

2024中国制冷展，北京



长江流域空气源热泵供暖技术创新与应用

Innovation and application of air source heat pump technology in Yangtze River basin

汇报人：司鹏飞 科技公司总工程师、研发中心副主任、博士/博士后

中国建筑西南设计研究院有限公司

2024年4月

CONTENTS

目 录

01 背景介绍

02 建筑冷热源架构

03 空气源热泵存在的问题

04 低噪声高效除霜技术

05 应用案例分析

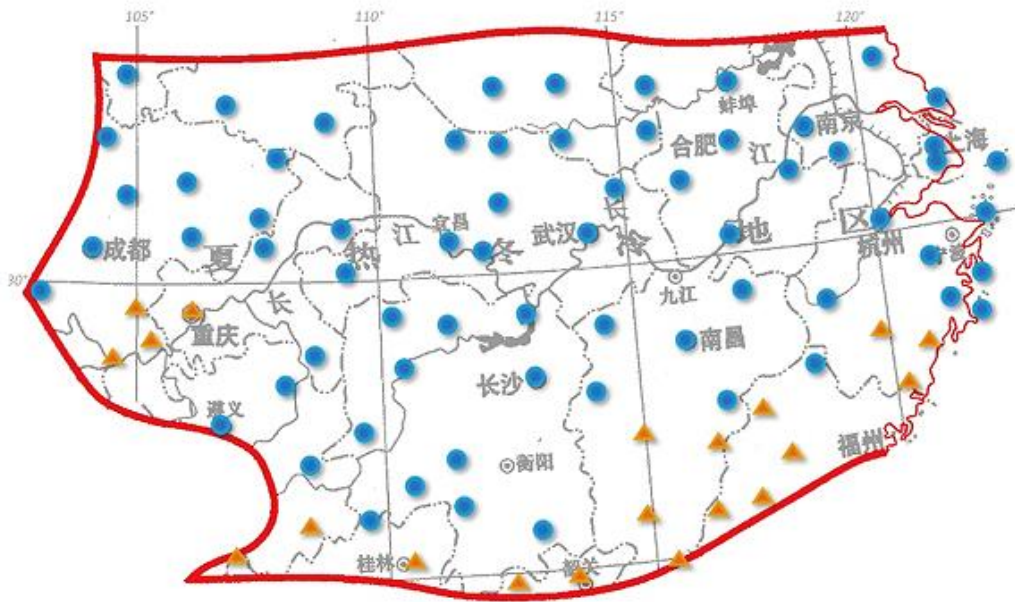


01

背景介绍

长江流域气候特征

- 长江流域国土面积占全国18.8%，建筑面积占全国58%，GDP占全国46%。
- 大部分属于夏热冬冷地区，夏季炎热，冬季寒冷，全年湿度较高；
- 建筑夏季供冷、冬季供暖需求大；
- 极端天气频繁，冬季持续低温导致室内热舒适性差的问题进一步凸显。



典型城市	日平均温度 ≤8°C的天数	最冷月平均 温度	供暖设计 温度	冬季日照 率	最冷月相对 湿度
上海	93天	4.2°C	-0.3°C	40%	75%
南京	109天	2.4°C	-1.8°C	43%	76%
杭州	90天	4.3°C	0°C	36%	76%
合肥	103天	2.6°C	-1.7°C	40%	76%
武汉	98天	3.7°C	-0.3°C	37%	77%
成都	69天	5.6°C	2.7°C	17%	83%
重庆	53天	7.2°C	4.1°C	7.5%	83%
长沙	88天	4.6°C	0.3°C	26%	83%
南昌	66天	5.3°C	0.7°C	33%	77%
贵阳	69天	5°C	-0.3°C	15%	80%

政策导向

- 建筑实现双碳目标的关键途径是全面电气化。
- 成都四环内全面禁止采用燃气锅炉供暖。
- 热泵替代燃气锅炉供暖是未来必然的趋势。

中共中央文件

中发〔2021〕36号

★

中共中央 国务院

关于完整准确全面贯彻新发展理念 做好碳达峰碳中和工作的意见

(2021年9月22日)

实现碳达峰、碳中和，是以习近平同志为核心的党中央统揽国内国际两个大局作出的重大战略决策，是着力解决资源环境约束突出问题、实现中华民族永续发展的必然选择，是构建人类命运共同体的庄严承诺。为完整、准确、全面贯彻新发展理念，做好碳达峰、碳中和工作，现提出如下意见。

一、总体要求

顶层设计

中华人民共和国中央人民政府

www.gov.cn

国务院 总理 新闻 政策 互动 服务 数据 国情 国家政务服务平台

住房和城乡建设部 国家发展改革委关于印发城乡建设领域碳达峰实施方案的通知

建标〔2022〕53号

住房和城乡建设部 国家发展改革委 2022年4月30日

住房和城乡建设部 国家发展改革委 2022年4月30日

附件下载

城乡建设领域

成都市市场监督管理局

成市监办〔2021〕87号

成都市市场监督管理局

关于开展2021年市场监管领域大气污染防治工作的通知

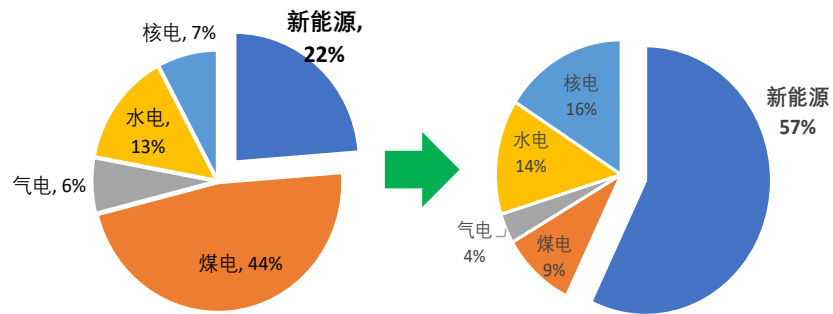
各区(市)县市场监管部门,市局各相关处室(单位):

为扎实做好2021年市场监管领域大气污染防治工作,按照《成都市大气、水、土壤污染防治“三大战役”领导小组关于印发成都市2021年大气污染防治工作行动方案的通知》(成污防“三大战役”领〔2021〕2号)要求,根据我局年度工作部署,决定在全市市场监管系统开展大气污染防治工作。现将相关事项通知如下。

