



CHINESE REFRIGERATION NEWSLETTER

中国制冷简报

2025 年第6期 总第136期

广告

Midea 楼宇科技

MDV9 全新一代多联机

因你无界 如你所见
Beyond Limits As You Witness



性能看得见 可靠看得见 节能看得见

中国制冷学会 主办

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

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. 2025制冷节能降碳与制冷剂替代技术发展会议在广东佛山成功召开



02. 绿色算力融创行动暨数据中心液冷技术创新发展论坛在呼和浩特市成功举办



03. 中国制冷学会新增会员名单
04. 中国制冷学会“全国科普月”活动成功举办
04. 粮储热管理关键装备及系统技术研讨活动在京举办
05. 智汇冷暖制冷行业专家荆楚行活动成功举办
06. 固态相变先进材料与宽温域制冷应用探索研讨活动在京举办

地方学会动态

07. 河南省制冷学会40周年庆典在郑州召开
07. 江苏省制冷学会接待ASHRAE澳门分会来访

会议通知

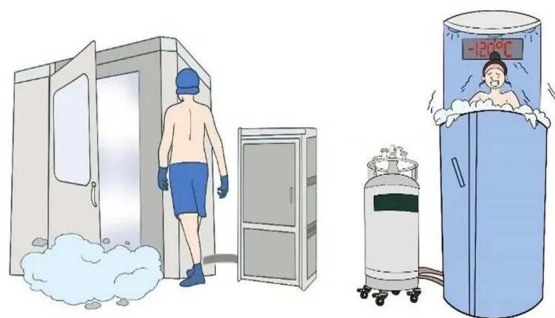
08. 2026中国热泵大会第一轮通知
09. 2026数据中心冷却高峰论坛（大湾区）第一轮通知

政策法规

10. 国家发展改革委 国家能源局印发《新型储能规模化建设专项行动方案（2025—2027年）》
12. 国家发展改革委印发《节能降碳中央预算内投资专项管理办法》
13. 国家发展改革委 市场监管总局印发《中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（2025年版）》

科技前沿

15. 我国液氢制取技术产业化应用取得新突破
15. 中国科学院理化技术研究所低温冷疗装备研发取得新进展



17. 中国科学院理化技术研究所周敏、李来风研究员在高性能热电材料领域取得新进展



专题报道

20. 可持续性数据中心冷却技术



人物

32. 为科研“祛魅”，怀揣“长期主义”培育能“斩魔”的新一代科研人——上海交通大学 钱小石教授



企业纵览

- 34. 冰轮环境工业全域热控解决方案获评联合国碳中和技术优胜解决方案
- 34. 华商国际携手产业链龙头 开启冷链运营新价值时代
- 35. 依必安派特投资3000万欧元完成西安工厂三期扩建
- 35. 思科普第100万台BD Nano压缩机下线

《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 广东美的暖通设备有限公司

封底 公益广告

封二 2026年中国制冷展

封三 北京华源泰盟节能设备股份有限公司

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 2026年《制冷学报》订阅

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。

2025 制冷节能降碳与制冷剂替代技术发展会议 在广东佛山成功召开

2025年10月26—28日，“2025制冷节能降碳与制冷剂替代技术发展会议”在广东佛山成功召开。本次会议聚焦“制冷剂替代”和“节能降碳”两大主题，汇聚了来自国家和地方主管部门、国内外行业组织和专业机构、学会替代工作组、联合国环境规划署制冷空调热泵技术选择委员会、国内外相关高校、研究院所和企业的200余位专家学者与行业代表，开展了深入的研讨和交流，共同探索符合我国制冷产业发展及制冷剂替代的自主路线，促进产业落实创新驱动。



会议由中国制冷学会、中山大学主办，中国制冷学会制冷节能降碳与制冷剂替代工作组承办，美的集团、广东省制冷学会、《制冷学报》编辑部协办。会议期间举办了一场主题论坛、一场国际论坛、六场分论坛，同期召开了2025年度工作会议。

生态环境部大气环境司处长董文福先生，中国工程院院士、中国制冷学会名誉理事长、清华大学江亿教授在开幕式上致辞。开幕式由中国制冷学会副秘书长王从飞正高级工程师主持。

主题论坛邀请到生态环境部对外合作与交流中心履约一处副处长尚舒文先生，联合国环境规划署制冷空调热泵技术选择委员会主席、开罗美国大学 Omar Abdelaziz 副教授，中国制冷学会制冷节能降碳与制冷剂替代工作组主任委员、清华大学王宝龙副教授，中国标准化研究院成建宏研究员，美的集团家用空调事业部热技术研究所所长李金波教授级高工，分别做了题为“履行蒙特利尔议定书国家方案及对制冷行业的影响”“International Trends and Policies in Refrigerant Substitution and Emission Reduction in the Refrigeration Industry（制冷剂替代及制冷行业减排国际趋势及政策）”“实现零碳制冷的技术途径”“制冷空调节能标准提升与趋势”“基加利修正案履约技术执行路径：美的家用空调制冷剂替代的产业化与全球实践”的报告。主

题论坛由王宝龙副教授和联合国环境规划署制冷空调热泵技术选择委员会委员、西安交通大学曹锋教授主持。

国际论坛邀请到联合国工业发展组织工业发展官员周云端先生，国际制冷学会总干事、联合国环境规划署制冷空调热泵技术选择委员会委员 Yosr Allouche 女士，联合国环境规划署制冷空调热泵技术选择委员会委员、丹佛斯全球公共事务、可持续发展与传播副总裁 Andrea Voigt 女士，联合国环境规划署制冷空调热泵技术选择委员会委员、日本冷冻空调工业会秘书长 Tetsuji Okada 先生，海尔未来（上海）制冷设备科技有限公司研发总监田健博士，分别做了题为“Enhancing Energy Efficiency and Promoting R-290 Adoption in the Air Conditioning Sector（提升能源效率并推动空调行业采用 R-290）”“Global Refrigeration Perspectives: Pathways for the Future（全球制冷展望：未来之路）”“Europe -Energy, Refrigerants, Sustainability（欧洲能源、制冷剂与可持续发展）”“Environmental Issues Facing Japanese Industry and Countermeasures（日本制冷行业面临的环境问题及对策）”“Low-GWP and Energy Efficient Alternatives in Large Commercial Refrigeration, Industrial Refrigeration（大型商业制冷、工业制冷中的低GWP和节能替代品）”的报告。国际论坛由国际制冷学会总干事 Yosr Allouche 女士和联合国环境规划署制冷空调热泵技术选择委员会委员、中山大学李廷勋教授主持。

针对细分领域，本次会议还组织了家用空调与热泵制冷剂替代技术、多联机制冷剂替代技术等六场分论坛。



学会制冷节能降碳与制冷剂替代工作组2025年度工作会议于28日下午召开，工作组委员及代表、秘书处人员等共计30余人出席会议。会上，主任委员王宝龙副教授就工作组情况、2025年工作总结、2026年工作展望等进行介绍，与会人员进行了交流和讨论。

（赵娜 供稿）

绿色算力融创行动暨数据中心液冷技术创新发展论坛 在呼和浩特市成功举办



9月8—9日，由中国制冷学会、中国移动通信集团设计院有限公司主办，中国制冷学会液冷技术工作委员会、中国制冷学会呼和浩特市液冷技术服务站承办，呼和浩特市科学技术协会、内蒙古和林格尔新区管理委员会、乌兰察布察哈尔高新技术开发区管委会、内蒙古制冷学会、呼和浩特市智算学会、中国移动通信集团内蒙古有限公司、中国移动通信集团福建有限公司、中国移动通信集团浙江有限公司协办的“绿色算力融创行动暨数据中心液冷技术创新发展论坛”在呼和浩特市成功举办。共有来自高校、科研院所、设计院、数据中心建设单位、运营商及设备企业的200余名代表参会。

中国制冷学会常务理事、副秘书长荆华乾，中国移动通信集团设计院有限公司副院长兼总工程师崔海东出席会议并致辞。论坛邀请了西安交通大学、上海交通大学、大连理工大学的专家分享了在液冷技术基础研究领域的科研方法与成果；中国移动通信集团设计院有限公司、中国石化润滑油北京研究院、中航光电科技股份有限公司、国网区块链公司等央企专家基于各自垂直行业分享科研-样机-成果全链条科创实践，提出央企联合体发展建议与未来展望；阿里云计算有限公司、北京快手科技有限公司、海光信息技术股份有限公司、浪潮电子信息产业股份有限公司等行业领军企业的专家就高密度芯片散热、液冷基础设施建设等技术在既有产业链上的应用和存在问题进行了场景化分享。

论坛期间，中国制冷学会液冷技术工作委员会正式成立，由南京航空航天大学宣益民教授担任主任委员，中国移动通信集团设计院有限公司作为支撑单位，并召开了一届一次会议，液冷技术工作委员会将充分发挥技术领军作用，推动液冷技术创新和标准化应用，助力绿色算力发展。

论坛期间，举办了“中国制冷学会呼和浩特市液冷技术服务站揭牌仪式”，服务站将聚焦数据中心园区绿色发展需求，打造“融合创新+多元服务”的协同发展模式。

论坛期间，来自企业、高校的50余位专家参观了中国移动呼和浩特智算中心及和林格尔新区城市大脑数字化展示中心，现场了解中国移动在新型绿色数据中心建设上的探索与实践，实地感受国家大型数据中心基地在招商引资、业务开展及数智化统一运营管理领域的发展突破。现场专家、学者就绿色数据中心、零碳数据中心、算力网络AI升级等方面交叉研讨、建言献策。

为促进数据中心冷却技术的研发与应用，推动绿色低碳和高效散热解决方案的产业化，中国制冷学会依托中国科协“科创中国”数字平台，聚焦数据中心冷却领域技术创新与成果转化，面向全国公开征集了20项数据中心冷却领域的技术科技成果，并在论坛期间进行了发布。

附：数据中心冷却技术科技成果

	名称	单位
1	绿色数据中心高效液冷技术	曙光数据基础设施创新技术（北京）股份有限公司
2	浪潮冷板式液冷软硬一体产品	浪潮通信信息系统有限公司 & 大连理工大学
3	泵驱两相冷板式液冷技术及产品	北京真视通科技股份有限公司
4	面向 AI 算力芯片的交叉流微通道液冷板	南京工业大学
5	冷板式液冷全链条解决方案	深圳市英维克科技股份有限公司
6	单相浸没液冷数据中心系统	天津提尔科技有限公司
7	基于液冷数据中心余热的 CO ₂ 储能系统	中国长江三峡集团有限公司（科学技术研究院）
8	单服务器模块化新型相变浸没液冷系统	天津商业大学
9	基于天然工质的数据中心园区零碳热管理技术	北京大学
10	低热阻低流阻斜翅片微尺度分层流液冷板	中国科学院广州能源所
11	移动式液氮应急制冷柜	四川师范大学 / 清华四川能源互联网研究院
12	灵熵空调控制系统	普洛斯
13	自然冷源高效利用的数据中心机柜供冷技术	东北大学
14	数据中心双蓄双供节能低碳冷却系统	中国科学院广州能源所
15	“风刃”乐高式双盘管水冷 DX 冷墙	常州贺斯特科技股份有限公司
16	数据中心 CFD+AI 节能调优解决方案	瑞思博创科技有限公司
17	智算中心风液同行高效冷却系统	麦融高科股份有限公司
18	XMint 系列蒸发复合多联空调系统	深圳市英维克科技股份有限公司
19	TGH285 带主动冷却功能的磁悬浮高温无油压缩机	丹佛斯
20	千度传感器	Hansen Technologies Corporation

（张晓宁 供稿）

中国制冷学会新增会员名单

单位会员	单位名称		单位名称	
	北京和欣运达科技有限公司		星崎商厨智造（苏州）有限公司	
	浙江高翔工贸有限公司		北京博瑞智能运维技术有限公司	
	浙江精工制冷科技有限公司		滨州松氏节能环保科技股份有限公司	
	国联绿色科技（无锡）股份有限公司			
高级会员	姓名	单位	姓名	单位
	杨波	淮北师范大学	田雪刚	中机中联工程有限公司
	麻宏强	华东交通大学	卢剑伟	合肥工业大学
	王恕清	大连交通大学		

中国制冷学会“全国科普月”活动成功举办

根据《中国科协科普部关于2025年全国科普月有关重点活动安排的通知》（科协普函基字（2025）4号）和全民科学素质纲要实施工作办公室《关于广泛开展首个全国科普月活动的通知》（纲要办发（2025）2号）相关文件要求，中国制冷学会组织全国各地制冷学会、中国制冷学会各科普教育基地、行业内院校、科研院所及相关企事业单位，围绕“提升全民科学素质 夯实科技强国基础”的目标，开展了以“制冷在你身边，节能为你点赞”为主题的制冷行业2025年全国科普月联合活动。



据统计，中国制冷学会收到的全国各单位上报的科普活动共计121场次，共有北京、上海、天津、重庆、河南、河北、内蒙古、山东、辽宁、山西、陕西、安徽、浙江、江苏、甘肃、广东、广西17个省、自治区、直辖市联合开展活动，参与活动专家及志愿者约1800人次，累计受众2.6万人次。为配合各地开展的科普活动，中国制冷学会与科普中国联合印制《制冷在你身边 节能为你点赞》系列科普读物，在全国范围免费发放2.5万份。

全国科普月期间，学会于9月4—11日赴内蒙古自治区和辽宁省，联合两省制冷学会举办了2场科普进社区、2场科普进工厂、3场科普进校园活动，并依托内蒙

古科技大学、沈阳沈一冷冷冻机股份有限公司、大连职业技术学院、大连冰山慧谷等科普基地资源，将科普工作向当地延伸。

学会为落实与湖北省科协及地区科协的战略合作协议，于9月17—20日在湖北黄冈市和黄石阳新县举办“党建+智汇冷暖制冷专家荆楚行”活动，紧扣冷链、冷库核心领域，通过专题讲座、企业座谈及现场调研等形式，为当地用冷企业提供精准技术支持、新技术新成果普及，同时在阳新县山川台社区举办了面向百姓的专场科普讲座。



在首个“全国科普月”期间，制冷行业各单位团结奋进，举办了丰富多彩的科普活动，通过进社区、进乡村、进校园等形式，普及了冰箱科学存贮、空调节能使用等日常技能，解答了设备故障排除等实际问题，传播了制冷行业相关科学知识。这些科普活动将科学与绿色理念深度融合，强化了公众的节能低碳意识，推动了健康环保生活方式的普及，也通过助力乡村科普等具体行动，为人民健康生活与社会可持续发展注入了科技力量。

（李晋灏 供稿）

粮储热管理关键装备及系统技术研讨活动在京举办



10月10日，由中国科协立项支持，中国制冷学会主办的粮储热管理关键装备及系统技术研讨活动在中国科技会堂举办，20余位来自高校、科研院所及企业的一线专家围绕相关议题开展交流研讨。本次研讨活动由南京师范大学教授张忠斌担任执行主席，中国建筑科学研究院建筑环境与能源研究院高级工程师战斌飞担任学术秘书。

主旨报告环节，中国制冷学会冷藏运输专业委员会高级顾问张四梅以“我国铁路粮食运输及冷链物流装备发展”为题，系统介绍铁路粮食运输现状和新型冷藏

物流装备的发展,以及铁路物流装备机械控温和隔热保温的最新技术和远程监控系统的信息化、智能化情况,并分享了新型冷藏物流装备在铁路上全面应用的成功经验。中粮科工股份有限公司无锡仓储物流院副总经理戴亚俊作“典型粮食储运装备的应用案例”报告,分享团队在低碳智能绿色储粮技术上的创新探索——“六面主动控温”技术,实现了储粮期间全年粮堆最高温度不超过15℃的稳定效果,以及“零虫害、零熏蒸、零气调”的绿色目标。宁波瑞凌新能源科技有限公司副总裁刘丰维以“辐射制冷技术在绿色低温安全储粮领域的应用”为题,介绍团队零能耗辐射制冷技术等突破性成果的转化及应用情况,该技术助力了绿色、低温、安全储粮和国家粮食战略安全保障。

自由发言环节,与会专家围绕如何发挥多种粮食储运热管理装备及系统的适配优势、粮食储运热管理装备及系统的安全性能和能效提升、如何发挥粮食储运热管理装备及系统的数据溯源及数智控制优势等话题,从应用场景、技术挑战、发展趋势等方面展开讨论。其中,国家粮食和物资储备局科学研究院教授曹阳结合储粮领域的经验,对新技术在储粮领域的应用潜力和使用场景

进行了展望。首农集团知联会会长教授级高工唐俊杰指出应通过热泵烘干、低温储粮等跨学科综合解决方案,在保障粮食储存品质与能源安全的同时,提升技术经济性以服务国家粮食安全战略。中铁特货物流股份有限公司正高级工程师温克学认为粮食储运热管理是一项关乎国家粮食安全的系统工程,必须构建覆盖收、储、运全链条的技术与管理双轮驱动体系,通过跨界融合与分类施策实现整体效能提升。

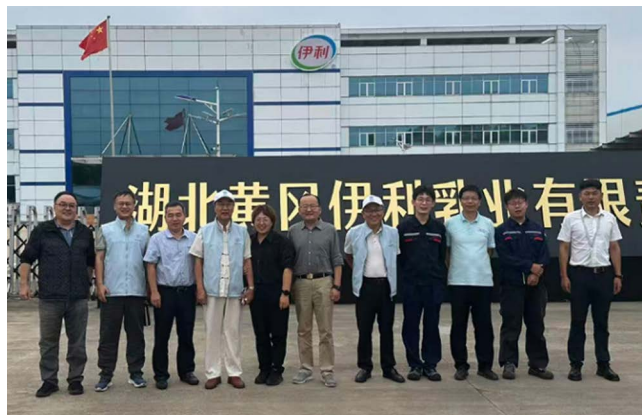
大家一致认为,绿色低碳制冷是未来技术发展的重要方向,亟需加快多种新兴技术的标准化体系建设与产学研协同创新。粮储热管理装备及系统技术具有高度的跨学科特性,应促进材料科学、热物理学与工程应用的深度融合。粮储热管理产业化落地亟需构建从研发到场景验证的全链条支撑体系,并加强各应用端难题的协同攻关。

会后,专家们赴北京首农食品集团有限公司储粮基地实地考察,观摩粮库多实用场景下的现代化“储—运—加工”运营现状,了解粮食储运热管理关键装备及系统相关技术应用情况。

(赵全华 供稿)

