



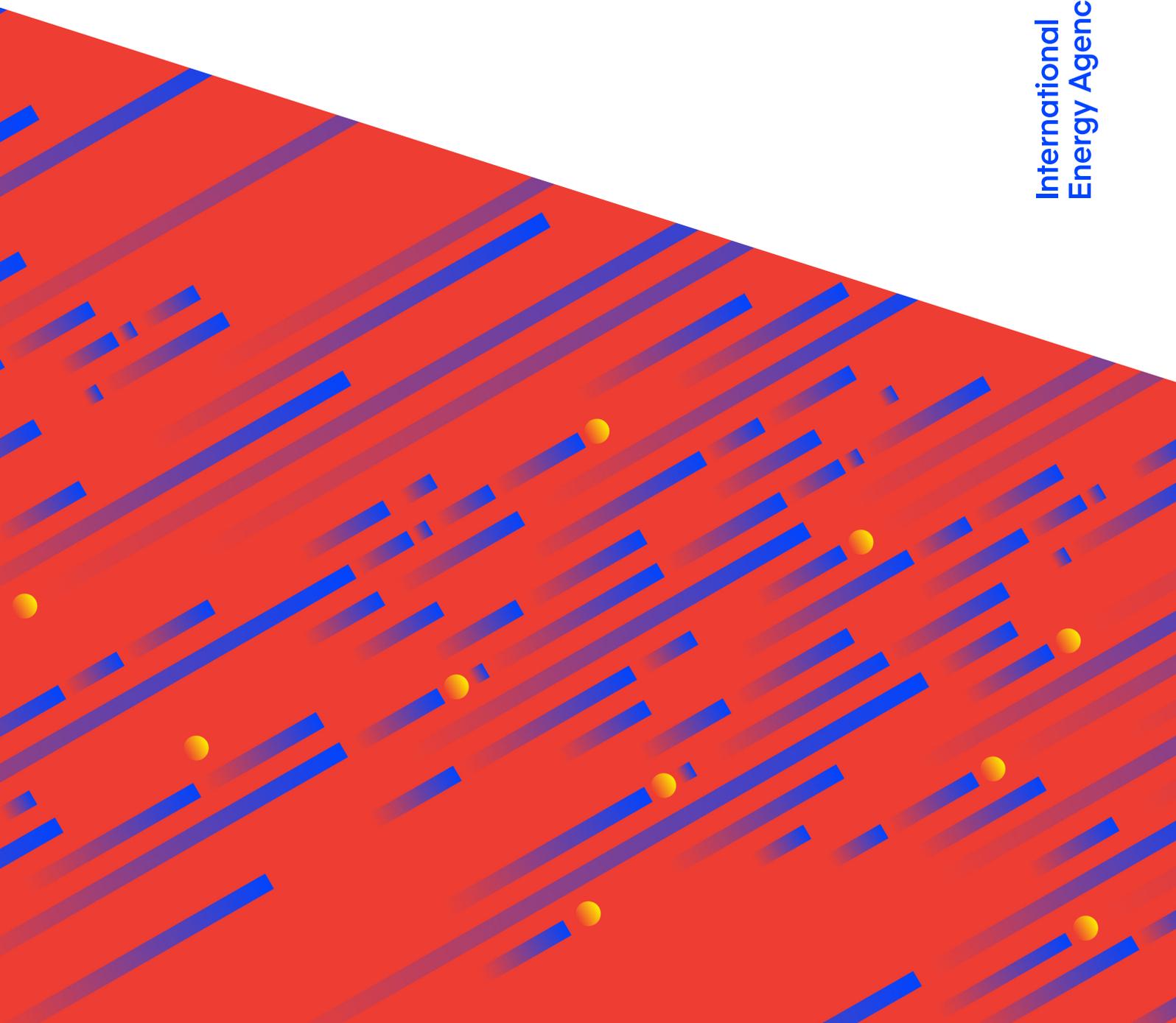
In collaboration with



清华大学
Tsinghua University

中国热泵的未来

International
Energy Agency



INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

The IEA examines the full spectrum of energy issues including oil, gas and coal supply and demand, renewable energy technologies, electricity markets, energy efficiency, access to energy, demand side management and much more. Through its work, the IEA advocates policies that will enhance the reliability, affordability and sustainability of energy in its 31 member countries, 13 association countries and beyond.

This publication and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

IEA member countries:

Australia
Austria
Belgium
Canada
Czech Republic
Denmark
Estonia
Finland
France
Germany
Greece
Hungary
Ireland
Italy
Japan
Korea
Lithuania
Luxembourg
Mexico
Netherlands
New Zealand
Norway
Poland
Portugal
Slovak Republic
Spain
Sweden
Switzerland
Republic of Türkiye
United Kingdom
United States

The European Commission also participates in the work of the IEA

IEA association countries:

Argentina
Brazil
China
Egypt
India
Indonesia
Kenya
Morocco
Senegal
Singapore
South Africa
Thailand
Ukraine

Source: IEA,
International Energy Agency
Website: www.iea.org

Revised version, August 2024
Information notice found at:
www.iea.org/corrections



清华大学建筑节能研究中心

清华大学建筑节能研究中心（BERC）成立于 2005 年，其使命是根据国家和国际能源环境目标，致力于中国建筑节能环保发展和创新研究。

清华大学建筑节能研究中心的主要研究包括：

- 核算中国建筑能耗排放现状并进行战略展望。
- 人行为和建筑模拟研究。
- 创新高效建筑节能技术和系统的研发。
- 对各类建筑节能技术的应用研究，包括：中国北方采暖，农村住宅和城镇住宅，以及公共建筑。

BERC 参与国际交流与合作项目，包括与国际能源署的持续合作。自 2007 年以来，BERC 每年负责编制出版《中国建筑节能年度发展报告》（中文版），自 2016 年以来每年出版《China Building Energy Use and Emission Yearbook》（英文版）。

最新的报告《Decarbonize Urban Heating System-China Building Energy and Emission Yearbook 2023》（英文版），可从以下链接免费下载：

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-99-7875-5>



清华大学
Tsinghua University

摘要

供热是一项需要进一步脱碳的基本社会服务，而中国的供热选择对全球供热趋势具有重大影响。中国热力消费占全球总量近 33%，其中工业部门消费占全球的比重高达 40%，而建筑部门消费占全球的比重约为 20%。

通过热泵推进电气化为供热脱碳提供了关键杠杆。不断增长的空间供暖和热水供应需求，以及清洁供暖的政策推动，使近年来中国的热泵销量有所增加。

这份报告是与清华大学合作撰写的，概述了中国建筑部门、工业部门和集中供暖管网的热泵现状，并检验了进一步加速部署的热泵潜力。热泵对实现中国 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的目标发挥着重要作用。本报告强调了增加热泵应用的关键机会。

在“十五五”规划之前，本报告研究了能够消除障碍、加速部署热泵的关键政策措施。

致谢、主要作者及贡献

《中国热泵的未来》报告由国际能源署和清华大学建筑节能研究中心共同编制。国际能源署首席能源技术官 Timur Gül 和清华大学建筑节能研究中心主任江亿教授负责报告的设计和指导。技术创新部门主任 Araceli Fernandez Pales、清华大学建筑节能研究中心副主任夏建军教授、和胡姗在项目开发全程中提供了战略指导。Chiara Delmastro 和 Rafael Martinez Gordon 协调报告的分析 and 制作，并担任主要作者。

Conor Gask（政策）和 Yannick Monschauer（热泵的优势）牵头负责报告的专题部分。国际能源署的其他主要作者和贡献者有（按姓氏字母顺序）：Clara Camarasa（政策）、Jianlan Dou（可负担性、供应链）、Alexandre Gouy（工业应用）、Anthony Vautrin（电力系统灵活性）、Fabian Voswinkel（制冷剂、工业应用），以及 Biqing Yang（利益攸关方参与、政策）。以下人员做出了宝贵贡献：Caleigh Andrews、Francois Briens、Daniel Crow、Roland Gladushenko、Will Hall、Konstantina Kalogianni、Jack Lynch、Vincent Minier、Aloys Nghiem、Corine Nsangwe Businge、Camille Paillard、Jacopo Pasqualotto、Richard Simon，以及 Jacques Warichet。

清华大学建筑节能研究中心的主要贡献者有（按姓氏字母顺序）：Jiewen Deng、Lin Fu、Xiaofeng Li、Zhaoyang Liu、Wenxing Shi、Baolong Wang、Qingpeng Wei、Yanting Wu、Xiaoyun Xie、Tianhao Xu、Xudong Yang、Ziyi Yang，以及 Yulin Zhu。

特别感谢 Hengyi Zhao（中国节能协会热泵专业委员会）和产业在线（ChinaIOL）对数据收集的支持和宝贵见解。

国际能源署的以下人员提供了宝贵的见解和反馈：Stephanie Bouckaert（需求部门主任）、Laura Cozzi（可持续性、技术和展望司司长）、Dennis Hesselting（天然气、煤炭和电力市场部主任）、Rebecca McKimm（中国合作部主任）、Brian Motherway（能效和包容性转型办公室主任）、Melanie Slade（高级项目经理），以及 Dan Wetzel（可持续转型跟踪部门主任）。Per-Anders Widell 在全程中提供了必要的支持。Lizzie Sayer 为文稿提供了编辑。

感谢国际能源署传播和数字办公室，特别是 Jethro Mullen、Poeli Bojorquez、Curtis Brainard、Jon Custer、Hortense de Roffignac、Astrid Dumond、Merve Erdil、Grace Gordon、Julia Horowitz、Oliver Joy、Clara Vallois、Lucile Wall、Therese Walsh，以及 Wonjik Yang。

2024 年 1 月 18 日，项目在北京清华大学举行了咨询研讨会，来自政府、主要制造商和学术界的 30 多名代表参加了会议。与会者为本报告提供了宝贵的见解和反馈。

国际应用系统分析研究所为空气污染及相关健康影响提供了建模支持。

本报告是在能源基金会对国际能源署的清洁能源转型项目的资金支持下编写的。本报告反映了国际能源署秘书处和清华大学建筑节能研究中心的观点，但未必反映国际能源署各成员国或能源基金会的观点。

以下同行评审员为提高报告质量提供了必要的反馈意见：

Andrej Jentsch	AGWF，国际能源署区域供热供冷技术合作项目
Charity Lao Torregosa	亚洲开发银行
David Morgado	亚洲开发银行
Lei Zhang	亚洲开发银行
Jieyi Duan	北京能源国际控股有限公司
Rui Li	北京建筑大学
Jiakun Zhao	英国驻华大使馆
Wei Feng	中国科学院
Xiaohua Niu	中国城镇供热协会
Guangwei Ying	中国电力发展促进会
Pengcheng Li	中国标准化研究院
Jianhong Cheng	中国标准化研究院
Meng Liu	中国标准化研究院
Yujuan Xia	中国标准化研究院
Yong Qiao	中国水电水利规划设计总院
Lei Zeng	CLASP 中国
Yuki Kamioka	大金
Lin Duanmu	大连理工大学
Allan Bertelsen	丹麦驻华使馆
Henrik Bruun Martens	丹麦驻华使馆
Matthew Aylott	英国能源安全和净零排放部
Eloi Piel	欧洲热力协会 (EuroHeat&Power)
Zhigao Wang	能源基金会
Yanbing Zhao	能源基金会
Tan Zheng	能源基金会
Hua Liu	格力

Caroline Haglund Stignor	瑞典研究院热泵中心
Stephan Renz	国际能源署热泵技术合作项目 (HPT TCP)
Jonas Lundsted Poulsen	国际能源署热泵技术合作项目 附录 58
Hongyou Lu	劳伦斯伯克利国家实验室
Nan Zhou	劳伦斯伯克利国家实验室
Alvin Lin	自然资源保护协会
Anders Hove	牛津大学能源研究所
Tsutomu Ishihara	松下电器
Guangxu Wang	落基山研究所
Bin Hu	上海交通大学
Yiwei Zou	联合国环境署臭氧秘书处
Zhuolun Chen	联合国环境署哥本哈根气候中心
Wei Zhong	浙江大学

目录

执行摘要.....	11
导言	15
第 1 章. 中国的供热.....	19
要点.....	19
导言.....	19
供热脱碳现状和前景.....	23
中国供热政策概况.....	41
第 2 章. 中国部署热泵的前景和机遇.....	46
要点.....	46
导言.....	46
本报告的热泵分类.....	48
建筑热泵的应用前景.....	49
工业热泵的应用前景.....	56
特别关注：接入区域供热管网的热泵.....	62
特别关注：使用热泵对热能进行回收和再利用.....	66
第 3 章. 热泵部署的影响.....	70
要点.....	70
导言.....	70
环境与公共健康.....	71
供应链.....	79
创造就业.....	82
投资需求和可负担性.....	83
电力系统和需求灵活性.....	89
创新活动和需求.....	95
第 4 章. 热泵部署的政策解决方案.....	97
根据中国碳中和目标制定热泵部署综合政策框架.....	97
在中国建筑部门推广热泵的措施.....	100
在中国工业部门推广热泵的措施.....	111
支持发展可持续热泵供应链的措施.....	116
通用附录.....	122
缩略语和缩写.....	122
词汇表.....	123

图表目录

图 1.1	2010-2022 年中国建筑和工业部门的供热终端能源消费及其在全球总量中的占比 .. 21
图 1.2	2022 年中国不同部门各温度水平的热力终端能源消费 24
图 1.3	2022 年每平方米建筑面积和人均的空间供暖和热水相关二氧化碳排放量的跨国比较 27
图 1.4	2013-2021 年住宅热水器拥有情况和 2021 年安装的主要住宅热水设备类型 33
图 1.5	2022 年不同管网连接类型的建筑面积, 以及 2022-2050 年承诺目标情景和既定政策情景下建筑面积和有用空间供暖强度的演变 34
图 1.6	2010-2050 年承诺目标情景和既定政策情景下空间供暖和热水的终端能源消费 35
图 1.7	2010-2050 年既定政策和承诺目标情景下中国不同燃料和工业细分部门的能源需求 38
图 1.8	2022 年、2030 年和 2050 年承诺目标情景下中国不同温度水平的工业供热需求 40
图 1.9	2010-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国轻工业供热用能的燃料构成 41
图 1.10	2011-2023 年中国供热政策概况 45
图 2.1	2015-2022 年部分热力市场中, 热泵在空间加热设备销量中的占比 51
图 2.2	2022-2050 年既定政策情景与承诺目标情景下中国建筑热泵的存量 (左) 和销量 (右) 52
图 2.3	2022-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国不同气候区的建筑热泵存量 54
图 2.4	2022 年, 不同室外和室内温度条件下, 空气-空气和空气-水热泵的性能系数 56
图 2.5	中国部分工业部门不同温度水平和热泵部署潜力范围下, 工业热泵可满足的供热需求比例 61
图 2.6	2030-2050 年, 既定政策情景和承诺目标情景下, 中国轻工业不同温度水平的工业热泵装机容量 62
图 2.7	在区域供热管网中集成热泵和余热 64
图 2.8	中国部分气候区不同管网的供水和回水温度 65
图 2.9	2021 和 2050 年, 中国不同温度水平和领域的余热供应 68
图 2.10	2030 和 2050 年, 对中国发电厂和工业所产生的余热进行回收和再利用的热泵的部署潜力 69
图 3.1	2022-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国空间供暖和热水的二氧化碳直接减排情况 72
图 3.2	2022 和 2030 年承诺目标情景下电加热器和热泵与燃气锅炉的温室气体年排放量比较 73
图 3.3	2022-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国轻工业供热二氧化碳直接排放变化 76
图 3.4	2022-2030 年承诺目标情景下中国建筑空间供暖和热水直接燃料燃烧产生的主要空气污染物排放量 78
图 3.5	2017-2020 年中国建筑热泵的国内销售和出口情况及 2022 年全球各地区热泵产能份额 80
图 3.6	2022 年中国热泵各板块前三大制造商的市场份额和市值及各省产量份额 81
图 3.7	2022-2030 年既定政策情景和承诺目标情景下中国建筑热泵的产能和国内需求预测 82
图 3.8	2022-2030 年既定政策情景和承诺目标情景下中国热泵行业的就业情况 83
图 3.9	2022-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国建筑和轻工业热泵的市场规模 .. 84
图 3.10	2023 年居民用电价格与天然气价格的比率 85
图 3.11	中国不同气候区城市地区的住宅热泵和替代方案的供热供冷平准化成本 86
图 3.12	2023 年北京农村地区住宅热泵和替代方案的供暖平准化成本 87
图 3.13	2022 和 2030 年承诺目标情景下中国轻工业不同技术的供热平准化成本 89
图 3.14	2022-2050 年在承诺目标情景下不同供暖技术的建筑冬季高峰电力需求贡献量以及不同技术的热力设备保有量 90

图 3.15	2030 年承诺目标情景下冬季和夏季不同终端用途的建筑日平均负荷曲线	91
图 3.16	2001-2020 年中国热泵专利及其在全球热泵专利中所占份额, 以及 2019-2020 年各国热泵专利分布情况	96
图 4.1	中国热泵部署面临的政策挑战	98
图 4.2	政策建议摘要	99
图 4.3	推动中国建筑部门热泵部署的行动	100
图 4.4	2023 年中国不同热水器的能效标识	108
图 4.5	加强建筑部门热泵普及的政策系列方案	110
图 4.6	推动中国工业部门热泵部署的行动	111

专栏清单

专栏 1.1	中国区域供热和煤炭统计	21
专栏 1.2	集中供暖: 世界最大的工业和建筑部门供热管网	25
专栏 1.3	气候区及其对空间供暖设备选择的影响	27
专栏 1.4	国际能源署估算工业供热需求的方法	37
专栏 1.5	中国北方清洁取暖试点示范	44
专栏 2.1	选择热泵的注意事项	49
专栏 2.2	热泵热水器的作用	54
专栏 2.3	工业热泵的技术规格	59
专栏 2.4	吸收式热泵以及深层和中深层地源热泵在区域供热管网中的作用	66
专栏 3.1	限制制冷剂排放可进一步提高热泵的优势	73
专栏 3.2	电网脱碳能加强热泵减排	76
专栏 3.3	空气源热泵的地理位置会在夏季和冬季影响城市热岛和热泵运营效率	78
专栏 3.4	中国居民供暖的分时电价	92
专栏 3.5	供热、电力和工业部门中的热储能	94
专栏 4.1	荷兰政府鼓励“去天然气化就绪”改造的方案	102
专栏 4.2	加利福尼亚州更新建筑规范和措施, 促进新建建筑采用热泵的可负担性	103
专栏 4.3	部分国家针对消费者的热泵政策支持方案	104
专栏 4.4	Octopus Energy 将智能家居控制与经济型热泵相结合以支持供暖脱碳	105
专栏 4.5	日本对热水技术标识的统一化	108
专栏 4.6	太阳能热泵推动拥有光伏电池板的家庭优化自发自用	109
专栏 4.7	工业余热回收为汉堡市区域供热管网提供热力	112
专栏 4.8	国际能源署计划推动热泵工业应用的研究	113
专栏 4.9	丹麦能效责任制度节能效果显著	115
专栏 4.10	热泵已为中国一些轻工业部门带来显著的运营成本节省和节能的效果	116
专栏 4.11	英国的清洁热力市场机制促进热泵销售	118
专栏 4.12	EUCERT 计划为热泵安装人员提供培训和教育	119
专栏 4.13	三菱在欧盟“REACT”项目中探索热泵需求响应成熟度	121

表清单

表 2.1	不同温度水平的工业热泵技术成熟度	58
表 2.2	中国将热泵纳入区域供热系统的部分案例研究	65

执行摘要

供热是一项需要进一步脱碳的基本社会服务

供热占全球工业和建筑部门用能的近 20%，占能源部门排放量的约四分之一。中国建筑和工业约占全球热力消费的三分之一，因此对全球趋势具有重大影响。过去十年中，中国建筑热力消费的增长速度居各国之首，目前建筑空间供暖和热水的能源需求约为 12 艾焦，已成为仅次于美国的第二大市场。由于中国供热设备普及率不断提高，这一趋势并无放缓迹象。2010–2022 年，中国工业部门的热力消费增长了 13%，达到 38 艾焦。其中近 20% 是 200° C 以下的中低温热力——这最适合热泵应用的温度范围。同期，200° C 以下的热力消费增长了 7%，并且随着中国向高附加值产业转移，其在需求总量中的份额也将增加。

目前中国供热严重依赖煤炭。在建筑和工业供热终端能源使用中，约有一半为煤炭直接供热。如果将用于区域供热以及为建筑和工业供热发电的煤炭计算在内，中国二氧化碳排放量和煤炭使用量的 40% 来源于供热。然而，由于中国已采取政策改善空气质量、减少二氧化碳排放并最大限度提高能效，该比例在过去十年中下降幅度超过 5%。

热泵为中低温供热脱碳提供实证有效的解决方案

热泵在全球的销售势头空前强劲。全球热泵销量已在 2020 年基础上增长了近 30%，尽管 2023 年经历了 3% 的收缩。中国是当前全球最大的建筑用热泵市场，占全球销售额的四分之一以上；2023 年，中国是全球主要热泵市场中唯一增长的市场，销量增幅高达 12%。中国市场上的在售热泵是区域供热管网以及建筑和工业供热脱碳的最高效选择之一。2022 年，热泵占中国建筑供热设备销售额的 8%；在中国中部和南方的一些地区，热泵已成为新建和既有建筑供热供冷的标配。采用热泵提供家用热水正在兴起，主要是在城市地区和商业建筑中，但热水市场仍以传统的电热水器和燃气锅炉为主。热泵的能耗平均只有电加热器或化石燃料解决方案的五分之一到三分之一，但在工业供热和区域供热中的使用仍不常见，其原因包括认知度低、前期成本高。

与其他解决方案相比，购买热泵从长远来看物有所值，但高昂的前期成本仍构成障碍。空气-空气热泵在中国一些气候寒冷的地区以及夏热冬冷的城市，已经成为全寿命周期成本竞争力最高的供热选择，可以同时满足供热供冷需求。而空气-水热泵与前期成本较低但效率低下的电加热器相比，全寿命周期成本更低。不过，空气-水热泵比燃气锅炉更昂贵，并且只有在电价与燃气价格比具有竞争力的地区，

才可以实现全寿命周期成本节约。工业热泵的前期成本是燃气锅炉的六倍多，但工业热泵的效率高，其全寿命周期成本现已远低于燃气锅炉和电锅炉，成本竞争力与燃煤锅炉相当。

热泵在建筑和轻工业部门的部署具有最大扩张潜力

目前，中国建筑中安装的分布式热泵占全球总装机的四分之一，其安装总量超过 2.5 亿千瓦，约占建筑热力需求的 4%。在考虑到中国碳中和目标的承诺目标情景（APS）中，到 2050 年，其安装量将达到 14 亿千瓦，可满足热力需求的 25%。要想实现承诺目标情景中的宏伟目标，从现在到 2050 年期间，每年建筑中热泵安装量需要达到约 1 亿千瓦，这相当于美国、中国和欧盟 2022 年热泵部署安装量的总和。

在建筑部门，分布式热泵的最大应用潜力在于中国农村以及南方和中部城市，其在中国北方城市的新建建筑中的应用也预计将会增加。在承诺目标情景中，到 2030 年，这些地区的热泵装机将翻不止一番，到 2050 年将达到现在的五倍。在气候温和或夏热冬冷的地区，随着供热设备普及率提高，可逆式空气-空气热泵的份额预计将增长。空气-水热泵市场预计也将扩大，特别是在中国北方的新建建筑中，因为北方地区更严格的建筑能源规范有利于热泵普及。承诺目标情景下，到 2050 年农村地区的空气-水热泵销量将增加到现在的七倍，用于空间供暖的空气-空气机组的增幅更大。要确保热泵能高效运行，就必须提高人们对热泵技术及其应用的认识，并由有关人员对其进行熟练的安装。

在各工业部门中，热泵的最大潜力在于满足温度低于 200° C 的供热需求。在轻工业、纸浆和造纸业以及化工行业，中低温热力的使用比较普遍。目前，这些行业占中国工业热力消费的三分之一以上，占 200° C 以下热力消费的四分之三以上。从理论上讲，热泵目前已经可以提供 1.75 亿-2.8 亿千瓦的潜在热力，足以满足前述行业当前供热需求的约 15%。承诺目标情景中，2025-2050 年期间每年将在轻工业部门安装热泵约 150 万千瓦，以满足到 2050 年 20%左右的供热需求。然而，在目前的工业脱碳计划中，对热泵的关注有限，而且由于热泵需要根据具体的工艺过程进行定制，导致标准化难度大，设备成本降低空间相对有限。因此，进一步支持为工业应用开发成本较低的先进热泵设计将非常重要。

大型热泵可集成到现有区域供热系统中并优化余热利用

应用于区域供热管网的热泵为进一步实现热力脱碳提供机遇。中国北方城市的区域供热管网中已部署了一些大型热泵，但供热管网 80%以上的热力生产仍然依赖煤炭。热泵可以通过降低管网回水温度来提高系统整体效率，若与热储能结合，还可能有助于避免波动性可再生能源弃电。中国北方城市依赖于集中供暖，而大型热泵作为一种配合扩建和现代化计划的脱碳解决方案，已得到有关方面的关注。

热泵还为余热回收提供机遇。中国已在水泥等行业系统推广余热回收，并且还有其他温度低于 50° C 的余热资源，可通过在区域供热系统和产业集群中集成大型热泵加以利用。到 2050 年，来自火电厂、工业、数据中心和废水处理厂的余热将达到近 20 艾焦，其中三分之二适合引入热泵——这相当于 6.5 亿千瓦的热泵装机，是轻工业潜力的 20 倍。目前，小型工业企业在以下方面面临尤其大的挑战：证明实施余热回收战略的经济效益，以及为发现共用区域供热管网联网带来的机遇而与其他热力用户和生产商的有效协调。政府采取行动克服这些障碍将是进一步开发余热回收潜力的关键。

热泵部署必须与电网脱碳齐头并进

承诺目标情景中，到 2050 年分布式热泵将贡献中国建筑供热领域直接减排量的约 30%。由于在电气化和能效方面加大努力，建筑供热的二氧化碳直接排放量将从 2022 年的 2.9 亿吨减少到 2050 年的 7000 万吨。改用热泵并且逐步淘汰煤炭和传统生物质供热也可以大幅减少当地的空气污染物，到 2030 年，居民供热产生的 PM2.5 排放将减少近 80%。在承诺目标情景中，轻工业热力产生的二氧化碳直接排放量将从目前的 1.1 亿吨减少到 2050 年的 1 千万吨以下。到 2050 年，电气化将贡献轻工业热力减排量的三分之二，其中三分之一是热泵的贡献。

若将直接和间接排放均计算在内，则**目前中国已安装热泵每年的平均排放量已比燃气锅炉低 30% 以上。**在承诺目标情景中，到 2030 年，发电产生的间接排放将减少 40% 以上，主要是由于太阳能、风能和核能部署增加。同年，热泵的年排放量将比燃气锅炉低近 60%。虽然增加热泵部署必定会推高电力需求，但在承诺目标情景下，2030 年热泵的高峰负荷影响将只有建筑内电器设备的高峰负荷影响的一半。

扩大热泵部署会在全供应链创造增长和就业机会

中国是建筑用分布式热泵的最大制造国，可迅速提高产量，以支持进一步增长。中国在热泵技术创新和制造方面领先全球，2022 年全球销售的热泵中约有 35% 产自中国。中国热泵行业的就业人数目前已超过 30 万；承诺目标情景下，该数字到 2050 年将翻一番。相应地，很可能需要对热泵安装人员等有关从业者进行职业培训和技能提升。

承诺目标情景下，工业和建筑部门用于加速热泵部署的投资需求持续增加。在建筑部门，每年的投资额需要在目前的基础上，到 2030 年增加两倍，达到 300 亿美元（2000 亿人民币），到 2050 年增加三倍，相当于 2022 年欧盟和美国风力发电投资额的总和。在轻工业部门，承诺目标情景下，到 2050 年大规模热泵装机将增加到 3000 万千瓦，这将需要约 200 亿美元（1400 亿人民币），相当于 2022 年中国轻工业在天然气热力方面的支出额。

推动中国热泵部署的政策建议

制定全国热力脱碳行动计划，包括热泵部署具体行动

建筑

- 增强能效标准
- 修订并统一各种热力设备标签，开展宣传活动
- 加强热泵前期成本支持

短期

- 在新建建筑法规中纳入更严格的性能要求，为热泵普及做好铺垫
- 在协调热泵推广工作中，支持对现有建筑进行大规模系列改造
- 逐步取消对化石燃料热力的补贴，以便释放更多资金用于更清洁高效的热力解决方案

长期

工业

- 提高认识，支持选择热泵解决方案
- 促进热泵研究示范项目
- 为克服安装、运行和维护成本障碍提供支持

短期

- 扩大行动，通过在轻工业和区域供热领域使用热泵，推动余能回收
- 将热泵作为部分行业热力脱碳的推荐技术选择

长期

供应链

- 制定明确的清洁热力分类标准
- 设定热泵销售和部署增长目标
- 热泵推广与可再生能源增长齐头并进

短期

- 提升制造、安装、操作和维护方面的就业机会和技能
- 加强数据监督，从而更好地了解热力脱碳机遇
- 考虑强化生命周期排放标准，以便为提高能效提供参考信息，包括氢氟碳化物、替代制冷剂使用等考虑因素
- 考虑未来热力电气化和热泵部署对电力系统和需求灵活调节能力的影响

长期

导言

中国的供热选择对全球供热趋势具有重大影响。在全球热力消费中，中国的占比接近 33%，其中工业部门占比 40%，建筑部门占比约 20%。目前，中国的供热严重依赖煤炭，但过去十年以来，由于政策驱动了供热脱煤，供热结构中的煤炭占比有所下降。

通过热泵实现电气化可为供热脱碳提供关键杠杆，近年来在空间供暖和热水需求增长以及清洁供暖政策的推动下，中国的热泵销量有所提升。中国是建筑热泵的最大制造国，目前中国建筑中热泵安装总量已超过 2.5 亿千瓦，并且进一步增长潜力巨大。虽然工业部门的热泵普及率仍然有限，但部分产业在短期内具有热泵部署潜力。在区域供热管网中部署热泵也愈加得到关注。

本报告概述了热泵在中国建筑、工业和区域供热领域的现状，考察了进一步加快部署的潜力。在实现中国力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的目标方面，热泵可以发挥重要作用，本报告重点介绍了提高热泵普及率的关键机遇。

在第十五个五年规划（“十五五”）时期之前，本报告探讨了能够消除普及障碍和进一步加快部署的关键政策措施。

本报告结构如下：

- 第 1 章首先对当今中国的供热进行概述，包括从中国不同气候区、城乡建筑以及不同工业过程的角度考察供热脱碳，并描述中国目前的供热政策概况。
- 第 2 章探讨从现在到 2050 年进一步部署热泵的前景，包括在中国的区域供热管网中部署热泵。报告详细描述各气候区建筑中热泵普及率的预测、热泵在不同工业过程中的普及潜力，以及热泵在轻工业部门中的前景。报告还特别重点介绍用于整合利用工业和区域供热管网余热的热泵，以及该技术在区域供热管网中的其他可能应用。
- 第 3 章重点介绍热泵部署对减排和空气质量的影响，以及对中国规模庞大的热泵制造业、就业机会、投资需求和电力部门灵活调节能力的影响。
- 第 4 章提出一系列综合政策措施建议，以应对中国部署热泵所面临的挑战，支持可持续热泵供应链的发展。

本报告中的情景、数据和部门界定

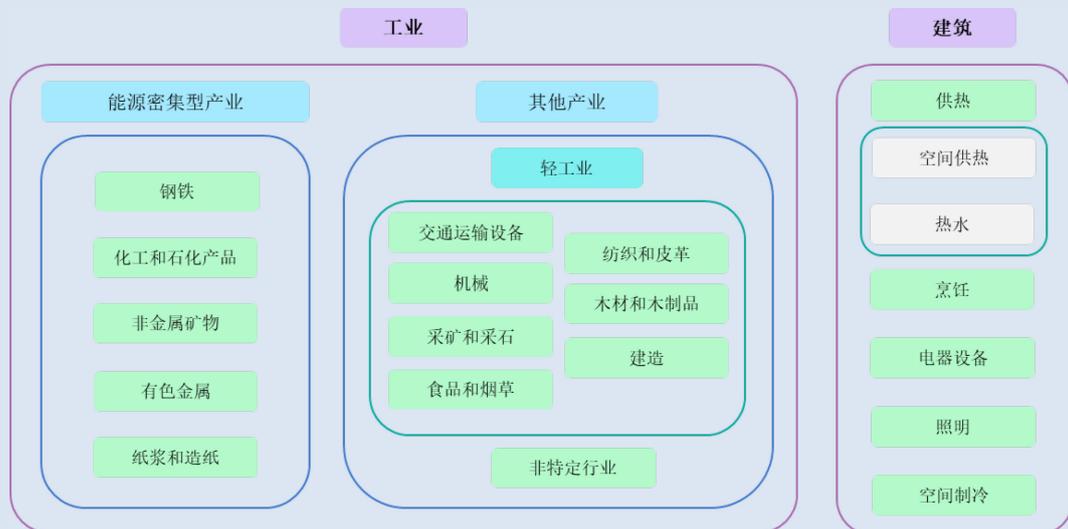
国际能源署（IEA）在本报告中的 2050 年展望基于以下情景：

- **国际能源署既定政策情景（STEPS）**：该情景根据对各国各部门于 2023 年 8 月底之前已出台的能源相关政策以及正在制定的政策进行的评估，反映当前政策情况。该情景还考虑到目前已规划的清洁能源技术的制造产能。
- **国际能源署承诺目标情景（APS）**：该情景假定世界各国政府和行业于 2023 年 8 月底之前作出的各项气候承诺（包括国家自主贡献（NDC）和长期净零目标，以及电力普及和清洁烹饪目标）都将全面按时兑现。

国际能源署各情景制定中，使用了自下而上、部分优化的大型建模框架，即[国际能源署全球能源和气候（GEC）模型](#)。报告中未特别提及出处的数据均由国际能源署能源平衡表以及国际能源署全球能源和气候模型的数据计算得出。

报告还收录了中国清华大学以其基于模拟的[中国建筑能耗和排放模型（CBEEM）](#)为基础所做的评估。该模型考虑了常住人口、城市化率、人均建筑指标、建筑能效水平变化、负荷指标等因素，对北方县一级的城市空间供暖负荷进行预测。此外，清华大学的[能耗预测模型](#)还根据中国工业部门及工艺过程的未来结构调整，预测轻工业的供热需求。

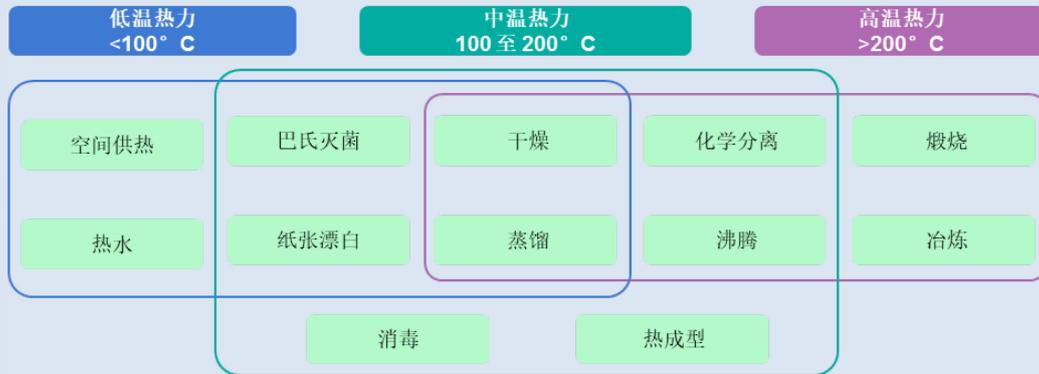
工业细分部门以及建筑部门终端用途界定



IEA. CC BY 4.0.

注：纸浆和造纸也包括印刷。在全球能源和气候模型中，油气加工厂不属于工业部门，而是属于能源供应部门。需要指出，国际能源署对工业类别的定义与《中国能源统计年鉴》使用的 31 个类别不同；具体而言，后者将造纸业和部分化工行业视为轻工业。

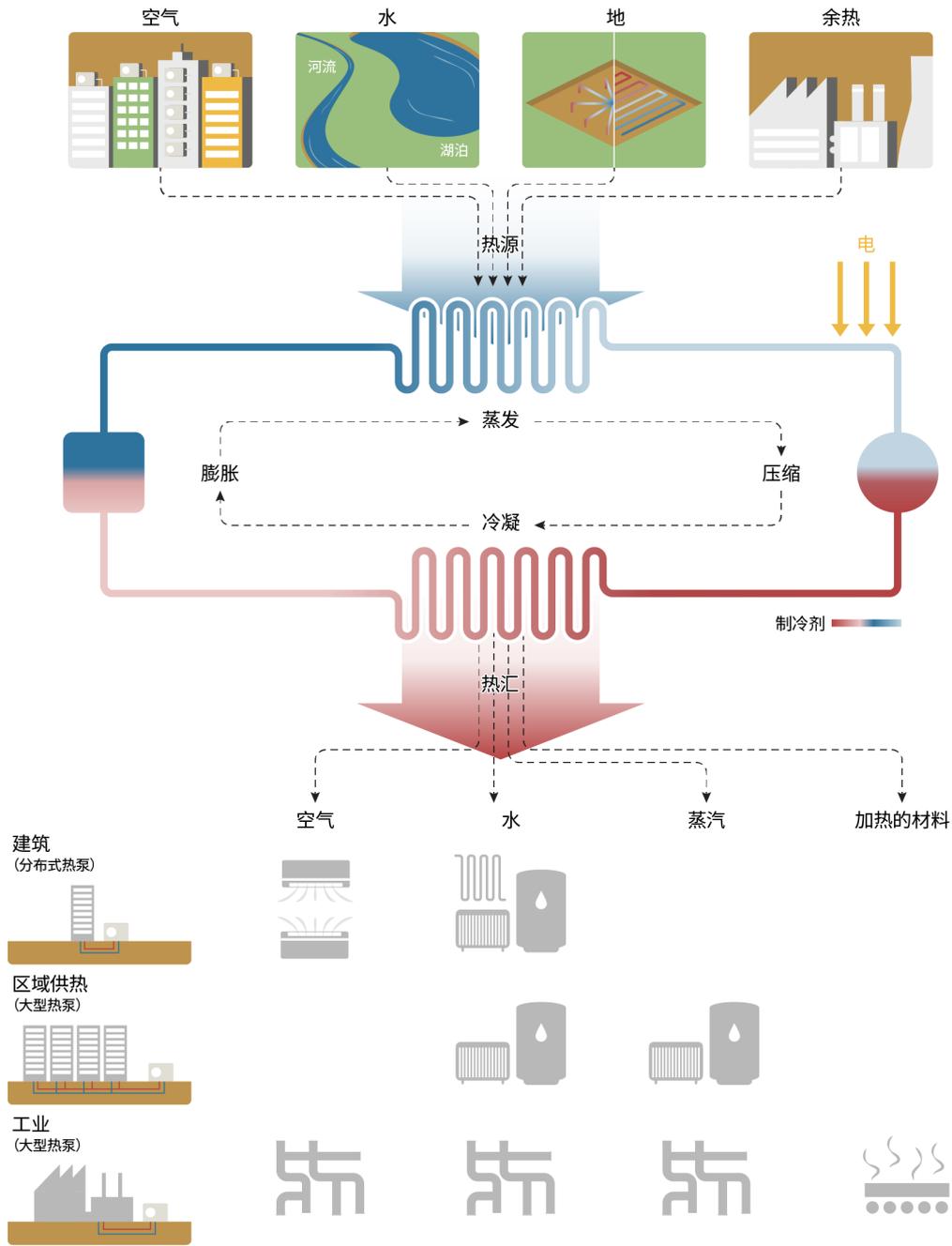
不同温度水平的工艺过程和建筑供热终端用途



IEA. CC BY 4.0.

来源：国际能源署，基于以下数据来源：Beyond Zero Emissions (2018), Zero Carbon Industry Plan - Electrifying Industry; Mateu-Royo C. (2021), [Development of High Temperature Heat Pumps for Industrial Waste Heat Recovery](#), 2023 年 3 月 13 日访问。

热泵类型和应用



IEA. CC BY 4.0.

第 1 章. 中国的供热

要点

- 中国是驱动全球供热需求的主要国家之一，中国工业和建筑部门的热力消费约占全球总量的三分之一。中国的供热相当大程度上依赖煤炭，全国供热用煤量占煤炭燃料总用量的 40%；在一系列空气质量、清洁供暖和节能政策的作用下，这一比例与 2010 年的 45% 相比已有所下降。
- 自 2010 年以来，由于中国中部和南方地区的建筑面积扩大、供暖需求增加，建筑热力消费量已增长近 75%，增速居各国之首。在中国北方气候较为寒冷的城市地区，供暖方案以集中供暖为主；在其他地区，分散式供暖方案较为常见。
- 中国的工业活动大幅增加，因此自 2010 年以来，工业供热需求已增长 13%。目前阶段热泵技术能够最佳的作业的温度在 200° C 以下，这一区间的热力占 2022 年工业供热需求的约 20%，主要应用行业是轻工业、纸浆和造纸，以及化工。
- 采用化石燃料之外的方法供热势必将在中国更加普遍。通过热泵等方式实现电气化是供热脱碳的关键策略。中国建筑和工业部门的热力消费中，理论上约有 40% 可以由最先进的热泵供应。
- 据估计，2021 年中国有 45 艾焦的余热资源，几乎与建筑和工业部门的供热需求总和相当。热泵是将部分余热资源整合到区域供热管网和工艺过程中的可行选择。
- 空气-空气热泵已成为未部署集中供暖管网的温和气候地区建筑供制冷的默认方案，而空气-水热泵则是寒冷气候地区和家用热水方面的新兴方案。2022 年，热泵在工业供热和区域供热领域供应的热能占比较低。
- 长期来看，在生活水准提高以及建筑面积预期增长的推动下，建筑中采暖建筑面积的占比将从 2022 年的 65% 提高到 2050 年的 80%。承诺目标情景下，电力在建筑供暖能源消费中的占比将从 2022 年的约 15% 增加到 2050 年的 25%。
- 在工业部门，承诺目标情景下到 2050 年供热需求将减少 40%，并且随着水泥及钢铁产量达峰后开始下降，高温供热需求减幅最大。然而，在中国向更高附加值产业转型的过程中，轻工业供热需求到 2050 年将增长 15%。工业部门电气化也将取得进展，轻工业领域热力消费当中由电力支持的份额将从 2022 年的 35% 提高到 2050 年的 80%。

导言

供热是建筑和工业部门必需的能源服务，目前占全球终端能源消费总量的三分之一，即近 145 艾焦，其中约 75% 来自化石燃料。供热占全球能源部门排放量的 24%。

在建筑部门，空间供暖和热水需要热力。¹在工业部门，多种应用都需要热力，从能源使用角度来看，热力主要用于流体加热、干燥和金属冶炼，但也用于催化、焚化、煅烧、固化等很多其他用途。

供热需求受多项因素驱动。在建筑部门，供热需求很大程度上受到气候、文化和个人偏好、入住方式、建筑性能和总建筑面积等因素的影响。在工业部门，供热需求的主要驱动因素是各行业的工业活动，如钢铁冶炼或造纸烘干。建筑和工业供热有一点重要区别：工业的供热需求通常在全年期间保持稳定，而建筑的空间供暖需求通常具有季节性。

中国热力消费占全球的 33%，对全球趋势具有举足轻重的影响；其中，中国工业部门热力消费在全球的占比高达 40%，建筑部门热力消费在全球的占比约为 20%。200° C 以下的供热需求最适合热泵应用，这部分供热需求约占中国工业供热需求总量的 20%。全球供热的直接二氧化碳排放量中，40%来自中国。

2022 年，中国工业部门的供热终端能源消费是建筑部门的两倍。然而，低于 200° C 的供热需求中，60%来自建筑部门。热力消费水平在不同领域以不同的速度发展。建筑热力消费量自 2010 年以来已增长近 75%，增速居各国之首；其推动因素包括建筑面积增加 50%，木柴等非商业能源使用减少，以及中部和南方地区供热需求增加。同期，轻工业及纸浆和造纸业²得益于效率改善，供热需求减少了 5%；而其他能源密集型产业的供热需求则增加了约 15%，因为这些产业的效率提升不足以抵消需求增长（图 1.1）。不过，工业部门 200° C 以下的热力消费总量变化不大，自 2010 年以来增加了约 5%。此外，在过去十年间，中国工业的能源强度³显著下降，每美元工业增加值能耗从 2010 年的 1440 万焦下降到 2022 年的 860 万焦。

中国的供热终端能源消费严重依赖化石燃料，2022 年化石燃料约占热力消费总量的 70%。在工业部门，化石燃料占比跃升至 80%左右，而在建筑部门，这一比例约为 30%。总体而言，煤炭约占中国供热直接化石燃料用量的 55%。如果将投入用于区域供暖⁴以及建筑和工业供热用电的煤炭计算在内，则中国煤炭总用量的 40%以上用于供热。

不过，与十年前相比，如今的供热燃料结构已经发生了变化：十年前，供热直接化石燃料用量中 75%来自煤炭。这一转变与中国政府自 2013 年以来陆续出台的政策有关，包括早期改善空气质量的政策，以及近期扩大清洁低碳供热的政策。总体来看，现在供热直接用煤量已比 2010 年减少了近 15%。同期，天然气直接消费量几乎翻了两番，而电力消费量则翻了近一番，在消费者层面引领燃料脱煤。然

¹烹饪用能虽然也涉及加热，但本报告中的热力定义并不包括烹饪用能。

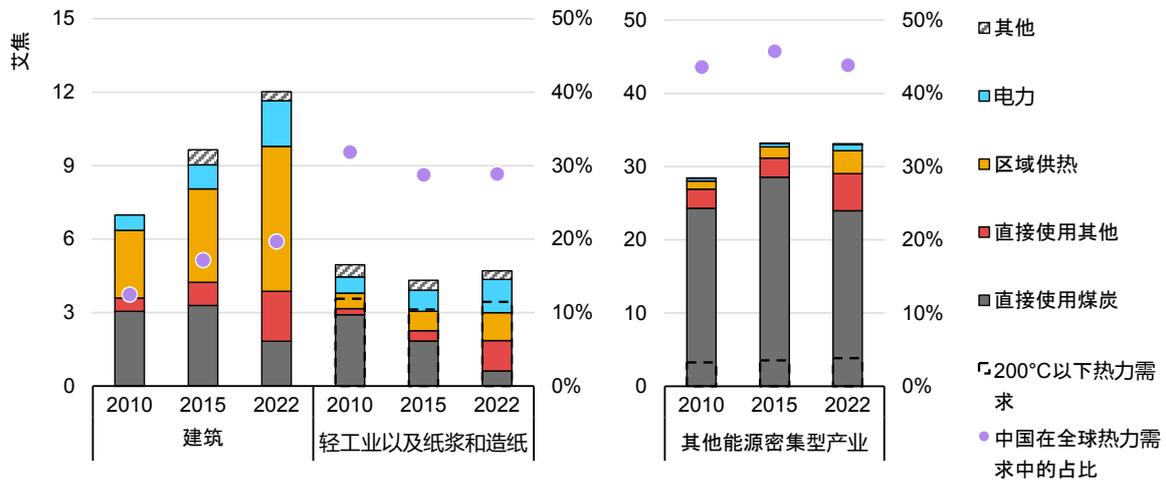
²轻工业包括以下行业：建造、采矿和采石、食品和烟草、纺织和皮革、机械、交通运输设备，以及木材和木制品。纸浆和造纸、钢铁、化工、非金属矿物以及有色金属归类为能源密集型产业。更多详情，请参阅引言部分的部门界定。

³每单位增加值能耗。

⁴在此背景下，区域供热通常称为集中供暖。

而，在此期间，虽然技术不断进步，并且趋势方向是从燃煤锅炉转向热电联产，但用于区域供热的煤炭用量增加了 150%（见专栏 1.2）。

图 1.1 2010–2022 年中国建筑和工业部门的供热终端能源消费及其在全球总量中的占比



IEA. CC BY 4.0.

