

AI赋能建筑节能系统探讨

Smart Control

Solutions



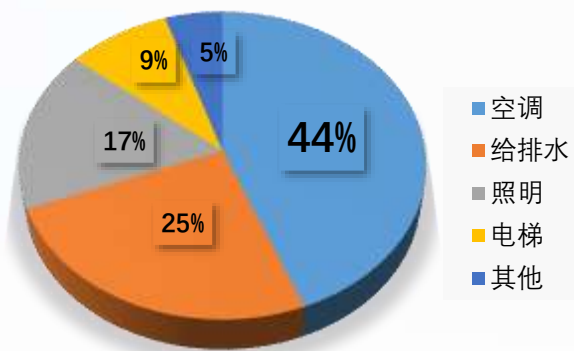


1. 背景

中央空调系统运行能耗

- 建筑运行阶段能耗占全国能源总消耗的21.3%¹
- 空调系统能耗占公共建筑能耗约40%以上²

某典型商业写字楼各分项耗电量及比重



双碳目标下，推进中央空调系统节能很有必要

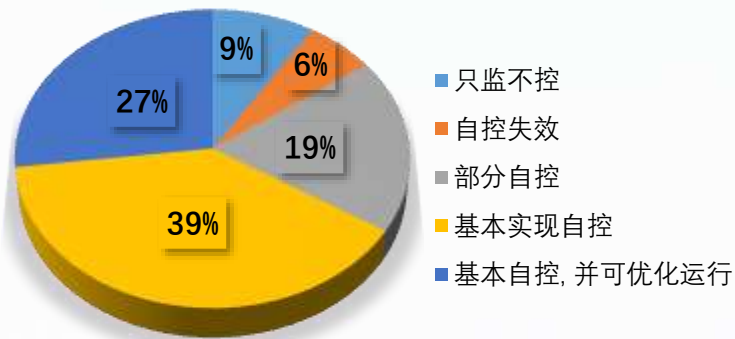
1. 中国建筑能耗研究报告 (2022)

2. 清华大学建筑节能研究中心《中国公共建筑能耗现状和特点》

中央空调自控系统现状*

- 34%的空调系统没有实现自控运行
- 能对空调系统运行进行一定程度优化的自控系统比例低于30%

中央空调系统自动运维现状



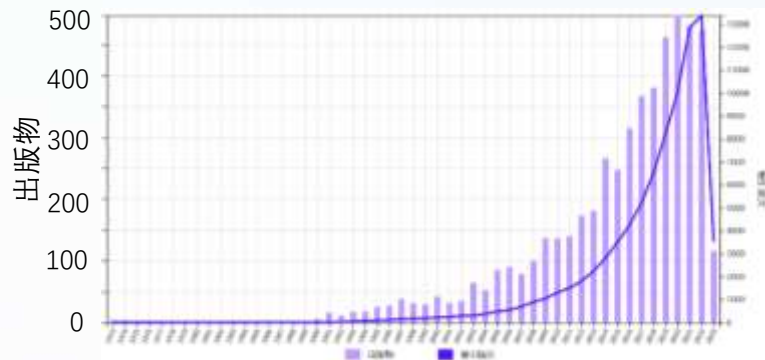
当前中央空调自控系统智能化程度低，升级空间大

*《建筑智能化应用现状调研白皮书》

先进控制应用障碍

- 自控系统非标准，先进控制集成困难
- 数据点位非标准，推广应用成本高
- 先进控制算法开发门槛高，难以推广

1973~2023中央空调系统先进控制相关研究文献数量



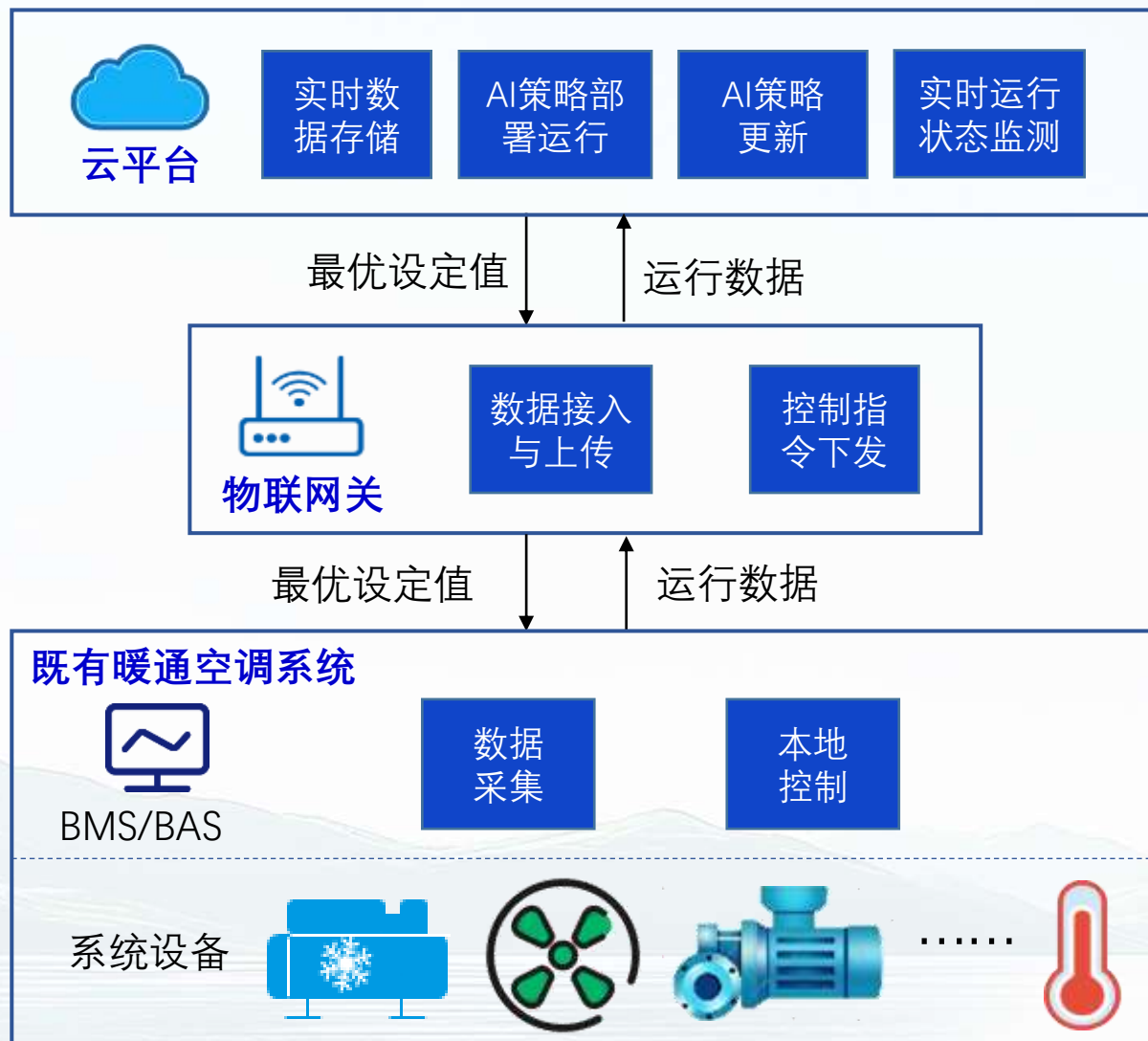
缺少标准化方案，实现先进控制在自控系统的应用

轻量化节能改造方案，应用先进控制算法升级自控系统，实现系统高效运行



2. 节能优化控制方案介绍

云边协同轻量化控制架构



非侵入式:

- 基于BACnet协议, 无需对既有自控逻辑进行更改即可接入
- 云端/本地控制模式切换

轻量化:

- 硬件改造少, 仅需投入边缘网关
- 前期投资小, 回收期短

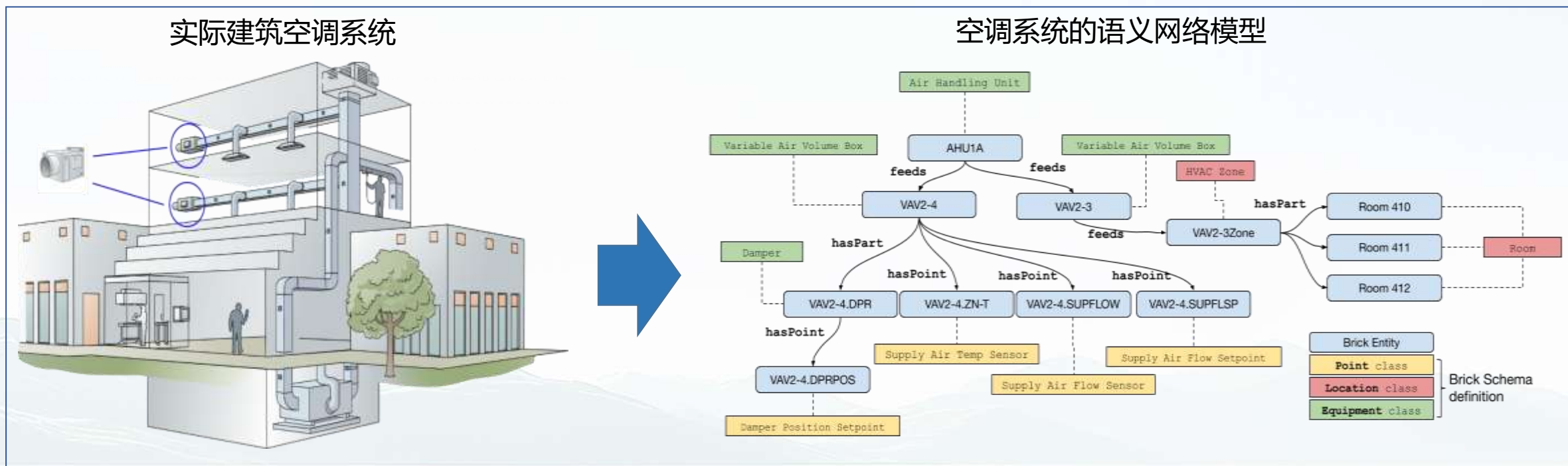


2. 节能优化控制方案介绍

数据标准化：暖通系统语义网模型*

将设备、点位、房间等视为不同的实体，并将各实体之间的拓扑/从属关系用feeds、haspoint、haspart等类别来进行描述。

使用语义网模型，进行标准化点位命名，设备、空间关系描述，实现高效数据查询分析

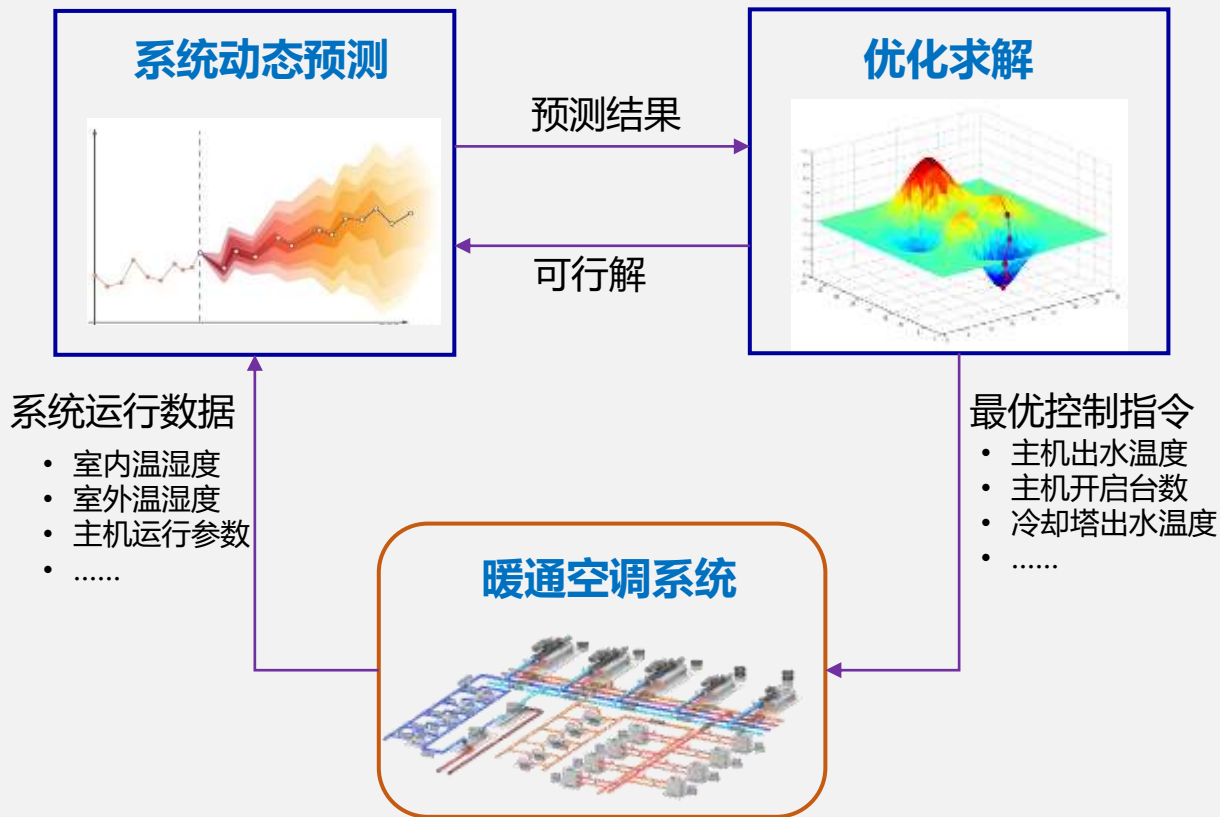




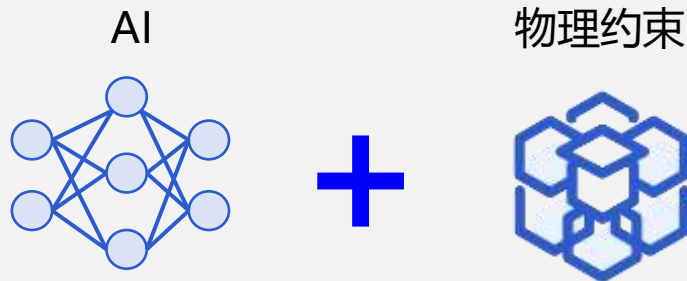
2. 节能优化控制方案介绍

MPC优化控制策略

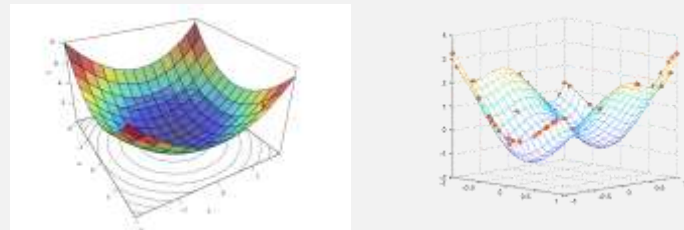
使用AI技术对实际的冷/热需求和系统的能耗进行精准预测，并根据预测结果寻优使系统能耗最低的控制指令。



- **模型:** AI+物理约束, 高效建模、准确预测



- **优化:** 建立优化算法库, 依据问题种类选择如梯度下降、遗传算法、分支定界



- **控制:** 分层控制架构, 稳定可靠

AI优化控制层

安全约束层

BA控制层



2. 节能优化控制方案介绍

方案实施路径

4-10 周



现场设备安装

将网关集成到既有自控系统，实现数据上下行



数据采集与交互

将数据接入云平台，并进行数据标准化等相关工作



算法开发与测试

进行AI优化控制策略开发及线上测试



AI部署启动

将AI算法部署到云平台，启动运行



节能效果展示

通过Web应用实时展示系统运行状态及节能效果



3. AI赋能-功能



Smart Control 节能算法引擎

实现暖通空调系统 15-30% 的节能(费)率

AI优化控制

基于系统运行数据，建立AI预测模型，并通过数值优化，实时搜索最优的系统调节参数，并发送给系统，以实现系统实时高效优化，每5-10min进行一次优化，最高288次优化/24h

优化效果可视化

直观的交互界面，为用户呈现系统的运行状态、以及优化效果：

- 能耗/费用节省
- 舒适性提升
- 碳排放降低
- 设备损耗降低

数据分析&诊断

将大数据挖掘技术与丰富的专家经验结合，对系统运行数据进行挖掘分析，识别出影响系统运行能效的关键因素，为优化控制、现场运维管理提供参考，以便于“对症下药”

标准化的数据格式

将既有系统的数据统一转换为标准的数据格式，以便于后续的应用扩展：

- Brick Schema
- Haystack



3. AI赋能-算法开发

输入

采集时间间隔不超过5min，最好能够1min

天气数据 (气象站监测)

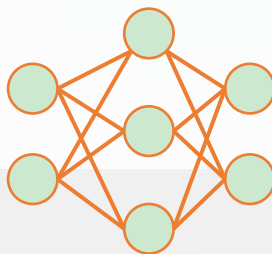
室外干球温度
室外湿球温度
太阳辐射(如有)
空调箱送风温/湿度
空调箱回风温/湿度
空调箱风机功率
.....

群控系统数据

冷机负载率
冷机功率
(冷却塔风机功率)
冷冻(却)水供水温度
冷冻(却)水回水温度
冷冻(却)水流量
冷冻(却)水供水压力
冷冻(却)水水泵功率

其它

电价信息
热舒适度要求



AI 优化节能算法



输出

群控系统控制指令

每10min输出一组优化设定值

冷机开启台数
水泵开启台数
(冷却塔开启台数)
冷冻水温度设定值
送风温度设定值
(冷却水温度设定值)



3. AI赋能-优势

既有运行

As Is

AI 优化

To Be

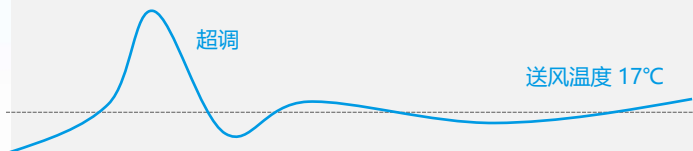
经验驱动

固定逻辑

IF ... THEN ... ELSE IF...

例如：当室内温度超过25℃，降低送风温度0.5℃...当时间为20:00时，关闭主机.....

