成本(亿元/a)	-17.2	-36.4	-59
转炉钢产量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	25	35	45
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	479	759	918
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-359	-480	-643

(6) 烧结余热回收技术

目前大多采用烧结机烟气和冷却机废气余热锅炉回收蒸气发电,生产每吨烧结矿可发电 10kWh,烧结矿和钢产量比例约为 1.6,则吨钢可节约成本 7.2 元。某钢铁投资 1.7 亿元人民币,安装了低温余热锅炉及汽轮发电机组,年发电量达 1.4 亿 kWh,以 2006 年数据估算,全年钢产量 4.19 亿 t,全部采用余热锅炉回收烧结余热,全年可回收电力近 43 亿 kWh,由此可估算投资成本 12.5 元/t 铁。设备运行周期 10 年,成本分摊 1.25 元/t,运行维护成本 1 元/t 钢。总成本为 $1.25 + 1 - 7.2 = -4.95$ 元/t 钢。考虑贴现率后的烧结余热回收技术的减排成本分析结果见表 2-1-28。

表 2-1-28 烧结余热回收技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
烧结余热回收技术的所有成本/(亿元/a)	-6.2	-29.8	-63.8
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
普及率/%	20	60	90
CO ₂ 减排潜力/亿 tCO ₂	163	585	936
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-381	-509	-682

(7) 转炉低压饱和蒸气发电技术

2007 年全国钢产量达到 4.89 亿 t,转炉钢达 4.4 亿 t,可利用低压蒸气发电量为 70 亿 kWh,则吨钢可发电 15.9kWh,折合 7.2 元。参考某钢厂两台 12MW 余热饱和蒸气发电机组,年供电量 1.68 亿 kWh,工程总投资 6 600 万元,即 0.39 元/kWh,折合吨钢余热发电设备总投资为 6.2 元/t 钢。设备运行周期 10 年,成本分摊为 0.6 元/t 钢,运行及维护成本为 0.5 元/t 钢。总成本为 $0.6 + 0.5 - 7.2 = -6.1$ 元/t 钢。考虑贴现率后的转炉低压饱和蒸气发电技术的减排成本

分析结果见表 2-1-29。

表 2-1-29 转炉低压饱和蒸气发电技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
转炉低压饱和蒸气发电技术成本/(亿元/a)	-1.72	-13.02	-26.22
转炉钢产量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	5	25	40
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	33	191	288
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-508	-682	-910

(8) 蓄热式轧钢加热炉技术

蓄热式加热炉,年加热能力为 33 万 t,设备造价为 1 650 万元。即 50 元/t 钢。设备运行周期 10 年,成本分摊 5 元/t 钢,运行及维护成本 2 元/t 钢。双预热蓄热加热炉技术的收益为 10.4 元/t 钢。总成本为 $5 + 2 - 10.4 = -3.4$ 元/t 钢。考虑贴现率后的蓄热式轧钢加热炉技术的减排成本分析结果见表 2-1-30。

表 2-1-30 双预热蓄热式轧钢加热炉技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
双预热蓄热式轧钢加热炉技术成本/(亿元/a)	-1.07	-3.41	-7.31
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
普及率/%	5	10	15
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	75	180	288
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-142	-189	-254

(9) 转炉负能炼钢工艺技术

参考某钢厂 120t 转炉实现转炉负能炼钢,年产量 150 万 t,总投资 5 340 万元,即 35.6 元/t 钢。设备运行周期 10 年,成本分摊 3.6 元/t 钢,运行及维护成本 1.5 元/t 钢。转炉负能炼钢收益为 23.6 元/t 钢,总成本为 $3.6 + 1.5 - 23.6 = -18.5$ 元/t 钢。考虑贴现率后的转炉负能炼钢工艺技术的减排成本分析结果见表 2-1-31。

表 2-1-31 转炉负能炼钢工艺技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
转炉负能炼钢工艺技术的所有成本/(亿元/a)	-15.6	-63.2	-99.4
转炉钢产量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	15	40	50
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	465	1 436	1 650
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-336	-440	-602

(10) 电炉烟气余热回收利用技术

50t 电炉技改投资额 1 286 万元,假设年炼钢 50 万 t,则投资成本 25.7 元/t,设备运行周期 10 年,成本分摊 2.6 元/t 钢,运行及维护成本 2 元/t 钢。吨钢可回收蒸气 140~200kg,节能 11.8kg 标准煤,折合 11.8 元。总成本 2.6+2-11.8=-7.2 元/t 钢。考虑贴现率后的电炉烟气余热回收利用技术的减排成本分析结果见表 2-1-32。

表 2-1-32 电炉烟气余热回收利用技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
电炉烟气余热回收利用技术成本/(亿元/a)	-0.45	-3.25	-12.89
电炉钢产量/亿 t	0.63	1.125	2
普及率/%	10	30	50
CO ₂ 绝对潜力/万 tCO ₂	18	95	280
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-255	-342	-460

(11) 高炉喷煤综合技术

220m³ 高炉投资成本为 219 万元,年产铁约 25 万 t,则吨铁成本为 8.8 元。设备运行周期 10 年,成本分摊 0.88 元/t 钢,运行及维护成本 1 元/t 钢(耗煤成本及喷煤能耗成本在计算节能量中扣除,因此在成本中计为零)。吨铁耗煤喷煤的制粉和喷吹所需的能耗在 20~35kg 标准煤/t。高炉每喷吹 1t 煤粉,就可以产生炼铁系统用能结构节约 100kg 标准煤/t 的效果。按 2007 年国内重点大中型钢铁企业高炉喷吹煤比平均 135kg 标准煤/t 计算,则可节能 9.45kg 标准煤/t,折合 9.45 元/t 铁。总成本 0.88+1-9.45=-7.57 元/t 铁。考虑贴现率后的高炉喷煤综合技术的减排成本分析结果见表 2-1-33。

表 2-1-33 高炉喷煤综合技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
高炉喷煤综合技术的所有成本/(亿元/a)	-8.54	-19.39	-32.54
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	20	30	40
CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	248	421	528
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-344	-461	-616

(12) 低热值伴生气联合循环发电技术

包钢两套 150MW 燃气-蒸气联合循环发电机组。工程总投资为 21.9 亿元,每小时可消耗 46 万 m³ 高炉煤气和 4.9 万 m³ 焦炉煤气,假设年运行 6 000h,则年消耗 27.6 亿 m³ 高炉煤气,每吨铁产生高炉煤气量按 2 100m³,其中 2/3 煤气用于发电,则可对应 197 万 t 铁,吨铁成本 1 111 元,设备运行周期 10 年,成本分摊 111 元/t 铁。高炉煤气热值为 6 510MJ,利用高炉煤气进行伴生气联合循环发电时,焦炉煤气的配比约为 15%,焦炉煤气热值按 17 000kJ/m³ 计算。全部换算成标准煤为吨钢 411kg 标准煤/t,假设 2/3 煤气用于发电,则采用伴生气联合循环发电时,1t 铁可节约 274 元。运行及维护成本 10 元/t 钢。总成本 111 + 10 - 274 = -153 元。考虑贴现率后的低热值伴生气联合循环发电技术的减排成本分析结果见表 2-1-34。

表 2-1-34 低热值伴生气联合循环发电技术的减排成本

年 份	2010	2015	2020
低热值伴生气联合循环发电技术成本/(亿元/a)	-129	-327	-493
高炉铁水需求量/亿 t	5.64	6.38	6
普及率/%	15	25	30
CO ₂ 减排潜力/亿 tCO ₂	5 448	10 272	11 592
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-238	-318	-425

(13) 能源管理中心

宝钢股份公司能源管理中心,投资额约 1.1 亿元,按管理中心运行周期 20 年计算,每年成本分摊 550 万元,以 2009 年宝钢钢产量 0.39 亿 t 计算,吨钢成本 0.14 元,运行及维护成本 0.5 元/t 钢。能源管理中心可实现企业节能 1%~5% 的

效果,按 2010 年中国重点大中型钢铁企业吨钢综合能耗 607kg 标准煤计算,吨钢可节能约 18kg 标准煤,折合 18 元/t 钢。总成本 $0.14 + 0.5 - 18 = -17.36$ 元/t 钢。考虑贴现率后的能源管理中心的减排成本分析结果见表 2-1-35。

表 2-1-35 能源管理中心的减排成本

年 份	2010	2015	2020
能源管理中心的所有成本/(亿元/a)	-16.3	-69.6	-149.2
钢产量/亿 t	6.27	7.5	8
普及率/%	15	40	60
CO ₂ 减排潜力/亿 tCO ₂	395	1 260	2 016
单位 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-413	-552	-740

表 2-1-36 为钢铁行业关键减排技术的成本和潜力统计情况。表 2-1-37 分别给出了至 2010 年、未来 5 年(2011—2015 年)及未来 10 年(2011—2020 年)达到相应的技术普及率时的投资额(只计算工程投资并考虑贴现率),同时还给出了 2010 年、2015 年和 2020 年的当年技术成本,该成本值为负,表明企业推广表中所列关键技术时,均可以获得一定的正收益。

值得注意的是,上述技术的二氧化碳减排成本均为负值,其原因除了成本计算方法不同于一般方法外,还在于这些技术本身或者属于余能资源的再利用技术(如各类发电技术)或者属于降低生产成本技术(如高炉喷煤技术和能源管理中心),企业在推广这些技术时,一方面可以减少二氧化碳排放,同时还可以凭借市场手段获得经济效益(如通过发电获得发电收益,通过降低成本获得综合收益)。这也是符合实际情况的。

根据本报告关键减排技术的界定,上述技术已经相对成熟,并且具备通过市场机制进行大范围推广的条件(CCS 等减排成本为正值的技术未被纳入关键减排技术),企业作为经营主体,在投入这些技术前,理应考虑到该技术应用的经济价值。当然,本报告在计算中未考虑设备的故障率等影响,上述技术及装备在实际应用时可能存在设备年运行时间不足、实际发电效率偏低等问题,如调研发现 CCPP 技术理论效率可超过 40%,但实际运行效率往往只有 30%,从而使得减排成本大大增加。

表 2-1-36 钢铁行业关键减排技术的典型案例技术的潜力和分析

减排技术	减排潜力/ 万 tCO ₂			单位减排成本/ (元/tCO ₂ ·a)		
	2010 年	2015 年	2020 年	2010 年	2015 年	2020 年
干熄焦技术	662	1 112	1 504	-529	-707	-946
高炉余压发电技术	216	459	576	-417	-558	-747
煤调湿技术	1 252	1 690	1 920	-322	-431	-577
锅炉全部燃烧高炉煤气技术	3 925	5 550	6 264	-606	-811	-1 086
转炉煤气回收利用技术	479	759	918	-359	-480	-643
烧结余热回收技术	163	585	936	-381	-509	-682
转炉低压饱和蒸气发电技术	33	191	288	-508	-680	-910
双预热蓄热式轧钢加热炉技术	75	180	288	-142	-189	-254
转炉负能炼钢工艺技术	465	1 436	1 650	-336	-440	-602
电炉烟气余热回收利用技术	18	95	280	-255	-342	-460
高炉喷煤综合技术	248	421	528	-344	-461	-616
低热值伴生气联合循环发电技术	5 448	10 272	11 592	-238	-318	-425
能源管理中心	395	1 260	2 016	-413	-552	-740
合计	13 379	24 010	28 760			

表 2-1-37 钢铁行业关键减排技术的累计投资成本及当年所有成本分析

减排技术	累计投资成本/亿元			所有成本/亿元		
	至 2010 年	2011—2015 年	2011—2020 年	2010 年	2015 年	2020 年
干熄焦技术	60.14	75.05	184.54	-35	-78.6	-142.3
高炉余压发电技术	22.29	40.98	83.87	-9	-25.6	-43
煤调湿技术	44.7	36.04	78.05	-40.3	-72.8	-110.7
锅炉全部燃烧高炉煤气技术	91.37	81.52	169.74	-238	-450	-680
转炉煤气回收利用技术	16.92	18.94	41.1	-17.2	-36.4	-59
烧结余热回收技术	15.68	59.6	145.5	-6.2	-29.8	-63.8

续表

减排技术	累计投资成本/亿元			所有成本/亿元		
	至 2010 年	2011—2015 年	2011—2020 年	2010 年	2015 年	2020 年
转炉低压饱和蒸气发电技术	1.75	11.48	24.9	-1.72	-13.02	-26.22
双预热蓄热式轧钢加热炉	15.68	34.5	91.77	-1.07	-3.41	-7.31
转炉负能炼钢工艺技术	30.12	91.46	161.14	-15.6	-63.2	-99.4
电炉烟气余热回收利用技术	1.62	9.99	44.4	-0.45	-3.25	-12.89
高炉喷煤综合技术	9.93	12.61	27.89	-8.54	-19.39	-32.54
低热值伴生气联合循环发电	939.9	1 431.5	2 641.4	-129	-327	-493
能源管理中心技术	2.65	8.67	21.59	-16.3	-69.6	-149.2
合计	1 253	1 912	3 716	-518	-1 192	-1 912

4 实施关键减排技术的障碍与政策需求

4.1 实施关键减排技术的障碍

未来十年,中国钢铁行业的节能减排形势依然严峻,需要结构减排和技术减排双头并进。但基于中国能源结构和工业发展阶段的基本国情,中国钢铁行业的节能减排工作还面临巨大挑战。影响钢铁工业节能减排的主要困难包括:

(1)铁钢比过高。中国电炉的比重明显偏低,废钢利用率低,直接导致铁钢比过高,这是客观上造成中国钢铁行业能耗高、污染严重的主要原因。美国电炉钢比约为 55%,德国约为 30%,日本约为 25%,而中国仅为约 10%。以 2005 年数据为例,中国铁钢比为 0.968,而美国只有 0.39,德国为 0.649,日本为 0.738。按目前中国钢铁工业实际情况测算,铁钢比每提高 0.1,吨钢综合能耗上升 20kg 标准煤,中国比其他国家铁钢比高约 0.4,仅此一项就影响吨钢综合能耗约 80kg 标准煤/t。

(2)以煤为主的能源结构。煤炭是中国钢铁工业的主要能源输入形式,中国钢铁生产流程以铁矿石、煤炭为源头的高炉—转炉—热轧—深加工的长流程为主,以废钢、电力为源头的电炉—精炼—连铸—热轧短流程只占小部分。有关数据显示,长流程的能耗是短流程的 2 倍以上,二氧化碳排放量是短流程的 3.8 倍。钢铁工业作为中国四大煤炭用户之一,约占全部煤炭消耗的 16.7%。由于中国资源条件限制和经济性等多方面因素,未来相当长时间内的能源结构都将很难改变。表 2-1-38 为中国四大煤炭用户煤炭消费量情况。

表 2-1-38 中国四大煤炭用户煤炭消费量

单位: Mt

年 份	2000	2005	2008	2009
火电	57	1 126	1 466	1 550
钢铁	151	319	439	502
建材	239	343	423	445
化工	76	113	133	140
煤炭总消费量	1 445	2 319	2 811	3 020

(3) 产业集中度差。中国钢铁企业相对分散,集中度低,特别是中小企业众多,无法与国际上先进国家相比。近两年钢铁企业兼并重组加快,产业集中度有一定提高,但总量发展规模控制难度依然很大。产业集中度差,从能源利用角度讲,不利于企业设备的大型化和资源的有效利用,增加了很多不必要的能源损失,同时也影响行业参与国际竞争及抗风险能力的提高。2011年中国前10家企业的钢产量占全国的49.2%,与2010年相比下降了3.33个百分点。日本仅有的4个钢铁生产厂已经开始进一步兼并重组了日本第一大钢铁厂新日铁,宣布于2012年10月与第三大钢铁厂住友金属合并,之后炼钢能力达到5200万t,居世界第二。日本另外两家钢厂日新制铁公司和日本金属工业公司于2012年10月进行业务合并,新成立的公司命名为日新制钢控股公司。

(4) 中小高炉多,大型化设备少。设备大型化与国外相比存在明显差距,以高炉为例:2005年,有效容积小于或等于 300m^3 的高炉共有700多座,炼铁生产能力近1亿t,占全国炼铁总能力的比重约为25%。而日本生产约8000万t的生铁,仅有28座高炉。

(5) 体制机制有待完善。当前中国节能减排工作仍然是中央政府主导,以行政手段为主,还未形成健全的节能减排税收支持政策体系,相应的能源环境税制如碳税、能源税等尚没有正式出台;节能减排政策效果及重大减排行动效果评估体系尚未建立起来,监督管理和处罚力度还没有到位。具体表现在:一是钢铁行业节能减排监察体系尚未建立,执法主体不明确,队伍执法监管能力建设滞后;二是能源消费统计与计量方法和制度不完善,有些统计数据准确性、及时性差,科学统一的节能减排统计指标体系、监测体系尚未建立;三是资源性产品价格市场化改革进程缓慢,反映资源稀缺程度和供求关系的能源价格形成机制还远没有建立起来;四是政府服务能力还不能满足节能减排技术产业发展的需求,缺乏成果鉴定和认证能力,关键减排技术的知识产权保护不得力。

除了上述钢铁行业的宏观背景外,还存在以下影响关键减排技术推广应用的障碍:

(1) 各方对先进节能减排技术的开发和推广投入不足。① 目前中国重点统计钢铁企业研发投入只占主营业务收入的1.1%,远低于发达国家3%的水平。② 近年铁矿石价格大幅上涨也极大地挤压了钢铁行业的盈利空间,而企业利润大幅下滑进一步压缩了技术研发和应用的投入。③ 多数钢铁企业技术创新体系尚未完全形成,自主创新基础薄弱,缺乏高水平专家带头人才,工艺技术装备和关键品种自主创新成果不多。轧钢过程控制自动化技术和部分关键装备仍然主要依靠引进,非高炉炼铁、近终形连铸轧等前沿技术研发投入不足。④ 对于已经具有成套节能减排成熟技术的行业,国家在推广技术、设立专项支持方面,也显得力度不够。

(2)部分减排技术与设备的实际使用效果并不好。以 CCPP 为例,国外先进钢铁企业基本都已装备,且运行良好,取得了很好的社会效益和经济效益。但中国尚不掌握其核心技术,关键设备需要进口,一方面导致初期建设成本和后期维护成本增加;另一方面,由于技术非针对本土设计,往往出现水土不服,实际运行时间短、运行效率低,导致运行成本进一步增加,技术回报率低,导致企业推广该技术的积极性不强。另外一些前沿节能减排技术,如中低温余热利用技术和基于生产过程的能量管理技术,由于其开发的功能设定与企业的实际运行环境相差较大,应用效果较差,甚至无法在实际中使用。

(3)广大中小企业的节能减排意识不够强。由于企业规模有限,注重眼前利益,节能减排意识比较薄弱,没有树立从末端治理转到贯彻清洁生产理念,没有把节能和环保的管理融入产品及生产的全过程。对新技术、新产品、新材料、新工艺的推广应用投入力度不够。也没有形成适应各工序的高度专业化、高水平、稳定发展和应用的系统的技术、装备、科技成果。

4.2 政策建议

在宏观政策方面,“十二五”期间,国家需要继续调整产品结构、科学组织生产;制定和完善相关法律法规,从排放标准和产品规格两个方面制定市场准入标准;加强能源管理和监督,建立监控体系;继续推动合并重组,加快淘汰落后产能;发展循环经济;发展节能减排服务产业。在具体实施方面:

(1)关键减排技术专项资金支持。中央财政和省级地方财政安排关键减排技术专项资金,支持钢铁企业开展先进减排技术应用示范,支持跨行业的共性减排技术推广,如余热发电和联合循环发电技术等。

(2)优先审批。由于钢铁行业减排技术的应用一般投资大、工程影响也大,需要国家发改委和国家能源局给予节能减排项目建设优先审批,并给予优先上网等政策支持。

(3)制定激励减排的财政税收政策。采用税收优惠及投资抵免:对国产关键减排设备给予优先采购;对安装关键节能减排装备的钢铁企业,设备投资额的 10% 从企业当年的应纳税额中抵免。

(4)征收碳税。碳税贴息支持低碳技术改造,推动企业主动进行低碳技术应用。

(5)量化减排投资的经济效益。借鉴节能补贴办法,国家按减排量给予减排技术资金补贴。

(6)建立落后发电方式退出机制。目前在钢铁企业中已存在各种余热发电技术的应用,虽然效率不高,但由于重新上马新技术的投资额和工程周期都比较大,导致企业主动进行技术改造的动力不强烈。建议通过财政补贴的方式,

支持落后发电方式退出市场。

(7) 组织实施循环经济技术示范工程。发布工业循环经济重大示范推广技术目录,推进循环经济工业示范园区建设,推进循环经济发展典型模式和产业链建设。

(8) 建立国家钢铁工业节能减排工程中心或节能减排技术研发(实验)中心。加强新型减排技术的基础研究和技术攻关。

结束语

降低钢铁工业能耗、减少二氧化碳排放量,不仅是中国钢铁工业自身生存的需要,同时也是人类社会经济发展的必须。钢铁行业应在已有的降低综合碳当量消耗成果和参与全球温室气体减排行动工作经验积累的基础上,构建适合中国钢铁工业特点的二氧化碳科学评价体系和考核指标;大力推广已有钢铁生产过程中碳减排的措施,同时开展铁、钢、轧各道工序减少二氧化碳排放的关键技术研究,形成中国具有核心竞争力的碳减排技术;进一步研究排放二氧化碳的治理技术,形成冶金企业二氧化碳排放的综合控制工艺,为钢铁企业提供综合碳减排方案。

参考文献

- [1] 中国科学院. 工业节能政策与技术调研报告. 2011.
- [2] 中国钢铁工业协会. 2010 年中国钢铁工业协会统计数据. 2010.
- [3] 国家统计局. 2009 中国统计年鉴. 2010.
- [4] 中国金属学会统计数据. 2010.
- [5] 国务院. 国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020). 2006.
- [6] IEA and IISI. New comprehensive overview of world industrial energy efficiency and CO₂ intensity. 2009 – 11.
- [7] 韩颖, 李廉水, 孙宁. 中国钢铁工业二氧化碳排放研究. 2011.
- [8] 张敬, 张芸, 张树深, 等. 钢铁行业二氧化碳排放影响因素分析. 2009.
- [9] 白皓, 刘璞, 李宏煦, 等. 钢铁企业 CO₂ 排放模型及减排策略. 2010.
- [10] 上官方钦, 张春霞, 酆秀萍, 等. 关于钢铁行业 CO₂ 排放计算方法的探讨. 2010.
- [11] 王克, 王灿, 吕学都, 等. 基于 LEAP 的中国钢铁行业 CO₂ 减排潜力分析. 2006.
- [12] 刘虹, 姜克隽. 中国钢铁与水泥行业利用 CCS 技术市场潜力分析. 2010.
- [13] 黄导. “十二五”钢铁工业余热资源高效合理利用的思考与建议. 2011.
- [14] 酆秀萍. 钢铁行业二次能源利用现状与前景分析. 2011.
- [15] 王建军, 蔡九菊, 陈春霞, 等. 中国钢铁工业余热余能调研报告. 2007.
- [16] 中国科学院. 工业节能政策与技术调研报告. 2011.
- [17] 国务院. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年(2011—2015 年)规划纲要. 2010.
- [18] 国家能源局. 能源发展“十二五”规划. 2011.
- [19] 国家发改委. “十二五”节能规划. 2011.
- [20] 工信部. 钢铁工业节能减排的指导意见. 2010.
- [21] 工信部. 钢铁“十二五”发展规划. 2011.
- [22] 段红霞. 中国的碳排放、减排潜力及低碳发展政策. 2010.
- [23] 王维兴. 科学评价中国钢铁工业 CO₂ 排放. 2009.
- [24] 胡有为, 冯欣. 中国钢铁工业的现状与发展前景. 2006.
- [25] 世界金属导报. 世界主要产钢国家竞争力分析. 2006.
- [26] 余华彬, 朱凯栋. 重估中国钢铁工业发展空间. 2010.
- [27] 王庆一. 2010 能源数据. 2011.

- [28] 中国科学院. 中国科学院重点部署项目“工业节能关键共性技术研究及工业示范”任务书. 2011.
- [29] 科技部. 国家重点基础研究发展计划(973 计划)任务书“钢铁生产过程高效节能基础研究”(CB 120401—2012). 2011.
- [30] 赵庆杰, 储满生, 王治卿, 等. 非高炉炼铁技术及在中国发展的展望. 2006.
- [31] 嵇艳, 陆建刚, 张慧. 钢铁工业 CO₂ 的排放现状及主要的捕集方法. 2010.
- [32] 夏明珠, 严莲荷, 雷武, 等. 二氧化碳的分离回收技术与综合利用. 1999.
- [33] 邝生鲁. 全球变暖与二氧化碳减排. 2007.
- [34] Li J L, Chen B H. Review of CO₂ absorption using chemical solvents in hollow fiber membrane contactors. 2005.
- [35] 王金莲. 吸收 CO₂ 的新型化学吸收剂和工艺研究. 2007.
- [36] 孙承贵. 中空纤维致密膜基吸收脱除 CO₂ 研究. 2005.
- [37] 周艳欣. 吸附精馏法回收二氧化碳工艺. 2004.
- [38] 韩庆礼, 黄衍林, 周守航, 等. 低碳经济下钢铁行业二氧化碳排放的综合控制技术. 2010.
- [39] 胡秀莲. 中国主要部门(行业)减排潜力和途径研究课题进展报告. 2011.
- [40] 工业和信息化部. 部分工业行业淘汰落后生产工艺装备和产品指导目录. 2010.
- [41] 德勤. 中国钢铁行业发展报告. 2010.
- [42] 国家发改委. 国家重点节能技术推广目录(第一批). 2008.
- [43] 国家发改委. 国家重点节能技术推广目录(第二批). 2009.
- [44] 国家发改委. 国家重点节能技术推广目录(第三批). 2010.
- [45] 荣芳, 曾少军, 黄静, 等. 中国余能利用领域 CDM 项目活动现状及对策研究. 2010.
- [46] 中国能源信息网. 中国钢铁行业合同能源管理市场增长强劲. 2010.
- [47] 程正东, 闫敏英, 沙永志. 中国高炉喷煤工艺技术的优化. 2002.
- [48] 中国科学院. 工业节能政策与技术调研报告. 2011.
- [49] 张永生, 张旭新, 黄发明. 蓄热式燃烧技术在加热炉上的应用. 2004.
- [50] 工业和信息化部. 钢铁企业蓄热式燃烧技术推广实施方案. 2009.
- [51] 张有礼, 王维兴. 钢铁工业能源结构与节能. 2006.
- [52] 褚义景, 马新华, 梁非坤. 中国钢铁行业的节能减排对策研究. 2010.
- [53] 傅杰, 朱荣, 李晶. 中国电炉炼钢的发展现状与前景. 2006.
- [54] 张国宝. 中国能源发展报告 2010. 2011.
- [55] 陈玉千. 中国钢铁行业已进入真正淘汰期. 冶金管理, 2012(5).

第二章 化工行业 2020 年二氧化碳减排技术的潜力和成本分析

1 中国化工行业的现状和发展趋势

1.1 能源消费和二氧化碳排放状况

化学工业是基本原材料工业,是生产农用化学品、有机和无机基本原料、合成材料、精细与专用化学品等多类产品的重要行业,为国民经济各部门提供基础原材料及配套产品,在经济建设、国防事业和日常生活中发挥着极其重要的作用。中国化学工业经过 50 多年的建设,特别是近几年的快速发展,已经形成了化学矿山、化学肥料、无机化学品、纯碱、氯碱、基本有机原料、农药、燃料、涂料、精细化学品、橡胶加工、新型材料等主要行业的门类比较齐全、品种大体配套、具有相当规模和基础的工业体系。

化学工业是中国国民经济的重要支柱产业之一,2010 年末,化工行业规模以上企业 3.32 万家。据统计,2010 年化工行业实现产值 5.23 万亿元(现价),同比增长 32.6%。

2010 年中国化肥总产量(折纯)6 619.8 万 t,农药产量(折 100%)234.25 万 t。有机化学品中的乙烯产量 1 418.9 万 t,纯苯产量 553.1 万 t,甲醇产量 1 574.3 万 t。无机化工原料中的硫酸产量 7 060.1 万 t,纯碱产量 2 029.3 万 t,烧碱产量(折 100%)2 086.7 万 t,电石产量 1 462 万 t。三大合成材料中的合成树脂产量 4 360.9 万 t,合成橡胶产量 310.0 万 t,合成纤维产量 2 852.7 万 t。轮胎外胎产量 7.76 亿条^①。

2010 年,中国化工行业综合能源消费量为 30 566.75 万 t 标准煤^②,占当年全国工业总能耗的 14.44%,这充分说明化工行业是一个能源消费大户。2010 年,化工行业二氧化碳相对排放量 76 417 万 t(按 1t 标准煤排放 2.5t 二氧化碳计算,下同),生产氮肥消耗二氧化碳量为 10 254 万 t。

^① 国家统计局数据。

^② 国家统计局数据。

从生产与能源消费量来看,化工行业的能源消费主要集中在氮肥、烧碱、纯碱、电石、黄磷等高耗能行业,其中氮肥生产能耗约占整个化学工业能源消费量的 30%。由于化工产品种类繁多,不能一一详细叙述,在本报告中,选取能耗较高的几种产品加以介绍,包括合成氨、烧碱、纯碱、电石、黄磷。

化工行业能源消费具有以下特点:

(1)化学工业是一个高能耗的产业部门。在化学品生产中,能源不仅作为燃料和动力,而且是一些产品的生产原料,用作原料的能源约占化学工业总能耗的 40%。化学工业能源消耗主要集中在合成氨、烧碱、纯碱、电石、黄磷等高耗能行业。

(2)能源费用占成本比重大。由于这几种高耗能产品单位产量能耗高,能源费用在其生产成本中占很大比重。如氮肥制造业能源费用占生产成本的 60%~70%;烧碱产品能源成本占 60%以上;黄磷产品能源成本占 60%以上;纯碱产品能源成本占 20%;电石产品能源成本占 75%以上;有机化学品制造业能源成本也占 10%以上。

(3)化学工业能源消费以煤焦为主。化学工业能源消费中煤炭和焦炭占化工总能源消耗的近 50%,其次是石油和电力,各约占化工行业总能耗的 17%。与国外化学工业以石油、天然气为主的能源结构相比,中国化学工业的用能结构是属于低品质的能源结构。因此,化学工业的能源利用效率与国外相比还有较大差距。

(4)高能耗、低增加值的产品在化工产品中所占的比重较大。化工行业生产过程投入原料、燃料很多,工业增加值不高,这样的产业结构是造成全行业单位工业增加值能源消费量较高的主要原因之一。进行行业结构调整需要一定的时间,也存在市场、资金等问题,难度较大。

(5)化学工业现有生产布局与能源资源分布不相适应。在能源生产比较集中的西部地区,能耗仅占全行业能耗的 11%,而在能源资源相对贫乏的华东、中南地区,能源消费量占全行业消费量的 50%以上,进而造成全行业使用能源大多需要长距离运输。

国内外化工行业主要耗能产品能耗水平差异的原因分析:

(1)资源状况。中国能源资源禀赋的特点是富煤、缺油、少气。全国煤炭资源探明储量约占世界的 12.6%,按目前的开采水平,可以使用约 100 年。但原油探明储量仅占世界的 1.4%,天然气占 1.2%,两者都是稀缺资源。2009 年,中国主要化石能源生产的构成为:煤约 81.7%,原油 10.4%,天然气 4.4%。从能源供求关系来看,中国的原油消费对进口的依存度逐年上升,由 2005 年的 42.4% 增长至 2010 年的 53.7%,供求矛盾和市场风险日益突出。天然气作为清洁能源,其生产虽然稳定增长,但随着民用需求大幅增长、发电需求增加,供

需矛盾越来越大。这种状况决定中国工业部门终端能源消费结构(包括化工行业)将主要依赖煤炭资源。例如,中国合成氨生产的原料路线构成和电石行业的快速发展都与中国特有的资源状况密不可分。煤炭资源在使用过程中,存在污染严重和能源利用效率低的问题,这对产品能耗必然产生很大的影响。

目前,国内与国外化学工业能源消费(折标准煤)构成比例为:国内约70%为煤炭,国外不到30%;国内石油天然气不足30%,国外则高于60%,其他能源的比例比较接近。

(2)原料路线。化工行业的原料路线对产品能耗有重大影响。在这方面,国内外的差异较大。例如合成氨行业,国内70%以上的合成氨以煤焦为原料,20%以天然气为原料,而世界上以天然气为原料的合成氨则为80%~90%,美国甚至达到了98%的水平。由于煤制合成氨单位产品能耗比天然气高约60%,因而造成了中国合成氨单位产品能耗明显高于国外平均水平的结果。

(3)企业规模。化工行业中,主要耗能产品均为大宗产品,发达国家企业规模一般都比较小,便于合理利用能量和提高设备利用效率。而中国中、小企业较多,平均生产规模较小,与发达国家相差较大。例如,合成氨生产装置单套产能平均不足10万t/a,而国外一般为30万t/a;电石企业国内户均产能不足5万t/a,日本为22万t/a,美国为17万t/a,德国为20万t/a。这种企业规模上差距是国内化工主要耗能产品能耗相对较高的一个重要原因。

(4)装备水平。化工生产工艺设备和通用设备的设计、材质、制造及生产操作控制水平对产品能耗有决定性的影响。例如,国内合成氨生产装备和工艺,始终是落后工艺与先进工艺并存,总体装备水平较低,导致了能耗较高。而发达国家企业非常重视把各个生产单元连成一个整体以合理利用能量,考虑能源的分级利用、多次利用,提高有效能的利用率,使每吨氨的能耗降到最低。

(5)政策因素。国家政策的引导是提高产品能效水平的重要力量。近年来,虽然国家出台了多项鼓励节能的政策措施,取得了一定的效果。但是,有一些政策还需要进一步完善和落实,如在投资、财政和税收等方面的激励和约束政策,高耗能产品的强制能效标准的制定,与项目建设相配套的市场准入和退出机制等。这些不利因素对加速推广先进节能技术构成了障碍。

(6)其他因素。运行负荷因素:一些合成氨企业由于天然气等原料供应不足或市场因素,导致运行负荷下降,并偏离设备的最佳运行范围,从而引起能源利用效率的降低,导致单位产品能耗的上升。近年来,以天然气为原料的合成氨企业受原料不足的影响最多。

原料质量因素:一些合成氨企业采购的原料煤质量差、不稳定,且灰分高,从而导致造气质量下降,能耗增加。一些电石企业原料焦炭的固定碳含量低于要求值,石灰石的钙含量达不到要求值,这些都导致产品能耗增高。

统计方法因素:对于化工产品的能耗统计值,国外往往指的是工艺设计值,而国内的统计值还包括辅助和附属工序分摊的能耗,也就是说,两者的统计边界有区别,国内统计范围大于国外统计范围,这也导致了国内产品能耗值增加。

以下对重点高耗能行业作详细介绍。

1.1.1 合成氨

目前,中国合成氨的生产能力和产量居世界第一。2010 年全国合成氨产量为 5 221 万 t,同比下降 2.4%。合成氨生产是以煤、天然气、重油等为原料制取氨的过程。中国用来生产合成氨的原料以煤为主,占 77.2%;其次是天然气,约占 20.1%;其他为少量的油和焦炉气等。不同的原料和生产过程,合成氨能耗有很大差别。

造成中国合成氨能耗高的原因,归纳起来有以下四个方面:

一是中国合成氨生产以煤、焦为主,是造成能耗高的主要原因。国外以天然气为原料生产的化肥占 80%~90%,美国为 98%,中国只有约 20.1%。煤、气、油三种原料生产合成氨,以气为最低。气头合成氨吨氨能耗,世界上先进水平为 29 GJ/t 氨,中国引进装置能耗平均仍在约 35GJ/t 氨。以煤、焦为原料制氨,国外与中国大中型同类型的企业很少,缺少对比资料,只能以引进煤头 30 万 t 和国外 30 万 t 煤头合成氨能耗对比。中国引进装置吨氨能耗在 53~54GJ/t 氨,世界先进水平 46~49GJ/t 氨,折标准煤 1 570~1 670kg 标准煤/t 氨。

二是企业生产规模小,是能耗高的另一个原因。中国合成氨生产从目前看仍以中小型企业为主。像合成氨这样的产品,规模上不去,能耗、成本上都处于非常不利的位置,因为在热回收利用和热功结合使用方面,装置规模大型化,有利于能量的综合利用,效率必然好于小型装置。

三是单机效率低,工艺技术落后。引进装置使用高效的单系列大型设备,较突出的是压缩机、风机、水泵,静止设备大型化之后,也减少动力损失,便于热能回收和综合利用。中小型合成氨装置目前造气炉技术仍是 20 世纪五六十年代的水平,气化率低,碳的利用率也低;另外压缩机技术落后,效率低,能量得不到充分利用。工艺过程的单元操作,也是传统方法,只在近几年才有了较大进步。

四是管理落后。规模小,技术落后,使用煤炭为主的低品质能源是综合能耗高的根本原因。而管理上的原因也是重要的,国内同类型企业,即使在使用原料、技术、工艺流程、生产规模基本相同的情况下,能耗差距可达 40%~50%。

“十一五”期间,合成氨行业在节能降耗方面虽然取得了一定的成绩,但还存在一些问题,主要表现在以下几个方面。

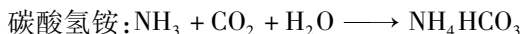
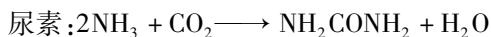
(1)各地区发展不平衡,吨氨能耗水平还有相当大的差异;同一地区的企业也存在着一定的差距,能耗差距在 20%~40%。

(2)随着产品结构的调整和碳铵比例的逐年下降,以及气化原料采用劣质煤与粉煤成型比例的提高,行业能耗水平有所增加,表现为吨氨能耗下降幅度在逐年减小。

(3)由于合成氨企业效益不好等原因,不少有效的节能技术措施还没有在企业中得到广泛地推广应用。

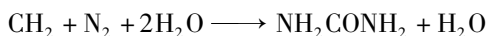
目前以煤为原料的企业吨氨综合能耗水平大体可分为三个等级:第一级次是先进水平,吨氨综合能耗 < 1 400kg 标准煤;第二级次是一般水平,吨氨综合能耗为(1 550 ± 150)kg 标准煤;第三级次是落后水平,吨氨综合能耗 > 1 700kg 标准煤。

合成氨的下游产品为氮肥,是利用基础化肥 NH_3 与二氧化碳反应的特性,将碳基资源利用过程中释放出的二氧化碳固定,并固化为化肥产品,起到了减排二氧化碳之目的。氮肥生产中,通过二氧化碳与 NH_3 进行化学反应而生成的固态化肥产品有尿素和碳酸氢铵两种,反应式如下:

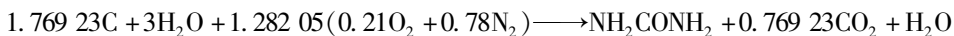


由尿素反应式可见,2mol 氨可以反应用去 1mol 二氧化碳;从碳酸氢铵反应式可知,1mol 氨即能反应用去 1mol 二氧化碳,其消耗二氧化碳的量比生成尿素高 1 倍。由此可见,在生产过程中,碳酸氢铵的固碳作用较强(指生产企业界区内)。

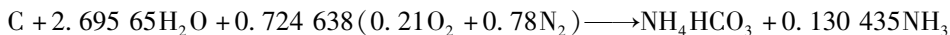
对于以天然气和重油为原料的化肥装置,若氮肥产品为尿素,则由化学反应式可知,其氨碳基本达到平衡。以重油、氮气、水为原料,既可得到化肥产品,又不排放二氧化碳,是最好的匹配。



对于以煤为原料的化肥装置,若氮肥产品仍为尿素,则其氨碳元素并不平衡。以煤、空气、水为原料,由于氨太少,二氧化碳过剩,这些多余的二氧化碳将排入大气。



若以煤为原料生产碳铵,其元素平衡式如下:



尿素和碳酸氢铵不仅具有减排固碳作用,还是优质的化肥,其中的氮元素和碳元素都是农作物的营养成分。当它们施予土壤中后,在水和微生物(酶类)作用下,分解为 NH_3 和 CO_2 ,随之被作物吸收,生成复杂的 C-H-N-O 类营养物质,促进作物生长,同时还如同植物的光合作用一样,排出多余的氧气,完成碳循环。

2010 年尿素产量为 2 516.3 万 t(折合 N 100%),消耗二氧化碳 3 954 万 t。

碳铵类氮肥产量为 2 004.8 万 t (折合 N 100%), 消耗二氧化碳 6 300 万 t。

2010 年生产合成氨共消耗能源约 67 32 万 t 标准煤, 排放二氧化碳 16 830 万 t。扣除掉下游氮肥消耗的二氧化碳, 则二氧化碳净排放量为:

$$16\ 830 - 3\ 954 - 6\ 300 = 6\ 576 \text{ 万 t}$$

1.1.2 烧碱

烧碱生产方法主要有电解法和苛化法两种。电解法又分为隔膜法、离子膜法和水银法三种。目前, 中国烧碱生产以离子膜法和隔膜法为主, 占总产量的 99% 以上, 苛化法烧碱产量很少。2000 年淘汰了水银法, 2004 年淘汰了石墨阳极隔膜法, 均由离子膜电解槽、金属阳极 (DSA) 隔膜电解槽所取代。由于离子膜法能耗较低, 生产工艺先进、清洁, 近几年发展较快, 2010 年离子膜法产能所占比例已提高到 84.3%。

2010 年中国烧碱产量达到 2 087 万 t, 聚氯乙烯产量达到 1 130 万 t。烧碱和聚氯乙烯产能、产量均居世界第一, 成为名副其实的氯碱大国。

2010 年底, 中国在产烧碱生产企业 176 家, 总产能达到 3 021 万 t/a, 产量 2 087 万 t。产能相比“十一五”初期增幅达 105.4%, 产量增幅在 68.3%。烧碱产能主要分布在山东、江苏、河南、内蒙古、新疆和浙江六省, 产能合计占总产能的 59.4%。中国氯碱行业中拥有百万吨级别的化工集团也在逐渐形成, 对于地域性的单个烧碱生产企业而言, 2010 年中国进入烧碱产能 40 万 t/a 以上 (含 40 万 t/a) 规模的企业已增至 15 家, 占总产能的 25.6%, 相比 2009 年行业集中度进一步提高。

2010 年生产烧碱共消耗能源约 994 万 t 标准煤, 排放二氧化碳 2 485 万 t。

1.1.3 纯碱

纯碱作为最重要和最基础的化工原料之一, 广泛用于建材、化工、冶金、日化、农药等行业, 被称为工业之母。截至 2010 年底, 中国纯碱生产能力已达 2 430 万 t, 2010 年纯碱产量为 2 029.3 万 t, 同比增长 4.2%。2011 年有 9 家企业合计 385 万 t 的新增能力投产。按国内外市场容量 2 150 万 ~ 2 180 万 t 预计, 产能过剩现象仍然严重。按纯碱协会目前掌握的信息, “十二五”时期, 纯碱行业还将新增约 1 100 万 t 纯碱产能和近 640 万 t 氯化铵能力, 产能过剩的局面将进一步加剧。

目前中国纯碱生产主要采用氨碱法和联合制碱法两种生产工艺, 少量以天然碱为原料加工制作。氨碱法因不需要配套合成氨装置, 纯碱产品质量优异而备受欢迎, 目前国内大规模的纯碱生产装置仍以氨碱法为主。

氨碱法与联合制碱法比较:

(1) 氨碱法生产纯碱以合成氨作为中间媒介始终在系统中循环利用, 联合制碱法是将中间产物氯化铵作为产品分离出来。

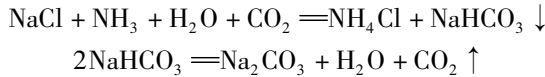
(2) 氨碱法是传统的生产工艺,已有百余年的历史,工艺成熟可靠,产品质量优异,远远优于联碱法产品质量。

(3) 氨碱法产品品种专一,中间媒介合成氨是严格控制指标,由于全系统处于常温常压状态,工艺过程控制方便单一,安全稳妥可靠。

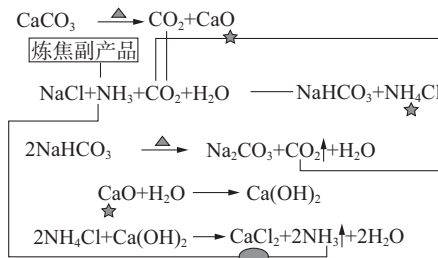
(4) 氨碱法需要对母液蒸馏回收氨气,能够充分利用低位能源,在能源利用平衡方面占有优势,缺点是大量废渣排除。

由于中国引进了几套大型纯碱生产装置和技术,又开发了一批新的技术和装备,对老企业进行了改造。因此,中国大中型纯碱厂的技术装备水平,基本达到目前国际先进水平;小型厂设备能力偏小,技术装备水平较差,能耗较高。

两种制碱法的总原理相同:

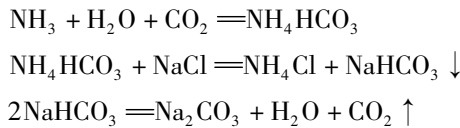


氨碱法制碱原理如下:



氨碱法制碱中氨和部分二氧化碳可循环使用。

联合制碱法原理:



国内纯碱生产以氨碱法为主。从反应式可以看出,二氧化碳在整个生产过程中放出和消耗量是基本相同的。2010年生产纯碱共消耗能源约673万t标准煤,排放二氧化碳1682万t。

1.1.4 电石

中国是世界电石第一生产大国。2010年全国电石产能为2400万t,产量为1462.3万t,同比减少0.2%。

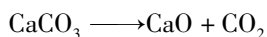
电石工业最大的能耗是电力,电力成本约占电石生产成本的65%,电石炉是电石生产中用能最大的生产装置。电石生产能耗包括:工艺电耗、炭材消耗、电极糊消耗和其他能耗(如界区内动力、照明和工质用能以及辅助和附属工序的其他分摊能耗)。

中国电石行业经过多年的发展和进步,特别是通过对引进技术的消化吸收,行业技术水平有了很大提高,在此基础上也创造出一些拥有自己特色的知识产权和技术管理方法。但由于使用落后装备的小企业大量存在,导致整体技术装备水平仍然比较落后。目前电石生产仍大量使用内燃式炉。这些落后的电石炉在中国数量多、规模小、能耗高、污染严重。具体表现为工艺电耗高,没有采用空心电极系统回收利用粉料,没有采用计算机控制系统进行生产操作。

电石生产的反应原理如下:

(1) 石灰生产

生石灰(CaO)是由石灰石(CaCO₃)在石灰窑内于约 1 200℃ 的高温煅烧分解制得:

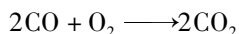


(2) 电石生产

电石(CaC₂)是生石灰(CaO)和焦炭(C)于电石炉内通过电阻电弧热在 1 800 ~ 2 200℃ 的高温下反应制得:



除少数企业将电石炉尾气中一氧化碳用于生产甲酸等化工产品将碳固定外,绝大多数企业的一氧化碳都燃烧处理,从而使一氧化碳转化为二氧化碳排放。



由以上反应式可以看出,电石生产过程除了消耗能源排出二氧化碳以外,工艺过程中也会释放二氧化碳。每生产 1mol 电石(CaC₂),会放出 2mol 二氧化碳,同时消耗 3mol 焦炭(C),由于焦炭的使用已计算二氧化碳排放,因此生产 1mol 电石,反应过程将净减少 1mol 二氧化碳排放。

2010 年电石生产共消耗能源约 1 490 万 t 标准煤,由此排放的二氧化碳约为 3 725 万 t。

生产过程中净减少的二氧化碳为: $1\,462.3 \times 44 \div 64 = 1\,005$ 万 t

因此,二氧化碳总排放量为: $3\,725 - 1\,005 = 2\,720$ 万 t

1.1.5 黄磷

到 2010 年底,全国黄磷年生产能力达到 220 万 t,2010 年全国黄磷产量为 89.87 万 t,相对 2009 年黄磷实际产量 73.58 万 t,增长 16.29 万 t。电解炉是黄磷最主要的生产装置,也是黄磷生产中用能最大的生产装置。

黄磷生产能耗主要有电炉电耗,电炉还原用碳素综合能耗和包含动力照明所用的电耗及其他能耗。由于中国黄磷电炉以小型炉居多,操作管理落后,因此产品综合能耗平均较高。

中国磷化工产业经过近 10 年的发展,已完成磷化工产业洗牌。基本形成

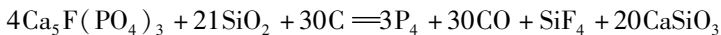
沿海重点发展精细磷化工,云南、贵州、四川、湖北因占有资源优势以黄磷、磷酸、磷复肥为主。中国已经成为世界最大的产磷国、出口国和消费国。但是,中国的黄磷装置(制磷电炉)容量小,工艺水平低,技术装备落后,为了尽快建成投产,如90年代建设的一些黄磷电炉装置,为节省投资,不按规范建设,常常是将A处的图纸照搬到B处,另外,对主体炉体的技术参数、设备的选型要求降低,致使中国黄磷制磷电炉工艺技术水平落后,磷炉产量低,且“三废”治理和综合利用投入小,造成一些制磷电炉消耗电能高,故障较多,环境污染严重。

国内外黄磷工业的技术工艺水平各自特点是:中国黄磷装置(制磷电炉)小型化较多,原料加工简单化,工业自动化水平低,产品单一,污染严重;国外的制磷电炉生产规模大,生产工艺水平高,产品品种多,附加值高,劳动生产率高。

中国目前黄磷企业的制磷电炉变压器容量为3 000~7 200kVA的约200台,其生产能力约占全国黄磷产量的50%,这些低水平、浪费严重的小型磷电炉的低水平重复建设,使这些企业处于整个低水平、低效益下运行。根据中国目前的产业政策,10 000kVA以下的制磷电炉已在取缔范围内,20 000kVA以上的磷电炉及大型化的磷电炉是国家支持发展的目标。

按照上述市场情况的分析,在国家明令的产业政策下,凡不愿被淘汰出局的黄磷企业,必须按照国家的要求进行技改,同时,新建装置的门槛已提升至黄磷产能5万t/a,其装置不能低于20 000kVA电炉容量,另外,必须配套建设黄磷尾气综合利用装置,以退税和减免所得税为鼓励政策。

电炉法制磷的主要化学反应为:



2010年黄磷生产共消耗能源约298.6万t标准煤,由此排放的二氧化碳约为746万t。

1.2 能源消费和二氧化碳排放趋势

据中国石油和化学工业联合会调查显示:石油化工行业产能过剩日益严重,传统大宗石化产品的总产能明显超过国内市场需求。这种态势不仅导致资源浪费严重,而且这种趋势不断加剧。2010年中国甲醇产能是3 840万t,产量只有1 700万t,开工率只有45%;尿素2010年的产能是6 600万t,超过了国内市场需求的20%以上,装置的平均开工率不足75%;像磷酸一铵、磷酸二铵分别达到1 400万t和1 500万t,产能超过国内需求100%;烧碱的开工率只有72%,PVC的开工率只有54%。

“十一五”期间化学工业保持了很高的发展速度,随着下一个景气周期的来临,“十二五”甚至“十三五”期间,化学工业仍将保持高速发展的态势。但由于大宗化工产品,特别是合成氨、烧碱、纯碱、电石等高耗能产品基本上处于供应过剩

的状态,加之受节能政策等因素的影响,其产量增长不会很快,而高附加值的精细化学品、新型专用化学品的发展速度将很快。这对降低全行业单位产值(或增加值)能耗是非常有益的。

随着国民经济的持续发展,化工行业将保持稳定发展,全行业的能源消费量预计将持续上升,二氧化碳排放量将继续增长。据专家预测,化工行业现状和发展趋势见表 2-2-1。

表 2-2-1 化工行业的现状和发展趋势

年 份	2005	2010	2015	2020
工业增加值/亿元	4 987	12 252	22 574	41 591
工业增加值年均增长率/%	—	19.69	13.0	13.0
能源消费量/万 t 标准煤	23 088.26	30 566.75	42 238	58 365
能源消费结构/%				
其中:煤炭	38.03	33.65	36.00	35.50
油品	17.59	20.26	17.24	18.37
焦炭及炼焦副产品	10.06	8.88	11.00	10.50
天然气	10.09	10.13	10.00	9.80
热力	8.53	9.08	8.23	8.30
电力	15.70	18.00	17.53	17.53
CO ₂ 排放量/万 tCO ₂	57 721	73 360	97 140	116 730
主要产品产量(实物量)				
其中:合成氨/万 t	4 596	5 221	5 600	6 000
烧碱/万 t	1 240	2 087	2 700	3 400
纯碱/万 t	1 421	2 029	2 550	3 000
电石/万 t	895	1 462	2 700	3 600
主要产品单位能耗/ (kg 标准煤/t 产品)				
其中:合成氨	1 624	1 356.4	1 350	1 300
烧碱	571	476.35	330	310
纯碱		331.66	320	300
电石		1 018.79	970	950

注:2015 年、2020 年工业增加值增长率按 13% 测算(工信部发布《石化和化学工业“十二五”发展规划》确定的发展目标)。

1.3 促进节能减排的政策措施

近年来,国务院及有关部委发布实施了多项有关节能减排的法规及规范性文件、政策措施,大大促进了化工行业的节能减排。

2005 年 4 月 21 日,《中国节水技术政策大纲》(国家发展和改革委员会、科

技部、水利部、建设部、农业部公告 2005 年第 17 号)发布施行,以指导节水技术开发和推广应用,推动节水技术进步,提高用水效率和效益,促进水资源的可持续利用。

2005 年 6 月 27 日,国务院发布了《关于做好建设节约型社会近期重点工作的通知》(国发[2005]21 号),强调必须加快建设节约型社会。从节能、节水、节材、节地和资源综合利用五个方面提出了建设节约型社会的重点工作,并提出了加快节约资源的体制机制和法制建设七个方面的措施。

2005 年 7 月 2 日,国务院发布了《关于加快发展循环经济的若干意见》(国发[2005]22 号)。

2005 年 12 月 9 日,国家发展和改革委员会、财政部、商务部、国土资源部、海关总署、国家税务总局、国家环保总局《关于控制部分高耗能、高污染、资源性产品出口有关措施的通知》(发改经贸[2005]2595 号),要求各地要继续关注高耗能、高污染产业的发展状况,引导企业按照科学发展观的要求,通过技术创新,减少能源和资源耗费,延长产业链,提高出口商品的结构层次、技术含量和附加值,培育新的竞争优势。

为加强水资源管理和保护,促进水资源的节约与合理开发利用,2006 年 2 月 21 日,国务院颁布《取水许可和水资源费征收管理条例》(国务院令第 460 号),该条例自 2006 年 4 月 15 日起施行。

2006 年 3 月 14 日十届全国人大四次会议已表决通过并决定批准《中华人民共和国国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》。《纲要》规划中明确提出:“十一五”期间单位 GDP 能耗降低约 20%,主要污染物排放总量减少 10%,并作为具有法律效力的约束性指标。

2006 年 4 月 7 日,国家发展和改革委员会、国家能源办、国家统计局、国家质检总局、国务院国资委联合发布了《关于印发千家企业节能行动实施方案的通知》(发改环资[2006]571 号),加强重点耗能企业节能管理,促进合理利用能源,提高能源利用效率。

2006 年 7 月 25 日,国家发展和改革委员会等部门发布了《关于印发“十一五”十大重点节能工程实施意见的通知》(发改环资[2006]1457 号)。

2006 年 8 月 5 日,国务院发布了《国务院关于“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划的批复》(国函[2006]70 号)。

2006 年 8 月 6 日,国务院发布《关于加强节能工作的决定》(国发[2006]28 号)。《决定》指出,能源问题已经成为制约中国经济和社会发展的重要因素,要从战略和全局的高度,充分认识做好能源工作的重要性,高度重视能源安全,实现能源的可持续发展。

为调整和优化产业结构,加快淘汰高耗能产业中的落后产能,促进节能

源和降低能耗,2006年9月17日,国务院办公厅转发《国家发展和改革委员会关于完善差别电价政策的意见》(国办发[2006]77号),自2006年10月1日起,对电解铝、铁合金、电石、烧碱、水泥、钢铁、黄磷、锌冶炼8个高耗能行业实行差别电价政策。

为推动节能技术进步,提高能源利用效率,促进节约能源和优化用能结构,建设资源节约型、环境友好型社会,2006年12月,国家发展和改革委员会、科技部联合发布了重新修订的《中国节能技术政策大纲(2006年)》。本次《大纲》修订是以1996年版大纲为基础,充分考虑10年来节能技术发展状况,提出了重点研究、开发、示范和推广的重大节能技术,限制和淘汰的高耗能工艺、技术和设备。

2006年12月24日,国家发展和改革委员会发布了《“十一五”资源综合利用指导意见》。《指导意见》在分析国家资源综合利用现状的基础上,提出了2010年资源综合利用目标、重点领域、重点工程和保障措施。这是国家“十一五”期间资源综合利用工作的指导性文件,也是引导投资及决策重大项目的依据。

2007年“两会”期间,温家宝总理在政府工作报告中提出,要把节能降耗、保护环境和集约用地作为转变经济增长方式的突破口和重要抓手,以促使经济“又好又快”地发展。要将“好”和“快”统一起来,把经济增长过程中的能源消耗、污染排放和环境代价降下来,增加经济发展的效益、质量和后劲。

2007年4月10日,国家发展和改革委员会发布了《能源发展“十一五”规划》,该规划主要阐明国家能源战略,明确能源发展目标、开发布局、改革方向和节能环保重点,是未来五年国家能源发展的总体蓝图和行动纲领。

2007年4月25日,国务院成立节能减排工作领导小组,负责部署节能减排工作,协调解决工作中的重大问题,并由温家宝总理任组长。进一步改革和完善了节能监管体制,提高了节能减排工作的权威性和有效性。

针对高耗能行业在一些地区盲目扩张呈现反弹的苗头,2007年4月29日,国家发展和改革委员会发出了《关于加快推进产业结构调整遏制高耗能行业再度盲目扩张的紧急通知》(发改运行[2007]933号)。《紧急通知》要求,各级有关部门、有关企业严格按照《国务院关于投资体制改革的决定》规范高耗能项目投资行为;按照有关规定加强项目投资管理,从严控制新建高耗能项目,禁止违规审批(核准)、备案。

国务院2007年5月23日发布了《关于印发节能减排综合性工作方案的通知》(国发[2007]15号)。《方案》提出了43项具体政策措施,涵盖了结构调整,加大行政管理力度,实施节能环保重点工程,加强节能减排投入,加强节能减排技术研究开发与推广应用,加快建立节能技术服务体系,推进资源节约与综合利用,深化循环经济试点,加强节能减排技术标准建设和监督管理体系,加大税

收、投融资、价格收费等经济调控手段的改革力度,加强立法管理和宣传等诸多方面,规定了节能减排责任、执法监管和统一考核工作,建立了节能减排领导协调机制,逐步形成以政府为主导、企业为主体、全社会共同推进的节能减排工作格局。

2007年6月3日,国务院发布了《关于印发中国应对气候变化国家方案的通知》(国发[2007]17号)。《中国应对气候变化国家方案》,这是中国第一部应对气候变化的政策性文件,也是发展中国家在该领域的第一部国家方案,它全面阐述了中国在2010年前应对气候变化的对策。

为实现“十一五”期间单位国内生产总值能耗降低20%左右的约束性指标,中央财政将安排必要的引导资金。因此,2007年8月10日,财政部、国家发展和改革委员会印发《节能技术改造财政奖励资金管理暂行办法》(财建[2007]371号),规定在2010年12月31日前,采取“以奖代补”方式对10大重点节能功能给予适当支持和奖励,并对奖励对象和方式、奖励条件、奖励标准进行明确。

为加快节能减排重点工程建设,2007年8月28日,国家环境保护总局办公厅、国家发展和改革委员会办公厅发布了《关于加快节能减排投资项目环境影响评价审批工作的通知》(环办[2007]111号)。

2007年10月28日,《中华人民共和国节约能源法(修订)》(中华人民共和国主席令第77号)颁布,从法律层面将节约资源明确为基本国策,把节约能源发展战略放在首位。

