

Haier

海尔中央空调
节能方案 智慧首选

高效制冷机房系统方案与实践

海尔中央空调楼宇解决方案研究院

朱连富

时代背景



冰川融化，海平面上升

洪涝等极端天气增多

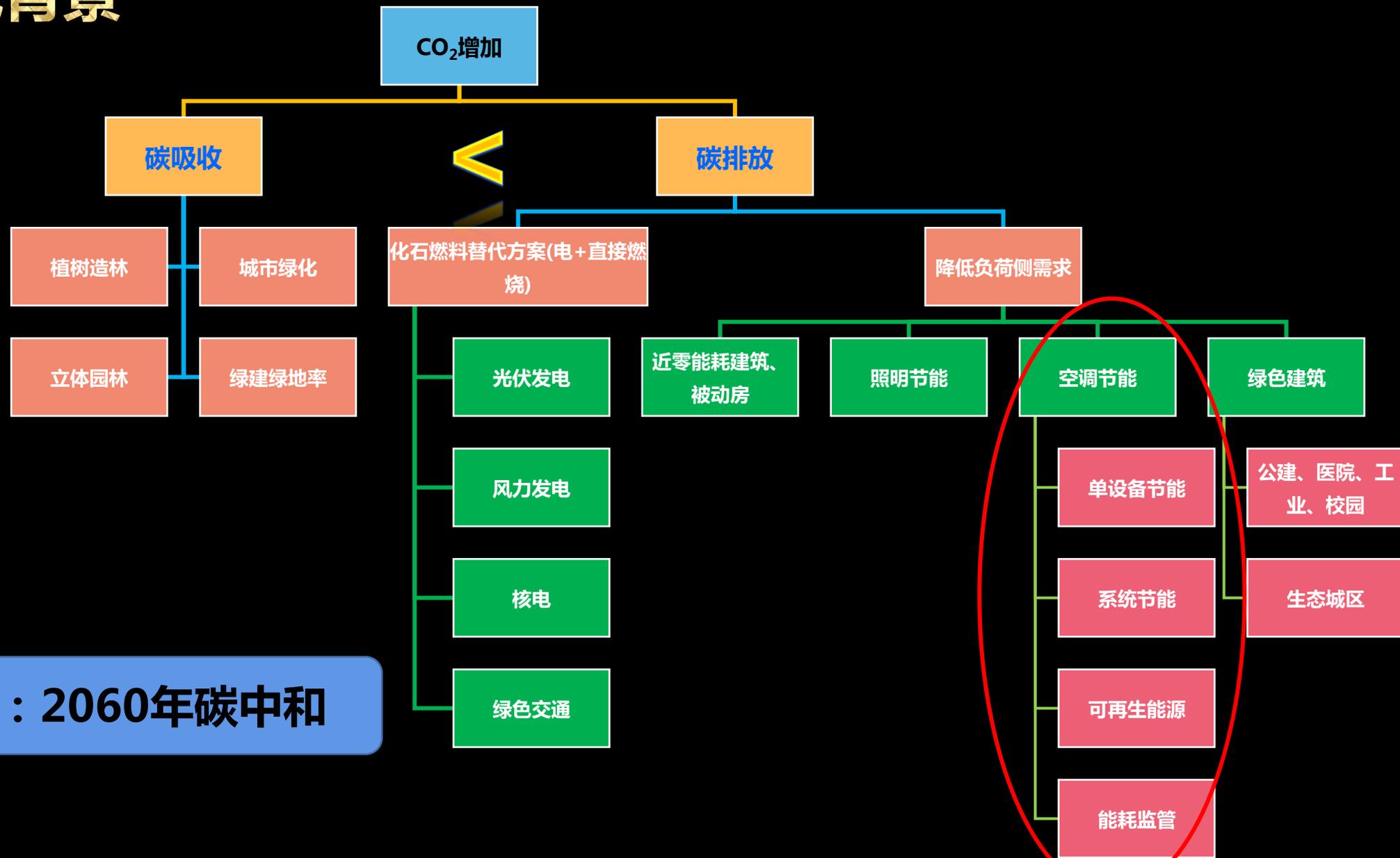
鱼类资源变少

全球
变暖

二氧化
化碳
增加

碳排放
大于
碳吸收

时代背景



目标：2060年碳中和

行业背景

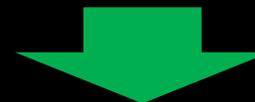
2019年6月13日 《绿色高效制冷行动方案》

周期	目标
现状	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 制冷用电占全社会用电15%+ ➢ 制冷用电量年增速近20% ➢ 大中城市空调负荷占夏季高峰负荷60%
2022年	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 家用空调、多联机等能效水平提升30%+ ➢ 绿色高效制冷产品占有率提高20%+ ➢ 年节电1000亿kWh
2030年	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 大型公建制冷能效提升30% ➢ 制冷总体能效水平提升25%+ ➢ 绿色高效制冷产品占有率提高40%+ ➢ 年节电4000亿kWh



GB 12021.3-2010 《房间空气调节器能效限定值及能效等级》

额定制冷量 CC(W)	能效等级		
	1级	2级	3级
CC≤4500	3.60	3.40	3.20
4500<CC≤7100	3.50	3.30	3.10
7100<CC≤14000	3.40	3.20	3.00

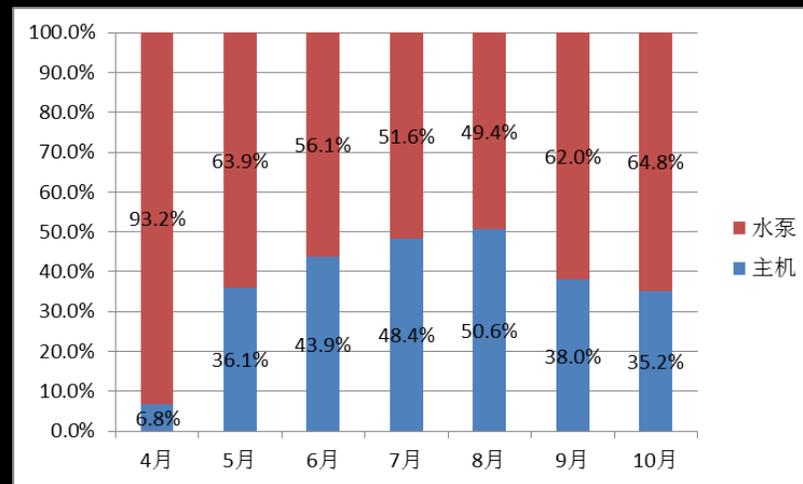
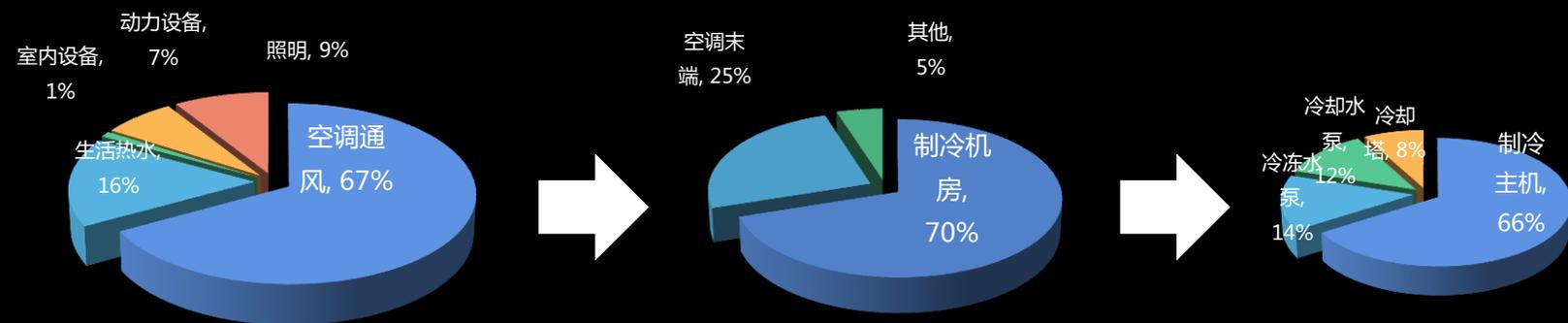


GB 21455-2019 《房间空气调节器能效限定值及能效等级》

额定制冷量 CC(W)	制冷季节能源消耗效率SEER				
	能效等级				
	1级	2级	3级	4级	5级
CC≤4500	5.80	5.40	5.00	3.90	3.70
4500<CC≤7100	5.50	5.10	4.40	3.80	3.60
7100<CC≤14000	5.20	4.70	4.00	3.70	3.50

制冷机房能耗现状

- 系统节能关注度低：仅主机节能，制冷系统、制冷机房的系统不节能
- 终身节能关注度低：运行初期机房效率较高，运行多年后系统能效衰减严重

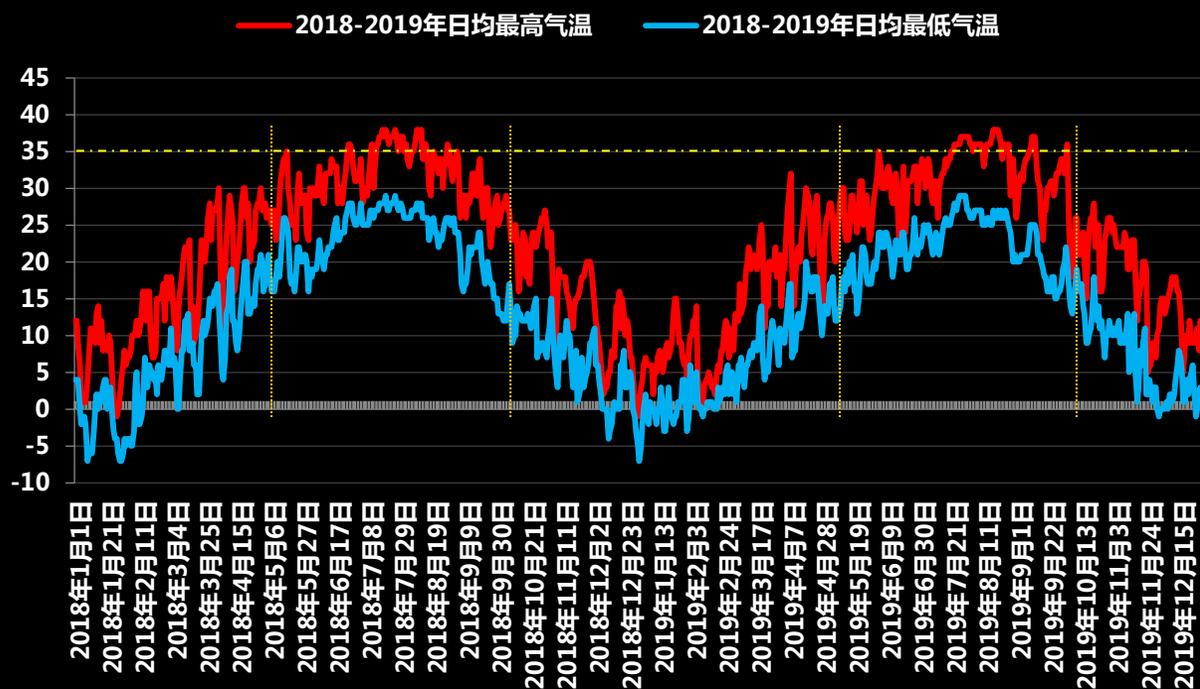


- 洲际酒店2019年夏季能耗中，**空调通风系统能耗最高**
- 空调通风系统中，**制冷机房能耗占70%**

现有制冷机房高耗能问题分析

部分负荷，大马拉小车

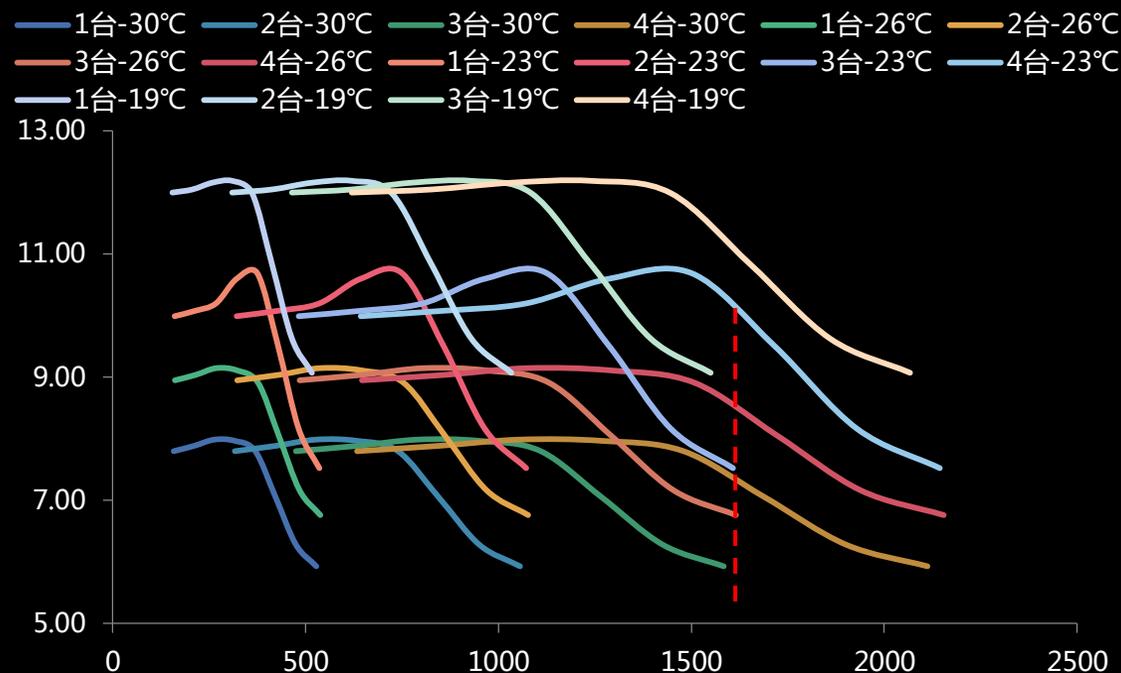
- 设计负荷4813kW，门诊医技楼1872kW(39%)，病房楼2941kW(61%)，配置冷水机组4884kW
- 设计环温35.2/28.4℃，实际超过35℃约30天，全年75%部分负荷
- 超过35℃时，夜间温度在26-29℃，夜间实际负荷率61%→25%~45%