反馈控制



设备级调节

主机单元	冷却单元	冷冻泵单元	AHU单元
冷水机组启停序列控制	冷却水温度控制	定压差/温差控制	送风温度控制、房间温度控制

建筑及中央空调系统特征

复杂

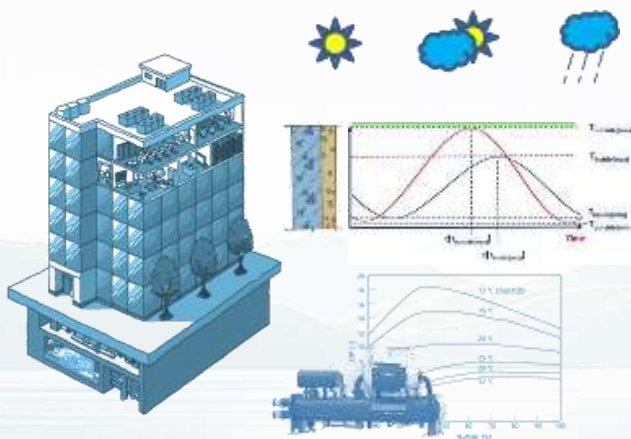
调节参数量大、设备多且互相耦合

动态

建筑结构材料、空调系统均存在比较明显的惯性，

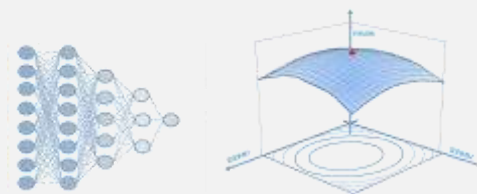
时变

工况条件(天气、室内人员活动)、设备性能随时间变化

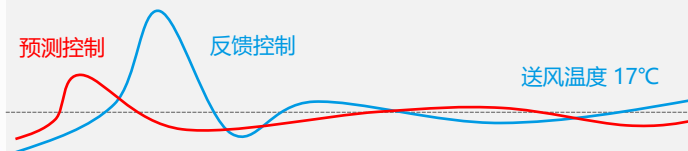


数据驱动

实时全局寻优



预测控制



系统级优化

综合考虑室外气象、人员活动信息、设备性能等多因素的影响，调节系统的设定参数组合，使得系统性能最优



3. AI赋能-价值

舒适性提升
PMV

碳排放降低
15%-30%

CO₂

运行费用节省
15%-30%

¥

设备损耗降低



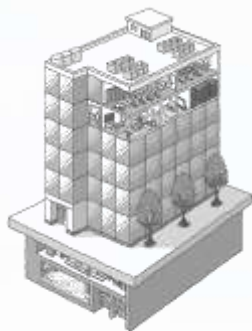
运维提效



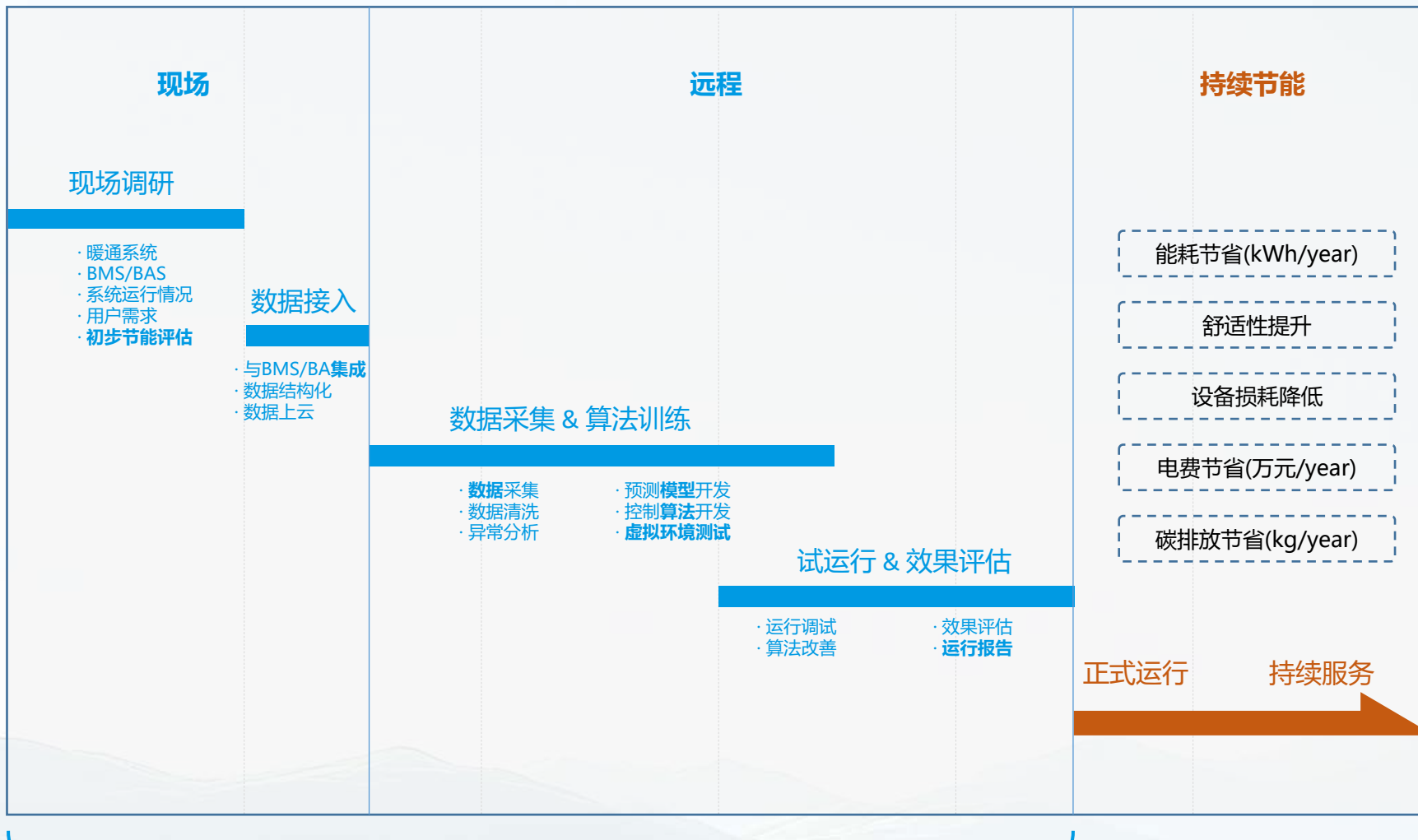


3. AI赋能-实施路径

既有建筑



输入



4-10weeks

输出

智慧低碳建筑





3. AI赋能-应用场景

Smart Control

建筑类型

酒店、商场、办公、轨道交通、工业厂房、数据中心等

BA系统

建筑暖通空调系统，具有BA系统且运行正常，支持BACnet协议

暖通空调

冷热源：

水冷机组、风冷热泵、冰蓄冷、水蓄冷...

末端：FCU、AHU、VAVbox...

