

政策简报 | 2026年10月

迈向可持续制冷： 构建兼顾减排与韧性的中国制冷转型路径

Toward Sustainable Cooling:
A Low-Carbon, Resilient Transition Pathway for China



关于iGDP

绿色创新发展研究院(Institute for Global Decarbonization Progress, iGDP), 2014年成立于北京, 是专注绿色低碳发展的公益性国际化智库。

iGDP自成立以来, 根植我国绿色低碳实践, 紧跟全球应对气候变化进程, 服务决策者、实践者、投资者, 通过跨学科、系统性、实证性的研究, 推动能源和气候变化解决方案的科学化和精细化, 与多方合作推动绿色低碳议题的多元化和国际化的沟通, 提供有国际视野和前瞻性的解决方案及公共知识产品, 为全球可持续发展做出贡献。

作者 / 编写团队

马越 陈美安 胡敏

致谢

本简报研究内容得益于好思汇相关研讨活动及专家访谈, 感谢各位参与专家。

感谢北京大学环境科学与工程学院胡建信教授在项目研究过程中提供的重要建议和反馈。

感谢iGDP同事吕雅宁提供中文审校, 张瑛睿提供版面设计。

联系我们 | igdpoffice@igdp.cn

版本日期 | 2026年10月

引用建议 | 绿色创新发展研究院 . (2026). 迈向可持续制冷: 构建兼顾减排与韧性的中国制冷转型路径. 北京 : 绿色创新发展研究院 .

免责声明 | 本简报内容和观点仅代表作者的个人理解和观点, 旨在加强相关领域的讨论交流, 不代表支持方、作者所属机构、调研专家学者的立场和观点。本简报内容采用数据和信息均来自公开的信息和渠道, 我们力求准确和完整, 但难免偶有疏漏, 敬请谅解并指正。

© 2026 绿色创新发展研究院

本出版物根据知识共享署名4.0国际许可协议进行许可。

您可以自由地分享和改编本作品, 但必须注明来源, 并说明是否进行了修改。

© 2026 Institute for Global Decarbonization Progress.

This publication is made available under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). You are free to share and adapt this work, provided you give appropriate credit and indicate if any changes were made.

Contents 目录

执行摘要 2

1. 高温时代下的制冷需求与可持续转型 4

 1.1 全球制冷需求快速增长且差距扩大 4

 1.2 传统制冷模式带来能源和气候压力 5

 1.3 作为解决方案的可持续制冷 6

 1.4 中国可持续制冷转型的重要意义 9

2. 可持续制冷发展国际趋势：从减排走向韧性与普惠 9

3. 中国可持续制冷发展进程 11

 3.1 可持续制冷政策框架逐步建立 11

 3.2 中国绿色制冷技术推广成效 13

 3.3 可持续制冷的地方实践探索 14

 3.4 推进可持续制冷面临的挑战 15

4. 展望：迈向兼顾减排与韧性的可持续制冷体系 17

 4.1 构建国家可持续制冷战略 17

 4.2 推动制冷产业绿色转型，引领全球可持续制冷发展 17

 4.3 完善绿色制冷市场机制 17

 4.4 加强制冷剂全生命周期管理 18

 4.5 推动城市和社区制冷韧性建设 18

 4.6 提升可持续制冷服务的公平性和可及性 18

附件1: 我国应对高温及推动制冷绿色发展相关政策 19

附件2: 关于氢氟碳化物 (HFC) 制冷剂及其潜在替代方案与挑战 21

参考文献 22

执行摘要

随着气候变化加剧、极端高温事件频发，制冷正在逐渐成为保障公众健康、维持经济社会正常运行的关键性基础服务之一，全球制冷需求持续快速增长。然而，传统制冷模式发展也带来了日益增长的能源消耗和温室气体排放挑战。2022 年，全球制冷相关排放达到 41 亿吨二氧化碳当量（CO₂e），约占人类活动温室气体排放总量的 7%。与此同时，不同地区和收入群体之间仍存在明显的制冷服务可得性差距，老年人、儿童、户外劳动者和低收入群体等高温脆弱人群正面临更加显著的高温风险。

在这一背景下，推动可持续制冷转型，通过低全球升温潜势（Global Warming Potential, GWP）的制冷剂替代与制冷剂全生命周期管理、高效设备、被动式降温以及混合制冷等综合措施，可以在满足不断增长的制冷需求的同时，降低温室气体排放，并为公众特别是高温脆弱群体提供更加安全、可负担和可靠的制冷服务。

作为全球最大的制冷设备生产国、消费国和出口国，我国推动可持续制冷转型具有重要意义，不仅有利于降低国内温室气体排放及相关气候影响，也将为全球提供更加高效、可负担的绿色制冷产品和可持续制冷实践经验。近年来，我国围绕“双碳”目标和履行《〈关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书〉基加利修正案》承诺，逐步建立覆盖绿色制冷产业发展、制冷剂管理、设备能效、建筑节能、冷链物流和绿色消费等领域的政策体系。同时，我国也在低全球升温潜势（GWP）制冷剂替代、制冷剂全生命周期管理、被动式建筑等绿色制冷技术的研发和推广方面也取得积极进展。地方省市层面，广州、武汉、海南等省市还开展了多种降温行动和清凉城市实践。

但总体来看，我国可持续制冷转型仍面临政策统筹协调不足、产业绿色转型和绿色制冷产品规模化应用仍需推进、制冷剂全生命周期管理体系有待完善，以及城市制冷韧性建设和制冷服务公平性、可及性仍需提升等挑战。

为进一步推动我国可持续制冷发展，本简报提出以下六项重点行动建议：

第一，构建国家可持续制冷战略，强化气候减缓、适应与制冷产业发展间的统筹协调。在现有 HFC 削减、绿色高效制冷、建筑节能、冷链物流和气候适应等政策基础上，进一步构建国家可持续制冷战略框架，加强与碳达峰碳中和、能源转型和气候适应等相关战略的衔接，并在 HFC 削减、绿色高效制冷等领域提出更具雄心的目标。

第二，推动制冷产业绿色转型，引领全球可持续制冷发展。加速推动制冷行业由规模扩张和单一产品升级向更加绿色、高效、智能化的高质量发展转型，引导企业将绿色理念贯穿产品研发、生产制造、使用、维修、回收和报废各环节，逐步形成更加完整的绿色制冷产业体系。同时，充分发挥产业规模、制造能力和技术创新优势，通过进一步提升绿色高效制冷产品的国际竞争力、完善产品标准和认证体系、加强与发展中国家的技术合作和能力建设，为全球特别是发展中国家提供更多可负担、可靠和低碳的制冷产品与解决方案。

第三，完善绿色制冷市场机制，加快绿色制冷技术规模化应用。在现有政策基础上进一步完善市场激励机制，推动更多高效、低 GWP 制冷产品明确纳入政府绿色采购和消费品以旧换新等支持范围，充分发挥政策的示范引领作用，减少绿色制冷产品推广过程中的成本障碍。

第四，加速制冷剂全生命周期管理管理体系建设，重点提升泄漏控制和末端治理能力。可采取的具体措施例如：加强制冷维修服务培训和能力建设，完善制冷剂回收标准和经济激励机制，开展制冷剂回收试点和信息追踪管理，并进一步支持制冷剂再生和销毁技术研发及应用推广。

第五，推动城市和社区的制冷韧性建设。在城市新区建设和旧城更新过程中，因地制宜推广被动式降温措施，从源头降低热暴露和机械制冷需求；同时，充分利用城市和社区现有资源，建设、完善公共降温空间。

第六，进一步提升可持续制冷服务的公平性和可及性。探索建立与高温健康风险预警体系相衔接的制冷服务保障机制，在制定方案、标准和高温健康行动的过程中，纳入制冷可及性指标，并结合老年人、低收入家庭、儿童、户外劳动者等重点人群的需求，探索更加精准的制冷支持措施。



1. 高温时代下的制冷需求与可持续转型

1.1 全球制冷需求快速增长且差距扩大

随着气候变化加剧，全球极端高温与热浪事件日益频发，制冷正成为保障公众健康、维持经济社会正常运行的关键性基础服务之一。世界卫生组织及相关研究指出，全球暴露于极端高温的人口正呈现指数级增长——2000-2019 年间，每年约有 48.9 万人死于与高温相关的疾病 (Zhao 等, 2021)；2024 年 5 月 -2025 年 5 月，全球约有 40 亿人经历了至少 30 天的额外极端高温 (World Health Organization, 2026)；2026 年 6 月，欧洲持续的热浪已经导致法国出现超 2700 例高温相关致死病例 (Callahan & Dessler, 2026)。

中国同样正在面临日益严峻的高温热浪挑战。据《中国气候变化蓝皮书（2026）》显示，1961-2025 年间，中国的升温速率高于同期全球平均水平，且自 21 世纪初以来的极端高温事件明显增多 (中国气象局, 2026)；《柳叶刀》的报告指出，2024 年，中国与热浪相关的死亡人数达到了 2.01 万人 (C. Zhang 等, 2025)。随着高温风险持续加剧，加之全球人口增长、城镇化和收入水平提高，社会对制冷服务的需求也在进一步扩大，尤其是在制冷服务尚未充分普及的发展中国家和地区。UNEP 最新预测显示，到 2050 年，全球对制冷的需求可能增长到目前的三倍以上 (UNEP, 2025)。

不断扩大的制冷需求正在不同应用领域加速显现。在建筑制冷领域，气温升高直接增加了空调等设备的运行需求。国际能源署 (IEA) 数据显示 (图 1-1 和图 1-2)，受异常高温热浪影响，2024 年，中国和欧洲的制冷度日数比 2020 年高出 25%，日韩两国的增幅甚至接近 50% (Vautrin 等, 2026)；从长期趋势看，在家用空调领域，全球空调装机的制冷能力可能从 2016 年的 6200GW 增长至 2050 年的近 23000GW，且印度和中国将成为新增制冷能力的主要来源 (图 2) (IEA, 2018)。

在食物、药品的运输和存储领域，相关冷链物流基础设施也在不断扩张。相关研究估算，当前每年约有 5.26 亿吨 (12%) 粮食因缺乏有效制冷设备而损失，其中约 63% 发生在中低收入国家 (FAO, 2022)；新冠疫情期间，由于疫苗冷链能力不足使得全球约 14.2 亿人口面临疫苗获取风险 (Sustainable Energy for All, 2021)。为确保易腐食物和医疗用品在高温条件下的质量安全，以及减少由于冷链基础设施不足导致的损失和浪费，未来几十年的冷链基础设施还将快速扩张 (Centre for Sustainable Cooling, 2022)。

