



轨道交通低碳智能环控系统

陈旭峰

珠海格力电器股份有限公司

2024年4月

汇报目录

CONTENTS

01

地铁车站环控技术发展

02

格力环控系统核心设备

03

工程应用与数据分析

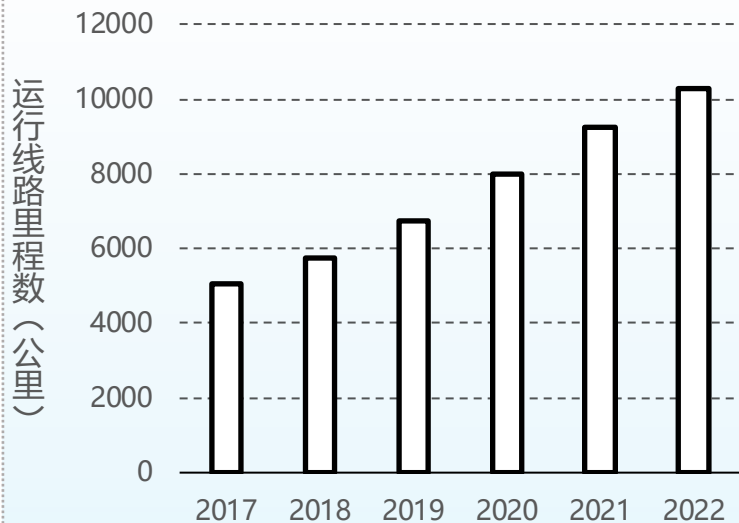
04

总结与展望

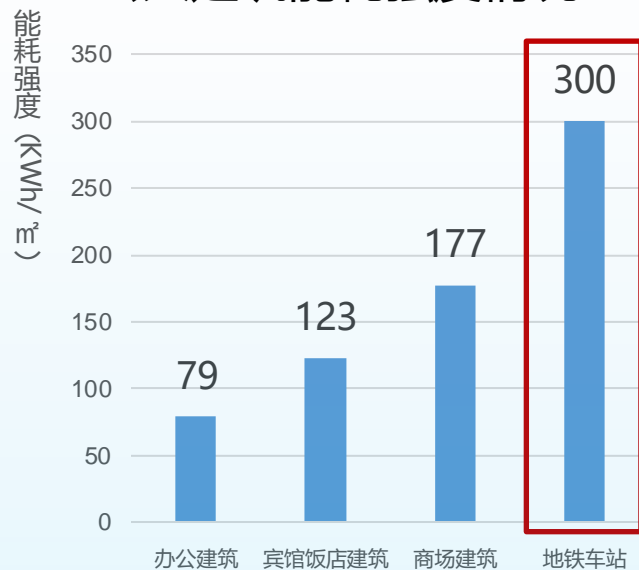
中国地铁建设高速发展

- 截至目前，全国共有55个城市和地区开通城市轨道交通308条，**运营线路已达10205.6公里**
- 据统计，2022年城轨交通总电耗达227.9亿度电，非牵引电耗114.8亿度电，同比增长7.4%
- 能耗强度达300kW·h/(m²·a)，**接近办公建筑4倍；空调系统能耗占45%左右**，节能降碳潜力大