智汇冷暖制冷行业专家荆楚行活动成功举办

2025年9月17—20日,在第一个全国科普月期间,中国制冷学会联合湖北省制冷学会,以党建为引领,在湖北省黄冈市与黄石市阳新县成功开展“党建+智汇冷暖制冷专家荆楚行”系列活动。此次活动紧扣冷链、冷库核心领域,通过专题讲座、企业座谈与现场调研等形式,为当地用冷企业提供精准技术支持服务,为学会与当地科协的长期合作注入实践动能,坚持为科技工作者服务、为创新驱动发展服务、为提高全民科学素质服务、为党和政府科学决策服务,更广泛地把广大科技工作者团结在党的周围。



本次活动由中国制冷学会副秘书长常琳和科普部主任李晋颢牵头,邀请到了天津商业大学刘斌教授、上海海事大学阚安康副教授以及湖北省制冷行业相关专家共8人赶赴基层,为当地提供技术培训及技术服务,黄冈职业技术学院和阳新县科学技术协会给予了大力支持。

9月18日,活动首站落地黄冈职业技术学院。专家团队围绕冷链物流高效运营、冷库安全管理等核心议题开展专题培训讲座,组织黄冈市用冷企业召开座谈会,免费为企业答疑解惑,精准对接企业在生产运营中遇到的技术难题。下午专家们深入伊利乳业湖北有限公司、中粮家佳康湖北有限公司两家重点用冷企业,通过实地勘察冷库设施、查阅运营数据、与企业技术人员召开座谈会深入交流等方式,针对企业在冷链温控、能耗控制、安全防护等方面存在的问题,现场提出优化方案与改进建议。

9月19日,专家团队来到黄石市阳新县,与阳新县科学技术协会一起到当地用冷企业召开现场座谈会,了解当地冷链、冷库行业发展现状与用冷企业的技术需求。随后专家团队走访多家企业开展调研,针对企业在冷库建设标准、冷链环节损耗控制等方面的痛点,提供

技术指导。专家团队先后调研了阳新县闽派乌龙茶大宗茶厂、阳新鸭深加工、湖北冠林农业生态科技有限公司等用冷企业。

为了更好地支持地方科普工作的开展，中国制冷学会携带科普读物、宣传海报等材料来到阳新县山川台社区党群服务中心开展科普活动。中国制冷学会科普部主任李晋灏精选百姓关注的家用制冷设备节能、环保和正确使用等知识，为百姓做了一场题为“制冷在你身边，节能为你点赞”的科普讲座，深受社区居民的欢迎。

本活动聚焦冷链、冷库领域，充分发挥学会专家资源优势，面向冷链用户企业开展专家指导，具有重要现实意义。从企业层面来看，专家团队带来的前沿技术理念与实操方案，能够帮助企业精准解决运营中的技术瓶颈，有效提升冷库管理效率与冷链物流周转效率，降低

企业能耗成本，同时强化了企业安全用冷意识，减少安全事故风险，为企业高质量发展注入新动能。从行业层面而言，活动通过产学研深度融合，将高校、科研机构的技术成果与企业实际需求精准对接，推动制冷技术在冷链、冷库领域的转化应用，助力湖北制冷行业提升整体技术水平。更重要的是，在“双碳”目标背景下，学会专家倡导的节能降碳理念与绿色制冷技术，能够引导用冷企业践行绿色发展理念，减少碳排放，为行业绿色转型与可持续发展贡献力量。

此次“智汇冷暖制冷专家荆楚行”活动，既是中国制冷学会以党建引领科技服务的生动实践，也是学会服务地方经济发展的具体行动。未来，学会将持续发挥桥梁纽带作用，整合行业优质资源，为更多地区的制冷行业发展提供技术支持，推动制冷科技更好地服务国家战略、服务社会民生。

（李晋灏 供稿）

固态相变先进材料与宽温域制冷应用探索研讨活动在京举办

10月13日，由中国科协立项支持，中国制冷学会主办的固态相变先进材料与宽温域制冷应用探索研讨活动在中国科技会堂举办，20余位来自高校、科研院所及企业的一线专家围绕相关议题开展交流研讨。本次研讨活动由西安交通大学教授钱苏昕、助理教授李梦杰分别担任执行主席和学术秘书。



主旨报告环节，北京理工大学教授沈俊以“极低温制冷材料与器件”为题，介绍团队研制的高性能室温磁制冷机和多级极低温绝热去磁制冷机实现了低温的突破，相关成果已应用于宇宙探测及量子计算等领域。南开大学教授马儒军作“基于电卡效应的柔性固态热管理材料与器件”报告，重点介绍团队在柔性电卡器件方面的创新成果，通过全固态电卡制冷实现了精准控温和热隐身功能，有望应用于可穿戴设备及电子散热等领域。中国科学院金属研究所项目研究员张琨以“庞压卡效应：制冷与储热”为题，深入探讨压卡材料在制冷与储

热中的双重应用情况，分享团队创新发现的塑晶材料等高熵变压卡材料体系，实现了宽温域连续制冷与长周期可控储热。

自由发言环节，与会专家围绕固态相变制冷技术的应用场景定位、材料—系统协同瓶颈与产业化路径等话题展开深入交流。其中，中国科学院物理研究所研究员胡凤霞强调，针对固态相变制冷技术这一国际前沿研究领域，基础研究是新效应发现与新材料创制的基石，对实现技术颠覆性突破至关重要。上海大学教授刘剑提出该领域应聚焦特种场景温控、光学补偿等新应用场景，而非直接与传统空调、冰箱竞争。华中科技大学教授申利梅建议，可借鉴热电制冷在激光脱毛仪、光模块芯片冷却等领域的成功产业化经验，主动拓展潜在市场。

大家一致认为，找准差异化应用场景是固态相变制冷技术现阶段破局的关键，可优先在医疗冷藏、特种温控、光通信散热等领域实现应用突破。材料—器件—系统全链条协同是技术成熟的核心路径，需通过项目纽带强化跨团队合作。未来要克服固态相变制冷技术产业化的巨大挑战，在服务“双碳”目标与高端装备升级中发挥重要作用。

会后，专家们赴中国科学院理化技术研究所实地考察，了解先进低温与制冷技术等前沿技术的研究进展。

（赵全华 供稿）

河南省制冷学会 40 周年庆典在郑州召开

2025年10月23—24日，河南省制冷学会在郑州召开八届四次理事会会议暨八届七次常务理事会议、河南省制冷学会40周年庆典暨 2025 中国冷链设备产业发展与技术论坛，来自行业主管部门、全国多地制冷学会、高校科研机构及会员企业的200余位代表参会。



八届四次理事会会议暨八届七次常务理事会议由河南省制冷学会理事长范晓伟主持。会议首先组织学习了科协系统会议精神；随后，河南省制冷学会秘书长隋继学从党建、学术交流、科技服务、科普宣传等维度总结2025年工作，并公开财务收支情况；副秘书长刘群生汇报了2026年工作计划，明确党建引领、会员服务等重点任务。空调热泵、制冷机械等7个委员会主任也分别

梳理2025年工作亮点，阐述2026年计划。会议还审议通过新增团体会员单位、个人理事退出及学会40周年庆典奖项候选名单，理事们围绕行业创新、资源整合等建言献策，凝聚发展共识。

河南省制冷学会40周年庆典暨2025中国冷链设备产业发展与技术论坛以“四秩风华·豫冷新章”为主题，由河南省制冷学会与产业在线联合主办，河南省冷链产业协会协办。开幕式由河南省制冷学会副理事长王定标主持，中国制冷学会副秘书长荆华乾、河南省科协王永钢、河南省制冷学会理事长范晓伟、产业在线董事长杨洁分别致辞。会议现场播放的40周年专题纪录片，全景展现了河南省制冷学会从技术研讨小组到省级学术组织的成长。本次庆典还收到了27份全国兄弟学会贺信。

论坛环节，主旨报告由河南省制冷学会副秘书长吴学红主持，北京制冷学会理事长唐俊杰、中国标准化研究院研究员成建宏等专家围绕智慧绿色冷链、节能减排等主题进行分享；专题研讨由中粮工科检测认证有限公司总经理司春强、中国制冷学会名誉副理事长肖大海主持，共10位代表聚焦制冷技术突破、冷库节能等展开交流。会场外同步开展资源对接与展品展示，丰富互动体验。

（河南省制冷学会 供稿）

江苏省制冷学会接待 ASHRAE 澳门分会来访



2025年10月10—12日，江苏省制冷学会在南京接待ASHRAE澳门分会代表团一行30余人的考察访问。代表团由会长黄承发、秘书长杨树森率领，中国制冷学会副秘书长荆华乾陪同访问。

在江苏省制冷学会组织下，代表团参观了南京天加环境科技有限公司与南京天加能源科技有限公司，深入了解江苏企业在高效机房、能源管理等领域的前沿技术成果。交流会上，天加公司技术总监陈红亮、ASHRAE

澳门分会副会长黄肇雄、新濠博亚娱乐集团服务行政总监进行了分享。

江苏省科学技术协会副主席冯少东，江苏省制冷学会理事长张建忠，江苏省制冷学会副理事长王智河、梁彩华，江苏省制冷学会常务理事龚延风、颜承初、黄浩良等出席活动。在双方共同见证下，江苏省制冷学会与ASHRAE澳门分会签署了合作框架协议。

代表团还访问了东南大学四牌楼校区，参观了校园及校史馆。在学术交流环节，ASHRAE澳门分会会长黄承发介绍了澳门科学技术与智慧城市的发展，东南大学黄世芳副教授分享了大型中央空调系统预测、建模、运行优化及电网互动的研究成果，东南大学姜竹副教授介绍了先进宽温域储冷技术的最新进展。

此次访问进一步加强了苏澳两地学会、高校与企业之间的沟通与协作，为未来在暖通空调、能源管理与建筑环境等领域的深入合作奠定了坚实基础。

（江苏省制冷学会 供稿）

2026 中国热泵大会第一轮通知

在全球能源结构转型与碳中和目标驱动下，热泵技术已成为推动绿色低碳发展、提升能源利用效率的关键路径。为积极响应我国“双碳”目标，进一步促进热泵技术的创新与应用，加强国际学术交流与产业合作，推动热泵技术多领域的深度融合与高质量发展，经研究2026中国热泵大会将于2026年10月13—17日在上海市举办。

大会论文集将以电子形式出版，优秀论文将推荐《Energy》（SCI检索），《International Journal of Refrigeration》（SCI检索），《Applied Science》（SCI检索）等学术刊物发表。

一、组织机构

主办单位：中国制冷学会、国际制冷学会

组织委员会

主 席：

江 亿，中国工程院院士、中国制冷学会名誉理事长

副主席：

Yosr ALLOUCHE，国际制冷学会总干事

李晓虎，中国制冷学会副理事长兼秘书长

荆华乾，中国制冷学会副秘书长

秘 书：

高恩元，中国制冷学会

张 凯，中国制冷学会

学术委员会

主 席：

王如竹 教授，上海交通大学

李先庭 教授，清华大学

委 员：

Atsushi AKISAWA 教授，东京农工大学

Majid BAHRAMI 教授，西蒙弗雷泽大学

Craig BRADSHAW 教授，伊利诺伊大学厄巴纳-香

槟分校

曹 锋 教授，西安交通大学

Alberto CORONAS 教授，罗维拉-威尔吉利大学

Pradip DUTTA 教授，印度科学学院

Trygve Magne EIKEVIK 教授，挪威科学技术大学

Stefan ELBEL 教授，柏林工业大学

Srinivas GARIMELLA 教授，佐治亚理工学院

Yunting GE 教授，伦敦南岸大学

公茂琼 教授，中国科学院理化技术研究所

Yunho HWANG 教授，马里兰大学

Ji Hwan JEONG 教授，釜山国立大学

Yong Tae KANG 教授，高丽大学

Min Soo KIM 教授，首尔国立大学

Min Sung KIM 教授，中央大学

Giovanni A. LONGO 教授，帕多瓦大学

William Alfonso MAURO 教授，那不勒斯腓特烈二世大学

Emilio NAVARRO PERIS 教授，瓦伦西亚理工大学

倪 龙 教授，哈尔滨工业大学

钱苏昕 教授，西安交通大学

Kiyoshi SAITO 教授，早稻田大学

宋孟杰 教授，北京理工大学

徐震原 教授，上海交通大学

杨 昭 教授，天津大学

张 华 教授，上海理工大学

张小松 教授，东南大学

张学军 教授，浙江大学

Claudio ZILIO 教授，帕多瓦大学

二、征文方向

1. 建筑用热泵技术
2. 工业用热泵技术
3. 农业用热泵技术
4. 交通用热泵技术
5. 热泵前沿创新技术
6. 优秀工程应用案例

三、征文要求

1. 请登陆大会网站：<http://chpc2026.car.org.cn>，在线注册投稿参会。
2. 论文格式要求详见大会网站。
3. 本次大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. 摘要投递截止：2026年6月15日

5. 摘要接收日期：2026年7月15日

6. 扩展摘要投递截止：2026年8月30日

四、联系方式

联系人：张凯、高恩元

地址：北京市海淀区阜成路67号银都大厦10层，100142

电话：010-68711615

Email: chpc2026@car.org.cn

2026 数据中心冷却高峰论坛（大湾区）

第一轮通知

为顺应数字经济发展趋势，助力数据中心能效持续提升，推动行业绿色低碳转型，中国制冷学会拟定于2026年3月19—21日在广东省广州市举办“2026数据中心冷却高峰论坛（大湾区）”。本届论坛将汇聚行业专家，共同探讨前沿技术，分享最佳实践，旨在为我国数据中心产业的可持续发展注入新动能。现将有关事项通知如下：

一、组织机构

主办单位

中国制冷学会

协办单位

广东省制冷学会、中国制冷学会数据中心冷却工作组、中国制冷学会液冷技术工作委员会

二、论坛主题

本届论坛主题聚焦于“智冷·降碳，赋能数字未来”，将重点围绕以下议题展开深度交流：

1. 宏观趋势与战略路径

- 1) 全球及中国数据中心行业发展趋势与政策解读
- 2) 零碳数据中心的顶层规划、建设思路与实现路径
- 3) 智算中心绿色低碳发展：现状、挑战与对策

2. 前沿技术与创新应用

- 1) 数据中心液冷技术：从“可选”到“必选”的技术革命与规模化应用
- 2) 智能化与系统优化：AI赋能数据中心“全链路”节能与智慧运维

3) 传统技术革新：风冷、水冷等冷却方案的极致优化与混合应用实践

3. 运营管理与最佳实践

- 1) 数据中心节能降碳改造、能效评价与智能故障诊断
- 2) 高效冷却产品与低碳运维典型案例分享

三、论坛形式

主论坛、分论坛、《中国数据中心冷却技术年度发展研究报告》（2025版）发布、数据中心冷却末端及输配系统优秀产品及典型案例颁证仪式等

四、拟邀请参会嘉宾

- 1) 国内外数据中心建设与运营单位（电信、互联网、金融、政府、能源企业等）
 - 2) 数据中心规划设计院所、工程公司及咨询机构
 - 3) 高等院校、科研院所的专家学者
 - 4) 领先的冷却技术、设备供应商及解决方案提供商
-

五、联系方式

联系人：张晓宁 赵国君

电话：010-68719983 13720086165

邮箱：idccooling@car.org.cn

论坛面向业界征集报告，有意向的单位或个人，请与会务组联系。同时，欢迎相关企业支持本次论坛。

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

国家发展改革委 国家能源局印发《新型储能规模化建设专项行动方案（2025—2027年）》

为推动新型储能高质量发展，国家发展改革委、国家能源局于2025年9月12日发布了《新型储能规模化建设专项行动方案（2025—2027年）》。全文内容如下：

一、总体目标

2027年，新型储能基本实现规模化、市场化发展，技术创新水平和装备制造能力稳居全球前列，市场机制、商业模式、标准体系基本成熟健全，适应新型电力系统稳定运行的多元储能体系初步建成，形成统筹全局、多元互补、高效运营的整体格局，为能源绿色转型发展提供有力支撑。全国新型储能装机规模达到1.8亿千瓦以上，带动项目直接投资约2500亿元，新型储能技术路线仍以锂离子电池储能为主，各类技术路线及应用场景进一步丰富，培育一批试点应用项目，打造一批典型应用场景。

——应用场景持续丰富。充分发挥各技术路线优势，拓展新型储能在电源协同运行、电网稳定支撑及智能微电网、虚拟电厂等领域应用。

——多元技术逐步成熟。锂离子电池储能实现规模化应用，压缩空气储能、液流电池储能、钠离子电池储能、飞轮储能等进一步商业化发展，固态电池、重力储能、热储能、氢储能及其他创新技术示范应用。

——系统性能显著提升。新型储能关键设备及系统的综合能量转化效率、循环寿命等经济性指标及全生命周期安全水平进一步提高，促进电力系统安全稳定运行。

——产业创新稳步增强。推动政策机制完善，加快商业模式创新，支持在重点地区先行先试，促进产业链上下游协同、提质增效，助力实现可持续发展。

二、促进新型储能应用场景拓展

（一）推进电源侧储能应用。推动沙漠、戈壁、荒漠等新能源基地合理规划建设新型储能。建设一批系统友好型新能源电站，促进新能源电站与配建新型储能联合运行，平滑新能源出力曲线，提高可靠出力水平，提供电网稳定支撑能力。研究煤电机组与电化学储能、飞轮储能、热储能等新型储能项目联合运行，

优化运行方式，提升调节能力。鼓励利用退役火电厂场地和送出线路，科学规划建设新型储能。

（二）拓展电网侧储能应用。推动在负荷密集接入、大规模新能源汇集、大容量直流馈入等关键电网节点，开展独立储能电站建设。加快推进构网型储能，在高比例新能源电网、弱电网及孤岛电网的示范应用，推广配电网新型储能应用，提升新型储能对电力系统稳定运行支持能力。鼓励在配电网扩建受限或偏远地区推广电网替代型储能。

（三）创新多场景应用模式。聚焦工业园区、算力设施、商业综合体、光储充放一体化充电站、分布式光伏、通信基站等应用场景，积极创新绿电直连、虚拟电厂、智能微电网、源网荷储一体化、车网互动等应用模式，进一步发挥系统调节作用。研究推广新型储能作为独立主体或通过负荷聚合商等形式参与需求响应。

（四）培育试点应用场景。各地重点围绕电源侧、电网侧及其他多场景应用方向，依托大数据、云计算、人工智能等前沿技术，创新“人工智能+”应用场景，培育一批技术领先、应用前景好、可复制性强的新型储能应用场景。

三、推动新型储能利用水平提升

（五）推动新型储能调控方式创新。电力调度机构应根据系统需求，科学制定新型储能调度细则，明确新型储能调度运行方式和调用区间。积极开展新型储能与电源协同优化调度、规模化储能系统集群智能调度及分布式储能虚拟电厂聚合调控等调用方式创新。

