

摘要

按照蒙特利尔议定书调整案的要求，中国家用空调行业将在 2030 年之前实现 HCFCs 消费量的逐步削减与淘汰。然而，随着 HCFCs 物质淘汰量不断增加，作为替代品出现的温室气体 HFCs 在家用空调行业的使用正在迅速增长，给温室气体减排工作带来了新的挑战。为此，本研究立足 HFCs 在家用空调行业替代的趋势，分析了使用丙烷制冷剂的家用空调产品在制冷剂替代过程中的环境效益、产品市场化推广过程中存在的障碍及其应对措施，并提出有针对性的政策建议，为中国家用空调行业 HFCs 的削减与管控，以及二氧化碳减排工作提供了技术支持。

本研究首先分析了中国家用空调行业发展规模及制冷剂替代趋势，通过中国家用空调行业历史发展规模，建立阻滞增长模型，并针对家用空调产品国内市场及各出口目的地国市场的不同特点，预测了未来中国家用空调行业的发展规模；归纳了行业生产规模、政策法规限制和产品结构变化对于家用空调行业制冷剂消费情况的影响；分析对比了 HFCs 类制冷剂、R290 制冷剂、HFOs 制冷剂作为目前家用空调行业 R22 制冷剂主要替代品的运行性能、安全特性和环保特性。

本研究还通过分析关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书缔约方不限成员名额工作组第 35 次会议上，将 HFCs 纳入蒙特利尔议定书管理的北美提案、印度提案、欧盟提案，对中国可能实施的 HFCs 削减时间进行了分析，并以此为基础，选取 TEWI 作为家用空调行业制冷剂使用造成的的温室气体排放的评价指标，建立了 BPN 情景、CPM 情景和 REF 情景进行了环境效益分析。其中 BPN 情景用于描述在 HFCs 管控政策利好、中国家用空调行业 R290 制冷剂产品健康发展的情况；CPM 情景用于描述 R290 制冷剂产品的正常发展受到全面抑制的情况；REF 情景作为 BPN 情景与 CPM 情景的对照，用于评价 HFCs 的管控与 R290 制冷剂家用空调产品健康发展未来可能带来的环境效益。

研究结果表明，在 BPN 情景下，行业 TEWI 将在 2027 年达到峰值的 14.0 亿吨二氧化碳当量，此后快速下降；预计 2040 年调整至 12.4 亿吨二氧化碳当量，2015 年~2040 年可累计实现温室气体减排 17.64 亿吨二氧化碳当量；在 CPM 情景下，行业 TEWI 在 2028 年达到峰值的 14.1 亿吨二氧化碳当量，此后缓慢下降；

预计 2040 年行业 TEWI 将调整至 13.1 亿吨二氧化碳当量，2015 年~2040 年可累计实现温室气体减排 11.6 亿吨二氧化碳当量。BPN 情景下中国家用空调行业 TEWI 减排量可实现 CPM 情景减排量的 1.5 倍以上。

同时，使用 R290 制冷剂的家用空调产品的顺利推广将带来较为可观的节能效益。在 BPN 情景下，2030 年国内产品可实现节电 170~180 亿度/年，2040 年，节电量可以达到 300~350 亿度/年。2020~2040 年国内市场节电量预计可累计达到 3400~3500 亿度。

此外，环境效益情景分析还考察了中国家用空调行业不同发展增速对于可能带来的环境风险。分析结果表明，2030 年行业 TEWI 将达到 12.4~16.1 亿吨二氧化碳当量，2040 年将达到 11.2~16.7 亿吨二氧化碳当量。如果按照 BPN 情景发展，行业 TEWI 最早可能在 2021 年达到峰值 13.1~13.4 亿吨二氧化碳当量，并在 2040 年进一步下降至 11.2~11.7 亿吨二氧化碳当量，预计 2040 年行业 TEWI 将降低至峰值水平的 85%~91%。

在丙烷制冷剂替代技术的优势一章中，综述了家用空调行业近年来在丙烷制冷剂替代技术的优势、使用丙烷制冷剂产品的安全风险的研究前沿，分析结果表明，由于制冷剂的灌注量有限，制冷剂泄漏、聚集并点燃发生安全事故的情况只能在及其有限的条件下才能发生，且燃爆威力和破坏性有限并限于有限空间内，制冷剂泄漏后的燃爆风险是可控的。同时，对于使用 R290 制冷剂家用空调产品可能带来的经济效益及目前的市场化推广经验进行了总结。

市场化障碍分析部分对于 IEC 标准、UL 标准中对使用可燃性制冷剂家用空调产品造成的障碍及其合理性进行了探讨；分析了家用空调行业传统商业集团利用知识产权作为工具，通过不正当手段攫取商业利润的现状；探讨了家用空调产品出口目的地国相关政策制定与 R290 公共宣传对于产品市场化可能带来的影响。

本研究最后针对目前家用空调行业丙烷制冷剂产品市场化推广过程中遇到的阻力与障碍，提出了行业相关应对措施。其中包括改变行业、企业、政府、消费者对于 R290 制冷剂的认知、开展系统性的标准化工作、开展 HFCs 管控策略对于中国家用空调行业影响的研究、将制冷剂环保特性纳入现有家用空调产品能

效体系、鼓励企业充分利用丙烷制冷剂家用空调产品现有补贴办法、推广家用空调产品低碳环保标识、将家用空调行业温室气体制冷剂排放纳入政府碳排放补贴、建立规范可燃性制冷剂家用空调产品安装维修体系，以及充分开展国际合作等内容。

目录

1. 项目背景	6
1.1 HFCs 在中国家用空调行业消费量的增长	6
1.2 HFCs 管控工作进展	7
1.3 HFCs 在家用空调行业替代的主要障碍	8
1.4 项目目的与实施	9
1.5 有关问题的说明	11
2. 中国家用空调行业发展规模及制冷剂替代趋势	12
2.1 中国家用空调行业发展规模	12
2.1.1 中国家用空调行业发展历程	12
2.1.2 中国家用空调行业发展规模预测	13
2.2 家用空调行业制冷剂概况	17
2.2.1 家用空调行业制冷剂消费情况	17
2.2.2 家用空调行业 R22 的替代制冷剂	19
3. 环境效益情景分析	24
3.1 环境效益影响评价指标	24
3.2 情景模型的建立	25
3.3 行业中速发展下的环境效益	28
3.4 不同增速下的环境效益	34
4. 丙烷制冷剂替代技术的优势	38
4.1 丙烷制冷剂的技术优势	38
4.1.1 R290 制冷系统的整体改造	38
4.1.2 R290 制冷剂的能效研究	39
4.1.3 R290 制冷系统的优化	39
4.1.4 R290 制冷剂充注量优化	40
4.1.5 R290 制冷剂高温工况运行的研究	41
4.2 使用丙烷制冷剂产品的经济效益	41
4.3 使用丙烷制冷剂产品的安全风险	42
4.4 丙烷制冷剂产品的市场化经验	44

5. 市场化障碍分析	46
5.1 国际标准的障碍	47
5.1.1 IEC 标准障碍	47
5.1.2 UL 标准障碍	51
5.1.3 标准制定背后的商业利益.....	52
5.1.4 国际标准障碍对于国内市场的影响.....	53
5.2 其他国家政策的不确定性	54
5.3 丙烷产品宣传力度不够	54
6. 应对措施分析	56
6.1 改变观念	56
6.2 开展系统性的标准化工作	57
6.3 HFCs 管控策略对于中国家用空调行业影响的研究	57
6.4 能效标准对于综合排放的考量	58
6.5 使用丙烷制冷剂家用空调产品的补贴	59
6.6 家用空调产品环保低碳标识的发布与推广，加强丙烷产品的宣传	60
6.7 将家用空调行业温室气体制冷剂排放纳入碳排放补贴	60
6.8 R290 空调产品安装维修培训	61
6.9 节能产品采购	62
6.10 加强国际合作	62
致谢.....	64
参考文献.....	65
附录：中国家用空调行业温室效应总当量（TEWI）测算参数.....	68

1. 项目背景

1.1 HFCs 在中国家用空调行业消费量的增长

中国政府 1989 年 7 月签署了《保护臭氧层维也纳公约》，并于 1991 年 5 月签署和加入了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》（以下简称蒙特利尔议定书）及其伦敦修正案，成为按《蒙特利尔议定书》第五款行事的缔约国。2003 年 4 月全国人大常委会作出了批准加入《蒙特利尔议定书（哥本哈根修正案）》的决定，《蒙特利尔议定书（哥本哈根修正案）》对中国生效。

2007 年 9 月，第 19 次蒙特利尔议定书缔约国大会上通过了加速淘汰 HCFCs 物质的调整案。按照蒙特利尔议定书的调整案，对于第 5 条款国家来说，HCFCs 物质生产和消费的基线水平定在 2009 年和 2010 年两年的平均水平上，新的 HCFCs 物质淘汰时间表如下：

- ▶ 2013 年将 HCFCs 物质的生产量和消费量冻结在基线水平；
- ▶ 2015 年将 HCFCs 物质的生产量和消费量在基线水平上削减 10%；
- ▶ 2020 年将 HCFCs 物质的生产量和消费量在基线水平上削减 35%；
- ▶ 2025 年将 HCFCs 物质的生产量和消费量在基线水平上削减 67.5%；
- ▶ 2030 年将 HCFCs 物质的生产量和消费量在基线水平上削减 97.5%，保留基线水平的 2.5% 用于维修领域的需求到 2040 年。

在中国，房间空调器行业是 HCFCs 物质的主要消费领域之一。HCFC-22（R22）在中国房间空调器行业，乃至世界房间空调器产业，均是当前所采用的主要的制冷剂之一。考虑到中国房间空调器行业的规模和 HCFC-22 淘汰的复杂性，第 55 次蒙特利尔议定书多边基金执委会批准了包括房间空调器行业在内的 7 个 HCFCs 淘汰管理计划（HPMP）和 1 个国家整体 HCFCs 淘汰管理计划的编制项目。其中，房间空调器行业 HCFC-22 淘汰管理计划（以下简称管理计划）对于行业内 HCFC-22 的淘汰工作做出了总体的规划，成为中国房间空调器行业履约工作的指南性文件，在确保在国家履约的大背景下，用以确保房间空调器行业的履约。

截至 2013 年，中国家用空调行业已将 HCFCs 消费量冻结在基线水平。然而，随着 HCFCs 物质淘汰量不断增加，作为替代品出现的氢氟烃类物质（HFCs）在

家用空调行业的使用迅速增长。HFCs 作为目前国际公认的主要温室气体之一，其 GWP 值最高可达 11700，高于被替代的 HCFCs，给温室气体减排工作带来了新的挑战。

2009 年，荷兰科学家 Velders[1]等预测 2010 年全球生产的 CFCs、以及 HCFCs 和 HFCs 的排放，其 GWP 值约为 20 亿吨 CO₂ 当量水平。假设当前政策技术和相关国际公约不变，到 2050 年 HFCs 的消费将达到 50~90 亿吨 CO₂ 当量水平，相应辐射强迫为 0.18~0.33w/m²。

另据美国环保署[2]（Environmental Protection Agency, EPA）发布的《全球人类活动导致的非二氧化碳温室气体排放调查报告》显示，2005 年用于替代臭氧层消耗物质（Ozone Depleting Substances, ODS）所导致的 HFCs 排放量已达到 3.077 亿吨二氧化碳当量，并将在 2030 年之前持续增长至 19.027 亿吨。

目前，中国家用空调行业使用的 HFCs 制冷剂绝大多数为混合制冷剂 R410a。据初步估算，2013 年行业使用 R410a 制冷剂的家用空调产品产量约 5000 万台，家用空调行业产量占比超过 40%。其中仅用于生产新产品而灌装的 R410a 消费量已超过 5 万吨，折合二氧化碳排放当量已超过 1 亿吨。

1.2 HFCs 管控工作进展

为配合 2009 年 12 月 7 日至 18 日在哥本哈根召开的《联合国气候变化框架公约》缔约方第 15 次会议，美国、中国、欧盟、英国、日本、印度、巴西等国家和地区纷纷发布了各自的二氧化碳减排目标。2009 年 11 月 25 日，国务院总理温家宝主持召开国务院常务会议，研究部署应对气候变化工作，决定到 2020 年我国控制温室气体排放的行动目标，并提出相应的政策措施和行动。会议提出，面对气候变化的严峻挑战，中国政府将采取更加强有力的政策措施与行动，加快转变发展方式，努力控制温室气体排放，建设资源节约型和环境友好型社会。会议决定，到 2020 年我国单位国内生产总值（Gross Domestic Product, GDP）二氧化碳排放将在 2005 年基线水平上减少 40%到 45%，作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划，并制定相应的国内统计、监测、考核办法。

为此，中国面临着十分艰巨的减排任务。按照中国政府公布的减排目标，单位 GDP 的二氧化碳排放量将从 2005 年的 0.241 吨/千元减排至 2020 年的 0.145

吨/千元，为此，中国将在保持经济增速的前提下在 2020 年以前减少 63.4 亿吨二氧化碳排放，并将总排放量控制在 95.6 亿吨以内[3]。

HFCs 作为目前国际公认的主要温室气体之一，其生产、消费、排放等环节都将对全球温室气体的管控工作产生实质影响，目前正在逐步纳入世界各个国家和地区的使用削减日程。其中，欧盟为降低 HFCs 在使用过程中的泄漏与排放，于 2006 年率先颁布了适用于所有含氟气体的 F-gas 法案，并于 2014 年做出了修订，提出了含氟气体淘汰的具体时间表；2009 年 11 月，在第二十一次缔约方大会上，北美三国也首次正式提出关于将 HFCs 纳入蒙特利尔议定书进行管理的修正案提案，已得到 100 多个国家的支持。

2013 年 6 月，习近平主席同美国总统奥巴马举行中美元首会晤，双方就加强在气候变化领域的协调与合作达成一致，通过包括利用《蒙特利尔议定书》的专长和机制在内的多边方式，来逐步削减氢氟烃类物质的生产和消费。2014 年 11 月，中美双方在北京发布了《中美气候变化联合声明》（以下简称声明）。声明指出，技术创新对于降低当前减排技术成本至关重要，这将带动新的零碳和低碳技术发明和推广，并增强各国减排的能力。同时，中美双方同意就全球削减氢氟碳化物这种强效温室气体携手合作，并按照两国元首于 2013 年 9 月 6 日圣彼得堡会晤所达成共识在多边框架下携手合作。中国计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到 2030 年非化石能源占一次能源消费比重提高到 20% 左右。美国则承诺，确保 2025 年温室气体排放量较 2005 年下降近四分之一。

1.3 HFCs 在家用空调行业替代的主要障碍

2011 年 7 月，蒙特利尔议定书多边基金执委会批准了中国房间空调器等行业 HCFCs 淘汰管理计划（HPMP）的编制项目。按照议定书规则，多边基金对发展中国家的臭氧层破坏物质（包括 HCFC-22）淘汰行动有资金和技术支持的责任，同时由于中国房间空调器行业为淘汰 HCFC-22 制冷剂的替代技术路线优先选择了具有保护臭氧层和减排温室气体双重环境效益的天然工质丙烷（R290）作为主要的替代制冷剂，得到了蒙特利尔议定书多边基金执委会较大力度的支持。R290 制冷剂技术的顺利推广，将有效抑制 HFCs 制冷剂替代品在中国家用

空调行业的快速增长。

丙烷制冷剂 GWP 值仅为 3.3，具有环保、高能效和适合高温地区使用等特点，市场开发潜力巨大。虽然丙烷制冷剂具有一定可燃性，但是我国家用空调行业近年来的产品和技术研究结果表明，如果在房间空调器的生产环节、运输环节、安装环节、使用环节、维修环节和报废环节采取得当的控制措施，丙烷制冷剂的可燃性和爆炸性是完全可以被控制的。然而，行业在市场化推广的探讨过程中强烈感受到一些利益方以此为借口，制造舆论误导社会对天然制冷剂的客观认识。

我国作为房间空调器行业生产大国，2013 年产量达到 1.1 亿台，全球总产量占比超过 75%，其中出口占比约 45%。为开发环保制冷剂，我房间空调器行业在丙烷制冷剂替代技术应用上开展了大量的研究工作并取得有效成果。然而，在空调相关的国际标准修订过程中我国业界的研究成果却难以被采纳。由于掌控标准修订主导权的某些国家（公司）受狭于商业利益，没有意愿并巧妙地利用标准工作组的游戏规则达到不听取不同的声音的效果，使国际标准修订向着不利于丙烷技术推广的方向发展。作为 TWO 成员国，我国本应等效采用国际标准，而目前的国际标准修订正向着制约丙烷空调性能、降低产品竞争优势的方向发展，这将阻碍丙烷制冷剂家用空调产品的进一步开发与市场化推广。

1.4 项目目的与实施

家用空调行业是中国 HFCs 消费的主要行业，因此行业制冷剂替代工作的方向与进展将对中国 HFCs 削减、管控以及二氧化碳总体减排工作中产生重要影响。为此，能源基金会（Energy Foundation，EF）设立了《促进家用空调器行业削减氢氟烃类物质的丙烷制冷剂替代品政策研究》项目，并由中国家用电器协会负责实施，用以研究使用丙烷制冷剂的家用空调产品在制冷剂替代过程中的环境效益、产品市场化推广过程中存在的障碍及其应对措施，并提出有针对性的政策建议，为中国家用空调行业 HFCs 的削减与管控，以及二氧化碳减排工作提供技术支持。

为顺利开展各项研究活动，确保研究工作采信数据客观公正，政策建议合理可行，中国家用电器协会项目工作团队通过以下技术路线，将研究工作分为环境效益情景分析、市场化障碍分析和应对措施分析三个主要部分，并对各项内容进

行了有针对性的研究。2014年9月，项目工作组召开了项目实施方案评审会，来自北京大学、北京建筑工程大学、环境保护部环境保护对外合作中心、德国国际合作机构的专家讨论并通过了项目实施方案，提出了与国家整体温室气体减排目标相结合、综合分析环境效益等建设性意见，对于项目研究内容做出了有益的补充。项目实施技术路线图如图1所示。

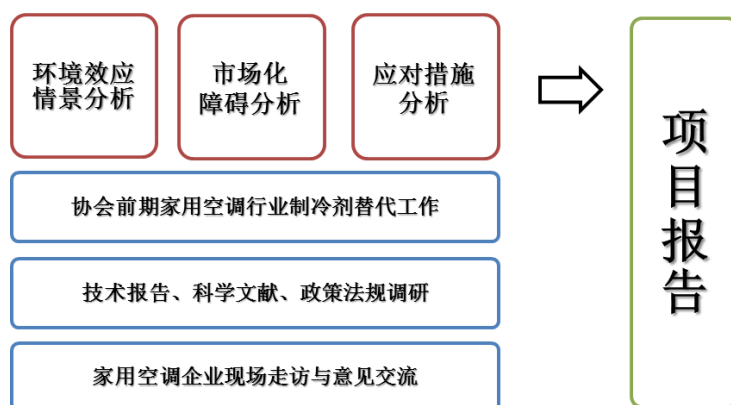


图1 项目实施技术路线图

(1) 环境效益情景分析

HCFCs 和 HFCs 制冷剂会对环境产生负面影响，因此在家用空调行业的使用目前正面临逐步的淘汰与削减。丙烷制冷剂因其低碳环保和高能效等特点，开发潜力巨大。本研究通过中国家用电器发展研究报告等协会历史数据，对家用空调行业规模进行了介绍，并建立模型对行业未来发展趋势进行了预测；分析了中国家用空调行业制冷剂替代现状，就目前主要替代品的运行性能、安全性能、环保特性进行了介绍；结合中国家用空调行业发展趋势、制冷剂替代趋势，建立情景对丙烷制冷剂在短期、中长期可能带来的环境效益进行了分析。

(2) 市场化障碍分析

丙烷制冷剂具有一定可燃性，但可燃性的制冷剂很多，增加分类和差异性限制使某些可燃工质比丙烷更易于推广成为国际标准修订的重点。本研究对国际电工委员会（IEC）标准、美国保险商实验室（UL）标准中对使用可燃性制冷剂家用空调产品造成的障碍及其合理性进行了介绍；分析了现行标准对于使用丙烷制冷剂家用空调产品性能、成本、市场竞争力产生的不利影响；结合家用空调行业利益链结构，分析了标准障碍背后的商业资本规模。