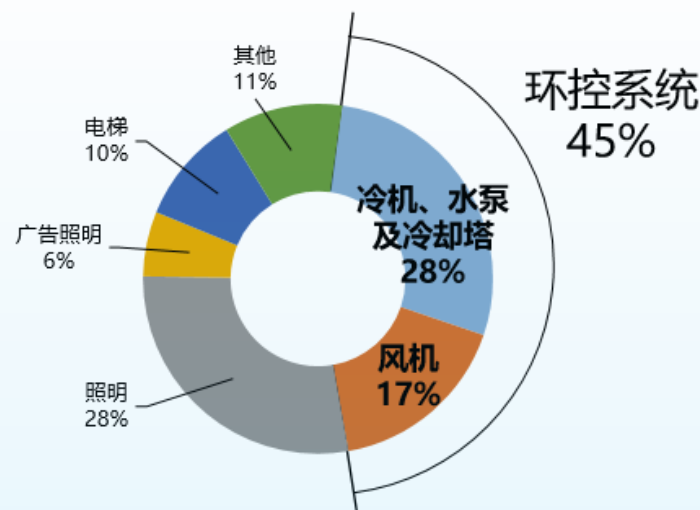
城轨运营线路里程图



公共建筑能耗强度情况



非动力牵引部分能耗占比

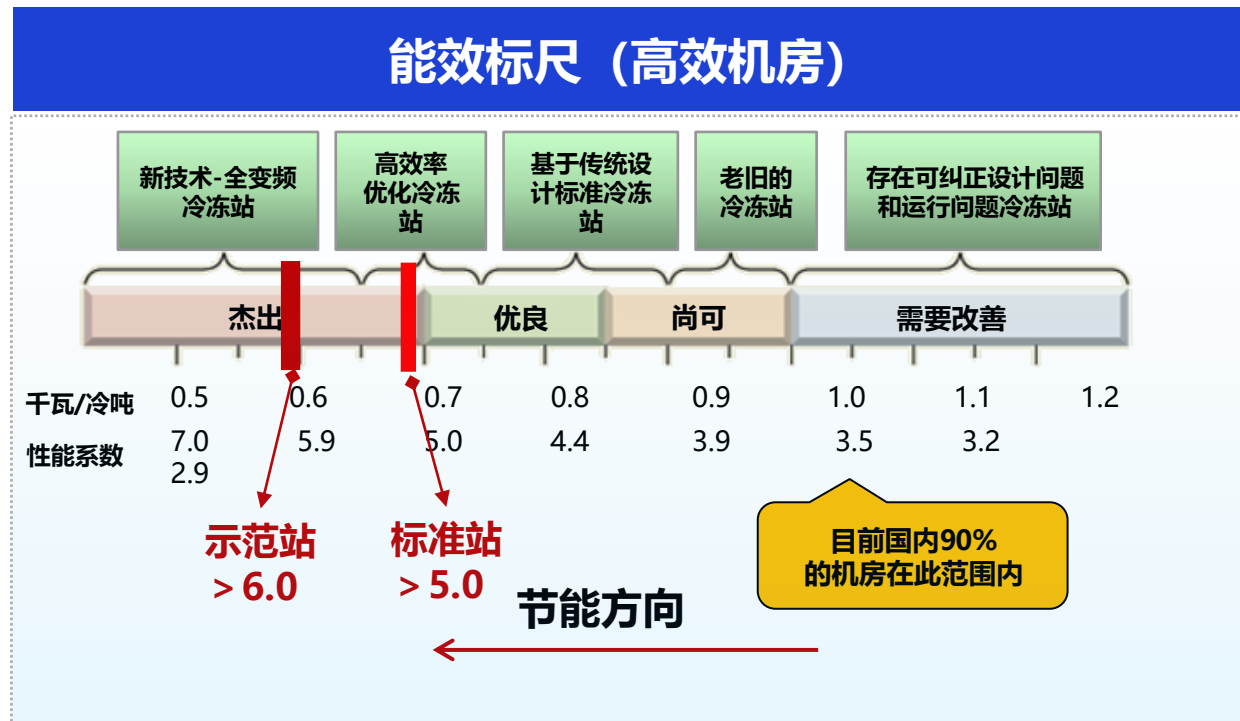


注：地铁能耗数据来源：《城市轨道交通2022年度统计和分析报告》

双碳背景下地铁车站通风空调发展趋势

- **减碳承诺**：力争于2030年前碳达峰，2060年前实现碳中和，比巴黎协定目标提前5-10年
- **行业发展**：地铁智慧能源系统运营能耗**2025年下降15%以上，2035年下降30%以上**
- **企业行动**：深圳地铁、广州地铁等招标要求对制冷机房及通风空调系统能效都做出明确要求

地铁智慧能源系统			
时间	运营能耗下降指标率 (%)	空调能效	制冷机房能效
现状	—	2.5	4.0
2025年	> 15	3.5	5.0
2035年	> 30	4.5	6.0
2060年	> 50	6.0	7.0



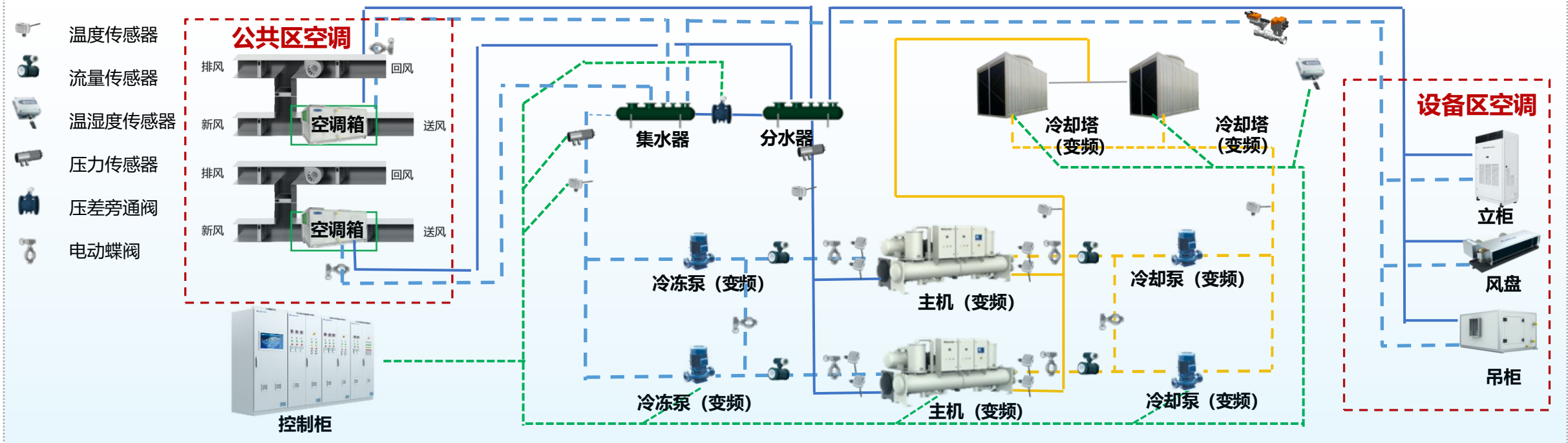
注：数据来源：《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》

传统地铁车站空调系统方案

■ 集中冷源服务大小系统，通过末端供冷，负责各区域温湿度

- 公共区空调（大系统）：双端布置两台组合式空调箱、小新风机、回排风机，负责站厅、站台的温湿度，为旅客提供舒适环境
- 设备区空调（小系统）：按功能布置多台空调机组、回排风机，负责值班室、配电室、通讯机房等温湿度，满足各功能房间要求