为了落实完成国家“十一五”规划纲要提出的重要约束性指标,2007年11月17日,国务院批转《节能减排统计监测及考核实施方案和办法》(国发[2007]36号)。《节能减排统计监测及考核实施方案和办法》是由国家发展和改革委员会、国家统计局和国家环境保护总局分别会同有关部门制定的,主要包括《单位GDP能耗统计指标体系实施方案》《单位GDP能耗监测体系实施方案》《单位GDP能耗考核体系实施方案》等“三个方案”和《主要污染物总量减排统计办法》《主要污染物总量减排监测办法》《主要污染物总量减排考核办法》三个办法。

2008年3月29日,国务院印发《国务院2008年工作要点》(国发[2008]15号),其中2008年的一项重要工作就是加大节能减排和环境保护力度,做好产品质量安全工作。

2008年8月1日,国务院发布《关于进一步加强节油节电工作的通知》(国发[2008]23号)。

2008年12月9日,财政部、国家税务总局发布《关于资源综合利用及其他产品增值税政策的通知》(财税[2008]156号)。

2008 年 12 月 9 日,财政部、国家税务总局发布《关于再生资源增值税政策的通知》(财税[2008]157 号),决定从 2009 年 1 月 1 日起调整再生资源回收与利用增值税政策。

2009 年 2 月 25 日,国家发展和改革委员会、国家电监会、国家能源局联合发出《关于清理优惠电价有关问题的通知》(发改价格[2009]555 号)。通知要求:一是坚决取消各地自行出台的优惠电价措施;二是积极稳妥地推进大用户直购电试点工作;三是合理调整峰谷电价等需求侧管理措施减轻企业电费负担;四是电网企业要严格执行国家电价政策;五是加强监督检查,对于届时继续对高耗能企业实行优惠电价措施的,将予以通报批评,追究有关负责人责任。

2010 年 3 月 18 日,工业和信息化部发布关于印发《2010 年工业节能与综合利用工作要点》的通知。要求以结构调整和发展方式转变为主线,突出抓好节能降耗,力争单位工业增加值能耗下降 7%,工业固体废物综合利用率提高 1.5 个百分点。

2010 年 4 月,工业和信息化部发布《关于进一步加强中小企业节能减排工作的指导意见》,要求加快提高中小企业节能减排和资源综合利用水平,以工业领域中小企业为重点,包括国家重点行业调整和振兴规划涉及的中小企业、重点工业园区内的中小企业以及各地确定的节能减排重点中小企业。

2010 年 4 月,国家发改委、财政部、中国人民银行、国家税务总局联合发布《关于加快推行合同能源管理促进节能服务产业发展的意见》,要求充分认识发展节能服务产业的重要意义,到 2012 年,扶持培育一批专业化节能服务公司,发展壮大一批综合性大型节能服务公司。

2010 年 5 月 12 日,国家发展和改革委员会、国家电监会、国家能源局联合下发《关于清理对高耗能企业优惠电价等问题的通知》,要求限期取消现行对电解铝、铁合金、电石等高耗能企业用电价格优惠。明确继续对电解铝、铁合金、电石、烧碱、水泥、钢铁、黄磷、锌冶炼 8 个行业实行差别电价政策。

2010 年 6 月 3 日,国家发展和改革委员会会同有关部门制定《节能减排综合性工作方案》,明确了 2010 年中国实现节能减排的目标任务和总体要求。国家将严格控制新建高耗能、高污染项目。严把土地、信贷两个闸门,提高节能环保市场准入门槛。抓紧建立新开工项目管理的部门联动机制和项目审批问责制。

2010 年 10 月 18 日,国务院常务会议通过《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》,将节能环保、新一代信息技术、生物、高端装备制造、新能源、新材料、新能源汽车产业纳入七大新兴产业,享受专项财政资金支持。

促进未来节能减排的主要政策措施有:

国务院发布的《“十二五”节能减排综合性工作方案》(国发[2011]26 号)

从强化节能减排、降低碳排放强度的目标责任等方面开展工作,把节能减排作为转变经济发展方式的抓手,促进经济社会可持续发展。这些措施包括推行居民用电、用水阶梯价格,全面推行供热计量收费;加大差别电价、惩罚性电价实施力度;加大金融机构对节能减排、低碳项目的信贷支持力度,建立银行绿色评级制度;加快节能环保标准体系建设,建立“领跑者”标准制度;适时扩大低碳试点内容和范围。

为了落实“十二五”规划纲要提出的单位国内生产总值能耗降低16%的目标任务,国家发展和改革委员会分别编制了“十二五”节能减排和控制温室气体排放的实施方案,准备开展强化节能减排、降低碳强度的目标责任、优化产业结构和能源结构等十大重点工作。

为强化节能减排、降低碳强度的目标责任,国家将科学合理地确定各地区“十二五”节能减排和降低碳强度的目标,健全统计、监测和考核体系,对地方节能减排、降低碳强度的目标完成情况进行评价考核,考核结果将向社会公布,纳入政府绩效管理,实行问责制。

为优化产业结构和能源结构,国家将大力发展服务业和战略性新兴产业,抑制高耗能、高排放产业过快增长,强化节能、环保、土地、安全等指标的约束,加快淘汰落后产能,推动传统产业改造升级。同时,国家将调整能源的消费结构,大力发展可再生能源。

国家将实施节能改造工程、重大节能技术产业化示范工程、节能产品惠民工程、合同能源管理推广工程和节能管理能力建设工程;实施城镇污水处理设施及配套管网建设工程、规模化畜禽养殖污染管理工程和脱硫脱硝工程;实施循环经济重点工程,建设100个资源综合利用示范基地、50个“城市矿山”示范基地、5个再制造产业集聚区。

中国还将加强节能减排管理,合理控制能源消费总量,开展能效水平对标活动,推进工业、建筑、交通等领域的节能减排,开展万家企业节能低碳行动、绿色建筑行动和“车船路港”千家企业低碳交通运输专项行动,加强农业和农村、商业和民用、公共机构的节能减排。

为大力发展循环经济,国家将编制全国循环经济发展规划和重点领域专项规划,深化循环经济示范试点,推广循环经济典型模式,组织实施循环经济“十百千示范”行动,即实施循环经济十大工程、创建百个循环经济示范城市和乡镇、培育千家循环经济示范企业,实现循环经济发展由试点向示范推广的转变,全面推行清洁生产,加强资源综合利用。

为加快节能减排技术开发和推广应用,国家将组织开展节能减排共性、关键和前沿技术攻关;实施节能减排重大技术与装备产业化工程,重点支持稀土永磁无铁芯电机、半导体照明、低品位余热利用等关键技术与设备产业化,加快

节能减排技术的推广应用。

国家还将完善相关经济政策,理顺资源性产品价格关系,推行居民用电、用水阶梯价格,全面推行供热计量收费;加大差别电价、惩罚性电价实施力度。完善污水处理费政策,改革垃圾处理收费方式。深化采用财政补贴方式推广高效节能产品等支持机制。推进资源税改革,推动落实和完善资源综合利用税收政策。加大各类金融机构对节能减排、低碳项目的信贷支持力度,建立银行绿色评级制度。

为扎实推进低碳试点,国家将组织试点省区和城市编制低碳发展规划,积极探索具有本地区特色的低碳发展模式,率先形成有利于低碳发展的政策体系和体制机制,加快建立以低碳排放为特征的工业、建筑、交通体系,适时扩大低碳试点的内容和范围。

为增加森林碳汇,国家将大力推进植树造林,继续实施三北防护林与长江中下游地区等重点防护林工程、退耕还林工程、天然林保护工程,京津风沙源治理工程以及速生林基地建设工程等生态建设项目。深入开展城市绿化造林,加快建设城市森林生态屏障。开展碳汇造林试点,积极推进实施清洁发展机制下的造林碳汇项目,促进碳汇林业健康有序发展。

在健全相关体制机制方面,国家将健全节能环保和应对气候变化的法律法规;推广节能减排市场化机制,扩大主要污染物排放权有偿使用和交易试点,逐步推动碳排放交易市场建设,推行污染治理设施建设运行特许经营;加快节能环保标准体系建设,建立“领跑者”标准制度,促进用能产品能效水平快速提升;探索建立低碳产品标识和认证制度。

此外,国家还将继续加快节能减排基础工作和能力建设,建设完善温室气体排放统计核算制度,强化节能减排监督检查,动员全社会参与节能减排和应对气候变化。

节能减排的各项税收政策也在不断完善的过程中。落实税收优惠政策,推进资源税费和环境税改革箭在弦上。再加上未来还将有《节能环保产业发展规划》《环境服务业“十二五”规划》等一系列政策措施出台,中国的节能减排各项规划将逐一落实。

2 关键减排技术选择

2.1 关键减排技术在化工行业的定义和界定

低碳技术:指涉及化工、石化、冶金、电力、交通、建筑等部门以及在可再生能源及新能源、煤的清洁高效利用、油气资源和煤层气的勘探开发、二氧化碳捕获与埋存等领域开发的有效控制温室气体排放的新技术。

低碳技术可分为三种类型:第一类是减碳技术,是指降低能源消耗,进而减少温室气体排放的技术。第二类是无碳技术,指没有温室气体排放的技术,如核能、太阳能、风能、生物质能等可再生能源技术。第三类是去碳技术,指消耗温室气体的技术,如二氧化碳捕获与埋存(CCS),利用二氧化碳生产化工产品等技术。

先进高效的节能技术:就是尽可能地减少能源消耗量,生产出与原来同样数量、同样质量的产品;或者是以原来同样数量的能源消耗量,生产出比原来数量更多或数量相等质量更好的产品。

CCUS 技术:是 CCS(Carbon Capture and Storage,碳捕获与封存)技术新的发展趋势,即把生产过程中排放的二氧化碳进行提纯,继而投入到新的生产过程中,可以循环再利用,而不是简单地封存。与 CCS 相比,可以将二氧化碳资源化,能产生经济效益,更具有现实操作性。

替代燃料技术:开发石油替代燃料并使之形成一个新兴的能源产业是解决 21 世纪内石油资源枯竭的主要方法之一。现阶段的节约替代石油、燃料油的途径主要是煤代油、气代油以及生物质燃料的开发和利用。

2.2 关键减排技术选择的原则

本报告选择的技术遵循以下原则:技术先进、节能减排效果好、推广普及空间大、具有持续竞争力。

2.3 关键减排技术描述

化工行业 2011—2015 年和 2016—2020 年重点推广的关键减排技术列于表 2-2-2 和表 2-2-3。

表 2-2-2 化工行业 2011—2015 年重点推广的关键减排技术

技术名称	技术特征
氨合成回路分子筛节能技术	采用该技术改造后节能效果明显,吨氨高压蒸气消耗降低 0.144t、中压蒸气降低 0.072 9t
JR 型氨合成塔系统	JR 型氨合成塔内件采用独特的换热结构,充分利用氨触媒具有的宽温和高温活性的特点,采用多段绝热方式进行氨的合成,触媒利用充分,可以达到最高的氨净值,从而降低循环量,减少电耗和冷量消耗
天然气蒸气催化转化节气节能技术	主要包括:换热式转化炉、烟气余热回收及燃烧空气预热、增设预转化炉、低水碳比转化催化剂
改进型固定层间歇式煤气化技术	主要技术内容包括:传统的固定层无烟块煤(型煤)间歇式常压气化工工艺技术、吹风气余热回收技术、造气炉渣余热回收技术、造气煤气洗涤循环冷却水零排放技术
降低氨合成压力节能技术	采用大型氨合成反应器、结构先进的合成塔内件、先进高效催化剂、优化合成循环系统流程节点、采用预还原催化剂
能量系统优化技术	涉及技术包括:余热发电、热电联产、功热电联产等能量梯级回收利用技术,蒸发式冷却(冷凝)器技术,溴化锂制冷、氨吸收制冷、热泵技术、电机变频调速等低位能余热回收利用技术、节能节电技术
离子膜电解槽膜极距技术	膜极距单元槽电压比原有单元槽下降 140mV 和 180mV,吨碱直流电耗降低约 100kWh 和 120kWh
离子膜法改造隔膜法烧碱	用离子膜法技术改造隔膜碱,新建装置全部采用离子膜法
氯化氢合成余热利用技术	使氯化氢合成的热能利用率提高到 70%,副产蒸气压力可在 0.2 ~ 1.4MPa 任意调节,可并入中、低压蒸气网使用,使热能得到充分利用
三效逆流蒸发技术	烧碱蒸发采用三效逆流蒸发技术,提高能源利用效率
新型变换气制碱技术	将合成氨系统脱碳与联碱制碱两道工序合二为一,省去合成氨系统脱碳工序的投资,降低了能耗,生产系统为闭路循环系统,无废水排放
联碱不冷碳化技术	联碱不冷碳化技术,取消传统碳化塔生产过程中必须使用的冷却水箱,实现不冷碳化,适用于联碱法制碱工程项目中的碳化工序,具有降耗减排的显著效果,已入选纯碱行业清洁生产技术推广方案推广技术目录
密闭电石炉	密闭电石炉生产 1t 电石烟气排放量仅为 400m ³ ,其中 CO ₂ 含量为 2%
电石炉低压补偿	某公司在容量为 25 000kVA 的电石炉上安装二次低压补偿装置,投资 185 万元,年节电收益 212.45 万元,项目简单投资回收期 10.5 个月。该项目年节电 670 万 kWh,折算年节约标准煤 2 422t,年减排 CO ₂ 1 377t 碳
黄磷尾气净化及综合利用项目	川投化工 8 台炉子尾气净化回收利用后,年减排 CO ₂ 约 20 万 t,年回收尾气量折标准煤 5 万 t
三相六根石墨电极黄磷电炉	与三相三根石墨电极 10 000t/a 电炉相比:①年产量增加 1 200t,同比增长 25%;②电耗 14 000kWh/t 黄磷,同比下降 8.9%;③电极消耗 18kg/t 黄磷,同比下降 31%。单台装置年节约资金 1 000 万元以上

续表

技术名称	技术特征
CO ₂ 降解塑料	该技术每生产 1t 塑料需要消耗 0.5tCO ₂ , CO ₂ 基聚合物不但可以减少对石油的消耗, 而且环境适应性也很理想
工业废气 CO ₂ 合成碳酸丙烯酯	目前国内多采用环氧丙烷与二氧化碳合成法生产碳酸丙烯酯, 生产 1t 碳酸丙烯酯需要消耗 0.5tCO ₂
CO ₂ 生产碳酸二甲酯	采用超临界条件, 催化二氧化碳和环氧丙烷反应生成碳酸丙烯酯
以 CO ₂ 为气化剂生产高纯 CO	以焦炭为原料, O ₂ 和 CO ₂ 为气化剂, 采用固定床部分氧化还原法连续气化制 CO

表 2-2-3 化工行业 2016—2020 年重点推广的关键减排技术

技术名称	技术特征
CO ₂ 驱油 (CCUS)	CO ₂ 被注入井下后, 约有 50% ~ 60% 被永久封存于地下, 剩余的 40% ~ 50% 则随着油田伴生气返回地面。但通过原油伴生气 CO ₂ 捕集纯化, 可将伴生气 CO ₂ 回收, 并就地回注驱油, 进一步降低了 CO ₂ 驱油成本
超临界液体 CO ₂ 发泡技术 (LCD)	该技术的优点是采用液态 CO ₂ 作为发泡剂, 既保护环境, 又降低成本, 是一项很有前景的替代丁烷技术

3 关键减排技术的减排潜力和减排成本分析

由于表 2-2-3 列出的关键减排技术较多,本章有选择地对关键减排技术的减排潜力和成本进行具体分析。

3.1 合成氨

3.1.1 氨合成回路分子筛节能技术

合成气中各种含氧化合物(水、一氧化碳及二氧化碳等)会导致氨合成催化剂“中毒”,并进而导致催化剂失活。为避免催化剂中毒,必须脱除含氧化合物。氨合成经典流程在合成气进氨合成塔之前采用水冷和氨冷方法,在分离氨的同时一并脱除含氧化合物。氨合成回路分子筛节能技术,是采用分子筛直接脱除合成氨新鲜气中水、一氧化碳及二氧化碳,进而改变合成氨分离位置,从而降低压缩机功耗和系统冷量消耗。该技术主要适用于大中型氮肥企业合成氨装置节能改造。目前中国天然气合成氨综合能耗:传统流程平均为 37.12GJ/t 氨、节能流程平均为 34.23GJ/t 氨,各工艺之间综合能耗差距较大,存在较大的节能空间。

该技术基本原理是在压缩机循环段之前分离氨,降低氨合成回路中压缩机循环段入口合成气流量及氨分离的冷量达到降低能耗的目的。其关键在于:利用分子筛脱除新鲜合成气中水分和残余二氧化碳与一氧化碳,并将合成氨装置氨合成回路的氨分离位置由合成塔前改为合成塔后、进循环段前。

基本工艺流程为新鲜合成气经合成气压缩机低压段压缩,进入分子筛干燥器脱除水、一氧化碳及二氧化碳等含氧化合物。干燥后的新鲜合成气经压缩机高压段升压与分氨后的循环气混合,经压缩机循环段压缩后,再经油分离器除油、与出塔气换热后进入氨合成塔,出合成塔气经过一系列换热及水、氨冷却分离氨后,再进入压缩机循环段。

(1) 技术特点

①增加分子筛,改变分氨流程,氨在压缩机之前分离,压缩机循环气量约降低 9%,节约压缩机能耗。

②新鲜气与循环气一起不经氨冷器而直接进入合成塔,使冷冻负荷下降,降低了氨冷及水冷能耗。

③经分子筛吸附后,入塔气中水、二氧化碳和一氧化碳含量显著下降,即气体质量提高,进而增加催化剂的活性,延长催化剂寿命。

④使用分子筛后,使回路的“冷”“热”位置合理,弛放气位置在分氨之后,

位置更合理,可以省下弛放气氨冷器的冷量。

(2) 主要技术指标

分子筛干燥后新鲜气含氧化合物总量(以氧原子计) $\leq 10 \times 10^{-6}$ (体积分数)吨氨能耗降低 0.67GJ。

该技术最早由国外开发并应用于现代氨厂建设,中石化巴陵公司合成氨回路节能改造中也应用此技术。目前国内已经由上海国际化建工程咨询公司成功开发,并应用于中国大型化肥装置。

湖北化肥合成氨装置为 20 世纪 70 年代从美国凯洛格公司引进的,设计能力年产合成氨 30 万 t。2005 年采用该技术对合成氨回路进行节能改造,主要是增加分子筛系统和高效除油器,改造投资 1 728.6 万元,建设期 3 个月。改造后效益明显,吨氨高压蒸气消耗降低 0.144t、中压蒸气降低 0.072 9t,每年节省标准煤 9 500t,经测算每年可实现效益 1 044 万元^①。

合成氨:氨合成回路分子筛节能技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-4 和表 2-2-5。

表 2-2-4 合成氨:氨合成回路分子筛节能技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
改造后的二氧化碳排放量/(tCO ₂ /t 产品)	4.44	4.42	4.4	4.38
改造前的二氧化碳排放量/(tCO ₂ /t 产品)	4.52	4.51	4.51	4.51
应用关键减排技术的产品产量/万 t	66	100	500	1 000
关键减排技术的二氧化碳减排潜力/万 tCO ₂	5.225	9	45	130

表 2-2-5 合成氨:氨合成回路分子筛节能技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
技术改造需要的所有成本/(万元/a)	44 814	47 173	49 531	52 000
基准线技术的所有成本/(万元/a)	44 650	47 000	49 350	51 800
技术投资产生的二氧化碳减排潜力/(tCO ₂ ·a)	24 000	27 000	33 000	39 000
关键减排技术的二氧化碳减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	68	64	55	51

中国主要大中型合成氨装置基本上采用经典冷却分离除水方式和塔前分氨流程,这些装置均可以采用该技术进行节能改造,对于新建和扩建合成装置更可以采用该技术进行节能设计。2010 年,中国合成氨年生产能力 6 560 万 t,

^① 国家发改委公布第一批《国家重点节能推广目录》。

70% 装置改造年可节能 120 万 t 标准煤。

该技术目前已由国内开发成功,并有成功应用装置,而且装置改造范围小、投资较省,同时节能效果显著、经济效益较好,市场潜力大。

3.1.2 JR 型氨合成塔系统

JR 型氨合成塔内件采用独特的换热结构,充分利用氨触媒具有的宽温和高温活性的特点,采用多段绝热方式进行氨的合成,触媒利用充分,可以达到最高的氨净值从而降低循环量,减少电耗和冷量消耗。工艺流程:冷交二次出口的循环气经塔前预热器提温到约 100 ~ 120℃ 分成四股,约占 70% 的主气流,由主线从塔顶入塔,经内外筒间的环隙下行,以冷却和保护外筒,进入下部换热器进行预热,再经下部中心管进入中部(二、三段间)换热器加热至约 360℃ 经中心管进入一段触媒,另外有两股气体分别经三条副线入塔。经塔底副线进入的气体在下部换热器出口与主线进入的气体混合可调节三段催化剂的温度。在塔顶有两条副线,其中一股经冷气下降管进入上部(一、二段间)换热器,冷却一段出口气体,被加热后的气体经升气管入一段入口,与中心管出口的主气流混合一起进入一段触媒层,还有一股气体由塔顶进入合成塔内件小盖下部的气体分布器,以调节零米温度。经中心管来的气体与另外两股气体混合后,经过一段触媒反应后经上部换热器换热,进入两段触媒层反应,再经中部换热器换热,进三段触媒层反应,最后经下部换热器降温出合成塔。出合成塔的气体,入废锅生产 1.0 ~ 1.3 MPa 蒸气,温度降到约 190℃ 进入软水加热器,加热变换工段的循环热水,进一步降温至 130 ~ 140℃,进循环气预热器,预热入塔气后温度约 50 ~ 60℃,进入冷排降温到约 35℃,再进入氨分离器分离液氨,分氨后的气体进循环机加压,进油分离器分油后,进冷交换热器与从氨冷来的冷气换热降温到 -5 ~ 10℃,与经预冷的新鲜气混合,经氨冷冷却,进冷交换热器分氨并与油分来的气体换热,回收冷量,在进塔前预热器预热至 110 ~ 120℃ 进合成塔。

与其他内件及合成流程相比,仅节约能源一项,吨氨多回收反应热 18 万 ~ 20 万 kcal,减少冷却水 30 ~ 40m³。年产 12 万 t 合成氨企业,一年可创经济效益 300 万元以上,由于催化剂使用寿命长,年平均生产时间可延长 5 ~ 7d,多产氨 2 000t 以上,可创效益 100 万元以上,节约催化剂及开车费用 50 万 ~ 70 万元(按平均摊)^①。

JR 内件及配套工艺流程推广企业已超过 100 家,得到了企业的认可。

JR 型氨合成塔系统适合中国合成氨工艺和原料的国情,具有生产强度大,

^① http://www.cnfia.com.cn/cn/news/2010-03/16/news_154.html. JR 型氨合成塔系统. 来源:中国氮肥网.

氨净值高,催化剂使用寿命长,还原彻底,操作控制灵活、方便,节能降耗效果好的技术特点和优势,彻底解决了合成氨生产稳定、长周期、高效、低能耗运行的关键问题。同时在热回收效率、催化剂使用寿命、投资等方面显现了巨大的节约效益。JR型氨合成塔系统已被中国氮肥协会作为十大高新技术在氮肥企业推荐,代表了合成氨的节能方向。

3.2 烧碱

3.2.1 离子膜电解槽膜极距技术

该技术是由蓝星(北京)化工机械有限公司自行设计研发的,在原有NBH-2.7型高电流密度自然循环复极式离子膜电解槽基础上,通过对国外各种零极距和小极距离子膜电解槽技术的研究,综合各家技术优点,解决了原材料、加工件、涂层技术和组装技术的难点,制造出适合中国用户的膜极距自然循环离子膜电解槽。该电解槽分别在12.15kA和13.8kA、槽温88℃、碱浓度32%条件下,膜极距单元槽电压比原有单元槽下降140mV和180mV,吨碱直流电耗降低约100kWh和120kWh。

NBZ-2.7自然循环离子膜电解槽膜极距技术自2005年开始研究,历时三年时间,先后于2008年9月13日在河北冀衡化学股份有限公司和2008年12月12日在宁波东港电化有限责任公司进行工业化生产运行考核。实际运行表明,该产品性能优良,已经达到了国际同类产品领先水平。1t烧碱可节电100kWh,3万t的烧碱装置每年可节电300万kWh,节能收益约为150万元^①。

膜极距复极式离子膜电解槽在电槽内部结构、降低槽电压方面有五大创新。

(1)自然循环结构创新。项目产品对电解槽内部电解液循环系统结构进行了创新,实现了自有电解工艺技术的突破。这种循环方式和传统的强制循环相比,具有循环方式独特,单个单元槽自主循环加整台电解槽集中循环,且循环不需额外增加能量等特点。此结构使得电解液在电解槽内分布更加均匀,避免循环死区。取消维持循环的大功率阴阳极液循环泵,从而减少了大量电能消耗,降低了设备投资。

(2)边框结构创新。电解槽边框结构设计为独特的方管结构,采用防间隙腐蚀性能良好的钛钯材料作为电解槽密封面,轻巧坚固,刚性强,具有独特的效果,很好地解决了其他电解槽所出现的密封面腐蚀问题。

(3)弹性阴极电极结构创新。阴极电极设计为具有弹性的电极结构,柔性

^① http://www.proparco.fr/jahia/webdav/site/afd/shared/PORTAILS/PAYS/CH_INE/7_20_20.pdf.
石化化工行业重点能效技术与应用案例。

阴极网采用镍丝编织网,整台电解槽组装后,柔性阴极网与弹性电极结构在外力作用下,阴极电极表面与阳极电极表面的距离只有离子膜的厚度,这样就使得阴、阳电极间的极间距达到最小,由现有电极极间距的 2 ~ 5mm 缩小到几乎为 0。有效地降低了电极间的极间距阻抗,从而达到降低电解电耗的目的。

(4)柔性阴极网活性化处理技术创新。采用热离解法和全新的涂层工艺对柔性阴极网进行涂层,保证阴极涂层与电极材料的结合度,有效地增强了抗反向电流能力,降低了阴极的析氢电位。

(5)电解工艺创新。自然循环电解工艺增加了高位槽,使盐水由高位槽靠液位差进入电解槽,取消了循环泵。创新地将阴阳极压差控制在 2.4m 水柱范围内,对于电解槽的平稳运行起到至关重要的作用。

2010 年 4 月 14 日,烟台恒邦化工有限公司 3 万 t/a 自然循环膜极距离子膜电解装置与原有 3 万 t/a 高电流密度自然循环复极式电解装置顺利并网,并一次开车成功。正常运行后进行了 72h 性能考核,取得了理想效果。该项目及其配套工程总投资约 4 000 万元。

离子膜电解槽膜极距技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-6 和表 2-2-7。

表 2-2-6 烧碱:离子膜电解槽膜极距技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
改造后的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	—	1.83	1.79	1.74
改造前的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	—	1.92	1.92	1.92
应用关键减排技术的产品产量/万 t	—	336	500	800
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	—	30	65	144

表 2-2-7 烧碱:离子膜电解槽膜极距技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
改造需要的所有成本/(万元/a)	—	5 770	6 050	6 360
基准线的所有成本/(万元/a)	—	5 370	5 640	5 920
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(tCO ₂ /a)	—	2 700	3 900	5 400
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	—	1 481	1 051	814

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:蓝星(北京)化工机械有限公司自主开发、制造的膜极距电解槽,性能优良,已经达到了国际同类产品领先水平,其显著的节能降耗性能将在氯碱行业中被大力推广和应用。

3.2.2 氯化氢合成余热利用技术

氯气与氢气反应生成氯化氢时伴随释放出大量反应热,完全可以用来副产蒸气。副产中压蒸气合成炉在高温区段,使用钢制水冷壁炉筒;在合成段顶部和底部钢材容易受腐蚀的区段,采用石墨材料制作。采用这种方法既克服了石墨炉筒强度低和使用温度受限制的缺点,又克服了合成段的顶部和底部容易腐蚀的缺点,从而使氯化氢合成的热能利用率提高到70%,副产蒸气压力可在0.2~1.4MPa任意调节,可并入中、低压蒸气网使用,使热能得到充分利用。

该技术已在部分化工企业应用,使氯化氢合成的热能利用率提高到70%,节能效果显著。

以每天生产160t氯化氢的合成炉为例,每套装置年副产蒸气折合标准煤4900t;节电633600kWh。全行业氯化氢合成炉生产氯化氢的产能约600万t,1t氯化氢产生650kg中压蒸气,全行业全部应用该项技术,可有390万t中压蒸气被合理利用,可节约约50万t标准煤。应用前景广阔。该技术可以全行业应用。若推广300万t产能氯化氢合成余热利用技术,可有效利用195万t中压蒸气,节约25万t标准煤。

烧碱:氯化氢合成余热利用技术的减排潜力和成本分析结果见表2-2-8和表2-2-9。

表2-2-8 烧碱:氯化氢合成余热利用技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
改造后的CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t产品)	—	0.05	0.05	0.05
改造前的CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t产品)	—	0.25	0.2	0.2
应用关键减排技术的产品产量/万t	—	30	300	400
关键减排技术的CO ₂ 减排潜力/万tCO ₂	—	6	44	60

表2-2-9 烧碱:氯化氢合成余热利用技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
改造需要的所有成本/(万元/a)	—	440	462	485
基准线的所有成本/(万元/a)	—	400	420	440
投资产生的CO ₂ 减排潜力/(tCO ₂ /a)	—	8600	6300	6300
关键减排技术的CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	—	46	67	71

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:化工行业现有或新建氯碱企业的氯化氢或盐酸合成炉均可采用该技术,具有很大的市场潜力。

3.3 纯碱

3.3.1 新型变换气制碱技术

该技术依据低温循环制碱理论,改传统的三塔一组制碱为单塔制碱,改内换热为外换热,提高了重碱结晶质量,降低了洗水当量,延长了制碱塔作业周期,实现了联碱系统废液零排放,降低阻力,节约能源,可比单位综合能耗在同行业处于领先水平。

新型的变换气循环制碱技术,将合成氨系统脱碳与联碱制碱两道工序合二为一,省去合成氨系统脱碳工序的投资,降低了能耗,生产系统为闭路循环系统,无废水排放。

目前中国重点大型联合制碱企业能耗为:10~15GJ/t 碱。采用该技术可使吨碱能耗降低 2~7GJ/t 碱,原料盐利用率达 99%,原料氨利用率达 96%。

石家庄双联化工有限责任公司 30 万 t 新型变换气制碱节能技改项目,投资 1.5 亿元,年新增利税 6 000 万元,新增利润 4 000 万元,投资回收期 3.5 年。

纯碱:新型变换气制碱技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-10 和表 2-2-11。

表 2-2-10 纯碱:新型变换气制碱技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
改造后的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	0.68	0.59	0.51	0.34
改造前的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	1.28	1.11	1.02	0.95
应用关键减排技术的产品产量/万 t	125	300	400	1 000
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	75	156	204	610

表 2-2-11 纯碱:新型变换气制碱技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
改造需要的所有成本/(万元/a)	6 170	6 500	6 825	7 165
基准线的所有成本/(万元/a)	4 750	5 000	5 250	5 510
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	18	15.6	15.3	18.3
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	79	96	102	108

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:该技术为国内首创,国际领先,现在国内已推广 10 家,节能减排效果显著。该技术适合所有变换气制碱企业,中国

纯碱工业协会已开始相关推广工作。该技术目前在行业内的普及率约 15%，预计“十二五”期间能达到 50%，可取得节能量 2 亿 MJ。

3.3.2 联碱不冷碳化技术

联碱不冷碳化技术，取消传统碳化塔生产过程中必须使用的冷却水箱，实现不冷碳化，适用于联碱法制碱工程项目中的碳化工序，具有降耗减排的显著效果，已入选纯碱行业清洁生产技术推行方案推广技术目录。

采用不冷碳化技术可显著节省煅烧蒸气消耗。同时，该技术的核心设备不冷碳化塔内部没有任何形式的冷却器，根除了结疤最严重的部位，塔内构件少而简单，塔内容易造成结晶堆积的死角少，延长了碳化塔作业周期，大幅度降低了洗塔次数，从而大幅度降低污水排放量。与常规联碱生产工艺比较，该技术具有工艺先进、流程简短、建设费用少、产品质量高以及原料和能量消耗低等优点，实现了异常简单的气液调节，为真正意义上的自控提供了条件。

纯碱：联碱不冷碳化技术减排潜力和成本分析结果见表 2-2-12 和表 2-2-13。

表 2-2-12 纯碱：联碱不冷碳化技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
不冷碳化技术生产单位纯碱的 CO ₂ 排放量/ (tCO ₂ /t 产品)	—	0.67	0.63	0.6
常规联合制碱生产单位纯碱的 CO ₂ 排放量/ (tCO ₂ /t 产品)	—	0.75	0.71	0.69
应用关键减排技术的产品产量/万 t	—	90	200	300
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	—	7.2	16	27

表 2-2-13 纯碱：联碱不冷碳化技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
不冷碳化联碱的所有成本/(万元/a)	—	88.73	93	97
常规联碱的所有成本/(万元/a)	—	162.2	169	177
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(tCO ₂ /a)	—	8 000	8 000	9 000
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	—	-92	-95	-98

该技术未来发展趋势及市场潜力预测：目前，该技术已在赤峰化工总厂获得应用。此外，河南金山化工公司扩建 30 万 t/a 联碱工程和河南金大地化工公

司拟建 60 万 t/a 联碱工程等项目也计划采用不冷碳化技术。

对于 30 万 t/a 的联碱企业,与采用外冷碳化联碱工艺相比,采用不冷碳化工艺可减少投资 1 800 万元,每年节约 6 860t 标准煤。采用不冷碳化投资建设投资少,运行成本低,节能减排效果明显,该项技术市场潜力较大。

3.4 电石

3.4.1 密闭电石炉技术

近年来国内小型开放式电石炉已淘汰完毕,先进的大型密闭式电石炉产能比重已占到 30% 以上。相比之下,一些由原来的开放式炉改造而成的内燃式电石炉已处于行业装备水平的末端,其淘汰问题已经浮出水面。

内燃炉基本是敞口生产的,其排放的烟气中二氧化碳含量比密闭电石炉要大得多。有测试数据表明,内燃炉每生产 1t 电石要排放约 9 000m³ 的烟气,其中二氧化碳含量为 5%。而密闭电石炉生产 1t 电石烟气排放量仅为 400m³,其中二氧化碳含量为 2%。

经测算,一台 33 000kVA 密闭电石炉及其炉气除尘系统每年可减排二氧化碳气体 3.72 万 t,节电 2 175 万 kWh,折合标准煤 1.9 万 t,直接增效 2 036 万元,综合效益与节能减排潜力可观。

每生产 1t 电石,内燃炉排放 9 000 ~ 12 000m³ 含尘烟气,而密闭炉只产生 400 ~ 600m³ 含尘烟气;密闭炉吨产品电耗在 3 300kWh 以下,采用组合式电极把持器、中空电极等技术的企业,其吨产品电耗甚至可以控制在 3 000kWh 以下,比内燃炉平均 3 400kWh/t 的电耗低约 400kWh;密闭炉比内燃炉可节能 170kg 标准煤/t。如果全国所有内燃炉都改造成密闭炉,按 2007 年电石产量计算(2007 年产量 1 481.89 万 t,2010 年产量为 1 462.3 万 t),一年就可节约 170 余万 t 标准煤,同时减少二氧化碳排放 680 万 t。

电石:密闭电石炉技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-14 和表 2-2-15。

表 2-2-14 电石:密闭电石炉技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
密闭炉生产单位电石的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	2	1.95	1.9	1.8
内燃炉生产单位电石的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	3	2.9	2.9	2.9
应用关键减排技术的产品产量/万 t	80	450	1 100	1 500
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	80	427	1 100	1 650

表 2-2-15 电石:密闭电石炉技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
密闭炉生产电石的所有成本/(万元/a)	760	800	840	880
内燃炉生产电石的所有成本/(万元/a)	618	650	680	715
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	10	9.5	10	11
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	14.2	15.8	16	16.5

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:一是要严格执行《电石行业准入条件》,推广大型密闭式电石炉。目前,单台容量为4万kVA的大型密闭式电石炉已经实现国产化。还需对其经济性和技术水平作进一步论证,待时机成熟后在全行业推广,新建企业应该采用这种先进炉型,争取到“十二五”末,大型密闭式电石炉在行业中的产能比重超过50%。

二是加强大型密闭炉先进技术的工程化研究,推动已有成熟技术的产业化进程。对于带动性强、影响面大的行业关键技术,应加大人力和财力投入,尽快突破研发瓶颈。先进技术装备开发成功后,要在新建企业中迅速推广。同时,鼓励老企业尽快利用先进技术对现有装备进行升级改造。

三是建议政府采取“一拉二推三打”的办法,推进大型密闭炉的发展和内燃炉的淘汰。“一拉”,就是尽快出台有利于大型密闭炉建设和电石炉尾气回收利用的政策,引导电石企业朝大型化、密闭化和尾气综合利用方向发展。“二推”,就是建议对低能耗、低排放、炉气利用水平高的现有大型密闭电石炉企业,给予一定的电价和税收等方面优惠,对于新建大型密闭电石炉的企业给予优惠贷款利息。通过让更多的企业“眼红”,感觉回收电石炉尾气有利可图,可促使他们转变观念。“三打”,就是对一批炉况较差、达不到能耗和环保标准的内燃式电石炉实施淘汰。对于能源和资源浪费严重、炉气利用水平差的企业,实行差别电价等惩罚性措施。从而形成优胜劣汰的环境,引导企业更加重视技术进步和节能减排,推动电石行业健康可持续发展。

3.4.2 电石炉低压补偿

低压补偿是利用现代控制技术和短网技术将大容量、大电流的超低压电力电容器接入电石炉的二次侧的无功补偿装置。该装置不仅是无功功率补偿原理的最好体现,还可以使电石炉的功率因数在较高值运行,降低短网和一次侧的无功消耗,消除3次、5次、7次谐波。调平三相功率,提高变压器的输出能力。控制的重点使三相功率不平衡度下降,达到三相功率相等,使电石炉的功率中心、热力中心和炉膛中心相重合。使坩埚扩大,热量集中,提高炉面温度,使反应加快,达到提高产品质量、降耗和增产的目的。

某公司在容量为 25 000kVA 的电石炉上安装二次低压补偿装置,投资 185 万元,年节电收益 212.45 万元,项目简单投资回收期 10.5 个月。该项目年节电 670 万 kWh,折算年节约标准煤 2 422t,年减排二氧化碳 6 642t。

电石:电石炉低压补偿技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-16 和表 2-2-17。

表 2-2-16 电石:电石炉低压补偿技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
关键减排技术的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	1.9	1.84	1.78	1.68
比较(基准线)技术的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	2	1.95	1.9	1.8
应用关键减排技术的产品产量/万 t	20	100	500	800
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	2	11	60	96

表 2-2-17 电石:电石炉低压补偿技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
关键减排技术的所有成本/(万元/a)	810	852	900	940
比较(基准线)技术的所有成本/(万元/a)	760	800	840	880
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(万元 CO ₂ /a)	1	1.1	1.2	1.2
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	50	45	50	55

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:近几年来,由于低压补偿装置技术逐渐成熟,设计日趋完善,体积大为减小。电石生产厂家也认识到了其在提高电石炉经济效益方面显现的突出性,低压补偿装置将在电石炉上获得广泛应用。

3.5 黄磷

3.5.1 黄磷尾气净化及综合利用

黄磷尾气净化及综合利用技术由昆明理工大学、湖北化工研究所合作,通过近两年的技术攻关,取得的创新成果。川投化工黄磷尾气净化及综合利用项目一期 5 000m³ 净化装置是全国首台大容量、工业化装置。该项目建成的用于净化 2 台炉子黄磷尾气的装置设计回收能力为 5 000m³/h,年净化回收黄磷尾气达 3 600 万 m³,项目投资 1 700 万元,净化后的一氧化碳气体可生产多种高附

加值的化工产品。川投化工 8 台炉子尾气净化回收利用后,年减排二氧化碳可达 20 万 t,年回收尾气量折标准煤 5 万 t。该项目的建成投运将大大减少黄磷尾气燃烧排放对环境的污染,实现环境保护、节能减排和资源综合利用的整体目标,并对国内外磷化工产业链的延伸和可持续发展具有重要的示范意义。

黄磷:黄磷尾气净化及综合利用技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-18 和表 2-2-19。

表 2-2-18 黄磷:黄磷尾气净化及综合利用技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
关键减排技术的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	7.35	6.63	6.3	6
比较(基准线)技术的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	9	8.31	8	7.75
应用关键减排技术的产品产量/万 t	18	36	50	60
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	29.7	60.5	85	105

表 2-2-19 黄磷:黄磷尾气净化及综合利用技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
关键减排技术的所有成本/(万元/a)	11 560	12 170	12 750	13 420
比较(基准线)技术的所有成本/(万元/a)	11 400	12 000	12 600	13 230
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	19.8	20	20.4	21
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	8.1	8.5	8.7	9

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:黄磷“三废”综合治理是黄磷行业当前节能减排工作的重点工作,也是企业提高产品竞争力的重要手段。黄磷尾气综合治理受到越来越多企业的重视,黄磷尾气净化及综合利用技术在川投化工的成功应用,为其进一步推广树立了榜样。该项技术有望在“十二五”期间得到大规模推广。

3.5.2 三相六根石墨电极黄磷电炉

目前国内中小型黄磷电炉多采用三相三根石墨棒作电极,电极电流密度推荐值为 4~6A/cm²,如果电流密度过大,则电极消耗加快;如果加大石墨电极直径,石墨电极的价格昂贵,使产品生产成本提高;另外采用自焙电极工艺技术生产黄磷,虽然能解决电极电流密度大的问题,但是生产的黄磷油分含量高、产品质量较差,生产成本低。

三相六根石墨电极黄磷电炉就是要解决现有技术问题,提供一种采用多根石墨电极的黄磷电炉。技术方案是:一种黄磷电炉,包括一个由炉盖封闭的炉

体,炉盖上有电极穿过,所述的电极由三根以上石墨电极在炉内同一圆周上均匀分布。

由于采用多根石墨电极的结构,相当于增大石墨电极的截面面积,可有效降低电流密度,降低生产成本,又由于多根石墨电极均匀分布,使得电极做功均匀,消除炉内“死角”或“冷区”,减少炉内挂料、结拱及搭桥等不良现象发生。

已在多台 7 500t/a 和 10 000t/a 黄磷电炉使用,并取得了很好的效果。

与三相三根石墨电极 10 000t/a 电炉相比:①年产量增加 1 200t/a;②电耗 14 000kWh/t 黄磷,同比下降 8.9%;③电极消耗 18kg/t 黄磷,同比下降 31%。单台装置年节约资金 1 000 万元以上。

黄磷生产必须向大型化发展,凡新建厂均应建 7 000t 以上的大电炉,而制约大磷发展的主要因素是电极。该项技术打破了大容量黄磷电炉只能自焙电极的“禁区”,填补了国内大容量石墨电极黄磷电炉的空白,从而推动了中国黄磷事业进一步向前发展。

3.6 二氧化碳降解塑料

普通的塑料原料,如聚乙烯、聚丙烯等聚合物是以烃为单体聚合而成,而二氧化碳基聚合物是以烃和二氧化碳为原料共聚而成,其中二氧化碳含量占 31%~50%,与常规聚合物相比,对烃类及上游原料石油的消耗大大减少。该技术每生产 1t 塑料需要消耗 0.5t 二氧化碳,二氧化碳基聚合物不但可以减少对石油的消耗,而且环境适应性也很理想^①。

二氧化碳降解塑料属完全生物降解塑料类,可在自然环境中完全降解,可用于一次性包装材料、餐具、保鲜材料、一次性医用材料、地膜等。二氧化碳降解塑料作为环保产品和高科技产品,正成为当今世界瞩目的研究开发热点。利用此技术生产的降解塑料,不仅将工业废气二氧化碳制成了可降解塑料,而且避免了传统塑料产品对环境的二次污染。它的发展,不但扩大了塑料的功能,而且在一定程度上对日益枯竭的石油资源是一个补充。因此,二氧化碳降解塑料的生产和应用,无论从环境保护,或是从资源再生利用角度看,都具有重要的意义。

目前已建成二氧化碳树脂生产能力的企业包括:内蒙古蒙西高新技术集团 3 000t/a、中海石油化学股份公司 3 000t/a、河南南阳天冠集团 5 000t/a、江苏中科金龙化工股份公司 2.2 万 t/a。中科金龙已经开发了二氧化碳树脂在涂料、保温材料、薄膜等多个领域的应用。中科金龙公司计划在 2015 年前实现 10 万 t/a 的二氧化碳树脂产能。

^① <http://www.info.china.alibaba.com/news/detail/v0-d1004239890.html>. 来源:中国煤化工网.

该技术每生产 1t 塑料需要消耗 0.5t 二氧化碳,同时又减少了对石油的消耗。普通技术生产 1t 塑料需要消耗 3t 石油,采用该技术后每生产 1t 塑料,对石油的消耗至少可减少 1t,减排二氧化碳 3.57t。

二氧化碳降解塑料生产工艺的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-20 和表 2-2-21。

表 2-2-20 二氧化碳降解塑料生产工艺的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术生产单位产品的二氧化碳排放量/(tCO ₂ /t 产品)	6.7	6.5	6.5
比较(基准线)技术生产单位产品的二氧化碳排放量/(tCO ₂ /t 产品)	10.8	10.8	10.8
应用关键减排技术的产品产量/万 t	3.3	15	30
关键减排技术的二氧化碳减排潜力/万 tCO ₂	13.53	64.5	129

表 2-2-21 二氧化碳降解塑料生产工艺的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的所有成本/(万元/a)	1 400	1 200	1 000
比较(基准线)技术的所有成本/(万元/a)	185	185	185
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	4.1	4.3	4.3
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	296	236	189

该工艺未来的发展面临以下四方面的主要问题:

一是成本压力大。目前中国开发成功的二氧化碳降解塑料技术主要有 4 种。在这 4 种技术中,实现了产业化的有 3 种。由于这些项目规模小,目前只能小批量生产,产量低、价格高。此外,项目所需主要原料环氧丙烷和环氧氯丙烷价格也很高,再加上不菲的新产品推广费用,导致二氧化碳降解塑料的最终成本高达 18 000 元/t 以上。

二是投资风险大。“就单位产品投资额而言,二氧化碳降解塑料项目的投资额比煤制油还高,一个 1 万 t/a 二氧化碳降解塑料项目,往往需要 1.4 亿元以上的资金投入,单从经济效益考虑,项目的投资风险是很大的。”据中海石油化学股份公司和内蒙古蒙西高新集团负责人介绍,如果不计算节能减排和环保效益,二氧化碳降解塑料项目根本不赚钱甚至会赔钱。

三是需求小、销售难。据介绍,二氧化碳降解塑料的价格始终高于石油基塑料 1.5~2 倍。加之其热稳定性、阻隔性、加工性与石油基塑料存在一定差距,

限制了其只能在食品包装、医疗卫生等有特殊要求的少数领域使用,无法在需求巨大的薄膜、农地膜等领域推广应用。不仅如此,即便在有限的食品包装、医疗卫生领域,也面临聚乳酸、聚乙烯醇、聚丁二酸丁二醇酯等降解塑料的冲击与竞争,使得二氧化碳降解塑料的消费市场十分狭小,产品销售困难。

四是产品性能有待改进。二氧化碳降解塑料工艺未来发展还取决于二氧化碳基塑料性能的进一步改进。“十二五”期间应加大技术开发力度,改进产品性能,并进行下游市场的开发。随着产品性能的进一步改善,产品下游市场的持续开发,二氧化碳基塑料对温室气体减排的贡献将逐步增大,潜力巨大。

3.7 工业废气二氧化碳合成碳酸丙烯酯

碳酸丙烯酯不仅可作为高效溶剂用来脱除石油气、石油裂解气、油田气及合成氨原料气中的二氧化碳,还可以作增塑剂、纺丝溶剂或水溶性染料颜料分散剂、油性溶剂以及烯烃和芳烃的萃取剂等。此外,碳酸丙烯酯还可用作锂电池的优良介质等,市场前景十分广阔。

在巨大的市场需求和供应缺口的助推下,国内一些大中型合成氨企业纷纷利用富余的二氧化碳生产碳酸丙烯酯产品。河南骏马、山东东大、濮阳三安等合成氨企业均有生产。

碳酸丙烯酯的合成方法主要有酯交换法、光气法、羰基化法、氯丙醇法、环氧丙烷与二氧化碳合成法、丙烯氧化与二氧化碳合成法。目前国内多采用环氧丙烷与二氧化碳合成法,生产 1t 碳酸丙烯酯需要消耗 0.5t 二氧化碳^①。

河南省上蔡骏马广建化工公司投资 500 万元建设的年产 5 000t 碳酸丙烯酯生产线进入试生产阶段。骏马广建化工股份有限公司利用生产化肥时富余的二氧化碳做原料,采用上海化工研究院开发的利用二氧化碳废气在近临界状态下与环氧丙烷直接合成碳酸丙烯酯的清洁生产新工艺,直接进行碳酸丙烯酯的生产;再把碳酸丙烯酯用于化肥生产中的脱碳流程中,依次类推,循环利用。

工业废气二氧化碳合成碳酸丙烯酯工艺的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-22 和表 2-2-23。

表 2-2-22 工业废气 CO₂ 合成碳酸丙烯酯工艺的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
环氧丙烷与 CO ₂ 合成法合成碳酸丙烯酯的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	0.25	0.25	0.25	0.25

^① <http://www.kj.zjg.gov.cn/Article/ShowArticle/ShowArticle.asp?ArticleID=1242>. 固体催化剂制备碳酸丙烯酯新工. 来源:张家港科技信息网.

续表

年 份	2005	2010	2015	2020
羰基化法生产单位碳酸丙烯酯的 CO ₂ 排放量/ (tCO ₂ /t 产品)	0.75	0.72	0.7	0.7
应用关键减排技术的产品产量/万 t	1	2	5	10
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	0.5	0.94	2.25	4.5

表 2-2-23 工业废气 CO₂ 合成碳酸丙烯酯工艺的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
关键减排技术的所有成本/(万元/a)	20	22.6	25.5	29
比较(基准线)技术的所有成本/(万元/a)	26	30	34	38.5
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(tCO ₂ /a)	1 000	940	900	900
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	-60	-79	-94	-105

减排成本为负,表示与基准线技术相比,关键减排技术在寿命周期中能产生净的经济效益或实现节能减排。

该工艺未来发展趋势及市场潜力预测:世界市场所需碳酸丙烯酯 200 万 ~ 300 万 t。酯交换法生产碳酸二甲酯的所需配套原料碳酸丙烯酯达数十万吨。而目前国内生产量较小,供不应求,市场前景十分广阔。随着社会对绿色环保的重视,许多工艺会被清洁、环境友好工艺所代替,必然进一步加大碳酸丙烯酯的市场需求。因其下游产品如碳酸二甲酯、聚碳酸酯、聚氨酯的不断推广应用,其市场需求量还要不断增加。

3.8 酯交换法二氧化碳生产碳酸二甲酯

碳酸二甲酯(简称 DMC),是一种受到国内外重视的化工产品,具有较高的附加值。目前用途主要在两个方面:①广泛用于合成医药、农药和香料的中间体;②作为合成高分子聚碳酸酯原料。预见将来它的用途会扩大到完全或部分代替对环境和健康有严重危害的硫酸二甲酯和光气等化学物质。过去中国碳酸二甲酯装置都采用传统光气法,生产规模都在千吨以下,而且对环境污染大,现在基本都淘汰了。

目前国内两种比较有竞争力的 DMC 生产方法是:甲醇液相氧化羰基化法和酯交换合成法。酯交换法采用超临界条件,催化二氧化碳和环氧丙烷反应生成碳酸丙烯酯,在不同于常规的催化反应精馏条件下,使碳酸丙烯酯和甲醇酯交换生产 DMC,转化率达到 99%,并且开发了一种性能优良的恒沸精馏技术,

解决了 DMC 与甲醇二元恒沸物分离难题,生产出高品质 DMC,同时副产品丙二醇。目前已建成数套不同规模的工业化生产装置,而且已完成 1 万 t/a DMC 装置工业化生产设计。

一般来讲,完整意义上的酯交换 DMC 生产装置,是以环氧丙烷和二氧化碳为原料,先生产碳酸丙烯酯,然后再和甲醇酯交换生产 DMC,副产品丙二醇,但是有一些小型酯交换 DMC 生产装置,直接购进碳酸丙烯酯生产 DMC,当然,前者具有经济性,但投资大。

酯交换法二氧化碳生产碳酸二甲酯工艺的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-24 和表 2-2-25。

表 2-2-24 酯交换法 CO₂ 生产碳酸二甲酯工艺的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
酯交换法合成 DMC 的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	2	2	2	2
羰基化法生产单位 DMC 的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	2.65	2.65	2.65	2.65
应用关键减排技术的产品产量/万 t	1.7	10	10	20
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	1.105	6.5	6.5	13

表 2-2-25 酯交换法 CO₂ 生产碳酸二甲酯工艺的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
酯交换法合成 DMC 的所有成本/(万元/a)	410	450	450	450
羰基化法生产 DMC 的所有成本(万元/a)	1 000	1 050	1 050	1 050
投资产生的 CO ₂ 减排潜力/(tCO ₂ /a)	6 500	6 500	6 500	6 500
关键减排技术的 CO ₂ 减排成本(元/tCO ₂ ·a)	-907	-923	-930	-940

减排成本为负,表示与基准线技术相比,关键减排技术在寿命周期中能产生净的经济效益或实现节能减排。

该工艺未来发展趋势及市场潜力预测:从消费角度看,国内的 DMC 产品仍处于成长期;市场潜力巨大,但现实的市场容量有限;市场开拓受到许多因素的影响;全球化带来的市场风险越来越大。

目前中国 DMC 年消费量约为 10 万 t,而生产能力已将近 30 万 t/a,国内装置均存在开工率不足的现状,扩大出口和下游应用的开发是主要对策。目前其消费仍集中在一些传统的领域,在溶剂、PC、汽油添加剂等消费量较大领域的应用仍需进一步推广和开发。通过加大 DMC 在这些应用领域中的市场开发力度,可以有

效地扩大市场内需,缓解国内 DMC 市场的压力。因此,应推动下游产品研发和产业进程,开拓 DMC 市场。

3.9 以二氧化碳为气化剂生产高纯一氧化碳

以焦炭为原料,氧和二氧化碳为气化剂,采用固定床部分氧化还原法连续气化制一氧化碳,其反应根据物料和热量平衡的原则,通过测算和平衡,在理论上可以用下面一个经验简化总反应式来表示。即:



从上式可以看出,3个C被1.5个O₂部分氧化生成3个CO,而另1个C将1个CO₂还原生成2个CO。实际上反应过程要复杂得多。从反应热效应来看,前者部分氧化反应为放热反应,后者部分还原反应为吸热反应,而总的反应过程是放热的。

根据气化理论和经验以及实验与生产实践,气化剂二氧化碳的用量要远远大于上式中参与反应的理论量,过量的二氧化碳可缓和稳定气化温度,将最高气化温度控制在允许的范围内。

(1) 二氧化碳的作用

①稳定和控制气化温度。焦炭的部分氧化反应生成一氧化碳是个放热过程,控制好反应温度是保证气化正常进行的关键之一。二氧化碳是平衡反应热量控制反应温度的必要条件。二氧化碳参与部分还原反应是个吸热过程,可以抵消相当一部分上述部分氧化反应的放热量,而过量的二氧化碳又稀释了气化剂和反应物的浓度,使气化温度保持稳定并受到有效的控制。

②替代能源。参与反应的每1m³标态二氧化碳(纯)可替代纯炭0.54kg^①,折标准煤为0.64kg;替代标态氧气(纯)1m³,折标准煤为0.21kg。若以生产1000m³的标态一氧化碳(纯)为基准,则有200m³的标态二氧化碳(纯)参与反应,它可替代标准煤128kg;替代标态氧气(纯)200m³(折合标准煤42kg)。分别占焦炭和氧气消耗量的20%和64%。

③改善环境。如何回收利用温室气体CO₂,减少其排放量,一直是环保研究的重要课题。用二氧化碳做气化剂是回收利用二氧化碳变废为宝的有效途径。一个用量11250m³/h标态一氧化碳(纯)的20×10⁴t/a醋酸装置,若用二氧化碳作气化剂,每年可回收利用标态二氧化碳(纯)1800×10⁴m³,可取得良好的环境效益。

(2) 原料消耗

各种原料消耗的理论量可通过经验简化总反应式计算得出。以生产1000

^① 张德厚,徐滨. 以O₂和CO₂为气化剂生产高纯CO[J]. 氮肥技术,2008(1).

m^3 的标态一氧化碳(纯)为基准,各种原料的理论消耗量如下:

纯炭 430kg;

标态氧气(纯) 300m^3 ;

标态二氧化碳(纯) 200m^3 。

焦炭和氧气实际消耗量还应考虑损耗等因素,其值比理论消耗量略高一些。而二氧化碳因进入气化炉的量是过量的,未参与反应的二氧化碳则进入气化产物粗一氧化碳中,故二氧化碳实际用量比理论消耗量大得多。因生产中回收了脱碳再生气放空的部分二氧化碳返回气化炉重复利用,故其用量亦相应降低。

这一直接生产高纯一氧化碳的新工艺技术在世界上首先由中国实现了工业化,为工业生产高纯一氧化碳开辟了新的原料路线和生产路线,该技术成果在一切需要高纯一氧化碳的工业领域和二氧化碳废气综合利用方面均有实际应用价值,应用前景广阔。

以二氧化碳为气化剂生产高纯一氧化碳气技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-2-26 和表 2-2-27。

表 2-2-26 以 CO_2 为气化剂生产高纯 CO 技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
以 CO_2 为气化剂生产 CO 的 CO_2 排放量/ $(\text{tCO}_2/10^3\text{m}^3$ 产品)	-0.28	-0.28	-0.28	-0.28
间歇水煤气—PSA 工艺制气的 CO_2 排放量/ $(\text{tCO}_2/10^3\text{m}^3$ 产品)	0.94	0.94	0.94	0.94
应用关键减排技术的产品产量/万 10^3m^3	25.49	48.82	90	150
关键减排技术的 CO_2 减排潜力/万 tCO_2	31.1	59.56	109.8	183

注:“-”表示生产过程中吸收的 CO_2 大于因能源消耗而排放的 CO_2 。

表 2-2-27 以 CO_2 为气化剂生产高纯 CO 技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
以 CO_2 为气化剂生产 CO 的所有成本/(万元/a)	453.8	480	500	500
间歇水煤气—PSA 工艺制气的所有成本/(万元/a)	1 528	1 600	1 700	1 800
投资产生的 CO_2 减排潜力/ (tCO_2/a)	47 433	47 433	47 433	47 433
关键减排技术的 CO_2 减排成本/(元/ $\text{tCO}_2 \cdot \text{a}$)	-226	-236	-254	-274

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:

- ①技术先进可靠,能安全、稳定、连续地生产高纯(98%)一氧化碳。
- ②投资省、成本低、经济效益好。
- ③用二氧化碳作气化剂,可替代能源。

④综合利用废气二氧化碳,减少了其排放量,从而减少了对大气的影响和污染,有良好的环境效益。

3.10 二氧化碳驱油(CCUS)

国内外近年来大力开展二氧化碳驱油提高采收率技术的研发和应用。这项技术不仅能满足油田开发的需求,还可以解决二氧化碳的封存问题,保护大气环境。

把二氧化碳注入油层中可以提高原油采收率。由于二氧化碳是一种在油和水中溶解度都很高的气体,当它大量溶解于原油中时,可以使原油体积膨胀,黏度下降,还可以降低油水间的界面张力。与其他驱油技术相比,二氧化碳驱油具有适用范围大、驱油成本低、采收率提高显著等优点。据国际能源机构评估认为,全世界适合二氧化碳驱油开发的资源约为3 000亿~6 000亿桶。

