

主办：中国建筑科学研究院有限公司建筑环境与能源研究院

本期导读

- 06 | 新闻直通车 | News Express |
“建筑能效云解决方案”发布
中国建筑科学大会召开
“十三五”国家重点研发计划项目“村镇低成本清洁能源
供暖及蓄热技术研究”中期检查会顺利召开
中国建筑科学大会发布《建筑科学研究 2021》
- 20 | 热点聚焦 | Spotlight |
第四届全国数据中心冷却节能高峰论坛（下）
- 29 | 案例赏析 | Cases |
河北保定高速泵服务区蓄联热泵清洁供暖技术改造研究
区域能源站与数据中心制冷中心耦合系统设计案例浅析



建筑环境与能源微信公众号

数据中心 磁悬浮相变自然冷却系统

- 磁悬浮无油离心压缩机技术应用，节能高效、运维简单
- 自然冷却技术无需开压缩机，显著提高系统能效，冬季压缩机 0 消耗
- 系统简单可靠，置于室外，无需设置设备间，模块化可联机。
- 系统控制高度集成化，方便运维管理

室外制冷模块

分布式
系统

室内精密空调模块（氟系统）

集中式
系统

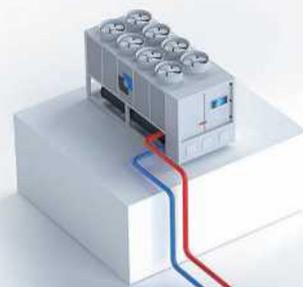
氟泵模块

室内精密空调模块（氟系统）

系统按照冷凝方式可分为
风冷型及蒸发冷型

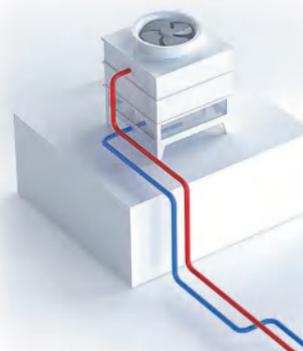
风冷型

无水消耗，节约运行成本
动力热管技术应用



蒸发冷型

进一步提高能效
蒸发冷却技术应用



克莱门特捷联制冷设备(上海)有限公司

地址:上海市星火开发区白云路88号

电话:(021)57505566 传真:(021)57505797

E-mail:info@climaveneta.com.cn http://www.climaveneta.com.cn

全国统一售后服务热线
400-880-7575



微博



微信

江亿：实现碳中和能源基础设施建设 大有可为

我国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”的目标设定，对能源业提出了零碳要求，即在能源生产、使用过程中不增加二氧化碳的排放，光能、风能等可再生能源将走上电力主场。

“实现零碳能源，需要我们全面电气化，尽可能减少对化石燃料的依赖。”江亿认为，这一选择将推动我国的电力系统从集中变为分布式，形成新的电力网，同时，在用电终端上，将发展灵活用电的柔性负载，实现风电、光电的有效消纳。在燃料上，也将大力发展商品化生物质能源。以上这些能源方面的低碳革命将拉动相关基础设施投资和新的相关零碳产业。

在城镇建设上，“光储直柔”的配电方式也将有效消纳风电和光电。经过测算，我国城镇建筑屋顶光伏可开发量为8.3亿千瓦，年发电量可达1.23万亿千瓦时。这些电力可满足城镇建筑自身用电的30%~40%。同时，城镇建筑加上临近的停车场，“一位一桩”的智能充电桩与电动汽车连接，建筑内部配电也将改为直流系统，由此形成“需求侧响应”的用电模式，可成为电力的柔性负载。“在城镇百公里范围内有风电光电基地，这些光储直柔建筑就可以仅靠零碳电力运行。”江亿说。以上推动零碳能源的城镇基础设施也将有较大的建设潜力。

同时，在城乡发展商品化生物质能源也将大有可为。我国可开发利用的生物质能源共有8亿吨标准煤当量，但还远远未得到开发利用。

利用以上技术手段，对于我国的“双碳”目标，江亿提出了这样的设想：2035年之前，我国实现以零碳电力为目标的电力系统革命性改造，完成风电和光电的发展和消纳。配合电力系统改造，加速发展电动汽车、智能充电桩、建筑“光储直柔”。同时，发展农村新型能源系统和生物质商品能。完成对北方城市建筑供热零碳热源的改造。此外，大力发展相关的“朝阳产业”制造业，停止新建燃煤电厂、炼油等高碳项目，同时抓紧研究各个制造业未来零碳转型的具体技术路线和工艺。到2035年之后，再把低碳转型的重点放到制造业结构调整和工艺改造上，实现零碳的制造业生产。



建筑环境与能源

(月刊)

主办单位

中国建筑科学研究院有限公司建筑环境与能源研究院

支持单位

暖通空调产业技术创新联盟
中国建筑学会暖通空调分会
中国制冷学会空调热泵专业委员会
中国建筑节能协会暖通空调专业委员会
中国建筑节能协会地源热泵专业委员会

编辑出版

《建筑环境与能源》编辑部
2021年第7期(总第45期)
(每月10日出版)

顾问委员会

主任 郎四维
委员 江亿 | 吴德绳 | 龙惟定
马最良 | 徐华东 | 罗英

编辑委员会

主任委员 徐伟
副主任委员 路宾
委员 (按姓氏笔画排序)
于晓明 | 方国昌 | 龙恩深 | 田琦 | 由世俊
伍小亭 | 刘鸣 | 刘燕敏 | 寿炜炜 | 李先庭
李永安 | 肖武 | 邹瑜 | 张子平 | 张建忠
金丽娜 | 徐宏庆 | 黄世山 | 董重成 | 端木琳
潘云钢

编辑部

主编 徐伟
副主编 路宾
执行主编 王东青
责任编辑 李炜 | 崔艳梅
校对 才隽
美编 周林
地址: 北京市北三环东路30号
邮编: 100013
电话: 010-6469 3285
传真: 010-6469 3286
邮箱: beaebjb@163.com



建筑环境与能源微信公众号



暖通空调学会微信公众号

版权声明: 凡在本刊发表的原创作品版权属于编辑部所有, 其他报刊、网站或个人如需转载, 须经本刊同意, 并注明出处。



目录

CONTENTS

06 | 新闻直通车 | News Express |

“建筑能效云解决方案”发布
中国建筑科学大会召开
“十三五”国家重点研发计划项目“村镇低成本清洁能源供暖及蓄热技术研究”中期检查会顺利召开
中国建筑科学大会发布《建筑科学研究 2021》

09 | 行业新闻 | Industry News |

做好三星级绿色建筑标识申报工作
国家鼓励使用适合当地特点和农民需求的清洁能源
北京发布低效建筑改造补贴计划
天津南港打造绿色低碳示范园区
山西3市获27亿元中央财政补助资金
包头市印发《包头市2021年清洁取暖实施方案》
山东省11市农村地区清洁取暖已开工29.9万户
朔州忻州获得冬季清洁取暖补助27亿元
聊城市2021年要完成农村地区清洁取暖改造310865户
济宁市计划完成农村地区清洁取暖改造15.09万户
开封市印发2021年大气污染防治攻坚战实施方案

11 | 企业动态 | business movement |

麦克维尔沉浸式五恒体验店在蓉盛大开业
天加健康人居环境体验厅布局成都
燃动“智造”新引擎 哈特福德压缩机数字工厂在烟台落成
申菱品牌焕然一新
格兰富发布灵适™预制化智能泵组
方快锅炉荣获“锅炉科学技术奖”
美的中标巩义首家五星级酒店
天加助力威迪森打造商业酒店领域新标杆
助力智慧轨交建设, 美的暖通与楼宇服务福州市轨道交通4号线
申菱环境助力成都天府国际机场投入运营
雅士助力“西咸新区空港新城航天电子研发基地”建设
海尔磁悬浮赋能西安国际会议中心
浙江首个“百亿级”新型显示重大项目选择西屋康达 等



数据中心冷却专家

中国空调用冷却塔市场销量排名第一

八大优势



CTI认证

全球最权威的第三方认证，热力性能绝对保证；



安全可靠

高可靠性设计，杜绝停机故障；



节能认证

耗电比低，节省大量运行费用；



防结冰

提供防止冬季运行结冰解决方案；



节水认证

飘水率低至0.000092%，节省大量水资源；



低噪声

提供系列低噪声产品及10种降噪解决方案；



免费制冷

提供冬季、过渡季免费制冷解决方案；



整机到货

减少现场安装，缩短建设周期，安全质量更有保障；



湖南元亨科技股份有限公司
HUNAN YUANHENG TECHNOLOGY CO.,LTD

电话：0731-85417298 www.yhkj.com

CONTENTS



“建筑能效云解决方案”发布



中国建筑科学大会召开



中国建筑科学大会发布《建筑科学研究 2021》



美国到 2050 年可以实现 90% 可再生能源发电成本低于现状

18 | 国际新闻 | International News |

国际能源署发布《全球能源行业 2050 年净零排放路线图》报告
ASHRAE 寻求巩固会员根基
报告称气候变化正在加剧臭氧层的消耗
丹麦对氢氟碳化合物实行新的限制
所有的系统都是零重力冰箱
美国到 2050 年可以实现 90% 可再生能源发电 成本低于维持现状
全球建筑能效市场快速扩容

20 | 热点聚焦 | Spotlight |



第四届全国数据中心冷却节能高峰论坛（下）

24 | 聚焦政策 | Policy |

国家发展改革委关于加强基础设施建设项目管理 确保工程安全质量的通知
关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见
关于加强腾退空间和低效楼宇改造利用促进高精尖产业发展的工作方案

29 | 案例赏析 | Cases |

河北保定高速某服务区蓄联热泵清洁供暖技术改造研究
区域能源站与数据中心制冷中心耦合系统设计案例浅析

39 | 技术交流 | Technical communication |

基于改进遗传算法的供热管网优化设计研究
应用于电子设备的均温板热阻性能研究
降低供暖设定温度的微观节能机理——以公寓建筑为例
供暖邻室位置对非供暖房间热环境的实验研究 等

68 | 会议活动 | Events |

会议 + 征文 | 2021 年第六届全国净化技术学术年会



曼瑞德@舒适家

曼瑞德供暖系统

变频分段燃气采暖热水炉

变频燃烧 · 家庭采暖 · 生活热水



变频风机



地暖系统



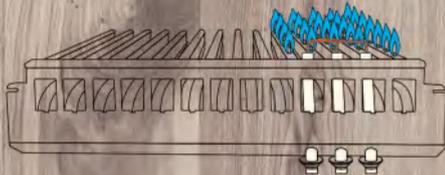
3C认证



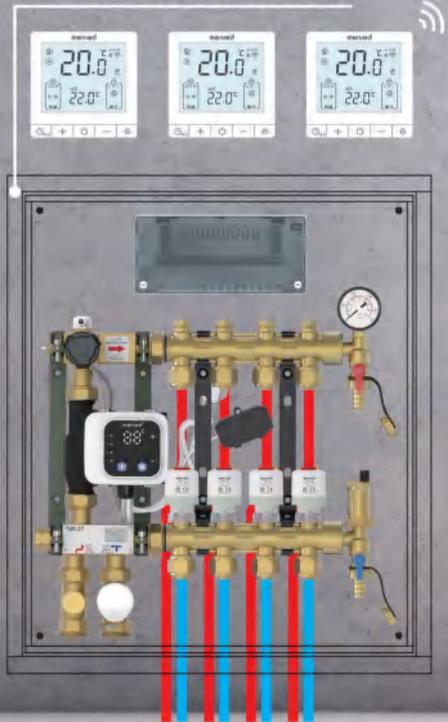
沐浴用水

变功率恒定生活热水

分段变频燃烧彻底解决
夏季生活热水过热



地暖系统解决方案



地暖专用管道



100% 进口原材料
德国克劳斯马菲生产线
MEILE PE-RT
三层热熔聚乙烯管

100% 德国原装进口
北欧化工原材料
MEILE PE-Xa
五层阻氧交联聚乙烯管



WWW.MENRED.COM

荣誉见证

- 参编国家标准19项, 新风标准26项
- 绿建标准2项 暖通标准14项
- 净水标准13项 智能标准1项
- 荣获官方知识产权保护281项

- 其中: - 计算机软件著作权38项
- 著作权版权52项
- 中国发明专利26项
例:(专利号20140159444.X)
(专利号20140158307.4)

- 中国实用新型专利100项
例:(专利号201420191864.1)
(专利号201420197523.5)
- 国际专利3项
例:(注册号9481006)

- 红点奖2项、金点奖1项
- 高新技术企业4家
(含旗下分公司)
-



冷·暖·水·管

“建筑能效云解决方案”发布

2021年6月24日，在国家会展中心（天津）举办的中国建筑科学大会上，中国建研院联合华为发布了“建筑能效云解决方案”。会上，参会企业、业界专家、行业伙伴齐聚一堂，共同探索建筑与园区领域创新之路，共谋“双碳”战略与“3060”目标实现之道。

中国建研院党委委员、副总经理尹波，华为智慧园区业务部总裁苏宝华，中国建研院环能科技党委书记、董事长徐伟等出席大会并共同发布“建筑能效云解决方案”。

建筑与园区是实现“双碳”战略的主战场。中国建筑节能协会披露，全国建筑全生命周期碳排放总量为49.3亿吨二氧化碳，占全国比重为51.3%。从园区的角度看，我国规上企业产值在全部工业企业总产值中占比高达90%，而这类大型企业的生产经营基本都发生在园区。

低碳能源时代，沿着建筑领域碳达峰和碳中和实现路径，对建筑高效运维提出了新要求。新兴节能服务正加速向数字化、智慧化转型。中国建研院与华为联合开发的“建筑能效云解决方

案”，通过云服务模式，实现多园区设施的统一运营；融合专家经验和AI算法实现故障自动诊断与智能调优，达成设施高效运营和节能减碳目标，践行建筑与园区领域绿色低碳新使命。

运用“建筑能效云解决方案”，北京万国城 MOMA 试点项目初现成果。北京万国城 MOMA 建筑面积16万平方米，空调面积14万平方米，其中商业部分面积为1.7万平方米，提供制冷、供暖、置换式新风及全年生活热水。

目前该项目已成功部署“建

筑能效云解决”方案，监测和运维天棚辐射能源系统、生活热水系统、置换式新风系统。通过统一运营，减少本地运维人员数量，降低运维难度，预计运维效率提升30%；通过云端AI算法实现系统智能调优，预计综合能耗下降15%以上。

中国建研院将以“建筑能效云解决方案”为平台，助力建筑运维数字化转型，赋能建筑能源系统产业升级，激发新旧动能转化，引领运维模式变革，推进建筑与园区领域碳中和目标的实现。



中国建筑科学大会召开

2021年6月24日，中国建研院联合中国对外贸易中心在国家会展中心（天津）举办以双碳目标下的“新城建”为主题的中国建筑科学大会。

参加本次会议的嘉宾有天津市人民政府副市长、市政府党组成员孙文魁，中国工程院院士谢礼立、范维澄、丁烈云，中国工程院院士、中国建研院客座研究员、院士工作站首席专家徐建，中国建研院党委书记、董事长王俊，总经理、党委副书记许杰峰，专职董事陈国庆，外部董事刘辉，党委副书记王阳，总会计师徐震，副总经理尹波，天津市住房和城乡建设委员会主任蔡云鹏，中国诚通控股集团有限公司总经理、党委副书记李洪凤，中国建设监理协会会长王早生，全国工程勘察设计大师、中国建研院专业总工、建筑设计院院长肖从真，全国工程勘察设计大师、中国建研院专业总工、环能科技党委书记、董事长徐伟，全国工程勘察设计大师、中国中元国际工程公司总工程师黄晓家，以及来自全国各地政府、高等院校、科研设计、建设单位、产品研发、设备制造等单位的代表3000余名嘉宾出席大会。

孙文魁代表天津市人民政府致辞，对中国建筑科学大会的召开表示热烈祝贺，并表示实现碳达峰碳中和是以习近平同志为核心的党中央从中华民族永续发展和构建人类命运共同体的高度作出的重大战略决策，是我国向世界作出的庄严承诺。要完成双碳战略目标，就要加快转变城市发展方式，把绿色低碳理念融入城市规划建设管理的全过程。本届中国建筑科学大会以双碳目标下

“新城建”为主题，围绕“低碳、宜居、韧性、智能城市建设”等方面，聚焦行业科技创新，探索行业发展方向和趋势，必将为我国建筑行业转型升级提供重要的理论支撑和实践经验。



天津市人民政府副市长、市政府党组成员孙文魁

王俊发表题为《“十四五”建筑行业转型升级的若干思考》主题报告。在回顾我国建筑业已取得成绩的基础上，深入思考了新发展阶段建筑业面临的机遇与挑战，探讨了“十四五”期间建筑行业转型升级方向，提出了建筑行业更为安全、更可持续、更有效率、更高质量的发展思路，从保障机制、科技支撑、标准支



中国建研院党委书记、董事长王俊

撑方面展望“十四五”时期建筑行业的发展。

许杰峰表示中国建研院作为建筑行业最大的科技研发机构，为行业发展提供创新驱动力。会上，谢礼立、范维澄、丁烈云、徐建4位中国工程院院士，以及全国工程勘察设计大师肖从真、徐伟，分别发表了题为“韧性和韧性城市建设”“建筑防火与公共安全”“基于环境智能的建筑智能终端”“工程振动控制通用技术概论”“结构设计一小步”和“建筑行业实现双碳目标的自主贡献”的精彩演讲。



中国建研院专业总工、环能科技党委书记、董事长徐伟

中国建研院党委委员、副总经理尹波，华为技术有限公司智慧园区业务总裁苏宝华代表中国建研院和华为共同发布了“建筑能效云解决方案”。该解决方案由中国建研院与华为携手打造，旨在积极响应碳中和发展战略，致力于达成设施高效运营和节能减碳目标。



“十三五”国家重点研发计划项目“村镇低成本清洁能源供暖及蓄热技术研究”中期检查会顺利召开

近日，由公司作为项目牵头单位的“十三五”国家重点研发计划“绿色宜居村镇技术创新”重点专项“村镇低成本清洁能源供暖及蓄热技术研究”项目中期检查会在天津顺利召开。

科技部中国农村技术开发中心处长王峻，公司科技标准部副主任常卫华，环能科技副总经理于震，以及项目咨询专家和 21 家项目参与单位近 40 人出席会议。

于震作讲话，感谢农村技术开发中心对项目的关注与指导，公司将发挥自身优势，大力支撑农村清洁取暖工作落地实施。常卫华对农村技术开发中心领导与专家莅临指导表示感谢，他希望项目能够助力双碳长远目标的实现，并对科研项目管理、成果凝

练提出具体要求。

王峻说明了项目中期检查的目标和要求，并再次强调落实“绩效四问”精神，并对项目研究工作中的成果提炼、成果转化以及未来的综合绩效评价提出要求。

会上，专家组通过质询和论证，肯定了项目组辛勤工作与付出，并为项目和课题后期实施提出宝贵意见建议。项目组成员明确了在课题间沟通协作、加强成果凝练与总结、提高预算执行率等方面的工作重点。



中国建筑科学大会发布《建筑科学研究 2021》

6月24日，由中国建研院主办的中国建筑科学大会在国家会展中心（天津）隆重召开。会上，中国建研院组织了《建筑科学研究 2021》成果发布活

动。来自政府部门的有关领导，院士大师、国内外知名专家学者、企业家等 3000 余名嘉宾共同见证了这一建筑科学领域重要成果的发布。

《建筑科学研究 2021》是中国建研院各领域专家在深入研究当前行业发展形势的基础上对领域前沿精准判断的重要成果，是中国建研院践行央企责任的重要体现。旨在通过全面系统梳理建筑行业技术和产业应用情况，分析技术热点、行业动态和未来趋势，提出相关发展建议，为政府部门制定有关政策提供重要科学依据。全书共分为七篇，包括城市更新篇、韧性城市篇、美丽乡村篇、绿色发展篇、数字化转型篇、新型建筑工业化篇和行业改革篇。



行业新闻

Industry News

做好三星级绿色建筑标识申报工作

日前，住房和城乡建设部下发通知要求，按照《绿色建筑标识管理办法》，做好三星级绿色建筑标识申报工作。通知明确，三星级绿色建筑标识由项目建设单位、运营单位或业主单位（以下简称“申报单位”）自愿进行申报。申报单位注册登录绿色建筑标识管理信息系统（以下简称“标识管理信息系统”）进行申报，并下载《绿色建筑标识管理信息系统用户操作手册》，同时填写项目基本情况和主要技术指标信息，按照绿色建筑评价标准逐条对项目达标和得分情况进行自评，提交相关证明材料，并报项目所在地省级住房和城乡建设部门初审。

三星级绿色建筑项目应由省级住房和城乡建设部门负责组织推荐，并报住房和城乡建设部。省级住房和城乡建设部门登录标识管理信息系统，及时对本地区申报项目进行初审，主要审查“申报单位和项目是否满足《绿色建筑标识管理办法》规定的申报条件；申报项目是否符合国家和地方基本建设程序；申报项目是否有知识产权纠纷，是否存在项目成果归属争议；申报项目是否发生过重大质量安全事故；申报项目是否符合国家和地方绿色建筑相关政策规定；申报材料是否齐全、完整、有效”。初审结束后，省级住房和城乡建设部门应在标识管理信息系统中填写初审意见，将初审合格的项目推荐至住房和城乡建设部。

住房和城乡建设部负责受理审查各省级住房和城乡建设部门推荐项目，分批集中组织专家开展审查工作，并向社会公示、公告审查结果。

国家鼓励使用适合当地特点和农民需求的清洁能源

日前，住建部、农业农村部、国家乡村振兴局联合印发《关于加快农房和村庄建设现代化的指导意见》。《指导意见》提出，农房和村庄建设现代化是乡村建设的重要内容，加强农村基础设施和公共服务设施建设，对于整体提升乡村建设水平、建设美丽宜居乡村，提高农民居住品质、改善农民生产生活条件，不断增强农民群众获得感、幸福感、安全感具有重要意义。

其中，在清洁能源使用方面，《指导意见》要求推动农村用能革新。引导农村不断减少低质燃煤、秸秆、薪柴直接燃烧等传统能源使用，鼓励使用适合当地特点和农民需求的清洁能源。推广应用太阳能光热、光伏等技术和产品，推动村民日常照明、炊事、采暖制冷等用能绿色低碳转型。推进燃气下乡，支持建设安全可靠的乡村储气罐站和微管网供气系统。推动既有农房节能改造。

北京发布低效建筑改造补贴计划

近日，北京市发展和改革委员会发布了《关于印发加强腾退空间和低效楼宇改造利用促进高精尖产业发展工作方案（试行）的通知》，通知提出，老旧厂房改造和产业园区内配套基础设施改造项目，按照固定资产投资总额30%的比例安排市政府固定资产投资补助资金，最高不超过5000万元。改造范围包括对建

筑本体、照明、空调和供热系统实施节能低碳改造，使用光伏、热泵等可再生能源，积极打造超低能耗建筑。要想获得资金支持，项目改造后综合节能率达到15%及以上。具备可再生能源利用条件的项目，应有不少于全部屋面水平投影40%的面积安装太阳能光伏，供暖采用地源、再生水或空气源热泵等方式。

天津南港打造绿色低碳示范园区

日前，记者从天津经开区了解到，南港工业区启动“双碳”规划编制工作，明确碳达峰碳中和工作的时间表、路线图和施工图，推动园区高质量发展与“双碳”目标有机结合，坚持调整能源结构和节能降耗双重发力，大力发展风电、光伏等可再生能源项目，积极推进冷能梯级利用和重点领域节能。

目前，中国电建集团南港风电项目已投产，装机容量90MW，年发电量约1.7亿度，

约占南港工业区用电量的20%，年减排二氧化碳超过10万吨。南港工业区正在研究推动周边海域、公共绿地、企业屋顶等建设光伏发电项目，预计年供“绿电”超过15亿度，超过工业区用电量的10%，年减排二氧化碳超过120万吨。此外，年底前，冷能空分项目和中石化120万吨/年乙烯项目配套冷能利用工程将开工建设，建成后每年可节约标煤超过5万吨，年减排二氧化碳超过10万吨。

山西 3 市获 27 亿元 中央财政补助资金

近日，财政部等四部门正式发文，确定山西省大同、朔州、忻州申报的北方地区冬季清洁取暖项目已纳入中央财政支持范围，成功争取中央资金 27 亿元，加上以前年度山西省已纳入试点的 8 个地级市，全省已实现中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点城市全覆盖，累计争取中央财政资金 129 亿元，位居全国前列。

山东省 11 市农村地区 清洁取暖已开工 29.9 万户

今年，山东省城市（县城）地区将新增清洁取暖 5634.87 万平方米，农村地区将新增清洁取暖 200.17 万户。截至 6 月 16 日，潍坊、济宁、聊城、滨州等 11 市农村地区已开工 29.9 万户。

聊城市 2021 年要完成 农村地区清洁取暖 改造 310865 户

根据《2021 年聊城市冬季清洁取暖工作计划方案》，2021 年聊城市完成农村地区清洁取暖改造任务 310865 户，其中，东昌府区改造计划为 0.6382 万户、临清市为 3 万户、冠县为 4 万户、莘县为 15.242 万户、阳谷县为 2.4 万户、东阿县为 0.51 万户、茌平区为 4.0599 万户、高唐县为 0.7868 万户、开发区为 0.15 万户、高新区为 0.2114 万户、度假区为 0.0882 万户，是历年来改造任务最多的一年。

包头市印发《包头市 2021 年清洁取暖实施方案》

作为中央财政支持的第 4 批清洁取暖试点 20 个城市之一，《包头市 2021 年清洁取暖实施方案》明确，到 2023 年，包头市五区、外五旗县区清洁取暖率达到 100%，农村牧区清洁取暖率显著提升，达到 75% 以上。补贴政策方面，分居民热电联产或工业余热集中供热改造、居民电代煤、太阳能+电辅助、居民生物质取暖、居民气代煤改造、电网扩容、

供热二次网扩容及改造、建筑节能提升等八类进行分类补贴。其中，对已解决采暖、未解决生活用气的用户，具备管道天然气改造条件的，按照 3000 元/户进行补贴；居民分户式、集中式电代煤，采用空气源热泵的按 180 元/平方米补贴；居民生物质取暖，按炉具购置价格的 85% 的标准进行补贴，每户最高补贴 3500 元。

朔州忻州获得冬季清洁取暖补助 27 亿元

6 月 17 日，记者从省财政厅获悉，山西省大同、朔州、忻州申报的北方地区冬季清洁取暖项目被纳入中央财政支持范围，成功争取中央资金 27 亿元。加上以前年度山西省已纳入试点的 8 个地级市，全省已实现中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点城市全覆盖，累计争取中央财政资金 129 亿元。

“2021 年北方地区冬季清洁取暖项目”由财政部、住房和城乡建设部、生态环境部、国家能源局联合组织，旨在贯彻落实

党中央、国务院有关深入推进污染防治攻坚战、碳达峰和碳中和有关决策部署，促进减污降碳，改善大气生态环境质量。

今年以来，省财政厅靠前站位、主动作为，争取中央财政竞争立项资金取得明显成效。此次大同、朔州、忻州 3 市从众多申报城市中脱颖而出，每市将连续 3 年每年获得财政奖补资金 3 亿元。至此，今年山西省已成功争取到冬季清洁取暖、国土绿化、农业现代产业、海绵城市等竞争性立项项目资金 39.5 亿元。

济宁市计划完成农村地区 清洁取暖改造 15.09 万户

近日，山东省济宁市住建局召开专题会议进行安排部署，将清洁取暖相关工作进行细化分解，计划完成农村地区清洁取暖改造 15.09 万户，目前已开工 12.42 万户，开工率 82.32%。目前，全市成立了 6 个清洁取暖督导检查组，每周对各县市清洁取暖工程质量安全情况、工程进展情况等开展实地督导检查，已累计检查 61 个乡镇（街道）、181 个村居，入户 563 户。

开封市印发 2021 年大气 污染防治攻坚战实施方案

《方案》表示，将持续推进清洁取暖。开展清洁取暖“双替代”巩固提升行动，对完成“双替代”供暖改造的地区开展“回头看”，查漏补缺，落实电力和天然气供应保障和电价气价优惠政策。开展散煤治理行动，依法查处违规销售、储存、运输、使用洁净型煤和散煤的行为，严防严控散煤复烧，确保全市散煤清零。

企业动态

Business movement

燃动“智造”新引擎 哈特福德压缩机数字 工厂在烟台落成

6月26日，哈特福德压缩机数字工厂启动仪式在顿汉布什工业园区举行，全球工业制冷空调行业首座复杂离散型压缩机数字原生工厂正式面世，在“互联、数据、共享、平台、绿色”为特征的新工业时代，“数智化”成为制造业转型升级的关键命题。哈特福德压缩机数字工厂由冰轮环境技术股份有限公司、顿汉布什（中国）工业有限公司共同投资建设，是全球工业制冷空调行业首座复杂离散型压缩机数字原生工厂，其全流程、全过程的数字化、网络化、智能化水平均达到行业领先水平。

值得关注的是，自主研发智能装配线，颠覆了大型压缩机的装配制造过程。产线系统横跨设计、工艺、电气、信息、数学等领域，以“机器设备为躯、人机互联为脉、智能数据为脑”，将工程师与AI的智慧聚合，重构装配工艺过程，解决了开启、半封、全封螺杆压缩机等多达上千品种的混线定制生产难题；突破了高精度装配和质量智能控制技术；自主研发的LOS系统协同控制六大智能单元，实现了核心工序完全数字化和智能化；利用数字孪生技术，实现了产线持续迭代。



麦克维尔沉浸式五恒体验店在蓉盛大开业



6月29日，麦克维尔沉浸式五恒体验店在成都正式开业，店铺致力于满足消费者的多样化舒适需求，围绕空调、采暖、热水、新风、智能控制等，提供完善的全屋空调系统解决方案，为消费者带来沉浸式品牌文化体验

与更专业的一站式服务，帮助提高选品准确率，开启实体零售业态的新征程。

得一提的是，整个体验馆主机采用麦克维尔 A+ 系统，365 天全年无休运行，加上五恒舒适空气系统和全屋毛细管辐射的加持，实现夏季制冷冬季采暖，四季恒温舒适，真正做到有凉感无风感。把抽象的产品技术和性能介绍，转换为用户能亲身感受麦克维尔空调的技术实力和实际使用效果的感官互动，充分感知百年品牌特有的科技魅力。

天加健康人居环境体验厅布局成都

6月29日，天加健康人居环境体验厅成都店在四川成都红牌楼橙堡盛大开业，标志着天加从 B 端商用中央空调进军 C 端家用市场的布局，落下第一城。天加以成都作为健康人居环境体验厅的起点，既可塑造区域样板，又可辐射整个西南地区，具有重要的战略意义。

后疫情时代，消费者对于室内环境安全的关注达到了前所未有的高度，从而也带动了对健康类产品的需求。天加致力于通过不断的技术创新打造更健康、更舒适、更节能的健康人居环境技术解决方案一天加全效家用空气系统。天加销售中心高级总监齐家冲表示，此次天加健康人居环境体验厅的开业，是天加从 B 端向 C 端转型迈出的第一步。健康人居环境体验厅的建设是天加今年布局渠道端的一个重要举动，

区别于行业同类展厅，“重体验、轻展示”将会成为天加健康人居环境体验厅的最大亮点。

健康人居环境体验厅成都店是天加打造的全国第一个全效空气系统城市展厅，天加也将以成都为起点，借助全效家用空气系统恒温、恒湿、恒氧、恒净、恒安静五大优势，把“全效”这种空气状态传递至用户，将工业工艺级别的专业健康技术带给更多家庭，创造健康宜居的生态环境。



申菱品牌焕然一新



近日，申菱环境正式启用新的商标，上线全新视觉体验的官网，以更好的传达公司的开放务实、果敢担当、同创同享的价值观。新LOGO基于原有的设计全面升级，采用现代、极简、可读性强的中文和英文字体。暖橙色的圆弧“S”象征着“日出东方”，寓意新的时代、新的未来。字母“g”中独特的半圆弧设计形似笑容，象征友好、活力，呼应“同创同享”的企业文化。

