



中国制冷简报

2025 年第5期 总第135期

广告



冰轮环境
MOON-TECH

智慧绿色能源 系统解决方案服务商

工业全域热控系统综合解决方案

绿色环保制冷系统解决方案

环保介质储能蓄能技术

低碳分布式能源集成技术

技术突破+系统集成+场景落地

清洁能源产业

船海绿色能源系统智慧解决

双擎驱动智慧能效管控系统

全流程数字化服务体系

绿色低碳园区

MICC冰轮智汇云

全场景集成节能制程

2025 年 9 月 16 日

从科学走向 全球行动

世界臭氧日

联合国
环境规划署



臭氧秘书处



从科学走向全球行动
维也纳公约
40 周年



维也纳公约
蒙特利尔议定书

冰山松洋制冷

余废热利用 · 节能减碳

离心式冷水（热泵）机组 | 溴化锂机组

真空热水机组 | 燃气热泵机组

节能减碳践行者

生态平衡守护者

绿色能源创造者

冰山松洋制冷三十多年来始终坚持持续不断的加大在节能、减碳等细分市场领域的投入，为用户提供专业余废热解决方案，为人类社会贡献更多力量，共建生态平衡。



冰山松洋制冷（大连）有限公司

服务热线：400-642-2468 官网：www.sonyordl.com

目录 CONTENTS

学会动态

01. 构建新型零碳热力系统势在必行
02. 中国制冷学会新增会员名单
03. 中国制冷学会十一届四次常务理事会议在京召开



04. “CHPC·中国热泵”2025热泵产业用户生态大会在天津召开
05. 中国制冷学会首届博士研究生论坛暨中国科协青托博士生交流会在东南大学顺利举办
06. “科创中国”液冷技术科技服务团两次赴内蒙古自治区开展活动

地方学会动态

07. 2025相变储能技术研讨与应用实战研修班圆满结业



会议通知

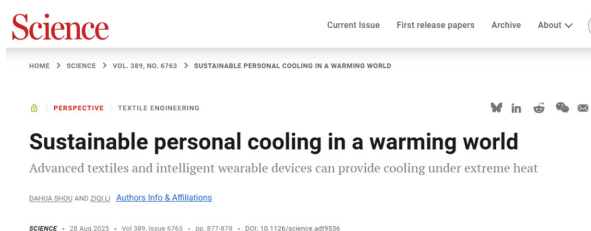
08. 2025中国制冷学会学术年会（CAR2025）第三轮通知

政策法规

10. 国家能源局发布《中国氢能发展报告（2025）》
11. 国家能源局发布《中国新型储能发展报告（2025）》

科技前沿

13. 上海交通大学制冷与低温工程研究所联合中国科学院力学研究所完成国际首次液氧微重力落塔实验
14. 北京大学杨荣贵教授在喷雾冷却方面取得新进展
18. 北京科技大学王存海、刘敬崇在The Innovation发表辐射制冷相关研究
21. 香港理工大学寿大华教授在 Science 发表可持续个人冷却织物相关研究



专题报道

23. 《蒙特利尔议定书》
——让制冷造福人类的同时保护地球环境

国际资讯

29. 可持续冷却

——如何在削减排放的同时满足制冷需求（七）

书讯

33. 谢晓云长聘副教授、江亿院士总结15年经验推出新作——《吸收式热泵与吸收式换热器》



企业纵览

34. GMCC美芝发布全新双吸气轻商R290高效变频压缩机

35. 持续加码“第二家乡市场”——丹佛斯中国最大生产基地正式启用



《中国制冷简报》着重介绍中国制冷、空调、供暖、通风及相关领域的各类信息，旨在推动科技创新，推广应用技术，报道行业动态，促进业内交流，为我国制冷事业的发展服务，为学术及技术交流服务，为培养专业人才服务。

主办单位：中国制冷学会

主 编：常 琳

副 主 编：范 薇

责任编辑：邵月月

编辑部主任：范 薇

编辑部副主任：王亚薇 田 甜 邵月月

通 讯 员：陈 晨 陈筑平 戴娜丹 窦克松 黄浩良 江 山
金国涛 李 朋 李 雯 李锡石 李宥庭 刘国祥
刘 卓 马 琪 彭园媛 施乃蓉 宋佳宁 隋继学
孙亚娟 孙志利 谈 筠 唐 棣 王保锋 王柯增
王立群 王 派 王若虚 王晓童 王 怡 吴丽婷
肖 伦 严文婷 杨永安 张志强 赵春晨 赵中齐
郑戈雅 郑 微 邹培培

编辑部联系方式

地址：北京市海淀区阜成路67号
银都大厦10层

邮编：100142

电话：010-68463224

传真：010-68434679

邮箱：wfan@car.org.cn



广告索引

封面 冰轮环境技术股份有限公司

封底 2026年中国制冷展

封二 公益广告

封三 荏原冷热系统（中国）有限公司

首插页 冰山松洋制冷（大连）有限公司

插页 《制冷学报》《中国制冷简报》广告征集启事

插页 北京华源泰盟节能设备股份有限公司

版权声明：凡本刊发表的文章、图片，未经本刊允许不得转载。经本刊同意授权刊登，应注明出处，向本刊编辑部及作者邮寄样刊，并向作者寄发稿酬。

构建新型零碳热力系统势在必行



编者按：中国制冷学会名誉理事长、清华大学建筑节能研究中心主任江亿教授，清华大学能源与动力工程系党委副书记、长聘副教授麻林巍在《科技日报》2025-08-25第08版上发表了题为“构建新型零碳热力系统势在必行”的重要文章，本刊进行全文转载，欢迎阅读。

党的二十届三中全会指出，加快规划建设新型能源体系。建立面向碳中和的新型能源体系，必须实现零碳电力、热力和燃料供应。当前我国碳达峰碳中和“1+N”政策体系对化石能源替代和新型电力系统建设均有布局，但对热力系统关注相对不足。热力系统现已成为各地开展能源低碳转型和零碳园区建设等工作的难点堵点，必须引起高度重视。

热力系统转型升级迫在眉睫

我国热力需求主要源于工业和建筑。2022年工业用热约90亿吉焦，包括主要用于化工的饱和压力在1兆帕以上的高压蒸汽和主要用于造纸、轻纺等轻工业的饱和压力在1兆帕以下的中低压蒸汽。建筑用热约93亿吉焦，主要用于冬季采暖和生活热水等。目前各类用热主要依靠燃煤、燃气锅炉及热电联产提供，约消耗全国11%的能源（6亿吨标煤），产生15%的能源相关碳排放。

预计到2060年，我国热力需求将从183亿吉焦增加至240亿吉焦。要想实现零碳供应，依靠电热转换或生物质燃烧等方式并不经济可行。若全部依靠电热转换会消耗7万亿度电，相当于全国2024年用电量的70%，这将给新型电力系统建设带来巨大压力；若全部依靠生物质燃烧需要9亿吨标准煤的生物质燃料，超过全国生物质资源总量，且会消耗未来新型能源系统中最宝贵的低成本零碳燃料。这种情况下，寻找经济可行的零碳热力供应方式迫在眉睫。各地在热力低碳转型实践中，由于缺乏全国整体转型规划和技术方向引导，出现了热力管网重复建设导致财政浪费，建设以热电联产为目的的燃煤热电联产电厂导致碳排放不降反增，盲目推广空气源和土壤源热泵加剧电力系统季节性调峰压力等一系列问题。

因此，必须尽快创新绿色低碳供热技术，通过系统性、前瞻性的规划设计整体推进新型零碳热力系统建设。否则，不仅会阻碍我国实现碳达峰碳中和，还可能带来能源安全风险。比如，2022年乌克兰危机引起的欧洲能源危机，受影响最大的领域就是建筑冬季采暖，导致了巨大的经济社会损失，且严重威胁能源安全。

系统布局新型零碳热力系统

构建新型零碳热力系统是我国新型能源体系建设中的重要任务，应根据热力需求特点和资源禀赋等国情条件来进行整体规划和系统布局。

热泵可通过消耗电力将低品位热量转化为高低品位热量，1份电可供3~8份热，是全球公认的高效零碳供热方式。低温低密度用热需求适合采用“自然热源+热泵”来供热。低品位的自然热源可从室外空气、土壤、地表水等自然环境中提取。自20世纪90年代以来，我国基于自然热源的热泵技术和产品发展迅速，已有超过一亿平方米的北方建筑采用该方式采暖。然而，对于高密度的用热需求，例如对于北方城市高密度建筑群，当单位土地面积的取热密度大于1兆瓦/万平方米时，若从自然环境中提取低温热量会产生一些不利的生态环境影响和地下空间过度占用。

高密度用热需求可采用“余热热源+热泵”供热。当取热密度大于1兆瓦/万平方米时，可考虑核电余热、工业余热、数据中心余热等人工排放余热作为低温热源，结合热泵实现供热。我国拥有大量的余热资源，回收70%就可满足北方建筑采暖和工业高密度用热需

求。为解决热源与用热在空间、时间和参数上的不匹配问题，需要建立区域余热共享系统，回收各种余热，依靠管网系统通过热水循环把余热输送到用热终端，建设跨季节储热设施，平衡余热产出和用热需求在时间上的不一致。我国北方地区已建成完善的集中供热系统，南方地区也建成了一定规模的工业蒸汽供给系统，在此基础上经过改造升级就可实现全年余热回收和“余热+热泵”供热。

而对于工业生产压力高于1兆帕的蒸汽需求，采用热泵的经济性不佳，应加速攻关高温零碳供热技术，可考虑核能供热或电直热等方式。

为实现上述技术路径，必须尽快开展共性关键技术的研发攻关和试点示范。热泵技术需突破低全球变暖潜值制冷剂热泵、高温热泵、工业蒸汽热泵、宽域高效压缩技术等；热量品位变换技术需突破第一类吸收式换热器、第二类吸收式换热器；余热回收技术需突破核能、热电厂及钢铁冶金等流程工业的余热采集；热量输送和调配技术需突破长距离低成本输热技术；需重点突破跨季节储热技术和热电协同技术。

按照“三步走”战略有序推进

构建新型零碳热力系统，事关能源安全、生产安全和民生保障，特别要注重安全可靠和平稳有序。建议按照“三步走”战略，立足安全保供，坚持先立后破。

2035年前要注重节能挖潜。在工业、建筑领域中加速热泵替代；对北方集中供热管网开展末端回水温度降低改造，以适应余热深度回收、长距离输送和跨季节储能的需要；依靠低回水温度深度回收利用热电联产余

热，并回收部分工业余热，开始逐步淘汰燃煤锅炉。

2035至2045年要实现转型加速。加速热泵替代，加速余热共享基础设施建设，重点建设冶金、有色、化工、建材等领域的余热回收工程，把余热高效接入城市热网；配合火电退出，同步规划建设大规模跨季节储热设施，依靠非采暖期回收的余热弥补火电退出导致的热量缺口；开展热泵柔性调节和需求侧响应方式运行，支撑电力系统削峰填谷和绿电消纳。

2045至2060年进行攻坚完善。加速推进热泵灵活调节和需求侧响应，全面实现绿电驱动的热泵零碳供热。全面建成余热共享系统，依靠跨季节储热设施，收集核电、工业、调峰火电、垃圾焚烧、数据中心等的全年余热，全面实现余热零碳供热。以高温气冷堆、电/氢供热、生物质等多种技术，实现高温工业零碳用热。

为保障上述战略落实，必须深化体制机制改革。首先，应尽快制定顶层规划。要尽快出台新型热力系统建设的长期规划和五年规划并发布指导性意见，特别是要系统布局余热共享系统基础设施，实现全国一盘棋，确保热力供需高效匹配与余热资源集约利用。其次，应适度超前开展基础设施建设。要将新型热力系统建设纳入国家重大基础设施工程体系，建立跨省区、跨部门协调机制，系统布局、分批推进各类余热共享系统的基础设施建设，完善跨季节蓄热设施的土地审批与环评制度。要发挥“规划引领+市场运作”双重效能，引导多元主体参与，推动适度超前建设。再次，应健全政策激励机制。建立热量按温度品位的核算方法和定价机制，算清经济账，保障建设相关方投资共担、利益共享，激发余热回收内生动力。

（文章来源：科技日报）

中国制冷学会新增会员名单

单位会员	单位名称		单位名称	
	江苏佳宝空调有限公司		浙江凯来利制冷设备有限公司	
	杭州金久电器有限公司		安徽加士迪环境科技有限公司	
	浙江金勒普汽车零部件有限公司		海信冰箱有限公司	
	泰兴梅兰新材料有限公司		浙江零跑科技股份有限公司	
高级会员	姓名	单位	姓名	单位
	侯慧敏	海尔集团	麦智炜	广东美的暖通设备有限公司
	廖昊天	上海天华建筑设计有限公司成都分公司	王晓勇	东莞市硅翔绝缘材料有限公司
	王鹏轩	吉林建筑大学	文玉良	东莞市硅翔绝缘材料有限公司

中国制冷学会十一届四次常务理事会会议在京召开

2025年8月8日上午，中国制冷学会十一届四次常务理事会会议在京召开，49位常务理事（3人请假）、4位监事（1人请假）出席、列席会议。会议由中国制冷学会理事长何雅玲主持。



会上，由中国制冷学会副理事长兼秘书长李晓虎传达了中国科协《世界一流学会建设指标体系（试行）》说明及评价工作答问；审议通过了“中国制冷学会2025年上半年工作总结及下半年工作安排”；审议通过了学会现有工作委员会的换届，以及“关于增设中国制冷学会人工智能应用工作委员、中国制冷学会液冷技术工作委员会、中国制冷学会国际合作工作委员会等3个工作委员会的建议”；同时重点围绕卓越人才吸引力、科技期刊影响力、科普活动效益、产业服务水平、外籍和港澳台会员的比例等学会有待进一步提升的世界一流学会建设指标进行讨论。

与会常务理事认为2025年上半年学会工作务实、创新、接地气，社会影响力和服务能力持续提升，并希望学会以服务国家发展战略和行业需求为核心，聚焦国际化、标准化与科技创新，系统性规划中长期发展目标。卓越人才吸引方面，建议吸引跨界领域技术人才，强化青年人才培养机制；科技期刊方面，锚定制冷科技前沿，助力企业重要研发成果发表；科普活动方面，可设立学会科普奖，鼓励科普教育基地等发挥科普阵地优势；产业服务方面，加强产学研合作，推动制冷技术与AI、储能等领域的跨界研究，跟踪学会制定的各类标准实施后的行业采信情况，推动优秀团行标转为国标；国际影响力方面，加快学会官网英文版建设，吸纳外籍会员，通过国际会议增强话语权。

何雅玲理事长在总结发言时表示：当前，国家科技发展迈入全新历史阶段，我国在制冷技术及其相关领域已成功跻身国际前沿，并在多个关键方向实现全球引领。面向未来，学会肩负着光荣使命，必须立足国家重大战略需求，锚定建设世界一流科技组织的宏伟目标，科学擘画制冷行业未来发展战略。要着力强化学术引领与决策智库的核心支撑作用，在国际化布局上寻求突破性进展，尤其要大力延揽战略科学家等顶尖人才。以此加速驱动学会向世界一流迈进，为服务国家经济社会高质量发展和产业升级贡献核心力量。

最后，与会常务理事听取了由中国制冷学会监事长刘长永所作的监事会意见报告。

附：中国制冷学会工作委员会名单

中国制冷学会《制冷学报》编辑工作委员会
中国制冷学会学术工作委员会
中国制冷学会专家咨询委员会
中国制冷学会科学技术奖励委员会
中国制冷学会工程能力建设工作委员会
中国制冷学会继续教育工作委员会
中国制冷学会科普工作委员会
中国制冷学会冷链工作委员会
中国制冷学会科技评估工作委员会
中国制冷学会节能环保技术与信息化工作委员会
中国制冷学会团体标准工作委员会
中国制冷学会车辆热管理工作委员会
中国制冷学会青年工作委员会
中国制冷学会《制冷学报》青年编辑工作委员会
中国制冷学会新型储能技术及综合能源系统工作委员会
中国制冷学会产学研融合工作委员会
中国制冷学会家居环境工作委员会
中国制冷学会工业制冷工作委员会
中国制冷学会人工智能应用工作委员会
中国制冷学会液冷技术工作委员会
中国制冷学会国际合作工作委员会

（范薇 撰稿）

“CHPC·中国热泵” 2025 热泵产业用户生态大会 在天津召开

为全面落实国家发展改革委等部门《推动热泵行业高质量发展行动方案》的部署要求，进一步促进热泵技术创新、产业升级与生态协同，推动绿色低碳发展，助力实现碳达峰碳中和目标，“CHPC·中国热泵”2025热泵产业用户生态大会于8月21日在天津开幕。



会议现场

本届大会共安排了以工业与高温热泵系统应用、商用/户式热泵系统高质量服务发展、农林牧副渔热泵技术应用、建筑环境热泵技术应用、热泵前沿技术应用发展、冷媒替换方案与润滑油应用发展、热泵在多能源耦合系统创新应用、热泵供暖设备性能优化与标准化、热泵关键部件优化应用、热泵在零碳工业园创新应用为主题的10个平行论坛，奉献超过70场报告。共有超过60家用户单位及协会组织，累计超过600人参加此次会议。



中国制冷学会常务理事、副秘书长荆华乾主持会议

会议开幕式由中国制冷学会常务理事、副秘书长荆华乾主持，中国制冷学会名誉理事长、清华大学江亿教授与天津市科学技术协会学会学术部（院士专家部）刘元刚部长分别致开幕辞与贺辞。

开幕式期间举行了“CHPC·中国热泵”2025—2026年度战略合作伙伴授牌仪式，海信中央空调荣获“CHPC·中国热泵”2025—2026年度全球高级战略合作伙

伴；中广欧特斯荣获“CHPC·中国热泵”2025—2026年度中国高级战略合作伙伴；太阳雨空气能荣获“CHPC·中国热泵”2025—2026年度中国战略合作伙伴。



中国制冷学会名誉理事长、清华大学江亿教授致开幕辞



天津市科学技术协会学会学术部（院士专家部）
刘元刚部长致贺辞

中国设备管理协会副会长兼节能降碳技术委员会主任、原国家节能中心副主任史作廷，国家发展和改革委员会能源研究所副研究员廖虹云，天津大学教授马一太，西安交通大学教授曹锋，香港理工大学教授王盛卫，中国科学院理化技术研究所研究员罗二仓，中国标准化研究院研究员成建宏，青岛海信日立空调系统有限公司技术支持部高级客户支持经理禹洋，浙江中广电器集团股份有限公司研发总监陈建红，美的集团楼宇科技事业部高级工程师马海涛等分别作大会主题报告。

