

主办：中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院

本期导读

- 04 | 新闻直通车 | News Express |
- 21 | 热点聚焦 | Spotlight |
江亿：对煤改电的认识
- 24 | 聚焦政策 | Policy |
关于印发《北京市“十三五”时期能源发展规划》的通知
- 29 | 空气源热泵技术应用 | ASHP Feature |



建筑环境与能源官方微信

建筑环境与能源

Building Environment & Energy

主办

中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院

支持

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



聚焦 建筑环境与能源 推动 行业技术进步与发展



建筑环境与能源官方微信

联系方式：

地址：北京市朝阳区北三环东路30号

中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院

邮编：100013

电话：010-64693285

传真：010-64693286

邮箱：beaebjb@163.com

清洁供暖 需多方合力

日前，在财政部、住房和城乡建设部、环境保护部、国家能源局4部门联合召开的北方地区冬季清洁取暖试点工作视频会上，财政部副部长刘伟表示，“目前，我国北方仍有不少地区采取散煤燃烧取暖，已成为我国北方地区冬季雾霾的重要原因之一。积极推进清洁取暖、加快散煤替代，可以有效降低供暖季大气污染物排放强度，减少冬季重污染天气发生频次和程度”。

今年5月，中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作落地，通过竞争性评审方式，遴选确定了天津、石家庄、唐山、保定、廊坊、衡水、太原、济南、郑州、开封、鹤壁、新乡12个城市入围首批试点。

通过以气代煤、以电代煤、集中供热替代，以及使用空气源热泵、地源热泵、太阳能等清洁能源替代散煤，这是北方地区冬季清洁取暖的技术路线。具体实施按照“集中为主，分散为辅”、“宜气则气，宜电则电”原则。从目前实施情况看，各地进展情况有所不同，主要是技术、资金以及推进方式上还需进一步探索。

针对此次选定的试点城市，刘伟表示，要在充分使用好中央财政奖补资金的同时，要加大对清洁取暖工作投入力度，承诺的资金要优先安排、切实到位。要结合本地实际情况，发挥财政资金效益，理顺电价、气价等体制机制，引导企业和社会加大资金投入，构建“企业为主、政府推动、居民可承受”的运营模式。

清洁取暖改造是一项系统性工程，涉及面广，关系老百姓切身利益，如何使清洁供暖真正落地，惠及民生，是国家新时期实现绿色发展、可持续发展的迫切要求。“单丝不成线，独木不成林，众人拾柴火焰高”，清洁供暖目标的实现需多方合力。



建筑环境与能源

(月刊)

主办单位

中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院

支持单位

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
2017年第4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 李月华
校 对 才 隽 汤 溧
美 编 周 林

地址: 北京市北三环东路 30 号
邮编: 100013
电话: 010-6469 3285
传真: 010-6469 3286
邮箱: beaebjb@163.com



建筑环境与能源官方微信



全国暖通空调学会官方微信

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

04 | 新闻直通车 | News Express |

徐伟: 互联网+时代下变革中的供暖行业
2017年全国供暖技术学术年会在津隆重召开
丹佛斯天津工厂迎来众多行业人士参观
关注供热末端, 走进瑞特格(中国)有限公司
第四届“海信日立暖通杯”全国乒乓球邀请赛隆重举行
2017年度全国辐射供暖供冷系统应用与创新大会在南京顺利召开
中国建研院助力厦门金砖会议顺利召开
彰显中国实力, 带领亚太迈向“零能耗”
“近零能耗建筑技术体系及关键技术开发”启动会顺利召开
住宅新风系统的技术标准《住宅新风系统技术标准》审查会在京举行
《工业化建筑标准体系建设方法与运行维护机制研究》召开第二次工作会
中国被动式超低能耗建筑联盟代表团访问劳伦斯伯克利国家实验室 等

15 | 行业新闻 | Industry News |

工程建设协会标准《双冷源新风机组》编制工作启动
《建筑室内空气质量监测与评价标准》编制组成立暨第一次工作会召开
产品国家标准《通风系统用空气净化装置》正式发布
疏堵结合 国家能源局整饬可再生能源乱象
江森自控荣获“2017上海企业可持续行动影响力奖” 等

18 | 国际新闻 | International News |

ASHRAE 发布新版暖通空调手册导则
美国智能家居普及程度调查数据出炉
2021年商业建筑暖通空调市场将达123亿美元
中英将合作开发新一代可再生能源技术
智利拟2050年前实现70%能源可再生
印度推广绿色能源社会成本较高 相当于煤炭的3倍
从供暖制冷行业出发, 欧洲零碳排放将成为可能 等



2017 年全国供暖技术学术年会在津隆重召开



全国辐射供暖供冷系统应用与创新大会召开



彰显中国实力，带领亚太迈向“零能耗”



中国建研院助力厦门金砖会议顺利召开

21 | 热点聚焦 | Spotlight |



江亿： 对煤改电的认识

24 | 聚焦政策 | Policy |

关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知
关于印发《公共建筑节能改造节能量核定导则》的通知
关于新建政府投资公益性和大型公共建筑执行绿色建筑二星级标准通知
关于印发《北京市“十三五”时期能源发展规划》的通知

29 | 空气源热泵技术应用专题 | ASHP Feature |

北京学校建筑空气源热泵供暖白皮书暨实测案例分析报告
空气源热泵供暖技术应用分析
北京地区空气源热泵低温工况下运行性能的实测研究

52 | 技术交流 | Cases |

严寒地区被动房冬季室内热环境与热舒适研究
毛细管辐射空调系统室内热环境实验研究
试谈空气调节“舒适四度”与中医“六气养生”的关系
南京中航工业科技城能源规划分析

64 | 会议活动 | Events |

新闻直通车

News Express

徐伟：互联网 + 时代下变革中的供暖行业

“清洁供暖 技术先行”，8月23日，2017年全国供暖学术年会在天津召开。中国建筑学会暖通空调分会理事长、中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院院长徐伟与会并致辞，致辞中他就我国供暖行业的发展历程及未来前景做了精彩分享。

徐院长讲话中提到我国供暖行业的发展大致分为基本保障期、学习借鉴期和关键转型期三个阶段。发展到今天，供暖行业进入到一个关键转型的历史时期，这一阶段，传统清洁（能源）供暖，新型热泵、燃气、电采暖、余热利用等等供暖技术齐头并进。对于未来的发展，徐院长指出行业正在面临一个新的变化，新兴行业在末端，不管是传统的散热器、地暖，还是燃气壁挂炉，这都属于末端，都在发生着转型。传统的行业在扩大自己的应用范围，自己的产品线。不管是上下游产业、学术到产品技术售后、家装与工装等都相融相交。现在变成产业的相互融合，互相跨界，整个链条相互关联。

目前，我国北方仍有不少地区采取散煤燃烧取暖，是冬季雾霾的重要原因之一，改造需求迫



切、任务艰巨。对于当前行业广泛关注的煤改电，徐院长也谈了自己的见解，煤改电、煤改气或者煤改清洁能源、煤改清洁供暖，这些词的表述是有些争议的。能源部门说的是清洁能源供暖，而供热行业称作清洁供暖。其中有相同也有区别。清洁能源的前提是要保证能源是清洁的，清洁供暖指的是采用的系统方式，排放要清洁。从内涵上来讲，不同部门对它理解是不同的。

随着国民生活水平的提升和互联网技术的飞速发展，智能化及物联网已成为未来暖通行业发展趋势。徐院长发言中称供暖行业也跟其他行业一样，面对一个共同的话题，就是互联网经济中国制造 2025，用大数据、用互

联网和供暖的室内环境数据、供热管网数据、热源的数据进行采集、分析、提炼，进行决策，很多供热计量的企业都在转型，现在不再是单纯的提供计量设备，拿出来都是一个小区、大区甚至一个城市的供热的状态、供热的运行策略。这就是互联网带来的影响。互联网已经进入到我们的每一个角落，在这个信息化、市场化、搞大数据的时代，借助公共技术平台和公共的产业发展来促进我们供热行业的发展，从而更促使我们的产品、系统实现能效更高，排放更低。

最后，徐院长表示供热产业的发展需要相关各方的努力，相互融合，互相跨界。让供暖行业向着更有效、更清洁、更便利、更利民的方向发展，未来供暖行业的发展空间仍很大，潜力值得挖掘，民心所系，供暖行业承担着压力及动力，希望踏实、坚韧地走好每一步，解决民生整体的大问题，解决每一个供暖时的小问题，让冬季取暖变得更加方便、快捷、高效、清洁，让冬季室内舒适温馨的同时，室外也有蓝天白云的好景色！

文 / 本刊编辑部

2017年全国供暖技术学术年会在津隆重召开

8月23~24日“清洁供暖 技术先行”2017年全国供暖技术学术年会在天津隆重召开。中国工程院院士、清华大学建筑节能研究中心主任江亿，全国暖通空调学会理事长、中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院（以下简称“环能院”）院长徐伟，中国制冷学会空调热泵专业委员会主任委员路宾，全国暖通空调学会两委会供暖专委会主任委员、哈尔滨工业大学教授董重成，中国建筑节能协会秘书长、北京建筑大学教授李德英，中国建筑东北设计研究院专业总工程师金丽娜，西安建筑科技大学教授王智伟，天津大学环境科学与工程学院教授由世俊，山东省建筑设计研究院总工程师于晓明，全国暖通空调学会秘书长王东青等领导嘉宾及高校师生、科研院所负责人、企业负责人、媒体共计200余人出席此次盛会。会议由全国暖通空调学会两委会供暖专委会主办，丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司协办，瑞特格（中国）有限公司、安徽安泽电工有限公司支持举办。

“清洁供暖 技术先行”主题论坛由金丽娜总工主持，中国建筑科学研究院环能院院长徐伟回顾了供暖行业发展之路，将其分为3个阶段：基本保障期、学习借鉴期和重要转型期。他特别强调了行业发展中存在的问题，并指出在未来行业将以链条式融合发展，上下游、学术到产品技术售后、家装与工装等相融相交，希望行业人士共同努力，利用大数据、互联网、相关公共产业来提升供热产业发展速度。董重成教授发言中强调了技术对于供暖



行业的重要性，对清洁采暖及清洁能源采暖作了进一步的区分定义阐述，并指出供暖清洁化趋势下，应因地制宜，综合考虑各方因素下选择能源与技术设备。对于当前持续进行的“煤改电”，江亿院士表达了自己的见解，提出燃煤热电联产热源应为首选，但不应发展燃气热电联产；变“以热定电”为“热电协同”的热电联产方式，同时接纳风电；消费型城市应有20%~25%的供热面积由电动热泵提供热源，且电动热泵热源供热应采用与大型集中供热完全不同的系统架构和运行参数；在农村应推广分室分户的热风型空气源热泵；慎重发展电锅炉和任何直接电热方式的热源。国家空调设备质量监督检验中心主任路宾向与会代表介绍了《空气源热泵供暖工程技术规程》（将于2018年6月完成）的编制背景、现状及问题（其团队2016年承担的设备抽检结果）、原则、技术重点和研究内容等，并表示应从宏观角度结合实际情况、技术规程应用空气源热泵设备及对技术创新。随后，李德英教授介绍了《供热系统节能及控制技术》，并表示专业技术必须走专业化发

展之路，鼓励清洁利用，但清洁供暖不能一哄而上。王智伟教授详细分析了夏热冬冷地区住宅供暖技术问题，且根据其试验与计算分享了解决措施；由世俊教授对《天津市清洁能源取暖的问题与实施方案》进行了解说。

除主论坛外，此次年会还包括“供热系统节能”、“清洁供暖技术”两个专题论坛，使得与会者听会、交流更具针对性，同时亦是对相关联供热技术的深入探讨。解疑答惑、面对面交流，在两个分论坛最后的环节里，呈现的是传道授业、互相进步的积极学术氛围，江亿院士、董重成教授等学术大咖及发言人的耐心解答、与会者的积极发问，所反映的不仅是当时的小氛围，更是折射出供暖行业的大氛围，预示着行业快速推进的良好势头。

会议第二天，参会嘉宾参观了丹佛斯、瑞特格两个企业的天津工厂。

技术交流以传工匠精神，内外携手共促行业进步。为期两天的会议既有技术干货，又有实地观感，2017年全国供暖技术学术年会圆满成功！

来源：本刊编辑部

丹佛斯天津工厂 迎来众多行业人士参观

8月24日，“清洁供暖技术先行”2017年全国供暖技术学术年会进入第二天，上午10时许，中国制冷学会空调热泵专业委员会主任委员路宾，全国暖通空调学会两委会供暖专委会主任委员、哈尔滨工业大

学教授董重成，中国建筑东北设计研究院专业总工金丽娜，山东省建筑设计研究院总工于晓明等一行90余位参会嘉宾参观丹佛斯（天津）有限公司制冷事业部、供热事业部。公司高级运营总监路岭向大家详细

介绍了丹佛斯的业务发展情况，参观过程中，讲解人员详细介绍、参观者积极发问，此行参观将丹佛斯严苛的生产制造工艺环节更直观的展现在行业人士眼前。

据悉，丹佛斯天津武清研发及制造基地分为两个：（1）建于2003年的压缩机研发基地占地50000m²，厂房面积为25000m²；（2）建于2005年的研发基地占地100000m²，厂房面积为37000m²，主要生产制冷阀门等部件。两大生产基地完善的生产、销售链条将先进且品质过硬的产品销往世界各地。

参观完毕，丹佛斯（天津）为参会者准备精美午餐。用餐时，众参观者赞赏丹佛斯先进、安全的生产技术、工艺、管理制度及参观安排。



关注供热末端， 走进瑞特格（中国）有限公司

8月24日下午1时，中国制冷学会空调热泵专业委员会主任委员路宾，全国暖通空调学会两委会供暖专委会主任委员、哈尔滨工业大学教授董重成，山东省建筑设计研究院总工于晓明等一行60余位参会嘉宾参观瑞特格（中国）有限公司，受到瑞特格（中国）北方区销售总监赵雷等的热情欢迎，此次参观使得众参观嘉宾详细的了解了瑞特格的玻璃散热器等产品工艺及技术理念，对散热器等末端有了更深入的认识。

参观结束，参观者收获了对供热末端的进一步认识，并且对瑞特格有了进一步了解。至此，“清洁供暖技术先行”2017年全国供暖技术学术年会圆满落幕！



第四届“海信日立暖通杯”全国乒乓球邀请赛隆重举行

为展现我国暖通空调工作者的精神风貌，搭建行业间友谊和合作交流平台，2017年7月15日，第四届“海信日立暖通杯”全国乒乓球邀请赛在山东淄博隆重举行。

本届赛事由全国暖通空调学会和青岛海信日立空调系统有限公司联合主办，青岛海尔空调电子有限公司和荏原冷热系统（中国）有限公司协办，山东土木建筑学会暖通空调专业委员会承办。来自河南省暖通学会、安徽省暖通学会、山西省暖通学会、江苏省暖通学会、河南省制冷学会、淄博市暖通学会、中国建筑科学研究院、山东省建筑设计研究院、荏原冷热系统（中国）有限公司、南京天加环境科技有限公司、顿汉布什（中国）工业有限公司、淄博市建筑设计研究院 12 支省、市以及企业代表队参赛。大赛设置混合团体、男子单打、女子单打三个项目，裁判组由夏侯志善裁判长等 14 位国家级裁判员组成。

首先由全国暖通空调学会理事长徐伟致辞，徐伟理事长表示，参赛选手来自全国各地，希望大家在比赛中，相互交流，增进团结，增进友谊，预祝各参赛队伍取得好成绩。学会副理事长、山东省土木建筑学会暖通空调专业委员会主任委员于晓明，青岛海信日立空调系统有限公司李云峰部长等也分别代表承办方和支持企业致辞。

随后徐伟理事长和于晓明主任为比赛开球。比赛过程精彩纷呈，选手们强强对抗，展现出了非常高的竞技水平，经过几轮激烈角逐，最终安徽省暖通空调学会代表队荣获混合团体冠军，山东省建筑设计研究院荣获混合团体亚军，中国建筑科学研究院代表队和江苏省暖通学会代表队荣获混合团体季军。中国建筑科学研究院李晋荣获男子单打冠军，安徽省暖通空调学会于沁荣获男子单打亚军，安徽省暖通空调学会刘音星、刘畅（并列）荣获男子单打季军；山东省建筑

设计研究院敬媛媛荣获女子单打冠军，河南省制冷学会李艳荣获女子单打亚军，江苏省暖通学会王轶、南京天加环境科技有限公司邵文（并列）荣获女子单打季军。荏原冷热系统（中国）有限公司陈旭，河南省暖通学会王文亚，山西省暖通学会夏志红荣获最佳运动员奖，青岛海信日立空调系统有限公司、青岛海尔空调电子有限公司、荏原冷热系统（中国）有限公司荣获行业活动贡献奖。

“暖通杯”全国乒乓球邀请赛至今已成功举办三届，该赛事已成为全国暖通空调行业重要活动之一，本届赛事首次采用了现场直播的方式，吸引了全国近万名暖通乒乓球迷的关注，比赛结束后，大家纷纷合影留念，依依惜别，第四届“海信日立暖通杯”全国乒乓球邀请赛圆满成功，再次感谢各地方学会、企业以及参赛选手对本届赛事的支持，期待下届再相聚！



2017 年度全国辐射供暖供冷系统应用与创新大会 在南京顺利召开

9月19~21日，由中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院、全国辐射供暖供冷技术创新联盟和维瓦尔第环境科技有限公司联合主办，际高集团、曼瑞德集团协办的2017年度全国供暖供冷系统应用与创新大会在南京玄武湖畔顺利召开。

中国建筑科学研究院环能院副院长路宾，全国辐射供暖供冷技术创新联盟主席陈立楠，江苏省制冷学会空调热泵专委会主任委员张建忠，中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院副院长邹瑜，联盟专家、同济大学暖通空调及燃气研究所所长张旭，联盟专家、河北省暖通空调工程技术中心主任张子平，南京建筑设计研究院总工程师张建忠，联盟副主席、上海维瓦尔第环境科技有限公司董事长郑鸿宇，联盟副主席、际高集团董事长从旭日，南京优能空调系统有限公司总经理杨建，联盟副主席、湖北风神净化空调设备工程有限公司总经理茅伟东和嘉宾及企业负责人、高校师生、房地产高管共计300



余人出席此次盛会。

路宾院长表示，近年来辐射供暖供冷技术在全行业的共同努力下有了高速发展，但还没有形成完整的技术体系，这就需要大家共同努力，来规范和引导辐射供暖供冷技术的发展。

全国辐射供暖供冷技术创新联盟（以下简称联盟）主席陈立楠表示，辐射供暖供冷技术近年来频繁助力科技地产、被动式建筑，“十三五”期间，建筑业将迎来发展机会和巨大的技术革命。辐射供暖供冷系统作为暖通行业最具代表性的创新技术，必将会有更广泛的市场前景。联盟

欢迎更多暖通人士、技术大咖、市场精英们加入，共谋发展。

会议期间，行业专家、企业大咖与嘉宾分享了辐射供暖供冷技术的研究进展和工程应用情况，精彩纷呈。

20日上午，与会代表参观了维瓦尔第辐射空调系统体验展厅、际高奥体新城紫薇园项目、湖北风神南京金基尚书里项目。

两天的会议，既有大会报告、论坛对话又有实地考察观摩。与会嘉宾在畅谈行业发展的同时，对产品的应用有了跟深入的了解。会后代表纷纷对会议的成功组织表示感谢，会议圆满成功！

中国建研院助力厦门金砖会议顺利召开

9月3~5日，第九届金砖会议在厦门成功举行并圆满落幕，中国建研院设计和机电技术团队为会议顺利召开做出了积极贡献。

会议筹备期间，中国建研院厦门分院圆满完成了厦门市中山路片区和艾美酒店、悦华酒店连接线两个立面改造提升设计任务，工作成果获得厦门市政府部门和广大市民的高度认可。尤其

作为厦门标志性街区的中山路步行街，经过沿街骑楼的完整修复与立面风格的细致处理，中山路特有的闽南传统风韵得以再现和升华，为金砖会议的城市会客厅添彩增光。

中国建研院建筑环境与节能研究院机电顾问团队为金砖国家会晤主场馆、金砖国家工商论坛主会场、厦门会晤新闻中心三个场馆改建工程开展了系统的全过

程机电调试咨询服务，完美解决了高大空间气流组织问题、高温高湿度条件下容易结露等问题，满足了金砖会议舒适度及安全性能的要求。会议期间，运行保障团队全程现场待命，保证了会议的顺利举行，谱写了中国建研院继“2008奥运场馆”、“APEC会场”、“G20主会场”之后，重大工程机电调试咨询和服务保障工作的新篇章。

彰显中国实力，带领亚太迈向“零能耗”

9月4~6日，APEC（亚太经合组织）零能耗建筑研究项目组第五次会议“响应巴黎协定全球温控目标的APEC零能耗建筑政策技术路线图研讨会”在美国夏威夷州檀香山市举办。来自APEC的21个经济体的40位专家在为期3天的会议内，分享了各经济体零能耗建筑的发展目标、激励政策和最新科研与示范成果，就基于联合国气候变化大会巴黎协定温控目标框架下，亚太地区作为整体以及各经济体“2020-2030-2050”建筑节能目标的设置以及推动零能耗建筑的优先政策和技术措施进行了研讨。

APEC零能耗建筑研究项目是由中国建筑科学研究院牵头组织协调的国际合作项目，受APEC能源工作组支持，其目的为通过最佳政策和技术的分享，推动零能耗建筑在APEC各经济体的发展，支撑完成APEC地区到2035年能源强度较2005年降低45%，到2030年可再生能源及其发电量在地区能源结构中的比重比2010年翻一番的目标。

推动建筑物不断迈向更低能耗，政策激励作用巨大。在会政策研讨环节，北京市住房和城乡建设委员会建筑节能与建筑材料管



理处副处长刘斐和山东省住房和城乡建设厅节能科技处副处长李晓分别介绍了北京市和山东省对超低能耗建筑的财政补贴政策 and 示范项目的建设情况。澳大利亚能源环境部、加拿大零能耗建筑战略委员会、智利住房部以及日、韩等国相关单位的代表分别介绍了本国建筑节能的鼓励政策和未来的政策预期。美国能源部和可再生能源国家实验室、日本北海道大学、西安建筑科技大学、香港科技大学、澳大利亚皇家墨尔本大学等高校和科研机构的专家分别介绍了相关最新科研成果，就不同建筑物迈向零能耗建筑的技术路线进行了探讨，进一步

释了APEC覆盖地域广、气候类型多，不同气候区各类建筑物迈向更低能耗应采用合理路线和技术的必要性。

目前，我国建筑建设数量全球第一，建筑节能潜力巨大，正通过各种国际合作项目获得与数量和潜力相匹配的国际目标设定与标准制定，以期待在延伸的贸易体系规则上获得更多话语权。通过开展亚太零能耗建筑合作，我国一方面积极引入了国外先进技术，另一方面向其他亚太国家输出了自有技术体系和配套产品，真正达到节能减排、提升建筑物寿命和室内环境、推动产业发展，开创多赢新局面。



十三五国家重点研发计划项目 “近零能耗建筑技术体系及关键技术开发” 启动会顺利召开

9月19日，十三五国家重点研发计划项目“近零能耗建筑技术体系及关键技术开发”启动会暨实施方案论证会在北京顺利召开。中国21世纪议程管理中心柯兵副主任、张巧显处长、住房和城乡建设部科技司胥小龙副处长、绿色建筑与建筑工业化专项总体专家组郝军总工、实施方案评审专家、中国建筑科学研究院王清勤副院长、项目负责人徐伟研究员与28家项目参与单位代表参加会议。中国建筑科学研究院为本项目负责单位，中国建筑科学研究院专业总工程师徐伟研究员为项目负责人，项目总研究经费11973万元，其中中央财政经费3373万元。

启动会上，项目管理单位中国21世纪议程管理中心张巧显处长宣读项目批复意见，向参会代表传达了项目管理的规定和要求，并宣布了由中国房地产业协会住宅技术委员会孙克放副主任为组长、中国建筑设计集团仲继寿研究员为副组长的专家组。专家组成员有住房和城乡建设部住宅产业化促进中心文林峰副主任、清华大学李先庭教授、同济大学张旭教授、北京工业大学陈超教授、北京建筑节能研究发展中心金鸿祥总工程师、华建会计师事务所张小艳高级会计师。

项目实施方案论证会上，项目负责人徐伟研究员就“近零能耗近零能耗建筑技术体系及关键技术开发”项目实施方案进行汇报。专家组一致认为项目各课题分解合理，可互相支撑完成项目总目标和考核指标，课题参与单位分工合理，项目组统筹协调课题的管理措施合理可行，项目研



究方法科学、技术路线明细，项目按课题和年度制定的实施计划表科学合理，节点明确，可考核，可评估。

课题实施方案论证会上，10位课题负责人清华大学宋晔皓教授、中国建筑科学研究院环能院邹瑜副院长、同济大学李峥嵘教授、哈尔滨工业大学姜益强教授、沈阳建筑大学冯国会教授、北京建筑设计研究院徐宏庆总工、中建科技有限公司李丛笑副总经理、上海建筑科学研究院范宏武教授级高工、北京住总集团杨健康总工、中国建筑科学研究院环能院于震主任分别就项目10个课题的具体实施方案进行了汇报。专家组成员对课题的开展给出建议，并形成各个课题实施方案的论证意见。

实施方案论证会后，全体项目组成员对项目法人单位责任制、示范工程管理专项办法等政策文件进行集体学习，项目组对组织项目和课题实施进行了讨论，明确了下一步工作节点。

“近零能耗建筑技术体系及关键技术开发”项目将针对我国

近零能耗建筑技术路径不清晰、指标体系和评估方法缺失、主被动技术性能及集成度低等问题，研究建立适用于我国不同区域的近零能耗建筑定义及技术指标体系，研究相应技术标准、规范化的设计方法及工具、标准化的施工工艺及质量控制技术，研究近零能耗建筑性能检测及评价技术，研发近零能耗建筑墙体保温系统和门窗、热交换、通风等建筑关键部（产）品，研发高能效主动式技术、精准控制和调试技术、可再生能源蓄能耦合应用关键技术，建立近零能耗建筑技术体系，提出不同气候区实现目标的技术途径，推进建筑节能和绿色建筑向更高水平发展。

本项目为本批次绿色建筑与建筑工业化专项中唯一获批的支撑建筑节能迈向更高水平的研究项目，项目研究成果将直接服务于我国下一阶段建筑节能标准全面提升，对近零能耗建筑技术体系的建立、规范和发展有重要意义，对于建筑业向低碳绿色转型升级具有重要推动作用。

住宅新风系统的技术标准《住宅新风系统技术标准》审查会在京举行

2017年9月6日,由中国建筑科学研究院会同福建省建筑科学研究院主编的工程建设行业标准《住宅新风系统技术标准(送审稿)》(以下简称《标准》)审查会在北京召开。标准主管部门住房和城乡建设部标准定额司、住房和城乡建设部标准定额研究所、主编部门中国建筑科学研究院的代表、有关单位的专家以及编制组成员共计31人参加了会议。

住建部建筑环境与节能标准化技术委员会宣布了由中国疾病预防控制中心环境所研究员戴自祝为组长、北京工业大学教授陈超为副组长,深圳市建筑科学研究院教高任俊、北京市住房保障办公室和标准信息处处长杨家骥、同济大学教授刘东、北京联合大学教授马晓钧、上海环境

科学研究院研究员钱华、北京建筑节能与环境工程协会高工金继宗、新奥能源控股有限公司高工武海斌、西安建筑科技大学教授李安桂、中国建筑东北设计研究院有限公司教授侯鸿章等11位专家组成的审查专家组。

审查专家组对标准内容进行了逐条审查,主编单位和参编单位对质询进行了详细回答。经过认真讨论,专家组一致认为《标准》送审资料齐全,符合工程建设标准编写规定的要求;《标准》在编制过程中,进行了广泛的调研,借鉴了国内外相关标准和工程实践经验,对住宅新风系统的设计、施工验收和运行维护具有指导意义,有助于规范和推动住宅新风技术的应用和行业发展;《标准》技术内容科学合理、可操作性强,与现行相

关标准相协调,达到国际先进水平。最后审查专家组给出修改意见和建议,并一致同意《标准》通过审查。此项标准预计9月底完成报批。

《住宅新风系统技术标准》是我国第一部关于住宅新风系统的技术标准,并且也是首次由国家部委层面推进新风系统走进普通住宅,对于新风系统在普通住宅中的普及具有重大意义。此项标准的实施,对住宅新风系统行业有了更加明确的要求和规定,使住宅新风系统产品更加安全可靠,验收有据可依,在安装实施中也更加安全标准化。标准的制定定会加快行业的快速发展和改进,相信未来普通住宅新风行业将会规范有序的发展,新风系统走进普通住宅的进程也将大大加速。

中国建筑科学研究院主编《中国绿色建筑标准规范回顾与展望》出版发行

中国建筑科学研究院主编的《中国绿色建筑标准规范回顾与展望》一书,已于2017年7月由中国建筑工业出版社出版、发行。本书由中国建筑科学研究院从事绿色建筑标准编制的知名专家与中青年技术骨干编写。

该书是中国建筑科学研究院“建筑工程标准规范研究与应用系列丛书”之一。中国建筑科学研究院一直致力于建筑行业基础性、公益性技术研发工作,截至目前累计主编国家或行业标准近900项。丛书旨在回顾总结有关标准的背景渊源和发展轨迹,传承历史、展望未来,为后续标准

化工作提供参考与依据。系统梳理标准历史资料、研究标准历史沿革、促进标准实施应用。据悉,丛书将由中国建筑工业出版社陆续出版、发行。

该书按照先评价标准、后工程标准的顺序,对中国建筑科学研究院主编或联合主编的《绿色建筑评价标准》、《既有建筑绿色改造评价标准》、《绿色工业建筑评价标准》、《绿色商店建筑评价标准》、《绿色医院建筑评价标准》、《绿色博览建筑评价标准》、《民用建筑绿色设计规范》、《建筑工程绿色施工规范》、《绿

色建筑运行维护技术规范》等9部国家或行业标准的编制情况、主要技术内容及关键技术做了详细介绍。该书还系统回顾分析了我国当前绿色建筑标准的现状及国家《绿色建筑行动方案》所要求标准的完成情况,概述了我国绿色建筑发展政策以及由标准评价得出的绿色建筑项目整体情况,记录和转述了中国建筑科学研究院王有为、林海燕、王清勤等知名专家对于绿色建筑标准化的观点,结合我国绿色建筑和标准化工作两方面的最新态势对未来的绿色建筑标准进行了展望。

国家重点研发计划课题“工业化建筑标准体系建设方法与运行维护机制研究”在成都召开第二次工作会议

日前，由中国建筑科学研究院牵头承担的国家重点研发计划课题“工业化建筑标准体系建设方法与运行维护机制研究”第二次工作会议在成都召开。课题所属项目“建筑工业化技术标准体系与标准化关键技术”联系人中国建筑科学研究院标准处姜波处长助理、同济大学土木工程学院赵宪忠院长、香港理工大学沈岐平教授、中冶建筑研究总院有限公司尚仁杰教授级高工、东北林业大学苏义坤教授，各子课题负责人及课题主要研究人员参加了会议。会议由课题执行人、中国建筑科学研究院标准处李小阳处长助理主持。

香港理工大学、南京工业大学等子课题承担单位分别对阶段性研究成果、考核指标完成情况、经费使用和工作计划等做了详细汇报。李小阳副研究员做了标准化改革形势、课题整体进展及要求的汇报。与会人员对标准体制改革的作用、建筑工业化产业链与标准需求、标准对工业化建筑适用性评估及标准体系建设方法等关系项目实施的关键理论、通用方法、核心问题进行了讨论，并对下一步工作做了安排。

