

建筑环境 能源

Building Environment & Energy

2022
5

月刊
总第 54 期

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 |
中国建研院与中国中铁签署战略合作协议
中国建研院与中国绿发签署战略合作协议
环能科技与中国标准化研究院联合举办“领跑者”团体标准宣贯培训会
- 23 | 热点聚焦 | Spotlight |
暖通大讲堂第 27 期专题讲座——
《探讨封控小区内新冠病毒隐匿性传播》
- 39 | 案例赏析 | Cases |
某人防地下室通风设计实际案例分析
南京高校教室秋季室内空气质量测试与分析



建筑环境与能源微信公众号

LET THE BUILDING BREATHE FREELY / 让建筑自由呼吸



麦克维尔官方微信 麦克维尔官方网站

McQuay
International

四季新风 除湿倾心

阿尔卑斯山，世界最后的净土，终年白雪皑皑，年均AQI指数不大于35，常年空气质量排名全世界第一。

麦克维尔全新的除湿新风机HRB系列，恒温除湿祛潮，拒绝回南天，全方位呵护空气质量，

如同把阿尔卑斯山最纯净空气带到您家里，营造纯净之境，超乎想象！



全新升级

创新冷凝热回收，舒适节能；双侧独立风道，隔绝污染



健康清新

新风预处理/内循环双重送风，还原大自然般的清新感受



恒温除湿

新增除湿功能，温湿平衡的热交换器设计“除湿不降温”



净化过滤

采用H12高效HEPA滤网，对极细颗粒物过滤效率 > 99.9%

双碳目标下 近零能耗建筑备受关注

降碳大势下，近零能耗建筑因“建筑产能近乎与建筑能耗平衡”而备受关注。

中国建筑科学研究院建筑环境与能源研究院院长徐伟指出，通过被动式技术手段，近零能耗建筑可最大程度降低建筑供暖供冷需求，减少建筑运行碳排放。相关统计显示，截至目前，在新建及建成的近零能耗建筑面积已超 1200 万平方米。住房和城乡建设部原一级巡视员倪洪波表示，当前，近零能耗建筑已具备大规模推广应用条件，预计 2030 年，近零能耗建筑将迎来全面爆发期，成为建筑节能降碳的有力支撑。

根据中国建筑节能协会、重庆大学联合发布的《2021 中国建筑能耗与碳排放研究报告：省级建筑碳达峰形势评估》，2019 年，我国建筑全过程能耗总量为 22.33 亿吨标准煤；建筑全过程碳排放总量为 49.97 亿吨二氧化碳，占全国碳排放的比重为 49.97%。值得注意的是，在未来十年内，我国建筑能耗总量及建筑全过程碳排放量仍会持续攀升。“初步预测，到 2030 年，我国人均住房建筑面积将达到 38.8~39.8 平方米，城镇住房存量将达到 395~405 亿平方米。若依靠现有建筑节能政策标准与技术，建筑领域碳达峰时间预计将在 2038 年，明显滞后于全国碳排放总量达峰时间，建筑行业节能减碳挑战空前巨大。

“大力发展近零能耗建筑是着力解决建筑领域节能降碳的关键技术之一。”在中国建筑节能协会副会长李德英看来，近零能耗建筑可通过被动式建筑设计和技术手段最大程度降低建筑供暖、空调、照明需求，通过主动技术大幅提高能源设备与系统效率，使建筑自身产能与建筑用能近乎平衡，最大程度减少建筑运行期间能耗。

根据中国建筑科学研究院最新发布的数据，近零能耗公共建筑运行阶段碳排放较基准建筑可下降 55.4%，建筑阶段能耗水平较国家标准和行业标准建筑降低 60% 以上。在大力发展近零能耗建筑、推动现有建筑节能技术改造及全面推广可再生能源建筑的基础上，我国建筑领域有望在 2030 年实现碳达峰，且碳达峰峰值有望从 31.5 亿吨降至 26 亿吨。

未来将规模化推广近零能耗建筑，仍需进一步提升建筑中可再生能源应用比例。一方面，建筑应用可再生能源尚存巨大潜力空间。另一方面，在大比例应用光伏的情况下，建筑运行碳排放相较基准建筑下降 68.5%。”徐伟表示，应用可再生能源技术措施是降低建筑运行碳排放的直接手段。

“在现有建筑节能标准稳步提升的前提下，若新增建筑可再生能源利用面积达到 2 亿平方米，我国建筑领域碳达峰时间有望提前到 2027 年。下一步，新建建筑规模化发展和可再生能源建筑应用的增加，仍需进一步研究建筑光伏建筑一体化与多能互补的融合解决方案，制定太阳能清洁供能及冷热电联产综合解决方案，进一步加强建筑节能，在有条件的地区率先推行近零能耗建筑，最终实现建筑零能耗。

本刊编辑部



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
2022年第5期(总第54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 何远嘉
美 编 才 隽
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



建筑环境与能源公众号



CAHVAC 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 |

中国建研院与中国中铁签署战略合作协议
中国建研院与中国绿发签署战略合作协议
环能科技与中国标准化研究院联合举办“领跑者”团体标准宣贯培训会

08 | 行业新闻 | Industry News |

2022年北方地区冬季清洁取暖项目25个城市名单公示
国家电力可靠性管理办法6月1日起施行
北京民用建筑能耗指标公开征求意见
北京城市副中心正着力构建绿色建筑示范
重塑光伏产业发展格局
今年一季度国家太阳能发电增长10.3%
2025年北京副中心超低能耗建筑规模将达100万m²
辽宁省公共机构新增供热制冷优先使用热泵技术
呼和浩特市武川“十四五”煤改电工程采用热泵等取暖
河北扎实做好2022年城市供热准备工作
山东省推广电蓄冷空调、蓄热电锅炉应用
江苏省推动空气能等新能源在城乡建筑中的综合利用
浙江嘉兴开展光伏为主联合高效热泵及储热等技术形成集成示范
广东省到2025年完成既有建筑节能绿色化改造面积3000万m²以上
广东省推广应用空气源热泵
粤港澳大湾区国家算力枢纽部署推动数据中心集群方案编制
河南开封“十四五”期间新增地热能供暖面积1400万m²
福州组织开展城乡建设领域绿色低碳试点工作
美的楼宇科技离心机中标中国证券期货业南方中心
海尔物联多联机中标解放军某部空调集采3000万元
格力中央空调服务华为成都智算中心
麦克维尔为中国汽车技术研发中心提供一站式空调解决方案
天加健康多联机服务化学与精细化工广东实验室
约克VRF中标沃尔沃成都新能源电池车间

和买空调一样 轻松选购地暖



L1PB24燃气采暖热水炉



显著特征:

变水温 | 自适应 | 全屋地暖
非散装 | 免设计 | 无图施工
一键控 | 智能控 | 全国联保

M70	实铺面积小于70m ²
M90	实铺面积约70~90m ²
M120	实铺面积约90~120m ²
M145	实铺面积约120~145m ²

CONTENTS



中国建研院与中国中铁签署战略合作协议



中国建研院与中国绿发签署战略合作协议



环能科技与中国标准化研究院
联合举办“领跑者”团体标准宣贯培训会



CAHVAC 暖通大讲堂第 27 期专题讲座

21 | 国际新闻 | International News |

全球碳捕集融资取得新进展

欧洲面临发展清洁能源所需金属的供应短缺

德国：供暖用油增加一倍以上

2021 年美国可再生能源发电超过核能

实现温升 1.5°C 的目标需要全球碳排放在 2025 年前达峰

23 | 热点聚焦 | Spotlight |

暖通大讲堂第 27 期专题讲座——

《探讨封控小区内新冠病毒隐匿性传播》

26 | 聚焦政策 | Policy |

黑龙江省超低能耗建筑产业发展专项规划（2022—2025 年）

山东省“十四五”绿色建筑与建筑节能发展规划

2022 年河北省电力需求侧管理工作方案

贵州省新能源和可再生能源发展“十四五”规划

固原市碳达峰碳中和科技支撑行动方案

完善新疆维吾尔自治区新能源价格机制的方案

39 | 案例赏析 | Cases |

某人防地下室通风设计实际案例分析

南京高校教室秋季室内空气质量测试与分析

46 | 技术交流 | Technical communication |

大空间建筑两种典型送风系统区间换热研究

室内 PM_{2.5} 的氧化潜势毒性初探

高海拔地区床头弥散供氧系统富氧效果研究

五个不同气候区典型居民住宅不同通风方式下能耗和通风性能的模拟分析研究

烟囱倾角对百叶组合式太阳能烟囱自然通风性能影响的数值模拟研究

新疆华奕新能源科技有限公司

Xinjiang Huayi New Energy Technology Co., Ltd

公司简介

新疆华奕新能源科技有限公司，是以绿色节能空调设备及数据中心建设为主营业务的国家级高新技术企业，是中冷协蒸发冷却空调工作委员会副主任单位。专业从事蒸发冷却空调设备的研发、设计、生产、销售、安装及售后服务，同时提供数据中心整体解决方案。

公司产品主要应用于数据中心、通信机房、大型场馆、商业楼宇、工业厂房等。自2008年第一个节能项目蒸发冷却新风系统试点应用于新疆运营商起，直至2017年，全球首例百分百自然冷源（无机机械制冷备份）应用于大型数据中心的制冷方案成功落地，实现了当前数据中心最低PUE值。该数据中心机房新型蒸发冷却空调系统通过了科学技术成果鉴定：“总体技术达到国际先进水平，部分领域达到国际领先水平”。该项目同时获得了当年中国通信企业协会“最佳节能项目奖”、“最佳节能产品奖”。公司又先后承接了“中国联通一带一路数据中心”蒸发冷却空调项目、“乌鲁木齐奥林匹克中心”蒸发冷却空调等项目。2019年，“间接蒸发冷却一体化集成冷站”落地中国移动云基地。

公司拥有一支高素质的现代化管理团队及研发团队。目前公司在职工90余人，拥有专业技术人员30余名，其中高级技术职称人员10名。公司掌握了蒸发冷却核心技术，拥有“数据中心机房新型蒸发冷却空调系统”等各类发明专利31项，自主开发的蒸发冷却空调系统在数据中心应用的BA控制系统。公司将继续秉承“绿色环保，科技创新”的生产和经营理念，打造绿色节能的制冷解决方案。

公司以环保科技为起点、以蒸发冷却技术为核心、以强大的技术队伍为支撑，致力于创新节能产品应用，提升产品质量、提供优质服务，创造低碳生活！



产品简介

产品图片



蒸发冷却冷水机组

产品介绍：华奕新能源蒸发冷却冷水机组，是一款采用立管式间接蒸发冷却器为核心换热器的冷水机组。

1) DynamCool-I 间接蒸发冷却冷水机组

产品定义：间接蒸发冷却冷水机组是复合高效立管式间接蒸发冷却器和直接蒸发冷却器获取冷水的产品。

技术特点：

- 额定冷量范围：75-1744kw；
- 间接+直接整体换热效率高于110%以上；
- EER大于10，最高可达42；
- 室外湿球温度21.2℃时出水温度低于20℃；
- 可集成自然冷却换热器实现冬季干工况运行，部分湿球温度高的区域可补充机械制冷冷水机组补充冷量；

应用场景：适用于所有区域的大中小型数据中心、大型场馆、商业楼宇、工业厂房等；

产品图片



快速部署的蒸发冷却集成冷站

产品介绍：蒸发冷却集成冷站（Vapocool-I系列产品）搭配冷冻水末端（HyperCool-DI系列产品），可实现快速部署蒸发冷却冷水系统，减少建设周期，减少泵房、板换等机房面积占用。

1) Vapocool-I 间接蒸发冷却一体化集成冷站

产品定义：间接蒸发冷却一体化集成冷站是将间接蒸发冷却冷水机组、系统水泵、系统板换、软化水装置等集成在一台机组内，获取冷水并输配到冷冻水末端。

技术特点：

- 额定冷量范围：75-1744kw；
- 间接+直接整体换热效率高于110%以上；
- EER大于10，最高可达42；
- 室外湿球温度21.2℃时出水温度低于20℃；
- 可集成自然冷却换热器实现冬季干工况运行，部分湿球温度高的区域须补充机械制冷冷水机组补充冷量；

应用场景：适用于所有区域的大中小型数据中心、大型场馆、商业楼宇、工业厂房等

中国建研院与中国中铁签署战略合作协议

4月15日，中国建研院与中国中铁股份有限公司（以下简称中国中铁）在京签署战略合作协议。中国建研院党委书记、董事长王俊，党委委员、副总经理尹波，中国中铁党委书记、董事长陈云，党委常委、副总裁、总工程师孔遁出席签约仪式。中国建研院党委委员、副总经理李军与中国中铁党委常委、副总裁、总法律顾问于腾群代表双方签署协议。

王俊表示，中国中铁业务范围涵盖了几乎所有基本建设领域，能够提供建筑业“纵向一体化”的一揽子交钥匙服务，与中国建研院在业务领域方面具有很强的互补性。中国建研院与中国中铁的合作潜力巨大，此次

战略合作，将聚焦双方最具优势领域、产业链最强环节，增强优势互补，提升双方核心竞争力和影响力，为中国建研院与中国中铁的高质量发展注入强劲动力。

陈云表示，中国建研院在建筑领域科技研发、标准编制、提供系统解决方案等方面成果丰硕，为推动中国建筑行业进步作出了突出贡献。未来，中国中铁和中国建研院将立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，紧紧围绕国家重大发展战略、产业技术创新、深层文化交流等重要领域深化互信、强化合作，共同在新发展格局中展现央企担当。

根据协议，双方确定了首批重点推进的合作内容，将在标



准国际化、绿色化、BIMBase、智能制造和建造、成果转化和推广，以及城市更新等领域全面开展合作，实现优势互补，合作共赢。

中国中铁规划发展部、经营开发中心、科技创新与数字化部、中铁建工、中铁工业、中铁设计、中铁置业、中铁物贸等相关部门负责同志，中国建研院科技标准部、企业发展部及相关二级单位代表参加签约仪式。



中国建研院与中国绿发签署战略合作协议

4月20日，中国建研院与中国绿发投资集团有限公司（以下简称中国绿发）在京签署战略合作协议。

中国建研院党委书记、董事长王俊，党委副书记、总经理许杰峰，党委委员、副总经理王清勤、尹波，中国绿发党委书记、董事长刘宇，党委副书记、总经理孙瑜，党委委员、副总经理尹衍利，副总经理邵长忠出席签约仪式。中国建研院党委委员、副总经理李军与中国绿发党委委员、副总经理刘军代表双方签署

协议。

王俊表示，中国绿发以绿色能源、低碳城市、绿色服务及战略性新兴产业投资为主业，与中国建研院的优势业务契合程度很高、合作前景广阔，双方将本着强强联合、优势互补、合作共赢的原则，围绕“碳达峰、碳中和”，聚焦行业绿色低碳转型、产业技术创新，在技术研发、成果转化、产业化发展等方面开展多种形式的合作，共同培育核心竞争优势。

刘宇表示，中国绿发与中国建研院在落实“三新一高”要求、

践行“两个基础”和“六个力量”重大使命等方面有着共同的目标与任务。通过此次战略合作，中国绿发和中国建研院将在推动企业快速发展、促进行业技术进步的同时，塑造国资央企合作典型标杆，携手实现国有资本保值增值和做强做优做大。

根据协议，双方将在联合打造绿色低碳科创平台、共同推进绿色低碳新技术研发、打造绿色低碳建筑及园区等标杆示范工程，以及规划、设计与咨询等领域开展广泛合作。



环能科技与中国标准化研究院联合举办“领跑者”团体标准宣贯培训会

2022年4月27日，为贯彻落实国家市场监管总局等八部门联合印发《关于实施企业标准“领跑者”制度的意见》（国市监标准[2018]84号）的有关要求，保障建筑环境与能源领域“领跑者”制度的有效实施，进一步开展本领域企业标准水平评估，中国建研院建科环能科技有限公司（以下简称“环能科技”）联合中国标准化研究院举办“领跑者”团体标准宣贯培训会。

宣贯培训会通过网络会议举办，中国标准化研究院资源环境研究分院院长林翎、中国技术

经济学会标准化专委会秘书长肖亮、环能科技副总经理于震及相关科研院所和企业代表80余人参会。会议由于震副总经理主持，并致欢迎词。林翎院长对“领跑者”标准体系及其重要意义进行了介绍。随后“领跑者”办公室管金鑫对“领跑者”制度和“领跑者”团标进行了解读，中国标准化研究院白岩博士讲解了“领跑者”团体标准编写要点。宣贯培训会议结束后，中国标准化研究院专家、中国建研院相关领域专家和参会企业代表针对后续合作等事宜开展了进一步交流。

目前全国20余省市均制订了发布企业标准“领跑者”的奖励政策，北京、深圳等更是通过纳入地方奖，直接经济奖励等方式支持企业争创国家企业标准“领跑者”，鼓励和支撑金融机构给予信贷支持，优先推荐获取地方补助资金等方式支持企业标准“领跑者”工作。

环能科技也将进一步与中国标准化研究院合作，推动建筑幕墙门窗、暖通空调、建筑照明、建筑可再生能源等相关领域标准化工作，支撑中国城乡建筑行业的高质量可持续发展。

行业新闻 IndustryNews

重塑光伏产业发展格局

日前,“新型电力系统下风光大基地规划建设研讨会”在京召开。大型风电光伏基地建设正在为新能源产业发展提供新的动力,同时深刻影响行业发展格局。

国家发改委和国家能源局近期发布的《以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地规划布局方案》提出,到2030年,规划建设风光基地总装机约4.55亿千瓦。在政策支持下,风光大基地建设成为国家推动“双碳”战略落地的重要举措,将加速光伏等新能源成为我国能源的重要组成部分。

从行业来看,光伏等新能源技术的发展,正不断加快实现“碳中和”的进程,同时“碳中和”目标的驱动,也为光伏等新能源产业的发展带来了巨大的机遇。

“当前,绿色发展已成为全社会的普遍共识,政策为包括风、光在内的可再生能源产业发展创造了新机遇。”中国电力企业联合会电力评价咨询院院长蔡义清表示,我国能源结构长期以煤为主,油气对外依存度高,能源的清洁低碳转型要求较为紧迫。在新的形势下,构建“新型电力系统”的核心特征是以新能源为主导地位,他强调,随着我国碳达峰和碳中和目标的提出,新能源在一次能源消费中的比重将不断增加,加速替代化石能源。未来我国电力装机规模将保持平稳增长,呈现“风光领跑、多源协调”的趋势。

2022年北方地区冬季清洁取暖项目25个城市名单公示

4月27日,财政部等四部门联合发布《2022年北方地区冬季清洁取暖拟支持项目名单公示》,将25个项目确定为2022年大气污染防治资金支持的北方地区冬季清洁取暖项目。

25个项目城市为:呼和浩特市、沈阳市、青岛市、银川市、长春市、临夏回族自治州、西宁市、齐齐哈尔市、哈尔滨

市、商丘市、枣庄市、昌吉回族自治州、吉林市、周口市、乌兰察布市、中卫市、盘锦市、东营市、新疆生产建设兵团(第七师、第八师、第十三师)、营口市、白山市、巴彦淖尔市、金昌市、固原市、武威市。加上2017-2021年已纳入中央财政冬季清洁取暖试点的63个城市,总支持城市数量达到88个。

国家电力可靠性管理办法6月1日起施行

4月25日,国家发改委官网公布《电力可靠性管理办法(暂行)》,自6月1日起施行。该办法提出,沙漠、戈壁、荒漠地区的大规模风力、太阳能等可再生能源发电企业要建立与之适应的电力可靠性管理体系,加强系统和设备的可靠性管理,防止大面积脱网,对电网稳定运行造成影响。

燃煤(燃气)发电企业应当对参与深度调峰的发电机组开展可靠性评估,加强关键部件监测,

确保调峰安全裕度。

电力调度机构应当优化调峰控制策略,综合考虑发电机组的安全性和经济性。

水电流域梯级电站和具备调节性能的水电站应当建立水情自动测报系统,做好电站水库优化调度,建立信息共享机制。

核电企业应当对常规岛和配套设备(非核级设备)开展设备分级、监测与诊断、健康管理、全寿命周期可靠性管理、动态风险评估评价等工作。

北京民用建筑能耗指标公开征求意见

近日获悉,北京市住房和城乡建设委员会组织制定的北京市地方标准《民用建筑能耗指标》现在网上公开征求意见。

《民用建筑能耗指标》(以下简称:指标)主要涉及民用建筑能耗指标、能耗指标修正、各种能源折算及主要能源碳排放因子推荐值等。《指标》对于新建建筑用来规范和约束设计、建造和运行管理的全过程。本标准给出的引导值,应作为新建建筑规划时的用能上限值。规划、设计的各个环节都应该对用能状况进行评估,要保证实际用能不超过

这一上限。《指标》对于既有建筑给出评价其用能水平的方法,当实际用能量高于本标准给出的用能约束值时,说明该建筑用能偏高,需要进行节能改造;当实际用能量位于约束值和基准值之间时,说明该建筑用能状况处于正常水平;当实际用能量低于基准值时,说明该建筑真正属于节能建筑;当实际用能量低于引导值时,说明该建筑节能效果非常好。

对比国内外其他相关标准,本标准有能耗指标不同、建筑分类不同、建筑能耗指标确定边界不同、适用范围不同的特点。

今年一季度国家太阳能发电增长 10.3%

近日，在国家发改委召开的4月份新闻发布会上，国家发改委政研室副主任、委新闻发言人孟玮表示，从发电看，今年一季度全国规模以上工业发电19922亿kWh，同比增长3.1%。其中，火电同比增长1.3%、水电增长12.7%、核电增长6.9%、风电增长3.3%、太阳能发电增长10.3%。从用电看，一季度全国全社会用电量同比增长5.0%。其中，一产、二产、三产和居民生活用电量同比分别增长12.6%、3.0%、6.2%和11.8%。分地区看，全国17个省（区、市）用电增速超过5%，其中西藏、江西、安徽、湖北、海南5个省（区）增速超过10%。

据孟玮介绍，国家发改委联合外交部、生态环境部、商

务部近日共同印发《关于推进共建“一带一路”绿色发展的意见》，部署了推进共建“一带一路”绿色发展3方面15项重点任务，概括为“三个统筹”，一是统筹推进绿色发展重点领域合作，二是统筹推进境外项目绿色发展，三是统筹完善绿色发展支撑保障体系。

孟玮表示，下一步，国家发改委将会同有关部门和单位，统筹协调和系统推进共建“一带一路”绿色发展工作，加强宣传引导，适时组织开展评估，确保相关重点任务及时落地见效。4月份，国家发改委将与国开行、UNDP（联合国开发计划署）举行三方协调委员会会议，深化“一带一路”绿色发展方面的合作。

2025年北京副中心超低能耗建筑规模将达100万m²

近期获悉，副中心将大力推动绿色建筑规模化、品质化发展。北京市政协人资环建委日前组织委员、专家调研城市副中心国家绿色发展示范区建设情况。

在城市绿心公园，委员们实地调研起步区三大建筑节能减排情况。城市副中心剧起步区采用“地源热泵+水蓄能+冷水机组+燃气锅炉”复合式能源系统，可再生能源装机占比高达冬季热负荷的60%，实际运行阶段预计可达80%以上，相较于传统市政热力系统，每年减少二氧化碳排放1万吨，相当于每年节约标煤超过3800吨。在城市副中心智慧能源保障中心，委员们调研了近零碳

排放建筑——通州河东5号调峰热源工程配套辅助楼。该项目应用被动式超低能耗建筑技术及可再生能源利用技术，构建近零碳示范建筑，项目综合节能率达到96.5%，相较于传统建筑，年均碳排放量减少95%，实现近零碳排放。副中心还将构建智能舒适的绿色建筑示范，大力推动北京城市副中心绿色建筑实现规模化、品质化发展，初步形成高效绿色、生态友好的现代综合城市建设体系。新建民用建筑100%达到绿色建筑二星级标准要求，新建公共建筑100%执行三星级绿色建筑标准，到2025年，实现超低能耗建筑不少于100万m²。

辽宁省公共机构新增供热制冷优先使用热泵技术

近日，辽宁省机关事务管理局发布关于印发《2022年辽宁省公共机构节能工作要点》的通知。通知中提到：一是推进可再生能源替代，优化能源消费结构，控制煤炭等化石能源消费，推广使用太阳能、地热能、生物质能等能源和热泵技术，新增供热制冷应优先使用可再生能源或新技术。二是实施绿色化改造，推动各地区、各部门和教科文卫系统既有建筑实施光伏、制冷、数据中心、供暖、照明等用能系统和设施设备节能改造；有条件的建筑要进行空调系统节能改造和推动智能高效照明，加快推动食堂灶具节能和油烟净化、数据中心节能改造等。



呼和浩特市武川“十四五”煤改电工程采用热泵等取暖

日前，呼和浩特市武川县住建局发布《关于申请清洁取暖补助资金的请示》和关于《武川县城结合部清洁取暖（煤改电）改造工程可行性研究报告》办理财承的请示。

武川县“十四五”时期拟在城乡结合部20个村庄实施清洁取暖（煤改电）工程，共计2048户，工程总投资1.17亿元。项目计划分三年实施，第一期2022年清洁取暖“煤改电”改造，共计7个村746户，工程总投资4250.88万元。改造方式上，采用电采暖加太阳能和空气源热泵方式进行改造。

山东省推广电蓄冷空调、蓄热电锅炉应用

近日,《山东省“十四五”绿色建筑与建筑节能发展规划》发布,明确“十四五”时期绿色建筑与建筑节能主要发展指标。

文件指出,扎实推进既有建筑节能改造。研究制定建筑节能改造与老旧小区改造融合互促工作机制,鼓励采取可再生能源建筑应用、雨水收集与中水回用、供热管网与供热计量等多元化改造措施。积极创建公共建筑能效提升重点城市,以机关办公建筑、大型公共建筑等为重点稳步实施公共建筑节能改造,鼓励开展绿色化改造。引导社会资本参与公共机构节能改造,加快推广合同能源管理等市场化改造模式,深入推进公共建筑节能监测体系建设。

加快推动建筑用能清洁化替代。新建城镇居住建筑、农村社区以及集中供应热水的公共建筑,全面安装使用可再生能源热水系统。积极拓展可再生能源在建筑领域的应用形式,因地制宜推广太阳能、地热能、风能、生物质能等新能源,规范空气源热泵技术建筑应用。鼓励在新建的交通枢纽、会展中心、文体场馆、中央商务区、工业园区、学校等,开展光伏建筑一体化(BIPV)项目建设。

积极实施建筑电气化工程。逐步建立以电力消费为核心的建筑能源消费体系,提高建筑用能中清洁电力消费比例,重点提高在供暖、生活热水、炊事等用能结构中的电气化水平。推动太阳能光伏在城镇建筑中分布式、一体化应用,实现就地生产、就地消纳。在城市大型商场、办公楼、酒店、机场航站楼等建筑,推广应用热泵空调、电蓄冷空调等。

河北扎实做好2022年城市供热准备工作

4月28日,河北省住房和城乡建设厅组织召开全省城市供热工作视频调度会议,总结2021-2022年度采暖季全省城市供热保障工作,安排部署今年重点任务,为下个采暖季供热稳定运行和提质增效奠定基础。河北省住房和城乡建设厅总规划师杨文立出席会议并部署工作。

会议总结,2021年以来,河南省全面实施城市供热服务质量提升行动,推进热源热网建设、供热设施“冬病夏治”等工作,加强信息化建设,供热保障能力和管理水平稳步提高。全省共完成新建、改建供热工程138项,全省热源总供

热能力达到18.4亿 m^2 ,总用热面积达到15.6亿 m^2 ,供热规模持续扩大。供热监管信息平台功能日趋完善,室温和运行数据质量明显提升。积极发展工业余热、废热供热,全省热电联产、大型区域锅炉房集中供热以及燃气、工业余热、地热、电能等集中供热和清洁能源供热面积达到15.48亿 m^2 ,11个设区市和定州、辛集市及154个县(市、区)全部实现集中供热和清洁能源供热。

会上,各市(含定州、辛集市)、雄安新区供热主管部门相关负责人汇报了供热工作情况。会议以视频会议形式召开。

北京城市副中心正着力构建绿色建筑示范

目前,北京城市副中心正着力构建智能舒适的绿色建筑示范,大力推动绿色建筑规模化、品质化发展。新建民用建筑100%达到绿色建筑二星级标准要求,新建公共建筑100%执行三星级绿色建筑标准,到2025年,实现超低能耗建筑不少于100万 m^2 。初步形成高效绿色、生态友好的现代综合城市建设体系。

在北京市通州区城市绿心森林公园西北部,形似“粮仓”的剧院、状如“赤印”的图书馆、“帆船”模样的博物馆被称为

城市副中心三大建筑,是城市绿心文化地标的重要组成部分,同时也是城市副中心绿色建筑项目的典范,每年可减少二氧化碳排放超1万吨。秉承着高质量发展的理念,在城市副中心,越来越多的建筑正在“绿”起来。

同时,还积极推进城市副中心“双零”(零碳、零能耗)规划展览馆、清华大学通州金融发展与人才培养基地超低能耗建筑项目、城市副中心三大建筑绿色示范项目落地,做好城市副中心绿色建筑示范与推广。



江苏省推动空气能等新能源在城乡建筑中的综合利用

近日，江苏省应对气候变化及节能减排工作领导小组应对气候变化办公室关于印发《江苏省“十四五”应对气候变化规划》的通知。

《通知》指出：加强城乡低碳化建设和管理。在城乡规划建设管理各环节全面落实绿色低碳要求。全面实施新版《绿色建筑评价标准》《住宅设计标准》《居住建筑节能和热环境标准》，提升建筑安全耐久、健康舒适、资源节约、智能智慧水平。加强高品质绿色建筑项目建设，大力发展超低能耗、近零能耗、零能耗建筑，推动政府投资项目率先示范。深入开展机关办公建筑和大型公共建筑能源统计、审计和公示工作，分类制定公共建筑用能限额，探索实施基于限额指标的公共建筑用能管理制度，对超过能耗限额的既有建筑进行改

造。推进绿色农房建设，持续提升农房设计水平和建造质量，提升农村用电电气化水平。深化可再生能源建筑应用，推动太阳能光热、光电、浅层地热能、空气能、生物质能等新能源在城乡建筑中的综合利用。

到2025年，城镇新建民用建筑全面按照超低能耗标准设计建造，新增太阳能光热建筑应用面积5000万 m^2 ，城镇建筑可再生能源替代常规能源比例达到8%。健全气候投融资机制，加强气候投融资与绿色金融的政策协同，研究制定符合低碳发展要求的产品和服务需求标准指引，支持符合条件项目纳入国家项目库。加快建立气候投融资项目库，在碳金融、碳交易企业名录及环境信息等方面实现互通共享，通过贷款授信、信贷贴息和政策优惠。

浙江嘉兴开展光伏为主联合高效热泵及储热等技术形成集成示范

日前，浙江嘉善县人民政府发布《嘉善县能源发展“十四五”规划》批前公示，提出推动长三角氢能走廊项目试点示范落地，按照长三角氢能走廊的规划布局，在高速服务区探索碳中和试点，开展氢能、光伏为主联合高效热泵及储热等技术形成集成示范。

文件提到，统筹优化热力发展布局适时修编新一轮集中供热发展规划，根据全县中远期产业空间布局和热负荷需求，优化整合现有供热资源布局，推进热力管网互联互通，支持热电企业互为备用热源。加快

推动供热设备升级更新，异地重建热电项目需采用超高温亚临界发电机组，进一步降低发电和供热标煤耗，积极开展热网设施节能技改。有序推动燃煤供热锅炉掺烧生物质、污泥等改造，进一步降低热电煤炭用量。支持热电企业以热电为基础，打造集供能、供热和压缩空气于一体的综合供能中心。

探索电力市场商业模式创新积极启动研究嘉善地方性综合能源价格创新机制，推行有利于强化多能互补、提高系统能效的电价、热价、气价、蒸汽价格等价格形成及联动机制。

广东省到2025年完成既有建筑节能绿色化改造面积3000万 m^2 以上

近日，广东省住房和城乡建设厅公布《广东省建筑节能与绿色建筑发展“十四五”规划》，提出要提升建筑节能降碳水平。到2025年，全省要完成既有建筑节能绿色化改造面积3000万 m^2 以上，建设岭南特色超低能耗及近零能耗建筑300万 m^2 ，新增建筑太阳能光伏装机容量200万kW，建筑能耗中电力消费比例超过80%。

《规划》强调，推广应用可再生能源建筑，推进新建建筑太阳能光伏一体化设计、施工、安装，在酒店、学校和医院等有稳定热水需求的公共建筑中积极推广太阳能光热技术。同时明确，要实施建筑电气化工程，提高建筑用能中清洁电力消费比例，在城市大型商场、办公楼、酒店、机场航站楼等公共建筑中推广应用空气源热泵、电蓄冷空调等。鼓励建设以“光储直柔”为主要特征的新型建筑电力系统，发展柔性用电建筑。

《规划》要求，推动珠三角成为绿色建筑发展新高地，全省城镇新增绿色建筑中星级绿色建筑占比超过30%。为实现这一目标，《规划》提出，要加强规划建设全流程管控，在建设用地规划条件中明确绿色建筑等级等关键指标，并加强绿色建筑运行数据收集统计等，保障绿色建筑运行满足管理制度完备、围护结构完好、设施设备和相关系统运行正常等要求。还要将住宅的绿色建筑等级、绿色性能纳入商品房买卖合同、住宅质量保证书和住宅使用说明书。

宁夏城乡建设局发布绿色低碳示范项目资金管理办法征求意见

近日，宁夏城乡建设局发布关于《宁夏城乡建设绿色低碳示范项目资金管理办法》向社会公开征求意见的公告，示范项目资金重点支持以下八类项目：绿色建筑评价标识项目；装配式建筑示范项目；建筑节能示范项目；既有建筑绿色改造示范项目；可再生能源建筑应用示范项目；绿色建筑领域新技术应用示范项目；绿色建筑配套能力建设项目；确要求地方给予政策配套的绿色建筑相关示范项目

对获得绿色建筑标识的示范项目按照一星级 20 元/m²，二星级 35 元/m²，三星级 55 元/m² 建筑面积给予奖补，其中单个项目一、二、三星奖补资金分别不超过 100 万元、175 万元和 275 万元。对符合超低、近零、零能耗建筑项目分别按照 600 元/m²，800 元/m²，1000 元/m² 建筑面积给予奖补，其中单个项目奖补资金分别不超过 300 万元、400 万元和 500 万元。对获得既有建筑绿色改造评价标识的建筑项目按照一星级 15 元/m²；二星级 30 元/m²；三星级 50 元/m² 建筑面积给予奖补，其中单一项目奖补面积最高不超过 2 万 m²。

其中，可再生能源建筑应用示范项目主要包括利用太阳能、地热能、污水余热、风能、空气能、生物质能等对建筑进行采暖制冷、热水供应、供电照明和炊事等用能的示范项目。对于可再生能源应用示范推广项目实行定额补助，县（市、区）原则上不超过 400 万元（上限）。可再生能源应用技术创新和试点建设项目补助原则上不超过 50 万元（上限）。

粤港澳大湾区国家算力枢纽部署推动数据中心集群方案编制

近日，广东省发展改革委召开粤港澳大湾区国家算力枢纽建设推进会，研究部署粤港澳大湾区国家算力枢纽建设工作。

广东省发展改革委牵头做好粤港澳大湾区国家算力枢纽建设工作，按要求推进国家算力枢纽建设，强化项目过程管控。围绕韶关国家数据中心集群建设规划编制、项目布局、机架建设、设施配套等关键环节，细化工作任务、研究制定路线图和时间表。

启动开展数据中心集群总体和控制性详细规划布局研究，以国家数据中心集群落户为契机，结合未来发展定位和产业布局，科学谋划服务器、网络设备、存储设备、散热制冷设备等数据中心上下游产业，与电信运营商、电力机构等密切对接，优化土地、供水、供电、通信等基础设施保障，尽快将韶关打造成为全国一流的数据中心产业发展高地。

广东省推广应用空气源热泵

近日，广东省住房和城乡建设厅印发广东省建筑节能与绿色建筑发展“十四五”规划的通知中提到：实施建筑电气化工程。提高建筑用能中清洁电力消费比例，在城市大型商场、办公楼、酒店、机场航站楼等公共建筑中推广应用空气源热泵、电蓄冷空调等。引导生活热水、炊事用能向电气化发展，促进高效电气化技术与设备研发。鼓励机关、学校、医院等公共机构建筑和办公楼、酒店、商业综合体等大型公共建筑围绕减碳提效，

实施电气化改造。鼓励建设以“光储直柔”为主要特征的新型建筑电力系统，发展柔性用电建筑。

可再生能源应用。大力发展建筑分布式光伏。推动太阳能光热系统在中低层住宅、酒店、宿舍、公寓等建筑中应用，积极推广高效空气源热泵技术及产品。

建筑电气化工程实施。推广应用空气源热泵、电蓄冷空调等，提升用能设备能效标准。到 2025 年，建筑能耗中电力消费比例大于 80%。

宁夏石嘴山 5 年清洁取暖专项规划总投资 61.8 亿元

日前，石嘴山市人民政府正式发布《石嘴山市冬季清洁取暖专项规划（2022-2026 年）》。根据规划方案显示，至 2026 年，全石嘴山市清洁能源供热达到 95% 以上。至 2031 年，达到 98% 以上。