传统地铁车站通风空调系统（共用冷源）方案示意

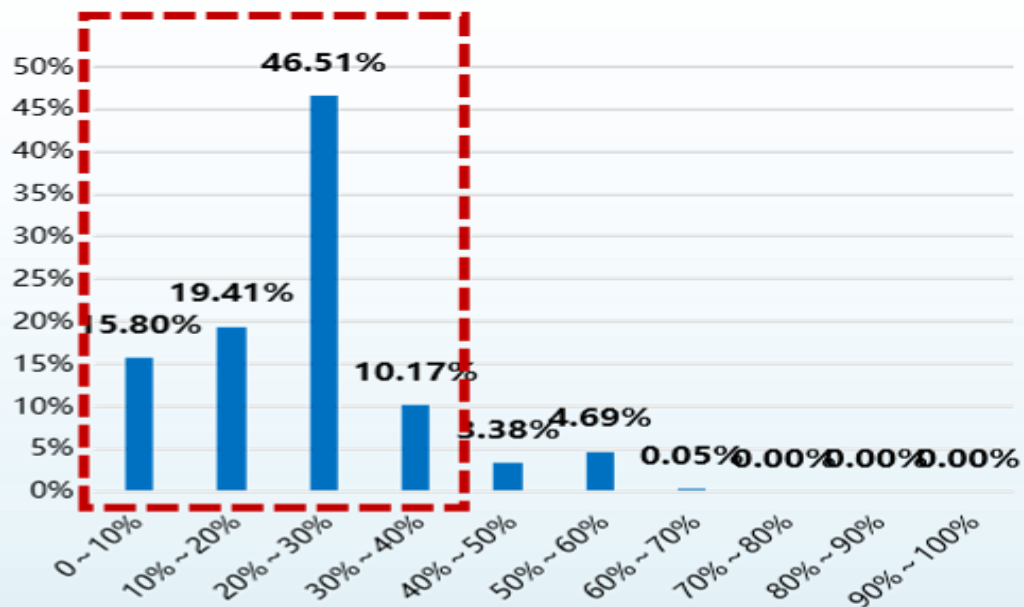


传统地铁车站空调系统存在不足

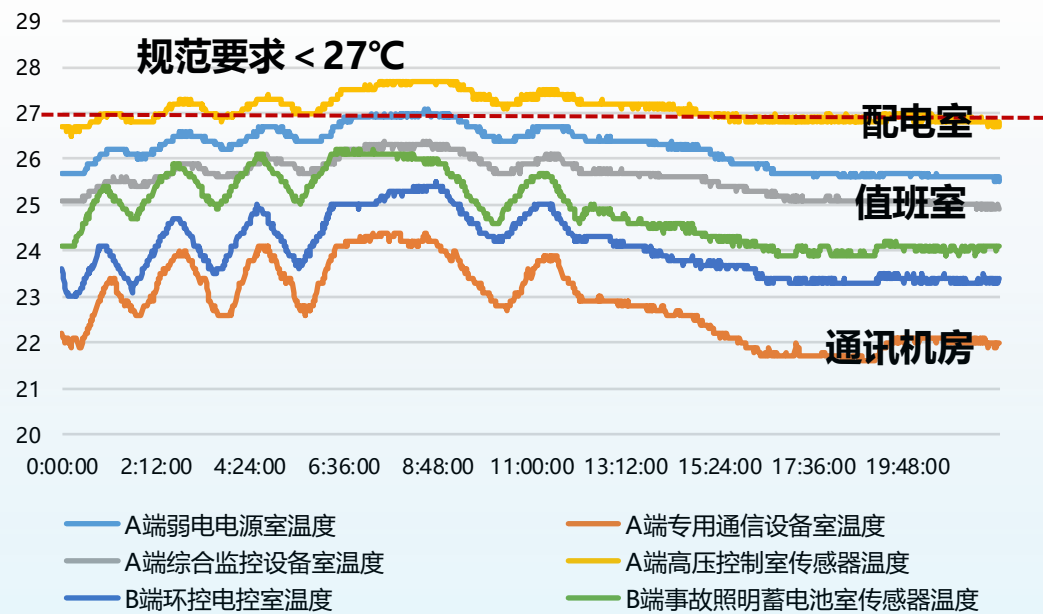
■ 不同空间负荷特性差异大，小负荷区间占比高，系统耗能大

- 夜间停运期仅小系统需供冷，负荷低，设备大马拉小车，**易出现频繁启停，运行能效低**
- 小系统房间负荷特性不同，但共用末端，**房间易过量供冷**（低于27℃设计），且温度波动较大

华南某地铁车站夜间制冷主机负荷率分布



华南某地铁空调小系统房间逐时温度

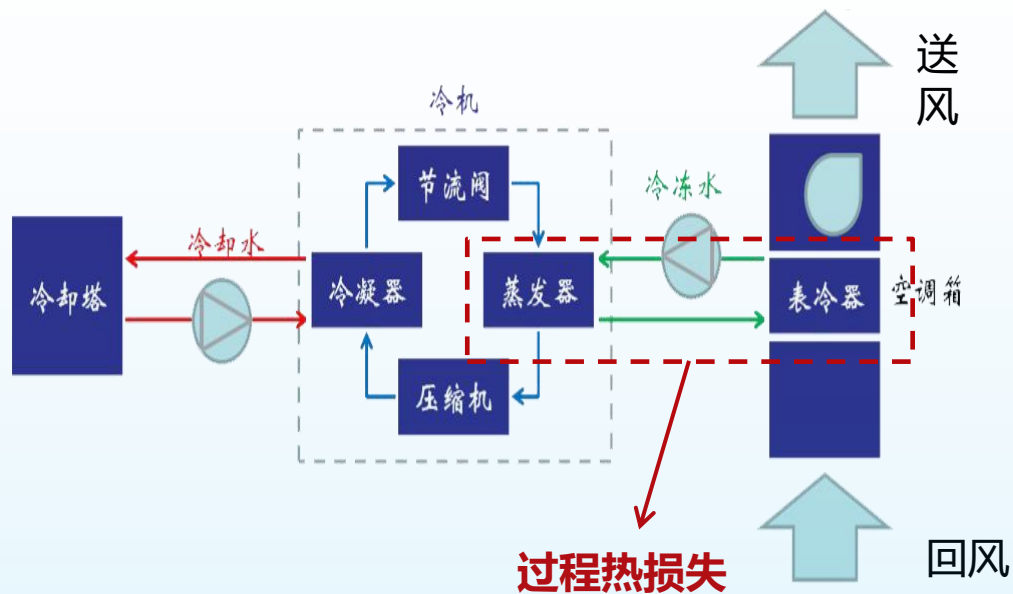


传统地铁车站空调系统存在不足

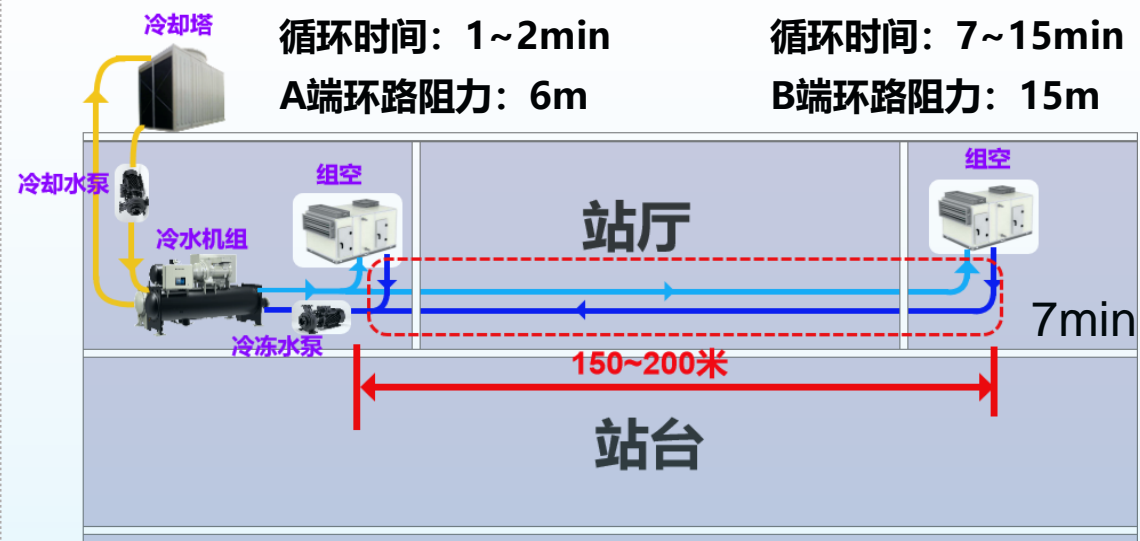
■ 近远端冷冻水循环距离差异大，存在过程热损失，功耗大

- 冷量输送经历循环次数多，易产生滞后性，换热环节复杂，**过程热损失大，运行能效难以提升**
- 冷冻水管**长距离折返跑的结构**，输送功耗大，易致控制策略失效、输配流量不均衡等问题