图1-1 | 欧洲制冷度日数增长趋势

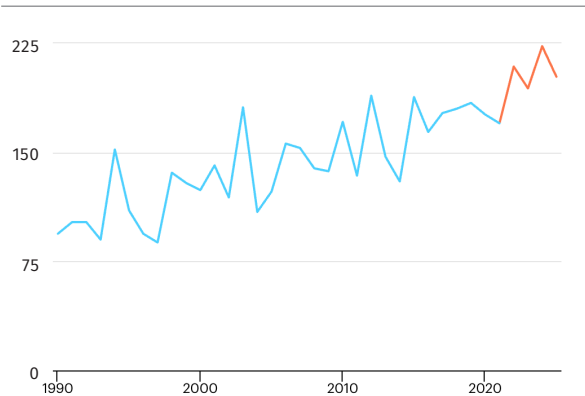
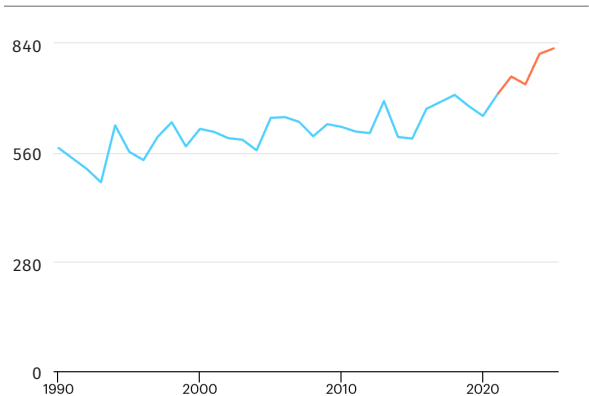


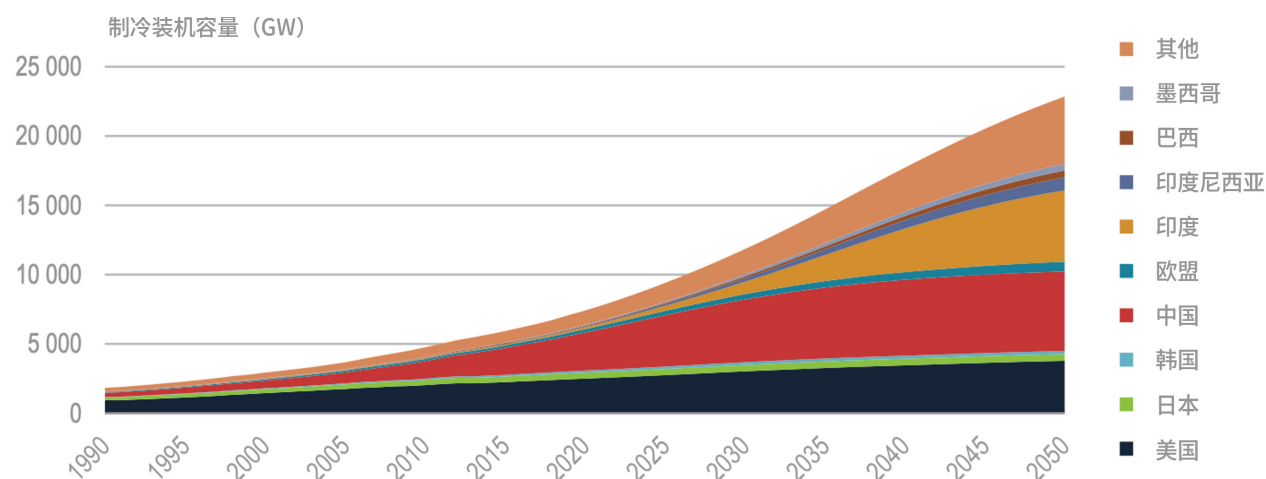
图1-2 | 中国制冷度日数增长趋势



注：制冷度日数是一项用于衡量能源使用需求的指标，表示每日平均气温超过指定阈值 (18°C) 的温度差。制冷度日数越高，维持舒适的室内温度所需的空调量就越大 (World Bank, no date)。

图表来源：IEA, Cooling a hotter world, 2026

图2 | 全球家用空调制冷能力增长趋势预测



图表来源：IEA, The Future of Cooling, 2018

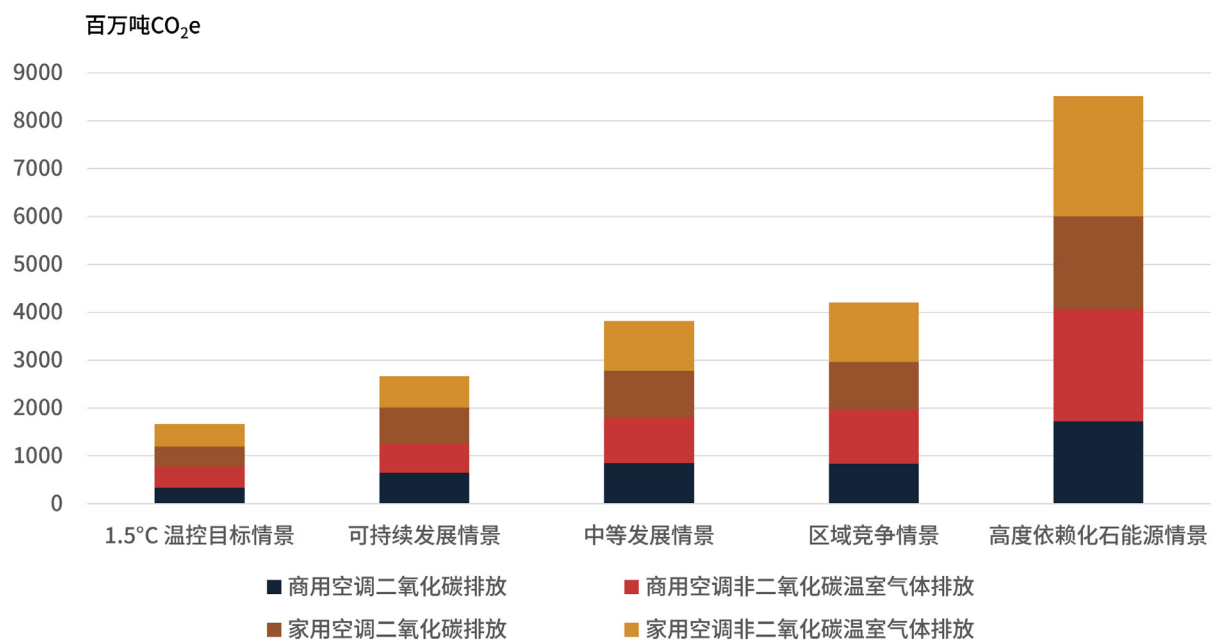
然而，全球制冷需求的快速增长并不意味着制冷服务已经得到普遍覆盖，不同地区和收入群体间仍存在着显著的制冷可得性差距。Sustainable Energy for All (SEforALL) 的报告显示，在除中国外的 77 个全球南方国家中，2024 年仍有超过 10 亿人处于制冷可得性不足的高风险之中，其中包括 3.09 亿农村贫困人口和 6.95 亿城市贫困人口；另有约 28.3 亿人处于中等风险，面临电力供应不稳定和制冷设备可负担性方面的挑战。按照当前发展趋势，到 2030 年全球制冷可得性不足的高风险人口预计还将增加 4330 万，制冷脆弱性将持续上升 (Sustainable Energy for All, 2025)。

1.2 传统制冷模式带来能源和气候压力

尽管制冷是应对高温的重要手段，但当前主流的制冷模式也会带来温室气体排放的增加。2022 年，全球制冷相关排放达到 41 亿吨二氧化碳当量 (CO₂e)，约占人类活动温室气体排放总量的 7% (UNEP, 2025a)。一方面，制冷带来的能耗在不断增加。数据显示，制冷已成为全球电力需求的重要组成部分，固定式制冷消耗了全球约 19% 的电力 (UNEP, 2023)。另一方面，制冷设备中广泛使用的氢氟碳化物 (HFC) 等制冷剂具有较高的升温潜势 (Global warming potential, GWP)，相关设备在生产、运行、维修和报废过程中出现的制冷剂泄漏和排空也在加剧全球变暖。UNEP 的研究显示，全球由于制冷带来的含氟气体排放已接近 15 亿吨 CO₂e (UNEP, 2025a)。

未来，随着全球制冷需求增长，制冷行业相关排放还可能进一步增加。Zhang 等人基于不同社会经济情景，对全球空调使用带来的温室气体排放及气候影响进行了预测。研究指出，在中等发展情景（基准情景）下，空调相关温室气体排放量将从 2010 年的 13 亿吨 CO₂e 增加至 2050 年的 38 亿吨 CO₂e，并将导致 0.05° C 的额外升温 (H. Zhang 等, 2026)。与此同时，制冷服务获取的不平等问题还将加剧低碳转型挑战。研究指出，在区域竞争情景下，低收入地区 2050 年的空调保有量仅能达到中等收入生活水平所需空调保有水平的 50%，且由于这些地区所能得到的绿色低碳技术更为有限，该情景下空调相关排放反而会进一步升高，到 2050 年达到约 42 亿吨 CO₂e (H. Zhang 等, 2026)。

图3 | 不同情景下2050年全球空调行业温室气体排放预测



来源: Zhang et al, 2025

1.3 作为解决方案的可持续制冷

面对传统制冷方式带来的挑战,“可持续制冷”正在受到越来越多的国际关注,并被视为兼顾气候变化减缓、适应和发展需求的重要解决方案。

可持续制冷 (Sustainable Cooling) 是指在满足不断增长的制冷需求的同时,通过推广被动式降温、高效制冷设备、低 GWP 制冷剂、混合制冷(如风扇与空调协同)以及强化制冷剂全生命周期管理等综合措施,为所有人特别是老年人、儿童、小农户等高温脆弱群体提供安全、可负担、可靠的制冷服务,在降低能源消耗和温室气体排放的同时,提升社会应对高温和气候变化的韧性 (Cool Coalition, no dateb)。如图 4 所示,其主要路径包括: 1) 推动气候友好的低 GWP 值制冷剂的使用,加速 HFC 等高 GWP 制冷剂的管理与削减; 2) 持续提升制冷设备能效水平; 3) 推广被动式降温策略,通过建筑设计、城市规划等方式从源头降低机械制冷需求。

