

空气源热泵关键技术及相关解决方案

广东美的暖通设备有限公司

汇报人：张光鹏

2021年4月7日



汇报内容

01

背景介绍

02

空气源热泵关键技术

03

美的空气源热泵相关解决方案



背景介绍

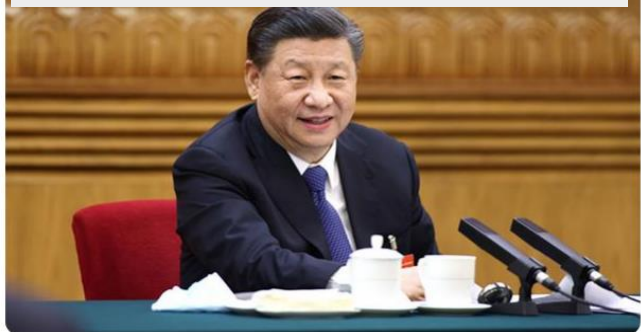


空气源热泵是实现“碳中和”目标的重要手段

中国北方冬季雾霾严重



“绿水青山就是金山银山” 是增值的



- 供暖燃煤是城市大气污染的主要因素之一；
- 2018年北方城镇供暖碳排放5.5亿吨，占建筑运行碳排放的**26.19%**。
- 尽可能利用**清洁能源**，加快提高清洁供暖比重！
- 2030年前实现**碳达峰**，2060年前实现**碳中和**。
- 如果以热泵空调为主，那么直接碳排放量不会持续增长；
- **空气源热泵**是煤改电供暖的最佳方式

空气源热泵

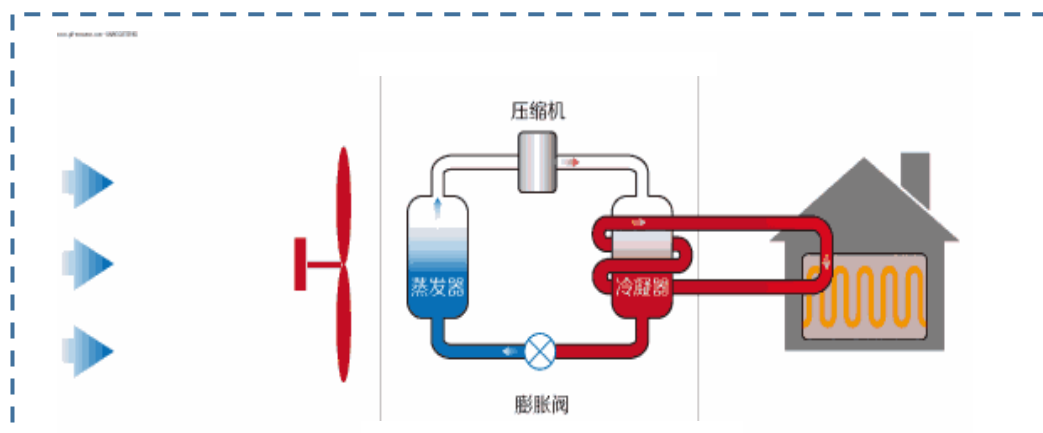
清洁

高效

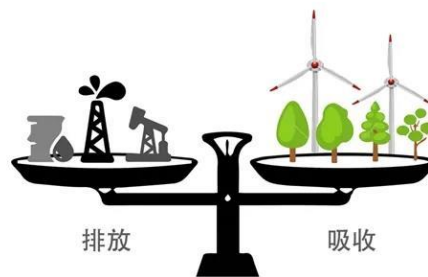
可靠

经济

安全



碳中和
Carbon Neutral





空气源热泵技术存在的问题



- 通常在-15℃环温以上运行
- 低温制热效果差

需拓宽使用温度范围

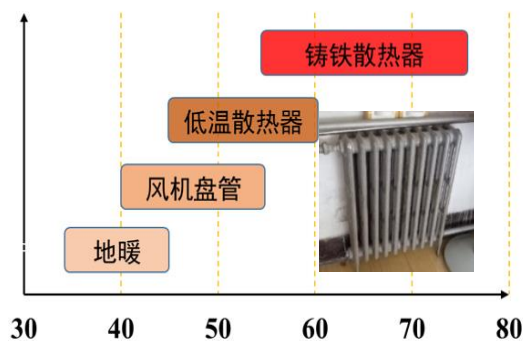
变频空气源热泵技术、 准二级压缩气液混合喷射技术



- 无霜化霜、
积霜过厚

需优化除霜控制逻辑

基于模糊控制的自学习除霜技术



- 末端种类多，供回水温差不相同
- 能耗高，水泵能耗占30%-40%

需拓宽运行温差范围

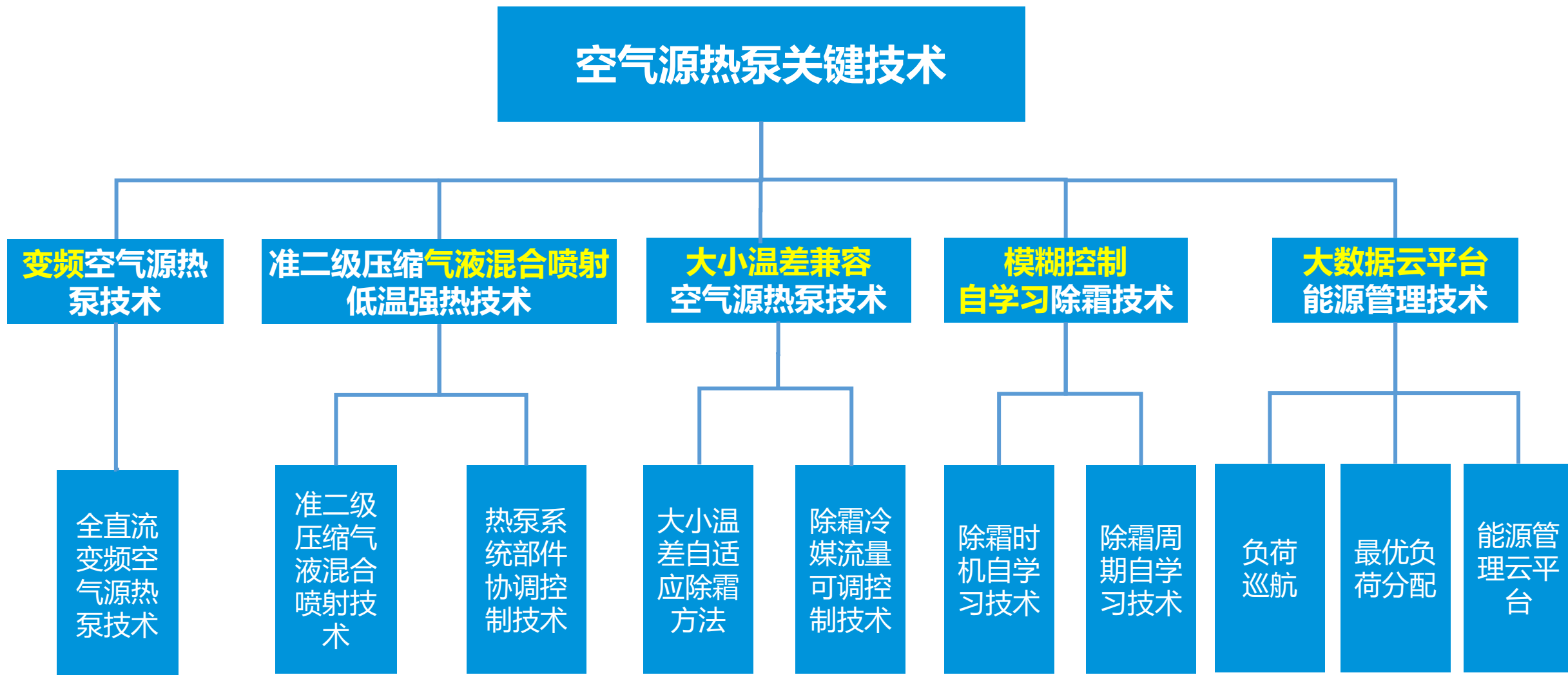
大小温差兼容空气源热泵技术



- 设定温度、
开停时机、
加卸载不合理

提升工程节能管理水平

大数据云平台能源管理技术





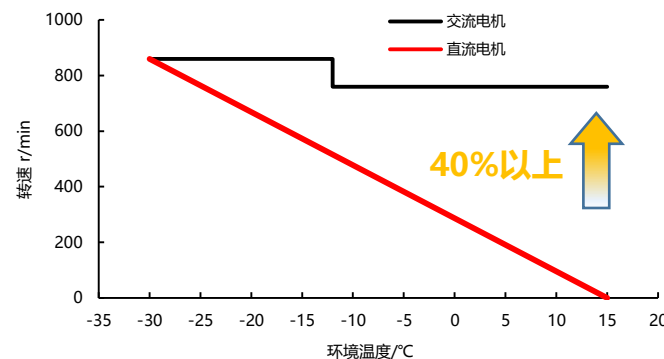
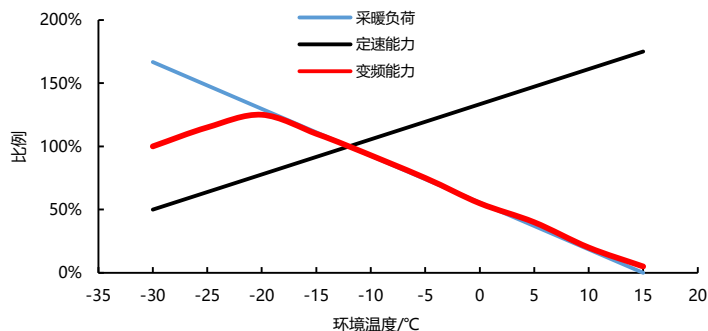
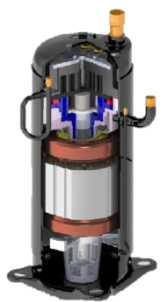
空气源热泵关键技术