会议要求子课题和专项任务的负责人和研究人员不断提高认识，不忘初心，砥砺前行，以开拓的进取精神、以严谨的工作作

风、有力有序推进课题研究工作；同时，必须加快研发进度，保证成果质量，紧扣考核指标和时间节点，严格执行预定计划，确保完成既定任务，做好项目和课题中期验收；强化总结凝练阶段性成果，合理有序使用课题经费；做好课题宣传，加强信息通报和内部共享。



CPBA 中国被动式超低能耗建筑联盟代表团访问美国劳伦斯伯克利国家实验室

6月27日，由联盟理事长中国建筑科学研究院环能院徐伟伟院长带队，山东省建筑科学研究院宋义仲院长、绿建院王昭院长、河南省建筑科学研究院栾景阳副院长、天津市建筑设计院伍小亭总工、南京工业大学龚红卫教授、北京格瑞科技股份有限公司刘拴强董事长和广州被动房有限公司许晖董事长等15名联盟成员到访美国劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL），就中美清洁能源联合研究中心一期成果与二期计划进行交流，并参观相关实验室。

实验室全球能源研究部周南主任首先向团组成员介绍了LBNL的历史和主要机构设置，Carolyn Szum研究员介绍了CERC一期研究成果和二期

美方的工作计划，冯威研究员介绍了LBL建筑与城市技术部和中国能源研究组主要开展的科研项目以及未来重点工作。随后，冯威博士带领代表团参观了门窗性能检测国家检测室，实验室Jacon Jonsson研究员详细介绍了窗户的保温隔热、遮阳系数、透光率等参数的检测方法和测试过程，并介绍了一些经济适用的窗户节能措施。最后，代表团参观了FLEXLAB（Facility for Low Energy Experiments in buildings LABORatory）检测平台，FLEXLAB准确的讲是全尺寸超低能耗建筑实验监测设施，是全球第一个可以进行建筑节能部品和系统全方位动态测试的监测平台，由设计上相互独立却又可互

换构件和机构的四组两两独立的建筑组构成，每组建筑包含基准建筑和测试比对建筑，建筑东、西、北、屋顶和地面全部绝热，HVAC、照明、南向建筑围护结构等都可随机搭配和组装。设计师可以根据测试目的，将南向的窗户、围护、遮阳以及天窗、照明和其他建筑元素进行交换，也并行性能比较。

徐伟理事长表示，FLEXLAB全尺寸检测平台对于更加精准的掌握超低能耗建筑产品及部品的实际运行性能数据，综合分析室内环境与节能的关系都具有重要作用，十三五期间，我国也要积极开展此类支撑超低能耗建筑发展的基础监测平台，为进一步推动超低能耗建筑奠定技术基础。

《非金属及复合风管》JG/T 258 将于 2018 年发布

日前，产品行业标准《非金属及复合风管》JG/T 258 修订工作第二次会议在中国建筑科学研究院召开。

会上，编制组成员重点讨论了该标准的征求意见稿。据了解，与《非金属及复合风管》JG/T



258—2009 相比，该标准在修订时细化了分类方法，分为按照材料分类和按照尺寸分类；增加了纤维织物的外观检查要求；细化了风管漏风量分类，分为成品风管漏风量和系统风管漏风量；细化了耐火性能分类，分为硬质风管耐火性能和柔性风管耐火性能；增加了 BIM 模型、表面强度、风管抗静电性能、抗霉性能、抗菌的性能要求；调整了风管性能检验要求；将“9 标志、运输和储存”调整为“9 标志、使用说明和合格证”；增加了“10 包装、运输和贮存”；增加了附录 J 复合玻纤板风管纤维脱落试

验方法；增加了附录 K 抗霉性能试验方法；增加了附录 L 抗菌性能试验方法。

与会代表对标准意见稿新增内容进行了认真讨论，要求术语定义更加明确规范，尽量覆盖所有风管类型；对试验数据的要求更加准确，能够规范更多产品质量，满足更多产品要求；附录内容详细描述了风管各项性能性能的试验方法和数据，做到有数据支撑标准，使标准更加真实有效。

据悉，《非金属及复合风管》JG/T 258 将于 10 月完成送审稿，11 月召开审查会议，预计于 2018 年发布。

协会标准《空调冷源系统能效检测标准》通过评审

日前，由中国建筑科学研究院负责主编的中国工程建设协会标准《空调冷源系统能效检测标准》（以下简称《标准》）审查会在中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院示范楼第一会议室召开。

中国工程建设标准化协会焦占栓副理事长，中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院邹瑜副院长、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，全国区域能源专业委员会许文发教授、中国建筑节能协会李德英秘书长、中建设计集团有限公司满孝新总工等 8 位评审专家以及来自北京星达科技发展有限公司等 13 家参编单位的编制专家共同参加了本次会议。

中国工程建设标准化协会建筑环境与节能专业委员会秘书处朱晓姣主持了会议，主编单位领

导邹瑜副院长致辞并感谢各位专家和领导的莅临指导，焦占栓副理事长首先肯定了标准编制的相关工作，并宣布了审查委员会名单，主编单位曹勇主任代表编制组详细介绍了《标准》编制的背景、过程、内容、创新点等。

经过审查专家组的逐条细致审查，最终一致通过《标准》。

专家组认为，《标准》整体编制成果达到国内先进水平，理清了冷源系统能效比、冷源系统设计工况能效比、冷源系统部分负荷能效比和冷源系统季节能效比术语的概念和意义，建立了现场测试冷源系统季节能效比的工况和方法，填补了我国空调冷源系统能效现场检测标准的空白。



《空气过滤器》GB/T 14295 修订稿于 9 月公开征求意见

日前，产品国家标准《空气过滤器》GB/T 14295 修订编制组在北京召开了第二次工作会议暨相关技术研讨会。

会上，编制组重点学习和讨论 4 个方面内容，分别为：（1）ISO 16890 Air filters for general ventilation 标准的主要内容，包括：以 ePM（PM₁、PM_{2.5} 和 PM₁₀）

为基础的新分级、试验方法与步骤、计计数效率和 ePM 的转换计算方法、粒子计数器和粉尘仪的测试原理、滤材与过滤器消静电方法与试验结果等内容；（2）静电类过滤器、油网滤尘器等特殊类型过滤器的技术要求；（3）空气过滤器在新风系统中的应用及选择；（4）滤材技术的发展。

经充分讨论，编制组将重点在几个方向和内容进行完善和补充，主要为：ePM_x 效率应作为计数效率补充到标准中；标准应增加消静电处理的要求；标准应给出容尘量限值；标准应提高空气过滤器的性能试验的温湿度条件要求；对于特殊类用途的过滤器，可以考虑单独形成完成的技术要求作为附件。

此外，为了保障不同单位实验台试验结果的一致性，标准编制组将组织风量、阻力、计计数效率和 PM_{2.5} 效率的实验比对。

按照计划，《空气过滤器》GB/T 14295 标准于今年 9 月中旬形成征求意见稿，年内完成送审和报批。



协会标准《智能照明控制系统技术规程》编制工作启动

根据《关于印发〈2016 年第二批工程建设协会标准制订、修订计划〉的通知的要求》（建标协字〔2016〕084 号），由中国建筑科学研究院负责起草的协会标准《智能照明控制系统技术规程》编制组成立暨第一次工作会议于 2017 年 8 月 8 日在北京召开。

本次会议由中国建设标协建筑环境与节能专业委员会李正秘书主持，中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院邹瑜副院长代表标准主编单位致辞，中国工程建设标准化协会汤亚军工程师为参会人员介绍了我国标准化工作改革背景下工程建设团体标准体系的变化，并对标准编制组提出了工作要求。

随后由中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院赵建平研究员主持召开了标准编制组第一



次工作会议。王书晓高级工程师代表主编单位向编制组介绍了标准立项背景、制订的主要内容、技术重点和难点等。随后编制组全体成员对标准讨论稿逐条进行了讨论。

智能照明控制技术近年来日趋成熟，且在建筑室内、城市道路、城市夜景等诸多照明领域得到广泛应用，但在应用过程中仍存在产品质量良莠不齐、接口不统一、实施效果与设计预期不一

致等诸多问题亟待解决。一方面智能照明系统产品在实际应用中尚未实现兼容性、互换性；另一方面，传感器、控制器、通信协议等缺少相应的技术要求，研究制订《智能照明控制系统技术规程》对促进照明控制技术向规范化、模块化、系统化的方向健康发展具有重要意义。本标准将对智能照明控制系统的性能要求、工程设计、安装、调试、验收、运行和维护进行详细规定。

工程建设协会标准《双冷源新风机组》编制工作启动

日前，由中国工程建设标准化协会绿色建筑与生态城区专业委员会归口管理的首个产品标准——《双冷源新风机组》编制组成立暨第一次工作会议在中国建筑科学研究院顺利召开。

本标准由中国建筑科学研究院负责主编，参编单位包括清华大学、同济大学、广州大学、北京建筑大学、中国建筑西南设计研究院和国家空调质检中心等国内顶尖的研究机构，以及珠海格力、青岛海尔、浙江盾安、新晃空调和上海朗绿等业内相关企业。

相比传统的新风机组、组合式空调机组，双冷源新风机组体现了一种完全不同的空气处理理念——利用两种不同的工作温度对新风进行除湿、降温处理，可以充分实现能源品味的梯级利用，并实现对新风温度、湿度的精确处理，该产品是构建温湿度独立调节空调系统的关键支撑所在。

近年来，双冷源新风机组在工程中得到了积极应用，市场前景广阔，被认为是替代传统新风集中处理产品的重要变革者。

工程建设协会《建筑室内空气质量监测与评价标准》编制组成立暨第一次工作会议在京召开

7月19日，工程建设协会标准《建筑室内空气质量监测与评价标准》编制组成立暨第一次工作会议在中国建筑科学研究院建筑环境与节能研究院（以下简称环能院）召开。工程建设协会焦占栓副理事长，中国建筑科学研究院标准规范处叶凌博士，环能院邹瑜副院长、路宾副院长、宋波教授级高工，清华大学张寅平教授，上海市建筑科学研究院李景广教授级高工，重庆大学刘红教授及标准主编单位和参编单位代表共21人参加了本次会议。

标准启动会由环能院宋波主任主持。邹瑜副院长致欢迎辞，对标准提出两点建议，一是要求本标准的编制要响应国家标准深化改革提出的具体要求，做到标准质量水平的提升，并希望可以和国际标准对接；二是希望本标准能够加快编制进度，尽快使标准面世，相应市场需求，为社会服务、为百姓服务。叶凌博士对我院在国家标准深化改革后国内外标准规范编制工作的情况进行了介绍。最后，焦占栓副理事长对我院在标准规范发展领域工作

给予了肯定，希望此标准的编制科学谨慎地考虑各项技术指标的确定，保证实施过程中切实可行，同时也希望本标准能尽快完成，为大家直观地感受空气质量的提供依据。宋波教授级高工提出，在标准编制过程中应保证人员的稳定性，对编制人员做好管理工作，确保标准编制的顺利完成。随后，会议宣读了参编人员名单，宣布编制组正式成立。

第一次工作会议由环能院路宾副院长主持。路宾副院长对室内空气质量行业在我国的发展现状、监测仪器仪表的发展现状、本标准编制的背景及前期准备工作、编制过程中需要解决的重点难点问题、标准编制的分工和进度安排进行了详尽的介绍。参编单位包含监测仪器仪表、设备生产、技术集成、工程应用及科研机构等空气质量保障体系中各个环节的优秀科研院校和企业代表。主要参编人员各抒己见，对形成的标准草稿畅所欲言，对标准编制的大纲进行了调整，针对监测技术的原理、监测数据传输、评价分级依据等关键技术要点交流了行业发展中及实际工程应用中的经验及存在的问题，并表示要在本标准的编制过程中解决好问题，给出依据，做到合理可行，保障标准的颁布切实服务于社会大众，引导行业健康发展。

《建筑室内空气质量监测与评价标准》旨在制定一个统一的切实可行的室内空气质量监测评价技术标准，规范当前的监测行业，满足民众对建筑物内空气质量的评价需求。标准的制定必将促进我国整个空气净化行业的快速规范化发展，更好地为保障人们健康提供依据。



| 产品国家标准《通风系统用空气净化装置》正式发布

日前，根据中华人民共和国国家标准公告2017年第18号《关于批准发布等312项国家标准的公告》，产品国家标准《通风系统用空气净化装置》（GB/T 34012—2017）正式批准发布，将于2018年6月1日开始执行。

标准于2014年12月26日正式启动编制，中国建筑科学研究院为主编单位，会同相关单位共同起草。编制组由对空气净化领域资深专家及业内优秀的科研院校、检测机构及生产厂家构成，

包括中国建筑科学研究院、清华大学、上海市建筑科学研究院、重庆大学、北京建筑大学、北京市城建设计发展集团股份有限公司、中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所等37家参编单位。

标准自启动以来，共召开了四次工作会议，在标准的起草、征求意见、送审、报批等各个阶段展开了全面的讨论、编制和修改。本标准的制定以保证标准的适用性、先进性、统一性和协调性为基本原则，以满足实际需要

为出发点，注重标准的经济性和社会效益，结合我国国情，积极采用国际标准和国外先进标准，同时保证标准符合法律法规规定及与相关标准的协调性。

本标准的颁布，规定了空气净化装置的性能要求和试验方法，为提高产品质量、促进行业发展水平提供了依据。同时加快了国内新风净化领域和国际接轨的步伐，提高了产品的竞争能力，为国内外实验室的一致性比对做了准备，为新风净化产品市场健康发展打下了基础。

| 疏堵结合 国家能源局整饬可再生能源乱象

为有效解决可再生能源发展中出现的弃水弃风弃光和补贴资金不足等问题，实现可再生能源产业持续健康有序发展，国家能源局7月28日发布《关于可再生能源发展“十三五”规划实施的指导意见》（下称《指导意见》），意见一方面严控新增规模，另一方面则要求发挥跨区域特高压输电通道消纳可再生能源的作用。

《指导意见》提出，各省（区、市）能源主管部门要把落实可再生能源电力送出消纳作为安排本区域可再生能源电力建设规模及布局的基本前提条件。对大型水电、风电、光伏发电基地，所在省（区、市）能源主管部门及市（县）级地方政府能源主管部门首先要落实电力消纳市场。

在可再生能源的生产端，《指导意见》对新增规模作出严格限制。比如，各省（区、市）能源主管部门应根据风电产业预警信息合理布局风电项目。

此次同时发布的《2017~2020

年风电新增建设规模方案》要求，吉林、黑龙江、甘肃、宁夏、内蒙古、新疆及新疆生产建设兵团暂不下达各年度新增建设规模，待弃风限电缓解后另行下达。预警结果为绿色地区可在实际建设中自行调整。

在可再生能源的输送端，《指导意见》提出，发挥跨省跨区特高压输电通道消纳可再生能源的作用。其中，首次提出“对未明确指标的特高压输电通道由有关监管机构对其进行一年为周期的监测，确定可再生能源电量比重指标及通道利用指标”等意见。

按照《指导意见》的要求，各派出能源监管机构要按照《可再生能源发电全额保障性收购管理办法》第十二、十三条等有关要求，会同省级能源主管部门、经济运行主管部门及电网企业严格落实国家核定的最低保障小时数，这实际上是对可再生能源的用电端作出了明确的要求。

作为全球最大的清洁能源市场和生产地，近年来我国光伏、

风电等清洁能源持续保持稳步增长的态势。但是，局部地区也出现了较严重的弃风弃光弃水等问题。

厦门大学能源政策研究院院长林伯强对上证报记者表示，《指导意见》就是针对目前无序发展和消纳问题，在规划目标、监管和具备消纳条件等方面作出规定，政策上引导支持分布式发展。

一直以来，除了消纳，制约可再生能源发展的因素还有补贴问题。有专家预测，如按照现有政策和补贴方式，到2020年，我国可再生能源补贴资金累计补贴缺口将高达2000多亿元，现有的价格补偿机制将无法我国可再生能源的快速发展需求。对此，《指导意见》就提出，多措并举扩大补贴资金来源，包括鼓励各级地方政府多渠道筹措资金支持可再生能源发展，已制定本省级区域支持可再生能源建设和利用补贴政策的地区可相应扩大建设规模等。

| 住建部出台意见促进工程监理行业转型升级创新发展

为贯彻落实中央城市工作会议精神 and 《国务院办公厅关于促进建筑业持续健康发展的意见》(国办发[2017]19号),完善工程监理制度,更好发挥监理作用,促进工程监理行业转型升级、创新发展。日前,住房城乡建设部下发《关于促进工程监理行业转型升级创新发展的意见》(以下简称《意见》)。

《意见》指出,建设工程监理制度的建立和实施,推动了工程建设组织实施方式的社会化、专业化,为工程质量安全提供了重要保障,是我国工程建设领域重要改革举措和改革成果。

《意见》明确表明引导监理企业服务主体多元化,鼓励支持监理企业为建设单位做好委托服

务的同时,进一步拓展服务主体范围,积极为市场各方主体提供专业化服务。适应政府加强工程质量安全管理的工作要求,按照政府购买社会服务的方式,接受政府质量安全监督机构的委托,对工程项目关键环节、关键部位进行工程质量安全检查。适应推行工程质量保险制度要求,接受保险机构的委托,开展施工过程中风险分析评估、质量安全检查等工作。

《意见》同时强调,全面准确评价工程监理制度,大力宣传工程监理行业改革发展的重要意义,开展行业典型的宣传推广,同时加强舆论监督,加大对违法违规行为的曝光力度,形成有利于工程监理行业改革发展的舆论环境。

发改委等签署支持清洁能源利用及大气污染防治战略合作协议

为解决好人民群众普遍关心的清洁能源利用和大气污染治理问题,今年7月,国家发展改革委、环境保护部、国家能源局和国家开发银行签署了《支持清洁能源利用及大气污染防治战略合作协议》,将以“创新、协调、绿色、开放、共享”新发展理念为指导,充分发挥行业规划和政策引导作用,创新合作机制和投融资模式,选取京津冀及周边晋鲁豫等重点地区,以及北方地区清洁取暖等重点领域先行先试,以市场化方式操作,全面推进清洁能源利用,推动大气污染防治目标按期实现。

| 江森自控荣获“2017 上海企业可持续行动影响力奖”

全球多元化技术和工业领域领导者江森自控在可持续发展方面的努力与实践再获嘉奖。在刚刚揭晓的“迈向 2040: 企业创新与城市可持续发展力”最佳案例评选中,江森自控凭借中国首座“三重认证”绿色建筑——江森自控亚太总部大楼项目,从百余个参选项目中脱颖而出,荣膺“2017 上海企业可持续行动影响力奖”。

“迈向 2040: 企业创新与城市可持续发展力”最佳案例评选由上海市政府新闻办、市商务委和市环保局共同指导,由解放日报、上海日报和东方网联合主办。为期三个月的评选围绕企业创新和城市可持续发展的主题,面向在沪企业广泛征集优秀案例,旨在推动企业积极践行可持续发展行动,



以引领上海可持续发展的样板,带动上海实现经济、环境、人文的和谐发展,助力上海打造“卓越的全球城市”。

江森自控亚太总部大楼于

2017年6月正式启用,总建筑面积约44300m²,坐落于上海市长宁区虹桥临空经济园区,与“园林式、高科技、总部型”的园区目标定位高度匹配,同时毗邻虹桥交通枢纽,紧临苏州河沿岸,尽显产业聚集、交通便利和绿色生态的综合区位优势。凭借全方位的绿色理念、实践及成果,江森自控亚太总部大楼成为中国首座斩获三星绿色建筑设计标识认证、IFC-世界银行集团EDGE认证和美国绿色建筑协会LEED新建建筑铂金级认证的“三重认证”建筑。其以节能44%、节水42%以及节约21%材料中的物化能源的出色节能效果,以建筑节能“百科全书”式的影响力,成为上海以及中国的智慧绿色建筑新标杆。

国际资讯 International News

2021 年商业建筑暖通空调市场将达 123 亿美元

至 2021 年，商业建筑暖通空调设备预计以 3.3% 的年增长率达到 123 亿美元，占暖通空调设备总份额的 58%。尽管比居住建筑市场份额大，但由于商业设施发展降速，带动暖通空调设备增长缓慢。

来自于已安装设备的竞争也抑制了市场的增速。而老旧设备的更新也带来持续的增长机会。

商业市场仍是暖通空调设备最大的市场有两个因素：

1. 商业建筑通常需要不止一套暖通空调设备来为整栋建筑制冷，推动了所需安装的设备总数和更新置换市场。

2. 商业建筑空调设备通常比居住建筑费用更高，推动了整个市场销售。

美国整个市场暖通空调设备需求年增长率预计为 3.9%，到 2021 年预计达到 212 亿美元。主要的市场需求是已达寿命期的既有设备替换成更高效、更高价值的设备。暖通空调产品更换为更贵的产品，比如从房间空调器换为中央空调，从铸铁锅炉换为钢制锅炉，获得了更高的市场销售额。



全球冷却塔市场 2025 年将达 48.5 亿美元，年增长率达 4.6%

美国市场研究公司 Grand View Research 最新报告指出，至 2025 年全球冷却塔市场将达到 48.5 亿美元。冷却塔主要应用于发电厂，特别是热电发电厂，以释放发电厂的多余热量。随着全球电力需求增长，发电厂数量也将增加，驱动冷却塔市场的发展。

报告中主要内容包括：

(1) 2016 年闭路式系统占整个市场份额的 30%。但从 2017 年至 2025 年，混合式系统预计将以 4% 的年增长率快速发展，这得益于不同末端形式的增长。

(2) 2016 年纤维增强塑料材料占据了 20% 的市场份额。但从 2017 年至 2025 年，高密度聚乙烯材料的年增长率将超过 5%，这是由于其耐腐蚀、低维护成本和使用寿命长的优点。

(3) 冷却塔由于其散热能力广泛应用于暖通空调系统和发电厂中。因此，在未来发展中，冷却塔在暖通空调行业也将占有一定的市场份额。

(4) 亚太地区预计将以 5% 的年增长率快速发展，这主要由于其快速的工业化进程。

美国智能家居普及程度调查数据出炉

根据 Reportlinker 2017 年 6 月最新发布的市场调查报告显示，平均每一个美国家庭就有 3.4 个智能家居设备，整体智能家居普及程度达到 58%。

纵观整个美国智能家居市场，加入人工智能元素的智能家电与相关的智能化设备，已经走向了个性化和数字自动化的阶段，而且这生活方式已经深入到人们的生活之中。

通过调查报告还可以看到，美国智能家居产品消费者，重点关注的功能包括自动化、语音和远程控制、能源管理三大方面。比如明星产品智能温控器，可以根据人们偏好以及周围环境中感测到的内容来调整照明和温度，协同智能洒水系统自动打开，进行浇灌。而我们发现，国外的智能家居市场另外一个聚焦点在安全，市场也已经推出具备人工智能、语音设备和数字助理软件，来强化监控其婴儿安全甚至家中其他需要看护的老人或宠物。

而一半调查者表示，他们

在家中安装了一个或两个智能家居自动化设备。而高达三分之一的人群表示他们拥有五个或更多。其中，拥有智能家电产品的比例高达 20%，智能恒温器达到 16%，智能安全防护系统占比 12%，以及智能照明解决方案为 10%。

那么，美国消费者对智能产品的控制方式偏好是什么？答案非常明显，一半的用户通过智能手机 APP 来控制智能设备，这是美国人最常的方式。另外有 17% 的人通过实体控制面板操作智能家居设备，9% 的家庭是通过语音设备来控制家中的智能设备。

即使如此，美国的智能家居市场仍处于起步阶段，54% 的受访者的智能家居设备已经购买 1 至 3 年。19% 则表示他们才买不到一年。而且他们说在家里安装智能设备或解决方案的确发现许多好处，30% 的人表示，这使得他们的生活更轻松；27% 的家庭说智能家居能源解决方案的确减少每个月的能源费用。

美国中央空调和空气能热泵 2017 年上半年出货量

2017 年 8 月 11 日，美国空调供热制冷协会发布 2017 年 6 月中央空调和空气能热泵共出货 1,079,859 台，同比增长 5.6%，去年同期出货数据为 1,022,363 台。中央空调出货为 760,247 台，同比增长 4.3%，去年同期出货数据为 729,018 台。空气能热泵出货为 319,612 台，同比增长 9.0%，去年同期出货数据为 293,345 台。

2017 年上半年中央空调和空气能热泵累计出货 4,386,345 台，同比增长 9.5%，去年同期出货数据为 3,989,465 台。中央空调出货为 2,932,294 台，同比增长 9.3%，去年同期出货数据为 2,681,694 台。空气能热泵累计出货为 1,454,051 台，同比增长 11.2%，去年同期出货数据为 1,307,771 台。

智利拟 2050 年前实现 70% 能源可再生

在哈萨克斯坦阿斯塔纳举行的 2017 年世博会上，智利能源部副部长 Jimena Jara 表示，智利计划到 2050 年 70% 的能源来自可再生能源。

“预计到 2035 年，智利电力结构的 60% 将基于水能、太阳能、风能，而到 2050 年这一数字可达 90%。” Jara 说，“我们参与此次世博会，旨在展示智利在可再生能源发展上取得的经验。”

智利目前是拉美最大的可再生能源生产国之一，也是世界上在该领域潜力最大的国家之一。“阿塔卡马沙漠有着地球上最强的太阳辐射，而在全国境内风能和太阳能资源又非常充足。这为智利发展可再生能源提供了有利的自然条件。” Jara 说。

中英将合作开发新一代可再生能源技术

英国与中国研究者将在 5 个项目上合作开发“新一代”的近海可再生能源(ORE)技术。

英国自然环境研究委员会(Natural Environment Research Council, NERC)周四发表声明称，上述合作项目为期三年，将使用环保科学、工程与技术来解决“影响 ORE 系统发展的关键挑战，例如近海海风、海浪以及浪潮机制等。”

该项目资金由中英合作的近海可再生能源项目资助，项目还希望最大化地实现 ORE 系统的环保与社会经济效益。

NERC 同时表示，项目还将显示出 ORE 技术向岛屿与海岸社区提供稳定的能源供应的

潜力。

上述项目得到了工程与物理科学研究委员会(Engineering & Physical Sciences Research Council)及 NERC 提供的将近 400 万英镑(约合 526 万美元)的资金支持。此外，中国国家自然科学基金委员会(National Natural Science Foundation of China, NSFC)也为该项目提供了支持。

英国能源与产业大臣理查德·哈灵顿(Rid Harrington)在声明中表示：“英国是全球近海风能最丰富的国家，这将帮助我们在发展经济、创造就业的同时实现对环保的承诺。”

2022 年换热器市场将达 206 亿美元，年增长率 8.3%

根据市场研究咨询公司 Marketsand Markets 报告，全球换热器市场预计将从 2017 年的 138.9 亿美元增长至 2022 年的 206.5 亿美元，复合年增长率为 8.3%。换热器市场报告分别从类型、应用行业和地区进行了研究。类型包括管壳式、板和框架式、空冷式；应用行业包括化工、石化、石油和天然气、暖通空调制冷、食品和饮料、发电厂、造纸。

换热器行业发展的主要驱动力来自于暖通空调行业的发展，发电装机容量提升以及换热器的技术进步。在未来 5 年，亚太、中东和非洲地区将迎来快速发展。此三个地区的主要市场为中国、印度和沙特阿拉伯。

2016 年化工行业占据了换热器市场的主要份额。换热器已在化工行业从供暖制冷、半

成品到最终产品广泛应用。随着新兴经济体对化工生产的需求，在未来一段时间，换热器市场也将随之发展。

管壳式换热器是全球最广泛使用的类型。主要应用于电力电容器、预热器、油冷却器和蒸汽发生器。管壳式换热器因其容量和重量，具有较高的热换热效率和其他优势，而在行业中被最广泛使用。政府对商业建筑和基础设施的资金投入也带动了暖通空调制冷设备的需求，同时驱动全球管壳式换热器的发展。

欧洲一直是换热器的主要消费地区，也是换热器的全球主要生产地区。与其他地区相比，因市场容量和放缓的经济发展，换热器增长缓慢。此地区的换热器销售主要是老旧设备的置换。

从供暖制冷行业出发， 欧洲零碳排放将成为可能

从供暖和制冷行业开始，欧洲实现零碳排放将成为可能。此正式承诺在 2050 年完成。

欧洲供暖行业 25 个国家代表签署了零碳排放行业备忘录，承诺调整其业务发展计划，至 2050 年达成 100% 的供暖和制冷行业零碳排放目标。这一目标也得到了 50 个相关组织和个人的支持，包括布鲁塞尔部长赛琳·弗勒莫和比利时王子劳伦特。

欧盟委员会能源总司总司长多米尼克·里斯托表示：“供暖和制冷行业在能源转型和满足欧姆安全、可持续和有竞争力能源的目标发挥了至关重要的作用。要成功地实现这些目标，动员供暖行业，让其与政策制定者共同合作很重要。因此，我强烈支持这项倡议，并祝所有签署国家成功达成承诺。”



印度推广绿色能源社会成本较高 相当于煤炭的 3 倍

据印度《经济时报》8 月 14 日报道，根据经济调查显示，由于推广绿色能源需要较高社会成本，印度要对可再生能源的投资行为应进行再校准。

报道称，印度今年首次推出的中期调查，也对鼓励绿色能源对银行业的影响持谨慎态度。印度的银行业现在正努力应对由陷入困境的电力部门项目带来的不良贷款。

一份于 8 月 11 日递交印度议会的调查表格中写道：“尽管对可再生能源的投资对印度实现其气候变化目标至关重要，但这类投资必须以一种经过校准的速度进行，以考察整个社会的总成本。”调查发现，可再生能源的社会成本约为每千瓦时 11 卢比，相当于煤炭的 3 倍。

调查还写道：“随着 2030 年的邻近，生成可再生能源的社会成本，以及可再生能源和煤炭之间的差距正在缩小。究其原因，在于私有成本以及滞留的煤炭资产大约占据了现今可再生资源社会成本的 30%。

至 2030 年，计划可再生社会资源占据总社会成本下降到 2.4% 左右。总的来说，陷入困境的资产所占的成本在 2017 年至 2030 年间占据了可再生能源社会成本的很大一部分。”

不过，该调查表示，由于印度的第一个目标是为其人口提供 100% 的能源供应，并渡过“发展赤字差距”，所有清洁能源都需要被挖掘利用。

根据该调查，向可再生能源的转变可能使常规能源发电厂的部分资产闲置，或者导致其被使用的水平远远低于其技术上可行的最高水平。针对这些电厂的投资已经是沉没成本，尽管它们的使用寿命还没有结束，但是已经不再可能收回成本了。因为时下最优解是将以煤炭为基础的发电业转换为可再生资源，这些滞留的资产据估计会成为亏损。调查指出，这些搁置的资产可能会对银行系统产生影响，这取决于它们对该行业的曝光程度。在银行体系已经面临严重的资产问题的情况下，滞留的资产可能会对其产生相当大的影响。

ASHRAE 发布新版暖通空调手册导则

日前 ASHRAE 发布了第八版《供暖、通风和空调手册导则》，导则包括暖通空调介绍，暖通空调系统和设计基础概念。

第八版导则更新内容与《2017 版 ASHRAE 手册——基础部分》相一致，包括了当前 ASHRAE 步骤，以及建筑暖通空调系统从基础导则到设计运行全过程内容。上一个版本出版于 2013 年。

