

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 |  
中国建研院召开干部人才工作会议  
中国建研院成功中标国家华北区域应急救援中心建设项目  
中英携手创新共拓低碳建筑未来研讨会  
2022 年第十四届中日韩热泵蓄能专家会议举行  
行业标准《建筑能效标识技术标准》修订编制组成立暨第一次工作会议成功召开  
中国建研院启动三项雄安新区地方标准编制工作  
《高效空调制冷机房评价标准》发布  
CECS《城市轨道交通地下车站通风空调制冷系统评价标准》(送审稿)顺利通过审查  
CECS《智慧建筑网络工程技术规程》编制组成立暨第一次工作会议召开
- 22 | 热点聚焦 | Spotlight |  
规模化推广近零能耗建筑 助力双碳目标实现
- 35 | 案例赏析 | Cases |  
蒸发冷却空调新风系统的全年应用研究  
济南某中学教室冬季室内外污染物相关性分析



# SMART IN ONE

## 把复杂留给美的,让用户更简单

### 你的智慧建筑合伙人



暖通



楼宇



电梯



能源

我们提出的绿色高效智慧建筑解决方案,正在逐渐提升楼宇建筑智能化程度,改善建筑能耗的现状,并深入应用于地产、基础建设、公共事业、商业服务、工农生产五大业务板块,让传统建筑从单一的钢筋水泥,演变成可感知有温度的“生命体”。



地产行业

集采地产、单一地产



基础建设

机场航空、轨道交通  
通讯设施、数据中心  
电力设施



公共事业

教育培训、医疗卫生  
政府公建、金融机构



商业服务

高端酒店、企业商业  
住宿餐饮、文体娱乐



工农生产

工矿厂房、农林牧渔  
特种行业

我们拥有行业最完善的工程监理体系、强大的销售网络与服务平台,为广大用户带来快捷、完善、高品质的供货与服务,并在海内外树立了超过10万个样板工程,赢得了世界各国客户及专业机构的认可。



美的楼宇科技官方公众号

## 江亿院士： 建筑零碳运行在 2050 年前后能实现

中国工程院院士、清华大学建筑节能研究中心主任江亿教授日前表示，建筑碳排放有四个部分，在居民做饭、用电、取暖之外，还有空调制冷排放。但通过技术革命，我们一定能够实现建筑零碳运行。

### 电池会是未来最宝贵的储能调节资源

江亿介绍，建筑运行碳排放分为四大部分，首先是直接碳排放，即楼内居民在生活过程中烧煤、烧气带来的直接二氧化碳排放。第二部分是用电，2019 年建筑运行相关用电量为 1.9 万亿千瓦时，折合二氧化碳排放 11 亿吨。第三部分是北方城市冬季供热，将热电厂生产所发生的全部费用按生产电力和热力产品时分别所消耗的标准煤量的比值进行分摊，大约占全国总二氧化碳排放的 22%。此外，建筑还涉及空调制冷排放，制冷剂排放对温室效应的作用值是远大于二氧化碳的。

江亿表示，将燃煤、燃油、燃气的能源结构变为水电、风电、光电、核电、生物质能等零碳能源，彻底摆脱对化石能源的依赖，实现能源安全和可持续发展是彻底改变我国能源结构、解决我国能源问题、实现碳中和的根本途径。

但如何与电力部门共同实现零碳电力是下一步面临的最大问题。“不用电是不可能的，但是首先要提高效率，减少用电需求。”建筑部门也应该主动做贡献，零碳电力发展面临的两大困难，一是空间在哪儿，风电、光电安装需要空间，建筑屋顶实际是一个非常好的资源，应该好好加以利用，开发屋顶光伏发电；另一个问题在于，发展风电、光电是电源侧跟用电负荷二者的匹配，灯一关，电厂就得少发电，二者要保持平衡。但风电、光电不能人为控制，就得对用电侧进行相应的调节，在这方面，建筑能起到很大的作用，尤其将来全面推广电动车，电池会是未来最宝贵的储能调节的资源。而电动车充电方式，也将改变。不再像现在插上就充，而是一位一桩，即停即插，只有在电富余时才会给车充电，用它来帮助削峰填谷，从而有效消纳建筑自身的光伏，这就是建筑的柔性供电，也叫“光储直柔”。

所以建筑在电力零碳化的革命中，不是简单地承担一个消费者的角色，而是成为生产者、消费者、储能和调节者“三位一体”，承担更大作用。

### 低碳社会热量会越来越珍贵

江亿描述了一个低碳的未来。随着低碳社会的发展，热量会越来越珍贵。“因为以前是燃料烧火提供热量，再把热量变成电，热在前面，电在末端。推行零碳后，电在前面，风电、光电、核电、水电都是电，热在末端，于是热的珍贵性就凸显出来了。”而这个时候，大规模跨季节储热在经济上、低碳发展上等各方面变得可行了，可以把全年的余热收集起来，变废为宝，实现零碳。由于有了储能装置，储热会比储电更便宜。“综合起来，也会有很好的经济效益，所以现在到考虑大发展、大规模跨季节储热的时候了。”他表示，通过技术革命，在 2050 年前后将实现建筑零碳运行，“而且很重要的一点是，推广零碳并不是给自己增加障碍和成本，反而会促进新的大量相关技术的发展进步，从而实现可持续发展。”

江亿最后说：“可持续发展是人类最终该走的路，因此应该用积极态度实现双碳，而不是等着、拖着、靠着看。”



# 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7期(总第56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 |

中国建研院召开干部人才工作会议

中国建研院成功中标国家华北区域应急救援中心建设项目

中英携手创新共拓低碳建筑未来研讨会

2022年第十四届中日韩热泵蓄能专家会议举行

行业标准《建筑节能标识技术标准》修订编制组成立暨第一次工作会议成功召开

中国建研院启动三项雄安新区地方标准编制工作

《高效空调制冷机房评价标准》发布

CECS《城市轨道交通地下车站通风空调制冷系统评价标准》(送审稿)顺利通过审查

CECS《智慧建筑网络工程技术规程》编制组成立暨第一次工作会议召开

### 09 | 行业新闻 | Industry News |

多部委推动落实 2022 年家电生产企业回收目标责任制

实施乡村清洁能源建设工程

建设绿色节能数据中心

国家七部门重磅发文推动能源绿色低碳转型

构建可再生能源参与市场交易机制

国家四部门因地制宜推进分散式清洁取暖

2030 风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上

财政部进一步加大政府采购支持中小企业力度

财政部部长刘昆撰文: 推进北方地区冬季清洁取暖

气候投融资试点将全面启动运行

银行间市场共支持发行碳中和债 2442 亿

银行支持煤炭清洁高效利用专项再贷款额度增加 1000 亿元

鼓励银行保险机构加大支持城市发展节能、清洁能源等领域

美的楼宇科技打造 iBUILDING 数字化平台

海尔中央空调楼宇能源方案获认可

格力磁悬浮离心机组成功服务上海哈一顿大酒店

天加风冷满液螺杆式热泵服务无锡湖畔科技园

约克 VRF (青岛) 客户体验中心即将启航

悬浮二级减震全直流风机  
大风轮 低噪音 无极调速



美国戴斯全热交换芯  
可水洗免更换



日本芝浦全直流风机  
低噪音超大风量



英国ARM处理器  
性能稳定



美国HV多重过滤  
高效过滤PM2.5

## Karls Energy Recovery Ventilator

### E280卡尔斯系列全热新风机

## 热湿膜交换芯

给房子戴上“N95”

根据广微测报告编号：2018FM04500R01

无孔膜 | 零漏风 | 零级防霉 | 防止交叉感染



膜芯可水洗



抗潮湿



抗冻



0级防霉



抗雾霾



热湿交换芯



# CONTENTS



中国建研院召开干部人才工作会议



中国建研院成功中标国家华北区域应急救援中心建设项目



第十四届中日韩热泵蓄能会议举行



中国建研院启动三项雄安新区地方标准编制工作

## 20 | 国际新闻 | International News |

今年夏天美国发电增量主要靠可再生能源  
12 个重点行业如何按照 1.5 度目标减排  
清洁能源所需矿物资源价格飙升

## 22 | 热点聚焦 | Spotlight |

规模化推广近零能耗建筑 助力双碳目标实现

## 24 | 聚焦政策 | Policy |

财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见  
关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案  
“十四五”可再生能源发展规划  
减污降碳协同增效实施方案

## 35 | 案例赏析 | Cases |

蒸发冷却空调新风系统的全年应用研究  
济南某中学教室冬季室内外污染物相关性分析

## 44 | 技术交流 | Technical communication |

东北某数据中心冷却系统冷源方案分析  
温湿度独立控制的太阳能吸收 / 双源双压缩复合制冷系统工作特性研究  
太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统逐时仿真与性能研究  
辽宁地区居住建筑室内甲醛污染回归分析  
室外甲醛对公共建筑室内环境的影响



## HUAYI ENERGY 新疆华奕新能源科技有限公司

### ◆ 公司简介

新疆华奕新能源科技有限公司，前身是扬州华奕通讯设备有限公司。自2008年第一个节能产品试点应用于新疆运营商，经过多年的稳步发展，2017年成立新疆华奕新能源科技有限公司，注册资金5018万元，位于乌鲁木齐经济技术开发区天鹅湖路2号爱地大厦25层。

新疆华奕新能源科技有限公司是一家专业从事蒸发冷却技术、系统及节能环保设备、数据中心整体解决方案、机电设备、通讯设备等的研发、设计、销售、生产、安装及售后服务为一体的多元化企业。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。

公司拥有一支高素质的现代化管理团队。目前，公司在职员工200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，专业技术职称20余名。公司秉承“因为专注所以专业，因为诚信所以成功”的生产和经营理念，从上到下提高领导者和员工驾驭现代化管理、装备的能力及道德素养来扩展市场空间，赢得更大的市场份额。

公司掌握蒸发冷却核心技术，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，产品应用项目遍布全国。



## 中国建研院召开干部人才工作会议

6月20日下午，中国建研院召开干部人才工作会议，深入学习贯彻习近平总书记关于做好新时代人才工作的重要思想，认真学习领会中央企业人才工作会议精神，总结工作，交流经验，分析形势，部署任务，深入推进新时代人才强企战略。

中国建研院党委书记、董事长王俊出席会议并讲话，党委副书记、总经理许杰峰传达学习中央企业人才工作会议精神，党委副书记王阳主持会议，全体领导班子成员出席会议。会上，进

行了中国建研院大师工作室揭牌仪式和首席科学家聘任仪式。建研科技、建筑设计院、环能科技、检测中心等4家二级单位主要负责同志作了交流发言。

会议以现场和视频相结合的形式召开。中国建研院职能部门负责人、二级单位领导班子成员，“十人计划”首席科学家、“百人计划”“廿人计划”入选人才代表，大师工作室负责人、二级单位组织人事部门负责人，在主会场和京外二级单位视频分会场参加会议。



## 中国建研院成功中标国家华北区域应急救援中心建设项目

2022年6月，中国建研院成功中标国家华北区域应急救援中心建设项目设计项目。项目为全国六个“国家区域应急救援中心”之一，主要承担北京、天津、河北、山西、山东、内蒙古中部等地区重特大地震、地质灾害、森林草原火灾、水域灾害救援等任务。

项目选址于张家口市万全区孔家庄镇马连堡村南国道207与洋河北路交界处。用地约58万平方米，总建筑面积71267平方米，主要由指挥、培训、航空保障、装备储运、营房生活等建筑

群及实训演练场景设施（含构筑物）组成。项目按照同时具备“一个机构、四个基地”的功能要求规划设计，“一个机构”即区域应急指挥部，负责区域中心的日常建设、管理、训练、保障等工作，承担区域应急救援指挥协调、物资调运等任务。“四个功能区”即综合救援功能区、培训演练功能区、物资储备功能区、航空保障功能区。

项目是贯彻落实中央财经委员会第三次会议精神的重要举措，是《中华人民共和国国民经济和社会发展规划

和2035年远景目标》中部署的安全保障工程相关建设任务之一。项目建成后有利于打造应对地震、地质灾害、森林草原火灾、水域灾害救援的“尖刀”和“拳头”力量，并带动区域内相关应急救援队伍的专业化、实战化水平整体提升；有利于整合应急救援资源，完善救援指挥协调机制和任务保障条件，推动形成应对重特大灾害的救援合力，对于保障区域经济社会安全稳定发展、保障广大人民群众生命财产安全具有重要作用。

## 行业标准《建筑能效标识技术标准》修订编制组成立暨第一次工作会议成功召开

根据住房和城乡建设部有关要求，由中国建研院牵头修订的工程建设行业标准《建筑能效标识技术标准》JGJ/T 288编制组成立暨第一次工作会议，于2022年6月17日以线上线下相结合的形式成功召开。

住房和城乡建设部标准定额司副司长白正盛、建筑节能处处长林岚岚、三级调研员孟光，住房和城乡建设部标准定额研究所工程标准处副处长孙智，中国建研院专业总工徐伟、科技标准部副主任姜波，住房和城乡建设部科技与产业化发展中心节能处处长丁洪涛，以及来自各科研院所、设计院、节能服务公司、施工单位、设备厂商等相关企业的25个编制单位参加会议。

标准修订编制组成立会议由住房和城乡建设部建筑环境与节能标准化技术委员会主持。

徐伟代表主编单位致欢迎辞，对主管部门、标准参编单位及编制组成员给予的大力支持表示感谢，并强调了标准修编对我国双碳发展的重要作用。工作会议由中国建研院教授级高工邹瑜主持。中国建研院正高级工程师李骥代表主编单位就标准立项背景、建筑能效标识工作回顾、标准大纲、重点修订内容、任务分工以及进度计划作了详细介绍。与会代表对建筑能效标识各地区实施现状和存在问题、标准修订的重点和难点、专题研究等内容进行了深入讨论，并确定了工作重点及主要修订内容。

该标准的编制对引导建筑能效测评标识规范化实施，推进我国建筑节能工作定量化发展以及促进建筑领域双碳目标落地具有重要意义。

## 2022年第十四届中日韩热泵蓄能专家会议举行

6月13日，2022年第十四届中日韩热泵蓄能专家会议通过视频方式顺利举行。本次会议由日本热泵蓄能中心组织，来自日本热泵蓄能中心（HPTCJ）、日本名古屋大学、东京电机大学、名古屋市立大学、韩国制冷空调中心（KRAAC）、韩国世宗大学、中国建筑科学研究院（CABR）和暖通空调产业技术创新联盟（CAHVAC）等20余位专家、学者参加了会议。

首先，日本热泵蓄能中心首席藤隆善研究员回顾了自2013年以来，中日韩热泵蓄能会议的历史、目的以及近年来所开展的活动，并更新了《IEA蓄能现状数据分析》。随后中日专家分享

各自在蓄能最佳案例及碳中和方面所做的工作。其中，中国建研院环能院热泵与蓄能研究中心孙宗宇主任分享了《中国地源热泵系统的水蓄冷应用》，中国建研院环能院高性能建筑研究中心主任、CAHVAC国际合作部吴剑林主任介绍了《中国建筑领域双碳工作进展》。

会后，中日韩三方就2023年中日韩热泵蓄能会议议题、举办时间和方式等内容进行了讨论。中日韩热泵蓄能会议创于2013年，由中国、日本和韩国三国轮流主办，至今已举办十三届。旨在交流中日韩三国在热泵蓄能设计、运维和市场等方面的发展现状和经验。

## 中英携手创新共拓低碳建筑未来研讨会

6月23日，由中国住房和城乡建设部计划财务与外事司和英国驻华使馆国际贸易部主办、中国建筑学会支持的“中英携手创新，共拓低碳建筑未来研讨会”以线上视频会议形式举行。全国广大建筑科技工作者、建设者、管理者、高校师生、建筑从业者积极参加。

中英两国在建筑领域的交流与合作由来已久。2019年，中国住房和城乡建设部与英国国际贸易部共同签署了《关于扩大中英建筑领域合作的备忘录》，双方约定在建筑市场、标准规范和建筑节能领域开展合作。自签署备忘录以来，双方在绿色低碳建筑领域的国际交流与合作不断深化，如在2021年“中国建筑科学大会暨绿色智慧建筑博览会”期间，来自英国的建筑设计公司零碳工场（ZEDfactory）在展位上搭建了一座可移动建筑“零碳小屋”；中英代表更是在“中英可持续发展社区与建筑高峰论坛”期间汇聚一堂，探讨可持续建筑设计、低碳社区规划等议题。

在此次研讨会中，中英两国建筑领域演讲嘉宾将共聚一堂，分享各自在低碳建筑、建筑节能及绿色建筑设计与研发创新领域的实践与思考，探讨中英两国在“双碳”背景下如何携手创新，共同开拓低碳建筑的未来。



## 《高效空调制冷机房评价标准》发布

近日，根据中国工程建设标准化协会《关于印发〈2020年第一批协会标准制订、修订计划〉的通知》（建标协字〔2020〕14号）的要求，由建科环能科技有限公司等单位编制的《高效空调制冷机房评价标准》，经协会建筑环境与节能专业委员会组织审查，现批准发布，编号为T/CECS 1100-2022，自2022年11月1日起施行。

## CECS《智慧建筑网络工程技术规程》编制组成立暨第一次工作会召开

根据建标协字〔2021〕20号文《2021年第二批协会标准制订、修订计划》的要求，由中国建筑科学研究院有限公司、华为技术有限公司负责制定的CECS《智慧建筑网络工程技术规程》编制组成立暨第一次工作会于2022年5月12日在北京以线上形式召开。

CECS副秘书长张弛、CECS智慧建筑与智慧城市分会秘书长姜波、中国建筑科学研究院有限公司建筑环境与能源研究院副院长于震、智慧能源与云数据研究中心主任曹勇，以及来自科研院所、高校、企业30余人出席了会议。

标准编制组第一次工作会议由标准主编曹勇研究员主持，崔治国工程师代表主编单位就标准编制背景、标准主要内容（草案）、标准特点难点及关键点、任务分工以及进度安排作了详细介绍。与会代表对标准制定的重点和难点、专题研究等关键内容进行了深入讨论。

## CECS《城市轨道交通地下车站通风空调制冷系统评价标准》（送审稿）顺利通过审查

5月23日，由建科环能科技有限公司和广州地铁集团有限公司共同主编的中国工程建设标准化协会标准《城市轨道交通地下车站通风空调制冷系统评价标准》（送审稿）（以下简称《标准》）审查会以网络会议的形式召开。

中国工程建设标准化协会李铮总工、中国工程建设标准化协会建筑环境与节能专业委员会宋波秘书长、朱晓姣副秘书长、建科环能科技有限公司宋业辉主任、广州地铁集团有限公司罗定鑫高级工程师以及有关单位的专家和编制组成员

总计40余人参加了本次会议。

《标准》广泛调研了国内外相关标准、系统现状和工程案例，综合考虑安全可靠、维护便利、节能环保和经济适用等因素，建立了城市轨道交通地下车站通风空调制冷系统设计、施工、运行全过程评价指标体系。审查专家组一致认为《标准》内容科学合理、可操作性强，与现行相关标准相协调，对促进城市轨道交通行业通风空调制冷系统高质量发展具有重要的指导意义，填补了通风空调制冷系统全过程评价标准的空白，达到国际水平。

## 中国建研院启动三项雄安新区地方标准编制工作

近期，中国建研院会同有关单位根据河北雄安新区管理委员会改革发展局和规划建设局通知要求，开展《雄安新区绿色建筑标准》、《雄安新区绿色街坊和社区规划设计标准》和《雄安新区绿色城区规划设计标准》的编制工作。

三项标准的编制组成立暨第一次工作会议分别于2022年6月9日和22日，以“线上+线下”的形式召开。雄安新区管委会规划建设局一级主办李劲遐、中国建研院副总经理王清勤及三项标准的编制组专家出席会议。

在第一次工作会议上，主编单位代表对三项标准的制定背景、前期工作、制定思路、标准框架和工作计划等方面进行了汇

报。与会领导、专家讨论确定了三项标准的编制大纲、任务分工、下一步工作安排等内容。参编单位和专家均表示将积极完成任务分工，全力配合标准编制工作。

三项标准的编制，能够为雄安新区城区、街区、建筑不同尺度空间范围绿色建筑提供规划、设计依据，并将低碳、健康、智慧等理念融入雄安新区规划设计中，以“雄安标准质量”创造“雄安建设质量”，为雄安新区高质量发展绿色发展保驾护航。



## 行业新闻 IndustryNews

### 多部委推动落实 2022 年家电生产企业回收目标责任制

为畅通和优化家电生产流通消费和回收利用渠道,促进家电更新消费,国家发展改革委、工业和信息化部、生态环境部等多部委联合推动落实《关于鼓励家电生产企业开展回收目标责任制行动的通知》(发改产业〔2021〕1102号),经各地报送和专家组评估,确定6家开展2022年回收目标责任制行动的企业。

通知要求,请山东省、广东省、四川省、青岛市发展改革委、工业和信息化主管部门、生态环境厅(局)组织企业参照专家评估意见,围绕工作思路、具体可达的任务目标、推进实施中的重点项目等,继续完善目标责任制行动方案,强化组织保障、技术支撑、信息服务,做好目标责任制行动工作,优化废旧家电回收平台体系建设。通知明确,有关地区于6月10日前,将修改完善后的回收目标责任申请报告分别报国家发展改革委产业司、工业和信息化部节能司、生态环境部固体司。在推动回收目标责任制行动过程中,督促企业按照既定目标任务扎实有效推进,归纳提炼工作过程中的好做法好举措、新模式新路径等,形成可复制可推广的典型经验,及时报送相关材料,予以宣传推广。

下一步,国家发展改革委将持续跟踪有关企业目标责任制行动工作进展,按计划统计回收目标完成情况,委托专家组进行验收评估,适时予以公布。

### 实施乡村清洁能源建设工程

近日,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《乡村建设行动实施方案》。方案指出,实施乡村清洁能源建设工程。巩固提升农村电力保障水平,推进城乡配电网建设,提高边远地区供电保障能力。发展太阳能、风能、水能、地热能、生物质能等清洁能源,在条件适宜地区探索建设多能互补的分布式低碳综合能源网络。按照先立后破、农民可承受、发展可持续的要求,稳妥有序推进北方农村地区清洁取暖,

加强煤炭清洁化利用,推进散煤替代,逐步提高清洁能源在农村取暖用能中的比重。

方案强调,供水、供电、供气、环保、电信、邮政等基础设施运营企业应落实普遍服务要求,全面加强对所辖农村公共基础设施的管护。

方案提出,全面清理私搭乱建、乱堆乱放,整治残垣断壁,加强农村电力线、通信线、广播电视线“三线”维护梳理工作,整治农村户外广告。

### 建设绿色节能数据中心

近日,从发改委了解到,全国政协在京召开专题协商会,围绕“推动数字经济持续健康发展”进行协商议政。对于全国政协委员在会议上的建议,国家发展改革委副主任林念修从四方面作了简要回应。

发改委表示,目前发改委正在牵头加快推进新型基础设施建设,部署全国一体化大数据中心体系,实施“东数西算”工程。

下一步,将重点推进两方面工作。一方面,强化统筹布局。引导大型、超大型数据中心向国家算力枢纽节点集聚,形成国家数据中心集群。加快推进国家枢纽节点间的直联网络建设,促进东西部算力高效互补和协同联动。另一方面,坚持绿色发展。强化能源布局联动,提升绿色能源使用比例,着力建设绿色节能数据中心。下一步,将加快推动文件出台。

### 国家七部门重磅发文推动能源绿色低碳转型

近日,生态环境部等七部门印发《减污降碳协同增效实施方案》。

方案提出,推动能源绿色低碳转型。统筹能源安全和绿色低碳发展,推动能源供给体系清洁化低碳化和终端能源消费电气化。实施可再生能源替代行动,大力发展风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等,因地制宜开发水电,开展小水电绿色改造,在严监管、确保绝对安全前提下有序发展核电,

不断提高非化石能源消费比重。严控煤电项目,“十四五”时期严格合理控制煤炭消费增长、“十五五”时期逐步减少。重点削减散煤等非电用煤,严禁在国家政策允许的领域以外新(扩)建燃煤自备电厂。持续推进北方地区冬季清洁取暖。新改扩建工业炉窑采用清洁低碳能源,优化天然气使用方式,优先保障居民用气,有序推进工业燃煤和农业用煤天然气替代。

## 国家四部门因地制宜推进分散式清洁取暖

日前，生态环境部、发展改革委、自然资源部、水利部联合印发《黄河流域生态环境保护规划》（以下简称《规划》）的通知。《规划》范围为黄河干支流流经的青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南、山东9省区相关县级行政区，国土面积约130万平方公里。

《规划》在扎实稳妥推进冬季清洁取暖改造方面提出，通过技术优化和经济政策支持，持续巩固清洁取暖改造成果。到2025年，山西、陕西、河南、山东等省完成平原地区城市散煤替代。西宁、兰州、银川等城市重点在城区、城乡结合部和县城开展散煤替代，县级及以上城市建成区全面实现清洁取暖，逐步提高清洁取暖率。推进上游青海、四川沿黄河县城集中供暖设施建设。

《规划》明确了两个清洁取暖改造工程：一是陕西关中地区散煤治理与清洁能源替代工程。实施规模以上工业燃料煤削减和节煤改造工程，因地制宜推进生活和冬季取暖散煤替代，积极推广集中式电取暖、蓄热式电暖器、空气源热泵等。实施燃煤集中供热站清洁化改造，鼓励热电联产项目富余热能延伸利用。到2025年，陕西省实现削减散煤200万。二是沿黄河地区集中供热工程。大力发展集中供热，鼓励发展超低排放热电联产和供热锅炉。煤改电、煤改气优先采取集中供热方式，集中供热管网覆盖不到的区域，因地制宜推进分散式清洁取暖。

## 构建可再生能源参与市场交易机制

6月1日，国家发展改革委 国家能源局 财政部 自然资源部 生态环境部 住房和城乡建设部 农业农村部 中国气象局 国家林业和草原局九部门联合印发“十四五”可再生能源发展规划。

“十四五”主要发展目标：一是可再生能源总量目标。2025年，可再生能源消费总量达到10亿吨标准煤左右。“十四五”期间，可再生能源在一次能源消费增量中占比超过50%。二是可再生能源发电目标。2025年，可再生能源年发电量达到3.3万亿千瓦时左右。“十四五”期间，可再生能源发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过50%，风电和太阳能发电量实现翻倍。三是可再生能源电力消纳目标。2025年，全国可再生能源电力总量消纳责任权重达到33%左

右，可再生能源电力非水电消纳责任权重达到18%左右，可再生能源利用率保持在合理水平。四是可再生能源非电利用目标。2025年，地热能供暖、生物质供热、生物质燃料、太阳能热利用等非电利用规模达到6000万吨标准煤以上。

规划中提到，强化可再生能源电力消纳责任权重引导。建立以可再生能源利用为导向的开发建设管理机制，明确可再生能源电力消纳责任权重目标并逐年提升，逐步缩小各地权重目标差异，引导各地加强可再生能源开发利用，推动跨省跨区可再生能源电力交易。强化权重目标分解落实，促进各类市场主体公平合理共担可再生能源电力消纳责任，推动自备电厂、市场化电力用户等积极消纳利用可再生能源。

## 2030 风电、太阳能发电总装机容量达到 12 亿千瓦以上

5月30日，国家发改委、国家能源局发布《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》。方案提出，要实现到2030年风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上的目标，加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系。加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地建设。加大力度规划建设以大型风光电基地为基础、以其周边清洁高效先进节能的煤电为支撑、以稳定安全可靠的特高压输变电线路为载体的新能源供给消纳体系，在土地预审、规划选址、环境保护等方面加强协调指导，提高审批效率。

按照推动煤炭和新能源优

化组合的要求，鼓励煤电企业与新能源企业开展实质性联营。推动新能源在工业和建筑领域应用。在具备条件的工业企业、工业园区，加快发展分布式光伏、分散式风电等新能源项目，支持工业绿色微电网和源网荷储一体化项目建设，推进多能互补高效利用，开展新能源电力直供电试点，提高终端用能的新能源电力比重。推动太阳能与建筑深度融合发展。完善光伏建筑一体化应用技术体系，壮大光伏电力生产型消费者群体。

到2025年，公共机构新建建筑屋顶光伏覆盖率力争达到50%。鼓励公共机构既有建筑等安装光伏或太阳能热利用设施。

## 财政部进一步加大政府采购支持中小企业力度

近日，财政部印发通知，要求进一步加大政府采购支持中小企业力度，调整对小微企业的价格评审优惠幅度，提高政府采购工程面向中小企业预留份额。

通知要求，严格落实支持中小企业政府采购政策。各地区、各部门要按照国务院的统一部署，规范资格条件设置，降低中小企业参与门槛。要通过提高预付款比例、引入信用担保、支持中小企业开展合同融资、免费提供电子采购文件等方式，为中小企业参与采购活动提供便利。要严格按照规定及时支付采购资金，不得收取没有法律法规依据的保证金，有效减轻中小企业资金压力。

通知提出，调整对小微企业的价格评审优惠幅度。货物服务采购项目给予小微企业的价格扣除优惠，由6%—10%提高至10%—20%。大中型企业与小微企业组成联合体或者大中型企业向小微企业分包的，评审优惠幅度由2%—3%提高至4%—6%。

同时，提高政府采购工程面向中小企业预留份额。400万元以下的工程采购项目适宜由中小企业提供的，采购人应当专门面向中小企业采购。超过400万元的工程采购项目中适宜由中小企业提供的，在坚持公开公正、公平竞争原则和统一质量标准的前提下，2022年下半年面向中小企业的预留份额由30%以上阶段性提高至40%以上。

## 气候投融资试点将全面启动运行

近日，生态环境部应对气候变化司处长丁辉在第十届(2022)SIIFC国际研讨会上发表主旨演讲时表示，“十四五”是实现“双碳”目标的关键时期，生态环境部将充分发挥全国构建统一大市场的制度优势，积极通过政策协同和金融创新，加快推进气候投融资工作，为实现“双碳”目标和全球应对气候变化工作做出积极贡献。目前气候投融资试点已基本完成了评审工作，即将全面启动运行。

气候投融资是实现“双碳”目标的助推器。我国“十四五”规划和2035年远景目标明确提出：推进能源革命，建设清洁低碳、安全高效的能源体系，提高能源供给保障能力。加快发展非化石能源，坚持集中式和分布式并举，大力提升风电、

光伏发电规模，建设一批多能互补的清洁能源基地，非化石能源占能源消费总量比重提高到20%左右。丁辉表示，实现“双碳”目标过程中，有一项十分关键的确定性因素需要引起高度重视，那就是“资金”，或者说“投融资”问题。根据国内机构测算，中国2021年至2030年间实现碳达峰的资金需求约为14万亿元至22万亿元，而从2030年碳达峰到2060年实现碳中和的资金需求则在百万亿元级别。

2021年底，生态环境部等九部门联合印发《关于开展气候投融资试点工作的通知》，指出地方是落实我国碳达峰碳中和目标的重要基础和关键环节，众多城市和地区陆续申报了气候投融资试点工作。

## 财政部部长刘昆：进一步增加北方地区冬季清洁取暖补助支持城市

近日，财政部党组书记、部长刘昆在《求是》上发表题为《稳字当头稳中求进 实施好积极的财政政策》的公开撰文称，将以积极的财政政策，持续改善生态环境，推动绿色低碳发展，支持深入打好污染防治攻坚战，进一步增加北方地区冬季清洁取暖补助支持城市。

以长江、黄河等流域为重点打好碧水保卫战，支持开展土壤污染防治，加快建立分类补偿与综合补偿、纵向补偿与横向补偿协调推进的生态保护补偿制度。加强生态系统保护和修复，大力推进山水林田湖草沙一体化保护和系统治理。建设以国家公园为主体的自然保护地体系。稳步有序推进碳达峰碳中和。健全政府绿色采购标准，推进绿色低碳产品采购。完善清洁能源支持政策，大力发展可再生能源。

## 中国空调博物馆喜迎建馆十周年庆典

6月16日，以“记录空调历史，倡导绿色低碳，引领节能先行”为发展宗旨的中国空调博物馆迎来了建馆十周年庆典。展现了空调制冷技术的发展历程，从古代冰鉴开始，到八万风量长廊；从毛细管网空调系统演示室，到医院洁净系统体验间；从老式压缩机到绿色建筑智能工程；从行业名家到双碳远景描述等多个板块。该博物馆由河北新众业建设集团投资建设，于2012年6月16日开馆，是全国首家空调主题博物馆，是集科普、研学、旅游综合性示范基地。

## 银行支持煤炭清洁高效利用专项再贷款额度增加 1000 亿元

近日获悉，经国务院批准，人民银行、发展改革委和能源局联合印发通知，明确支持煤炭清洁高效利用专项再贷款额度增加 1000 亿元，专门用于同煤炭开发使用和增强煤炭储备能力相关的领域。具体支持领域包括：一是煤炭安全生产和储备领域。包括现代化煤矿建设、绿色高效技术应用、智能化矿山建设、煤矿安全改造、煤炭洗选、煤炭储备能力建设等项目。二是煤电企业电煤保供领域。金融机构应优先支持煤炭安全生产和储备的项目贷款。对于煤电企业电煤保供领域，金融机构发放的煤电企业购买煤炭的流动资金贷款可按要求申请专项再贷款支持。

此次增加 1000 亿元额度后，支持煤炭清洁高效利用专项再贷款总额度达到 3000 亿元，有助于进一步释放煤炭先进产能，保障能源安全稳定供应，支持经济运行在合理区间。

## 银行间市场共支持发行碳中和债 2442 亿

截至 2022 年 5 月，银行间市场共支持发行碳中和债 2442 亿。据测算，如按募投金额与项目总投资比例折算，促进减排二氧化碳 4203 万吨，节约标准煤 1811 万吨。同月，可持续发展挂钩债券发行近 423 亿元。

近年来，中国债券市场在产品创新、标准制定和市场规模均在发力。根据 Wind 数据统计，我国 2021 年境内绿色债券发行规模超过 6000 亿元，同比增长 166%，余额达到 1.13 万亿元。其中，绿色债务融资工具

发行 3135 亿元，余额 3676 亿，累计满足 200 多家企业绿色融资需求。

据了解，交易商协会将持续贯彻党中央、国务院关于碳达峰、碳中和相关政策精神，积极落实新发展理念，建立健全绿色金融标准体系，助力完善绿色金融顶层设计。同时，持续扩大绿色债券规模，拓展绿色债券市场的深度和广度，推动绿色债券产品推陈出新，引导社会资金进一步向绿色发展汇集，共同促进绿色债券市场高标准、高质量发展。

## 全国首座光伏直供换电站正式启用

近日，国能宁夏电力所属国能浙能宁东发电有限公司“换电重卡绿色交通（物流）示范项目”在银川顺利竣工，标志着我国首座光伏直供换电站正式投入使用。

“十四五”期间，该公司规划扩建换电站，并将为该公司提供服务的运输柴油重卡、工程

机械约 200 台全部替换为新能源汽车。届时，每年较传统燃料汽车节省运输成本约 11%，可消纳绿电约 3000 万千瓦时，减少二氧化碳排放约 27400 吨，减少一氧化碳等其他污染物排放 346 吨。按照电价 0.361 元/千瓦时计算，年均可实现用电创收千万元以上。

## 鼓励银行保险机构加大支持城市发展节能、清洁能源等领域

近日，中国银保监会发布关于银行业保险业支持城市建设和治理的指导意见。其中提到，鼓励银行保险机构加大支持城市发展的节能、清洁能源、绿色交通、绿色商场、绿色建筑、超低能耗建筑、近零能耗建筑、零碳建筑、装配式建筑以及既有建筑绿色化改造、绿色建造示范工程、废旧物资循环利用体系建设等领域，大力支持气候韧性城市建设和气候投融资试点。鼓励银行机构在依法合规、风险可控前提下，积极发展能效信贷、零售类绿色信贷资产证券化，投资绿色债券，

妥善开展环境权益抵质押融资。鼓励银行保险机构积极稳妥参与碳市场建设，加强前瞻性研究和碳金融业务模式研究，防止“一刀切”和“运动式”减碳。

意见中指出，鼓励银行保险机构增加对养老、托育、家政、餐饮、住宿、零售、文化、旅游、体育等领域的有效金融供给。鼓励银行保险机构为农产品仓储、冷链物流及质量保障提升等提供金融服务，助力完善农产品和食品安全保障体系，支持绿色食品企业、中华老字号、优质创新品牌等食品加工和餐饮服务企业发展，更好满足城

市居民健康饮食需求。

意见中提到，鼓励银行保险机构合理应用人工智能、大数据、云计算、区块链等新兴技术，提升城市金融服务能力和风险管控水平，并充分发挥资金、技术、渠道、人员等方面优势，拓展线下网点和线上渠道的多元化城市服务功能。鼓励银行保险机构加强支持符合城市发展实际的主导产业和特色产业，大力支持重点生态功能区、农产品主产区发展绿色产业，鼓励发展战略性新兴产业，支持前瞻布局未来产业，助力不同城市产业错位竞争、协同发展。

## 山西重点支持空气能等可再生能源推广利用

近日,山西省司法厅发布《山西省绿色建筑发展条例(草案)》(下简称《条例(草案)》)公开征求意见公告。

《山西省绿色建筑发展条例(草案)》第四十二条,县级以上人民政府应当重点支持太阳能、地热能、空气能等可再生能源推广利用。第四十三条,鼓励扩大建筑用能清洁电力替代,推动以电代气、以电代油,推广高效能的用电设施设备,推进生产生活用能电气化。

《条例(草案)》第四十七

条,建设、购买、运行绿色建筑实行下列扶持政策,第四条明确地源热泵系统应用项目按照规定减征或者免征水资源费;居住建筑利用浅层地温能供暖制冷的,执行居民峰谷分时电价;采用浅层地温能供暖制冷的企业参照清洁能源锅炉采暖价格收取采暖费;第六条明确高等级绿色建筑、装配式建筑、超低能耗建筑、低碳建筑以及更高水平节能降碳建筑等项目在各类建筑工程奖项的评审中优先。



## 朔州市朔城区 2022 年冬季清洁取暖改造 2.36 万户

近日,按照国家、省、市冬季清洁取暖的工作要求,结合《朔州市冬季清洁取暖项目实施方案(2021-2023)》及实际工作开展情况,根据朔州市政府要求,结合《朔州市冬季清洁取暖方案(2021-2023)》,朔城区 2022 年热源侧清洁化改造要完成 2022-2023 年两年改造任务共 2.36 万户。

其中包括集中供暖、“煤改电”、“太阳能+”、生物质炉具+燃料。优先采用热电联产集中供暖进行提升改造,主要工作包括换热站、一次管网和二次管网建设;共涉及 5 个乡镇(街道)14 个村(片区)9387 户。分户式“煤改电”,每户配备一台低环境温度空气源热泵热水机(制热量不小于 3kW)、一台电磁炉、电热炕(面

积 5 平方米)以及线路改造;共涉及 4 个乡镇 20 个村 5274 户。分布式“煤改电”,主要包括热源站(空气源热泵机组构成)建设、管网建设、一台电磁炉及电热炕(面积 5 平方米);共涉及 2 个乡镇(街道)2 个村(崔家窑村、东邵庄村)856 户。“太阳能+”,每户末端配备一台低环境温度空气源热风机(制热量不小于 3kW)、一台直热式电暖气(制热量不小于 2kW)、一台电磁炉、电热炕(面积 5 平方米)以及线路改造、太阳能光伏板一套(户均 70 平方米);共涉及 3 个乡镇(街道)35 个村 4173 户。生物质炉具+燃料,政府补贴生物质燃料购买费用,补贴标准每户每年最多不超过 3 吨,共涉及 6 个乡镇 75 个村 3923 户。