注：其他能源密集型产业包括钢铁、非金属矿物、有色金属和化工。不包括非特定行业。集中供暖和建筑部门（包括住宅和非住宅）对其他化石燃料的直接使用数据由清华大学的[中国建筑能耗和排放模型](#)计算得出，其与中国集中供暖统计数据有所不同（见专栏 1.1）。建筑终端能源消费总量与 2023 年版国际能源署能源平衡表一致，不包括对生物质和其他非商业能源的传统使用。工业终端能源消费总量与 2023 年版[国际能源署能源平衡表](#)一致。

中国热力消费占全球的 33%，热力部门使用的煤炭占全国煤炭用量的 40%，比十年前低 5%以上，这反映出中国开始转向脱煤。

本章概述当前和未来供热需求及其驱动因素、供热燃料结构和脱碳机会，以及近期供热相关政策。本章为以下讨论奠定基础：热泵在工业和建筑部门能够发挥的作用，以及在向这两个部门提供热力的区域供热系统中能够发挥的作用；并且对热泵潜力最大的热力领域予以特别关注。

专栏 1.1 中国区域供热和煤炭统计

收集热力统计数据是一个复杂的过程，特别是考虑到所涉及的利益攸关方数量和类型繁多、跟踪未售出热力难度大，以及数据分类可能存在差异。在编写本报告的过程中，国际能源署与清华大学和中国国家统计局密切合作，并与中国住房和城乡建设部开展交流，以评估中国供热燃料的历史终端能源消费情况。下文描述了这些合作交流为本报告提供的见解和影响。

要想更有效地为供热脱碳政策决策提供有关信息，提高各国热力统计数据的一致性（包括国内一致性和国与国之间一致性）非常重要。国际能源署将继续与有关利益

攸关方密切合作，为更好地了解中国和全球热力统计数据提供支持，并在未来逐步完善统计数据并更新分析见解。

建筑供热需求

集中供暖：在中国官方统计中，建筑区域供热通常被称为“集中供暖”。根据中国住房和城乡建设部《[城乡建设统计年鉴](#)》以及国家统计局《[中国统计年鉴](#)》报告的数据，2021 年和 2022 年全国城市集中供暖面积约为 110 亿平方米。清华大学《[中国建筑节能年度发展研究报告 2022](#)》指出，上述统计所覆盖的集中供暖面积未包括由小型热力企业提供的大量集中供暖。这类专用管网通常为大学、机构和建筑群供热。一些由大型企业自有并管理的集中供暖管网也未被官方统计收录。以北京为例，《中国统计年鉴》统计的 2020 年集中供暖面积为 6.6 亿平方米，而北京市“十四五”时期供热发展建设规划文件中的估计值为 [8.95 亿平方米](#)，与官方统计数据相差 25%。如果将中国北方这些额外的管网计算在内，集中供暖的连入建筑面积估计约为 140 亿平方米。“全国城市集中供热”的定义也不同于全国能源平衡表中“供热”的定义，后者只包括部分集中供暖，而纯热力厂则部分计入建筑部门终端能源消费。国际能源署能源平衡表基于国家统计局的数据，建筑终端集中供暖总量包括住宅和服务部门两个组成部分。在建筑部门的集中供暖能源需求方面，本报告决定采用清华大学的评估结果，其数值是国际能源署 2010 年和 2022 年统计数据的约两倍。我们通过将建筑直接燃料用量重新分配给集中供暖，对这一差异在终端建筑能源需求层面上做了校正，从而确保建筑终端能源消费总量与国际能源署能源平衡表和公共统计数据保持一致。

煤炭：在建筑煤炭用量方面，本报告工作中发现国际能源署的统计数据与清华大学的分析之间也存在差异，清华大学的分析考虑到了农村地区使用的开采自小煤矿的煤炭，而这部分煤炭没有计入官方统计数据。从能源角度来看，清华大学的分析显示 2010 年建筑煤炭用量比官方统计报告数值高出 95%，2015 年则高出 65%。不过，该差异到 2022 年（本报告使用的基准年）已不复存在。因此，本报告使用的建筑煤炭使用数据与国际能源署能源平衡表（基于国家统计局的数据）保持一致，不同之处在于本报告将终端消费中其他地方未说明的煤炭用量的一部分分配给建筑部门。

工业供热需求

国际能源署能源平衡表中反映的工业供热需求和公用事业热力供应来自于国家统计局的报告。在本报告的内容范围内，该等数据无法与第三方自下而上的独立公共数据调查进行比对。因此，本报告中使用的工业部门区域供热能源需求数据直接来源于国际能源署能源平衡表，即为国家统计局报告的数据。

供热脱碳现状和前景

在建筑部门，[脱碳的关键杠杆](#)包括：首先，通过改善建筑设计和围护结构性能、推动文化常态和实践⁵转向节能、放弃化石燃料以及提高供热设备效率，减少供热需要以降低需求需求。此外，建筑和热力管网还能够对电力需求进行分流、转移和调节，为电网提供灵活调节能力，促进电力系统中波动性可再生能源融合。

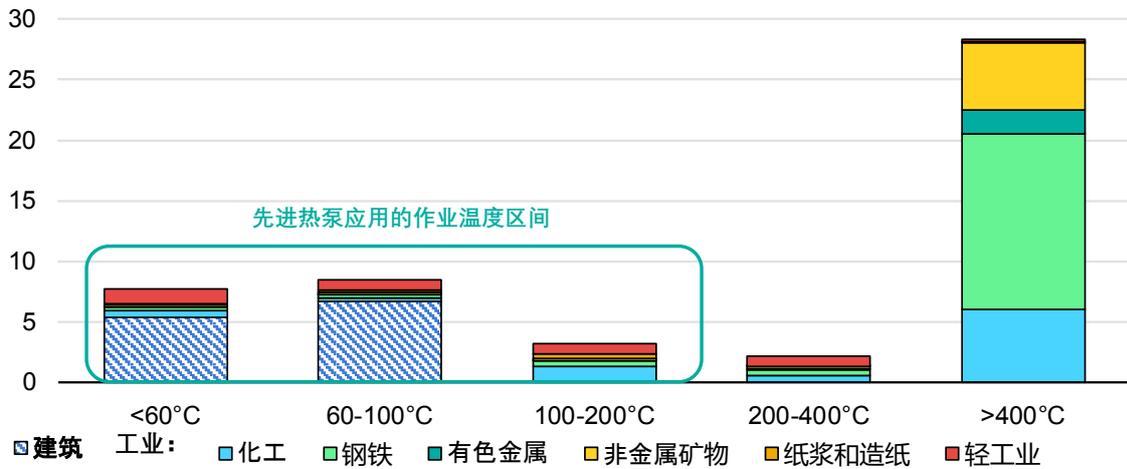
在工业部门，脱碳的关键杠杆首先是材料利用效率，包括通过高效产品设计和制造技术避免对原材料的需求，转向能源和资源消耗更低、更耐用的产品，同时结合再利用和再循环方面的进展。在更广泛的层面上，制造工艺过程脱碳行动包括提高现有生产路线的能效和燃料替代，以及部署基于氢能、直接电气化、碳捕集与封存、或替代原材料创新使用的近零排放创新生产路线。电气化，特别是通过高效热泵实现的电气化，是建筑和工业部门供热脱碳战略的基础支柱。

如果同时推动发电行业逐步脱碳（见专栏 3.2），那么热泵能够助推退出化石燃料，而且就能耗而言，热泵只有替代设备的五分之一到三分之一，有助于减少供热所需的总能耗。此外，当热泵与热储能或蓄电结合使用时，可提高电网和/或区域供热管网的灵活性。在中国，目前热泵在工业热力生产方面的应用还很有限，但在空间供暖和生活用热水方面的应用比较普遍（见第 2 章）。如今，先进⁶热泵可在低于 200° C 的温度区间内运行，而用于更高温度的热泵的技术成熟度较低，具体取决于温度区间和工艺过程。

⁵包括消费者减少能源消费的行动，如改变室内温度设定值、仅在部分时间和空间使用有关设备，以及适当通风。

⁶商业化、首创应用和商业化前示范。

图 1.2 2022 年中国不同部门各温度水平的热力终端能源消费



IEA. CC BY 4.0.

注：不包括热力以外的能源使用。先进热泵应用是指商业化热泵、首创热泵应用和商业化前示范。

目前，热力终端能源消费中约有 40% 有潜力在短期内集成热泵，主要是建筑部门和 200° C 以下工业应用。

中国建筑部门需要的供热温度低于 85° C；需要的温度越低，就越容易集成更高效的热泵。然而，在建筑中集成热泵还涉及技术可用性之外的其他考量，如经济可负担性、周边建筑环境兼容性（空间、美观、噪音），以及整体建筑设计，包括与配热系统、电网和管网的兼容性。要扩大热泵的部署范围，就需要消费者和安装人员了解在给定情况下最适合的热泵类型，以及这类热泵相对于可能的替代选项的优势和劣势。

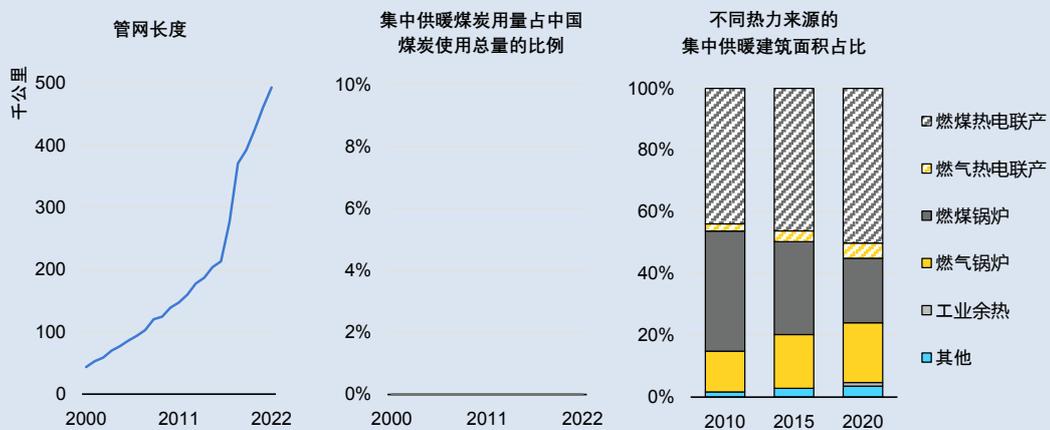
而在工业部门，所需的热力中只有约 10% 温度低于 100° C，这部分低温热力中的一半用于轻工业（图 1.2）。⁷约 8% 的工业热力消费要求温度在 100° C 至 200° C 之间；首创新型商业热泵应用（高达 140° C）、商业化前示范和大规模原型（高达 200° C）已开始出现。然而，80% 以上的工业供热需求（其中约一半用于钢铁生产）必须用到 200° C 以上的温度；在这一温度区间内，热泵应用的挑战似乎更大（见第 2 章）。在高温领域，热泵技术与感应加热器、电弧炉、氢能和生物能加热器等其他低碳替代方案相比，尚处于较早的发展阶段。此外，即使在低温工业工艺过程中，热泵部署也面临多种障碍，如前期成本高昂、潜在用户认知不足。

⁷指的是一系列能量比耗低于能源密集型产业的行业，包括机械、食品、纺织、车辆和木材生产等不同行业，还包括采矿和建造。

专栏 1.2 集中供暖：世界最大的工业和建筑部门供热管网

中国自上世纪 50 年代起开始建设集中供暖系统，最初是为了连接工业场点。居住建筑和非居住建筑从上世纪 80 年代开始连入供热管网，但集中供暖系统在中国北方城市的大规模部署是从 20 世纪 90 年代才开始的，目前仍在继续。在过去十年中，中国已成为全球最大的集中供暖市场，俄罗斯联邦（俄罗斯）和欧洲位居其次。集中供暖增长的原因一方面是已有集中供暖的城市新建了大量建筑，另一方面是仍在使用分散式燃煤锅炉的地区大力推动集中供暖。

2000–2022 年集中供暖管网长度、集中供暖煤炭用量占中国原煤供应总量的比例，以及 2010–2020 年不同热力来源的集中供暖建筑面积占比



IEA. CC BY 4.0.

注：不同热力来源供热面积占建筑面积的比例是根据清华大学的评估得出的。“其他”包括热泵和电锅炉、核能热力，以及可再生能源（太阳能、地热、生物能）。

来源：国际能源署，数据基于中国住房和城乡建设部（2022），《城乡建设统计年鉴》；以及清华大学（2023），《中国建筑节能年度发展研究报告》。

自 2010 年以来，集中供暖管网长度已增加 250%，其中大部分在北方，但最近在秦岭淮河以南地区也开发了一些供热管网。管网损耗平均约为 12%，与其他国家的损耗水平相当，但在一些效率较低的管网中，损耗可高达 20%。有些情况下，会存在加热过度和热力管理不善的问题。对集中供暖的高额补贴有时会导致发电方式转向运行热电联产厂，减少对可再生能源的使用，这也可能导致热力生产设施运行效率低下。

集中供暖煤炭用量约占中国煤炭使用总量的 7%。煤炭在中国的区域热力生产中发挥主导作用（尤其是通过燃煤热电联产电厂），并与电力部门密切相关。

不过，中国近年来采取行动追求供热更清洁高效的目标，例如通过能源生产和消费革命战略（2016–2030）和中国北方地区冬季清洁取暖规划（2017–2021 年）（参见“政策概况”部分），这些行动已产生可见影响。根据清华大学《中国建筑节能年

度发展研究报告 2023》，从 2016 年到 2020 年，集中供暖中的燃煤热电联产增加了 6%，燃煤锅炉则减少了 13%。如果排除热电联产，燃气供热与燃煤锅炉的占比相近。

降低集中供暖系统碳强度的潜力已在全球多个集中供暖系统中得到证实，例如在北欧国家瑞典和丹麦，2021 年可再生能源、热泵和余热在集中供暖能源供应中的占比之和分别达到了 [90%以上](#)和 [75%](#)。考虑到中国在热力基础设施和管理升级、可再生能源融合、热泵和储能方面的潜力，以及来自核电厂和其他发电厂、工业、数据中心和废水的大量余热，中国可以采用同样的路径实现减排。据清华大学估计，中国 2021 年的余热潜力超过 45 艾焦，其中大部分来自火电厂（见第 2 章）。

建筑

供热终端能源消费现状

中国是世界主要供热市场之一；2022 年，中国建筑空间供暖和热水的能源总需求位居全球第二，仅次于美国。中国空间供暖和热水导致的二氧化碳排放居全球之首⁸，2022 年空间供暖和热水二氧化碳排放量接近 10 亿吨，约占全球建筑热力消费相关碳排放量的四分之一。不过，中国人均热力消费（千瓦时/人）和单位建筑面积热力消费（千瓦时/平方米）比其他主要供热市场平均低 65%和 50%。

以上现状主要由两大因素驱动。首先，空间供暖和热水设备在中国中部、南方以及农村地区的市占率和使用率较低（但呈现增加趋势），并且仅在部分时间和部分空间使用设备的现象较为普遍，即一天中的部分时间仅有一个房间采暖（这在世界其他地方并不常见）。这部分面积占需要供暖总建筑面积的 70%（见专栏 1.3），并且随着生活水平提高、文化常态和实践改变，中国中部和农村地区的供热需求很可能会增长。

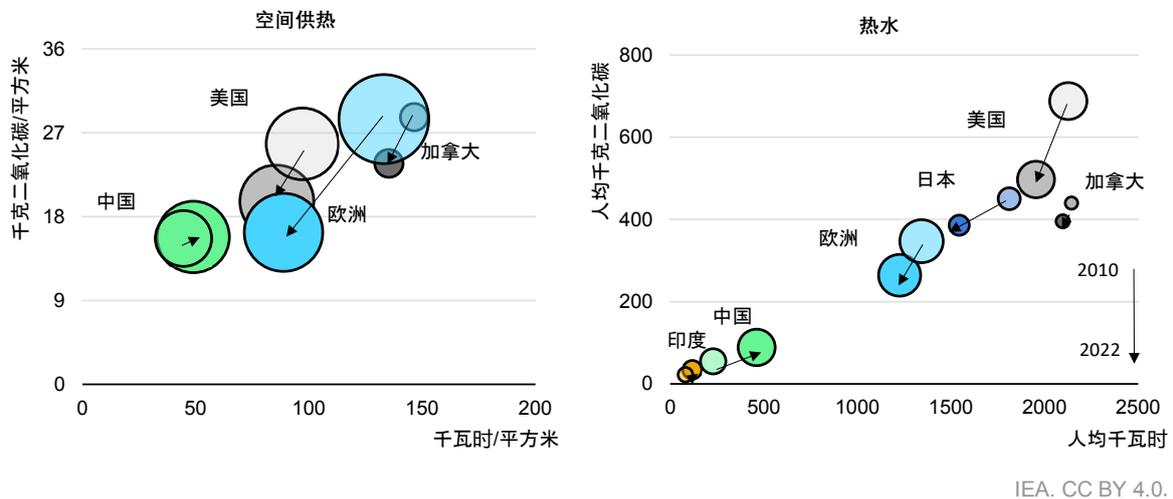
其次，中国有多个气候区，建筑面积中相当大一部分位于冬季温和的地区，因此总体平均供暖强度较低。然而，在中国气候寒冷的北方城市，空间供暖强度与其他主要供热市场相当。

自 2010 年以来，得益于能效政策的推进，所有发达经济体都已降低空间供暖和热水的供热强度。中国由于需求大幅增长，供热强度并未下降，但在能效、煤改电、煤改气等有关政策（见“政策概况”部分）的作用下，自 2010 年以来空间供暖强

⁸包括直接和间接排放。

度增幅被限制在 10%的水平。由于需求不断增长，中国的人均热水消费持续增加（图 1.3）。

图 1.3 2022 年每平方米建筑面积和人均的空间供暖和热水相关二氧化碳排放量的跨国比较



注：二氧化碳排放包括直接和间接排放。圆圈大小与能源消费成正比。左图中，中国的建筑面积指的是需要供暖的建筑面积。居民热水的终端能源消费数据由清华大学计算，假设前提是每户每天 50 升，而非居民消费数据由[国际能源署全球能源和气候模型](#)计算得出。

虽然政策于近期发生了变化，但由于设备市占率和使用率不断提高，中国供热能源消费和排放强度仍在增加

在中国，空间供暖和热水占建筑部门二氧化碳排放量的近 40%、终端能源需求的约一半；其中以空间供暖为主，空间供暖占建筑部门供热能源需求的 80%、供热相关排放量的 85%。自 2000 年以来，空间供暖和热水的消费量增加了两倍半，相应地，空间供暖和热水相关的直接和间接排放量比 2000 年增加了近两倍，比 2010 年增加了 50%。推动这一大幅增长的关键因素不仅包括建筑面积增长（自 2000 年以来翻了一番），还包括农村地区从非商业化燃料（如传统生物质）转向商业化能源（如电力），以及夏热冬冷气候区和农村地区内没有集中供暖的地区的[供热设备普及率提高](#)（见专栏 1.3）。

专栏 1.3 气候区及其对空间供暖设备选择的影响

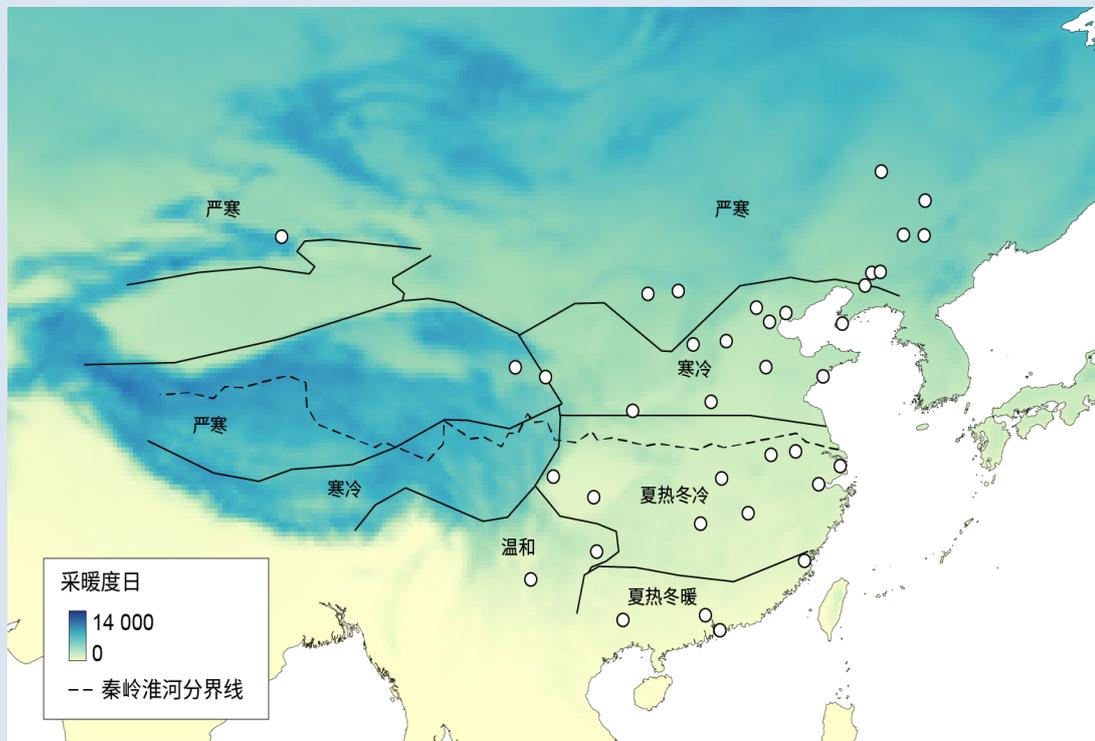
从建筑设计角度区分，中国气候分为五大温度气候带，这在很大程度上影响到各省对建筑隔热水平和供热设备部署的选择。

长期以来，中国南北方以秦岭-淮河为界。这条界线也是提供集中供暖的地区（北方）与不提供集中供暖的地区的分界线，直到最近才有所改变。在此线以南和农村地区，居民需要自行供暖。

中国北方属于**寒冷和严寒**两大气候区，冬季气温低、持续时间长（每年 [90-180](#) 天）。集中供暖管网是北方城市地区最常见的空间采暖解决方案，分布于 [15 个省级行政区（包括省、直辖市和自治区）](#)。近几十年来，由于建筑能源规范日趋严格，建筑能效不断提升（见“政策概况”部分）。

紧邻秦岭-淮河线以南的是**夏热冬冷**气候区，其平均采暖季长度约为 1-3 个月。在这一地区，市政当局未曾对区域供热进行集中规划，建筑供暖系统的投入呈增加趋势，并依赖于分散式供暖系统。[随着生活水平提升](#)，空间供暖需求不断增长。在南方城市，由于建筑能源规范对热力需求的关注较少，建筑围护结构的性能劣于北方城市。

中国气候区、采暖度日和部分百万人口以上城市分布图



注：采暖度日来自国际能源署[能源天气追踪器 \(Weather for energy tracker\)](#)，以 20° C 基准温度计算得出。

来源：国际能源署，数据基于中国住房和城乡建设部（2016），[《民用建筑热工设计规范》 \(GB50176-2016\)](#)。

温和气候区的一些地区也用到空间供暖，该气候区冬季平均气温低于 5° C，每年冬季天数不超过 90 天。分散式供暖方案在该地区较为普遍。

夏热冬暖气候区的空间供暖需求非常低。

2022年不同气候区的空间供暖需求、建筑面积和主要空间加热设备

	严寒和寒冷	夏热冬冷	温和	夏热冬暖
热力需求	采暖为主； 取决于具体地点，制冷为可选/次要需求。	制冷为主；采暖为次要需求。	部分地区有采暖需要。	制冷为主；采暖为可选。
月平均气温 (°C)	严寒：最低<-10° C 寒冷：最低-10-0° C	最低：0-10° C 最高：25-30° C	最低：0-13° C 最高：18-25° C	最低：>10° C 最高：25-29° C
供热设备（城市地区）	区域供热；散煤锅炉；各类电加热器；燃气壁挂炉；地热/地源热泵。	电加热器（包括地暖、散热器、电热毯、红外线加热器、风扇加热器）；空气源热泵；天然气锅炉；燃油锅炉。		/
供热设备（农村地区）	煤炭、天然气和生物质锅炉；空气源热泵和电加热器；太阳能供暖。			/
占总建筑面积的比例（%，十亿平方米）	~34% (23) 其中城市：66%	~45% (31) 其中城市：67%	~9% (4.5) 其中城市：55%	~12% (10) 其中城市：62%
供热方面的建筑规范	自 1986 年起	自 2022 年起		

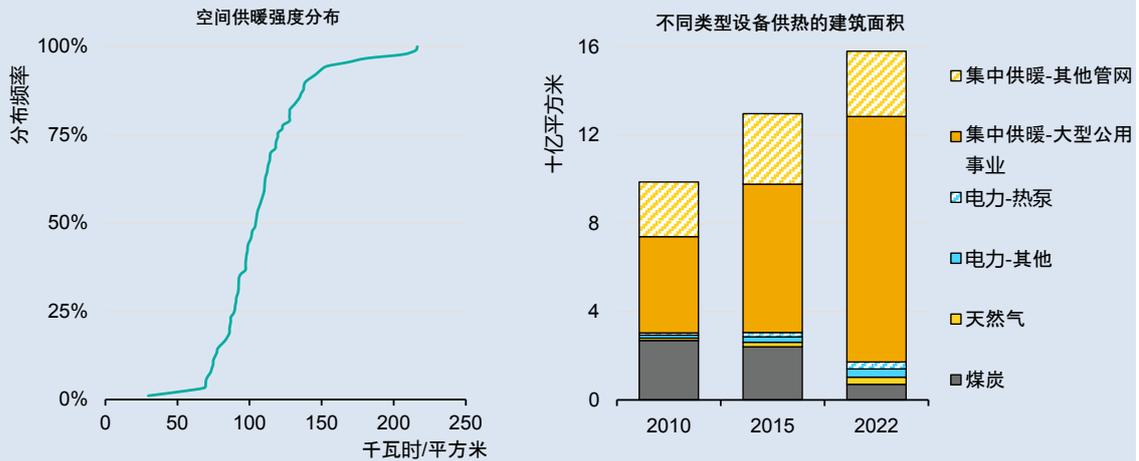
注：在一些气候较为温和的地区，人们购买空气-空气热泵的目的通常是为了在夏季提供空调（可逆空调），但这类设备在冬季也被单独或与其他设备配合用于房间快速采暖。中国于 2022 年出台了适用于各气候区的 [《建筑节能与可再生能源利用通用规范》](#)；1986 年出台了适用于寒冷和严寒气候区的 JGJ 26。

来源：国际能源署，数据基于中国住房和城乡建设部（2022），[《城乡建设统计年鉴》](#)（热力需求的数据），以及国家统计局（2022），[《中国统计年鉴》](#)（建筑面积划分数据）。

中国北方城市空间供暖

中国北方城镇空间供暖以集中供暖管网系统（见专栏 1.2）为主，连入管网的建筑面积在 2010-2022 年间年均增长率为 11%，2022 年达到 110-140 亿平方米。其余建筑面积的热源来自分散式设备：燃煤锅炉（41%）、电加热器（22%）、燃气锅炉（19%）和电热泵（18%）。

中国北方城市 2022 年的空间供暖强度和 2000-2022 年大型公用事业区域供暖建筑面积



IEA. CC BY 4.0.

注：单位面积热力消费来自清华大学和中国城市供热协会。大型公用事业的区域供热建筑面积基于 2022 年《城乡建设统计年鉴》计算得出，“其他管网”数据来自清华大学。地热/地源热泵未计算在内。

中国北方城市的建筑面积、空间供暖能源强度和温度设定值

	2022	2030	2050
建筑面积，十亿平方米 (占全国总量的百分比)	16 (23%)	20 (26%)	22 (26%)
空间供暖强度，以及下降潜力 (%)	75-140 千瓦时/平方米	可能从 2022 年开始下降：30-35%	
温度设定值 (°C)	18-28	18-24	18-22

注：空间供暖强度是指终端能源消费。根据清华大学的一项评估，下降潜力包括针对围护结构和供热设备所采取的措施。

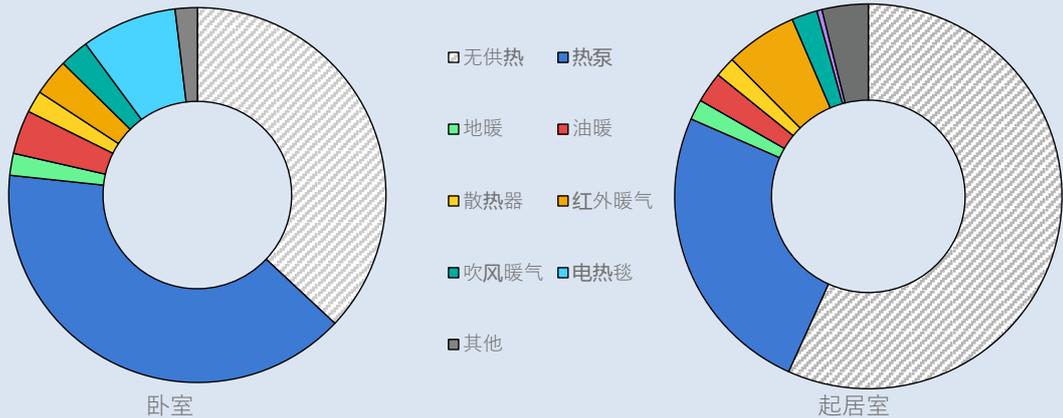
来源：国际能源署，数据基于清华大学（即将出版），《2024 中国建筑能耗与碳排放年鉴》（2022 年的温度设定值和空间供暖强度）。

未来主要考量因素：减少热力需求的根本在于改善建筑围护结构性能、改造设备，并采取降低温度设定值和过度供热的热力管理策略，这些做法也将为在建筑和集中供暖管网中集成热泵提供机会。在价值链的各个环节，提高消费者和供热行业人员对可用供热选择及其操作方法的认识也至关重要。

夏热冬冷气候区城市空间供暖

在冬季（长达 3-4 个月），该地区的住宅由建筑配备的各类分散式设备在部分时间、部分空间供暖。许多住户仍然没有供热设备；大多数住户通常[每天开窗通风 3 小时以上](#)，如果供热设备持续运行，可能会造成能源损失。

2018 年夏热冬冷气候区城市供热设备分布情况



IEA. CC BY 4.0.

注：“其他”包括燃气锅炉。

来源：国际能源署，数据基于 Jiang et. al, (2020) [How do urban residents use energy for winter heating at home? A large-scale survey in the hot summer and cold winter climate zone in the Yangtze River region.](#)

夏热冬冷气候区的建筑面积、空间供暖能源强度和温度设定值

	2022	2030	2050
建筑面积，十亿平方米 (占全国总量的百分比)	21 (30%)	23 (30%)	24 (29%)
空间供暖强度	0-20 千瓦时/平方米	热力设备的使用量和普及率预计将增加	
温度设定值 (°C)	14-18	18-20	18-22

注：空间供暖强度是指终端能源消费。

来源：国际能源署，数据基于清华大学（即将出版），《2024 中国建筑能耗与碳排放年鉴》（2022 年的温度设定值和空间供暖强度）。

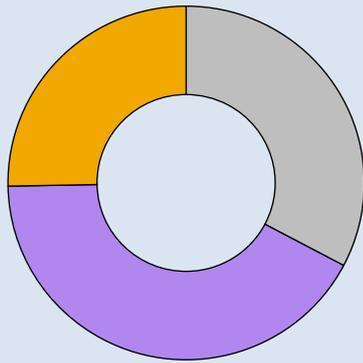
未来主要考量因素：在这类地区，由于气候较温和，冬季时间较短，大规模部署集中供暖很可能不具有成本效益。可逆式空气-空气热泵有潜力成为兼顾供热供冷的关键技术；不过，取决于用户偏好和具体气候，带有地暖的空气-水热泵也是可行的选择。限制该地区能源消费增长的至关重要因素有：改善建筑围护结构的供热供冷性能，以及提供高效设备和热力管理设备。其他关键因素包括：保持目前温度设定值较低的习惯，以及采用通风方面的最佳做法。

各气候区农村地区的空间供暖

平均而言，农村建筑的能效低于城市建筑，能耗是节能标准的**两到三倍**。过去十年来，政府针对室内空气质量差的问题开展了清洁取暖行动；因此，从 2015 年到 2021 年底，煤炭用量减少了 60%。天然气和电力正在引领燃料转型。

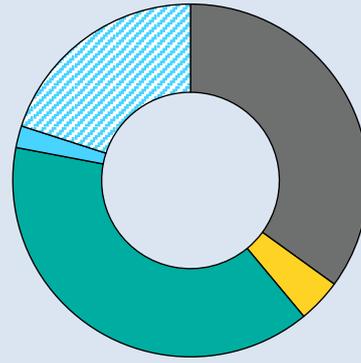
2022 年不同气候区农村的建筑面积比例和设备份额

不同气候区的建筑面积占比 (%)，2022



■ 中国北方 ■ 夏热冬冷 ■ 其他

设备占比 (%)，2022



■ 煤炉 ■ 燃气锅炉 ■ 生物质炉 ■ 电暖器 ■ 热泵

IEA. CC BY 4.0.

注：设备份额基于清华大学模型计算得出，是指拥有设备的住户中的设备份额。

农村地区的建筑面积、空间供暖能源强度和温度设定值

	2022	2030	2050
建筑面积，十亿平方米 (占全国总量的百分比)	24 (35%)	25 (32%)	26.5 (32%)
空间供暖强度，以及下降潜力 (%)	0 - 105 千瓦时/平方米	北方的下降潜力：25-45%	
温度设定值 (°C)	12-15	15-18	15-22

注：空间供暖强度是指终端能源消费。

来源：国际能源署，数据基于清华大学（即将出版），《2024 中国建筑能耗与碳排放年鉴》（2022 年的温度设定值和空间供暖强度）。

未来主要考量因素：与城市地区相比，农村地区整合热泵和可再生能源的空间更大。提高清洁供热方案的可负担性，对于持续脱煤和避免未来锁定天然气基础设施至关重要。还应采取措施提高建筑围护结构质量，以降低能源损失（和消费者的能源支出）。提高对清洁供热方案的认识、开展翻新行动以及提供财政支持，也有助于消费者做出决策。

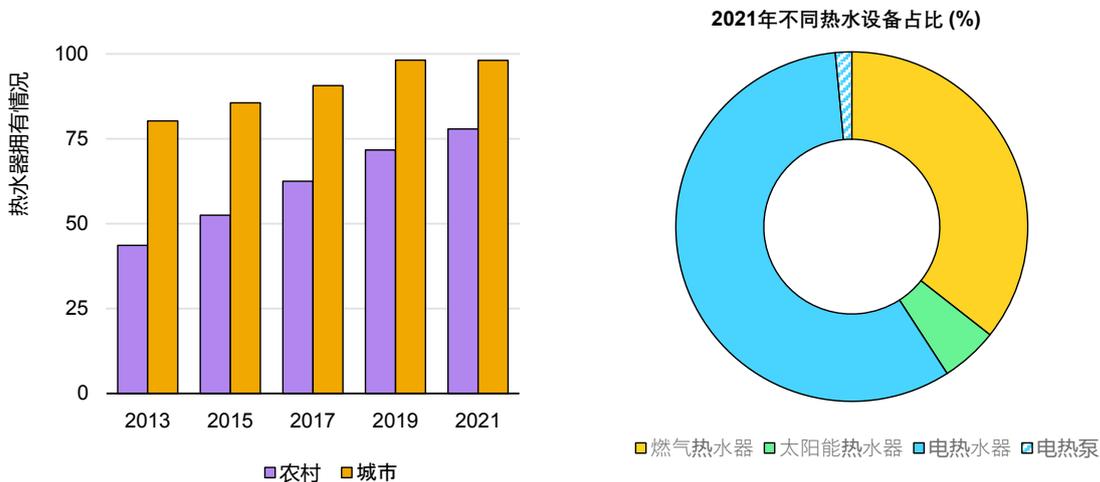
热水生产

目前，中国每户每天的生活热水消耗量约为 50 升，主要用于洗澡和淋浴。餐厅、医院和办公楼等非居住建筑也需要热水。

与许多其他供热市场不同，中国的热水相关排放和消费强度仍在增加，从趋势看可能将会接近欧洲的水平（图 1.3），其原因是设备拥有量和使用量增加，尤其是在农村地区（图 1.4）。印度等其他新兴和发展中经济体也呈现出这种趋势。在人口增长的推动下，中国用于热水的能源消费增长迅速，自 2010 年以来已翻了一番多，增速约为空间供暖能耗的两倍。

如今，居住建筑中的热水和空间供暖是分开的。住宅热水器中，电热水器占 60%，热泵市场仍在兴起（见专栏 2.2）。

图 1.4 2013-2021 年住宅热水器拥有情况和 2021 年安装的主要住宅热水设备类型



IEA. CC BY 4.0.

注：热水器拥有情况（左图）基于每户居民的平均拥有台数。不同热水设备类型的份额基于清华大学的分析。热泵占比是国际能源署的分析结果。

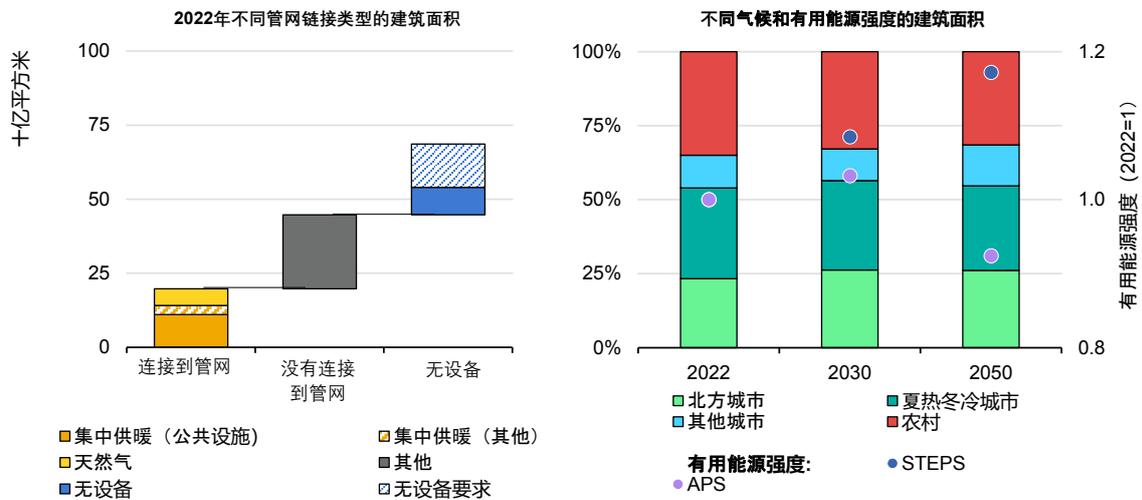
来源：国际能源署，数据基于国家统计局（2022），《中国统计年鉴》（热水器拥有情况）。

热水设备的拥有量正在快速上升，其中约 60%的设备是有别于空间供暖技术的电热水器。

需求驱动因素和供热需求演变

根据预测的人口趋势，中国的住户数量将在本十年内继续增长，然后缓慢下降，到 2050 年将达到类似于 2021 年的水平。房地产近期收缩，中期预计将会反弹，建筑面积将持续随着城市化的推进而扩大，不过增速比近年水平要慢得多。我们预计，中国的建筑面积将从 2022 年的 685 亿平方米增加到 2050 年的约 850 亿平方米。非居住建筑面积的增长预计将超过居住建筑面积的增长，到 2050 年将增加 65%。

图 1.5 2022 年不同管网连接类型的建筑面积，以及 2022–2050 年承诺目标情景和既定政策情景下建筑面积和有用空间供暖强度的演变



IEA. CC BY 4.0.