人为经验控制，主机未运行在高效区

- 主机：仅根据负荷率+出水温度判定开启或关闭，无法发挥变频机组优势
- 根据不同主机全工况运行主机，优化主机运行台数，同时推荐一次泵变流量解耦控制

4台磁悬浮-GB工况能效运行区间

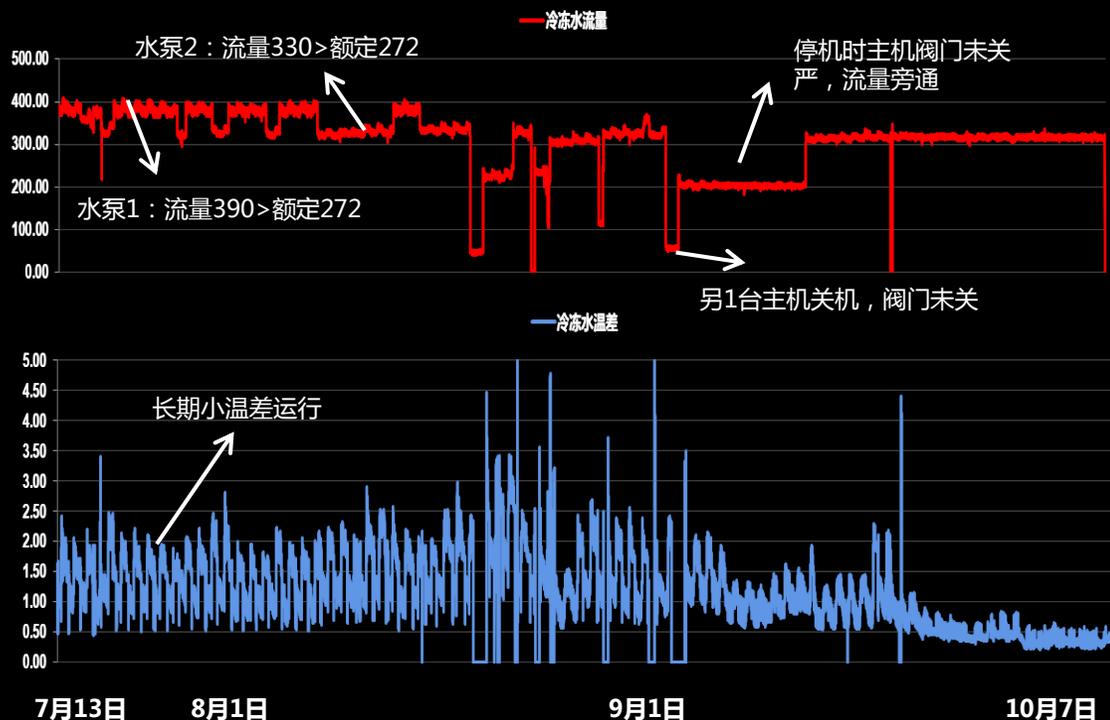


现有制冷机房高耗能问题分析

水泵功耗过大

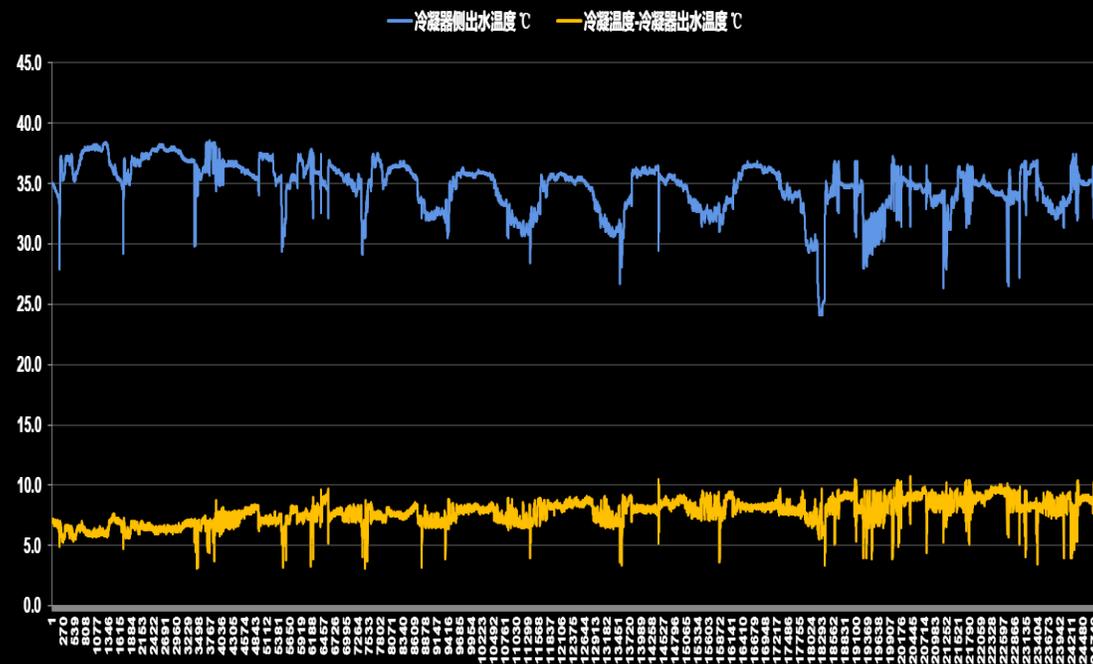
- 水泵扬程选择过大，定频过流运行耗能增加、电机寿命减少
- 大流量直接造成冷水机组小温差运行，需增加流量调节和系统控制措施

1台1583kW冷水机组，冷冻水额定流量272m³/h



维护不及时

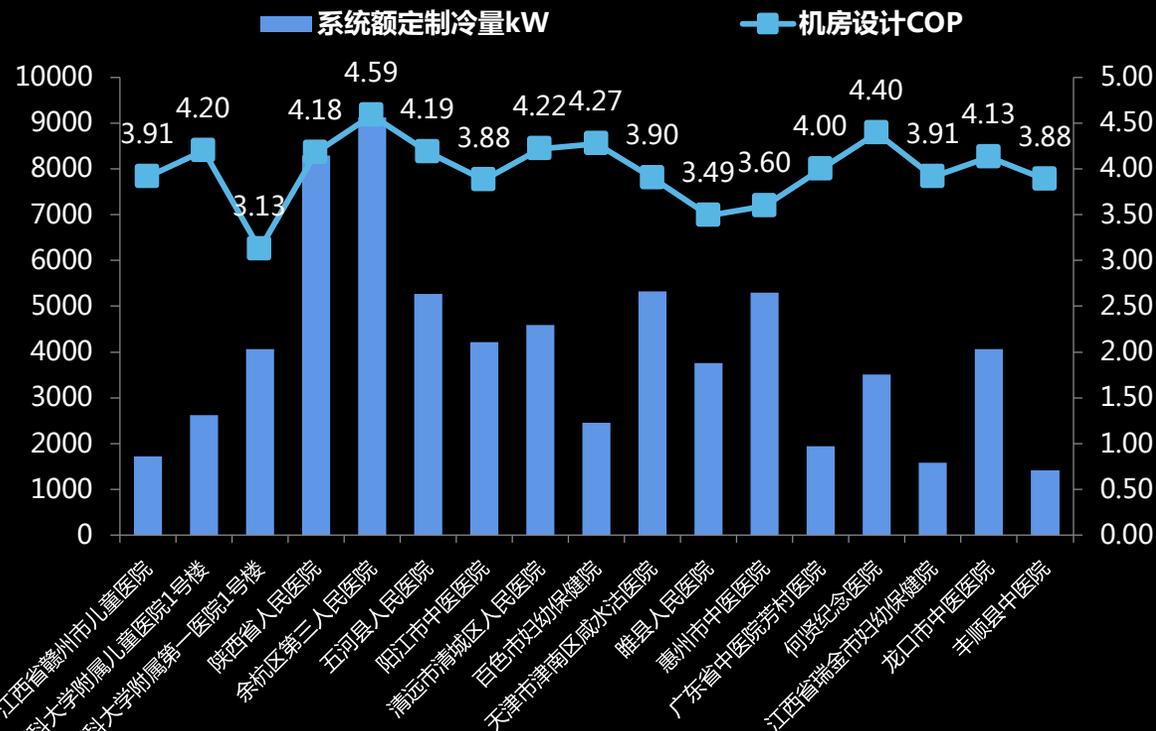
- 冷水机组或水泵维护不及时，长期带病运行
- 下图：冷凝器换热温差在5-10°C之间，冷凝器脏堵，因涉及工艺生产无法停机维护



现有制冷机房高耗能问题分析

设计能效无明确要求

- 设计时注重高效主机、输配效率、SCOP，对机房整体能效侧重点偏弱
- 制冷机房设计COP决定了后期运行COP的基础
- 江苏某医院改造：制冷机房设计COP=3.90 → 运行COP=3.17