来自海信中央空调、中广欧特斯、美的楼宇科技、丹佛斯、荏原、海尔热泵、瑞孚化工、天加、旌屹、霍尼韦尔、英华特、哈思、康普莱斯、冰轮环境、冰山冷热、长虹中央空调、诺赛水泵、盾安环境、同力、永瀚、力诺瑞特等企业代表、服务商代表以及用户单位共同出席，并就热泵产业现状以及未来发展前景展开了交流和探讨。

（高恩元 供稿）

中国制冷学会首届博士研究生论坛暨中国科协青托博士生交流会在东南大学顺利举办



2025年9月4—5日，中国制冷学会首届博士研究生论坛暨中国科协青托博士生交流会在东南大学顺利举办。本次论坛以“绿色制冷，创新未来”为主题，由中国制冷学会和东南大学主办，东南大学能源与环境学院、江苏省制冷学会、东南大学碳中和科学技术研究院、江苏省能源研究会碳中和专委会协办，威乐（中国）水泵系统有限公司为本次大会支持单位。

中国制冷学会监事长刘长永，江苏省科协党组成员、副主席冯少东，江苏省制冷学会名誉理事长吴百灵，中国制冷学会常务理事唐俊杰，东南大学原党委书记、副校长沈炯，东南大学研究生院副院长袁榴娣，江苏省科协学会部三级调研员杨剑，中国制冷学会副秘书长肖杨，江苏省制冷学会常务副秘书长黄浩良，江苏省工程咨询中心能源发展业务部主任林江刚，北京航空航天大学经济管理学院教授苏文平等来自全国20余所高校及科研机构的专家学者、博士生以及业界100多名代表参加本次论坛。

论坛开幕式由东南大学能源与环境学院副院长赵东亮教授主持。中国制冷学会监事长刘长永，江苏省科协党组成员、副主席冯少东，东南大学研究生院副院长袁榴娣，江苏省制冷学会名誉理事长吴百灵分别致辞。

大会特邀嘉宾报告环节由东南大学能源与环境学院副院长赵东亮教授主持。东南大学原党委书记、副校长沈炯教授，北京航空航天大学苏文平教授，江苏省工程咨询中心能源发展业务部主任林江刚正高级工程师，中国科协第九届青托、西安交通大学李梦杰助理教授，中国科协第十届青托、中国建筑科学研究院有限公司战斌飞高级工程师分别以“珍惜在校科研创新训练”“全

面认知自我、把握生涯机会-博士生职业生涯规划”“能源政策及转型背景、《能源法》解读及一些思考”“扎根真问题，续航烟火气：一名青托者的科研成长之路”“中国科协青年人才托举工程申报经验分享”为题作报告。

下午的博士研究生报告环节由上海理工大学副教授王佳韵和南京工业大学副教授王瑜主持，13名博士研究生围绕制冷前沿技术与创新方向展开分享。听完每位学生的汇报后，中国制冷学会常务理事唐俊杰、东南大学李舒宏教授、东南大学钱华教授、东南大学赵东亮教授等专家就学生在前沿制冷领域的理论、机理与技术应用问题进行了点评，为学生的下一步工作提供了指导性的建议。中国制冷学会监事长刘长永、中国制冷学会常务理事唐俊杰、中国制冷学会副秘书长肖杨、江苏省制冷学会常务副秘书长黄浩良为参会报告博士研究生颁发证书。

与会同时，部分参会嘉宾及学生赴威乐（中国）水泵系统有限公司常州工厂参观交流。



（赵全华 供稿）

“科创中国”液冷技术科技服务团两次赴内蒙古自治区开展活动

项目启动会召开

2025年7月15日上午，“科创中国”液冷技术科技服务团项目启动会在内蒙古自治区呼和浩特市召开。出席会议的有内蒙古科协、呼和浩特市科协、乌兰察布市科协、鄂尔多斯市科协相关负责人，服务团项目负责人、中国制冷学会副秘书长荆华乾，服务团团长、中国移动通信集团设计院信息建筑业务部（智算中心研究所）副总经理罗海亮，服务团首席专家、北京大学教授杨荣贵，内蒙古制冷学会秘书长张保军，服务团“蹲点”专家、中国移动通信集团设计院信息建筑业务部（智算中心研究所）高级研究专员石玉琦等。



会上，科技服务团专家组介绍了项目的整体情况、服务目标、重点工作、服务标准和进度安排，各方围绕成立服务团工作联络组、成立中国制冷学会服务站及项目推进等事宜进行了深入交流。内蒙古科协相关负责人介绍了内蒙古自治区相关产业发展现状及需求，并表示内蒙古科协将发挥桥梁纽带作用，加强协调，积极为服务团开展工作创造良好条件。服务团项目负责人、中国制冷学会副秘书长荆华乾介绍了中国制冷学会的主要业务，服务团将针对内蒙古自治区相关产业园区产业发展需求，聚焦技术攻坚、聚焦产业对接、聚焦人才培育，提供精准技术服务。

调研交流

2025年8月14—15日，在内蒙古自治区科协、呼和

浩特市科协、乌兰察布市科协、呼和浩特市林格尔新区管委会、乌兰察布市察哈尔高新区管委会等单位的大力支持和协调下，“科创中国”液冷技术科技服务团赴内蒙古自治区呼和浩特市和林格尔新区和乌兰察布市察哈尔高新区调研交流。参与调研交流的专家有：服务团团长中国移动通信集团设计院有限公司信息建筑业务部（智算中心研究所）副总经理罗海亮，服务团首席专家北京大学教授杨荣贵，服务团专家清华大学教授李震等。



座谈交流中，服务团专家与乌兰察布华为云计算技术有限公司、阿里巴巴信息港（乌兰察布）有限公司、内蒙古优刻得信息科技有限责任公司、快手智能云（乌兰察布）科技有限公司、内蒙古亚信创业发展有限公司、中国银行保险信息技术管理有限公司数据分公司、乌兰察布万国浩诚数据科技有限公司、乌兰察布世纪云智算科技有限公司、乌兰察布博通世达科技有限公司、中金数据（乌兰察布）有限公司、内蒙古嘉恒盈创科技有限公司、北京并行科技股份有限公司、内蒙古芯智能科技有限公司等园区企业进行了座谈交流。各企业的技术服务需求主要集中在风冷系统冷却极限、风液系统兼容与转换、液冷系统规划与工艺适配、液冷系统全生命周期经济性、水质管理与液冷工质检漏监测以及标准规范等方面。服务团专家针对技术需求提出了初步技术解决方案，后续将由蹲点专家持续跟进，推动问题取得实际进展与解决。

（张晓宁 供稿）

2025 相变储能技术研讨与应用实战研修班圆满结业



8月27—31日，由上海市制冷学会冷藏运输专业委员会联合上海市能源研究会新能源专业委员会等机构主办的“2025相变储能技术研讨与应用实战研修班”在上海成功举办并圆满结业。本次研修班创新采用“理论授课+深度研讨+实战观摩”三维培养模式，特邀上海海事大学章学来教授等相变储能领域权威专家授课，吸引来自全国的企业技术骨干、高校科研人员及国际留学生的积极参与。

政策与战略层面：章学来教授作为主讲专家，从“双碳”目标切入系统阐释能源转型框架，通过最新政策解读深入剖析政策-技术-市场三者的联动机制。

技术与应用层面：上海海立电器有限公司徐笑锋高级工程师等多位专家结合相变材料、相变蓄冷、清洁能源采暖等内容进行系统性分享。

实操与科研层面：上海海事大学禹国军副教授等3位专家分别针对数值模拟与仿真工具应用的实操、储能领域SCI论文的写作技巧与发表策略、创新项目构思方法与项目书撰写规范等进行讲解。

8月31日组织了实验室实战观摩环节。参训学员分为4个小组，在上海海事大学商船学院E楼、F楼相变储

能实验室开展沉浸式学习。实践内容涵盖多个维度：从电池热管理系统中的相变材料应用演示，到DSC（差示扫描量热仪）、HOT DISK（热常数分析仪）等专业设备的实操训练（重点掌握相变材料性能测试方法）；从相变凝胶制备全流程展示，到光热光伏耦合（PVT）技术的系统解析，再到二元冰制备实验。专家现场为学员解答了CPCM（复合相变材料）焓值与导热系数优化的技术难题，这种实战指导更具启发性。

8月31日下午组织了结业典礼，章学来教授发表结业致辞。结业典礼现场，与会专家共同呼吁行业“加强技术联合攻关、共建行业标准体系、推动资源共享对接”，以促进相变储能技术从“实验室研究”向“规模化应用”转化。结业典礼过程还组织了圆桌会谈活动，产学研用各方代表进一步达成共识：当前行业正处于从“技术探索期”向“产业落地期”转型的关键阶段，亟需组建“高起点行业职能平台”，统筹推进标准制定、研发资源共享和市场需求对接，同时积极向主管部门争取政策支持——包括扩大项目补贴范围、完善峰谷电价套利机制、建立行业准入体系等配套措施。最后，主办方为全体学员颁发结业证书。

（上海市制冷学会 供稿）

2025 中国制冷学会学术年会（CAR2025）第三轮通知

2025中国制冷学会学术年会将于2025年11月10—13日在湖南省长沙市举办，本届年会主题为“创新提质，绿色高效”，将就行业内的热点问题进行讨论，现将各项事宜通知如下：

一、组织机构

主办单位：中国制冷学会

协办单位：国家节能环保制冷设备工程技术研究中心、湖南省制冷学会、中南大学、湖南大学

二、日程安排

报到日期：11月10日

会议日期：11月11—13日

三、会议地点

长沙世纪金源大饭店

地址：湖南省长沙市开福区欣彤路110号

电话：0731-85958888

四、会议内容

1. 高端论坛

(1) 构建新的零碳热力系统——江亿 教授，中国工程院院士、中国制冷学会名誉理事长、清华大学

(2) Sorption thermal battery and CO₂ capture-integrated ERV system for plus energy building applications——Yong Tae KANG 教授，韩国科学技术翰林院院士、高丽大学

(3) Development of Air-Conditioning Technologies for Next-Generation Refrigerants in Japan——Akio Miyara 教授，日本冷冻空调学会荣誉会员、佐贺大学

2. 主题论坛

(1) 如何突破百年的莱顿弗罗斯特效应及实现高效液冷——王钻开 教授，香港理工大学协理副校长（研究及创新）

(2) Rational heat decarbonisation within a national net-zero strategy: A UK perspective——Christos N. Markides 教授，帝国理工学院

(3) 中国储能技术与产业最新进展与展望——陈海生 研究员，中国科学院工程热物理研究所所长

(4) 低温科学与技术全国重点实验室简介及相关研究进展——高波 正高级工程师，中国科学院理化技术研究所副所长、低温科学与技术全国重点实验室主任

(5) 中低温热力电池（热泵储电）的实验研究与探索——张小松 首席教授，东南大学

(6) 低温制冷与国际月球科研站——沈俊 教授，

北京理工大学

(7) 缓解城市热岛效应的光热动态调控与太阳光谱协同利用研究——谭刚 讲席教授，浙江大学

3. 专题分论坛

(1) 数据中心（智算中心）冷却技术论坛

(2) 储能系统与设备论坛

(3) 跨季节储热与零碳供热论坛

(4) 可持续能源驱动的新型冷/热技术论坛

(5) 低碳建筑智慧能源论坛

(6) 低温生物医学论坛

(7) 强化换热及换热器技术论坛

(8) 喷射器与涡流管理论、技术及发展战略论坛

(9) AI用能论坛

(10) 新型物理场食品保鲜技术论坛

(11) 固态制冷技术及应用论坛

(12) 北方地区热泵系统运行性能测试验证与研发论坛

(13) 高温工业热泵论坛

(14) 工业制冷/制热技术论坛

(15) 压缩机技术与系统论坛

(16) 无油压缩机技术与系统论坛

(17) CO₂制冷技术论坛

(18) 除霜技术发展论坛

(19) 吸收式能源技术论坛

(20) 多能互补技术论坛

(21) 多联机技术论坛

(22) 空调产业标准与发展论坛

(23) 制冷剂替代技术发展论坛

.....

年会面向业界征集设立专题论坛，有意向的单位或个人，请与会务组联系。

4. 论文张贴与综合展示

年会设置展示专区，包括论文张贴、企业宣传展示。欢迎制冷相关单位或企业参加，介绍和展示新产品、新技术。

5. 同期活动

中国制冷学会科学技术奖颁奖仪式、中国制冷学会资深会员授牌仪式、中国制冷学会学术工作委员会工作会议等。

五、征文要求

1. 请登录2025年会网站：car2025.car.org.cn，在线

注册投稿参会;

2. 论文格式要求详见2025年会网站;

3. 本次年会只接受在线注册投稿, 请勿以附件形式发送稿件至邮箱;

4. 全文截止: 2025年9月1日;

5. 录用通知截止: 2025年9月15日;

6. 年会组委会将组织专家评选“优秀论文”。

六、参会注册及酒店预订

1. 注册费用

普通代表注册费: 2000元

单位和个人会员代表及论文作者注册费: 1500元

学生代表注册费: 1200元

学生会员代表注册费: 1000元

2. 酒店费用

长沙世纪金源大饭店

地址: 湖南省长沙市开福区欣彤路110号

大床房/标准间: 400元/(间·天, 含早)

3. 报名参会

请登录2025年会网站: car2025.car.org.cn, 或扫描二维码在线注册缴费、预订酒店。



汇款账户如下: (如需汇款, 请注明“2025制冷年会注册费+参会人员姓名”, 报到时请出示汇款单底联复印件)

户 名: 中国制冷学会

银 行: 招商银行北京西三环支行

账 号: 862081206710001

七、其他

欢迎各位专家针对主题报告和专题安排提出意见, 企业积极支持本次年会。

八、会议筹备组

联系人: 张晓宁、吴彤、张凯、高恩元、赵国君

地 址: 北京市海淀区阜成路67号银都大厦10层, 100142

电 话: 010-68719983、010-68711615

邮 箱: car2025@car.org.cn

《中国制冷简报》稿件征集启事

《中国制冷简报》是由中国制冷学会主办的反映制冷空调行业综合信息的刊物, 每年六期, 逢单月出版。

本刊主要读者分布于各专业设计院、大专院校、设备制造企业、专业工程公司、制冷空调使用单位及与制冷空调专业相关的各个行业。发行量为10000册/期。目前主要有企业专题, 人物访问, 行业信息, 学会动态, 技术论坛, 产品介绍, 资格认证, 标准指南, 科技创新, 专利推广, 国际交流, 展会、学术会议信息等板块。为充分利用《中国制冷简报》这个交流平台、加强各单位间的信息沟通和业务联系, 现征集行业内广大企业信息稿件, 来稿应能反映我国制冷行业新发展、新气象。如新产品发布、新技术推广、专利发明、工作经验杂谈以及各类动

态新闻, 凡学会团体会员均可免费刊登亦可指定单位内人员加入本刊通讯员, 建立长期联系, 定期提供、更新信息。

新闻稿件应真实、及时、简练扼要。学术论文稿件应立论科学、论据可靠、数字准确, 并应为能公开发表的数据, 如有引用文献资料需在文中标明。所有来稿均字数不限。

本刊反对一稿多投。根据著作权法的有关规定, 编辑部对来稿有权做文字性和技术性的修改、删节。如有特殊情况请在稿件附言中注明。

稿件一经录用将酌情发放稿费。为了提高办公效率, 本刊一律使用电子信箱投稿。

编辑部 E-mail: wfan@car.org.cn.