## 山东滨州清洁取暖建设工作推进会议召开

日前,滨州市清洁取暖建设工作推进视频会议召开。会议由滨州市住建局党组书记、局长朱臣主持,相关市直部门分管负责同志及业务科室负责同志在主会场参加会议,各县(市、区)设分会场,副市长毕志伟出席并讲话。

会上,朱臣通报了 2022 年清洁取暖工作安排,承担农村清洁取暖建设任务的各县(市、区)围绕 2022 年清洁取暖工作情况及工作计划进行了发言。毕志伟指出,清洁取暖工作事关千家万户切身利益,事关经济社会发展全局,是一项重大政治任务,务必要因地制宜、周密安排、精心部署,真正把实事办实、好事办好。毕志伟强调,要锚定目标,做好改造用户建档工作,严把工程建设时间节点,全力压实工程建设责任,切实加强工程建设管理,妥善做好工程后续管护;要强化组织领导、资金管理、督导检查,确保于 10 月 10 日前完成农村清洁取暖改造 12.1 万户、城市(县城)新增集中供热面积 292 万 m<sup>2</sup> 任务目标。

## 山东省高标准推进老旧小区改造

今年山东省高标准推进老旧小区改造,新开工改造 1963 个项目、3889 个小区,惠及城镇居民 67 万户。

山东省高标准积极推进老旧小区改造,高水平编制改造方案,增加完善提升类改造内容,提高改造标准,将雨污分流、节能改造、弱电入地等优先纳入改造范围。创新金融支持方式,落实闲置土地利用、存量房屋用途调整等政策,创新丰富“4+N”模式,探索可持续投入新途径,构建共建共享新格局。

## 武汉新增竣工绿建 1265 万 m<sup>2</sup>

近日，武汉市城乡建设局印发《武汉市 2022 年建筑节能、绿色建筑和装配式建筑发展目标任务及工作要点》。提出严格执行建筑节能标准。各区（开发区）新建建筑严格执行现行建筑节能设计标准，建筑节能标准执行率达 100%。全市新增节能建筑不低于 2381 万 m<sup>2</sup>。全面推广绿色建筑。各区（开发区）新建民用建筑在设计阶段绿色建筑标准执行率 99%，竣工建筑中绿色建筑占比不低于 90%。全市新增竣工绿色建筑不低于 1265 万 m<sup>2</sup>。促进可再生能源建筑规模应用。各区（开发区）竣工建筑面积中可再生能源建筑应用面积占比不低于 30%。全市竣工可再生能源建筑面积不低于 985.5 万 m<sup>2</sup>。全市新建装配式建筑面积不低于 1660 万 m<sup>2</sup>。全市新增建筑节能能力不低于 39.3 万吨标准煤等要求。



## 山东省加快发展超低能耗、近零能耗建筑

6 月 1 日，山东省发改委发布关于公开征求《山东省“十四五”节能减排综合工作方案》意见的通知，通知提出，全面推进城镇绿色规划、绿色建筑、绿色运行管理，推动低碳城市、韧性城市、海绵城市建设，全域推进“无废城市”建设。城镇新建民用建筑全面执行绿色建筑标准，实行绿色建筑统一标识制度，

积极发展星级绿色建筑，政府投资或以政府投资为主的公共建筑以及其他大型公共建筑，按照二星级及以上绿色建筑标准建设，“十四五”期间新增绿色建筑 5 亿 m<sup>2</sup>。加快发展超低能耗、近零能耗建筑，建立公共建筑节能限额管理制度，推广合同能源管理服务，到 2025 年完成既有建筑节能改造 5000 万 m<sup>2</sup>。

## 江苏推广高效节能锅炉、水泵设备

日前，江苏省工业和信息化厅发布消息，为进一步挖掘工业领域节能潜力，显著提升能效水平，《江苏省工业领域节能技改行动计划（2022-2025 年）》（以下简称《行动计划》）日前出台。

根据《行动计划》，目标到 2025 年，全省规上工业单位增加值能耗比 2020 年下降 17% 以上，工业能效水平位居全国前列，绿色低碳发展水平显著提升。钢铁、水泥、平板玻璃、炼油、乙烯、烧碱、合成氨等高耗能行业单位产品能耗全部达到基准水平，其中达到标杆水平的产能比例达 30% 以上；其他高耗能行业单位产品能耗达到能效先进水

平的产能比例达 30% 以上。

《行动计划》明确，严禁新增钢铁（炼钢、炼铁）、水泥熟料、平板玻璃等高载能行业产能；对行业产能已饱和的拟建“两高”项目，须落实能耗不少于 1.2 倍的减量替代政策。在推广节能先进技术方面，推广高效节能锅炉、电机、水泵、风机、空压机、变压器等用能设备，试点建设绿色微电网。在加强节能服务支撑方面，大力推行合同能源管理机制，鼓励节能技术服务商、绿色制造解决方案提供商为企业开展节能设计、技术改造、运维管理等“一条龙”服务，鼓励建设区域级碳效监测平台。

## 咸宁市新建建筑应用可再生能源技术

近日，咸宁市住建局印发《咸宁市绿色建筑实施管理办法》。

其中提到，全市范围内新建、改建、扩建 12 层及以下住宅（含商住楼）和宾馆、酒店、医院病房大楼、老年人公寓、学生宿舍、托幼建筑、健身洗浴中心、游泳馆（池）等热水需求较大的建筑，应统一设计和

安装应用太阳能或空气能热水系统。

全市范围内新建建筑应当根据项目实际合理选用太阳能热水系统、地源热泵系统、空气源热泵系统、余热回收系统、太阳能光伏系统等可再生能源建筑应用技术；机关办公建筑、政府投资的公益性建筑、各类

大中型公共建筑应当带头在太阳能热水系统、地源热泵系统、空气源热泵系统、余热回收系统和太阳能光伏系统等可再生能源建筑中选择一种以上技术应用；支持太阳能、地热能、空气源热泵、光伏屋顶发电、太阳能路灯工程等可再生能源一体化、多元化、规模化应用发展。

## 全球首个“光储直柔”建筑高效平稳运行一周年

近日，深汕特别合作区中建绿色产业园中的全球首个“光储直柔”建筑高效平稳运行一周年，共8个办公区域，建筑面积2500m<sup>2</sup>。

在400多平米的办公楼屋顶，铺设了大量太阳能光伏发电装置，满足整栋建筑三分之一的用电。同时依托储能系统，还可将多余电量储备起来。停车场配备了中建科技自主研发的双向充电桩，既可通过储能系统为新能源车辆充电，又可从车里取电。整个办公区采用低压直流配电系统，电压控制在48V以下，

非常安全；打印机、空调、水壶、咖啡机等，均为中建科技自主研发或改造的柔性直流输电设备，与普通设备相比，极大降低能耗，减少碳排放。

“光储直柔”技术从最初的设计方案，到最终落地实施，离不开中建科技技术团队的专业力量加持。依托以江亿院士为主任的清华大学-中建科技“未来城市联合实验室”的基础性研究成果，中建科技成为“光储直柔”技术最大的推动者和实践者，获业内专家的高度认可。

## 重庆培育基于整体解决方案的超低能耗建筑

近日，重庆市发改委发布“十四五”节能减排综合工作实施方案（征求意见稿），方案提出，到2025年，全市单位地区生产总值能源消耗比2020年下降14%，力争达到14.5%。

全面推行绿色建筑。分阶段、分类型提高城镇新建民用建筑节能强制性标准。培育一批基于整体解决方案的超低能耗或近零能耗建筑示范工程。推动商场、医院、学校、酒店

和机关办公建筑等既有公共建筑由单一型的节能改造向综合型的绿色化改造转变。深入推进数据中心、各类园区及冷链物流等领域制冷改造示范工程。

到2025年，新建建筑100%执行绿色建筑标准。推进城镇新建公共机构建筑、新建厂房屋顶应用太阳能光伏，促进可再生能源建筑规模化应用。到2025年，新增可再生能源建筑应用面积500万m<sup>2</sup>。

## 新疆新能源及节能降碳项目最高可获500万获贴息支持

近日，新疆维吾尔自治区发展改革委、自治区工业和信息化厅、中国人民银行乌鲁木齐中心支行联合印发《关于支持开展新能源项目及节能降碳项目贴息支持试点工作的通知》，拟试点采取贴息方式鼓励引导各地积极推进新能源项目建设和重点行业领域节能降碳改造。

《通知》明确，对市场化并网新能源发电项目使用贷款的，按每10万千瓦10万元予以贴息补助。对高耗能行业企业实施节能降碳技术改造的，改造后能耗水平达到先进水平的，按项目贷款额及节能降碳比例予以贴息，最高贴息额度不超过500万元。

## 甘肃凉州区发布2022年冬季清洁取暖项目2.6亿元

7月11日，甘肃省经济信息网发布《关于“凉州区2022年冬季清洁取暖项目”进行社会稳定风险评估的公示》。根据公示内容显示，凉州区将对农村社区清洁取暖替代项目、武南镇天新热力公司热源清洁能源供热建设项目、分散农户清洁取暖改造项目、既有建筑建筑节能提升项目进行投资建设。估算总投资为2.6亿元。

项目建设包括：一是农村社区清洁取暖替代项目，在高坝镇同心苑社区、镜堂社区、蜻蜓社区，金沙镇于郭庄社区，金羊镇金海嘉苑社区、松涛社区，和平镇大众嘉苑社区，松树镇松树社区等18个社区进行燃煤锅炉改生物质锅炉。主要建设内容为拆除原有燃煤锅炉，新建生物质锅炉及配套附属设施，并建设电锅炉或天然气锅炉（备用热源），配套建设供热电力设施；高坝镇鼎宁家园接入武威工业园区亿利洁能科技有限公司集中供暖，建设管网及换热站，并配套建设其附属设施。二是武南镇天新热力公司热源清洁能源供热建设项目，在武南镇天新热力公司新建2台40吨气粉两用锅炉、5座换热站、配套建设附属设施及管网。三是分散农户清洁取暖改造项目，对全区15000户分散农户进行“太阳能储热+电辅热+清洁灶”取暖改造。其中2022年改造3000户，2023年改造6000户，2024年改造6000户。（四）既有建筑建筑节能提升项目：对凉州区清水镇张清村、王锐村334户、黄羊镇上庄村226户农户住房进行外墙保温改造，配备保温门帘、建设阳光房。

## 内蒙古印发“十四五”节能减排综合工作实施方案

6月9日，获悉自治区政府新闻办召开的《内蒙古自治区“十四五”节能减排综合工作实施方案》政策例行吹风会上获悉。自治区政府近日将印发《内蒙古自治区“十四五”节能减排综合工作实施方案》（以下简称《实施方案》）。

《实施方案》明确内蒙古“十四五”节能减排主要目标：到2025年，全区单位地区生产总值能源消耗比2020年下降15%，能源消费总量得到合理控制，化学需氧量、氨氮、氮氧化物、挥发性有机物排放总量比2020年分别下降8%、8%、10%、10%以上。节能减排是党中央、国务院作出的重大决策部署。《实施方案》以国家《“十四五”节能减排综合工作方案》为基准，参照已印发的自治区“十四五”规划纲要、有关专项规划的相关内容，充分结合我区实际，对国家政策进行了细化和统筹安排，确保国家部署的节能减排各项目标任务在我区得到精准贯彻落实。

《实施方案》共包括四大部分内容，分别为指导思想和主要目标，十项节能减排重点工程安排，提出健全节能减排政策机制，分解下达“十四五”各盟市能耗强度降低目标及自治区主要行业节能指标。其中，十项节能减排重点工程为——重点行业绿色升级工程，园区节能环保提升工程，城镇绿色节能改造工程，交通物流节能减排工程，农牧业节能减排工程，公共机构能效提升工程，重点区域污染物减排工程，煤炭清洁高效利用工程，挥发性有机物综合整治工程，环境基础设施水平提升工程。

## 陕西开展能效分级管理试点

日前，陕西省工业和信息化厅发布关于进一步加强2022年工业节能降碳有关工作的通知，提出加强高耗能行业企业节能监管、加强高耗能行业企业节能监管、督促企业实施技术改造、开展存量电机节能改造、创新发展绿色低碳技术五大重要任务。

要求各地市工信局组织开展工业节能降碳行动，推动钢

铁、电解铝、水泥、平板玻璃、炼油、乙烯、合成氨、电石等重点行业能效对标，发挥标杆引领示范作用，促进重点企业节能降碳技术改造，提高能效基准水平和标杆水平。

陕西省工信厅将于6月中下旬组织对各地市节能降碳工作推进情况、重点用能工业企业节能监管情况进行实地调研。

## 甘肃金昌新增清洁取暖改造4.52万户

日前，获悉，金昌市冬季清洁取暖项目2022年至2024年计划投资36.5亿元，其中中央财政投入9亿元，地方财政配套投入9亿元，社会资本及居民投入18.5亿元。

实施具体项目46个，结合永昌县整县推进、金川区整村推进分布式光伏项目，为农村居民提供绿色电力，保障农村热源清洁化改造用电需求，用足用好中央专项补贴资金，集中力量实施煤改电、煤改气项目。力争通过3年时间，新增清洁能源取暖面积654万 $m^2$ ，城区、

县城清洁取暖率达到100%，具备改造价值的既有建筑100%完成节能改造，农村清洁取暖率达到100%，热源清洁化项目预计替代散煤用户4.52万户，预计每年减少散煤替代折合标煤11.52万吨、二氧化碳30.18万吨、二氧化硫1843吨、氮氧化物875吨，进一步节能降耗，减少主要污染物排放。

此次中央财政支持金昌市开展冬季清洁取暖改造，将为城市大幅减少燃煤污染，深入打好蓝天保卫战，持续改善空气质量提供关键力量。

## 兰州发布《兰州市城市更新实施办法》

近日，兰州市人民政府发布了“关于印发《兰州市城市更新实施办法》的通知”。“办法”指出，所谓的城市更新，是指对建成区城市空间形态和功能进行整合、改善、优化，从而实现房屋使用、市政设施、公建配套等全面完善，产业结构、环境品质、文化传承等全面提升的建设活动。同时，办法适用于城关区、七里河区、西固区、安宁区、高新区雁滩园区辖区范围内的城市更新。

“办法”特别指出了城市

更新的实施方案，比如“将老旧小区、危房改造、老旧街区改造、历史文化街区保护、既有建筑节能改造、综合整治、保障性住房建设等工作纳入到城市更新中，城市更新可单独或综合采取微改造、综合整治、拆除重建等方式推动实施。”

此次兰州的城市更新，主要以微改造为主，以翻新重建为辅，同时，强调防止大拆大建，也是为了避免浪费公共资源，从实际出发，对城市中需要更新的部分进行有序改造与更新。

## 格力磁悬浮离心机成功服务上海哈一顿大酒店

近日，格力磁悬浮离心机成功服务上海哈一顿大酒店。越来越多的高端酒店，在强调中央空调舒适性的同时，设备的节能性也成为了其重要的考量因素。因此，在招标中央空调产品时，项目方都会进行更为严格的筛查和综合评定，也更加考验企业在技术、产品以及解决方案提供上的综合能力。

位于上海古北新区的上海哈一顿大酒店，自宣布招标公告以来，诸多品牌相继投标。经过层层筛选，格力中央空调最终凭借着自身解决方案的优势成功中标。格力中央空调为该项目匹配了旗下的磁悬浮离心机，护航舒适环境的同时，将以高效节能的优势为项目方创造更大的经济效益，目前机组已调试成功。

多年间，格力中央空调在上海市场坚持稳扎稳打，屡屡斩获多个优质样板工程，特别是旗下的磁悬浮离心机产品，更是树立了多个样板，收获了良好的口碑基础。未来，格力中央空调仍将针对上海市场步步为营，进一步扩大市场份额。

## 美的楼宇科技打造 iBUILDING 数字化平台

近日，美的集团于正式公布了“数字美的 2025”战略，提出打造美的数字大脑。数字美的 2025”总体目标：业务数字化 100%、数据业务化赶上高科技行业标准、数字技术保持行业领先优势、AIoT 化成为全球智能家居行业首选，数字创新支撑业务模式创新。

美的楼宇科技打造“iBUILDING 美的楼宇数字化平台”，iBUILDING 美的楼宇数字化平台一系列的行业解决方案，是智慧建筑领域的开放生态平台，它凝聚知识图谱、AI 算法平台、绿色零碳、数字孪生、BIot 等技术能力，解决了

智慧建筑中设备设施的统一接入和互联互通问题、数字孪生能力、开放平台等一系列的问题。

iBUILDING 将数据智能的能力应用到暖通、电梯、安防、楼控等产业中，实现产业升级，例如 MDV8 数智多联机、数智电梯 LINVOL 及 iBUILDING 的智慧园区、智慧医院、智慧轨交、智慧办公、智慧酒店等不同的行业解决方案；以 iBUILDING 智慧办公为例，例如智慧访客、无感通行、智能会议、员工服务、共享工位等，每个场景都有对应的智能应用，并已在多个项目真实应用。

## 海尔中央空调楼宇能源方案获认可

日前，获悉海尔物联超低温空气源热泵机组为清洁能源应用提供方案，在商用取暖领域得到了广泛的认可。

海尔超低温空气源热泵采暖方案采用 EVI 涡旋超低温喷气增焐压缩机，冷媒双环路设计，3 重智能防冻，IPLV (55℃ 出水) 达 2.2，2 大新型换热器超长直径风扇，远程可视可控，智慧运维，AI 负荷自控运行。

海尔超低温空气源热泵采暖应用在黑河的黑龙江众森联谊进出口贸易有限公司，在零下 31 度环境下，出水温度达到 40 度；在工厂墙体为普通砖墙没有保温材料的情况下，室内温度 16 度，满足了工厂的取暖需求。海尔超低温空气源热泵已为工厂、办公楼、酒店等商业供暖领域得到了广泛应用。

## 天加风冷满液螺杆式热泵服务无锡湖畔科技园

近日，天加成功斩获无锡湖畔科技园项目，助力打造无锡新经济发展重心。据了解，本次天加将为该项目提供 20 台风冷满液螺杆式热泵机组及空调箱，在提供冷暖服务的同时，也为科技园提供健康办公环境。

无锡湖畔科技园项目共有 18 栋建筑，建筑面积约 19 万 m<sup>2</sup>，以“发展新经济、打造新

中心”为主线，立足科创平台、生命科学、人工智能、产业金融等产业特色，将打造成为具有全球吸引力的科创产业化中心、具有国际影响力的创新创业示范基地。无锡夏季炎热，冬季寒冷，制冷与采暖是科技园刚需，加之现如今对于室内环境安全的考量，天加针对科技园需求，制定了相应的系统解决方案，

满足科技园制冷、采暖和健康需求。

在无锡市场，天加中央空调已经树立了多个样板工程，得到了用户与市场的一致认可，此次服务无锡湖畔科技园也是天加中央空调在工程项目市场的实力印证，也为天加在高端办公场所的应用再添一例样板。

## 日出东方服务连云港赣榆区屋顶分布式光伏工程

日出东方助力乡村振兴的重要实践，推动农村可再生能源开发利用，服务连云港赣榆区屋顶分布式光伏工程，本期工程选用赣榆区辖区内柘汪镇、石桥镇、金山镇、海头镇、赣马镇、厉庄镇、黑林镇、塔山镇、班庄镇及青口镇等十个乡镇的户用居民屋顶建设分布式光伏电站，拟安装户数为6323户，采用“全额上网”模式建设光伏发电项目，25年总发电量为339575.480万度，25年年平均发电量为13583.019万度，25年年平均利用小时数为1129.145小时。一期建成投产后，可带动全村每户累计增收约4.19万元。

同时，该项目节能环保效益显著，一期工程建成后，平均每年可为电网提供电力13583.019万kW·h，与相同发电量的火电相比，相当于每年可节约标煤41428.208吨，减少二氧化碳约110565.775吨，减少二氧化硫排放量约842.147吨，减少氮氧化物285.243吨，还可节约大量淡水资源，成为赣榆区实现能源结构优化转型的主力军之一，还将打造具有标杆示范性的“中国零碳村镇”。

该项目的建成落地，将成为日出东方在整县光伏市场快速反应、多点布局的又一典型范例，更将对赣榆区加快产业结构调整，打造绿色能源应用示范区，实现全面振兴注入强劲动力。在“政策+市场”双轮驱动下，日出东方将依托在品牌、渠道、技术等方面的综合优势，创新融合ToG+ToB+ToC商业模式，全力领跑整县光伏市场。

## 天加环境成都工厂三期厂房奠基仪式圆满举行

近日，天加环境成都工厂三期厂房奠基仪式圆满举行，项目在现有5100m<sup>2</sup>厂房的基础上扩建3600m<sup>2</sup>新厂房，建成后生产车间总占地面积13.2亩，产值规模将从3.3亿元爬升到7亿元。

为进一步扩大成都天加的产能规模，同时为实现西南地区中央空调末端市场扩张注入新的力量，成都天加三期厂房建设项目在园区领导的关怀支持下，在天加各领导、同事的沟通努力下启动。

## 约克VRF（青岛）客户体验中心即将启航

近日，约克VRF（青岛）客户体验中心正式开业。据约克VRF相关负责人介绍，此次客户体验中心在展厅设计中，加强互动方式，将现实与虚拟融合，让展厅更加灵动。同时将体验中心划分出形象展示、技术展示、产品展示、功能区以及体验区等多个区域。

此次展厅中，约克呈现百年品牌沉淀积累的繁多荣誉和专利成果，通过全息技术展示约克VRF产品、YES产品、VRF技术、标杆项目等等，如天氟地水系统的基本构

成和原理，让用户和合作伙伴更加深入了解约克VRF天氟地水系统；如产品YES-RM整体式两联供机组、YES-SMART III、YES-Comfort III系列的侧出风机组、针对别墅场景的YES-VILLA+系列、直膨式组合空气处理机组YES-AHU等。

约克VRF（青岛）客户体验中心实现了诸多功能集聚，将客户体验中心这里打造成轻松、和谐的场所，让专家、设计师、合作伙伴、用户等多来这里交流。

## 格力大型螺杆机、模块机服务桂平市中医医院

近日，格力斩获桂平市中医医院项目。据了解，格力将为桂平市中医医院提供大型螺杆机、模块机等中央空调设备，为医院保驾护航。

桂平市中医医院位于广西壮族自治区桂平市城西街112号，占地面积约20亩，总建筑面积3万多m<sup>2</sup>，是一所集医疗、科研、教学、预防、保健为一体的二级甲等中医医院，也是桂平市医保定点医院。由于医院建筑功能复杂多样，人流量大，对暖通空调系统的温度、湿度以及噪声等都

有严格的要求，格力针对性设计解决方案，并最终选择了旗下螺杆机、模块机。

在医疗服务提质升级的发展趋势下，适宜的室内环境，充分体现了医院的人性化设计和服务，受到更多患者及其家属的青睐。作为大型暖通行业的标杆企业，格力为火神山、雷神山、北京小汤山等全国各地的医疗场所提供中央空调系统解决方案，通过丰富的设计、服务经验，不断提升品牌在医疗细分市场的竞争力。

## 约克 VRF 成功中标济宁市第一人民医院

近日，在济宁市第一人民医院的竞标项目中，约克 VRF 以 860 匹高效节能的 YES-super+ 系列全直流变频多联机成功突围。医院作为特殊场所，对环境舒适度的要求格外严格，约克 VRF 能够夺得此标也表示其产品特性以及产品品质得到了院方的肯定。

济宁市第一人民医院始建于 1896 年，是山东省历史悠久、文化深厚的百年老院之一，医院现已成为山东省鲁西南地区学科门类齐全、医疗设备先进、专业特色突出的三级甲等大型综合公立医院。

YES-super+ 系列全直流变频多联机组作为约克 VRF 的明星产品，凭借其过硬的产品质量与服务在市场中一直有着亮眼的表现。除了宽广的运行范围、应用 EVI 喷气增焓技术以保证稳定性。更值得一提的是 YES-super+ 系列在依据室内机回风温度、遥控器温度传感器调节温度的基础上，增加了出风温度传感器，通过微电脑控制 2000 级高精度电子膨胀阀调节制冷剂流量，可实现室内温度  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  精准设定，而这些亮点功能充分满足了济宁市第一人民医院项目的需求。

## 源盟科技打造恒温泳池

日前，在四川雅安世外乡村·海子山国际生态康养旅游度假区内，由源盟科技所打造的恒温泳池系统正在进行紧张的施工之中，该恒温泳池项目一共使用源盟了 7 台 7P、2 台 20P、4 台 25P 热泵热水机以及 1 台

## 威乐于全球工厂推行“工作安全与健康日”活动

日前，威乐集团生产基地举行了“工作安全与健康日”活动，全体员工在这一活动中了解了职业健康和安全主题的相关讯息及重要性，这一主题活动由威乐“职业健康管理”和“安全生产”等部门联合组织，目的是提高员工对日常工作及生活中安全和健康方面的认识。

威乐目前已经保持了超过 200 万人工时无生产人身伤害事故的记录。希望通过此次集团的‘工作安全与健康日’活动，向威乐中国的所有员工和供应

商传递出威乐对于安全健康的重视。同时，威乐中国也会在 6 月‘安全生产月’中组织开展更多的活动，以此来持续推动和提高公司的安全文化及安全管理水平。”

随着“工作安全与健康日”等活动的陆续开展，威乐集团作为一家 Vision Zero company（零愿景）公司正向“全球零事故”的目标坚实迈进。威乐全球的生产基地也正在开展定期的活动，以提高对安全和健康工作场所的认识，并建立强有力的预防文化。

## 台佳一体式双冷磁悬浮机组助力乐普医疗新冠抗原检测盒项目建设

近日，台佳一体式双冷磁悬浮机组助力乐普医疗新冠抗原检测盒项目建设。乐普医疗是我国最早从事心血管介入医疗器械研发制造的企业之一，拥有国家科技部授予的国家心脏病植介入诊疗器械及装备工程技术研究中心。业务涵盖医疗器械、医药产品、医疗服务和新型医疗业态四大板块，并在心血管病植介入诊疗器械与设备及医疗人工智能等领域具备先进水平。

台佳一体机是一种高效便捷的冷水机房系统一站式解决方案，运用工程产品化、产品

模块化、控制智慧化、能效可视化以及运维无人化的理念，实现对冷水机房系统全周期、全时段、全场景的高效便捷的管理与运行，比传统的建造模式建设效率高、运行能耗低、运维简便。

台佳一体式双冷高效机组、一体式水冷螺杆机组等产品已在乐普多个项目中完美运行。此次的乐普新冠测试剂盒项目采用了多台更为高效的一体式双冷磁悬浮机组，搭载了磁悬浮压缩机，系统综合能效更高，接近机组 IPLV 值。目前部分一体式机组已完成安装调试，投入使用。

120L 除湿量的三集一体泳池机共同打造。据悉，目前是一期项目在施工，后续二期项目还将会由源盟科技提供设备与服务。

世外乡村·海子山国际生态康养旅游度假区，位于雅安市雨城区望鱼镇，幅员面积 73 平

方公里。2019 年 11 月，获四川森林康养基地称号；2020 年 6 月，获国家林业和草原局、民政部、国家卫健委、国家中医药局联合评为“国家森林康养基地（第一批）”；2020 年 8 月，获中国养老十大品牌称号。

## 国际资讯 International News

### 今年夏天美国发电增量主要靠可再生能源

近日，据美国能源信息署发布的《夏季电力展望》报告，预计今年夏季美国电力部门发电量的最大增长将来自可再生能源。2022年6月至8月，公用事业规模的太阳能发电量将比去年夏天同期增长1000万兆瓦时，风力发电量将增长800万兆瓦时；而今年夏天煤炭和天然气发电量将减少2600万兆瓦时。

近年来，美国风能和太阳能发电能力稳步增长。预计到6月初，美国电力部门将拥有65吉瓦的公用事业规模太阳能发电能力，比去年同期增长31%。几乎三分之一的新太阳能发电能力将在德克萨斯州建设。今年6月，电力部门的上网风电容量估计将达到138吉瓦，比去年6月增长12%。

美国能源信息署预测，2022年6月至8月期间，天然气平均价格将接近每百万英热单位9美元，这将是去年夏天平均价格的两倍多。天然气价格和可再生能源发电的增长将会导致天然气发电量减少。与可再生能源和天然气相比，过去十年来，美国电力行业一直在稳步淘汰燃煤发电厂。在2021年至2022年6月期间，电力部门有6吉瓦（2%）的燃煤发电容量退役。预计美国燃煤发电量今年夏天将减少2000万兆瓦时（7%）。

### 12个重点行业如何按照1.5度目标减排

近日，Carbon Brief网站发表悉尼理工大学Sven Teske和Kriti Nagrath的文章，题目是：How 12 key industries can cut emissions in line with 1.5°C。文章涵盖了铝、化学品、水泥、钢铁、纺织和皮革工业、电力设施、天然气公用设施、农业、林业、航空和航运业、公路运输及房地产和建筑业12个关键部门，每个部门的能源需求都是基于对未来产量的预测（例如，数百万吨钢材）或每年GDP的假定经济轨迹。

除了提供部门碳预算和途径外，该研究还包括如何在重复计算的情况下借鉴了温室气体议定书区分了三个“范围”：范围1，公司拥有或控制的源直接产生的排放；范围2，购买能源产生的间接排放；范围3，包括公司“价值链”间接产生的排放量但不包括在范围2内。例如，我们的模型路径建议，

如果气候变暖限制在1.5摄氏度以下，发达国家应在2030年前逐步淘汰煤炭和内燃机汽车。为了实现这一目标，电力公司和电力供应商必须发挥核心作用。他们必须从可再生能源中为能源密集型行业和电动汽车提供足够数量的电力，这就需要大幅扩大规模。

这样的分析可以帮助政府针对最近的价格上涨采取针对最易受影响和最脆弱家庭采取的措施，同时将这些措施的成本限制在公共财政和可持续的水平。现金转移支付是减少收入群体之间购买力损失不平等的最具成本效益的工具，而且并不扭曲价格信号。此类措施还有一个好处，即它们不会影响家庭节约能源。加强对弱势家庭的支持力度，以提高其能源效率，减少对化石燃料的依赖，可以带来最大和最持久的社会价值。

### 清洁能源所需矿物资源价格飙升

日前，根据国际能源署（International Energy Agency）发布的最新报告，2021年，由于需求不断增长和供应链问题导致清洁能源技术所需矿物材料的价格飙升，这一趋势在2022年继续加速。

IEA指出：“对于对清洁能源转型至关重要的大多数矿物和金属而言，自2021以来的价格涨幅大大超过了以往最大年涨幅。”事实上，在过去10年矿物价格相对稳定的背景下，可再生能源行业得以蓬勃发展。例如，过去10年所有矿物的平均年价格涨幅都不大：铝涨幅最低（1%），锂涨幅最高（13%）。但随着需求增

加和关键材料价格上涨，IEA表示这一趋势正在逆转。

目前，全球供应链因俄乌冲突、疫情而一困。这些矿物材料对未来几十年扩大可再生能源的使用，尤其是对交通和家庭的电气化至关重要。但更高的价格意味着，即使技术可行，也很难为能源转型提供经济合理的解决方案。



## 英国可再生能源发电排队并网最长需 10 年

近日，英国《金融时报》报道，英国可再生能源开发商在将新产能接入电网方面面临长达十年的延迟，威胁到英国放弃化石燃料、实现净零目标的承诺。

英国制定的新目标，将现有可再生能源发电能力提高一倍以上，到 2030 年增加 50GW 海上风力发电，到 2035 年增加 70GW 太阳能发电，到 2050 年增加 24GW 核能发电。但可再生能源开发商表示，由于英国电网的限制，他们的项目必须等待 6 到 10 年才能连接到区域配电网。

英国国家电网表示，历史上每年有 40-50 个可再生能源发电并网申请，但随着可再生能源供应商的激增，申请数量已增至约 400 个。此外，六家地区分销商也收到了大量申请。

英国国家电网表示正在与费用受监管机构（Ofgem）和业界合作简化流程，解决排长队问题。然而，行业对电网的成本增加感到担忧，因为需要从大型发电厂转向更分散的可再生能源开发项目，如太阳能和风力发电厂。输电升级成本（每个变电站的成本可能在 1200 万英镑左右），使得许多项目无法运行。Ofgem 已经研究了整个行业的并网费用，但对电网升级费用过高的问题上“明显保持沉默”。

代表运营商的能源网络协会（Energy Network Association）表示，Ofgem 需要从一个被动应对转变为积极支持“预期的战略投资”。监管机构热衷于降低家庭成本，同时促进向净零的过渡。

可再生能源开发商认为，

推迟向低碳能源的转变最终会增加客户账单。可再生能源供应商 RES 表示，该公司今年准备好了几个太阳能项目，但预期 2028 年或 2030 年并网。太阳能和陆上风力发电是最便宜的新发电形式，但由于缺乏长期规划和电力基础设施投资，项目正在被推迟。

Ofgem 表示，将在今年夏天发布下一个价格控制期的提案，这将“确保分销网络为净零过渡做好准备”。“我们的首要任务是保护消费者，我们正在为实现净零目标创建需要的基础设施”。



## IEA：化石能源价格的上涨将进一步提高可再生能源的竞争力

近日，国际能源署可再生能源市场发布可再生能源市场报告，指出 2021 年全球太阳能、风能和其他可再生能源发电的新增容量达到创纪录水平；2022 年将进一步增长，因为各国政府越来越多地寻求利用可再生能源的保障能源安全和气候效益。

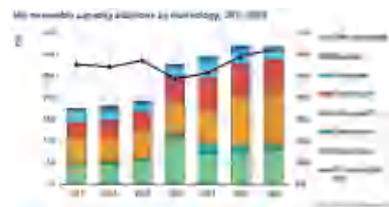
2021 年全球克服了供应链挑战、施工延误和原材料价格高企的问题，新增可再生能源发电能力达到创纪录的 295GW。预计今年全球新增产能将增至 320GW。2022 年，太阳能光伏将占全球可再生能源增长的 60%，其次是风能和水电。2021 年，欧盟的年发电量增长了近 30%，达到 360GW，终于超过了欧盟十年前创下的 350GW 的纪录。如果没有供应链和物流问题的挑战，可再生能源产能的增长将更快。由于大宗商品和货运

价格上涨，太阳能光伏和风力发电厂的安装成本预计将在 2022 年和 2023 年持续高于大流行前的水平，扭转了过去十年成本下降的局面。然而，光伏和风电仍然具有竞争力，因为天然气和其他化石燃料的价格上涨得更快。全球新增太阳能光伏发电能力有望在今年和明年打破新纪录，2023 年市场新增容量将达到 200 GW。得益于对大型项目的有力政策支持，太阳能在中国和印度的增长正在加速，这些项目以比化石燃料替代品更低的成本完成。在欧盟，随着电费上涨，家庭和公司安装屋顶太阳能装置有望帮助消费者节省开支。

在风电方面，政策的不确定性，以及漫长而复杂的许可法规，阻碍了风电行业更快的增长。在 2020 年安装量超高增长之后，2021 年下降了 32%，预计今年

和明年新增陆上风电容量将略有恢复。2021 年，生物燃料从疫情大流行的低点恢复到 1550 多亿升，接近 2019 年的水平。预计 2022 年增长 5%，2023 年增长 3%。

对 2023 年及以后可再生能源市场的预测将取决于未来六个月各国是否会出台和实施新的更强有力的支持政策。俄罗斯对乌克兰的进攻正在能源和农业市场引发冲击波，导致前所未有的全球能源危机。在许多国家，政府正试图让消费者免受更高能源价格的影响，减少对俄罗斯供应的依赖，并提出政策，以加快向清洁能源技术的过渡。



# 规模化推广近零能耗建筑 助力双碳目标实现

建筑领域的节能减碳是实现我国碳达峰、碳中和目标的“关键一环”。为扎实做好碳达峰、碳中和工作，认真践行“十四五”规划和“2035 远景目标”中提出的“实施重大节能低碳技术产业化示范工程，开展近零能耗建筑的部署”，积极响应双碳目标，推动建筑领域节能标准高质量发展，探索近零能耗建筑全产业链服务供给创新发展的新技术、新模式、新业态，全国工程勘察设计大师、中国建筑科学研究院环能院徐伟院长在第十八届国际绿色建筑与建筑节能大会进行了“规模化推广近零能耗建筑，助力双碳目标实现”的专题演讲。

## · 研究基础和背景

我国的建筑运行能耗占总能耗的 22%，碳排放大概占比 20%。相比发达国家，建筑能耗及碳排放占比仍然会持续增加，目前相对于发达国家偏低，但未来随着城镇化的发展和生活水平的提高，碳排强度会进一步提升。一方面，我国面临的建筑领域碳排放仍要增加。另一方面，我国针对碳排放也采取了一系列的政策和措施。

回顾我国碳中和的中长期发展目标大致分了三个阶段，从 2009 年哥本哈根气候变化大会，我国家提出了到 2020 年单位 GDP CO<sub>2</sub> 排放量比 2005 年下降 40% ~ 50%；到 2015 年，在巴黎气候变化大会，我国又提出到 2030 年 CO<sub>2</sub> 排放量比 2005 年

降低 60% ~ 65%；再到 2020 年，我国政府庄严承诺，到 2030 年前实现碳达峰，2060 年实现碳中和。

在这样一个目标发展过程中，通过近十年来对我国建筑能耗和碳排放中长期发展进行分析建模，开展建筑能耗达峰时点、峰值排放、政策评估等一系列的研究，这其中包括，零能耗建筑推广对我国建筑中长期建筑能耗的影响研究、近零能耗建筑激励政策中长期影响研究、近零能耗建筑对城市建筑碳达峰碳中和的贡献度研究和 30·60 双碳目标与实施路径研究。这些研究既有相互关联性，也有历史继承性，通过不同的技术组合、不同的技术路径研究建筑能耗的达峰时间和峰值的碳排放量。

## · 模型构建

通过研究背景找出与建筑能耗、建筑节能紧密四个因素，主要包括：人口与城镇化率、建筑面积、建筑用能强度、建筑用能结构。

因素一：人口和城镇化率，根据第七次人口普查，我国人口已经达到了 14 亿，随后随着人口老龄化和出生率的下降，未来到 2030 年后人口数量逐渐降低；根据城镇化线型增长规律，预计我国未来城镇化率达到发达国家水平；根据家庭人口规模在最近的两次人口普查中发生的变化，家庭人口从 3.1 减少至 2.6 万人，人口分布的“马太效应”会越来越

越强。

因素二：建筑面积，对于未来建筑面积规模的判断，各研究机构的结果存在较大差异，但整体都认为我国建筑面积总体将在未来较长一段时（2030 年 ~ 2035 年）间内保持增长态势；建筑面积根据建设规模的不同，截至 2060 年可能存在 850 亿 m<sup>2</sup>、800 亿 m<sup>2</sup>、750 亿 m<sup>2</sup> 三种存量规模，根据不同发展趋势分解居住建筑和公共建筑的预测情景。