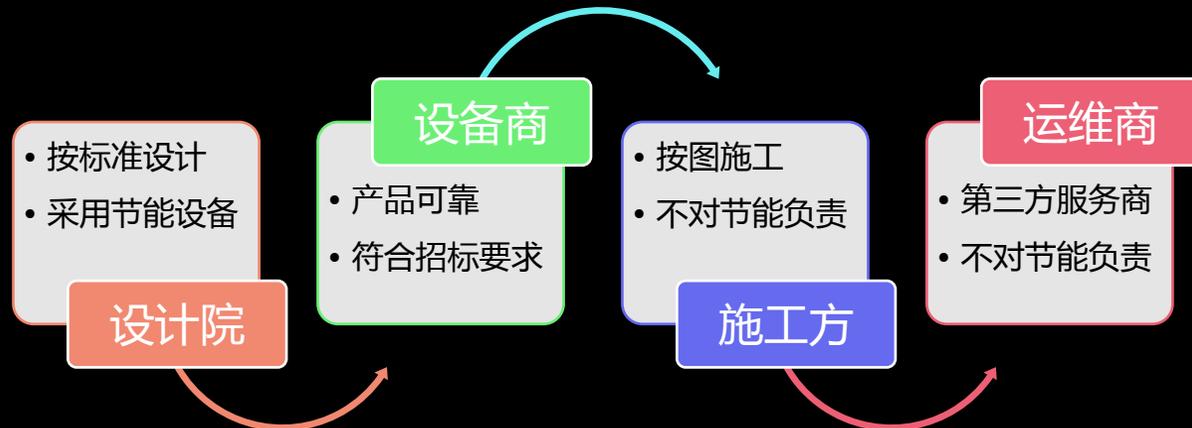


镇江某项目运行数据：共运行124天，主机全年COP=8.24，平均制冷量66kW，定频冷冻泵额定45kW，定频冷却泵额定45kW，定频冷却塔额定15kW

全流程复杂分工

- 专业分工复杂：从设计到运维，多个单位负责，无人进行节能承诺
- 设计时能满足要求，不规范的运维方案，也会导致能效的下降

项目攸关方主要责任





CONTENTS

☆ 制冷机房现状及问题分析

☆ 海尔物联高效机房解决方案

☆ 海尔物联高效机房应用案例



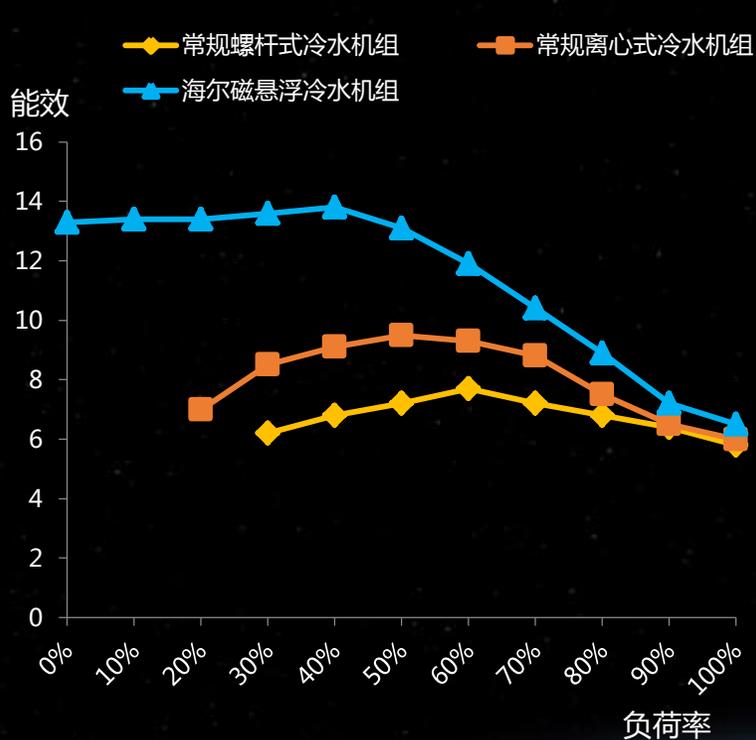
海尔物联高效机房解决方案

物联高效机房 · 集成式高效机房

理念：产品节能→系统节能→终身节能

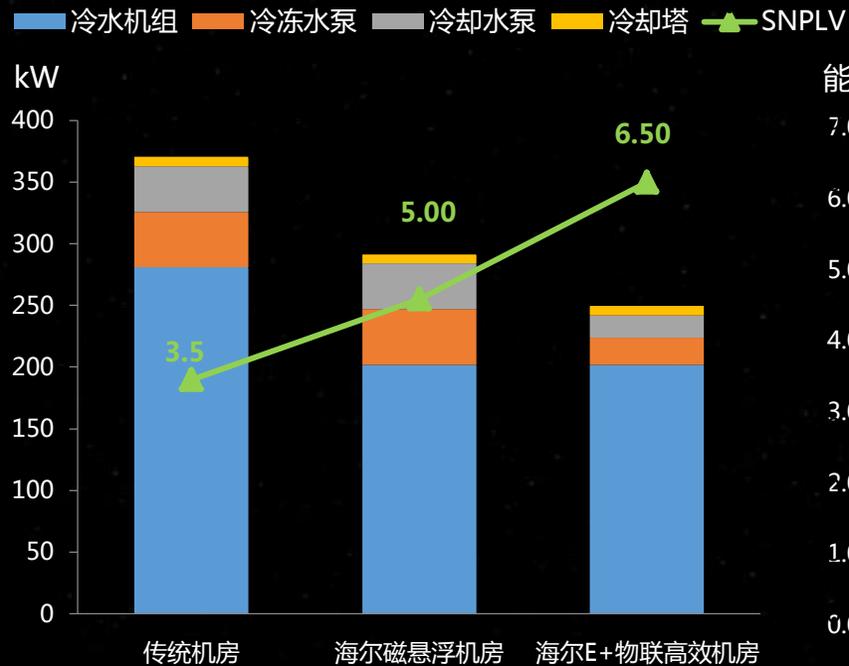
产品节能-主机

➢ 磁悬浮冷水机组IPLV：13.18



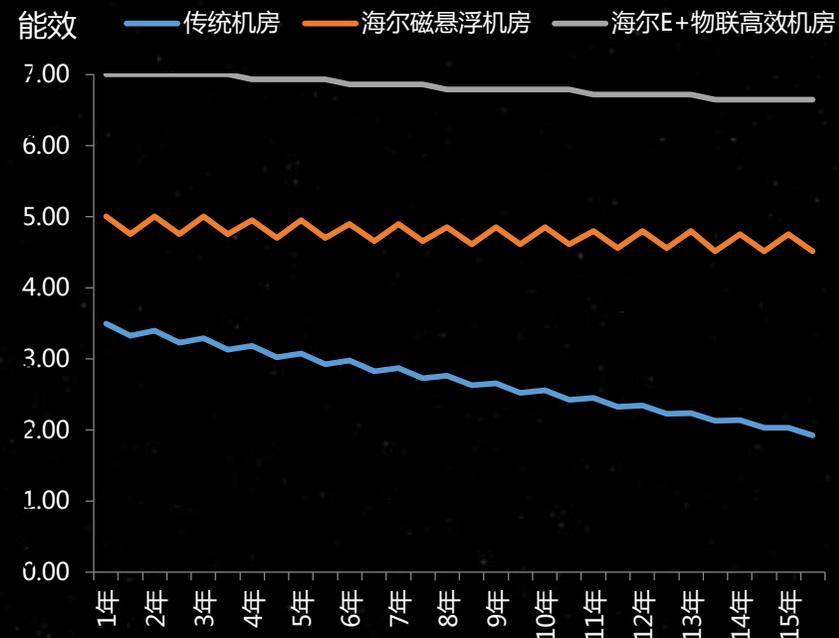
系统节能-机房

➢ E+物联高效机房SNPLV：6.5

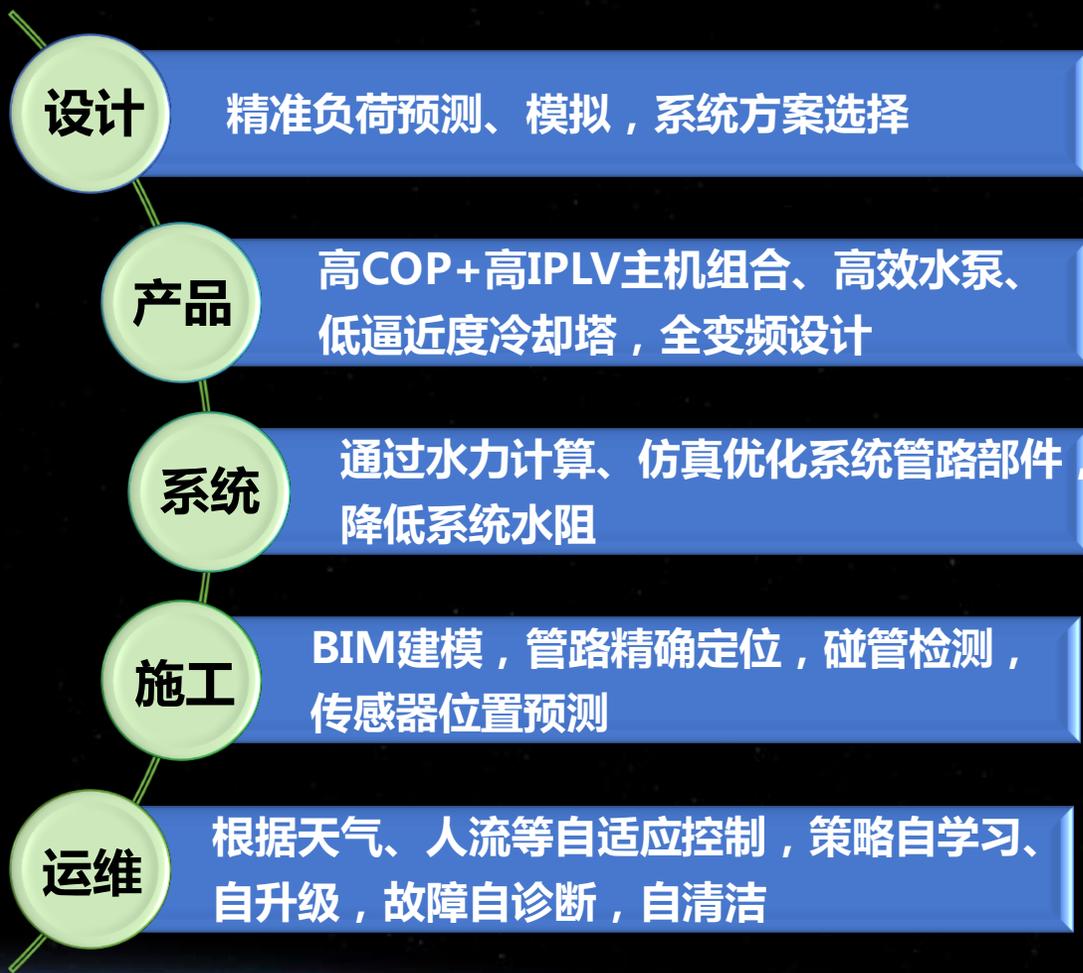


终身节能-运维

➢ 采用大数据分析、控制策略升级、逻辑优化，实现机房持续高效运行

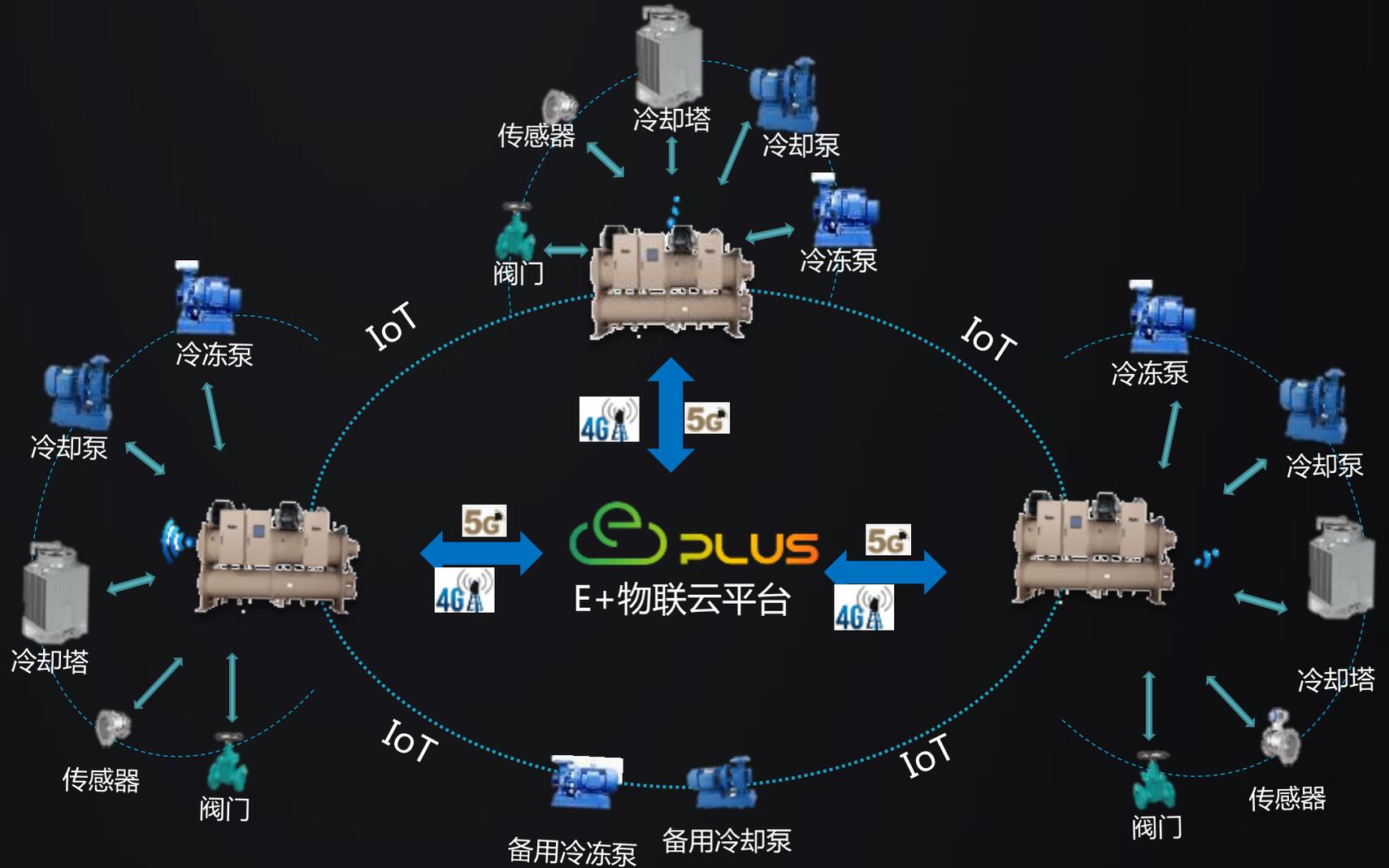


全流程高效机房系统集成方案



E+ 物联高效机房解决方案

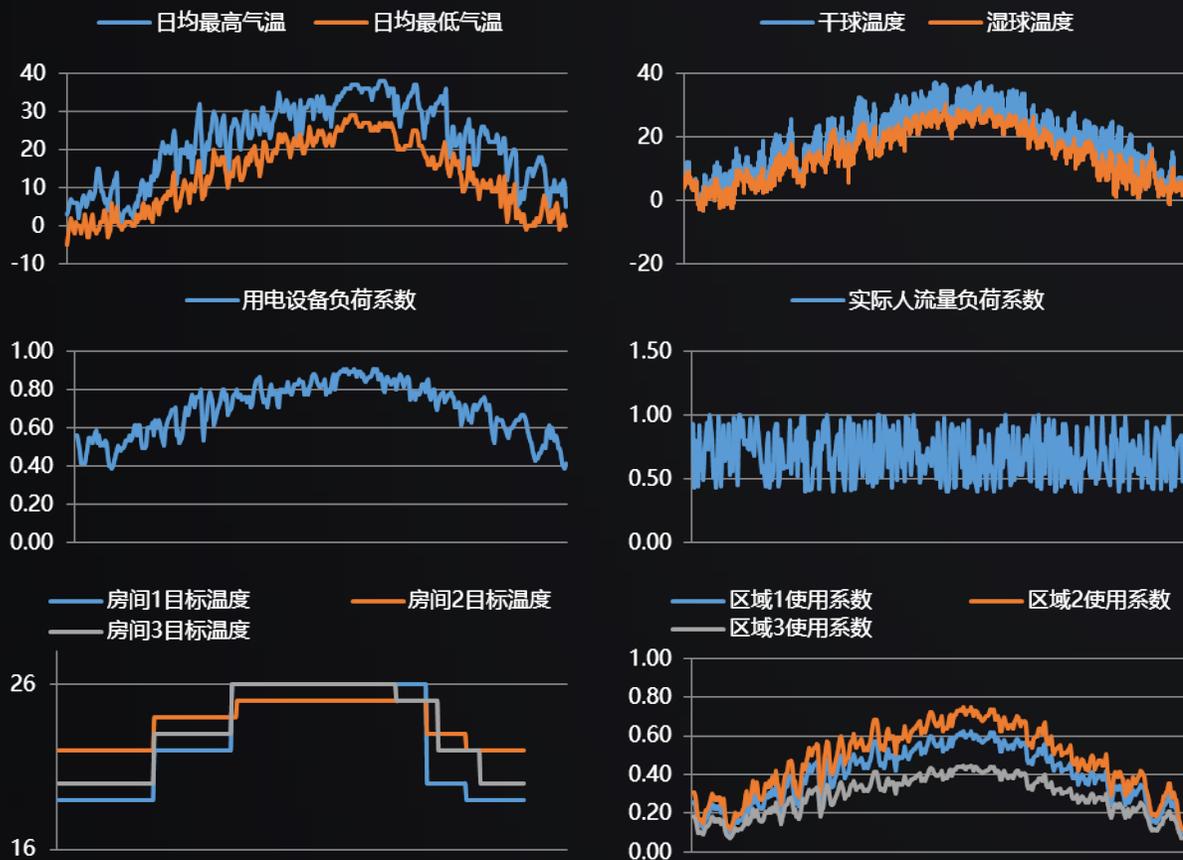
- 传统机房+群控→E+物联高效机房，实现制冷机房终身节能
- 无控制中心，边缘计算，失效代偿，高可靠
- 自组网，免费群控