国家能源局发布《中国氢能发展报告（2025）》

近日，国家能源局能源节约和科技装备司组织行业相关机构和专家共同编制的《中国氢能发展报告（2025）》已发布。《报告》聚焦国内外技术和产业发展，系统梳理了2024年全球氢能产业发展动态，并对2025年中国氢能产业发展进行展望。本刊对报告内容进行了摘编，全文请通过文末二维码获取。

一、世界氢能发展

近年来，美、欧、日、韩等国家和地区围绕能源安全、绿色发展、国际贸易等目标，陆续发布国家氢能战略，中东、南美、东南亚等新兴市场同步跟进。相关国家持续开展清洁低碳氢能试点示范，出台专项支持政策，推动贸易体系和标准体系建设，支撑氢能多元化应用。

储运技术装备方面，葡萄牙国家天然气运输网络（RNTG）完成10%~20%掺氢天然气运输、分配和储存能力认证，满足相关运营技术标准和法规要求；德国完成为期五年的500立方米地下盐穴储氢测试，对地下储氢技术的安全可靠性进行验证；日本氨燃料商船完成“卡车对船”燃料加注作业，为未来氨燃料船舶商业化奠定基础。

技术应用方面，多领域创新示范持续开展。交通领域，全球在营加氢站总数超1200座，同比增长超30%，主要国家燃料电池汽车保有量超过9万辆，同比增长超11%；氢基燃料船舶订单总数约200艘，占替代燃料船舶总量的39%；德国液氢重卡车队启动首批客户试验；荷兰燃料电池超级游艇完成海试，可采用液氢和甲醇转化两种形式存储燃料。工业领域，瑞典完成超5000吨氢还原铁试点。能源领域，美国建成投运以氢燃料电池为主要电源的兆瓦级离网模块化数据中心，支持高功率密度部署。

二、中国氢能发展

2024年，中国持续完善氢能产业政策措施，推动氢能技术装备创新，加快氢能在能源、交通、工业等领域推广应用。氢能作为前沿新兴产业列入《政府工作报告》，《中华人民共和国能源法》规定“积极有

序推进氢能开发利用，促进氢能产业高质量发展”。中国氢能全年生产消费规模超3650万吨，位列世界第一位。截至2024年底，各地建成可再生能源电解水制氢产能超12万吨/年，建成加氢站超540座，推广燃料电池汽车约2.4万辆，各领域试点示范取得积极进展。与此同时，中国积极推动氢能产业链、供应链、创新链合作，参与国际标准和认证体系建设，为全球能源转型贡献中国智慧。

氢能储运方面，70兆帕大容积IV型储氢瓶产品完成在智能氢轨车辆安装；5吨/天氢膨胀液化系统成功产出液氢；车载液氢系统通过低温性能及安全性测试；包头—临河国内首条具备掺氢输送能力的长距离高压管道项目竣工；城镇燃气30%掺氢燃烧和分离试验成功实施；深地大规模盐穴储氢库CQ-1井开钻。

技术装备方面，5兆瓦碱性电解水制氢系统一体化测试平台、50000标立方水平隧洞式岩洞氢储能系统、10吨/天氢膨胀多效循环制冷型氢液化系统、275千瓦钛基材料极板燃料电池电堆、20千瓦模组/200千瓦高温固体氧化物电解制氢装置以及30兆帕碳纤维缠绕氢气瓶及管束集装箱6项氢能技术装备入选国家能源局第四批能源领域首台（套）重大技术装备，覆盖氢能制储输用及质量检测全环节领域。

展望2025年，作为“十四五”规划的收官之年，也是“十五五”规划的谋划之年，中国将持续推动氢能产业政策接续发力，积极落实氢能纳入能源管理相关工作，加快推进氢能领域重大技术装备研制和应用示范，促进“制储输用”全产业链发展，进一步完善氢能产业生态、优化产业发展环境，为“十五五”时期氢能产业提质提速奠定坚实基础。



（信息来源：国家能源局）

国家能源局发布《中国新型储能发展报告（2025）》

近日，国家能源局能源节约和科技装备司组织相关机构和专家编制的《中国新型储能发展报告（2025）》已发布，《报告》研究国际新型储能发展形势，全面梳理2024年我国新型储能发展情况，并展望2025年新型储能行业发展趋势。本刊现摘编部分内容，《报告》全文请通过文末二维码下载。

一、各国新型储能技术不断拓展应用

2024年，各国持续开展新型储能技术创新探索。电化学储能领域，澳大利亚推动新型锂离子电池硅负极材料应用；美国和日本布局以铁-空气和锌-空气为代表的金属空气电池技术研究，正在推动技术示范。长时储能领域，美国、德国、日本等多国正在推进绝热压缩空气储能技术研究，英国建设了350千瓦/2500千瓦时液态空气储能中试平台。储能调控领域，美国、欧盟的研究机构在新型储能优化运行、集中控制等方面进行技术布局，英国、德国等国家探索新型储能智能化调度技术，推动新型储能替代电网投资。

二、国际多个新型储能重大项目落地

2024年，各国积极推动不同应用场景新型储能项目实施，多个大型新型储能电站落地应用。美国加州投运单站规模328.7万千瓦时锂离子电池储能项目，缅甸州建设8.5万千瓦/850万千瓦时铁-空气电池储能系统。英国苏格兰地区建设30万千瓦/60万千瓦时构网型储能项目，提升苏格兰电力保供能力。比利时建设70万千瓦/280万千瓦时锂离子电池储能项目，单站规模欧洲最大。在中东和非洲地区，沙特红海新城独立微电网项目投运，配置130万千瓦时智能组串式构网型储能系统；南非最大的光伏储能电站投运，其中锂离子电池储能规模为22万千瓦/114万千瓦时。

三、中国新型储能发展情况

2024年，我国持续完善支持新型储能发展的政策体系，强化规划引领作用，加大科技攻关力度，健全电力市场机制，充分发挥新型储能多元价值。与此同时，持续推动试点应用、健全标准体系、完善管理机制，引导新型储能健康有序发展。截至2024年底，全国已建成投运新型储能7376万千瓦/1.68亿千瓦时，装机规模占全球总装机比例超过40%。新型储能技术路线“百花齐放”，涵盖全球工程应用的主要技术路线，调度运用水平稳步提高，有力支撑新型电力系统建设。

1. 新型储能装机规模连年翻番

截至2024年底，全国已建成投运新型储能项目累计装机规模达7376万千瓦/1.68亿千瓦时，约为“十三五”末的20倍，较2023年底增长超过130%，全年新增新型储能装机4237万千瓦/1.01亿千瓦时。全国新型储能平均储能时长2.3小时，较2023年底增加约0.2小时，“十四五”以来储能时长呈上升趋势。

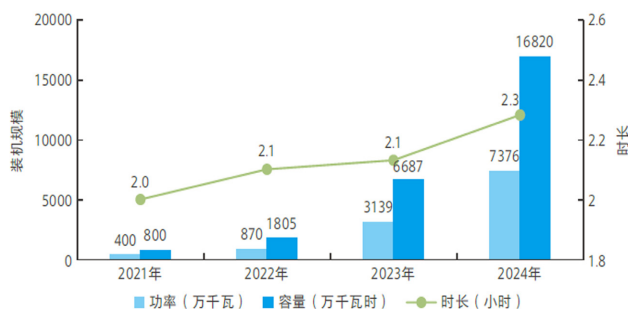


图1 “十四五”以来我国新型储能装机规模情况

2. 多类型技术路线加速落地实施

截至2024年底，各类新型储能技术路线中，锂离子电池储能占据主导地位，约占已投产装机的96.4%。压缩空气储能、液流电池储能等为除锂离子电池储能外的主要技术路线，占比分别为1.0%、1.0%。多个30万千瓦级压缩空气储能项目、10万千瓦级液流电池储能项目、单体兆瓦级飞轮储能项目投运，一批构网型储能项目落地实施，重力储能、液态空气储能、压缩二氧化碳储能等创新技术路线加速应用，新型储能技术总体呈现多元化发展态势。

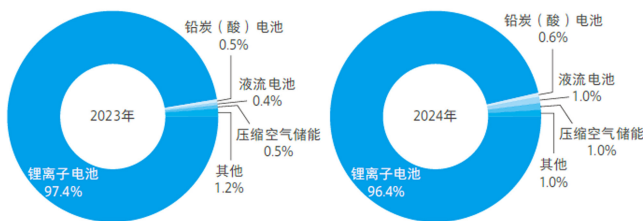


图2 新型储能项目技术路线分布情况

3. 各项储能技术创新取得新进展

（1）锂离子电池储能技术水平持续提升

锂离子电池储能聚焦大容量电芯、大规模集成、宽温域运行、长寿命使用等目标快速迭代。电池本体技术方面，多家储能企业发布500安时以上大容量电芯和单集装箱6000千瓦时以上储能系统，电芯能量密度

突破400瓦时/升，电芯循环寿命可达15000次。热管理技术方面，多家企业开展浸没式液冷技术研究，可实现电池运行温升不超过5℃，电芯温差小于2℃。系统并网技术方面，10万千瓦/20万千瓦时构网型储能电站黑启动和人工短路试验成功，故障时可无延时输出3倍短路电流，故障后可实现毫秒级电压恢复。

（2）多类新型储能技术向商业化应用过渡

压缩空气储能方面，我国30万千瓦级压缩空气储能关键装备取得突破，已研制出自主可控的空气压缩机、膨胀机、高效储换热装备等核心技术装备以及盐穴、人工硐室储气库建库技术。全钒液流电池储能方面，70千瓦级高功率密度单体电堆研发成功，单体电堆体积功率密度提升近两倍；高效非氟离子膜实现连续化中试生产。飞轮储能方面，多座火电+飞轮储能联合调频、独立飞轮储能调频电站并网运行，单体4000千瓦/1000千瓦时磁悬浮飞轮储能项目并网调试。

（3）一批新型储能技术加速示范应用

钠离子电池储能方面，电芯容量已达200安时，循环寿命超过5000次，可在-40℃稳定运行，部分产品已量产应用。液流电池储能方面，铁-铬液流电池已形成500千瓦电堆模块产品，单堆循环次数可达20000次；水系有机液流电池高性能电解液材料研发取得新进展。压缩二氧化碳储能方面，完成气-液互转亚临界压缩二氧化碳储能技术系统设计和成套装备研制，掌握二氧化碳压缩机、膨胀机、换热器、柔性气囊等核心技术装备的设计与制造工艺。液态空气储能方面，形成大型压缩机、膨胀机、冷低温泵、固相蓄冷器等关键装备制造技术。重力储能方面，实现发电/电动一体机、重物输送及装卸系统等关键装备自主研发。

（4）前沿新型储能技术前瞻性储备

固态电池、热泵储电、氢储能等一批颠覆性前沿新型储能技术加速发展，以应对未来新型电力系统对于多时间尺度、高安全性能存储的需求。半固态电池作为全固态电池技术研发的过渡技术，已具备小规模生产能力。全固态电池技术研发稳步推进，电解质材料、电池结构等方面不断创新升级。热泵储电技术已经从基础理论研究向关键技术装备研制过渡，兆瓦级中试工程开工建设。氢储能关键技术持续优化，单体产氢量3000标准立方米/小时碱性水电解制氢装备下线，400千瓦燃料电池电堆发布。

2025年，是“十五五”规划谋篇布局之年，也是推动中国新型储能迈向高质量发展的关键一年。面对新型储能发展的新形势新挑战，需加大核心技术装备攻关力度。结合新型电力系统多元应用场景需求，明确新型储能技术发展方向，整合优势力量开展攻关。推动龙头企业联合高水平科技创新平台、高校、科研院所开展共性技术研究、重大战略产品开发，推动开展大容量宽温域锂离子电池储能、高性能低成本液流电池储能、大规模压缩空气储能、构网型储能和混合储能等技术攻关。充分利用国家重点研发计划、国家能源研发创新平台等推动新型储能技术创新，依托新型储能试点项目、能源领域首台（套）重大技术装备等，促进新型储能创新技术转化应用。



（信息来源：国家能源局）

欢迎关注“制冷学报”“中国制冷简讯”微信公众号



制冷学报公众号



中国制冷简讯公众号

上海交通大学制冷与低温工程研究所联合中国科学院力学研究所完成国际首次液氧微重力落塔实验

近日，上海交通大学制冷与低温工程研究所吴静怡教授和杨光副教授团队联合中国科学院力学研究所赵建福研究员课题组，在北京落塔成功完成了国内首次低温流体短时微重力可视化实验。这也是国际上首次以液氧为工质的地基短时微重力落塔实验。



低温液氧两相流落塔实验台

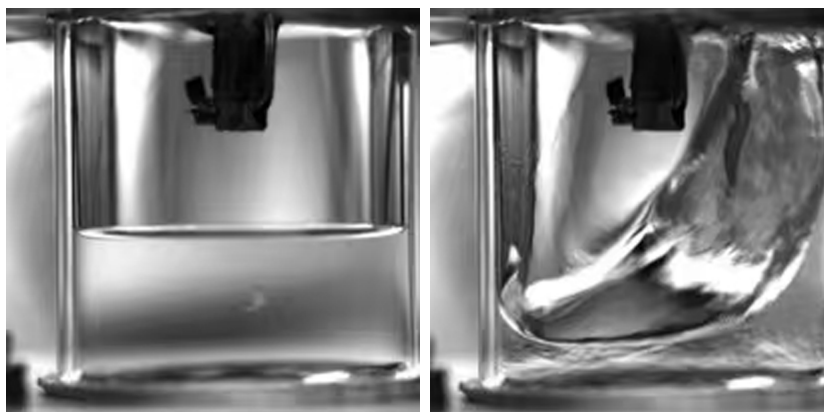
航天器发射的绿色化及高比冲需求，使得低温推进剂的研究日益受到重视。其中，液氧作为氧化剂，在不同重力环境的行为对航天推进技术发展具有至关重要的影响，显著影响着航天器发动机燃料供给系统的稳定性。液氧处于 -183°C 极低温区，展现出诸多特殊性质，包括表面张力、黏度、汽化潜热等物理性质

与常温流体截然不同。

项目团队历时 1 年多的技术攻坚，先后解决了低温可视化、实验参数精确控制、实验安全性保障等技术难题，完成了模拟贮箱落塔实验装置研制、实验流程设计和地面测试验证等，最终完成了对液氧-氧气两相系统在微/变重力环境下气液界面演化行为、相变传热及贮箱内温度和压力的动态变化过程的实验研究。

本次落塔实验采用单舱模式，微重力水平可达到 $10^{-3}g$ ($g=9.8\text{ m/s}^2$ ，为地面重力加速度)，微重力持续时间约 3.6 s。实验准备阶段，首先利用液氮将模拟贮箱腔内的高压氧气冷凝为液氧，并利用高速相机对模拟贮箱内流体界面进行了可视化测试。在模拟贮箱内液氧充注率达到设计要求后封舱，然后将单舱及其内部的实验装置一起吊装到 83 m 高度释放机构位置，待实验装置状态确认无误后释放落舱，对其内部液氧-氧蒸气两相系统在重力变化下的响应行为进行观测。本次落塔实验成功获得了微重力状态下液氧气液界面的波动及热力学特性，分析了异质增压氦气、充注率、气枕区压强等多种因素的影响。这一突破性实验将为低温推进技术、低温推进剂在轨长期存储与管理等关键技术发展提供重要的数据支持，也将极大促进对低温气液两相流动与相变传热规律的认知。

本项实验获得国家自然科学基金项目 (No. 52276013、No. 51936006)、上海市市级科技重大专项、国家重点研发项目和微重力重点实验室开放课题 (No. NML202408) 支持。



落舱释放前（常重力）的液氧界面（左）和回收阶段的液氧界面（右）

（信息来源：上海交通大学制冷与低温工程研究所）

北京大学杨荣贵教授在喷雾冷却方面取得新进展

背景介绍

在5G通信、人工智能和高性能计算等应用驱动下，高热流密度电子器件的持续发展正使其功率密度呈指数级攀升，迅速逼近传统风冷与液冷技术的性能极限；而后者逐渐难以同时满足当今的超高传热性能与紧凑结构设计的需求。

喷雾冷却（Spray Cooling）通过将液体工质雾化成液滴，撞击换热面以实现冷却。两相的喷雾冷却换热综合利用了强制对流、液膜蒸发和薄液膜沸腾的换热机制，具备高热流散热能力和良好的表面温度均匀性，被视为突破高功率器件与设备散热瓶颈的潜在方案。然而，其换热性能同时受喷雾特性与表面结构特征的显著影响，且展现出显著的多尺度特征，实现高效稳定的传热仍存在挑战。

成果掠影

近日，北京大学杨荣贵教授与华中科技大学刘修良副教授团队在喷雾冷却领域取得重要进展。研究提出了一种结合高精度3D打印与模板辅助电沉积的增材制造技术，制备出3D有序微纳多级结构表面，并系统评估其喷雾冷却换热性能，获得了迄今报道的最高实验值。结果表明，该结构显著促进了液滴铺展、沸腾及汽泡脱离过程，使得平方厘米面积上临界热流密度（CHF）达到1273 W/cm²，较铜网表面提升约

128.2%；最高传热系数（HTC）高达443.7 kW/(m²·K)，较铜网表面提升超过262.7%。进一步分析发现，微米级结构骨架阵列与纳米级表面微孔的协同作用，能够缓解喷雾冷却中的汽液逆流，并持续促进薄液膜沸腾，从而在较低喷雾流量和液滴速度条件下实现高效散热。

该研究为高热流密度电子器件、数据中心冷却及航空航天热控系统提供了可工程化的表面构型策略，相关成果以题为“Record-high heat transfer performance of spray cooling on 3D-printed hierarchical micro/nano-structured surface”的论文发表在《Science Bulletin》期刊，并被选为当期封面。胡雍炎、雷逸凡两位博士生为论文的共同第一作者，刘修良副教授与杨荣贵教授为共同通讯作者。

图文导读

传统多孔结构虽具有较大的换热面积和较多的成核位点，但其致密无序的内部结构极大增加了汽泡排出阻力，加剧了汽液逆流问题，从而导致换热临界热流密度偏低。本研究创新性地结合3D打印技术与电沉积技术，开发了一种新型增材制造工艺，该工艺在微尺度金属结构制造方面展现出显著优势，为精细金属结构制备提供了新的技术路径（图2）。基于这一技术，本研究在铜基体上制备了3D有序微纳多级结构表面。该结构的基本单元为圆柱围绕形成的等边三棱柱，整体结构可分为镂空的三层，显著增加了表面积，提高了热交换效率。基本结构单元的孔隙与液滴尺寸匹配，使液滴能够直接进入结构内部润湿干涸区域。结构上的微槽可以作为液体快速运输通道。此外，独立的结构单元还可以限制汽泡的横向扩展，避免了大范围汽膜的形成。

本研究采用的封闭式循环喷雾冷却系统由喷雾系统、加热系统和测量系统三部分组成（图3）。喷雾系统包括储液箱、加热器、磁驱齿轮泵、换热器、冷凝器、制冷加热循环机和过滤器等部件，该系统可以确保去离子水以设定的温度、压力和流量喷射到换热表面。加热系统由加热台（铜柱、隔热材料、加热棒）和直流电源等组成，能够为加热面提供所需的热流量，确保实验中稳定的热传递。测量系统包括热电偶、压力表、流量计和数据采集系统，能够准确测量各项温度、压力参数。该系统可精准控制喷嘴-换热面