注入二氧化碳用于提高石油采收率已有30多年的历史。二氧化碳驱油作为一项日趋成熟的采油技术已受到世界各国的广泛关注,据不完全统计,目前全世界正在实施的二氧化碳驱油项目有近80个。

用于提高石油采收率的注入速率由供封存的能力来决定。

该技术不仅适用于常规油藏,尤其对低渗、特低渗透油藏,可以明显提高原油采收率。二氧化碳纯度在90%以上即可用于提高采油率。二氧化碳在地层内溶于水后,可使水的黏度增加20%~30%。二氧化碳溶于油后,使原油体积膨胀,黏度降低30%~80%,油水界面张力降低,有利于增加采油速度,提高洗油效率和收集残余油。二氧化碳驱油一般可提高原油采收率7%~15%,延长油井生产寿命15~20年。

根据油田地质情况的不同,每增产1t原油约需1~4.2t二氧化碳,可增产油田总储量约10%的原油。仅胜利油田而言,适合二氧化碳驱油的油藏储量就非常可观。根据初步油藏评价研究结果,仅胜利电厂附近适合二氧化碳驱油的低渗透油田储量就约达2亿t,若全部采用二氧化碳驱油开发,每年可能消耗二氧化碳300万t,可提高油田采收率10%~15%。如规模应用二氧化碳驱油,胜利油区低渗透油藏预计新增可采储量3 300万~4 700万t,二氧化碳注入需求将达1亿t以上。

研究表明,二氧化碳被注入井下后,约有50%~60%被永久封存于地下,剩余的40%~50%则随着油田伴生气返回地面。但通过原油伴生气二氧化碳捕集纯化,可将伴生气二氧化碳回收,并就地回注驱油,进一步降低了二氧化碳驱油成本。

大庆油田从发现第一口二氧化碳气井,到研究应用二氧化碳驱油技术,已走过13个春秋。截至2008年底,已有6个采油厂建起二氧化碳驱油试验区,累

计增油超过4 000t。

目前该项技术在中国尚处于试验阶段,利用二氧化碳进行大规模商业采油的项目还没有,因此这里不做减排潜力和成本的分析。

该技术未来发展趋势及市场潜力预测:

目前,二氧化碳驱油作为一项日趋成熟的采油技术已受到世界各国的广泛关注。据不完全统计,目前全世界正在实施的二氧化碳驱油项目有近 80 个。美国是二氧化碳驱油项目开展最多的国家。目前,美国注入油藏的二氧化碳量约为 2 000 万 ~ 3 000 万 t/a,其中有 300 万 t 二氧化碳来源于煤气化厂和化肥厂的尾气。仅 2004 年,美国实施的二氧化碳驱油项目就有 71 个。

中国暂未发现能利用二氧化碳进行大规模商业采油的油田。与国外相比,国内对二氧化碳驱油技术的研究还不深入。国内各大油田虽然都不同程度地开展了矿场试验,但由于分布比较零散,不能形成一股强大的科研力量,再加上技术及设备不配套,气源不能解决等导致此项技术应用进程缓慢。

国外经验表明,二氧化碳驱油在石油开采领域所起的作用巨大。所以,我们需要投入大量的人力、物力和财力,协同攻关,赶超国际先进水平,通过逐步实施二氧化碳采油技术,大幅度提高中国油田的产量和采油效率,同时减少温室气体排放。

该项目也受二氧化碳资源来源的限制,二氧化碳驱油技术面临成本高的门槛,使得二氧化碳驱油提高采收率技术大规模推广受阻。

3.11 超临界液体二氧化碳发泡技术(LCD)

该技术的优点是采用液态二氧化碳作为发泡剂,既保护环境,又降低成本,是一项很有前途的替代丁烷技术。过去,国内已有厂家将二氧化碳用于聚丙烯(EPP)、聚苯乙烯(SPS)等产品,但从二氧化碳在聚丙烯、聚苯乙烯使用该技术生产的泡沫产品情况来看,其密度有局限,一般为 $14 \sim 23 \text{ kg/m}^3$ 。使用 LCD 设备生产软质泡沫也不能添加固体粉料。液体二氧化碳发泡技术采用高压发泡设备以实现精确计量和充分混合,适用于软泡连续生产线。为防止液态二氧化碳在发泡物料吐出时剧烈气化,物料要先经过一个装置再平稳流出,这就是二氧化碳的储藏控制系统和高压精确计量控制系统。在这套系统装置中,控制二氧化碳与经过高温加热塑化的聚乙烯材料混合,形成气泡并与物料进一步充分混合。

用二氧化碳作为高密度聚乙烯(LDPE)发泡片材产品的发泡剂,可增加生产的安全性;不会消耗臭氧层,对全球变暖的影响小(HCFC-22 的全球变暖潜能约为 CO_2 的 1 700 倍,氟氯碳化物-12 约为 CO_2 的 5 800 倍);价格便宜,用量小,易于回收利用,经济实用;无毒,也可适于制作可降解饮食餐具。因此,相

对传统的液化丁烷发泡剂而言,CO₂ 是一种更安全、更利于环保的发泡剂。另外,使用 CO₂ 发泡剂生产的聚苯乙烯(EPS)发泡包装物具有更好的延展性,不易折断,且使用寿命更长。因此使用二氧化碳作发泡剂在工业应用上具有很大优势。

该技术目前还处于开发阶段,有望在“十二五”期间工业化并推广应用。

综合以上分析,实施这些关键减排技术,“十二五”期间预计可产生的二氧化碳减排能力达到 3 000 万 t/a,2020 年预计可产生的二氧化碳减排能力达到 4 600 万 t/a,对实现化学工业的碳减排目标起到关键性作用。

以上分析还表明,高耗能、高排放产品的碳减排量还是有限的,按万元增加值或万元产值计算化学工业的碳减排量,应该更加重视发展低排放的化工产品、精细化学品、专用化学品等。化工产品的结构性调整,是实现化学工业“十二五”、“十三五”碳减排目标的最重要途径。

4 实施关键减排技术的障碍、投资和政策需求

4.1 实施关键减排技术的障碍

(1) 技术开发力量不足

目前的减排技术开发力量不能满足节能减排的需要,而且开发力量分散,不能形成合力,造成重大技术开发项目难以取得进展。化工行业的科研机构,很多已转制成企业,或成为大型企业管理的研究单位,对开发企业所需技术方面有一定帮助,但对于前沿技术的开发,一个科研单位的技术力量往往不够,与相关单位形成合力进行技术开发的障碍多、难度大,尤其是综合型的技术开发项目,需要多部门、多机构协调合作开发的技术,技术开发力量明显不足。

(2) 企业的技术开发动力不足

科研机构开发了很多技术,但大多停留在小试、中试阶段,需要在企业进行工业化试验才能真正取得成功,并需要企业对技术持续进行开发。然而,企业对继续开发的热情不足,不愿承担技术风险,造成很多技术难以真正在工业生产中应用。

(3) 政策支持力度不足

国家对先进节能减排技术的开发,尤其是工业开发的支持力度不足。重大项目的开发需要集中多个科研机构的技术力量,需要的经费也较大,这些都是单一科研机构难以胜任的,因此,需要国家有关部门统一协调,并提供经费支持才能完成这些任务。同时,国家应对新技术的工业化实验提供更多的政策、经费支持,减少企业“第一个吃螃蟹”时存在的高风险。

4.2 实施关键减排技术的投资需求

(1) 减排技术开发的投资

实施减排技术首先应做好技术开发工作,技术必须是真正可靠的、完善的,才能产生应有的效果。因此,减排技术的投资应首先在技术开发上加大投资。联合国开发计划署发布的《2010年中国人类发展报告——迈向低碳经济和社会的可持续未来》指出,中国实现未来低碳经济的目标,至少需要60多种骨干技术支持,而在这60多种技术中有42种是中国目前不掌握的核心技术。这表明,对中国而言,70%的减排核心技术需要“进口”,必将增加减排技术的成本。所以,中国应加大技术开发的投入,按照技术可行、经济合理的原则,研究提出

中国低碳发展的技术路线图,促进高能效、低碳排放的技术研发和推广应用,逐步建立节能和能效、洁净煤和清洁能源、新能源和可再生能源以及自然碳汇等多元化的低碳技术体系。

(2) 减排技术示范应用的投资

有些减排技术,例如二氧化碳降解塑料的生产,其项目投资比较大,一个1万t/a二氧化碳降解塑料项目,需要1.4亿元以上的资金投入,单从经济效益考虑,项目的投资风险很大。一般企业难以承担这么高的投资风险。对于此类重大项目,需要政府、金融机构、企业多方投资,才能满足关键减排技术示范应用的要求。

4.3 实施关键减排技术的政策建议

(1) 建议加快能源发展和管理的法制化建设,规范和调节能源的开发利用;加快制定和实施强制性、超前性能效标准,及早遏制能源浪费现象;加强清洁生产审核,强制推广重大减排技术,从源头遏制污染超标排放。

(2) 完善退出机制,加快淘汰落后产能。设立落后产能退出专项基金,采取行政措施和市场引导相结合的方式,加快淘汰落后产能;抓紧制定行业准入条件。对于高耗能、高排放的产品,设置能耗、碳排放退出门槛。

(3) 加大温室气体资源化技术开发的支持力度。温室气体本身是一种物资,排放到大气中会引起温室效应,但在合适的化工过程中,它是一种资源、一种化工原料。由二氧化碳、瓦斯气等生产各种化工产品,不仅可以减少温室气体排放,而且可以减少石油、天然气等化石能源的消耗。在减少温室气体排放的众多途径中,进行资源化利用是最有前途的,值得花大力气进行开发,国家有关部门应大幅增加对温室气体资源化利用技术开发的支持力度。目前,中国的技术开发水平处于世界的前列,但仍处于起步阶段,亟须做好以下工作:①确定温室气体资源化利用技术开发方向;②确定资源化利用的重点开发技术;③制订温室气体资源化利用的发展规划,包括“十二五”规划和中长期规划;④制定温室气体资源化利用支持政策;⑤制订温室气体资源化利用的推进方案。

(4) 尽快对重点企业的温室气体排放状况进行盘查,摸清企业的实际情况,找出碳排放源、减排措施。工业企业是中国温室气体的主要排放单位,应是“十二五”、“十三五”减少温室气体排放的重点,必须采取强有力的措施,采取全过程、全时空监控的措施,确保温室气体减排。

(5) 抓紧制定企业温室气体盘查(或称碳审计)的标准,便于企业统一方法,计算温室气体排放量。

(6) 制定温室气体减排的专业人才培养计划,尽快建立一支具有很强专业

能力的碳减排人才队伍。就目前的状况,应要求重点企业配备专人负责温室气体减排工作,并由有关机构对专门人员进行培训。建议国家实施碳盘查师制度,重点企业配备碳盘查师从事碳减排工作。人才队伍是否强大,是实现碳减排目标的一个重要环节。

第三章 有色金属行业 2020 年二氧化碳 减排技术的潜力和成本分析

1 有色金属行业的现状和发展趋势

1.1 能源消费和二氧化碳排放现状

有色金属工业是以开发利用矿产资源为主的基础产业,具有资源密集、能源密集、技术密集、资金密集等行业特征,上下游产业链长,经济关联度高。近几年来,中国有色金属工业得到迅速发展,2010 年中国 10 种常用有色金属产量达到 3 136 万 t,约占世界产量的 1/3(主要产品产量,见表 2-3-1);消费量达到约 3 100 万 t,也约占全球消费量的 1/3。

表 2-3-1 2005—2010 年 10 种有色金属产品产量

单位:万 t

年 份	2005	2006	2007	2008	2009	2010	年均增长/%
10 种有色金属合计	1 639.0	1 915.21	2 370.05	2 550.73	2 604.88	3 136.0	13.80
精炼铜	260.04	300.32	349.94	379.46	410.95	454.03	11.95
原铝(电解铝)	780.60	935.84	1 258.83	1 317.82	1 284.60	1 624.4	15.71
铅	239.14	271.49	278.83	345.18	370.79	415.75	11.92
锌	277.61	316.27	374.26	404.23	435.67	520.89	13.22
镁	45.08	51.97	62.47	55.52	50.08	65.08	7.72

(1) 能源消费现状

2010 年中国有色金属工业消费能源折标准煤 13 745 万 t(电力按等价值折算),占当年国内能源消费总量的 4.2%。有色金属工业电力消耗 3263.04 亿 kWh,约占全国电力消耗量的 7.6%,其中电解铝电力消耗约占有色金属工业电力消耗的 70%,占全国电力消耗的 5.4%(详见表 2-3-2)。

表 2-3-2 有色金属行业能源消费及工业增加值

年 份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
能源消费量/万 t 标准煤	8 084.7	9 840	11 696.5	12 151.1	11 401.4	13 745
电力消费量/亿 kWh	1 419.02	1 783.47	2 107.7	2 259.13	2 361.7	3 263
行业增加值(2005 年价)/亿元	2 175.00	2 675.25	3 175.52	3 578.81	4 083.43	4 602

(2) 能源消费结构

2010 年中国有色金属工业消费电力 3 263.0 亿 kWh(折标准煤 10 181 万 t,按等价值折算),煤炭 7 313 万 t、焦炭 553.9 万 t(折标准煤 2 996 万 t,扣除了 52% 自发电用煤),燃料油 96.38 万 t,柴油 87.3 万 t,汽油 14.4 万 t,天然气 21.8 亿 m³,其他燃料等 286.7 万 t 标准煤。电力消费(电力按等价值折算)占比为 74%,煤炭、焦炭消费占比为 21.8%,其他能源消费如燃料油、柴油等占比为 4.2%。

(3) 主要能耗指标

2010 年有色金属行业主要产品单位能耗大幅下降,一些主要的技术经济指标已接近或达到世界先进水平。2005—2010 年有色金属行业主要产品单位产品能耗指标见表 2-3-3。

表 2-3-3 有色金属行业主要产品单位产品能耗

年 份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
铜冶炼综合能耗/(kg/t)	733.1	594.8	485.8	444.3	404.1	398.8
氧化铝综合能耗/(kg/t)	998.2	802.7	868.1	794.4	631.3	590.6
铝锭综合交流电耗/(kWh/t)	14 575	14 697	14 441	14 283	14 152	13 964
铅冶炼综合能耗/(kg/t)	654.6	542.3	551.3	463.3	475.7	421.1
电解锌综合能耗/(kg/t)	1 953.1	1 247.5	1 063.3	1 027.6	963.1	999.1
锡冶炼综合能耗/(kg/t)	2 444.6	2 380.7	1 813	1 655	1 568.6	1 569.5
锑冶炼综合能耗/(kg/t)	1 646.3	2 071.7	2 080.3	2 021.9	1 196	829.4

(4) 碳排放现状

2010 年中国有色金属工业由能源消费带来的二氧化碳排放总量约为 3.2 亿 t*,其中由电力消费带来二氧化碳排放约为 2.26 亿 t,约占全行业二氧化碳总排放的 70.7%;由煤炭(含焦炭)消费带来的二氧化碳排放约 8 149.4 万 t,约占全行业二氧化碳总排放的 25.4%;电力、煤炭(含焦炭)消费带来二氧化碳排

* 根据电力、煤和天然气等能源的二氧化碳排放系数计算(清华大学提供)。

放约占全行业的 96.1%,天然气、油等其他能源消费带来的二氧化碳排放只占全行业二氧化碳排放总量的 3.9%。

1.2 能源消费和二氧化碳排放趋势

“十二五”和“十三五”期间,有色金属行业发展主要还是以满足内需为主,严格控制总量扩张,着力调整和优化企业结构、产品结构和布局结构,全面淘汰落后产能,积极发展新材料。预计“十二五”有色金属行业工业增加值年均增长约 10%,万元工业增加值能耗下降约 16%,能源消费增长约 5.7%,主要产品能耗大幅度下降,技术装备水平、能源利用效率大幅度提高。预计 2015 年十种有色金属产量控制在 4 600 万 t 以内,其中铜 650 万 t(矿产铜 500 万 t),电解铝 2 400 万 t(氧化铝 4 100 万 t),铅 500 万 t(矿产铅 350 万 t),锌 680 万 t,镁 100 万 t。经测算,预计 2020 年十种有色金属产量 5 200 万 t,其中铜 750 万 t(矿产铜 580 万 t),电解铝 2 750 万 t(氧化铝 4 600 万 t),铅 580 万 t(矿产铅 410 万 t),锌 760 万 t,镁 150 万 t。按此测算,2015 年有色金属工业能源消耗总量约为 19 000 万 t(等价值),由能源消耗带来的碳排放总量约为 41 873 万 t;2020 年有色金属工业能源消耗总量约为 21 654 万 t(等价值),由能源消耗带来的碳排放总量约为 46 593 万 t。

到 2015 年和 2020 年主要产品能耗大幅度下降。

电解铝:2015 年,平均每吨铝综合交流电耗为 13 670kWh,与 2010 年相比,吨铝降低电耗 309kWh。2020 年,平均每吨铝综合交流电耗为 13 500kWh,与 2005 年相比,吨铝降低电耗 1 057kWh。

氧化铝:2015 年,氧化铝平均综合能耗降为 600kg 标准煤/t,与 2010 年相比,氧化铝综合能耗降低 32.4kg 标准煤/t。2020 年氧化铝平均综合能耗降为 580kg 标准煤/t,与 2005 年相比,氧化铝综合能耗降低 334kg 标准煤/t。

铜冶炼:2015 年,平均每吨精炼铜综合能耗为 350kg 标准煤/t,2020 年,平均每吨精炼铜综合能耗为 325kg 标准煤/t。

铅锌冶炼:2015 年,平均每吨铅冶炼综合能耗为 430kg 标准煤/t,2020 年,平均每吨铅冶炼综合能耗为 400kg 标准煤/t,与 2005 年相比,铅冶炼综合能耗降低 66.3kg 标准煤/t。2020 年,平均每吨精锌综合能耗 1 800kg 标准煤/t,与 2005 年相比,精锌冶炼综合能耗降低 448kg 标准煤/t。

镁冶炼:到 2015 年,吨镁综合能耗下降到 4 000kg 标准煤,到 2020 年,吨镁综合能耗下降到 3 500kg 标准煤。

1.3 促进节能减排的政策措施

“十一五”以来,党中央、国务院十分重视节能减排工作,国务院发布了加强

节能工作的决定,制定了促进节能减排的一系列政策措施。主要有:

2007年5月23日,国务院印发了《节能减排综合性工作方案》的通知,2006年至2007年10月,国家发展改革委相继出台了铜、钨、锡、锑、铅、锌、铝行业市场准入条件,为调整产业结构、促进节能减排目标的实现、综合利用资源、减少废物排放创造了条件。2006年下半年,国家发展改革委委托各地节能主管部门开展了千家企业能源审计;2007年8月22日,财政部、国家发展改革委印发了《节能技术改造财政奖励资金管理暂行办法》;2007年11月17日国务院批转《节能减排统计监测及考核实施方案和办法》的通知;2007年9月17日,国家发展改革委关于印发《重点耗能企业能效水平对标活动实施方案》的通知,要求重点耗能企业(年耗标准煤1万t以上)开展能效水平对标活动,并委托相关行业协会开展各行业的对标活动。

为了贯彻落实党中央、国务院关于节能减排工作的一系列方针政策,推动有色金属行业企业节能工作,从2005年以来几乎每年都组织召开全行业节能工作会议。有色协会结合有色金属工业实际,研究制定了《有色金属工业节能减排工作方案》;开展了《有色金属工业“十二五”节能规划前期研究》,为国家制定工业领域节能规划奠定了基础。开展了有色金属工业重点用能企业能效对标工作,对标工作的开展,对促进企业节能工作上水平、上台阶,提高企业能源利用效率,增强企业竞争力,具有十分重要意义。

2005年以来,有色金属工业研发推广了一批新技术。新型阴极结构铝电解槽技术、400kA大型铝电解槽技术取得重大突破,新型阴极结构铝电解槽技术吨铝可节电1000kWh,中国电解铝工艺水平达到了世界先进水平。制定了一批能耗限额标准。在首批国家发布的22项能耗限额国家标准中,有色金属行业占10项;氧化铝、再生铅单位产品能耗限额等12项国家标准和铅、锌精矿生产能源消耗限额等6项行业标准也陆续出台。

有色金属工业通过淘汰落后产能,推广成熟的先进技术,加强关键技术突破,推行能效对标管理等措施,节能取得显著成效。2010年(快报数,下同)与2005年相比,有色金属工业节约1400万t标准煤,减少二氧化碳排放3800万t,节能率达到了14.1%,超额完成了有色金属工业制定的“十一五”节能率10%的目标。

中国有色金属行业经过“十一五”期间的全行业、大规模推进节能减排工作之后,已经取得了明显的节能效果。目前主要企业的采选、冶炼、加工等技术已达到或接近世界先进水平,铜、铅、锌冶炼进一步明显降低能耗的空间不大。

尽管二氧化碳减排工作面临诸多挑战,但中国有色金属行业通过淘汰落后产能、推广先进技术、加快结构调整、使用清洁能源,以及发挥规模效益、提高劳动生产率,仍能挖掘一定的二氧化碳减排潜力。

电解铝:按照有色金属产业调整和振兴规划,将淘汰小预焙槽电解铝产能 80 万 t/a。目前,国内小预焙槽电解铝实际产量 50 万 t,平均综合电耗为 15 000kWh/t,高于当年国内电解铝平均综合电耗 677kWh/t。全部淘汰后,每年可以节电 3.5 亿 kWh,减少二氧化碳排放 24 万 t。

铜冶炼:目前中国仍有接近 30 万 t 的落后鼓风炉粗铜冶炼能力,约占国内铜冶炼产能的 15%。目前,年落后产能的粗铜实际产量约为 20 万 t,综合能耗为 950kg 标准煤/t 铜,大大高于 2009 年国内平均能耗 404kg 标准煤/t 铜的水平。如果这部分落后产能全部淘汰,据此推算全国铜冶炼单位综合能耗平均下降约 10%。按当年产量计算,当年节约标准煤 11 万 t,减少二氧化碳排放 29.7 万 t。

铅冶炼:2009 年,国内烧结机-鼓风炉工艺铅产量 127 万 t,综合能耗为 485kg 标准煤/t 铅;还有 20 万 t 产量是由十分落后的烧结锅、烧结盘炼铅工艺生产的,综合能耗 665~915kg 标准煤/t 铅。如能淘汰这部分生产工艺并采用先进工艺进行置换,按综合能耗为 375kg 标准煤/t 计算,当年节约标准煤 6.5 万 t,减少二氧化碳排放 17.7 万 t。

2 关键减排技术选择

2.1 关键减排技术在有色金属行业的界定

有色金属行业关键的减排技术主要是指先进、高效的节能技术。有色金属行业专项减排技术较少,主要是工艺节能技术。

2.2 关键减排技术的选择原则

先进的节能减排技术,减排潜力大,投资相对少,推广空间大,有较强竞争力的技术。

2.3 关键减排技术描述

有色金属行业被选择的关键减排技术特征描述见表 2-3-4。

表 2-3-4 有色金属行业关键减排技术特征描述

技 术	技 术 特 征
铝电解槽新型导流结构节能组合技术	铝电解槽新型导流结构节能组合技术通过对电解槽阴极与内衬结构改造,先进的工艺操作与控制,大幅度降低了极距,使铝电解高效率稳定运行,形成保温节能型铝电解槽
新型阴极结构铝电解槽节能技术	采取改变现行铝电解槽槽底的碳阴极平底结构为阴极表面具有凸起的阴极结构,起到减缓阴极铝液表面流速和波动作用,达到提高铝电解槽阴极液面稳定的目的,从而可以通过降低电解极距来降低电解槽槽电压,从而降低电耗
预焙铝电解槽电流强化与高效节能综合技术	针对中国低阳极电流密度以及氧化铝来源广的特点,开发出“五低三窄一高”铝电解新工艺,即:低温、低过热度、低氧化铝浓度、低槽电压、低阳极效应系数、窄物料平衡工作区、窄热平衡工作区、窄磁流体稳定性调节区和高阳极电流密度,实现了铝电解高效节能的目标
氧气底吹炼铜技术	混合矿料连续从炉顶加料口加入炉内的高温熔池中,氧气和空气通过底部氧枪连续送入炉内的铜硫层,氧气以大量的小气泡动态地悬浮于熔体中,有很大的气-液相接触面积,完成熔炼过程
液态高铅渣直接还原技术	密闭的还原炉结构和高效能的热还原工艺,减少了烟气热量损失,解决了高铅渣铸块储运过程中碎沫飞扬现象,既减少了有价金属损失,资源得到最大利用,环境又得以改善,系统生产环境良好
新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术	新型蓄热式竖罐还原炉主要由模块化炉体、蓄热式燃烧器、立式还原系统、装料和出渣系统、真空与管道系统、检测和自动控制系统等组成,吨粗镁能耗大幅降低

3 关键减排技术减排潜力和成本分析

3.1 铝电解槽新型导流结构节能组合技术

新型结构铝电解槽技术首创了炭块间有导流沟、中间有汇流沟、端部有蓄铝池的新型水平网络状结构的导流电解槽技术；提出并实现了低铝液层稳定生产技术，开发了铝电解节能新工艺；开发并设计了保温型电解槽内衬结构，保证了低极距下电解槽的热平衡；开发了非对应阴极沟槽绝缘焦粒焙烧技术，解决了非平面阴极焦粒焙烧的难题。该套技术创新性强，适应于不同容量、不同设计参数的电解槽，生产操作简单，节能减排效果显著。电解铝生产工艺流程见图 2-3-1。

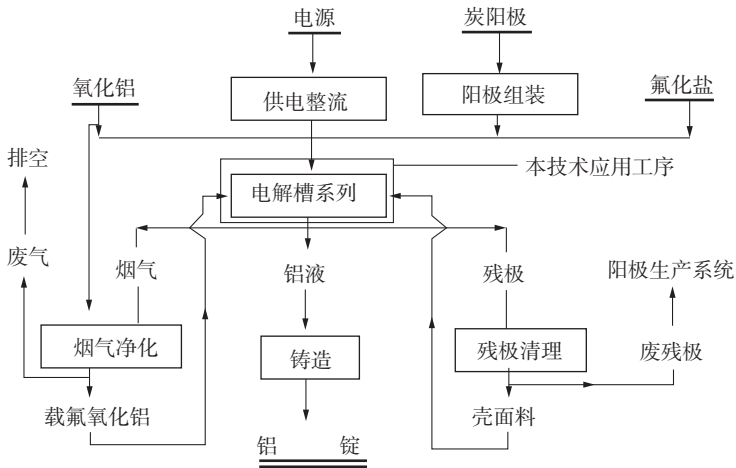


图 2-3-1 电解铝生产工艺流程

为了分析减排技术的碳减排潜力及成本，根据有色金属工业“十二五”发展规划，并结合有色金属工业发展实际，对 2020 年产品产量进行了预测。对铝电解槽新型导流结构节能组合技术进行减排潜力和成本进行了分析和估算。估算减排成本时充分考虑了技术的投资、槽寿命、运行维护成本、节能效益以及贴现率等因素，并以技术改造项目作为分析的基准线技术。铝电解槽新型导流结构节能组合技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-3-5 和表 2-3-6。

表 2-3-5 铝电解槽新型导流结构节能组合技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	10.5	10.5	10.5
比较基准线技术生产单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	11.3	11.3	11.3
应用关键减排技术的产品产量/万 t	160	720	825
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	128	576	660

注:本表 CO₂ 排放是由能源消费带来的;

电力按等价值折算,标准煤按 2.3 折 CO₂;

2015 年、2020 年测算依据(如产品产量等)都是预计数。

表 2-3-6 铝电解槽新型导流结构节能组合技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的所有投资成本与基准线的投资成本之差(扣除寿命期内的节能效益等)/(亿元/a)	-4.45	-26.9	-41.3
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 t	128	576	660
关键减排技术的减排成本/(元/tCO ₂)	-349	-467	-625

3.2 新型阴极结构铝电解槽节能技术

基于稳定铝液面、降低电耗和延长槽寿命考虑,采取改变现行铝电解槽槽底的碳阴极平底结构为阴极表面具有凸起的异型结构,起到减缓阴极铝液表面流速和波动作用,达到提高铝电解槽阴极液面稳定的目的,从而可以通过降低电解极距来降低电解槽槽电压,使电解槽工作电压从 4.1V 降到 3.72V 而保持电流效率不变。

同时根据 200kA 系列电解槽的特点进行了优化改进和技术创新,如电解槽底部四周增加了沟槽,有利于铝液局部循环,从而带动电解质循环,使氧化铝的浓度更加均匀;电解槽侧部采用陶瓷纤维板加强保温,减少热量损失,将传统的散热型电解槽改造成保温型电解槽;底部梁高度和宽度都有所增加,以提高电解槽梁的寿命。

研究开发的全电解质火焰——铝液焙烧启动新技术,全部采用电解质启动来替代传统的冰晶石启动工艺,保证了焙烧启动质量,提高了效率,降低了成本,改善了环境。将使中国铝电解工业生产技术电耗指标居世界领先水平,具有重大的推广意义和应用前景。

新型阴极结构铝电解槽节能技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-3-7 和表 2-3-8。

表 2-3-7 新型阴极结构铝电解槽节能技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的单位产品 CO ₂ 排放量(tCO ₂ t 产品)	10.5	10.5	10.5
比较基准线技术生产单位产品 CO ₂ 排放量(tCO ₂ t 产品)	11.3	11.3	11.3
应用关键减排技术的产品产量/万 t	160	720	825
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	128	576	660

表 2-3-8 新型阴极结构铝电解槽节能技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的所有投资成本与基准线的投资成本之差(扣除寿命期内的节能效益等)/(亿元/a)	-4.45	-26.9	-41.3
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 t	128	576	660
关键减排技术的减排成本/(元/tCO ₂)	-349	-467	-625

3.3 预焙铝电解槽电流强化与高效节能综合技术

铝电解的理论研究及工业生产实践表明,要实现高电流效率,必须采用低温、低过热度、低氧化铝浓度电解工艺;要实现减排与节能,要尽可能采用低效应甚至“零效应”和降低槽电压。适当地提高阳极电流密度既有利于能量平衡又有利于提高电流效率。

采用“五低一高”工艺技术条件后,电解槽的运行状态逼近了一种“临界状态”,使电解槽走向高效低耗运行的同时,也使电解槽临近对工艺参数变化及噪声干扰极度敏感的“临界状态”空间。而“三窄”控制有利于“五低一高”工艺的实现,使得临界状态下铝电解槽高效稳定运行,从而降低电耗,在未来具有广阔的推广前景。

预焙铝电解槽电流强化与高效节能综合技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-3-9 和表 2-3-10。

表 2-3-9 预焙铝电解槽电流强化与高效节能综合技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	10.5	10.5	10.5
比较基准线技术生产单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	11.3	11.3	11.3
应用关键减排技术的产品产量/万 t	130	960	1 100
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	104	768	880

注:本表 CO₂ 排放是由能源消费带来的;

电力按等价值折算,标准煤按 2.3 折 CO₂;

2015 年、2020 年测算依据(如产品产量等)都是预计数。

表 2-3-10 预焙铝电解槽电流强化与高效节能综合技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的所有投资成本与基准线的投资成本之差(扣除寿命期内的节能效益等)/(亿元/a)	-3.1	-30.4	-46.6
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 t	104	768	880
关键减排技术的减排成本/(元/tCO ₂)	-297	-396	-530

3.4 氧气底吹炼铜技术

混合矿料连续从炉顶加料口加入炉内的高温熔池中,氧气和空气通过底部氧枪连续送入炉内的铜铈层,氧气以大量的小气泡动态地悬浮于熔体中,有很大的气-液相接触面积,有极好的反应动力学条件,连续加入的铜精矿不断地被迅速氧化、造渣,形成的铜铈从侧面放铈口定期排出。氧气底吹炼铜技术流程见图 2-3-2。

氧气底吹炼铜技术的核心设备室氧气底吹炉,主体核心设备是一台 $\phi 4.4 \times 16.5\text{m}$ 的卧式可回转的反应炉(见图 2-3-3),内衬长度为 380mm 的铬镁砖,外形类似诺兰达炉。

氧气底吹炼铜炉最大的特点是生产容易掌握,环保与劳动条件好,原料适用性强,生产规模可大可小,投资省,生产作业成本低。特别适宜中小冶炼厂的技术改造,具有一定的推广空间。

氧气底吹炼铜技术工艺过程简单、原料适用性强、能源消耗低、投资相对省,产能规模在 5 万 ~ 25 万 t/a,一般都是在淘汰鼓风机、反射炉等落后产能的基础上,采用该技术,属于技术改造。在计算其减排成本时,按照基建项目核算。氧气底吹炼炉寿命很长(以炉寿命 20 年进行测算),只对炉内衬耐火材料等进行更换。

氧气底吹炼铜技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-3-11 和表 2-3-12。

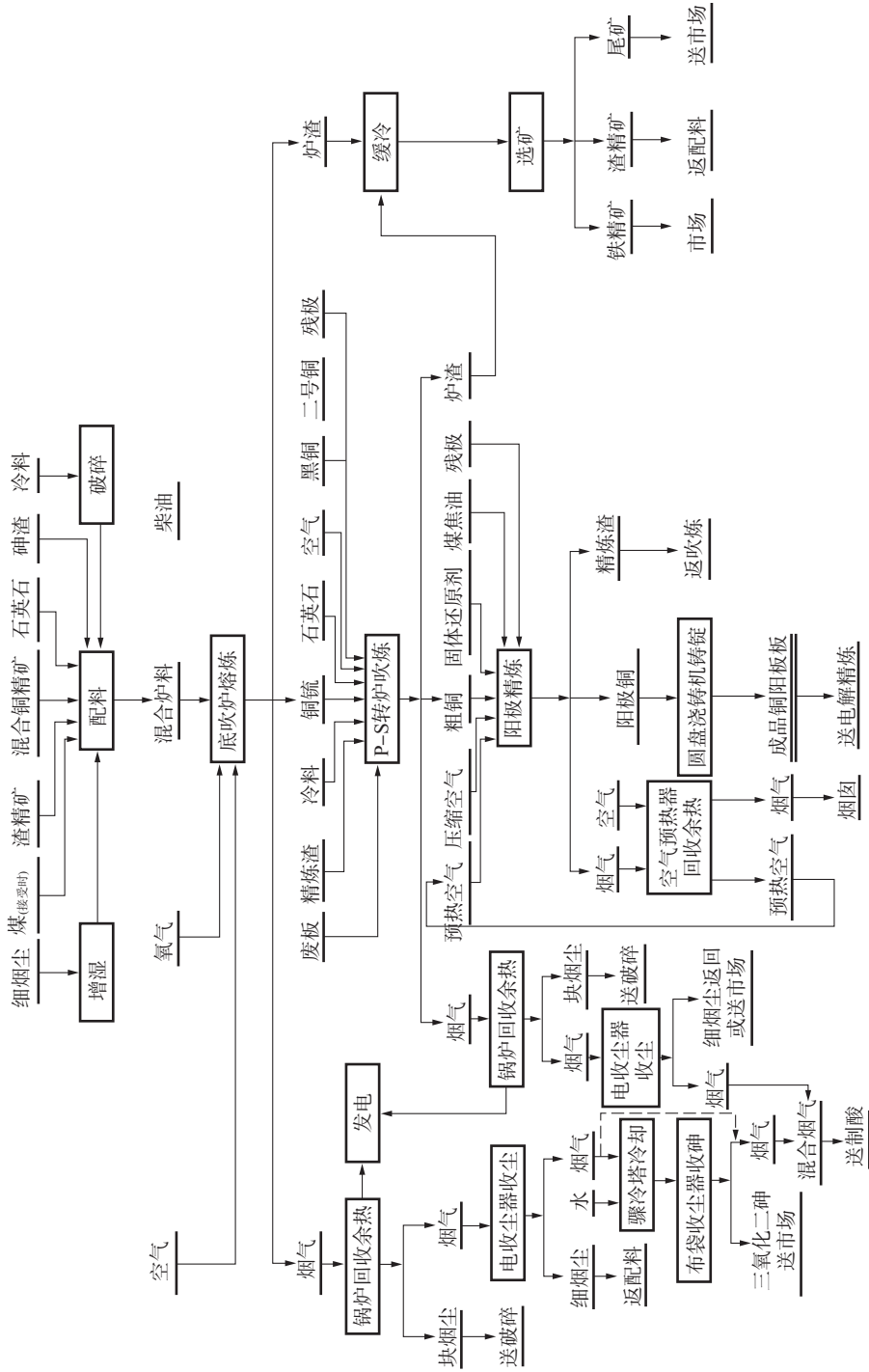
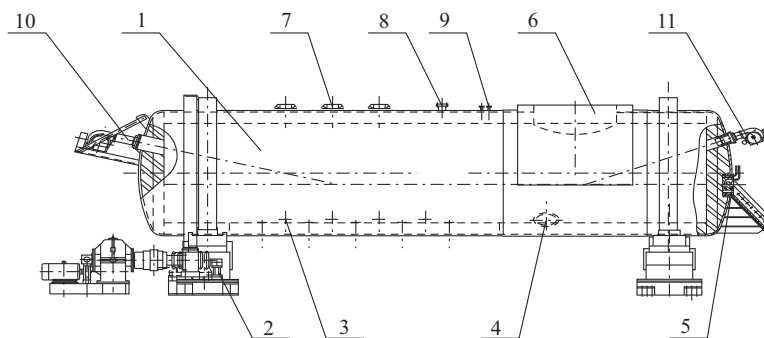


图2-3-2 氧气底吹炼铜技术流程



1—炉体;2—传动装置;3—氧枪;4—铜镗放出口;5—放渣口;6—排烟口;
7—加料口;8—探测口;9—测温口;10—主烧嘴;11—辅烧嘴

图 2-3-3 氧气底吹炼铜炉示意图

表 2-3-11 氧气底吹炼铜技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的单位产品二氧化碳排放量/ (tCO ₂ /t 产品)	0.8	0.8	0.8
比较基准线技术生产单位产品二氧化碳排放量/ (tCO ₂ /t 产品)	1.3	1.3	1.3
应用关键减排技术的产品产量/万 t	10	80	120
关键减排技术的二氧化碳减排潜力/万 tCO ₂	5	40	60

注:本表二氧化碳排放是由能源消费带来的;
电力按等价值折算,标准煤按 2.3 折 CO₂;
2015 年、2020 年测算依据(如产品产量等)都是预计数。

表 2-3-12 氧气底吹炼铜技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的所有投资成本与基准线的投资成本之差(扣除寿命期内的节能效益等)/(亿元/a)	2	11.96	134
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 t	5	40	60
关键减排技术的减排成本/(元/tCO ₂)	4 000	2 990	2 234

3.5 液态高铅渣直接还原技术

液态高铅渣直接还原炼铅工艺技术是将含铅物料先在氧气底吹炉中进行氧化产出部分粗铅和液态高铅渣,富氧底吹熔炼炉废气中的二氧化硫经两转两吸制酸工艺吸收。然后将液态高铅渣直接用流槽注入还原炉中,进渣时开始从还原炉上部的加料口加入煤粒和石子等辅料,同时在还原炉底部通过喷枪将燃气和氧气直接喷入炉内熔体,燃气部分燃烧以维持过程热量,部分一氧化碳等还原性气体遇到熔体发生还原反应,同时在气体的搅拌作用下高温煤粒直接与高铅渣熔体接触使其还原。

还原后所产粗铅沉积于炉子底部,经虹吸道排出后用铸铅机铸成铅块,或进入铅包直接送电解车间除铜工序;还原后的终渣进入电热前床,经进一步沉淀保温,然后送往烟化炉进行烟化提锌;伴随还原过程产生的烟气经冷却、除尘、脱硫后排空,烟尘返回氧化炉配料系统。液态高铅渣直接炼铅工艺流程图见图 2-3-4。

液态高铅渣直接还原技术关键点是开发一种由“氧气+天然气+碳粒”相结合的热还原工艺,改变了传统工艺大量使用冶金焦的局面,能够有效利用烟气余热,全面实现 DCS 自动控制,并将氧化炉与还原炉独立并紧密衔接,完成各自的作业,未来有广阔的推广空间。

液态高铅渣直接还原技术的主要特点是原料适应性强,能源消耗低。对于新建的生产能力为 8 万 t 的氧气底吹熔炼鼓风机还原炼铅技术需投资约 3.2 亿元;而相同生产能力的氧气底吹熔炼液态高铅渣底吹还原炼铅技术需投资 4.2 亿元,运行费用一般高出 50 元/t 粗铅。设计炉主体的使用寿命较长(以 20 年计),但是其内衬等其他材料的寿命仅为 10 个月,每年要进行一次为期两个月的大修。按照大修要求,底吹炉的内衬耐火材料要进行更换,而每次检修更换的费用都在百万元以上。通过对炉体局部创造性的维修维护和对相关重点生产指标的严格控制,部分企业炼铅氧气底吹炉最终创造了 34 个月的超长炉龄。

液态高铅渣直接还原技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-3-13 和表 2-3-14。

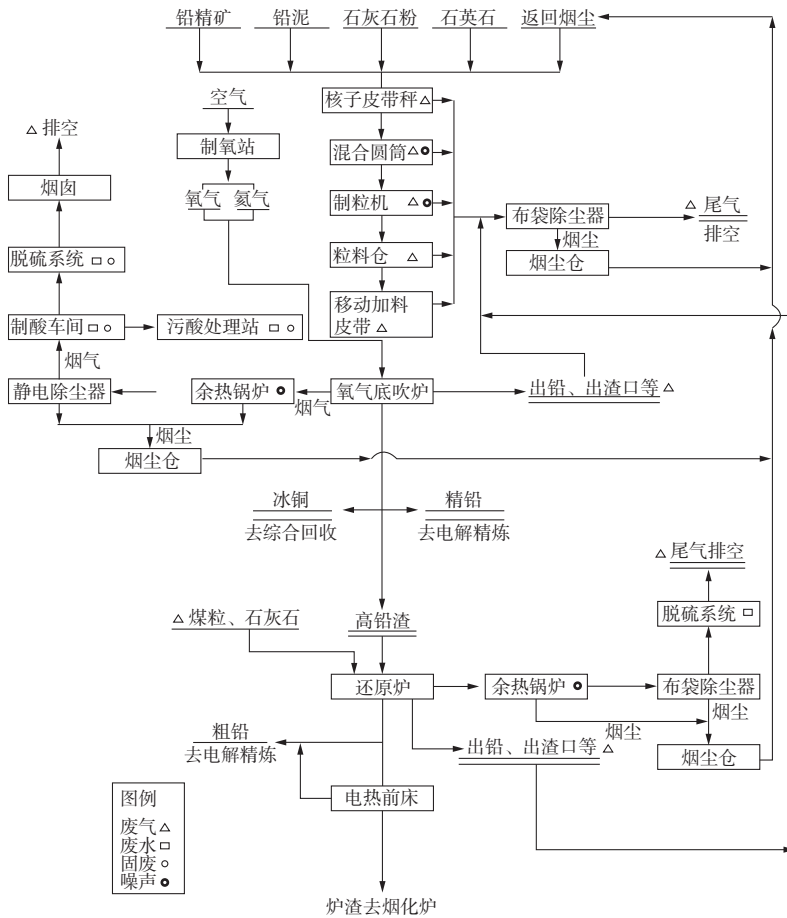


图 2-3-4 液态高铅渣直接炼铅工艺流程图

表 2-3-13 液态高铅渣直接还原技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	0.9	0.9	0.9
比较基准线技术生产单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	1.15	1.15	1.15
应用关键减排技术的产品产量/万 t	10	105	150
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	2.5	26	38

注：本表 CO₂ 排放是由能源消费带来的；
 电力按等价值折算，标准煤按 2.3 折 CO₂；
 2015 年、2020 年测算依据（如产品产量等）都是预计数。

表 2-3-14 液态高铅渣直接还原技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的所有投资成本与基准线的投资成本之差(扣除寿命期内的节能效益等)/(亿元/a)	0.25	1.95	2.14
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 t	2.5	26	38
关键减排技术的减排成本/(元/tCO ₂)	1 000	750	563

3.6 新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术

采用先进的高温空气燃烧技术(HTAC),可使空气预热温度接近烟气入口温度(1 000℃以上),排烟温度降至 150℃以下,热回收率 80%以上,在还原炉上使用可节约燃料消耗 55%以上,从而大幅提高炉子的热效率。由于空气预热温度提高,所以火焰温度也相应提高,火焰的辐射能力加大,加热速度变快,还原炉的生产效率可提高 10%~20%。采用钢材与耐火材料混合的高架结构、严格的炉体保温措施及还原炉的设计都考虑了各结合面的密封和隔热,以确保还原炉在使用中的密封性、安全性以及最小的散热损失,保证炉子的寿命和热效率。新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术工艺流程见图 2-3-5。

新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术关键是新型还原炉,先通过优化系统结构,完善机械化、自动化作业设备以及环保设施,提升模块化节能立式罐还原系统的性能。该系统因其低能耗(比蓄热燃烧的先进指标还低 60%)、低排放、高质量(产品)、高效率、产量大(单罐 60~70kg)和长寿命(设备使用)等优势将会是未来一段时期的主流冶炼设备。

以气体燃料为能源的硅热法冶炼粗镁还原技术,镁冶炼企业用该技术进行技术改造。应用新型蓄热竖罐还原炉燃烧 1 万 t 金属镁生产线,该系统投资约 2 000 万~3 000 万元,还原罐的寿命大概 4 个月,主体设备寿命按 6 年计算。普通竖窑 1 万 t 金属镁生产线,需投资约 1 000~1 200 元。

新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-3-15 和表 2-3-16。

表 2-3-15 新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	8.1	8.1	8.1
比较基准线技术生产单位产品 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 产品)	14.3	14.3	14.3
应用关键减排技术的产品产量/万 t	2	30	50
关键减排技术的 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	12.4	186	310

注:本表二氧化碳排放是由能源消费带来的;

电力按等价值折算,标准煤按 2.3 折二氧化碳;

2015 年、2020 年测算依据(如产品产量等)都是预计数。

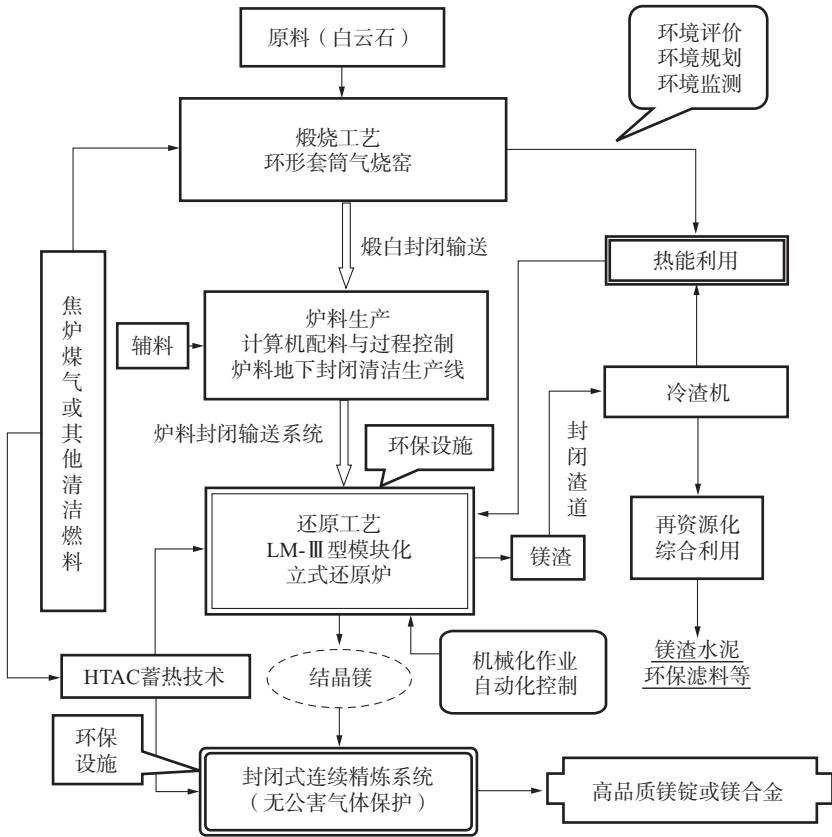


图 2-3-5 新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术工艺流程示意图

表 2-3-16 新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
关键减排技术的所有投资成本与基准线的投资成本之差(扣除寿命期内的节能效益等)/(亿元/a)	-1.36	-26.97	-60
关键减排技术的二氧化碳减排潜力/万 t	12.4	186	310
关键减排技术的减排成本/(元/tCO ₂)	-1 100	-1 450	-1 935

4 实施关键减排技术的投资和政策需求

4.1 投资需求

目前,有色金属行业实施关键减排技术的主要障碍之一是资金不足。如果实现本报告中选择的关键减排技术的二氧化碳减排潜力,到2015年和2020年所需要的投资见表2-3-17。

表2-3-17 实施关键减排技术所需投资

单位:亿元

减排技术	2015年	2020年
1. 铝电解槽新型导流结构节能组合技术	112	133
2. 新型阴极结构铝电解槽节能技术	112	133
3. 预焙铝电解槽电流强化与高效节能综合技术	166	194
4. 氧气底吹炼铜技术	72	85
5. 液态高铅渣直接还原技术	50	73.5
6. 新型蓄热竖罐还原炉燃烧技术	8.4	14.5
合计	408.4	500

注:铝电解槽新型导流结构节能组合技术与新型阴极结构铝电解槽节能技术属于二选一技术,所以合计数为减排技术2~6的所需投资。

4.2 政策措施建议

(1) 通过优惠政策鼓励关键减排技术的推广

一是设立关键减排技术示范工程,在全行业大力推广关键减排技术;二是安排财政资金,给予采用先进节能减排技术的企业一定的补贴;三是对采用先进节能减排技术的企业一定的税收优惠政策;四是对通用关键设备引进给予一定的支持。

(2) 建议国家有关部门进一步加大对有色金属工业节能技术研发

近年来,国家不断增加对有色金属行业科技的投入。“十一五”期间,在国家各项科技计划中相继安排了有色金属资源综合利用和镁合金、铝加工等科技

项目,有力地推动了行业技术进步。但由于有色金属行业种类多、产业链长和相对快速增长的市场需求,国家科技经费用于共性、关键技术开发的资金强度明显不足且比较分散。为了保持基础工业实现又好又快发展,克服资源、能源、环境的瓶颈制约,完成节能的艰巨任务,建议围绕制约行业发展的资源、能源、环境和高新技术产业发展等瓶颈和国家重大需求,加大对开展有色金属行业重大、关键性、共性技术研究的支持力度。

(3) 行业协会在推动行业减排中的重要作用

工业部门管理体制改革之后,国家有关部门始终坚持依靠行业协会参与科技计划项目的组织和协调工作,使协会在统筹全国优势资源上发挥了应有作用。但是,随着地方、区域或其他投资主体的参与,项目组织出现了多元化的现象。建议在节能减排规划和实施上,加大行业参与力度,充分发挥行业协会组织协调功能,调动行业内各种力量,按照统筹规划、整体安排、联动实施的原则,开展行业内节能减排核心关键技术的攻关工作,并努力使成果惠及整个行业。同时建议,在节能统计、审计、监督和考核上,有效发挥和加强行业协会的职能。

第四章 水泥行业 2020 年二氧化碳 减排技术的潜力和成本分析

1 水泥行业的现状

1.1 基本概况

水泥工业是国民经济建设重要的基础原材料工业,其产值约占建材工业统计口径的 40%;能源消耗约占建材工业能源消耗的 72%;2010 年全国统计规模以上水泥企业共有 4 774 家,行业从业人数 108 万人。

1.2 全国水泥及熟料产量

2010 年全国水泥产量 18.8 亿 t,比上年增长 13.8%;熟料产量 11.8 亿 t,比上年增长 9.3%(见表 2-4-1),其中新型干法熟料产量 9.5 亿 t,比上年增长 20.7%;新型干法熟料占熟料比重 80.5%。“十一五”期间共生产了 75.2 亿 t 水泥,年平均增长 11.7%。

表 2-4-1 “十一五”期间全国水泥及熟料产量及增速

年 份	水泥产量		熟料产量	
	数量/万 t	增长/%	数量/万 t	增长/%
2005	106 885	9.85	76 472	29.42
2006	123 611	15.65	87 328	14.18
2007	136 117	10.12	95 668	9.55
2008	139 942	2.81	97 010	1.4
2009	164 800	17.76	107 900	10.42
2010	187 600	13.83	117 900	9.27

数据来源:中国水泥年鉴,2010。

1.3 水泥工业增加值

产品的市场供求关系和生产成本决定了产品的价格走势。“十一五”期间,国民经济快速发展拉动了水泥需求增长,原材料、能源、人工成本上涨决定了水泥产品价格上扬的走势,“十一五”水泥工业增加值年均增长率达到 17% 以上(见表 2-4-2)。

表 2-4-2 “十一五”期间全国水泥工业增加值

年 份	工业增加值/亿元	年增长率/%
2005	822(822)	9.95
2006	1 035(1 012)	23.11
2007	1 254(1 183)	16.86
2008	1 063(1 332)	12.61
2009	1 909(1 607)	20.61
2010	2 159(1 938)	13.1

注:工业增加值括号内数据为 2005 年价格,括号外数据为当年价格;增长率按可比价格计算。
数据来源:中国水泥年鉴,2010。

1.4 技术装备水平

“十一五”期间,水泥工业技术进步特别是围绕节能减排、发展循环经济、资源综合利用有很大突破。实现了日产万吨级水泥熟料生产装备国产化,中国自行研发、设计、制造的水泥装备水平达到国际先进水平,依托自主开发的成套技术,广泛参与海外水泥生产线建设工程总承包,带动了大型成套水泥装备批量出口,2010 年中国水泥工程建设占国际市场 40% 以上的份额。水泥窑余热利用、协同处置各种垃圾、工业废物资源化等方面的技术装备研究及转化为生产力方面取得可喜成绩。

1.5 水泥工业能源消费结构

2009 年水泥制造业能源消耗总量 1.53 亿 t 标准煤(见表 2-4-3),煤炭和电力消耗折合标准煤占能源消耗总量的 97.2%,其中煤炭消耗占 86.18%;2009 年水泥制造业能源消耗总量占建材工业的 72.39%,工业增加值占 27.27%。

表 2-4-3 水泥制造业能源消费结构

能源品种	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年
煤炭/万 t	14 639	16 310	17 411	17 607	18 686	21 693
其中:原煤/万 t	14 433	16 004	17 066	17 154	18 176	—
洗煤/万 t	135	189	311	412	495	—
粉煤/万 t	70.56	117	30.28	17.6	15	—
电力/亿 kWh	918.26	1 042	1 186	1 263	1 376	—
柴油/万 t	31.11	33.31	49.81	40.38	42.7	—
煤矸石/万 t	160.33	114.77	533	600	515	—
工业废料和城市固体垃圾/万 t 标准煤	—	—	27.25	22.81	11.9	—
综合能源消费量/亿 t 标准煤	1.17	1.31	1.42	1.43	1.53	1.82

数据来源:中国水泥年鉴,2010。

1.6 水泥万元增加值能耗

水泥工业能源消耗总量年均增长速度低于同期工业增加值年均增长速度。2010年水泥工业能源消耗总量增长率为18.45%，同期万元增加值能耗增长率为1.5%（见表2-4-4）。

表2-4-4 能源消耗总量及万元增加值能耗

年份	能源消耗总量/ 万吨标准煤	增长/%	万元增加值综合能耗/ (t标准煤/万元)	降幅/%
2005	11 728	13.97	13.97	-7.45
2006	13 102	12.69	12.69	-9.17
2007	14 191	11.71	11.71	-7.69
2008	14 323	10.47	10.47	-10.59
2009	15 348	9.24	9.24	-11.73
2010	18 180	18.45	9.38	1.5

注：工业增加值按2005年价格计算，综合能源消耗量为水泥能源消耗总量扣除能源转换和回收利用量。

数据来源：中国水泥年鉴，2010。

1.7 水泥单位产品能耗

水泥工业单位产品能耗逐年下降。2010年吨水泥综合能耗平均96.7kg标准煤，比2009年下降6.8%，比2005年下降25.3%（见表2-4-5）；2010年吨水泥综合电耗平均91.7kWh，比2009年下降3%，比2005年下降7.7%；2010年吨水泥熟料烧成煤耗平均119.4kg标准煤，比2009年下降3.8%，比2005年下降19.4%。

表2-4-5 水泥单位产品能源消耗

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
熟料综合能耗/(kg标准煤/t)	148.1	140.73	136.25	130.56	124.02	119.37
水泥综合能耗/(kg标准煤/t)	129.4	123.8	117.9	111.1	103.8	96.7

注：2010年数据为预测值。

数据来源：中国水泥年鉴，2010。

1.8 单位产品能耗比较

中国水泥工业经历了由干法中空窑、湿法窑、立窑、窑外分解窑（新型干法窑）

主导全行业的四个阶段。目前新型干法工艺生产的水泥已占到 80%，但仍有 20% 的水泥由耗能高的干法中空窑和立窑生产的；从生产能力角度讲，还有 30% 属于落后工艺生产能力；中国新型干法水泥生产工艺的发展比国外晚了约 15 年，新型干法水泥技术装备的发展，经过原始创新、引进技术、消化吸收、集成创新的过程，在发展过程中形成了起步晚、起点高的特征，但 20 世纪发展的新型干法工艺水平和目前相比还存在一定差距，基于以上原因中国水泥行业平均能耗与国际先进水平相比还存在一定差距（见表 2-4-6）。

表 2-4-6 不同规模生产线及水泥粉磨企业能效水平和国内外先进水平比较

生产线规模	单位	国际先进水平	国内先进水平	全国平均水平
1 000 ~ 2 000t/d (含 1 000t/d)	熟料综合电耗/(kWh/t)	66	73	82
	熟料综合煤耗/(kg 标准煤/t)	108	115	130
	熟料综合能耗/(kg 标准煤/t)	116	124	140
	水泥综合电耗/(kWh/t)	89	100	110
	水泥综合煤耗/(kg 标准煤/t)*	83.5	89	100
	水泥综合能耗/(kg 标准煤/t)**	94.5	101	113.5
2 000 ~ 4 000t/d (含 2 000t/d)	熟料综合电耗/(kWh/t)	58	65	74
	熟料综合煤耗/(kg 标准煤/t)	104	108	118
	熟料综合能耗/(kg 标准煤/t)	111	115	127
	水泥综合电耗/(kWh/t)	83	90	100
	水泥综合煤耗/(kg 标准煤/t)*	80.5	83.5	91
	水泥综合能耗/(kg 标准煤/t)**	90.5	94.5	103.5
4 000t/d 以上 (含 4 000t/d)	熟料综合电耗/(kWh/t)	55	57	65
	熟料综合煤耗/(kg 标准煤/t)	100	104	111
	熟料综合能耗/(kg 标准煤/t)	107	111	119
	水泥综合电耗/(kWh/t)	80	85	95
	水泥综合煤耗/(kg 标准煤/t)*	77.5	80.5	86
	水泥综合能耗/(kg 标准煤/t)**	87.5	91	97.5
60 万 t/a	水泥综合电耗/(kWh/t)	34	36	40
80 万 t/a	水泥综合电耗/(kWh/t)	33	35	39
120 万 t/a	水泥综合电耗/(kWh/t)	32	34	38

注：* 水泥综合煤耗 = 熟料综合煤耗 × 75% + 2.5，其中 2.5 为混合材单独烘干煤耗；

** 水泥综合能耗 = 熟料综合煤耗 × 75% + 水泥综合电耗 × 0.1229 + 2.5。

数据来源：水泥企业能效对标指南。

1.9 二氧化碳排放现状

水泥工业是二氧化碳排放大户,排放总量约占中国全社会排放总量的15%。水泥生产工艺包括原料开采及输送、生料和燃料制备、水泥熟料煅烧、余热发电或其他废热利用、水泥制备及发送、厂内外车辆运输、辅助生产过程等,所有这些生产工艺过程都需要消耗一定的能量,形成二氧化碳排放单元。

水泥生产二氧化碳排放分为直接排放和间接排放。熟料煅烧过程中,石灰石中碳酸盐分解和燃煤产生的二氧化碳为直接排放;生产工艺过程消耗的外部电力折算的排放量为间接排放。每个水泥企业所用原燃材料、工艺过程、装备配置不同,企业二氧化碳排放量也会有差异。