（六）合理提升新型储能调用水平。电力现货市场未连续运行地区应综合考虑系统需求、安全性、调节经济性等因素，优化各类调节资源调用序位，结合系统需要科学增加新型储能调用，尽量减少煤电机组频繁深度调峰、日内启停调峰。电力现货市场连续运行地区，遵循市场交易结果调用各类调节资源。

（七）提高新型储能调度适应能力。新型储能电站应符合电力系统安全稳定运行要求，完成相应性能试验及涉网试验，具备按照调度指令进行有功功率和无功功率自动调节的能力，并规范配置监控系统和通讯

信息等二次系统，按程序向电力调度机构上传运行信息，接受并执行调度指令，实现运行数据可测、储能状态可控。

四、引领新型储能创新融合

（八）大力推动技术创新。依托国家产业技术工程化中心、国家新兴产业创新中心、国家能源局研发创新平台、新型储能领域国家科技重大项目、能源领域首台（套）重大技术装备、新型储能试点项目等，支持开展新型储能共性关键技术攻关、装备研制和示范验证，促进新型储能技术多元化发展，探索多技术混合式新型储能、长时储能等应用，并积极储备一批前沿新型储能技术。强化企业科技创新主体地位，促进新型储能企业联合开展技术攻关。

（九）组织实施储能产业创新工程。强化重大项目布局牵引，发挥龙头企业产业引领作用，加强上下游产业合作，打造新型储能产业上下游融合创新生态，加快科技成果产业化应用，推动全产业链优化升级。推动新型储能产业集群化发展，支持有条件的地区优化新型储能产业布局。

（十）推广试点项目应用。深入推进新型储能试点工作，及时总结建设运行经验。鼓励各省（区、市）能源主管部门结合各地实际，组织一批具有技术先进性和产业带动性的新型储能试点项目，促进新型储能技术产业创新。

五、加强新型储能标准体系建设

（十一）加快完善新型储能标准体系。结合新型电力系统建设思路，进一步完善新型储能各环节技术标准，逐步构建适应技术多元创新趋势、满足产业发展需求、与现有能源电力标准有效衔接的新型储能标准体系。加强新型储能标准实施评估，推动标准制定、实施、评估、复审修订的闭环管理。

（十二）加强关键领域标准制修订。优先开展技术相对成熟、具备推广应用条件的储能领域标准制修订工作。加快新兴技术标准布局和预研。推动新型储能设计规范、系统集成、接入电网、安全管理、应急处置、运行评价与退出等关键标准完善，促进新型储能技术研发、试点应用与标准制定协同发展。

（十三）持续推进国际标准化工作。深化新型储能标准化国际交流合作，支持相关企业、协会、科研机构、标准化组织和行业专家等深度参与IEC、ISO等国际标准化工作，积极推进新型储能国际标准制修订。

推动国内标准采用和转化国际先进标准，提升新型储能标准国际化水平。

六、加快新型储能市场机制完善

（十四）鼓励新型储能全面参与电能量市场。推动“新能源+储能”作为联合报价主体，一体化参与电能量市场交易。推进具备独立计量、控制等技术条件，符合相关标准规范和电力市场注册基本条件，具有法人资格的新型储能项目，作为独立主体参与电能量市场。有序推动新型储能参与中长期市场。

（十五）引导新型储能参与辅助服务市场。结合电力市场建设进展，有序引导新型储能参与调频、备用等辅助服务市场，鼓励各地区因地制宜研究探索爬坡、转动惯量等辅助服务品种，逐步扩大新型储能参与辅助服务规模。

（十六）加快新型储能价格机制建设。推动完善新型储能等调节资源容量电价机制，有序建立可靠容量补偿机制，对电力系统可靠容量给予合理补偿。各地要加快推进电力中长期、现货市场建设，完善市场价格形成机制，推动合理形成新型储能充放电价格。

七、组织保障

（十七）加强工作统筹。国家发展改革委、国家能源局负责统筹协调，全面指导各省（区、市）能源主管部门新型储能规模化建设工作。各省（区、市）能源主管部门应加快建立健全与电力运行、价格、规划、消防等相关主管部门、国家能源局派出机构、各类电力企业等协同合作的工作机制，形成工作合力。

（十八）强化安全管理。牢固树立安全发展理念，将确保安全作为发展电化学储能的重要前提。相关部门按照安全生产“三管三必须”原则，加强新型储能安全管理。项目备案机关备案时，在备案文件中明确项目单位的安全生产主体责任，并落实项目安全监管责任。各省级能源主管部门强化统筹协调，加快推动构建本地区电化学储能安全监管体系。

（十九）优化建设管理。各省（区、市）能源主管部门要坚持规划引领，科学测算本地区调节能力需求，统筹明确新型储能和其他调节资源发展规模和布局，每年度报送新型储能规划建设情况，总结发展经验。支持多方主体参与投资新型储能，鼓励民营企业在新型储能发展中发挥更大作用。引导金融机构对新型储能领域企业提供贷款和利率支持，探索融资租赁支持新型储能设备采购，推动研究开发面向新型储能

项目的保险产品。

（二十）增强人才保障。加大人才引进和培养力度，发挥高校和科研院所在培养优秀创新人才方面的作用和优势，依托储能产教融合平台，形成多层次、多渠道的人才培养体系。加强新型储能电站运维管理人員培训，提升设备管理、经营分析、运行维护、安全应急等方面的专业能力。

（二十一）推进国际合作。按照优势互补、互利共赢的原则，充分发挥政府间多、双边能源合作机制作

用，推进新型储能领域合作。加强国际技术交流和信息共享，推动国内先进新型储能技术装备“走出去”。



（信息来源：国家发展和改革委员会）

国家发展改革委印发《节能降碳中央预算内投资专项管理办法》

为加强和规范节能降碳专项中央预算内投资管理，高质量推进项目建设，提高资金使用效益，国家发展改革委于2025年10月14日发布了《节能降碳中央预算内投资专项管理办法》，以支持重点行业领域节能降碳、煤炭消费清洁替代、循环经济助力降碳、低碳零碳负碳示范、碳达峰碳中和基础能力建设等方向。支持内容包括：

（一）重点行业领域节能降碳项目。支持电力、钢铁、有色、建材、石化、化工、机械等重点行业节能降碳改造。支持以工业园区、产业集群为载体整体部署并规模化实施的节能降碳改造。支持供热、算力等基础设施节能降碳改造。支持中央和国家机关节能降碳改造。

（二）煤炭消费清洁替代项目。支持煤电机组和煤化工项目低碳化改造。支持食品、烟草、纺织、造纸、印染等行业燃煤锅炉、工业窑炉，实施清洁能源替代。支持城乡居民采用地热能、生物质能供暖。

（三）循环经济助力降碳项目。支持园区循环化改造、国家“城市矿产”示范基地和资源循环利用基地等建设和改造。支持规模化规范回收站点和绿色分拣中心建设。支持再生资源循环利用和大宗固体废弃物综合利用，以及退役设备再制造。支持以农林剩余物资源化和能源化利用。支持可降解塑料、可循环快递包装产品生产应用推广。支持“以竹代塑”基础设施建设和产品生产应用推广。

（四）低碳零碳负碳示范项目。支持绿色低碳先进适用技术示范应用。支持零碳园区、零碳运输走廊

实现近零碳目标的供能设施建设、基础设施改造、工艺降碳改造等项目。支持绿色甲醇和可持续航空燃料生产项目。支持规模化碳捕集利用与封存（CCUS）项目建设。

（五）碳达峰碳中和基础能力建设项目。支持碳排放计量、统计、核算、监测等基础能力建设，包括碳排放数据管理系统、温室气体排放因子库、碳排放计量体系等。该方向仅支持政府投资项目，有关项目应纳入国家层面规划或方案，并按照国家标准和要求实施。

（六）其他。围绕贯彻落实党中央、国务院交办重大事项需安排支持的项目建设。

以上支持范围中，重点行业领域节能降碳项目、煤炭消费清洁替代项目、循环经济助力降碳项目、低碳零碳负碳示范项目等项目支持比例均为核定总投资的20%。对于地方政府投资的碳达峰碳中和基础能力建设项目，东、中、西、东北地区项目支持比例分别为核定总投资的60%、70%、80%、80%。中央和国家机关有关项目原则上全额安排。更多详细内容请扫描二维码查看文件原文。



（信息来源：国家发展和改革委员会）

国家发展改革委 市场监管总局印发《中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（2025年版）》

根据《能源效率标识管理办法》（国家发展改革委、原国家质检总局2016年第35号令）规定，国家发展改革委、市场监管总局于2025年9月26日发布了《中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（2025年版）》及相关实施规则。

其中包含4项与制冷行业相关的效率标识将于2026年实施。《永磁同步电动机能源效率标识实施规则》《空气净化器能源效率标识实施规则》自2026年1月1日起实施，有效期5年。2026年1月1日前出厂或进口的产品，可延迟至2028年1月1日按实施规则施加能效标识。《高压三相笼型异步电动机能源效率标识实施规则》《商用制冷器具能源效率标识实施规则》自2026年4月1日起实施，有效期5年。2026年4月1日前出厂或进口的产品，可延迟至2028年4月1日按实施规则施加能效标识。

国家发展改革委、原国家质检总局、原国家认监委2016年第14号公告中《远置冷凝机组冷藏陈列柜能源效率标识实施规则》，《关于印发中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（第十五批）及相关实施规则的通知》（发改环资规〔2020〕640号）中《永磁同步电动机能源效率标识实施规则》《空气净化器能源效率标识实施规则》，《关于印发〈中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（第十七批）〉及相关实施规则的通知》（发改环资规〔2025〕45号）中《自携冷凝机组商用冷柜能源效率标识实施规则（修订）》同时废止。

（信息来源：国家发展和改革委员会）



附：中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（2025年版）（摘登）

序号	产品名称	能源效率标识实施规则	实施时间	依据的能效标准
1	家用电冰箱	《家用电冰箱能源效率标识实施规则》（国家发展改革委、原国家质检总局、原国家认监委2016年第14号公告）。	2016年10月1日。	GB 12021.2—2015 《家用电冰箱耗电量限定值及能效等级》
3	单元式空气调节机	《单元式空气调节机能源效率标识实施规则（修订）》（《关于印发中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（第十五批）及相关实施规则的通知》（发改环资规〔2020〕640号））。	实施日期与对应能源效率强制性国家标准实施日期（2020年11月1日）保持一致，标识实施前出厂或进口的产品，可于标识实施之日起一年内按修订后的实施规则施加能效标识。	GB 19576—2019 《单元式空气调节机能效限定值及能效等级》
6	中小型三相异步电动机	《中小型三相异步电动机能源效率标识实施规则（修订）》（《关于印发中小型三相异步电动机、电力变压器、通风机、平板电视、机顶盒五类产品能源效率标识实施规则（修订版）的通知》（发改环资规〔2021〕679号））。	2021年6月1日。2021年6月1日前出厂或8月1日前进口的产品，可延迟至2022年6月1日前按修订后的实施规则施加能效标识。	GB 18613—2020 《电动机能效限定值及能效等级》
7	热泵和冷水机组	《冷水（热泵）机组能源效率标识实施规则（修订）》《水（地）源热泵机组能源效率标识实施规则（修订）》《溴化锂吸收式冷（温）水机组能源效率标识实施规则（修订）》《低环境温度空气源热泵（冷水）机组能源效率标识实施规则（修订）》（《关于印发〈中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（第十七批）〉及相关实施规则的通知》（发改环资规〔2025〕45号））。	2025年2月1日。2025年2月1日前出厂或进口的产品，可延迟至2027年2月1日按修订后的实施规则施加能效标识。	GB 19577—2024 《热泵和冷水机组能效限定值及能效等级》

序号	产品名称	能源效率标识实施规则	实施时间	依据的能效标准
9	房间空气调节器	《房间空气调节器能源效率标识实施规则（修订）》（《关于印发中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（第十五批）及相关实施规则的通知》（发改环资规〔2020〕640号））。	实施日期与对应能源效率强制性国家标准实施日期（2020年7月1日）保持一致，标识实施前出厂或进口的产品，可于标识实施之日起一年内按修订后的实施规则加施能效标识。	GB 21455—2019 《房间空气调节器能效限定值及能效等级》
10	多联式空调（热泵）机组	《多联式空调（热泵）机组能源效率标识实施规则（修订）》（《关于印发多联式空调（热泵）机组和电风扇两类产品能源效率标识实施规则（修订）的通知》（发改环资规〔2022〕1594号））。	2022年11月1日。2022年11月1日前出厂或进口的产品，可延迟至2024年11月1日按修订后的实施规则加施能效标识。	GB 21454—2021 《多联式空调（热泵）机组能效限定值及能效等级》
11	储水式电热水器	《储水式电热水器能源效率标识实施规则》（国家发展改革委、原国家质检总局、原国家认监委2016年第14号公告）。	2016年10月1日。	GB 21519—2008 《储水式电热水器能效限定值及能效等级》
21	家用太阳能热水系统	《家用太阳能热水系统能源效率标识实施规则》（国家发展改革委、原国家质检总局、原国家认监委2016年第14号公告）。	2016年10月1日。	GB 26969—2011 《家用太阳能热水系统能效限定值及能效等级》
24	热泵热水机（器）	《热泵热水机（器）能源效率标识实施规则》（国家发展改革委、原国家质检总局、原国家认监委2016年第14号公告）。	2016年10月1日。	GB 29541—2013 《热泵热水机（器）能效限定值及能效等级》
29	永磁同步电动机	见原文所附实施规则。	2026年1月1日。2026年1月1日前出厂或进口的产品，可延迟至2028年1月1日按实施规则加施能效标识。	GB 30253—2024 《永磁同步电动机能效限定值及能效等级》
30	空气净化器	见原文所附实施规则。	2026年1月1日。2026年1月1日前出厂或进口的产品，可延迟至2028年1月1日按实施规则加施能效标识。	GB 36893—2024 《空气净化器能效限定值及能效等级》
32	风管送风式空调机组	《风管送风式空调机组能源效率标识实施规则》（《关于印发中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（第十五批）及相关实施规则的通知》（发改环资规〔2020〕640号））。	实施日期与对应能源效率强制性国家标准实施日期（2020年11月1日）保持一致，标识实施前出厂或进口的产品，可于标识实施之日起一年内加施能效标识。	GB 37479—2019 《风管送风式空调机组能效限定值及能效等级》
38	商用制冷器具（制冷自动售货机、远置式商用冷柜、自携式商用冷柜）	见原文所附实施规则。	2026年4月1日。2026年4月1日前出厂或进口的产品，可延迟至2028年4月1日按实施规则加施能效标识。	GB 26920—2024 《商用制冷器具能效限定值及能效等级》

我国液氢制取技术产业化应用取得新突破

中国科学院理化技术研究所研制的5吨/天液氢制取装备的核心设备在安徽阜阳民用液氢工厂实现示范应用，已连续稳定运行超过168小时。这标志着我国具备了大规模高效液氢工厂的自主研发能力，为氢能商业化提供了坚实的技术支撑。



图1 高速重载氢气透平膨胀机



图2 高效正仲氢转化及换热一体化换热器正机

随着氢燃料商用车的集中运行，如何高效制备、运输和加注氢气成为关键难题。液态储氢是解决这一难题的重要方向之一，因为它“肚量大、占地小”，特别适合远距离、小空间、连续用氢的场景。不过，液氢制备需将氢气冷却至-253℃的超低温状态，对设备工艺要求极为苛刻。

经过四年技术攻关，中国科学院理化技术研究所成功突破了5吨/天液氢制取装备的一系列核心技术。比如大规模高效氢气液化工艺流程设计与优化、正仲氢转化与换热一体化技术、重载氢气透平膨胀机技术，以及整套系统集成与调控技术等。

经第三方测试和专家现场见证，此次研制的高速重载氢气透平膨胀机最高绝热效率达83.52%，高效正仲氢转化及换热一体化换热器最高换热效能达96.77%。这标志着已经实现5吨/天液氢制取装备的关键技术和核心设备的自主可控，装备液化能力达到5.27吨/天，生产每千克液氢能耗为11.8千瓦时。

这项成果为我国首条“液氢制取—储运—加注”产业链示范奠定了坚实基础，将有力推动氢燃料商用车、绿色能源及航空航天等领域的发展，并助力10~30吨/天更大规模氢液化装置的后续研发。

（信息来源：中国科学院理化技术研究所微信公众号）

中国科学院理化技术研究所低温冷疗装备研发取得新进展

低温全身冷疗是指将身体短时间（通常3分钟）暴露于-180~-50℃低温环境下，利用强烈、短时间温度刺激，激活身体应激保护机制，对缓解疼痛、减轻病理症状、改善睡眠、改善健康状况等具有较好效果。目前低温冷疗技术已广泛应用于运动员运动后恢复。

低温全身冷疗装备主要有两种形式，Whole-body cryotherapy（WBC）通常使用电制冷，使用时整个人进入冷疗舱中。Partial-body cryotherapy（PBC）通常利用液氮蒸发产生的低温蒸汽降温，使用时身体部分处于舱中，头部则露在舱外并呼吸室温空气。目前全身冷疗装备主要由欧美发达国家生产。其中电制冷WBC

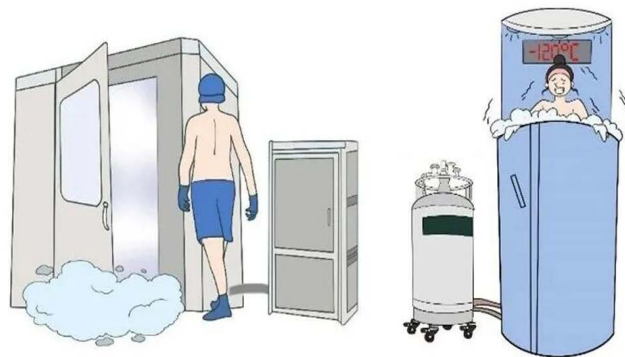


图1 低温全身冷疗WBC形式（左图）和PBC形式（右图）

装备, 仍然存在冷疗舱内温度未达标、舱体单位体积能耗大、降温时间慢、连续使用性能差等问题, 难以满足对冷疗装备的经济性和使用便捷性等需求。

近年来, 在中国科学院科技服务网络计划(STS计划)、低温科学与技术全国重点实验室青年基金课题等支持下, 理化所低温科学与技术全国重点实验室低温制冷与特种动力技术研究中心公茂琼研究员团队开