导则分为三个主要部分，包

括通用概念、空调系统和暖通空调制冷设备。

第八版导则手册中有三处值得注意的内容更新，分别为：

(1) 新的设计气象参数；

(2) 更新的系统设计和设备内容，反映了最新的供暖和空调系统应用变化和理念；

(3) 与《2017 版 ASHRAE 手册——基础部分》相一致的行业应用和需求设计数据和内容。



江亿：对煤改电的认识

本刊编辑部

供暖问题由来已久，传统的供暖方式对雾霾的形成有直接影响。积极推进清洁取暖、加快散煤替代，可以有效降低供暖季大气污染物排放强度，减少冬季重污染天气发生频次和程度。当下，各级政府对清洁供暖工作非常重视，煤改电工作在全国各地快速推进，为什么要煤改电？怎么才是有效的煤改电？煤改电推进过程中存在哪些问题？针对这些大家广泛关注的问题，在2017年全国供暖技术学术年会上，全国暖通空调学会副理事长、清华大学建筑节能中心主任、中国工程院院士江亿教授与大家进行了深入交流。

为什么要煤改电？

据统计，京津冀地区冬天散煤燃烧的煤量只占当时燃煤总量的20%，但是其排出的污染物对PM_{2.5}的贡献超过60%，也加重了雾霾。雾霾是近年来民众关注的热点话题。为解决冬季雾霾，解决农村取暖问题，改善民众生活，实现农村供暖方式的革命，缓解冬季“弃风弃光”现象，“煤改电”的政策被大力推广和实施。

江院士指出，我国“弃风弃光”现象严重，部分地区达到30%，目前北方电力弃风现象主要发生在冬季供暖季。随着产业结构的调整，大城市工业高能耗工业比例逐渐减少，建筑耗电比

例逐渐加大，热电联产以热电定，不能再为电力调峰。同期，因产业结构调整，用电量下滑，冬季用热量少，用电量少，需求侧热电比大于热电联产热电比，电力供应不出去，只好降低供热量以减少发电量，导致热源不足，就形成了热电比不匹配问题。比如东北，冬季电力过剩、热量不足，只好停止红沿河核发电机组，把发电指标让给热电机组，以保障供热。另外北京，煤改气把原来的燃煤电厂全改成燃气电厂了，以前燃煤热电联产机组供应1.8亿m²建筑7200MW热量仅需要发电5000MW，而燃气热电联产供应同样热量需发电10000MW电

力，但北京夜间电力低谷期负荷为9000MW，需要对外供电才能满足平衡，为此2016年12月停止高井电厂一台机组，导致热量不足，老百姓生活出现了问题。基于这些现状以及需要解决的问题，提出煤改电，实现清洁供热，改善民生，改善电力系统一天内电力峰谷差，接纳更多风电，缓解电力过剩和热量不足的矛盾，这也是煤改电的目的。

如何实现有效的煤改电？

“煤改电”的方式多种多样，那么怎样才能实现有效的“煤改电”呢？江院士表示，这其中有利也有弊。

1. 慎重发展任何直接电热方式的热源

一些电力部门推广大型电锅炉、大型蓄热箱，利用谷电产热，通过蓄热箱为集中供热系统供热，可以缓解峰谷差、接纳风电。增加电负荷，减少热负荷，改善热电比。但是却浪费了宝贵的电力，高品位能源低品位利用。在使用电锅炉的同时，燃煤电厂还在同一个网上运行，电锅炉不是燃煤发电产生的电力，相当于30%的热效率，浪费能源，增加碳排放。而风电也是宝贵的资源，



不应该被“消纳”，应该珍惜并好好利用。北京某时期，推行蓄热式电暖气，其结果差强人意，老百姓用不习惯。房间内蓄热式电暖气难以控制室内热量的散发速率，上午室内过热，傍晚冷，需要高峰电。削峰效果差，运行费用高，因此遭遇农村老百姓的反对。以上就是现在两种电锅炉和末端供热式电暖气。还有电热毯、电热膜、电热丝，这些以电加热，都是一份电得到一份热量，不可能比一份多。

2. 热电联产是能源转换效率最高的热源方式

怎样使电转变为高效的热量？江院士指出，热电联产是能源转换效率最高的热源方式。以往的算法不考虑能源的匹配，这是不对的。可以采用等效COP考虑，等效COP=热电联产输出的热量(MW)/由于热电联产减少的发电量。如抽气凝机，抽热量少，发电就少。抽气凝机COP=4.5~6，取决于抽汽参数，抽汽参数特别高，蒸汽就可以发很多电。抽汽参数低一点，效率高，COP能达到6。推背压机COP=6~6.5，取决于背压高低。吸收式热泵回收冷凝器余热，等效COP=7或更高，取决于抽汽和回水温度。根据《民用建筑能耗标准》GB/T 51161—2016给出的火用分摊方法对我国一批热电联产电厂的实际运行数据分析计算，能耗为25~29kgce/GJ，优于燃煤锅炉的40kgce/GJ。热电联产证明了，在节能减排的大形势下，燃煤热电联产有特别好的能源转换效率，是节能减排最好的热源。各类热泵供热的COP在2.5到5之间，电锅炉的COP无法超过1，因此无论从能源利用率还是从碳排放看，热电联产，热泵需加以支持，直接电热，无论是大锅炉还是小变热膜，蓄热式

的，从能源转换率上都不是最合适的选择。

3. 用好城市供热管网

我国城市已建成完善的城市热网系统，是发展热电联产供热的基础条件。热网应该用来输送热电联产与工业产生的余热，不应该用它来输送电热锅炉或燃气锅炉产生的热量。江院士建议，首先要用好城市供热管网。变“热电联产”为“热电协同”，在产热的同时，为电力调峰。解决热电之间的矛盾，这是最主要的。如东北，从去年开始，电力系统出台新政策，要求电厂根据负荷变化能在大范围内调节，最小发电量满足负荷发电量的40%以下，电价差不多一块钱一度电，否则就是三毛钱一度电，这差别太大。目前燃煤电厂的调峰方式是改变锅炉供气量，可把发电量降低到35%，建大型蓄热罐，实现热电解耦；电力高峰期全负荷发电，低谷期降低主蒸汽量，加大抽气量，发电量降低到70%，谷期产热量达最大。或建两个大型蓄热罐，分别蓄存供热热量和发电乏汽热量。电力高峰期全负荷发电，并蓄存乏汽热量；电力低谷期抽气供热，并利用电动热泵提升乏汽低温热量至供热要求温度。低谷期发电量可降低到35%（发电70%，其中一半用于电动热泵）。

实现“煤改电”，必须使供给侧和需求侧的热电比匹配，供给侧燃煤热电联产的热电比是1.5~2，燃气热电联产的热电比0.7~1。需求侧需求的热电比是多少，是由城市产业结构决定的，严寒期热电比1~5。如大同市，对外输出电力，全城都由热电联产供热。北京市，热电联产仅提供20%的供热面积，剩余由燃气燃煤锅炉供应。

但是燃气热电联产并不适用

所有北方的地区，比如天津。燃气热电联产，其热电比太小，导致电力过剩。燃气仅用于热网的调峰，承担25%~30%负荷，取消燃煤锅炉。对于大型消费型城市，如果严寒期需求侧热电比为5，则燃气锅炉供应20%负荷，热电比降为4；电动热泵提供总量25%热量，若COP为3，则热电厂还需要提供2.75份热量，1.4份电力，需要热电厂提供的热电比为2，正好满足燃煤热电联产的要求。大力推广电动热泵是解决供给侧和需求侧热电比不匹配的关键，对于北方非工业型城市，电动热泵应提供20~25%的供热热源，尽可能引入工业余热作为供热热源，也可以有效缓解热电比矛盾。

4. 发展电动热泵

用电采暖，第一可以解决电力调峰，第二是解决热电比匹配的问题，电力调峰靠热电联产、电厂改造，热电比失调需要发展电动热泵。电动热泵和热电厂的热电协同改造是现在解决问题最好的方法了。电动热泵的特点是希望采用尽可能高的低温热源，中水、地热或空气源。希望产生尽可能低的供热温度，温度降一点儿，效率就提高好多，尽可能的低温供热，这是一个非常重要的关键。从电动热泵热源特点出发的系统形式，不能沿用集中供热模式，系统尽量分散、分室、分户、分栋；只有中水热泵才需要大集中。末端尽量低温，地板供暖（40/35℃），加大散热器面积；热风优于热水，空气源热泵采用分体机或多联机方式，直接送热风，减少转换环节，降低冷凝温度。简化输送环节，降低热源温度，减小系统规模，是提高热泵效率的关键。

5. 大力发展空气源热泵

农村“煤改电”需大力发



展空气源热泵，增大热电量，缓解城里热电比的矛盾。那么分散空气源热泵，室内是热水方式还是热风方式？热水方式可以利用原来的散热器，需增加水系统，调节运行复杂，按照北京的经验，几乎百分之十几的故障率。增加水泵、定压系统、安装调试复杂，故障率高，增加换热环节，冷凝温度要在50℃以上，系统热惯性大，不适合间歇供热。热风方式改为下送风，有效改善冬季舒适，安装简单，故障率低，冷凝温度可低于40℃，快起快停，适合于间歇供热。2016~2017年北京郊区大规模运行结果：热水型：用电40kW·h~60kW·h/m²；热风型：用电20kW·h~40kW·h/m²。

6. 使用中深层地源热泵

西北地区，如陕西西安，都在使用中深层地源热泵，优点是不耗水，受限制条件很少，水在管道中封闭式循环，不会造成任何污染或其它环境问题。在地面处水温20~30℃/15~22℃，单井流量25~35吨/h，250~350kW。投资150万~250万（井及套管）。热状况依靠地下深处传热恢复，不可供冷，热性能几乎不受地域限制，地质条件不同钻井成本大不相同。发展方向：流量优化，使得单井产热量最大，

蒸发器侧双机串联，提高主机COP。未来，可以利用低谷电供热，为电力调峰。

积极推广“煤改电”选择最有效合理的方法

“煤改电”的实施，通过削减燃煤用量，在一定程度上缓解大气污染物的排放，对空气质量的改善起到积极有效的作用。现今，我国“煤改电”的确是城市、农村缓解污染改善环境的好路子，其重要意义在于减轻冬季雾霾，缓解冬季弃风弃光现象，缓解北方冬季热电比不匹配的问题，改善民众生活。

江院士建议不发展电锅炉和任何直接电热方式的热源，燃煤热电联产热源应为首选，但不应发展燃气热电联产。“以热定变”为“热电协同”，热电联产方式，同时接纳风电，消费型城市应有20%~25%的供热面积由电动热泵提供热源，从而解决热电比的供需之间的匹配问题。电动热泵热源供热应采用与大型集中供热完全不同的系统架构和运行参数，在农村应推广分室分户的热风型空气源热泵。

江院士指出，我们应积极推广“煤改电”，选择最有效合理的方法，使清洁供暖朝着健康有序的方向发展！

财政部住房城乡建设部环境保护部国家能源局

关于开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作的通知

财建〔2017〕238号

北京、天津、河北、山西、山东、河南省（市）财政厅（局）、住房城乡建设厅（委）、环境保护厅、发展改革委（能源局）：

为贯彻落实习近平总书记在中央财经领导小组第14次会议上关于“推进北方地区冬季清洁取暖”重要讲话精神和2017年政府工作报告“坚决打好蓝天保卫战”重点工作任务，财政部、住房城乡建设部、环境保护部、国家能源局决定开展中央财政支持北方地区冬季清洁取暖试点工作。现将有关事项通知如下：

一、支持方式

中央财政支持试点城市推进清洁方式取暖替代散煤燃烧取暖，并同步开展既有建筑节能改造，鼓励地方政府创新体制机制、完善政策措施，引导企业和社会加大资金投入，实现试点地区散烧煤供暖全部“销号”和清洁替代，形成示范带动效应。

试点示范期为三年，中央财政奖补资金标准根据城市规模分档确定，直辖市每年安排10亿元，省会城市每年安排7亿元，地级城市每年安排5亿元。

二、试点城市选择

采取地方自愿申报、竞争性评审方式确定试点城市。申报试点的城市按三年滚动预算要求编制实施方案，并由省级财政、住房城乡建设、环保、发展改革（能源）主管部门联合向财政部、住房城乡建设部、环保部、国家能源局（以下简称“四部门”）申报，具体申报指南见附件。四部门对申报城市进行资格审核，对通过资格审核的城市，将组织公开答辩，由专家进行现场评审，现场公布评审结果。

试点工作将重点支持京津冀及周边地区大气污染传输通道“2+26”城市，优先支持工作基础好、资金落实到位、计划目标明确、工作机制创新较为突出的城市。



三、改造范围和内容

试点城市应因地制宜，多措并举，重点针对城区及城郊，积极带动农村地区，从“热源侧”和“用户侧”两方面实施清洁取暖改造，尽快形成“企业为主、政府推动、居民可承受”的清洁取暖模式，为其他地区提供可复制、可推广的范本。一是加快热源端清洁化改造，重点围绕解决散煤燃烧问题，按照“集中为主，分散为辅”、“宜气则气，宜电则电”原则，推进燃煤供暖设施清洁化改造，推广热泵、燃气锅炉、电锅炉、分散式电（燃气）等取暖，因地制宜推广地热能、空气热能、太阳能、生物质能等可再生能源分布式、多能互补应用的新型取暖模式。二是推进用户端建筑节能提升，严格执行建筑节能标准，实施既有建筑节能改造，积极推动超低能耗建筑建设，推进供热计量收费。具体改造内容由试点城市自主确定。

四、组织实施

试点城市是清洁取暖工作任务的责任主体，应加强组织领导，成立试点工作领导小组，统筹负责清洁取暖规划制定、预算安排、政策制定、监督考核及有关重大事项。要根据需求编制专项规划和年度计划，并与城市总体规划和控制性详细规划相衔接，因地制宜选择切实可行、居民欢迎的清洁取暖技术路线。应积极探索采取政府与社会资本合作（PPP）、特许经营等市场化模式建设运营清洁取暖项目，完善价格和收费政策，调动企业和社会资本参与清洁取暖改造积极性。要加强清洁取暖改造项目质量管理，对项目设计、施工、监理、有关设备材料采购供应、验收等环节实行规范管理，严格工程投入资金全过程审计监督。

财政部、住建部、环保部、国家能源局等有关部门将充分发挥职能作用，完善政策措施，加强对试点城市清洁取暖工作的支持、指导和监督。住房城乡

建设部将建立健全城乡建筑节能标准并督促地方严格执行，推进既有建筑节能改造；指导地方加快供热供暖体制改革，形成有利于清洁取暖的体制机制。环保部将对相关城市空气质量进行重点监测、强化考核，监督试点城市完成清洁取暖改造任务。国家能源局将抓紧牵头研究制定清洁取暖的总体规划，进一步明确改造方式和路径，并对相关城市加强指导；督促有关地方放开能源生产和使用等方面准入限制。中央财政奖补资金将采取“先预拨、后清算”的方式下达，财政部会同住房和城乡建设部、环境保护部、国家能源局等部门对试点城市开展绩效考核并清算奖励资金。具体绩效评价方法另行制定。

北方地区各省级财政、住房城乡建设、环保、发展改革（能源）主管部门要高度重视此项工作，积极谋划，组织有关城市做好实施方案编制工作，并尽快研究制定配套政策，推动相关技术标准编制和研究，加大力度开展相关能力建设。

附件：2017年北方地区冬季清洁取暖试点城市申报指南（略）

中华人民共和国财政部
中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国环境保护部
国家能源局
2017年5月16日

住房城乡建设部办公厅关于印发 《公共建筑节能改造节能量核定导则》的通知

建办科函〔2017〕510号

各省、自治区住房城乡建设厅，直辖市建委，新疆生产建设兵团建设局：

为指导公共建筑节能改造节能量核定工作，规范节能改造示范项目验收，推动完善合同能源管理等市场机制，我部组织编制了《公共建筑节能改造节能量核定导则》（电子版可登陆我部门户网站下载，网址为 <http://www.mohurd.gov.cn>），现印发给你们，请在工作中参照执行。

中华人民共和国住房和城乡建设部办公厅
2017年7月20日

北京市规划和国土资源管理委员会关于新建政府投资公益性建筑 和大型公共建筑全面执行绿色建筑二星级标准的通知

各有关单位：

按照《北京市民用建筑节能管理办法》（市政府令第256号）、《中共北京市委 北京市人民政府关于全面深化改革提升城市规划建设管理水平的意见》的要求，2017年10月1日起，我市新建政府投资公益性建筑（政府投资的学校、医院、博物馆、科技馆、体育馆等满足社会公众公共需要的公益性建筑）和大型公共建筑（单体建筑面积超过2万平方米的机场、车站、宾馆、饭店、商场、写字楼等大型公共建筑）全面执行绿色建筑二星级及以上标准。

我委按照北京市《绿色建筑评价标准（DB11 T825-2015）》制定了《北京市绿色建筑施工图审查要点（2017年修订）》。2017年10月1日后取得建设工程规划许可证的房屋建筑类项目按此审查要点进行绿色建筑施工图专项审查，其中政府投资公益性建筑和大型公共建筑应按此审查要点达到绿色建筑二星级及以上标准。

现将《北京市绿色建筑施工图审查要点（2017年修订版）》发给你们，请各单位按要求认真贯彻执行，保障绿色建筑项目的设计质量。

特此通知。

北京市规划和国土资源管理委员会
2017年8月1日

北京市人民政府关于印发《北京市“十三五”时期能源发展规划》的通知

京政发〔2017〕18号

各区人民政府，市政府各委、办、局，各市属机构：

现将《北京市“十三五”时期能源发展规划》印发给你们，请认真贯彻执行。

北京市人民政府
2017年6月23日

北京市“十三五”时期能源发展规划（节选）

第五章 实现可再生能源利用新突破

创新发展模式，突破技术制约，大力实施绿色电力进京和绿色能源行动计划，将可再生能源融入城市能源供应体系，大幅提升可再生能源利用规模。2020年，全市可再生能源消费总量达到620万吨标准煤，占能源消费总量的比重达到8%以上。

一、跨区域调入绿色电力

实施绿色电力进京计划，支持北京周边地区可再生能源基地建设，推动建立京津冀蒙绿色电力区域市场。到2020年，年外调绿色电力总量达到100亿千瓦时。

（一）扩大绿色电力消费。研究建立本市可再生能源目标引导及考核制度，探索建立绿色电力交易机制，逐步形成京津冀蒙绿色电力市场。倡导绿色低碳消费理念，政府及公共机构率先使用绿色电力，研究开展绿色电力自愿认购制度，鼓励企业及个人使用绿色电力。结合“煤改电”、集中供热清洁改造，探索绿色电力供热新模式。

（二）支持冀晋蒙可再生能源输出基地建设。完善京津冀蒙可再生能源协同发展机制，大力支持国家可再生能源示范区（张家口）及内蒙古自治区赤峰市、乌兰察布市和山西省大同市等可再生能源输出基地建设，综合开发风能、太阳能，就地配套电力调峰储能设施，推动京张、京蒙绿色电力输送通道建设，扩大外调绿色电力规模。

二、充分利用本地可再生能源

实施绿色能源行动计划，充分开发太阳能和地热能，有序开发风能和生物质能。推进分布式光伏、热泵系统在既有建筑的应用，新建建筑优先使用可

再生能源，新增电源建设以可再生能源为主。

（一）实施“阳光双百”计划。加快分布式光伏在各领域应用，实施“阳光校园、阳光商业、阳光园区、阳光农业、阳光基础设施”五大阳光工程，鼓励居民家庭应用分布式光伏发电系统，推动全社会参与太阳能开发利用。积极探索利用关停矿区建设大型光伏地面电站。进一步扩大太阳能热水系统在城市建筑中的推广应用，鼓励农村地区太阳能综合应用。到2020年，全市新增光伏发电装机容量100万千瓦，新增太阳能集热器面积100万平方米。

第六章 引领能源绿色智能高效转型

顺应能源生产和消费革命新趋势，以改革创新为动力，以“互联网+”为手段，加快推进能源新技术、先进信息技术与能源系统的深度融合，推动能源绿色智能高效转型。

一、转变能源发展方式

以智能微电网为纽带，推进多种能源融合发展，加快构建现代城市能源体系。

（一）推动多能融合发展。加强并网控制、智能调度等关键技术攻关和推广应用，促进光伏、风能、热泵、燃气热电冷三联供系统与常规能源体系融合，推动多种能源系统高效耦合应用，实现可再生能源与常规能源融合发展，分布式能源系统与城市热网、电网融合发展。

（二）推动能源智慧发展。加快大数据、云计算、互联网等现代信息技术在能源领域的推广应用，逐步实现光伏、热泵等新能源技术与智能控制技术高度融合。以智能微电网和能源互联网示范为抓手，加快智慧能源系统建设，推动能源发展向智慧化转变。

二、推动能源互联网发展

加强能源互联网基础设施建设,开展区域能源互联网试点示范。

(一)推进能源互联网基础设施建设。整合可再生能源在线监测系统、电力需求侧管理系统、节能在线监测系统,建设基于互联网的智慧运行云平台,发展智能光伏、智慧储能设施,建设计量、交易、结算等接入设施与支持系统。以新能源微电网为基础,推进用户侧热力、天然气等多种能源形式互联互通,发展多种能源协同转化的区域能源网络。

(二)鼓励储能运营新模式。建设基于电网、储能、分布式电源、充电设施等元素的电动汽车运营云平台,促进电动汽车与智能电网间能量和信息的双向互动,发展车电分离、电池配送、智能导引运营新模式。逐步推广储热、储冷、储电等分布式储能设备应用,利用充电设施和不间断电源(UPS)冗余能力,拓展分布式储能设施规模,建立储能设施数据库,通过互联网与服务平台实现运行管控。

(三)开展能源互联网试点示范。加快城市电网智能化建设,基本实现可再生能源、分布式电源就地消纳和并网运行。推进延庆八达岭经济技术开发区、海淀北部、亦庄金风科技园等新能源微电网示范项目建设,探索完善新能源微电网技术、管理和运行模式,实现可再生能源发电、供热、制冷、储能联动的综合运行调配。

三、打造绿色智能高端应用示范区

坚持高起点规划、高标准建设、高水平服务,综合运用新模式、新技术,稳步推进北京城市副中心、2022年冬奥会赛区、北京新机场及临空经济区等新增用能区域多能集成互补开发建设,打造绿色智能高端应用示范区。

(一)城市副中心。以国际一流的绿色智能高效能源示范区为目标,加快城市副中心行政办公区能源系统建设,重点打造深层地热、浅层地温能、太阳能和常规供热系统互为融合的供能系统,实现可再生能源与常规能源系统的智能耦合运行,可再生能源比重达到40%左右。按照“可再生能源优先、常规能源系统保障”的原则,在城市副中心全面推广太阳能、地热能与常规能源系统的智能耦合发展,提升环球主题公园等重点区域能源绿色智能高效水平,力争城市副中心整体可再生能源比重达到15%以上。

(二)2022年冬奥会赛区。实践绿色低碳可持续发展理念,大力发展地热、热泵、太阳能等可再生能源的耦合应用,加强与周边地区绿色能源合作,

基本实现冬奥会赛区电力消费全部使用绿色电力。高水平建设延庆、崇礼赛区供热、供电、供气等能源配套设施,实现能源生产、输送和消费的智能高效,打造绿色低碳冬奥会。高标准建设延庆绿色能源示范区,进一步扩大绿色电力装机规模,大力发展可再生能源供热,加快八达岭经济技术开发区新能源微电网示范项目建设,到2020年,构建起以可再生能源为核心的清洁能源供应体系,可再生能源利用占比提高到40%左右。

(三)北京新机场及临空经济区。结合区域及周边天然气、电力、油品等基础设施建设,重点建设地热、太阳能与燃气三联供系统互为融合的区域能源系统。北京新机场全面达到二星绿色建筑标准,航站楼等主体建筑可再生能源比重达到15%以上。以分布式光伏和地热利用为重点,加快临空经济区绿色智能高效能源系统建设。

(四)重点功能区。加快推进昌平新能源示范城市建设,进一步扩大太阳能、地热能 and 余热利用规模,到2020年,全区可再生能源利用比重超过15%。深入推进顺义、海淀、亦庄光伏应用示范区建设,在既有工业厂房、公共建筑实施分布式光伏系统项目,不断扩大新建建筑分布式光伏应用规模,优化局域电网调配和消纳管理技术,提升分布式光伏智能化应用水平,到2020年,分布式光伏发电应用示范区新增发电装机容量超过40万千瓦,占全市新增规模40%以上。

第七章 深入推进节能降耗

坚持节约优先的发展理念,深入践行能源消费革命,严格控制能源消费总量,持续推进重点领域节能,大力倡导绿色低碳生产生活方式,逐步实现经济社会绿色化、集约化发展。

一、严格控制能源消费总量

(一)加强节能目标责任考核。按照上下衔接、条块结合的原则,把全市“十三五”能源消费总量和能耗强度控制目标分解到各区、各行业和重点用能单位。严格执行“三级双控”节能目标责任制,强化年度目标责任考核。

(二)实施区域差异化用能管控。城六区实施更加严格的节能管控措施和能效准入标准,尽早实现能源消费总量达到峰值。通州区、顺义区、大兴区和昌平区、房山区的平原地区,实施适度从紧的节能管控政策,严控新上高耗能项目。山区全面退出高耗能、高污染行业,加快实施低碳能源替代,力争实现能源消费低速增长。

二、坚决淘汰退出落后产能

在全市范围内加快淘汰能耗较高、污染较大的行业和生产工艺。严格执行新增产业的禁止和限制目录，严控新增不符合首都功能定位的产业，坚决控制高耗能、高排放项目新建和改扩建。积极推进煤炭行业“去产能”，实现本市煤矿产能全部关停退出。

三、持续开展重点领域节能

(一) 强化建筑节能。提高新建城镇居住建筑节能设计标准，节能率达到 80%，新建政府投资的公益性项目和大型公共建筑达到二星级及以上绿色建筑标准。推进既有居住建筑围护结构改造和公共建筑节能改造，基本完成具有改造潜力的老旧小区节能综合改造。全面强化建筑运行能耗管理。

(二) 深化交通节能。加快推进轨道交通基础设施建设，显著改善城区步行和自行车交通条件，中心城区绿色出行比例提高至 75% 以上。完善汽车充电设施布局，推广使用新能源和清洁能源汽车。加强航空、铁路领域节能改造，优化运行调度，推进物流运输绿色转型。

(三) 加强工业节能。深入推进工业企业节能改造，加快淘汰能效不达标的电机、内燃机、锅炉等用能设备，优化重点工业企业生产工艺，强化企业能源运行动态监控。

(四) 推动能源系统节能。推行燃气电厂节能发电调度，严格机组能效对标与考核。全面推广余

热余压利用，试点开展天然气高压调压站压差发电及冷能回收，加快推进气候补偿和烟气冷凝热回收技术改造，加强供热管网水力平衡调节，提高锅炉房和热网能源利用效率。全面消除城乡电网高损耗供电设备，到 2020 年全市电网综合线损率力争降低到 6.73%。

四、深入推进需求侧管理

深入开展电力需求侧管理，扩大公共建筑、工业企业需求响应范围，探索居民用户参与模式，建立 60 万千瓦需求响应库。培育电能服务市场发展，鼓励能效电厂建设，实现规模节电效益。推进天然气需求侧管理，按照“控公建、保居民”的原则，完善有序用气方案，优化热电气联调联供机制，降低燃气电厂发电用气量。充分运用价格调节机制，实施阶梯性、差别化价格政策，控制季节性峰谷差，引导用户合理用电用气。

五、倡导绿色低碳用能方式

充分运用传统媒体和新媒体传播手段，开展全方位、多渠道的节能宣传培训。实施节能低碳和循环经济全民行动计划，积极创建低碳社区、节约型机关、绿色学校、绿色宾馆等，树立节能绿色典范。党政机关、国有企事业单位要发挥示范作用，大力推广网络视频会议等绿色办公方式。编制市民绿色生活指南，大力倡导文明节约的消费模式和生活习惯，减少机动车使用强度，营造绿色低碳的社会氛围。





空气源热泵技术应用

专题

栏目策划：本刊编辑部
栏目供稿：丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司
哈尔滨工业大学热泵空调技术研究所

北京学校建筑空气源热泵供暖白皮书 暨实测案例分析报告

丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司
哈尔滨工业大学热泵空调技术研究所

背景

近年来，全国各地政府逐步实施“煤改电”，并发布了一系列相应补贴政策。2016年12月20日，国务院印发《“十三五”节能减排综合工作方案》，与此同时，习总书记在21日主持召开的中央财经领导小组第十四次会议中作出推进清洁取暖的指示，国家能源局在26日发布《能源发展“十三五”规划》，上述方案和规划提出，到2020年，能源消费总量控制在50亿吨标准煤以内。空气源热泵供暖取代燃煤制备热水供暖成为热议的话题。

空气源热泵在长江以南的夏热冬冷地区已经得到了普遍应用，而空气源热泵作为寒冷地区供暖的热源，由于冬季室外空气温度更低，运行过程中将会面临一些不同问题，于此，大量低温型空气源热泵机组出现在市场。而低温型空气源热泵供暖系统是否能够经济高效地运行？运行过程中是否能够减少污染物的产生？这些疑问也是热用户担心之处。

为研究空气源热泵供暖系统在寒冷地区的运行性能，并优化供暖系统运行，丹佛斯自动控制管理（上海）有限公司联合哈尔滨工业大学热泵空调技术研究所倪龙副教授课题组，于2016年12月至2017年3月对北京中关村国际学校的空气源热泵供暖系统进行长期的运行监测。内容主要包括供暖系统的供暖效果，能效，以及经济效益和环保效益。

第一部分 空气源热泵供暖

1.1 空气源热泵是空气热能的再生系统

1.1.1 空气源热泵原理

如图1-1所示，空气源热泵是通过热泵技术，利用逆卡诺循环原理，用少量能源驱动热泵机组，将热泵设备中的工作介质进行相变循环，把空气中的低温热能吸收压缩升温，提升其品质，满足人们生活和生产中的供热需求。而空气热能是指贮存在大气中的热能，主要来自太阳能，是可再生资源的一种形式，所以空气源热泵设备（产品）是可再生资源产品。

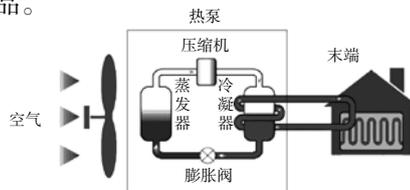


图 1-1 空气源热泵原理图

1.1.2 空气源热泵供暖系统

空气源热泵供暖系统是以空气源热泵机组作为热源制备热水，通过热媒管道输送到各个房间供暖末端，进行冬季的室内供暖。空气源热泵供暖系统末端的形式主要分为三种：散热器采暖、地面辐射采暖以及强制性对流采暖（风机盘管等），如图1-2所示。