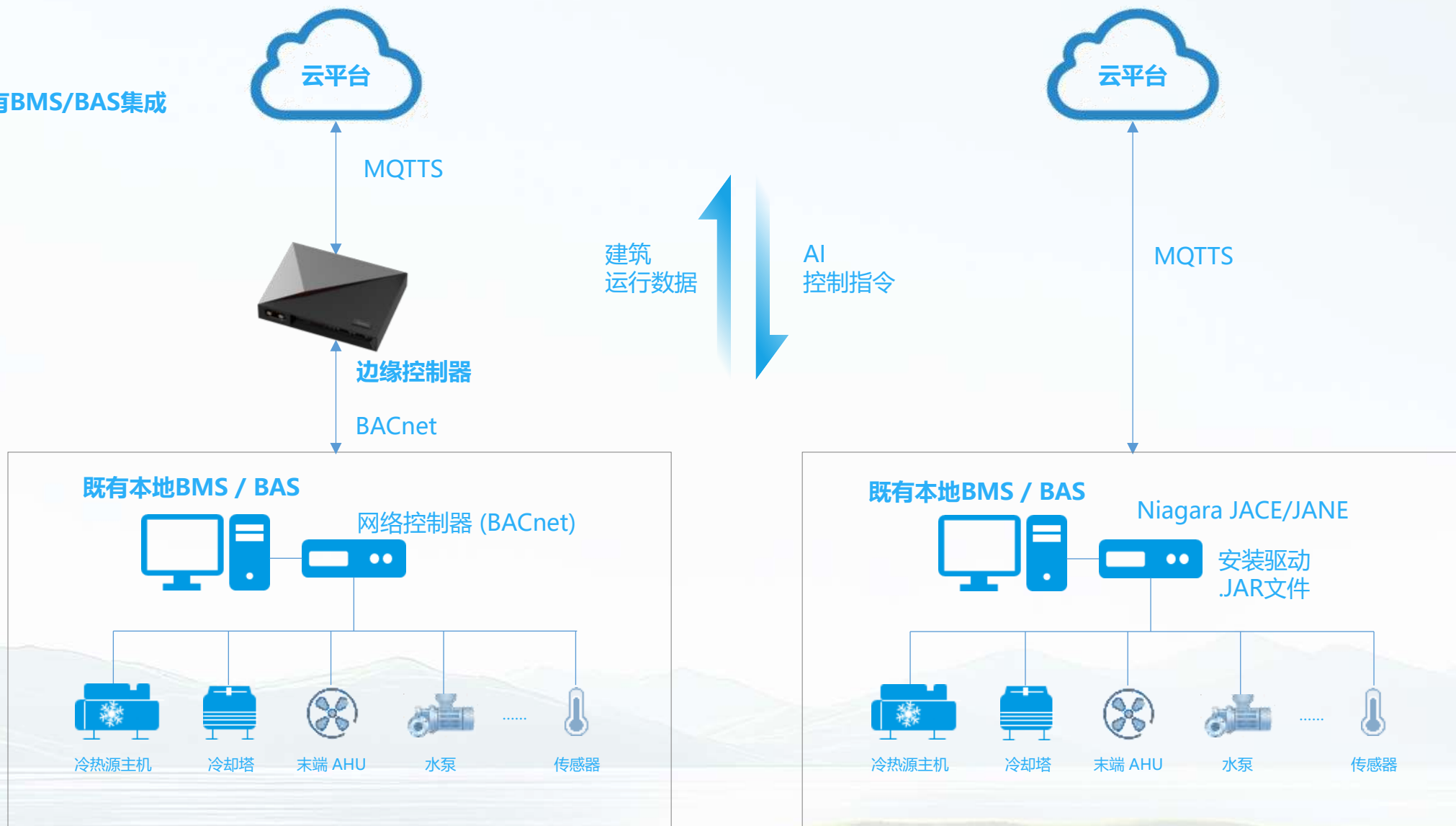
建筑面积

80%建筑面积为中央空调所覆盖，面积大于2万m²



3. AI赋能-集成方案

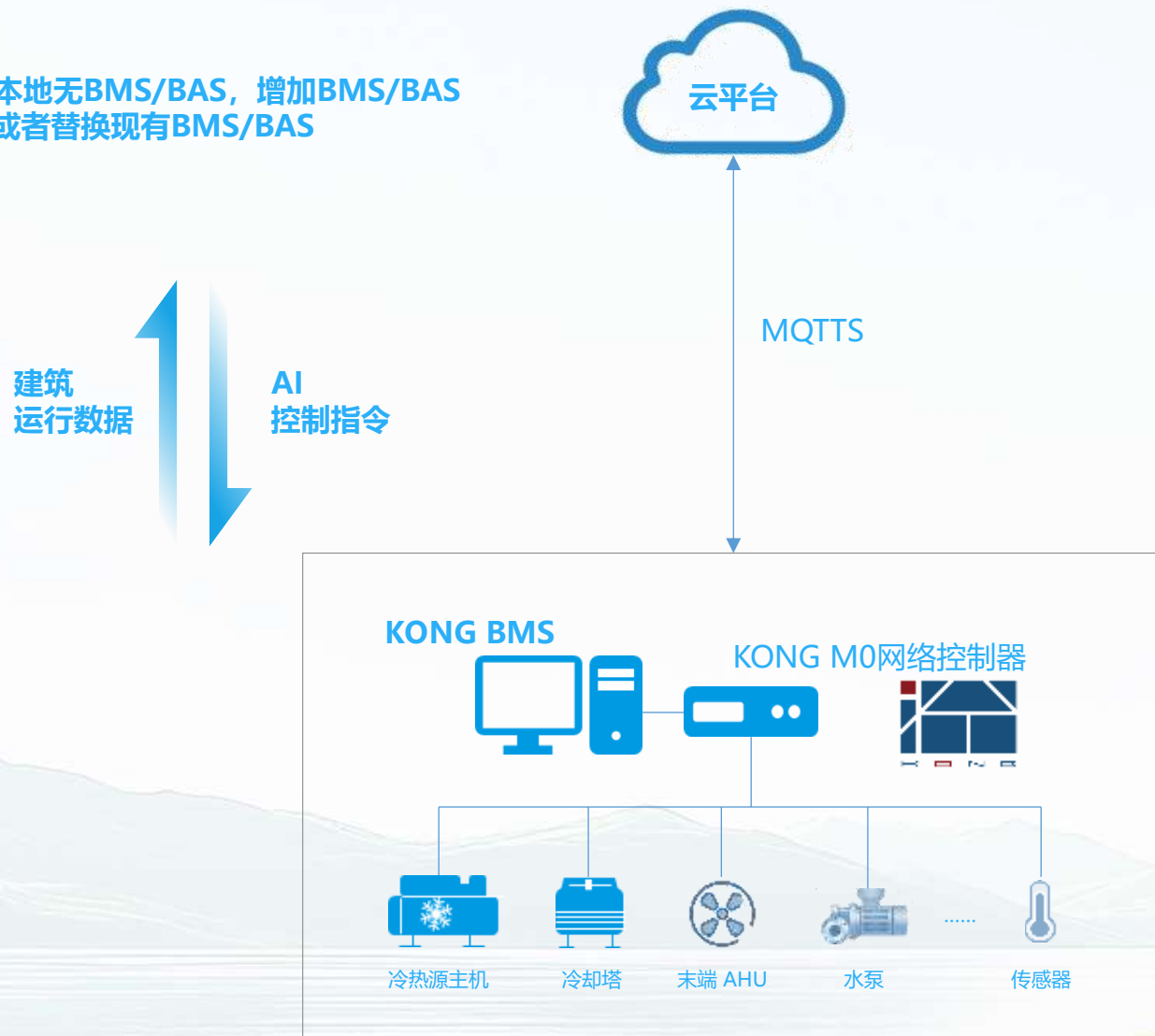
方案一：与本地既有BMS/BAS集成





3. AI赋能-集成方案

方案二：本地无BMS/BAS，增加BMS/BAS
或者替换现有BMS/BAS



BMS / BAS



DDC 控制器



M0 网络控制器



E0 控制器

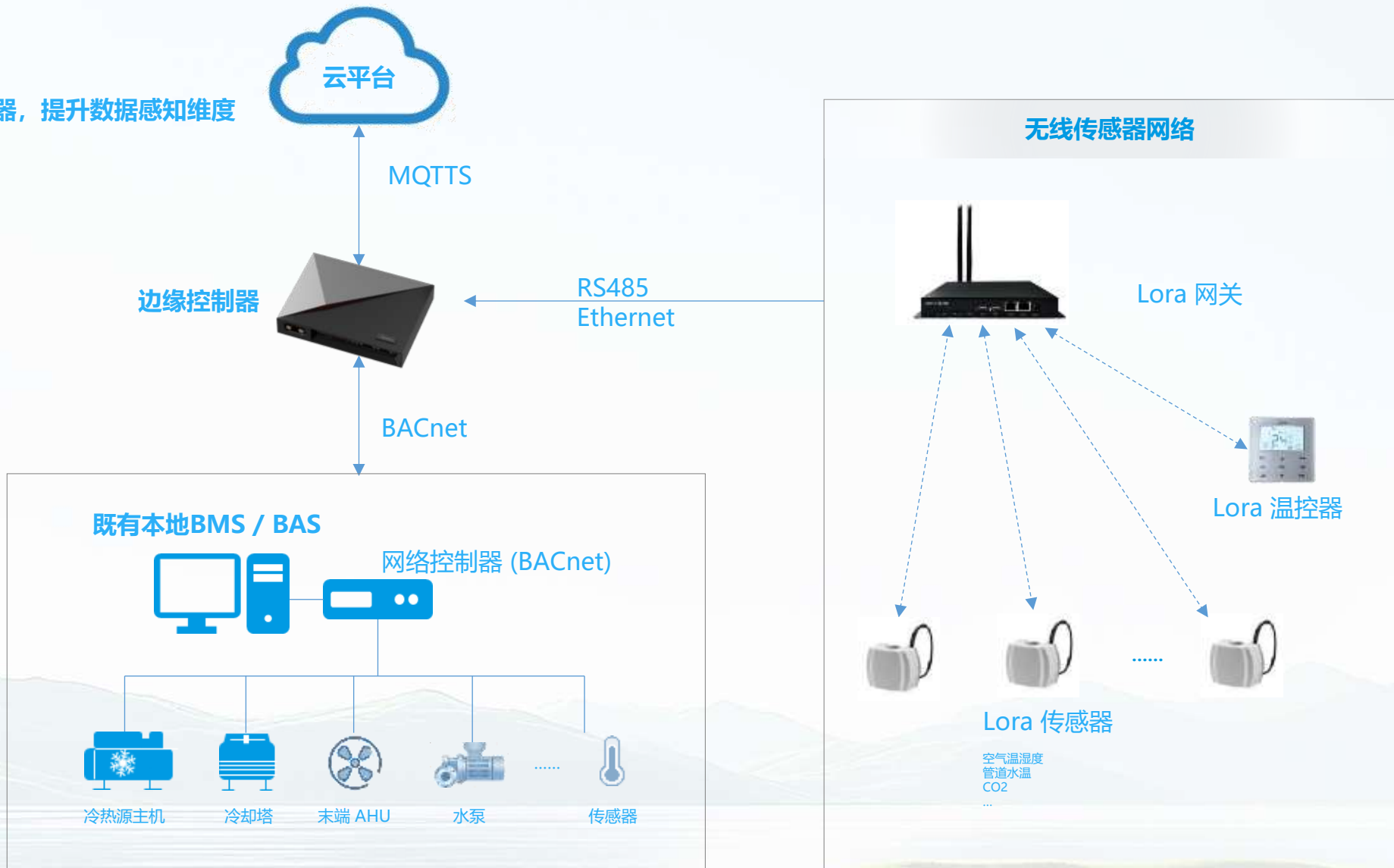


IO 扩展模块



3. AI赋能-集成方案

方案三：增加传感器，提升数据感知维度





3. AI赋能-集成方案



关键KPI展示



节能可视化



控制过程透明化

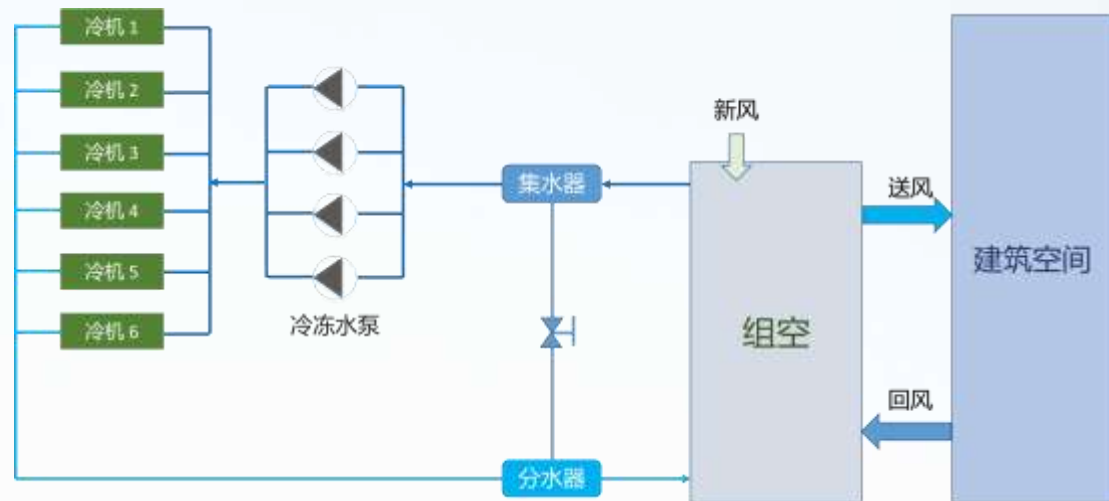


4. 应用案例分享

Z机场项目介绍

项目信息

项目地区气候	夏热冬冷地区
系统形式	风冷热泵+组合式空调柜
优化控制范围	冷站、末端



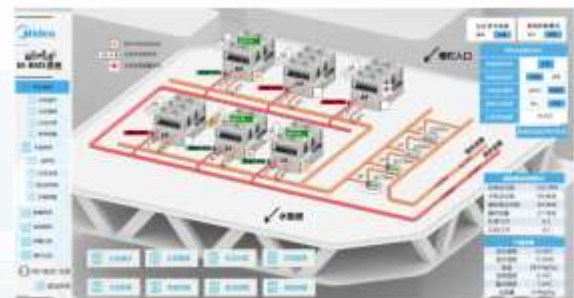
既有自控系统

本地控制逻辑

- 室内温度控制（风机频率）
- 送风温度控制（水阀开度）
- 水泵频率控制等

基于规则的优化控制

- 基于室外温度的冷冻水出水温度调节