一是加强组织领导。要提高站位,顾全大局,认真贯彻环境

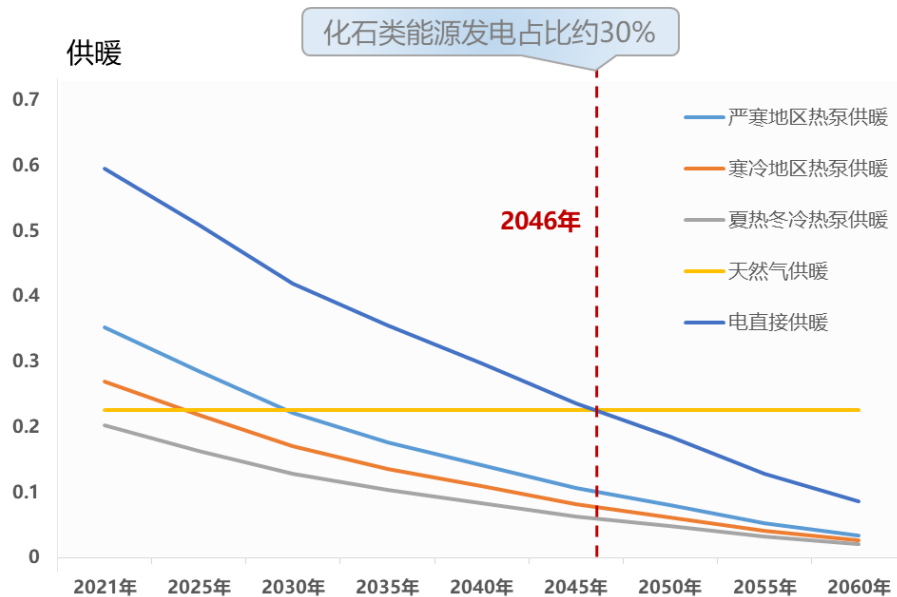
地方政策

电力结构变化



2030年发电量结构

2060年发电量结构



不同供暖方式下的碳排放系数变化趋势



02

建筑冷热源架构

建筑冷热源架构|架构设想

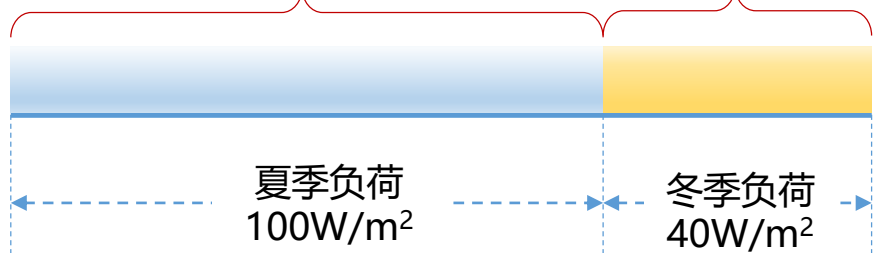
Cold and heat source architecture

长江流域冷热源架构设想

传统架构

冷水机组: $100\text{W}/\text{m}^2$

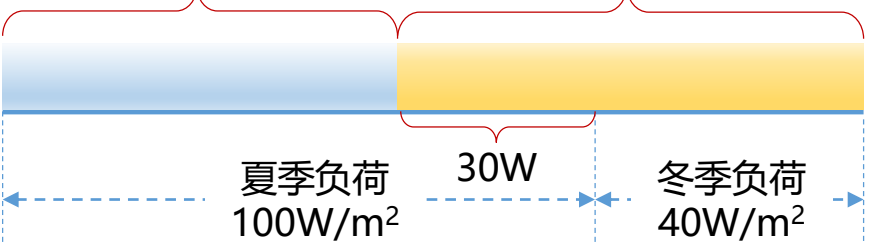
燃气锅炉: $40\text{W}/\text{m}^2$



新型架构

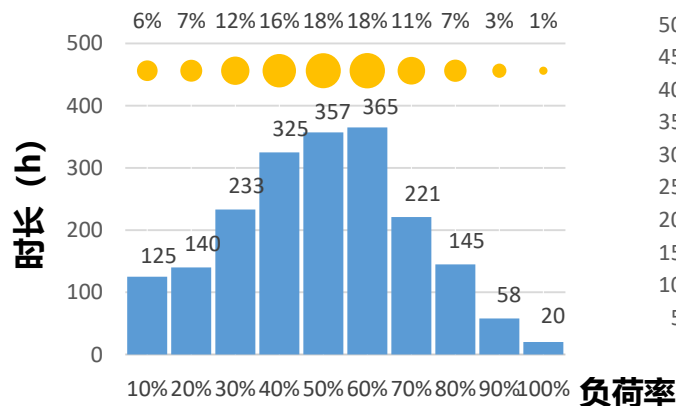
冷水机组: $70\text{W}/\text{m}^2$

热泵: $40\text{W}/\text{m}^2$

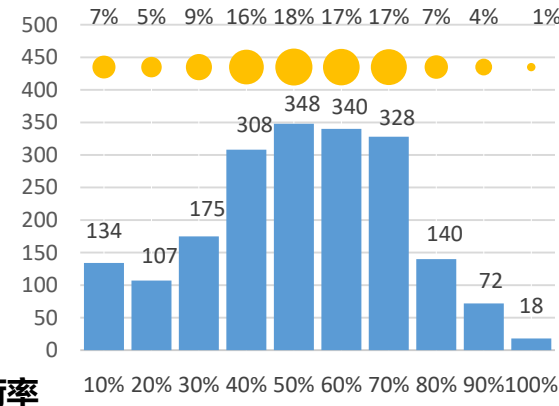


夏热冬冷地区80%~90%时间负荷率低于70%。

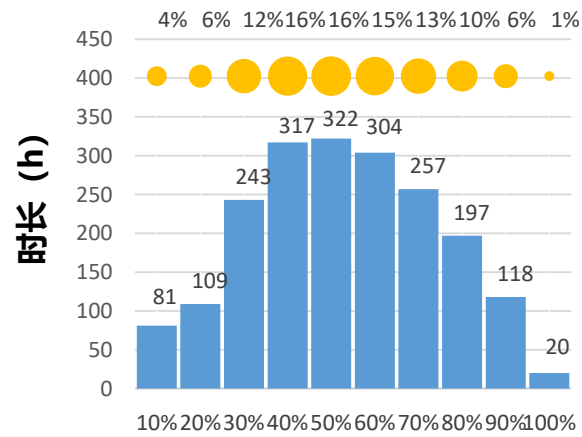
时长占比



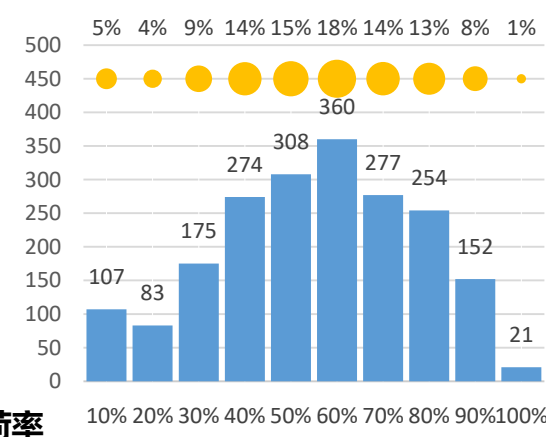
时长占比



武汉



成都



南京

上海

长江流域冷热源架构论证

设备初投资对比

系统形式	机组 (元/m ²)	用户侧水 泵 (元/m ²)	冷却水泵 (元/m ²)	冷却塔 (元/ m ²)	初投资 (元/m ²)
冷水机组 100W+燃气锅 炉40W	60	3	3	10	86.6
	10	0.6			
冷水机组70W+ 热泵40W	42	2.1	2.1	7	86.1
	32	0.9			

土建初投资对比

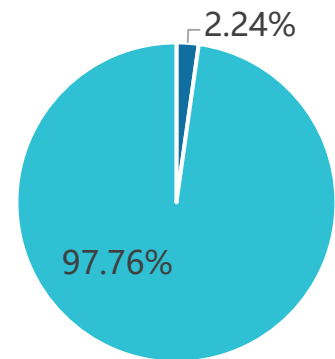


燃气锅炉房



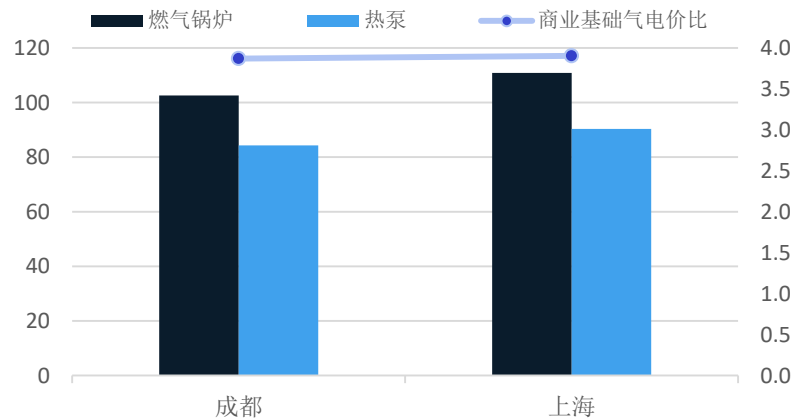
排烟管道

制冷能耗变化



■ 热泵供冷 ■ 冷水机组供冷

采暖费用变化





03

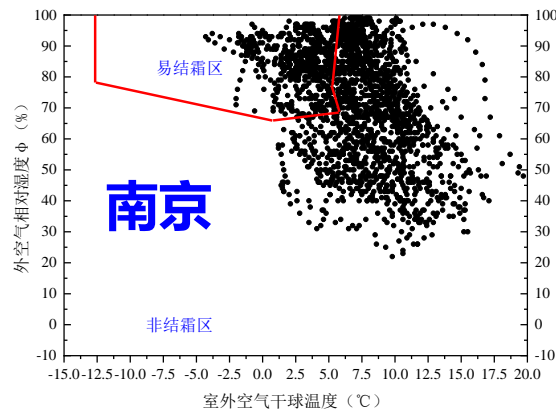
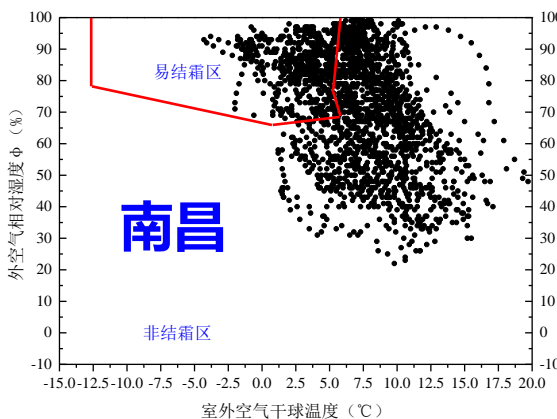
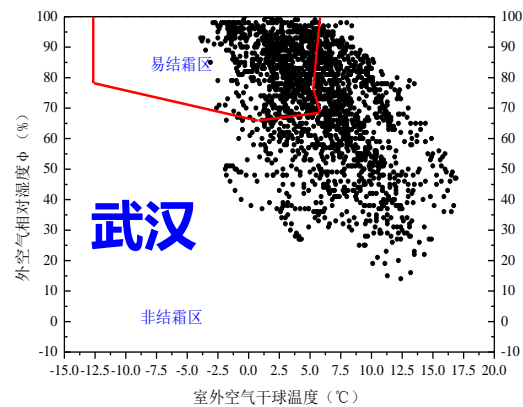
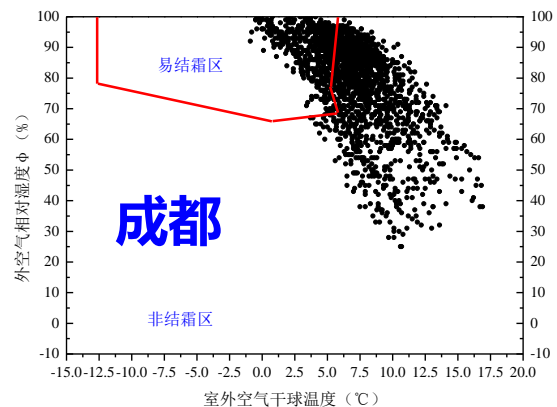
空气源热泵存在的问题