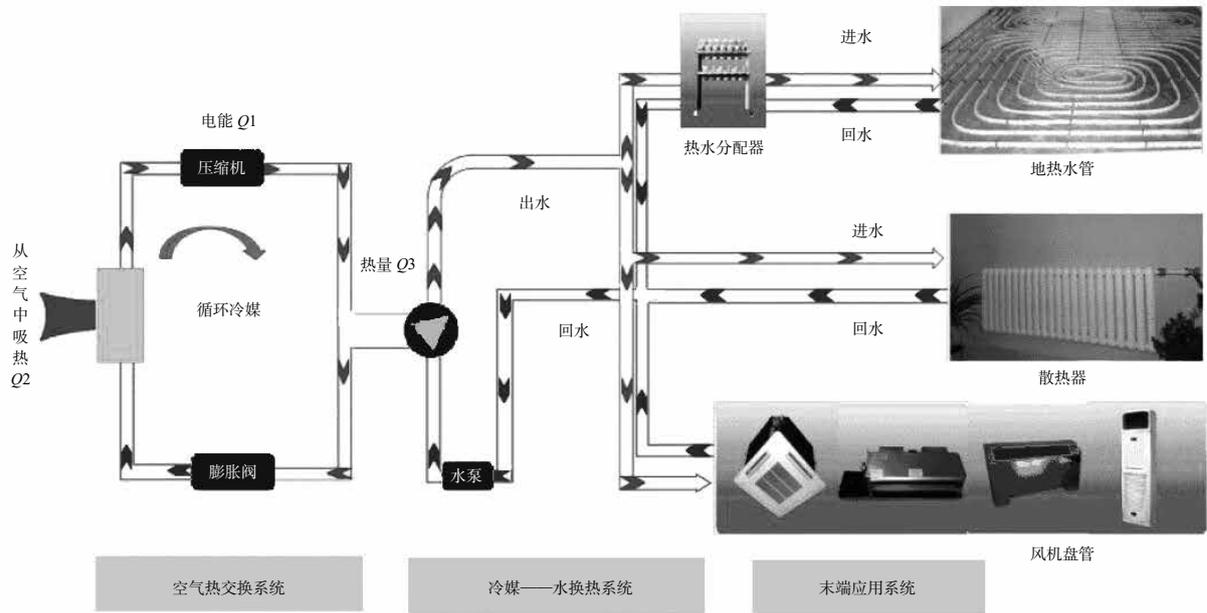


图 1-2 空气源热泵供暖系统原理图

1.1.3 电热供暖与空气源热泵供暖的需焓量^[1]

常规的空气源热泵常使用电能驱动热泵系统，通常采用空气源热泵技术消耗 1 度电可以获得 3~4 度电的供热量，其能源效率是直热式电加热设备的 3~4 倍。

而从焓的角度，电热供暖系统的焓流见图 1-3 (a)。电能是纯焓，电能转化为热能是通过电加热器来实现的，其热能输出量中，含有焓 E_Q 和焓 B_Q ，即供热量 (Q) 等于 E_Q 和 B_Q 之和，也等于热损失 Q_0 。由于室内外温差不大，电热供暖系统的焓损失 ($\Delta E = E - E_Q = B_Q$) 较大，故其焓效率 ($\varphi E = \frac{\text{收益的焓 } E_Q}{\text{供给的焓 } E} = \frac{1}{1 + E/B_Q}$)，有文献研究，火电供暖系统焓效率为 2.4%。

空气/空气热泵供暖系统焓流见图 1-3 (b)。由 1.1 的叙述中可知，空气/空气热泵供暖系统先用电能驱动制冷压缩机做功，使热泵从空气中吸取不能直接供暖的低温热量，提高了空气热能品位，然

后向室内供热量，由此可知，空气中的热量 Q 由低温 (T_0) 传向高温 (送风温度 T_s) 意味着焓量的增加。按照热力学理论，焓量的增加只能通过向循环加入外来焓来实现，热泵实现了向能量流加入焓。当室内温度 (T_R) 和供暖系统的送风温度 (T_s) 相同时，图 1-3 (a) 与 (b) 中输入房间热量中所需焓含量 E_Q 和房间热损失的焓含量 E_R 是相同的，供暖房间里焓与焓之比也相同。在 Q_0 相同情况下，热泵需要供给的焓 E 相对于电供暖系统要少得多。因此，空气/空气热泵供暖系统的焓效率要比电供暖系统高。有文献研究：火电电动热泵供暖系统焓效率为 7.1%。

1.2 空气源热泵在寒冷地区应用存在的问题

我国寒冷地区冬季气温较低，而气候干燥，因此结霜问题并不是寒冷地区应用空气源热泵的最大障碍，但却存在下列一些制约空气源热泵在寒冷地

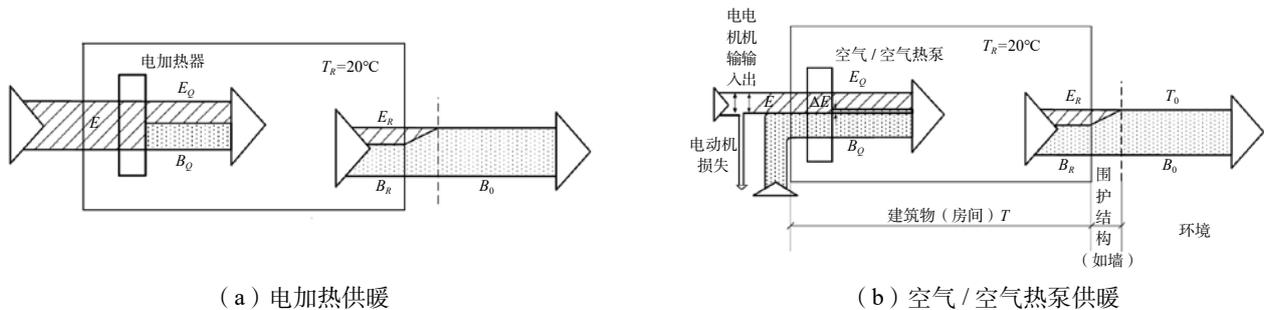


图 1-3 电加热供暖与空气/空气热泵供暖的焓流图

区应用的问题。

◆ 当需热量比较大的时候,空气源热泵的制热量不足建筑物的热负荷随着室外气温的降低而增加,而空气源热泵的制热量却随着室外气温的降低而减少。由此,当寒冷地区室外气温较低的时候,空气源热泵机组的制热量不能满足热用户的需求。

◆ 空气源热泵在寒冷地区应用的可靠性差

空气源热泵在寒冷地区应用时可靠性差主要体现在以下几方面:

(1) 空气源热泵在保证供一定温度热水时,由于寒冷地区室外温度低,必然会引起压缩机压缩比变大。

(2) 常规空气源热机组在寒冷地区运行时,由于室外气温低,会出现压缩机排气温度过高,而使机组无法正常运行。

(3) 空气源热泵在寒冷地区应用时,会出现失油问题。

(4) 润滑油在低温下,其粘度变大,在毛细管等节流装置里容易形成“腊”状膜或油“弹”,引起毛细管不畅,而影响空气源热泵的正常运行。

(5) 常规的空气源热泵机组在寒冷地区应用时,由于蒸发温度越来越低,制冷剂质量流量也会越来越小,这样对半封闭压缩机或全封闭压缩机的电机冷却不足而出现电机过热。

◆ 在低温环境下,空气源热泵的能效比会急速下降

空气源热泵机组在供水温度不变时,随着蒸发温度的降低,将引起单位制热量减少,而单位耗功量增加,在同一个质量流量条件下,势必会使机组的制热能效比下降。

为适应北方寒冷地区空气源热泵的市场需求,大量的低温型空气源热泵出现。低温空气源热泵机组通过采用低温高效补气增焓技术、直流变频技术或双级压缩技术等,从而解决空气源热泵机组低温运行不稳定的问题。

1.3 学校建筑空气源热泵供暖的特殊性

与其他公共建筑不同,学校建筑作为学生学习的场所,应用供暖系统有着其自身的特殊性:

(1) 建筑外形简单

一般而言,由于学校各房间主要为教室、办公室以及实验室,建筑功能单一,通常建筑外形比较整齐统一,结构对称,供暖系统的结构也就相对简单。

(2) 供水温度较低

由于学校大部分场所为教室,人员密度较大,房间的热负荷较小,若室内末端采用地板辐射,在

合适的流量下,供水温度一般 40℃ 即可满足要求,这非常有利于空气源热泵机组的应用,避免集中供热的高品位能的浪费。

(3) 室内温度或供水温度的不同时间段控制

学校有着严格的作息时间,在冬季供暖期间,工作日(周一至周五)的 8:00~21:00 时间段是师生的活动时间,而学校在工作日的夜间以及周末的时间段处于无活动人员状态,因此,为避免热量的过度浪费,在室内末端可加入室内空气温度控制,在白天工作时间控制合适的工作温度,而在夜间可将室内温度控制在较低水平,实现室内温度的时间管理。另外,由于学校寒假处于冬季供暖期间,而此时学校处于无人状态,建筑无供暖需求,空气源热泵供暖系统可设置 20℃ 左右的出水温度,防止管道冻裂即可,进而实现供水温度的时间管理。

1.4 温度控制和水力平衡控制

要实现供暖房间的室温控制,需要引入空气温度控制装置。丹佛斯温控器具有先进的编程功能,可以预先设定室内温度,通过监测室内温度,当实际温度小于设定值,末端继续向室内供热,而当实际温度大于设定值时,温控器作用,关断末端对室内的供热。

温控器对末端管路的开断作用,容易导致其他管路的水力失调,引发部分末端过流或欠流等问题。为解决此问题,需要同时引入水力平衡控制手段,丹佛斯生产了一种动态压差平衡型电动调节阀(下简称 AB-QM 阀),可以根据设计流量预先设定 AB-QM 阀开度,阀门具有压力无关的流量限制功能,部分负荷时不会出现流量过高的现象;内置压差控制器,确保水压波动不会影响室内温度,从而减少执行器的动作次数,从而保证稳定的室内温度。

另外,由于丹佛斯温控器+AB-QM 阀的作用,建筑内部循环实质是一个变流量系统,为保证供暖系统流量稳定,在机组供回水总干管间需加入压差旁通阀。

由此看来,丹佛斯温控器+AB-QM 阀的组合在保证室内温度控制功能的前提下,还解决了温控器作用引发的水力失调等问题。

第二部分 实测案例数据及分析

2.1 系统概况及机组结构原理,测试内容及方法

本次检测位于北京市北京中关村国际学校教学楼,进行了 2 个系统的实测。该教学楼实际供暖楼层为 1-2 层,并分为 1# 和 2# 两个系统,设计热负荷对比表如表 2-1。

表 2-1 热负荷表

系统	建筑面积	供暖面积	按供暖期室外设计温度		按供暖期室外平均温度	
			热负荷 (kW)	热指标 (W/m ²)	热负荷 (kW)	热指标 (W/m ²)
1#	1722	1095	106.1	96.9	76.8	70.1
2#	1615	930	91.9	98.9	66.6	71.6

备注：表格中热指标的面积采用的是供暖面积。供暖期室外设计温 -7.6℃，室外平均温度 -0.7℃。



图 2-1 北京中关村国际学校建筑外观图

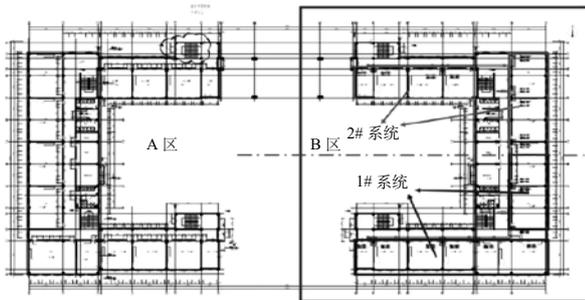


图 2-2 供暖平面示意图

1# 系统采用空气源热泵 + 地板辐射供暖系统，并采取了房间温度控制措施和水力平衡措施；

2# 系统作为对照组，采用了相同的空气源热泵 + 地板辐射供暖系统，但无房间温度控制措施和水力平衡措施。

机组采用华天成天御空气源热泵，该热泵机组内部采用了丹佛斯 R410APSH 热泵专用压缩机和自动控制元件。机组详细信息见表 2-2。

表 2-2 华天成天御空气源热泵性能参数

产品型号 51		WBC-90.0H-A-S(BE-L3)			
额定制热量	工况 A7°C A6°C A40-45°C	90.0kW	最小工作压力	0.02MPa	
额定输入功率		26.32kW	排出侧最大工作压力	4.2MPa	
额定输入电流		47.08kW	吸气侧最大工作压力	1.6MPa	
最大输入功率	39.5kW	水侧压力损失	40KPa		
最大输入电流	70.6A	额定出水温度	45°C		
额定电压	380V/3PH/50Hz	最高出水温度	65°C		
环境温度	-25~45°C	制冷机 / 注入量	R410A/7000g×2		
循环水量	15.5m ³ /h	噪声	68dB(A)		

1# 系统采用了丹佛斯温控器调控房间温度，采用 AB-QM 阀与压差旁通阀保证系统水力平衡。



图 2-3 温控器 图 2-4 AB-QM 阀 图 2-5 压差旁通阀

系统运行参数如表 2-3 和表 2-4，AB-QM 阀开度根据房间设计流量设置。

表 2-3 机组运行方式

时间段	工况	运行状态	备注
2016/12/15-2017/1/23	工况 1	机组出水温度 35°C	学校上课，正常供暖
2017/1/24-2017/2/19	工况 2	机组出水温度 20°C	寒假期间，防冻工况
2017/2/20-3/15	工况 3	1# 系统机组出水温度 20°C； 2# 系统机组出水温度 35°C	假期结束，恢复供暖

备注：在工况 3 时，开学后学校工作人员因操作失误只恢复了 2# 系统出水温度，而 1# 系统未调整。

表 2-4 1# 系统温控器温度调节时间设定情况

时间段	运行时间	设定温度
周一到周五	5:30-22:30	21°C
	22:30-5:30	12°C
周末	全天	12°C

北京学校建筑空气源热泵供暖项目测试时间为 2016 年 12 月 15 日至 2017 年 3 月 15 日，并将数据测量结果扩展到了整个供暖季。测试期间除学校寒假外正常教学。在测试期间，分别对供回水温度、水流量、耗电量、实时功率、室内外空气温度进行检测。

表 2-5 待测物理量及测试仪器性能参数

测试项目	待测物理量	测试仪器	量程	精度
制热量	供回水温度	PT1000	-35~80°C	—
	循环水流量	电磁流量计 FDK-DN100	0.3~15m/s	0.5 级
		涡轮流量计 LWGB-25	0.5~10m ³ /h	0.5 级
耗电量	瞬时功率	斯同瑞 stdx 系列	根据设备选型	1 级
	累计电量			
供热效果	室外温度	KSW-R4-120-FS	-40~120°C	±0.3°C
	室内温度	PT100	—	0.5 级

采用高频进行长期检测，数据记录间隔时间为 5 分钟。

2.2 系统的供热效果

图 2-6 和图 2-7 分为两个系统供回水温度变化图。

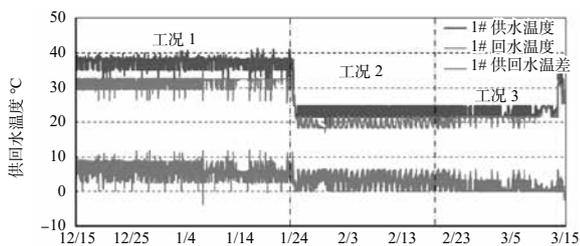


图 2-6 1# 系统供回水温度变化

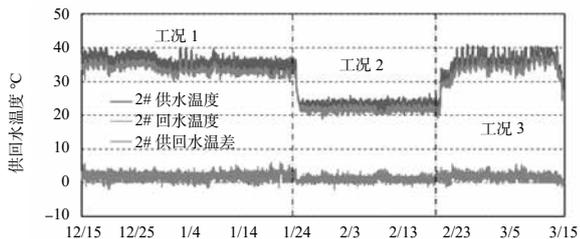


图 2-7 2# 系统供回水温度变化

从图 2-6 和图 2-7 看出，整个测试阶段机组自身供回水温度较为稳定，略微波动的原因主要由于机组待机和除霜工况。2# 系统供回水温差较小，约在 2.5℃ 左右，存在“大流量，小温差”的运行状况，而 1# 系统供回水温差更为合理，在出水温度为 35℃ 的前提下，温差约在 5℃，符合空气源热泵供回水设计温差。这是由于 1# 系统房间温控器阀门关闭，将循环水一部分封闭在房间地暖盘中，与房间进行长时间静止换热，当温控器阀门开启时，将这部分低温水送回主回路中，从而得到比较低的回水温度。工况 3，由于用户根据自我供暖需求调节机组出水温度，两个系统机组出水温度并不一致，可比性不高。

图 2-8 和图 2-9 分为 1# 和 2# 系统检测房间室内温度波动图。

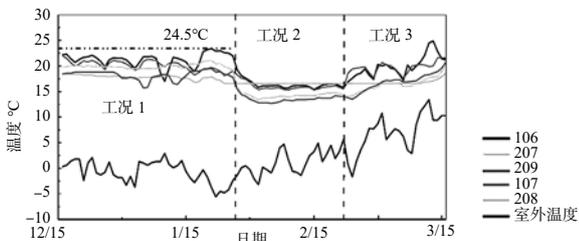


图 2-8 1# 系统房间室内温度波动图

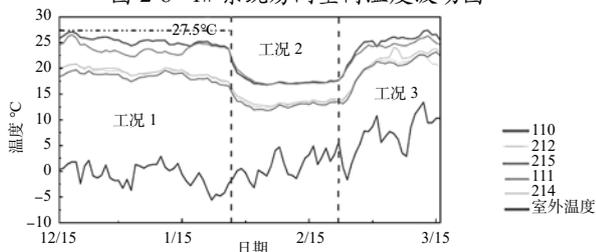


图 2-9 2# 系统房间室内温度波动图

从图 2-8 和图 2-9 看出：

(1) 1# 系统各房间的温度较为稳定，温度梯度和波动都符合人体工程学对舒适度的要求，且符合温控器预设情况，房间最高温度为 24.5℃，符合《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736-2012 中 18~24℃ 的供暖房间温度规定。

房间温度超过设定值 21℃，是由于以下两个原因：a. 温度控制存在延迟性，并不能在室内温度达到 21℃ 后，立刻发生作用；b. 室内温度分布存在不均匀性，而温控器安装于房间角落，与房间平均温度并不完全一致，因此存在一定偏差。

(2) 2# 系统各房间温度分布并不均匀，偏差较大，最大高达 27.5℃，故存在过度供热状况。

正常供暖情况下（工况 1），1# 系统和 2# 系统均有部分房间温度低于 18℃，这是由于地板辐射采暖考虑本层地热盘管的散热和上层地热盘管的向下传热，而这些房间位于 2 层，而 3 层并未供热（原设计需要供热，但由于 3 层未投入使用，故未供热），设计负荷与实际负荷不相符；其次二层地板装饰增加了地面和供暖水管直接热阻，因此存在房间温度低于 18℃ 的情况。当机组出水温度转为 20℃ 时，室内温度虽明显下降，但能防止房间管路结冻。

综合前 3 条可见：对于 1# 系统，一方面，温控器通过温度信号控制末端开闭，控制房间温度最高值；另一方面，AB-QM 阀的设置能够保证负荷波动时的流量稳定性，不会发生由于温控器作用导致其它房间流量波动的问题，从而保证系统的稳定运行，也使各个房间的温度分布更为均匀合理。2# 系统由于缺少温控器、AB-QM 阀的调控，各房间温度分布并不均匀，温度最高的房间和温度最低的房间室温差距较大 (>10℃)，并且存在过度供热的现象。

2.3 系统的季节性能

2.3.1 供热量

图 2-10 和图 2-11 所示的分别 1# 及 2# 系统是 整个采暖季的逐日供热量，图中 12 月 15 日之前的逐日供热量根据测试期间供热量与室外温度关系所扩展得出。

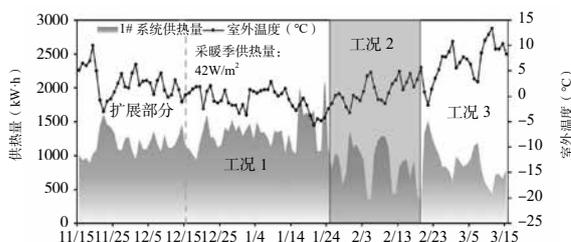


图 2-10 1# 系统逐日供热量

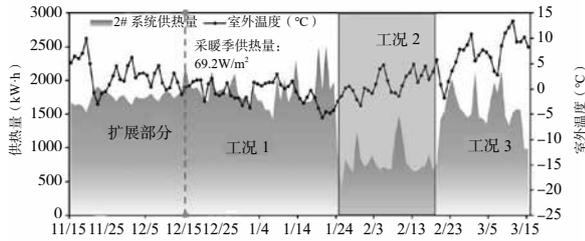


图 2-11 2# 系统逐日供热量

图 2-10 和图 2-11 中可以看到,当室外温度越高,室内热负荷越小,机组提高的供热量也越小。整个供暖季,1# 系统总供热量为 133,932kW·h, 供热量为 42.0W/m², 2# 系统总供热量为 186,526kW·h, 供热量为 69.2W/m²。显然,装有温控器、AB-QM 阀及压差旁通阀的 1# 系统能有效减少室内供热量。当出现人为节能时(如图中灰色部分机组出水温度为 20°C), 供热量有着明显下降。

温控器直接作用于供暖末端设备,在房间温度达到需求后,关闭末端阀门。这一行为直接导致了供热量的减少,保证了室内舒适性的同时,也产生了节能的效果。而 AB-QM 阀和压差旁通阀能有效避免由温控器调控所引起的系统水力失衡的现象。

2.3.2 耗电量

图 2-12 和图 2-13 所示的分别 1# 及 2# 系统是 整个采暖季的逐日耗电量,图中 12 月 15 日之前的逐日耗电量根据测试期间耗电量与室外温度关系所扩展得出:

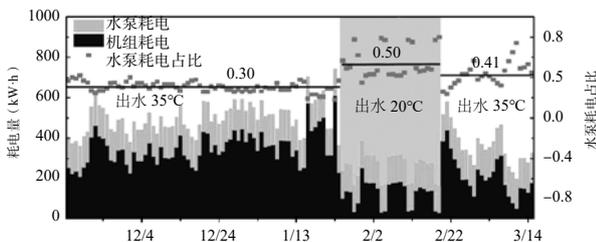


图 2-12 1# 系统测试期间逐日耗电量变化

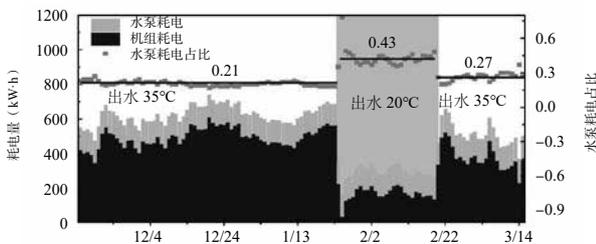


图 2-13 2# 系统测试期间逐日耗电量变化

从图 2-12 和图 2-13 可以看到:工况 1 时,1# 机组逐日耗电量波动程度较大,而 2# 机组逐时耗电量较为稳定,但 1# 系统日均耗电量低于 2# 系统,分别为 523.1kW·h 和 646.8kW·h,差别较为明显;

工况 2 时,出水温度由 35°C 降为 20°C,1# 和 2# 系统的逐日耗电量均大幅下降,分别为 261.3kW·h 和 292.7kW·h;工况 3 时,1# 系统的逐日耗电量低于 2# 系统,但由于用户根据自我供暖需求调节机组出水温度,机组出水温度不同,可比性不强。在相同出水温度下,加入房间温度控制和水力平衡手段能有效降低能耗,工况 1 和工况 2 单位供暖面积节能率分别为 31.3% 和 24.2%。

另外,针对工况 2,温控器的设定未及时作出相应地调整,导致假期期间的工作日供暖系统在白天始终不能达到 21°C 的室内温度设定,1# 机组将长时间工作,而在晚上可达到 12°C 的低温设定,但在第二天的恢复供暖会出现耗电量的突增,导致 1# 系统工作日电量高于 2# 系统,由此说明,温控器应设定为离家模式,从而与机组出水温度同时匹配调整。

值得注意的是,图 2-12 和图 2-13 中绿色部分是水泵的耗电量,其在总耗电量中占据着不可忽略的比重。三个工况下,1# 系统水泵占比分别为 0.30, 0.50, 0.41; 2# 系统水泵占比分别为 0.21, 0.43 和 0.27。1# 系统水泵占比大于 2# 系统,这是由于 1# 系统受温控器,ABQM 阀和压差旁通阀的调控,实际为变流量系统,因此引入水泵变频措施能进一步增大大系统的节能潜力。

2.3.3 能效比

图 2-14 为整个供暖季两个系统热泵机组能效比(不包含水泵)。

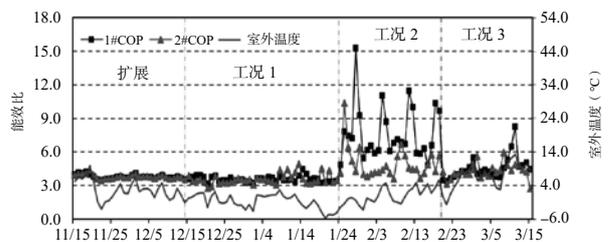


图 2-14 系统能效比

工况 1 时,1# 和 2# 系统的 COP 平均水平大体上相当,1# 和 2# 系统热泵机组的 COP 分别为 3.63 和 3.71,这说明虽然 1# 系统供热量和耗电量相比于 2# 系统同时减少,但对 COP 值影响不大,COP 主要取决于机组本身的性能。

工况 2 时,由于寒假开始,学校工作人员将出水温度降低至 20°C,热泵冷凝温度的降低,明显提高了机组 COP,1# 系统的 COP 一般在 6 以上,平均值为 6.70,其有部分天数 COP 明显偏高,比对实时负荷率图(见图 2-15),可以发现这些 COP 偏高的天数都为双休日,此时房间温度设定皆为 12°C,

温控器近乎处于全关的状态。因此，热泵机组几乎不工作。在水泵的作用下，水循环继续进行，使得供回水温差仍在 3°C 左右，因此供热量得以保证，耗电量却反之下降，因此出现了 COP 值异常变大的情况，例如 1 月 28 日负荷率降为 0.15，COP 突增为 15.9。2# 系统 COP 大体处于 4~6 之间，平均值为 4.26，由于 2# 系统为定流量运行，周末与工作日负荷率相差不多，1# 系统存在的日平均 COP 突增现象不明显。

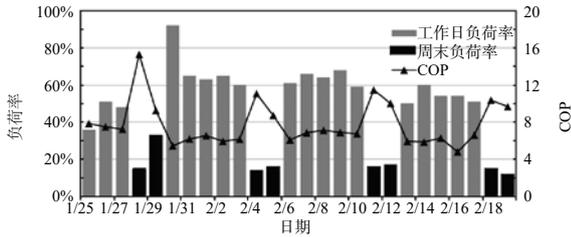


图 2-15 1# 机组日负荷率 & COP 对应图 (工况 2)

2.4 供热量 - 流量关系

图 2-16 和图 2-17 分别截取工况 1 和工况 2 其中一周时段作出的供热量和系统流量对比图。

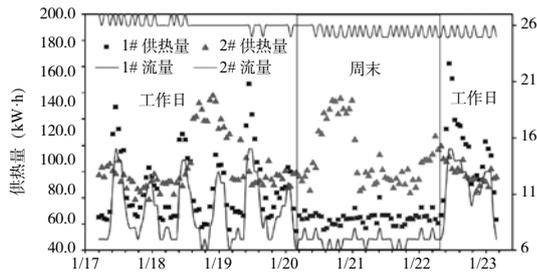


图 2-16 工况 1 时供热量 - 流量图

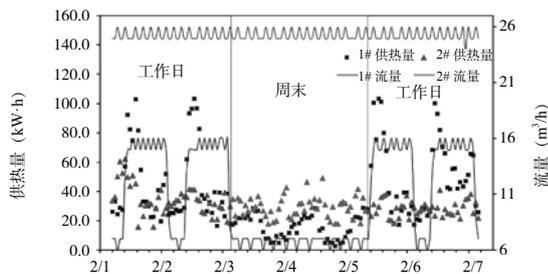


图 2-17 工况 2 时供热量 - 流量图

图 2-16 和图 2-17 看出，1# 系统在温控器、AB-QM 阀与压差旁通阀协同作用下，实际为变流量运行。工作日，工作时间 (5:30~22:30) 温控器设定温度高，为 21°C，供热量需求大，流量也大，但当室内温度满足需求后，也存在低流量运行情况；无人时 (22:30~5:30) 温控器设定温度较低，为 12°C，供热量需求小，流量也小。周末，全天温控器设定为 12°C，供热需求较低，整个时间段都处于

低流量运行。1# 系统流量呈明显的周期性变化；2# 系统无温控器、AB-QM 阀与压差旁通阀调控，流量一直不变，即使在周末无人时，也存在供热量大，能量浪费的情况。

从图 2-17 还可以发现，出水温度为 20°C 时，由于温控器未及时调整，工作日白天不能达到设定温度，系统流量大，机组工作时间长，说明此时温控器应设置成低温的离家模式。

2.5 机组在不同室外温度下的能效比

图 2-18 和图 2-19 分为 1# 和 2# 机组 COP (无水泵耗电) 与室外温度的关系。

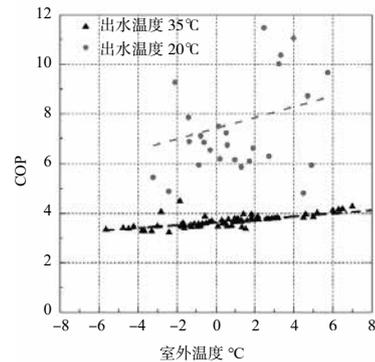


图 2-18 1# 机组室外温度与 COP 关系图

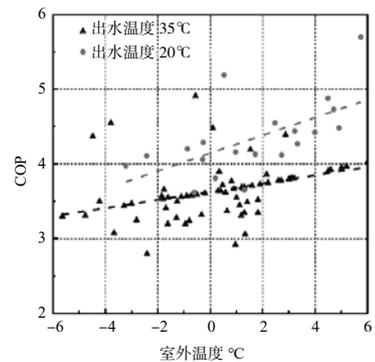


图 2-19 2# 机组室外温度与 COP 关系图

从图 2-18 和图 2-19 中，可以得出两个主要的规律：

(1) 出水温度无论是 35°C 还是 20°C，从线性拟合曲线上来看，COP 值均随室外温度的升高而升高，这是因为室外温度升高时，室外换热器的蒸发温度升高，这在一定程度上促进了能效比的提高。

(2) 在室外温度相同时，出水温度 20°C 下的 COP 水平要比正常工况下的 COP 要高，这是因为出水温度 20°C 时，相比于供热量的减少，耗电量减少得更为明显。出水温度的降低，实际上降低了冷凝温度，热泵机组内部循环更加可靠，促进了能效比的提高。

2.6 一次能源利用率

一次能源利用系数反映热泵消耗单位一次能源所产生的供热量，即热泵机组将初级能源转化为热量的能力，它能观察出在同样的一次能源消耗下能有多少热产出，直观地反映热泵机组的节能效果和经济效果。

按照我国电力工业年均供电标准煤耗0.319kgce/kW·h，1#和2#热泵机组一次能源利用系数E的计算结果汇总见表2-6^[2]。

表2-6 系统一次能源利用系数E计算结果汇总表

热泵机组编号	$\eta_1\eta_2$	系统季节 COP	一次能源利用率 E
1#	0.385	4.04	1.55
2#		3.86	1.49

各种供热系统的一次能源利用系数^[3]见表2-7。

表2-7 各种供热系统的一次能源利用系数

供暖方式	电供暖	小型锅炉房	中型锅炉房		热电联产
			燃煤	燃气、燃油	
E	0.36	0.55-0.65	0.65-0.75	0.85-0.95	0.88

对比表2-6与表2-7，可以明显发现，无论1#还是2#系统，一次能源系数都大于1，明显高于其他普通的供热系统。1#系统的一次能源利用系数也明显高于2#系统，说明采用ABQM阀、温控器以及压差旁通阀有利于提高常规空气源热泵空调系统的一次能源利用系数，是一种非常有效的节能手段。

2.7 经济性分析

为使结果更具备代表性，将供热量和耗电量测试结果折算到典型年气象条件下的运行结果，并与集中供热比较，作经济性分析。

2.7.1 1#系统经济效益

1#空气源热泵系统考虑空气源热泵机组、丹佛斯设备以及安装等其他费用，总初投资为16.56万元；1#供暖建筑区域若采用集中供暖费用，考虑入网费用，总初投资为8.61万元。