传统地铁车站空调系统循环示意图



地铁车站空调系统设备布置示意图

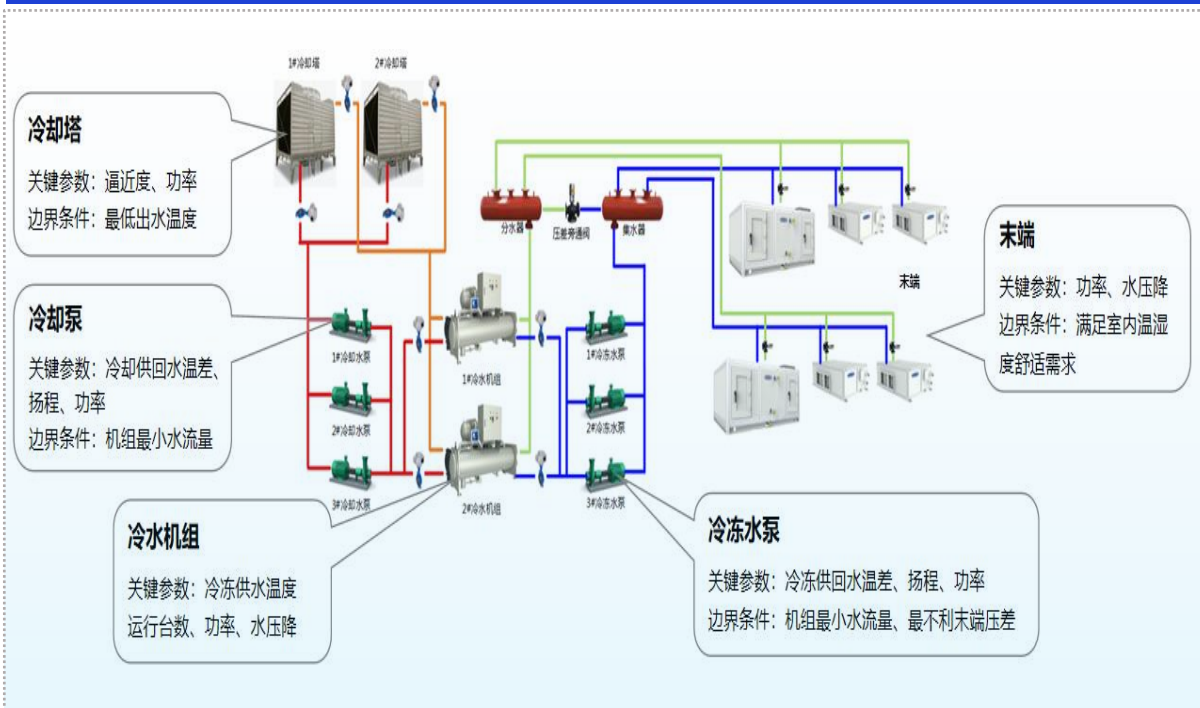


传统地铁车站空调系统存在不足

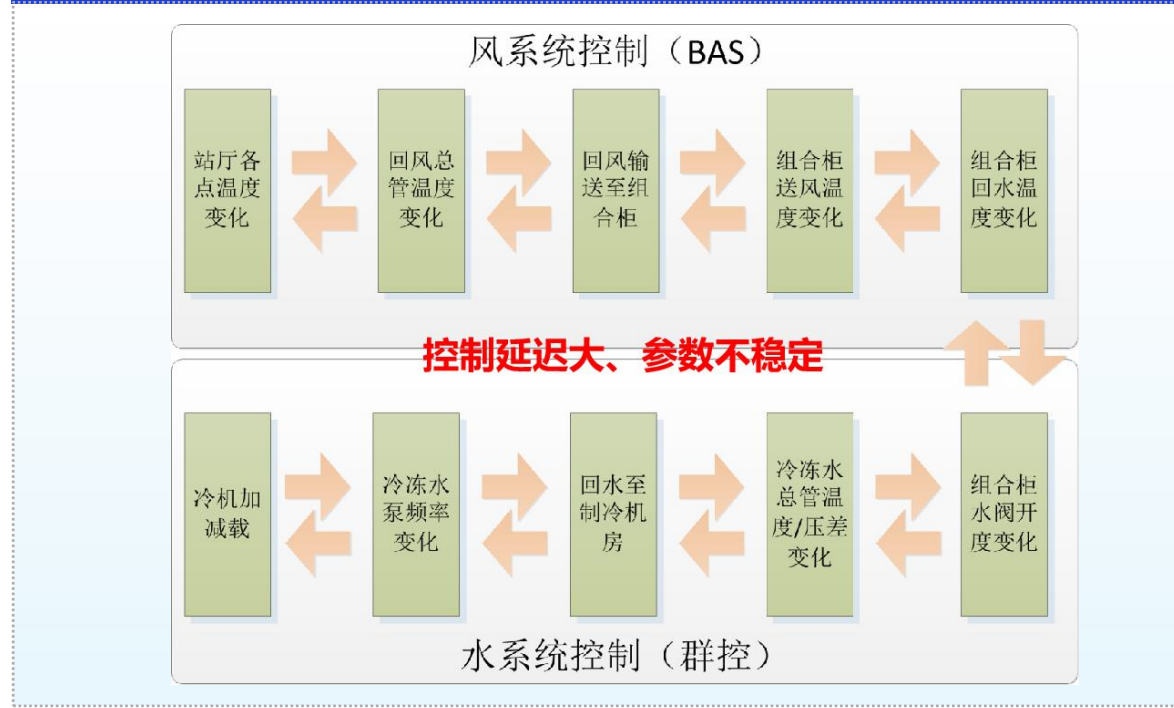
■ 空调系统复杂，安装调试难度大

- 空调系统需综合考虑冷源、供冷、散热端，关键参数多、耦合难度大，**易偏离高效运行区**
- 大系统设备区管路复杂，管网排布极困难，传感器、风阀及水阀多，**安装调试难度大**