(3) 应对措施分析

综述了丙烷制冷剂应用技术的研发与交流、相关行业标准的制定、使用可燃性制冷剂产品安装与维修培训、低碳环保标识的发布与推广、国内生产线改造与销售补贴等目前已有的应对措施工作；结合丙烷制冷剂的环境效益、应用现状，从行业可持续发展的角度提出了中国家用空调行业 HFCs 管控建议；借鉴欧盟产品能效标准经验，提出了将环保制冷剂纳入现有家用空调产品能效标准的建议，并对相应能效系数进行了核算；对政府采购、国内标准修订、环保制冷剂产品补贴等政策建议进行了推荐与效果评估。

1.5 有关问题的说明

为确保研究结果客观、公正、合理，本报告所采纳的基础数据均来源于中国家用电器协会收集并发布的历史数据、国家统计局数据、海关总署数据、国家应对气候变化规划、中华人民共和国国家标准、联合国环境署相关技术报告、联合国政府间气候变化专门委员会报告、美国环保署报告相关技术、全球碳计划组织发布数据、联合国经济社会事务部相关报告、国际电工委员会标准、美国保险商实验室标准、美国采暖、制冷与空调工程师学会美国暖气和空调工程师学会（ASHRAE）标准，以及相关期刊科技文献等公开发表的资料。数据调研范围共涉及 13 个相关组织、机构、政府部门，以及数十家国际国内公开刊物。

此外，本研究涉及的家用空调产品为中华人民共和国国家标准 GB/T 7725-2004 适用的采用风冷及水冷冷凝器、全封闭型电动机-压缩机，制冷量 14000 W 以下家用和类似用途等房间空气调节器，报告内容对家用空调与房间空调器不作明确区分。

2. 中国家用空调行业发展规模及制冷剂替代趋势

2.1 中国家用空调行业发展规模

2.1.1 中国家用空调行业发展历程

中国的家用空调器制造业始于 1978 年，在过去的几十年发展过程中大致经历了三个阶段：第一阶段，1999 年以前，在这一时期，中国房间空调器行业发展较为平稳，年均增速在 14% 左右；第二阶段，1999-2004 年，在此期间中国正式成为了世界贸易组织成员国，受到产品出口拉动的影响，中国家用空调行业经历了快速的发展，年均增速约为 41%；第三阶段，2005 年以来，中国房间空调器行业增速有所放缓。总结房间空调器行业十几年的发展，可以将行业的特点归纳为如下几个方面：

- ▶ 产业规模大：我国空调器制造业是伴随着改革开放、国家经济发展带来的消费能力的提升而发展起来的。在近 20 年里我国空调高速发展一跃跻身于世界空调器生产大国的行列。
- ▶ 发展速度快：从上个世纪 90 年代我国空调器行业进入高速发展时代，21 世纪初期，房间空调器生产量的年均增长率保持在 41% 左右。从 80 年代末的几十万台，增长到 2014 年的产量的 1.18 亿台左右。
- ▶ 市场竞争激烈：空调器产业也是市场化和竞争最激烈的产业。高度的市场化和激烈的竞争导致行业的集中度比较高、行业的利润空间比较小、对企业的生产规模要求比较高。
- ▶ 行业的研发能力：中国家用空调行业经过多年的潜心发展，龙头企业纷纷成立了自主研发的团队，持续保持研发投入、并与高校、科研院所紧密结合，提高企业自身研发能力。包括西安交通大学、上海交通大学、华中科技大学在内的多家国内院校已将最新的科研成果转化为生产力，带动了中国家用空调行业的健康发展。

中国房间空调器行业经过了三个阶段的发展，已经成为了全球房间空调器产品的重要生产基地，在全球市场中所占比重达到了 75% 以上。2005~2014 年中国房间空调器行业发展规模如图 2 所示。

由图 2 可知，2005 年以来中国房间空调器行业的产量和出口量呈现出了持

持续增长的趋势，但增速有逐年放缓的趋势，其中产量累计增长 93%，年均增幅 7.6%；出口量累计增长 72%，年均增幅 6.2%。过去十年中，国家经济整体发展迅速，消费需求旺盛购买力强，同时节能产品惠民工程、家电下乡、出口货物退税等多项财政补贴的推动作用，也带动这一时期家用空调行业的快速发展。2008~2009 年，受到全球经济危机爆发的影响，中国家用空调行业受到了一定影响，行业规模有所收缩。伴随着全球经济的逐渐复苏，2010 年行业规模恢复增长，并于 2011 年首次突破亿台大关。2012 年随着各项市场刺激政策的陆续退出，行业产量规模再次发生调整，2013 年后恢复增长。

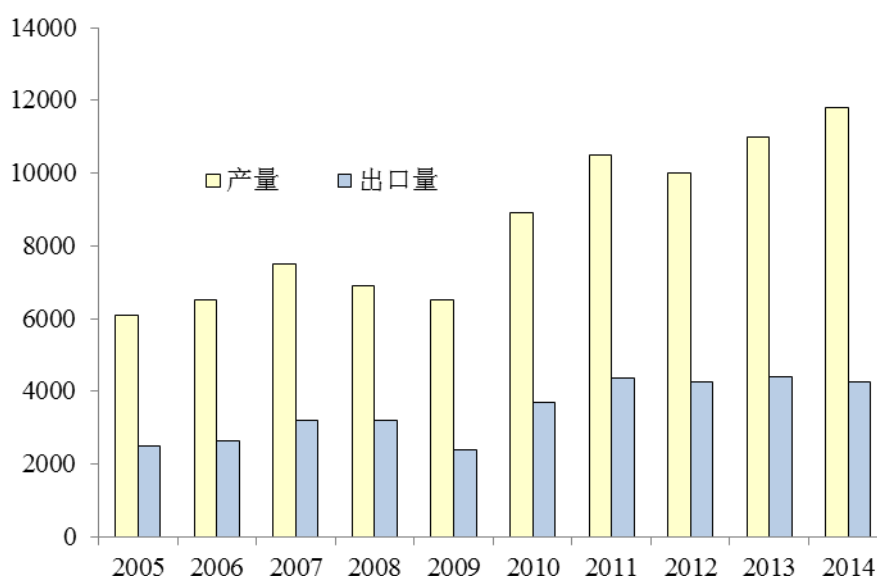


图 2 2005~2014 年中国家用空调行业发展规模

在此期间，我国家用空调产品的普及情况也得到了快速发展。国家统计局发布的数据显示，从 80 年代空调家庭普及率接近零，经过生产和市场的高速发展，截至 2012 年底，家用空调产品城镇家庭百户拥有量达到了 126.8 台，农村家庭百户拥有量为 25.4 台。据此推算，2012 年我国家用空调产品社会保有量为 3.5 亿台。

2.1.2 中国家用空调行业发展规模预测

家用空调产品具有自然寿命长、价格高、产品周转周期长，属于耐用消费品（Durable Consumer Goods）范畴，产品市场需求弹性较大。作为耐用消费品行业，家用空调行业规模的发展主要受到市场需求的调控。中国家用空调行业产品

市场分为国内销售市场和出口市场，为此本研究将针对国内市场需求和出口市场需求各自的特点分别进行讨论，进而实现对于行业总体发展规模的测算。

家用空调产品作为耐用消费品，产品市场发展都有其发生、发展和衰亡的过程，称为商品经济寿命周期律。本研究结合中国家用空调产品国内市场规模的发展历史和行业特点，结合耐用消费品经济寿命周期率，采用阻滞增长模型[4-13]（Logistic Growth Model）对房间空调产品国内普及率和社会保有量进行了拟合，并以此为基础对 2015 年至 2040 年国内市场发展规模做出了预测。

此外，由于出口目的国经济发展程度不同、气候条件差异大、人民消费习惯迥异，因此出口市场规模发展的预测较为复杂。为降低出口市场预测难度，我们通过分析海关总署发布的家用空调出口量历史数据，将全球主要市场分为以下三类：

- ▶ **发达国家市场**：经济发展水平较高、技术较为先进、生活水平较高国家的市场。主要包括北美、欧洲和日本市场。由于人力成本较高，此类市场所在国基本没有劳动密集型制造业，家用空调产品主要依靠进口；
- ▶ **新兴经济体市场**：经济快速发展的国家市场。主要包括巴西、墨西哥、印度等国市场。此类市场所在国经济发展迅速，家用空调产品需求快速增长，也带动了本国制造业的发展；
- ▶ **发展中国家市场**：亚洲、非洲、拉丁美洲主要欠发达国家市场。家用空调产品需求不断增长，制造业发展相对迟滞，因此需要依靠进口填补国内需求。

在发达国家市场中，由于经济发展水平较高，家用空调产品市场基本处于饱和状态，因此每年由中国出口规模基本维持稳定或呈周期性震荡。新兴经济体市场中，经济增长不断带动家用空调产品需求增长，同时本国家用空调制造业的发展可部分填补每年新增市场规模，因此由中国出口规模基本维持稳定。发展中国家市场由于制造业发展相对迟滞，因此此地区不断增长的家用的空调产品需求量需要不断依赖进口。综上所述，本研究所建立模型假定发达国家市场和新兴经济体市场规模长期保持稳定，发展中国家市场根据历史出口数据建立阻滞增长模型进行预测。各地区出口量增速预测如表 1 所示。

预测结果显示，在 2015 年~2030 年期间，家用空调国内市场规模仍将保持

增长，但受到产品普及率日趋饱和的影响，增速将会不断下降。2030 年~2040 年，中国人口规模的下降将导致家用空调产品需求下降，国内市场规模随之缓慢下降。2015 年~2020 年家用空调产品国内市场规模平均增速将保持在 2.1%，2020 年国内市场规模将达到 7400 万台左右，产品社会保有量将增长至 5.3 亿台；2020 年~2030 年国内市场规模平均增速将维持在 0.5%，2030 年国内市场规模将达到峰值，销量将超过 7800 万台，产品社会保有量超过 5.8 亿台；2030 年~2040 年国内市场规模将缓慢下降，平均增速-0.1%，2040 年国内市场规模将调整至 7700 万台，产品社会保有量维持在 5.8 亿台。2015 年~2040 年家用空调产品国内市场预测规模如图 3 所示。

表 1 家用空调行业市场增速预测

市场分类		国内市场	发达国家市场	新兴经济体市场	发展中国家市场
高速增长	2015-2020	4.1%	0.0%	0.0%	4.3%
	2021-2030	1.1%	0.0%	0.0%	1.2%
	2031-2040	0.1%	0.0%	0.0%	0.2%
预测增长	2015-2020	2.1%	0.0%	0.0%	2.2%
	2021-2030	0.5%	0.0%	0.0%	0.6%
	2031-2040	-0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
低速增长	2015-2020	1.0%	0.0%	0.0%	1.1%
	2021-2030	0.3%	0.0%	0.0%	0.3%
	2031-2040	-0.2%	0.0%	0.0%	0.1%
0 增长	2015-2020	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	2021-2030	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	2031-2040	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

综合国内市场规模和出口市场规模的预测结果，中国家用空调行业总体发展规模预测如图 4 所示。预测结果显示，2020 年，中国家用空调行业规模将达到 1.18 亿台，其中出口规模约 4400 万台；2030 年，行业规模将达到 1.23 亿台，其中出口规模约 4500 万台；2040 年，行业规模将保持在 1.22 亿台，其中出口规模约 4500 万台。

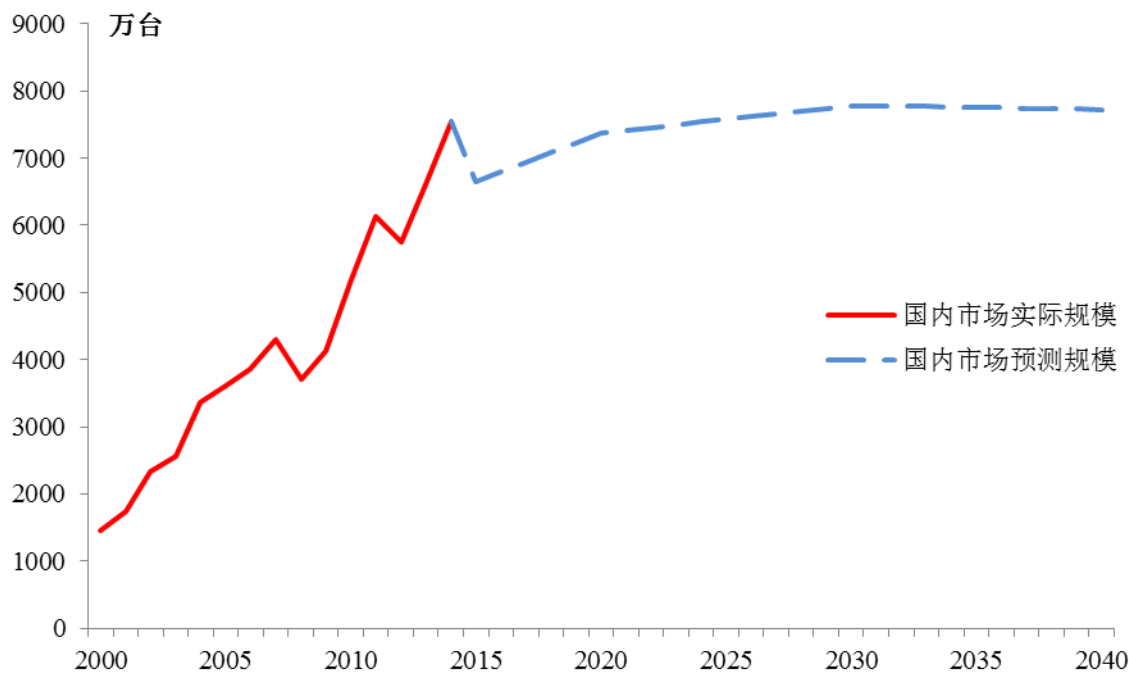


图 3 2015~2040 年中国家用空调国内市场规模预测

考虑到阻滞增长模型本身的局限性，以及产品技术进步、社会经济发展、人民消费观念改变等因素带来的不确定性对于模型预测结果带来的影响，本研究同时建立了中国家用空调行业规模的高速增长、低速增长和 0 增长模型，如图 4 所示。不同增长模型下市场规模增速如表 1 所示。其中，高速增长模型用于描述家用空调产品技术快速升级、社会经济快速发展、产品饱和量不断上升，带动行业规模快速发展的情况。在此情形下国内市场和出口市场规模增速为原增速的 2 倍。在高速增长模型下，2020 年中国家用空调行业规模将达到 1.28 亿台，其中中国内市场规模近 8200 万台，出口市场规模将达到 4600 万台；2030 年行业规模将突破 1.4 亿台，其中国内市场规模将超过 9000 万台，出口市场规模将达到 4900 万台；2040 年行业规模将达到 1.42 亿台，其中国内市场规模 9200 万台，出口市场规模 5000 万台。低速增长模型用于描述家用空调产品技术发展缓慢、社会购买力发展迟滞，导致行业规模发展无法达到预期增速的情况。在此情形下，低速增长模型中的增速为原有市场增速的 0.5 倍，由此导致 2020 年中国家用空调行业规模将维持在 1.13 亿台，其中国内市场规模约 7000 万台，出口市场规模 4300 万台；2030 年行业规模达到 1.15 亿台，其中国内市场规模 7200 万台，出口市场规模 4300 万台；2040 年行业规模将调整至 1.14 亿台，其中国内市场规模 7100 万台，出口市场规模 4300 万台。同时，0 增长模型的建立用于描述行业停止增

长的极端情况，将行业规模维持在 2013 年水平不变直至 2040 年。

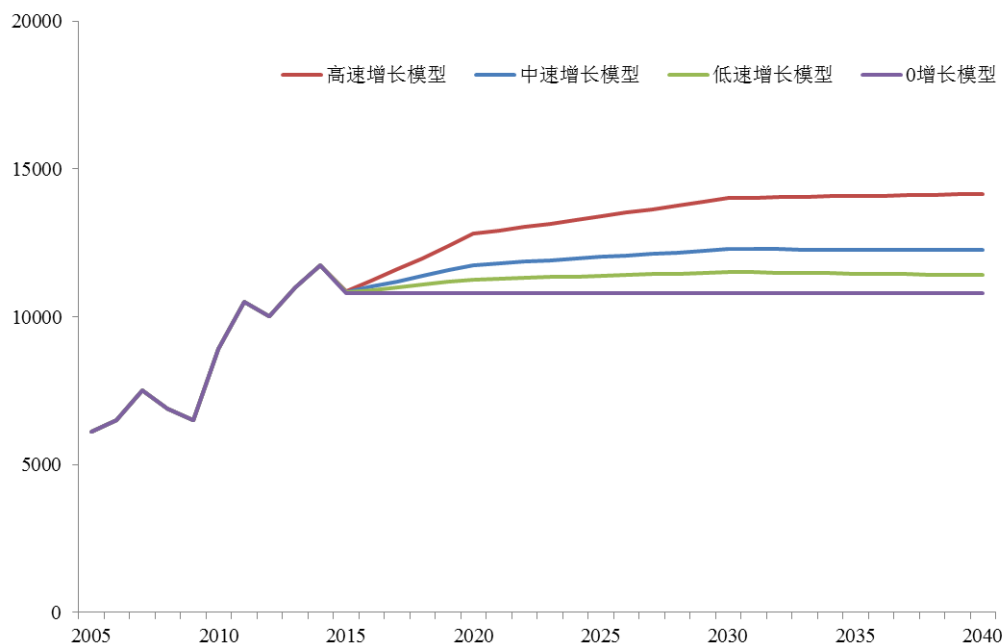


图 4 中国家用空调行业发展规模预测

2.2 家用空调行业制冷剂概况

2.2.1 家用空调行业制冷剂消费情况

制冷剂消费量的影响机制较为复杂，本研究主要将其归纳为行业生产规模、政策法规限制和产品结构变化的影响。其中，行业生产规模为制约因素，国内外制冷剂相关管控政策和产品结构变化对制冷剂消费量的增长主要起到了关键性的调控作用。

当出口目的国通过政策法规对 R22 制冷剂产品加以限制时，家用空调企业为满足出口需求，会根据当地政策法规对产品使用制冷剂类别进行调整，进而影响到 R22 的消费情况。如由于美国在 2010 年禁止 R22 产品的进口，出口到美国房间空调器将不再使用 R22 制冷剂。

产品结构变化对家用空调行业制冷剂消耗量产生的影响主要体现在定频/变频类型变化、制冷量、制热功能和能效等级等几个方面。首先，中国家用空调行业主要将 HFCs 制冷剂应用在变频家用空调产品上。近年来随着中国经济的快速发展，变频空调产品也在国内市场中迅速普及，直接导致了行业 HFCs 制冷剂消耗量的快速增长，如图 5 所示；其次，在制冷量大的家用空调产品设计中，制冷

剂的灌注量也会相应放大；同时，为满足部分产品制热性能的要求，冷暖类型的产品灌注量较之单冷产品灌注量要进行适当放大。最后，在产品制冷量相同且没有采取其他节能技术措施的情况下，通常产品能效越高，对于制冷剂的灌注量需求越大。

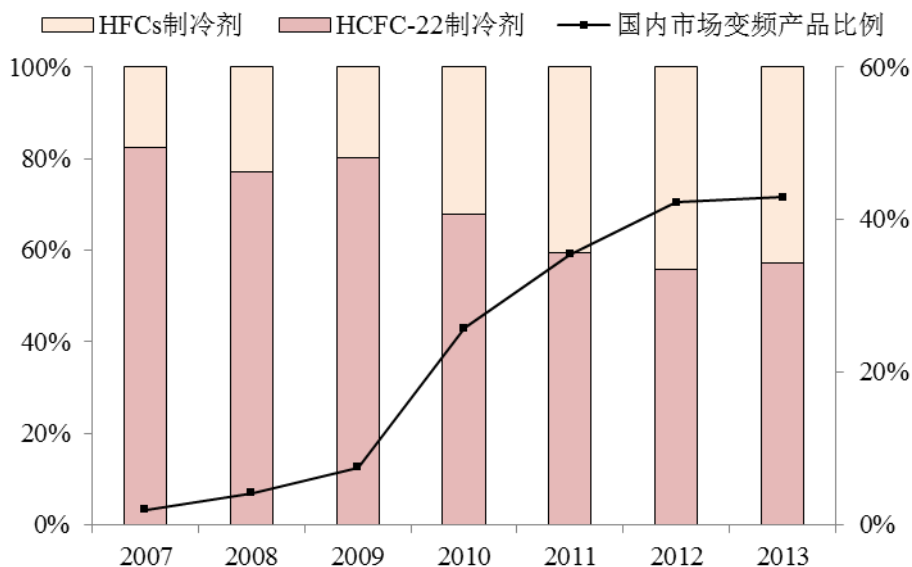


图 5 中国家用空调行业主要制冷剂消费比例

R22 制冷性能优良、稳定，在过去很长一段时期内成为全球房间空调器的主要制冷剂，但作为臭氧层消耗物质，目前在家用空调领域的应用正在逐步下降。2002 年起，受到欧盟率先颁布使用 R22 制冷剂空调器进口与生产禁令的影响，中国家用空调行业为适应出口需要，逐步开始采用 HFCs 制冷剂作为 R22 的替代品。除部分出口产品逐渐采用替代技术，2006 年起，国内市场变频家用空调产品开始采用 HFCs 制冷剂。从中国企业参与制订行业 HPMP 开始，带动了 HFC 空调器的数量的快速增长。目前，按照蒙特利尔议定书加速淘汰 HCFCs 的时间表要求，中国家用空调行业 R22 制冷剂消费量已于 2013 年实现冻结，并且实现了 2015 年 10% 的淘汰计划。未来还将按照履约目标实现 R22 制冷剂的全面淘汰。在此期间，HFCs 制冷剂作为 R22 替代品，在中国家用空调行业的消耗不断增长；HFCs 不仅满足淘汰计划对 HCFCs 的替代，同时超出冻结基线的新增产量的家用空调产品也消费着 HFCs。