本规划规划期限为 2022-2026 年。远期展望为 2027-2031 年。规划范围为石嘴山市大武口区、惠农区、平罗县两区一县及其所辖乡（镇）、村民用建筑的冬季清洁取暖（其中惠农区经开区、平罗县一区三园依托相关热电联产

规划，本规划中不做详细阐述），总计规划面积 4074.51 平方公里。

本项目工程总投资 61.81 亿元，其中工程费用 48.86 亿元，工程其它费用 7.33 亿元，预备费 5.62 亿元。投资估算包括新建热源、热源改造、新建供热管网和换热站、供热管网和换热站改造、中继泵站、农村清洁取暖投资，现有建筑节能改造投资等，不包括电网改造投资、城市天然气管网工程投资、天然气上游设施投资。

河南开封“十四五”期间新增地热能供暖面积 1400 万 m²

日前，河南开封就《开封市“十四五”现代能源体系和碳达峰碳中和规划（征求意见稿）》公开征求意见。提出“十四五”期间，新增地热能供暖面积 1400 万 m²，新增供热负荷 630MW。

意见稿总结，“十三五”期间，开封市累计实施热源清洁化改造面积 1.4 亿 m²，完成建筑能效提升 911 万 m²，分别超出既定目标 17%、4.3%，在全省范围内率先实现全域散煤取暖“清零”，全市城区、城乡结合部及所辖县、农村地区清洁取暖率达到 100%，累计筹措清洁取暖配套资金 21 亿元，超出既定目标 152%。意见稿提出，“十四五”期间，科学规范开展地热能利用，完成全市地热资源全面勘查与选

区评价，编制地热开发利用专项规划。

此外，推动城镇综合能源发展，大力发展分布式能源。加快农村用能方式变革，积极推进通许等县电烤菊花、电烤花茶等开封特色农业各领域电能替代。持续推进清洁取暖，增加市区、县城集中供热面积，因地制宜开展地热、光热、生物质沼气等取暖技术推广，完善电取暖长效补贴配套，在农村等其他取暖资源匮乏地区，充分发挥空气源热泵优势，兜底保障居民清洁取暖。持续推进既有建筑节能改造，引导鼓励城乡结合部、农村地区自建住房墙体保温改造，进一步提升建筑能效；推动集中供热区域内按热计量收费方式，提升城市集中供热综合能效。

太原市武宿国际机场三期工程改扩建

日前，在山西太原武宿国际机场三期工程改扩建，项目高 17.25m，采用装配式建造和数字化技术应用。建筑物的主体框架、楼板、屋面、内外墙全部采用了装配式构件，装配率逾 80%，从基础施工到主体竣工仅用时 45 天，确保了后续工作顺利开展。

据介绍，太原武宿国际机场三期改扩建工程现场指挥部项目采用“EPC+装配式”模式，施工企业的全产业链优势在设计、制造、施工等各个环节得到充分体现，钢结构、叠合板、预制楼梯、ALC（蒸压轻质混凝土）板、保温装饰一体板等多项装配式产品得到广泛使用。数字化技术应用

成为该项目实施中的一大亮点。项目采用 BIM（建筑信息模型）技术，BIM 技术贯穿项目正向设计、工厂化预制、装配式施工、数字化交付各阶段，再结合施工企业自主研发的 BIM 装配式协同管控平台，实现了精准施工、节约工期、交叉作业、一次成优等既定目标，且形成一系列数字化成果，可用于建筑物的全生命周期运营维护。

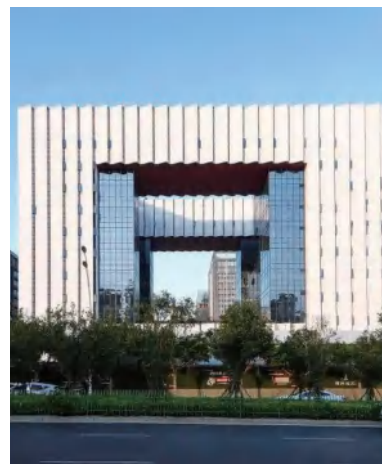
工程实体交付的同时，项目部将向业主交付一个数字化平台，包括项目资料、电子图纸、BIM 模型等，建筑物的建造过程、材料信息、设备参数等尽在其中，为建筑物的智慧运维打下良好基础。

福州组织开展城乡建设领域绿色低碳试点工作

目前，福州正在组织开展城乡建设领域绿色低碳试点工作，已推荐 10 个碳排放测算试点项目，包括 4 个公共建筑项目、1 个住宅小区项目，东南区水厂、洋里污水处理中心等 3 个基础设施项目以及 2 个施工过程项目。

福州城镇新建民用建筑已全面执行绿色建筑标准，绿色建筑占比逐年提高，一星级绿色建筑标识 37 个、二星级绿色建筑标识 35 个、三星级绿色建筑标识 5 个。去年，福建医科大学附属协和医院等 3 个公共建筑完成节能改造，改造面积约 42.9 万 m²；完成后坂公交大修厂宿舍等 2 个居住项目的节能改造。

在建的福州市建筑设计院有限责任公司高新区院楼，是福州城乡建设领域绿色低碳试点的“经典项目”之一的，大楼建筑面积超过 3.1 万 m²，项目采用全装配外挂墙板，实现高效保温隔热。外墙楼板、架空地板等部件采用系统集成设计，降低了施工阶段的碳排放量。大楼空调系统属于超高效智能 VRV（变制冷剂流量）系统，调节灵活，节能效果明显。



美的楼宇科技离心机中标中国证券期货业南方中心

近日，美的楼宇科技深圳中心传来捷讯，成功中标中国证券期货业南方信息技术中心二期建设项目冷水机组采购项目，为其提供离心式冷水机组 31 台，螺杆机 3 台，共计 3.64 万 RT。

据悉，南方中心项目以打造“世界一流的行业信息技术中心”为目标，对标世界一流，高起点、高标准建设为全行业服务的数字化金融基础设施，项目地点位于东莞市凤岗镇，其一期项目已于 2016 年 6 月 6 日建成投产，向市场提供 5,000 个托管机柜，为行业生态建设提供了坚实的基础。为更好满足行业技术发展需求，二期项目将着力打造深交所核心数据

中心、行业核心机构南方备份中心、行业经营机构南方托管中心、行业云计算与大数据中心、行业研发测试中心、行业金融科技创新实验室等六大核心功能，机柜规模约 1.54 万个。

该项目面积大、设备分散，一旦暖通系统的自动化程度不够，就会带来管理耗时、能耗增加等问题，如何实现暖通系统的智能高效管理是项目降本增效的关键一环。针对该项目，本次美的楼宇科技为其提供的降温降耗的解决方案，其超大容量与强劲动力完美满足项目的特殊需求，同时，高效节能的暖通产品也将为南方中心大大降低能耗成本。

格力中央空调服务华为成都智算中心

近日，格力中央空调喜讯频传，继服务阿里巴巴、京东云、华为松山湖数据中心等数据通信项目后，入驻华为·成都智算中心项目，助力成都数字经济发展。

华为·成都智算中心项目建设总投资约 125 亿元，作为全球领先的新一代人工智能计算平台，所提供的 AI 算力能力位列西南第一。在国家“东数西算”工程正式全面启动的背景下，该项目建成投产后，将成为构

筑成都智慧城市数字底座，建设城市智能中枢，赋能经济社会高质量发展的重要驱动引擎。

为匹配华为预制施工模式，格力为其量身打造了大型数据中心专用模块化集装箱式制冷系统，冷源采用 4 台 750RT 变频离心式冷水机组，共 9 个集装箱模块，包括 4 个冷源模块、1 个冷冻水利模块、1 个冷却水利模块、1 个冷冻电力模块、1 个冷却电力模块、1 个液冷模块，构建成都智算中心专用制冷系统。



海尔物联多联机中标解放军某部空调集采项目 3000 万元

近日，海尔物联多联机成功中标解放军某部空调集采项目 30 个站点，金额超 3000 万元，为该部队全国网点单位提供物资采购服务，全力做好军需保障。

相对一般民用物资采购而言，部队后勤保障对物资采购有着更短的反应时间、更准确的反应行为、更快的反应速度等系列要求。通过不断扩充全品类商品线、持续提升智能化供应链效率，海尔中央空调已经能够实现快速反应及时供货，同时对及时解决维修维保、安装调试、使用指导等服务也已形成完善的售后服务方案。

事实上，部队物资采购作为后勤保障的重要组成部分，直接关系到军队建设、重要物资保障等各方面，高效率精准的部队物资采购服务能够充分保障部队的战斗力与凝聚力。海尔物联多联机以优质的产品和实力，获得本次项目的青睐，未来也将持续为部队提供绿色智慧的空气解决方案，为国防建设贡献力量。



麦肯维尔为中国汽车技术研发中心提供一站式空调解决方案

近日获悉，中国汽车技术研发中心华南基地继一期与麦肯维尔合作之后，二期再次采用了麦肯维尔空调。

该项目总投资约18.5亿元，总占地面积约580亩。计划用两年时间，将该项目打造成为以汽车整车、关键零部件和新能源汽车产品检验检测为核心的公共技术服务平台和区域性总部基地，为华南地区汽车及零部件企业等上下游产业链提供全方位的公共技术服务。

项目采用6台风冷螺杆MHS系列、32套变频多联机MDS系列、6台组合式空气处理机组、6套直膨式空气处理机组MDX系列为整车综合性能试验室、新能源试验室、电磁兼容试验室、碰撞安全试验室、整车耐久及发动机试验室、整车排放试验室以及部分办公楼提供应用场景。



天加健康多联机服务化学与精细化工广东实验室

近日，天加广东市场传来捷报，旗下TIMS健康多联机成功中标化学与精细化工广东实验室，将为该实验室提供舒适、安全的室内空气环境。

出于实验室对室内环境的特殊需要，选择合适的中央空调系统成为关键。秉持着“洁净看得见”的空调理念，天加TIMS健康多联机始终致力于为客户提供舒适、健康的空调系

统解决方案。天加TIMS健康多联机依托十多年日式多联机研发经验、二十多年空气净化技术经验，在医疗、科研等行业愈发关注室内洁净、健康的背景下，得到了广泛的应用。

而随着本次服务的落地，天加也将在精密实验室细分领域再度树立起优质样本工程，为品牌积累下服务经验，同时也进一步提升了品牌的市场竞争力。

约克VRF中标沃尔沃成都新能源电池车间

近日，约克VRF成功中标沃尔沃成都工厂新能源电池车间项目，为其提供三管制直膨式热回收恒温恒湿机组YES-edge+系列，总风量40万m³/h。

据悉，沃尔沃汽车成都工厂在整个生产和运营环节的用电已100%采用可再生能源，包括65%水电和35%风光电，从而将用电环节的二氧化碳排放量从1.1万吨减少至0，成为国内首个实现电能碳中和的汽车制造基地。作为绿色能源深耕者，因此工厂除了对温度、湿度、洁净度都有严格的限制区间外，

对能效以及稳定运行等功能点也十分注重。

约克VRF作为深耕各个细分领域的企业，树立了众多样板工程，在智慧型绿色工厂的解决方案上更是储备丰富。面对本项目的高标准、严要求，据了解，本次为其提供的是YES-edge+系列中央空调，跨界融合了三大系统，精准调控六大维度空气质量，重新定义未来舒适优居环境。该机组定位工装等项目空气定制，无论是冷量上还是能效上都完美符合了厂方的预期。

开利空调助力上海抗疫

近日，在上海宝山方舱医院的建设中，开利空调积极调动资源，为该医院捐赠了180套空调产品，希望能够为隔离在此的患者，以及长期奋战在一线的工作人员，在夏天到来之际，能够改善室内的空气质量，齐心协力抗击疫情。目前，相关资源已经全部送抵，并完成了安装和调试工作，正式进入服务阶段。

上海疫情的爆发，让这座

城市面对着莫大的压力，而抗击疫情的工作更是刻不容缓。为了保障疫情感染者的有效隔离和治疗，方舱医院的建设有着积极的意义，而上海各区也在积极调动资源进行方舱医院的建设，并在建设之中受到了诸多企业的鼎力支持，开利空调就是其中之一。

开利集团副总裁兼北亚区暖通空调业务总经理余敏义表示，开利空调扎根于上海，成长于上

海，开利空调也希望能够肩负起自身的使命和责任，与上海并肩同行，一起面对来自疫情的考验，共渡难关。



美的楼宇科技斩获 2022 年日内瓦国际发明展一金二银

近日，2022 年日内瓦国际发明特别展获奖名单公布，美的楼宇科技斩获一金二银的佳绩。其中，“MDV8 智能楼宇能源解决方案”项目斩获金奖，

“KONG Cell：以物联网技术赋能传统 DDC”项目和“M-thermal Arctic 采暖热泵”项目获得银奖。

日内瓦国际发明展是世界三大发明展（日内瓦发明展、匹兹堡发明展、纽伦堡发明展）之一，创办于 1973 年，由世界知识产权组织、瑞士联邦政府等权威组织机构联合举办，是

世界范围内举办历史最长、规模最大、最具影响力的发明展之一，在国际上享有极高声誉。



海信日立与广州地铁院签约轨道交通战略合作

4 月 27 日，携海信日立轨道交通综合解决方案，由青岛海信日立空调系统有限公司（以下简称“海信日立”）主办，“2022 海信日立轨道行启动会暨海信日立 & 广州地铁院战略合作签约仪式”在线上如期举办，拉开了 2022 海信日立“轨道行”系列活动的序幕。

海信日立布局绿色低碳发展之路，大力开发节能型冷水机组，并加强对磁悬浮离心机、螺杆机、模块机等水机产品的研发力度，

凭借高效、高稳定性、高品质的绿色创新科技产品矩阵成功赢得市场认可，

“轨道行”是海信日立为加强与全国最具影响力的轨道交通领域暖通专家与设计院的沟通交流，推动行业发展而举办的行业活动。多年来，海信日立在行业学会活动、设计院推广工作中得到了行业领导、广大专家学者与设计院的热情帮助与大力支持，此次“轨道行”启动会更是得到了专业领域的高度认可。

麦克维尔服务西安红会医院高铁新城院区

近日，通过对项目的精准测算和规划，麦克维尔为西安市红会医院提供了 3 台大冷吨离心机，1 台 1000RT 10KV 离心机，2 台 650RT 10KV 变频热回收离心机的主机解决方案，该方案在实现建筑所需的冷热负荷需求的同时，仍能够实现助力整体建筑的节能优化，全面响应了“双碳方针”，得到了项目方的高度好评。

目前，落地在高铁新城的西安红会医院高铁新城院区，也成为了西北五省目前在建的最大综合医院。在如此规模环境下，如何保障医院环境内稳定的空气环境和质量，麦克维尔给出了解决方案。

实际上，自布局西北市场以来，麦克维尔在当地市场的发展呈现出了高速的态势，更是建立了诸多样板工程。近年来，在双碳方针的落地驱动下，麦克维尔凭借着自身在建筑节能领域的独到见解，更是积极参与进节能降碳的建筑升级革命中。聚焦未来，麦克维尔仍将秉持着一如既往的优质产品和服务，为实现进一步的成长和发展做足准备。

南康与格力合赣州市南康区与格力电器合作再升级作再升级

4 月 25 日，省委副书记、市委书记吴忠琼率队在广东省珠海市考察对接洽谈项目合作，并见证南康区与格力电器签署投资合作框架协议。根据协议，珠海格力电器股份有限公司将在南康区投资 100 亿元，建设小家电生产基地和再生资源深加工项目。

珠海格力电器股份有限公司董事长、总裁董明珠，市领

导何琦、孙敏参加活动。

据介绍，这个项目是格力电器继 2020 年签约落地南康智能制造基地项目后的又一投资百亿元项目，包括生活小家电及配套产品研发、生产和销售，家电再生资源回收深加工再利用等。格力电器将携手南康家具合力打造“泛家居”产业链新平台，促进家电与家具有机融合发展，实现双方资源共享、

合作共赢。双方将利用格力电器的研发设计创新能力、国际市场开发能力、知名品牌带动影响能力，结合南康家具的产业集群优势、规模优势、成本优势，领衔开创“家电+家居”融合发展新时代，加快推进南康家具产业转型升级，打造具有全球影响力的家居制造之都，为新时代赣南苏区振兴发展注入强劲动力。

约克 VRF 携手环太湖集团打造常州人居新标杆

4月23日，凭着对于建筑环境的深度理解，约克 VRF 成功中标总计 2346P 的常州环太湖艺术城·近园天氟地水配套项目，将采用约克 VRF 专门的高端楼盘配套机组为该项目提供服务。

从相关信息了解到，环太湖艺术城将文化艺术融于建筑，助力价值新高地，从健康人居发展需求出发，筑造约 5.6 万 m² 正观淹城三城三河的精装智慧节能宅，舒享淹城天然氧吧，全方位兑现美好生活场景。

在项目推进过程中，约克 VRF 和环太湖集团及普克制冷联手打造示范项目。在举行的中国·环太湖艺术城 & 普克制冷 & 约克 VRF 战略签约仪式上，青岛江森自控空调有限公司全国市场部总经理王学斌出席此次签约互动，并承诺共同携手打造常州人居新标杆。该项目应用的约克 VRF 天氟地水两联供产品，在近些年的楼盘配套项目上表现可圈可点，以其高品质、低能耗和健康舒适的属性赋能建筑，让建筑环境因此更加健康和智慧。多次获得知名房企青睐，彼此达成中长期战略合作，并在健康住宅的配套上有着更出色表现。



天加助力中央援港应急医院建设

据悉，天加驰援香港，协同当地政府推进应急医院建设，耗时近两个月，目前一期、二期工程已经全面竣工，现已可以投入使用。尽管方舱医院主要用于应对突发的应急医学救援任务，但其配备的各个医疗使用场景也意味着具备强大的医疗功能，因此对作业环境也提出了严格要求。空调系统作为方舱医院建设的重要组成部分，比起普通的商业建筑方案，要充分满足医疗方舱高压防护、通风换气、微环境控制等高标准要求。

作为在医疗净化领域深耕多年的民族企业，天加也是最早一批投入国家方舱医院建设的企业，早在 2020 年新冠疫情爆发初期，天加就参与了“雷

神山”、“火神山”方舱医院的建设，积累了很多实战经验。此次参与中央援港应急医院净化项目，是对天加净化品质、专业经验的高度信赖。接下来，天加将继续秉承“火雷精神”，全力保证净化设备全面投入使用。未来，天加也将持续为疾控中心、PCR 实验室、方舱医院等防疫抗疫项目提供最专业的空气净化方案。



海尔磁悬浮入驻泰国素万那普机场

近日，国内首个进军磁悬浮中央空调领域的海尔，实现了从 1 台到 1 万台的迈进，而第一万台海尔磁悬浮中央空调也入驻了泰国素万那普机场，并得到项目方的高度肯定：“泰国地处热带地区，常年炎热高温，中央空调全年无休止制冷产生的较高能耗，导致建筑整体能耗的高居不下成为亟需解决的问题。因此综合政策与气候特征，节能减排成为项目方

首要考量因素。以海尔磁悬浮中央空调为核心的解决方案，通过产品的节能性与稳定性，高度满足了我们的需求，并且产品采用无油润滑技术，提升能效的同时，极大的减少了后期的维护成本。当然，便利的云服务配置、智能远程监控机组运转参数，也让机组的管理更加方便。”

作为全球首个产量破万的海尔磁悬浮中央空调品牌，海尔无疑登在长达 20 年的技术沉淀后，产品性能、各项指标均已达到世界顶尖水平。随着海尔第 1 万台磁悬浮中央空调在泰国机场的正式入驻，海尔磁悬浮中央空调也将在这个大舞台上进一步散发光彩，以自身持续推动绿色低碳事业的发展。



约克 VRF 服务宁波象山亲和源养老院

近日，定位高端的宁波象山亲和源养老院在众多品牌中选择了约克 VRF YES-RM 整体式系列机组，总计 750HP，保证老人不受冷暖舒适问题的困扰。

约克 VRF YES-RM 整体式系列机组完美解决了大多老年人需要舒适、安静的环境问题。尤其是夜间静音功能系统，基于 5G 网络的 NB-IOT 智能物联网模块和约克云服务平台，实时感知室

内外环境，结合时间和用户设定，夜间自动开启静音功能，外机最大可降低 16dB，避免老人在睡梦中被噪音惊扰。



海尔磁悬浮中央空调服务重庆渝北区中医院

近日，海尔磁悬浮中央空调为重庆渝北区中医院提供舒适的室内环境。据了解，目前机组已经进场进行安装，即将进入服役阶段。



渝北区中医院旧院区位于两路老城区，占地面积约 1.01 万 m²，开放床位 299 张。近年来，因服务范围 and 人群不断扩大，该院处于超负荷运转状态。渝北区中医院新建院区位于空港工业园区，占地面积约 6.7 万 m²，建筑面积约 15 万 m²，按三级甲等医院规划建设，配备门诊医技住院综合楼、行政办公楼、地下停车场、医疗类配套工程等。届时，渝北区中医院新院区相对于旧院区将扩容 10 倍，床位数达 900 张。

三星中央空调助力希岸酒店

近期，三星中央空调结合希岸酒店的设计特点，营造兼具品质与格调并存的舒适空间，采用三星全直流变频智能多联机、三星商用空调，总规模达 1000HP，为商旅人士构筑一个温馨舒适的家。

三星全直流变频智能多联机单模块采用高压腔喷气增焓涡旋式直流变频压缩机，融合喷气增焓技术，增加压缩机排气量，使系统在寒冷气候条件下仍然强劲制热。二级高效过冷却回路，减少制冷剂在管道中流动的压力损失，不对称涡旋盘设计，实现冷媒动态连续压缩，减少压缩损失，进一步提升性能。

三星商用空调采用自主研发生产的高效转子式压缩机，强劲动力确保出色的使用效果。根据用户设定温度、室外气温度的变化，实际空调需求能力，运用三星精细的变频控制技术，灵活调节空调系统的输出，提升舒适度的同时，节能性出众，为您有效节省电费开支。

荏原离心机服务高端新材料领域

近日，荏原为上海石化 48K 大丝束碳纤维项目量身定制 3 台大型一级能效、高防护离心式冷水机组和泵组等附属设备，总制冷量为 1 万 kW，主要用于碳纤维核心装置冷却、厂区中央控制室和办公区域用冷，全面满足各工艺段的用冷需求，并就位安装完成，后续将配合客户进行系统联合调试。

“荏原”离心式冷水机组成功服务上海石化高端新材料项目，充分体现了“荏原”制

造的工业级品质，荏原凭借技术底蕴深厚、广度定制能力强的硬实力服务国内外高端客户，彻底解决石化企业冷热设备选择难的痛点问题，为石化领域核心装置安全生产助力。

未来，荏原继续以“提效降耗”为目标，贴近需求侧专研节能技术、生产高效的冷热产品，降低企业运行成本、降低碳排放，促进石化企业绿色可持续发展，为国家节能降碳事业贡献积极力量。



EK 空调服务苏州卫健委

近日，EK 空调凭借领先的节能技术、过硬的产品实力、完善的服务体系以及在政府公建领域的众多样板工程，实力“圈粉”苏州卫健委，为其提供专业、高效、节能、舒适、稳定的中央空调系统解决方案。

对苏州卫健委大楼改造项目冷量需求大、舒适性、节能性等严苛要求，EK 空调根据实际功能需求进行优化，经过现场勘察和技术沟通后，最终确定的解决方案为：EKAS 螺杆式风冷冷水（热泵）机组 + EKSW 柜式空气处理机组。满足苏州卫健委对建筑节能、环保的需求。



荏原离心机调试完成 长沙中电软件园项目

近日，荏原高效离心机入驻的长沙中电软件园项目已经正式完成设备安装调试，将正式为该软件园中的高新技术企业提供舒适稳定、健康节能的空气环境。

据了解，长沙中电软件园是中国电子与湖南省、长沙市携手共建的国家级软件产业基地。长沙中电软件园的开发建设，被列入湖南省战略性新兴产业信息产业专项规划。此次荏原制冷设备的顺利调试完成也预示着该项目即将正式运行，助力湖南省承接沿海优势产业梯度转移、加快电子信息产业发展，提升和改造传统产业，优化产业结构，促进中部崛起和长株潭城市群“两型社会”建设的重要布局。

海林自控 IoT-DDC 助力中国电信数据机房自控系统

近日，海林自控 IoT-DDC 这一拳头产品再次进驻中国电信数据机房项目，为其制冷空调设备提供自控系统的建设，为该机房的设备运转保驾护航。

作为数字化时代下的重要保障设施，数据机房的维护和管理有着举足轻重的意义，在这样的密闭空间中，如何有效保障温度的控制保障计算机设备的稳定运行，同时又能够为建筑节能提供有效的解决方案，则成为了诸多暖通空调企业所需要面对问题。作为针对建筑

楼宇的自动化控制和节能优化的综合解决方案提供方，海林自控已经在全国范围内建立了一系列优质样板。

实际上，不断走在升级之路上的海林自控，如今已经成长成为了楼宇自控领域的头部企业，而这份硬实力，也得到了越来越多的关注和认可。在“碳中和”“碳达峰”的风向之下，海林自控也在积极响应需求，并期待用自身成熟的解决方案，为实现这一目标贡献更多的力量。

盾安中央空调再度助力蓝思科技打造黄花生产基地

近期，在蓝思科技黄花生产基地 5 号地块 3# 生产配套用房八厂空调的项目角逐中，盾安中央空调以最优的设计方案和定制化产品组合，再次赢得了客户的青睐，并最终毫无悬念的继续成为蓝思科技黄花生产基地项目的供应商。

盾安中央空调近两年陆续服务于蓝思科技榔梨生产基地以及湘潭生产基地，为其提供中央空调设备及系统解决方案，累计合作金额近几千万元。盾安中央空调以优异的技术方案设计能力，

优良的设备生产及制造能力，以及完善的配套服务能力，完美解决了蓝思科技的空气环境处理需求，并得到了客户的肯定。

针对蓝思科技所生产的产品特性，尤其是生产厂房需满足无尘和洁净的高标准环境要求，盾安中央空调为蓝思科技提供了一套完全量身定制的，包含组合式空调机组、吊顶式风柜和风机盘管在内的空气处理解决方案。根据这一方案，盾安中央空调将为蓝思科技提供空调设备总金额数百万元。



长虹中央空调多联机中标四川绵阳中电光谷科技园

近日，长虹中央空调凭借优秀的产品品质，领先的技术能力和高品质的服务，再次成为项目方的首选，成功中标四川绵阳中电光谷科技园项目，为其提供全直流变频多联机 DMV-V6 空调系统解决方案。

长虹中央空调针对中电光谷科技园的特殊使用需求最终为该项目提供了多联机 DMV-V6 机组采用喷气增焓技术，在提高整体运行效率的同时，实现了 -25℃ 强劲制热；全直流变频技术，制冷综合性能系数 IPLV (C) 值高达 9.4，达到多联机行业先进水平；新型环保制冷剂 R410A，提高空调

性能。此外，该产品集远程智能集中控制系统、多重保护系统、CFD 风道仿真设计低噪静音等优点，完美地实现了“舒适”与“节能”的平衡，更好地满足科技园的空调使用需求。

此次长虹中央空调 V6 系列多联机产品服务该项目，不仅为长虹中央空调在四川本土市场再树新的标杆，也将为其深耕市场提供动力。在今后，相信长虹中央空调将继续加大资源投入，逐步提高项目全流程管理和服务质量，依靠技术创新推动产业结构优化，提升企业的市场竞争力，创造更大的企业效益和社会效益。



申菱低温热泵走进百味佳社区

近日，申菱为杨安镇百味佳社区项目选用了申菱 60HP 超低温风冷热泵。经过实地考察，申菱超低温风冷热泵配置全智能化控制系统，无须专人看管，有效保证社区冬季供暖。

申菱低温系列模块式风冷热泵机组保障了百味佳社区居民温暖过冬，为杨安镇建设乡村振兴的齐鲁样板提供了集中供热的绿色智慧解决方案。伴随着“节能减排”政策、“双碳”战略的深入推行，申菱将继续推进技术创新，用高效可靠、

舒适节能的解决方案，持续为“双碳”目标做出贡献。



东禾建筑碳排放计算分析软件 2.0 版正式发布

近日，东南大学 - 中建集团“东禾建筑碳排放计算分析软件 2.0 版”正式对外发布。

东南大学依托智慧建造与运维国家地方联合工程研究中心，整合校内土木工程、建筑学、计算机科学与技术等多个优势学科，以其新型研发机构江苏东印智慧工程技术研究院为软件研发载体，于去年推出了第一款具有完全自主知识产权、轻量化的建筑碳排放计算分析软件，受到社会各界的普遍好评和广泛应用，并通过中国质量认证中心认证。

此次发布的 2.0 版除了将碳排放因子库的容量提升一个数量级外，还对软件架构和建筑碳排放计算分析功能进行了重大升级。一是引入区块链技术，保证碳排放计算分析的真实可靠与不可篡改，并通过区块链技术特有的智能合约、精准溯源等功能创新碳排放计算分析的业务流程；二是采用准稳态模拟思路计算建筑运行能耗和相应的碳排放，提升计算结果的精细度；三是引入 Web-BIM 技术，在网页端进行可视化的建筑碳排放计算分析，构建 BIM 模型解析一步到位、结果可循可视的碳排放计算分析新模式；四是可自动生成建筑碳排放计算分析报告，明晰展示建筑全生命周期各阶段活动数据及碳排放量，数据客观完整，分析功能强，图表展示直观；五是推出《民用建筑碳排放计算导则》，精准支撑《建筑碳排放计算标准》和《建筑节能与可再生能源利用通用规范》，提供可适应建筑全生命周期不同阶段的碳排放预测、估算、精算和核算等功能，满足不同类型用户的差异化碳排放计算分析需求。

国际资讯

International News

德国：供暖用油增加一倍以上

近日，根据德国联邦统计局（Destatis）的一份报告获悉，供暖用油增加一倍以上。3月份能源价格飙升导致德国比去年同期通胀率上升7.3%，这是德国1990年统一以来的最高水平。货物交货瓶颈和上游产品价格大幅上涨都对通胀率产生了影响。以消费者价格指数（CPI）衡量，2月份的通货膨胀率比前一年上升了5.1%。Destatis指出，德国（西德）上一次出现类似的高通胀率是在1981年秋季，当时由于伊拉克和伊朗战争原油价格飙升。

报告指出，除了新冠疫情之外，俄罗斯对乌克兰的战争对德国的物价上涨率产生了显著影响，特别是对供暖燃油、汽车燃料、天然气以及食品供应的影响。

总体而言，3月份能源价格同比上涨39.5%。供暖用油增加了一倍多，增长了144%；汽车燃料上涨超过47%，天然气上涨42%；其他能源产品的价格涨幅也远远超过了总体通胀率，固体燃料增长近20%，电力市场价格增长超过17%。



全球碳捕集融资取得新进展

近日，风险投资公司Lowercarbon Capital启动3.5亿美元基金专门用于支持碳减排初创技术公司，包括促进矿物自然吸收的技术、调节含水层盐水、提高海洋碱度、种植不会分解的植物等方法。

美国能源部宣布用1400万美元研究该项目，用清洁能源为直接空气捕捉（direct air capture，简称DAC）提供燃料。两党基础设施法有35亿美元用于建设美国DAC运营中心，以支持这项技术。

碳捕集与封存技术取得这些进展的重要原因是在最新的联合国IPCC科学报告的确认，清除二氧化碳（carbon dioxide removal，简称CDR）是应对全球变暖的“关键因素”。CDR包括二氧化碳捕获和封存的生物能源；直接空气捕捉；大规模

模植被；加速矿物中二氧化碳自然吸收等技术。这些技术有助于补偿在难以脱碳的行业中无法完全消除的排放，也有助于在巴黎目标出现“超标”后降低大气温度。

金融界和业界对CDR的热情让包括宾夕法尼亚州立大学著名气候科学家迈克尔·曼在内的一些专家感到担忧，他们更愿意看到钱花在加速清洁能源的使用上，担心CDR以及未经证实的地球工程等想法会分散对短期清洁能源和减排政策的支持力度。



欧洲面临发展清洁能源所需金属的供应短缺

近日，英国《金融时报》报道：欧洲面临着发展清洁能源所需金属的严重供应短缺，这是由比利时鲁汶大学专家一项新研究得出的结论。

该报告估计，为了实现其清洁能源目标，欧洲在2050年将需要比今天多35倍的锂和7至26倍的稀土金属；还需要150万吨铜（比今天增加35%）和40万吨镍（增加100%）。在有足够的投资的情况下，欧洲75%的清洁能源的金属需求最终可以通过回收来满足，但该研究表明，未来15年欧洲将出现金属供应短缺。届时，由于缺乏新的采矿项目，以及来

自世界各地寻求脱碳的国家的竞争，在全球范围内将出现锂、钴、镍、稀土和铜的供应短缺。对此前景，欧洲有三种选择。首先是开发欧洲本地的新矿产资源，这将是困难的，因为面临当地社区的强烈反对。第二种可能是开设新的矿产精炼厂，加工来自其他地区的矿石。然而，这种方案面临日益增长的能源价格问题。该报告指出，飙升的能源价格导致欧洲35%至45%的铝、锌和硅产能暂时停产。最后一个选择是像中国那样，欧洲可在世界各地共同投资或资助新的采矿项目，以换取长期供应协议。

2021 年美国可再生能源发电超过核能

近日获悉，据美国能源信息署的数据，2021 年美国电力部门可再生能源发电总量为 7.95 亿 MWh，超过了核能发电总量（7.78 亿 MWh）。美国可再生能源发电包括风能、水电、太阳能、生物质和地热发电，但不包括工业、商业或住宅部门的分布式发电，如小型太阳能或风能。

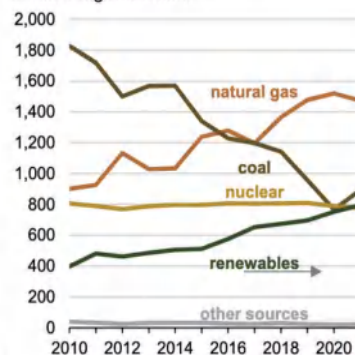
2021 年，美国电力部门的总发电量略有增长，但仍低于 2018 年的创纪录水平。天然气仍然是美国最主要的发电能源，2021 年达到 14.74 亿 MWh。尽管 2021 年有多家美国燃煤电厂退役，但 2021 年煤电是自 2014 年以来首次增加，超过美国可再生能源或核能发电量。

2021 年，美国电力部门可再生能源发电量的增长主要来自新增的风力发电和太阳能发电。2021 年风力发电量增长了 12%，公用事业规模的太阳能发

电量增长了 28%。水力发电量则降至 2015 年以来的最低水平，主要原因是美国西部干旱。2021 年生物质和地热发电量保持相对不变。

U.S. electric power sector electricity generation (2010–2021)

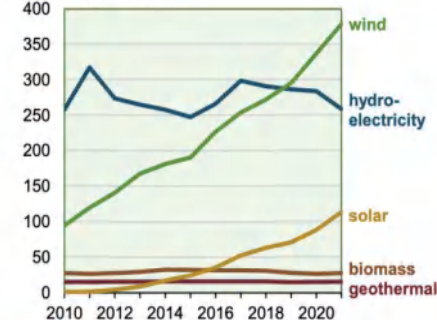
million megawatthours



Source: U.S. Energy Information Administration, *Electric Power Monthly*

renewable sources

million megawatthours



实现升温 1.5°C 的目标需要全球碳排放在 2025 年前达峰

近日，政府间气候变化专门委员会（IPCC）195 个会员政府批准了 IPCC 第三工作组《气候变化 2022：减缓气候变化》报告。该报告因 COVID-19 疫情原因推迟了几个月。第三工作组报告提供了对气候变化减缓进展和承诺的最新全球评估，并审查了全球排放源。报告解

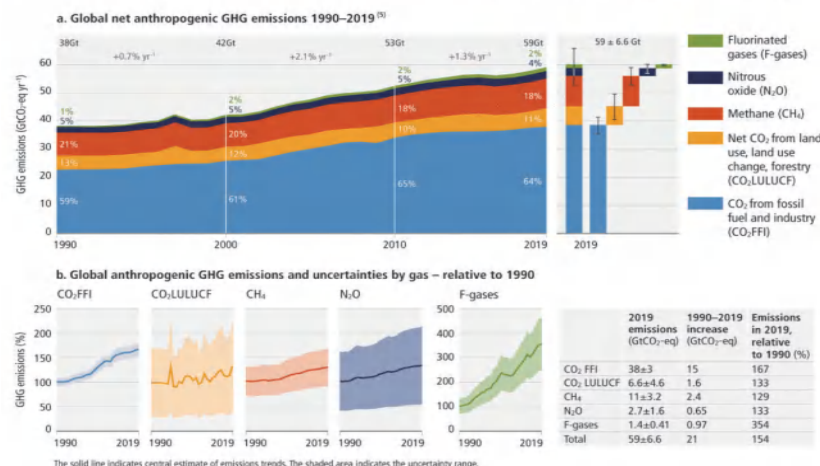
释了减排和减缓活动的发展，评估了国家气候承诺对长期排放目标的影响。

根据今天发布的政府间气候变化专门委员会（IPCC）的最新报告，科学家们指出气候行动的证据越来越多。自 2010 年以来，太阳能和风能以及电池的成本持续下降，降幅高达

85%。各国出台了越来越多的政策和立法，提高了能源效率，降低了森林砍伐率，加速了可再生能源的使用。

在 IPCC 评估的情景中，将升温限制在 1.5°C 左右需要全球温室气体排放最迟在 2025 年前达到峰值，并在 2030 年前减少 43%；与此同时，甲烷也需要减少约三分之一。即使如此，我们也会暂时超过这个温度阈值，这一点几乎不可避免，但到本世纪末可能再次低于这个阈值。当二氧化碳排放达到净零时，全球温度将达到稳定。对于升温 1.5°C，这意味着在本世纪 50 年代初实现全球二氧化碳净零排放；对于升温 2°C，大约是本世纪 70 年代初。该评估报告表明，要将升温限制在 2°C 左右仍需要全球温室气体排放最迟在 2025 年前达峰，并在 2030 年前减少四分之一。

Global net anthropogenic emissions have continued to rise across all major groups of greenhouse gases.