变频空气源热泵技术

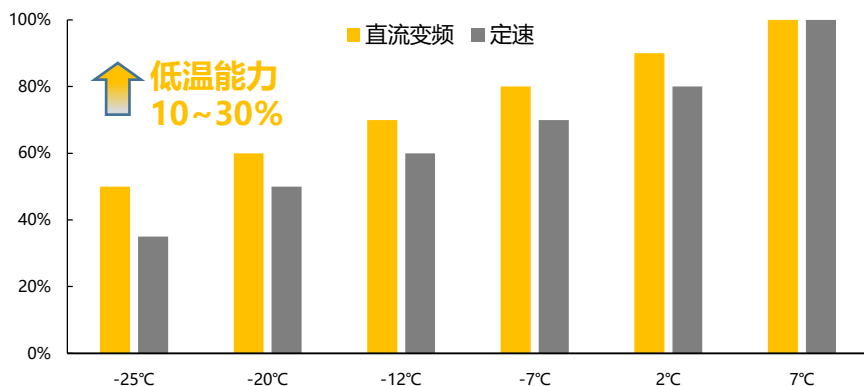


全直流变频空气源热泵的优势——按需输出、高效节能

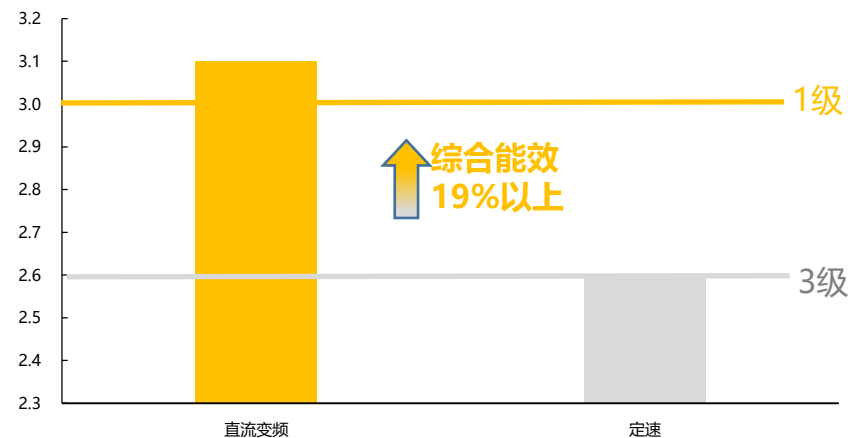


直流变频压缩机

直流无级调速风机



直流变频系统和定速系统变工况能力对比

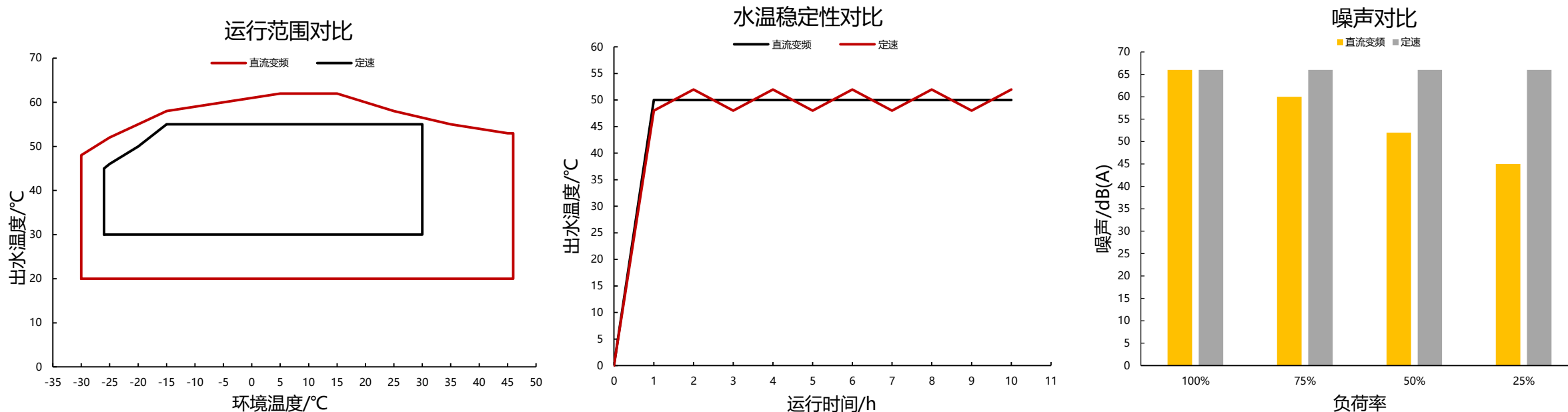


直流变频系统和定速系统IPLV(H)对比

变频化更好地满足负荷调节需求，减小启停损失，长期运行于高效区间，季节能效表现优异，全年节能



■ 全直流变频空气源热泵的优势——适用范围广、舒适、可靠



	压缩机转速范围	风机转速范围	可运行电压范围	系统适应性
直流变频	15~140Hz	无极调速	165~264V	强
定速	50Hz	分档调速	198~242V	弱

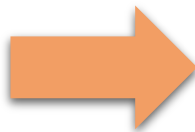
变频化有更大的运行范围，更稳定的水温输出，更低的总体噪声表现，更广的适应性



■ 全直流变频空气源热泵的优势

定频

- ❑ 制热衰减较大
- ❑ 低环温运行效率低
- ❑ 低环温出水温度低
- ❑ 适应范围较窄
- ❑ 集中放置噪音大



变频

- ❑ 更强制热能力
- ❑ 更低运行噪音
- ❑ 更广适用范围
- ❑ 更省运行费用

❑ 高全年能效

❑ 高水温

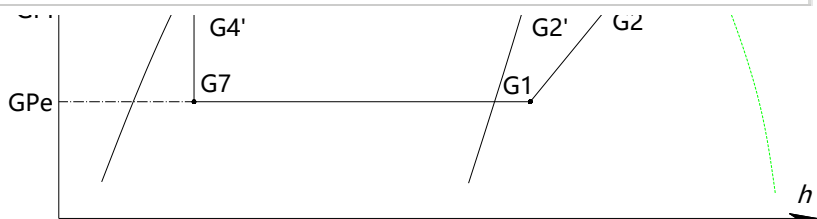
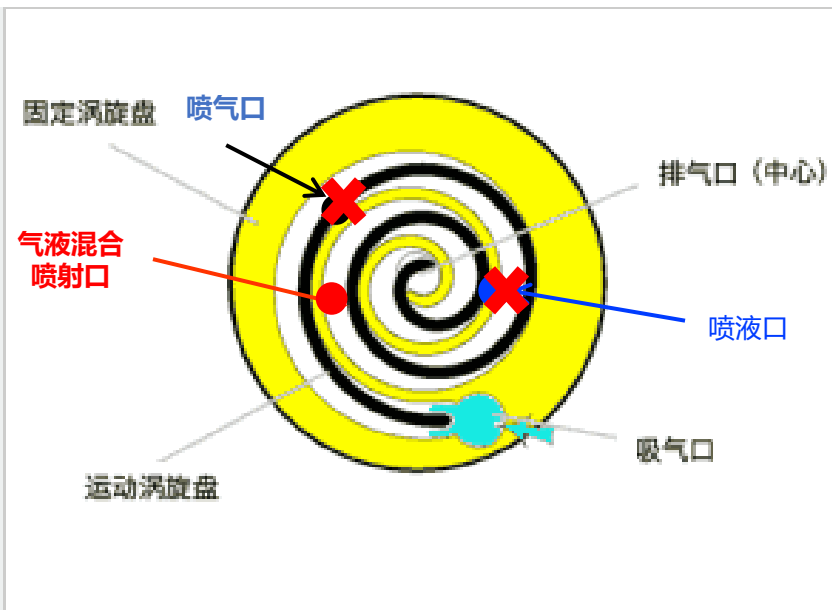
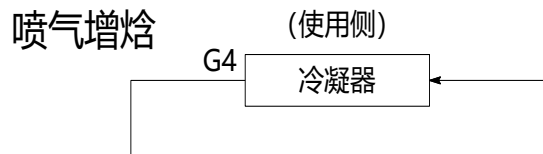
❑ 低噪音