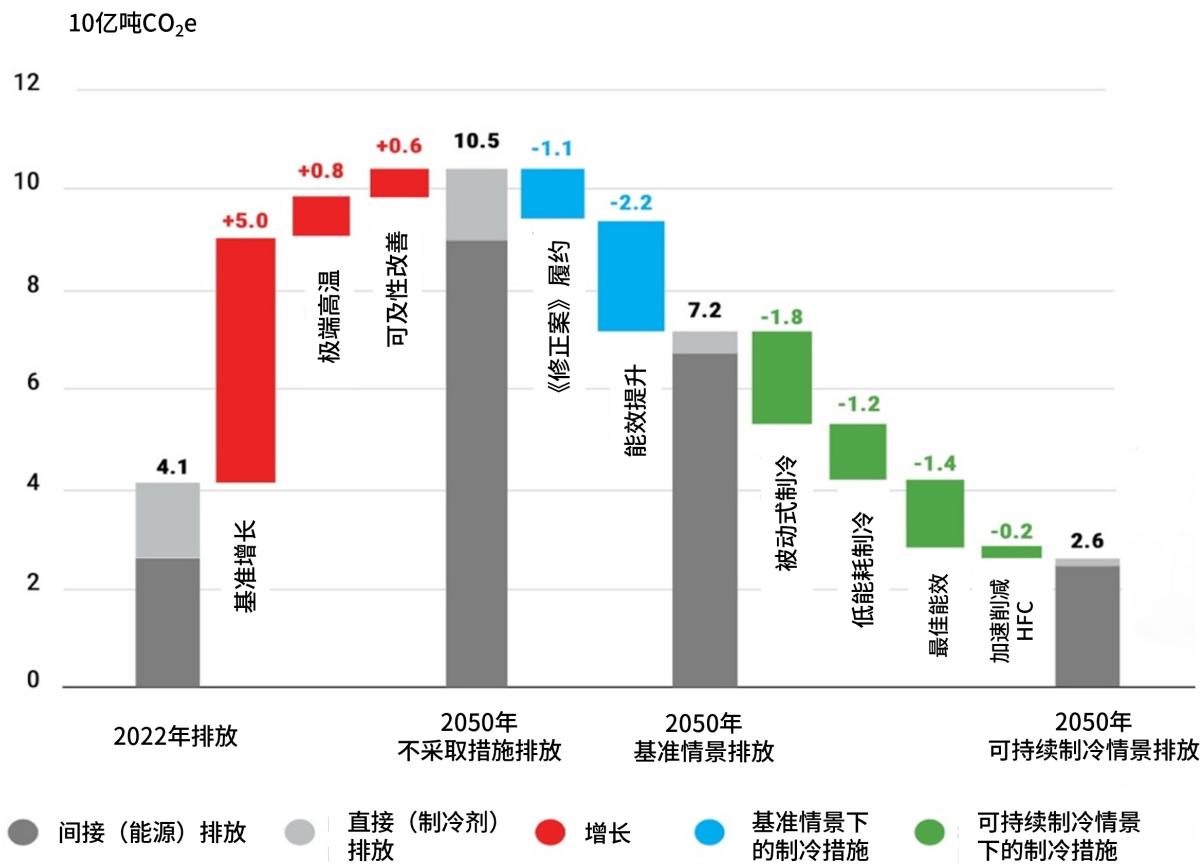
图4 | 可持续制冷政策工具包

制冷剂管理与削减	制冷设备能源效率	被动式制冷	跨领域综合政策
制定并落实HFC削减计划; 打击非法贸易和违规行为; 防止泄漏并强化强制维护要求; 推广低GWP替代制冷剂并更新标准; 建立制冷剂回收、循环利用和销毁体系; 制冷技术人员培训与认证	建筑能效规范和制冷设计标准; 能效标识和消费者意识提升; 财政激励和规模化采购; 创新、研发和技术推广; 最低能源性能标准 (MEPS)	建筑规范、标准和材料; 凉屋顶和凉表面推广计划; 公共建筑和保障性住房中的被动式制冷; 城市绿化和基于自然的解决方案; 财政激励和绿色金融; 宣传、培训和能力建设	能力建设、教育和宣传; 政府部门和机构间协调; 可持续制冷融资机制; 将制冷纳入国家气候和能源规划; 监测、数据和创新生态体系; 国家制冷行动计划 (NCAPs)

来源: Cool Coalition, Sustainable Cooling

从传统制冷向可持续制冷转型，将为多个关键领域带来综合效益。首先，推动可持续制冷可以实现温室气体减排。研究显示，通过采用可持续制冷路径，到 2050 年全球制冷行业相较当前发展路径可减少约 46 亿吨 CO₂e 排放（图 5）（UNEP, 2025a）。其次，可持续制冷是提升城市和居民应对极端高温能力的重要手段。可持续制冷可以通过改善建筑和城市的热环境，提供安全可负担的制冷服务，并且减少食物和药品在储运过程中的损耗，降低高温对公众健康、粮食安全以及经济社会活动的影响，增强城市应对极端天气的韧性。同时，全球南方约 20 亿 -40 亿人口仍因缺乏制冷设备和可靠电力供应，而面临高温风险 (Sustainable Energy for All, 2025)，推广被动式降温、遮阳设计，以及风扇与空调结合的混合制冷等可持续制冷方案，可以提升制冷服务的可及性和可负担性 (UNEP, 2025b)，从而增强老年人、儿童、低收入群体等高温脆弱人群抵御极端高温的能力，推动建设更加公平和更具韧性的城市和社区。

图5 | 2050年制冷行业温室气体排放情景路径



图表来源: UNEP, Global Cooling Watch, 2025

尽管可持续制冷将带来多重效益，且多项可持续制冷技术措施也已具备经济可行性并已实现规模化应用，但不同技术路径的成熟度和经济性仍存在差异（表 1）。部分低 GWP 制冷剂、超高效设备以及全生命周期管理技术仍面临成本较高、技术适配和基础设施不足等问题。因此，未来仍需通过政策引导、市场激励和技术创新，进一步提高可持续制冷技术的可获得性和可负担性。

表 1 | 空间可持续制冷主要技术措施及其可获得性、可负担性评估

技术解决方案	可获得性	可负担性
主动式解决方案: 降低能源消耗、温室气体排放和 / 或制冷剂 GWP		
高能效风扇	●	●
高能效空调	●	●
先进空调技术 (包括采用低 GWP 制冷剂)	●	●
无制冷剂制冷 (干燥剂制冷、膜式蒸发冷却、固态制冷等)	●	●
高效区域供冷	●	●
用户行为优化 (减少电器 / 设备使用, 提高空调温度设定点)	●	●
合理的设备选择, 高效安装、维护和管理 (包括减少制冷剂泄漏)	●	●
被动式解决方案: 降低制冷服务需求		
建筑朝向与布局 (遮阳设施、建筑保温、反射屋顶、通风屋顶、低辐射窗户等)	●	●
区域布局 (城市形态、城市通风、交通基础设施等)	●	●
基于自然的解决方案 (城市植被和水体、绿色屋顶和绿色立面)	●	●
可再生能源制冷、系统集成与灵活性		
将吸附式 / 吸收式制冷技术与可再生能源相结合 (如太阳能和地热能)	●	●
太阳能光伏驱动制冷	●	●
蓄热 / 蓄冷技术 (如冰蓄冷)	●	●
利用建筑热惰性实现预冷和冷量储存	●	●
自动化控制和智能调节	●	●
设备报废措施		
在设备报废阶段回收材料和部件 (电子元件、钢、铜、铝等)	/	/
制冷剂末端管理实践	/	/

注：● 表示目前可获得且通常不会面临可负担性问题；● 表示目前尚未普及，可能面临可负担性问题；● 表示尚不可获得。报废阶段措施不仅限于空间制冷领域，故未评估。

图表来源: IEA, Sustainable, Affordable Cooling Can Save Tens of Thousands of Lives Each Year, 2023

1.4 中国可持续制冷转型的重要意义

作为世界最大的制冷设备生产国、消费国和出口国，中国在全球制冷产业链中占据关键地位。以家用空调为例，数据显示，2026 冷年，全球家用空调总出货规模约 2 亿台，其中中国产销量约 1.8 亿台，出口 8540 万台（奥维云网，2026）；与此同时，2024 年，中国每百户家庭空调的拥有量已达到 145.9 台（国家统计局，2025），有研究认为，2025 年中国空调保有量将占到全球总量的近 37%（Crifo, 2025）。庞大的产业规模和快速增长的市场需求，使中国制冷行业的发展不仅影响自身能源消费和温室气体排放，也将对全球制冷技术转型方向产生重要影响。

在此背景下，推动行业的可持续制冷转型，将成为我国实现“双碳”目标、助力全球实现《巴黎协定》温控目标的重要组成部分。一方面，降低制冷领域相关温室气体排放，将有助于我国减少快速增长的制冷需求所带来的气候影响。另一方面，依托完善的制造体系、规模化生产能力和不断发展的绿色技术，我国也将有潜力为其他发展中国家，提供更加高效、可负担的绿色制冷产品和解决方案，促进更加公平、可持续的制冷转型。近年来，我国在绿色建筑、城市热环境治理等领域开展了一系列探索，这些实践经验对于同样面临高温风险、城市化快速推进的新兴经济体具有一定借鉴意义。

2. 可持续制冷发展国际趋势：从减排走向韧性与普惠

当前，制冷已经成为横跨气候变化、粮食安全、经济发展和社会公平领域的重要议题，国际社会中国绕可持续制冷的行动也在持续加强。

在全球治理层面，早期国际行动更多聚焦于降低制冷剂对环境和气候的影响。2016 年通过的《〈关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书〉基加利修正案》（以下简称《基加利修正案》）要求各缔约方逐步削减 HFCs 的生产和消费，并到 2047 年实现全球 HFC 使用量下降 80%-85%。《基加利修正案》目前已有 173 个缔约国，其实施促进了低 GWP 制冷剂及相关替代技术的发展，成为推动制冷行业绿色低碳转型的重要力量。我国于 2021 年批准了《基加利修正案》，并在 2024 年将 HFCs 的生产和使用冻结在基线水平，正式开启履约进程。

近年来，国际社会对可持续制冷的关注范围不断扩大，并逐步聚焦制冷在应对高温热浪、提升社会韧性以及保障弱势群体健康上发挥的重要作用。2023 年，《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会（COP28）提出“全球制冷承诺”（Global Cooling Pledge），计划到 2050 年将全球制冷相关排放在 2022 年基础上减少 68%，到 2030 年将新售空调设备平均能效提高 50%，并扩大所有人群获得可持续制冷服务的机会（Cool Coalition, no date）。截至目前，已有 76 个国家、250 余个城市加入该倡议。2025 年 COP30 期间发起的“战胜酷暑”倡议（Beat the Heat/Mutirão Against Extreme Heat），旨在通过国家、地方间的合作弥合在应对高温领域的政策、资金、行动缺口，尤其关注处于气候变化前线的弱势群体。加入倡议的国家和地方将通过制定降温行动计划、实施被动式降温措施和基于自然的降温方案、制定建筑节能方案、加强公共采购等方式推动可持续制冷发展。

与此同时，在国家实践层面，多个国家已采取积极的行动，探索可持续制冷发展路径。数据显示，已有 134 个国家在其国家自主贡献、国家适应计划、长期低排放发展战略等国家战略中纳入了与制冷相关的目标；54 个国家在可持续制冷路径的三个关键领域（建筑被动式降温设计、最低能效标准和制冷剂转型）均建立了相关政策体系；包括印度、越南、墨西哥等在内的 20 余个国家已制定《国家制冷行动计划》（UNEP, 2025b）。

专栏 1 | 肯尼亚——强化制冷的可及性与公平性

长期以来，肯尼亚大裂谷地区、东北部、东部和沿海地区面临较为严重的高温暴露风险。以裂谷省北部的图尔卡纳郡为例，其月平均最高气温接近40°C。然而，当前肯尼亚制冷服务的可及性仍然有限，低收入群体面临的制冷服务缺口尤为突出：从全国来看，仅有12.8%的家庭拥有冰箱，15%的住宅建筑和30%的商业建筑配备空调（IIR, 2023）；而在超过一半人口居住的上述高温地区，约有960万农村和城市贫困人口及1480万中低收入人口，他们缺乏电力供应，难以获得制冷服务（Sustainable Energy for All, 2024）。

为提升制冷服务的覆盖率，同时与国家“气候承诺”保持一致，肯尼亚于2023年发布了《肯尼亚国家制冷行动计划》（以下简称《行动计划》），提出了三项重要目标与相关行动：