空气源热泵存在的问题 | 痛点问题

Existing problems

痛点问题一

- 空气源热泵在长江流域冬季低温高湿的环境运行极易结霜，供热性能严重衰减。
- 传统逆循环(RCD)除霜技术反向吸热，造成供热波动剧烈、除霜能耗高。

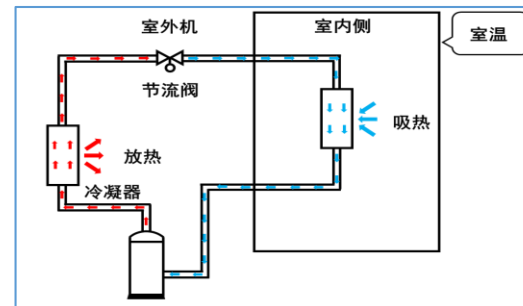


流通风量减少40%

换热量减少约40%

机组供热量减少29%

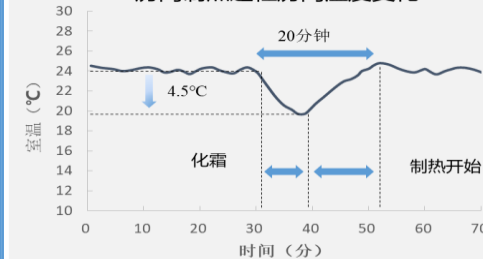
机组性能下降35%



反向吸热功率超过制热功率

制热量衰减25%

房间制热过程房间温度变化



供水温度降低15°C

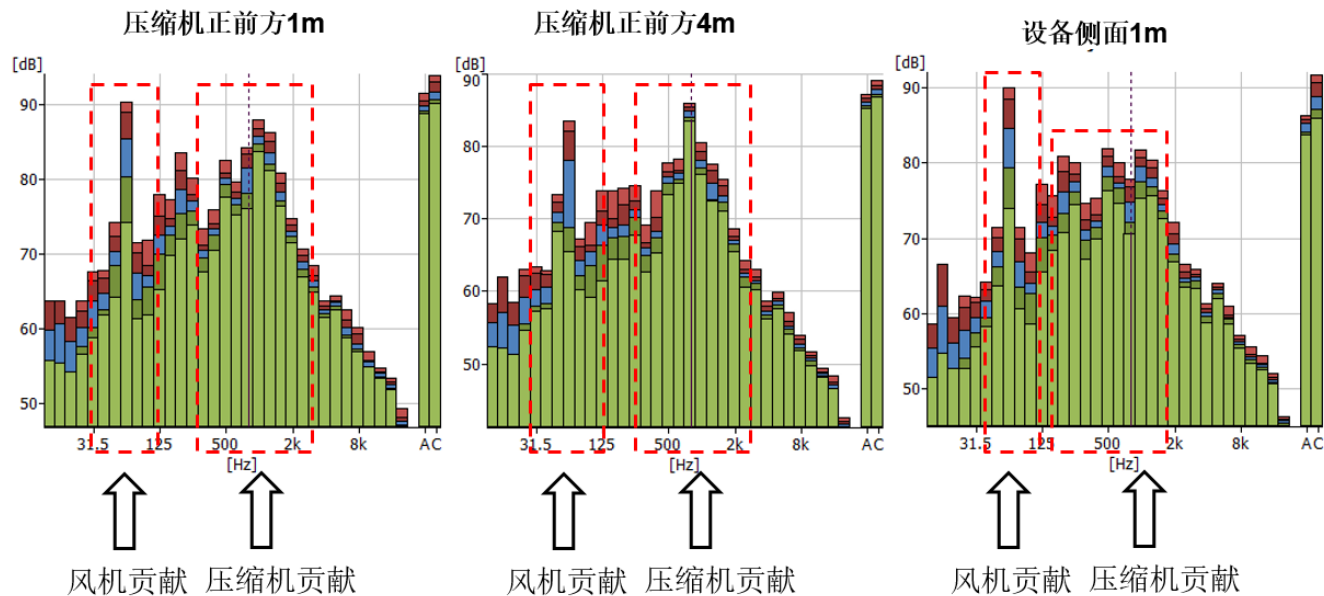
房间温度恢复需要20min

痛点问题二

- 空气源热泵机组需要摆放在室外或者屋顶，普遍面临着噪声的困扰，压缩机和风机发出的宽频噪声高达90dB以上，
- 低频成分难以随着距离而衰减，严重影响了建筑使用者的身心健康。热泵噪声级高，距离衰减不明显。

热泵噪声测试结果

测试位置	距离	声压级, dBA
压缩机正前方	1m	89.8
设备侧面	1m	85.3
设备侧面	1m	85.5
压缩机正前方	4m	86.2
设备侧面	4m	82.7
设备侧面	4m	81.5



04

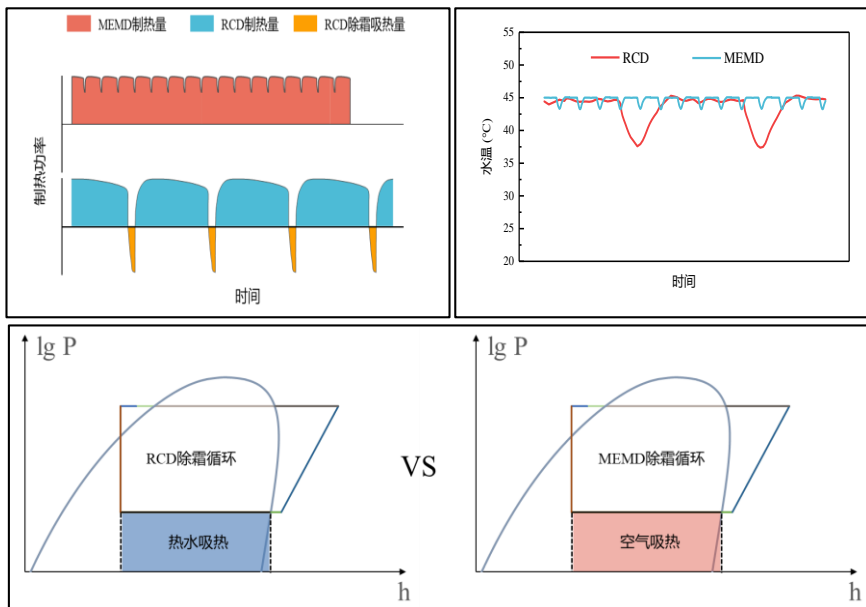
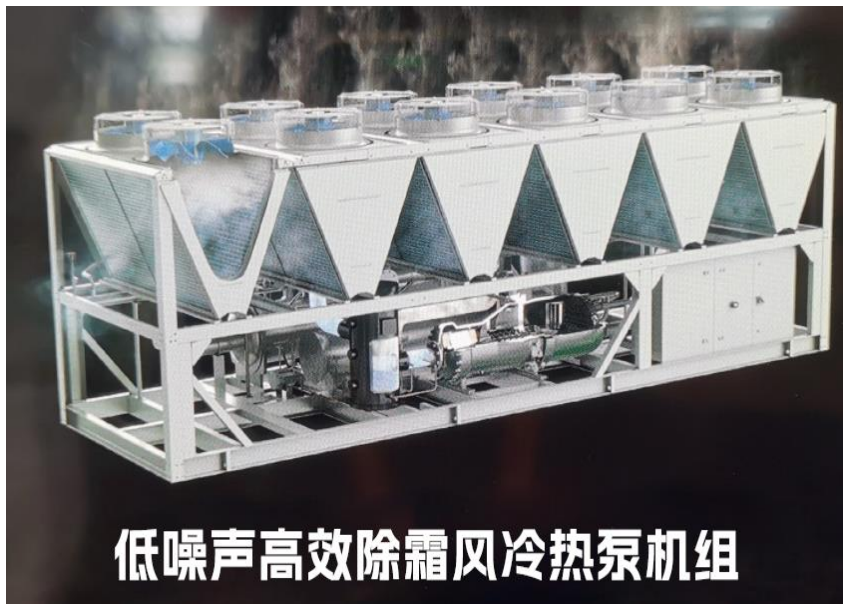
低噪声高效除霜技术

低噪声高效除霜技术 | 高效除霜技术

Low noise and efficient defrosting technology

技术原理

- 针对除霜问题，通过热力循环再造，“中建智造”团队自主研发了空气吸热除霜技术（AHAD），除霜期间从空气吸热，除霜同时实现连续不间断制热；
- 克服传统除霜需要从用户热水中吸热的缺陷，增加机组有效制热能力；
- 除霜期间供热水温波动从相比传统除霜可大幅降低，提升供热温度稳定性和室内热舒适度；
- 除霜热量主要来自空气热能，无冷热抵消，除霜能耗降低。