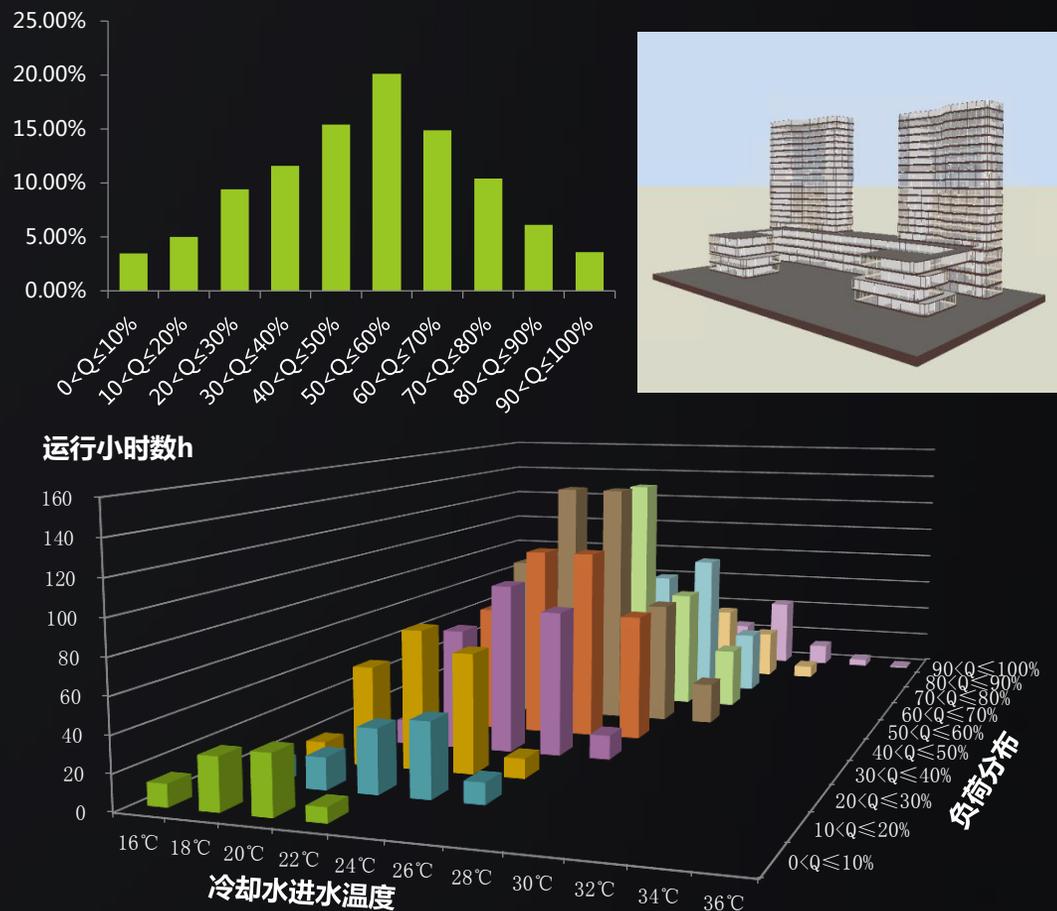
方案设计：精准负荷预测

- 建筑动态负荷模拟8760h负荷变化
- 得出建筑负荷分布、极限负荷，并基于此进行主机预选型

建筑负荷多条件输入



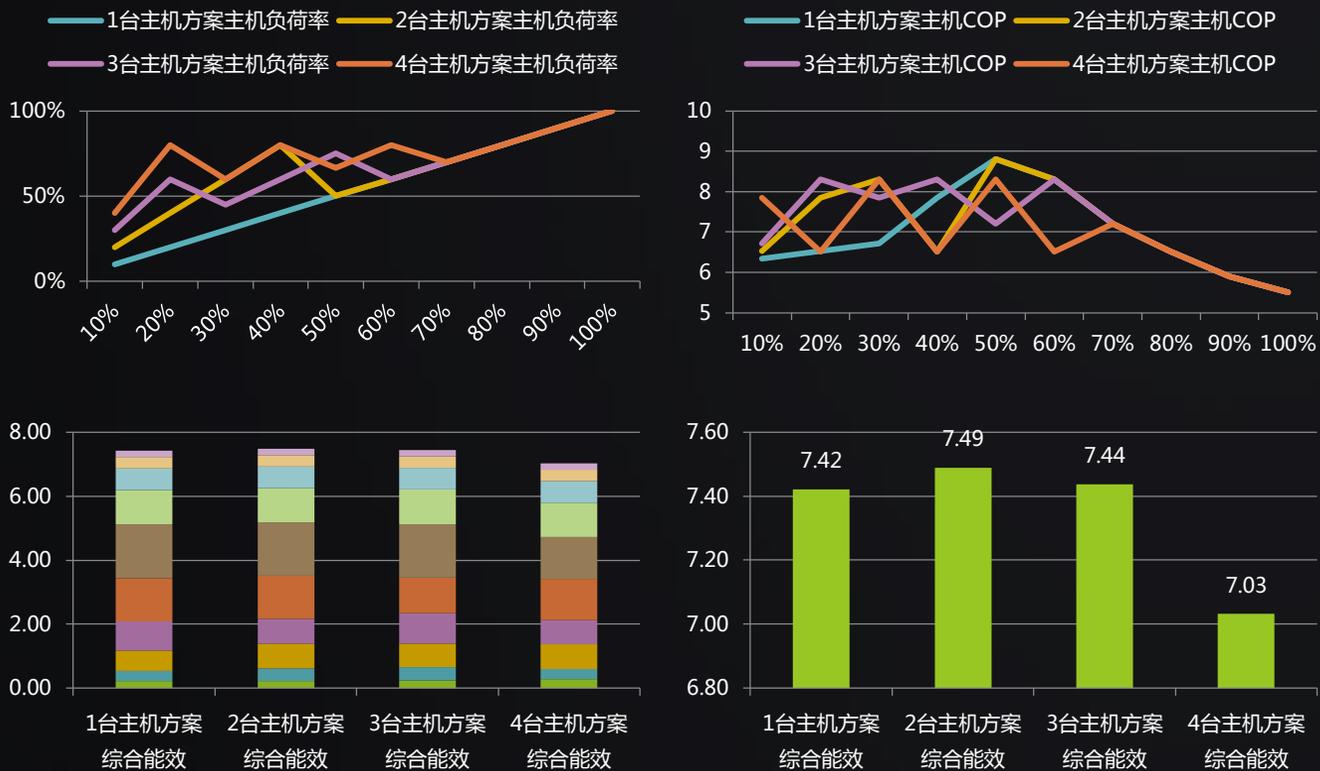
某建筑空调负荷预测



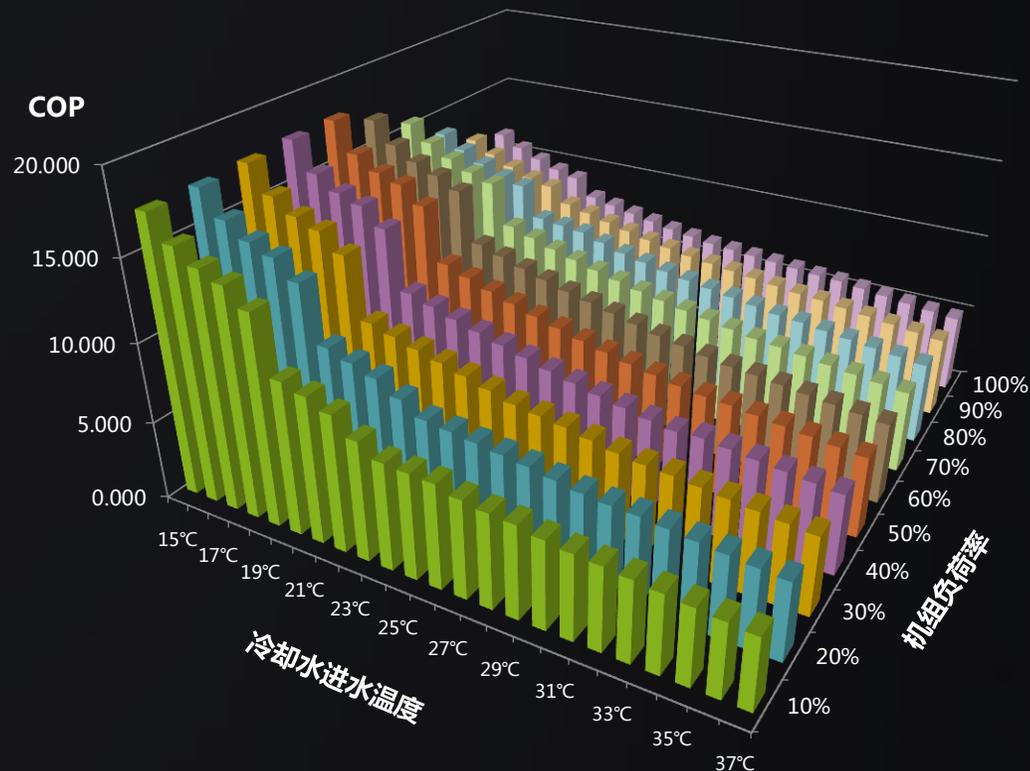
方案设计：主机方案

- 不同主机预选型方案→不同负荷率下的运行台数→主机负荷率→主机能效计算
- 结合边界负荷条件→确定主机台数确认

不同台数主机选型方案对比



典型变频离心机机组性能曲线



设备选型：主机选型

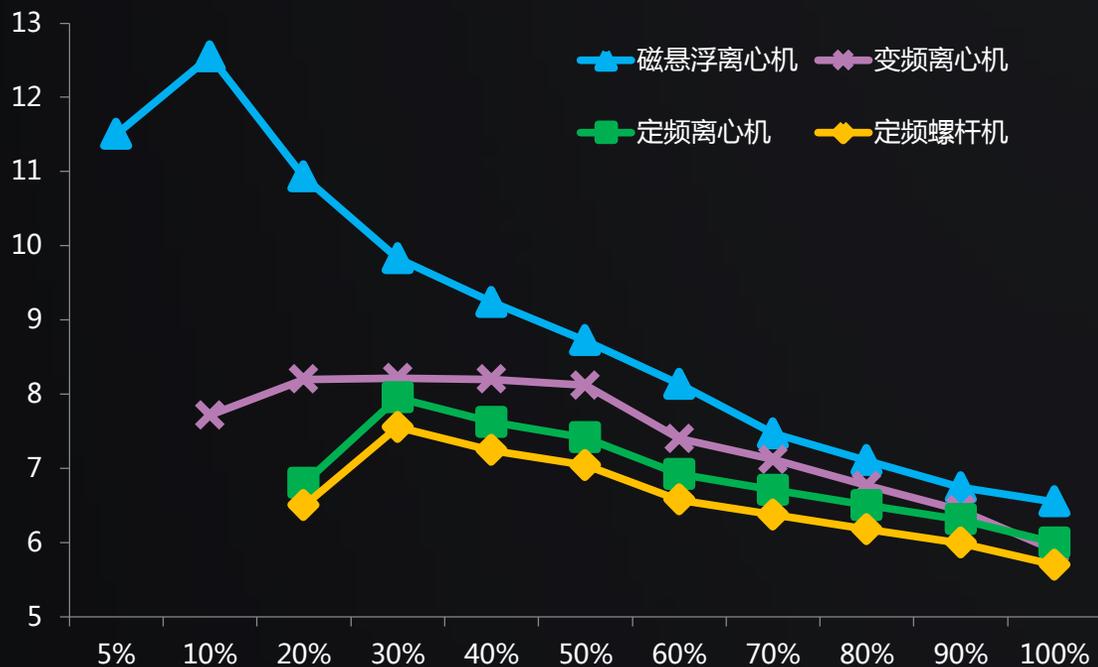
提升主机能效

- ◆设计标准的要求：5.5左右
- ◆市场调研：机组COP为6.5以上的高效主机
- ◆增量投资的回报周期小于3年

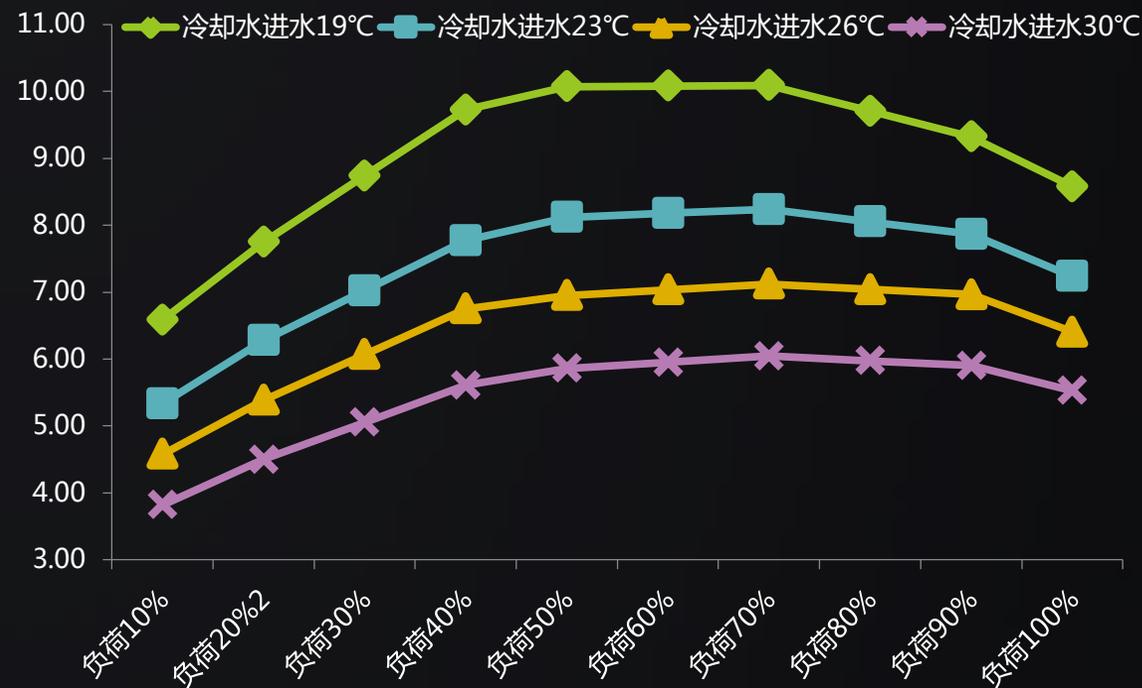
重视“实际运行高效区间”

- ◆通常在过低负荷率时，主机COP明显下降
- ◆大于等于满负荷能效的区域称为“高效区间”
- ◆尽量避免主机运行在非高效区间

国标工况下机组能效水平

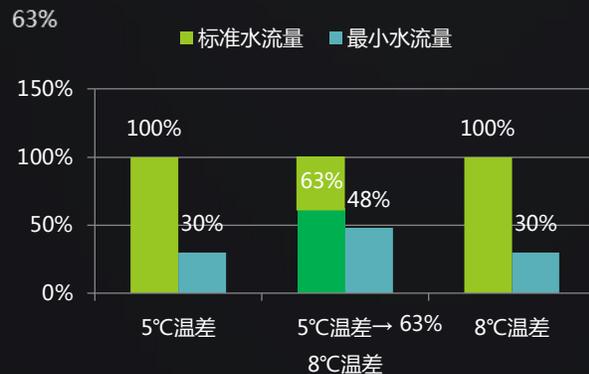
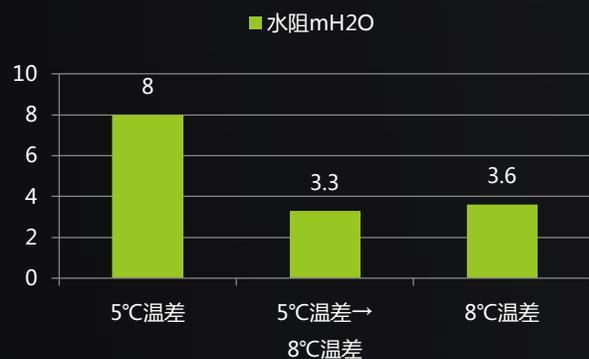


不同冷却水温度、不同负荷下，变频离心能效水平



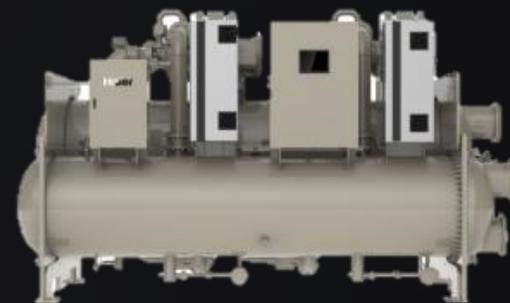
设备选型：主机选型

➤ “真8°C” 大温差设计，能效、水阻、流量性能更优



设备名称	类型	冷冻水侧		冷却水侧		能效比 COP
		阻力m	温度°C	阻力m	温度°C	
600RT磁悬浮机组	常规产品	8	12/7	8	30/35	6.1
	优化后产品	3.6	15/7	4.0	30/35	6.79
300RT磁悬浮机组	常规产品	8	12/7	8	30/35	6.1
	优化后产品	3.7	15/7	4.3	30/35	6.21

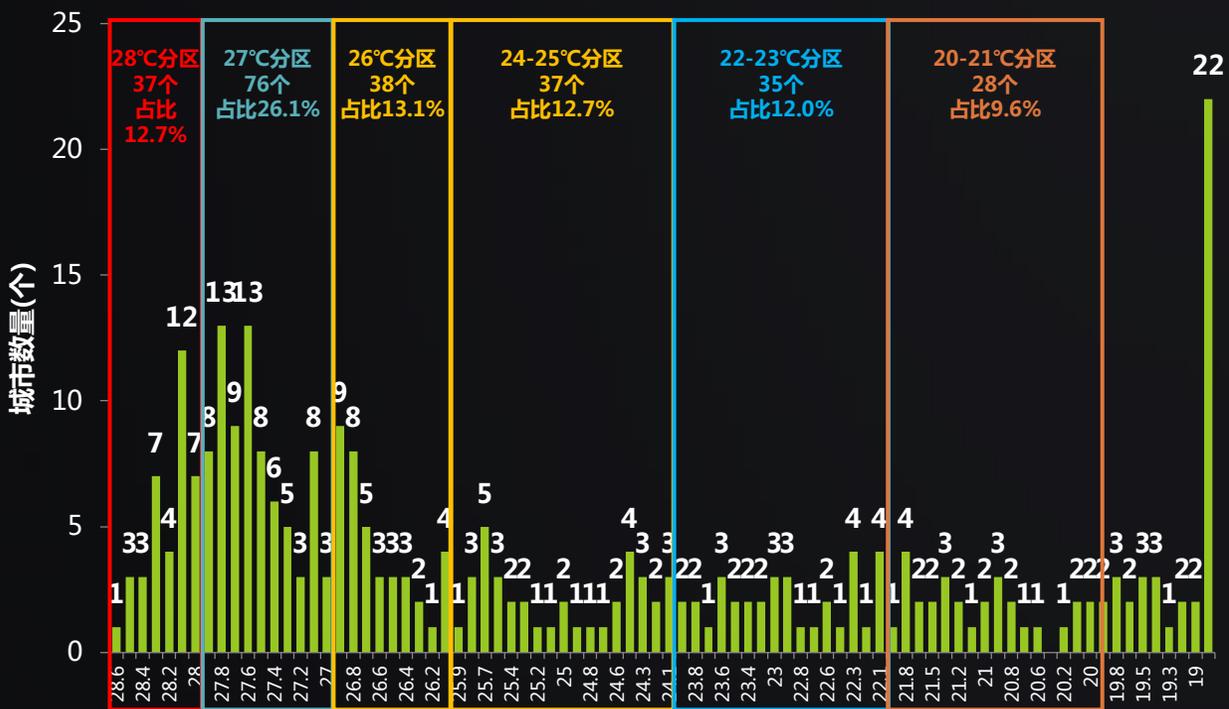
X+系列磁悬浮



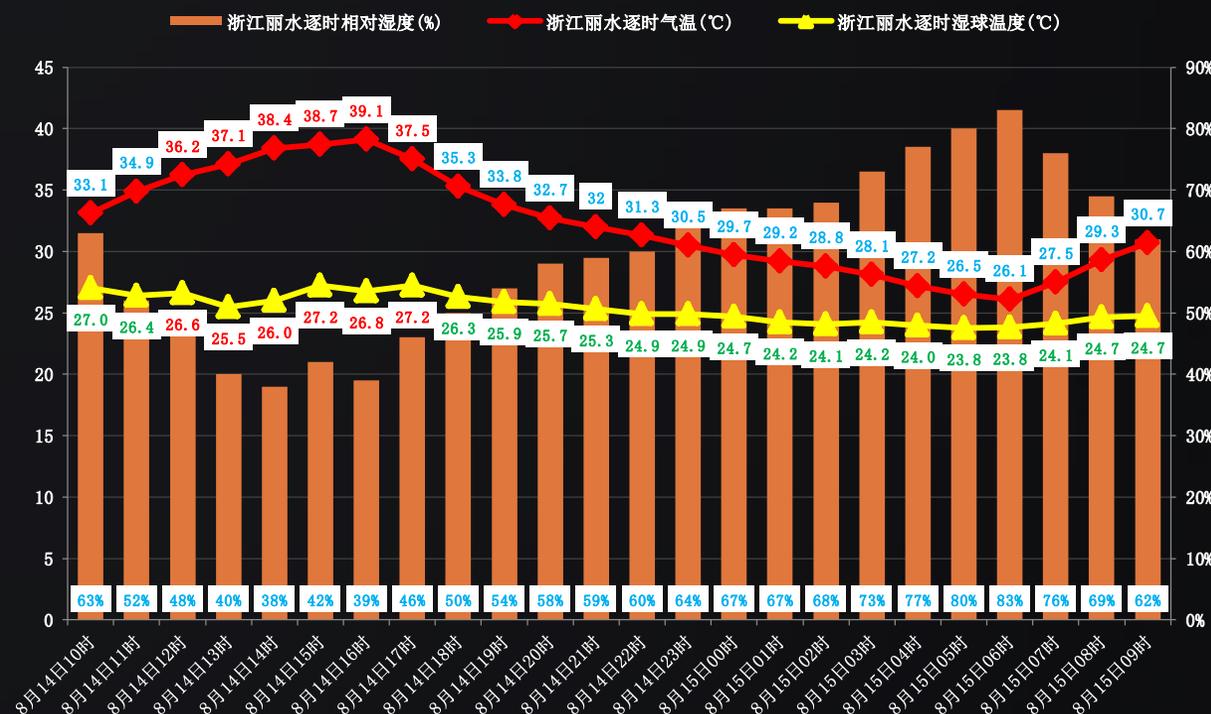
设备选型：冷却塔选型

- 全国291个城市，湿球温度最高28.6℃
- 按照 $T_{湿}=28^{\circ}\text{C}$ 、冷却塔进出水温度32/37℃的标准工况条件选塔，实际运行逼近度过大

291个国内主要城市室外计算湿球温度范围

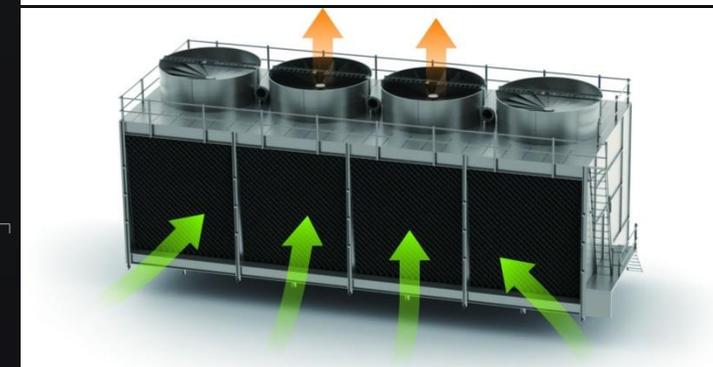
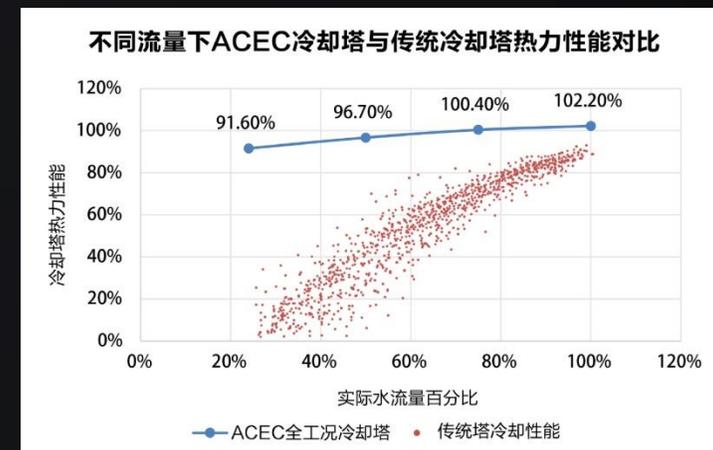
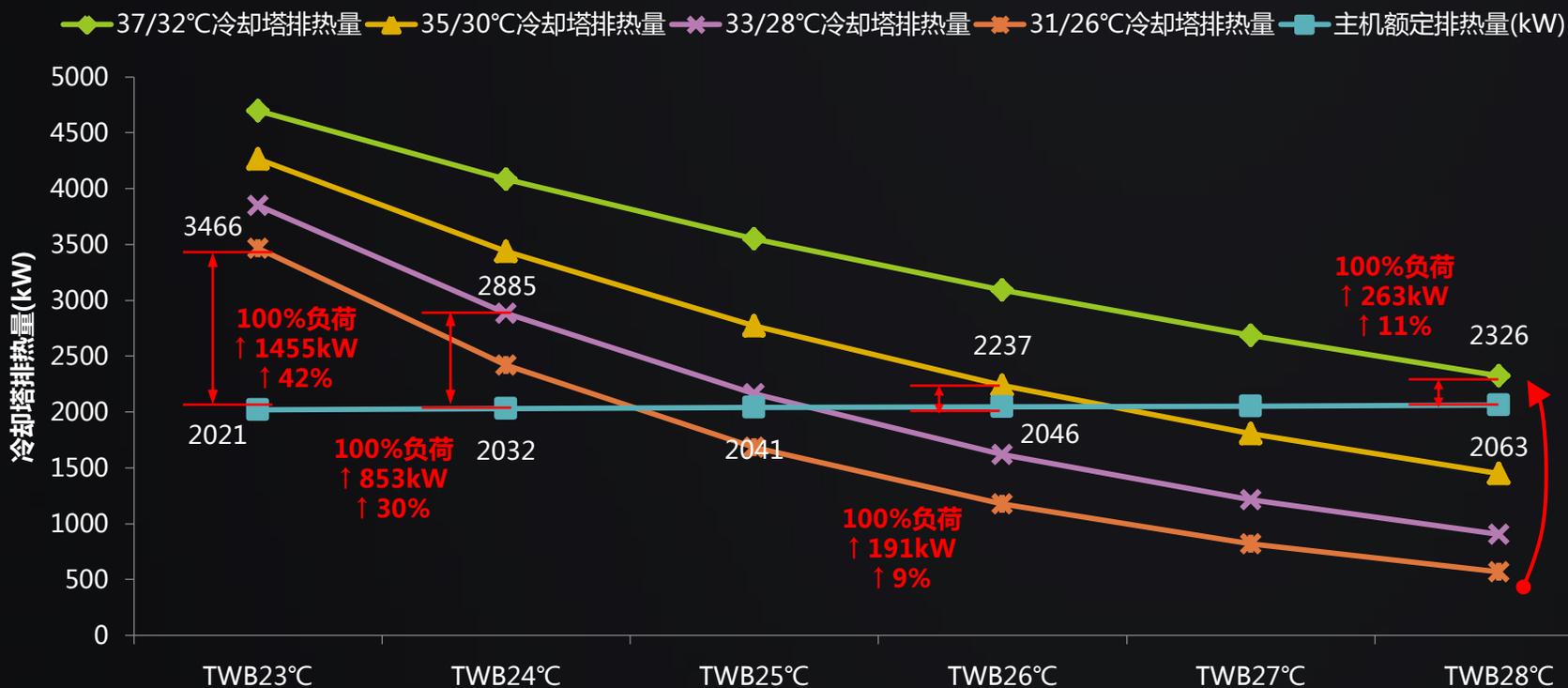