表 2 | 肯尼亚国家制冷行动计划关键目标与行动

目标	短期行动（3 年内）	中期行动（3-10 年内）
加快高效制冷设备市场转型	- 提高空调和冰箱能效标准要求； - 加强对制冷产品能效标签的认知； - 强化标准执行和监管； - 推出大宗采购和政府采购计划； - 对高能效产品提供财政支持。	推动能效标准覆盖终端用能领域。
淘汰高 GWP 制冷剂	- 批准《基加利修正案》； - 加强对天然制冷剂应用的宣传和推广。	- 禁止部分产品类别使用高 GWP 制冷剂； - 建立针对制冷技术人员的资格认证、培训和注册制度。
提高农村冷链解决方案可及性	- 营造有利于冷链市场发展的政策和市场环境； - 扩大对冷藏仓储系统的财政支持； - 加强对冷链效益的宣传。	- 支持研发适应当地条件的冷链技术解决方案； - 推广创新型商业模式； - 设计面向小农户的融资模式。

来源：《肯尼亚国家制冷行动计划》，2023

此外，《行动计划》也将制冷行业发展与“肯尼亚2030年愿景”相衔接。根据其愿景，肯尼亚政府将致力于保障粮食安全、提供可负担住房、推动制造业发展，并确保人人能够获得可负担的医疗服务。而在《行动计划》支持下，制冷服务将成为实现上述目标的重要支撑：可靠的冷链有助于减少农产品和医疗用品损失，促进粮食安全并支持医疗卫生目标实现；价格可负担且高效的家用制冷设备能够改善居民居住品质；高效制冷技术则有助于降低制造业制冷过程中的能源消耗，节约企业用电成本。

3. 中国可持续制冷发展进程

3.1 可持续制冷政策框架逐步建立

近年来，中国围绕“双碳”目标和履行《基加利修正案》承诺，逐步构建了覆盖绿色制冷产业发展、制冷剂管理、设备能效、冷链物流、建筑节能以及绿色消费等领域的可持续制冷政策体系，为推动制冷行业绿色低碳转型奠定了政策基础。其中，2019 年出台的《绿色高效制冷行动方案》首次从国家层面对绿色制冷进行系统部署，提出提升制冷设备能效、推广绿色高效制冷产品、加强环保制冷剂研发应用、完善政府绿色采购制度以及推动居民“以旧换绿”等一系列措施，并明确了到 2030 年制冷总体能效提升 25%、绿色高效制冷产品市场占有率达到 40% 以上等目标。随后，我国于 2025 年提交的《2035 年中国国家自主贡献报告》进一步提出，到 2035 年氢氟碳化物（HFCs）生产和使用量较基线值削减至少 30%，并将高温健康风险预警和气候适应能力建设纳入国家气候目标，体现了制冷政策从节能减排向减缓与适应协同推进的转变。进入“十五五”时期，2026 年 7 月发布的《国家应对气候变化“十五五”规划》进一步强化了制冷领域与非二氧化碳温室气体减排、气候适应等国家战略的衔接，其中提出要通过源头替代、回收利用及末端销毁等措施加强氢氟碳化物管控，并推动包括含氟气体在内的非二氧化碳温室气体形成 3000 万吨二氧化碳当量减排能力；同时，规划提出深化气候适应型城市建设，建设气候变化风险早期预警系统并加强气候变化健康适应行动。

表 3 | 中国制冷行业绿色发展关键政策目标与行动

相关目标与行动	政策
（到 2030 年），因地制宜建设甲烷、氧化亚氮、含氟气体等非二氧化碳温室气体治理工程，推动形成 3000 万吨二氧化碳当量减排能力。 通过源头替代、回收利用及末端销毁等措施，加强氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫、三氟化氮等含氟气体管控。	《国家应对气候变化“十五五”规划》（2026 年）
到 2035 年，氢氟碳化物生产量和使用量较基线值削减至少 30%。 开展国家级高温健康风险预警与健康提示工作，提升气候变化健康适应能力。	《2035 年中国国家自主贡献报告》（2025 年）
到 2030 年，大型公共建筑制冷能效提升 30%，制冷总体能效水平提升 25% 以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 40% 以上，实现年节电 4000 亿千瓦时左右。 加大环保制冷剂的研发，积极推动制冷剂再利用和无害化处理。 完善节能环保产品政府采购制度，扩大政府绿色采购范围，加大绿色高效制冷创新产品政府采购支持力度。 鼓励有条件的地方，通过实施“节能补贴”“以旧换绿”等措施，采用补贴、奖励等方式，支持居民购买绿色高效制冷产品、更新更换老旧低效制冷产品。 加强制冷领域节能改造，重点支持中央空调节能改造、数据中心制冷系统能效提升、园区制冷改造和冷链物流绿色改造等重点示范工程。	《绿色高效制冷行动方案》（2019 年）

来源：iGDP 整理

围绕制冷剂替代和全生命周期管理，中国持续完善相关监管体系。2025 年发布的《中国履行〈关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书〉国家方案（2025-2030 年）》明确了到 2030 年我国履行《基加利修正案》HFC 削减承诺的具体路径，《关于禁止生产以氢氟碳化物（HFCs）为制冷剂的家用电冰箱和冰柜产品的公告》（2025 年）推动重点家电产品率先采用低 GWP 替代技术，《关于进一步加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理的通知》（2026 年）则进一步建立覆盖生产、销售、使用、维修、回收、再生利用和销毁等环节的全过程管理制度，为强化制冷剂全生命周期管理提供了制度保障。

此外，我国通过不断完善强制性能效标准、能效标识制度、政府绿色采购和绿色消费政策，引导高效制冷产品加快普及。目前，我国现行 58 项强制性能效标准中有 9 项涉及制冷产品，房间空调能效标准已达到国际领先水平；配套实施的能效标识制度已覆盖 7 类制冷产品，截至 2024 年已有超过 2000 家企业、约 29 万个制冷空调产品型号完成备案（中国标准化研究院，2025）。同时，政府绿色采购、节能家电补贴以及消费品以旧换新等政策持续扩大高效制冷产品市场应用。2026 年发布的《关于实施绿色消费推进行动的通知》鼓励无氟制冷设备和绿色产品消费，促进绿色消费理念与可持续制冷发展相结合；《绿色金融支持项目目录（2025 年版）》也将低 GWP 制冷设备、热泵等纳入支持范围，为绿色制冷技术推广提供了更加完善的政策和资金保障。

专栏 2 | 房间空调器能效标准提升进展与成效

2019 年底，我国修订合并了《房间空气调节器能效限定值及能效等级（GB12021.3-2010）》和《转速可控型房间空气调节器能效限定值及能效等级（GB21455-2013）》，并自 2020 年 7 月 1 日起，正式实施空调能效新标准《房间空气调节器能效限定值及能效等级（GB21455-2019）》（绿色创新发展研究院，2023）。

与此前标准相比，新国标将能效等级由原本的 3 级调整为 5 级、统一了定频和变频空调的能效评价标准，并将低环境温度空气源热泵热风机等新型产品也纳入能效指标的应用范围。在新国标实施后，原标准下的 3 级能效定频产品，以及部分 1 级、2 级能效定频产品和部分 3 级能效变频产品不再符合市场准入标准，面临淘汰（21 财经，2020）。

新标准实施以来，高效空调产品在中国的市场份额显著增加。一方面，一级能效空调的销量占比逐年提升，2023 年线下和线上销售占比分别达到 84.1% 和 76.3%（奥维云网，2024）；另一方面，变频空调的市场占比也由 2005 年的不足 5% 提升至 2024 年的 98%（中国标准化研究院，2025）。考虑到空调产品具有较长的使用周期（约 10 年），低能效产品的淘汰以及高效产品的应用将带来显著的节能减排效益，避免了低能效产品的锁定效应（低能效产品在长时间运行过程中产生的高能耗），并有利于减轻电网高峰用电负荷，维持电网稳定，保障能源安全。

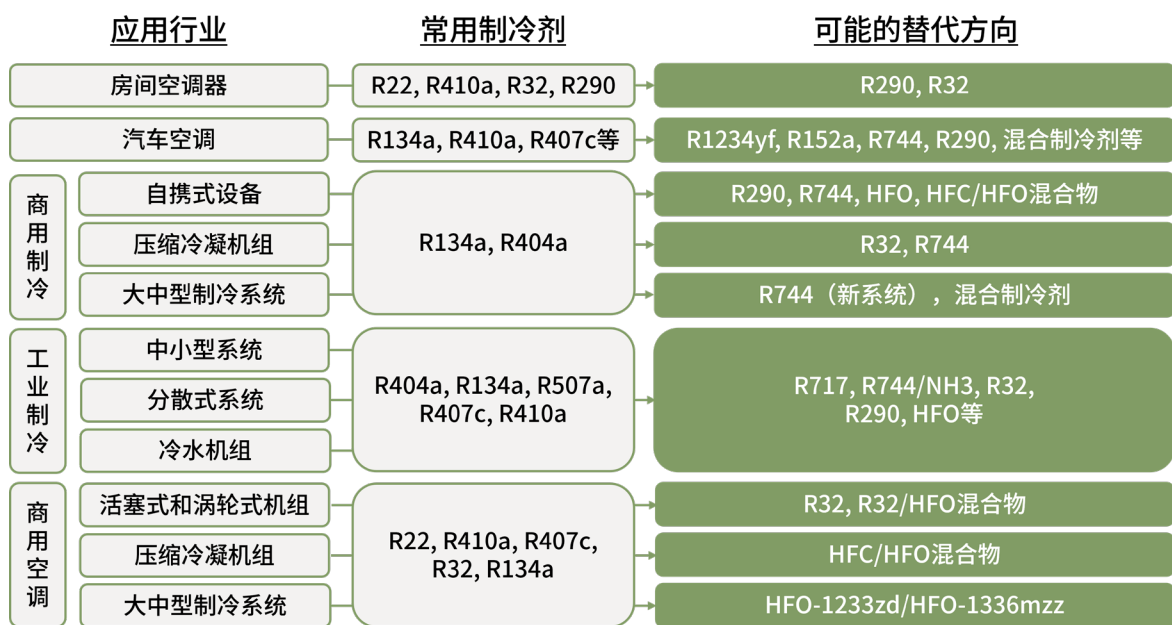
与此同时，围绕建筑、冷链物流和气候适应等重点领域，我国相继出台《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》、《“十四五”冷链物流发展规划》、《国家适应气候变化战略 2035》、《国家气候变化健康适应行动方案（2024-2030 年）》等政策，推动建筑节能设计、绿色冷链建设、高温健康风险防范以及极端高温适应能力提升。总体来看，我国制冷相关政策体系不断完善，正在逐渐形成覆盖生产、流通、消费和气候适应的综合政策框架。

3.2 中国绿色制冷技术推广成效

我国也在持续推进绿色制冷技术创新,在低全球升温潜势 (Low-GWP) 制冷剂替代、制冷剂全生命周期管理、高效制冷设备推广以及被动式降温等方面取得积极进展。

在低 GWP 制冷剂替代方面,我国积极推动丙烷 (R290)、二氧化碳 (R744) 等自然工质,以及氢氟烯烃 (HFO) 等新型制冷剂的研发与应用。其中,R290 已成为我国房间空调器行业的重要替代路线之一,其臭氧消耗潜能值 (ODP) 为零、全球升温潜能值 (GWP) 接近于零,并具有良好的能效表现 (吴国强等, 2023)。在《蒙特利尔议定书》多边基金支持下,我国已完成 30 条 R290 空调生产线和 8 条压缩机生产线改造,累计生产销售 R290 空调超过 1000 万台,其中,美的集团作为市场主要参与者之一,已推出了 83 款 R290 空调 (气候和臭氧保护协会, 2025)。同时,国内企业也正积极布局 HFO 等新型制冷剂研发,为未来低 GWP 制冷剂替代提供更多技术选择。