“中建智造”自主知识产权专利号：

ZL202211171066.8、ZL202211221658.6

ZL202211647503.9、ZL202111087608.9

ZL202111092441.5、ZL202211647504.3

ZL202122250293.7、ZL202122264761.6

ZL202122298880.3、ZL202220229441.9

ZL202223407176.8、ZL202222566233.0

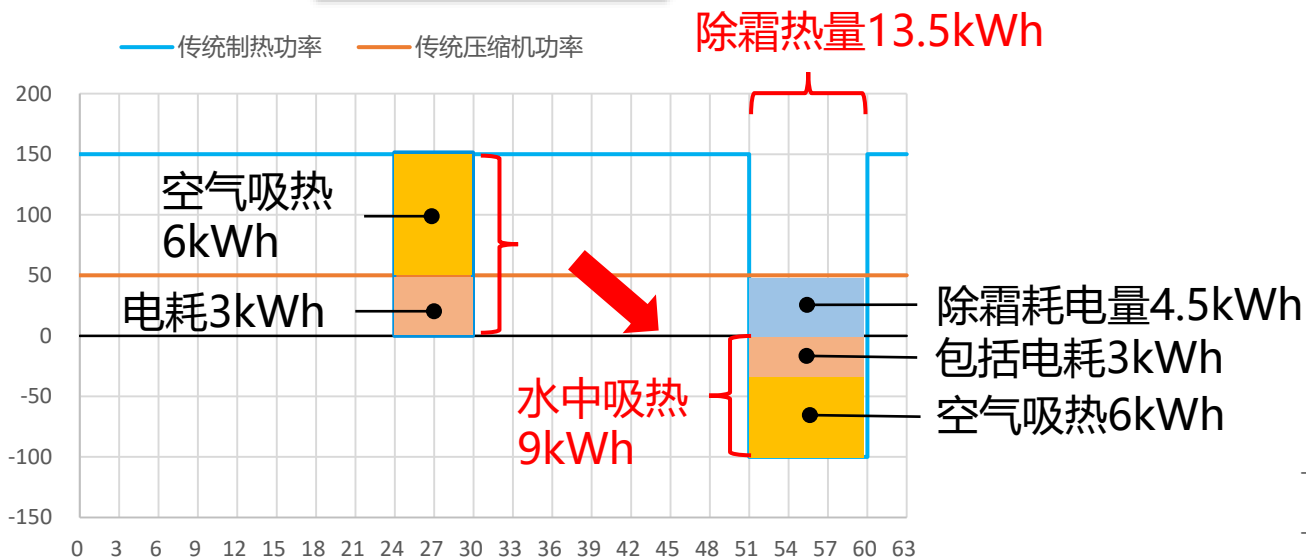
ZL202322157883.4

低噪声高效除霜技术 | 高效除霜技术

Low noise and efficient defrosting technology

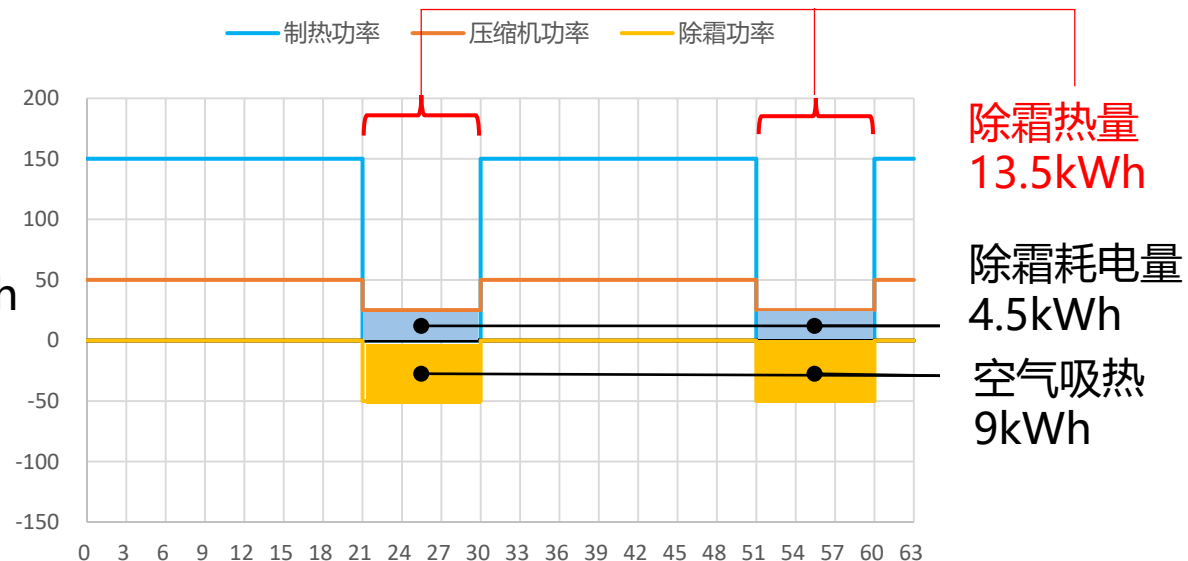
高效除霜技术原理

传统逆循环除霜



传统热泵每小时除霜1次

空气吸热除霜



新型热泵每小时除霜1次

传统除霜能耗 = 压缩机耗电量 + 水中吸热中的电耗部分 = 7.5kWh

新型除霜能耗 = 除霜压缩机耗电量 = 4.5kWh

除霜能耗降低约40%!

因此，长江流域地区每小时除霜2次，结霜现象造成的机组能耗约占热泵为20%，新型除霜方式可整体降低机组能耗约8%!

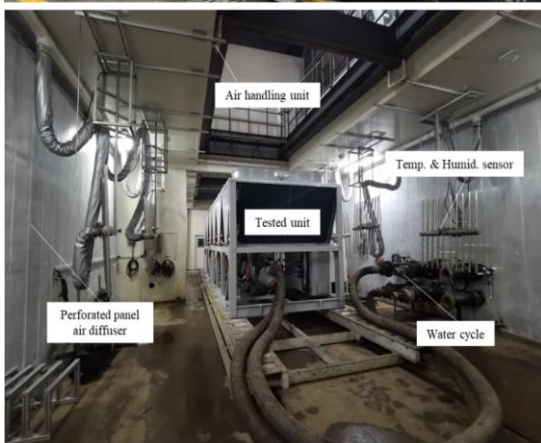
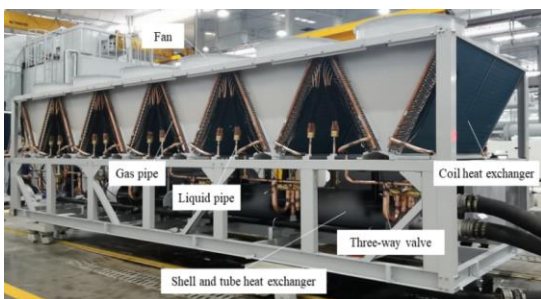
低噪声高效除霜技术 | 高效除霜技术

Low noise and efficient defrosting technology

实验测试

试验设计

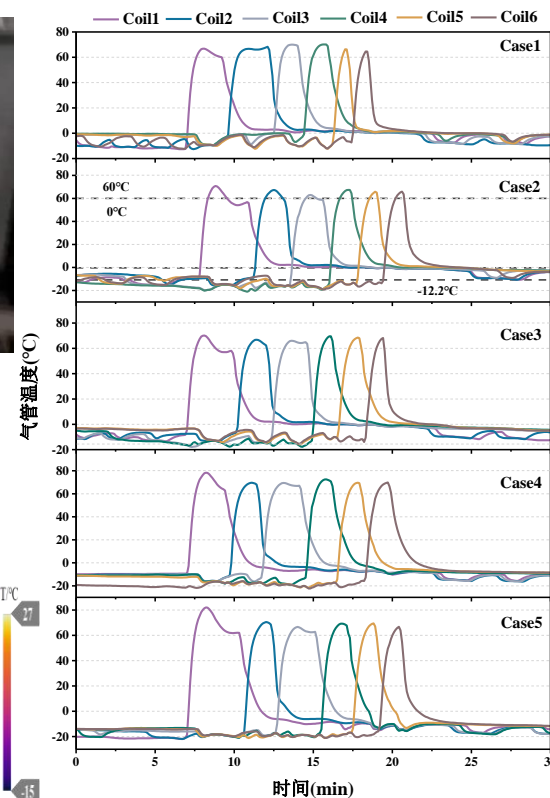
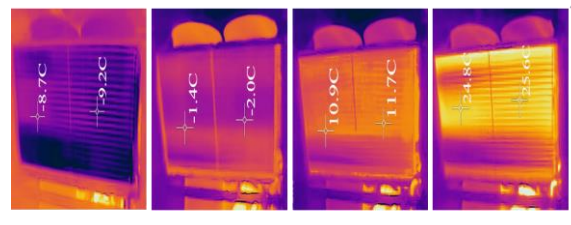
- 实验机组：2台相同配置的**螺杆式风冷热泵机组**，标称制热量**708kW**，分别采用传统RCD除霜与AHAD除霜，开展对照试验；
- 试验环境：具备**国家CNAS认证**的350RT风冷热泵测试平台，控制环境温湿度处于设定条件；