极端高温天气对湿球温度的影响



设备选型：冷却塔选型

- 按照当地气候特征、2.5-3.0°C逼近度进行优化选型，通常需加大1.5倍左右
- 均衡布水设计，宽变流量设计，宽变频运行范围



逻辑说明：每1min计算冷却塔设定出水温度→如实际出水>设定出水范围且<50HZ时，风机频率+1，运行15min重新判定；如实际出水<设定出水范围且>15HZ时，风机频率-1，运行15min重新判定；如实际出水=设定出水范围或频率达到上下限，频率不变，运行15min重新判定。【此处不考虑最佳冷却水控制逻辑】

设备选型：设备选型

总结：高COP+高IPLV主机组合、高效水泵、低逼近度冷却塔，全变频设计

高效主机组合

- 高COP+高IPLV主机组合，双一级能效
- 根据负荷预测选择大小搭配
- 大温差小流量主机设计
- 优化换热器管程设计，水阻降至2-4米
- 根据负荷需求优化冷冻水出水温度



高效水泵系统

- 一泵对多机设计，高效可靠
- 根据全年负荷选择不同流量中开泵
- 多台水泵并联最佳运行控制
- 变频水泵，1级能效电机
- 冷冻泵扬程<26m，冷却泵扬程<22m



低逼近度冷却塔

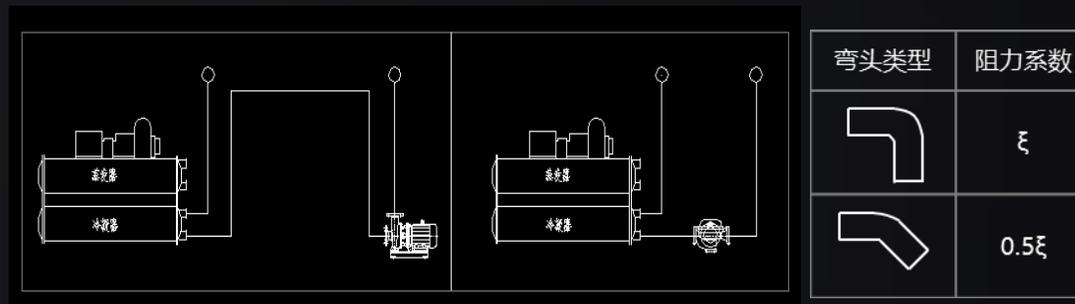
- CTI认证冷却塔，逼近度 $\leq 3^{\circ}\text{C}$
- 高效变频产品，减少风机耗能
- 加大冷却塔选择，推荐1.5倍热量
- 布水均匀，无吸空现象



系统优化：管阻优化

1 水系统阻力优化

- ①主机与水泵一对一连接，利于负荷分配的调节，且减少阀门等阻力部件
- ②主机出口与水泵直线连接，减少弯头数量
- ③将直角弯头、直角三通替换为钝角弯头和钝角三通，降低阻力损失
- ④直角管段替换为斜管段，减少总管长



2 低阻力设备

- ①选用阻力更低的过滤器(如角式过滤器)，水阻 $\leq 5\text{kPa}$
- ②选用阻力更低的止回阀(如旋启式止回阀)，水阻 $\leq 5\text{kPa}$

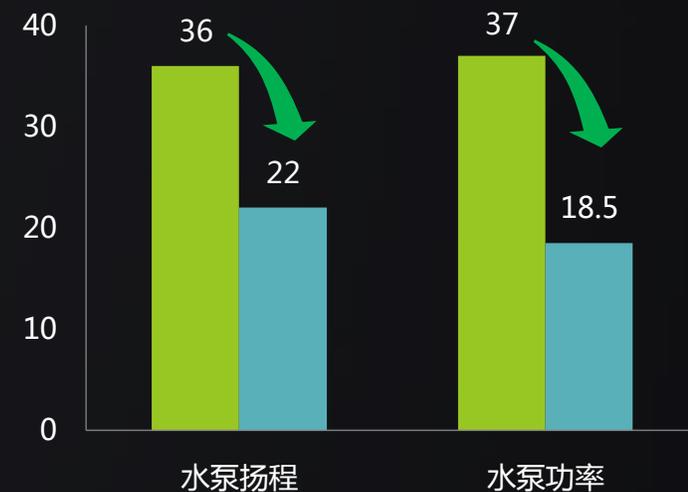
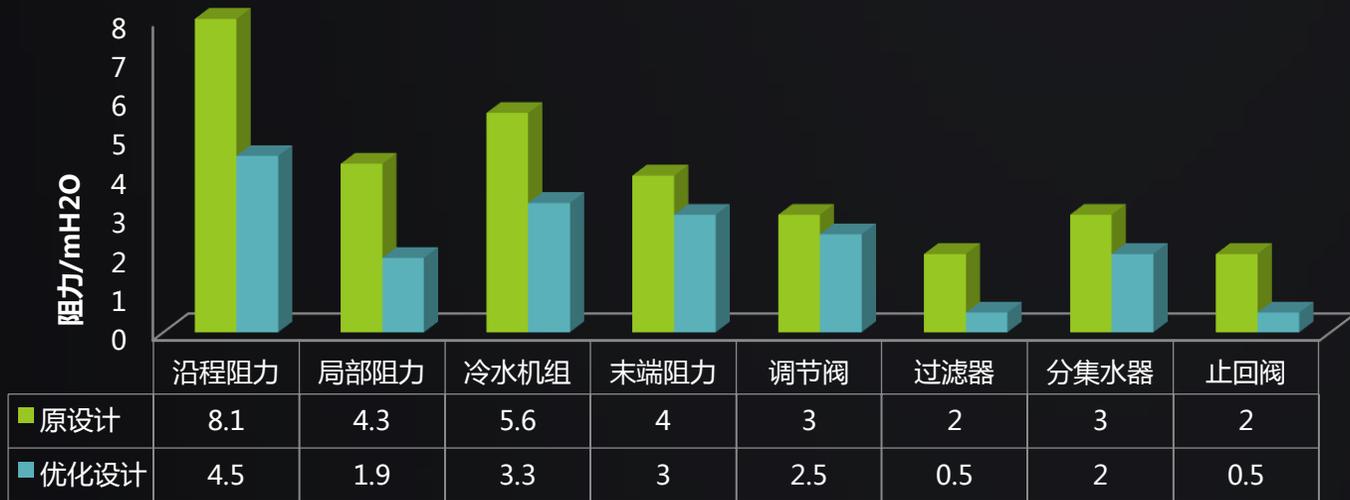
形式见图-合	流向	阻力系数	形式见图-分	流向	阻力系数
	2→3	1.5ξ		3→2	1.5ξ
	2→3	0.5ξ		3→2	1ξ

3 管网水力精细化计算

- ①相同使用时间和使用负荷规律的末端用同一组管网进行连接，减少不同管道之间的相互影响
- ②选用动态平衡电动调节阀、动态平衡电动二通阀、动态压差平衡阀

设备名称	水流量 m^3/h	管口尺寸(DN)	水流速 (m/s)	水阻力 (m)
篮式过滤器	292	250	1.65	0.2
Y型过滤器 A	292	250	1.65	1
Y型过滤器 B	292	250	1.65	2.2
静音止回阀	292	250	1.65	0.15
消声止回阀	292	250	1.65	0.3
止回阀	292	250	1.65	1.8

系统优化：管阻优化

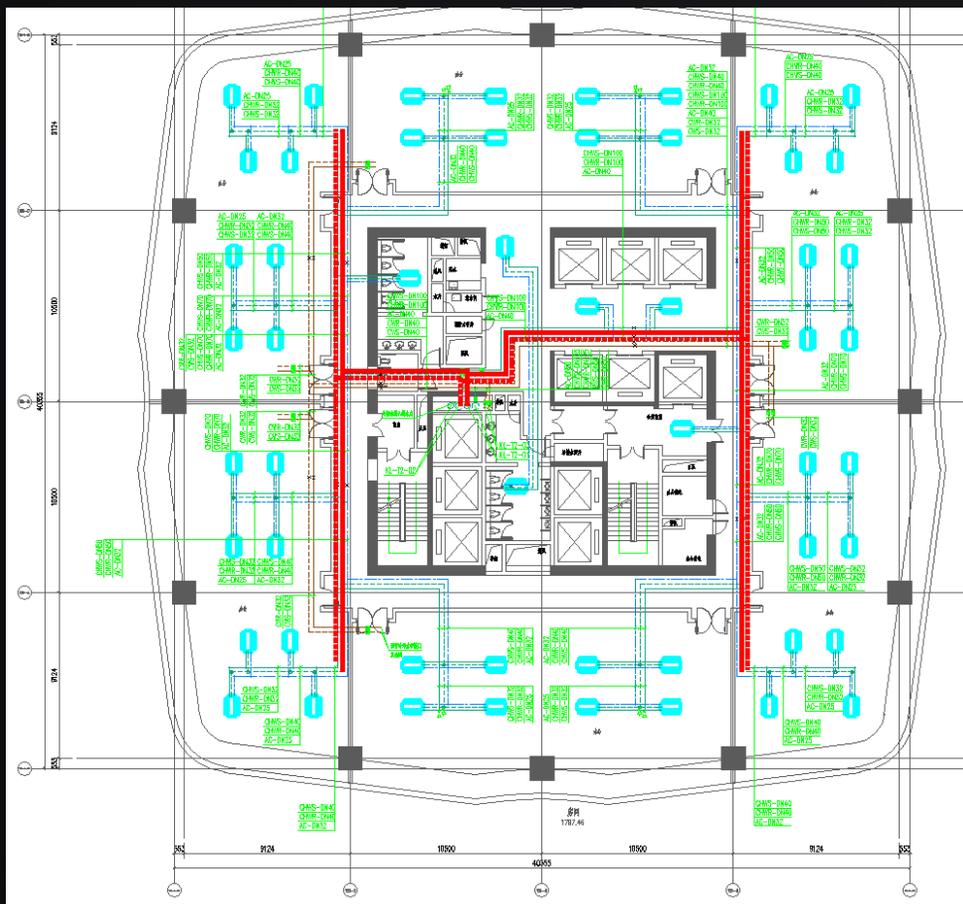


设备名称	型号	额定流量	额定压差	额定效率	电机功率	设计压力	数量	备注
原冷冻水泵	卧式	250m ³ /h	0.36MPa	81.5%	37kW	1.6MPa	3台	定频
现冷冻水泵	立式	250m ³ /h	0.22MPa	81%	18.5kW	1.6MPa	3台	变频

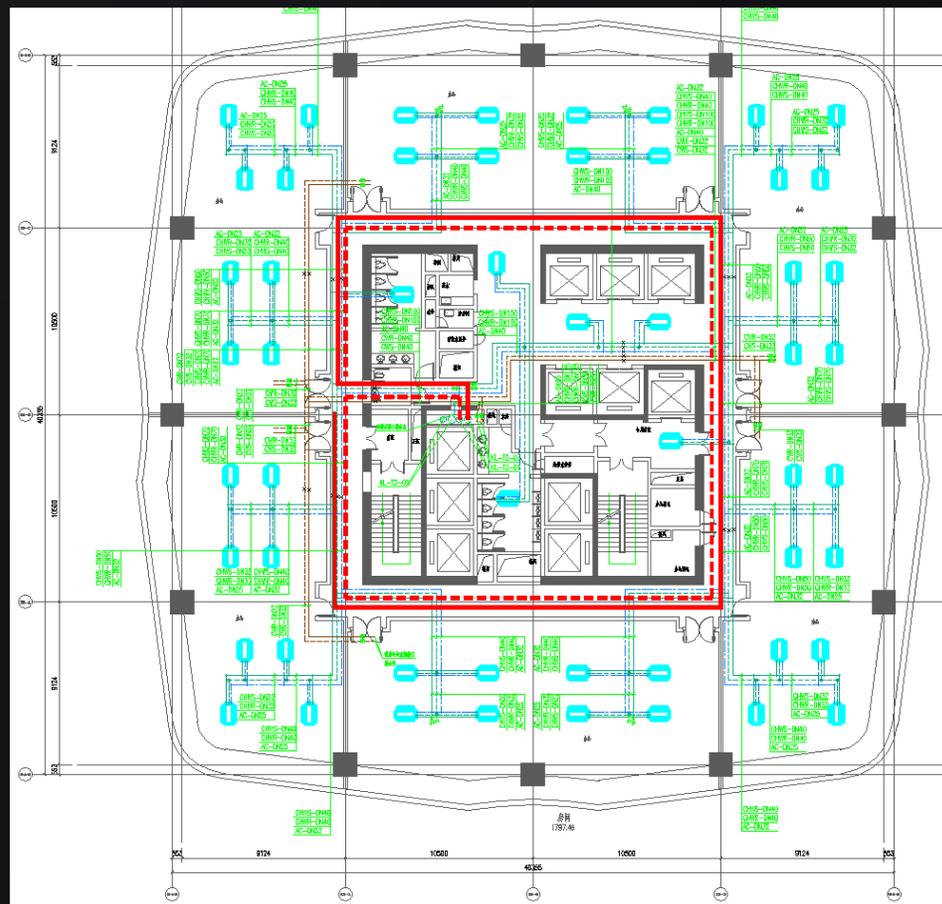
系统优化：管阻优化

方案举例：末端同程管路

原异程方案



调整后同程方案



施工调试：BIM技术

BIM建模，管路精确定位，碰管检测，传感器位置预测

管路精确定位

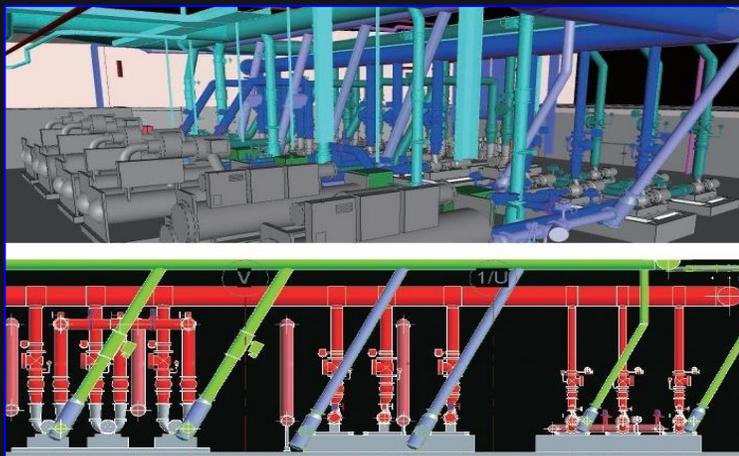
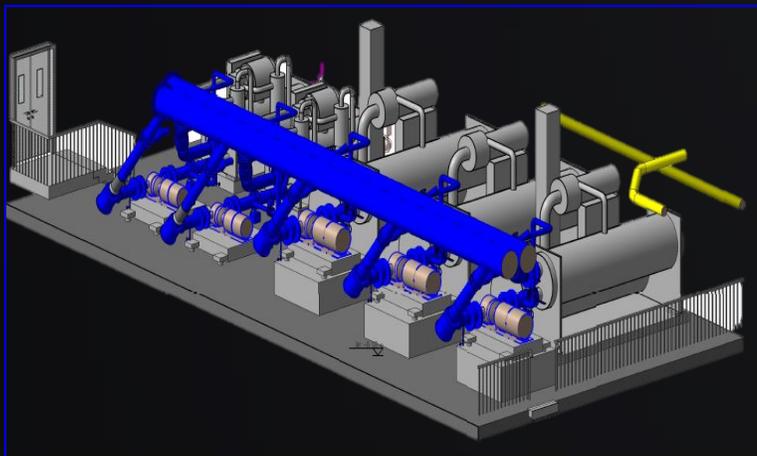
BIM建模可直观发现平面图管路问题，减少现场施工部分管线的长度和弯头数量