图6 | 制冷空调行业常用制冷剂和潜在替代方案



来源: 生态环境部对外交流合作中心,《<蒙特利尔议定书>履约形势及制冷行业可持续履约挑战》

围绕制冷剂全生命周期管理,我国不断推进制冷剂回收、再生利用和销毁等关键技术研发,逐步提升退役制冷剂资源化利用能力。以天津澳宏环保材料有限公司为代表的企业已形成较为成熟的制冷剂回收再生技术体系,2024 年制冷剂年回收处理能力达到 2454 吨,实现约 461 万吨二氧化碳当量减排,为推动制冷剂循环利用和减少末端排放提供了实践基础 (环球时报, 2025)。

在降低建筑制冷需求方面,我国多年来持续推进被动式建筑的探索与推广。具体而言,被动式建筑是指通过提升建筑自身的保温隔热和气密性能,并充分利用自然能源,在尽可能减少机械制冷和采暖需求的情况下,维持室内舒适热环境的建筑 (周彤伟, 2025)。以凉表面技术在建筑中的应用为例,一项针对南京市典型居住街区的研究指出,凉爽材料和超凉材料可使夏季屋顶温度最高分别降低 10.7°C 和 13.4°C,并在提升建筑夏季能效领域表现卓越 (Xu 等, 2023)。当前,除凉表面技术外,自然通风、建筑遮阳、节能门窗、高性能围护结构及太阳能利用等一系列被动式措施均已广泛应用于我国超低能耗和近零能耗建筑示范项目。其中,作为全国最早推广被动式超低能耗建筑的省份,河北省截至 2024 年累积开工建设被动式超低能耗建筑 1200 万平方米 (河北省人民政府网, 2025);河北奥润顺达集团建设的高碑店列车新城,建筑面积达到 120 万平方米,是全球规模最大的被动式建筑综合社区之一 (钟雅, 2026)。

3.3 可持续制冷的地方实践探索

随着高温热浪事件日益频繁，城市热岛效应与快速城市化互相叠加，进一步加剧城市地区的高温暴露风险(杨续超等，2015)。因此，从城市尺度改善热环境、降低建筑制冷需求，已成为推动可持续制冷的重要途径。近年来，我国部分地区围绕城市形态规划与设计、基于自然的解决方案以及表面降温技术等方面开展了积极的探索(UNEP, 2021)，不仅有助于降低制冷能耗和温室气体排放，也能够改善空间热环境，提升居民特别是老年人、儿童、户外劳动者等高温脆弱群体获得舒适制冷环境的可及性，为建设更加公平、更具韧性的城市提供了实践经验。

广州市是我国较早开展城市降温系统探索的城市之一。2020 年，广州成为世界银行“中国可持续发展城市降温项目”首个试点城市，在永庆坊、中新知识城和海珠湿地等区域开展示范项目。在历史街区永庆坊，项目结合岭南传统建筑特色，采用双层瓦屋面、趟栊门、满洲窗等被动式降温设计，并结合反射屋顶、水景和喷淋设施等现代技术改善热环境；中新知识城则在规划阶段引入区域集中供冷、透水铺装、反射材料和立体绿化等措施，探索更加系统的城市降温模式。同时，广州积极创新投融资机制，通过 BOT 模式、绿色债券以及财政激励等方式，引导社会资本参与城市降温项目建设，为可持续制冷提供了有益的融资实践(World Bank, 2022)。

武汉是我国受热岛效应影响较为显著的城市之一。2023 年，武汉发布《武汉城市降温行动计划》，提出控制热岛面积、降低静风率等目标，并围绕“通风、活水、增绿、透气、降碳”五大行动系统推进城市降温。具体措施包括建设城市风廊、加强河湖水系连通、完善公园绿地和林荫道路、推广透水铺装及绿色建筑、推动绿色交通等。通过将城市规划、生态建设和低碳发展相结合，武汉逐步形成了兼顾气候适应与减缓的城市降温模式，为提升城市气候韧性提供了实践探索。

海南省是我国唯一的热带岛屿省份，当地年平均气温超过 23° C、大部分地区年日照时数在 2000 小时以上，制冷需求旺盛且持续(吴胜安等，2022)。2024 年，海南省启动了“清凉城市”建设工作，并以海口、三亚、儋州和澄迈为试点县市推进了 20 个试点项目。其中，三亚围绕水系治理、绿色空间建设和公共空间优化等开展试点，并于 2025 年发布《三亚市“清凉城市”规划建设技术导则》，结合热带地区气候特点，围绕植被绿化、水环境、城市形态、建筑材料等提出系统性的城市降温技术路径，为我国热带地区可持续制冷和城市降温提供了重要参考。

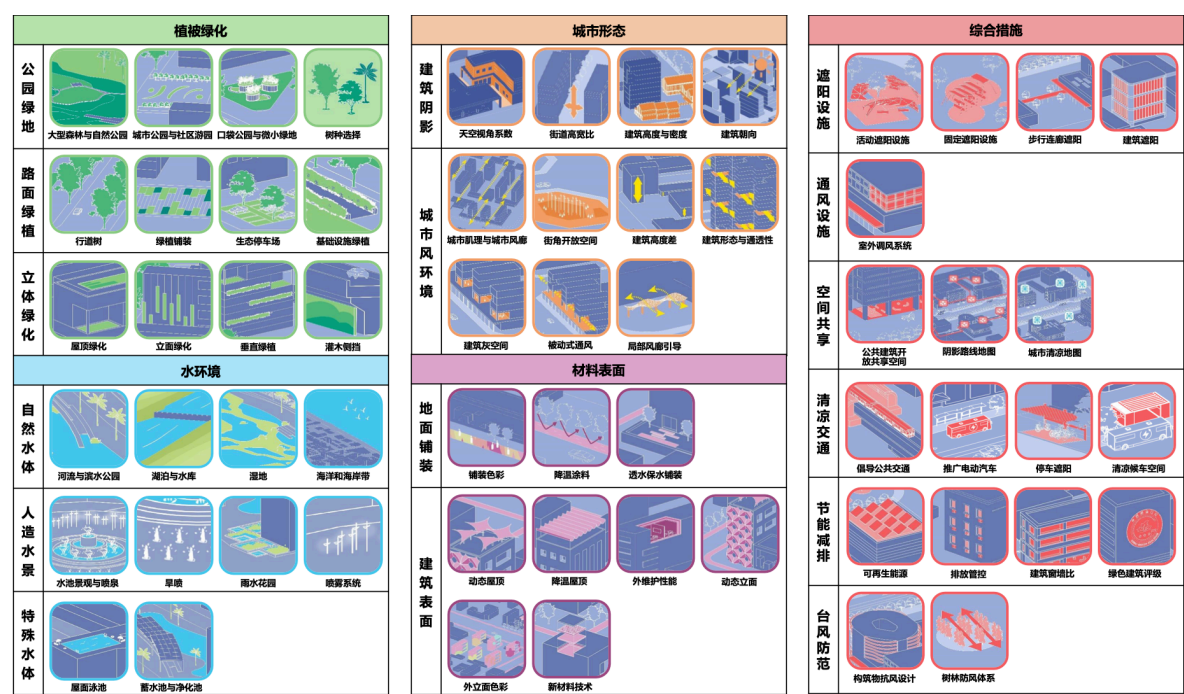
专栏 3 | 三亚：《三亚市“清凉城市”规划建设技术导则》

2025年10月，三亚发布《三亚市“清凉城市”规划建设技术导则》。《技术导则》结合了三亚热带滨海城市特点，从区位条件、自然环境、城市建设和社会活动等方面识别清凉城市建设面临的关键挑战，包括热岛效应较强、城市通风条件不足、遮阴空间有限、体感温度偏高，以及台风季节防风防雨等复合需求。

针对上述挑战，《技术导则》提出了“生态宜人、空间舒适、设施清凉”的建设策略。其中，“生态宜人”强调发挥绿化、水体、通风等自然解决方案的重要作用；“空间舒适”要求根据商业、游憩、交通和文体等不同空间类型的使用需求，进行城市空间的微更新改造；“设施清凉”则是围绕遮阳、蒸发、通风、表面、控源等关键指标，通过制定清凉城市最低建设标准和评分体系，以确保清凉设施的效果。

此外，《技术导则》还构建了清凉城市工具箱（图7），结合三亚气候条件和城市空间特点，因地制宜地提供了多种清凉城市建设的技术路径，为更多滨海城市应对高温风险提供了实践参考。

图 7 | 三亚市“清凉城市”工具箱



来源：《三亚市“清凉城市”规划建设技术导则》，2025

3.4 推进可持续制冷面临的挑战

尽管我国在政策体系建设、绿色制冷技术推广和地方实践等方面取得积极进展，但随着极端高温事件增多和制冷需求持续增长，推动可持续制冷仍面临战略统筹不足、市场机制不完善、制冷剂管理能力有待提升以及韧性和公平性有待加强等多重挑战。

首先，**可持续制冷仍缺乏统筹减缓、适应和产业发展的整体战略**。当前我国已在 HFC 削减、绿色高效制冷、建筑节能、冷链物流和气候适应等领域形成了较为完善的政策基础，但相关政策仍分散于不同部门和领域。例如，建筑遮阳隔热、自然通风、屋顶 / 垂直绿化及反射隔热涂料等被动式降温措施，主要体现在建筑节能降碳、绿色建筑相关政策标准中；制冷设备能效提升和低 GWP 制冷产品推广主要依托于绿色高效制冷和产业发展相关政策；HFC 等制冷剂的生产、使用和淘汰则被纳入臭氧层保护和《蒙特利尔议定书》履约管理体系；冷链物流等重点应用场景则涉及农产品流通、乡村振兴和现代物流体系建设等相关政策。总体而言，在制冷需求快速增长背景下，我国尚缺乏覆盖制冷全生命周期、兼顾温室气体减排、气候适应、公共健康和产业发展的国家可持续制冷战略，难以形成跨部门协同推进机制。

其次，**制冷行业的绿色转型仍需要从单纯的产品技术升级进一步向产业发展模式转型**。中国是全球重要的制冷设备生产、消费和出口国，产业覆盖房间空调、家用制冷、商用制冷和热泵等多个领域，在全球制冷产业链中具有重要影响力。数据显示，中国的家用空调产量超过全球总量的 80% (生态环境部, 2025)，其核心零部件转子压缩机产量在全球占比接近 95% (产业在线, 2024)；冰箱冷柜产量占全球总产量近六成 (产业在线, 2025)；此外，美的、格力、海尔等企业已形成较广泛的全球市场布局，2025 年，三家企业在全球空调市场的份额合计达到 22.4% (Euromonitor, no date)。在此背景下，未来制冷需求增长对于我国制冷产业而言，不仅意味着更大的减排压力，也为推动产业绿色升级、形成新型竞争优势提供了重要机遇。然而，当前绿色制冷仍较多聚焦于制冷剂替代和单项能效提升，未来还需要进一步推动制冷产品从“单一设备高效”向“全生命周期绿色高效”转变。

