



高效机房的设计理念及运行控制策略

同济大学见微知筑工作室

李铮伟副教授，博导，主任

工作室教师



李铮伟
副教授，博导



李翠
副教授，硕导



徐超
研究员



秦浩森
研究员



冯吉星
研究员

工作室顾问



李振海
教授，博导



牛传凯
博士后

工作室骨干



黄磊
研究员



周俞杰
研究员



刘润东
研究员

国家自然科学基金项目，基于数据挖掘方法对公共建筑冷水机组群控策略的识别、评估和优化方法研究，2016-2018

S. Qiu, F. Feng, **Z. Li**, Data mining based framework to identify rule based operation strategies for buildings with power metering system, Building Simulation, 2019

S. Qiu, F. Feng, **Z. Li**, Stochastic optimized chiller operation strategy based on multi-objective optimization considering measurement uncertainty, *Energy and Buildings*, 195(2019) 149-160.

Jiajie Li, **Zhengwei Li**, Model based optimization of free cooling switchover temperature and cooling tower approach temperature for data center cooling system with water-side economizer, Energy&Buildings, 2020.

S. Qiu, **Z. Li**, D. Fan, et al., Chilled water temperature resetting using model-free reinforcement learning: Engineering application, Energy and Buildings 255 (2022) 111694.

S. Qiu, Z. Li, **Z. Li**, et al., Model-free optimal chiller loading method based on Q-learning, *Science and Technology for the Built Environment* 0 (2020) 1-17.

罗定鑫, 吴疆, 张瑞, **李铮伟**, 基于城市轨道交通地铁站环控系统的在线运维与诊断系统, 暖通空调, 2020年第9期

2. R. Liu, Y. Zhang, Z. Li, Leakage diagnosis of air conditioning water system network based on an improved BP neural network algorithm, *Buildings*, 2022



09:54

见微知筑工作室

未来建筑控制沙龙第十二期会议

会议主题：物联网技术在智能建筑中的应用

本次沙龙由同济大学机械学院和暖通空调产业技术创新联盟智能化专业委员会联合主办，美的楼宇科技事业部、予哲机电工程咨询（上海）有限公司、上海时链节能科技有限公司、阿基特物联网中心、泰康（上海）实业有限公司、上海云见智能科技有限公司协办，CAHVAC暖通大讲堂、牛侃暖通俱乐部联合直播。

未来建筑控制沙龙第十二期会议预告

本次论坛以物联网技术在智能建筑中的应用为主题，美的、网易、时链、天津大学、秦骏、及云见智能的资深专家齐聚一堂，探讨物联网技术的下一步发展。感谢暖通空调技术产业联盟智能化专委会及牛侃暖通的支持！下周五（6.16）下午2点，不见不散

Monday 19:49

强化学习算法分类

02

强化学习算法分类02

点击查看详情

新闻咨询

研究分享

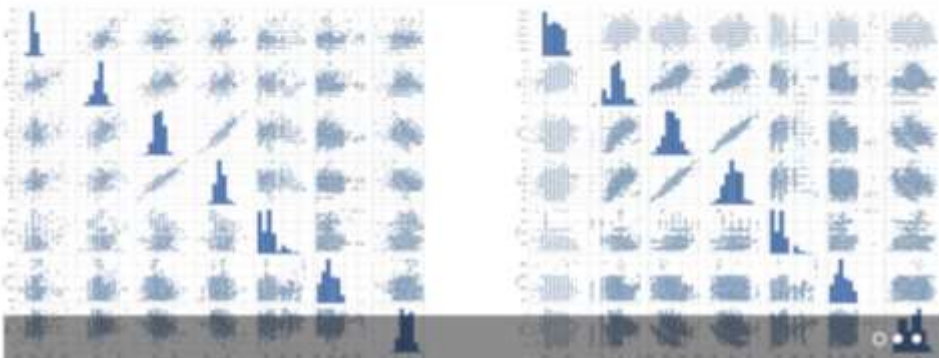
关于我们

https://energygeek.tongji.edu.cn

**同济大学** | 建筑与区域智慧能源系统课题组
见微知筑工作室

网站导航 | 团队介绍 | 研究方向 | 科研交流 | 招贤纳士 | 最新动态 | 过往项目

行业交流 | 学术交流



未来建筑控制沙龙第十二期会议

会议主题：物联网技术在智能建筑中的应用

本次沙龙由同济大学机械学院和暖通空调产业技术创新联盟智能化专业委员会联合主办，美的楼宇科技事业部、予哲机电工程咨询（上海）有限公司、上海时链节能科技有限公司、阿基特物联网中心、泰康（上海）实业有限公司、上海云见智能科技有限公司协办，CAHVAC暖通大讲堂、牛侃暖通俱乐部联合直播。

时间：2023.6.16 14:00-17:00
参会方式：扫描海报二维码，观看直播

会议内容



主持人：李博伟，同济大学暖通空调研究所所长，教授级高级工程师，上海市暖通工程学会副理事长，中国制冷学会制冷技术专业委员会委员，暖通空调制冷学会理事，上海市制冷学会理事，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任。



特邀嘉宾：周海峰，美的楼宇科技事业部总经理，高级工程师，上海市暖通工程学会副理事长，中国制冷学会制冷技术专业委员会委员，暖通空调制冷学会理事，上海市制冷学会理事，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任。



特邀嘉宾：周海峰，美的楼宇科技事业部总经理，高级工程师，上海市暖通工程学会副理事长，中国制冷学会制冷技术专业委员会委员，暖通空调制冷学会理事，上海市制冷学会理事，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任。



特邀嘉宾：周海峰，美的楼宇科技事业部总经理，高级工程师，上海市暖通工程学会副理事长，中国制冷学会制冷技术专业委员会委员，暖通空调制冷学会理事，上海市制冷学会理事，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任。



特邀嘉宾：周海峰，美的楼宇科技事业部总经理，高级工程师，上海市暖通工程学会副理事长，中国制冷学会制冷技术专业委员会委员，暖通空调制冷学会理事，上海市制冷学会理事，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任。



特邀嘉宾：周海峰，美的楼宇科技事业部总经理，高级工程师，上海市暖通工程学会副理事长，中国制冷学会制冷技术专业委员会委员，暖通空调制冷学会理事，上海市制冷学会理事，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任。



特邀嘉宾：周海峰，美的楼宇科技事业部总经理，高级工程师，上海市暖通工程学会副理事长，中国制冷学会制冷技术专业委员会委员，暖通空调制冷学会理事，上海市制冷学会理事，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任，上海市制冷学会制冷工程专业委员会副主任。

扫描二维码即可观看直播



目录

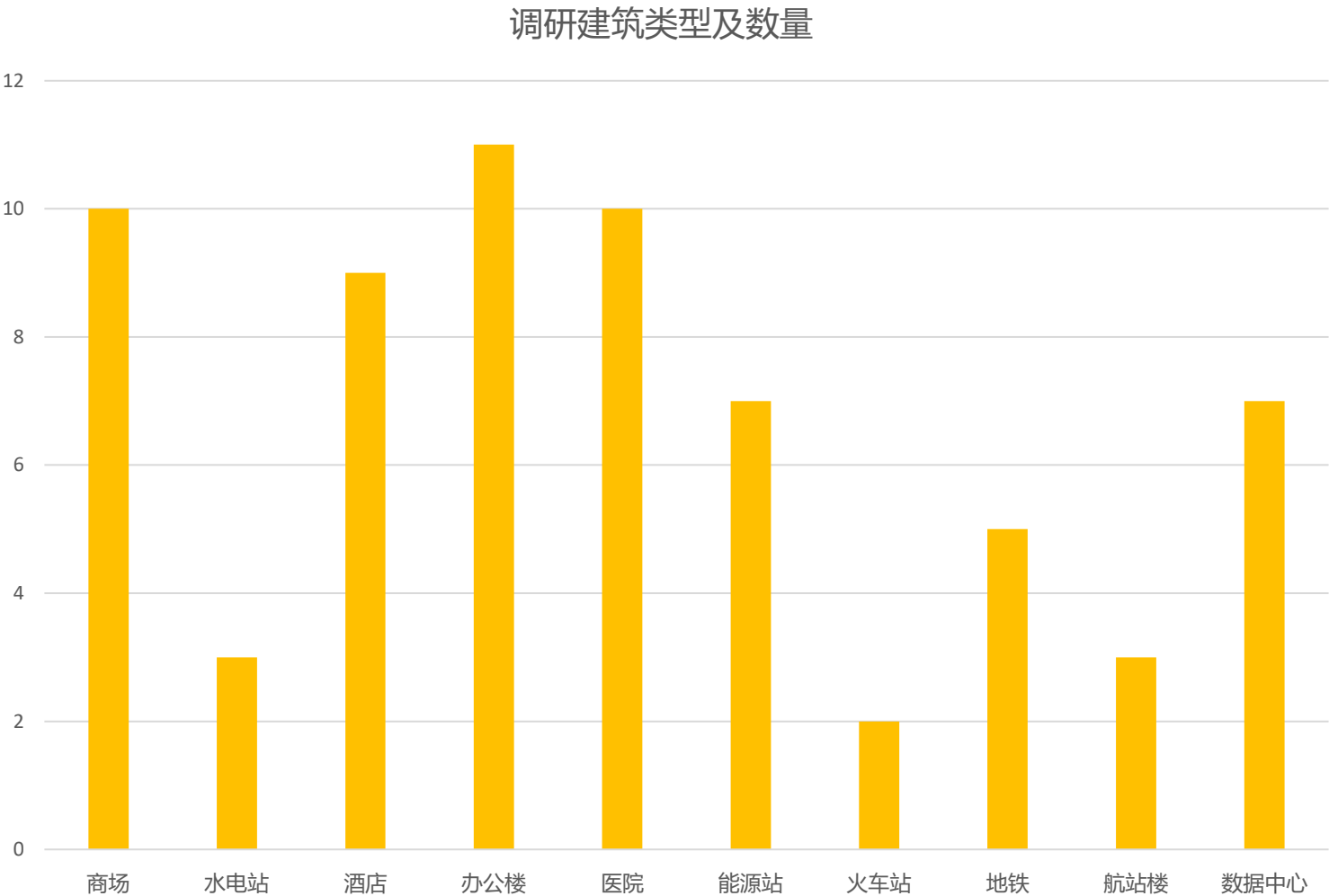
1 高效机房的设计理念

2 能源AI控制算法的演进

3 同济大学见微知筑工作室AI算法相关工作

1

高效机房的设计理念



文献发表时间2008-2022

论文数量 70

论文发表地区: 主要集中在长三角、珠三角、湖南、四川、重庆地区

论文发表地区: 主要集中在长三角、珠三角、湖南、四川、重庆地区

论文中主要发现了五类问题，分别与冷机、冷冻泵、冷却泵、冷却塔、风系统相关

1.1

制冷机房现状调研

制冷机房现状调研

主机相关问题	冷冻泵相关问题	冷却泵相关问题	冷却塔相关问题	风系统相关问题
选型过大	控制系统老化/失效	水泵选型过大	填料结垢	末端冷热抵消
选型过小	风水系统割裂	水泵不能变频	冷却水硬度高	新风量不调节
换热效率下降	水泵不能变频	冷水机组冷却水流量分配不平衡	冷却塔位置不当	新风系统保养不到位
无群控或失效	水泵选型过大	冷凝器清洗小球堵塞导致小流量大温差	冷却塔消声措施不到位	有调节装置无调节逻辑
冷机水阀不关	大小水泵并联		冷却塔冷却水流量分配不平衡	送风参数不合理
冷机水进水温度过低			冷却塔风机定频	
			免费板换使用不合理	