1#系统与集中供热系统的初投资与年运行费用如表2-8。

表2-8 1#系统与集中供热系统的初投资与年运行费用

1#空气源热泵供暖系统				集中采暖			
初投资 (万元)	年运行费用 (元)			初投资 (万元)	年运行费用 (元)		
	维护费	电费	合计		大修费	供暖费	合计
16.56	4,141	34,846	38,987	8.61	861	72,324	73,185

经计算，1#系统静态回收期为2.33年，动态回收期2.68年。

1#系统与集中供热系统的费用年值计算结果如表2-9。

表2-9 1#系统与集中供热系统的费用年值

供暖方式	费用年值 (万元)
1#空气源热泵供暖系统	5.32
集中供热	8.73

1#空气源热泵供暖系统与集中供热比较，1#系统费用年值更小，所以1#系统供暖方式为更优方案。

2.7.2 2#系统经济效益

2#系统相对于1#系统，系统除机组外未安装丹佛斯设备，总初投资为14.78万元；2#供暖建筑区域若采用集中供暖系统，考虑入网费用，总初投资为8.08万元。两种供暖方式的初投资与年运行费用如表2-8。

表2-10 2#系统与集中供热系统的初投资与年运行费用

2#空气源热泵供暖系统				集中采暖			
初投资 (万元)	年运行费用 (元)			初投资 (万元)	年运行费用 (元)		
	维护费	电费	合计		大修费	供暖费	合计
14.78	3,696	40,141	43,837	8.08	808	67,830	68,638

经计算，相对于集中供暖系统，2#系统静态回收期为2.71年，动态回收期3.17年。2#系统的费用年值计算结果如表2-11。

表2-11 2#系统与集中供热系统的费用年值

供暖方式	费用年值 (万元)
2#空气源热泵供暖系统	5.60
集中供热	8.19

2#空气源热泵供暖系统与集中供热比较，2#系统费用年值更小，所以2#系统供暖方式为更优方案。

2.7.3 丹佛斯设备经济效益

北京空气源热泵检测项目新增设备温控器、AB-QM阀和压差旁通阀，初投资计算如表2-12，运行费用如表2-13。

表2-12 工程费用汇总

序号	费用名称	费用 (元)	备注
1	设备费用	17800	
2	其他费用	2670	根据工程经验取设备费15%

工程造价：贰万陆千贰佰贰拾元 20470

表2-13 1#及2#系统一个供暖季运行费用统计表

系统	耗电量 (kW·h)	电价 (kW·h)	总价 (元)
1#系统	58,077	0.6	34846
2#系统	69,902	0.6	41941

经计算，相对于2#系统，1#系统丹佛斯设备静态投资回收期为2.89年，动态回收期为3.42年。

2.7.4 不同供暖形式经济性

天然气价格为2.28元/m³，热值取35.590MJ/m³，

电价为 0.6 元 /kW·h。考虑学校建筑集中供暖费用按建筑面积计算，所以将不同供暖方式的费用均折算到单位建筑面积的费用进行比较，一个供暖季的不同供暖方式单位面积供暖费用见表 2-14。由于 1# 系统安装有温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀，与 2# 系统的运行模式并不一致，并且供热量、耗电量和节能效果上存在差异，这里为了比较更为全面，分别计算了按 1# 系统运行模式下和按 2# 系统运行模式下的供暖季单位建筑面积供暖费用。

表 2-14 不同供暖方式供暖费统计表 (元 /m²·季)

系统形式	空气源热泵		壁挂炉		电供暖		集中供热
	1#	2#	1#	2#	1#	2#	
热费	20.4	26.0	20.5	24.6	53.4	64.2	42

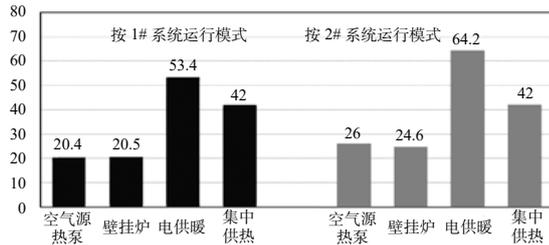


图 2-20 不同供暖方式供暖费比较

2.8 环保效益分析

整个供暖季，2# 系统相比于集中供热环保效益如表 2-15。

表 2-15 空气源热泵环保效益

	二氧化碳	二氧化硫	粉尘	氮氧化物
减排量 (kg)	31452.12	251.67	127.34	18.46
单位供暖面积减排量 (kg/m ²)	33.819	0.274	0.137	0.02

1# 系统加装温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀后，节能效果斐然，势必在空气源热泵 + 地板辐射供暖系统本身基础上产生更大的环保效益，新增环保效益如表 2-16。

表 2-16 1# 系统新增单位面积环保效益

	二氧化碳	二氧化硫	粉尘	氮氧化物
单位供暖面积新增减排量 (kg/m ²)	17.4382	0.1412	0.0706	0.01

对比表 2-15 和表 2-16 发现：系统加装温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀后，能在原本基础上再产生一半有余的环保效益。

第三部分 结论

通过以上实测数据分析，清楚的了解到装有温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀的空气源热泵 + 地板辐射供暖系统（无电加热）在北京学校实际运行的性能、供热效果、经济性能和环保性能等重要

参数，综合结论如下：

(1) 舒适性好：通过温控器控制室内温度，AB-QM 阀和压差旁通阀保证系统的水力平衡，用户室内的温度水平得到较好的维持，各房间的温度差异并不明显，不会出现过度供热的情况，热舒适性得到大大提高。在最不利天气条件下，仍能满足室内供暖的需求。因此装有温控器、ABQM 阀和压差旁通阀的空气源热泵 + 地板辐射供暖系统是新型舒适性供暖方式的好选择。

(2) 系统稳定可靠：装有温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀后，热泵机组的性能并不会受到明显的影响，出水温度 35°C 工况下，整个供暖季 COP 能达到 3.63，性能优异。一方面，温控器通过温度信号控制末端开闭，限定房间温度最高值；另一方面，AB-QM 阀的设置避免了过流，并能保证负荷波动时各个房间的流量稳定，从而保证系统的稳定运行；最后，压差旁通阀的设置保证了空气源热泵机组在低负荷运行情况下的安全性。

(3) 经济性好：装有温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀后，相比于 2# 系统，节能率高达 30% 以上，若水泵选型为变频泵，节能效果会更为可观。系统改装后的设备静态投资回收期为 2.89 年，动态投资回收期为 3.42 年。相对于集中供热系统，常规的 2# 空气源热泵供热系统也表现较好的经济性，静态回收期为 2.71 年，动态回收期为 3.17 年；加装了温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀后，静态回收期为 2.33 年，动态回收期为 2.68 年，温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀的应用降低和空气源热泵的投资回收年限。

比对其他形式的供暖方式，运行费用大大降低，空气源热泵 + 地板辐射供暖系统采用压差旁通阀、AB-QM 阀以及温控器时，单位面积供暖费空气源热泵 < 壁挂炉 < 集中供热 < 电供暖。相比于集中供热，整个供暖季每单位面积节约 16 元采暖费用。

(4) 环保效益显著：1# 与 2# 系统的一次能源系数均大于 1，明显优于其他供暖系统。相比于以燃煤锅炉为热源的集中供热，采用空气源热泵，一个供暖季减排量为二氧化碳 33.819kg/m²，二氧化硫 0.274kg/m²，粉尘 0.137kg/m²，氮氧化物 0.020kg/m²。系统加装温控器、AB-QM 阀和压差旁通阀后能在上面基础上再增一半有余环保效益。

参考文献

[1] 王伟, 倪龙, 马最良. 空气源热泵技术与应用 [M]. 中国建筑工业出版社, 2017.
 [2] <http://gongwen.cnrencai.com/tongzhi/195201.html>
 [3] 马最良. 热泵技术应用理论基础与实践 [M]. 中国建筑工业出版社, 2010.

空气源热泵供暖技术应用分析

哈尔滨工业大学 董重成

黑龙江东方学院 刘元芳 李立

摘要: 空气源热泵用于夏热冬冷地区的供暖具有明显的优势, 针对北方严寒地区设计超低温热泵机组也有了较好的工程案例, 为更好发展推广应用空气源热泵供暖, 文中论述了工程应用中系统设计、末端设备选取、热媒温度确定、系统安装运行应考虑的问题和做法, 并对空气源热泵供暖区域做了分析, 提倡在严寒地区的供暖期与其他热源耦合互补的利用空气能供暖。

关键词: 空气源热泵; 独立供暖; 末端设备; 效能比

0 前言

在国家政策的支持下, 热泵技术在我国得到了大力推广应用, 除地源热泵等技术被成熟应用建筑和生活中, 近几年空气源热泵才有了快速发展, 并从加热生活热水开始应用于建筑供暖和有关行业的产品干燥。有关省市已将空气源热泵产品纳入了可再生能源应用设备。由于我国规定日平均 5°C 开始供暖, 因此空气源热泵具有作为供暖热源也会有较好的运行条件。空气源热泵用于夏热冬冷地区的供暖具有明显的优势。目前, 不但在寒冷地区开始推广应用, 在严寒地区的新疆、呼和浩特、沈阳也具有规模应用的成功案例。而随着市场的不断发展, 空气源热泵企业的发展态势, 将在未来几年逐渐呈现打破当前应用南北区域划分的限制。

1 空气源热泵供暖系统构成

空气源热泵技术是基于逆卡诺循环原理建立起来的一种节能、环保制热技术, 通过空气获取低温热源, 经系统高效集热整合后成为高温热源, 用来供暖或供应热水。

以热泵为热源的供暖系统即为热泵供暖系统。空气源热泵不仅可作为分散供暖的热源, 按照《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736—2012 确定的集中供暖定义, 空气源热泵完全可以用做集中供暖系统的热源。目前, 热泵供暖末端设备可采用: 地板辐射供暖、风机盘管供暖、散热器供暖。

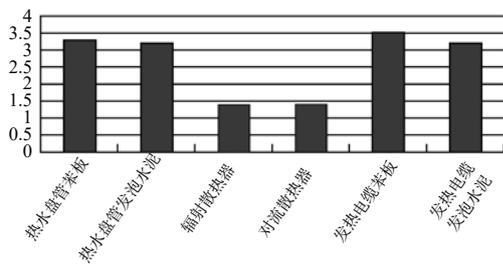
2 热泵供暖末端设备

由于空气源热泵的特点和能效比的关系, 空气源热泵供应的热水温度应处在技术经济合理的工况, 这就决定了供暖末端宜采用低温的散热设备。

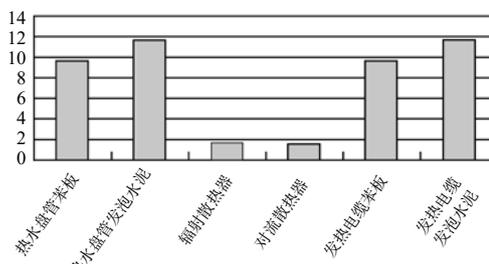
目前采用的末端设备是: 地板辐射供暖、风机盘管供暖、散热器供暖, 该三种散热设备有不同的特点, 各自适合不同需求。

低温地板供暖可使人们同时感受到辐射温度和空气温度的双重效应, 人体实感温度舒适程度比室内空气温度高出 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$, 因此, 提高了舒适度, 有效节约能源。该供暖方式不占房间的有效使用面积, 可以自由地装修墙面、地面和摆放家具。并且地板供暖增加了保温层, 具有非常好的隔音效果, 减少楼层噪音。但是, 地板供暖系统的结构繁杂。有 8cm 填充层的占用层高。如层高较低的室内采用此种方式, 会给人以压抑感。因此, 这种供暖方式需对建筑增加层高 $6\sim 10\text{cm}$ 。在二次装修时易被破坏, 修复则会留有埋在地下的接头, 留下隐患。如有滴漏将不易检查出故障所在。系统管路全部隐蔽安装在地面下, 不具备可拆卸、更换的可能, 因此如果发生二次装修动用地面的话, 这个系统只整体拆除。构造层蓄热使得房间升温时间较长, 热惰性大。

散热器供暖安装容易、维修简单, 色彩多样、外观优雅、极易与家装所融合, 房间可利用散热器上的温控阀单独调节房间温度, 管路少、无立管、泄露亦少, 设计计算较简单, 房间升温快、温度调



(a) 升温时间柱状图



(b) 升温时间柱状图

图1 地面供暖和散热器供暖的升降温变化

节灵活。但是，散热器供暖占用室内空间，一般热媒供水温度较高，影响热泵供暖的能效比。

风机盘管供暖升温快、调节灵活、空调供暖两用冷暖两用、节省投资，可根据需要安装在地面或顶棚。但是，热空气在顶部有效利用差、运行产生噪音。图1是地面供暖和散热器供暖的房间升降温变化情况，该实验结果可供选择末端方式时参考。

3 末端设备热媒温度

空气源热泵供应的热水温度越高，能效比越低，表1是空气源热泵在某一工况下出口热水温度升高COP变化情况。热泵供暖末端采用的地板辐射供暖、散热器供暖、风机盘管供暖。由于散热方式不同，采用的热水温度也有所不同。

表1 空气源热泵在某一工况下出口热水温度与COP变化情况

热水温度/℃	75	70	65	60	55	50	45	40
COP值	2.20	2.36	2.56	2.80	3.08	3.42	3.85	4.40

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736—2012 第5.7节 户式燃气炉和户式空气源热泵供暖中第5.7.7条文说明强调：热泵供暖系统可根据供水温度分为低温型（出水温度 $\leq 55^{\circ}\text{C}$ ）及高温型（出水温度 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ）。需要根据连的具体末端形式的（如地面供暖、散热器等）供水温度要求，选择适宜的热泵供暖设备。

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736—2012 第3.1.1条规定：热水地面辐射供暖系统的供、回水温度应由计算确定，供水温度不应大于 60°C ，供回水温差不宜大于 10°C 且不宜小于 5°C 。民用建筑供水温度宜采用 $35^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ 。《辐射供暖供冷技术规程》JGJ 242—2012中规定：热水地面辐射供暖系统供水温度宜采用 $35^{\circ}\text{C}\sim 45^{\circ}\text{C}$ ，不应超过 60°C ；供回水温差不宜大于 10°C ，且不宜小于 5°C ；

风机盘管供暖一般采用的热水温度进水 60°C ，回水 50°C ；对于空气源热泵供暖进水 45°C ，回水 45°C 。

地板辐射供暖、风机盘管供暖热水温度对于空

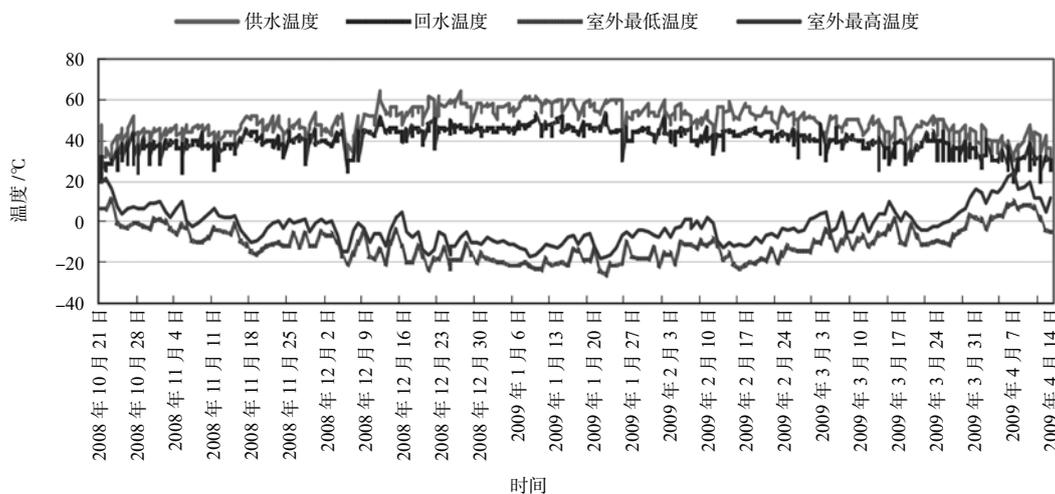


图2 哈尔滨某小区供暖期测试温度变化曲线

气源热泵供暖具有合理的能效比。

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736—2012 第 5.3.1 散热器供暖系统应采用热水作为热媒；散热器集中供暖系统宜按 75℃/50℃ 连续供暖进行设计，且供水温度不宜大于 85℃，供回水温差不宜小于 20℃。

对于散热器集中供暖热水温度按 75℃/50℃ 设计，相对于传统的热媒参数已是有较大的降低，但是针对热泵供暖，尤其是空气源热泵供暖热水温度按 75℃/50℃ 设计仍使能效比处在不是合理的工况。空气源热泵的运行适宜大流量小温差，这一点也与规范提倡的供回水温差不宜小于 20℃ 不相适应。

然而，通过对供暖系统的实际运行调查，目前北方地区大多数城市集中供热系统运行参数，就是在最冷月运行参数也远远小于设计工况。对北方几十个城市调查结果是：二次网供水温度约在 47~63℃，回水温度约在 40~50℃，运行温差约为 7.8~14.7℃，温差均小于设计温差 20℃。

图 2 是哈尔滨某小区测试整个供暖季温度变化曲线，供暖初期供热温度低于 40℃，最冷天气供热温度为 60℃。

空气源热泵的最佳工作状态是提供 50℃ 以下的水。以往空气源热泵用于建筑采暖不成功的原因之一，就是在于供暖散热器要求热水温度在 80℃，这种工作状态下，空气源热泵的能效比太低，不经济。通过散热器低温供暖研究认为：60℃/45℃ 具有技术经济合理性和可行性。而针对空气源热泵供暖热媒参数完全可以降至和生活热水供应的温度一致。

4 空气源热泵供暖末端设计

空气源热泵供暖具有诸多优点。但它的使用受到环境温度的限制，不同区域、不同末端装置设计时应考虑以下问题。

室内供暖计算温度，根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736—2012 规定南北方室内设计温度不同：严寒和寒冷地区主要房间应采用 18~24℃；夏热冬冷地区主要房间宜采用 16~22℃。

新建与既有建筑增设供暖设施要加以区别：新建住宅可完全按设计规范规定进行。而既有建筑增设供暖设施要考虑住户的具体要求进行，对于夏热冬冷地区住宅根据生活习惯，不必要对整套住宅进行全面供暖，可进行局部主要房间加装供暖设施。既有建筑增设供暖装置宜结合装修进行。热负荷计算应考虑户间传热，否则达不到需要的供暖效果。对于地板辐射供暖楼板向下传热则占有 20%。

选用末端设备时应考虑房间功能、生活习惯和运行方式，从舒适性和经济性选择适合住户需求的地板辐射供暖、风机盘管供暖、散热器供暖形式。

既有建筑增设地板辐射供暖时应考虑荷载，尽量采用干式地板供暖，并考虑局部供暖和家具摆放遮挡。地面饰面层应采用热阻小的材料，选用理石饰面具有较好的散热效果。各环路长度应尽可能一致，并加设调节和环路关断阀门。加热管布置方式可采用图 3 的形式。加热管布置方式选择除考虑管材弯曲半径和方便施工外，应考虑地面温度的均匀性，从使用效果看近几年采用的靠外墙外窗减少管间距加大散热量改善了靠外墙窗的舒适度，因此，为改善靠外墙窗的冷辐射出现的不舒服情况也可采用直列型的布置方式加以改善。

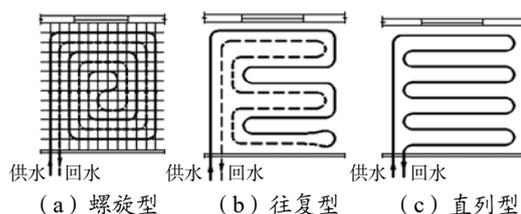


图 3 加热管布置方式

风机盘管冷暖两用，供暖的供水温度可适当降低，仅是用于住宅供暖时宜采用立式安装，且宜靠外墙设置。

散热器用于空气源热泵供暖系统，热媒温度可降低与热水供应温度 55℃ 一致。散热器在低温使用其散热量计算完全可按各类散热器给出的散热量实验公式，代入设计的温差 ΔT 进行计算即可。图 4 是对同一组散热器分别对温差 $\Delta T=15\sim 65^\circ\text{C}$ 的范围进行分段实验和连续实验的结果，认为低温工况的散热量可视为 $\Delta T=40\sim 65^\circ\text{C}$ 试验曲线的延长线。

散热器供暖按低温参数设计会增加散热器数量，但是低温供暖的特点是舒适和节能。

对于分户独立供暖系统，考虑到管道布置，家具摆放和空间使用等因素散热器完全可在内墙布置，不必强调靠外窗布置。

空气源热泵同时用于生活热水供应和供暖应对生活热水单独设置管道，避免对供暖系统产生腐蚀。对于分户独立闭式系统几乎可以不顾虑散热器的腐蚀问题。

由于供暖的热负荷计算是按累年平均不保证 5 天统计确定的供暖室外空气温度计算参数，当室外温度减低房间需要供应的热负荷增大，而空气源热泵 COP 值会下降，为解决这一矛盾，必要时应考虑采取耦合热泵系统优势互补或辅助热源的经济可行性。

对于空气源热泵作为集中供暖的热源，由于空

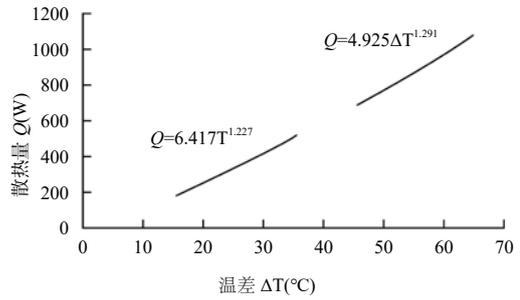
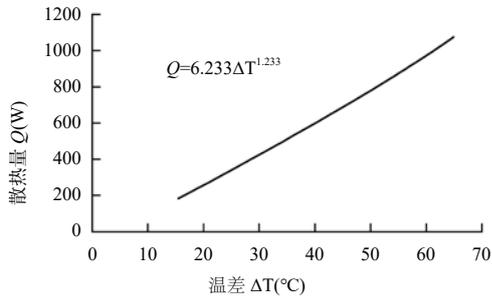


图4 散热器散热量实验公式

气源热泵的特点，为减少输送热损失和管网造价，不宜较长距离输送热媒。

5 热泵供暖系统运行

根据对供暖系统运行质调节水温曲线分析，在供暖初期和末期：散热器供水温度仅需 40°C，地板供暖供水温度仅需 28°C。

对于供暖期从日平均 5°C 到 -10°C 阶段空气源热泵都有较经济的运行工况，而最冷月平均温度 ≤ -10 °C 的地区属建筑热工的严寒地区，在这一地区供暖期时间长，一般都在 150 天以上，因此有 100 天以上的空气源热泵供暖运行，该时间段的供热负荷仅接近供暖设计热负荷的一半。

供暖期室外温度变化影响空气源热泵效能比 COP 值，因此空气源热泵供暖的效能比应是针对供暖季的平均值。对于严寒地区出现最冷月时应有其他热源作为热负荷调峰，以便空气源热泵处于技术经济合理的运行工况。

6 空气源热泵供暖的区域

空气源热泵以少量电能，吸收空气中大量的低温热能，通过压缩机的压缩变为高温热能，传输至水箱，加热热水，所以它能耗低、效率高、速度快、安全性好、环保性强，源源不断的供应热水。作为热水系统它具有无以比拟的优点。但空气源热泵供热能力和供热性能系数随着室外气温的降低而减小，所以它的使用受到环境温度的限制，一般适用于最低温度在 -10°C 以上的地区。所以一直以来被业内人士认为空气源热泵用于夏热冬冷地区具有优势。

表 2 常规空气源热泵 COP 值与空气温度的变化值，图 5 是空气源热泵不同蒸发温度的 COP 值变化曲线。

表 2 常规空气源热泵 COP 值与空气温度的变化值

空气温度 °C	-20	-15	-10	-5	0	5	10
COP 值	2.05	2.20	2.36	2.56	2.80	3.08	3.42

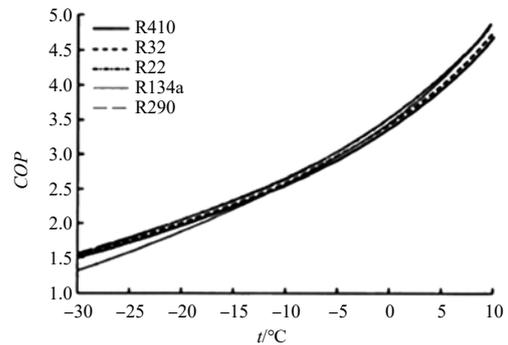


图 5 空气源热泵 COP 随蒸发温度的变化曲线

随着空气能技术的发展，有的企业也逐渐打开了北方的市场。其中，循环加热超低温型产品在零下 20 度也能正常使用，已经成功应用于北方的酒店、学校、洗浴中心、医院、别墅、小区等场所得到了用户的充分肯定。

超低温空气源热泵采用超低温工况压缩机及低温高效 404A 制冷剂，既能解决空气源热泵的衰减问题，同时还可以有效的正常制热，可在 -25°C 的环境温度工作，-20°C 以上可达到理想的应用效果。超低温空气源热泵可以实现零下 20°C 以上不加电辅助正常运作。

按照建筑热工设计分区确定；严寒地区最冷月平均温度 ≤ -10 °C，寒冷地区最冷月平均温度 0~-10 °C，夏热冬冷地区最冷月平均温度 0~10 °C。

热泵技术的发展，超低温热泵机组是针对北方严寒地区设计的，适用环境温度 -25°C 以上地区，常规热泵机组在 -5°C、增强型热泵机组在 -15°C 以下不能正常制热。超低温热泵机组相对系统能效比 COP 更高，因机组的温度响应极快，供应热水的能力极强，即使在 -25°C 的超低室外环境温度下，依然能够稳定地提供热水。末端采用低温地板辐射采暖系统，可以使热泵节能的优势得到更好的发挥。空气源热泵与水地暖的组合 COP 均超过 3.0，具有运行能效高、运行费低的特点。

哈尔滨市是严寒地区气温最低省会城市，图 6

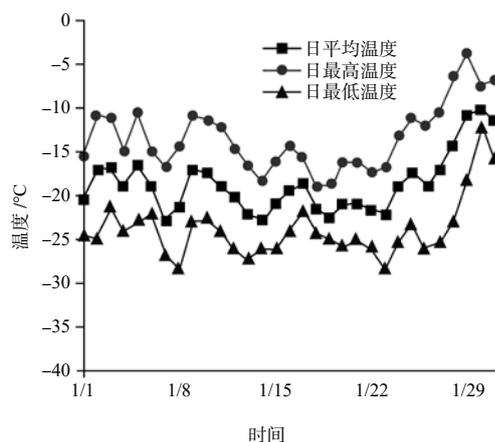


图6 哈尔滨一月份干球温度变化曲线

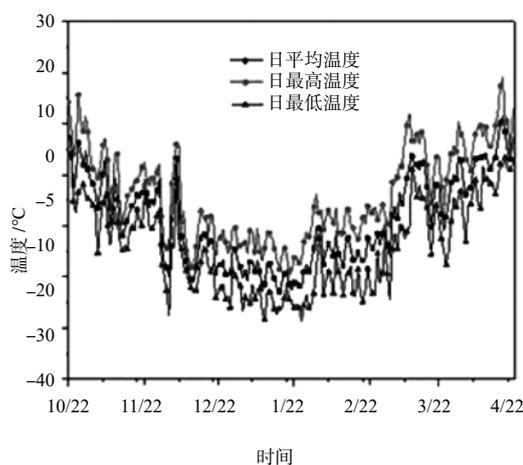


图7 哈尔滨供暖季干球温度变化曲线

哈尔滨一月份干球温度变化曲线，图7是哈尔滨供暖季的室外温度变化曲线。

从图6中可以看出：最冷月平均日最高气温在 -15°C 上下，最冷月平均日最低气温在 -25°C 上下，最冷月平均日气温在 -20°C 上下。从图7中可以看出：12月中旬至2月中旬气温处于较低的时间段。其他时间段日平均气温均大于 -10°C ，完全处在寒冷地区的空气温度，因此，在整个180天的供暖期大部分时间都是在空气源热泵较好运行范围。

《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》GB 50736—2012第8.3.1条规定：冬季设计工况时性能系数(COP)，冷热风机组不应小于1.80，冷热水机组不应小于2.00。即便在最冷月平均日最低气温在 -25°C 不能运行，但是，有100多天运行性能系数(COP)都会达到规定的要求，因此，具有极大的推广应用价值。而且，北方冬季雾霾最严重都是出现在进入供暖期的初期，这个阶段的气压低不利于颗粒物的扩散。因此，在严寒地区分阶段利用空气源热泵供暖，对于节能减排，改善雾霾环境具有实际意义。

7 结束语

空气源热泵在北方用于供暖完全可行，并可用做集中供暖系统的热源。严寒地区宜采用超低温空气源热泵，也可在供暖期分时间段担负供暖负荷，并在最冷月与其他热源耦合互补运行。在做技术经济方案论证时应考虑使用所在地区的整个供暖期运行效能比。空气源热泵供暖末端设备可采用地板辐射、风机盘管和散热器，采用散热器供暖的供水温度完全可与生活热水温度一致。

参考文献

- [1] 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 GB 50736—2012[S]. 中国建筑工业出版社，2012.
- [2] 辐射供暖供冷技术规程 JGJ 142—2012 [S]. 中国建筑工业出版社，2013.
- [3] 宋为民，董重成，李庆娜. 散热器采暖低温运行的研究 [J]. 中国建筑金属结构，2010,(5):36-39.
- [4] 马一太，代宝民. 空气源热泵用于房间供暖的分析 [J]. 制冷与空调，2013,13(7):6-11.