发了深低温混合工质快速制冷、自动化温度控制等关键技术, 突破原有电制冷低温冷疗舱技术瓶颈, 形成了低温冷疗核心技术体系, 取得国际公开报道中同类装备在最低制冷温度、制冷效率、降温速度等核心指标方面的领先水平, 申请及授权相关专利20余件, 主持团体标准1件, 相关成果在Appl. Therm. Eng.等本领域期刊发表。

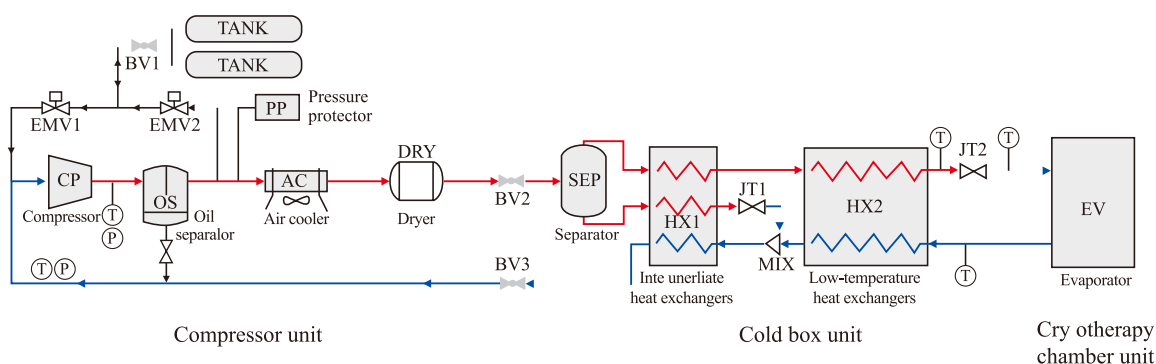


图2 基于混合工质制冷的低温冷疗装备流程



图3 团队研制的系列低温冷疗装备

在此基础上, 依托相关产业化项目, 公茂琼研究员、赵延兴研究员、王宪项目副研究员等主导开展了低温冷疗系列装备研发工作, 形成了混合工质制冷、高效

间壁式换热、舱内均匀温控、局部快捷除霜、自动化宽温区运行等关键工艺, 研发了低温机械式全身冷疗舱、液氮式全身桑拿舱、局部式冷疗仪等装备, 先后亮相第三届中国(安徽)科技创新成果转化交易会、中国国际体育用品博览会等, 获得媒体广泛报道。

2025年9月14日, 中国女子曲棍球国家队获得亚洲杯冠军。在集训和比赛期间, 理化所团队研制的液氮式全身桑拿舱装备用于国家队队员每日训练后恢复, 快速缓解运动后疲劳, 提高每日睡眠质量, 并记录了大量实验数据, 为高水平运动员取得更高突破提供科技支持。



图4 央视科教频道《创新进行时》栏目报道



图5 低温冷疗装备为女子曲棍球国家队队员运动恢复提供科技支持

(信息来源: 中国科学院理化技术研究所微信公众号)

中国科学院理化技术研究所周敏、李来风研究员在高性能热电材料领域取得新进展

热电转换技术能通过塞贝克效应（Seebeck effect）和帕尔贴效应（Peltier effect）实现热能与电能直接相互转换，具有系统体积小、无运动部件、无噪声、无损耗和无污染等优点，在深空探测、固态制冷和精确控温等领域有着重要的应用。热电转换效率主要由热电材料的无量纲热电优值（ $zT = S^2 \sigma T / \kappa$ ）决定。由于电学和热学传输特性之间的强耦合关系，使得提高材料的热电性能颇具挑战性。

近日，中国科学院理化技术研究所周敏、李来风

研究员与多个研究机构合作，提出了超重力场重熔协同优化热电性能、提升热电优值 zT 的新方法，为实现高性能热电材料研究提供了新思路。

在超重力场的作用下，脆性BiSbTe热电材料经历了不同寻常的塑性变形，并形成了大量微观结构缺陷，这在常规制造工艺中极为罕见。从而实现了微观结构重构，结合载流子浓度优化功率因子，使BiSbTe合金的晶格热导率低至 $\kappa_l < 0.25 \text{ W/(m·K)}$ ，热电优值 $zT > 1.91$ （图1），这是目前报道的最高值。

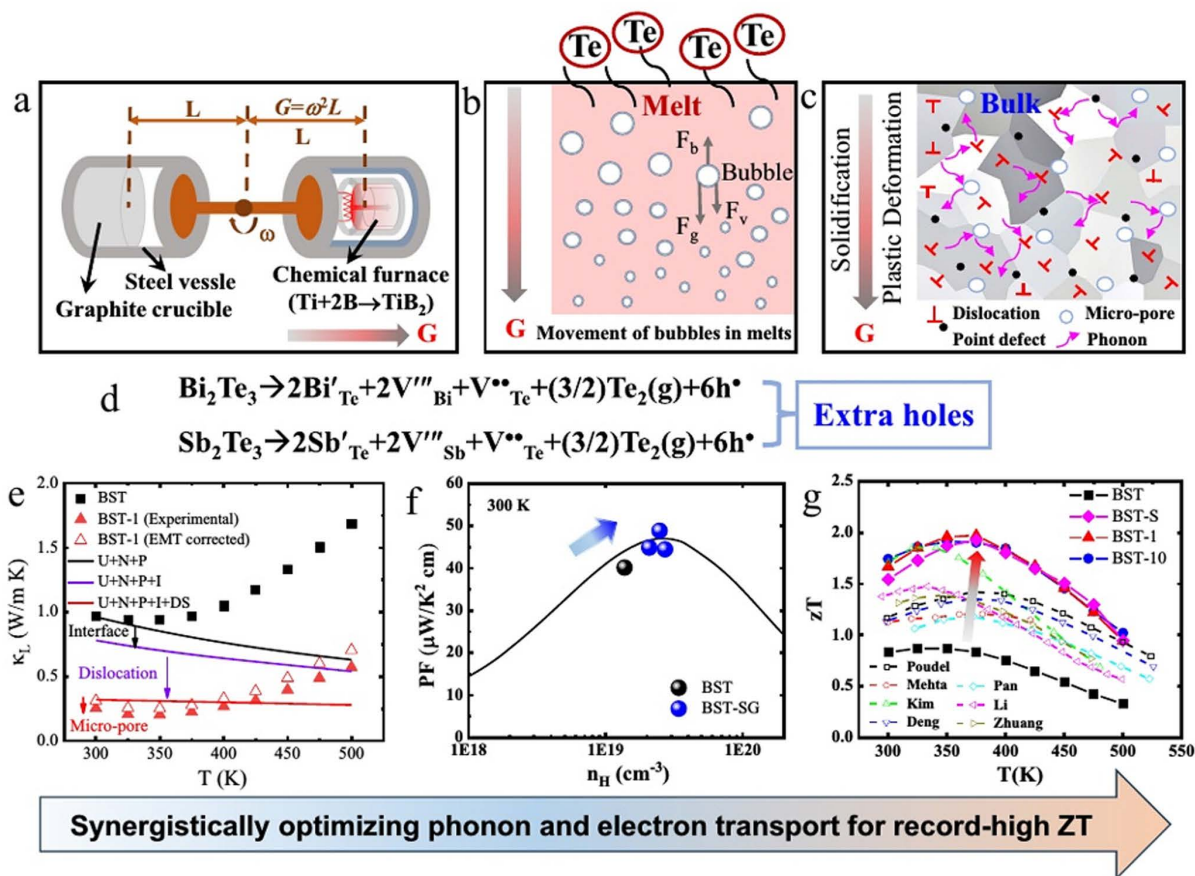


图1 协同优化声子和电子传输实现超高 zT 值

a. 超重力场重熔技术示意图，b. 熔体中气泡运动示意图，c. 超重力场重熔（SGF-RM）后微观结构重构示意图，d. Te挥发产生额外空穴过程示意图，e. 超重力场重熔前后样品的晶格热导率，f. 基于有效质量 $m^*=1.05m_0$ 和漂移迁移率 $\mu_w=420 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ 在300 K下预测的功率因子随霍尔载流子浓度变化曲线，g. Bi_{0.48}Sb_{1.52}Te_{3.03}合金在超重力重熔前后 zT 值变化图。

超重力重熔后 $\text{Bi}_{0.48}\text{Sb}_{1.52}\text{Te}_{3.03}$ 合金中过量碲蒸发，导致Bi (Sb) 原子占据Te空位，产生较多带负电的反位缺陷，在基体中形成额外的空穴，从而增加载流子浓度（表1），使电导率提高的同时，Seebeck系数极

大值向高温方向移动，功率因子提高至 $44.5\sim 48.9 \mu\text{W}/(\text{K}^2\cdot\text{cm})$ （300 K），比基体材料高约11%~22%；结合微结构重构导致的低热导率，平均 zT 值达到 $1.63\sim 1.66$ （300~500 K）（图2）。

表1 超重力重熔前后样品的ICP-OES结果及相应的霍尔测量值

samples	ICP-OES results	Carrier concentration (10^{19} cm^{-3})	Mobility ($\text{cm}^2/\text{V s}$)	Hall coefficient (cm^3/C)	Electrical resistivity ($10^{-3} \Omega \text{ cm}$)
BST	$\text{Bi}_{8.51}\text{Sb}_{28.92}\text{Te}_{62.57}$	1.37	388.98	0.46	1.17
BST-S	$\text{Bi}_{9.99}\text{Sb}_{29.27}\text{Te}_{60.74}$	2.08	279.01	0.30	1.03
BST-1	$\text{Bi}_{10.20}\text{Sb}_{28.45}\text{Te}_{61.35}$	2.42	358.62	0.26	0.72
BST-10	$\text{Bi}_{8.57}\text{Sb}_{29.12}\text{Te}_{62.30}$	2.69	315.06	0.23	0.74

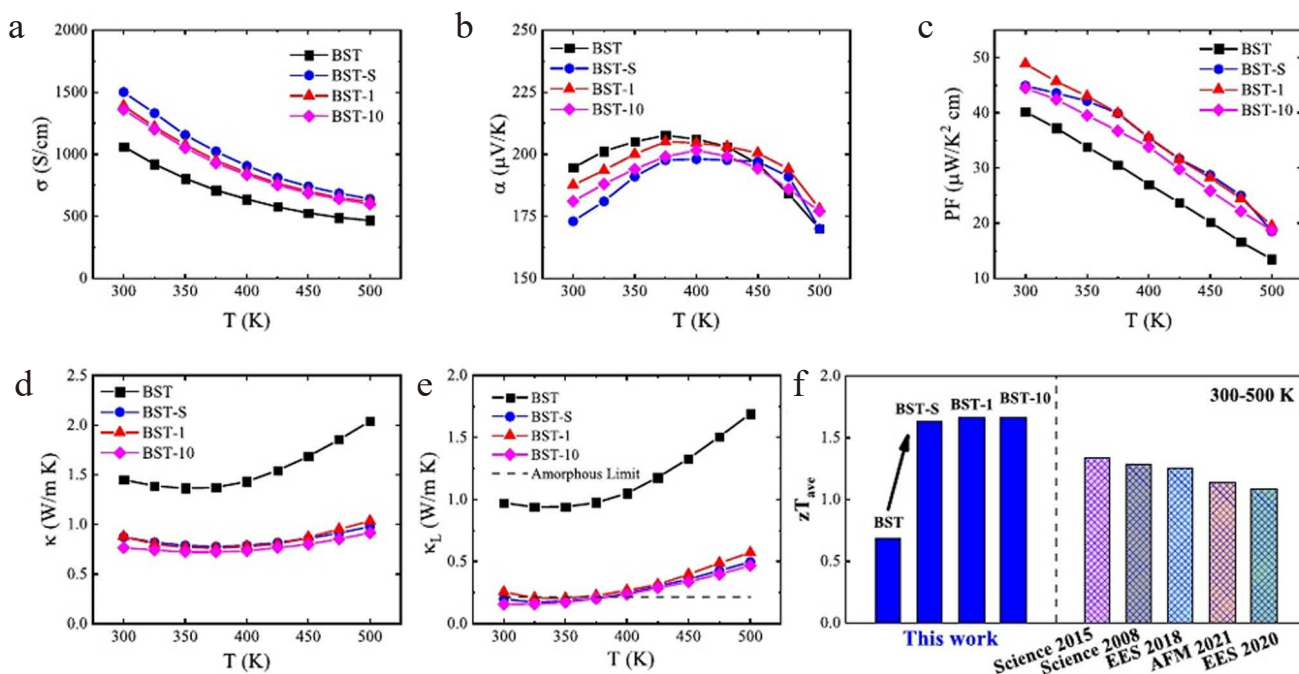


图2 热电性能图

a. 电导率, b. Seebeck系数, c. 功率因子, d. 热导率, e. 晶格热导率, f. $(\text{Bi,Sb})_2\text{Te}_3$ 合金超重力重融前后平均 zT 值变化图。

表2 BST、BST-1和BST-1-R的正电子湮没寿命谱 (PALS)

Specimen	τ_1 (ns)	I_1 (%)	τ_2 (ns)	I_2 (%)	τ_3 (ns)	I_3 (%)
BST	0.1521	26.3	0.3209	71.6	1.286	2.06
BST-1	0.1685	31.1	0.3344	67.7	1.534	1.25
BST-1-R Top	0.2076	60.90	0.3922	38.4	1.870	0.70
BST-1-R Middle	0.2076	60.91	0.3870	38.4	1.762	0.69
BST-1-R Bottom	0.2056	57.98	0.3758	41.3	1.765	0.73

基于正电子湮灭（表2）和透射电子显微镜（图3）对材料微观结构进行表征，确认超重力重熔后样品内存在诸如高密度位错、反位缺陷（Bi (Sb) $'_{\text{Te}}$ ）和微孔等微观结构缺陷的堆积，这显著增加了声子散射，导

致晶格热导率降低约24%（300 K）。因此，通过超重力重熔对微观结构的重构实现了超低晶格热导率。

基于超重力重熔 BiSbTe 材料，制备相应的热电器件，其发电效率达到6.4%（ $\Delta T=184 \text{ K}$, $T_{\text{cold}}=289 \text{ K}$ ），比对应的商用器件高约52%，并且获得了5.5 W的高输出功率，比商用模块提高了83%（图4）。

上述研究工作提出了一种超重力重熔制备技术实现高热电性能的新策略，也可拓展至其他热电材料体系。相关成果以Ultra-high thermoelectricity obtained in classical BiSbTe alloy processed under supergravity为题发表在Nature Communications上。

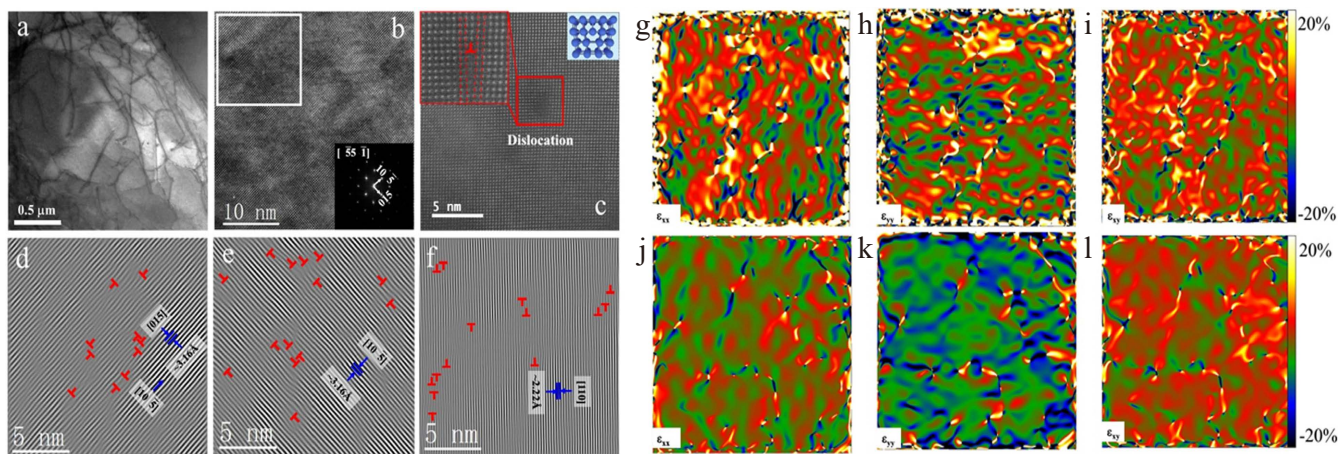


图3 样品BST-1 (a-i)和BST (j-l)TEM图

a. 低倍TEM图, b. 图a任意区域高分辨TEM (HRTEM) 图, c. 图a任意选区内原子级扫描透射电子显微镜高角环形暗场 (STEM HAADF) 图, d-f. 图3b白框内区域沿 (015)、(110) 晶面的快速傅里叶逆变换 (IFFT) 图, g-i. BST-1 样品 ϵ_{xx} 、 ϵ_{yy} 正应变场图及 ϵ_{xy} 剪切应变场图, g-i. BST 样品 ϵ_{xx} 、 ϵ_{yy} 正应变场图及 ϵ_{xy} 剪切应变场图。

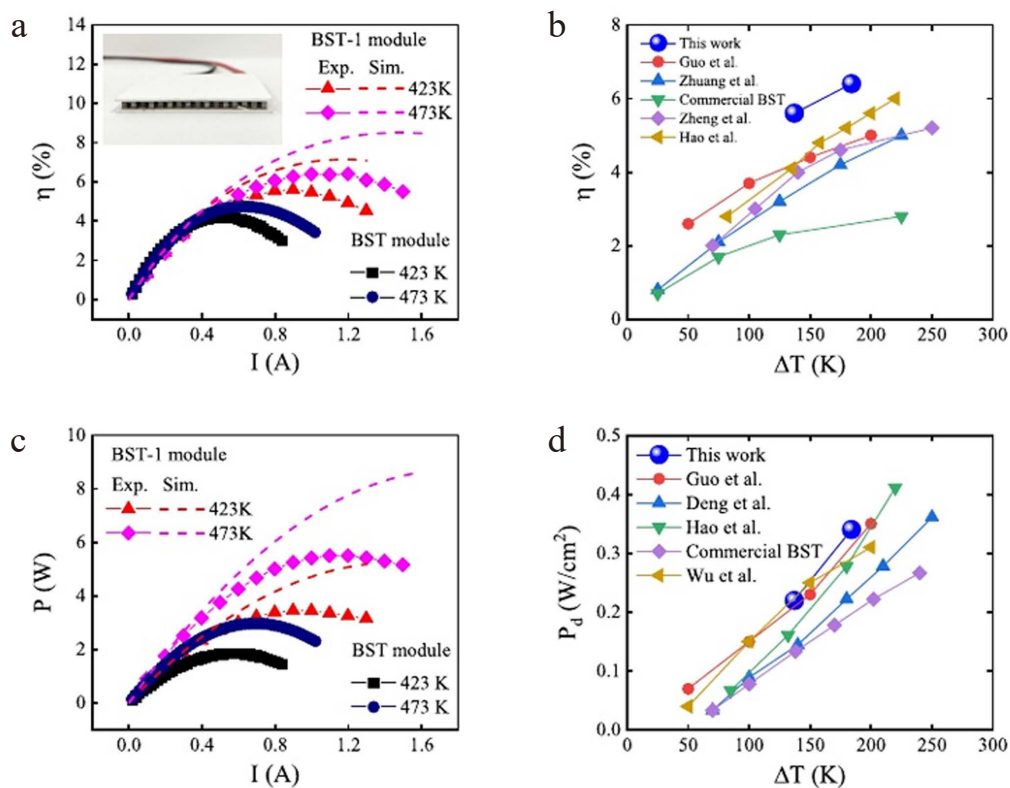


图4 器件发电效率和输出功率

a. 器件发电效率与输入电流关系图, b. 器件最大发电效率与温差关系图, c. 输出功率与输入电流关系图, d. 功率密度与温差关系图。

文章链接: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-62611-2>

(信息来源: 中国科学院理化技术研究所)