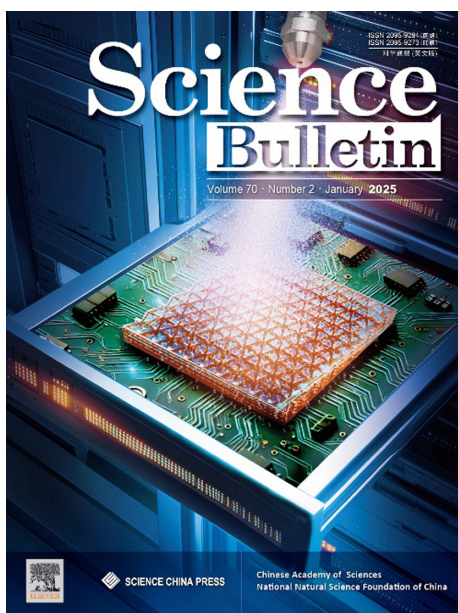


图1. 论文相关成果有望用于AI芯片高效热管理（被选为期刊当期封面）

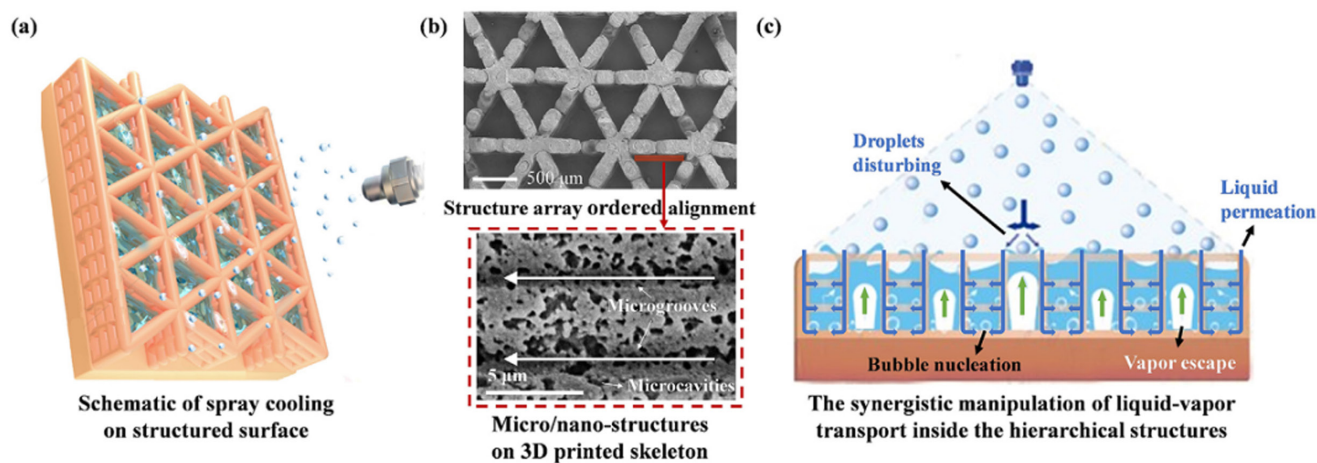


图2. 3D有序微纳多级结构表面

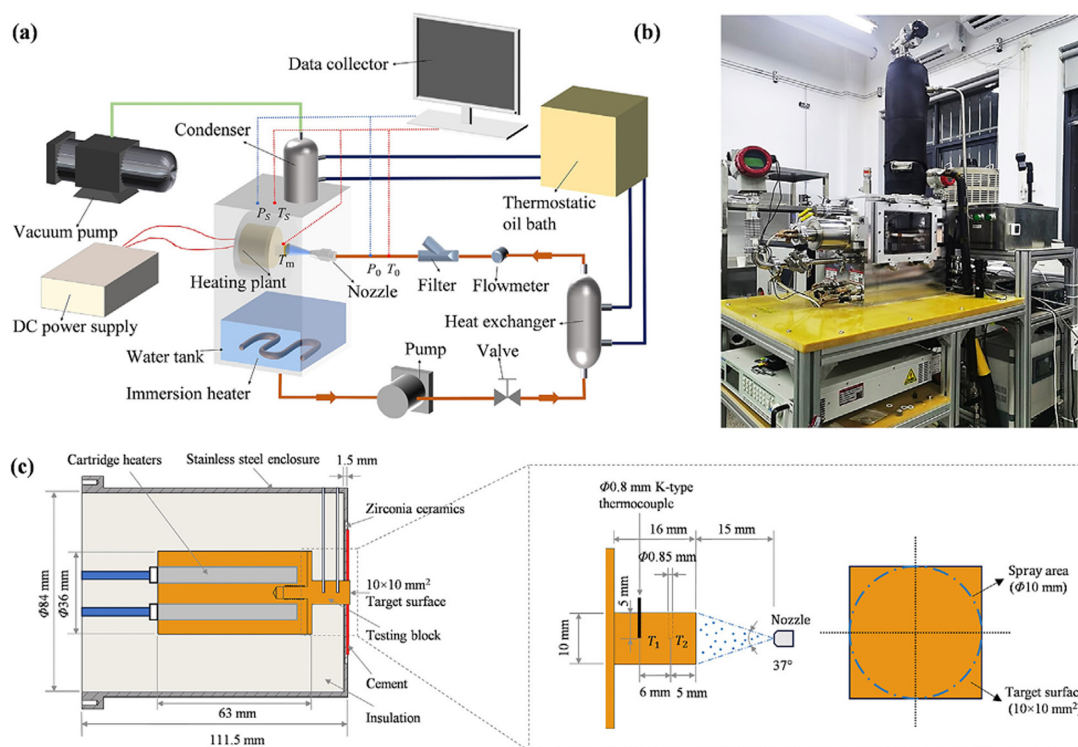


图3. 喷雾冷却实验系统

间距、喷雾流量、工质过冷度、喷雾入射角度以及腔体压力等关键参数，并具备可视化观测能力与超高热流密度 ($>1000 \text{ W/cm}^2$) 测量能力。

与光滑对照面相比，3D有序微纳多级结构表面在不同表面温度下均表现出更高传热系数，并实现了临界热流密度的显著提升（图4）。尤其在高热流工况下，实现了热流密度增加表面温度反而降低的沸腾反转现象，表明该结构有效延缓了液膜干涸并能持续促进薄液膜沸腾。

3D有序微纳多级结构表面在喷雾冷却中实现了热流密度增加时过热度反而降低的沸腾反转现象，从而获得了超高的传热系数（图5）。这是由于随着热流密度增加，剧烈的相变使液膜变薄，更多的结构从液膜中露出，从而增加了液膜蒸发面积；结构侧壁上大量的 $5 \mu\text{m}$ 微槽和微孔（直径约 $0.1 \sim 2.8 \mu\text{m}$ ）在高热流下逐步被激活为成核点，持续强化液膜沸腾，这两者共同作用促成了沸腾反转现象。同时，结构侧壁上的微槽能快速输运液滴，有序排列的结构表面具有较低的汽泡突破压力，有助于促进液体浸润和汽泡排出，克

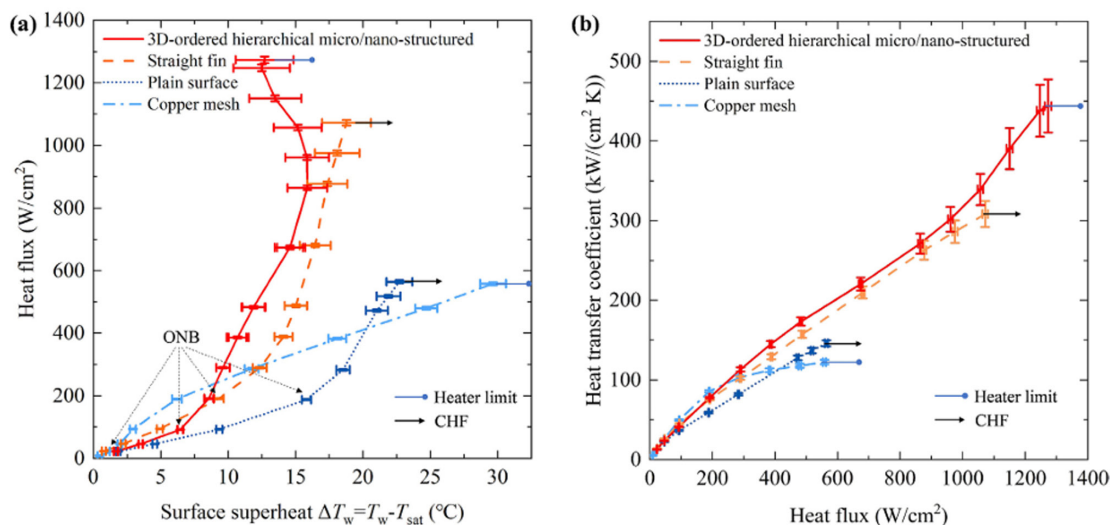


图4. 微/纳米结构表面的喷雾冷却传热性能

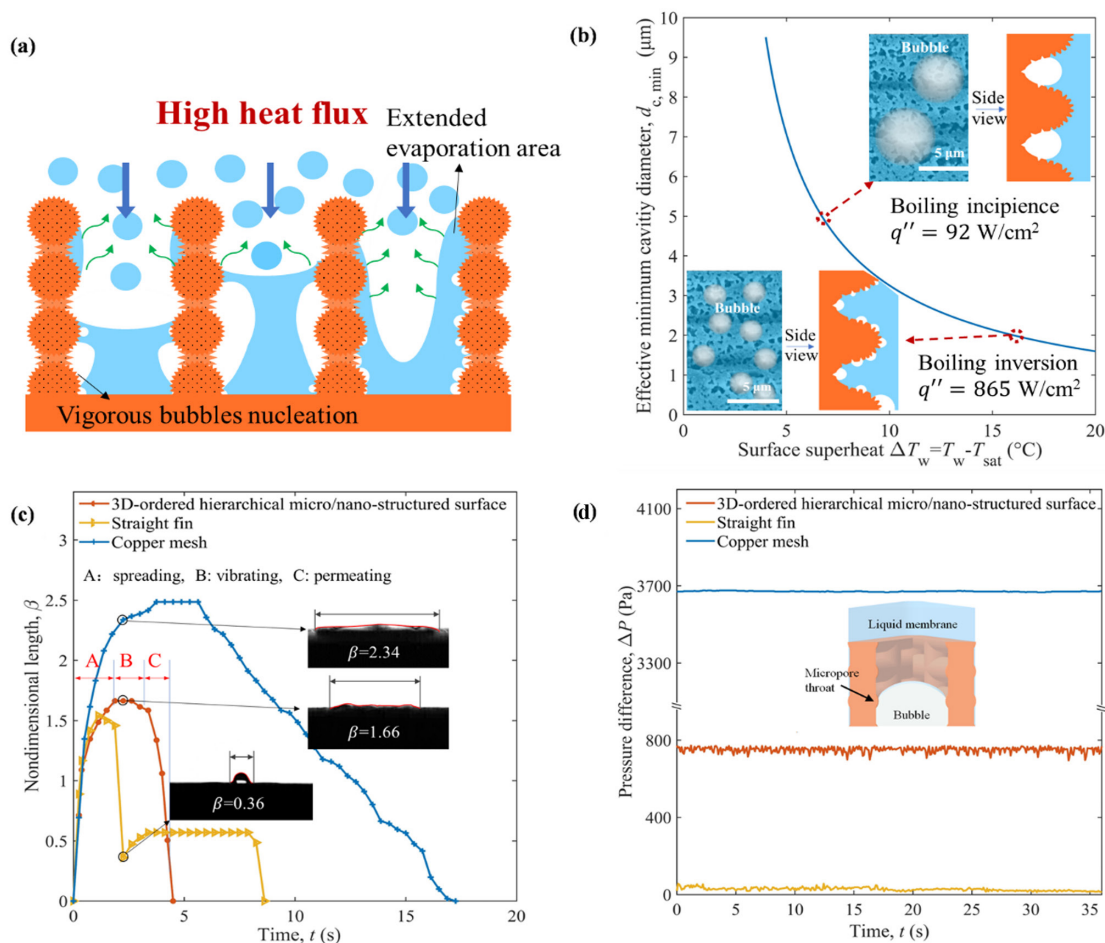


图5. 3D有序微纳多级结构表面上产生超高HTC的沸腾反转机理

服喷雾冷却中的汽液逆流，使得临界热流密度显著提升。

图6汇总了多种典型喷雾冷却表面的换热性能，包

括平面、翅片结构、微孔及各种复合结构等。结果显示，本研究的3D有序微纳多级结构表面表现出最优换热性能，超越了当前所有文献记载值：在1273 W/cm²的高热流密度下获得了443.7 kW/(m²·K)的极高换热系

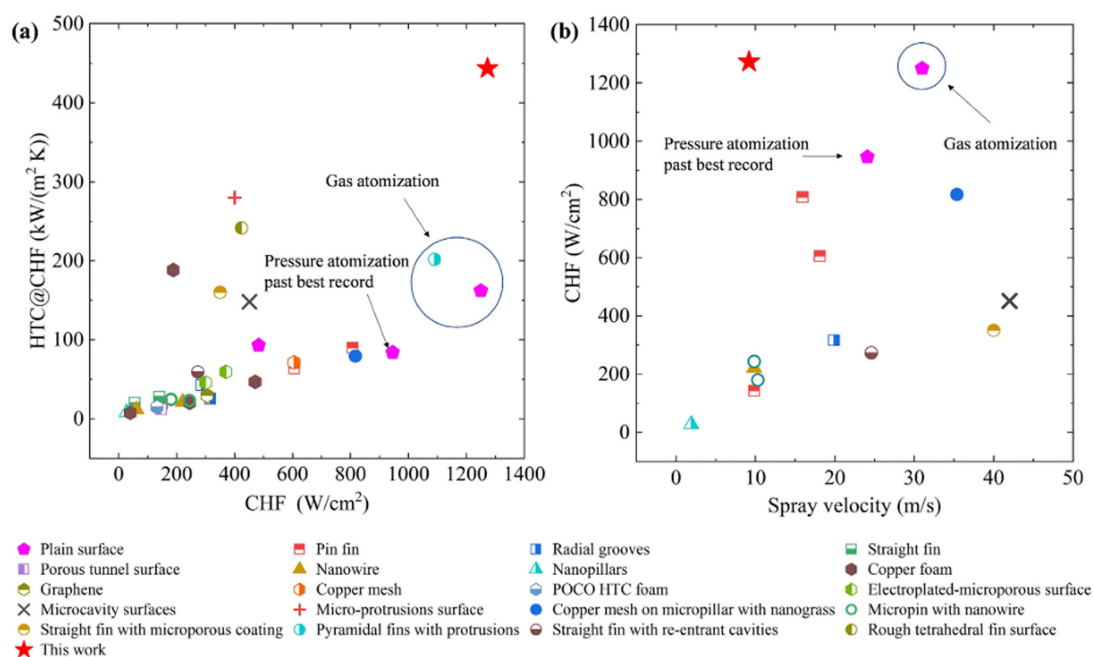


图6. 与文献中其他结构表面的喷雾冷却换热结果的比较

数。这种性能优势源于其独特的汽液协同调控能力：微/纳结构持续促进成核、3D 有序结构优化液膜供液与汽泡排出路径，有效抑制液膜干涸，使喷雾冷却在超高热流下依然稳定运行。

作者简介

杨荣贵，北京大学工学院讲席教授、博士生导师。杨荣贵博士于1996年获得西安交通大学电厂热能动力工程学士学位，1999年清华大学热能工程系工程热物理专业硕士学位，2001年加州大学洛杉矶校区微机电系统工程硕士学位，2006年麻省理工学院机械工程系博士学位。自2006年1月起，杨荣贵博士在美国科罗拉多大学博尔德校区机械工程系任职13年，历任助理教授、副教授（提前两年获得终身教职）、终身正教授。2018年回国，任华中科技大学能源学院二级教授，2024年5月调任北京大学工学院。杨荣贵博士深耕于传热学与能源领域，迄今为止已发表包括4篇Science（3篇在国内发表）、4篇Nature Materials、4篇Joule、1篇Review of Modern Physics在内的约280篇期刊论文。截至2025年8月，Web of Science总引用33000余次（他引32000余次），



H指数86；Google Scholar 总引用42000余次，H指数97，近一年度引用5000次以上，2021年起连年名列科睿唯安“全球高被引科学家”和艾思唯尔“中国高被引作者”。因其在能源与传热学领域的创新研究，杨荣贵博士于2008年入选《科技评论》评选的35位35周岁以下的“世界顶尖青年发明家”，2009年获得美国自然科学基金委杰出青年教授奖，2010年获得美国机械工程师学会Bergles-Rohsenow传热学青年学者奖，于2020年度获得国际热科学纪念奖Nukiyama Memorial Award等。

刘修良，副教授，华中卓越青年学者，主要从事电子器件与能源系统热管理、微纳尺度汽液相变传热、微纳功能流固界面传递调控等方面的研究。2016年博士毕业于上海交通大学，师从郑平院士。2016—2019年任职于中国船舶集团公司第七一九所，期间获聘高级工程师，于2019年调入华中科技大学。先后主持国家自然科学基金青年和面上项目、基础加强计划项目与重点项目子课题等，迄今发表包括Science Bulletin、ACS Nano、National Science Review、Nano Energy、Int. J. Heat Mass Tran.等期刊在内的SCI论文四十余篇，授权专利十余项。



胡雍炎，博士，主要从事电子器件热管理方面的研究。2015—2019年本科就读于华中科技大学能源与动力工程学院，2025年博士毕业于华中科技大学能源与动力工程学院，现就职于北京空间飞行器总体设计部。



雷逸凡，博士研究生在读，研究方向为喷雾冷却、热电和微通道冷却。2021年获得华中科技大学能源与动力工程学士学位。



课题组主页：<https://x-thermal.hust.edu.cn/xthermal/>

（信息来源：北京大学杨荣贵课题组、

洞见热管理微信公众号）

北京科技大学王存海、刘敬崇在 The Innovation 发表辐射制冷相关研究

随着全球能源需求持续增长与气候变暖问题日益严峻，传统制冷方式所带来的高能耗和碳排放问题日渐突出，迫切需要寻找一种绿色、可持续的降温替代方案。在这一背景下，辐射冷却技术因其无需外部能耗、可将热量直接辐射至冷阱（外太空）而受到广泛关注。过去研究多聚焦于材料设计与制备，但随着技术不断成熟，其“走出实验室、进入真实场景”的应用趋势日益显著。为厘清辐射冷却的实际应用价值与发展方向，本文对该技术在多个关键领域的应用进展进行系统梳理，涵盖建筑冷却、个人热管理、太阳能电池冷却、热电发电、淡水获取、粮食生产与储存以及其他新兴场景，并进一步分析当前面临的技术瓶颈与未来发展重点。通过对当前研究的深入探讨，本文展示了辐射冷却在各个领域中的进展和应用前景，为实际应用和原型设计提供了参考。相关工作以Radiative cooling applications toward enhanced energy efficiency: System designs, achievements, and perspectives为题发表在The Innovation期刊。

建筑冷却

辐射冷却在建筑中主要包括三类方案：被动式冷屋顶利用高反射与高辐射材料实现全天降温；主动系统结合空气或水流循环控制热交换，提升调温能力；而热/电致变色材料则能根据温度或电信号调节光学属性，实现智能保温与散热切换。多种策略共同助力建筑在不耗电的前提下实现节能降温（图1）。



图1 辐射冷却应用于建筑冷却

个人热管理

传统服装容易阻挡人体热辐射，而新一代“冷却纺织品”通过高红外透过率或高发射率设计，让身体热量迅速散出。在阳光下，这些衣物可让皮肤降温多达5℃。更先进的“双模式”面料甚至可以根据穿着方式实现“冬暖夏凉”。同时，彩色冷却织物的研发也解决了美观与功能难两全的难题（图2）。