由图 5 可知，2007 年以来，受到国内外相关政策法规、行业生产规模和产

品结构变化的影响,中国家用空调行业 HFCs 制冷剂的消费量正在逐年上升。2010 年以前,中国家用空调行业 HFCs 制冷剂主要集中在出口欧洲市场和日本市场产品的使用,比例基本维持在 20%左右。2010 年起,随着美国市场新产品禁止使用 HCFCs 的法案通过实施、中国家用空调行业生产规模的复苏,加之变频家用空调产品在国内市场份额的快速增长,中国家用空调行业 HFCs 制冷剂的消耗量也出现了激增。其中,2009 年至 2011 年发展最为迅猛,年均增速接近 80%,2011 年至 2013 年增长放缓,年均增速 5%。2013 年,中国家用空调行业 HFCs 制冷剂已占全部制冷剂消费量的 40%以上,消费量已超过 50,000 吨。

表 2 R22 及替代品主要性质

制冷剂	HCFC-22	R410A	R290	R161	R32	HFO-1234yf
类别	HCFC	HFC	HC	HFC	HFC	HFO
化学式	CHClF ₂	CH ₂ F ₂ / CHF ₂ CF ₃	C ₃ H ₈	CF ₃ CH ₂ F	CH ₂ F ₂	CF ₃ CFCH ₂
组分	100%	50% R32 50%R125	100%	100%	100%	100%
分子量	86.5	72.6	44.1	48.1	52.0	114.0
标准沸点 (°C)	-41	-52	-42	-38	-52	-29
饱和蒸气压 (25°C, MPa)	1.04	1.65	0.95	0.9	1.7	0.67
临界温度 (°C)	96	72	97	102	78	95
安全等级	A1	A1	A3	A3	A2L	A2L
ODP	0.055	0	0	0	0	0
GWP	1760	1924	3.3	4	677	<1

2.2.2 家用空调行业 R22 的替代制冷剂

由于 R22 制冷剂是臭氧层破坏物质,且具有较高的温室效应潜值 (Global Warming Potential, GWP),因此在家用空调行业的应用正在面临着逐步削减与淘汰。对于 R22 在家用空调行业替代品的研究与开发目前已受到国内外相关企业和研究机构的广泛关注。目前家用空调制冷剂的替代路线主要有三条,即 HFCs 替代路线、天然工质替代路线和 HFOs 替代路线。其中, HFCs 替代路线主要包括 R32 制冷剂、R161 制冷剂和二元近共沸混合制冷剂 R410A;天然工质替代技术路线主要是 R290 制冷剂; HFOs 制冷剂主要是 HFO-1234yf 及其混合物。除

R410A 制冷剂替代技术目前在家用空调行业应用较为成熟外，R32，和 R290 制冷剂替代技术在家用空调行业应用的已有了多年的研发经验，具有较为成熟的替代潜力。R22 在家用空调行业现有和潜在替代品的主要参数如表 2 所示。

2.2.2.1 HFCs 替代制冷剂

家用空调行业 R22 制冷剂的 HFCs 替代品主要包括 R410A、R32 和 R161，本部分中将就 HFCs 制冷剂的相关性能进行分析。

R410A 是一种近共沸混合工质，温度滑移在 0.1 °C 左右，由 HFC-32 和 HFC-125 以 50% 的比例混合而成。该项替代技术由美国杜邦公司所发明，专利为杜邦、霍尼韦尔和大金等公司所共同享受权益。这种工质对于臭氧层没有破坏作用（臭氧层损耗潜值 ODP 为 0），但其 GWP 值为 1924，大量使用将会加剧全球气候的变化。R410A 化学性质稳定，无毒，不可燃，并且对于制冷系统的效率具有提升作用，是一种可达到节能目的的工质。

在制冷系统的实际应用中，R410A 的工作压力是 R22 的 1.5~1.6 倍，因此制冷系统的压缩机、热交换器和管路需要重新进行设计，管壁需要加厚以应对较高的运行压力；R410A 与 R-22 系统中的大部分材料兼容，只需要改变少数的塑料材料；但与 R22 系统所采用的矿物油并不兼容，因此需要采用酯类合成油，酯类合成油的价格较 R22 的矿物油更加昂贵；适用于这种制冷剂的压缩机价格也较 R22 压缩机有所提升；此外在专利保护期内 R410A 制冷剂的价格较高，2011 年专利保护期已过，目前 R410A 的价格已经很有竞争力。总之，采用 R410A 制冷剂空调器的成本比 R22 会有所上升。

在过去的一段时期内，由于欧洲、美国、日本、澳大利亚、新西兰市场纷纷采取措施限制 R22 产品的使用，使用 R410A 的产品开始在家用空调行业迅速增长，成为了 R22 以外应用最为广泛的家用空调制冷剂。但由于 R410A 较高的 GWP 值，国际社会上普遍认为 R410A 是 R22 的过渡性替代工质。

R32 化学名称为二氟甲烷，是 R410A 混合工质的主要成分之一，热物性质与 R410A 和 R22 非常接近。R32 的 ODP 值为 0，GWP 值为 677，环保性能优于 R410A。R32 基本无毒，具有温和的可燃性，其最低燃烧限值为 0.306 kg/m³，属于 A2L 类制冷剂。在系统效率方面，R32 的热工性能优于 R410A，能效约能提

升 5.3%，充注量大约是 R22 的 0.6 倍，但工作压力高于 R410A。通过混入 R125，可有效降低 R32 的燃烧性和压力，形成二元混合制冷剂 R410A。

R32 制冷系统的主要问题是压缩机的排气温度过高，在滚动转子式压缩机中需要采用喷液冷却的方法来予以解决。系统运行压力和可燃性也导致了 R32 制冷剂家用空调产品制造成本的上升。此外，虽然 R32 制冷剂可燃性较低，但是燃烧产物氟化氢及其水溶液均为剧毒，且腐蚀性极强，给家用空调产品的安全使用带来了安全隐患。此外，R32 的 GWP 值也较高，在全球 HFCs 管控的大趋势下也面临着应用限制。

R161 的化学名称为一氟乙烷，具有优良的物理化学特性，其 ODP 为 0，GWP 值为 4，属于一种环保制冷剂。从中短期毒性试验结果看，R161 的毒性与其他 HFCs 的数量级相同，属于无毒物质。HFC-161 的最低燃烧限值为 3.8%，属于 A3 类制冷剂。R161 制冷剂的应用研究已在部分企业展开。研究结果显示，在相同制冷量的前提下，HFC-161 的充注量少于 R22，与现有系统材料不存在兼容性的问题，并且不需要更换压缩机和润滑油。系统效率的相关研究结果表明，采用 R161 工质制冷系统效率较 R22 最高可提高 9~12%。R161 的系统运行压力与 R290 基本相同，比 R22 系统降低 10~20% 左右。因为毒性长期试验没有做，目前还不能作为商品应用。

2.2.2.2 R290 替代制冷剂

碳氢化合物 R290（丙烷）是一种自然工质，对臭氧层没有破坏作用（ODP 为 0），GWP 值为 3.3，是一种理想的环保制冷剂。但 R290 工质具有一定的可燃性，燃烧下限体积浓度为 2.2%，燃烧上限体积浓度为 9.5%，在美国采暖、制冷与空调工程师学会美国暖气和空调工程师学会标准 ASHRAE-34 对制冷剂的分类中属于 A3 类工质。

R290 的饱和蒸汽压、气化潜热、饱和液态粘度系数和饱和气态粘度系数、饱和液态导热系数和饱和气态导热系数等热力性能均优于 R22，并且系统效率较 R22 系统可以提升 10~15%。R290 优良的热力性能还体现在：（1）R290 冷凝压力要小于 R410A 和 R32，因此系统的承压能力可低于上述两种工质；（2）R410A 和 R32 的压差分别是 R290 压差的 1.84 倍和 1.9 倍，因此 R290 压缩机所耗的摩

擦功率损失小于上述两种工质，提高了系统稳定性。此外，R290 制冷剂与目前房间空调器压缩机中的材料大部分不存在兼容性问题，与目前广泛应用的矿物油、烷基苯油以及 POE 等强极性油等冷冻润滑油均呈现十分良好的溶解性。

R290 制冷剂不仅对环境十分友好，而且来源丰富，十分经济，已经引起全球家用空调行业的广泛兴趣。在 R290 在空调器中的实际应用方面，意大利移动空调器生产商 De'Longhi 自 1995 年起已经批量生产 R290 移动式空调器、除湿机、制冰机等，并在欧洲、澳大利亚等销售使用。另外，澳大利亚的本森空调公司已经开始生产采用 R290 的分体式空调器，这种空调器的制冷量小于 4 千瓦，能效达到了 3.05 以上。印度 Godrej 绿色平衡 EON 系列家用空调产品使用碳氢化合物作为制冷剂，产品能效相比目前投入市场的节能产品还要高 23%。珠海格力电器有限公司 2011 年开启了使用丙烷制冷剂的家用空调生产线，并在马尔代夫政府办公楼上安装了 100 台丙烷分体空调，已经使用 5 年至今运行良好；近年来生产销售了数万台丙烷制冷剂移动空调；2015 年 6 月深圳市政府采购了 243 台格力分体空调用于深圳大学学生宿舍。海尔公司于 2015 年 4 月 8 日宣布的批量生产丙烷分体空调并在北京等城市和网上开始销售。

此外，R290 制冷剂目前已广泛应用于家用制冷和商用制冷行业中，并在提高产品能源效率上效果显著。2009 年，在德国国际合作机构和斯威士兰国家臭氧部门的支持下，电冰箱生产商 Palfridge 将其全部生产设施从 HFC 转化为碳氢化合物制冷剂（异丁烷和丙烷），产品类型包括疫苗冷却器、商用电冰箱及家用电冰箱，生产规模约为每年 6 万台。意大利 Blupura 公司使用的丙烷和异丁烷压缩机在多款饮水机中用于制冷。2011 年起，德国 Aldi Nord 集团逐渐将丙烷制冷剂应用于卧式冻结柜产品中。维特罗斯公司（Waitrose）目前也在使用以丙烷为制冷剂的水冷式设备来降低制冷剂充注量，并成功地将碳氢化合物制冷剂充注量维持在 400 克以下，并将自然冷却温度维持在 18 °C 以下。2013 年，HE 卡特食品杂货公司将 R290 制冷剂应用于食品冷藏系统中。2014 年，澳柯玛股份有限公司引入 R290 制冷剂，并成功应用在部分大冰柜产品。

2.2.2.3 HFOs 替代制冷剂

由杜邦和霍尼维尔公司推出的人工合成的 HFOs 制冷剂，主要用于解决汽车

空调、售货机和家用冰箱领域的制冷剂替代的问题。此类工质属于不饱和氢氟碳化物，因此在大气中稳定存在时间较短，较 HFCs 对于全球气候变化产生的影响更小。例如 HFO-1234yf 的 ODP 值为 0，GWP 值小于 1，没有毒性，但具有温和的可燃性，燃烧下限为 6.5%，属于 A2L 类制冷剂。霍尼韦尔进行了大量的可燃性试验和风险评估，认为 HFO-1234yf 可以在汽车空调器系统中被安全的使用，并且与塑料、橡胶等材料不存在兼容性的问题。但从应用结果看，HFO 单品在房间空调器应用其制冷性能效果并不理想。因此，为适应 HFOs 制冷剂在家用空调产品上的应用，各化学品企业针对 HFO-1234yf 产品特点进行了改性与混合，开发了一系列新型环保制冷剂产品。例如霍尼韦尔公司的 Solstice L 系列弱可燃制冷剂方案，包括用于替代 R22 的 L-20 制冷剂和用于替代 R410A 的 L-41 制冷剂。此类制冷剂大多在中高压系统运行压力下工作，可燃性和 GWP 值均低于 R32 制冷剂，在一定时期内可适应全球 HFCs 管控工作的要求，但仍属于温室气体（L-20 GWP 值为 295，L-41 GWP 值小于 600），长期看来仍属于过渡性替代制冷剂。中国的房间空调器企业也与开发 HFO 的杜邦和霍尼维尔公司就 HFO 在空调器上的应用开展过研究课题。

3. 环境效益情景分析

根据蒙特利尔议定书加速淘汰 HCFCs 物质的调整案，R22 作为一种臭氧层消耗物质，其生产和使用正在面临全球范围的削减与淘汰。按照调整案要求，2030 年将 HCFCs 物质的生产量和消费量在基线水平上削减 97.5%，保留基线水平的 2.5% 用于维修领域的需求到 2040 年，因此中国家用空调行业 R22 制冷剂的使用也将面临着全面的淘汰。随着 R22 制冷剂消费量削减工作的不断深入，制冷剂替代技术将得到进一步的开发与推广。通过 2.2.2 节的论述我们不难发现，现有的 HFCs 制冷剂替代品大多具有温室气体效应，长期使用势必会加剧给全球气候变化带来的负面影响，给国家二氧化碳减排工作带来巨大的压力。中国家用空调行业优先选择的天然制冷剂 R290 替代技术具有保护臭氧层和减排温室气体双重环境效益，可有效避免因制冷剂使用导致的温室气体排放，提高行业减排的能力，有助于我国家用空调行业健康可持续发展。为此，我们建立了情景模拟了各种制冷剂应用对于未来全球温室气体排放造成的影响。

3.1 环境效益影响评价指标

本研究采用温室效应总当量 (Total Equivalent Warming Impact, TEWI) 作为房间空调行业制冷剂使用造成的的温室气体排放的评价指标。TEWI 是用于综合评价制冷过程中的全球变暖效应的一个指标，包括评价制冷剂排放的直接温室效应和产品生命周期过程中能源消耗所产生的温室气体排放的间接影响。TEWI 包括三个方面：1) 特定条件下制冷剂的直接排放造成的温室效应，特定条件主要包括产品报废等制冷剂一次性全部排放的过程；2) 产品在使用过程中的制冷剂泄漏所造成的温室效应；3) 产品在使用过程所消耗能源间接导致的温室气体排放。其中，制冷剂的泄漏和直接排放称为“直接排放”，消耗能源导致的温室气体排放称为“间接排放”。TEWI 的计算公式如下：

$$TEWI_i = \sum_{j=1}^k (GWP_j \times l_j \times n_{ij} + GWP_j \times L_j \times m_{ij} + n_{ij} \times E \times \beta)$$

其中：

$TEWI_i$ 为第 i 年温室效应总当量，单位为 CO_2 当量吨；

$GWP_j \times l_j \times n_{ij}$ 为第 j 种制冷剂房间空调产品使用过程中因制冷剂泄漏造成的温室效应影响，单位为 CO_2 当量吨；

$GWP_j \times L_j \times m_{ij}$ 为第 j 种制冷剂房间空调产品在报废过程中制冷剂排放的温室效应影响，单位为 CO_2 当量吨；

$n_{ij} \times E \times \beta$ 为第 j 种制冷剂房间空调产品使用过程中能源消耗所导致的间接温室效应影响，单位为 CO_2 当量吨；

GWP_j 为第 j 种制冷剂的全球温室效应潜值，单位为 CO_2 当量；

L_j 为第 j 种制冷剂平均充注量，单位为吨/万台；

l_j 为第 j 种制冷剂平均泄漏量，单位为吨/万台；

n_{ij} 为使用第 j 种制冷剂房间空调产品在第 i 年的保有量，单位为万台；

m_{ij} 为使用第 j 种制冷剂房间空调产品在第 i 年的报废量，单位为万台；

E 为产品每年能源消耗，单位为 $\text{kWh}/\text{年} \cdot \text{万台}$ ；

β 为能源产生的 CO_2 排放因子，单位为 CO_2 吨/ kWh 。

3.2 情景模型的建立

中国家用空调行业 TEWI 主要来自制冷剂作为温室气体的泄漏排放，以及家用空调产品使用导致的间接温室气体排放，因此国内制冷剂消费量管控政策将会对中国家用空调行业 TEWI 产生主要影响。

2015 年 4 月在曼谷举行的关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书缔约方不限成员名额工作组第 35 次会议上，共有四份将 HFCs 纳入蒙特利尔议定书进行管理的修正案提案提交了臭氧秘书处，包括北美提案、小岛国提案、印度提案、欧盟提案和非洲集团 CRP 文件。其中北美提案、欧盟提案和印度提案都提出了具体的削减淘汰时间表（见表 3），可为本研究设定情景中 HFCs 制冷剂的管控政策的判断提供有意义的参考。

根据欧盟提案中的 HFCs 削减时间表，A5 国家 HFCs 消费量应在 2019 年进行冻结，基线消费量为 2015 年~2016 年 HFCs 消费量平均值与 HCFCs 消费量平

均值的总和，后续削减的具体进程应在 2020 年以前由缔约国商讨并达成共识，最终 HFCs 消费量削减将于 2040 年完成；北美提案中的 HFCs 削减时间表显示，A5 国家 HFCs 消费量应在 2021 年进行冻结，基线消费量为 2011 年~2013 年 HFCs 消费量的平均值与 HCFCs 消费量平均值 50% 的总和，并在 2026 年、2032 年分别进行监测，直至 2046 年削减至 HFCs 基线年水平 15% 与 HCFCs 基线年水平 50% 的总和；印度提出的 HFCs 削减时间表设定 A5 国家应在 2031 年正式冻结 HFCs 消费量，冻结基线为 2028 年~2030 年 HFCs 消费量平均值与 2009 年~2010 年 HCFCs 消费量平均值 32.5% 的总和，具体削减时间表应每五年一次由缔约国谈判决定，最终 HFCs 消费量将于 2050 年削减至 HFCs 基线年水平 15% 与 HCFCs 基线年水平 32.5% 的总和。此次会议各方提交的 HFCs 削减时间表首次将 HFCs 作为 HCFCs 替代品纳入考虑，因此各方提案中的消费量基线都综合了 HFCs 和 HCFCs 消费量水平，较之以往的提案更为成熟可行，也从侧面反映了 HFCs 纳入蒙特利尔议定书进行管理的必然趋势。

表 3 各方 HFCs 管理的修正案提案时间表

		基线	2019	2024	2030	2036	
北美提案	非 A5 国家	HFC (2011-2013 平均水平)	90%	65%	30%	15%	
		HCFC (2011-2013 平均水平)	75%	75%	75%	75%	
			2021	2026	2032	2046	
	A5 国家	HFC (2011-2013 平均水平)	100%	80%	40%	15%	
HCFC (2011-2013 平均水平)		50%	50%	50%	50%或70%		
印度提案	非 A5 国家	HFC (2013-2015 平均水平)	100%	90%	65%	30%	15%
		HCFC (1989HCFC+2.8%1989CFC)	25%	25%	25%	25%	25%
			2031	2050			
	A5 国家	HFC (2028-2030 平均水平)	100%	提前 5 年进行谈判，以确			15%
HCFC (2009-2010 平均水平)		32.5%	定未来 5 年的削减计划			32.5%	
欧盟提案			2019	2023	2028	2034	
	非 A5 国家	HFC (2009-2012 平均水平)	85%	60%	30%	15%	
		HCFC (2009-2012 平均水平) 45%					
			2019	2040			
A5 国家	HFC (2015-2016 平均水平)	100%	2020 年达成削减时间表				
	HCFC (2015-2016 平均水平)						