主机相关节能技术

基于全年负荷的优化设计

有效的群控策略

免费供冷系统

冷凝热回收系统

水水热泵系统

全局优化技术

蒸发冷凝机组

冷冻侧相关节能技术

大温差技术

风水联动优化技术

水泵优化选型技术

泵组优化控制技术

智慧阀技术

泵阀联调技术

冷却侧相关节能技术

冷却水变流量技术

冷却塔变频技术

冷却水质动态监测
和处理技术

冷却塔动态水力平衡
技术

变流量喷嘴技术

采用磁悬浮替代免
费板换技术

高效机房关键技术

冷却侧变流量变水温设计技术

优化控制技术

冷冻侧变流量变水温设计技术

允许低进水温度和低流量的冷机

允许低冷却水流量的冷却塔

全局优化技术

模块化优化技术

冷机水流量调节技术

冷冻水泵变频调节技术

冷却塔水力平衡技术

冷机水力平衡技术

模型优化技术、强化学习优化技术

群智能技术、局部优化技术

允许低冷冻水流量的冷机选型

允许高冷冻水温度的末端设计选型

分集水器支路水力平衡技术

各楼层水力平衡技术

手动控制、自动控制(基于PLC的策略性控制)、AI控制(基于边缘计算的全局优化控制)

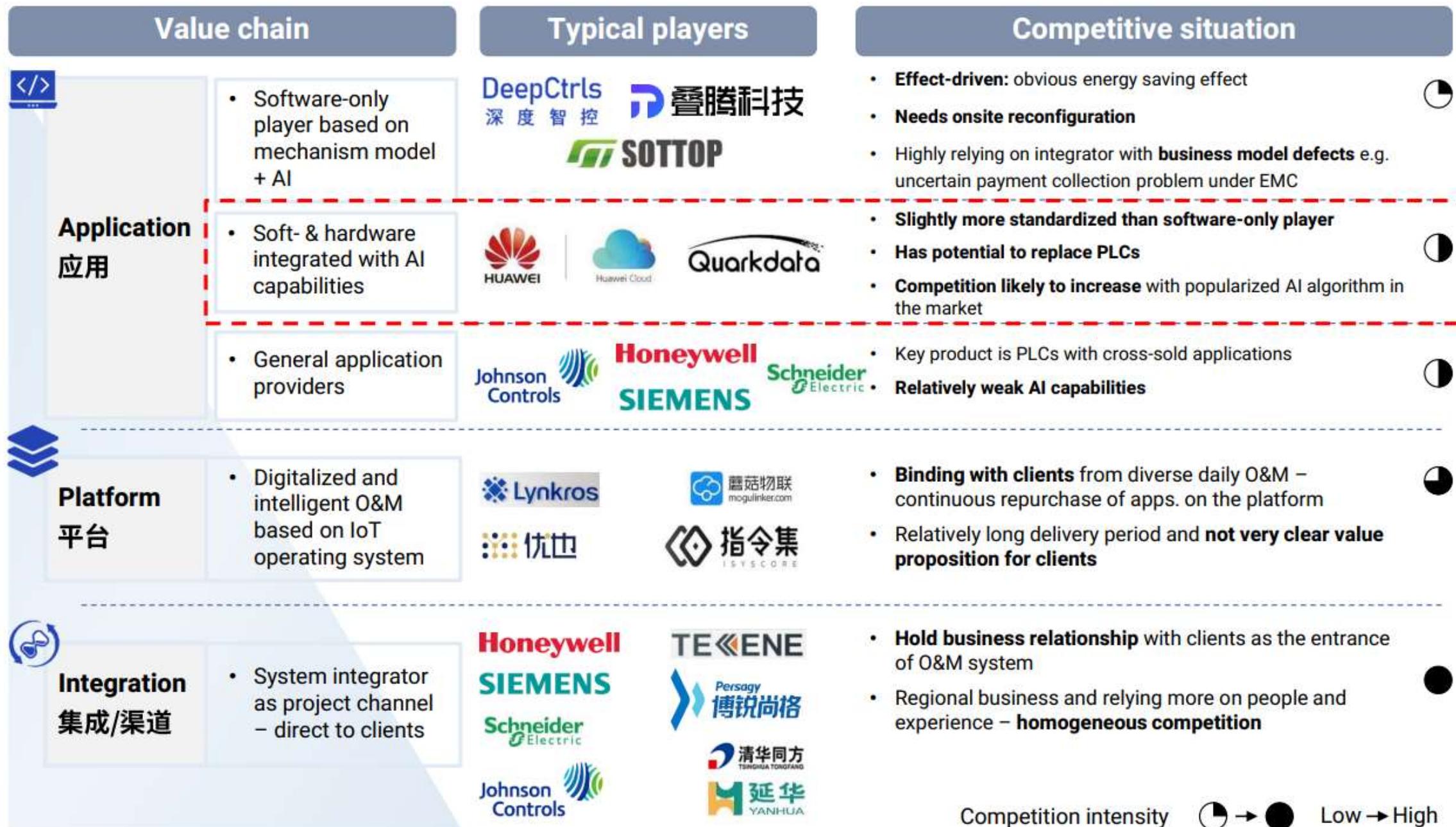
● 碳管理平台

对园区内水电、光伏、储能等各类能源数据进行全面管理及趋势分析，整合碳管理模块，建设**零碳操作平台**。基于零碳操作系统，利用大数据、云计算、边缘计算和物联网等技术对采集数据进行聚类、清洗和分析，建立企业范围内的资源-能源平衡模型，并设定评价指标体系，结合统计分析、动态优化、预测预警、反馈控制等功能，实现企业**能源信息化集中控制**、**设备节能精细化管理**和**能源系统化管理**，降低设备运行成本，提升能源利用效率。

● 智慧化管理体系

构建综合智慧能源体系，实现多**能互补和能源的综合协调优化**，通过智慧管理系统促进节能减排，进一步降低园区的二氧化碳直接和间接排放量。通过建立碳能大数据平台，开展碳能实时监测，利用园区智慧运营中心实现碳资产的“可视、可管、可控”。





2

能源AI控制系统的演进

人工智能

行业应用

第一代人工智能

- 基于**知识**的方法
- 基于知识和经验的推理模型
- 缺陷：精度较低

第二代人工智能

- 基于**数据**的方法
- 人工神经网络是典型代表
- 缺陷：需要大量样本、不可靠

第三代人工智能

安全、可行、可靠与可扩展的AI技术

知识驱动+数据驱动

四要素：
· 知识 · 算法
· 数据 · 算力

海量数据

公理

深度强化学习

底层逻辑规律

决策行动序列

决策行动序列

强化学习 + 逻辑推理

交通系统

应用**第二代**人工智能

- 优化物流配送流程
- 自动驾驶汽车

建筑能源系统

应用**第三代**人工智能

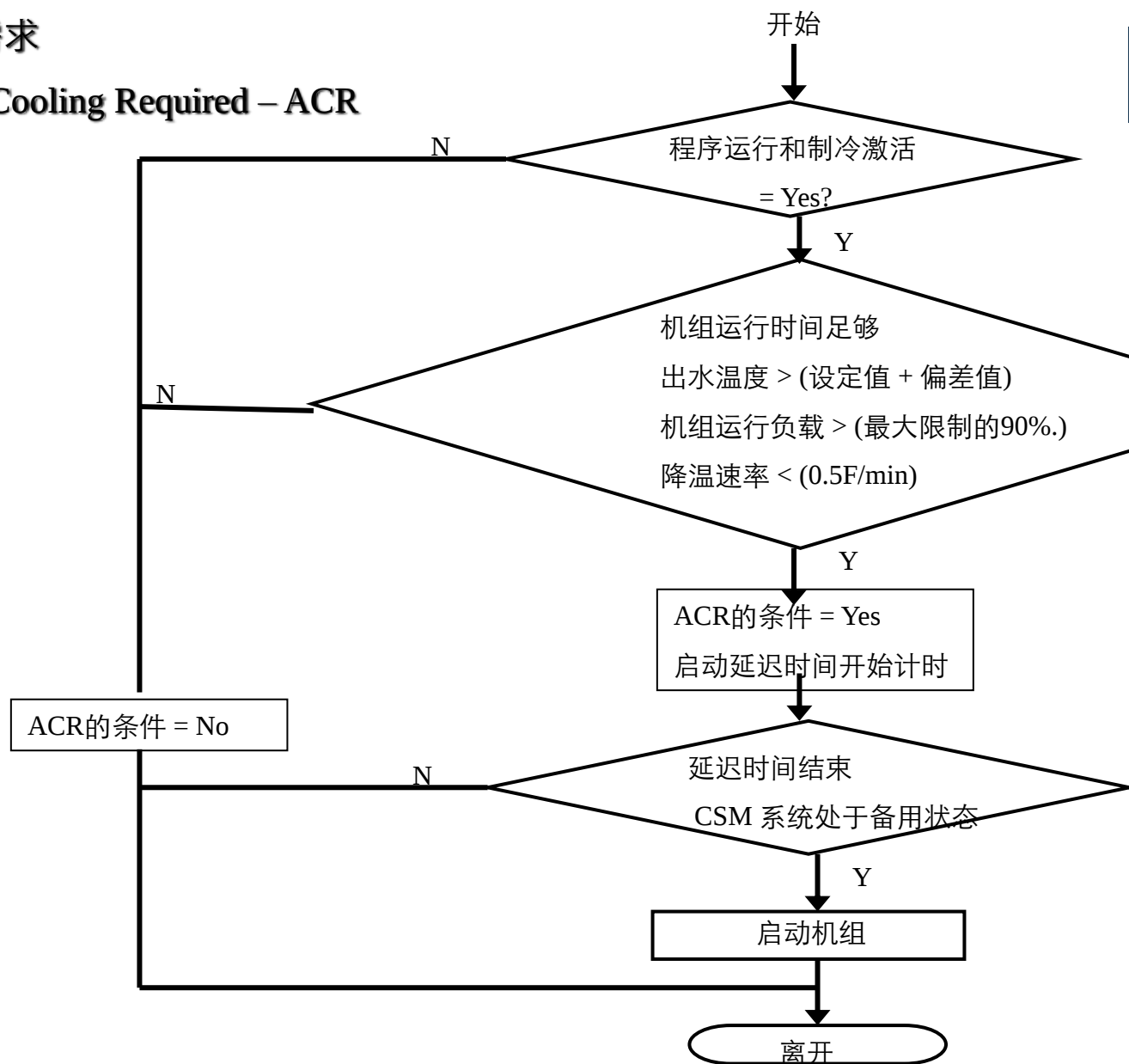
- 建筑蓄热特性
- 流体传热特性

新一代人工智能会融合**知识驱动**和**数据驱动**的优点以建立**鲁棒与可解释**的AI理论与方法

增加制冷需求

Additional Cooling Required – ACR

典型的冷水机组控制策略



举例:

出水温度 = 9°C

设定值 = 7°C

设定偏差 = 1°C

最大负载限制 = 100%

实测温度 = 9.5°C

at 08:00

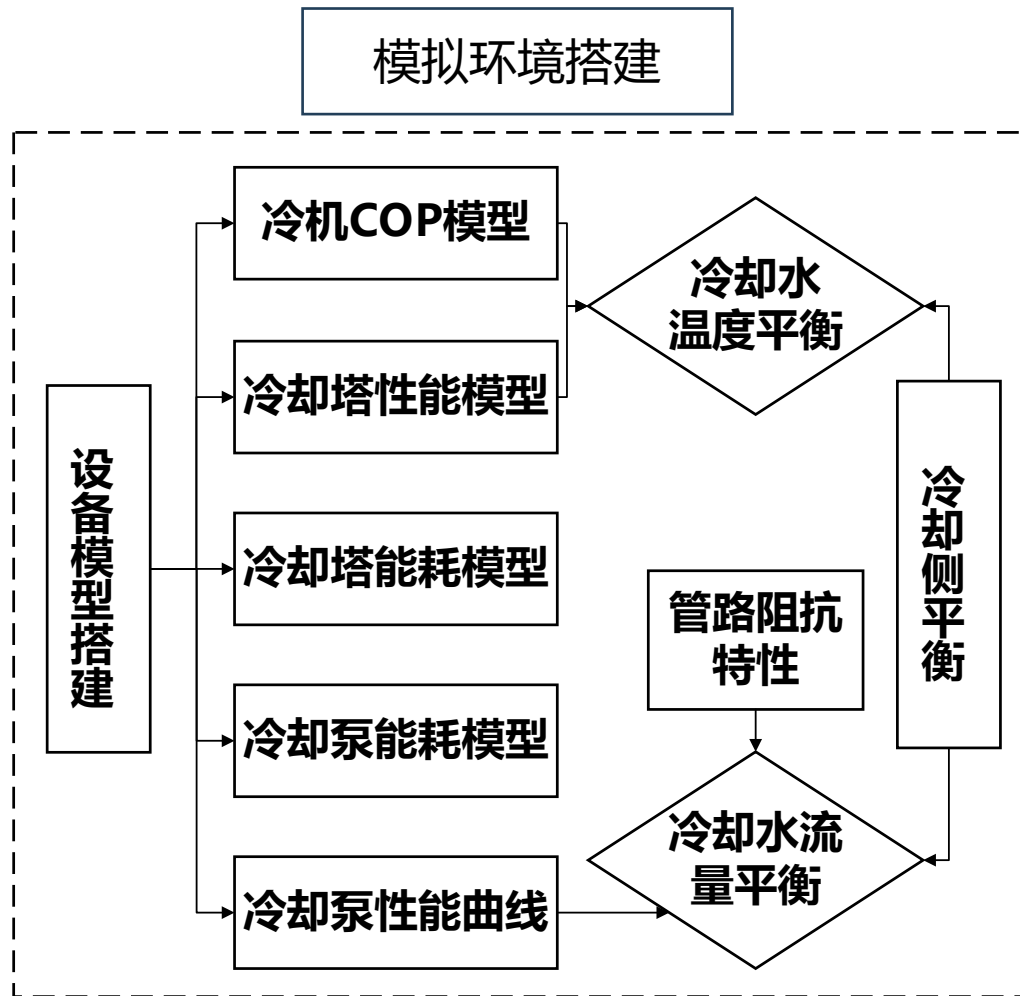
实测温度 = 9°C

at 08:01

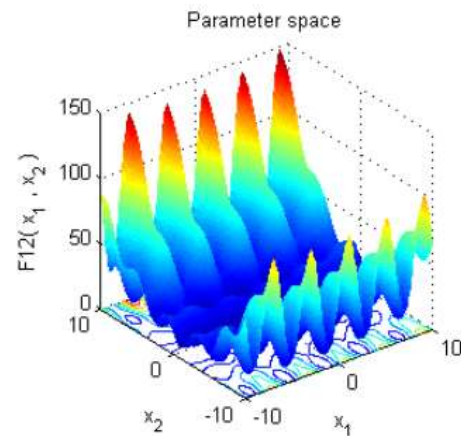
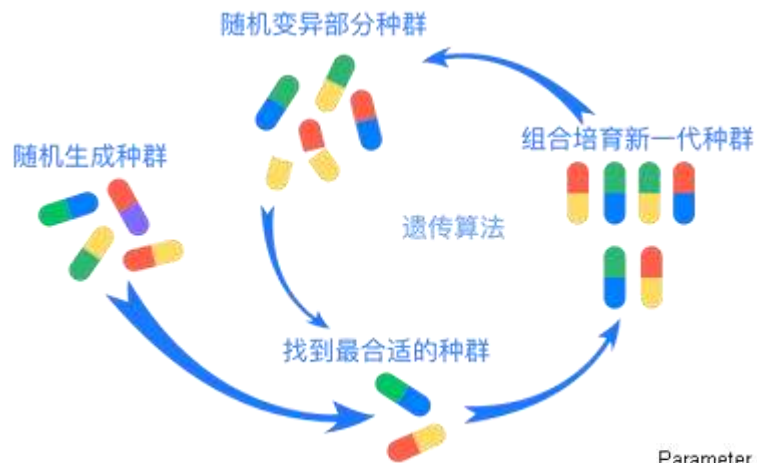
降温速率 < 0.5°F/min

举例:

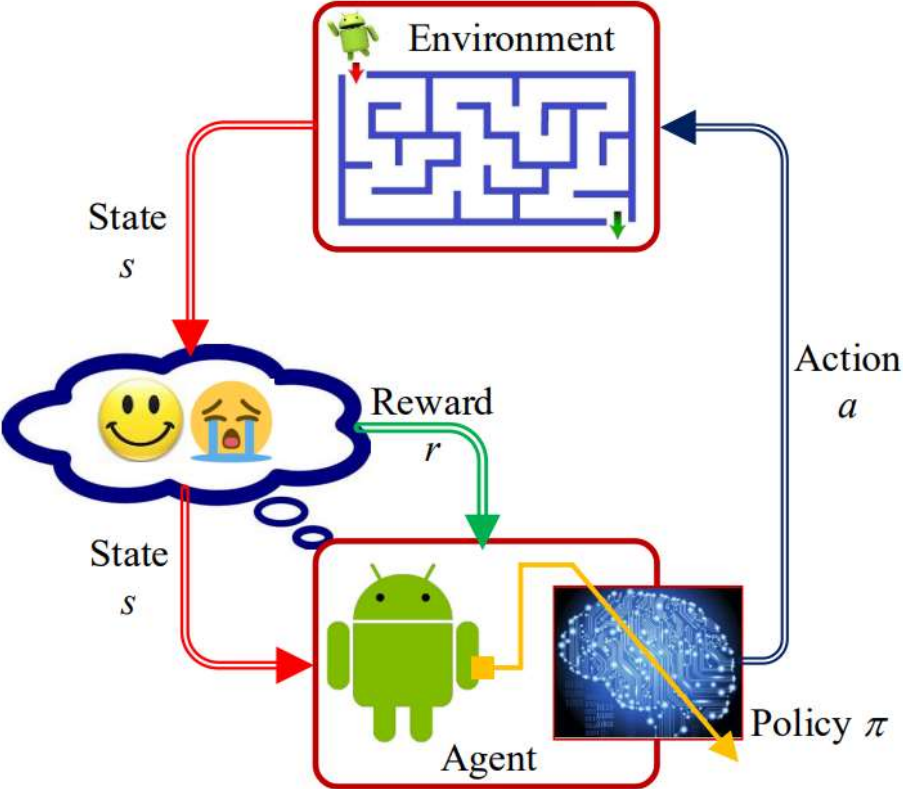
延迟时间 = 15 min



实时效率优化

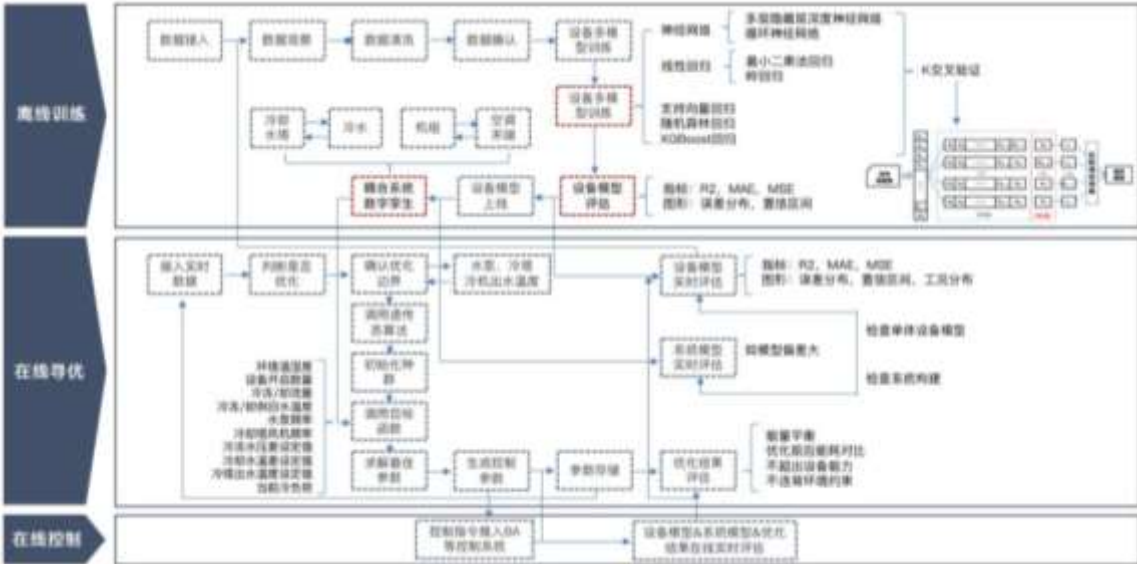


基于物理模型的数学描述结合基于启发性思想的实时优化



强化学习算法

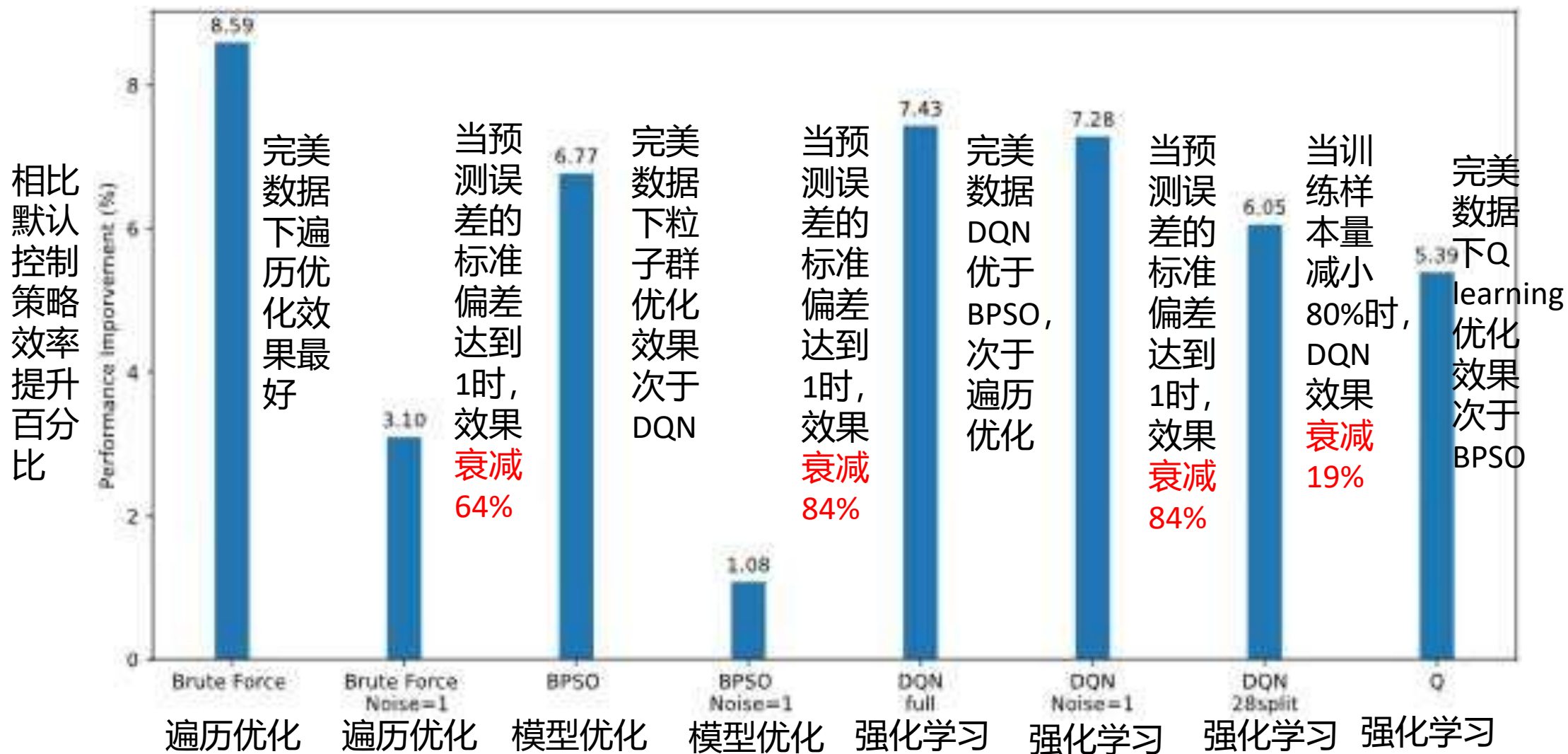
强化学习是智能体（Agent）以“试错”的方式进行学习，通过与环境进行交互获得的奖赏指导行为，目标是使智能体获得最大的奖赏，强化学习不同于连接主义学习中的监督学习，主要表现在强化信号上，强化学习中由环境提供的强化信号是对产生动作的好坏作一种评价(通常为标量信号)。



数据挖掘算法实时更新

通过建立被优化系统的能耗模型，对系统的能效做预测，同时结合实际信号，对模型进行在线校正，结合启发式优化算法对模型进行优化，通过以上一系列操作实现对能源系统的实时优化控制。

以广州某地铁站的实测数据建立的虚拟环境模型为研究对象
对比了不同优化算法的特点



下一代AI能源控制系统

特征一：

基于**定量模型**而非定性经验

特征二：

针对**系统整体进行优化**而非某个体的局部优化

特征三：

兼顾安全、通用与节能, 优化算法与本地局部控制相结合

特征四：

生命周期持续优化, 优化控制、故障诊断打通

特征五：

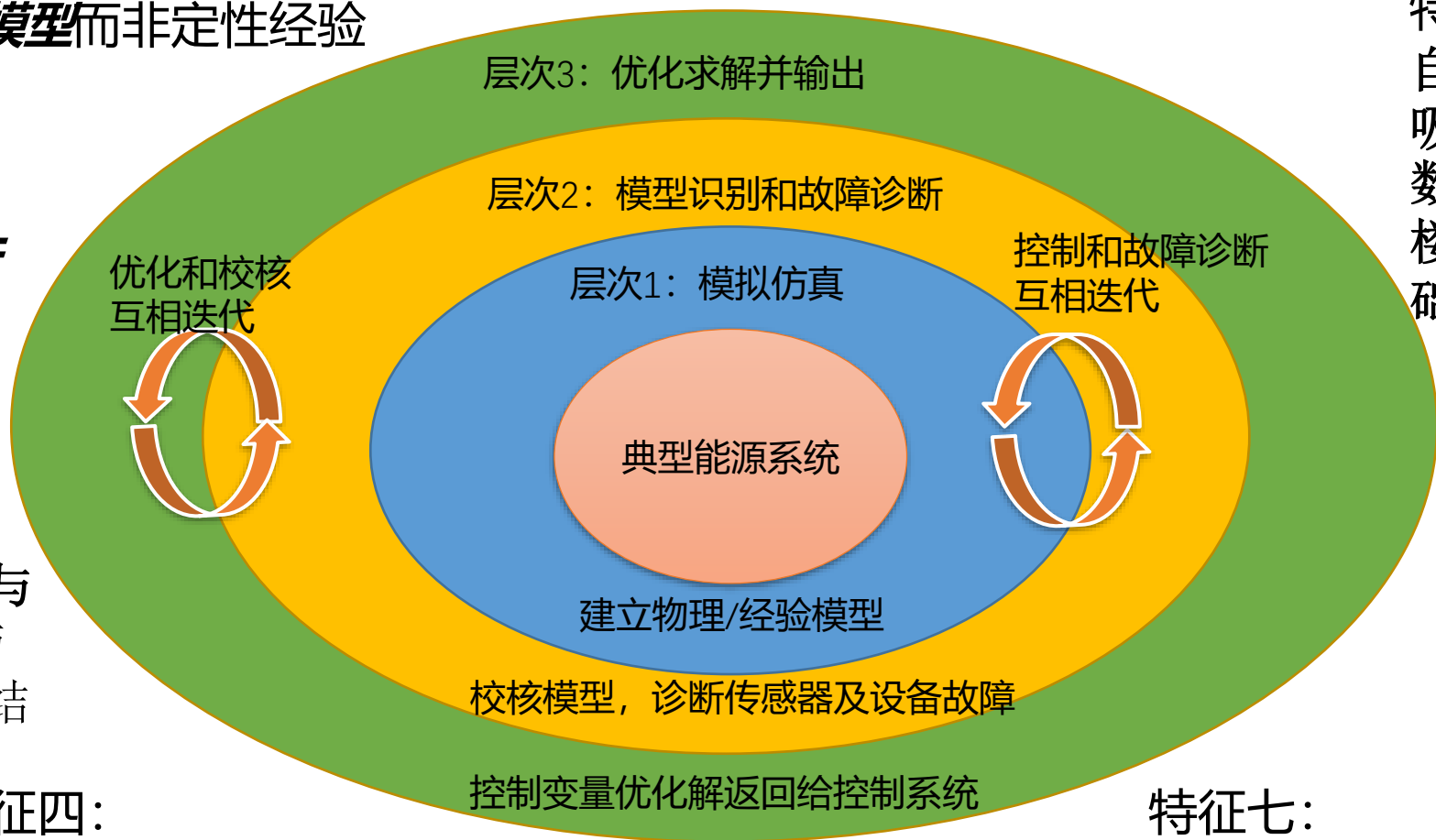
自动过滤、清洗和吸收新的运行数据, 数据量超过1000栋楼(产生大模型的基础)