❑ 高适应性



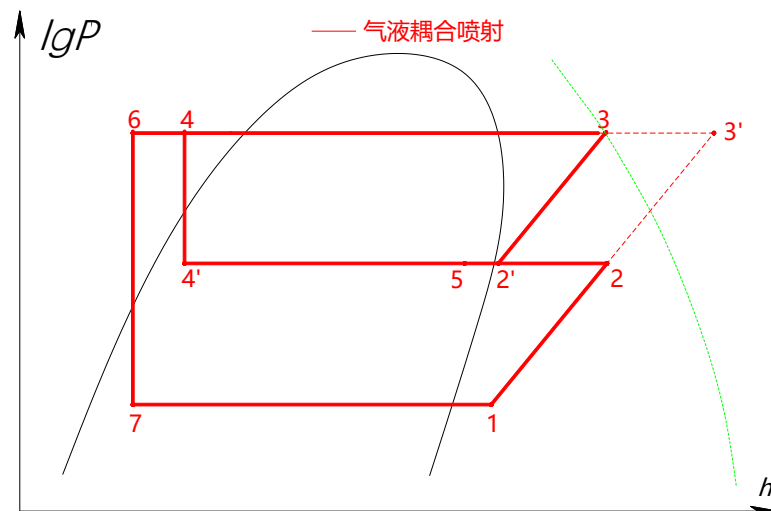
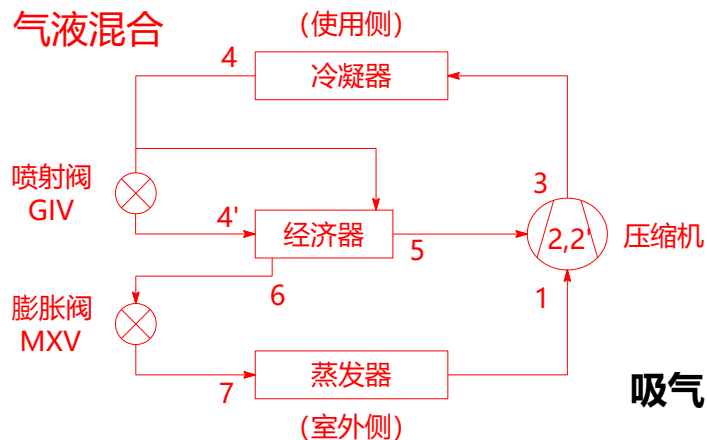
准二级压缩气液混合喷射低温强热技术

准二级压缩气液混合喷射技术



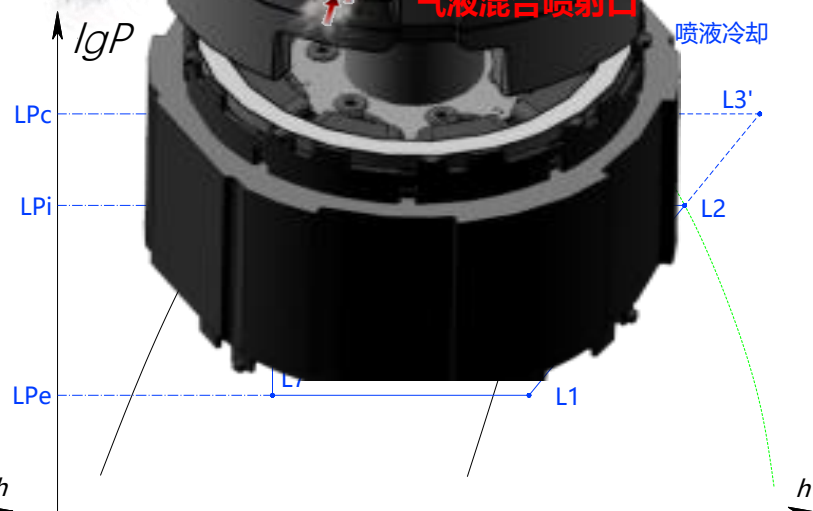
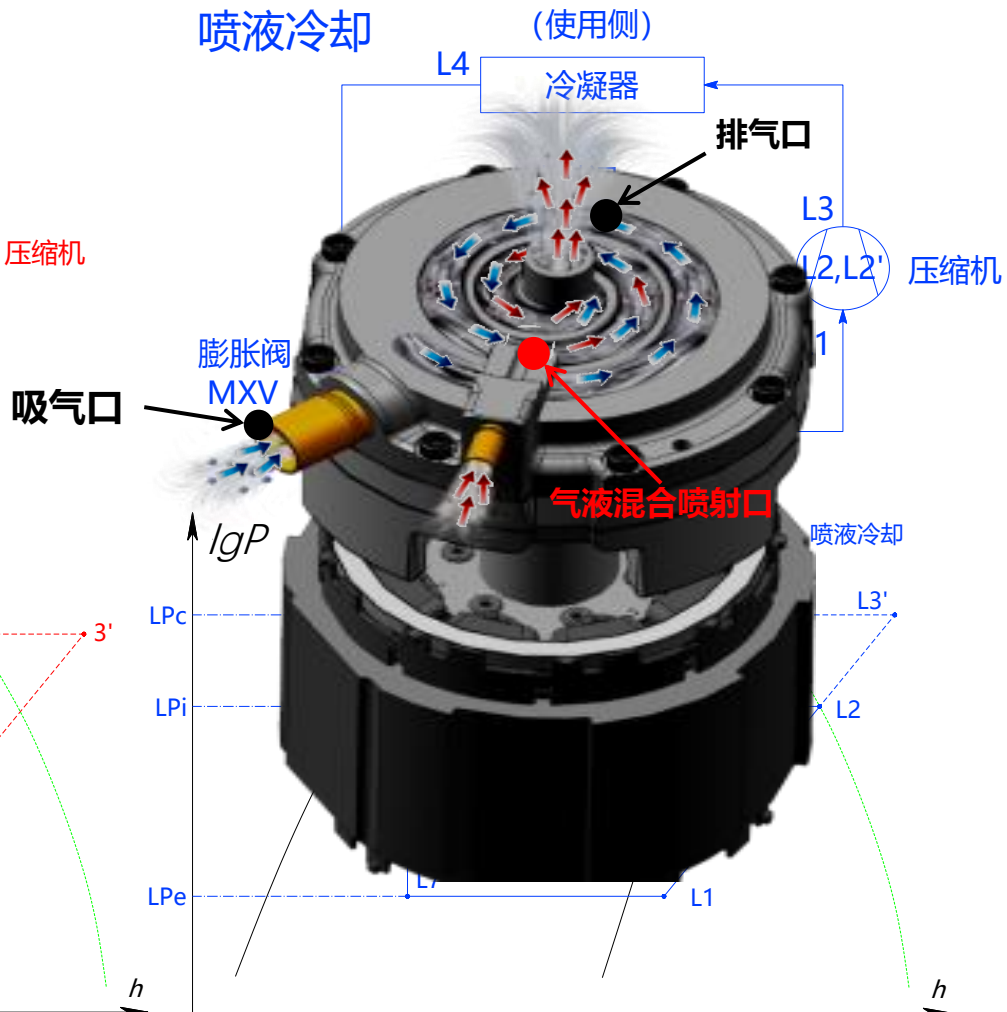
喷气增焓