更新后的官网突出了“创造各行各业好环境”的企业宗旨，页面设计更加简洁、大气，展示申菱环境致力于为数据服务产业环境、工业工艺产研环境、专业特种应用环境、高端公建室内环境等应用场景提供人工环境调控整体解决方案。自2000年成立以来，申菱环境坚持“创新驱动”的理念，不断加大研发投入，与国内外各设计院、科研机构、高等院校建立长期而稳定的技术交流与合作关系，依托公司研究院，重点开展专用性空调的洁净技术、节能环保、强化换热、热湿调控等技术的研发。依靠科技创新，申菱环境获得专利400多项，建设有业内高水平的研发平台，目前已为大兴机场、长江三峡、国家电网等多个优秀客户提供了高品质的环境系统解决方案。

格兰富发布灵适 预制化智能泵组

日前，全球水泵及水技术解决方案的领导者格兰富亮相中国建筑科学大会暨绿色智慧建筑博览会首展，并重磅发布全新格兰富灵适 预制化智能泵组，开创性地将泵组机械结构、控制系统、云平台及4G传感与控制模块整合为一套完整的系统，通过对泵组机械结构设计和控制系统的优化，为商业建筑空调系统和区域供热系统提供高效、智能、稳定的整体工业化预制解决方案。

目前市面上的机电预装模块大多采用“拼装”模式，将泵组和控制系统等组件拼装组合在一起，可能受制于有限的安装空间，也面临着安装施工耗时且低效、与BMS系统的兼容复杂、调试和水力平衡效



果差、选型难、模块整体性能未知、交付性能和设计性能不符等问题。格兰富发布的灵适泵组以系统化的理念全新设计，一站式解决“拼装”模式带来的挑战。对于设备拥有方来说，不仅能够在运营管理和节能降耗方面呈现最优效果，还显著降低了其设备的总体拥有成本。

方快锅炉荣获“锅炉科学技术奖”

6月23日，中国锅炉与锅炉水处理协会公布了2020年度“锅炉科学技术奖”获奖名单。方快锅炉有限公司的“燃气锅炉低氮燃烧技术装备的研发与示范”项目，喜获殊荣。锅炉科学技术奖是全国性社会科技

奖励之一，经国家科学技术奖励工作办公室批准设立，该奖项由中国锅炉协会负责评选，本次评选奖项分一、二、三等奖，共30个项目，方快锅炉凭借扎实的科技创新实力，在高校和科研院所林立的竞争对手中脱颖而出。



一直以来，方快始终在基础燃烧领域实施创新，在管道传热和热效率综合利用层面进行尝试，在低氮排放和锅炉远程监控层面捆绑商用。在方快的创新发展过程中，拥有行业内唯一的院士工作站，方快还坚持与清华大学，西安交通大学，郑州大学在热力学研究上做长期互动，成为产学研合作创新示范企业。

美的中标巩义首家五星级酒店

近日，美的中标义首家五星级酒店，巩义正商皇冠假日酒店 & 智选假日酒店是巩义市首家五星级酒店，由郑州知名跨国企业正商集团投资，项目包括停车场、大堂、多功能商业厅以及客房等区域。在酒店整体能耗中，中央空调和热水能耗占比极高，系统节能与高效设备运用成为酒店运营成本改善的核心环节之一。此外，受季节、假期、周末等因素影响，酒店入住率差异较大，导致暖通系统时分分段负荷变化大，合理的系统搭配也是酒店节能降本的关键。美的暖通与楼宇为其量身提供了高效、节能、稳定的整体解决方案。

美的暖通与楼宇为巩义正商皇冠假日酒店打造的整体解决方案涵盖美的高效降膜变频离心机组、美的高效螺杆式冷水机组以及若干水机末端等绿色产品，采用先进的航天气动技术、预旋导叶技术、双级补气增焓压缩技术、全降膜蒸发技术、前瞻性控制逻辑技术等核心技术，对机组的压缩机结构、传动系统、管路系统、换热系统、控制系统等进行了全方位优化设计，使机组能效更高、结构更简单、性能更稳定、质量更可靠，机组整体能效远高于国家一级能效。大大降低酒店能耗成本的同时，也创造了舒适、洁净、便捷的入住环境。

天加助力威迪森打造商业酒店领域新标杆

近日，天加为威迪森打造商业酒店提供绿色智能解决方案，威迪森国际酒店（湖南）是桃花源风景带唯一一家国际五星级商旅休闲地标酒店，是极具生态自然景观的商旅休闲酒店，整体楼型设计新颖独特，酒店坐落于常德市桃源县漳江镇梅溪桥东湖和缘沅江畔，地理位置优越交通便利，是常德地区游客前往桃花源旅游的中转站，也是诺贝尔酒店管理集团布局中国优质度假旅游资源的又一力作。

在双碳背景下，绿色节能成为了商业建筑全新的发展方向。对于包括办公、商场和宾馆等商业综

合建筑来说，空调通风及采暖的能耗占建筑总能耗 60% 以上。因此，在保证舒适度前提下，降低空调耗能成为此类建筑必然要求。酒店行业建筑空调热水能耗居高不下，而且时分分段负荷变化大，需要合理的暖通系统搭配。智能、节能、舒适、稳定的暖通系统成为当今酒店行业的主流需求。凭借自身过硬的产品质量和技术能力，天加在商业酒店领域再添新标杆—威迪森国际酒店。天加以高效离心式冷水机组、满液式水冷螺杆冷水机组成功中标威迪森国际酒店（湖南），打造绿色舒适智慧酒店解决方案。



助力智慧轨交建设，美的暖通与楼宇服务福州市轨道交通 4 号线

近日，美的暖通与楼宇成功中标福州市轨道交通 4 号线一期工程，为其提供全直流变频多联机组 12880kW 及 BMS 智慧楼宇控制系统，助力轨道交通行业走向“智慧”的发展道路。福州市城市轨道交通 4 号线一期工程起点站为橘园站、终点站帝封江站，全线约为 28.4km，共设站 23 座，全线均采用地下线敷设。设螺洲车辆段 1 座，洪塘停车场段 1 座；对缓解沿线交通压力、优化市民出行方式起到积极作用。

据悉，该项目还是全国首条多联机与 BMS 智慧控制系统单独招标且美的同时中标的轨交路线，美的为其提供全直流变频多联机组及 BMS 智慧楼宇控制系统，项目总制冷量达 12880 kW。据了解，在该项目中使用的美的全直流变频多联机采用直流变频压缩机与电机，比普通变频多联机节能 25% 以上，能效远超国家一级标准；行业领先的 180 度直流驱动技术，让机组噪音进一步得到控制，同时降低电磁干扰，为地铁内的工作人员和乘客提供良好的环境。

除此之外，美的暖通与楼宇 BMS 智慧管理系统采用了最先进的技术、全新的软件构架以及专利功能，可以通过轨道交通的监视和控制从而优化空调能效，做到实时感知温度变化、实时调控，更好地对设备进行控制，实现福州地铁 4 号线的舒适、高效、节能和环保的理念，快速落实节能减排政策。

申菱环境助力成都天府国际机场投入运营



6月27日，成都天府国际机场于正式投入运营，在国内当前规划建设的新机场中，成都新机场规模仅次于北京新机场，成都也成为继北京、上海之后，国内第三个拥有双机场的城市。

申菱特种空调凭借在专业技术实力，为成都天府国际机场航站区提供配套高端公建类空调产品。包括组合式空调机组、屋顶式空气调节机组、多联机、恒温恒湿机、除湿机等两百多套专业空调产品，用于T2航站楼及基础辅助楼配套设施，为该项目提供舒适的环境保障及新风需求。申菱为该项目配套的专业空调产品融合申菱深度除湿、变容量调节、变风量调节、电子净化等多项先进技术，更强的适应性和更高的可靠性，为天府机场提供高品质舒适空气。

申菱环境致力于为专业特种应用环境提供相关设备及人工环境调控的整体解决方案，是目前国内专用性空调领域规模大、技术先进、产品齐全的现代化企业。节能环保的绿色机场已成为全球机场发展的共同趋势，申菱环境奖服务更多优质、绿色、环保友好型的智慧机场建设。

雅士助力“西咸新区空港新城航天电子研发基地”建设

近日，雅士空调成功中标西安微电子研究所“西咸新区空港新城航天电子研发基地”项目。西安电子技术研究所，隶属于中国航天科技集团公司第九研究院，主要从事计算机、半导体集成电路、混合集成三大专业的大型专业研究所。

空气的洁净度是电子产品、尤其是微电子生产非常重要的条件之一。空气洁净度不达标，会直接对产品或工件造成污染，影响产品的性能、成品率、可靠性

及寿命。空气的洁净度主要靠两个方面来保证，一方面建筑密闭性能、易洁性、保温性能是洁净厂房的基本条件，另一方面很重要的一点是在此基础上净化空调等机电系统的共同作用保证空气洁净度达到要求。此次雅士根据项目要求量身定制，大风量恒温恒湿，采用多项密封、专利技术，同时通过机体加强支撑工艺强化机身。目前已经进入调试阶段，标志着雅士空调在高端电子净化领域再下一城。

海尔磁悬浮赋能西安国际会议中心

近日，海尔磁悬浮中央空调为西安国际会议中心提供专业个性化解决方案，西安国际会议中心与西安国际会展中心、西安奥体中心并称“三中心”，作为丝路起点的“一带一路”标志性工程，西安国际会议中心整体包含1栋会议中心及5栋酒店单体，总建筑面积约16.1万 m^2 。作为城市新地标，这座集生态化、国际化、智能化为一体的国际会议建筑场馆，海尔磁悬浮中央空调凭借高效节能、稳定可靠等优势，为西安圆桌会议中心及丝路花园酒店赋能，促进建筑绿色可持续发展。

西安国际会议中心及丝路花园酒店空间面积较大，要求中央

空调系统稳定运行，避免耗电量高、运行费用高、噪音大等问题。会议中心作为公共建筑本身对绿色环保节能性要求较高；其次最重要的是舒适问题，能为内部人员提供静音舒适的会议环境。海尔磁悬浮中央空调凭借0摩擦无油运转的优势，机组部分负荷能效高达34.58，综合能效比（IPLV）可达13.18，适合会议中心空间大及酒店满负荷运行的状态，使用寿命长达30年且行业创新3年保修，提高了机组可靠性稳定性。

另外，搭载E+云服务平台，实现24小时实时监测，可通过自运行、自节能、自优化实现自主控制，赋予建筑智慧节能。



浙江首个“百亿级”新型显示重大项目选择西屋康达

近期,浙江省引进的首个“百亿级”新型显示重大项目,中国制造2025产业园建设项目(二期工程)超薄玻璃基板深加工项目,经过严格的比选,最终选择西屋康达作为洁净区中央空调设备供应商。中国制造2025产业园建设项目(二期工程),位于浙江湖州南浔经济技术开发区,总投资160亿元,用地面积530亩,总建筑面积约50万平方米,项目为合丰泰光电G8.5超薄玻璃基板深加工生产基地,建成后实现年产超高清液晶显示面板636万片的生产能力,将成为浙江省显示产业龙头企业,填补浙江省在新型显示产业领域的空白。

作为专注中央空调洁净技术的行业专业品牌,西屋康达洁净中央空调产品在行业具备十足的



竞争力。自主研发“互锁强压式”箱体结构,性能全面达到欧洲标准EN1886最高水平要求,箱体漏风率低至0.047%,远低于国家标准要求。空气处理产品性能可靠,可提供1000-250000m³/h的洁净空调解决方案(2009年已实地应用单机25万风量洁净空调产品),全面覆盖各类洁净区域对中央空调空气处理设备的需求。在新型显示领域,现已成功服务SDP、LG Display、华星光电、信利电子、盛波光电等众多行业龙头企业。

美的暖通与楼宇成功中标广州国际航运大厦项目

近期,凭借先进的节能技术、高效的能效系统以及专业的优质服务,美的暖通与楼宇打造的绿色高效暖通系统解决方案成功赢得广州国际航运大厦项目方的认可,助力其营造健康舒适、绿色高效的办公环境。广州国际航运大厦由中国远洋海运集团下属中远海运散货运输有限公司投资建设,位于琶洲互联网集聚区,总建筑面积为95183.2平方米,是以超高标准打造的一线江景5A级写字楼,获得绿建三星



建筑设计标识认证和琶洲区域首个鲁班奖荣誉。

作为具有业态聚集功能的国际航运总部大楼,广州国际航运大厦建筑体量大、空间复杂、人流量大,因此项目方对暖通空调系统的稳定性和节能性等方面提出了非常高的要求。作为暖通行业领军品牌,美的暖通与楼宇的设计团队经过详细的现场勘查与评估,最终为该项目定制了专业的暖通系统解决方案。该方案包括2台高效变频直驱离心式冷水机组CCWF900EV、1台高效变频螺杆式冷水机组SCWE430EV、3台高效风冷螺杆式热泵机组SHAF180H,总冷量2770冷吨,不仅满足了项目基本的冷暖需求,还充分满足了园区高质量办公环境的建设需求。

克莱门特见证嘉兴文化艺术中心“三叶花”绽放

近日,作为嘉兴市“迎接建党100周年”的标志性工程,嘉兴市文化艺术中心正式启用,该项目总投资12亿元,占地98亩,建筑面积11万平方米。位于秀洲区的秀湖东畔,将嘉兴美术馆、秀洲图书馆、秀洲农民画艺术馆、秀洲文化馆、秀洲非遗馆、秀洲群艺馆以及秀湖音乐厅等“六馆一厅”有机融合、贯连畅通,打造一站式文旅综合体,是嘉兴市“百年百项”重大项目和十大标志性工程之一。

嘉兴市文化艺术中心从空中俯瞰,建筑主体是一个360度的圆被分成三个120度的扇形单元体对应不同的功能区,即“三叶花”的三片花瓣,秀湖的柔美与南湖的刚性形态相呼应;此次嘉兴文化艺术中心项目冷热源采用克莱门特高效风冷热泵机组,共计19台,总制冷量近8500kW。其中螺杆风冷热泵9台,满足图书馆、剧院、美术馆及商业配套冷热需求;风冷模块式涡旋热泵10台,为美术馆精品库转轮除湿、恒温恒湿机组提供冷热源。

末端采用克莱门特组合式空调机组32台,新风处理机组51台,风机盘管695台;其中剧院、美术馆和图书馆均采用组合式空调机组;考虑到场馆对于噪声高标准要求,空调机组采用双消声段设计。



单机头冷量最大压缩机的 磁悬浮落地山东能源集团

近日，海尔中央空调2台900RT磁悬浮机组正式赋能山东能源淄矿集团唐口煤业，机组单机头最大冷量450RT，成为磁悬浮最领先压缩机单机头最大冷量样板案例。

唐口煤业有限公司是目前山东能源淄矿集团生产能力最大的矿井，是国内目前唯一一座在同一工厂内布置主、副、风三个超千米立井的矿井。作为政府建筑要积极率先践行“碳中和”国家战略，打造环境友好型矿井，项目方对设备的稳定性和节能性有很高的要求。此外，项目本身体量较大且机房空间有限，对机组能效、结构等都有所要求。在详细了解了海尔磁悬浮中央空调的优势后，决定选用高效节能、稳定可靠的海尔磁悬浮节能解决方案。

该项目X+系列高效磁悬浮机组，采用VTX磁悬浮变频无油技术，双一级能效，高效节能50%；单机头最大冷量450RT，1-6机头设计，最大冷量2700RT，更适用大体量项目，机组台数更少，占地面积更小，维护更省心；机组低水阻设计，两器水阻约50kPa，更适用于高效机房设计。同时该机组实行2A启动：机组启动方式使用软启动，单压机启动电流2A；振动小：机组启动、运行、停机振动皆很小，降低配管泄露风险，无需额外增加弹簧减震；海尔磁悬浮机组还内置云服务模块，可免费实现远程监控、远程控制、能耗分析、故障预判等；并且海尔云服务同时支持电脑、手机、pad多种终端。2台900RT X+系列高效磁悬浮机组赋能于山东能源淄矿集团唐口煤业，有效满足项目方的各项需求。

青岛大学综合建筑项目再选奥利凯空调

日前，青岛大学国际学术交流中心再次选用了奥利凯风机盘管机组。这是继2018年该校医学教育综合楼项目合作，奥利凯以高效的产品性能和优质的服务获得了校方的认可后的再次合作。青岛大学国际学术交流中心是青岛大学根据自身发展的要求，精心设计和建设的集餐饮、客房、学术交流、大型会议、旅游接待、娱乐等功能于一体的宾馆饭店。地上建筑五层、地下一层，建筑面积1.38万平方米，综合服务配套设施齐全。

奥利凯风机盘管机组轻巧美观，结构紧凑，超薄的外形设计，机组可放置于狭小的天花板内，结合室内装修，配上出风口，是宾馆、饭店、办公室等场所理想的空调设备。机



组表冷器位置前移，距离采用优化设计，充分发挥表冷器能力，提高了换热效率。风机每台均经过精准的动平衡调校，运行平稳，静音设计。未来，奥利凯将继续秉承着“专注行业品质见证”的企业理念，保证产品品质，注重产品细节，从用户需求出发，全力打造可靠、稳定、实用型的中央空调产品。

格瑞德集团中标6000余台风机盘管合同



近日，在格瑞德集团陕西分公司和格瑞德集团洁净空调公司共同努力下，成功中标西安康复中心医院项目，该项目要求高端风机盘管6000余台，以满足西安康复医学中心病房使用要求。甲方经过场地考察、样机测试等，一致认为格瑞德生产规模、产品质量完全满足

西安康复医学中心病房使用要求。6月初，洁净空调工程公司风机盘管顺利发货4000余台。

近几年，单体项目超过5000台风盘合同尚属首次。洁净空调工程公司领导非常重视，从合同签订—产品配置—零部件分批采购—组装测试，事无巨细，和相关人员制定详细计划，按步骤、按节点步步推进。因项目供货需求，时间紧任务重，洁净空调工程公司工作人员加班加点保证生产进度和产品质量。目前，首批风机盘管已发往西安康复医学中心进行安装。

欧文托普推出智能控制阀新产品

日前，德国欧文托普推出新一代阀门产品——智能控制阀。智能控制阀在水力平衡的基础上，创新性增加了温度平衡、能量平衡功能，有效消除水系统大流量小温差综合症，提高冷热源、水泵、末端设备乃至整个系统的运行效率。智能控制阀颠覆了传统阀门在自控系统中仅作为现场层（硬件设备）受控于自控系统的工作模式，实现现场层与自控层/管理层的双向沟通的系统联动作用，真正达到基于终端设备的实时需求，进而随动反应，调节源端输出的运行方式。

欧文托普新一代智能控制阀集合了压力无关型阀门、智能执行器、流量计、温度传感器等多种功能于一身，可用于暖通空调水系统、市政供热热力管网的能量控制和温差管理。通过总线协议 Modbus RTU 或者 Modbus TCP 网络通讯方式实现与 BMS 系统的交互，将流量、供回水温度和能量等数据传输到 BMS 系统。BMS 系统经数据分析，进而实现优化运行方案，改善系统、末端设备和冷热源等设备的运行效率。新品智能控制阀的推出，将进一步强化并巩固欧文托普在阀门领域的技术优势和行业地位，同时也为暖通空调水系统的绿色节能发展提供更加强有力的技术支持。



中广电器荣获“2020年度浙江省科学技术进步奖”

6月15日，2020年度浙江省科学技术奖励大会在省人民大会堂举行，会上颁发了301项“2020年度浙江省科学技术奖”。其中，丽水学院、浙江中广电器股份有限公司等企事业单位共同参与的《区域特色机电和青瓷产业全过程节能减排关键技术研究和应用》项目，荣获“2020年度浙江省科学技术进步奖”三等奖。该项目是校企联合创新产学研模式开发的特色课题，针对空气能热水器等高新技术产业及区域的转型发展需求，开展了一系列节能减排、绿色发展的课题研究。

中广电器与丽水学院联手研

究的《空气能热水器关键技术研发及产业化示范》课题是获奖研究项目的系列课题之一。该课题，主要针对空气能热水器的优化设计、智能控制等技术瓶颈展开研究。双方技术人员通过共同努力，重点开发了空气能热水器系统使用可靠性及系统设计等关键共性技术，并构建了产品优化设计系统分析平台等，在企业转型升级上起到了较好的促进作用。在研究成果落地方面，中广电器通过关键技术的集成，建成了一条空气能热水器产业化高效节能示范生产线，既有利于研究结果转化为经济效益，又有利于技术优化研究的持续开展。

盾安中央空调中标中科院大连化物所项目

近日，盾安中央空调大连市场传出喜讯，凭借出色的产品性能，盾安冷凝排风热回收新风一体机从众多竞标商家中脱颖而出，成功中标中科院大连化物所—资源与绿色转化技术创新平台—化石能源清洁化利用研发平台项目。项目位于辽宁省大连长兴岛经济区大连化物所长兴岛园区内。规划用地面积：建设场地设置于两个地块内，北侧用地面积30390.26m²，南侧用地面积54644.37m²。

针对客户与多联机系统配套，处理新风；提高空调系统运行能效，达到建筑节能的需求，盾安为其提供了30台安铂系列冷凝排风热回收新风一体机，为中国科学院大连化学物理研究所的研究人员提供舒适的工作、研究环境。此次合作盾安始终坚持以客户为中心，



在该项目方案阶段到设备供货，盾安在技术、服务等相关工作人员全力配合用心服务，得到用户认可和好评。

中科院大连化物所化石能源清洁化利用关键技术研发平台项目，总投资2.18亿元，是国家十三五科教基础设施项目。未来将构建新型化石能源清洁化利用原始创新研发体系，成为具有学术特色和世界影响力的化石能源科学研究中心和创新高地，对推动能源结构变革、促进区域能源经济发展具有重要意义。

国际资讯 International News

报告称气候变化正在加剧臭氧层的消耗

一个国际科学家小组的一项新研究警告说，气候变化正在加剧北极上空的臭氧层损耗。尽管禁止使用消耗臭氧层的气体，如氟氯化碳和氟氯烃制冷剂，而且最近有报告称臭氧空洞正在缩小，但新的报告称，气候变化导致臭氧层损失更大。报告认为，由于与全球变暖有关的气候模式，北极地区冬季气温极低、气温偏高的现象越来越频繁，也越来越极端。极低的温度会引起消耗臭氧层的剩余化学物质反应，并导致更大的臭氧层损失。

这项由 Helmholtz 极地和海洋研究中心以及芬兰气象研究所进行的新研究已经发表在《自然通讯》杂志上。罗斯教授说“我们正处于一种氟氯化碳缓慢而稳定的下降与气候变化之间的竞赛中，氟氯化碳需要 50 到 100 年才能消失，这导致极端的极端温度迅速变冷。越来越冷的温度创造了条件，促使氟氯化碳消耗臭氧层。因此，尽管这些化合物正在慢慢消失，但随着气候的变化，北极臭氧层的损耗正在增加。”研究的最新数据显示，2020 年北极极涡温度最低，臭氧损失最高，超过了 9 年前 2011 年创下的纪录。根据科学家的说法，氯在北极极涡中通常是无反应的，但云层为氯的形态变化提供了合适的条件，并与溴和阳光发生反应，破坏臭氧层。

国际能源署发布《全球能源行业 2050 年净零排放路线图》报告

国际能源署 2021 年 5 月 18 日发布《全球能源行业 2050 年净零排放路线图》，详细阐述了各国政府需要为实现 2050 年能源行业净零排放采取的行动。

可再生能源将在能源行业占据主导地位。在净零排放路线图中，2050 年全球能源需求将比现在减少 8%，但能够服务规模超过目前一倍的经济体，且服务人口总数比目前多 20 亿。随着世界经济增长和能源普及，更有效地利用能源、提高资源效率和行为改变这三方面的共同作用将降低能源需求。

工业、交通和建筑的减排需要花费更长时间。工业排放到 2050 年将降低 95%，涉及的主要工作是基础设施建设。从现在到 2030 年，通过研发、示范和初步部署，加速将新型清洁技术推向

市场。2030 年之后，将对这些技术进行推广应用。从 2030 年开始，每月都有 10 家重工业工厂配备 CCUS，建设 3 家基于氢的工厂，并在工业场所增加 2 吉瓦电解槽。出台并实施促进电气化以及 2035 年停止销售内燃机汽车的政策，是在交通领域实现大规模减排的基础。2050 年，所有汽车都采用电力或燃料电池提供动力。对于能源需求不能轻易或经济地通过电力满足的行业，低排放燃料是必不可少的。例如，航空业在很大程度上依赖生物燃料和合成燃料，氨对航运业至关重要。在建筑领域，需要从 2025 年开始禁止使用新的化石燃料锅炉，推动电动热泵的销售。大多数旧建筑和所有新建筑都需符合零碳排放建筑能源法规。

ASHRAE 寻求巩固会员根基

ASHRAE 2021-2022 年度主席施韦德勒将寻求加强与其成员的关系，并鼓励个人成长和影响的执政主题。

该主题探讨了 ASHRAE 从学会建立之初，通过全球增长和在建筑环境领域影响力，扩大其会员根基。为了帮助会员成长，ASHRAE

建立了三个根系：会员间联系、分会和地区组织以及技术。

施韦德勒说：“今年，我们将研究 ASHRAE 如何培育其深厚、广泛和牢固的根基，从而共同为当今乃至子孙后代提供全球利益。”最重要的是，我们要求您积极参与帮助他人成长。”

丹麦对氢氟碳化合物实行新的限制

从 2021 年 7 月开始，丹麦分体空调的最大 R410A 容量将减少到 2.4kg。这项新要求是随着丹麦现行的 10kg 要求取消，和基于二氧化碳当量的收费标准变化而实施的。据丹麦工业联合会称，对氢氟碳化合物的征税也将同时增加，每吨二氧化碳当量大约增加 30 丹麦克朗。

从 7 月 1 日起，分体空调系统的最大二氧化碳当量将限制在 5 吨。这相当于 2.4kg 的 R410A、7.4kg 的 R32 和 3.5kg 的 R134a。工厂组装的密封系统必须像以前一样，最大容量限制为 10kg。对于分体式工厂，和制冷厂一样，二氧化碳当量限制为 5 吨。

美国到 2050 年可以实现 90% 可再生能源发电成本低于现状

美国国家可再生能源实验室 (NREL) 研究人员在《焦耳》杂志发表最新研究论文, 到 2050 年将美国的可再生能源发电量提高到 90%, 其系统成本比维持目前的发电结构产生更低, 计算得出的系统成本并不包括公共卫生、环境或气候因可再生能源的额外效益。

根据模型计算, 假设在 2020 年 6 月现行的政策之外没有新的联邦或州政策, 到 2050 年可再生能源发电将达到 57%, 平均平准化成本为 30 美元 / MWh, 即每千瓦时 3 美分。研究发现, 如果在 2040 年之前

达到 90% 的可再生能源, 系统成本将升至 36 美元 / 兆瓦时。利用现有技术, 到 2050 年达到 100% 的可再生能源是可能的, 相应的系统的成本升至 39 美元 / 兆瓦时。

相对于这些情境假设, 实现 80%、90%、95% 和 100% 可再生能源比例对应的平均二氧化碳减排成本分别为 25 美元、33 美元、40 美元和 61 美元 / 吨。研究发现, 在可再生能源发电接近 100% 的最后几个百分点, 系统的增量成本将急剧上升, 从 99% 到 100% 的增量减排成本高达 930 美元 / 吨。



所有的系统都是零重力冰箱

正在为未来太空任务研制的蒸汽压缩冰箱在经过独特的失重研究实验室的测试后, 证明了它在零重力下的有效性。美国普渡大学、空气平方公司和惠而浦公司的工程师用无油涡旋压缩机开发了冰箱, 以满足宇航员的需要。

尽管冰箱实验之前已经在太空进行过, 但它们要么工作得不太好, 要么最终崩溃。目前国际空间站上使用的冰箱系统的 COP 只有 0.36, 比地球上

的冰箱消耗的能源要多得多。无油蒸汽压缩循环消除了人们对油在零重力下不流动的担忧。

上个月, 这组科学家在一架特别设计的飞机上进行了三项实验, 测试冰箱设计的各个方面, 这架飞机在微重力下飞行了 30 次, 每次飞行间隔 20 秒。这架飞机是零重力公司 (Zero-G) 唯一的失重研究实验室, 是美国唯一的同类试验空间。

全球建筑能效市场快速扩容

日前, 行业研究机构 AEE 发布报告过去 10 年中, 建筑能效在全球范围内不断提高。全球建筑能效市场规模持续攀升, 其中, 2019 年增长了 9%、2020 年增长 5%, 2020 年达到 3417 亿美元。在 2011-2020 年期间, 全球范围内建筑能效市场的复合年增长率达到 11%。

该报告指出, 数据显示, 受新冠肺炎疫情影响, 2020 年, 全球建筑能效市场规模仅增长了 5%, 与 2019 年 9% 的增长率和 2011-2020 年 11% 的增长率相比, 显著下降。与此同时, 2019 年至 2020 年期间, 建筑能效的每个细分市场增长率都有所下降。其中, 商业和工业建筑受到的影响更大。但是, 住宅建设和家庭装修市场的支出则有所增加, 有助于提高整体的建筑能效。另外, 2020 年, 全球住宅节能和服务市场也增长了 15%, 达到 344 亿美元。

报告预计, 未来 10 年, 支持建筑电气化和节能的产品和服务, 如高效暖通空调系统 (包括空气源热泵)、相关控制、建筑围护结构改进以及安装和调试服务等将持续增长。其中, 热泵已成为通过电气化对建筑物进行脱碳的核心解决方案, 助力低能耗的热泵技术已经成为建筑领域最受欢迎的节能技术。AEE 指出, 目前, 与传统能效产品, 如智能建筑管理系统 BMS、储能和现场发电等相衔接的技术创新, 已经成为推动建筑能效市场变革的主要力量。随着新技术进入市场, 供应商和客户看到了建筑范围和建筑到电网解决方案的机会, 这些解决方案能够满足节能之外的多种建筑运营需求。



更可靠、更节能 – 沃茨全面水系统解决方案

沃茨（上海）管理有限公司产品经理唐华讲解数据中心阀门应用与水冷系统，对未来可应用于液冷系统的技术进行分析，通过关注阀门调节细节，实现按需平衡水量，更深入做到系统节能，通过丰富的经验提供完善的系统解决方案。



智能节能双循环空调在数据中心的应用与节能分析

长沙麦融高科股份有限公司解决方案总监杨志新分析了水冷数据中心面临系统构架复杂不便快速部署、水管理窘境及水患等运行和运维问题面临的挑战，提出节能双循环空调系统设计理念，对冷冻水机组 + 新型空调末端系统、智能双循环空调全年运行等节能评估分析，给出弹性、针对不同场景柔性扩容适配、高效解决路径。



数据中心液冷技术创新及应用实践

阿里云首席散热架构师钟杨帆解析了浸没式液冷是数据中心的跃迁式技术创新，具有高效，高密度，高可用和高可靠等特性。此演讲以云服务器的技术能力和产品通用能力为基础，以当前云计算行业的应用场景及阿里云在浸没液冷应用多年技术创新及引领液冷技术产业化的实践探索进行分享。



中国移动关于液冷技术的实践和探索

中国移动通信集团公司计划建设部项目主管程磊介绍绿色数据中心历经五代演进，从精密空调、列间空调、背板空调到液冷空调四个阶段的发展，已落地建设的数据中心超百万机架，实现装机高效率、低成本控制及 PUE 持续降低。



数据中心行业高效水泵的应用

威乐（中国）水泵系统有限公司数据中心行业技术应用经理李华明谈到双碳目标下，数据中心行业节能降耗是大势所趋，电动机、泵头高效、低进水压、状态联网、监测分析预判等节能技术已成为水泵企业的核心竞争力。



数据中心制冷单元故障的应急演练

浙江移动网管中心运行维护工程师李昶主要介绍数据中心制冷单元故障应急演练，演练的场景是：某移动数据中心制冷单元因系统设备故障停机后，BA 系统未执行自动切换动作，备用制冷单元未启动的状态，需要现场运维人员在短时间内完成手动应急操作，恢复机房正常供冷。



绿色数据中心的冷却塔应用探讨

湖南元亨科技股份有限公司董事长陈力探讨了数据中心用冷却塔的热力性能、节能、节水、可靠性、降噪、防结冰、防羽雾、系统控制等问题，详细分析夏冬两季工况需求冷却塔的设备选型和设计及业主等单位如何掌握冷却塔匹配专业选型的现实需求。