北京地区空气源热泵低温工况下运行性能 的实测研究

北京工业大学 白晓夏 孙育英 王伟 刘景东 吴旭

摘要: 为进一步揭示空气源热泵在实际运行工况下的运行性能,掌握其低温运行特性,本文在2015~2016年供暖季针对北京地区某小型办公楼空气源热泵系统进行了为期80天的连续现场测试,对系统整体运行性能进行了分析,并重点监测了持续3天低温黄色寒潮预警期内系统的实际运行性能。测试结果显示:测试期内机组日平均制热量为15.2kW,日平均能耗量为 $0.56\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$,COP为2.77;低温工况下,环境温度在 $-15.2^\circ\text{C}\sim-5.09^\circ\text{C}$ 内波动,最冷工况下机组排气温度平均值为 118.5°C ,最高达到 124°C ,且排气温度超过 120°C 的运行时间占25%;压缩比均值为11.04,最高达到11.77,机组平均制热量 10.71kW ,最低制热量 8.82kW ,衰减幅度达55%,平均COP为1.96,最低COP仅1.49。研究结果为掌握空气源热泵冬季供暖期实际运行性能及低温运行特性提供了必要的实践基础。

关键词: 空气源热泵;北京地区;低温工况;运行性能;现场测试

0 前言

近年来空气源热泵(Air Source Heat Pump,简称ASHP)在我国得到广泛应用^[1],北京市为北方地区的典型城市,其气候分区属于寒冷地区,在冬季制热工况下,结霜^[2,3]和低温适应性是影响机组运行性能的一大关键问题。

当机组在低温工况下运行时,压缩比升高,容积效率降低,制冷剂质量流量减少,供热能力下降,压缩机排气温度过高,这些问题限制了其在北方地区的应用^[4-7]。文献^[8,9]将北京定为低温热泵用气象条件的典型城市,为解决空气源热泵低温适应性问题,国内外学者主要从以下几个方面进行研究:提高系统工质的循环量^[4,10-12];优化压缩机工作过程,降低排气温度^[7,13];选用适于大范围的制冷剂代替常规制冷剂^[14-16];采用多级压缩,包括双级压缩^[17-19],双级耦合热泵系统^[4,20]等。其中,喷液冷却法是一种可以有效降低排气温度,保证低温热泵在 -20°C 以上能有较高效率的技术方案,肖婧等^[21]则针对带有喷液增焓技术的空气源热泵进行为期三个月的测试,考察了机组在 $-16.5^\circ\text{C}\sim-6^\circ\text{C}$ 低温环境中的运行特性、供热性能与末端供热效果,为了解热泵机组低温运行中存在的问题提供了参考。

以上研究均围绕空气源热泵低温适应性问题开展,但现有工作较少针对空气源热泵在寒冷地区长期运行性能的实测研究,更缺乏在低温工况下的运行特性研究。为此,本文针对北京地区某小型办公楼空气源热泵系统,在2015~2016年供暖季进行了为期80天的现场实测运行,分析了热泵系统在长期制热工况下的整体运行性能,并着重考察了机组在持续低温黄色寒潮预警期内的运行性能,本文工作对掌握空气源热泵实际运行性能具有较好的参考价值。

1 现场测试

1.1 测试系统

测试工程为北京地区某小型办公建筑,空调面积为 175m^2 ,测试对象为1台空气源热泵机组,压缩机为定频涡旋式,其额定制热量为 19.6kW ,制热功率为 6.88kW ,制冷剂为R22。制热的标准工况为环境温度 7°C ,热水出水温度为 45°C 。测试系统原理如图1所示。

测试系统对空气源热泵的空气侧、制冷剂侧与制取热水侧的运行参数以及能耗情况进行实时监测。

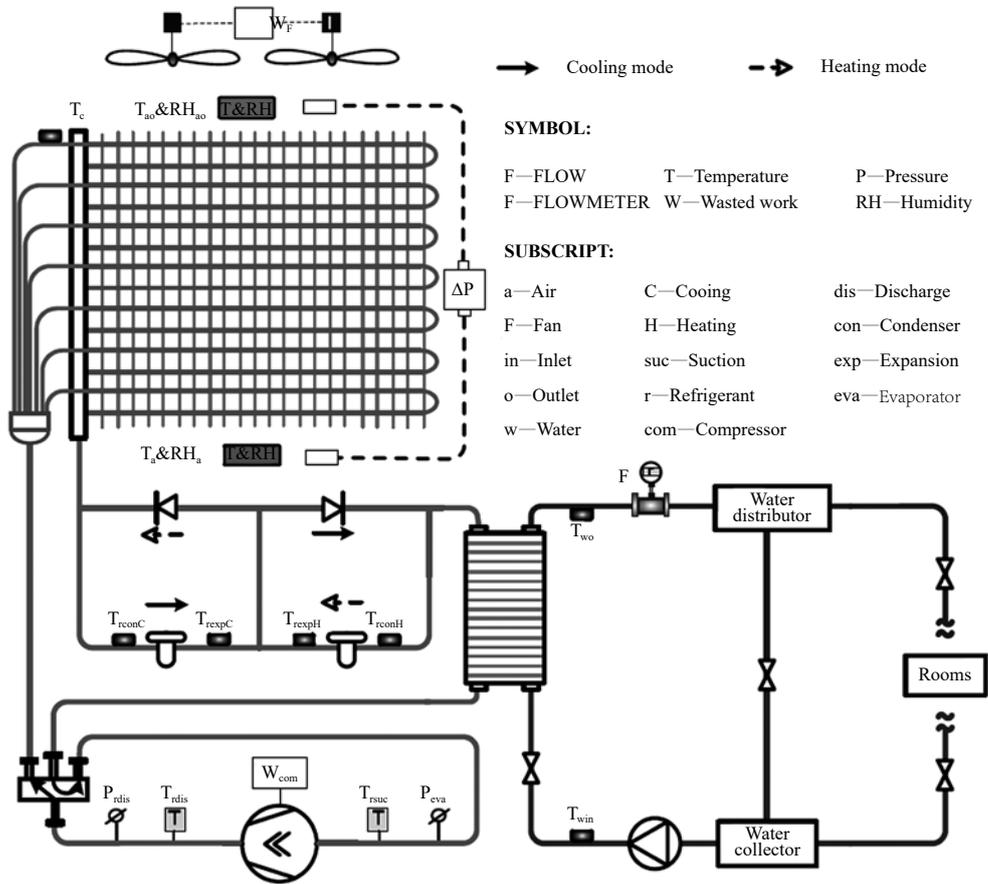


图1 测试系统原理图

如图1中所示，在压缩机吸/排气管上分别设有温度和压力传感器监测压缩机的吸/排气温度和压力，在水侧利用铂电阻PT1000测量机组的进/出水温度，利用电磁流量计测量水流量。其中主要的测量仪器参数如表1所示。

1.2 测试工况

测试期为2015年11月15日至2016年2月2日。为详细考察空气源热泵在测试期内的运行性能，尤其在低温工况下的性能，全面测试了室外温湿度，压缩机吸排气温度和压力、机组制热量、能耗和COP等参数，并对相关的参数进行整理分析。

图2为空气源热泵测试期内环境的温、湿度。可知，测试期内环境温度范围在-15.2℃~10.37℃之间，平均值为-1.34℃；相对湿度平均值为47.9%，最大相对湿度为92.3%。测试期内，机组运行时间共1176h，环境温度低于0℃共有760h；-5℃以下工况共152h。由图可知，随着供暖期的推进，环境温度呈下降趋势，在2016年1

月23日达到最低温度；相对湿度变化幅度较大，测试中后期，环境相对湿度较低，北京气候呈现“干冷”的特点。为直观获得测试期内机组不同运行工况下的结霜和结露情况，根据朱佳鹤^[22,23]等人提出的多区域结霜图谱，得出如图3所示的结霜工况分布图。由图可知，运行期内，机组运行工况在结霜区、结露区和无霜区均有分布，经统计，有49.26%的“干冷”工况处于无霜区，3.18%的工况处于结露区，47.56%的工况处于结霜区，其中，轻霜区占11.7%，一般结霜区占28.4%，重霜区占7.46%。由以上结果可知，北京地区有近50%的“干冷”工况处于无霜区内，机组极易出现“无霜除霜”的误除霜事故，而重霜区的工况则容易出现“有霜不除”的误除霜事故^[2,3]，误除霜事故会不同程度地影响机组正常运行，导致能源浪费。低温工况位于图谱无霜区的左下区域，低于-5℃的工况占有所有工况的12.9%。

可见，结霜和低温是影响北京地区空气源热泵冬季运行的两大问题。

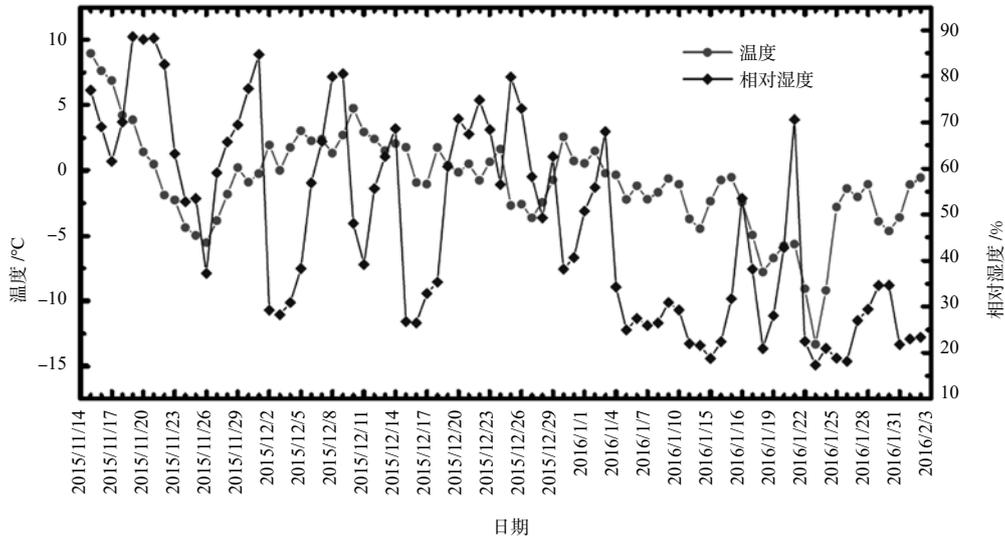


图2 机组供暖期间的环境温、湿度

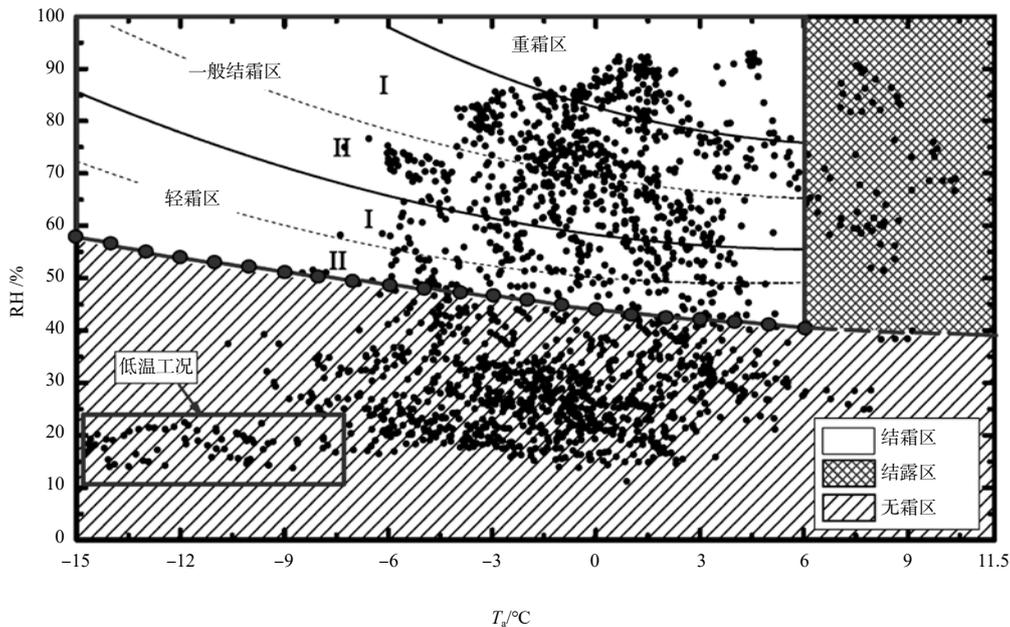


图3 测试期内的结霜图谱

表1 测量仪器参数表

设备名称	型号	量程	精度 / 等级
温湿度传感器	QFM9160	-40~70°C/0~100%	±0.3°C/±3.5%
铂电阻	PT1000	-50~200°C	±0.3°C
压力传感器	Huba691	0~30bar	±0.5%
智能电表	YD2200	--	±1.0%
智能电磁流量计	LWY-25	0.5~10m³/h	±0.5%

2 测试结果与分析

2.1 系统整体运行性能

针对机组长期的整体运行性能，以下将从系统的整体运行情况和制热性能两方面进行详细分析。

其中，系统的制热性能主要包括机组的制热量，能耗和 COP 以及相应参数随环境温度的变化情况。

(1) 整体运行情况

图4为测试期内空气源热泵每天的运行时间和单位面积能耗。由图可知，测试期内，机组每天的运行时长存在差异，日均工作时长为 14.7h。系统的总能耗主要包括空气源热泵压缩机、风机及水泵的能耗，由图4可知，日平均能耗量为 0.56kW·h/m²，最大值 0.84kW·h/m²，最小值 0.1kW·h/m²，且能耗值随运行时间的增加而增加。

(2) 整体供热性能

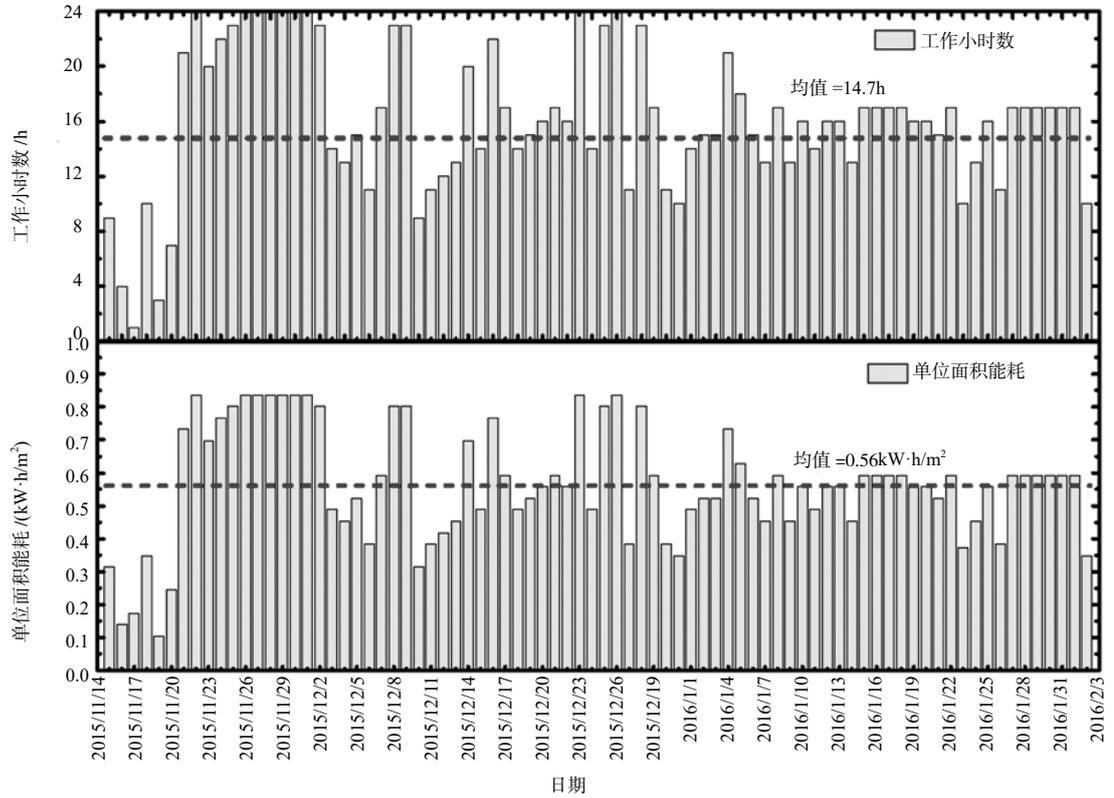


图4 测试期内机组运行情况及单位面积能耗

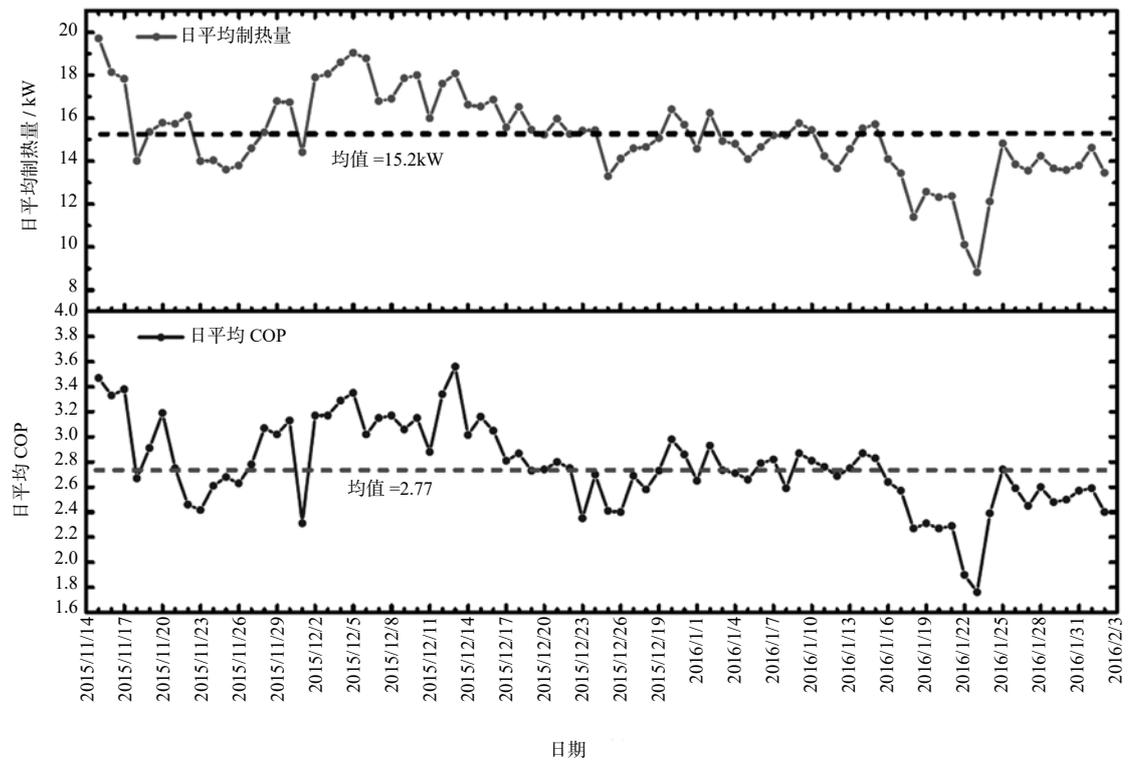


图5 测试期内机组日平均制热量及COP

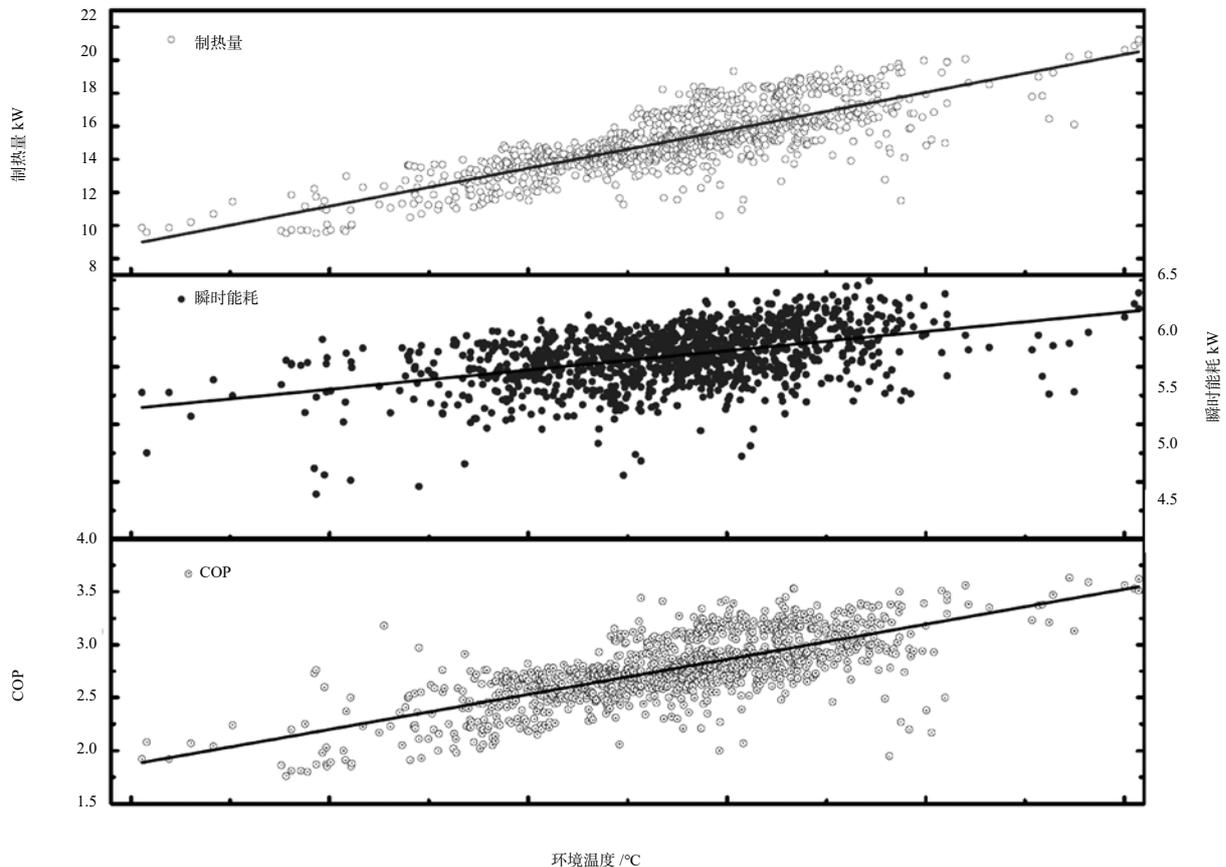


图 6 测试期内制热量、瞬时能耗及 COP 随环境温度的变化图

图 5 为测试期内机组的日平均制热量和日平均 COP 具体情况。由图可知，机组的日平均制热量在 10kW~19.7kW 之间波动，平均值为 15.2kW；日平均 COP 为一天内系统的总制热量与总输入功之比，测试期内，机组整体 COP 的平均值为 2.77，日平均 COP 最大值为 3.47，最小值为 1.76。结合图 2 和图 5 可知，环境温度变化时，机组的制热量和 COP 也呈现相似的变化趋势，如在 2016 年的 1 月 23 日，平均环境温度达到最低值 -13.4°C 时，机组日平均制热量和 COP 均达到最低值，分别为 10kW 和 1.76。

图 6 为不同环境温度下机组制热量、瞬时能耗和 COP 的变化情况图。随环境温度上升，制热量、瞬时能耗和 COP 均呈上升趋势；由图中散点的分布情况可知，测试机组的工况主要集中在 -5°C ~ 5°C 的区间内，该频段内的工况占据总工况的 84.2%，平均制热量为 15.5kW，瞬时能耗为 6.1kW，平均 COP 为 2.83。

2.2 低温工况下机组的运行性能

在测试期内，受强寒潮影响，北京地区 2016 年 1 月 22 日~2016 年 1 月 24 日处于持续低温黄色寒潮预警中，三天内环境温度在 -15.2°C ~ -5.09°C 范围内波动，平均温度为 -10.5°C 。为分析热泵系统在此低温工况下的运行性能，选取三个低温工况，每个工况连续运行 9 小时，依次从低温工况，低温运行特性和低温供热性能三个方面进行描述。表 2 为测试参数的详细数值表，图 7 为低温期间空气源热泵各个工况的运行结果。

(1) 低温工况描述

结合图 7 和表 2 可知：三个工况平均环境温度分别为：工况 1 为 -9.7°C ，工况 2 为 -13.9°C ，工况 3 为 -5.7°C ，其中工况 2 的最低温度低至 -15.2°C ，而低温热泵空气侧名义工况^[8]的环境温度为 -12°C ，显然，工况 2 环境温度低于低温热泵的名义工况。三个工况平均相对湿度均低于 20%。由图 3 可知，

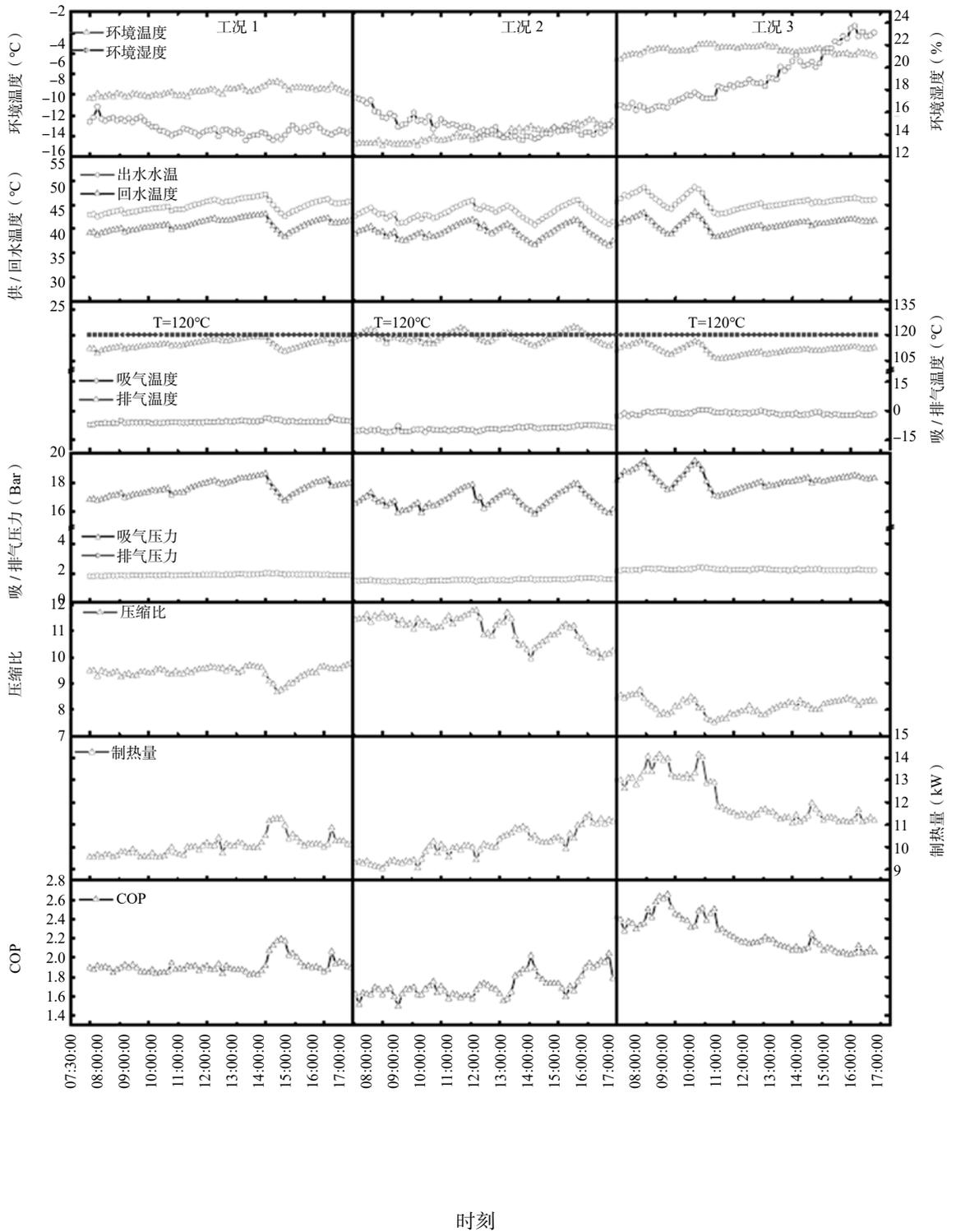


图 7 低温工况下机组的运行特性

表2 低温工况下测试参数的均值与最值表

测试参数	工况1			工况2(最冷工况)			工况3		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
环境温度 °C	-9.7	-8.75	-10.39	-13.9	-12.44	-15.2	-5.7	-5.09	-6.6
环境湿度 %	14.59	16.47	13.47	14.78	17.31	13.48	19.04	23.74	16.14
出水温度 °C	44.76	47.15	42.93	43.32	45.85	40.8	45.66	48.6	46.01
回水温度 °C	40.83	43.42	38.27	39.32	41.94	36.54	40.9	43.06	38.32
排气温度 °C	114.7	119.02	109.1	118.5	123.99	113.29	111.1	116.76	105.84
吸气温度 °C	-5.7	-3.35	-7.14	-9.32	-7.21	-11.17	-1.39	-0.31	-2.98
排气压力 Bar	17.62	18.61	16.74	16.78	17.89	15.88	18.17	19.48	17.05
吸气压力 Bar	1.87	2	1.78	1.52	1.67	1.41	2.34	2.39	2.15
压缩比	9.41	9.77	8.74	11.04	11.77	9.93	8.12	8.74	7.5
制热量 kW	10.1	11.26	9.53	9.89	11.44	8.82	12.15	14.16	11.06
COP	1.91	2.19	1.82	1.71	2.04	1.49	2.25	2.65	2.03

低温工况均处于无霜区。

(2) 低温运行特性

机组出/回水温度。从图7可知,工况2机组出水温度与回水温度整体低于工况1和工况3,三个工况平均出水温度分别为:工况1为44.76°C,工况2为43.32°C,工况3为45.66°C,低温期间整体的平均出水温度为44.58°C。对照环境温、湿度变化图可知,机组出/回水温度随环境温度的降低而整体降低。

压缩机吸、排气温度。从图7与表2可知,压缩机吸气温度随环境温度的降低而整体降低,排气温度则随环境温度的降低而升高:工况1排气温度均值为114.77°C,工况3为111.1°C;而工况2的排气温度平均值高于其余两个工况,达到118.5°C,最高排气温度达到124°C,且机组有25%的时间其排气温度超过120°C,由图7可知,工况2中压缩机的部分排气温度高于120°C。一般认为压缩机排气温度低于120°C时,压缩机处于正常状态,超过120°C,机组处于过热状态。压缩机长时间在过高的排气温度下工作,会降低电机绝缘性能和可靠性,缩短电机寿命,而且还会降低润滑油的润滑能力,甚至引起润滑油碳化和酸解。可见,低温致使压缩机排气温度升高,且已影响到压缩机的正常运行。

压缩机吸、排气压力及压缩比。从表2可知,工况1排气压力均值为17.62Bar,工况2为16.78Bar,工况3为18.71Bar,整体平均值为

17.7Bar;而工况1的平均压缩比为9.41,工况2为11.04,工况3为8.12,整体均值达到9.52。可见,最冷工况下的压缩比高于其余两个工况,且最高压缩比达到11.77。结合图7可知,压缩机吸、排气压力随气温的降低而整体下降,但是压缩比增大,且随环境温度的上升而下降。此外,针对单级压缩机而言,正常情况下压缩比为2~8^[24]。由此可见,低温导致压缩比超过正常范围,对压缩机的正常运行产生了显著的影响。

(3) 低温供热性能

由表2可知,三个工况平均制热量分别为:工况1为10.1kW,工况2为9.89kW,工况3为12.51kW,相对于额定制热量19.6kW,机组制热量的衰减幅度分别为48.5%、49.5%和36.2%,三个工况整体的平均制热量10.71kW;经统计,三个工况总能耗量为167.4kW·h;三个工况平均COP分别为:工况1为1.91,工况2为1.71,工况3为2.25,整体COP均值为1.96。其中,最冷工况下,当温度低至-15.2°C时,制热量仅为8.82kW,衰减幅度高达55%,COP仅为1.49。因此,低温导致了机组的制热量和COP严重衰减。

3 结论

本文针对北京市某小型办公楼进行连续80天的现场运行实测,揭示了空气源热泵在实际工况下的运行性能,并着重分析了机组在北京持续低温黄色

寒潮预警期内的性能表现, 综上可得如下结论:

(1) 测试期内, 机组日平均制热量为 15.2kW, 日平均能耗量达到 0.56kW·h/m², 平均 COP 为 2.77; 同时, 机组有 49.26% 的“干冷”工况处于无霜区, 47.56% 的工况处于结霜区, 极易发生“无霜除霜”和“有霜不除”的误除霜事故;

(2) 低温黄色寒潮预警期内, 环境温度在 -15.2°C~-5.09°C 内波动, 平均环境温度 -10.5°C, 平均相对湿度低于 20%; 机组的供/回水温度、吸排气压力以及制热量和 COP 均随环境温度的降低而整体降低, 但是排气温度升高, 压缩比增大;

(3) 最冷工况下, 环境温度均值 -13.9°C, 压缩机平均排气温度为 118.5°C, 最高达到 124°C, 且机组有 25% 的时间其排气温度超过 120°C, 最高压缩比达到 11.7; 机组的平均制热量为 9.89kW, COP 为 1.71, 当温度低至 -15.2°C 时, 制热量衰减幅度高达 55%, COP 仅为 1.49。可见, 低温严重影响了热泵的正常运行。