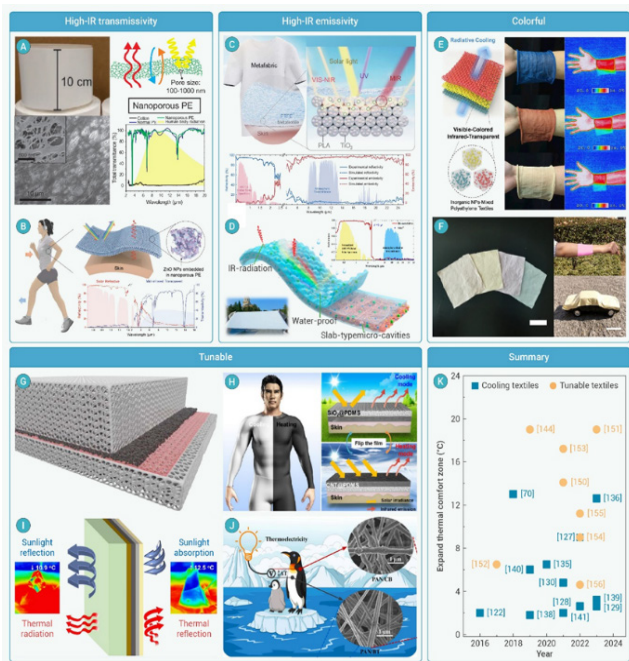


图2 辐射冷却应用于个人热管理

太阳能电池冷却

太阳能电池工作时常常因发热导致效率下降。加入辐射冷却结构后,可有效降低电池温度,从而提升电力输出、延长寿命。特别是在高效光伏电池中,精准调控材料光谱响应成为提升性能的新策略,也为未来光伏+冷却一体化器件提供了新思路(图3)。

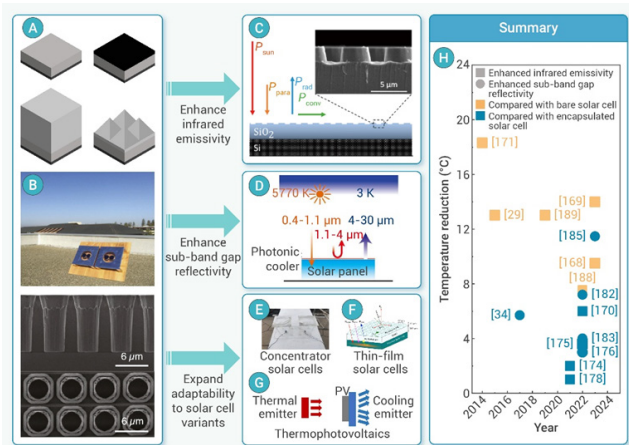


图3 辐射冷却应用于太阳能电池冷却

热电发电

热电发电机依赖冷热端之间的温差工作。将辐射冷却材料应用于冷端,可全天候维持温差,提升发电效率。结合太阳能加热、光伏发电等技术的集成系统已初步实现小功率的连续供能,适用于远程传感器、可穿戴设备等场景(图4)。

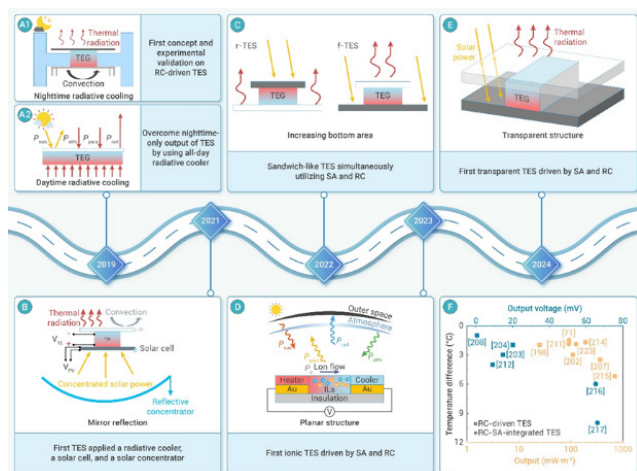


图4 辐射冷却应用于热电发电

淡水收集

在干旱地区,辐射冷却还能通过降低表面温度至露点以下,将空气中的水汽冷凝成液态水,从而实现空气取水。并通过合理的结构设计、材料优化与吸附脱附机制优化,进一步增加取水量。此外,辐射冷却还被用于提高海水淡化效率,甚至实现夜间“结冰淡化”,拓宽了无电取水的边界(图5)。

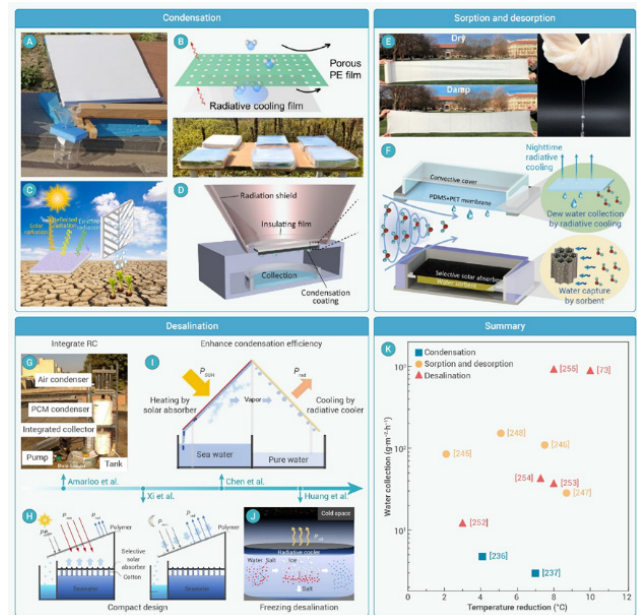


图5 辐射冷却应用于淡水收集

粮食生产与储存

在高温环境下,农业大棚内温度过高会抑制作物生长。新型透明辐射冷却膜不仅能隔热降温,还能透过对植物有益的可见光,已在白菜、萝卜等作物中显著提升产量。同时,利用辐射冷却对粮食、果蔬等进行储存控温,也有望降低因腐烂变质造成的损耗(图6)。

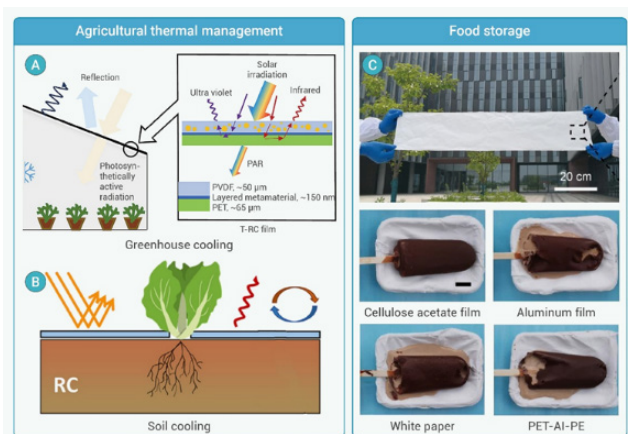


图6 辐射冷却应用于粮食生产与储存

其他新兴应用

辐射冷却技术正加速融入生活与工业系统：从提升舒适度的“空调口罩”、降低车内温度的汽车遮阳罩，到实现昼夜被动降温的冷能存储装置，甚至拓展至冰川保护及地球温控等前沿领域，展现出广泛的跨界应用潜力（图7，图8）。

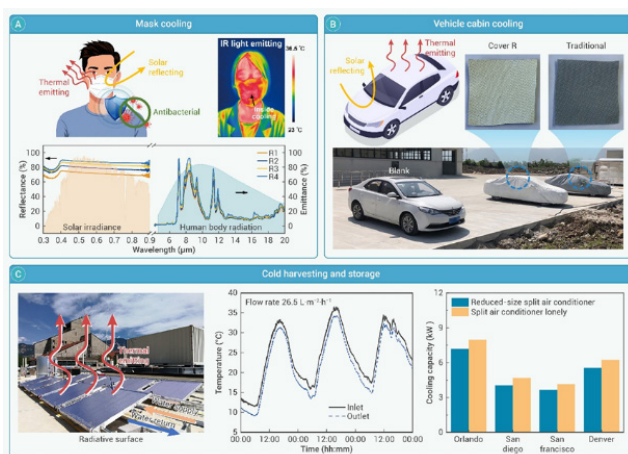


图7 辐射冷却在日常生活中的应用

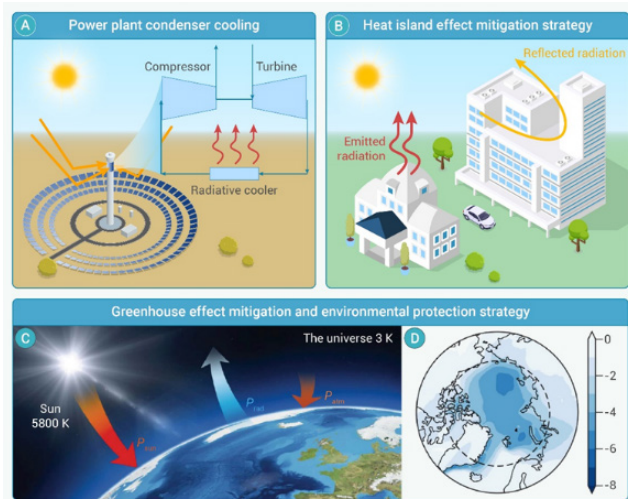


图8 辐射冷却在大型工程中的应用

展望

尽管辐射冷却应用潜力巨大，但在实际推广中仍需跨越多重障碍（图9）：一是需根据气候等条件进行应用前评估；二是满足审美需求的彩色设计仍有限；三是实现动态调节以适应不同环境；四是确保材料在健康与安全上的无毒性；五是提升耐久性以适应户外环境；六是进行全生命周期评估，确保其环境友好与经济可行。



图9 辐射冷却应用的挑战与展望

总结

在全球气候变暖与能源紧张日益加剧的背景下，如何实现不依赖能耗的有效降温，成为当前亟待解决的重要课题。辐射冷却技术因其无需能源输入、可将热量直接辐射至外太空而备受关注，具备广阔的节能减排潜力。为推动该技术更好地落地应用，本文系统梳理了辐射冷却在七大关键领域的研究进展与应用路径，包括建筑冷却、个人热管理、太阳能电池冷却、热电发电、淡水获取、粮食生产与储存及其他新兴场景。不仅总结了多种材料与系统设计策略，如冷屋顶、智能变色涂层、冷却纺织品、光伏集成结构、集水系统等，还归纳了不同应用场景下的性能表现与技术优势。此外，文章还深入分析了当前在材料颜色选择、动态调控、环境适应性、生命周期评估等方面面临的挑战，并指出未来的发展方向。通过综合分析和总结，本文为辐射冷却技术的广泛应用提供了理论基础和实践指导，突出了其在节能降耗和应对气候变化中的重要作用。

（信息来源：空天热辐射能量开发与利用微信公众号）

香港理工大学寿大华教授在 Science 发表可持续个人冷却织物相关研究

Science

Current Issue First release papers Archive About

HOME > SCIENCE > VOL. 389, NO. 6763 > SUSTAINABLE PERSONAL COOLING IN A WARMING WORLD

PERSPECTIVE | TEXTILE ENGINEERING

in

Sustainable personal cooling in a warming world

Advanced textiles and intelligent wearable devices can provide cooling under extreme heat

DAHUA SHOU AND ZIQU LI [Authors Info & Affiliations](#)

SCIENCE • 28 Aug 2025 • Vol 389, Issue 6763 • pp. 877-878 • DOI:10.1126/science.adt9536

2000年至2019年间，全球每年有超过48万人死于高温相关原因。在美国，空调系统平均占温室气体排放总量的12.3%，这加剧了全球变暖的恶性循环：制冷技术推升全球气温，进而导致制冷需求增长。日益频繁的全球热浪正将传统服装推向性能极限，催生了对个人冷却解决方案的需求。可持续冷却可穿戴设备应运而生，例如采用再生塑料瓶制成的透气纺织品和太阳能驱动的主动冷却装置，这些技术能在减少空调依赖的同时提供极端高温防护。

近日，香港理工大学寿大华教授作为第一作者兼通讯作者，在 Science 期刊上发表了一篇题为“Sustainable personal cooling in a warming world”的展望文章。该文系统探讨了如何通过织物结构设计实现可持续的个人冷却，为解决全球变暖背景下的热管理挑战提供了新的思路。

冷却主要通过四种机制实现：辐射、传导、对流和蒸发。出汗等自然人体冷却过程依赖蒸发机制——水分从皮肤蒸发时带走热量从而降低体温。而工程材料则通过调控辐射、传导和对流来实现温控。

辐射冷却：光谱选择性材料可调控特定波长电磁辐射（如光与热）的透射、反射和吸收。这类纺织品能有效阻隔外部环境辐射热并散发体热。例如，一种对人体中红外辐射（7~14 μm ）透明的纳米多孔聚乙烯织物，比棉织物可实现额外2.0°C的人工皮肤冷却效果。采用随机分散优化粒径与折射率颗粒的多层超材料织物，能散射反射紫外至近红外波段（0.3~2.5 μm ）的太阳辐射。这些纺织品通过大气透明窗口（8~13 μm 波长范围）向寒冷外太空辐射热量，但会吸收地面及建筑物发射的广谱城市热辐射（2.5~20 μm ）。目前已开发出能发射体表中红外辐射同时选择性减少城市热

吸收的多级结构织物。尽管前景可观，辐射冷却仍受环境因素制约：水分和污染会破坏辐射路径并蓄积热量，且根据斯蒂芬-玻尔兹曼定律，辐射传热随温度呈指数增长，需要足够的体表与环境温差，这在室内常受限制。融合对流和蒸发等其他机制可提升实际条件下的冷却性能。

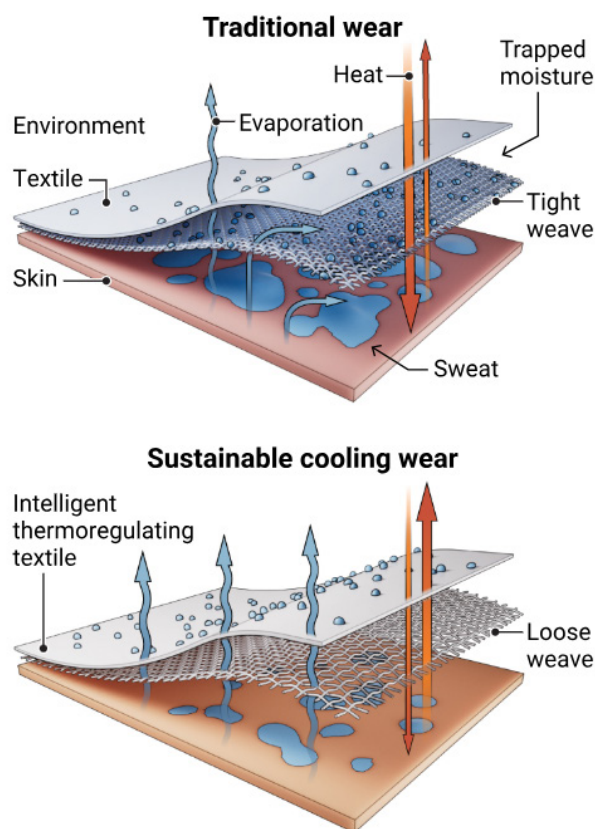
传导，通过原子振动、分子碰撞或电子传输实现热传递。纺织品接触皮肤时的冷热感知取决于其热容（升高特定温度所需能量）和热导率。常添加氮化硼颗粒等高热导率填料增强传导冷却；而优异绝热体（如静止空气）可阻隔极端环境热传递。受北极熊中空毛发启发的可编织气凝胶封装纤维，凭借高比例嵌入空气实现卓越隔热。

对流，由空气或流体驱动的对流通过通风散发热量。采用湿度响应纤维制成的多孔透气织物配合巧妙设计的flap结构，能促进热空气排出与冷空气吸入。对流还可通过加速皮肤汗液蒸发增强冷却效果。优化织物润湿性、纤维形状和孔径能导离多余汗液，提升蒸发效率并防止汗液蓄积。

融合先进纺织品与智能可穿戴技术可实现动态适应环境的可控冷却系统。虽然风扇服装和液冷背心（可选配相变材料）等商用产品已展现快速冷却能力，但常受限于过重重量和能耗。另一种轻质可穿戴变辐射装置，通过可调发射率与三维剪纸结构动态调控传热，将热舒适区扩展4.9°C。此外，柔性有机光伏模块与双向电热装置（通过电场施加/移除实现加热冷却）结合，可打造热舒适区达12.5~37.6°C的温控服装。尽管取得进展，许多可穿戴设备仍面临柔性不足、电池续航短和线路复杂等局限。

传统个人冷却技术在静态条件下表现良好，但难

以应对动态环境。开发响应式纺织品和自适应可穿戴设备是关键突破口。亟需实现根据温湿度变化或电场等外部刺激，自主调节纤维直径形状、孔隙率、厚度及热属性（导热性/发射率/反射率）的功能（见图）。这些功能可催生新模式选择温控策略——在特定温湿度范围内调控主导冷却机制：例如低湿高温环境下蒸发冷却更高效，而高湿条件下对流冷却更有利。类似二极管的单向传热概念（热量只出不进），可在极端温度严酷环境中实现高效定向温控。



穿得漂亮，保持凉爽。传统的可穿戴设备难以有效地释放热量和湿气。这些织物在极热下很快就会被汗水浸湿。将先进的纺织品与分层结构和智能可穿戴设备相结合，可以提供可持续的身体冷却。这些工程材料可以通过动态响应大气温度和湿度的变化来自我调节热量和排出汗水。

人工智能通过分析可穿戴传感器实时监测的体温、汗液、心率、湿度和压力数据，可预测个人冷却需求。这些智能系统能主动启动个性化冷却，并仅针对检测到的不适反应避免过冷。整合纺织传感器、纤维冷却器和柔性储能系统，可通过收集人体与环境能量（利用摩擦电/压电/热电/湿气发电机将机械能/热能/湿气能转化为电能），甚至利用汗液和血液中的营

养物质实现主动冷却。例如嵌入纳米粒子的智能织物具有高太阳辐射反射率和红外发射率，能有效实现热电自持续冷却。机器学习等人工智能技术还可通过优化四大冷却机制，设计全天候冷却技术——利用多目标优化系统探索织物厚度、结构架构、纤维直径、孔隙率和材料成分等参数，动态适应环境变化与人类活动，实现定制化冷却性能。