工况	干球温度 (°C)	相对湿度 (%)
1	5	90%
2	2	90%
3	-2	90%
4	-5	75%
5	-8	75%
6	-2	70%
7	-2	80%
8	-2	95%

试验过程

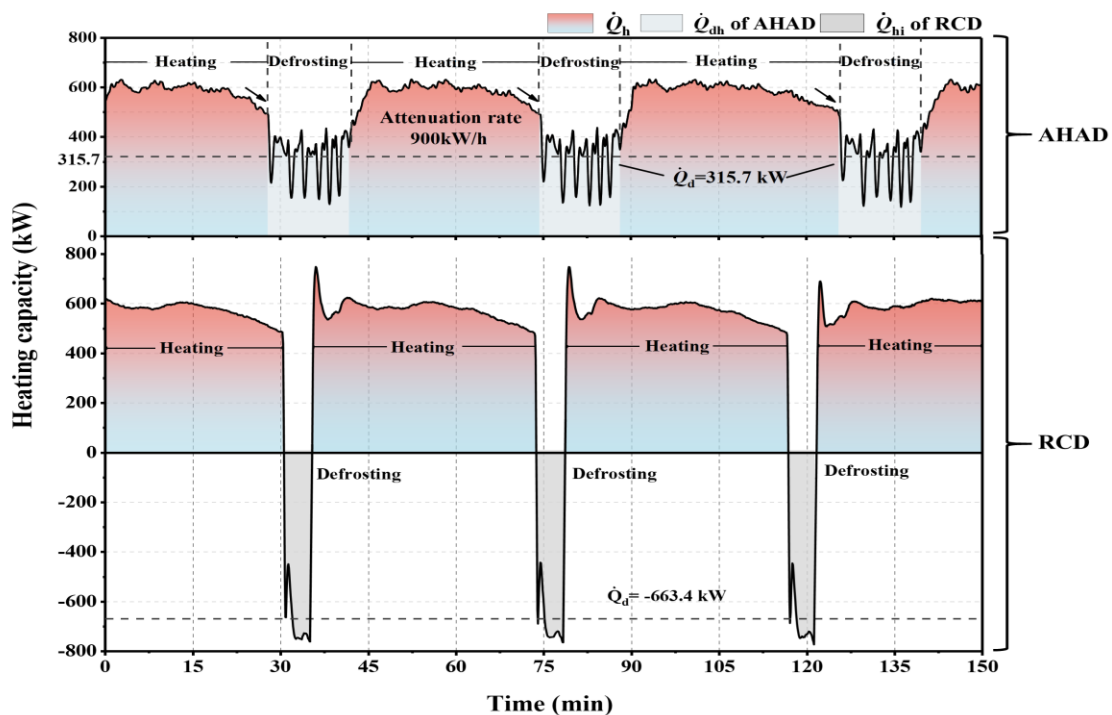
- 多组翅片换热器轮流除霜，除霜高温制冷剂温度均达到**60°C**以上，翅片表面温度快速升高至**25°C**，直至翅片表面融霜水蒸发完全，单组翅片除霜耗时**97S**。



实验结果分析

制热功率对比

- 空气吸热除霜技术实现了除霜期间连续不间断制热功能，不再从用户侧热水中吸收热量；
- 相比传统逆循环除霜方式，除霜期间制热量从-663kW提高到315.7kW。



制热能力评价

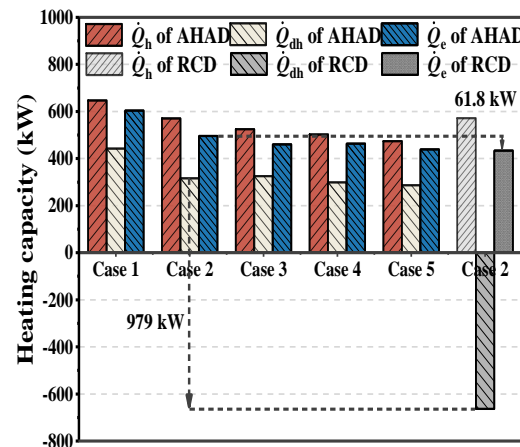
- 由于AHAD机组除霜时段制热量远高于与RCD机组，即使AHAD机组有更长的除霜时长，其周期等效制热能力依旧增加61.8 kW。
- AHAD机组融霜修正系数相比RCD机组提高14.4%。

$$q_e = \frac{Q_h + Q_{dh} - Q_{hi}}{\tau_4 - \tau_3}$$

$$k_d = \frac{q_e}{q_h}$$

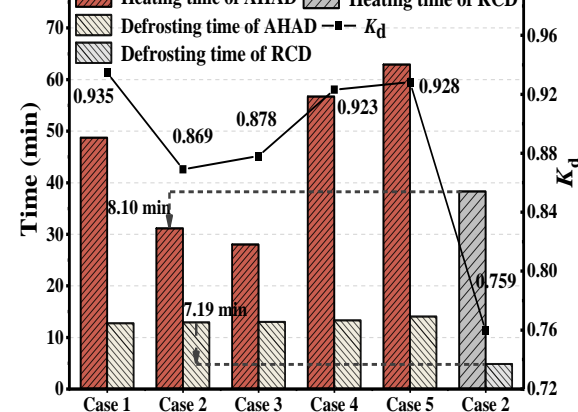
融霜修正系数

周期等效制热能力



制热能力对比

融霜修正系数

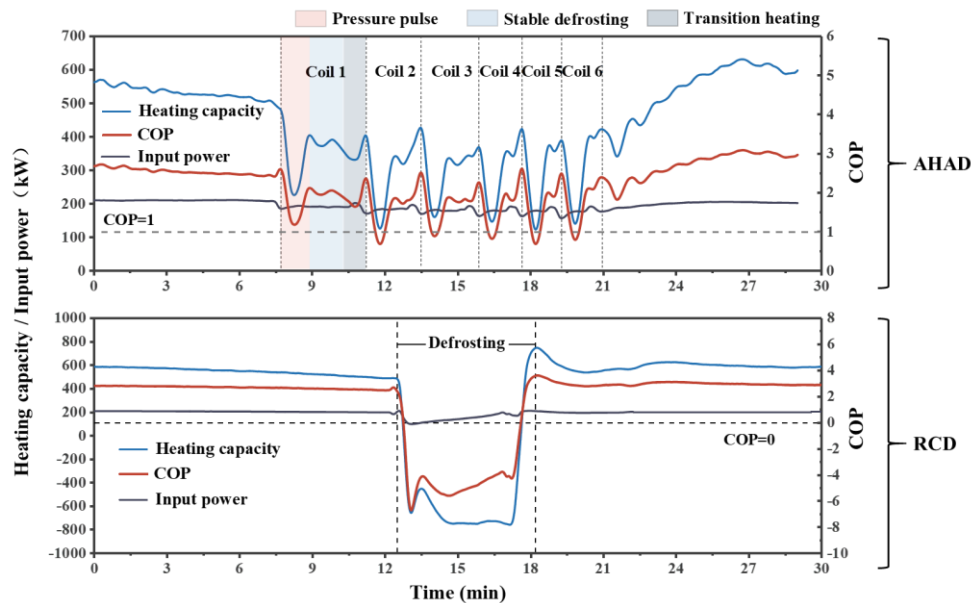


时长与融霜修正系数

实验结果分析

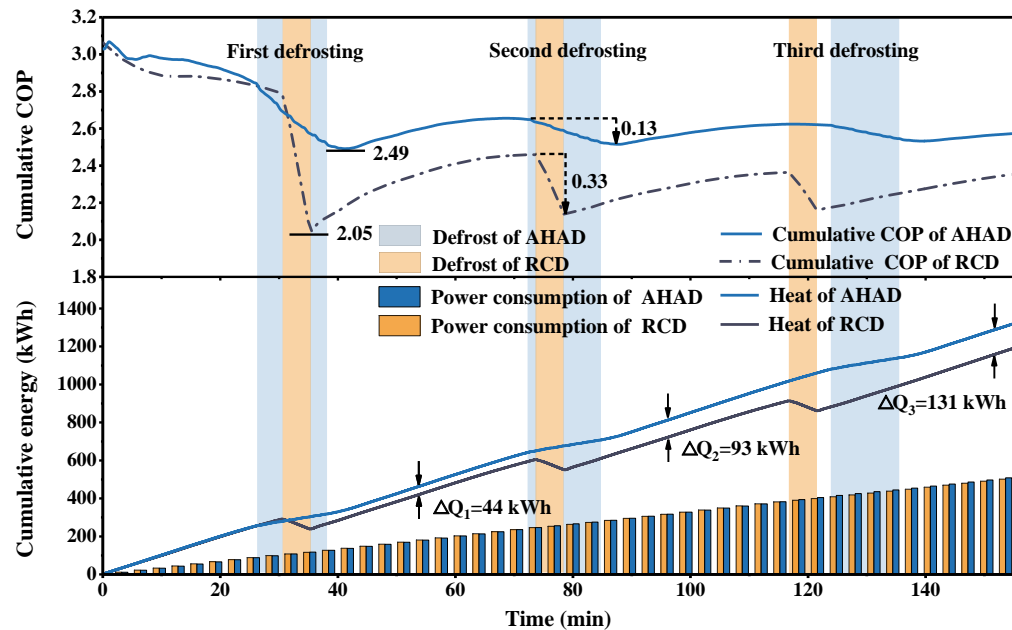
除霜节能性分析

- 除霜过程85%时长内，机组生产的热量除用于除霜同时，还以高于1.0的COP为用户供热（RCD机组除霜期间COP为-4.55）
- 机组除霜期间依然通过逆卡诺循环运行，消耗少部分电耗，大部分热量来自于空气吸热。整个除霜时段内，平均制热COP达到1.8。