参考文献

- [1] 封家平, 许涛, 杨飞, 马最良. 空气源热泵在我国暖通空调中的应用与发展[J]. 建筑热能通风空调, 2005,24(5):20-23.
- [2] 王伟, 冯颖超, 路伟鹏, 郭庆慈, 董兴国. 雾霾气象条件下空气源热泵“误除霜”事故特性的实测研究[J]. 建筑科学, 2012,(S2):166-171.
- [3] 王伟, 李林涛, 盖轶静, 孙育英, 朱佳鹤. 空气源热泵“误除霜”事故简析[J]. 制冷与空调, 2015,15(3):64-71
- [4] 王伟, 马最良, 姚杨. 空气源热泵机组新型低温运行工况稳态特性研究[J]. 建筑科学, 2007,23(10):28-31.
- [5] 李艳. 空气源热泵机组低温运行特性研究[D]. 山东建筑大学, 2011.
- [6] 董旭. 低温空气源热泵应用技术研究[D]. 燕山大学, 2013.
- [7] 俞丽华, 马国远, 徐荣保. 低温空气源热泵的现状与发展[J]. 建筑节能, 2007,35(3):54-57
- [8] 韩林俊, 王嘉, 石文星等. 低温空气源热泵(冷水)机组名义工况的确定研究[J]. 制冷学报, 2009,30(1):19-24.
- [9] 王嘉, 谢峤, 石文星等. 低环境温度空气源热泵(冷水)机组的 IPLV(H) 评价方法研究[C]. 全国热泵与系统节能技术大会, 2008.
- [10] 汪厚泰. 低温环境下热泵技术问题探讨[J]. 暖通空调, 1998,(6):36-38.
- [11] 刘忠民. 热泵空调器低温制热的探讨[J]. 制冷与空调, 2001,1(1):45-48.
- [12] 罗刚, 唐文涛, 王瑞祥. 一种新流程空气源热泵的低温性能实验研究[J]. 流体机械, 2005,(9):39-42.
- [13] 石文星, 王宝龙, 邵双全. 小型空调热泵装置设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [14] 李晓燕, 闫泽生. R417a 在热泵热水系统中替代 R22 的实验研究[J]. 制冷学报, 2003,24(4):1-4.
- [15] 马国远, 邵双全. 寒冷地区空调用热泵的研究[J]. 太阳能学报, 2002,23(1):17-21.
- [16] Ma G Y, Chai Q H, Jiang Y. Experimental investigation of air-source heat pump for cold regions[J]. International Journal of Refrigeration, 2003, 26(1):12-18.
- [17] 田长青, 石文星, 王森. 用于寒冷地区双级压缩变频空气源热泵的研究[J]. 太阳能学报, 2004,25(3):388-393.
- [18] Bertsch S S, Groll E A. Two-stage air-source heat pump for residential heating and cooling applications in northern U.S. climates[J]. International Journal of Refrigeration, 2008, 31(7):1282-1292.
- [19] 金旭. 双级压缩空气源热泵采暖系统实验研[D]. 大连理工大学, 2009.
- [20] 王伟. 双级耦合热泵供暖系统在寒冷地区应用特性研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2005.
- [21] 肖婧, 王伟, 郭庆慈, 路伟鹏, 赵耀华. 空气源热泵在北京低温环境下运行性能的现场实测研究[J]. 建筑科学, 2010,26(10):242-245.
- [22] Zhu J H, Sun Y Y, Wang W, et al. Developing a new frosting map to guide defrosting control for air-source heat pump units[J]. Applied Thermal Engineering, 2015,90:782-791.
- [23] Zhu J H, Sun Y Y, Wang W, et al. A novel Temperature-Humidity-Time defrosting control method based on a frosting map for air-source heat pumps[J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 54:45-54.
- [24] 彦启森, 石文星, 田长青. 空气调节用制冷技术(第四版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

严寒地区被动房冬季室内热环境与热舒适研究

哈尔滨工业大学市政环境工程学院 吉玉辰 王昭俊

摘要: 本文对严寒地区某被动式超低能耗住宅的室内热环境进行了现场测试,并对居民的主观热反应进行了调查。结果表明:被动房的平均室内空气温度为 26.2°C,高于相关标准的上限值。平均相对湿度为 35.9%,接近相关标准的下限值。热中性温度为 24.2°C,与室内平均温度 26.2°C 相差 2.0°C。68% 被调查居民对所处环境感到不舒适。建议适当降低被动房室内空气温度,既可以提高居民的热舒适感,也可以降低供暖能耗。

关键词: 被动房;热环境;热适应;现场调查;严寒地区

0 背景

自上世纪 70 年代以来,国际上多个发达国家先后提出了“零能耗建筑”以及相似的定义,并建造了大量的示范工程。近年来,随着我国建筑节能技术的进步,超低能耗建筑成为了我国建筑节能的一个方向^[1]。

被动房技术的研究和实践起源于德国,1991 年在德国的达姆施塔特建成了第一座“被动房”建筑。这种建筑主要有以下几方面特点:围护结构保温性能好,门窗保密性好;可最大限度地减少对传统化石能源的依赖,采用热回收等被动式技术来营造适宜的室内热湿环境。被动式超低能耗建筑供暖或制冷能耗要远低于普通建筑的能耗^[2]。

严寒地区某被动式超低能耗住宅(以下简称被动房)为中德合作的在严寒地区建设的第一项被动房示范工程。

严寒地区冬季漫长而寒冷,供暖期长。冬季供暖能耗在建筑能耗中占有很大一部分。因此,研究采用德国技术在严寒地区建成的被动房的室内热环境热舒适性和建筑能耗对于推动被动式建筑在我国的推广应用具有重要的理论意义和社会意义。但鲜见对该地区被动房室内热湿环境研究的报道,本文将介绍课题组近期对该被动房室内热湿环境的初步测试结果。

1 研究方法

课题组于 2015 年至 2016 年冬季对严寒地区某被动房的室内热湿环境进行了测试,并对居民的主观热反应进行了调查。共调查了该超低能耗住宅楼的 21 户居民。被动查人员入住该住宅楼的时间都超过 6 个月,平均年龄为 40.2 岁,男女比例约为 1:1。

1.1 客观测试

现场测试的环境参数包括室内空气温度、相对

湿度、空气流速、黑球温度、围护结构内表面温度及室外空气温度、相对湿度和风速。其中,室内温湿度采用连续监测和间歇测试 2 种方式。连续监测时,在客厅和卧室内各放置一块温湿度自记录仪,连续记录房间的温湿度。间歇测试时,室内温湿度、黑球温度和空气流速的测点布置在房间中心靠近受试者处,分别在 0.1、0.6 和 1.1m 三个高度测试室内空气温湿度;黑球温度和空气流速仅在 0.6m 处测量;各围护结构的内表面温度取 5 点测试温度的平均值;在地面和顶棚的中心点测试其表面温度。另外,室外设有一温湿度自记录仪,连续记录室外空气温湿度。

现场测试使用的仪器包括 WSZY-1A 型温湿度自记录仪、HWZY-1 型黑球温度自记录仪、Testo 425 热线风速仪、Testo 830-T1 型红外线温度计。

1.2 主观调查

主观调查采用纸质问卷形式,由受试者填写。主观调查内容包括:(1)受试者基本背景(性别、年龄、受教育程度等),着装情况以及活动状态。(2)受试者的主观热反应,如热感觉、热期望和热舒适等。其中,调查时刻居民的热感觉采用 ASHRAE 7 级标度(-3 冷,-2 凉,-1 稍凉,0 中性,1 稍暖,2 暖,3 热)表示。热舒适采用 5 级标度表示(0 舒适,1 稍不舒适,2 不舒适,3 很不舒适,4 不可忍受)。

2 客观调查结果与分析

室内热湿环境参数的测试统计结果见表 1。

表 1 室内热环境参数

	平均值	最大值	最小值	标准偏差
空气温度 /°C	26.2	28.7	23.8	1.24
相对湿度 /%	35.9	51	24.9	7.51
空气流速 /m/s	0.05	0.15	0.03	0.03
外墙内表面温度 /°C	24.5	26.6	22.3	1.14
外窗内表面温度 /°C	23.3	27.1	19.3	2.23

根据我国 GB 50736—2012《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》^[3],严寒地区冬季供暖室内设计温度为 18~24℃。根据《被动式超低能耗绿色建筑技术导则》(试行)(居住建筑)^[4]要求,室内温度应不低于 20℃。被动房内的平均温度满足《技术导则》的要求,但高于规范的上限。而相对湿度要求不低于 30%,被动房内的平均相对湿度满足标准,但接近下限值,应采取有效措施提高室内湿度。风速满足热舒适标准($\leq 0.15\text{m/s}$)。外墙内表面平均温度比平均室温低 1.7℃。外窗内表面平均温度为 23.3℃,高于《技术导则》要求的 17℃。

2015 年 12 月 25 日是测试期间较冷的一天,室外气温为 -14.3~-21.9℃,以某户该日的测试结果为例,其室内温度测试结果如图 1 所示。

由图 1 可知,室内平均空气温度为 25.0~26.1℃,平均值为 25.4℃。室内平均相对湿度为 33.2%~52.6%,平均值为 41.8%。

可见室内空气温度满足《技术导则》的要求,但高于规范的上限。平均相对湿度满足相关标准的要求。

3 主观调查结果与分析

3.1 服装热阻

被调查居民的服装热阻为 0.52~1.00clo,平均值为 0.69clo。图 2 为服装热阻分布频率。

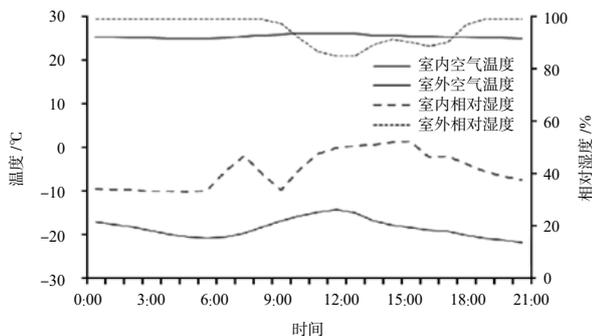


图 1 室内外空气温度和湿度日变化图

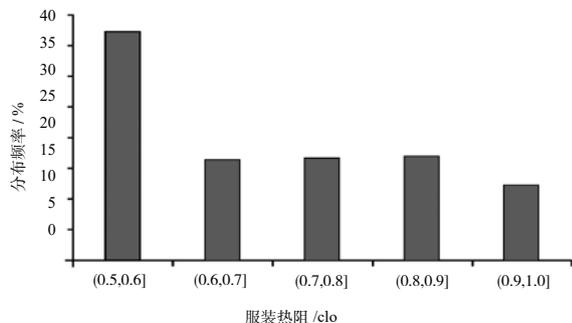


图 2 服装热阻分布

严寒地区普通住宅供暖中期被调查居民的服装热阻为 0.83clo^[5],高于被动房内被调查居民的服装热阻。从图 2 中可以看出,超过 50%的居民服装热阻分布在 0.5~0.7clo。在过热环境中,为了达到热中性状态,居民较为方便的调节手段就是调整着衣量。这说明该建筑内室温过高,人们在居室内主要通过减少衣着量的方式来适应室内热环境。

3.2 热感觉

被调查居民的热感觉投票分布如图 3 所示。其中,投票为“稍凉”、“适中”和“稍暖”的比例为 50.0%。而投票为“暖”和“热”的比例为 50.0%,说明有一半的被调查居民感觉到室内过热,该建筑内室温过高。

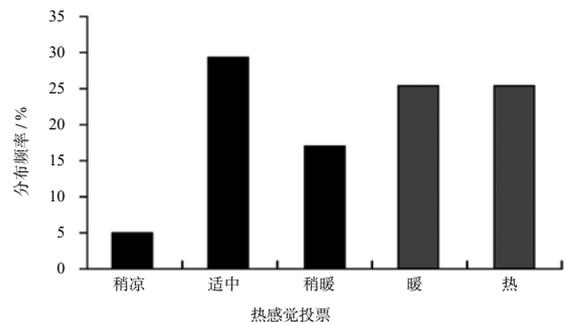


图 3 热感觉分布

3.4 热舒适

被调查居民的热舒适投票分布如图 4 所示。

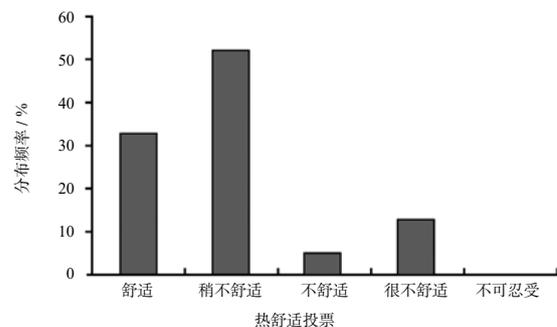


图 4 热舒适分布

由图 4 可知,只有 32%的被调查居民对所处环境感到舒适,而 68%的被调查居民对所处环境感到不舒适。结合热感觉投票来看,当居民感到过热时,他们会感到不舒适,并希望降低室温。

4 热适应讨论与分析

4.1 热中性温度

将平均热感觉投票(MTS)与室内空气温度(t_a)进行线性回归,得到两者之间的关系,如式(1)所示:

$$MTS = 0.5t_a - 12.083 \quad (1)$$

式中： MTS 为平均热感觉投票； t_a 为室内空气温度（ $^{\circ}\text{C}$ ）。

被动房中受试者的热中性温度为 24.2°C ，与室内平均温度 26.2°C 相差 2.0°C 。与普通住宅供暖中期热中性温度相比，被动房内受试者热中性温度高 2.2°C ，而这也进一步证明供暖期间热中性温度随平均室温升高而升高^[5]。

4.2 人体热适应性分析

de Dear 的适应性理论认为，人体通过 3 种适应性方式可以达到热舒适状态，包括行为调节、心理和生理适应^[6]。对于集中供暖的建筑来说，居民行为调节手段十分有限。因此，当室温过高时，人们将在生理和心理上适应这种环境。由于生理适应在几天到几周的时间内就可以完成，且冬季室内温度相对稳定，受试者对环境的适应性主要为心理适应。心理适应体现在两方面，一方面为感知控制，即受试者是否感觉自己能够调节环境，当室内环境可控制时，即使不使用，人们的热舒适性也会得到改善^[7]。另一方面为心理期望，受室内外热暴露影响，当偏离热中性时，受试者会调整对环境的期望值，以适应环境。

在被动房内，居民的热中性温度高于普通住宅的热中性温度，居民的服装热阻低于普通住宅内的服装热阻，这都体现了受试者对环境的适应性。但是这种适应性也是有限的，当室温过高时，大部分受试者感到热不舒适，希望室温降低。因此，应适当降低被动房的室内温度，既可以提高居民的热舒适感，也可以降低供暖能耗。

5 结论

通过近期对严寒地区某被动房室内热湿环境的现场测试，发现：

5.1 被动房的室内空气温度过高，平均室温为 26.2°C ，高于相关标准的上限值。平均相对湿度为 35.9%，接近相关标准的下限值，应采取有效措施提高室内湿度。

5.2 热中性温度为 24.2°C ，与室内平均温度 26.2°C 相差 2.0°C 。

5.3 68% 的被调查居民对所处环境感到不舒适。当居民感到过热时，他们会感到不舒适，并希望降低室温。

5.4 建议适当降低被动房内室内空气温度，既可以提高居民的热舒适感，也可以降低供暖能耗。

6 致谢

本文受国家自然科学基金项目资助（项目编号 51278142），在此表示感谢。对参加调查的居民表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] 张时聪, 徐伟, 姜益强, 等. “零能耗建筑”定义发展历程及内涵研究 [J]. 建筑科学, 2013, 29(10):114-120.
- [2] 彭梦月. 欧洲超低能耗建筑和被动房的标准、技术及实践 [J]. 建筑科技, 2011, 5, 41-47.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部, 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB 50736—2012. 民用建筑供暖通风与空调设计规范 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 被动式超低能耗绿色建筑技术导则(试行)(居住建筑). 2015.
- [5] 王昭俊, 宁浩然, 任静, 等. 严寒地区人体热适应性研究(1): 住宅热环境与热适应现场研究 [J]. 暖通空调. 2015, 45(11):73-79.
- [6] de Dear R.J. and Brager C.S. 1998. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. ASHRAE Transactions, 104(1), 145-167.
- [7] 周翔, 朱颖心, 欧阳沁, 等. 环境控制能力对人体热感觉影响的实验研究 [J]. 建筑科学. 2010, 26(10):177-180.



毛细管辐射空调系统室内热环境实验研究

南华大学 廖买利 谢东 王赞 王汉青

摘要: 简单介绍了毛细管辐射空调系统及测试方案, 在供冷工况下, 通过改变供水温度 ($14.5^{\circ}\text{C}\sim 20.1^{\circ}\text{C}$) 和送风参数 (送风风速 0.53m/s 和 1.11m/s , 送风温度为 18.7°C 和 19.8°C), 实验测试研究供水温度和送风参数对毛细管辐射空调室内热环境的影响规律。研究表明随着冷水供水温度的增加, 室内垂直方向上空气温度相应增加, 头部和脚部的温差满足室内热舒适性要求; 室内垂直方向空气温度随着送风温度的增加而增加, 随着送风风速的增大而有所降低; 水平方向上室内空气温度分布均匀, 送风温度和风速的影响较小。研究结论对毛细管辐射空调系统的运行调节和控制、改善室内舒适性和实现节能有重要意义。

关键词: 毛细管辐射空调; 供水温度; 送风参数; 热环境; 实验研究

0 引言

经济的迅速发展及人们生活方式的转变, 使得人们对空调室内环境的要求不断提高。毛细管辐射空调系统以热舒适性高、能耗低及无室内噪声等优势特点^[1,2], 已成为一种广受关注的新型空调辐射末端。辐射空调系统夏季时提供较高温度的冷水^[3], 以辐射为主要方式与房间进行热量交换, 调节室内温度, 提高热舒适性。

辐射空调室内热环境状况是人们最关注的地方, 也是辐射空调系统供冷/供热性能的重要评价指标, 主要通过实验测试、数值模拟及实地调查研究等方法, 结合风速、温度及 PMV/PPD 等指标来综合评价室内热环境状况。唐凯^[4] 等对辐射吊顶+置换通风系统的夏季运行特性进行实验研究, 得出系统运行较稳定, 在夏季可以实现较为舒适的室内热环境, 但存在除湿能力差等问题。徐祥洋^[5] 通过试验研究辐射吊顶结合地板送风系统夏季运行情况, 得到室内空气温度沿高度方向先升高后降低。Memon^[6] 等通过现场评估得出辐射供冷系统在一年中的绝大部分时间均能达到热舒适性要求, 且在达到热舒适要求下比传统空节能 80%。Catalina^[7] 等通过进行辐射供冷顶板房间的实验测试和 CFD 研究, 实验过程室内湿度控制在一定水平, 采用 PMV 和 PPD 指标分析室内热舒适性。本文主要通过实验测试的方式研究供冷工况下供水温度和送风参数对毛细管辐射空调系统室内热环境的影响规律。

1 实验测试系统

1.1 实验系统简介

本文测试的辐射空调房间尺寸为 $4\text{m}\times 3.8\text{m}\times 3\text{m}$, 其围护结构是由保温性能良好的保温层嵌入钢材做成; 送风口距离顶棚 0.3m ,

风口尺寸为 $0.4\text{m}\times 0.2\text{m}$; 回风口在送风口相对的墙面下部, 风口尺寸为 $0.7\text{m}\times 0.2\text{m}$; 毛细管末端辐射在顶棚, 毛细管席型号为 SB20, 包括 2 组尺寸 $3200\text{mm}\times 1040\text{mm}$ (长×宽) 和 2 组 $3200\text{mm}\times 750\text{mm}$ (长×宽), 其材料为 PE-RT, 尺寸为 $4.3\text{mm}\times 0.8\text{mm}$ (外径×壁厚), 毛细管的辐射间距为 20mm 。系统通过风冷热泵机组制备夏季低温冷水, 通过混水中心调节得到适宜的水温再供给毛细管辐射末端, 由分集水器和阀门调节毛细管内的水流量。

1.2 实验装置及测试仪器

实验测试分为两部分, 一部分是在没有送风, 供水流量为 $0.57\text{m}^3/\text{h}$ 的情况下, 调节混水中心, 得到 3 种不同供水温度, 分别为 14.5°C 、 17.4°C 、 20.1°C , 分析供水温度对室内空气温度分布的影响; 另一部分是将供水温度稳定在 $19.1\pm 0.6^{\circ}\text{C}$, 供水流量为 $0.58\text{m}^3/\text{h}$, 根据送风承担的理论负荷估计送风风速, 选择两种送风风速 (v_s) $0.53\pm 0.02\text{m/s}$ 、 $1.11\pm 0.02\text{m/s}$ 和送风温度 (t_s) $18.7\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、 $19.8\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, 并相应组合, 分析送风参数对室内热环境的影响。室内空气温度均采用

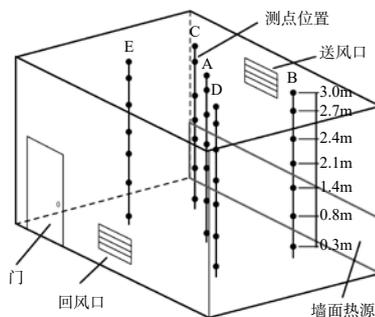


图1 房间测点布置图

PT100 铂电阻探头测试，测点布置如图 1 所示，房间的 5 个测点（A、B、C、D、E）均匀分布，每个测点在垂直方向上有 7 个探头，分别离地面高度为 0.3m、0.8m、1.4m、2.0m、2.4m、2.7m、3.0m；室内空气温度测试的实验仪器为 SWEMA Y-BOAT-100 多功能测试系统，如图 2 所示，该仪器有 7 个与外部传感器连接的模块，每个模块有 16 个传输入口，通过与配套的软件自动采集、记录数据，测量范围为 -50~500℃，精度为 ±0.15℃；风速风温的测试仪器为 SwemaAir 40 风速风温仪，风温精度 ±0.3℃，风速精度为 ±0.05m/s(10~40℃ 时)；供水水流量通过 LWGYB-20 涡轮流量计读取，精度为 ±0.5%；供回水温度测试仪器为 pt100 温度传感器，精度 ±0.5℃。

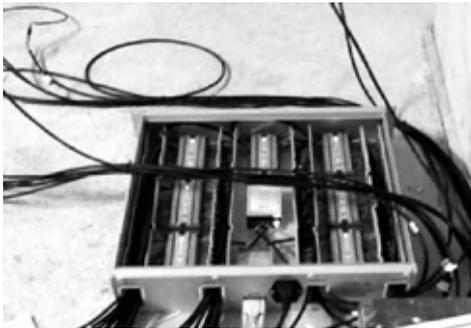


图 2 SWEMA Y-BOAT-100 多功能测试系统

2 实验测试结果及分析

2.1 不同供水温度对室内热环境的影响

室内空气温度出现梯度，温度不均匀时，人体会产生不舒适感。辐射空调房间影响室内空气温度分布主要有两方面：一方面是辐射顶板表面与室内空气的自然对流作用；另一方面是顶板与房间围护结构的辐射换热，围护结构再与室内空气的对流换热作用。

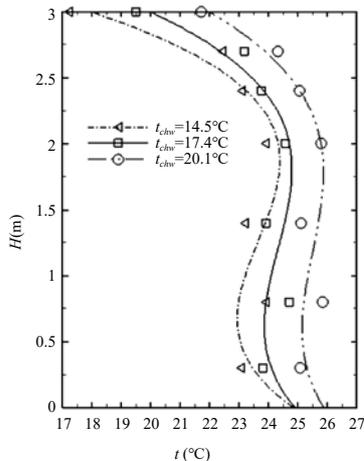


图 3 不同供水温度测点 A 垂直方向温度分布

许多学者^[8,9]研究了辐射顶板供冷+送风复合空调系统的室内热状况，能满足人体热舒适的要求。

实验测试了垂直和水平方向的温度变化情况，图 3 为不同供水温度工况下 A 点垂直方向室内空气温度分布。随着供水温度每增加 2.7℃，室内不同高度处的温度也随之增加，均在 1℃ 范围之内。在 2m 以下高度，距离地面越近，室内空气温度越低；在 2m 以上高度，距离地面越近，室内空气温度越高，这主要是由于热浮力的影响，热空气上升，冷空气下沉。头部（1.1m）与脚踝（0.1m）的空气温差范围在 2℃ 以内，符合 ASHRAE 标准 55-2010 建议的可接受热舒适性^[10]。

为了分析同一水平面内温度分布的均匀性，分别选取房间高度为 0.3m、2.0m、2.7m，水平面内 A、B、C、D、E 点的温度值分布情况，采用室内空气温度（ t_a ）与供水温度（ t_{chw} ）的温差 $t_a - t_{chw}$ 分析。图 4 为供水温度 $t_{chw} = 20.1^\circ\text{C}$ 时室内水平方向温度分布（只选取 1 个供水温度工况分析），测点分布的密集度表示温度的均匀性，测点越密集意味着温度分布越均匀。在 2m 以上的空间范围内，测点分布相对密集，温差在 1~1.5℃ 范围波动；在 1~1.5m 的空间范围，测点分布相对分散，但在 2℃ 范围波动，仍满足室内热舒适性要求。

2.2 不同送风参数对室内热环境的影响

实验测试了送风温度和送风风速的 4 种组合工况，分析送风参数对室内热环境的影响规律。图 5 为不同送风工况下测点 A 垂直方向上室内温度分布，送风风速不变时，送风温度增加 1.1℃，室内空气温度增加幅度为 1℃；送风温度不变时，送风风速增大，室内空气温度由于扰动增强反而降低；在同一工况下头部（1.1m）和脚踝（0.1m）的温差范围均为 1.5℃，

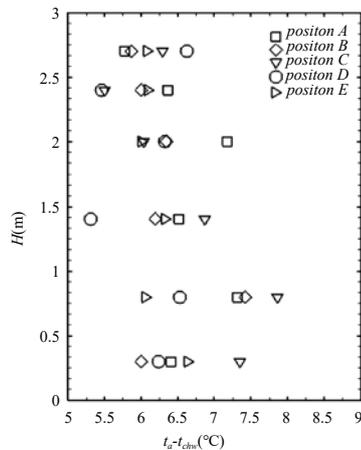


图 4 $t_{chw} = 20.1^\circ\text{C}$ 时水平方向空气温度分布

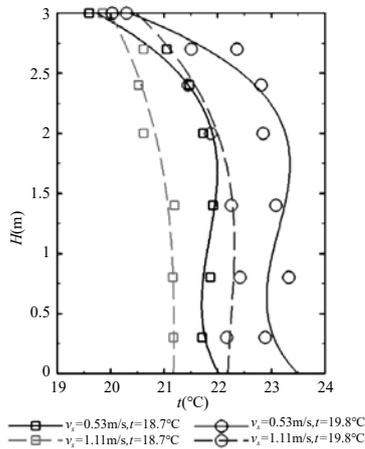


图5 不同送风工况测点A垂直方向温度分布

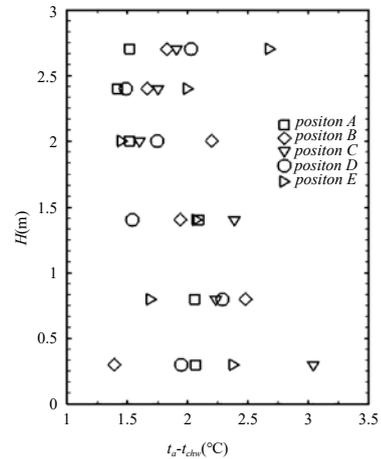


图6 送风工况下水平方向空气温度分布

满足热舒适性要求。

为了分析送风工况下水平面内温度分布的均匀性，这里选取送风风速为 $v_s=1.11\text{m/s}$ ，送风温度为 $t_s=18.7^\circ\text{C}$ 的送风工况进行分析。如图6所示，送风工况下同一个水平面内，2m以上空间范围测点分布相对密集，温度在 1.5°C 范围内波动；0.5m以下空间范围的测点分布相对分散，但温度波动在 2°C 范围内；头部（1.1m）和脚踝（0.1m）的温差在 2°C 范围内，满足热舒适要求。送风风速和送风温度的改变对室内水平面的温度分布影响较小。

3 结论

通过对毛细管辐射顶板在夏季供冷工况下不同冷水供水温度和送风风速、送风温度的实验测试研究，结果发现供水温度增加 2.7°C 使室内垂直方向上空气温度增加幅度为 1°C ，但顶板表面处增加幅度稍大，头部与脚踝的温差范围约为 2°C ；不同供水温度下室内水平方向上温度分布均匀，温度的波动范围为 $1\sim 2^\circ\text{C}$ ，符合ASHRAE热舒适性要求。不同送风工况，送风温度升高 1.1°C 使室内空气温度升高 1°C ，而送风风速的增加使室内温度反而下降，同一位置处头部和脚踝处温差波动较小。送风温度及送风风速对室内水平方向空气温度分布的影响较小。

参考文献

- [1] Imanari T, Omori T, Bogaki K. Thermal comfort and energy consumption of the radiant ceiling panel system. : Comparison with the conventional all-air system[J]. Energy & Buildings, 1999, 30(2):167-175.
- [2] Hu R, Niu J L. A review of the application of radiant cooling & heating systems in Mainland China[J]. Energy & Buildings, 2012, 52:11-19.

- [3] Tian Z, Love J A. A field study of occupant thermal comfort and thermal environments with radiant slab cooling[J]. Building & Environment, 2008, 43(10):1658-1670.

- [4] 唐凯, 张旭, 周翔, 等. 辐射吊顶+置换通风系统夏季运行性能实验研究[J]. 暖通空调, 2011, 41(8):94-99.

- [5] 徐祥洋, 杨洁, 张淇淇, 等. 辐射空调系统夏季运行房间温湿度分布试验研究[J]. 流体机械, 2013, 41(2):53-57.

- [6] Memon R A, Chirarattananon S, Vangtook P. Thermal comfort assessment and application of radiant cooling: A case study[J]. Building & Environment, 2008, 43(7):1185-1196.

- [7] Catalina T, Virgone J, Kuznik F. Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling[J]. Building & Environment, 2009, 44:1740-1750.

- [8] 李念平, 孙焯瑶, 钱佳炜, 等. 贴附射流辐射冷顶板复合空调系统的性能研究[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2015, 42(11):119-124.

- [9] Rees S J, Haves P. An experimental study of air flow and temperature distribution in a room with displacement ventilation and a chilled ceiling[J]. Building & Environment, 2013, 59:358-368.

- [10] ASHRAE. ASHRAE Handbook, HVAC Systems and Equipment (SI): Thermal environment conditions for human occupancy[S]. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., Atlanta, GA, USA, 2009.