综合对比各方提交的 HFCs 削减时间表，欧盟提案中的冻结时间较早，削减

进度与 2015 年实施的 F-gas 法规紧密结合，削减力度较为激进；北美提案中的削减时间表反映了主要非 A5 国家关于 HFCs 管理工作的诉求；印度提案中的削减时间表反映了部分 A5 国家关于 HFCs 管理工作安排的意愿。作为 A5 国家，中国政府目前尚未就 HFCs 管理工作提出具体时间表，但考虑到中国逐渐进入新常态经济发展阶段，将会大力推动形成绿色低碳循环发展新方式，因此预计未来中国认可并实施的 HFCs 削减时间表总体将会早于印度提案中的时间表，但不早于北美提案中的时间安排。

此外，按照 2009 年国务院发布的中国控制温室气体排放的行动目标，中国政府将在 2020 年将单位国内生产总值二氧化碳排放将在 2005 年基线水平上减少 40% 到 45%，作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划。2014 年 11 月，中美双方发布的《中美气候变化联合声明》指出，中国计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到 2030 年非化石能源占一次能源消费比重提高到 20% 左右。

综合考虑上述影响因素，本研究情景设定中国家用空调行业将于 2024 年起正式冻结 HFCs 制冷剂消费量，基线消费量为 2011 年~2013 年 HFCs 制冷剂消费规模的平均水平与 2009 年~2010 年 HCFCs 制冷剂消费量平均水平的 40% 之和，并逐步削减至 2048 年，实现最终淘汰至 HFCs 制冷剂基线消费量的 15% 与 HCFCs 制冷剂消费量平均水平的 40% 之和，并以 2020 年、2030 年和 2040 年为时间节点，对家用空调产品不同制冷剂使用带来的短期、中期和长期环境效益进行分析。

在此基础上，本研究设定了以下 3 种可能的情景，用于实现不同 HFCs 管控政策下家用空调行业 TEWI 的评价：

- (1) **BPN 情景 (Best Performance Scene)**：在 R22 制冷剂和 HFCs 制冷剂削减的大背景下，将 HFCs 削减时间表的管辖物质 GWP 限值设定为 150，使用 R290 制冷剂的家用空调产品自 2015 年起逐步增长直至 2023 年行业规模的 10% 左右，2024 年起行业 HFCs 制冷剂消费量实现冻结，直至 2040 年削减结束，2024 年后行业新增产量规模由 R290 制冷剂产品填补。此情景用于描述在管控政策利好、企业积极推动、产品市场化障碍得以解决情况下，中国家用空调行业 R290 制冷剂产品健康发展的情况。

- (2) **CPM 情景 (Compromised Scene)**: 在 R22 制冷剂和 HFCs 制冷剂削减的大背景下, 将 HFCs 削减时间表的管辖物质 GWP 限值设定为 750, 使用 R32 制冷剂 (GWP 值为 677) 的家用空调产品取代 R22 制冷剂家用空调产品发展, 2024 年至 2040 年行业新增产量规模由 R32 制冷剂产品填补。此情景用于描述在产品市场化障碍的负面影响下, 中国家用空调行业 R290 制冷剂产品的正常发展受到全面抑制的情况。
- (3) **REF 情景 (Reference Scene)**: 在 R22 制冷剂削减的大背景下, 不采取 HFCs 管控政策条件下行业温室气体的排放情况, 即由行业发展引起的新增产量规模全部采用 R410A 制冷剂产品进行填补的情景。此情景将作为 BPN 情景与 CPM 情景的对照, 用于评价 HFCs 的管控与 R290 制冷剂家用空调产品健康发展未来可能带来的环境效益。

3.3 行业中速发展下的环境效益

中国家用空调行业 R22 制冷剂的消费量受到蒙特利尔议定书加速淘汰 HCFCs 物质的调整案削减时间表的限制, 将在 2013 年~2030 年保持持续削减, 同时 R410A 作为 HFCs 主要温室气体, 将在 BPN 情景和 CPM 情景下消费量自 2024 年起初步削减, 由此测算得到的行业中速发展下 2015 年~2040 年 R22 和 R410A 制冷剂消费量如表 3 所示。

表 3 行业中速发展下 2015 年~2040 年 R22 和 R410A 制冷剂消费量

时间	R22 消费量		R410A 消费量	
	消费量/万吨	基线水平/%	消费量/万吨	HFCs 基线水平/%
2015	6.72	90	5.69	--
2020	4.86	65	8.08	--
2025	2.43	32.5	7.55	96
2030	0.19	2.5	6.65	78
2035	0	0	5.78	60.5
2040	0	0	4.91	43

2015 年, 中国家用空调行业 R22 制冷剂消费量为 2009 年~2010 年基线水平的 90%, 消费量 6.72 万吨; 2020 年, 行业 R22 制冷剂消费量削减为基线水平的

65%，消费量4.86万吨；2025年，行业R22制冷剂消费量削减为基线水平的32.5%，消费量2.43万吨；2030年，行业R22制冷剂消费量削减为基线水平的2.5%，消费量0.19万吨；2030年以后，行业R22的使用将局限在维修领域，新生产的家用空调产品将不再使用R22制冷剂。

在行业中速发展下，考虑到替代制冷剂家用空调产品市场的发展，2015年~2022年，行业R410A制冷剂消费量预计将增长至峰值的8.55万吨，2024年消费量冻结在基线水平的7.75万吨，2025年起，HCFCs制冷剂当量消费基线维持不变，HFCs制冷剂以每年约3.5%基线消费量的速度进行削减；2030年，行业R410A制冷剂消费量削减为HFCs制冷剂基线消费量的78%与HCFCs制冷剂基线消费量之和，消费量6.65万吨；2035年，行业R410A制冷剂消费量削减为HFCs制冷剂基线消费量的60.5%与HCFCs制冷剂基线消费量之和，消费量5.78万吨；2040年，行业R410A制冷剂消费量削减为HFCs制冷剂基线消费量的43%与HCFCs制冷剂基线消费量之和，消费量4.91万吨。

在BPN情景和CPM情景下，中国家用空调行业使用R22制冷剂和R410A制冷剂的产品规模发展完全相同。其中由于BPN情景下HFCs削减时间表的管辖物质限制了R32制冷剂（GWP值677）在家用空调产品中的应用，因此R290将作为新型替代制冷剂填补由于HCFCs和HFCs消费量削减以及行业规模增长所造成的产品缺口；CPM情景下得HFCs削减政策对于R32制冷剂不予限制，加之目前使用R290家用空调产品在市场化过程中受到诸多障碍的限制，造成了R32作为新型替代制冷剂填补行业产品缺口的局面。在BPN情景和CPM情景下，行业R22制冷剂产品削减淘汰的同时，R410A制冷剂产品规模也会随着HCFCs的逐步淘汰逐渐增长。预计使用R410A制冷剂产品的规模将会在2022年发展至峰值的8300万台。随后受到HFCs替代制冷剂应用的推广及HFCs制冷剂管控政策实施的影响，R410A制冷剂产品规模将会收缩，预计2030年规模收缩至6500万台，并于2040年进一步缩减至4800万台。为适应HFCs削减政策的实施，预计2023年以前行业将逐步采用新型替代制冷剂以减少削减政策对行业带来的冲击，但增速相对缓慢。2024年以后，新型替代制冷剂将填补由于R22和R410A消费量削减造成的产品市场缺口，并在此情景下实现快速增长。预计2020年使用新型替代制冷剂家用空调产品规模将达到80万台，2030年达到5700万台，

并于 2040 年持续增长至 7500 万台，行业产品占比超过 60%。行业中速增长下 BPN 情景/CPM 情景的产品制冷剂分布如图 6 所示。

在 REF 情景下，行业 HFCs 制冷剂的使用完全不予限制，随着 R22 的逐步削减与淘汰，将会导致行业 R410A 制冷剂消费量呈现爆发式增长的局面。预计 2020 年，使用 R410A 制冷剂的家用空调产品规模将达到 7900 万台，R410A 制冷剂消费量达到 8.2 万吨；2030 年使用 R410A 制冷剂的产品规模进一步增长至 1.21 亿台，R410A 消费量将增长至 12.5 万吨；2040 年使用 R410A 制冷剂的产品规模将达到 1.22 亿台，R410A 消费量达到 12.6 万吨。

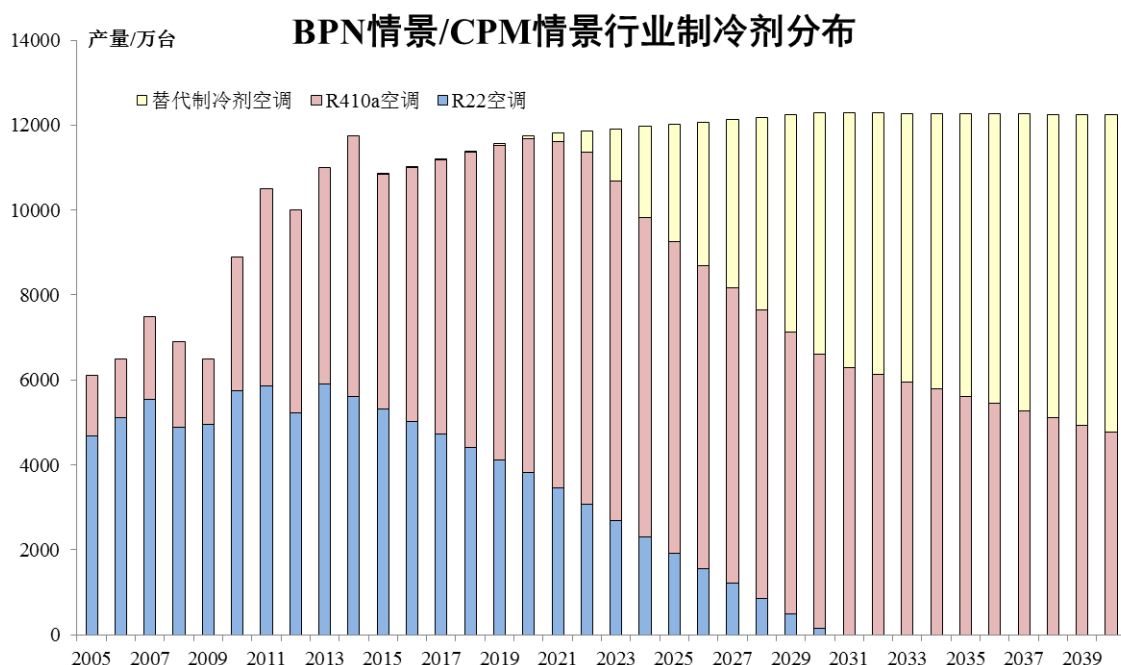


图 6 行业中速增长下 BPN 情景/CPM 情景的产品制冷剂分布

中国家用空调行业新型替代制冷剂环境效益测算结果如图 7 所示。在 REF 情景下，中国家用空调行业 TEWI 在 2015 年~2040 年将保持持续增长，预计 2020 年 TEWI 将达到 13.4 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 21%；2030 年 TEWI 将增长至 14.4 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 29%；2040 年，随着中国家用空调行业规模发展的放缓，TEWI 将达到 14.5 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 31%。在 BPN 情景下，行业 TEWI 将在 2027 年达到峰值的 14.0 亿吨二氧化碳当量，此后快速下降；预计 2020 年行业 TEWI 将达到 13.4 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 21%；2030 年，行业 TEWI 经过 2027 年峰值后将会调整至 13.8

亿吨二氧化碳当量，与 2024 年排放水平大致相当；2040 年行业 TEWI 将逐渐调整至 12.4 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 12%，大致相当于 2017 年排放水平。在 CPM 情景下，行业 TEWI 在 2015 年~2028 年将持续增长，并在 2028 年达到峰值的 14.1 亿吨二氧化碳当量，此后缓慢下降；预计 2020 年行业 TEWI 将达到 13.4 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 21%；2030 年 TEWI 将维持在 14.0 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 26%；2040 年行业 TEWI 将调整至 13.1 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年增长 18%，大致相当于 2019 年排放水平。

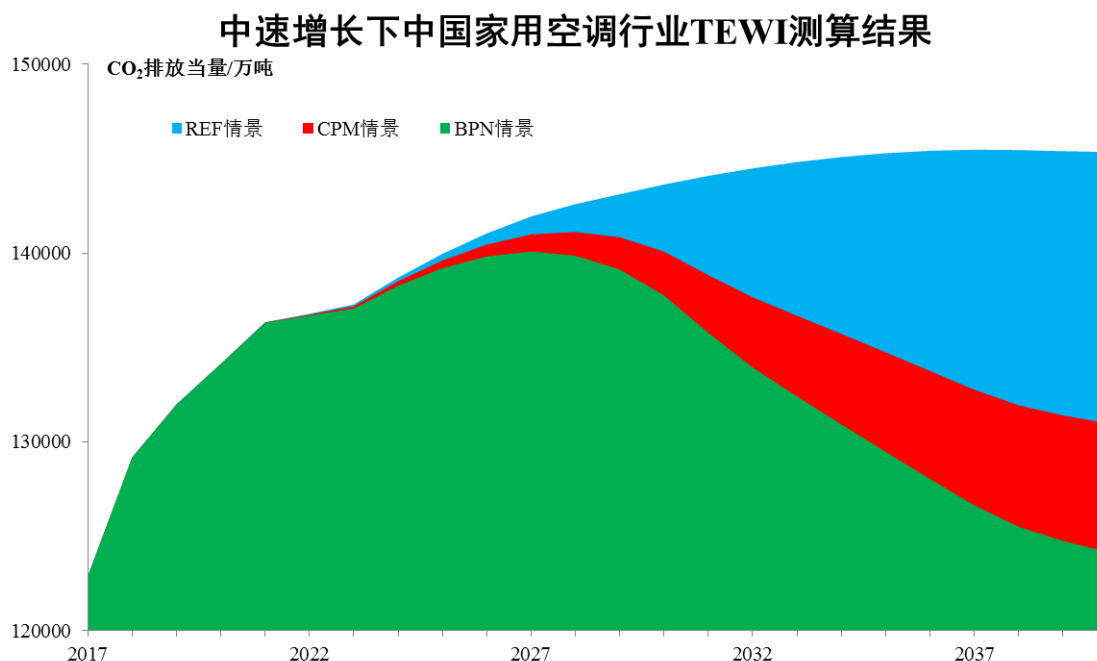


图 7 中速增长下中国家用空调行业 TEWI 测算结果

通过对比可以发现，在 BPN 情景下，可在 2030 年实现行业 TEWI 减排 5878 万吨二氧化碳当量，降低辐射强迫增加 $5.39 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ ，缓解全球变暖贡献为 $3.22 \times 10^{-5} \text{ K}$ ，较 REF 情景 TEWI 减少 4.1%，2040 年减排量达到 2.12 亿吨二氧化碳当量，较 REF 情景 TEWI 减少 14.6%，降低辐射强迫增加 $1.94 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ ，缓解全球变暖贡献为 $1.16 \times 10^{-4} \text{ K}$ ，2015 年~2040 年可累计实现温室气体减排 17.64 亿吨二氧化碳当量；在 CPM 情景下，可在 2030 年较 R410A 实现行业减排 3555 万吨二氧化碳当量，较 REF 情景 TEWI 减少 2.5%，降低辐射强迫增加 $3.26 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ ，缓解全球变暖贡献为 $1.94 \times 10^{-5} \text{ K}$ ；2040 年行业减排量达到 1.44 亿吨二氧化碳当量，较 REF 情景 TEWI 减少 9.9%，降低辐射强迫增加 $1.32 \times 10^{-2} \text{ W/m}^2$ ，

缓解全球变暖贡献为 7.86×10^{-5} K, 2015 年~2040 年可累计实现温室气体减排 11.6 亿吨二氧化碳当量。

通过对比行业 TEWI 减排的构成可以发现（图 8），在 BPN 情景中，2025 年由于 R290 制冷剂产品使用规模非常有限，导致了 TEWI 减排量较为有限，并且大部分产品运行时间较短，TEWI 主要为产品节能性能提高导致的间接减排；2030 年使用 R290 制冷剂的家用空调产品已经形成一定市场规模，制冷剂泄漏和报废过程产生的直接减排贡献不断提高，占 TEWI 减排比例达到 55%，成为中国家用空调行业温室气体减排的主要贡献；2040 年，随着 R290 制冷剂产品的进一步普及，由于制冷剂泄漏和报废过程造成的放对于 TEWI 减排的贡献达到 77%。

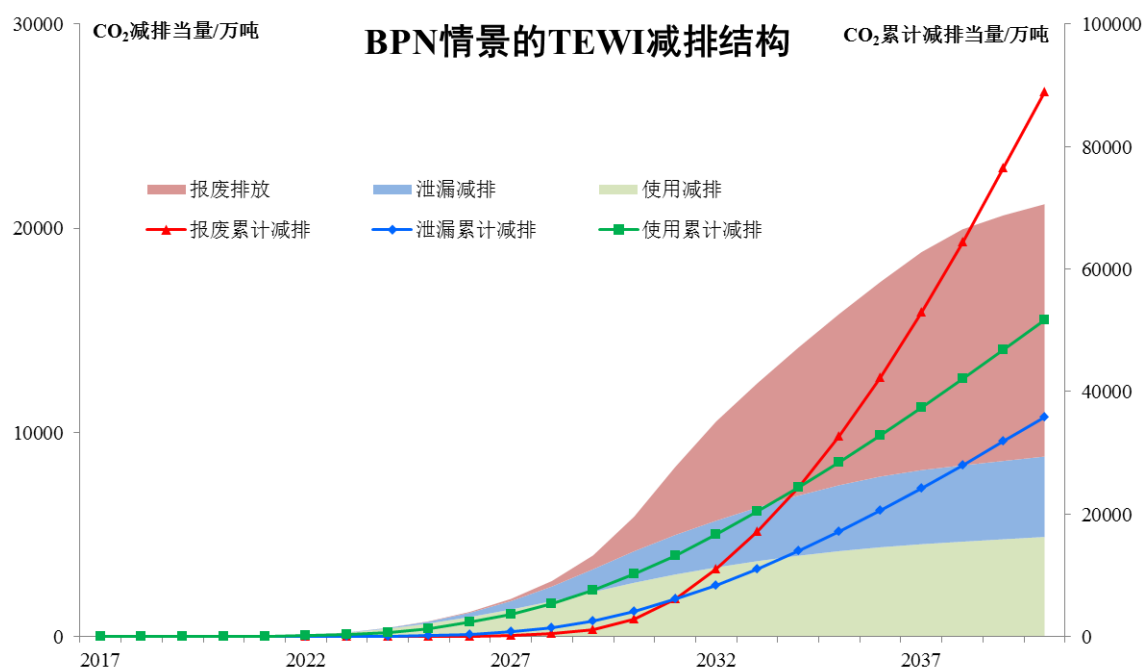


图 8 BPN 情景下行业中速增长的减排结构

在 CPM 情景中（图 9），R32 制冷剂作为温室气体只能在一定程度上缓解由于泄漏过程和产品报废导致的排放，另一方面，作为 R410A 制冷剂的主要组分，R32 制冷剂对于原有产品能源效率的提升有限，因此从根本上限制了其作为新型替代制冷剂的 TEWI 减排效果。2030 年，使用 R32 的家用空调产品 TEWI 减排主要来自制冷剂泄漏和报废过程产生的直接减排，占 TEWI 减排比例达到 69%；2040 年，由于制冷剂泄漏和报废过程造成的放对于 TEWI 减排的贡献达到 86%。