以人为本的设计需平衡性能、耐用性和穿戴舒适度。拙劣的纺织品设计会导致过度出汗，通过降低近红外反射率和增加吸热率损害传热效率。浸透汗液的衣物不仅加重重量，还会对可见光透明化影响遮阳能力。此外滞留水分会降低织物渗透性，削弱对流和蒸发冷却。应对策略包括：仿生织物能沿特定方向以液滴形式转移汗液，比蒸发干燥更高效；可水洗穿戴式电渗系统通过低电压驱动汗液透过织物，即使大量出汗也能保持皮肤干爽透气；多级纳米微结构织物通过优化表面积提升辐射发射率和太阳反射率，增强导湿散热能力。这些先进纺织品与智能可穿戴设备有望显著提升冷却效率，同时减少过度排汗和能耗。

下一代冷却技术应优先考虑可持续性。纺织业占全球温室气体排放5%~10%，57%的废弃服装进入填埋场，25%被焚烧。使用单一材料而非混纺可提升可回收性。许多冷却技术依赖表面涂层和化学处理，可能带来环境风险。天然纤维（如具有固有多级微结构的丝绸和羊毛）可优化用于太阳反射和蒸发冷却。未来应聚焦与现有系统兼容的可持续且成本效益高的方法，以加速推广应用。

然而要实现稳健可持续的个人冷却技术大规模应用，仍需解决多项挑战：整合纺织工程、人工智能、热力学、柔性电子和材料科学等多学科冷却机制和方法仍有改进空间；需要广泛建立冷却功率、性能系数（冷却效率与能耗比）、终端用户接受度和用户特定指标（热感觉/体温/代谢率）等标准化。

个人冷却技术不仅改变日常生活，更能满足极端环境下的关键需求。例如建筑工人、农业劳动者和消防员持续暴露于高温环境，高效冷却解决方案对预防中暑、保障安全与生产力至关重要。户外运动爱好者也可受益于配备生物传感器和自适应温控技术的胸带或主动冷却背心等智能设备。可持续个人冷却系统不止提供舒适性，更能在快速变化的气候环境下增强人类健康与表现。

（信息来源：高分子科学前沿微信公众号）

《蒙特利尔议定书》 ——让制冷造福人类的同时保护地球环境

臭氧知识

根据预测，南极上空的臭氧层将于本世纪60年代恢复到1980年前的水平



编者按：9月16日是世界臭氧日，本刊从制冷剂更替、中国行动、臭氧时间线3个方面系统地阐述了《蒙特利尔议定书》在保护地球环境方面作出的卓越贡献，欢迎大家阅读。

可以说，制冷技术是我们最伟大的发明之一。保持食品和疫苗的新鲜，并确保其安全供人类食用，已经彻底改变了我们的健康、幸福和预期寿命。

然而，制冷技术并不像我们想象的那样新。几个世纪以来，人类一直在使用冰和雪来保存易腐物品。然而，我们所知的现代制冷技术只有大约100年的历史。从19世纪末开始，科学家们开始尝试气体的液化和蒸发。但是，这些气体在家庭使用时产生了更广泛的影响。例如，氨气如果泄漏是有毒的，而当时使用的其他制冷剂气体，如甲酸甲酯和二氧化硫，是有毒且高度易爆的。因此，寻找更安全的替代品成为了当务之急。

制冷剂更替

从英雄到零

到20世纪20年代末，合成制冷剂——全氯氟烃（CFCs）已经被开发出来，使家用制冷的风险大幅降低。CFCs似乎完美地适应了现代世界。它们不会对陆

地、海洋或我们呼吸的空气造成损害。它们不会与其他物质在生物圈中发生反应，也不会溶解污染雨水，并且无毒且不可燃。不出所料，它们的应用变得越来越广泛。家用制冷变得价格实惠并迅速普及。

但是有一个陷阱。CFCs的高稳定性使其一旦释放就可以完好无损地到达平流层。在那里，紫外线（UV）将其分解，释放出破坏臭氧分子的氯原子。CFCs释放出的氯可以反复破坏臭氧分子。随着冰箱在我们家庭中变得越来越普及，我们对这些气体在高层大气中造成的破坏一无所知。但是，为什么一个受损的臭氧层会引起如此大的争议呢？

臭氧层是平流层中的一层薄薄的气体。当它被降至地面压力时，只有大约3毫米厚，但它是高效的防晒盾，几乎阻止了所有有害的紫外线辐射到达地球。臭氧层的减少，甚至更糟糕的是臭氧层的完全丧失，将会带来灾难性的后果。暴露在高水平的紫外线辐射下，将严重影响地球上的所有生物：植物、动物、生态系统和我们。

保护臭氧层

幸运的是，科学家们针对CFCs对臭氧层的危害向世界发出警告，1985年通过了《维也纳臭氧层保护公约》，为两年后1987年通过的《蒙特利尔议定书》铺平了道路，该议定书旨在减少消耗臭氧层物质的使用。

世界上所有国家签署了《蒙特利尔议定书》，同意停止使用CFCs，并开始使用替代制冷剂，如含氢氯氟烃（HCFCs）和氢氟碳化物（HFCs）。迄今为止，通过该议定书，99%的消耗臭氧层物质的生产已被逐步淘汰，臭氧层正在缓慢恢复。如果各国继续实施《蒙特利尔议定书》，预计臭氧层将在20世纪40年代中期恢复到1980年的水平，南极臭氧洞将在20世纪60年代中期恢复。

故事远没有结束

臭氧层的恢复仍然任重道远。完全恢复的途径在很大程度上取决于各国履行《蒙特利尔议定书》规定的义务，并解决任何可能影响臭氧层的新挑战。

但在这种恢复途径中，又有一个陷阱。虽然HFCs作为替代品引入时，并不会破坏臭氧层，但它们是具有环境影响的强效温室气体。一些HFCs比二氧化碳捕获热量的能力高出一万倍以上。为了拯救臭氧层，人们创造了一个需要解决的新问题。

再次重申，《蒙特利尔议定书》各方相信证据、科学和数据。虽然最初指出HFCs不破坏臭氧层，因此不在议定书的控制范围内，但各方仍然考虑其在环境和气候方面的影响，并对HFCs采取了管制措施。

2016年，各方同意《基加利修正案》，该修正案于2019年1月1日生效。批准修正案的国家承诺减少使用HFCs，并采用更环保的替代制冷剂。他们还被鼓励适应或使用更节能的冷却技术。

虽然我们都希望获得新鲜和健康的食物以及安全的疫苗，但这需要付出代价。随着世界变暖和生活水平的提高，对冷却设备的需求也在增加；正是这些设备排放了HFCs，并增加了我们大气中温室气体的水平。

科学家们估计，全面批准和遵守《基加利修正案》，到2100年可以避免高达0.5℃的升温。结合设备能源效率的改进，这可能会在本世纪末加倍到1℃。到目前为止，198个缔约方中的163个已经批准了该修正案。

打击非法贸易

在2023年为缔约方召开的加强《蒙特利尔议定书》有效实施和执行的研讨会上，其中一个关键点是全球受控物质非法贸易的规模和范围。货物的出口、进口和再出口可能在自由贸易区内部进行，作为转运的一部分，或者在很少监测或海关控制的情况下跨越领土边界。这种非法贸易的规模通常未知，但普遍认为超出了缔约方报告的案件。

为了支持符合国家标准的边境控制，海关当局也与他们的环境counterpart合作，采用各种方法来检测和拦截非法运输物质的企图，包括风险评估、文件检查和在边境进行随机检查。OzonActio的出口前预先知情机制（IPIC）机制和世界海关组织（WCO）的先进货物信息系统中已经出现了一些重要的方法来防止这种贸易。与行业合作有助于获取有关市场状况和潜在欺诈活动的有用见解和情报。这些例子表明，解决这个问题需要多方面的方法。海关和边境官员的培训和能力建设以及跨界和边境当局的合作也需要成为这一框架方法的一部分。

在缺乏所需许可证或分配的配额已被超出的情况下，未能遵守规定的一方还可以采取更严厉的措施。所有这些措施不仅有助于打击非法贸易，还能通过更好地告知利益相关者来预防非法贸易，这些利益相关者通常对流程和程序不够了解。国家控制受控物质生产和消费措施的公开信息也有助于提高意识、促进合规并创造合规的文化。

在此我们强调，各项国际公约作为可持续制冷关键驱动力的重要性。其普遍批准将增加对更多技术娴熟的技师、工程师、设计师和建筑师的需求，并推动创新，以改善制冷获取并支持生计。

中国行动

成效显著

中国自1991年加入《蒙特利尔议定书》以来已累计淘汰消耗臭氧层物质总量约62.8万吨，占发展中国家淘汰量一半以上，同时累计避免了260多亿吨二氧化碳当量温室气体排放。基于北京大学团队及联合国环境规划署的研究成果，到2050年中国因削减HFCs可带来300~400亿吨二氧化碳当量的气候效益，可为避免0.5℃全球平均升温贡献三分之一力量。

履约伊始，我国率先编制国家方案，首创提出行

业淘汰模式，先后在化工、家电、制冷、汽车、消防、泡沫等十多个行业实施了32个行业整体淘汰计划和400多个项目，支持上千家企业完成替代改造。统筹推进高水平履约和高质量发展，最新制定的《中国消耗臭氧层物质替代品推荐名录》，在制冷剂、发泡剂、清洗剂三大领域推荐23种替代品，其中80%替代品的全球变暖潜能值（GWP）小于20，同时坚持走自主创新道路，鼓励自然工质制冷剂应用，推动发展新质生产力。2022年北京冬奥会首次采用了清洁、低碳的二氧化碳跨临界直冷制冰技术，开创了全球实现“碳中和”冬季奥运会的先例。



政策协同

编制国家HFCs配额核发实施方案。自2024年开始正式对HFCs的生产和进口企业核发配额，对HFCs生产和使用进行总量控制。2024年度核发HFCs生产配额和用于国内使用的配额分别折合为14.49亿吨和6.43亿吨二氧化碳当量，相较2024年度配额总量分别压减4.04亿吨和2.62亿吨二氧化碳当量。

完善进出口许可证制度。将HFCs纳入《中国受控消耗臭氧层物质清单》和《中国进出口受控消耗臭氧层物质名录》。自2021年11月1日起，对HFCs进出口贸易实行进出口许可证制度。严格进出口审批和管理。每年开展HFCs进出口审批近3万批次，累计通过国际公约下的“非正式事先知情同意机制”（IPIC）阻止HFCs潜在非法贸易59批次，涉及HFCs数量折合约145万吨二氧化碳当量。

完善政策法规体系。将HFCs管控纳入国家“十四五”规划、碳达峰碳中和“1+N”政策体系及国家生态文明建设、污染防治攻坚战、美丽中国建设等政策文件中。修订《消耗臭氧层物质管理条例》将HFCs纳入管控范围，进一步完善管理措施，强化法律责任，为履行《基加利修正案》奠定坚实法律基础，

新条例自2024年3月1日起正式施行。编制《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（2024—2030年）》，提出HFCs削减整体战略，确定中国2030年前履约的时间表和路线图。分两批次加强全部18种HFCs生产设施的环境管理，自2024年8月1日起，不再新建、扩建18种受控用途HFCs生产设施。

强化监管

作为负责任的发展中大国，我国坚决打击履约违法行为，确保持续履约。在我国31个省（自治区、直辖市）实施了三期地方履约能力建设项目，组织开展专项执法行动，不断加强队伍建设，提升监管执法能力和水平。修订《消耗臭氧层物质管理条例》，大幅提高处罚力度，完善处罚种类，强化震慑作用。加强科技赋能，建立四氯化碳生产国家监控平台，实现高风险物质全流程可追溯。组建履约专案组，依靠行业协同打击违法行为，有效遏制违法行为蔓延。加强进出口监管，利用联合国环境规划署发起的出口前预先知情机制防范潜在非法贸易，坚决守好国门。

臭氧时间线

1974 发现

科学家舍伍德（Sherry）·罗兰和马里奥·莫利纳在发表于《自然》杂志的科学文章中警告说，人类制造的氯氟烃正在破坏臭氧层。



1977 世界行动计划

联合国环境规划署理事会通过的臭氧层行动计划呼吁进行广泛的国际臭氧层研究和监测。

1985 南极空洞

英国南极调查局科学家报告了南极上空反复出现的春季臭氧洞。

1987 《蒙特利尔议定书》通过

《蒙特利尔议定书》于9月16日通过。自1995年9月16日起，这一天被全球定为臭氧层保护国际日。



1988 第一套控制措施

《蒙特利尔议定书》下第一套控制措施对发达国家生效。同年，《维也纳公约》于9月22日生效。



1989 《蒙特利尔议定书》生效

《蒙特利尔议定书》于1月1日生效。评估小组发布了关于《蒙特利尔议定书》控制措施审查的首批报告，此后，定期发布评估报告，为缔约方提供了基于现有科学、环境、技术和经济信息的关键信息。

1990 保护臭氧淘汰活动开始

执行机构在多边基金的资助下开始保护臭氧淘汰活动。《蒙特利尔议定书》临时非合规程序被采用。《蒙特利尔议定书》缔约方决定修改《议定书》，在《议定书》下创建一个财务机制，包括多边基金。



1991 多边基金开始运作

临时多边基金开始运作。

1992 执委会设立 伦敦修正案生效

采用《蒙特利尔议定书》的合规程序，设立执行委员会。1990年在伦敦举行的第二次缔约方会议通过的《伦敦修正案》生效。

1993 世界臭氧日确立

联合国大会宣布每年9月16日为世界臭氧日，自1995年起开始庆祝。永久性多边基金设立，取代临时多边基金。1992年在哥本哈根举行的第四次缔约方会议达成的对《蒙特利尔议定书》的调整生效。



1995 臭氧工作获得诺贝尔奖

诺贝尔化学奖授予谢罗德·罗兰、马里奥·莫利纳和保罗·克鲁岑，以表彰他们在大气化学领域的开创性工作，特别是关于臭氧的形成和分解。

The Nobel Prize in Chemistry 1995



Paul J. Crutzen
Prize share: 1/3



Mario J. Molina
Prize share: 1/3



F. Sherwood Rowland
Prize share: 1/3

1996 发展中国家冻结HCFCs

发展中国家冻结HCFCs的生产和消费。1995年在维也纳第七次缔约方会议达成的关于《蒙特利尔议定书》的调整条款生效。



1997 第一个发展中国家控制措施生效

《蒙特利尔议定书》下第一套控制措施对发展中国家生效。

1999 蒙特利尔修正案生效

1997年在蒙特利尔第九次缔约方会议通过的《蒙特利尔议定书》的蒙特利尔修正案生效。

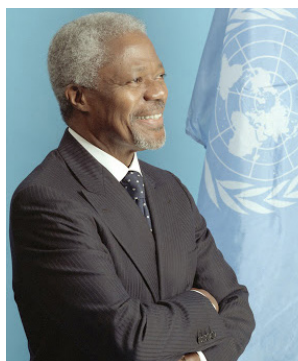


2002 北京修正案生效

《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》北京修正案于1999年在北京举行的第十一届缔约方会议通过，正式生效。

2003 《蒙特利尔议定书》获得赞誉

前联合国秘书长科菲·安南称《蒙特利尔议定书》“可能是迄今为止最成功的国际环境协议。”

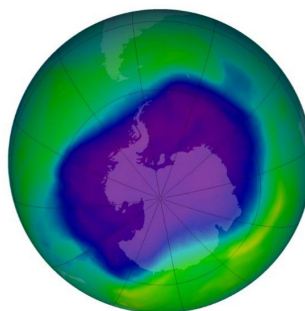


"Perhaps the single most successful international agreement to date has been the Montreal Protocol."

-Kofi Annan,
Seventh Secretary General
of the United Nations

2005 记录到最大的南极臭氧层空洞

记录到最大的南极臭氧层空洞，平均面积为266万平方公里。



2007 HCFC淘汰加速

《蒙特利尔议定书》调整了发展中国家加速淘汰HCFCs的计划。

2008 普遍批准达成

《维也纳公约》和《蒙特利尔议定书》成为首批实现普遍批准的多边环境条约。2007年在蒙特利尔举行的第十九届缔约方会议达成的对《蒙特利尔议定书》的调整生效。



2009 气候变化影响测量

发表在《美国国家科学院院刊》上的一篇科学文章指出，蒙特利尔议定书避免了超过1350亿吨二氧化碳当量的排放进入大气，从而显著有助于减缓气候变化。



2010 所有缔约方逐步淘汰全氟化ODSs

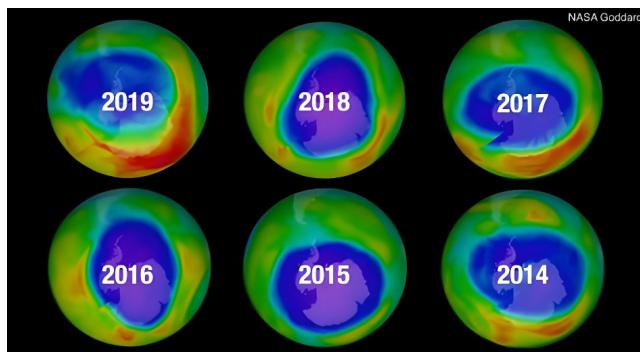
所有《蒙特利尔议定书》缔约方将逐步淘汰消耗和生产含氯氟烃（CFCs）、卤代烷、四氯化碳及其他全氟化臭氧层破坏物质。

2012 皮肤癌预防得到认可

发表在《光化学与光生物学杂志》上的一篇科学文章指出，通过各方对臭氧层的保护，到2030年，每年可能预防多达200万例皮肤癌病例。

2014 臭氧层的修复已得到证实

科学评估确认，由于《蒙特利尔议定书》缔约方采取的行动，臭氧层正在恢复，并将在本世纪中叶恢复到1980年的水平。



2016 基加利修正案通过

各缔约方于10月15日通过了《蒙特利尔议定书》基加利修正案，同意逐步减少氢氟烃（HFCs）的消费和生产。

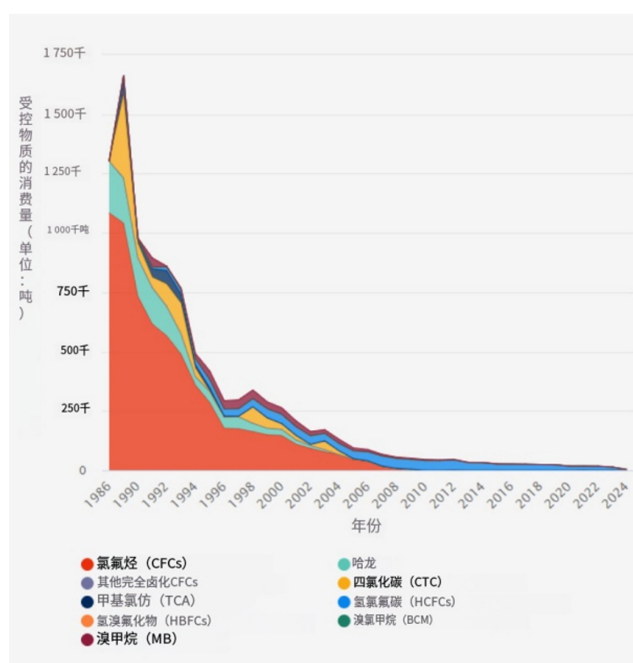


2019 基加利修正案生效

《蒙特利尔议定书基加利修正案》于2019年1月1日生效。该修正案将在未来30年内将预计的氢氟烃（HFCs）的生产和消费量减少80%以上。

2025 如今

自2019年1月1日生效以来，《基加利修正案》的缔约方数量达到163个（截至2025年8月29日）。《基加利修正案》通过鼓励使用对气候安全的制冷剂，直接避免约0.4 °C的全球增暖，替代高全球变暖的HFCs。