行业二氧化碳排放总量的计算依据抽样调查和统计分析,由于原料中的碳酸盐(氧化钙和氧化镁)分解,每生产1t水泥熟料会产生0.545t二氧化碳,根据当年熟料总量计算碳酸盐分解产生的二氧化碳量;根据行业分燃料品种的二氧化碳排放因子(见表2-4-7),依据水泥行业能源消费总量和能源消费结构比例(见表2-4-8),分别计算各种能源二氧化碳排放量,两者之和为行业二氧化碳排放总量(见表2-4-9),其他因素忽略不计。

表 2-4-7 水泥行业能源排放因子数据

燃料	煤炭	电力	其他(焦炭、柴油等)
排放因子	2.46	0.86	2.99
排放因子单位	tCO ₂ /t	kgCO ₂ /kWh	tCO ₂ /t

数据来源:发改委能源所。

表 2-4-8 水泥行业能源消费量及构成

年份	能源消耗总量/ (万 tce)	主要能源消耗量/(万 tce)及占总量的比重/%		
		煤炭	电力	其他
2005	11 728	10 275(87.6)	1 126(9.6)	328(2.8)
2006	13 102	11 648(88.9)	1 284(9.8)	223(1.3)
2007	14 191	12 417(87.5)	1 462(10.3)	312(2.2)
2008	14 323	12 447(86.9)	1 547(10.8)	329(2.3)
2009	15 348	13 227(86.2)	1 688(11.1)	430(3.8)
2010	18 180	15 489(85.0)	2 000(11.0)	727(4.0)

表 2-4-9 全行业水泥生产过程产生的 CO₂ 排放量单位:(亿 tCO₂)

年 份	燃煤 排放量	电力 排放量	其他 排放量	碳酸盐分解 排放量	CO ₂ 排放总量
2005	25 276.5	968.36	980.72	41 677	68 902.58
2006	28 654.08	1 104.24	666.77	47 594	78 019.09
2007	30 545.82	1 257.32	932.88	52 139	84 875.02
2008	30 619.62	1 330.42	983.71	52 870	85 803.75
2009	32 538.42	1 451.68	1 285.7	58 806	94 081.8
2010	38 102.94	1 720	2 173.73	64 256	106 252.7

注:每年各种能源排放因子取固定值。

2 水泥行业未来发展趋势

2.1 水泥需求量

水泥工业“十二五”发展规划指出：“十二五”期间，随着经济发展方式加快转变，国内市场对水泥总量需求将由高速增长逐步转为平稳增长，增速明显趋缓。但水泥基础材料及制品发展加快。据行业专家估计，2015年水泥产量将达到23.5亿t，与2010年相比增长了25%，年均增长4.6%；2020年水泥产量预计达到24.5亿t，与2015年相比仅增长了4.3%，年均增长仅0.8%。

另外，也有专家预测，“十二五”期间国民经济如保持7%的年均增长速度，在不考虑通货膨胀因素的情况下，固定资产投资的增长速度将不会低于17%，由此来推算，“十二五”期间中国水泥产量平均增长速度可达到5%~6%，水泥市场容量将超过23.5亿t的预期。

2.2 “十二五”期间的主要发展目标

到2015年，规模以上企业工业增加值年均增长10%以上，淘汰落后水泥产能，主要污染物实现达标排放，协同处置取得明显进展，综合利用废弃物总量提高20%，42.5级及以上产品消费比例力争达到50%以上，前10家企业生产集中度达到35%以上。表2-4-10为水泥工业“十二五”期间的主要发展目标。

表 2-4-10 水泥工业“十二五”期间的主要发展目标

指 标	2010 年	2015 年	年均增长
规模以上工业增加值年均增长/%	—	—	>10
淘汰落后产能/亿 t	—	[2.5]	—
前 10 家企业生产集中度/%	25	35	[10]*
水泥散装率/%	48	65	[17]*
低温余热发电生产线比例/%	55	65	[10]*
协同处置生产线比例/%	—	10	—
单位工业增加值 CO ₂ 排放量降低/%	—	—	[17]
氮氧化物排放总量降低/%	—	—	[10]
SO ₂ 排放总量降低/%	—	—	[8]
规模以上企业研究与试验发展经费支出占销售收入的比重/%	—	>1.5	—

注：[] 为五年累计数；* 为 2010 年比 2005 年增加或减少的百分点。

数据来源：水泥工业“十二五”发展规划。

2.3 能源消费量和碳排放趋势

根据行业专家分析,水泥行业 2015 年能源消费量将达到 2.09 亿 t 标准煤,与 2010 年相比增长了 15%,2020 年能源消费量继续增加达到 2.2 亿 t 标准煤,与 2015 年相比仅增长了 5.3%。

水泥行业 2015 年二氧化碳排放量将达到 12.35 亿 t,与 2010 年相比增长了 16%,2020 年二氧化碳排放量继续增加到 13.23 亿 t,与 2015 年相比仅增长了 1.4%。

水泥行业 2015 年和 2020 年的能源消费量及二氧化碳排放趋势见表 2-4-11。

表 2-4-11 水泥行业能源消费量及 CO₂ 排放趋势

年 份	2005	2010	2015	2020
工业增加值/亿元(2005 年价)	822	1 938	3 121	4 586
工业增加值年均增长率/%	9.95	18.71	10	8
水泥万元增加值能耗/ (t 标准煤/万元)(2005 年价)	14.27	9.38	6.7	4.8
能源消费量/万 t 标准煤	11 728	18 180	20 925	22 050
能源消费结构/%	14 433	15 489	17 159	17 640
其中:原煤/万 t	135			
洗精煤/万 t	70.56	2 000		
其他洗煤				
电力/亿 kWh	31.11	—	2 825	3 308
柴油/万 t	918			
焦炭/万 t	27.77	—		
热力/10 ² 亿 kJ	—			
煤矸石/万 t	—			
工业废料和城市固体垃圾/ 万 t 标准煤	—			
其他/万 t 标准煤	—	727	942	1 103
CO ₂ 排放量/万 tCO ₂	68 903	106 253	123 485	132 323
产品产量/万 t				
其中:熟料	76 472	117 900	152 750	159 250
水泥	106 885	187 600	235 000	245 000
单位产品能耗/(kg 标准煤/t)				
其中:熟料综合能耗	148.1	119.37	110	100
水泥综合能耗	129.4	96.7	93	90

注:2015 年和 2020 年数据为预测值;随着水泥工业协同处置各种废弃物的增加,行业用煤量比例会随之减少,其他能源消耗比例相应增加。

数据来源:中国水泥年鉴。

3 水泥行业关键减排技术选择

3.1 关键减排技术选择原则

关键减排技术选择原则:国家政策支持、减排潜力大、推广空间广、竞争力强、先进高效率、受企业欢迎的节能减排技术。

3.2 关键减排技术选择

3.2.1 纯低温余热发电技术

在新型干法水泥熟料煅烧过程中,由窑尾预热器、窑头熟料冷却机等排掉的400℃以下低温废气余热,其热量约占水泥熟料烧成总耗热量的30%,除部分用于生料烘干外,尚有约20%的余热可以利用。

将排掉的400℃以下低温废气余热转换为电能并回用于水泥生产,可使水泥熟料生产综合电耗降低60%或水泥生产综合电耗降低30%以上,可减少二氧化碳等废气的排放,还避免了水泥窑废气余热直接排入大气造成的热岛现象,有利于保护环境。

纯低温余热发电主要是在水泥生产线窑头和窑尾有大量废气排出的地方设置余热锅炉(分别称为AQC炉和SP炉),通过余热锅炉内水与热烟气进行换热,产生一定温度和压力的过热蒸气,进入汽轮发电机组进行发电。

熟料生产线采用5级预热器时,吨熟料发电量可达30~35kWh,采用4级预热器时,吨熟料发电量可达36~40kWh。余热发电量是水泥熟料生产用电量的25%~30%,平均供电成本约16元/kWh,每千瓦装机投资平均6600元人民币,发电7200kWh,减少二氧化碳排放6200kg。2020年每千瓦装机投资平均7000元人民币,发电7300kWh,减少二氧化碳排放6278kg。

截至2010年底,还有300条2000t/d及以上生产线没有安装余热发电装置。根据“十二五”水泥需求预测,预计水泥还有3亿t的发展空间,加上继续淘汰2.5亿t落后水泥生产能力(2011年全国公布淘汰落后水泥生产能力共1.53亿t),届时新增熟料生产能力3.6亿t,还要新建约230条5000t/d新型干法熟料生产线;随着余热发电技术装备的不断进步,前些年投运的余热发电组不管是设备性能还是系统热效率水平相对较低,因此余热发电技术改造提上了议事日程,红狮、华润集团已开始了改造工作,预计约有300个余热发电项目要实施技术改造。

3.2.2 水泥窑协同处置生活垃圾、污泥等废物

从建设部获悉,2010 年中国城市生活垃圾清运(清扫运出)量为 1.6 亿 t,含水 80% 的污泥近 3 000 万 t。温家宝总理 3 月 24 日召开的国务院常务会议提出:“力争到 2015 年全国城镇垃圾无害化处理率达到 80% 以上。”据此,水泥行业可以利用自身工艺的独特优势,在垃圾无害化处理、处置上大显身手。

垃圾处理一般采用填埋、焚烧、发电及利用水泥窑协同处置的方式,垃圾填埋处理不但需要不断征用土地,而且造成地下水和土壤的污染;焚烧和发电均产生灰渣和收尘飞灰,需进行二次处理,而且焚烧过程伴随产生二噁英的风险。虽然垃圾焚烧炉方式曾在欧美国家盛行过,但二噁英污染风险和投资运行成本过高的两大弊端,使得垃圾焚烧在经历了 20 世纪 80 年代的高潮之后逐渐退出市场。德国、荷兰、比利时、意大利等都早已相继颁布了“焚烧炉禁建令”或部分禁建令;日本高峰期建设有 6 000 多座垃圾焚烧设施,目前仅存 1 280 座。即使属于发展中国家的菲律宾,也颁布了垃圾焚烧设施建设的禁令。

生活垃圾处理首先应本着无害化、减量化和资源化三项原则进行,但中心是无害化和安全性,没有无害化和安全性,单纯的减量化和资源化的做法是不可取的。垃圾处理需解决以下三个问题:第一是灭菌、除臭;第二是避免重金属对水体、土壤的污染;第三是避免二噁英等有毒有害物质的产生。其中要害是避免重金属对水体、土壤的污染,核心是避免二噁英等有害物质的产生。

新型干法预热器内无氧或微氧,不具备氯化物燃烧条件。温度高于 500℃,原料经过烘干处理基本没有水分,不具备二噁英生成条件;回转窑内热力强度大,燃烧时间长,可避免二噁英的产生。因此,新型干法应是目前处置城市生活垃圾最为安全和经济的方法,是目前唯一不产生二噁英的有效方法。

水泥窑协同处置生活垃圾及各种废弃物与其他方式处置废弃物相比具有节能、环保、经济的优势,还可替代水泥生产所需的部分燃料和原料,减少天然矿物资源的消耗,有利于水泥行业低碳发展,同时还可节约用于垃圾堆放和填埋所占用的土地资源。因此,利用水泥窑协同处置生活垃圾及各种废弃物是目前国际上公认的处置手段,发达国家的水泥行业利用水泥窑协同处置生活垃圾及各种废弃物已有 30 多年安全运行历史和经验。水泥窑协同处置生活垃圾工艺流程见图 2-4-1,水泥窑协同处置生活垃圾(污泥)工艺流程见图 2-4-2。

中国也有 10 多年的处置经验,金隅集团北京水泥厂早在 1998 年就利用日产 2 000t 水泥窑进行废弃物处置,主要针对北京的石油、化工、汽车、医药、冶金和建材、实验室等单位产生的《国家危险废弃物名录》中所列 47 类中的 30 类废物进行安全处置。2005 年北京水泥厂专门兴建 1 条日产 3 200t 水泥熟料生产线以协同处置 10 万 t 危险废物。2009 年 10 月在水泥厂内建成设计处置 500t/d (含水 80% ~ 85%) 污泥热干化预处理线,干化污泥在 3 200t/d 水泥熟料生产

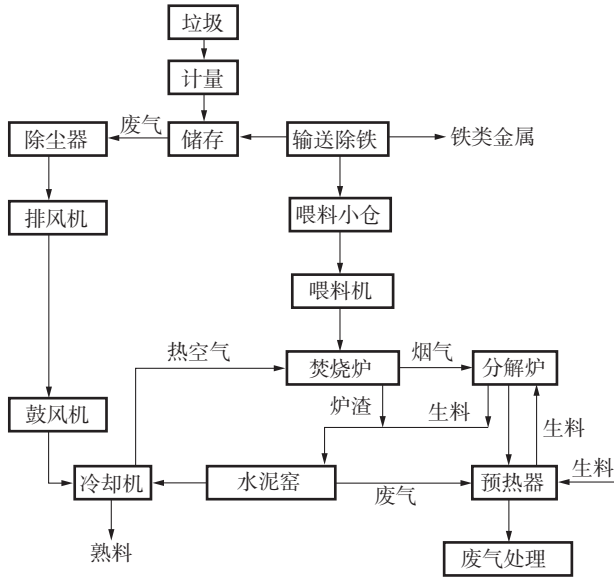


图 2-4-1 水泥窑协同处置生活垃圾工艺流程示意图

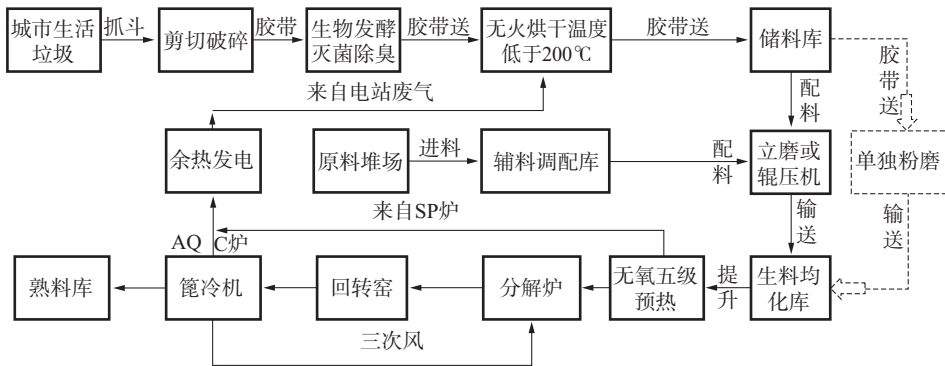


图 2-4-2 水泥窑协同处置生活垃圾(污泥)工艺流程图

线焚烧处置。目前每天处置量 400t/d。北京水泥厂是奥运会期间北京市唯一没有停产的工厂。

广州华堡水泥有限公司投资 7 070 万元,利用 1 条 6 000t/d 水泥熟料生产线改造成日处理 600t(含水 80%)城市污泥工程。自 2009 年 8 月 21 日投运,共处置了广州市生活污水污泥 13 万 t。经过一年多的运行,系统可靠,操作简便,对污泥的适应性强。经热工标定,处置能力达 736t/d,污泥干化后可替代燃料和作为脱硝材料使用。按照 600t/d 的设计处理能力运行,该项目每年可节约标准煤 1.36 万 t,减少二氧化碳排放 3.4 万 t,避免污泥填埋而减少甲烷排放 5 000t,相

当于每年减少二氧化碳排放 10.5 万 t。全国人大委员会副委员长陈至立、原工信部部长李毅中都亲自带队去该厂调研考察过,并给予高度评价。

安徽海螺集团与日本川崎公司联合开发了水泥窑和气化炉相结合的处置城市垃圾技术,利用铜陵海螺水泥 2 条 5 000t/d 水泥熟料生产线,建设日处理生活垃圾 600t 的生产线。一期工程于 2010 年 4 月 10 日投运,日平均处理生活垃圾 230t,全部处置铜陵市产生的生活垃圾。

湖北华新公司投资 6 500 万元在武穴工厂建设日处理 500t 的生活垃圾生产线,2010 年 4 月建成投产。华新水泥稀归水泥公司 2010 年 7 月建成利用水泥窑协同处置三峡库区漂浮物项目,设计日接受处理能力 1 000m³,年处理能力达 30 万 m³,目前已经处理漂浮物 10 万 m³。节约标准煤 2 万 t。减少二氧化碳排放 5 万 t,吨二氧化碳减排成本 1 300 万元。为三峡库区漂浮物提供了安全、环保的末端处置方式。该项目纳入《生态文明建设与可持续发展》的典型案列。

除了上述企业从事水泥窑协同处置废弃物工业实践外,还有天津水泥股份有限公司、青海水泥有限责任公司、甘肃永登水泥有限公司、重庆拉法基瑞安(重庆南山)水泥有限公司、宁波富达股份有限公司、吉林亚泰水泥有限公司等也先后获得危险废物经营许可,进行工业有毒有害废物的水泥窑处置试验工作,部分工厂已经形成一定的处置规模。处置的废物主要有化工油泥、石化污泥、金属加工业污泥、漆渣、废轮胎、有毒化工废料、有毒土壤等,但处置规模相对较小,尚不能充分发挥水泥工业废物处置的潜力。

利用水泥窑协同处置废弃物将是“十二五”期间水泥工业节能减排的新亮点,是水泥工业在建设资源节约型、环境友好型社会上的突出表现,符合国家“十二五”规划纲要的指导思想,也是水泥工业“十二五”期间在资源节约、环境保护方面的节能减排指标内容。国家“十二五”规划纲要已明确提出支持水泥窑协同处置城市生活垃圾、污泥生产线。

中国水泥协会的调查证明,水泥窑协同处置废弃物项目发展迅速,初步统计到 2011 年 5 月底已投产运行约 19 个企业 20 条生产线。目前在建、拟建的项目多达约 130 项,投资规模达 55 亿元,涉及垃圾、污泥、危险废弃物及其他废弃物等的处置,年总处置能力达 1 000 万 t。预计“十二五”期间水泥工业协同处置废弃物将取得重大突破。

3.2.3 粉磨节能技术

粉磨是水泥生产过程中用电量最大的环节。水泥生产称为“三磨一烧”的工序,“三磨”即生料制备、煤粉制备和水泥粉磨,其电量消耗占水泥生产综合电耗的 72%,其中,生料粉磨电耗约占水泥生产总电耗的 24%,水泥粉磨电耗约占水泥生产总电耗的 38%。目前,新建水泥企业原料粉磨大部分采用立磨,水泥粉磨采用辊压机,目前中国所建设的新型干法水泥生产线中,立磨、辊压机、

高效选粉机、高细高产筛分磨等技术装备已经被广泛采用。国外使用辊磨和辊压机作为终粉磨系统在水泥粉磨中已经广泛应用,中国水泥企业由于担心产品性能方面的问题,采用辊磨终粉磨系统磨制水泥在国内的推广应用受到一定限制。

粉磨水泥时辊磨的粉磨效率是球磨机的 1.6~1.8 倍,系统节电 30% 以上。熟料温度、入料粒度、磨损程度等对产量和电耗均有较大影响。关键是终粉磨水泥性能,要通过调节粉磨压力、挡料圈高度、风速风量,控制出口温度,采用高性能选粉装置等措施优化水泥颗粒级配,保证产品性能。

对磨机系统进行优化并加强管理,水泥综合电耗平均降低 1kWh/t 是完全可能的。2010 年中国水泥年产量已达 18.8 亿 t,若按水泥粉磨电耗,则每年可节电 20 亿 kWh。1kWh 电价以 0.6 元计,则每年减少粉磨成本近 12 亿元,相当于节约标准煤 70 万 t,减少二氧化碳排放 177 万 t。

3.2.4 电石渣替代石灰石

电石渣是电石水解后产生的废渣,每吨电石水解后约产生 1.15t 电石渣。电石渣的主要成分是 $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaO 含量通常高达 65%, pH 值 >13。电石渣中的细颗粒较多,1~50 μm 颗粒占 60%~80%,从乙炔发生器中排出的电石渣水分高达 90% 以上,经沉降池浓缩后,水分仍有 75%~80%。电石渣浆流动性差,正常流动时的水分在 60% 以上。

目前全国电石渣年产出量为 2 000 多万 t,历年堆积的电石渣量逾亿 t,长期以来,电石渣的处理通常采用露天堆放的方式,污染土壤和浅层地下水,使土壤碱化;长时间堆放又极易风干起飞灰,对周边环境污染很大,对环境构成严重威胁;大量电石渣的堆放还挤占宝贵的土地资源。因此,电石渣属于难以处理的工业废弃物。如何对其综合利用,使其资源化,一方面减少电石渣对环境的污染,另一方面变废为宝。

在国外,生产聚氯乙烯主要是通过石油的裂变来获取,对电石的利用趋于萎缩,利用电石渣作为水泥原料仅仅处于实验室阶段,未见在生产线上用电石渣替代石灰质原料生产水泥的报道。国内对电石渣的综合利用主要是生产涂料、墙体材料等建筑材料,但是使用量很小,只有作为水泥原料是电石渣综合利用中用量最大、最为彻底、技术上也是最为成熟的方法,因此电石渣作为水泥生产的原料成为综合利用的最主要途径。

国家发改委环资司《关于鼓励利用电石渣生产水泥有关问题的通知》(发改办环资[2008]981 号)要求:“新建、改扩建电石法聚氯乙烯项目,必须同时配套建设电石渣生产水泥等电石渣综合利用装置,其电石渣生产水泥装置单套生产规模必须达到 2 000t/d 及以上。”据此可以判定水泥配料使用电石渣将超过 2 000 万 t (化工等行业利用量很少可忽略不计,水泥企业还使用了以前堆积的电石渣);

2 000 万 t 电石渣可替代 2 700 万 t 石灰石,相应减少二氧化碳排放 1 188 万 t,吨二氧化碳减排成本 790 元。

3.2.5 其他节能技术

(1) 六级预热器预分解炉系统及二支承短回转窑

预分解系统的主要功能是利用窑尾排除的高温烟气及煤粉燃烧放出的热量,将生料加热分解后入窑煅烧。目前中国的预分解窑大部分为五级预热器,出预热器废气温度大多数为 320 ~ 340℃。增加一级预热器,推广六级预热器预分解炉系统,一般废气温度可降低 30℃。

山东泗水大宇 7 500t/d 生产线窑尾预分解系统采用了六级预热器系统,预热器出口温度基本在 280 ~ 300℃,较普通的五级预热器系统废气温度降低 30℃,烧成系统热耗可降低 75.3kJ/kg 熟料(18kcal/kg 熟料)。以 5 000t/d 生产线为例进行计算,年产水泥熟料 155 万 t,年节标准煤 400t,减少二氧化碳排放 984 万 t。

江苏京阳 5 500t/d 生产线回转窑采用了两档支撑短回转窑,实测回转窑表面散热仅为 100.4kJ/kg 熟料(24kcal/kg 熟料),较普通三档支撑回转窑降低约 20.9kJ/kg 熟料(5kcal/kg 熟料)。

(2) 第四代无漏料冷却机

篦式冷却机的主要功能是通过冷却风将高温熟料冷却至低温熟料,在此过程中冷风得到加热,以高温二次风、三次风方式入窑和入分解炉供燃料燃烧用。

第四代冷却机的热回收效率约为 74%,回收热量按照入冷却机的热料温度计算,全部热量约为 1 547kJ/kg 熟料(370kcal/kg 熟料),每提高 1% 的热回收效率则回收热 15.5kJ/kg 熟料(3.7kcal/kg 熟料),采用第四代无漏料冷却机热回收率较现有冷却机的热回收效率平均提高约 4%,相当于熟料烧成热耗降低 62.7kJ/kg 熟料(15kcal/kg 熟料)。

(3) 高性能耐火衬料

烧成系统耐火衬料主要起到隔热作用,降低窑筒体温度,相应减少筒体散热损失;能够承受高温热应力,确保物料在窑内煅烧。因此提高隔热衬料的隔热性能,降低筒体散热温度,必将减少散热损失。将现有烧成系统筒体散热散失减少 10%,则 2 500t/d 级生产线可减少散热损失约 30.1kJ/kg 熟料(7.2kcal/kg 熟料),5 000t/d 级生产线减少散热损失约 22.2kJ/kg 熟料(5.3kcal/kg 熟料)。

(4) 变频调速节能技术

目前,大部分水泥企业电动机全电压运行,用挡板、阀门来控制介质流量。这样,电动机从电网所吸取的能源的一部分,甚至一大部分被挡板、阀门消耗或旁通,造成了不必要的能源浪费。通过抽样调查估算,目前变频调速节能技术改造在大中型水泥企业应用率已达 50%,节电率可达约 30%,节能效益显著。

目前,水泥行业电机拖动系统的节能改造仍以实施变频调速为主,辅以对电机、风机进行性能优化和更新改造。据粗略统计测算,全国每年有 530 台大小不同的风机实施了变频调速节能改造,平均装机按 1 500kW、运转率按 7 200 h、节电率按 25% 计算,平均改造每台风机可实现年节电 270 万 kWh,相当减少二氧化碳排放 232 万 t。

3.3 关键减排技术汇总

2011—2020 年水泥行业重点推广的关键减排技术见表 2-4-12。

表 2-4-12 2011—2020 年水泥行业重点推广的关键减排技术

序号	技术名称	技术特征
1	纯低温余热发电(新技术、改造技术、示范技术)	在水泥生产线窑头和窑尾有 400℃ 以下废气排出的地方设置余热锅炉(分别称为 AQC 炉和 SP 炉),通过余热锅炉内水与热烟气进行换热,产生一定温度和压力的过热蒸气,进入汽轮发电机组进行发电。2015 年,水泥窑适合采用余热发电装置的生产线达到 100%
2	水泥窑协同处置污泥(新技术、改造技术、示范技术)	城镇污水处理厂污泥、工业污泥、河道清淤污泥含水率均在 60% 以上。污泥处置可综合考虑水泥厂生产情况、污泥泥质、污泥处理量等,选择污泥干化脱水工艺或污泥直接入窑污泥工艺。污泥作为水泥生产替代燃料时,应将污泥经干化或脱水工艺系统进行处理。干化处理后的污泥入窑焚烧,应满足在高于 850℃ 温区内,气体停留时间大于 2s 的要求,从而抑制二噁英的产生。2015 年污泥处理量为 781 万 t,2020 年达到 1 763 万 t
3	水泥窑协同处置生活垃圾(新技术、改造技术、示范技术)	城市生活垃圾含有一定的热量,可以代替部分燃料用于水泥熟料的烧制,降低熟料烧成煤耗;垃圾焚烧后的灰渣成分与黏土相似,可用作水泥硅铝质校正原料。水泥窑处理生活垃圾技术是利用水泥回转窑焚烧垃圾或将垃圾气化进行处理,可将垃圾热能和灰渣全部利用,不需要进行二次处理,投资省,费用低。2015 年生活垃圾处理量为 684 万 t,2020 年达到 1 512 万 t
4	辊磨终粉磨水泥(新技术、改造技术、示范技术)	国外使用辊磨和辊压机作为终粉磨系统在水泥粉磨中已经广泛应用,中国水泥企业由于担心产品性能方面的问题,采用辊磨终粉磨系统磨制水泥在国内的推广应用受到一定限制。粉磨水泥时辊磨的粉磨效率是球磨机的 1.6 ~ 1.8 倍,系统节电 30% 以上,通过调节粉磨压力、挡料圈高度、风速风量,控制出口温度,采用高性能选粉装置等措施优化水泥颗粒级配,保证产品性能。2015 年采用辊磨终粉磨技术粉磨水泥量为 10 000 万 t,2020 年达到 30 000 万 t

续表

序号	技术名称	技术特征
5	电石渣替代石灰石制水泥熟料(新技术、改造技术、示范技术)	湿法制乙炔时,从乙炔发生器中排出的电石渣水分高达 90% 以上,经沉降池浓缩后,水分仍有 75% ~ 80%;将湿排的电石渣采用压滤或吸滤工艺进行脱水,实现电石渣替代石灰质原料生产水泥。2015 年电石渣利用量为 2 325 万 t,2020 年为 3 488 万 t
6	六级预热器预分解炉系统及二支承短回转窑(新技术、改造技术、示范技术)	预分解系统的主要功能是利用窑尾排除的高温烟气及煤粉燃烧放出的热量,将生料加热分解后入窑煅烧。目前中国的预分解窑大部分为五级预热器,出预热器废气温度大多数为 320 ~ 340℃。增加一级预热器,推广六级预热器预分解炉系统,一般废气温度可降低约 30℃。预分解系统的主要功能是利用窑尾排除的高温烟气及煤粉燃烧放出的热量,将生料加热分解后入窑煅烧
7	第四代无漏料冷却机(新技术、改造技术、示范技术)	篦式冷却机的主要功能是通过冷却风将高温熟料冷却至低温熟料,在此过程中冷风得到加热,以高温二次风、三次风方式入窑和入分解炉供燃料燃烧用。采用第四代无漏料冷却机热回收率较现有冷却机的热回收效率平均提高约 4%,相当于熟料烧成热耗降低 62.7kJ/kg 熟料(15kcal/kg 熟料)
8	高性能耐火衬料	高性能耐火衬料可以降低窑筒体温度,相应减少筒体散热损失;窑筒能够承受高温热应力,提供水泥窑的运转率
9	变频调速改造(改造技术)	大部分水泥企业电动机全电压运行,用挡板、阀门来控制介质流量。这样,电动机从电网所吸取能源的一部分,甚至一大部分被挡板、阀门消耗或旁通,造成了不必要的能源浪费。电机拖动系统的节能改造仍以实施变频调速为主,辅以对电机、风机进行性能优化和更新改造

4 关键减排技术减排潜力及成本分析

4.1 纯低温余热发电技术

水泥行业纯低温余热发电技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-4-13 至表 2-4-15。

表 2-4-13 水泥行业余热发电投运情况及潜力

年 份	2005	2010	2015	2020
生产线/条	13	692	900	1 000
装机容量/MW	63	4 567	6 321	7 221
熟料产能/(万 t/a)	1 169	82 005	111 125	126 625
熟料总产量/万 t	76 472	117 900	139 500	151 900
未实施余热发电熟料产量/万 t	75 258	35 895	28 375	25 275

注:①2015 年实施余热发电的熟料生产线平均规模按 4 500t/d 计算;单线装机容量按 8MW 计算;发电机组年运转按 7 200h 计算。

②2020 年实施余热发电的熟料生产线平均规模按 5 000t/d 计算;单线装机容量按 9MW 计算;发电机组年运转按 7 300h 计算。

表 2-4-14 纯低温余热发电技术的减排潜力分析

年 份	2005	2010	2015	2020
纯低温余热发电技术单位产品的 CO ₂ 减排量/(kgCO ₂ /t 熟料)	24.1	29.2	31	32.7
无纯低温余热发电单位产品增加的 CO ₂ 排放量/(kgCO ₂ /t 熟料)	24.1	29.2	31	32.7
纯低温余热发电生产线熟料产量/万 t 熟料	1 169	82 005	111 125	126 625
纯低温余热发电 CO ₂ 减排量/万 tCO ₂	28.2	2 394.5	3 444.9	4 140.6
纯低温余热发电 CO ₂ 减排潜力/万 tCO ₂	1 813.7	756.1	879.6	826.5

注:①2005 年吨熟料余热发电量按 28kWh 计算;

②2010 年吨熟料余热发电量按 34kWh 计算;

③2015 年吨熟料余热发电量按 36kWh 计算;

④2020 年吨熟料余热发电量按 38kWh 计算;

⑤电力排放因子按 0.86kgCO₂/kWh 计算;

⑥余热发电 CO₂ 减排潜力等于未实施余热发电熟料产量乘上实施余热发电单位熟料 CO₂ 减排量。

表 2-4-15 纯低温余热发电减排技术的减排成本分析

年 份	2005	2010	2015	2020
余热发电减排技术的所有成本/(万元/a)	-857	-1 008	-1 296	-1 577
比较未实施余热发电技术的所有成本/(万元/a)	857	1 008	1 296	1 577
余热发电减排技术的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	1 814	1 048	879	826
余热发电减排技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ /a)	-0.94	-1.92	-3.31	-3.82

注:①以 5000t/d 熟料生产线装机 9MW 为例进行计算;

②2005 年生产期 20 年内平均成本(包括平均经营成本、建筑及设备折旧)为 0.14 元/kWh;2010 年为 0.16 元/kWh;2015 年为 0.20 元/kWh;2020 年为 0.24 元/kWh;

③2005 年发电机组年运转按 6 800h 计算;2010 年、2015 年、2020 年发电机组年运转分别按 7 000h、7 200h、7 300h 计算;

④余热发电 CO₂ 减排潜力等于未实施余热发电熟料产量乘上实施余热发电单位熟料 CO₂ 减排量。

4.2 水泥窑协同处置污泥技术

水泥窑协同处置污泥技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-4-16 和表 2-4-17。

表 2-4-16 水泥窑协同处置污泥技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
5 000t/d 单线年污泥处置量/(万 t/a·条)	18.6	21.7	23.6
实施污泥协同处置的水泥线数量/条	2	35	75
年污泥处置量/(万 t/a)	37.2	781.2	1 762.5
处理每吨污泥产生的节煤量/(kgce/t 污泥)	73.1	71.6	69.8
年处置污泥产生的节煤量/万 t	2.72	55.9	123
污泥处置 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	6.69	137.5	302.6
同步考虑甲烷减排污泥处置总 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	28.69	598.4	1 342.5

注:①进水泥厂污泥的含水率暂按 80% 考虑;

②2010 年 5 000t/d 水泥生产线单线处置污泥量 $600 \times 310 = 18.6$ 万 t 计算;

③2015 年 5 000t/d 水泥生产线单线处置污泥量 $700 \times 310 = 21.7$ 万 t 计算;

④2020 年 5 000t/d 水泥生产线单线处置污泥量 $750 \times 315 = 23.6$ 万 t 计算;

⑤每吨含水 80% 湿污泥处置产生的节煤量(不考虑水蒸发热耗)为 2010 年 73.1kgce/t 污泥,2015 年 71.6kgce/t 污泥,2020 年节煤率为 69.8kgkgce/t 污泥,每千克标准煤燃烧排放的 CO₂ 按 2.46kgCO₂/kg 计算;

⑥处置污泥 CO₂ 减排量潜力 = 年污泥处置量 × 吨污泥节煤量 × 每吨标准煤燃烧产生的 CO₂ 量;

⑦污泥填埋 1t 湿污泥约产生 29.5kg 甲烷,甲烷的温室气体效应是 CO₂ 的 20 倍,由此计算总 CO₂ 减排量。

表 2-4-17 水泥窑协同处置污泥技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
水泥窑协同处置污泥减排技术的所有成本/(万元/a)	10 416	203 112	435 000
水泥窑协同处置污泥的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	6.69	137.5	302.6
同步考虑 CH ₄ 减排污泥处置总 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	28.69	598.4	1 342.5
水泥窑协同处置污泥的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	1 556.3	1 477.1	1 397.9
同步考虑 CH ₄ 减排污泥处置总 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	363.1	339.4	315

注:2010年生产期20年内平均成本(包括平均经营成本、建筑及设备折旧)污泥处置成本为280元/t污泥;2015年为260元/t污泥;2020年为240元/t污泥。

4.3 水泥窑协同处置生活垃圾技术

水泥窑协同处置生活垃圾技术的减排潜力和成本分析结果见表2-4-18和表2-4-19。

表 2-4-18 水泥窑协同处置生活垃圾技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
5 000t/d 单线年生活垃圾处置量/(万 t/a·条)	15.5	17.1	18.9
实施垃圾协同处置的水泥线数量/条	2	40	80
年生活垃圾处置量/(万 t/a)	31	684	1 512
处理每吨生活垃圾产生的节煤量/(kgce/t 垃圾)	114.7	112.1	109.9
年处置生活垃圾产生的节煤量/万 t	3.56	76.7	166.5
生活垃圾处置 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	8.76	188.7	409.6
同步考虑 CH ₄ 减排生活垃圾处置总 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	66.79	1 469.1	3 240.1

注:①2010年5 000t/d水泥生产线单线处置垃圾量 $500 \times 310 = 15.5$ 万t计算;
 ②2015年5 000t/d水泥生产线单线处置垃圾量 $550 \times 310 = 17.1$ 万t计算;
 ③2020年5 000t/d水泥生产线单线处置垃圾量 $600 \times 315 = 18.9$ 万t计算;
 ④每吨生活垃圾处置产生的节煤量为2010年114.7kgce/t垃圾,2015年112.1kgce/t垃圾,2020年节煤率为109.9kgce/t垃圾,每千克标准煤燃烧排放的CO₂按2.46kgCO₂/kg计算;
 ⑤处置生活垃圾CO₂减排量潜力=年生活垃圾处置量×吨垃圾节煤量×每吨标准煤燃烧产生的CO₂量;
 ⑥填埋1t生活垃圾约产生93.6kgCH₄,CH₄的温室气体效应是CO₂的20倍,由此计算总CO₂减排量。

表 2-4-19 水泥窑协同处置生活垃圾技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
水泥窑协同处置生活垃圾减排技术的所有成本/(亿元/a)	0.31	6.16	12.1
水泥窑协同处置生活垃圾的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	8.76	188.7	409.6
同步考虑 CH ₄ 减排和生活垃圾处置总 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	66.79	1 469	3 240
水泥窑协同处置生活垃圾的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	353.9	326.2	295.3
同步考虑 CH ₄ 减排生活垃圾处置总 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂ ·a)	46.4	41.9	37.3

注:2010 年生产期 20 年内平均成本(包括平均经营成本、建筑及设备折旧)生活垃圾处置成本为 100 元/t 垃圾;2015 年为 90 元/t 垃圾;2020 年为 80 元/t 垃圾。

4.4 水泥辊磨终粉磨技术

水泥辊磨终粉磨技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-4-20 和表 2-4-21。

表 2-4-20 水泥辊磨终粉磨技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
水泥辊磨终粉磨技术生产单位产品的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 水泥)	0.024	0.024	0.024
水泥圈流球磨技术生产单位产品的 CO ₂ 排放量/(tCO ₂ /t 水泥)	0.036	0.036	0.036
应用水泥辊磨终粉磨技术的产品产量/(万 t/a)	600	9 000	25 000
水泥辊磨终粉磨技术的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	7.2	108	300

注:①电力消耗的二氧化碳排放因子按照 0.86kgCO₂/kWh;

②水泥辊磨终粉磨技术的系统电耗 28kWh/t;

③水泥圈流球磨技术的系统电耗 42kWh/t;

④2015 年拟建成 90 套 100 万 t/a 规模的水泥终粉磨系统,计算产量为 100×90=9 000 万 t/a;

⑤2020 年拟建成 250 套 100 万 t/a 规模的水泥终粉磨系统,计算产量为 100×250=25 000 万 t/a。

表 2-4-21 水泥辊磨终粉磨技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
水泥辊磨终粉磨技术与水泥圈流球磨技术的所有成本之差/(万元/a)	712.8	14 580	47 700
水泥辊磨终粉磨技术的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	7.2	108	300
水泥辊磨终粉磨技术的 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂)	-99	-135	-159

注:①水泥辊磨终粉磨技术生产每吨水泥的投资成本(初次投资为 3 000 万元,按照 20 年折旧,年产 240 万 t 水泥计算)为 0.63 元/t,能源成本为 15 元/t,人工和维护成本为 100 万元/a 或 0.42 元/t,节电效益 8.4 元/t 水泥,总计成本为 0.63+15+0.42-8.4=7.65 元/t;

②水泥圈流球磨技术生产每吨水泥的的投资成本(初次投资为 1 200 万元,按照 20 年折旧,年产 240 万 t 水泥计算)为 0.25 元/t,能源成本为 21 元/t,人工和维护成本为 60 万元/a 或 0.25 元/t,总计成本为 0.25+21+0.25=21.50 元/t;

③技术运行期为 20 年,对所有成本贴现,贴现率取 6%。

4.5 电石渣替代石灰石技术

电石渣替代石灰石技术的减排潜力和成本分析结果见表 2-4-22 和表 2-4-23。

表 2-4-22 电石渣替代石灰石制水泥熟料技术的减排潜力分析

年 份	2010	2015	2020
2 500t/d 单线可消纳电石渣量(干基)/(万 t/a·条)	77.5	77.5	77.5
实施电石渣制水泥熟料生产线数量/条	5	30	45
年电石渣处理量(干基)/(万 t/a)	387.5	2 325	3 487.5
处理电石渣减排 CO ₂ 量(1)/(万 tCO ₂ /a)	201.5	1 209	1 813
处理每吨电石渣产生的节煤量/(kgce/t 电石渣)	4.28	5.7	6.4
年处置电石渣产生的节煤量/万 t	1.66	13.25	22.32
因生产节能的 CO ₂ 减排潜力(2)/(万 tCO ₂ /a)	4.1	32.6	55
总 CO ₂ 减排潜力 = (1) + (2)/(万 tCO ₂ /a)	205.6	1 241.6	1 868

注:①电石渣替代石灰石制水泥熟料的减排;

②电石渣主要成分为 Ca(OH)₂, 加热分解为 CaO 和 H₂O, 传统水泥原料石灰石主要成分为 CaCO₃, 加热分解为 CaO 和 CO₂;

③使用电石渣替代石灰石生产水泥熟料可以减少 CO₂ 排放, 也实现了资源的综合利用, 对于环境保护具有重大意义;

④一般情况下, 1t 电石渣可以生产 1t 水泥熟料, 用电石渣生产水泥熟料可减排 CO₂ 约 0.52t;

⑤在电石渣替代石灰石制水泥熟料的过程中, 电石渣干燥需要耗能, 单位重量熟料形成过程能耗有所增加, 但因加热物料量减少所需热量减少, 入磨原料平均粒度减小生料粉磨电耗减低, 综合能耗略有下降。随着技术进步节能效果会不断提升;

⑥每千克标准煤燃烧排放的 CO₂ 按 2.46kgCO₂/kg 计算。

表 2-4-23 电石渣替代石灰石制水泥熟料技术的减排成本分析

年 份	2010	2015	2020
电石渣替代石灰石制水泥熟料技术的所有成本/(万元/a)	94 938	558 000	819 563
处理电石渣减排量/(万 tCO ₂ /a)	201.5	1 209	1 813
因生产节能的 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	4.1	32.6	55
总 CO ₂ 减排潜力/(万 tCO ₂ /a)	205.6	1 241.6	1 868
电石渣替代石灰石制水泥熟料总 CO ₂ 减排成本/(元/tCO ₂)	461.8	449.4	438.7

4.6 关键技术减排潜力及成本分析结果汇总

水泥行业关键减排技术的典型案例技术的减排潜力及成本分析结果汇总见表 2-4-24。实施关键减排技术的减排量所需投资汇总见表 2-4-25。

表 2-4-24 水泥行业关键减排技术的减排成本和潜力汇总

减排技术	减排潜力/万 tCO ₂			减排成本/(元/tCO ₂)		
	2010 年	2015 年	2020 年	2010 年	2015 年	2020 年
纯低温余热发电	1 048	783	826	-1.92	-3.31	-3.82
水泥窑协同处置污泥	28.69	598.4	1 342.5	363.1	339.4	315
水泥窑协同处置生活垃圾	66.79	1 469.1	3 240.1	46.4	41.9	37.3
水泥辊磨终粉磨	7.2	108	300	-99	-135	-159
电石渣替代石灰石	205.6	1 241.6	1 868	461.8	449.4	438.7
合计	1 356.28	4 200.1	7 576.6	389.38	391.39	387.18

表 2-4-25 实现关键减排技术减排量所需投资

减排技术	2015 年			2020 年		
	处理量	所需投资/ 万元	CO ₂ 减排量/ 万 t	处理量	所需投资/ 万元	CO ₂ 减排量/ 万 t
余热发电	3 621MW	4 171 860	3 445	7 221MW	5 054 700	4 140.6
污泥处理	781.2/万 t	203 112	598	1 763/万 t	435 000	1 343
生活垃圾	684/万 t	61 560	1 469	1 512/万 t	120 960	3 420
水泥辊磨	9 000/万 t	112 500	108	25 000/万 t	312 500	300
电石渣利用	2 325/万 t	558 000	1 242	3 488/万 t	819 563	1 868
合计		5 107 032	6 862		6 742 723	11 071.6

5 实施关键减排技术的政策建议

(1) 建立水泥企业技术研发中心

继续支持建立水泥企业技术研发中心,鼓励建立各种形式的技术联盟,支持企业技术研发中心、科研设计单位、高等院校开发节能减排技术和设备。

(2) 对节能减排技术给予财政奖励

对应用节能和资源综合利用的矿山开采技术、粉磨技术、煅烧技术、可替代原燃材料技术、变频调速技术、低温余热发电技术、自动检测控制技术及其他技术实现的节能量继续给予财政奖励。

(3) 实施经济政策鼓励淘汰落后和企业兼并重组

各级财政加大对淘汰落后生产能力企业的资金支持力度。金融部门对实施兼并重组的企业提供信贷支持。

(4) 对综合利用工业废渣等实施退税优惠政策

调整《资源综合利用目录》(水处理污泥、钢渣及钢渣粉等均没有列入废渣目录),落实水泥企业综合利用工业废渣按实际利用量实施退税优惠政策,制止地方税务部门为维护地方利益不执行有关规定的行为。

(5) 尽快解决水泥企业余热发电并网难的问题

水泥余热发电工程是中国十大节能工程之一,水泥厂余热发电量全部自用(余热发电量可满足工厂用电量的1/3)。因此水泥厂余热发电量入网的原则是并网不上网,但水泥企业余热发电并网问题在部分省份一直是老大难问题。

第一,电力部门以各种理由拒绝水泥企业并网,水泥企业余热发电项目在技术上完全具备并网条件后,往往因为并网问题得不到解决而迟迟不能正常并网发电。

第二,由于水泥厂余热发电量全部自用,电网企业与水泥企业不发生电量买卖关系,但是电网企业却按发电量的一定比例(各地比例不一)以发电成本价收购这部分电量,相当执行一般火力发电机组上网电价。

第三,电力行业要求水泥企业根据余热发电量的多少向电力部门交纳“系统备用费,并网费或管理费”等,而且各省市、地区所收费用差别很大。水泥企业认为所收费用不合理,多数是重复收费,此问题是企业并网普遍存在的问题。

第四,水泥窑余热发电并网后的管理也应规范,有的水泥企业余热发电机组启停机要受到电力调度部门的控制很不合理,只要水泥窑运转率均在90%以

上,窑转发电机组就不能停,因此,请国家有关部门统筹协调解决水泥企业余热发电并网、收费、管理的有关问题,制定余热发电并网的管理办法及收费标准。

(6)全方位鼓励和支持水泥厂承担城市废物处置的任务

建议国家有关部门提出全国 600 个大中型城市的新型干法水泥厂要承担城市废物处置任务;建设以协同处置城市废弃物为主要功能的水泥项目,应放宽项目核准限制,并给予贷款支持和财政补助(一条水泥窑协同处置改造工程投资费用在 8 000 万~10 000 万元,建议按每个改造工程给予 10% 的财政补助。“十二五”期间力争完成 100 个改造工程,总补助费用是 10 亿元);制定处置不同废物的资金补偿标准,并监督落实;协同对处置城市废弃物的水泥企业给予税收优惠。

第五章 建筑部门 2020 年减排技术的潜力和成本分析

引言

国内外针对长期碳排放的情景研究与关键减排技术与潜力的研究有很多,已经有较成熟的研究方法与成果。

对于长期碳排放的情景研究与减排潜力的估算有“自上而下”与“自下而上”两种不同类型的方法。自上而下的研究是从整体经济的角度评估各减缓方案的潜力,使用全球一致的框架和有关减缓方案的综合信息,并抓住宏观经济反馈和市场反馈。自下而上的研究突出强调具体的技术和规定,一般是针对行业的研究,这类研究将宏观经济视为不变,将各个行业估算进行综合累计,为这类评估提供一个有关总体减缓潜力的估算。总的来说,自下而上的研究更适合研究某一个行业的技术途径,自上而下的研究更适合评估跨行业和整体经济范围内的政策途径。

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)在全球层面的碳减排的情景分析上做了很多汇总、分类与创新的研究成果。2000年,IPCC发布了碳排放情景特别报告(SRES)。此报告中汇总了当时国际上对碳排放的诸多研究成果,针对强调经济发展与强调经济、社会、环境的可持续发展,强调国际范围与国家范围开展碳减排合作这两个不同的维度,总结分类出A1, A2, B1, B2四个情景族,从宏观上预测至2010年的潜在的碳减排情景,其方法偏向自上而下型。

IPCC在2001年发布的第3次评估报告与在2007年发布第4次评估报告中,发展了其碳减排模型,加入了更多自下而上的研究,比如从建筑、交通、制造业等多个行业角度的关键减排技术及特定政策方案进行了更细致的技术评估。随着这两个评估报告的发布,使自下而上和自上而下模式的预测结果变得更加类同,彼此都综合了更多技术相关的信息及宏观经济与市场层面的信息。对于建筑领域,针对全球范围提出了15条建议性的关键节能技术,部分给出了减排成本的估计,并对少量技术给出了减排潜力的估计。

针对中国的碳减排前景而言,国际能源机构(International Energy Agency, IEA)偏向“自上而下”的方法发表过一些研究成果。该机构每年都会发布世界能源展望,针对全球热点能源问题进行专题研究。在2007年世界能源展望中,有针

对性地作了中国的碳排放情景分析,给出了参考情景、可选择政策情景、高增长情景三种不同的情景结果,从宏观经济层面入手,兼顾技术因素进行了预测。

美国劳伦斯伯克利国家实验室(Lawrence Berkeley National Laboratory)在 2006 年出版的全球能源使用与温室气体排放趋势报告中,详细介绍了“自下而上”的减排技术分析,并进行了全球范围的分析。在 2007 年又发布了中国能源使用未来趋势研究报告,该报告详细地估算了住宅、商业、工业等行业的能源消耗及其构成,对部分碳减排关键技术进行了定性分析(LBNL,2007)。报告中涉及的建筑部门的减排技术见表 2-5-1。

表 2-5-1 2007 年中国能源使用未来趋势研究报告中建筑部门的减排技术

技术措施名称	北方城镇 集中采暖	城镇住宅 除采暖	公共建筑 除采暖	农村 住宅
结构保温材料			●	
双层玻璃幕墙			●	
被动式太阳能加热				●
热泵			●	
生物质液体燃料炉				●
高反射建筑材料			●	
直接蒸发冷却			●	
太阳能热水器		●		●
电热冷三联供	●			
区域供冷供热	●		●	
太阳能发电板			●	
空气/空气换热器				
淘汰低效照明(燃料)				●
推广高效照明(LED)			●	
高效家用冰箱		●		●
高效家用空调		●		●
加强超市冷冻技术			●	
风机水泵变频技术			●	
加强能源管理系统			●	

另外,麦肯锡等研究实力较强的咨询公司也针对中国使用“自下而上”方法作过较高水平的碳减排预测报告^①。报告中基于设定的不同情景,对中国高耗

^① McKinsey&Company, 中国的绿色革命——实现能源与环境可持续发展的技术选择, Feb. 2009.

能部门的个别减排技术的减排潜力和成本进行了估算。

由此可见,现有权威研究中对中国建筑部门总能耗预测及关键减排技术措施的成本与潜力的估计尚缺乏系统性研究。本报告从中国建筑能源分类方法、关键减排措施选择、减排成本与潜力等几个方面尝试性地提出了关于中国建筑部门未来 10 年减排途径的一些思考。

1 建筑部门能耗统计分类方法

本报告中将建筑界定居住建筑和公共建筑两类,而依照其所处行政区域又可以划分为城镇建筑和农村建筑。由于农村建筑中公共建筑(如学校、卫生所、小商店、行政机关等)面积总量较小,同时考虑到农村年鉴中统计数据的限制,故将农村公共建筑统归入农村住宅建筑当中。因此,中国民用建筑共划分为城镇住宅建筑、城镇公共建筑和农村住宅建筑三大类。

根据建筑的全生命周期定义,广义的建筑能耗包括原材料的开采、建材加工、构配件制造、规划设计、建筑施工、使用和维护、拆除报废和回收利用等多个过程中的总能耗。中国目前处于城市建设高峰期,城市建设的飞速发展促使建材业、建筑业飞速发展,由此造成的能源消耗,包括建筑材料生产用能、建筑材料运输用能、房屋建造、维修和拆毁过程中的用能较大。而人们在使用建筑过程中,比如建筑物照明、采暖、空调和各类建筑内使用电器等,消耗的能源总量更大。这类能耗称建筑运行能耗,它将一直伴随建筑物的使用而发生。总体来看,在建筑 50~70 年的生命周期中,建筑材料和建造过程所消耗的能源一般约占建筑全生命周期能源消耗的 20%,大部分能源消耗发生在建筑物运行过程中。而且,建材和建造能耗伴生于工业生产过程,其节能主要依靠技术水平的更新和发展;而建筑运行消耗能源的目的是为居住者或使用提供服务,由人直接控制和管理,除技术水平和能源使用效率外,人的行为对能源消耗高低具有很大影响。因此,建筑运行能耗应是建筑节能任务中最主要的关注对象,也是中国当前建筑节能的主要任务所在。

本报告中仅讨论建筑运行能耗,报告中提及建筑能耗均为建筑运行能耗。

建筑能耗数据是建筑节能工作的基础,这必然要求开展建筑能耗数据统计工作;而根据建筑能耗特点对建筑进行分类,又是能耗统计工作的基础。中国由于地域辽阔、气候复杂、地区经济水平差异大等原因,有必要根据中国建筑能源实际消耗的特点,对中国建筑进行合理分类。这样有利于清楚地认识中国各类建筑能耗的特点与发展趋势,从而有针对性地开展节能工作。

中国建筑能耗的总体特点为:

(1)南方和北方地区^①气候差异大,仅北方地区采用全面的冬季采暖,南北

^① “北方地区”指采取集中供热方式的省、自治区和直辖市,指秦岭缓和分界线以北的地区,包括:北京市、天津市、河北省、山西省、内蒙古自治区、辽宁省、吉林省、黑龙江省、山东省、河南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区。

采暖能耗差别巨大。中国处于北半球的中低纬度地区,地域广阔,从南到北分别跨越严寒、寒冷、夏热冬冷、温和以及夏热冬暖等多个气候带。在夏季,大部分地区最热月份的室外平均温度超过 26°C ,需要空调制冷。而在冬季,各地区气候差异很大:夏热冬暖地区冬季室外平均气温高于 10°C ,室内外温差不大;而严寒地区冬季室内外温差可高达 50°C ,全年5个月需要采暖。

比较中国南、北方建筑的能耗,发现如果去掉冬季采暖,则从北方到南方同类型建筑的能耗水平没有大的差异。因此,在统计中国建筑能耗时,把采暖能耗单独统计,这样其他类型的建筑用能就没有明显的地域特点,可以全国统一分析。

(2)城乡住宅能耗用量差异大。一方面,中国城乡住宅使用的能源种类不同:城市以煤、电、燃气等商品能源为主;而在农村,除部分煤、电等商品能源外,秸秆、薪柴等生物质能仍为很多地区农村居民的主要能源。另一方面,目前中国城乡生活水平差异仍较大,城乡居民平均每年消费性支出差异大于3倍,城乡居民各类电器保有量和使用方式也存在较大差异。因此,在统计中国建筑能耗时,将农村建筑用能分开单独统计。

(3)公共建筑除采暖外的单位建筑面积能耗,随规模和服务标准不同有很大差别。大量调查研究表明,与采暖能耗不同,公共建筑除采暖外的单位面积能耗随地域的变化不大,而与公共建筑的体量和规模成正比。当单栋面积超过 2万 m^2 ,并且采用中央空调时,其单位建筑面积能耗是普通规模的不采用中央空调的公共建筑能耗的3~8倍,并且其用能的特点和存在的主要问题也与普通规模的公共建筑不同。

依据上述特点,对目前中国建筑运行能耗划分为如下类型:

(1)北方城镇建筑采暖能耗。指中国淮河流域及其以北地区的城镇建筑冬季采暖能耗。在历史上,这一地区属于法定的“采暖区域”,基本全部的城镇建筑都采取了各种方式的冬季采暖。目前,中国北方地区约70%的城镇建筑面积在冬季采用了集中采暖,剩余约30%的城镇建筑面积采用各种分散分户式局部采暖。这部分能耗与建筑物的建筑物性能(包括保温水平、建筑物气密性等)、供热系统运行状况和采暖用户的采暖方式有关,但与建筑物的功能关系不大。

(2)夏热冬冷地区城镇建筑采暖能耗。指淮河流域以南地区,主要是长江流域地区的住宅建筑冬季采暖能耗。该地区的最冷月(1月)平均气温为 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$,室外温度偶尔也会降到 0°C 以下,大部分地区在冬季需要一定的热量来维持合适的室内温度。但由于该地区在历史上不属于法定“采暖区域”,因此目前该地区建筑物中,基本上采用的是与北方地区完全不同的局部采暖方式,主要形式包括热泵、直接电热、煤炉、炭炉等,一部分建筑冬季甚至无采暖,由此导致采暖能耗的特点也与北方地区完全不同。

(3)北方农村采暖能耗。农村住宅的采暖方式为分散采暖,主要能源为原煤和生物质能。根据气候的不同,进一步划分为北方农村采暖能耗和夏热冬冷地区农村采暖能耗。北方农村采暖主要以煤为主要能源,取暖方式大多以火炕和自制锅炉为主。

(4)夏热冬冷地区农村采暖能耗。处于夏热冬冷地区的长江流域农村,采暖需求与北方地区相比较小,但采暖形式多样,其中使用最广泛的是炭火炉、分体空调与电热毯。在湖南、湖北、安徽等地炭火炉使用比例可以达到约 60%,而分体空调与电热毯由于使用范围较小且使用时间较短,故耗电量不大。

(5)农村建筑除采暖外能耗。包括采暖、炊事、照明、家电等生活能耗。农村建筑(基本上全部为住宅建筑)能耗随着地域经济发展水平的不同有着很大的差异。此外,目前农村秸秆、薪柴等非商品能源消耗量很大,但是数量和种类都很难统计清楚,本节主要统计农村建筑的煤炭、电力等商品能源消耗,而本书提及的农村生物质能消费数据是根据大规模的个体调查获得。

(6)城镇住宅除采暖外能耗。包括炊事、照明、家电、空调等城镇居民生活能耗。除空调能耗因气候差异而随地区变化外,其他能耗主要与当地居民的生活方式有关。

(7)一般公共建筑除采暖外能耗。一般公共建筑,指单体建筑面积在 2 万 m^2 以下的公共建筑或单体建筑面积超过 2 万 m^2 ,但没有配备中央空调系统的公共建筑,包括普通办公楼、教学楼、商店等建筑,其能耗包括空调系统、照明、办公用电设备、饮水设备、电梯、其他辅助设备。

(8)大型公共建筑除采暖外能耗。大型公共建筑,指单体面积在 2 万 m^2 以上且全面配备中央空调系统的高档办公楼、宾馆、大型购物中心、综合商厦、交通枢纽等建筑。其能耗同样主要包括空调系统、照明、办公用电设备、饮水设备、电梯、其他辅助设备。

为了更加清晰明确地进行比较分析,本报告中,除了按照终端耗能用途划分为采暖、空调、家用电器、炊事和生活热水外,还依据上述建筑运行能耗详细分类,将建筑运行能耗归纳划分为四类:北方城镇集中采暖能耗;城镇住宅除集中采暖外能耗(包括以户为单元的分散采暖能耗);公共建筑除集中采暖外能耗(包括全楼或楼内的分散采暖能耗);农村住宅^①能耗。

建筑在实际运行与维护过程中需要消耗多种能源,下面就本报告中出现的几种能耗定义进行说明:

(1)一次能耗,即直接从自然资源中提取或捕获的、尚未经过任何形式加工

^① 由于统计数据限制,在本报告中,将农村中的公共建筑(如学校、卫生所、小商店、行政机关等)归为农村住宅建筑当中,并不归入公共建筑领域。

转化的商品能源消耗,包括不可再生能源(如化石燃料)和可再生能源(如生物质能、地热能、水电、核能、太阳能等)。在本报告计算中,对于终端电力消耗,通过当年全国平均火力发电煤耗换算为其一次能耗(单位:t标准煤^①);对于其他商品能源,则按照其低位发热量换算为其一次能耗(单位:t标准煤)。如无特殊说明,本报告中建筑能耗均指一次能耗。