低温能力能效较好，水温不高



气液混合喷射

可拓宽运行范围，提升低温能力能效



喷液冷却

低温范围广，能力能效一般



准二级压缩气液混合喷射低温强热技术

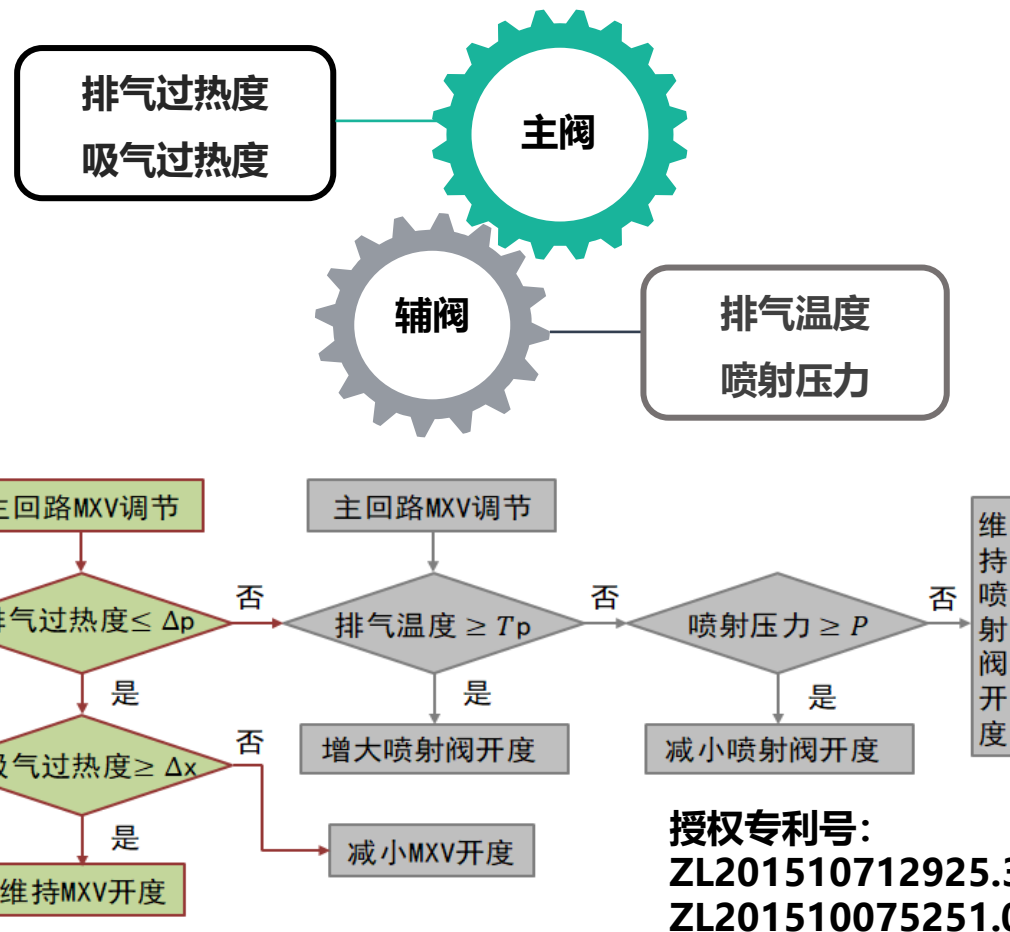
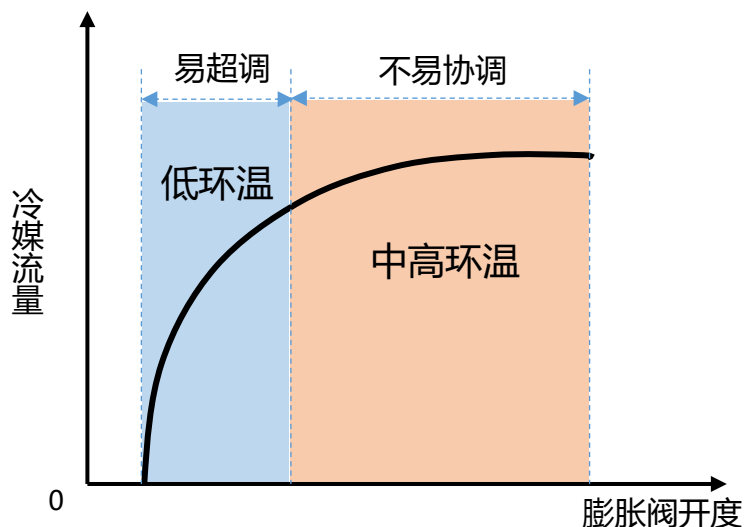
热泵系统节流部件协调控制技术