全周期节能性分析

- 两种除霜技术对比，制热时段两者累计制热量相等，但3个制热-除霜周期后，AHAD机组累计制热量高于传统RCD机组131KW;
- 在3个完整的周期结束后，AHAD机组累计COP达到2.57，RCD机组的累计COP为2.35，AHAD机组COP提高9.3%。



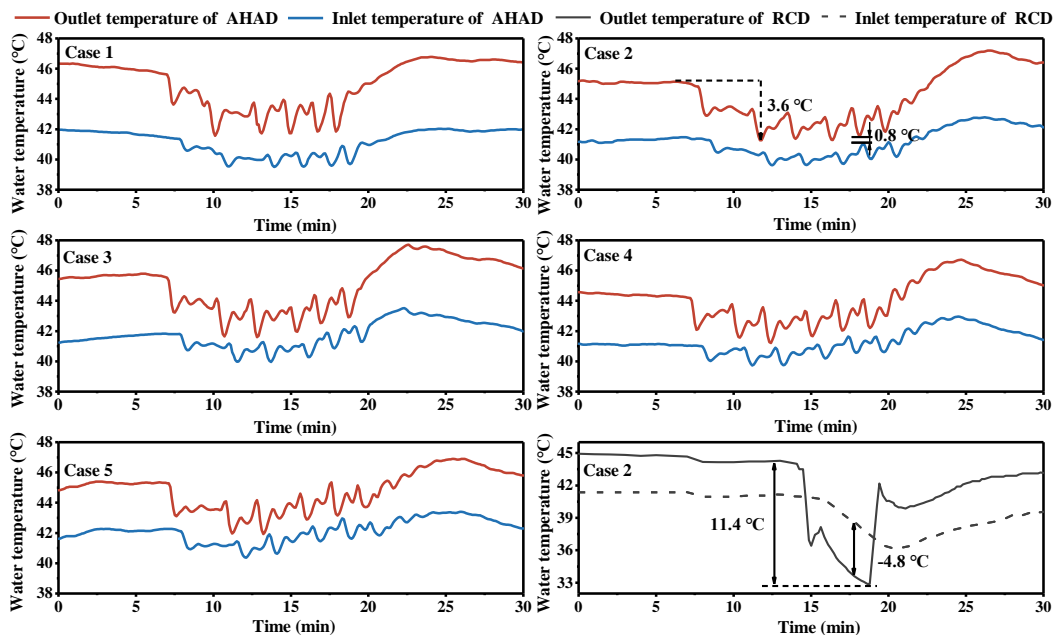
低噪声高效除霜技术 | 高效除霜技术

Low noise and efficient defrosting technology

实验结果分析

水温波动对比

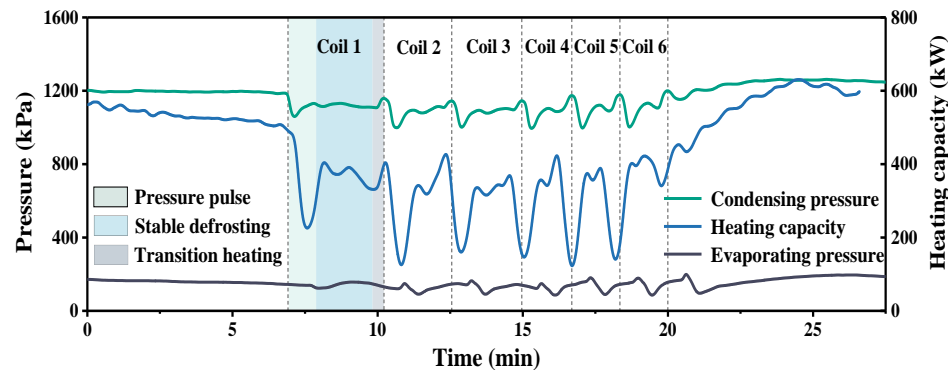
- 由于AHAD机组除霜期间持续制热，因此出水温度**始终高于回水温度**，而传统RCD机组除霜期间反向吸热，出水温度**低于进水温度-4.8°C**；
- 传统RCD机组除霜期间最大水温波动达到**11.4°C**，AHAD机组为**3~4°C**，仅为RCD机组的**31%**，具有更高的舒适性。



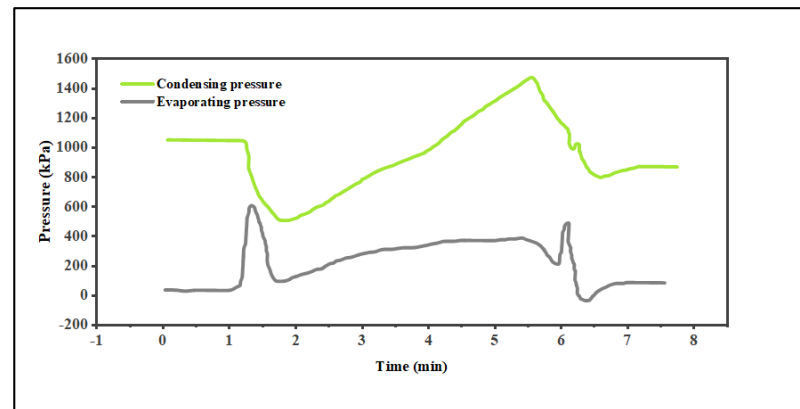
压力波动对比

- 由于AHAD除霜期间依然处于制热循环，系统排气压力波动**200kpa**，吸气压力波动为**40kpa**，相对比传统RCD除霜方法，需要四通阀换向制冷，吸、排气压力分别降低**70%、83%**。

AHAD机组

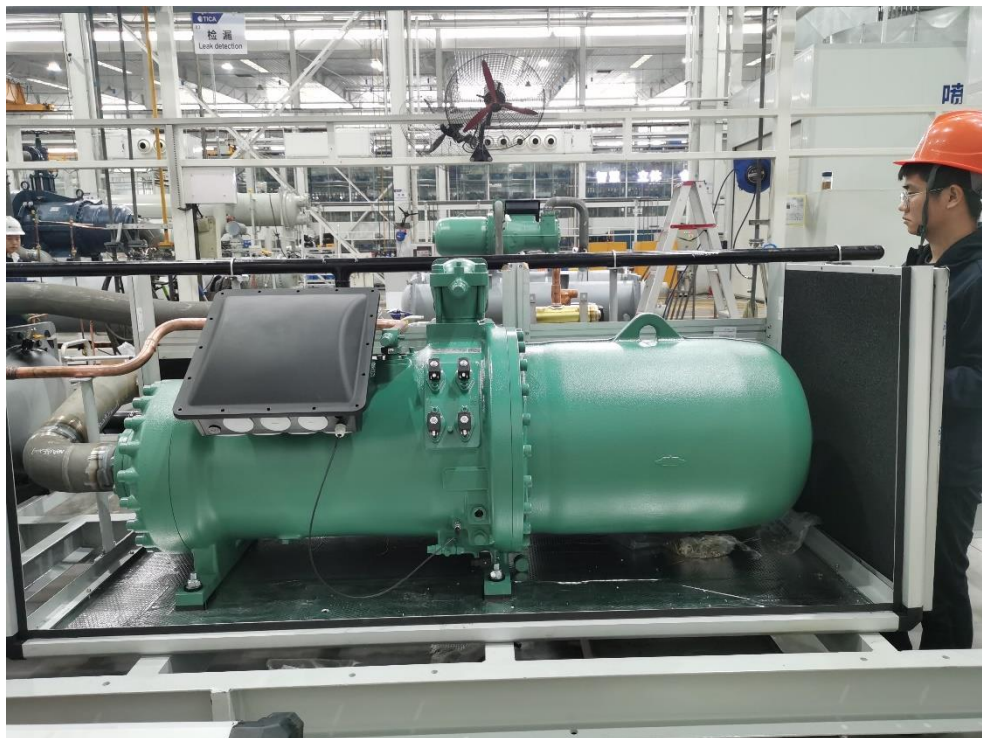


AHAD机组



降噪技术

- 针对压缩机噪声低频高能的特点，发明了集宽频隔声、吸声降噪等功能于一体的全封闭高效隔声罩装置；
- 针对风机涡流扰动噪声，优化风机叶片构型和增加导流装置；
- 针对气液两相制冷剂流体和管道之间摩擦产生的高频噪声，提出制冷剂气液两相流管道噪声隔绝方法。