（信息来源：中华人民共和国生态环境部、生态环境部环境与经济政策研究中心、联合国环境规划署）



可持续冷却 ——如何在削减排放的同时满足制冷需求（七）

08

支持接近零排放制冷途径的建议步骤

通过一系列措施，到2050年实现制冷领域的近零排放是可能的。这些措施包括采用被动冷却技术，采用高效率的设备，加速逐步减少高GWP制冷剂，向电动汽车过渡以及使电网脱碳。大多数国家满足至少有一项相关的国家级政策对推动制冷行业实现近零排放至关重要。这些政策和其他与制冷空调、冷链、制冷剂过渡、可持续制冷融资相关的扶持活动之间的协同整合不容忽视。

8.1 建议的政策行动

展望未来，考虑一个综合制冷政策框架的实施至关重要，该框架应考虑制冷排放及其在《巴黎协定》下各国国家自主贡献（NDCs）中的作用。一个很有希望的

例子是在越南的开创性工作，该国制定了一项国家级法令，以协调涉及制冷领域的各个方面，促进不同政府利益相关者之间的合作。

表8-1：政策建议

领域	范围	执行	关键规模/生态系统政策/金融	现状与2030年追踪
被动冷却				
◆ 加强并严格执行考虑被动冷却的建筑能效规范。 ◆ 建立行业信息、技能和能力，以扩大被动冷却的规模。 ◆ 建立消费者信心和知识储备，以扩大被动冷却的需求。	◆ 将建筑政策重点放在能效之外的变量上，包括被动式设计、低GWP制冷剂和满足居住者的热舒适需求。 ◆ 为地方政府和城市提供支持，使其适应并将规范纳入当地规划要求，并扩大实施规模和跟踪进展。 ◆ 制定关键被动冷却技术和材料的标准（如冷却涂料、隔热材料、衣物隔热材料等）。 ◆ 优先将建筑能源规范中的设备效率和制冷剂标准联系起来，强调通过被动措施减少负荷。	◆ 强制执行并在一段时间内定期更新自愿性规范。 ◆ 确保新建筑施工和重大建筑改造符合最新的建筑能源规范。 ◆ 支持能源审计员、认证机构、建筑业、供应链和国家以下规划官员的技能培训和能力建设。 ◆ 加强地方和地方政府扩大执法规模并跟踪进展的能力。	◆ 为符合规范和认证提供规划激励（如更多的占地面积、更快的审批、财政激励）。 ◆ 利用公共采购，在公共建筑和社会保障住房中示范和主流化被动式制冷。 ◆ 绿色抵押贷款、自建住房小额贷款、银行绿色建筑专项融资等金融工具和模式。 ◆ 加强对自建房屋的公共融资，将被动式制冷纳入建筑能源规范标准之外。 ◆ 鼓励并消除ESCO市场的障碍。	◆ 只有80个国家（41%）制定了国家一级的建筑能源法规，56个国家是强制性的；只有49个国家拥有冷却和且反光的表面。 2030年追踪 ◆ 国家示范建筑能源规范，包括适用于市场的措施，如被动冷却（遮阳、通风、定向等）、能效和新建筑和改造建筑的低GWP制冷剂策略。 ◆ 各国和地方各级建筑能源法规的实施及其更新。 ◆ 低GWP和高效制冷技术的公共采购政策和指导。

领域	范围	执行	关键规模/生态系统 政策/金融	现状与2030年追踪
城市行为				
◆ 通过知识、技术、工具、能力、资金和技能，增强城市规划和采取全面行动进行制冷和酷热评估的能力。 ◆ 量化和监测基于自然的温室气体减排解决方案的热弹性规划带来的好处，为大规模复制创建案例研究。	◆ 应用具有耐热性的城市设计，包括为弱势群体提供避难所和通道，大规模执行建筑规范，并将更高水平的绿色和蓝色空间纳入城市规划。 ◆ 支持预警系统的热浪防备和协调工作；针对城市穷人和弱势群体（儿童、老人、户外工作者等）的有针对性的支持方案。 ◆ 通过城市设计（遮阳、基于自然的解决方案、通风走廊）、公共建筑、高效低GWP制冷剂制冷设备的公共采购、区域供冷，实现大规模被动冷却。	◆ 增加能力和资源，将热适应和制冷需求缓解纳入城市规划，绿地和现有区域的法规执行。 ◆ 提供明确的城市授权，并指定官员和部门负责协调应对高温的行动。 ◆ 创建城市指标框架，以提高生活质量（住房、健康影响、生产力等），并通过城市部委跟踪并根据国家行动计划、国家适应计划、净零战略等报告的冷却排放缓解气候变化。	◆ 更新城市总体规划的国家和地方规划指南，以纳入耐热城市设计、更高水平的可获得被动冷却解决方案，包括基于自然的方法（绿地、树木、水体），以及在适当的情况下进行区域冷却。 ◆ 通过纳入城市供暖行动的国家适应计划；气候缓解计划，包括减少城市制冷需求、地方气候和高温行动计划；以及城市热岛效应研究。 ◆ 为跨不同邮政编码的综合城市设计创建城市授权。 ◆ 为优先考虑适应高温和缓解冷却排放的城市提供更多的国家资金。 ◆ 提供规划和财政激励措施，以推动可持续冷却。	2030年追踪 ◆ 现有气候、能源或健康战略中的可持续制冷，或制定供暖行动计划。 ◆ 增加基于自然的解决方案的面积、可及性和质量，如城市地区的绿色和蓝色空间。 ◆ 政府建筑中低全球升温潜能值和高效冷却技术的公共采购。 ◆ 改善了室外舒适度，空气质量，减少了城市的温室气体排放。
高效低GWP设备				
◆ 使用定期更新的标准，逐步淘汰市场上低能效和高GWP的冷却设备的销售和使用。 ◆ 通过专业知识、经济效益和供应链的可及性，建立对高效率和低GWP设备的市场需求。	◆ 更新、实施和执行有助于逐步淘汰低能效和高GWP设备的MEPS和设备标签政策。 ◆ 考虑到区域和全球MEPS的协调，使MEPS与向低全球升温潜能值制冷剂的转变相一致。 ◆ 制定政策和区域/全球协议，防止在二级市场倾销产品和长期使用过时电器。 ◆ 建立针对当地的认知，并推广关于使用高效和低GWP设备的社会经济效益、激励措施和可及性的信息，甚至在MEPS之外。	◆ 实施强有力的监测、核查和执法，以确保遵守定期更新的效率和标签标准。 ◆ 遵循示范条例，例如环境署U4E，以统一各国的标准。 ◆ 对二手产品实施进口禁令，并开展国际合作防止倾销。 ◆ 加强地方和地方政府扩大执法规模加强地方一级的技术能力和能力，以确保对产品进行充分的测试和执行。	◆ 为服务技术人员提供培训，以确保高质量和可访问的安装和维修实践。 ◆ 创建融资工具和激励措施，包括低息贷款、退税、账单或工资融资。 ◆ 为低收入人群制定有针对性的融资工具（包括小额融资和租赁）。 ◆ 支持提高消费者意识和开展宣传活动。 ◆ 支持买家俱乐部和大宗采购；公共建筑和社会保障住房的公共采购。 ◆ 在购买新的高效产品时，为收回旧产品提供回扣计划。 ◆ 为行业和供应链提供激励措施，以确保市场上的平均设备具有高效率和低GWP。	2030年追踪 ◆ 115个国家拥有制冷和制冷方面的国家级MEP。 ◆ 提高高效低GWP空调设备和创新技术的市场渗透率。 ◆ 欧洲议会议员和例行程序的雄心增加，努力实现全球统一。 ◆ 更新和跟踪国家和地方公共采购政策和指导。

领域	范围	执行	关键规模/生态系统政策/金融	现状与2030年追踪
HFC逐步减少				
◆ 通过整合制冷剂和能效法规 and 方案以及加强生命周期管理，在基加利时间表之前更快地淘汰HFC化合物。	◆ 制定低GWP制冷剂的规范和标准，并将能效和低全球升温潜力标准结合起来。 ◆ 规范设备的维修和报废，以最大限度地减少制冷剂泄漏，鼓励制冷剂回收和再循环，并支持销毁。 ◆ 通过与财政激励措施和强有力的监测和报告要求相结合，加强制冷剂的生命周期管理。 ◆ 通过明确的政策信号，促进和激励行业转向低GWP制冷剂。	◆ 为在职行业官员制定并提供制冷剂生命周期管理方面的定制培训。 ◆ 保护市场免受非法制冷剂贸易（国内和国际）的影响。 ◆ 对维修和制冷剂回收、回收和销毁制定强有力的监测和报告要求。 ◆ 加强《蒙特利尔议定书》，进一步减少违禁物质的非法贸易。 ◆ 促进低GWP制冷剂的供应链，并将能效与低GWP制冷剂相结合。	◆ 制定基加利执行计划，并监督有效执行情况。 ◆ 加强全球升温潜能值低的替代品和辅助技术的研究、开发和创新。 ◆ 支持服务培训和遵守高质量的设备维修实践。 ◆ 与行业合作，发展一个强大的供应链，以加快向基加利合规之外的低GWP选项的过渡。	◆ 150多个国家批准了《基加利修正案》关于逐步减少HFC化合物的行动。 2030年追踪 ◆ 2024年前批准《基加利修正案》（如果尚未批准）。 ◆ 通过《蒙特利尔议定书》多边基金采取有力行动，尽早采取行动，减少HFC化合物的消费，促进提高HCFC淘汰和HFC化合物淘汰的能源效率。 ◆ HCFC和HFC的生命周期管理。 ◆ 基加利执行计划的执行情况。
冷链				
◆ 公平地扩大食品和健康冷链，并将其作为发展优先事项。 ◆ 提高低GWP的制冷剂和可再生/非化石燃料能源的效率和使用的。 ◆ 利用农业和健康冷链的多部门协同效应。	◆ 为冷链制冷组件（如冷库、包装箱等）制定可持续设计规范和指南，其中包括被动冷却设计、MEPS和低GWP制冷剂。 ◆ 通过合作开发关键基础设施，例如。通过公私社区伙伴关系模式。	◆ 建立对粮食损失报告的跟踪。 ◆ 加强整个冷链的定位，以提高薄弱环节的能力。 ◆ 实施和执行最低效率标准、被动式设计和低GWP制冷剂。 ◆ 支持监测和执法，以防止非法进口设备。	◆ 量化和基准化冷链中的能源使用和排放，以便每年提高效率。 ◆ 制定与NCAP相关的冷链需求评估，包括与指定机构和部门协调的战略和实施交付。 ◆ 为冷链的可及性和稳健性提供财政援助和能力支持。 ◆ 培养必要的技能，并在适用的情况下开发大规模演示者，测试CaaS等商业模式以及与农民和利益相关者团体的参与式模式。	2030年追踪 ◆ 已出版的纳入冷链发展、缓解和适应战略的NCAP。 ◆ 包括低GWP制冷剂在内的冷链部件的MEPS。 ◆ 地方和国际层面的合作研究、创新和部署活动，如农村、偏远、离网地区基于可再生能源的冷却解决方案。

8.2 推荐的支持性活动

采用综合方法对规划和监管框架进行处理，将有助于确保向可持续制冷的过渡取得有效实施。这将：1) 促进公平获取制冷和机会；2) 创造弹性就业机会和提高能力；3) 支持国家脱碳工作；4) 释放资本和融资机会，同时支持采用能效、低GWP制冷剂以及被动冷却措施。

采用国家制冷行动计划、热岛行动计划和其他跨部门综合计划，简化制冷政策

- ◆ 与多个政府利益相关方合作，协调MEPS、建

筑规范和制冷剂行动。

- ◆ 增加人们获得可持续制冷空调的机会。
- ◆ 确定当前的制冷能耗和排放以及未来的能源需求。制定热岛行动计划、城市热岛地图、热适应和缓解计划；评估不同情景；并协调相关方实施。
- ◆ 在各政策战略和部委之间建立协同效应，以实现制冷近零排放。

制定制冷脱碳目标

- ◆ 将制冷行动纳入《巴黎协定》下的国家自主贡献（NDCs）减排行动，以及其他国家气候和净零排放战

略。

◆ 通过提供减少GHG气体排放的技术和非技术工具和解决方案，使食品冷链脱碳。

提高可持续制冷技术的可得性和可及性

◆ 通过关注整个供应链，支持供应链准备工作，使当地中小企业能够通过研究支持与跨国公司合作和采用新技术的能力建设机制来获益。

◆ 开展区域合作，协调政策，实现规模经济。

◆ 支持和促进可在离网或电力供应不稳定情况下运行的弹性技术的市场可用性。

◆ 支持在城市热点地区实施基于自然的解决方案，以减少弱势群体的健康相关的疾病。

支持制冷部门的培训和能力建设

◆ 建立区域多学科中心并与之建立联系，以促进可持续制冷和冷链发展，并将制冷和极端高温纳入现有中心，如城市规划、灾害管理和建筑设计。

◆ 为技术人员、城市规划师、审计员、建筑师、工程师、农民团体、卫生部门、建筑认证机构、银行和金融机构以及法律部门编写培训材料和能力建设方案。

◆ 制定方案，支持制冷及相关行业中小企业的能力建设，以确保供应链稳健，并优化、创新地推进可持续制冷转型。

提高零售商和消费者对可持续制冷效益的认识

◆ 促进最高效技术的推广，包括推行最低能效标准（MEPS）和支持创新和规模化的政策。优先销售和配备效率更高的变速压缩机而非定速压缩机的节能空调。

◆ 在非住宅制冷空调方面，支持和推广具有供热和制冷潜力的更高效的可变制冷剂流量系统。

◆ 开展消费者教育活动，鼓励选择和使用节能和低GWP制冷剂的设备，强调考虑设备全生命周期成本的好处，并支持采取行动将设备的运营成本降至最低。

◆ 鼓励消费者使用经过培训和认证的技术人员的服务，并采取预防性维护。

优先考虑并支持妇女参与推进可持续制冷

◆ 增加和加强妇女在制冷、空调和热泵行业的劳动力就业，包括与设备制造和安装相关的工作。

◆ 鼓励妇女在制冷设备维修和服务领域接受教育和就业。

扩大可持续制冷领域的创新商业模式和融资

◆ 投资区域供冷系统，以提高效率、降低成本和实现规模经济。

◆ 扩大公共资金，动员私人资本，开发基于需求的融资模式，以支持在制冷剂转型的同时实施能效改进。

◆ 支持创新商业模式和融资，使可持续冷链负担得起，公平分配风险和成本，克服投资者的担忧。

◆ 将可持续制冷纳入多边开发银行、投资基金和养老基金的环境、社会和治理（ESG）保障措施。

◆ 随着市场的发展，系统性跟踪制冷融资及其影响。

◆ 为大型房地产项目和区域供冷的可持续制冷提供直接批发融资。

◆ 为家庭和中小企业提供制冷零售融资。通过“种子融资”为发展中国家的冷链提供融资，保护小农。

◆ 加强MEPS、效率和可持续性标准在制冷融资决策中的作用。

提高认识

提高消费者对采用可持续制冷设备和做法的必要性的认识。



（杨子旭、刘树荣、牛恒、肖寒松、李天成 译）
（完）

谢晓云长聘副教授、江亿院士总结 15 年经验推出新作 ——《吸收式热泵与吸收式换热器》

图书简介：

由清华大学建筑学院谢晓云长聘副教授、江亿院士撰写的《吸收式热泵与吸收式换热器》于近日由中国建筑工业出版社出版。该书分绪论、吸收式热泵的全新理论模型、吸收式换热器的原理与评价方法、真空环境下吸收式热泵的传热传质和流动过程、吸收式换热的设备研发与基本性能、吸收式换热的运行调节与控制、吸收式技术的典型系统应用共7章。



清华大学建筑节能研究中心是十年来最新一轮吸收机技术的推动者之一。吸收式换热器已经发展成为一个初步具有完整体系的新技术，因此有必要将其系统化，从基础理论和概念到关键技术环节；从性能描述方法、标准到性能测试与检验方法；从装置的流程、构造和设计方法到应用系统的构成、设计和运行调适，需要专门的著作来系统阐述。本书就是试图建立这样一个吸收式换热器的全面的科学技术体系，以满足其继续发展和在社会上应用推广的需要。

吸收式制冷技术简介：

吸收式制冷是人类最早发明的制冷手段之一。早在压缩制冷技术发明之前，吸收式制冷就已经应用于制冰、制备冷水以及贮藏保鲜中。电动压缩制冷出现后，由于其在体积、能效等多方面的优势，使吸收式制冷的大部分应用都被电动压缩制冷所取代，吸收式制冷技术成为仅应用于某些特殊条件下的制冷手段。热泵制热的本质与制冷一样，都是设法在较低的温度下提取热量，并使其在较高的温度下释放，只是热泵制热与制冷的工程目的有所不同：制冷是为了在较低温度下排除热量，而热泵制热是为了获取较高温度下的热量；制冷时如何在较高温度下排除这些热量是必须处理的麻烦事；而热泵制热时，从何处找到和提取足够的低温热量又是工程中必须应对的困难问题。正是因为这样的差别，使得电动压缩式和吸收式在制热应用及制冷应用的适宜性上出现了显著的差异。压缩