- 基于主机运行状态的加减载控制



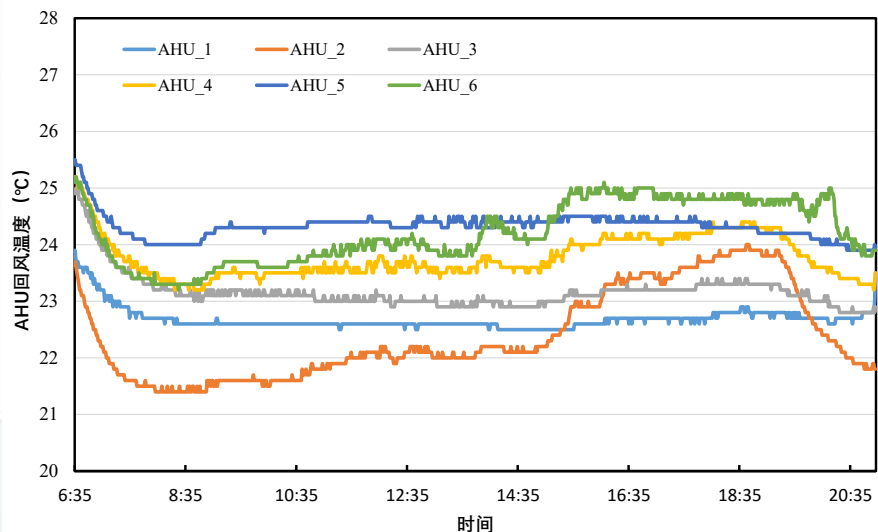


4. 应用案例分享

既有控制策略分析

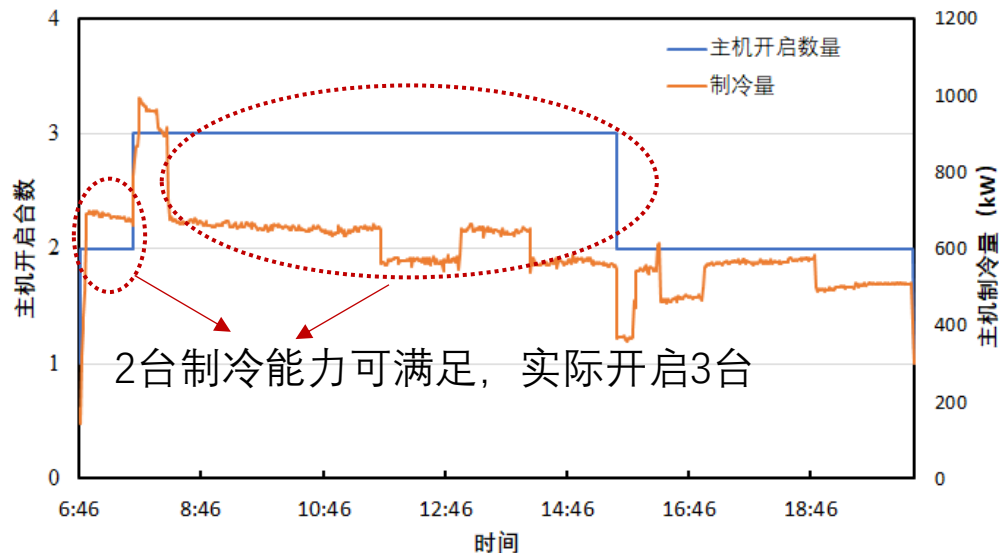
主机出水温度设定值基于室外温湿度

- 整体室内温度偏低，存在过冷现象
- 当前系统存在冷量输出过多情况



基于规则的主机时序控制

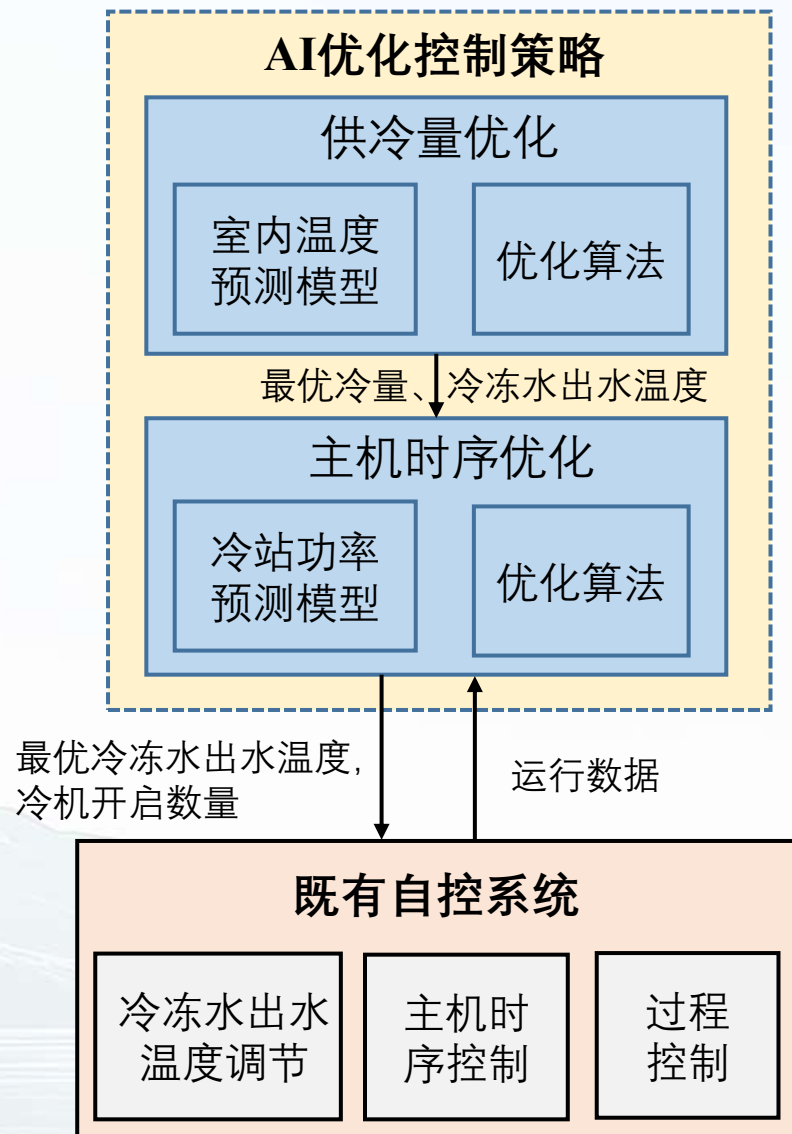
- 主机开启台数并非最优，系统效率有提升空间





4. 应用案例分享

AI优化控制策略



供冷量优化

保证室内温度在舒适度范围，最小化系统冷量输出

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^3 [Q_{cool,t}] \quad Q_{cool,t}: t\text{时刻系统制冷量输出}$$

$$\text{约束: } \begin{cases} Q_{cool,min} < Q_{cool} < Q_{cool,max} & \text{制冷量输出范围} \\ T_{set,low} < T_{rtn} < T_{set,up} & \text{室内温度范围} \\ Q_{var_rate} \leq 0.2 & \text{冷量变化率限制} \end{cases}$$