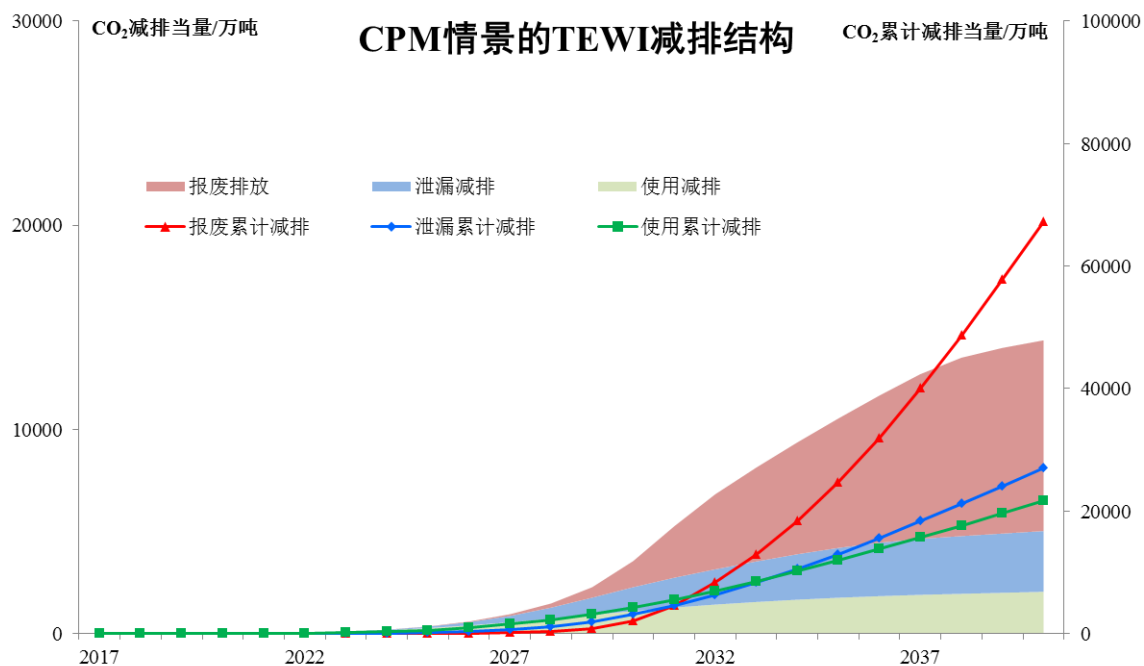


图 9 CPM 情景下行业中速增长的减排结构

综合比较来看，BPN 情景下中国家用空调行业 TEWI 减排量可实现 CPM 情景减排量的 1.5 倍以上。其中 2021 年~2030 年 BPN 情景可实现年均 TEWI 减排 1717 万吨二氧化碳当量，是 CPM 情景 TEWI 减排量的 180%，相当于每年多减排 762 万吨二氧化碳当量；2031 年~2040 年 BPN 情景可实现年均 TEWI 减排 1.59 亿吨二氧化碳当量，是 CPM 情景 TEWI 减排量的 150%，相当于每年多减排 5282 万吨二氧化碳当量。

通过分析中速增长下家用空调产品节能量可以发现（图 10），使用 R290 制冷剂的家用空调产品能效性能突出，如果在行业内顺利推广，可实现较为可观的节能效益。在 BPN 情景中，2025 年由于使用 R290 制冷剂产品的顺利推广，全球范围内家用空调产品可实现节电 68 亿度/年，其中产品在国内市场占比可达 60% 以上，可实现节电 40 ~45 亿度/年；2030 年全球范围内产品可实现节电 277 亿度/年，其中国内可实现节电 170 ~180 亿度/年；2040 年，随着 R290 制冷剂技术在中国家用空调行业的深入推广，全球范围内可实现年节电量 513 亿度，其中国内可实现节电 300 ~350 亿度/年；2020~2040 年全球范围内可累计实现节电约 5400 亿度，其中国内市场节电量预计可达到 3400~3500 亿度。

在 CPM 情景中，家用空调产品使用过程中的节电量约为 BPN 情景的 40%，

2025 年全球范围内家用空调产品可实现节电 29 亿度/年，其中国内市场产品可实现节电 15~20 亿度/年；2030 年，全球范围内可实现节电 116 亿度/年，其中国内可实现节电 70~75 亿度/年；2040 年，全球范围内可实现年节电量 215 亿度，其中国内可实现节电 130~140 亿度/年；2020~2040 年全球范围内可累计实现节电约 2300 亿度，其中国内市场节电量预计可达到 1400~1500 亿度。

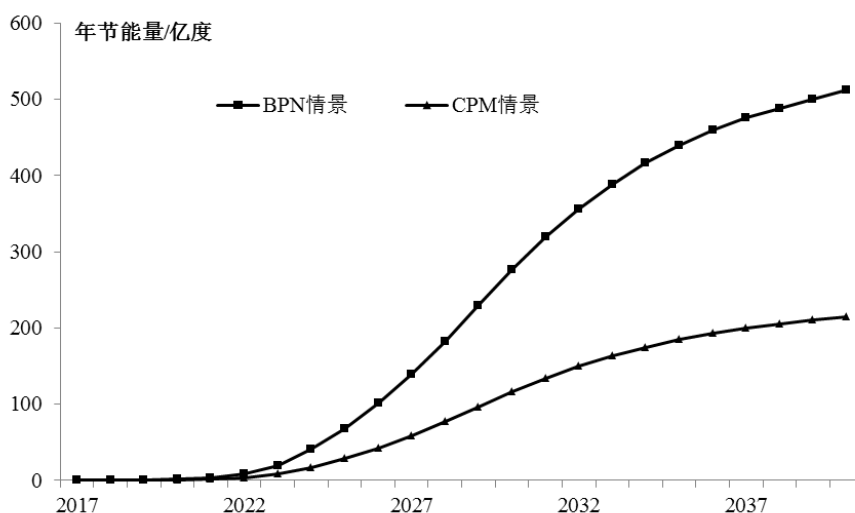


图 10 行业中速增长下的节能量对比

3.4 不同增速下的环境效益

考虑到中国家用空调行业预测模型的不确定性，行业不同发展增速会给设定情景下行业总体温室气体排放量带来一定影响，造成行业发展的环境风险。为此，本研究就中国家用空调行业规模的高速增长、低速增长和 0 增长模型下的 TEWI 进行了测算，并通过与中速发展模型测算结果的比对，对行业不同发展增速下的环境风险进行了评估。

如果行业整体规模保持高速增长，BPN/CPM 情景下使用 R410A 制冷剂的家用空调产品预计将在 2022 年达到峰值的 9500 万台。由于本研究涉及的 HFCs 制冷剂冻结基线取决于 2009 年~2010 年 HCFCs 制冷剂消费量和 2011 年~2013 年 HFCs 制冷剂消费量，此时使用新型替代制冷剂产品尚未形成规模化市场，因此 2024 年后行业不同增速模式下 HFCs 消费量的冻结与削减保持一致，并由此导致了高速增长模型下，2024 年起使用新型替代制冷剂产品规模迅速增长，预计 2030 年将达到 7400 万台，2040 年规模继续扩大至 9400 万台，行业占比达到 66%。

如果行业整体规模保持低速增长，BPN/CPM 情景下使用 R410A 制冷剂的家用空调产品预计将在 2022 年达到峰值的 7800 万台，2024 年后 HFCs 消费量冻结并与中速发展模型保持同步削减。新型替代制冷剂产品 2030 年规模增长至 4900 万台，2040 年规模继续扩大至 6600 万台，行业占比达到 58%。

如果行业整体规模保持 0 增长，BPN/CPM 情景下使用 R410A 制冷剂的家用空调产品预计将在 2025 年达到峰值的 7300 万台，2024 年后 HFCs 消费量冻结并与中速发展模型保持同步削减。新型替代制冷剂产品 2030 年规模增长至 4200 万台，2040 年规模继续扩大至 6000 万台，行业占比达到 56%。

在行业不同增速下，2015 年~2040 年中国家用空调行业 TEWI 测算结果如图 11 所示。综合各种行业发展增速下测算结果可以获知，2030 年行业 TEWI 将达到 12.4~16.1 亿吨二氧化碳当量，2040 年将达到 11.2~16.7 亿吨二氧化碳当量。

如果在这期间行业不采取任何 HFCs 管控措施，即按照 REF 情景发展，较为保守的估计（行业保持低速发展），2030 年行业 TEWI 也将达到 13.6 亿吨二氧化碳当量，并且直至 2040 年无显著下降趋势。在行业保持高速发展的情况下，TEWI 将达到 16.1 亿吨二氧化碳当量，2040 年进一步增长至 16.7 亿吨二氧化碳当量，较 2015 年排放水平增长 50%。

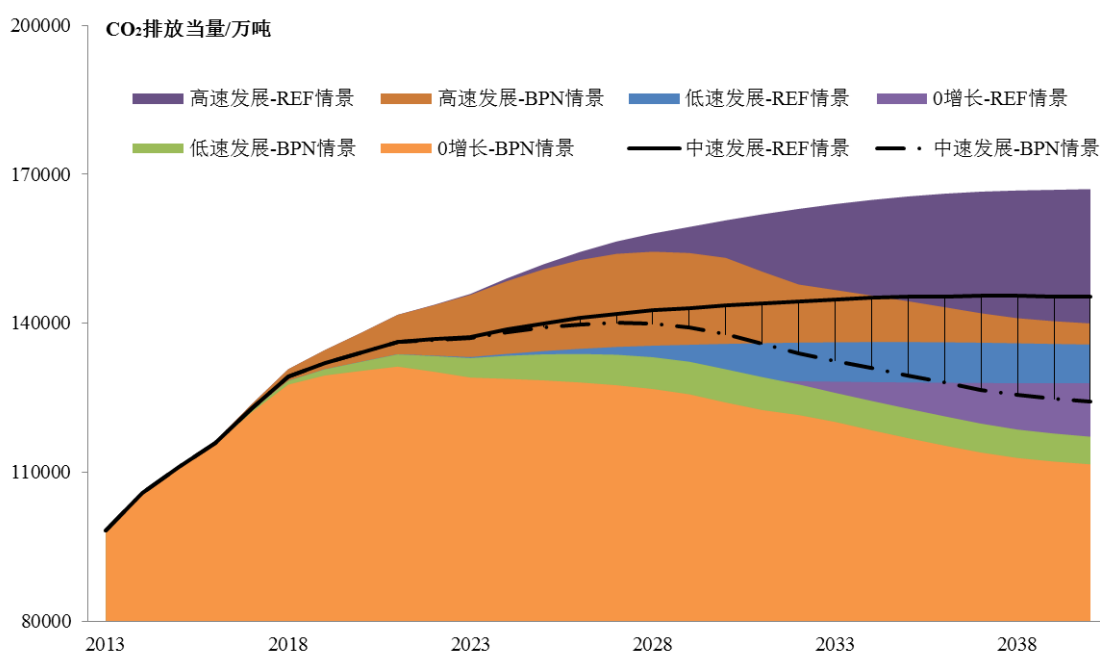


图 11 不同增速下行业 TEWI 测算结果

如果 2024 年起行业冻结 HFCs 消费量并逐步削减，同时 R290 家用空调产品得以健康发展，用以填补 R410A 制冷剂使用削减导致的市场空白，即按照 BPN 情景发展，行业 TEWI 最早可能在 2021 年达到峰值 13.1~13.4 亿吨二氧化碳当量（行业 0 增速发展或低速发展），并在 2030 年 TEWI 逐渐降低至 12.4~13.1 亿吨二氧化碳当量，2040 年进一步下降至 11.2~11.7 亿吨二氧化碳当量。即使行业保持高速发展，2028 年行业峰值 TEWI 也不会突破 15.5 亿吨二氧化碳当量，2040 年 TEWI 将下降至 14.0 亿吨二氧化碳当量，相当于于 2020 年排放水平。

通过比较行业不同规模增速下 TEWI 减排量（图 12）可以发现，在 BPN 情景下，2030 年行业 TEWI 减排可达到 0.45~0.76 亿吨二氧化碳当量，2040 年可实现 TEWI 减排 1.63~2.71 亿吨二氧化碳当量。随着 R290 制冷剂在家用空调领域应用规模的不断扩大，行业的 TEWI 减排作用也更加显著。

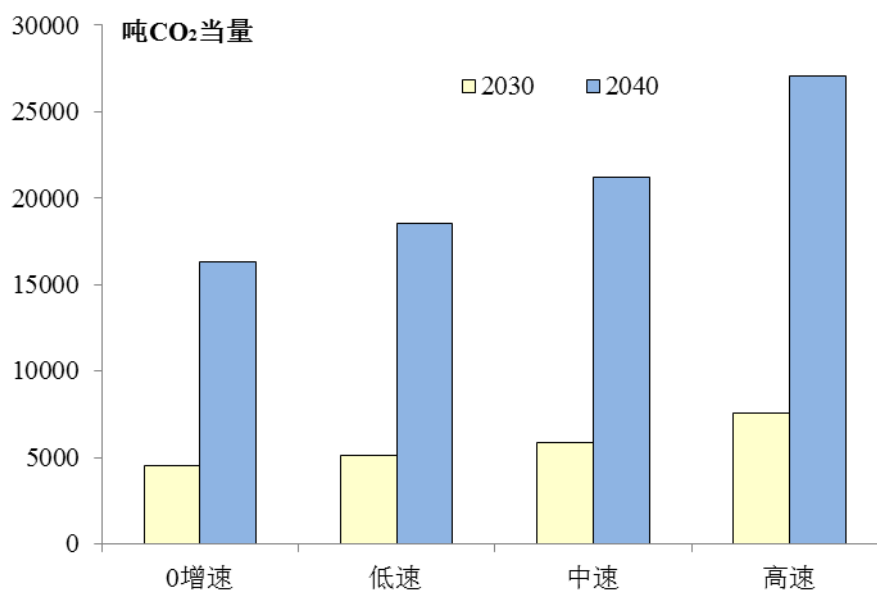


图 12 BPN 情景不同增速下行业 TEWI 减排量

综上所述，2015 年~2040 年中国家用空调行业发展增速将对行业总体环境效益产生一定影响，给国家温室气体排放带来不确定因素。相比较于 REF 情景下 2015 年~2040 年行业 TEWI 持续增长无显著下降趋势，在 BPN 情景下，行业总体 TEWI 将在 2021 年~2028 年达到峰值后下降，预计 2040 年行业 TEWI 将降低至峰值水平的 85%~91%。BPN 情景下行业 TEWI 峰值测算时间较早，后续下降速度快，即使出现极端情况，也可以及时进行政策调整，确保行业总体减排目标的顺利实现。因此，BPN 情景的设定条件，即 HFCs 的逐步削减和 R290 制冷剂

家用空调产品市场的健康发展，将推动中国家用空调行业顺利实现总体减排目标。

另外，通过对比 TEWI 减排构成（图 8~图 9）可以发现，家用空调行业温室气体减排的主力来自 HFCs 制冷剂作为温室气体在维修和报废环节排放的减少，其次是产品节能效果提升带来的间接减排。考虑到家用空调产品节能效果的提升经过过去多年的技术发展已经到了一个瓶颈，新的提升空间需要制冷剂本身的能效优异和节能技术水平的再提升。而节能技术的新发展，需要家用空调企业在技术研发、产品设计、市场开发、公共宣传等领域持续的投入来推动，如果没有革命性的技术突破，其减排空间较为有限。伴随着 HFCs 制冷剂在家用空调领域的管控，以 R290 为代表的环保制冷剂将是未来行业减排的主要方向。

2014 年中国家用空调行业总生产能力已达到每年 1.74 亿台，空调压缩机行业总生产能力达到每年 1.96 亿台，应该能够满足 2040 年以前行业发展规模需求。按照中国房间空调器行业 HCFCs 淘汰管理计划测算结果，以 2010 年物价水平计算，改造一条年产能 25 万台 R290 制冷剂房间空调器生产线需要费用约为 3,000,000 美元，改造一条年产能 170 万台 R290 制冷剂空调器压缩机生产线需要费用 3,500,000 美元，通过计算可以得到行业中速发展规模下，对现有生产设备进行改造以适应 R290 家用空调产品 2040 年市场需求的生产能力（7500 万台），累计生产线改造投资总费用为 10.54 亿美元，如果扣除目前中国家用空调行业在 HPMP 项目中已经通过多边基金资助改建的 18 条家用空调生产线和 2 条空调压缩机生产线，行业平均每年用于生产线改造将达到近 4000 万美元。在 R290 家用空调产品增长最快的 2023 年~2030 年间，企业为满足使用 R290 制冷剂家用空调产品市场的生产线改造投资规模约为每年 7800 万美元，改造成本将成为 R290 家用空调产品快速发展的制约因素。

4. 丙烷制冷剂替代技术的优势

2011年7月，蒙特利尔议定书多边基金执委会批准了中国房间空调器等行业 HCFCs 淘汰管理计划（HPMP）的编制项目，行业为淘汰 R22 制冷剂的替代技术路线优先选择了丙烷作为主要的替代制冷剂，得到了蒙特利尔议定书多边基金执委会较大力度的资金和技术支持。鉴于目前于使用丙烷制冷剂的家用空调产品市场化尚未形成规模，因此本章内容将就丙烷制冷剂的技术优势、经济效益、安全风险和产品现有的市场化经验进行了归纳与总结，作为产品深度市场化发展的支持。

4.1 丙烷制冷剂的技术优势

通过对比表 1 中 R22 及其主要制冷剂的热力学性能不难发现，丙烷制冷剂与目前广泛使用的 R22 制冷剂在标准沸点、饱和蒸汽压、临界温度等相关参数最为接近，是目前最为理想的替代制冷剂。此外，丙烷制冷剂较之其他替代制冷剂还具有制热性能良好、适应高温地区工况运行的优点。家用空调领域目前已经开展了大量的应用研究，本节我们将对丙烷制冷剂在家用空调产品中的技术优势进行综述与分析。

4.1.1 R290 制冷系统的整体改造

空调制冷系统中应用 R290 制冷剂较为早期的研究开展于 2005 年，Devotta 等[14]尝试将 R290 应用于窗式空调器的尝试。实验结果表明，与 R22 相比，R290 窗式空调器的制冷量下降 6.6%~9.7%，能耗下降 12.4%~13.5%，COP 提高 2.8%~9.7%，排气压力下降 13.7%~18.3%，蒸发器和冷凝器中的压降也较小。

近年来，随着蒙特利尔议定书中国房间空调器等行业 HPMP 实施工作的深入开展，R290 作为 R22 替代品的应用逐渐引起了国内家用空调行业的普遍重视。2009 年，肖友元等[19]将 R290 制冷剂应用于家用空调产品的开发。该研究根据 R290 的物理性质和热力学特性完成了家用空调器样机的设计，并利用实验研究结果优化了 R290 制冷系统压缩机、蒸发器、冷凝器等零部件设计，制造出安全性满足欧洲相关标准，能效比满足国家二级能源等级的空调样机，证明了将 R290 作为 R22 的替代品应用于家用空调的可行性。

2010 年，李廷勋等[21]采用 R290 对 R22 空调系统进行灌注式替代，优化并

测试毛细管长度、室外温度以及工质充灌量对系统性能的影响，同时分析了换热器内 R290 沿程质量的分布。研究表明，系统充灌 R290 后制冷能力持平 (99%)，而性能系数提高了 10%~15%。

2014 年，肖庭庭等[25]分析了 R290 应用于家用空调的优势及可行性。研究采用 R22 家用冷风型分体机直接充注 R290 制冷剂，在焓差实验室内调整毛细管规格及制冷剂灌注量使性能达到最佳状态。结果表明 R22 系统直接灌注 R290 制冷剂的灌注量仅为原来的 44.7%，但制冷量下降 13.64%，能效比稍有提高。

4.1.2 R290 制冷剂的能效研究

R290 制冷剂在家用空调产品中使用较为突出的一个技术特点是产品能效水平的普遍提升，因此也成为相关研究中关注的重点。

2008 年，Akio 等[17]的研究结果表明 R290 的传热系数比 R410A 的大 40%，而 R410A 的传热系数比 R22 的要高。R290 循环的 COP 分别比 R404A 和 R410A 循环的 COP 高 5%~12% 和 0~9%。在板式换热器的热泵中，制冷模式时，用 R290 的 COP 较用 R407C 大 27%，制热模式时，用 R290 的 COP 较用 R407C 大 9%~15%。

2013 年，杨林德等[23]采用空气焓值法在 R22 分体式房间空调器中充注 R290 和 R1270 进行了性能实验研究。结果表明，使用 R290 直接灌注式替代 R22 时系统制冷量降低 5.0%，EER 升高 10.3%，换用排量大 20% 的压缩机能提高制冷量 8.9%，而 EER 降低 8.5%，性能好于原 R22 系统。随着室外温度降低，碳氢系统制冷量和 EER 的增加速率和增幅均大于原 R22 系统，且室外温度低时碳氢系统性能更优，有利于节能。

4.1.3 R290 制冷系统的优化

压缩机作为制冷系统的核心零部件，在 R290 制冷剂应用研究中引起了广泛关注。2012 年，张海锋等[22]建立了 R290 旋转压缩机性能仿真模型，分析了润滑油对 R290 压缩机的影响，并采用 CFD 及 CAE 仿真工具对压缩机的排气通道进行了优化，并通过样机试验验证了仿真模型的合理性。