因素三：建筑用能强度，城镇居住建筑能耗强度的增长主要是由于生活热水、空调、家电等用能需求的增长；对于公共建筑，2001 年 ~ 2020 年我国公共建筑能耗强度从 17.2kgce/m<sup>2</sup> 上升到 24.7kgce/m<sup>2</sup>，呈现逐年上升趋势；农村商品能耗强度快速增长，2020 年相比 2001 年上涨了一倍，主要是因为生物质能总能耗比例下降。

因素四：建筑能源结构，我国以电、燃气、燃煤和液化石油气为主，燃煤主要集中在农村和北方集中供暖，燃气主要集中在城市炊事、生活热水及公共建筑的设备用能；基础情景设定建筑部门电力消费比重逐渐提升，但不会出现较大的能源结构调整。

根据上述四大因素及碳排放因子等基础数据，建立基于 LEAP 框架的分析模型。在 850 亿 m<sup>2</sup>、800 亿 m<sup>2</sup>、750 亿 m<sup>2</sup> 三种建筑面积存量模型下，我国建筑部门运行碳排放 BAU 情景下于 2040 年左右达到峰值，峰

值分别在 29.61 亿 tCO<sub>2</sub>、29.46 亿 tCO<sub>2</sub> 和 28.73 亿 tCO<sub>2</sub>。到 2060 年，三种面积情景还将排放 24.94 亿 tCO<sub>2</sub>、24.05 亿 tCO<sub>2</sub> 和 22.77 亿 tCO<sub>2</sub>。三种面积存量的碳达峰时间在 2035 年前一致，面积存量的差别主要在 2035 年后，且居住建筑中主要以炊事、生活热水和家电，以户均值为强度增长，与面积相关性较低。在基础情景下，碳排放可预测建筑部门直接排放和热力排放已进入平台期，建筑部门的碳排放增长主要因素为用电量加大导致的间接电排放的持续增长。

#### · 技术路径比对

对于国务院、中共中央办公厅、国家能源局的《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》、《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》、《关于报送整县（市、区）屋顶分布式光伏开发试点方案的通知》、《2030 年前碳达峰行动方案》、《关于推动城乡建设绿色发展的意见》等各项文件均提出了城乡建设领域实现双碳目标的重点任务，提升建筑能效、深化可再生能源应用和提升建筑电气化率。任务内容包括：持续提升建筑节能标准，大力推广超低能耗、近零能耗建筑，发展零碳建筑；大力推动可再生能源应用，鼓励智能光伏与绿色建筑融合创新发展；加快推动建筑用能电气化，提高建筑终端电气化水平。

建筑双碳目标实施路径的研究基于我国建筑用能与碳排放特点，根据国家双碳目标政策方向、低碳 / 零碳建筑技术发展现状与

潜力，提出了节能强规提升优先、建筑光伏应用优先、清洁电网依赖优先的三条技术路径。三种路径力度不同，优先次序不一样，占比不同对碳达峰碳中和产生影响不同，这些技术路径再分解看。

技术路径一：以“建筑提效”为核心的节能强规提升优先路径，推广超低、近零、零能耗建筑是建筑行业应对气候变化，是助力双碳目标最有效的方式，也是自碳中和目标提出后，中央政府多次发文提出城乡建设领域要规模化发展超低、近零能耗建筑，随着城镇化和生活水平的提高，产业结构的调整，发展超低、近零能耗建筑也将成为我国的主流建筑，为在十四五期间规模化、强制性的推广超低能耗建筑打下了坚实的基础。

技术路径二：以“建筑表面光伏发电”为核心的建筑光伏应用优先路径，通俗点讲，是屋顶光伏或者是立面光伏，或是光储之柔，建筑本身耗能的同时还可以产能。假设城市建筑为平均 10 层，农村居住建筑平均 3 层，城市屋顶面积 50% 可用于安装光伏，农村屋顶满铺光伏，粗略估算城市可安装光伏 450GW，农村可安装 350G。

技术路径三：以“能源全域电气化”为核心的清洁电网依赖优先路径，根据 2030 年可再生能源发电量占比超过 50% 的目标，电网清洁化率将快速提升，预计 2030 年电网因子将降至 0.4kgCO<sub>2</sub>/kWh 以下；至 2060 年，结合 CCUS 技术，电力部门将实现净零排放，通过建筑全域电气化结合电网清洁化成为实现建筑

碳中和的一种选择路径。

技术路径一和路径二均以建筑节能工作为主导，其区别在于提升建筑能效与优化建筑能源结构之间的优先级；技术路径三则仅通过建筑电气化与清洁电网实现建筑部门的深度脱碳。在三种建筑面积存量下，技术路径一节能强规提升优先最早达峰。从累计节碳量分析，在技术路径一清洁电网依赖优先下，虽然能降低碳排放，但建筑物能耗需求与基准情景基本一致，2021-2060 可较 BAU 累计减少 285.9 亿吨 CO<sub>2</sub> 排放；在技术路径二建筑光伏应用优先下，可降低建筑年能耗 28%，2021 年 ~ 2060 年可较 BAU 累计减少 90.7 亿 tce，累计减少 334.8 亿吨 CO<sub>2</sub> 排放；在技术路径一节能强标提升优先下，可降低建筑年能耗 47%，2021 年 ~ 2060 年可较 BAU 累计减少 190.4 亿 tce，累计减少 459.1 亿吨 CO<sub>2</sub> 排放。

结合上述累计节碳量分析，技术路径一节能强规提升优先较技术路径二累计减少 124.3 亿 tCO<sub>2</sub>，较技术路径三累计减少碳排放 173.2 亿 tCO<sub>2</sub>，约为中国建筑领域未来碳排放剩余预算的 30%~40%。综合当前经济和社会发展，提出两种实施路径与控制目标以节能强规提升优先路径为工作重点的政策加速情景，就是叠加政策影响在 2027 年提前达峰；综合考虑经济、政策难度与技术推广潜在障碍，对技术的推广程度放缓的达峰控制情景，就是在 2030 年达峰。

本刊编辑 崔艳梅

## 关于印发《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》的通知

财资环〔2022〕53号

各省、自治区、直辖市、计划单列市财政厅（局），新疆生产建设兵团财政局，财政部各地监管局：

为贯彻落实党中央、国务院关于推进碳达峰碳中和的重大决策部署，充分发挥财政职能作用，推动如期实现碳达峰碳中和目标，现将《财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见》印发给你们，请遵照执行。

财政部

2022年5月25日

### 财政支持做好碳达峰碳中和工作的意见（节选）

为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和重大战略决策，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》和《2030年前碳达峰行动方案》（国发〔2021〕23号）有关工作部署，现就财政支持做好碳达峰碳中和工作提出如下意见。

#### 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，全面贯彻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，按照党中央、国务院决策部署，坚持稳中求进工作总基调，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，推动高质量发展，坚持系统观念，把碳达峰碳中和工作纳入生态文明建设整体布局和社会发展全局。坚持降碳、减污、扩绿、增长协同推进，积极构建有利于促进资源高效利用和绿色低碳发展的财税政策体系，推动有为政府和有效市场更好结合，支持如期实现碳达峰碳中和目标。

##### （二）工作原则。

立足当前，着眼长远。围绕如期实现碳达峰碳中和目标，加强财政支持政策与国家“十四五”规划纲要衔接，抓住“十四五”碳达峰工作的关键期、窗口期，落实积极的财政政策要提升效能，更加注重精准、可持续的要求，合理规划财政支持碳达峰碳中和政策体系。

因地制宜，统筹推进。各地财政部门统筹考虑当地工作基础和实际，稳妥有序推进工作，分类施策，制定和实施既符合自身实际又满足总体要求的财政支持措施。加强财政资源统筹，常态化实施财政资金直达机制。推动资金、税收、政府采购等政策协同发力，提升财政政策效能。

结果导向，奖优罚劣。强化预算约束和绩效管理，中央财政对推进相关工作成效突出的地区给予奖励支持；对推进相关工作不积极或成效不明显地区适当扣减相关转移支付资金，形成激励约束机制。

加强交流，内外畅通。坚持共同但有区别的责

任原则、公平原则和各自能力原则，强化多边、双边国际财经对话交流合作，统筹国内国际资源，推广国内外先进绿色低碳技术和经验，深度参与全球气候治理，积极争取国际资源支持。

##### （三）主要目标。

到2025年，财政政策工具不断丰富，有利于绿色低碳发展的财税政策框架初步建立，有力支持各地区各行业加快绿色低碳转型。2030年前，有利于绿色低碳发展的财税政策体系基本形成，促进绿色低碳发展的长效机制逐步建立，推动碳达峰目标顺利实现。2060年前，财政支持绿色低碳发展政策体系成熟健全，推动碳中和目标顺利实现。

#### 二、支持重点方向和领域

##### （一）支持构建清洁低碳安全高效的能源体系。

有序减量替代，推进煤炭消费转型升级。优化清洁能源支持政策，大力支持可再生能源高比例应用，推动构建新能源占比逐渐提高的新型电力系统。支持光伏、风电、生物质能等可再生能源，以及出力平稳的新能源替代化石能源。完善支持政策，激励非常规天然气开采增产上量。鼓励有条件的地区先行先试，因地制宜发展新型储能、抽水蓄能等，加快形成以储能和调峰能力为基础支撑的电力发展机制。加强对重点行业、重点设备的节能监察，组织开展能源计量审查。

##### （二）支持重点行业领域绿色低碳转型。

支持工业部门向高端化智能化绿色化先进制造发展。深化城乡交通运输一体化示范县创建，提升城乡交通运输服务均等化水平。支持优化调整运输结构。大力支持发展新能源汽车，完善充换电基础设施支持政策，稳妥推动燃料电池汽车示范应用工作。推动减污降碳协同增效，持续开展燃煤锅炉、工业炉窑综合治理，扩大北方地区冬季清洁取暖支持范围，鼓励因地制宜采用清洁能源供暖供热。支持北方采暖地区开展既有城镇居住建筑节能改造和农房节能改造，促进城乡建设领域实现碳达峰碳中和。持续推进工业、交通、建筑、农业农村等领域电能替代，

实施“以电代煤”、“以电代油”。

(三)支持绿色低碳科技创新和基础能力建设。加强对低碳零碳负碳、节能环保等绿色技术研发和推广应用的支持。鼓励有条件的单位、企业和地区开展低碳零碳负碳和储能新材料、新技术、新装备攻关,以及产业化、规模化应用,建立完善绿色低碳技术评估、交易体系和科技创新服务平台。强化碳达峰碳中和基础理论、基础方法、技术标准、实现路径研究。加强生态系统碳汇基础支撑。支持适应气候变化能力建设,提高防灾减灾抗灾救灾能力。

(四)支持绿色低碳生活和资源节约利用。发展循环经济,推动资源综合利用,加强城乡垃圾和农村废弃物资源利用。完善废旧物资循环利用体系,促进再生资源回收利用提质增效。建立健全汽车、电器电子产品的生产者责任延伸制度,促进再生资源回收行业健康发展。推动农作物秸秆和畜禽粪污资源化利用,推广地膜回收利用。支持“无废城市”建设,形成一批可复制可推广的经验模式。

(五)支持碳汇能力巩固提升。(略)

(六)支持完善绿色低碳市场体系。充分发挥碳排放权、用能权、排污权等交易市场作用,引导产业布局优化。健全碳排放统计核算和监管体系,完善相关标准体系,加强碳排放监测和计量体系建设。支持全国碳排放权交易的统一监督管理,完善全国碳排放权交易市场配额分配管理,逐步扩大交易行业范围,丰富交易品种和交易方式,适时引入有偿分配。全面实施排污许可制度,完善排污权有偿使用和交易制度,积极培育交易市场。健全企业、金融机构等碳排放报告和信息披露制度。

### 三、财政政策措施

(一)强化财政资金支持引导作用。加强财政资源统筹,优化财政支出结构,加大对碳达峰碳中和工作的支持力度。财政资金安排紧紧围绕党中央、国务院关于碳达峰碳中和有关工作部署,资金分配突出重点,强化对重点行业领域的保障力度,提高资金政策的精准性。中央财政在分配现有中央对地方相关转移支付资金时,对推动相关工作成效突出、发挥示范引领作用的地区给予奖励支持。

(二)健全市场化多元化投入机制。研究设立国家低碳转型基金,支持传统产业和资源富集地区绿色转型。充分发挥包括国家绿色发展基金在内的现有政府投资基金的引导作用。鼓励社会资本以市场化方式设立绿色低碳产业投资基金。将符合条件的绿色低碳发展项目纳入政府债券支持范围。采取多种方式支持生态环境领域政府和社会资本合作(PPP)项目,规范地方政府对PPP项目履约行为。

(三)发挥税收政策激励约束作用。落实环境保护税、资源税、消费税、车船税、车辆购置税、增值税、企业所得税等税收政策;落实节能节水、资源综合利用等税收优惠政策,研究支持碳减排相关税收政策,更好地发挥税收对市场主体绿色低碳发展的促进作用。按照加快推进绿色低碳发展和持续改善环境质量的要求,优化关税结构。

(四)完善政府绿色采购政策。建立健全绿色低碳产品的政府采购需求标准体系,分类制定绿色建筑和绿色建材政府采购需求标准。大力推广应用装配式建筑和绿色建材,促进建筑品质提升。加大新能源、清洁能源公务用车和用船政府采购力度,机要通信等公务用车除特殊地理环境等因素外原则上采购新能源汽车,优先采购提供新能源汽车的租赁服务,公务用船优先采购新能源、清洁能源船舶。强化采购人主体责任,在政府采购文件中明确绿色低碳要求,加大绿色低碳产品采购力度。

(五)加强应对气候变化国际合作。立足我国发展中国家定位,稳定现有多边和双边气候融资渠道,继续争取国际金融组织和外国政府对我国的技术、资金、项目援助。积极参与联合国气候资金谈判,推动《联合国气候变化框架公约》及其《巴黎协定》全面有效实施,打造“一带一路”绿色化、低碳化品牌,协同推进全球气候和环境治理。密切跟踪并积极参与国际可持续披露准则制定。

### 四、保障措施

(一)强化责任落实。(略)

(二)加强协调配合。(略)

(三)严格预算管理。(略)

(四)加大学习宣传力度。(略)

(上接 34 页)

(二十六)加强组织领导。

(二十七)加强宣传教育。

(二十八)加强国际合作。积极参与全球气候和环境治理,广泛开展应对气候变化、保护生物多样性、海洋环境治理等生态环保国际合作,与共建“一

带一路”国家开展绿色发展政策沟通,加强减污降碳政策、标准联通,在绿色低碳技术研发应用、绿色基础设施建设、绿色金融、气候投融资等领域开展务实合作。加强减污降碳国际经验交流,为实现 2030 年全球可持续发展目标贡献中国智慧、中国方案。

(二十九)加强考核督察。

# 国务院办公厅转发国家发展改革委、国家能源局关于促进新时代新能源高质量发展实施方案的通知

国办函〔2022〕39号

各省、自治区、直辖市人民政府，国务院各部委、各直属机构：

国家发展改革委、国家能源局《关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案》已经国务院同意，现转发给你们，请认真贯彻落实。

国务院办公厅

2022年5月14日

## 关于促进新时代新能源高质量发展的实施方案（节选）

近年来，我国以风电、光伏发电为代表的新能源发展成效显著，装机规模稳居全球首位，发电量占比稳步提升，成本快速下降，已基本进入平价无补贴发展的新阶段。同时，新能源开发利用仍存在电力系统对大规模高比例新能源接网和消纳的适应性不足、土地资源约束明显等制约因素。要实现到2030年风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上的目标，加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系，必须坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，完整、准确、全面贯彻新发展理念，统筹发展和安全，坚持先立后破、通盘谋划，更好发挥新能源在能源保供增供方面的作用，助力扎实做好碳达峰、碳中和工作。按照党中央、国务院决策部署，现就促进新时代新能源高质量发展制定如下实施方案。

### 一、创新新能源开发利用模式

（一）加快推进以沙漠、戈壁、荒漠地区为重点的大型风电光伏基地建设。（略）

（二）促进新能源开发利用与乡村振兴融合发展。鼓励地方政府加大力度支持农民利用自有建筑屋顶建设户用光伏，积极推进乡村分散式风电开发。统筹农村能源革命与农村集体经济发展，培育农村能源合作社等新型市场主体，鼓励村集体依法利用存量集体土地通过作价入股、收益共享等机制，参与新能源项目开发。鼓励金融机构为农民投资新能源项目提供创新产品和服务。

（三）推动新能源在工业和建筑领域应用。在具备条件的工业企业、工业园区，加快发展分布式光伏、分散式风电等新能源项目，支持工业绿色微电网和源网荷储一体化项目建设，推进多能互补高效利用，开展新能源电力直供电试点，提高终端用能的新能源电力比重。推动太阳能与建筑融合发展。完善光伏建筑一体化应用技术体系，壮大光伏电力生产型消费者群体。到2025年，公共机构新

建建筑屋顶光伏覆盖率力争达到50%；鼓励公共机构既有建筑等安装光伏或太阳能热利用设施。

（四）引导全社会消费新能源等绿色电力。开展绿色电力交易试点，推动绿色电力在交易组织、电网调度、价格形成机制等方面体现优先地位，为市场主体提供功能健全、友好易用的绿色电力交易服务。建立完善新能源绿色消费认证、标识体系和公示制度。完善绿色电力证书制度，推广绿色电力证书交易，加强与碳排放权交易市场的有效衔接。加大认证采信力度，引导企业利用新能源等绿色电力制造产品和提供服务。鼓励各类用户购买新能源等绿色电力制造的产品。

### 二、加快构建适应新能源占比逐渐提高的新型电力系统

（五）全面提升电力系统调节能力和灵活性。充分发挥电网企业在构建新型电力系统中的平台和枢纽作用，支持和指导电网企业积极接入和消纳新能源。完善调峰调频电源补偿机制，加大煤电机组灵活性改造、水电扩机、抽水蓄能和太阳能热发电项目建设力度，推动新型储能快速发展。研究储能成本回收机制。鼓励西部等光照条件好的地区使用太阳能热发电作为调峰电源。深入挖掘需求响应潜力，提高负荷侧对新能源的调节能力。

（六）着力提高配电网接纳分布式新能源的能力。发展分布式智能电网，推动电网企业加强有源配电网（主动配电网）规划、设计、运行方法研究，加大投资建设改造力度，提高配电网智能化水平，着力提升配电网接入分布式新能源的能力。合理确定配电网接入分布式新能源的比例要求。探索开展适应分布式新能源接入的直流配电网工程示范。

（七）稳妥推进新能源参与电力市场交易。支持新能源项目与用户开展直接交易，鼓励签订长期购售电协议，电网企业应采取有效措施确保协议执行。对国家已有明确价格政策的新能源项目，电网

企业应按照有关法规严格落实全额保障性收购政策,全生命周期合理小时数外电量可以参与电力市场交易。在电力现货市场试点地区,鼓励新能源项目以差价合约形式参与电力市场交易。

(八)完善可再生能源电力消纳责任权重制度。科学合理设定各省(自治区、直辖市)中长期可再生能源电力消纳责任权重,做好可再生能源电力消纳责任权重制度与新增可再生能源不纳入能源消费总量控制的衔接。建立完善可再生能源电力消纳责任考评指标体系和奖惩机制。

### 三、深化新能源领域“放管服”改革(节选)

(九)持续提高项目审批效率。完善新能源项目投资核准(备案)制度,加强事前事中事后全链条全领域监管。依托全国投资项目在线审批监管平台,建立新能源项目集中审批绿色通道,制定项目准入负面清单和企业承诺事项清单,推进实施企业投资项目承诺制,不得以任何名义增加新能源企业的不合理投资成本。推动风电项目由核准制调整为备案制。以新能源为主体的多能互补、源网荷储、微电网等综合能源项目,可作为整体统一办理核准(备案)手续。

(十)优化新能源项目接网流程。地方能源主管部门、电网企业要结合新能源项目发展需要,及时优化电网规划建设方案和投资计划安排。推动电网企业建立新能源项目接网一站式服务平台,提供新能源项目可用接入点、可接入容量、技术规范等信息,实现新能源项目接网全流程线上办理,大幅压缩接网时间。

(十一)健全新能源相关公共服务体系。开展全国新能源资源勘查与评价,建立可开发资源数据库,形成县级以上行政区域内各类新能源资源详查评价成果和图谱并向社会发布。加快推动新能源装备标准和检测认证等公共服务体系建设,支持建设国家新能源装备质量公告平台和关键产品公共检测平台。

### 四、支持引导新能源产业健康有序发展

(十二)推进科技创新与产业升级。建立产学研一体化平台,建设国家级新能源实验室和研发平台,加大基础理论研究投入,超前布局前沿技术和颠覆性技术。推行“揭榜挂帅”、“赛马”等机制,推动企业、科研院所、高校等针对新能源占比逐渐提高的电力系统安全稳定可靠等问题开展系统性研究,提出解决方案。加大对产业智能制造和数字化升级的支持力度。编制实施智能光伏产业发展行动计划,提升产品全周期智能化、信息化水平。推进高效太阳能电池、先进风电设备等关键技术突破,加快推动关键基础材料、设备、零部件等技术升级。推动退役风电机组、光伏组件回收处理技术和相关

新产业链发展,实现全生命周期闭环式绿色发展。

(十三)保障产业链供应链安全。(略)

(十四)提高新能源产业国际化水平。加强新能源产业知识产权国际合作,推动计量、检测和试验研究能力达到世界先进水平,积极参与风电、光伏、海洋能、氢能、储能、智慧能源及电动汽车等领域国际标准、合格评定程序的制定和修订,提高计量和合格评定结果互认水平,提升我国标准和检测认证机构的国际认可度和影响力。

### 五、保障新能源发展合理空间需求(节选)

(十五)完善新能源项目用地管制规则。建立自然资源、生态环境、能源主管部门等相关单位的协同机制。在符合国土空间规划和用途管制要求基础上,充分利用沙漠、戈壁、荒漠等未利用地,布局建设大型风光电基地。

(十六)提高国土空间资源利用效率。新建新能源项目要严格执行土地使用标准,不得突破标准控制,鼓励推广应用节地技术和节地模式,用地节约集约化程度必须达到国内同行业先进水平。

### 六、充分发挥新能源的生态环境保护效益

(十七)大力推广生态修复类新能源项目。(略)

(十八)助力农村人居环境整治提升。因地制宜推动生物质能、地热能、太阳能供暖,在保障能源安全稳定供应基础上有序开展新能源替代散煤行动,促进农村清洁取暖、农业清洁生产。深入推进秸秆综合利用和畜禽粪污资源化利用。制定符合生物质燃烧特性的专用设备技术标准,推广利用生物质成型燃料。

### 七、完善支持新能源发展的财政金融政策(节选)

(十九)优化财政资金使用。加强央地联动,按照以收定支原则用好可再生能源发展基金。全面落实税务部门征收可再生能源发展基金的有关要求,确保应收尽收。利用好现有资金渠道支持新能源发展。研究将新能源领域符合条件的公益性建设项目纳入地方政府债券支持范围。

(二十)完善金融相关支持措施。在依法合规、风险可控、商业可持续前提下,金融机构可以自主确定是否对已纳入可再生能源发电补贴清单的项目发放补贴确权贷款,金融机构和企业可自主协商确定贷款金额、期限、利率、还款计划等。充分发挥电网企业融资优势,积极拓展资金来源,推动可再生能源发电延续补贴资金年度收支平衡。

(二十一)丰富绿色金融产品服务。合理界定新能源绿色金融项目的信用评级标准和评估准入条件。加大绿色债券、绿色信贷对新能源项目的支持力度。支持将符合条件的新能源项目温室气体核证减排量纳入全国碳排放权交易市场进行配额清缴抵销。

# 国家发展改革委 国家能源局 财政部 自然资源部 生态环境部 住房和城乡建设部 农业农村部 中国气象局 国家林业和草原局 关于印发“十四五”可再生能源发展规划的通知

发改能源〔2021〕1445号

各省、自治区、直辖市、新疆生产建设兵团发展改革委、能源局、财政厅、自然资源厅、生态环境厅、住房和城乡建设厅、农业农村厅、气象局、林业和草原局，国家能源局各派出机构，有关中央企业：

为深入贯彻“四个革命、一个合作”能源安全新战略，落实碳达峰、碳中和目标，推动可再生能源产业高质量发展，根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》和《“十四五”现代能源体系规划》有关要求，我们组织编制了《“十四五”可再生能源发展规划》。现印发给你们，请遵照执行。

国家发展改革委 国家能源局 财政部 自然资源部 生态环境部  
住房和城乡建设部 农业农村部 中国气象局 国家林业和草原局  
2021年10月21日

## “十四五”可再生能源发展规划（摘要） (2022年6月1日发布)

### 一、发展基础和发展形势

#### （一）可再生能源发展取得显著成就。

“十三五”期间，截至2020年底，我国可再生能源发电装机达到9.34亿千瓦，占发电总装机的42.5%，风电、光伏发电、水、电、生物质发电装机分别达到2.8、2.5、3.4、0.3亿千瓦，连续多年稳居世界第一。

2020年我国可再生能源利用总量达6.8亿吨标准煤，占一次能源消费总量的13.6%。其中，可再生能源发电量2.2万亿千瓦时，占全部发电量的29.1%，主要流域水电、风电、光伏发电利用率分别达到97%、97%、98%；可再生能源非电利用量约5000万吨标准煤。

#### （二）可再生能源发展面临新形势。

“十四五”及今后一段时期是世界能源转型的关键期，按照2035年生态环境根本好转、美丽中国建设目标基本实现的远景目标，发展可再生能源是我国生态文明建设、可持续发展的客观要求。我国承诺二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值、努力争取2060年前实现碳中和，明确2030年风电和太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上。

### 二、指导方针和发展目标

#### （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，全面贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，完整、准确、全面贯彻新发展理念，深入实施能源安全新战略，坚持稳中求进工作总基调，锚定碳达峰、碳中和目标，以高质量跃升发展为主题，以提质增效

为主线，以改革创新为动力，坚持可再生能源优先发展、大力发展不动摇，以区域布局优化发展、以重大基地支撑发展、以示范工程引领发展、以行动计划落实发展，实施可再生能源替代行动，提高可再生能源消纳和存储能力，巩固提升可再生能源产业核心竞争力，加快构建新型电力系统，促进可再生能源大规模、高比例、市场化、高质量发展，有效支撑清洁低碳、安全高效的能源体系建设。

#### （二）基本原则。

坚持创新驱动 坚持多元迭代  
坚持系统观念 坚持市场主导  
坚持生态优先 坚持协同融合。

#### （三）发展目标。

##### 1. 2035年远景目标

展望2035年，我国将基本实现社会主义现代化，碳排放达峰后稳中有降，在2030年非化石能源消费占比达到25%左右和风电、太阳能发电总装机容量达到12亿千瓦以上的基础上，上述指标均进一步提高。可再生能源加速替代化石能源，新型电力系统取得实质性成效，可再生能源产业竞争力进一步提升，基本建成清洁低碳、安全高效的能源体系。

##### 2. “十四五”可再生能源发展主要目标

锚定碳达峰、碳中和与2035年远景目标，按照2025年非化石能源消费占比20%左右任务要求，大力推动可再生能源发电开发利用，积极扩大可再生能源非电利用规模，“十四五”主要发展目标是：

——可再生能源总量目标。2025年，可再生能源消费总量达到10亿吨标准煤左右。“十四五”期间，

可再生能源在一次能源消费增量中占比超过 50%。

——可再生能源发电目标。2025 年，可再生能源年发电量达到 3.3 万亿千瓦时左右。“十四五”期间，可再生能源发电量增量在全社会用电量增量中的占比超过 50%，风电和太阳能发电量实现翻倍。

——可再生能源电力消纳目标。2025 年，全国可再生能源电力总量消纳责任权重达到 33% 左右，可再生能源电力非水电消纳责任权重达到 18% 左右，可再生能源利用率保持在合理水平。

——可再生能源非电利用目标。2025 年，地热能供暖、生物质供热、生物质燃料、太阳能热利用等非电利用规模达到 6000 万吨标准煤以上。

### 三、优化发展方式，大规模开发可再生能源

坚持生态优先、因地制宜、多元融合发展，在“三北”地区优化推动风电和光伏发电基地化规模化开发，在西南地区统筹推进水风光综合开发，在中东南部地区重点推动风电和光伏发电就地就近开发，在东部沿海地区积极推进海上风电集群化开发，稳步推动生物质能多元化开发，积极推动地热能规模化开发，稳妥推进海洋能示范化开发。

#### （一）大力推进风电和光伏发电基地化开发。

在风能和太阳能资源禀赋较好、建设条件优越、具备持续规模化开发条件的地区，着力提升新能源就地消纳和外送能力，重点建设新疆、黄河上游、河西走廊、黄河几字弯、冀北、松辽、黄河下游新能源基地和海上风电基地集群。

统筹推进陆上风电和光伏发电基地建设。发挥区域市场优势，主要依托省级和区域电网消纳能力提升，创新开发利用方式，推进松辽、冀北、黄河下游等以就地消纳为主的大型风电和光伏发电基地建设。利用省内省外两个市场，依托既有和新增跨省跨区输电通道、火电“点对网”外送通道，推动光伏治沙、可再生能源制氢和多能互补开发，重点建设新疆、黄河上游、河西走廊、黄河几字弯等新能源基地。

#### （二）积极推进风电和光伏发电分布式开发。

积极推动风电分布式就近开发。在工业园区、经济开发区、油气矿区及周边地区，积极推进风电分散式开发。重点推广应用低风速风电技术，合理利用荒山丘陵、沿海滩涂等土地资源，在符合区域生态环境保护要求的前提下，因地制宜推进中东南部风电就地就近开发。创新风电投资建设模式和土地利用机制，实施“千乡万村驭风行动”，大力推进乡村风电开发。积极推进资源优质地区老旧风电机组升级改造，提升风能利用效率。

大力推动光伏发电多场景融合开发。全面推进

分布式光伏开发，重点推进工业园区、经济开发区、公共建筑等屋顶光伏开发利用行动，在新建厂房和公共建筑积极推进光伏建筑一体化开发，实施“千家万户沐光行动”，规范有序推进整县（区）屋顶分布式光伏开发，建设光伏新村。积极推进“光伏+”综合利用行动，鼓励农（牧）光互补、渔光互补等复合开发模式，推动光伏发电与 5G 基站、大数据中心等信息产业融合发展，推动光伏在新能源汽车充电桩、铁路沿线设施、高速公路服务区及沿线等交通领域应用，因地制宜开展光伏廊道示范。推进光伏电站开发建设，优先利用采煤沉陷区、矿山排土场等工矿废弃土地及油气矿区建设光伏电站。积极推动老旧光伏电站技改升级行动，提升发电效益。

#### （三）统筹推进水风光综合基地一体化开发。

科学有序推进大型水电基地建设。推进前期工作，实施雅鲁藏布江下游水电开发。做好金沙江中上游等主要河流战略性工程和控 制性水库的勘测设计工作，按照生态优先、统筹考虑、适度开发、确保底线原则，进一步优化工程建设方案。积极推动金沙江岗托、奔子栏、龙盘，雅砻江牙根二级，大渡河丹巴等水电站前期工作。推动工程建设，实现金沙江乌东德、白鹤滩，雅砻江两河口等水电站按期投产；推进金沙江拉哇、大渡河双江口等水电站建设；重点开工建设金沙江旭龙、雅砻江孟底沟、黄河羊曲等水电站。落实网源衔接，推进白鹤滩送电江苏、浙江输电通道建成投产，推进金沙江上游送电湖北等水电基地外送输电通道开工建设。加强四川等地的电网网架结构，提升丰水期通道输电能力，保障水电丰水期送出。

积极推进大型水电站优化升级，发挥水电调节潜力。充分发挥水电既有调峰潜力，在保护生态的前提下，进一步提升水电灵活调节能力，支撑风电和光伏发电大规模开发。在中东部及西部地区，适应新能源的大规模发展，对已建、在建水电机组进行增容改造。科学推进金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、红水河、黄河上游等主要水电基地扩机。

做好生态环境保护与移民安置。继续做好水电规划环境影响评价和项目环境影响评价，加强保护措施效果跟踪监测，推进环境影响跟踪评价，持续改进和提升生态环境保护措施及其运行效果。建立健全移民、地方、企业共享水电开发利益的长效机制，充分发挥水电开发的经济效益和社会效益，推动库区发展、移民收益与电站效益结合，增强库区发展动力，构筑水电开发共建、共享、共赢的新局面。

依托西南水电基地统筹推进水风光综合基地开发建设。做好主要流域周边风能、太阳能资源勘查，

依托已建成水电、“十四五”期间新投产水电调节能力和水电外送通道，推进“十四五”期间水风光综合基地统筹开发。针对前期和规划水电项目，按照建设水风光综合基地为导向，统筹进行水风光综合开发前期工作。统筹水电和新能源开发时序，做好风电和光伏发电开发及电网接入，明确风电和光伏发电消纳市场，完善水风光综合基地的资源开发、市场交易和调度运行机制，推进川滇黔桂、藏东南水风光综合基地开发建设。

#### （四）稳步推进生物质能多元化开发。

稳步发展生物质发电。优化生物质发电开发布局，稳步发展城镇生活垃圾焚烧发电，有序发展农林生物质发电和沼气发电，探索生物质发电与碳捕集、利用与封存相结合的发展潜力和示范研究。有序发展生物质热电联产，因地制宜加快生物质发电向热电联产转型升级，为具备资源条件的县城、人口集中的乡村提供民用供暖，为中小工业园区集中供热。开展生物质发电市场化示范，完善区域垃圾焚烧处理收费制度，还原生物质发电环境价值。

积极发展生物质能清洁供暖。合理发展以农林生物质、生物质成型燃料等为主的生物质锅炉供暖，鼓励采用大中型锅炉，在城镇等人口聚集区进行集中供暖，开展农林生物质供暖供热示范。在大气污染防治非重点地区乡村，可按照就地取材原则，因地制宜推广户用成型燃料炉具供暖。

#### （五）积极推进地热能规模化开发。

积极推进中深层地热能供暖制冷。结合资源情况和市场需求，在北方地区大力推进中深层地热能供暖，因地制宜选择“取热不耗水、完全同层回灌”或“密封式、井下换热”技术，最大程度减少对地下土壤、岩层和水体的干扰。探索新型管理技术和市场运营模式，鼓励采取地热区块整体开发方式，推广“地热能+”多能互补的供暖形式。推动中深层地热能供暖集中规划、统一开发，鼓励开展地热能与旅游业、种养殖业及工业等产业的综合利用。加强中深层地热能制冷研究，积极探索东南沿海中深层地热能制冷技术应用。

全面推进浅层地热能开发。重点在具有供暖制冷双需求的华北平原、长江经济带等地区，优先发展土壤源热泵，积极发展再生水源热泵，适度发展地表水源热泵，扩大浅层地热能开发利用规模。满足南方地区不断增长的供暖需求，大力推进云贵等高寒地区地热能开发利用。

有序推动地热能发电发展。在西藏、青海、四川等地区推动高温地热能发电发展，支持干热岩与增强型地热能发电等先进技术示范。在东中部等中低温

地热资源富集地区，因地制宜推进中低温地热能发电。支持地热能发电与其他可再生能源一体化发展。

#### 四、促进存储消纳，高比例利用可再生能源

加快建设可再生能源存储调节设施，强化多元化智能化电网基础设施支撑，提升新型电力系统对高比例可再生能源的适应能力。加强可再生能源发电终端直接利用，扩大可再生能源多元化非电利用规模，推动可再生能源规模化制氢利用，促进乡村可再生能源综合利用，多措并举提升可再生能源利用水平。

##### （一）提升可再生能源存储能力。

有序推进长时储热型太阳能热发电发展。推进关键核心技术攻关，推动太阳能热发电成本明显下降。在青海、甘肃、新疆、内蒙古、吉林等资源优势区域，发挥太阳能热发电储能调节能力和系统支撑能力，建设长时储热型太阳能热发电项目，推动太阳能热发电与风电、光伏发电基地一体化建设运行，提升新能源发电的稳定性可靠性。

推动其他新型储能规模化应用。明确新型储能独立市场主体地位，完善储能参与各类电力市场的交易机制和技术标准，发挥储能调峰调频、应急备用、容量支撑等多元功能，促进储能在电源侧、电网侧和用户侧多场景应用。创新储能发展商业模式，明确储能价格形成机制，鼓励储能为可再生能源发电和电力用户提供各类调节服务。创新协同运行模式，有序推动储能与可再生能源协同发展，提升可再生能源消纳利用水平。

##### （二）促进可再生能源就地就近消纳。

加强电网基础设施建设及智能化升级，提升电网对可再生能源的支撑保障能力。加强可再生能源富集地区电网配套工程及主网架建设，提升关键局部断面送出能力，支撑可再生能源在区域内统筹消纳。推动配电网扩容改造和智能化升级，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可再生能源并网和多元负荷需要的智能配电网。

提升可再生能源就地消纳能力。积极推进煤电灵活性改造，推动自备电厂主动参与调峰，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。

##### （三）推动可再生能源外送消纳。

统筹配套一批风电和光伏发电基地，充分提升输电通道中新能源电量占比，扩大跨省跨区可再生

能源消纳规模，持续提升存量特高压通道可再生能源电量输送比例。

提升基础设施利用率，推动既有火电“点对网”专用输电通道外送新能源。推动传统单一煤电基地向风光火（储）一体化综合能源基地转型。

优化新建通道布局，推动可再生能源跨省跨区消纳。

（四）加强可再生能源多元直接利用。

推动可再生能源发电在终端直接应用。

扩大可再生能源非电直接利用规模。做好区域可再生能源供暖与国土空间规划、城市规划等的衔接，在北方清洁供暖中因地制宜优先利用可再生能源供暖，在具备条件的地区开展规模化可再生能源供暖行动。在城镇新区推动可再生能源供暖与天然气、电力等其他清洁供暖方式的耦合集成，示范建设以可再生能源供暖为主的多能互补供暖体系。持续推进燃料乙醇、生物柴油等清洁液体燃料商业化应用，在科学研究动力和安全性能的基础上，扩大在重型道路交通、航空和航运中对汽油柴油的规模化替代。提高燃气、热力管网等基础设施对可再生能源应用的兼容性，加快完善相关标准，探索推动地热能集中供暖纳入城镇供热管网、生物天然气并入城乡燃气管网。

开展高比例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用。在可再生能源资源富集、体制机制创新先行先试地区等，扩大分布式能源接入和应用规模，以县域为单位统筹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）。

（五）推动可再生能源规模化制氢利用。

（六）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、田间地头、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。继续实施北方地区清洁取暖工程，因地制宜推动生物质能、地热能、太阳能、电能供暖，完善产业基础，构建县域内城乡融合的多能互补清洁供暖体系。提高农林废弃物、畜禽粪便的资源化利用率，发展生物天然气和沼气，助力农村人居环境整治提升。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。

**五、坚持创新驱动，高质量发展可再生能源**

布局前沿方向，激发创新活力，完善可再生能源创新链，加大可再生能源关键技术攻关力度，加快培育新模式新业态，提高产业链现代化水平，提升供应链弹性韧性，持续巩固提升我国可再生能源产业竞争力。