(2)终端能耗,终端用能设备入口得到的能源。因此终端能耗等于一次能源消费量减去能源加工、转化和储运三个中间环节的损失和能源工业所用能源后的能源量。

(3)商品能耗,作为商品经由生产和流通领域大量消费的能源,主要包括煤炭、电力、石油和天然气等。由于非商品能耗统计困难,故本报告中主要就商品能耗进行计算分析。

^① 中国规定每千克标准煤的热值当量为7 000kcal。

2 建筑部门能耗和二氧化碳排放现状与发展趋势

2.1 建筑部门各类型建筑面积现状与趋势

2010年,中国总建筑面积约为456.5亿 m^2 ,其中城镇住宅144亿 m^2 ,城镇公建74亿 m^2 ,农村住宅234亿 m^2 。根据联合国最新人口预测,中国2030年总人口将达到14.6亿,而城市化率将可能突破65%。在此宏观预测数据下,若分类人均面积以现有趋势外推(情景0—基准情景),则2020年总建筑面积将达到578.7亿 m^2 ,较2010年增长了26.8%。而若以高收入发达国家(如美国)趋势预测(情景3—高收入发达国家趋势),则2020年中国总建筑面积将达到815亿 m^2 ,增长近80%,这对于全世界能源承载力来说都是不可接受的。可见,中国必须寻找在现有经济发展水平下的理性发展道路,严格控制中国各类型建筑面积的急速扩张。

在后续研究中,采用情景2(平衡经济发展情景)预测结果(见表2-5-1)。2020年,中国总建筑面积将达到578.7亿 m^2 ,较2010年增长了26.7%。图2-5-1为2005—2020年中国分类建筑(城镇住宅、农村住宅与城镇公建)面积。

表2-5-2 中国建筑面积现状及发展趋势

单位:亿 m^2

类别	现状		基准情景0—S0 现有趋势外推		情景1—S1 控制面积扩张		情景2—S2平 衡经济发展		情景3—S3高收 入发达国家趋势	
	2005年	2010年	2015年	2020年	2015年	2020年	2015年	2020年	2015年	2020年
建筑总面积	385.9	456.5	524.9	578.7	475.3	494.9	507.5	578.2	631.4	815
城镇住宅	107.7	144	173.2	200.3	162.9	183.2	173.9	214.6	228.7	327.2
城镇公建	56.8	74.1	95.6	107	87.8	97.6	104	134.6	109.6	145.3
农村住宅	221.4	233.9	256.1	271.4	224.6	214.1	232.6	229	293.1	342.5

注:①中国总建筑面积=城镇住宅面积+城镇公建面积+农村住宅面积(说明:农村公建面积数量极少,故纳入农村住宅面积当中,即农村住宅面积=农村总建筑面积);

②中国2030年人口预测为14.6亿(联合国预测结果);

③中国2030年城市化率预测为65%(中国发展研究基金会预测结果);

④人口数据来源:世界银行,the World Bank;

⑤S0为基准情景,人均建筑面积预测方法为历史数据回归法,其中城镇住宅与城镇公建为对数模型,农村住宅为线性模型;

⑥S1为控制面积扩张情景,设定2030年分类建筑的人均建筑面积增长上限值,线性回归得到逐年数据;

⑦S2为平衡经济发展情景,城镇住宅、城镇公建总面积年增长率逐年减缓(线性降低)模型,农村住宅采用人均面积线性增长模型;

⑧S3为高收入发达国家情景,人均建筑面积数据取自美国能源部DOE, Building Energy Data Book。

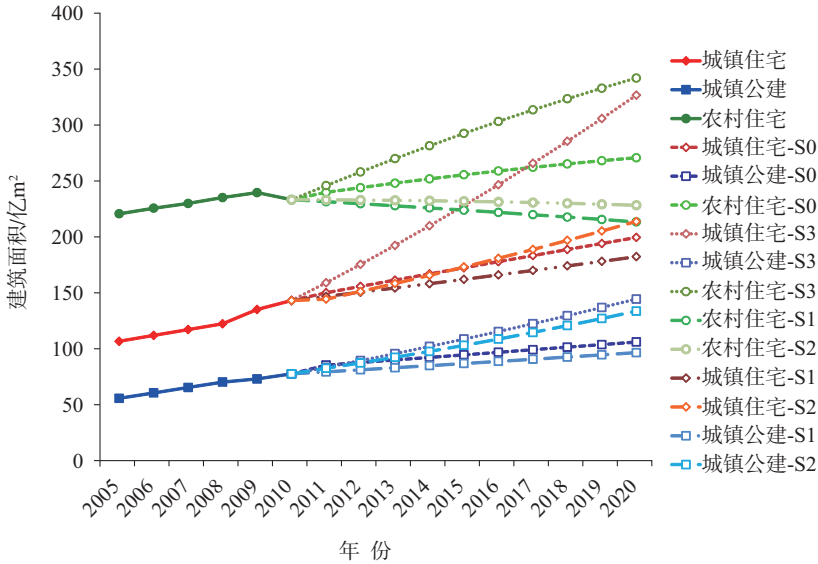


图 2-5-1 2005—2020 年中国分类建筑面积(城镇住宅、农村住宅与城镇公建)

2.2 建筑部门能源消费现状与趋势

根据中国建筑能耗模型(China Building Energy Model, CBEM)对中国建筑能耗现状和逐年发展过程的计算结果,2010 年中国建筑总一次能耗约为 6.77 亿标准煤(不含生物质能),约占当年全国总商品能耗的 20.9%(见表 2-5-3),而分品种能源消费量见表 2-5-4。考察终端能耗,建筑部门 2005—2008 年的商品能源以燃煤与电力为主,2008 年中国建筑总电力消耗约为 7 300 亿 kWh(清华大学气候政策研究中心,2011),约占当年社会总耗电量的 21.1%,并且每年消耗量持续稳定增长。

表 2-5-3 2005—2010 年中国建筑部门能源消耗及其占全国总能耗的比重(不包括生物质能)

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
建筑总能耗(杨秀,2010)/Mt 标准煤	481.93	506.44	544.71	581.06	628.17	677.46
全国总能耗*/Mt 标准煤	2 359.97	2 586.76	2 805.08	2 914.48	3 066.47	3 250
建筑占全国总能耗比例%	20.4	19.6	19.4	19.9	20.49	20.85

注: * 总能耗数据来源: 中国统计年鉴 2010, 表 7-2;

全国能源消费总量包括原煤和原油及其制品、天然气、电力,不包括低热值燃料、生物质能和太阳能等的利用,为一次能耗。

数据来源: 清华大学建筑节能研究中心,2012。

表 2-5-4 2005—2010 年中国建筑分品种能源消耗

单位: Mt 标准煤

年 份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
煤	215.47	216.58	221.81	231.74	238.08	245.58
油	12.30	12.21	12.73	14.57	16.33	16.94
燃气	58.56	64.69	75.21	77.60	85.43	91.46
电力*	195.60	212.96	234.96	257.15	288.33	323.48

注: * 电力采用等价热值法折算。

数据来源: 杨秀, CBEM 模型计算结果。

若以终端耗能用途(End-use)划分,拆分为采暖、空调、电器、照明、炊事和热水六个部分,见图 2-5-2。采暖能耗约占建筑总能耗的 35%,炊事能耗约占 17%,照明和空调能耗各约占 13%,家用电器和热水能耗各约占 11%。

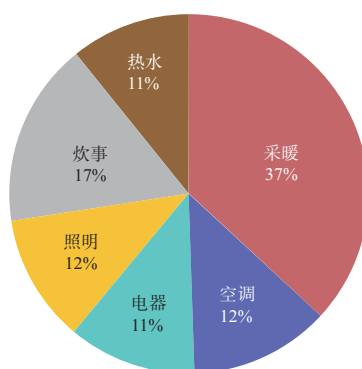


图 2-5-2 2010 年中国建筑部门分用途能源消费量构成

图注:①不包括农村生物质能;②农村分项比例根据《中国建筑节能年度发展报告 2010》中图 11-6 农村建筑比例估算。

若以建筑四种耗能子类(Sub-sector)划分,拆分为北方城镇集中采暖、城镇住宅除集中采暖外、城镇公共建筑除集中采暖外和农村住宅,见图 2-5-3。四个子类能耗总量及比例相近,分别占总能耗的 24.10%、24.12%、25.64% 和 26.11%。

根据中国各类型建筑面积数据,计算得到中国 2005—2010 年单位建筑面积一次能耗强度(见图 2-5-4)。2005—2010 年,中国单位建筑面积建筑总一次能耗强度由 12.5kg 标准煤/(m²·a)增长到 14.8kg 标准煤/(m²·a)。其中除北方城镇集中采暖的单位面积能耗随节能减排工作的推进而显著下降外,其他各类建筑能耗强度均表现出不同程度的增长。

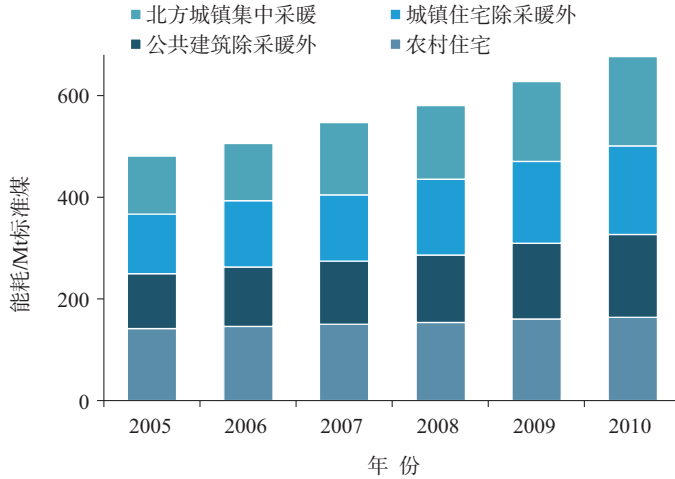


图 2-5-3 2005—2010 年中国建筑总一次能源消耗 (不包括生物质能)

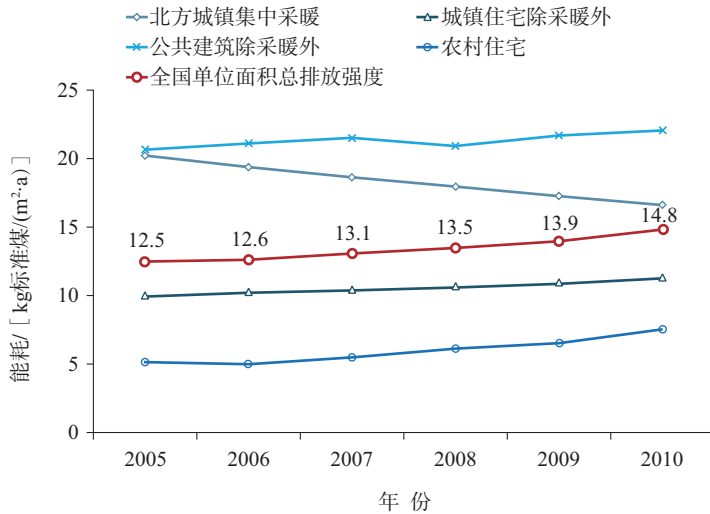


图 2-5-4 2005—2010 年中国单位建筑面积一次能耗强度变化

综上所述,中国建筑部门能源消费总量、分品种能源消费结构及用能拆分结果与预测值见表 2-5-5。2015 年、2020 年,中国建筑部门能源消费总量预测分别为 8.21 亿 t 标准煤、9.96 亿 t 标准煤,能源消费结构逐渐向电力与燃气倾斜。同时,由于社会经济发展及人民生活水平提高,终端消费中家电与空调类比例将上升;四个子类中,公共建筑除集中采暖外能耗将打破现有均衡局面,可能将成为耗能比例最大的建筑子类。

表 2-5-5 中国建筑部门按用途和建筑类型划分的能源消费总量与结构

		单位	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
			实际数据		预测值	
能源消费量 ^①	Mt 标准煤		481.93	677.46	821	996
能源消费结构 ^②						
	煤	%	44.70	36.30	28.00	19.80
	油	%	2.60	2.50	2.50	2.50
	燃气	%	12.20	13.50	16.70	18.90
	电力	%	40.60	47.70	52.80	58.80
按末端耗能用途划分 ^③						
北方城镇住宅	采暖	%	N. A	62.40	59.50	56
	空调	%	N. A	2.30	3.50	5
	家电	%	N. A	8.10	9	10
	照明	%	N. A	7.00	8	8
	炊事	%	N. A	11.00	10	10
	热水	%	N. A	9.30	10	11
南方城镇住宅	采暖	%	N. A	14.20	17	18
	空调	%	N. A	9.50	11	12
	家电	%	N. A	17.60	19	19
	照明	%	N. A	15.00	16	16
	炊事	%	N. A	23.60	25	23
	热水	%	N. A	20.10	22	22
城镇公共建筑	采暖	%	N. A	25.10	23	22
	空调	%	N. A	29.30	28	26
	家电	%	N. A	13.00	15	16
	照明	%	N. A	19.50	21	22
	炊事	%	N. A	5.20	5	5
	热水	%	N. A	7.80	8	9
农村住宅 ^④	采暖	%	N. A	41.00	40	39
	空调	%	N. A	2.10	4	5
	家电	%	N. A	9.30	10	12
	照明	%	N. A	3.50	4	6
	炊事	%	N. A	33.30	32	29
	热水	%	N. A	10.80	10	9

续表

	单位	2005年	2010年	2015年	2020年
		实际数据		预测值	
按建筑子类划分 ^⑤					
北方城镇集中采暖	%	29.5	24.1	20.0	18.0
城镇住宅除集中采暖外	%	22.4	24.1	25.0	27.0
公共建筑除集中采暖外	%	23.7	26.2	29.0	32.0
农村住宅	%	24.4	25.6	26.0	23.0

注:①2015年、2020年能源消费总量估算方法:分类建筑面积采用表2-5-2中情景2—平衡发展模式;分类建筑单位面积能耗强度采用2010年现状值;

②2015年、2020年分品种能源消费比例根据现有趋势外推,同时考虑逐渐加强天然气消费比例、减少燃煤消耗比例;

③N. A为没有相应数据,2010年比例为根据年鉴数据与实际调查数据的拆分值,2015年、2020年比例为推测值;

④2010年农村比例参照清华大学建筑技术科学系2007年开始的中国典型农村调研得到的居民家庭各类终端用途能耗拆分中商品能耗比例确定;

⑤2015年、2020年数据为现有趋势外推结果。

2.3 建筑部门二氧化碳排放现状和趋势

2005—2010年,中国建筑部门二氧化碳总排放总量与强度逐年持续增长,排放总量由10.1亿t二氧化碳增长到14.5亿t二氧化碳,年增长率约为7.4%;而单位面积二氧化碳排放强度由26.3kgCO₂/(m²·a)增长到31.0kgCO₂/(m²·a),年增长率约为3.3%(见表2-5-6)。

表2-5-6 2005—2020年中国建筑部门CO₂排放总量与强度

类别	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2015年	2020年
	实际数据						预测值*	
CO ₂ 排放总量/MtCO ₂	1 014	1 118	1 228	1 266	1 373	1 447	1 780	2 120
其中:								
北方城镇集中采暖	256	284	315	347	388	419	470	540
城镇住宅除集中采暖外	254	283	318	313	325	336	360	450
公共建筑除集中采暖外	269	300	324	329	364	383	420	550
农村住宅	235	251	271	277	296	309	540	580
CO ₂ 排放强度/ [kgCO ₂ /(m ² ·a)]	26.3	27.9	29.6	29.4	30.5	31	33.8	36.7

续表

类别	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2015 年	2020 年
	实际数据						预测值*	
其中:								
北方城镇集中采暖	47.48	46.53	45.7	44.89	44.09	43.87	42.91	41.95
城镇住宅除集中采暖外	23.62	25.06	26.92	25.41	23.87	23.33	22.15	20.97
公共建筑除集中采暖外	47.3	48.69	48.69	46.22	49.18	48.67	44.77	40.87
农村住宅	10.61	11.1	11.75	11.76	12.38	12.64	18.98	25.33

注: * 2015 年、2020 年 CO₂ 排放总量预测方法:

①2011—2020 年逐年分类建筑面积:采用情景 2 预测结果;

②分类建筑单位面积能耗强度采用 2010 年现状值;

③①×②得到建筑四个子类总能耗与 CO₂ 排放总量,再除以①得到 CO₂ 排放强度。

从 2005—2010 年实际数据分析,在四个建筑用能分类中,北方城镇集中采暖单位面积二氧化碳排放强度逐年降低,由 2005 年的 $47.5\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 下降至 2010 年的 $43.9\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,下降了 7.6%;农村住宅单位面积二氧化碳排放强度逐年上升,由 2005 年的 $10.6\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 增长至 2010 年的 $12.6\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,增长了 19.1%;由于“十一五”中期开始全面加强建筑各领域节能减排力度,故城镇住宅除采暖外与公共建筑除采暖外的单位面积二氧化碳排放强度均在 2007 年始出现明显下降(见图 2-5-5)。

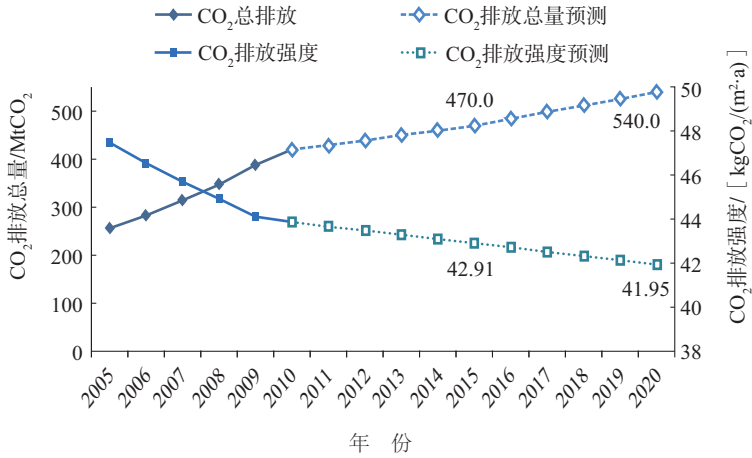
从 2011—2020 年预测数据分析,除农村住宅因总面积逐年降低趋势强度总能耗上升趋势而出现二氧化碳排放强度逐年上升之外,其余三个子类的二氧化碳排放强度均逐年下降,建筑部门总预测结果见表 2-5-6,而分类预测结果为(见图 2-5-5):

(1)北方城镇集中采暖二氧化碳排放强度呈现逐年缓慢降低趋势,2015 年、2020 年二氧化碳排放强度分别为 $42.91\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 与 $41.95\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,较 2010 年分别下降了 2.2% 和 4.2%;

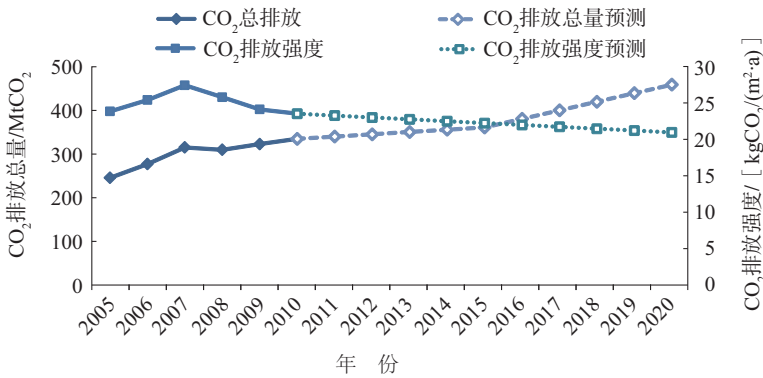
(2)城镇住宅除集中采暖外二氧化碳排放强度逐年明显降低,2015 年、2020 年二氧化碳排放强度分别为 $22.15\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 和 $20.97\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,较 2010 年分别下降了 5.0% 和 10.0%;

(3)公共建筑除集中采暖外二氧化碳排放强度逐年明显降低,2015 年、2020 年二氧化碳排放强度分别为 $44.77\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 和 $40.87\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$,较 2010 年分别下降了 8.1% 和 15.9%;

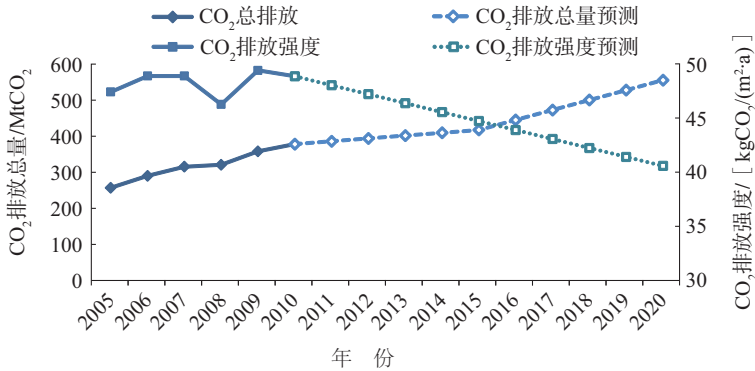
(4)农村住宅 CO₂ 排放强度逐年明显升高,2015 年、2020 年二氧化碳排放强度分别为 $18.98\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 和 $25.33\text{kgCO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。这主要是由于农村快速城市化导致农村总建筑面积出现逐年下降趋势,而总能耗的增加幅度并不大,因此单位面积二氧化碳排放强度逐年上升。



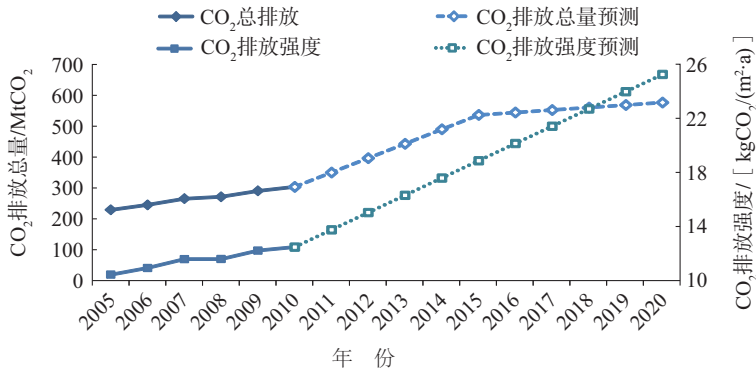
(a) 北方城镇集中采暖



(b) 城镇住宅除集中采暖外



(c) 公共建筑除集中采暖外



(d) 农村住宅

图 2-5-5 2005—2010 年中国建筑分类 CO₂ 排放总量与强度变化

2.4 “十一五”期间建筑部门主要节能减排效果

总体来说,“十一五”期间,建筑部门的能耗和二氧化碳排放呈现持续增长趋势,但与“十五”期间相比明显放缓。2010 年的单位面积能耗比 2005 年增加了 19.7%,年增长率为 3.7%;同期,单位面积的二氧化碳排放增加了 17.9%,年增长率为 3.3%。目前,中国单位建筑面积二氧化碳排放量远低于发达国家水平,不到美国的 1/4~1/3。

在四个建筑用能分类中,北方城镇集中采暖低碳发展绩效最为突出,单位面积能耗持续降低。北方城镇集中采暖单位面积能耗 2010 年为 16.28kg 标准煤/(m²·a),与 2005 年[17.78kg 标准煤/(m²·a)]相比下降了 8.41%。北方城镇集中采暖单位面积二氧化碳排放 2010 年为 43.87kgCO₂/(m²·a),与 2005 年[47.48kgCO₂/(m²·a)]相比下降了 7.6%。单位面积采暖能耗的降低,减缓了北方城镇采暖总能耗和二氧化碳排放的上升幅度。2010 年北方城镇集中采暖用能占全国建筑用能总量近 25%,采暖能效的提高有效抑制了全国建筑部门总能耗的过快增长。

建筑部门总节能效果显著。到 2009 年年底,全国城镇新建建筑设计阶段执行节能强制性标准的比例为 99.95%,施工阶段执行节能强制性标准的比例为 90%。全国累计建成节能建筑面积 40.8 亿 m²,占城镇建筑面积的 21.7%。“十一五”期间,通过围护结构改造、集中供热制度改革、节能灯具的推广、家用电器能效标准等手段,建筑部门累计形成了 6 750 万 t 标准煤的节能潜力、1.85 亿 t 二氧化碳的减排潜力。

3 建筑部门关键减排技术评估

3.1 关键减排技术的定义和界定

本报告中的建筑领域,特指建筑消费领域(不包括建筑建设过程),其节能减排技术,指通过实施可有效降低建筑物运行过程中的实际能源消耗及二氧化碳排放的技术措施。适用范围不仅包括民用建筑物本体及维持建筑物运行的内部设备,同时也包括建筑物区域能源供应源与输配系统等。

中国的建筑节能工作由来已久,建筑领域节能减排技术种类繁多。

住房和城乡建设部于2010年12月对全国“十一五”期间建筑节能工作及效果进行了全面的检查评估,检查范围涵盖了全国除江苏、浙江、甘肃、青海及西藏外的22个省、自治区、4个直辖市,共对5个计划单列市、22个省会(自治区首府)城市、22个地级城市以及22个县(县级市)(住建部,2011)。检查将“十一五”期间建筑领域节能减排技术划分为七大类,分别为:

- (1)新建建筑执行强制性节能标准;
- (2)北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造技术;
- (3)国家机关办公建筑和大型公共建筑节能监管技术;
- (4)可再生能源技术应用;
- (5)绿色建筑与绿色生态城区建设相关技术;
- (6)农村建筑节能相关技术(如既有建筑围护结构改造、太阳能集中浴室、泥草房改造、秸秆生物质能应用等);
- (7)既有建筑围护结构改造(墙体材料革新技术)。

以上七类建筑节能减排技术措施在“十一五”期间广泛推广,获得了明显成效。比如,截至2010年年底,全国城镇新建建筑设计阶段执行节能强制性标准的比例为99.5%,施工阶段执行节能强制性标准的比例为95.4%,分别比2005年提高了42%和71%。“十二五”期间,国家将健全法规标准、加强监管、强化考核,继续深入落实与推广以上七大类建筑节能减排技术。

2011年5月,国家发改委颁布了新修订的《产业结构调整指导目录(2011年本)》,用以替代原有的2005年版本。《产业结构调整目录(2011年本)》在国内具有重要意义,是政府引导投资方向,管理投资项目,制定和实施财税、金融、投资、进出口等政策的重要依据,分为鼓励类、限制类、淘汰类。鼓励类产业将在投资、税收等方面获得国家的财政税收政策支持。新版的《产业结构调整目录》中,与能

源与环境密切相关鼓励类、限制类和淘汰类产业见表 2-5-7。从鼓励类产业可以看出,“十二五”期间,国家重点加速了太阳能相关技术、天然气分布式能源技术等技术措施的应用与推广工作。

表 2-5-7 《产业结构调整指导目录(2011 年本)》与建筑领域相关的鼓励类措施

鼓励类	<p>(一) 新能源类</p> <p>太阳能热发电集热系统、太阳能光伏发电系统集成技术开发利用、逆变控制系统开发制造;风电与光伏发电互补系统技术开发与应用;太阳能建筑一体化组建设计与制造;高效太阳能热水器及热水工程,太阳能中高温利用技术开发与设备制造;地热能利用技术与开发制造。</p> <p>(二) 石油天然气类</p> <p>天然气分布式能源技术开发与应用。</p> <p>(三) 环境保护与资源节约利用类</p> <p>节能、节水、节材环保及资源综合利用等技术开发、应用及设备制造;冰蓄冷技术及其成套设备制造</p>
限制类	<p>电力类</p> <p>小电网外,单机容量 30 万 kW 及以下的常规燃煤火电机组;</p> <p>小电网外,发电煤耗高于 300g 标准煤/kWh 的湿发电机组,发电煤耗高于 305g 标准煤/kWh 的空冷发电机组</p>
淘汰类	<p>电力类</p> <p>大电网覆盖范围内,单机容量在 10 万 kW 以下的常规燃煤火电机组;</p> <p>单机容量 5 万 kW 及以下的常规小火电机组;</p> <p>以发电为主的燃油锅炉及发电机组(5 万 kW 以下);</p> <p>大电网覆盖范围内,设计寿命期满的单机容量 20 万 kW 以下的常规燃煤国电机组</p>

同时,在国务院印发的《“十二五”节能减排综合性工作方案通知》(国务院,2011)中明确提出了“十二五”期间与建筑领域相关的多项技术措施:

(1) 加强公共建筑能耗监测技术,健全能耗统计制度与监管体系,推动既有建筑节能改造与优化运行;

(2) 加快淘汰落后产能设施,加快发展天然气;

(3) 因地制宜大力发展风能、太阳能、生物质能、地热能等可再生能源;

(4) 重点实施锅炉改造、建筑节能、绿色照明、节能暖房等节能改造工程;

(5) 推进北方采暖地区既有建筑供热计量和节能改造等。

本报告的关键措施选择,主要依据国家“十一五”、“十二五”期间建筑节能领域相关法律法规、行业发展报告,并结合“十一五”实际节能效果分析与权威专家访谈等方式,最终比选出本行业节能减排效果好、推广普及空间大、具有持

续竞争力等多项技术,进行进一步的成本与潜力估算。比较原则主要有以下几点:

(1)由于本研究主要评估2015年、2020年中国建筑行业减排潜力,因此选择倾向于稳健性技术措施,并不过多考虑现在尚处于研发或实验阶段的现行推广量较小的新技术措施;

(2)2010年基准推广面积在200万 m^2 以上或推广量在100万个以上的技术措施;

(3)单项技术措施节能率在8%~65%;

(4)具有实际工程应用经验与实际测试结果。

3.2 关键减排技术选择

根据比选,最终选择建筑部门中34项关键节能减排技术进行减排成本与减排潜力分析,关键技术见表2-5-8,2010年关键减排技术基准见表2-5-9。

表 2-5-8 建筑部门关键减排技术

建筑能耗子类	编号	技术内容	技术节能潜力
北方城镇集中供暖 (7项)	A1	北方既有住宅围护结构改造	根据“50%或65%节能标准”,居住建筑采暖节能效果较1980年标准建筑采暖耗热量降低50%~65% ^a
	A2	新建住宅建筑实施“65%节能标准”	居住建筑采暖节能效果较1980年标准建筑采暖耗热量降低50%~65% ^b
	A3	高效热电联产系统及相关技术	平均建筑耗热量下,热源侧可节省一次能耗约5kg标准煤/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^c
	A4	燃气锅炉替代燃煤锅炉	平均建筑耗热量下,热源侧可节省一次能耗约4kg标准煤/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^d
	A5	工业余热供暖再利用	各行业可回收利用的余热资源约为余热总资源的60% ^e
	A6	既有住宅建筑供热计量改造	供热计量改造,可实现采暖耗热量节能10%~15% ^f ,至少完成具备改造价值的老旧住宅面积的35%以上 ^g
	A7	新建住宅建筑实施热表计量与相关技术	供热计量改造,可实现采暖耗热量节能10%~15% ^h
城镇住宅除采暖外 (8项)	B1	基于ICT技术的住宅能源管理系统	家庭能源管理系统,将家电产品等能耗设备网络化,可实现家用电耗节省15% ⁱ
	B2	城镇住宅太阳能热水器	全国七省市生活热水调研平均值约为34.3MJ/ $(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^j ,太阳能热水系统节能率约为41% ^k
	B3	高效洗衣机	1级能效波轮式洗衣机较5级耗电量节省0.02 kWh/cycle/kg;1级能效滚筒式洗衣机较5级节省0.16 kWh/cycle/kg ^l

续表

建筑能耗子类	编号	技术内容	技术节能潜力
城镇住宅 除采暖外 (8项)	B4	高效冰箱	根据估算,1级能效家用冰箱(240L)约比5级能效日节省电耗0.54kWh/day ^m
	B5	高效平板电视	根据估算,1/2级平板电视较3级平板电视(32寸)每台年平均节省29.2kWh/a ⁿ
	B6	高效家用空调器	中国城镇典型住宅家用空调年耗电量约为2.1kWh/(m ² ·a),高效空调的节能率约为18% ^o
	B7	既有住宅白炽灯改造	以每日每只灯具平均运行2h估算,以8W节能灯替换住宅中现有40W白炽灯,每只年节电量约为23.4kWh
	B8	新建住宅白炽灯淘汰	以每日每只灯具平均运行2h估算,三种白炽灯替换方案下,每只年节电量分别约为: a)20W节能灯替换100W白炽灯,每只年节电量58.4kWh; b)12W节能灯替换60W白炽灯,每只年节电量35.0kWh; c)3W节能灯替换15W白炽灯,每只年节电量8.8kWh
公共建筑 除采暖外 (10项)	C1	被动式设计	即在公共建筑设计中引进自然通风与自然采光因素,以节省机械空调或人工照明电耗。公共建筑空调系统平均电耗约为45kWh/(m ² ·a),照明系统电耗约为30kWh/(m ² ·a) ^p ,节能率约为5%
	C2	地源热泵	对运行中项目实测表明,夏季设备平均COP约为4.5 ^q (常规离心式电制冷机约为5.5) ^r ,冬季系统COP约为1.39(常规供热系统约为2~3) ^s
	C3	温湿度独立控制	较常规楼宇供冷系统,节能率约为30% ^t
	C4	信息机房热管空调	对部分移动通信基站设备实测,空调系统节能率约为30%~40% ^u
	C5	既有公建空调系统节能改造	通过冷机改造、水泵风机变频等措施,空调系统能效比EER _s 平均可由1.5~2.5提高到2.5~3.5 ^v
	C6	公建太阳能热水器	北京市宾馆饭店类公建,生活热水耗量(热力站处)约为71MJ/(m ² ·a) ^w ,节能率同B2
	C7	既有公建白炽灯改造	同B7
	C8	新建公建LED灯应用	以每日每只灯具平均运行2h估算,以3WLED灯替换新建公建中8W节能灯,每只年节电量约为3.65kWh
	C9	新建公建白炽灯淘汰	同B8
	C10	能源监测与分项计量系统	配合诊断与低成本无成本改造,实际工程中年节电量约为5%~8% ^x

续表

建筑能耗子类	编号	技术内容	技术节能潜力
农村住宅 (9项)	D1	被动式太阳房	被动式太阳房(直接受益式、集热墙和集热蓄热墙式,以及附加阳光间式)平均节能率约为60%~65% ^y
	D2	围护结构改造	根据对北方14个省市农村能耗的调查,中国北方农村地区单位建筑面积生活用能平均值约为14kg标准煤/(m ² ·a) ^z ,其中采暖热耗约占52% ^{aa} ,实际改造工程节能率约为60% ^{ab}
	D3	秸秆压缩	2009年新增秸秆固化厂35处,年新增秸秆固化产量12.8万t ^{ac}
	D4	节能吊炕	节能吊炕较传统土炕每铺节能约832kg标准煤/a ^{ad} ,2009年全国农村新增节能吊炕约41.07万铺 ^{ae}
	D5	高效土暖气	较常规系统节能率约8%
	D6	农村太阳能热水器	农村生活热水平均耗热量约为8.78MJ/(m ² ·a) ^{af} ,节能率同B2
	D7	地板辐射供热系统	中国北方农村地区采暖耗热量同D2,较常规供热系统节能率约40%
	D8	高效节能灶	较普通柴灶实测节能率约为15%,2009年新增月354.6万户
	D9	户用沼气池	2009年年新增沼气池数量约为5.19万池

注:由于夏热冬暖地区城镇采暖主要采用分户分散采暖方式,采暖需热量较低且使用模式较为节约,与其他四类相比实际能耗及排放量明显较小,故在关键减排技术中暂不考虑与夏热冬暖地区城镇采暖类相关的措施。

表 2-5-9 2010 年建筑部门关键减排技术基准

建筑能耗子类	编号	技术内容	2010年基准推广面积 或推广量
北方城镇 集中供暖 (7项)	A1	北方既有住宅围护结构改造	8 600 万 m ^{2a}
	A2	新建住宅建筑实施“65%节能标准”	年增量 4.5 亿 m ^{2b}
	A3	高效热电联产系统及相关技术	年增量 5 100 万 m ^{2c}
	A4	燃气锅炉替代燃煤锅炉	年增量 931 万 m ^{2d}
	A5	工业余热供暖再利用	年增量 1 500 万 m ^{2e}
	A6	既有住宅建筑供热计量改造	年改造 9 100 万 m ^{2f}
	A7	新建住宅建筑实施热表计量与相关技术	年增量 6 895 万 m ^{2g}
城镇住宅 除采暖外 (8项)	B1	基于 ICT 技术的住宅能源管理系统	年增量 200 万 m ^{2h}
	B2	城镇住宅太阳能热水器	年增量 167 万台 ⁱ
	B3	高效洗衣机	年增量 897 万台 ^j

续表

建筑能耗子类	编号	技术内容	2010 年基准推广面积 或推广量
城镇住宅 除采暖外 (8 项)	B4	高效冰箱	年增量 4 005 万台 ^k
	B5	高效平板电视	年增量 3 800 万台 ^l
	B6	高效家用空调器	年增量 3 935 万台 ^m
	B7	既有住宅白炽灯改造	年改造 2 140 万盏 ⁿ
	B8	新建住宅白炽灯淘汰	年销售总量 1.28 亿盏 ^o
公共建筑 除采暖外 (10 项)	C1	被动式设计	年增量 3.7 亿 m ²
	C2	地源热泵	年增量 3 000 万 m ^{2p}
	C3	温湿度独立控制	年增量 340 万 m ^{2q}
	C4	信息机房热管空调	年增量 10 万 m ²
	C5	既有公建空调系统节能改造	年改造 5 000 万 m ^{2r}
	C6	公建太阳能热水器	年增量 100 万台 ^s
	C7	既有公建白炽灯改造	年改造 8 560 万盏 ^t
	C8	新建公建 LED 灯应用	年增量 66 万盏 ^u
	C9	新建公建白炽灯淘汰	年销售总量 5.14 亿盏 ^v
	C10	能源监测与分项计量系统	年增量 1 480 万 m ^{2w}
农村住宅 (9 项)	D1	被动式太阳房	存量 1 972 万 m ^{2x}
	D2	围护结构改造	年改造 3 800 万 m ^{2y}
	D3	秸秆压缩	存量工厂 35 家 ^z
	D4	节能吊炕	年增量 41 万个 ^{aa}
	D5	高效土暖气	年增量 625 万个 ^{ab}
	D6	农村太阳能热水器	年增量 208 万台 ^{ac}
	D7	地板辐射供热系统	年增量 50 万 m ^{2ad}
	D8	高效节能灶	年增量 355 万个 ^{ae}
	D9	户用沼气池	年增量 455 万个 ^{af}

3.3 关键减排技术成本分析

本报告中关键减排技术的减排成本为减排技术寿命期内的增量成本。即：
 减排技术的增量成本 = $\frac{\text{减排技术的所有成本} - \text{参考(基准)技术的所有成本}}{\text{参考(基准)技术的 CO}_2 \text{ 排放量} - \text{减排技术的 CO}_2 \text{ 排放量}}$

本报告从多方面考虑了建筑部门节能减排的要素成本(见表 2-5-10),包括分品种能源价格、技术投资成本、运营维护成本、人力成本等;同时也考虑了资金的时间价值,分别考虑了城镇住宅、城镇公建和农村住宅三个领域的折

现率,以及能源价格不同程度的涨幅。另外,由于科技发展速度迅猛,节能技术日新月异,因此本报告也将技术成熟度纳入框架中,其一种表现即为技术能效逐渐提高,节能率随之增大,而另一种表现则为技术投资成本的逐渐下降。同时,本报告并不考虑任何现行和将来的税收及碳价,但考虑了部分技术措施的现有补贴政策。

表 2-5-10 建筑部门关键减排技术潜力及成本计算重要假设参数

主要参数	分类	本研究取值
CO ₂ 排放因子 (建议为动态的)	电	1 kWh = 0.695 6 kgCO ₂
	标准煤	1 kg 标准煤 = 2.71 kgCO ₂
	天然气	1 m ³ 天然气 = 1.65 kgCO ₂
能源价格 (2010 年基准值)	电	居民用电 = 0.487 元/kWh 商业用电 = 0.636 元/kWh
	标准煤	1.12 元/kg 标准煤
	天然气	北方地区天然气价格平均值 = 2.25 元/m ³
能源价格涨幅	电	年平均增长率 = 2%
	标准煤	年平均增长率 = 4%
	天然气	年平均增长率 = 1.78%
折现率	城镇住宅	城镇住宅折现率 = 15%
	城镇公建	城镇公建折现率 = 10%
	农村住宅	农村住宅折现率 = 15%
技术成熟度	能效提高	如紧凑型荧光灯能效平均年增长率约为 2%
	产品价格降低	如 LED 灯产品价格年下降率约为 2%
	产品价格降低	如 LED 灯产品价格年下降率约为 2%

注:①北方天然气价格平均值取自以下地区:内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、青海、宁夏、新疆、北京、天津、河北、山东、山西、甘肃、河南、陕西;

②CO₂ 折算系数来源:《中国低碳发展研究报告 2012》;

③能源价格涨幅为历史数据趋势平均值,数据来源:《中国物价年鉴》表 6-31 主产省煤炭价格统计;《中国统计年鉴》表 9-12 天然气价格统计;

④贴现率,可理解为贴现期倒数,而贴现期即为每种节能减排措施的回收期。住宅建筑节能措施的平均回收期约为 3~8 年,公共建筑节能措施的平均回收期约为 6~10 年,据此取较小贴现率数值。

本报告中共考察了建筑领域内 34 项减排技术的边际减碳成本(以下称减排成本),其中 23 项是 2020 年当年节能潜力超过 100 万 t 二氧化碳的技术。其中四个领域中至 2020 年累计减排潜力最大的技术措施分别为:新建住宅实施“65% 节能标准”,新建公共建筑白炽灯淘汰,高效冰箱和农村户用沼气池。

图 2-5-12 为上述 34 项节能减排技术的减排成本与至 2020 年累计减排

潜力曲线,从中可以看出,其中 18 项为减排成本为负的技术,且基本在建筑领域得到了广泛应用,具体技术的减排成本计算结果见表 2-5-11。由于这些技术得到了有力的政策支持,部分技术已经在“十一五”期间得到了规模化推广,并将在“十二五”及“十三五”期间继续发挥重要的节能减排作用;部分技术在“十二五”初期刚刚进行尝试(如新建建筑的白炽灯淘汰路线图、利用工业余热供暖、高效平板电视能效等级评定等),预计将在未来十年取得重要的节能减排效果。同时可以发现,有五项技术在 2015 年、2020 年的减排成本由正变负,累计节能量的积极效应逐渐超过投资增量,因此这五项技术在 2016—2020 年要特别关注,相应政策也在“十二五”基础上做出相应调整。

需要特别说明的是,减排成本的计算强烈依赖于各项技术推广面积或推广量、节能率和投资费用,部分技术若保持现行政策的外推趋势,推广面积较少,节能收益并不显著,减排成本为正,但其节能潜力空间仍然较大,如既有公共建筑围护结构改造;而部分技术由于现行具体工程价格较高原因,因此投资增量计算取值较大,减排成本为正,如公共建筑被动式设计,但如果采用更为合理的被动式设计方案,投资增量可能大大降低甚至为零,那么此项技术的减排成本为负,也是 2015 年、2020 年值得重点推广的技术之一。

同时,减排技术的实际应用效果与本研究中减排成本的计算差异也与实际使用模式密切相关。比如家用高效节能空调的减排成本约为 738.7 元/tCO₂,相关学者^①通过测试分析发现:节能空调年运行小时数超过 2 000h 才具备经济性,而中国中部和北部地区每户的空调年运行小时数远远不足 2 000h(如北京不足 500h),因而造成了节能空调不经济的现象。表 2-5-11 为 2015 年、2020 年建筑部门关键减排技术的边际减排成本。

表 2-5-11 2015 年、2020 年建筑部门关键减排技术的边际减排成本

单位:元/tCO₂

		技术内容	2015 年	2020 年
第 I 类:北方城镇 集中采暖	技术 A1	北方既有住宅围护结构改造	920.4	622
	技术 A2	新建住宅建筑实施“65% 节能标准”	350.8	181.3
	技术 A3	高效热电联产系统及相关技术	313.6	-51.2
	技术 A4	燃气锅炉替代燃煤锅炉	-101.8	46.4
	技术 A5	工业余热供暖再利用	-610.8	-341.3
	技术 A6	既有住宅建筑供热计量改造	378.2	26.5
	技术 A7	新建住宅建筑实施热表计量与相关技术	390.1	71.2

^① 李兆坚,中国城镇住宅空调生命周期能耗与资源消耗研究[D].北京:清华大学建筑技术科学系,2007.

续表

		技术内容	2015	2020
第Ⅱ类:城镇住宅 除集中采暖外	技术 B1	基于 ICT 技术的住宅能源管理系统	4 303.4	3 298.5
	技术 B2	城镇住宅太阳能热水器	-82.7	-125.7
	技术 B3	高效洗衣机	122.7	-41.8
	技术 B4	高效冰箱	-161.1	-157.7
	技术 B5	高效平板电视	-567.2	-323.5
	技术 B6	高效家用空调器	2 747.8	1 846.7
	技术 B7	既有住宅白炽灯改造	-178	-177.7
	技术 B8	新建住宅白炽灯淘汰	-185.7	-155.9
第Ⅲ类:公共建筑 除集中采暖外	技术 C1	被动式设计	360.2	249.6
	技术 C2	地源热泵	4 861.7	4 464.3
	技术 C3	温湿度独立控制	201.3	-23.4
	技术 C4	信息机房热管空调	-278.6	-253.8
	技术 C5	既有公建空调系统节能改造	83	-93.9
	技术 C6	公建太阳能热水器	-112.7	-180.4
	技术 C7	既有公建白炽灯改造	-212.6	-239.1
	技术 C8	新建公建 LED 灯应用	630.3	28.4
	技术 C9	新建公建白炽灯淘汰	-226.2	-48.5
	技术 C10	能源监测与分项计量系统	185.7	-155.9
第Ⅳ类:农村住宅	技术 D1	被动式太阳房	941.6	834.5
	技术 D2	围护结构改造	905.7	774.7
	技术 D3	秸秆压缩	-248.2	-184.4
	技术 D4	节能吊炕	-390.7	-251.4
	技术 D5	高效土暖气	870.7	278.7
	技术 D6	农村太阳能热水器	509.9	116.3
	技术 D7	地板辐射供热系统	1 322.7	1 264.8
	技术 D8	高效节能灶	-174.6	-161.4
	技术 D9	户用沼气池	263.2	15.5

3.4 关键减排技术潜力估算

表 2-5-12 为本研究最终计算的建筑行业 34 项关键技术 2015 年、2020 年当年减排潜力汇总,2015 年计算减排总潜力约为 1.88 亿 t 二氧化碳,而 2020 年计算减排总潜力约为 4.14 亿 t 二氧化碳。

表 2-5-12 2015 年、2020 年建筑行业关键减排技术减排潜力汇总

单位: MtCO₂

		技术内容	2015 年	2020 年
第 I 类:北方城镇 集中采暖	技术 A1	北方既有住宅围护结构改造	6.84	14.04
	技术 A2	新建住宅建筑实施“65% 节能标准”	38.18	82.09
	技术 A3	高效热电联产系统及相关技术	7.05	15.85
	技术 A4	燃气锅炉替代燃煤锅炉	1.48	5.41
	技术 A5	工业余热供暖再利用	1.29	2.59
	技术 A6	既有住宅建筑供热计量改造	5.72	5.72
	技术 A7	新建住宅建筑实施热表计量与相关技术	5.16	11.81
第 II 类:城镇住宅 除集中采暖外	技术 B1	基于 ICT 技术的住宅能源管理系统	0.04	0.08
	技术 B2	城镇住宅太阳能热水器	5.48	10.96
	技术 B3	高效洗衣机	1.22	2.45
	技术 B4	高效冰箱	26.03	52.07
	技术 B5	高效平板电视	4.69	9.38
	技术 B6	高效家用空调器	5.24	10.48
	技术 B7	既有住宅白炽灯改造	2.11	2.54
	技术 B8	新建住宅白炽灯淘汰	3.52	14.01
第 III 类:公共建筑 除集中采暖外	技术 C1	被动式设计	5.93	11.86
	技术 C2	地源热泵	0.41	0.41
	技术 C3	温湿度独立控制	0.23	0.70
	技术 C4	信息机房热管空调	0.22	0.44
	技术 C5	既有公建空调系统节能改造	3.02	6.04
	技术 C6	公建太阳能热水器	3.40	6.81
	技术 C7	既有公建白炽灯改造	8.45	10.14
	技术 C8	新建公建 LED 灯应用	0.01	0.02
	技术 C9	新建公建白炽灯淘汰	14.09	56.06
	技术 C10	能源监测与分项计量系统	5.93	11.86
第 IV 类:农村住宅	技术 D1	被动式太阳房	0.10	0.27
	技术 D2	围护结构改造	2.90	7.39
	技术 D3	秸秆压缩	1.34	4.04
	技术 D4	节能吊炕	4.63	9.26
	技术 D5	高效土暖气	1.12	3.51
	技术 D6	农村太阳能热水器	1.75	3.50
	技术 D7	地板辐射供热系统	0.02	0.05
	技术 D8	高效节能灶	7.91	17.12
	技术 D9	户用沼气池	18.51	37.01
		合计	188.13	414.10

注:表中数据为 2015 年、2020 年当年减排潜力。

(1) 2015 年减排潜力

在 2015 年基准情景中,建筑部门总一次能耗(不含生物质能)约为 8.21 亿 t 标准煤,为 2008 年的 1.4 倍。如果有效实施上文中 34 项节能减排措施,则四个子领域共可以实现 0.69 亿 t 标准煤的节能潜力,因此 2015 年减排情景下的总一次能耗将下降到 7.52 亿 t 标准煤(见图 2-5-6)。

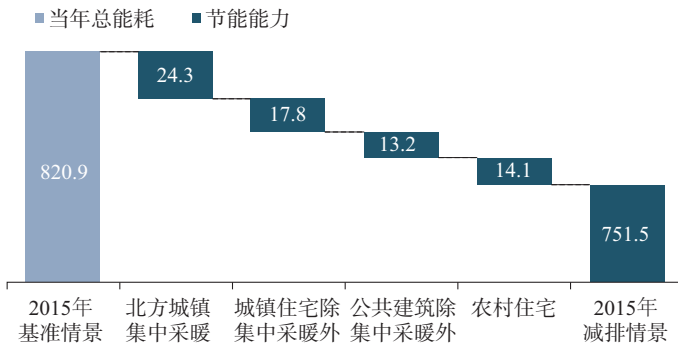


图 2-5-6 2015 年基准情景能耗与减排情景节能潜力(单位: Mt 标准煤)

而在二氧化碳排放方面,建筑部门 2015 年基准情景的总二氧化碳排放量约为 17.8 亿 t。有效实施 34 项节能减排措施后,则四个子领域共可以实现 1.88 亿 t 的减排潜力,因此 2015 年减排情景下的总二氧化碳排放量将下降到 15.9 亿 t(见图 2-5-7)。北方城镇集中采暖、城镇住宅除采暖外、公共建筑除采暖外与农村住宅四个子领域的减排贡献率分别为 34.9%、25.7%、19.2% 和 20.4%。

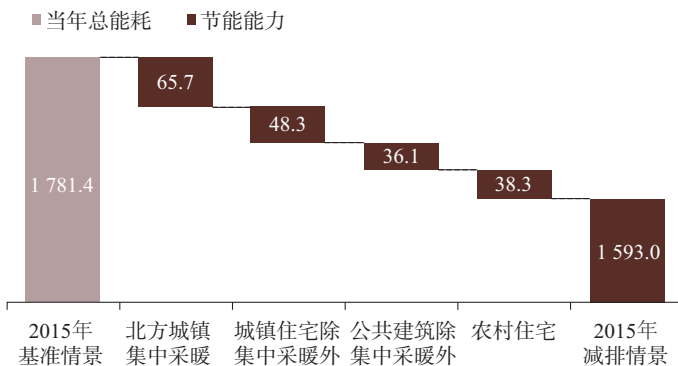


图 2-5-7 2015 年基准情景 CO₂ 排放量与减排情景减排潜力(单位: MtCO₂)

从各子领域具体节能措施(见图 2-5-8)来评测,2015 年减排潜力排名前 10 位的节能措施,其减排潜力总和已超过减排总量的 70%,约可实现 1.3 亿 t 二氧化碳节能潜力,此 10 项节能措施依次为:新建住宅实施“65% 节能标准”(A2),高效冰箱推广(B4),农村户用沼气池(D9),新建公建白炽灯淘汰(C9),

既有公建白炽灯替换(C7),高效节能灶(D8),高效热电联产及相关技术(A3),既有住宅围护结构改造(A1),公建被动式设计(C1)和既有住宅热计量改造(A6)。

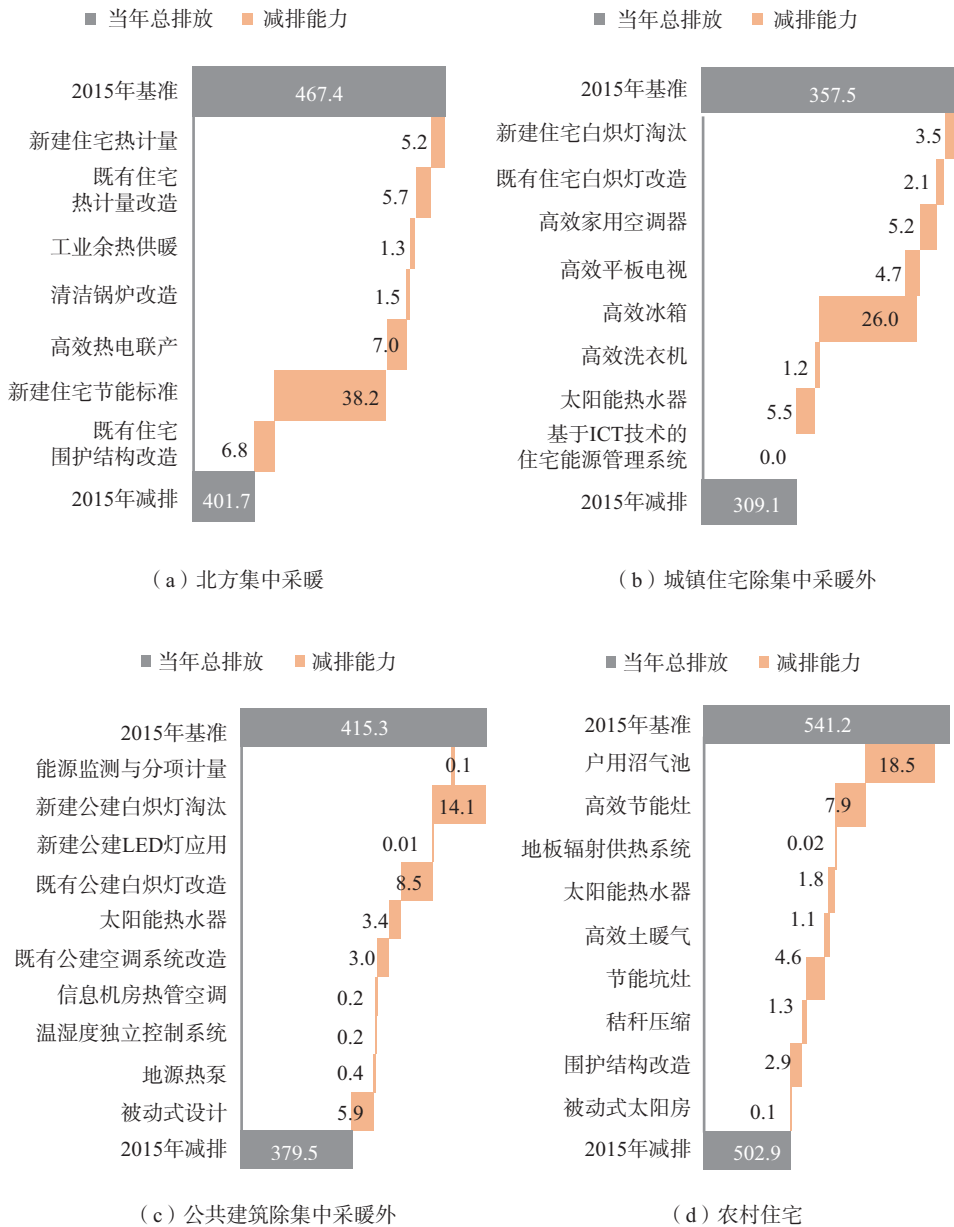


图 2-5-8 2015 年建筑子领域减排措施节能潜力(单位: MtCO₂)

(2) 2020 年减排潜力

在 2020 年基准情景中,建筑部门总一次能耗(不含生物质能)约为 9.96 亿 t 标准煤,为 2008 年的 1.7 倍。如果有效实施上文中 34 项节能减排措施,则四个子领域共可以实现 1.53 亿 t 标准煤的节能潜力,因此 2020 年减排情景下的总一次能耗将下降到 8.43 亿 t 标准煤(见图 2-5-9)。

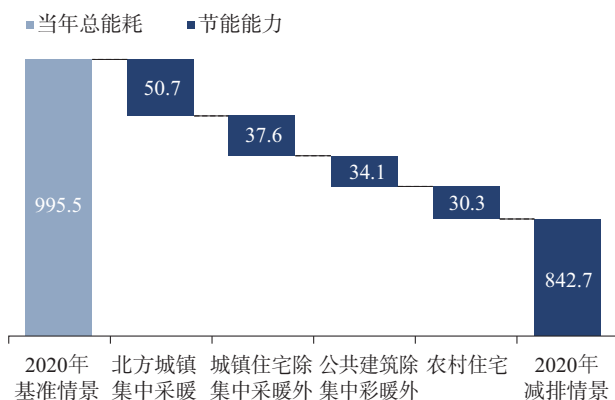


图 2-5-9 2020 年基准情景能耗与减排情景节能潜力(单位: Mt 标准煤)

建筑部门 2020 年基准情景的总二氧化碳排放量约为 21.6 亿 t。有效实施 34 项节能减排措施后,则四个子领域共可以实现 4.14 亿 t 的减排潜力,因此 2020 年减排情景下的总二氧化碳排放量将下降到 17.5 亿 t(见图 2-5-10)。北方城镇集中采暖、城镇住宅除采暖外、公共建筑除采暖外与农村住宅四个子领域的减排贡献率分别为 33.2%、24.6%、22.3% 和 19.9%。2020 年减排潜力排名前十位(与 2015 年相同)的节能措施见图 2-5-11,其减排潜力总和超过减排总量的 70%,约可实现 3.1 亿 t 节能潜力。