2014 年，吴建华等[26]研究了制冷剂 R290 热物理性质对全封闭滚动活塞压缩机内部热物理过程及热力损失分布的影响。在高效工况下，分别利用制冷剂

R22 和 R290 对全封闭滚动活塞压缩机进行了内部动态压力测量和性能实验，并提出了一种分析滚动活塞压缩机指示图的新方法。结果表明 R290 替代 R22 后，制冷量、指示功率与输入电功率均有所下降，容积效率略有下降，指示效率和性能系数略有上升，压缩与排气过程中未出现高频压力脉动；排气压力损失有所下降，吸气和压缩过程热损失增加，二者的余隙容积损失接近。

通过相关研究的开展，为空调压缩机产品的设计工作积累了大量基础数据，为压缩机产品与空调制冷系统的匹配做出了较为充分的准备。

此外，为方便 R290 制冷剂在家用空调系统中的应用，行业内同时就系统中的换热器、毛细管等零部件的设计参数进行了有针对性的优化。2005 年，王倩等[15]经过热力循环计算的对比，认为 R290 与 R22 的各种热力学性质比较接近，并通过实验证明了通过对制冷系统的毛细管进行适当优化，可将使用 R290 制冷剂家用空调器产品的 COP 系数 12.81%~19.03%。

2009 年，冯永斌等[18]通过建立参数模型对空调蒸发器相关参数进行了优化。该研究测试了不同风速场对 R22 和 R290 翅片管蒸发器流动和换热性能的影响规律，结果表明 R290 质量流量均较 R22 小 40% 左右，且压降均较 R22 小 24% 左右，在满足换热量的要求下，R290 的协调压降与质量流量具有一定的优势，可以作为现有空调制冷剂 R22 的环保型替代工质。2010 年，冯永斌等[20]又通过分布参数模型对 R290 制冷剂在翅片管冷凝器的应用效果进行了研究，分析不同迎面风温和风速下冷凝器的流动和传热规律，结果表明，在一定的条件下，R290 循环质量流量较小换热温差较小，换热系数较高。

2013 年，刘振等[24]将 R290 制冷剂应用于直流变频热泵家用空调产品，通过调整样机换热器的翅片宽度和内螺纹铜管管径大小，研究制热量的变化。研究发现改变换热器的翅片宽度影响较小，但将蒸发器的内螺纹铜管的管径从 7 mm 减小到 5mm，制热量可提升约 3%。

4.1.4 R290 制冷剂充注量优化

R290 制冷剂具有一定可燃性，在现有国际相关技术标准中出于安全性考虑，对制冷剂充注量进行了较为严格的限制，为此相关开发人员将研究重点集中在降低 R290 制冷剂充注量的方向，力求在保证制冷性能的前提下促进产品市场化的

顺利开展。

2006年,肖洪海等[16]对R290用于家用空调中的运行特性进行了研究,结果表明在合理匹配的情况下,R290最佳充灌量为原机R22充灌量的50%左右,其冷量能够达到R22机型的97.2%,能效比最高提高12.6%,回热器和系统工况的合理配置将有助于R290系统采用回热循环后系统性能的提高。

2014年,肖庭庭等[25]采用了平行流换热器作为冷凝器进行优化设计方案,以实现减小R290制冷剂充注量、提高系统制冷量的目的。结果表明,随着R290灌注量大幅减少,制冷量及能效比显著提高,R290灌注量的减少有利于制冷系统的安全性。

此外,由于大制冷量家用空调产品对于制冷剂使用量要求较高,因此不能满足现有国际标准对于可燃性制冷剂充注量的要求,是目前使用R290制冷剂产品市场化的一大障碍。为此,王颖等[28]通过将微通道换热器引入3HP柜式家用空调,并对系统性能和充注量等进行了对比研究。实验表明当只更换室内换热器,室内微通道换热器翅片间距为1.4mm时,系统性能达到最优,与原机相比系统充注量降低15.9%,制冷量基本相当,制冷COP提高2.2%;制热量比原机提高3.9%,制热COP则提高了11.2%。当将室内外换热器都更换为微通道换热器后,系统的充注量降低54%,与原机相比制冷量提高0.8%,系统COP提高5.2%;当制冷剂更换为R290时,系统最优充注量降为500g。

4.1.5 R290 制冷剂高温工况运行的研究

R290制冷系统除能效性能优异外,由于在众多替代制冷剂中有着与R22最为接近的热力学性能,因此在运行过程中也同样具有产品性能受到环境温度影响较小的优势,特别在高温工况地区,优势较其他替代制冷剂尤为突出。2015年,李廷勋等[27]通过实验进一步对这一特点进行了证实。实验选取现阶段最有潜力的替代制冷剂R410A、R290和R32替代传统高温工况制冷剂R22,进行灌注式替代测试。结果表明,随着温度升高,R22具有最大能力,R290具有最高能效,而R410A和R32性能将快速衰减。

4.2 使用丙烷制冷剂产品的经济效益

现阶段中国正处于城市化和工业化加速发展的阶段,能源消费量和温室气体

排放量的增长速度较快。为此，中国正面临着越来越大的减排压力，发展低碳经济已成我国必然的战略选择。丙烷制冷剂具有保护臭氧层和减排温室气体双重环境效益，是中国家用空调行业乃至整个家用电器行业一项重要的低碳技术，其健康发展必然会对中国的产业结构带来积极的改变，进而促进经济发展、扩大就业和减少温室气体排放的多重目标的实现。

中国家用空调行业丙烷制冷剂技术的发展对就业的影响可以分为直接效应、间接效应及引致性效应三种方式。丙烷制冷剂低碳技术的发展既有有利于就业的积极影响，也有不利于就业的消极影响，普遍的观点是，总体上讲是利大于弊。

此外，加强培训与教育，提高家用空调及相关子行业特别是安装维修从业人员就业质量、分步推广丙烷制冷剂制造和安装维修技术，可以在经济发展与低碳转型中寻求最佳结合点将促进经济的持续增长和稳定就业。

4.3 使用丙烷制冷剂产品的安全风险

丙烷制冷剂的爆炸极限为 2.1% ~ 9.5%，具有易燃易爆的特点，成为目前丙烷制冷剂市场化的主要制约因素。近年来，随着 R290 制冷剂产品在热力学性能基础研究、系统性能优化、计算机模拟仿真、核心零部件开发领域研究工作的不断深入，使用 R290 制冷剂家用空调产品推广使用的趋势已越来越明显。为解决 R290 泄漏、燃爆的问题，国内外相关机构已针对 R290 的安全风险、应对措施开展了大量研究，以促进家用空调行业客观评价 R290 产品的安全性能，并采取适当的防护措施。

2002 年，T. Jabbour 等[29]对使用 R290 和 R600a 的家用空调产品泄漏情况进行了研究。研究设定了实验房间（5.4 m×3.0 m×2.65 m）内设置家具的情况下，整体式和分体式家用空调产品在泄漏时间为 4 min，室内机安装高度分别为 0.6 m、1.8 m、2.2 m 时制冷剂的泄漏条件。结果表明，对于整体式空调器，安装高度为 0.6 m 时，按 IEC 60335-2-40 所确定的充注量仍然发生了爆燃；对于分体式空调器，在泄漏时间与整体式基本相同的情况下，地面上的可燃制冷剂浓度要低于整体式空调器，而且分体式空调器实验中仅发生了闪火(flash fire)。

2004 年，D. Colbourne 等[30]对 HC 制冷剂的可燃性风险进行了定量的评估。研究从制冷剂泄漏概率、泄漏后形成可燃混合物的概率、点燃的概率 3 个方面定

量描述了 HC 制冷剂的可燃性风险，建立了定量风险评估的模型。此模型定量评估了使用碳氢制冷剂的空调在设计、安装、使用过程中的燃烧风险概率及事故后果。其中，对于事故后果的评估包括热辐射伤害和爆炸超压引起的建筑物破坏和人员伤亡。

2004 年，D. Colbourne 等[31]以 CO₂ 代替 R290，通过房间内设置的 10 个浓度检测点对 HC 类制冷剂的安全性进行了实验研究。结果表明，泄漏停止后不久地面上制冷剂浓度达到最大。空调运行中的吹风角度对制冷剂与空气的混合有影响，向下吹风会提高混合效果，会减小地面上制冷剂的聚集。提高室内空气流速，减少充值量，制冷剂泄漏口位置越高，泄漏口距离吹风口越近，地面上制冷剂的浓度也越低。此外 D. Colbourne 等还提出了一定房间体积内空调的最大充注量的关系式以及确定后通风时间的关系式。

2010 年，刘知新等[32]通过建立模拟房间研究了 R290 泄漏后在房间内的分布情况。研究结果表明，如果 R290 空调器开机时发生泄漏，由于房间内的空气流速大使得制冷剂迅速扩散，因此 R290 在房间内基本不存在聚集情况，房间内存在点火源不会使得泄漏的制冷剂发生燃烧或爆炸；如果 R290 空调器在关机状态发生泄漏，且泄漏速度大于 80 g/min，则在空调器正下方区域短时间内存在 R290 高浓度情况，此区域内的点火源可能引起 R290 的燃烧或爆炸。解决 R290 空调器关机状态泄漏的问题是根本解决 R290 安全问题的关键。

2011 年，刘知新等[33]对使用 R290 家用空调系统内部出现点火源时空调压缩机内部、空调室内机电器盒内、室外机压缩机旁以及在房间内的安全性进行了研究。结果表明，当空调器发生泄漏时，短时间内在空调器内部将发生局部聚集，在有点火源的情况下 R290 制冷剂将发生爆炸，但爆炸威力不足以对空调器本身造成破坏；泄漏发生在空调器关机状态时，只有在泄漏速率足够大的情况下，空调室内机正下方区域存在的点火源可能将泄漏的制冷剂引燃并造成空调器起火；泄漏发生在空调器开机状态时，使用空间的点火源不会造成 R290 的燃烧或爆炸。

2011 年，梁杰荣等[34]基于 SINDA/FLUINT 仿真平台对 R290 系统进行建模，通过与温度和运行性能的实验数据对比，检验了模型的可靠性，并计算分析了

R290 空调器内各部件的制冷剂分布及沿程压损。计算结果表明，冷媒主要集中在冷凝器(62%)，沿程压损主要集中在蒸发器、液相管和气相管。

2013 年，张网等[35]为确定室内机发生泄漏所形成的燃爆范围，通过实体实验研究了在不同房间面积、不同泄漏位置、不同泄漏速度条件下 R290 泄漏到室内浓度分布情况。结果表明,室内机发生泄漏时，仅在其附近可能形成燃爆区域。燃爆范围仅存在于泄漏过程中，一旦泄漏停止后,燃爆范围会迅速消失。

同年，张网等[36]分析了空调室外机可能发生泄漏的部位及室外机附近可能出现的引火源。研究参照国内普通居民住宅的室外机安装间距，建立了空调室外机燃爆实验平台。对使用 R290 室外机的着火后持续燃烧进行了实验，结果表明在快速泄漏的情况下，实验用的室外机被完全烧毁，但是未对同一高度的旁边的室外机造成损坏，也未引燃其上部或下部的室外机或造成损坏。对使用 R290 的空调室外机泄漏后的爆炸伤害范围进行了实验和数值模拟研究表明 R290 在室外泄漏后发生的爆炸对其旁边及上部的室外机基本没有损坏。

2015 年，何国庚等[37]采用实验研究的方法对 R290 分体式空调器不同充注条件下的 1P 和 1.5P R290 分体式空调器各个部件的制冷剂分布规律进行研究。实验结果表明开机状态下虽然制冷剂在冷凝器中的分布最多，但整个低压侧的制冷剂量占整个系统充灌量的 50%~60%，但在关机后 1.5 小时，低压侧的制冷剂量占整个系统充灌量的 85%~92%。

以上研究使我们对于丙烷制冷剂空调器的安全风险有了比较明确的认识：由于制冷剂的灌注量有限，（1）其泄露速率低（低于 80 克/分）时、空调开机状态下、点火源不正好在泄露点正下方、泄露经过几分钟后，其中任何一种情况出现都不会发生燃爆，或者说制冷剂泄漏、聚集并点燃发生安全事故的情况只能在及其有限的条件下才能发生；（2）泄露形成的燃爆威力和破坏性有限并限于有限空间内；（3）制冷剂泄漏后的燃爆风险是可控的。

4.4 丙烷制冷剂产品的市场化经验

2012 年 3 月，德国国际合作机构在印度家用空调生产商 Godrej 的 R290 家用空调示范生产线正式通过验收，截至 2014 年约 10 万台使用 R290 制冷剂的家用空调产品实现了在印度销售。该示范项目包括 R290 制冷剂家用空调产品的工

艺设计优化、新生产设备的安装、使用 R290 家用空调产品试生产以及安装维修人员的相关培训，旨在以降低可燃性制冷剂产品的安全风险。示范线年生产能力达到 18 万台，仅占印度年市场需求的 6%，但近年来为 R290 家用空调产品在印度的推广起到了积极的带动作用。

目前，Godrej 共有超过 20 种型号的 R290 家用空调产品在印度市场销售，制冷量范围 3250W~5000W，典型制冷剂充注量范围 300 g~360 g。通过采用 R290 制冷剂，家用空调产品在生产过程中既减少了非 CO₂ 温室气体的消费，同时产品能效得到了大幅提升。特别是对于制冷量较大的家用空调产品，可有效克服传统技术带来的能效水平普遍偏低的情况，提升比例平均可达 16.6%。

2015 年 6 月，深圳市完成了国内首批政府批量采购的“环保低碳”R290 家用空调产品的招标。此次招标工作共涉及 R290 环保低碳空调共 243 台，采购单位为深圳大学，竞标的公司包括格力、美的、海尔等国内家用空调企业，最终珠海格力电器股份有限公司成功中标。在采购过程中，深圳大学秉持环保、低碳和节能的理念，最终选择了环保低碳的 R290 空调；同时，此次采购也得到了深圳市政府采购中心和深圳市人居环境委员会等政府部门的大力支持。

此次 R290 家用空调产品招标工作的顺利进行是多年来行业共同努力的结果。经过多年的潜心发展，国内空调企业在 R290 空调安全性、生产线改造、认证、市场推广等方面取得了诸多突破，使 R290 空调具备了上市的条件。目前，国内主流空调企业均具备了 R290 环保冷媒空调的制造能力，这也给采购方带来了更大的选择空间。此次中标的格力 R290 家用空调产品获得了德国 TÜV 安全认证，完全符合欧盟产品安全标准的要求，同时系统能效比还有 10%左右的提升，达到了国家能效标准一级水平。

中国家用空调行业经过多年的潜心发展，逐渐将自主研发和技术创新作为立业之基础。无论空调产品的核心部件被称之为空调心脏的压缩机，还是被称之为空调血液的制冷剂，行业均通过自主研发积累和沉淀了真正具有独创性价值的核心技术。R290 家用空调的成功开发是行业在技术创新上的一次重要的突破，将具有非常深远的影响。而行业内企业应以此为契机，争取在 R290 空调的市场推广方面取得更大的突破。

5. 市场化障碍分析

中国房间空调器行业为淘汰 R22 制冷剂的替代技术路线优先选择了具有保护臭氧层和减排温室气体双重环境效益的天然工质丙烷作为主要的替代制冷剂，并得到了蒙特利尔议定书多边基金执委会的大力支持。为此，中国家用空调行业在丙烷制冷剂替代技术上开展了大量的研究工作并取得有效成果，用以提高制冷剂工作性能，降低系统可燃性风险。研究表明，使用丙烷制冷剂的家用空调产品可以通过采取适当措施控制制冷剂的燃爆特性，并将产品推向市场，将丙烷制冷剂优良的环保特性转化为环境效益，开创行业低碳新技术，符合中国新常态经济下用发展促进增长，用价值机制取代价格机制作为市场的核心机制。中国企业对丙烷制冷剂空调器的研发获得的成果，使企业对其技术和市场前景充满信心，也受到国际同行的认同。

然而，在丙烷制冷剂替代技术市场化推广的过程中，更多的挑战来自于科学技术以外的领域。当环境更加友好、性能更加优良的丙烷制冷剂触碰到传统制冷剂行业的商业利益时，一些利益集团以产品安全性能为借口，制造舆论误导社会对天然制冷剂的客观认识，并且利用国际标准和知识产权为工具制造障碍，限制丙烷制冷剂技术的进一步市场化发展，以谋求维护既得商业利益。

影响市场化的主要因素，前提是产品（商品）好用，市场环境有正影响，成本价格成为竞争因素，同时市场规模可以优化成本价格。

产品（商品）好用——（1）性能优越，在空调即制冷性能、制热性能及能效；（2）方便使用，安全控制方式得当；

市场环境——政策法规的限制与指引，宣传效应，能效标签

成本价格——新产品的成本或价格要有比较优势，给制造商、经销商和消费者带来利益。

目前，丙烷制冷剂在房间空调器行业的应用处在起步阶段，其产品的市场化遇到很大的阻力，具体的障碍主要包括了如下几个方面：最核心的是通过国际标准使 R290 空调变得不好用并加大其成本；其他国家政策的不确定性；对于环保制冷剂的公众宣传不足；R290 家用空调产品安装维修系统有待完善等。下面就

相关的障碍进行具体的分析。

5.1 国际标准的障碍

我国作为房间空调器行业生产大国，经过 30 余年的潜心发展，2013 年行业规模已达到 1.1 亿台，全球总产量占比超过 75%。然而，中国家用空调企业在国际标准问题上过去十分相信权威，相信标准制订的客观性，从未谋求空调相关的国际标准修订过程中没有足够的话语权；相反，个别公司把标准制修订作为技术壁垒的捷径以各种方式扩大自己在国际标准组织中的话语权和投票权。这一结果直接导致国际标准的制定与修订被某些公司操纵，用标准中的关键参数在事实上限制了丙烷制冷剂在空调上的应用。中国家用空调行业的丙烷制冷剂替代技术目前正面临着这样的局面：包括国际电工委员会（IEC）标准、美国保险商实验室（UL）标准等一系列国际标准的修订都在向着不利于丙烷技术推广的方向发展，制约着丙烷家用空调产品的性能和产品竞争优势，极大程度上阻碍了丙烷制冷剂在家用空调产品中的进一步开发与市场化推广。

使用丙烷制冷剂家用空调产品市场化进程中，目前主要面对的国际标准障碍主要来自 IEC 标准和 UL 标准。

5.1.1 IEC 标准障碍

国际电工委员会（International Electro technical Commission，简称 IEC）成立于 1906 年，是世界上成立最早的非政府性国际电工标准化机构，是联合国经社理事会（ECOSOC）的甲级咨询组织。1947 年 ISO 成立后，IEC 曾作为电工部门并入 ISO，但在技术上、财务上仍保持其独立性。根据 1976 年 ISO 与 IEC 的新协议，两组织都是法律上独立的组织，IEC 负责有关电工、电子领域的国际标准化工作，其他领域则由 ISO 负责。IEC 成员国包括了绝大多数的工业发达国家及一部分发展中国家。这些国家拥有世界人口的 97%，其生产和消耗的电能占全世界的 95%，制造和使用的电气、电子产品占全世界产量的 90%。IEC 标准的范围包括了电力、电子、电信和原子能方面的电工技术。

目前，使用丙烷制冷剂家用空调产品相关的标准为 IEC-60335-2-40。这一标准主要针对电动热泵类产品，包括热泵热水器、空调器、除湿机等产品的安全性。

该标准在 2005 年修订版本（4.0 版本）发布后，允许了可燃性制冷剂在房间空调器等产品上的应用，我国现行的房间空调器安全标准 GB 4706.32-2012 就是等效采纳了该标准 2005 年的版本。在该标准 2005 年版本发布后，相关的修订工作就同步开展，经过近 10 年的修改过程，2013 年，IEC60335-2-40 发布了 5.0 版本。

IEC-60335-2-40 标准的修订工作由分委员会 SC 61D 负责实施，SC 61D 是技术委员会 TC 61 的下辖机构。标准修订工作主要通过分委员会下的工作组就相关内容进行讨论，形成相关的提案后，报送到分技术委员会，分技术委员会会将提案发送到各成员国进行投票，P 成员国 2/3 赞成，同时所有成员国（包括 P 成员国和 O 成员国）反对票数少于 25% 的提案，将被通过，加入到标准版本中。