（一）加大可再生能源技术创新攻关力度。

推行“揭榜挂帅”、“赛马制”等创新机制，提升新型电力系统稳定性可靠性。改善新能源发电涉网性能，提高风能、太阳能资源预报准确度和风电、光伏发电功率预测精度，提升风电、光伏发电主动支撑能力和适应电力系统扰动的能力。加大新型电力系统关键技术研究与应用，提升系统智能化水平，创新高比例可再生能源、高比例电力电子装置的电力系统稳定理论、规划方法和运行控制技术，提升系统安全稳定运行水平。研究建立电力应急保障体系，合理配置长时新型储能，优化系统风光水火储发展结构，提高多元互济能力，提高气象灾害预警精度，提升电力可靠供应裕度和应急保障能力。

加强可再生能源前沿技术和核心技术装备攻关。

持续推进可再生能源工程技术创新及应用。以重大工程为依托，推动水电特殊地质条件地区地基处理与筑坝技术研究，突破高水头大容量水轮发电机组制造技术。重点推进深远海海域海上风电勘察、施工、输电、运维新技术研究和应用。推进光热发电工程施工技术与配套装备创新，研发光热电站集成技术。支持干热岩开发技术、高温地热发电技术的研究与应用，开展中深层地热供暖技术创新。

（二）培育可再生能源发展新模式新业态。

推动可再生能源智慧化发展。推动可再生能源与人工智能、物联网、区块链等新兴技术深度融合，发展智能化、联网化、共享化的可再生能源生产和消费新模式。推广新能源云平台应用，汇聚能源全产业链信息，推动能源领域数字经济发展。

大力发展综合能源服务。依托智能配电网、城镇燃气网、热力管网等能源网络，综合可再生能源、储能、柔性网络等先进能源技术和互联通信技术，推动分布式可再生能源高效灵活接入与生产消费一体化，建设冷热水电气一体供应的区域综合能源系统。

推动可再生能源与电动汽车融合发展。利用大数据和智能控制等新技术，将波动性可再生能源与电动汽车充放电互动匹配，实现车电互联。采用现

代信息技术与智能管理技术，整合分散的电动汽车充电设施，通过电力市场交易等促进可再生能源与电动汽车互动发展。

(三)提升可再生能源产业链供应链现代化水平。

(四)完善可再生能源创新链。

六、健全体制机制，市场化发展可再生能源

七、坚持开放融入，深化可再生能源国际合作

八、保障措施

九、规划实施

十、环境影响分析

2025年，全国可再生能源年利用量折合10亿吨标准煤，届时可再生能源年利用量相当于减少二氧化碳排放量约26亿吨，减少二氧化硫排放量约50万吨，减少氮氧化物排放约60万吨，减少烟尘排放约10万吨，年节约用水约40亿立方米，环境效益显著。

## 关于印发《减污降碳协同增效实施方案》的通知

各省、自治区、直辖市和新疆生产建设兵团生态环境厅（局）、发展改革委、工业和信息化主管部门、住房和城乡建设厅（局）、交通运输厅（局、委）、农业农村（农牧）厅（局、委）、能源局：

《减污降碳协同增效实施方案》已经碳达峰碳中和工作领导小组同意，现印发给你们，请结合实际认真贯彻落实。

生态环境部 国家发展和改革委员会 工业和信息化部 住房和城乡建设部 交通运输部 农业农村部 国家能源局

2022年6月10日

### 减污降碳协同增效实施方案（节选）

为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和决策部署，落实新发展阶段生态文明建设有关要求，协同推进减污降碳，实现一体谋划、一体部署、一体推进、一体考核，制定本实施方案。

#### 一、面临形势

党的十八大以来，我国生态文明建设和生态环境保护取得历史性成就，生态环境质量持续改善，碳排放强度显著降低。但也要看到，我国发展不平衡、不充分问题依然突出，生态环境保护形势依然严峻，结构性、根源性、趋势性压力总体上尚未根本缓解，实现美丽中国建设和碳达峰碳中和目标愿景任重道远。与发达国家基本解决环境污染问题后转入强化碳排放控制阶段不同，当前我国生态文明建设同时面临实现生态环境根本好转和碳达峰碳中和两大战略任务，生态环境多目标治理要求进一步凸显，协同推进减污降碳已成为我国新发展阶段经济社会发展全面绿色转型的必然选择。

面对生态文明建设新形势新任务新要求，基于环境污染物和碳排放高度同根同源的特征，必须立足实际，遵循减污降碳内在规律，强化源头治理、系统治理、综合治理，切实发挥好降碳行动对生态环境质量改善的源头牵引作用，充分利用现有生态环境制度体系协同促进低碳发展，创新政策措施，优化治理路线，推动减污降碳协同增效。

#### 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，

全面贯彻党的十九大和十九届历次全会精神，按照党中央、国务院决策部署，深入贯彻习近平生态文明思想，坚持稳中求进工作总基调，立足新发展阶段，完整、准确、全面贯彻新发展理念，构建新发展格局，推动高质量发展，把实现减污降碳协同增效作为促进经济社会发展全面绿色转型的总抓手，锚定美丽中国建设和碳达峰碳中和目标，科学把握污染防治和气候治理的整体性，以结构调整、布局优化为关键，以优化治理路径为重点，以政策协同、机制创新为手段，完善法规标准，强化科技支撑，全面提高环境治理综合效能，实现环境效益、气候效益、经济效益多赢。

(二)工作原则。

突出协同增效。坚持系统观念，统筹碳达峰碳中和与生态环境保护相关工作，强化目标协同、区域协同、领域协同、任务协同、政策协同、监管协同，增强生态环境政策与能源产业政策协同性，以碳达峰行动进一步深化环境治理，以环境治理助推高质量达峰。

强化源头防控。紧盯环境污染物和碳排放主要源头，突出主要领域、重点行业和关键环节，强化资源能源节约和高效利用，加快形成有利于减污降碳的产业结构、生产方式和生活方式。

优化技术路径。统筹水、气、土、固废、温室气体等领域减排要求，优化治理目标、治理工艺和技术路线，优先采用基于自然的解决方案，加强技术研发应用，强化多污染物与温室气体协同控制，

增强污染防治与碳排放治理的协调性。

注重机制创新。充分利用现有法律、法规、标准、政策体系和统计、监测、监管能力，完善管理制度、基础能力和市场机制，一体推进减污降碳，形成有效激励约束，有力支撑减污降碳目标任务落地实施。

鼓励先行先试。发挥基层积极性和创造力，创新管理方式，形成各具特色的典型做法和有效模式，加强推广应用，实现多层面、多领域减污降碳协同增效。

### （三）主要目标。

到2025年，减污降碳协同推进的工作格局基本形成；重点区域、重点领域结构优化调整和绿色低碳发展取得明显成效；形成一批可复制、可推广的典型经验；减污降碳协同度有效提升。

到2030年，减污降碳协同能力显著提升，助力实现碳达峰目标；大气污染防治重点区域碳达峰与空气质量改善协同推进取得显著成效；水、土壤、固体废物等污染防治领域协同治理水平显著提高。

## 三、加强源头防控

（四）强化生态环境分区管控。构建城市化地区、农产品主产区、重点生态功能区分类指导的减污降碳政策体系。衔接国土空间规划分区和用途管制要求，将碳达峰碳中和要求纳入“三线一单”（生态保护红线、环境质量底线、资源利用上线和生态环境准入清单）分区管控体系。

### （五）加强生态环境准入管理。

（六）推动能源绿色低碳转型。统筹能源安全和绿色低碳发展，推动能源供给体系清洁化低碳化和终端能源消费电气化。实施可再生能源替代行动，大力发展风能、太阳能、生物质能、海洋能、地热能等，因地制宜开发水电，开展小水电绿色改造，在严监管、确保绝对安全前提下有序发展核电，不断提高非化石能源消费比重。严控煤电项目，“十四五”时期严格合理控制煤炭消费增长、“十五五”时期逐步减少。重点削减散煤等非电用煤，严禁在国家政策允许的领域以外新（扩）建燃煤自备电厂。持续推进北方地区冬季清洁取暖。新改扩建工业炉窑采用清洁低碳能源，优化天然气使用方式，优先保障居民用气，有序推进工业燃煤和农业用煤天然气替代。

（国家发展改革委、国家能源局、工业和信息化部、自然资源部、生态环境部、住房城乡建设部、农业农村部、水利部、市场监管总局按职责分工负责）

（七）加快形成绿色生活方式。倡导简约适度、绿色低碳、文明健康的生活方式，从源头上减少污染物和碳排放。扩大绿色低碳产品供给和消费，加快推进构建统一的绿色产品认证与标识体系，完善

绿色产品推广机制。开展绿色社区等建设，深入开展全社会反对浪费行动。发挥公共机构特别是党政机关节能减排引领示范作用。探索建立“碳普惠”等公众参与机制。

## 四、突出重点领域

（八）推进工业领域协同增效。实施绿色制造工程，推广绿色设计，探索产品设计、生产工艺、产品分销以及回收处置利用全产业链绿色化，加快工业领域源头减排、过程控制、末端治理、综合利用全流程绿色发展。推进工业节能和能效水平提升。

（九）推进交通运输协同增效。加快推进“公转铁”“公转水”，提高铁路、水运在综合运输中的承运比例。

（十）推进城乡建设协同增效。优化城镇布局，合理控制城镇建筑总规模，加强建筑拆建管理，多措并举提高绿色建筑比例，推动超低能耗建筑、近零碳建筑规模化发展。稳步发展装配式建筑，推广使用绿色建材。推动北方地区建筑节能绿色改造与清洁取暖同步实施，优先支持大气污染防治重点区域利用太阳能、地热、生物质能等可再生能源满足建筑供热、制冷及生活热水等用能需求。鼓励在城镇老旧小区改造、农村危房改造、农房抗震改造过程中同步实施建筑绿色化改造。鼓励小规模、渐进式更新和微改造，推进建筑废弃物再生利用。合理控制城市照明能耗。大力发展光伏建筑一体化应用，开展光储直柔一体化试点。在农村人居环境整治提升中统筹考虑减污降碳要求。（住房城乡建设部、自然资源部、生态环境部、农业农村部、国家能源局、国家乡村振兴局等按职责分工负责）

（十一）推进农业领域协同增效。在农业领域大力推广生物质能、太阳能等绿色用能模式，加快农村取暖炊事、农业及农产品加工设施等可再生能源替代。

（十二）推进生态建设协同增效。坚持因地制宜，宜林则林，宜草则草，科学开展大规模国土绿化行动，持续增加森林面积和蓄积量。强化生态保护监管，完善自然保护地、生态保护红线监管制度，落实不同生态功能区分级分区保护、修复、监管要求，强化河湖生态流量管理。加强城市生态建设，完善城市绿色生态网络，科学规划、合理布局城市生态廊道和生态缓冲带。优化城市绿化树种，降低花粉污染和自然源挥发性有机物排放，优先选择乡土树种。提升城市水体自然岸线保有率。开展生态改善、环境扩容、碳汇提升等方面效果综合评估，不断提升生态系统碳汇与净化功能。

## 五、优化环境治理

(十三) 推进大气污染防治协同控制。优化治理技术路线,加大氮氧化物、挥发性有机物(VOCs)以及温室气体协同减排力度。推进大气污染防治设备节能降耗,提高设备自动化智能化运行水平。加强消耗臭氧层物质和氢氟碳化物管理,加快使用含氢氯氟烃生产线改造,逐步淘汰氢氯氟烃使用。

(十四) 推进水环境治理协同控制。推广污水处理厂污泥沼气热电联产及水源热泵等热能利用技术;在污水处理厂推广建设太阳能发电设施。

(十五) 推进土壤污染治理协同控制。合理规划污染地块土地用途,鼓励农药、化工等行业中重度污染地块优先规划用于拓展生态空间,降低修复能耗。鼓励绿色低碳修复,优化土壤污染风险管控和修复技术路线,注重节能降耗。推动严格管控类受污染耕地植树造林增汇,研究利用废弃矿山、采煤沉陷区受损土地、已封场垃圾填埋场、污染地块等因地制宜规划建设光伏发电、风力发电等新能源项目。

(十六) 推进固体废物污染防治协同控制。强化资源回收和综合利用,加强“无废城市”建设。推动煤矸石、粉煤灰、尾矿、冶炼渣等工业固废资源利用或替代建材生产原料,到2025年,新增大宗固废综合利用率达到60%,存量大宗固废有序减少。推进退役动力电池、光伏组件、风电机组叶片等新型废弃物回收利用。

## 六、开展模式创新

(十七) 开展区域减污降碳协同创新。基于深入打好污染防治攻坚战和碳达峰目标要求,在国家重大战略区域、大气污染防治重点区域、重点海湾、重点城市群,加快探索减污降碳协同增效的有效模式,优化区域产业结构、能源结构、交通运输结构,培育绿色低碳生活方式,加强技术创新和体制机制创新,助力实现区域绿色低碳发展目标。

(十八) 开展城市减污降碳协同创新。统筹污染治理、生态保护以及温室气体减排要求,在国家环境保护模范城市、“无废城市”建设中强化减污降碳协同增效要求,探索不同类型城市减污降碳推进机制,在城市建设、生产生活各领域加强减污降碳协同增效,加快实现城市绿色低碳发展。

(十九) 开展产业园区减污降碳协同创新。鼓励各类产业园区根据自身主导产业和污染物、碳排放水平,积极探索推进减污降碳协同增效,优化园区空间布局,大力推广使用新能源,促进园区能源系统优化和梯级利用、水资源集约节约高效循环利用、废物综合利用,升级改造污水处理设施和垃圾焚烧设施,提升基础设施绿色低碳发展水平。

(二十) 开展企业减污降碳协同创新。

## 七、强化支撑保障

(二十一) 加强协同技术研发应用。加强减污降碳协同增效基础科学和机理研究,在大气污染防治、碳达峰碳中和等国家重点研发项目中设置研究任务,建设一批相关重点实验室,部署实施一批重点创新项目。加强氢能冶金、二氧化碳合成化学品、新型电力系统关键技术等研发,推动炼化系统能量优化、低温室效应制冷剂替代、碳捕集与利用等技术试点应用,推广光储直柔、可再生能源与建筑一体化、智慧交通、交通能源融合技术。

加快重点领域绿色低碳共性技术示范、制造、系统集成和产业化。开展水土保持措施碳汇效应研究。加强科技创新能力建设,推动重点方向学科交叉研究,形成减污降碳领域国家战略科技力量。

(二十二) 完善减污降碳法规标准。制定实施《碳排放权交易管理暂行条例》。推动将协同控制温室气体排放纳入生态环境相关法律法规。完善生态环境标准体系,制修订相关排放标准,强化非二氧化碳温室气体管控,研究制订重点行业温室气体排放标准,制定污染物与温室气体排放协同控制可行技术指南、监测技术指南。完善汽车等移动源排放标准,推动污染物与温室气体排放协同控制。

(二十三) 加强减污降碳协同管理。

(二十四) 强化减污降碳经济政策。加大对绿色低碳投资项目和协同技术应用的财政政策支持,财政部门要做好减污降碳相关经费保障。大力发展绿色金融,用好碳减排货币政策工具,引导金融机构和社会资本加大对减污降碳的支持力度。扎实推进气候投融资,建设国家气候投融资项目库,开展气候投融资试点。建立有助于企业绿色低碳发展的绿色电价政策。将清洁取暖财政政策支持范围扩大到整个北方地区,有序推进散煤替代和既有建筑节能改造工作。加强清洁生产审核和评价认证结果应用,将其作为阶梯电价、用水定额、重污染天气绩效分级管控等差异化政策制定和实施的重要依据。推动绿色电力交易试点。

(二十五) 提升减污降碳基础能力。拓展完善天地一体监测网络,提升减污降碳协同监测能力。健全排放源统计调查、核算核查、监管制度,按履约要求编制国家温室气体排放清单,建立温室气体排放因子库。研究建立固定源污染物与碳排放核查协同管理制度,实行一体化监管执法。依托移动源环保信息公开、达标监管、检测与维修等制度,探索实施移动源碳排放核查、核算与报告制度。

## 八、加强组织实施

(下转 25 页)

# 蒸发冷却空调新风系统的全年应用研究

新疆建筑设计研究院 刘鸣 曾婷婷 王玉娇

[摘要] 本文结合干热、严寒或寒冷地区全年气候特点及冬夏季建筑能耗特性,通过逐时新风能耗模拟计算,得到设置热回收装置的全年用蒸发冷却空调系统冬季新风节能量远大于夏季节能量,选用热回收装置时应重点关注冬季热回收效率,且对比各类热回收装置中转轮热回收装置全年节能量最大,节能效果最好。基于此,笔者又深入分析了蒸发冷却空调系统冬夏季新风加湿需求、新风量变化范围、水系统管径选择计算,及全年用蒸发式空调机组冬季运行的防冻措施。

[关键词] 全年新风能耗;高效热回收;蒸发冷却空调;全年运行;冬夏季对应技术措施

## 0 引言

近年来,蒸发冷却空调技术在干热气候区得到广泛应用,然而这些区域冬季漫长,属于严寒或寒冷气候区;现有的蒸发冷却空调系统在此类地区因未充分考虑冬季使用情况,在冬季多被闲置,导致造价昂贵的空调系统仅用于短暂的夏季,造成极大浪费。如何使蒸发冷却空调系统在冬季也能发挥作用,必须予以高度关注并给出针对性技术措施。蒸发冷却空调系统冬、夏季共用不仅能减少空调系统投资的浪费,更能提高冬季建筑物室内空气品质和健康舒适性。本文针对干热、严寒或寒冷气候区,提出舒适性建筑集中式蒸发冷却空调系统的全年优化设计技术要点,并对空调系统冬季无法正常的问题提出对策。

### 1 新风系统全年使用的必要性

随着生活水平的提高,人们对室内生活、工作环境的空气品质有了更高的要求。严寒、寒冷地区夏季可以通过增加新风量改善室内空气品质,从而达到 GB/T 18883—2002《室内空气质量标准》的要求,严寒与寒冷地区冬季使用通风空调系统时,因常发生机组盘管冻裂、过滤器维护管理、运行经济性等问题,空调系统几乎都不送新风。但随着建筑气密性的提高,窗户等部位漏风量日渐减少,室内空气长期不流通,空气中 CO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、甲醛、有机挥发性化合物等指标超标,相对湿度偏低,都严重污染室内空气品质。因此,全年向建筑提供高

品质新风是保证人们身心健康的基本需求。

通过对新疆乌鲁木齐市连续3年冬夏季室外空气质量指标进行统计发现,冬季室外空气质量多为中度污染,各类污染物指标平均值为夏季指标的2~6倍,如表1所示。若冬季将不达标的室外空气通过开窗引入室内,不仅增加通风能耗,同时污染室内空气,因此,送入室内的空气必须经空气处理机组对其过滤、净化、加热、加湿处理,有组织地送入建筑内各房间,以保证室内健康的空气品质。

## 2 严寒、寒冷地区气候特点及建筑能耗

### 2.1 冬夏季空调能耗需求分析

空调系统全年能耗需求不仅与室内外气象参数有关,还与供暖、供冷期时长有关。度日数与室内外温度及时间有直接关系,是反映不同气候区建筑物的全年供暖(供冷)能源需求量的指标<sup>[1]</sup>。

通过对比严寒、寒冷地区典型城市供暖、供冷期时长可知,该类地区冬季供暖期远大于夏季供冷期时长,以乌鲁木齐为例,其冬季供暖期时长约为夏季供冷期时长的8.15倍,如表2所示。在严寒、寒冷地区,其供暖度日数远大于供冷度日数,如表3所示。由此可知,严寒、寒冷地区各城市冬季供暖能源需求远大于夏季供冷能源需求。

### 2.2 新风能耗分析

以乌鲁木齐某办公楼为例,按人员所需新风量设置,计算该办公楼冬、夏季供暖、供冷其空调系统的建筑模拟能耗,以及无新风时的供暖、供冷能耗,

表1 乌鲁木齐2016-2019年度室外空气质量指标平均值

	PM <sub>2.5</sub> / (μg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> / (μg/m <sup>3</sup> )	SO <sub>2</sub> / (μg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> / (μg/m <sup>3</sup> )	CO/ (mg/m <sup>3</sup> )	O <sub>3</sub> / (μg/m <sup>3</sup> )	空气质量指数 (AQI)	质量等级
夏季(7—9月)	24.02	75.99	8.94	36.92	0.74	65.48	64.92	优-良(0~100)
冬季(12—2月)	144.96	188.27	16.06	67.11	2.40	25.58	187.63	中度污染 (151~200)

注:室外空气质量指标的基础数据摘自天气后报网(<http://www.tianqihoubao.com/lishi/wulumuqi.html>)。

表2 乌鲁木齐公共建筑供暖、供冷期

		时间	时长/h
10月10日—4月10日	供暖期(183d)	00:00—24:00	4392
7月1日—8月31日	供冷期(49d)	09:00—20:00	539

表3 新疆部分城市的度日数

	阿勒泰	乌鲁木齐	塔城	喀什
气候区	严寒B区	严寒C区	严寒C区	寒冷A区
HDD22	6329	5624	5395	4014
CDD25	24	57	39	55

结果如表4所示<sup>[2]</sup>。由于冬季室内外设计温差是夏季的5.14倍，加之供暖期时长远大于供冷期，得出冬季该办公楼的空调能耗远大于夏季能耗，且冬季新风能耗为24.4万kWh，甚至大于夏季全部能耗(22.4万kW·h)。因此，在严寒、寒冷地区冬季新风能耗大，其节能潜力也大，所以，设有新风的空气处理机组冬季应用时应设高效空气热回收装置<sup>[3]</sup>。

表4 冬夏季有无新风时的能耗对比

	冬季	夏季
时间/h	4392	539
室内外平均设计温差/°C	43.7	8.5
建筑能耗 <sup>[2]</sup> /(万kW·h)	80.4/56.0	22.2/22.4
负荷 <sup>[2]</sup> /(W/m <sup>2</sup> )	71.4/40.0	77.0/70.0

注：“/”前后分别为有/无新风时的数据。

### 3 蒸发冷却空调系统的全年设计

蒸发冷却空调技术在新疆干热气候区已得到广泛应用，常见的空调系统形式为新风+干工况风机盘管+地板辐射、新风+干工况风机盘管、新风+地板辐射等，这些系统都为新风+干工况末端的空调系统。

下面重点研究新风+干工况末端的空调系统中全年用供冷供热蒸发式新风机组的空气处理过程。

夏季：回风经过绝热加湿降温至Q点，与室外新风换热升温至Z点排至室外；新风与回风换热降温至H点，再经表冷段降温至M点，通过直接蒸发冷却段等焓加湿至O点送入室内；干工况末端将室内空气降温至P点；新风承担室内全部潜热负荷，并与末端一起承担室内全部显热负荷。夏季空气处理过程见图1a。

冬季：室外新风预热至M点(防冻状态点≥5℃)，与室内回风N进行换热，室内空气降温至Z点排至室外；室外新风经预热从M点与回风换热升H点，通过直接蒸发冷却段等焓加湿至L点，再

热至O点送入室内；干工况末端将室内空气升温至P点，共同承担室内显热负荷。冬季空气处理过程见图1b。

该机组除了设置高效热回收装置外，还在回风侧增设了直接蒸发冷却段，夏季用于对回风(室内温度25℃，相对湿度50%)等焓加湿降至19℃(Q

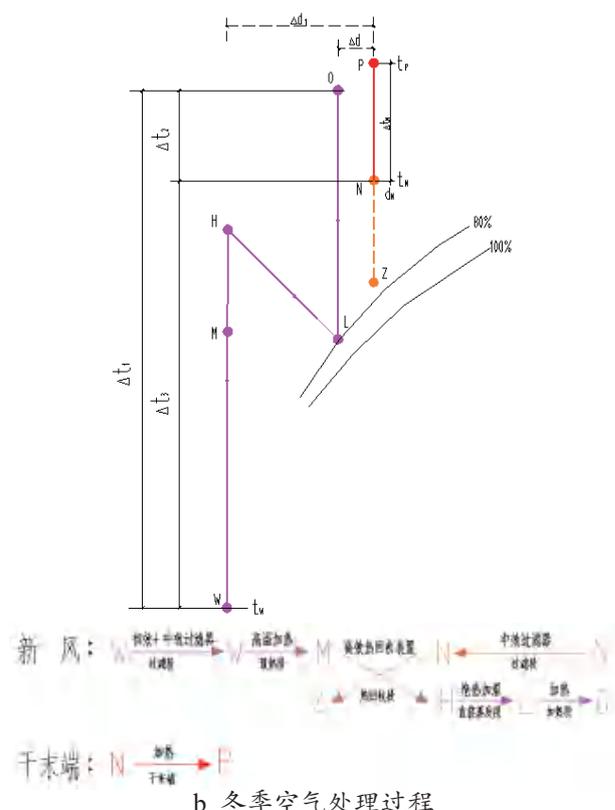
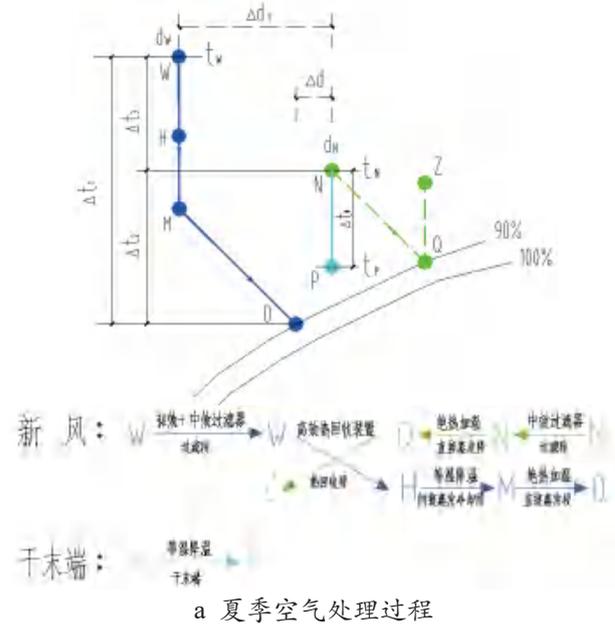


图1 全年使用蒸发冷却空气处理机组的空气处理过程

点),再与新风换热(换热效率为70%),新风换热温差( $t_w-t_H$ )为10.2℃;未设置回风直接蒸发冷却段的机组的新风换热温差( $t_w-t_{H'}$ )为6℃,由此可知,回风侧设置直接蒸发冷却段能使热回收效率提高70%,且换热后H点温度更低,使得送风温度( $t_{x,O}$ )更低。由式(1)可知,送风温差( $t_{x,N}-t_{x,O}$ )增大,新风承担冷负荷比例亦增加,新风机组或末端选型相应减小,节省空调系统投资。

夏季室内显热冷负荷( $Q_x$ )计算如下:

$$Q_x = G_{x,W} c_p t_{x,N} - t_{x,O} h + G_{x,N} c_p t_{x,N} - t_{x,P} h \quad (1)$$

式中  $c_p$  为空气的比定压热容, 1.01 kJ/(kg·°C);  $\rho$  为空气密度, 1.2 kg/m<sup>3</sup>;  $G_{x,W}$  为夏季新风量, m<sup>3</sup>/h;  $G_{x,N}$  为夏季室内干工况末端侧回风量, m<sup>3</sup>/h;  $t_{x,N}$  为夏季室内设计干球温度, °C;  $t_{x,O}$  为夏季新风送风温度, °C;  $t_{x,P}$  为夏季室内干工况末端送风温度, °C。

#### 4 蒸发冷却空调系统全年设计技术要点

4.1 全年使用的空气处理机组蒸发冷却效率与热回收能效对比

目前,蒸发冷却空调机组的间接蒸发冷段多为板翅式换热器。新风+干工况末端空调系统的冬夏季空气处理过程如图1a,b所示,且冬夏季新风量为G,则冬夏季新风能耗需求( $Q_Z$ )及全年新风总节能量( $Q_{ZJ}$ )为:

$$Q_Z = G c_p t_{x,N} - t_{d,W} h H_d + \sum_{i=1}^{n_d} t_{x,W_i} - t_{x,N} h H_x F \quad (2)$$

$$Q_{ZJ} = G c_p t_{x,N} - t_{d,H} h H_d + \sum_{i=1}^{n_x} t_{x,W_i} - t_{x,N} h H_x F \quad (3)$$

式(2), (3)中  $t_{d,W_i}$ ,  $t_{x,W_i}$  分别为冬、夏季室外逐时干球温度, °C;  $t_{d,N}$  为冬季室内设计干球温度, °C;  $H_d$ ,  $H_x$  分别为冬、夏季室外逐时干球温度所对应的小时数, h;  $t_{d,M_i}$  为冬季室外新风预热后的温度, 一般为5℃;  $t_{d,H_i}$ ,  $t_{x,H_i}$  分别为冬、夏季新风经热回收装置换热后的干球温度, °C;  $n_d$ ,  $n_x$  分别为冬、夏季空调系统运行时间。

冬季先将新风预热至5℃, 新风与回风通过热

回收装置(二次回风通道走回风)换热, 新风得以再加热。依据各种不同类型空气热回收装置冬、夏季等湿加热、降温效率, 计算各种热回收装置的节能量如表5所示。

在严寒C区乌鲁木齐市室外气象条件下, 通过计算得到的各类换热器冬夏季节能量可知: 板翅式换热器夏季节能量为0.705G, 夏季节节能效果最好; 转轮换热器冬季节能量为19.293G, 冬季节节能效果最好。

因严寒、寒冷地区气候特点, 计算各类换热器在此类地区全年总节能量及节能率可知, 转轮换热器节能率约为53.23%, 节能效果最好。所以, 严寒、寒冷大部分地区全年用新风系统设置热回收装置时, 因冬季能耗占比大, 可优先选用转轮式热回收装置。

#### 4.2 蒸发冷却空调系统的管径选择

目前, 大部分蒸发冷却空调系统夏季供冷冷水供回水温差  $\Delta t_x$  为5℃, 而冬季空调供暖热水供回水温度则为60℃/50℃, 供回水温差  $\Delta t_d$  为10℃, 因此由于冷热水供回水温差不同, 会对空调水系统管径产生影响。

假定该办公建筑空调面积为A, 其冬夏季冷热负荷如表4所示, 夏季建筑冷负荷+新风冷负荷为77A, 冬季建筑热负荷+新风热负荷为71.4A。通过计算得到冷热水流量比值( $G_{x,ls}/G_{d,rs}$ )为

$$\frac{G_{x,ls}}{G_{d,rs}} = \frac{Q_x}{Q_d} = \frac{c_p \dot{m}_x \Delta t_x}{c_p \dot{m}_d \Delta t_d} \quad (4)$$

代入数据计算得到  $G_{x,ls}/G_{d,rs}=2.157$ 。

假定冷热水管道内流速相等( $v_d=v_x$ ), 则冷热水管径比值( $G_{x,ls}/G_{d,rs}$ )为

$$\frac{d_{x,ls}}{d_{d,rs}} = \sqrt{\frac{4G_{x,ls}}{\rho v_x}} = \sqrt{\frac{G_{x,ls}}{G_{d,rs}}} = \sqrt{2.157} = 1.47 \quad (5)$$

通过式(4), (5)计算可知, 在相同比摩阻情形下, 由于空调系统冷热水供回水温差不同, 空

表5 各类换热器效率及新风冬夏季节能量对比

换热类型 <sup>[4]</sup>	夏季		冬季		空气质量指数(AQI) 64.92	质量等级 优-良(0-100)
	换热效率 <sup>[4]</sup> /%	节能量/kWh	热回收 <sup>[4]</sup> /%	节能量/kWh		
冷却塔到盘管	40~60	0.497G			0.497G	1.33
板翅式换热器	60~85	0.705G	40~50	12.058G	12.763G	34.19
热管换热器	65~75	0.622G	50~60	14.470G	15.092G	40.42
转轮换热器	60~70	0.580G	70~80	19.293G	19.873G	53.23
循环回路式换热盘管	35~50	0.415G	40~60	14.470G	14.885G	38.87
新风能耗 (未设换热装置)		0.756G		36.578G	37.334G	

注: 所有换热器的新风量和回风量相等; 节能量以各换热器最大效率为基准计算; 热回收装置节能率=全年新风总节能量÷冬夏季新风能耗需求×100%。

调冷水管管径较热水管管径大 1.47 倍，由此，致使阀门配件、保温材料都会增大、增多。

美国 ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2016<sup>[5]</sup> 中限制了空调系统不同运行时间下空调水系统的最大设计流量，如表 6 所示。全年运行时间  $T_y \leq 2000$  h 的变流量水系统设计流速较大，约为全年运行时间在 2000~4400 h 范围内的变流量水系统设计流速的 1.28~1.38 倍。

表 6 管道系统最大设计流量

管道公称直径 <sup>[5]</sup> /mm	流量 <sup>[5]</sup> / (L/s) / 流速 / (m/s)		流速比值
	$T_y \leq 2000$ h	$2000 \text{ h} < T_y \leq 4400$ h	
75	11 / 2.86	8 / 2.08	1.38
90	17 / 2.67	13 / 2.04	1.31
110	33 / 2.47	25 / 2.63	1.32
140	39 / 2.53	30 / 1.95	1.30
160	69 / 3.43	54 / 2.69	1.28
225	114 / 2.87	88 / 2.21	1.30
280	170 / 2.76	126 / 2.05	1.35
315	240 / 3.08	183 / 2.35	1.31
355~600	- / 4.00 <sup>[5]</sup>	- / 2.90 <sup>[5]</sup>	1.38

综上所述，由于冷热水供回水温差不同，使得设计计算的冷热水管径不同，冷水管管径约为热水管管径的 1.47 倍。对于严寒、寒冷地区全年运行的蒸发冷却空调系统，考虑到经济性及冬夏季空调运行时长，其冬夏共用的空调水管管径可优先按冬季情况设置，夏季空调水系统流速可略高于冬季。

#### 4.3 蒸发冷却空调冬夏季新风加湿需求

新疆大部分地区夏季炎热干燥，室外空气含湿量小，采用蒸发冷却空调系统不仅能大大降低空调系统能耗，降低室内温度，同时还能室内加湿，改善室内干燥的环境，提高舒适性。然而，新疆大部分地区冬季室外空气更干燥，其含湿量  $\leq 1.0$  g/kg，对于冬夏季新风量  $G$  不变的空调系统，乌鲁木齐夏季设计工况下新风加湿量为  $3.6 \times 10^{-3}G$ ，而冬季加湿量为  $6.36 \times 10^{-3}G$ ，约为夏季新风加湿量的 1.77 倍，如表 7 所示。因此，对于冬夏季新风量不变的空调系统，蒸发冷却空调机组内加湿段的配置应优先考虑冬季加湿需求。

对于使用一次回风的全空气系统，由于冬夏季新风量不同，应综合考虑冬夏季新风加湿需求再行

表 7 蒸发冷却空调机组冬夏季加湿量

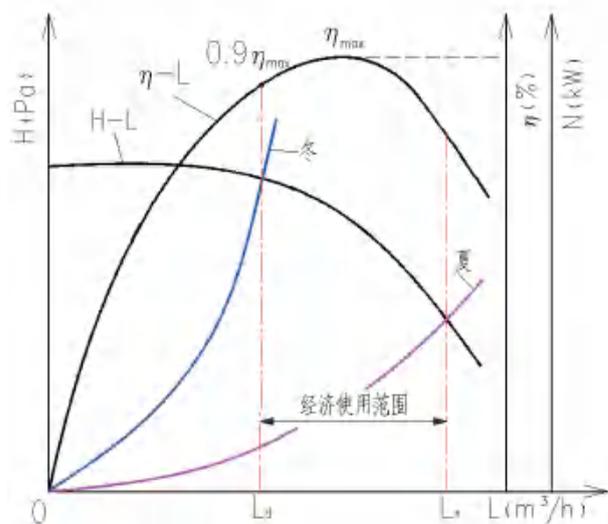
	室外计算参数		室内计算参数		送风状态点	新风加湿量 /kg
	温度 / $^{\circ}\text{C}$	含湿量 / (g/kg)	温度 / $^{\circ}\text{C}$	相对湿度 /%	含湿量 / (g/kg)	
夏季	33.5	8.3	25	50	11.3	$3.6 \times 10^{-3}G$
冬季	-23.7	0.4	22	40	5.7	$6.36 \times 10^{-3}G$

配置。针对加湿量的不同，设计上也应有对应技术措施。

#### 4.4 冬夏季新风量的变化范围

在设计实际工程时，设计师为了增加夏季蒸发冷却空调机组新风承担冷负荷，改善室内空气品质，一般会增加新风量；然而考虑全年用蒸发式空调机组冬季新风量仅为人员所需最小新风量。因此，造成冬夏季新风量差异较大，蒸发冷却空调机组要适应全年使用要求，需要机组内风机适应冬夏季送风量的变化。

图 2 为某离心式风机性能曲线图，该风机采用后向式叶片，转速为 2900 r/min，风机最高效率 ( $\eta_{\max}$ ) 下的风量、风压和轴功率为风机运行最佳工况参数。空调系统冬季提供新风仅为人员所需最小新风量  $L_d$ ，冬季风机在  $0.9\eta_{\max}$  下运行，若冬夏季采用同一风机，则夏季风机的送风量  $L_x$  不能太大，最好在所选风机的经济使用范围内。若冬夏季送风量相差太大，则必然存在某一季节空调机组风机低效运行，不节能。



$H-L$  为风机风压 - 流量曲线； $\eta-L$  为风机效率曲线；冬、夏为冬夏季管网性能曲线。

图 2 全年用空调机组送风机性能曲线

#### 4.5 蒸发冷却空调机组冬季防冻措施

空调系统冬季无法正常使用的关键问题是空调机组内部加热盘管常常被冻裂。造成这一问题的主要原因包括：空调机组加热盘管距离室外低温空气较近，新风风口处设置的电动密闭阀不能及时关闭或

关闭不严,加热盘管常被关断或盘管内水流流速过小造成气塞,使盘管内热水不流动降温,导致个别管路冻结。对此,运行管理人员的“有效经验”就是关闭停用空调新风系统。

盘管的防冻技术措施:1)空调机组内预热段设专用加热盘管,热媒中加入特殊防冻剂,使盘管内热媒的凝固点温度不高于 $-40^{\circ}\text{C}$ ;2)应校核表冷式换热盘管内的水流速,确保盘管内水流速在 $0.6\sim 1.6\text{ m/s}$ 范围内,冬季运行之前清除盘管内的杂质,运行时及时排出盘管内的气体;3)按GB 50189-2015《公共建筑节能设计标准》中第4.3.24条要求,严寒或寒冷地区通风或空调系统与室外连接的风管和设施上应设置可自动连锁关闭且密闭性能好的电动风阀,并采取密封措施<sup>[3]</sup>;4)空调机组进入冬季模式时,若送风机停止运行或发生故障时,预热段电动阀不能关闭,预热段内热水持续循环流动。

## 5 结论

干热地区多为严寒或寒冷地区,该类地区冬季供暖时间远长于夏季空调时间,且冬季室外空气污染严重,蒸发冷却空调系统在保证夏季供冷的情况下,冬季向室内送入经过过滤、净化的新风,可为人们提供健康、干净、舒适的室内环境。本文给出了全年用蒸发冷却空调机组冬夏季空气处理过程,为蒸发冷却空调系统全年使用设计提供指导。

1)全年用蒸发冷却空调机组设计选用的各类热回收装置中,应优先选用转轮式热回收装置,该热回收的全年节能率高达53%。

2)空调水系统的设计应考虑冬夏季运行时长及经济性,水系统管径应按照冬季工况设计选用;空调水管管径相对夏季设计工况管径小,可大幅降低系统管路的初投资及安装费用。但冬、夏季空调水系统水泵所需扬程不同,须校核计算冬、夏季水泵