传统地铁车站空调系统控制负载示意



空调系统风水联动控制策略示意



高效机房低碳智能环控系统

■ 方案一：格力地铁车站超高效机房智能环控系统

- 系统设计：车站集中冷源采用**永磁变频螺杆机**，系统中温冷水设计、运行，管网**大温差水力自平衡**
- 工程安装：基于BIM优化管线布局，减少占地及管材、管路组件模块化预制，**数字化集成交付**
- 控制运维：基于负荷预测的前馈智能控制，全气候模式切换，风水系统参数**全局寻优**控制

设备长期低效区间运行
(能力与负荷不匹配)

设计方案精准实施难度大
(空间限制多)

系统供需难以最优适配
(时滞、耦合)

超低热阻、水阻的
中温水大温差高效制冷机房

高效低阻泵机一体化机房
装配式设计及精准实施

全局寻优风水联动
控制方法

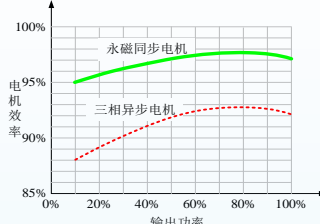

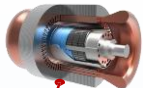
地铁车站"量-质-效"全面提升的智能环控系统

高效机房低碳智能环控系统

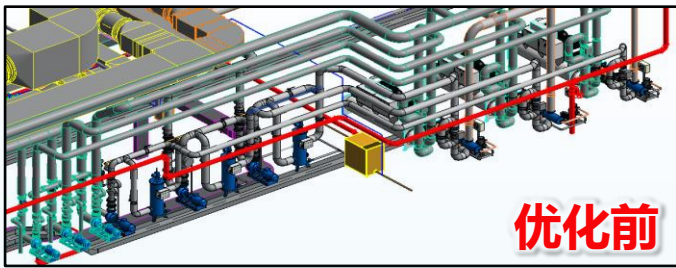
■ 方案一：格力地铁车站超高效机房智能环控系统特点

- **高效节能**：风机、压缩机驱动全面升级为**永磁电机**，系统设计及运行**参数优化**，全面降低系统功耗
- **节省空间**：优化机房**管线布局**，阀件优化及传感器精准定位，模块**预制集成**，大幅减少错漏碰缺

永磁同步电机

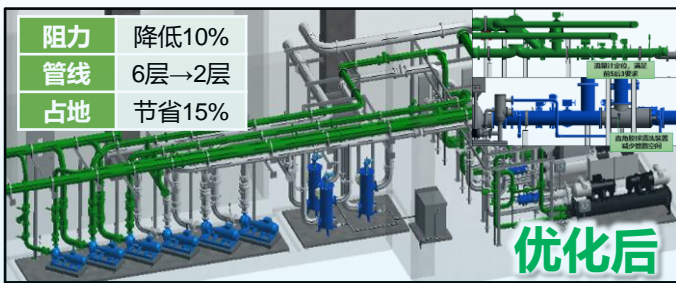


输出功率 (%)	永磁同步电机 (%)	三相异步电机 (%)
0	~95	~85
20	~96	~90
40	~97	~92
60	~97.5	~93
80	~97.5	~93
100	~97	~92

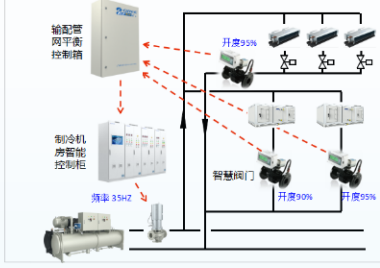
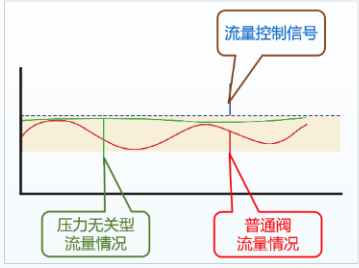



优化前

阻力	降低10%
管线	6层→2层
占地	节省15%



优化后





```
graph LR; A[数据采集] --> B[风系统控制]; A --> C[水系统控制]; B --> D[运行效果反馈]; C --> D; B --> E[风水联动]; C --> E; E --> F[动态运行负荷预测]; E --> G[冷冻水水力平衡调节]; E --> H[精准水系统联动调控];
```

高效机房低碳智能环控系统

■ 方案二：格力新一代地铁车站用磁悬浮直膨环控系统

- 车站空调大小系统冷源分设，避免了运行负荷、运行时间差异导致的“大马拉小车”问题
- 大空调系统：单端布置磁悬浮直膨空调+负压集中回风方案，取消冷冻水系统，提升运行能效
- 小空调系统：变频多联机+通风系统，设备、管理用房独立温度调节，避免过冷供冷

④控制系统：高效环控全过程能效管理平台

工作站监控平台 空调节能控制柜



③电力供应：光储系统



冷却塔 冷却水泵



磁悬浮直膨空调机组

站厅

站台

①大空调系统：磁悬浮直膨空调系统



②小空调系统：多联机空调系统

配电房

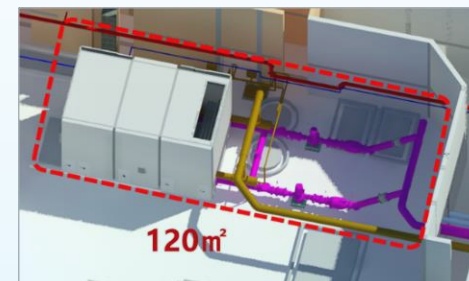
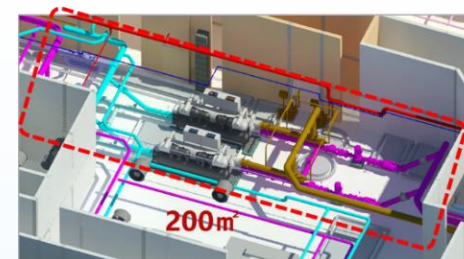
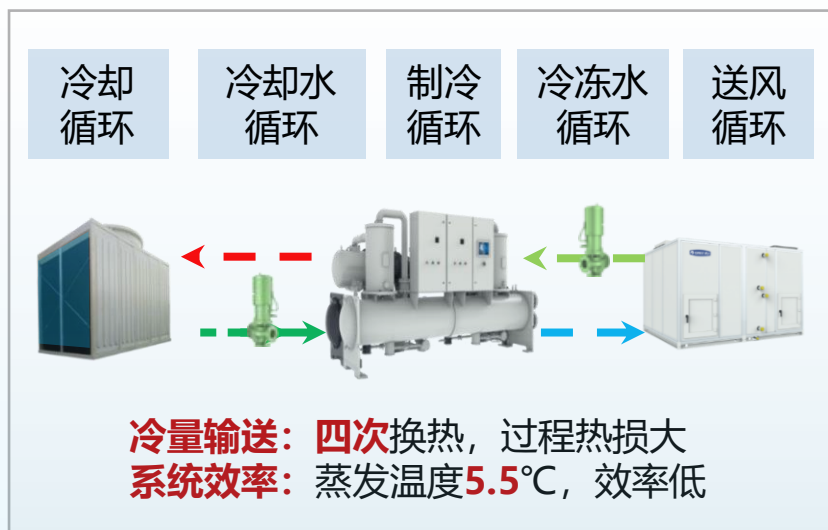
值班房