注：STEPS = 既定政策情景；APS = 承诺目标情景。

有用能源强度是指用于空间供暖的有用能源与加热建筑面积之比。

尽管约三分之二的现有供热建筑面积并未锁定到既有管网连接上，但任何燃料转型策略都应结合供热能效改善措施。

现有建筑面积中，到 2050 年仍然在用的比例至少为 75%。对新开发的建筑面积而言，集成各类新的供热设备比较容易，但已有的建筑面积可能存在一些热泵集成限制。建筑围护结构和现有供热和配热系统的质量会影响到供热设备的尺寸和类型。目前，大约三分之二需要供热的建筑并没有与现有基础设施锁定（区域供热和天然气管网），有潜力转向热泵（图 1.5）。此外，对从现在到 2050 年间新建的建筑面积而言，具有热力技术选择空间。然而，需要关注建筑物的热工质量，才能实现热泵最高效运行。通过提高既有建筑的翻新率、确保新建建筑的高性能，可以显著提高单位建筑面积的平均供热能效。

这两项措施对于中国 2060 年前实现碳中和目标和限制能耗增长至关重要，尤其是考虑到供热设备不断增加的市场占有率和普及率。在承诺目标情景（与碳中和目标相符的情景）中，到 2050 年至少 70% 的建筑面积将符合能效标准，⁹因此有用空间供暖强度将比目前水平低 10% 左右（图 1.5）。在既定政策情景（反映当前政策影响的情景）中，到 2050 年只有约 45% 的建筑面积能够符合能效标准。在承诺目标情景中，改造率将从目前的不到 0.5% 跃升至 2030 年的 1.5%。

⁹是指至少达到 2022 年《建筑节能与可再生能源利用通用规范》要求并逐步朝向超低能耗和零碳就绪建筑发展的标准。

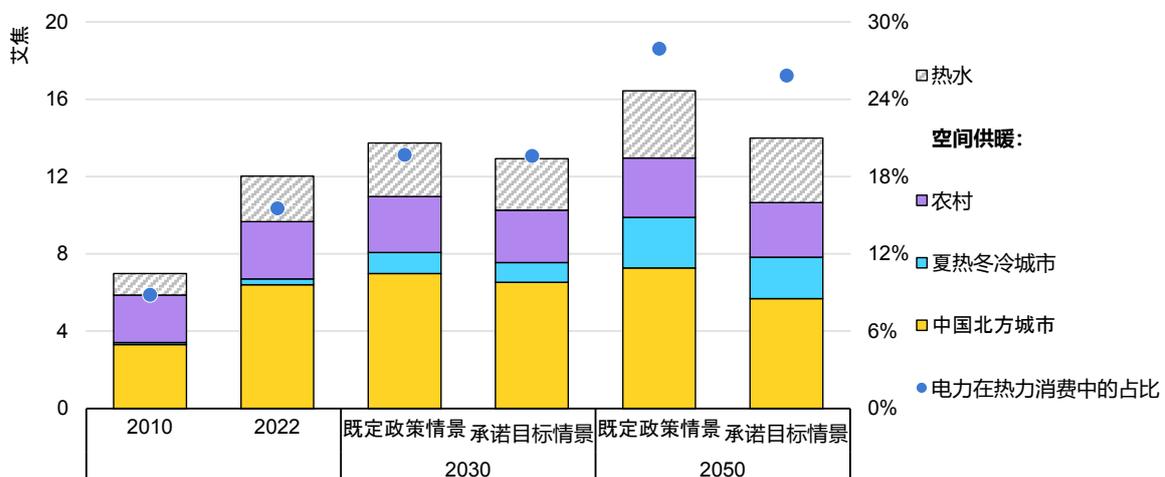
在这两种情景下，存量建筑性能改善可以促进高效清洁供热技术（如热泵）和可再生能源技术的整合，同时提高建筑应对极端天气事件的整体韧性。

建筑供热脱碳展望

承诺目标情景下，从现在到 2050 年，空间和热水能源消费将继续增长，但由于节能和燃料转型措施，供热能源消费的增速比过去十年低很多。在承诺目标情景中，供热终端能源消费从目前到 2050 年的增幅被限制在 4% 以内，比既定政策情景低 20%（图 1.6）。在各情景中，空间供暖绝大部分消费来自中国北方城市，但夏热冬冷气候区的消费份额将从 2022 年的约 5% 持续增加到 2050 年的 20%。从现在到 2050 年，农村地区的供热能源消耗将大体持平，但由于能效提高和人口减少将抵消供热设备市占率和使用量的增加，农村地区在建筑供热终端能源消费中所占的比例在各个情景中都将会有下降。

承诺目标情景下，供热直接用煤到 2030 年将减少 75%，到 2040 年几乎完全淘汰。直接使用天然气供热的比例到 2050 年将减半，天然气的使用将集中在已有天然气管网的地区。既定政策情景下，到 2050 年，天然气在终端能源消费中的占比是承诺目标情景的两倍，这是因为承诺目标情景下建筑物的能效较低，并且中部地区和农村地区有较多建筑的热力系统连续运行（而不是部分时间、部分空间运行）。

图 1.6 2010-2050 年承诺目标情景和既定政策情景下空间供暖和热水的终端能源消费



IEA. CC BY 4.0.

注：不同气候和城市/农村的空间供暖终端能源消费数据为清华大学的评估。在技术结构以外，评估热水需求时，还假定城市和农村地区的设备拥有率均达到 100%，并且从现在到 2050 年，居民热水用量将从每户每天 50 升增加到 75 升；假定服务部门的变化由建筑面积增加而驱动。

根据承诺目标，2050 年约有 25% 的热力终端能源消费将由电力满足。中国农村各地区和中部及南方城市地区的潜力最大。

承诺目标情景和既定政策情景下，到 2050 年向建筑输送的终端能源中，通过区域供热管网输送的比例都将略有提升，主要集中在北方城市，并主要依靠现有的大型基础设施。电力的份额在承诺目标情景和既定政策情景中将分别跃升至 26% 和 28%。既定政策情景下 2030 年和 2050 年的电力消费都相对较高，原因是建筑总体能效较低，并且电热泵的普及率较低，而其他能效较低电加热器的普及率较高。而在承诺目标情景中，电热泵（2050 年满足供热需求的 25%；见第 2 章）广泛使用电力，尽管一些电阻式电热器仍用于提供生活热水，尤其是在空间限制可能会制约替代技术普及的城市地区。¹⁰

在承诺目标情景中，由于在建筑层面避免需求并采用替代燃料，以及发电（专栏 3.2）和区域供热逐步脱碳，到 2050 年建筑热力相关二氧化碳排放量将比 2022 年减少 75% 左右，即约 6.5 亿吨¹¹，比既定政策情景下 2050 年的排放量低 60%。

工业

工业供热终端能源消费现状

中国工业在过去十年中取得了长足发展：铝产量增长 150%，钢产量增长 60%。同期全球铝产量增加 75%，钢产量增加 30%，而欧洲则减少 20%。工业发展为中国经济增长做出了贡献（中国人均 GDP 自 2010 年以来已翻番），并使中国成为多个工业领域的领先大国。目前，中国的铝材、水泥和钢铁产量分别占全球的 50%、51% 和 54%。

虽然中国工业大幅发展，但同期工业排放量仅增加了 8%。以货币工业增加值计算，中国工业的排放强度在过去十年间大幅下降，从 2010 年的每美元工业增加值 2.4 千克二氧化碳下降到 2022 年的每美元工业增加值 1.2 千克二氧化碳。

这是多项因素共同作用的结果。首先，能源强度大大降低。中国拥有全球效率最高的一些炼铝厂，中国目前炼铝的能源强度为[每吨原铝的 484 亿焦](#)，比 2000 年降低了 13%；而世界目前的平均水平为 508 亿焦/吨。

第二项关键因素是燃料转型：过去十年间，能源需求增量以电力为主，电力在工业能源需求中占比从 2010 年的 17% 增长到现在的 26%。在此过程中，电力替代了煤炭，同期煤炭在工业能源结构中的比例从 65% 减少至 45%，从而降低了排放强度。天然气也发挥了重要作用，其在工业能源需求中的占比从 3% 左右增长到 8%。这种转变的部分原因是中国产业构成发生变化，例如，化工行业增速大大快于钢铁行

¹⁰并在可能的情况下作为电热系统的一部分。

¹¹包括直接和间接排放。

业，从而导致燃料用量发生变化。在转向[高质量发展](#)、努力改善空气质量的大背景下，上述变化是受到鼓励的。

供热是工业能源的主要终端用途，约占工业能源需求的 60%（专栏 1.4）。工业能源的其他主要用途包括机械能生产、照明和制冷，其均以电力为主；而中国的工业热力有 80%直接来自化石燃料。尽管如此，由于采取了脱煤措施，工业热力生产的平均排放强度在过去十年中下降了 15%。然而，虽然排放强度有所下降，但同期中国的工业排放总量却持续增加。

专栏 1.4 国际能源署估算工业供热需求的方法

我们从不同燃料来源的工业能源需求着手估算各工业细分部门和温度水平的热力用量。

我们假定大部分燃料用于供热用途，只有两种例外：用于原料和用于电力。这一假设的依据是，工业用化石燃料中约有 90%用于热力，其余用于机械能或其他非特定用途。

对于用作原料的燃料，均不计入热力生产燃料用量。

对于用于电力的燃料，我们按一定比例计算其中用于供热用途（而非机械能、照明或制冷）的部分。电力中用于供热的比例根据各工业细分部门的具体情况而有所不同，数据摘自美国能源信息署发布的制造业能源消费调查（MECS）。

上述供热需求基于各类科研文章和报告中的数值划分为不同温度水平的供热需求。这些文献揭示了不同地区不同工业细分部门中，各温度水平的热力用量；我们假定文献记载的温度水平划分适用于全球，因为工艺过程的热能需求取决于特定细分部门的工艺过程性质，而非取决于其所在地区。此外，我们对上述文献中的温度数值统一归入以下温度区间：<60° C、60-100° C、100-200° C、200-400° C，以及>400° C。

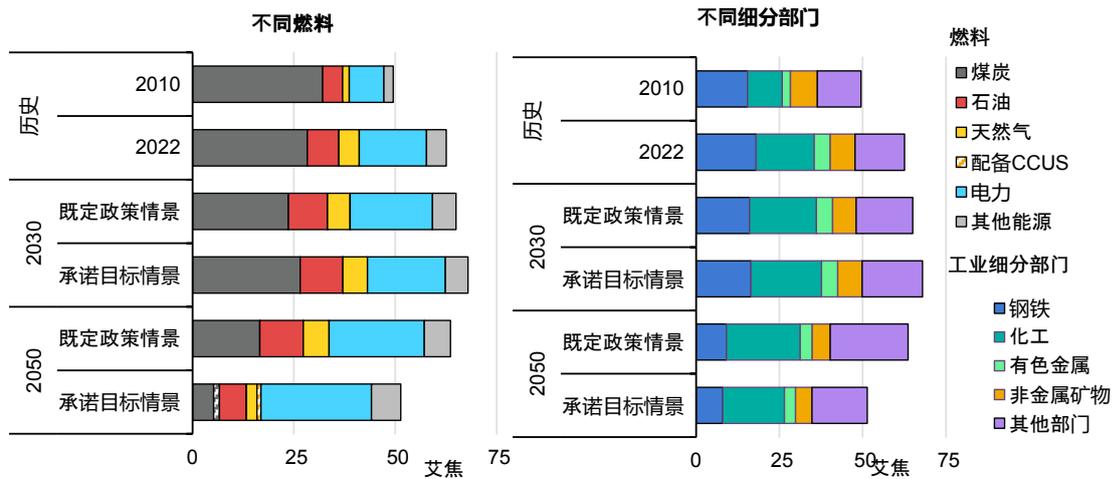
这种方法适用于所有行业，但非特定行业除外，因为该行业的热力需求具有较高的不确定性。

资料来源包括：[EcoHeatCool study](#) (2012)，[Taibi et al.](#) (2010)，[Vannoni et al.](#) (2008)，[ARENA-ITP](#) (2019)。由此即可估算出各个工业细分部门和温度水平的热力需求量。

中国工业的演进及其对供热需求的影响

承诺目标情景下，根据中国为实现碳中和目标而采取的措施，我们估计中国工业单位增加值排放强度到 2030 年将下降 30%，到 2050 年将下降 80%；而 2050 年中国的钢铁、水泥和铝材产量仍将占全球产量的 35%以上。

图 1.7 2010–2050 年既定政策和承诺目标情景下中国不同燃料和工业细分部门的能源需求



IEA. CC BY 4.0.

注：“其他能源”包括进口热力、生物能、不可再生废弃物、太阳能、地热和进口氢能。“其他行业”包括纸浆和造纸业、轻工业和非特定行业。包括用作原料的燃料。

得益于经济结构调整和政策激励，煤炭在工业能源需求中占比自 2010 年以来已缩减 20%，并且下降趋势仍在持续，为电气化开辟了道路。

承诺目标情景下，2030 年的工业能源需求比既定政策情景低 4%，2050 年这一差距将扩大到 20%（图 1.7）。造成上述差距原因包括多项因素。首先，在承诺目标情景中，材料效率更高。以建筑材料为例，不仅可以通过优化翻新来延长既有建筑的使用寿命，还可以通过优化设计、[减少结构元素](#)用量，在保持建筑舒适度和安全性的前提下，大大减少能源需求。此外，也可以通过降低[水泥与混凝土的比率](#)或使用[木材](#)等替代建筑材料，进一步降低能源需求。在上述避免需求的各项措施的共同作用下，2022–2050 年既定政策情景和承诺目标情景之间碳排放差异，在钢铁和水泥行业累积将分别达到 30%和 10%。

其次，承诺目标情景下，钢铁、塑料和纸张等材料的循环利用得到加速；中国废料熔炼电炉的产出量到 2030 年将翻一番。鉴于废料炼钢的能源密集度仅为铁矿石炼钢的[八分之一](#)，因此材料循环利用对能源需求有重要影响。

材料成分的变化也会影响工业能源需求。例如，在承诺目标情景中，中国的熟料–水泥比例将从现在的 65%减少到 2050 年的 55%，因此 2050 年承诺目标情景下的熟料需求比既定政策情景低 22%。熟料是水泥的活性材料，也是能源强度最高的成分，因此对能源需求总量有重要影响。

此外，随着先进技术部署的推广和生产方法的改进（例如水泥窑的热能强度改善，以及铝熔炼炉的能源强度改善），能效不断提高。

一些技术变革同样会影响能源需求。例如制氢，目前中国主要制氢生产路线是需要大量热能的煤炭气化和蒸汽甲烷重整。未来，电解技术的发展将减少制氢对供热的需求，因为电解技术依赖的是非热能电能。

最后，经济和社会因素也对工业能源需求有影响。由于中国人口从 2022 年开始减少，再加上城市化进程放缓，因此对水泥和钢材等大宗材料的需求降低。

这些因素对不同工业细分部门的影响各不相同，对供热需求的影响也不尽相同。总体而言，2023–2050 年期间，承诺目标情景中约 30% 的累计减排量是能效措施的贡献。

此外，不同工业细分部门¹²的发展将会影响供热需求。这些细分部门可分为两类：

- **“能源密集型产业”** 包括能源强度最高的五个工业细分部门，合计占中国工业供热需求的 90%。这些细分部门是：钢铁、化工、非金属矿物、有色金属，以及纸浆和造纸。其中，通常需要高温（200° C 以上）的工艺过程使用化石燃料，其产生的**大量余热资源**如能加以利用，将会进一步优化中国工业的热力流。
- **“轻工业”** 是指能量比耗低于能源密集型行业的产业，包括机械（占中国轻工业能源用量的 37%）、食品（17%）、纺织品（17%）、车辆（9%）和木材（2%）等生产行业，以及采矿（10%）和建造（9%）等多种不同行业。¹³与能源密集型产业相比，轻工业对供热的温度要求较低，其适用工艺通常需要使用蒸汽或高温热水。

这两类细分部门之间还存在其他差异。平均而言，能源密集型产业与轻工业相比，用于供热的能源消费份额更大。此外，轻工业能源消费中有 60% 是电力，化石燃料只占 30%，而能源密集型产业中，电力和化石燃料的比例分别为 20% 和 70%。

在承诺目标情景和既定政策情景中，预计能源用量增幅最大的工业细分部门都是化工行业和轻工业（图 1.8）。¹⁴

在承诺目标情景中，由于活动量增加以及电气化发展，中低温供热需求日渐突出，其在需求总量中的占比将从 2022 年的 19% 增加到 2050 年的 25%。特别值得注意的是，在供热需求中，化工行业和轻工业的占比在 2022 年为三分之一，2050 年将达到一半。在这两个行业中，分别有 25% 和 75% 的供热需求低于 200° C，而这一温度区间正是热泵技术的主要作业范围（图 1.8）。

除了以上各个细分部门的变化以外，电气化在既定政策情景（+10%）和承诺目标情景（+30%）下都有所进展。材料和能源效率、燃料转型以及碳捕集利用与封存¹⁵

¹²归入“非特定行业”的各个其他行业均不计入能源密集型产业和轻工业。

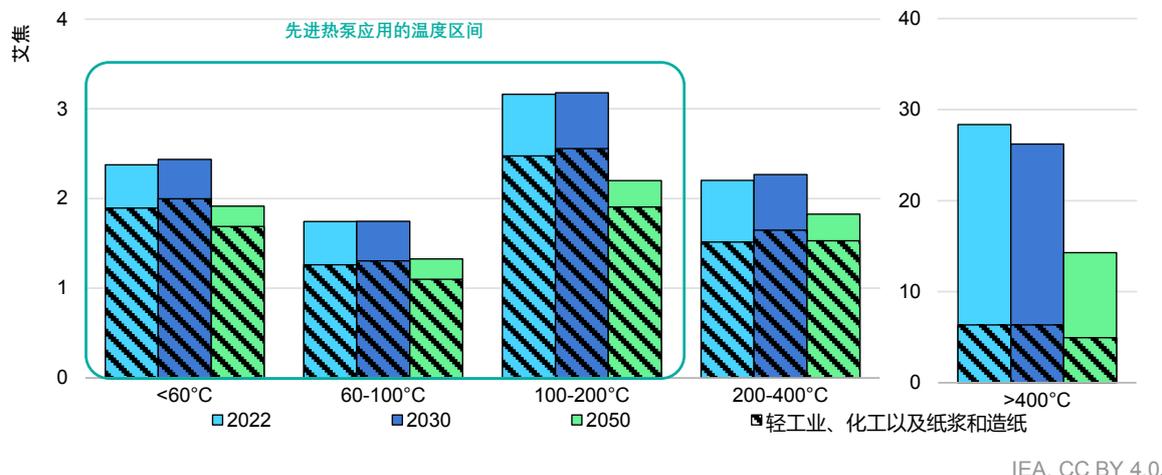
¹³归入“非特定行业”的各个其他行业均不计入能源密集型产业和轻工业。

¹⁴关于如何预测工业活动的详细解释，请参见国际能源署[全球能源与气候模型文件](#)。

¹⁵承诺目标情景下，到 2050 年，40% 的直接排放量将被捕集。

（CCUS）有助于到 2050 年将承诺目标情景下的排放量限制在 8 亿吨，比既定政策情景低 70%。

图 1.8 2022 年、2030 年和 2050 年承诺目标情景下中国不同温度水平的工业供热需求



IEA. CC BY 4.0.

注：包括钢铁、化工、有色金属、非金属矿物、纸浆和造纸，以及轻工业。

在承诺目标情景中，2022-2050 年期间，中低温供热在中国工业供热需求总量中的占比将从五分之一增加到四分之一。

轻工业供热脱碳前景

轻工业的平均工艺过程温度与能源密集型产业相比较低，因此在短期内集成热泵的潜力最大。此外，轻工业所需热力在工业热力中的占比在 2022 年约为 10%；既定政策情景下，其需求到 2030 年和 2050 年将分别增加 10% 和 30%，承诺目标情景下，需求到 2030 年和 2050 年将分别增加 15% 和 40%。

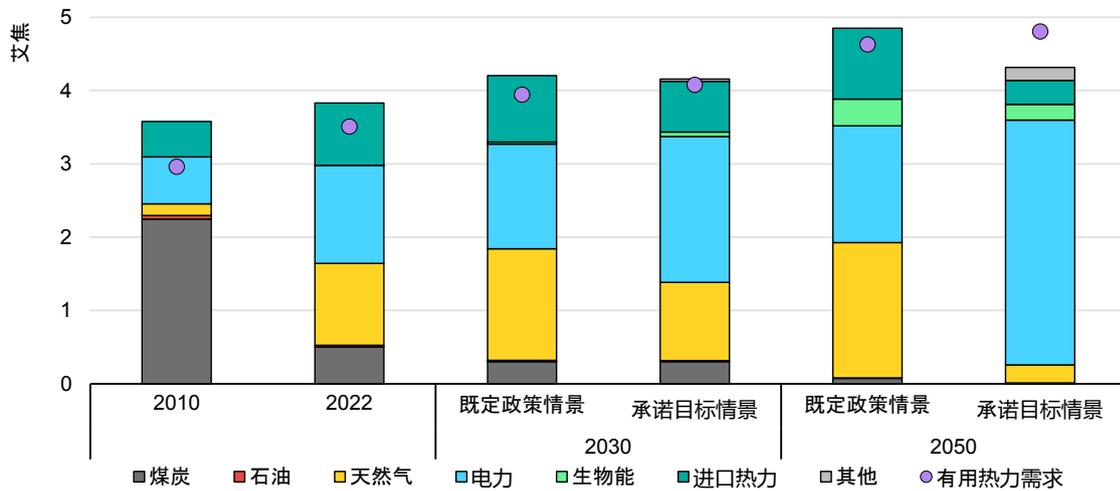
过去几年中，轻工业供热用煤量已大幅减少（图 1.9），主要改用天然气，以改善空气质量。在既定政策情景下，这一趋势将会持续，到 2050 年天然气将满足供热需求的 40%，而 2022 年这一比例为 30%。这与天然气管网中加入生物甲烷混合气的发展趋势一致，而电力的比例保持不变。

承诺目标情景的前景与既定政策情景有两大不同之处。首先，在能源转型的推动下，生产电池、太阳能光伏板、热泵等清洁技术物资的一些轻工产业将会更加活跃，特别是关键矿产采矿业和机械行业。¹⁶因此，2050 年承诺目标情景下的供热需求比既定政策情景高 5%。其次，到 2050 年，电气化将发挥最重要作用，满足 80%

¹⁶机械行业包括金属产品、机械和设备（交通运输设备除外）的制造。采矿和采石行业包括矿石、石材、沙材和粘土的开采和选矿，但不包括化石燃料的开采。

的供热需求，生物能、太阳能、地热和氢能将满足大部分其余供热需求。到 2050 年，热泵部署可使热力供应的能源强度比现在降低 20%。

图 1.9 2010–2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国轻工业供热用能的燃料构成



IEA. CC BY 4.0.

注：涵盖的行业包括建造、食品和烟草、纺织和皮革、机械、交通运输设备、木材和木制品，以及采矿和采石。生物能包括生物能、废弃物和生物甲烷混合气。“其他”包括太阳能、地热和进口氢能。

承诺目标情景下，得益于电气化，轻工业热力生产的平均能效到 2030 年将提高 7%，到 2050 年将提高 20%。

纸浆和造纸行业与轻工业有很多相似之处：2022 年，前者的沸腾和干燥等工艺过程所需热力约为 900 拍焦，其中四分之三的温度低于 200° C。造纸业的一个显著特点是生物能在其中发挥重要作用，2022 年仅生物能就满足了该行业约三分之一的能源需求。一直以来，煤炭是中国纸浆和造纸行业用能的主要来源，2010 年占该行业能源供应的 43%。然而，2022 年，由于该行业能源用量中的电力占比翻了一番，加上行业用能转向天然气，煤炭用量下降到仅占 10%。承诺目标情景下，这一趋势仍将继续，到 2050 年该行业将几乎完全淘汰煤炭的使用，转而使用电力和生物能源。因此，纸浆和造纸行业具有部署热泵的巨大潜力（见第 2 章）。

中国供热政策概况

过去十年来，中国国家、省、市、县各级政策行动都对供热部门予以关注，以期实现改善空气质量、转向清洁热力¹⁷解决方案的目标。此外，中国还采取措施来推

¹⁷在中国的政策中，“清洁”供热是指使用天然气、电力、地热、生物质、太阳能、工业余热、清洁煤（超低排放）或核能的方式提供热力。

进节能、提升建筑性能、提高现有供热方案的可负担性，并通过能源标识来增进消费者对有关信息的了解（图 1.10）。

自 2011 年以来，在中国能源发展战略中发挥主导作用的历次五年规划也体现出供热行业转型的雄心壮志。转型重点最初是改革北方城市的供热计量系统，随后扩大到鼓励实施节能措施、减少排放和利用清洁能源。为推动节能减排行动，政府在第十四个五年规划（2021-2025 年）中设定了单位 GDP 能源强度和碳强度分别改善 13.5%和 18%的目标。

2020 年，中央政府宣布了力争于 [2030 年前碳达峰、努力争取 2060 年前碳中和](#) 的目标。随后，政府又制定了一系列部门蓝图，例如[建筑部门](#)蓝图设定的目标包括到 2025 年和 2030 年，建筑电气化率分别达到 55%和 65%。有关部门还发布了《[工业领域碳达峰实施方案](#)》，同时还在重点行业推广节能和脱碳。

这些措施共同推动了热泵技术普及（见第 2 章）。

清洁供热

供热政策于 [2013 年出台，最初旨在改善空气质量](#)，尤其是在中国北方；自 2017 年起，供热政策目标扩大，纳入了与国家气候变化战略相配套的[清洁低碳取暖](#)。

2013-2017 年间，中国出台了多项措施，以促进区域供热燃料从煤炭转向天然气和电力，建立农村地区洁净煤配送中心，并推出供热计量。自 2017 年以来，政策重点已扩大到对供热管网和建筑做出规定；例如针对中国北方当地条件的冬季清洁取暖战略，旨在提高集中供暖管网效率，包括在选定城市开展试点项目（专栏 1.5）。与此同时，截至 2020 年，已实施的煤炭替代政策覆盖了[京津冀及周边地区以及汾渭平原](#)的几乎所有住户。[2020 年起](#)出台的政策鼓励使用余热、热泵、清洁生物质、其他可再生能源以及热电联产，并鼓励核电厂供热示范项目。

这些政策已经取得重大成果。截至 2018 年底，京津冀及周边地区、汾渭平原地区共有 1350 多万户¹⁸完成清洁取暖改造。根据北方地区冬季清洁取暖[中期评估](#)，截至 2018 年底，北方地区冬季清洁取暖率达到约 51%，比 2016 年提高了 12.5 个百分点。2018 年，京津冀及周边地区、汾渭平原的 PM_{2.5} 平均浓度分别为 [60 微克/立方米](#)和 [58 微克/立方米](#)，分别比 2017 年下降近 12%和 11%。同年，北京[六年以来](#)首次实现全年无持续三天及以上的重度污染天气。

自 2021 年起，[《2030 年前碳达峰行动方案》](#)还纳入了对夏热冬冷地区的供热考量。配合“十四五”规划（2021-2025 年），中国还出台了其他措施，以加快工业余热

¹⁸相当于[中国北方地区的清洁取暖率为 50.7%](#)，其中北方城市地区和农村地区分别为 68.5%和 24%。

和可再生能源在城市热力系统中的大规模整合，加快可再生能源在农村地区供热系统中的整合，逐步淘汰燃煤锅炉并升级热电联产。

建筑能源规范、标识和目标

建筑能效标准对于清洁热力转型（包括热泵集成）至关重要。中国自 1986 年以来一直开展能效行动，近期还开展了绿色建筑、超低能耗建筑和预制建筑方面的行动。在 2023 年的第二十八届《联合国气候变化框架公约》缔约方会议（COP）上，中国加入[建筑突破](#)（Buildings Breakthrough），承诺“到 2030 年实现近零排放和韧性建筑”。

中国[《建筑节能与可再生能源利用通用规范》](#)（GB55015-2021）于 2022 年 4 月实施，对各气候区的居住建筑、非居住建筑和工业建筑的能效和排放做出了强制性量化规定。《规范》涵盖新建建筑以及既有建筑的重建、扩建和翻新，相关的能效计算覆盖空间供暖、空调、照明、电梯、生活热水和可再生能源发电比例。

《规范》要求所有新建建筑都必须安装太阳能系统。《规范》对于不同气候区墙体热传导等方面的要求有较大差异。

中国于 1986 年首次制定了节能设计标准（JGJ26-1986），最初主要针对严寒和寒冷地区连入集中供暖管网的居住建筑。这套标准规定了对建筑围护结构各部分热力性能的要求，并在 1995 年、2010 年和 2018 年逐步强化了这些要求¹⁹。

其他气候区的建筑规范出台较晚，并且对热力性能不做要求。在夏热冬冷气候区，居住建筑节能设计标准（JGJ134）于 2001 年颁布，并于 2010 年修订。在夏热冬暖气候区，居住建筑节能设计标准（JGJ75）于 2003 年颁布，并于 2012 年修订。非住宅公共建筑和商业建筑（GB50189）自 1993 年起也被纳入监管范围，并且有关标准于 2005 年、2015 年和 2019 年得到了更新。

建筑翻新目标也与清洁供热和热泵有关。中国北方地区冬季清洁取暖规划（2017-2021 年）重点对城市建筑翻新、能效改善和高效室内采暖终端推广做了规划。

《打赢蓝天保卫战三年行动计划》（2018-2020 年）也鼓励对农村住房进行翻新。

[《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》](#)（2021-2025 年）设定的目标包括到 2025 年，完成 3.5 亿平方米以上的既有建筑节能改造，并建造 0.5 亿平方米以上的超低能耗、近零能耗建筑，还包括预制新建建筑的比例目标。

¹⁹建筑规范的严格程度逐步提高，包括以 20 世纪 80 年代初北方建筑的热力能源消费为基准，实现 50%、65%和 75%的“节能百分比”。一些北方地区（如北京，2012 年）早于国家标准出台了延申加强法规。

电器和设备标识与标准

中国最低能效标准（MEPS）始于 20 世纪 80 年代，电器能效标识制度始于 2005 年。目前，该制度覆盖家用热泵热水器、多联式空调热泵机组、水源和地源热泵机组，以及地面环境温度空气源热泵。

[2024 年 1 月](#)，国家发展和改革委员会对最低能效标准进行了修订，扩大了标准的覆盖范围，并对 43 种产品设备设定了更高的“节能水平”和“先进水平”，其中 8 种是制冷产品。对于容量低于 10 千瓦的主要供热设备或热泵热水器，修订后的最低能效标准对性能系数（COP）设定的准入水平是 3.70 瓦/瓦，节能水平是 4.40 瓦/瓦，先进水平是 5.0 瓦/瓦。对于多联式空调（热泵）机组，文件规定性能系数的准入水平为 3.30，节能水平为 4.00，先进水平为 4.80。²⁰标准每年发布更新。

专栏 1.5 中国北方清洁取暖试点示范

2017 年 5 月，中央财政支持试点城市推进清洁方式取暖替代散煤燃烧取暖，并同步开展既有建筑节能改造。重点支持对象是京津冀及周边地区的“2+26”城市。[首批资金](#)资助的示范期为三年，被资助的 12 个试点城市通过竞争性评审确定，评审中考虑了当地因素，如清洁取暖资源可用性、拟议技术方法可行性、投融资担保、定价、当地支持政策和补贴、监管措施等。示范项目每年拨款额为直辖市 1.4 亿美元（10 亿元人民币）²¹，省会城市 1 亿美元（7 亿元人民币），地级市 0.75 亿美元（5 亿元人民币）。

2018 年 7 月，中央财政对第二批 23 个试点城市每年给予不同级别的定额资助。2017-2018 年，对地方拨付的资助金总额达到 82 亿美元（[555 亿元人民币](#)）。试点城市主要采用“煤改气”和“煤改电”技术转型作为清洁热源的替代方案，只有少数试点项目采用了“煤改集中供暖”和“煤改生物质”等其他做法。

更多批次试点项目于 2019 年、2021 年和 2022 年宣布，[2017 年以来获得资助的城市总数达到 88 个](#)。

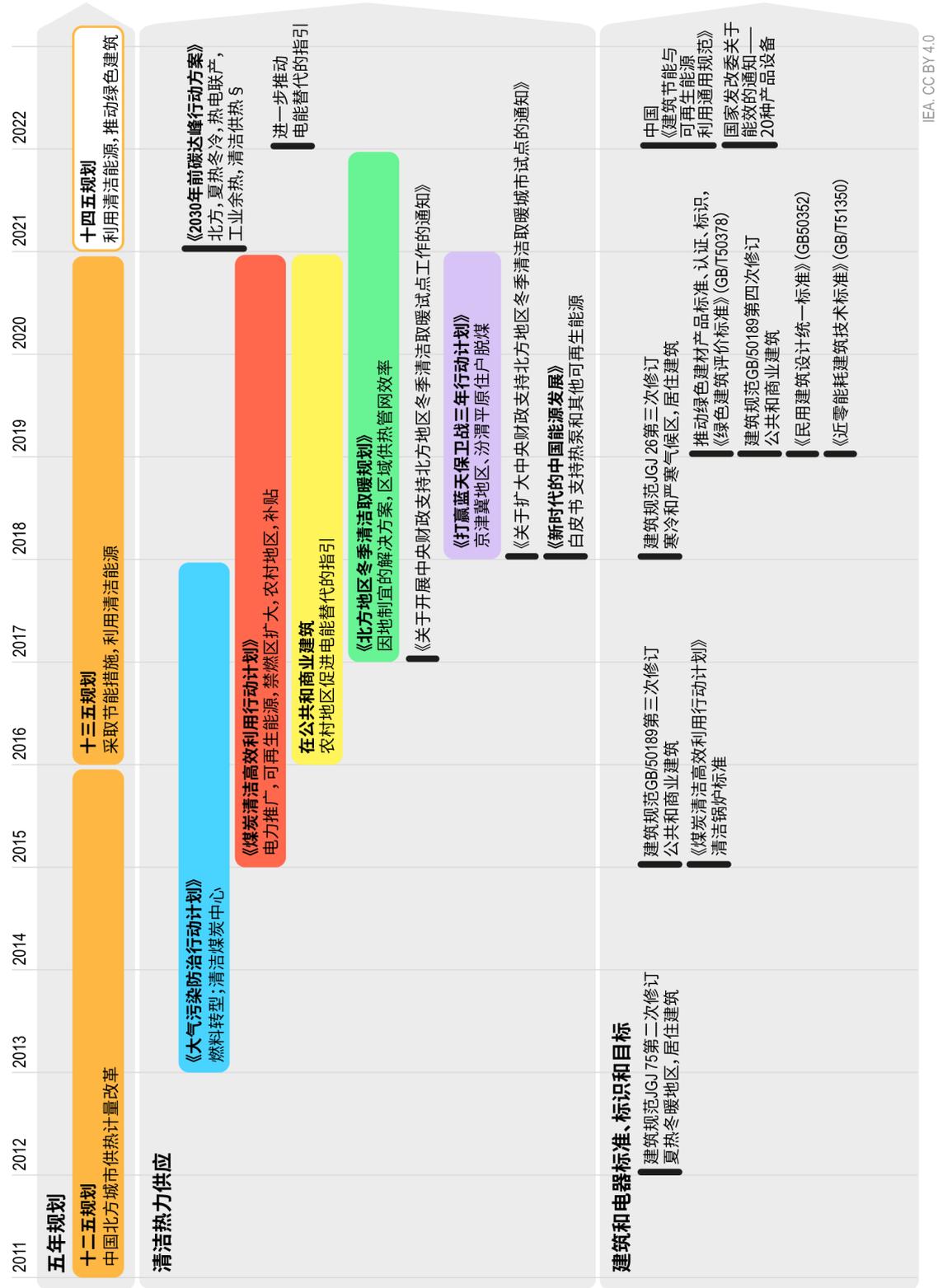
截至 2022 年底，中国北方清洁取暖面积达到 179 亿平方米，清洁取暖率达到 75%，超额完成了原定目标（即清洁取暖率达到 70%）。²²

²⁰为多联式空调（热泵）机组设定的水平区间因机型而异。对于 $CC \leq 14000$ 瓦的机型，性能系数水平为：准入（3.60），节能（4.40），先进（5.60）；对于 $50000 \text{ 瓦} < CC \leq 68000$ 瓦的机型，性能系数等级为：准入（3.30），节能（4.00），先进（4.80）。

²¹ 汇率：1 人民币 = 0.148 美元（2022 年 12 月汇率）

²²[清洁供热产业委员会（CHIC）](#)。

图 1.10 2011-2023 年中国供热政策概况



IEA, CC BY 4.0

第 2 章. 中国部署热泵的前景和机遇

要点

- 过去 10 年中，热泵的销量在中国稳步增长，但在 2022 年略有下降。2023 年，空气源热泵的销量恢复增长，主要由空间供暖热泵驱动，家用热水热泵的销量保持在 2022 年水平。空气-空气热泵在中国占有主导地位，目前约占总装机容量的 60%。
- 中国已安装的建筑内热泵的总容量超过 2.5 亿千瓦。承诺目标情景（APS）下，假定国家气候与能源安全目标达成，到 2050 年该容量将扩大到 14 亿千瓦。
- 既定政策情景（STEPS）和承诺目标情景下，到 2050 年，中国预计仍将位列全球三大建筑热泵市场，并将占全球销量和装机容量的 25% 以上。
- 承诺目标情景下，空气-空气热泵在农村和夏热冬冷地区（HSCW）的市场占有率上升，到 2050 年，市场主导地位将进一步加强。在供冷供热双需地区，制冷需求的增长可能促进热泵在气候较温和地区的部署力度，并降低消费者的采暖成本。在中国所有地区，热泵热水器的市场占有率也普遍增加，到 2050 年，承诺目标情景下热泵热水器在所有热水器中占比将超过 10%。
- 在工业领域，许多高温热泵已投入商用，尤其是输出温度低于 140° C 的机型，然而，达到 200° C 的技术还处于首创应用或商业化前的示范阶段。
- 从理论上讲，热泵最多可以满足当今工业供热需求的 15%，主要应用潜力在化工、食品和机械行业。目前，中国工业部门安装的热泵数量还很少，但预计到 2050 年，承诺目标情景下轻工业部门的热泵装机容量将达到 3000 万千瓦，满足其 20% 的供热需求。
- 中国拥有丰富的余热资源，利用热泵加强回收利用，可为区域供热和轻工业提供热力。到 2050 年，热泵装机容量部署可高达 6.5 亿千瓦，以整合各种活动中产生的合适余热。

导言

近年来，中国建筑和工业部门的供热能耗已发生显著变化（见第 1 章），化石燃料在终端能源消费中的比例持续下降，而电力占比则有所上升。在**建筑部门**，过去几年中，热泵已推动电气化水平持续提升。中国空间供暖热泵的市场份额从 2015 年的 4% 增加到了 2022 年的 8%。

建筑用热泵已具有较高的技术成熟度（TRL）²³，不仅在中国，而且在美国、欧洲和日本等其他供热市场也得到了广泛应用。家庭常用的空气-空气、空气-水和地源热泵都经过了广泛的开发和测试，具有很高的可靠性和能效。

商用和大规模居住建筑使用的大型热泵的技术同样成熟，但由于系统设计通常更为复杂，需要更大规模的安装，其普及程度不及小型热泵。但是，许多商用热泵，特别是集成到暖通空调（HVAC）系统中的热泵，已进入较高发展阶段，为大型建筑和设施提供了显著的节能效果。

在**工业领域**，热泵在中国和其他国家的使用才刚刚开始，目前在工业供热设备中的占比微乎其微。尽管如此，烘干用热泵在中国轻工业中仍具有广阔前景，近年来的年销量增长超过 25%。同样，在**区域供热管网**（向工业和建筑部门供热）中，热泵的使用在中国也并不普遍。全球只有瑞典等少数几个国家在区域供热结构中大量使用热泵。对于某些工业过程和区域供热而言，商用技术已经存在，但部署水平较低。技术改进将有助于清除一些部署方面的障碍，但热泵并不需要重大的技术革命或突破来在这些领域站稳脚跟。

本章将评估热泵在建筑和工业部门中的应用前景，重点关注在当前政策趋势下，为实现碳中和目标，到 2030 和 2050 年预计将会达到的更高部署水平。此外，本章的特别关注部分还介绍了热泵在整合工业领域和区域供热管网中的余热方面的作用，以及该技术在区域供热管网中的其他可能应用。

²³国际能源署采用的 [TRL 体系](#) 包括 11 个等级，从 1 级的最初创意到 11 级的稳定性已得到验证。

本报告的热泵分类

建筑热泵： 该类别涵盖直接向家庭、居住或商业建筑供热，用于空间供暖和/或生活用热水的热泵。包括自然源热泵，如作为主要热力设备的可逆空调；不包括仅用于制冷或作为锅炉等其他供热设备之补充的可逆空调。

常规尺寸	设备 (基于蒸汽压缩的电热泵)	适用范围
<10 千瓦	<ul style="list-style-type: none"> - 空气-水热泵，包括热泵热水器 - 空气-空气热泵，包括作为主要热力设备的可逆空调 - 地源热泵和水源热泵 	单户、小型居住和商业建筑、单个房间
10-50 千瓦	<ul style="list-style-type: none"> - 空气-水热泵，包括热泵热水器 - 空气-空气热泵 - 地源热泵和水源热泵 	单户、多户建筑和服务建筑
> 50 千瓦	<ul style="list-style-type: none"> - 大型空气-水热泵，包括热泵热水器 - 大型空气-空气热泵 - 地源热泵和水源热泵 	多户建筑和服务建筑

区域供热管网热泵： 该类别涵盖连入区域供热管网的热泵，包括热力分站的热泵。

常规尺寸	温度区间	设备	适用范围
> 100 千瓦	70-120° C (一级) 40-60° C (二级)	<ul style="list-style-type: none"> - 大型热泵，特别是用于整合余热 - 吸收式热泵 	一级和二级管网的升温。降低一级管网的回水温度。

工业热泵： 该类别涵盖直接向工业过程供热的热泵，包括温度区间不超过 200° C 的热泵，但不包括机械蒸汽再压缩。

温度区间	设备	适用范围
<100° C	大型热泵，特别是用于整合余热	巴氏消毒、煮沸或生物反应等工业过程
100-200° C	大型热泵，特别是用于整合余热	干燥、蒸馏或蒸汽生产等工业过程

专栏 2.1 选择热泵的注意事项

根据应用领域正确选择热泵时，需要考虑周围气候与建成环境，以及所需的输出温度和建筑内的配热系统。例如，严寒环境对**空气源热泵**的挑战更大，因为在低温条件下，空气源热泵的性能系数（COP）会降低（见图 2.4），温度的急剧下降可能导致压缩机自动停机或出现结霜问题。尽管如此，通过不断创新，能在**寒冷气候**条件下运行的热泵已经问世，性能也在不断提高。此外，位于密集城区的大型空气源热泵冬季可能会加剧冷岛效应，影响附近机组效率，因此必须注意室外机的安装位置（见专栏 3.3）。

对于**空气-空气可逆式热泵机组**（既供热也供冷）而言，需要考虑是否优化供暖或制冷模式的系统性能。在夏季制冷负荷较高的地区，可以对特定组件（如压缩机）的设计和尺寸进行调整，以优化夏季效率。此类型的分体式系统中，室内机的位置是确定不同季节舒适度的一个重要标准：如果室内机安装于最适合制冷的方位，那么在供暖季输送热空气的效果可能较差，反之亦然。

地源热泵的季节性能系数通常高于空气源热泵。有些地源热泵需要大量地下空间，管道埋深可达 120 米。在密集城区进行此类安装需要考虑到地下空间的其他开发用途（见专栏 2.4）。

工业热泵的安装，除考虑与工业过程所需输出温度或足够温度的余热相关的要求外，还可能需升级或更换变压器以及设施的电气连接，从而造成额外费用。是否拥有足够空间（在小型工业中可能有限）和一定温度水平的余热也可能制约工业热泵的安装。

建筑热泵的应用前景

与化石燃料锅炉或电加热器相比，直接连接居住和商业建筑的热泵能耗要少 2 到 4 倍，目前，无论在何处安装热泵取代化石燃料锅炉，几乎都会**减少二氧化碳排放**。

在中国农村地区，随着支持煤改电政策的出台，热泵的发展势头强劲（见第 1 章）。在夏热冬冷地区，热泵已成为大多数家庭的标配，不仅是冬季的主要供暖系统，也用于夏季制冷。

在中国北方城市，直接在建筑中使用热泵比较少见，因为大部分现存的建筑面积已接入集中供暖系统。不过，对未接入集中供暖系统的新建建筑，或为居住或商业建筑提供生活热水而言，热泵可能是不错的选择。

全球市场趋势

建筑热泵²⁴的全球销量在 [2022 年增加 11%](#)，连续 2 年实现两位数增长。欧洲和美国是推动全球热泵普及率增长的主要力量，其化石燃料供热设备仍占主导地位。在俄乌战争和天然气价格飙升的刺激下，欧洲的销量自 2020 年以来几乎翻倍，2021 和 2022 年增长率均超过 35%，2022 年销量达到 300 万台。在美国，热泵的发展势头也日趋强劲，2021 和 2022 年销量均上涨 10% 以上。在中国，尽管热泵销量在过去 10 年中稳步增长，但 2022 年略有下降，空气-空气和空气-水两个细分市场的销量几乎与 2021 年持平。虽然近年来热泵的销量不断攀升，但到 2022 年，热泵只满足了全球约 10% 的建筑供暖需求。

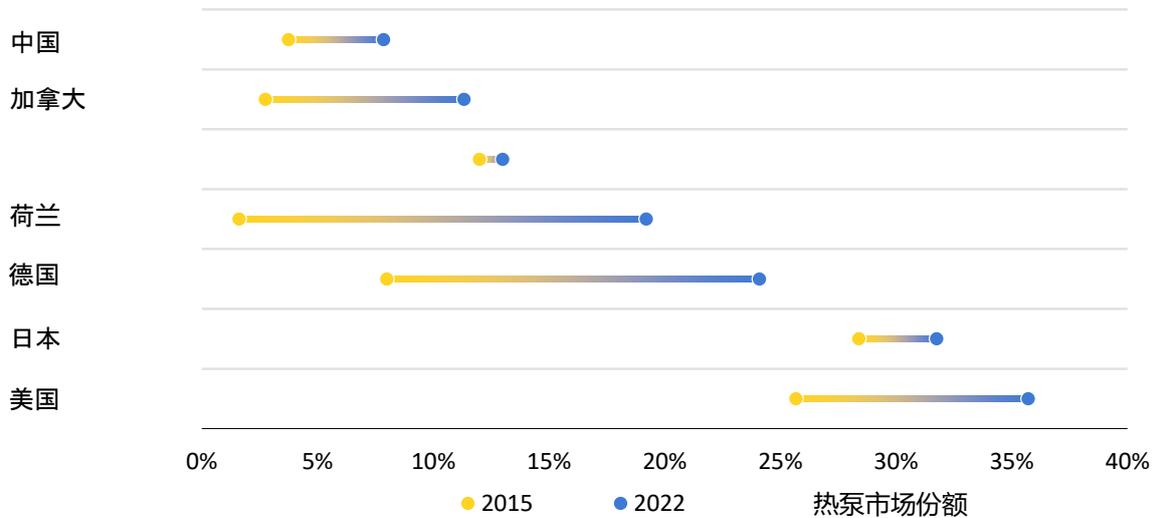
尽管 2022 年全球热泵市场发展势头良好，但 [2023 年的数据显示下滑趋势](#)，由于天然气价格下降、建筑业发展放缓，以及热泵政策和支持计划的不确定性，全球销量下降了 3%。在欧盟，热泵销量下滑 5%，其中，[意大利、芬兰和波兰等市场的销量降幅较大](#)。在美国，尽管，但其表现仍优于化石燃料设备，燃气炉的销量与 2022 年相比 [下降了 20% 以上](#)。在加拿大，家用空调机组（包括 5 吨以下热泵）销量减少了 [约 50%](#)。在日本，到 2023 年 12 月，热泵热水器的销量 [下降 10%](#)，而此前其市场连续 7 年正增长（[平均同比增长 8%](#)），2022 年曾接近 20%。

在中国，空气源热泵的销量在 2022 年有所放缓，但在 2023 年再次扩大，主要驱动力是空间供暖使用的空气源热泵（同比增长超过 15%）。相比之下，家用热泵热水器的销量与 2022 年持平。

即使考虑到最近的全球市场趋势，热泵的市场占有率在过去 10 年中也有显著提高，正在多个市场中取代化石燃料锅炉（图 2.1）。例如，在加拿大，家用空间供暖热泵的市场份额从 2015 年的 3% 增加到了 2022 年的 11%。同期，美国的这一份额从 26% 上升到了 36%。德国的增幅为 8% 至 24%，荷兰为 2% 至 19%。在中国，市场同期增长了一倍多，从不到 4% 上升到 8% 以上。

²⁴ “建筑热泵”是指建筑物层面使用的技术，不包括集中供暖管网中使用的向建筑供热的热泵。想了解更多信息，请查阅“本报告的热泵分类”部分。

图 2.1 2015–2022 年部分热力市场中，热泵在空间加热设备销量中的占比



IEA. CC BY 4.0.