性能和效率。

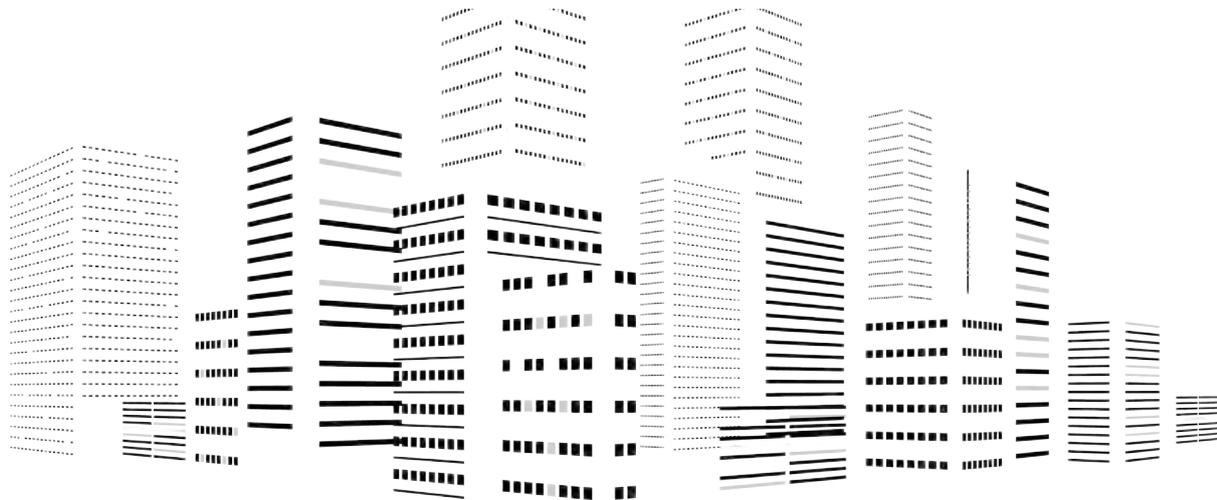
3)空调新风系统的加湿量,应以冬季含湿量差值为依据进行选择计算。

4)制约蒸发冷却空调系统冬季使用的关键点是防冻问题,本文给出的部分防冻措施可以减少空调机组盘管冻裂,为空调风系统全年使用提供安全保证。

5)全年用蒸发冷却空调机组送风机考虑冬夏季共用时,若冬夏季送风量相差太大,空调系统风机的电功率在夏季或冬季效率将变差。

## 参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准: JGJ 26—2010[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 2
- [2] 王玉娇, 刘鸣. 新疆办公建筑能耗及其影响因素分析[J]. 暖通空调, 2018, 48(6): 13-16
- [3] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015: 33
- [4] ASHRAE. ASHRAE handbook—HVAC applications[M]. Atlanta: ASHRAE Inc, 2015: 52.3-52.4
- [5] ASHRAE. Energy standard for buildings except low-rise residential buildings: ASHRAE Standard 90.1-2016 [S]. Atlanta: ASHRAE Standards Committee, 2016: 100-103
- [6] 罗绒, 黄翔, 靳贵铭, 等. 转轮式排风热回收型空调系统的节能性分析[J]. 制冷, 2012, 31(6): 34-37
- [7] 刘德娣. 浅谈空调新风机组冬季防冻措施[J]. 基层建设, 2016, 34(6): 73-74
- [8] 毕雨, 焦云凤, 吴勇. 空调机组的防冻措施[J]. 医药工程设计杂志, 2002, 23(6): 21-22
- [9] 郭海丰, 王思平, 杜艳新, 等. 寒冷地区集中空调系统新风机组防冻措施[J]. 沈阳建筑工程学院学报(自然科学版), 2003, 7(3): 218-220



# 济南某中学教室冬季室内外污染物相关性分析

山东建筑大学 曲云霞 季英波 姜远征 张芳龄

[摘要] 本文以济南某中学教室为例,通过对教室和室外大气中冬季 CO<sub>2</sub> 浓度、PM<sub>2.5</sub> 浓度、温度以及相对湿度等连续一周的测试,给出了室内外 CO<sub>2</sub> 浓度、PM<sub>2.5</sub> 浓度、温度以及相对湿度等参数的相关性变化规律,为雾霾条件下教室内新风量的确定提供了基础数据。

[关键词] 中小学教室; CO<sub>2</sub> 浓度; PM<sub>2.5</sub> 浓度; 新风量

## 1 前言

近年来冬季雾霾天气频发,导致室内的 PM<sub>2.5</sub> 浓度升高。教室是中小学生的每天的学习场所,教室内的空气品质对正处于生长发育期的学生就显得尤为重要。北方地区中小学教室冬季多采用集中供暖,室内人员集中,教室长时间密闭,人员呼吸产生的 CO<sub>2</sub> 浓度增加会导致学习效率下降,需引入新风进行稀释,但在雾霾严重情况下,引入新风又会增加教室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度,并降低室内温度,导致舒适度降低。新风量究竟取多少合适正是本文的研究内容之一。

为解决这个矛盾,本文采用现场测试的方法,研究了室内 CO<sub>2</sub>、PM<sub>2.5</sub> 浓度的变化规律,提出了雾霾天气下中小学教室内空气质量的改善措施,为中小学教室内新风系统的设计提供了理论依据。

## 2 教室内污染物的来源

室内空气质量与许多因素有关,室外空气污染物、室内污染源、空气交换率、衰减率是最为重要的因素。教室内污染物来源主要包括室外空气环境与室内污染源两方面。

### 2.1 室外空气

室外空气污染加重了教室内的空气污染,尤其是雾霾条件下,即使教室门窗紧闭,无人员扰动,室内外 PM<sub>2.5</sub> 浓度的变化仍呈现相似趋势,且室外风速越大,室内外 PM<sub>2.5</sub> 浓度相关性越大<sup>[1]</sup>。

### 2.2 室内污染源

室内的污染不仅由室外污染造成,室内污染源也不容小觑。雾霾条件下,教室门窗紧闭,室内污染源产生的污染物会不断积聚,危害学生健康,教室内空气污染物的主要来源包括人员的活动,教学材料设备以及建筑材料。

室内人员。人员不仅是热湿源,也是污染源,人员活动会对室内 PM<sub>2.5</sub> 有显著影响。人体代谢会散发污染物,包括呼出废气、皮肤代谢产物等。教室内 CO<sub>2</sub> 浓度与人员密度成正比,雾霾天气时,同学

更倾向于待在教室内,呼吸出的 CO<sub>2</sub> 等会使教室内的空气更加恶化。教室人员密度大,学生们的呼吸是室内 CO<sub>2</sub> 的主要来源。

教学材料设备。现在中小学教室内的教学设备主要是粉笔和多媒体设备,它们在使用的过程中也向室内散发污染物。粉笔的原料中含石灰粉、双飞粉等损害身体健康的物质,擦黑板时产生的大量粉笔粉尘大大增加了室内颗粒物数量。电子科技的日新月异促进着多媒体设备在中小学的教室的普及使用,但多媒体系统的使用增加了空气中的微小尘埃数量。而且为了投影质量,使用多媒体系统一般会关闭门窗、窗帘,降低了室内空气的流动,加重了教室内空气污染。

教室建筑材料。教室建筑装饰材料和桌椅也是教室内空气污染的污染源。目前教室内装修的愈发美观,但教室建筑围护结构(门、窗、墙体)的粉刷油漆、装饰材料和桌椅的涂料、粘合剂中含大量污染物,会释放甲醛、甲苯等有机挥发气体,教室的遮阳窗帘的布料也容易积聚尘埃、滋生细菌等,污染室内环境,降低室内空气质量。

## 3 测试条件简介

### 3.1 测试地点

测试地点为济南市某中学,该中学包括小学部和初中部,小学部教室容纳人数在 45 人左右,初中教室容纳人数大约在 50-55 人。本次测试地点为初中部教室,该教室位于初中部教学楼三楼(共六层),层高 3.9 米,学生数量 52 人,门朝北,通向走廊,有四个南向外窗,两个连廊窗,窗框均采用铝塑材料,并嵌入密封条。教室夏季采用壁挂式分体空调制冷,冬季采用散热器集中供暖,教学仪器基本上使用粉笔与多媒体教学,教室内的平面布局如图 1。

### 3.2 测试内容

现场测试包括室内外 CO<sub>2</sub> 浓度、PM<sub>2.5</sub> 浓度、温度、相对湿度。室内 CO<sub>2</sub> 浓度、PM<sub>2.5</sub> 浓度作为污染物的浓度指标,室内温度、相对湿度作为热舒适指标。



图1 教室内设备布置

每个测点读数间隔为2分钟,60分钟内测点数据平均值作为测点实时数据,各个测试变量日平均值按照公式(1)计算。

$$c = \frac{1}{n} \prod_{y=1}^n \prod_{x=1}^m c_{xy} \quad (1)$$

式中:  $c$ —平均浓度值, ppm ( $\text{CO}_2$ ) 或  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ( $\text{PM}_{2.5}$ );

$c_{xy}$ —第  $x$  个测点、第  $y$  次测试值;

$m$ —测点个数;

$N$ —测试次数。

### 3.3 测点布置

根据文献<sup>[2]</sup>的要求,教室内共布置了3个测点,测点位置见图2。测点尽量避开门口、窗口、分体空调送风口,并考虑到教室内课桌的分布,不妨碍学生的自由活动,不影响学生们正常上课等,测点高度取1.2m,三个测点同时测量。

教室外测试点布置在教学楼外背阴处,避免阳

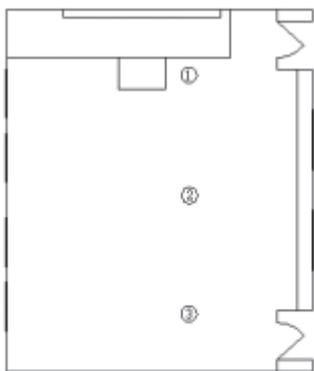


图2 教室内测点布置

图2 教室内测点布置

光直射导致数据不准。

### 3.4 测试工况

测试分为无人工况和有人工况。无人工况指学生放学或周末期间的工况,有人工况指学生正常在教室上课的工况,同学们在测试过程中保持正常的学习作息以及其他的活动,以保证测试出的数据最大限度的接近实际情况。有人工况测试时间为学生上课期间的周一至周五,该学校初中作息时间是7:40预备早读,20:10下晚自习,因此测试时间为每天7:30-20:30,数据采集时间间隔2min。无人工况选在周六周日测试,测试期间室内无人、门窗关闭,每日测试时间相同。

### 3.5 测试时间

为了测试雾霾条件对教室空气质量的影响,测试时间选择在雾霾天气较为严重的冬季,测试时间段在集中供暖期,时间为2017年12月24日-30日(周日至周六)。

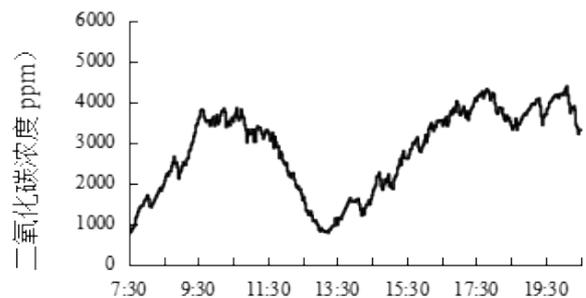
## 4 测试结果分析

本次现场测试在教室内布置了三个测点,取三个点的平均数据作为室内代表数据。测试期间为冬季供暖期,室内采用散热器供热,且昼夜连续运行,上课期间外窗关闭,测试数据为每小时测点平均值。

### 4.1 $\text{CO}_2$ 浓度变化规律

#### 4.1.1 教室内 $\text{CO}_2$ 浓度的日变化规律

图3为工作日期间每日室内  $\text{CO}_2$  浓度变化情况。结果表明,一天当中,  $\text{CO}_2$  浓度的变化出现两个峰值,一个是上午10:00-11:40之间,另一个时段是下午17:00-20:10,低谷时段为中午12:00-13:00之间。一日内  $\text{CO}_2$  浓度值最大值达到4379ppm,是国家标准的4.37倍,最低浓度也达到750ppm。

图3 教室内  $\text{CO}_2$  浓度日变化曲线

统计发现  $\text{CO}_2$  浓度超过文献<sup>[3]</sup>中规定标准(1500ppm)的时间约占一天的83.8%,一天时间内的浓度积累非常明显,已经严重超过国家标准。在这两个峰值阶段学生一直停留在教室内,无有效通风,教室内的  $\text{CO}_2$  浓度不断积累。11:40以后是学生的午休时间,放学后,由于门的开启及人员离开,

教室内 CO<sub>2</sub> 源消失, CO<sub>2</sub> 浓度迅速降低, 在 13:00 左右出现波谷。下午上课之前 20 分钟, 学生开始陆续进入教室, CO<sub>2</sub> 浓度又开始增加, 由于下午室内温度较高, 学生开窗通风, 浓度上升较慢。通过分析可以很明显的看出教室内 CO<sub>2</sub> 浓度受人员密度与开门窗通风的影响很大, 教室内人员减少或教室开窗通风时, CO<sub>2</sub> 浓度明显下降。

通过调研发现, 因为教室设有集中供暖设施, 并且室外雾霾天气频发, 外窗每天开启时间较短或者根本不开启, 只是开启门或廊窗, 室内 CO<sub>2</sub> 浓度减少不明显, 因此为保证学生健康, 应设置有效通风系统来保证室内 CO<sub>2</sub> 浓度不超标。

#### 4.1.2 教室内 CO<sub>2</sub> 浓度的周变化规律

图 4 为连续一周室内 CO<sub>2</sub> 日平均浓度变化规律。

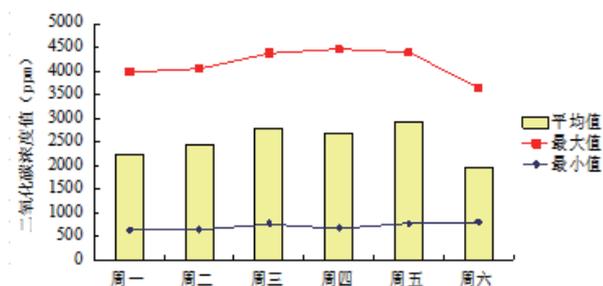


图 4 教室内 CO<sub>2</sub> 浓度周变化曲线

图 4 结果表明, 连续一周内, 从周一开始, 每日室内 CO<sub>2</sub> 最小值变化很小, 基本保持不变, 室内 CO<sub>2</sub> 浓度平均值逐渐增加, 周五达到最高, 周末减低。室内 CO<sub>2</sub> 浓度平均值和最大值变化规律相同。CO<sub>2</sub> 日平均浓度维持在 2500ppm 左右, 但仍然超出文献<sup>[2]</sup>中 CO<sub>2</sub> 最高浓度 1000ppm 的指标。

一周内室内 CO<sub>2</sub> 浓度超标严重。这主要是由于冬季室外气温低, 教室门窗常保持关闭状态, 周末也很少通风, 且室内人员呼吸不断产生 CO<sub>2</sub>, 使室内累积空气 CO<sub>2</sub> 浓度上升, 这已经严重影响学生的学习效率。

#### 4.1.3 室内外 CO<sub>2</sub> 浓度的变化规律

图 5 为连续一周室内外 CO<sub>2</sub> 日平均浓度变化规律。由图 5 可以看出室外 CO<sub>2</sub> 浓度一周内基本上保

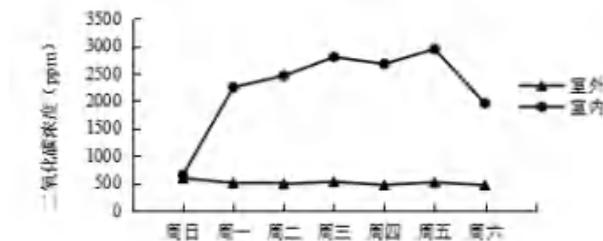


图 5 室内外 CO<sub>2</sub> 浓度周变化曲线

持不变, 浓度值为 500ppm 左右。在一周时间内, 从周日至周六, 室外 CO<sub>2</sub> 浓度基本不变, 室内 CO<sub>2</sub> 日平均浓度逐渐升高, 这说明室外 CO<sub>2</sub> 浓度对室内 CO<sub>2</sub> 浓度没有影响。因为周日不上课, 教室内无人, 因此由于没有 CO<sub>2</sub> 源和窗户空气渗透的作用, 周日室内外 CO<sub>2</sub> 浓度持平。周一随着课程的开始, 由于窗户的密闭以及没有有效的通风设施和措施, 人员产生的 CO<sub>2</sub> 量的不断累积, 室内 CO<sub>2</sub> 浓度不断增加, 周五达到峰值, 周六开始下降。

由此可见, 只靠窗户的渗透作用无法保证室内 CO<sub>2</sub> 浓度满足国家标准, 必须靠有组织的、有效的通风设施才能保证<sup>[4]</sup>。

#### 4.2 PM<sub>2.5</sub> 浓度的变化规律

##### 4.2.1 教室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度的日变化规律

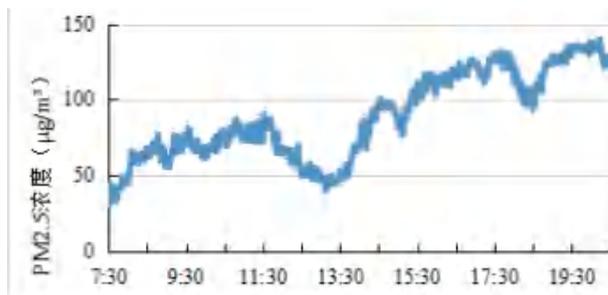


图 6 教室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度日变化曲线

图 6 为一日内室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度逐时变化规律。图 6 结果表明, 测试当日的教室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度在测试开始时较低, 随着上课时间的增加, 室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度逐渐上升, 这主要是室内人员活动影响致使室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度上升。中午 11:40—13:30 期间及下午 6:00 左右, 室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度有一定的下降, 主要是因为这个时间段为中午和晚间放学吃饭时间, 室内人员数量减少导致室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度下降。下午 1:30 后开始上课, 室内人员增加, 室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度又开始上升。一直到晚间自习下课, 室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度一直保持上升的趋势。

上午室内 PM<sub>2.5</sub> 数值较小基本在 40-80μg/m<sup>3</sup> 之

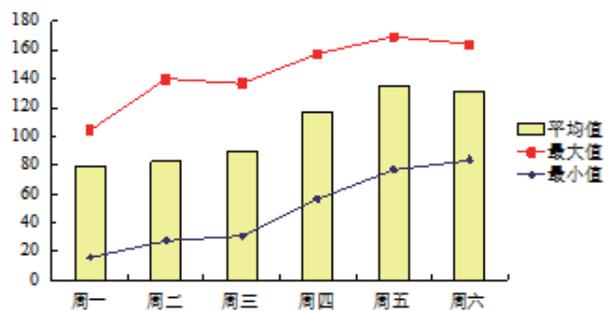


图 7 教室内 PM<sub>2.5</sub> 周平均浓度变化曲线

图 7 教室内 PM<sub>2.5</sub> 周平均浓度变化曲线

间,下午维持在  $80\text{--}140\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间。

#### 4.2.2 教室内 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的周变化规律

图7为测试周期内(一周内)教室内  $\text{PM}_{2.5}$  日均浓度值测试结果,同时也给出了一周内每天  $\text{PM}_{2.5}$  浓度最大值与最小值。

结果表明,一周内室内  $\text{PM}_{2.5}$  最高浓度达重度污染  $168.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 日平均浓度介于  $79.1\mu\text{g}/\text{m}^3$  至  $134.7\mu\text{g}/\text{m}^3$  之间,已属轻度污染与中度污染。而且从周一到周末,室内  $\text{PM}_{2.5}$  日平均浓度逐渐增加,这主要是由于教室内外窗一直处于关闭状态,因此导致室内累积  $\text{PM}_{2.5}$  浓度逐日增加。由此可见教室内  $\text{PM}_{2.5}$  浓度已经超标,对学生的身体已经产生了较大影响,急需采取措施对室内  $\text{PM}_{2.5}$  浓度进行控制。

#### 4.2.3 室内外 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度的相关性

图8为连续一周室内外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度日平均浓度变化规律。图8可以看出,在一周的大部分时间,室外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度均高于室内  $\text{PM}_{2.5}$  浓度,只在周一室外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度低于室内。这是因为周一空气质量较好,达到优的标准,室内由于人员活动,产生的  $\text{PM}_{2.5}$  浓度反而高于室外。

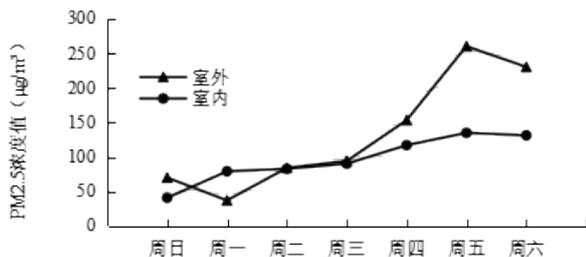


图8 室内外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的周变化曲线

一周内,室内与室外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度的变化趋势基本相同。周四至周六室外  $\text{PM}_{2.5}$  达到重度污染,室内污染也从轻度污染达到中度污染,可知室内  $\text{PM}_{2.5}$  增加的是由于室外空气向室内渗透。但也存在其他因素,周一时室外  $\text{PM}_{2.5}$  平均浓度值为  $37\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、但室内却达到  $79.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,这是因为室内人员走动、打扫卫生等会产生扬尘,使得室内  $\text{PM}_{2.5}$  浓度较大。而且通过测试发现,当室内打扫卫生时,  $\text{PM}_{2.5}$  最大能达到  $120\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,相当于室外中度污染的水平,而且  $\text{PM}_{2.5}$  能够长气中,严重影响学生的健康,建议学生教室的卫生打扫安排在晚上放学后。室外  $\text{PM}_{2.5}$  浓度增大是室内  $\text{PM}_{2.5}$  浓度增加的首要原因。

#### 4.3 室内外温湿度变化规律

##### 4.3.1 室内外温度的日变化规律

由图9可知,测试日室内与室外温度变化趋势并不完全相同。室外温度从上午上课时间开始逐渐升高,在中午12时至14时左右温度达到最高值,

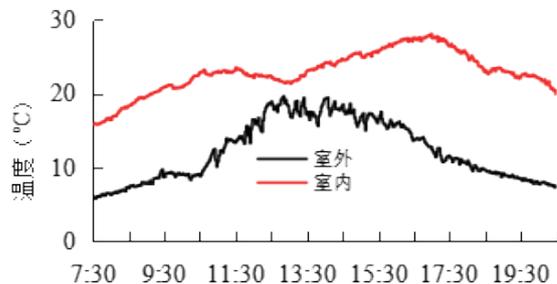


图9 室内外温度日变化曲线图

然后温度开始下降。室内温度从上午上课时间开始逐渐升高,在中午12时左右室内温度有所下降,在下午上课后温度又开始增加,在下午17时达到最高值,然后室内温度开始下降。这主要是因为上午随着室内太阳辐射热的增加,以及室内人员的散热,造成室内温度逐渐上升,在中午时段,由于学生放学,室内热源减少以及门的开启,导致室内温度降低,下午由于太阳辐射热量的延迟释放以及人员的回归,室内温度又开始逐渐升高,虽然此时室外温度开始下降,但室内温度下降并不明显。

由图10可以看出,每日室外相对湿度变化趋势于温度变化规律相反,即在室外温度低时,室外相对湿度最高。而室内外相对湿度变化趋势则不完全相同,上午室内外相对湿度变化趋势基本相同,即随着室内温度的升高,室内人员的增加,人员呼吸导致室内含湿量增加,故室内相对湿度逐渐上升,中午放学,由于人员的离开,湿源的减少,室内相对湿度达到最低值,随着下午课程的开始,室内人员增加,呼吸产生水蒸气增加,室内含湿量增加,室内相对湿度又开始升高。教室内相对湿度一般维持在40%~50%。

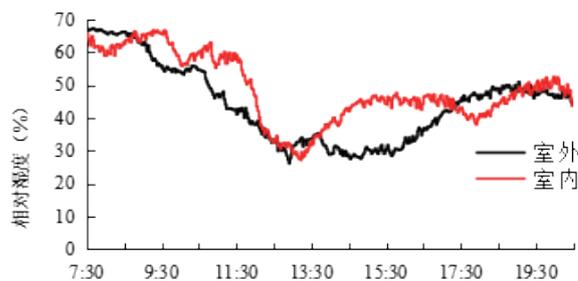


图10 室内外相对湿度日变化曲线图

## 5 结论

本文研究结论如下:

(1) 一周内,室内  $\text{CO}_2$  日平均浓度逐渐增加,周五达到最大值。 $\text{CO}_2$  日平均浓度维持在2500ppm左右,日内  $\text{CO}_2$  浓度最大值出现在下午放学时刻

(下转62页)

# 东北某数据中心冷却系统冷源方案分析

中国建筑东北设计研究院有限公司 侯鸿章 霍航 李文利 吴一凡

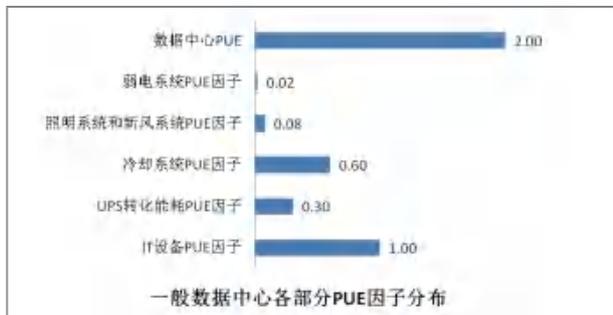
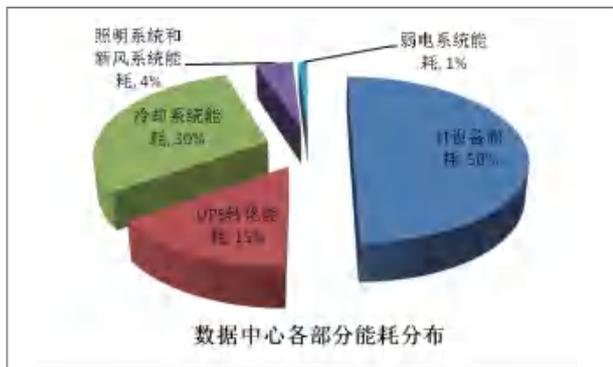
[摘要] 数据中心具有高能耗、全年运行的特殊性。以某数据中心为例，通过对大型数据中心冷却需求的特点及对可利用的冷却方式进行分析，提出了冷却系统方案的选用原则，结合当地地域条件确定数据中心冷却系统冷源方案。总结出在数据中心建设和运营过程节省能量消耗、减少碳排放的重要途径。

[关键词] 数据中心能源利用率 (PUE)；自然冷却；换热；冷水机组；水源热泵机组；干冷器

## 0 引言

随着计算、数据存储和通信技术需求的快速增长，数据中心建设数量和规模呈现出了上升趋势。由于数据中心连续高发热量的冷却需求，如何节省能量消耗、减少碳排放是数据中心建设过程中需要考虑的一个课题。

国际绿色网格组织 TGG (The Green Grid) 于 2007 年提出的能源利用率 PUE (Power Usage Effectiveness) 概念，即数据中心消耗的所有能源与 IT 负载使用的能源之比，可作为评价数据中心能源效率的参考指标。一般常规数据中心其能耗 (以现阶段数据中心多数 PUE=2.0 的为例)，由 IT 设备能源消耗、UPS 转化能耗、冷却系统能耗、照明系统和新风系统的能耗以及弱电系统能耗等五部分组成 (见图表)，冷却系统的能耗在 PUE 中冷却能耗的因子约占 0.60 的比率 (见图表)。



下面结合东北沈阳地区某数据中心冷却系统冷源方案选择实例进行具体分析。

## 1 项目概况

本工程项为沈阳市某数据中心的冷却系统冷源工程，冷源工程用于该数据中心 3 个数据机房及附属设备的冷却。

3 个数据机房分别为：设置 90 个高密度刀片式服务器机柜 (功率密度为 30 kW/ 机柜) 的超算中心机房 (机房面积 380m<sup>2</sup>) 1 个、设置 112 个高密度刀片式服务器机柜 (功率密度为 7 kW/ 机柜) 的云计算模块机房 (机房面积 340m<sup>2</sup>) 2 个。机房的末端冷却设备均采用与高功率密度机柜结合为一体的水列间机房专用空调，空调采用调速风机、同时在机柜间设置封闭冷通道以节约能源。

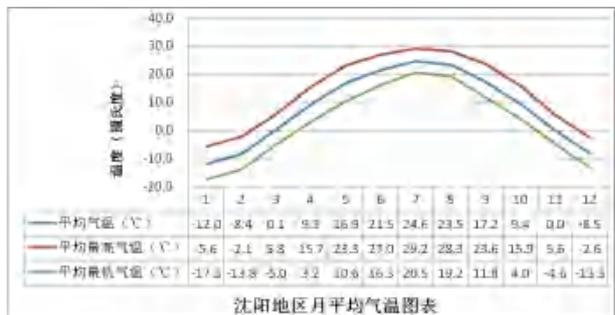
建设方根据规划的最初、最终功率要求，提供数据机房 (主机房及配套机房) 总冷负荷为 4150kW，机房全年连续冷却。

## 2 数据中心冷却方式分析

### 2.1 可利用的地域资源

沈阳地区室外气象资料如下：年平均温度为 8.4℃，供暖室外计算温度为 -16.9℃，日平均温度 ≤5℃ 的天数为 152 日。全年室外月平均气温见图表。

根据《水资源勘测报告》，当地水文地质情况如下：建筑物周边场地以河流冲积阶地地貌为主，地形较平坦，地下水类型为第四系孔隙潜水，含水层为砂砾石层，水量较丰富，水质较好，地下水的

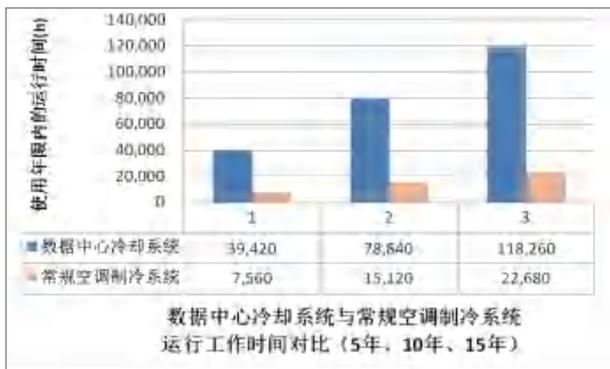


水温为 10.5℃；按群井布置方案考虑的单井出水量为 150~160 (m<sup>3</sup>/h)/口，单井回灌量为 50~60 (m<sup>3</sup>/h)/口。目前利用地热能资源暂无收费政策。

## 2.2 数据中心冷却系统的特点分析

数据中心的 IT 设备等发热量大且要求全年连续运行，因此对于能适合其使用的冷却系统，要求设备管路系统的耐用性、可靠性很高。如图表，可以看出数据中心冷却系统与常规空调制冷系统在 5 年、10 年、15 年，系统工作时间的对比，这也说明了数据中心在冷却方面高能耗的特点。

数据机房内的现代服务器和网络设备在温度范围 10~35℃、相对湿度范围 20%~80% 之间都可以正常运行。对于设置冷通道封闭的数据机房温度可适当提高，美国采暖制冷与空调工程师学会 (ASHRAE) 的机房冷通道温度范围，已经从 2004 年的 20~25℃ 提高到 18~27℃。



小型数据机房冷却系统大多采用制冷剂循环、直接电动压缩、膨胀式制冷的风冷精密空调系统形式。由于此制冷方式能效比相对较低、服务半径有限，大型数据中心冷却系统已很少采用。以水循环、冷水机组制冷的系统形式（以下简称“水循环制冷系统”），因能效较高、服务半径大而被广泛采用。对于采用制冷机制冷的冷却系统，当空调系统的送风和回风温度提高 1℃ 时，空调系统节约约 2.5%，空调系统的制冷能力提高约 5%。

免费冷却技术则是全部或部分利用自然界的免费冷源进行制冷，从而减少制冷机的能耗。对于利用免费冷却技术供冷的自然冷却系统，提高机房冷却水供、回水温度可以大幅度提高自然冷却的使用时间。

经与建设方和机柜供应商技术沟通，机房冷却水供、回水温度可以从设定的 11.5/16.5℃ 提高到 15/20℃，以节省能耗。

比较国内外高效节能的绿色冷却方式，选择采用水冷式制冷系统的冷却方式和利用免费冷却技术的自然冷却方式，是降低 PUE 最有效的措施。

## 2.3 数据中心可采用的冷却方式

结合本工程区域可利用资源的特点，数据中心冷却方式考虑采用水循环制冷系统的机房冷却、利用地下水换热的自然冷却和利用室外空气换热的自然冷却三种冷却方式。

### (1) 采用水冷式制冷系统的机房冷却方式

目前在大型数据中心的水循环制冷系统的机房冷却方式中，基本上都采用的水冷式冷水机组的制冷系统，它相比风冷式冷水机组的制冷系统，节能 20% 左右。

采用水循环制冷系统的冷却主要是采用由冷却塔、冷却水循环泵、冷水机组、冷水循环泵组成的制冷系统进行制冷供冷。

当室外气温低于 5℃ 时，可以考虑采用冷却塔直接冷却后，经板式换热器换热为机房冷却提供冷量。考虑到当室外空气小于 0℃ 时的防冻，冷却水系统需采用乙二醇溶液做为载冷剂、采用闭式冷却塔、水 - 水换热器换热进行冷量输送。

### (2) 利用地下水换热的自然冷却方式

利用地下水换热的自然冷却主要是利用地下水潜水泵、水 - 水换热器、冷水循环泵组成的制冷系统进行换热供冷。

对于换热温差为 2℃ 的冷却系统，当地下水取水温度高于 13℃ 时，直接换热冷却已无法满足机房冷却的需求，此时可以考虑采用水源热泵机组制冷为数据机房供冷。

### (3) 利用室外空气换热的自然冷却方式

利用室外空气换热的自然冷却主要是冬季可直接利用干冷器、冷水循环泵组成的制冷系统进行换热供冷。考虑到当室外空气小于 0℃ 时的防冻，冷却供冷系统需采用乙二醇溶液做为载冷剂、采用闭式冷却塔、水 - 水换热器换热进行冷量输送。

目前制冷设备制造商生产一种自然冷却风冷冷水机组，是在风冷冷水机组基础上加上自然冷却盘管回路，全年利用自然冷却风冷冷水机组、冷水循环泵组成的制冷系统进行换热、换热—压缩、压缩制冷供冷。即在冬季利用自然冷却盘管换热进行供冷；在过渡季先利用自然冷却盘管换热，然后再电动压缩制冷进行混合供冷；在夏季利用风冷冷水机组压缩制冷进行供冷。

## 2.4 数据中心可采用的冷却方式特点分析

根据本工程数据机房总冷负荷 4150KW，机房冷却系统按每套制冷单元设备冷量 1150KW 的 4 用 1 备方案考虑，配备相应设备。根据配备设备情况对三种冷却方式进行比较分析。

按目前可使用的冷却设备，选择自然冷却风冷

冷水机组供冷、水源热泵机组供冷、地下水换热供冷、干冷器换热供冷、冷水机组供冷 5 种冷却方式。5 种冷却方式在用电功率、适用范围等方面，按制冷单元 1150KW 制冷量，进行冷却方式比较表（见附表）。

### 3 数据中心冷却系统解决方案

#### 3.1 选择冷却系统方案的原则

根据上述数据中心可采用的冷却方式特点、结合地域特点、注重节能和初投资，确定如下选择方案原则：

（1）耐用性原则。数据中心冷却系统为全年运行，每年运行时间是常规空调制冷系统的 5 倍左右，设备及管路系统应考虑其使用寿命，以满足数据中心的长期使用要求。

（2）可靠性原则。数据中心为全年不间断运行，配备设备应考虑冗余备机、按 N+1 配备设备；冷却系统管路应可在线维修。

（3）节能性原则。数据中心的高能耗，使节能减排必须在数据中心建设和运营全周期中得到关注。

（4）经济性原则。初投资、运行费用都是建设和使用数据中心需全盘考虑的问题。

数据中心冷却系统的耐用性、可靠性是不同冷却系统方案均应考虑的，节能性、经济性需在建设前进行比较分析确定最优方案。

#### 3.2 可供选择的冷却系统方案

根据沈阳地区气候特点，冬季具备利用室外空气进行自然冷却的条件。根据《水资源勘测报告》经水文地质勘察部门咨询，场地满足地下水水量的需求；经政府有关部门审查批准，本项目可考虑利用地热能资源。

按照选择冷却系统方案的原则，可供选择冷却系统方案如下：

方案一：自然冷却风冷冷水机组供冷系统方案即利用室外空气，在冬季采用自然冷却方式、在过渡季采用混合冷却、在夏季采用风冷冷水机组冷却。

方案二：地下水换热供冷方案即利用地下水，全年采用地下水换热冷却。

方案三：水源热泵机组供冷方案即利用地下水，全年采用水源热泵机组冷却。

方案四：干冷器换热（冬季）+冷水机组（过渡季、夏季）供冷方案

即利用室外空气，冬季干冷器换热冷却；其他季节采用冷水机组冷却。

方案五：地下水换热（冬季、过渡季）+水源热泵机组（夏季）供冷方案

即利用地下水，在冬季、过渡季采用地下水换热冷却，在夏季采用水源热泵机组冷却。

#### 3.3 5 种冷却系统方案节能性比较

按 95% 满负荷全年运行，将 5 种冷却系统方案的年度能耗和年度 PUE 冷却因子进行计算、统计，结果见图。

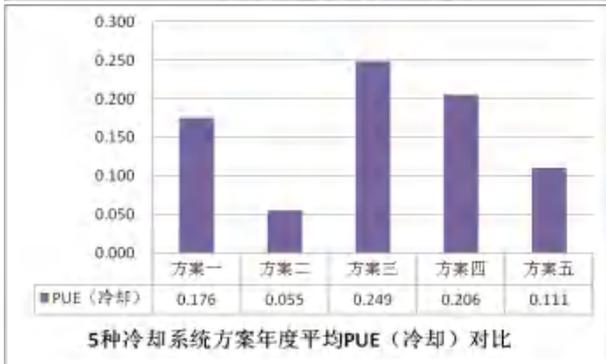
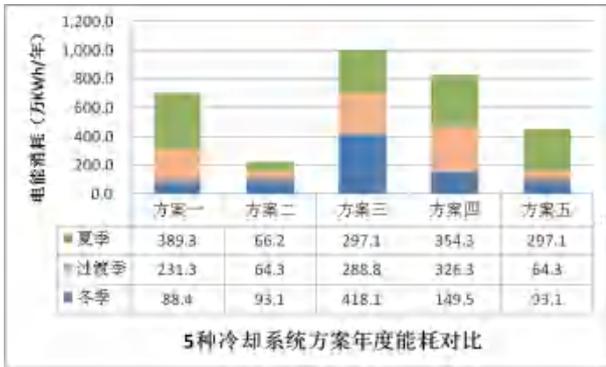
#### 3.4 冷却系统方案确定

综合考虑上述 5 种冷却系统方案能耗情况，如采用地下水换热供冷方案（方案二）进行全年自然冷却，全年平均 PUE 冷却因子约为 0.055 左右，为能耗最节省方案。

数据机房需求冷却水供、回水温度为 15/20℃，换热温差按 2℃ 计算，地下水取水温度在 13℃ 以下即可利用地下水进行自然冷却。由于地热能资源分

不同冷却方式比较表（按每套制冷单元 1150kW 供冷量考虑）

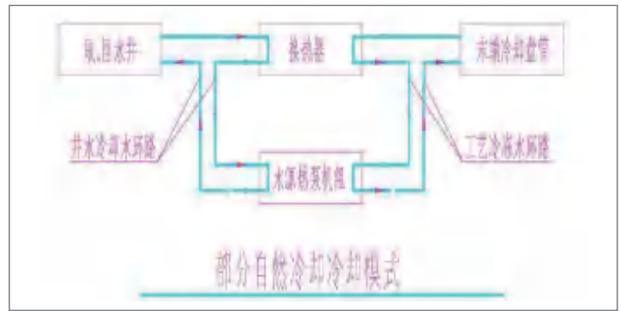
冷却方式	自然冷却风冷冷水机组			水源热泵机组			地下水换热		干冷器		冷水机组	
	制冷	自然冷却	换热水泵	机组	潜水泵	换热水泵	潜水泵	换热水泵	风机	换热水泵	机组	冷却水泵+冷却塔
用电功率	356.7	35	18.5	200	30	15	30	18.5	45	18.5	260	26
用电合计	356.7	53.5		245.0			48.5		63.5		286.0	
效率	0.95	0.93		0.90			0.80		0.90		0.93	
组合用电	375.5	57.5		272.2			60.6		70.6		307.5	
可用季节	全年			全年			全年		冬季		冬季、过渡季	
优点	冬季能效高、综合能效较高			压缩制冷效率高			自然冷却效率高		冬季自然冷却效率高		效率适中	
缺点	春秋季效率低于地下水冷却，夏季低于水源热泵和冷水机组			受地下水环境（水量）制约			受地下水环境（水量、水温）制约		只在冬季自然冷却条件下使用效率高		冬季使用需加闭式冷却塔或干冷器	



布的不确定性，考虑到数据中心为全年冷却，向地下输送的热量能否持续稳定地被地下吸收及扩散，也是本工程项目能否可靠、稳定运行的基础。如地下水取水温度超过 13℃，则需考虑采用水源热泵机组进行供冷才能满足数据中心冷却需求。

经方案多方面比较，最终确定采用地下水换热（冬季、过渡季）+水源热泵机组（夏季）供冷方案（方案五）。此方案在确保系统安全可靠前提下，可大幅度地利用自然冷却，使全年平均 PUE 冷却因子约在 0.111 左右，较目前常规冷却系统（PUE 冷却因子约为 0.6）节省了约 80% 左右。

对于单独本项目的冷却，全年需提取地下的冷量，即向地下输送热量；但对于扩大场地的本地区域，由于周边有一定规模地下水地源热泵项目运行，冬季从地下提取的热量多于其他季节向地下输送的热量，本项目向地下输送的热量，则正好是地下能量的一个补充和平衡。本项目的水源热泵机组确定在夏季时段（延迟 2~3 个月）运行，也是考虑此段时间地下水温波动影响数据中心冷却。这也是作为



全年地下水换热供冷方案的一个备用方案，以增加冷却系统运行的可靠性。数据中心冷却系统设置原理见图所示。

该数据中心已启动运行，目前主要采用地下水换热方式进行冷却。在数据中心部分运行情况下，经初步测算该数据中心在冷却方面的 PUE 值约为 0.075 左右。

#### 4 结论

1. 根据数据中心全年度连续运行的特点，冷却系统的建设和运行应充分考虑系统的耐用性、可靠性问题。
2. 根据数据中心具有大发热量的特点，冷却系统的建设和运行应充分考虑设备能效、系统能效等节能问题。
3. 根据数据中心高能耗的特点，冷却系统的建设和运行应考虑结合区域资源特点，充分利用天然冷源进行尽可能长时间的自然冷却，使得 PUE 中冷却耗能的因子能做到 0.2 以下，以获得更低的 PUE 值。北方地区的气候特点可以使得数据中心的运行更为节能。

#### 参考文献

[1] 钱晓栋, 李震, 《数据中心空调系统节能研究 [J]. 暖通空调》, 2012, 42(3): 91-96

[2] 谢晓云, 江亿, 刘拴强, 曲凯阳, 于向阳, 《间接蒸发冷水机组设计开发及性能分析 [J]. 暖通空调》2007, 37(7): 66-71, 85

[3] 陆耀庆, 《实用供暖空调设计手册 [M]. 2 版》, 中国建筑工业出版社, 2008

[4] 陈霖霖, 岳孝方., 《空气与制冷技术手册》, 同济大学出版社, 1999.