目前该标准的修订话语权主要被个别跨公司所控制，其他国家代表的意见很难被标准修订所采纳。该国际标准基本成为了个别公司掌控行业技术发展趋势的工具，已经逐渐背离标准客观科学的本质。标准修改的一些工作组中，被一些跨公司在不同国家的结构人员所占据，这在很大程度上对提案的相关要求的讨论产生巨大影响，不符合其方向的提案和讨论被拒绝或者工作组讨论过程中通过举手投票方式予以否定。

近些年，随着房间空调器行业 R22 替代的进程，相关替代技术路线的阵营在国际标准中区分的也十分明显：以日本和美国为代表的企业主要支持 HFC-32 和 HFOs 类的替代制冷剂；以中国和意大利为代表的企业主要支持丙烷等天然工质替代制冷剂。两种技术路线在标准上的碰撞正在不断的上演。然而，由于标准的话语权主要由日本等企业所控制，现在对于丙烷等 A3 类制冷剂的限制越来越明显。

2013 年，在 SC61D 会议上，由日本和美国企业提议成立了 WG9 工作组，主要是针对 A2L 制冷剂的相关要求进行讨论，这些公司意图将标准对于 R32 等 A2L 类制冷剂的要求放宽，进而推广 R32 制冷剂在家用空调行业的应用。标准修改的进程较版本 4.0 的修改进程明显加快，自 2013 年成立工作组后，2014 年-2015 年密集召开工作组会议进行讨论。这个修订过程中对于标准涉及的 A3 类制冷剂提案，一贯保持选择性回避。按照工作组的计划，预计 2015 年将会形成最终投票稿，并修改到标准中，形成新的标准版本。

从本质上讲，标准参数的设定首先应该是行业对于技术问题达成的共识，标准中相关技术参数的设置应随着行业技术的进步不断进行完善调整，以适应产品发展的需要。随着使用丙烷制冷剂家用空调产品的应用技术不断发展，IEC-60335-2-40 标准中关于可燃性制冷剂的限制也应不断发展。然而，在现有标准修订体系下，标准的修订不断推动 A2L 类制冷剂向降低安全使用限制的方向发展，同时阻断 A3 类制冷剂安全性能提案的讨论，阻断了提高 A3 类制冷剂充注量的可能性，影响使用丙烷制冷剂家用空调产品的性能、成本、产品市场竞争力，进而达到推动 R32 制冷剂市场化的目的。

制冷剂充注量限定值已经成为丙烷应用的主要障碍

IEC-60335-2-40 标准全称为家用和类似用途电器的安全性：电动热泵、空调和除湿机。在这一标准体系下，制冷剂的充注量是标准进行安全要求的重要规定，也成为了某些公司阻碍丙烷等 A3 类制冷剂发展的重要手段和途径。该标准的附录 GG（充注量、通风要求和二级电路的要求）中，对于分体式家用空调产品的最大充注量和最小房间适用面积做出了明确的规定，其中最大充注量根据下式计算：

$$m_{max} = 2.5 \times (\text{LFL})^{(5/4)} \times h_0 \times (A)^{1/2}$$

安装制冷剂充注量 M（kg）设备房间的最小面积 A_{min} 应按照下式计算：

$$A_{min} = (M / (2.5 \times (\text{LFL})^{(5/4)} \times h_0))^2$$

其中：

m_{max} 为房间允许最大充注量/kg

M 为制冷剂充注量/kg

A_{min} 为最小房间面积要求/ m^2

A 为房间面积/ m^2

LFL 为燃烧下限/ kg/m^3

h_0 为设备安装高度/m，地面安装高度为 0.6 m，墙壁安装高度为 1.8 m，窗式安装高度为 1.0 m，天花板安装高度为 2.2 m。

一般情况下，家用空调产品适用的房间面积可通过每平米 145W 制冷量进行

估计。在此限制条件下，可以计算得到使用丙烷制冷剂家用空调产品最大充注量。同时，在不采用制冷剂充注量降低措施下，家用空调产品理论充注量与制冷剂分子量成正比，由此可以推算出 R290 制冷剂理想充注量，如表 4 所示。

表 4 R290 制冷剂理想充注量与限制充注量

产品类型	1 hp	1.5 hp	2 hp	2.5 hp	3 hp	5 hp
典型制冷量/W	2600	3500	5100	6100	7200	12000
适用面积	17.9	24.1	35.2	42.1	49.7	82.8
R290 理想充注量/kg	0.44	0.52	0.83	0.97	1.17	1.96
R290 充注量在标准中的上限/kg	0.32	0.37	0.45	0.49	0.53	0.69
在标准值中 R290 充满的比例	73%	71%	54%	50%	45%	35%

通过对比可以发现，在 1 hp 和 1.5 hp 家用空调产品中，标准限定的充注量最大值为理想状态下充注量的 70%左右，通过家用空调产品制冷剂充注量降低措施，可以满足产品制冷剂充注量要求；在 1.5 hp 以上家用空调产品中，标准限定的充注量最大值与理想状态下充注量差距较大，按照现行限制条件，即使采用充注量降低措施，也不能满足家用空调正常使用的需求。

在现有标准体系下，使用丙烷制冷剂的家用空调产品主要面临着产品能效、制热性能和制造成本三个方面的影响。

- (1) 产品能效：通常在产品制冷量相同且没有采取其他节能技术措施的情况下，产品能效越高，对于制冷剂的灌注量需求就越大；
- (2) 制热性能：制冷剂的用量在很大程度上也会影响产品的制热性能，因此冷暖类型的产品灌注量比单冷产品灌注量要大；
- (3) 制造成本：为适应丙烷制冷剂的可燃性，家用空调产品中对于可能产生电火花的器件和高温表面都要采取密封处理，显著提高了产品制造成本。

标准的修订从成本上进一步限制丙烷制冷剂的应用

目前，在一些公司的推动下，标准的 SC61D 成立了一个专门针对 HFC-32 等 A2L 类制冷剂的修改工作组。这个工作组的工作目的是为了把标准中对于 A2L 类制冷剂产品的要求进行放宽，使其在应用范围和产品结构方面的要求都比较宽

松，这样带来的影响是 HFC-32 等 A2L 类制冷剂可以基本按照非可燃性制冷剂来进行使用，其充注量被放大，相关的安全措施可以不用采用，这直接降低了使用 HFC-32 等 A2L 类制冷剂的成本会降低，与丙烷等 A3 类制冷剂相比，其市场竞争优势明显。这对于通过丙烷等天然制冷剂来削减 HFCs 物质是十分不利的。

同时，这个针对 A2L 类制冷剂修改的工作组为放宽 HFC-32 等制冷剂的要求，严重背离标准的科学性和公平性，仅仅通过一些推断就修改标准内容。例如，使用 R32 等 A2L 类制冷剂的家用空调产品充注量在新修订的提案中，由于 HFC-32 等 A2L 类制冷剂的燃烧速率较低，就单纯的通过燃烧速率来对其充注量限定值进行修改，基本上比 A3 类制冷剂放大 1.5 倍和 2 倍以上，这样其使用受到限制较小，产品能效与制热性能基本可以发挥制冷剂本身的优势，另一方面也在利用标准不断降低成本；该工作的相关提案中为提高 A2L 类制冷剂产品零部件表面温度，发明了“热表面点火温度”的名词和定义，将 R32 制冷剂原有的 648 °C 提高至 800 °C 以上，这远高于 R32 工质本身的自燃温度，与化学上的定义完全不同。这样做的目的是为了取消原本用于高温表面隔离采取的防护措施，降低家用空调产品制造成本。这些专门针对 A2L 类制冷剂的修改完全无视国际标准的权威，将标准修订作为市场竞争的一种途径，进一步会扼制了丙烷制冷剂产品的进一步发展。

5.1.2 UL 标准障碍

UL 是美国保险商实验室（Underwriter Laboratories Inc.）的简写。UL 安全试验所是美国最有权威的，也是世界上从事安全试验和鉴定的较大的民间机构。它是一个独立的、非营利的、为公共安全做试验的专业机构。它采用科学的测试方法来研究确定各种材料、装置、产品、设备、建筑等对生命、财产有无危害和危害的程度；确定、编写、发行相应的标准和有助于减少及防止造成生命财产受到损失的资料，同时开展实情调研业务。

UL 484 房间空调器标准对于家用空调产品的性能和使用进行了要求。对于可燃性制冷剂，UL 标准做出了更为严格的限制，设定家用空调产品全部泄漏情况下，在极小空间内分布浓度不得超过最低可燃下限的 50%。计算公式如下所示：

$$m_1 = 6 \text{ m}^3 \times 50\% \times \text{LFL}$$

在这样的限制条件下，丙烷制冷剂在家用空调产品中的充注量限值为 114 g，无法满足正常运行最基本的需求。

虽然 UL 属于民间机构，UL 标准在美国也不属于强制性标准，但该标准影响力较大，中国出口到美国的空调器产品大都经过美国的代理商。代理商要求空调企业的出口产品必须通过 UL 认证，这使得 UL 认证对于中国出口空调器企业等同于强制认证。使用丙烷制冷剂家用空调产品如无法通过 UL 认证，产品在美国市场受到了事实上的限制。

5.1.3 标准制定背后的商业利益

使用丙烷制冷剂家用空调产品的出现主要影响了传统商业集团的利益，因此在产品市场化过程中受到了某些商业利益集团的阻挠，其操作手段主要是通过各种知识产权保护措施对 R22 替代制冷剂的应用技术进行保护，再利用中国家用空调行业 R22 制冷剂逐步削减的趋势，推广替代制冷剂的广泛应用，从而实现向空调企业，乃至整个行业收取知识产权费用的方式获取大量利润。

下面我们以 R32 为例分析传统商业集团利用知识产权工具攫取商业利润的意图。近年来 R32 制冷剂在家用空调产品中的全球技术专利及在华申请技术专利如图 13~图 14 所示。通过分析可以发现，截至 2014 年，R32 制冷剂在家用空调行业的全球技术专利数量已接近 1000 个，2009 年以来申请通过的技术专利数量已超过 400 个。其中，仅在中国大陆地区，目前已经获得或正在申请的技术专利数量已达到 128 个，申请者主要来自 6 家相关企业，涵盖了 R32 制冷剂在家用空调产品中应用的各个方面。目前，此类企业正在中国家用空调企业中大力推广 R32 的产品应用，并通过开放个别专利的方式作为诱饵，吸引中国企业积极参与到 R32 制冷剂家用空调产品的调试与市场开发过程中。一旦在中国家用空调行业形成制造规模，大量商业利润将以知识产权费用的方式流向传统商业集团，进而降低家用空调企业的利润，从而限制中国家用空调行业提高自身品质的可能，抑制了行业的持续健康发展。

R22替代品专利数量

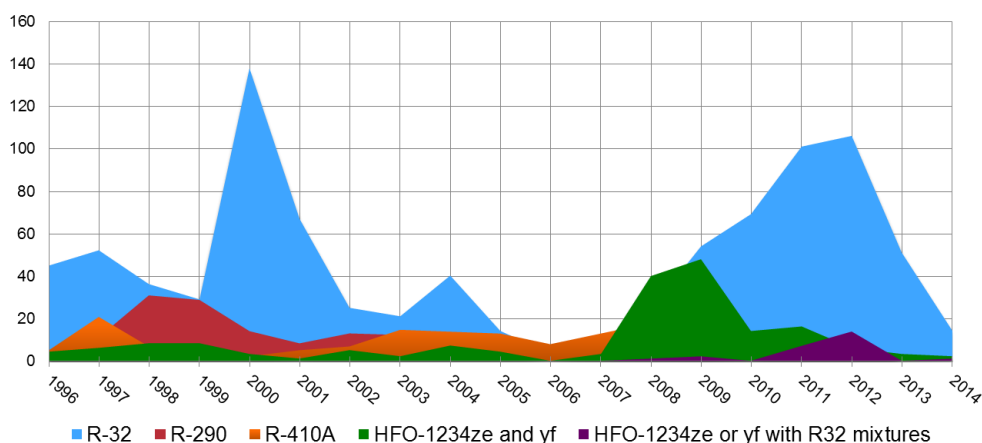


图 13 R22 替代制冷剂技术全球专利数量

R-32制冷剂相关技术专利在中国的申请

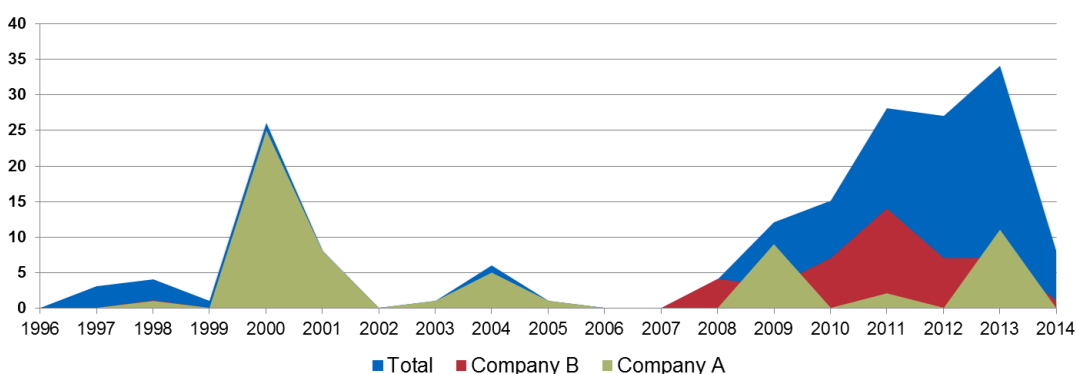


图 14 R32 制冷剂在华技术专利情况

5.1.4 国际标准障碍对于国内市场的影响

我国针对房间空调器安全标准主要有 2 个，即房间空调器的产品标准（GB/T 7725）和空调器安全特（GB 4706.32）。其中 GB/T 7725 为推荐性标准，房间空调器企业在自身运营与生产过程中可自行选择采纳，因此 GB 4706.32 作为强制性标准将是制约我国未来 R290 家用空调产品市场化推广的关键。

中国作为 WTO 成员国，应遵从最大限度地减少和消除国际贸易中的技术壁垒的宗旨，在家用空调标准的制定工作中原则上应等效采纳相关国际标准，即 IEC 60335-2-40。如果在 GB 4706.32 的修订过程中出现与 IEC 60335-2-40 最新版本不一致的技术要求，标准修订委员会须向其他 WTO 成员国提交相关相关材料。

料征求 WTO 成员国的同意。

因此，IEC 60335-2-40 标准对于使用 R290 家用空调产品造成的市场化障碍已经不仅仅影响到出口市场的发展，同时还会通过 GB 4706.32 的修订扼制国内市场的健康发展，给 R290 家用空调的推广应用造成全方位的障碍。

5.2 其他国家政策的不确定性

我国目前已经成为全球最大的房间空调器制造国家，2013 年总体产量超过了 1 亿台，占到全球总产量的 75% 以上。我国房间空调器产品的销售分为国内销售和出口两个部分，其中出口市场占到我国房间空调器总产量的 40% 以上，出口到美国、欧洲、亚洲等 100 多个国家。目前，在蒙特利尔议定书的框架下，各国都在进行 R22 的淘汰工作，我国房间空调器产品出口目的国的相关政策将会影响我国房间空调器行业的 R22 替代制冷剂使用种类。

目前，主要的一些发达国家都在积极推动 HFCs 类制冷剂的削减工作，如 2014 年新发布的欧盟含氟气体法规，2015 年美国环保署的重大新替代品计划（SNAP）等，都对部分 HFCs 物质的使用进行了限制。然而，这些政策的实施是面临巨大挑战的。欧盟新的含氟气体法规将房间空调器行业制冷剂的 GWP 值限定为 750，这与汽车空调等的要求 GWP 值低于 150 是不一致的，可以看出这是部分利益集团工作的结果。然而，如果按照房间空调器行业制冷剂的 GWP 值限定为 750 来推算，欧盟将不会实现其含氟气体法规所设定的时间表。美国环保署的 SNAP 计划刚刚发布允许丙烷在房间空调器行业上的使用，美国 UL 的标准就进行修订，充注量从 140 克降到 114 克，直接限制了丙烷在窗机上的应用。

欧美这些国家所发布的针对 HFCs 的削减政策目的是通过含氟气体削减达到温室气体减排的目的，然而其相关的要求最终“妥协的”成分较大，实施起来，并没有对 HFCs 替代品，如丙烷的应用形成推动作用。这种政策上的不确定性，也严重影响了我国房间空调器企业市场化丙烷产品的动力。

5.3 丙烷产品宣传力度不够

2008 年左右，我国房间空调器行业开始进行丙烷制冷剂的应用研究工作，其后在多边基金的支持下，我国房间空调器行业开展了丙烷生产线的改造、相关技术研发、风险评估等相关工作。到目前为止，丙烷工作的重心基本都是围绕如

何能够更好的应用丙烷制冷剂，如何能够确保产品安全等方面。政府和行业层面在丙烷制冷剂房间空调器产品推广宣传工作相对有些滞后，企业由于相关工作都在进行过程中，也未进行相关的产品宣传工作。而丙烷制冷剂劣势的宣传和言论在行业内甚至国际会议上甚嚣尘上。个别公司和机构从一己私利出发，利用各种机会宣传 HFCs 类制冷剂，同时贬低丙烷等天然工质制冷剂。

这种状况下，国内的一些行业专家、企业人员甚至认为只能选择 HFCs，认为丙烷制冷剂的可燃性是不可能克服的障碍。国际上，不少国家都在强调丙烷具有可燃性，存在安全性问题等。这种状况极其不利于丙烷制冷剂房间空调器的推广。

6. 应对措施分析

针对目前家用空调行业丙烷制冷剂产品市场化推广过程中遇到的阻力与障碍，本研究提出了行业相关应对措施，包括提出了开展家用空调行业 HFCs 削减策略研究工作、将制冷剂减排温室气体特性纳入现有能效标准评价体系、政府采购与补贴措施等。

6.1 改变观念

我们国内从政府到行业，长期以来，对国际标准不加任何怀疑地十分相信，认为国际标准是先进标准。也因此从政府到行业一向认为能够等同采用国际标准的国家标准即是先进标准；

应该说，大部分国际标准是几十年来在总结积累产品研发经验、用户问题反馈、检测比对等经验教训沉淀的精华和结果，对于规范产品具有重要价值，可以称为先进标准。

同时，我们行业在发展初期，产品从引进技术设备到消化吸收，一段时期在技术上并没有积淀，对于产品标准处于知其然而不知其所以然阶段，缺乏对于标准的深入研究，国际标准成为判断产品先进性的基准之一。对于我们的产品设计和产品安全性的提升起到了很好的指导作用。

但是，我们也应该看到，在我们充分信任国际标准时，当我们的行业发展到一定规模，在国际市场具有一定竞争力的时候，我们竞争对手已经把国际标准作为与我们竞争的手段。有的国际标准正在被个别跨国公司所左右，国际标准的科学合理性受到利益的导向被人为地践踏，成为博弈和竞争的工具。这个时候，我们如果还象发展初期那样无选择的信任国际标准，不仅丢失我们的竞争优势，也会对产业在环保方向上的发展产生障碍。

面对这样的现实，我们应该改变观念，在政府层面，不能盲目地认为国际标准就是先进标准，要对我们的竞争性产业有一定的自信。随着我国竞争性产业实力的全面提升，行业应该积极推动，组织各企业在标准指标的研究上下功夫，在国际标准讨论中发挥应有的作用，在国际标准的制定与修订方面也应由原来的被动接受逐渐转变为主动影响，加速中国家用电器行业乃至加工制造业全面升级的

步伐；从企业层面来说，随着近年来中国企业快速发展，已经实现了生产规模与销售规模的不断升级，与此同时，企业自身软实力的提升也在加速，切实提高企业在国际技术标准、知识产权方面的话语权将是实现企业软实力全面升级的重要指标，面对目前国际标准给使用丙烷制冷剂产品市场化造成的障碍，突破现有标准的限制将是中国家用电器企业的一次重大机遇。

6.2 开展系统性的标准化工作

目前来说，我国房间空调器行业对于参与国际标准修订的重视程度比较低，对于相关修订工作基本处于跟随状态，缺乏全面、系统地参与国际标准制修订的意识和能力。这一点与国际上一些公司的差距巨大，有的公司很下功夫去牢牢掌握标准话语权，主要是其有专门的专家密切关注标准、甚至一些国家政策的动向，提出针对相关标准的修改策略。