通讯
机房

高效机房低碳智能环控系统

■ 方案二：格力新一代地铁车站用磁悬浮直膨环控系统特点

- **高效节能**：主机与空调箱一体化设计，**取消冷冻水循环**，大幅降低水泵输配功耗，冷媒直接蒸发制冷，减少过程热损，**提高蒸发温度**，大幅提升制冷循环效率
- **节省空间**：等冷量替换末端设备，**省去蒸发侧设备**，可节省面积80m²以上，节约空间40%



汇报目录

CONTENTS

01

地铁车站环控技术发展

02

格力环控系统核心设备

03

工程应用与数据分析

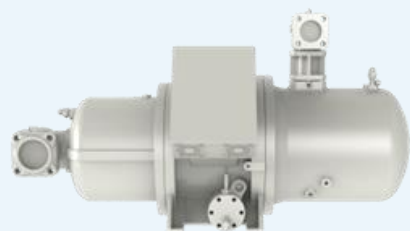
04

总结与展望

产品1：永磁变频螺杆机组

四代技术创新 十年研发破局

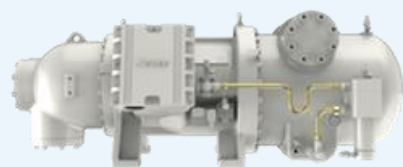
//~2014年



I代螺杆机

三相异步电机
COP 5.1-5.6
IPLV 7.3-7.5

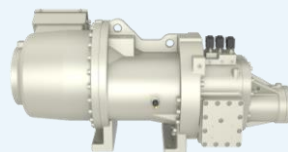
//~2017年



II代螺杆机

永磁变频
COP 6.0-6.3
IPLV 8.5-9.0

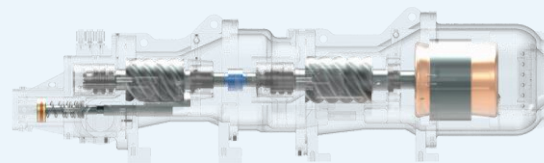
//~2021年



III代螺杆机 (超磁)

压比自适应
COP 6.5-6.7
IPLV 9.3-9.6

//~2024年



IV代螺杆机

小压比双级压缩
COP 7.0+
IPLV 10.0+

产品2：水冷磁悬浮直膨空调机组

- 采用水冷直接式制冷系统，由多个空气处理功能段组成，冷媒直接膨胀蒸发对空气降温除湿后送风，集成冷水机组和组合式空调箱功能。

1、小流量小压比磁悬浮压缩机

- 运转无摩擦，无需润滑油，机械损失近“零”
- 高速永磁同步电机，效率最高达98.2%
- 自主先导全球首款地铁直膨专用磁悬浮压缩机

2、动态双流量解耦控制策略

- 动态调节快速响应，温湿度独控
- 稳态调节自动寻优，提升能效

4、空调设备的安全控制措施

- 多层级防冷媒泄漏设计技术
- 全直流电控系统设计技术

3、大风量蒸发器效率提升

- 分布式独立均匀送风技术
- 大蒸发器多级均液及集气技术

5、低噪声低振动设计

- 低噪磁悬浮压缩机，无低频声音
- 全封闭隔音箱体，确保舒适环境



压缩冷凝段
磁悬浮压机、换热器及控制

过滤段
自洁/静电除尘

蒸发段
翅片换热器

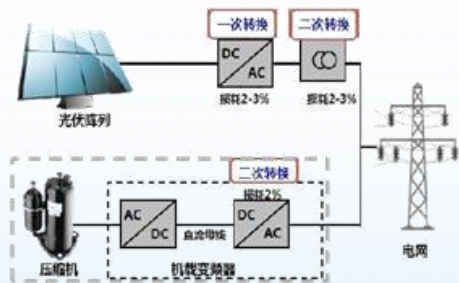
送风段
直流EC风机墙

产品3：直流变频多联机--光储直柔

打造建筑**创能、储能、节能、控能**全链条光储直柔空调系统，**源储网荷**多位一体极致降碳。

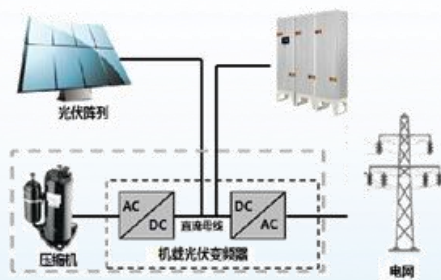
以空调为载体、以储能为支撑，通过直流直驱、多元换流、柔性调控、全态势感知等技术，实现清洁能源最高的效率和最佳的效益，**提高建筑清洁电力效能和占比**。