第三，**绿色制冷技术仍面临技术和市场推广瓶颈**。以制冷剂为例，目前，R290、R744、R717 等自然工质以及 HFO 等新型制冷剂已在部分领域实现应用，但不同替代路线仍存在一定局限性。例如，R290 具有可燃性，对设备设计、安装维护及安全标准提出更高要求 (The Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2014)；R744 运行压力较高，增加了设备制造成本 (X. P. Zhang 等, 2013)；部分 HFO 制冷剂可能降解形成三氟乙酸 (TFA)，其长期环境影响仍存在国际争议 (Arp 等, 2024)。与此同时，低 GWP 制冷剂的市场推广也仍面临一定挑战。相关数据显示，2024 年中国房间空调器市场仍以 R32 和 R410A 为主，占比分别达到 70.9% 和 27.1% (China Household Electrical Appliances Association, 2025)；相比之下，R290 虽然已实现一定规模的商业化应用，但相较于庞大的整体市场规模仍处于较低水平。对此，加速提升高效、低 GWP 制冷产品的市场渗透率，需进一步发挥政府绿色采购、绿色消费等市场机制的引导作用。

此外，**制冷剂全生命周期管理体系仍有待完善**。近年来，我国不断加强制冷剂生产和消费环节监管，并逐步推进回收、再生和销毁体系建设，但整体仍处于发展阶段。目前监管重点仍主要集中于生产和消费环节，在设备维修、制冷剂回收、再生利用等环节，相关监管制度和市场机制仍有待完善。受分类回收体系不健全、回收成本较高等因素影响，我国空调、冰箱中的制冷剂在回收时，仅能分别回收其所含制冷剂的 40% 和 14%，对比欧美等发达国家还存在一定差距 (生态环境部固体废物与化学品管理技术中心, 2022)；同时，回收情况不佳、再生技术要求高、从业企业数量有限等因素也进一步制约了回收制冷剂后续的再生利用。

最后，**可持续制冷与气候适应、社会公平的协同仍需加强**。随着高温热浪发生频率不断增加，制冷不仅是减缓气候变化的重要议题，也日益成为保障公众健康和提升城市韧性的关键措施。然而，目前我国可持续制冷政策仍以节能减排和产业发展为主，对弱势群体制冷可及性和公共降温服务供给等方面的关注相对不足。一项基于超过 10 万户中国城市家庭的研究发现，由于南方城市家庭空调拥有率差异较大，其居民的制冷贫困基尼指数——即反映不同家庭因缺乏降温设备、稳定电力或无法负担高昂电费而面临极端高温风险的不平等程度——比北方城市高出近 50% (Li 等, 2025)。另一测算表明，在上海等一线城市，低收入家庭在重度使用家用空调制冷的情况下，空调电费可能占到月均可支配收入的 15.76%-17.28%；此外，外来务工人员、户外劳动者以及居住条件受限的人群甚至可能难以通过家用空调获得持续降温 (谢思羽等, 2026)。因此，面向处于高温风险中的弱势群体，仍需进一步完善公共降温服务和制冷保障机制，推动形成更加普惠、可负担和具有韧性的可持续制冷体系。

4. 展望：迈向兼顾减排与韧性的可持续制冷体系

4.1 构建国家可持续制冷战略

当前，制冷已逐渐拓展为涉及温室气体减排、气候适应、公共健康和社会公平的综合性议题。我国于 2019 年发布的《绿色高效制冷行动方案》中强调，实施绿色高效制冷行动是促进节能减排、应对气候变化、加快生态文明建设的重要措施，对推动行业高质量发展、形成强大国内市场、培育绿色发展新动能、落实国际减排承诺，深度参与全球环境治理具有重要意义。

基于现有政策基础，未来我国可以进一步探索构建国家可持续制冷战略框架，加强可持续制冷与碳达峰碳中和、能源转型、气候适应等相关战略的衔接，并在 HFC 削减、绿色高效制冷等领域提出更具雄心的目标，从而在气候变化加剧的背景下，为制冷的绿色高效转型提供长期政策支撑与制度保障，更好落实《国家应对气候变化“十五五”规划》提出的提升我国在全球气候治理中的影响力、引导力和塑造力的要求。

4.2 推动制冷产业绿色转型，引领全球可持续制冷发展

在产业层面，我国已经在高效制冷设备、环保型制冷剂研发等领域处于全球领先水平，未来，制冷行业应进一步由规模扩张和单一产品升级向高质量发展转型。通过引导企业将绿色理念贯穿产品研发、生产制造、使用、维修、回收和报废等环节，形成更加完整的绿色制冷产业体系；同时推动传统制冷设备制造向绿色、高效、智能化方向升级，提升企业核心竞争力和可持续发展能力（产业在线，2026）。

与此同时，中国作为全球重要制冷设备生产和出口国，应充分发挥产业规模、制造能力和技术创新优势，从国内绿色转型走向全球可持续制冷方案输出。通过提升绿色高效制冷产品的国际竞争力，完善产品标准和认证体系，并加强与发展中国家的技术合作和能力建设，帮助发展中国家获得更多可负担、可靠且低碳的制冷选择，降低其因技术、成本和市场限制而被动接受低效、高排放设备的风险，推动全球制冷转型更加公平。

4.3 完善绿色制冷市场机制

近年来，我国通过开展消费品以旧换新、加强绿色消费支持等政策措施，持续推广高效节能环保制冷产品。例如，《关于 2026 年实施大规模设备更新和消费品以旧换新政策的通知》（以下简称“两新政策”）提出，对个人消费者购买 1 级能效标准的冰箱、空调产品给予以旧换新补贴；《关于实施绿色消费推进行动的通知》鼓励无氟制冷设备使用等。

随着绿色制冷技术不断发展，进一步完善市场激励机制有助于加快高效、低 GWP 制冷产品的规模化应用。未来，我国可在现有政策基础上探索更加多元化的支持机制，充分考虑 R290 等无氟制冷设备在气候友好性和能效提升领域的优势，将其纳入政府绿色采购和两新政策支持范围，发挥政策的示范引领作用，并减少绿色制冷产品推广过程中的成本障碍。

4.4 加强制冷剂全生命周期管理

制冷剂全生命周期管理是减少不必要的制冷剂使用和排放的重要手段。目前，全球已有多个国家正在开展相关实践，通过完善法规体系、支持低 GWP 制冷设备推广、强化泄漏管理以及推动制冷剂回收利用，逐步建立起针对制冷剂的全链条管理模式，并取得了良好实践进展。以日本为例，在相关政策和全生命周期管理措施推动下，日本 HFC 排放量已实现连续三年下降，尤其在末端处置环节，2024 年日本回收的含氟制冷剂超过 6000 吨，后续再生量和销毁量分别达到 3712 吨和 2869 吨（绿色创新发展研究院，2026）。

我国自 2021 年批准《基加利修正案》以来持续完善制冷剂管理制度，并通过《中国履行〈关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书〉国家方案（2025-2030 年）》等政策逐步构建起覆盖全生命周期的管理体系。考虑到我国的履约压力和存量设备中规模庞大的 HFC 制冷剂，下一阶段可进一步加速制冷剂全生命周期管理体系建设，重点提升泄漏控制和末端治理能力。例如，加强维修服务培训和能力建设，完善制冷剂回收标准和经济激励机制，开展制冷剂回收试点工程，加强制冷剂回收信息追踪管理，以及进一步鼓励制冷剂再生和销毁领域的技术研发与应用推广。

4.5 推动城市和社区制冷韧性建设

《国家气候变化健康适应行动方案（2024-2030 年）》和《国家适应气候变化战略 2035》指出，高温热浪事件频发和热岛效应加剧已经成为我国多个地区正在面临的重要气候挑战之一，需要强化城市与人居环境适应气候变化能力。在此背景下，已经有越来越多的城市开始探索城市尺度降温路径，通过优化城市空间布局、增加绿色空间建设、建筑节能改造等方式降低热暴露水平和制冷需求。

展望未来，可以进一步推动城市和社区制冷韧性建设。一方面，在城市新区建设和旧城更新的过程中，可以结合不同区域气候特征和空间条件，推广被动式降温策略，将遮阳设计、自然通风、绿地和水体空间、反射性材料等措施融入城市规划和建筑设计。另一方面，可以充分利用城市和社区现有资源，建设、完善公共降温空间。例如，成都在地铁车站划定专属纳凉区并设置专用座椅（中国经济网，2026），上海、杭州等地将社区中心、人防工程开放为纳凉点（陈佳琳 & 徐亦雯，2026），为居民提供临时避暑空间。

4.6 提升可持续制冷服务的公平性和可及性

为保障公众健康、提升应对极端高温的气候适应能力，我国逐步建立和完善高温热浪监测预警系统。例如，上海于 2001 年建设了我国首个“热浪与健康监测预警系统”；中国疾病预防控制中心在南京、深圳、重庆、哈尔滨等城市开展以社区为基础的“高温热浪与健康风险早期预警系统”试点（生态环境部，2023）。2025 年以来，国家疾病预防控制中心和中国气象局开始联合发布高温健康风险预警，并针对一般人群以及老年人、孕妇、儿童、户外作业者和患有基础疾病人群等重点群体提出差异化防护建议（国家疾病预防控制中心，2026）。

下一阶段，我国还可以探索建立与高温风险预警体系相衔接的制冷服务保障机制，进一步提升可持续制冷服务的公平性和可及性。《国家适应气候变化战略 2035》指出，要制定不同地区高温热浪等主要极端天气气候事件的适应实施方案，提高高温热浪等极端天气气候事件环境下作业的劳动防护标准。对此，我国可以在制定方案、标准和高温健康行动的过程中，纳入制冷可及性指标，并结合老年人、低收入家庭、儿童、户外劳动者等高温脆弱人群的需求，探索更加精准的制冷支持措施。例如，推动学校、社区、养老机构、医院等公共场所建设可持续制冷设施，提高极端高温期间的公共服务保障能力。