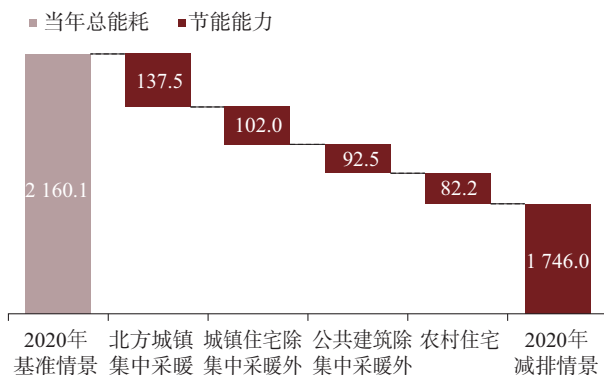
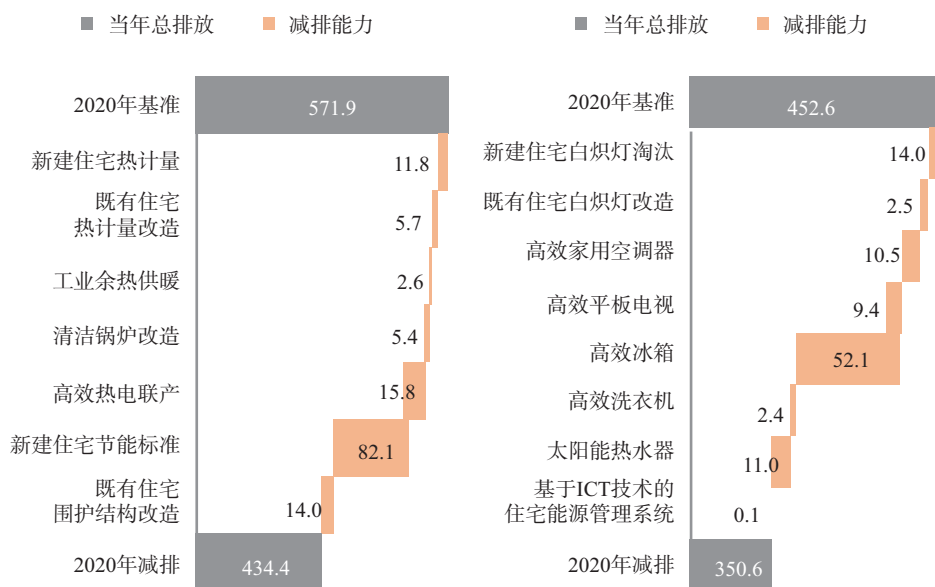
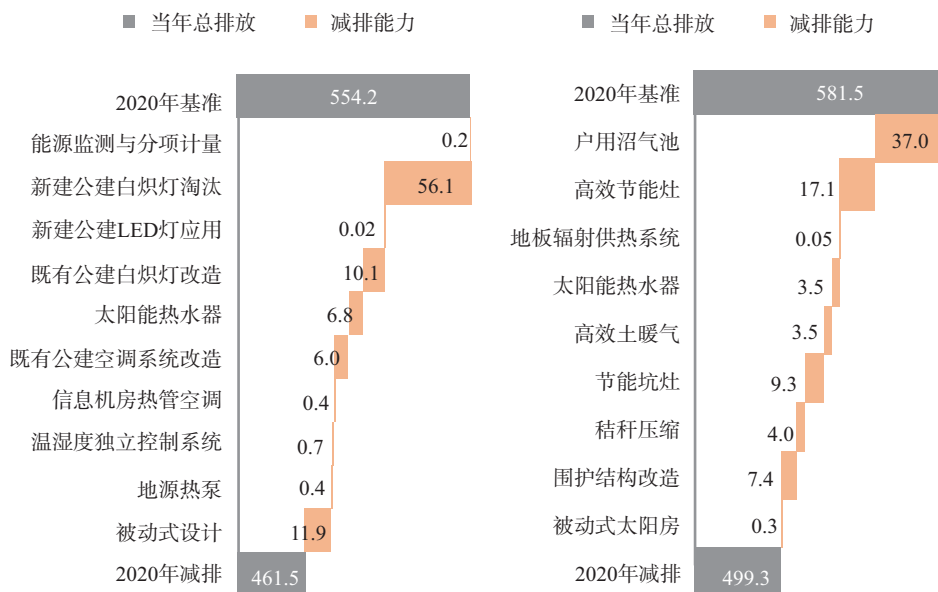


图 2-5-10 2020 年基准情景 CO₂ 排放量与减排情景减排潜力(单位: Mt 标准煤)



(a) 北方集中采暖

(b) 城镇住宅除集中采暖外



(c) 公共建筑除集中采暖外

(d) 农村住宅

图 2-5-11 2020 年建筑子领域减排措施节能潜力(单位: MtCO₂)

2020年减排潜力排名前10位的节能措施见表2-5-13,其减排潜力总和超过减排总量的70%,当年约可实现3.1亿t二氧化碳的减排潜力(见图2-5-12)。

表 2-5-13 建筑部门2020年减排潜力排在前10位的减排技术的减排潜力和成本

	技术编号	技术措施	减排潜力/ MtCO ₂	边际减排成本/ (元/tCO ₂)
1	A2	新建住宅建筑实施“65%节能标准”	82.1	181.3
2	C9	新建公建白炽灯淘汰	56.1	-221.3
3	B4	高效冰箱	52.1	-157.7
4	D9	户用沼气池	37.0	15.5
5	D8	高效节能灶	17.1	-161.4
6	A3	高效热电联产系统及相关技术	15.9	-51.2
7	A1	北方既有住宅围护结构改造	14.0	621.9
8	C1	被动式设计	11.9	249.6
9	B2	城镇住宅太阳能热水器	11.0	-125.7
10	C7	既有公建白炽灯改造	10.1	-239.1
合计			307.2	—

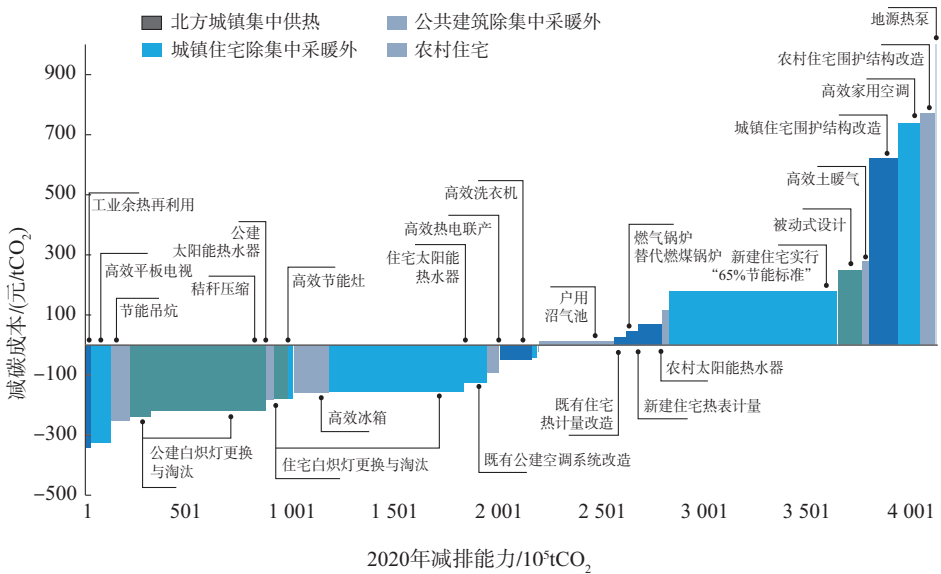


图2-5-12 建筑部门2020年关键减排技术的减排成本曲线

4 实施关键减排技术的障碍、投资和政策需求

4.1 实施关键减排技术的障碍

本报告中部分技术至今尚未得到广泛应用,或者在实际应用中并没有体现出预测的规模化效应,存在着诸多实际障碍:

(1)初始投入较高。如工业余热供暖再利用,其设备及管网投资巨大,工程方案需要依照工业工艺余热性质与周围居民小区规划“量身定做”,这些都无形中加大了与替代技术(小区区域锅炉房)相比的投资,影响了技术推广量。

(2)能源价格体系尚待完善。如热电联产技术及新能源技术,由于现有项目的并网与上网电价尚缺乏价格与法律体系保障,因此存在部分项目“上马”后遭遇了实际运行中的种种阻碍。

(3)节能评价体系存在缺陷。每种节能措施的实际节能效果,都应该来源于实际能耗运行数据,而非节能技术的简单堆砌。现有的节能补贴政策,普遍根据项目设计建造初期采用的节能技术措施数量进行评价,比如,采用了什么样的外墙保温形式,哪种高性能玻璃窗产品,是否应用了地源水源热泵,安装了多少面积的太阳能装置等,但恰恰忽略了这些技术在建筑使用寿命中的实际能耗状况。

(4)重设计,轻运行。本报告中的多项关键技术,如高效热电联产及其相关技术、既有公建空调系统节能改造等,都需要具备一定专业知识的运行管理人员精细化运行管理,以此保障实际运行效果;部分节能措施,如太阳能光伏板等,更需要每年持续清洗维护,以防止光伏板老化和积尘所带来的运行效果锐减。

(5)亟须建立建筑全过程管理体系,落实目标责任制。设计→运行→修正设计→再运行这种螺旋式上升方式,是节能技术的设计初衷能够充分落实并实现节能效果的保障。然而,现有建设体制与方法中,由于“设计”与“运行”的独立,导致了很多优秀的节能设计想法并没有得到充分落实,而“运行”中的宝贵经验也没有能够及时反馈给设计环节。因此,全过程管理体系亟须得到建立与完善。

4.2 实施关键减排技术的投资需求

(1)亟须充分发掘大型公共建筑改造的投资价值。大型公共建筑指建筑面

积在 2 万 m^2 以上,且使用中央空调系统的公共建筑。根据实际测试发现,商场、办公楼等大型公共建筑,由于其空调系统能耗通常占其总能耗的 40%~50%,且较为普遍地存在系统设计选型不匹配、施工质量漏洞、设备效率不佳等情况。从上文计算结果可以看出,对既有公共建筑空调系统的节能改造,可以在 2020 年实现约 600 万 t 二氧化碳的减排能力。通过节能诊断、调试改造等在三年回收期内的低成本措施通常可以有效获得约 5%~10% 的节能量,因此具有可观的投资回报率,应予以充分关注。

(2) 加强政府对节能减排技术的投资监管和宏观调控。政府应在下面两个方面做出持续努力:

1) 制定针对建筑行业关键节能减排技术的中长期规划,完善投融资的法规体系和优惠政策;政府投资方式应尽量减少资本金注入、直接补贴等直接投资,应更多地采取根据实际节能量的奖励、减息等措施的间接投资,并且逐渐配合完善“持续节能量评测考核机制”、“以奖代补”、“以奖促治”的法规条例,充分发掘行业积极性。

2) 逐渐打破对能源行业的过度垄断,通过优惠的投融资、税收、奖励等政策充分发掘社会市场,但对新能源行业、合同能源管理、能源监测与分项计量等行业应加强行业监管,建立较为完善的市场准入机制,充分实现宏观调控。

3) 政府应加强对重点建筑节能减排技术产业的研发投资。针对本报告中现有推广量较小但减排前景广阔的关键技术,如工业余热供暖、信息机房热管空调、农村生物质能源等技术,由于其研发成本较大,企业较难承担,故应在前期加强国家的研发投入,也可采取鼓励政策吸引企业研发团队的参与。

4) 应利用经济与政策杠杆加强终端能源用户的主动作用。可通过能源费调整、价格补贴等手段充分发挥建筑终端用能用户节能减排的主观能动性,逐渐实现在集中供热、照明、空调等方面的“部分时间、部分空间”的自主调节。

4.3 实施关键减排技术的政策需求

(1) 亟待完善节能减排效果的持续性评测机制。建筑实际能源消耗的减少应是建筑节能减排技术的唯一评价指标,但现行的评价体系往往注重建筑应用节能减排技术的数量,而恰恰忽视了实际节能效果。这也是导致部分节能技术补贴金额巨大,但实际收效甚微的根本原因。因此,政府应尽快建立并完善以实际能源消耗为重要指标的评价考核机制,并且应根据建筑类型、使用功能等特点有针对性地制定各个技术措施的评价考核周期,改变以往的“单点典型工况”评测为“建筑运行周期”评测,从而实现对技术措施更加客观、真实、科学性的评价。

(2) 应尽快完善能源价格体系的科学构建。由本报告的研究结果可见,高

效热电联产及其相关技术,在 2020 年可实现约 1 580 万 t 二氧化碳的可观减排效果。但由于现行的发电上网、并网等能源价格政策限制,部分已经上马的热电联产项目不能正常运行,这在一定程度上阻碍了热电联产产业的发展。因此,中国应该在能源价格政策上,逐渐有序引入市场竞争机制,打破现有能源价格政策对光伏发电、热电联产等技术的过度限制,支持并引导新能源技术的发展。

(3)加强第三方认证。政府应出资建立具有公信力的第三方评价体系及部门,严格评价监管工作,最终实现由第三方认证中心等出具客观、真实、可信的节能量评价。

(4)抓大防小,对减排潜力较大的技术加强政策引导与扶持。表 2-5-13 中给出了建筑部门 2020 年减排潜力最大的十项技术,对于其中新建住宅实施“65% 节能标准”并在“十一五”期间已经广泛实施、节能效果显著的技术,应继续大力保障其在未来十年的稳固实施;对于北方既有住宅围护结构改造、公共建筑被动式设计等推广量不大的正成本措施,应加强政策引导,并配合改进的财政政策等鼓励其有序发展;而对于白炽灯淘汰与改造、高效热电联产、高效节能灶等新措施,应在支持同时加强对节能量的科学审核与评测;对现在尚处于研发与实验阶段的高新技术,政府应出资建立研发平台,加强科研投入。

参考文献

- [1] LBNL—56144, Sectorial Trends in Global Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, 2006—06—24.
- [2] LBNL—61904, Energy Use in China: Sectorial Trends and Future Outlook. 2007.
- [3] 清华大学气候政策研究中心. 2010 中国低碳发展报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [4] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展报告 2012[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [5] 杨秀. 中国建筑能耗模型 CBEM[D]. 北京: 清华大学建筑节能研究中心, 2010.
- [6] 中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 9 号. 产业结构调整指导目录 2011. 2011—03—27.
- [7] 住房和城乡建设部办公厅. 关于 2010 年全国住房城乡建设领域节能减排专项监督检查——建筑节能检查情况通报. 建办科[2011]25 号.
- [8] 国务院. “十二五”节能减排综合性工作方案. 国发[2011]26 号, 2011—08—31.
- [9] 北京建筑技术发展有限责任公司. 北京长富宫饭店电耗分项计量监测实践[J]. 建设科技, 2008(9).
- [10] 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准(JGJ 26—2008).
- [11] 清华大学建筑节能中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2011.
- [12] 周耕, 王康, 陈思明, 等. 工业余热利用现状及技术展望[J]. 科技情报开发与经济, 2010(23): 162—164.
- [13] 财政部, 住房和城乡建设部. 关于进一步深入开展北方采暖区域既有居住建筑供热计量及节能改造工作的通知. 财建[2011]12 号.
- [14] 住宅信息网络技术第 6 期, HEMS——家庭发电蓄电时代的必需品. 2010. 8. <http://china.nikkeibp.com.cn/news/econ/52820-20100817.html>.
- [15] 刘阿祺. 住宅太阳能热水系统应用问题分析与评价方法研究[D]. 北京: 清华大学建筑技术科学系, 2011.
- [16] 国家住宅与居住环境工程研究中心. 住宅建筑太阳能热水系统整合设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [17] 电动洗衣机能耗限定值及能源效率等级(GB 12021. 4—2004). 2004.
- [18] 家用电冰箱耗电量限定值及能源效率等级(GB 12021. 2—2003). 2003.
- [19] 平板电视能效限定值及能效等级(GB 24850—2010). 2011.
- [20] 李兆坚. 中国城镇住宅空调生命周期能耗与资源消耗研究[D]. 北京: 清

- 华大学建筑技术科学系,2007.
- [21]清华大学建筑节能中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2010.
- [22]徐伟. 中国地源热泵发展及工程应用[B]. IEA—ECBCS 公开论坛,2011.
- [23]空气调节系统经济运行(GB/T 17981—2007). 2000.
- [24]清华大学建筑节能研究中心. 温湿度独立控制课题组研究成果[R].
- [25]田浩. 数据中心整体效率测量和节能改造实践. 2011 中国绿色数据中心技术大会[C]. 2011.
- [26]郑忠海. 基于动态和空间分布的城市能源规划方法研究[D]. 北京:清华大学建筑技术科学系,2009.
- [27]刘晓燕,李玉雯,马长明,等. 大庆地区三种类型被动式太阳房的对比分析[J]. 节能技术,2007(7):4.
- [28]清华大学建筑节能中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2009.
- [29]郑竺凌,李永红,杨旭东. 北京市农村住宅节能研究. 建筑科学,2008(4).
- [30]董庆珊,张强. 北京新农村既有住宅建筑节能改造分析. 住宅产业,2009(2).
- [31]中国农业统计资料 2009. 各地区秸秆优质化能源利用情况(二).
- [32]“土炕改‘吊炕’节能更暖和”,<http://news.sohu.com/20061029/n246063352.shtml>.
- [33]中国农业统计资料 2009. 各地区省柴节煤灶和节能炕情况.
- [34]中国农村能源统计年鉴 2009.
- [35]《中国统计年鉴》,2010 年城镇新增住宅面积.
- [36]《中国统计年鉴》,根据表 11-9:各地区城市集中供热情况拆分,2010 年大中型热电联产系统占总集中供热面积约为 22.5%.
- [37]《中国统计年鉴》,根据表 11-9:各地区城市集中供热情况拆分,2010 年区域燃煤锅炉占总集中供热面积约为 47%.
- [38]《太阳能产业年报 2011》.
- [39]中国冰箱市场产品升级进行时,<http://tech.qq.com/a/20110518/000380.htm>.
- [40]中国电子商会数据,<http://news.cntv.cn/20110719/101636.shtml>,《中国电视市场发展研究报告》.
- [41]发改委. 中国逐步淘汰白炽灯路线图. 2010.
- [42]《中国逐步淘汰白炽灯政策进展现状及障碍分析》,刘静茹、郁聪. 中国能源,2009. 1.
- [43]“十二五”十城万盏第二轮试点城市,<http://www.lightingchina.com/news/31537.html>.
- [44]住房和城乡建设部,2011.《2009—2010 年住房和城乡建设部住房城乡建设领域》公示:2010 年全国动态监测公共建筑 1 500 栋,2009 年全国动态监测公共建筑 758 栋,2010 年新增监测公共建筑 742 栋,约 1 480 万 m². 中国农村能源统计数据,2011.

第六章 交通部门 2020 年减排技术的 潜力和成本分析

引言

中国交通领域的能源消耗现状、长期情景预测与关键节能减排技术,国内外已经有多年的研究,积累了不少统计数据,并形成了众多研究方法,取得了一定的研究成果。

在能源消耗现状的统计方面,亚太经济合作组织(Asia - Pacific Economic Cooperation, APEC)在长时间尺度下提供了非常细致翔实的数据统计结果,为了解能源消耗现状、进行长期情景预测提供了基础支持。每年的能源统计年鉴(APEC Energy Statistics)中,会发布其 21 个成员国的按能源种类区分的能源审计平衡表。2008 年之后针对各国交通部门,又细分成航空、公路、铁路、内河航运等分部门,发布了更为细致的按能源种类的消耗平衡表。

在长期情景预测与关键减排技术研究方面,IPCC 做了相当详细的汇总、整理工作。在 2007 年发布的第 4 次评估报告中,就交通部门的关键减排措施分公路、铁路、航空、水运进行了罗列,并给出了至 2030 年的多个研究机构作出的减排潜力预测,并进行了减排政策的比较。

国际能源机构(International Energy Agency, IEA)在 2007 年发表的世界能源展望(World Energy Outlook)中,针对性地作了中国的碳排放情景分析,就交通领域给出了至 2030 年的参考情景、可选择政策情景下的情景预测。在 2002 年,国际能源机构与世界可持续发展工商理事会(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)开始了可持续交通的研究项目(Sustainable Mobility Project, SMP),旨在建立一个全球的交通模型,作为情景预测与政策分析的工具,模型的部分成果发布在 WBCSD 的交通 2030 年报告中(Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability)。在 2009 年,IEA 针对交通行业发布了交通行业能源与二氧化碳(Transport, Energy and CO₂)报告,较为系统地分析了各种减排关键措施及减排潜力,表 2-6-1 为报告中提到的交通运输业关键减排技术及适用领域(IEA, 2009)。

表 2 - 6 - 1 交通运输业关键减排技术及适用领域 (IEA, 2009)

技术措施名称		公路	铁路	水运	航空	管道
Plug - in hybrid (PHEVs)	插电式混合动力汽车	●				
Electric vehicles (EVs)	电动汽车	●				
Fuel cell vehicles (FCVs)	燃料电池汽车	●				
Improved aerodynamics	空气动力学改进	●	●		●	
Energy efficient lights	高效节能灯具	●	●	●	●	●
Improved air - conditioning system	改进空调系统	●	●		●	
Material substitution (i. e. High-strength steel)	轻型材料替换 (例如: 高强度钢)	●				
Eco - driving/improving driving techniques	生态驾驶/改善驾驶技术	●				
Intelligent transportation system (ITS)	智能交通系统	●	●	●	●	●
Travel mode shifts	出行方式转变	●	●	●	●	
Bus rapid transit (BRT)	城市快速公交	●				
Upgrading locomotive fleets	内燃机车更换为高效机车		●			
Electrification	电气化		●			
Reducing the weight of rolling stock	减轻铁路机车车重		●			
Increasing the load factor of rolling stock	增加铁路机车运载负荷率		●			
Air traffic management system (ATMS)	空行管理系统				●	
Continues descent approach (CDA)	梯度下降法				●	
Improving routes	航线改进			●		
Increasing engine by pass ratio	增加引擎旁通率			●		
Ship speed reduction	降低船舶行驶速度			●		
Pulling thruster	推进器改造			●	●	
Ship replacement	老旧船舶更换				●	
Variable speed equipment	变频改造					●

1 交通部门的现状和发展趋势

交通运输业是负责运送货物和旅客的社会生产部门,隶属于中国国民经济第三产业,是中国国民经济的基础产业和重要的服务产业,与人民生活、各行业发展、经济增长和社会进步息息相关。中国交通运输部门按照交通运输方式可划分为五个子部门:公路、铁路、水路、航空和管道运输。

1.1 交通部门能源消费与二氧化碳排放现状

1.1.1 客货周转量

中国交通部门“十一五”期间旅客和货物周转量增长迅猛(见表 2-6-1),至 2010 年,总旅客周转量为 27 894.3 亿人·km,较 2006 年增加了 45.3%;而总货物周转量为 141 837.4 亿 t·km,较 2006 年增加了 60%。“十一五”期间,旅客和货物周转量的年平均增长率分别为 9.8% 和 12.1%,均超过了交通部门能耗和二氧化碳排放的平均年增幅,这也间接证明了交通运输部门平均每单位生产量实际能耗在“十一五”期间有所下降。

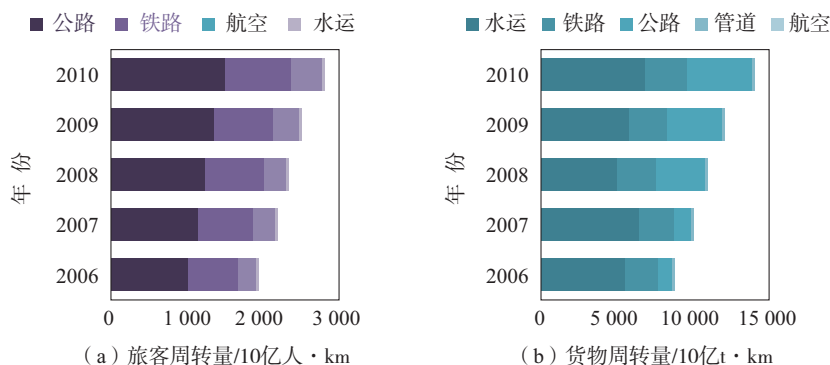


图 2-6-1 2006—2010 年中国交通部门分运输方式的客货周转量

数据来源: 中国统计年鉴, 2011。

1.1.2 能源总消费量

根据日本能源经济研究所能源数据和模型中心 2011 年发布的世界主要国家交通运输业终端能源总消费量的统计数据,全世界 2009 年交通业终端总能耗约为 3 263Mt 标准煤,其中中国约为 230Mt 标准煤,约为美国的 1/5 和日本的 2 倍。表 2-6-2 给出了世界主要国家 2008 年和 2009 年交通业终端总能耗与

年增幅。2009 年较 2008 年,全世界交通总能耗约下降 1.4%;世界主要发达国家,如美国、加拿大、英国和日本的年降幅均在 2.5% 以上;法国、澳大利亚和德国基本不变;而中国的年增幅为 3.2%,低于印度、巴西等其他发展中国家,并且与亚洲平均年增幅接近。与 1995 年交通业总能耗相比,全世界增长了近 45%,而中国增长超过了 2 倍。

表 2-6-2 世界主要国家 2008 年和 2009 年交通业终端总能耗与年增幅

单位: Mt 标准煤

国家	2008 年	2009 年	年增幅/%	与 1995 年相比的增长率/%
世界	3 308.6	3 262.9	-0.014	0.436
美国	858.6	825.7	-0.038	0.065
加拿大	81.1	78.9	-0.028	0.136
英国	61.9	59.6	-0.037	-0.115
德国	76.6	77	0.006	-0.142
法国	63.6	63.4	-0.002	-0.02
澳大利亚	41.1	40.9	-0.007	0.144
日本	111.1	108.7	-0.029	-0.163
中国	222.9	230	0.032	2.182

图 2-6-3 更直观地反映了全世界 29 个典型国家和地区的交通运输业终端总能耗,其中实心圆代表国家(中东和非洲也以实心圆代表),其位置与该国家在世界地图上的区域位置基本一致,圆的面积大小代表了 2009 年该国交通业终端总能耗;空心圆代表区域或大洲,圆的面积大小同样代表 2009 年该国交通业终端总能耗。由结果可见,美国 2009 年交通业总能耗约 826Mt 标准煤,为世界首位;其次为中国 230Mt 标准煤(独联体^①总和为 183Mt 标准煤,与中国相近);俄罗斯和日本分列第三位和第四位,约为 128Mt 标准煤和 109Mt 标准煤(中东地区总能耗约为 167Mt 标准煤);加拿大、欧洲主要国家和拉美主要国家的总能耗相近,约为 55~80Mt 标准煤。

清华大学中国车用能源研究中心(China Automotive Energy Research Center, CAERC)根据其开发的中国车用能源技术模型(TCAEM),结合中国逐年交通运输业国家统计数据,给出了中国交通运输业能耗现状和逐年发展过程的计算结果。其中,模型的输入条件包括中国经济发展、人口地理条件、技术进步和公共政策等因素,主要用以给出中国交通运输业能源消费量及结构变化统计和预测。

根据中国车用能源中心提供的计算结果,“十一五”期间,中国交通运输业

^① 图 2-6-3 中苏联除俄罗斯外包括 14 个国家:亚美尼亚、阿塞拜疆、白俄罗斯、爱沙尼亚、格鲁吉亚、哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦共和国、拉脱维亚、立陶宛、摩尔多瓦共和国、塔吉克斯坦、土库曼斯坦、乌克兰和乌兹别克斯坦共和国。

终端能源消耗量^①由2006年的2.12亿t标准煤增长到2010年的3.29亿t标准煤,增长了50%以上,增速超过了能源增长的平均增速。当年公路总能耗约为2.69亿t标准煤,约占交通业整体能耗的82%,是交通业能源消费的重中之重(见图2-6-2与表2-6-3)。

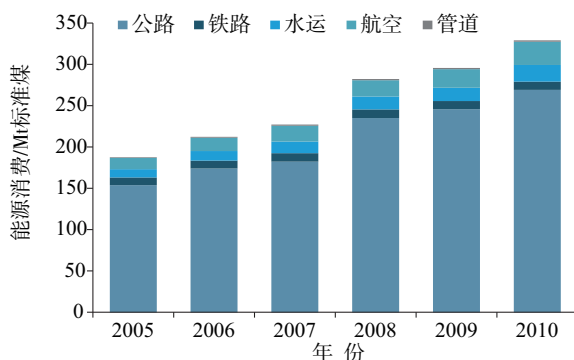


图2-6-2 2005—2010年中国交通运输业终端总能源消耗量

表2-6-3 2005—2010年中国交通业终端能源消耗

年份	2005	2006	2007	2008	2009	2010
交通业终端总能耗 ^② /Mt 标准煤	187.83	212.45	227.21	282.35	295.76	329.08
其中:公路/Mt 标准煤	153.93	174.08	182.45	235.10	245.77	269.17
铁路/Mt 标准煤	9.40	9.60	10.24	10.48	9.89	10.00
水运/Mt 标准煤	9.99	11.59	14.00	15.60	16.17	20.09
航空/Mt 标准煤	13.70	16.02	19.13	19.72	22.42	28.18
管道/Mt 标准煤	0.81	1.16	1.39	1.45	1.51	1.64
全国终端总能耗/Mt 标准煤	2 257.8	2 475.6	2 684.1	2 775.2	2 920.3	3 079.9
交通业占终端能耗比例/%	8.3	8.6	8.5	10.2	10.1	10.7

数据来源:中国能源统计年鉴,2011。

“十一五”期间中国交通运输业的能源构成也在逐渐调整(见图2-6-4)。由于中国货运与客运能源消耗主要以柴油和汽油为主,因此两者的消耗量约占中国交通运输业总消耗量的80%以上。其中,汽油消耗比例逐年降低,由2006年的36%下降到了2010年的28%;柴油消耗比例稳中有升,由2006年的50%上涨到了2010年的54%;天然气比例逐年上升明显,由2006年的不足1%增加到了2010年的3%;而航空煤油与燃料油比例并没有发生变化。图2-6-5为美国2008年交通运输业分类能源消耗量。

① 数据来源:清华大学中国车用能源研究中心。

② 数据来源:清华大学中国车用能源研究中心。

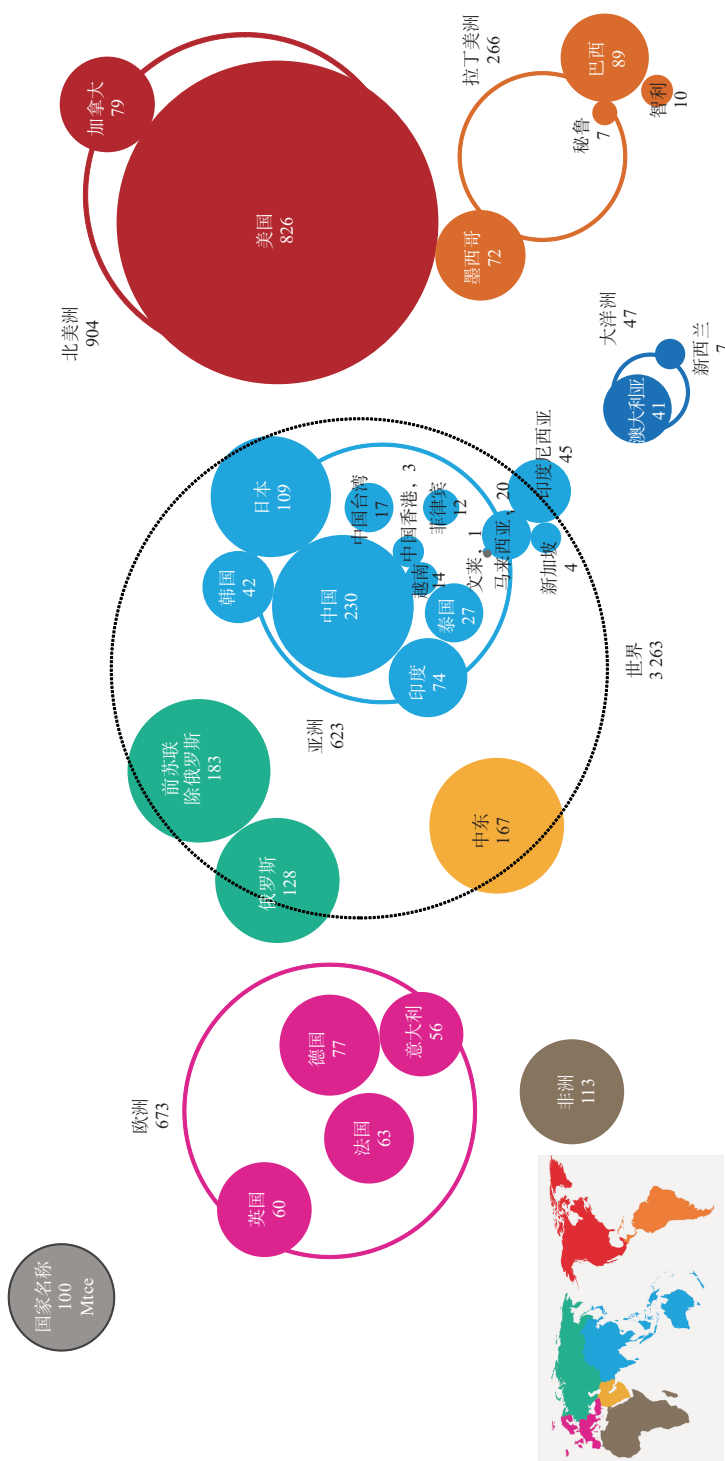


图 2-6-3 世界主要国家和地区 2009 年交通运输业终端总能耗 (单位: Mtce)

数据来源: Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan(2011). ISBN978-4-87973-359-7, Table 15.

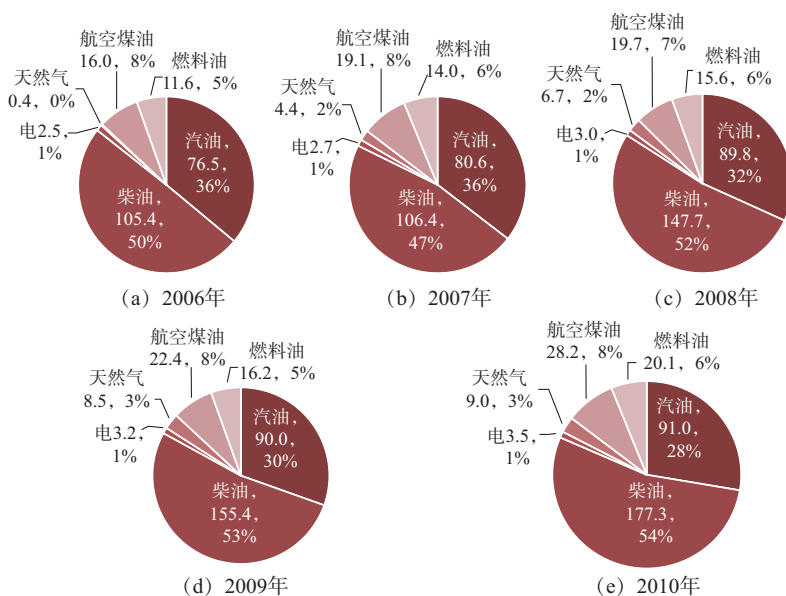


图 2-6-4 2005—2010 年中国交通运输业分类能源消耗量 (单位: Mt 标准煤)

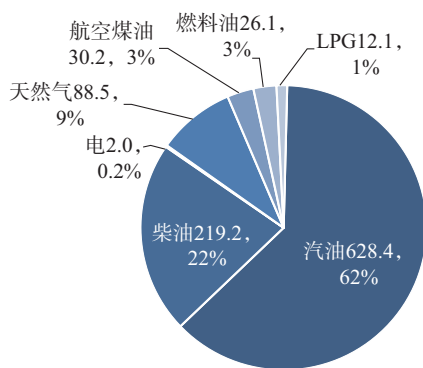


图 2-6-5 2008 年美国交通运输业分类能源消耗量 (单位: Mt 标准煤)

1.1.3 能耗强度

根据日本能源经济研究所能源数据和模型中心对全世界主要国家 2009 年交通运输业总能耗的统计数据,结合世界银行的国家人口统计数据,计算得到了主要国家交通业人均能耗强度,见图 2-6-6。该图中实心圆代表国家(中东和非洲以实心圆代表),位置与该国实际地理位置基本相同,圆的面积大小代表人均交通能耗强度;空心圆代表区域或大洲,圆面积大小同样代表区域人均交通能耗强度。

各国交通业人均能耗强度与总能耗呈现的特征迥异,表 2-6-4 将代表国

家分为了五类,其中世界主要高度发达国家人均能耗强度在 1 000kg 标准煤/人以上,中国、印度等发展中国家处于 500kg 标准煤/人以下。

表 2-6-4 世界各国和地区交通业人均能耗强度分类

分类	范围/(kg 标准煤/人)	包括国家和地区
第 I 类	EUI > 2 500	美国
第 II 类	1 500 < EUI ≤ 2 500	加拿大、澳大利亚、新西兰、新加坡
第 III 类	1 000 < EUI ≤ 1 500	英国、中国香港、法国、德国、意大利、日本
第 IV 类	500 < EUI ≤ 1 000	俄罗斯、韩国、中国台湾、马来西亚、墨西哥、智利
第 V 类	EUI ≤ 500	泰国、巴西、秘鲁、印度尼西亚、菲律宾、中国、越南、印度

从各子部门交通方式的能耗强度分析来看,中国交通运输模式除水运、铁路内燃机车和公路汽油火车能耗有所增加外,其余交通方式的能耗强度都较“十一五”初期有明显下降,见表 2-6-5。

表 2-6-5 2005—2010 年中国交通运输业不同运输方式的能耗强度

运输方式	运输机具	单位	2005	2006	2007	2008	2009	2010
公路	汽油客车	L/Mt·km	13.2	12.8	13.1	N. A	N. A	N. A
	柴油客车	L/Mt·km	11.6	11.2	11.2	N. A	N. A	N. A
	汽油货车	L/Mt·km	8	7.9	8.3	N. A	N. A	N. A
	柴油货车	L/Mt·km	6.3	6.5	6.3	N. A	N. A	N. A
铁路	单位运输工作量综合能耗	t 标准煤/Mt·km	6.48	6.12	5.78	5.60	5.33	4.94
	单位运输工作量主营综合能耗	t 标准煤/Mt·km	N. A	4.84	4.61	4.54	4.28	4.00
	电力机车	kWh/万 t·km	111.8	110	109.5	110.6	107.9	102.4
	内燃机车	kg/万 t·km	24.6	24.3	24.6	24.9	25.2	26.4
	高速铁路	kWh/万 t·km	—	—	—	—	—	259
航空	每吨公里耗油	kg/t·km	0.336	0.327	0.309	0.312	0.308	0.298
水运	每千吨公里耗油	kg/t·km	7	5	12	N. A	N. A	N. A

注:① N. A:当年年鉴缺少此数据;

②营运客车折算系数:汽油客车 1L 汽油 = 0.73kg, 1kg 汽油 = 1.471 4kg 标准煤;柴油汽车 1L 柴油 = 0.85kg, 1kg 柴油 = 1.457 1kg 标准煤;

③铁路数据来源:中华人民共和国铁道部 2010 年铁道部统计公报. 铁道部统计中心. 2011. 5. 9;

高速铁路单耗数据来源:王天宁,丁巍. 高速铁路能源消耗影响因素的探讨. 上海节能, 2011 (11): 25-28.

④航空折算系数:1kg 航空煤油 = 1.453 9kg 标准煤;

⑤水运折算系数:1kg 燃料油 = 1.428 6kg 标准煤。

数据来源:中国低碳发展报告, 2011。

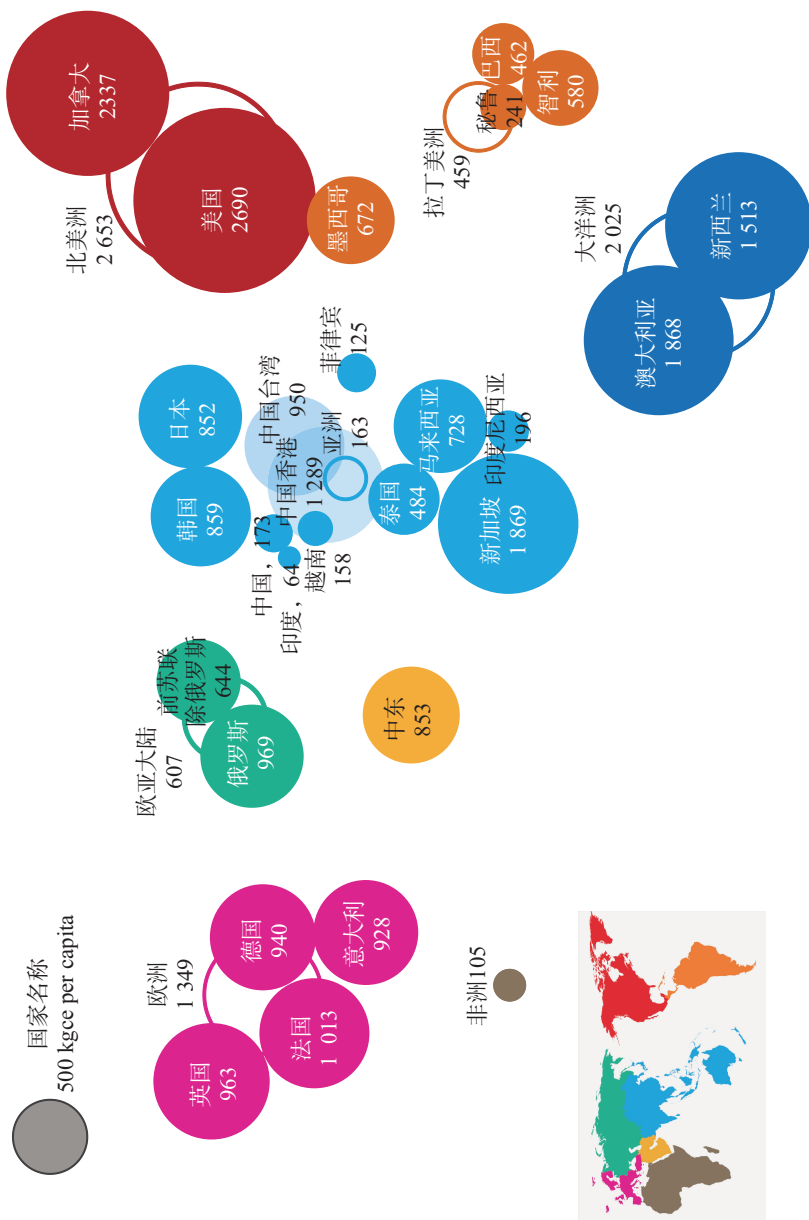


图2-6-6 世界主要国家和地区2009年交通运输业人均终端能耗强度(单位: kg标准煤/人)

数据来源: Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan(2009). ISBN978-4-87973-359-7. Table 15and Table 19.

(1) 分部门交通工具单耗分析

1) 铁路: 中国在“十五”期间已基本完成了内燃和电动机车替代蒸气机车的结构性改革, 至 2010 年, 中国国家铁路机车拥有量约为 1.83 万台, 其中内燃机车约占 54.7%, 电力机车约占 45.0%。

“十一五”期间, 中国内燃机车每万吨耗油量逐年增长, 由 2006 年的 24.3 kg/万 t 增加到 2010 年的 26.4 kg/万 t, 年平均增长率约为 2.1%; 而中国电力机车每万吨耗电量基本保持逐年下降趋势, 由 2006 年的 110 kWh/万 t 下降至 2010 年的 102.4 kWh/万 t, 下降了 7% (见图 2-6-7)。

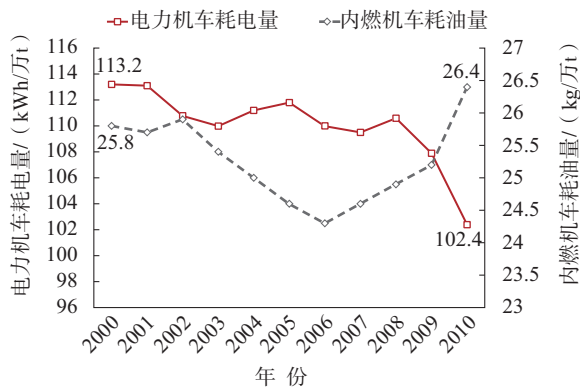


图 2-6-7 2000—2010 年铁路部门电力机车和内燃机车能耗强度

数据来源:《中国统计年鉴》,表 16-23 国家铁路运输主要技术经济指标。

由此可见,虽然内燃机车单耗较“十五”期间有明显上升,但电力机车单耗的下降,使得中国铁路电气化率全面提高的政策措施具有巨大的节能减排潜力。

2) 公路:“十一五”初期^①,由于《乘用车燃料消耗量限值标准》的出台与实施,中国乘用车整体能耗水平有很大改善。中国公路货车的百吨公里燃油消耗维持不变或略有上升,客车的单耗有明显下降(见图 2-6-8):汽油客车的百吨公里耗油量从“十五”末期的 13.2L 下降到了 13.1L,柴油客车从 11.6L 下降到了 11.2L;公路汽油货车的百吨公里燃油消耗从“十五”末期的 8L 上升到了 2007 年的 8.3L,柴油货车单耗基本不变。

3) 水运:中国水运总能耗约占交通运输业终端总能耗的 6.1%,其主要能源消耗为柴油和燃料油,主要用以满足中国货物运输需求。由图 2-6-8(6)可以看出,中国水运货物总周转量在 2010 年达到峰值,约为 68 427.5 亿 t·km,而水运单耗在 2007 年的每千吨公里耗油量约为 12kg,远远超过了“十五”期间的平均水平(见表 2-6-6)。可见,水运行业的单位运输量能耗节能减排潜力巨大。

^① 《中国交通年鉴 2010》缺少 2008—2010 年公路客货车单耗的统计数据。

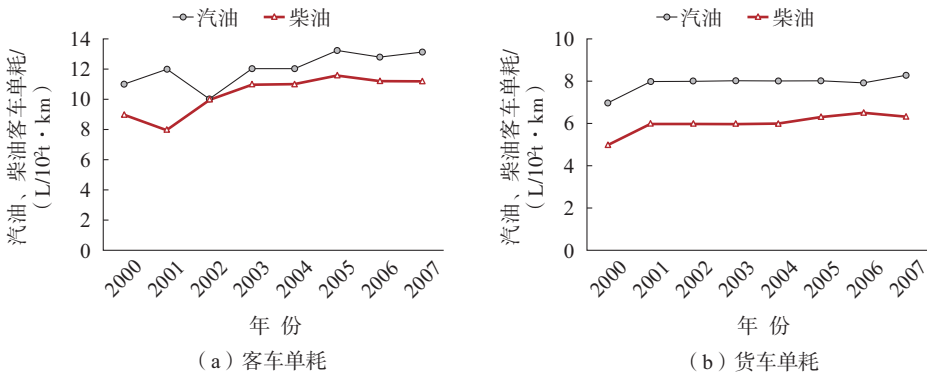


图 2-6-8 2000—2007 年公路部门汽油、柴油客车和汽油、柴油货车单耗

数据来源:《中国交通年鉴 2001—2008》,公路运输行业基本情况 - 燃料消耗。

表 2-6-6 2000—2007 年中国水运单耗

年 份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
水运单耗/(kg/10 ³ t·km)	9	2	6	6	6	7	5	12

数据来源:《中国交通年鉴 2001—2008》,水运行业基本情况 - 经济指标。

4) 航空:随着中国人民生活水平的日益提高,航空运输已经成为越来越多人的出行选择,航空业在“十一五”期间发展态势迅猛。图 2-6-9 显示,中国航空部门“十一五”期间旅客周转量,由 2006 年的 2 371 亿人公里增长到了 2010 年的 4 039 亿人公里,增加了 70.4%;而航线里程则由 289 万 km 增加到 333 万 km,增加了 15.2%。因此,航空运输部门在中国交通运输业节能减排中占有越来越重要的位置。“十一五”期间,中国航空单耗稳定下降,每吨公里耗油量由 2006 年的 0.327kg 下降到 2009 年的 0.308kg(见图 2-6-9)。

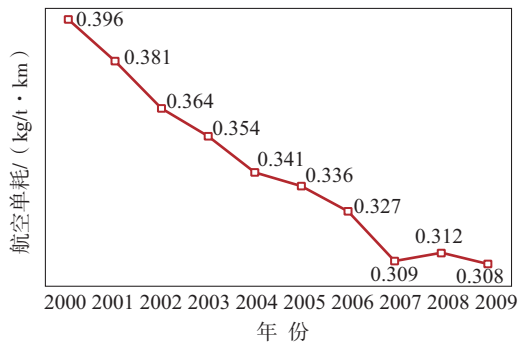


图 2-6-9 2000—2009 年航空部门每吨公里耗油量

数据来源:《中国交通年鉴 2001—2010》,民航各航空公司航油消耗情况统计。

5)管道:管道运输,是用管道为运输工具的一种长距离输送液体和气体物资的运输方式,是一种专门由生产地向市场输送石油、煤和化学产品的运输方式,是统一运输网中干线运输的特殊组成部分。由于统计数据的限制,中国并没有针对管道运输能耗的统计,但有研究表明,发达国家采用管道运输石油,每吨千米的能耗不足铁路的1/7,在大量运输时运输成本与水运接近。以运输石油为例,管道运输、水路运输、铁路运输的运输成本之比约为1:1:1.7。

(2)发达国家分部门交通工具单耗对比

图2-6-10和图2-6-11分别显示了美国和日本1990—2007年不同交通工具客运单耗的对比。总体来说,美国部分交通工具单耗出现了逐年下降趋势,但日本总体保持不变,交通运输各个子部门主要表现为以下特点:

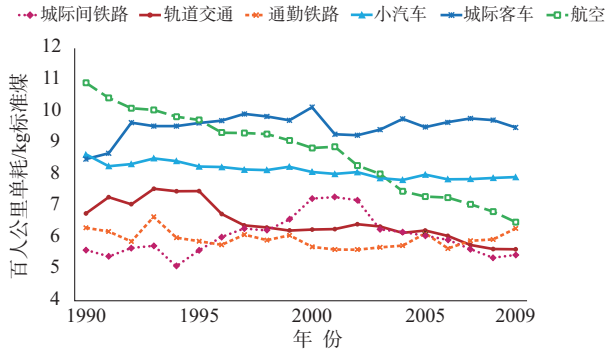


图 2-6-10 美国交通工具客运单耗对比

数据来源: Transportation Energy Data Book 30 Edition. Oak Ridge National Laboratory, June. 2011. Table 2-13, Table 2-14.

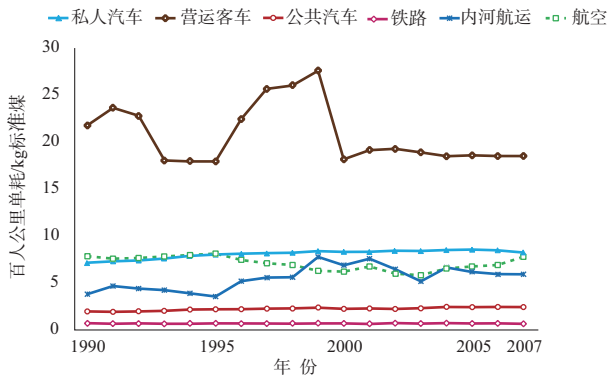


图 2-6-11 日本交通工具客运单耗对比

数据来源: Handbook of Energy and Economic Statistics in Japan.

The Energy Conservation Center, April 2009. Table 4-5.

1) 公路单耗:美国私人汽车单耗基本呈现逐年下降的趋势,百人公里单耗由1990年的10.9kg标准煤下降到2009年的7.9kg标准煤。但日本的私人汽车百人公里单耗出现缓慢的逐年上升趋势,由1990年的7.1kg标准煤上升到2007年的8.2kg标准煤。美国和日本的客车单耗均呈现波动不变的趋势,美国2009年城际客车百人公里单耗约为9.5kg标准煤,而日本2007年营运客车百人公里单耗约为18.5kg标准煤。美国统计数据中并没有给出“公共汽车”类型的交通工具客运单耗,日本公共汽车客运百人公里单耗逐年上升,2007年约为2.5kg标准煤。

2) 铁路单耗:美国的铁路数据细分为城际间铁路、轨道交通和通勤铁路三类。其中通勤铁路,专门连接市郊与城市中心、运输每日通勤者的市郊铁路。美国的轨道交通百人公里单耗在1995年之后呈现了逐年下降的趋势,2009年约为5.6kg标准煤;城际间铁路和通勤铁路百人公里单耗基本不变,2009年分别为5.5kg标准煤和6.3kg标准煤。日本的铁路百人公里单耗非常低,仅为0.7kg标准煤。

3) 航空单耗:美国航空百人公里单耗自1990年以来出现了明显的逐年降低趋势,由1990年的10.9kg标准煤降低到了6.5kg标准煤,下降了约40.4%。日本航空单耗自1995年逐渐下降,但自2000年开始又出现了上升,2007年航空百人公里单耗约为7.8kg标准煤,高于美国水平。

4) 内河航运:美国无内河航运客运单耗统计,日本内河航运百人公里单耗波动上升,2007年约为5.9kg标准煤。

图2-6-12为日本与美国主要货运交通方式逐年单耗的比较,其中,日本铁路货运与美国一级铁路货运单耗非常相近,2007年日本每百吨公里为0.81kg标准煤,而美国每百吨公里约为0.72kg标准煤。日本汽车货运每百吨公里能耗逐年降低,从1990年的13.2kg标准煤下降到2007年的10.4kg标准煤。日本航空货运每百吨公里能耗缓慢下降,2007年约为73.2kg标准煤。日本内河航运货运每百吨公里能耗缓慢上升,2007年约为2.9kg标准煤。

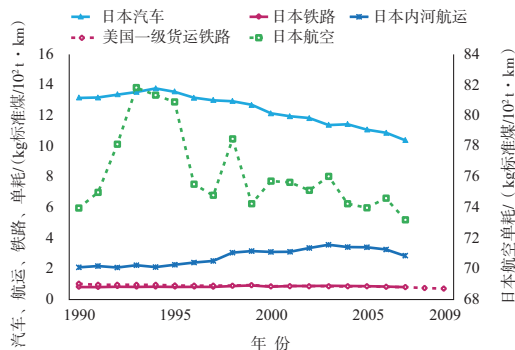


图 2-6-12 美国、日本交通工具货运单耗对比

数据来源: ①美国: Transportation Energy Data Book 30 Edition. Oak Ridge National Laboratory, June, 2011. Table 2-15. ②日本: Handbook of Energy and Economic Statistics in Japan. The Energy Conservation Center, April 2009. Table 4-5.