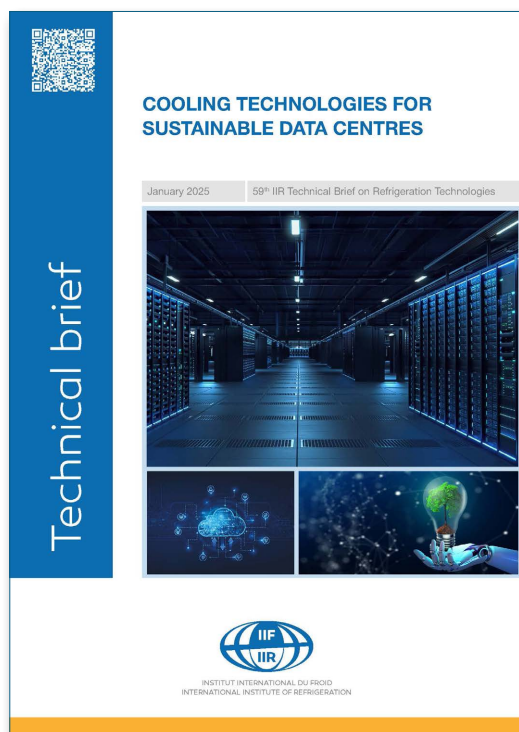
可持续性数据中心冷却技术

邵双全¹, 张朋磊², 李先庭³

¹ 华中科技大学能源与动力工程学院, 武汉 430074

² 南京航空航天大学航空学院空调与制冷研究所, 南京 210016

³ 清华大学建筑学院建筑技术科学系, 北京 100084



编者按：国际制冷学会于2025年1月免费向公众公开了由华中科技大学邵双全教授，南京航空航天大学张朋磊副教授，清华大学李先庭教授编写的第59期技术简报——可持续性数据中心冷却技术。经国际制冷学会授权，作者将文章翻译为中文，刊登于本刊，供大家集中了解数据中心最新研究现状及发展趋势。

摘要：随着对计算能力和数据存储需求的不断增长，全球数据中心（DC）的数量和规模显著扩大。高热流密度和对运行可靠性的需求迫切需要创新的冷却解决方案以提高能源效率。在数据中心冷却系统应用方案中，综合考虑取热、传热和放热三个过程是提高能源效率和降低碳排放的关键策略。本文介绍了数据中心冷却技术的工作原理和组成部分，并对数据中心冷却系统取热、传热和放热阶段的主要技术和最新应用现状以及发展趋势进行了探讨，为数据中心冷却系统的节能减排提供了参考。

关键词：数据中心；冷却系统；能源效率；可持续性

1 引言

随着大数据、人工智能、云计算、元宇宙等信息技术的飞速发展，数据量和算力成为数字经济时代的核心竞争力^[1]，而数据中心作为数据存储和算力支撑的核心基础设施也得到了迅猛的增长，对世界各国的经济都起到了重要的支撑作用，成为稳定经济增长的关键动力^[2]。

数据中心快速发展的同时，其运行能耗及碳排放量也快速增长，日益受到关注^[3]，而冷却系统作为保障数据中心安全可靠运行且能耗最大的重要辅助设施，是数据中心节能减排的关键^[4-5]。

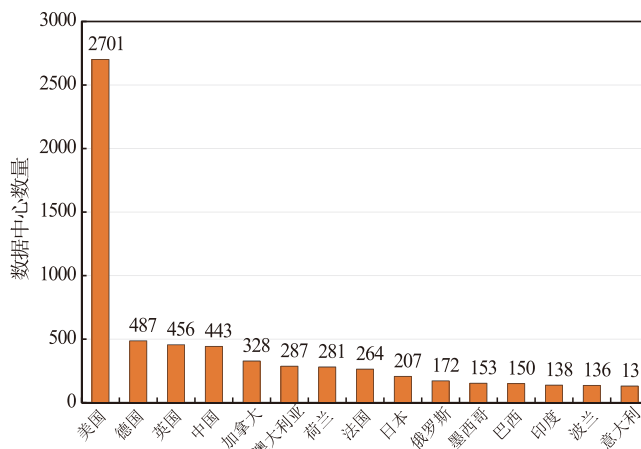


图1 2022年全球数据中心分布情况^[6]

2022年全球数据中心的分布情况如图1所示。预计2022年至2026年，全球数据中心市场将以近20%的复合增长率增长。据国际能源署估算，2022年全球数据中心的耗电量约为240~340 TWh，相当于全球电力需求的1%~1.3%，并在2020年排放了约3.3亿吨二氧化碳当量（包括数据传输网络）。根据数据中心的规模和热负荷，数据中心一般采用了不同的冷却方法，如图2所示。随着数据中心单机架功率突破20kW并向50kW及以上区间跃升，风冷冷却技术逐渐难以处理日益提高的热流密度。液冷技术利用更高传热性能的水或其他液体，以比风冷更高的效率为高热流密度机架提供高效经济的冷却方案。

本文介绍了数据中心冷却技术的工作原理和组成部分，并对数据中心冷却系统的取热、传热和放热阶

段的主要技术和应用的最新现状和发展趋势进行了探讨，为数据中心冷却系统的节能减排提供了参考。

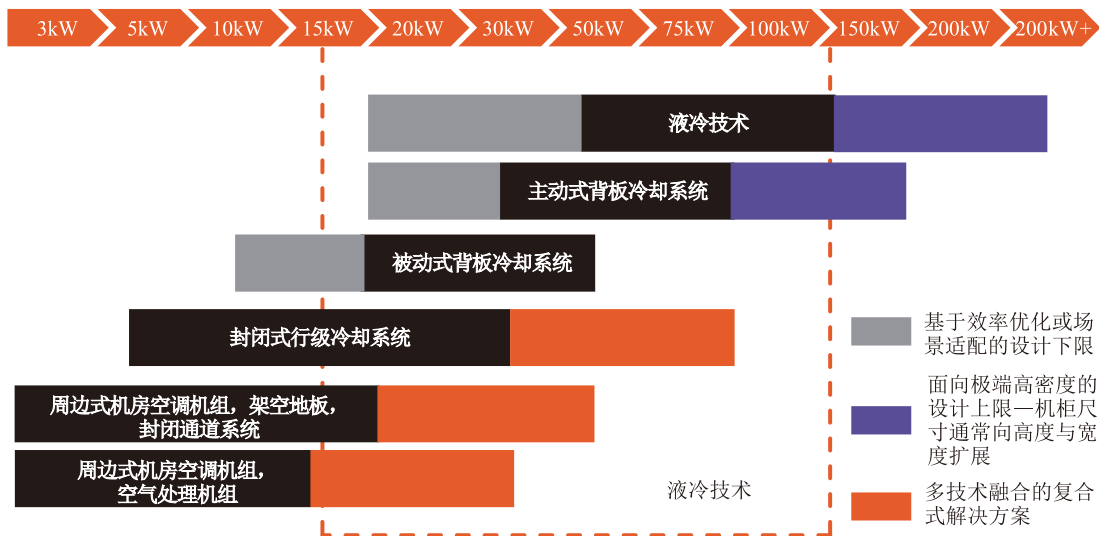


图2 数据中心热管理系统的发展^[7]

2 基本原理

2.1 数据中心冷却构成与主要形式

数据中心的冷却系统从数据中心收集热量并将其传输到室外散热器（或将热量回收用于供暖），保证IT设备、电力设备高效稳定运行，如图3所示。数据中

心的废热经过初步处理后可直接为附近的建筑物或设施供暖。不同于传统的建筑用空调系统主要是为了实现人的舒适性热湿环境的营造，数据中心冷却系统首要任务是保证IT设备运行的可靠性，传统数据中心冷却系统典型形式如图4所示。

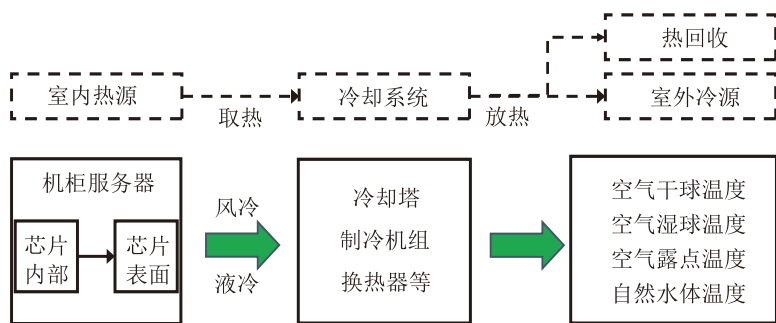


图3 数据中心冷却系统及主要环节

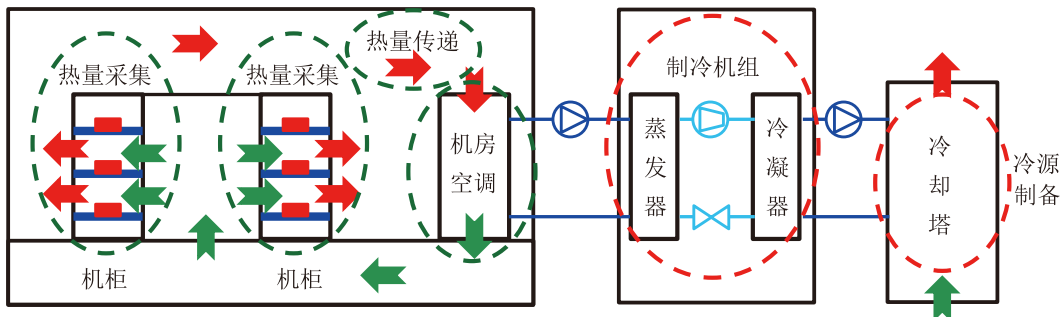
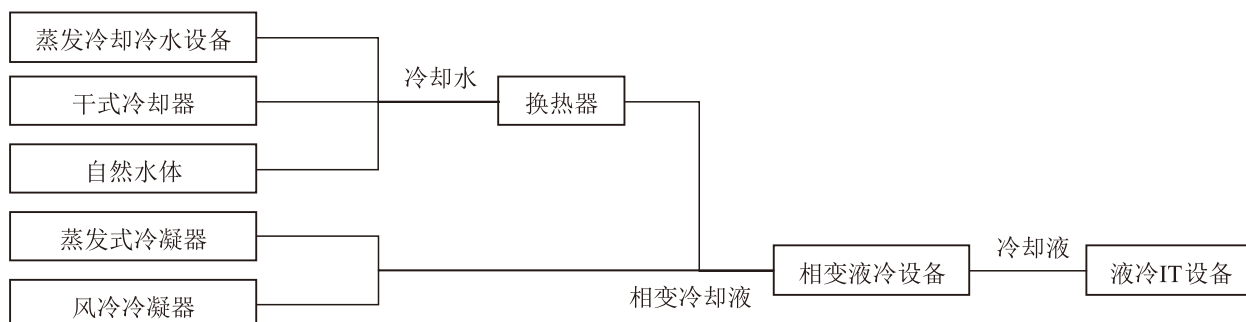


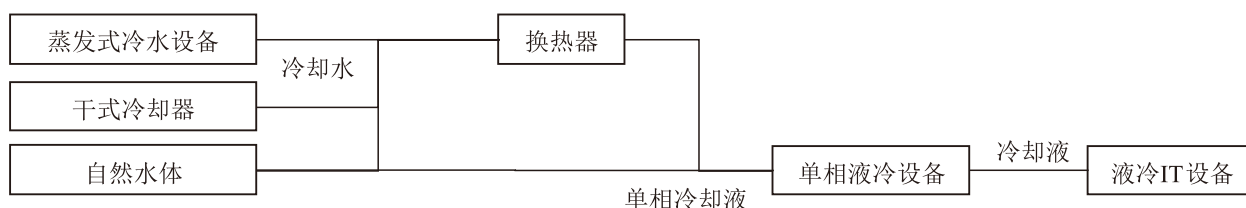
图4 数据中心冷却系统典型形式

数据中心的冷却系统主要分为三个主要过程：取热（冷却IT设备和供配电设备收集热量），传热（将收集的热量传递到室外冷却设备）和放热（将热量释放到室外环境或热用户）。每个过程采用不同的方法，从而构成了各种形式的数据中心冷却系统，如图5所示。IT设备的主流冷却形式包括液冷和风冷。根据

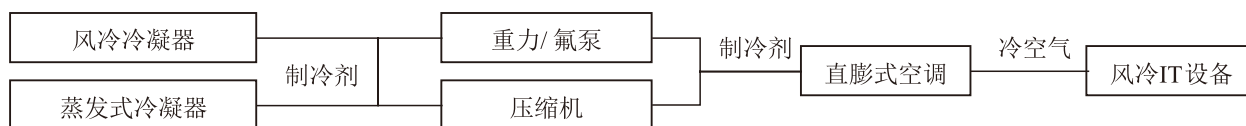
冷却剂是否相变，液冷系统分为相变液冷系统和单相液冷系统。风冷系统包括回路热管/蒸气压缩冷却系统，风冷冷水机组冷却系统，水冷冷水机组冷却系统和风冷直接/间接冷却系统。回路热管/蒸气压缩复合冷却系统充分利用了自然冷却源，具有显著的节能潜力。



(a) 相变液冷冷却系统



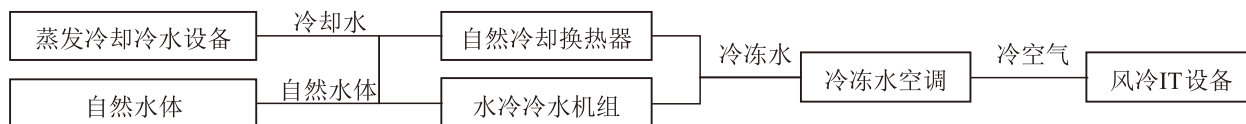
(b) 单相液冷冷却系统



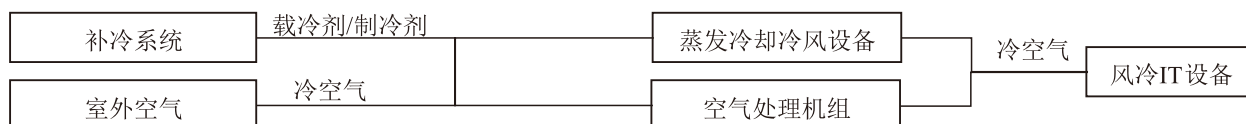
(c) 回路热管/蒸气压缩氟冷冷却系统



(d) 风冷冷冻水冷却系统



(e) 水冷冷冻水冷却系统



(f) 直接/间接风冷冷却系统

图5 数据中心冷却系统主要架构形式

2.2 数据中心及冷却系统能效

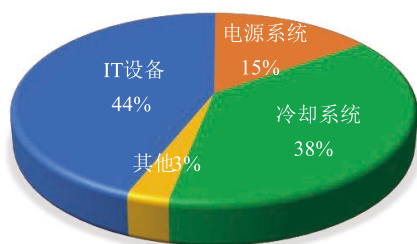
因为数据中心内部单位面积负荷大且需要全年不间断运行,所以数据中心能耗组成中的冷却系统是除IT设备外能耗最大的部分^[8]。数据中心PUE和冷却系统的综合性能系数(GCOP)的计算分别为式(1)和式(2)所示。图6显示了数据中心消耗能量的组成以及PUE和GCOP之间的关系;其中,“其他”包括照明、安全设施等。从图6中可以发现,PUE的进一步降低需要冷却系统能效提升的比例越来越大,冷却系统既是

数据中心能效提升和节能减排的关键和突破口,又面临着巨大的压力和挑战^[9]。

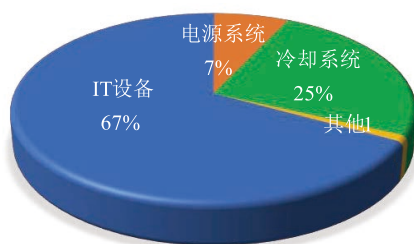
$$PUE = \frac{E_{\text{total}}}{E_{\text{IT}}} \quad (1)$$

$$GCOP = \frac{E_{\text{total}} - E_{\text{cooling}}}{E_{\text{cooling}}} \quad (2)$$

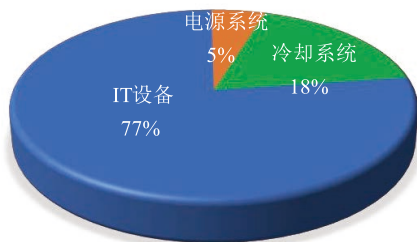
其中, E_{total} 为数据中心总能耗, E_{IT} 为IT设备能耗, E_{cooling} 为冷却系统能耗。



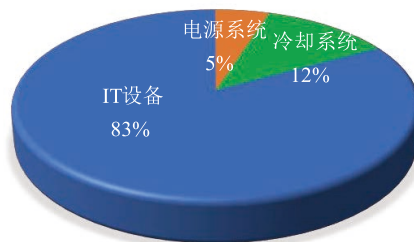
(a) PUE=2.3, GCOP=1.6



(b) PUE=1.5, GCOP=3.0



(c) PUE=1.3, GCOP=4.6



(d) PUE=1.2, GCOP=7.3

图6 数据中心冷却系统能效与数据中心能效的关系

3 主要研究进展

数据中心冷却系统的节能降耗,应考虑室内IT设备/供配电设备的散热特征和数据中心可供利用的室外自然冷源全年时间分布特征,从整体架构上综合考虑取热、传热和放热环节的设计与智能运维(如图7所示),以提升冷却系统的综合能效,达到节能减排的目的。