暖通大讲堂第 27 期专题讲座

探讨封控小区内新冠病毒隐匿性传播

2022 年 5 月 6 日 下午，CAHVAC 暖通大讲堂第 27 期特别邀请到了 CAHVAC 净化专委会名誉主任、同济大学沈晋明教授，围绕《探讨封控小区内新冠病毒隐匿性传播》进行了精彩分享，现将本次讲堂内容做一回顾，以飨读者。

针对于封控小区在严格落实人员严格落实人员“人不流动，足不出户”的防疫政策，但还不断出现阳性感染者，甚至有的小区封控时无阳性感染者，封控期内却会不时出现的现象。沈教授分析称除了已知的原因外，也许还存在着隐匿性传播。既不应该用经典的传播理论简单否认，也不应忽视它的存在，应予以更多的探索和客观的分析。沈教授报告中提出了一种小概率事件却可能发生的气云传播方式，并解释气云也许是尚未观察到的新的传播方式。有可能在空间局部较长时间内保持最低感染剂量与活性，不像飞沫传播不远，又不像空气传播扩散性好方向性差。气云跟随气流性能好，且随气流传播的途径与方向性清晰，即使微风也可飘移很远。

病毒隐匿性传播

通过此次疫情的封控，有市民反映，新冠病毒会顺着风

向传播，使处在主导风向下的不同楼栋之间出现被感染的现象。还有不少市民反映，在同楼的住户，户间也会通过不明途径传播，除同层水平传播外，还发生沿墙爬楼垂直传播现象，这些现象在疫情中能对疫情发生的各种事件进行理性分析，并引起警惕。随后，复旦大学附属华山医院感染科副主任医师王新宇接受采访表示：“因为新冠肺炎除了飞沫传播和接触传播两种途径之外，还可以通过空气传播。而空气传播最重要的要素就是高浓度病毒颗粒的气溶胶”。目前医学界尚无明确新冠病毒能够跨楼宇传播的研究结论，仅存在理论上微小的可能性。“这种微小的可能性不应被夸大，造成恐慌。”“开窗通风始终是切断空气传播这条传播途径的有效措施，无论是世界卫生组织还是我国的防疫政策，都一直建议大家多开窗、多通风。”这些解释与探讨值得称赞。

在疫情防控期间，居民居家不接触外人，直接飞沫传播、接触感染等其他传播方式已被抑制，就凸显这种“隐匿性传播”。隐匿传播实质就是不明远距离传播，现正是探讨不明传播方式的好机遇，值得我们

关注与调研。

对呼吸道传播病菌而言，空气传输途径总是存在的。无论建筑内楼道还是水、电、风管道及其安装缝隙，无论沿大楼外墙传输还是楼间传输都是传输途径。关键在于病毒在空气传输过程“远距离飘移及维持感染剂量与活性”。即使居室内感染者呼出病毒，只要通风换气合理有效，室内病毒浓度通常不会高，除非在通风较差、空间狭小且感染患者多的居室。应向楼内外传输的室内病毒浓度，而不是感染者的直接呼气，况且飞沫也传不远，要么感染者故意对着通道吼叫传毒。即使在通道内病毒随气流传播，但因其扩散性能好，而会很快被四周空气不断稀释，浓度很快下降；如病毒飘向室外，在空气环境中受到温度、湿度、阳光（紫外线）等因素影响，活力会很快衰竭。即使有可能发生异楼对窗跨楼传播，但传播几率很低。因此按经典的病毒飞沫与空气传播理论，这种“非此即彼”的思维方法来探讨是无法解决隐匿性传播问题的。

下水道也是隐匿传播的一种方式，浴厕下水道可能成为病毒的富集地。如香港的淘大

花园的大楼浴厕下水道与排风管路案例，大楼下水道连通各居住单元的浴厕，某浴厕的下水道存水弯的水封干涸，或水管渗漏使病毒有可能从污水逸窜；厕所排风机的气流可能引发污水管内病毒二次气溶胶进入室内引发感染，这也是病毒借水雾的作用所致。如大楼配置集中排风管路又没有末端排风机（所谓自然排风），某浴厕的排风会倒灌到未开排风机的另一浴厕内，引起传播。这类似于大楼厨房集中排烟气通道会产生所谓“串烟”的问题，但未见大楼厨房集中排烟气通道因“串烟”引起病毒传播的报导。

美国 CDC 报导新冠病毒可能在感染后肠道中停留长达 7 个月，有可能在肠道内增殖。污水可能成为新冠病毒的富集地，一些科学家正在利用污水来测量社区中冠状病毒流行状况，通过监控数据可以预示对潜伏期长的病毒十分有用。

沈教授通过沙尘暴细尘、雾霾颗粒的悬浮、聚集和漂移现象说明颗粒与水雾聚合会使传输与危害能力大大增强。本

轮疫情病毒经建筑通道远距离传播现象不少。有无可能发生病毒与水雾聚合？这个问题值得探讨和研究。水雾不仅是病毒依载体，而且可以成为传播的媒介。

气云传播

呼气会产生气体云。感染者呼出的病毒总是被裹在唾液或粘液液滴中，呼出飞沫与微粒的粒径范围很大从小于 $1\mu\text{m}$ 至大于 $100\mu\text{m}$ ，在空气中保持悬浮的能力不仅取决于粒径大小与形态，还取决于被呼出速度以及周围的空气状态。来自肺部温暖、潮湿的呼气在较冷的环境内容易形成雾气，称之为气体云（gas cloud），是多相体并得到实验的验证。一旦形成气体云，由于云中所含液滴的蒸发的时间比孤粒液滴的时间长得多，液滴的寿命可以大大延长 1000 倍，从几分之一秒延长到几分钟。与孤粒呼气液滴相比，由于浮游在空中的云被同样动量的气流推进的距离要远得多，且不容易沉降。气体云的形成取决于患者个体生理（如：呼气量大，频率高，呼出速度大，讲话飞沫多等）和环境条件的各种组合（如：温度、湿度和气流等）。而飞沫中不同粒径的液滴沉降或蒸发的速率不仅取决于自身的大小，还取决于气流的湍流程度和速度，以及周围环境的特性。这气体云还会捕获呼气而扩大。

气体云（Gas cloud）强调的是以个人呼气成分为主。沈教授提出气溶胶云（Aerosol cloud，简称气云）与气体云不同，是个人呼气与环境内液粒、尘埃和气体形成了多相体，强调环境因素。有时可见，有时不可见。气云是在特定的环境中形成，如室内人员多，通风较差，

空气中含有人的呼出物和体表分泌物（如汗味）多，相对湿度大等因素，容易局部聚集形成气云。新冠病毒是 RNA 病毒，有脂质外膜，如果厨房排烟不佳，高脂肪高蛋白的菜肴多，室内油脂与蛋白含量高（油腻气味）只要含有脂肪、蛋白质颗粒形成的气云就很难短时消除，新型冠状病毒难以死亡。这也许是什么疫情中聚集性传播总是与高级海鲜与肉类有关，室内传播常常会发生在餐厅。

总之，气云也许是尚未观察到的新的传播方式。有可能在空间局部较长时间内保持最低感染剂量与活性，不像飞沫传播不远，又不像空气传播扩散性好方向性差。气云跟随气流性能好。且随气流传播的途径与方向性清晰，即使微风也可飘移很远。

分析楼间传播，如果依照“新冠病毒会顺着风向传播，使不同楼栋出现感染”的思路分析，很明显病毒随主导风气流传播，方向性很强，而且传播距离那么远还能维持感染剂量与活性。由于飞沫传播不远，空气传播因扩散使得病毒也很快被稀释，传播面会很广，不可能有明显的传播方向。如假设在室内形成的气云被飘到室外，气云局部聚集起病毒感染剂量，不易蒸发，随风飘移，呈现出很强方向性。在特定的气象条件下如阴天、低气压、微风、早晚、是有可能发生传播的。

分析沿楼沿墙传播，现在居住建筑大多是大开口窗户，常常在自然状态下会形成窗户的下部进风、上部排风。如大楼低层有感染者的住户浴厕排风扇外墙排风，有可能沿着外墙经上层或附近住户的外窗进入室内引起传播。对高层住宅



大楼来说楼梯间的“拔风”效应不应忽视。楼梯间门应随时关闭，避免拔风或同层不同居室同时开门，而引起从居室到走廊再到居室的气流流动引发传播。也有可能引发“沿墙爬楼传播”。

破坏病毒生成空气传播的条件

除了已知原因外，对于疫情期间封控小区发生新冠病毒隐匿性传播，应客观分析。提高个人防护，接种疫苗，配戴N95口罩，重视奥密克戎远距离气溶胶传播。

气云传播对策。大楼之间的远距离传播也可能发生，传播媒介是在特定条件下形成的气云。气云只是我们提出一种假设，至少可以解释空气传播难以聚集起感染剂量；飞沫无法常时悬浮、远距离传播，以及一些传染的方向性强但随机性大的诡异传播案例。尽管气云得到国外实验验证，还需要大量的实地调研与检测。开窗通风依然是防控的最好手段。对于有感染患者的居室，应该要求感染者自觉在居室内戴口罩，以有效防止病毒散发与积累，也可开启室内净化器或家用空调器除湿模式，避免室内形成水雾或气云，室内尽量少开窗。如果是高层住宅楼应随时保持楼梯间门的关闭。而不应该去要求整个小区都关窗，每人居家戴口罩。即使以防万一，也只需在阴天、低气压、微风、早晚关闭主导风方向的窗户。大晴天、强对流天气是不可能出现小区楼间的传播。如果病毒真正是以空气传播为主，且感染剂量很低，或者说RO很大，像麻疹一样，那现在的管控措施都无效，唯有依靠个人防护和研发有效疫苗了。

降低横向气流产生隐匿传

播风险。在疫情中广州早茶传播链、湖南长途车传播链、扬州麻将馆传播链、荆州火车站传播链、常德穿紫河游船传播链、苏州会餐传播链等都是室内空调末端上送上回产生的横向强气流所引发的感染，已成为疫情防控的痛点！不能让这痛点继续痛下去！国外CDC与ASHRAE也都提出要防范空调的横向强气流所引发的传染！降低横向气流产生隐匿传播的风险，推荐采用立柱式风机盘管机组，机组上送风接口与送风管、顶送风口相连接，实现了上送下回的气流分布以及回风合适过滤的要求。独立处理新风直接送入室内。

避免集中空调隐匿传播。空调系统传播病毒取决于病毒通过空调系统增加数量？还是病毒送出的空气中达到病毒感染的剂量？又或者是被空调空间内是否出现像急救新冠患者ICU的高浓度？

通过实践，病毒是不可能是在空调系统内生长增殖。新冠是包膜病毒，对环境抵抗力很弱，其承受空调处理过程中加热、加湿、冷却、除湿的能力要比细菌与霉菌差得多。这就是说病毒通过空调系统不可能会增加其数量，只可能减少。不合规的空调系统有可能传播细菌或霉菌，合规空调系统不会传播病毒。

空调系统送风也不能达到病毒的感染剂量。例如：某被调空间中出现感染者，呼气病毒会被其他人呼气以及合规的送风量所稀释，还未完全扩散会被合理的气流排出，会被回风过滤器滤除后进入空调系统，病毒再经过风机高速旋转加压、经过多级过滤、各种热湿处理部件等空气处理过程还尚存多



少，随后病毒又会被系统所有服务空间的大量回风以及进入系统的合规的新风所稀释，病毒通过空调系统再送入所有服务空间的送风不可能达到感染剂量。更不用说送风气流中含有的病毒在流动过程中不断与周围空气混合，进入呼吸区高度的剂量必定更低。

避免不分场合全新风运行或关闭空调，频繁地清洗空调，不适消杀的产品或手段，不合适的净化等抗议措施。需要正确认识空调抗疫措施，流动空气动态消毒的有效措施是净化。抗疫空调并非杀菌、而是阻止病菌在空调定植、滋生与传播的空调。不能将一般环境与受控环境控制措施混为一谈。

正确定位空调净化技术和过滤装置。电离子发生器、等离子体、化学氧化、光催化氧化、静电除尘等技术和装置，除非相关测试数据的科学证明这些装置的安全性和有效性，否则不建议使用这些装置。在通风不良的空间应用空气净化装置可能是降低空气传播风险的有效策略，但空气净化装置不能代替通风，也不能作为减少通风的理由。

本刊编辑部

黑龙江省工业和信息化厅黑龙江省住房和城乡建设厅关于印发《黑龙江省超低能耗建筑产业发展专项规划（2022—2025年）》的通知

各市（地）人民政府（行署），中省直各有关部门：

为贯彻落实党中央、国务院碳达峰碳中和重大战略决策，推动我省超低能耗建筑产业发展，加快形成制造业产业规模和集聚效应，培育新的经济增长点，促进建筑领域节能降碳，省工信厅、省住建厅联合制定了《黑龙江省超低能耗建筑产业发展专项规划（2022—2025年）》，经省政府同意，现印发给你们，请结合实际抓好贯彻落实。

黑龙江省工业和信息化厅
黑龙江省住房和城乡建设厅
2022年4月25日

黑龙江省超低能耗建筑产业发展专项规划（2022—2025年）

实现碳达峰碳中和，是以习近平同志为核心的党中央作出的重大战略决策。建筑业作为碳排放重点领域，正在面临一场深刻的系统性变革。欧美发达国家均将超低能耗建筑作为建筑节能的发展方向和现有节能标准的重要补充，国内先进省份通过超低能耗建筑规模化应用推动了相关制造业产业集聚和高质量发展。为贯彻落实省委省政府决策部署，大力推动超低能耗建筑在严寒地区规模化应用，加快形成制造业产业规模和集聚效应，促进碳达峰碳中和任务目标完成，培育新的经济增长点，特制定本规划。

一、发展现状与趋势

- （一）发展现状（略）
- （二）机遇与挑战（略）
- （三）黑龙江省情况（略）

二、总体要求

（一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，牢固树立以人民为中心的发展思想，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，服务和融入构建新发展格局，坚持以供给侧结构性改革为主线，牢牢把握超低能耗建筑发展机遇期，通过超低能耗建筑规模化应用，充分发挥市场需求对超低能耗建筑产业的拉动作用，不断提升建筑品质、健康舒适水平和资源能源利用效率，着力提高全产业链现代化水平、建立全产业链竞争优势，着力培育集研发、生产制造、展示推广与工程应用于一体的产业集群，走出一条建筑业规模化、制造业品质化、服务业标准化的超低能耗建筑产业发展新路径，为实现建筑领域碳达峰碳中和目标、重振龙江工业经济提供有力支撑。

（二）基本原则

1. 坚持政府推动，市场主导。加大政府引导和政策支持力度，发挥市场在资源配置中的决定性作用，广泛调动企业的积极性，吸引优质资源汇集，形成良好发展环境。

2. 坚持分区推进，加速推广。根据不同地区的经济发展状况和产业技术条件，促进优势区域和重点领域率先发展。抢抓政策机遇，以政府投资工程为牵引，扩大超低能耗技术多场景应用，全面带动超低能耗建筑及产业规模化发展。

3. 坚持低碳发展，健康宜居。在提升建筑室内环境品质和建筑质量的同时，降低建筑用能需求，提高能源利用效率，推动清洁能源发展，优化建筑用能结构，为推广绿色生活方式提供居住环境保障。

4. 坚持创新驱动，标准引领。针对严寒地区超低能耗建筑关键技术实施科技攻关，发挥科技引领作用。加强地方标准建设，带动团体标准、企业标准发展，不断完善超低能耗建筑标准体系。

5. 坚持产业联动，协同发展。以超低能耗建筑市场规模化发展促进关联产业转型升级，实现超低能耗建筑技术和产品在建筑工程中广泛应用，进一步扩大产业规模，促进产业集聚、协同配套，形成新的经济增长点。

（三）发展目标

到2025年，实现超低能耗建筑产业规模化发展，全面提升产业竞争力和创造力，基本形成具有严寒地区特点、品质优异、技术先进、产业集聚的产业链体系。超低能耗建筑新建项目和改造项目建筑面积达到1000万平方米，黑龙江省超低能耗建筑业、制造业、运维与服务业全产业链产值达到1000亿元以上。（节选）

第一阶段：项目示范与产业培育期（到2022年底）

通过规划引领和政策赋能,以政府投资项目示范为切入点,探索不同技术体系的实用性,形成适用于严寒地区超低能耗建筑的技术体系,完善设计、施工、检测和验收等技术标准体系;依托一批骨干企业,完善配套产业,建设专业化园区;全省启动建设超低能耗建筑示范项目共计21个,新建面积达到26万平方米,全产业链产值达到150亿元以上。

第二阶段:推广应用与产业爬坡期(到2024年底)

以严寒地区适宜的技术体系和龙头企业为核心,扩大超低能耗建筑的市场应用,重点产品质量达到国内领先水平,产品配套和产业能力释放规模效应,显著降低建设成本,龙头企业成长迅速,国内市场占有率明显提高,超低能耗全产业链基本形成,集群效应初步显现;黑龙江省新建和改造面积累积达到500万平方米以上,全产业链产值达到600亿元以上。

第三阶段:广泛应用与产业成长期(到2025年底)

以超低能耗建筑的高品质舒适性拉动效应为牵引,全面推动城乡居住品质提升,城市既有建筑、村镇建筑和农业设施超低能耗改造持续提档升级;重点产业链节点产品市场竞争力明显提高,龙头企业研发投入明显增大,在行业中居于领先地位,高端产品服务辐射全国,走向世界;黑龙江省新建和改造面积超过1000万平方米,全产业链产值达到1000亿元以上。

经过前三个阶段可持续发展,推动超低能耗建筑产业规模与层次进一步提升,到2030年底,力争实现黑龙江省年度新建超低能耗建筑面积占比达到25%以上、既有公共建筑超低能耗累计改造面积占比达到5%以上、全产业链产值达到3000亿元以上的目标。

三、产业布局

以哈尔滨为产城融合发展核心区,以齐齐哈尔、牡丹江、佳木斯、大庆为发展示范区,其他地区依托本地优势资源发展细分产业链,构建超低能耗建筑特色产业链,形成“一核四区多基地”产业布局。

(一)壮大哈尔滨超低能耗建筑产城融合发展核心区

发挥哈尔滨高校、科研院所和企业专业人才储备优势,将哈尔滨市建设成为严寒地区超低能耗建筑技术产品核心研发平台;依托哈尔滨市双城区、阿城区、尚志市、宾西经济技术开发区建材产业园区和龙头企业,重点引进发展防水透气膜及隔汽膜、五金结构件、新风热交换设备等填补省内空白项目,通过规划引领、标准牵引、政策赋能,高标准打造超低能耗建筑产业专业园区;打造一批国内一流超

低能耗示范项目典范。

(二)打造“齐牡佳大”超低能耗建筑发展示范区

依托齐齐哈尔、牡丹江、佳木斯、大庆当地的产业特色和资源优势,通过试点示范项目带动产业协同发展,推动设计、生产、建造、运维一体发展,打造超低能耗建筑发展示范区。

(三)培育有比较优势市县建设特色基地

依托绥芬河、穆棱进口木材资源,鸡西、鹤岗、伊春、黑河等地石墨及其他尾矿资源,双鸭山玄武岩资源,牡丹江珍珠岩资源等原料优势发展特色产业;培育打造多个特色产业基地。

四、主要任务

(一)推动规模化应用引领产业发展

按照到2025年建设完成1000万平方米超低能耗建筑任务目标,做好年度计划任务分解,列入重点工作清单,整合多方力量加力推进如期完成。推动政府和国有企业投资项目全面应用超低能耗建筑技术和产品,鼓励社会投资在项目建设中加大相关技术和产品的应用力度。探索适合气候条件和居民生活习惯的改造技术路线,持续推动机关办公建筑、学校、医院等公共建筑的超低能耗改造,推进既有居住建筑节能改造。引导超低能耗建筑技术产品在工业建筑、农业建筑、交通物流建筑及军事建筑等领域的拓展应用。以市场需求为引导,重点开发经济型、舒适型、康养型、智慧型超低能耗住宅项目,通过超低能耗建筑规模化应用,激发更大市场需求,带动产业加快发展。

(二)建立严寒地区超低能耗建筑技术产品标准体系

立足黑龙江省气候特点和产业需求,发展适用于严寒地区超低能耗建筑技术体系、产品体系和标准体系,强化工程质量保障体系。

1.推动技术体系发展。加大科技创新扶持力度,鼓励市场主体联合省内外科研机构及相关单位开展协同创新,研发符合我省需求的严寒地区技术体系,对已形成推广应用价值的技术体系给予引导扶持;引导在既有建筑超低能耗改造方面开展技术创新,发展基于农房和农业基础设施的技术体系,服务乡村振兴发展。(节选)

设立黑龙江省级超低能耗建筑科技创新平台,通过政府引导、企业主体、产学研用结合,针对我省超低能耗建筑体系中的关键技术开展专项研究,打造严寒地区适用、成本适宜的技术体系;推动超低能耗建筑全生命周期碳计算、碳计量和碳评价研究,建立全产业链碳排放评价体系,培育超低能耗建筑全过程咨询、设计、施工、运营的专业团队,

研究建立基于碳排放量的建材、产品和技术评价体系；探索基于碳汇经济的省级碳交易机制，实现超低能耗建筑产业碳计算、碳评价和碳交易的协同有序发展。

2. 健全产品体系门类。鼓励黑龙江省龙头企业开发超低能耗建筑新产品，布局新产业，扩展新服务。鼓励省内外科研院所及企业开展技术创新与技术引进，提高黑龙江省超低能耗建筑产品研发、制造与服务能力。

3. 完善标准体系建设。依托大专院校、科研院所及重点企业，进一步完善黑龙江省超低能耗建筑所需的技术、产品、设计、施工质量与验收、运营评价、检测测试、体系认证、工程定额等标准、导则和技术性文件，引领产业健康有序发展。（节选）

4. 强化工程质量保障体系。严格执行有关规范和标准要求，提升超低能耗建筑工程建设质量水平，发挥工程质量安全信用体系对企业的激励引导作用，强化超低能耗建筑设计、工程施工和竣工验收全过程信息化监管，确保工程质量。加强建材产品的质量监管，建立并发挥黑龙江省级超低能耗建筑产品技术应用信息平台的推广和约束机制，保障行业健康发展。

（三）培育龙头企业引领产业发展

在超低能耗建筑产业实施“专精特新”培育专项行动，引导企业发展成为科技含量高、设备工艺先进、管理体系完善、市场竞争力强的“专精特新”企业，支持企业申请认定省级以上专精特新企业、制造业隐形冠军和制造业单项冠军企业，扶持有条件的企业在北交所、深交所、上交所上市，借助资本市场实现跨越式发展。建立产业联盟协调产业发展。建立产业链龙头企业引领带动、企业间协同合作、产业链上下游配套发展的黑龙江省超低能耗建筑产业联盟，共同拓展发展空间，实现企业优势互补，提高产业竞争力。筹备开展“中国严寒地区超低能耗建筑国际高峰论坛”，搭建国内国际产业、技术、产品信息交流合作平台，为国内国际业务合作、交流、技术引进提供渠道。支持协会、学会、联盟等开展政策宣贯、技术培训、专家咨询、诚信建设、技术认证、评优评奖等活动，引领行业规范发展，在产业链节点培育一批骨干企业。

（四）构建严寒地区超低能耗建筑产业集群

依托黑龙江省产业基础，以超低能耗建筑发展需求为引领，围绕高性能低能耗门窗系统、超低能耗建筑材料体系及超低能耗建筑设备体系三条重点产业链，培育壮大龙头企业，引进重点项目填补省内空白，完善配套服务促进产业集聚，加强技术研

发和产品开发，提高产业层次、附加值和竞争力，推动高端产品服务全国、走向世界。

1. 完善高性能低能耗门窗系统产业链。依托龙头企业，推进超低能耗建筑门窗的研发和产业化，重点发展型材、玻璃及五金件、密封件等配套产品，开发低能耗单框（双框）门窗及安装配件，实现装配化安装，完善配套原材料生产加工体系，提高产品附加值及品质。（节选）

2. 发展超低能耗建筑材料体系产业链。发挥黑龙江省资源禀赋、科技研发优势，推动资源开发和精深加工。（节选）

3. 打造超低能耗设备体系产业链。重点发展高效热回收新风系统，提高严寒地区新风系统适应性；加快推进补热系统发展，形成清洁绿色可循环热源安全稳定供给。（节选）

（五）实施创新驱动攻关行动

增强产业技术创新能力。鼓励企业设立研发机构，发挥黑龙江省级超低能耗建筑技术研发中心作用，加大研发投入，持续提高协同创新能力，加强知识产权保护，支持领军企业申请认定省级以上企业技术中心、工程技术研究中心、技术创新示范企业或制造业创新中心。支持高校、科研院所科技成果转化落地，鼓励企业承接和吸纳新技术，推动材料制备技术和设备更新迭代，提高产品质量，降低制造成本。

实施科技创新攻关行动。针对严寒地区超低能耗建筑发展的关键技术需求，积极对接国内外行业领军科研机构，建设适用于严寒地区的超低能耗建筑技术体系；鼓励优势企业、大专院校和科研院所利用人才、设备和技术优势，整合资源，联合攻关，重点攻克热回收新风系统在严寒地区出现结露、结霜、结冰、冻结等影响设备运行效率难题，解决制约产业发展的关键技术瓶颈，促进产业良性发展。

（六）加速建筑工业化融合发展

鼓励企业由产品供应商向咨询、设计、制造、产品和运维服务等一体化方案提供商转变，提高超低能耗建筑全产业链产品、部品的设计标准化程度，实现与装配式建筑的有机融合，提升工业化建造能力，提高作业效率和施工速度。推进超低能耗建筑建造技术向智能化、数字化、工业化、装配化和低碳化进行技术升级，鼓励有条件的龙头企业及研发机构持续推进建筑技术研究，培育一批智能建造和装配式+超低能耗建筑产业基地，支持哈尔滨市建设智能和装配式+超低能耗建筑产业示范园区，加速装配式建造高质量快速发展。助力农民的居住环境改善，积极在农村推广装配式+超低能耗建筑居

住示范区。发挥装配式混凝土结构、装配式钢结构、装配式配筋砌块砌体结构和装配式聚苯模块结构等方面优势，优化全省装配式产业基地布局，整体性提升超低能耗建筑集成开发建造能力，拓展工程应用范围和领域，扩大应用量。发展装配式钢-混凝土组合结构和装配式木结构等产业，引进国内外先进成果，拓展应用范围。积极引入和研发自动砌筑机器人技术、信息化管理等智慧建造领域新产业，鼓励有条件的龙头企业继续推进建筑机器人领域的研究，主动对接国内建筑机器人研发领先机构，通过合作研发等形式，推进技术和产品升级。（节选）

（七）促进产业数字化转型

提升产业智能制造水平。围绕超低能耗建筑关键产品生产、重要部件制造、装配式建造等环节，加大智能制造的推进力度，加快产品研发、设计、制造、销售、采购、管理、维修等生产经营环节的产业链数字化协同，建设基于产业协同发展的产业信息智能化共享平台，促进价值链、企业链、供需链、技术链和空间链的有效对接，实现资源优化配置。

打造智能建造样板工程。实施智能建造试点示范行动，建设一批样板工程；加快推进建筑信息模型（BIM）技术在工程全生命期的集成应用，开展

建筑产业互联网平台建设试点；围绕智能家居、健康室内环境智能控制、智慧建筑能源系统等关键环节，提高超低能耗建筑的整体智能化水平。

提高智慧运维管理水平。鼓励相关企业建设智慧运维管理平台，培育高水平专业化运维服务团队，推动超低能耗建筑运行智能化管理新模式，满足用户的差异化需求。加强物联网、大数据、云计算、人工智能等新一代信息技术在建筑智能运维领域的融合应用，开展基于碳排放的能源管理平台建设，发挥数字经济作用。

（八）推动产业绿色化发展

围绕原料采用、产品制造、使用和固体废物处理等环节，引导超低能耗建筑的高性能墙体、高效节能门窗、气密性强的窗框、玻璃等相关材料实施清洁生产与节能减排，达到高效、健康、环保、安全、质量优良等目标。吸纳先进超低能耗建筑设计理念，提升新风热回收系统、地源热泵、太阳能蓄冷热等自然采光、自然通风效率。加大可再循环建筑材料的产品、技术、装备的研发，提高能源、资源的综合利用率。将绿色环保理念引入到建筑工程项目管理中，渗透到施工场地、建筑材料、施工人员等各方面。

五、保障措施（略）

关于印发《山东省“十四五”绿色建筑与建筑节能发展规划》的通知

鲁建节科字〔2022〕4号

各市住房城乡建设局、发展改革委（能源局）、工业和信息化局、财政局、市场监督管理局：

为落实习近平生态文明思想，推动城乡建设绿色低碳转型，根据国家《“十四五”绿色建筑与建筑节能发展规划》等有关要求，我们编制了《山东省“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》。现印发给你们，请认真贯彻落实。

山东省住房和城乡建设厅 山东省发展和改革委员会 山东省工业和信息化厅
山东省财政厅 山东省市场监督管理局 山东省能源局

2022年4月13日

山东省“十四五”绿色建筑与建筑节能发展规划（节选）

“十四五”时期是我国开启全面建设社会主义现代化国家新征程、向第二个百年奋斗目标进军的五年，是我省全面贯彻落实习近平生态文明思想、谱写美丽山东建设新篇章的五年。为明确“十四五”时期全省绿色建筑与建筑节能目标任务，推动城乡建设绿色低碳转型，助力实现碳达峰、碳中和，根据《中共中央国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》（中发〔2021〕36号）、《国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知》（国发〔2021〕23号）、《中共中央办公厅国务院办公厅关于推动城乡建设绿色

发展的意见》（中办发〔2021〕37号）及《住房和城乡建设部关于印发“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划的通知》等，结合山东实际，编制本规划。

一、“十三五”期间工作回顾

“十三五”期间，在省委、省政府的正确领导下，全省住房城乡建设系统以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻落实党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中全会精神，牢固树立生态文明思想，践行绿色发展理念，持续深入推进绿色建筑与建筑节能工作，城乡建设领域绿色底色和成色更加浓厚，为住房城乡建设事业高质量

发展奠定坚实基础。5年来,全省累计建成绿色建筑面积4.43亿平方米,新建、改造节能建筑面积8.13亿平方米,推广可再生能源建筑应用面积3.08亿平方米。与“十二五”时期相比,新增节能潜力890万吨标准煤、二氧化碳减排潜力2090万吨以上。

(一) 发展成就

1. 绿色建筑全面快速发展。累计创建5批、23个省级绿色生态示范城区,4批、67个省级绿色生态示范城镇,建设省级绿色智慧示范住区61个。“十三五”期间,全省获得二星级及以上绿色建筑标识项目9765万平方米,其中,运行标识项目881.2万平方米,居全国前列。2020年,绿色建筑占当年城镇新建民用建筑比例达到92.6%。

2. 新建建筑能效水平不断提高。实行建筑节能工程闭合管理模式,严格执行居住建筑节能75%设计标准,率先发布实施公共建筑节能72%设计标准,能效水平分别提升30%、20%。积极发展超低能耗建筑,推动示范工程建设和相关产业发展。推进公共建筑节能监管体系建设,省及16市节能监管平台全部建成并平稳运行,实现部、省、市三级数据联网。“十三五”期间,全省累计建成节能建筑面积6.49亿平方米,创建省级超低能耗建筑示范项目59个、112.3万平方米,评选公布省级公共建筑“节约之星”示范项目19个。

3. 既有建筑节能改造稳步开展。制定发布《山东省公共建筑能效提升重点城市项目管理办法》,重点推动机关办公建筑、大型公共建筑、公益性建筑等实施节能改造,济南、青岛、济宁、聊城4市创建国家公共建筑能效提升重点城市。结合农村冬季清洁取暖改造,探索开展农村住房节能改造。“十三五”期间,全省完成城镇既有居住建筑节能改造面积8237万平方米、公共建筑节能改造面积2406万平方米,改造农村住房近1000万平方米。

4. 可再生能源、清洁能源建筑应用持续推进。新建100米以下城镇居住建筑、农村新型社区以及集中供应热水的公共建筑,全面同步设计、安装太阳能热水系统,因地制宜推广浅层地热能、空气能、太阳能光伏等建筑应用技术。全面完成国家可再生能源建筑应用示范市县验收,济南、淄博、济宁、泰安、聊城、滨州、菏泽7市纳入北方地区冬季清洁取暖试点城市。“十三五”期间,全省新增太阳能光热建筑应用面积2.92亿平方米、浅层地源热泵建筑应用面积1615万平方米,城市(县城)累计完成清洁取暖改造面积2.69亿平方米,农村地区累计完成清洁取暖改造510.14万户。

5. 建造方式革新步伐加快。

(二) 工作措施(略)

1. 健全法规政策体系。
2. 坚持激励与考核并重。
3. 发挥科技创新支撑作用。
4. 多形式开展宣传培训。

(三) 存在的主要问题(略)

二、“十四五”时期面临的发展形势(略)

- (一) 实现“双碳”目标带来新挑战。
- (二) 推动高质量发展明确新任务。
- (三) 缔造美好生活提出新要求。

三、总体要求

(一) 指导思想

坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,深入贯彻习近平生态文明思想和党的十九大及十九届历次全会精神,落实碳达峰、碳中和重大决策,立足新发展阶段,完整、准确、全面贯彻新发展理念,锚定住房城乡建设事业高质量发展总目标,以转变城乡建设模式和发展方式为核心,建立健全绿色低碳发展体系,推动形成绿色发展格局、生产方式、生活方式,为新时代现代化强省建设提供坚实支撑。

(二) 基本原则

1. 因地制宜,突出重点。
2. 政府引导,市场推动。
3. 以人为本,全面发展。
4. 技术引领,创新驱动。

(三) 发展目标

到2025年,全省绿色建筑与建筑节能实现持续、高质量发展,建筑能效水平大幅提高,建筑用能结构进一步优化,建筑领域能耗和碳排放增长趋势有效控制,建筑业发展方式及建造模式绿色转型取得明显成效。

——绿色建筑。到2025年,绿色建筑占城镇新建民用建筑比例达到100%。“十四五”期间,新增绿色建筑面积5亿平方米以上,获得绿色建筑标识项目面积1亿平方米。

——新建建筑节能。“十四五”期间,城镇新建居住建筑能效水平在原有基础上提升30%,新建公共建筑能效水平提升20%。到2025年,新建超低能耗建筑面积500万平方米以上,创建近零能耗及低碳、零碳建筑试点面积100万平方米以上。

——既有建筑节能与绿色化改造。“十四五”期间,完成既有居住建筑节能改造及绿色化改造面积3000万平方米以上,公共建筑能效提升改造面积2000万平方米以上,所有设区市基本达到公共建筑能效提升重点城市要求。

——可再生能源与清洁能源建筑应用。“十四五”

期间,推广可再生能源与新能源建筑应用面积4亿平方米以上。到2025年,城镇民用建筑可再生能源替代常规能源比重超过10%。

——新型建筑工业化。“十四五”期间,累计开工建设装配式建筑面积1亿平方米以上。到2025年,新开工装配式建筑占城镇新建民用建筑比例达到40%以上,其中济南、青岛、烟台3市达到50%以上;建筑产业互联网平台初步建立,打造应用场景100项以上。

——能耗总量及强度双控。到2025年,建筑运行一次二次能源消费总量控制在0.95亿吨标准煤以内,城镇民用建筑单位面积综合供暖能耗比2020年降低20%以上,建筑能耗中电力消费比例超过55%。

四、重点任务

(一) 全面推动绿色建筑高质量集约发展

1. 提高绿色建筑建设品质。城镇新建民用建筑全部按照绿色建筑标准进行规划、设计、建设,其中,政府投资或者以政府投资为主的公共建筑以及其他大型公共建筑,全部按照二星级以上绿色建筑标准建设,超高层建筑全部执行三星级绿色建筑标准。修订发布山东省《绿色建筑设计标准》《绿色建筑工程施工质量验收标准》《绿色建筑施工图设计审查技术要点》《健康建筑评价标准》等标准规范及技术要点。