1.1.4 二氧化碳总排放与人均排放强度

2006—2010 年,中国交通行业二氧化碳排放总量与人均强度逐年持续增长,排放总量由 5.6 亿 t 二氧化碳增长到 7.0 亿 t 二氧化碳,年增长率约为 6.6%;而二氧化碳排放强度由 $425\text{kgCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$ 增长到 $530\text{kgCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$,年增长率约为 6.3% (见图 2-6-13)。

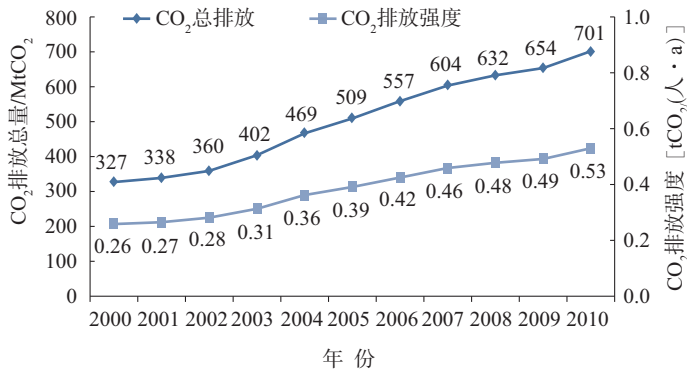


图 2-6-13 2000—2010 年中国交通业 CO₂ 排放总量与人均排放强度

数据来源:清华大学气候政策研究中心。

“十一五”与“十五”期间相比,由于中国经济的高速发展和人民生活水平的不断改善,交通运输业的总能耗和二氧化碳排放持续增加,但平均增速已经明显放缓,例如:交通运输业二氧化碳排放总量从“十五”期间的 9.4% 下降到“十一五”期间的 6.6%;而人均排放强度则由“十五”期间的 $8.7\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$ 下降到“十一五”期间的 $6.3\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$,可见“十一五”期间中国交通业实行的节能减排政策成效明显。

而与中国相比,美国交通业二氧化碳排放总量也基本呈现逐年上升的趋势,但 2007 年之后出现了明显下降。美国 2000 年二氧化碳排放总量约为 18.7 亿 t 二氧化碳,2007 年上升到最高值 20.4 亿 t 二氧化碳,2009 年又下降到 18.6 亿 t 二氧化碳。而日本则表现出逐年下降的明显趋势,由 2000 年的 265 亿 t 二氧化碳下降到 2008 年的 236 亿 t 二氧化碳,下降了约 10.9% (见图 2-6-14)。

比较交通运输业二氧化碳排放强度,美国交通业二氧化碳排放强度波动下降,由 2000 年的 $6.63\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$ 下降到 2009 年的 $6.04\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$,下降了近 10%。日本交通业二氧化碳排放强度逐年稳定下降,由 2000 年的 $2.09\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$ 下降到 $1.85\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$,下降了 11.5%。而中国 CO₂ 排放强度逐年上升,由 2000 年的 $0.26\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$ 上升到 2010 年的 $0.53\text{tCO}_2/(\text{人}\cdot\text{a})$,见图 2-6-15。

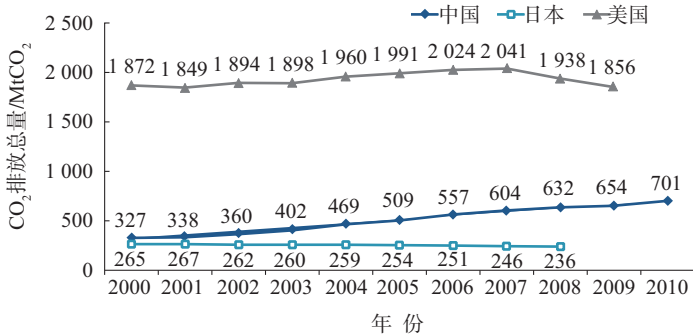


图 2-6-14 2000—2009 年中国、日本和美国交通业 CO₂ 排放总量比较

数据来源：日本：Ministry of the Environment, JAMA. 美国：Transportation Energy Data Book 30 Edition. Oak Ridge National Laboratory, June. 2011. Table 11-3. 中国：清华大学气候政策研究中心。

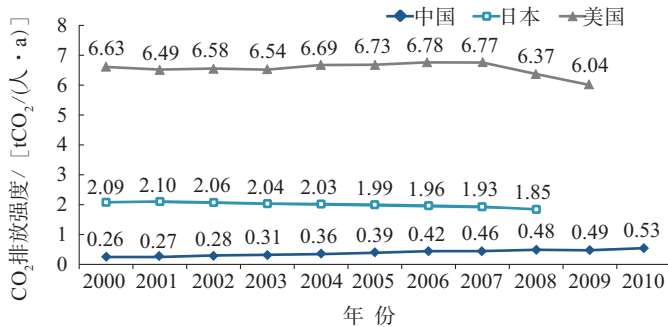


图 2-6-15 2000—2009 年中国、日本和美国交通业 CO₂ 排放强度比较

1.2 交通部门能源消费和二氧化碳排放趋势

1.2.1 发展驱动因素分析

中国交通运输业能源消耗和二氧化碳排放的影响因素复杂,但可以划分为四大类:经济发展、人口地理、技术进步和国家地方政策。

经济发展。中国的交通运输服务需求量与中国的经济规模总量、经济结构、产业结构和行业结构等宏观因素密切相关。有研究表明,自中国改革开放以来,中国的经济规模、交通运输服务需求量和交通能源消费量之间表征出了强正相关的关系。特别是随着中国加入 WTO 之后,经济迅速腾飞,且将在未来相当长的时间内处于经济快速增长期,因此, GDP 的增长率将一直是中国交通运输业需求量乃至能源消耗及二氧化碳排放的关键驱动因素。

人口地理。据世界银行预测,中国在 2030 年将达到人口峰值 13.6 亿,是一个人口众多的国家。同时,中国城市化率迅速增长,有研究预测,中国城市化

率将会从 2010 年的约 50% 快速增长到 2030 年的超过 65%。这两个因素决定了中国具有城市密集、人口密度高的特点,从而将会催生城市内交通、城际间交通服务量的迅速扩张。同时,中国国土面积广阔,铁路网、高速公路网不断处于发展与完善过程中。综上所述,中国的人口、地理因素也是中国交通运输业能源需求的关键驱动因素。

技术进步。公路、铁路、航空、水运和管道在未来的技术进步,将对中国交通运输业整体能源消耗和二氧化碳排放带来深刻的影响。汽车的节能技术会不断提高燃油经济性和降低二氧化碳、氮氧化物等污染物排放水平;新能源汽车、替代燃料的革新与成熟将会逐渐影响整体能源消费结构;航空飞机的节能技术会在航空出行需求量迅速扩张的未来平衡航空业能源消费;高速铁路技术的成熟应用也会明显提高铁路客运的出行效率,降低单位出行量能耗。

国家地方政策。除了各个子领域的关键技术变革和发展成熟外,实现各子领域运力的平衡和转移也可以实现重要的结构性节能效果。然而,这两者都受到政策导向的重要影响。中国交通运输业的宏观发展规划、重要产业指导条文、财政和税收支持条款等都会深入影响各个子领域技术的发展。

经济发展、人口地理、技术进步和政策影响是中国交通运输业发展的四个根本驱动因素,而交通运输服务需求量则是重要的表征因素。下面针对中国客货运服务量,特别是汽车保有量发展趋势进行进一步分析。

(1) 客货运服务量发展趋势

收入增长和经济增长是中国交通运输业客运周转量与货运周转量增长的主要驱动因素。根据 1.1.1 节中国交通运输业客货运周转量现状,本研究以现有趋势外推得到 2015 年、2020 年中国交通运输业分部门客货运周转量预测值,见图 2-6-16。

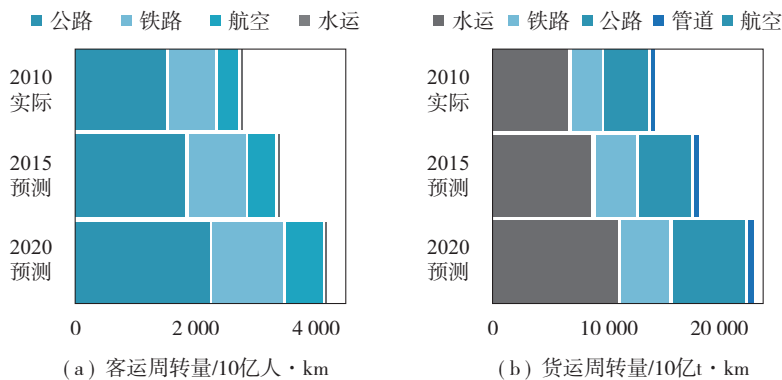


图 2-6-16 2015 年、2020 年中国客货运周转量预测

根据预测结果,至 2020 年,中国客运周转量将达到 41 807.1 亿人·km,较

2010 年增长了 49.8%；而货物周转量将达到 229 899.6 亿 t·km，较 2010 年增长了 62.1%。本研究的货物周转量预测结果与 2050 年中国能源和碳排放报告中给出的预测结果相近，见表 2-6-7。

表 2-6-7 本研究中客货运周转量预测值与现有国内研究成果的比较

单位:10 亿 t·km

类别	2010 年		2015 年		2020 年	
	本研究	2050 报告	本研究	2050 报告	本研究	2050 报告
水运	6 842.8	7 949	9 056.8	—	11 344.0	12 296
铁路	2 764.4	2 692	3 461.8	—	4 169.3	4 003
公路	4 339.0	3 565	5 235.0	—	7 046.0	6 853
管道	219.7	209	311.4	—	402.5	651
航空	17.9	12	21.4	—	28.0	29

注:2050 报告:2050 中国能源和碳排放报告,2050 中国能源和碳排放课题组,表 14-40;交通周转量(低碳和强化低碳情景)。由于该研究在 2010 年前进行,因此 2010 年“2050”报告值为预测值,“本研究”值为年鉴实际统计值。2050 报告中客货运周转量 2010 年基准值差别较大,因此不具有可比性,故不在此表中列出比较。

(2) 汽车保有量发展趋势

由于受到上述宏观经济发展、城市化进程等多方面复杂因素的影响,中国民用汽车保有量^①在过去五年经历了迅速的提高。2005 年末,中国民用汽车(包括载客汽车、载货汽车和其他汽车)约为 2 693.7 万辆;而截至 2010 年末,则增长到 7 801.8 万辆,比 2005 年增长了近 2 倍。2010 年中国民用汽车保有率达到千人 58.2 辆,比 2005 年的千人 20.7 辆增长了 1.8 倍,前者约为美国 20 世纪 20 年代和日本 1965 年的同期水平。

全国各省市自治区(不包括中国台湾、中国香港、西沙及南沙群岛数据)的民用汽车保有率中北京市、天津市和浙江省的保有率最高,分别为千人 229.2 辆、121.8 辆和 99.5 辆;其次为中国中北部省市及广东省,千人拥有量约为 60~80 辆;江西、广西、甘肃等经济欠发达省市,民用汽车保有率仍然较低。

中国汽车保有量在未来的增长潜力巨大,诸多研究机构和学者都做出了对 2020 年、2030 年和 2050 年三个时间节点的保有量预测(见图 2-6-17)。

1) 2020 年:国家发改委牵头进行的“中国能源综合发展战略与政策研究预

^① 中国民用汽车保有量,指每统计期末,在公安交通管理部门按照《机动车注册登记工作规范》,已注册登记领有民用各车辆拍照的全部汽车数量。汽车保有量统计的主要分类:根据汽车结构分为载客汽车、载货汽车和其他汽车;根据汽车所有者不同,分为个人(私人)汽车、单位汽车;根据汽车的使用性质分为营运汽车、非营运汽车;根据汽车大小规格不同,载客汽车分为大型、中型、小型和微型,载货汽车分为重型、中型和微型。

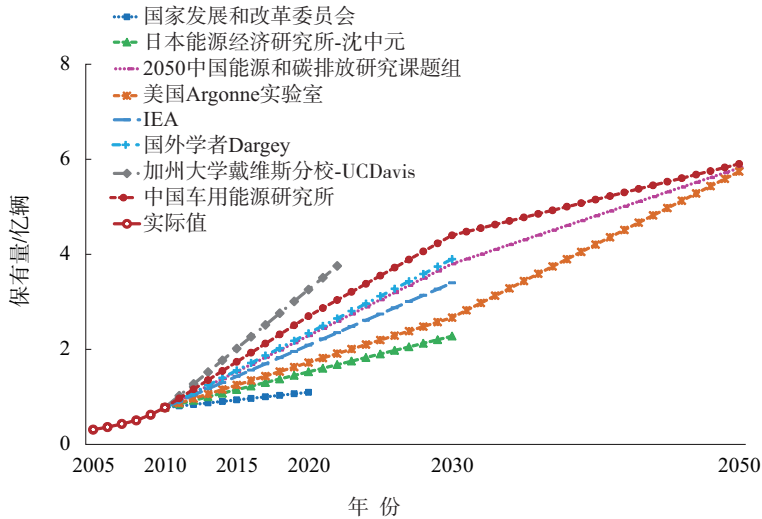


图 2-6-17 中国民用汽车保有量研究预测综述

- 数据来源：①国家发展和改革委员会，中国能源综合发展战略与政策研究，2004。
<http://www.efchina.org/CSEPCN/FReports.do?act=detail&id=149>。
 ②沈中元。利用收入分布曲线预测中国汽车保有量。环境科学研究所，28(8)：11-15。
 ③2050中国能源和碳排放报告。2050中国能源和碳排放研究课题组。北京：科学出版社，2009。
 ④Gargay J, Gately D, Sommer M. Vehicle ownership and income growth, worldwide; 1960-2030. Energy Journal, 28(4)：143-170。
 ⑤IEA, World Energy Outlook 2007。
 ⑥中国车用能源展望 2012，清华大学中国车用能源研究中心。北京：科学出版社，2012。
 ⑦中国汽车工业年鉴 2011，表 22-17：中国历年汽车拥有量。

测”和美国加州大学戴维斯分校分别给出了该年中国汽车保有量的最低预测值和最高预测值，范围为 1.1 亿~3.3 亿辆，清华大学中国车用能源研究中心的预测值为 2.7 亿辆；

2)2030 年：日本能源经济研究所中国学者沈中元和清华大学中国车用能源研究中心分别给出了最低与最高预测值，范围为 2.3 亿~4.4 亿辆，IEA 预测值居中，约为 3.4 亿辆；

3)2050 年：清华大学中国车用能源研究中心、2050 中国能源研究和碳排放研究课题组以及美国阿贡国家实验室的预测结果非常相近，均约为 5.7 亿~5.9 亿辆。

1.2.2 能源消费与二氧化碳排放总量预测

关于中国交通运输业能耗现状与未来趋势预测的既有研究较多，图 2-6-18 与表 2-6-8 综述了部分知名研究机构的研究成果。

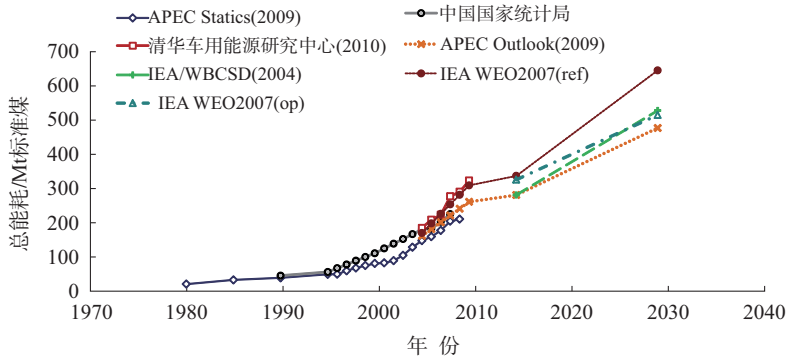


图 2-6-18 部分知名研究机构对中国交通部门总能耗现状分析与至 2030 年预测结果

从 2010 年能耗现状统计分析,亚太经合组织统计年报对中国交通业总能耗的统计值最低,2009 年交通业总能耗约为 2.14 亿 t 标准煤。清华大学车用能源研究中心给出的统计值最高,2010 年总能耗约为 3.29 亿 t 标准煤。国际能源署世界能源展望参考情景与车用能源中心统计结果非常相近,2010 年约为 3.15 亿 t 标准煤,较后者数据低约 5%。而中国国家统计局与亚太经合组织能源展望给出的统计结果相近,2010 年总能耗约为 2.66 亿 t 标准煤。

从 2015—2030 年预测结果分析,仅有 4 家研究机构针对中国的可能情景做出了预测。在 2015 年预测中,亚太经合组织能源展望与世界能源署可持续发展工商理事会的预测值最低,亚太经合组织和国际能源署的预测趋势相近。

经过比较分析,本研究中选用国际能源署世界能源展望参考情景(IEA WEO-ref.)作为 2015 年、2020 年能源基准情景,2015 年、2020 年中国交通业总能耗预测值约为 4.48 亿 t 标准煤和 5.53 亿 t 标准煤。

表 2-6-8 2005—2020 年部分知名研究机构对中国交通部门总能耗现状与预测

单位: Mt 标准煤

结果发布机构	英文缩写	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
中国国家统计局	NBSC	183.4	229.2(2008)	N. A	N. A
清华大学车用能源研究中心	CAERC	187.8	329.1	N. A	N. A
亚太经合组织统计年报	APEC Statics	150.2	213.9(2009)	N. A	N. A
亚太经合组织能源展望	APEC Outlook	164.5	265.7	286.0	352.7
世界能源署 - 世界可持续发展工商理事会	IEA WBCSD	N. A	N. A	370.1	454.1
国际能源署 - 世界能源展望(参考情景)	IEA WEO(ref)	173.0	314.8	448.1	552.9
国际能源署 - 世界能源展望(减排情景)	IEA WEO(op)	N. A	N. A	396.1	460.5

注: N. A 当年年鉴缺少此数据。

根据国际能源署世界能源展望参考情景(IEA WEO - ref.)计算,2015 年、2020 年基准情景下,中国交通业二氧化碳总排放量分别为 9.08 亿 tCO₂ 和 10.7 亿 tCO₂,较 2010 年增长了 29.5% 和 52.6%;人均二氧化碳排放量增长至 0.66tCO₂/人和 0.76tCO₂/人,较 2010 年增长了 25.1% 和 43.6%(见图 2-6-19)。

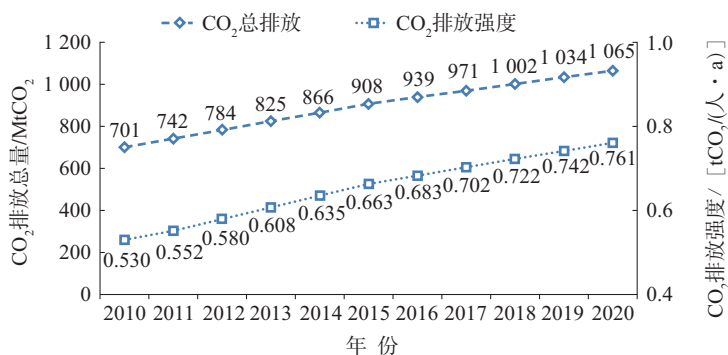


图 2-6-19 2010—2020 年中国交通业 CO₂ 排放总量与人均排放强度预测

数据来源:预测数据根据联合国 2030 年预测结果得出。

1.2.3 小结

根据本章研究结果,中国交通运输业能源消费总量、分品种能源结构、二氧化碳排放总量与减排目标、客货周转量和各种交通工具能耗强度现状与预测值总结见表 2-6-9。

表 2-6-9 中国交通业能源与 CO₂ 排放现状及预测

年份	2005	2010	2015	2020
能源消费量 ^① /Mtce	187.8	329.1	448.1	552.9
能源消费结构 ^②				
柴油/%	48.30	53.90	57.70	61.60
汽油/%	37.70	27.70	18.00	7.80
航空煤油/%	7.30	8.60	10.00	12.00
燃料油/%	5.30	5.30	7.40	8.90
电/%	1.20	1.10	3.50	3.20
天然气/%	0.20	2.70	3.00	5.00
新能源/%	—	—	0.50	1.50
CO ₂ 排放量 ^③ /MtCO ₂	509	701	908	1065
CO ₂ 减排目标 ^④ /MtCO ₂	—	—	46.9	124.3

续表

年 份		2005	2010	2015	2020
周转量 ^⑤					
客运	客运总周转量/10 亿人·km	1 746.6	2 789.4	3 043.7	4 178.9
	公路/10 亿人·km	929.2	1 502.1	1 819.1	2 228.5
	铁路/10 亿人·km	606.2	876.2	1 062.5	1 279.8
	航空/10 亿人·km	204.5	403.9	516.8	666.6
	水运/10 亿人·km	6.8	7.2	6.1	5.9
货运	货运总周转量/10 亿 t·km	8 025.8	14 183.7	18 086.4	22 990
	水运/10 亿 t·km	4 967.23	6 842.8	9 056.8	11 344
	铁路/10 亿 t·km	2 072.6	2 764.4	3 461.8	4 169.3
	公路/10 亿 t·km	869.32	4 339	5 235	7 046
	管道/10 亿 t·km	108.8	219.7	311.4	402.5
	航空/10 亿 t·km	7.89	17.9	21.4	28
能耗强度 ^⑥					
公路	汽油客车/(L/10 亿 t·km)	13.2	N. A	12.7	12.5
	柴油客车/(L/10 亿 t·km)	11.6	N. A	11.2	11
	汽油货车/(L/10 亿 t·km)	8	N. A	6.9	6.4
	柴油货车/(L/10 亿 t·km)	6.3	N. A	5.46	5.04
铁路	单位运输工作量 综合能耗/(标准煤/Mt·km)	6.48	4.94	4.45	3.96
航空	吨公里耗油/(标准煤/Mt·km)	0.336	0.298	0.28	0.262
水运	千吨公里耗油/(kg/10 ³ t·km)	7	N. A	11	10

注:N. A 无统计数据。

①2015 年、2020 年预测数据来源: IEA, World Energy Outlook 2007;

②2015 年、2020 年分品种能源消费比例根据现有趋势外推,同时考虑新能源在 2050 年比例将可能达到 5%(工信部预测),由此估算 2015 年、2020 年新能源比例;

③2015 年、2020 年预测数据来源: IEA, World Energy Outlook 2007;

④根据下文计算结果提出减排目标;

⑤2015 年、2020 年客货运周转量分别根据分部门 2000—2010 年实际统计数据趋势外推;

⑥现有关于 2020 年综合政策参考情景的研究下,客车燃油经济性相对 2010 年减少 5%,货车燃油经济性相对 2010 年减少 20%(数据来源:《中国车用能源展望》);铁路单耗较 2010 年下降 10%(铁道部,《深入贯彻落实科学发展观,进一步开创铁路现代化建设新局面》);航空单耗 2020 年较 2005 年下降 22% 指标完成(中国民用航空局出台《关于加快推进节能减排工作的指导意见》)。

1.3 促进节能减排的政策措施

1.3.1 “十一五”期间主要措施节能减排效果

“十一五”期间,中国交通运输业通过一系列税收、财政等政策提高各种交通运输工具单位运输能效、有效引导节能出行比例调整,特别是在限制营运车辆燃料消耗量限制方面取得了显著成效。表 2-6-16 综述了“十一五”期间中国交通运输业的主要措施及其对实现交通业节能减排目标的意义。

通过这些措施的有效实施,根据有关部门的统计,“十一五”期间中国交通运输业铁路、航空单位工作量能耗分别下降 23.8% 和 11.3%,超额完成了“十一五”时期的节能减排目标。而公路、水路行业尚无“十一五”时期实现情况的准确统计,但是在部分交通运输工具节能上也取得了明显效果(见表 2-6-10)。

表 2-6-10 “十一五”时期各部门节能目标实现情况

交通运输业子部门	节能目标	实际数据	完成情况
铁路 (铁道部,2011)	2010 年铁路单位营业收入总和能耗比 2005 年降低 20%	百万换算吨公里运输工作量总额和能耗由 2005 年的 6.48t 标准煤下降到 2010 年的 4.94t 标准煤,下降了 23.8%	超额完成
航空 (民航局,2011)	2010 年较 2005 年吨公里燃油消耗降低约 10%	吨公里燃油消耗由 2005 年的 0.336kg 下降到 2010 年的 0.298kg,下降了 11.3%	超额完成
公路 (交通运输部,2011)	2010 年与 2005 年相比,货车单位运输量能耗下降 5%	无单位运输量节能统计数据,节能汽车措施年节油量约为 30 万 t(发改委,2011)	无期末统计数据
水路	2010 年与 2005 年相比,船舶单位运输量能耗下降 10%	无统计数据	无期末统计数据

1.3.2 交通运输部门 2015 年、2020 年主要节能措施展望

从中国现已出台的交通运输业中长期发展规划与“十二五”规划来看,中国交通运输业“十二五”期间的节能减排目标(见表 2-6-11)较上一个五年计划有所降低,2015 年各子部门单位运输量节能指标约为 10%~15%(比较基准年有所不同),2020 年航空业节能指标与 2005 年相比超过 20%,节能减排任务非常艰巨。

表 2-6-11 2015 年、2020 年中国交通行业各部门节能目标

交通业子部门	节能目标
铁路	到 2015 年,单位运输收入综合能耗与 2010 年相比下降 10% (铁道部,2012)
公路	到 2015 年,营运车辆单位运输周转量能耗下降 10%,其中营运客车、营运货车分别下降 6% 和 12% (交通运输部,2012)
航空	到 2020 年,航空单位产出能耗和排放比 2005 年下降 22% (民航局,2011.4);到 2015 年,航空运输总周转量达到 990 亿 t·km,客运周转量比例提升至 16% (民航局,2011.5)
水运	到 2015 年,营运船舶单位运输周转量能耗较 2005 年下降 15%,其中海洋和内河船舶分别下降 16% 和 14% 以上 (交通运输部,2011.9)

总结“十一五”期间主要措施的实际效果,结合“十二五”时期交通运输部门发展特点,本报告认为交通运输业“十二五”时期的主要节能减排措施将集中在以下两个方面:

(1) 结构性节能减排措施

1) 调整运输能源结构:新能源的合理推广和使用。电动汽车(含插电式电动汽车和增程式混合动力汽车)是中国至 2020 年交通运输业减排的关键支撑技术。有预测表明,至 2030 年前是中国电动汽车的快速成长期,中国乘用车中的电动汽车比例将达到 14%,而客车中电动汽车比例将达到 5%。除此之外,发展替代燃料类汽车(如天然气汽车、甲醇燃料、乙醇燃料、二代生物柴油等)也是中国中远期替代汽油、柴油消耗与排放的重要举措之一。

2) 调整运输需求结构:引导节能的承运方式。由于中国经济的持续迅猛发展,中国客货周转量需求将在未来十年不断扩大,工业原料运输、成品配送以及农业产品产销地点周转量将有可能表现出大幅度增长的态势,因此有效调整与优化承运方式在各子行业中均具有重大节能减排意义。

在公路子部门中,应大力发展公共交通,促进居民日常出行方式由私人客运向公共交通的转移,提高公交出行分担率。同时在子行业之间,不断提高铁路在货运中的比例,降低水运货运比例,严格控制航空旅客承运比例。有研究表明,交通运输方式的优化调整措施,对 2020 年交通业总减排量的贡献率可以达到 65%。

3) 调整运输消费结构:各部门内承运方式的优化。在铁路子部门中,提高电气化率铁路比例;在水运子部门中,提高内河航运的承运比例。

(2) 技术性节能减排措施

从表 2-6-16 中可以看出,中国自 2006 年 11 月开始实施车型燃油消耗量公示以来,逐渐建立健全了乘用车燃油经济性政策,并在“十一五”期间分两个

阶段、针对新开发及在生产线上的轻型乘用车、轻型商务车、营运客车、营运货车、轻便摩托车、摩托车和慢速货车分别予以实施。“十二五”期间,随着燃油经济性第三阶段消耗量标准的出台,乘用车燃油消耗量将进一步降低。有相关研究预测,此项措施对 2020 年交通业总减排量的贡献率可能超过 30%。

事实上继续提高燃油经济性是多种具体措施的综合体,这些措施包括发动机优化改造技术(汽油机可变进气系统、汽油机缸内直喷 GDI 技术、均质压燃 HCCI 技术;柴油机排气后处理技术等)、整车自重降低、汽车外形优化、动力和传动系统汽配优化、节油轮胎和改善驾驶技术等。

2 交通部门关键减排技术选择

2.1 关键减排技术的定义和界定

交通部门的节能减排技术,指通过实施可有效降低交通工具运输过程中的实际能源消耗及二氧化碳排放的技术措施。主要包括结构性措施和技术性措施两种。本报告的关键措施选择,主要依据中国“十一五”、“十二五”期间交通部门相关法律法规、行业发展报告,并结合“十一五”实际节能效果分析、权威专家访谈与研究团队研讨等方式,最终比选出本部门节能减排效果好、推广普及空间大、具有持续竞争力等多项技术,进行进一步的成本与潜力估算。需要说明的是,本报告中比选的措施并不包括交通基础设施建设的节能减排措施(如公路路面改造、水运港口改造等)。

2.2 关键减排技术选择

根据比选,最终选择公路、铁路、水运和航空四个交通子部门中的 17 项关键节能减排技术进行减排成本与减排潜力分析,关键技术见表 2-6-12。

表 2-6-12 交通部门关键减排技术描述

子部门	子类	编号	技术内容	技术节能潜力
公路	汽车燃油经济性	A1	高效柴油轿车	替代传统汽油机轿车,热效率提高,燃油消耗率降低 11% ^a
		A2	均值压燃技术(HCCI) - 柴油车应用	全新内燃机缸内燃烧概念,热损耗低,燃烧周期短。相比传统柴油机或汽油机,燃油效率可提高 12% ~ 33% ^b
		A3	均值压燃技术(HCCI) - 汽油车应用	
		A4	汽油机缸内直喷技术(GDI)	降低节流损失,配合采用进气增压技术、高压压缩比发动机和多气门技术等,可降低燃油消耗 2% ~ 15% ^c
		A5	高效汽油货车	通过改进发动机、重货轻量化、子午线轮胎、改善路况等多种手段,燃油单耗可降低约 16% ^d
		A6	高效柴油货车	
	混合动力汽车	A7	插电式混合动力汽车	较常规混合动力系统增加了电能配比,燃油经济性可提升 50% 以上,每百公里耗油量和耗电量约为 2.2kg 和 5.43kWh ^e
		A8	非插电式混合动力汽车	以内燃机为主要驱动装置,电驱动系统为辅助驱动装置。不同车型的节油率可以达到 15% ~ 50% ^f

续表

子部门	子类	编号	技术内容	技术节能潜力
公路	纯电动车	A9	纯电动车	完全由电能驱动,每百公里平均耗电量为 18kWh ^e
	天然气汽车	A10	天然气出租车	以天然气替代传统汽油,在汽车上安装气瓶及配套设施。已在部分示范城市的出租车行业集中试点,现保有量达到 100 万辆 ^h
	替代燃料	A11	纤维素乙醇	非粮原料燃料乙醇在燃烧时,温室气体排放量比汽油低 90%。研究表明,汽车不经改造即可使用加入了 10% 燃料乙醇的汽油 ⁱ
		A12	生物柴油	相关研究表明,汽车使用生物柴油 CO ₂ 排放量较普通柴油可降低约 80% ^j 。实际年利用量约 40 万 t
	结构性调整	A13	提高公交出行率	根据交通运输部研究,每百公里人均能耗,公共汽车约为小汽车的 8.4%,电车为 3.4%~4%,地铁为 5%。有关研究表明,公交分担率每提高 1%,可减排约 166 万~352 万 tCO ₂ ^k
铁路	结构性调整	B1	提高铁路电气化率	至 2020 年,中国铁路营业里程将达到 12 万 km,电气化率将突破 60% ^l ,铁路网结构更趋合理
水运	结构性调整	C1	货运结构调整 - 提高内河航运承载比例	2020 年,全国内河航运货运量将达到 30 亿 t 以上,逐渐对铁路及公路货运进行分流 ^m 。单位运输量内河航运能耗约为公路运输的 10%,铁路运输的近 70%,高效节能 ⁿ
航空	降低单耗	D1	综合低成本改造技术	如翼型改造、机身机构改造(轻型座椅)、加强机身清洁等,降低航空单耗
		D2	桥载设备替代辅助动力单元(APU)	以固定在机场廊桥的电源机组或空调机组,依靠电力向飞机供应能源,较 APU 平均每架次可减少燃油消耗约 200L ^o

资料来源: a、b. 王建昕,王志,2010;c. 杨嘉林,2008;d. 王蕾,2008;e. 姜炜,张君鸿,张鹏君,2011; f. 清华大学中国车用能源研究中心,2012;g. 网络资料(中国 10 款纯电动汽车资料),2011;h. 网络资料(天然气出租车),2011;i. 张杰,李岩,许海朋等,2008;j. 马其华,宋建桐,2007;k. 清华大学低碳政策研究所,2011;l. 铁道部,2004;m. 国务院,2011;n. 张卫,曹淑艳,李庆祥,2007;o. 网络资料(APU 地面使用),2010.

3 关键减排技术的减排成本和潜力分析

3.1 关键减排技术成本计算

本报告中关键技术的减排成本,定义为在技术寿命期内,某项技术的增量成本与二氧化碳减排量的比值[见公式(1)]。其中,增量成本指某项节能减排技术与基准技术比较时所增加的成本,即两个方案之间的成本差额,等于应用某项技术增加的经济投入和收益之差,其中经济投入又包括初始投入和运营维护费用两部分[见公式(2)]。

$$\text{某项技术减碳成本} = \frac{\text{该项技术寿命期内的增量成本}}{\text{该项技术寿命期内的 CO}_2 \text{ 减排量}} \quad (1)$$

$$\text{某项技术在寿命期内的增量成本} = (\text{该技术所有投资} - \text{基准技术方案的所有投资}) - (\text{该技术方案所有运行费用} - \text{基准技术方案所有运行费用}) \quad (2)$$

本报告从多方面考虑了交通部门节能减排的要素成本(见表2-6-13),包括分品种能源价格、税费(包括购置税、车船使用税)、保险费(包括商业险、交强险等)、技术投资成本、保养维护费用、基础建设费用等;同时也考虑了资金的时间价值,设置了交通部门的统一折现率,以及能源价格的年平均涨幅。同时,本研究并不考虑任何现行和将来的税收及碳价,但考虑了部分技术措施的现有补贴政策。

表 2-6-13 交通部门关键减排技术潜力及成本分析的主要参数

主要范围	分类	本研究取值
CO ₂ 折算系数	电力	1kWh = 0.695 6kgCO ₂
	汽油	1kg = 2.97kgCO ₂
	柴油	1kg = 3.15kg - CO ₂
	天然气	1m ³ 天然气 = 1.65kg - CO ₂
能源价格 (2010 年基准值)	电	居民用电 = 0.487 元/kWh
		商业用电 = 0.636 元/kWh
	汽油	8 720 元/t
	柴油	7 970 元/t
	航空燃油	7 725 元/t
天然气	3.6 元/m ³	

续表

主要范围	分类	本研究取值
能源价格涨幅	电	年平均增长率 = 2%
	汽油、柴油	年平均增长率 = 11%
	航空燃油	年平均增长率 = 7.7%
	天然气	年平均增长率 = 1.78%
折现率	—	交通部门统一值 = 8%
部分措施普及率假设	高效柴油轿车	2015 年 = 98% , 2020 年 = 95%
	均值压燃技术(HCCI)	柴油车:2015 年 = 3% , 2020 年 = 5% 汽油车:2015 年 = 20% , 2020 年 = 40%
	汽油机缸内直喷技术(GDI)	2015 年 = 3% , 2020 年 = 5%
	高效汽油货车	2015 年 = 25% , 2020 年 = 50%
	高效柴油货车	2015 年 = 25% , 2020 年 = 50%
	铁路电气化率	2015 年 = 54% , 2020 年 = 60%
其他基本假设	客车平均年行驶距离	1 万 km
	货车平均年行驶距离	8 万 km

注：①CO₂ 折算系数来源：《中国低碳发展研究报告 2012》；

②能源价格涨幅为历史数据趋势平均值，数据来源：《中国物价年鉴》表 6-31 主产省煤炭价格统计；《中国统计年鉴》表 9-12 天然气价格统计；汽油、柴油、航空燃油价格数据来源：Wind。

本报告总共考察了交通部门内 17 项节能减排技术的减碳成本，其中 15 项均是 2020 年累计节能潜力超过 100 万 t 二氧化碳的技术。而其中燃油经济性和各子部门的结构性调整措施最为重要，两者综合节能潜力超过总节能潜力的 80%。每项技术 2015 年、2020 年减排成本见表 2-6-4。其中，有三项技术在 2015 年、2020 年的减排成本由正变负，累计节能量的积极效应逐渐超过投资增量，分别是汽油机缸内直喷技术(GDI)、均质压燃技术(HCCI)和插电式混合动力汽车，需要在 2016—2020 年加大政策扶持。

表 2-6-14 2015 年、2020 年交通部门关键减排技术减排成本分析结果汇总

单位：元/CO₂

子部门	技术种类及编号	技术内容	2015 年	2020 年	
公路	技术 A1	高效柴油轿车	1 840.7	-2 641.5	
	技术 A2	均值压燃技术(HCCI) - 柴油车应用	2 040.4	-1 114.4	
	技术 A3	均值压燃技术(HCCI) - 汽油车应用	-426.7	-1 941.2	
	技术 A4	汽油机缸内直喷技术(GDI)	-1 081.1	-2 281.1	
	技术 A5	高效汽油货车	-941.7	-2 250.6	
	技术 A6	高效柴油货车	-312.6	-1 690.0	
	混合动力汽车	技术 A7	插电式混合动力汽车	3 042.7	-966.1
		技术 A8	非插电式混合动力汽车	2 160.2	352.5

续表

子部门	技术种类及编号		技术内容	2015年	2020年
公路	纯电动车	技术 A9	纯电动车	5 300.2	4 128.8
	天然气汽车	技术 A10	天然气出租车	-983.2	-4 505
	替代燃料	技术 A11	纤维素乙醇	856.0	633.7
		技术 A12	生物柴油	285.0	37.7
	结构性调整	技术 A13	提高公交出行率	-241.9	-641.2
铁路	结构性调整	技术 B1	提高电气化率	1 509.8	1 405.0
水运	结构性调整	技术 C1	货运结构调整 - 提高内河航运承载比例	-2 851.0	-3 096.0
航空	降低单耗	技术 D1	综合低成本改造技术	3 615.2	771.5
		技术 D2	桥载设备替代辅助动力单元(APU)	1 796.0	746.2

与建筑部门相比,交通部门的关键减排技术减排成本较高,这主要与新技术高额的投资费用(包括研发费用、实验费用、技术设施建设费用和设备购置费用)以及有限的推广量直接相关。以电动汽车技术为例,据统计数据显示,电动车平均日运营里程 80 ~ 90km,其中,单次充电运营里程最远是 130km,因此必须要在一定的辐射半径下建造换电站或充电站。长安造 MINI 纯电动汽车比普通汽车每辆售价高出 10 万 ~ 15 万元,但单条换电站的基础设施建设至少需要 3 000 万元,而满足 50 辆电动车充电的充电站基础设施建设约需要 1 200 万元。这无疑加大了新技术的投资增量成本,因而提高了单位减排量减排成本。

3.2 关键减排技术减排潜力分析

表 2-6-15 为本研究最终计算的交通部门 17 项关键技术 2015 年、2020 年当年减排潜力汇总,2015 年技术减排总潜力约为 0.42 亿 t 二氧化碳,2020 年技术减排总潜力增加到 1.13 亿 t 二氧化碳。

表 2-6-15 2015 年、2020 年交通部门关键减排技术减排潜力汇总

单位: MtCO₂

子部门	技术种类及编号		技术内容	2015年	2020年
公路	汽车燃油经济性	技术 A1	高效柴油轿车	0.26	2.37
		技术 A2	均值压燃技术(HCCI) - 柴油车应用	0.02	0.35
		技术 A3	均值压燃技术(HCCI) - 汽油车应用	4.00	14.68
		技术 A4	汽油机缸内直喷技术(GDI)	1.32	4.86
		技术 A5	高效汽油货车	0.09	0.32
		技术 A6	高效柴油货车	8.22	28.52

续表

子部门	技术种类及编号		技术内容	2015 年	2020 年
公路	混合动力汽车	技术 A7	插电式混合动力汽车	0.29	3.58
		技术 A8	非插电式混合动力汽车	0.70	7.03
	纯电动车	技术 A9	纯电动车	0.30	2.48
	天然气汽车	技术 A10	天然气出租车	1.52	2.28
	替代燃料	技术 A11	纤维素乙醇	2.02	4.04
		技术 A12	生物柴油	1.19	2.39
	结构性调整	技术 A13	提高公交出行率	6.54	15.88
铁路	结构性调整	技术 B1	提高电气化率	0.66	12.67
水运	结构性调整	技术 C1	货运结构调整 - 提高内河航运承载比例	11.50	16.98
航空	降低单耗	技术 D1	综合低成本改造技术	0.75	1.84
		技术 D2	桥载设备替代辅助动力单元(APU)	2.64	4.25
合计				42.01	113.10

2015 年中国交通运输业参考情景总排放约为 9.08 亿 t 二氧化碳,减排情景总排放约为 8.66 亿 t 二氧化碳,较参考情景减排 4.6%,其中燃油经济性、结构性调整、新能源汽车与替代燃料和降低航空单耗四个方面的减排贡献率分别为 33.1%、44.5%、14.3% 和 8.1% (见图 2-6-20),可见汽车燃油经济性和交通运输结构性调整仍然起到决定性作用。新能源汽车与替代燃料,由于在未来五年受到推广量限制,其减排贡献率仍有较大空间提高。

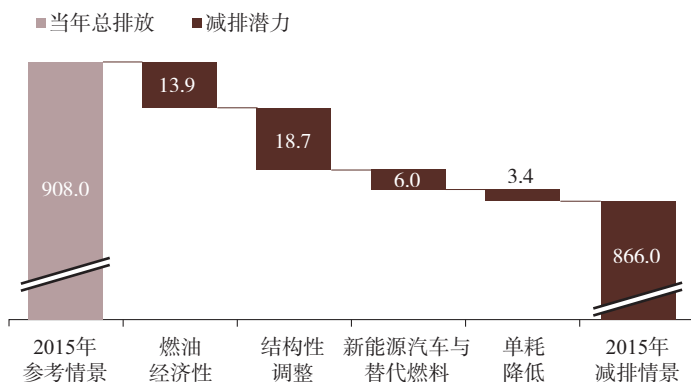


图 2-6-20 2015 年中国交通运输业主要措施减排潜力贡献(单位: MtCO₂)

从各子部门的具体减排措施来评测(见图 2-6-21),减排潜力最大的 5 项技术依次为:提高内河航运承担货运的比例(技术 C1)、高效柴油货车(技术

A6)、提高公交出行率(技术 A13)、均值压燃技术(HDDI) – 汽油车应用(技术 A3)以及桥载设备替代辅助动力单元 APU(技术 D2),总减排潜力约为0.38 亿 t 二氧化碳,超过 2015 年交通运输业总减排潜力的 90%。

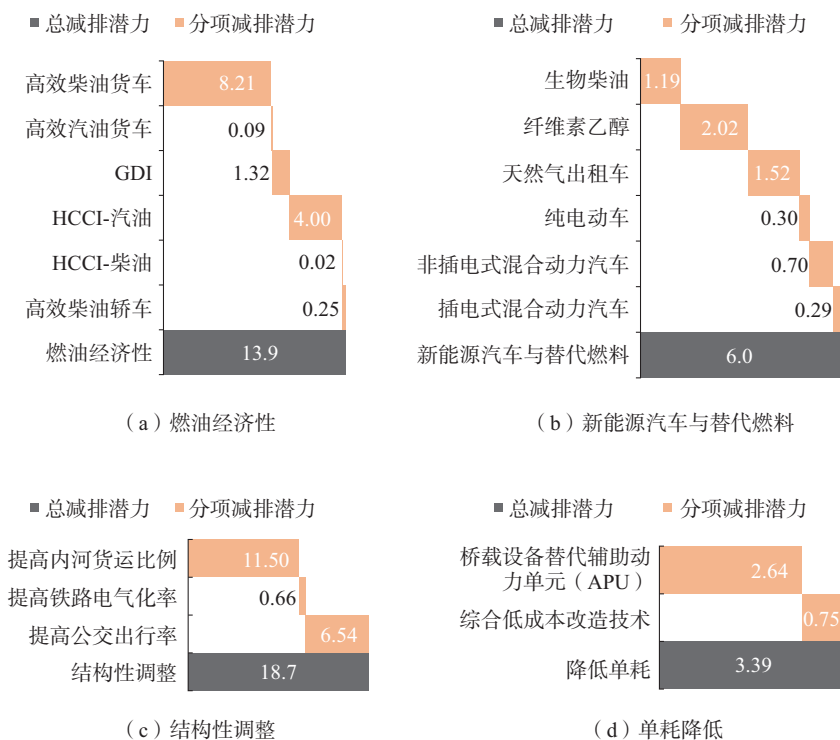
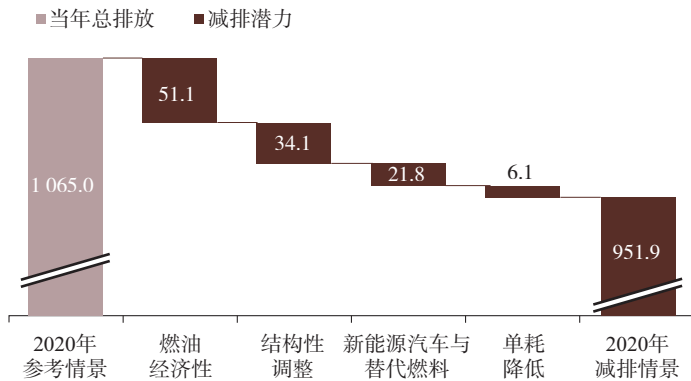
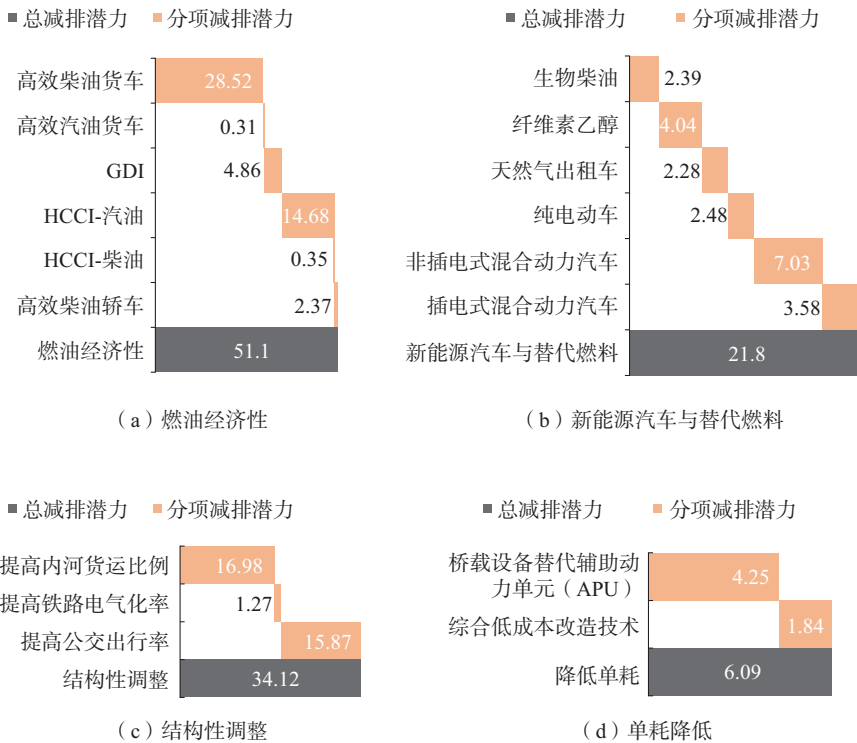


图 2-6-21 2015 年中国交通运输业各项措施减排潜力(单位: MtCO₂)

2020 年中国交通运输业参考情景总排放约为 10.65 亿 t 二氧化碳,减排情景总排放约为 9.52 亿 t 二氧化碳,较参考情景减排 10.6%,其中燃油经济性、结构性调整、新能源汽车与替代燃料和降低航空单耗四个方面的减排贡献率分别为 45.2%、30.2%、19.3% 和 5.4% (见图 2-6-22)。新能源汽车与替代燃料,由于技术和市场的日趋成熟,其推广量迅速扩大,减排潜力有所增长。

从各子部门的具体减排措施来评测(见图 2-6-23),减排潜力最大的 5 项技术依次为:高效柴油货车(技术 A6)、提高内河航运承担货运的比例(技术 C1)、提高公交出行率(技术 A13)、均质压燃技术(HDDI) – 汽油车应用(技术 A3)以及非插电式混合动力汽车(技术 A8),总减排潜力约为 0.83 亿 t 二氧化碳,超过 2020 年交通运输业总减排潜力的 70%。

图 2-6-24 为上述 17 项节能减排技术 2020 年的减排成本曲线,从中可以看出,其中高效柴油轿车、均值压燃技术(HCCI) – 柴油车应用、均值压燃技术

图 2-6-22 2020 年中国交通运输业主要措施减排潜力贡献 (单位: MtCO₂)图 2-6-23 2020 年中国交通运输业各项措施减排潜力 (单位: MtCO₂)

(HCCI) - 汽油车应用、汽油机缸内直喷技术(GDI)、高效汽油货车、高效柴油货车、插电式混合动力汽车和天然气出租车等技术的减排成本为负值,2020 年这些技术的减排潜力约占 17 项技术减排潜力的 50%。因此,这些技术也是交通部门在未来要大力推广与应用的技术。

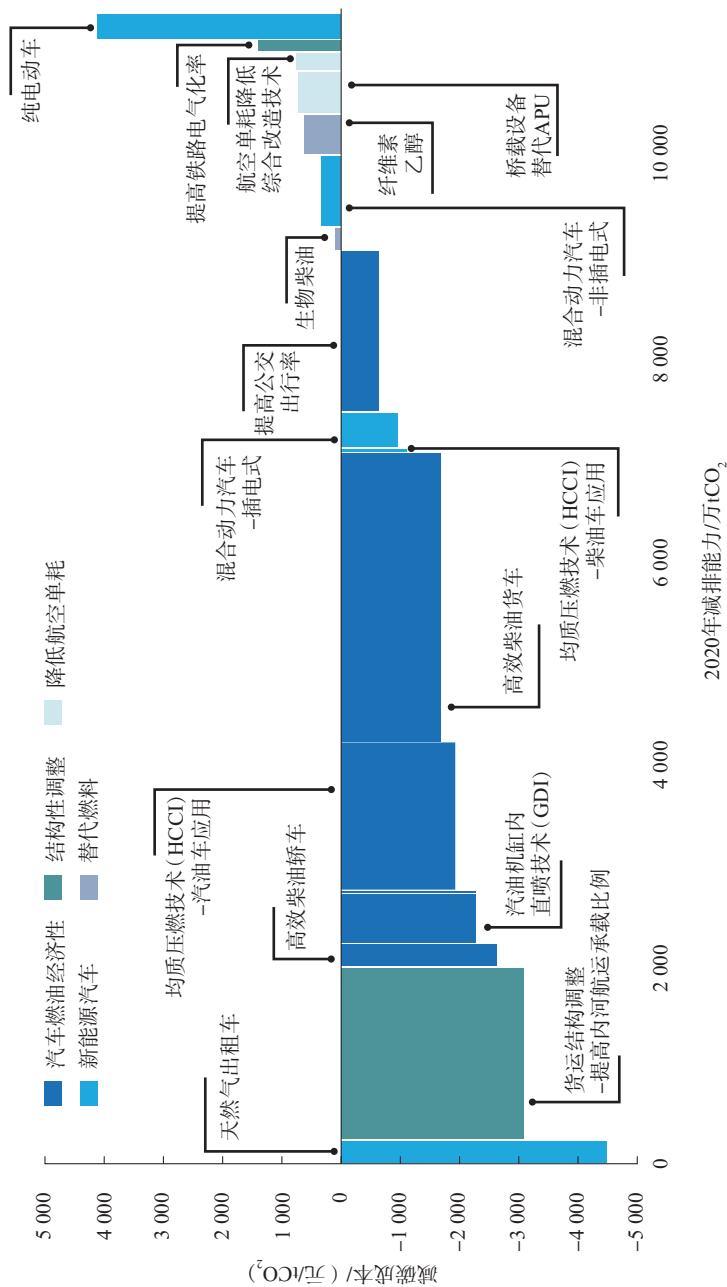


图2-6-24 2020年中国交通运输业关键减排技术减排潜力与成本分析

4 实施关键减排技术的障碍、投资和政策需求

4.1 实施关键减排技术的障碍

本报告中所涉及的中国交通运输业关键减排技术,除汽车燃油经济性有关措施已经得到持续化的推广与改进之外,多数技术仍然在推广和探索过程中,部分技术推广率较低,在实际应用中还存在诸多障碍。

(1)核心技术、高新技术与世界先进水平仍存在差距。在新能源汽车技术获得突破并成熟市场化之前,中国交通运输业减排仍然主要依靠对传统技术的能效改善,然而中国汽车、航空与船舶等的传统发动机高新节能技术创新不足,核心技术和零部件制造工艺仍存在依赖国外企业的现象,自主品牌发展受限;而新能源汽车的研究内容和研究思路不够清晰,对有关技术的基础性研究不足,积累经验相对较少。比如,电动汽车电池的现有研发,针对各种车型的多种电池,没有规划与重点,因此也渐入瓶颈,较难有所突破。

(2)新能源汽车、替代燃料规模受限,成本较高。目前,PEV 和 HEV 所使用的蓄电池组的价格依然较高,虽然国家斥巨资补助,并出台了相应的财政政策,但由于其规模受限,成本难以大幅度降低,多数消费者仍然难以承受。

(3)基础配套设施亟待完善。如电动汽车,由于其配套充电站、充电桩、充电接口等满足产业化要求的城市基础设施和服务体系现今仍处于匮乏状态,因此严重影响了电动汽车使用人群的出行半径,进而影响了电动汽车的产业发展和推广量。

(4)公共交通发展相对迟缓,同时受到机动车保有量激增的冲击。从本报告的研究结果来看,提高公共交通出行率在未来十年具有客观的减排空间,需要持续提高。然而目前,中国多数城市的公交分担率不足 15%,虽然部分城市的公交优先政策陆续出台,公交基础投资逐渐加大,但公共交通发展仍然相对迟缓。随着中国城市机动车保有量的不断增加,加之部分城市交通规划欠佳,导致交通拥堵现象严重,使得公共交通出行速度缓慢,从而严重影响了市民选择公共交通的比例。

(5)缺乏对产品、技术及项目的科学管理与实际效果认证体系。实际调研结果发现,中国 2008 年启动的“十城千辆”示范工作的实际效果并不理想,多数示范城市存在盲目上报指标、示范工程获得审批后不落实等“形象工程”现象,新能源汽车、替代燃料等示范项目存在管理真空现象,急需有关部门落实责任

制、建立并完善监管和评价体系、实事求是、积极认真地以实际节能量说话。

4.2 实施关键减排技术的投资需求

(1) 创新投融资体制,拓宽融资渠道。对于交通命脉或重要基础措施,仍坚定不移地采用政府直接投资方式,而对于新能源汽车、替代燃料研发等具有明显外部性且投资赢利较低、风险较大的项目或设施,可以灵活采用市场化较高的投融资方式,以政府和企业共同承担,并在相关法律法规的完善下,逐渐引导企业发挥重要作用。将交通运输业的基础设施投资由行业和子部门行为逐渐向政府和社会行为转变。

(2) 加大对基础设施的投资建设。拉动交通基础设施建设投资,对应对中国客运、货运需求的持续快速增长及国民经济增长的稳定需求具有重要作用。至 2020 年,中国交通部门可以重点增大高速铁路、西部干线铁路、国家高速公路网、内河航运网和城市内及城际间快轨交通的基础设施投资,全面优化全国交通运输网络。

(3) 加快智能交通系统投资。随着中国城市化进程的加快、机动车保有量的持续增加以及城市日益拥堵的交通现象,特别是 2011 年交通部连续出台的《公路水路交通运输信息化“十二五”发展规划》和《公路水路交通运输“十二五”科技发展规划》,中国智能交通产业可能成为未来十年交通运输业重要的投资方向,逐渐形成“四个体系”(高速公路智能交通体系、水上智能交通体系、铁路智能交通体系以及城市智能交通体系)和“三大系统”(通信系统、监控系统和收费系统)的特色行业,从而拉动部分对智能交通前端的视频监控设备厂商、整体解决方案厂商以及城市智能交通运营商的风险投资。

4.3 实施关键减排技术的政策需求

(1) 不断完善与扩展燃油经济性政策。根据本报告研究结果,如果继续有力实施针对乘用车、商用车、营运客货车等的燃油经济性标准,至 2020 年可至少实现约 0.7 亿 t 的二氧化碳减排,效果非常可观。因此,中国应积极保证燃油经济性第三阶段标准的实施效果,逐渐实施更加严格的执行标准,特别是在下述四个方面予以加强:

第一,应重点加强对高质量段车型的燃油消耗量限制,做到“大小兼顾”;

第二,除继续深入落实乘用车燃油消耗量标准限值之外,应重点加强对营运客货车特别是柴油货车的燃油消耗量控制。由本报告计算结果可知,至 2020 年,通过一系列综合节能技术措施,高效柴油货车的减排潜力约为 0.6 亿 t 二氧化碳,未来减排潜力巨大;

第三,逐渐从“单车控制目标”转变为“企业控制目标”;

第四,逐渐完善除汽油、燃油燃料外的其他类型汽车相关燃耗规定。

(2)积极发展小排量汽车。汽车的燃油消耗随着排量上升而迅速增长,统计数据表明,中国发动机排量、功率、整车制备质量以及中高排量进口车数量在近年来出现了不同程度的增长,这也反作用到燃油经济性标准的实施,导致了车辆燃油消耗量的增加。因此,中国应综合采取消费税、进口税减免等多种力大的财政税收政策促进经济型轿车的发展,限制大排量高排放汽车的生产与销售。

(3)加强子部门联合,实现结构性减排的集约效应。根据本报告研究成果,公路、铁路及水路三个子部门的关键结构性调整措施,可以在 2020 年实现约 0.35 亿 t 二氧化碳的节能潜力。因此,要破除子部门间的信息屏障,着重实现不同子部门间的运力协调,在货运方面,由高单耗的公路货运逐渐向低单耗的铁路、水运货运转移;在客运方面,大力发展高速铁路与城际间快轨,转移航空需求量的盲目急速上升,以实现中国交通运输业的整体优化和节能。

(4)加强对核心技术、高新技术的研发支持。分析结果显示,电动汽车和混合动力汽车在未来十年的中后期逐渐显现减排优势,并且也将成为中国中远期交通业节能减排的持续性支撑技术,但现今电池技术成为了制约电动汽车大规模发展的瓶颈。因此,交通行业应在未来加强对例如电动汽车电池技术等核心技术的研发规划与力量,有条不紊地、有针对性地对瓶颈问题“逐个击破”,循序渐进地提高中国交通核心科技与自主研发力量。

(5)加快建立健全以实际能源消耗为导向的交通运输能耗考核体系。中国交通业现行的能源消耗评价和考核指标主要为单位运输周转量能耗和单位增加值能耗两种。然而,现有的能耗考核体系存在以下重要问题亟待改善:

第一,子部门间的统计指标口径不统一,缺乏科学可比性。比如,铁路部门采用单位营业收入能源消耗量指标,而公路与水路部门则采用单位运输周转量能耗指标,两者在比较能源整体利用效率时存在误区;

第二,交通运输部门缺乏整体的能耗数据收集、分析与评测体系,子部门间统计工作分散,应加强行业内规划与衔接,逐渐确立统一、以单位旅客周转量和单位货物周转量为参照的实际能源消耗考核体系。

(6)关注航空子部门的能源消耗发展。“十一五”期间,中国航空旅客运输量超过 10 亿人次,年均增长速度约为 14.1%,仍是中国综合交通运输体系中增速最快的。随着中国人均出行量与出行效率的提高,关注发展最快的航空部门,合理规划、加强技术减排,避免由于过快增长而带来的能耗激增,对于中国交通业未来减排具有重要意义。

表 2-6-16 “十一五”期间中国交通运输业发布实施的节能减排政策与标准汇总

所属子部门	政策名称	发布或实施时间	发布单位	重要节能减排目标及意义
第一类：整体能源政策与结构性调整				
行业通用	产业结构调整指导目录(2007 年本)	2007 年底发布	发改委	新能源汽车正式入选,可享受生产、销售和税收等多方面政策支持
	中华人民共和国节约能源法	2008-04-01 实施	国务院	使节约能源成为了中国的基本国策,进一步完善了中国的节能制度
	中国应对气候变化的政策与行动白皮书	2008-10-29 发布	国务院	鼓励节能环保小排量汽车等技术发展
	2010 年工业节能与综合利用工作要点	2010-03-18 印发	工信部	加快淘汰交通行业落后产能,积极推进节能技术并加强相关法规、制度建设,同时也指出要大力发展推广汽车节能减排“五新”(新技术、新产品、新工艺、新设备和新材料)
	国家中长期铁路网规划	2004	国务院	至 2020 年,全国铁路营业里程达到 10 万 km,主要繁忙干线实现客货分线,复线率和电气化率均达到 50%
航空	航空行业节能减排规划	2008-12-15 发布	航空局	提出通过航空公司节油、地面公司节能、加强空管优化与加强航空单位办公节能四个方面实现至 2015 年规划节能目标
公路	关于鼓励发展节能环保型小排量汽车的意见	2006-01-04 发布	国家发改委等六部委	明令各地在 2006 年 3 月底前取消对小排量汽车的现实,以“限污染”代替“限小”
	关于进一步加强节油节电工作的通知	2008-08-01 下发	国务院	严格执行车辆淘汰制度,完善汽车燃油经济性标准,鼓励使用新能源车
水运	汽车产业调整和振兴规划	2009-03-20 发布	国务院	规划针对 2009—2011 年,对推进国内汽车产业结构升级具有重要意义
	关于港口节能减排工作的指导意见	2007-12-20 印发	交通部	大力推广节能新技术等,示范推进港口“油改电”技术改造,靠港船舶使用岸电技术改造

续表

所属子部门	政策名称	发布或实施时间	发布单位	重要节能减排目标及意义	
第二类: 新能源利用					
行业通用	国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定	2010-10-18	国务院	将新能源汽车产业作为战略性新兴产业,提出突破动力电池、驱动电机和电子控制领域核心技术,推进插电式混合动力汽车、纯电动汽车推广应用和产业化,开展燃料电池汽车相关前沿技术研发	
	新能源汽车生产准入管理规则(征求意见稿)	2007-03 发布	国家发改委	为准入企业设立了较高门槛,并实行苛刻的一票否决制	
	新能源汽车生产企业及产品准入管理规则	2009-07 实施	工信部	增加了新能源汽车三个技术阶段的产品准入条件	
	车用燃料甲醇	2009-11-01 实施	国标委	全面推进和规范中国甲醇燃料的使用,同时促进甲醇汽车技术的发展	
	电动汽车传导式充电接口 电动汽车充电站通用要求 电动汽车电池管理系统与非车载充电机之间的通讯协议 轻型混合动力电动汽车能量消耗量试验方法	2010-04-08	全国汽车标准化委员会	建立健全中国新能源汽车标准体系奠定基础	
	生物柴油调和燃料(B5)	2011-02-01 开始实施	国标委	全面推进和规范生物柴油燃料使用,同时促进生物柴油燃料在车用发动机上的应用	
	汽车用燃料电池发电系统技术文件	2011-05-01 开始实施	国标委	为燃料电池汽车的研究与开发提供了准则和规范	
	混合动力电动汽车类型	2010-11-22 出台	国标委	规定了混合动力电动汽车的类型和定义,为新能源汽车的分类提供了标准和依据	
	公路				

续表

所属子部门	政策名称	发布或实施时间	发布单位	重要节能减排目标及意义
第三类:燃油经济性标准				
公路	车型油耗公示制度正式启动	2006-11-03 实施	发改委	消费者可以在发改委网站上查到每款汽车的综合油耗。发改委首先公布了 34 个企业的 409 个汽车车型的综合油耗
	第二批乘用车燃料消耗量	2007-07 公布	发改委	公布符合和不符合《乘用车燃料消耗限值》的车型和企业
	百公里耗油标示	2008-07-01 实施	发改委	新车在出厂时必须加贴统一的百公里油耗标示
	乘用车燃料消耗量限值 (GB 19578—2004) 第二阶段	2008-01-01 实施	国家标准局	规定了乘用车新定车型型的燃料消耗量标准
	轻型商用车燃料消耗量限值 (GB 20997—2007)	2008-02-01 实施	国家标准局	为轻型商用车设定了两个阶段的燃油消耗量限值
	低速货车燃料消耗量限值及测量方法 (GB 21378—2008)	2008-06-01 实施	国家标准局	规定了低速货车燃油消耗量限值
	轻型汽车燃料消耗量标示管理规定 (征求意见稿)	2009-06-22	工信部	对设计车重不超过 3.5t 的汽油车或柴油车的燃料消耗量进行标示
	乘用车燃料消耗量限值第二阶段	2009-01-01 实施	国家标准局	强制限制乘用车油耗
	轻型汽车燃料消耗量标示管理规定	2010-01-01 开始实施	工信部	建立轻型汽车燃料消耗量公示制度,汽车企业必须在车身上粘贴实际油耗标识,以便消费者判断选择
	乘用车燃料消耗量评价方法及指标 (报批稿) 第三阶段	2010-11-01	国标委	第三阶段限值标准沿用以整车质量作为基准参数的单车燃料消耗量评价体系,同时引入“企业平均燃料消耗量目标值”概念,将企业作为评价对象,节能要求更为严格

续表

所属子部门	政策名称	发布或实施时间	发布单位	重要节能减排目标及意义
第四类:税费改革				
公路	消费税率调整	2006-04-01 实施	国税局	新版消费税进一步拉大了不同排量汽车的税率差距,以鼓励小排量汽车发展
	国家税务总局关于调整部分乘用车进口环节消费税的通知	2008-09-01 实施	国税局	排量 $\leq 1.0\text{L}$,进口环节消费税税率3%下降到1%; $3.0\text{L}<$ 排量 $\leq 4.0\text{L}$,15%上调到25%;排量 $> 4.0\text{L}$,20%上调至40%
	成品油税费改革	2008-12-05	国税局	汽油消费税由0.2元/L提高到1元,柴油消费税由0.1元/L提高到0.8元/L
	新燃油消费税	2009-01-01 实施	国税局	取消公路养路费等多项收费,将价内征收的汽油消费税由0.2元/L提高到1元/L,柴油消费税由0.1元/L提高到0.8元/L,其他成品油消费税单位税额也相应提高。这将促进合理的用油机制
	1.6L以下排量乘用车购置税改革	2009-01-02 实施	国税局	5%起征点
	1.6L以下排量乘用车购置税改革	2011-01-01 开始实施	国税局	由2009年5%税率征收改为7.5%,1.6L以下排量自2011年起全部使用10%税率。鼓励小排量汽车销售
公路、水运	中华人民共和国车船税法(草案)	2010-10-12 通过	国务院	乘用车根据排量划分为7档征税,由60~5400元不等 ^①

① 乘用车版税划分:①排量 $\leq 1.0\text{L}$,60~360元;② $1.0\text{L}<$ 排量 $\leq 1.6\text{L}$,360~660元;③ $1.6\text{L}<$ 排量 $\leq 2.0\text{L}$,660~960元;④ $2.0\text{L}<$ 排量 $\leq 2.5\text{L}$,960~1620元;⑤ $2.5\text{L}<$ 排量 $\leq 3.0\text{L}$,1620~2460元;⑥ $3.0\text{L}<$ 排量 $\leq 4.0\text{L}$,2460~3600元;⑦排量 $> 4.0\text{L}$,3600~5400元。

续表

所属子部门	政策名称	发布或实施时间	发布单位	重要节能减排目标及意义
第五类:财政支持政策				
公路	节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法	2009-02 公布	财政部、科技部	对个人或单位购买新能源汽车给予补助
	汽车摩托车下乡实施方案	2009-03-13	国务院	对换购轻型载货车或卫星客车销售价格的10%给予补贴
	汽车以旧换新实施办法	2009-06~2010-05 实施	商务部	报废车型可以享受3 000~6 000元不等的补贴。2009年12月补贴标准提高
	“节能产品惠民工程”节能汽车(1.6L及以下乘用车)推广实施细则	2010-05-06 印发	财政部、发改委、工信部	发动机排量为1.6L及以下的燃用汽油、柴油的乘用车(含混合动力汽车和双燃料汽车)在达到汽车综合燃油消耗量限值的情况下,可以由生产商进行申请,消费者购车时给予一次性补助
	开展私人购买新能源汽车补贴试点工作的通知	2010-06-01 发布	财政部、科技部、工信部	在5个试点城市实施补贴方案,这一政策将推动新能源汽车的研发和销售,鼓励新能源汽车消费,由此推动新能源汽车的发展
第六类:示范项目				
公路、水运	关于组织开展“十一五”全国重点推广再用车节能产品(技术)第一批推选工作的通知	2006-06-22 发布	交通部	逐步实施对节能产品的目录管理
	关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知	2009-01-23 公布	财政部、科技部	在全国13个省市开展节能与新能源汽车的节能试点工作
公路	节能与新能源汽车示范推广应用工程推荐车型目录	2009-08-11 发布	工信部	先后两批目录
	第一批至第三批节能产品惠民工程节能汽车(1.6L及以下乘用车)的推广目录	2010	工信部、发改委、财政部	入围目录的车型综合工况油耗比现行标准降低约20%,中央财政将针对消费者购买推广目录中的节能汽车给予每辆3 000元的节能补助

参考文献

- [1] Transport, energy and CO₂ – Moving toward sustainability, International Energy Agency, 2009.
- [2] 《中国统计年鉴 2011》表 16 - 7, 表 16 - 9.
- [3] 《中国能源统计年鉴 2011》表 4 - 1: 能源消费总量和构成(采用电热当量计算法)。
- [4] 《中国低碳发展报告 2011—2012》, 表 11 - 26. 注明: 以下所有折算系数来源于《2010 中国低碳发展报告》, 北京: 科学出版社, 2011.
- [5] 《铁路“十一五”节能和资源综合利用规划》, 铁道部“十一五”节能情况公示
- [6] 《中国民用航空发展第十一个五年规划》, 中国民航公示.
- [7] 交通运输部, 2011. 《在结构性节能和技术性节能上取得效果》, http://www.gov.cn/jrzq/2008-06/18/content_1020577.htm.
- [8] 国家发改委, 2011. 《“节能产品惠民工程”取得明显成效——“十一五”节能减排回顾之六》, http://www.sdpc.gov.cn/xwfb/t20111009_437354.htm.
- [9] 铁道部, 2012. 《深入贯彻落实科学发展观, 进一步开创铁路现代化建设新局面》。
- [10] 交通运输部, 《公路水路交通运输节能减排“十二五”规划》。
- [11] 民航局, 《关于加快推进行业节能减排工作的指导意见》, 2011 - 4 - 12 发布.
- [12] 民航局, 《中国民用航空发展第十二个五年规划》, 2011 - 05 - 09 发布.
- [13] 交通运输部, 《“十二五”水运节能减排总体推进实施方案》, 2011 - 09 - 28 印发.
- [14] 王建昕, 王志. 高效清洁车用汽油机燃烧的研究进展. 汽车安全与节能学报, 2010, 1(3): 167 - 178.
- [15] 杨嘉林. 车用汽油机的节油潜力及高效汽油机的可行性. 内燃机学报, 2008, 26: 77 - 82.
- [16] 清华大学中国车用能源研究中心, 《中国车用能源展望 2012》, 北京: 科学出版社.
- [17] 百度文库, 中国 10 款纯电动汽车资料
<http://wenku.baidu.com/view/b862b07301f69e3143329462.html> [2011 - 10 - 17] 天然气出租车, http://www.zgjtb.com/content/2011-12/04/content_204980.htm
- [18] 张杰, 李岩, 许海朋, 等, 纤维素乙醇发展现状, 山东科学, 2008(10): 39 - 42.