注：热泵市场份额指热泵销量占热力设备总销量的份额。

来源：国际能源署基于以下所做的分析：[ChinaIOL](#)；[EHPA](#) (2023)；[AHRI](#) (2023)；[Residential Energy Consumption Survey](#) (2023)；[Canada National Statistical Office](#) (2023)；[JRAIA](#)；[Bundesverband Wärmepumpe](#) (2023)。

空间供暖热泵的市场份额在所有主要热力市场中都有增加，但要保持这种趋势，就必须解决规模发展的障碍。

中国的概况与前景

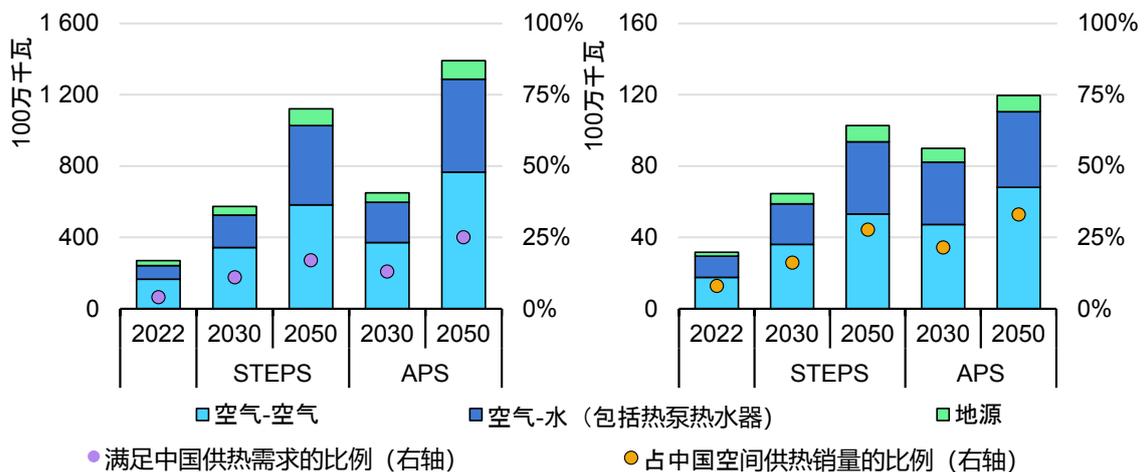
目前，在全球范围内，居住与非居住建筑中的热泵装机容量超过 10 亿千瓦²⁵，占总建筑供热装机容量的 10%。到 2022 年底，中国约占全球热泵总装机容量的 25%，全球总销量的 30%，成为当今全球最大的热泵市场。目前，中国近 30% 的装机容量为空气-水机组，这种机组在中国北方最为常见，约为 8000 万千瓦（图 2.2）。空气-空气机组主要安装于夏热冬冷地区（用于供暖和制冷），在部分时间和部分空间使用（见第 1 章）。到 2022 年底，中国的空气-空气机组存量达到约 1.65 亿千瓦，占全国装机容量的 60% 以上。地源热泵在城市地区更为普遍，约占全国热泵存量的 10%。

热泵在居住建筑中较为普遍，但在商业和公共建筑中也日趋重要，这得益于建筑规范和地区清洁取暖政策的推动（见第 1 章）。例如，在北京，[新建公共建筑禁止使用独立燃气锅炉进行空间供暖](#)，并且按照现行法规，需要[安装热泵或混合系统](#)（可再生能源至少占 60%）。

²⁵热泵的大小按输出功率的瓦数计量，以便各地区间对比。各地区热泵存量的平均容量差异很大。北美和欧洲等地区的热泵平均容量较大（5 千瓦-10 千瓦），而亚洲的热泵通常较小（3 千瓦-5 千瓦）。据此，单个住宅或房间的热泵容量全球平均当量可定为约 5 千瓦。热泵的大小也取决于建筑存量和气候。多户建筑中的中央机组的容量超过 20 千瓦，大型商业建筑中的中央机组的容量可能超过 100 千瓦。

当前有利于清洁取暖解决方案的政策正在推高新建建筑对热泵的需求，以及以热泵替代现有的分布式锅炉的需求。在供暖和制冷需求并存的中部和南方地区，能满足双需的热泵设备的市场占有率也在快速增长。既定政策情景下，受到当前政策（如中国北方的煤改电政策）的影响，中国建筑热泵的存量将翻一番，到 2030 年达到 5.75 亿千瓦，到 2050 年超过 11 亿千瓦。同年，销量达到每年 1 亿千瓦，自 2022 年起平均同比增长 5%。承诺目标情景（与碳中和目标相符的情景）下，额外的政策支持将促使热泵的销量到 2050 年增加到每年约 1.2 亿千瓦，建筑部门的总装机容量将从 2030 年的 6.5 亿千瓦增加到近 14 亿千瓦。在这两种情景下，中国的市场地位都将得到巩固，与欧盟和美国一起成为热泵的领先市场，到 2050 年，中国将占全球销量和装机容量的 25% 以上。

图 2.2 2022–2050 年既定政策情景与承诺目标情景下中国建筑热泵的存量（左）和销量（右）



IEA. CC BY 4.0.

注：STEPS = 既定政策情景；APS = 承诺目标情景供热需求指有用能源。

承诺目标情景与既定政策情景下，2030 和 2050 年的热泵销量都将大幅增加，从而巩固中国在销量和存量方面三大热泵市场之一的地位。

热泵满足供热需求的比例

既定政策情景和承诺目标情景下，热泵部署发展扩大，成为了空间供暖和热水的关键技术之一（其他关键技术有区域供热和基于可再生能源的技术）。到 2050 年，既定政策情景下使用热泵满足供热需求的比例将超过 15%，而在承诺目标情景下，这一比例将从 2022 年的 4% 左右上升到 25%。如果只考虑空间供暖，热泵所满足的供热需求比例将稍高，在承诺目标情景下最高达到 30%。

在这两种情景中，分布式热泵和区域供热将满足的供热需求比例最大。承诺目标情景下，到 2050 年，热泵、区域供热、地热、太阳能供暖和生物质能将满足 70%

以上的总供热需求，从而大幅减少直接排放。与电网和区域供热管网脱碳相结合，分散式热泵将为在 2060 年前实现碳中和目标铺平道路。

适合不同气候区的设备类型

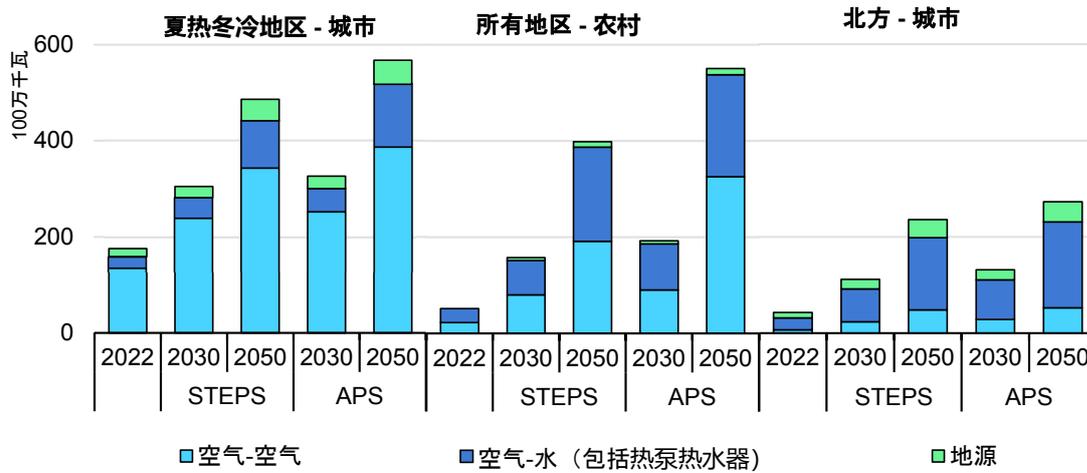
从现在到 2050 年，空气-空气热泵预计仍将是热泵市场的主导产品，到 2050 年，在既定政策情景下将达到约 6 亿千瓦，承诺目标情景下将超过 7.5 亿千瓦。最大增幅预计将在夏热冬冷气候区（空气-空气热泵一般在冬季供暖，夏季制冷，见图 2.3）以及所有气候区的农村地区（受清洁取暖政策推动，见第 1 章）。空气-水热泵也将有重大增长，主要原因是其在中国北方农村地区的市占率不断提高，以及所有地区更多使用热泵加热生活用水。在中国北方城市，空气-水热泵的市占率也有适度增长，主要是在新建建筑中，因为到 2030 和 2050 年，大部分现有建筑面积仍将连接集中供暖管网。既定政策情景下，到 2050 年，空气-水热泵的存量将达到 4.5 亿千瓦，几乎占总装机容量的 40%。承诺目标情景下的趋势相似，空气-水热泵到 2050 年将超过 5 亿千瓦。

既定政策情景和承诺目标情景下，到 2050 年，主要部署在城市地区的地源热泵将占剩余的 10% 的存量。总体而言，到 2050 年，依靠水暖配热系统（即通过建筑内水管输送热量并连接到散热器、风机盘管或地暖）的热泵机组在两种情景下均占已安装热泵存量的 45% 左右。

尽管既定政策情景和承诺目标情景下的大部分热泵装机容量主要用于空间供暖，但也有相当数量的分布式机组专门部署用于满足热水需求（见专栏 2.2）。

在每种情景中，热泵在城市和农村地区均发挥重要作用。既定政策情景和承诺目标情景下，到 2050 年，约 35% 的热泵装机容量将在农村地区。其余机组则位于城市地区，其中，空气-水热泵在北方尤为常见，而空气-空气热泵则遍布夏热冬冷地区。

图 2.3 2022-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国不同气候区的建筑热泵存量



IEA. CC BY 4.0.

既定政策情景和承诺目标情景下，中国所有气候区的热泵装机容量都有增加。

专栏 2.2 热泵热水器的作用

目前，全球已安装的大部分热泵主要用于空间供暖，但加热生活用水的热泵发展势头良好，尤其是在日本、欧盟和中国。在日本，[2022 年热泵热水器的销量达近 70 万台](#)，占热水器总销量的 12%，过去 20 年的累计销量接近 900 万台。在欧盟，热泵热水器的销量在过去几年中不断扩大，[2022 年超过 30 万台](#)，占热泵总销量的 10%。中国是热泵热水器销量最大的市场，2014 至 2021 年间，热泵销量翻了一倍多，而此后基本保持稳定，每年销量超过 100 万台。

与空间供暖不同，主要供暖区之外的家庭也有热水需求且需求量受气候影响不大。然而，不同热水技术的适用性取决于多种因素，如可容纳机组和水箱的空间、住宅类型、现有基础设施以及能源价格。以日本为例，约有四分之一的独立式住宅使用热泵热水器，而在空间更为有限的公寓中，该比例约为 3%。

不同类型热水器的特点

	热泵热水器	电热水器	燃气热水器	太阳能热水器
前期成本	890-1150 美元 (5990-7700 元 人民币)	150-310 美元 (1010-2080 元 人民币)	260-500 美元 (1720-3400 元 人民币)	450-890 美元 (3000- 6000 元人民 币)

运营成本	低	高	中	低
季节性能	高 (> 2)	低 (> 0.9)	低 (> 0.8)	中 (1)
室内水箱	✓	✓/X	✓/X	✓
安装复杂性	高	低	中	高
平均寿命	15 年	12 年	15 年	20 年

注：大部分家用热水器采用线上销售方式（京东、淘宝、拼多多等电商平台），线下销售（实体家电卖场、百货、直销店等）正在减少。电热水器的前期成本指的是储水箱式热水器。

与燃气锅炉和传统电热水器相比，热泵热水器在中国具有多重优势，如能效更高、运行成本更低、以及运行性二氧化碳排放量更少等。然而，在热泵热水器的普及方面也存在一些障碍，如前期成本较高，安装过程较为复杂，不仅在管道安装方面（在多户住宅中需要得到业主或管理协会的许可），在制冷剂充注方面（需要合格的安装人员）亦是如此。在空间有限的密集城区，室外机的空间需求是一个重要的制约因素。

在新建建筑中，热泵热水器与光伏系统的重要性都在与日俱增。例如，[浙江省已宣布一项政策](#)，加大可再生能源（包括热泵）的推广力度，力争在“十四五”规划期间，完成太阳能和空气源热泵热水器的建筑应用面积 1 亿平方米。该政策可为 50 万台热泵热水器创造市场。

中国市场的一个特点是，空间供暖和热水历来属于完全不同的细分市场，热泵设备通常只进行空间供暖或热水，而不是两种功能兼备。在中欧等其他地区，热泵通常同时满足空间供暖和热水的需求。在中国未接入集中供暖的地区，有机会提高兼具两种功能的热泵的市占率，但在集中供暖地区则不然，因为在夏季不太可能为热水而运行管网。

尽管热泵热水器发展迅速，但它目前满足中国热水需求的比例还很小，各地区的装机总容量约为 4000 万千瓦。既定政策情景下，到 2050 年容量将适度扩大，达到近 2 亿千瓦并满足 8% 的生活热水需求。然而，如承诺目标情景中所强调，为在 2060 年前实现碳中和目标，需要对热泵热水器进行进一步部署，以完成相应里程碑，到 2050 年，部署量将超过 2.5 亿千瓦，满足 12% 的热水需求。

改善建筑能源性能，实现能效提升

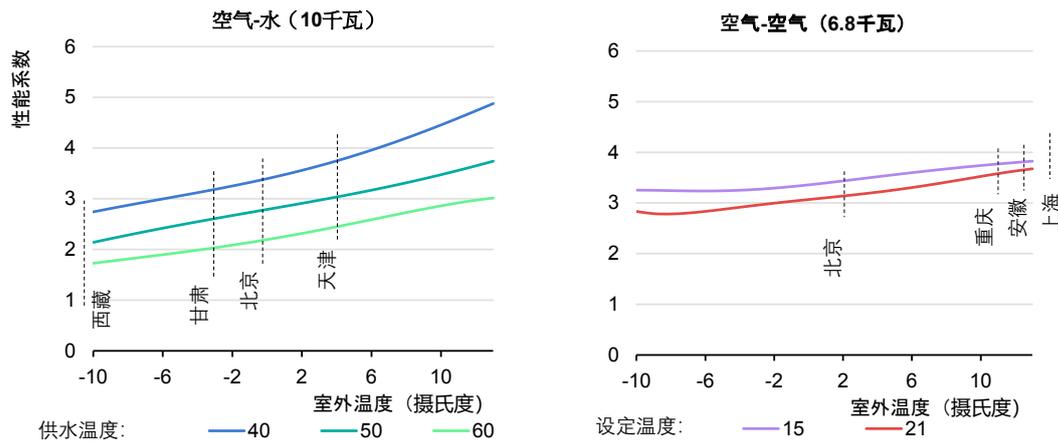
承诺目标情景下，得益于严格的建筑能源规范和高改造率目标，加上清洁取暖政策的推动，到 2050 年，空间供暖强度平均将比 2022 年下降 35%，比既定政策情景低 30%（见第 1 章）。按照承诺目标情景的设想，建筑性能（包括更好的隔热和气密性）将改善，这意味着满足家庭取暖需求所需的热泵平均容量和利用率将小于

既定政策情景。除了减少能源费用外，改善建筑性能还有助于缓解电气化程度提高对电网的压力（见第 3 章）。

不仅如此，建筑性能的提升还能降低配热温度，从而提高热泵运行的性能系数。热泵的性能系数直接受到所需温升（即输入和输出温差）的影响。所需温升既受天气条件的制约，因为温度越低，所需的温升幅度越大；也受到建筑性能的影响，因为隔热性差的建筑需要更高的输出温度，因此温升要求也更高。

在中国，寒冷气候条件下也能高效运行的热泵已经上市。例如，在西藏，供暖季的平均气温为 -10°C ，空气-水热泵的性能系数为 1.5-3（当建筑内的配水温度较低时，性能系数更接近区间上限，见图 2.4）。与传统燃气锅炉或电加热器相比，这种热泵的效率要高出很多。在北方寒冷气候区的城市中，如北京或天津，冬季平均气温约为 $1-6^{\circ}\text{C}$ ，空气-水热泵的性能系数在 2-4 之间。在冬季气温较温和的夏热冬冷地区的城市中，空气-空气热泵非常普遍，热泵的性能系数通常高于 3。

图 2.4 2022 年，不同室外和室内温度条件下，空气-空气和空气-水热泵的性能系数



IEA. CC BY 4.0.

注：供暖季的平均气温基于国际能源署[能源天气追踪器](#)的数据计算得出。

在中国各地，由于地理位置和建筑性能等多种因素的作用，热泵的性能系数可能从小于 2 到大于 4 不等，对技术的选用产生影响。

工业热泵的应用前景

虽然工业热泵的应用才刚刚起步，但在全球范围内，工业中电力供热已经非常普遍（见第 1 章）。除热泵外，目前还有电阻、介电和红外线电加热器、感应炉和电弧炉等众多电加热技术。每种技术都有自己的操作温度和应用范围。例如，感应炉和电弧炉可用于熔化金属，而介电和红外线可用于高温干燥。热泵可以应用于各种工业过程，例如为蒸馏或煮沸过程生产热水，为加热或消毒过程生产蒸汽，

或为干燥过程生产热空气。工业热泵还可以与区域供热系统协同增效，在从供热管网获取热能以及向管网提供工业余热时提升温度。

全球市场趋势

工业热泵只占当今全球已安装工业供热设备存量的一小部分，而化石燃料锅炉和其他电加热设备则占据主导地位，主要原因是它们能产生更高温度。除此之外，在多个市场中，对电力的征税远远高于天然气，损害了电加热产品整个生命周期的竞争力（见第 3 章）。然而，热泵在特定市场的发展势头强劲，例如在欧洲，工业热泵的销量增长迅速，[2022 年超过 2500 台](#)（2016 年的销量为 600 台），又如在日本，到 2020 年，热泵系统的[安装量超过 6000 台](#)。在中国，尽管工业热泵才刚刚兴起，但已有早期实例，尤其是在轻工业。其中包括[宏济堂酒坊](#)，使用 216 千瓦热泵生产 120° C 蒸汽（见专栏 4.10），以及[中国科学院](#)建造的谷物烘干机，使用 650 千瓦热泵提供 70° C 的热空气。

技术考量

许多工业领域热泵，包括高温热泵（HTHP）²⁶，已达到市场采用水平（表 2.1）。特别是输出温度不超过 140° C 的热泵，已经投入多种商用。相比之下，140° C 以上的热泵应用还十分罕见，只有少数特定商用应用被部署在拥有高温余热的小型系统中，所需的温升较低。目前，只有少数早期原型产品的温度可超过 200° C，还远未进入大众市场。

与传统的电加热器或化石燃料锅炉相比，目前热泵的操作温度区间非常窄，但其效率却高很多。传统电加热器技术的效率通常在 80%至 98%之间，而热泵的性能系数一般在 2 到 5 之间，有些可[高达 10](#)。

重要的一点是，与建筑热泵不同，大多数工业热泵不能使用环境空气作为热源，而必须依靠温度够高的余热。目前的机型在温升 20° C 至 50° C 之间时效率最高，即使有些设备[温升可达 200° C](#)，但效率会降低（见专栏 2.3）。因此，为达到与造纸和食品等工业过程相匹配的高输出温度，热源温度必须够高。在这种情况下，工业余热往往是合适热源。

热泵通常采用封闭循环，工作介质在循环中经压缩和膨胀以改变温度，但也有运用开放循环的机械蒸汽再压缩（MVR）设备。这种设备有时被称为开式循环蒸汽热泵。在机械蒸汽再压缩设备中，余汽本身经压缩来升温。热泵与机械蒸汽再压缩

²⁶本报告将高温热泵定义为能够提供 100° C 以上热力的热泵。

设备有相似之处，但又有足够不同，可被视为两种不同技术。输出温度高于 160° C 时，机械蒸汽再压缩比热泵的技术成熟度更高。

表 2.1 不同温度水平的工业热泵技术成熟度

	温度区间	技术成熟度 (TRL)	工业过程示例	型号示例
热泵	<80° C	● TRL 11: 市场稳定性已得到验证	造纸: 脱墨 食品: 浓缩 化工: 生物反应	开利 西门子 恒星
	80° C 至 100° C	● TRL 10: 已实现商业化并具有竞争力, 但尚未达到大规模部署	造纸: 漂白 食品: 巴氏消毒 化工: 沸腾	西门子
	100° C 至 140° C	● TRL 8-9: 在相关环境中首创商业应用	造纸: 干燥 食品: 蒸发 化工: 浓缩	Eco Sirocco Skala Fabrikk AGO 江森自控
	140° C 至 160° C	● TRL 6-7: 商业化前示范	造纸: 煮浆 食品: 干燥 化工: 蒸馏 各类工业: 蒸汽生产	EPCON
	160° C 至 200° C	● TRL 6: 热泵完整原型	各类工业: 高温蒸汽生产	HoegTemp Kobelco
早期	200° C 至 400° C	● TRL 4: 热泵早期原型	各类工业: 高温工艺	Spilling Technologies Gupta 等
	>400° C	● TRL 1-3: 概念需要验证	各类工业: 超高温工艺	Pimm 等

成熟度: ● TRL 1 至 5 ● TRL 6 至 7 ● TRL 8 至 11

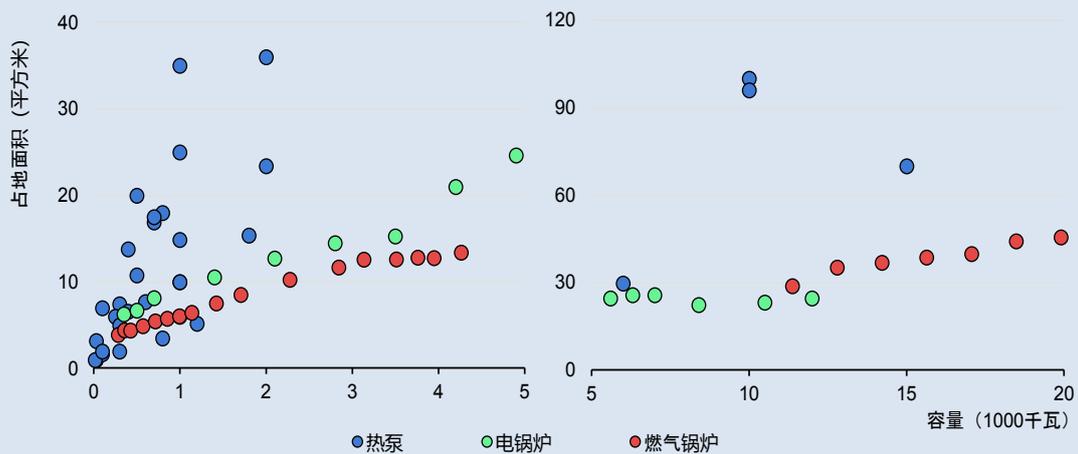
注: TRL=技术成熟度

来源: Maruf et al. (2021) [Classification, potential role, and modeling of power-to-heat and thermal energy storage in energy systems:A review](#); IEA (2022) [The Future of Heat Pumps](#)。

专栏 2.3 工业热泵的技术规格

热泵的尺寸也决定了安装所需的空間，与其他供热技术相比，热泵所需的空間更大。以现有机组为参照，1000 千瓦的热泵重 10 吨，平均需要 17 平方米的空间，而类似容量的燃气蒸汽锅炉只重 5 吨，需 6 平方米。在空間寶貴的工业设施中，或在改造现有工业设施时，这种尺寸上的差异对集成热泵可能造成挑战。

各种热泵、燃气锅炉和电锅炉的尺寸与容量



IEA. CC BY 4.0.

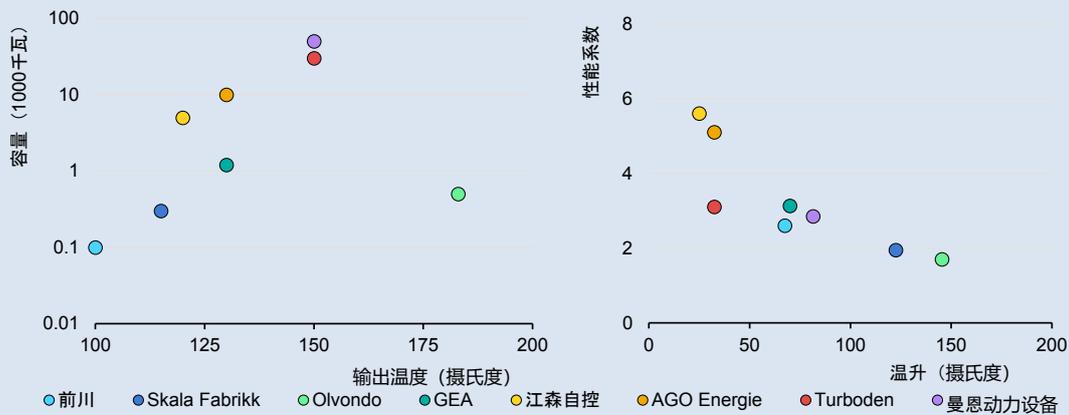
注：这里使用了 Annex 58 所列出的 30 种热泵的占地面积和容量。燃气锅炉类别中，使用了考克兰的 Borderer 和热马型双炉胆蒸汽锅炉作为参考。电锅炉类别中，使用了 Babcock Wanson 的 e-Pack 锅炉作为参照。

来源：IEA HPT TCP Annex 58 (2023) High -Temperature Heat Pumps; Cochran (2013) Industrial Specifications; Babcock Wanson (n. d.) e-Pack。

现有高温热泵的容量**最高可达 7 万千瓦**（见下图）。然而，当今工业的一大部分供热需求还是由输出容量更大的传统锅炉来满足。例如，在美国，**超过 70%**的工业锅炉在 1000 千瓦到 1 万千瓦之间，但它们只占装机容量的不到 25%。相反，10 万千瓦以上的工业锅炉仅占机组的 3%，但却占装机容量的近 40%。以造纸行业为例，目前该行业大约一半的供热需求理论上可由热泵满足，但造纸业也是锅炉平均规模最大的行业（达到 4.8 万千瓦，而工业平均为 1.3 万千瓦），并且 70%的锅炉容量大于 10 万千瓦。为在更多工业部门部署热泵，需要广泛提供能与燃气和电锅炉在容量上匹敌的大型热泵机组。

在改用热泵时，需要仔细规划和设计，将所有特性考虑在内。目前，人们对热泵的优点以及如何选择最高效热泵的认识有限，限制了热泵在工业领域的发展。

不同热泵的装机容量和性能系数，与输出温度和温升的对比



国际能源署。CC BY 4.0。

注：温升是指汇与源的平均温差。每种颜色代表一种不同制造商生产的高温热泵型号，共八种。每种热泵所展示的操作设置都是输出温度较高且容量最大的设置。

来源：改编自国际能源署热泵技术合作项目（2023）[Annex 58](#)。

热泵在中国工业中的潜力

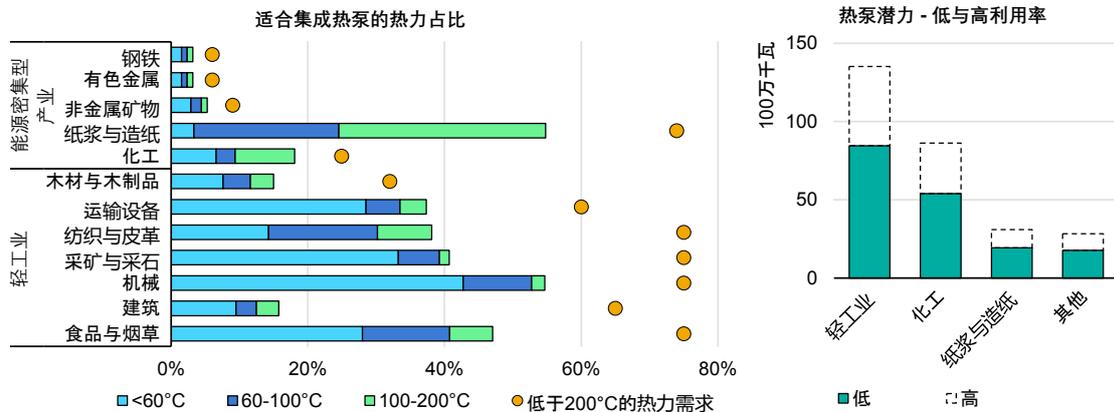
考虑到对 200° C 以下热力的大量需求（见第 1 章）和丰富的余热热源，理论上讲热泵可以满足当今约 15% 的工业供热需求（图 2.5）。假定在目前生产水平下，并且技术利用率²⁷为 50–80%，这将需要 1.75 至 2.8 亿千瓦的热泵运行。这一理论上的供热需求占比低于欧盟的占比，在欧盟，热泵可能满足 37% 的供热需求。造成这一差异的主要原因是目前中国的高温工艺工业所占比重较大。然而，正如第 1 章所述，在未来几十年中，较低温的工艺供热在中国的占比预计会增加。

与能源密集型产业相比，轻工业的平均工艺温度较低，集成热泵的潜力最大。平均而言，轻工业 45% 的供热需求适合热泵，在机械、食品和烟草等细分部门中的比例可高达 50% 左右。如果使用热泵来满足这些供热需求，则需要现在部署 0.85–1.35 亿千瓦的热泵。

两个能源密集型产业在热泵部署方面的潜力十分巨大。首先是纸浆和造纸行业，中国该行业目前约 55% 的供热需求从技术上来说可由工业热泵满足，按照 2022 年的能源需求计算，这相当于部署 2000–3000 万千瓦的热泵容量。第二个应用热泵潜力相当大的能源密集型产业是化工行业，该行业目前约 18% 的供热需求可由热泵满足。这意味着热泵装机容量将需要达到 5500–8500 万千瓦（这里我们同样假设利用率为 50–80%）。

²⁷利用率是设备运行时间占总时间的百分比。

图 2.5 中国部分工业部门不同温度水平和热泵部署潜力范围内，工业热泵可满足的供热需求比例



IEA. CC BY 4.0.

注：各温度区间显示了可由热泵提供的热力占比，其中考虑了合适余热需求的限制。在食品和烟草、化工，以及纸浆和造纸行业，采用了与Marina等人文章中相同的假设。对于其他行业，我们假设温度低于60°C的部署潜力为95%，60°C至100°C为50%，100°C至150°C为30%，150°C至200°C为3%，200°C以上无部署潜力。低容量和高容量区间采用的利用率分别为80%和50%。这些部署潜力是根据当前工业格局计算得出的。

来源：国际能源署基于Marina et al. (2021) [An estimation of the European industrial heat pump market potential](#); Taibi et al. (2010) [Renewable Energy in Industrial Applications - An assessment of the 2050 potential](#); ITP Thermal (2019) [Renewable energy options for industrial process heat](#); Madeddu et al. (2020) [The CO₂ reduction potential for the European industry via direct electrification of heat supply \(power-to-heat\)](#); CHPA (2023) [工业热泵发展白皮书 \(2023\)](#) [Industrial heat pump development white paper 2023].

从理论上讲，热泵最高可满足当今工业热力需求的 15%，就绝对值而言，化工、食品和机械行业的潜力最大。

热泵在中国轻工业中的应用概况与前景

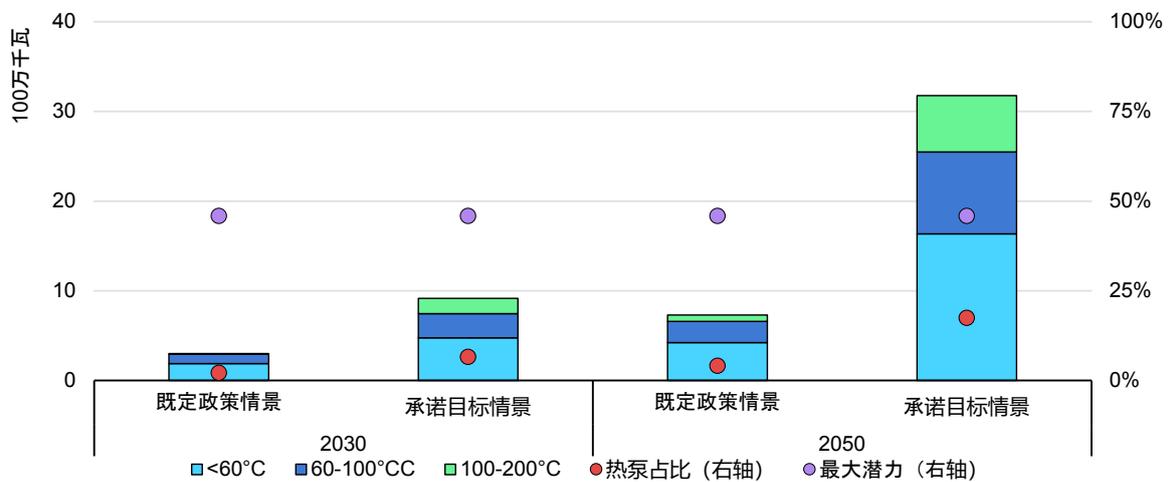
尽管理论上热泵可满足很高比例的轻工业供热需求，但完全发掘这些潜力的可能性不大。在某些工业过程中，替代技术的成本可能更低，也更合适，并且不同的政策决定也可能激励不同程度的热泵部署。

既定政策情景下，中国轻工业的供热燃料结构未发生急剧变化（见第 1 章），到 2050 年，电气化比例保持在 35% 左右。然而，承诺目标情景下，电气化是实现中国碳中和承诺的关键杠杆之一，到 2050 年，电力在最终供热需求中的占比将超过 75%。承诺目标情景中对电气化支持的加大推动了热泵的普及，尤其是在轻工业。承诺目标情景下，仅在轻工业领域，热泵在 2030 年将提供近 270 拍焦的热力（占该领域供热总需求的 10%），并在 2050 年提供 840 拍焦（20%）。相比之下，既定政策情景下，2030 年仅为 85 拍焦和 2%，2050 年为 200 拍焦和 5%。这些数值明显低于理论潜力：热泵面临着其他供热技术的竞争，特别是太阳能热、地热和生物能，如果条件适合，这些技术在成本上极具竞争力。此外，空间限制、融资问题、缺乏专业知识，甚至特定工艺的不兼容性，也可能限制热泵的部署。尽管如此，

除传统电加热器外，热泵在 2050 年仍是最重要的创新技术，承诺目标情景下，其装机容量约为生物甲烷的 4 倍，太阳能热的 9 倍。

满足轻工业供热需求所需的热泵装机容量取决于多种变量，如工作班次、利用率或不同工艺的优化，这些变量可能会有很大差异。假设利用率为 80%，那么承诺目标情景下，到 2050 年，所需的热泵装机容量将为 3000 万千瓦（图 2.6）。这些容量大多应用于食品行业，承诺目标情景下，将占 2050 年热泵存量的约 40%，其次是机械以及纺织和皮革行业，分别占存量的 30%和 15%。要逐步建立这一存量，承诺目标情景下，2025 至 2050 年间，每年需要安装约 150 万千瓦的热泵。²⁸

图 2.6 2030-2050 年，既定政策情景和承诺目标情景下，中国轻工业不同温度水平的工业热泵装机容量



IEA. CC BY 4.0.

注：在计算容量时，假设热力设备的利用率为 80%。最大潜力代表在轻工业中的理论最大部署份额（见图 2.5）。

承诺目标情景下，热泵成为中国轻工业的主要热源之一，满足 20% 的需求，主要在温度低于 60°C 的区间。

承诺目标情景下，轻工业对热泵的大量普及将大幅提高效率。如果用传统的电锅炉取代部署的热泵，承诺目标情景下，2050 年的电力需求将增加近 650 拍焦，相当于如今南非的电力需求。

特别关注：接入区域供热管网的热泵

在中国北方城镇中，集中供暖管网是最主要的空间供暖方式，目前多半依靠化石燃料，通过热电联产或大型纯供热锅炉运作（见专栏 1.2）。接入集中供暖管网的

²⁸这包括初始安装和更换即将报废的设备。

大型热泵为系统集成提供了机遇，并可支持集中供暖管网脱碳。它们也是对不同活动产生的余热进行回收和再利用的关键。

全球市场趋势

目前，大型热泵在全球区域供热管网中的装机容量微乎其微。它们主要部署在欧洲（装机容量约为 250 万千瓦），略低于区域供热总装机容量的 1%。瑞典的装机容量几乎占欧洲的一半，其区域供热管网中运行的热泵超过 100 万千瓦。在第一和第二大区域供热市场——中国和俄罗斯（见第 1 章），热泵占比微不足道。

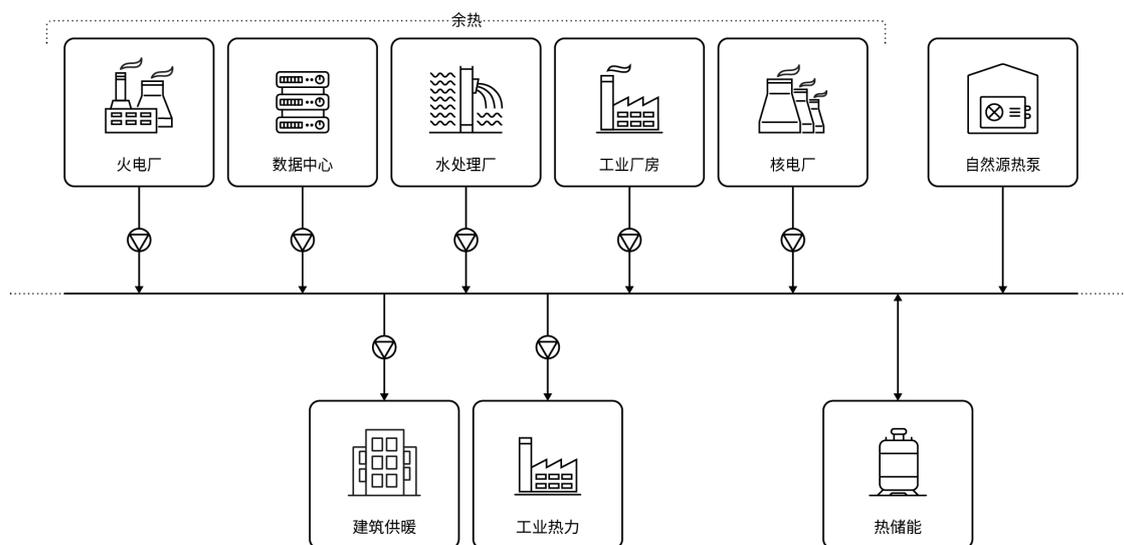
尽管如此，热泵在中国北方集中供暖管网中的应用正日益增多。目前，中国大多数接入集中供暖管网的热泵都是空气源热泵，安装在小型管网中，温度范围较低（ $<65^{\circ}\text{C}$ ），可满足 50 至 300 万平方米的供热需求。中国也有一些在集中供暖管网中使用大型热泵回收余热的实例（见表 2.2），在未来，预计这类部署会增加。

技术考量

热泵在区域供热管网中可以发挥多种作用，连接方式也不尽相同（图 2.7）：

- **一级管网热泵**可以整合环境热能或余热，并可用于提升一级管网的供热温度。与热储能相结合，一级管网热泵可以增加电网的灵活性，实现间歇性可再生能源的整合，并可利用低电价时段（见第 3 章）。在瑞典，2021 年区域供热管网中 7% 的热力供应由大型热泵完成，其中大部分热泵使用污水和环境水作为热源。
- **二级管网热泵**用于提升终端用户温度。可连接低温管网，以满足生活热水需求（热水所需温度比空间供暖更高）；也可用于超低温管网，提升终端用户温度，用于空间供暖和/或热水。
- **连入热力分站的热泵**可提高系统效率，因为它们可以整合余热或环境热能，并通过降低一级管网的回水温度来优化管网性能。基于吸收式热泵的吸收式换热器是一种得到广泛研究的替代技术，正受到越来越多的关注，尤其是在中国（见专栏 2.4）。

图 2.7 在区域供热管网中集成热泵和余热

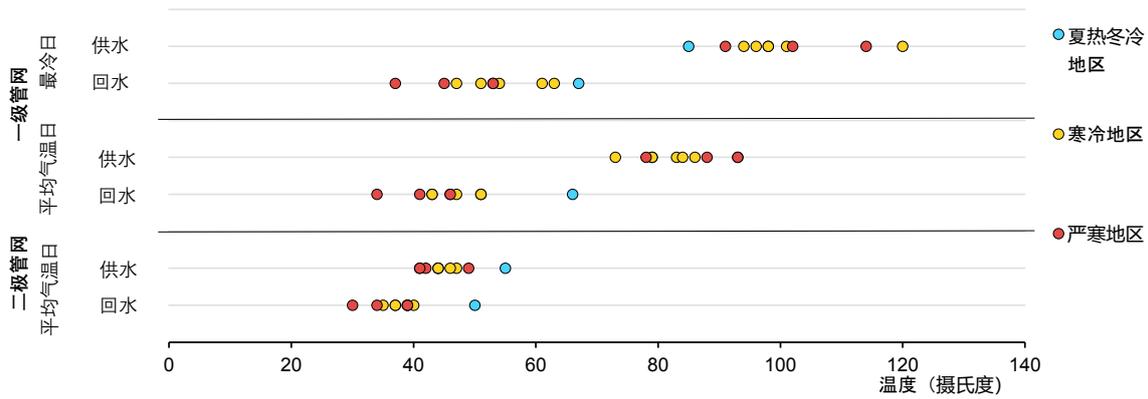


连接到一级管网、二级管网和热力分站的热泵可在区域供热管网中发挥多种作用。

在过去的一个世纪中，区域供热系统发生了诸多演变，从使用高温蒸汽作为热载体（第一代区域供热系统），到使用超高温热水（第二代），再到如今广泛使用的供水温度在 100°C 以下的系统（第三代）。目前，进一步降低供水温度的努力仍在继续，目标是 $60\text{--}70^{\circ}\text{C}$ 以下（[第四代](#)）。近来，温水环路的新概念兴起，以温度更低的管网为基础，通过终端用户层面的热泵来满足制冷和供热需求。

降低管网的运行温度往往可以减少配热损失，并能整合温度更低的余热和环境热能，从而为整个系统带来显著增益。然而，降低区域供热管网的运行温度并非易事。在中国大多数城市，供暖季一级管网（即与热电联产厂、锅炉或大型热泵等热源相连的管网部分）的平均供水温度在 75°C 至 100°C ，而回水温度在 40°C 至 60°C （图 2.8）。

图 2.8 中国部分气候区不同管网的供水和回水温度



IEA. CC BY 4.0.