问题1：主、辅阀控制不协调影响制热效果及可靠性

喷射过少 → 排气温度高 → 频率受限: 能力能效差

喷射过多 → 排气温度低 → 可靠性差: 运行范围受限

问题2：极低环温时，阀开度较小，阀的调节对冷媒流量变化率影响较大，易出现超调



中高环温时，主、辅阀均采用过热度控制；

极低温度时，主阀维持小开度，辅阀根据压力、排气温度控制



大小温差兼容空气源热泵技术

问题1：小温差输配能耗高

据节能协会近几年的市场监测，工商用采暖工程的水泵耗能约占全年系统总能耗的**30%~40%**，部分工程占比更高。



工商用空气源
热泵供暖工程

30-40%

水泵耗能占比

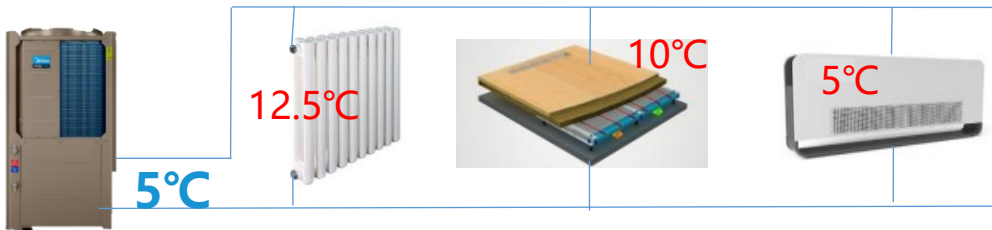
问题2：采暖设备进出水温差要求差异大

GB/T 13754-2008 采暖散热器散热量测试方法 **12.5℃**

JGJ 142-2004 地面辐射供暖技术规程 **≤10℃**

GB/T 19232-2019 风机盘管机组 **5℃**

GB/T 25127-2020 低环境温度空气源热泵(冷水)机组 **5℃**



优化方向

➤ 大小温差自适应：

主机提高供回水温差，实现大小温差自适应，拓宽空气源热泵应用范围、降低水泵功耗

➤ 提升机组能效：

采用小温差换热末端，降低供水温度，进一步实现系统节能

大温差主机的难题



大温差除霜

① 换热器易冻坏

大温差低水温除霜→蒸发温度、水温低于零度

② 除霜后系统振荡

温差变大→制冷参数变化大→更难收敛

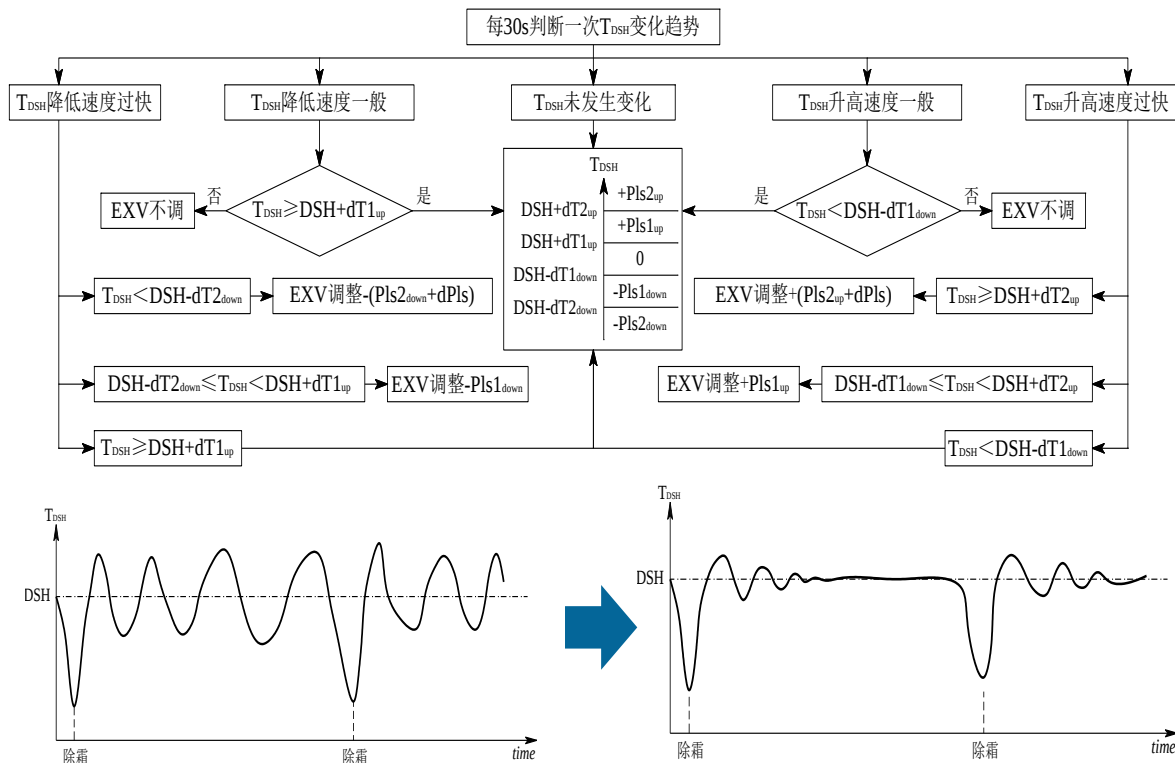
③ 化霜时间长

温差大流量小→除霜换热效率低



大小温差兼容空气源热泵技术

◆ 除霜能力自适应调节、多阶趋势算法

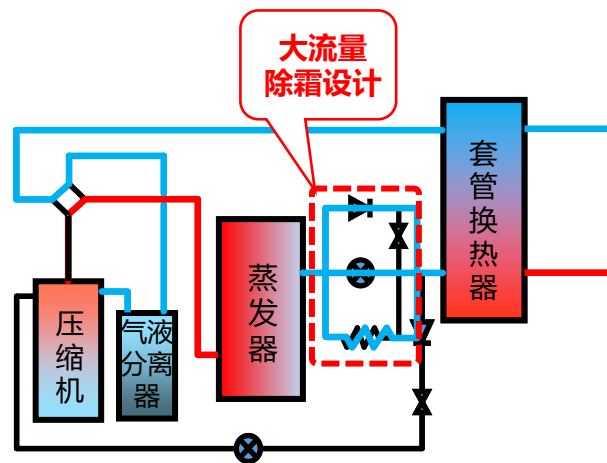


解决了大温差换热器易冻结、除霜后振荡的问题，提升系统可靠性，保证水温稳定、运行节能。

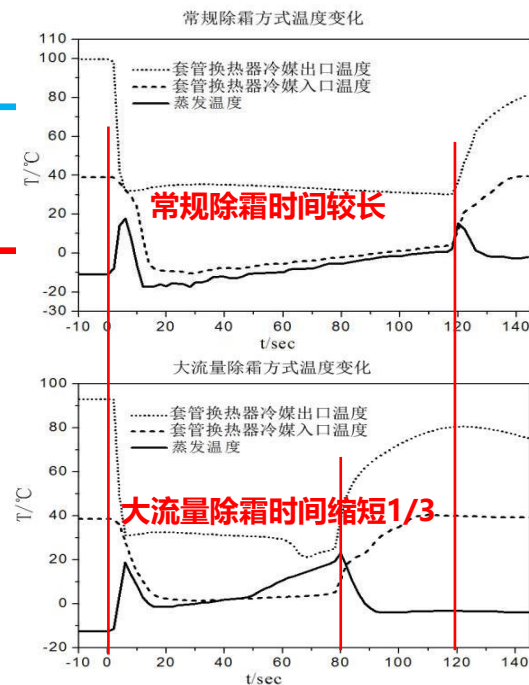
◆ 除霜冷媒大流量可调控制技术

除霜时增大冷媒流量，解决了大温差除霜时间长的问题，缩短

除霜时间1/3



授权专利号：
ZL201310192858.8
ZL201510065402.4
ZL201611021547.5





大小温差兼容空气源热泵技术

大温差系统节能效果

保证供回水平均温度不变测试 (注: 5℃温差: 36-41℃; 15℃温差: 31-46℃)

项目		机组			水泵			机组+水泵		
城市	类型	5℃温差HSPF	15℃大温差HSPF	机组耗能升幅	5℃温差耗能占比	15℃大温差耗能占比	耗能占比降幅	5℃温差HSPF	15℃大温差HSPF	系统耗能降幅
酒店建筑	北京	2.38	2.30	-3.5%	21.3%	4.1%	80.8%	1.88	2.21	14.9%
	太原	2.33	2.24	-4.0%	20.5%	3.9%	81.0%	1.86	2.16	13.9%
	济南	2.60	2.53	-2.8%	25.9%	5.3%	79.5%	1.93	2.40	19.6%
办公建筑	北京	2.47	2.39	-3.3%	46.0%	11.8%	74.3%	1.34	2.11	36.5%
	太原	2.48	2.40	-3.3%	47.8%	12.6%	73.6%	1.30	2.10	38.1%
	济南	2.65	2.58	-2.7%	48.2%	12.9%	73.2%	1.37	2.25	39.1%

对比5℃供回水温差系统, 15℃温差系统:

主机耗能 $\uparrow$ 2~4%, 输配耗能 $\downarrow$ 73~81%, 系统耗能 $\downarrow$ 14~39%

注:

- 标准温差系统按7℃环温下5℃温差, 根据GB/T 25127.1-2020标准中散热器型HSPF方法测试
- 大温差系统按7℃环温下15℃温差测试, 进出水平均温度与5℃温差测试的平均温度一致
- 循环水泵的功率按照GB/T 17758-2010《单元式空气调节机》进行计算, 大温差则按照相应的流量进行折算
- 循环水泵设定为热泵机组运转时水泵运转; 热泵机组停机时, 水泵在环境温度低于2℃时持续运转 (避免系统出现冻结)

$$\text{辐射换热量公式: } \Phi = \sigma(T_1^4 - T_2^4)A$$

σ —Stefan-Boltzmann常数

T1—采暖末端表面平均温度

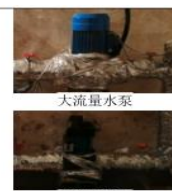
T2—室内空气和其它设施表面温度

A—采暖末端辐射表面积

散热量 $\propto$ 供回水平均温度



热泵机组



大流量水泵



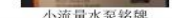
小流量水泵



热泵机组铭牌



大流量水泵铭牌



小流量水泵铭牌

中国建筑科学研究院有限公司
测 评 报 告

报告编号: S

第 6 页 共 6 页

典型工况监测

监测阶段	2020-04-04~ 2020-04-17 (小流量模式)	2020-04-18~ 2020-04-20 (大流量模式)
间休室温度 (℃)	26.5	25.9
抽水房温度 (℃)	19.9	20.3
卫生间温度 (℃)	19.6	21.1
温度平均值 (℃)	22.0	22.4