# 温湿度独立控制的太阳能吸收 / 双源双压缩复合制冷系统工作特性研究

河南科技大学制冷与空调技术研究所 宋梦宇 王林

[摘要] 根据温湿度独立控制空调系统需要冷源的品位不同, 提出了一种新型的太阳能吸收 / 双压缩复合制冷系统。该系统由太阳能单效溴化锂吸收制冷 (SSAR) 子系统、能量梯级利用的中间冷却 / 加热 (ECUI) 子系统和双源双压缩制冷 (PDCR) 子系统耦合而成。新系统具有以下优点: (1) 中间冷却 / 加热子系统实现了冷量的梯级利用; (2) 通过双压缩机和双源冷凝器并联来实现系统全天候制冷和最大限度利用太阳能。基于热力学数学模型, 通过改变发生温度, 蒸发温度和环境温度来分析系统性能。结果表明, 太阳能单效溴化锂吸收制冷子系统具有最佳的发生温度和蒸发温度, 在一定的环境温度 and 太阳能强度范围内, 环境温度越高, 新系统的制冷效果越好。

[关键词] 太阳能; 复合制冷; 能量梯级利用; 系统性能

## 1 引言

当今世界面临着能源短缺和环境污染等社会性问题, 已经严重阻碍了人类的进一步发展。太阳能制冷技术是一种环境友好型技术, 能够显著减少二氧化碳的排放, 从而减少温室效应<sup>[1]</sup>。

传统的太阳能吸收制冷用于建筑空调供冷时, 其效率较低、成本较高且具有间歇性, 需要通过设置能量储罐或辅助加热方式来延长机组供冷时间以解决机组运行间歇性问题<sup>[2]</sup>。Ali 等对 35.17kW 太阳能单效溴化锂吸收式制冷机开展了实验研究, 在真空管集热器面积 108m<sup>2</sup>、蓄热水箱体积 6.8m<sup>3</sup> 和蓄冷水箱体积 1.5m<sup>3</sup> 条件下, 连续 5 年实验数据表明, 制冷期太阳能平均保证率为 0.25, 集热器效率在 35.2~49.2% 范围内, 晴天机组 COP 在 0.37~0.81 之间变化<sup>[3]</sup>。

国内外研究者利用双级吸收制冷循环、太阳能单效吸收制冷循环与电压缩制冷循环的冷凝器或过冷器耦合成复叠制冷循环或太阳能吸收制冷与压缩机 (或压缩制冷循环) 所组成开式复合制冷循环, 从降低发生温度或增加蒸发温度来提升机组效率、扩大太阳能利用温区并降低系统投资。

中国科学院广州能源研究所研制出 100kW 太阳能空调热水系统来提供一栋 24 层多功能综合性建筑全年生活热水和其中 1 层楼的空调供冷, 采用 500m<sup>2</sup> 平板太阳集热器加热热水, 由 100kW 两级吸收制冷机制冷, 设置燃油热水锅炉辅助加热, 在热水温度 62.0~73.6℃、冷冻水温度 6.8~12℃、冷却水温度 28.2~30.6℃时, 实验测试机组 COP 值 0.40~0.46, 可见, 采用两级吸收制冷循环可降低发生温度和扩

大太阳能使用温区, 但机组制冷效率较低<sup>[4]</sup>。代彦军等提出一种太阳能辅助再吸收 - 过冷压缩复合热泵系统, 该系统能将运行热源温度提高到 72℃ 以上, 强调了与普通无跟踪太阳能集热器集成的可能性, 并能将可行的环境空气温度扩展到 -20℃ 以上<sup>[5]</sup>。王林等提出了一种新型太阳能吸收 - 压缩复叠制冷系统, 与传统空气源压缩制冷系统相比, 整个制冷季的能耗降低了 26.70%, 并且提高了太阳能利用效率, 延长了太阳能利用时间, 实现了全天候制冷 / 供暖<sup>[6]</sup>。韩巍等提出了一种新型氨 - 水吸收 - 压缩式热泵, 可回收 150℃ 以下烟气显热, 产生 0.5 MPa (151.8℃) 的饱和蒸汽, 系统的 COP 和焓效率分别达到 5.49 和 27.62%<sup>[7]</sup>。李先庭等提出了一种新型内部混合吸收 - 压缩式热泵, 较高的吸收侧制冷剂比率通常会使得一次能源效率不太敏感, 而容量对工况更敏感<sup>[8]</sup>。

综上所述, 太阳能单效吸收制冷机作为空调冷源仍然存在机组效率偏低和难以全天候制冷问题, 而太阳能吸收 / 压缩复叠制冷循环还需解决全天候供冷问题。因此本文提出一种溴化锂单效吸收 / 双源压缩的复合制冷系统, 研究组成新系统的吸收制冷循环的发生温度、蒸发温度以及环境温度对新系统循环性能影响。

## 2 循环流程

太阳能吸收 / 压缩复合制冷 (SADC-HR) 系统如图 1 所示, 该系统由太阳能单效溴化锂吸收制冷 (SSAR) 子系统、能量梯级利用的中间冷却 / 加热 (ECUI) 子系统和双源双压缩制冷 (PDCR) 子系统耦合而成, SSAR 子系统采用 LiBr-H<sub>2</sub>O 工质对,

ECUI 子系统以水作为工作介质, PDCR 子系统以 R134a 为制冷剂。其中 PDCR 子系统由水冷压缩制冷循环 (WCR) 和风冷压缩制冷循环 (ACR) 构成, 这两个循环并联运行, 虽然他们的冷凝压力不同, 但共用一个承担建筑空调潜热负荷的蒸发器。新系统通过太阳能单效吸收制冷所提供的高蒸发温度下冷量被梯级利用消除空调显热负荷及水源压缩制冷冷凝热, 以压缩制冷所提供的低蒸发温度下冷量承担空调潜热负荷, 并通过双源双压缩机热泵子系统实现全天候制冷或制热, 从而实现冷量 / 热能梯级制备与利用, 提升能源利用率, 扩大太阳能利用温区, 满足全天候供冷 / 供热需求。该系统的运行模式为: 模式 1: 当太阳能辐射强度较高时, SSAR 子系统、ECUI 子系统和 WCR 循环工作, WCR 循环承担全部建筑潜热负荷, ECUI 子系统所承担的全部建筑显热冷负荷和 WCR 循环的冷凝热经 SSAR 子系统的冷却塔排除到大气环境中去; 模式 2: 当太阳能辐射强度较低时, 若 SSAR 子系统制备冷量不能完全排除建筑显热负荷或 WCR 循环制备的冷量不能完全承担建筑潜热时, 则 ACR 循环启动工作, 来承担剩余建筑冷负荷; 模式 3: 当太阳能辐射强度很小 (如夜间或阴天) 时, SSAR 子系统难以工作, 导致 WCR 循环也停止工作, 从而建筑显热负荷和潜热负荷完全由 ACR 循环承担。

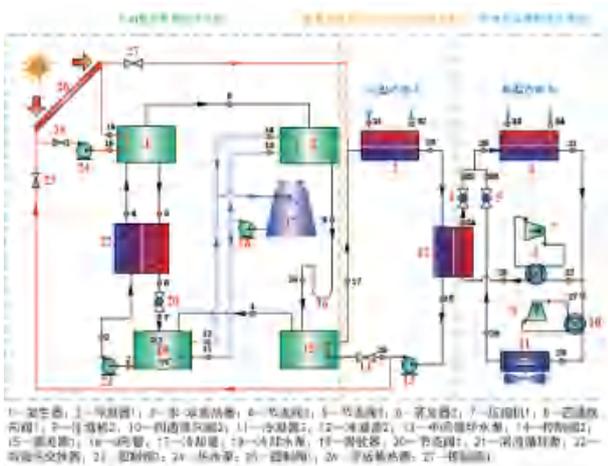


图 1 太阳能吸收 / 双压缩混合制冷 (SADC-HR) 系统

### 3 热力学数学模型

首先, 专门建立平板集热器热力学模型, 其模型基于集热器效率经验方程、集热量方程, 与其他部件模型建立方法不同。

集热器效率方程为<sup>[9]</sup>:

$$h_{FPC} = 0.79 - \frac{3.94 \{60.5 \text{ S}\} T_{15} + T_{ie}g - T_e^{\circ}}{I} \quad (1)$$

式中,  $T_e$  为环境温度, K;  $I$  为太阳能辐射强度,

W/m<sup>2</sup>。

集热量方程为:

$$Q_{FPC} = A S I h_{FPC} \quad (2)$$

式中, 为集热器集热面积, m<sup>2</sup>。

集热器中能量平衡方程:

$$Q_{FPC} = c_p m_{hw} (T_{15} - T_{16}) \quad (3)$$

在溶液热交换器中, 冷热溴化锂溶液的比热容几乎相等, 实际换热温差和最大可能换热温差很接近, 故溶液热交换器的效能 ( $\mu$ ):

$$n = \frac{T_5 - T_6}{T_5 - T_3} \quad (4)$$

冷却水出水温度可由公式 (5)、(6) 通过迭代计算得出<sup>[15]</sup>:

$$t_{cw,o} = t_{cw,i} - \frac{G_{ra} \text{ S f S} (h_{a,sat,o} - h_{a,i})}{G_{cw} \text{ S} c_{p,cw}} \quad (5)$$

$$f = \frac{t_{cw,i} - t_{cw,o}}{t_{cw,i} - t_{wb}} \quad (6)$$

根据质量守恒, 除太阳能集热器外, 各部件质量平衡方程和溶液质量平衡方程分别如下所示:

$$/ m_i - / m_o = 0 \quad (7)$$

$$/ m_i X_i - / m_o X_o = 0 \quad (8)$$

根据能量守恒, 各部件的能量平衡方程如下:

$$/ Q_i + / W_i + / m_i h_i - / m_o h_o = 0 \quad (9)$$

双源双压缩制冷子系统总耗功为:

$$W_{PDCR} = W_{com1} + W_{com2} \quad (10)$$

式中,  $W_{com1}$  为水源压缩制冷循环耗功,  $W_{com2}$  为空气源压缩制冷循环耗功。

太阳能吸收 / 压缩复合制冷 (SADC-HR) 系统中的太阳能单效溴化锂吸收制冷 (SSAR) 子系统和双源双压缩制冷 (PDCR) 子系统利用的能量品位不同。太阳能单效溴化锂吸收制冷 (SSAR) 子系统采用低品位的热能, 双源双压缩制冷 (PDCR) 子系统采用高品位的电能, 因此分别用热 COP 和机械 COP 两种性能指标评价:

SSAR 子系统的热性能系数:

$$COP_{th} = \frac{Q_{Eva1}}{Q_{ETC}} = \frac{X_5 - X_4 g (h_1 - h_{10})}{X_5 (h_5 - h_4) + X_5 - X_4 g (h_8 - h_5)} \quad (11)$$

PDCR 子系统的机械性能系数:

$$COP_{me} = \frac{Q_{Eva2}}{W_{PDCR}} \quad (12)$$

式中,  $Q_{Eva1}$  为 SSAR 子系统制冷量 (kW),  $Q_{Eva2}$  为 PDCR 子系统制冷量 (kW)。

### 4 结果与讨论

已知太阳能辐射强度为 450W/m<sup>2</sup>, 建筑负荷为

100kW, 下面将分析 SADC-HR 系统在低太阳能辐射条件下以模式 2 运行时, 吸收子系统发生温度、蒸发温度和环境温度对系统的影响。

(1) SSAR 子系统的发生温度对系统影响

SSAR 子系统的发生温度对系统影响, 计算条件为吸收制冷子系统蒸发温度为 15°C, 环境温度为 34°C、相对湿度 70%。

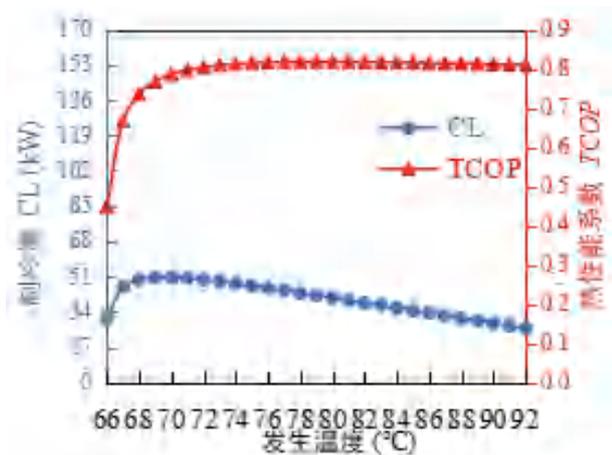


图 2 发生温度对 SSAR 子系统的 TCOP 和制冷量影响

图 2 显示在低太阳能辐射强度 (模式 2) 下发生温度对 SSAR 子系统的热性能系数 (TCOP) 和制冷量影响。如图 2 所示, 随着发生温度增加, 在 SSAR 子系统的 COP 和制冷量均先增加后减少, 在发生温度 79°C 时 COP 达到最大值。这是因为发生温度增加, SSAR 子系统浓溶液浓度增加, 溶液放气范围减少, 由公式 11 可知, 热性能系数呈现出先增加后略微减少趋势, 显然, 热性能系数决定于系统本身特性而与加热量大小无关。但是, 给定辐射强度和集热器面积时, 集热器集热温度 (发生温度) 升高, 集热器集热性能下降, 集热器集热量减少。可见, 发生温度增加, 引起太阳能集热器集热量减少, 由子系

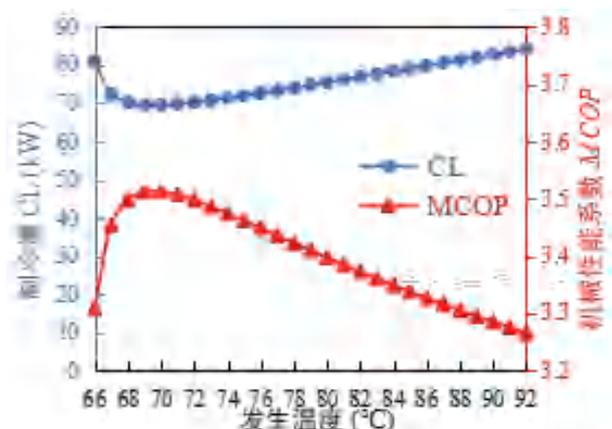


图 3 发生温度对 PDCR 子系统的 MCOP 和制冷量影响

统 COP 和集热量变化趋势导致 SSAR 子系统制冷量先增加后减少变化趋势, 在低太阳能辐射 (模式 2) 情况下的吸收子系统制冷量在发生温度为 70°C 时较先达到最大值 50.64kW。

图 3 显示在低太阳能辐射强度 (模式 2) 下发生温度对 PDCR 子系统的 MCOP 和制冷量影响。如图 5 所示, 随着发生温度增加, PDCR 子系统制冷量先减少后增加, 而 COP 先增加后减少。这是因为在低辐射强度时, SSAR 子系统发生温度从 66°C 增加到 92°C, 其获得制冷量最大值 50.64kW (见图 2), 因此, SSAR 子系统制备的高温冷水在显热换热器中只能承担部分建筑显热, 而由 PDCR 子系统的 WCR 和 ACR 循环共同工作承担剩余建筑空调负荷。如图 2 所示, 低辐射强度时 SSAR 子系统所制备冷量先增加后减少, 所以其制备高温冷水承担的建筑显热负荷先增加后减少, 而由 PDCR 子系统承担余下空调负荷先减少后增加, 在 70°C 时 PDCR 子系统承担最小的建筑负荷 69.61kW。由于 SSAR 子系统所制取冷量先后经显热热交换器和 PDCR 子系统的冷凝器被梯级利用, 所以, 随发生温度增加, PDCR 子系统的 WCR 循环承担建筑负荷先也呈现增加后减少趋势, 从而 ACR 循环承担建筑负荷先减少后增加。虽然 WCR 和 ACR 循环的效率是不变的, 但 WCR 循环效率大于 ACR, 这就是说, 当 WCR 循环承担建筑负荷份额越大则 PDCR 子系统总能耗越小。随 SSAR 子系统发生温度增加, WCR 循环承担建筑负荷先增加后减少, 决定压缩机 1 耗功先增加后减少, 而 ACR 循环承担建筑负荷先减少后增加, 决定压缩机 2 能耗先减少后增加, 所以, WCR 循环承担建筑负荷的份额使得 PDCR 子系统总能耗出现先减少后增加趋势, 结果 PDCR 子系统的 COP 呈现出先增加后减少趋势, 在 70°C 时系统的 COP 达到最大值 3.51。可见, SSAR 子系统所生产制冷量越大, 则承担建筑空调显热负荷越大, 从 PDCR 系统的 WCR 循环所带走冷凝热越多, 相应的, PDCR 系统的 ACR 循环承担冷负荷越小, 系统总能耗越少。所以, SSAR 子系统制冷量越大, 有助于使系统获得能源利用效率越大。

(2) SSAR 子系统的蒸发温度对系统影响

SSAR 子系统的蒸发温度对系统影响, 计算条件为吸收制冷子系统发生温度为 70°C, 环境温度为 34°C、相对湿度 70%。

图 4 显示在低太阳能辐射强度 (模式 2) 下蒸发温度对 SSAR 子系统的 TCOP 和制冷量影响。如图 4 所示, 随 SSAR 子系统的蒸发温度增加, 在 SSAR 子系统 TCOP 呈现出逐渐增加趋势, 但曲线

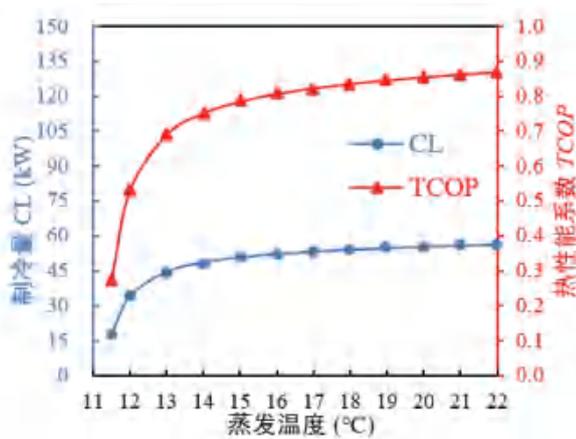


图4 蒸发温度对SSAR子系统的TCOP和制冷量影响变化是先陡而后趋于平缓。根据SSAR子系统的热性能系数定义(见公式11),TCOP是由系统本身特性所决定的。随SSAR子系统蒸发温度增加,给定条件下,SSAR子系统的制冷量呈现出与TCOP相同变化趋势。在SADC-HR系统的第2种运行模式下,当蒸发温度从11.5°C增加到22°C,SSAR子系统TCOP从0.28增加到0.87,而SSAR子系统制冷量从17.77kW增加到56.06kW。

图5显示在低太阳能辐射强度(模式2)下蒸发温度对PDCR子系统MCOP和所提供的制冷量影响。如图5所示,随着蒸发温度增加,在低辐射强度下SADC-HR系统按第2种模式运行,PDCR子系统的MCOP先增加后减少,PDCR子系统所承担的制冷量呈下降趋势。这是因为在低辐射强度时,SSAR子系统蒸发温度从11.5°C增加到22°C,其获得制冷量最大值56.06kW(见图7),因此,SSAR子系统制备的高温冷水在显热换热器中只能承担部分建筑显热,而由PDCR子系统的WCR和ACR循环共同工作承担剩余建筑空调负荷。如图4所示,随蒸发温度从11.5°C增加到22°C,低辐射强度时SSAR子系统所制备冷量逐渐增加,所以其制备高温冷水承担的建筑显热负荷也逐渐增加,而由PDCR子系统承担余下空调负荷逐渐减少,由于SSAR子系统所制取冷量先后经显热热交换器和PDCR子系统的冷凝器被梯级利用,所以,随蒸发温度增加,PDCR子系统的WCR循环承担建筑负荷先也呈现逐渐增加趋势,从而ACR循环承担建筑负荷逐渐减少。尽管WCR循环效率下降,而ACR循环的效率是不变的,但WCR循环效率必然大于ACR,这就是说,一方面,当WCR循环承担建筑负荷份额越大,则PDCR子系统总能耗越小,另一方面,SSAR子系统蒸发温度变化也会直接影响到WCR循环的制冷效

率,随着蒸发温度增加,WCR制冷效率下降,也会引起PDCR子系统能耗增加,所以,这两方面原因使得PDCR子系统总能耗出现先减少后增加趋势,结果PDCR子系统的MCOP呈现出先增加后减少趋势,当SSAR子系统的蒸发温度15°C时PDCR子系统的MCOP达到最大值3.51。

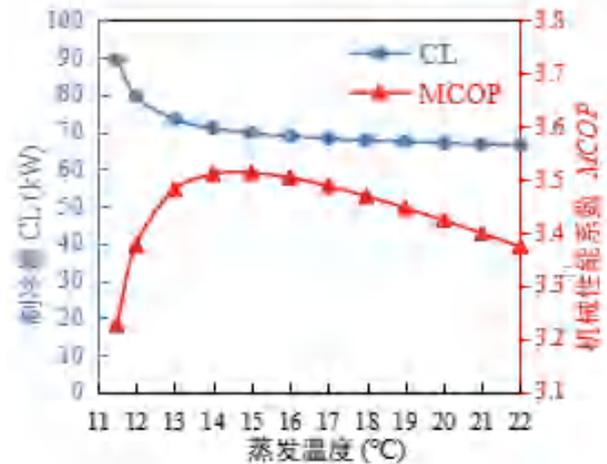


图5 蒸发温度对PDCR子系统MCOP和制冷量影响

### (3) 环境温度对系统影响

环境温度变化对系统影响,计算条件为吸收制冷子系统发生温度为80°C,吸收制冷子系统蒸发温度为17°C。

图6显示在低太阳能辐射强度(模式2)下环境温度对SSAR子系统的TCOP和制冷量影响。随环境温度增加,SSAR子系统TCOP呈现出逐渐减小趋势,但环境温度低于40°C曲线变化平缓,超过40°C曲线出现陡降,根据SSAR子系统的热性能系数定义(见公式11),TCOP是由系统本身特性所决定的。随环境温度增加,SADC-HR系统制冷量呈现出先增加后减少趋势,这是由于环境温度增加引起集热器效率上升,从而发生器加热量不断增加,但SSAR子系统的TCOP逐渐降低,所以导致SSAR子系统所获得制冷量呈现先增加而后下降趋势。当环境温度从28°C增加到42°C,SSAR子系统TCOP从0.85下降到0.47,而SSAR子系统制冷量在最小值29.14kW(在环境温度42°C)与最大值44.91kW(在环境温度39°C)。可见,SSAR子系统优点在于:其工作温区宽,可有效延长系统工作时间;在一定环境温度范围内,SSAR子系统所获得制冷量随环境温度升高而越大,存在最佳环境温度使得SSAR系统制冷量获得最大值。

图7显示在低太阳能辐射强度(模式2)下环境温度对PDCR子系统的MCOP和所提供的制冷量影响。如图7所示,随着环境温度增加,在低辐射

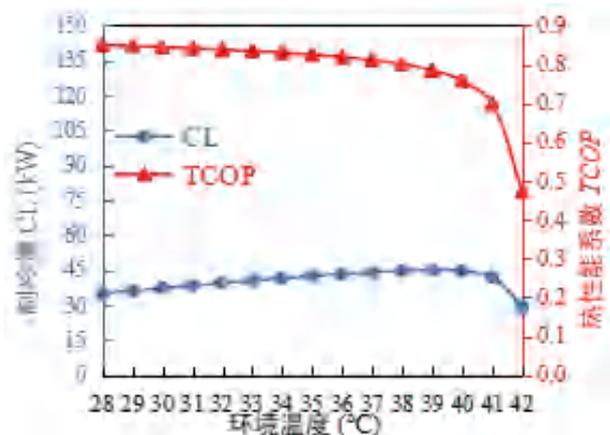


图6 环境温度对SSAR子系统的TCOP和制冷量影响

强度下SADC-HR系统按第2种模式运行，PDCR子系统的MCOP逐渐近似线性下降，PDCR子系统所承担的制冷量呈先降低而后增加趋势，但变化较平缓。这是因为在低辐射强度时，当环境温度从28℃增加到42℃，SSAR子系统所制备的最大制冷量仅44.91kW（在环境温度39℃）（见图6），因此，SSAR子系统制备的高温冷水在显热换热器中只能承担部分建筑显热，而由PDCR子系统的WCR和ACR循环共同工作承担剩余建筑空调负荷。随环境温度逐渐增加，低辐射强度时SSAR子系统所制备冷量先增加后减少，所以其制备高温冷水所承担的建筑显热负荷也先增加减少，在总负荷恒定条件下，由PDCR子系统承担余下空调负荷必然呈现先减少后增加趋势，因SSAR子系统所制取冷量先后经显热热交换器和PDCR子系统的冷凝器被梯级利用，所以，随环境温度增加，PDCR子系统的WCR循环承担建筑负荷先也呈现先增加后减少趋势，从而ACR循环承担建筑负荷先减少后增加趋势。尽管WCR循环制冷效率保持不变，但ACR循环的制冷

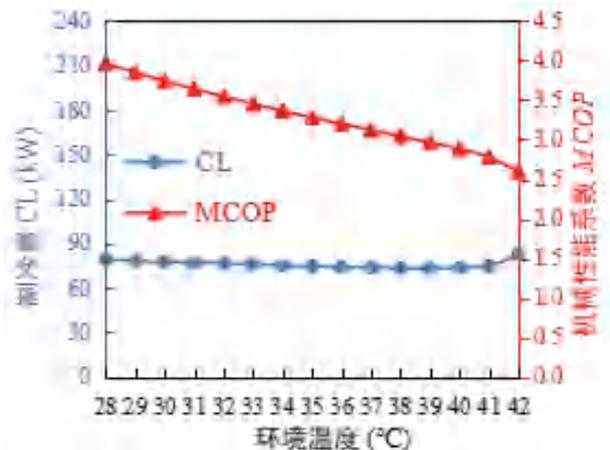


图7 环境温度对PDCR子系统的MCOP和制冷量影响

效率是下降的，且ACR循环承担建筑负荷份额越大，则PDCR子系统总能耗越大，ACR循环承担建筑负荷份额使得PDCR子系统总能耗出现逐渐增大趋势，结果PDCR子系统的MCOP呈现出逐渐减少趋势。

### 5 结论

本文对提出的太阳能吸收/压缩复合制冷（SADC-HR）系统的影响因素进行研究，主要结论如下：

（1）存在最佳SSAR子系统的发生温度和蒸发温度使得系统获得能耗最小。当发生温度70度，系统可获得最好制冷效果；当SSAR子系统蒸发温度18℃，PDCR子系统耗功量达到最小值19.51kW；

（2）在一定环境温度和辐射强度范围内，所提出的SADC-HR系统具有环境温度越高制冷效果越好，较传统风冷压缩制冷循环具有显著节能优势，克服传统压缩制冷循环所存在的环境越高制冷效果越差缺陷。

### 参考文献

- [1] Li Z, Sumathy K. Technology development in the solar absorption air-conditioning systems[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2000, 4: 267-293.
- [2] Grossman G. Solar-Powered Systems For Cooling, Dehumidification and Air-Conditioning[J]. Solar Energy, 2002, 72: 53-62.
- [3] Ali P D E a H H, Noeres P, Pollerberg C. Performance assessment of an integrated free cooling and solar powered single-effect lithium bromide-water absorption chiller[J]. Solar Energy, 2008, 82: 1021-1030.
- [4] 李戡洪, 马伟斌, 江晴, et al. 100kW 太阳能制冷空调系统. 太阳能学报 [J], 1999, (03): 239-243.
- [5] Teng Jia, Dou Pengbo, Dai Yanjun, et al. Proposal and performance analysis of a novel solar-assisted resorption-subcooled compression hybrid heat pump system for space heating in cold climate condition[J]. Renewable Energy 2019
- [6] He Hui, Wang Lin, Yuan Junfei, et al. Performance evaluation of solar absorption-compression cascade refrigeration system with an integrated air-cooled compression cycle[J]. Energy Conversion and Management, 2019, 201: 112153.
- [7] Liu Changchun, Jiang Yingchun, Han Wei, et al. A high-temperature hybrid absorption-compression heat pump for waste heat recovery[J]. Energy Conversion and Management, 2018, 172: 391-401.
- [8] Wu Wei, You Tian, Wang Jian, et al. A novel internally hybrid absorption-compression heat pump for performance improvement[J]. Energy Conversion and Management, 2018, 168: 237-251.
- [9] Not A. Solar energy handbook. Theory and applications. Second edition[M]. United States: Chilton Book Co., Radnor, PA, 1984.

# 太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统 逐时仿真与性能研究

桂林电子科技大学机电工程学院 何智鹏 雷腾跃 梁才航

[摘要] 本文利用 TRNSYS 软件对太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统在 5~9 月中国桂林的除湿性能进行逐时分析。首先利用每时刻太阳辐射量和空气含湿量等气象数据确定办公室在 5~9 月的 8 日的每小时湿负荷, 然后计算了除湿量、制冷量、除湿效率、全热交换效率、性能系数和太阳能贡献率随时间的变化情况。7 月份高太阳辐射量和高含湿量能提升该系统的除湿量和制冷量, 但会降低除湿效率和全热交换效率。性能系数和太阳能贡献率受太阳辐射量影响较大, 性能系数和太阳能贡献率最小值都出现在 7 月 8 日下午 14:00, 分别为 0.352 和 0.332。

[关键词] 中空纤维膜; 太阳能; 溶液除湿; 除湿性能; 逐时仿真

## 0 引言

空气的湿度对人体的健康和热舒适有着极其重要影响。适宜人体健康和热舒适的室内空气相对湿度在 45%~65%<sup>[1]</sup>。空调能耗占我国能源消费总量的 15% 左右<sup>[2]</sup>, 而除湿能耗占空调总能耗的 20%~40%<sup>[3]</sup>。传统的机械蒸汽压缩除湿方法存在湿表面霉菌滋生、空气再加热耗能过多等问题, 导致室内空气质量差、能耗大<sup>[4]</sup>。中空纤维膜除湿器将溶液与空气隔绝, 有效解决了气液夹带、霉菌污染空气等问题, 且膜具备较高的传热传质特性和高装填密度等<sup>[5]</sup>, 国内外学者对其进行了广泛的研究。

Jeachul<sup>[6]</sup> 利用 TRNSYS 提出了中空纤维膜与蒸发冷却除湿的能量需求对比, 指出膜除湿比蒸发冷却技术降低了 47.6% 的功率能量。Zhang<sup>[7]</sup> 等人提出了太阳能驱动的中空纤维膜式液体干燥剂空调系统的概念。但是, 他们并没有进行深入研究。Zhang<sup>[8]</sup> 研究了热泵驱动和中空纤维膜式液体干燥剂空气除湿系统, 并通过实验验证了理论模型, 得出的结果是, 除湿效率由 0.3 增加到 0.5, COP 由 0.4 增加到 0.9。Ahmed<sup>[9]</sup> 利用 TRNSYS 建筑能耗模拟软件太阳能驱动的平板膜液体除湿系统在建筑中应用的可行性, 研究表明与传统空调除湿系统和燃气空调除湿系统相比, 虽然太阳平板膜液体除湿系统的初投资比其他非太阳能驱动的系统都高, 但是运行费用和全生命周期费用比其他非太阳驱动的除湿系统都低。

综上所述, 目前缺少对太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统的研究, 本文对太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统进行逐时仿真与性能研究, 分析该系统的性能。

## 1 实验系统

太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统如图 1 所示。该系统由中空纤维膜组件(除湿器和再生器)、换热器(溶液-溶液换热器、溶液-冷水换热器、溶液-热水换热器)、太阳能热水系统、集液箱、及动力元件泵和风机等组成。集液箱中的浓溶液在溶液泵的作用下, 进入中空纤维膜除湿器, 在除湿器中, 室外空气走壳程, 其中的水分透过中空纤维膜, 被管内侧的 LiCl 溶液吸收, 除湿后的干燥空气被送入房间内。除湿器出口的稀的 LiCl 溶液先流经溶液-溶液换热器, 在该换热器中稀溶液和浓溶液进行热量交换, 稀溶液的温度升高, 浓溶液被冷却。在该系统中太阳能集热器为热水-溶液换热器热侧提供热水。溶液-溶液换热器出口的热的稀溶液再经过热水-溶液换热器后温度进一步升高, 进入中空纤维膜再生器。中空纤维膜再生器中, 溶液侧水蒸气分压力大于空气侧, 溶液的水分透过中空纤维膜, 被室内干空气带走, 稀溶液变成浓溶液。浓溶液在溶液-溶液热交换器中冷却后, 进入溶液-冷水换热器被进一步冷却, 流入储液器, 完成一个循环。集液箱作为蓄冷器, 将浓溶液储存起来, 供下一循环除湿制冷使用。

利用 TRNSYS 软件对太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统进行仿真分析, TRNSYS 仿真工程如图 2 所示。其中温度和湿度选用中国桂林的湿热室外气候条件。空气的流量按照一个面积 80 m<sup>2</sup> 办公楼内 4~5 工作人员对新风的要求选用 125 m<sup>3</sup>/h。采用室内的回风再生溶液, 为了平衡房间的压力, 再生风的流量与室外新风的流量数值相同。除湿器

的溶液进口浓度、溶液流量与温度分别设定为 0.35、100 kg/h 和 24°C。本仿真项目中，需要定义膜模块的代码，并使用 FORTRAN 语言开发 DLL。