-
- [19] 马其华, 宋建桐. 生物柴油作为汽车新能源的特点, 农业装备与车辆工程, 2007(11):6-8.
- [20] 《中国低碳发展研究报告 2010》, 表 10-18: 不同燃油构成、公交分担率变化条件下可能减少的 CO₂ 排放(情景 1).
- [21] 铁道部, 《中长期铁路网规划》, 《中长期综合交通网规划》, 2004.
- [22] 国务院, 2011. 《关于加快长江等内河水运发展意见》, 国发[2011]2 号.
- [23] 张卫, 曹淑艳, 李庆祥. 水运交通节能效益评估, 生态经济(学术版), 2007(1):198-201.
- [24] 航空公司应大力减少飞机 APU 的地面使用, 中国民航电子报, 2010-03-23. http://editor.caacnews.com.cn/mhb/html/2010-03/23/content_59251.htm.

中国重点耗能行业推广和普及节能减排技术的障碍和对策分析

《中国主要部门和行业 2020 年二氧化碳减排技术的潜力和成本研究》课题选择钢铁、有色金属、水泥和化工四个重点耗能行业为主要研究对象,分析其能源消费和二氧化碳排放趋势,并对一些关键减排技术的减排潜力和减排成本进行计算和分析。各行业专家提出了一系列关键减排技术清单,在扣除这些技术实施带来的经济效益后,绝大多数减排技术的减排成本都在负几百元每吨二氧化碳的水平上。但同时行业专家也提出了许多推广和普及这些技术的障碍,这就给我们提出了一系列问题:为什么经济效益好、投资回报高、又能获得减排二氧化碳额外效果的技术在推广和普及上困难重重?难道企业不想降低成本吗?难道银行和投资人不愿意向回收期短的项目投资吗?这些问题的答案显然是否定的,为什么实际情况与我们的直观判断和理论分析有那么大的差距,本研究试图从技术实施的角度审视这一问题,并结合多年与工业企业交流获得的第一手材料,探讨在重点耗能行业碳减排技术推广和普及的障碍,并分析背后的原因,提出解决问题的初步建议。研究的重点在技术的推广和普及的障碍,技术研发和市场化不在本研究范围内。

本研究分为五章,第一章综述以往研究和行业专家对减排技术推广障碍分析的成果和结论,对照国家为促进节能减排的政策措施,分析哪些政策对克服障碍的作用有限制;第二章是本研究的重点,通过对企业采用一项节能减排技术全过程的分析,寻找那些阻碍技术采用但又常常被人忽视的障碍细节,分析产生这些障碍的原因;第三章对减排技术的界定进行分析,阐述现有减排技术分类对技术推广和普及的局限性,提出有利于技术推广的分类方法;第四章以水泥低温余热发电在中国的推广为案例,从实际过程看节能减排技术推广和普及的障碍;第五章在以上分析的基础上,重新归纳总结重点耗能行业推广和普及碳减排技术的障碍,并提出政策建议。

1 现有障碍分析评述

很多技术都可以带来减少二氧化碳排放的效果,对于重点耗能行业,提高能源利用效率、降低化石能源和电力消费是主要的减排措施。减排技术推广与普及障碍在很大程度上等同于节能技术推广与普及障碍。实际上二氧化碳减排是节能带来的附带效果,节能量可以直接或间接测量,而减排量是根据节能量和节约的能源品种等参数计算得到的。目前二氧化碳减排是关注的焦点,如果减排量被定价,无疑会促进节能技术的推广。

1.1 文献调研

中外研究人员一直没有停止对提高能源效率障碍的探讨和总结,并根据不同障碍产生的原因,提出有针对性的政策建议,许多建议被政府部门采纳并制定了相应的政策。例如,节能设备售价高于普通设备造成市场销售困难,研究人员用“初始投资高”(Higher initial capital costs)来描述这一障碍,克服它的主要措施是通过补贴或回扣,适当缩小节能产品与普通产品间价格的差距,鼓励人们购买节能产品,或者通过颁布最低能效标准,让低效产品退出市场。这样的政策在推广高效家用电器、节能灯等方面收到良好效果。基于公众不了解节能产品作用的事实,研究人员总结为“信息缺乏”障碍,通过能效标识等手段克服这一障碍。

国际能源署(IEA)在近期发表的研究报告中对提高能效在 OECD 国家的障碍进行了重新梳理,总结出九大障碍(IEA 2011):

- (1) 初始投资成本高;
- (2) 主要负责人不重视;
- (3) 投资者不了解能效产品;
- (4) 风险披露不足;
- (5) 贴现率问题;
- (6) 外部效益难以量化;
- (7) 激励难以在承租人和业主之间分割;
- (8) 对节能技术缺乏认识;
- (9) 缺乏合格的技术人员。

IEA 认为,激励难以在承租人和业主之间分割、对节能技术缺乏认识和缺乏合格的技术人员三大障碍主要发生在建筑能效提高领域,其他障碍存在于各

个行业。

世界可持续发展工商理事会(WBCSD)认为障碍来自10个方面(见表3-1)。

表3-1 能效技术的障碍

障碍名称	产生障碍的原因
能源价格低或多变	1. 对高碳能源的补贴 2. 价格不含环境成本
初始投资成本高	3. 缺乏资金
已有技术扩散缓慢	4. 缺乏采用技术的技能、知识和支持 5. 分裂的、非综合性的工业结构
传统的商业模式	6. 缺乏鼓励能源公司降低客户消费的措施
客户以及能源需求的多样性	7. 没有一个技术可以解决所有问题
建筑的初始投资成本高和回收期长	8. 投资居民建筑或新汽车的资金缺乏,多数消费者只看重当前的消费费用
缺乏信息	9. 关于未来能源价格和可选的能效措施的信息缺失或不完整
激励分割	10. 做节能决定的人不获利(例如,建筑物所有者和承租人)
投资的不确定性和风险	11. 不确定性增加额外费用
消费者行为	12. 能效投资的优先权低 13. 缺乏对能源支出的关注和相关信息
投资成本高于预期	14. 项目成本没有包括所有的交易成本

资料来源:WBCSD,2011。

比较IEA和WBCSD的分析可以发现,尽管对障碍的提炼和总结程度有差异,但其中很多内容的实质是相同的,WBCSD更侧重从公司的角度分析问题,公司包括能源服务公司、节能设备生产公司和能源供应公司。

针对企业特别是工业企业能效改进,国内有些研究人员把障碍分为认识障碍、技术障碍和融资障碍三大类。认识障碍指企业高管对节能减排的重要性和紧迫性的认识还有待提高,也就是IEA提出的主要负责人不重视。技术障碍包括企业缺乏权威、有效的信息,很难判断技术的真假,对技术的选择和风险评估把握不准;技术的拥有者、设备供应商或节能服务公司可能夸大节能效果,实施后节能量远低于可研报告中的数据,造成不良影响,这与IEA总结的风险披露不足、初始投资成本高和贴现率问题有关。融资障碍主要针对银行对节能项目的评估把握不准、担心贷款无法回收而对节能技改项目的融资要求过于谨慎,也就是投资者不了解能效产品。

泰国工业行业能效提高障碍调查显示,节能技改投资的不确定性、技改效果的不确定性和为技改中断生产是工业企业认为的首要障碍,中小企业普遍反

映是缺乏融资渠道,而企业内部缺乏节能知识和人才也是企业不敢投资节能技改的另一重要原因(Hasanbeigi,2010)。

PEW 中心对大公司能效改进的障碍做了更为详细的分析,按企业内部运作、供应链管理、产品与服务三方面共总结出如下 19 个障碍(Prindle,2010):

- (1) 缺乏项目资金:节能项目竞争力低于其他具有优先权的项目;
- (2) 过短的回收期要求:公司对节能投资的回报要求太高,一些有回报的项目不在考虑范围内;此外一些所有者考虑卖掉公司,因此无动力投资节能;
- (3) 主要负责人不重视:做出对于公司用能可能产生影响决定的部门(例如设备采购部门)不如负责支付能源费用的部门重要;
- (4) 缺乏人力和经验开发项目:公司没有专职人员和具有合适专业技能的人员实施能效项目;
- (5) 缺乏把握节能机会的能力:公司自身没有专业人员来确定节能机会,公司的节能项目可能只集中在一个分公司进行,没有扩展到全公司;
- (6) 技术的可获得性:新的节能技术尚未市场化或仍处于研发阶段,缺少成熟技术的供应商;
- (7) 计量困难:避免的能源消费不易计量,确定、评价和核查节能量具有挑战性。由于能源对公司运行的各个方面都有直接或间接的影响,测量很复杂;
- (8) 无法进入公司大宗采购:节能不是整个公司优先考虑的问题,通常只是少数部门或几个人的责任,造成实施困难;
- (9) 缺少高管的回应和承诺:集团层面和高管不把能效作为优先考虑的问题或认为能效不在他们的责任范围内;
- (10) 企业文化固有的价值观不包括能效:企业日常运作不包括能效改进和创新;
- (11) 收集和管理供应链数据困难:由于成本高、保密和能源数据收集复杂,供货商可能不想测量、收集和共享数据,因此很难从供货商处获得数据。公司可能发现如果想自己测量供应链的碳足迹,要面对大量并且多样化的供货商,只好放弃;
- (12) 缺乏把握供应链方面节能机会的能力:由于缺乏通过节能降低成本和其他协同效益的意识,供货商不对节能做出承诺;
- (13) 供货商缺乏能效的知识和技能:供货商没有专业技能去确定和实施能效项目;
- (14) 对供应商的能效政策、目标缺乏足够的检测和核查:公司对供货商没有直接控制权,确保其实施能效措施和监测能源数据十分困难;
- (15) 缺乏产品信息:顾客无法获得节能产品的成本效益和节能量的信息;
- (16) 初始成本高、顾客支付意向低:很难说服顾客先支付较高的成本以换取日后的回报;

(17) 工程障碍: 公司通过扩大规模来应付技术局限而不是设计更多的节能产品;

(18) 规则障碍: 当利润与能源销售量挂钩, 电力局没有积极性鼓励客户提高能效;

(19) 销售困难: 当客户做出购买决定时, 能效不是优先考虑的因素, 推进能效产品和服务的销售是一个挑战。

中外对节能障碍的研究表明, 尽管对节能障碍的分类和表述有所不同, 但各国研究人员对障碍的认识基本达成共识, 许多障碍具有共性, 存在于很多国家, 只是某些障碍在一些国家或特定时期表现得更为突出。受经济发展水平、技术研发能力、公众教育程度等多方面因素影响, 发展中国家推广节能技术的障碍更多一些。但一些表述相同的障碍对于不同的主体意义不同, 例如初始投资成本高这一障碍, 我们从 20 世纪 80 年代出版的文献中就能发现它的存在, 直到今天仍然是节能的一大障碍。同样是购买节能产品, 对于家庭、政府机构和非营利组织是一种消费行为, 节能意识、支付能力及预算是决定是否购买的主要因素, 很少考虑到多支付的成本几年可以从节约的能源支出中回收; 而对于工业企业, 这种购买是一种投资行为, 投资回收期的长短是重要的考虑因素。因此, 某项政策对不同对象的作用和影响力度可能差别很大。

1.2 本项目行业专家对障碍的分析

来自钢铁、有色金属、水泥和化工的专家根据本行业的实际情况对减排技术推广与普及的障碍进行了分析, 在行业研究报告的基础上, 专栏 1 用障碍分析常用的表述对行业专家提出的障碍进行了总结(ERI, 2011a)。

专栏 1

减排技术推广与普及的障碍

1 钢铁行业

(1) 技术的可获得性。企业在扩大规模上投入较多, 而用于节能减排的技术开发投入不足; 一些企业开发了好的节能减排技术, 出于自身利益的考虑, 不愿意在行业内共享; 而对于已经具有成套成熟节能减排技术的行业, 国家在推广技术、设立专项支持方面, 也显得力度不够。

(2) 意识不强。企业各层次人员的节能减排意识均有待提高。

(3) 外部效益难以量化。未形成健全的节能减排税收支持政策体系, 相应的能源环境税制如碳税、能源税等没有正式出台。

(4) 信息披露不足。节能减排监察体系尚未建立, 执法主体不明确, 执法监管队伍能力建设滞后; 能源消费统计与计量方法和制度不完善, 有些统计数据

准确性、及时性差,科学统一的节能减排统计指标体系、监测体系尚未建立。

(5)定价机制。资源性产品价格市场化改革进程缓慢,反映资源稀缺程度和供求关系的能源价格形成机制还远没有建立起来。

(6)缺乏对技术的判断能力,关键减排技术的知识产权保护不得力。

2 化工行业

(1)技术开发力量不足。目前的减排技术开发力量明显不能满足节能减排的需要,而且开发力量分散,不能形成合力,造成重大技术开发项目难以取得进展。

(2)企业的技术开发动力不足。科研机构开发了很多技术,但大多停留在小试、中试阶段,需要在企业进行工业化试验才能真正取得成功,需要企业对技术继续进行开发。然而,企业对继续开发的热情不足,不愿承担风险,造成很多技术难以真正在工业生产中应用。

(3)资金支持力度不足。国家对先进节能减排技术的开发,尤其是工业开发的支持力度不足。

3 有色行业

(1)资金不足。国家科技经费用于共性、关键技术开发的资金强度明显不足且比较分散。

(2)重大、关键性技术研发滞后。有色金属行业种类多、产业链长,在重点行业重大、关键技术研发滞后。

4 水泥行业

(1)水泥行业协同处置废弃物缺乏政策支持。水泥行业协同处置废弃物和生活垃圾有利于能源节约和环境保护。但国家对此缺乏优惠政策。

(2)政策不落实。地方税务部门为维护地方利益不执行中央的有关规定,本可以享受税收优惠的企业得不到税收减免。

(3)余热发电并网难,收费不统一。电力部门要求水泥企业根据余热发电量的多少向电力部门交纳“系统备用费,上网费、并网费或管理费”等,企业并网时要将收费条款写进并网协议。水泥企业认为所收费用很不合理,而且各省市、地区所收费用差别很大

以上可以看到,行业专家对障碍的分析主要集中在缺乏适合企业采用的减排技术方面,国家和企业投入不足、研发与应用脱节是产生这一障碍的原因,这也从另一方面反映出工业节能的复杂性和多样化,大量通用的节能技术需要根据具体生产工艺进行二次开发和系统集成。水泥行业专家提出的障碍比较具体,但反映出一个比较普遍存在的问题,即对中央政府推进节能减排政策的解读和执行的差异产生的障碍。但是,一些在个别企业已经采用并证明节能效果良好的技术并没有在行业内得到快速推广,障碍是什么以及是什么原因造成是本研究的重点。

1.3 国家政策对克服技术推广障碍的作用评估

中国政府为克服节能障碍出台了大量鼓励节能的政策,极大地促进了能源效率的提高。但这些政策在实施过程中也显现了一些问题,特别是第十二个和第十三个五年计划对能效改进提出了更高的目标,政府也将把能效和碳减排目标分解到企业。在第十一个五年计划期间已经付出极大努力的基础上,如何进一步提高能效的问题摆在企业领导面前。

钢铁、有色金属、化工和水泥企业的主营业务都是向市场提供原材料,不生产终端设备,但对终端设备生命周期的碳足迹有重大影响,能源成本在生产总成本中的比例较高是共性。专栏2选取“十一五”期间国家着力推进的节能政策和措施,评价它们对钢铁、有色金属、化工和水泥企业能效改进的作用。

专栏2

对钢铁、有色、化工和水泥企业的作用评价

1 单位产品能源消耗限额国家标准

实行强制标准有利于克服认识障碍。在已颁布的单位产品能源消耗限额国家标准中多数产品属于这四个行业,企业通过对照标准,看到与先进企业在能效方面的差距。但标准的制定宽紧不一,有些产品能源消耗限额标准较低,企业可以轻易达到,有的企业能耗水平大大低于标准中先进水平数值,对企业节能的促进作用不强;对标准的执行情况检查不够,削弱了标准的强制性作用;一些地方要求企业上报数据,但对企业无信息反馈,企业无法横向比较,对节能效果的好坏心里没底,挫伤了节能的积极性。标准本身无法指导企业确定节能机会。

2 节能量指标

对克服认识障碍有帮助。政府给重点用能企业下达节能量指标,由于缺乏长期的研究数据积累,指标的确定、分配、计算方法等方面存在一系列问题,有的企业在基年能耗数字上做文章,有的企业靠新建生产线扩大产能来实现节能目标,这样的问题不仅存在于地方重点企业(ERI,2010b),千家企业中也有。

3 能源审计

能源审计是克服技术障碍的重要手段。政府要求千家企业在规定时间内必须完成能源审计,由于时间紧和人员短缺,能源审计报告的水平相差很大。合格的能源审计对企业确定节能机会和制定节能计划起到决定性作用,而差的审计报告对企业帮助十分有限。曾经有一份大型水泥厂的能源审计报告,除了把近两年能源消耗数据和能源账单做了整理和分析,只提出两项节能项目建议,一是建设余热发电装置,二是安装电机变频调速器,对废气的温度、流量、电

机负荷情况只字未提,把能源审计做成了财务审计,缺乏必要的技术含量。调研结果显示,多数能源审计质量有待提高,大量关于能源审计的培训做成了宣讲节能形势和培训填表(LNBL,2010),虽然这是必要的和不可缺少的。面对少则十几万元、多则几十万元甚至上百万元的能源审计费用,除非政府强制要求,企业主动做能源审计的积极性不高。

4 节能奖励

各级政府制定了节能奖励办法,每节约 1t 标准煤,奖金从 300 元到几十元不等。这一做法给全社会传递了政府非常重视节能的信号,也调动了企业节能的积极性。企业获得奖金表明它已采用了节能减排技术,奖金起到了锦上添花的作用,而对克服采用节能技术的障碍作用不大。

5 能效对标

将整个生产过程划分为许多单元,分别衡量每个单元能源强度与先进水平的差距,比单位产品能源消耗限额国家标准更具体,便于企业确定在哪个环节浪费了能源,对克服技术障碍有一定帮助。能效对标需要平衡方法的细致程度与对标过程的复杂性,方法越细,越有利于企业确定节能机会,但过程越复杂,越需要企业收集大量数据。很多企业参加了对标培训,除政府、工业协会要求的试点企业外,其他企业使用对标工具的积极性不高(IIP,2011)。

6 能源服务公司

政府大力扶植能源服务产业发展,出台一系列优惠和支持政策。但从已获得国家认可备案的能源服务公司的主要节能业务和技术产品看,多数公司的业务领域在建筑节能和工业通用系统节能,缺少熟悉高耗能行业具体生产工艺的能源服务公司。能源服务公司给工厂提供的节能建议方案缺乏针对性,难以说服企业采纳。要求能源服务公司熟悉各行业具体生产工艺不现实,国外能源服务公司的主要服务对象也不是工业企业,大企业内部有自己的机构和技术力量从事节能工作,中国少数大企业也是这样做的,但多数企业缺乏这样的能力。在工业能耗占总能耗 70% 的情况下,现阶段中国能源服务公司应更偏向服务于工厂。

7 节能投资担保

对克服能源服务公司融资障碍有帮助。但担保额较小,与工业企业节能技改所需资金相比,作用有限。

8 行业准入标准、上大压小、淘汰落后产能

通过规定新建生产能力最小规模来限制低效企业和生产能力过快膨胀。通常设备大型化提高能源效率,但这也可能成为部分地区、企业扩大生产规模的借口。生产能力过剩降低了设备运转率,影响能源效率提高。

9 十大重点节能工程

燃煤工业锅炉(窑炉)改造、余热余压利用、电机系统节能、能量系统优化四

大重点节能工程与这四个行业直接相关。“十一五”期间,吨钢综合能耗由694kg标准煤降到605kg标准煤,下降了12.8%,水泥综合能耗下降了24.6%,乙烯综合能耗下降了11.6%,合成氨综合能耗下降了14.3%,钢铁行业干熄焦技术普及率由不足30%提高到80%以上,水泥行业低温余热回收发电技术由开始起步提高到55%,烧碱行业离子膜法烧碱比重由29%提高到84.3%(节能信息报,2011)。国家财政的重点支持是这些节能减排技术快速推广的重要原因。

10 千家企业节能行动

国家对选出的千家企业能效改进给予高度关注,很多项目和投入都集中在这千家企业,“十一五”期间千家企业实现节能1.5亿t标准煤(节能信息报,2011)。入选的千家企业2006年能源消费占工业能源消费的一半,但这一概念不是十分清晰,因为千家企业既包括能源生产和转换企业,也包括终端用能企业,是否存在重复计算以及节能量通过何种途径获得信息不公开问题。

11 节能(能源)管理

加强能源管理是节能的重要手段。一些企业投入几百万元甚至上千万元安装在线数据收集和监测系统。在如何使用数据、通过数据分析发现节能机会方面还有巨大的改进空间。

以上分析表明,国家出台的大量政策都在某种程度上为克服减排技术推广与普及障碍提供了帮助,同时也存在许多问题和改进空间。但在如何把银行等融资机构纳入节能激励的范围之内、鼓励银行大力开展节能减排业务方面的政策和措施还有待加强。

2 节能减排技术实施过程分析

一项技术的推广和普及实际上是一个个技术实施过程的集合,集合中元素的数量由少到多,技术也由推广到普及。先行完成的技术实施过程产生的结果会对后面推广和普及的过程产生巨大影响,体现出示范项目的重要性。示范项目虽然承受较大的技术风险,但往往会得到各种优惠政策的辅助,也就是说,一项技术的推广所处的环境与示范项目不同,而技术到达普及阶段,环境又可能发生变化。因此,技术实施过程是探讨普及和推广问题的最基本单元,剖析技术实施过程将有助于我们理解哪些方面会产生障碍,并影响技术的推广与普及。

2.1 节能减排技术实施过程描述

按照高耗能工业企业(以下简称工厂)采用一项或一次采用多项节能技术(以下简称技术)的时间顺序把实施过程划分为几个阶段,每一阶段又分为多个步骤(见表3-2)。当然步骤之间在时间上会发生重叠或顺序颠倒,这种划分只是便于分析问题,不是严格的划分。

表3-2 节能减排技术实施过程描述

阶段	步骤
A. 准备	A.1 建立意识:工厂管理层特别是“一把手”对节能减排的认识是整个实施过程的起点,在目前的大环境下(国家、地区节能减排目标及目标的分解、单位产品能源消耗限额国家标准、能效对标、能源价格上升、产品市场竞争激烈等),工厂普遍建立了节能意识
	A.2 确定机会、能效评估:工厂主动或被动提出节能需求后,需要寻找并最终确定节能机会。这一过程需要人力、时间和资金的投入,投入的大小与节能机会的不确定性成反比,投入越大,获得的关于拟采用的技术的相关信息越充分,不确定性越低,实施过程风险就越小
B. 启动	B.1 研究可行性:高质量的机会确定可以达到预可行性研究水平,可行性研究将进一步降低不确定性,为工厂做出最终决定提供支持
	B.2 筹措资金:总体上看融资渠道很多,受到具体条件的限制,可供某一工厂的选择并不多
	B.3 获取批准:国家鼓励项目,获得政府批准基本不存在问题,但要获得申请批准的所有必要文件有时存在困难

续表

阶段	步骤
C. 建设和调试	C.1 建设和调试:该阶段花费时间的长短及对现有生产线正常运转的影响对投资回报产生影响
D. 节能量测定和评估	D.1 节能量测定:技术实施后的效果测定不仅在与能源服务公司效益分成的情况下十分重要,对技术的推广和普及也都十分重要
	D.2 后评估:不仅仅是节能量和减排量的计算,还包括整个实施过程的经验总结,后评估应该是实施过程不可缺少的一部分

2.2 实施过程各阶段影响因素分析

一项或多项节能减排技术的实施是一个串联过程,在每个环节上都会产生障碍,一旦某个环节出现问题,造成实施链的断裂,就会影响到实施过程的完成,进而影响技术的推广与普及。

A.1 建立意识。建立节能意识是一项长期的任务,节能的内涵和意义随时间不断变化,需要持续学习和更新认识。通常认为政策环境和市场导向是影响工厂建立节能意识的重要因素。目前中国的政策环境有利于工厂树立节能意识,这点无须赘述。从市场导向看也对工厂节能意识的建立有利,首先来自于能源价格较低的障碍正在逐步减弱,中央政府一再强调取消对高耗电企业的电价优惠,并严格禁止地方政府出台价格优惠政策。中央政府已查处了个别地方政府出于税收考虑给予电价优惠的做法。无疑较低的电价削弱了工厂节能的紧迫感,但这种价格优惠的幅度不大,往往只能使工厂摆脱亏损,企业要想使自己的产品更具市场竞争力,还需要通过节能降低生产成本。同时中央政府也要考虑中国产品在国际上的竞争力和老百姓的承受能力,因为重点行业均为原材料型生产行业,是决定整个社会生产成本的重要因素,不能一味地提高能源价格来促进节能。其次能源成本比例低的障碍不适用于高耗能企业,通过单位产品能源消耗限额国家标准和能效对标,工厂可以了解与先进企业的差距,估算出自己的节能潜力,一般来讲高耗能工厂对通过节能来降低生产成本都怀有期待。

在分析影响工厂建立节能意识时还必须看到每个工厂都有向社会提供特定产品(包括中间产品和最终产品)的责任,这是它们的主业,工厂把提高能效放在保证生产正常运转之后是很正常的,此外关系到员工及工厂周围人员生命和健康的安全和污染排放也是企业优先考虑的问题,不能因为工厂优先考虑这些问题就说工厂节能意识差。

A.2 确定机会、能效评估。当工厂要把节能意识转化为实际行动时,决策

者需要了解工厂在什么地方浪费了能源,通过什么途径可以减少浪费,甚至完全避免浪费,这就需要给决策者提供一个“产品或行动方案”,让工厂的领导能够做出采取节能措施的决定并开始实施。这个“产品”设计成什么样?由谁来设计?在很大程度上决定了以后工厂节能的走向。

工业生产的复杂性与多样化决定了生产过程节能机会的确定远不像更换节能灯那样简单,需要工厂投入一定的人力和资金。影响因素来自两个方面,首先是人的问题,多数企业具备生产设备日常维护和保障安全运行的工程师和技术工人,他们对特定的生产工艺十分熟悉,对节能技术也可能略知一二,但往往缺少对节能技术的深入了解,特别是缺乏把技术应用到生产过程后可能造成的结果的判断能力,工厂需要借助外部力量来确定节能机会,比如研究单位、能源服务公司、高等院校、咨询机构和个人,这些机构或个人对一类或几类节能技术十分了解,也可能是某项技术的发明者,但对实际生产过程了解有限,只有在现场调研完成后才能提出有针对性的建议。多数工厂在没有获得比较确定的节能投资收益答案前不愿意支付费用,由此带来资金方面的问题,因为企业的支出最终会反映到生产成本上,如果企业不能确定这种支出可以获得效益,企业很难决策。这个障碍体现在大量企业在没有政府强制要求的情况下不聘请外部人员做能源审计。

目前有两类办法来克服这些障碍,第一类是提高企业内部人员的能力,希望企业能通过自查确定节能机会,缩小外聘机构进行能源诊断的范围,以降低费用支出。方法包括开发一些工业节能技术数据库、最佳技术实践案例清单、推广技术目录等来帮助工厂了解可选用的节能技术;开发对标工具和能效评价软件供企业免费使用。这些方法都有助于企业确定节能机会,但在实际过程中也发现一些问题有待解决,例如,多数工具由国外机构开发,使用时需要大量数据支持,与中国企业现有的计量水平有一定的差距;工具很难平衡实用性与全面性,基本起到技术索引的作用,更多的是定性分析,与工厂的实际需求有差距;工具的翻译和汉化也遇到知识产权等问题,使用不方便。第二类方法是改变支付方式由事前支付变为事后支付,典型的做法是能源服务公司的运作模式,能源服务公司为企业免费提供能源诊断,其成本在随后的技术改造和节能效益分成中回收,但是如果所确定的节能机会不能满足企业的技改投资要求,企业仍需要支付费用,这使企业在聘用能源服务公司之前犹豫不决。因此这种办法并没有从根本上解决企业支付意愿低的问题。

经过能效评估后,工厂通常获得一组节能机会的信息,包括每一节能措施的简单成本效益分析、实施步骤建议、投资需求等信息。这些信息还具有较大的不确定性,远达不到工厂作出投资决定的要求。一份合格的能源审计报告应该包括较为详细和确定的可行性研究部分。

B.1 研究可行性。面对多种节能技术选择,工厂会根据获得的初步信息选择几项进行更为详细的可行性研究,这也是能源审计应包括的工作内容。国家对可行性研究报告的内容和形式有一定的要求,其中关于定量分析的部分要求做成本效益计算和敏感性分析。成本效益计算的结果一般以投资回收期或投资收益率的形式给出,其计算方法早已在经济学的教科书中讲述清楚了。一般在政策研究中采用静态计算方法,即贴现率为零,标准的可行性研究采用动态计算方法,贴现率一般在7%~10%。下面用一个实例分析这两种方法对成本效益分析的结论产生的影响。

实例:钢铁厂采用干熄焦技术,投资2亿元,每日(24h)回收蒸气发电30万kWh,效益16万元。

政策研究中的成本效益分析:

假设条件:年运行7500h,设备寿命20年。

年净收益 = $16 \times 7500 / 24 = 5000$ 万元

投资回收期 = $20000 / 5000 = 4a$ (ERI 2011c)

节电成本 = $2 \times 10^8 \text{ 元} / (30 \times 10^4 \times 7500 / 24 \times 20) = 0.107 \text{ 元/kWh}$

可行性研究中的成本效益分析:

假设条件:贴现率10%,其他同上

投资回收期 = $NPER(\text{rate}, \text{pmt}, \text{pv}, [\text{fv}], [\text{type}]) = 5.36$ 年

(rate:贴现率;pmt:年净收益;pv:初期收益(总投资);fv:资产残值(为0))

节电成本 = $2 \times 10^8 \text{ 元} / (30 \times 10^4 \times 7500 / 24) \times (\text{rate} / (1 - (1 + \text{rate})^{-20})) = 0.251 \text{ 元/kWh}$

当贴现率取7%时,投资回收期为4.86a,节电成本0.201元/kWh。

以上计算表明,政策研究时的成本效益分析相对乐观,在不考虑贴现的情况下,投资回收期短,节电成本低,因此产生“节能技术叫好不叫座”的困惑。在考虑贴现的情况下,投资回收期从4年延长到5年4个月,长了30%,虽然5年多的回收期仍比投资发电厂回收期要短,但有可能已超过工厂的期望回收期。节电成本从0.107元/kWh提高到0.251元/kWh,增长一倍以上。

为了达到节能目标主要有两类做法,一是新建项目,二是改造项目^①。国家着力推进的“上大压小”,即通过新建大型装置替代小型装置达到提高能效的目的,即使新建项目与已运行多年的装置规模相同,由于新建装置采用一系列新技术,能效也比旧装置要高,这类项目整个实施过程无异于扩大生产规模的新建项目,被参与各方所熟悉,是“十一五”期间节能的重要做法。为了不影响工厂的日常运转,多数工厂采取紧靠旧装置的地方(如果空间允许)建新装置的做

^① 结构调整不在本报告讨论范围内。

法,这样可以利用部分旧的设备以降低成本(有时也被称为改造项目),或采取异地建厂的做法(如果空间不允许)。新装置建成后是否停运和拆除旧装置取决于多种因素,因而也产生不同后果。如果旧装置属于政府严格淘汰范围,并已超期限运转,工厂关闭旧装置则顺理成章,但多数情况是旧装置仍在寿命期内,设备折旧还没有完成,旧装置的停运将给工厂造成直接经济损失,这些损失将转移至新建装置,拉低新项目的经济回报率。有的工厂旧装置的能效并不低,但为了完成政府下达的节能量指标,也建设了能效更高的新装置,旧装置并不停运,这是造成中国多数高耗能产品生产能力过剩的原因之一。政府强调企业要“做大做强”,企业相信“大而不倒”,因此新建高效装置成为企业扩大规模最美丽的外衣。采用新建的做法投资量较大,造成许多工厂负债率高、缺乏持续改进的能力。对现有装置进行改造,只更换部分设备或改造控制系统,无疑需要相对较少的资金投入,但会对工厂的日常运转产生较大影响,可能需要停工改造,给工厂带来经济损失,有时这种损失较大,使工厂更愿采用新建的做法。此外,在可行性研究中一般没有把这部分损失看成采用节能技术的成本或投资,而实际中工厂很看重这部分,同样造成“节能技术叫好不叫座”的局面。

B.2 筹措资金。按国家规定,项目投资分为工厂自有资金和借贷两部分。工厂根据项目资金总量和自有资金状况决定出资数量,并满足自有资金出资最低比例的规定。除了资金需求量极少的小项目或工厂通过上市获得足够的资金,工厂可能全部使用自有资金,多数情况下采用节能技术的资金需求中的大部分由工厂向银行或投资机构借贷。目前在市场上十分活跃的投资机构一般进行股权投资,很少做项目融资,只有在余热、余压、废气(可燃性气体)利用发电一类节能项目中才有可能采用股权融资,因为这类项目可从工厂的生产工艺中分离出来,有可计量的产出,并可以成立独立核算的项目公司。因此,银行贷款还是节能项目的主要资金来源。

如果问银行是否对高回报率的项目感兴趣,回答是肯定的,但这与银行是否给节能项目贷款完全是两回事。通常在银行看来,高回报意味着高风险。虽然国家允许各银行在贷款基准利率的基础上浮动,但有银行不可能获得高于最高利率限定值的回报。在这种情况下,银行更青睐有长期稳定回报的低风险项目。在国家规定的贷款额度内,银行可自行决定将贷款贷给哪些项目。如果银行有500亿元的贷款要贷出,面对5个100亿元的项目和100个5亿元项目。银行更愿意选择前者。虽然状况得到不断改善,但金融机构对节能项目参与程度低是不争的事实,主要原因有三个:第一,金融机构习惯投资于现金流明显的生产能力扩张项目(虽然这些项目也可以带来能效提高),这些项目在风险和回报评估、管理和实施上都宜操作。而对典型的节能改造项目缺乏标准的审查程序,金融机构为规避风险而不愿意参与节能项目;第二,节能项目投资规模小,

金融机构前期开发费用相对较高,缺乏吸引力;第三,节能技术本身和它应用场合的多样性使得金融机构缺乏对技术的把握,而节能对贷款申请的主体——工业企业来讲也不是主业,因此金融机构不但要对贷款申请企业进行尽职调查,还需要雇用高级技术人员对技术进行评价,这样导致项目开发费用增加,并认为节能项目风险高(王彦佳,2009)。

节能项目单个项目融资量小、银行需要付出相对高的成本和银行缺乏对节能项目的把握,这些一直被认为是节能技术推广的障碍,也需想出办法去克服障碍,例如,将节能项目打捆,建立担保机构和担保基金,由担保机构聘请专业人员对节能项目进行评价,在银行内建立节能专项贷款,等等。这些办法基本上处于初期和探索阶段,覆盖面十分有限,而且这些措施都是针对节能项目本身的,但我们必须明白,虽然贷款是针对节能项目来发放的,但多数情况下贷款不是贷给节能项目的,是贷给执行项目的工厂或能源服务公司的,银行不但要考虑节能项目本身,更要考察贷款主体,工厂产品的市场前景、负债率以及工厂运作状况都对银行做出贷款决定产生影响,节能项目回报的高低不是贷款与否的评价标准。

采用能源服务公司的商业模式被认为是克服节能项目融资障碍的方法之一,但这一方法对工业界的作用效果不大,因为多数能源服务公司在银行方面建立的信用还不如他们的工业客户,由工厂直接向银行借贷可能比能源服务公司更容易。

B. 3 获取批准。实施过程进行到这一步工厂已基本确定采用节能技术。国家鼓励节能减排,项目获得批准不存在问题。

B. 4 设计。项目设计需要进一步降低投资额的不确定性,并对设备选型作出安排。在项目设计中需要考虑工厂融资的实际成本(利率),这往往是工厂与银行间的商业秘密,不对外公开,因此第三方很难获得节能项目准确的投资成本数据,也会给节能技术的推广造成障碍。中国实行设计资质制度,而多数拥有节能技术的小型技术公司不具备这样的资质,由技术公司设计、设计公司加封面的事情时有发生。让设计单位对节能技术加深了解是节能建设的重要组成部分。

C. 1 建设和调试。建设时间和调试(达到设计节能量)时间的长短直接影响项目的经济性,在政策研究中,我们往往忽略建设时间拖后及长时间不能百分之百达到设计节能量对项目投资回报的影响,对节能的投资回收和节能量估计过于乐观,但实际中工厂采用某项节能技术后节能量在很长时间里达不到设计值,给该技术推广蒙上阴影。多数情况是使用该节能技术可以获得一定的节能量,只是低于乐观的估计值。

D. 1 节能量测定。准确节能量测定不但对合同能源管理与节能效益分成、

碳交易和节能奖励十分重要,对节能技术的推广与普及也十分重要,需要具备三方面条件:基准线、计算方法和计量手段。节能量计算方法是一个复杂的问题,好的计算方法对节能技术的采用有指导作用,而不适当的计算方法则对技术推广无益。例如“十一五”期间政府要求重点用能企业取得一定的节能量,节能量的计算方法是以产品平均能源强度下降值乘以产品产量,所以部分企业完全靠新建装置来拉低产品平均能耗,而没有挖掘原生产装置的节能潜力,造成生产能力过剩。

虽然要求重点用能企业要配备三级计量设备,并不是所有企业都已做到,即使是计量设备配备齐全的工厂,在如何利用监测数据方面仍有很大的进步空间。一些工厂投资上千万元安装的数据采集系统收集了大量实时生产工艺参数数据,除非生产发生重大异常,否则这些数据就放在数据库或电子表格中。改进工厂能源管理并提倡精细管理是企业今后要着力加强的。

D.2 后评估。后评估对技术推广十分重要,但公众能获得这方面的信息不多,原因有几方面:第一,做得成功的工厂出于商业竞争等目的,不愿宣传;第二,采用技术失败的工厂“家丑不外扬”;第三,政府组织的一些后评估也是赞扬声一片,“报喜不报忧”成为一种常态。事实上,赞扬只能鼓舞士气,只有发现问题并解决问题,才能提高能力。国家发改委已公布一些机构为独立第三方节能评估机构,但能否真正做到客观、公正,特别是敢于直言不足的评价还有待观察。

2.3 实施过程参与者行为分析

从以上分析可以看到,工厂、金融机构、技术支持单位、设备供应商和政府是实施过程的五大类参与者。根据商业模式的不同,参与者的角色也不同。在传统的商业模式中,工厂是节能项目实施过程中的主角(见图3-1),负责筹措自有资金、向金融机构申请贷款或寻找其他融资方式、与技术支持机构签约完成项目可行性研究和项目设计、与供应商签订设备供货合同和向政府相关部门报批等一系列工作,这要求企业在了解节能技术发展、把握技术的可靠性、熟悉各种可能的融资方式等方面有很强的能力,多数工业企业并不具备这样的能力。

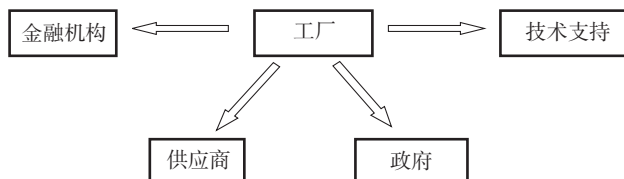


图 3-1 传统商业模式节能项目实施

在能源服务公司的商业模式中,能源服务公司变成整个过程的主角,除了技术工作外,融资是能源服务公司的重要职责(见图3-2)。

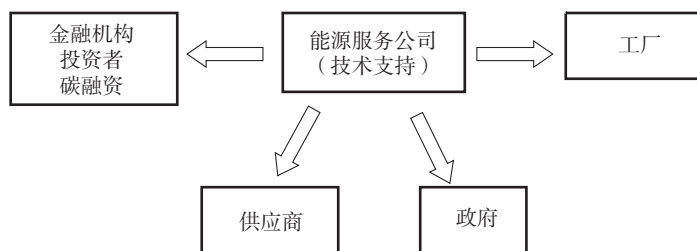


图3-2 能源服务公司商业模式节能项目实施

无论哪种模式,都需要政府政策的支持,供应商提供节能设备、银行和投资机构提供资金、技术支持单位提供技术帮助,都会对工厂正常生产产生一定影响。工厂作为项目的实施者或实施场地,首先考虑的是生产安全问题,安全事故一票否决制度使工厂的“一把手”在采用节能技术时首先考虑安全性;其次是对现有生产的影响,生产线停工一天的经济损失往往要远大于节能带来的收益。

银行自身也是一个经济体,也要考虑自己的运行成本和收益,要把节能项目与其他投资项目放在一起比较选择,多数节能项目不在银行优先考虑范围内。实验测试表明,把5个节能项目的贷款要求输入到银行通用的评估系统里面,大部分得到20分、30分,达不到60分(王树茂,2011),没有激励政策让银行更多涉足风险较大的节能贷款,而信贷担保的额度不大,不能满足工厂节能资金的需要。

供应商在这一过程中可以被动地销售设备,也可主动向工厂提供节能设备,有的供应商还采用租赁的形式开拓市场,但是供应商往往只能提供单独的高效设备,比如,高效电动机、高效空压机等,缺乏系统集成,而工业生产中更讲究系统效率。比如,高效的空气压缩机与普通压缩机相比,效率可能只提高2~3个百分点,而空气压缩系统节能改造常常带来20~30个百分点效率提高。

能源服务公司如何为工业企业服务,特别是为高耗能的大型工业企业提供综合服务在世界范围内并没有太多的成功案例,多数能源服务公司精通工业通用系统节能,中国也有一些这样的公司从事工厂压缩空气系统节能、电机调速控制改造等业务。能源服务公司在取得工厂信任方面还有很长路要走。

政府通过制定政策和提供财政支持影响节能技术推广过程,政府的节能意愿很强烈,支持力度也在逐渐加大,但有许多值得改进的地方。总的感觉是政策出台快,但缺乏较周全的考虑,比如,要求企业五年内节能量达到一定量,但没有相应措施避免企业靠规模扩张来降低平均单耗,也没有包括企业在负荷调

整方面对整个电力系统提高效率作出贡献的情况；要求重点用能企业在规定时间内完成能源审计，没有考虑中国在工业能源审计上的能力限制。有的政策出台缺乏长时间的 actual 数据积累，工作不够细致，比如，有些工业产品能源消耗标准与实际差别较大，一个看起来并不十分现代化的工厂，产品单耗比标准中的先进值还要低 10% 以上。

3 现有减排技术分类对技术推广和普及的局限性分析

3.1 减排技术界定及分类方法

尽管有不同的分类方法,但是对减排技术的核心内容不存在争议。目前减排技术分类有以下几种:

按减排温室气体种类划分:六类温室气体中以减少二氧化碳排放为主,减少甲烷和氧化亚氮排放也占一定份额,其他温室减排集中在数量有限的企业。

按技术对碳的处理方式分为减碳技术、无碳技术和去碳技术。节能是减碳技术,用天然气替代煤也是减碳技术;多数可再生能源项目属于无碳技术;CCS是去碳技术。

按技术的工作性质分为回收与循环利用技术、提高效率技术、管理技术、替代燃料技术等。

为避免碳泄漏与碳排放转移,按减少排放的边界划分为边界内的直接减排技术、边界外的间接减排技术、生命周期内减排技术等。

不同的考虑角度,同一技术可以归属于不同分类,无论归属于哪种分类,都对其减排原理和减排方式不产生任何影响。

3.2 减排技术分类对技术推广与普及的局限性

以上对减排技术的分类都是基于技术本身的性质,或是基于研究目的,而减排技术的推广和普及是实施层面的问题,要想使分类对技术实施有所帮助,分类方法应该基于减排技术推广和普及过程、影响推广和普及的因素以及实施层面所有的利益相关方。

例如,采用某项节能减排技术对现有生产工艺的介入程度如何,是企业作出采纳决定需要考虑的因素之一。是利用备用电机运转之机更换高效电机,还是利用车间小修时间安装一系列测量设备以提高能源管理水平,或是利用车间大修时间接入废热回收系统,不同的技术对企业现有运转的扰动相差很大,并能充分体现在企业赢利报表上。

3.3 有利于减排技术推广与普及的分类方法

从有利于技术推广与普及的角度对技术进行分类是一个有待探讨的问题,

从技术实施过程看建议有如下几种分类方法。

(1)按投资规模划分:这种方法在标准能源审计中已存在,有利于针对融资障碍采取不同解决方案。除少数节能技术(例如干熄焦)和靠建设全新生产线提高能源效率投资过亿元,工厂采用的多数节能技术所需投资在几千万元到几十万元,投资少的项目,工厂可以利用自有资金来完成,不存在融资问题;投资在百万级的项目,融资障碍能通过担保基金的形式来克服;投资在千万级的项目,融资障碍较大,融资千万元已超过担保基金的能力,又达不到银行优先考虑的投资级别,处于一种尴尬的地位。

(2)按对企业现有运转的扰动程度划分:这种分类方法可能有利于克服工厂担心节能技改带来负面影响而产生的障碍。对于在技改过程中影响工厂赢利的项目应在项目可行性研究成本效益分析计算中予以充分考虑。

(3)按节能量获取的形式划分:工厂通过节能改造减少外购能源有两种途径,一是降低能源绝对用量,比如更换节能电机、降低电能消费;二是通过回收工厂的废热、余压、余气发电,降低外购电能,但电能的绝对消费量(终端设备电能消费量)不降低,甚至有所上升。这种分类方法可能有利于采取相应措施,应对上网、并网困难和产生额外成本的问题。

(4)按节约的能源形式划分:通常节电量的计量容易,也比较准确,而节煤量的计量最困难。这种分类方法可能有利于针对节能量测量和后评估方面产生的障碍制定相应策略。

不同的分类方法可能有利于克服减排技术推广与普及某一方面的障碍,没有一种分类方法可以解决所有问题。

4 案例研究

水泥厂低温余热发电在中国走过的二十几年历程,是一个很典型实例,刻画出一项节能减排技术从引进到推广再到普及的完整过程,充分反映这一过程中不同参与者的行为方式,也见证了各种各样障碍如何影响这一过程的进行。本章以下内容并不是一个严格意义上的案例研究,只是本研究人员多年所经历的故事和观察到的东西。

水泥是典型的高耗能行业,水泥生产过程直接二氧化碳排放(含能源排放和工艺过程排放)也很大。从 20 世纪 80 年代起,节能的重点是用干法生产工艺替代湿法工艺,引进大型带预热和预分解的新型干法回转窑。90 年代中期,日本政府赠送给中国一套低温余热发电装置作为技术示范在安徽一水泥厂安装运行,示范项目十分成功,该水泥厂每吨水泥外购电能消费只是其他工厂的 2/3。日本政府的设想是中国其他水泥厂看到电能从“空气”中产生,一定会争相采用该技术,但直到 2006 年,示范项目运行整整 10 年,日方没有接到一份从中国发出的订单,原因是日方的市场策略严重脱离中国实际,其设备报价按当时的情况 3~4 倍于中国燃煤发电设备燃煤发电装机成本。但中国有关部门看到了该技术在中国的应用前景,组织研究力量进行科技攻关,到 2005 年,中国有四家公司拥有类似但有微小差异的水泥低温余热发电技术并建立了相应的示范装置,装机成本大幅度降低,但仍是同期中国燃煤发电设备燃煤发电装机成本的两倍。

在 2005 年,几个从事政策研究的人决定实际操作一下节能项目的实施,看看是什么原因造成节能潜力估算了一遍又一遍,而潜力很难实现。选定水泥行业为突破口来探讨如何加速节能项目实施。水泥的生产过程比较单一,不同水泥厂的生产工艺过程相同或相似,为该技术大量推广提供了有利条件。在对水泥行业能效现状和市场已有节能技术进行调研的基础上,比较了各个节能技术的特点、节能效率、投资成本、环境和经济效益、市场潜力和节能空间,以及国家的政策和法规,最终选定以水泥低温余热发电技术为市场化推广目标。水泥低温余热发电技术是指回收水泥生产过程中产生的低温余热(约 350℃),经过余热锅炉和汽轮机发电,每吨水泥熟料生产过程回收的低温余热可以发电 30~40kWh,相当于水泥生产全过程电耗的 1/3。中国当时有 800 多座水泥窑可以采用低温余热发电技术,总装机容量可达到 5GW,年发电量 300 多亿 kWh,可节

约发电能源消耗 1 200 多万 t 标准煤,减少二氧化碳排放 2 700 多万 t。低温余热发电技术在其他高耗能行业比如钢铁和冶金行业还有更为广泛的应用前景。

研究人员按图 3-2 设计了实施实体运行的商业模式,从理论上讲,这种新的商业模式具备了实施的所有条件:第一,中国政府大力推进能源效率提高,各级政府都有量化的能效改进目标,政策和法规都向节能项目上倾斜;第二,中国政府也在推进能源服务公司的发展,并成立了全国性的服务产业协会;第三,国际货币基金组织(IFM)与中国的商业银行建立了合作伙伴关系,为商业银行的能效贷款提供担保;第四,国际上众多的 CER 买家云集中国,每吨 CO₂ 减排量可以卖到 12 美元以上,相当于每千瓦时电约 1 美分,增加了利用余热发电的吸引力。同时,新的商业模式在实施节能项目时还具有多种优势:第一,专业的能源服务公司负责节能项目的融资和技术设计,分担了企业的风险和困难;第二,有专业技术队伍负责管理实施节能项目并对项目的运行负责,能保证节能效果和经济收益;第三,能源服务公司的专业技术背景可以获得金融机构的信赖;第四,能源服务公司将几个甚至几十个节能项目打包以提高总投资额的额度,降低了前期融资成本在总投资额中的比例,从而提高了项目包对投资者的吸引力,同时也改善了整个项目包的赢利能力。

从寻找技术支持人员开始,到用户开发、融资安排、注册公司、工程建设合同签订、工程承包和项目运行管理,再到下一个项目建设循环,走过了节能减排技术从推广到普及的全过程,也遇到了很多障碍,特别是在开始的前两年,几乎是在解决问题后的喜悦与遇到问题的烦恼交替出现和不断反复中度过,如果没有锲而不舍的精神,就不会有目前四个电厂建成和运行的结果。

以下列出项目实施过程遇到的主要问题:

国内银行:项目不够大,不感兴趣;

国内银行+IFC 担保:IFC 担保文件用英文撰写,没时间阅读;

国内投资公司:开始同意投资,后将投资用于水电开发;

风险投资公司:对技术把握不准,不投资;

项目打捆:水泥厂分布在不同省,不能跨省借贷;

水泥厂:担心对水泥生产造成影响,采取观望态度;

国外投资公司:希望有其他投资者参与以分担风险,不独立投资;

政府:没有及时出台支持政策,要求新建水泥生产线同步建设或预留空间和接口以便以后建设余热发电装置,增加了建设成本。

此外,从实践中我们还学到了很多东西:

(1) 能源服务公司的理念在国内被接受的程度还有待提高。虽然在从事节

能工作的人群中这种概念得到了认同,但让各行各业都接受这种新的运作模式还需要时间;

(2)投资机构对节能项目的风险认识存在很大差异,商业银行和投资银行虽然要求的回报率不高,但不愿冒险投资节能项目,投资的形式以项目贷款为主,与能源服务公司的运作方式不匹配;风险投资公司虽然愿意投资节能项目,投资的形式以股权融资为主,但要求的回报率极高,接受起来有一定难度。

5 政策建议

以上分析表明,节能减排技术推广与普及实质上是一个节能项目不断实施的过程,一个节能项目就像一个产品,它必须同时有两个买家,一是它要被工厂购买,二是它要被银行购买(节能资金支持主渠道是商业银行贷款)。以往的研究提出了许多加速技术推广与普及的政策建议,本报告不再重复,以下的政策建议是一个补充,或强调某些建议,主要围绕怎样制造这样的产品能让工厂和银行都接受而提出。

首先,要明确这个产品不等同于技术,虽然技术(一项或多项)构成了产品的核心内容,但技术只能算是半成品,不是产品的最终形式;其次,这个产品必须是定制的,不能像市场上出售的节能电器那样,一样的产品谁都可以买回家使用,工厂使用的产品必须适合于工厂生产工艺条件和当地环境(新建除外),因此不可能批量生产;此外,这个产品必须同时满足工厂和银行这两大口味完全不同的消费主体的要求。政策应从两方面入手,一是提高产品产量和质量,满足工厂需求,二是改变银行偏好。

制造这一产品的唯一工艺就是能源审计(或称能源诊断),其中人的因素决定产品质量。政府应从以下方面入手:

建议1:将节能事后奖励变为事前服务,将节能奖励基金变为能源审计基金,或从财政预算、CDM基金中划拨一部分建立能源审计基金,为工厂提供能源审计经费。要求工厂与能源审计单位或独立审计人联合申请,并按申请的额度划出相应的后评估经费。无偿使用能源审计基金的要求是必须将能源审计报告提交以供评审,提交不合格能源审计报告的能源审计单位和独立审计人两年内不得再申请基金。

建议2:开发高质量的能源审计培训教材,培训高水平的能源审计人员;对于愿意提供现场能源审计培训的工厂给予一定量的经费补助。

改变银行偏好是一个长期的工作,短期内应采取强制性的措施,为此建议:

建议3:在银行内建立与贷款总额固定比例挂钩的节能专项贷款,要求银行完成放贷额度。

建议4:成立专门机构帮助银行向节能项目发放贷款。

参考文献

ERI(2011a)主要部门和行业关键减排技术的CO₂减排潜力和成本分析课题研究报告.

ERI(2011b)地方政府重点用能企业节能行动的总结和评估。中国可持续能源项目报告G-0911-11671.

ERI(2011c)“十二五”电力需求侧管理推进途径研究.

Hasanbeigi, Ali, et al. (2010) Barriers to energy efficiency improvement and decision-making behavior in Thai industry. *Energy Efficiency* (2010) 3:33-52.

IEA (2011) 25 Energy Efficiency Policy Recommendations. [www.iea.org/efficiency IIP\(2011\)内部讨论](http://www.iea.org/efficiency/IIP(2011)内部讨论).

节能信息报,“十一五”节能减排回顾。2011年10月15日第3版.

Prindle, William(2010) From Shop Floor to Top Floor: Best Business Practices in Energy Efficiency. <http://www.pewclimate.org/energy-efficiency/corporate-energy-efficiency-report> WBCSD (2011) Enabling frameworks for technology diffusion-A business perspective.

王树茂(2011)中国经济时报,2011年5月5日 <http://finance.jrj.com.cn/people/2011/05/0502279890544.shtml>.

王彦佳,陈世平(2009),变“潜力”为现实,2008中国透视,中国环境科学出版社。ISBN 978-7-80209-993-7.