注：一级管网是与集中供热源相连的管网部分，而二级管网则与最终用户相连。数据收集是由清华大学建筑节能研究中心在中国 12 个城市的典型城市集中供热系统管网中完成。

向低温区域供热 (<60° C) 的转变可以减少能量损失，并促进区域供热管网与可再生能源、余热和大型热泵的整合。

表 2.2 中国将热泵纳入区域供热系统的部分案例研究

案例研究	地点与气候	系统描述	效果
钢厂余热利用	迁西 (河北, 寒冷气候区)	<ul style="list-style-type: none"> - 20 万千瓦 (吸收式热泵) - 供热面积 450 万平米 (2020) - 中国首个完全使用低品位工业余热供热的节能减排示范县 	<ul style="list-style-type: none"> - 每年减少用煤量 5.4 万吨 - 每年减少二氧化碳排放 14.5 万吨 - 每年减少氮氧化物排放 54 吨
大连市第七人民医院原生污水源热泵项目	大连 (辽宁, 严寒地区)	<ul style="list-style-type: none"> - 2 台热泵和 4 台换热器 - 冬季设计热负荷为 2191 千瓦, 夏季设计冷负荷为 1266.8 千瓦 - 未经处理的 10-30° C 污水作热源 - 供热季的性能系数为 4 	<ul style="list-style-type: none"> - 煤炭使用量减少 50% - 每年减少二氧化碳排放 1 千 5 百吨 - 每年减少氮氧化物排放 4.4 吨 - 每年减少二氧化硫排放 5.1 吨
永城龙宇化工工业余热利用	永城 (河南, 寒冷气候区)	<ul style="list-style-type: none"> - 供热面积 130 万平米, 其中 10% 为商业建筑, 90% 为住户 - 5.3 万千瓦 - 中国首例回收煤炭气化厂废水余热用于集中供暖的案例 	<ul style="list-style-type: none"> - 每年减少用煤量 4.9 万吨 - 每年减少用水量 20.8 万吨
赵县项目：“煤改电”和“煤改气”技术转型	石家庄 (河北, 寒冷气候区)	<ul style="list-style-type: none"> - 空气源热泵和燃气锅炉 - 46 个供热站 - 18 万千瓦 (空气源热泵) - 供热面积 >300 万平米 	<ul style="list-style-type: none"> - 每年减少用煤量 1.8 万吨 - 每年减少二氧化碳排放 4.7 万吨

专栏 2.4 吸收式热泵以及深层和中深层地源热泵在区域供热管网中的作用

目前，中国的区域供热一级管网中的供水和回水温度相对较高（图 2.8）。降低一级管网的回水温度将为系统带来巨大增益。较低的回水温度会增大供回水温差，这意味着可以用较小的水流传输相同的热量，从而降低管网水泵的耗电量并提高整个系统的效率。将回水温度降至 20° C 左右，并使供回水温差达到 100° C 左右，可将管网的输送能力提高 70%。

吸收式换热技术由吸收式热泵和热交换器组成，经验证，这种技术是降低回水温度和扩大一级管网温差的可行替代方案。吸收式热泵本质上是由热能驱动的热泵。如果一级管网的水流温度够高，就可以驱动吸收式热泵，实现一级和二级管网之间的有效热交换，促使回水温度降至 20° C。

地源热泵也是实现区域供热脱碳的关键解决方案，为浅层地源热泵提供补充。深层和中深层热泵已投入使用，例如在陕西省西安市，与浅层地源热泵相比，这种热泵的效率要高出约 40-60%，因为它们从地下约 2-3 公里的岩层中提取热量。

在这个深度，热库的温度高达 80-90° C，比主要由太阳辐射加热的近地面地层温度要高得多。一口典型的深层和中深层地热井每年至少可以提取 3 万亿焦的热量，足以满足中国北方 160 户家庭的冬季取暖需求。然而，通常情况下，随着时间的推移能效可能降低，因为当持续的热量提取超过从地球内部逐渐释放的热量时，热源的岩层温度会降低。

由于缺乏有针对性的设计，此类系统中使用的两条管道的间距以往通常只有 20 米或更短。然而，这种配置下的取热半径有限，这也意味着运行 10 年后地温降幅可达 13° C。如果将两条管道的间距增加到 50 米或更远，地温在 10 年后将仅降低 2° C，从而保证此类热泵在数十年内的长期稳定运行。

因此，深层和中深层地源热泵的管道间距应根据场地条件增加，并应避免密集布局。最近在西安、北京和中国北方其他城市的一系列建筑项目中已体现这一思路，以最大限度地提高地源热泵的能效。

特别关注：使用热泵对热能进行回收和再利用

在工业领域和区域供热管网中，发掘更多热泵潜力的一个先决条件是余热供应。人类活动消耗大量能量，其中只有少量保留在了产出品中，而大部分则变为低温余热。如果这些余热的排放相对集中，就可以作为热泵的低温热源来进行回收和再利用。目前，大部分高温余热都被回收并用于发电，但仍有大量低于 100° C 的余热，尤其是 30-50° C 的余热，被排放到大气中（图 2.9）。数据中心、工业冷却过程和大型变电站冷却过程会产生和排放大量低品位余热。此外，中国的核电和调峰火电也会排放低温余热，按能量计算相当于其发电量的 1.5 倍左右。

火电厂，包括纯凝电厂和热电联产厂，通过蒸汽和废气排出大量余热。目前，中国有近 13 亿千瓦的燃煤和燃气火电厂，每年产生的余热资源约为 30 艾焦，其中大部分低于 50° C；核电厂装机容量为 5700 万千瓦，每年产生余热约 2.5 艾焦。这些电厂在中国的分布通常与人类活动和经济发展密切相关，主要集中在华北平原、长江三角洲和珠江三角洲地区。²⁹

在碳中和发展目标下，中国电力系统预计将逐步转型为零碳电力系统，煤电和核电将大幅减少，但部分燃煤电厂仍将保留，以满足季节性电力调节需求（详见第 3 章）。据清华大学估计，到 2050 年，火电总装机容量为 5.1 亿千瓦，发电时间约为 1500 小时，余热资源估计约为 5 艾焦，其中大部分低于 50° C。核电到 2050 年装机容量估计将已达到 2 亿千瓦，发电时间为 7500 小时，余热资源预计为 5.6 艾焦。

工业余热是另一个宝贵热源。目前，仍有大量低温余热未被利用。据清华大学估算，黑色金属冶炼、非金属矿物加工、有色金属冶炼、化工原料制造、石油加工等五大能源密集型产业所产生的余热，理论上年资源潜力约为 10 艾焦。³⁰全国工业余热的地理分布并不均衡。³¹

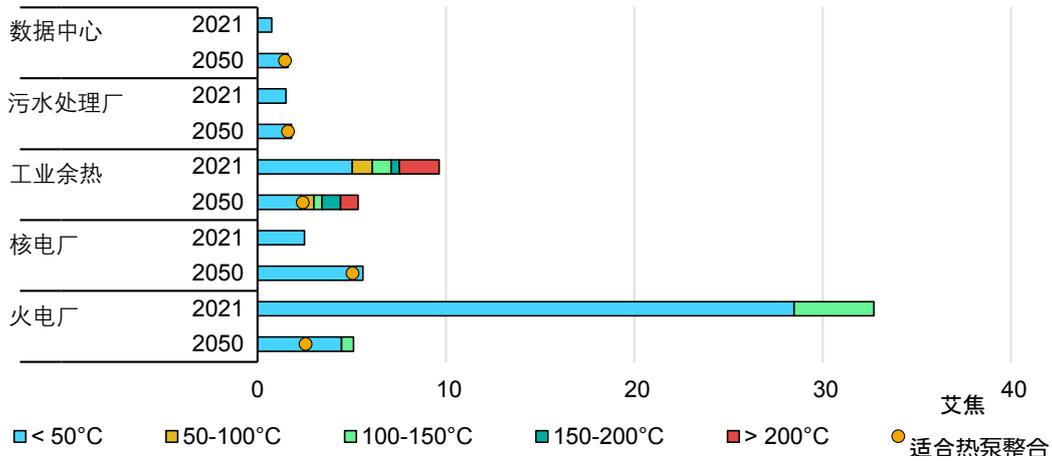
废水处理厂也有余热回收潜力。2021 年，中国的废水处理量约为 720 亿立方米，如果取热温差为 5° C，预计同年，废水处理厂产生的余热约为 1.5 艾焦。中国的重要项目包括在青岛规划的区域供热供冷系统，该系统使用空气源、地源和废水源热泵，供热覆盖面积将达到 180 平方公里。在河北省石家庄市，工业废水源热泵在为 7000 户家庭供热。

²⁹此项估计来源于清华大学的一项研究，该研究对 2186 家燃煤电厂、171 家燃气电厂、820 家垃圾发电厂和 12 家核电厂的余热的地理分布进行了分析。

³⁰这一估算是基于产能、产量和单位产品余热。

³¹这一评估是基于 2262 家工厂。炼铁和炼钢厂主要分布在中国北方和东部沿海地区，水泥工业则均匀分布在人口稠密地区。

图 2.9 2021 和 2050 年，中国不同温度水平和领域的余热供应



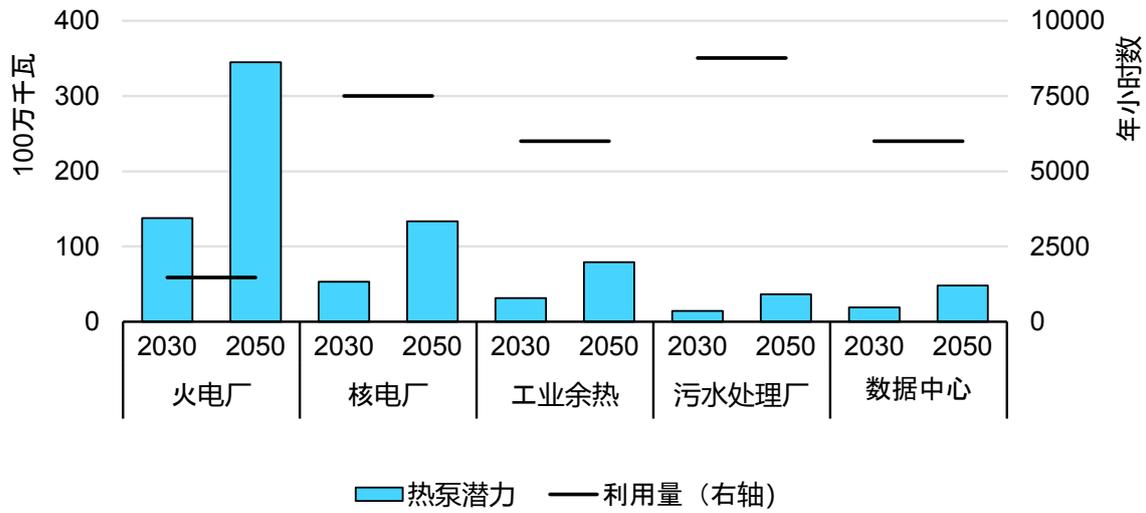
IEA. CC BY 4.0.

注：2050 年适合热泵整合的余热是基于清华大学的估算，该估算的基础是余热的可获取性和经济评估。

到 2050 年，电厂、工业、数据中心和废水处理厂将产生近 19 艾焦的余热，但只有约 13 艾焦适合热泵整合。

核电厂、火电厂、工业设施和其他工业过程所产生的大量低温余热为集成大型和吸收式热泵提供了机遇。2030 和 2050 年，为利用余热资源而部署的热泵容量分别可达约 2.5 亿和 6.5 亿千瓦（图 2.10）。到 2050 年的大部分部署潜力（3.5 亿千瓦）在火电厂，这些电厂用于调峰发电，每年运行时间不到 1500 小时，因此不易转化为热电联产发电厂。剩余容量在工业余热、数据中心、废水处理厂和核电厂，这些容量的年利用率较高，因为它们的余热源预计每年的余热供应时间在 6000 小时以上。

图 2.10 2030 和 2050 年，对中国发电厂和工业所产生的余热进行回收和再利用的热泵的部署潜力



IEA. CC BY 4.0.

注：热泵容量的估算是根据余热供应量和可获得性以及技术经济评估而做出的。

到 2050 年，为发掘余热潜力，中国部署的热泵容量可高达 6.5 亿千瓦。

第3章. 热泵部署的影响

要点

- 在既定政策情景（STEPS）中，建筑热泵投资将在2030年前翻一番，在2050年前增加两倍以上。在部署速度更快的承诺目标情景（APS）中，投资水平甚至更高。既定政策情景与承诺目标情景之间的投资差距在工业热泵方面更为明显，这表明需要增加政策支持，以实现大规模部署。
- 虽然高昂的前期成本是阻碍热泵普及的主要因素，但与化石燃料锅炉或电加热器相比，热泵投资通常会为家庭和企业带来长期回报。尽管如此，推行降低购买成本的经济激励措施，对扩大部署规模至关重要。缩小电力和天然气之间的价格差距，也能使热泵在其全寿命周期更具成本竞争力。
- 热泵是建筑脱碳的关键杠杆，在承诺目标情景中，到2050年，热泵将贡献中国供热直接减排量的约30%。在承诺目标情景中，大型热泵占轻工业减排量的五分之一。随着煤炭供热的逐步淘汰，空气污染物的排放量急剧下降。由于承诺目标情景中的热泵部署更多，更能改善空气质量，因此在2030年能避免过早死亡的人数比既定政策情景中还要多出约6000人。
- 与热泵部署相关的冬季高峰电力需求的增长并非没有挑战，但这些挑战远小于在化石燃料供热系统向能效较低的电阻式加热器转变的情况下。扩大使用分时定价可以通过需求响应缓解电网压力，并使热泵用户在2030年前将能源费用减少10%。
- 中国是最大的建筑热泵制造国，其产量约占全球总销量的35%。在欧洲不断增长的需求之下，空气-水热泵是增长最快的出口板块。由于前导时间短，现有空调生产线规模大，因此可以迅速提高产能，满足日益增长的国内需求。
- 中国已成为全球的热泵创新中心，在整个热泵供应链中拥有大量劳动力。在承诺目标情景下，到2030年，中国的热泵行业就业人数将翻一番。然而，职业教育需要升级调整，以应对制造业招聘方面新出现的挑战，否则可能会阻碍热泵制造和部署的加速发展。

导言

在中国的建筑供暖热、工业热力和区域供热中加大热泵部署，将为中国的能源行业带来深远变化，对经济活动、环境和公众健康产生重大影响。本章将依次探讨这些影响，以及加快部署所面临的各项障碍。整章都突出说明了政策制定者可以如何抓住机遇，应对与加快热泵部署相关的一些挑战，第4章会对此作进一步讨论。

虽然改用热泵所带来使供热所用的化石燃料减少，将有助于降低温室气体排放量，但为了最大限度地减排，还必须控制热泵中使用的制冷剂的排放量。逐步淘汰供热用煤也将对空气质量带来重大改善，特别是在更普遍使用煤炭的农村地区的环境空气质量。然而，扩大部署需要广泛的家庭和企业投资，而解决热泵前期成本高昂等障碍对推动这些投资至关重要。同时，热泵数量的增加也会致使电力需求上升，因此更加需要需求侧管理等解决方案。中国已是热泵的主要制造国和最大的销售市场，而且国内市场的拓展潜力巨大（见第2章）。进一步加大生产还将为出口、创新和就业带来新的机会，但需要解决人员配备问题，特别是在制造环节。

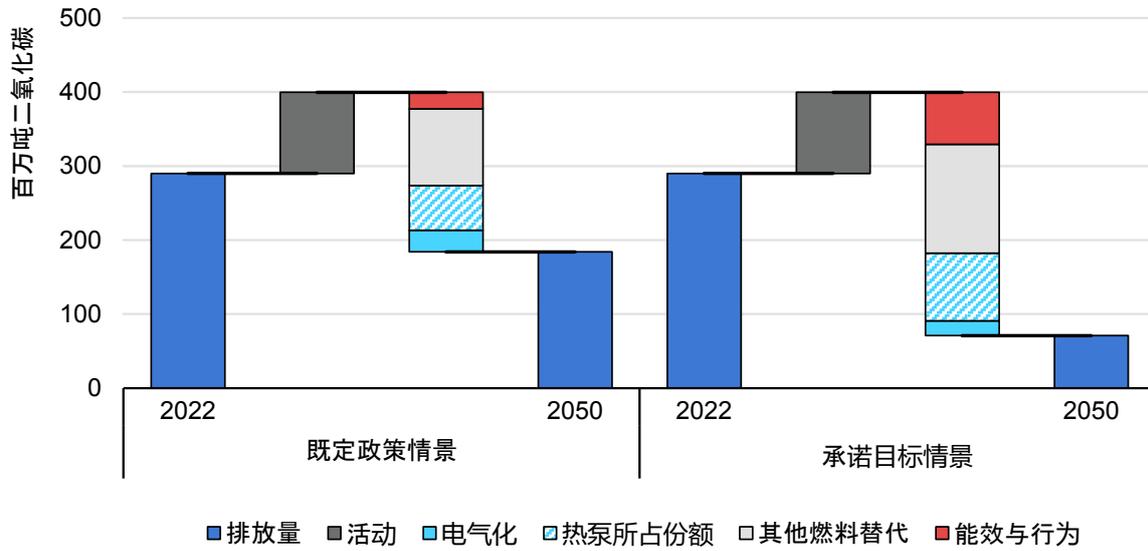
环境与公共健康

温室气体排放

建筑

在 2022 年的中国建筑直接排放量中，绝大多数来自用于空间供暖和热水的燃料燃烧，约为 2.9 亿吨二氧化碳。在既定政策情景下，尽管建筑面积和电器拥有量增加，但到 2050 年，建筑排放量将减少四分之一以上。其中，热泵贡献的减排量占四分之一以上，其余大部分来自煤改气等其他燃料替代选项。在承诺目标情景下，由于在电气化、能效措施和行为改变方面做出的更大努力，到 2050 年，二氧化碳排放量将减少到仅 8000 万吨。在该情景下，热泵贡献了减排量的约 30%，有助于抵消与建筑活动增加相关的排放增加（图 3.1）。随着发电逐步脱碳，与热泵用电相关的间接排放在既定政策情景和承诺目标情景中都没有太大影响（见专栏 3.2）。

图 3.1 2022-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国空间供暖和热水的二氧化碳直接减排情况



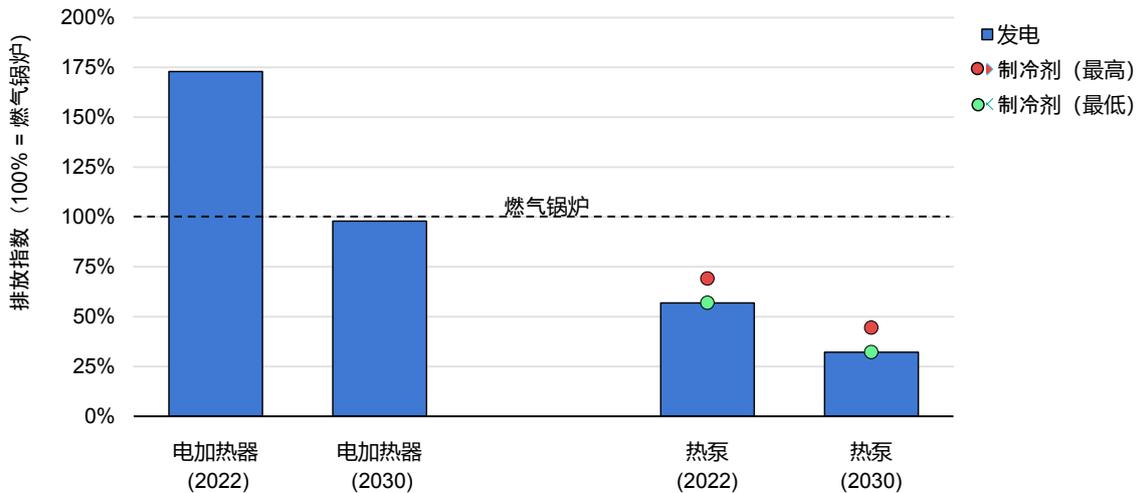
IEA. CC BY 4.0.

注：直接排放量的计算中，假定建筑终端能源消费的燃料结构如第 1 章图 1.1 所示，并结合专栏 1.1 阐释的考虑因素。

电气化是建筑供暖脱碳的关键杠杆，在承诺目标情景下，到 2050 年，热泵将贡献约 30%的直接减排总量。

与使用化石燃料的供暖系统相比，中国现有的热泵系统已经大幅减少了温室气体排放量：例如，当前热泵的年排放量比燃气锅炉低 30%以上（图 3.2）。转向使用全球变暖潜能值（GWP）较低的替代制冷剂并采取行动防止泄漏，可以进一步提高这些优势（专栏 3.1）。

图 3.2 2022 和 2030 年承诺目标情景下电加热器和热泵与燃气锅炉的温室气体年排放量比较



IEA. CC BY 4.0.

注：发电 = 为热泵提供动力的发电相关年排放量；制冷剂（最高）= 完全泄漏情况下传统氢氟碳化物制冷剂的年排放量；制冷剂（最低）= 良好防漏做法下天然制冷剂的年排放量。

热泵的年排放量现在已经比燃气锅炉低 30%，而在承诺目标情景下，到 2030 年将比其低近 60%。替代制冷剂和防漏措施可以进一步提高这些优势。

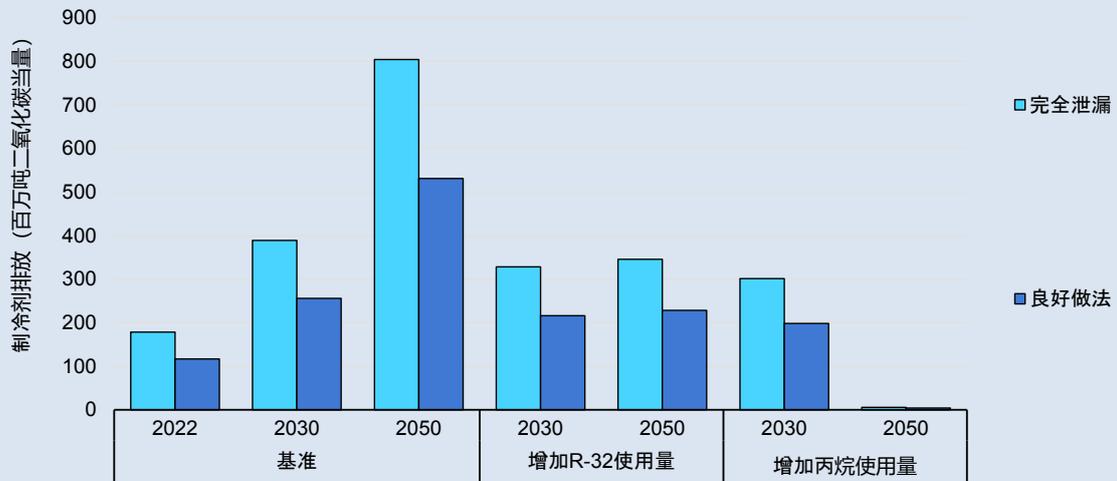
专栏 3.1 限制制冷剂排放可进一步提高热泵的优势

热泵依靠制冷剂来移动热力。虽然这些物质在密闭的制冷循环中运行，但在生产、运营和停用过程中经常会发生部分或完全泄漏的情况。由于许多制冷剂的全球变暖潜能值很高，泄露会带来气候风险。一些最有害的制冷剂，如 R-22 和其他氢氯氟碳化物（HCFCs），已根据《蒙特利尔议定书》在中国逐步淘汰。

然而，氢氟碳化物（HFCs），即全球变暖潜能值较高的含氟气体（F-gases）仍在广泛使用。如果不改变高全球变暖潜能值的氢氟碳化物的使用，那么根据承诺目标情景的热泵部署水平，制冷剂排放量到 2030 年将增加一倍以上，到 2050 年将增加三倍以上。良好的做法和设计优良的制冷剂以及回收和再生计划可以限制制冷剂泄漏。此外，还可以通过改用危害较小的制冷剂来减少排放，这些制冷剂已经问世，而且在日益扩大部署。在扩大使用危害较小的制冷剂的同时，在设备处理方面采取良好做法，对于最大限度地发挥热泵优势至关重要。

R-32 是一种常见的含氟气体制冷剂，其全球变暖潜能值比目前使用的大多数制冷剂低一到两倍。然而，R-32 排放的气候影响仍然是非氢氟碳化物替代品的 200 多倍。这意味着即使大范围转用 R-32，在承诺目标情景下，到 2030 年制冷剂排放量也将比现在几乎翻一番。制冷剂安全方面的良好做法可以将这些排放量减少约三分之一。

2022–2050 年中国在不同制冷剂结构下的热泵制冷剂排放量



IEA. CC BY 4.0.

注：制冷剂排放量基于承诺目标情景下的热泵部署水平。基准包括截至 2022 年的制冷剂结构，并反映了中国作为签署国，根据《蒙特利尔议定书》逐步减少 R-22 氢氟碳化物的路径。依循《蒙特利尔议定书基加利修正案》（中国于 2021 年批准），有不同的逐步减少氢氟碳化物的路径可行，包括本图中的两个替代方案。良好做法包括在安装和维护过程中限制泄漏，以及制冷剂循环利用。

来源：国际能源署，基于 Purohit & Höglund-Isaksson (2017), [Global emissions of fluorinated greenhouse gases 2005 - 2050 with abatement potentials and costs](#).

中国已在努力逐步减少高全球变暖潜能值的含氟气体制冷剂。2019 年，中国提出了《绿色高效制冷行动计划》，并在 2021 年成为了旨在限制全球氢氟碳化物使用的《蒙特利尔议定书》之《[基加利修正案](#)》的正式签署国。

丙烷（R-290）和其他碳氢化合物等天然制冷剂是另一种常见的替代品，其全球变暖潜能值小到微乎其微。因此，大规模转用此类气体可在 2050 年前基本消除中国的含氟气体排放，但实际限制因素依然存在，主要与[易燃性增大](#)有关。分体式热泵的制冷剂在建筑内循环，与制冷剂在室外的单体机组相比，需要更严格的安全措施。开展创新有可能进一步降低热泵高效运营所需的制冷剂负荷，从而降低与制冷剂有关的风险，这也在[最近的研究进展](#)中得到了体现。

欧盟是替代制冷剂的主要市场，其在 2024 年 1 月通过的一项新规定中制定了从 2025 年到 2030 年，将含氟气体总量减少近 80% 的预期目标。此外，使用全球变暖潜能值超过 150 的氢氟碳化物的单体系统和空气-水分体热泵，将在 2027 年前被禁用，同类的空气-空气分体系统将在 2029 年前被禁用。由此可见，该规定将在未来几年内，基本将包括 R-32 在内的含氟气体从在欧盟销售的大多数热泵和空调中消除，从而对欧洲和其他地区的热泵和空调市场及供应链产生重大影响。

最后，具有零消耗臭氧潜能值和低全球变暖潜能值的合成制冷剂氢氟烯烃（HFOs），可以在热力学性能、环保性能和安全性之间取得平衡。然而，最近有研究发现，许多氢氟烯烃制冷剂属于全氟和多氟烷基物质（PFAS），可在大气中分解成对人类和环境

健康有害的三氟乙酸。欧盟和美国环境保护局都启动了评估计划，以评估氢氟烯烃的适用性和可能的限制。

二氧化碳可用作制冷剂，特别是在热泵热水器中。虽然二氧化碳在较高温度下才最高效，而且还需要更高的压力 and 更坚固的材料，但与其他制冷剂相比，它不易燃，而且被释放时对气候的影响也有限。在使用余热和高输出温度的工业应用中，水蒸汽也具有同样的优点。

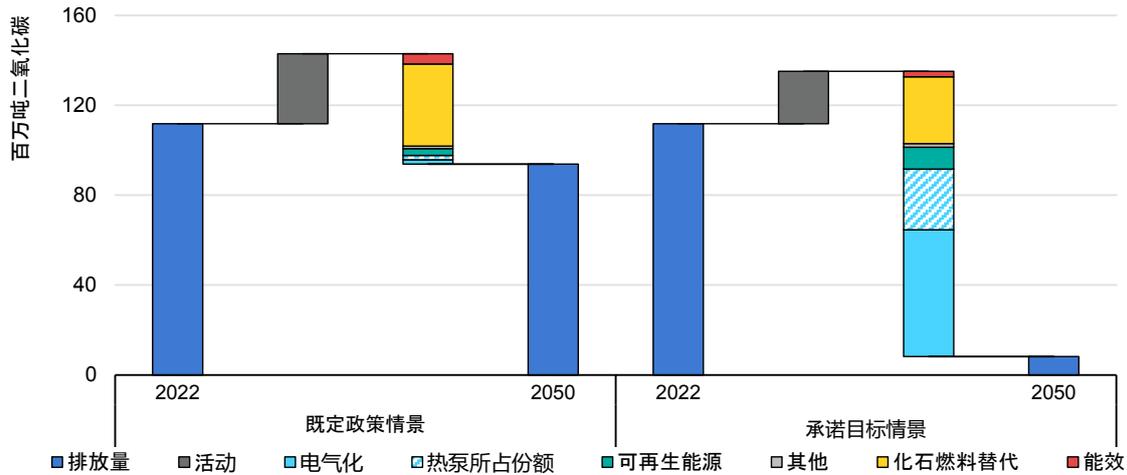
此外，中国有大学正在研究不需要制冷剂的先进供热/制冷技术。这些非传统固态解决方案利用材料的特性，使其在受压或暴露于磁场时移动热力。虽然这些技术目前[技术成熟度较低](#)，但其在避免制冷剂产生的排放之余，还有望实现极高能效，甚至可能高于目前同类最佳的空调。

工业

在既定政策情景下，轻工业热泵贡献的二氧化碳减排量到 2050 年仍然有限，因为热泵部署在当前的政策设置下速度较慢。虽然煤改气以及生物甲烷混合气加大普及，在很大程度上抵消了工业活动增加所导致的排放增加，但电气化进展仍几乎停滞不前（图 3.3）。因此，与目前水平相比，2050 年的排放量仅下降 15%。

相比之下，在承诺目标情景中，轻工业供热产生的二氧化碳直接排放量将从目前的 1.1 亿吨急剧减少到 2050 年的仅 1000 万吨，降幅达 95%。工业活动的增加会被燃料替代和能效措施带来的减排所抵消。到 2050 年，供热减排量的 70% 将归功于电气化。减排量的三分之一将得益于热泵部署，另有一系列其他电加热器用于高温工艺脱碳。剩余的减排量则主要来自于转向其他能效更高、排放更少的燃料解决方案，如天然气、生物能、太阳能热、地热能和氢能。

图 3.3 2022–2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国轻工业供热二氧化碳直接排放变化



IEA. CC BY 4.0.

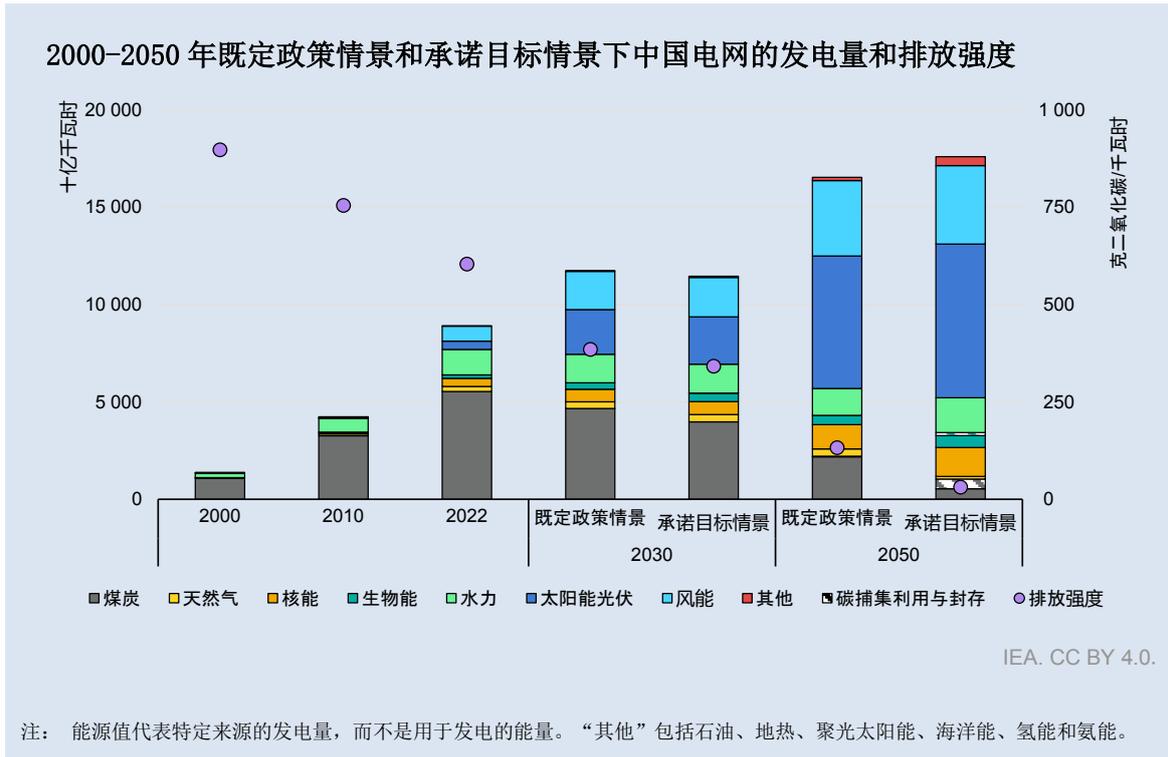
注：所包含的工业部门有建造、食品和烟草、纺织和皮革、机械、交通运输设备、木材和木制品以及采矿和采石。“可再生能源”包括太阳能热力、地热能、生物能和生物甲烷混合气。“其他”包括区域供热和氢能。

热泵是轻工业脱碳的关键工具，在承诺目标情景下，到 2050 年，热泵将贡献直接减排总量的约 20%。

专栏 3.2 电网脱碳能加强热泵减排

在中国，使用热泵产生的温室气体排放，大部分是与生产热泵所需的电力有关间接排放。因此，电网脱碳可减少使用热泵产生的排放。

2000 年，中国四分之三以上的电力来自燃煤电厂。从那时至今，电力需求增长了近五倍，而煤电虽然扩张有所放缓，却仍占发电量的 60% 以上。其余大部分为水电和其他可再生能源。2022 年，发电排放强度减少了三分之一，降至每千瓦时 600 克二氧化碳。到 2050 年，由于太阳能光伏和风能发电的快速增长，既定政策情景下的排放强度将降至每千瓦时 130 克二氧化碳，承诺目标情景下的排放强度将降至每千瓦时 30 克二氧化碳，且上述能源在两种情景中都贡献了约三分之二的发电量。承诺目标情景下排放量较低的主要原因是，无减排措施的化石燃料在电力结构中的比例在 2050 年被限制在略低于 5%，而这在既定政策情景中为 15%。

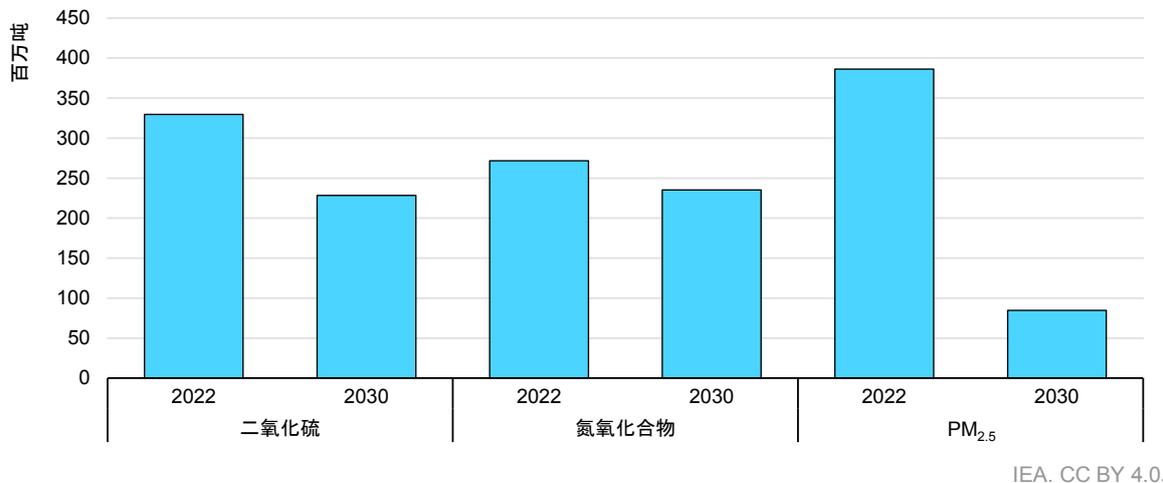


空气污染

在 2015 年至 2022 年期间，化石燃料供热、交通运输、发电和其他活动造成的空气污染导致中国超过 1200 万人过早死亡。燃烧煤炭和传统生物质供热是造成家庭和环境（室外）空气污染的主要原因。例如，2015 年冬季雾霾期间，住宅燃煤造成了京津冀地区有害细颗粒物（PM_{2.5}）[近一半的浓度](#)。

自 2013 年以来，北京和中国其他北方城市出台了一系列政策，以解决空气污染问题，并加快向热泵和其他替代供热方案的转化（见第 1 章）。得益于此，2015 至 2021 年间，PM_{2.5}浓度[下降了 40% 以上](#)，且二氧化硫等其他污染物的排放量也大幅减少。2021 年，和空气污染有关的近 [24000 例过早死亡](#) 能够被避免。

图 3.4 2022-2030 年承诺目标情景下中国建筑空间供暖和热水直接燃料燃烧产生的主要空气污染物排放量



注：SO₂ = 二氧化硫；NO_x = 氮氧化物；PM_{2.5} = 悬浮颗粒 fine particulate matter.

来源：国际能源署基于国际应用系统分析研究所（IIASA）的建模所做的分析。

要想在 2030 年前大幅减少建筑部门的主要空气污染物排放量，扩大热泵部署规模可以发挥至关重要的作用。

在承诺目标情景下，到 2030 年，向热泵和其他供暖热来源的转变可将使用煤炭和其他燃料供暖热的建筑的减少近 80% 的 PM_{2.5} 排放量减少近 80%（图 3.4）。该情景下，2030 年的热泵部署率比既定政策情景高出 13%，仅在该年就将避免 6000 多人过早死亡。

大规模改用热泵还可以防范防止与化石燃料燃烧相关的其他风险。例如，维修不善的加热炉和燃气锅炉会排放一氧化碳，据估计每年在全球范围内造成约 40000 人死亡，中国北方部分地区是全球受影响最严重的地区之一。清洁取暖方案还能避免与燃烧供暖热相关的危险，如爆炸和火灾等。

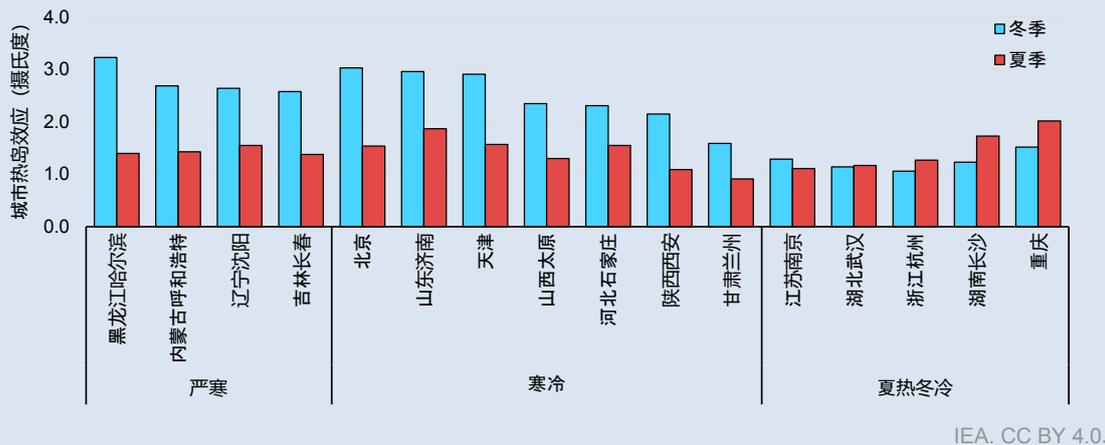
专栏 3.3 空气源热泵的地理位置会在夏季和冬季影响城市热岛和热泵运营效率

空调（AC）将热量从室内排到室外。在空调使用率较高的城市，这种热量会使夏季夜间室外温度升高超过 1°C，从而加剧热岛效应，并增加与高温有关的疾病和死亡风险。在重庆和长沙等一些人口稠密的大都市地区，空调的广泛使用，再加上植被缺乏和地理特征等因素，气温上升最多可达 2°C。在有大量供热需求的城市，冬季与燃料燃烧相关的室外温度增长可能比夏季空调导致的室外温度升高还要多。在中国寒冷地区，城市气温可以比气候条件相似但人口稀少的农村地区最多高出 3°C。

相比之下，空气源热泵从周围环境中提取热量，从而造成局部空气冷岛。因此，在北京等城市热泵普及度提高，可抵消约 0.5°C 的冬季城市热岛效应。这些局部降温

效应不会对健康造成危害，但会影响热泵的效率。室外机组需要有足够的间距和良好的通风，以限制夏季（如果室外机组用于制冷）的城市热岛效应，并最大限度地提高空气源热泵在夏季和冬季的效率。这就需要考虑热泵在城市地区所需的空間。例如在北京，使用大型分散式空气源热泵为一栋 10000 平方米的建筑供热，室外机组需要约 600-800 平方米的空间。如此大的面积往往无法达到，因此更适合部署小型单体热泵和大型地源热泵。

2016-2020 年中国不同气候区部分城市夏季和冬季的城市热岛效应



IEA. CC BY 4.0.