碰管检测

提前消除管线之间及管线结构之间的碰管问题，减少施工时变更或返工造成损失

传感器位置预测

提前判断传感器的安装空间和位置，为后续数据精准采集提供保障



施工调试：全工况调试

精品工程-标准化施工流程

施工前183项节点预案

内机负荷选型检讨
内机噪音选型检讨
内机排水方案审视
外机放置方式审视



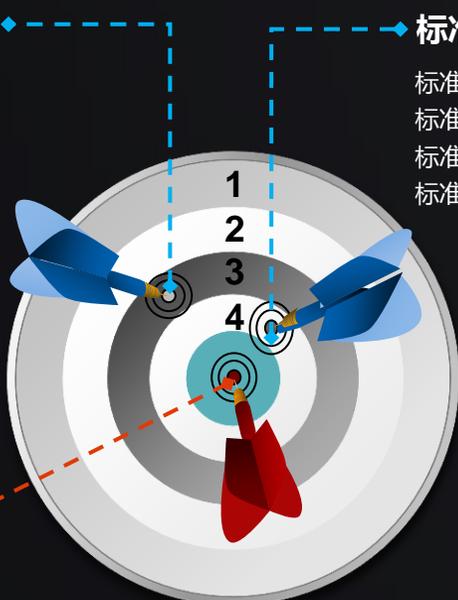
验收交付36项评审

内机安装交付评审
外机安装交付评审
系统调试验收交付评审



标准化工地48项管控

标准化工地看板管理
标准化工地形象管理
标准化工地施工标准
标准化工地巡检指导



全工况调试-全年运行监控



运维管理：控制系统



AI自适应

温度、流量等调节按设备最高效率曲线以系统能耗最低作为控制基础



负荷自动寻优

建筑负荷自分析、冷量输送自调整，水力平衡自优化，按需供冷、自动寻优



设备健康自诊断

数据自筛选、设备效率诊断、设备均衡运行、失效代偿、故障告警、故障自诊断



自动报表

电量统计、能耗能效分析、异常故障统计、历史曲线查询、逐时/日/月/年能耗报表



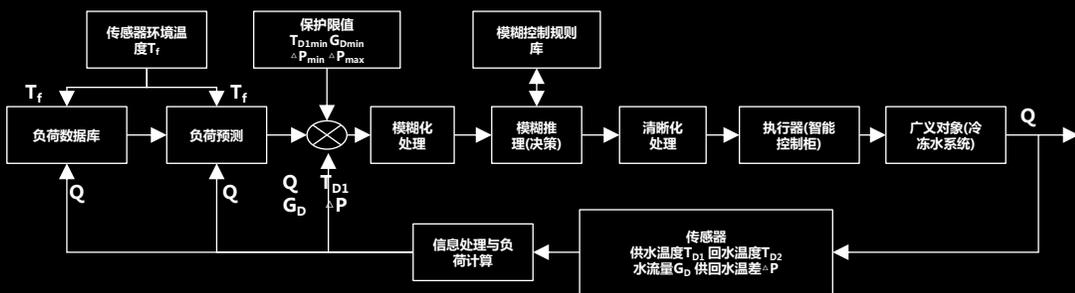
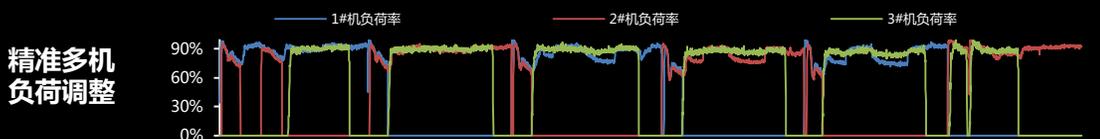
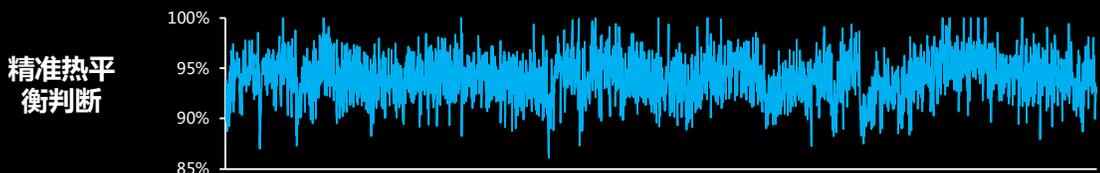
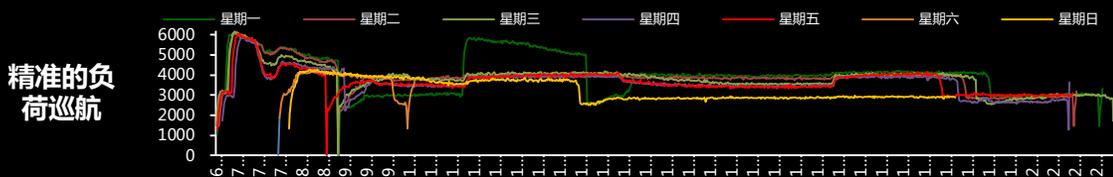
云端优化

云平台远程监控、大数据分析、暖通专业数据库、运行策略自优化

运维管理：控制系统

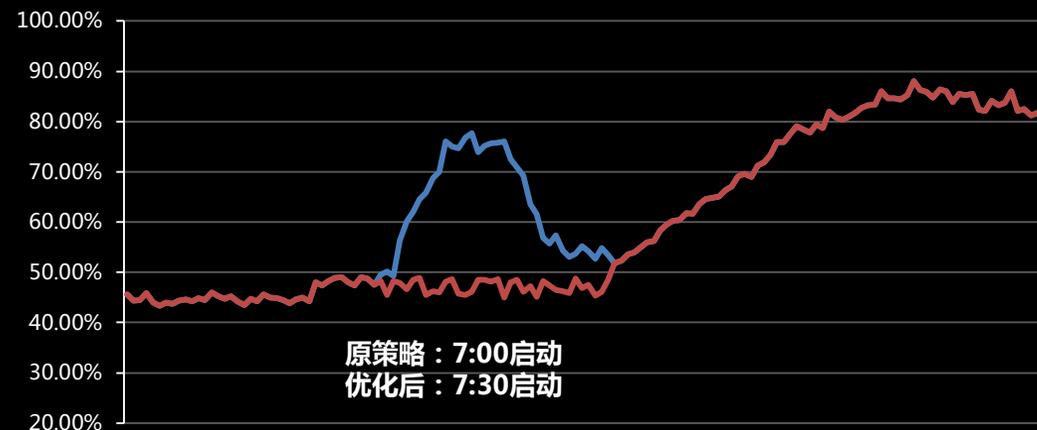
➤ 负荷侧 — 建筑负荷自适应技术：

◆ 根据天气/日期等预测负荷，做出最佳的明日开机模式



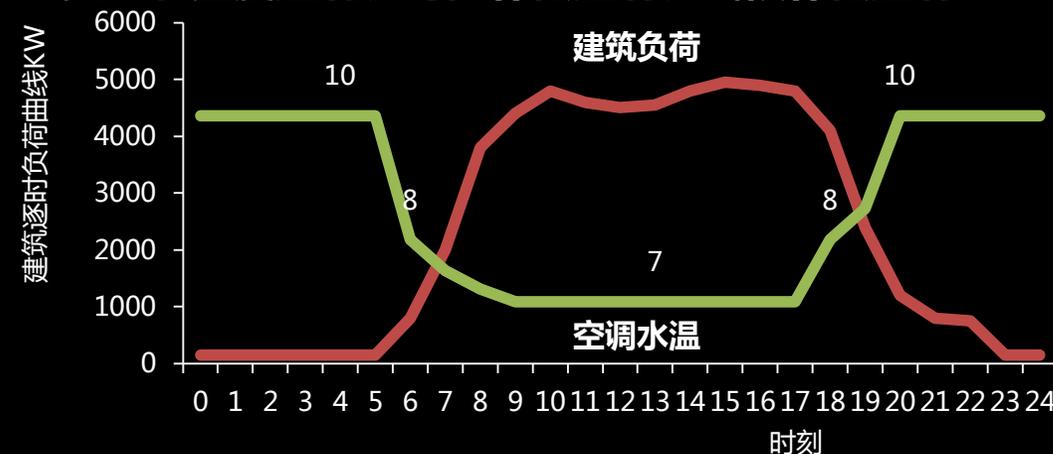
建筑负荷自适应的控制系统原理图

◆ 开机启动时间自优化



原策略：7:00启动
优化后：7:30启动

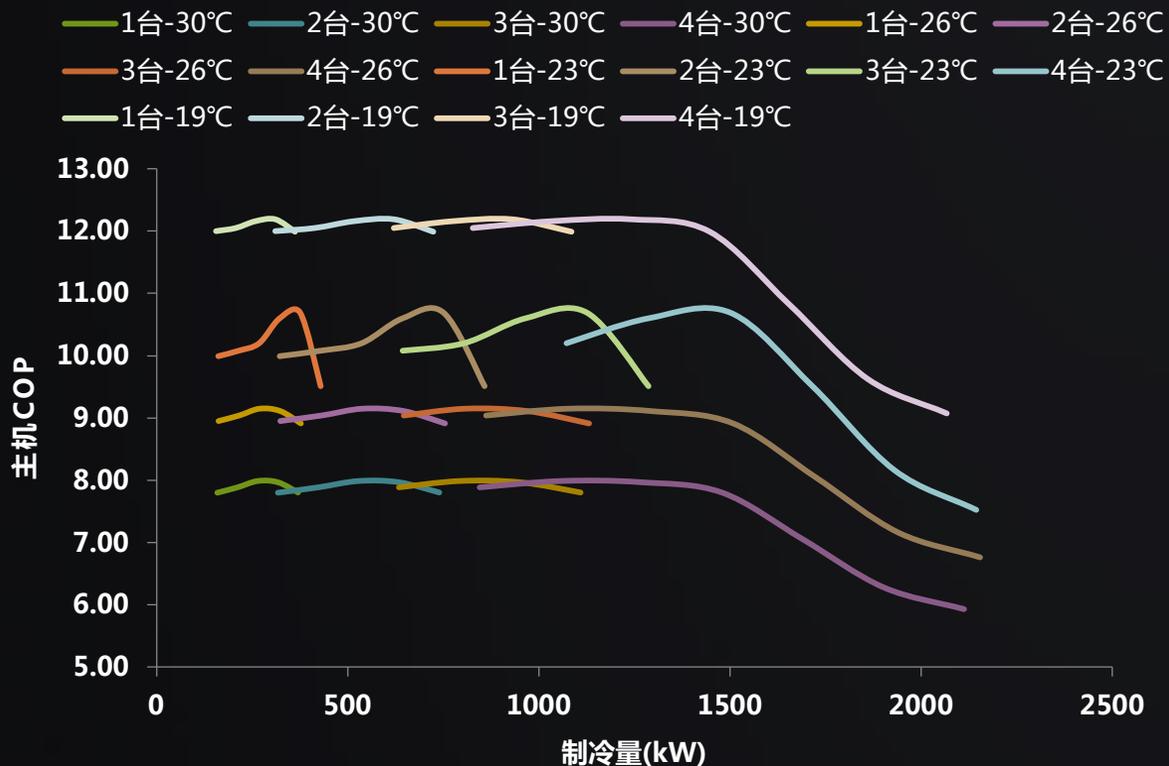
◆ 变供水温度控制、时段补偿控制、气候补偿控制



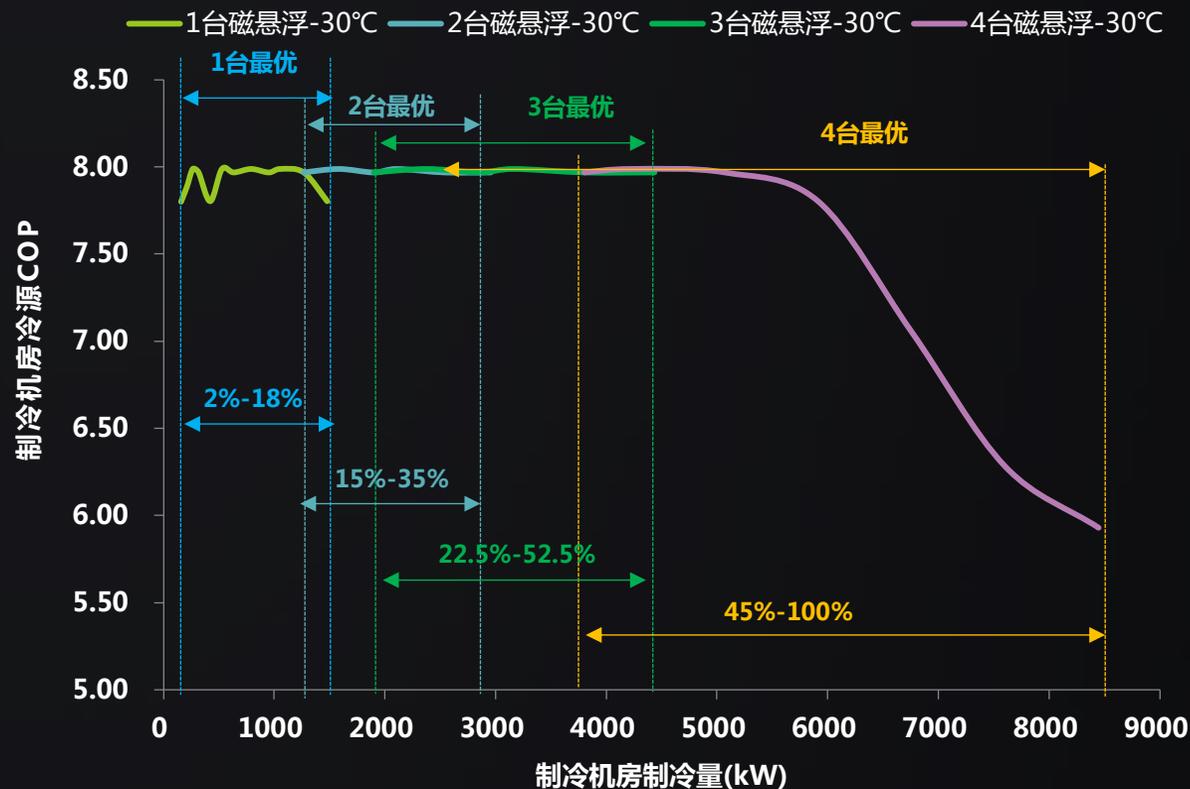
运维管理：控制系统

- 制冷主机 — AI自适应技术：
- 不同冷却水、不同冷冻水、不同负荷率下的全工况冷水机组深度模型解析

1台600RT磁悬浮多工况COP



4台600RT磁悬浮机房COP

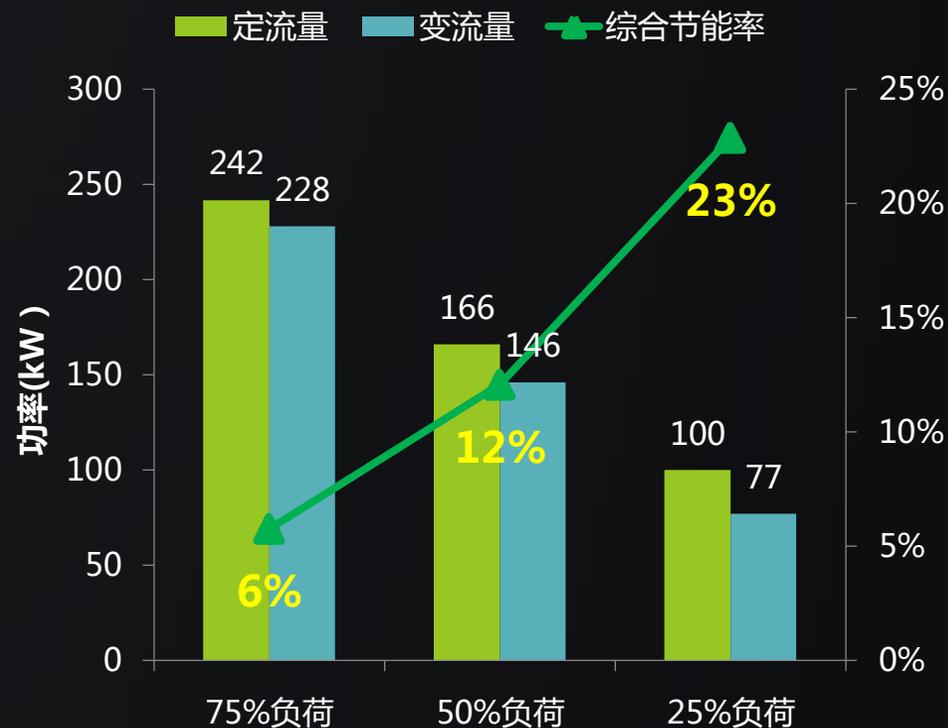
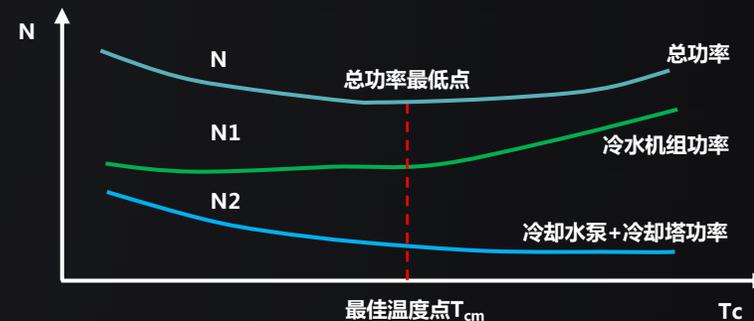