2. 加强绿色建筑全过程监管。建立健全涵盖规划、设计、建设、运行、拆除等全程管控、链条闭合的绿色建筑推广机制,加强对参建各方主体、第三方服务机构执行绿色建筑标准的监督检查,提高绿色建筑标准执行率及工程建设管理水平。建立绿色建筑智能化管理平台系统,实现绿色建筑能耗、水耗、室内空气质量等绿色性能关键指标实时监测上传与统计分析,及时披露建筑运营信息。

3. 完善绿色建筑标识制度。制定发布山东省《绿色建筑标识管理办法》《绿色建筑评价标准》,推行统一管理、分级实施的绿色建筑标识制度,配合国家积极开展三星级标识,省、市分别负责实施二星级、一星级标识。

4. 推动绿色建筑高效集约发展。组织开展省级绿色生态示范城区(城镇)评估验收,总结梳理推广经验,进一步完善绿色生态城区(城镇)实施标准、评估指标、建设管理等工作体系,推动城市副中心、发展先行区、试点起步区等城镇新建区域按照绿色生态城区标准进行规划、建设。

(二) 大力推进建筑节能多领域协同发展

1. 不断提升新建建筑能效水平。进一步健全建筑节能全过程监管机制,落实节能设计专篇、专项

施工方案、节能专项验收等关键环节配套制度,确保建筑节能工程质量安全。加强建筑节能常态化监督检查,压实参建各方主体责任,严格管控高耗能公共建筑建设,引导相关企业将现行建筑节能法规政策和标准规范纳入质量管理体系。城镇新建建筑严格执行国家、省建筑节能标准规范,逐步修订提高节能设计标准,重点提高建筑门窗等关键部品节能性能要求,推广适应性强、防火等级高、保温隔热性能好的建筑保温隔热系统,力争到2025年新建民用建筑能效水平达到超低能耗标准。组织编制技术可行、成本适宜、群众认可的农村建筑节能标准,政府投资的农村公共建筑、统一建设的美丽宜居乡村安置区等率先执行建筑节能标准。

2. 大力推广超低能耗建筑。发布实施《超低能耗公共建筑技术标准》《近零能耗居住建筑节能设计标准》等标准规范,研究建立超低能耗建筑、近零能耗建筑评价标识制度,逐步完善近零能耗建筑、低碳建筑、零碳建筑、产能建筑等技术路线。制定推动超低能耗建筑、近零能耗建筑等发展的政策措施,积极推广超低能耗建筑项目建设,组织开展近零能耗建筑、低碳建筑、零碳建筑、产能建筑试点示范。鼓励在城镇新区等有条件的区域,新建建筑率先全面执行超低能耗建筑标准,建设一批近零能耗建筑、低碳建筑、零碳建筑集中连片示范区。

3. 扎实推进既有建筑节能改造。结合冬季清洁取暖、老旧小区改造、城市更新等工作,统筹推进既有居住建筑节能改造。研究制定建筑节能改造与老旧小区改造融合互促工作机制,推动将外墙、外窗节能改造作为重点改造内容,鼓励采取可再生能源建筑应用、雨水收集与中水回用、供热管网与供热计量等多元化改造措施,推动老旧小区向绿色社区转变。积极创建公共建筑能效提升重点城市,以机关办公建筑、大型公共建筑等为重点,稳步实施公共建筑节能改造,鼓励开展绿色化改造。引导社会资本参与公共机构节能改造,加快推广合同能源管理、合同节水管理、政府和社会资本合作(PPP)等市场化改造模式。深入推进公共建筑节能监测体系建设,推动省、市公共建筑能耗监管平台升级改造,实现能耗信息的自动采集、数据传输、统计分析以及能耗对标诊断、预警,逐步完善基于能耗限额的公共建筑用能管理机制。推动提高农村既有建筑节能水平,开展农房节能改造试点示范。

4. 加快推动建筑用能清洁化替代。新建城镇居住建筑、农村社区以及集中供应热水的公共建筑,全面安装使用可再生能源热水系统。积极拓展可再生能源在建筑领域的应用形式,因地制宜推广太阳

能、地热能、风能、生物质能等新能源，规范空气源热泵技术建筑应用。在进行资源评估、环境影响评价基础上，开展中深层地热能梯级开发利用。科学调整集中供暖用能结构，推进城乡清洁取暖改造，统筹利用热电联产供热、工业余热、核电余热、城市中垃圾焚烧与再生水余热及数据中心余热等资源，满足城市及周边地区建筑新增供热需求。鼓励在新建的交通枢纽、会展中心、文体场馆、中央商务区、工业园区、学校等，开展光伏建筑一体化（BIPV）项目建设，推动城镇既有公共建筑、工业厂房及屋顶面积较大的农村建筑等加装光伏系统，稳步推进整县屋顶分布式光伏规模化开发试点。加装光伏系统的建筑，安装前应进行可行性、安全性、经济性等综合评估，安装后应具备断电保护功能并保证牢固连接、不漏水不渗水。建立对可再生能源建筑应用项目的常态化检查机制和后评估制度，完善可再生能源建筑应用政策体系、标准体系、技术体系。

5. 积极实施建筑电气化工程。逐步建立以电力消费为核心的建筑能源消费体系，提高建筑用能中清洁电力消费比例，重点提高在供暖、生活热水、炊事等用能结构中的电气化水平。推动太阳能光伏在城镇建筑中分布式、一体化应用，实现就地生产、就地消纳。在城市大型商场、办公楼、酒店、机场航站楼等建筑，推广应用热泵空调、电蓄冷空调、蓄热电锅炉等。在新能源电力富集地区，利用低谷富余电力，实施蓄能取暖。推广基于直流供电的建筑规划、设计技术，利用分布式光伏、储能技术等，提高建筑用能柔性，构建以“直流建筑+分布式蓄

电+太阳能光伏+智能充电桩”为特征的新型建筑电力系统。利用建筑用能监测数据合理引导建筑用户电力需求，积极参与调峰，培育智慧用能新模式，实现建筑用能端与电网供给端的智慧响应。

（三）积极推动建筑产业链绿色低碳发展

1. 稳步推进城乡建设领域碳达峰。研究制定山东省城乡建设领域碳达峰实施方案，明确发展路线图、重点任务和保障措施。建立健全建筑行业低碳发展制度，逐步建立基于碳排放总量和强度双控的目标引导和分解落实机制。完善建筑设计、建设、运行、改造等低碳技术标准体系，组织开展低碳示范区、低碳和零碳建筑（社区）等多类型试点。推动建立公共建筑运行调适制度，进一步完善民用建筑能效测评标识制度。研究制定建筑活动碳排放清单编制方法，争取开展建筑行业碳排放交易试点。稳步推进供热计量改革，完善供热计量监管机制及计价收费方式，逐步推行按用热量计价收费。

2. 大力发展装配式建筑。政府投资或国有资金投资建筑工程按规定采用装配式建筑，其他项目装配式建筑占比不低于30%，并逐步提高比例要求。

3. 加快智能建造创新应用。加快推进BIM技术在建筑全寿命期的一体化集成应用。

4. 推行全过程绿色建造。制定绿色建造评价体系和技术导则，打造一批绿色建造示范工程。建立绿色建材采信数据库，建设绿色建材应用示范工程。

5. 推动新型建筑工业化产业集聚发展。编制发布新型建筑工业化全产业链发展规划。

五、保障措施（略）

河北省发展和改革委员会关于印发2022年河北省电力需求侧管理工作方案的通知

各市（含定州、辛集市）发展改革委（局），雄安新区改革发展局，国网河北省电力有限公司、国网冀北电力有限公司：

为有效应对电力供应不足、突发事件等情况，保障我省电网安全稳定运行、供用电秩序平稳，我委组织国网河北省电力有限公司、国网冀北电力有限公司，结合2022年度电力供需形势预测，编制了《2022年河北省电力需求侧管理工作方案》，方案已报省政府备案，现印发你们，请认真贯彻执行。

河北省发展和改革委员会

2022年4月1日

2022年河北省电力需求侧管理工作方案（节选）

为有效应对电力供应不足、突发事件等情况，保障我省电网安全稳定运行、供用电秩序平稳，我委组织国网河北省电力有限公司、国网冀北电力有限公司，认真总结2021年电力保供工作经验，结合

2022年度电力供需形势预测，特制定本方案，用以指导河北省2022年度电力平衡工作。

一、总体要求和目标

全面贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，

认真落实国家发展改革委和省委省政府关于电力保障供应的工作部署，建立健全“节约用电助力，需求响应优先，有序用电保底”需求侧管理体系，统筹地区经济结构、发展需求、用电特点等因素，构建可调节负荷资源库，通过需求响应和有序用电等多种手段，在电力紧平衡和供应缺口时期，组织用户移峰填谷，维护正常供用电秩序，确保电网安全稳定运行，切实保障居民生活、公共服务和重要用户电力可靠供应。

（一）节约用电。开展节约用电宣传，推进大功率景观照明、灯光秀项目用电纵深感控，开展商业综合体、大型公共建筑内部用电分路监控。

（二）需求响应。建设运营需求响应市场，优先通过市场化手段应对电力供应缺口，保障企业正常的生产秩序。

（三）有序用电。公平公正组织用户参与有序用电，逐步建成最大负荷 10% 以上的远程负荷控制能力，确保方案刚性执行，确保限电不限民生用电，保障电网安全稳定运行。

二、工作原则（略）

（一）政府主导。

（二）安全稳定。

（三）有保有限。

（四）注重预防。

（五）灵活高效。

三、电力供需形势分析

结合经济形势、气温气象预测等情况，预计 2022 年河北南网调度口径最大负荷为 4450 万千瓦（冬季 4200 万千瓦），同比增长 6.0%。统筹考虑网内发电机组投产、检修和外购电计划，夏季、冬季用电高峰时期，河北南网电力供需形势紧张，预计夏季最大缺口为 270 万千瓦，冬季最大缺口为 300 万千瓦。如遇极端天气、网间联络线故障等情况，缺口可能进一步扩大。

预计 2022 年冀北电网调度口径最大负荷为

2980 万千瓦（夏季最大负荷 2640 万千瓦），同比增长 3.47%，若出现极端天气，最大负荷可能达到 3080 万千瓦，在电煤供应充足的情况下，电力供需基本平衡。如遇极端天气、网间联络线故障、煤电出力受阻等情况，将可能出现电力缺口。

四、落实全面节约战略

（一）实施景观照明节能降耗。推进城市景观照明集中管理、集中控制和分时控制模式，实施城市景观照明能耗监管。严禁在景观照明中使用大功率泛光灯、大面积霓虹灯等高亮度、高耗能灯具。在电力供应紧张期间，电力运行管理部门要组织有关部门、单位合理控制城市夜景亮化，严禁运行单纯展示城市形象的“灯光秀”。

（二）推动工业领域节能降耗。（略）

（三）强化节约用电宣传。（略）

五、坚持需求响应优先

（一）开展可调节负荷资源排查。蓄热式电采暖、楼宇空调、客户侧储能和双蓄、智能家居等调节速度较快的用户开展普查，建设不低于最大负荷 5% 的可调节负荷资源库，并纳入省级电网智慧能源服务平台，实现统一分类管理、滚动更新、在线监测。

（节选）

（二）开展参与主体的资格审核。（略）

（三）组织市场主体参与需求响应。（略）

（四）积极推进需求响应实践应用。电网企业要围绕保障电力平衡、促进新能源消纳及缓解电网局部断面等场景，积极探索日内、实时需求响应，推动需求侧资源参与调峰调频、事故备用、现货市场，助力新型电力系统建设。

六、做实有序用电保底（略）

七、组织实施流程（略）

八、工作要求（略）

该方案有效期至 2023 年需求侧管理工作方案发布日。若遇国家政策调整等特殊情况，按最新文件要求执行。

贵州省能源局、贵州省发改委联合印发

《贵州省新能源和可再生能源发展“十四五”规划》

黔能源发〔2022〕5号

各市（州）能源主管部门、贵安新区经济发展局，贵州电网有限责任公司、贵州万峰电力有限公司，贵州能源规划研究中心，各相关企业：

现将《贵州省新能源和可再生能源发展“十四五”规划》印发给你们，请认真贯彻执行。

贵州省能源局 贵州省发展和改革委员会

2022 年 4 月 14 日

贵州省新能源和可再生能源发展“十四五”规划（节选）

第二章 指导思想和基本原则

第一节 指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的十九大和十九届历次全会精神，以习近平总书记视察贵州重要讲话精神为总遵循、总纲领、总方针，立足新发展阶段，贯彻新发展理念，融入新发展格局，围绕“四新”主攻“四化”，以推动高质量发展为主题，以深化供给侧结构性改革为主线，以构建以新能源为主体的新型电力系统为目标，贯彻“四个革命、一个合作”能源安全新战略和“碳达峰、碳中和”要求，坚定不移走生态优先、绿色发展新路，全方位构建清洁低碳、安全高效的能源体系，为贵州省建设国家重要的新型综合能源基地、国家生态文明建设先行示范区作出更大贡献。

第二节 基本原则

坚持能源安全战略原则。“能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题，对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要。”能源安全作为能源供应安全和能源使用安全的有机统一。一方面，能源的供应量必须能确保我省经济社会运行的总需求；另一方面，能源消费过程应坚持绿色低碳。

坚持清洁高效能源转型原则。坚持以能源技术变革推动能

源革命，促进新能源、可再生能源与其他能源之间的融合发展，推进建立清洁高效、多能互补的能源新体系。通过清洁能源多能互补与规模应用、低碳化多能战略融合的变革性关键技术突破与示范，打造适合我省的品种多样、多能互补的清洁能源体系。

坚持能源高质量发展原则。坚持基地化、规模化、一体化

发展，集中式和分散式并举，走生态优先、绿色低碳的高质量发展道路，是贵州省“十四五”及中长期新能源和可再生能源发展的重要思路和指导原则。

坚持创新驱动原则。坚持以科技创新为第一动力。当前，贵州省新能源市场结构和市场体系深层次问题仍很突出，科技创新在新能源发展中的驱动作用还不显著，新技术新模式新业态亟待创新和推广。新能源与可再生能源规划要坚持科学有序、协调创新原则，以科技创新驱动我省新能源和可再生能源事业高质量发展。

第三章 发展目标

第一节 总体目标

“十四五”期间，贵州省加大新能源和可再生能源开发利用，进一步扩大化石能源利用替代进程，积极提高新能源和可再生能源消费占一次能源消费占比。预计到2025年，贵州省新能源和

可再生能源利用总量折合标煤约4048万吨，非化石能源消费占比提高到21.6%。

第二节 分项目标

一、新能源与可再生能源发电装机

到2025年，新能源与可再生能源发电装机6546万千瓦；非水电可再生能源装机4265万千瓦。其中水电装机2281万千瓦，风电装机1080万千瓦，光伏发电装机3100万千瓦，生物质能发电装机85万千瓦。

二、地热能供暖制冷面积

到2025年，地热能供暖制冷面积达到2500万平方米以上，折合替代化石能源232.2万吨标煤。

三、生物天然气

到2025年，贵州省生物天然气产能达到2亿立方米。

第三节 远景目标（略）

第四章 重点任务

第一节 积极拓展光伏发电多元化产业布局

大力推进光伏基地建设。为适应新能源大规模、高比例发展，在太阳能资源较好的毕节、六盘水、安顺、黔西南、黔南等市（州）打造百万千瓦级大型光伏基地，引领新能源基地化、规模化发展。充分发挥规模化开发优势，降低建设成本，加强送出通道规划和建设，提高新能源消纳能力和送出通道利用水平。

积极推进风光水火储一体化发展。以大型水电基地及现有（规划）火电厂为依托，统筹本地消纳和外送，建设乌江、北盘江、南盘江、清水江流域四个水风光一体化可再生能源综合基地以及风光水火储多能互补一体化项目。充分利用水电及火电的调节能力，合理布局新型储能或抽水蓄能，优化调度、联合运行、高效利用，建设水（火）风光储一体化可再生能源综合开发基地，降低可再生能源综合开发成本，提高水电或火电送出通道利用率。

积极推进整县屋顶分布式光伏开发试点。加快负荷中心及周边地区分布式光伏建设，积极推进工业园区、经济开发区等屋顶光伏利用，推广光伏发

电与建筑一体化应用。在开阳县、播州区、关岭县、镇宁县、盘州市、钟山区、镇远县、长顺县、兴义市、望谟县、威宁县、黔西市、松桃县等 13 个试点县（市、区），按照就地消纳、整县推进、因地制宜、宜建尽建、分步实施的原则，以及整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点基本要求，在 2023 年底前各试点县（市、区）屋顶分布式光伏项目建设达到国家要求。

积极推进“光伏+”发展。结合光伏场区岩溶、石漠化、煤矿塌陷区等脆弱区域的生态修复，提升光伏发电发展方向，创新各类符合我省实际的“光伏+”综合开发利用模式，积极打造农光互补、林光互补、牧光互补以及水光互补等光伏利用方式，提高资源利用效率，增加农村就业岗位，壮大农村集体经济实力，增加农民收入；积极推进风电开发和乡村振兴和旅游开发，提升边远地区交通基础设施建设；大力推进垃圾发电项目建设，因地制宜推进农林生物质发电项目和沼气发电项目建设，促进农村人居环境整治，促进生态文明建设。

第二节 稳步推进风电协调发展（略）

第三节 因地制宜开发生物质能（略）

第四节 加快发展地热能产业（节选）

抓好地热能产业规划实施，加大资源开发利用。认真抓好贵州省地热能产业发展“十四五”规划及各市州、贵安新区地热能开发利用实施方案实施，围绕“五区”（城市功能区、城镇集中区、工业园区、农业园区、旅游景区）驱动，做好顶层设计，按照市场驱动原则，分析需求和供给，积极推进地热能供暖制冷项目建设，加大大地热能资源开发利用。

提升资源勘查评价水平，加大科技攻关力度。加快全省主要城镇区域浅层地热能资源和有条件地区中深层地热能资源勘查评价，进一步探明贵州省浅层地热能和中深层地热能赋存地质条件、热储特征、空间分布及其资源储量，并对开采技术经济性作出系统评价；加大贵州省地热能勘查开发科技攻关力度，加快构建适合贵州岩溶地区地热能开发利用技术标准体系。

积极引进培育优强企业，开展地热能利用试点示范。

重点发展浅层地热能供暖制冷应用，探索中深层地热能多元梯级综合利用。围绕“五区”驱动，加大浅层地热能资源开发利用，初步实现浅层地热能供暖制冷建筑规模化、商业化应用；充分利用现有温泉开发利用基础条件，积极探索中深层地热能多元梯级综合利用，进一步提高贵州省地热能能源利用效率。

第五节 推进核能开发进度（略）

第六节 促进新能源和可再生能源消纳

加强电网基础设施建设及智能化升级，提升电网对新能源和可再生能源的支撑保障能力。支撑可再生能源在区域内统筹消纳。推动配电网智能化升级，提升配电网柔性开放接入能力、灵活控制能力和抗扰动能力，增强电网就地就近平衡能力，构建适应大规模分布式新能源并网和多元负荷需要的智能配网。

提升新能源和可再生能源就地消纳能力。在新能源资源富集地区合理布局一批天然气调峰电站，充分提升系统调节能力。优化电力调度运行，合理安排系统开机方式，动态调整各类电源发电计划，探索推进多种电源联合调度。引导区域电网内共享调峰和备用资源，创新调度运行与市场机制，促进可再生能源在区域电网内就地消纳。

第七节 加强新能源和可再生能源直接利用

推动新能源和可再生能源发电在终端直接应用。在工业园区、大型生产企业和大数据中心等周边地区，因地制宜开展新能源电力专线供电，建设新能源自备电站，推动绿色电力直接供应和对燃煤自备电厂替代，建设一批绿色直供电示范工厂和示范园区，开展发供用高比例新能源示范。结合增量配电网试点，积极发展以分布式可再生能源为主的微电网、直流配电网，扩大分布式可再生能源终端直接应用规模。

开展高比例新能源和可再生能源应用示范。在学校医院、机场车站、工业园区等区域，推动可再生能源与终端冷热水电气等集成耦合利用，促进可再生能源技术融合、应用方式和体制机制等创新，建设高度自平衡的可再生能源局域能源网，实现高比例可再生能源自产自消。在新能源和可再生能源资源富集、体制机制创新先行先试等地区，扩大分布式能源接入和应用规模，以县域为单位统筹新能源和可再生能源开发利用，创新可再生能源全产业链开发利用合作模式，因地制宜创建绿色能源示范县（园区）。

第八节 扩大乡村可再生能源综合利用

加快构建以可再生能源为基础的乡村清洁能源利用体系。利用建筑屋顶、院落空地、设施农业、集体闲置土地等推进风电和光伏发电分布式发展，提升乡村就地绿色供电能力。推动乡村能源技术和体制创新，促进乡村可再生能源充分开发和就地消纳，建立经济可持续的乡村清洁能源开发利用模式。开展村镇新能源微电网示范，扩大乡村绿色能源消费市场，提升乡村用能清洁化、电气化水平，支撑

生态宜居美丽乡村建设。

持续推进农村电网巩固提升。

提升乡村可再生能源普遍服务水平。

第九节 推进可再生能源技术革命

加快数字新能源发展。推进新能源网络与物联网在数字层面实现互联互通，推进储能多元化应用支撑能源互联网应用示范，实现“源网荷储”的智能化调度与交易。构建电、热、冷、储、氢等多能流综合运行的区域能源管理系统。

加大创新技术的推广应用。加快新能源装备制造技术、开发利用技术应用推广，创新科技融入新能源开发建设及生产运维。推动微风风机、大功率风机、大子阵、高容配系统广泛应用；提升智能化程度，采用无人机、AI、5G 技术提高运维效率；围绕新型电力系统要求研究新能源大规模消纳技术。

加强新能源科技基础研究。实施人才发展战略，重点提高新能源科学领域的研究能力和水平，进一步强化新能源技术研发，搭建良好的产业平台，形成一批能源集团企业、高校、科研院所、技术中心等机构，进一步吸引更多优质的人才及市场主体。

第五章 投资匡算和社会经济效益分析

第一节 投资匡算

“十四五”期间，我省新能源与可再生能源项目投资约 1234 亿元，其中：

1、光伏发电项目：“十四五”期间新增光伏电站装机 2043 万 kW，单位千瓦投资根据成本下降按 2800 至 3500 元/kW 计，总投资约 645 亿元。

2、风电项目：“十四五”期间新增装机规模 500 万 kW，单位千瓦投资按 6900 元/kW 计，总投资 345 亿元。

3、生物质能利用项目：“十四五”期间新增生物质能发电项目（含垃圾）装机 50 万 kW，总投资 94 亿元。

4、地热能利用项目：“十四五”期间新增地热能服务面积 2000 万平方米，按单位面积造价 500 元计，总投资 100 亿元。

5、核能项目：核能小堆项目一期投资 50 亿元。

第二节 社会经济效益分析（略）

第六章 环境影响评价（略）

第七章 保障措施（略）

关于印发《固原市碳达峰碳中和科技支撑行动方案》的通知

各县（区）科技局，各有关单位：

现将《固原市碳达峰碳中和科技支撑行动方案》印发，请结合实际贯彻落实。

2022 年 4 月 18 日

固原市碳达峰碳中和科技支撑行动方案（节选）

2040 年前力争碳达峰、努力争取 2060 年前实现碳中和目标，是以习近平同志为核心的党中央作出的重大战略决策。为认真贯彻落实党中央、国务院及自治区党委、政府关于碳达峰碳中和重大战略决策部署，结合固原市高碳排放的产业现状和面临的碳减排严峻形势，开展碳达峰碳中和科技创新攻关，推进产业绿色低碳转型升级，支撑碳达峰碳中和目标实现，特制定本行动方案。

一、总体要求

（一）指导思想

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中、五中、六中全会精神，全面贯彻习近平生态文明思想和习近平总书记视察宁夏重要讲话精神，认真落实党中央、国务院，自治区党委、政府和固原市委市政府“双碳”目标及“双控”工作重要决策部署，立足新发展阶段、贯彻新发展理念、融入新发展格局、

推动高质量发展，紧紧围绕建设黄河流域生态保护和高质量发展先行区、实现碳达峰碳中和目标重大科技需求，组织实施碳达峰碳中和科技支撑行动，为固原市生态文明建设和高质量发展提供有力科技支撑。

（二）基本原则（节选）

- 统筹布局，系统谋划。
- 聚焦瓶颈，重点突破。
- 培育主体，示范带动。
- 开放合作，协同联动

（三）行动目标

到 2025 年，初步构建固原市减碳、零碳、负碳技术创新体系，关键核心技术攻关和成果转化能力水平明显提高，可再生能源、储能、氢能、CCUS（碳捕集、利用与封存）、工业节能降碳等技术有所突破，支持打造 1 至 2 个碳中和科技创新示范项目，培育 2 家绿色低碳创新型企业，培养引进 1 个以上绿色

低碳领军人才和创新团队，建设一批绿色低碳科技创新平台，转化应用一批绿色低碳科技成果。

二、重点任务

（一）开展绿色低碳关键核心技术攻关行动（节选）

加快绿色能源开发技术攻关。开展光伏与风电制造技术、生产性服务关键技术研发应用，加快发展壮大可再生能源制造业及服务业。开展氢能、储能关键技术研发应用，加快扩展可再生能源应用新领域，开展可再生能源智能运维、智慧电厂与智能电网关键技术研发及集成应用，推进电力“源网荷储”一体化和多能互补发展，加快提升可再生能源供应基础能力，努力提高电网安全运行水平。推进重点行业节能降碳技术攻关。围绕能源、化工、冶炼、建筑、交通等行业减污降碳需求，支持高碳排放行业企业开发高附加值新产品，研发应用低碳燃料与原料替代、过程智能调控、余热余能高效利用等技术，加强绿色生产工艺、技术、设备及废弃物资源化综合利用研究。支持安全可靠、先进成熟、节能环保的多技术单元集成创新，研发被动式超低能耗建筑、绿色智能交通运输装备和服务，加强建筑节能改造、能效提升、运维能源管理，实施智能交通等电动化、高效化、清洁化关键技术应用示范，加快推进行业绿色转型。加大生态固碳和增汇技术攻关。

（二）开展绿色低碳先进科技成果引进转化行动

聚焦固原市优势特色产业，围绕能源、化工、冶炼、建筑、交通、农业、居民生活等领域，整合市内企业、高校、科研院所、科技服务机构、金融机构等多方资源，转移转化一批先进适用的绿色低碳科技成果。支持高校、科研院所建立专业化技术转移机构，通过技术转让、技术许可、作价投资等多种形式有效推进绿色低碳科技成果转化。支持企业通过转让、许可、技术入股等方式，引进先进绿色低碳科技成果在市内转化应用。围绕产业低碳、零碳、负碳技术发展需求，实施一批可再生能源、氢能、储能、CCUS 重大科技成果转化项目，加强氢能、光伏、风电多能交互清洁能源示范，促进重点产业绿色转型升级。支持城市、社区（乡镇）、园区开展近零碳排放、节能减排科技成果示范，引导全社会绿色低碳生产生活方式。

（三）实施绿色低碳科技创新平台创建行动。（略）

（四）实施绿色低碳创新型示范企业培育行动。（略）

（五）实施绿色低碳应用基础研究行动。（略）

（六）实施绿色低碳对外科技创新合作行动。（略）

（七）实施绿色低碳专业人才团队引育行动。（略）

（八）实施碳达峰碳中和知识科学普及行动。（略）

三、保障措施（略）

附则固原市重点行业领域碳达峰碳中和技术发展路线（节选）

（一）能源行业

加快能源零碳减碳技术创新。开展光伏与风电制造技术、生产性服务关键技术研发应用，加快发展壮大可再生能源制造业及服务业；开展氢能、储能关键技术研发应用，加快扩展可再生能源应用新领域；开展可再生能源智能运维、智慧电厂与智能电网关键技术研发及集成应用，推进电力源网荷储一体化和多能互补发展，加快提升可再生能源供应的基础能力；开展火力发电能效提升、调峰及二氧化碳捕集、利用技术研发应用；加快煤矿安全智能精准开采技术研发应用，支撑产业绿色低碳转型。

1. 光伏、风电制造与生产性服务技术研发应用

开展高效太阳能电池、组件、光伏生产设备等主导产品的生产技术升级；引进开发高效硅异质结电池、薄膜电池、钙钛矿电池、建筑用光伏构件等新型产品；引进转化各类光伏制造耗材、辅材及配套设备的制造技术。引进开展塔筒、叶片、减速器、电机控制系统等风电制造关键零部件和配套设备的制造技术；引进转化风电主机的总装技术。应用物联网、大数据、云计算等新一代信息技术，开展光伏电站、风电场的智能化电力管理与运行维护等技术研发。

2. 氢能、储能技术研发应用（略）

3. 智能电网技术研发应用

开展智能输变电装备技术、特高压交直流输电技术、新型电力电子器件及应用技术、大规模交直流混合电网安全稳定控制技术、电网调度全局优化与协调控制技术、可再生能源发电友好接入技术、大容量混合储能技术、智能配电网与微网技术等智能电网技术的研发与集成应用。

4. 火力发电减碳技术研发应用（略）

5. 煤矿绿色智能开采技术研发应用（略）

（二）化工行业（略）

（三）建筑行业

开展建筑节能低碳技术创新。研发低碳建材新技术新产品，引进应用被动式超低能耗建筑技术，开展建筑运维能源管理技术研发应用，推进既有建筑节能改造、建筑能效提升、绿色建材与资源循环利用，打造被动式超低能耗建筑、近零碳排放建筑等示范工程。

1. 低碳建材新技术新产品引进应用

引进应用固碳混凝土、固碳外墙保温材料生产工艺技术；研发高性能水泥、特种水泥、高性能混凝土、新型胶凝材料及低碳水泥建材等特种高附加

值新产品；加快建筑节能体系（EPS 模块）等绿色建材产品认证和应用推广；继续研发提升宁夏粉煤灰、煤矸石、炉渣、电石渣等工业固废制备建材、建筑垃圾资源化利用技术，提高利用率与附加值。

2. 被动式超低能耗建筑技术研发应用

引进研发被动式超低能耗建筑维护结构保温隔热技术、节能门窗技术、无热桥处理技术、建筑气密性控制技术、建筑信息模型（BIM）、地理信息系统（GIS）、能耗模拟分析技术等建筑设计与建造技术；引进应用建筑光伏发电一体化技术、墙面太阳能集热技术、高效热电储能技术，地源热泵、空

气源热泵、热回收新风系统等建筑分布式能源技术。

3. 建筑运维能耗监测与管控技术研发应用

研发物联网、大数据、人工智能等技术在建筑运维能源管理方面的集成应用；研发应用安全、高效、节能、智慧的建筑能耗监控系统、能源管理系统、能源远程控制系统；引进应用高效制冷、先进通风、余热利用等既有建筑绿色升级改造技术，提升建筑能效水平。

（四）交通行业（略）

（五）农业（略）

（六）林草（略）

完善新疆维吾尔自治区新能源价格机制的方案（节选）

为推动完善新疆维吾尔自治区新能源产业大规模、高比例、市场化、高质量发展，加速能源低碳转型进程，现就完善完善新疆维吾尔自治区新能源价格机制提出以下方案。

一、总体思路

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻落实党的十九大和十九届历次全会精神，深入贯彻习近平生态文明思想和“四个革命、一个合作”能源安全新战略，锚定碳达峰碳中和目标任务，充分发挥我区风、光、煤电等能源资源优势，持续深化电力市场化改革，完善促进新能源发展的电价机制，推动完善新疆维吾尔自治区新能源产业高质量发展。

二、基本原则（略）

坚持深化改革。

坚持市场推进。

坚持分类施策。

三、主要任务

（一）推出煤电价格改革方案。印发实施《自治区贯彻落实进一步深化燃煤发电上网电价市场改革方案》，加快我区电力市场化改革，建立“能跌能涨”的市场化电价机制。

（二）打通电价传导渠道。推动工商业用户全部进入市场，建立电网企业代理购电制度，工商用户按照市场化方式购电形成用电价格，实现发、用电价格顺畅传导。

（三）用好用足国家政策。用好用足国家“鼓励各地出台针对性扶持政策，支持光伏发电、陆上风电等新能源产业持续健康发展”政策规定，将我区2021年起投产的新能源平价项目（以下简称“新建

项目”）发电量全部纳入电力市场，目标上网电价0.262元/千瓦时。

（四）分类稳妥推进实施。新建项目新疆维吾尔自治区内实际交易电价低于市场均价（按年度直接交易均价，下同），按照市场均价与0.262元/千瓦时的价差给予电价支持；新疆维吾尔自治区内实际交易电价高于市场均价，按照实际交易电价与0.262元/千瓦时的价差给予电价支持；价差部分由大工业用电顺价均摊。当市场均价达到或超过0.262元/千瓦时，不再给予电价支持。2021年以前年度建成的项目上网电价政策保持不变。

（五）加大消纳责任考核。引导企业用好“新增可再生能源消费量不纳入能源消费总量控制”政策，对孤网运行企业、自备电厂企业及其他能效水平低、污染大的大工业用电企业，2022年非水可再生能源消纳责任权重在新疆维吾尔自治区平均水平上上浮5个百分点，努力推动重点用能企业提升新能源用电占比。

四、保障措施（略）

（一）完善交易机制。

（二）规范电价结算。

（三）引导市场预期。

（四）兵地协同推进。

本方案自印发之日起实施，如遇国家政策调整，按国家规定执行。

抄送：国家发展改革委，自治区党委办公厅、人大常委会办公厅、政协办公厅、人民政府办公厅，自治区工业和信息化厅、市场监督管理局，国家能源局新疆监管办，兵团发展改革委。

自治区发展改革委办公室

2022年4月7日印发

某人防地下室通风设计实际案例分析

雅克设计有限公司 李楠 李宜浩

〔摘要〕随着人防工程的大量出现,如何正确合理的设计尤为重要。本文以某实际工程案例为例,结合目前的实际情况与常用做法,系统论述人防工程的设计过程及要点,希望以此设计为例,对相关人防设计提供参考。

〔关键词〕人防通风;清洁通风;滤毒通风;隔绝通风

1 引言

随着社会的进步、国民经济和科学技术的发展,人民防空的职能范围也在不断的扩展。除了战时防备敌人空中袭击、减轻战争危害外,在和平时期的自然灾害、突发事件以及保障和促进经济发展方面,人防越来越发挥着重要作用。而人员掩蔽工程在城市中更是及其重要。附建式人防工程是城市人防体系的主干力量,我国按其建筑面积计算占 80% 以上。合理可靠的设计不仅仅能满足平、战时功能的需求,又能节省投资,也能提高战时转换效率。一般的工程,人防地下室多为战时二等人员掩蔽场所,平时为汽车库,而实际工程中建筑平面功能复杂,平时有通风、消防排烟,战时又有清洁、滤毒、隔绝 3 种通风形式,做到平战功能在系统上、气流组织上很好地结合的工程却很少见,现以一个处理较好的工程为例,详细说明此类地下室人防通风的设计体会。

2 人防通风方式^[1]

人防通风包括风包括清洁通风、滤毒通风以及隔绝通风三种通风方式。

2.1 清洁通风

清洁通风是指战时外界空气在没有被污染的情况下所采取的通风方式。进入室内的空气品质与正常状态下相同,没有经过特殊处理,但它与正常通风状况的区别在于:它始终处于防卫的状态,确保在受到敌人袭击时,不会由于进、排风等直通外界的管孔造成内部设备的损坏和人员的伤害。因此,清洁通风时,进风和排风都应通过通风系统上设置的防爆设施(消波系统)。

2.2 滤毒通风

室外空气受毒剂等物污染,需经特殊处理时的通风称为滤毒通风。当防空地下室外的空气遭受到核武器、生化武器以及常规武器袭击时,空气被污染(包括次生灾害造成的污染)时,空气进入到防空地下室内部需要进行过滤、滤毒处理,并将防空地下室内部的废气通过超压排气活门排出室外。

2.3 隔绝通风

隔绝通风指战时敌人袭击后,空气受到污染且毒剂浓度很大或在滤毒通风中,滤毒设备已失效而需更换时所采取的一种通风方式。此方式是在与外界空气完全隔绝状态下(即所有进、排风孔口均处于关闭状态),仅在防空地下室内部进行空气循环,故在设计中要保证一定的隔绝防护时间,室内空气 CO_2 的含量应保持在一定的卫生标准范围。

以上三种通风形式,在医疗救护设施、专业队队员掩蔽部和人员掩蔽所有着不同的要求。但对于战时物资库,可不设滤毒通风,在外界染毒时只需与外界隔绝,其内部空间已具备满足内部少数管理人员维持生命所需的空气。

3 工程概况

本工程位于海南省儋州市,总建筑面积约 11449.92 m^2 。地下室 1 层,主要为车库;地上 7 层,为教师周转房。总建筑高度 23.2m。其中地下车库为机械车库,平时工况为机械排风、排烟,依靠车库入口自然补风,满足车库停车通风换气使用。战时为核六级甲类二等人员掩蔽所。只设一个防护单元,人防总建筑面积为 1335.81 m^2 ,人防掩蔽面积为 935.07 m^2 ,人防掩蔽总人数为 934 人。