注：UHI (degree) = 城市热岛效应的程度（以摄氏度为单位）

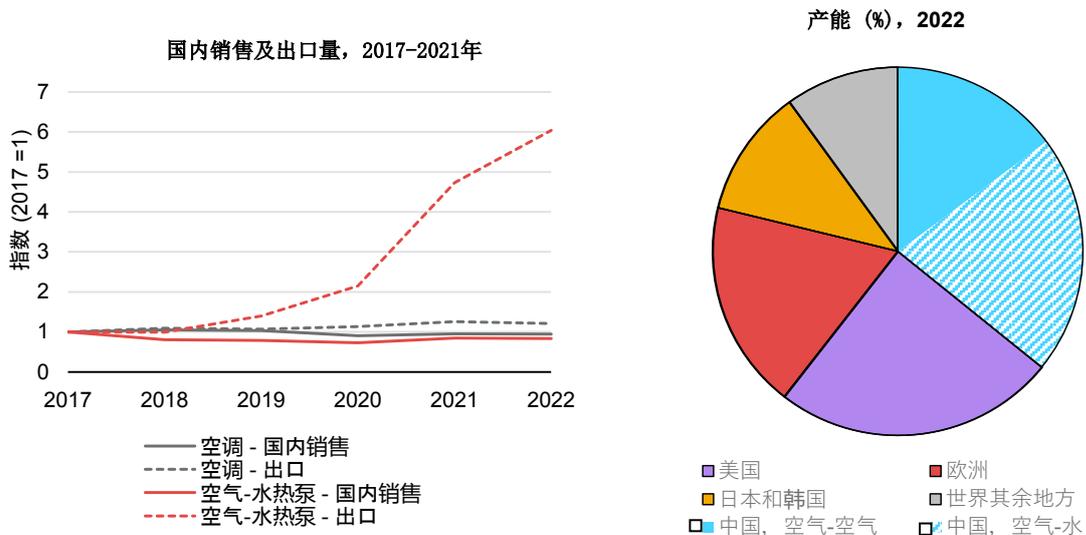
供应链

现状

中国是建筑部门热泵的最大制造国，产量约占全球建筑供暖热泵总销量的 35%。2022 年，为满足日益增长的需求，中国利用现有完善的空调制造生产线基础，使热泵产能³²增加了近 8%。如果将用于空间制冷的机组计算在内，空气-空气热泵的产能是空气-水设备的十倍。然而，空气-水热泵出口增长迅速，在 2017 年至 2022 年期间增长了五倍（图 3.5），与出口已趋于平稳的空气-空气热泵形成鲜明对比。

³²包括作为主要热力设备部署的空气-空气机组和空气-水机组的产能。

图 3.5 2017–2020 年中国建筑热泵的国内销售和出口情况及 2022 年全球各地区热泵产能份额



IEA. CC BY 4.0.

注：右侧图表仅指作为主要热力设备使用的热泵。

来源：中国产业在线（左图）；IEA（2023），The State of Clean Technology Manufacturing - November 2023 Update（右图）。

在全球销售的建筑热泵中，约 35%是中国制造，其中空气-水热泵因欧洲需求上升，是增长最快的出口板块。

目前，中国有 10 多家大型热泵制造商，遍布 15 个省。然而，不同类型热泵的前三大生产商占据了 40–80% 的市场份额，这表明只有少数几家公司占据市场主导地位（图 3.6）。国内企业生产的热泵占中国热泵产能的 80%，³³其中一些企业作为原始设计制造商出口到欧洲或北美。2022 年，约四分之一的国内产出为出口。

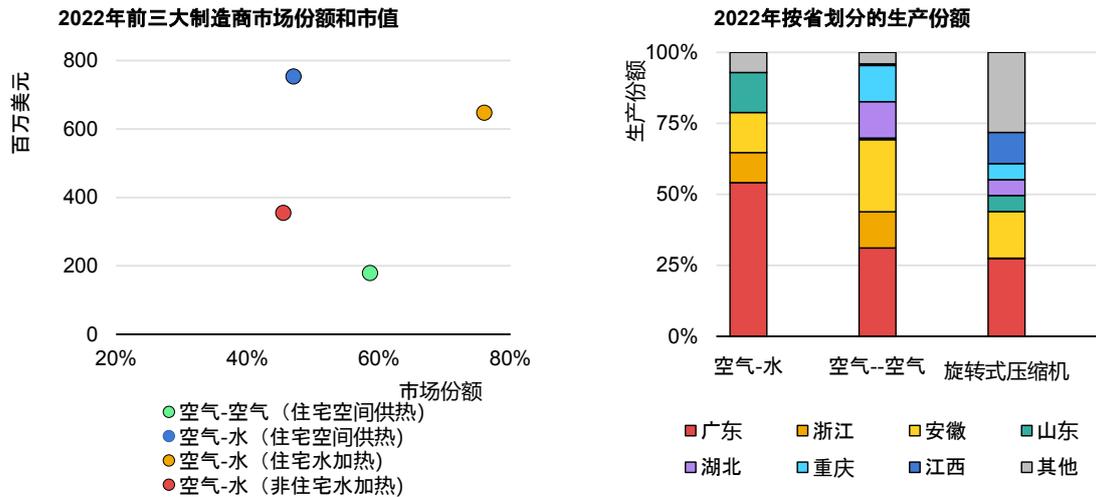
虽然大多数热泵工厂都是组装厂，但中国在关键部件的制造方面也处于领先地位。例如，住宅热泵和空调中使用的旋转式压缩机，99% 以上都是 [亚洲制造](#)，且主要是中国制造。从 2013 年到 2021 年，中国的压缩机产量增长了 70%。³⁴压缩机、换热器或驱动模块等材料 and 部件的成本占热泵生产成本的大部分，这意味着对钢、铜、铝和芯片等商品价格的严重依赖。压缩机通常是成本最高的部件，约占空气-空气设备制造成本的三分之一。因此，中国大多数主要制造商都拥有专门的压缩机生产设施，压缩机市场也同样集中，前三大生产商约占市场的三分之二。³⁵

³³更多启示参见 IEA（2023），Energy Technology Perspectives 2023。

³⁴数据来自中国产业在线。

³⁵中国节能协会热泵专业委员会（2023），2023 中国热泵行业年会

图 3.6 2022 年中国热泵各板块前三大制造商的市场份额和市值及各省产量份额



IEA. CC BY 4.0.

注：本图中的空气-空气机组不包括作为主要热源使用的可逆空调。右侧图表中的空气-空气机组仅包括用于制冷和供热的住宅市场。本图假定中国产业在线数据中的空气源热泵均为空气-水热泵。

来源：中国节能协会热泵专业委员会（2023），2023 中国热泵行业年会；中国产业在线（2022），《2022 年中国热泵供暖产业发展年鉴》（左图）；中国产业在线（右图）。

中国的热泵生产主要集中在少数几个省份，前三大制造商的产能合计占总产能的 40-80%。

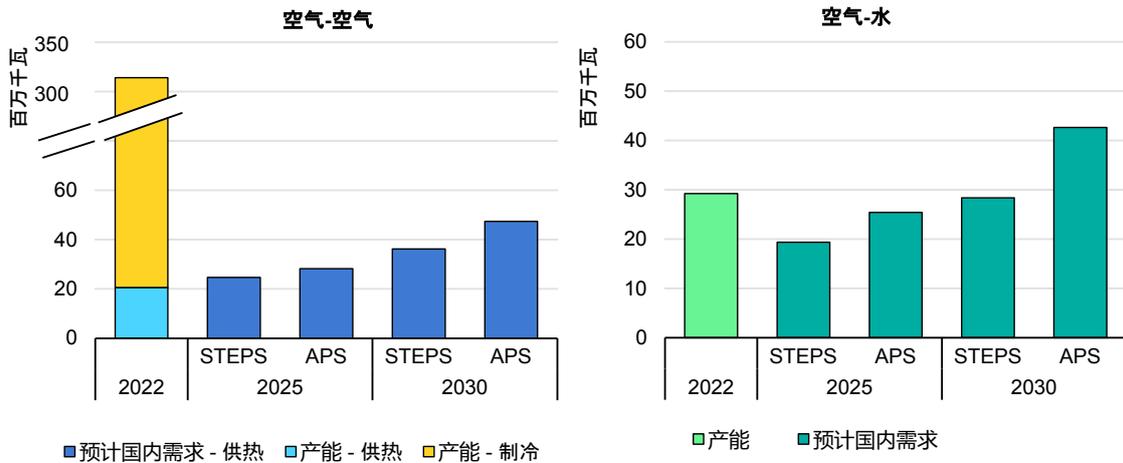
热泵、空调和压缩机的生产主要集中在七个省份，共占压缩机产量的约 70%和热泵产量的 90%以上。目前每两家空气-水热泵工厂就有一家在广东，且生产空气-空气热泵（包括空调）和旋转式压缩机的工厂中，有四分之一以上也在广东。由于气候湿热、人口众多，广东仍然是国内最大的空调市场，而且自 1970 年代末以来的经济改革也促进了该地区民营企业的崛起。该省还是中国最大的出口省，2023 年占中国出口总额的近五分之一。在这种有利的环境下，该省已成为空调和压缩机研发和制造的热点地区，近来在热泵方面也是如此。产业如此集中，吸引了高技能劳动力，使企业得以在 2000 年代初期降低生产成本。

未来展望

凭借其强大的制造基础，中国具备满足国内日益增长的热泵需求的有利条件，到 2030 年，该需求量在既定政策情景下将比现在翻一番，在承诺目标情景下将增加近两倍（见第 2 章）。扩大用于空间供暖的空气-空气机组的产能，可以借助现有的大量空调产能力（图 3.7）。产能可能进一步扩大，但通常不会公开宣布计划。

在既定政策情景下，到 2030 年，空气-水机组的产能足以满足国内需求增长，但在承诺目标情景下则不然。要保持中国作为热泵主要出口国的地位，产能还需要进一步提高，这对中国制造商来说是一个机遇，因为海外的需求正在增长。扩大热泵产能的前导时间很短，仅需 1-3 年，这意味着制造商可以根据国内和全球趋势调整其扩产计划。扩产计划也会在未来几年给热泵安装商带来更大的信心。

图 3.7 2022–2030 年既定政策情景和承诺目标情景下中国建筑热泵的产能和国内需求预测



IEA. CC BY 4.0.

注：APS = 承诺目标情景，STEPS = 既定政策情景。

热泵的现有产能在短期内超过了国内需求，尤其是主要用于制冷的空气-空气热泵。

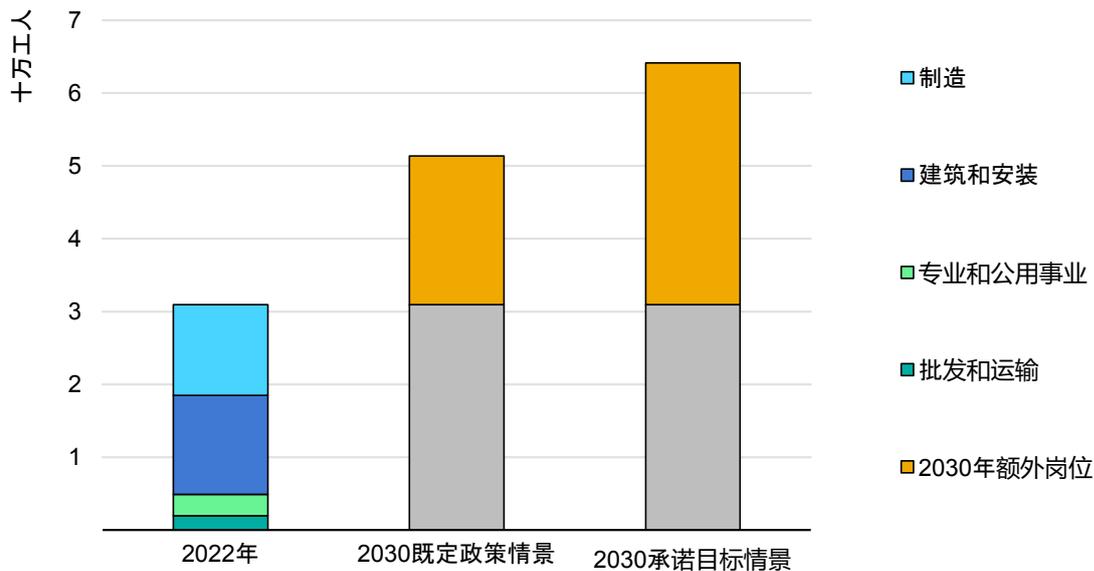
创造就业

2022 年，全球约有 81 万工人直接在热泵供应链中工作，涉及制造、规划和安装、批发、服务和维护。其中，中国劳动力以 30 多万名工人占据最大比例，即全球热泵制造业的 35%。随着热泵在中国更加普及，生产规模也会随之扩大，这意味着该行业的从业人员数量需要大幅增加。要建立和培训如此规模的劳动力，需要行业与教育机构和政府共同努力。

中国热泵从业人员中，从事规划和安装活动的人数最多，这对于任何暖通空调（HVAC）设备来说都是一个劳动密集型工艺，对于热泵而言更是如此。设计和安装热泵系统除了需要具备与建造或暖通空调相关的职业所需的许多能力外，还需要其他专业技能。其中包括评估建筑、计算热损失和供热负荷、评估导热性以设计安装，以及更新现有的供热系统和电气线路。地源热泵是一个市场份额虽小但在不断增长的领域，其安装尤其复杂，需要在挖掘沟槽或铺设地下管道之前，对室外区域和地下地形进行全面分析。

制造业是第二大就业部门，反映了中国庞大的制造业基础。

图 3.8 2022-2030 年既定政策情景和承诺目标情景下中国热泵行业的就业情况



IEA. CC BY 4.0.

注：灰色条代表 2022 年热泵行业的总就业人数。

在承诺目标情景下，到 2030 年，中国热泵行业的就业人数将翻一番。

在当前政策下，到 2030 年，中国的热泵从业人员将增长三分之二，达到 50 多万人（图 3.8）。在承诺目标情景下，同期劳动力将增加一倍多，在 2030 年前达到约 640000 人。大部分增长来自安装板块，其次是制造板块。尽管模块化设计、标准化和更高的自动化程度带来的劳动生产率提高，将减缓制造板块创造就业的速度，但某些热泵制造任务（如焊接）仍将是相对劳动密集型的工种。

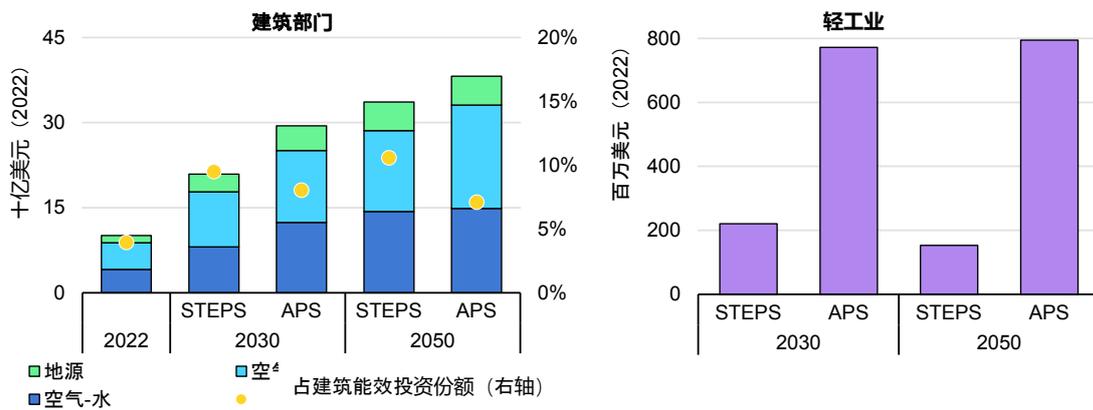
尽管失业率居高不下，但随着劳动人口的减少，以及新劳动力越来越多地寻求白领工作而非工厂工作，中国制造业目前正面临填补新职位的困难。尽管如此，热泵和其他电器的安装人员短缺问题不及国外市场突出，例如欧洲。中国的安装人员数量众多，因为许多空气-空气热泵既用于制冷也用于供热，全年使用，尤其是在南方省份。

职业教育系统对培训能源工人至关重要，但其入学率在中国却在下降，原因在于体制障碍，诸如职业教育的社会形象不佳，以及对学成后的职业和薪酬选择缺乏了解。为此，中国政府最近对各地提出了技能发展要求以振兴职业教育。

投资需求和可负担性

在建筑供暖、工业供热和区域供热管网中扩大热泵部署需要大量投资。与效率较低的电加热器或化石燃料解决方案相比，热泵的前期成本仍然较高，但在大多数情况下，由于运营成本较低，投资很快就能得到回报。

图 3.9 2022-2050 年既定政策情景和承诺目标情景下中国建筑和轻工业热泵的市场规模



IEA. CC BY 4.0.

注：STEPS = 既定政策情景；APS = 承诺目标情景。

不论是在承诺目标情景还是既定政策情景下，建筑热泵投资在 2030 和 2050 年都高于轻工业热泵投资，因为前者潜力更大。

建筑

加快中国热泵部署，意味着住宅和商业建筑业主在设备和安装方面大幅增加支出。自 2015 年以来，中国的热泵年投资额已经增长了 50%，到 2022 年将达到 100 亿美元（700 亿元人民币），相当于所有建筑能效投资的 5% 左右（图 3.9）。

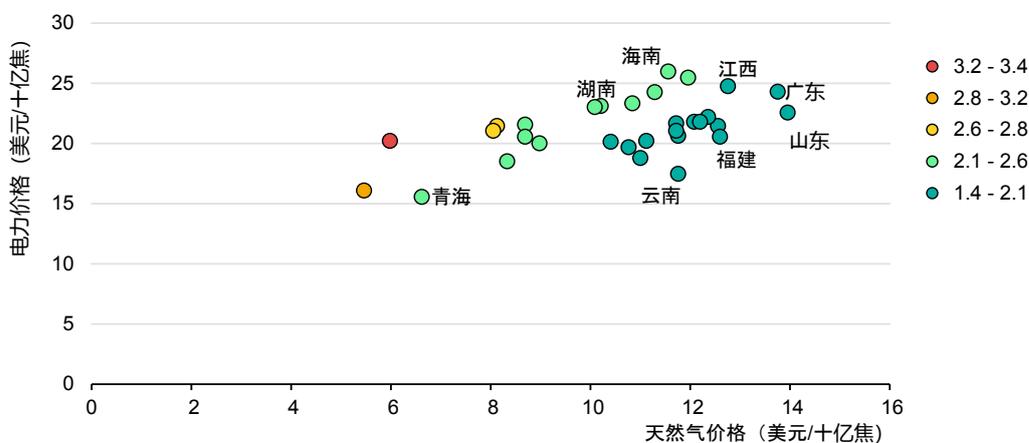
在既定政策情景下，建筑热泵的投资到 2030 年将翻一番，到 2050 年将增加两倍多。在承诺目标情景下，投资水平甚至更高，反映出热泵部署更为迅速（见第 2 章）。到 2050 年，年投资额将达到近 400 亿美元（2500 亿元人民币），超过该年对输电基础设施的投资需求。然而，热泵投资总额还不到同期建筑节能所需投资总额的 10%，如增强保温和改用更高能效的电器。

消费者对住宅热泵的采用，在很大程度上取决于其前期成本和运营成本与现有的替代供暖方式的相比情况。空气-空气热泵的前期成本通常只比燃气锅炉高出 20% 左右。不过，空气-水热泵的前期成本特别高，比电加热器贵两到三倍，是燃气锅炉价格的两倍多。³⁶与钻井或挖沟相关的额外费用也是地源热泵的一大前期成本负担，总成本可比空气-水热泵高出七倍之多。热泵热水器的成本障碍同样很高，目前价格大约是电热水器的四到六倍（专栏 2.2）。集中供暖系统将越来越多地依赖于大型热泵，这涉及到对管网和储热基础设施的大量配套投资，但这些成本通常不直接由终端消费者承担。

³⁶基于一个具有代表性的家庭。

影响不同供热设备的全寿命成本和成本节约潜力的另一个主要因素是能源价格，不同燃料、不同省份和省内不同地方的能源价格差异很大。在有供暖管网的北方城市，集中供暖通常是单位能源价格最低廉的供热方式。然而，在西北部省份，集中供暖成本与天然气的单位能源成本相当，因为该地区毗邻中亚天然气出口邻国，天然气价格较低。在这些省份，天然气的单位能源价格比电力便宜约两倍。在东北部和中部的一些省份，天然气的价格是电力的一半，而沿海省份的价格差距最小（图 3.10）。一些省份还引入了额外的电价补贴，以提高清洁取暖选项的成本竞争力。例如，山西一些城市的电价在冬季采暖期间可下降 40%之多。

图 3.10 2023 年居民用电价格与天然气价格的比率

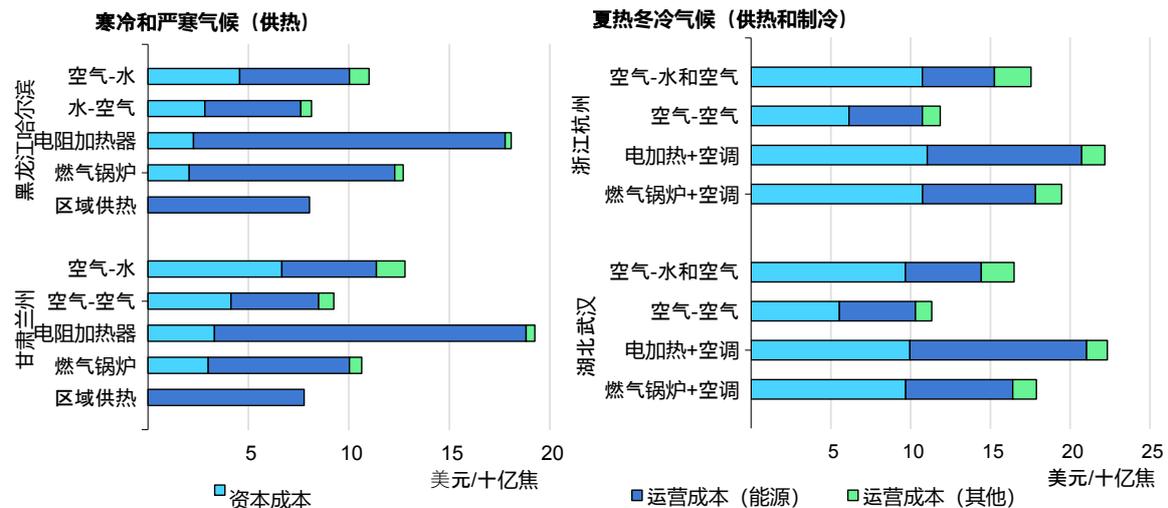


IEA. CC BY 4.0.

在中国西部，电力价格可比天然气高出两倍之多，而在中部省份，电力价格约为天然气的两倍。

在其全寿命周期中，空气-空气热泵通常是最便宜的家庭供暖选择。例如，在中国最北、最寒冷的城市之一哈尔滨，空气-空气热泵与集中供暖相比具有成本竞争力，因为其能源成本低 40%，弥补了设备和安装成本（图 3.11）。与电加热器和燃气锅炉相比，这些优势更大。在哈尔滨，空气-水热泵在全寿命周期中也比电加热器和燃气锅炉便宜。在采暖需求同样相当大的兰州，空气-空气热泵在全寿命周期中的成本不到电加热器的一半，与燃气锅炉相比也更省钱。然而，在兰州，空气-水热泵只有在与电加热器相比时才具有成本竞争力。在有条件的地方，集中供暖仍然是城市最经济实惠的供暖方案。地源热泵是最节能的供暖选择，其能源成本可比电加热器低三倍之多，但前期费用最高。因此，地源热泵更适合大型建筑群。

图 3.11 中国不同气候区城市地区的住宅热泵和替代方案的供热供冷平准化成本



IEA. CC BY 4.0.

注：空气-空气 = 空气-空气热泵；空气-水 = 空气-水热泵；空气-空气和水 = 带鼓风机的空气-水热泵。鉴于设备和安装的资本成本，供热平准化成本估算的是在设备全寿命周期内提供 10 亿焦热力的平均成本；运营支出包括燃料和定期维护成本。假设燃气锅炉的使用寿命为 17 年，空气-空气热泵的使用寿命为 15 年，空气-水热泵的使用寿命为 18 年。假设电阻式加热器和空调的使用寿命为 10 年。假设集中供暖的使用寿命为 25 年，且没有前期成本和维护费用。

来源：国际能源署基于能源基金会，清华大学（2022），《农村清洁用能体系助力减污降碳及乡村振兴》的数据所做的分析，2024 年 3 月 13 日访问。

在一些气候寒冷以及夏热冬冷的地区，空气-空气热泵已成为全寿命周期中最具成本竞争力的供暖选择。

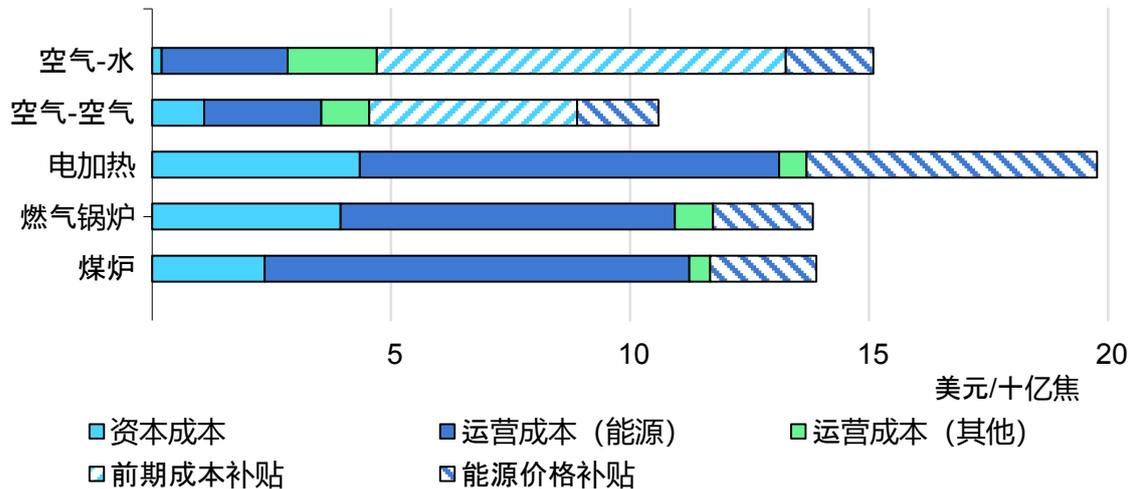
在处于夏热冬冷（HSCW）气候区的城市，空气-空气热泵是满足供暖和制冷需求最经济实惠的解决方案。³⁷例如在武汉，这比电加热器和空调组合的全寿命成本少一半。一些空气-水热泵还可以通过与水压系统连接同一个室外机组的鼓风机提供制冷。这些热泵比空气-空气热泵更昂贵，但与燃气锅炉或电加热器和空调组合相比成本更低。

在农村地区，由于炉灶和煤炭的成本较低，许多家庭仍然使用煤炭取暖，但老旧炉灶的能效通常低于 50%。在一些地区，农村的家用天然气价格低于城市，以鼓励燃料替代，减少当地的空气污染。农村和城市地区的电价趋于一致，但在一些省份，一些农村的电价也控制在城市水平之下，以支持清洁取暖选项。例如在北京农村地区，在能源价格补贴和前期成本补贴的共同作用下，热泵现已成为最便宜的供暖方案（图 3.12）。将热泵与太阳能光伏或热能解决方案相结合，可以[进一步降低运营成本](#)。这一点至关重要，因为农村地区的保温性能通常很差，而家庭想要[让能源费用保持低廉](#)。由于农村家庭的室内温度通常在 12-15°C 之间，因此改善建筑围护结构可以进一步帮助家庭降低能源成本，并获得更高的热舒适度。

³⁷空调的全寿命成本与之相当。

此外，热泵还为天然气管网覆盖有限的农村地区提供了更具成本效益的供暖解决方案，因为在这些地区，天然气供应会需要大量投资来扩建管道网络。

图 3.12 2023 年北京农村地区住宅热泵和替代方案的供暖平准化成本



IEA. CC BY 4.0.

注：空气-空气 = 空气-空气热泵；空气-水 = 空气-水热泵。鉴于设备和安装的资本成本，供热平准化成本估算的是在设备全寿命周期内提供 10 亿焦热力的平均成本；运营支出包括燃料和定期维护成本。假定燃气锅炉的使用寿命为 17 年，空气-空气热泵的使用寿命为 15 年，空气-水热泵的寿命为 18 年，电阻加热器的使用寿命为 10 年，煤炉的使用寿命为 15 年。

来源：国际能源署基于以下数据所做的分析：能源基金会，清华大学（2022），《农村清洁用能体系助力减污降碳及乡村振兴》，以及北京市怀柔区人民政府（2022）的补贴政策，2024 年 3 月 13 日访问。

在北京农村地区，热泵已经是全寿命周期中最具成本竞争力的供暖方案。

在城市地区，热泵的经济激励措施较少见，因为依赖煤炭的家庭较少。不过，北方的一些城市已利用补贴逐步淘汰用煤炭进行空间供暖，以改善空气质量。例如在天津，在 2017-2018 年间购买空气源热泵的家庭获得了[最高可达 3700 美元（25000 元人民币）的支持](#)。

通过能源价格和税收改革缩小电力和天然气之间的价格差距，可以进一步提高热泵在目前电力成本明显高于天然气的地区的竞争力。此外，通过引入响应设备和制定专用电价，根据发电和需求高峰调整热力供应，可进一步降低热泵运营成本。通过需求侧响应，到 2030 年，中国使用热泵且住房保温良好的家庭平均取暖费用可降低约 10%。改用热泵还能家家户户带来更多益处，包括减少购买化石燃料的需要、节省时间和减少对储存空间的需求。

工业

技术和燃料成本是影响轻工业热力生产燃料结构的主要因素。目前，热泵只占工业热力供应的一小部分，原因是成本障碍仍然很高，因为热泵通常需要根据具体应用量身定制。

在轻工业领域，要在 2050 年前按照既定政策情景将热泵产能提高到 700 万千瓦，以及按承诺目标情景³⁸将热泵产能提高到 3000 万千瓦，需要工业设施运营商进行大量投资。在既定政策情景下，从现在到 2030 年，每年的投资需求约为 2.4 亿美元（16 亿元人民币）；从 2030 年到 2050 年，每年的投资需求约为 1.6 亿美元（11 亿元人民币），这是因为部署将在 2030 年之后放缓，并将重点放在替换上。在承诺目标情景下，每年的投资需求基本保持在 7.6–8 亿美元（52 亿元人民币）左右。到 2050 年，轻工业总投入在既定政策情景下为 50 亿美元（350 亿元人民币），在承诺目标情景下约为 200 亿美元（1400 亿元人民币）。相比之下，2022 年中国轻工业在天然气上的花费大致相当，约为 230 亿美元（1600 亿元人民币）。

工业热泵的成本约为燃气锅炉的六倍，但在其全寿命周期内的成本竞争力已基本与燃煤锅炉相当，因为更高的效率在很大程度上抵消了前期成本和燃料价格的巨大差距。

目前，煤炭仍是中国最便宜的工业用燃料，每 10 亿焦约 5 美元（32 元人民币），而天然气每 10 亿焦约 18 美元（120 元人民币），电力每 10 亿焦约 23 美元（154 元人民币）。尽管如此，自 2000 年以来，电力的成本竞争力已有所提高，毕竟当时煤炭的单位能源价格几乎是其二十分之一。再加上工业部门的一系列清洁供热政策（见第1章），在过去十年促使了从煤炭锅炉到天然气锅炉和电锅炉的逐渐转变，也越来越多地转向热泵。

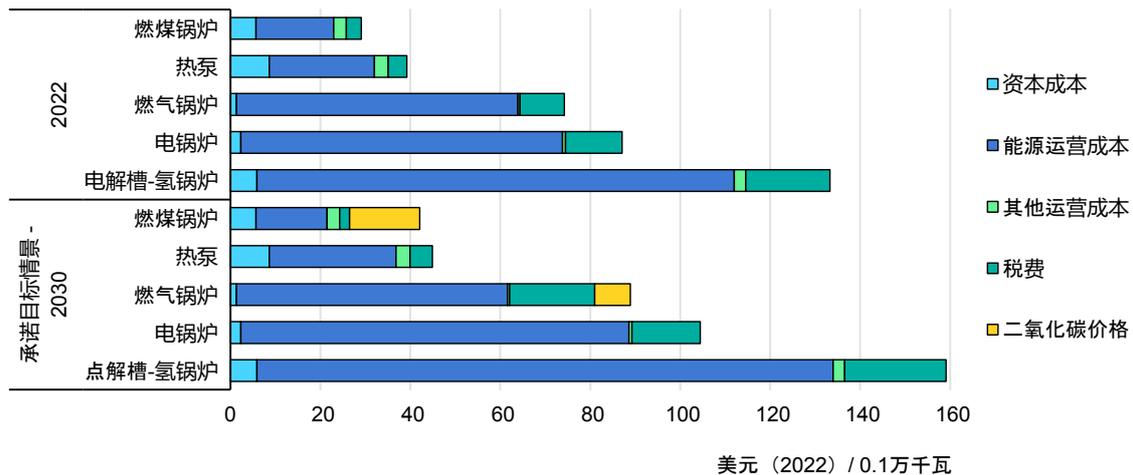
与住宅领域一样，热泵的成本竞争力也存在地区差异。例如，在[重庆或甘肃](#)等工业气体价格较低的地区，燃气锅炉的供热平准化成本低于大型热泵。

未来十年，热泵与替代技术之间的生命周期成本差距可能进一步缩小（图 3.13）。到 2030 年，热泵的全寿命成本将只有燃气锅炉或电加热器的一半，但燃煤锅炉仍将略微便宜一些。然而，在承诺目标情景中，热泵与煤炭的价格差异是既定政策情景中的一半。工业部门可在减少对煤炭的依赖方面发挥重要作用。在可行的情况下，地热能和太阳能热力也是在该领域实现清洁供热的极具成本效益的解决方案。由于运营成本高，在承诺目标情景和既定政策情景下，为高温热力工业过程制氢的电解槽仍然是最昂贵的选项。然而，在热泵不适用的工艺中，低排放氢是供热脱碳的关键解决方案。

³⁸假设使用率为 80%。

尽管热泵在其全寿命周期中具有竞争力，但即使到 2030 年，热泵仍将是前期成本最高的选项，不过大规模推广可能会使其进一步降低。由于规划时间更长，对可负担性的考虑也不同，因此前期成本对工业部门而言，障碍要小于建筑部门，但财政激励措施仍是加快热泵在工业领域普及的关键。例如在德国，补贴最多可覆盖热泵初始成本的 55%，每个项目的补贴上限为 1500 万欧元。

图 3.13 2022 和 2030 年承诺目标情景下中国轻工业不同技术的供热平准化成本



IEA. CC BY 4.0.

注：APS = 承诺目标情景。每种技术的利用率均为 80%，输出温度为 100°C，热泵的性能系数设定为 3，贴现率为 5%。氢锅炉包括用于制氢的专用电解槽的成本。税收包括消费税、增值税和补贴。

来源：国际能源署基于以下所做的分析：IEA HPT TCP Annex 58 (2023), [High-Temperature Heat Pumps](#); JRC (2017) [Techno-economics for larger heating and cooling technologies](#), 2024 年 3 月 13 日访问。

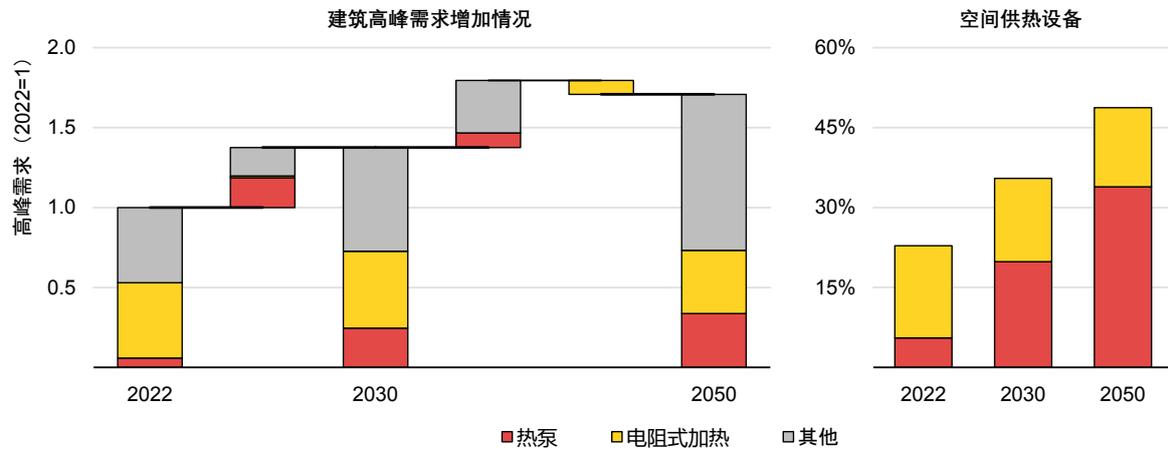
如果所有已宣布的承诺都得到落实，到 2030 年，热泵与燃煤锅炉的全寿命成本之间的差距可缩小两倍，但高昂的前期成本仍可能是一个障碍。

电力系统和需求灵活性

建筑热泵对冬季高峰的影响

与热泵部署相关的冬季高峰电力需求增长带来了挑战，但这些挑战远远小于从化石燃料供暖系统向效率较低的电阻式加热器的更大规模转变。由于热泵的效率更高，使用量每增加 1%，供暖电力需求仅略微增加 0.2-0.6%，比电阻式加热低 1 到 4 倍。在热力供应日益电气化的趋势下，需求侧管理和谨慎的电网规划可以[限制配电网升级的需求](#)。

图 3.14 2022-2050 年在承诺目标情景下不同供暖技术的建筑冬季高峰电力需求贡献量以及不同技术的热力设备保有量



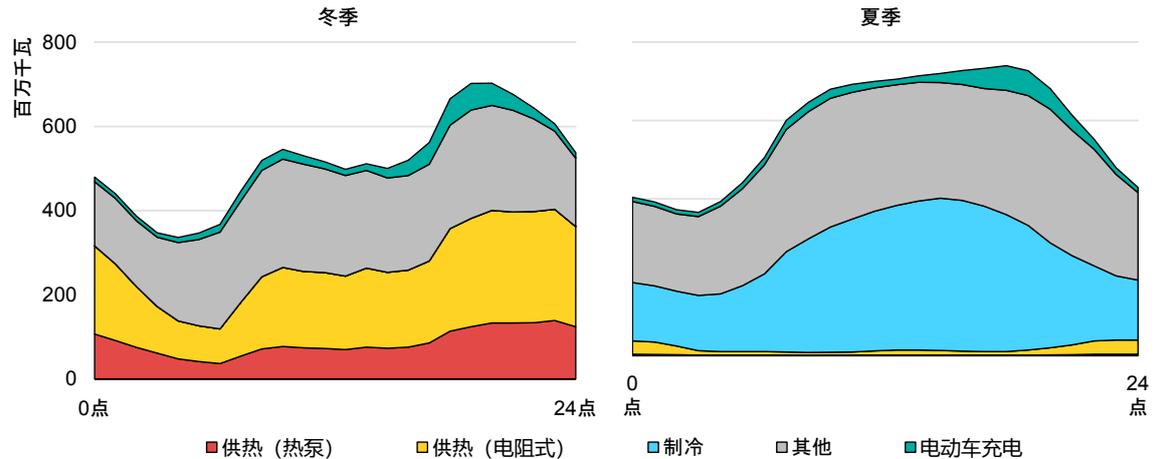
IEA. CC BY 4.0.

注：这里的高峰电力需求是在启动需求响应前，冬季负荷最高的 125 个小时的平均需求量。热泵和电阻式加热可满足空间热力消费。为电动乘用车和两轮/三轮车辆充电属于其他终端用途。图中显示了在室外温度较低时，热泵效率会降低的情况。

到 2050 年，热泵的高效率会将其对高峰需求的贡献量限制在 20%，而届时热泵在热力设备保有量中所占份额将达到三分之一。

在承诺目标情景下，到 2030 年，建筑高峰电力需求将比 2022 年水平增加三分之一以上。同期，热泵在空间供暖设备保有量中的所占份额会增加两倍多，达到 20% 并超过电阻式加热器，但其对高峰需求的贡献量仅为电阻式加热器的一半（图 3.14）。到 2050 年，热泵在空间加热设备中的占比略高于三分之一，但其在高峰需求中的份额仍仅为 20%，低于电阻式加热器或制冷设备通常占有的份额。

图 3.15 2030 年承诺目标情景下冬季和夏季不同终端用途的建筑日平均负荷曲线



IEA. CC BY 4.0.