格力光储直柔空调系统架构



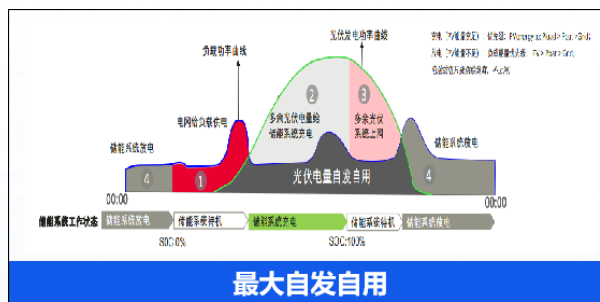
传统光伏空调架构：
光伏+变流器+空调，
先并网再用电

直流直驱 高度共材 交直两用

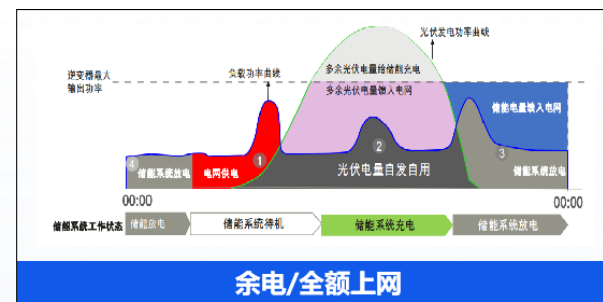


格力光储直柔空调系统架构：
光储空一体，空调系统零碳化

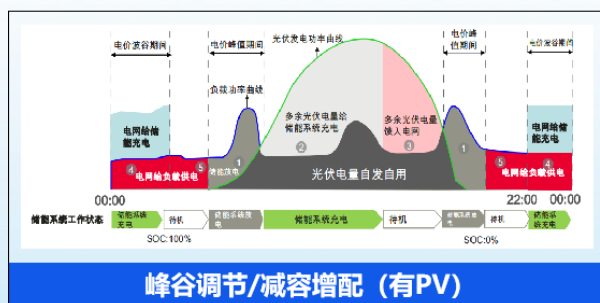
格力光储直柔空调控制模式



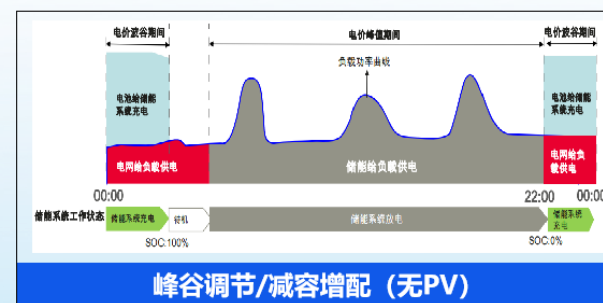
最大自发自用



余电/全额上网



峰谷调节/减容增配 (有PV)



峰谷调节/减容增配 (无PV)

产品4：高效环控全过程能效管理平台

■ 自主研发高效环控全过程能效管理平台，提供高效空调系统的产品及服务

- **高效空调系统能效仿真平台**：在项目初期，仿真、分析暖通方案全年能效，预测系统的能效水平，定制最优的设备选型方案和群控策略
- **暖通智控平台**：对暖通空调进行节能管理，实现无人值守，能效提升高达40%
- **云诊断运维平台**：实时诊断空调系统运行状态，深挖节能潜力，持续高效运行

全过程能效管理平台

方案设计阶段



能效仿真平台

运行阶段



暖通智控平台

售后运维阶段



云运维诊断平台

汇报目录

CONTENTS

01

地铁车站环控技术发展

02

格力环控系统核心设备

03

工程应用与数据分析

04

总结与展望

典型案例概况



项目名称：天津地铁4号线民航大学站

运行能效测试时间：2023年

设计温度：9/15°C

主机机型：II 代永磁变频螺杆机

制冷机房运行能效：7.25

空调系统运行能效：5.78

环控系统运行能效：4.88



项目名称：深圳地铁12号线新安公园站

运行能效测试时间：2023年

设计温度：10/17°C

主机机型：III 代永磁变频螺杆机（超磁）

制冷机房运行能效：7.17

空调系统运行能效：4.95

环控系统运行能效：3.99



项目名称：洛阳地铁2号线市民之家站

运行能效测试时间：2023年

设计温度：10°C（蒸发温度）

主机机型：水冷磁悬浮直膨空调机组

制冷机房运行能效：7.25

空调系统运行能效：6.03

环控系统运行能效：6.03

典型案例--洛阳地铁项目

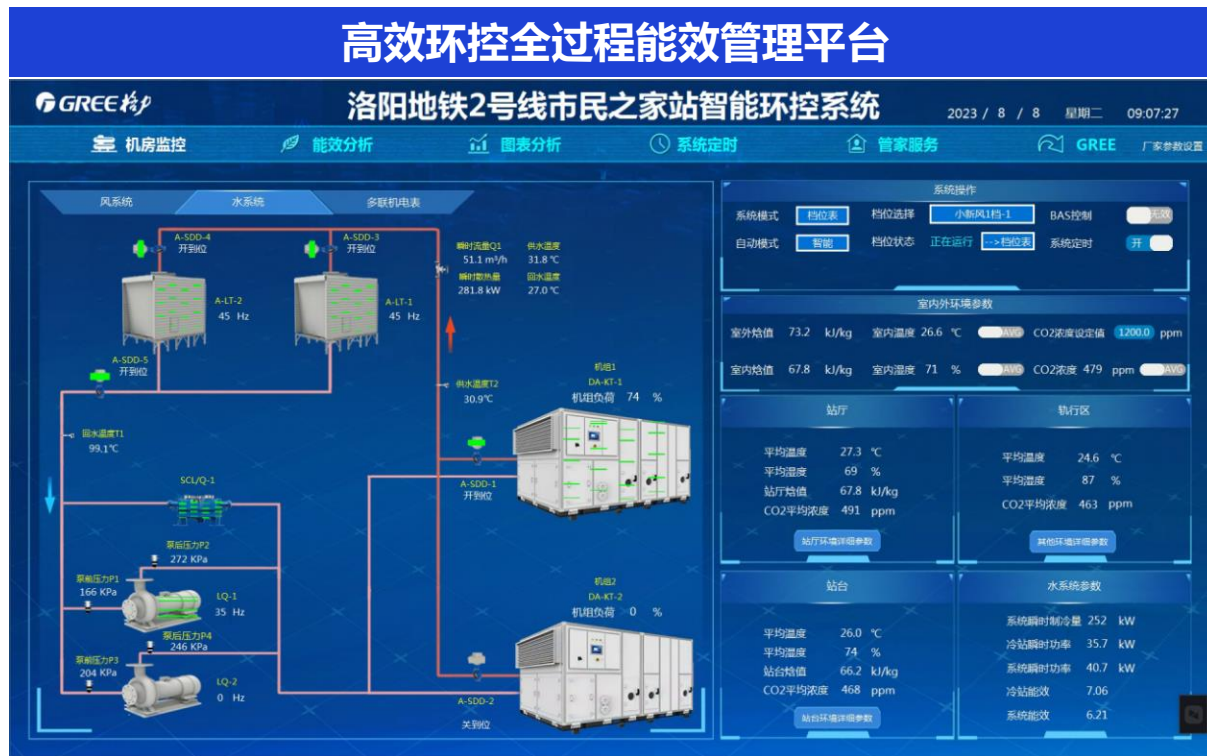
■ 项目介绍

- 2号线全线采用新一代地铁车站用磁悬浮直膨环控系统建设模式，大小系统独立冷源、单端送风，采用**格力磁悬浮直膨机组+变频多联机+Gbuilding零碳智慧建筑平台**