运维管理：控制系统

➤ 制冷机房 — 最佳冷却水控制技术：

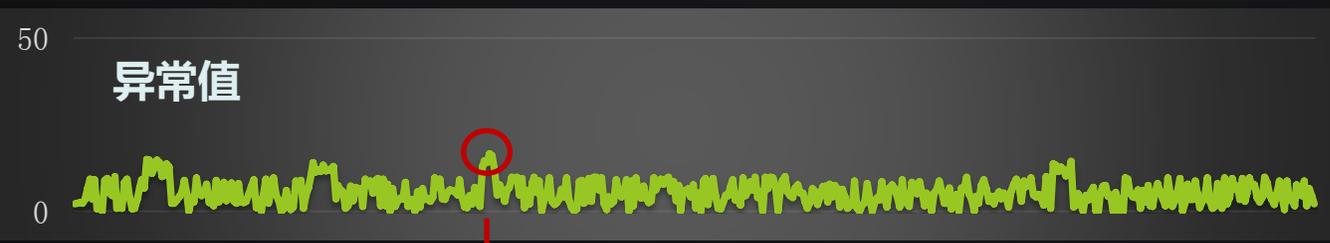
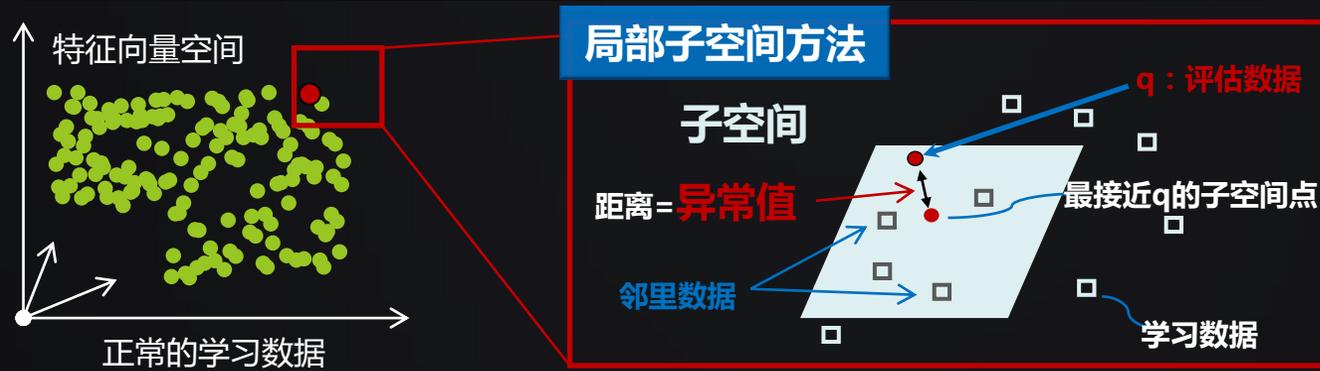
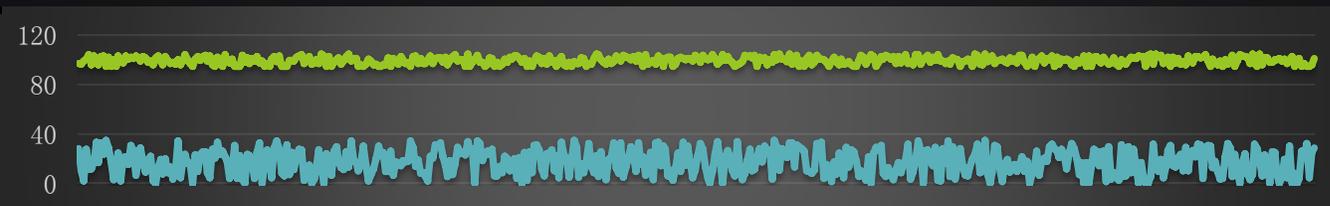
国标工况下冷却系统能耗对比-500RT机组

	负荷率	100%		75%		50%		25%	
		工况	定/变流量	定流量	变流量	定流量	变流量	定流量	变流量
主机	制冷量(kW)		1759	1319	1319	880	880	440	440
	COP(kW/kW)		6.121	6.976	6.697 ↓	7.760	7.450 ↓	9.346	8.972 ↓
	输入功率(kW)		287.4	189.1	197.0 ↑	113.3	118.1 ↑	47.1	49.0 ↑
冷却泵	流量(m ³ /h)		350	350	263	350	245	350	245
	频率(Hz)		50	50	37.5 ↓	50	35 ↓	50	35 ↓
	功率(kW)		37.7	37.7	15.9	37.7	12.9	37.7	12.9
	温差(°C)		5.03	3.71	4.94	2.44	3.48	1.20	1.71
冷却塔	流量(m ³ /h)		350	350	262.5	350	245	350	245
	功率(kW)		15	15	15	15	15	15	15
总功率			340.07	241.81	227.90 ↓	166.04	145.99 ↓	99.75	76.94 ↓



运维管理：控制系统

➤ 数据自分析技术：

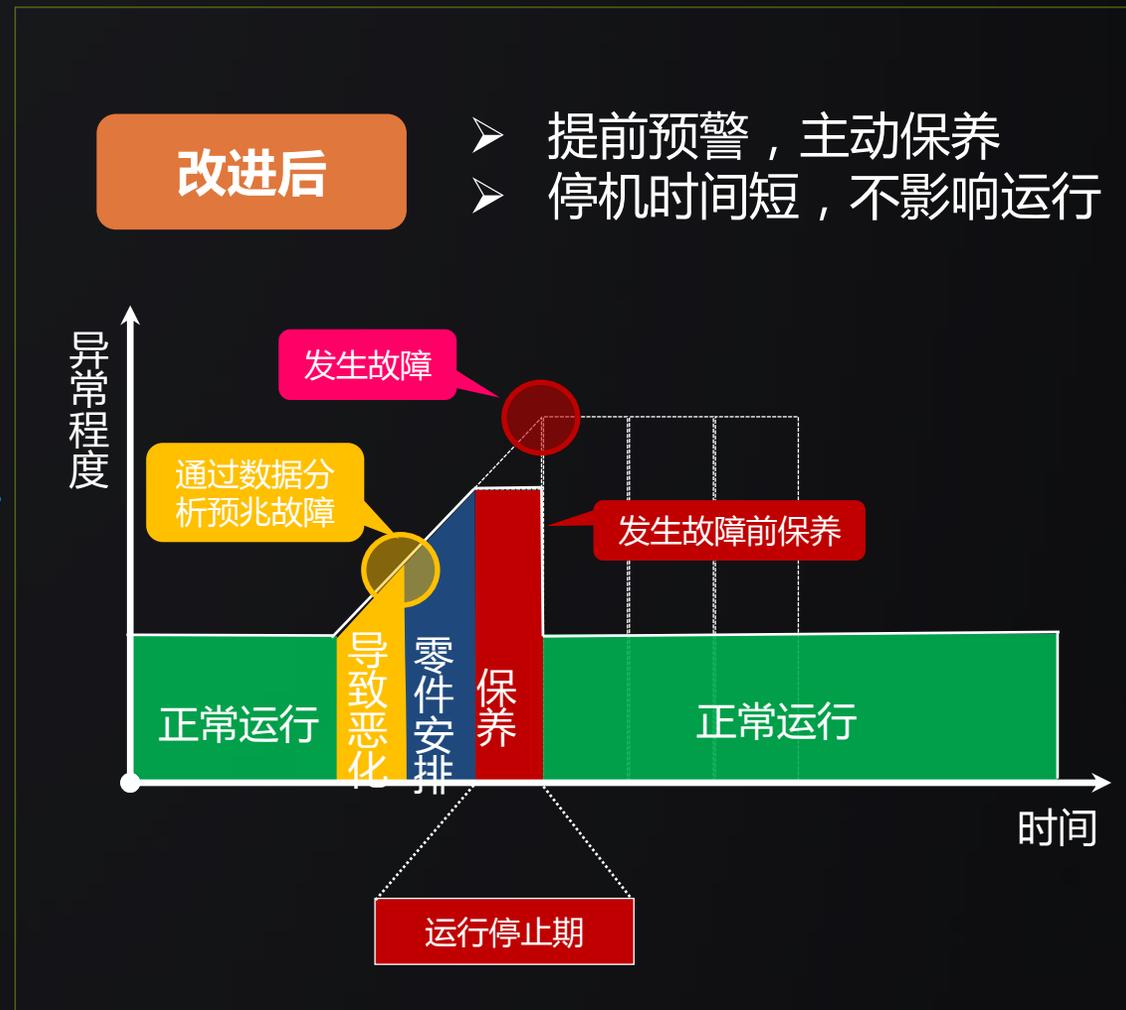
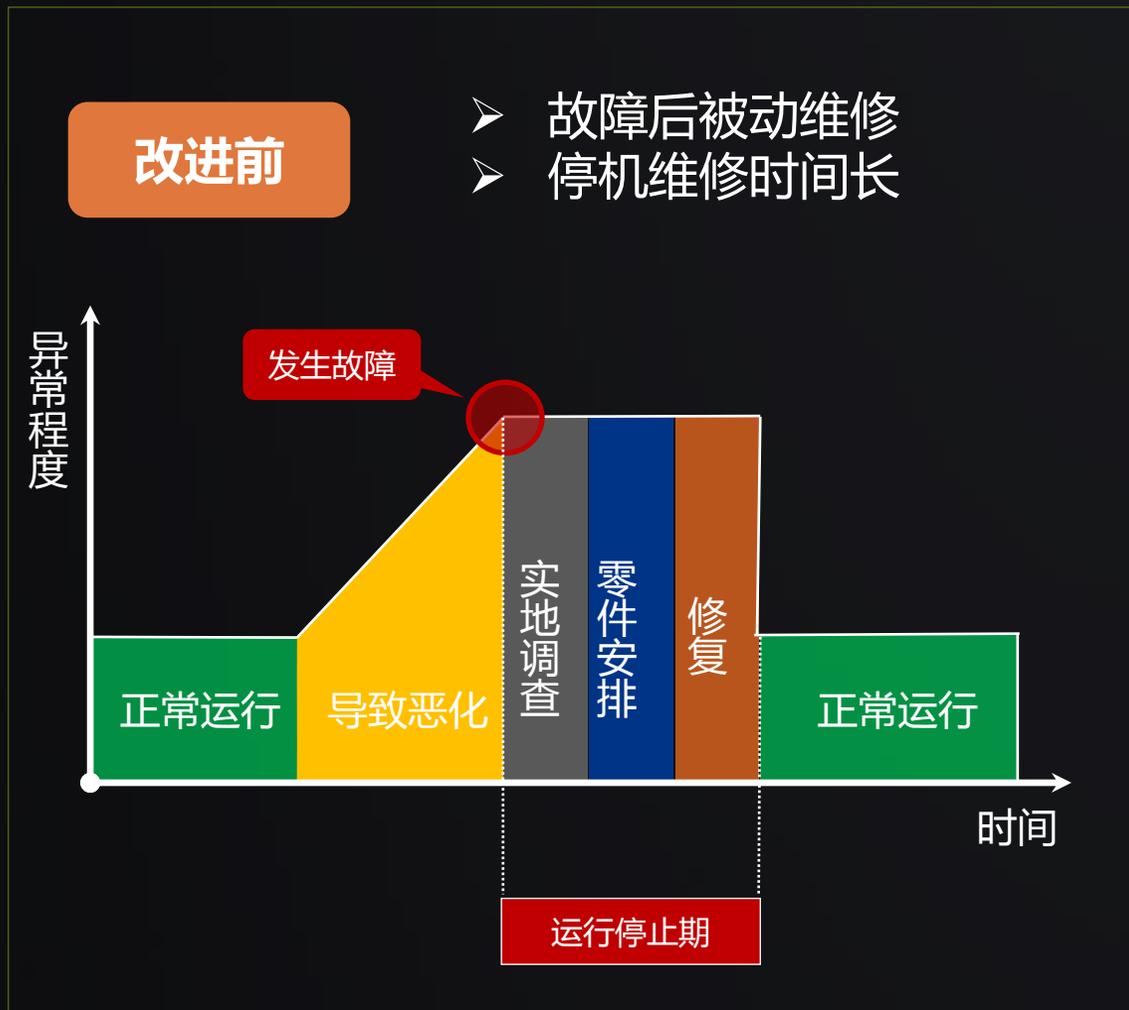


局部子空间方法的特征

- 记住所有学习数据
- 定义从观测数据到由观测数据的临域数据创建的子空间的距离作为异常值
- 能够适应复杂的状态变化
→ 高灵敏度，低误报率

运维管理：控制系统

➤ 设备自诊断技术：



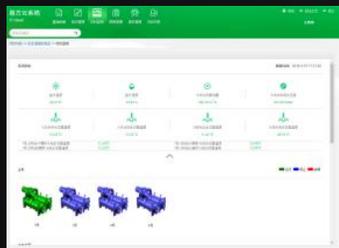
运维管理：控制系统

➤ 物联云端优化控制技术：



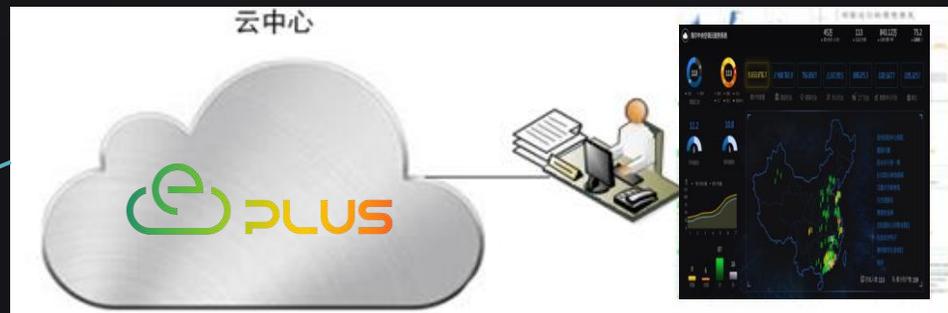
APP

24小时不间断监管
取代机房空调运维人员



PC

实时监控

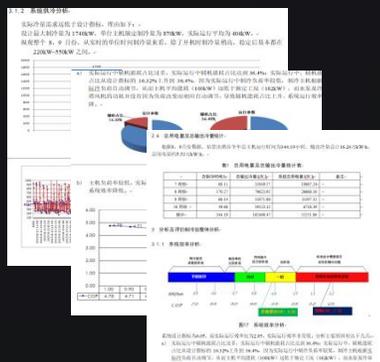


自动报表



历史报表直接统计
历史数据远程任意查询

专家诊断



机房效率分析
异常提示

AI算法

暖通知识库

冷机性能知识库

水泵性能知识库

冷却塔性能知识库

气候焓湿表

逐时负荷预测表

根据行业专家库和AI算法，改进自控系统的参数设置，进一步提升能效

海尔中央空调一站式服务

设备供应商 → 系统集成商

设备采购 → 生态共赢



负荷预测与分布	主机选型与台数模拟	一次泵or二次泵	大温差技术	变频冷却塔选型	系统降水阻	变频水泵选型
冷凝器自清洁	精准测量控制	BIM建模	精细化施工	精细化调试	AI自适应控制	最佳冷却水温度控制
主机与泵解耦控制	冷却塔变频控制	能耗监控	节能报表	节能算法与算法升级	专家库	故障预判



海尔物联高效机房应用案例

物联高效机房 · 集成式高效机房

烟台东方电子物联高效机房

项目简介



- 建筑面积6万 m^2 ，空调面积5.2万 m^2
- 共12层，制冷机房位于负1层
- 2001年开始运营使用

物联高效机房解决方案



物联高效机房设计：采用物联高效磁悬浮+物联高效控制系统+系统优化等整体方案；

改造后实际效果：机房COP由2.87提升至5.93，省电51.6%；

高效机房优化方案

优化主机-物联高效磁悬浮

- 将螺杆机更改为2台750RT海尔磁悬浮
- 采用1级能效水泵
- 冷却塔按照35/30℃选型
- 系统重新配置



优化控制-物联高效控制系统

- 增加机房控制系统：制冷机房自联网、自运行、自节能
- 技术升级：物联分布控制技术、AI自适应技术、最佳冷却水控制技术...