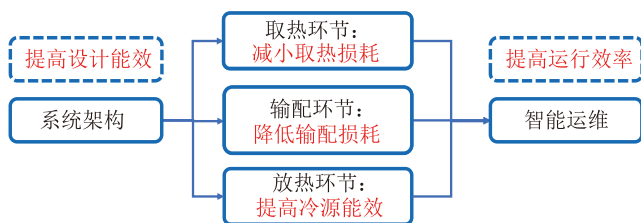


图7 数据中心冷却系统节能降耗路径

3.1 冷却系统架构研究进展

不同的冷却系统架构可以满足不同功率密度和规

模的数据中心冷却需求,适合不同的气候环境与应用场景。因此,冷却系统的架构优化要立足于数据中心的冷却需求、充分利用周边的环境冷源与可再生能源,对整个系统进行综合优化,以实现数据中心冷却系统的可靠性、经济性、能效以及碳排放等多个维度的目标。

以下规则有利于冷却系统性能的提高:

- (1) 在保证IT设备安全可靠运行的同时,尽可能提高取热温度;
- (2) 因地制宜的自然冷源与可再生能源利用;
- (3) 减少传热环节。

上述规则可以最大限度地减少整个系统全年的能耗,并实现数据中心整体冷却系统的节能。图8显示了图4中典型水冷空调系统的全局优化示意图。

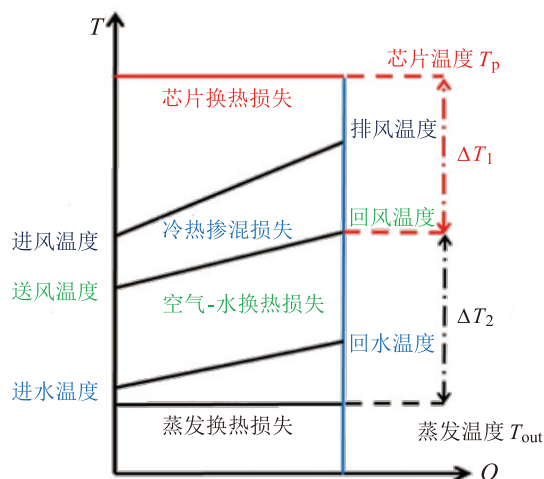
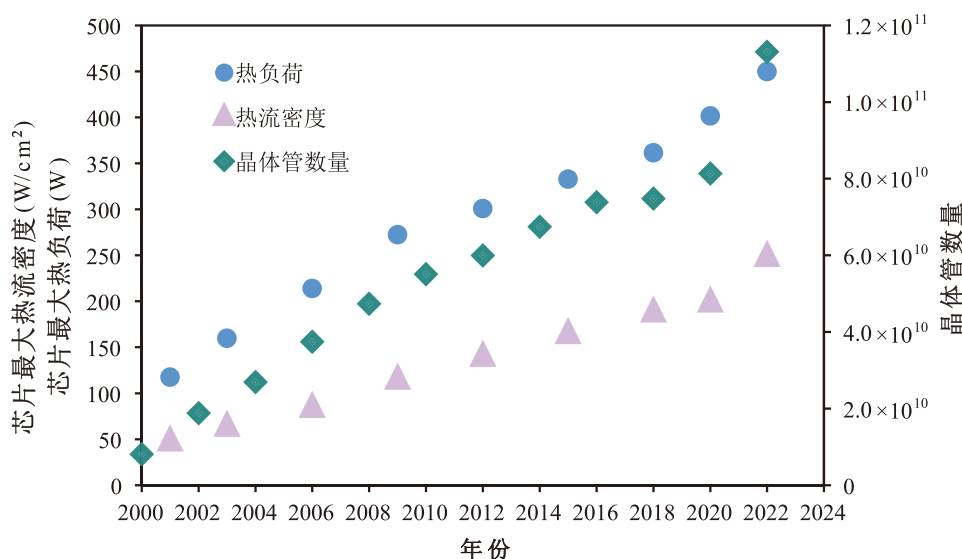
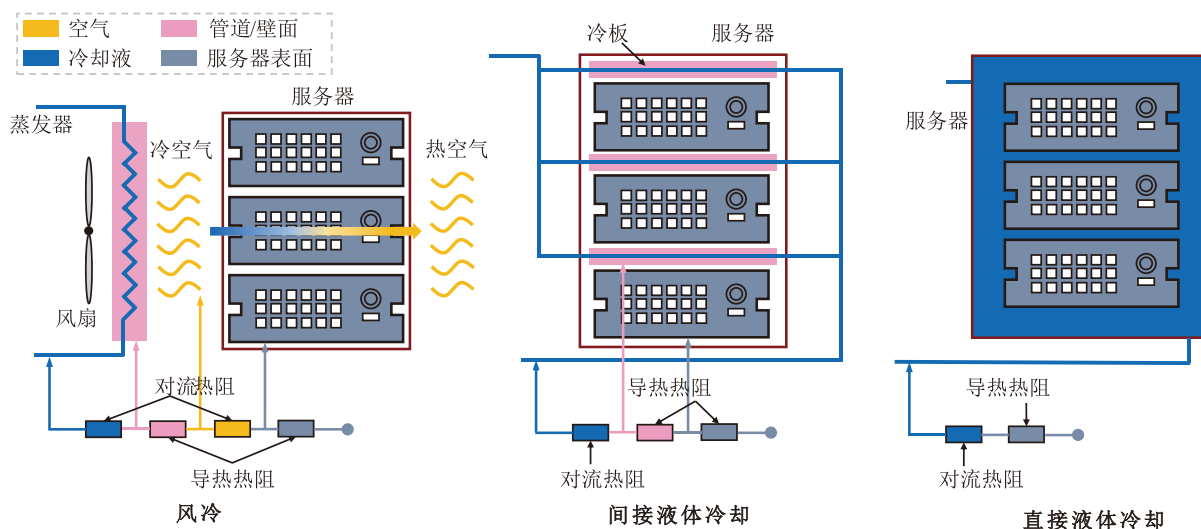


图8 数据中心冷却架构全局优化

3.2 取热环节研究进展

数据中心冷却系统的主要功能是排出内部设备产生的热量，不同年份设备产热量如图9所示。随着芯片内部电路密度的增加，最大热通量已经达到 200 W/cm^2 ，预计很快将超过 500 W/cm^2 ，局部热通量预计可达 1000 W/cm^2 。对于不同热通量的信息技术设备，取热过程主要包括风冷和液冷。风冷通常用于热通量小于 10 W/cm^2 的电子设备。图10中显示了风冷、间接液冷和直接液冷系统的示意图以及相应的热阻网络。在风冷中，电子设备产生的热量必须克服设备本身、空气、管道/壁和冷却剂的热阻传递到外部。与风冷相比，间接液冷减少了空气对流热阻；而直接液冷与间接液冷相比减少了管/壁导热热阻。

图9 数据中心制冷需求对比^[10]图10风冷/液冷热阻特性分析^[11]

3.2.1 风冷技术

空气是最容易获得且和IT设备相容性最高的冷却介质。数据中心发展至今, IT设备主要采用空气进行冷却^[12]。如图11所示, 风冷取热技术主要包括房间级冷却(含封闭冷热通道)、行间级冷却和机柜级冷却等形式。当前风冷取热技术面临的主要问题是, 不断优化传热技术, 缩小空气与IT设备之间传热温差, 优化空气流动阻力和流量以降低空气的输送能耗^[13]。

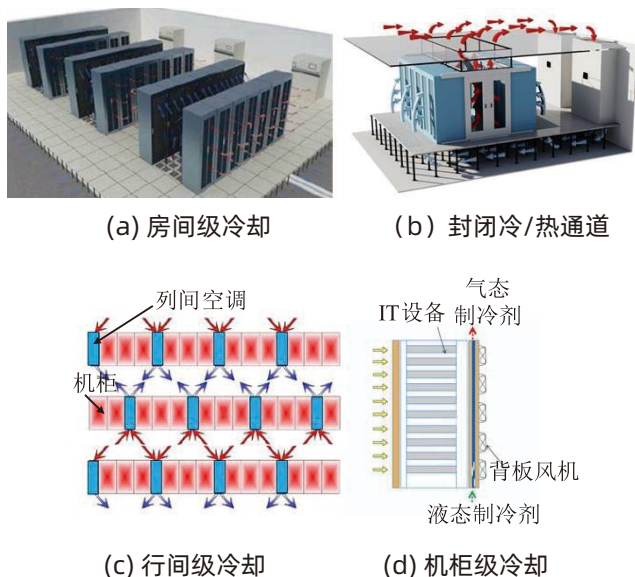


图11 风冷取热技术

3.2.2 液冷技术

随着数据中心功率密度增大, 空气冷却存在散热极限, 液冷技术拥有比风冷更高的对流换热系数, 可以提供更高的冷却能力, 并降低系统能耗。液冷技术通常被视为高性能计算和高密度应用的技术解决方案。液冷还可以使房间内增加的热量最少、减少/消除风扇的使用、实现余热回收、降低布局复杂度以及减少对地理气候的依赖。根据冷却液是否与产生热量的部件直接接触, 它分为直接液冷和间接液冷。如图12所示, 液冷有三种主流的方式: 冷板式液冷、浸没式液冷和喷淋式液冷; 而按照冷却介质利用显热还是相变潜热进行冷却又可以分为单相液冷和相变液冷。浸没冷却、喷雾冷却、冷板冷却(包括直接微通道冷却)可分别处理 $24\sim 100\text{ kW/cm}^2$ 、 $15\sim 400\text{ kW/cm}^2$ 和 $20\sim 900\text{ kW/cm}^2$ 的热通量, 而成本分别约为相同热通量空气冷却技术的250%, 300%和200%~400%^[11]。特别是冷板液冷和浸没式冷却技术已得到广泛应用, 并显示出显著的节能潜力。采用液冷的数据中心平均PUE在

1.1~1.2左右, 同时液冷技术也面临着如下问题亟需解决, 如: 研发高性能且环保的液冷介质、发展高效冷却结构以及液冷技术的标准化。

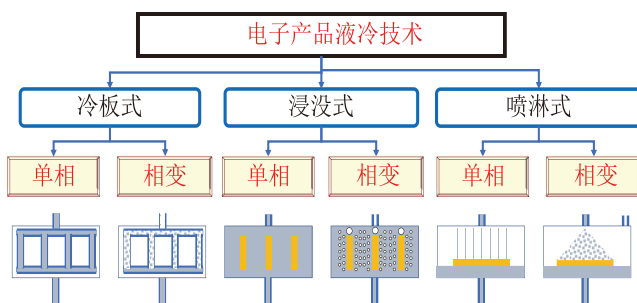


图12 液冷取热技术

3.3 传热环节研究进展

在一些大型数据中心, 由于传输距离较长, 输配系统(冷却水泵和冷冻水泵)的能耗约占数据中心总能耗的三分之一, 如图13所示, 因此输配系统是数据中心节能减排的关键环节。

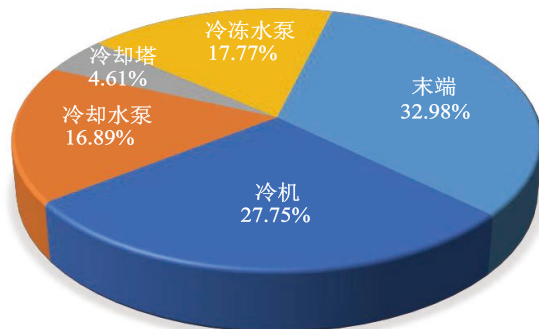


图13 某数据中心冷却能耗构成^[9]

数据中心常用的冷却介质包括空气、水或其他非相变液体冷却液、相变制冷剂。在传递相同的热量, 的情况下, 采用相变介质(如氟利昂、 CO_2 等)依靠其相变潜热不仅不产生介质的供回温差, 而且质量流量大幅降低。并且相变介质的黏度也远低于水, 其输送阻力也会远远小于水。因此采用相变介质的输配系统能耗会远远小于单相介质。

此外, 采用相变介质时, 还可以充分利用其气相和液相的密度差和内外高差所产生的压力差驱动介质的流动, 形成回路热管的方式, 降低了介质输送的能耗。在高差或系统结构受限, 重力所产生的驱动力不足时, 可以采用液泵或气泵作为辅助动力^[14], 如图14所示。但是, 在回路热管中使用液泵和气泵时, 应考虑并避免气蚀和液击问题。

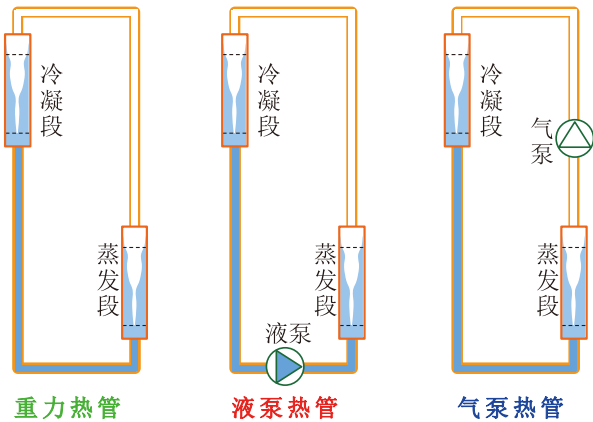


图14 三种形式回路热管

气体介质的输送设备（风机或气泵）和液体介质的输送设备（液泵）是输配系统的主要耗能设备，高效输送设备的研发及在系统中的匹配是数据中心输配环节的关键^[15]。

3.4 放热环节研究进展

在放热环节，数据中心产生的热量会释放到环境中或在系统内重新利用。有各种不同的方法可以提高散热性能。以下部分将介绍一些典型的高性能散热技术。

3.4.1 高效制冷机组

与传统建筑物不同，数据中心的显热负荷高、湿负荷低，全年的负荷变化很小，但用于制冷的室外温度在一年中变化很大，导致冷水机组的压缩比变化很大。因此，各种类型的高温制冷和变频机组用于数据中心制冷，如磁悬浮变频离心式冷水机组、高温变频离心式冷水机组、高温变频螺杆式冷水机组等。对高效冷水机组的进一步研究集中在以下问题：

- （1）适合全年运行工况的高效压缩机及调节技术；
- （2）高效换热技术是提升冷水机组能效的关键；
- （3）机械制冷系统与蒸发冷却技术、自然冷却技术的有机结合。

3.4.2 蒸发冷却技术

蒸发冷却技术以水为工质，在干燥的空气中水蒸发吸热，由于水蒸发的相变潜热远远大于水或空气的比热，因此其在干燥地区具有极佳的使用效果，且该技术价格低廉、能耗较低^[16]。数据中心常用蒸发冷却技术形式主要分为：制取冷风、制取冷水以及相变工质冷凝。从空气能被处理到的终状态可以分为：趋于湿球温度和趋于露点温度^[17]。然而蒸发冷却技术应用于数据中心，也面临着如下挑战：

- （1）蒸发冷却节水技术，提高水的利用效率，降低数据中心水使用效率（WUE）；
- （2）间接蒸发冷却装置工艺优化及干湿工况控制问题；
- （3）空气-水经过填料的传热传质性能研究和新填料的研发；
- （4）解决水质问题的闭式流程构建与优化。

3.4.3 自然冷却技术

自然冷却技术是利用室外低温自然冷源，如温度较低的空气、海水、湖水等实现数据中心的冷却。由于不需要开启主动制冷系统，减少了制取冷量的能耗，自然冷却系统能够显著提高数据中心的能效，降低数据中心冷却系统碳排放。表1中给出了典型自然冷却系统的形式。

表1 数据中心自然冷却系统分类

系统分类	类型	特征
风侧自然冷却系统	直接型	将室外冷空气直接（或经过蒸发冷却降温后）经过净化处理后送入室内
	间接型	通过换热器利用室外冷空气冷却室内空气（也可利用蒸发冷却进行辅助）
水侧自然冷却系统	直接水冷型	直接利用自然环境中的冷水（例如海水，湖水）
	风冷型	利用室外空气冷却室内回路中的冷水
	冷却塔型 / 蒸发冷却型	利用冷却塔 / 蒸发冷却水系统制取的冷却水送入室内或冷却室内回路中的冷冻水
热管自然冷却系统 ^[18]	按驱动力	重力型、液泵辅助型、气泵辅助型
	按系统形式	单独热管型、与机械制冷复合制冷型
	按室外冷却形式	风冷型、水冷型、蒸发冷凝型

3.4.4 主动冷却/自然冷却一体式系统

为了提高数据中心的能源效率，主动冷却系统和自然冷却系统的组合非常重要。对于中小型数据中心的冷却系统，通常采用直膨式制冷系统，与其匹配的主要是回路热管自然冷却技术。图15给出了三种典型的蒸汽压缩/回路热管一体式冷却系统，分别采用重力回路热管、液泵辅助驱动回路热管和气泵（压缩机）辅助驱动回路热管与蒸汽压缩制冷系统集成，全

年都可以实现良好的节能减排效果。

大型和超大型数据中心的冷却系统通常采用冷水机组。如图16所示，风冷机组通常加入风-水换热器，而水冷冷水机组一般是在冷却水与冷冻水之间加入换热器。在空气温度或者冷却水温度能够将冷冻水温度降低到数据中心冷却要求时，则开启完全自然冷却模式；否则，开启蒸汽压缩制冷机组，独立或与自然冷却相结合为冷冻水进行降温。

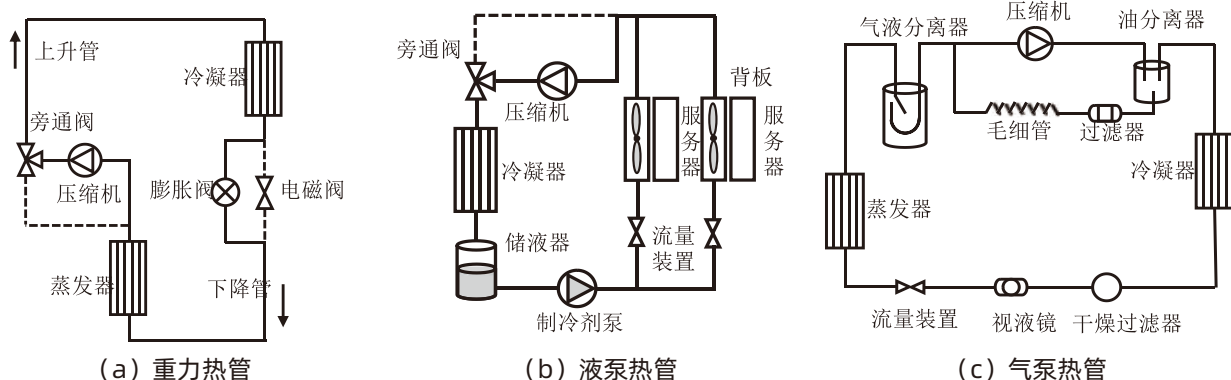


图15 回路热管/蒸汽压缩一体式冷却系统^[19]