附件 1: 我国应对高温及推动制冷绿色发展相关政策

政策名	相关目标与内容
气候战略与行业发展	
《绿色高效制冷行动方案》(2019 年)	到 2022 年，家用空调、多联机等制冷产品的市场能效水平提升 30% 以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 20%，实现年节电约 1000 亿千瓦时。到 2030 年，大型公共建筑制冷能效提升 30%，制冷总体能效水平提升 25% 以上，绿色高效制冷产品市场占有率提高 40% 以上，实现年节电 4000 亿千瓦时左右。 加大环保制冷剂的研发，积极推动制冷剂再利用和无害化处理。 完善节能环保产品政府采购制度，扩大政府绿色采购范围，加大绿色高效制冷创新产品政府采购支持力度。 鼓励有条件的地方，通过实施“节能补贴”“以旧换绿”等措施，采用补贴、奖励等方式，支持居民购买绿色高效制冷产品、更新更换老旧低效制冷产品。 加强制冷领域节能改造，重点支持中央空调节能改造、数据中心制冷系统能效提升、园区制冷改造和冷链物流绿色改造等重点示范工程。
《2035 年中国国家自主贡献报告》(2025 年)	到 2035 年，氢氟碳化物生产量和使用量较基线值削减至少 30%。 开展国家级高温健康风险预警与健康提示工作，提升气候变化健康适应能力。
《国家应对气候变化“十五五”规划》(2026 年)	(到 2030 年)，因地制宜建设甲烷、氧化亚氮、含氟气体等非二氧化碳温室气体治理工程，推动形成 3000 万吨二氧化碳当量减排能力。 通过源头替代、回收利用及末端销毁等措施,加强氢氟碳化物、全氟化碳、六氟化硫、三氟化氮等含氟气体管控。
制冷剂管理	
《中国履行〈关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书〉国家方案(2025-2030 年)》(2025 年)	HCFCs 受控用途生产量和使用量到 2030 年均削减基线值的 97.5%，保留 2.5% 用于满足制冷空调维修等用途的需求。 HFCs 受控用途生产量和使用量在基线值 18.53 亿吨和 9.05 亿吨二氧化碳当量(tCO₂) 基础上，2029 年均削减基线值的 10%。 汽车行业自 2029 年 7 月 1 日起，禁止新申请公告 M1 类车辆空调系统使用 GWP 值大于 150 的制冷剂； 家电行业自 2026 年 1 月 1 日起，禁止生产以 HFCs 为制冷剂的电冰箱和冰柜产品；自 2029 年 1 月 1 日起，禁止生产用于国内销售的充注 GWP 值大于 750 制冷剂的房间空气调节器，家用多联式空调（热泵）机组除外； 工商制冷空调行业自 2029 年 1 月 1 日起，禁止生产充注 GWP 值大于 750 制冷剂的单元式空气调节机（额定制冷量或制热量≤ 12kW）、风管送风式空调（热泵）机组（额定制冷量或制热量≤ 12kW）。

政策名	相关目标与内容
《关于禁止生产以氢氟碳化物 (HFCs) 为制冷剂的家用电冰箱和冰柜产品的公告》(2025 年)	自 2026 年 1 月 1 日起, 禁止生产以 HFCs 为制冷剂的家用电冰箱和冰柜产品。
《关于进一步加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理的通知》(2026 年)	对生产 (含副产, 以下同) 受控用途 (含豁免受控用途) 管控物质的单位、生产原料用途管控物质并对外销售的单位, 依法实施生产配额许可管理。 对管控物质销售单位依法实施备案管理。 对管控物质使用单位依法实施配额许可或备案管理。 对从事含管控物质的制冷空调设备、制冷空调系统等维修、报废处理, 及从事管控物质回收、再生利用、销毁等经营活动的单位依法实施备案管理。 加强管控物质管理, 建立健全生产经营管理制度, 完整保存有关生产经营活动的原始资料至少 3 年。
能效提升	
《“十四五”节能减排综合工作方案》(2022 年)	实施绿色高效制冷行动, 以建筑中央空调、数据中心、商务产业园区、冷链物流等为重点, 更新升级制冷技术、设备, 优化负荷供需匹配, 大幅提升制冷系统能效水平。 到 2025 年, 城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准, 城镇清洁取暖比例和绿色高效制冷产品市场占有率大幅提升。
冷链	
《“十四五”冷链物流发展规划》(2022 年)	2025 年, 初步形成衔接产地销地、覆盖城乡、联通国内国际的冷链物流网络, 基本建成符合国情和产业结构特点、适应经济社会发展需要的冷链物流体系。 展望 2035 年, 全面建成现代冷链物流体系。
建筑	
《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》(2022 年)	倡导建筑绿色低碳设计理念, 充分利用自然通风、天然采光等, 降低住宅用能强度, 提高住宅健康性能。 推广地区适应性强、防火等级高、保温隔热性能好的建筑保温隔热系统。
气候适应	
《国家适应气候变化战略 2035》(2022 年)	提高高温热浪等极端天气气候事件环境下作业的劳动防护标准。 华东地区推广以水调温减轻高温热浪危害的经验; 粤港澳大湾区战略区域加强实时高温健康监测, 针对不同人群阈值发布高温预警信息, 加强气候敏感疾病传播风险监测预警, 规划健康行动; 长三角一体化战略区域完善高温热浪与气候敏感疾病监测应急响应平台。
《国家气候变化健康适应行动方案 (2024-2030 年) 》(2024 年)	制定高温热浪等极端天气气候事件环境下作业人群劳动防护标准。

政策名	相关目标与内容
财政、金融和消费措施	
《绿色金融支持项目目录》(2025 年)	支持项目例如： 制冷、空调设备制造活动中采用磁悬浮技术的磁悬浮离心制冷压缩机 / 地源热泵、高温地热热泵、地热吸收式制冷热泵等热泵设备 / 以热泵机组为关键设备的吸收式换热集中供热装置、循环水及乏汽余热回收热泵装置制造，以及制造企业直接销售该类设备的活动； 制冷量≤ 14000W 家用空气调节器或商用 / 家用制冷和空调设备制造活动中所制造设备采用消耗臭氧潜能值为 0 和全球升温潜能值相对较低的制冷剂。
《关于 2026 年实施大规模设备更新和消费品以旧换新政策的通知》(2025 年)	个人消费者购买冰箱、洗衣机、电视、空调、电脑、热水器等 6 类家电中 1 级能效或水效标准的产品,按产品销售价格的 15% 给予补贴,每位消费者每类产品可补贴 1 件,每件补贴不超过 1500 元。
《关于实施绿色消费推进行动的通知》(2026 年)	鼓励使用无氟制冷设备, 以及完成超低排放改造、达到环保绩效 A 级企业的产品。

附件 2: 关于氢氟碳化物 (HFC) 制冷剂及其潜在替代方案与挑战

氢氟碳化物 (HFC) 是为替代氯氟烃 (CFC) 和含氢氯氟烃 (HCFC) 等消耗臭氧层物质而生产的人造氟化物，被广泛用作制冷剂、发泡剂、灭火剂和医用气雾剂等，其中，制冷剂是 HFC 最主要的应用领域，约占其使用量的 90% (Green Peace, 2017)。

尽管不破坏臭氧层,但 HFC 往往具有较高的全球升温潜势 (Global warming potential, GWP), 排放对气候变化的影响显著。以家用空调、汽车空调的主流制冷剂 HFC-32 和 HFC-134a 为例,在 20 年尺度下,这些气体的温室效应分别高达二氧化碳的 2690 倍和 4140 倍 (Intergovernmental Panel On Climate Change, 2023)。对此,1997 年通过的《京都议定书》将 HFC 列为需要管控的温室气体之一;2016 年通过的《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书 < 基加利修正案 >》也要求缔约方逐步开展 HFC 生产和消费的削减。气候与清洁空气联盟 (CCAC) 的研究指出,到本世纪末,全面履行《基加利修正案》有望避免高达 0.5° C 的全球升温 (UNEP, 2016)。

对于中国而言,《中华人民共和国气候变化第一次双年透明度报告》显示,2021 年我国的 HFC 排放约为 3.36 亿吨 CO₂e, 其中制冷相关排放占比 86.3%。目前,我国已经启动《基加利修正案》履约进程,并按照条约要求于 2024 年将受控 HFCs 的生产和消费冻结在基线水平,并将到 2029 年实现 10% 的削减。然而,由于 HFC 排放主要发生于制冷设备使用、维修和报废阶段,具有一定滞后性,而我国在用设备中已经积累了已积累了大量 HFC 库存,因此,多份研究认为,我国 HFC 排放将到 2038 年前后才能达峰,峰值可能超过 6 亿吨 CO₂e (绿色创新发展研究院, 2025; Bai 等, 2023; Song, 2019; Teng 等, 2019)。

目前,我国正在通过强化排放监测预警、加速低 GWP 制冷剂替代、完善末端治理等系列措施推动制冷行业 HFC 减排。然而,在低 GWP 替代技术研发和规模化应用、制冷剂回收再生体系建设等方面仍面临一定挑战。

参考文献

1. 21 财经 . (2020, 六月 9). 史上最严新标致超 4 成空调被淘汰, 企业成本升 10%. 21 财经 . <https://m.21jingji.com/article/20200609/herald/1b725bd9f50034c8dbede904b4b6bd5a.html>
2. 奥维云网 . (2024, 一月 17). 2023 年空调市场总结: 聚集与分化, 行稳以致远 . 奥维云网 . https://mp.weixin.qq.com/s/IEYidEnUf-68CFm_MWGqXA
3. 奥维云网 . (2025, 八月 28). 2025 冷年空调市场总结 . 国家电网 . <https://info.cheaa.com/2025/0828/649056.shtml>
4. 奥维云网 . (2026, 八月 23). 2026 空调冷年复盘: 存量博弈下的两极分化与产业重构 . <https://mp.weixin.qq.com/s/9As1kXsqLhqLaLSfarpOkQ>
5. 产业在线 . (2024, 二月 6). 2.6 亿台! 2023 转子压缩机规模迈上新台阶 . 产业在线 . http://www.chinaiol.com/News/Content/202402/72_49637.html
6. 产业在线 . (2025, 四月 24). 全球冰箱冷柜: 2024 产销规模再创新高, 产能结构性调整 . 产业在线 . http://www.chinaiol.com/News/Content/202504/66_58291.html
7. 产业在线 . (2026, 四月 10). 《中国制冷空调产业发展白皮书 (2025 年)》在京发布 . 产业在线 . http://www.chinaiol.com/News/Content/202604/38_66575.html
8. 陈佳琳 & 徐亦雯 . (2026, 七月 31). 热浪笼罩申城, 此处自有清凉! 社区党群服务中心成“避暑胜地” . 新民晚报 . <https://www.shobserver.com/staticsg/res/html/web/newsDetail.html?id=1153360>
9. 国家疾病预防控制中心 . (2026, 八月 2). 高温健康风险预警和健康提示 . 国家疾病预防控制中心 . https://www.ndcpa.gov.cn/jbkzzx/c100008/common/content/content_2083865895673171968.html
10. 国家统计局 . (2025). 中国统计年鉴 2024.
11. 环球时报 . (2025, 八月 26). 打造绿色增长新引擎, 中国解锁循环经济密码 . 环球时报 . http://www.china.com.cn/opinion2020/2025-08/26/content_118042428.shtml
12. 绿色创新发展研究院 . (2023, 六月 3). 【环境日特供 | 绿色制冷】中国空调标准引领全球发展为地球降温 . 绿色创新发展研究院 . <https://www.igdp.cn/%E3%80%90%E7%8E%AF%E5%A2%83%E6%97%A5%E7%89%B9%E4%BE%9B%EF%BD%9C%E7%BB%BF%E8%89%B2%E5%88%B6%E5%86%B7%E3%80%91%E4%B8%AD%E5%9B%BD%E7%A9%BA%E8%B0%83%E6%A0%87%E5%87%86%E5%BC%95%E9%A2%86%E5%85%A8%E7%90%83/>
13. 绿色创新发展研究院 . (2025). 非二氧化碳温室气体减排展望: 面向 2035 年的机遇与挑战 . 绿色创新发展研究院 .
14. 绿色创新发展研究院 . (2026, 七月 24). 《基加利修正案》迈向十周年, 全球臭氧治理进入深化阶段 |OEWG48 观察 . 对话 2049. <https://mp.weixin.qq.com/s/uh2MVALK68oWFrJ0dkuWHQ>
15. 气候和臭氧保护协会 . (2025, 四月 15). 《维也纳公约》迎来 40 周年: 推动制冷可持续解决方案—R290 技术 . 气候和臭氧保护协会 . <https://climatecooperation.cn/climate/40th-anniversary-of-the-vienna-convention-r290-technology-as-a-sustainable-solution-in-air-conditioning/>
16. 生态环境部 . (2023). 中华人民共和国气候变化第四次国家信息通报 .
17. 生态环境部 . (2025, 四月 30). 专家解读② | 国家电行业认真落实《国家方案》, 推动“含绿量”和“含金量”同步增长 . 中华人民共和国生态环境部 . https://www.mee.gov.cn/zcwj/zcjd/202504/t20250430_1118737.shtml
18. 生态环境部固体废物与化学品管理技术中心 . (2022). 蒙特利尔议定书受控物质制冷剂回收再用管理模式研究报告 .
19. 吴国强, 马国远, & 许树学 . (2023). R290 变频热泵空调器性能的实验研究 . 北京工业大学学报, 49(3), 379 ~ 385, 394.
20. 吴胜安, 邢彩盈, & 朱晶晶 . (2022). 海南岛气候特征分析 . 热带生物学报 (中英文), 13(4), 315 ~ 323.
21. 谢思羽, 邱童, 钟思淼, 罗国梅, 林铭汝, & 周永秋 . (2026, 九月 4). 除了回家开空调, 城市哪里还能避暑? . 澎湃新闻 . https://m.thepaper.cn/newsDetail_forward_34005498
22. 央视网 . (2026, 六月 15). “数”说原材料里的“景气” 解锁制冷剂回收再生赛道发展“新”机遇 . 央视网 . <https://news.cctv.com/2026/06/15/ARTIZwyqD1dx6JL7ebbddZJh260615.shtml>
23. 杨续超, 陈葆德, 胡可嘉, Xuchao, Y., Baode, C., & Kejia, H. (2015). 城市化对极端高温事件影响研究进展 . 地理科学进展, 34(10), 1219 ~ 1228. <https://doi.org/10.18306/dlkxjz.2015.10.002>