特征六：

通过大模型对系统的设备层级的故障进行预判断

特征七：

通过大模型自动生成项目级别的控制算法

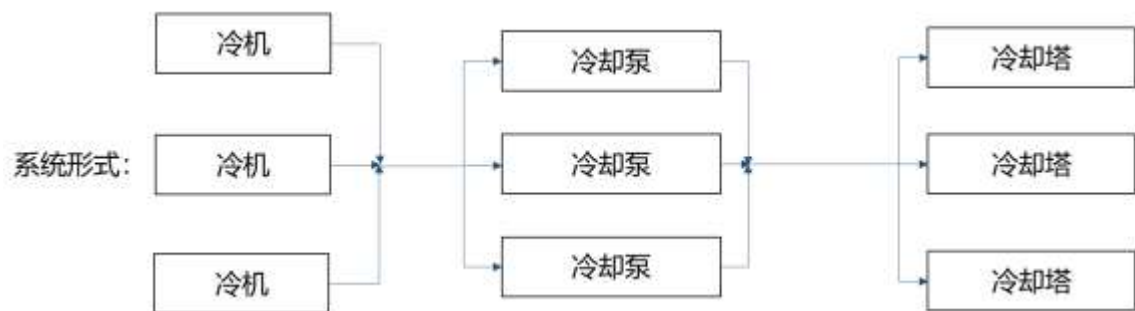


3

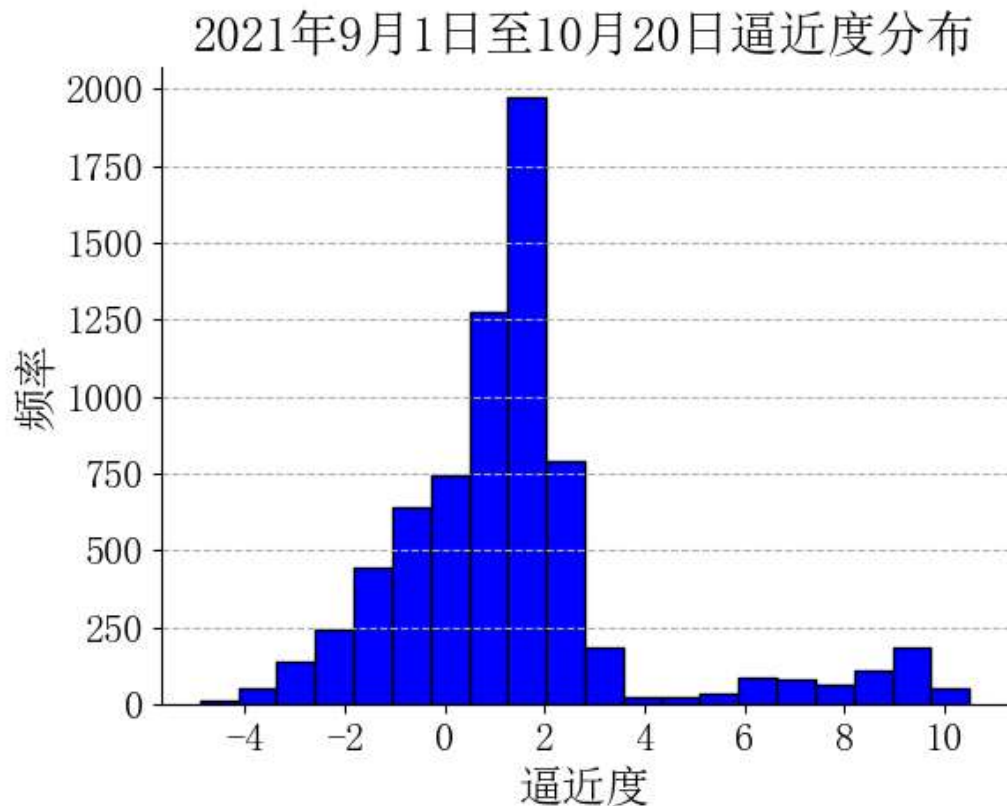
同济大学见微知筑工作室AI算法相关工作

案例1. 数据中心

某数据中心空调水系统冷却侧系统分为A、B两区，A、B区系统完全一致，每个系统都有三台同型号冷机、三台同型号冷却水泵、三台同型号冷却塔，连接形式为全并联连接



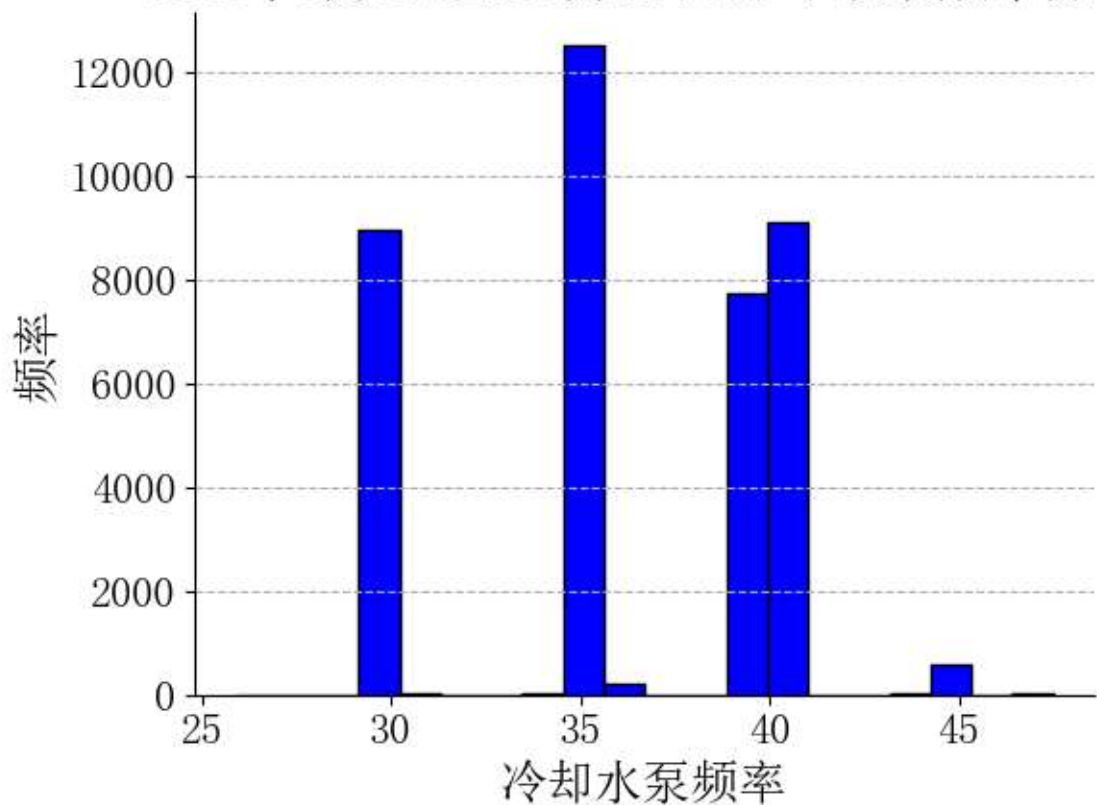
前期获得2021年9月1日至10月20日的空调水系统数据为基础，包括冷冻水流量、冷冻水供回水温度、冷却水流量、冷却水供回水温度、冷机功率、冷却塔频率、冷却泵频率、室外干、湿球温度。



将2021年9月1日至10月20日逼近度数据做频率分布直方图，发现存在大量冷却塔逼近度小于0的数据，后与业主沟通反馈得知主要原因为室外温湿度传感器安装位置存在问题。此问题也会对后续模拟环境搭建产生影响。

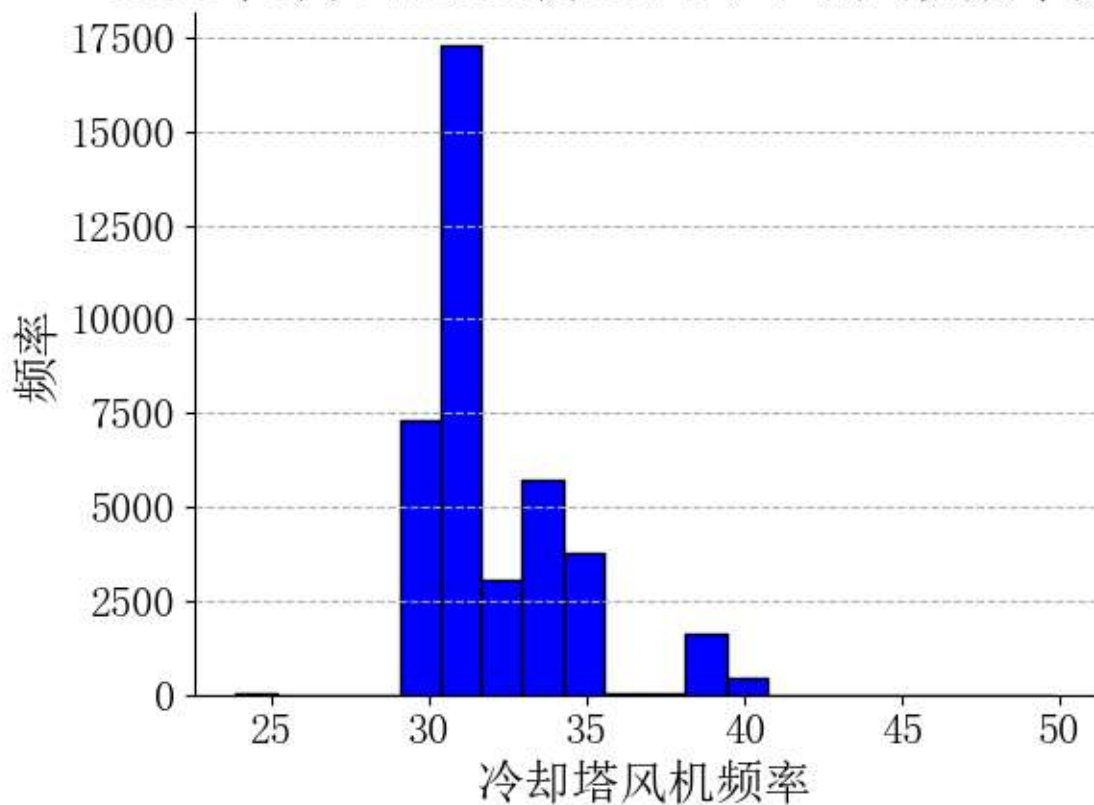
案例1. 数据中心

2021年9月1日至10月20日冷却水泵频率分布



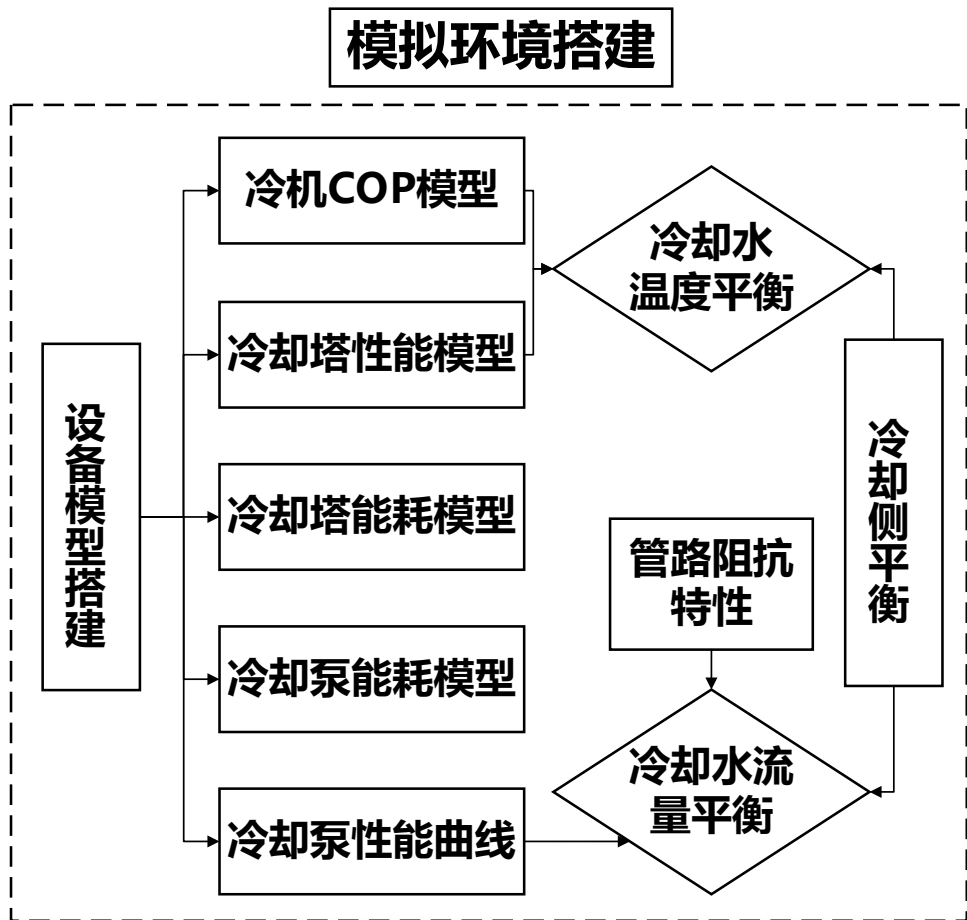
根据实际案例运行数据分布，发现冷却泵的变频集中在30、35、40、45Hz，符合手动操作的特点