试谈空气调节“舒适四度”与中医“六气养生”的关系

淄博代克热泵科技有限公司 / 山东创尔沃热泵技术股份有限公司 李安长

摘要: 健康是人类的基本追求,人的一生 80% 时间是在室内度过,“房间小气候,养生大事情”。随着现代空气调节技术的发展,人类已经有条件和能力对房间内的小气候进行高舒适性的调节。中医六气是风、寒、暑、湿、燥、火六个正常的自然界气候,“六气养生”是指人体顺应自然气候的变化而调整自身、祛病健身之道。本文把空气调节技术与中医六气养生理论进行对比分析,以求为空气调节技术发展提供一个新的角度。

关键词: 舒适四度; 中医六气“风、寒、暑、湿、燥、火”; 养生气场

0 引言:

现代空气调节技术为人类创建着高舒适度的生活、工作空间,从以人为本的角度看,高舒适度不仅要关照到人的体感,更重要的是维护并有利于人的身体健康。因空气调节不当致使身体不适致病,已引起社会的广泛关注。

《黄帝内经》被誉为中国人养心、养性、养生的“圣经”,不仅是现代中医学的不二源头,更是一部蕴含中国生命哲学之宗的思想著作。其核心是天人相应,认为生命之基在阴阳平衡,强调人只有“顺四时而适寒暑”,方能“尽终其天年,度百岁乃去”。这个“顺四时而适寒暑”就是指人要顺应自然气候的四季冷暖变化。

人类是生活在空气中的高级动物,空气不仅是供人类呼吸的必要生存条件,同时,空气的各种变化也直接影响着人类的健康。据资料显示,人的一生有 80% 的时间在室内度过。这个室内可以认为是与大气有隔离的空间,包括人们工作、生活的建筑房屋、车辆、高铁、飞机等交通工具的驾乘空间,也包括某些特殊的作业环境。人们生活在空气中,被空气包围着,好比鱼儿活在水中。从这个方面讲,健康养生,好比养鱼,养好水,才能养好鱼。那么,养好空气,才能有利于健康养生。中医博大精深,其中,中医养生方法有多种,本文作者从事空气调节行业 20 年,从空调为人服务的角度,一直在尝试探索,现仅择取“中医六气养生”与空气调节技术进行对比试论。

1 空气调节舒适度与中医六气养生的指标

1.1 空气调节的舒适度指标

主要有温度、湿度、气流组织(风速度)、新风与净化(新鲜度),行业内人士称为“舒适四度”。

1.1.1 温度

温度是表示物体冷热程度的物理量。空气调节技

术发展初始主要是为了调节空气温度的高低,夏天制冷降温、冬天供暖升温。从传热的角度讲,对空气温度的调节就是让人体接触和呼吸的空气满足人们对冷热的要求。

1.1.2 湿度

湿度是表示气体干燥程度的物理量。空调在夏季制冷时,同时是具备一定的除湿功能,所以夏天在开空调的房间里感觉清凉干爽,身体舒适感增强,反之,不然。

1.1.3 气流组织(风速度)

气流组织是指对气流流向和均匀度按一定要求进行组织。风速是指空气相对于地球某一地点的速率。由于空气中的冷、热需要通过气流而传递,自然就形成风,房间里的气流组织,以及温度的高低,与换热器吹出的风速也有直接关系。

1.1.4 新风与净化(新鲜度)。

新风(系统)是指根据在密闭的室内一侧向室内送新风,再从另一侧向室外排出,在室内形成一个“新风流动场”,从而满足室内新风换气的需要。净化是指对室内的空气进行过滤、灭毒、杀菌等。对室内空气保持一定的新鲜度(含氧量),同时,对室内空气进行净化处理,消毒,过滤 PM_{2.5} 等,以减少有害气体和有害物质的含量。

综合以上“舒适四度”指标的调节,因季节而调整,使得人们的室内空间达到舒适和健康的要求。

1.2 中医六气

六气是指风、寒、暑、湿、燥、火六种自然气候。六气的变化称之为六化。这种正常的自然气候,是万物生长的条件,对于人体是无害的。由于机体在生命活动过程中,通过自身的调节机制产生了一定的适应能力,从而人体的生理活动与六气的变化相适应。所以,正常的六气一般不易使人发病。但如果六气太过或不

及,则是气候反常,在人体抵抗力低下时,就能成为致病因素,则称为“六邪”。

六邪致病均由外而入,多与季节气候、居住环境有关。如春季多风病、冬季多寒病、秋季多燥病,夏季及高温作业易中暑,居住潮湿易感湿邪等。

“六气养生”就是人体顺应自然气候的变化而调整自身、祛病健身之道。

2 空气调节“舒适四度”与“中医六气”的对应

2.1 对应关系

人体为 36.5°C 左右的生命体,从现代医学看,人体温度过高、过低都是病症,人体通过摄取食物进行能量转化,而维持正常的体温和生命状态。同时,人体又处在大自然气候中,大自然是四季变化,甚至是时时变化的外在环境。外在环境变化影响人体本身,从而六邪致病。人们居住的室内环境也是人体外在环境的一种,并且人们一生中 80% 时间身居其中,所以室内空气环境对于健康养生非常重要。

把前述内容联系起来看,“舒适四度”与“中医六气”有着密切的内在关系,可以说是一脉相承。

(1) “气流组织(风速度)”对应“风”。冷热通过气流进行传递,所以在室内形成风,而风的大小既要满足冷热传递的需求,又要满足人们体表的舒适要求。风速过大吹到人体易致“风邪”,中医也称“风邪入里”。其本质就是气流对人体形成了对流传热,过多地带走了人体的热能而致病。“中医六气”讲“风为百病之长,寒为万病之源”。我们从人体热能的角度看,就是以“热能”为中心,寒了就是太冷,热能损失太过,必然致病。而风是影响对流传热和蒸发散热的重要因素。所以,中医把风放在首位,就是讲,不论“寒、暑、湿、燥、火”都要重视风的影响,也就重视风对人体热能损失的影响。

(2) “温度”对应“寒、暑”。室内温度的高低,即代表冷热,体现人类生存对热能的需求特点。这是人体 36.5°C 的生命特征所要求的。人体既要获取热量,同时也向空气散发热量。冬天不能太冷,太冷使人体热能损失过多,致病为“寒邪”,夏天不能太热,热能得不到及时散发,太热致病为“暑邪”。

(3) “湿度”对应“湿、燥”。空气中含有水分是自然现象,而人体 70% 左右由水组成。水是生命之源,人类不断地摄取水分,参与能量转换,同时又要排泄水分和其他成分,维持人体生理状态平衡。体表是散发水分的重要渠道。因四时季节不同,人体暴露在空气中体表多少也不同。体表与空气热能交换的方式也不外乎热传递的三种基本方式:传导、对流、辐射。这三种方式因体表暴露面积换热面积不同而不同。

其中,对流传热、相变传热对人体舒适度影响较明显。人体表面水分的蒸发速度主要取决于气流速度,所以,对于夏天,湿气过重易致湿邪,室内除湿干爽才舒适。冬天加衣,减少体表传热和水分蒸发,空气适当加湿。空气太过干燥,易致燥邪,除了皮肤干燥不适之外,人体吸入气体太过干燥导致口干舌燥伤及呼吸系统。

(4) “新风净化(新鲜度)”对应“火”。中医六气中的“火”指生命之火,按现代科学可理解为人体的能量中心。中医界对“火”的认识和看法不同,百家争鸣。本文采纳其中部分观点,以供探讨。人体维持正常生存的 36.5°C 左右,是“生命之火”的表征,人体摄取食物、水和氧气进行能量转换和新陈代谢。人体能量有各种存在形式,从空气调节角度看“能量”,我们可以主要看“热能”,即热能的转化和调节。既然人体摄取食物,在体内进行生物氧化“燃烧”,形成生命之火产生能量,从现代科学上讲就需要充足的“氧”,人体通过呼吸获得氧,同时,由于氧在体内各种生物能量转化中的作用,对空气的成分有严格的要求,或是辩证意义上的平衡。即非氧气体和有害物质尽量去除和减少。这就是需要“新风净化”,为人体生命之火提供合格的原料。人体“生命之火”又有“内火”、“外火”之分,“内火”、“外火”本身失衡或“外火”导致“内火”失衡都会致病。“外火”指风、寒、暑、湿、燥“五气”。“五气”变化导致“内火”变化。所以,“五气”的调节影响内火变化。

2.2 “舒适四度”与“六气养生”的辩证统一

中医所讲“邪气入里”与“热能和有害物质”在身体和大气之间的双向传递(或传热传质),是同一事物的两个说法。“六气”之间相互影响又辩证统一,围绕人体“生命能量”而形成的一个整体。“舒适四度”作为现代空气调节的主要指标,与“六气”非常吻合,这样就把中医六气比较抽象的概念变成了可测量、可调节的数学指标,利用空气调节设备就能为人居创造更好的空气环境。

3 不同季节“六气养生”前提下的空气舒适度特点

由“舒适四度”与“六气养生”的辩证统一,我们完全可以利用现代技术手段把人类工作、生活的室内环境,打造成“健康养生的室内空气场所”,我们可以称之为“养生气场”。“养生气场”的舒适四度,主要表现为以下特点。

3.1 风与气流组织(风速度)

“风为百病之长”一年四季,人体多在风中。房间内的气流组织,就要考虑风对身体的影响,同时也

要考虑温度场的均匀。从冬夏两季的空气调节看,“六气养生”要求人体高舒适度的调节方式是“夏季有风制冷,冬季无风供暖”。这样,夏天清凉干爽,不致于温度过低得空调病,冬季温暖不燥。比如,冬季室温 20°C 左右时,有风吹或风速过大,反而使人感觉冷。因为人体 36.5°C 要向室温 20°C 左右的空气对流传热和体表蒸发散热。

3.2 寒、暑与温度

冬季室温 $20^{\circ}\text{C}\pm$,夏季室温 $27^{\circ}\text{C}\pm$ 。因使用功能不同而不同。居住因人而异。尤其在夏季温度调节上,与“气流组织”的共同影响,而形成高舒适度的空间。

3.3 湿、燥与湿度

人体舒适度对于湿度要求的基本区间是40%~70%,夏天偏高,冬天偏低。

3.4 火与新风净化(新鲜度)

维持正常的氧气含量,排除、净化有害气体和物质,以满足人体对于生物能量转化的需求,甚至直接去除影响人体机能的致病源。在没有排气、新风设备前,中医养生讲究“一天开窗通风2~3次,每次20分钟左右”。当然,也需根据当时的气候而定。

4 结论:中医“六气养生”为空气调节“舒适四度”提供了新的视角

我们改变不了大自然的六气(六种气候),但是我们可以据大自然的六气变化而采取措施预防致病。同时,由于人生80%的时间在室内,所以,我们同样要注重室内养生。依“六气”理论,利用现代空调技术改变室内小气候的状态,顺应大气候而调整小气候,形成“养生气场”,从而达到空调为健康服务的目的。

(1)理解“中医六气”,结合现代空调和建筑技术的发展与实践,就可以对不同地区人居住所的空气调节方案进行优化选择。从热能转化与热传递,节能建筑角度出发,建筑保温是优先选项,就象人体四时不同着衣不同,以调节建筑物内的温度。

(2)按照“六气”理论,依空气调节的对象不同,对供暖制冷方式进行优化组合,以实现健康舒适度的目的。如北方楼房住宅供暖,优先考虑地板辐射采暖,脚热头凉,供暖水温 35°C 左右即可。同时,因节能保温建筑的增多,为推广户式空气源热泵等自主供暖技术创造了条件。这样,从“六气”养生角度讲,冷暖自主,冬初冬末不再因为无供暖而受“风寒”之邪。

夏季制冷时,不论哪种制冷方式,室温宜 25°C ~ 29°C 为宜,利用制冷进行室内除湿,辅助气流

组织或小型电风扇吹风,据人体需求而定风向、风速。这样,既避免“寒”邪空调病,又避免“湿”邪,人体清凉舒适。同时,这也是节能的运行方法。

(3)家用楼房住宅选型时,主机满足热负荷需求,以供地板采暖用。夏季风机盘管选型可适当减小,满足除湿要求,辅助电风扇进行气流组织,即可满足人体舒适感和健康需求。

(4)北方地区农村庭院式住宅主要考虑冬季供暖。农村供暖大都以传统暖气片为主,同时,房屋结构及保温密封性不同,供暖效果差别很大。从“六气”养生健康角度讲,慎重选择风机盘管直吹式供暖或选择小风速大风量,以避免“风寒”之邪。

探求空气调节“舒适四度”与“六气养生”的内在关系,为我们提供了新的发展视角,对空气调节设备技术的研发、设备选型、方案设计、工程施工也提供了新的参考。按“六气养生”要求进行空气调节,形成“养生气场”,在绿色建筑的基础上,增加新的健康元素,为人类居住环境的改善和人类的健康作出一些探索和努力!

参考文献

- [1] 王彤.黄帝内经六气养生法(人体气候的养生规律),化学工业出版社.2013.4.
- [2] 南怀瑾.小言<黄帝内经>与生命科学.东方出版社.2013.9.
- [3] 石原结实,著 李冬雪,译.病从寒中来(日).中国城市出版社2008年.
- [4] 马悦凌.温度决定生老病死,凤凰出版传媒集团江苏文艺出版社2008年.
- [5] 马最良,王伟,倪龙,等.空气源热泵技术及应用.
- [6] 张其成.老中医谈空调的危害.东方早报.2015.11.28.
- [7] 郭蕾,乔之龙,等.论开展六淫现代研究的重要意义.
- [8] 傅英杰.心脏养生-吹空调究竟是利是弊?,家庭中医药.
- [9] 白华.空调族夏日养生秘方.烹调知识,2011(19)6-7.
- [10] 宋禾,空调房里的养生法则.
- [11] 维普,常吹空调别忘养生.科学生活,2013(8)9-9.
- [12] 医学教育网.
- [13] 百度百科.
- [14] 人体对空调系统舒适度的要求.百度,BBS,暖通空调.空调工程,2014.9-17.
- [15] 何鸣放.提高空调舒适度方法之探讨.
- [16] 张玲.空调热舒适度预测及控制方法研究,2014.5.20.
- [17] 论现代空调系统提高生活居住舒适度.百度.

南京中航工业科技城能源规划分析

南京中航工业科技城发展有限公司 武骅
南京市建筑设计研究院 顾诚新 吴倩芸

摘要: 本文以南京中航工业科技城为例, 结合其地理位置, 气候条件, 建筑负荷等内容, 分析了单体建筑和整体项目之间的能耗关系。该项目合理划分和并用系统, 灵活调配能耗, 优化了能源利用率和系统输配效率。以整体能源区域划分原则为指导, 将系统设计要求纳入建筑方案, 对类似工程具有参考意义。

关键词: 区域性能源供应; 能源规划; 能耗分析

0 引言

经济与能源、环境的协调发展是目前社会关注的重点。随着经济的发展以及人民生活水平的提高, 能源规划越来越得到重视。通过对建筑群的合理划分, 采用区域能源供应, 不仅能够提高能源利用率和能源利用的安全性, 同时能够降低冷热源和配电系统的容量^[1]。

本文对南京中航工业科技城能源规划项目进行了分析, 并提供了建筑区域规划的建议。

1 工程概况

1.1 地理位置概况

中航科技城, 位于南京城市核心区域, 占地约40万m², 总建筑面积约180万m²。其中住宅比例占20%, 其余为商业共建项目, 如星级酒店、写字楼、商场等。中航科技城的建立既符合南京市主城区布局调整的要求, 也符合南京产业升级、经济转型的方向。

1.2 气候条件

根据住宅设计规范和供热空调设计规范, 南京处于夏热冬冷区, 位于长江下游中部, 江苏省西南部, 是非传统意义的采暖区, 以前的设计基本不考虑采暖。但由于近年气候变化较大, 南京地区冬季阴冷潮湿显著, 随着人民生活水平提高, 有条件的逐渐地开始采用家庭供热取代空调取暖, 还有些企业自身具备余热条件也实行集中供暖。

1.3 能源供应方案

区域性能源供应是指对一定区域内的建筑物群, 由一个或多个功能站制得热水、冷水或蒸汽等冷热媒, 通过区域管网提供给末端用户, 满足用户制冷或制热需求的系统。

实行区域性能源供应方案的原因: 有较廉价的初级能源或可再生能源; 容积率较大, 平均能源需

求密度高, 有持续的使用需求、负荷曲线相对平缓, 同时使用率极低; 有明确、稳定的冷(热)负荷, 同时用户的加入计划确定; 可确保区域供冷(供热)机房及区域管网布置规划能够按计划实施。

区域能源规划原则有: 单体建筑被动节能优先, 降低末端需求; 低碳减排, 利用清洁能源, 合理利用可再生能源^[2]; 符合国家总体可再生能源规划目标的基础上结合地方可再生能源优势制定本区域能源规划可再生能源发展目标。

区域性能源供应的构成: 中心冷冻水(热水)中心站, 制冷、蓄冷(热)设备, 冷(热)水输配系统, 用户末端和主干网的系统, 计算机控制系统等。区域供冷、供热基本系统结构图如图1所示。

2 能耗分析

2.1 中航科技城整体能耗特点

中航科技城整体能耗特点决定了其应该采用的能源供应方式:

(1) 能耗需求大且密集, 输送范围广, 能源供应要求需要连续可靠。能源利用主要以空调冷热负荷和生活用电负荷为主。

(2) 能耗变化较大, 未来不确定因素也较多。能耗对系统和设备的要求比较高, 考虑到运行费用, 必须考虑建筑主体节能手段。

(3) 开发周期长, 需要控制早期投入增加供能能力, 合理的划分功能区域, 控制投资风险。

2.2 中航科技城整体能源需求

根据中航科技城各单体能耗数值、能耗特点、运营管理、开发时序、用地属性的要求, 把整个地块划分为五个区域, 分别为持有型物业: 对应A区(A71)、B区(A72、A11、N1、P6)、D区(A12)、和销售型物业: 对应C区(A52、A3)、E区(A2)。

(1) 空调总冷负荷: 131028kW(32425RT); 空调总热负荷: 57751kW(4475×104kcal/h), 具体单

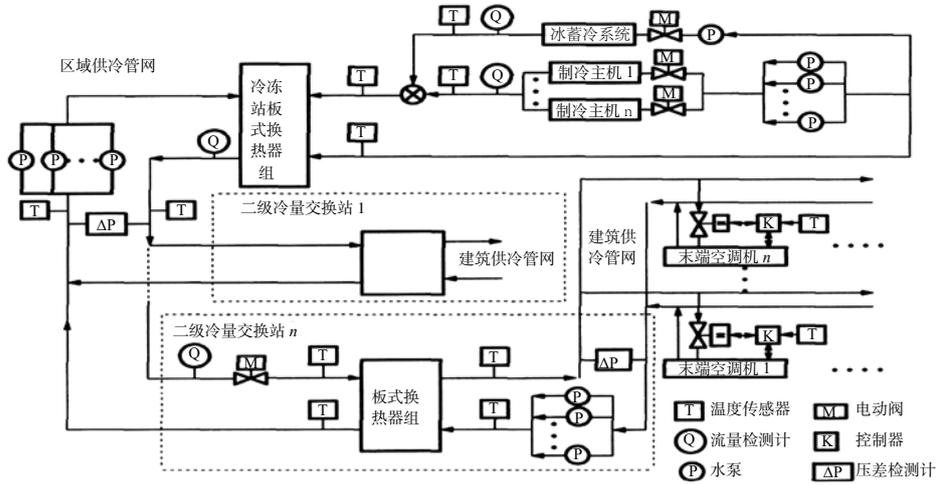


图1 区域供冷、供热基本系统结构图

体建筑的负荷见图3。

(2) 采暖用天然气需求量：6894NM³/h（采用直燃吸收式制冷用气量：131028NM³/h），燃气负荷峰值见图4。

图3、图4表明：综合项目负荷级别高，单一项目负荷级别低，冷热负荷基本呈现2:1的比例关系。最高负荷集中在A12项目，最低是A6项目。采暖耗气量约为制冷耗量的60%。生活耗气量以A71、A72为多，其他项目相对较低。冷暖负荷中心出现在A71、A12、A2，其他单体能耗与之相差较大，若由一个站点承担，管网循环输送损耗较大。供冷与供热可合用管道。根据对整个园区的供暖进行测算，结果显示，只设置一个站点集中供暖时，需大量使用室外管网，外网投入占投资的44%，达到2000万元；分散设置外网投入只占投资的15.9%。因此从一次性投入上看，分散优于集中，可考虑采用两个站点。其次，住宅类销售型物业负荷需求不高、且负荷中心较分散，集中供能的损耗较大，也应考虑避免过于集中。

3 建筑区域规划

持有型物业划分为分3个区域（分别为A+B区，D区和E区），2个站点，分别对负责A7、P6、N1的能源站1，以及负责A1的能源站2进行分析，销售型物业不做考虑。

3.1 区域划分与区域设想

区域一：A+B区

A区（A71）空调冷负荷为16989.1kW，空调热负荷为5753.7kW，建筑能耗以百货为主，能耗变化



图2 建筑区域划分图

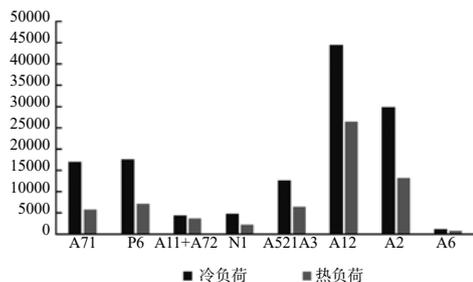


图3 单体冷热负荷（单位：kW）

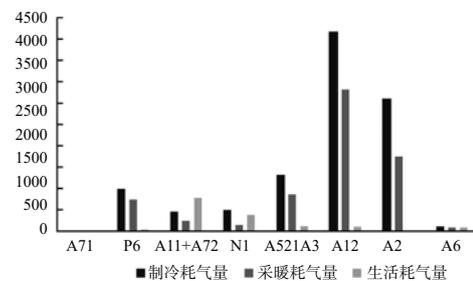


图4 燃气负荷峰值（单位：NM³/h）

较频繁,易受人流影响波动,日间规律性稍差,季节规律性较好,夏季负荷远大于冬季负荷,整体要求强调舒适度,节能运行要求高,维护结构热损耗较大。从建筑角度看,建筑具备条件安置排烟和冷却塔。

P6的空调冷负荷为9904.1kW,热负荷为4662.4kW,以办公和高级酒店为主,办公负荷集中在日间,变化有规律,入驻率受市场影响小,商业负荷有规律,能源保障要求较高。建筑室内强调舒适性,整体统一供能,维护结构损耗较小,酒店产生余热较大可利用。

A11+A72的空调冷负荷为3493.6kW,热负荷为1638.4kW,以商业和餐饮为主,变化无规律,负荷集中在午间至夜间甚至凌晨,独立调控要求非常高,建筑围护结构的热损失大。

N1的空调冷负荷为2148.8kW,热负荷为734.2kW,以餐饮和展览为主,展区平时使用较少,负荷无规律,变化范围大,要求供能灵活。影院能耗集中在傍晚至夜间,有独立调控的要求。

区域设想:A71地下空间较大,适合排布机房,输送距离不大于150m,体量不超过20万 m^3 。A11、A72、N1负荷约占总能耗的14%,相对较小。本区各支路管网阻力损失差别大,不利于系统平衡和调节。本区以A71、P6为负荷中心,范围输送距离大于300m,体量不超过40万 m^3 。P6地下室面积不足,不适宜大型设备排布,可考虑A11、A72、A71地下室。该能源规划具有以下特点:集中站相当于服务于一个超大单体建筑的设备站房,从设备和系统的设置上看,可以节省一些投入;负荷非常集中,输送范围集中,管线距离短,管网投资较少,管网沿程冷损失较小;运行费相对持平于分散布置。从建筑角度看,A1具备高度条件解决排烟问题,有足够地下空间集中摆放设备,屋面足以摆放冷却设备,有利于提高站房利用率;从全天负荷变化系数上看,日间负荷远大于夜间,且曲线变化剧烈,存在移峰填谷的可能。

区域二: D区

A12的空调冷负荷为44374.4kW,空调热负荷为24634.7kW,以高级酒店和高级办公为主,商业为辅,类似P6。超高层热压风压较大,漏损必须严格控制。输送距离大,管网损失多,如果设计进深较大,核心筒周围易出现空调内外区。单体体量巨大,必须合理输配能源系统,节能要求高。酒店和办公前期空置率较高。

区域设想:开发时序最后,系统应相对独立于其他地块。竖向距离大,换热器承压要求高,应与

不同压力系统区分。设置中心站有利于调配单体建筑的耗能峰谷,提高运行效率,减低能耗。连续型耗能建筑负荷可以成为间歇型能耗建筑的备用和冗余。地下室面积很大,有利于设备摆置和集中管理。酒店和商业统一供应能源,与写字楼系统相对独立。

区域三: E区

A2的空调冷负荷为29714.3kW,空调总热负荷为19086.4kW,以酒店式公寓、写字楼为主,能耗集中在日间,变化规律受入驻率的影响较大,对独立调控的要求较大,写字楼和商业大量预热可以利用。

区域设想:若考虑集中供能,损耗较大,系统效率低,必须采取一定的经济补偿平衡损失。写字楼和商业负荷公寓优先考虑分户式空调,便于销售时产权独立划分。超市是否接入集中冷热源还需根据市场招商条件决定。销售型写字楼如要求集中供能,应设置空调供水计量,且用户不可自装空调设备,物业公司统一收取费用。

4 技术可行性分析

根据以上对建筑物的划分之后,确认了整体的能源规划方案。区域性冷热能供应可选用冰蓄冷设备和地源热泵系统等。本章将对简要介绍冰蓄冷技术以及地源热泵技术,并对这些技术的可行性进行简要的经济性分析。

4.1 冰蓄冷技术

采用蓄冷技术,将低谷用电时过剩的电以其他形式的能量存储起来,当高峰用电时在转变成电能,可以实现移峰填谷、减少变电设备,缓解电力建设的目的。本文以A+B区为例,分析其可行性,见表1。

表1 蓄冰技术回收期

A+B区					
	主机容量	变配电容量	机房投资	运行费	静态回收期
蓄冰	6366.06	6043	3224.97	830.64	9.18年
常规	10166.06	8434	2883	793.37	
削减	37.38%	31.45%	-493.5	37.3	

通过对比分析,可知,采用冰蓄冷技术能够减少系统的运行能耗,每年能够节约37.3的运行费用,计算所得的回收期为9.18年,不经济。因负荷加入的不确定性实际运行时回收期可能更长。

4.2 地源热泵技术

地源热泵技术主要是由陆地浅层能源输入少量的高品位能源(如电能)实现由低品位热能向高品位热能转移。主要由室外地能换热系统、地源热泵

机组和室内采暖空调末端系统组成。地源热泵技术是一项节能技术，但一般容积率大于 3.0 的项目不适用。本项目以 A52+A3 为例进行经济性分析。

A52+A3 采用地源热泵中央空调系统，空调冷负荷为 12528.1kW，热负荷为 6345.1kW；总供建筑面积 185482m²。本文将对户式锅炉 +VRV 空调系统与地源热泵空调系统进行比较：

(1) 地源热泵空调系统 600 元 /m²，年运行费用 21 元 /m²·年，全年运行；

(2) 户式锅炉 +VRV 空调系统 500 元 /m²；夏季运行费用 29.5 元 /m²·年，运行 150 天；冬季运行费用 16.5 元 /m²·年，运行 100 天。

表 2 地源热泵系统回收期

A52+A3 区			
	一次性投资 / 万元	运行费 / 万元	静态回收期
地源热泵空调系统	11276.3	394.7	4 年
户式锅炉 +VRV 空调系统	9397.0	864.5	
削减	-1879.3	469.8	

由此可知，使用地源热泵的回收期约为 4 年，回收期较短。

5 总结

区域供冷（供热）由于在投资、运行、管理等因素在国内运用不多。本项目单体建筑绝对数量不多，整体负荷同时系数高，集中负荷高峰接近各项目分散布置时最大负荷总和，因此不能按主要设备降低到峰值的一半来配置，最终确定采用区域能源供应方式。

最后，本文建议可选用冰蓄冷技术和地源热泵技术，并对这两种技术的可行性作了简要分析，但是需要强调的是，冰蓄冷技术并非节能技术，只是作为辅助设备，实现“削峰填谷”的作用，选用时需谨慎考虑。地源热泵作为一种节能技术，其适用性需考虑。

参考文献

- [1] 孙培勇, 王砚, 由玉文, 等. 区域供热供冷系统的现状与发展, 煤气与电力, 2012,32(8):1-5.
- [2] 杨柳, 卢军, 张少良. 重庆某新区能源规划分析, 煤气与电力, 2014, 34(11):22-27.

会议 & 活动

2017 年全国暖通空调模拟学术年会 征文通知（第二轮通知）

模拟技术在暖通空调领域应用广泛，所发挥的作用日益重要。计算机模拟专业委员会定于 2017 年 12 月 6-8 日在广州市召开“2017 年全国暖通空调模拟学术年会”。

本次年会旨在总结和交流模拟技术在暖通空调领域应用的科研成果和实践经验，以促进暖通空调专业技术的发展。征文内容涵盖建筑能耗预测评估、建筑节能模拟及应用、设备系统模拟分析、供热、空调系统控制仿真与应用、大数据分析及应用、CFD 技术与应用、BIM 技术与工程应用、小区热环境模拟、人体行为与热舒适模拟以及采光、遮阳、日照、通风等模拟分析等，欢迎对会议内容感兴趣的专家、学者及与该领域有关的科研人员、院校师生、设计师、设计咨询人员、开发商、暖通空调设备制造商、建设商、物业管理者、标准规范制定者等参加会议。详情请登陆中国暖通空调网 <http://www.chinahvac.com.cn> 了解。

2017 年全国通风技术学术年会第二轮通知

通风技术作为改善居住环境、工业环境及各类人工环境的重要途径，在暖通空调及其它相关技术领域得到了广泛的应用。根据学会两委会工作安排，兹定于 11 月 15-17 日在安徽马鞍山市召开“2017 年全国通风技术学术年会”。

详情请登陆中国暖通空调网 <http://www.chinahvac.com.cn> 了解。

2017 年全国空调学术年会通知

为响应国家“建设资源节约型、环境友好型社会”号召，研究当前暖通空调行业最新发展动态与成果，并探讨该领域的前沿问题、热点问题和难点问题，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定于 2017 年 11 月 1 日~3 日至杭州召开“2017 年全国空调学术年会”。

现年会的征文工作正式启动，内容涵盖暖通空调基础研究、标准体系建设、空调系统调适、大型公共建筑空调（体育建筑、交通枢纽、工业建筑、医疗建筑、教育建筑等）以及其他空调相关技术等。详情请登陆中国暖通空调网 <http://www.chinahvac.com.cn> 了解。



中机意园工程科技股份有限公司

中机意园创立于2000年，是一家创新型生态科技工程公司。目前拥有国家发改委工程咨询甲级资质、节能评估甲级资质，住建部机电工程施工总承包壹级资质、建筑工程施工总承包叁级资质、工程监理甲级资质、工程设计乙级资质以及工信部节能服务公司资格等。2004年通过了ISO9001、ISO14000、GB/T28001体系认证，并获得了多项部、省、市优秀项目奖，是工商管理部门授予的守合同重信用单位，是中国建筑节能协会暖通空调专业委员会副主任委员单位，安徽省绿建协会常务理事，安徽省江苏商会会长单位。

中机意园自成立起一直致力于绿色建筑解决方案，工业项目低碳、节能，清洁制造解决方案的实践与推广工作，创新物联网技术和互联网+平台运用。目前拥有享受国务院特殊津贴专家、行业知名暖通设备专家、知名建筑师、注册设备工程师、注册结构工程师等80余人次。长期与知名院校、科研院所保持技术与人才的交流、合作，并相继开展了多领域、多层次的国际合作。“尊重 成就 幸福，诚信 创新 品牌，节能 低碳 生态”，我们将和用户携手面向崭新的未来。

示范项目：

JAC纳威司达柴油机工厂地源热泵系统、能源站及远程物联网监控平台运用《中美合资》



目前国内单体面积最大采用地源热泵系统的能源站工业建筑，并装有空气流通加速器进行舒适通风，中机意园2014年完成全厂整体规划方案、工程设计、BIM设计、地源热泵系统能源站及舒适通风总承包、办公楼机电系统总承包、远程能源物联网结合监控平台建设，该项目获得了中国建筑节能协会“建筑节能之星”奖项。

合肥

地址：安徽省合肥市经开区芙蓉路2292号
电话：0551-6266 6690(91/92/93/95)
传真：0551-6266 6618
邮箱：yyec@noveland.net
网址：www.noveland.net

北京

地址：北京市丰台区方庄芳城园1区17号楼
A座2303室
电话：010-5807 6186
传真：010-5807 6185