我国应该在深入研究标准的前提下，以骨干企业技术人员为核心建立以相关的标准工作组，建立起以企业为主要推动力、政府予以全面政策支持的工作机制，并明确各方相关分工。工作组应该对相关的国际标准和重点国家的相关标准进行全面梳理，确定工作的内容和重点。工作组内建立信息共享机制，密切关注相关国际标准动向。

同时，提升我国房间空调器企业对于标准的重视程度，积极参与相关标准的修订工作，逐渐加大相关话语权，促使标准更加科学合理。

此外，逐步培养相关的标准人才，并能够成为委员，积极参与到标准的修改过程中。

6.3 HFCs 管控策略对于中国家用空调行业影响的研究

2015 年，北美三国再次正式提出关于将 HFCs 纳入蒙特利尔议定书进行管理的修正案提案，同时提出了 HFCs 削减时间表，对 A2 国家和 A5 国家的削减时间分别进行了阐述。

欧盟 2015 年 1 月起开始实施的 F-gas 法规中也拟定了 HFCs 削减时间表，适用于欧盟市场内生产与销售产品的管理。F-gas 法规确定的基线水平为 2009-2012 年二氧化碳排放当量的平均数，并于 2030 年将 HFCs 削减至基线水平的 20%。

根据《中美气候变化联合声明》，中国计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰，并计划到 2030 年非化石能源占一次能源消费比重提高到 20% 左右。

作为温室气体 HFCs 类物质消减势在必行，而在蒙特利尔议定书框架下进行削减已经成为更广泛的共识。我国房间空调器行业应该尽早开展房间空调器行业 HFCs 管控策略的研究工作，综合考虑中国家用空调行业使用丙烷制冷剂产品进展、国家温室气体减排目标和全球 HFCs 管控工作进展，提出了适用于中国家用空调行业现状的 HFCs 削减进度，避免制冷剂从 HCFC 到 HFCs 再到 HFCs 削减连续转换过程对行业可能产生的巨大影响；谨慎而充分地把握天然工质空调进入市场契机，使空调在满足消费的同时再也不产生任何环境问题，使产业真正履行社会责任可持续发展。

6.4 能效标准对于综合排放的考量

中国家用空调行业现行产品能效标准包括 GB 12021.3-2010《房间空气调节器能效限定值及能效等级》和 GB 21455-2013《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能效等级》，分别用于评价定频和变频家用空调产品节能水平。能效标准属于强制性国家标准，规定了房间空调器产品最小允许能效比，并按照不同制冷量，对于产品的能效等级进行了分类，同时明确规定了达到节能认证产品的最小能效比。通过产品能效标准的推行，有效提升了中国家用空调行业产品的能源效率，间接实现了行业温室气体减排的目的。然而，当前家用空调产品能效水平的提升已经进入了瓶颈阶段，短期内无法实现快速有效的提高能效的效果。

丙烷制冷剂因其低碳环保特性，在家用空调产品生命周期内可以有效避免因制冷剂排放而导致的温室气体排放。因此，本研究建议可以将低碳环保制冷剂的应用纳入我国现有的家用空调产品能效水平评价体系，综合考虑因制冷剂排放和产品运行所造成的温室气体排放，在快速实现行业产品温室气体减排的同时，弥补丙烷制冷剂因充注量限制造成的能效水平不足。

如果考虑到制冷剂和能效两个方面的减排因素，减排核算公式建议如下所示：

$$C_0 = t \times \frac{CC}{EER} \times \beta + GWP \times L$$

其中：

t 为家用空调产品生命周期内运行时间，单位为 h；

CC 为产品制冷量，单位为 kW，对于 1.5 hp 家用空调产品典型制冷量为 3.5kW；

EER 为能效比，单位为 W/W；

β 为 CO₂ 排放因子，单位为 CO₂ 吨/kWh；

GWP 为制冷剂的全球温室效应潜值，单位为 CO₂ 当量，R22 制冷剂的 GWP 为 1760，R290 制冷剂的 GWP 为 3.3；

L 为制冷剂充注量，单位为 kg，对于 1.5 hp 家用空调产品典型 R22 制冷剂充注量为 1.1 kg，R290 典型充注量为 0.35 kg；

C₀ 为综合排放量，单位为二氧化碳当量吨。

该公式全面核算了能效和制冷剂因素导致的温室气体排放，建议纳入现有产品能效标准体系中，以鼓励更多产品在总体温室气体减排效果上的提升。

6.5 使用丙烷制冷剂家用空调产品的补贴

2014 年，环境保护部环境保护对外合作中心正式对外公布了《房间空调器行业丙烷空调器生产线改造增加运行费用补贴办法》，以促进 R290 家用空调产品的市场推广。

表 5 房间空调器行业丙烷空调器生产线改造增加运行费用补贴额度

时间		分体机	窗机	除湿机移动机
2015 年 12 月 31 日前	前 10000 台	360	155	150
	10000 台以后	300	125	120
2016 年 1 月 1 日~2017 年 12 月 31 日		150	63	60
2018 年 1 月 1 日后		0	0	0

补贴办法是根据房间空调行业 HCFC 淘汰管理计划实施方案制定，利用行业计划中增加运行费用（IOC）对企业前期 R290 空调生产进行补贴，以加大对前期 R290 空调推广的支持力度，弥补 R290 空调的增量成本，降低企业推广的难度，提高生产企业、经销商等的积极性。补贴范围限于包括房间空调行业 HCFC 淘汰管理计划签署合同的生产线。每条生产线所支付的 IOC 总量上限与合同中

规定的 IOC 上限相同，根据下述单价进行补贴，直至全部支付完毕。考虑到企业前期推广的难度最大，随着市场的逐步开拓，成本会有所降低，因此，分两阶段支付 IOC，前一阶段 IOC 补贴单价高，后一阶段的 IOC 的补贴单价低。第一阶段的时间节点在 2015 年 12 月 31 日之前，第二阶段的时间节点在 2017 年 12 月 31 日。对于第一批投放市场的产品，将为经销环节提供额外的补贴，以提高其销售积极性，确保 R290 空调市场推广能够成功迈出第一步。2018 年 1 月 1 日之后生产的 R290 空调不再补贴 IOC。补贴金额如表 5 所示。

6.6 家用空调产品环保低碳标识的发布与推广，加强丙烷产品的宣传

2015 年 3 月，环境保护部环境保护对外合作中心、中国家用电器协会、联合国环境规划署、联合国工业发展组织和德国国际合作机构联合发布了房间空调器和热泵热水器“环保低碳标识”，用以规范我国家电行业对于环保低碳产品的定义和相关宣传。环保低碳标识适用于并且采用臭氧层消耗潜值（ODP）为零和 100 年温室效应潜值（GWP100）低于 150 的环保低碳制冷剂，且按照现行国家标准评定为节能型的产品型号。

配合标识的发布，应该建立系统性的宣传计划，从行业层面和消费者层面，提升对于丙烷制冷剂房间空调器产品的认识，提高环保低碳意识。

6.7 将家用空调行业温室气体制冷剂排放纳入碳排放补贴

为落实《“十二五”控制温室气体排放工作方案》和《2014-2015 年节能减排低碳发展行动方案》的有关工作安排，2015 年 5 月，经国务院同意，国家发展改革委办公厅将组织开展三氟甲烷（HFC-23）的销毁处置并安排相关的中央预算内投资和财政补贴。国家发改委已于 2014 年 11 月向相关地方发展改革委下达了氢氟碳化物削减重大示范项目 2014 年中央预算内投资计划，支持 HFC-23 的焚烧和转化利用，此外还将在 2019 年年底前分年度对 HFC-23 处置设施运行进行补贴。

根据 HFC-23 相关建设经费补助和财政补贴计算方法，对运行经费的补贴实行退坡办法。2014-2019 年对每吨二氧化碳当量的减排量分别按 4 元、3.5 元、3 元、2.5 元、2 元和 1 元补贴。2020 年后终止财政补贴。补贴副产率按如下方法计算：在 2015-2017 年期间，按照 2%副产率计算补贴；在 2018-2019 年期间按

1.5%计算。HFC-23 的全球变暖潜能值（GWP）按 11700 计算。

目前，中国家用空调行业 R22 制冷剂的替代品主要为 HFCs，如果按照相同的财政补贴计算方法，每淘汰 1 台使用 HFCs 制冷剂的家用空调产品企业可获得的财政补贴如表 6 所示，这将积极促进中国家用空调行业推动丙烷制冷剂应用的市场化进程。

表 6 家用空调行业碳排放补贴平均额度

时间	补贴额度（元/台）	
	R410A 空调	R22 空调
2014	7.93	8.49
2015	6.94	7.43
2016	5.95	6.37
2017	4.95	5.30
2018	3.96	4.24
2019	1.98	2.12

6.8 R290 空调产品安装维修培训

2015 年 3 月 31 日至 4 月 2 日，中国房间空调器行业首期 R290 空调产品安装维修培训班在广东顺德西安交通大学研究院顺利开班，并组织了为期 3 天的培训。项目主管机构为环境保护部环境保护对外合作中心，中国家用电器协会、德国国际合作机构、北京工业大学、顺德区经济和科技促进局等机构院校等出席了开班仪式。培训覆盖了国内家用空调主要企业和压缩机企业的 50 多位工程技术人员和维修负责人。此次培训由德国碳氢制冷剂应用技术专家、国内行业技术专家与职业院校骨干教师共同执教，对 R290 空调产品的售后培训与行业推广具有深远的意义。

R290 空调产品安装维修培训采用理论与实操相结合的方式。在理论知识方面，培训内容包括 HCFC 制冷剂替代政策、R290 制冷剂的性能、R290 空调的防护设计、使用要求和操作方法等。在安装维修操作方面，培训内容包括 R290 制冷剂的管路连接、制冷剂充注和抽真空、安装 R290 空调器等操作技能。培训组织了笔试和实操考试，参加培训人员顺利拿到首批 R290 空调产品安装维修培训合格证书。

这样的应该是中国房间空调器行业 R290 空调产品安装维修培训的开始，后续的培训将严格按照工作纲要，着力探索培训模式，提升培训效果，为 R290 空调产品的售后培训提供创新的驱动力和示范性举措，努力推动 R290 制冷剂产品的市场化进程。

6.9 节能产品采购

2007 年 7 月 30 日，国务院办公厅颁布了《关于建立政府强制采购节能产品制度的通知》。按照通知要求，各级国家机关、事业单位和团体组织在使用财政性资金进行政府采购活动时，有责任、有义务严格按照规定采购节能产品，模范地做好节能工作。在技术、服务等指标满足采购需求的前提下，要优先采购节能产品，对部分节能效果、性能等达到要求的产品，实行强制采购，以促进节约能源，保护环境，降低政府机构能源费用开支。建立节能产品政府采购清单管理制度，明确政府优先采购的节能产品和政府强制采购的节能产品类别，指导政府机构采购节能产品。

按照 2015 年 7 月 31 日财政部与发改委公布的第十八期节能产品政府采购清单，其中包括制冷空调设备分类，但目前采购范围尚未涉及家用空调产品。充分利用丙烷制冷剂家用空调产品的节能环保特性，努力促成将此类产品纳入节能产品政府采购清单，不但符合现有清单管理制度，有效缓解政府机构人均能耗、单位建筑能耗均高于社会平均水平的现状，节约了社会资源，同时更能够有限利用各级国家机关、事业单位和团体组织的示范作用，为使用丙烷制冷剂家用空调产品进行宣传，并且也可以为产品的市场化进程贡献力量。

6.10 加强国际合作

目前，我国家用空调行业的生产规模已居世界首位，是具有较强国际竞争力的行业之一。然而，在过去的几十年中，我国家用空调行业在企业自主创新能力、核心技术和关键技术的研发、产品同质化、产品附加值低、行业缺乏自律、竞争秩序、国际标准话语权等方面仍有待改进。我国家用空调行业诸多问题的根源在于仍未从根本上摆脱粗放外延型的发展模式。

目前，我们在家用空调制冷剂替代工作中遇到的问题可以说是上述问题的集中体现。通过广泛开展国际合作，通过 UNEP、UNDP、UNIDO、GIZ 以及美国

能源基金会等国际机构、NGO 组织等的协助或项目合作，学习借鉴在能力建设和管理、技术研发以及国际交流、培训等方面的国际经验将是解决这一问题的有效途径。在 2007 年，中国家电工业提前实现了损耗臭氧物质 CFCs 物质全面淘汰，并且主要采用的是对环境友好的自然工质作为 CFCs 替代品，获得国际社会和我国政府有关部门的高度评价。借鉴这一成功经验，加强制冷剂替代方面的国际合作，引导企业在生产、安装、维修、管理、人员培训环节中不断完善，提升企业软实力，将是中国家用空调行业发展的必然趋势。我们相信，通过制冷剂替代工作的契机，中国家用空调行业必将从量的积累走向质的变化。

致谢

能源基金会中国长期致力于推动能源效率的提高和可再生能源的发展,帮助中国过渡到可持续能源的未来。2014年7月能源基金会通过了促进家用空调器行业削减HFCs的丙烷制冷剂替代品政策研究项目,在此特别感谢基金会对本项目的资助,乃至为应对全球气候变化和中国房间空调器行业健康发展所付出的努力。

同时,特别感谢珠海格力电器股份有限公司、广东美的制冷设备有限公司、青岛海尔空调器有限总公司、TCL空调器(中山)有限公司、四川长虹空调有限公司对于本项目提供的基础数据支持,并对研究内容提出了富有建设性意见与建议,中国家用空调行业的健康发展有赖于各企业的通力合作。

参考文献

- [1] Velders GJ, Fahey DW, Daniel JS, The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing[J]. PNAS, 2009, 106(27):10949-54.
- [2] EPA. Summary Report: Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990-2030.
http://www3.epa.gov/climatechange/Downloads/EPAactivities/EPA_Global_NonCO2_Projections_Dec2012.pdf
- [3] 石敏俊, 李娜, 周晟吕等, 中国能否实现 2020 年的二氧化碳减排目标[J]. 资源与生态学报(英文版), 2010, 01(2): 145-154.
- [4] Vijay Mahajan, Eitan Muller, Frank M. Bass. New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research [J]. Journal of Marketing, 1990, 54: 1-26.
- [5] 李承煦, 苏素. 关于耐用品市场研究的理论综述及评价[EB/OL]. 中国科技论文在线, 2007: <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/200710-407>.
- [6] Li-Qun Ji. Analysis of a Modified Logistic Model for Describing the Growth of Durable Customer Goods in China [J]. Mathematical & Computational Applications, 2013, 18(1): 30-37.
- [7] 郑洲顺, 曲选辉. Logistic 阻滞增长模型的计算机模拟[J]. 计算机工程与应用, 2002, 23: 37-39.
- [8] 何文章, 张宪彬. 利用 Logistic 模型预测耐用消费品社会拥有量[J]. 数理统计与管理, 1994, 1: 21-25.
- [9] 孙全敏, 王占礼, 邵明安. 生物种群 Logistic 扩展模型灰色增量生成参数辨识方法及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2000, 8: 105-113.
- [10] 李绍成. 耐用消费品需求预测模型及其应用[J]. 绵阳经济技术高等专科学校学报, 1997, 4: 53-57.
- [11] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 中国统计出版社. 2013.
- [12] 中国家用电器协会. 中国家用电器发展研究报告[R]. 2013.
- [13] UNDESA. World Population Prospects: The 2012 Revision. 2013:
<http://www.un.org/en/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2012-revision.html>

- [14] Devotta S, Padalkarb A S, Sane N K. Performance assessment of HC290 as a drop-in substitute to HCFC-22 in a window air conditioner [J]. International Journal of Refrigeration, 2005, 28: 594-604.
- [15] 王倩, 吴挺, 张于峰, R22 替代物 R290 的理论与试验研究, 流体机械, 2004, 7
- [16] 肖洪海, 张桃, 胡艳, R290 小型家用空调器的性能匹配研究, 制冷学报, 2006, 4
- [17]
- [18] 冯永斌;晏刚;钱文波;陶锴;张敏; 风速分布形状对空调中翅片管蒸发器性能的影响, 低温与超导, 2009, 10
- [19] 肖友元;刘畅;郭春辉;李斌; 自然工质 R290 在家用空调器中的应用研究, 流体机械, 2009, 5
- [20] 冯永斌;晏刚;钱文波;张敏;陶锴; 不同制冷剂在空调冷凝器内换热性能的比较, 流体机械, 2010, 1
- [21] 李廷勋;杨九铭;曾昭顺;张智; R290 灌注式替代 R22 空调整机性能研究, 制冷学报, 2010, 4
- [22] 张海锋;刘春慧;张蕾; 房间空调器用 R290 旋转压缩机的研究, 低温与超导, 2012, 7
- [23] 杨林德;吴建华;候杰; 分体式房间空调器 R290 和 R1270 替代 R22 实验研究, 制冷学报, 2013, 2
- [24] 刘振;赖想球;周向阳;李廷勋; R290 家用空调制热特性研究, 流体机械, 2013, 3
- [25] 肖庭庭;李征涛;陈坤;陈忆喆;张振亚; R290 替换 R22 应用于家用空调的试验研究, 流体机械, 2014, 3
- [26] 吴建华;李育勇;王刚;江波;周杏标;谢婉; 丙烷滚动活塞压缩机指示图测量与性能分析, 西安交通大学学报, 2014, 3
- [27] 李廷勋;何东财;鲁健;刘振, 适用于高温工况替代制冷剂系统特性实验研究, 低温与超导, 2015, 3
- [28] 王颖;徐博;陈江平;葛方根;汪峰;李峰;杨涛; 微通道换热器用于家用柜机空调时整机性能的对比实验研究, 制冷学报, 2015, 1
- [29] T Jabbour, D Clodic. Gniton tests of flammable refrigerant leaks in ventilated and unventilated rooms[C] . Proceeding of International Natural Refrigerants Conference, Guangzhou, 2002: 329- 337.
- [30] Colbourne D, Suen K O. Appraising the flammability hazards of hydrocarbon refrigerants

using quantitative risk assessment model. Part I:Modelling approach[J] . Int J Refrig, this issue, doi: 10.1016/j.ijrefrig, 2004. 07. 003.

[31] Colbourne D, Suen K O. Appraising the flammability hazards of hydrocarbon refrigerants using quantitative risk assessment model. Part II: Model evaluation and analysis[J] . Int J Refrig, this issue, doi: 10. 1016. j. irefriger, 2004. 07. 002.

[32] 刘知新; 郭春辉; 刘畅; 许晨; 徐永恩, R290 家用空调器泄漏安全性实验研究, 制冷与空调, 2010, 5

[33] 刘知新; 郭春辉; 刘畅; 许晨; 徐永恩, R290 家用空调器安全性实验研究, 制冷技术, 2011, 1

[34] 梁杰荣;李廷勋; 基于 SINDA/FLUINT 平台的 R290 房间空调器仿真, 低温与超导, 2011, 2

[35] 张网;杨昭;王婕;吕东;钟志锋; 分体式空调器使用 R290 作为制冷剂的泄漏研究, 制冷学报, 2013, 6

[36] 张网;杨昭;李晋;吕东;吴伟;周晓芳;钟志峰; 以 R290 为制冷剂的空调室外机火灾危险性, 消防科学与技术, 2013, 3

[37] 钟志锋;唐唯尔;周晓芳;何国庚;蔡德华;朱奕豪; R290 分体式空调器中制冷剂分布与安全性, 低温工程,2015, 2

附录：中国家用空调行业温室效应总当量（TEWI）测算参数

R22 单台充注量（克）	1200
R290 单台充注量（克）	300
R410A 单台充注量（克）	1000
R161 单台充注量（克）	720
R22 的 GWP 值 ¹	1760
R410A 的 GWP 值 ¹	1924
R290 的 GWP 值 ¹	3.3
R32 的 GWP 值	677
产品年均泄漏率（%） ²	4
产品寿命（年） ²	7.5
R22 产品能效系数 ³	3.33
R410A 产品能效系数 ³	3.39
R290 产品能效系数 ³	3.67
R32 产品能效系数 ³	3.50
产品平均制冷量（W）	3900
产品年运行时间（h）	1136
CO ₂ 排放因子（Kg/kWh） ⁴	1.04

注：1. R22 和 R410A 的 GWP 值来自 IPCC 报告，R290 的 GWP 值来自 EN378 标准；

2. 产品年泄漏率和产品寿命是经验值；

3. R22 产品能效系数是行业 2013 年平均值，其他两种工质的能效系数是根据工质特性进行的推算；

4. CO₂ 排放因子是根据国家统计局发布的 1 度电所需标准煤和单位标准煤 CO₂ 排放数据计算得到。