2021年9月1日至10月20日冷却塔风机频率分布



根据实际案例运行数据分布，发现冷却塔的频率根据逼近度控制，连续性较好，大部分时间低于35Hz，说明负荷较低

案例1. 数据中心



根据实际案例运行数据，对比拟合不同设备模型，选用最合适的模型搭建模拟环境：

- 冷机的COP预测模型；
- 冷却泵的能耗预测模型与性能曲线；
- 冷却塔的能耗预测模型与性能模型；
- 根据实际情况设定边界条件。

根据冷却水流量与冷却水换热平衡，结合搭建的设备模型模拟冷却侧环境：

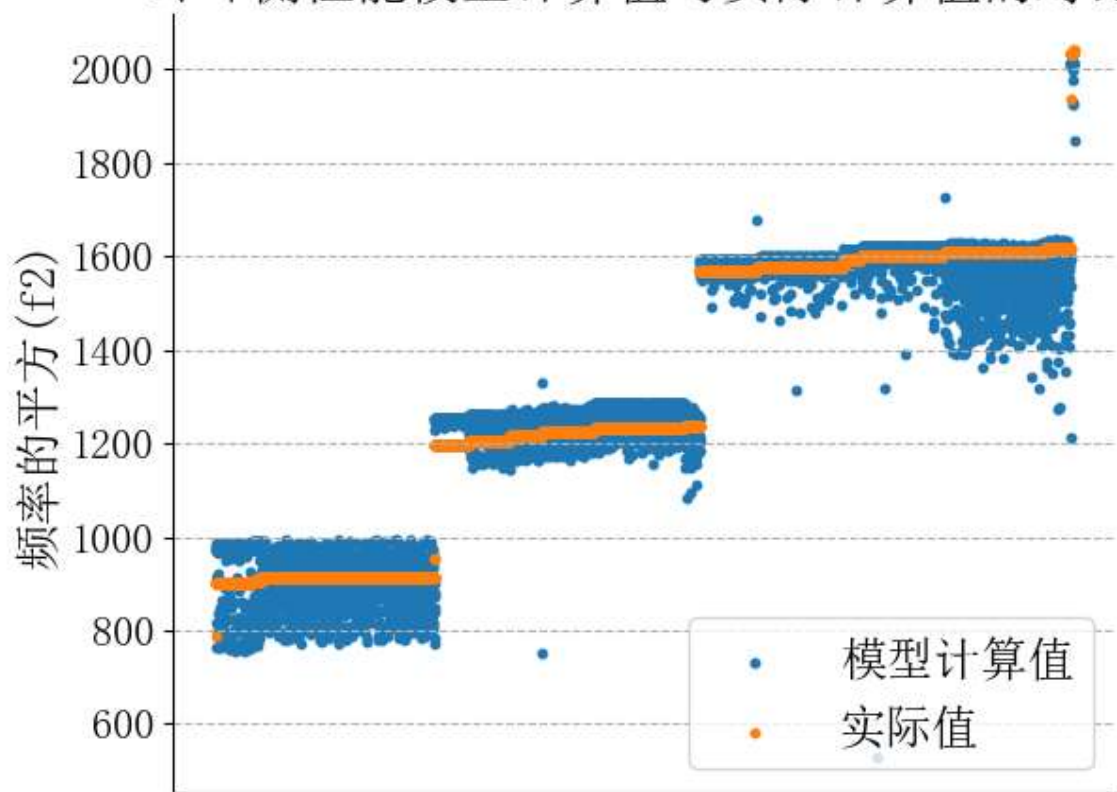
- 通过泵性能曲线与管路阻抗特性解出冷却水流量。
- 通过冷机的COP预测模型与冷却塔的性能曲线迭代解出冷却水供回水温度；

案例1. 数据中心

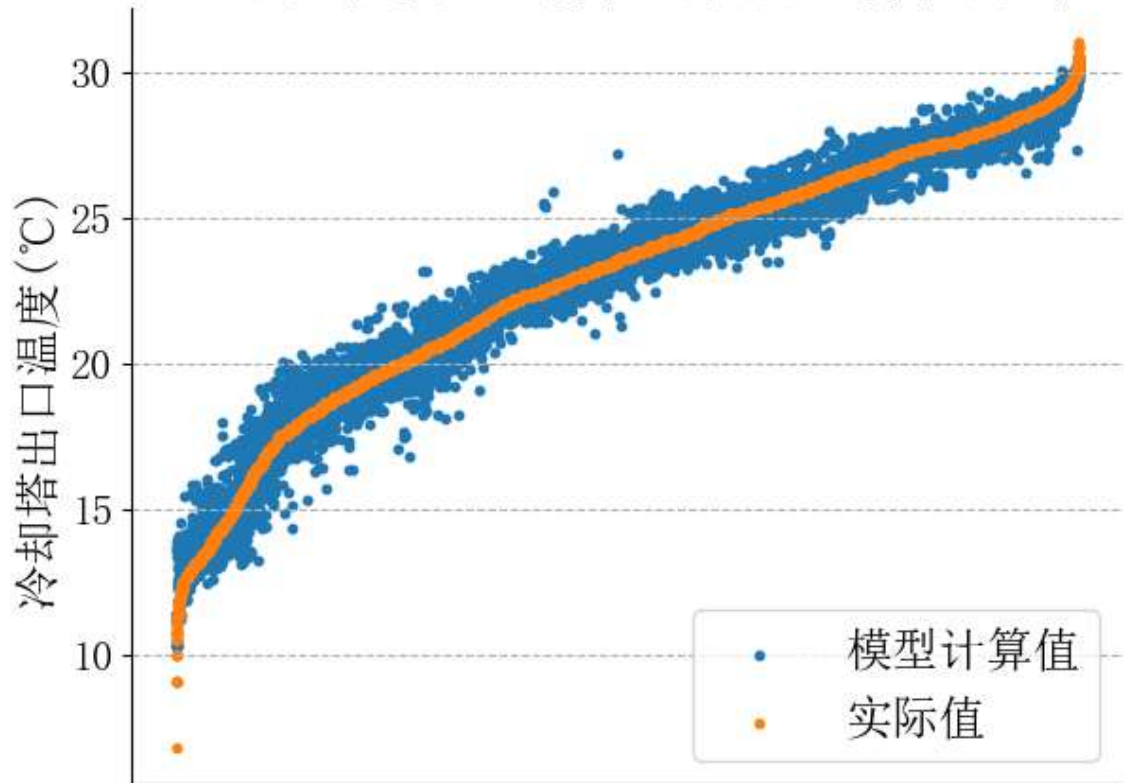
设备模型	输入参数		输出	模型
冷机COP模型	冷负荷(CL)		冷机COP	深度学习模型 梯度提升决策树模型LightGBM $COP = f(CL, T_{chws}, T_{cwr}, F_{chw}, F_{cw})$
	冷冻水供水温度(Tchws)			
	冷却水回水温度(Tcwr)			
	冷冻水流量(Fchw)			
	冷却水流量(Fcw)			
冷机序号	设备概况	测试集RMSE	测试集MAPE	
A-1	额定制冷量: 2461kW 额定功率: 390kW 额定冷却水流量: 352m³/h 额定冷冻水流量: 423m³/h	0.632	3.82%	
A-2		1.114	5.51%	
A-3		0.764	4.11%	
B-1		1.028	5.89%	
B-2		1.034	5.99%	
B-3		0.779	4.43%	