间室内温度平均值。

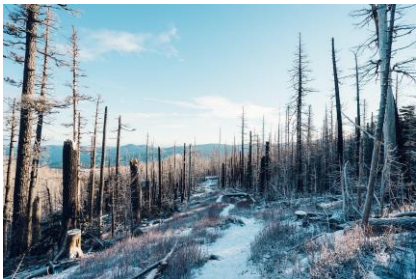
备注

大、小供回水温差的室内温度偏差 $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$



模糊控制自学习除霜技术

问题：各地气候差异大，除霜一直是空气源热泵的难题，存在无霜化霜、积霜过厚



晴朗冬日，天气干燥



雨雪天气，湿度较大

难点：结霜影响因素众多，除霜方法难以兼顾成本与准确性

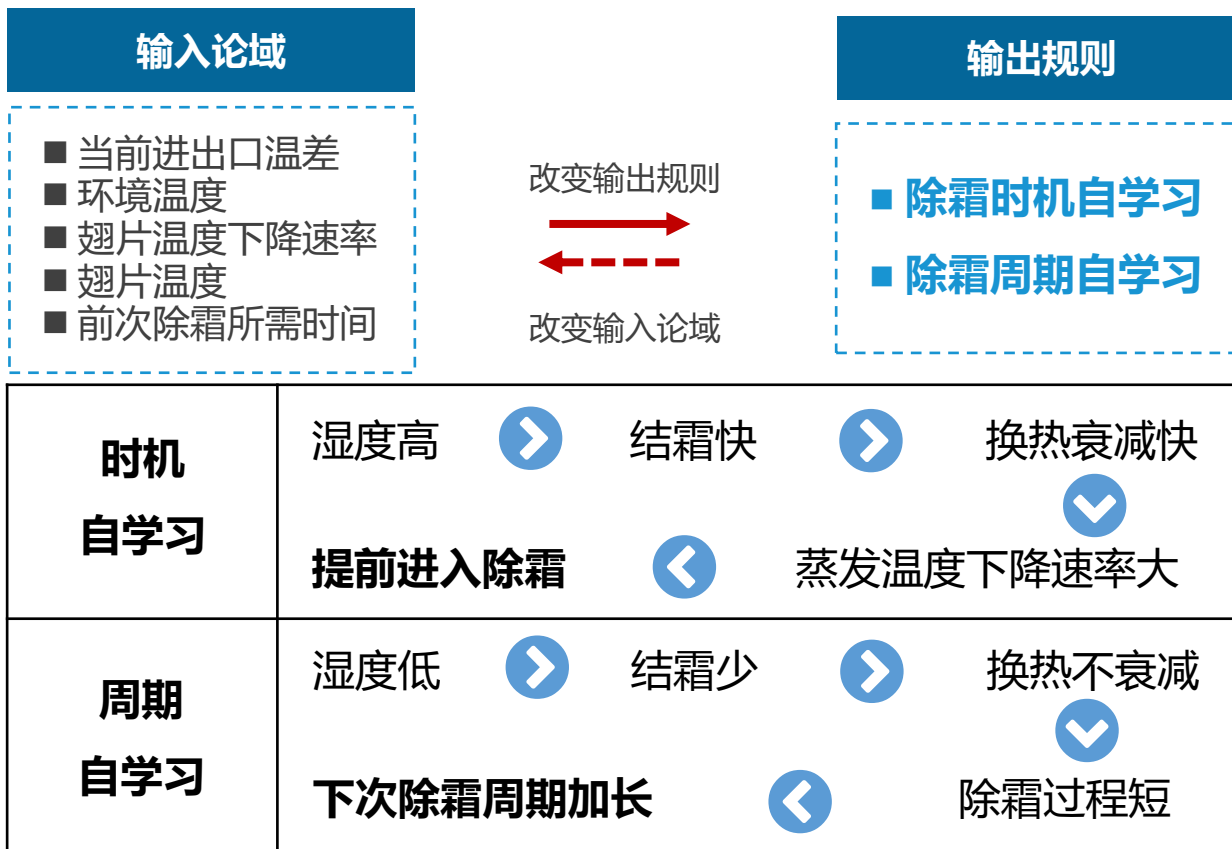


- 定时除霜
- 图谱除霜
- 智能除霜

结霜影响因子众多

除霜方法各有优劣

实现方法：模糊控制自学习除霜

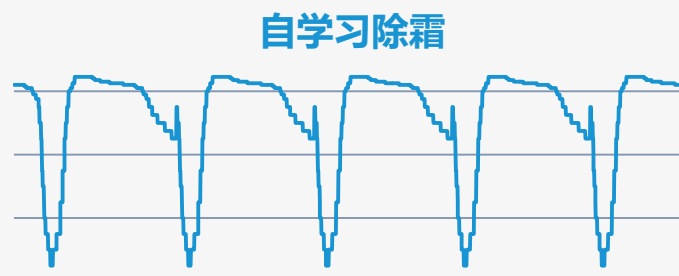
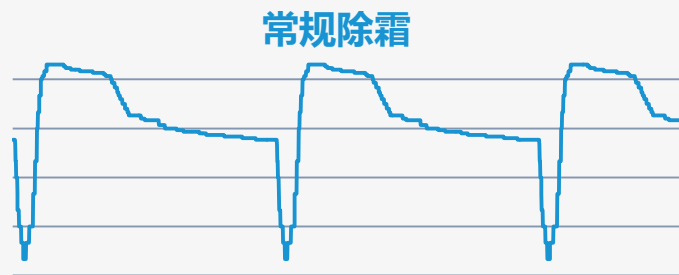


通过换热衰减率的变化，学习除霜时机
以及前次化霜时间，学习下次除霜周期

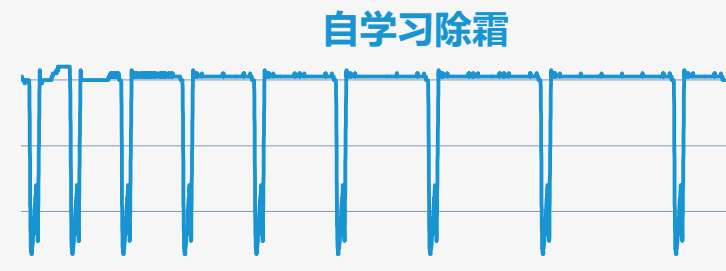
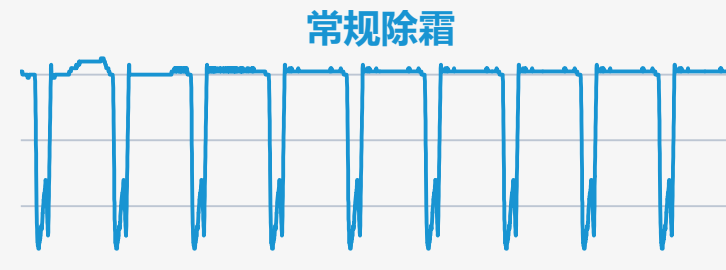
授权专利：
ZL201610264891.0
ZL201610264893.X



模糊控制自学习除霜技术



湿度较高时，找到最佳除霜时机，保证机组高效运行，能力能效均可**提升8%以上**



湿度较低时，主动延长制热周期，减少除霜次数，能力能效可**提升20%以上**

工况	湿度较高、结霜严重区间			湿度较低、结霜轻微区间		
除霜方式	制热周期	能力	能效	制热周期	能力	能效
常规除霜	100%	100%	100%	100%	100%	100%
自学习除霜	50~100%	100~110%	100~108%	100~400%	100~120%	100~120%



大数据云平台能源管理技术

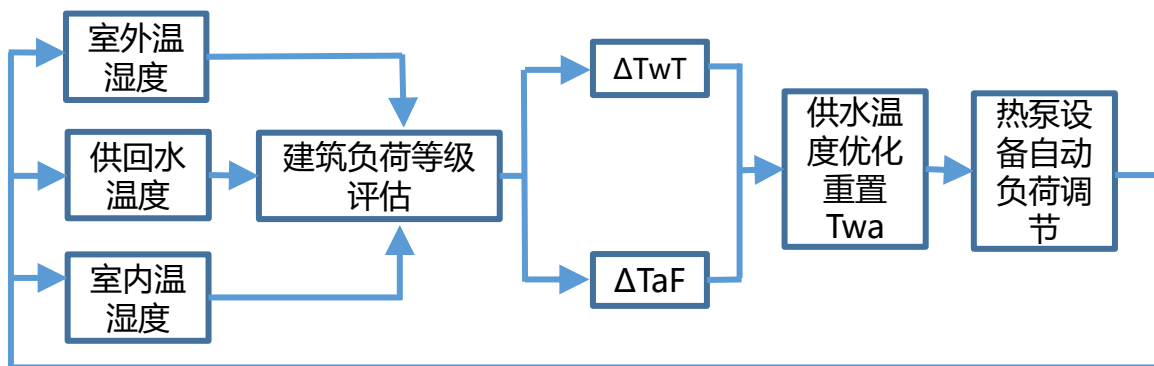
工程管理问题

- 设定温度及开停时机不合理
- 加卸载、频率运行不合理
- 群控平台功能不完善

优化方向

- 负荷预测
- 能力分配
- 能源管理云平台

① 负荷巡航技术（预测实时负荷）



名称	时段	供水温度设定值
正常运行	8:00~11:30	=计算值
调温开始	11:30~12:00	=计算值±ΔT* (β) 系数
满幅度调温	12:00~13:30	=计算值±ΔT
温度回调	13:30~14:00	=设定值±ΔT* (α) 系数
回调结束	14:00~18:00	=设定值

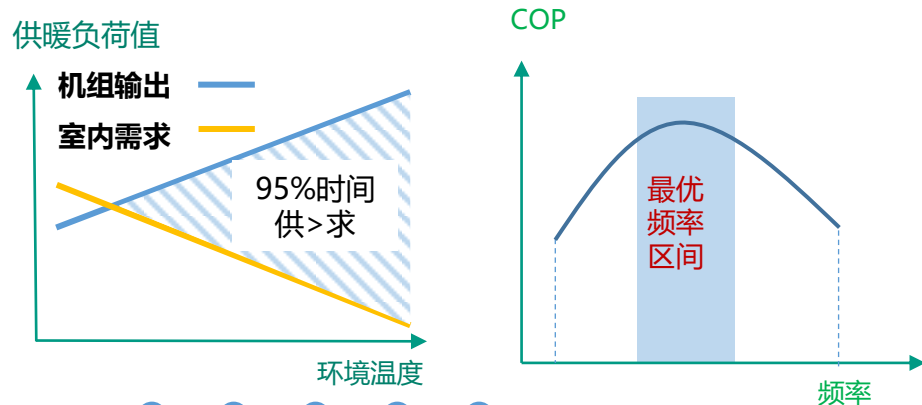
利用**负荷随动控制**和**超前预测控制**克服供水系统的惯性滞后，**提高系统能效3%-7%**。