格力水冷磁悬浮直膨空调机组市场图



高效环控全过程能效管理平台



典型案例--洛阳地铁项目

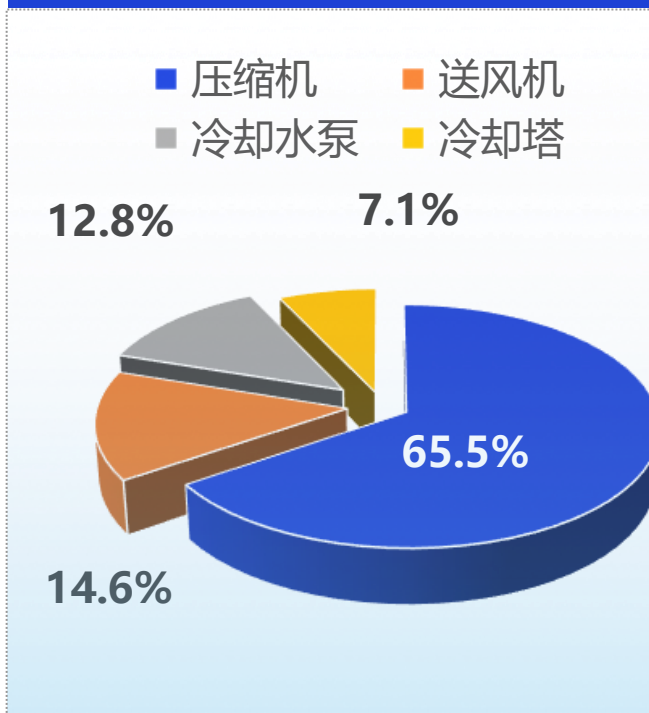
项目成果：降低空调运行能耗

- 市民之家站第三方测试：制冷机房冷站能效7.25，**空调系统能效达到6.03**
- 年耗能：较同气候车站节约用电量24万度/站，**节约电费15.6万元/站**，降低碳排放136.9t/站

第三方权威机构检测报告



空调系统能耗分布图



供冷季制冷空调系统能效

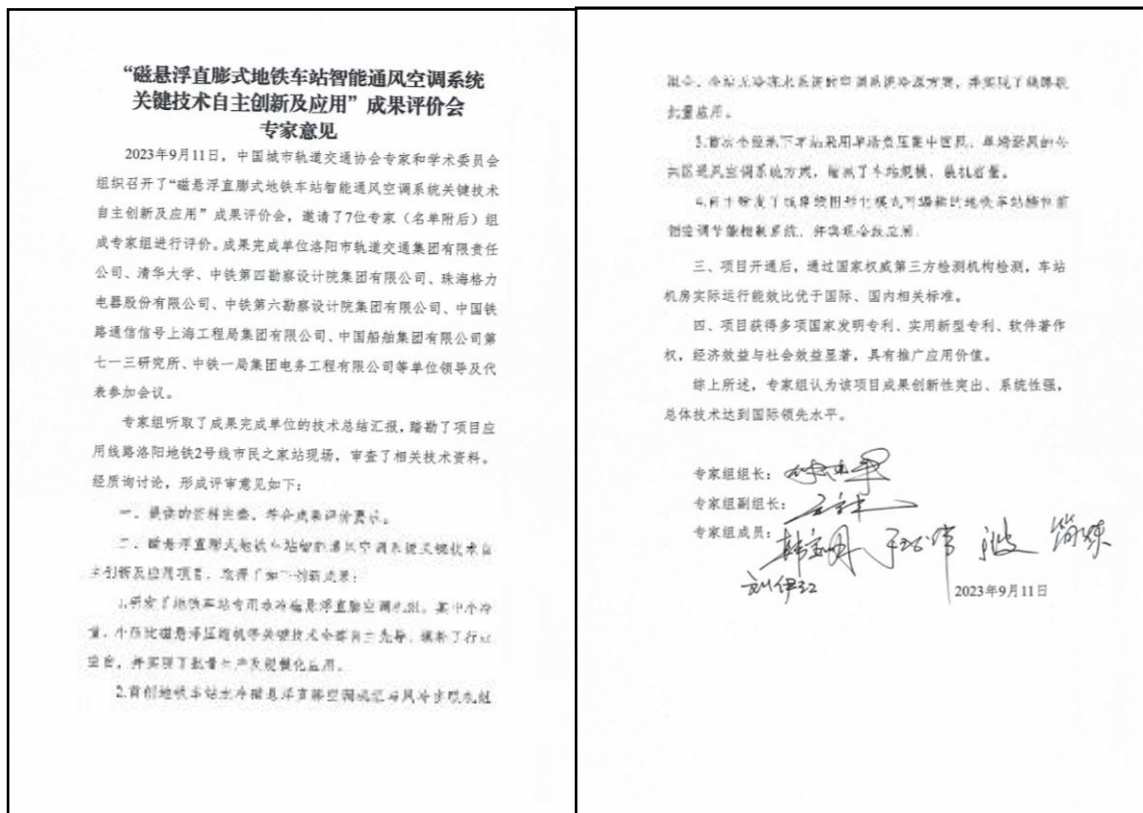


* 《中国建筑节能年度发展研究报告2022》国内大量地铁车站冷站能效测试结果约2.5~4

典型案例--洛阳地铁项目

项目成果鉴定

- 2023年9月11日“磁悬浮直膨式地铁车站智能通风空调系统关键技术自主创新及应用”成果获得专家一致认定：**项目成果创新性突出、系统性强、总体技术达到国际领先水平。**



汇报目录

CONTENTS

01

地铁车站环控技术发展

02

格力环控系统核心设备

03

工程应用与数据分析

04

总结与展望

总结与展望

- **永磁同步变频电机**高速直驱技术在压缩机上的应用，突破了传统变频器+三相异步电机的框架，大幅提升**全负荷全工况运行效率**，使得主机能效得到大幅提升，为机房全年运行能效7.0+提供基础。
- 新建地铁车站通风空调系统采用**新一代地铁车站用磁悬浮直膨环控系统**，大系统应用**磁悬浮直接制冷机组**，可有效降低土建及空调设备初投资、大幅降低后期运维成本，小系统可探索应用**光储直柔多联机空调系统**，进一步降低碳排放。
- 既有地铁车站通风空调系统采用**超高效机房智能环控系统**，主机改造为**永磁变频螺杆机组**，满足地铁车站工况特殊性，实现**压比与能力**变工况条件下的高度适配，有利于运行能耗大幅降低，根据车站能耗水平选择不同系列主机，缩短回收期。

敬 请 指 导!