主机时序优化

满足冷量需求情况下，使冷机和水泵能耗最小

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^3 [P_{chi,t}(N_{chi}, T_{chws}, T_{db}, Q_{cool,t}) + P_{pump,t}(N_{chi}, N_{pump}, dP)]$$

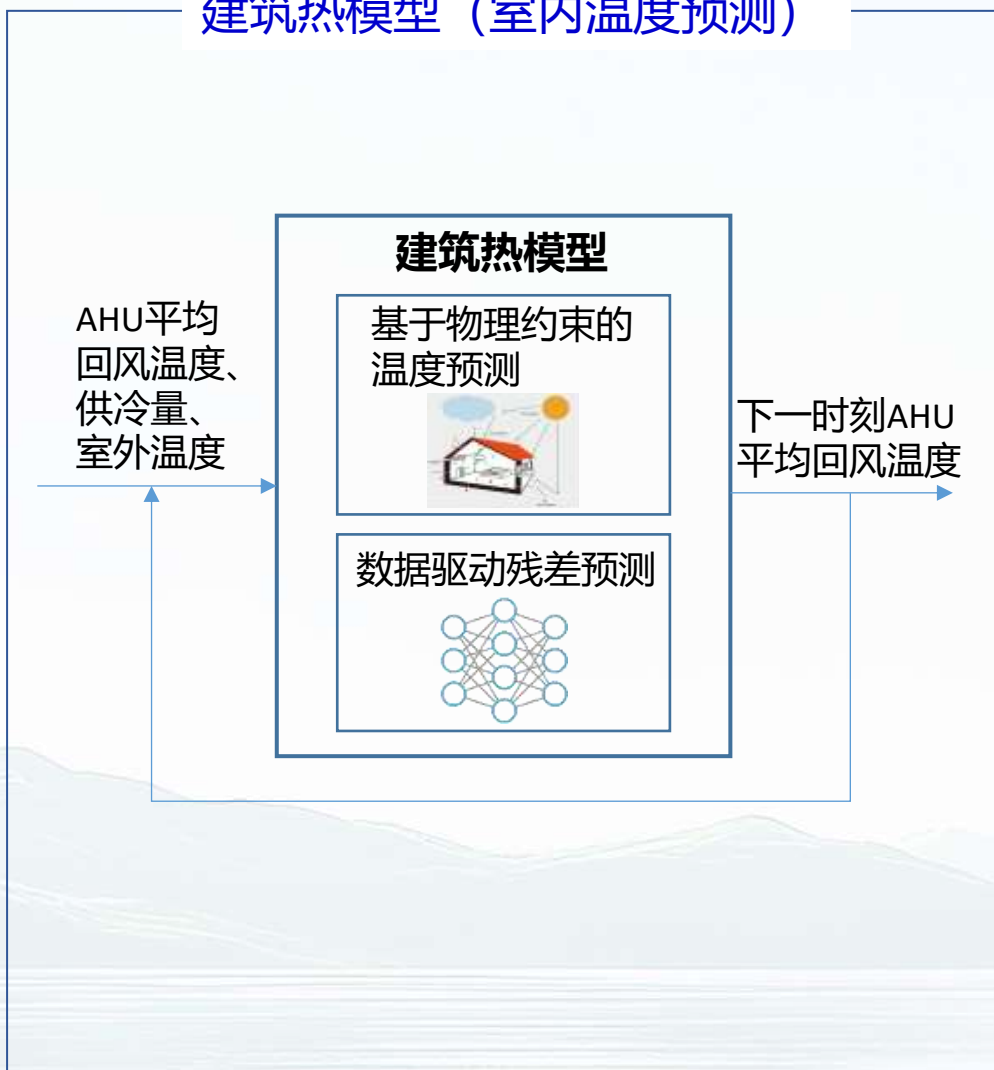
$$\text{约束: } \begin{cases} N_{chi} \geq N_{min} & \text{主机最小运行台数限制} \\ N_{change} \leq N_{available} & \text{最大台数变化限制} \\ f_{set,low} \leq f \leq f_{set,up} & \text{水泵运行频率限制} \end{cases}$$



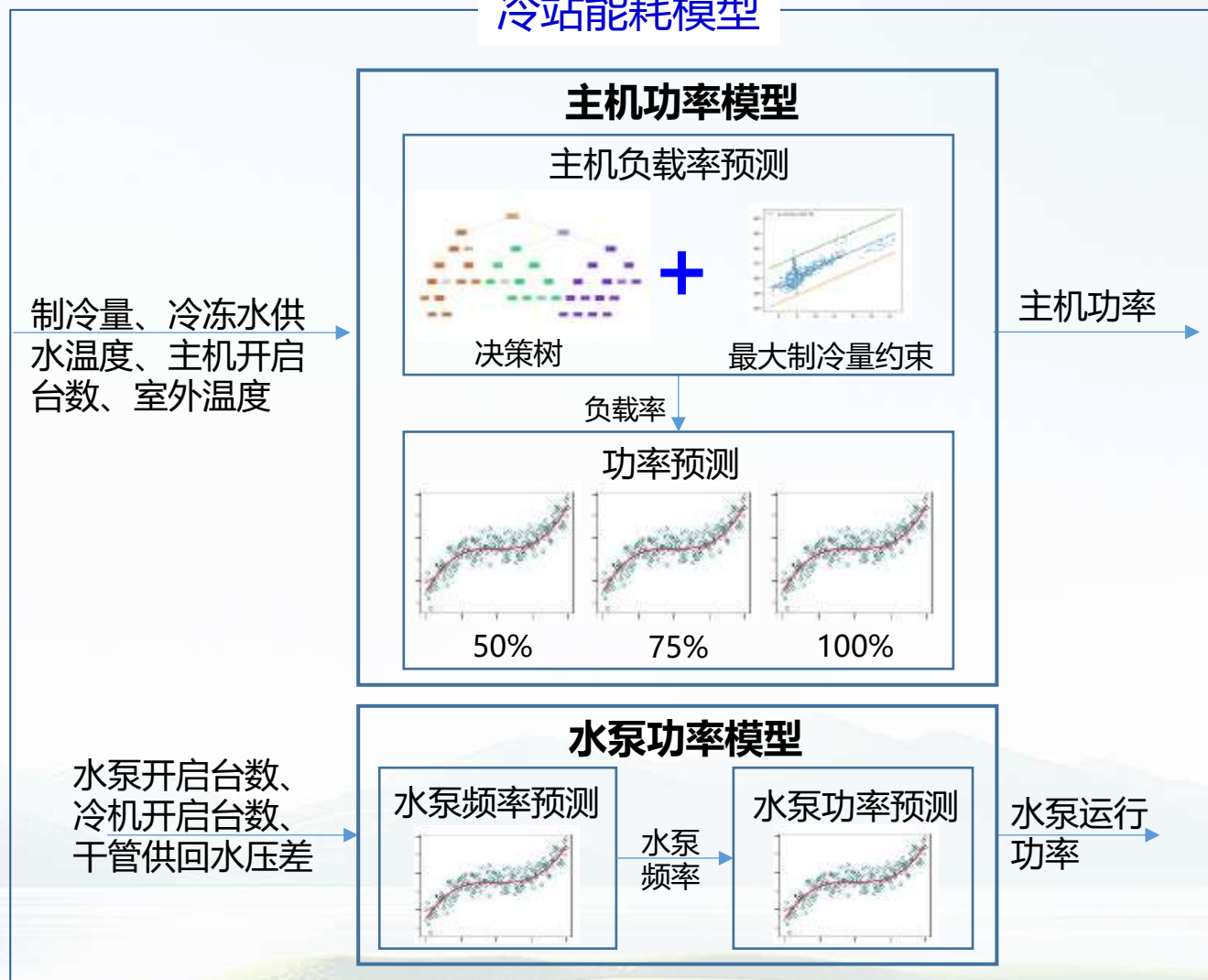
4. 应用案例分享

AI优化控制策略

建筑热模型 (室内温度预测)