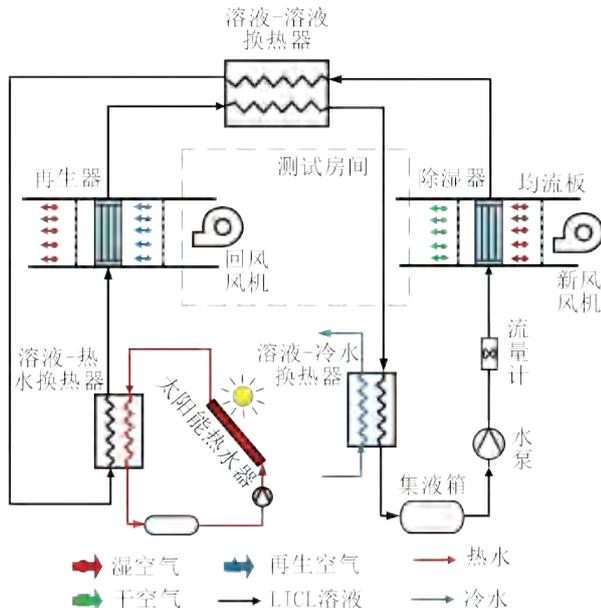


图 1 太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统

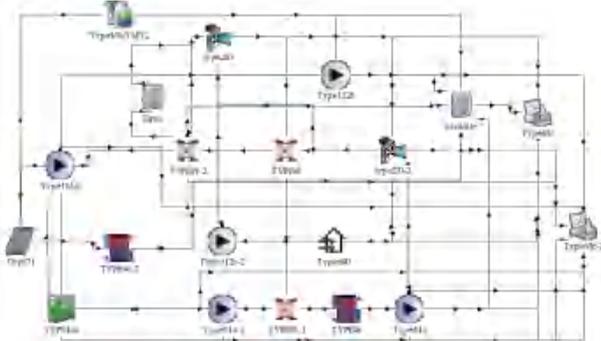


图 2 TRNSYS 中建立的系统图

## 2 数学建模

### 2.1 中空纤维膜除湿器 / 再生器

中空纤维膜模型是由 Zhang<sup>[5]</sup> 首次提出的模型的。它可以用来预测中空纤维膜的参数，包括空气和溶液的输出参数。如图 3 所示，空气和溶液分别沿 x 和 y 方向流动。对于阴影区域中标记的控制体，热量和质量的控制方程描述如下：

$$c_{p,a} \dot{m}_a V_a \frac{2T_a}{2X} = \frac{h_{tot} A_{tot}}{x_0} [T_s - T_a] \dot{g} \quad (1)$$

$$V_a \frac{2\dot{m}_a}{2X} = \frac{k_{tot} A_{tot}}{x_0} [\dot{m}_s - \dot{m}_a] \dot{g} \quad (2)$$

$$c_s \dot{m}_s V_s \frac{2T_s}{2y} = \frac{h_{tot} A_{tot}}{y_0} [T_a - T_s] \dot{g} + \dot{m}_a \frac{k_{tot} A_{tot}}{y_0} [\dot{m}_s - \dot{m}_a] \dot{g} \quad (3)$$

$$V_s \frac{2\dot{m}_s}{2y} = \frac{k_{tot} A_{tot}}{y_0} [\dot{m}_s - \dot{m}_a] \dot{g} \quad (4)$$

式中，下标“a”、“s”、“tot”分别表示气流、液体干燥剂溶液和总量； $\rho$ 、 $c_p$ 、 $c$  和  $V$  分别是密度、恒压比热容、比热容、体积流量； $T$ 、 $h$ 、 $k$ 、 $A$  分别为温度、传热系数、传质系数、面积； $\omega$ 、 $X$  分别为含湿量、溶液浓度。此外， $x$  和  $y$  是坐标； $x_0$  和  $y_0$  分别是除湿器的宽度和长度。

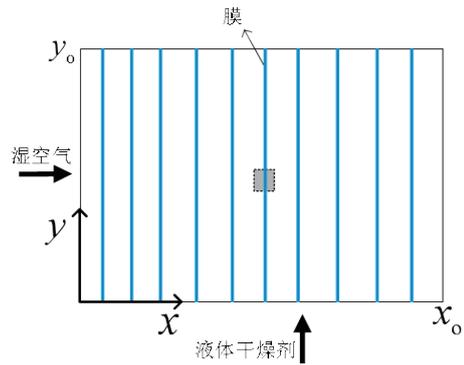


图 3 中空纤维膜组件的热湿交换原理图

### 2.2 太阳能集热器系统

TRNSYS Type 71 被用来建立太阳能集热器的运行模型。为了建立这种类型的模型，由用户提供的标准测试结果的二次曲线，即流体温度和环境温度之间的差值与入射辐射的比率。太阳能集热器的性能可以用 Hottel-Whillier-Bliss 表示，方程如下<sup>[10]</sup>：

$$h_c = F_R [x a_0] - F_R \eta U_L \frac{T_f - T_a}{I} \quad (5)$$

$$h_c = a_0 - a_1 \frac{T_f - T_a}{I} - a_2 \frac{(T_f - T_a)^2}{I} \quad (6)$$

$$q_{sol} = \dot{m}_w c_{pw} [T_{wo} - T_{wi}] = h_c A_c I \quad (7)$$

式中， $a_0$  为太阳能集热器的效率， $a_1$  和  $a_2$  分别为一阶系数的负值和二阶系数的负值。 $A_c$  分别表示太阳能集热器的面积， $I$  表示入射到太阳能集热器上的全局辐射量。

### 2.3 性能指标

用除湿量 MRR、除湿效率  $\eta$ 、全热交换效率  $\epsilon$ 、性能系数 COP 和太阳能贡献率 SF 对系统进行评价和分析。

MRR 为系统的除湿量 (kg/h)，如式 (8) 所示。

$$MRR = \dot{m}_a [\omega_{ai} - \omega_{ao}] \quad (8)$$

除湿效率如式 (9) 所示：

$$\eta = \frac{\omega_{ai} - \omega_{ao}}{\omega_{ai} - \omega_{si}} \quad (9)$$

式中  $\omega_{si}$  为溶液平衡湿度 (g/kg)。

全热交换效率如式 (10) 所示：

$$f = \frac{h_{ai} - h_{ao}}{h_{ai} - h_{si}} \quad (10)$$

性能系数 COP 如式 (11) 所示:

$$COP = \frac{m_a [h_{a1} - h_{a0}]}{m_s c_s [T_{so} - T_{sg}} \quad (11)$$

太阳能集热器产生的干燥剂再生所需的热能与系统总驱动能量之比称为太阳能贡献率 SF (Solar Fraction), 如式 (12) 所示:

$$SF = \frac{h_c \# A_c \# I}{Q_T} \quad (12)$$

式中,  $Q_T$  是总系统驱动所需的能量。

### 3 结果与分析

#### 3.1 气候参数逐时分析

本研究中选用的气候数据为中国桂林的湿热室外气候条件。每天以及每时刻的室外空气含湿量和太阳辐射量的三维图如图 4 所示。从图中可以看出, 太阳辐射量在中午时达到最大值, 太阳辐射值在日照前和日落后的测量结果为零。室外空气含湿量和太阳辐射在一天中的变化非常相似, 但其变化的幅度不同, 每天波动很小。在夏季, 太阳辐射和室外空气含湿量都达到了最大值。因此夏季需要除湿降温才能达到舒适度的需求。

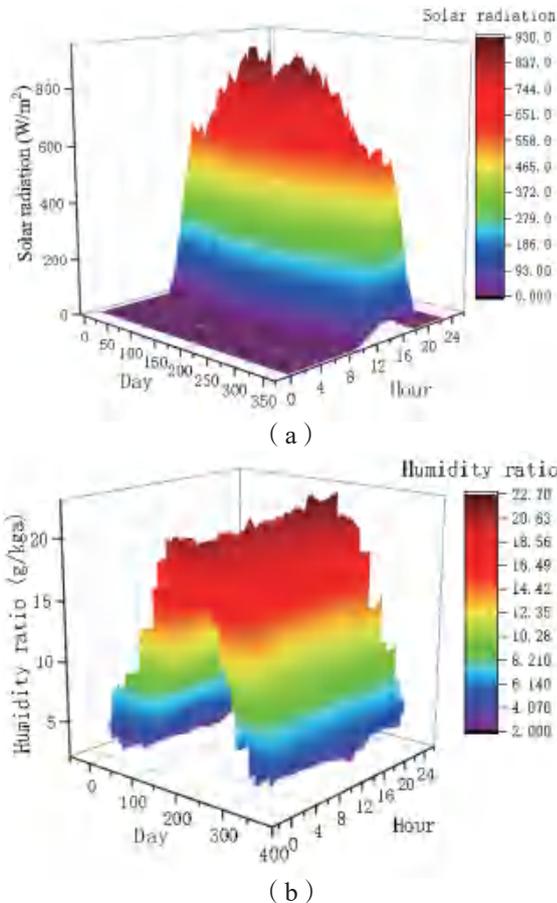


图 4 中国桂林一年的太阳辐射量 (a) 和大气湿度 (b) 的日变化和小时变化

图 5 为 5 月、6 月、7 月、8 月和 9 月的 8 日, 太阳辐射和空气含湿量的每时刻平均变化情况。太阳辐射沿白天 (即从 07:00 到 20:00) 的变化较大, 在 13:00-14:00 时达到最高值, 20:00 至 07:00 之间没有太阳辐射效应, 测量结果为零。7 月份的每时刻太阳辐射量高于其他月份太阳辐射值。太阳辐射量最大值出现在 7 月 8 日的 13:00, 为  $962.89 \text{ W/m}^2$ 。而最小值出现在 5 月。室外空气含湿量一天中变化较稳定, 最高值出现在 7 月, 而最小值出现在 5 月。7 月 8 日的每时刻空气含湿量从  $18.86 \sim 24.02 \text{ g/kg}$ , 而 5 月 8 日每时刻空气含湿量从  $13.26 \sim 14.45 \text{ g/kg}$ 。

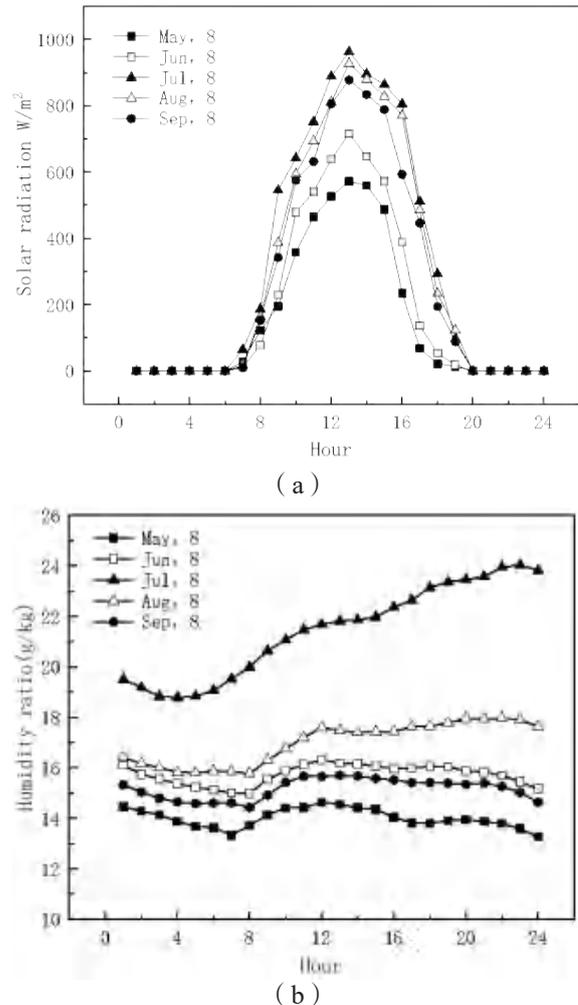


图 5 太阳辐射量 (a) 和大气湿度 (b) 的逐时变化

#### 3.2 除湿量与制冷量逐时分析

不同月份除湿量 MRR 的逐时变化如图 6 所示, 除湿量一天中变化较稳定, 最高值出现在 7 月, 而最小值出现在 5 月, 与室外空气含湿量的变化情况大致相同。7 月 8 日的平均除湿量从  $1.756$  增加到  $1.931 \text{ kg/h}$ , 而 5 月 8 日的平均除湿量从  $1.075$  增加到  $1.122 \text{ kg/h}$ 。7 月份除湿量能达到最大的原因是由

于其室外空气含湿量大于其余月份。水蒸气分压力差是水蒸气传递的主要驱动力，新风与膜管内溶液的水蒸气分压力差越大，系统的除湿量则越大。太阳辐射量是维持再生器再生能力的重要因素，在7月份太阳辐射量最大，提高了系统的再生能力，保证系统具备稳定的除湿量。不同月份制冷量  $Q_c$  的逐时变化如图7所示，制冷量最高值出现在7月，而最小值出现在5月。系统的制冷量在15:00前逐渐增大，在15:00后出现轻微下降。这是由于7月份辐射量最大，相应的室外空气温度升高，为了获得舒适的新风温度，系统的冷水机组的制冷量增大。

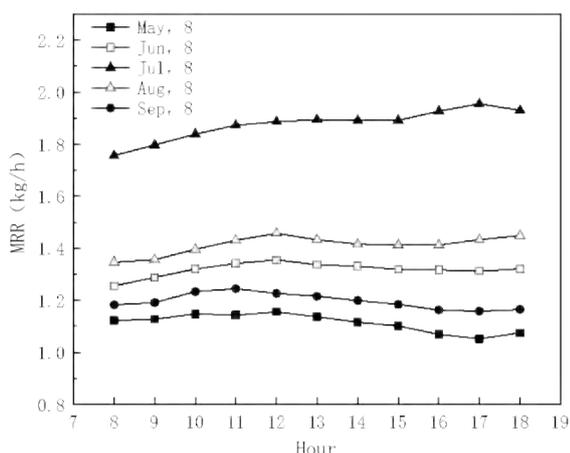


图6 不同月份除湿量的逐时变化

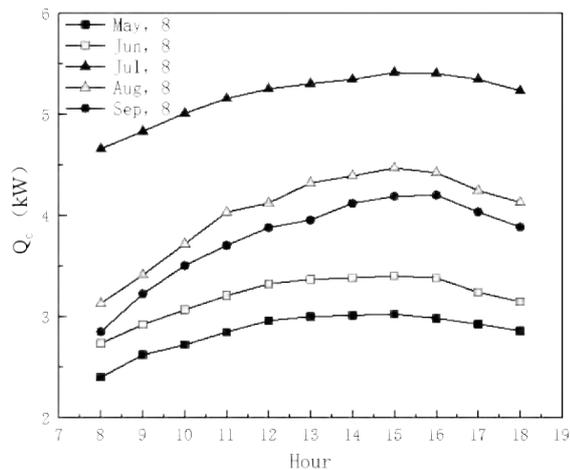


图7 不同月份制冷量的逐时变化

### 3.3 除湿效率和全热交换效率的逐时分析

不同月份除湿效率  $\eta$  的逐时变化如图8所示，除湿效率一天中逐时减小，同一时刻最高值出现在5月，而最小值出现在7月，5月8日的除湿效率从0.882下降到0.822，下降6.8%；而7月8日的除湿效率从0.786下降到0.734，下降6.6%。不同月份全热交换效率  $\varepsilon$  的逐时变化如图9所示，全热交换效

率在12:00点前逐时减小，之后逐步趋于稳定。和除湿效率一样，在同一时刻最高值出现在5月，而最小值出现在7月。5月8日的除湿效率从0.901下降到0.852，下降5.4%；而7月8日的除湿效率从0.763下降到0.722，下降5.4%。分析原因如下：7月份除湿量能达到最大的原因是由于其室外空气含湿量大于其余月份。室外空气的含湿量过大，会使得新风中的露点温度超过进口溶液温度，新风中的部分水蒸气还未透过膜便在膜表面结露，出现“湿工况”，并且随着空气含湿量的增加，“湿工况”愈加明显，使得膜的热质传递性能逐渐恶化，除湿效率下降。新风中的水蒸气被除湿溶液吸收会释放大量潜热，导致溶液温度上升，这增加了传热阻力，加上出现的“湿工况”恶化了膜的传质传热性能，导致全热交换效率下降。

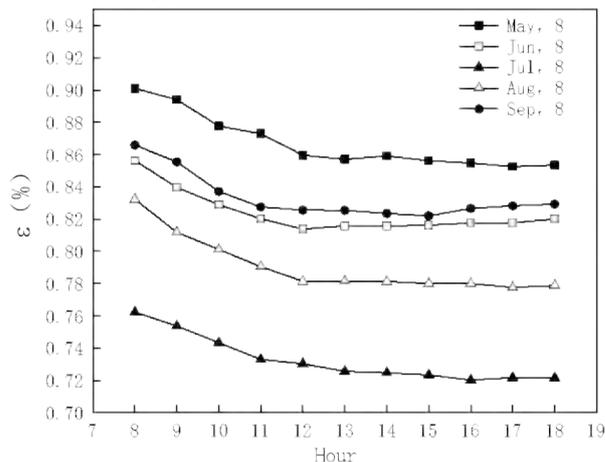


图8 不同月份除湿效率的逐时变化

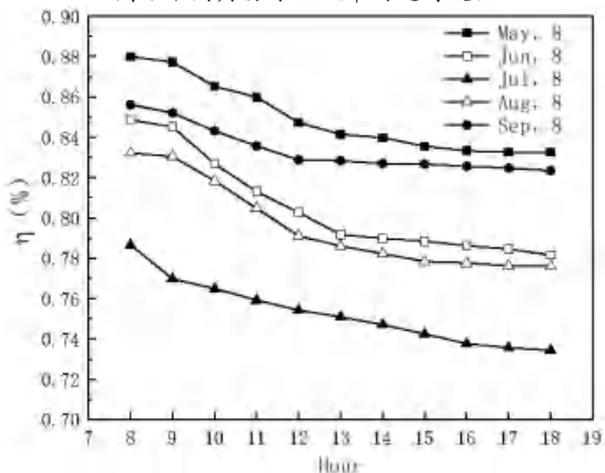


图9 不同月份全热交换效率的逐时变化

### 3.4 太阳能贡献率和性能系数逐时分析

不同月份性能系数 COP 的逐时变化如图10所示，可以看出性能系数受太阳辐射量影响较大，与太阳辐射量变化趋势相反。性能系数 COP 从

08:00 到 13:00 逐渐下降, 在 13:00-14:00 时达到最小值, 在 14:00 后逐步上升。7 月份的每时刻性能系数低于其他月份的太阳能贡献率。性能系数最小值出现在 7 月 8 日下午 14:00, 为 0.352。这是由于 7 月份的太阳辐射量高于其他月份, 且在 13:00 时太阳能集热器端的能量输入达到最大, 早晚时较小。太阳能集热器无法吸收更多的能量为再生器的再生能力维持在较高的水平, 从而使得性能系数 COP 在 7 月份低于其他月份, 且在 13:00-14:00 时刻达到最小值。

不同月份太阳能贡献率 SF 的逐时变化如图 11 所示, 可以看出太阳能贡献率与太阳辐射量的变化趋势完全相反。太阳能贡献率从 08:00 到 13:00 快速下降, 在 13:00-14:00 时达到最低值, 在 14:00 后逐步回升。5 月份的每时刻太阳能贡献率高于其他月份的太阳能贡献率。太阳能贡献率最小值出现在 7 月 8 日的 14:00, 为 0.241。这是由于 7 月份的太阳辐射量和含湿量都高于其他月份, 太阳辐射量使得再生器的溶液温度过高, 而新风空气含湿量使得

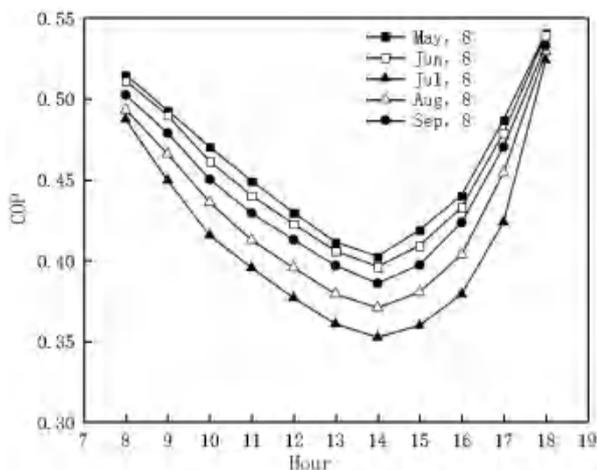


图 10 不同月份性能系数 COP 的逐时变化

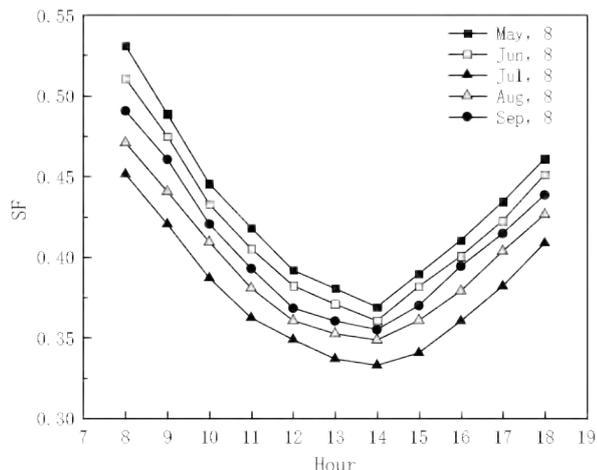


图 11 不同月份太阳能贡献率 SF 的逐时变化

除湿器的除湿量负担增加。为了维持除湿器的除湿能力, 系统的冷水机组需要提高制冷量, 使得系统总驱动能耗增加, 导致太阳能集热器产生的除湿剂溶液再生所需的热能占系统总驱动能耗比例下降, 因此从而使得太阳能贡献率 SF 在 7 月份低于其他月份, 且在 13:00-14:00 时刻达到最小值。

#### 4 结论

利用 TRNSYS 软件对太阳能驱动的中空纤维膜溶液除湿空调系统进行逐时仿真研究, 定义了膜模块的代码, 并使用 FORTRAN 语言开发动态链接库, 将其与 TRNSYS 模型耦合。在中国桂林, 7 月份的每时刻太阳辐射量高于其他月份的太阳辐射值, 最大值出现在 7 月 8 日的 13:00-14:00, 为 962.89 W/m<sup>2</sup>。室外空气含湿量一天中变化较稳定, 最高值出现在 7 月 8 日, 每时刻空气含湿量范围为: 18.86~24.02 g/kg。

系统除湿量最高值出现在 7 月, 而最小值出现在 5 月, 与室外空气含湿量的变化情况大致相同。除湿效率和全热交换效率同一时刻最高值都出现在 5 月, 而最小值出现在 7 月。与系统除湿量的变化情况完全相反。此外, 性能系数在 7 月份高于其他月份的太阳能贡献率。性能系数最小值出现在 7 月 8 日下午 14:00, 为 0.352。太阳能贡献率在 7 月份低于其他月份, 且在 13:00-14:00 时刻达到最小值。

#### 参考文献

- [1] DU C Q, LI B Z, CHENG Y, et al. Influence of human thermal adaptation and its development on human thermal responses to warm environments[J]. Building and environment, 2018, 139(3): 134-145.
- [2] Lin B Q, Liu H G. China's building energy efficiency and urbanization [J]. Energy and Buildings, 2015 (86): 356-365.
- [3]Zhang L Z, Niu J L. Energy requirements for conditioning fresh air and the long-term savings with a membrane-based energy recovery ventilator in Hong Kong [J]. Energy, 2001, 26(2): 119-135.
- [4] Z Afroz, G M Shafiullah, T Urme, et al. Modeling techniques used in building HVAC control systems: A review [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 83: 64-84
- [5]Zhang L Z. Coupled heat and mass transfer in an application-scale cross-flow hollow fiber membrane module for air humidification [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2012, 55 (21-22): 5861-5869.
- [6]Jang J, Kang E C, Lee H, et al. Energy demand comparison between hollow fiber membrane based dehumidification and evaporative cooling dehumidification using TRNSYS [J]. Energies, 2018, 11 (5): 11-19.
- [7]Huang S M, Zhang L Z. Researches and trends in membrane based liquid desiccant air dehumidification [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 28: 425-440.
- [8]Zhang L Z, Zhang N. A heat pump driven and hollow fiber membrane-based liquid desiccant air dehumidification system [J]. Modeling and experimental validation, 2014, 65: 441-451.
- [9]Arash Fakharnezhad, Masoumi Sara, Peyman Keshavarz. Analysis of design parameter effects on gas dehumidification in hollow fiber membrane contactor: Theoretical and experimental study[J]. Separation and Purification Technology, 2019, 226 (1): 22-30
- [10]Charles C. Smith, Thomas A. Weiss. Design application of the Hottel-Whillier-Bliss equation [J]. Solar Energy, 1977, 19 (2): 109-113.

# 辽宁地区居住建筑室内甲醛污染回归分析

沈阳建筑大学 冯国会 宋嘉森 黄凯良 孙文

[摘要] 近些年装修热潮所带来的负面影响不得被人们所重视。为了探究辽宁地区现阶段的室内甲醛污染状况,对辽宁地区 60 户居住建筑的室内甲醛进行了入户实地测试,测试方法利用酚试剂分光光度法对甲醛浓度进行测试,同时通过以 CO<sub>2</sub> 作为示踪气体的方法进行房间渗透换气次数的测试。对甲醛及其影响因素进行相关性分析后建立回归模型进行回归分析,并评估该地区居民的甲醛患癌风险。结果表明,辽宁地区平均甲醛污染最严重的季节为夏季,卧室污染最严重的季节为秋季。甲醛及其影响因素的相关性以及回归分析结果显示甲醛浓度与室内温湿度、渗透换气次数呈现显著相关的关系。

[关键词] 甲醛; 污染; 测量; 数值分析

## 1 引言

在当今的社会背景下,人的一生中大约有 90% 的时间都是在室内度过的,这就无法避免会吸入大量的室内空气。据统计,一个成年人平均每分钟要呼吸 10~15 次,每次呼吸需要 0.5L 的空气,如果按照平均寿命为 70 岁来计算,每个人一生就要吸入 270000 m<sup>3</sup> 的空气。空气通过人们的呼吸作用被吸入总表面积为 60~80 m<sup>2</sup> 的肺泡里,经过物理扩散进入人体进行交换,而空气中所含有的污染物也会伴随呼吸进入人体并进行交换。不良的室内空气质量会导致人们患上诸如病态建筑综合症(SBS)之类的严重疾病,这一事态已经日益成为全球范围性的问题,所以国内外学术界普遍认为室内空气质量对人体的身心健康有巨大的影响<sup>[1-4]</sup>。目前我国居民面对着严重的“内忧外患”,所以室内空气质量与通风策略的研究不但具有重要理论意义,更具备深远的现实意义。

众所周知,甲醛是常见的室内空气污染物,被国际癌症研究机构列为人类第一类致癌物,可引起对眼睛和上呼吸道的刺激<sup>[4]</sup>。我国和美国的一些其他研究发现,甲醛具有高度毒性,是可以导致呼吸道疾病的致癌物来源<sup>[5,6]</sup>。伴随着经济的迅猛增长,人们的生活水平日益改善,对于室内居住要求越来越讲究,室内装修也随之越来越普遍,装修材料在相对密闭的室内空间成为了危害人体的污染源。正如最近备受全国人民关注的阿里员工租住自如甲醛超标房间白血病致死事件,使得人们对甲醛等室内污染物有了越来越多的关注与认识。目前人们面对室内的污染物的超标问题如临大敌,再次掀起了进行室内空气质量测试的热潮。

有研究表明,木基材料、刨花板和燃烧材料是典型的室内甲醛源<sup>[7,9]</sup>,室内装修时,使用人造板的

数量和质量、家具承载率、油漆种类以及涂布的表面积、外部环境因素(如温度、湿度)、陈放时间等多个因素均会影响室内空气中甲醛的浓度<sup>[10]</sup>。许多研究人员研究了甲醛的排放特性。有学者研究了相对湿度对甲醛分解的影响。他们在 25%、50% 和 80% 的不同相对湿度水平下测试甲醛浓度,得出结论:当相对湿度在 25% 和 50% 之间时,甲醛的有效变化系数没有明显的差异<sup>[11]</sup>。张等人研究了空气温度对甲醛排放的影响,他们发现空气温度对甲醛的溶解性有显著影响<sup>[12]</sup>。而有研究表明当温度升高了 25.4℃ 时,甲醛的初始散发浓度增加了约 507%<sup>[13]</sup>。目前,为了探究住宅室内甲醛的散发特征,利用回归分析法分离不同因素的影响是一种有效的方法<sup>[14]</sup>。

本文的主要研究内容为:根据之前对东北地区 21 户住宅的研究<sup>[15]</sup>。本次为了探究辽宁地区目前的居住建筑室内甲醛污染水平新增 39 户住宅进行入户测试;通过对之前研究已验证的适用全国各气候区的线性回归模型进行修正,建立适用于辽宁地区特有的线性回归方程。

## 2. 测试信息及分析方法

### 2.1 样本信息

为了研究辽宁地区居住建筑的室内甲醛污染现状,本文在辽宁省最大的城市沈阳(41°48'N, 123°25'E)、辽宁的典型重工业老基地抚顺(41°52'N, 123°55'E)以及辽宁的港口城市营口(40°39'N, 122°13'E)这三个城市选择了 60 户居住建筑对室内甲醛浓度进行了实地入户测试,并从中挑选 29 户住户进行了为期一年的各个季节的实地测试。所选地区的气候特点为寒冷干燥的冬季(11月~3月),较短的过渡季(4月~5月,9月~10月)以及高温多雨的夏季(6月~8月)。本文根据住户的装修时间、楼层、户型、建筑面积和装修方式的不同选择测试

对象。所有住户中约一半住户装修时间距离测试开始时间为1~2年,住宅户型类型多样,包含一至四居室、跃层和别墅,住户所在楼层基本覆盖低、中、高位置,最高为32层,装修方式以乳胶漆墙面+复合木地板(瓷砖)+板式家具为主。

## 2.2 测试方案

### 2.2.1 标准选择

目前我国现行的室内空气质量标准有两部,分别为卫生部发行的GB/T18883-2002《室内空气质量标准》<sup>[16]</sup>(以下简称GB/T18883-2002标准)与建设部发行的GB50325-2010《民用建筑工程室内环境污染控制规范》<sup>[17]</sup>(以下简称GB50325-2010标准)。两部标准之间的差异如表2所示。

表2 标准差异

	卫生部 GB/T18883-2002 《室内空气质量标准》	建设部 GB50325-2010 (2013 年修订版)《民用建筑工程 室内环境污染控制规范》
甲醛 / mg/m <sup>3</sup>	0.10	0.08
VOC / mg/m <sup>3</sup>	0.60	0.50
CO <sub>2</sub> / ppm	1000ppm (日平均)	
PM <sub>2.5</sub> / ug/m <sup>3</sup>	75 (日平均)	按照 GB3095-2012《环境空气 质量标准》,优 < 35、良 < 75、 轻污 < 115、中污 < 150

从数值比较的角度出发,卫生部的标准更宽松,建设部的标准更严格,但是两部标准要求的测试前置条件不同。GB/T18883-2002标准要求测试前要保证测试房间密闭12小时,而GB50325-2010标准要求的只是在测试前保证测试房间密闭1小时。虽然GB/T18883-2002标准并没有说明密闭12小时的原因,但是李景广等人<sup>[18]</sup>认为密闭12小时测试污染物浓度应该是人在室内逗留期间可能产生的最高浓度,相当于最不利条件。所以本文入户测试所参考的标准为GB/T18883-2002标准,即密闭工况的测试为在入户测试前保持测试房间密闭12小时。

### 2.2.2 测试时间与测点选择

本文所采取的入户测试为期一年,从2016年12月20日开始,止于2017年10月30日,在四个季节中各选取典型日进行密闭工况的入户测试。具体测试时间分别为冬季的2016年12月20日~2017年1月20日,春季的2017年4月22日~2017年6月4日,夏季的2017年7月15日~2017年8月29日,秋季的2017年10月11日~2017年10月30日。

居住住宅的主要功能房间基本可以分为卧室、客厅和厨房三个部分,所以本文所进行的入户测试选择了3个测点,分别为住户的主卧、客厅和厨房。

采样点避开通风口和可能的污染源,离墙壁距离大于0.5m;采样点的高度原则上与人的呼吸带高度相一致,相对高度0.5m~1.5m之间,尽可能布置在房间中部。

## 2.3 测试方法

### 2.3.1 甲醛测试方法

本文根据国家检测标准《GBT 18204.2-2014 公共场所卫生检验方法 第2部分:化学污染物》<sup>[19]</sup>中的酚试剂分光光度法对甲醛进行入户实地测试。采样流程:采样前配置吸收液,将5ml吸收液装入提前用蒸馏水洗过并干燥好的吸收管中。使用大气采样泵以0.5L/min的流速在20分钟内使10L空气流通过吸收管,取样后,将吸收了甲醛的吸收液移入比色管,并用吸收液定容至5ml,加入0.4ml硫酸铁铵显色剂,在实验中静置15分钟。最后,使用分光光度计(图1-a)测量样品在630nm波长下的吸光度(分光光度计应预热40min),将该值与标准曲线进行比较计算样品中的污染物浓度。

### 2.3.2 渗透换气次数测试方法

换气次数的测试根据国家检测标准GBT18204.1-2013《公共场所卫生检验方法 第1部分:物理因素》<sup>[20]</sup>建筑室内空间的新风量的测试采用以CO<sub>2</sub>作为示踪气体的示踪气体浓度衰减法,利用平均法分析测试结果,并计算房间的换气次数,进而计算得到房间的自然通风量。由于条件所限无法对整个住宅的换气次数进行测试,所以本文的测点只选择了卧室。测试流程:关闭测试房间的窗户;向卧室中释放二氧化碳,并开启风扇使示踪气体与室内空气混合;当测试房间内的二氧化碳浓度达到2500ppm时停止注入二氧化碳,5分钟后关闭两台混合风扇;在两个测点处利用Telaire 7001传感器(图1-b)连续测试二氧化碳浓度;当二氧化碳浓度衰减到背景浓度水平时完成测试;重复试验两次以确保数据质量。换气次数N通过公式(1)计算得到。

$$N = \frac{\ln[C_1 - C_0] - \ln[C_2 - C_0]}{X} \quad (1)$$

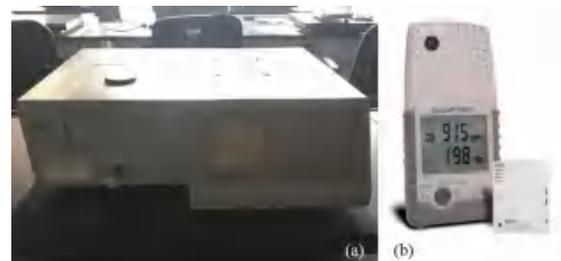


图1 测试仪器

## 2.4 数据分析方法

数据处理采用整体统计分析的方法,综合分析

住户室内甲醛浓度变化趋势，并对数据进行宏观分析。Pearson 相关分析采用 SPSS 软件数据之间的相关性进行分析，分析两个独立样本之间的显著差异，当 p 值小于 0.05 时，认为该统计显著相关。利用 R 语言编程对数据进行多元回归分析，回归公式 (2) 采用本测试课题组中建立的回归模型<sup>[21]</sup>。

$$y = y_0 + A_1 \exp]T_0g + A_2 \ln]Y_0g + A_3 \ln]V_0g + 1000A_4d(2)$$

在整个调查过程中，选择 15℃ 作为基准温度，因为它几乎是最底的室内空气温度；根据分布拟合结果 (图 3)，选择 0.3 次/h 作为标准渗透速率，因为它是概率密度最高的渗透换气次数。

### 3. 测试结果

#### 3.1 甲醛测试结果

表 3 展示了各个测点的关键统计学参数以及超标情况，图 2 展示了密闭工况下辽宁地区 60 户住宅的室内甲醛浓度。从结果可以看出，辽宁地区住宅各个测点的平均浓度没有超标，但是接近标准值，卧室的平均甲醛污染比另两个测点要严重，主要原因与住户卧室空间较小，家具较多有关。甲醛超标的现象在三个测点都有出现，客厅的超标率在三个测点中最高，其原因可能与部分住户的客厅有壁纸装饰有关。总体来说，辽宁地区的甲醛平均浓度水平在国家标准 GB/T18883-2002《室内空气质量标准》<sup>[15]</sup> 规定的密闭 12 小时后 0.1mg/m<sup>3</sup> 以下，但是有接近三分之一的住户有室内甲醛超标现象。

表 3 HCHO 统计学参数与超标率

HCHO	卧室	客厅	厨房
平均值	0.0816	0.0748	0.0721
中位数	0.0820	0.0714	0.0642
超标率	28.07%	30.19%	28.21%

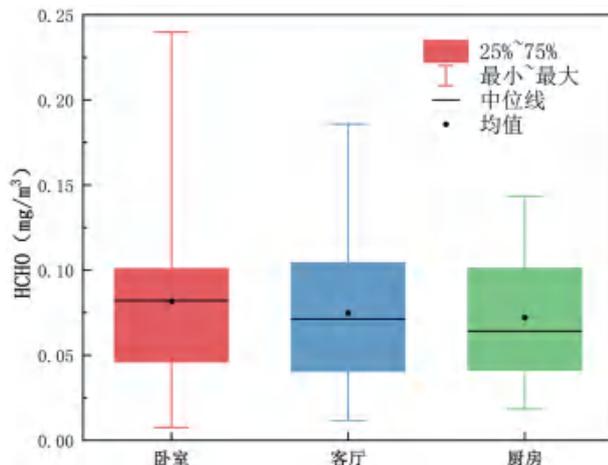


图 2 辽宁地区 60 户住宅室内甲醛浓度

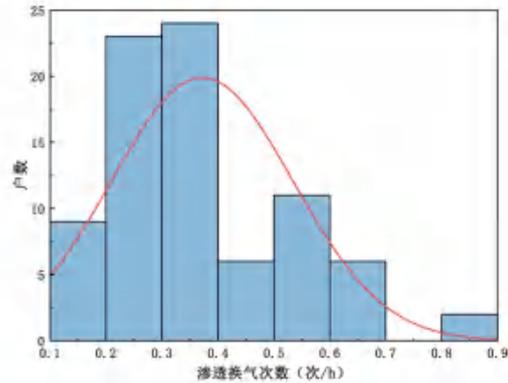


图 3 渗透换气次数的分布直方图

#### 3.2 渗透换气次数测试结果

图 3 展示了辽宁地区居住建筑的渗透换气次数的分布直方图，平均换气次数为 0.38 次/h，中位数为 0.34 次/h。之前的研究表明，当住宅的自然渗透换气次数较高时，甲醛与 TVOC 的浓度会相对较低一些<sup>[22]</sup>。然而在冬季，较高的渗透换气次数不但会造成室外 PM<sub>2.5</sub> 的侵入，同样也会造成室内温度降低，增加室内的能耗。但是如果渗透换气次数太低则又会导致室内新风量不足，室内污染物聚集。因此，确定一个合理的渗透换气次数范围就成为了一个十分重要的研究内容。

### 4. 相关性分析及回归分析

#### 4.1 相关性分析

为了探究影响甲醛浓度的影响因素与甲醛的相关程度，利用 SPSS 软件将甲醛浓度与渗透换气次数、家具单位体积表面积、装修年限以及室内温度进行相关性分析。结果如表 4 所示，从结果可以看出甲醛与温度呈显著的正相关，与装修年限和渗透换气次数呈显著负相关，而与家具单位体积表面积成弱相关，并不具有统计学意义，所以在建立辽宁地区回归方程式不考虑家具单位体积表面积。

表 4 相关性分析

HCHO	装修年限	渗透换气次数	温度	家具单位体积表面积
Pearson 系数	-0.11*	-0.382*	0.132*	0.082
p 值	0.048	0.034	0.034	0.231

注：相关性在 0.05 层上显著 (双尾)