案例1. 数据中心

冷却侧性能模型计算值与实际计算值的对比

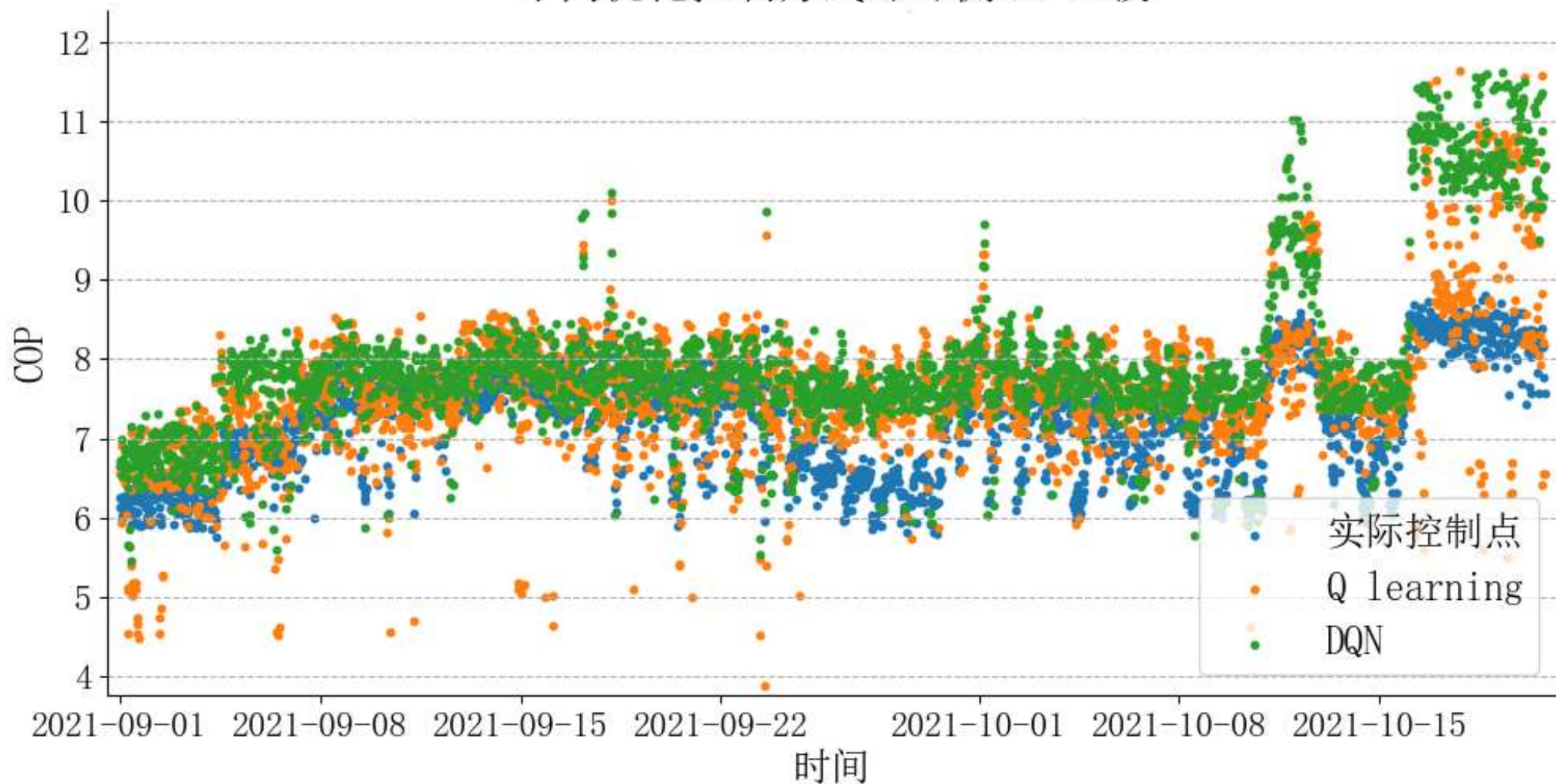


冷却塔性能模型计算值与实际计算值的对比



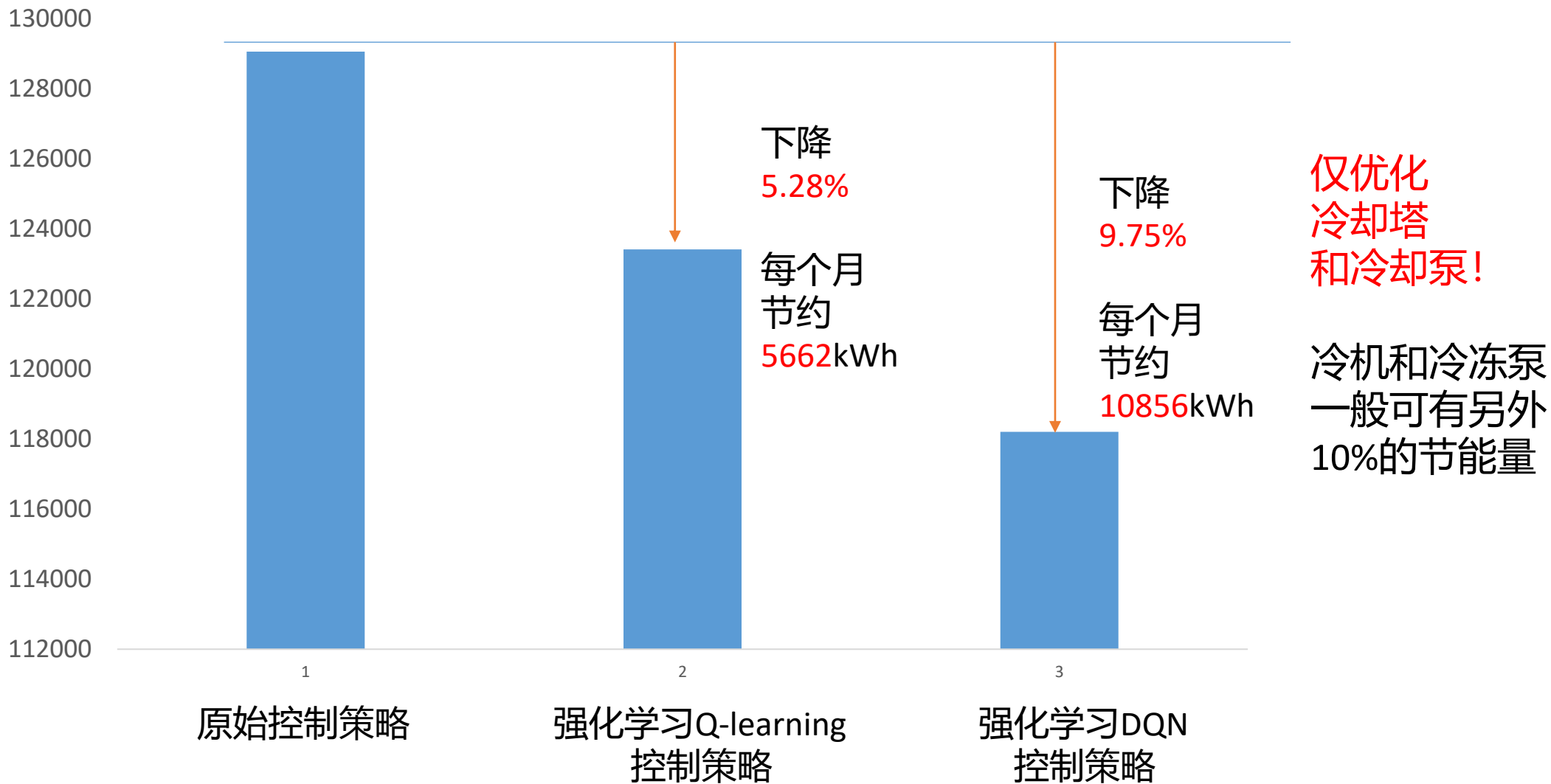
案例1. 数据中心

不同优化控制方式冷却侧COP比较



案例1. 数据中心

控制优化效果对比



案例2. 医院



本项目采暖系统目前共有15台制热量为137kW的高效模块风冷热泵机组，，机组制热COP为3.4，总额定制热量为2055kW。这15台热泵被分为两组，一组8台，一组7台，通过BA系统进行控制，全天24小时不间断使用。



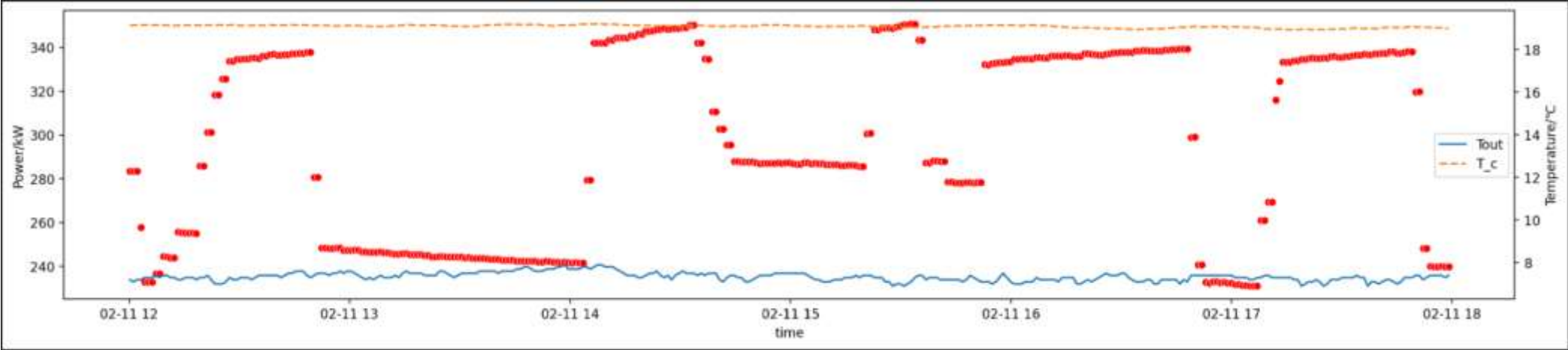
案例2. 医院

本项目采暖系统共有3台循环水泵，位于2号楼B1层空调系统控制室内，其中2台为变频，1台为定频。

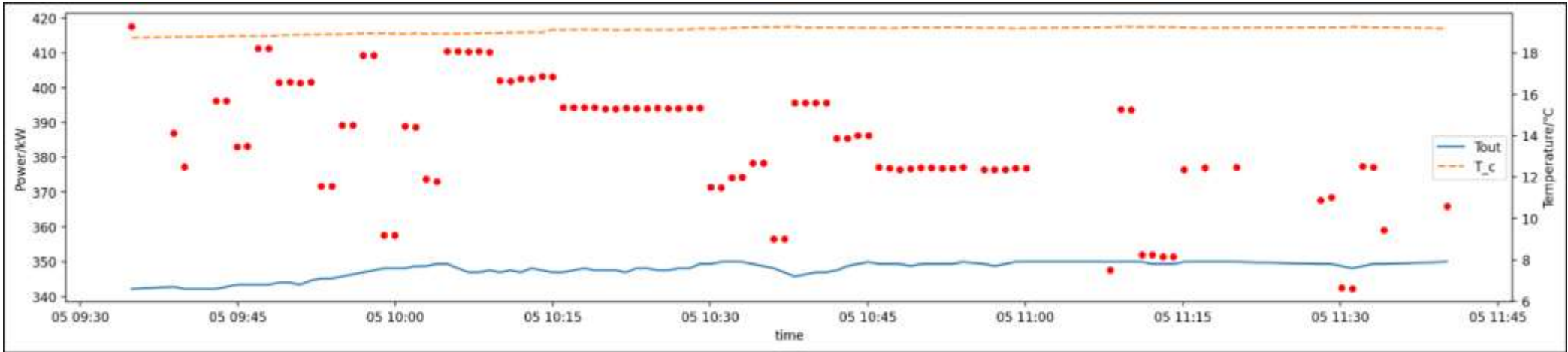


案例2. 医院

工况	室外气温 ℃	原始策略			强化学习			节能率
		对比时段	平均功率	一层平均温度	对比时段	平均功率	一层平均温度	
			kW	℃		kW	℃	
工况一	7~8℃	2月5日 9:00~12:00	384.4	19.09	2月11日 12:00~18:00	297.1	19.08	22. 7%