超高密度数据中心制冷设计方案

中讯邮电咨询设计院有限公司高级工程师胡孝俊讲解数据中心功率密度的发展趋势和在不同功率密度下机房的制冷方式，针对项目及业务需求特点对空调制冷系统进行设计，综合分析 PUE 及节能效果。



打造数字化低碳数据中心

江森自控助理系统经理崔玥根据当前数据中心基础设施建设的行业标准与特点，从自控策略方面阐述如何在保证可靠运行的前提下，实现节能低碳的运行，为碳中和、碳达峰的目标做出自己的力行之步。同时也将对当前数据中心常用的冷却方式及其控制方式做出简述并推出相应的解决方案。



各类气候分区数据中心冷却节能技术对比分析

中国移动通信集团设计院有限公司高级咨询设计师姜宇光分析数据中心行业 PUE 政策不断收紧，对数据中心节能提出了越来越高的要求，由于空调能耗占有数据中心能耗较大的比重，为降低冷却能耗，行业内涌现出多种新型空调节能技术，但不同技术有各自适用的应用场景，有必要分别进行研究、分析对比各种技术的特点及节能性，针对不同气候分区城市给出相应的应用建议。



基于 AI 技术的数据中心 BA 系统节能控制

北京英沓特能源技术有限公司智能化事业部技术总监孙岩针对当下行业过渡季不同气候系统运行不能自动切换、不同负载系统的运行工况不能自动调优、系统运行安全与节能的平衡三大痛点通过 AI+BA 技术来解决，并通过北京某数据机房典型案例进行解读。



间接蒸发冷却在数据中心的演变与发展

广东省电信规划设计院有限公司设计师吴学渊阐述各地数据中心行业 PUE 政策不断收紧，对数据中心节能提出了越来越高的要求，由于空调能耗占有数据中心能耗较大的比重，为降低冷却能耗，行业内涌现出多种新型空调节能技术，但不同技术有各自适用的应用场景，有必要分别进行研究、分析对比各种技术的特点及节能性，针对不同气候分区城市给出相应的应用建议。

圆桌会议

由 CDCC& 中数智慧信息技术研究院副院长罗志刚主持的圆桌对话环节，邀请到了中国建筑设计研究院有限公司智能工程中心副总工劳逸民、上海邮电设计咨询研究院有限公司数字基建院副院长王颖、中国联通深圳分公司高级专家窦海波与众嘉宾一同围绕“碳达峰 碳中和背景下数据中心冷却节能面临的机遇和挑战”这一对话主题探讨当前行业新形式下的新发展、新政策，从多维度剖析了数据中心系统节能高效的解决方案，带动相关产业发展的势头也不可估量。结合当下可再生能源、区域供能分析双碳形势下对于数据中心的解决路径，前瞻性地从各自不同视角为行业发展献计献策，为推进数据中心项目的应用与实施提供了新的思路。专家们的交流互动反响热烈，得到了在场听众的积极反馈。



本刊编辑 崔艳梅

国家发展改革委关于加强基础设施建设项目管理 确保工程安全质量的通知（节选）

发改投资规〔2021〕910号

各省、自治区、直辖市及计划单列市、新疆生产建设兵团发展改革委：

近年来，各地方不断加强基础设施等领域建设项目管理，工程安全质量水平不断提高。但仍有一些项目管理不严，相关管理规定落实不到位，造成工程质量下降、安全隐患增加。为进一步加强基础设施建设项目管理，坚持质量第一，保障人民群众生命财产安全，现就有关事项通知如下：

一、加强项目审核把关

（一）规范履行项目审批（核准、备案）程序。严格按照《政府投资条例》《企业投资项目核准和备案管理条例》等有关规定，履行投资项目审批（核准、备案）程序。政府投资项目要按照国家有关规定报批项目建议书、可行性研究报告、初步设计。企业投资项目要根据《政府核准的投资项目目录》等有关规定，履行核准或备案手续。未按规定履行审批（核准、备案）程序、不符合规定的建设条件的项目，不得开工建设。

（二）在前期工作阶段进一步加强工程质量管理。项目单位应当提高项目前期工作质量，确保项目建议书、可行性研究报告、初步设计、项目申请报告等文件的深度达到规定的要求。规划选址阶段要优化工程选址方案，尽量避免风险较大的敏感区域。可行性研究报告要对涉及工程安全质量的重大问题进行深入分析、评价，提出应对方案。初步设计要严格执行工程建设强制性标准，提出安全质量防护措施，并对施工方案提出相应要求。

（三）严把超高层建筑审查关。严格执行《住房和城乡建设部、国家发展改革委关于进一步加强城市与建筑风貌管理的通知》，把超大体量公众建筑、超高层建筑和重点地段建筑作为城市重大建筑项目进行管理。其中，对100米以上建筑应严格执行超限高层建筑工程抗震设防审批制度，与城市规模、空间尺度相适宜，与消防救援能力相匹配；严格限制新建250米以上建筑，确需建设的，要结合消防等专题论证进行建筑方案审查，并报住房城乡建设部备案；不得新建500米以上超高层建筑。

（四）落实项目决策咨询评估制度。项目审批（核准）部门在审批（核准）项目时按照有关规定

应委托咨询评估的，必须先完成委托咨询评估程序，再作出审批（核准）决定。评估机构要加强对工程安全质量的评估，对出具的评估论证意见承担责任，投资主管部门要加强评估质量评价管理。

二、严格执行项目管理制度和程序

（一）严格落实“项目四制”。落实项目法人责任制，项目单位和法定代表人对项目建设的工程质量负总责。落实招标投标制，按照《招标投标法》《必须招标的工程项目规定》《必须招标的基础设施和公用事业项目范围规定》等要求做好项目招标投标工作，并将强制性安全质量标准等作为招标文件的实质性要求和条件。落实工程监理制，监理单位要认真履行监理职责，特别要加强对关键工序、重要部位和隐蔽工程的监督检查。落实合同管理制，建设工程的勘察设计、施工、设备材料采购和工程监理等要依法订立合同，并明确安全质量要求以及违约责任等。

（二）科学确定并严格执行合理建设工期。按照国家有关规定，在充分评估论证的基础上科学确定合理建设工期，防止边勘察、边设计、边施工。严格执行建设工期，任何单位和个人不得非法干预、任意压缩合理工期。确需调整工期的，必须经过充分论证，并采取相应措施，通过优化施工组织等，确保工程安全质量。

（三）严格工程造价和建设资金管理。项目招标投标确定的中标价格要体现合理造价要求，杜绝造价过低带来的安全质量问题。政府投资项目所需资金应当按照国家有关规定确保落实到位，不得由施工单位垫资建设，不得随意缩减政府投资计划明确的投资规模。严禁转移、侵占、挪用政府投资资金。

（四）严格组织项目竣工验收。项目建成后，应当按照国家有关规定组织竣工验收，将工程质量作为竣工验收的重要内容。工程质量达到规定要求的，方可通过竣工验收；工程质量未达到要求的要及时整改，直至符合工程质量相关验收标准后，方可交付使用。

（五）严格做好项目档案工作。督促项目单位按照国家有关规定加强项目档案管理，做好项目审批、实施、竣工验收等各环节有关文件资料的收集、

整理、归档、移交等工作，确保资料无缺失遗漏。

三、加强项目实施事中事后监管

(一) 加强投资法规执法。强化《政府投资条例》《企业投资项目核准和备案管理条例》制度执行，加强对本地区投资项目特别是备案类项目的事中事后监管，将项目是否按照审批（核准、备案）的项目建设地点、建设规模、建设内容等进行建设作为核查重点。

(二) 加强中央预算内投资项目监管。（略）

(三) 发挥审计、督查等监督作用。积极配合关于基础设施建设项目和政府投资管理的审计、督查等。对发现的工程安全质量等问题，要督促有关地方和单位限期进行整改。

(四) 加强社会监督。按照有关规定做好基础设施建设项目信息公开和施工现场公示，积极接受社会监督。对有关单位、个人和新闻媒体反映的工程安全质量问题，要按规定认真核查处理。

四、强化工程安全质量问题惩戒问责

(一) 加强安全质量事故惩戒问责。基础设施建设项目发生重大安全质量事故的，要按照国家有关规定，由有关部门依法追究项目单位、监管责任单位和勘察设计、施工、监理等单位以及相关人员的法律责任。

(二) 加强中央预算内投资项目工程质量问题惩戒问责。（略）

各级发展改革部门要高度重视基础设施建设项目安全质量工作，以对人民群众高度负责的态度，加强组织领导，加大工作力度，层层压实责任，切实加强基础设施建设项目管理，不断提高基础设施工程质量，确保工程安全。

本通知自印发之日起施行。

国家发展改革委
2021年6月19日

关于加强高耗能、高排放建设项目生态环境源头防控的指导意见(节选)

环环评〔2021〕45号

各省、自治区、直辖市生态环境厅（局），新疆生产建设兵团生态环境局：

为全面落实党的十九届五中全会关于加快推动绿色低碳发展的决策部署，坚决遏制高耗能、高排放（以下简称“两高”）项目盲目发展，推动绿色转型和高质量发展，现就加强“两高”项目生态环境源头防控提出如下指导意见。

一、加强生态环境分区管控和规划约束

(一) 深入实施“三线一单”。各级生态环境部门应加快推进“三线一单”成果在“两高”行业产业布局和结构调整、重大项目选址中的应用。地方生态环境部门组织“三线一单”地市落地细化及后续更新调整时，应在生态环境准入清单中深化“两高”项目环境准入及管控要求；承接钢铁、电解铝等产业转移地区应严格落实生态环境分区管控要求，将环境质量底线作为硬约束。

(二) 强化规划环评效力。各级生态环境部门应严格审查涉“两高”行业的有关综合性规划和工业、能源等专项规划环评，特别对为上马“两高”项目而修编的规划，在环评审查中应严格控制“两高”行业发展规模，优化规划布局、产业结构与实施时序。

以“两高”行业为主导产业的园区规划环评应增加碳排放情况与减排潜力分析，推动园区绿色低碳发展。推动煤电能源基地、现代煤化工示范区、石化产业基地等开展规划环境影响跟踪评价，完善生态环境保护措施并适时优化调整规划。

二、严格“两高”项目环评审批

(三) 严把建设项目环境准入关。新建、改建、扩建“两高”项目须符合生态环境保护法律法规和相关法定规划，满足重点污染物排放总量控制、碳排放达峰目标、生态环境准入清单、相关规划环评和相应行业建设项目环境准入条件、环评文件审批原则要求。（节选）

(四) 落实区域削减要求。新建“两高”项目应按照《关于加强重点行业建设项目区域削减措施监督管理的通知》要求，依据区域环境质量改善目标，制定配套区域污染物削减方案，采取有效的污染物区域削减措施，腾出足够的环境容量。国家大气污染防治重点区域（以下称重点区域）内新建耗煤项目还应严格按照规定采取煤炭消费减量替代措施，不得使用高污染燃料作为煤炭减量替代措施。

(五) 合理划分事权。省级生态环境部门应加

强对基层“两高”项目环评审批程序、审批结果的监督与评估,对审批能力不适应的依法调整上收。(节选)

三、推进“两高”行业减污降碳协同控制

(六)提升清洁生产和污染防治水平。新建、扩建“两高”项目应采用先进适用的工艺技术和装备,单位产品物耗、能耗、水耗等达到清洁生产先进水平,依法制定并严格落实防治土壤与地下水污染的措施。国家或地方已出台超低排放要求的“两高”行业建设项目应满足超低排放要求。鼓励使用清洁燃料,重点区域建设项目原则上不新建燃煤自备锅炉。鼓励重点区域高炉-转炉长流程钢铁企业转型为电炉短流程企业。大宗物料优先采用铁路、管道或水路运输,短途接驳优先使用新能源车辆运输。

(七)将碳排放影响评价纳入环境影响评价体系。各级生态环境部门和行政审批部门应积极推进“两高”项目环评开展试点工作,衔接落实有关区域和行业碳达峰行动方案、清洁能源替代、清洁运输、煤炭消费总量控制等政策要求。在环评工作中,统筹开展污染物和碳排放的源项识别、源强核算、减污降碳措施可行性论证及方案比选,提出协同控制最优方案。鼓励有条件的地区、企业探索实施减污降碳协同治理和碳捕集、封存、综合利用工程试点、示范。

四、依排污许可证强化监管执法

(八)加强排污许可证管理。地方生态环境部门和行政审批部门在“两高”企业排污许可证核发审查过程中,应全面核实环评及批复文件中各项生态环境保护措施及区域削减措施落实情况,对实行排污许可重点管理的“两高”企业加强现场核查,对不符合条件的依法不予许可。(节选)

(九)强化以排污许可证为主要依据的执法监管。各地生态环境部门应将“两高”企业纳入“双随机、

一公开”监管。(节选)

五、保障政策落地见效

(十)建立管理台账。各级生态环境部门和行政审批部门应建立“两高”项目管理台账,将自2021年起受理、审批环评文件以及有关部门列入计划的“两高”项目纳入台账,记录项目名称、建设地点、所属行业、建设状态、环评文件受理时间、审批部门、审批时间、审批文号等基本信息,涉及产能置换的还应记录置换产能退出装备、产能等信息。既有“两高”项目按有关要求开展复核。“两高”项目暂按煤电、石化、化工、钢铁、有色金属冶炼、建材等六个行业类别统计,后续对“两高”范围国家如有明确规定的,从其规定。省级生态环境部门应统筹调度行政区域内“两高”项目情况,于2021年10月底前报送生态环境部,后续每半年更新。

(十一)加强监督检查。各地生态环境部门应建立“两高”项目环评与排污许可监督检查工作机制。对基层生态环境部门和行政审批部门已批复环评文件的“两高”项目,省级生态环境部门应开展复核。对已开工在建的,要重点检查生态环境保护措施是否同时实施,是否存在重大变动。对已经投入生产或者使用的,还要重点检查环评文件及批复提出的生态环境保护措施和重点污染物区域削减替代等要求落实情况、排污许可证申领和执行情况。各地生态环境部门应将监督检查中发现的问题及时记入“两高”项目管理台账。生态环境部将进一步加强督促指导。

(十二)强化责任追究。“两高”项目建设单位应认真履行生态环境保护主体责任。对未依法报批环评文件即擅自开工建设的“两高”项目,或未依法重新报批环评文件擅自发生重大变动的,地方生态环境部门应责令立即停止建设,依法严肃查处。

关于加强腾退空间和低效楼宇改造利用促进 高精尖产业发展的工作方案(试行)

为落实城市更新有关要求,充分发挥政府投资引导作用,激发市场主体活力,推动腾退空间和低效楼宇改造利用升级、功能优化、提质增效,切实有效带动社会投资,进一步释放高精尖产业发展空间资源,促进产业高质量发展,根据本市城市更新相关文件及《关于推动减量发展若干激励政策措施》(京发改〔2019〕1863号)有关精神,特制定本试

点工作方案。

一、基本原则

一是严格落实城市总体规划。以规划为标尺,加强引导和分类管控,高质量实施分区规划和控制性详细规划。

二是充分发挥市场主导作用。紧紧围绕高质量发展主题,发挥政府资金引导作用,有效调动市场

主体积极性，鼓励引导各方力量参与，探索多元化改造升级模式。

三是加强改革创新。积极探索园区统筹更新改造方式，引导腾退低效楼宇和老旧厂房协同改造，打造产业园区更新组团，形成整体效应，同步推动审批模式创新。

四是坚持效果导向。优化空间结构布局，积极引进优质项目、优质企业，为高精尖产业落地提供空间资源供给，推进产业业态升级。

二、实施范围

在符合首都功能定位和规划前提下，鼓励项目实施单位通过自主、联营、租赁等方式对重点区域的腾退低效楼宇、老旧厂房等产业空间开展结构加固、绿色低碳改造、科技场景应用及内外部装修等投资改造，带动区域产业升级。市政府固定资产投资对于符合相关条件的项目给予支持。

(一)改造空间类型。1.腾退低效楼宇主要指整栋空置或正在使用但单位面积年区级税收低于200元/平方米，入驻率偏低的老办公楼、老商业设施等老旧楼宇，或现状功能定位、经营业态不符合城市发展功能需求的存量办公楼和商业设施。2.老旧厂房指由于疏解腾退、产业转型、功能调整以及不符合区域产业发展定位等原因，原生产无法继续实施的老旧工业厂房、仓储用房、特色工业遗址及相关存量设施。3.产业园区内配套基础设施。

(二)试点区域。先行在中心城区和城市副中心范围内开展。

(三)产业方向。改造后落地项目应当符合区域产业发展定位。重点支持以下业态：文化、金融、科技、商务、创新创业服务等现代服务业，新一代信息技术、先进制造等高精尖产业。

三、支持标准和资金拨付

(一)支持方式。分为投资补助和贷款贴息两种，对于符合条件的改造升级项目可以申请其中一种支持方式。

1.投资补助。腾退低效楼宇改造项目，按照固定资产投资总额10%的比例安排市政府固定资产投资补助资金，最高不超过5000万元。老旧厂房改造和产业园区内配套基础设施改造项目，按照固定资产投资总额30%的比例安排市政府固定资产投资补助资金，最高不超过5000万元。

2.贷款贴息。对于改造升级项目发生的银行贷款，可以按照基准利率给予不超过2年的贴息支持，总金额不超过5000万元。

(二)支持方向与申请条件。改造升级项目产权清晰、有明确项目意向及准入要求，项目建设方

案中应当包含可再生能源应用可行性评价，并满足以下条件之一。

1.规模化改造。建筑规模超过3000平方米，对于由同一实施主体开展的同一区域内零星空间改造，总体规模达到上述标准的，可以打捆申报。

2.定制化改造。针对龙头企业、骨干企业或市政府确定的重点项目开展整体定制化改造，对重点企业、重大项目落地形成支撑的项目。

3.整合改造。将原来分散产权的腾退低效楼宇、老旧厂房通过转让收购集中为单一产权主体，具有较强示范带动作用的项目。

4.园区统筹改造。对实施主体单一、连片实施、改造需求较大的区域，整体更新区域内楼宇、老旧厂房等各类产业空间以及道路、绿化等基础设施，构成若干区域性、功能性突出的产业园区更新组团，加快形成整体连片效果的项目。

5.绿色低碳循环化改造。对建筑本体、照明、空调和供热系统实施节能低碳改造，使用光伏、热泵等可再生能源，积极打造超低能耗建筑。高标准建设垃圾分类设施，充分利用雨水资源，为绿色技术创新提供应用场景。

(三)资金拨付。为更好发挥政府资金引导带动作用，突出推动高质量发展，固定资产投资补助资金分两批拨付。第一批为项目资金申请报告批复后，拨付补助资金总额的70%。第二批为项目交付后一年内，经评估符合以下条件中2条及以上的(其中第1条为必选项)，拨付剩余30%资金。

1.项目改造后综合节能率达到15%及以上。具备可再生能源利用条件的项目，应有不少于全部屋面水平投影40%的面积安装太阳能光伏，供暖采用地源、再生水或空气源热泵等方式。

2.入驻企业符合引导产业方向，且腾退低效楼宇项目改造后入驻率不低于80%，老旧厂房项目改造后入驻率不低于70%。

3.落地市级重大产业项目、引入行业龙头企业或区政府认定对产业发展具有重大示范带动效应。

(四)项目申报。市发展改革委定期组织相关区发展改革委开展项目征集和申报工作，原则上每年2次，统一征集、集中办理。

(五)已通过其他渠道获得过市级财政资金支持的项目，原则上不再予以支持。

四、服务管理

(一)强化市区协同支持。鼓励各区通过租金补贴等方式对于市固定资产投资支持的腾退低效产业空间改造升级项目予以协同支持。

(二)严格项目管理。

1. 各区政府要统筹区内腾退低效产业空间资源，聚焦高质量发展和绿色发展，按照政策引导方向，严把业态准入，对申报支持的项目提出具体意见。

2. 各区发展改革委应当结合实际，加强项目属地管理，做好本地区腾退低效产业空间改造升级项目验收和监督等工作。

3. 市发展改革委依法对项目建设及资金使用情况进行事中事后监管，适时组织开展绩效评价等工作。

4. 项目实施单位要严格按照规定使用市政府固定资产补助资金，不得以政府资金分批拨付为由拖欠工程款及农民工工资。

（三）优化精准服务。各区发展改革委对腾退低效楼宇、老旧厂房等产业空间开展摸底和储备，建立资源台账和储备库。制定腾退低效产业空间招商地图，促进重大项目与空间资源精准匹配，加快

项目对接落地。

（四）鼓励政策创新。各区政府结合本区实际改革创新，大胆尝试，探索腾退低效产业空间改造升级的新模式新路径。积极推动本市城市更新有关政策在区内对接落实，适应产业创新跨界融合发展趋势，探索建立灵活的产业空间管理机制，发展多层次、多样化的产业空间载体，支持实体经济发展。

（五）加强融资支持。鼓励金融机构创新服务，将腾退空间利用项目纳入授信审批快速通道，积极拓展贷款抵（质）押物范围，开发知识产权、应收账款等融资产品，支持腾退改造项目和高精尖产业发展。

附件：1. 关于支持腾退低效商务楼宇改造升级和楼宇配套设施改造提升的实施办法（略）

来源：北京市发改委



河北保定高速某服务区 蓄联热泵清洁供暖技术改造研究

河北科技大学 马坤茹 崔楚阳

摘要：我国北方地区冬季传统采暖方式多为燃煤采暖，其燃烧产生的排放物对空气与周边环境都造成了不可逆转的伤害。随着近年来治理空气污染工作的大力推进，进行清洁取暖改造势在必行。由于北方地区的地理位置、资源等约束，水源热泵与地源热泵并不能广泛利用，而应用较多的空气源热泵也存在易结霜、低温环境故障率高等问题。本研究提出一种蓄联热泵技术，利用相变蓄能装置将空气源热泵和水源热泵组合，是蓄能技术与热泵技术的综合应用。其相比空气源热泵投资少，维护费用少，系统运行稳定性高，故障率显著降低。蓄联热泵系统作为“不打井、不做地埋管”的清洁能源热泵系统，可有效解决严寒地区供暖问题。本研究以河北保定高速某服务区蓄联热泵改造项目为例，进行了方案设计与数据分析，进一步验证了蓄联热泵的可靠性与经济性。

关键词：空气源热泵；水源热泵；蓄能互联热泵；清洁供暖改造

1 引言

自打响“蓝天保卫战”后，我国北方地区开始了大规模的清洁能源供暖改造。电代煤、气代煤、清洁煤、空气源热泵等多种采暖方式逐渐替代了传统燃煤采暖。其中空气源热泵是一个较受欢迎的采暖方式，它结构简单，维护方便，运行费用相对较低，供暖效果也较为稳定。虽然空气源热泵相比其他类型的清洁取暖方式来说具有一定优势，但其本身也存在问题亟需解决，如低温环境下室外侧换热器极易结霜导致其能效降低、故障率升高，而除霜时又会使室内温度降低，影响取暖效果。除空气源热泵外，水源热泵与地源热泵也属于清洁取暖技术，但由于北方地区水资源匮乏，政府禁止私人打井取水，导致水源热泵不能推广使用；而地源热泵占地面积过大，系统较为复杂，投资较高，故也不适合大规模应用。

为了响应低碳节能的号召，弥补空气源热泵的缺陷，打破单一热泵系统的技术限制，故提出了蓄联热泵系统。蓄联热泵系统又称为“蓄能互联热泵系统”，是利用相变蓄能装置将空气源热泵和水源热泵组合，是蓄能技术与热泵技术的综合应用。蓄

联热泵技术的提出极大改善了空气源热泵自身的缺陷，充分发挥了空气源热泵与水源热泵各自的优势，在保证供暖效果的同时，降低了能耗，减少了运行费用，机组的故障率也大大降低，同时维护简单，运行更为可靠。

2 项目概况

北方地区城区的供暖方式大多为热力站管网集中供热，而城市周边老旧小区、高速公路服务区等较为偏僻的大面积供暖区域依然采用锅炉房集中供暖，制备热水输送到室内暖气片散热器采暖。河北高速为响应国家大气污染防治与蓝天保卫战的总体要求，对高速服务区的燃煤锅炉进行了全面改造。保定高速某服务区最先使用了空气源热泵作为清洁能源供暖设备，但因空气源热泵本身的技术限制，使其在低温环境下供水温度较低，无法满足供暖需求。

服务区位于五台山山脉附近，分为南北两区，建筑面积约 3200 平米，其中南区供暖面积约 2100 平米，北区因有房间没有安装暖气片，故供暖面积约 920 平米。服务区的采暖时间自 11 月 1 日起，至次年 3 月 31 日止，共 151 天。服务区地处山区，冬季平均气温 1℃，日平均最高气温 6.1℃，日平均最低气温 -5.2℃，近十年极端最低气温 -20℃。服务区多为一层平房，墙体为三七墙，窗户为双层中空

基金项目：河北省军民融合项目 (HB19JMRH030)；河北省重点研发计划自筹项目 (18274518)；石家庄市科学技术研究与发展计划项目 (185230055A)；2019 河北科技大学研究生创新资助项目 (太阳能/空气能直膨式热泵系统与建筑一体化关键技术研究)

保温,建筑较旧,保温效果一般,且超市人流量较大,热损失也较大。服务区使用老式铸铁暖气片采暖。

服务区清洁能源供暖改造最先使用空气源热泵采暖替代燃煤锅炉采暖,但因服务区气温较低,又因空气源热泵在低温环境下能效低,采暖效果差,所以供水温度无法带动原有暖气片,服务区室内仅有 14~16℃,全年记录采暖耗电达 33.4 万 kWh,能耗较大且采暖效果不理想。为了保证供暖效果,最大限度节约改造费用,需选用一种可以实现区域供暖,且可在低温环境下稳定工作的热泵技术。蓄联热泵技术在北方地区,对比与空气源热泵的优势有:

(1) 蓄联热泵打破了水地源热泵的使用限制,解决了北方寒冷地区水资源匮乏且政府禁止打井取水、地埋管热泵系统成本高占地大的采暖弊病。

(2) 蓄联热泵系统降低了空气源热泵压缩机的压缩比,缓解了空气源热泵低温环境能效比低、运行费用高、结霜严重、故障率高、空置率高的难题。

(3) 蓄联热泵系统相比常规空气源热泵供暖及空调制冷系统,投资减少、配电功率减少、运行费用减少,系统运行可靠性提升,压缩机寿命提高,维护费用大大降低。

(4) 蓄联热泵系统通过综合技术创新有效地突破了单一技术运用的客观限制,打造“不打井、不埋管”的清洁能源热泵系统,能解决严寒地区的极端天气供暖问题,能实现暖气片大温差供暖。

综合以上蓄联热泵的优势,服务区选取了蓄联

热泵技术作为新的供暖改造方案。

3 蓄联热泵系统方案设计

蓄联热泵系统由两级热泵组成。其充分考虑到空气源热泵优越的提升能量特性,第一级选用空气源热泵,第二级选用水源热泵。在寒冷地区,通过空气源热泵制备 15℃到 20℃的温水,并利用相变蓄热装置储存温水的热量。随后水源热泵通过水环路提取出蓄能装置的潜热,再制备出 55℃到 65℃的热水,再由热水管输送到暖气片采暖系统对室内各房间进行供热。因为第一级空气源热泵装置只需将水加热到 15℃-20℃,不用直接制备高温热水,显著降低了制冷剂的冷凝温度与压缩机的压缩比,提高了空气源热泵在低温环境下的效率。第二级水源热泵则利用相变蓄热装置的相变潜热,提高制冷剂的蒸发温度,同样降低了压缩机的压缩比,工作效率显著提高,也有效减少了电能消耗。所以,蓄联热泵也是清洁供暖方式之一。

而该系统除了可以最大限度的利用自然能源(昼夜温差现象)之外,还可以在电力高峰期间减少设备耗电量,将部分用电需求调整至低谷期,不仅平衡电网运行,还可利用峰谷电价,节省运行费用。

3.1 蓄联热泵系统设计

由于服务区分为南北两区,蓄联热泵改造仅针对南区,北区仍使用空气源热泵供暖。

南区的蓄联热泵系统设计如图 3-1 所示。

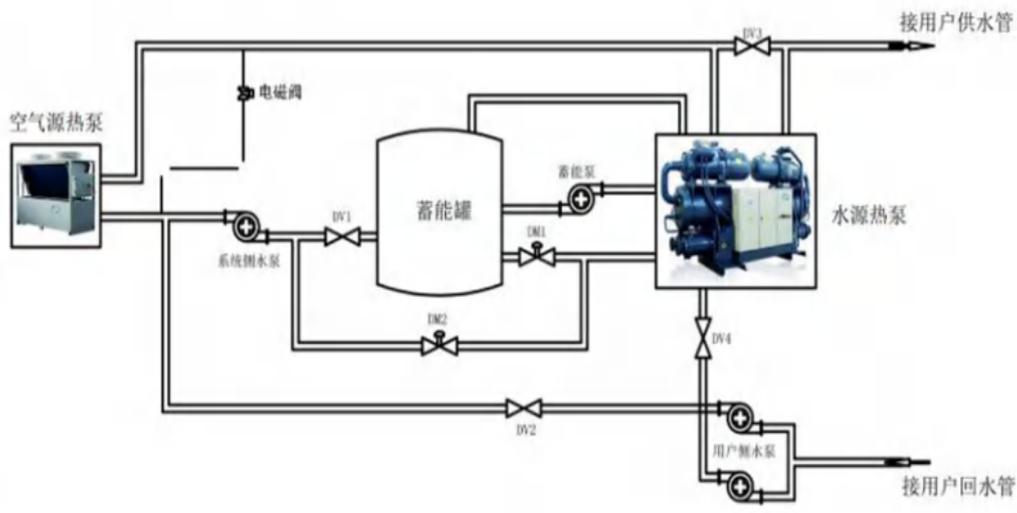


图 3-1 蓄联热泵系统图

3.2 蓄联热泵系统改造方案设计

3.2.1 气象参数

本研究选取了2017年平均气温最低的一月份作为温度参考。一月份共31天的最高温度与最低温度检测数据如图3-2所示。

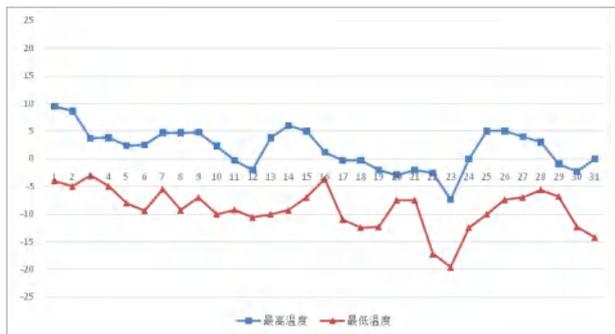


图 3-2 2017 年一月份气温变化监测图

从图中可知，2017年一月份前两天气温相对较高，而后气温开始下降，于6日-10日间，最低气温发生了波动，同样的，18日-23日间，气温也发生了较大波动，最低气温达到了零下20℃。由数据可知，服务区冬季气温较低，且波动较大，对热泵供热系统要求较高。

3.2.2 建筑热负荷

为了得知热泵供热系统需向房间供给多少热量，分别对南区 and 北区进行了热负荷计算。由

$$Q=q \cdot F$$

Q 为总建筑采暖热负荷，kW；

q 为建筑单位面积采暖热负荷，W/m²；

F 为建筑采暖面积，m²。

服务区南北区建筑单位面积采暖热负荷、建筑采暖面积与总建筑采暖热负荷如表3-1所示。其中，北区虽有房间没有安装末端散热装置，实际采暖面积只有920m²，但设计时按全部房间共1160m²计算。

表 3-1 服务区热负荷统计表

序号	区域	建筑采暖面积(m ²)	单位面积采暖热负荷(W/m ²)	总采暖热负荷(kW)
1	南区	2100	65	136.5
2	北区	1160	65	75.4

经计算，南区建筑采暖热负荷为136.5kW，北区建筑采暖热负荷为75.4kW。

3.2.3 系统平均 COP

为得知蓄联热泵在冬季供热的性能，分别对南区蓄联热泵与北区空气源热泵的制热系数COP进行了计算。

由

$$COP = \frac{Q}{W}$$

COP 为供热系统的制热系数；

Q 为供热系统输出总热量，kW；

W 为供热系统输入总电功率，kWh。

自2018年11月1日-2019年3月21日共141天内，南区总耗电量171010kWh，北区总耗电量87156kWh(详细信息见下文)，服务区南北区建筑供热量、输入电功率与制热系数如表3-2所示。