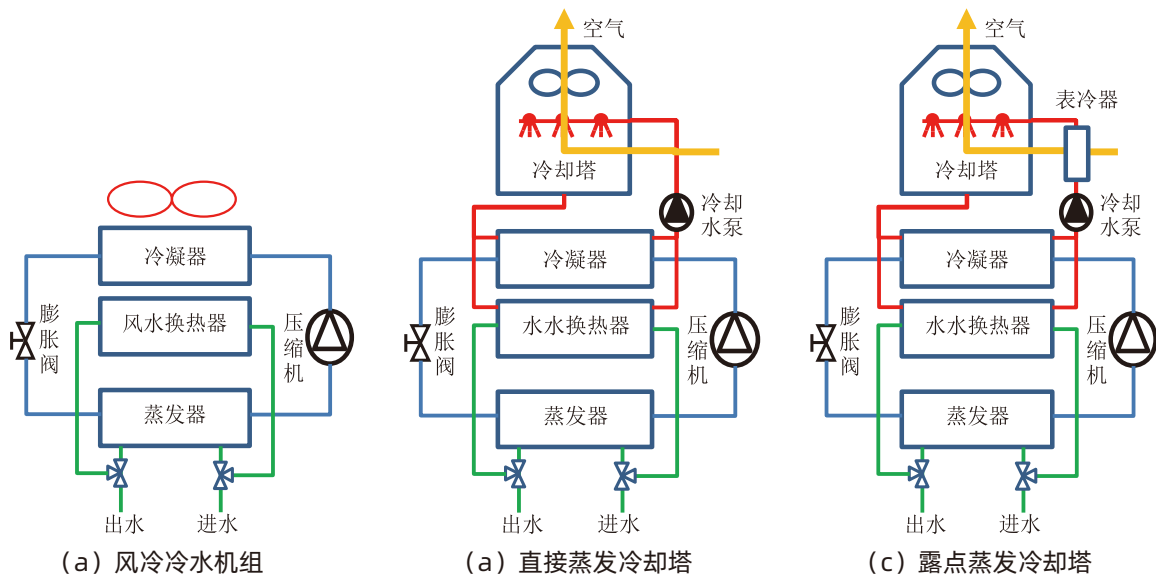


图16 自然冷却冷水机组^[20]

3.4.5 蓄冷技术

对于数据中心来说，蓄冷的初衷是为了解决停电后，在柴油发动机启动和制冷系统恢复运行之前，实现数据中心的持续制冷从而确保数据中心的可靠性。数据中心通常将冷冻水系统的冷冻水泵和精密空调的风机连接UPS，通过蓄冷的手段，在市电停电后，依

然可以提供一定的制冷能力，在紧急情况下可以将温度控制在偏离正常运行状况很小的范围内。蓄冷的另一功能是通过电网的削峰填谷实现运行费用的节省以及可再生能源电力的消纳，对数据中心实现碳中和有一定的贡献。我们亟需进一步研发的关键技术包括蓄冷、储能以及风光等新能源系统的协同，在保证数据

中心可靠性的基础上,实现新能源使用最大化。

3.4.6 余热回收技术

数据中心的余热回收利用是降低成本和提高效率的一种很有前途的方法。液冷数据中心由于其余热温度较高,因此具有更大的余热回收潜力。为了捕获和利用数据中心产生的低品位热能,一些余热回收技术已经得到应用,主要包括余热回收用于供暖、区域供热网络、吸收或吸附式制冷和有机朗肯循环^[21]。

由于数据中心全年不间断运行,因此余热资源十分丰富。通常来说数据中心各种传热工质的工作温度在20~60℃,属于低温余热资源,可用于办公或住宅供暖、生活热水或者温室大棚供暖等人民生活或工农业生产,如图17所示。

重点包括如下技术:

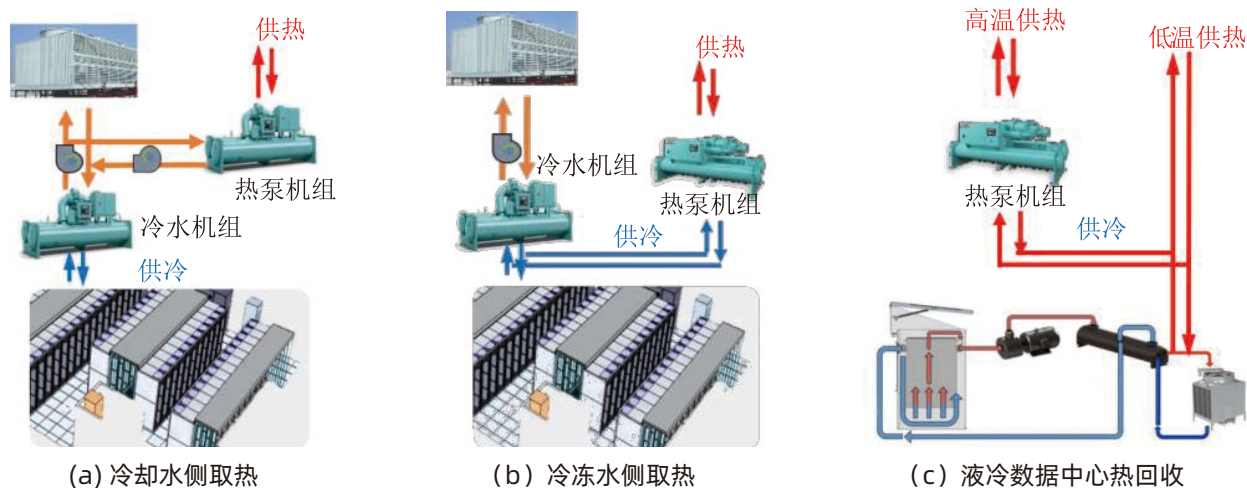


图17 数据中心热回收技术示意图

3.5 智慧运维研究进展

由于数据中心全年不间断运行,IT设备运行负载状态与室外气象条件都处于不断变化中,高效运行是实现节能减排的根本^[22]。数据中心冷却系统的智慧运维是基于数字孪生的概念,针对运维目标创建数字化镜像,通过大量布置传感器实现对IT设备和冷却系统的复制,采集大量的气象参数、IT设备与冷却系统的运行参数,训练IT设备、冷却系统和气象参数模型,对数据中心冷却负荷及能耗进行预测,通过智能化运维平台进行数据的聚合、分析,调整IT设备及冷却系统的运行状态,实现冷却负荷的动态高效匹配,并对可能出现的异常情况进行预测和监测,保障数据中心

(1) 高效蒸气压缩热泵技术,可将余热升级为更高温度(100℃以上)的热水或蒸汽;

(2) 超低温余热(60℃以下)驱动的制冷技术。

而热回收技术在实际应用中也亟需解决如下问题:

(1) 余热的综合网络化利用技术:结合余热条件和数据中心及其周边用户对能量和环境条件的需求,将各个能量系统根据温度对口、梯级利用、品位提升的原则进行系统集成;

(2) 数据中心能效的综合评价方法:数据中心在采用余热利用技术后,单一的PUE评价指标不能准确地评价数据中心的综合能效,需建立数据中心基于能量数量、品位和碳排放量的综合评价指标。

的高效可靠运行,如图18所示。目前数据中心距离人工智能优化控制还有很长一段距离,已经公开的机器学习控制方法都只是在能效优化方面的初步尝试,目前还处于试点试验阶段。图19给出了某数据中心基于人工智能对运行能效不断优化的情况。

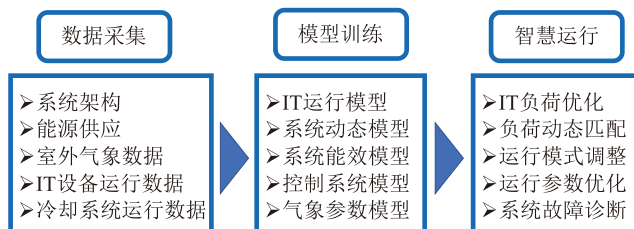
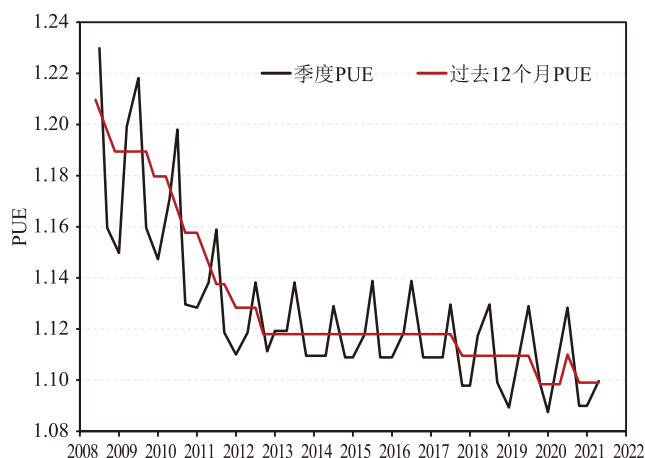


图18 数据中心智能运行

图19 基于AI的数据中心能效优化^[23]

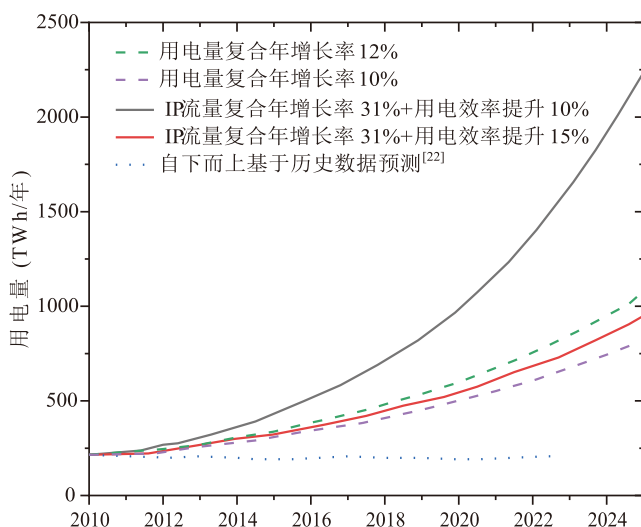
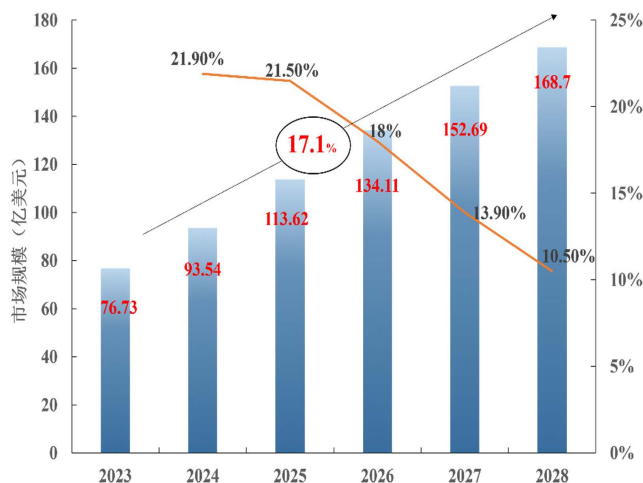
4 应用

以数字技术为核心驱动的第四次工业革命正在给人类生产生活带来深刻变革，数据中心作为承载各类数字技术应用的基础，其产业赋能价值正在逐步凸显，世界主要国家均在积极引导数据中心产业发展，全球数据中心市场规模不断扩大，投资并购活跃。据统计，截至2022年，全球数据中心市场收入为321.4亿美元，到2027年将达到410.4亿美元^[24]。在规模方面，全球数据中心新增相对稳定，预计未来几年数据中心规模仍将保持平稳增长。

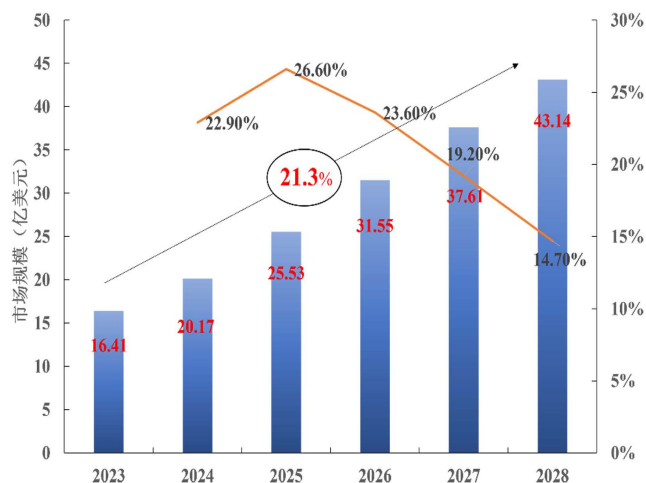
随着数据中心规模的不断扩大，以及IT效率和冷却效率的不断提高，全球数据中心的能源消耗自2010年以来一直在适度增长^[25]，2018年的总消耗量达到205 TWh，占全球用电量的1%左右^[26]。全球数据中心未来的能源消耗很难准确预测。基于数据中心现有的增

长速度和能效水平，数据中心能源消耗将大幅增加，预计将达到350~1000 TWh^[26-27]；如果能源效率能够持续提高，就可以实现200~220 TWh的适度增长^[25]（图20）。为了实现碳中和，各国政府和企业都把重点放在提高能源效率和可再生能源的使用比例上，例如，谷歌已经将其PUE降至1.1^[28]，微软预计在2030年实现负碳运营的目标^[29]。

随着数据中心规模的不断扩大，以及冷却效率提高推动的设备更新需求，数据中心冷却市场持续增长。2024年全球数据中心冷却市场规模为93.54亿美元，预计在2023年至2028年期间，年增长率将达到17.1%^[30]。全球市场中，中国数据中心市场规模也在逐步扩大，2024年全中国数据中心冷却市场规模为20.17亿美元，预计在2023年至2028年期间，年增长率将达到21.3%。

图20 全球数据中心能耗预测（CAGR-年复合增长率）^[26-27]

(a) 全球数据中心冷却市场规模



(b) 中国数据中心冷却市场规模

图21 主要地区数据中心冷却市场规模^[30]

5 未来研究方向

数据中心冷却系统是数据中心除了IT设备以外最大的能耗环节，其能效的提升对整个数据中心的节能降碳意义重大。碳中和背景下，数据中心冷却系统的技术发展路线如图22所示。

提升数据中心冷却系统能效需要重点研发和推进的技术措施包括：

(1) 匹配需求的取热方式和取热温度提升：通过研发高效风冷和液冷技术及冷却液，提升取热温度可以延长自然冷源利用时间、进而提升机械制冷的能效以及提高可回收的余热温度，是数据中心节能降碳最直接的方式。

(2) 因地制宜的能源综合利用：通过有效利用自然冷却源（冷空气、冷水等）和低碳能源供应（光伏、风电、水电等），结合周边建筑或工农业生产的热需求，在多能互补的情况下实现数据中心余热的变废为宝，实现整个能源利用率的最大化。单一的PUE评价指标不能准确地评价数据中心的综合能效，需建立数据中心基于能量数量、品位和碳排放量的综合评

价指标，为了未来的发展，可以考虑和实施数据中心低碳能源供应的有效和适用的战略。

(3) 基于全局优化的系统架构设计：针对数据中心冷却系统的多级传热过程进行全局优化，以合理利用热源和冷源之间的温差资源，使得整个系统的全年运行能耗最小，实现数据中心冷却系统整体节能降碳。

(4) 基于人工智能的智能运维：人工智能优化控制是保障数据中心稳定可靠和高效运行的利器，通过数据中心IT设备、冷却系统及气象参数的实时感知，基于数据挖掘模型和人工智能算法，实现冷却负荷的精准预测和合理分配，通过冷却系统的全局优化实现冷却负荷的高效动态匹配和故障预警。虽然人工智能优化控制技术目前还处于探索阶段，但一定是未来数据中心发展的方向。

(5) 非技术层面的建议：建立全面的数据收集和分析机制，定期评估数据中心冷却系统的能源使用情况，推动改进措施的落实。建立认证制度，鼓励技术人员取得相关领域的认证。加强数据中心运营、能源管理、环境科学等领域的跨学科教育。

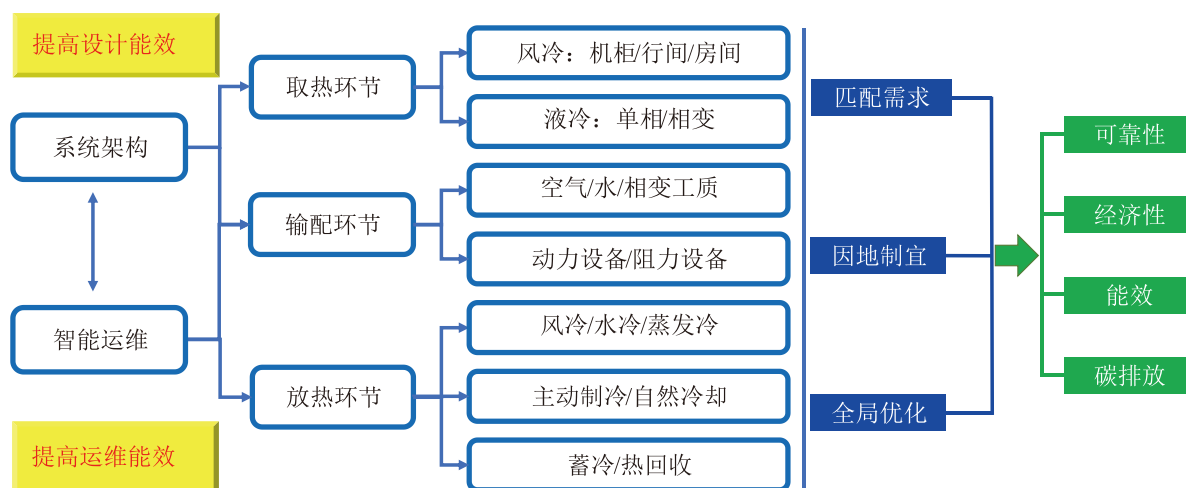


图22 数据中心冷却技术发展路线

参考文献

- [1] 工业和信息化部信息通信发展司. 全国数据中心应用发展指引(2020)[R]. 北京: 人民邮电出版社, 2021年3月.
- [2] 中国制冷学会数据中心冷却技术工作组. 中国数据中心冷却技术年度发展研究报告2022[R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2023年4月.
- [3] 中国信息通信研究院. 全球数字经济白皮书(2022年)[R], 2022年12月.
- [4] 中国信息通信研究院. 数据中心白皮书(2022年)[R], 2022年4月.
- [5] 中国制冷学会. 碳中和制冷技术发展路线[R], 2022年4月.
- [6] Data Goes Green.[EB/OL].(2024).[2024].<https://apricum-group.com/big-data-goes-green/?cn-reloaded=1#WorldDataCenters>
- [7] Liquid Cooling Options for Data Centers.[EB/OL].(2024).[2024]. <https://www.vertiv.cn/zh-CN/solutions/>