#### 4.2 回归分析

根据前文所参考的研究表明室内甲醛浓度在封闭条件下与装修年限、渗透换气次数的对数和温度指数显著相关。利用对辽宁地区 60 户居住建筑的入户测试所得数据对回归模型进行重新计算，建立属于辽宁地区的线性回归方程 (5)，计算所得各项参数如表 5 所示。

$$y = 16.6 + 4.7 \exp]T_0g - 0.674 \ln]Y_0g - 17.3 \ln]V_0g + 50d \quad (5)$$

表5 回归方程参数

	非标准化系数 (标准误差)	T	显著性
$y_0$	16.6 (9.86)	1.671	0.009
$A_1$	4.7 (1.78)	2.644	0.01
$A_2$	-0.674 (2.87)	-0.235	0.015
$A_3$	-17.3 (4.77)	-3.626	0.001
$A_4$	50	13.766	0.000
$R_2$	0.776		
调整后 $R^2$	0.764		
F	63.959		
p	0.000		

### 4.3 结果对比

之前研究利用全国各气候区的甲醛浓度及其影响因素的测试结果建立的回归方程(6)<sup>[21]</sup>如下所示。

$$y = 48.6 + 3.9 \exp [T_0 q - 9.3 \ln Y_0 - 11.3 \ln V_0 q - 48d] \quad (6)$$

由于该方程是基于全国各气候区的数据进行建立的,所以在单独用来对辽宁地区的甲醛浓度进行预测时会出现较大偏差。对此,利用辽宁地区测试数据对两个回归方程进行结果对比,对比结果如图4所示。从结果中可以看出,方程(6)与本文所得方程的相比,两者之间存在大偏差,所以方程(6)并不能准确的代表辽宁地区的特点。

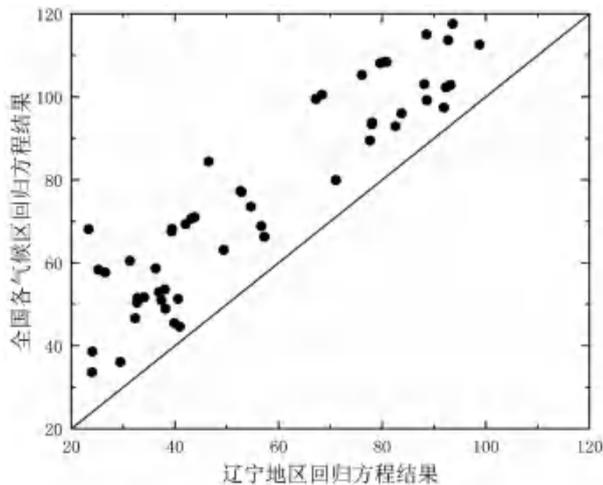


图4 回归方程对比结果

### 5. 结论

本文介绍了辽宁地区60户居住建筑的室内甲醛污染情况,并对其中29户进行四个季节的甲醛入户跟踪测试,通过示踪气体法得到了住宅的渗透换气次数。利用测试所得数据对甲醛及其影响因素进行相关性和回归分析,并对辽宁地区居民的甲醛患癌风险进行评价,研究得到以下结论:

辽宁地区60户居住建筑三个测点的平均甲醛浓度以及超标率分别为:卧室0.0816 mg/m<sup>3</sup>(28.07%),客厅0.0748 mg/m<sup>3</sup>(30.19%),客厅0.0721 mg/m<sup>3</sup>(28.12%)。辽宁地区的平均渗透换气次数为0.38

次/h。

辽宁地区甲醛浓度与装修年限、渗透换气次数以及温度具有显著的相关性,与家具表面积呈弱相关。根据实测数据建立的回归方程为。经计算,该地区的居住建筑室内的甲醛终生致癌风险LCR为 $3.1 \times 10^{-6}$ 。

### 参考文献

- [1]J. Sundell. On the history of indoor air quality and health [J]. Indoor Air 2004; 14:51-58.
- [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 & Environmental Epidemiology, 2001, 11(3):231-52.
- [3]Du Z, Mo J, Zhang Y. Risk assessment of population inhalation exposure to volatile organic compounds and carbonyls in urban China [J]. Environment International, 2014, 73:33-45.
- [4]Tunga S, Sibel M, Rainer M. Formaldehyde in the Indoor Environment [J]. Chemical Reviews, 2010, 110(4):2536.
- [5]Wolkoff P, Wilkins C K, Clausen P A, et al. Organic compounds in office environments - sensory irritation, odor, measurements and the role of reactive chemistry [J]. Indoor Air, 2006, 16(1):7-19.
- [6]Weschler C J, Wells J R, Poppendieck D, et al. Workgroup Report: Indoor Chemistry and Health [J]. Environmental Health Perspectives, 2006, 114(3):442-446.
- [7]S. Brown, Chamber assessment of formaldehyde and voc emissions from wood based panels, Indoor air 9 (3) (1999) 209-215.
- [8]A. Berge, B. Mellegaard, P. Hanetho, E. Ormstad, Formaldehyde release from particle board evaluation of a mathematical model, Eur. J. Wood Wood Prod. 38 (7) (1980) 251-255.
- [9]S. Kim, J. Kim, J. An, H. Kim, S.D. Kim, J.C. Park, Tvoc and formaldehyde emission behaviors from flooring materials bonded with environmental friendly mf/pvac hybrid resins, Indoor Air 17 (5) (2007) 404-415.
- [10]陈凤娜, 杨旭东. 装修材料和家具对室内甲醛污染影响的研究 [J]. 暖通空调, 2016, 46(3):42-45.
- [11]Xu J, Zhang J S. An experimental study of relative humidity effect on VOCs' effective diffusion coefficient and partition coefficient in a porous medium

[J]. Building & Environment, 2011, 46(9):1785-1796.  
 [12] Y. Zhang, X. Luo, X. Wang, K. Qian, R. Zhao, Influence of temperature on formaldehyde emission parameters of dry building materials, Atmos. Environ. 41 (15) (2007) 3203-3216.  
 [13] Wiglusz R, El bieta Sitko, Gra yna Nickel, et al. The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds (VOCs) from laminate flooring — case study[J]. Building & Environment, 2002, 37(1):41-44.  
 [14] Guo M, Pei X, Mo F, et al. Formaldehyde concentration and its influencing factors in residential homes after decoration at Hangzhou, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2013, 25(5):908-915.  
 [15] Kailiang H, Jiasen S, et al. Indoor air quality analysis of residential buildings in northeast China based on field measurements and longtime monitoring[J]. Building and Environment, 2018, 144: 171-183.

[16] 中华人民共和国卫生部, 室内空气质量标准, (GB/T18883-2002) [S], 2002.  
 [17] 中华人民共和国建设部, 民用建筑工程室内环境污染控制规范, (GB50325-2010) [S], 2013  
 [18] 李景广. 我国室内空气质量标准体系建设的思考[J]. 建筑科学, 2010, 26(4):1-7.  
 [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 公共场所卫生检验方法第2部分: 化学污染物 (GBT 18204.2-2014) [S], 2014.  
 [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 公共场所卫生检验方法第1部分: 物理因素 (GBT 18204.1-2013) [S], 2013.  
 [21] Xilei Dai, Junjie Liu, Modeling and controlling indoor formaldehyde concentrations in apartments: On-site investigation in all climate zones of China [J]., Building and Environment, 2018,127,98-106.  
 [22] 孙越霞, 侯静, 张庆男, 等. 天津市居住建筑新风量的测量与分析 [J]. 暖通空调, 2016, 46(6):10-13.

(上接 43 页)

(17: 30), 最高浓度达到 4300ppm, 已经大大超过国家标准。

(2) 周一到周五, 室内 PM<sub>2.5</sub> 日平均浓度逐渐增加, 周五达到最大值。日内室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度在晚自习下课时, 达到最大值。室内 PM<sub>2.5</sub> 日均浓度在 79.1μg/m<sup>3</sup> 至 134.7μg/m<sup>3</sup> 之间。

(3) 室内外 PM<sub>2.5</sub> 浓度具有一定相关性。在室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度低于 50μg/m<sup>3</sup> 的情况下, 室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度高于与室外; 当室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度在 50-100μg/m<sup>3</sup> 之间的情况下, 室内外 PM<sub>2.5</sub> 浓度比较接近; 当室外 PM<sub>2.5</sub> 浓度在超过 100μg/m<sup>3</sup> 的情况下, 室内外 PM<sub>2.5</sub> 浓度具有正相关性, 即随室外 PM<sub>2.5</sub> 的增加, 室内 PM<sub>2.5</sub> 浓度也随之升高。

(4) 由于室内有集中供热装置, 室内外温度变化没有一致性。由于测试房间在阳面, 太阳辐射热进入室内, 导致室内温度在下午 17 点左右达到最大值;

(5) 由于人员的散湿为室内主要湿源, 工作日内室内相对湿度在 32%-65% 之间, 上午 9 点半左右, 室内相对湿度达到最高值 65%, 在中午放学期间, 室内相对湿度最低, 为 32% 左右。

(6) 为提高教室内空气质量, 建议教室设置集中的新风系统, 而且应根据室内 CO<sub>2</sub> 浓度及室外

PM<sub>2.5</sub> 浓度来确定新风量大小和系统的运行方式。当室外空气质量较好 (优或良) 时, 适当增加新风量, 在室外空气质量较差 (轻度污染以上) 时, 应减小新风量, 开启室内空气净化设备。

#### 参考文献

[1] 季家艳. 雾霾条件下中小学教室内空气质量控制 [D]. 山东建筑大学硕士论文, 2018,  
 [2] 国家质量监督检验检疫总局, 国家环境保护总局. 室内空气质量标准 (GB/T 18883-2002) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2003  
 [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中小学建筑设计规范 (GB50099-2011), 中国建筑工业出版社, 2011, 北京  
 [4] 袁静, 施介宽. 室内空气污染影响因素箱模式及应用 [J]. 环境保护科学, 2000,26(99):4-6  
 [5] 姜立乾. 大学宿舍室内 PM2.5 水溶性离子污染特征及来源解析 [D]. 南京理工大学, 2017  
 [6] 杜涛, 周志华, 袁建娟. 室内 PM2.5 浓度变化研究 [J]. 城市发展研究, 2015(22):1-4  
 [7] Kopperud Royal J, Ferro Andrea R, Hildemann Lynn M. Outdoor versus indoor contributions to indoor particulate matter (PM) detemined by mass balance methods [J]. Air & Waste Manage Assoc, 2004(54): 1188- 1196

# 室外甲醛对公共建筑室内环境的影响

东南大学 张禾苗 靳亚欣 钱华 郑晓红 刘聪

[摘要] 甲醛一直以来作为典型的室内污染物受到广泛关注,而大众长期忽视了室外甲醛及其对室内空气质量的影响。本文主要探讨室外甲醛对公共建筑室内环境的影响,并对室外甲醛的健康风险进行评估。本研究采用酚试剂分光光度计法,实地测量了4-9月南京市东南大学两处办公点的室内外甲醛浓度。研究发现,有53%室外甲醛浓度超过了OEHHA(加利福尼亚州环境健康危害评估办公室)设定的慢性参考暴露准则值( $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ ),表明室外甲醛对人们有潜在的健康风险。笔者以室外甲醛浓度与室内甲醛浓度的比值 $C_{\text{out}}/C_{\text{in}}$ (O/I比)表征室外甲醛对室内环境的贡献。结果显示,甲醛浓度O/I比主要集中在0.1-0.4之间,其中,有27.9%的O/I比率大于1/3,这表明室外甲醛是室内浓度的重要来源。研究还发现甲醛浓度O/I比率随日期变化稳定在某一区间内,而在一天之内呈现总体下降趋势,这一规律性可被发掘以改善公共建筑的通风方式。最后,通过蒙特卡罗模拟评估甲醛暴露量和健康风险,得出室外甲醛总暴露终身致癌风险达到 $1.4\times 10^{-4}$ ,而因其增加的患癌致死风险高达 $7.9\times 10^{-5}$ ,室外甲醛对人体健康的影响同样不容小觑。

[关键词] 公共建筑;室内空气品质;甲醛;室内外关联;健康风险评估

## 0 引言

甲醛是众所周知的室内空气污染物,广泛存在于住宅建筑中。2004年,甲醛(HCHO)被世界卫生组织(WHO)确定为人类第一类致癌物<sup>[1]</sup>,可能会导致鼻咽癌和白血病。大量流行病学研究表明,接触一定量甲醛可能会对人的肺部造成影响<sup>[2]</sup>,对眼部、上呼吸道粘膜产生刺激<sup>[3]</sup>,增加患哮喘的风险<sup>[4]</sup>。现代人超过90%的时间在室内度过<sup>[5]</sup>,因此,甲醛作为主要的室内空气污染物一直以来受到了广泛关注。

在室内环境中,广泛使用的建筑材料能够释放甲醛。强排放源与低空气交换率使得室内甲醛浓度通常高于室外甲醛浓度。然而,尽管室内空气是人类接触污染物的一个重要因素,来自室外环境中的甲醛影响却是不容小觑的。生物燃料的使用和光化学反应是室外甲醛的主要来源<sup>[6]</sup>。可想而知,在交通繁忙以及光化学污染严重的地带,室外甲醛的浓度是可维持在一个较高水平的,且随着经济发展,其浓度有着上升的趋势。与之相反,室内甲醛浓度在不断下降,这是人们对室内甲醛的高度重视与逐渐严格的室内准则提出的结果。Salthammer<sup>[6]</sup>提出,室内外甲醛浓度的差异正在逐渐缩小。只有同时考虑室内和室外空气,才能对人体接触量进行平衡评价。

因此,当我们需要考虑室外甲醛时,面临着两大亟待解决的问题:(1)室外甲醛浓度是否已高于慢性参考暴露准则值( $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ )?(2)室外甲醛对室内浓度的贡献有多少?室外甲醛总暴露对人的健康造成的影响?本研究基于以上问题,实测了4月-9

月南京地区某公共建筑室内外甲醛浓度。

## 1 实验和方法

### 1.1 采样地点和时间

采样地点选择了位于江苏省南京市东南大学的某学生工作室、某办公室,室外采样地点为距离两个室内采样点均不足10m的二楼平台。实验所选定地点位于南京城市中心,属于交通发达地区。室内采样点避开人流通风道和通风口,距离墙壁0.5-1m远,高度0.8-1.2m<sup>[7]</sup>。

采样时间为2019年4月3日(春季)-9月28日(秋季),7:30-21:00。其中包括四个采样时段,分别为7:30-8:30(早高峰)、11:00-12:00(中午)、17:00-18:00(晚高峰)、20:00-21:00(晚上)。

### 1.2 实验过程及化学分析

本研究采用酚试剂分光光度法检测甲醛<sup>[8]</sup>。实验仪器包括:QC-2A/B型大气采样仪、大型气泡吸收管、翱艺UV-1900分光光度计、ASAIR GSP-958记录仪等。实验的基本思路为配制溶液、采样、分析样品、处理结果四个步骤。

采样前,需依照国家标准<sup>[8]</sup>配制1%硫酸铁铵溶液(封口、冷藏条件下可保存约一个月)、100mL吸收原液(封口、冷藏条件下可稳定三天)、100mL吸收液(临用现配,可稳定24小时),甲醛标准溶液(可稳定24小时),为后续实验所用。

采样步骤中,取5mL吸收液,加入气泡吸收管中,用封口膜将管口及进、出气口封好。将大气采样仪放置在设置好的测点处,设置采样时间为10min,采样流量为0.3L/min。将气泡吸收管进出气

口的封口膜取下，出气口与软管相接，气泡吸收管放置于大气采样仪侧面的支架上，按下“采样”按键，待其自动采样即可。采样结束后，取下气泡吸收管，用封口膜将进、出气口封好。每组实验需设置空白样本（即不对其进行采样），其余样本按测点需求进行设置。

进行样本分析时，取 0.4mL 硫酸铁铵溶液，依次（采样顺序）加入气泡吸收管中，摇匀，计时 15min。用 1cm 比色皿，在波长 630nm 下，以水作参比，依次测定各管溶液的吸光度。

同时需要用甲醛标准溶液进行标定，依照国家标准<sup>[8]</sup>，制备 9 种不同甲醛浓度的比对溶液于具塞比色管中，重复与样本溶液同样的化学分析方法。

## 2 计算模型

### 2.1 标定

以甲醛含量为横坐标，吸光度为纵坐标，绘制曲线，并计算回归线斜率，斜率倒数作为样品测定的计算因子  $B_g(\mu\text{g}/\text{吸光度})$

### 2.2 甲醛浓度计算

空气中的甲醛浓度按式 (3.1) 计算：

$$c = \frac{A - A_0 \cdot B_g}{V_t} \quad (3.1)$$

式中： $c$ ，空气中甲醛浓度， $\text{mg}/\text{m}^3$ ； $A$ ，样品溶液的吸光度； $A_0$ ，空白溶液的吸光度； $B_g$ ，由 3.1 得到的计算因子， $\mu\text{g}/\text{吸光度}$ ； $V_t$ ，采样体积，L。

### 2.3 室外甲醛对室内甲醛浓度的贡献

甲醛室内外关联由图 3.1 所示，可由 (3.2) 式推出<sup>[9]</sup>：

$$V \frac{dC_{in}}{dt} = QC_{out} + E - QC_{in} \quad (3.2)$$

其中， $V$  表示房间体积， $\text{m}^3$ ； $C_{in}$  表示室内甲醛浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ； $C_{out}$  表示室外甲醛浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ； $E$  表示室内甲醛散发速率， $\mu\text{g}/\text{s}$ ； $Q$  表示空气交换率， $\text{m}^3/\text{s}$ 。

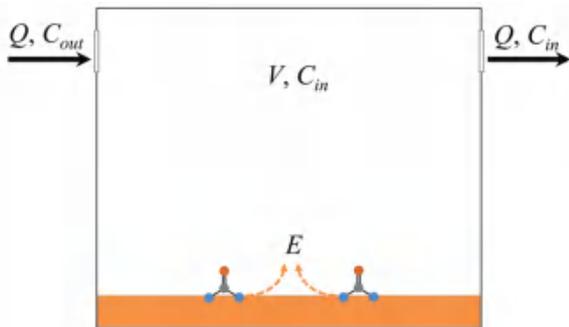


图 2.1 甲醛室内外关联示意图  
稳态条件下，式 (3.2) 变为：

$$C_{in,s} = C_{out} + E/Q \quad (3.3)$$

$C_{in,s}$  为稳态条件下室内甲醛浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。由 (3.3)

可知，室外甲醛对室内甲醛浓度的贡献值为  $C_{out}$ ，室内源的贡献为  $E/Q$ 。本文对甲醛室内外关联的研究，主要依据室内甲醛浓度中室外贡献的占比，即  $C_{out}/C_{in,s}$  (O/I 比)。

### 2.4 室外甲醛总暴露患癌风险及死亡人数预测

本模型的基本思路为用测得的室外甲醛浓度，通过蒙特卡洛模拟评估各年龄段人群的甲醛暴露量和健康风险，进而求得室外甲醛总暴露（包括室内暴露与室外暴露）的终身患癌风险，并据此预测死亡人数。

#### 2.4.1 长期暴露中甲醛的日均暴露剂量

呼吸暴露空气中污染物日均剂量的计算公式<sup>[10]</sup>，如式 (3.4) 所示：

$$E_i = C_i \cdot \frac{ET}{DL} \cdot \frac{EF}{NY} \cdot \frac{ED}{AL} \quad (3.4)$$

其中， $E_i$  表示在长期暴露中甲醛的日均暴露剂量， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ； $C_i$  表示所测得甲醛浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ； $ET$  表示甲醛暴露时间，hours/day； $DL$  表示日均时长，24 hours/day； $EF$  表示年暴露频率，days/year； $NY$  表示年总天数，365 days/year； $ED$  表示暴露持续时间，years； $AL$  表示人的平均年龄，取 70years。

本研究针对室外甲醛的总暴露（室内暴露与室外暴露）进行计算。由式 (3.3) 可知，室内暴露中室外甲醛的贡献值为  $C_{out}$ ，即无论是室内暴露还是室外暴露， $C_i$  均为所测室外甲醛浓度。并且，室外甲醛的总暴露无时无刻都存在着，因此  $ET$  可取 24hours/day， $EF$  取 365 days/year。 $ED$  表示暴露持续时间，在分年龄段计算时为不同年龄段所跨时长。

#### 2.4.2 不同年龄段吸入单位甲醛增加风险

将研究人员分为 16 个年龄段：0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-18, 18-30, 30-40, 40-45, 45-50, 50-60, 60-70。计算不同年龄段吸入单位甲醛增加患癌风险 (IUR)，可参考式 (3.5)。

$$IUR_a = ADAF \cdot \frac{IR_a}{IR_d} \cdot \frac{BW_d}{BW_a} \cdot IUR_i \quad (3.5)$$

其中， $IUR_a$  为调整后的吸入单位甲醛增加的患癌风险； $ADAF$  为年龄相关系数； $IR_a$  为年龄相关呼吸频率，L/min； $IR_d$  为默认呼吸频率，13.9 L/min； $BW_a$  为年龄相关体重，kg； $BW_d$  为默认体重，70kg； $IUR_i$  为吸入单位甲醛增加患癌风险， $1.30 \times 10^{-5}$  per  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。其中， $IR_a$  与  $BW_a$  可参考文献<sup>[11]</sup>。

#### 2.4.3 甲醛暴露终身癌症风险

甲醛暴露的终身癌症风险是各个年龄段癌症风险的总和<sup>[12]</sup>，计算如式 (3.6) 所示<sup>[10]</sup>

$$CR_i = \sum_j E_{ij} \cdot IUR_{aj} \quad (3.6)$$

其中,  $j$  取 1-16, 表示不同年龄段。  $CR_j$  为甲醛暴露的终身癌症风险。

#### 2.4.4 室外甲醛对总暴露患癌致死风险的贡献

参考何艳梅等人发表的《3028 例鼻咽癌生存率统计》<sup>[13]</sup>, 得到不同年龄段患鼻咽癌的 10 年存活率。由此可进一步计算出因室外甲醛暴露患癌症致死风险。

$$M = \sum_j E_{ij} \# IUR_{aj} \# m_j \quad (3.7)$$

其中,  $M$  为因室外甲醛暴露增加的患癌症致死风险;  $m_j$  为不同年龄段患鼻咽癌十年的致死率, 由存活率计算得出。

### 3. 结果与讨论

#### 3.1 室外甲醛浓度与慢性参考暴露准则值

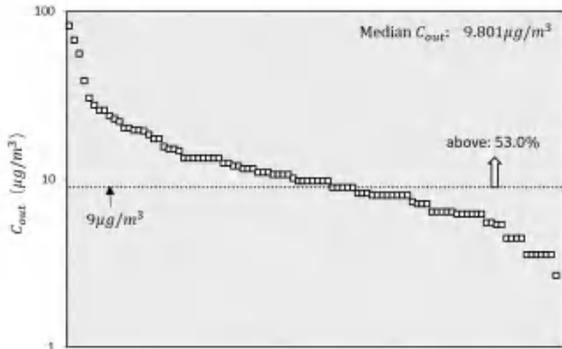


图 3.1 室外甲醛浓度数据点

图 3.1 展示了本实验所测得的 100 个室外甲醛浓度数据点。根据统计, 其中有 53.0% 的数据点已经超过了 OEHHA 设定的慢性参考暴露准则值 ( $9\mu\text{g}/\text{m}^3$ )。因此, 室外甲醛浓度可能已经超过建议的水平, 必须引起人们的重视。环境中的甲醛通常是人类活动引起的, 光化学反应和燃料燃烧是室外甲醛的主要来源。现如今, 随着城乡发展的推进, 繁忙的交通运输从负面影响着室外空气品质, 尤其对于污染较为严重的城市地区, 甲醛已经从室内空气污染物向室外空气污染物转变。

#### 3.2 甲醛浓度室内外关联

以往对于室内外甲醛浓度的研究, 学者大多更关注甲醛的室内浓度, 发表的数据为甲醛浓度的 I/O 比。在本研究中, 判断甲醛室内外关联的依据为甲醛浓度的 O/I 比率, 更为直观表现了室外甲醛对室内浓度的贡献值。

##### 3.2.1 甲醛浓度 O/I 比

本实验测定了两个不同地点的甲醛浓度 O/I 比, 各数据点汇总在图 4.2 中。因各房间的面积、人员、用途不同, 其 O/I 比表现出一定的差异性。学生工作室布局较复杂, 内部人员多且流动性大, 内有数目较多的办公用品 (打印机、纸张等), 这些因素

增加了甲醛的室内散发量, 因此其 O/I 比整体较小, 多集中在 0-0.2; 教师办公室面积较小, 家具设备等数目较少, 且一般只有工作时间会有 2 名教师在此办公, 人员流动简单, 通风条件更好, 因此其 O/I 比整体较高, 多集中在 0.2-0.4。

除了 O/I 比的分布情况, 同样值得关注的是 O/I 比大于 1/3 的比例, 这表明室外甲醛对室内浓度的贡献大于 1/3, 即为室内甲醛浓度的重要来源。在所有 O/I 比的数据点中, 有 27.9% 的 O/I 比率高于 1/3。对于学生工作室, 有 19.1% 的 O/I 比率大于 1/3; 对于教师办公室, 有 36.8% 的 O/I 比率大于 1/3。这些结果表明室外空气是以前被忽视的室内甲醛的重要来源, 因此今后通过开发工程改善室内空气品质时, 应认真考虑室外甲醛浓度。

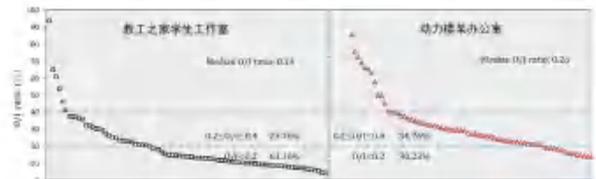


图 3.2 甲醛浓度 O/I 比数据点

##### 3.2.2 不同室内浓度范围的 O/I 比

图 3.3 和图 3.4 探求在不同的室内浓度范围下的室外甲醛对室内浓度的贡献特性。当室内浓度较低时, 室外甲醛的贡献较大, 反之亦然。

当室内甲醛浓度超过 WHO 设定的室内甲醛准则值  $100\mu\text{g}/\text{m}^3$  时, O/I 比整体有所下降, 学生工作室的中位 O/I 比为 0.14, 教师办公室的中位 O/I 比为 0.26。这说明当室内甲醛超标时, 室外甲醛的贡献同样不可忽视。通过研究发现, 出现超标情况的原因一般为室内增加了临时散发源 (打印机大量使用、志愿者衣物存放等), 因此当难以从室内源控制甲醛浓度时, 值得考虑从室外甲醛方面入手。

由于不同国家对室内甲醛浓度有不同的指导原则, 本研究还计算了当  $C_{in}$  在  $50-100\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $30-50\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $<30\mu\text{g}/\text{m}^3$  时的中位 O/I 比, 如图 3.3, 3.4 所示。

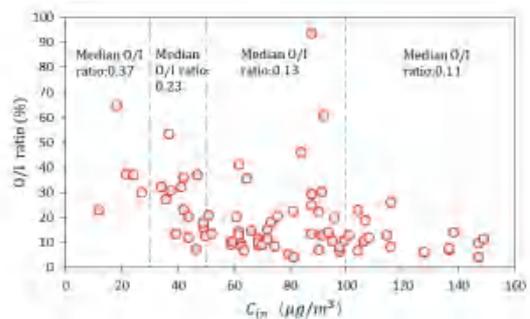


图 3.3 某学生工作室甲醛浓度 O/I 比与室内浓度的关系

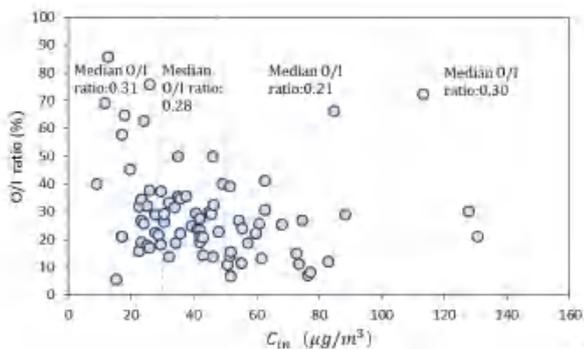


图 3.4 某教师办公室甲醛浓度 O/I 比与室内浓度的关系

### 3.2.3 甲醛浓度 O/I 比随时间的变化

#### (1) 不同时间段

图 3.5 和 3.6 为根据采样时间绘制的甲醛 O/I 比的箱型图，展示了甲醛浓度 O/I 比率的日变化。从图中可直观看出，一天的 O/I 比整体呈现下降趋势，一般在中午时段最高。分析其原因：早高峰时段，交通拥堵、燃料排放导致室外甲醛浓度较高，因此其 O/I 比较高；中午时段，交通繁忙，光化学反应对室外甲醛贡献较大，且中午时段室内人员进出较为频繁，加之早上的开窗行为较为常见，使得室内浓度略下降，其 O/I 比达到一天最大值；晚间时期，光化学反应减弱，室外甲醛浓度下降，而室内因为白天甲醛的积累达到甲醛浓度的最大值，其 O/I 比下降。

从图 3.5 和 3.6 可看出，两间房虽然各方面条件

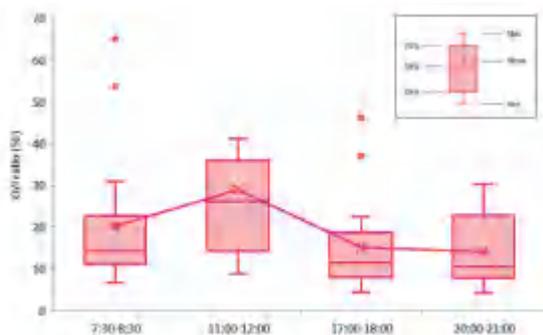


图 3.5 工作室 O/I 比随采样时间的变化

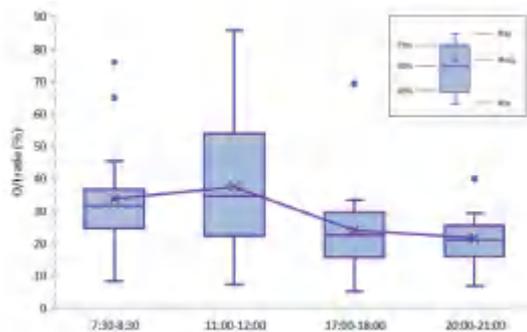


图 3.6 办公室 O/I 比随采样时间的变化

存在差异，其呈现的 O/I 比日规律是一致的，由此表明一个公共建筑内的房间的 O/I 比在时间维度上具有较强的规律性，有必要深入研究，以此来寻找一种更好的通风方式，改善公共建筑的室内空气污染问题。

#### (2) 不同日期

图 3.7 和 3.8 为甲醛 O/I 比率与采样日期的关系。图中显示，不同日期的甲醛 O/I 比均围绕一条基准线上下波动。其中中午时段的 O/I 比波动幅度最大，早高峰次之，这可能与交通状况的不稳定及光化学反应的条件性有关；晚上时段的 O/I 比最稳定，可能与晚上室外甲醛浓度较低且干扰因素少有关。值得注意的是，4 月 17 日、4 月 30 日、9 月 14 日出现激增点，这可能由于交通及燃料燃烧排放导致的室外浓度短期增大。总体来说，O/I 比随日期的推移会维持在一个稳定的区间内，无总体改变趋势，这是值得进一步研究室外对室内浓度贡献的重要信息。

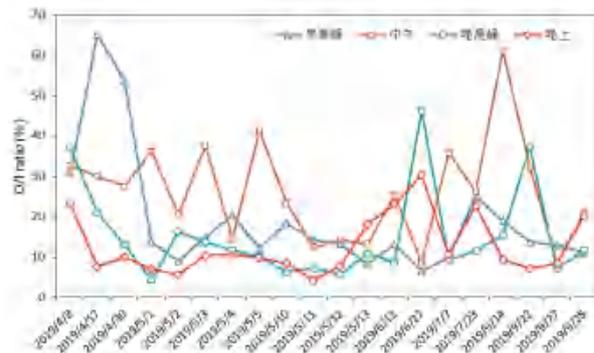


图 3.7 学生工作室甲醛浓度 O/I 比随采样日期的变化

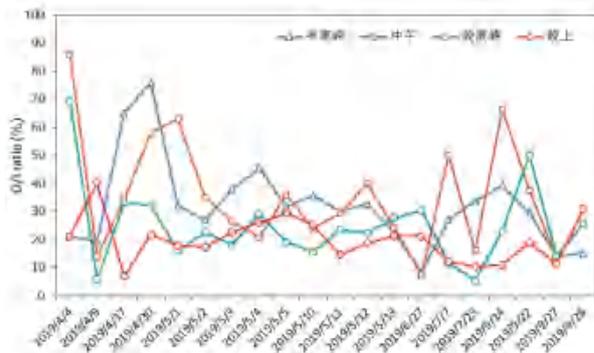


图 3.8 教师办公室甲醛浓度 O/I 比随采样日期的变化

### 3.3 室外甲醛总暴露增加的患癌风险及死亡人数预测

根据 2.4 所述的计算模型，通过蒙特卡洛模拟评估甲醛暴露量和健康风险，室外甲醛浓度选取实验所测得的中位数  $9.801 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

结果表明，因室外甲醛总暴露所增加的终身癌症风险值为  $1.4 \times 10^{-4}$ ，即每一百万人中，有 141 人会因室外甲醛暴露而患癌。EPA（美国环境保护署）

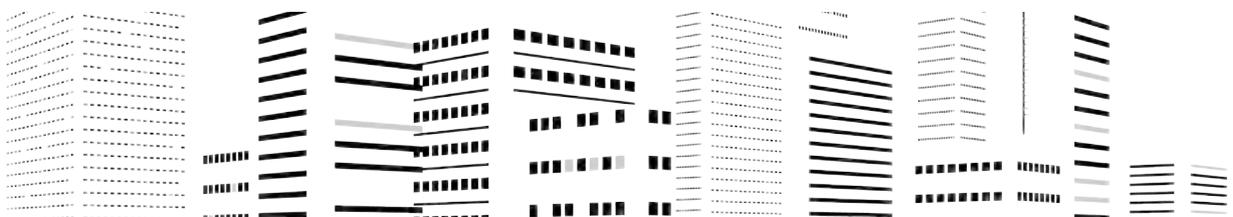
提出<sup>[14]</sup>某化合物的终生致癌可接受风险推荐值为 $10^{-6}$ - $10^{-4}$ ，由此说明甲醛在该微环境下有致癌风险。进一步计算得到因室外甲醛总暴露所增加的患癌死亡风险为 $7.9 \times 10^{-5}$ ，即每一百万人中，将有79人因室外甲醛暴露患癌死亡。根据南京统计局发布的2017年南京市人口数据简析，2017年末南京市常住人口数为 $8.335 \times 10^6$ ，由此推测，南京市常住人口中会有1175人会因室外甲醛暴露患癌，658人会因室外甲醛暴露患癌死亡。

#### 4 结论

本研究对南京市两处室内环境进行实地监测，获得4-9月室内外甲醛浓度数据。结果显示，有53%室外甲醛浓度超过了OEHHHA设定的慢性参考暴露准则值( $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )，因此室外甲醛对当地人有潜在的健康风险。在本研究中，甲醛浓度O/I比主要集中在0.1-0.4之间，其中，有27.9%的O/I比率大于1/3，这表明室外甲醛是室内浓度的重要来源。研究还发现O/I比随日期变化不大，但在一天之内呈现整体下降趋势，中午时达到最高值。最后，运用实验得到的室外甲醛浓度值，通过蒙特卡洛模拟评估甲醛暴露量和健康风险，得出室外甲醛总暴露终身致癌风险大于 $10^{-4}$ ，据此判断该微环境下甲醛具有致癌风险。

#### 参考文献

- [1] Cogliano V J, Grosse Y, Baan R A, et al. Meeting Report: Summary of IARC Monographs on Formaldehyde, 2-Butoxyethanol, and 1-tert-Butoxy-2-Propanol[J]. Environmental Health Perspectives, 2005, 113(9):1205-1208
- [2] Sherriff A, Farrow A, Golding J, The ALSPAC Study Team, Henderson J. Frequent use of chemical household products is associated with persistent wheezing in pre-school age children[J]. Thorax 2006; 45-9.
- [3] Wolkoff P. Are we measuring the relevant indoor pollutants? [J]. Indoor Air, 1997, 7(2):92-106.
- [4] dos Santos Franco AL, Domingos HV, Damazo AS, Breithaupt-Faloppa AC, de Oliveira APL, Costa SKP, et al. Reduced allergic lung inflammation in rats following formaldehyde exposure: long-term effects on multiple effector systems[J]. Toxicology 2009;256:157-63.
- [5] Klepeis N E, Neilson W C, Ott W R, Robinson J P, Tsang A M, Switzer P, Behar J V, Hern S C, Englemann WH. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. J Expo Anal Environ Epidemiol, 2001, 11: 231~52.
- [6] Salthammer, Tunga. Formaldehyde in the Ambient Atmosphere: From an Indoor Pollutant to an Outdoor Pollutant? [J]. Angewandte Chemie International Edition, 2013, 52(12):3320-3327
- [7] 国家质量技术监督局;中华人民共和国卫生部. GB/T 17220-1998, 公共场所卫生监测技术规范[S]. 1998-01-21
- [8] 国家质量技术监督局. GB/T 18204.26-2000. 公共场所空气中甲醛测定方法[S]. 2000-09-30
- [9] Cong Liu, Xinyao Miao, Jingguang Li. Outdoor formaldehyde matters and substantially impacts indoor formaldehyde concentrations. Building and Environment, 2019,158(7): 145-150
- [10] Dai H, Jing S, Wang H, et al. VOC characteristics and inhalation health risks in newly renovated residences in Shanghai, China[J]. Science of The Total Environment, 2016:S0048969716322379.
- [11] Lin Fang, Christina Norris, et al. Toxic volatile organic compounds in 20 homes in Shanghai: Concentrations, inhalation health risks, and the impacts of household air cleaning[J]. Building and Environment,2019:309-318.
- [12] Dai W, Zhong H, Li L, et al. Characterization and health risk assessment of airborne pollutants in commercial restaurants in northwestern China: Under a low ventilation condition in wintertime[J]. Science of The Total Environment, 2018, 633:308-316.
- [13] 何艳梅,蔡巧玲,黄彩云, et al. 3028例鼻咽癌生存率统计[J]. 中国病案, 2008(3):38-39.
- [14] US.EPA. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part B, development of risk based preliminary remediation goals[R]) EPA/540/R22/003. Washington,DC:Office of Emergency and Remedial response U.S, EPA,1991





# 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：beaejb@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 beaejb



公众号 CAHVAC

# 海尔中央空调 数据中心行业智慧节能空气专家

节能高达50% 助力数据中心PUE < 1.25



50%+



下载海尔智家APP  
定制您的智慧生活

- 0 0噪音 海尔之行
- 50 50%节能 PUE < 1.25
- 3 3大智慧功能
- 2 2种变频模式
- 70 70dB静音
- 30 30年质保

联系人：海尔节能及数据中心总监李敬杰 18921441990

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

McQuay<sup>®</sup>  
International



麦克维尔官方微信 麦克维尔官方网站



# 我有，无限可能

MDX-C变频直膨式空气处理机组

麦克维尔变频直膨式空气处理机组MDX-C将组合式空气处理机组与变频直膨系统合二为一，软件多功能自由选型设计，不论是商业建筑、工业建筑等均能够轻松自如的应对，满足不同的功能需求！

2 大形式外机 × 3 大结构箱体 × 8 大应用方式 × 24 种功能段 × ∞ 高度、宽度自由组合，更多无限可能！