表 3-2 服务区 COP 统计表

序号	区域	供热量(kW)	输入电功率(kW)	制热系数 COP
1	南区	136.5	50.53	2.7
2	北区	75.4	25.76	2.92

4 运行效果分析

4.1 主要设备选型及性能

此次改造所用蓄联热泵系统主要由两级热泵组成，第一级热泵选用的是两台使用410A制冷剂

的空气源热泵，第二级热泵选用的是一台制热量为145kW，功率为38kW的水源热泵，蓄热装置选用的是2m³的相变蓄热装置。末端散热装置则配备了与蓄联热泵相匹配的暖气片。

4.2 供暖状况

本研究选取了自2018年11月1日起至2019年3月21日共141天的采暖时间作为数据参考。此时间段内室外平均气温2.4℃，日平均最高气温8.1℃，日平均最低气温-4.3℃，整个采暖时间内的最低气温在12月30日，为-15.6℃。本研究对监测时间内的

室外温度、室内温度、设备耗电量、供水温度进行了记录。

4.2.1 室外温度

2018年11月1日至2019年3月31日的室外温度分布如图4-1所示。



图4-1 2018年11月1日-2019年3月31日室外气温分布图



图4-2 南区于北区室内平均温度统计图

由图中我们可知，自2018年12月1日起到2019年3月1日之间，室外温度相对较低，最低温度基本都保持在零度以下。期间日平均最低气温约-3.53℃，日平均最高气温约8.52℃，最低温度出现在1月1日，为-14℃。低温环境持续久，导致普通空气源热泵无法持续满足供热需求，而蓄联热泵则可以在此环境下高效运行。

4.2.2 室内温度

对2018年11月1日至2019年3月31日间南区与北区的室内温度进行监测，取早、中、晚各三组室内温度的平均值作为南区与北区室内平均温度。南区

与北区室内平均温度分布如图4-2所示。

由图可知，南区因使用了蓄联热泵，在气温相对较低的2018年12月1日-2019年3月1日间的供热温度较为稳定且都保持在18℃以上；而北区使用空气源热泵，因为其在低温环境下工作不稳定，以及因室外侧换热器在低温环境极易结霜，故频繁进行除霜工作等原因，导致空气源热泵对室内供暖效果不稳定，且供热温度低于18℃，供热效果没有蓄联热泵好。

4.2.3 设备耗电量

服务区南区和北区的耗电量分别如表4-1与表4-2所示。

表 4-1 南区耗电量统计表

月份	耗电量(kWh)
11月	25859
12月	44968
1月	44705
2月	39757
3月(截止3月21日)	15721
总耗电量	171010

表 4-2 北区耗电量统计表

月份	耗电量(kWh)
11月	16810
12月	21910
1月	21094
2月	17947
3月(截止3月21日)	9395
总耗电量	87156

将南区与北区的耗电量相加可知总耗电量为 258166kWh, 对比使用空气源热泵时的耗电量 33.4 万 kWh, 节省了约 23.7%。考虑到蓄联热泵的供水温度为 55℃ -65℃左右, 高于空气源热泵的 45℃ -50℃, 故能耗的节省十分明显。再考虑到蓄联热泵利用峰谷电价调整用电需求, 所以其经济性也非常可观。

4.2.4 供水温度

服务区蓄联热泵供水温度设定在 60℃, 北区空

气源热泵供水温度设定在 50℃。经数据监测, 南区蓄联热泵供水温度在低温环境下也可以达到温度设定值, 而北区空气源热泵在低温环境下供水温度却不稳定, 且无法达到设定的温度, 最高温度值仅有 47℃。供热期间, 对南北区暖气片温度进行了监测, 南区蓄联热泵供水温度与北区空气源热泵暖气片温度变化对比图如图 4-3 所示。

由图中可以看出, 南区使用蓄联热泵供暖, 供水温度可以达到设定值, 所以室内暖气片温度就较为稳定, 在 47℃ -48℃左右; 而北区空气源热泵因为低温环境结霜等因素, 达不到设定值, 室内暖气片温度仅有 37℃ -38℃左右, 且气温较低的时间段内, 暖气片温度不稳定。

4.3 蓄联热泵技术分析

根据上述蓄联热泵系统运行情况的监测数据可知, 整个供暖季使用蓄联热泵供暖的服务区南区总耗电量为 171010kWh; 供暖季共 141 天, 平均每天耗电量为 1212.84kWh; 南区采暖面积为 2100 平米, 每平方米耗能为 0.58kWh/m²/天, 81.43kWh/m²/采暖季。北区总耗电量为 87156kWh; 供暖季同样为 141 天, 平均每天耗电量为 618.13kWh; 北区采暖面积按 920 平米计算, 每平方米耗能 0.67kWh/m²/天, 94.73kWh/m²/采暖季。

由以上数据可得, 在相同室外气温、相同单位面积采暖热负荷的条件下, 蓄联热泵每平方米耗能相比空气源热泵每平方米耗能约低 13.4%。

除能耗比空气源热泵低外, 通过室内供热温度与供水温度可知, 蓄联热泵的供暖效果同样优于空气源热泵, 制备热水温度高于空气源热泵 10℃以上, 供热温度也更为稳定。

使用空气源热泵供热时, 服务区总能耗约为 33.4

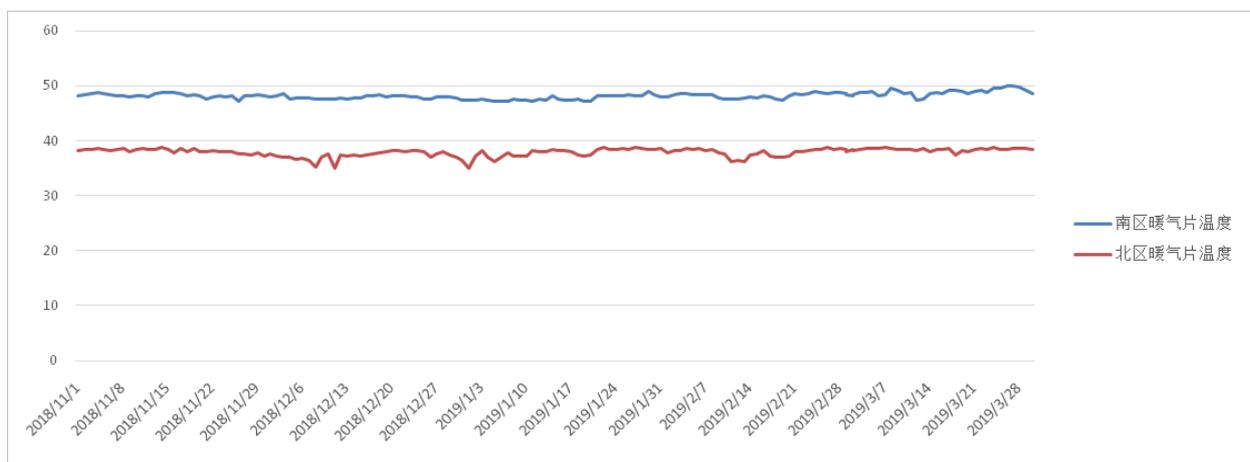


图 4-3 南区与北区暖气片温度变化对比图

万 kWh，其中南区能耗约为 20.5 万 kWh，在经蓄联热泵系统改造后，服务区总能耗降到 258166kWh，南区能耗降到了 171010kWh，降幅明显，仅为改造前能耗的 83.42%，考虑到蓄联热泵利用峰谷电价调整运行策略，除能耗效益外，还带来了更大的经济效益。

除空气源热泵外，老旧的铸铁式暖气片与供水管道也是影响供热效果的两大因素。铸铁式暖气片不仅易腐蚀，而且厚度大，散热效果差，需要制备高温热水才能勉强满足供暖需求；而老旧的供水管道因为使用时间过长，会产生水锈等杂质堵塞管道，导致水流不畅，也影响了供热效果。

5 总结

通过此次对保定高速某服务区的蓄联热泵清洁供暖改造项目可知，蓄联热泵系统的应用范围很广泛。蓄联热泵同样作为一种较为创新的清洁能源取暖方式，其在保定高速某服务区的成功应用也对其他服务区等服务型建筑的改造作为参考。蓄联热泵改善了空气源热泵自身的缺陷，充分发挥空气源热泵与水源热泵各自的优势，在保证供暖效果的同时，降低了能耗，减少了运行费用，机组的故障率也大大降低，同时维护简单，运行更为可靠，是一种值得推广的清洁取暖方式。此外，由于我国高速服务区有很多建成较

早，管道与末端散热装置已老化，在进行清洁能源取暖改造的过程中，也需对管道与末端采暖装置进行翻修。希望我们能以蓄联热泵的成功应用为例，顺利推广各种清洁取暖方式，降低冬季采暖能耗，为打赢蓝天保卫战做出重大贡献。

参考文献

- [1] 高翔, 张文科, 侯幸, 等. 蓄能技术在空气源热泵系统中的应用与发展 [J]. 区域供热, 2019(2):96-103.
- [2] 周珏, 罗凡, 罗庚玉, 等. 高效蓄能互联热泵系统技术及应用 [J]. 电力需求侧管理, 2017,19(06):25-28.
- [3] 郑龙. 空气源热泵—相变蓄能装置联合供暖系统性能研究:[学位论文]. 保存地点: 重庆大学, 2015.
- [4] 陈建平, 白杨, 余承霖. 蓄能互联热泵系统的理论与实践 [J]. 地源热泵, 2017(3):5.
- [5] 房丛丛. 相变蓄热装置的数值模拟与优化:[学位论文]. 保存地点: 山东建筑大学, 2012.
- [6] 余承霖, 白杨, 李洮洮. 蓄联热泵在扩建项目中水源梯级利用的经济性分析 [J]. 地源热泵, 2017(7):24-28.
- [7] 孙平, 林小苗, 江辉民. 新型大型蓄能式空气源热泵热水机组的探讨 [J]. 制冷与空调, 2009,9(04):26-29.
- [8] 曹琳, 倪龙, 李炳熙, 等. 蓄能型空气源热泵热水机组性能实验 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011,43(10):71-75.



区域能源站与数据中心制冷中心 耦合系统设计案例浅析

南京广鑫能源服务有限公司 马则权 陈伟强

摘要：区域能源站是一个或几个集中冷热站向商业区、居住区或生产工业区等供给冷热量。与传统的分散式供冷供热系统相比，区域能源站系统具有节能、环境效益好、系统热效率高、经济性好等优点，区域能源系统越来越受到暖通空调制冷行业的重视和应用。空调系统是数据中心能耗排名中第二大能耗系统，因此做好空调系统节能工作，能够有效降低数据中心的能耗，减少数据中心的运营成本，使其可持续绿色运营就变得十分重要。南京江北技术产业研创园绿色能源应用项目，从方案设计创新的将2种能源中心耦合在一起，产生非常大的节能和经济效益。

关键词：区域能源、数据中心、系统耦合、综合利用

0 引言

我国是能源消费大国，但是能源利用率却相对偏低，目前我国的能源综合利用效率还处于相对较低水平，尚存在较大的提升空间。提高能源综合利用效率、节能减排依然是我国现阶段的重要工作内容。本文就以“南京江北技术产业研创园绿色能源应用项目”为例，从设计方案上对区域能源与数据中心制冷站耦合系统的分析，分析区域能源多能互补与数据中心耦合形式的可行性、经济性。

1 项目简介

能源站项目总建筑面积 37408.9 m²，地下二层，地上 10 层，框架-核心筒结构体系；地下 2 层布置能源站设备及数据中心冷冻机房，屋顶布置冷却塔、热源塔。本能源站在冬天（夏天）向周边 220 万建筑供热（供冷）。数据中心地上部分总建筑面积为 22000 m²，总体计划建设 10 层，其中 3~10 层为主体机柜区，机楼装机容量约为 3700 个机架，其中 6kW 机柜 1200 个、4kW 机柜 2500 个。数据中心建设标准参考 50174-2017 A 级机房及 T3 标准进行规划设计。

2 负荷计算

2.1 区域能源负荷计算

基于单体建筑运用 DeST 进行负荷模拟，输入南京地区气象参数，结合园区主流建筑特征，进行

建模，可得到不同建筑业态的负荷指标。研创园区域主要接入类型为办公，商业，住宅；以下就是对这 3 种类型的模拟计算结果。

业态类型	夏季空调指标 W/m ²	冬季空调指标 W/m ²
办公楼	82	45
住宅	68	37
商业	128	84

再根据模拟结果分类统计整个供能区域总能耗，按相关设计规范以及参考以往区域能源系统的设计和运行经验，本区域能源系统设计考虑地块内各单体供能同时使用系数为 0.75，统计可得本项目冬季设计总热负荷为 82MW，夏季设计总冷负荷为 165MW。

2.2 数据中心负荷计算

本项目地上部分为数据中心，根据数据中心机房工艺设计单位提供的参数，数据中心总冷负荷需求约 21.35MW，统计如下：空调冷负荷：建筑冷负荷约为 1345kW，IT 设备冷负荷约为 16102kW，电力动力设备冷负荷约为 1964kW，考虑部分富裕系数，总冷负荷约为 21352kW。

3 区域能源可利用能源形式

3.1 能源站距长江水域较近，但在该区域内的长江流域沿岸为绿水湾生态保护区，且南京长江江豚自然保护区亦在该区域范围内，属于国家一级管控区，无法进行江水取退水施工工程，故本项目不采

用江水源作为冷热源的方案；

3.2 能源站就近从珠江污水处理厂取水，日污水处理量可达 9 万 m³，远期规划最多日污水量为 30 万 m³，采用污水源热泵系统，冬季可以将污水中的低品位热能提取出来，经过热泵做功，达到可以供用户供热的温度；夏季可以将制冷系统产生的冷凝热量排放到污水中，可以分别满足用户的供冷、供热需求。

3.3 南京地区冬夏季均需要提供负荷，因此采用 3 座 8000m³ 的水罐蓄能，水蓄能系统可与原空调系统“无缝”连接；水蓄能系统控制简单，运行安全可靠；同时蓄冷罐在数据中心在出现紧急状况可及时投入使用，即可以考虑兼作容灾备份

冷源使用。夏季 3 座罐子全部蓄冷，冬季 2 座蓄热 1 座蓄冷。

3.4 冬季热负荷不足部分本项目采用了高效热源塔系统，参与溶液的研发设计，在能源站三期投产前可以上市使用。同时设一台电极锅炉作为商业保障预留，不作为冷热源使用。

3.5 夏季运行机组除了热泵系统，设置了高压离心机组。

3.6 针对数据中心常年需求冷负荷，而在冬季如果像常规数据中心提供免费制冷的模式将热力散出，对能源站来说是高品位能源浪费，因此通过水源热泵和蓄水罐将热量回收互为利用、调节。

经过分析匹配，能源站具体配置参数如下：

民用夏季装机比例					
	热回收热泵	污水源热泵机组	热源塔	单冷离心机	蓄能罐
单机容量：kW	6400	5350	9400	8800	
数量：台	3	3	3	6	3
总装机量：kW	19200	16050	28200	52800	46555.56
占比：%	12	10	17	32	29

民用冬季装机比例				
	热回收热泵	污水源热泵机组	热源塔	蓄能罐
单机容量：kW	6700	5130	7500	
数量：台	3	3	3	2
总装机量：kW	20100	15390	22500	31037.03704
占比：%	23	17	25	35

4 数据中心能源形式

4.1 数据中心主机采用 3+1 备份，机组制冷功率为 7.2MW，双回路供回水；

4.2 由于本项目冬季采用水源热泵加水罐耦合进行热回收，因此冬季只有 2 台主机配置了免费制冷板换，其他 2 台预留接口。

5 区域能源系统与数据中心系统耦合策略

5.1 区域能源站和数据中心耦合建设不仅是形式上的创新，也是技术上的创新；首先土地可以集约规划事宜，地下建设能源站，地上建设数据中心，节约了土地资源；

5.2 数据中心冬季使用民用水源热泵热回收模式提供的免费冷源，可以降低数据中心 PUE 以及能耗

费用，热回收对民用系统是一个可靠的热源，设置的 3 台水源热泵冬季通过水罐提取热量；取水温度 16℃，回水温度 10℃；数据中心通过放冷板换进行供冷：取水温度 10℃，回水温度 16℃；2 侧能量的不平衡通过 8000m³ 的水罐进行耦合调节；这样就可以确保热回收的利用率最大化；

5.3 区域能源系统与数据中心系统耦合还可以为数据中心增加安全保障，大量的冷冻水可以提供更多的冗余时间，也可以在过渡季节进行蓄冷供冷降低运行成本。

6 运行策略及经济效益分析

6.1 运行策略

夏季工况：数据中心采用自有设备和系统，独立运行制冷机组进行供冷，在蓄水罐设置一下线水位用来保障数据中心应急容灾即可；区域能源站根

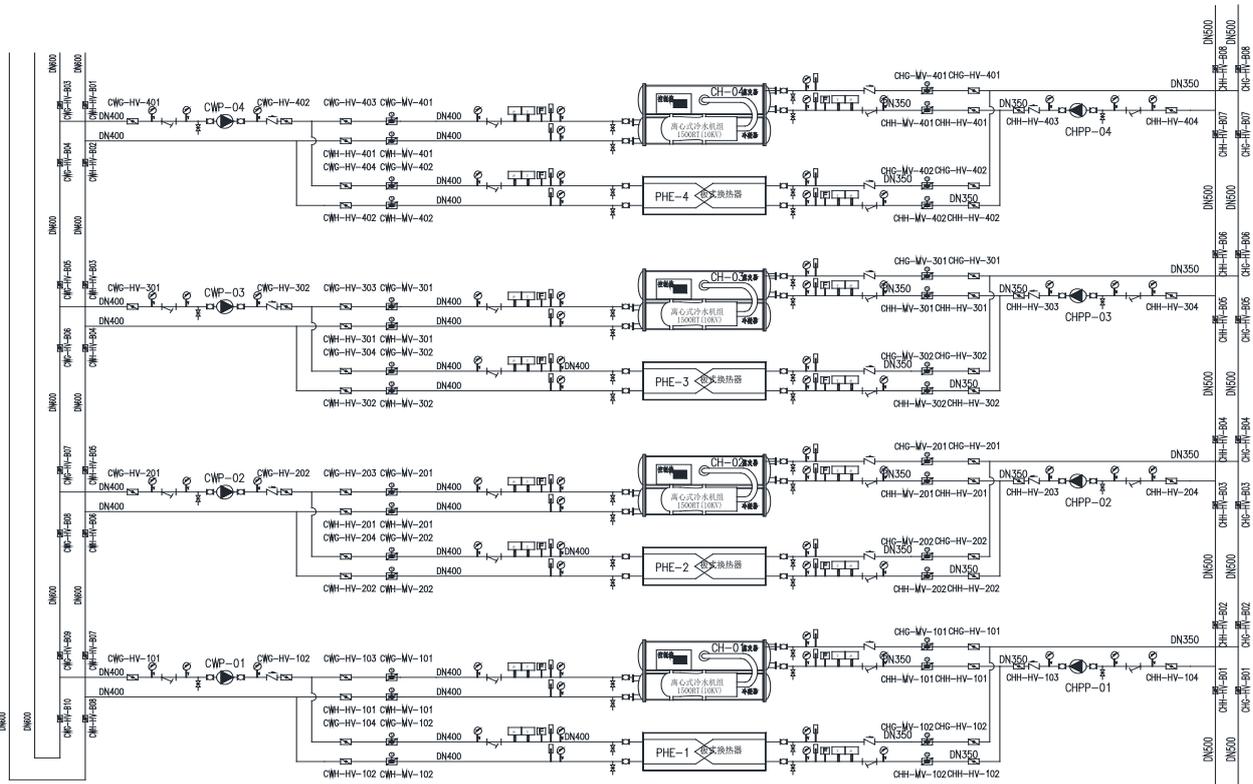


图 4.1 数据中心空调主机系统图

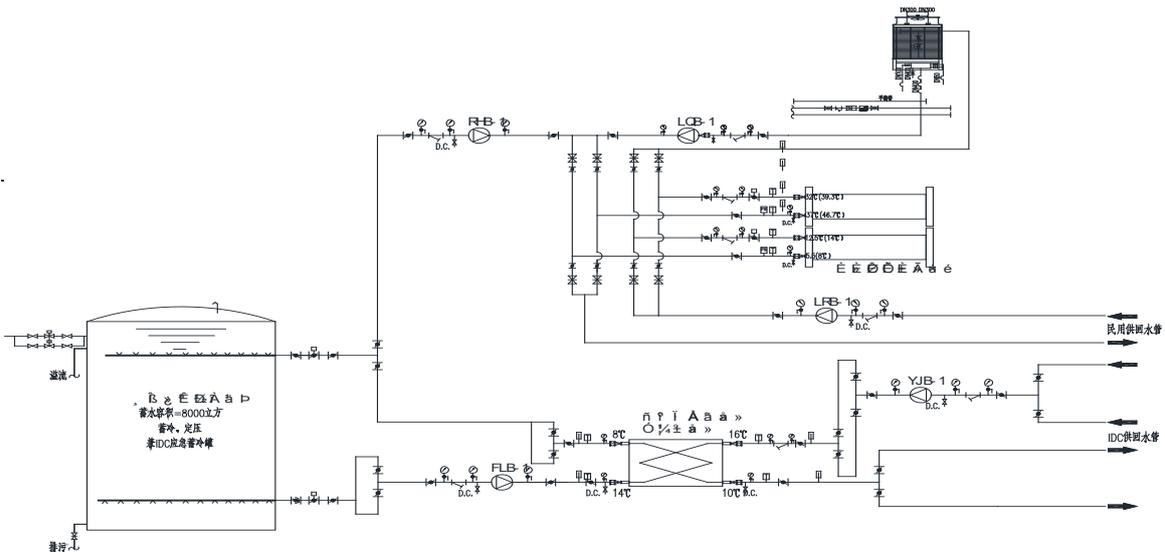


图 5.1 区域能源与数据中心制冷中心系统耦合流程图

据负荷大小按优先设置等级开启污水源热泵、蓄水罐、高压离心机组、水源热泵（冷却塔模式）、热源塔热泵，根据接入负荷情况的变化可以调整蓄水罐供能功率来达到最佳的运行费用；

冬季工况：数据中心主要采用水罐免费供冷模式，同时开启一台免费制冷板换联供，联供的

主要目的就是避免冷却水水温过低结冰；区域能源站根据负荷大小按优先设置等级开启水源热泵（热回收模式）、污水源热泵、蓄水罐、热源塔热泵，根据接入负荷情况的变化可以调整蓄水罐供能功率来达到最佳的运行费用；

过渡季节：数据中心主要通过冷却塔预冷 + 高

压离心机常规制冷方式，此时可以通过3座水罐在夜间蓄冷白天释放的模式进行运行，就可以大幅降低数据中心的运行费用。

6.2 经济效益

冬季100天运行节省：按民用能源站制热为主，免费为能源站提供冷量。原先冷却塔免费制冷（室外湿球温度低于5℃）为30天，其他为离心机制冷。节省： $(60 \times 3 \times 24 \times 30 + 4500 \times 24 \times 70) \times 0.7607 = 5849479$ 元

过渡季节156天：夜间蓄能69000kwh，机组运行8小时 $4500 \times 8 = 36000$ kwh节省： $156 \times (0.7607 - 0.3565) \times (69000 + 36000) = 6620796$ 元。

耦合系统全年可节省约1247万元。

7 分期建设计划

考虑到能源站接入用户呈现逐年增长的特点，为了节省初投资，同时为了避免建设风险，本项目能源站系统采用分期建设。分期建设方案依据用户侧负荷增长曲线（如下图所示），分三期建设。

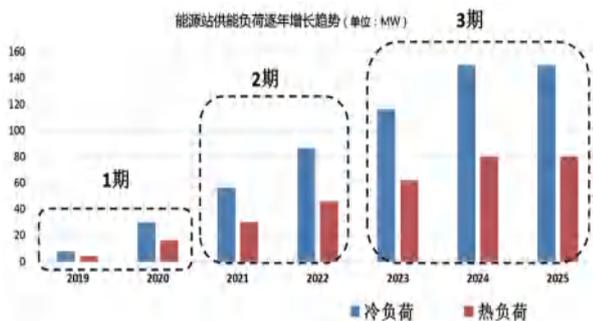


图 7.1 能源站建设周期图

能源站系统机房内主干管一次性建设到位，预留支管阀门、预留设备安装位置及基础，主设备（包括能源塔、冷却塔）分期进场，通过在地下二层核心筒旁设置搬运吊装口，直通两侧机房，以吊装口为起点，原则上从机房最远端开始布置主设备。设备搬运分期方案如下：

民用冷热源机房：

一期：3台污水源热泵+3台水源热泵+1台高压离心冷机；

二期：3台高压离心冷机；

三期：1台高压离心冷机+3台热源塔热泵。

数据中心冷冻机房：

一期：2台高压离心冷机+（含节能板换）+1台高压离心冷机（兼做民用备用机）；

二期：1台高压离心冷机。

8 耦合系统的特点

8.1 数据中心业务耗能较大，负荷稳定，且全年使用，是能源站最优质客户，保证能源站项目基础收益；

8.2 能源站服务于写字楼去的空调机组，往往夜间闲置，通过蓄能方案既降低数据中心能源成本，也大大提供机组利用率，合理利用能源站楼宇，提高能源站的经济性。

8.3 耦合系统的设计、施工、运行的能源站系统可以大大降低数据中心系统PUE值。冬季数据中心的余热又得到充分的利用，提高了区域能站热源的品质；

8.4 耦合系统也可以大大降低项目的运行费用，创造更好的经济效益；

8.5 耦合系统专业团队运维空调系统，降低了数据中心运维团队费用，且增加了运维的安全性稳定性。

9 总结

本项目根据自身特点和实际负荷需求，最大程度利用可再生能源、选用水蓄冷蓄热技术，对电能进行削峰填谷，有利于缓解用电高峰期的电力压力。同时在冬季利用热泵以及水罐耦合原本2个独立的系统，将数据中心的“废热”利用到民用采用系统中，提高系统的能源利用效率，也创造了更好的经济效益。

通过以上分析，耦合系统方案是在综合能源利用系统方案基础上的创新和提升，本文从以上几个方面对区域能源站和数据中心耦合系统进行了研究分析，通过各项节能措施和运行策略，使区域能源站和数据中心达到节能减排和低碳环保的效果，后期将达成可持续绿色运营的目的。

参考文献

- [1] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册 [M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 全国民用建筑工程设计技术措施 (暖通空调·动力) [Z]. 2009.
- [3] 毛路, 王伟, 曹连华等. 中国人寿数据中心水冷空调系统的节能方案及实施 [J]. 建筑技术, 2016, 47(2): 126-130.
- [4] 马宏权, 贺孟春, 龙惟定. 区域供冷系统的两类能源效率研究 [J]. 暖通空调, 2011, 41(4): 24-31.
- [5] 龙惟定. 低碳城市的城市形态和能源愿景. 建筑科学, 2010, (2)

基于改进遗传算法的供热管网优化设计研究

石家庄铁道大学 机械工程学院 张焱 尤占平 邢素远

摘要: 降低成本与提高能源利用效率一直以来是建筑行业发展的主要方向之一, 为了实现建筑节能和能源高效利用, 对石家庄市某小区的低区二次供热管网设计进行了优化, 得到了一组兼具节能性与经济性的管径布置方案, 并提出了一种基于遗传算法的供热管网优化设计的改进思路。结果表明, 优化后的管网满足了水力平衡与节能减排的要求, 且相比原设计, 基于新型优化算法的设计方案总成本减少了 72.99%; 相比传统遗传算法, 改进后的算法运行时间缩短了 98.4%。

关键词: 供热管网 遗传算法 成本优化 建筑节能

0 引言

供热管网的设计工作中, 多采用经济比摩阻法设计管径大小, 但由于经济比摩阻通过连续的微分法计算得出, 实际管径却是离散的, 并且整个最不利环路的比摩阻选取标准相同, 导致最佳比摩阻的取值范围较宽, 并不十分符合节能减排的时代要求。许多学者对供热管网的水力计算和节能设计进行了大量研究, 如 D.M.Martin 等人采用牛顿迭代法求解管网节点方程组; D.J.Wood 和 A.G.C.Collias 等人分别提出了供热管网线性化理论和有限元分析的计算方法^[1-3]; 秦绪忠等人回采用遗传算法进行环状管网的分析和求解^[4]; 曾竞等采用单亲遗传算法对区域供冷供热管网的布置及规格进行了优化等^[5]。结果表明, 相对于传统算法, 基于人工智能领域的智能算法具有更高的精确度, 优化结果经济性与节能性更佳, 但在处理大型管网的优化计算时数据量过大, 计算时间较长, 难以得到理想的结果^[6]。

基于以上考虑, 本文对多种优化算法中的遗传算法做出改进, 以管网年折算总成本最低为目标函数对石家庄市某小区的低温二次热水供热管网的管径设计进行了优化。在传统算法的基础上, 降低初代种群数量, 采用效率更高的优化方法, 提高了求解效率和结果的精确性, 并以数据为基础对算法做出了分析说明。

1 优化模型的建立

模拟管路采用供、回水管并列布置的异程式设计, 因此优化时仅考虑供水管路。管网采用直埋敷设,

总长度为 3159.3m, 管网数量为 111 节。管网布置如图 1 所示。

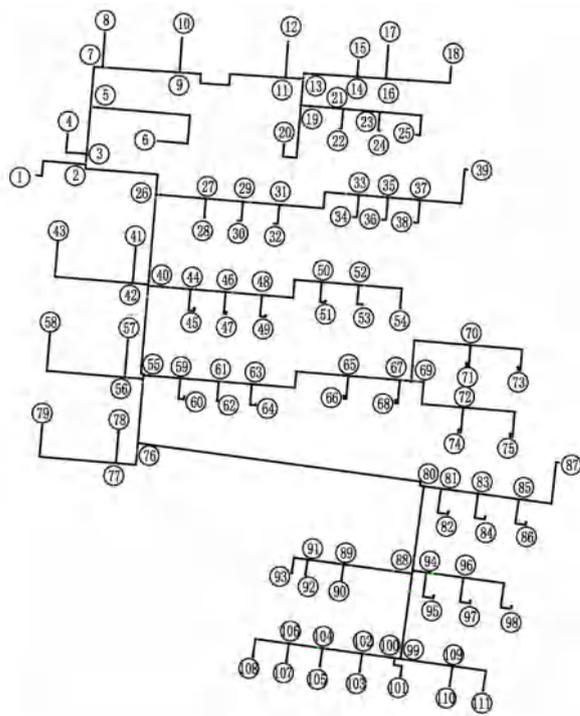


图 1 室外管网平面图

1.1 优化目标

为改善设计方案的经济性, 本文以管网的年折算总成本为优化的目标函数, 建立数学模型, 通过优化算法对管网的总成本进行优化, 找到一组总成本最低的管径, 并满足实际应用要求。年折算总成本包括管网的年折算建造成本、年折算折旧费、管网的年均热损失折算成本以及水泵年均能耗成本, 即

基金项目: 河北省教育厅资助科研项目 (ZD2016155)

$$C_{\min} = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (1)$$

其中： C_{\min} ——管网的年折算总成本最小值（元/年）， C_1 ——管网的年折算建造成本（元/年）， C_2 ——管网的年折算折旧费（元/年）， C_3 ——管网年均热损失折算成本（元/年）， C_4 ——水泵年均能耗成本（元/年）。

对于一个热负荷与管网布局已定的管网系统，若管径选择较小，则管网的建造成本、折旧费以及散热成本会下降，但管网阻力会增大，导致水泵能耗的增加或管网的水力失调；若管径选择较大，则管网的水泵能耗下降，但建造成本、折旧费以及散热成本会上升。因此存在一组最优管径，使得管网的总成本最低，且满足用户的实际使用要求。

1.1.1 管网的建造成本

供热管网的建造成本包括管网建设的所有投资，包括管材、管网附件、保温材料以及施工等费用。管网的建造成本可以写成管径与长度的函数：

$$C_1 = \left[\frac{i \times (1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] \sum_{i=1}^n c_i L_i \quad (2)$$

$$c_i = a + bD_i \quad (3)$$

其中： c_i ——单位长度管网的建造成本（元/m）， i ——年折现率， N ——寿命周期数（年）， L_i ——管段长度（m）， D_i ——管段管径（m）， a ， b ——常数，根据管网造价采用最小二乘法进行回归得到。