4 人防地下室通风设计过程

4.1 清洁通风

根据《人民防空地下室设计规范》以下简称《规范》表 5.2.2 的要求^[2],二等人员掩蔽所清洁通风新风量 $\geq 5\text{m}^3/(\text{p}\cdot\text{h})$,取 $q_1=5\text{m}^3/(\text{p}\cdot\text{h})$,清洁通风 $L_1=Nq_1=934\times 5=4670\text{m}^3/\text{h}$,选用 DJF-1 型电动脚踏两用风机 2 台。由 $4670/1200=3.8$,选取 LWP-X 型除尘器 4 只,类型为卧式安装(管道式)。干厕排风量为 $L_1-0.04V_0=4670-0.04\times 5475.5=4450.98\text{m}^3/\text{h}$,取风量为 4500 m^3/h 的轴流风机一台。

4.2 滤毒通风

根据《规范》5.2.2 条规定^[2],战时滤毒通风量 $\geq 2\text{m}^3/(\text{p}\cdot\text{h})$,《规范》表 5.2.6 条规定滤毒通风时,防空地下室清洁区超压 $\geq 30\text{Pa}$;最小防毒通道换气次数 ≥ 40 次/h。在选取滤毒式通风新风量时应注意

《规范》5.2.7条中规定了两种算法,一种是按掩蔽人员计算所需的新风量,另一种是按室内保持超压值所需的新风量(即人员主要出入口处防毒通道的通风换气量加上清洁区有效容积4%的漏风量),取两种计算结果的大值作为滤毒式通风量。

按掩蔽人员计算所需的新风量为

$$L_R = Nq_2 = 2 \times 934 = 1868 \text{ m}^3/\text{h}$$

按室内保持超压值所需的新风量为

$$L_H = V_0 K + L_f = 51.7 \times 40 + 5475.5 \times 0.04 = 2287.02 \text{ m}^3/\text{h}$$

式中:

L_R —滤毒通风时按掩蔽人员计算所得的新风量(m^3/h);

q_2 —掩蔽人员新风量设计计算值 $\text{m}^3/(\text{p}\cdot\text{h})$,本工程取2;

N —掩蔽人员数(P),本工程取934人;

L_H —滤毒通风时防空地下室保持超压值所需的新风量(m^3/h);

V_0 —战时主要出入口最小防毒通道的有效容积(m^3/h), $V_0 = 11 \times 4.7 = 51.7 \text{ m}^3/\text{h}$;

K —战时主要出入口处最小防毒通道的设计换气次数(次/h),本工程取40次。

根据 L_R 与 L_H 的计算结果取大值,滤毒通风量 $L_2 = 2287.02 \text{ m}^3/\text{h}$,由此选取三台RFP-1000型过滤吸收器3台。

4.3 隔绝通风

根据《规范》公式5.2.5与5.2.4条,校核隔绝通风时间是否大于3h。

$$t = \frac{1000V(C_0 - C)}{NC_1} = \frac{1000 \times 5475.5 \times (0.025 - 0.0045)}{934 \times 20} = 6 \text{ h} > 3 \text{ h}, \text{满足要求。}$$

式中:

t —隔绝防护时间(h);

V —防空地下室清洁区内的容积,本工程取 $V = 5475.5 \text{ m}^3$;

C_0 —防空地下室室内 CO_2 容许浓度,按《规范》表5.2.4,取2.5%;

C —隔绝防护前防空地下室室内 CO_2 初始浓度,按《规范》表5.2.5,取0.45%;

N —掩蔽人员数(P),本工程取934人;

C_1 —清洁区内每人每小时呼出的 CO_2 量($L/(\text{P}\cdot\text{h})$),掩蔽人员取20。

4.4 最小防毒通道换气次数的计算及校核

计算及校核最小防毒通道换气次数。按照《规范》中第5.2.7条,最小防毒通道为:

$$\frac{L_{\text{滤毒}} - 0.04V}{V_0} = \frac{3000 - 0.04 \times 5475.5}{51.7} = 53.79 \text{ 次/h。}$$

式中: $L_{\text{滤毒}}$ —按所选电动脚踏两用风机的风量

确定,取 $3000 \text{ m}^3/\text{h}$;

V —防空地下室清洁区内的容积,本工程取 $V = 5475.5 \text{ m}^3$;

V_0 —战时主要出入口最小防毒通道容积(m^3/h),本工程取 $51.7 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

按照《人规》中表5.2.6,二等人员掩蔽所最小防毒通道换气次数应不小于40次/h,本次设计最小防毒通道换气次数为53.79次/h,大于40次/h,所以满足要求。该设计过程中需注意防毒通道的体积不宜过小,因为它不只是单纯满足建筑疏散的要求就可以,它还应满足最小换气次数为40次/h的要求,如果防毒通道做的过大,换气次数有可能小于40次/h,这样为满足换气次数要求,通常会加大电动脚踏两用风机、风管及过滤吸收器的规格,造成浪费。设计时在满足建筑疏散的前提下,应尽量减少防毒通道的体积,可把部分无用的空间用砖墙封住。

4.5 超压排气活门数量的确定

战时滤毒式排风由超压排气活门自防毒通道,经两道手动密闭阀门、扩散室、防爆波活门排向室外,按照《规范》中第5.2.7条,故超压排气活门数量由

$$\text{公式 } \frac{L_{\text{滤毒}} - 0.04V}{L_0} = \frac{3000 - 0.04 \times 5475.5}{800} = 3.47, \text{ 故选}$$

用PS-D250型自动排气活门4个。

式中: $L_{\text{滤毒}}$ —按所选电动脚踏两用风机的风量确定,取 $3000 \text{ m}^3/\text{h}$; V —防空地下室清洁区内的容积,本工程取 $V = 5475.5 \text{ m}^3$; L_0 —自动排气活门的标准排风量,取 $800 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

5 防护通风进风、排风系统设计

5.1 进风系统设计

清洁通风经过消波设施和油网滤尘器,由电动脚踏两用风机送入人防内部。滤毒通风时,室外空气经消波设施、油网滤尘器和过滤吸收器由电动脚踏两用风机送入人防区内。隔绝通风时,关闭所有手动密闭阀,打开进风系统的回风插板阀,启动进风机,形成内部循环。工程处于隔绝防护时,人员不得出入工程,保持工程的密闭性,也不允许向工程外排放污水。本工程进风口部放大平面图见图1,进风口部原理图见图2,进风口部操作表1。

表1 防护单元1战时进风(口部)系统操作

通风方式	进风口部		
	阀门		风机
	开启	关闭	开 关
平时通风	—	—	— —
清洁式通风	M1、M2	M3、M4、X1~X4、D1	SF —
滤毒式通风	M3、M4、X1、X4	M1、M2、X2、X3、D1	SF —
隔绝式通风	X2、X3	M1~M4、X1、X4、D1	SF —
滤毒间换气	M4、X1、X4、D1	M1~M3、X2、X3	SF —

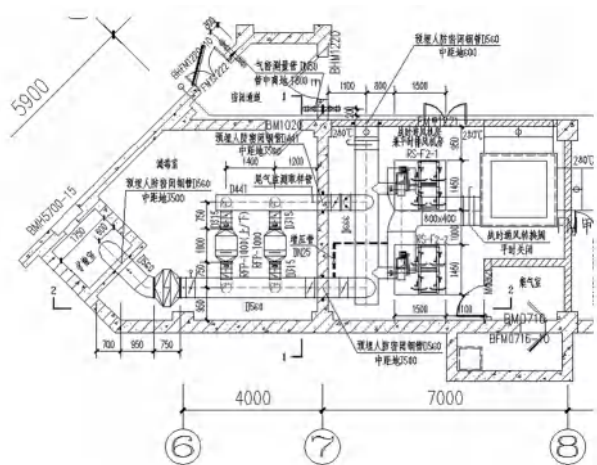


图1 进风口部放大平面图

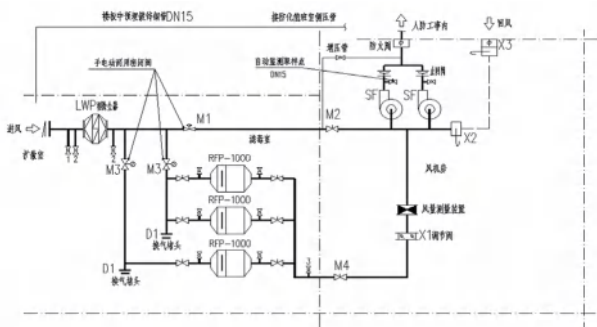


图2 进风口部原理图

5.2 排风系统设计

依据建筑平面,排风按简易洗消间的排风系统设计。战时清洁式用机械排风,由排风机利用管路由于厕经两道密闭阀门、扩散室、活门排向竖井。滤毒式超压排风自动排气活门经洗消间、防毒通道、扩散室、防爆波活门排向竖井。本工程排风口部放

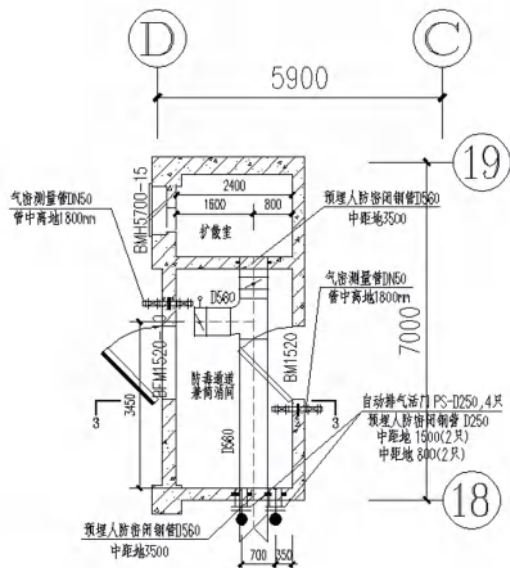


图3 排风口部放大平面图

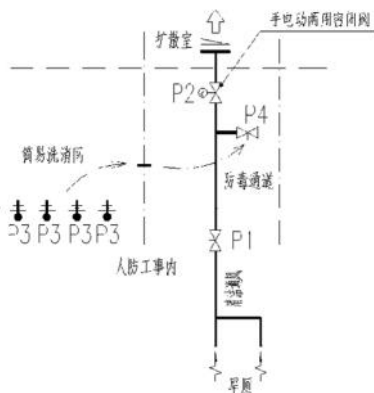


图4 排风口部原理图

表2 防护单元1战时排风(口部)系统操作

通风方式		进风口部			
		阀 门		风 机	
开 启		关 闭		开	关
平时通风		—	—	—	—
战时通风	清洁式通风	P1、P2	P3、P4	—	—
	滤毒式通风	P2~P4	P1	—	—
	隔绝式通风	—	P1~P4	—	—
	滤毒间换气	—	P1~P4	—	—

大平面图见图3,排风口部原理图见图4,排风口部操作表见表2。

6 平战功能转换

同一建筑工程要满足平时及战时两种使用功能要求,这两种功能对通风系统的要求不同,分战时通风和平时通风^[3]。而平时通风又包含通风及消防排烟2种功能要求,故设计时要尽量避免3套系统分别设计造成空间挤迫,尽量将3套系统结合为一。及在平时通风和排烟系统上接入人防通风系统,在系统中加设常闭阀门、止回阀、防火阀等来控制平战功能的转换。

7 结语

笔者结合人防工程的实际案例,详细的论述了人防地下室通风设计的设计流程,以作探讨和交流。在实际工程设计中,建筑平面各有不同,人防设计及其平战功能转换处理方面,有待我们暖通工程师与其它专业工程师加强配合,共同实现“平战结合”的设计。

参考文献

- [1] 中国建筑标准设计研究院.05SFK10《人民防空地下室设计规范》图示通风专业[M].北京:中国计划出版社,2010:30-32
- [2] 中国建筑设计研究院.人民防空地下室设计规范:GB50038-2005[S].北京:中国工业出版社,2005:104
- [3] 吕智艳,李豫,等.地下室人防通风设计[J].长春工程学院学报,2014,2(5):38-39

南京高校教室秋季室内空气质量测试与分析

南京师范大学 吴梦璇 鹿世化 陈玮玮

〔摘要〕本文以南京师范大学某教学楼的代表性教室为研究对象，现场测试了秋季自然通风条件下教室内 CO_2 浓度、 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度及一般颗粒物浓度等室内空气质量参数，以 CO_2 为示踪气体，采用浓度衰减法计算教室内不同通风状态下的室内新风量大小。研究结果表明：在门窗紧闭状态下 CO_2 浓度急剧上升，仅靠门窗渗透产生的新风量非常少。但是，在门窗紧闭状态下， $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和一般颗粒物浓度逐渐下降，通过计算室内外颗粒物浓度比可知，室内颗粒物主要是由室外颗粒物污染源引起的。因此，当室外污染较轻时，可将门窗打开，防止室内 CO_2 浓度过高，而当室外污染较重时，我们要将门窗紧闭，使用新风系统降低 CO_2 浓度。

〔关键词〕 CO_2 浓度；颗粒物浓度；室内空气质量

0 引言

教室是高校学生学习的主要场所，教室内空气质量的好坏直接影响学生的学习效率和健康情况，室内的 CO_2 浓度与颗粒物浓度直接影响了房间的空气质量。但是大部分普通高校由于教室内人员密集且通风方式简易，室内 CO_2 浓度和颗粒物浓度极易超标。

目前已经有很多学者对我国各气候分区的高校的学习场所的室内空气质量进行了分析研究。邓启红等^[1]对长沙市中南大学教室空气中的可吸入颗粒物进行了浓度监测和样本采集，通过源解析结果作为控制与降低教室颗粒物污染提供了科学依据与策略。魏晓真等^[2]对济南某高校不同朝向，不同居住人数的宿舍的温度、光照度、 CO_2 浓度进行了连续测试，找出了室内热环境分布的规律。程瑞瑞^[3]等对深圳某学校不同类型的房间进行了室内空气质量的测试，并提出了有效的改进室内空气质量的措施。霍小平等^[4]对西安某建筑物室内外热环境进行了实际测试和主观调查，指出了利用建筑自身和生态化技术是提高人居环境质量的根本目标。周书涵等^[5]对上海市东华大学的室内空气质量进行了检测，指出教室的空气质量，如 CO_2 、 $\text{PM}_{2.5}$ 、 PM_{10} 等的变化，将影响学生的学习效率甚至影响到身体健康。朱卫兵等^[6]在供暖季对哈尔滨工程大学的室内空气质量进行了测试和主观性调查，结果表明，实际测试与主观调查结果相吻合。

本文测试地点位于南京师范大学某教学楼，测试时间为11月中旬，此时南京正处于秋季。南京属于亚热带季风气候，四季分明，秋季高校教室多采用自然通风。在人员流动情况下对教室的 CO_2 浓度和颗粒物浓度进行实测，在关窗和开窗两种状态下观察室内 CO_2 和颗粒物浓度的变化情况，分析室内空气质量不佳的原因并提出改进建议。

1 测试内容

1.1 测试仪器

表1 主要测试参数及测试仪器

测试项目	仪器名称	测量范围	精度
二氧化碳含量	EA80 空气质量检测仪	0-6000ppm	3%
$\text{PM}_{2.5}$ 浓度	8532 手持式气溶胶监测仪	0.001-150mg/m ³	±0.1%
一般颗粒物浓度	3330 型光学颗粒物粒径谱仪	0.3-10mm	5%

1.2 测试方案

根据《室内空气质量标准》(GB/T 18883-2002)^[7]中室内空气采样布点的要求，本次测试的教室选择3个采样点，采样点高度为1m且以对角线形式均匀分布在人群中。每周测试两次，测试时间为14:10~16:10，测试时长为2小时。

1.2.1 CO_2 的测试

将EA80空气质量检测仪分散放置在三个采样点，设置仪器每隔1min记录一次数据，首先记录室内外初始 CO_2 浓度，安排记录人员记录门窗开启状态与人员活动状态；其次在人员到来之前开启所有外窗和内门，记录室内三个测点的 CO_2 浓度等参数；然后待人员基本到齐后，封闭门窗，持续记录 CO_2 浓度等参数；最后所有人员离开教室后，开启门窗，使房间处于稳定的自然通风状态，持续记录室内 CO_2 浓度等参数。

1.2.2 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和一般颗粒物浓度的测试

布置仪器，教室外窗台放置一台8532手持式气溶胶监测仪，持续测量室外 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度；室内中部放置一台8532手持式气溶胶监测仪，持续测量室内 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度；室内中部放置一台3330光学颗粒物粒径谱仪，持续测量室内颗粒物浓度。设置仪器每隔1min记录一次数据，室内室外检测同时进行，同时安排记录人员记录门窗开启状态与人员活动状态。

首先在人员到来之前开启所有外窗和内门,记录室内外 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度及室内颗粒物浓度;其次待人员基本到齐后,封闭门窗,持续记录室内外 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度及室内颗粒物浓度;最后所有人员离开教室后,开启门窗,使房间处于稳定的自然通风状态,持续记录室内外 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度及室内颗粒物浓度。

2 测试结果及分析

2.1 CO_2 浓度随时间变化分析

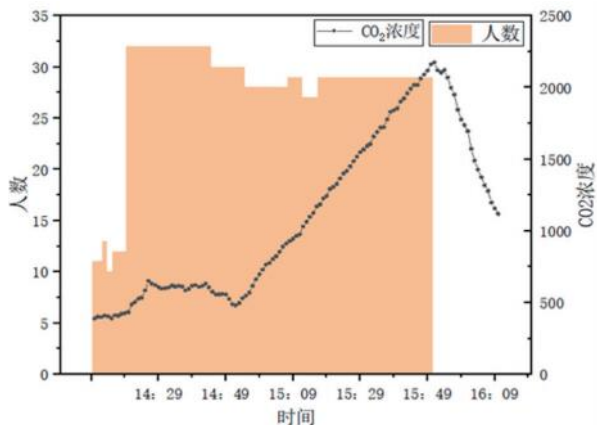


图1 二氧化碳浓度随时间变化图

从图中可以看出,在14:30-14:50期间,虽然学生相继进入教室,但是由于开窗通风教室内 CO_2 浓度增长并不大。在14:50-15:50期间,教室门窗紧闭, CO_2 的浓度从低于500ppm增长至2300ppm左右,增长四倍多,此时室内空气浑浊,温度开始上升,同学们注意力不能够集中,产生精神疲劳,头痛等症状;15:50下课以后,门窗打开,学生离开教室, CO_2 的浓度从2300ppm左右降低至1000ppm左右。可见在通风半小时后室内 CO_2 的浓度依然无法达到室外的 CO_2 浓度,这是由于室内人数多且通风量不足导致的。

2.2 室内 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度随时间变化分析

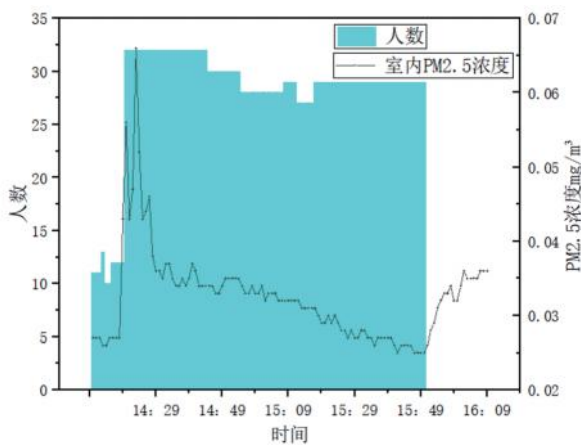


图2 室内 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度随时间变化曲线图

由图2可以看出,14:20左右,由于教室陆续进入学生以及教室开窗通风,室内 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度急剧增长到 $0.066\text{mg}/\text{m}^3$;封闭门窗后, $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度开始缓慢下降,这可能是由于室外污染源不再传入室内造成的;教室开窗通风后,此时室内 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度再次升高。再次说明开窗通风时室外污染物会传到室内。

2.3 一般颗粒物浓度随时间变化分析

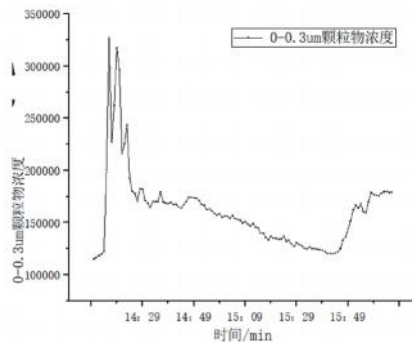


图3 室内0-0.3um颗粒物浓度变化图

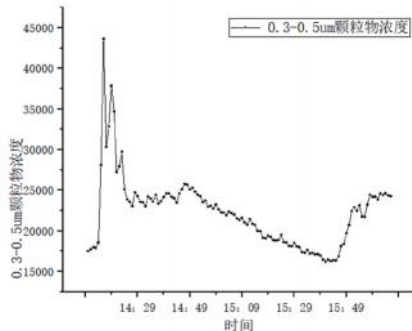


图4 室内0.3-0.5um颗粒物浓度变化图

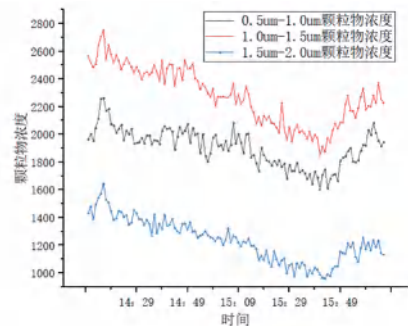


图5 室内0.5-2.0um颗粒物浓度变化图

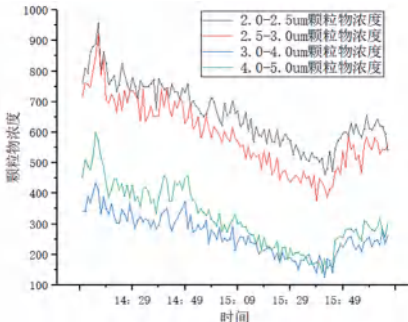


图6 室内2.0-5.0um颗粒物浓度变化图

根据以上四张图可以看出,不同粒径的颗粒物的浓度随时间变化的趋势大致相同。由于开启门窗加上教室陆续进入学生,不同粒径的颗粒物浓度在14:20左右达到峰值;由于门窗的关闭,不同粒径的颗粒物浓度都出现了陆续的衰减;由于门窗的打开,不同粒径的颗粒物浓度又出现了陆续的增加。

3 新风量的计算

3.1 计算方法

在待测教室通入适量示踪气体 CO_2 , 由于室内外空气交换, 示踪气体 CO_2 的含量呈指数衰减, 根据含量随时间变化的值, 计算出室内的新风量。

本次实验以教室内人体呼出的 CO_2 为示踪气体来测量教室内新风量, 示踪气体法测量教室内通风量遵循质量守恒原理^[8]。计算公式如下:

$$\frac{dC_{in}}{dt} = \frac{Q}{V}(C_{out} - C_{in}) + \frac{m}{V} \quad (1)$$

其中:

V —房间空气体积, m^3 ;

C_{out} —室外环境示踪气体浓度, ppm;

C_{in} —室内瞬时测量的示踪气体浓度, ppm;

m —示踪气体释放速率, ml/min ;

Q —通风量, m^3/h ;

t —时间, min 。

利用示踪气体测量教室新风量有三种方法, 本次实验采用下降法(浓度衰减法), 即首先封闭被测房间, 并在房间释放一定量的示踪气体, 通过一定手段使房间示踪气体分布均匀, 待其浓度达到稳定且均匀分布后, 停止释放示踪气体, 然后开启开口使房间处于稳定的通风状态, 此时观察示踪气体浓度衰减的变化规律, 利用公式的解析解测定计算获得通风量。

上升阶段的解析解为^[9]

$$C_{in} = C_{in(t=0)}e^{-\frac{nt}{60}} + (C_{out} + \frac{60m}{nV})(1 - e^{-\frac{nt}{60}}) \quad (2)$$

下降阶段的解析解为

$$C_{in} = (C_{in(t=0)} - C_{out})e^{-\frac{nt}{60}} + C_{out} \quad (3)$$

对于(2)式中的 m

$$m = kG = k \frac{RQ \times M \times A_D}{21(0.23RQ + 0.77)} \quad (4)$$

$$A_D = 0.202H^{0.725}W^{0.425} \quad (5)$$

式中:

k —房间人数;

RQ —呼吸商, 一般轻体力劳动下取 0.83;

M —单位人体表面积新陈代谢率, W/m^2 , 本次实验中取 $58.2\text{W}/\text{m}^2$;

A_D —人体表面积, 本次实验中人员平均身高取 1.78m, 平均体重取 65kg ^[10]。

3.2 计算结果分析

3.2.1 CO_2 浓度上升阶段

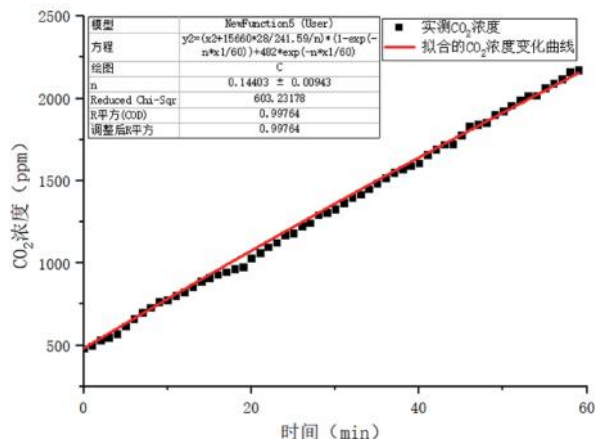


图7 CO_2 浓度上升阶段拟合图

由图像可知, 在 CO_2 浓度上升阶段, 经过拟合后的换气次数 n 为 0.144 左右, 房间体积为 241.59m^3 , 所以教室在 CO_2 浓度上升阶段的通风量为 $34.8\text{m}^3/\text{h}$, 此时教室门窗紧闭, 仅靠门窗渗透通风, 在此阶段, 教室通风量很小, 说明教室门窗渗透量小。

3.2.2 CO_2 浓度下降阶段

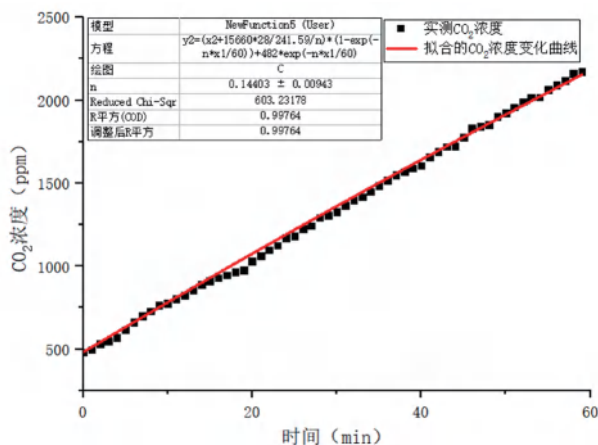


图8 CO_2 浓度下降阶段拟合图

由图像可知, 在 CO_2 浓度下降阶段, 经过拟合后的换气次数大约为 3.93, 所以教室在 CO_2 浓度下降阶段的通风量为 $950.13\text{m}^3/\text{h}$, 说明打开门窗后新风量明显增大。

4 结论

1) 上课期间, 在门窗紧闭的情况下, CO_2 超标严重, 室内空气品质很差, 因此, 即使在寒冷季节, 下课期间也要及时开窗通风, 以去除上课期间产生

的污浊空气。

2) 教室人员密度和新风量不足是影响 CO_2 浓度的主要原因, 因此, 为保证室内空气品质, 学校应根据教室大小合理安排上课人数, 尽量开窗通风为室内注入新鲜空气。

3) 寒冷季节开窗通风一般会引起冷感, 牺牲掉一定的热舒适性, 因此, 协调自然通风教室内的通风和热舒适性是我们要研究的重点。

4) 教室需要补充足够的新风, 在室外空气质量较好的情况下, 要将门窗打开来稀释室内污染物, 但在室外空气质量不好的天气, 开窗通风不利于阻止室外颗粒物进入室内, 此时关闭门窗可以有效阻止室内空气被室外空气污染。

5) 当室内外空气都较差的情况下, 为满足新风量要求和优质空气的要求, 可以紧闭门窗并使用新风净化系统。

参考文献

- [1] 邓启红, 时冰冰, 李剑东, 等. 大学教室颗粒物 PM_{10} 化学组分特性及源解析 [J]. 中南大学学报 (自然科学版), 2009, (2): 322-328
- [2] 魏晓真, 冯原, 潘学良, 等. 高校学生宿舍冬季室内环境测试与分析 [C]. 全国暖通空调制冷学术年会, 2010
- [3] 程瑞端, 易新, 黎洪, 等. 学校室内空气质量研究 [J]. 制冷与空调, 2005, (02): 93-98
- [4] 霍小平, 葛翠玉, 等. 建筑室内热环境测试与分析 [J]. 建筑科学与工程学报, 2005, 22(2): 75-78
- [5] 周书涵, 郭森杰, 王雪羽, 等. 学校教室室内空气质量调查及成因分析 [J]. 建筑热能通风空调, 2017, 190(12): 39-41
- [6] 朱卫兵, 张小彬, 陈威威. 北方地区教室室内空气质量测试与分析 [J]. 暖通空调, 2007, 037(005): 112-114, 39
- [7] 中华人民共和国卫生部. 室内空气质量标准 (GB/T18883-2002) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2002
- [8] 廖梅, 解晓健, 胡弯. 自然通风教室内 CO_2 浓度调查与新风量测定 [J]. 建筑热能通风空调, 2014, (6): 27-30
- [9] Peng Liu, Xiaojian Xie, Mei Liao, Xiaoyu Shen. Measured Air Infiltration and Ventilation Rates in Naturally Ventilated Classrooms. In the Proceedings of ISHVAC-COBEE 2015 (The 9th International Symposium on Heating, Ventilating and Air Conditioning, and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment), Tianjin, China, 12-15 Jul, 2015
- [10] Qi M W, Li X F, Weschler L B, et al. CO_2 generation rate in Chinese people [J]. Indoor Air, 2014, 24(6): 559-566

应对能源价格暴涨英国居民间歇取暖

近日, 根据《星期日邮报》的一项民意调查, 近 26% 的英国人不得不间歇停用暖气, 室内多穿衣服, 以应对能源价格上涨造成的家庭消费支出压力。

还有一半的受访者承认主动削减了用电量。调查还发现, 由于生活成本上升, 70% 的英国人改变了他们的生活。这些变化包括随时关灯、室内多穿

衣服和出门少开车。

最近几周, 英国政府因其能源安全战略未能帮助解决生活成本危机而受到舆论批评。Cornwall Insight 机构最近的一份报告预测, 英国家庭能源账单将在未来两年内保持在 2000 英镑以上。

美国中央空调和空气源热泵 2022 年 3 月份出货量

5 月 13 日, 美国空调供热制冷协会 AHRI 发布美国 2022 年 3 月份中央空调和空气源热泵共出货 94.5 万台, 同比增长 2.3%, 去年同期出货数据为 92.5 万台。中央空调出货为 58.3 万台, 同比增长 1.1%, 去年同期出货数据为 57.7 万台。空气源热泵出货为 36.3 万台, 同比增长 4.1%, 去年同期出货数据为 34.8 万台。

2022 年第一季度, 美国中央空调和空气能热泵累计出货 243.4 万台, 同比增长 8.2%, 去年出货数据为 224.9 万台。中央空调出货为 143.9 万台, 同比增长 6.7%, 去年同期出货数据为 134.9 万台。空气能热泵累计出货为 99.5 万台, 同比增长 10.5%, 去年同期出货数据为 90 万台。

大空间建筑两种典型送风系统区间换热研究

上海理工大学环境与建筑学院 杨昕琦 王海东

[摘要] 在大空间建筑中,通常采用靠近侧壁的柱状送风和喷口送风进行通风,从而导致垂直热分层。非空调区上部的蓄热将对空调区冷负荷产生较大影响,通过对流和辐射向空调区转移热量,增加负荷。为了准确预测大空间建筑的室内热环境和荷载特性,计算热分层环境中发生的热迁移,区域间换热系数 C_b 的确定至关重要。本文讨论了侧壁喷嘴供气系统和柱状下送风系统在大型空间建筑物中计算区域间换热系数的方法。在缩尺实验室中,分别研究了两种供气系统下无内热源且具有相同排风比的实验案例。利用 CFD 模拟,根据实验结果验证了整个系统以及空调区域的垂直温度分布和详细的冷负荷结果。区域间换热系数 C_b 和在区域交叉处的热传导是通过将整个空间垂直划分为多个区域而获得的。最后对比了侧壁喷嘴供气系统和柱状下送风系统得到的区域间换热系数值,发现 C_b 和导热率值都受送风方式的影响,并与局部湍流强度有关。

[关键词] 热分层; CFD 模拟; 热迁移; 区域间换热系数

0 引言

大空间建筑具有内部空间高度高、体积大、而人员主要在下部区域活动等特点,为了减少冷量的消耗,大空间建筑多采用分层空调。然而由于其内部空间高度大、负荷大的特点,致使竖直方向上热量分布非常的不均匀,屋顶聚集的热量将对空调区的冷负荷产生较为显著的影响^[1-2]。

大空间建筑分层面上热质交换明显,产生的热量交换即为非空调区向空调区的热迁移,从微观上看这部分热量包括分层面上下的空气层间气流流动产生的热量和导热产生的热量。温差换热系数 C_b 取决很多因素,是一个复杂、难以确定的参数。Togari et al, Gao et al 使用 Block 模型预测大空间分层空调的垂直温度分布。Togari^[3] 1993 年提出经验系数 C_b , 区域温差换热系数 C_b 是指单位面积单位温差下通过空气层的热交换量,不包括空气质量交换产生的热交换量。当区域间热质交换微弱时(稳定热分层), $C_b = 2.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; 热质交换明显时(热分层破坏), $C_b = 160 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ^[4]。高军从理论上给出 C_b 学解析公式,这个系数与空气流动湍流状况直接相关^[5],对于空间流动受通风气流作用明显的区域, C_b 取值对空间温度分布影响不明显,空气交换造成的热量交换大于温差造成的量;对于无通风区域, C_b 取值对温度分布影响较大,需具体分析。

由于 C_b 是一个复杂变量,很难找到通用的 C_b 值,因此需要借助大量的实验和 CFD 来获取比较精确的 C_b 值。本文讨论了大型空间建筑采用柱状下送风系统和侧壁喷嘴供气系统的区域间换热系数的计算方法。通过将整个空间垂直划分为多个区域,根

据 CFD 数值模拟结果计算不同热源高度下的区域间换热系数 C_b 。结果表明,区域划分方法、气流类型、被占领区域的气流状态和热源对 C_b 值有影响。

1 研究方法

1.1 实验

为了研究大空间建筑热分层环境下的区域间换热,采用了一个带有侧壁喷口和六个柱状送风口的缩尺实验室,如图 1 所示。其中,侧壁喷嘴送风系统采用下部回风,柱状下送风系统的气流组织形式为下送中回。采用排气率为 10% 且无内热源的实验案例,探讨大空间建筑两种典型送风系统下的区域间换热。

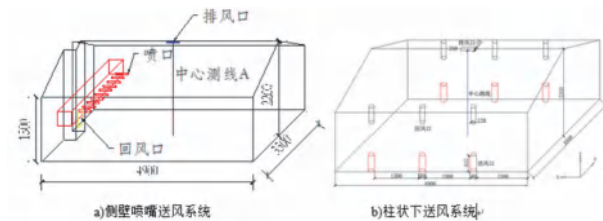


图 1 实验室尺寸

室内中心位置布置一条垂直温度测线,空气温度采用 Tsic506 温度测点进行测试,测点共 22 个,间距为 100mm,实验室热流密度计测点和温度测点布置如图 2 所示,实验中使用的仪器及其技术规格如表 1 所示。

1.2 CFD 模拟研究

根据实验室尺寸,建立了 CFD 几何模型,房间送风、回风、排风口面积和实验室保持一致。为了减少不必要的计算量,对模型进行了简化,并在

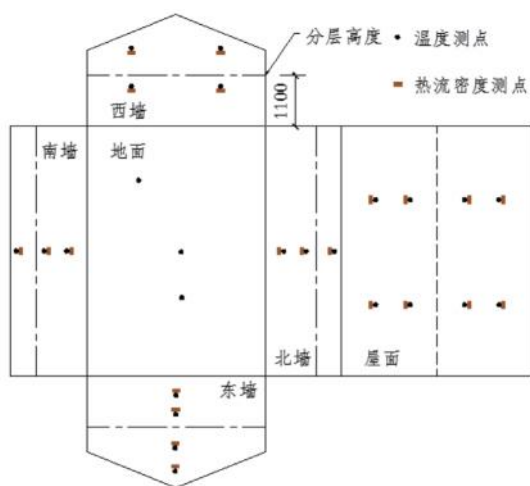


图2 实验室热流密度计测点和温度测点布置

表1 实验中使用的仪器规格

仪器名称	测试参数	测量范围	分辨率	精度
Tsicc506	温度	-10~+60℃	0.01℃	±0.1℃
JTNT-A	热流密度	0~2000W/m ²	0.1W/m ²	3% 读数
HFP01	热流密度	-2.000~2.000 kW/m ²	0.1 W/m ²	±5% 读数
SWA-300	风速	0.1~30m/s	0.1m/s	±3% 读数
Testo 512	压差	0~+2hPa	0.001hPa	0.5% 全量程