压缩机隔声罩



管道噪声隔绝

低噪声高效除霜技术 | 降噪技术

Low noise and efficient defrosting technology

噪声测试

■ 经第三方检测，中建智造热泵噪声级77dB，领先国内外同类产品，隔声罩降噪12dB，远超同类产品（2-5dB）。

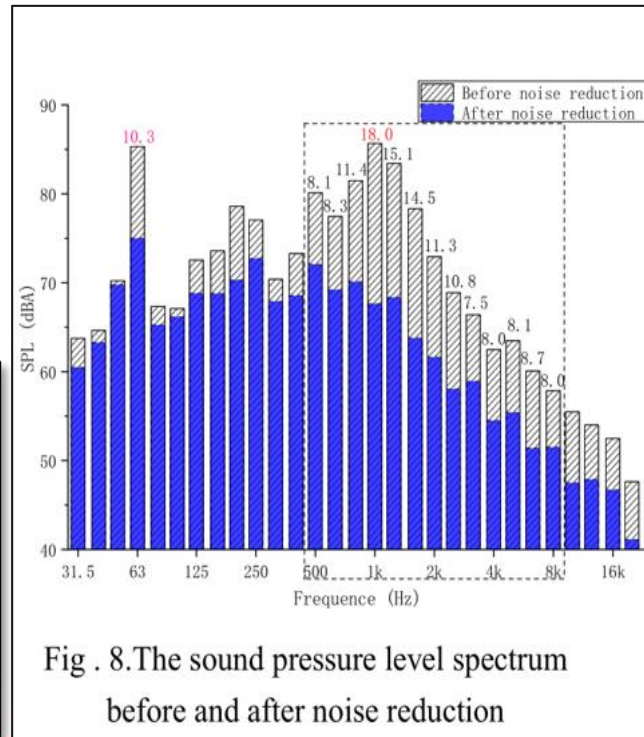
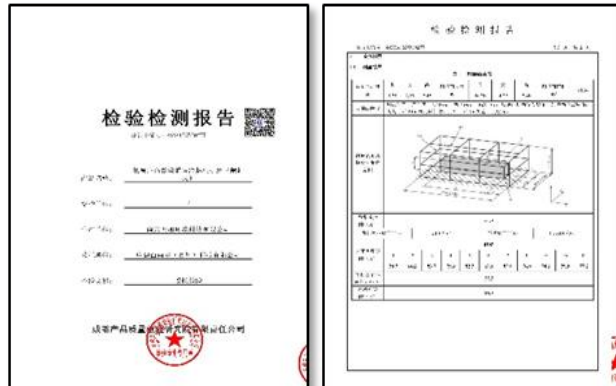


Fig . 8.The sound pressure level spectrum before and after noise reduction

空气源热泵噪声测试

空气源热泵噪声测试结果

低噪声高效除霜技术|成果及应用

Low noise and efficient defrosting technology

成果及应用

研究成果



研发成果授权发明专利**3**项，公开发明专利**5**项，授权实用新型专利**8**项，于第五届中国建筑创新创效大赛中从196名队伍中进入决赛**12**强



在SCI期刊《Applied Energy》(IF: 11.2) 《Applied Thermal Engineering》(IF: 6.4) 《Building Simulation》(IF=5.5) 发表论文**3**篇
已编制地方标准《四川省空气源热泵工程技术标准》(送审稿)

应用推广



西南院第二办公区改造项目

使用场所: 办公楼
应用面积: 8.5万平方米
应用设备: 低噪声高效除霜风冷热泵机组(螺杆式)

广元盘龙机场改扩建项目

使用场所: 航站楼
应用面积: 5000平方米
应用设备: 低噪声高效除霜风冷热泵机组(大涡旋式)





05

应用案例分析

项目概况

西南院第二办公区改造

A、项目简介:

中建西南院第二办公区设计于2007年，于2010年1月投入使用，是中建西南院院本部办公所在地和公司主要业务板块及职能部门的办公场所。在经历十余年的使用后，拟将通过改造工程，提高第二办公区空间品质、使用效率、竖向交通便捷度等，从而将第二办公区的改造工程**打造为成都市乃至全国的既有建筑低碳改造工程典范。**

B、空调冷热源改造:

冷水机组+燃气锅炉 → **冷水机组+空气源热泵**

为解决当前建筑**供冷需求增大**问题，采用2台冷热双工况热泵机组**调峰**+4台单制热机组。

C、热泵选型

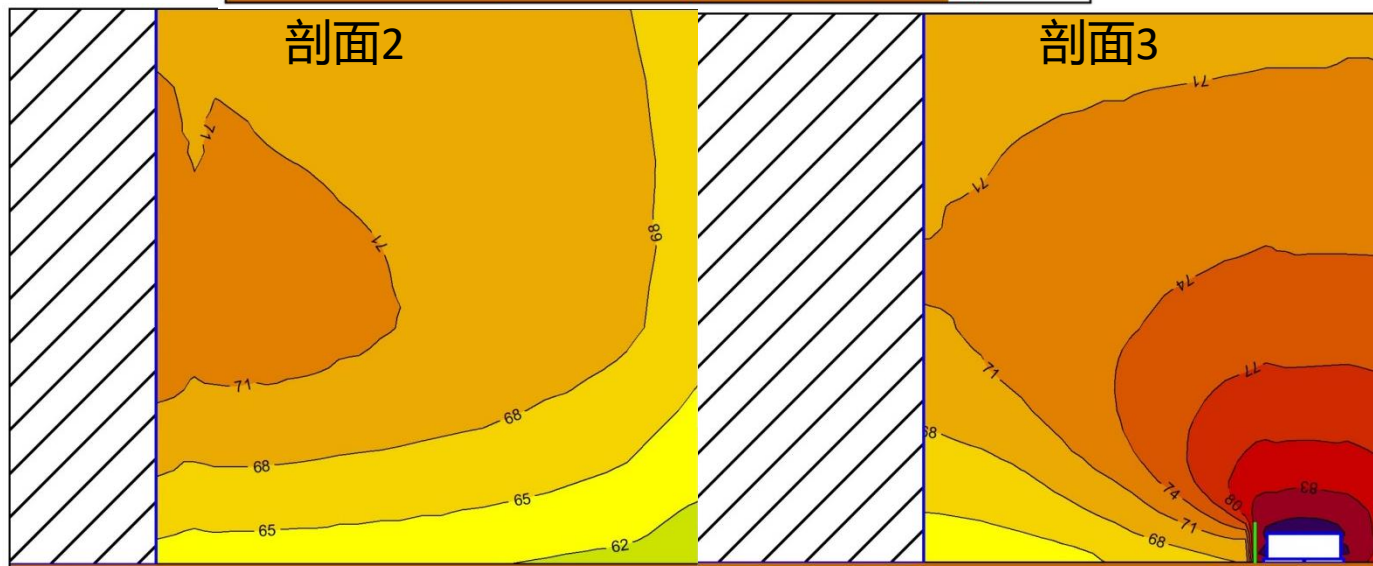
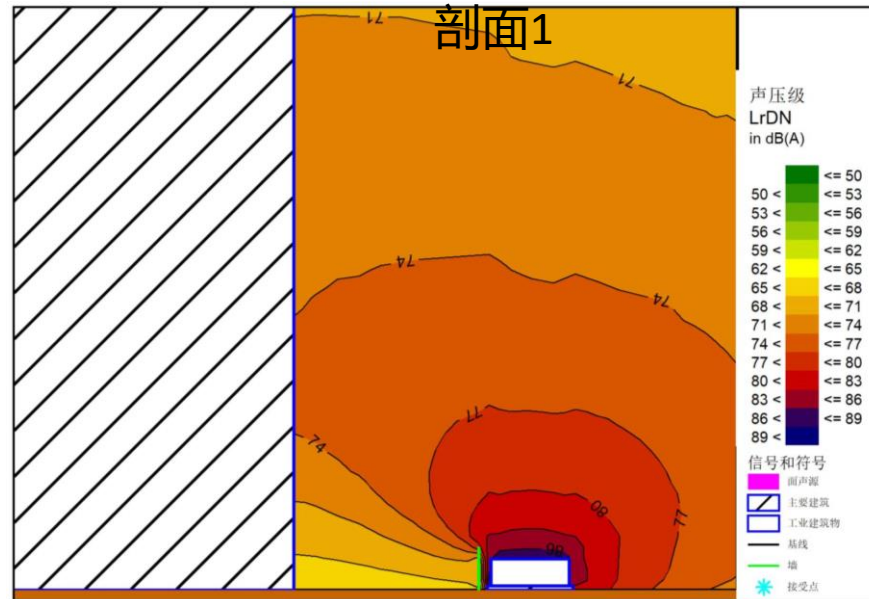
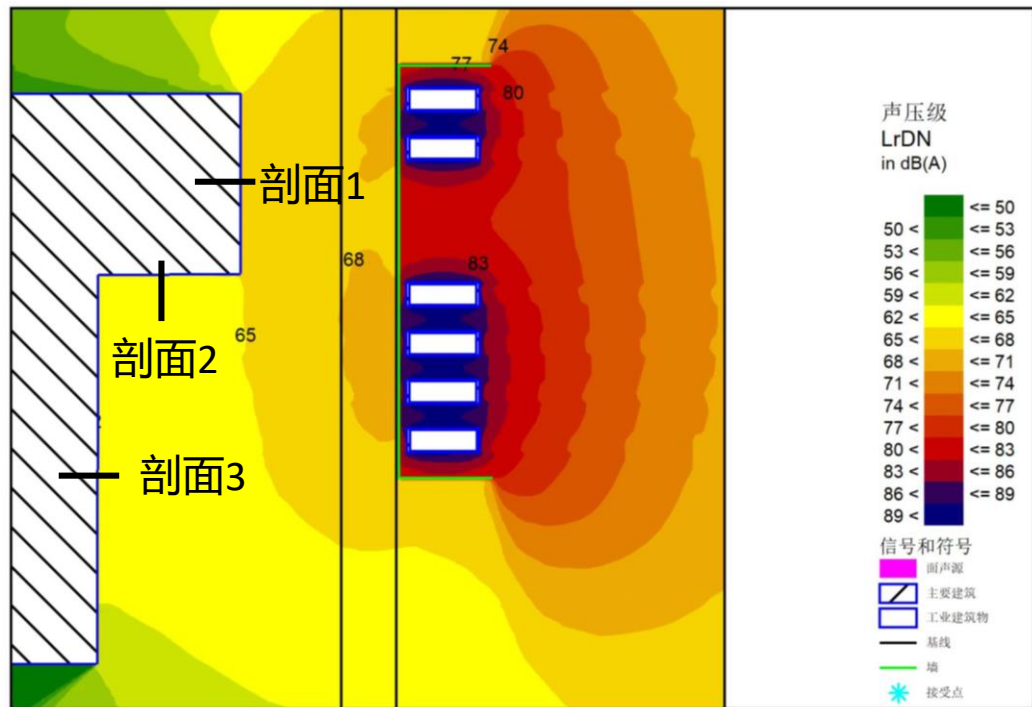
机组类型：风冷螺杆热泵机组；