1.1.2 管网的折旧成本

管网的折旧成本由管网的建造成本折算后得出，计算方式如下：

$$C_2 = \alpha C_1 \quad (4)$$

式中： α ——折算系数

1.1.3 管网的热损失成本

管网的热损失成本为：

$$C_3 = 10^{(-6)} \pi K (t_p - t_0) (1 + \beta_1) \tau c_2 \sum_{i=1}^n D_i L_i \quad (5)$$

$$t_p = (t_g + t_h) / 2 \quad (6)$$

式中： K ——管壁传热系数（W/m²·℃）， t_p ——供暖期热媒平均温度（℃）， t_0 ——管网外介质温度（℃）， β_1 ——管网局部热损失系数， τ ——年供暖时间（h/年）， c_2 ——当地电价（元/GJ）， t_g ——供水温度（℃）， t_h ——回水温度（℃）

1.1.4 水泵的能耗成本

水泵的能耗成本按照下式计算：

$$C_4 = \frac{\rho g H_p G_1}{\eta} \tau c_3 \quad (7)$$

$$H_p = \frac{0.88(1 + \beta_2) K_e^{0.25}}{\pi^2 g} \sum_{i=1}^m \frac{L_i G_i^2}{D_i^{5.25}} \quad (8)$$

式中： ρ ——热水密度（kg/m³）， g ——重力加速度（m/s²）， H_p ——最不利环路阻力（mH₂O）， G_1 ——干管设计流量（m³/s）， η ——水泵效率， c_3 ——居民用电费用（元/kWh）， β_2 ——局部阻力折算系数， K_e ——管网相对粗糙度， m ——最不利环路管段数量。

1.2 约束条件

为了使管网的优化结果满足实际应用条件，对优化结果加入约束条件限制，使其更符合实际管网设计的要求。

1.2.1 流速约束

为保证热水在管道中流动的稳定性及经济合理性，防止流速过大发生水击现象或者形成噪声，优化时管道中的流速 v 控制为

$$0.25 \text{m/s} \leq v \leq 3.5 \text{m/s} \quad (9)$$

1.2.2 压力约束

为保证用户实际运行流量满足设计流量的要求，不发生水平失调，优化计算时使用用户末端的管网压力不小于用户的资用压力，即

$$H_i - H_{si} \geq 0 \quad (10)$$

H_i ——管网各个用户末端的压力（mH₂O）， H_{si} ——管网各个用户的资用压力（mH₂O）。

2 优化计算

采用遗传算法进行管管网径优化，首先需要随机生成多组数量等同于管段数量的编码数组，种群中每个个体代表一组管径的组合，个体中每个编码代表一种规格的管径；然后通过计算得到一个恒为正整数的适应度函数值，用于评价不同个体的适应程度，函数值越大，其个体适应程度越高；最后以适应度的大小为标准选择待遗传个体，将其中部分编码进行交叉或变异遗传到下一代，从而产生新的个体，直至找到最优管径设计方案。

2.1 标准管径编码

遗传算法多采用连续的随机编码作为迭代的初始个体，但管径却具有离散性，传统遗传算法的编码方式并不适用。因此本文个体采用整数编码，如表1所示。

管段数量总共为111节，每节都存在16种可能的编码赋值，因此可能的个体共有16111种，即个体的可能种类随着管段数量的增加呈指数型增长，这将导致算法计算量大，计算时间长，在有限的条

表 1 管径编码

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
管径	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN125
编号	9	10	11	12	13	14	15	16
管径	DN150	DN200	DN250	DN300	DN350	DN400	DN450	DN500

件下难以取得理想的优化结果。因此本文通过流速约束与管网设计流量，将优化结果限定为更合理的管径选择区间，即

$$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{4G_i}{\pi v_{\max}} \right)^{-1} \leq D_i \leq \left(\frac{4G_i}{\pi v_{\min}} \right)^{-1} \\ D_i \in \{0.025, 0.032, 0.04 \dots 0.5\} \end{aligned} \right. \quad (11)$$

D_i ——各管段管径(m)， G_i ——各管段流量(m^3/s)， v_{\max} ——允许最大流速 3.5m/s， v_{\min} ——允许最小流速 0.25m/s。

流速约束条件可以作为非线性优化方程组的已知条件，对方程组进行求解^[8]，或采用约束条件对优化结果进行校核，在优化结果的基础上进一步缩小范围^[9]。但上述方法均以惩罚系数的形式对适应度函数加以限制，增加了计算的复杂程度，不利于算法的收敛。本文通过计算得出更合理的管径选择区间，使计算量明显降低，优化结果的精确度得到了显著提升。

2.2 目标函数

适应度函数的计算方式如下：

$$F = E - C_{\min}(1+x) \quad (12)$$

F ——适应度函数值， E ——足够大的正常数， $(1+x)$ ——惩罚系数。

式(12)中， F 为非负变量，随着管网年折算总成本的增加而降低。 $(1+x)$ 代表惩罚系数，其数值大小决定于每组管径是否满足约束条件中的压力约束条件，个体中满足条件的管段越多，则惩罚系数就越小。

2.3 遗传算子

轮盘赌法通过概率大小选择参与遗传的个体^[10]；混合算法保留部分适应度最优的个体直接遗传至下一代，再对剩余个体进行选择、交叉和变异的遗传操作^[11]。但这些方法的随机性强，导致算法的收敛速度较慢，在优化复杂的管网时难以取得满意的结果。为了克服这一问题，本文遗传算子的设计思路进行改进，具体步骤如下：

- (1) 生成初代种群。
- (2) 随机选择个体进行交叉或变异，生成数量

为 m 的子代。

(3) 将生成的子代个体与上一代个体合并为同一种群，并计算每个子代个体的适应度，按照适应度大小进行排序。

(4) 淘汰适应度最低的 m 个个体，使种群中个体数量与初代种群保持一致。

(5) 重复步骤(2)至(4)，直至找到满意的最优解为止。

改进后的遗传算法如图 2 所示：

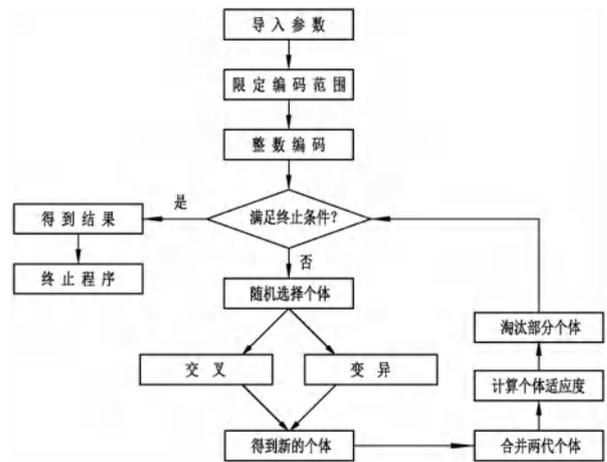


图 2 遗传算法流程图

3 计算参数与结果

3.1 计算参数

模拟优化过程采用 Matlab 软件进行编程计算，经过 200 次循环迭代得出优化结果。标准管径选取 DN25-DN500 等 16 种管径规格，管网相对粗糙度为 0.015，传热系数为 1.2，供回水温度为 80/60℃，局部构件的热损失系数为 0.15，局部阻力系数为 0.3；单位长度管网的建造成本根据市政规范^[12]与该小区供热管网的相关参数计算可得 $c_i = 59.821 + 1116.5D_i$ ；年折现率取 6.65%，寿命周期为 20 年；折旧费占比为 0.8；供暖时间以 120 天计算；热水密度取 $972kg/m^3$ ；电价为 0.52 元/kWh；选用扬程为 10m 的循环水泵一台，水泵效率为 80%。

3.2 运算效率

从开始优化至优化结束，改进前的优化算法运行时间为 5649.36s，改进后算法运行时间为 90.48s，结果收敛性如图 3 所示。

通过对比运算效率可知，改进前的遗传算法运行时间过长，且迭代 200 步内并未收敛，而改进后的遗传算法，在迭代 40 步之后即接近收敛，运算效率得到较大提升，收敛时间缩短了 98.4%。

3.3 计算结果

最终优化结果如表 2、3 所示。由表 3 可知，原算法优化后的管网年折算总成本为 820.48 万元，与原设计相比降低了 51.92%，改进算法优化后的管网年折算总成本为 468.75 万元，与原设计相比降低了 72.99%。经过改进后优化算法的计算，管网的总成本得到了明显的降低，且基本未出现水力失调的现象，保证了管网设计的经济性和实用性。

表 2 优化结果

管段编号	原设计管径(mm)	原算法优化后管径(mm)	改进算法优化管径(mm)	管段编号	原设计管径(mm)	原算法优化后管径(mm)	改进算法优化管径(mm)	管段编号	原设计管径(mm)	原算法优化后管径(mm)	改进算法优化管径(mm)
1-2	300	350	450	37-39	150	65	32	55-76	200	250	300
2-3	200	125	100	26-40	300	400	450	76-77	100	125	50
3-4	100	80	32	40-41	100	65	50	77-78	100	32	50
3-5	200	250	100	41-42	100	40	40	77-79	100	65	65
5-6	100	80	40	41-43	100	80	32	76-80	200	300	300
5-7	200	100	100	40-44	125	80	65	80-81	125	50	50
7-8	100	65	32	44-45	80	32	40	81-82	80	80	65
7-9	150	150	100	44-46	125	125	80	81-83	100	100	40
9-10	100	50	40	46-47	80	40	32	83-84	80	50	25
9-11	150	80	80	46-48	100	65	65	83-85	100	80	32
11-12	100	40	65	48-49	80	25	32	85-86	80	25	40
11-13	150	100	80	48-50	100	125	50	85-87	100	65	32
13-14	原设计	50	65	50-51	80	50	40	80-88	150	250	250
14-15	80	50	65	50-52	80	40	65	88-89	100	65	50
14-16	100	40	50	52-53	80	65	32	89-90	80	32	32
16-17	80	50	25	52-54	80	32	25	89-91	80	40	50
16-18	100	65	40	40-55	250	450	450	91-92	80	32	50
13-19	100	50	125	55-56	100	100	50	91-93	80	65	65
19-20	100	50	65	56-57	100	40	40	88-94	100	80	80
19-21	100	80	50	56-58	100	80	40	94-95	80	32	32
21-22	80	25	32	55-59	150	200	100	94-96	80	50	40
21-23	100	40	40	59-60	80	50	40	96-97	80	25	40
23-24	80	32	32	59-61	150	150	100	96-98	80	40	40
23-25	80	65	32	61-62	80	40	25	88-99	125	150	150
2-26	300	450	450	61-63	125	100	65	99-100	100	125	150
26-27	200	100	100	63-64	80	25	25	100-101	80	32	32
27-28	80	65	32	63-65	125	150	80	100-102	100	125	125
27-29	200	125	65	65-66	80	32	32	102-103	80	40	40
29-30	80	50	25	65-67	125	80	80	102-104	100	100	100
29-31	200	100	65	67-68	80	40	40	104-105	80	32	32
31-32	80	25	32	67-69	100	100	65	104-106	80	80	80
31-33	200	80	50	69-70	80	40	50	106-107	80	25	25
33-34	80	32	32	70-71	80	40	32	106-108	80	65	65
33-35	200	40	40	70-72	80	32	25	99-109	80	32	40
35-36	80	25	25	69-73	80	32	40	109-110	80	25	32
35-37	200	65	40	73-74	80	65	32	109-111	80	50	40
37-38	80	50	25	73-75	80	32	32	-	-	-	-

表 3 成本对比

	建造成本(万元/年)	折旧费(万元/年)	热损失成本(万元/年)	水泵运行成本(万元/年)	总成本(万元/年)
原设计成本	41.2	12.4	1.19	1651.9	1706.65
原算法优化成本	50.4	15.1	0.98	754.0	820.48
改进算法优化后成本	54.1	16.2	0.95	397.5	468.75

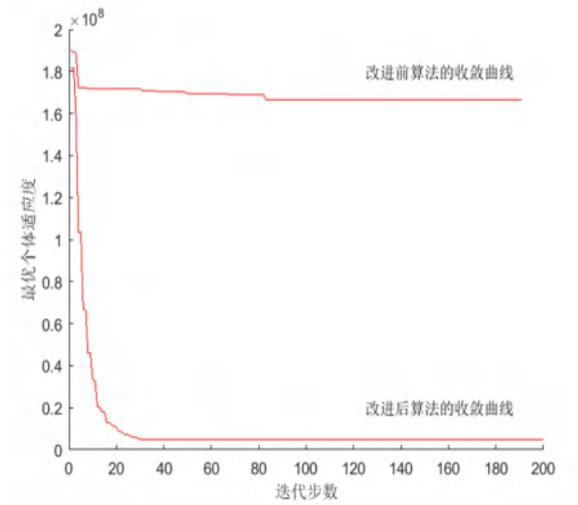


图 3 收敛曲线图

4 结论

(1) 供热管网管径经原优化算法优化后，成本相比于经济比摩阻法降低了 51.92%，得到了一定的优化效果，但在有限的计算时间内并未完全收敛，优化程度不高；改进遗传算法计算后的管径成本相比于经济比摩阻法降低了 72.99%，在满足实用性的情况下总成本更低，节能效果更好。

(2) 在针对复杂供热管网进行优化时，改进后的供热管网优化算法运算量大大减少，运算时间缩短了 98.4%，且降低了算法的随机性，收敛速度也随之提升，优化结果更加可靠，具有更强的精确性和实用性。

(3) 优化后的管网水泵的运行成本约占到总成本的 84.8%，这说明即使是在额定运行工况下，水泵的能耗成本依然是成本的主要部分，因此降低管道阻力，提高水泵运行效率具有十分重要的节能意义。

参考文献

- [1] Hamid, Ghaderi, MirS, et al. Biomass supply chain network design: An optimization oriented review and analysis[J]. Industrial Crops and Products, 2016, 94(30):972-1000.
- [2] Sun-Joon Byun, Hyun-Sik, Park, et al. Study on the optimal heat supply control algorithm for district heating distribution network in response to outdoor air temperature[J]. Energy, 2015, 86(15):247-256.
- [3] A. Reveillere, V. Hamm, H. Lesueur, et al. Geothermal contribution to the energy mix of a heating network when using aquifer thermal energy storage: modeling and application to the Paris basin[J]. Geothermics, 2012, 47(4):69-79.
- [4] 秦绪忠, 江亿. 基于遗传算法的环形供热管网可及性分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 1999, 39(6):90-92.
- [5] 曾竟. 区域供冷供热管网系统优化设计研究[D]. 湖南大学, 2017.
- [6] 王中华, 杨涛. 基于遗传算法的区域供冷供热管网优化设计方法的改进研究[J]. 建筑节能, 2014(06):9-13.
- [7] 张朝辉, 许可. 基于遗传算法的区域供冷供热管网优化设计[J]. 建筑技术开发, 2016, 43(02):61-63.
- [8] 豆中州. 集中供热管网优化设计研究[D]. 华北电力大学, 2011.
- [9] 闵晓丹, 戎向阳, 刘希臣, 司鹏飞. 大型供冷/热管网优化设计方法研究[J]. 暖通空调, 2016, 46(06):65-70+100.
- [10] 朱涛. 城市综合体集中供冷供热环状管网优化研究[D]. 北京建筑大学, 2018.
- [11] 程程. 基于 MATLAB 的阎良区武屯镇给水管网优化设计研究[D]. 西安工程大学, 2016.
- [12] 建设部标准定额研究所. 市政工程投资估算指标: 集中供热热力网工程 HGZ47-108-2007[M]. 第八册. 北京: 中国计划出版社, 2007: 20-36.

应用于电子设备的均温板热阻性能研究

江苏科技大学能源与动力学院 王雷青 江卫玉 陈一 徐海洋 张东辉

摘要: 本文主要以烧结毛细芯均温板为实验对象,介绍毛细吸液芯的烧结制作过程,研究分析不同铜粉粒径、充液率、铜粉形状以及热源尺寸对均温板传热性能的影响。实验结果分析表明:(1)对于球形铜粉烧结的均温板来说,大粒径铜粉烧结的均温板性能较好,大粒径铜粉毛细力较小,但流动阻力也相应很小,表明回液阻力对球形铜粉所制成的均温板热阻性能的影响更大,起到主导作用;(2)在充注率较低的情况下,均温板因回液不足从而会出现烧干的现象,在充注率较高的情况下,一方面均温板蒸发端液膜层厚度较大产生额外的热阻,另一方面,薄液膜蒸发模式会转化为池沸腾模式,这都会降低传热性能;(3)形状较规则的球形铜粉烧结的均温板的性能最好,树枝状铜粉烧结的均温板测得的热阻值相对较高;(4)热源面积对均温板热阻性能有极大影响,相同加热功率下,小面积热源的热阻远高于大面积热源的热阻;而且在两种热源面积下铜粉烧结型铜板均比纯铜板的热阻低。

关键词: 均温板; 烧结; 热阻; 传热性能

0 引言

相对于传统热管,均温板实现了二维平面上的传热,可有效解决电子器件的“热点”问题。均温板的传热性能较高且其应用前景广阔,目前关于均温板的研究越来越多,国内外越来越学者加入到均温板传热性能研究中去。

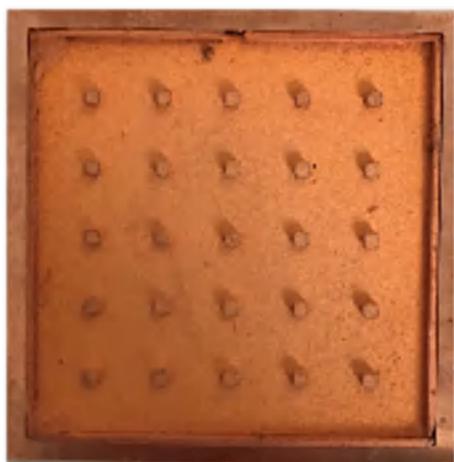
王晨等人^[5]分析了不同的吸液芯结构对热管换热性能的影响。研究表明,吸液芯为深微槽道的热阻最高,双微槽道形式的热阻最小,传热性能最好,且具有良好的均温性能。汤勇等^[6]制备了一种通过编织、化学沉积和烧结制造的新型烧结铜网芯。采用碱辅助表面氧化工艺^[7]对吸液芯结构进行处理。实验结果表明,沉积的吸液芯可以实现最佳的换热性能。Lewis等^[8]使用聚酰亚胺膜作为包层材料以及光刻技术制造吸液芯结构,其厚度仅有0.3mm,并采用ALD工艺在吸液芯表面沉积TiO₂,从而起到亲水性作用。在超薄热管内充注0.15mL水的条件下,加热器面积为20mm×10mm,实验测得的热阻最小11.92℃/W,其有效导热系数高达541W/(m·K)。Li等^[9,10]制备了一种新型吸液芯结构,是由直径为50μm到100μm的混合铜粉末烧结而成,其厚度小于1mm,该铜-水扁平热管的总厚度为2mm。试验研究不同的加热功率、倾斜角度和冷却水温度对扁平热管的传热性能的影响。实验结果表明,扁平热管在水平方向上的输入功率最大为120W,此时热阻最小仅有0.196℃/W,此外,研究证明在空气自然对流的条件下,新型扁平热管的

性能高于薄铜板,其有效导热系数是薄铜板的4倍以上,充液率为27%~37%的情况下,扁平热管的传热性能影响因素基本和重力无关系。Weibel等^[11]制作了一种超薄的纳米结构均温板。吸液芯采用了200μm厚的铜粉烧结结构,将碳纳米管(CNTs)形状制成马赛克状阵列结构,达到增强腔体内的充注液体浸润吸液芯能力,均温板的厚度仅为1mm。其实验结果表明了,设计制造的蒸汽腔体在实验中呈现出良好的性能,在接触面积为0.25cm²的热源下,临界热流密度高达400W/cm²。台湾的Kang^[12]制作了用于可视化观察的平板热管,吸液芯采用铜粉烧结结构,工质选取去离子水,采用高速摄影仪观察平板热管内部的沸腾行为,分析各因素对传热性能的影响。实验结果显示,烧结吸液芯的厚度为0.4mm,输入功率为60W时,蒸发热阻最小为0.119K/W。经可视化观察,随着输入功率的增大,液面逐渐降低,当蒸发端吸液芯内的工质烧干前,随着输入功率的增大蒸发热阻会逐渐降低至最低值,而且工质流体的液面与吸液芯的顶面会存在一个高度差,这也是引起蒸发端发生沸腾现象的主要原因。当液面高于吸液芯时,主要观察到有池沸腾,此时热阻相对较高;当液面低于吸液芯时,主要观察到薄液膜蒸发现象,此时蒸发热阻相对比较低。

本文通过实验研究,了解均温不同吸液芯结构、充液率对其传热性能的影响,并对铜粉形状的影响也进行了考察;研究不同加热功率下均温板的传热性能。

1 均温板制程和性能测试系统

均温板毛细芯烧结制程主要过程是：首先石墨模具制作吸液芯，然后将烧结好的铜粉吸液芯与下班紧密贴合，将泡沫铜与上板紧密贴合，分别用夹具加紧，水平放入真空烧结炉中，然后关紧炉门进行下一步洗炉，首先抽真空至 0.05Pa，然后通氮气至一个大气压，再次抽真空，再通氮气至一个大气压，然后通入氢气，设定程序后打开开关开始烧结。



(a) 蒸发端



(b) 冷凝端

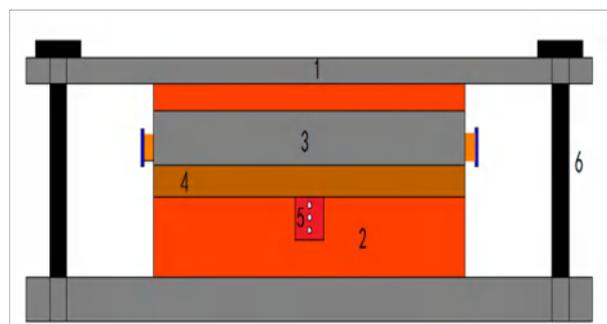
图 1 烧结毛细芯示意图

本实验的传热性能测试系统主要包括四大部分：加热系统、水冷却系统、均温板、数据采集系统。均温板性能测试装置中，压紧装置由上下两块厚度为 30mm 的铝板构成，四角各由 M16 螺栓固定拧紧，使中间部分可以紧密接触，提高实验所得数据的精确度。均温板的底部与冷却水套的顶部均布置电木隔热材料，减少热量的散失。低温水槽设定温度，待水冷却后开启循环泵制出冷却水，通过调节转子流量计确定流量，然后进入到冷却水套腔体内，并将均温板表面的热量带走。测温装置采用铠装热电偶，与智能温度巡检仪相连，最终在计算机上读取数据，从而完成整个测温过程。均温板性能测试装置如图 2 所示。

本文以铜粉烧结结构吸液芯制作的均温板作为研究对象，研究不同的铜粉粒径对均温板性能的影响。本组实验共制作 14 块均温板，其中球形铜粉的粒径分别为：30 μm 、50 μm 、30 μm 、30 μm +90 μm ，树枝状铜粉的粒径分别为：30 μm 、50 μm ，每组均温板测试后记录性能最优的均温板的实验数据。

经过多次试验，确定烧结温度为 950 $^{\circ}\text{C}$ ，并且保温时间设定持续 3 小时，烧结结束后然后在烧结炉内真空条件下冷却至室温即可打开炉门取出样品，如图 1 所示。

将已烧结好的吸液芯放入外壳板内，然后将焊料放入上下外壳板之间，然后用夹具固定整个装置，水平放入真空烧结炉中，烧结过程与之前相同，但是烧结时设定的最高温度为 780 $^{\circ}\text{C}$ ，当温度升高至 780 $^{\circ}\text{C}$ 时，立即进入自然冷却阶段。



1. 铝板夹具 2. 硬质保温材料 3. 冷却水套 4. 均温板
5. 加热铜块 6. 紧固螺栓

图 2 均温板性能测试装置

本实验的研究对象为烧结铜粉型均温板，研究充注率对均温板传热性能的影响。本实验制作球形铜粉烧结的均温板共有 4 块，其中 30 μm 均温板、50 μm 均温板、90 μm 均温板、30 μm +90 μm 均温板的孔隙率分别为 48.5%、52.6%、40.6%、54.2%；制作的树枝状铜粉烧结的均温板共有 2 块，其中 30 μm 均温板、50 μm 均温板孔隙率分别为 74%、

71.1%。不均匀铜粉烧结均温板充注量如表 1 所示，树枝状铜粉烧结均温板充注量如表 2 所示。

表 1 球形铜粉烧结均温板充注量

	70%	90%	120%
30 μm 均温板 (g)	2.91	3.75	5.00
50 μm 均温板 (g)	2.92	3.76	5.00
90 μm 均温板 (g)	2.47	3.18	4.24
30 μm+90 μm 均温板 (g)	3.25	4.18	5.58

表 2 树枝状铜粉烧结均温板充注量

	70%	90%	120%
30 μm 均温板 (g)	3.17	4.07	5.43
50 μm 均温板 (g)	2.71	3.48	4.64

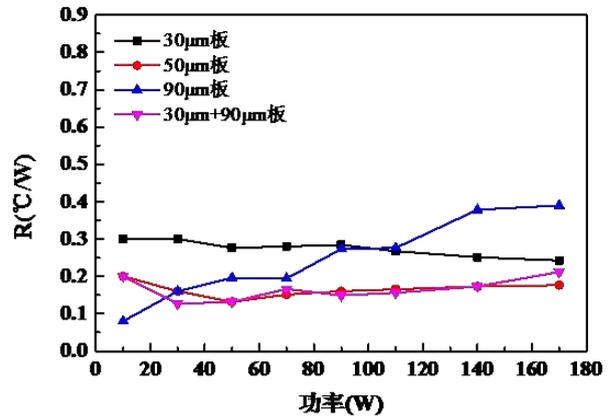
本实验选择球形铜粉烧结的铜板，粒径分别为 30 μm、50 μm，设计两种不同尺寸的加热铜块分别为：15mm × 15mm、30mm × 30mm，对比在不同的热流密度情况下均温板的传热性能，同时与纯铜板进行对比。

2. 实验结果与分析

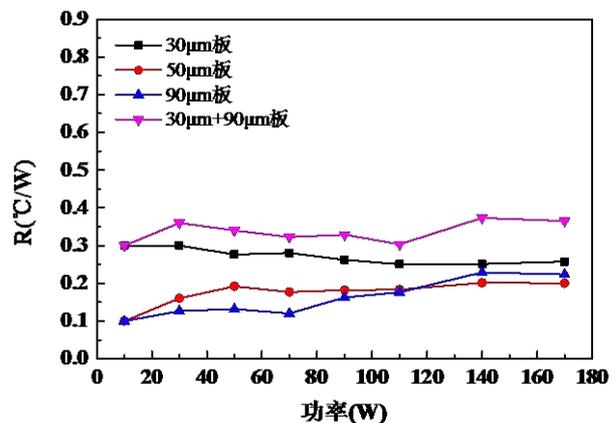
2.1 烧结铜粉粒径对均温板实验性能的影响

四个球形铜粉制成的均温板热阻值随加热功率的变化如图 3 (a-c) 所示，热源面积是 30mm × 30mm，充注率分别为 70%、90%、120%。实验结果表明：随着热流密度的增加，不同充注率下不同粒径的均温板的热阻值呈线性变化。从曲线的趋势来看，粒径较大的均温板的性能相对较好，比如在充注率为 70% 和 120% 时，90 μm 的均温板的热阻值相对于其他粒径制成的均温板较小，性能较好，在充注率为 70%，70W 的输入功率情况下，90 μm 的均温板的热阻值最小为 0.12 °C/W。小粒径铜粉制作的毛细芯毛细力较大，但流动阻力也相应很大；大粒径铜粉毛细力较小，但流动阻力也相应很小。从实验测试的结果看，大粒径球形铜粉烧结的均温板性能较好，这说明：回液阻力对球形铜粉所制成的均温板热阻性能的影响更大，起到主导作用。混合粒径烧结的均温板性能逊于 90 μm 铜粉烧

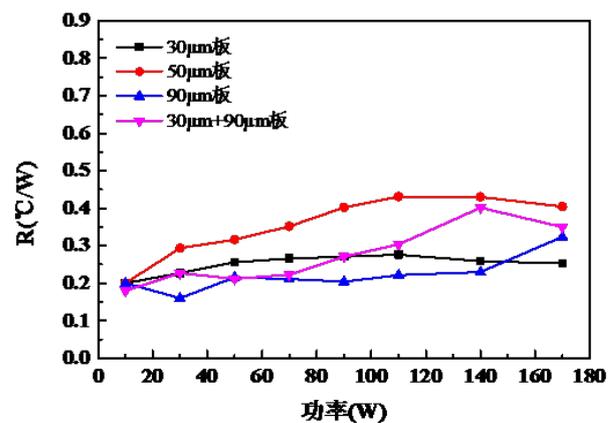
结的均温板，混合粒径是平衡毛细力和流动阻力矛盾的一种途径，但是其优势并没有发挥出来，需进一步摸索其烧结制程。



(a) 充注率 70%



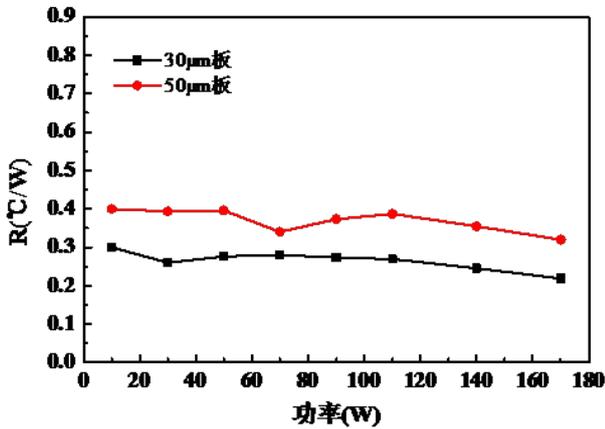
(b) 充注率 90%



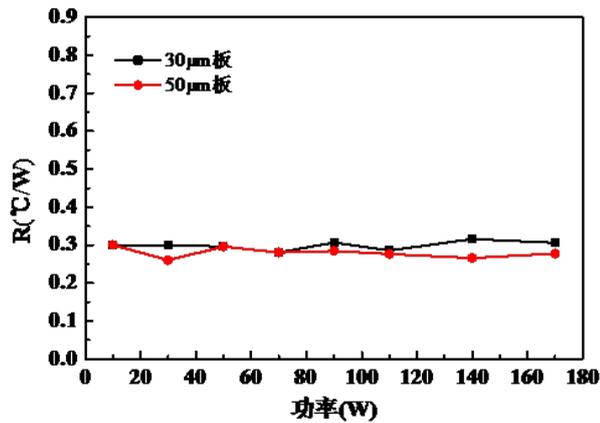
(c) 充注率 120%

图 3 不同充注率下球形铜粉制成均温板热阻随加热功率的变化

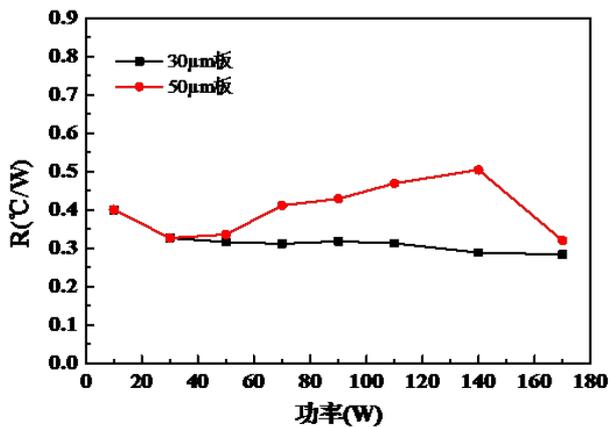
树枝状铜粉制成的两块均温板热阻值随加热功率的变化如图4(a-c)所示,热源面积是30mm×30mm,充注率分别为70%、90%、120%。