ICEM 软件中生成结构化网格,使用 ANSYS Fluent 进行模拟。网格质量对模拟结果会产生有很大的影响,因此在排风口、送风口和回风口所在区域、墙、屋顶、地面进行了加密。对比不同网格下的中心测线垂直温度分布以验证网格无关解,最终选取网格数为 60 万。采用中心差分格式进行计算,其中湍流模型采用标准 $k-\omega$ 模型,辐射模型采用 S2S 模型。通过 3000 次的迭代计算后,所监控的回风温度和排风温度都已经达到稳定,计算残差曲线也趋于稳定,可认为模拟已达到平衡。

1.2.1 边界条件

送风口采用速度边界条件,回风口边界条件采用负的速度入口,排风口边界条件采用压力出口。本文研究稳态工况,实验和数值模拟壁面的热量均为恒定值,墙和屋顶给定恒定的热流密度。墙、屋顶、地面发射率取为 0.93。

2 验证 CFD 结果

2.1 垂直温度分布

从图 3 可以看出两种送风系统下的实验和模拟得到中心测线温度分布基本一致,因此可以说明数值模拟结果可以较好的反映缩尺模型室内热环境。

2.2 冷负荷预测

表2 数值模拟边界条件设置

边界	区域划分	柱状下送风系统	侧壁喷嘴送风系统
南墙	空调区 (W/m ²)	17.30	24.07
	非空调区 (W/m ²)	17.22	18.88
北墙	空调区 (W/m ²)	11.95	19.40
	非空调区 (W/m ²)	15.87	8.36
东墙	空调区 (W/m ²)	2.95	3.43
	非空调区 (W/m ²)	1.71	5.03
西墙	空调区 (W/m ²)	4.17	5.10
	非空调区 (W/m ²)	2.22	9.61
屋顶	(W/m ²)	12.13	11.65
地面	(W/m ²)	0	0
送风	温度 (℃)	18.13	19.84
	速度 (m/s)	0.16	4.15
	风量 (m ³ /h)	347.83	215.77
回风速度	m/s	1.81	0.48
排风速度	m/s	压力出口	压力出口

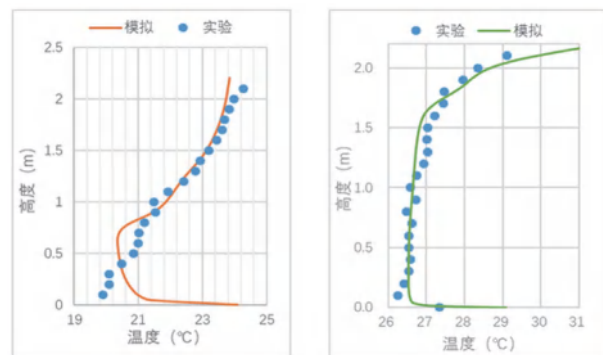


图3 中心侧线垂直温度对比

本文采用 Fluent 软件进行模拟计算,监控对象为回风和排风温度,当温度和残差线趋于稳定,认为达到平衡状态。经过软件后处理得到壁面辐射热流、回风口和排风口的温度等。地面边界条件设置为绝热,辐射热流负值表示该壁面吸收其他壁面辐射热,正值表示向其他壁面辐射散热。由 Fluent 模拟软件读取空调区各个壁面的辐射热流量和回风口温度,由于模型不考虑各个壁面的蓄热,因此可认为各个壁面向外辐射热流量等于辐射转移负荷。从能量平衡的角度,可以很容易地计算出空调区的冷负荷 Q_c ,如公式 1 所示。

$$Q_c = \dot{m}_r C_p t_r - \dot{m}_s C_p t_s \quad (1)$$

式中:

$\dot{m}_r$ 、 $\dot{m}_s$ —回风量、送风量, kg/s;

t_r 、 t_s —回风温度、送风温度, K;
 C_p —空气定压比热容, J/(kg·K)。

表3 不同方法计算得到冷负荷对比

		柱状下送风系统	侧壁喷嘴送风系统
空调区冷负荷 Q_c (W)	实验	403.24	486.76
	模拟	403.66	479.85
	误差	0.10%	-1.42%
辐射转移负荷 Q_{rad} (W)	实验	141.10	110.07
	模拟	140.40	102.49
	误差	0.50%	-6.89%
对流转移负荷 Q_{mig} (W)	实验	81.61	206.01
	模拟	82.73	206.79
	误差	0.14%	0.38%

实验得到的冷负荷与 CFD 数值模拟结果对比如表3所示。通过文献^[2]中的方法计算辐射转移负荷;非空调区对空调区的热迁移通过公式2计算得到。

$$Q_{mig} = Q_c - Q_{rad} \quad (2)$$

由表3可以看出,两种送风系统下实验和 CFD 数值模拟得到的夏季冷负荷之间的误差分为0.14%、0.38%,因此 CFD 模型模拟得到负荷结果能较好的反映实验结果,数值模型得以验证。

3 结果分析

3.1 热迁移

大型空间建筑中,从非空调区到空调区的热迁移是评价冷负荷的关键。从微观上看,界面上的部分传热是由气体质量流量引起的,另一部分是由于温差引起的热扩散。因此,热迁移可由公式3计算。

$$Q_{mig} = Q_{conv} - Q_{cond} \quad (3)$$

总质量流量引起的传热 Q_{conv} 可由公式4计算得到。因为在交叉口的网格节点内,任何向上速度的节点都可以被认为是额外流的一部分。为了排除这种额外流动的影响,在交叉处使用面积加权温度差来计算对流,如公式5所示。额外流的温度被认为是交集中所有网格节点的面积加权平均温度。

$$Q_{conv} = \sum_i A_i t_i C_p t_i \quad (4)$$

$$Q_{conv} = \sum_i A_i t_i C_p (t_i - \frac{\sum A_i t_i}{A_i}) \quad (5)$$

式中:

w_i —节点垂直速度分量, m/s;

A_i —第 i 个网格的界面积, m^2 ;

t_i —第 i 个网格的空气温度, K。

温度梯度引起的热扩散可由公式6计算得到,

$$Q_{cond} = \frac{\lambda_i m_i}{d} [t_{i+1} - t_i] \quad (6)$$

$$m_i = c \frac{v}{p_r} + \frac{v_i}{p_{rt}} t C_p = m + \frac{n_i}{p_{rt}} C_p \quad (7)$$

式中:

λ_i —第 i 个节点空气的湍流热导率;

δ —网格厚度, m;

ν 、 ν_i —空气的运动粘度、湍流运动粘度, $N/(m^2 \cdot s)$;

p_r 、 p_{rt} —普朗特数、湍流普朗特数;

λ —空气导热系数, $W/(m \cdot K)$ 。

3.2 区域间换热系数计算方法

区域温差换热系数 C_b 是指单位面积单位温差下通过空气层的热交换量,不包括空气质量交换产生的热交换量,该系数对预测大空间建筑室内热环境和负荷方面具有重要的意义。

图4为空气层间网格节点示意图,各个微元体温差换热系数 C_{bi} 可由公式8计算得到,区域间温差换热系数 C_b 可由总导热换热和相邻区域的特征温度差计算得到,如公式9所示。

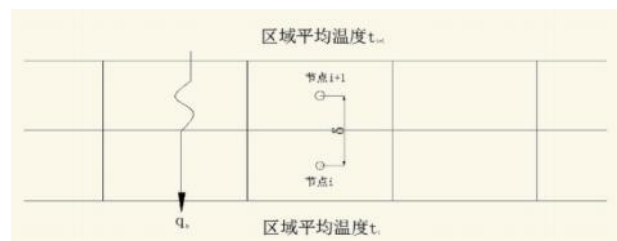


图4 CFD 网格节点示意图

$$C_{bi} = \frac{\frac{\lambda_{i+1} - t_i}{d} C_m + \frac{n_i}{p_{rt}} C_p}{t_{upzone} - t_{downzone}} \quad (8)$$

$$C_b = \frac{\frac{\lambda_i m_i}{d} [t_{i+1} - t_i]}{A [t_{upzone} - t_{downzone}]} \quad (9)$$

式中:

A —两个区域相互接触的面积, m^2 ;

t_{upzone} —上部区域的特征温度, K;

$t_{downzone}$ —下部区域的特征温度, K。

另一种方法是首先通过能量平衡式3计算 CFD 的总热迁移,通过公式5计算气流换热量,从而得到由温度梯度引起的温差导热量,最后根据公式10计算区域间换热系数 C_b 。

$$C_b = \frac{Q_{cond}}{A [t_{upzone} - t_{downzone}]} \quad (10)$$

3.3 两区域划分的结果对比

整个空间在 $z=1.06$ m 的高度分为上部区域和下部区域,即空调区和非空调区。微观法和热平衡法得到分界面处区域间换热系数的值列于表4、表5中。

表4 不同方法得到的区域间换热系数
(柱状下送风系统)

分界面高度 (m)	计算方法	C_b W/(m ² ·°C)
Z=1.06	微观法	1.94
	热平衡法	1.90
	误差	2.06%

由表4可以看出,两种方法计算的 C_b 值在Z=1.06m误差为2.06%,且与 C_b 的经验值2.3W/(m²·°C)相当接近。

采用侧壁喷管送风系统的大型空间建筑的区域间换热系数列于表5中。由表5可得到1.06m界面的平均分区间传热系数为11.8W/(m²·°C),而在柱状下送风系统中,1.06m界面的平均分区间传热系数为1.94W/(m²·°C)。这是因为喷嘴射流在上下界面之间产生更强的湍流。这表明,气流分布影响了层间传热系数的取值。

表5 侧壁喷嘴送风系统下得到的区域间换热系数

温差换热量 (W)	两区域间温差 (°C)	C_b W/(m ² ·°C)	$\bar{m}_i$ (W/(m ² ·°C))
151.1	0.93	11.8	15.54

3.4 多区域划分的结果对比

3.4.1 柱状下送风系统

整个空间在z=0.27m、z=0.55m、z=0.78m、z=1.06m的高度被划分为五个区域。由公式8计算不同截面温差的传热系数, C_{bi} 分布轮廓如图5所示。

从图5可以看出,在0.27m送风口附近湍流波动剧烈,距离送风口较远的气流相对稳定,因此,送风口附近的区域间传热系数较大,送风口远侧的区域间传热系数较小。平均值为2.86W/(m²·°C)。

由于柱状送风口高度为0.4m,与高度为0.55m

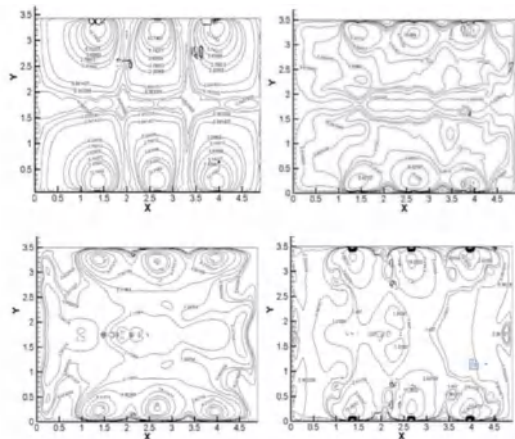


图5 五区划分下 C_{bi} 在z=0.27m、z=0.55m、z=0.78m、z=1.06m处的分布

的送风口有一定距离,湍流强度较0.27m减小。所以 C_b 很小,平均值是2.37W/(m²·°C)。由于回风口的抽吸,空调区域高度0.78m,上下两层之间的空气温差很小,因此,区域间换热系数较大,平均值为3.01W/(m²·°C),随着高度的增加,空调区和非空调区的空气混合减弱,温差换热系数在高度为1.06m时减小,平均值为2.35W/(m²·°C)。

在Z=1.06m位置,云图的分布与两区域划分中一致,但是由于不同的分区方式,上下两个区域的特征温度取值不同,即区域温差不同,所以计算得到的温差换热系数大小不同。计算得到的 C_{bi} 按单位面积加权平均,得到每种情况下不同水平界面分区间传热系数 C_b ,如表6所示。

表6 不同分界面温差换热系数 C_b 值

分界面高度 (m)	0.27m	0.55m	0.78m	1.06m
C_b W/(m ² ·°C)	2.86	2.37	3.01	2.35

3.4.1 喷嘴送风系统

将工况进行四区域划分,并对每两个区域之间的分界面用同样的方法分别进行了区域温差换热系数的计算,结果列于表7中。

在四区域的划分中,不同高度的分界面上,温差换热系数 C_b 的值也存在比较大的差距:在喷口位置Z=1.06m处,空气受到喷口射流的影响,湍流导热系数的值很大,增加了气流之间的接触,因此其温差换热系数比较大;而在空调区的Z=0.5m处,空气几乎是均匀的,也没有非常剧烈的气流扰动,温差换热系数较小;在非空调区的Z=1.5m位置,垂直空气温度梯度较大,但是并没有很强烈的气流,因此温差换热系数较小。

表7 不同分界面温差换热系数 C_b 值

分界面高度 (m)	0.5m	1.06m	1.5m
C_b W/(m ² ·°C)	5	28.1	6.6

4 结论

本文采用实验和计算流体力学方法,研究了带侧壁喷嘴送风系统、柱状下送风系统的大型空间建筑区域间换热系数的计算方法。计算流体力学模拟与实验结果吻合较好。通过分析室内冷负荷和热迁移,发现对于喷嘴供气系统,由于室内气流的高度湍流特性,由于温度梯度导致的导热传递比通过非空调区到空调去的气体质量流量引起的对流传热更重要。

(下转59页)

室内 PM_{2.5} 的氧化潜势毒性初探

东南大学 杨帆 刘聪 郑晓红 钱华

〔摘要〕PM_{2.5} 的健康效应是浓度与毒性共同作用的结果。当前毒性的表征多以单位质量 PM_{2.5} 造成人体产生氧化应激反应能力,即氧化潜势 OP 为主。本研究通过二硫苏糖醇 (DTT) 法测量了温暖季节 (2019 年 5 月 -8 月) 和寒冷季节 (2019 年 3 月、11 月 -12 月) 室内外 PM_{2.5} 的氧化潜势毒性 OP_M, 并探究了其相关成分和影响因素。结果表明, 与 PM_{2.5} 浓度进入室内后降低不同, 毒性 OP_M 既有增大, 也有减小; 而且氧化潜势毒性 OP_M 具有季节性变化 ($p < 0.05$)。皮尔逊相关性分析表明, OP_M 与水溶性 Fe 具有显著相关性 ($p < 0.01$), 在寒冷季节与建筑环境参数 (温度和相对湿度) 以及 PM_{2.5} 自身特性 (酸碱度) 显著相关 ($p < 0.01$)。

〔关键词〕室内; PM_{2.5}; 毒性; 成分; 健康

0 引言

著名医学杂志《柳叶刀》^[1] 曾表明, 截至 2015 年, 环境 PM_{2.5} 已成为影响全球死亡率的第五级危险因素, 造成全球 640 余万人死亡, 占总死亡人数的 20.1%, 是主要的空气污染物之一。而人的一生中有 80%-90% 的时间在建筑室内度过^[2], 室内环境下的 PM_{2.5} 严重影响了人类健康。最新研究表明, PM_{2.5} 每上升 2.81 μg/m³, 人类患阿尔茨海默病的概率上升 19.3%; PM_{2.5} 每增大 10 μg/m³, 通过心血管疾病和呼吸系统疾病造成的死亡率分别上升 0.55% 和 0.74%。此外 PM_{2.5} 还会对人的神经系统、免疫系统、生殖发育产生严重健康危害。

PM_{2.5} 的健康效应是颗粒物剂量 (浓度) 和毒性 (与成分相关) 双重作用的结果, 虽然 PM_{2.5} 的致毒机理还不甚清楚, 但目前普遍认为 PM_{2.5} 进入人体后造成的氧化应激机制可能是主要的致毒机制^[3]。PM_{2.5} 由于粒径小, 比表面积大, 更易携带有毒有害物质随呼吸进入体内, 其中的氧化还原活性成分在体内参与氧化循环反应生成活性氧物质 (如: OH·, H₂O₂ 等), 过量的活性氧化物质会造成氧化应激^[4], 从而引发心血管和呼吸系统等健康疾病。因此, PM_{2.5} 产生活性氧物质的能力就叫做氧化潜势 OP (oxidative potential), 并且单位质量 PM_{2.5} 的氧化潜势 OP_M 可表征 PM_{2.5} 的毒性。测量 PM_{2.5} 毒性 OP_M 的方法分为细胞法和非细胞法, 其中二硫苏糖醇 (DTT) 法被普遍认为是最能全面反应 PM_{2.5} 氧化潜势毒性大小的非细胞方法^[5]。

先前的研究主要以室外的 PM_{2.5} 氧化潜势为主, 如美国洛杉矶盆地^[6]、亚特兰大^[7]; 北京^[8]、上海^[9]、渤海沿海地区 3 个城市 (天津、烟台、锦州)^[10] 等地。相对而言, 室内 PM_{2.5} 氧化潜势的相关研究较少, 且

有关室内外 PM_{2.5} 氧化潜势对比的研究更甚是缺乏, 如 Guo 等人^[11] 和 Szigeti^[12] 等人测量了典型室内 PM_{2.5} 的氧化潜势, Niu 等人^[13] 对比了西安住宅内外的 PM_{2.5} 氧化潜势, 而这些研究缺乏季节性, 同时也都未曾重点分析毒性 OP_M。目前关于毒性 OP_M 的有关成分也尚不明确和统一, 较多的研究多集中在室外, 如 Shirmohammadi 等人^[14] 和 Visentin^[15] 等人分别发现 OC、EC、醌类物质和过渡金属 (主要是铜、铁, 锌, 锰) 与室外 OP_M 具有较强的相关性, Liu 等人^[11] 发现 Na⁺、Cl⁻、K⁺ 等和室外 PM_{2.5} 氧化潜势具有较强的相关性。少数研究了室内相关性成分, 如 Niu 等人^[13] 发现 Cl⁻ 和 K⁺ 与室内 PM_{2.5} 氧化潜势相关较高; Secrest 等人^[16] 发现过渡金属 Fe 与 OP_M 正相关。除此以外, 建筑环境因素对 PM_{2.5} 的毒性影响也尚不明确。

当前对 PM_{2.5} 的研究及防控多以浓度为主, 缺乏对 PM_{2.5} 毒性的关注, 这可能会使 PM_{2.5} 的防控未能达到预期的健康效果, 如浓度降低, 毒性增大, 使得最终的健康效益不变或减小。因此, OP_M 也逐渐成为衡量颗粒物毒性的新兴指标。本研究通过同时测量典型室内和室外环境 PM_{2.5} 氧化潜势毒性 OP_M 来探究室内外关联特性及室内外季节性变化, 并进一步对 OP_M 进行相关性成分分析, 旨在为提高 PM_{2.5} 的健康效益提供参考基础。

1 实验方法

1.1 PM_{2.5} 采样与提取

PM_{2.5} 采样地点位于南京市东南大学四牌楼校区内, 室外采样点位于高约 3m 的二楼平台上, 室内采样点分别在办公室、住宅中, 于温暖季节 (2019.5.19-8.25) 和寒冷季节 (2019.3.2-3.24、2019.11.9-12.22) 同时进行。使用型号为 KB-120F

智能中流量采样器进行大气颗粒物 $PM_{2.5}$ 采集, 流量为 100L/min, 采样时长为 10h, 采样期间室内无人员活动且门窗紧闭。采样过程中使用温湿度计对环境参数进行监控。采样前后对采样膜 (Whatman QMA, 直径为 90mm 的石英膜) 进行培养 (温度 25℃, 相对湿度 50%) 24 小时, 使用精度为 0.00010g 的数字天平 (METTLER TOLEDO, Switzerland) 获取 $PM_{2.5}$ 的质量, 称量 3 次, 每次偏差小于 0.00010g, 取平均值。空白采样膜同上。

完成 $PM_{2.5}$ 采集、24 小时培养及称重的采样膜进行水溶处理, 选取采样膜的一半 (另一半用硝酸处理, 用于酸溶性金属成分检测), 用陶瓷剪刀剪碎后与 20ml 去离子水混合通过超声波清洗器进行超声萃取 30min, 随后用 0.45 μm 滤膜对溶解液进行过滤, 最后用去离子水定容到 50ml, 空白膜处理流程如上。处理好的样品用于 ICP 检测水溶性金属成分和离子色谱检测水溶性离子 (Na^+ , SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+}), 以及用于氧化潜势毒性 OPM 的测量。

1.2 DTT 分析

DTT 法的原理是通过测量 $PM_{2.5}$ 中氧化还原化合物催化电子从 DTT 向氧分子转移的能力来估算 $PM_{2.5}$ 的氧化潜势。在本研究中, 实验步骤主要参考了 Fang 等人^[7]的方法。参与反应的 DTT 将被氧化成二硫化物形式的 DTT。剩余未反应的 DTT 与可与 5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸) (DTNB) 反应生成吸收光的产物 2-硝基-5-硫代苯甲酸 (TNB), TNB 在波长 412nm 下具有高消光系数 (14150M⁻¹cm⁻¹), 通过紫外-可见分光光度计便可换算得到 DTT 的消耗速率。空白的分析过程与样品相同。在 DTT 分析过程中, 尽可能的关闭房间内的光源, 且反应容器用铝箔纸包裹, 尽可能地避免光线。

2 结果与讨论

2.1 室内外 $PM_{2.5}$ 氧化潜势毒性 OP_M 的对比

经过室内外温暖、寒冷季节的 $PM_{2.5}$ 采样, 一共收集了 65 对数据, 并进行了室内外对比。如图 1 所示, 室内的 $PM_{2.5}$ 浓度明显较室外低 ($p < 0.01$), $PM_{2.5}$ 的 I/O 范围为 0.36~0.91。相对于 $PM_{2.5}$ 进入室内浓度降低的规律变化, $PM_{2.5}$ 的毒性变化有所不同, OP_M 有的增大, 有的减小。这可能是由于有毒物质在不同粒径上的分布有关, 使得 $PM_{2.5}$ 渗透和沉积过程中, 单位质量氧化潜势 OP_M 发生了变化^[17]。Szigeti 等人^[18]欧洲建筑内办公室的氧化潜势特性, 发现也存在室内 OP_M 大于室外的现象。Khurshid 等^[19]人甚至发现室内的 OP_M 可高出室外 2-4 倍。Brehmer

等人^[20]探究了室内外的氧化潜势及空气净化器对室内氧化潜势的影响, 发现室内毒性 OP_M 均值大于室外, 且空气净化器虽然降低了室内 $PM_{2.5}$ 浓度, 但无法降低毒性 OP_M , 即无法减少有毒物质。这意味着, $PM_{2.5}$ 的防控如果仅以降低浓度为标准, 很可能会因为毒性的增大使总的健康效益达不到要求。

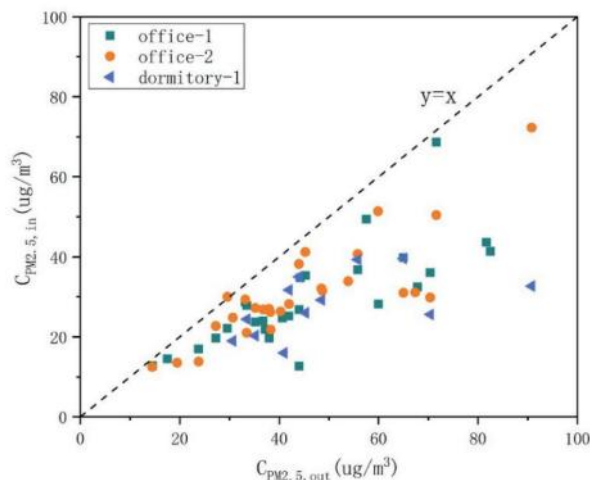


图 1a $PM_{2.5}$ 浓度室内外对比

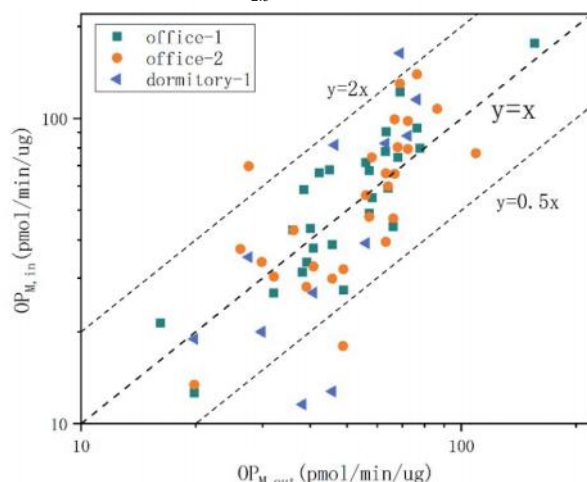


图 1b OP_M 室内外对比 (Log10 坐标)

图 1 室内外 $PM_{2.5}$ 浓度 (a) 和毒性 OP_M (b) 的对比

2.2 $PM_{2.5}$ 毒性 OP_M 的季节性变化

图 2 分别为温暖和寒冷季节室外和室内的 $PM_{2.5}$ 浓度和 OP_M , 寒冷季节室内 $PM_{2.5}$ 浓度是温暖季节的 1.5 倍, 室外是温暖季节的 1.7 倍 (寒冷: 60.8 ± 16.2 ug/m³; 温暖: 35.3 ± 11.1 ug/m³)。南京地区寒冷季节的 $PM_{2.5}$ 污染比温暖季节高, 但由于南京寒冷季节不需要供暖, 因此, $PM_{2.5}$ 污染主要受区域性大大气传输和气象条件的影响, 冬季以西北风向为主, 来自安中原和京津地区的气团中可能携带了大量的污染物, 加重了南京寒冷季节 $PM_{2.5}$ 污染。毒性方面, 室外 OP_M 在温暖和寒冷季节差异较大 ($p < 0.05$),

温暖季节 OP_M 较高, 温暖和寒冷季节的 OP_M 分别为 $64.4 \pm 30 \text{ pmol}/(\text{min} \cdot \mu\text{g})$ 和 $47.4 \pm 17.6 \text{ pmol}/(\text{min} \cdot \mu\text{g})$ 。表明, 温暖季节室外单位 $PM_{2.5}$ 质量中的有毒物质含量相对较多, 可能是因为温暖季节室外温度较高, 也有利于二次污染物等有毒有害物质(如醌类物质)的生成, 使得单位质量氧化潜势较高。而室内的季节性差异性不显著, 从平均来看, 寒冷季节略大, 温暖: $55.4 \pm 32 \text{ pmol}/(\text{min} \cdot \mu\text{g})$, 寒冷: $68.8 \pm 40 \text{ pmol}/(\text{min} \cdot \mu\text{g})$ 。

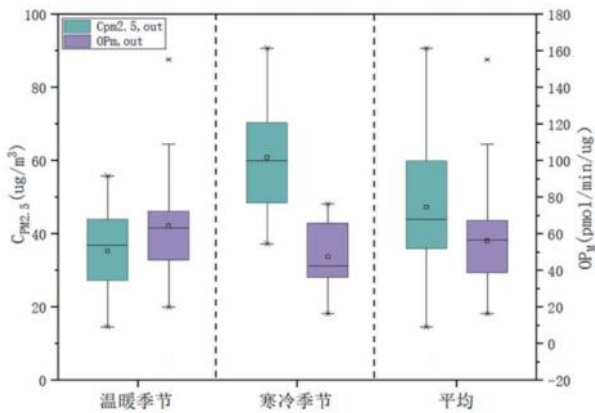


图 2a 室外

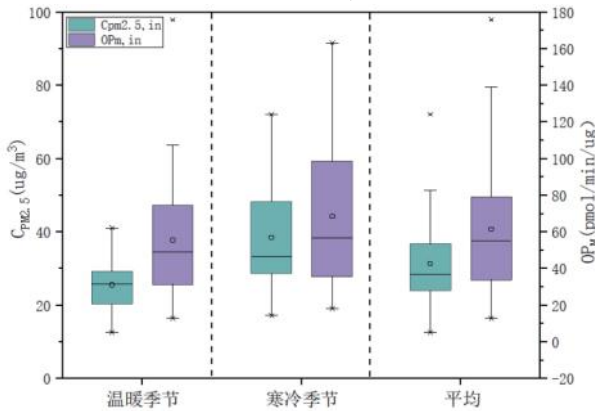


图 2b 室内

图 2 室外 (a) 和室内 (b) $PM_{2.5}$ 、 OP_M 季节性比较

2.3 影响毒性 OP_M 的相关因素

我们对 $PM_{2.5}$ 的化学成分和其他因素(如建筑环境因素和颗粒物自身特性)进行了 Pearson 相关性分析, 并列入表 1。

2.3.1 与 OP_M 相关的 $PM_{2.5}$ 成分

我们对室内外 $PM_{2.5}$ 成分差值和 OP_M 差值进行了 Pearson 相关性分析。发现水溶性铁和 $PM_{2.5}$ 毒性 OP_M 的相关性较强 ($p < 0.01$), 特别是温暖季节, 铁和 OP_M 具有显著的正相关性 ($p < 0.01$), 这可能与 Fe 参与 Fenton 反应催化活性氧物质生成有关^[21]。在之前的研究中, Jesus 等人^[22]发现当过渡金属 Fe 含量的增大, OP_M 也会增大, 而且 Xiong 等人^[23]发

表 1 $PM_{2.5}$ 成分和 OP_M 的 Pearson 相关系数

	温暖季节	寒冷季节	平均
Na^+	0.241	0.263	0.462**
SO_4^{2-}	0.067	-0.003	0.324*
NH_4^+	0.219	0.115	0.255
NO_3^-	-0.166	0.215	-0.004
Cl^-	-0.088	0.142	0.073
Ca_2^{+}	-0.121	0.055	0.095
K^+	0.330	0.068	0.272
Mg_2^{+}	-0.104	-0.045	0.006
Fe (WS)	0.822**	0.300	0.527**
Fe (AS)	0.010	0.351	0.378
ΔT	-0.104	-0.722**	-0.093
ΔRH	-0.045	0.742**	0.156
ΔpH	-0.120	0.456**	0.250

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

现铁和醌类物质具有协同作用, 能增加 $PM_{2.5}$ 的氧化潜势; Chen 等人^[24]发现温度较高的季节有利于光化学反应, 可以产生的二次有机气溶胶, 其中的醌和半醌与氧气反应生成活性氧物质, 增加人体氧化应激的风险, 这可能也是温暖季节 Fe 与 OP_M 相关性较强的原因。相对于水溶性 Fe, 酸溶性 Fe 与 OP_M 的影响总体来说相对较小, 研究也表明水溶性成分由于更易被人体吸收和运输也可能与 OP_M 更相关^[25]。此外, 本实验中 Na^+ 和 SO_4^{2-} 也表现出与 OP_M 较强的相关性, 我们也分析了 Na^+ 和 SO_4^{2-} 与 Fe 的相关性, 发现相关性较显著 (Na^+ : $r=0.49$, $p < 0.05$; SO_4^{2-} : $r=0.611$, $p < 0.01$), 可能具有同源性, 如扬尘、燃烧活动等。

2.3.2 影响 OP_M 的其他因素

除了明晰潜在的毒性成分外, 我们还研究了建筑环境参数温度 T ($^{\circ}\text{C}$) 和相对湿度 RH (%) 及颗粒物自身 pH 对氧化潜势毒性 OP_M 的影响。我们发现在温暖季节三者几乎与 OP_M 没有相关性, 而在寒冷季节温度和 OP_M 呈显著负相关 ($p < 0.01$), 而相对湿度和 $PM_{2.5}$ 的 pH 呈现出显著的正相关 ($p < 0.01$), 这也表明温度、湿度、颗粒物 pH 可能是寒冷季节潜在影响 $PM_{2.5}$ 的 OP_M 因素。Khurshid 等人^[19]通过在无人活动室内研究了温度、湿度、换气次数对 OP_M 的影响, 发现三者的增大会使 OP_M 增大。Radulescu 等人^[27]对罗马马赛克大厦室内外微气候进行了研究, 发现温度、湿度会影响颗粒物中的成

分占比。这些相关的参数可能通过影响 $PM_{2.5}$ 中成分的溶解度来影响 OP_M ，因此这可能是影响 OP_M 的潜在原因。

3 结论

本研究通过对温暖季节和寒冷季节 $PM_{2.5}$ 采样，测量了 $PM_{2.5}$ 成分和氧化潜势毒性 OP_M ，并进行了室内外对比和季节性对比，及相关影响因素的分析。结果发现：（1） $PM_{2.5}$ 进入室内后浓度降低，但毒性 OP_M 既有增大又有减小。因此，单纯的以降低 $PM_{2.5}$ 浓度为防控 $PM_{2.5}$ 污染的措施很可能使最终的健康效益达不到预期的效果。（2）室外氧化潜势 OP_M 具有一定的季节性变化，温暖季节较高。

（3）氧化潜势毒性 OP_M 和水溶性铁相关性较强（ $p < 0.05$ ）。（4）温度、相对湿度以及 $PM_{2.5}$ 的 pH 可能是通过影响成分溶解度而影响 OP_M 的潜在因素。

参考文献

- [1] Cohen A J, Brauer M, Burnett R, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015[J]. The Lancet, 2017, 389(10082): 1907-1918.
- [2] Klepeis N E, Nelson W C, Ott W R, et al. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants[J]. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 2001, 11(3): 231-252.
- [3] Nel A. Atmosphere. Air pollution-related illness: effects of particles[J]. Science, 2005, 308(5723): 804-806.
- [4] Kumagai Y, Koide S, Taguchi K, et al. Oxidation of Proximal Protein Sulfhydryls by Phenanthraquinone, a Component of Diesel Exhaust Particles[J]. Chemical Research in Toxicology, 2002, 15(4): 483-489.
- [5] Verma V, Rico-Martinez R, Kotra N, et al. Contribution of Water-Soluble and Insoluble Components and Their Hydrophobic/Hydrophilic Subfractions to the Reactive Oxygen Species-Generating Potential of Fine Ambient Aerosols[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(20): 11384-11392.
- [6] Cho A K, Sioutas C, Miguel A H, et al. Redox activity of airborne particulate matter at different sites in the Los Angeles Basin[J]. Environmental Research, 2005, 99(1): 40-47.
- [7] Fang T, Verma V, Guo H, et al. A semi-automated system for quantifying the oxidative potential of ambient particles in aqueous extracts using the dithiothreitol (DTT) assay: results from the Southeastern Center for Air Pollution and Epidemiology (SCAPE)[J]. Atmospheric Measurement Techniques, 2015, 8(1): 471-482.
- [8] Yu S, Liu W, Xu Y, et al. Characteristics and oxidative potential of atmospheric $PM_{2.5}$ in Beijing: Source apportionment and seasonal variation[J]. Science of The Total Environment, 2019, 650: 277-287.
- [9] Lyu Y, Guo H, Cheng T, et al. Particle Size Distributions of Oxidative Potential of Lung-Deposited Particles: Assessing Contributions from Quinones and Water-Soluble Metals[J]. Environmental Science & Technology, 2018, 52(11): 6592-6600.
- [10] Liu W, Xu Y, Liu W, et al. Oxidative potential of ambient $PM_{2.5}$ in the coastal cities of the Bohai Sea, northern China: Seasonal variation and source apportionment[J]. Environmental Pollution, 2018, 236: 514-528.
- [11] Guo H, Li M, Lyu Y, et al. Size-resolved particle oxidative potential in the office, laboratory, and home: Evidence for the importance of water-soluble transition metals[J]. Environmental Pollution, 2019, 246: 704-709.
- [12] Szigeti T, Dunster C, Cattaneo A, et al. Oxidative potential and chemical composition of $PM_{2.5}$ in office buildings across Europe – The OFFICAIR study[J]. Environment International, 2016, 92-93: 324-333.
- [13] Niu X, Ho K F, Hu T, et al. Characterization of chemical components and cytotoxicity effects of indoor and outdoor fine particulate matter ($PM_{2.5}$) in Xi'an, China[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2019, 26(31): 31913-31923.
- [14] Shirmohammadi F, Wang D, Hasheminassab S, et al. Oxidative potential of on-road fine particulate matter ($PM_{2.5}$) measured on major freeways of Los Angeles, CA, and a 10-year comparison with earlier roadside studies[J]. Atmospheric Environment, 2017, 148: 102-114.
- [15] Visentin M, Pagnoni A, Sarti E, et al. Urban $PM_{2.5}$ oxidative potential: Importance of chemical species and comparison of two spectrophotometric cell-free assays[J]. Environ Pollut, 2016, 219: 72-79.
- [16] Secrest M H, Schauer J J, Carter E M, et al. The oxidative potential of $PM_{2.5}$ exposures from indoor and outdoor sources in rural China[J]. Science of The Total Environment, 2016, 571: 1477-1489.
- [17] Liu C, Zhang Y. Relations between indoor and outdoor $PM_{2.5}$ and constituent concentrations[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2019, 13(1).
- [18] Szigeti T, Dunster C, Cattaneo A, et al. Oxidative potential and chemical composition of $PM_{2.5}$ in office buildings across Europe – The OFFICAIR study[J]. Environment International, 2016, 92-93: 324-333.
- [19] Khurshid S S, Emmerich S, Persily A. Oxidative potential of particles at a research house: Influencing factors and comparison with outdoor particles[J]. Building and Environment, 2019, 163: 106275.
- [20] Brehmer C, Lai A, Clark S, et al. The Oxidative Potential of Personal and Household $PM_{2.5}$ in a Rural Setting in Southwestern China[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(5): 2788-2798.
- [21] Lakey P S J, Berkemeier T, Tong H, et al. Chemical exposure-response relationship between air pollutants and reactive oxygen species in the human respiratory tract[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1).
- [22] de Jesus R, Mosca A, Guarieiro A, et al. In vitro Evaluation of Oxidative Stress Caused by Fine Particles ($PM_{2.5}$) Exhausted from Heavy-Duty Vehicles Using Diesel/Biodiesel Blends under Real World Conditions[J]. Journal of the Brazilian Chemical Society, 2017.
- [23] Xiong Q, Yu H, Wang R, et al. Rethinking Dithiothreitol-Based Particulate Matter Oxidative Potential: Measuring Dithiothreitol Consumption versus Reactive Oxygen Species Generation[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(11): 6507-6514.
- [24] Chen Q, Wang M, Wang Y, et al. Oxidative Potential of Water-Soluble Matter Associated with Chromophoric Substances in $PM_{2.5}$ over Xi'an, China[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(15): 8574-8584.
- [25] Fang T, Zeng L, Gao D, et al. Ambient Size Distributions and Lung Deposition of Aerosol Dithiothreitol-Measured Oxidative Potential: Contrast between Soluble and Insoluble Particles[J]. Environmental Science & Technology, 2017, 51(12): 6802-6811.
- [26] Radulescu, Stihi, Ion, et al. Seasonal Variability in the Composition of Particulate Matter and the Microclimate in Cultural Heritage Areas[J]. Atmosphere, 2019, 10(10): 595.