- learn-about/liquid-cooling-options-for-data-centers/
- [8] Zhou H, Tian T, Wang X, Li J. Combining looped heat pipe and thermoelectric generator module to pursue data center servers with possible power usage effectiveness less than 1. *Applied Energy*, 2023, 332: 120539.
- [9] Masanet E, Shehabi A, Lei N, Smith S, Koomey J. Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 2020, 367: 984–986.
- [10] Li Z, Luo H, Jiang Y, et al. Comprehensive review and future prospects on chip-scale thermal management: Core of data center's thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 2024, 251: 123612.
- [11] Kong R, Zhang H, Tang M, et al. Enhancing data center cooling efficiency and ability: A comprehensive review of direct liquid cooling technologies. *Energy*, 2024, 308: 132846.
- [12] Khalaj AH, Halgamuge SK. A review on efficient thermal management of air- and liquid-cooled data centers: from chip to the cooling system. *Applied Energy*, 2017, 205: 1165–1188.
- [13] Zhang H, Shao S, Xu H, et al. Free cooling of data center: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 35: 171–182.
- [14] Gong Y, Zhou F, Ma G, Liu S. Advancements on mechanically driven two-phase cooling loop systems for data center free cooling. *International Journal of Refrigeration*, 2022, 138: 84–96.
- [15] Zhang H, Shao S, Tian C, Zhang K. A review on thermosyphon and its integrated system with vapor compression for free cooling of data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81: 789–798.
- [16] Chu J, Huang X. Research status and development trends of evaporative cooling air-conditioning technology in data centers. *Energy and Built Environment*, 2023, 4: 86–110.
- [17] Zhou G, Zhou J, Huai X, et al. A two-phase liquid immersion cooling strategy utilizing vapor chamber heat spreader for data center servers. *Applied Thermal Engineering*, 2022, 210: 118289.
- [18] Ling L, Zhang Q, Yu Y, Liao S. A state-of-the-art review on the application of heat pipe system in data centers. *Applied Thermal Engineering*, 2021, 199: 117618.
- [19] Zhang H, Shao S, Tian C, et al. A review on thermosyphon and its integrated system with vapor compression for free cooling of data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 81:789–798.
- [20] Khalaj A, Halgamuge S. A Review on efficient thermal management of air- and liquid-cooled data centers: From chip to the cooling system. *Applied Energy*, 2020:1165–1188.
- [21] Ebrahimi K, Jones GF, Fleischer AS. A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low—grade waste heat recovery opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, 31: 622–638.
- [22] Masanet E, Shehabi A, Lei N, et al. Recalibrating global data center energy-use estimates[J]. *Science (New York, N.Y.)*, 2020, 367(6481):984–986.
- [23] Zhang Y, Zhao Y, Dai S, et al. Cooling technologies for data centers and telecommunication base stations – A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 334:130280.
- [24] Data Center Worldwide Market Forecast.[EB/OL]. (2024).[2024]. <https://www.statista.com/outlook/tmo/data-center/worldwide>
- [25] IEA (2022), *Data Centers and Data Transmission Networks*, IEA, Paris.
- [26] Lei N, Masanet E. Global data center energy demand and strategies to conserve energy [M]. *Data Centre Handbook: Plan, Design, Build, and Operations of a Smart Data Center*, 2021.
- [27] Koot M, Wijnhoven F. Usage impact on data center electricity needs: A system dynamic forecasting model[J]. *Applied Energy*, 2021, 291:116798. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116798>
- [28] Google. Google Data Center PUE Performance.[EB/OL].(2024).[2024]. <https://www.google.com/intl/zh-CN/about/datacenters/efficiency/>
- [29] Microsoft. Carbon neutral and sustainable operations. Microsoft CSR. Available at <https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/sustainability/operations/> Accessed on February 13, 2020
- [30] Danfoss Low PUE Data Center Application Solutions and Product Innovations. [EB/OL].(2024).[2024].<https://cms.myhuiyi.com/Annex/20240426153102672.pdf>



(文章来源：国际制冷学会)

为科研“祛魅”，怀揣“长期主义”培育能“斩魔”的 新一代科研人——上海交通大学 钱小石教授

在上海交通大学机械与动力工程学院的一间办公室里，钱小石谈起相变制冷、固态空调和芯片冷却技术时，眼里一直闪着光。他语速不快，但逻辑缜密，时不时用肢体语言解释着能量如何像弹簧一样在材料内部“拉直”“回弹”，仿佛那些微观世界的物理过程就在眼前展开。这是一位很难被简单定义的科技工作者，又或者，他并不想用明确的定义来“框住”自己。本科就读材料物理专业，硕士是材料学，博士是电子工程学，博后又读的是化学。毕业前后，他在3M等公司“打工”了一段时间，之后又自己创业担任某科技公司CTO，最终又选择回归学术界，进入了上海交通大学，直至今日。他又于近日获得了2024年度上海市科学技术奖青年科技杰出贡献奖的殊荣。他的履历可谓是跨越了学科和产业，也模糊了基础研究与应用开发的界限。在与钱小石的对话中，记者能清晰感受到一种独特的科研哲学与人生姿态：不迷信光环，不畏惧跨界，不急于求成，而是在物理与工程、学术与产业、理想与现实之间，执着地研究基础科学，搭建桥梁，致力于将每项技术实现产业化。



从物理机理到产业应用的“翻译者”

钱小石的研究聚焦于“相变”——物质从一种状态转变为另一种过程的现象。他所探索的，是如何将相变过程中的能量转换变得更高效，例如将电能转化为机械能，或者反向进行。这听起来非常基础，却蕴含着颠覆现有技术的潜力。他最引人注目的成果之一，是基于电卡效应的固态制冷技术。与传统空调依赖压缩制冷剂并排放温室气体不同，这种技术通过在薄膜材料上施加电场诱发相变，实现吸热与放热。它没有温室气体排放，体积轻薄，甚至可做成透明薄膜贴于窗户上，实现“无室内外机的空调”。但最值得

关注的并非技术本身，而是钱小石如何推动它从实验室走向产业。“理论学家和工程师之间常常是鸡同鸭讲。”他一语道出产学研脱节的现实，“工程师喜欢在货架上找解决方案，你要提出一个全新的东西，如果市面上所有工厂都做不了，从工程的角度大家就很难认同你描绘的那个未来。”在他看来，学者的任务不仅是发现物理规律，更要握住产业界的“手”，让他们愿意冒险尝试。他把自己定位成“两边都懂一些”的翻译者——既理解科学家的探索欲望，也明白工程师对稳定性、成本、产业链可行性的关切。这种“跨界”能力与他独特的经历密切相关。在企业工作期间，他接触过生产线、薄膜制造，了解技术在工厂制作环节的各项细节；创业时，他又直面过投资人的质疑，了解过市场的残酷。这些都让他比一般学者都更清楚，一项技术要从论文走向市场，中间隔着多少鸿沟。

做“不着急”的长期主义者

钱小石的职业生涯充满了选择与转身。在国外创业、公司估值高企时，他选择回到学术界成为一名科研工作者；明明有更多专注基础研究的学院可以申请教职，他却选择了更注重工程的上海交大机械与动力工程学院；明明可以选择做学术圈更“热门”的方向，他却坚持研究产业化周期极长的固态制冷技术。而这些选择背后，是一种清醒的“长期主义”心态。如今，还在深耕科研的他心态变得更加从容：“有机会就往前拱一拱，没有机会就培养人，慢慢发展，都不着急。”但这种“不着急”并非躺平，而是基于对科研规律的尊重。因为在钱小石看来，真正的创新需要时间，需要反复试错，需要等待技术成熟与市场接纳。他也清晰地认识到基础研究与应用开发有不同的节奏：“在基础研究中只有发现，不太涉及指标性的成功或失败；但在工程中，达不达到指标是明确的。”而这种区别恰恰要求研究者既要有科学家的好奇，也要有工程师的务实。“做科研更多的是向内追寻自我的过程，前人的研究‘光环’不应成为‘求同’的目标，而应该是发展自己学术理解的基石。要相信自己的脑子，你觉得有意思的地方有可能就会出新的理解。”钱小石表示，在做研究时，如果出现了自己认知之外的数据，会比在期刊上发表一篇论文还让人开心。此外，在他看来，一项技术要想真正落

地，必须经历一个“自己造血”的过程：“哪怕先做得很简陋，也要先把‘血’造起来养活自己，只有这样才能慢慢做出最高级的东西。”即使高级的东西可能往往都不赚钱，但要持续活下去，就必须在理想与现实之间找到平衡点。



培育“懂哲学”的“斩魔”人

在带教研究生时，钱小石有自己的一套方法。“做科研往往是追赶易，创新难。”钱小石坚定地说道，厚实的“底子”是资本，对于自己在做的研究要有足够的信心，要有拎得起自己“斩魔剑”的力量，才具有解决问题的能力，这比发论文更重要。而“斩魔剑”的力量，就是怀疑与求证的能力、面对未知的勇气、从复杂现象中提炼本质的洞察力。他常对学生说：“不要奉别人的论文为‘圭臬’，哪怕是顶刊

论文，也要带着怀疑的眼光去审视其中的物理逻辑和因果关系。”日常科研工作中，钱小石也不把学生视为“劳动力”，而是平等的研究伙伴。他希望学生最终成为能独立思考、能与人合作、能包容分歧的人，而不仅仅是发表论文的“工具人”。这种培养理念背后，是一种更深层的自信：真正的好科研，不是靠追逐热点或堆砌数据，而是靠思维的深度与韧性。此外，真正的突破往往来自“意外”，而学者要做的，是有能力识别意外背后的价值。钱小石分享了一个案例：曾有学生按照他的建议在固态制冷材料中引入一类杂质，试图提高关键性能，初步结果显示性能显著恶化，样品被扔进垃圾桶。钱小石坚持捡回来重新回收样品上的部分材料，学生“灵光一现”，并没有用常规手段投入化学溶剂进行回收，而是将样品放到了烘箱里进行加热，让杂质挥发，结果意外发现杂质挥发后的材料性能反而提升了三四倍。这个被他戏称为“从垃圾堆里捡回来的科研成果”，最终成功发表在国际顶级期刊上。他相信物理的底层规律，也尊重工程的实践约束；他追求科学的纯粹，也不回避产业的复杂；他培养学生不急于求成，但求思维淬炼。正如他所说：“如果你足够关注自己真正关心的科研内容，那周围其他事物就没有什么可比性了。”或许，这才是一个科研工作者的真正自由。

作者：殷倩 / 受访者供图

（文章来源：科技会客厅微信公众号）

《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.

冰轮环境工业全域热控解决方案获评联合国碳中和技术优胜解决方案



日前，由联合国工业发展组织（UNIDO）主办、UNIDO上海ITPO承办的“第四届碳中和技术方案征集评估会”在上海举办。本次评估会活动以“从排放到解决方案-联合国IDDI倡议赋能企业绿色出海”为主题，聚焦能源、制造与治理三大碳中和领域，吸引50余位来自国际组织、政府、科研机构及企业的代表参

与，通过创新技术解决方案现场路演，共同探索工业脱碳路径，推动中国绿色技术出海。

冰轮环境的工业全域智慧热控解决方案成功获评联合国碳中和技术优胜解决方案。该方案依托多能耦合系统设计与多源多级综合利用，实现了-35~600℃超宽温域热源的高效回收利用，有效破解复杂离散余热场景中能质匹配与梯级利用难题，为构建工业场景下的零碳能源模式提供了强有力的技术支撑。

当前，制冷与热泵行业正加速向低碳化、智能化与高效化迈进。面对传统热管理碎片化挑战，冰轮环境工业全域热控解决方案通过构建“源-网-荷-储”全链路协同体系，实现能源全局优化；依托智汇云平台打造数字孪生中枢，以AI动态调优提升能效；并以工业级高温热泵技术集群，为石化、纺织等高碳行业开辟降碳新路径，提供可复制的全面能源解决方案。

（冰轮环境 供稿）

华商国际携手产业链龙头 开启冷链运营新价值时代



在冷链行业从“规模竞速”迈向“精耕细作”的关键转型期，中粮科工华商国际工程有限公司（以下简称“华商国际”）在第二十届全国冷链大会期间成功举办商业管理运营框架合作签约仪式与企业家高端论坛。

华商国际旗下专业商业运营平台——中粮科工（北京）商业管理有限公司，依托其在资产价值重构与运营效率提升方面的核心能力，正积极推动公司商业管理运营业务的战略升级。此举不仅标志着华商国际迈入全新发展阶段，也向全行业充分展示了通过专业运营

赋能冷链资产、系统挖掘存量价值的卓越实力。

在本次签约仪式上，华商国际携手沈阳中德开国际物流产业发展有限公司、武汉北驿物流有限公司等多家产业链龙头企业及机构签署了框架合作协议。合作将围绕园区运营、产业链资源导入、数智化创新、人才培养等多维度展开，旨在共同探索食品冷链资产运营的增效之道，树立行业价值新标杆。

论坛期间，华商国际系统呈现的专业运营模型与成功案例，成为其“运营赋能价值”理念的生动实践。多年来，其专业商管团队持续深耕，已通过多个全程操盘的项目，充分验证了其驱动园区价值提升与实现资产高效转化的核心能力。截至2025年9月，华商国际商管业务已成功突破“双百”里程碑，已签约及已达成合作意向的运营管理物业面积超百万平方米，资产管理规模超百亿元，规模化优势日益彰显。涉及冷链物流园、常温物流园、农产品批发市场、食品加工产业园等多元业态，华商国际成熟的运营管理体系正吸引更多合作伙伴加入，共同拓展更广阔的市场空间。

（华商国际 供稿）

依必安派特投资 3000 万欧元完成西安工厂三期扩建



2025年10月20日，依必安派特西安工厂正式投产。在投产仪式上，依必安派特股东 Jan Philippiak 及集团高层管理团队出席活动。

自2019年起依必安派特在西安开展运营，并持续推进工厂建设。目前西安工厂占地约6万平方米，现有员工约1000人。最新一期扩建投资约3000万欧元，将新增约500个就业岗位。此次正式投产，标志着集团“立足本土，服务本土”战略的又一重要里程碑。

西安工厂集生产、物流、研发、质量及采购等综合职能于一体，实现高效运营并紧密契合区域市场需求。工厂面向数据中心、洁净室等关键业务领域，为本地客户提供节能、高效的风机解决方案。

新工厂树立了现代化、可持续工业建设的新标杆。采用节能玻璃、LED照明、地源热泵和大规模光伏系统，有效降低二氧化碳排放；可循环利用的包装材料以及全电动班车服务进一步完善了工厂的可持续运营理念。凭借这些努力，依必安派特西安工厂于2025年1月获得中国工业和信息化部颁发的“国家级绿色工厂”认证。

依必安派特自1996年进入中国市场以来，现已在上海、西安、青岛、北京、深圳及香港等地拥有约1700名员工。关键业务涵盖为洁净室、可再生能源及数据中心等领域提供风机解决方案。

（依必安派特 供稿）

思科普第 100 万台 BD Nano 压缩机下线



2025年9月17日，思科普压缩机天津工厂成功举办第100万台BD Nano压缩机下线仪式。冰箱及整车厂重要客户、政府部门代表、行业学会领导、学术专家及媒体代表齐聚现场，共同见证这一重要时刻。

自1977年成功研发直流压缩机以来，思科普在该领域积累近半个世纪技术经验。作为核心产品，BD Nano 基于经典机型升级迭代，累计拥有相关专利22项

（已授权19项，在申请3项），推出即获中国制冷展创新产品奖项。其1.5 kg 轻量化、1.53 W/W高效能耗、低噪音及精准控制优势，可广泛应用于乘用车、卡车、房车、游艇等场景，提供定制化制冷解决方案。思科普天津工厂作为BD Nano的生产基地，占地3.33万平方米，配备专业实验室，2023年通过IATF16949认证，2024年获“热芒奖-创新活力企业”，为产品品质保驾护航。

从一台压缩机的技术突破，到百万台产量的规模跨越，思科普凭借对车载制冷核心技术的精耕细作拿下了优异成绩。随着新能源汽车产业的持续升级、消费需求的不断释放以及技术创新的深入推进，车载冰箱市场将迎来更加广阔的发展空间。思科普也正凭借“产能+技术”的双重优势，进一步巩固全球市场地位，同时带动上下游产业链协同发展，推动车载冰箱行业迈向全新发展阶段。

（思科普压缩机 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

制冷学报

=2026年订阅开启=

为拓宽杂志订阅渠道、提升服务便捷性，《制冷学报》已开通微信小店，搭建起直接面向读者的线上订阅平台。依托微信生态优势，简化订阅流程，实现“一键下单-在线支付-物流追踪”全链路服务。

2026年《制冷学报》订阅已开启，欢迎广大读者积极订阅。
2026年2月15日前订阅者，编辑部将免费赠送一份行业资料。请扫描右侧二维码订阅。

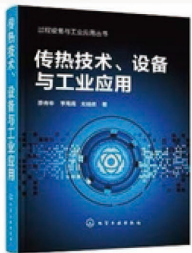
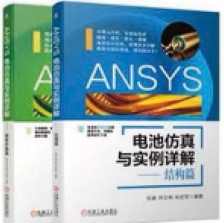
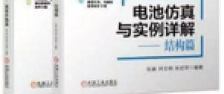


制冷学报

制冷学报



中国制冷学会 主办



微信小店达人橱窗

微信扫一扫购物







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

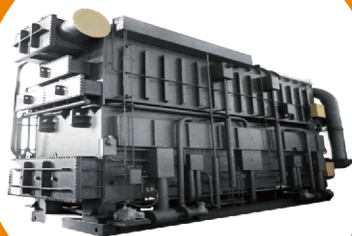
电厂 冷凝热回收 燃气/燃煤 烟气余热深度回收 大温差 换热
回收低品位余热 提高热源供热能力 消除冒白烟现象 提高管网输送能力

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



迈向2035

2035

2034

2033

2032

2031

2030

2029

2028

2027

建成科技强国