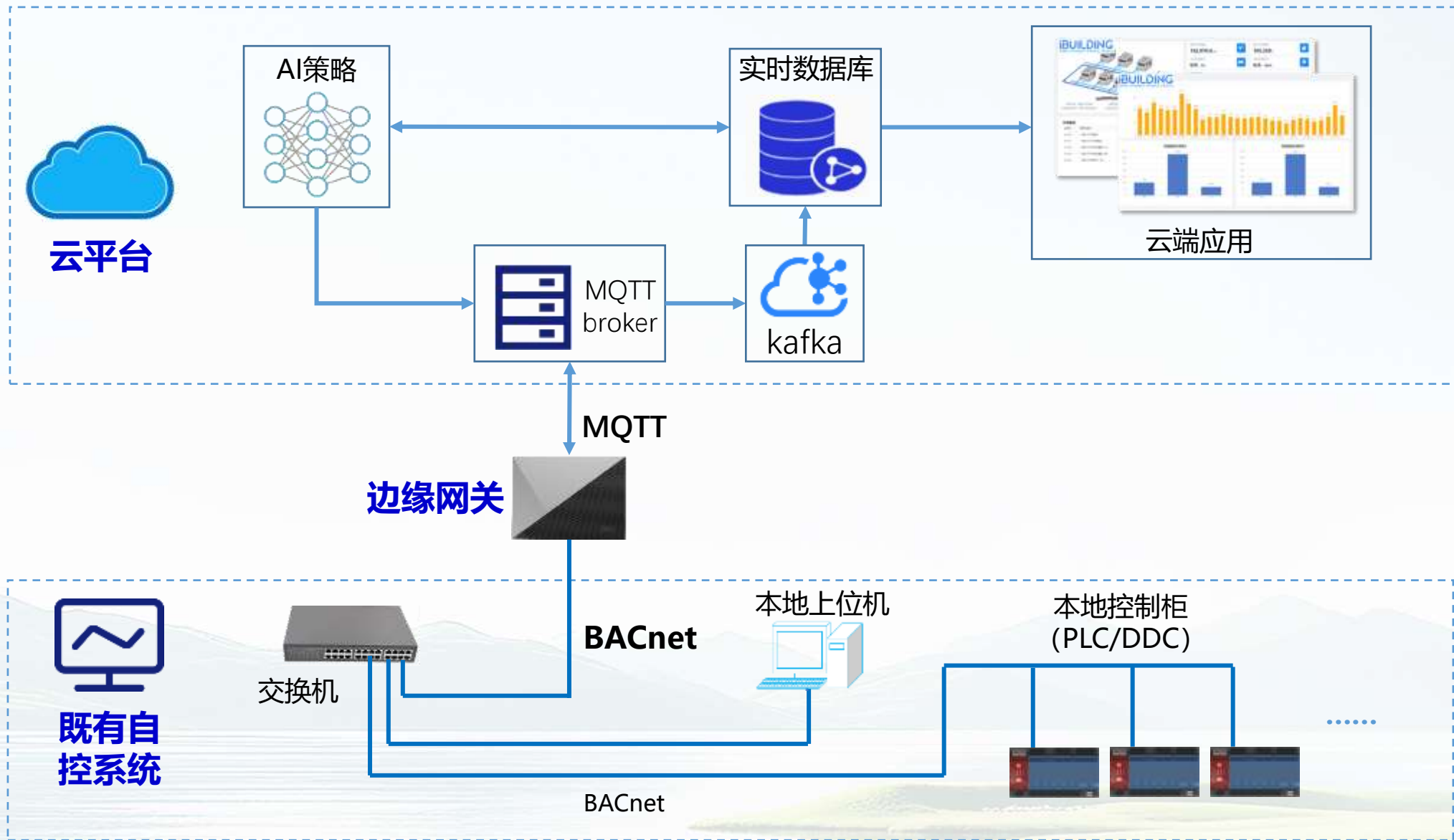
冷站能耗模型





4. 应用案例分享

云边协同部署架构

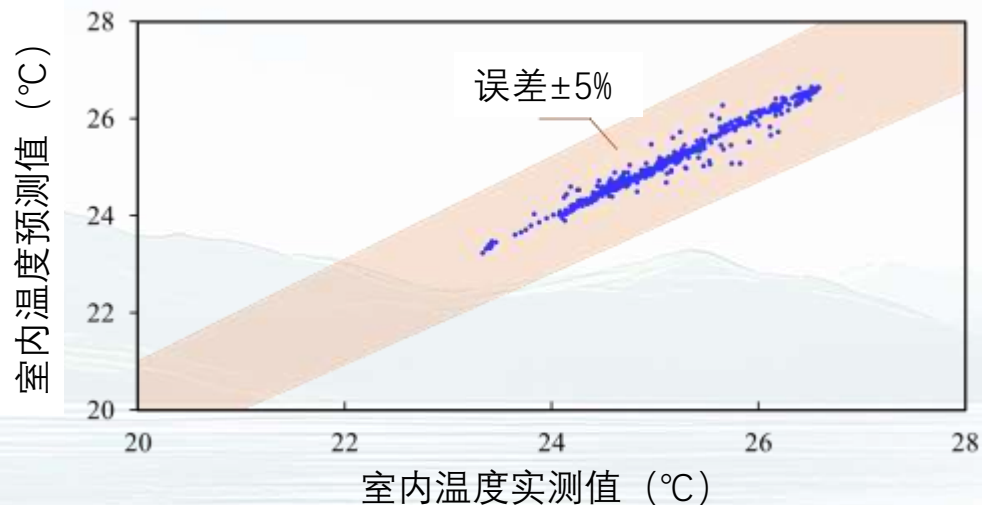
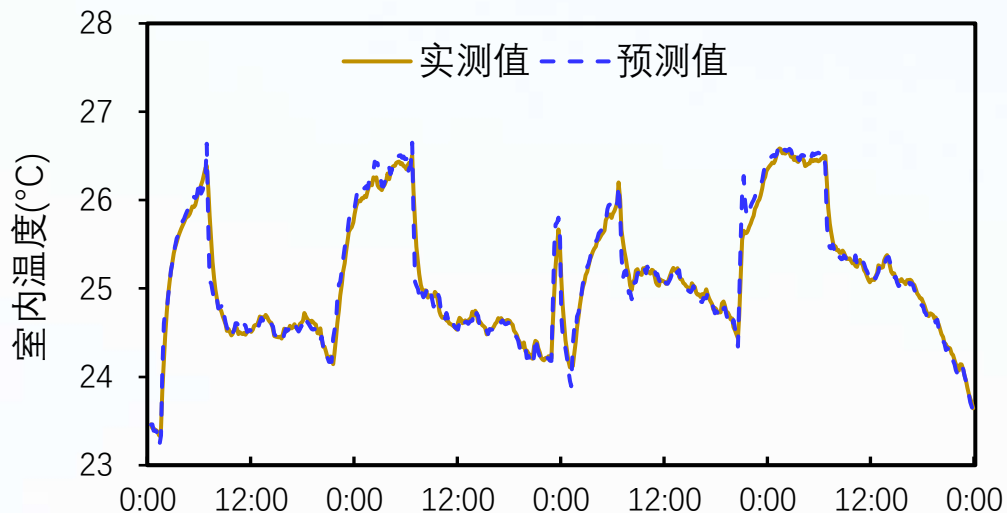




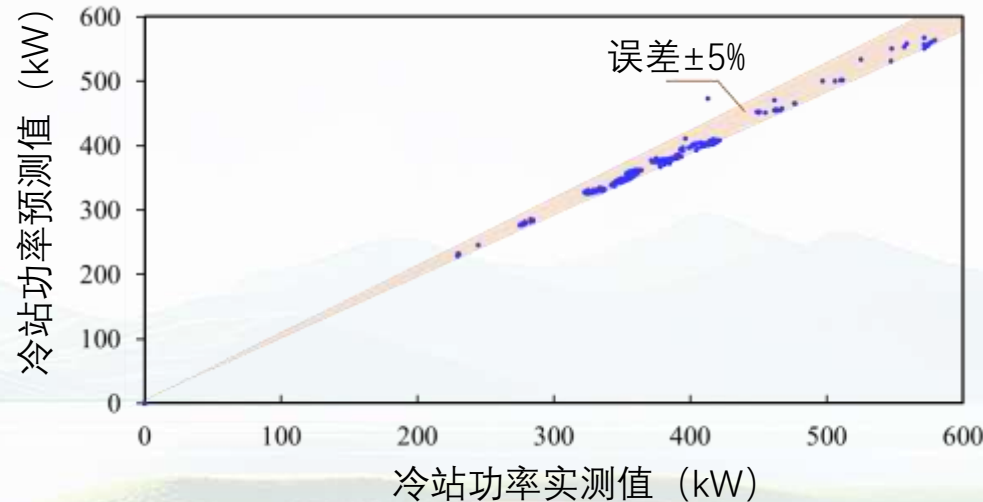
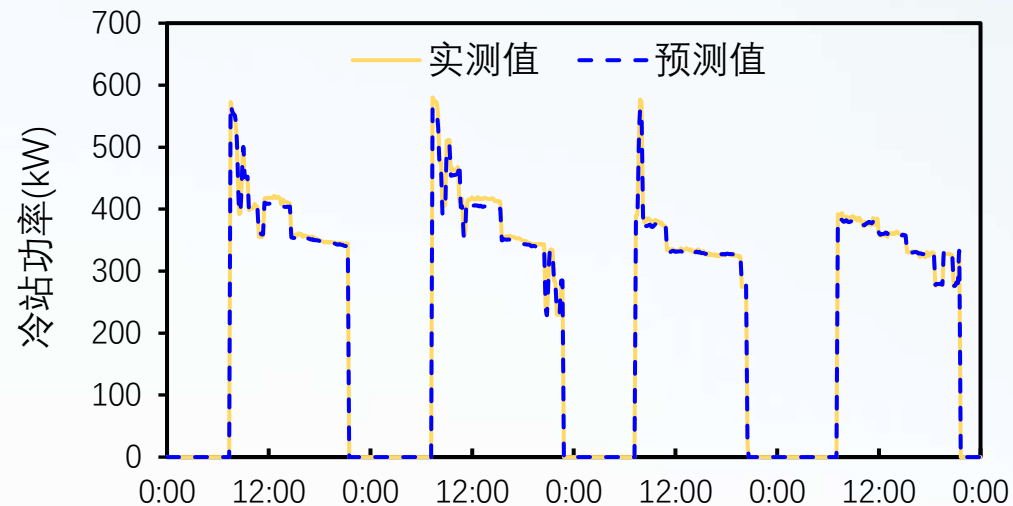
4. 应用案例分享