高海拔地区床头弥散供氧系统富氧效果研究

西安建筑科技大学 宋志远 刘艳峰 宋聪 王登甲

〔摘要〕高海拔地区缺氧环境引发睡眠障碍等问题，严重影响人体生命健康和睡眠质量。本文提出一种床头局部弥散供氧系统，通过数值模拟分析，探究了床头局部供氧条件下室内氧气的扩散规律，阐明了夜间人体呼吸区氧浓度的动态变化规律。研究表明：出氧口直径、出口氧浓度、供氧量和室内通风量四个影响因素对呼吸区富氧效果的影响程度存在差异，其中出口氧浓度是影响呼吸区氧浓度水平的决定性因素；对于单人睡眠的床体弥散式供氧系统，推荐采用出氧口直径 17cm、出口氧浓度 23%、供氧量 5L/min、射流距离 20cm 的设计策略；同时，为避免面部吹风感，出口风速设置在 0.08-0.2m/s 较为适宜。本研究将为高海拔地区睡眠氧环境营造提供了科学依据。

〔关键词〕高海拔地区；局部弥散供氧；睡眠环境；呼吸区；富氧效果

0 前言

约占我国疆域面积四分之一的青藏高原地区，平均海拔 4000 米以上，大气含氧量仅为平原地区的 60%。随着我国高原藏区的发展建设，来自低海拔地区的高原外来人口日益增多，但高海拔特殊的低压缺氧环境使其产生不同程度的缺氧反应，尤其在夜间睡眠状态下，缺氧易引发睡眠障碍、呼吸困难等诸多问题，不仅对人体睡眠质量造成显著影响，也导致工作学习效率低下等日间功能障碍问题^[1]，严重威胁人体身心健康。提高睡眠状态下人体吸入气氧浓度是改善高原睡眠质量的有效手段^[2]。

目前高原富氧方式常采用鼻吸式富氧、弥散供氧、个体背负式供氧等方法^[3]，其中，弥散供氧因其设备紧凑、不束缚人员活动等优点而备受青睐^[4]。在青藏铁路修建、高原隧道施工等背景下，胡松涛^[5]等人分析了暖通空调系统基础上的列车车厢氧环境调节理念，张人梅^[6]对冬季列车新风与供氧系统的联合运行模式进行了对比分析和可行性研究，刘应书^[7]等人研究了施工隧道掌子面弥散供氧的富氧特性和效果。但上述研究主要关注密闭空间的氧环境营造，并主要针对人体日间活动状态下的富氧需求。而在夜间睡眠状态下，人体所处睡眠环境较为固定，人体呼出气不可避免地与供氧气流在呼吸区混合，进而对呼吸区的富氧效果产生影响。但现有研究鲜少关于夜间呼吸区富氧效果的探讨，这成为舒适睡眠氧环境营造的严峻挑战。

针对高原进藏人群对改善睡眠氧环境的普遍诉求，本文提出一种适宜于人体睡眠状态的床头局部弥散供氧系统。呼吸区氧浓度是研究床头弥散供氧富氧效果的核心问题，本研究首先探讨了影响床头

富氧效果的影响因素；进而通过数值模拟研究了室内通风量、出氧口直径、出口氧浓度和供氧量等组合工况下的气流组织分布；基于送氧效率、面部舒适速度比和吹风感三个评价指标对富氧效果进行了对比分析，最终提出了适宜的床头富氧系统调节策略，将为高原夜间睡眠氧环境营造提供了科学依据。

1 数值模拟方法

1.1 几何模型

本文通过数值模拟方法，研究了高海拔低压低氧环境下床头供氧系统的富氧效果。本研究采用圆断面射流的弥散供氧方式，包括出氧口、简化的人体躺卧模型、空气送风口和回风口，房间和人体的几何模型如图 1、2 所示。整个房间的几何尺寸为 $4.4 \times 3.3 \times 2.7\text{m}$ ，简化的人体模型尺寸为 $1.9 \times 0.9 \times 0.3\text{m}$ ，距离地面高 0.4m，人体头部的建立参考 Melikov^[8]提出的呼吸热人体模型标准，鼻孔近似直径 8mm 的圆孔，面积为 0.52cm^2 ，鼻子沿水平方向向下的倾斜角度为 45° ，两鼻孔之间的夹角为 30° 。送风口 $20 \times 10\text{cm}$ 设置在立面墙距离地面高 1m 的位置，回风口 $20 \times 10\text{cm}$ 设置在房间的顶墙上距墙两边 10cm 的位置。

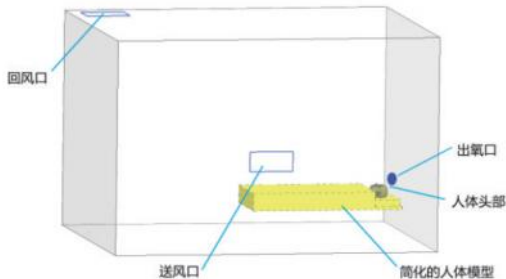


图 1 房间的几何模型

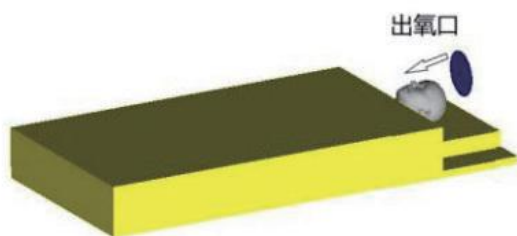


图2 供氧方式

1.2 床头富氧效果影响因素

明确床头富氧效果的主要影响因素是对床头供氧末端进行合理设计的前提。圆断面射流中通常认为射流浓度场和速度场的内、外边界层相重合，二者变化规律相同，因此可由射流速度计算式推倒浓度差射流计算式，如公式（1）所示：

$$TX_2 = \frac{0.4545}{\frac{2as}{d_0} + 0.294} TX_0 \quad (1)$$

其中 a 表示紊流系数，由实验决定，圆断面射流为 0.08； s 表示射流距离，m； d_0 表示圆断面半径，m； ΔX_0 表示出口氧气浓度和大气氧浓度之差，%； ΔX_2 表示质量平均氧浓度和大气氧浓度之差，%。

由公式（1）分析可知，圆断面射流的氧浓度分布主要受出氧口直径、出口氧浓度和射流距离三种因素影响，本模拟研究中出氧口直径分别设置为 17cm、19.5cm 和 22cm；出口氧浓度根据《高原地区室内空间弥散供氧要求 GB/T35414-2017》设置低中高三种氧浓度水平分别为 23%、25% 和 27%；射流距离即出氧口到床头呼吸区域的距离，考虑到送氧末端的隐蔽性将其安置在人体模型头顶上方距人体呼吸区 20cm 的固定位置，而不考虑射流距离的影响；在实际应用中，若出氧口直径和出口氧浓度不变，改变供氧量会影响出口风速及射流强度，从而影响氧分布，因此需要考虑供氧量的影响，本模拟研究将其设置为 5L/min、10L/min 和 15L/min 三种供氧水平；室内通风会影响房间气流组织的分布，参考《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 GB50736-2016》设定无通风换气 0 次/h、正常通风换气 1 次/h 和较大的通风换气 3 次/h 三种通风换气水平。

采用 Minitab 软件对影响圆断面射流的四种因素进行田口试验设计，共得到 9 个模拟工况如表 1 所示。

1.3 网格生成和边界条件

本研究模型计算域采用了非结构化网格并使用 ICEM 进行网格划分。计算区域划分为床头区域和非床头区域，对两区域单独进行网格设置，如图 3

表 1 影响因素工况设计表

工况	直径 (cm)	出口氧浓度 (%)	送氧量 (L/min)	室内通风量 (m³/min)
1	17	23	5	0
2	17	25	10	0.5
3	17	27	15	1.8
4	19.5	23	10	1.8
5	19.5	25	15	0
6	19.5	27	5	0.5
7	22	23	15	0.5
8	22	25	5	1.8
9	22	27	10	0

对长方体形状的床头区域进行网格加密处理，非床头空间的网格较床头区域稀疏。总计算域网格数为 420 万。



图3 网格划分

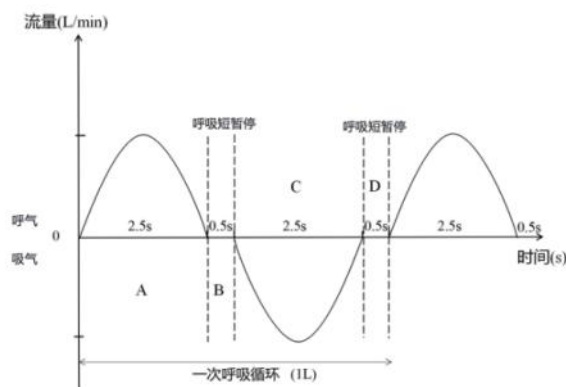


图4 人体呼吸模式

本研究选择雷诺平均模拟方法的 RNG k-epsilon 模型，该模型考虑了各气流组织间的湍流漩涡，提高了在这方面的精度^[9]。人体呼气和吸气之间存在短暂的时间间隔，为了更真实的模拟呼吸活动，存在间隔的 2.5s + 0.5s 呼吸模式被广泛应用于呼吸相关方面的研究^[10]，因此本文将呼吸近似为存在间隔的正弦函数，如图 4 所示为人体呼吸模式，A 到 D 为一个呼吸周期。其他边界条件设置详见表 2。

表2 边界条件设置

边界	边界类型
氧气进口	速度进口; 不同流量、湍流强度、水力直径和浓度; T=295K
人体模型	呼气温度=307K; 头部温度=307.6K
鼻子	吸入与呼出流量: 5L/min, 10次/min; 自定义时间函数
空气进口	不同流量、湍流强度和水力直径; T=295K
空气出口	压力出口; 大气压力=65200Pa; T=295K

1.4 评估指标

在进行数值模拟分析之前首先要探究躺卧姿势下呼吸区的大致范围, 进而更合理地布置监测点和精准分析。Jelle^[11]通过实验方法研究人体假人对污染物的吸入水平来探究呼吸区的范围, 其结果为本文分析呼吸区提供参考, 本文将呼吸区定义为鼻子前方长15cm, 宽10cm, 高10cm的区域, 如图5所示。

如下列出床头氧环境和风感觉评价的相关指标:

(1) 送氧效率

即呼吸区的平均氧浓度与出口氧浓度之比, 表明系统的送氧性能。如公式(2)所示:

$$h = \frac{C_{o,i}}{C_{o,s}} \quad (2)$$

其中 $C_{o,i}$ 表示呼吸区平均氧气浓度, %; $C_{o,s}$ 表示系统出口氧浓度, %。

(2) 面部舒适速度比和吹风感

面部舒适速度比 FSR (Facial-area Speed Ratio) 为人体面部若干采样点在某个速度区间的分布比例, 本研究取人体面部五点作为采样点, 划分 < 0.08m/s, 0.08-0.2m/s, > 0.2m/s 三个速度区间。为了确保呼吸区舒适风速和二氧化碳的排除, 风速在 0.08-0.2m/s 区间的比例应越高越适宜^[12]。

FSR 用来表示人体感受的风速水平所在的某个主要风速区间, 而吹风感用来表示具体某一风速水平下的不满意百分数, 根据 ASHRAE 标准 55-2010 中的 DR (Draft Risk) 模型^[13] 计算, 如公式(3)所示:

$$DR = (34 - t)(v - 0.05)^{0.62} (0.37vI + 3.14) \quad (3)$$

其中 t 表示风温, °C; v 表示风速, m/s; I 表示湍流强度, %。当风速 ≤ 0.05 m/s 时, 风速 = 0.05m/s; 当 $DR \geq 100\%$ 时, $DR = 100\%$ 。

2 结果分析

2.1 影响因素权重分析

采用 Minitab 软件对得到的数值模拟结果进行田口分析, 结果如图6所示, 横坐标表示影响因素的不同因子水平, 纵坐标表示呼吸区平均氧浓度大小, 图中斜率代表因子水平的影响大小, 斜率越大, 影响作用越大。由图可见, 出口氧浓度是影响床头

弥散供氧系统的主要因素, 其与呼吸区氧气浓度呈明显的正比关系, 出口氧浓度越大, 呼吸区氧浓度越高; 出氧口直径、供氧量和室内通风量大小对呼吸区氧浓度的影响不大。为探究各因素的具体影响, 下文对呼吸区氧气浓度变化进行了探讨。

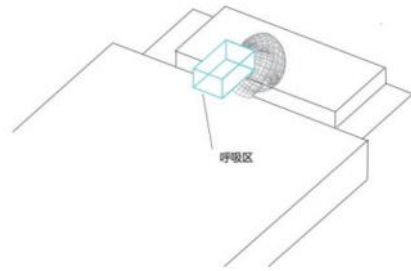


图5 呼吸区设置

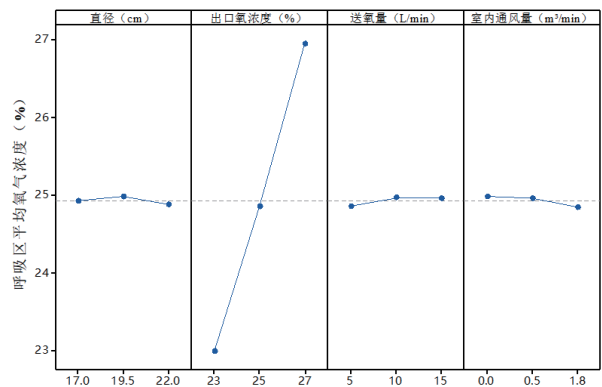


图6 因素分析

2.2 床头氧分布

氧气浓度场和速度场的数值模拟结果如图7所示, 分别呈现在房间的两个平面上, 平面A平行于地面, 平面B垂直于地面, 将出氧口断面和呼吸区一分为二。

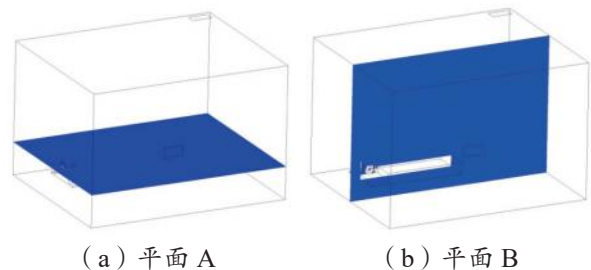
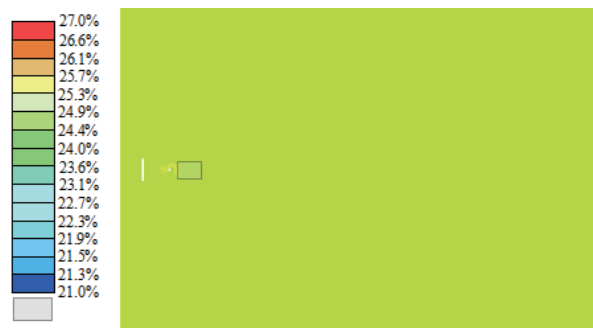


图7 房间两平面截面

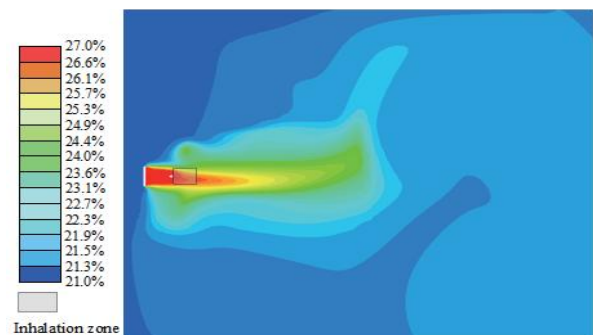
不同工况水平设置下平面A的氧气浓度场分布如图8中(a)、(b)和(c)所示。工况4(出口氧浓度23%)和工况6(出口氧浓度27%)中氧气浓度由出氧口向室内空间逐渐衰减, 但氧气浓度从出氧口到呼吸区均无明显衰减。室内通风会影响空间氧浓度分布, 对比工况4(室内通风量1.8m³/min)



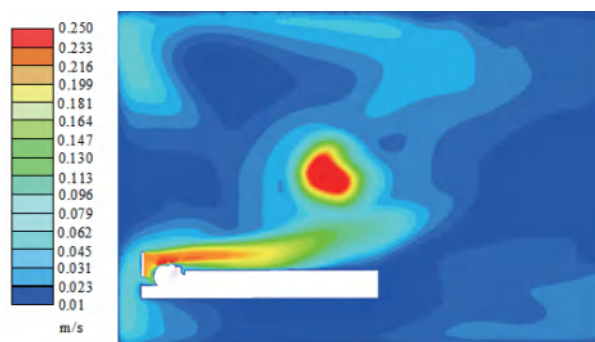
(a) 出口氧浓度 23%—工况 4



(b) 出口氧浓度 25%—工况 5



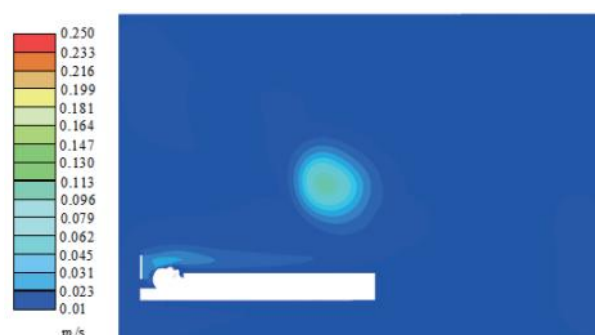
(c) 出口氧浓度 27%—工况 6



(d) 出口风速 0.22m/s—工况 4



(e) 出口风速 0.17m/s—工况 5



(f) 出口风速 0.04m/s—工况 6

图 8 氧气浓度场与速度场分布

和工况 6 (室内通风量 $0.5\text{m}^3/\text{min}$)，室内通风量较大的工况 4，氧浓度轨迹存在明显偏向；工况 5 无室内通风，处在密闭环境中，经过一段时间整个房间内的氧浓度已经达到了出口氧浓度水平。

不同工况水平设置下平面 B 的速度场分布如图 8 中 (d)、(e) 和 (f) 所示。室内通风会影响空间气流组织分布，在无室内通风条件下工况 5 的速度场呈现出标准的射流形状，工况 4 的速度场因为室内通风而发生明显偏向。出口风速及射流强度越大，速度场强度也越大，工况 4 和工况 5 的速度场明显强于工况 6。对比图 (a) 和 (d)、图 (c) 和 (f)，射流速度场和浓度场有着相似的变化规律。

由图 8 可见，房间通风会影响室内空间氧气浓度场分布，而床头呼吸区域基本不受影响；房间无通风时，房间氧气浓度会逐渐上升，最终房间的氧

气浓度和出口氧气浓度相同。出口风速越大射流强度越强，氧气浓度场和速度场的强度和范围越大，二者有着相似的变化规律。人体头部上方空间风速比头部下方风速要大，因此需要综合考虑头部不同位置风速来评价人体的风感觉。

2.3 床头呼吸区氧环境评价

室内通风换气为 0 次/h 和 1 次/h 下系统整晚的呼吸区氧气浓度的变化如图 9。室内通风对呼吸区氧气浓度的影响不大，床头富氧系统表现出快速稳定的能力，氧气浓度在前十分钟快速增加并逐渐平稳，呼吸区氧气浓度变化大致相同。对比工况 1 和工况 7，两工况的出口氧浓度相同，工况 7 的供氧量是工况 1 的三倍，但呼吸区的氧气浓度变化却相似，工况 1 已然可以满足人体呼吸区基本的氧气需求；对比工况 1 和工况 6，二者有着相同的供氧量，

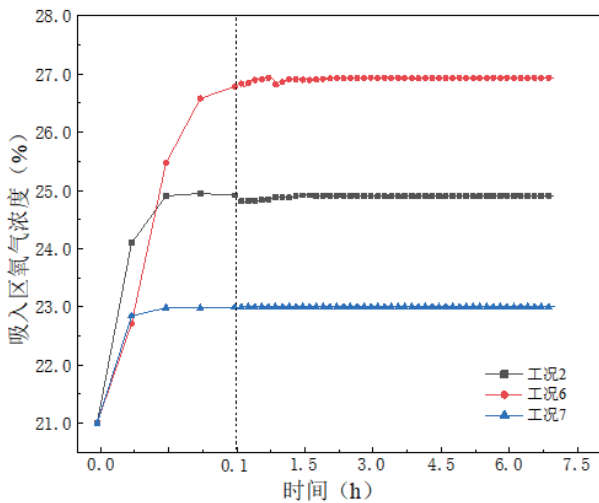
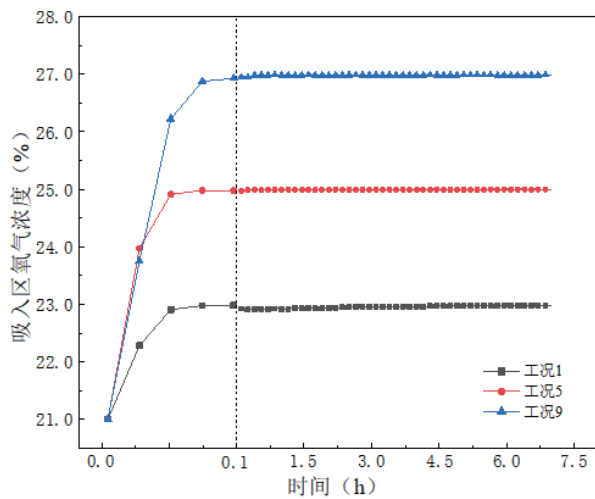


图9 呼吸区氧气浓度变化

但出口氧浓度不同,表现出不同的呼吸区氧气浓度水平。

出口氧浓度是影响呼吸区氧浓度水平的决定性因素,增加供氧量使出口风速变大,射流强度变强,速度场和氧气浓度场会变强,但床头呼吸区距离出口口较近,无论供氧量增大或减小,呼吸区氧气浓度均接近于出口氧浓度,因此一定范围内供氧量的增加或减小对呼吸区氧气浓度影响不大。若只考虑床头人体呼吸区的氧环境,在进行系统设计的时候,可以选择较小的供氧量。根据高海拔地区人体吸入气氧需求,出口口直径 17cm,出口氧浓度 23%,供

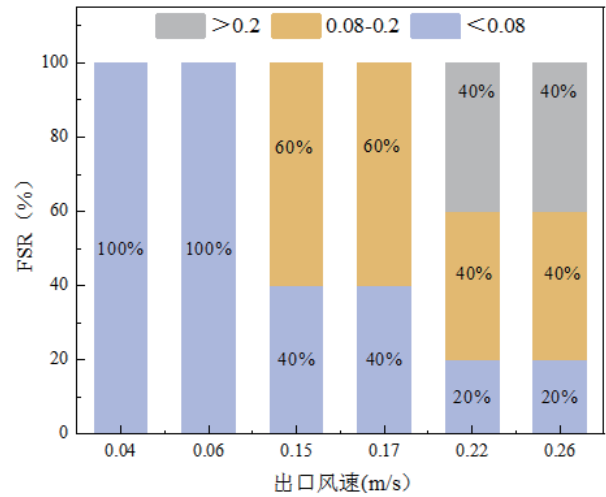


图10 面部舒适速度比

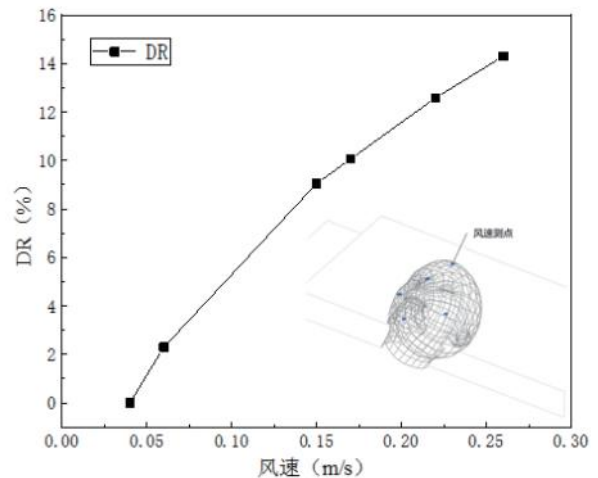


图11 吹风感

氧量 5L/min,射流距离 20cm 可作为呼吸区富氧的单人基础供氧水平设置。

表3为床头弥散供氧系统各工况的呼吸区送氧效率。由工况1、2和3可以看出,同一风速不同的出口氧浓度下送氧效率均能达到99%以上;由工况2、5和8可以看出,同一出口氧浓度,较低的风速和较高的风速下,送氧效率均能达到99%以上。在本文设计水平下,呼吸区的送氧效率均能达到99%以上,与出口氧浓度的大小和风速大小均无关。

2.4 头部风感觉评价

各工况的FSR如图10所示,横坐标为不同的

表3 送氧效率

工况	1	2	3	4	5	6	7	8	9
出口氧浓度 (%)	23	25	27	23	25	27	23	25	27
风速 (m/s)	0.15	0.15	0.15	0.22	0.17	0.04	0.26	0.04	0.06
送氧效率 (%)	99.28	99.69	99.62	99.58	99.58	99.77	99.79	99.6	99.77

出口风速,纵坐标为FSR。由图可以看出,当出口风速 $> 0.2\text{m/s}$ 时,面部风速在 $> 0.2\text{m/s}$ 区间的比例仍占 40%,在 $0.08 - 0.2\text{m/s}$ 区间比例小于 50%;而出口风速 $< 0.2\text{m/s}$ 时,面部风速在 $0.08 - 0.2\text{m/s}$ 区间的比例变大;出口风速 $< 0.08\text{m/s}$ 时,面部风速在 $0.08 - 0.2\text{m/s}$ 区间比例为 0%。因此,在进行床头富氧系统的出口风速设计时,将出口风速设计在 $0.08 - 0.2\text{m/s}$ 之间较为适宜。

系统不同出口风速下的吹风感如图 11 所示,吹风感与出口风速呈正相关,风速越大,吹风感越强,反之越小。因此,在进行床头富氧系统的出口风速设计时,出口风速越小越好,同时要保证其在 $0.08 - 0.2\text{m/s}$ 风速区间。

3 结论

(1) 出氧口直径、出口氧浓度、供氧量和室内通风量四种影响因素对床头弥散供氧系统富氧效果的影响程度存在差异。其中,出口氧浓度是影响呼吸区氧浓度的决定性因素,出口氧浓度的大小可以直接决定呼吸区氧气浓度水平。

(2) 对于本研究的床头弥散供氧系统形式,供氧量对呼吸区氧浓度影响不大。尽管供氧量的改变会使出口风速变化从而影响氧效果,但由于人体处于躺卧状态,床头出氧口到人体呼吸区的射流距离较短,呼吸区氧浓度水平接近出口氧浓度,因此该系统的送氧效率可达 99% 以上。

(3) 在 FSR 和吹风感对呼吸区氧浓度和气流速度的双重约束下,对于单人睡眠的床体弥散式供氧系统,推荐采用出氧口直径 17cm、出口氧浓度 23%、供氧量 5L/min、射流距离 20cm 的设计策略。

参考文献

[1] 李仓霞,杨来启.高原低氧环境下睡眠障碍及对认知功能影响研究进展[J].卒中与神经疾病,2010,18(2):128—129.

[2] 哈振德,王旭萍.富氧对高原移居者睡眠结构的影响[J].高原医学杂志,2004(3):57-57.

[3] 张西洲.高原供氧研究进展[J].高原医学杂志,2010(01):62-65.

[4] 杨世超.弥散氧的开发与应用[J].科技资讯,2013,000(007):2-5.

[5] 胡松涛,高玉功,张长兴,等.青藏铁路客车弥散供氧方式下需氧量的探讨[J].铁道机车车辆,2007,027(001):13-16.

[6] 张人梅.青藏铁路客车冬季车内环境及新风与供氧系统联合运行模式研究[D].四川:西南交通大学,2018.

[7] 刘应书,崔红社,刘文海.高海拔地区隧道施工供氧技术研究[J].矿冶,2005,14(1):5-7.

[8] Melikov A. Breathing thermal manikins for indoor environment assessment: important characteristics and requirements.[J].European journal of applied physiology,2004,92(6).

[9] Victor Y, Steven A. Orszag. Renormalization group analysis of turbulence. I. Basic theory[J]. Journal of scientific Computing, 1986, 1(1): 3-51.

[10] Ai Z., Melikov A. Airborne spread of expiratory droplet nuclei between the occupants of indoor environments: A review[J]. Indoor Air, 2018, 28(4).

[11] Jelle L, Michal S, Atila N. Experimental assessment of the inhalation zone of standing, sitting and sleeping persons[J]. Building and Environment, 2014, 82.

[12] Zhang Yue, Li Jiayu, Sun Hejiang, et al. Evaluation of different air distribution systems for sleeping spaces in transport vehicles[J]. Building and Environment, 2015, 94.

[13] ASHRAE, ASHRAE Standard 55-2010, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, 2010.

(上接 49 页)

区域温差系数 C_b 指单位面积单位温差下通过空气层的热交换量,取决于湍流粘性系数和空气的湍流普朗特数。利用 CFD 数值模拟结果,将整个空间垂直划分为多区,计算了两种典型送风系统下的区域间换热系数 C_b 。结果表明:送风方式、气流形态、分区方式对 C_b 值均有影响。

参考文献

[1] 杨德福.大空间分层空调对流热转移数值模拟研究[D].西南交通大学,2007.

[2] Q Kong, B Yu. Numerical study on temperature

stratification in a room with underfloor air distribution system[J]. Energy and Buildings, 2008, 40(4): 495-502.

[3] Togari S, Arai Y, Miura K, A simplified model for predicting vertical temperature distribution in a large space. In: ASHRAE Trans, 1993, 99(1): 84-90.

[4] 高军,李晓冬,高甫生.应用 Block 模型研究高大空间分层空调的温度分布[J].暖通空调,2004.34(8): 7-12.

[5] Gao, J., Zhang, X., Zhao, J. N., & Gao, F. S. (2010). A heat transfer parameter at air interfaces in the block model for building thermal environment. International Journal of Thermal Sciences, 49(2), 463-470.

五个不同气候区典型居民住宅不同通风方式下能耗和通风性能的模拟分析研究

大连理工大学建筑工程学院 史晨 王海东 周鹏志 范雪妮; 大连理工大学建筑工程学院 张腾飞

[摘要] 本文用 Energyplus 软件对我国五个气候区不同城市典型住宅不同通风方式下进行了能耗和通风性能模拟分析。通风方式分为自然通风、机械通风和混合通风三种形式。机械通风系统被进一步分类为集中式系统和分散式系统。当一套住宅的所有房间都同步运行时为集中式机械通风, 而分散式自然通风则可按需单独运行。本文模拟了不同通风方式下及有无能量热回收装置时住宅室内二氧化碳浓度和年能耗。结果表明, 在典型的开关窗行为下, 自然通风时 CO_2 不满足率 ($> 1000\text{ppm}$) 均较高, 而机械通风和混合通风可以满足 CO_2 浓度标准; 自然通风系统与机械通风系统相比可节能 8%-36%。机械通风分散式系统与集中式系统相比具有更大的节能潜力; 从节能效果来看, 严寒地区(沈阳)和寒冷地区(天津)采用全热回收系统和显热回收系统均有较好效果。夏热冬冷地区(上海)和夏热冬暖地区(深圳)适用于全热回收系统。温和地区(昆明)不适合采用热回收系统。

[关键词] 住宅能耗; 住宅通风; 热回收; Energyplus

0 引言

随着我国经济的发展, 居民对住宅室内空气质量越来越重视^[1], 而 CO_2 浓度是评价室内空气质量的重要参数, 是评价通风率充分性的指标。充分的通风可以改善室内空气质量。通风方式决定了室内通风量同时较大程度上影响空调能耗, 而气候条件也会影响通风量与空调能耗。因此, 研究不同气候区住宅建筑的室内通风与能耗性能具有重要意义。

中国大多数住宅采用自然通风系统^[2], 由于开窗时间短, 经常导致通风量不足。机械通风可以在提高能耗的同时解决这一问题^[3]。混合通风系统与机械通风系统相比可降低部分能耗^[4]。机械通风系统可设置热回收装置, 回收部分排风能量, 不同气候区热回收方式的适用性不同。王智超^[5]对北京、上海部分住宅楼的气密性进行了测试。试验结果表明, 渗透换气率大部分在 $0.1/\text{h} \sim 0.3/\text{h}$ 之间, 仅通过渗透通风难以满足新风需求。张腾飞^[6]研究了天津某住宅小区在自然通风、机械通风和混合通风三种通风方式下室内 CO_2 浓度和能耗水平。结果表明, 在自然通风模式下, 由于人们晚上睡觉时总是关窗, 室内 CO_2 浓度较高。机械通风和混合通风可以满足 CO_2 浓度标准。刘岩松^[7]提出了集中式通风和分散式通风两种机械通风方案, 各新风出口集中控制为集中式系统, 各出风口独立分散控制为分散式系统。钟柯^[8]研究了热回收系统在夏热冬冷地区的适用性, 上海代表夏热冬冷地区城市, 大同代表严寒地区城

市, 两个地区的节能效果表明严寒地区显热回收系统更适用, 夏热冬冷地区则全热回收系统更适用。

本文选取了一栋典型的住宅小区, 假设该小区分别位于中国五大气候区的典型城市, 对应的城市是沈阳、天津、上海、深圳和昆明。住宅的通风方式包括自然通风、机械通风和混合通风。本文利用 Energyplus 软件模拟了该住宅位于各气候区时的室内 CO_2 浓度、能耗及不同类型的热回收效果。对我国五大气候区居住建筑的通风方式具有一定的指导意义。

1 建筑模型

EnergyPlus 软件是美国能源部开发的建筑能耗模拟软件。它具有较高的准确度, 许多相关实验已经证实了它的准确性^[6]。本研究采用 EnergyPlus 软件进行建模, 住宅面积共 87.30m^2 , 层高 3.0m , 住宅由主卧室、客厅和两间次卧室等组成。住宅平面图和模型如图 1 所示。

假设住宅位于标准楼层, 楼层和屋顶都看做是绝热的。根据国家各地区居住建筑规范确定住宅外墙和外窗的传热系数, 如下表 1 所示。

2 模拟设置

表 1 外墙外窗传热系数 ($\text{w}/\text{m}^2\cdot\text{k}$)

城市	沈阳	天津	上海	昆明	深圳
外墙	0.55	0.7	1.0	1.0	1.5
外窗	2.0	2.0	2.2	3.2	2.5



图 1 a) 平面图

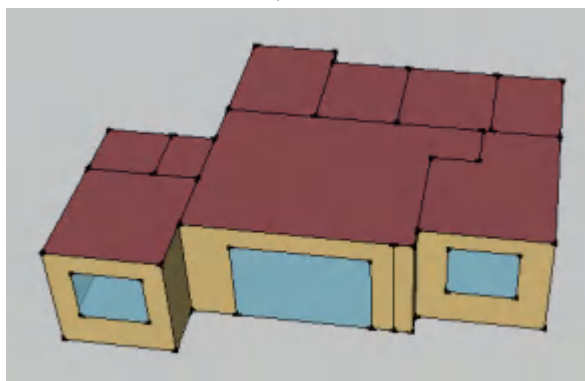


图 1 b) 模型图

以下模拟相关的设置来自我们的调查。室内人员入住时间表见表 2。人员散热设置为 96 W/人^[9]。

住宅各用电设备的功率及使用计划见表 3。室内照明功率和使用计划见表 4。

每个人 CO₂ 产量假设为 $3.82 \times 10^8 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{w})$ ^[10]。