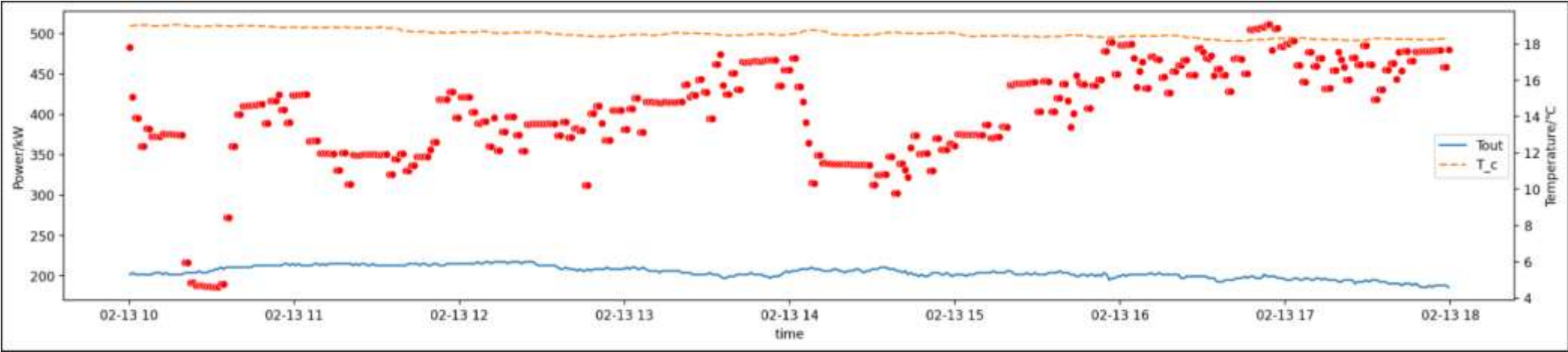
强化学习



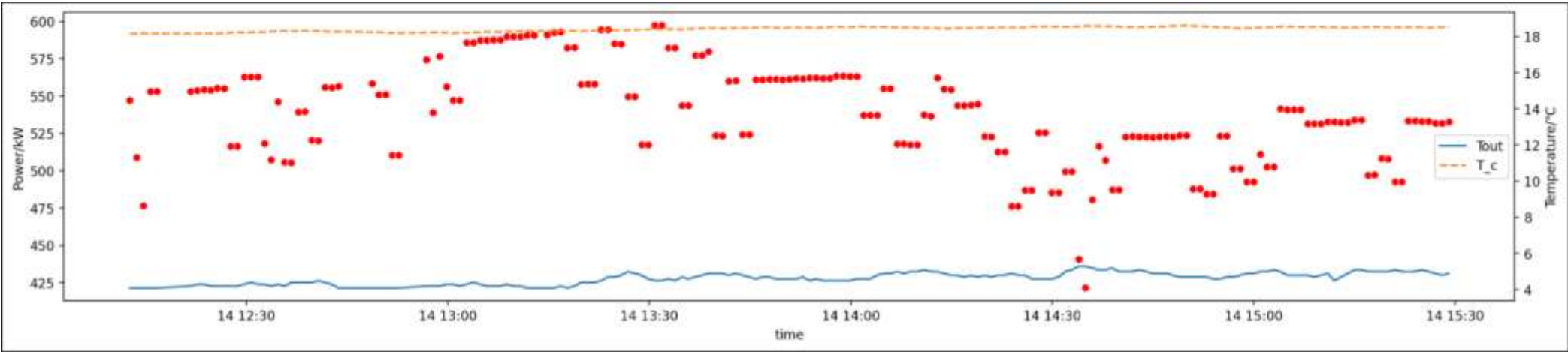
原始策略

案例2. 医院

工况		原始策略			强化学习			节能率
	室外气温	对比时段	平均功率	一层平均温度	对比时段	平均功率	一层平均温度	
	℃		kW	℃		kW	℃	
工况二	4~6℃	2月14日 12:00~15:30	538.0	18.42	2月13日 10:00~18:00	402.4	18.56	25. 2%



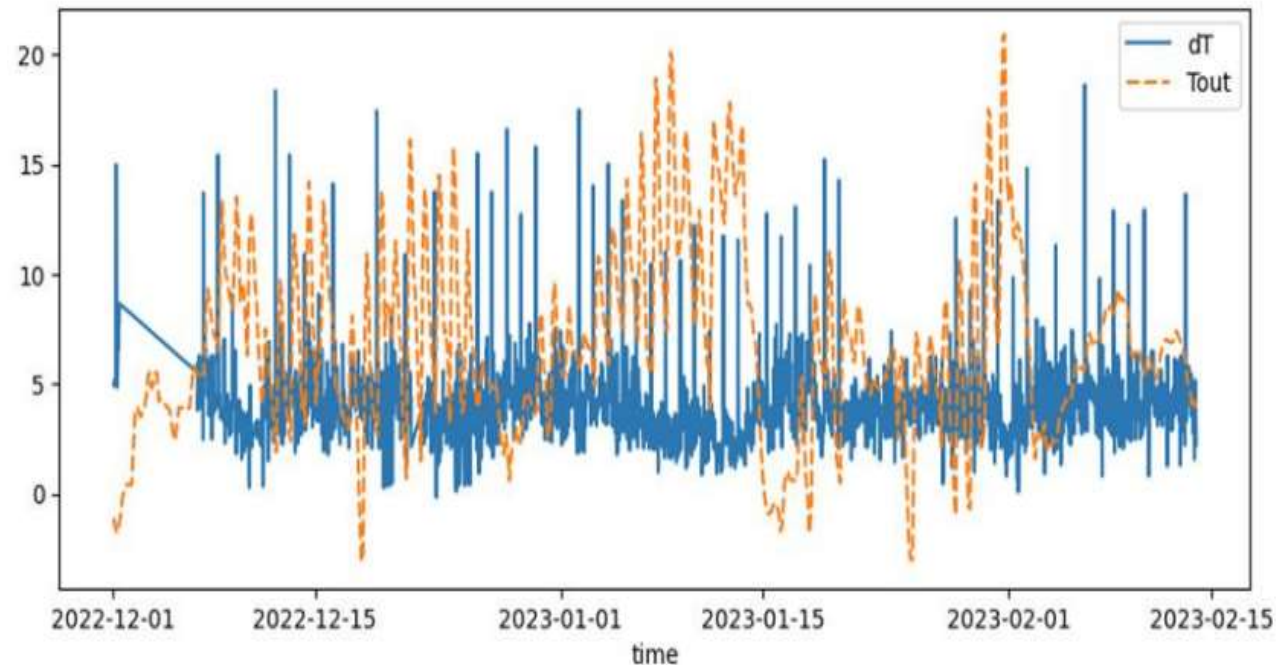
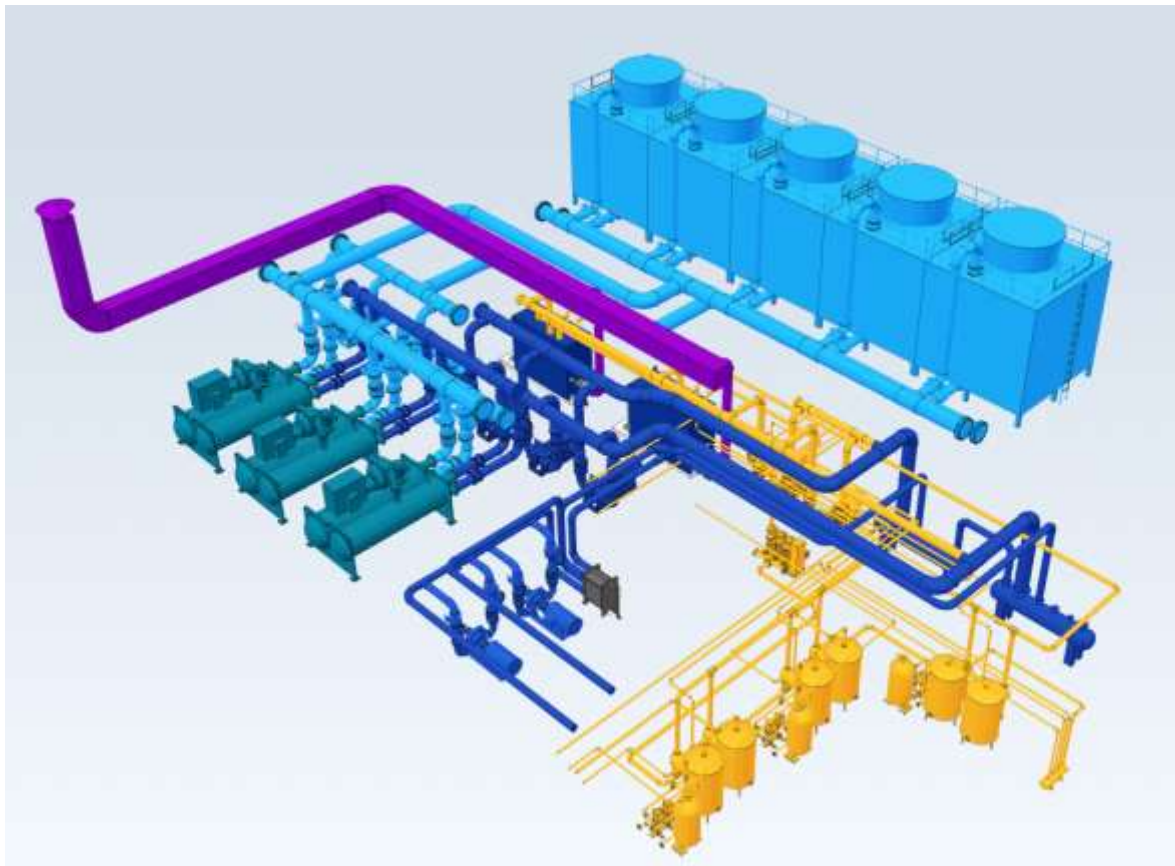
强化学习



原始策略

3.2 我们的案例

案例3. 长沙某法院



在12月1日到2月15日之间，总管供水平均值为 42°C ，回水温度平均值为 38°C ，供回水温差平均值为 4°C ，供回水温差与室外温度大体上相反方向变化

案例3. 长沙某法院

测试结果汇总				
实验	平均 10 分钟耗气量/m³			节能率
	原始策略	优化策略	节气量	
实验一	57.81	51.01	6.80	11.76 %
实验二	56.57	34.69	21.88	38.68 %
实验三	84.85	55.70	29.15	34.35 %

测试一在晚上7点半到10点半之间，该阶段法院家属楼使用热水，导致锅炉频繁启停，出水温度不能稳定控制。测试二和测试三分别是10点半以后和上午，该阶段只有采暖需求，出水温度较为稳定。通过优化算法得到了比较显著的节能量。

感谢聆听！