AI优化控制策略效果-模型准确度

建筑热模型



冷站能耗模型



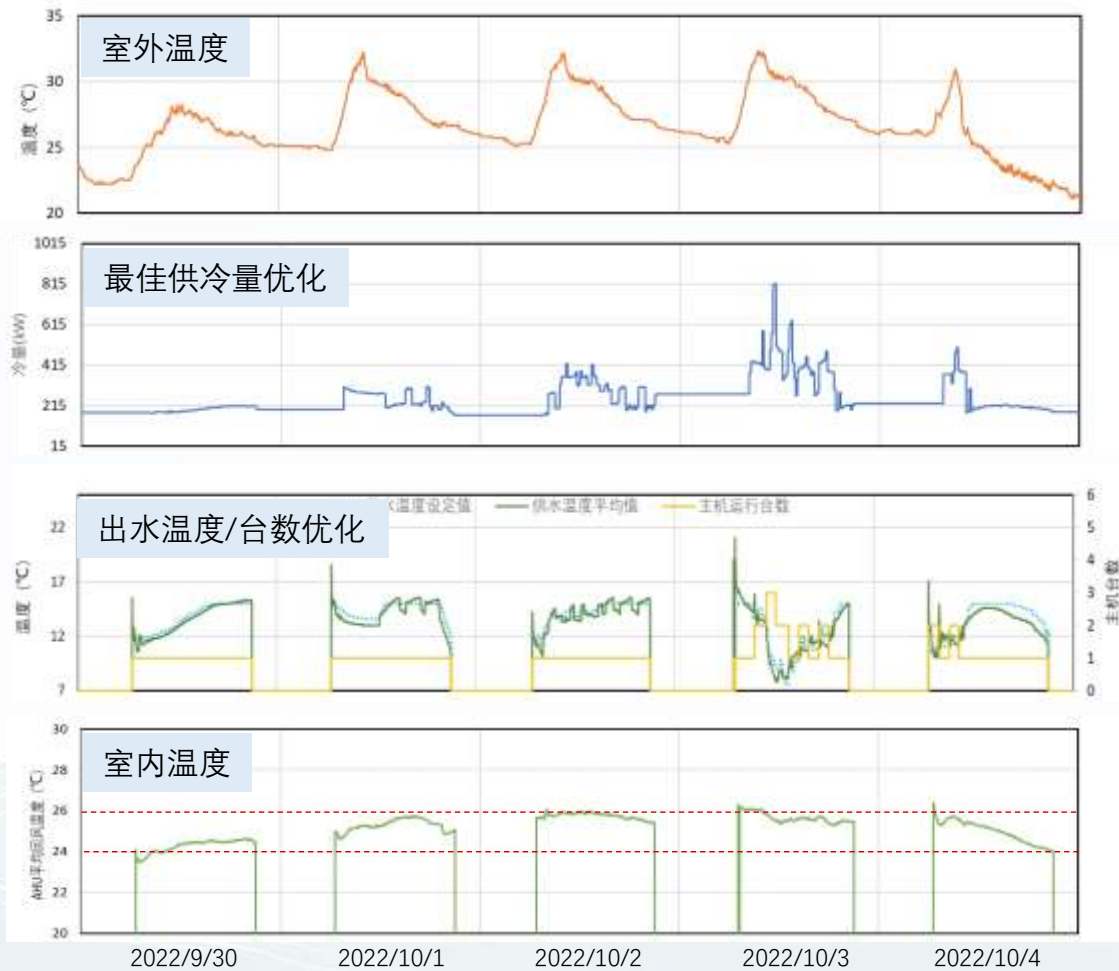
注：数据已经过脱敏处理



4. 应用案例分享

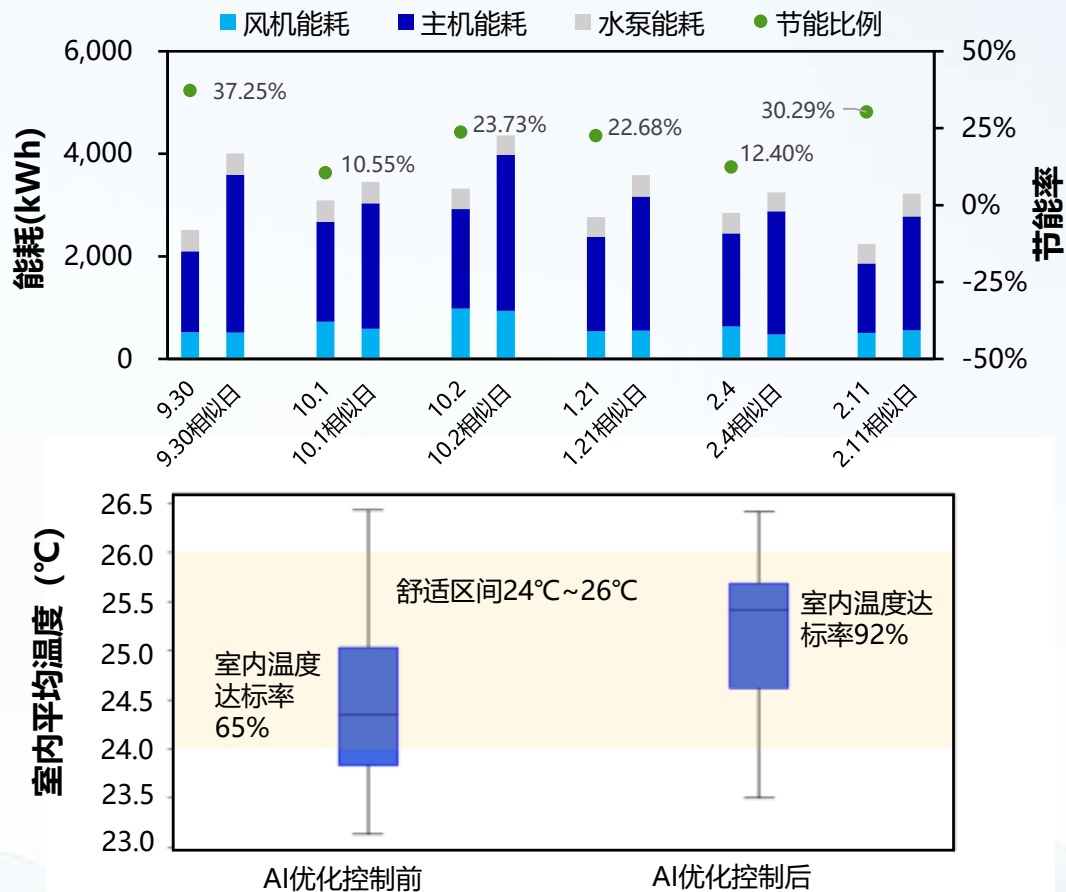
AI策略控制效果-节能与舒适度

AI在线远程控制特性



云边协同控制系统运行稳定, AI持续对系统运行进行优化

AI控制效果



- 相似工况日对比, AI控制策略平均节能率23.24%
- 室温达标率从65%提升到92%



5. 总结与展望

总结

1. 针对既有暖通系统的节能改造，提出了一种基于AI的云边协同的轻量化的节能技术
 - 非侵入式，兼容既有自控系统控制逻辑
 - 轻量化，硬件投入仅物联网关，投资少，回收期短
2. 该技术在实际项目中得到验证，云边协同控制架构稳定可靠，节能效果显著
 - AI节能策略平均节能率23.24%
 - 室温达标率从65%提升到92%

展望

- | | | |
|--|---|---|
| 1. 缩短算法开发时间 | 2. 扩展应用场景 | 3. 共建友好生态 |
| <ul style="list-style-type: none">• 算法标准化• 主动样本增强技术 | <ul style="list-style-type: none">• 电力需求响应• 综合能源管理 | <ul style="list-style-type: none">• 自控系统推广• 标准数据点位命名• 高质量数据采集 |



5. 总结与展望

利用数据驱动的AI智能，赋能建筑节能，实现既有建筑智慧低碳运行



Solutions

Vision

实现建筑运维管理领域的“AI辅助驾驶”



把复杂留给美,让用户更简单!

感谢各位专家聆听!

美的楼宇科技
公建及改造行业总监
尹杰 13801830098



仁杰
上海 楼宇