注：热泵和电阻式热力消费包括空间供暖和热水。电动车充电包括乘用车和小汽车和两轮/三轮车。

热泵对建筑日平均负荷的贡献量有限，特别是与电阻式加热器、电器或夏季制冷的典型负荷相比。

在承诺目标情景下，热泵的高峰负荷影响是建筑中其他电器的一半，非高峰和高峰需求之间的差异低于电动车充电（图 3.15）。夏季的制冷需求高峰也明显高于冬季使用热泵产生的高峰。这凸显了确保空间制冷设备的高能效对于控制高峰的重要性。提高建筑能效可以进一步减少供暖和制冷需求对电力系统的压力。

建筑热泵的需求侧灵活性

随着太阳能光伏等波动性可再生能源发电份额的进一步增加，将有必要根据波动的电力输出调整需求情况。集中供暖管网的需求侧灵活性潜力取决于所使用的供暖技术。

与热泵不同，以化石燃料为基础的热电联产厂产生的电力依赖于热力，因此灵活性极差。支持智能功能的热泵可以通过恒温器控制，只要建筑具有足够的保温性能，或者采用了热储能解决方案，便不会对居住者的舒适度产生重大影响。通过下调或调整负荷将温度调低或调高（几分钟到几小时不等），可为电网带来多项增益，如减少高峰负荷、提供储备、进行快速频率响应和缓解阻塞。

在中国，热泵的灵活运营可减少 60 太瓦时的可再生能源弃电，相当于热泵用于空间供暖和热水的用电量的 20% 以上。这种灵活运营可以在预先设定的模式下进行静态管理，例如在分时（ToU）电价（专栏 3.4）下使用简单信号，也可以通过建筑能源管理系统内的连接设备进行更为动态的管理。

许多使用连接设备的试点项目已在不同国家有所部署。在德国，[ViFlex 项目](#)示范了如何将热泵的灵活性整合到虚拟电厂中，以管理电网阻塞问题。[英国](#)和澳

大利亚最近开展的和计划中的需求响应试验，旨在示范如何为家庭的热泵和空调灵活性服务进行报偿。在中国，与制冷设备相关的需求响应试点正在位于夏热冬冷区的[湖州](#)进行。

中国辅助服务市场的扩大，为集中供暖管网运营商和热泵等分布式能源资源的聚合商，带来了提供需求侧灵活性和从中获得收益的大好机会。辅助市场存在于地区和省一级（7 个地区市场和 30 个省级市场），起初仅出于调峰目的创建。然而，随着现货市场试点在多个省份的发展，这些市场已发展到涵盖储备和频率控制，因为一旦现货市场引导调度，就不再需要调峰服务。2021 年底发布的一项[国家政策](#)，扩大了辅助产品和符合条件的市场参与者，促进了电池储能、负荷聚合器和虚拟电厂等新行为体的加入。[中国政府于 2023 年 10 月宣布](#)，这些实体在 2030 年前也将获准全面参与现货市场交易。在不同的地方市场实施这些改革，将是利用热泵进行负荷管理的关键。

专栏 3.4 中国居民供暖的分时电价

在过去几年中，一天不同时段的分时电价在中国的省级和地方一级发挥着越来越重要的作用。2017 年，国家发展和改革委员会发布了[《北方地区清洁供暖价格政策意见》](#)，作为促进从煤采暖转化为天然气和电采暖的更广泛政策的一部分。这包括以改进 11 月 1 日至 3 月 31 日采暖季的分时机制为目标，降低煤改电成本，并以促进调峰的分时机制（即“峰谷”机制）取代阶梯电价政策。

根据 2021 年的[国家层面指导意见](#)，当年或上年峰谷（非高峰）负荷最大差值超过 40% 的地区，峰谷两个时段的终端用户价格差应不低于 4:1。其他地区的比例应不低于 3:1。目前，多个省市已遵照[改革中国电力市场](#)的更广泛计划，采用分时电价机制来管理冬季和夏季的电力需求高峰。

安徽省

安徽省位于中国东部的夏热冬冷区，主要依靠煤炭发电。然而，以太阳能光伏为主导的可再生能源正在迅速发展，到 2020 年将占发电装机的近三分之一。鉴于电力需求不断增长，为了避免可再生能源弃电，该省正在发展需求响应，目标是在 2025 年前，需求侧容量应占年最大电力负荷的 5%。

安徽省为用户提供分时定价机制，区分高峰和非高峰价格时段。为了帮助消费者更好地了解分时定价及其好处，该省的国家电网运营商推出了一款手机应用程序，用户可以通过“电费计算器”计算使用高峰和非高峰定价可节省的费用。该应用程序可为用户提供过去 40 天的用电明细，记录高峰和非高峰时段的总用电量。

根据安徽省 2022 年的人均用电量，一户三口之家每年的用电量约为 3000 千瓦时。如果选择使用分时定价，据估计，安徽省三口之家可以每年节约电费 [500 元人民币](#)

元，或每月节省 40 多元人民币（假设总用电量的 70%以上在夜间 22:00-08:00 非高峰时段使用）。

安徽省分时定价政策

每月用电量（千瓦时 每户）	电价（人民币/千瓦时）		
	标准价 （无分时电价）	高峰期 （08:00-22:00）	非高峰期 （22:00-08:00）
0-180	0.57	0.60	0.32
181-350	0.62	0.65	0.37
>350	0.87	0.90	0.62

山西省

山西省位于中国北方，总发电装机超过 1.2 亿千瓦。2022 年底，该省煤炭发电量仍占总发电量的近 60%，但可再生能源发电装机已扩大到 2300 万千瓦风能发电和 1700 万千瓦太阳能光伏发电。在该省寒冷的冬季，居民通常依赖使用散煤取暖，但政府已开展计划，促进从煤取暖向电取暖转变，包括在采暖季节实行优惠电价。家用用户有三种选择：1) 峰谷定价法；2) 用电配额（0.29 元人民币/千瓦时），超出部分按更高费率（0.51 元人民币/千瓦时）收费；或 3) 0.48 元人民币/千瓦时的固定价格。

利用热储能进行区域供热，促进波动性可再生能源整合

随着区域供热越来越多地使用大型热泵实现电气化，热储能是限制其对电力系统影响的关键技术。

将热泵与热储能技术结合使用，可以将可再生能源夏季产生的剩余电力转化为热力并储存起来，供冬季供热季使用，从而有助于优化热力供应。这既避免了可再生能源弃电，也减少了冬季对大型热泵额外发电装机的需求。工业和数据中心等其他来源的余热也可以通过大型热泵回收，并在较温暖的月份进行储存，从而进一步优化电力和热力系统之间的交互。在这种系统中，大部分热力可以以大型水坑的形式储存，这是最便宜的储存方式之一，而且可以长时间储存热力（专栏 3.5）。

因此，与大型热泵相结合的储能系统在中国的区域供热系统中发挥着至关重要的作用。以河北北部为例，到 2050 年，热泵从可再生能源和余热中回收的热力可占冬季区域热力供应的 80%。

专栏 3.5 供热、电力和工业部门中的热储能

热储能技术涵盖的应用、规模和温度都很广泛，但目前只有少数几种选项得到了普遍应用。例如在家庭这一级，热力通常储存在热水箱中。在丹麦，将热力储存在大型水坑中，用太阳能进行区域供热的做法已很普遍。中国目前有两个水坑示范项目，另有几个容量在 10 万至 40 万立方米之间的水坑正在规划之中。虽然上述例子针对的是跨季节储存，但同样的技术可用于数小时到数月不等的各种时长。对于需要高温热力的工业应用，热力储存温度可高达 1800° C，对于其他工业应用，储存温度最低可达-160° C。然而，工业部门的储热技术成熟度仍然相对较低。

主要热储能技术的特点

	显热储热	潜热储热	化学反应储热
描述	不发生相变，通过改变固体（岩石、金属等）或液体温度来储存能量。	利用材料的相变来储存能量。	利用可逆的热化学反应来储存能量。
储存选项和主要应用	水箱：建筑 水坑：区域供热 熔盐：公用事业和工业 固体：所有应用	冰：空间制冷 相变材料：建筑 高温相变材料：工业	钙循环：工业
储存期	水箱：可长达数月 水坑：可长达数月 熔盐：可长达数天 固体：可长达数月	冰：可长达数天 相变材料：数小时 高温相变材料：可长达数天	钙循环：可长达数月
温度区间	水 0 至 100° C 熔盐最高可达 560° C 固体最高可达 1400° C	-110 至 1000° C	50 至 1800° C，视化学品而定
密度	水 < 2.1 亿焦/立方米 固体 < 1.1 亿焦/立方米	< 4.3 亿焦/立方米	< 260 亿焦/立方米
效率	水箱 50-90% 熔盐 > 98% 固体 98%	冰 > 95% 高温相变材料 > 90%	钙循环 45-65% 闭环水合盐系统 60%
成本	0.1-35 美元/千瓦时	60-230 美元/千瓦时	15-150 美元/千瓦时
技术成熟度	高	中到高	低
优势	价格低廉；可规模化程度极高	比显热储热更紧凑	能量密度高于显热储热；热损耗低
局限性	需要隔热；能量密度较低	有效温度区间窄	更昂贵；成熟度低

注：成本范围基于 2018 年区域供热数据。公用事业包括电力生产和区域供热。

来源：EERA (2022) [Industrial Thermal Energy Storage](#); IRENA (2020) [Innovation Outlook: Thermal Energy Storage](#); Clifford et al. (2020) [Thermal energy storage technologies](#); IEA (2023) [ETP Clean Energy Technology Guide](#); IEA ES TCP (2024) [Thermal Energy Storage](#)。

显热储热、潜热储热和化学反应储热是最常见的储热类型，此外也有其他技术及其组合。例如，吸附技术依赖于气体与固体或液体吸附剂之间的可逆反应，但这还不

是一项成熟的技术。另一方面，市场上已经出现了一些利用协同作用的技术，例如通过将潜热和显热储热技术相结合来提高能量密度。热储能还可以与机械储能相结合。例如，在绝热压缩空气储能设施中，压缩空气产生的热力可以被储存起来，用于以后通过气体膨胀发电。

热储能还有助于保障热力供需平衡，减少对高峰产能的需求。例如芬兰赫尔辛基的 [Mustikkamaa](#) 储能设施可以在一个岩洞中储存最多可达 1200 万千瓦时的电力。为了优化空间制冷，可以在价格较低的夜间制冰，而不是在建筑需要制冷的白天制冰。使用这一技术的例子是美国得克萨斯州的 [JCPenney 百货公司总部](#)。其他应用还包括与 [聚光太阳能发电站](#) 或 [热电池](#) 结合使用的配置，以储存多余能量并优化发电。

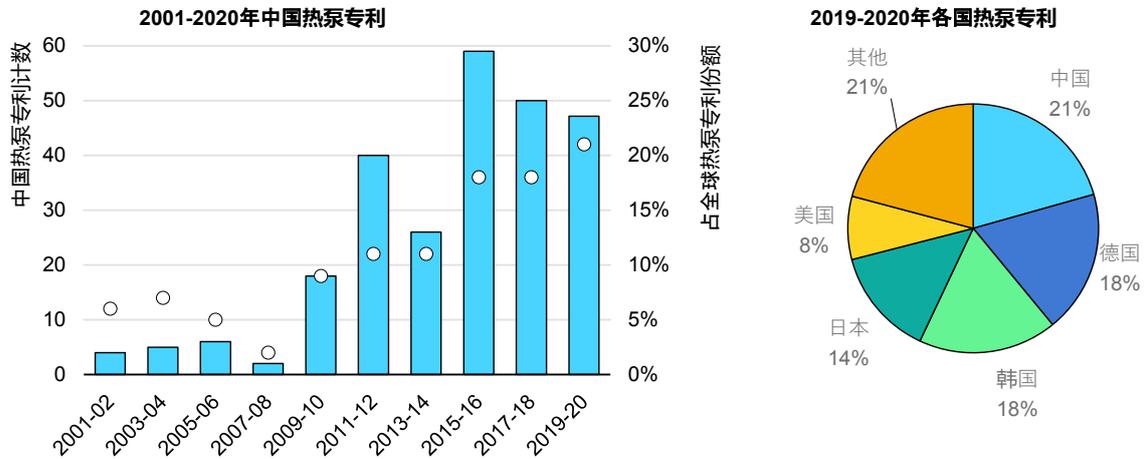
空间限制是扩大储热规模的主要障碍：例如，[Vattenfall](#) 在德国柏林附近运营的 260 万千瓦时的系统需要 5600 万升水，相当于约 22 个奥林匹克游泳池的水量。相比之下，普通锂离子电池的能量密度是其十倍左右。开发能量密度更高的化工解决方案将有助于减轻这一负担，但代价是更高的资本投资。

创新活动和需求

在过去的几十年里，在全球的研发努力下，热泵的性能有了显著提高，例如提高效率 and 降低噪音。不过，在诸如高寒气候条件下或在多户建筑中使用热泵方面，还需要继续创新。中国在热泵创新方面的努力体现在其对国际能源署 [关于热泵技术的技术合作项目（TCP）的参与](#)。通过该项目，中国与来自学术界和产业界的国际合作伙伴就 [高温热泵](#) 以及 [热泵和储热](#) 的集成解决方案等主题开展了合作。

近年来，中国在热泵技术专利注册国中名列前茅，这反映了中国作为热泵主要制造国的地位。自 2000 年以来，中国在全球热泵专利计数中所占的份额增加了两倍多，在 2019–2020 年达到了 21%，其次是德国和韩国，各占 18%（图 3.16）。中国的创新活动在 2010 年代加速，并在 2015–2016 年达到近 60 项专利的高峰，专为寒冷气候区设计的热泵专利计数仍在继续上升。2019–2020 年，与针对寒冷地区的技术相关的专利计数占中国所有热泵专利的近 30%，是十年前的两倍多。

图 3.16 2001-2020 年中国热泵专利及其在全球热泵专利中所占份额，以及 2019-2020 年各国热泵专利分布情况



IEA. CC BY 4.0.

注：各国的热泵创新数据基于专利申请人所在地。如果一个国际专利族有多个申请人，则为每个申请人和相应的地点分配一个按比例计算的份额。

自 2000 年以来，中国在全球热泵专利计数中所占的份额增加了两倍多，在 2019-2020 年达到 20% 以上，使中国成为热泵创新的热点。

中国的热泵技术发明人也越来越多地寻求海外知识产权保护，不仅通过世界知识产权组织（WIPO）在全球层面申请专利，也在欧盟和美国的专利局申请专利，这反映了在这些市场的出口利益。在中国，大多数专利都是由上海、北京和广东等研发中心的发明人注册，而这些也是热泵制造的集中地。

第 4 章. 热泵部署的政策解决方案

根据中国碳中和目标制定热泵部署综合政策框架

中国以北方城市地区为焦点，出台了一系列鼓励采取更清洁供热方式的举措，已在减少与供热有关的能源使用和二氧化碳等污染物排放方面取得了长足进展。加快实现供热脱碳将是实现中国碳达峰和碳中和目标的关键。这将需要更紧密地协调国家规划与地方实施，以确保普及最高效的低碳供热技术和解决方案。加快向更清洁供热技术的转变可以在家庭、商业和工业节能，以及改善空气质量和减排方面释放巨大增益。

热泵是向安全和可持续供热转型的一项关键清洁供热技术，并会随着中国电力系统脱碳带来更大增益。此外，热泵还可以在支持中国更广泛的清洁能源转型方面发挥重要作用，例如通过与分布式可再生能源技术相结合，以支持清洁能源消费和更广泛的电力系统灵活性。

近年来，作为碳中和计划的一部分，热泵越来越多地出现在中国最新的国家级政策中。[《“十四五”现代能源体系规划》](#)（2021-2025）强调要因地制宜地扩大清洁热力，将其作为终端用户电气化的一部分。热泵也被纳入 2022 年[《工业能效提升行动计划》](#)，并在[《“十四五”建筑业发展规划》](#)中被积极推广。然而，对于热泵技术的建筑面积覆盖率或总装机容量并没有具体的里程碑目标，对投资该领域的整体信号释放得不够充分。此外，在中国的建筑业、工业和更广泛的供应链中，还存在体制、技术、政策、融资和行为方面的多重挑战，这些挑战可能会限制热泵技术的广泛普及（图 4.1）。

需要解决的主要障碍包括：热泵的可负担性、终端消费者对热泵增益的认识不足、随着热泵加速部署未来可能出现的技能空缺，以及跟踪市场和技术发展的总体数据不足。本章提出了关键的政策建议以克服这些障碍，并确保热泵在中国更广泛的政策框架内，被视为建筑和工业部门供热脱碳的一项解决方案。

图 4.1 中国热泵部署面临的政策挑战



技术、政策、融资和行为方面的多重挑战可能会限制热泵技术更大范围的普及。

鼓励中国热泵市场可持续发展的政策措施应包括近期、中期和长期目标。在开展行动推动热泵普及的同时，还必须采取措施提高热泵效率，并鼓励全面减少建筑和工业的供热需求。更广泛地说，还需要采取措施促进对热泵的灵活控制，并提高可再生能源电力在系统中的比例。鉴于中国电力系统目前正进入快速转型阶段，向更细化的电价和更多的可再生能源集成发展，因此在这一更广泛的转型过程中协调热泵部署非常重要。

要确定近期、中期和长期行动，就必须制定**明确的供热热力脱碳国家行动计划**。这应该包括：涵盖各种类型的供热热力需求和热力来源、与更广泛的清洁能源和电力系统计划保持一致、开展关键技术的研发和对这些技术普及的推广，以及改善解决为继续采用基于化石燃料的解决方案提供激励的现有体制和政策框架。这样的计划可以为热泵部署设立具体目标，并促进政策制定者、制造商和终端用户之间的更大的合作。这也有助于在“十五五”规划（2026-2030）和其他即将实施的战略中，为热泵安装设立更具体的里程碑，以实现中国的碳达峰和碳中和目标，从而向制造商、电力部门的利益攸关方、产业终端用户和个人消费者发出明确信号。

化石燃料目前在中国热力部门中占主导地位，与减少对其支持的确切措施相结合，将为热泵和其他清洁供热方案创造一个公平的竞争环境，从而促进能效提升，支

持中国改善更广泛的经济目标：能源强度和碳强度。将措施纳入中国碳中和“1+N”政策体系下的相关部门计划，将有助于确保政策衔接，解决潜在的锁定和排放增加问题。本章旨在提供政策建议，以支持中国热泵行业的可持续增长，并与短期、中期和长期的能源转型和减排计划保持一致。

图 4.2 推动中国供热部署的政策建议

制定全国热力脱碳行动计划，包括热泵部署具体行动

建筑

- 增强能效标准
- 修订并统一各种热力设备标签，开展宣传活动
- 加强热泵前期成本支持

短期

- 在新建建筑法规中纳入更严格的性能要求，为热泵普及做好铺垫
- 在协调热泵推广工作中，支持对现有建筑进行大规模系列改造
- 逐步取消对化石燃料热力的补贴，以便释放更多资金用于更清洁高效的热力解决方案

长期

工业

- 提高认识，支持选择热泵解决方案
- 促进热泵研究示范项目
- 为克服安装、运行和维护成本障碍提供支持

短期

- 扩大行动，通过在轻工业和区域供热领域使用热泵，推动余能回收
- 将热泵作为部分行业热力脱碳的推荐技术选择

长期

供应链

- 制定明确的清洁热力分类标准
- 设定热泵销售和部署增长目标
- 热泵推广与可再生能源增长齐头并进

短期

- 提升制造、安装、操作和维护方面的就业机会和技能
- 加强数据监督，从而更好地了解热力脱碳机遇
- 考虑强化生命周期排放标准，以便为提高能效提供参考信息，包括氢氟碳化物、替代制冷剂使用等考虑因素
- 考虑未来热力电气化和热泵部署对电力系统和需求灵活调节能力的影响

长期

在中国建筑部门推广热泵的措施

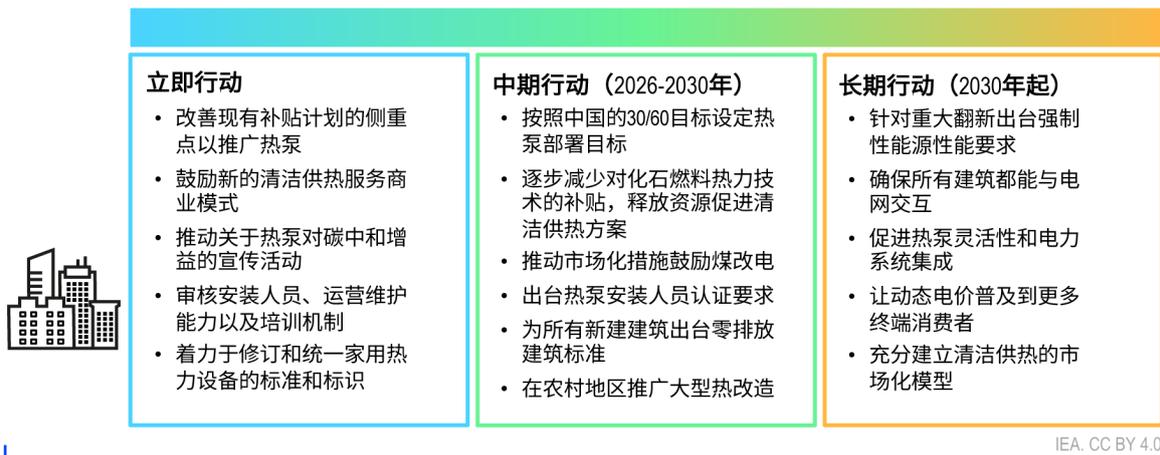
热泵在中国建筑部门的部署可以迅速扩大，尤其是在农村地区和特定气候区，如长江流域和夏热冬冷地区，因为在这些地区无法或难以实施集中供暖。尤其是空气源和地源热泵，随着其成本降低，在这些地区的保有量可能会大幅增长。随着收入的持续增长，尤其是中国中产阶级收入的增长，对可调节气候的居住和工作空间的需求也将增加，这为热泵创造了新的机遇。

热泵的推广必须与更广泛的行动相协调，以实现电气化进程与清洁电力供应的平衡。本节中的政策建议特别提到了分散式建筑，包括不属于集中供暖系统的城市地区，以及农村地区的建筑，这些地区具有最大的热泵普及潜力（图 4.3）。

图 4.3 推动中国建筑部门热泵部署的行动

推动建筑热泵部署

中国建筑部门热泵部署可以通过采取和协调 **立即**、**中期**和**长期**行动进行优化。



IEA. CC BY 4.0

立即优先事项为提高对热泵的认识和加大对热泵采用的支持，应与加速普及、增加清洁电力供应，以及将热泵纳入更广泛的建筑政策的中期行动相结合。

促进大规模综合改造，将围护结构改造与热泵推广相结合

根据“十四五”规划，中国的目标是完成超过 3.5 亿平方米的既有建筑节能翻新。此举规模之大，为采取措施，为加快建筑部门热力脱碳铺平道路提供了重要机遇，包括通过高效热泵技术的应用。在考虑未来的热泵普及时，务必要让既有建筑的热围护结构能够升级，以确保热泵普及在带来最高能效的同时，也避免大量热损失。

通过着力于对既有建筑进行全面翻新，将改善热围护结构与改用清洁供暖结合起来，中国政府的宏远目标可以更上一层楼。与改造激励措施、监管和信息相关的所有政策都应进行调整，以便根据这一目标推动更全面的翻新项目。可以调整补贴计划，为更全面的翻新项目提供额外的激励措施。例如，在捷克的新绿色储蓄计划之下，如果同时对几个部分进行翻新，如在安装热泵的同时进行墙体保温或更换窗户，则可获得深度改造“奖励”补贴。

村、县或区级计划可以帮助民众降低综合改造项目的复杂性，因为许多项目管理职能和行政负担都由协调工作的专业人员承担。此类计划还会创造降低热泵前期和安装成本所需的规模经济。中国的整县光伏计划旨在让各县至少要在一定比例的屋顶上安装太阳能光伏，这可以为改造计划提供灵感。中国庞大的能源服务企业（ESCO）行业可以协调大规模的保温和热泵安装计划。

应设立咨询服务机构，与参与大型翻新项目的民众以及自行开展综合翻新项目的独户住宅业主进行接触。在爱尔兰，一站式服务为家庭提供能源升级的全套设计和管理，减轻了消费者在翻新方面的行政负担。

中国政府可以加强能源性能基准，以指导此类全面的大规模翻新项目。自 2013 年起，所有欧盟成员国都为进行重大翻新的既有建筑制定了建筑规范。³⁹虽然欧盟建筑能效指令（EPBD）只设定了至少达到成本最优水平的要求，但包括德国、瑞典和丹麦在内的一些国家已经制定了更加严格的要求，与新建建筑的标准更趋于对齐。更严格的建筑翻新规范可以确保更多正在进行改造的建筑具备适合安装热泵的条件，无论是将热泵作为改造的一部分，还是以后再安装。相比之下，荷兰对大型翻新工程的要求相对不那么严格，但制定了一项自愿性保温标准，鼓励建筑业主比法律要求更进一步，确保翻新后的建筑能够很好地适应任何清洁供暖方案（专栏 4.1）。

³⁹欧盟建筑能效指令“重大翻新”定义为建筑围护结构 25% 以上的表面需要翻新，或者与建筑围护结构或建筑技术系统有关的翻新总成本高于建筑价值（不包括建筑物所在土地的价值）的 25%。

专栏 4.1 荷兰政府鼓励“去天然气化就绪”改造的方案

荷兰政府计划从 2026 年起禁止安装新的化石燃料供暖装置。该计划建立在现有的住宅“[保温标准](#)”之上。该标准自 2021 年起实施，鼓励建筑业主对其建筑进行翻新，使其符合“去天然气化就绪”的标准，即适合高效使用热泵或与低温区域供暖连接的建筑。该自愿性标准标示于能源性能证书上，帮助建筑业主的翻新工程满足未来的需求。

一个同时考虑到热泵部署和区域供暖发展的单一标准，可以消除特定技术政策决策和不同城市不同方法带来的一些不确定性。荷兰制定的标准对不同水平的整体紧凑性和净热力需求，以及四大类建筑类型中关键建筑元素的目标性能水平提出了建议。它对总体供暖需求的建议比荷兰对大型翻新工程的要求更加雄心勃勃，但仍远低于荷兰的近零能耗建筑（nZEB）标准。

在新建建筑法规中纳入更严格的性能要求，以扩大热泵普及

通过改善能源和热性能，以降低建筑的未来总体供暖负荷，将是最大限度地提高热泵普及带来的能效增长，以及限制其对电网影响的关键。建筑能源规范是目前提高能源性能的最有效途径，尤其考虑到大多数建筑通常要使用数十年。在第 28 届缔约方大会（COP）上，中国承诺致力于“[建筑突破](#)”计划，响应在 2030 年前，让近零排放和弹性建筑成为常态的呼吁。该承诺建立在建筑部门“[十四五](#)”规划所设立的目标之上，即在 2025 年前建造 5000 多万平方米的超低能耗和近零能耗建筑。

中国应争取在不久的将来，将这些要求推广到所有新建建筑，无论是城市还是农村建筑。在国家建筑规范中对清洁取暖和热性能提出明确的最低要求，将向制造商、开发商和消费者发出关于中国建筑供暖未来的强烈信号。欧盟在[建筑能效指令](#)中设立了目标，该指令在 2010 年首次提出，要求成员国确保所有新建公共建筑在 2018 年 12 月 31 日之后近零能耗，所有新建建筑在 2020 年底之前近零能耗。在 2023 年的修订中，欧盟建议在 2030 年前将现有的近零能耗建筑转变为[零排放建筑（ZEB）](#)，并在 2030 年 1 月 1 日之前将零排放建筑要求适用于所有新建建筑。

此外，建筑规范的更新应包括与新建建筑中安装热泵和其他清洁技术的空间有关的要求，以避免目前许多存量建筑面临的安装难题。

专栏 4.2 加利福尼亚州更新建筑规范和措施，促进新建建筑采用热泵的可负担性

美国加利福尼亚州在推广热泵方面取得了重大进展，从 2022 年至今安装量超过了 [150 万台](#)。2022 年，在新建独户住宅中，热泵空间加热器的市场份额为 [55%](#)，热泵热水器的市场份额为 [16%](#)。加利福尼亚州 [《2022 建筑能源规范》](#) 旨在扩大建筑节能实践，并将热泵设立为新建独户住宅的标准。该规范鼓励安装高效电热泵用于空间供暖和热水，为新住宅制定了电力就绪要求，扩大了太阳能光伏和电池储能标准，并改进了通风标准。从 2023 年开始，所有新建建筑都必须遵守该规范。

加利福尼亚州的电气化战略还包括鼓励普及高效家电的措施，包括热泵空间加热器和电动干衣机。还要求必须在建筑的主配电盘上预留空间，以便将来安装热泵和电灶。为了帮助居民找到承包商，该州于 2023 年推出了名为 [“清洁能源连接”](#) 的免费在线目录，罗列经过审核的可提供热泵升级的联系人。公用事业公司也会为升级节能热泵的用户提供优惠，例如萨克拉门托市的公用事业区，会为合格承包商安装的热泵提供最高可达 [3500 美元](#) 的回扣。

提供有针对性的激励措施并开发市场化模式，加强对热泵前期成本的支持

为了让热泵更具可负担性，中国可以更有效地将促进煤改电取暖的既有税收抵免和资金，转用于支持向热泵的转变，因为这是能效最高的可用技术。为热泵提供更有针对性的支持，可以借助现有的[提供供暖补贴](#)的完备行政架构，特别是在集中供暖方面和农村地区。在大规模集中供暖有限的夏热冬冷区域，扩大支持热泵普及的政策将变得越来越重要。这可以与目前正在进行的促进分布式可再生能源的工作结合起来，例如[正在农村地区开展的工作](#)。此外，还应考虑热泵的运营成本。让使用热泵的家庭优先享受现有的电价补贴，无需额外政府资金，就能提供额外的激励措施。

世界各国对热泵实行了一系列补贴方式，包括现金补助、回扣和减税，这些都可以为中国的政策设计提供经验（专栏 4.3）。国内也有运营成本补贴的例子，例如山西省的煤改电计划为家庭提供电费补贴。与以可再生能源为重点的计划相类似，将这种支持与更大规模的热泵推广计划相结合，将进一步帮助降低成本，让更多家庭和企业获得清洁供暖技术。鉴于提供补贴可能会对政府预算造成负担，中国应探索市场化模式，以继续激励对清洁的高效供暖技术的投资和普及，而无需长期的补贴支持。

专栏 4.3 部分国家针对消费者的热泵政策支持方案

尽管热泵在欧洲等关键市场的安装量迅速增加，但热泵等低排放供暖系统的投资成本仍高于化石燃料供热设备。目前，全世界有 30 多个国家提供现金补助、回扣和其他补贴等财政激励措施，覆盖了当今 70% 的供暖需求。

国家	计划说明
奥地利	奥地利提供为新建建筑安装 空气源热泵和地源热泵的现金补助 ，最高可达费用的 50%，上限为 7500 欧元（8200 美元/58000 元人民币），如果更换燃气锅炉，还可额外获得 2000 欧元（2200 美元/15500 元人民币）。对于全球变暖潜能值高于 1500 的热泵，可获总金额减少 20%，且全球变暖潜能值不得超过 2000。对于改造装置，现金补助最多可覆盖 35% 的费用，上限为 5000 欧元（5500 美元/39000 人民币）。补贴有效期为 2023 年 1 月 3 日至 2024 年 12 月 31 日，预计 2024 年还会增加。
加拿大	加拿大绿色家园倡议 为改用节能的空间供暖或热水设备提供最高达 5000 加拿大元（3700 美元/26700 元人民币）的现金补助。更换现有热泵最多可得 3000 加拿大元（2250 美元/15900 元人民币）。热泵必须由经过培训的持证专业人员安装才符合资格。
法国	在 法国 ，为现有房产购买地源热泵，可获得最高 10000 欧元（10900 美元/77800 人民币）的现金补助，为现有房产购买空气-水热泵，可获得最高 4000 欧元（4400 美元/31200 人民币）的现金补助。该方案的有效期为 2020 至 2024 年。自 2023 年起，将旧供暖系统替换为新型节能热泵的家庭还可获得 5000 欧元（5500 美元/39000 元人民币）的回扣。
德国	从 2024 年起，所有安装气候友好型供热系统的房主都将获得价值为投资费用 30% 的补偿。如果应纳税家庭收入低于 40000 欧元（44000 美元/312600 人民币）（适用于 45% 的房主），将再增加 30% 的补贴。如果在 2028 年之前安装，还可额外获得 20% 的补贴，但补贴总额上限为 70%。
日本	2022 年在住宅部门出台了 补贴 ，适用于热泵热水器（ EcoCute ）和混合热泵热水器，最高补贴额为 50000 日元（344 美元/2460 元人民币）。之后，两项补贴金额又分别 增加 到了 100000 日元（688 美元/4940 元人民币）和 130000 日元（895 美元/6420 元人民币）。
波兰	2022 年 4 月，波兰推出了一项名为 “我的热能” 的新计划，旨在促进热泵普及，初步预算为 1.4 亿美元（9.96 亿元人民币）。根据购买的设备，参与者可获得符合条件费用 30%-45% 的补贴，总额在 1600 至 4900 美元（11400 至 34800 元人民币）之间。
英国	英国推出了 锅炉升级方案 。2023 年 10 月，政府升级了对三种低碳供暖系统的购买成本和安装费用的现金补助支持。空气源热泵和地源热泵可获得最高 7500 英镑（9500 美元/67800 元人民币）的现金补助，生物质锅炉可获得最高 5000 英镑（6400 美元/45200 元人民币）的现金补助。热泵安装还免征增值税，进一步降低了成本。
美国	继 2022 年出台《降低通货膨胀法》后，房主直至 2032 年之前都可以获得家庭能效升级支持。通过提供 联邦所得税抵免 ，安装热泵的房主将有资格获得覆盖热泵成本和安装费用 30% 的税收抵免，最高可达 2000 美元（14300 元人民币）。税收抵免的上限为每年 2000 美元，并鼓励房主在多年内分期进行节能改善，以最大限度地获得抵免。2024 年还将为低收入和中等收入家庭提供折扣，低收入家庭最多可获得 100% 的销售点购买回扣，中等收入家庭最多可获得 50% 的回扣。

注：除非另有说明，上述例子均为单户住宅。

鼓励清洁供暖服务发展新的商业模式，以帮助客户、促进应用普及并减少对补贴支持的长期需求

新的家庭供暖商业模式有助于扩大热泵市场，而向消费者提供的新优惠，如与房产挂钩的融资，有助于使热泵的安装和运营更加经济实惠。其他创新融资模式包括[供热即服务](#)，也就是消费者为供热付费，而不是同时为设备和燃料付费，此外还有订购、租赁和租借模式。政府可以对这些方法的可行性进行调研，以支持清洁供暖服务新市场结构的发展。旨在降低前期成本和提供整体系列方案的机制，可能对较贫困的农村地区特别有用，因为在这些地区，即使有针对性的补贴支持，初期成本仍可能是一个障碍。此类方法可能对于解决成本较高的技术（包括空气-水热泵、地源热泵和热泵热水器）的可负担性问题尤为有效。

从长远来看，随着收入的不断提高，尤其是中国中产阶级收入的不断提高，实施清洁供暖普及的市场化模式可以减少对长期补贴支持的需求。为家庭提供财政支持还可以鼓励新商业模式的发展，例如英国的 [Octopus Energy 公司](#) 就在补贴出台后进军了热泵市场（专栏 4.4）。瑞典公司 [Aira](#) 还为热泵推出了端到端订阅服务，按月付款且无需预付费。从长期而言，出台能够鼓励新商业模式的市场化激励机制，将是中国在不依赖公共资金的情况下，继续促进清洁供暖方案的可负担性和可持续性的关键。

专栏 4.4 Octopus Energy 将智能家居控制与经济型热泵相结合以支持供暖脱碳

建筑供暖占英国碳排放量的近四分之一，作为更广泛的减排和实现净零排放努力的一部分，该国计划在 2028 年前达到每年安装 60 万台热泵的目标。为了支持家庭支付安装费用，英国政府最近将热泵赠款从 5000 英镑提高到 7500 英镑（6300 美元至 9500 美元）。家庭必须持有过去 10 年内的能源性能证书才有资格获得现金补助。

总部位于英国的可再生能源公司 Octopus Energy 近期进军热泵销售，与此举挂钩的系列方案包括为英国典型的三居室住宅供暖的 6 千瓦热泵、[Cosy Octopus](#) 家庭控制系统、智能电价和其他功能。该热泵的运行温度为 78–80° C，为与大多数现有散热器和热水系统兼容而设计。结合政府现金补助，该系统对拥有最新热水箱和供暖系统的小型住宅免费。对于不符合这些标准的家庭，在享受政府锅炉升级方案的现金补助后，该方案的起价为 3000 英镑（3800 美元）。

逐步取消对化石燃料供暖的补贴，为更清洁、更高效的供暖方案释放资金

在过去的十年中，中国推出了清洁供暖计划，推动将燃煤供暖转换为燃气或电力供暖，从而减少了燃煤锅炉的使用，显著改善了空气质量。中国多个省市继续为

煤改气和煤改电供热提供补贴，例如[山东省](#)、[山西省](#)和[河南省](#)。补贴形式为按每立方米提供燃料补贴，并设立每年[用量上限](#)。其他支持措施还包括补贴燃煤锅炉改用燃气设备的购买和安装费用，例如[河北省](#)。在[北京](#)的某些地方，包括空气-水热泵和空气-空气热泵在内的设备购买费用可获得专项补贴，但燃气热力设备也囊括其中。

继续支持锁定二氧化碳排放量的燃气供暖方式，限制了对最清洁、最高能效技术的支持。由于中国的目标是促进电气化和加速减排，因此检查对燃气供暖的现有支持将非常重要。中国可以考虑制定时间表，将化石燃料加热器（如燃气锅炉）排除在现有补贴计划之外。鉴于低收入家庭比其他家庭更有可能依赖煤炭或天然气供暖，可能需要给予额外的支持，以确保他们能够按照这些时间表完成清洁供暖转型。在欧盟[建筑能效指令](#)制定的时间表下，将从 2025 年起停止对化石燃料供暖系统提供补贴，在 2040 年前逐步淘汰燃气锅炉和其他化石燃料加热器。在中国采用类似方法将有助于把目前用于支持化石燃料供暖的资金转向清洁的高能效技术，同时支持在更大范围内减少化石燃料补贴。

对清洁供暖进行更广泛的重新定义，使其仅包括全球公认的清洁供暖方案，也有助于帮政策制定者厘清可以考虑用于长期脱碳的技术、政策和融资方案。此外，中国还可以考虑推出在建筑中逐步淘汰使用化石燃料供暖的计划，以进一步加强向清洁供暖转变的信号。这可以与逐步取消化石燃料供暖补贴的行动相伴并行。欧洲目前有 [13](#) 个国家已经实施或宣布了限制安装燃油锅炉的禁令或其他政策，其中 9 个国家对燃气锅炉也采取了同样的措施。

继续加强热泵能效标准并开展宣传活动

中国标准和标识计划的节能成果显著，仅在 2022 年就在包括逆变器空调和多联机（热泵）空调在内的 16 个产品类别节省了超过 [900 亿千瓦时](#)，相当于智利和哥斯达黎加目前的用电量总和。虽然热泵比其他供暖技术更高效，但在其部署快速增长的同时，仍需要关注不同热泵机型的能效，以限制电力需求的总体增长。

中国对包括热泵热水器在内的一系列电器制定了能效标准，并每年根据三个等级修订一次：最低能效标准（或“准入”级）、“节能”级和“先进”级。政策制定者可以通过设定未来几年的准入能效门槛来扩大这一结构，提高目前的最低能效标准水平。这可以依循[能源性能阶梯](#)模式，并与诸如“十五五”规划（2026–2030 年）等重要政策保持一致，向产业界和消费者发出政策制定者正在优先考虑中长期向更高能效模式转变的重要信号。中国普遍使用的带有电阻辅助加热功能的空调和热泵也会影响所用设备的整体性能系数（COP）。中国应详细分析国内市场上现有机型的效率，并确保在标准制定过程中考虑辅助加热功能。中国对工业基准设立采用了类似方法，最近为各主要工业部门中效率最低的实体确定了 [2025 和 2026 年的淘汰日期](#)。

结合配套措施，可以进一步支持最佳可得技术的普及。例如，中国的建筑规范规定，在夏热冬冷和温和气候区，热泵的整体性能系数至少为 3.5。转向同类最佳机型应成为中国中长期推广战略的一部分。目前的测试方法侧重于室外温度较低（7° C 左右）时的制冷和制热功能，也应对此进行修改，以解决在寒冷和严寒气候区域安装的热泵性能不佳的问题，否则会给消费者带来负面体验。

对热泵优势的认识不足，以及获取运营成本信息的渠道有限，都会限制人们放弃传统供暖方式、投资热泵的意愿。因此，通过提供更清晰的全寿命成本信息和技术选项之间的比较（见第3章）来强调和加强认识，是支持消费者做出知情选择，从而促进长期可负担性的关键。农村家庭可能尤其对热泵的潜在增益认识较低。教育活动和有针对性的推广计划可以发挥关键作用，突出热泵技术相比于与燃气和其他供暖方式，在经济和环境方面的优势。

修订并统一各项供暖技术的能效标准和标识，以促进竞争和高能效购买行为

中国是[超高效电器部署倡议（SEAD）](#)的成员，该倡议由 20 多个国家政府、国际能源署和其他合作伙伴共同参与，旨在加快提高电器和设备的能效。该倡议在 2021 年的第二十六届联合国气候变化大会（COP 26）期间发起了《产品效率行动呼吁》，承诺将空调等四种常用电器的效率提高一倍。实现这一承诺的关键行动是制定以性能和功能为准则，对所有电器技术一视同仁的中立标准。这有助于防止过时或效率较低的传统技术因要求不同而受到不公平的保护，这些要求影响它们与更新、更高效技术的比较。

目前，中国的热泵热水器、电热水器、燃气热水器和太阳能热水器的能效标识在能效等级和能效指标方面的差异很大（图 4.4），这可能会对比较和理解造成障碍。例如，热泵热水器分为 1-5 级，能效等级（EER）以能效比（瓦/瓦）为单位，而电热水器则分为 1-3 级，以热负荷（千瓦）为单位。这使得消费者很难根据能效、运营成本和其他关键特性做出知情选择。

图 4.4 2023 年中国不同热水器的能效标识



IEA. CC BY 4.0.

注：不同技术的水热水器在能效标识上使用的衡量标准不尽相同，热泵热水器的能效等级以瓦/瓦衡量，电热水器是以恒定热负荷（千瓦）衡量，燃气热水器以 24 小时固有能耗系数衡量，太阳能热水器以热性能系数衡量。

中国各能效标识的能效等级和指标存在显著差异。

中国应致力于制定统一的供暖设备标识标准，帮助引导消费者选择最节能的设备，并提供更清晰的信息阐明热泵的潜在经济回报，并与其他技术相比较。这种一致性还能为不同技术创造更公平的竞争环境，有助于引导市场开发更高能效的技术。为可逆式热泵提供制热和制冷两种模式的性能指标，也有助于消费者做出知情选择。此外，介绍具体气候的信息也能根据消费者所在地区，更好地为其决策提供信息。中国在设计自身标识时可以借鉴诸如[欧盟](#)和[日本](#)在制定统一供暖技术标识方面的经验（专栏 4.5）。

专栏 4.5 日本对热水技术标识的统一化

2021 年，日本修订了电热水器、燃气热水器和燃油热水器的多等级评分系统。修订后的系统根据能效以及年度能源成本设定星级，而不考虑能源类型。评级和费用估计基于东京和大阪四人家庭的使用情况计算。这些标识还包括 QR 码，使零售商和消费者获取更多信息，例如根据地区环境温度和家庭人口数量比较热水器能耗的差异。

根据分布式可再生能源技术的扩展情况，探索推广建筑热泵的潜力

与国家目标相契合，热泵有潜力使可再生能源在终端用能消费中占据更大比例。随着可再生能源发电量的逐步增加和终端消费的电气化，热泵贡献的减排量会随着时间的推移而增加。将热泵与分布式技术和储能一起部署，还能加大对可再生能源的利用（专栏 4.6）。例如，热泵与适当的储能缓冲器相结合，可将白天太阳能光伏产生的电力储存起来，供晚间需求高峰期使用。

随着分布式和离网太阳能解决方案在中国的迅速推广，将其与热泵和电动车充电等清洁技术搭配使用的机会也越来越多。将热泵与太阳能光伏系统相结合，可以优化利用白天产生的太阳能，并将其转移到晚间的热水和其他用途。太阳能光伏发电和热泵提供联合增益的潜力受到多种因素的影响，包括缓冲储能罐的使用、天气条件（日照和低温）以及消费者行为（洗衣机和淋浴等电器的使用）。中国应进一步研究这一潜力，例如在已经或计划安装屋顶太阳能光伏的城市和农村地区探索[电网交互高效建筑](#)的潜力。此举可以利用诸如中国的[整县光伏](#)计划等现有政策，促进更大规模、更长期的应用。

随着可再生能源在电力系统中所占比例的增加，中国应着眼于调整以清洁供暖和清洁能源为重点的政策和计划，以促进向这些技术整合的平稳转型，从而最大限度地利用可再生能源电力。2024 年 2 月，国家发展和改革委员会（NDRC）关于加强绿色电力证书与节能降碳政策衔接的[通知](#)，通过促进“绿证”在能效行动中的应用，为此提供了机遇。加强对终端消费者使用可再生能源电力的激励，也可以鼓励包括热泵在内的最节能技术的普及。确保激励措施与对终端电气化更广泛的支持对齐，将为更系统地整合热泵创造潜力。

专栏 4.6 太阳能热泵推动拥有光伏电池板的家庭优化自发自用

上网电价使太阳能光伏电池板所有者能以高于市场的价格向电网出售电力。这些措施的目的是在太阳能光伏等可再生能源尚不具备经济可行性的早期发展阶段推广这些能源。在欧洲，随着光伏电池板价格的下降和效率的提高，这些激励措施已不再必要，因此在一些国家正在被逐步取消，例如[比利时](#)、[德国](#)和[荷兰](#)。电力市场的这一变化反映出，安装了光伏装置的家庭的关注点从向电网出售多余的发电量转向优化自发自用。

大金 2022 年 6 月在比利时开展的一项[案例研究](#)，分析了利用光伏优化热泵技术，以替代现有燃气锅炉的潜在优势，探讨了将太阳能光伏的富余电能储存为热能而不是返回电网的影响。当有富余电力时，热泵会将 250 升容量水箱内的设定加热温度提高 10° C。该实验显示了积极的经济回报，自用比率从 33%提高到 40%，且经过计

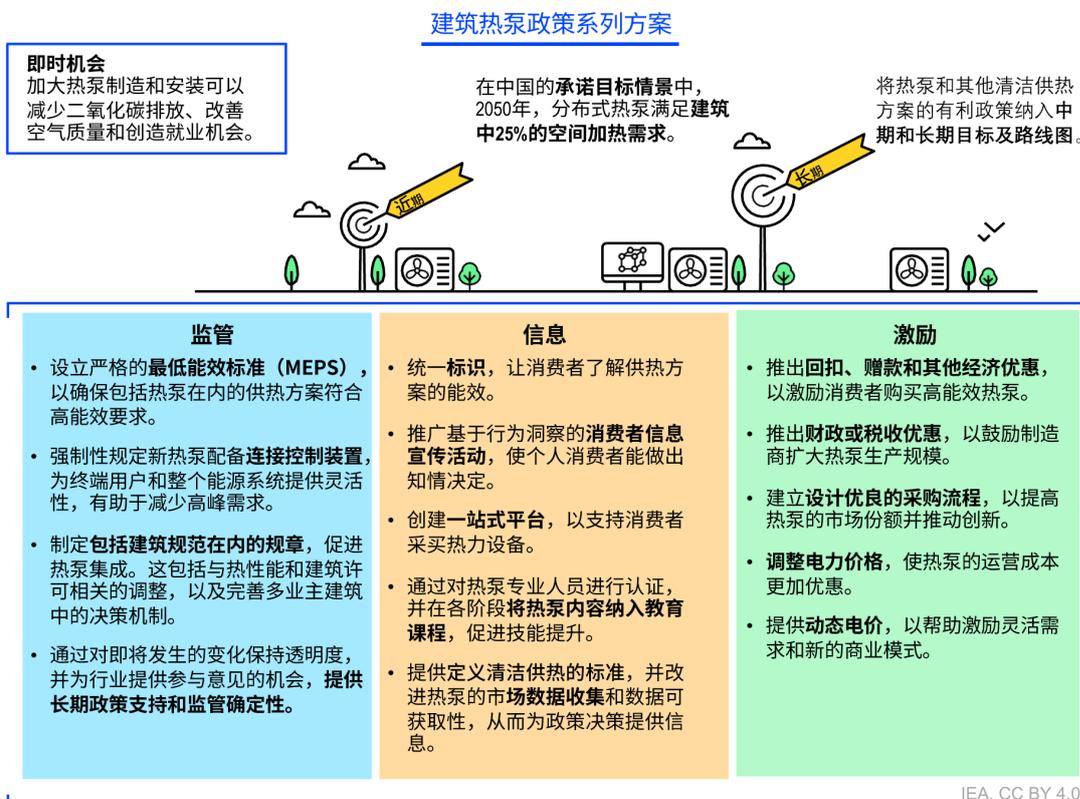
算，一年中供应生活热水所需的 35%至 50%的能源可由免费的光伏能源提供。这在一年中可节约 90 欧元（690 元人民币）至 120 欧元（925 元人民币）的能源，该数字超过了向电网输出这些额外能源估计可节省的 23 欧元（177 元人民币）。