式与吸收式的区别在于二者的COP的巨大差别：压缩式的制冷COP在空调工况下可达5~6，而吸收式则仅在1左右。这样，在以制冷为目的时，压缩式需要在热端排除的热量仅为吸收式的一半左右，这就大大减少了热端排热的任务；而在以制热为目的时，压缩式要从低温热源中提取的热量几乎是吸收式的一倍，这就大大增加了压缩式制热时寻找低温热源的困难。因此，尽管在以制冷为工程目的时，吸收式往往不如压缩式适宜，但当以制热为工程目的时，吸收式就表现出一些更符合工程实际需求的特点。

吸收式技术的又一特点是可以有效地回收利用各种品位的低温余热。在电力生产、化工、冶金、有色、建材、炼油等流程工业过程中，以及食品、纺织、造纸、皮革等轻工业生产中，都有大量的不同温度的余热排出，如何按照“温度对口、梯级利用”的原则，有效地利用好这些余热，已成为要求节能减排、低碳发展的现代化工业中必须高度重视的任务。吸收式技术恰好可以灵活地实现在各个不同温度水平之间的热量变换：以较高温度的热源为动力，从较低温度的低温热源提取热量，制备中温热量；或者从较高温度的热源取热，释放一部分热量至较低温度的冷源，同时在更高温度下释放出高温热量。这种可作用于不同温度的热源与热汇之间，可灵活地升温 and 降温、取热和排热的技术，使吸收机技术在这些余热回收利用的工程中大放异彩，得到广泛的应用。也正是全社会对节能减排、低碳发展的高度重视与需求，使得吸收机这一古老和传统的技术得以焕发青春，在最近十余年内突然又得到飞速发展。

依靠国家的节能减排、低碳发展的战略，尤其是自2016年在北方地区围绕治理雾霾所展开的清洁供暖工程，吸收式热泵和吸收式换热器得到飞速发展和广泛应用。这主要包括：

(1) 吸收式换热器概念的提出和系列产品的出现。这一新的热交换器概念可以实现热源侧和热汇侧的循环水流量有数倍之差的条件下的高效换热，使热源侧为小流量时其返回热源的回水温度低于热汇侧进入换热器的温度；热源侧为大流量时，热汇侧从换热器流出的供水温度高于热源侧进入换热器的供水温度。这一全新概念的换热器已经被开发成全系列的换热器产品，单机容量从几十兆瓦到几百千瓦，包括立

式、卧式等不同形式，广泛用于集中供热系统的不同环节中。

(2) 蒸汽-水吸收式热泵，在热电联产电厂以抽取的中压蒸汽（0.4~0.6MPa）为高温热源，提取低压乏汽热量，实现对热网循环水的大温升加热。这一加热过程循环水侧的温升可达60~100K，高温蒸汽量根据加热工况不同仅占加热热源热量的30%~60%。这就实现了低品位乏汽余热的有效回收利用。这一类型的吸收式热泵目前也已经形成系列产品，单机容量可达上百兆瓦，被大量应用在热电联产余热回收工程中。

(3) 蒸汽、热水或燃气驱动的吸收式热泵，用于燃气、燃煤排烟的深度热回收。所回收的余热包括不同规模的燃煤、燃气锅炉排烟，也包括大型燃气-蒸汽联合循环电厂的排烟。通过吸收式热泵制取冷水可把各种排烟的温度冷却到20℃以下，从而使其中的大部分水蒸气被冷凝，所回收的低温余热又被吸收式热泵提升，加热热网循环水。这使得燃气的热效率提高10%~15%，燃煤的热效率提高7%~10%，并彻底实现了排放烟气的“消白”，消除了燃煤燃气排烟的同时向大气排放的大量水蒸气。这一系列产品目前也已经广泛地用于各种燃煤燃气装置的烟气消白与余热回收中。

(4) 各类工业生产过程的余热回收利用。这包括利用部分高温热源回收低温余热，利用高温热源制冷，以及利用中温热源和较低温的冷源制备更高温度的热源供工业生产用。工业过程中有各种温度的余热

产出，通过吸收式热泵或吸收式换热器对这些热量进行变换，改变其温度范围，使其满足其他过程对热量的需要；或者通过热量变换，搭建起余热热源与余冷冷源之间的关系，使各种品位的余热得以充分利用。这是吸收式技术可充分发挥作用的场合，在对工业生产过程节能减排、循环利用的要求下，这一类的应用越来越多，从而催生了相关产品的产生和发展。

（摘编自本书由江亿教授所作的前言）

作者简介：

谢晓云，清华大学建筑学院，长聘副教授，特别研究员。研究方向：间接蒸发冷却技术、吸收式热泵与吸收式换热器、海水淡化水热同产技术。提出及研发楼宇吸收式换热器、立式多级吸收式换热器，已在超过3000万平方米的建筑中应用；提出立式多级闪蒸水热同产装置流程，在海阳核电站应用；提出间接蒸发冷却冷水机，在我国西部干燥地区公共建筑中广泛应用。发表论文80余篇，主编国家标准1项，授权发明专利27项，荣获国家技术发明奖二等奖两项。2024年吸收式热泵国际会议（ISHPC2024）大会联合主席。

江亿，中国工程院院士，中国人工环境工程学科的倡导者之一，清华大学建筑节能研究中心主任。主要研究工作是建筑节能、城市能源规划、建筑热环境、建筑自动化、集中供热规划与控制等。

GMCC 美芝发布全新双吸气轻商 R290 高效变频压缩机

2025年8月13日，GMCC美芝发布全新一代GMCC美芝双吸气轻商R290高效变频压缩机及系统解决方案。

据悉，该变频压缩机COP高达2.1，突破行业天花板。该产品在全新高效制冷系统技术、单缸自适应喷气增焓技术、转矩AI调控技术、全频段超静音降噪技术四大技术加持下，带来超级高效、快速制冷、超静音的应用效果。

◆ 产品采用全新高效制冷系统技术，气液分离器效率超过94%，系统效率、蒸



发效率提升均超过10%；系统能耗比常规系统效率提升10%，双吸气压缩机比单吸气最高效压缩机COP高5%；

◆ 产品应用单缸自适应喷气增焓技术，制冷量提升20%，COP提升5%，转速范围达20~75Hz，单缸自适应喷气增焓技术被鉴定为“国际领先”水平；

◆ 转矩AI调控技术通过记忆式智能学习，迭代式智能寻优，实现AI式的控制策略，使转矩波动下降20%；

◆ 产品通过全频段超静音降噪技术，包括第二代多曲面壳被动降噪技术、第二谐振吸气管主动降噪

技术、全新噪音数值仿真预测技术，使噪音低于39分贝，达到家用标准。

美芝长期关注全球冷藏、冷冻市场需求与变化，针对餐饮企业持续增加的制冷设备需求、消费者关注的食材新鲜与安全等问题已推出一系列轻商制冷解决方案。包括应用于零售、商超领域的冷藏（2~8℃）、即时冷冻（0~12℃）、冷冻（低于-18℃）用压缩机，应用于商用厨房领域的冷藏加工、冷冻柜以及冷库用的不同排量的压缩机等，并以高能效、高可靠、大冷量、低噪音等优势助力轻商制冷领域高速发展。

（GMCC美芝 供稿）

持续加码“第二家乡市场”——丹佛斯中国最大生产基地正式启用



9月2日，丹佛斯在中国最大的生产基地——丹佛斯海盐第二园区正式启用。该园区总面积达12.6万平方米，使丹佛斯海盐园区的总体规模扩大一倍以上。这一智能制造新高地的启用，是丹佛斯持续加码“第二家乡市场”的有力举措，彰显了丹佛斯助力中国绿色转型和高质量发展的长期承诺。

随着新园区的启用，丹佛斯海盐园区的制造能力得到全面扩充，进一步强化了公司旗下三大事业部在海盐的生产布局。此外，丹佛斯在海盐还拥有两大应用开发中心，分别服务于动力系统事业部和气候方案事业部的研发需求。丹佛斯海盐园区的生产与研发设施均严格遵循与欧美同等水平的领先技术标准，致力于各式变频器、磁悬浮压缩机、快换接头、液压泵、马达、阀及换热器等产品的研发与制造。这些产品均具备行业领先的能效表现，对中国建筑、交通与能源等领域的绿色转型具有重要意义。

丹麦王国驻华大使馆大使级副馆长宋博安（Anders Siegumfeldt）、嘉兴市委书记陈伟、海盐县委书记王碎社等中丹两国政府官员和丹佛斯集团总裁兼首席执行官官方行健、丹佛斯中国区总裁徐阳以及丹佛斯创始人家族成员、丹佛斯集团和中国区相关负责人出席了开业仪式。仪式上，宋博安还代表丹麦王国驻华大使馆向丹佛斯赠予纪念瓷盘，在两国建交75周年之际，肯定了丹佛斯为双边合作作出的卓越贡献。

2005年，丹佛斯正式落户海盐。经过整整20年的发展，海盐园区已经发展成丹佛斯集团全球布局中最重要的研发和生产基地之一，并为该地区的经济和社会发展作出了重要贡献。按照丹佛斯集团2030年全球范围实现碳中和的目标，海盐第二园区严格遵循高能效标准建造，并按丹佛斯脱碳“三步法”（减量化、再利用和绿电化）进行运营。新园区还将作为展示中心，向业界直观展示如何通过现有成熟的解决方案高效且经济地达成脱碳目标。2024年，丹佛斯同中广核新能源（浙江）有限公司签署了为期20年的绿色电力购售框架合作协议，实现了包括第二园区在内的整个丹佛斯海盐园区的全绿电供应，每年实现减排40,000吨，为丹佛斯中国区减排目标（范围1, 2）贡献33%，为丹佛斯全球减排目标（范围1, 2）贡献9%。丹佛斯在中国拥有超过5000名员工，共设有11家生产基地、3个应用开发中心及1个全球制冷研发测试中心。

（丹佛斯中国 供稿）

广告征集启事

《制冷学报》是经中国科学技术协会和国家科技部批准的由中国制冷学会主办的国家一级学术期刊，创刊于1979年，双月刊，大16开本。《制冷学报》主要反映制冷科技领域中低温与超导、制冷机器与设备、食品冷冻、冷藏工艺、冷藏运输、空调热泵、低温医学及器械等方面的科学技术研究与应用、科技动态和信息报道以及学术技术交流活动等。

《制冷学报》主要读者分布于各专业设计院、大专院校、设备制造企业、专业工程公司、制冷空调使用单位及与制冷空调专业相关的各个行业。发行量为6000册/期。对中国制冷学会理事、各专业委员会、各地方制冷学会、学会团体会员和个人会员均免费赠阅。

《中国制冷简报》是由中国制冷学会主办的刊登制冷空调行业综合信息的双月刊，逢单月出版，发行量为10000册/期。它着力于介绍中国制冷空调领域的各类信息，刊登行业新闻及科技文章，旨在推动科技创新，推广应用技术，报道行业动态，促进业内交流。

《中国制冷简报》主要读者分布于各专业设计院、设备制造企业、专业工程公司、大专院校、制冷空调使用单位及与制冷空调专业相关的各个行业。《中国制冷简报》刊登大量实用型信息，主要有企业纵览，行业信息，学会动态，技术论坛，标准指南，科技创新，专利推广，国际交流，展会、学术会议信息等内容。本刊在中国制冷学会主办的各类会议以及中国制冷展上广泛赠阅。

名称	广告版位	色彩	尺寸(宽×高)	价格	备注
《制冷学报》	封底	四色	210×285mm	12000元/期	
	封二	四色	210×285 mm	10000元/期	
	封三	四色	210×285 mm	9000元/期	
《中国制冷简报》常规刊	封面	四色	200×200 mm	15000元/期	无折扣
	封面折页	四色	210×2×285 mm	15000元/期	
	封二	四色	210×285 mm	9000元/期	
	封三	四色	210×285 mm	8000元/期	
	封底	四色	210×285 mm	10000元/期	
	首插页	四色	210×285 mm	8000元/期	
	目次前页	四色	210×285 mm	8000元/期	
	中心跨页	四色	210×2×285 mm	10000元/期	
	插页	四色	210×285 mm	5000元/期	——
《中国制冷简报》专刊 (不定期出版)	封面折页	四色	210×2×285 mm	25000元/期	无折扣
	封二	四色	210×285 mm	15000元/期	无折扣
	封三	四色	210×285 mm	15000元/期	无折扣
	封底	四色	210×285 mm	20000元/期	无折扣
	首插页	四色	210×285 mm	15000元/期	无折扣
	目次前页	四色	210×285 mm	15000元/期	无折扣
	中心跨页	四色	210×2×285 mm	20000元/期	无折扣
	插页	四色	210×285 mm	10000元/期	无折扣
中国制冷简讯微信公众号	开篇	四色	900px×300px	800元/条	40条/年
	文末	四色	900px×300px	600元/条	40条/年
《制冷学报》网站 (www.zhilengxuebao.com)	首页	四色	395px×112px	2500元/周 5000元/月 10000元/季 20000元/年	首页第二屏 可外链

欢迎国内外企业刊登各类广告，展示企业品牌形象，中国制冷学会单位会员在《制冷学报》《中国制冷简报》（常规刊封面及专刊除外）、中国制冷简讯微信公众号、《制冷学报》网站发布广告可以享受八折优惠。

联系方式：

联系人：范薇

电话：010-68463224

传真：010-68434679

邮箱：wfan@car.org.cn

联系地址：北京海淀区阜成路67号银都大厦10层；100142



北京华源泰盟节能设备股份有限公司

Beijing Hua Yuan Tai Meng Energy Saving Equipment Co., Ltd.

国家科技发明二等奖 北京市科技发明一等奖

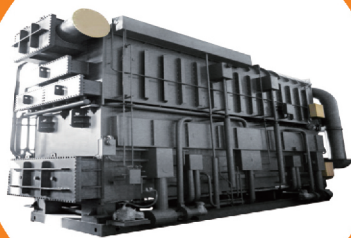
电厂 冷凝热回收 燃气/燃煤 烟气余热深度回收 大温差 换热
回收低品位余热 提高热源供热能力 消除冒白烟现象 提高管网输送能力

I 余热暖民·关键设备



燃气/燃煤烟气余热深度回收机组

- ◆将排烟温度降低至30℃以下
- ◆提高锅炉效率10%以上
- ◆消除冒白烟现象,
- ◆降低排烟中粉尘、NO_x、SO₂等污染物浓度



余热回收专用机组

- ◆提高电厂供热能力30%以上
- ◆降低供热能耗40%
- ◆节能 节水 减排



吸收式大温差换热机组

- ◆将一次网回水温度降至20℃
- ◆提高既有管网输送能力
- ◆节约新建管网的投资, 免除回水管网的保温措施

II 余热暖民·典型案例

目前, 产品已经成功应用于大同市城市级大温差改造工程、太原市大温差长输供暖改造工程、大唐云冈电厂、中电投通辽第二发电厂、永安热力沙河燃气锅炉房、北京未来城燃气电厂、济南北郊燃煤电厂等百余项工程。

大唐云冈热电厂

- ◆回收余热: 480MW
- ◆增大供暖面积: 860万m²
- ◆年节约标煤: 28万吨
- ◆减少CO₂排放: 69万吨
- ◆减少SO₂排放: 2.1万吨
- ◆减少NO_x排放: 1.1万吨

太原市大温差长输供暖改造工程

- ◆增加供热面积5200万m²
- ◆年节约标准煤105万吨
- ◆年减排二氧化碳260万吨
- ◆年减排二氧化硫7.9万吨
- ◆年减排氮氧化物3.9万吨

济南北郊热电厂烟气余热深度回收工程

- ◆回收余热: 16MW
- ◆增加供热面积: 37万m²
- ◆年节约标煤: 6500吨
- ◆减少CO₂排放: 16000吨
- ◆减少SO₂排放: 489吨
- ◆减少NO_x排放: 245吨



华源泰盟
HYTM

北京华源泰盟节能设备有限公司

Beijing Hua Yuan Tai Meng Energy Saving Equipment Co., Ltd.

地址: 北京市海淀区北四环中路283号2幢 (智优沃科技大厦) 3层

电话: 010-62701509 010-82432231

网址: www.powerbeijinghytm.com

邮箱: qiaoyu@powerbeijinghytm.com



益于地球 始于荏原

Ebara-Always Benefiting The Earth

百年荏原 再献扛鼎力作

吸收式冷水（热泵）机组

- ◆ 非电空调：蒸汽、热水、烟气、燃气等多种驱动热源
- ◆ 两段式蒸发、吸收循环
- ◇ 冷量范围：140kW-11700kW / 制热量500kW-80000kW
- ◇ 连续8000小时不停机

高效离心式冷水（热泵）机组

- ◆ 空调 / 热泵 / 蓄冰
- ◆ 制冷量范围：1760-17600kW
- ◆ 两级压缩，一级经济器
- ◆ 环保冷媒R134a/R245fa

消雾节水型冷却塔

- ◆ 单塔能力范围：25-5500m³/h
- ◆ CTI, JCI国际认证
- ◆ 高效可靠
- ◆ 消雾节水



荏原冷热系统（中国）有限公司

EBARA REFRIGERATION EQUIPMENT & SYSTEMS (CHINA) CO., LTD.

地址：山东省烟台市福山高新技术产业区永达路720号

电话：(0535) 6321588 6988668 传真：(0535) 6325372

邮编：265500

Http: //www.ebara-ersc.com

E-mail: market@ebara-ersc.com



www.ebara-ersc.com

CR[®] 中国制冷展 2026 | CRH[®] 2026 | 制冷·空调·暖通
CHINA REFRIGERATION HVAC&R



第三十七届国际制冷、空调、供暖、通风 及食品冷冻加工展览会

THE 37TH INTERNATIONAL EXHIBITION FOR REFRIGERATION,
AIR-CONDITIONING, HEATING AND VENTILATION, FROZEN FOOD
PROCESSING, PACKAGING AND STORAGE

2026 年 4 月 8 日至 10 日
APR 8-10, 2026

北京·首都国际会展中心
Beijing · Capital International Exhibition & Convention Center

主办单位:  中国制冷学会
 中国制冷空调工业协会
 北京国际展览中心有限公司

支持单位:  北京国际商会

承办单位:  北京国际展览中心有限公司

电话: +86-10-64934668-617/611/610

传真: +86-10-64938558

网址: www.cr-expo.com

邮箱: xuelongyun@biec.com.cn

kanglu@biec.com.cn

zhouboyu@biec.com.cn



官方网站



官方微信



官方抖音