(a) 充注率 70%



(b) 充注率 90%



(c) 充注率 120%

图4 不同充注率下树枝状铜粉制成的均温板热阻随加热功率的变化

从曲线的趋势来看,粒径为30μm的均温板的性能相对较好,比如在充注率为70%和120%时,90μm的均温板的热阻值相对于50μm粒径制成的均温板较小,性能较好,在充注率为90%时,两块均温板的热阻值相近,在充注率为70%时,30W的输入功率情况下,30μm的均温板的热阻值最小为0.26℃/W。从实验测试的结果看,树枝状小粒径铜粉烧结的均温板的性能较好,小粒径铜粉制作的毛细芯毛细力较大,但流动阻力也相应很大,表明毛细吸力对树枝状铜粉所制成的均温板热阻性能的影响更大,起到主导作用。

整体看来,在三种充注率下,球形铜粉制成的均温板相对于树枝状制成的均温板的热阻值较小,有可能因为树枝状铜粉制成的吸液芯有较多的盲孔(即孔隙不相通),从而液体工质的流动通道数降低,流动受阻,影响均温板的传热性能。

2.2 热源尺寸对均温板传热性能的影响

图5为两种热源尺寸30mm×30mm和15mm×15mm,充注率为70%的条件下,铜粉形状为球形、粒径为30μm、50μm制成的均温板和纯铜板的传热性能的比较。从图5中曲线的趋势来看,随着热流密度的增加冷凝端的最大温差也逐渐增加,但增加的幅度每个样品不同,在热源尺寸为15mm×15mm时,50μm的均温板的冷凝端的最大温差达到10℃,而在热源尺寸为30mm×30mm时,两种均温板的冷凝端的最大温差均在3℃以下,在小尺寸热源下的均温板和纯铜板的冷凝端的最大温差高于大尺寸热源时冷凝端的最大温差。30mm×30mm热源条件下测得的热阻明显较小,相对小热源条件下测得的热阻能够下降0.4℃/W左右。

由以上各图可看出:热源面积大的情况下测得均温板的失效功率可达到170W,且其测得的热阻相对小热源面积下的较小,因为在相同加热功率的

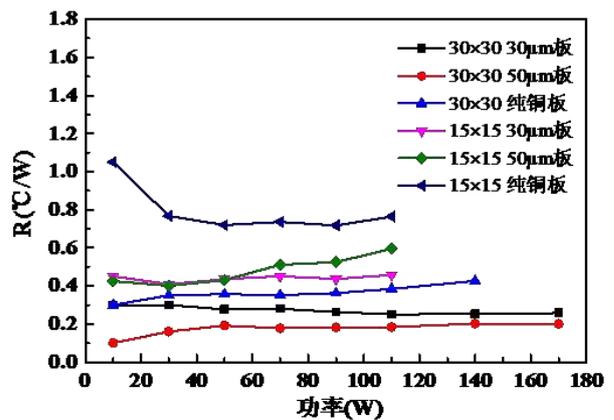


图5 不同热源条件下均温板的传热性能

条件下,热源面积大测得的均温板的热通量相对会偏小,从而蒸发区域的工作流体不容易发生干化,而且形成的液膜较薄,因此热阻值较低;均温板的均温性相对纯铜板较好,冷凝端的最大温差较小,主要是因为均温板是由铜粉烧结而成,且蒸发端吸液芯烧结铜粉柱(25个直径为3mm)和四周有宽为2mm的铜粉矩形凸环连通,从而毛细的通道比较多,回流阻力较小,大大增强了传热能力,因此热阻值较小,这说明实验中均温板的制程是有效的。

3 总结

本章对均温板的传热性能进行了实验分析,从铜粉粒径、充液率、铜粉形状以及热源尺寸四个方面做了对比分析,得出以下结论:

(1) 本文先将上下吸液芯分别与外壳板进行烧结,再将外壳板之间进行焊接,可以保证吸液芯与外壳板之间完全接触,减小接触热阻,同时上下吸液芯也接触紧密,减短了回流路径,在测试过程中,其最大加热功率到170W时,均温板都不会发生失效现象,因此可考虑作为均温板制作的优选方式。

(2) 对于球形铜粉烧结的均温板来说,大粒径铜粉烧结的均温板性能较好,大粒径铜粉毛细力较小,但流动阻力也相应很小,表明回流阻力对球形铜粉所制成的均温板热阻性能的影响更大,起到主导作用;对于树枝状铜粉烧结的均温板来说,小粒径铜粉烧结的均温板的性能较好,小粒径铜粉制作的毛细芯毛细力较大,但流动阻力也相应很大,表明毛细吸力对树枝状铜粉所制成的均温板热阻性能的影响更大,起到主导作用。

(3) 在充注率适当的情况下,均温板的传热性能比较优异。在充注率较低的情况下,均温板因回液不足从而会出现烧干的现象,在充注率较高的情况下,一方面均温板蒸发端液膜层厚度较大产生额外的热阻,另一方面,薄液膜蒸发模式会转化为池沸腾模式,这都会降低传热性能,因此充注率过高

或过低都会影响均温板的散热性能。

(4) 形状较规则的球形铜粉烧结的均温板的性能最好,树枝状铜粉烧结的均温板测得的热阻值相对较高。

(5) 热源面积对均温板热阻性能有极大影响,相同加热功率下,小面积热源的热阻远高于大面积热源的热阻;而且在两种热源面积下铜粉烧结型铜板均比纯铜板的热阻低。

参考文献

- [1] 王晨,李艳霞,刘中良,等.毛细结构对平板热管性能的影响[J].化工学报,2014,65(1):359-363.
- [2] TANG Y, TANG H, LI J, et al. Experimental investigation of capillary force in a novel sintered copper mesh wick for ultra-thin heat pipes[J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 115: 1020-1030.
- [3] HU J, YUAN W, YAN Z, et al. Fabricating an enhanced stable superhydrophobic surface on copper plates by introducing a sintering process[J]. Applied Surface Science, 2015, 355: 145-152.
- [4] LEWIS R, LIEW L A, XU S, et al. Microfabricated ultra-thin all-polymer thermal ground planes[J]. Science Bulletin, 2015, 60(7): 701-706.
- [5] LI J, LV L. Experimental studies on a novel thin flat heat pipe heat spreader[J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 93: 139-146.
- [6] LV L, LI J. Effect of charging ratio on thermal performance of a miniaturized two-phase super-heat-spreaders[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017, 104: 489-492.
- [7] Weibel J A, Kousalya A S, Fisher T S, et al. Characterization and nanostructured enhancement of boiling incipience in capillary-fed, ultra-thin sintered powder wicks[C]. 2012 13th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems(ITherm), 2012.
- [8] 吴宗谦,康尚文.平板热管之研制与可视化观察.淡江大学硕士论文[D].2010



降低供暖设定温度的微观节能机理 ——以公寓建筑为例

四川大学建筑与环境学院 郭舒睿 杨涵宇 徐露婷 钱思如 龙恩深

摘要: 降低供暖设定温度是众所周知的节能措施之一,但系统性研究不够。本文选取全球8个城市,探讨了降低设定温度节能原理的微观节能机理。结果表明,设定温度降低即使在冬季相对温暖的的城市也有显著的供暖节能效果,寒冷城市节热量越大,但节热率越低。发现降低供暖设定温度的节能效果由两类完全不同的时刻决定,一类是温差节热时刻,逐时节热量几乎为常数,另一类时刻为行为节热,逐时节热量介于0与温差节热常数之间。全年节热量由温差节热量和行为节热量构成;每类节热贡献大小取决于各自时刻数的多少。片面强调相对节能率高、而淡化对节能减排更重要的节能机理揭示是不科学的。研究成果可对各地区节能标准制定和居住者行为节能提供参考。

关键词: 供暖温度;节热量;节热率;耗热需求;逐时热负荷

1 引言

随着世界各国社会经济的进步,可持续发展已经成为世界各国共同关注的问题^[1],而建筑节能是重要途径^[2-4]。其中,室内设定温度作为人员行为的重要调控因素之一,设定温度直接对 HVAC 能耗产生影响。因此,世界各国对建筑节能越发重视^[7-10]。确定室内温度或温度设定值一直是热点问题,尤其是在供暖需求占主导气候的住宅建筑中,室内供暖设定温度直接影响了建筑能耗^[11]。研究表明合理利用温度控制,HVAC 系统消耗的能源可以最小化。根据首选的热舒适范围,不同气候背景的不同住宅可能会有不同的供暖温度设定值。各国在暖通空调设计规范及建筑节能设计标准中,均对供暖室内设定温度做出了严格规定。美国 ASHRAE 55-2013 标准中^[12]规定冬季室内设定温度为 20℃~24℃。中国《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB50736-2012 标准中^[13]规定人员长期逗留区域设定温度为 18℃~22℃,短期逗留区域设定温度为 17℃~21℃。为了加强集中供暖系统的运行节能和公共建筑分散式供暖的行为调节节能,中国政府下发《关于严格执行公共建筑空调温度控制标准的通知》^[14]规定冬季室内温度设置不得高于 20℃。朱光俊等^[15]采用 DeST 软件对中国上海某一住宅楼进行模拟计算,发现供暖设定温度降低 1℃,能耗降低 10%左右。于晓瑜等^[16]通过 Energy Plus 软件对中国山东省某住宅进行能耗模拟,发现供暖温度每升高 1℃,能耗上升 13%。杨丽红^[17]使用 DeST 软件对中

国杭州市某住宅能耗进行了模拟,发现提高供暖设定温度 1℃可提高能耗 12%左右。

综上,尽管不同学者的研究结果均表明供暖设定温度降低对建筑供暖具有显著节能效果,定性结论高度一致,但由于不同学者的研究条件各不相同(如气候条件、建筑几何参数、围护结构热工性能、人员入住行为引起的照明、设备、人员等的差异性),得出设定温度降低相同幅度节能率高低的定量结果却差异悬殊,难以横向比较。现有研究成果也不能很好解释节能效果定量差异性的机理。机理认识的肤浅化,不利于科学指导供暖温度的合理选取和引导行为节能。因此,本文挑选了世界不同国家的 8 个代表性城市,仅以供暖设定温度降低 1℃时产生的节能效果进行系统地深入分析,探讨降低设定温度节能原理的微观节能机理,为更好实现建筑节能提供理论参考。

2 方法

降低供暖设定温度是有效减少供暖负荷需求的手段之一。本研究选取北半球四大洲不同国家的 8 个代表性城市:加拿大温哥华、美国纽约、摩洛哥卡萨布兰卡、英国伦敦、埃及开罗、俄罗斯莫斯科、中国北京、日本东京。图 1 基于 ASHRAE 标准^[18]选取的是八个代表城市的地理位置分布图,它们纬度分布在 30°~56°之间。选取的 8 个城市分布在全球四个大洲,覆盖了不同的气候条件。年均气温为 5.52℃~21.72℃,全年最冷月均温度



图1 代表城市的地理位置分布

为 $-7.58^{\circ}\text{C} \sim 13.95^{\circ}\text{C}$ ，最低温度为 $-25.20^{\circ}\text{C} \sim 7.00^{\circ}\text{C}$ 。说明选取的城市具有典型代表性。

本研究选取了美国能源部 (DOE) 的参考建筑 [19]，一幢中层公寓作为研究对象。建筑类型的选择使得本研究能够根据建筑对温度设置条件的响应来评估建筑供暖需求的重要性。研究对象为一幢三层居住建筑，该建筑高度为 12.2m，供暖面积 3135 m^2 。围护结构热阻、太阳辐射得热系数值等均按照 DOE 参考建筑案例计算中位于 3B 区的 Las Vegas 的标准值设定，建筑围护结构热工性能取值依据美国 2004 年竣工的既有建筑标准 [20]，以权衡不同国家、不同气候区的差异。

采用特征温度法 (CTM) [21] 模拟预测建筑的动态供暖负荷，该方法已在大量文献中 [22] 被实验和软件对比验证其可靠性。假设相同围护结构热工性能的中层公寓修建于世界各地的气候差异显著的八个代表性城市，利用 CTM 方法模拟预测对象建筑在不同气象条件下供暖设定温度不同时全年逐时动态热负荷，进而分析供暖设定温度降低对全年供暖耗热需求降低的影响及节能规律，分析该措施的节能原理的气候差异性。模拟分析时，假设当室外干球温度高于供暖设定温度时，该时刻的热负荷为零；当各种因素耦合作用下某时刻的室内特征温度高于供暖设定温度时，则该时刻的热负荷也为零（如太阳辐射通过非透明围护结构传热或透明围护结构透射，即使室外气温低于供暖设定温度，特征温度也可能大于设定温度，从而导致无需供暖，热负荷为 0）。综合考虑各个国家标准规范中推荐的供暖室内温度设定值，假设供暖设定温度分别为 20°C 和降低 1°C 至 19°C 的两种情况。

3 结果：降低设定温度节能原理的微观节能机理

3.1 逐时节热量

本文选取气候反差最大的两座代表城市—莫斯科

和开罗，从微观层次解析逐时热负荷变化与室外干球温度、太阳辐射等因素的内在联系。通过解析逐时绝对节热量和逐时相对节热率的微观机理，揭示供暖设定温度降低的全年宏观节能原理在不同城市的气候差异性。

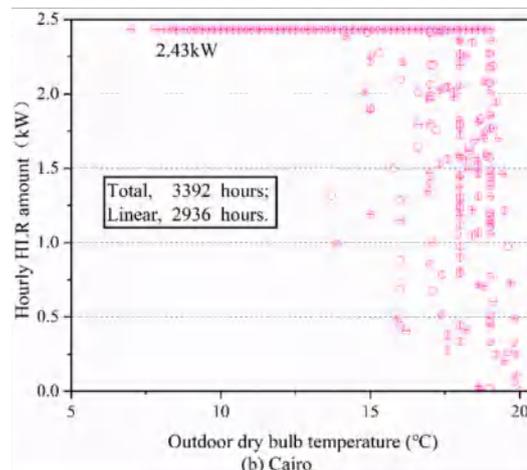
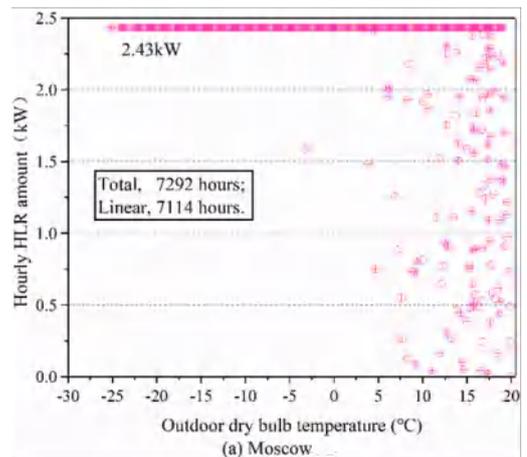


图2 逐时负荷减少量随室外干球温度变化的分布对比 ((a) 莫斯科 (b) 开罗)

图2(a)(b)分别给出了莫斯科和开罗在供暖设定温度降低1℃时逐时节热量随相应时刻室外干球气温变化的对比图,图中一个点代表一个供暖小时。因为其余6城市的最低气温介于莫斯科和开罗之间,不难推断它们的变化图也类似,只是横坐标范围略有差异罢了。可以看出:尽管莫斯科全年室外气温变化范围为-25.2℃~30.6℃,而开罗为7℃~44℃,说明两个城市冬季气候反差非常大,但逐时节热量随室外气温的变化规律具有类似性。仔细观察,不同城市的有供暖需求时刻点分布都存在两类特征:(I)一类时刻构成一条近似的水平线,逐时节热量最大,这些时刻对应的室外干球温度都小于19℃。(II)另一类时刻点的逐时节热量散布于X轴(0)与最大水平线之间。这些时刻对应的室外干球温度包括两个温度区间:20℃~19℃;19℃~远高于该城市最低气温的某个值,如莫斯科约为-5℃,开罗约为13℃。为什么气候反差较大的城市会出现这种既相似、又复杂的分布特性呢?

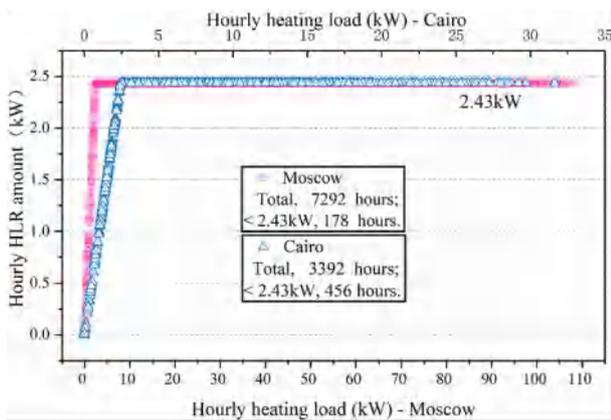


图3 逐时负荷减少量随负荷需求变化的分布对比

图3给出了莫斯科和开罗在供暖设定温度降低1℃后逐时负荷降低量随降温前的逐时热负荷的变化对比图,该图其实是图2的另一种表达形式。因两个城市的供暖时刻都较多,为更清晰展示,位于图下方的X轴代表莫斯科的逐时负荷变化范围,图上方的X轴代表开罗的逐时负荷变化范围。可以看出,(I)莫斯科的最大热负荷是开罗的三倍以上;(II)随着逐时热负荷从0开始增加,逐时节热量也线性地增大;当逐时热负荷增大到最大节热量后,逐时节热量基本维持恒定,两个气候反差很大的城市规律具有类似性。

3.2 微观节热机理

根据对以上有供暖需求的两类时刻的深入研究,

可以归纳出两类截然不同的微观节热机理:

(1)温差节热机理:对于近似水平线上分布的那些散点,是在外扰内扰和建筑围护结构综合作用下特征温度低于19℃仍需供暖的那些时刻,逐时节热量取决于建筑外围护结构的传热系数、面积及设定温度降低幅度(本文假设1℃)。根据本研究的建筑对象和围护结构特性,每个时刻的节热量趋于定值,约为2.43kW,与城市气候无关。而全年累计温差节热量大小与温差节热小时数成正比,却与城市气候关系密切。

(2)行为节热机理:对于图2的散点和图3斜线上的那些时刻,在供暖设定温度为20℃时,供暖需求较小。有两种情形:室外气温在20℃~19℃之间,当设定温度降低到19℃后,因该行为负荷需求没有了;当室外气温低于19℃,由于辐射得热或人为内扰得热也使室内特征温度介于20℃~19℃之间,设定温度降低到19℃后,负荷需求也没有了,故称为行为节热机理。逐时行为节热量差异大,全年累计行为节热量大小与城市气候、内扰及行为节热小时数均有关系,比较复杂。

统计发现,当供暖设定温度20℃时,莫斯科总的供暖时刻数为7,292小时,开罗的供暖时刻数为3,392小时;当供暖设定温度降低至19℃后,莫斯科和开罗的有供暖需求的时刻数分别降低到7,123小时和293小时,为温差节能小时数;而设定温度降低后,分别减少了178小时和456小时为行为节热小时数。可见,寒冷的城市供暖需求的时刻数多,但行为节热的小时数少;而较为暖和的城市供暖需求的时刻数少,但行为节热的小时数却更多。

进一步统计发现,当供暖设定温度由20℃降低至19℃时,莫斯科全年总节热量为17.52MWh,其中温差节热量为17.31MWh,占比98.77%。但开罗全年节热量为7.74MWh,温差节热量为7.14MWh,占比92.26%。可见,在不考虑居住行为和作息差异的情况下,降低供暖设定温度的节热效果,温差节热机理占主要贡献;气候暖和的城市行为节热的贡献有所提高。

3.3 逐时节热率

图4(a)(b)分别给出了莫斯科和开罗两个城市全年逐时节热率随室外干球温度的变化图。对比观察可以发现,尽管两个城市有供暖需求的时刻差异悬殊,两个城市的室外干球温度变化范围差异也很显著,但逐时节热率的分布规律具有相似性。(I)行为节热的那些时刻,节热量小,但逐时节热率为100%。(II)其余均为温差节能的时刻,虽然它们的节热量相同,但由于逐时负荷需求差异较大,故

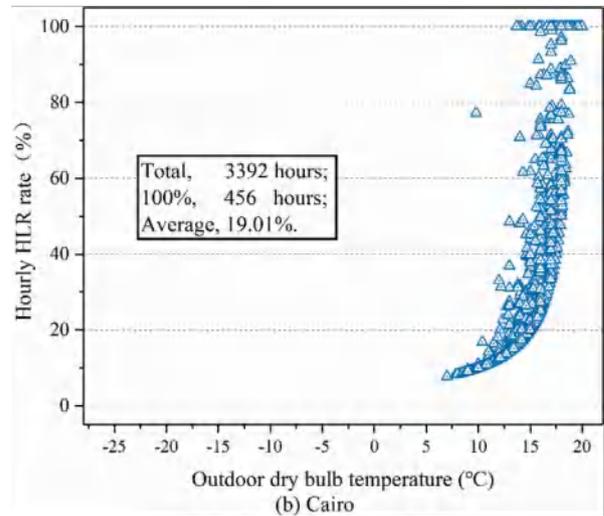
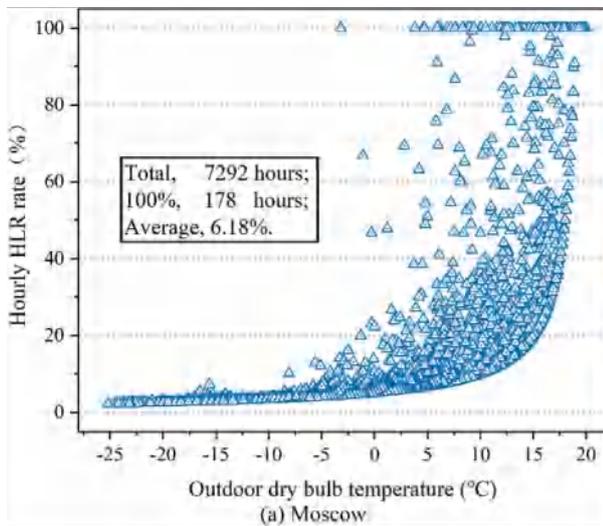


图4 逐时负荷减少率随室外干球温度变化的分布对比 ((a) 莫斯科 (b) 开罗)

两者的比值变化范围大。当室外气温很低且无太阳辐射时，节热率很低；随着气温增加，热负荷减小，故节热率增大，不同气温对应的节热率最小值形成的近似指数曲线，就是没有太阳辐射的时刻；在同一气温下，太阳辐射越大，该时刻的热负荷越小，节热率就越高，故导致相同气温下节热率的变化范围大。(III) 对比两图：虽然莫斯科和开罗气候差异悬殊，但可以看出气候的包容性，即莫斯科较温暖的月份与开罗较寒冷的月份并没有本质的不同，开罗的散点形状可以从莫斯科散点图中看到“影子”。从该图也不难发现，莫斯科全年节热率低的根本原因在于，在室外气温7℃以下的节热率低的时刻多且权重重大，导致其全年节热率接近热负荷大的时刻(6.18%)，而开罗也是趋向于其热负荷大的时刻却高达19%。

4 结论

在外扰内扰和建筑围护结构综合作用下特征温度低于19℃仍需供暖的那些时刻，它们的逐时节热量取决于建筑各外围护结构传热系数、面积及设定温度降低幅度(本文假设1℃)，这些时刻的节热量趋于一个定值，这些时刻定义为温差节热时刻。当建筑围护结构面积相同、温差降幅相同时，温差节热时刻的定值仅与围护结构U值有关，而与气候条件无关。因此建筑U值确定时，温差节热时刻的节热量定义为温差节热常数。当室外气温在20℃~19℃之间时，当设定温度由20℃降低到19℃后，降低设定温度行为本身会导致一些时刻负

荷需求没有了；或是当室外气温低于19℃时，由于辐射得热或内扰行为得热也使室内特征温度介于20℃~19℃之间，设定温度降低到19℃后也会导致一些时刻负荷需求没有了，以上两种情形的这些时刻都定义为行为节热时刻。降低供暖设定温度的节能效果由两类完全不同的时刻决定，一类是温差节热时刻，逐时节热量几乎为常数。另一类时刻为行为节热，逐时节热量介于0与温差节热常数之间。全年节热量由温差节热量和行为节热量构成，而全年累计温差节热量大小与温差节热小时数成正比。

在节能减排、低碳社会主流倡导中，经济与科技高速发展促使建筑类型多样化、人员居住行为多样化，因此片面强调相对节能率高低显然缺乏了科学性，对建筑节能减排的节能机理揭示更能够深刻的反映实际问题，为各地区节能标准制定和居住者行为节能提供参考。

参考文献：

- [1] Wadha Al-Marri, A.A.M.W., An investigation into domestic energy consumption behaviour and public awareness of renewable energy in Qatar. *Sustainable Cities and Society*, 2018(41): p. 639–646.
- [2] Jafarnejad, T., et al., Bi-level energy-efficient occupancy profile optimization integrated with demand-driven control strategy: University building energy saving. *Sustainable Cities and Society*, 2019. 48: p. 101539.
- [3] Song, M., et al., Challenges in, and the development of, building energy saving techniques, illustrated with the example of an air source heat pump. *Thermal Science and Engineering*

Progress, 2019, 10: p. 337–356.

[4] Zanchini, E. and C. Naldi, Energy saving obtainable by applying a commercially available M-cycle evaporative cooling system to the air conditioning of an office building in North Italy. Energy, 2019, 179: p. 975–988.

[5] Huang, J. and K.R. Gurney, The variation of climate change impact on building energy consumption to building type and spatiotemporal scale. Energy, 2016, 111: p. 137–153.

[6] Gaglia, A.G., et al., Energy performance of European residential buildings: Energy use, technical and environmental characteristics of the Greek residential sector – energy conservation and CO₂ reduction. Energy and Buildings, 2019, 183: p. 86–104.

[7] DeForest, N., et al., A comparative energy analysis of three electrochromic glazing technologies in commercial and residential buildings. Applied Energy, 2017, 192: p. 95–109.

[8] Charles, A., W. Maref and C.M. Ouellet-Plamondon, Case study of the upgrade of an existing office building for low energy consumption and low carbon emissions. Energy and Buildings, 2019, 183: p. 151–160.

[9] Facci, A.L., et al., Smart integration of photovoltaic production, heat pump and thermal energy storage in residential applications. Solar Energy, 2019, 192: p. 133–143.

[10] DeForest, N., et al., United States energy and CO₂ savings potential from deployment of near-infrared electrochromic window glazings. Building and Environment, 2015, 89: p. 107–117.

[11] Ghahramani, A., K. Dutta and B. Becerik–Gerber, Energy trade off analysis of optimized daily temperature setpoints. Journal of Building Engineering, 2018, 19: p. 584–591.

[12] ASHREA, ANSI/ASHREA Standard 55–2013, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 2013, Atlanta: GA.

[13] 国家住房和城乡建设部, GB 50736–2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范. 2012, 北京: 中国建筑工业出版社.

[14] 中华人民共和国国务院办公厅, 国务院办公厅关于严格执行公共建筑空调控制标准的通知, 2007.

[15] 朱光俊, 张晓亮与燕达, 空调运行模式对住宅建筑采暖空调能耗的影响. 重庆建筑大学学报, 2006(05): 第 119–121 页.

[16] 于晓谕, 汪明与李尧, 建筑运行能耗仿真方案设计及其影响因素分析. 山东建筑大学学报, 2016, 31(2): 第 148–152, 182 页.

[17] 杨丽红, 夏热冬冷地区居住建筑人行为对能耗影响的研究, 2016, 浙江大学. 第 89 页.

[18] ASHREA, ANSI/ASHREA ASHRAE Standard 169–2013 Weather data for building design standards. 2013, Atlanta: GA.

[19] DOE, U.S.D., <https://www.energy.gov/eere/office-energy-efficiency-renewable-energy>.

[20] ASHRAE, ASHRAE Standard 62.1–2004. 2004, GA: American Society Of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers : Atlanta.

[21] 恩深, 建筑能耗基因理论体系. 机电信息, 2007(19): 第 35–37 页.

[22] Guo, S., et al., Energy saving effect and mechanism of cooling setting temperature increased by 1 ° C for residential buildings in different cities. Energy and Buildings, 2019, 202: p. 109335.