协调政策措施，充分释放热泵在中国建筑部门的潜力

要想充分利用热泵为中国供热行业脱碳提供的机遇，关键在于各项政策措施的有效结合。支持热泵的政策应被纳入中国碳中和规划进程，使二者发挥协同作用，并在能源转型路径中得到更细致的考虑。

根据国际能源署的[政策系列方案工具包](#)，协同运行的举措要将**监管、信息和激励结合起来**。例如，通过更严格的标准来加强能效要求（监管），提高各项热力技术的能效标识一致性（信息），以及提供补贴或回扣来解决前期成本（激励措施）。这些措施的结合，可以显著提高热泵在建筑部门的普及率（图 4.5）。整合国家、省和地方各级的政策系列方案，有助于引导更清洁、更高效供暖热力设备的制造、投资和普及。

图 4.5 加强建筑部门热泵普及的政策系列方案



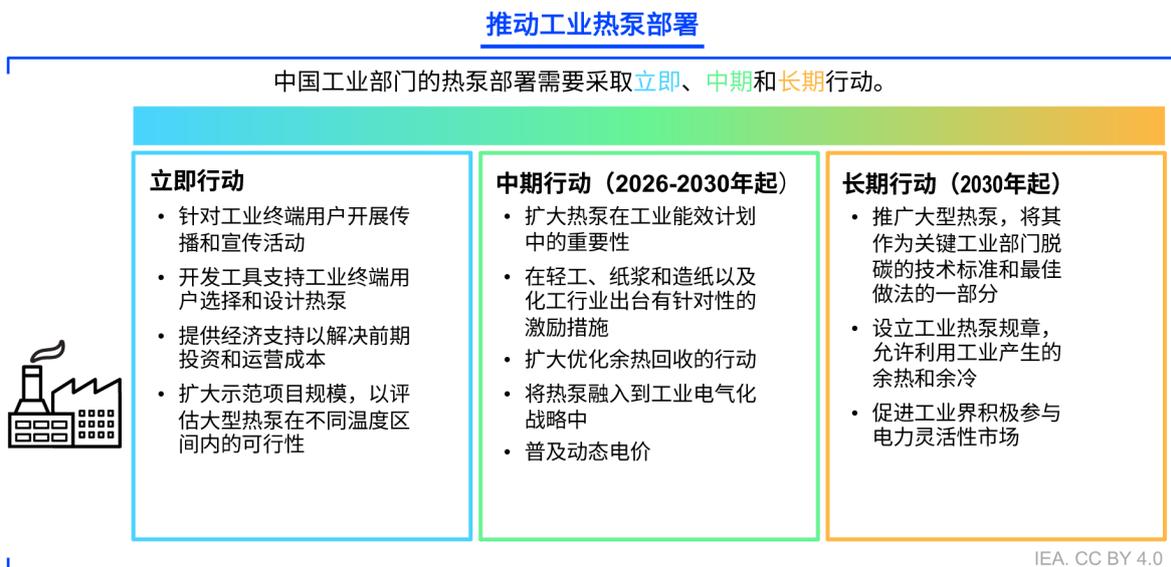
整合监管、信息和激励，可以形成一个有效的加快热泵普及的政策系列方案。

在中国工业部门推广热泵的措施

热泵在中国工业中的最大潜力在于轻工业、化工以及纸浆和造纸行业，因为与其他工业部门相比，其所需的平均工艺温度较低，而且在热力需求上预计将有所增长。尽管装机量目前还很低，但预计未来几十年将大幅增长。

目前，由于人们对工业热泵的认识不足，而且其与燃气锅炉等替代品相比，投资成本较高（最多可达燃气锅炉的六倍），因此普及率有限。与天然气和煤炭燃料相比，热泵电力成本较高，这进一步限制了改用热泵的积极性，尽管后者效率更高。此外，由于需要针对个别工业过程进行特定设计，因此工业热泵市场的标准化和规模化更具挑战性。要扩大热泵在中国工业中的应用，需要克服一些具体的政策和技术挑战（图 4.6）。

图 4.6 推动中国工业部门热泵部署的行动



立即行动应侧重于帮助工业部门解决热泵前期成本高的问题，同时提高其对热泵优势的认识。

扩大行动，通过在轻工业和区域供热领域使用热泵，推动余能回收

目前，中国的工业余热供热主要集中在钢铁、水泥等能源密集型产业。由于各种挑战，区域供热管网和轻工业中的余热利用较为有限，包括冬季余热输出不稳定（由环境政策造成）、小型工业企业参与余热利用的激励措施有限，以及缺乏对热力流的综合规划。通过使用大型热泵，并在较暖月份蓄热为供冬季供热量使用，可以更多地捕集余热。

中国应加强顶层设计和规划以提高余热利用，包括突出热泵应用的关键机会。为促进中国轻工业和区域供热提高余热的循环利用，可加强对潜在余热回收方案的识别和梳理，例如实施示范项目和梳理来自工业、发电厂、废水处理厂、数据中心和其他应用场景的可用余热。识别低品位余热还有利于发现可利用的机会，例如将其整合到区域能源管网中（专栏 4.7）。中国可以考虑在地方一级出台强制性热力规划，以便加强在未来利用余热回收的机会，并在整体供应规划中优先考虑余热。

在统筹顶层规划和设计的同时，中国应致力于为应用余热的热泵项目的规划、设计和实施制定更明确的标准。对现行标准和做法进行审查，并梳理热泵应用的关键机会，将有助于更全面地了解热泵的潜力。为支持这一举措，可以扩大对热泵技术余热回收的财政支持，并提供激励措施，扩大将热泵应用于余热回收的规模，以进一步加快投资。

2020 年，韩国政府发起了[全国热力地图](#)，涵盖发电厂、焚化炉、区域供热、燃料电池和工业用地的所有余热能源，以促进余热利用、加快提高能效。中国可以考虑设计和实施激励机制，并在热力供应规划中优先考虑余热，以进一步刺激增长。余热系统的规划、设计、建设和运营的标准化也将是关键所在，能提高此类项目未来的融资能力。可以制定评级措施，奖励良好设计和能效改进的项目，向更广泛的行业终端用户宣传最佳做法。

专栏 4.7 工业余热回收为汉堡市区域供热管网提供热力

从废水处理系统等渠道进行余热回收，为区域供热脱碳提供了机会。热泵在此可以发挥关键作用，而德国汉堡市已将其作为在 2025 年前，开发无化石能源废水处理系统目标的一部分。

该项目由江森自控、汉堡自来水公司和汉堡能源公司合作实施，旨在通过安装四台 1.5 万千瓦的热泵，减少约 [66000](#) 吨二氧化碳。该市的 Dradenau 废水处理厂每天处理约 45 万立方米的污水，热泵将从处理过的废水中提取热力，并将其输入中央区域供热管网。据估计，该项目可为约 39000 户家庭提供清洁热力。

汉堡将于 2030 年建成的新区[汉堡港城](#)，该区还设立了 100% 利用附近奥鲁比斯铜冶炼厂的余热供应区域供热系统的目标。该项目预计将为 20000 户家庭提供热水，每年可减少 20000 多吨的二氧化碳排放。

将热泵作为部分行业供热脱碳的推荐技术选择

许多工业生产过程和方法都需要大量的工艺热力，这通常会给相关企业带来大量能源成本。因此，对供热系统进行全面的能源优化可以大大降低能耗和成本。整

体热力系统的优化应着眼于采取系列方案措施、最大限度地减少需求和损耗、利用热回收、采用最节能的组件和技术，并优化控制系统。

中国《[工业能效提升行动计划](#)》目前着重于将提高燃气锅炉能效作为降低能耗的关键措施，其中包括最近制定的在 2025 年前将平均运营热效率较 2021 年水平提高 5% 的目标。计划中提到，热泵是工业技术多样化和加速工业电气化的一种选择。

在未来的行动计划中，中国可以考虑对目标部门的热泵提出更具体的要求，将重点放在轻工业，并在可行的情况下也着力于纸浆和造纸以及化工行业。例如，热泵可以作为高效选项，纳入中国年度[《产业结构调整指导目录》](#)，该目录鼓励采用符合碳中和目标的技术。实施促进过程整合等旨在优化供热和制冷热回收的措施，有助于通过热泵捕集更多余热。这可以鼓励工业终端用户在升级系统时，考虑不同供热技术的能效。对热泵的节能潜力进行研究，可以进一步帮助制定长期战略，[欧洲造纸业](#)就是一个案例。

专栏 4.8 国际能源署计划推动热泵工业应用的研究

国际能源署促进和推进国际合作，以推动新兴和改良能源技术研发，其中一项活动是[技术合作项目](#)（TCP）。中国于 2019 年加入该项目。[工业热泵应用项目](#)（2010–2016）及其[第二阶段](#)（2016–2019）由[热泵技术](#) TCP 项目和[工业能源相关技术与系统](#) TCP 项目共同开展，旨在通过以下活动增加热泵在工业中的应用，从而减少能源使用和温室气体排放：

- 为政策制定者以及工业及其供应链和咨询服务的主要利益攸关方提供信息。
- 深入了解商业决策过程。
- 通过数据库，整理和增加有关工业热泵的知识和信息。
- 应用新技术并确定技术发展需求。
- 创建专家网络。
- 识别能够与可再生能源生产发挥协同作用的机会，以提高电网的灵活性。

来自奥地利、加拿大、丹麦、法国、德国、日本、荷兰、韩国和瑞典的参与机构总共介绍和分析了 39 个研发项目和 115 项热泵的工业应用，特别是将工艺余热用作热源。2020 年发布了以高温热泵为焦点的[补充附录](#)，中国也参与其中。

提高认识，支持工业消费者选择量身定制的热泵解决方案

尽管输出温度低于 200° C 的热泵已在全球多个工业应用中得到实施或测试，但在中国，对该技术的认识和使用仍然较少。在工业过程中改用热泵需要专门的规划、设计、制造和安装。

对热泵的优势以及如何选择最有效的热泵方案的认识有限，可能会限制关键行业对热泵的普及。因此，短期的优先事项应该是提高工业和商业消费者选择和安装适合其项目具体要求的热泵的能力。

为此，中国可以建立一个[信息和知识库](#)以支持工业热泵的集成，让热泵制造商和工业界参与开发工具，帮助用户选择最适合其需求的热泵设计。通过促进金融机构与制造商之间的联系来推动对清洁技术的投资，也有助于提高认识。例如，欧洲复兴开发银行资助的[绿色技术选择器](#)，提供了一个平台，让包括[热泵](#)在内的各项技术的零售商与金融机构建立联系。这种平台还可以与财政支持衔接，以激励行业利益攸关方选择最高能效的技术。

提供易于获取的教育材料、培训课程、工艺集成与优化的方法、标准指南、技术支持和技术示范都将是这一进程的关键。此类支持的例子包括巴西的[PotencializEE](#)项目，它为工业能效专家提供培训，帮助企业确定清洁高效的技术。此外，澳大利亚能源生产力联盟（A2EP）的在线[热泵估算工具](#)，让工业终端用户可以根据自身的具体需求选择潜在的热泵方案。

支持工业终端用户克服高昂的前期安装成本，管理更长期的运营维护成本

尽管安装工业热泵需要大量的初始投资，但从更长期来看，节省能源成本的潜力很大。随着市场扩大和创新进步，更经济的清洁电力等因素将降低热泵的平准化成本，从而使热泵与其他工业供热技术相比更具竞争力。如果未来在工业中实行碳价格，那么与替代设备相比，热泵所能节省的费用可能会进一步增加。然而，在甘肃和重庆等工业天然气价格较低的地区，大型热泵目前还不具备投资吸引力。高昂的工业电价降低了工业用户的积极性，并有可能减缓工业终端用途整体电气化的进展。

在短期内，中国的政策制定者应考虑采取措施，支持工业终端用户对热泵和相关设备进行初期投资，因为前期成本预计到2030年仍将居高不下。其形式可以是初始成本提供贷款和/或为采用热泵的用户提供电价减税，从而降低长期运营成本。为清洁供热技术的工业采用者提供更多成本更低的融资选择，例如为关键部门的热泵集成创建[有针对性的融资工具](#)，或建立[绿色金融试验区](#)，会在更长远的未来进一步支持清洁供热技术普及。政策制定者还可以通过将[中国的排放交易系统（ETS）扩展到工业部门](#)，以促进工业热泵部署，这可能是以高成本效益的方式实现可再生能源目标的一种手段。这最终也将提高大型热泵与化石燃料锅炉相比的竞争力。除其他清洁能源技术和能效措施外，排放交易系统的收入也可用于解决热泵的可负担性或竞争力问题。

一些国家已出台政策，以降低工业热泵的前期成本障碍，缩短投资回收期。在德国，补贴最多可覆盖热泵初始成本的 55%，每个工程的补贴上限为 1500 万欧元。在丹麦，2022 年推出的现金补助最高可支付热泵安装等节能工程费用的 50%（专栏 4.9）。

专栏 4.9 丹麦能效责任制度节能效果显著

丹麦的经验已经证明，[能效责任制度](#)（EEO）可以是一种成本效率较高的、以市场化方式实现工业节能的工具。自 2006 年该机制生效以来，全国 45% 的节能成果来自工业部门的能效干预措施。符合条件的能效措施包括与供热系统、建筑织物、通风、照明、加工设备、冷却、压缩空气、泵、发动机、驱动器、电器、配电系统以及连接到区域供热的大型光伏有关的措施。

该机制尤其大力推动使用寿命超过 15 年的[优先级技术](#)，并通过推广热泵、建筑保温、热回收、区域供热和太阳能热力系统，促进实现逐步淘汰化石燃料供热的国家目标。丹麦能效责任制度的一个成功范例是[阿尔乐 Arinco 乳品厂](#)，该厂于 2012 年安装了一台 1200 千瓦的混合热泵，用于回收冷却水中的余热。每年节约能源 460 万千瓦时，几乎抵消了一半的投资，并在 20 个月左右便收回投资。

推动热泵研究和示范项目以促进创新，并突出热泵为广大工业消费者带来的益处

鉴于将热泵应用于温度较高的工业过程具有挑战性，需要对此进一步开展研发和示范，以扩大应用规模，并向终端用户展示潜在优势。这些项目从研发到制造再到最终应用，都需要跨行业合作。加强工业热泵的国际合作对于分享政策方面和技术开发方面的最佳做法也至关重要。创新使命（Mission Innovation）的[零净工业使命](#)、[国际能源署技术合作项目](#)（专栏 4.8）和[能效中心](#)等合作论坛，为跨国合作和学习提供了平台，中国都有参与其中。

中国可根据目前热泵在不同温度区间内的技术可行性，在部分工业细分部门扩大热泵应用试点，初期重点关注潜力最大的部门。中国工业热泵示范项目的例子包括山东省的一家啤酒厂，该厂使用热泵为生产提供蒸汽（专栏 4.10）。

中国还可以通过为制造商提供[税收抵免](#)或针对创新的现金补助等激励措施促进研发投入，鼓励为目标工业部门开发更高效、更可负担的热泵，以及适用于更高温度区间的热泵。通过[“热泵就绪”计划](#)，英国政府已投资 6000 万英镑（7600 万美元，5.46 亿元人民币）以加快热泵普及，并提供研发税收减免，以支持热泵的大

规模开发和示范。可以对这种模式加以调整并应用于工业领域，以促进开发更可负担和更量身定制的热泵选择。

专栏 4.10 热泵已为中国一些轻工业部门带来显著的运营成本节省和节能的效果

中国东部山东省的宏济堂啤酒厂于 2020 年引入热泵，取代电锅炉为生产过程提供蒸汽。项目团队提出了一种以空气为热源、以高温蒸汽为输出的新方法以供应工业用蒸汽。当环境温度为 18.9° C 时，饱和蒸汽的供应温度为 120.2° C。热泵的整体性能系数可最高达 1.85，与电锅炉相比可节约 45% 左右的能源。热泵每年可节约 777600 千瓦时的电量和 467000 元人民币（65000 美元）的运营成本，投资回收期约为 2.4 年。

无锡夏利达漂染有限公司于 2023 年 11 月安装了 10 台余热源高温热泵。这些设备可生产最高达 90° C 的高温热水，整体性能系数达到 4.6，减少了公司需要从电网购买的蒸汽量。该厂原来依靠电厂管网供应蒸汽，价格为每吨 330 元人民币，年运营成本超过 1350 万元人民币。安装热泵后，每年的运营成本降至 390 万人民币，节省了 70% 以上的资金。投资回收期估计不到一年。

浙江宁波榆林金属制品有限公司引进了四台高温空气源热泵来替代天然气锅炉，以供应 120° C 的蒸汽。工厂所在地区的天然气价格为 6 美元/立方米（43 元人民币/立方米），燃气锅炉每年的运营成本为 173 万元人民币。该项目于 2023 年投入运营，在温度高于 -20° C 的情况下，整体性能系数达到 1.8。四台热泵的年运行成本为 80 万元人民币，将运营成本降低了近 60%，投资回收期为 1.7 年。

支持发展可持续热泵供应链的措施

为建筑、工业和区域供热使用的清洁热力制定明确分类标准

尽管热泵现已在全球许多市场得到普及，但在如何对热泵进行分类、如何收集数据以及如何将其计入各关键市场的可再生能源目标等方面，仍存在显著差异。这给跟踪全球市场增长和部署的总体趋势带来了挑战。为帮助克服这一挑战，中国应努力为热泵在国内市场的分类制定明确的标准。

对清洁供热以及可再生能源所产热力进行明确定义，将有助于政策制定者将支持和资金分配给能效最高的低排放技术，并为行业利益攸关方和消费者提供更明确的信息，以帮助他们采用这些技术。此外，政策制定者还可以进一步明确热泵如何促进可再生能源和电气化目标的实现，包括制定准则，说明如何根据国家能源和气候目标对使用化石燃料和可再生能源的热力进行计算。欧洲热泵协会（EHPA）的目标还包括使热泵在[欧盟分类标准](#)下被认定为“可持续发展”，向投资者释放信号。

中国可以与其他关键市场（如欧洲、美国和日本）的利益攸关方合作，就各自市场的分类工作和相关数据收集促进交流。这将有助于增进对全球几个最大热泵市场的了解，并有可能推动实现标准化分类和数据收集的长远目标。由于某些市场各自的特点，不同的方法可能会继续存在，但加强对话有助于对全球热泵市场、未来需求增长和潜在挑战有一个更加统一的整体认识。

加强数据监督并利用供热调查，以更好地了解热泵乃至供热脱碳的机会

改进省级和地方一级的热泵数据收集和报告工作，可以更有效地监管热泵的安装。对全国的安装率做出更准确的估计，也有利于为未来市场份额或安装量的目标设定提供信息。更详细地了解热泵在一段时间内的推广情况，也有助于与供应链的其他方面以及电力系统基础设施规划相互协调。这可能包括收集以往热泵项目的数据，以总结经验教训。

热泵安装可通过适当的认证机制进行报告，例如英国将用[清洁热力市场机制（CHMM）](#)来产生信用额。英国的在线[热泵监控器](#)还对安装数据进行跟踪，其结果表明技术人员接受详细培训能提高效率。这种机制可用于确保达标，并可记录有关电器品牌、机型和容量的信息。

城市或县级消费者调查也可提供有关当地对采用热泵的认知、行为和潜在障碍的信息。此类研究有助于更好地了解供热行为和随时间推移发生的变化、使用的供热技术以及对节能供热做法的认识水平。调查的目的还可以是评估热泵普及支持计划（如有）的有效性，从而支持地方政府设计和推出补贴、现金补助和其他激励措施。包括英国和[比利时](#)在内的欧洲多国政府广泛采用供热调查，以便为更广泛的供热政策制定提供信息。[德国](#)能源署（DENA）委托进行的一项调查发现，在接受调查的 1000 多人中，有一半以上希望在供热方面节约能源。调查还收集了有关供热行为的信息。

制定目标，增加热泵在全国供热市场的销售和部署

长期政策的一致性和监管确定性，以及加强供应链的有针对性的行动，将是满足未来不断增长的需求，并确保该行业能够支持中国实现碳中和目标的关键。

中国可以为热泵和其他清洁供热方案的部署制定量化目标，这将向市场释放明确信号，并促进对研发、制造和部署的更广泛投资。例如在欧盟，某些成员国设定的安装目标促使热泵制造领域的投资总额在[2021](#)、[2022](#)和[2023](#)年超过 30 亿欧元（240 亿人民币，32.5 亿美元）。

基于义务的政策还可以在降低成本的同时，刺激清洁供热热力技术的制造生产和销售。中国可以对供热热力设备的制造商和零售商提出要求，确保热泵至少在全部的销售额中占一定比例。这些措施可以与激励措施相结合，例如允许销售量超过配额的公司与未达到配额的公司进行信用额或证书交易。这可以借鉴中国建立可再生能源证书交易计划的早期经验，以及英国的近期进展（专栏 4.11）。

专栏 4.11 英国的清洁热力市场机制促进热泵销售

英国政府计划于 2024 年 4 月实施清洁热力市场机制（CHMM），通过激励供热行业的投资来支持英国电热泵市场的发展。该机制还旨在支持政府实现热泵安装量在 2028 年前到达 60 万，并建立一个可持续发展的英国热泵供应链的宏伟目标。

该政策将要求燃油和燃气锅炉制造商售卖相当于其锅炉销售额 4% 的热泵，并在此之上每销售一台燃气锅炉，将被处以 3000 英镑（3800 美元）的罚款。经认证的安装人员登记，可交易的热泵信用额将在合格的热泵设备安装后分配给制造商。

利用热泵的快速增长，促进制造、安装、运营、维护和回收领域的就业和技能发展

中国强大的制造业基础，使其具有满足国内日益增长的热泵需求的良好条件，但如果不对未来制造业劳动力的隐忧加以解决，可能会导致供应链出现漏洞。首先，政策制定者可以考虑像欧洲那样，对现有劳动力的优势和劣势进行摸底。优先事项可以包括确定现有劳动力中具有互补技能的领域，例如暖通空调（HVAC）和燃气锅炉技术人员，以及需要进行更广泛再培训的领域。

预计从现在到 2030 年末，安装和制造部门将成为新增工作岗位的最主要来源，因为随着热泵普及的加速，对运营维护人员的需求也将上升。培养熟悉热泵技术等技能，以及支持认证和培训需要大量投资（专栏 4.12）。

改进热泵的安装和维护是确保最大运营效率、降低成本和减少全寿命周期排放的关键。安装和运营维护不善会导致能效低下，错失减排机会，从而可能损害人们对该技术的认知，减缓转型进程。这一挑战在中国农村地区可能尤为严峻，因为与城市地区相比，农村地区的技术人员通常更为有限。此外，再循环也至关重要，特别是要确保所有制冷剂都得到安全回收和再循环。

中国可以考虑对热泵技术人员进行专门的强制性技术认证，并在整个行业内确立最低认证标准门槛。虽然在中国，维修空调和制冷设备（包括热泵）的公司可以自愿获得资格证书，但安装工作并不需要由经过认证的安装人员进行。与此相反，许多其他国家对热泵安装人员设定了要求，例如在英国，根据微型发电认证制度，

只有经过认证的安装人员才能保证有资格获得支持。对运营、维护和循环利用提出更明确的要求，也可以向业界发出信号，表明对转向更长期培训和工人个人能力建设有着更广泛的需要。

这种强制性认证有助于提高中国热泵安装的效率 and 安全性。不过，这种资格认证计划对工人来说不能过于苛刻繁琐，因为复杂的要求或昂贵的培训费用可能会阻碍他们进入该行业。教育和培训是在向清洁能源转型时，保障[公平和以人为本](#)的关键所在，特别是对于劳动力需求将下降的传统能源部门的工人而言。将热泵技术模块纳入教育课程和职业培训计划，也将有助于建设一支了解并和支持可持续供热方案的未来劳动力队伍。

专栏 4.12 EUCERT 计划为热泵安装人员提供培训和教育

欧洲热泵协会正在主导 [EUCERT](#) 计划，以确保有经过认证和训练有素的安装人员队伍来满足欧洲日益增长的热泵需求。重要的是，该计划为欧洲各地的所有受训人员提供相同的培训和考试材料，以便在不同的参与国建立同等资格，也为证书的相互接受提供便利。培训课程涵盖一系列主题，包括市场营销、热泵系统的成本、节能建筑以及热泵系统的规划、安装和维护。每个培训课程由最多达 36 个小时、不分制造商的通用教育组成，包括 8 个小时的动手实践培训。

考虑加强热泵的全寿命周期直接和间接排放标准，以提高能效并推广制冷剂替代品

随着热泵普及的加速，越来越需要考虑直接和间接排放，关注能效和制冷剂的选择。中国在比较不同类型的设备和评估热泵的整体影响时，应考虑这些因素在热泵整个生命全寿命周期内的情况。如果考虑到发电的排放系数和热泵当前的整体性能系数，目前热泵的大部分排放都是间接排放。随着电力行业脱碳和热泵能效提高，在考虑热泵的整体可持续性时，制冷剂的直接排放将变得更加重要（见第 3 章）。

应针对不同类型的热泵，对大规模采用热泵的生态和环境增益进行研究，使政策制定者能够在早期阶段解决任何担忧。未来最低能效标准的发展应更多地考虑热泵中使用的制冷剂，正如中国在最新一轮能效标准中所提出的那样。对全球变暖潜能值低的天然和合成制冷剂都应予以考虑，并在不影响热泵效率的同时反映终端用户的需求和安全性问题。通过促进负责臭氧和全球变暖问题的政策制定者与从事能效工作的政策制定者之间加强交流，可以推动制冷剂和能效考虑因素的进一步整合。

此外，通过政策支持，深化对不需要制冷剂的先进供热/制冷技术的持续研究（见第 3 章），可确保此类技术能够随着热泵市场的发展趋于成熟。中国还可以借鉴其

推荐的[消耗臭氧层物质替代品](#)清单，进一步促进热泵应用，以支持《基加利协定》的整体进展。作为国际能源署热泵技术合作项目的成员，中国可以考虑加入最近启动的[Annex 64](#)项目，该项目将探讨工业、区域供热和家用热泵中易燃制冷剂的安全措施。

考虑未来热力电气化和热泵部署对电力系统和需求灵活调节能力的影响

终端用户电气化率的提高和电力市场改革的进展，将为热泵等清洁供热技术的普及创造新的机遇。然而，在电力市场改革的早期，电气化的速度有可能会超过对配电网等基础设施的投资，而这些都是可靠地提供可负担的电力的必要所需。确保将需求侧响应的考虑因素纳入更广泛的供热电气化计划，并确保包括热泵在内的清洁供热技术能够响应需求，将使热力系统与电力系统之间的交互更加紧密，从而提高未来系统的灵活性和稳定性。这些措施将与促进电网脱碳的行动相得益彰，从而减少使用热泵产生的排放。

中国近年来更加关注[电力市场改革](#)、电气化和需求侧响应能力，制定了包括在2030年前建立全国统一电力市场体系，以及在2025年前扩大需求侧响应能力的目标。目前在省级和地方一级采用的阶梯和分时电价，可在较短期内为政策协调提供机会。从较长远来看，包括辅助服务在内的灵活性市场的发展，将为扩大对建筑和工业部门的需求侧供热系统的投资，创造机会和新动力。这可能会使区域供热管网和聚合式热泵，在供热和积极参与电力系统方面发挥越来越大的作用。

中国应进一步将需求侧就绪工作纳入热泵的设计和推广，以确保未来电力系统的交互性（专栏 4.13）。随着部署规模的扩大，数百万台高效热泵同时运营，将在冬季高峰需求期和极端寒冷事件期间影响电力系统。可以将这些措施与中国的[“十四五”建筑规划](#)相整合，该规划强调了建筑与电力系统交互（例如开发能源管理系统）的重要性。这可以包括在最低能效标准或建筑规范中，制定专门针对需求侧灵活性的要求，向行业参与者发出转向制造智能产品的信号。英国计划在2027年前实施[智能规定提案](#)，规定所有水暖热泵、蓄热式加热器和热电池都能提供需求侧响应。此类措施应考虑与采用电网交互式电器组合有关的潜在成本增加，以及电力系统整合的更广泛可行性。

专栏 4.13 三菱在欧盟“REACT”项目中探索热泵需求响应成熟度

[REACT](#) 项目目的是通过在爱尔兰阿兰群岛和意大利圣彼得罗岛部署热泵系统，示范偏远岛屿的能源独立性。该计划涉及 22 个合作伙伴，包括来自 11 个欧盟成员国的公司和学术机构，旨在实现 10% 的能源节约、60% 的温室气体减排、50% 的可再生能源利用率提升的目标。

这些项目采用具有需求响应的分布式可再生能源发电和储能技术。示范点安装的热泵来自[三菱电机](#)，并通过暖通空调系统云服务与 REACT 需求响应平台相连。这使热泵能够共享温度和能耗等运营信息，并使 REACT 平台能够采用自动需求响应控制。该系统还向用户发送有关家庭能源使用、电价和其他事项的手机通知，并提供量身定制的能效建议。

通用附录

缩略语和缩写

APS	承诺目标情景
CAD	加拿大元
CCUS	碳捕集利用与封存
CHIC	清洁供热产业委员会
CHMM	清洁热力市场机制
CHP	热电联产
CNY	人民币元
COP	性能系数
COP	缔约方会议
CO ₂	二氧化碳
EEO	能效责任制度
EER	能效等级
EHPA	欧洲热泵协会
EMCA	中国节能协会
EPBD	建筑能效指令
ESCO	能源服务企业
EV	电动车
EUR	欧元
F-gas	含氟气体
FYP	五年规划
GBP	英镑
GDP	国内生产总值
GEC	绿色电力证书
GHG	温室气体
GWP	全球变暖潜能值
HCFC	氢氯氟碳化物
HEERA	高效家用电力回扣法
HEPS	高效性能规范
HFC	氢氟碳化物
HFO	氢氟烯烃
HSCW	夏热冬冷
HTHP	高温热泵
HPT TCP	热泵技术合作项目
HVAC	暖通空调
IRA	《降低通货膨胀法》
MEPS	最低能效标准
MVR	机械蒸汽再压缩
NDRC	国家发展和改革委员会

NO _x	氮氧化物
PCM	相变材料
SEAD	超高效电器部署倡议
SO ₂	二氧化硫
STEPS	既定政策情景
TCP	技术合作项目
TRL	技术成熟度
USD	美元
ZEB	零排放建筑

单位

° C	摄氏度
EJ	艾焦
Gt	十亿吨
Gt CO ₂	十亿吨二氧化碳
GW	百万千瓦
hr	小时
kg CO ₂	千克二氧化碳
km	公里
kt	千吨
kW	千瓦
kWh	千瓦时
m ²	平方米
m ³	立方米
MJ	百万焦耳
mm Hg	毫米汞柱
MW	万千瓦
l	升
PJ	拍焦
t	吨
t CO ₂	吨二氧化碳
W/W	瓦特对瓦特
μ g	微克

词汇表

吸收式热泵

利用外部热源为散热器、地暖系统或区域供热管网加热水的热力设备。与电力驱动的热泵不同，吸收式热泵由热源驱动，如天然气、丙烷、太阳能热水、地热水或余热。参见热泵。

空气-空气热泵

电力驱动的热力设备，通过室内鼓风机或通风口利用外部空气中的热量为室内供热。对于没有散热器或地暖系统的家庭而言，空气-空气热泵是理想选择，而且还可以提供空间制冷。有些机型可与水箱结合使用，提供家用热水。在其他情况下，可能需要单独的热水解决方案，例如电

热水器。空气-空气热泵靠电力运行，如果安装在隔热性能良好的住宅中，可以显著节省能源费用；例如，与燃气锅炉相比，在德国可节省高达35%的能源费用，在法国可节省高达50%的能源费用。此类热泵在更换前的平均使用寿命为12-15年。参见热泵。

空气-水热泵

电力驱动的热力设备，利用外部空气中的热量为散热器或地暖系统加热水。空气-水热泵通常与水箱相连，为配热系统、浴室和厨房提供热水。有些机型还提供空间制冷功能。此类热泵靠电力运行，如果安装在隔热性能良好的住宅中，可以显著节省能源费用；例如，与燃气锅炉相比，在德国可节省高达35%的能源费用，在法国可节省高达50%的能源费用。此类热泵在更换前的平均使用寿命为15-18年。参见热泵。

承诺目标情景

国际能源署设想的一种情景，假定世界各国政府和行业于2023年8月底之前作出的各项气候承诺（包括国家自主贡献NDC和长期净零目标，以及电力普及和清洁烹饪目标）都将全面按时兑现。

建筑

建筑部门包括住宅、商业和机构建筑以及其他非特定建筑所使用的能源。建筑能源使用包括空间供热供冷、热水、照明、电器和烹饪。

二氧化碳 (CO₂)

由一份碳和两份氧组成的气体。它是一种重要的温室（热捕获）气体。

清洁能源

就电力而言，清洁能源包括可再生能源发电、核电、配备碳捕集利用与封存（CCUS）的化石燃料发电、电池储能，以及电网。就能效而言，清洁能源包括建筑、工业和交通运输领域的节能，但不包括航空舱载燃料和国内航行。在终端使用方面，清洁能源包括直接使用可再生能源：电动车；建筑、工业和国际海洋交通运输电气化；工业CCUS以及直接空气捕捉。在燃料供应方面，清洁能源包括低排放燃料。

清洁取暖（中国政策）

使用天然气、电力、地热、生物质、太阳能、工业余热、清洁煤（超低排放）或核能的取暖方式。

煤炭

包括原煤，即暗色褐煤、焦煤和蒸汽煤；以及衍生燃料，即型煤、褐煤型煤、焦炉焦、煤气焦、煤气厂气、焦炉煤气、高炉煤气和氧气炼钢炉煤气。也包括泥炭。

性能系数 (COP)

性能系数是一个比值，用于衡量提供的有用能源（即加热或冷却输出）与输入能源之比。性能系数越高，设备的效率就越高。

需求侧灵活性资源

描述能够影响负荷曲线的资源（如在不影响电力总需求的情况下及时移动负荷曲线），或减载（如在短时段内中断需求或在一定时间内调整需求强度）。

区域供热

存在于一些地区、可以通过地下管道进行配热的集中式系统。区域供热管网将热能输送到散热器或地暖系统，还可能提供生活热水，并将热能输送到某些工业过程。有些系统还可以对连入管网的建筑提供制冷。不同管网可以利用多种能源来源，如热电联产厂或大型热泵。

电力需求	定义为总发电量减去自用发电量，加上净贸易额（进口额减去出口额），再减去输配电损失。
发电	定义为单纯发电厂或联产厂（热电联产）生产的电力总量，包括厂内自用发电量。也称为总发电量。
能源密集型产业	包括五大能源强度最高的产业：钢铁、化工、非金属矿物、有色金属，以及纸浆和造纸。
能源部门温室气体（GHG）排放	能源相关二氧化碳排放和工业过程二氧化碳排放，以及能源和工业部门的甲烷和二氧化氮的散逸性排放和放空排放。
含氟气体	是指在冷藏、空调和热泵等不同用途中作为制冷剂循环主要成分的含氟气体。
化石燃料	包括煤炭、天然气和石油。
地热	地热能是来自地球地表以下的热能。水和/或蒸汽将地热能带到地表。根据其特点，地热能可用于供热供冷，或者在温度足够的情况下用于产生清洁电力。
全球变暖潜能值（GWP）	这一指标可以比较不同温室气体对气候变化的影响，并用于计算二氧化碳当量。二氧化碳的全球变暖潜能值设为 1，所有其他气体都相对于二氧化碳来取值。为将气体在大气中的不同寿命考虑在内，最常用的指标是 100 年全球变暖潜能值；有时也使用 20 年全球变暖潜能值。在 100 年的时间框架内，全球变暖潜能值 GWP100 为 27 的气体对全球变暖的影响是二氧化碳的 27 倍。
地源热泵	地源热泵利用外部大地中的热量为散热器或地暖系统加热水。在北美，这些热量通常通过吹风式系统进行配热。此外，地源热泵，以及从附近的河流、湖泊或池塘或地下水中吸收热能的水源热泵，比空气源热泵更节能，因为大地和水的温度与室外空气温度相比更加稳定。地源热泵通常与水箱相连，为配热系统、浴室和厨房提供热水。有些机型还提供空间制冷功能。
热力（终端使用）	可以从化石或可再生燃料的燃烧、直接地热或太阳能热力系统、放热的化学反应过程和电力（通过电阻加热，或可以从环境空气和液体中采集热量的热泵）中获取。在本报告中指的是一系列广泛的终端用途，包括空间供暖和热水，以及在工业过程中的应用。不包括冷却应用。
热力（供应）	从燃料的燃烧、核反应堆、地热资源或太阳光的捕捉中获得。它可用于加热或冷却，或转化为机械能用于交通运输或发电。商业热力的销售情况在终端消费总量中报告，燃料投入分别划归于发电部门项下。
热汇	热泵提供热量的目标。
热源	热泵提取热量的来源。

热泵	热泵从周围的空气、大地储存的地热能、附近的水源、工厂的余热等热源中提取热量，然后将热量传递到需要的地方。热泵的能效是燃料或电阻系统的三到四倍。这是因为热泵将热量移入和移出建筑，而不是产生热量。
水暖热泵	水暖系统中使用的热泵，利用水将热量从热泵通过管道经散热器或地暖系统输送到各个房间。参见热泵。
氢氟碳化物 (HFCs)	由氢、氟和碳组成的有机化合物，广泛用作制冷剂。参见含氟气体，参见制冷剂。
投资	投资是指能源供应、基础设施、终端使用和能效方面的资本支出。燃料供应投资包括石油、天然气、煤炭和低排放燃料的生产、转化和运输。电力部门投资包括发电厂新建和整修、电力网络（输电、配电和公共电动车充电桩），以及电池储能。能效投资包括建筑、工业和交通运输的能效改善。其他终端使用投资包括直接使用可再生能源的设备的购买；电动车；建筑、工业和国际海洋交通运输电气化；使用低排放燃料的设备；以及工业 CCUS 和直接空气捕捉。数据和预测反映的是项目周期内的支出，除另有说明外，均以 2022 年的美元实际值表示。报告的年度总投资反映该年度的支出额。
供热供冷平准化成本	供热供冷平准化成本估算的是在设备寿命期限内提供 1000 度电（1000 千瓦时）采暖或制冷的平均成本，包括设备和安装的资本成本；运营支出包括燃料和定期维护的成本。
低排放氢	利用可再生能源或核能发电由水制取的氢，或由甲烷排放量极低的化石燃料制取并在可避免二氧化碳排放（如通过高捕集率 CCUS）的设施中加工的氢，或来源于生物能的氢。在本报告中，低排放氢的总需求大于氢能终端能源消费总量，因为它还包括用于制造低排放氢基燃料的氢投入、生物燃料生产、发电、炼油以及工业现场生产和消费的氢。
轻工业	指的是一系列能量比耗低于能源密集型产业的行业，包括建造、采矿和采石、交通运输设备、机械、食品和烟草、木材和木制品，以及纺织和皮革。
机械蒸汽再压缩 (MVR)	也称为开式循环热泵，通过压缩余汽来提高其温度。这有别于以封闭循环方式运行的普通热泵。因此，机械蒸汽再压缩不属于热泵。
自然源热泵	利用外部空气、水或大地热量的热泵。参见热泵。
天然气	包括产生于矿床中的液态和气态燃气，主要成分为甲烷。它既包括仅以气态形式生产碳氢化合物的油田所产生的非伴生气，也包括与原油生产相关联的伴生气，还包括从煤矿回收的甲烷（煤矿瓦斯）。不包括天然气凝析液、人造煤气（由城市或工业废弃物或污水产生）以及放空排放或燃除的数量。立方米燃气数据以总热值表示，在 15°C、760 毫米汞柱条件（“标准条件”）下测量。吨油当量燃气数据以净热值表示，主要是为了便于与其他燃料进行比较。净热值和总热值之间的差异在于燃料

燃烧过程中产生的水蒸气的汽化潜热（燃气的净热值比总热值低10%）。

近零能耗建筑 (NZEB)	近零能耗建筑是指通过被动式设计大幅减少供热、空调和照明能源需求、大幅提高能源系统效率，同时进一步利用可再生能源以确保舒适室内环境的建筑。就公共建筑节能而言，近零能耗建筑的能效水平应比国家和行业标准低60%至75%。
石油	包括常规和非常规石油生产。石油产品包括炼厂气、乙烷、液化石油气、航空汽油、汽车汽油、航空燃油、煤油、汽油/柴油、重质燃料油、石脑油、油漆溶剂油、润滑油、柏油、石蜡、蜡和石油焦。
发电	指发电厂、热力厂和热电联产厂的燃料使用。包括公用事业发电厂和生产自用燃料的小型厂（汽车生产厂）。
主要热力设备	采暖季节作为建筑主要热源的热力设备，不包括安装在已安装燃气锅炉等其他热力设备的建筑中的可逆空调。
一级管网	连接热力厂和热力分站的管网。
制冷剂	在制冷电器（如热泵、空调、冰箱）的制冷循环过程中传递热量的物质。
可再生能源	包括用于电力和热力生产的生物能源、地热、水力、太阳能光伏（PV）、聚光太阳能、风能和海洋（潮汐和波浪）能源。
居住建筑	设计并建造用于家庭或个人居住的建筑。居住建筑使用的能源包括空间供热供冷、热水、照明、电器、电子设备和烹饪。
二级管网	将热量从热力分站配送到交付点（建筑或工业场点）的管网。
服务建筑	办公楼、店铺、酒店和餐厅等商业设施，以及学校、医院、公共办公楼等机构建筑。服务建筑能源使用包括空间供热供冷、热水、照明、电器、烹饪和脱盐。
太阳能光伏（PV） 电力	太阳能光伏电池产生的电力。
既定政策情景 (STEPS)	国际能源署设想的一种情景，根据对各国各部门于2023年8月底之前已出台的能源相关政策以及正在制定的政策进行的评估，反映当前政策情况。该情景还考虑到目前已规划的清洁能源技术制造能力。
温升	是指特定热泵的热汇温度与热源温度之差。温升提高通常会降低热泵的性能系数。
终端消费总量 (TFC)	是指各终端用能部门的消费之和。终端消费总量细分为以下部门的能源需求：工业（包括制造、采矿、化工生产、高炉和焦炉）、交通运输、建筑物（包括住宅和服务）和其他（包括农业和其他非能源使用）。不

包括国际航海和航空舱载燃料，但在世界层级上，此类燃料包括在交通运输部门内。

有用能源

是指提供给终端使用者满足其需求的能源。也称为能源服务需求。对大多数技术而言，由于在使用节点上存在转化损失，因此有用能源量低于相应的终端能源需求。使用电力的设备通常比使用其他燃料的设备具有更高的转化效率，即单位电力消耗可以提供较多的能源服务。

零碳就绪建筑物

零碳就绪建筑物是高效建筑，或是直接使用可再生能源，或是使用能够完全脱碳的能源供应，如电力或区域供热。

超低能耗建筑

指处于近零能耗建筑（NZEB）初始阶段的建筑，其室内环境参数与近零能耗建筑相似，能效水平略低于近零能耗建筑。就公共建筑节能而言，超低能耗建筑的能效指数应比国家和行业标准低 50%以上。

利用系数

一台设备的使用时间与能用总时间之比。

International Energy Agency (IEA)

Chinese translation of *The Future of Heat Pumps in China (Full report)*

此执行摘要原文用英语发表。虽然国际能源署尽力确保中文译文忠实于英文原文，但仍难免略有差异。此中文译文仅供参考。

This work reflects the views of the IEA Secretariat but does not necessarily reflect those of the IEA's individual member countries or of any particular funder or collaborator. The work does not constitute professional advice on any specific issue or situation. The IEA makes no representation or warranty, express or implied, in respect of the work's contents (including its completeness or accuracy) and shall not be responsible for any use of, or reliance on, the work.



Subject to the IEA's [Notice for CC-licensed Content](#), this work is licenced under a [Creative Commons Attribution 4.0 International Licence](#).

This document and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory, to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

Unless otherwise indicated, all material presented in figures and tables is derived from IEA data and analysis.

IEA Publications
International Energy Agency
Website: www.iea.org
Contact information: www.iea.org/contact

Typeset in France by IEA - April 2024
Cover design: IEA

Revised version, August 2024
Information notice found at:
www.iea.org/corrections