表 2 室内人员在室率

房间	人数	周中	周末
客厅	4	18:00-22:00	11:00-22:00
主卧室	2	22:00-07:00	
卧室	1	22:00-07:00	
厨房	1	18:00-19:00	11:00-12:00 18:00-19:00
卫生间	1	7:00-7:20	20:00-21:00

表 3 设备用电计划表

房间	设备名称	功率	周一 - 周六	周日
客厅	电视	100	18:00-22:00	14:00-17:00 18:00-22:00
	冰箱	50	0:00-23:00	0:00-23:00
厨房	电磁炉	1200	18:00-19:00	11:30-12:00 18:30-19:00
	电饭煲	700	18:00-18:30	11:00-11:30
	抽油烟机	180	18:30-19:00	11:30-12:00 18:30-19:00
卫生间	洗衣机	300	20:00-20:50	周二 周四 周六
	热水器	300	20:00-20:50	周二 周四 周六
	排风扇	5650	20:00-20:50	周二 周四 周六
主卧室	计算机	30	19:00-21:00	2.5

表 4 室内照明计划表

房间	客厅	主卧	卧室	书房	厨房	卫生间
功率	60	30	20	30	20	15
时间	18:00-22:00	22:00-23:00	22:00-23:00	19:00-21:00	18:00-19:00	20:00-21:00

室外 CO₂ 浓度假定为 400 ppm。

住宅开窗行为受室外温度和室外 PM_{2.5} 浓度的影响较大^[11]。在本研究中,同时满足室外温度和室外 PM_{2.5} 浓度范围时窗户打开。五个气候区的外窗开启的温度范围均为 16℃-28℃。沈阳、天津、上海的开窗 PM_{2.5} 浓度范围 $\leq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 分别对应于严寒地区、寒冷地区和夏热冬冷地区。深圳和昆明开窗的 PM_{2.5} 浓度范围为 $\leq 75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 分别对应于温和地区和夏热冬暖地区。表 5 比较了各气候区年外窗开启时长的模拟值和实测值,结果表明它们是接近的。

表 5 开窗时长模拟值与实测值比较

气候区	严寒地区	寒冷地区	夏热冬冷	夏热冬暖	温和
模拟开窗时长 (h)	2698	2593	3830	4257	4107
实测开窗时长 (h)	2278	3154	4292	4380	3592

3 通风模式和评价标准

表 6 为通风方式及热回收类型表,通风方式为自然通风、集中机械通风、分散机械通风、集中混合通风和分散混合通风。对于混合通风,当满足自然通风标准时,居民将使用自然通风,否则使用机械通风。集中式是指每个房间同时控制新风出口,分散控制是指每个房间独立控制新风。为了研究五个气候区不同类型热回收的能量回收效果,模拟了三种不同类型的热回收,即无热回收系统、显热回收系统和热回收系统。显热回收系统效率为 67%,焓回收系统效率为 65%。

本研究以 CO₂ 浓度为室内主要污染物,限值为 1000ppm^[12]。

4 结果

表 7 为各地区住宅内 CO₂ 浓度不满意率的结

表 6 通风方式及热回收类型表

方案	通风模式	热回收类型
NV	自然通风	——
MV1	集中式机械通风	无热回收 / 显热回收 / 全热回收
MV2	分散式机械通风	
HV1	集中式混合通风	——
HV2	分散式混合通风	——

果。在自然通风方式下,五个气候区住宅主卧室室内 CO_2 浓度不满意率均较高,客厅的不满意率优于卧室。卧室不满足率过高很大原因是由于夜间睡觉关窗,加强夜间通风,可以降低室内 CO_2 浓度。在新风量足够的情况下,机械通风和混合通风可确保室内 CO_2 达标。

表 7 CO_2 不满足率 (%)

通风方式	房间	沈阳	天津	上海	深圳	昆明
自然通风	客厅	14	22	21	21	15
自然通风	卧室	59	60	48	37	54
机械/混合通风	客厅	0	0	0	0	0
	卧室	0	0	0	0	0

表 8 为各气候区住宅室内房间机械通风所需的新风量。所需新风量主要与人数和房间面积有关。所需新鲜空气流量约为 $20\text{--}30\text{m}^3/\text{人}$ 。

表 8 各房间所需新风量 (m^3/h)

通风模式	房间	沈阳	天津	上海	深圳	昆明
机械/混合	客厅	90	95	90	90	90
机械/混合	卧室	40	40	40	40	40

图 2 显示了不同类型住宅通风方式每平方米的能耗。与无热回收装置的集中式机械通风相比,自然通风可节约能耗约 8%~36%。混合通风与机械通风相比可以节省小部分能耗。分散式系统与集中式系统相比具有更大的节能潜力。

图 3 为五个气候区不同热回收类型的节能率。全热回收系统和显热回收系统适用于严寒地区和寒冷地区,全热回收系统与无热回收系统相比可节能 20% 左右。夏热冬冷区和夏热冬暖地区均只适用于全热回收。任何形式的热回收系统在温和地区都没有节能效果。

5 结论

本文用 EnergyPlus 软件对我国五个不同气候区典型住宅建筑在不同通风系统下的室内 CO_2 浓度和能耗进行了模拟研究,并探讨了不同气候区的热回收系统类型的适用性。综上所述,得出以下结论:

- 1) 五个气候区自然通风室内 CO_2 浓度不满意率均较高,机械通风和混合通风均能满足室内 CO_2 达标。
- 2) 在五个气候区中,与集中机械通风系统相比,自然通风系统可以节省约 8%~36% 的能耗。
- 3) 与集中通风系统相比,分散式机械通风系统具有更大的节能潜力。与机械通风系统相比,混合通风系统可以节省部分能耗。
- 4) 严寒地区和寒冷地区适用于全热回收系统和显热回收系统,夏热冬冷地区和夏热冬暖地区适用于全热回收系统。温和地区使用热回收装置没有节能效果。

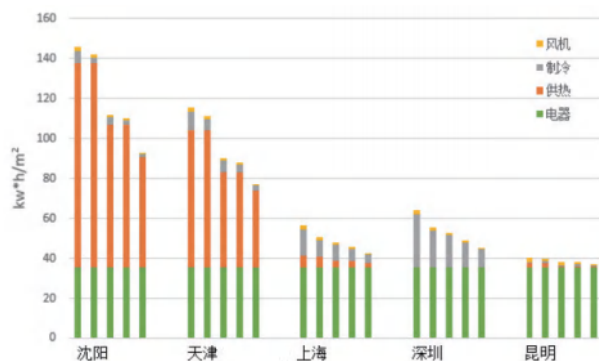


图 2 单位面积耗能 (kWh)

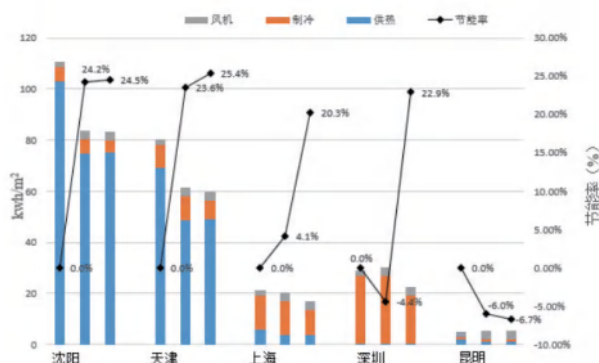


图 3 各地区热回收方式节能率

参考文献

- [1] 魏秀婷. 住宅室内空气品质与控制方法研究 [D]. 天津: 天津大学, 2017.
- [2] 王清勤, 范东叶, 李国柱, 等. 住宅通风的现状、标准、技术和问题思考 [J]. 建筑科学, 2018(2): 89-93.
- [3] 陈思华, 王登, 林忠平. 上海住宅不同通风策略比较 [J]. 建筑科学, 2018(34): 1-6.
- [4] 刘皓. 重庆地区住宅建筑混合通风调控策略研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [5] 王智超, 王宏恩, 唐冬芬. 住宅的通风问题及其对策 [J]. 住宅科技, 2006(10): 51-56.
- [6] Tengfei(Tim)Zhang, et al, 2018. Ventilation, indoor particle filtration, and energy consumption of an apartment in northern China. Building and Environment, 143(2018):280-292.
- [7] 刘岩松. 严寒地区节能住宅的冬季机械通风方案 [J]. 建筑技术, 1999(30): 706-707.
- [8] 钟柯, 次晋芳, 亢燕铭. 两种气候条件下空气热交换器的适用性分析 [J]. 西安建筑技术大学学报, 2006(38): 275-280.
- [9] ASHRAE Handbook, 2009. ANSI/ASHRAE Standard: Thermal Comfort, ASHRAE, Atlanta.
- [10] ASHRAE. 2007. Standard 62.1, 2007. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
- [11] Mingyao Yao, Bin Zhao, 2017. Window opening behavior of occupants in residential buildings in Beijing. Building and Environment, 124(2017):441-449.
- [12] GB/T 17094-1997 室内空气中二氧化碳卫生标准.

烟囱倾角对百叶组合式太阳能烟囱自然通风性能影响的数值模拟研究

太原理工大学土木工程学院 孙瑞 雷勇刚 田琦 宋芳

〔摘要〕所提出的百叶组合式建筑太阳能烟囱可通过室外风速和太阳辐射的共同作用实现室内自然通风的强化。通过数值模拟,研究不同倾斜角度 θ 下通风量随室外风速和太阳辐射强度的变化规律以及倾斜角度对烟囱进出口压差和出口速度的影响,并给出不同倾斜角度下的局部流场。结果表明,百叶组合式建筑太阳能烟囱通风量随倾斜角度的增加先增加后减小;烟囱进出口全压差的绝对值随倾斜角度的增加而增加;不同风速下烟囱出口速度随倾斜角度的增加而增加,且风速越大烟囱出口速度的增加幅度越小。

〔关键词〕太阳能烟囱;通风量;倾斜角度;百叶;数值模拟

0 引言

随着居民生活水平的提高,建筑能耗也在逐年增长,由此带来的环境问题也日益凸显,因此利用太阳能等可再生能源降低建筑能耗越来越受到关注。太阳能烟囱是一种利用太阳辐射加热通道内空气温度使通道内外密度差增加从而促进室内通风换气的一种设备。它可以提高室内空气品质,并且不会对室外环境造成负担。

国内外学者对太阳能烟囱进行了一定的研究。Sakonidou等^[1]通过计算给定时间、地点下不同倾斜角度和高度的太阳能烟囱每小时所吸收的太阳能辐射推导出数学模型;Bassiouny和Koura^[2]模拟计算了不同烟囱宽度、入口宽度下的通风量以及房间换气次数,结果表明烟囱宽度对换气次数的影响较大;Zamora和Kaiser^[3]通过数值模拟研究了不同Ra数、墙体之间相对距离以及加热条件对太阳能烟囱通道内层流和紊流流动的影响;Du等^[4]对组合式太阳能烟囱的通风性能进行了研究,得出通风量随着烟囱长度的增加而增加且存在最佳高宽比;薛宇峰和苏亚欣^[5]模拟分析了太阳能烟囱高度和宽度等结构参数对通风效果的影响,结果表明通风量随高度的增加而增加,随宽度的增加先增加后减小;Haghighi和Maerefat^[6]研究了冬季气候条件下太阳能烟囱通道宽度、入口尺寸、室外温度以及太阳辐射强度对室内空气参数的影响;Khanal和Lei^[7]通过实验研究了玻璃盖板倾斜角度对通道内高度和宽度方向温度和气流速度的影响,发现通道内高度和宽度方向温度的分布受其影响较小,但通道宽度方向的气流速度受其影响较大;Li和Li^[8]研究了太阳辐射强度对教室内空气温度和速率的影响进行了数值模拟及

分析,为今后进一步对教室通风性能的研究提供了理论依据;Lei等^[9]对一种带有穿孔吸热板的屋顶太阳能烟囱进行了三维稳态数值模拟研究,结果表明,该优化结构诱导的通风量高于传统屋顶太阳能烟囱;宣永梅等^[10]根据质量守恒和能量守恒方程给出倾斜式太阳能烟囱通风量计算方法并通过实验数据进行了验证,研究了烟囱长度、宽度、深度及倾角对通风量的影响;聂鹏等^[11]通过数值模拟研究了开口形式和开口尺寸对太阳能烟囱性能的影响,结果表明当热流密度相同时,单开口建筑下太阳能烟囱所诱导的通风量比双开口建筑多;雷勇刚等^[12]提出了内置格栅诱导通道的太阳能通风墙,并对其性能进行了研究;Al-Kayiem等^[13]对屋顶太阳能烟囱四种不同的入口形式进行实验和数值模拟,结果表明入口为垂直结构时,系统的通风速率和通风量最大;Khosravi等^[14]运用数值模拟方法研究了安装于二层建筑自然通风的太阳能烟囱通风性能,并提出一种漏斗状倾斜集热板屋顶式太阳能烟囱;赵福云等^[15]研究了环境温度、倾斜角度、加热板的热流密度对倾斜式太阳能烟囱温度分布影响,得到不同倾斜角度下其回流深度的大小。

本文针对新型百叶组合式太阳能烟囱,通过数值模拟,研究了不同室外风速和太阳辐射强度下,通风量随倾斜角度的变化趋势,太阳能烟囱出口处全压差随倾斜角度的变化规律和烟囱出口速度在不同风速下随倾斜角度的变化趋势以及不同倾斜角度下的局部流场。

1 物理模型

百叶组合式太阳能烟囱的物理模型如图1所示,该结构由玻璃盖板、吸热板、挡风板和12片百叶组

成并安装于建筑南外墙上。其工作原理为:室内空气通过垂直烟囱段吸热板下端开口进入通道 I, 太阳光透过玻璃盖板、百叶片和挡风板照射到吸热板上, 吸热板吸收太阳辐射使通道 I 内空气密度增加而向上流动; 室外风通过百叶片进入通道 II, 以某一速度进入通道 I 并诱导其内空气向上流动并通过倾斜式烟囱段顶部开口流出, 使空气流动得到加强。该结构在室外风速和太阳辐射能的共同作用下, 诱导房间内空气进入太阳能烟囱, 建筑自然通风得到强化。

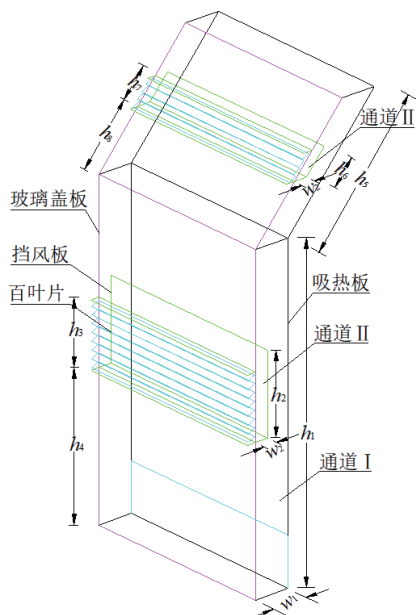


图1 太阳能烟囱物理模型

2 计算区域

百叶组合式建筑太阳能烟囱的计算区域如图2所示, 沿 NO 方向中间位置布置, 房间高度 $MN=3000\text{mm}$, 长度 $NJ=3000\text{mm}$ 。组合式太阳能烟囱包括垂直式烟囱段和倾斜式烟囱段, 垂直式烟囱段高度 $h_1=2000\text{mm}$, 百叶窗距烟囱底部距离为 $h_4=900\text{mm}$, 百叶窗高度 $h_3=400\text{mm}$, 挡风板高度为 $h_2=400\text{mm}$; 倾斜式烟囱段长度 $h_5=1000\text{mm}$, 百叶窗距烟囱底部距离为 $h_8=450\text{mm}$, 百叶窗高度 $h_7=200\text{mm}$, 挡风板高度为 $h_6=200\text{mm}$ 。通道 I 宽度 $w_1=200\text{mm}$, 通道 II 宽度为 $w_2=25\text{mm}$, 烟囱长度 $QT=1000\text{mm}$, 烟囱入口高度 $QR=20\text{mm}$, 倾斜式烟囱段与水平方向夹角为 θ , 百叶片长 1000mm , 宽 50mm , 垂直式烟囱段中百叶片与水平面夹角为 45° , 倾斜式烟囱段中百叶片与水平面夹角为 15° 。为了确定室外风场的影响范围, 进行了多次试算直到计算得到的通风量数值之间的误差小于 5% , 最后确定计算区域尺寸为: $AM=2700\text{mm}$, $AB=8000\text{mm}$, $IE=1100\text{mm}$, $PM=2300\text{mm}$ 。

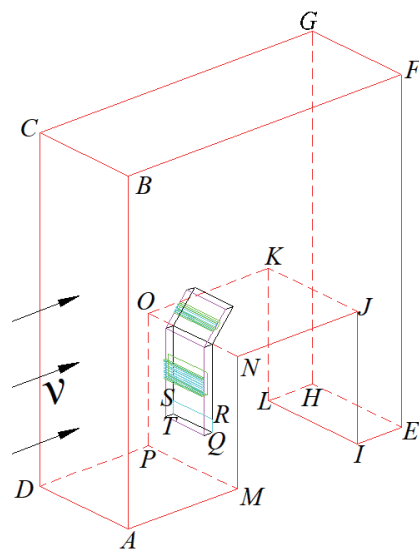


图2 太阳能烟囱计算区域

3 数值模拟方法

3.1 控制方程和计算方法

三维稳态湍流控制方程如下:

连续性方程

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

动量方程

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j h) = -\frac{1}{t} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} [\nu + \nu_t] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - g_i b] T - T_3 g \quad (2)$$

能量方程

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (u_j T h) = \frac{\partial}{\partial x_j} [C \frac{\partial T}{\partial x_j} E] \quad (3)$$

k 方程

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (k u_i g) = \frac{1}{t} \frac{\partial}{\partial x_j} [\nu + \frac{\nu_t}{v_k}] \frac{\partial k}{\partial x_j} E - f + G_k \quad (4)$$

ε 方程

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (f u_i g) = \frac{1}{t} \frac{\partial}{\partial x_j} [\nu + \frac{\nu_t}{v_f}] \frac{\partial f}{\partial x_j} E + \frac{f}{k} [C_1 G_k - C_2 f g] \quad (5)$$

$$C = \frac{\nu}{P_r} + \frac{\nu_t}{v_i} \quad (6)$$

$$G_k = \frac{\nu_t}{t} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} C \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} m \quad (7)$$

式中, u_i —— x_i 方向上的平均速度分量, m/s ;
 x_i ——坐标, $i=1, 2, 3$; ρ ——空气密度, kg/m^3 ;
 P ——平均压力, Pa ; ν_t 、 ν ——湍流和层流粘滞系数;
 g_i —— i 方向上的重力加速度, m/s^2 ; β ——空

气膨胀系数, $1/K$; T 、 T_∞ ——平均温度和参考点温度, K ; Γ ——广义扩散系数; k ——湍流脉动动能; ε ——流体脉动动能的耗散率; c_1 、 c_2 ——经验系数; G_k ——湍流动能的产生项; Pr ——普朗特数; σ_k 、 σ_ε 、 σ_t ——经验系数。

采用 Boussinesq 假设处理动量方程中的浮力项, 使用有限容积法离散控制方程, 求解采用 RNG $k-\varepsilon$ 湍流模型, 速度和压力耦合采用 SIMPLE 算法, 对流项离散格式为二阶迎风格式。

3.2 边界条件

如图 2 所示, 室外风垂直于平面 $ABCD$ 进入计算域, 平面 $ABCD$ 为速度入口边界条件, 速度取值为 $1\sim 3\text{ m/s}$; 平面 $FGCB$ 和平面 $EFGH$ 均为压力出口边界条件, 相对总压设定为零; 平面 $QRST$ 为压力入口边界条件, 相对总压设定为零; 平面 $AMPD$ 、平面 $NJKO$ 、平面 $IJKL$ 、平面 $EHLI$ 为壁面边界条件, 平面 $MNOP$ 除去平面 $QRST$ 的部分为壁面边界条件; 平面 $AMNJIEFB$ 、平面 $DPOKLHGC$ 为对称边界条件。计算区域中玻璃盖板和吸热板为定热流密度, 通过太阳辐射和材料吸收率、透射率得到, 所有固体壁面为无滑移条件, 玻璃盖板吸收率 $\alpha=0.06$, 透射率 $\tau=0.84$, 吸热板吸收率 $\alpha_1=0.95$ 。室外环境温度设为 306 K 。

3.3 计算网格

由于物理模型结构复杂以及风场区域的存在, 因此计算区域采用非结构化网格与结构网格组合的方式; 为确保模拟的准确性, 对百叶片和烟囱内部区域进行加密, 局部计算网格如图 3 所示。为了保证模拟结果的准确性和节省计算资源, 进行了网格独立性考核。建立 5 套网格, 网格数分别为 384622, 465718, 561864, 620298, 929485。通过对比发现第 2 套与第 3 套之间通风量偏差小于 1%, 综合考虑, 最终选择第 3 套网格进行计算。

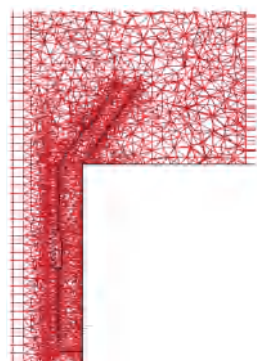


图 3 太阳能烟囱局部网格加密

4 结果与分析

4.1 倾斜段烟囱倾斜角度对通风量的影响

图 4 和图 5 分别为百叶组合式太阳能烟囱通风量 Q 在不同室外风速 v 和太阳辐射强度 I 下随倾斜角度 θ 的变化曲线。其中, 倾斜角度 θ 的取值范围为 $30^\circ \sim 90^\circ$, 通道 II 宽度与通道 I 宽度的比值 $w_2/w_1=0.125$, 百叶窗安装高度与太阳能烟囱高度比值 $h_4/h_1=0.45$ 。

图 4 表明随着倾斜角度的增加, 通风量先增加后减小, 且当倾斜角度 $\theta=75^\circ$ 时通风量达到最大值, 此外, 当室外风速 $v=1.0\text{ m/s}$ 和 1.5 m/s 时, 通风量随倾斜角度的变化曲线近乎重合。当 $\theta=30^\circ$ 时, 室外风速对通风量的影响较小, 通风量趋于相等; 当 $\theta>30^\circ$ 时, 通风量随风速的增大而增大, 室外风速 v 从 1.0 m/s 增加到 3.0 m/s , 通风量最大可以增加 34.3%。归结原因为: 一方面, 倾斜段太阳能烟囱与水平方向夹角过小时, 室外风对倾斜段通道内气流的诱导作用较弱; 另一方面, 倾斜段通道阻力增加, 导致空气无法从烟囱出口流出, 从而通风量降低。

图 5 表明通风量随着倾斜角度的增加先增加后减小, 在倾斜角度 $\theta=75^\circ$ 处通风量最大。从图中可以看出, 当倾角固定时, 随着太阳辐射强度的增加, 通风量的增加幅度较小, 最大增加 3.7%。此外, 当辐射强度 $I=600\text{ W/m}^2$, 室外风速 $v=1.0\text{ m/s}$ 时, 倾斜角度从 30° 增至 75° 通风量增加了 94.7%; $v=3.0\text{ m/s}$ 时, 倾斜角度从 30° 增至 75° 通风量增加了 183.0%。

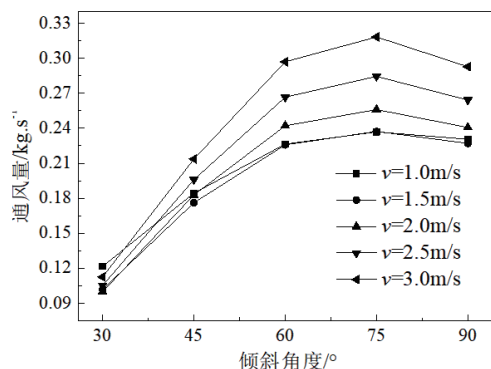


图 4 通风量随倾斜角度 θ 的变化 ($I=600\text{ W/m}^2$)

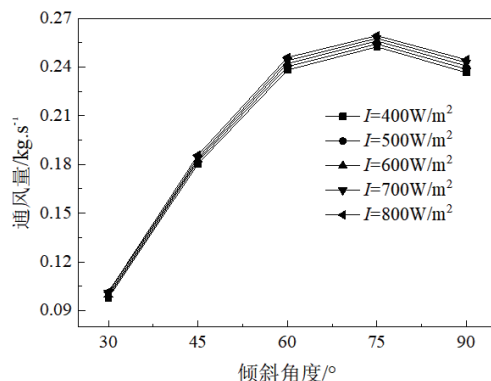


图 5 通风量随倾斜角度 θ 的变化 ($v=2.0\text{ m/s}$)

4.2 倾斜段烟囱倾斜角度对局部流场的影响

图6为具有百叶结构通道的组合式建筑太阳能烟囱竖直段在不同倾斜角度下的局部流场图,随着倾斜角度的增加,通道内气流疏密分布由稀疏变密集再变稀疏。当倾斜角度 $=30^\circ$ 时,通道内靠近玻璃盖板的区域箭头较密集,空气流速较大,而主通道内整体空气流动速度较小;当倾斜角度 $=60^\circ$ 时,由图中箭头密集程度可知,空气流动速度明显增大;当倾斜角度 $=75^\circ$ 时,空气流动速度减小,速度矢量图中箭头分布较稀疏。

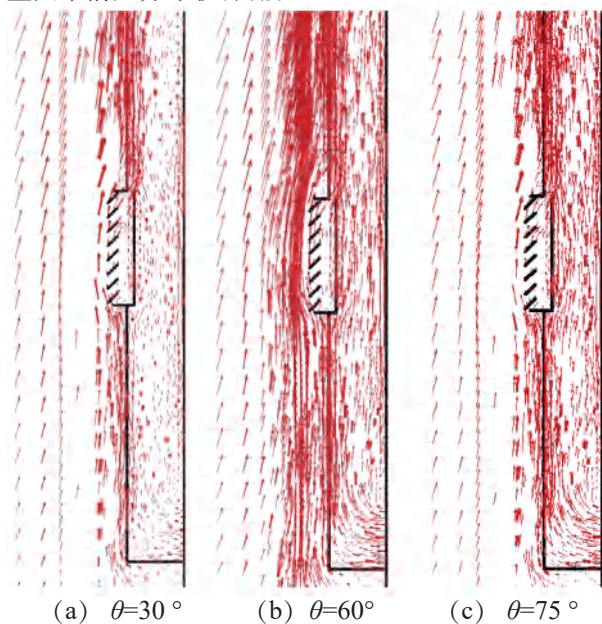


图6 局部流场 ($Z=1150\text{ mm}$)

图7为具有百叶结构通道的组合式建筑太阳能烟囱倾斜段在不同倾斜角度下的局部流场图,从图中可以看出,随着倾斜角度的增加,通道内空气流速先增大后减小,在速度矢量图中表现为箭头由稀疏变密集再变稀疏。当倾斜角度 $=30^\circ$ 时,由于烟囱倾斜角度较小,室外空气进入风诱导通道内的数量较少,从图中可以看出,空气大部分积聚在倾斜段烟囱的左上方区域;当倾斜角度 $=60^\circ$ 时,进入通道内的空气量增多,同时空气流动速度也增大,通风量增加;当倾斜角度 $=75^\circ$ 时,从速度矢量图中可以看出,空气分布较稀疏,即空气流动速度减小,但通风量却比倾斜角度 $=60^\circ$ 时的通风量大,归结原因为倾斜角度的增加,由太阳能烟囱竖直段进入倾斜段时,通道内的阻力减小,因此通风量增加。

4.3 不同倾斜段烟囱倾斜角度下的烟囱出口速度

图8为太阳能烟囱出口速度在不同室外风速 v 下随倾斜角度的变化曲线图。从图中可以看出,随着倾斜角度的增加,不同室外风速下的烟囱出口速

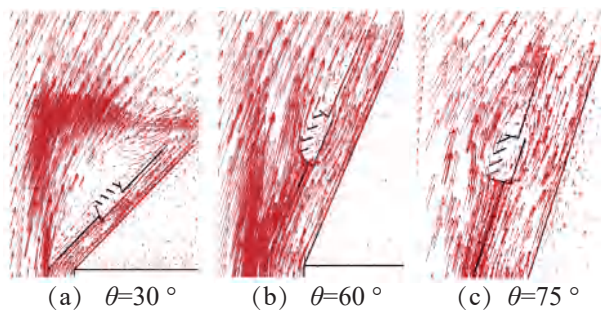


图7 局部流场 ($Z=1150\text{ mm}$)

度增加。当室外风速 $v=1.0\text{ m/s}$,倾斜角度从 30° 增加至 90° 时,烟囱出口速度从 1.06 m/s 增加至 1.22 m/s ,增长幅度为 15.1% ;当室外风速 $v=2.0\text{ m/s}$,倾斜角度从 30° 增加至 90° 时,烟囱出口速度从 1.85 m/s 增加至 2.09 m/s ,增长幅度为 13.0% ;当室外风速 $v=3.0\text{ m/s}$,倾斜角度从 30° 增加至 90° 时,烟囱出口速度从 2.67 m/s 增加至 2.98 m/s ,增长幅度为 11.6% 。通过上述分析可知,随着室外风速的增加,烟囱出口速度的增加幅度逐渐减小。当烟囱倾斜角度不变时,室外风速从 1.0 m/s 增加到 3.0 m/s ,烟囱出口速度在倾斜角度为 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 时,增加幅度分别为 151.9% 、 146.9% 、 148.3% 、 146.7% 、 144.3% 。

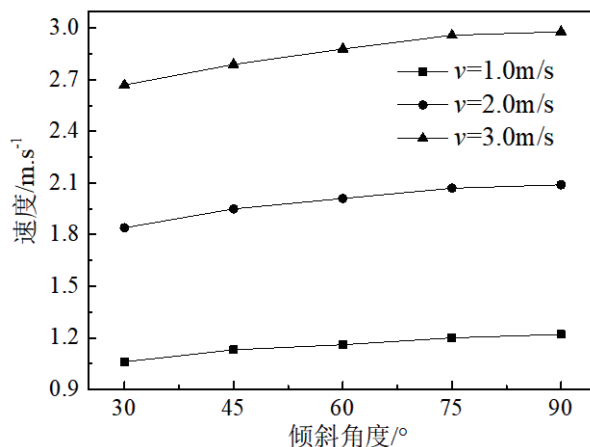


图8 烟囱出口速度随倾斜角度 θ 的变化 ($I=600\text{ W/m}^2$)

4.4 倾斜段烟囱倾斜角度对烟囱进出口压差的影响

图9为百叶组合式太阳能烟囱进出口全压差值随倾斜段烟囱倾斜角度的变化曲线图。从图中可以得知,全压差绝对值随倾斜角度的增加而增加。当倾斜角度从 30° 增加到 45° 时,静压差绝对值增加,动压差绝对值增加;当倾斜角度从 45° 增加到 60° 时,静压差绝对值增加,动压差绝对值减小;当倾斜角度继续增加时,静压差绝对值增加,动压差绝对值增加。从上述压差的变化情况可知,倾斜角度

增加, 动压差绝对值减小, 但通道阻力减小, 通风量增加。倾斜段烟囱倾斜角度从 30° 增加到 90° 时, 全压差绝对值从 5.79 Pa 增加到 7.18 Pa, 增幅 24%。

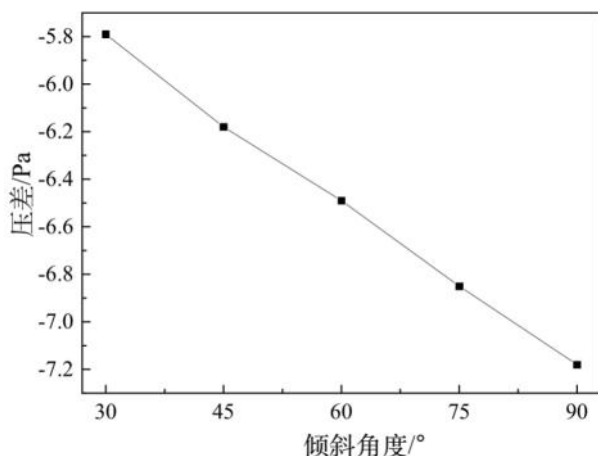


图9 压差随倾斜角度 θ 的变化

5 结论

通过改变百叶组合式建筑太阳能烟囱倾斜段烟囱的倾斜角度, 研究了倾斜角度对通风量、烟囱进出口压差以及烟囱出口速度的影响, 主要结论如下:

(1) 随着倾斜角度 θ 的增加, 通风量在不同风速和太阳辐射强度下均呈先增加后减小的趋势, 并且在倾斜角度为 75° 时达到最大, 并且室外风速对通风量的影响大于太阳辐射强度。

(2) 随着倾斜角度 θ 的增加, 不同室外风速下的烟囱出口速度增加, 但随着风速的增加, 烟囱出口速度的增加幅度减小。当风速逐渐增加时, 烟囱出口速度在倾角 30° 时的增加幅度最大。

(3) 百叶组合式太阳能烟囱进出口全压差绝对值随倾斜角度的增加而增加。当倾斜角度从 30° 增加到 90° 时, 全压差绝对值从 5.79 Pa 增加到 7.18 Pa, 增加了 24%。

参考文献

- [1] Sakonidou E P, Karapantsios T D, Balouktsis A I, et al. Modeling of the optimum tilt of a solar chimney for maximum air flow[J]. Solar Energy, 2008, 82: 80—94.
- [2] Bassiouny R, Koura N S A. An analytical and numerical study of solar chimney use for room natural ventilation [J]. Energy and Buildings, 2008, 40: 865—873.
- [3] Zamora B, Kaiser A S. Optimum wall-to-wall spacing in solar chimney shaped channels in natural convection by

numerical investigation[J]. Applied Thermal Engineering, 2009, 29: 762—769.

[4] Du Wei, Yang Qirong, Zhang Jincui. A study of the ventilation performance of a series of connected solar chimneys integrated with building[J]. Renewable Energy, 2011, 36: 265—271.

[5] 薛宇峰, 苏亚欣. 太阳能烟囱结构对通风效果影响的数值研究 [J]. 暖通空调, 2011, 41(10): 79—83.

[6] Haghighi A P, Maerefat M. Solar ventilation and heating of buildings in sunny winter days using solar chimney [J]. Sustainable Cities and Society, 2014, 10: 72—79.

[7] Khanal R, Lei Chengwang. An experimental investigation of an inclined passive wall solar chimney for natural ventilation[J]. Solar Energy, 2014, 107: 461—474.

[8] Li Jing, Li Deying. The study on numerical simulation of classrooms using hybrid ventilation under different solar chimney radiation[J]. Procedia Engineering, 2015, 121: 1083—1088.

[9] Lei Yonggang, Zhang Yuwen, Wang Fei, et al. Enhancement of natural ventilation of a novel roof solar chimney with perforated absorber plate for building energy conservation[J]. Applied Thermal Engineering, 2016, 107: 653—661.

[10] 宣永梅, 万文琪, 马柱柱. 倾斜式太阳能烟囱强化自然通风理论研究 [J]. 流体机械, 2016, 44(7): 57—62.

[11] 聂鹏, 周军莉, 王乾坤, 等. 太阳能烟囱结合自然通风建筑开口的数值研究 [J]. 建筑节能, 2016, 44(8): 32—35.

[12] 雷勇刚, 顾元, 宋翀芳, 等. 内置格栅诱导通道的太阳能通风墙性能 [J]. 同济大学学报, 2016, 44(12): 1938—1942.

[13] Al-Kayiem H H, Sreejaya K V, Chikere A O. Experimental and numerical analysis of the influence of inlet configuration on the performance of a roof top solar chimney [J]. Energy and Buildings, 2018, 159: 89—98.

[14] Khosravi M, Fazelpour F, Rosen M A. Improved application of a solar chimney concept in a two-story building: An enhanced geometry through a numerical approach[J]. Renewable Energy, 2019, 143: 569—585.

[15] 赵福云, 申广, 徐颖, 等. 倾斜式太阳能烟囱通风换气性能模型实验研究 [J]. 建筑节能, 2019, 47(5): 51—59.

杂志免费索阅表

本刊由中国建筑科学研究院有限公司建筑环境与能源研究院主办，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支持。栏目范围：建筑环境、建筑能源、空调、热泵、通风、净化、供暖、计算机模拟。填此表格免费获取《建筑环境与能源》杂志一期。

请您完整填写以下信息

姓 名		先生 / 女士	
部 门		职 务	
单位名称		邮 箱	
通讯地址			
联系电话		传 真	
手 机		电子邮箱	

您对本刊物有哪些建议或意见？

编辑部联系方式：

地址：北京市北三环东路 30 号
 中国建筑科学研究院有限公司
 建筑环境与能源研究院示范楼 208 室
 邮编：100013
 邮箱：beaebjb@163.com
 电话：010-64693285

聚焦建筑环境与能源 推动行业科技进步与发展



杂志微信 beaebjb



公众号 CAHVAC

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）

- 高效多联机与相变技术完美结合
- 助力企业达到 PUE 低于 1.25 的目标

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

Haier

海尔智家

海尔物联网高效机房解决方案 引领机房能效进入6.5⁺时代


E+物联云平台



智家
Haier

下载海尔智家APP
定制您的智慧生活



全生命周期
- 更节能 -



智能高效管理
- 更省心 -



远程云诊断
- 更可靠 -

为建筑赋能
为世界节能