24. 中国标准化研究院 . (2025). 能效标识制度实施二十周年进展报告 .
25. 中国经济网 . (2026, 七月 29). 公共空间纳凉传递城市温度 . 中国经济网 . http://m.ce.cn/bwzg/202607/t20260729_3115181.shtml
26. 中国气象局 . (2026). 中国气候变化蓝皮书 . 中国气象局 .
27. 周彤伟 . (2025). 被动式建筑创新及应用 . 工程技术与质量管理 , 1(6), 178 ~ 180.
28. Arp, H. P. H., Gredelj, A., Glüge, J., Scheringer, M., & Cousins, I. T. (2024). The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA). *Environmental Science & Technology*, 58(45), 19925 ~ 19935. <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06189>
29. Bai, F., An, M., Wu, J., Fang, X., Jiang, P., Yao, B., Zhao, X., Xiang, X., Chen, Z., & Hu, J. (2023). Pathway and Cost-Benefit Analysis to Achieve China's Zero Hydrofluorocarbon Emissions. *Environmental Science & Technology*, 57(16), 6474 ~ 6484. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c00166>
30. Callahan, C., & Dessler, A. (2026, 七月 21). 嘉宾来稿：法国六月热浪致逾 2700 人因高温相关原因死亡 . Carbon brief. <https://mp.weixin.qq.com/s/pR7RUnqhJZDPD2zrPJ6gaQ>
31. Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (贡献 Lee, H.). (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, G. Flato, M. Howden, C. Méndez-Vallejo, J. J. Pereira, R. Pichs-Madruga, S. K. Rose, Y. Saheb, R. Sánchez Rodríguez, D. Ürgel-Vorsatz, C. Xiao, N. Yassaa, J. Romero, J. Kim, E. F. Haïtes, Y. Jung, R. Stavins, ... C. Péan, 编 ; First). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
32. Centre for Sustainable Cooling. (2022). Sustainable and Resilient Cold-Chains: The 2050 Imperative. Centre for Sustainable Cooling.
33. China Household Electrical Appliances Association. (2025, 五月 27). China Issues National Plan for Implementing the Montreal Protocol: R410A Air Conditioner Production Faces Ban. https://en.cheaa.org/contents/483/12579.html?utm_source=chatgpt.com
34. Cool Coalition. (no datea). Global Cooling Pledge. Cool Coalition. <https://coolcoalition.org/global-cooling-pledge/commitments>
35. Cool Coalition. (no dateb). Sustainable Cooling. Cool Coalition. <https://coolcoalition.org/toolkits/sustainable-cooling>
36. Crifo, P. (2025, 九月 17). China: Are air conditioners at odds with climate ambitions? Polytechnique insights. <https://www.polytechnique-insights.com/en/columns/energy/china-are-air-conditioners-at-odds-with-climate-ambitions/>
37. Euromonitor. (不详). Air-conditioners. 取读于 2026 年 9 月 23 日 , 从 <https://www.euromonitor.com/store/explore-reports/consumer-appliances/air-conditioners>
38. FAO. (2022, 十一月 12). Amid food and climate crises, investing in sustainable food cold chains crucial. FAO. <https://www.fao.org/newsroom/detail/amid-food-and-climate-crises-investing-in-sustainable-food-cold-chains-crucial/en>
39. Green Peace. (2017). HFCs and other F-gases: The Worst Greenhouse Gases You' ve Never Heard Of. Green Peace.
40. IEA. (2023). Sustainable, Affordable Cooling Can Save Tens of Thousands of Lives Each Year. IEA.
41. IEA. (2018). The Future of Cooling. IEA.
42. IIR. (2023, 七月 14). Kenya launches National Cooling Action Plan. IIR. <https://iifir.org/en/news/kenya-launches-national-cooling-action-plan>
43. Intergovernmental Panel On Climate Change. (2023). Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (1 版). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
44. Li, C., Su, X., Fan, C., & Han, H. (2025). Quantifying residential cooling poverty and its drivers in China (2001–2020): Insights from multiple restrictive behaviors of accessing air conditioning. *Cities*, 166, 106262. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2025.106262>

45. Song, R. (2019). Opportunities to Advance Mitigation Ambition in China: Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions. World Resources Institute.
46. Sustainable Energy for All. (2021, 五月 5). Addressing vaccine cold chain access gaps at the last mile. Sustainable Energy for All. <https://www.seforall.org/chilling-prospects-2021/impact-of-covid-19/vaccine-cold-chain-access-gaps>
47. Sustainable Energy for All. (2024, 十一月 7). Country Brief: Sustainable Cooling for All in Kenya. Sustainable Energy for All. <https://www.seforall.org/publications/country-brief-sustainable-cooling-for-all-in-kenya>
48. Sustainable Energy for All. (2025, 七月 24). Chilling Prospects: Tracking Sustainable Cooling for All 2025. Sustainable Energy for All. <https://www.seforall.org/data-stories/chilling-prospects-2025>
49. Teng, F., Su, X., & Wang, X. (2019). Can China Peak Its Non-CO2 GHG Emissions before 2030 by Implementing Its Nationally Determined Contribution? *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12168 ~ 12176. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04162>
50. The Japan Society of Refrigerating and Air Conditioning Engineers. (2014). Risk Assessment of Mildly Flammable Refrigerants. JSRAE.
51. UNEP. (2016, 七月 22). Reducing Hydrofluorocarbons via the Montreal Protocol is the most significant climate action the world can take this year. UNEP. <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/reducing-hydrofluorocarbons-montreal-protocol-most-significant>
52. UNEP. (2021). Beating the Heat: A Sustainable Cooling Handbook for Cities. UNEP.
53. UNEP. (2023). Keeping Cool in an Increasingly Hotter World: UNEP Spotlight. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44243>
54. UNEP. (2025a). Global Cooling Watch 2025: The Free Degrees. United Nations Environment Programme. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/48926>
55. UNEP. (2025b, 十一月 11). Amid rising heat, sustainable cooling can slash emissions and save trillions of dollars. UNEP. <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/amid-rising-heat-sustainable-cooling-can-slash-emissions-and-save>
56. Vautrin, A., Dou, J., Furdos, A. N., & Voswinkel, F. (2026, 七月 10). Cooling a hotter world: El Niño meets strong growth in global electricity demand. IEA. <https://www.iea.org/commentaries/cooling-a-hotter-world-el-nino-meets-strong-growth-in-global-electricity-demand>
57. World Bank. (2022). Piloting Nature-based Urban Cooling Solutions for Urban Regeneration and New Town Development in Guangzhou, China. World Bank.
58. World Bank. (no date). Metadata Glossary. World Bank. [https://databank.worldbank.org/metadataglossary/environment-social-and-governance-\(esg\)-data/series/EN.CLC.CDDY.XD](https://databank.worldbank.org/metadataglossary/environment-social-and-governance-(esg)-data/series/EN.CLC.CDDY.XD)
59. World Health Organization. (2026, 七月 31). Heat and Health. World Health Organization. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>
60. Zhang, C., Zhang, S., Bai, Y., Chen, B., Chen, J., Cheng, L., Fan, W., Feng, L., Guan, D., Hong, C., Hu, Y., Hua, J., Huang, C., Huang, H., Huang, J., Huang, X., Ji, J. S., Jiang, Q., Jiang, X., ... Gong, P. (2025). The 2025 China report of the Lancet Countdown on health and climate change: Empowering cities for synergistic action. *The Lancet Public Health*, 10(12), e1066 ~ e1085. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(25\)00230-0](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(25)00230-0)
61. Zhang, H., Shan, Y., Li, R., Xue, R., Ma, J., Kikstra, J., Shi, Z., Wang, Z., Zhang, B., Wang, B., Fang, S., Yang, F., & Hubacek, K. (2026). Rising Air-Conditioning Use Intensifies Global Warming. *Nature Communications*, 17(1), 1961. <https://doi.org/10.1038/s41467-026-69393-1>
62. Zhang, X. P., Wang, F., Fan, X. W., Wei, X. L., & Wang, F. K. (2013). Determination of the optimum heat rejection pressure in transcritical cycles working with R744/R290 mixture. *Applied Thermal Engineering*, 54(1), 176 ~ 184. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.006>
63. Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., Schneider, A., Entezari, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Zanobetti, A., Analitis, A., Zeka, A., Tobias, A., Nunes, B., Alahmad, B., Armstrong, B., Forsberg, B., Pan, S.-C., ... Li, S. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non-optimal ambient temperatures from 2000 to 2019: A three-stage modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e415 ~ e425. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00081-4)



绿色创新发展研究院 (Institute for Global Decarbonization Progress, iGDP), 2014 年成立于北京, 是专注绿色低碳发展的公益性国际化智库。

iGDP 自成立以来, 根植我国绿色低碳实践, 紧跟全球应对气候变化进程, 服务决策者、实践者、投资者, 通过跨学科、系统性、实证性的研究, 推动能源和气候变化解决方案的科学化和精细化, 与多方合作推动绿色低碳议题的多元化和国际化的沟通, 提供有国际视野和前瞻性的解决方案及公共知识产品, 为全球可持续发展做出贡献。

电话 | 86-10-8532 3096

邮箱 | igdpooffice@igdp.cn

网址 | www.igdp.cn

地址 | 中国 北京市 朝阳区 秀水街 1 号建外外交公寓 6-2-62

邮编 | 100600

扫描二维码关注更多信息