容量台数：**4台单制热708kW+2台制冷/热780/740kW；**

能效：制热 COP 3.5。



声场模拟

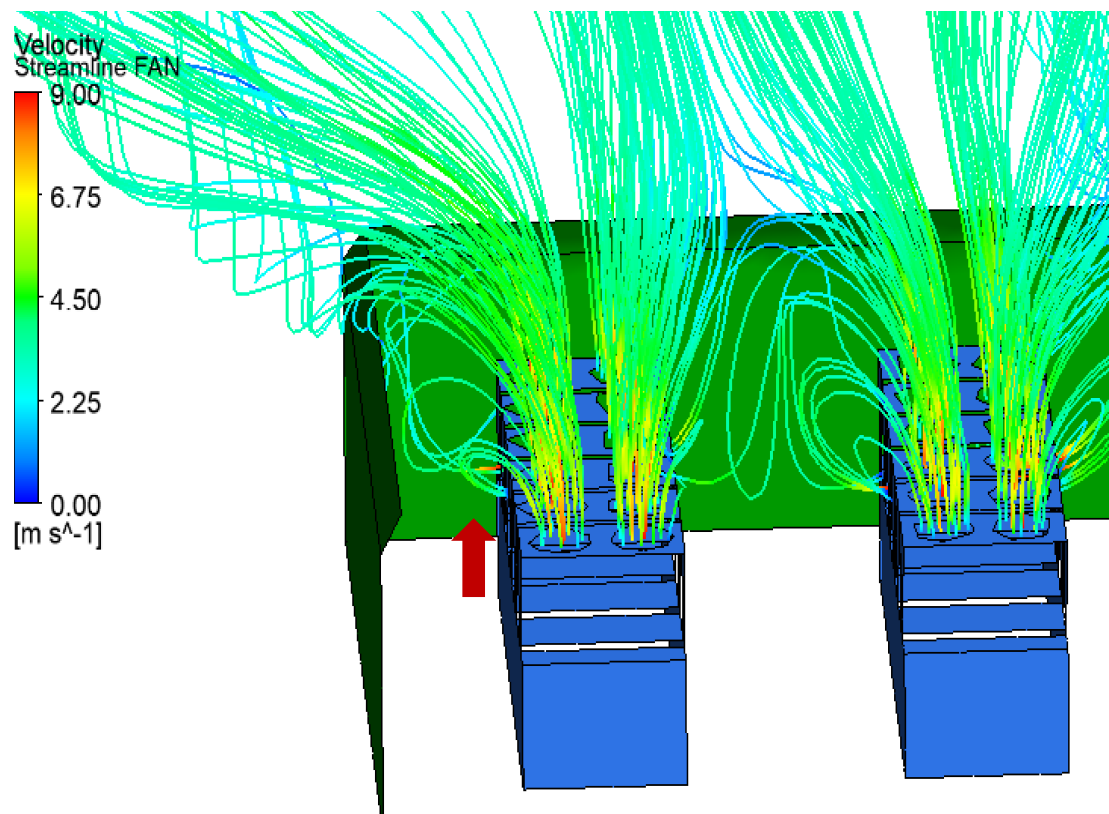


噪声影响区域	设备噪声值, dBA
一层, 车行道	62~68
B座东侧 (剖面一)	65~77
B座南侧 (剖面二)	65~74
AB连廊 (剖面三)	65~71

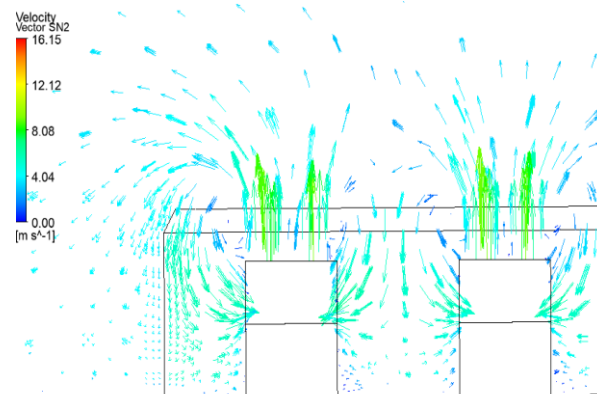
风场模拟

优化后的隔声屏障不会影响机组气流组织，同时隔声屏障甚至有助于削弱气流短路现象。

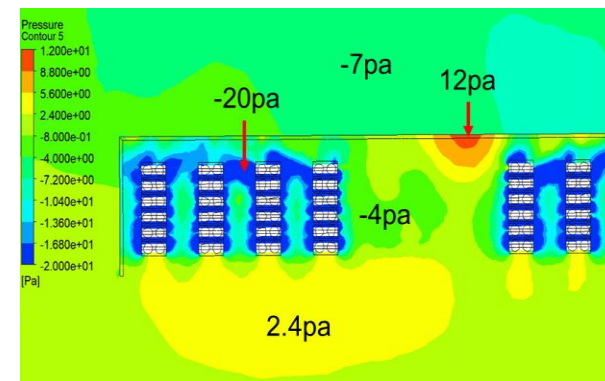
竖向截面流线图（西视图）



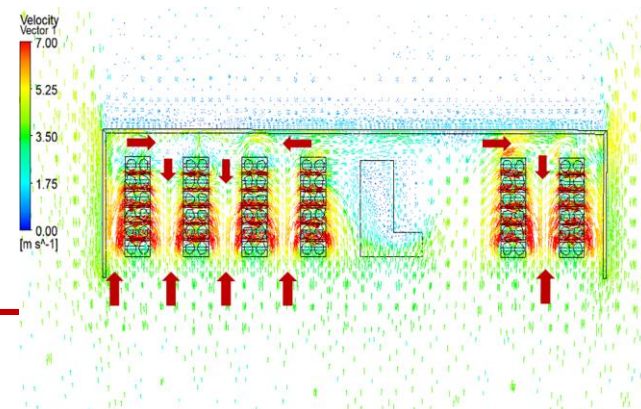
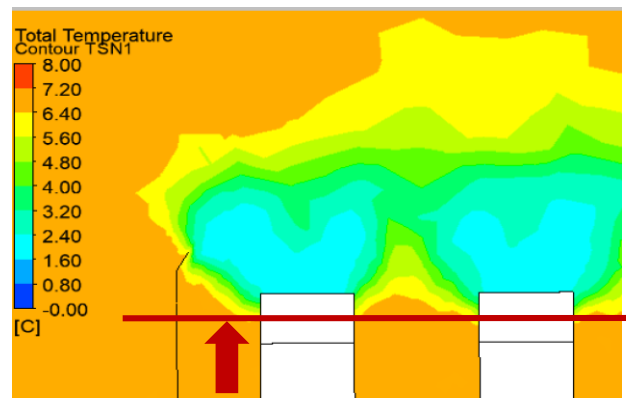
竖向截面流场（西视图）



压力云图（顶视图）



竖向截面温度云图（西视图）



THANKS

感谢聆听