大数据云平台能源管理技术

② 最优负荷分配技术

最优运行频率策略



2台，满频运行 → COP较差

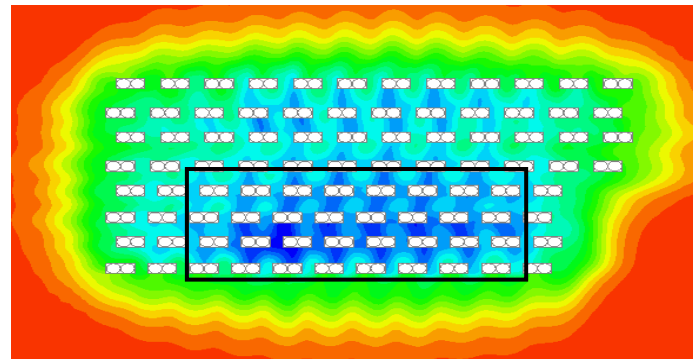
4台，最优频率运行 → **COP最优**

5台，较低频率运行 → COP一般

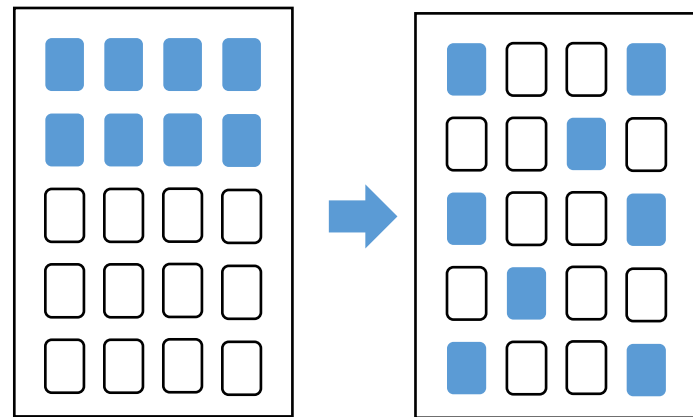
提升系统能效2~15%

注：数据为变频烈焰实验室实测计算

最优加卸载策略



集中开启导致冷热岛效应



传统加载方式

最优加卸载策略

提升系统能效2~3%



大数据云平台能源管理技术

③ 能源管理云平台

云集控PC界面



微信小程序



- 为用户提供无人运行值守服务;
- 优化运行管理, 节省运行费用;
- 发现问题, 快速响应;



美的空气源热泵相关解决方案



美的空气源热泵相关解决方案



烈焰产品布局

变频



VE380



VE750

- 舒适静音 • 全直流变频设计
- 低温强热 • 气液耦合喷射
- 范围宽广 • 环温-30~46℃、出水20~62℃
- 经济普适 • 大小温差兼容
- 节能可靠 • 自学习除霜
- 功能多样 • 新一代120线控
- 便捷可视 • 云集控、小程序

变频烈焰系列(VE380/VE750)

定速

ROARING
FLAME烈焰



Y310



E880



E1550

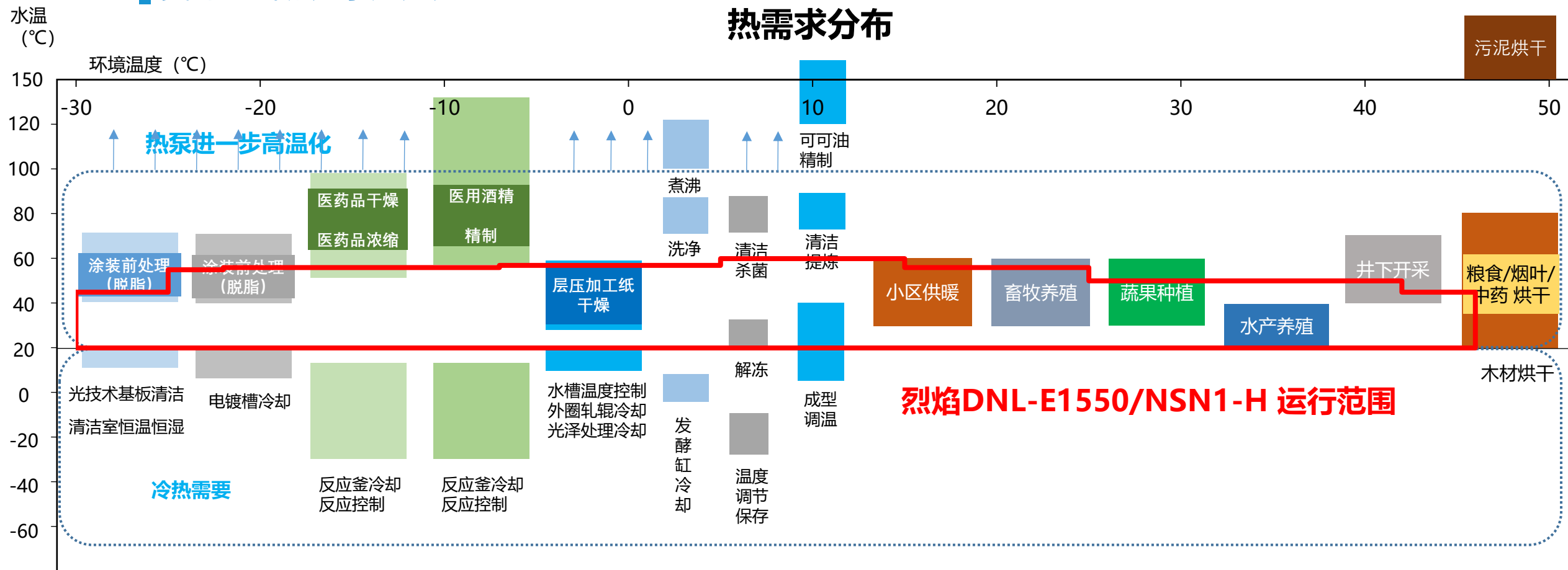
- 冷暖两用 • 兼顾制冷制热
- 低温强热 • 气液耦合喷射
- 范围宽广 • 环温-30~46℃、出水20~60(65)℃
- 经济高效 • 二次泵技术
- 节能可靠 • 自学习除霜
- 功能多样 • 新一代120线控
- 便捷可视 • 云集控、小程序

定速烈焰二代(Y310/E880/E1550)



美的空气源热泵相关解决方案

美的空气源热泵应用范围



饮料 火腿 零食生产

机械

汽车

医药

化学

印刷

食品

小区

畜牧

种植

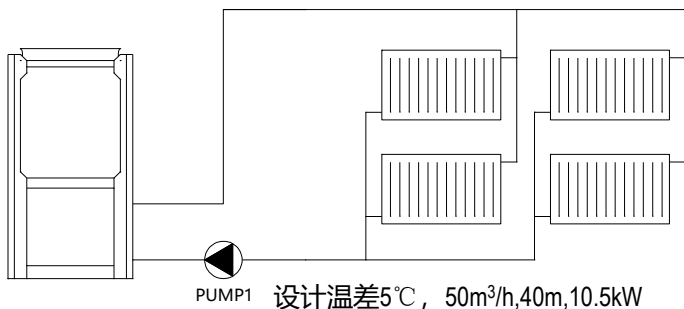
渔业

矿井

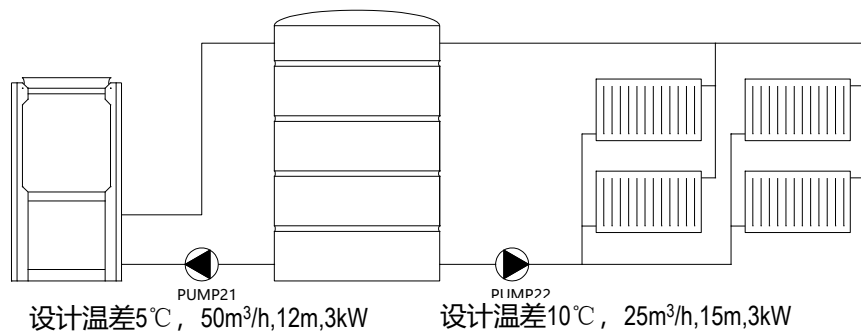
烘干



空气源热泵二次泵供暖系统



主机与末端共用循环泵，供暖时水泵长期运行



主机停机，主机泵停转 末端泵，供暖时水泵运转

建筑类型	形式	主机泵				末端泵				耗能			运行费用减少
		流量 m³/h	扬程 m	功率 kW	时间 h	流量 m³/h	扬程 m	功率 kW	时间 h	主机电量 kW·h	水泵总电量 kW·h	系统总电量 kW·h	
北京·住宅	单泵	50	40	11	3556	/	/	/	/	159604	39116	198720	/
	二次泵	50	12	3	1728	25	16	3	3556	159604	15852	175456	11.7%
北京·办公	单泵	50	40	11	2458	/	/	/	/	36793	27038	63830.8	/
	二次泵	50	12	3	450	25	16	3	2458	36793	8724	45516.8	28.7%

二次泵系统可避免主机泵长期运转、降低末端泵耗能。配合峰谷电利用，调峰填谷可进一步节省运行费用。

定速烈焰二次泵控制功能：

- 可根据工程需要设置二次泵供暖型式
- 可根据需要分别设置主机泵、末端泵开停时间，减少无效运转
- 六段日定时、七天周定时功能，每段均可设定水温，实现调峰填谷
- 配合BMS智能楼宇管理系统、云集控，实现更加快捷、经济运行方式。