供暖邻室位置对非供暖房间热环境的实验研究

四川大学建筑与环境学院 董琼 沙心奕 杨钊 龙恩深

摘要: 房地产行业的发展导致建筑的入住率不断降低,而房屋空置会对建筑供暖能耗产生影响。为了探究供暖邻室对非供暖房间热环境的影响,本文就建筑中的单个非供暖房间,分析了户间传热的机理,并搭建微缩模型设计实验对于不同供暖邻室位置下房间的热环境进行了探究。总结得到了供暖邻室位置因素对于未供暖房间热环境稳态时影响规律和动态变化过程。发现了上、下、左、右侧邻室分别供暖,均会导致非供暖房间空气温度升高,其中下方邻室供暖对房间影响最大,温升最高;上方邻室供暖时,温升最低。可以为低收入率地区房间供暖的设计和运行、人员行为节能提供参考。

关键词: 供暖邻室位置; 房间温度; 热环境

1 引言

随着我国经济迅速发展,城市化率和居民收入不断提高^[1],房地产行业迅速兴起^[2],建筑总面积不断增加。房地产行业的发展同时也带动了居民买房投资的热情^[3],大量城镇居民选择在城市中心或旅游区域购置多套房屋作为投资^[4-5]。有研究表明^[6],我国超过20%的家庭拥有多套住房,总体住宅空置率高达22.4%,某些大型城市中心城区的住宅空置率甚至高达30%—60%。这一现状远远超过了商品房空置率的5%—10%的合理区间,这代表了在我国社会,大量住宅仅在部分时段有人入住^[3,7-9]。我国建筑能耗不断增加的同时,房间的空置现象也是普遍存在的,而房屋的空置会对建筑供暖能耗产生较大影响。在此背景下,房间实际的热负荷不仅受外部环境和其围护结构的影响,还会受其相邻房间的空调启停情况影响。放大到整个建筑来讲,其热负荷及能耗与住宅的空置情况的密不可分。

目前国内外对于不供暖房间热环境的实验研究相对较少。Michnikowski 实测了某实际建筑中各房间供暖时的耗热量和温度,计算了建筑内不同位置房间之间的传热量,发现了不同位置房间的户间传热量和温差存在较大差异^[10]。Peng Xue 分析了影响户间传热的部分因素,并对建筑进行了实测,发现供暖房间向不同方位房间的传热量存在一定区别^[11]。N.Lukile 等使用 EnergyPlus 软件进行能耗模拟的方法,计算了实际建筑中不同条件下某房间不供暖时与其相邻的各个房间的能耗与户间传热量,发现了其上部和下部的邻室与其之间传热量最大。以上对于实际建筑的测试或模拟结果均说明了不供暖房间在不同位置邻室供暖时,其户间传热量和内部的温度存在较大差异,传热

规律区别较大。但对于实际建筑实测或模拟结果由于受到户型等因素的影响,往往难以针对不同位置供暖时的规律进行量化研究^[12]。

为解决上述问题,本文建立了邻室传热的微缩箱体模型,控制外界条件的稳定,通过实验研究的方法找出供暖邻室位置对于未供暖房间热环境的稳态下的影响和动态变化规律。可以在不供暖房间有人入住时起到少开甚至不开启供暖的效果,进而降低供暖能耗、引导人员行为节能。

2 实验对象与方法

图1中给出了实验平台各箱体的排列布局,图2给出了各箱体的编号和几何参数。实验平台由9个箱体组成,中心箱体2-2为实验中被供暖邻室影响的非



图1 箱体实验平台

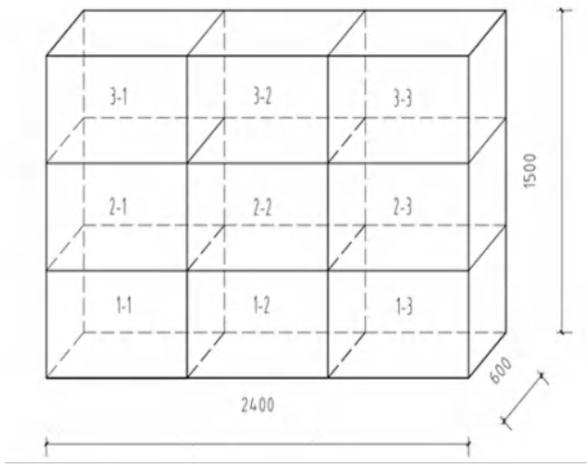


图 2 箱体编号及几何参数

供暖房间，箱体 1-2、2-1、2-3、3-2 为实验中的供暖邻室。对于中心箱体分别在其前、后、左、右、上、下 6 个内壁面和箱体中心区域设置温度测点，并用铝箔固定；对于另外 4 个箱体则仅在其中心区域设置温

度测点，共有 11 个温度测点。温度测点均选用 T 型热电偶，在实验前首先对布置的热电偶进行水浴校准，使各热电偶间的误差维持在 1℃ 以内。箱体材料为厚度为 18mm 的实木颗粒板，并使用铝箔和胶带对缝隙进行密封处理。

实验以中间箱体作为主要研究对象，以其上、下、左、右的四个相邻箱体的供暖位置为变量，对箱体内热环境进行测试。实验中涉及到的主要实验设备有：电阻加热器、热电偶、多通道仪、电力监测仪、电风扇。

3 实验结果

下图 3-6 给出了与中间箱体相邻的四个箱体分别供暖后，箱内空气温度的变化情况。从图中可以看出，不同位置箱体供暖后，供暖箱体的空气温度变化趋势较为相似，但不供暖箱体内气温变化存在较大差异。随着供暖的开启，供暖箱体内部气温呈现出先快后慢的上升趋势，最后均稳定在 50℃ 附近。相较于不供暖箱体而言，供暖箱体空气温度升高更快且最后达

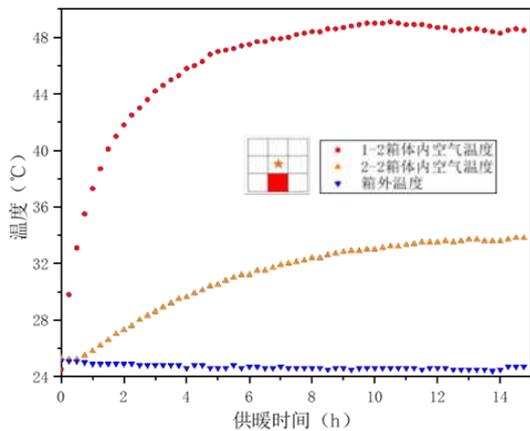


图 3 1-2 箱体供暖各温度变化规律

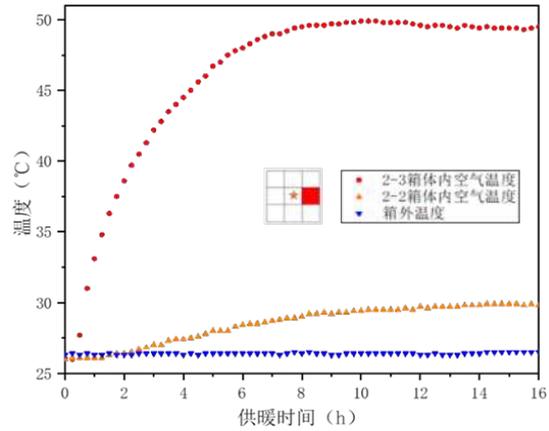


图 4 2-3 箱体供暖各温度变化规律

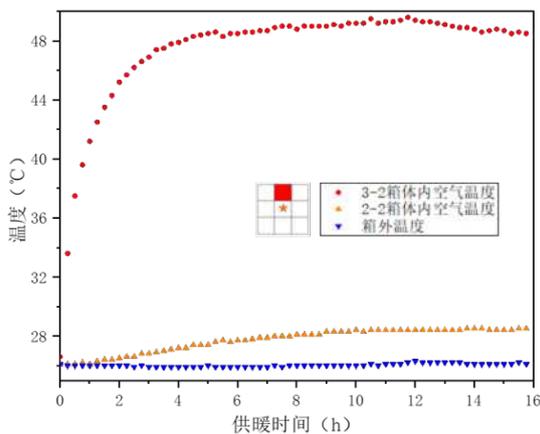


图 5 3-2 箱体供暖各温度变化规律

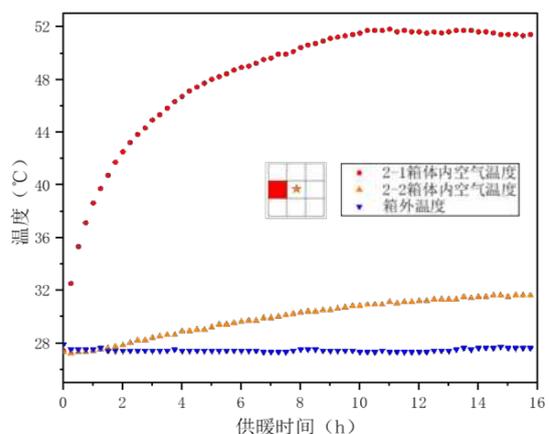


图 6 2-1 箱体供暖各温度变化规律

到的稳定值更大。1-2 箱体约在 8 小时处达到稳定，稳定于 48℃，中间箱体受其影响，空气温度升高 9℃ 左右；2-3 箱体同样在 8 小时左右达到稳定，稳定于 50℃，中间箱体温度升高约 4℃；3-2 箱体在 5 小时处达到稳定，稳定于 48℃，中间箱体温度升高约 2℃；2-1 箱体约在 10 小时处达到稳定，稳定于 52℃，中间箱体温度升高约 5℃。

实验数据可以看出，邻室供暖会对非供暖房间产生明显的影响。其中，正下方房间供暖导致的非供暖房间温升最显著；左右两侧房间供暖带来的影响相近，温升次于下方房间供暖的情况；正上方房间供暖带来的影响最弱。不供暖房间在不同位置邻室下的节能潜力和传热规律均有不同，为了在实际中引导行为节能，还需要进一步对不同位置供暖邻室下，不供暖房间的热环境进行定量分析。

4 讨论

供暖邻室对于未供暖房间热环境的影响主要通过其内部温度较高的空气与未供暖房间进行传热，进而提高未供暖房间内的空气温度和各内表面的温度。其传热过程主要可以分为三部分，首先由于邻室供暖，室内空气温度升高，高温空气与邻室内墙进行对流换热。然后，邻室的内墙表面将会在墙体内部产生导热，使内墙的温度升高，未供暖房间的内墙表面温度也随之升高。最后，较高温度的内墙墙面会与房间空气进行对流换热和与房间内部低温面进行辐射换热，从而使未供暖房间的空气温度和内表面平均温度升高。

讨论邻室供暖房间传热原理后，需要进行定量的计算。定量研究其稳态时与邻室的户间传热量，可以确定供暖邻室的热损失，起到调控设备运行、修正分户热计量的作用。

将实测得到的不供暖箱体稳定时的气温代入传热公式，可以分别计算出邻室与不供暖房间的对流换热量和辐射换热量。图 7 给出了箱体温度达到稳定后，计算得到的各类换热量与供热量的比值。从图中可以看出，对于稳定状态下供暖房间的热损失而言，当上部供暖时，房间的热损失最小，仅约为 16%，下部邻室供暖时房间的热损失最大，可以达到总供热量的 28%，左侧和右侧供暖时的热损失均约为供热量的 18%。同时，图 7 还表现出两种传热方式中，辐射换热量明显更大，因此，我们可以认为，对于不供暖房间的主要传热方式为热辐射。在不供暖房间有人入住时，其内部家具等表面得到的热量更高，内部温度分布相对而言较为均匀，人体的热舒适度是较高的。

通过计算发现，对流和辐射换热量在达到了最

高值后均会出现小幅度的下降。当下部供暖时传热量下降的幅度最大，上部供暖时下降的幅度最小，且下降均约出现于供暖开始的 5—10 小时，在 10 小时后传热量便不再进一步下降。

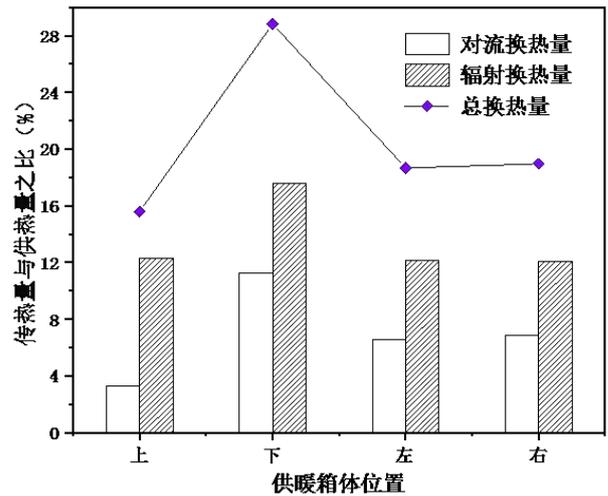


图 7 不同供暖位置下传热量与供热量之比

图 8 展示了不同位置供暖时，户间温差的变化。当上部供暖时，户间温差最大，下部供暖时，户间温差最小，左侧和右侧供暖时，户间温差与上部相差不大但增加速度最慢。当户间温差达到最大值后，会出现小幅度的下降，且下部供暖时下降幅度最大。

图 9 分别给出了不同位置供暖时，户间换热量和户间温差的关系。从图中可以看出，随着户间温差的增加，换热量均呈现增长逐渐变快的趋势，当传热量达到最大时，会随着户间温差的降低而出现一定幅度的降低。由此可以看出，箱内空气和各内表面存在一定热惰性，温度上升需要一定时间。供暖房间温度

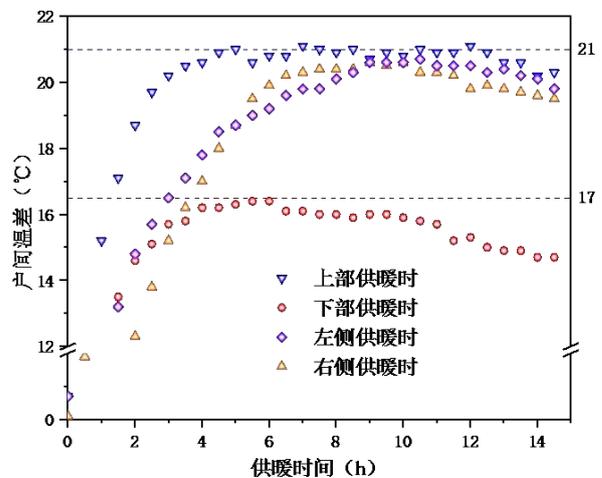


图 8 户间温差变化

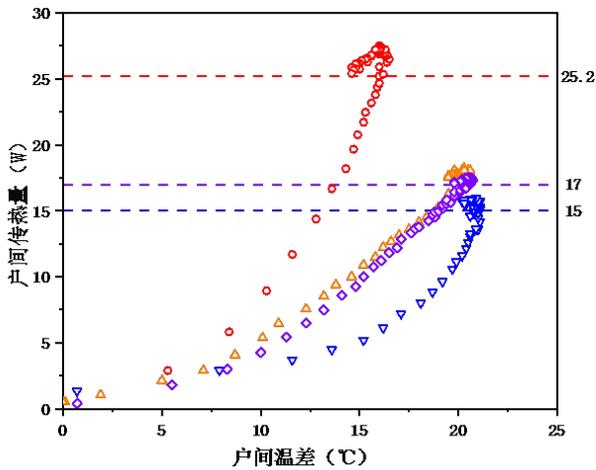


图9 户间传热量随户间温差变化

稳定后,不供暖房间温度的上升反而会使户间温差降低,换热量也会随之降低。温度需要升高的越多,与传热量相比稳定的时间差越大。

通过上文对于不同位置邻室供暖时换热量与户间温差的分析可以看出,在外界条件稳定时,当户间温差低于 5°C ,不同位置邻室与不供暖房间的换热量总体均保持在最大换热量的10%以下,随着户间温差的增大,对流与辐射传热换热量均增加较为迅速。因此当房间有人入住时,如果在户间温差较低的情况下,“偷热量”是较低的,难以起到改善不供暖房间室内热环境的效果,若户间温差高于 5°C 时,则户间传热量会迅速增加,部分时刻可以少开甚至无需开启供暖也可改善房间热环境。而在其无人入住时,由于在开启供暖后5—10小时的传热量最高,其邻室应尽量将供暖时间控制在5小时以内或10小时以上,可以降低其传热损失。与不供暖房间相邻的房间也可以降低自身供暖温度,将其温差控制在 5°C 的较低范围内,从而节约能源减少热损失,且下方邻室的节能效果最好,上方邻室的效果最差。

5 结论

本文为探究供暖邻室位置对不供暖房间内部热环境的影响规律,搭建了微缩箱体实验模型,设计实验对不同供暖邻室位置下的温度和热环境进行了探究并进一步结合实际对实验结果进行了分析,主要发现以下结论:

(1) 分别对无供暖房间的上、下、左、右侧邻室供暖,无供暖房间内空气温度总体变化趋势相似。其中下方邻室供暖对房间影响最大,温升最高;上方邻室供暖时,温升最低;左、右两侧邻室供暖对房间影响接近。

(2) 在户间传热方式中,辐射换热量明显高于对流换热量。在不供暖房间有人入住时,其内部家具等表面得到的热量更高,内部温度分布相对而言较为均匀,人体的热舒适度是较高的。

(3) 在外界条件稳定时,当户间温差低于 5°C ,不同位置邻室与不供暖房间的换热量总体均保持在最大换热量的10%以下,随着户间温差的增大,对流与辐射传热换热量均增加较为迅速。

(4) 不供暖房间无人入住时,开启供暖后5—10小时的时间内传热量最高,对于供暖房间而言应尽量将供暖时间控制在5小时以内或10小时以上,可以降低其传热损失。对于不供暖房间则可以在这时段内适当减小供暖,节约能源。

参考文献

- [1] 仇保兴. 中国城市化进程中的城市规划变革 [M]. 2005.
- [2] 王国军,刘水杏. 房地产业对相关产业的带动效应研究 [J]. 经济研究, 2004(8): 38-47.
- [3] Wright D, Yanotti M B. Home advantage: The preference for local residential real estate investment [J]. Pacific-Basin Finance Journal, 2019, 57: 101167.
- [4] Paramati S R, Roca E. Does tourism drive house prices in the OECD economies? Evidence from augmented mean group estimator [J]. Tourism Management, 2019, 74: 392-395.
- [5] Xu H, Zhou Y. Public housing provision and housing vacancies in Japan [J]. Journal of the Japanese and International Economics, 2019, 53: 101038.
- [6] 曹疆. 空置率之争 [J]. 中国地产市场, 2006(5): 16-21.
- [7] 长沙市中心城区住房空置状况调查研究 [J]. 住宅与房地产, 2018, 506(21): 9+15.
- [8] Yuan S, Xu W. Establishment and validation of a sustainable evaluation model for heat metering technology in China [J]. Energy and Buildings, 2015, 99: 153-161.
- [9] Zhang C, Jia S, Yang R. Housing affordability and housing vacancy in China: The role of income inequality [J]. Journal of Housing Economics, 2016, 33: 4-14.
- [10] Michnikowski P. Allocation of heating costs with consideration to energy transfer from adjacent apartments [J]. Energy & Buildings, 2017, 139: 224-231.
- [11] Xue P, Yang F, Zhang Y, et al. Quantitative study on adjacent room heat transfer: Heating load and influencing factors [J]. Sustainable Cities and Society, 2019, 51: 101720.
- [12] Luki N, Nikoli N, Timotijevi S, et al. Influence of an unheated apartment on the heating consumption of residential building considering current regulations—Case of Serbia [J]. Energy and Buildings, 2017, 155: 16-24.

高低海拔条件下供暖末端表面换热特性对比实验研究

四川大学建筑与环境学院 郭璐瑶 杨涵宇 安从康 龙恩深

摘要: 高寒高海拔地区冬季时间长且平均温度低,为改善该地区建筑居住环境,集中供暖项目急剧上升,而高寒高海拔地区空气稀薄、温度低等气候条件的特殊情况会对散热设备性能造成很大的影响,相较于低海拔的研究而言还存在诸多盲点。本文以低海拔地区成都,高寒高海拔地区的稻城为代表,设计实验对不同海拔地区供暖末端表面换热特性进行研究,分析了高低海拔条件下暖气表面换热特性差异性机理。结果表明:海拔越高对流换热系数越小;相同换热量下,海拔高度升高后对流换热量占比份额将减少,以对流换热形式为主的供暖末端其供暖效果将受到抑制。研究结果可为精准指导高寒高海拔地区供暖项目的主机与末端匹配设计提供参考。

关键词: 高寒高海拔;供暖末端;换热特性;末端匹配

1 引言

高寒高海拔地区冬季时间长,且年平均温度大多在 10°C 以下,虽然人口密度较低,但是所涉及到的地域辽阔,居住人口可达数千万,改善高海拔高寒地区居民的建筑居住环境势在必行^[1]。目前在对该区域供暖系统匹配设计时均基于平原地区现有规范,而高寒高海拔地区空气稀薄、温度低等特殊气候条件将会对散热设备性能造成很大的影响。在满足高寒地区供暖要求的同时做好建筑节能工作,选择合适的供暖末端变得尤为重要^[2]。

散热器是国内外应用最多、最普遍的散热设备^[3],Jian等^[4]以铸铁散热器、钢散热器、铜铝散热器为研究对象,从散热器尺寸和流量等方面研究了不同散热器的加热效果,发现由于结构形式的不同,铜铝散热器的加热性能与铸铁散热器和钢散热器相比并不理想。李翠敏等^[5]利用Fluent软件进行数值模拟,研究了毛细管自然对流散热器的散热规律,得出了设备高度、厚度等结构因素对散热量的影响规律,推导了最优结构因素的计算公式。Ghahfarokhi等^[6]对水平方向和垂直方向放置的散热器设计实验,进行横向和纵向自然对流换热的解析和实验测定,确定合适的经验公式来计算大尺寸散热器的自然对流系数。Lin等^[7]通过测试与调研的方式,比较了辐射供暖末端与对流供暖末端在供暖过程中的热舒适性,研究发现不同供暖末端造成室内温度分布、热舒适性等不同。

不同海拔条件下,散热器的热交换特性将存在一定差异。李毅等^[8]分析并推导了空气密度和大气

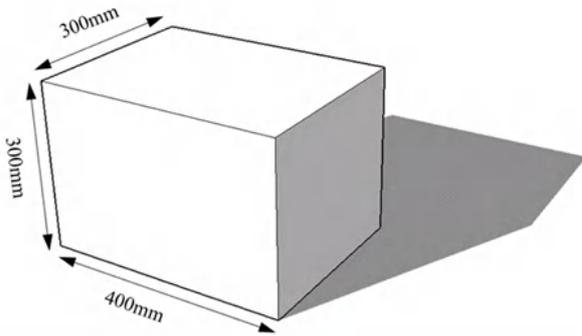
压力随海拔变化的规律,当海拔高度为3000m时,对应散热器的换热能力需提升到平原条件下的1.3倍。郭欣娟^[9]研究分析了海拔高度每升高500米,散热器的传热系数衰减1.5%~2.5%。李倩茹等^[10]指出随着海拔高度的升高,换热系数会减小,若根据风机盘管额定制热量来选择风机盘管,会导致空气侧获得的热量不能满足室内热负荷需求。不难发现,由于海拔不同,空气物性、传热边界条件不同,换热特性差异较大。若在高海拔地区供暖设计时采用常规低海拔地区的规范将造成误差。因此,在高寒高海拔地区的特殊条件下,不同供暖末端室内热环境的形成机理及其与热媒参数耦合后的供暖特性与能耗特征,相较于低海拔地区的研究而言,在研究广度和深度层面都存在诸多盲点,远不能满足高寒地区实际工程需要。

综上所述,学者们对不同供暖末端的热交换特性将极大影响供暖室内热环境及系统能耗特性达成共识。但对于高低海拔地区供暖末端热交换特性差异对比研究还存在很多盲点。鉴于此,本文重点研究了供暖末端散热器在低海拔以及高寒高海拔特殊环境下的供暖特性、参数变化规律,并对高低海拔条件下供暖末端表面换热特性差异性机理展开研究,为高寒高海拔地区实际供暖工程及供暖节能提供参考。

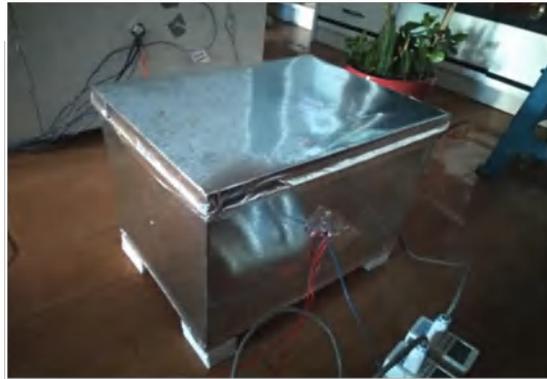
2 实验对象与方法

2.1 实验对象与仪器

为对比高低海拔条件下供暖末端表面换热特



(a) 散热末端模型尺寸参数



(b) 散热末端模型实物图

图1 模型尺寸及实物图

性，分别在低海拔地区的成都（H=500m）和高寒高海拔地区的稻城（H=3750m）进行了实验。实验对象采用定制的金属散热末端模型，其尺寸图及实物图如图1所示。模型长×宽×高为400mm×300mm×300mm，材料及其热物理特性参数的详细信息见表1。实验时为了防止空气渗漏等的影响，模型四周均采用锡纸封住缝隙进行密封处理，同时为了避免模型与地面直接接触带来的影响，底面四角做了垫高处理。

本实验中的主要设备如图2所示，其中100W电加热器放置于供暖末端模型内部，将其整体视为供暖末端散热器；T型热电偶用于测试模型内外壁面温度、内部空气温度和外界环境温度，实验前采用水浴校准的方法对其进行校核，保证所有温度测点的误差不超过0.5℃；多通道数据采集系统与热电偶配套使用，用于记录实验过程中所有温度数据。表2为各实验仪器对应的型号、精度等。

表1 模型箱体基本参数

厚度 (mm)	外表面积 (m ²)	材料密度 (kg/m ³)	材料比热容 (J/kg·K)	材料导热系数 (W/m·K)
0.6	0.66	600	800	48



(a) 100W 电加热器



(b) 多通道数据采集系统



(c) T型热电偶

图2 各实验设备实物图

表2 实验仪器设备型号、量程及精度

仪器名称	仪器型号	量程	精度
电加热器	JRD-100S	—	100W ± 10%
多通道数据采集系统	JTDL-80	-20° C -100° C	± 0.5° C
热电偶	T型	-200~350° C	0.5° C

2.2 实验方法

在散热器 6 个壁面的内外侧中心、散热器内部中央以及周围环境各布置一温度测点，记录从开始供暖到传热到达稳态期间的温度数据，温度测点布置的位置如图 3 所示。实验开始时保证散热器内部空气初始温度、内外表面初始温度和周围环境初始温度基本一致，金属散热末端模型四周均密封良好。当金属散热器末端模型达到稳态传热后，100W 电加热器在散热末端模型内部输入的热量必然与模型向外散热的总热量相等，通过建立金属散热末端模型的热平衡方程，即可分析金属散热末端的换热特性，此实验方法可有效规避散热末端表面热流的测量。

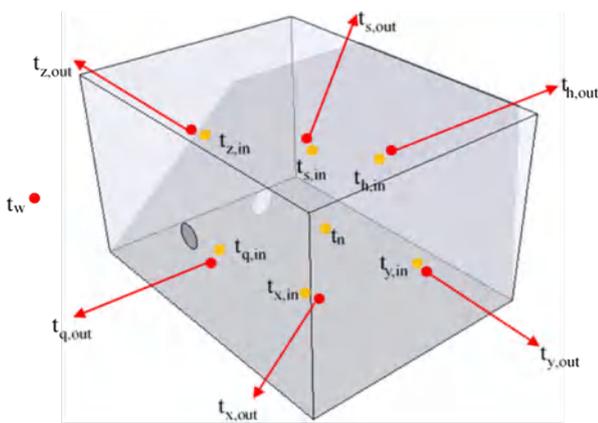


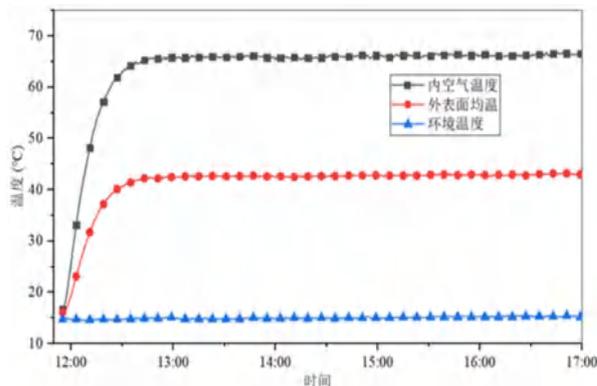
图 3 温度测点布置位置

3 实验结果

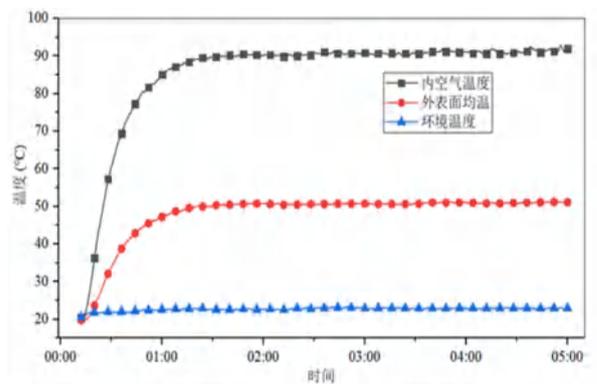
3.1 高低海拔地区实验结果分析

图 4 为低海拔地区（成都 $H=500\text{m}$ ）和高寒高海拔地区（稻城 $H=3750\text{m}$ ）金属散热末端模型各温度测点的实验结果，图中展示的外表面温度为模型 6 个外表面温度测点的平均值。由实验结果可知，在低海拔地区，实验时环境温度基本维持为 15.0°C 左右，金属散热末端内部空气温度最终稳定在 66.4°C 左右，外表面均温最终稳定在 42.8°C 左右。由于供热末端材质为金属，导热系数较大，且材料厚度很小，因此金属散热末端模型内空气温度和外表面积均温达到稳定的时间较快，在 1h 内即可达到稳定。在高海拔实验中环境温度基本维持在 22.5°C 左右，实验期间环境温度略有上升，对金属散热末端模型内空气温度和外表面积均温均有一定影响。金属散热末端模型内部空气温度最终稳定维持在 91°C 左右，外表面

均温最终稳定维持在 50°C 左右。相比于低海拔地区，达到传热稳态所需的时间稍长。



(a) 成都

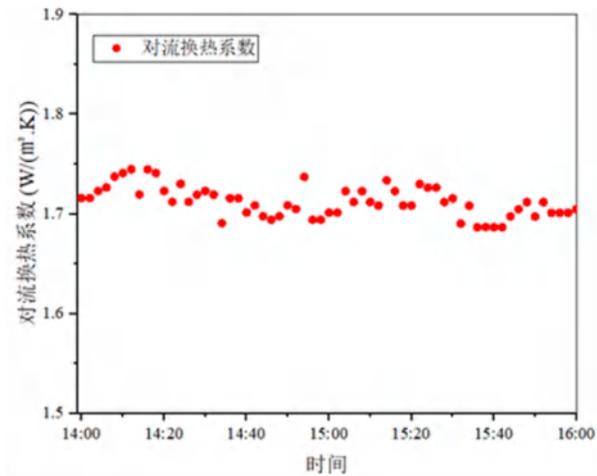


(b) 稻城

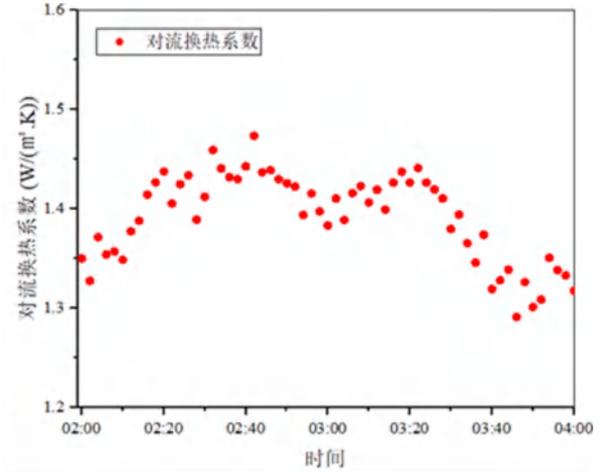
图 4 高低海拔地区金属散热末端模型实验结果

3.2 金属散热末端表面换热特性分析

当金属散热器末端模型达到稳态后，通过建立热平衡方程可以计算出不同地区室内金属散热末端的对流、辐射换热系数。图 5 为高低海拔地区散热末端对流换热系数实验值。可以看出，不同地区的散热末端表面对流换热系数值波动幅度都非常微小，低海拔地区波动幅度不超过 $0.05\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，高海拔地区波动幅度不超过 $0.2\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，较为稳定。可得到低海拔地区的金属散热末端表面平均对流换热系数为 $1.71\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，高寒高海拔地区的金属散热末端表面平均对流换热系数为 $1.37\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ，高寒高海拔地区比低海拔地区低了 19.9%。可见，随着海拔高度的增加，由于空气侧换热能力的衰减，室内金属散热末端表面的对流换热系数有了明显的降低。

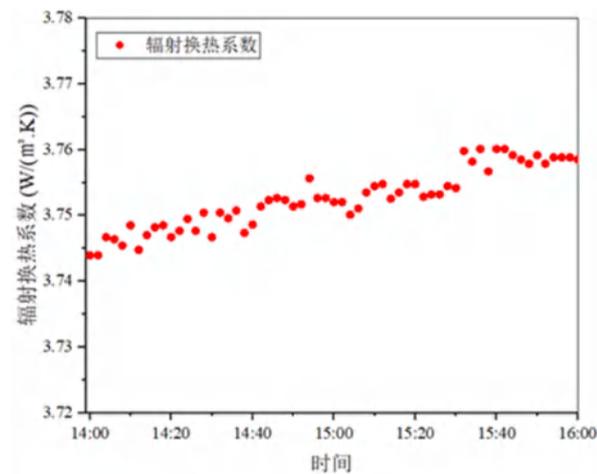


(a) 成都

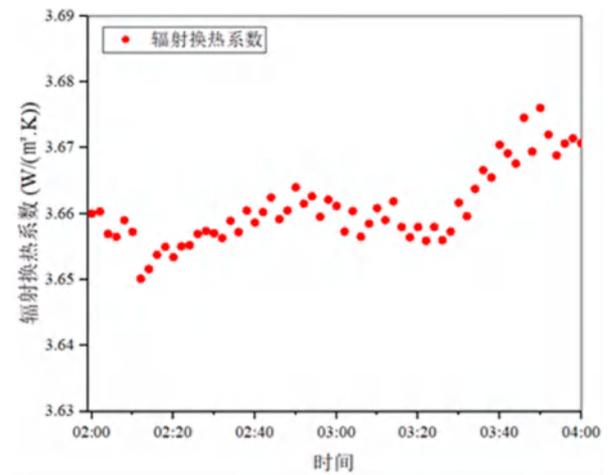


(b) 稻城

图5 散热末端表面对流换热系数



(a) 成都



(b) 稻城

图6 散热末端辐射换热系数

图6分别为为低海拔地区和高寒高海拔地区金属散热末端表面辐射换热系数的变化情况。由图中可以看出，室内金属散热末端辐射换热系数的变化幅度也非常微小，低海拔地区波动幅度不超过 $0.02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，高寒高海拔地区波动幅度不超过 $0.03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，较对流换热系数波动更加稳定。低海拔地区金属散热末端的平均辐射换热系数为 $3.75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，高寒高海拔地区平均辐射换热系数为 $3.66 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，高寒高海拔地区比低海拔地区低了2.4%。可见，对于辐射换热系数，高海拔地区与低海拔地区的差异显然不如对流换热系数明显，这是由于辐射换热系数不受空气介质随海拔高度变化而变化的影响，仅

与散热末端与建筑室内各表面的辐射温度有关，因此高低海拔条件下辐射换热系数的差异性相对不如对流换热系数明显。

根据热平衡方程可以计算出高低海拔地区金属散热末端的对流和辐射换热量。可以得到同一供暖末端在相同换热量下，在低海拔地区对流换热量占比为31.5%左右，辐射换热量占比为68.5%左右，而高寒高海拔地区对流换热量占比为25.4%左右，辐射换热量占比为74.6%左右。可见，对于高寒高海拔地区室内金属散热末端，由于散热表面空气侧的换热能力衰减，对流换热量有了明显减少，因此高寒高海拔地区对流换热量占比较低海拔地区更小。

进一步分析可以发现,若在高寒高海拔地区采用以对流换热方式为主的供暖末端时将会受到较大影响,那么供暖末端对室内供暖的效果将受到抑制。此外,随着海拔高度的增加,由于空气侧换热能力的衰减,高寒高海拔地区室内散热末端的匹配与低海拔地区将存在不同,其显著差别在于空气稀薄供暖末端工质侧与空气侧耦合换热规律的改变将显著影响主机能效和室内环境舒适性以及系统能耗。散热器满足相同供暖热量的情况下,高寒高海拔地区所需匹配的散热面积要高于低海拔地区;同样,若供暖末端采用同一散热器,那么向用户提供相同热量时,高寒高海拔地区则需要更大的散热温差 ΔT ,进而要求提高热媒温度,这将导致供暖主机能效比的降低。因此,对于金属散热末端表面换热特性的研究对精准指导高寒高海拔地区供暖项目的主机与末端匹配设计有着重要意义。

4 结论

为探究高低海拔条件下金属散热器表面换热特性,本文开展了相同金属散热末端在低海拔成都($H=500\text{m}$)和高海拔稻城($H=3750\text{m}$)的换热特性实验研究,建立了金属散热器对流换热的理论模型,对高低海拔条件下散热器表面换热特性差异性机理展开研究,得到的结论如下:

1、受空气密度、气压等影响,对流换热系数会有所下降,由此导致的对流换热量与平原地区会存在差异,不能盲目依赖传统模型设计高海拔高寒地区的供暖系统。

2、由于海拔不同,空气物性、传热边界条件不同,换热特性存在差异。低海拔地区成都的金属散热末端的对流、辐射换热系数分别为为 $1.71\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 和 $3.75\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$,而位于高海拔地区的稻城而言,金属散热末端的对流、辐射换热系数分别为 $1.37\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 和 $3.66\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。随着海拔高度的增加,由于空气侧换热能力的衰减,室内金属散热末端表面的对流换热系数有了明显的降低。

3、相同换热量下,成都、稻城地区的对流换热量占比分别为 31.5% 和 25.4% 。随着海拔高度的升高以对流形式交换的热量将降低,对流换热量的占比减少。海拔越高,以对流换热形式为主的供暖末端其供暖效果将受到抑制。

4、相同温差下,为满足不同海拔地区供暖时热量相同,则高海拔地区供暖末端相应面积更大;相同温差下,若采用相同供暖末端,在高海拔地区使用时则供热量将减少,不能满足设计要求,相应地

室内热舒适性也得不到保障。

参考文献

- [1] 冯雅. 西藏高原采暖自然能源的利用:2005 西南地区暖通空调热动力年会 [C], 中国重庆, 2005.
- [2] 高智杰. 夏热冬冷地区不同采暖末端的供热特性及调控规律研究 [D]. 西安建筑科技大学, 2013.
- [3] 邹平华. 供热工程(上册供暖工程) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [4] JIAN Y, YU Z, LIU Z, et al. Simulation Study of Impacts of Radiator Selection on Indoor Thermal Environment and Energy Consumption[J]. Procedia Engineering, 2016,146: 466-472.
- [5] HU F, HU W, LI D, et al. Simulation and Analysis of Air Source Heat Pump Used in Different Heating Terminal of Beijing Rural House[J]. Procedia Engineering, 2017,205: 397-404.
- [6] GHAFHAROKHI P S, KALLASTE A, VAIMANN T, et al. Determination of natural convection heat transfer coefficient over the fin side of a coil system[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2018,126: 677-682.
- [7] LIN B, WANG Z, SUN H, et al. Evaluation and comparison of thermal comfort of convective and radiant heating terminals in office buildings[J]. Building and Environment, 2016,106: 91-102.
- [8] 李毅, 李远才, 刘景平. 高原车用散热器的传热计算 [J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2009,37(09): 90-93.
- [9] 郭欣娟. 高海拔寒冷地区采暖散热器散热性能研究 [D]. 重庆大学, 2014.
- [10] 李倩茹, 夏洪涛, 李永财, 等. 高原寒冷地区候机楼供暖方式适应性研究 [J]. 制冷与空调(四川), 2018,32(04): 391-399.