集中小区供暖

室内实际需求温度18~20℃ 类似应用：大中型医疗机构、商场、酒店、娱乐场所



既有改造：热源替代（烈焰系列）、管网升级、末端校核

推荐热负荷指标：节能35~45、非节能55~65w/m²

室外设计温度：当地供暖室外计算温度

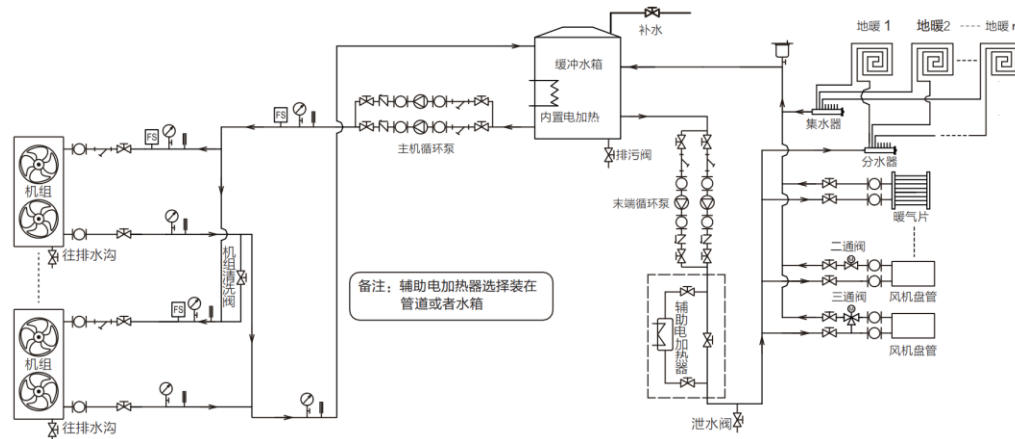
设计供水温度：暖气片45~55℃、风盘45~50℃、地暖40~45℃

单台适配建筑面积（以太原为例）：

节能建筑：500~2000m²

非节能建筑：300~1500m²

新建社区：最佳采暖应用推荐 烈焰+地暖 持续供暖



大面积、大体量社区可采用多个供热站形成分区供暖系统



美的空气源热泵相关解决方案



学校、企事业办公楼供暖

室内实际需求温度14~18℃、非持续性供暖、夜间维持



大中小学学校：

教学楼、办公楼、餐厅日间供暖、宿舍楼夜间供暖

企事业单位：

办公楼等日间供暖、值班室、宿舍楼夜间供暖

既有改造：

管网末端完好：烈焰系列+原管网末端
合理解决管径，水力平衡，末端布置

新建项目：

高性价比设计：烈焰系列+风机盘管，制冷采暖
一体

学校类需考虑最冷月防冻，防水处理或维持低温运行

控制策略：夜间降低出水设定温度，维持较低的室内温度，避免停机造成热量损失

推荐热负荷指标：

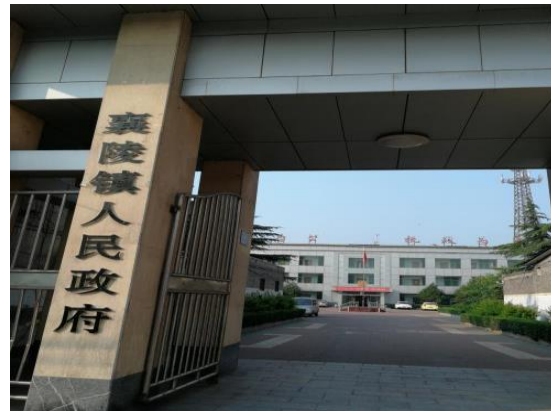
节能45~60w/m²

非节能60~80w/m²

管网严重老旧场所：

建议新设管网

类似场景：乡村卫生院、高速服务区、加油站等





温室大棚供暖

种植花卉、蔬菜品类不同，室内实际需求温度5~28℃

项目特点：建筑无热惰性、非持续供暖、围护结构南北迥异、供暖期时间长于民用建筑采暖

温室大棚常见围护结构类型：薄膜类、玻璃类、暖墙类

保温措施：保温幕、棉被等

供暖时间：10月份~5月份
(17:00~8:00)

热负荷：考虑最冷月最大热负荷需求

室外供暖温度设计：低于民用建筑采暖室外设计温度

室内温度需求：不同品种植物要求温度不同



项目需求：

- 1、95%大棚项目为民营项目，甲方更关注投入产出比，对品牌要求不高；
- 2、甲方对温室温度需求理解不一，方案设计形式多样：风管机方案、柜机方案、空气源热泵+盘管、空气源热泵+镀锌管、空气源热泵+大棚专用翼翅管、水地源+末端等；
- 3、小企业倾向BOT模式

推荐热负荷指标：（室内需求18℃）

夏热冬冷：100~150w/m²

寒冷地区：150~200w/m²

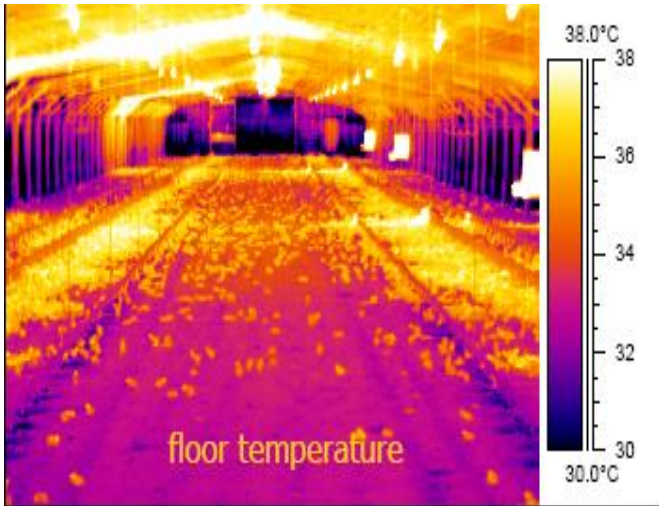
严寒地区：200~250w/m²

（以保温性能良好塑料薄膜大棚为例，具体项目需根据围护结构及室内外温度进行计算）



养殖场供暖

最高养殖温度需求35℃，每日温度递减0.5~1℃，单次供暖周期45天



“谁把握了猪舍的温度，谁就把握了猪群”，解决好养殖场的供暖问题，是现代养殖的重要环节



地暖方式：第一时间感知温度；热浪源源不断，无冷热不均；降低空间供暖负荷需求

现代化养殖场最佳采暖模式：

空气源热泵+地暖

- 1, 鸡、鸭、猪最需要的是腹部与地面接触的温度而非室内温度；
- 2, 热空气上浮，冷空气下沉；
- 3, 温度监测点的布置；
- 4, 对空间加热，温度达到需求，需要更多的热量



美的空气源热泵相关解决方案



工程案例

工程地址：山西晋中市榆社县榆社供水工区

机型和数量：DN-VE750/NSN1-H 一台

供暖面积：274 m² (包括间休室、抽水房、卫生间)

小流量水泵：HiPH 3-300EH (6 m³/h,340W)

大流量水泵：HiPH 3-300EH (16 m³/h,1100W)

典型工况下大小温差监测数据 (2020.04.04~2020.04.20)

室外平均温度 (℃)	室内平均温度 (℃)	平均制热量 (kW)	热泵机组平均功率 (kW)	小温差			大温差		
				水泵运行功率 (kW)	水泵耗电占比 (%)	系统 COP	水泵运行功率(kW)	水泵耗电占比 (%)	系统 COP
8.1	22.07	12.3	3.24	1.18	28.4	2.51	0.38	10.4	3.46

- 与小温差大流量模式相比，达到相同的供暖效果，大温差小流量模式的水泵耗电占比**降低63.38%**，系统能效**提升37.85%**。

北家所入驻监测，出具第三方运行报告



中国建筑科学研究院有限公司 测 评 报 告

报告编号: SXJZYS-QJQN-CP-202001

第 5 页 共 6 页

6. 结论

根据对山西省晋中市榆社县榆社供水工区热泵机组的现场监测，得到如下结果：

1. 在半个供暖季的监测阶段（2020-01-15~2020-03-31）内，室外温度平均值为 1.9℃，室外温度日均值最低为-6.9℃，逐时值最低为-11.3℃，室内温度平均值为 19.9℃。监测期间热泵机组耗电量为 15225 kWh，水泵耗电量为 1102 kWh，水泵耗电占比为 6.7%。小流量模式监测期间（2020-01-15~2020-03-06）水泵耗电占比为 3.3%，大流量模式监测期间（2020-03-07~2020-03-31）水泵耗电占比为 21.5%。相比大流量模式，小流量模式水泵耗电占比比较小。

2. 在典型工况的监测阶段（2020-04-04~2020-04-20）内，对热泵机组运行时段的数据进行分析，小流量模式下室外温度为 8.2℃，供水温度为 34.6℃，水泵耗电占比为 10.4%，热泵机组 COP 为 3.86，系统 COP 为 3.46；大流量模式下室外温度为 7.7℃，供水温度为 34.6℃，水泵耗电占比为 28.4%，热泵机组 COP 为 3.50，系统 COP 为 2.51。相比大流量模式，小流量模式水泵耗电占比比较小，体现出较高的系统 COP。

感谢您的聆听

期 待 与 您 合 作

广东美的暖通设备有限公司

汇报人：张光鹏

2021年4月7日