基于 BIM 精细化建模与传统简单建模的 建筑外部风场 CFD 模拟对比研究*

合肥工业大学 徐福锁 杨渐志 沈致和 张爱凤 刘向华

摘要: 一个好的建筑外部风环境,既能改善建筑周边微气候,也能加强室内自然通风降低能源消耗,绿色建筑评估体系标准中都将建筑室外风环境列为重要评估指标。随着 BIM 技术的不断发展,将 BIM 模型直接转化应用到 CFD 中,一方面提高了方案设计准确性,另一方面大大减少了方案模型的绘制和修改所需时间。本研究提出一种基于 BIM-CFD 技术的室外风环境模拟流程,利用 BIM 软件建模对已有高层建筑科教楼进行建筑外部风场 CFD 模拟,并分析了 BIM 建筑模型和简单建筑模型 CFD 模拟结果的差异性。BIM 精细化建筑模型的 CFD 模拟结果能够展现建筑周围流场的更多细节,如涡旋区等,能够帮助绿色建筑评估人员做出更合理的判断。

关键词: BIM 建模 建筑外部风场 CFD 模拟 绿色建筑评估

0 引言

建筑业作为我国长期以来的支柱型产业快速发展,促进经济增长的同时也伴随着出现能源消耗、资源破坏和环境污染等问题。这些问题得到了国家的高度重视,相继出台一系列关于建筑业资源的可持续利用和环境保护的标准和条例,着重大力发展绿色建筑。绿色建筑是指提倡使用新材料、新技术、新工艺、新方法,建造低能耗、低污染、绿色环保的生活环境,达到人、建筑、环境协调统一。绿色建筑评价是指通过一系列标准化措施和评价流程对建筑的绿色环保情况进行评估,以实现绿色建筑目标。然而,目前绿色建筑评价需要大量的图纸信息以及过程资料,具有评估周期长、内容多、评价条文复杂等特点,影响绿色建筑评价的普及应用。近年来,伴随信息科技的持续进步,BIM (Building Information Model) 随之出现,其核心在于信息化,它的最终目标是创建建筑全生命周期的核心数据库,实现信息整合和再造,减少实际工程中的错误,以及信息传递的丢失和回流现象,从而提高建筑生成、运营的效率。BIM 可为绿色建筑评价提供良好平台,因此,大力发展 BIM 技术在绿色建筑评价中的应用,对我国建筑业信息化、绿色化的转型升级具有重要意义。

室外风环境是绿色建筑室外环境的重要组成部分。建筑外部风场对于建筑内、外环境都有重要影响。对于建筑外环境而言,在建筑局部形成强风会使行

人举步维艰或卷刮物体对人员、财产造成伤害,若形成涡旋区或无风区也会造成垃圾堆积或污染物无法扩散等,给行人或在建筑周边休息的人带来不适。建筑外环境会通过围护结构直接影响建筑内环境,从而影响室内人员舒适感。对于一个良好的建筑外环境而言,既能够保证室外近地人员活动区域风速适宜和改善建筑周边微气候,也能加强自然通风,从而降低建筑能源消耗和提高室内空气品质。

对于建筑室外风环境的研究通常采用 CFD 模拟或风洞实验的方法。CFD 是流体力学的一个分支,用于分析和解决涉及流体流动的问题,已经应用于建筑、城市规划、机械和环境工程等多个领域,目前已有研究者对建筑内、外风场的 CFD 模拟结果的准确性进行了验证^[1-3]。R.Yoshie 等人^[4]以及 Hu 和 Wang^[5]研究了影响建筑物周围流场分析模拟结果的因素,包括 CFD 计算条件、区域大小、网格密度和湍流模型,并提出了 CFD 边界条件的适当值,以确保获得合理的模拟结果。S. Liu 和 W. Pan 等人^[2]提出了建筑风场模拟的全尺度模型,使用 BIM 建模和 CFD 模拟方法模拟目标建筑周围风场,并验证了当目标建筑周围以建筑高度 3 倍建模,其他部分采用等效沙粒粗糙度高度 k_s 和粗糙常数 C_s 给定值时能够得到准确的建筑周边风场信息。A.U.Weerasuriy 等人^[6]以香港某高层民用建筑为例,通过使用 BIM 建模及 CFD 模拟为高层民用建筑提供了相应的建筑通风方案以降低建筑能源消耗。Lee 和 Song^[7]研究了风场预测对于建筑设计早期的重要性,根据实验结果建议近建筑区域网格尺寸取 5m 以尽量减少计算时间,此时能够在设计阶段获得合理数据。庄智等人^[8]

基金项目: * 国家自然科学基金资助 (11947012)

对国内外建筑群风环境模拟技术相关的文献展开了广泛调研,归纳总结了目前建筑风环境模拟技术在问题简化、计算模型、网格处理、边界设置、方程求解的、模拟工具选择等方面已有的研究成果,为建筑外部风场模拟、绿色建筑咨询提供了指导意见。

我国《民用建筑绿色性能计算标准》(JGJ/T 449-2018)^[9]中提到,在进行较大尺度风环境 CFD 模拟的过程中,建筑数量往往较多、形状和分布不规则、表面凹凸不平,若在建模时完全再现实际情况,则工作量太大,标准给出了建筑部位简化标准。随着 BIM 技术的快速发展和地方政府对 BIM 技术的大力支持,目前许多设计院都成立了 BIM 技术部门。在 CFD 模拟的前处理过程中,可直接采用已有的 BIM 模型,并通过其他 CAD 软件与 CFD 软件实现对接。将 BIM 模型直接转化应用到 CFD 中,一方面提高了方案设计准确性,另一方面大大减少了方案模型的绘制和修改所需时间。本文以合肥工业大学科教楼室外风环境为研究对象,提出基

于 BIM-CFD 技术的室外风环境模拟流程,并对基于 BIM 精细化建模和传统简化建模的结果进行对比研究。

1 研究方法

本文提出一种提出基于 BIM-CFD 技术的室外风环境模拟流程,如图 1 所示。使用 Revit 进行 BIM 建模后导出 dwg 文件格式,以 SpaceClaim (SCDM) 为中间软件进行外流场创建后导出 scdoc 格式文件,将几何文件导入 Fluent Meshing 软件中进行网格划分,最后使用 Fluent 进行求解计算。

为提高人行区域内风环境的舒适性,绿色建筑评估体系标准中都将建筑风环境列为重要的评估指标,本文将结合《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378-2019)^[10]分析科教楼外部风场状况。通过 BIM 精细化建模和传统简单建模两种几何建模方式进行科教楼外部风场 CFD 模拟,分析对比两种建模 CFD 模拟结果建筑外部风场的差异性。

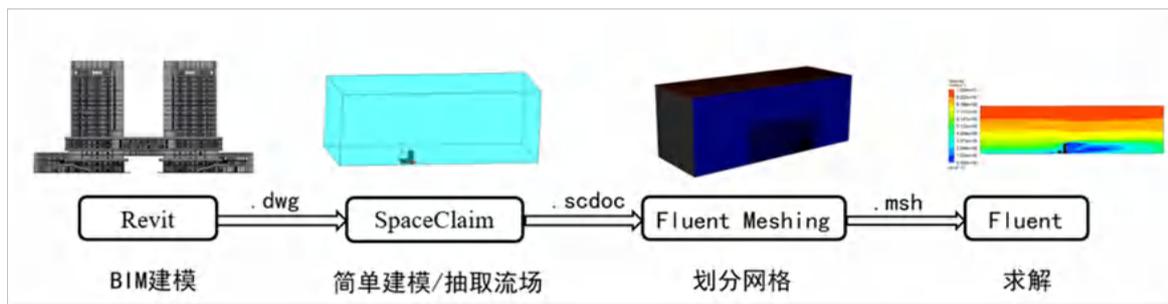


图 1 基于 BIM-CFD 技术的室外风环境模拟流程

1.1 几何建模

科教楼坐落于安徽省合肥市蜀山区丹霞路 485 号合肥工业大学翡翠湖校区内,地上 19 层,地下 1 层,总建筑面积 86173 平方米,主要用于科研办公、学术会议、创新创业等活动。本研究采用 Revit2018 进行 BIM 建模,建筑资料数据依据合肥工业大学建筑设计研究院提供的翡翠科教楼 CAD 图纸。

为了节约计算资源和减少几何模型导入发生错误,应该对建筑外部风场模拟无影响或影响微小的几何构造处进行适当简化。在经过多次网格划分和 Fluent 尝试求解后,忽略建筑室外的小台阶、散水构造。由于门、窗构造复杂,在划分网格时,在近建筑外表面区域网格数量会大量增长,但其对建筑外部风场影响微小,故将门、窗简化为墙体结构。由于科教楼建筑外部构造复杂,存在一些小于 10CM 的狭缝处,将这些狭缝进行实体填充处理。

根据《民用建筑绿色性能计算标准》(JGJ/T 449-2018)^[9]中建筑外部风场 CFD 模拟建筑简化标准,以科教楼建筑外部结构墙面为边界进行了简单建模。BIM 建模模型、SCDM 处理后的模型及简单建模模型如图 2 所示。

1.2 求解域和边界条件

《民用建筑绿色性能计算标准》^[9]中建议,建筑(群)顶部至计算域上边界的垂直高度应大于 5H (H 为目标建筑物高度),建筑(群)的外缘至水平方向的计算域边界的距离应大于 5H,与主流方向正交的计算断面大小的阻塞率应小于 3%。德国工程师协会 VDI^[11]定义阻塞率为流动方向的建筑投影面积与计算域的自由截面之比。流入侧边界至建筑(群)外缘的水平距离应大于 5H,流出侧边界至建筑(群)外缘的水平距离应大于 10H。Hu 和 Wang^[5]建议将最小区域大小确定为目标建筑 x 轴长度的 5 倍、y 轴

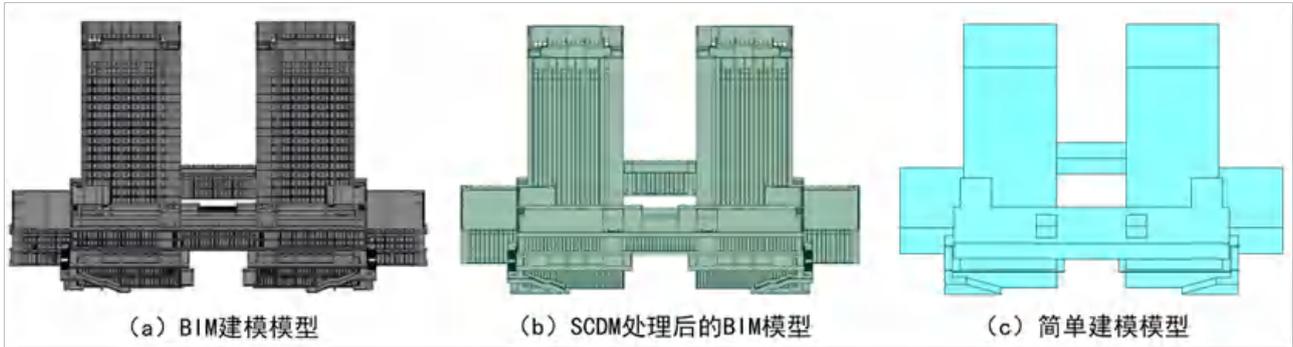


图 2 几何模型

宽度的 3 倍和 z 轴高度的 5 倍。

综合规范标准和参考文献建议，本研究选取来流方向计算域边界距建筑前缘 5H，出口边界距建筑后缘 12H，顶部边界距建筑上缘 5H，侧边界距建筑边缘 5H。因建筑为左右对称结构，为节省计算资源，选取一半建筑为模拟对象，计算域示意图见图 3。

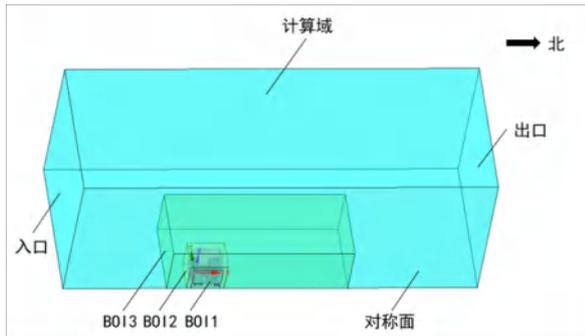


图 3 计算区域

程海峰等人^[12]分析了合肥市从 1973 年至 2014 年，42 年间的风速风向数据，本研究选取统计数据中合肥市夏季南风向数据，参照高度 10m 处风速大小为 3.28m/s，最多风向频率为 8.66%。参考 S. Liu 和 W. Pan^[2]、黄滢^[13]、杨伟和顾明^[13]对于建筑外风场来流入口风速、湍动能及湍流耗散率的定义方法，并结合本研究实际情况，本研究采用公式 (1)、公式 (2) 及公式 (3) 对来流入口进行定义，采用自编 UDF 与 ANSYS Fluent 实现对接：

$$U_z = U_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad (1)$$

上式中， U_z 为高度 z 处风速， U_r 为参照高度 $z_r=10\text{m}$ 处风速，根据张相庭^[14]的研究结果，地面粗糙度指数 α 取 0.3。

$$k_z = U_L^{*2} / \sqrt{C_\mu} \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = U_L^{*3} / k(z + z_0) \quad (3)$$

其中， k_z 为高度 z 处湍动能， C_μ 为常数 0.09； ε_z 为高度 z 处湍流耗散率，k 为玻尔兹曼常数取 0.4，粗糙度 z_0 取 1m。 U_L^* 为大气边界层摩擦速度，由公式 (4) 计算得出：

$$U_L^* = kU_r / \ln((z_r + z_0)/z_0) \quad (4)$$

在本文中将来流入口边界设定为速度进口边界条件，对称面、侧面及顶面为对称边界条件，将科教楼壁面、下地面为固壁边界条件，下游出口为出流边界条件。

1.3 网格和数值解法

本文采用 ANSYS Fluent Meshing 生成网格，由于建筑表面结构复杂，并结合网格数量综合考虑采用多面体 (Poly) 网格。在 ANSYS Fluent Meshing 中采用 3 个 BOI 对局部网格进行控制，如图 3 所示。考虑计算资源及模拟结果的准确性，在固壁边界生成 5 层边界层。其中，为使 $y+$ 值满足在 300 以内，地面第一层边界层高度控制为 50mm，科教楼壁面第一层边界层高度控制为 20mm。经网格独立性验证，BIM 建模模型采用 808 万网格数量，简单建模模型采用 150 万网格数量。

本文采用 SIMPLE 数值解法进行建筑外部风场稳态模拟，其广泛应用于速度压力耦合状态下 RANS 方程的求解，湍流模型采用 Realizable k- ε 模型和标准壁面函数，对流项和粘性项均采用二阶迎风格式。为达到合理精度并满足工程要求，将残差控制设为 10⁻⁴，同时需要满足质量守恒和动量守恒，流场中具有代表性监测点的值不发生变化或沿某固定值上下波动作为收敛判据^[15]。

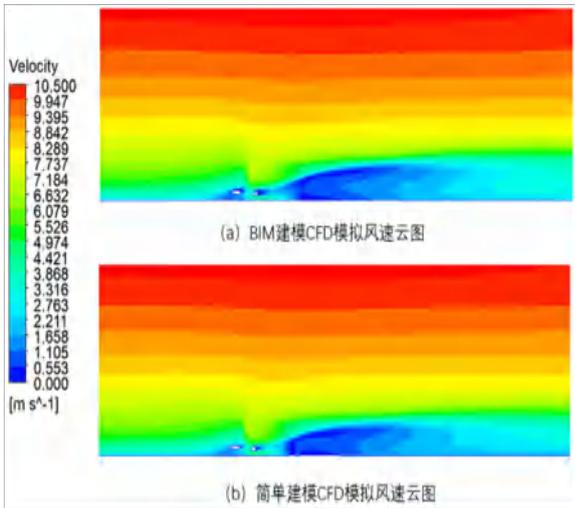


图 4 对称面处 CFD 模拟风速云图

2 结果讨论

图 4 为对称面处速度分布云图，分析得出，由于 BIM 建筑模型保留了建筑外部复杂的带状装饰结构，而简单建筑模型为平整的墙面，所以 BIM 建筑模型周围空气流扰动较大，建筑后方的尾流长度较长。并且由于上述原因，导致 BIM 建筑模型近结构表面的空气低流速区域更多，如图 5 所示。图 6 为地面上 1.5 米处风速云图，其中 BIM 建筑模型外围较远处的绕流空气流速度更大，速度大于 3.395m/s 的区域约为简单建模模型的 2 倍。图 7 为地面上 100 米处风速云图，即科教楼上方 12.2m 处，BIM 建筑模型尾流中心区的速度小于简单建筑模型尾流中心区的速度，且速度小于 2.545m/s 的区域占比远大于简单建筑模型。

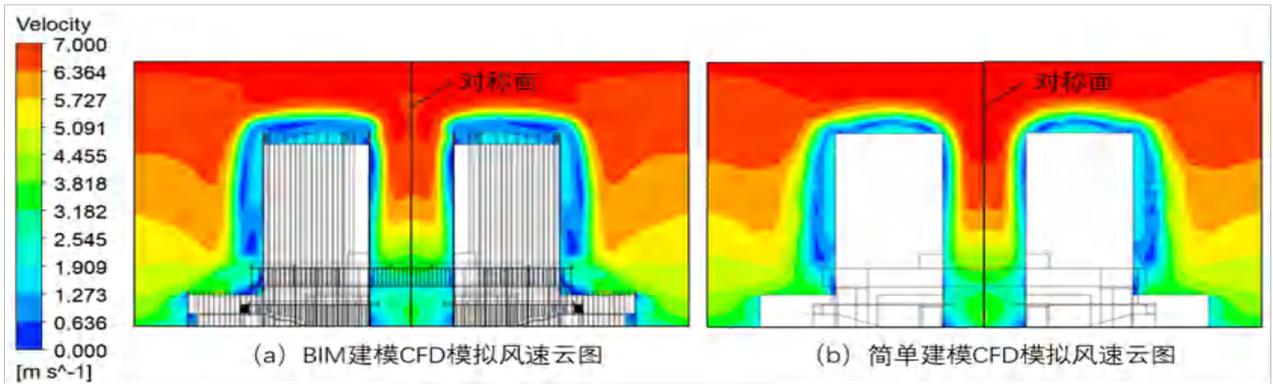


图 5 科教楼高层建筑周围风速云图

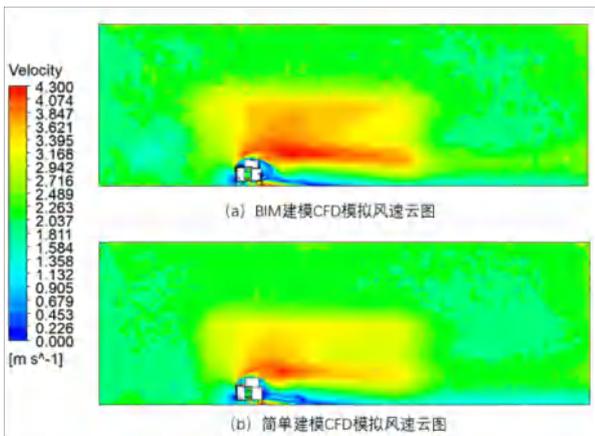


图 6 地面上 1.5 米处风速云图

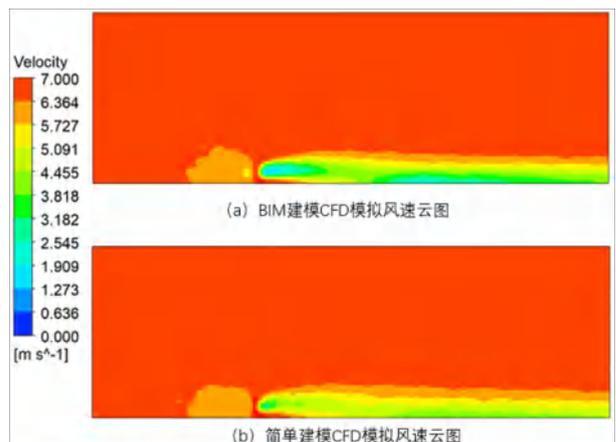


图 7 地面上 100 米处风速云图

根据《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378-2019)^[10]中规定，活动区不出现涡旋或无风区是绿色建筑评价内容的加分项。由图 8、图 9 分析得出，由于科教楼高层迎风面形成下冲风和科教楼矮层部分的阻

挡作用，致使高层和矮层中间区域形成大的涡旋区，会使活动人员产生不适或发生危险。简单建筑模型忽略了楼顶的女儿墙，致使 BIM 建筑模型屋面存在明显的涡旋区，而简单建筑模型楼顶的涡旋区不存

在或不明显。因此当采用简单建筑模型时，在上人屋面或屋顶花园处，工程人员不能有效的分析出合理的风场并采取相关措施，绿色建筑评估也不能做出正确评价。

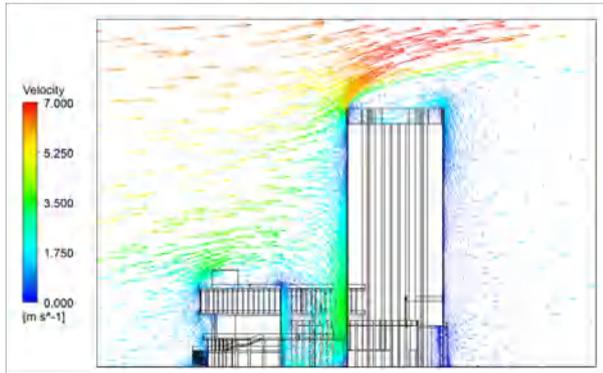


图 8 BIM 模型风速矢量图

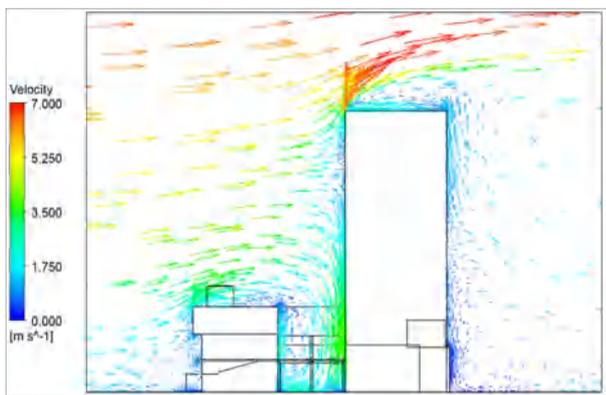


图 9 简单模型风速矢量图

3. 结论

本文中提出了基于 BIM-CFD 技术的建筑外部风场模拟，研究了 BIM 建模与简单建模方式建筑外部风场 CFD 模拟结果的差异。与简单建筑模型相比，由于 BIM 建筑模型详细考虑了真实外表面（存在较多的带状装饰结构条），其近结构表面低流速区域更多。对低层区域而言，BIM 建筑模型外围较远处侧边风场高速区域的占比更大；对于高于目标建筑的上空区域，BIM 建筑模型周围空气流速会小于简单建筑模型周围的空气流速。

结合《绿色建筑评价标准》(GB/T 50378-2019)^[10]分析，BIM 建筑模型 CFD 模拟结果能够展现更清晰的展现建筑周围存在的涡旋区，能够帮助绿色建筑评估人员做出更合理的判断，为运营维护人员提供更合理的建议。同时 BIM 技术的应用也是绿色建筑

评价体系中的加分项，因此利用 BIM-CFD 技术能够更合理的帮助目标建筑进行绿色建筑评估。

参考文献

- [1] Kwok H, Cheng J, Li A, et al. Multi-zone indoor CFD under limited information: An approach coupling solar analysis and BIM for improved accuracy[J]. Journal of Cleaner Production, 2020,(244)
- [2] Sumei Liu, Wuxuan Pan, Xingwang Zhao, et al. Influence of surrounding buildings on wind flow around a building predicted by CFD simulations[J]. Building and Environment, 2018, (140): 1-10
- [3] 杨伟, 顾明. 高层建筑三维定常风场数值模拟[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2003, 6(31): 647-651
- [4] Yoshie R, Mochida A, Tominaga Y, et al. Cooperative project for CFD prediction of pedestrian wind environment in the Architectural Institute of Japan[C]// 4th European and African Conference on Wind Engineering, 2007:7
- [5] Cheng Huhu, Wang Fan. Using a CFD approach for the study of street-level winds in a built-up area[J]. Building and Environment, 2005, 5 (40): 617-631.
- [6] Weerasuriya A U, Zhang Xueli, Gan V, et al. A holistic framework to utilize natural ventilation to optimize energy performance of residential high-rise buildings[J]. Building and Environment, 2019, (153): 218-232
- [7] Lee S, Song D. Prediction and evaluation method of wind environment in the early design stage using BIM-based CFD simulation[C]// IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2010:7
- [8] 庄智, 余元波, 叶海, 等. 建筑室外风环境 CFD 模拟技术研究现状[J]. 建筑科学, 2014, 2(30): 108-114
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 449-2018. 民用建筑绿色性能计算标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018
- [10] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T 50378-2019. 绿色建筑评价标准[S]. 中国建筑工业出版社. 北京, 2019
- [11] VDI 3783 Part9: Environmental meteorology-Prognostic microscale wind field models-Evaluation for flow around buildings and obstacles[M]. Berlin: Beuth Verlag, 2005.
- [12] 程海峰, 谢宗标, 胡丽丽, 等. 合肥市风频风速的分布特征[J]. 住宅与房地产, 2017, 6: 205-207.
- [13] 黄滢. 基于 FLUENT 软件的建筑风场数值模拟[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005
- [14] 张相庭. 风工程中地貌分类与地面粗糙度指数的研究与应用[J]. 建筑科学, 2000, 6(16): 15-17
- [15] 李魁山, 王峰, 赵彤, 等. 城市超高层建筑群人行区风环境舒适性研究[J]. 绿色建筑, 2012, 5(4): 16-18

征文通知

会议 + 征文 | 2021 年第六届全国净化技术学术年会

2020 年新冠疫情爆发，医疗卫生、疫苗制药、生物安全、健康建筑的需求升级为净化行业发展带来新的机遇与挑战。为促进净化领域科研成果与技术交流，兹定于 2021 年 8 月 13-15 日在江苏省南京市召开“第六届全国净化技术学术年会”，本届年会主题为“后疫情和节能净化”。欢迎从事本领域的各界人士及相关专家、学者、技术人员投稿并参会。现将相关事项说明如下：

一、会议主题

后疫情和节能净化

二、会议议题及征文内容

- 洁净空调及相关设备
- 空气净化技术进展与相关净化装置
- 医疗体系与医疗环境控制
- 生物净化与实验室环境控制
- 人居环境与空气净化
- 工业净化用房与相关受控环境控制
- 建筑疫情防控技术
- 净化与节能 等

三、征文时间及要求

1. 截止日期：请于 2021 年 7 月 25 日前将论文全文发至 hvac1239@163.com。
2. 投稿格式：Word 格式，标题二号宋体加粗，题目下为单位和作者署名（占一行，用四号楷体，居中排），正文五号宋体。
3. 投稿要求：具有先进性、科学性、实用性，观点明确、论证充分，文责自负。作者个人简介及通讯地址、联系电话、电子邮箱等。

四、会议安排

会议时间：2021 年 8 月 13-15 日

会议地点：南京紫金山庄（南京市玄武区环陵路 18 号）

五、年会筹备组

负责人：王东青 139 0101 7552 刘燕敏 139 0185 4100

联系人：李 炜 136 8155 5746 何远嘉 186 1178 6335

张彦国 136 0111 3004 曹国庆 134 0107 8967

McQuay MAGNETIC BEARING CENTRIFUGAL CHILLER

磁来运转 WXE

磁悬浮无油变频离心式冷水机组

磁悬浮，McQuay从推出到推陈出新

通过美国AHRI认证
采用先进磁轴承技术
稀土永磁同步电机
磁轴承喘振保护和过热度保护
内螺纹外翅片高效换热管
突然断电保护
自动在线清洗（选装）



瑞士皓欧

数据中心间接蒸发冷却机组/换热芯体

Hoval



皓欧东方（北京）供热技术有限公司

010-64636878

www.hoval.com.cn