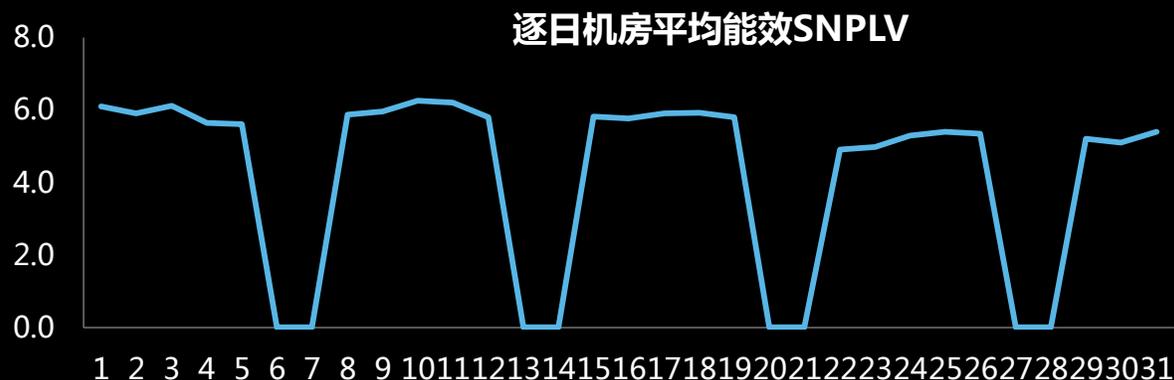
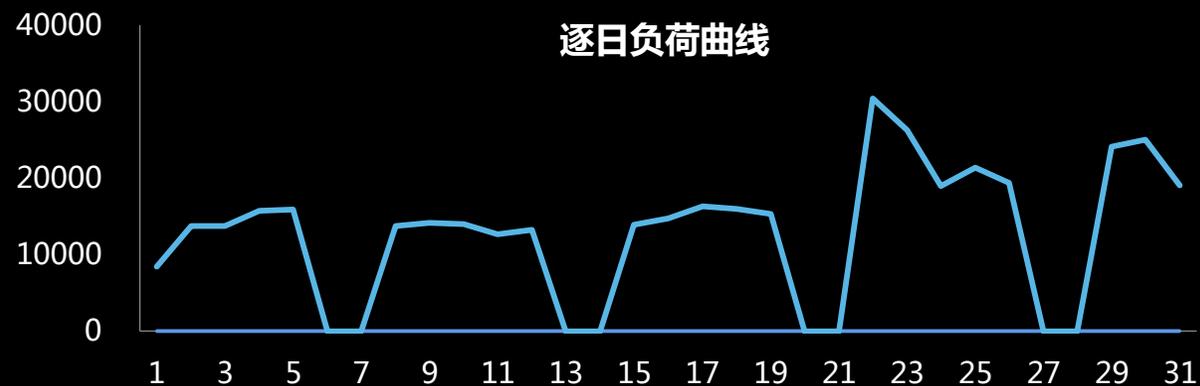
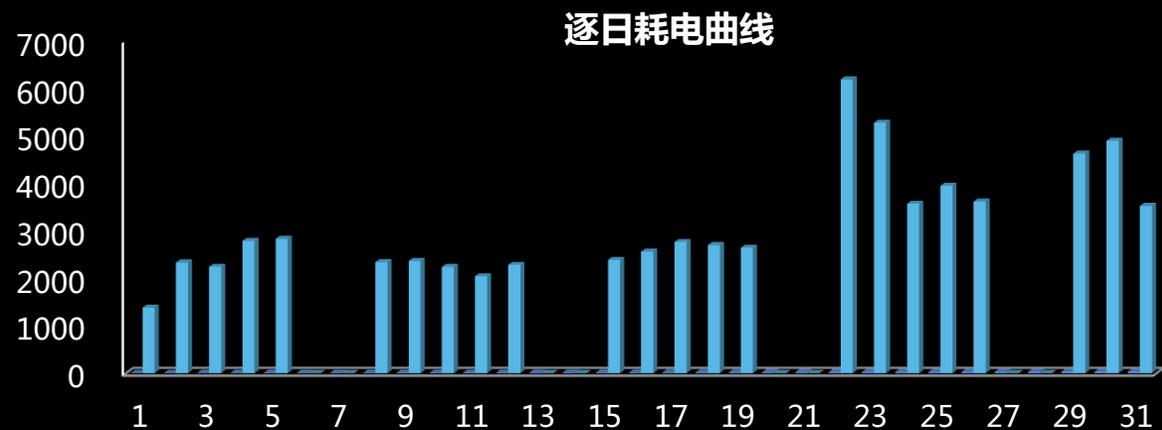
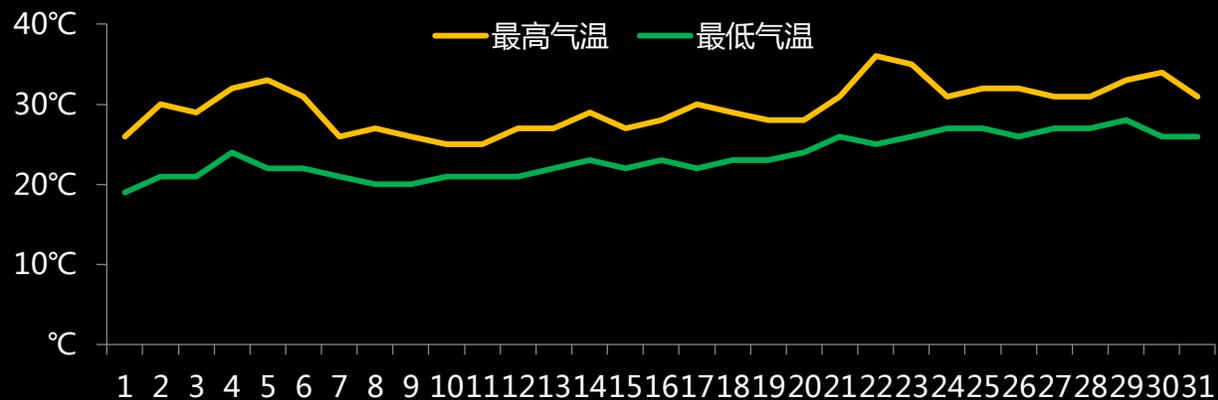


优化系统-管阻降低优化

- **系统管路优化**：采用钝角弯头和钝角三通、直角管段替换为斜管段，减少总管阻
- **管件优化**：采用低阻力的篮式过滤器、静音止回阀等附件



最热天气-7月份数据分析



类型	月份	制冷量 (KWH)	耗电量 (KWH)	SNPLV
磁悬浮高效机房	7月	395976	71605	5.53
原冰蓄冷机房		395976	140063	2.83

小结：

- 7月节电量68458度，节电48.9%
- 夏季负荷最大时，仍能维持高效水平运行

改造后运行效果

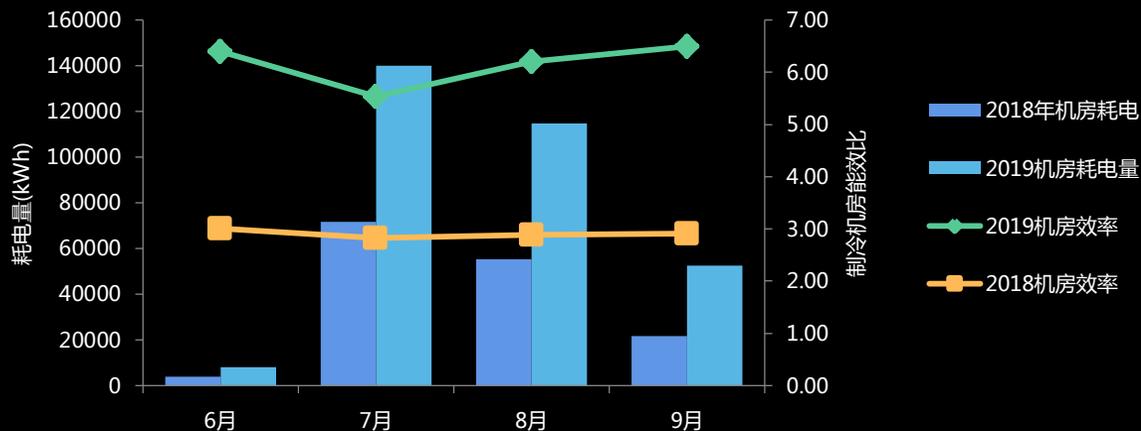
2019年6月22日-9月21日运行，对比同期数据：

改造前后机组耗电量对比

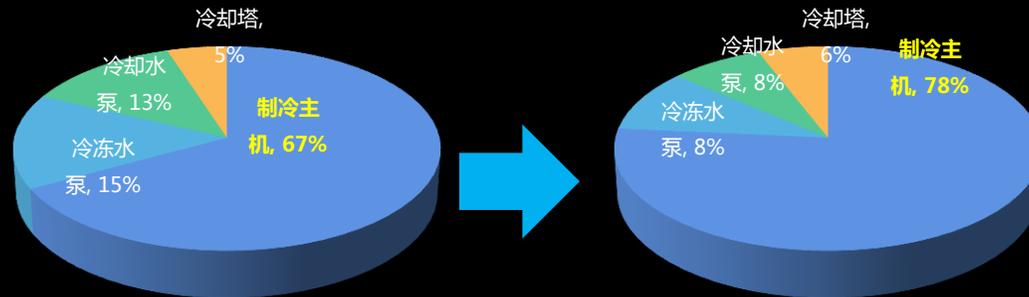
月份	2019年制冷量 (kWh)	2019机房耗电量 (kWh)	2019机房效率	2018年机房耗电 (kWh)	2018机房效率
6月	24120	3769	6.40	8017	3.01
7月	395976	71605	5.53	140063	2.83
8月	342922	55310	6.20	114607	2.88
9月	139971	21534	6.50	52534	2.91
总计	902989	152218	5.93	315221	2.87

2019年改造后机房6-9月份系统能效

总制冷量	机房总耗电量	制冷机房SNPLV
902989kWh	152218kWh	5.93
较改造前机房节能率(%)		51.6%



改造前后能耗占比



腾讯青浦云计算中心103扩容机房



项目地点：上海青浦

项目气候：亚热带季风气候（高湿高热）

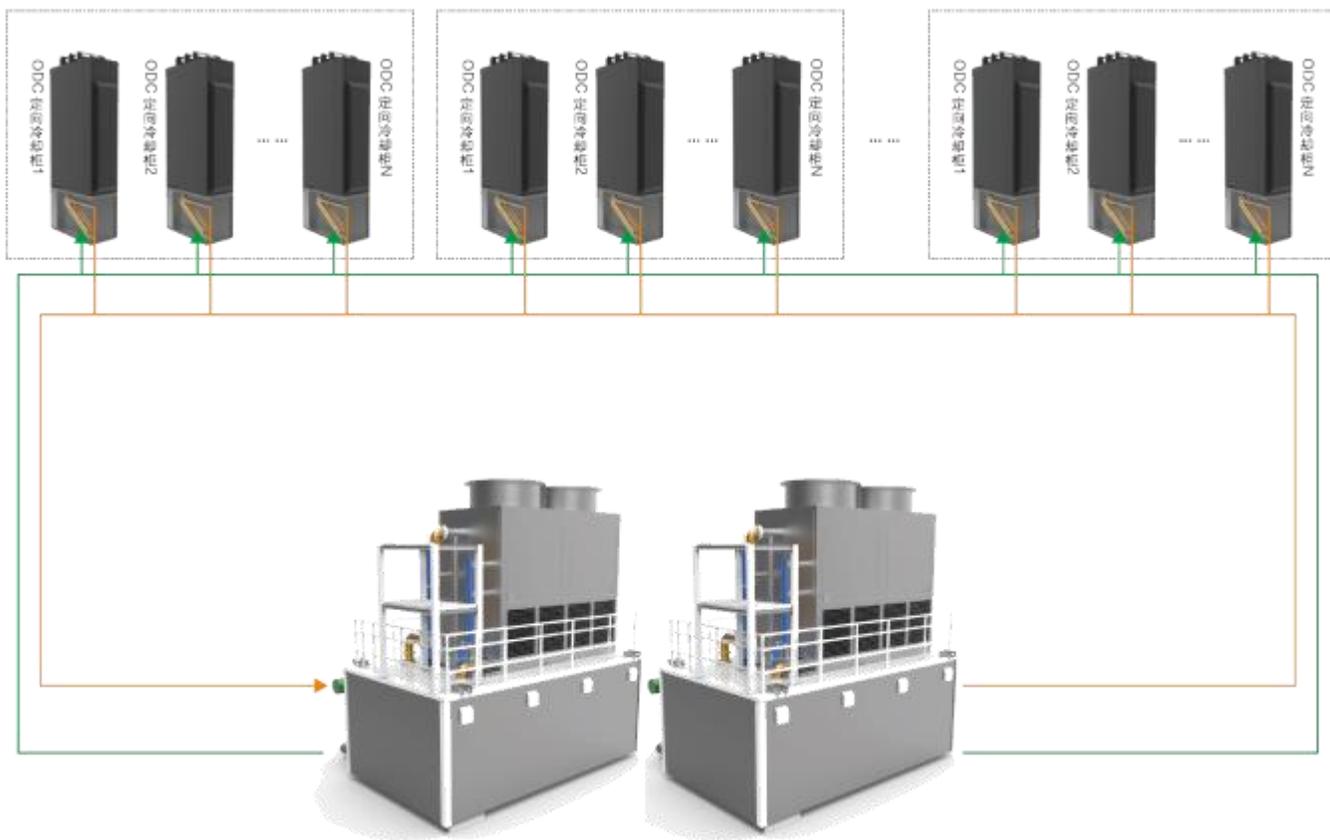
项目负荷：656kW

项目容量：82机柜*8kW

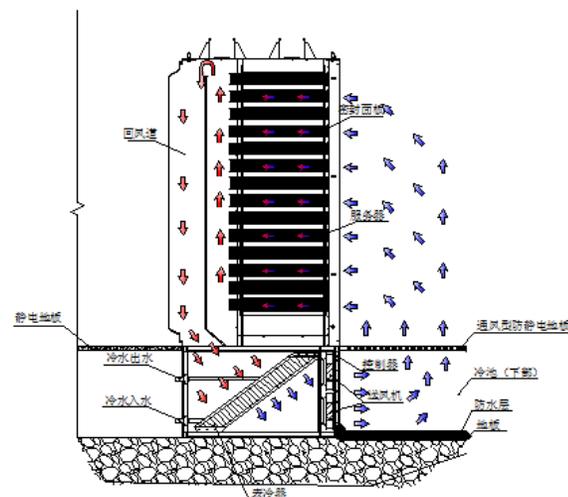
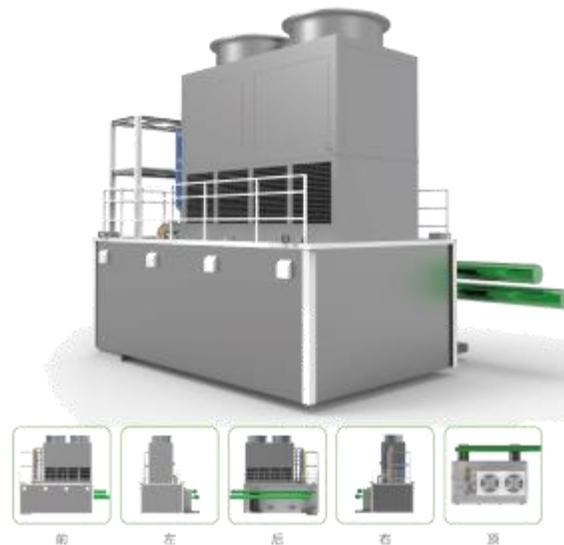
机房建设目标：

- 高密度：单柜功率负载8kW，最大10kW；
- 高稳定：机房环境温度 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 40%~70%RH；
- 高效率：全年任何时刻机房PUE<1.2；
- 高可靠：机房设备需24小时不间断持续运行，可用率99.999%。

带自然冷却一体式集成高效机房



- 系统双回路设计，2个独立模块联合供冷且互为热备份
- 定制闭式冷却塔，同时自然冷却设计不需要阀门切换
- 定制机柜级冷却末端，52U 19" 标准机柜，最大单柜IT功率8kW

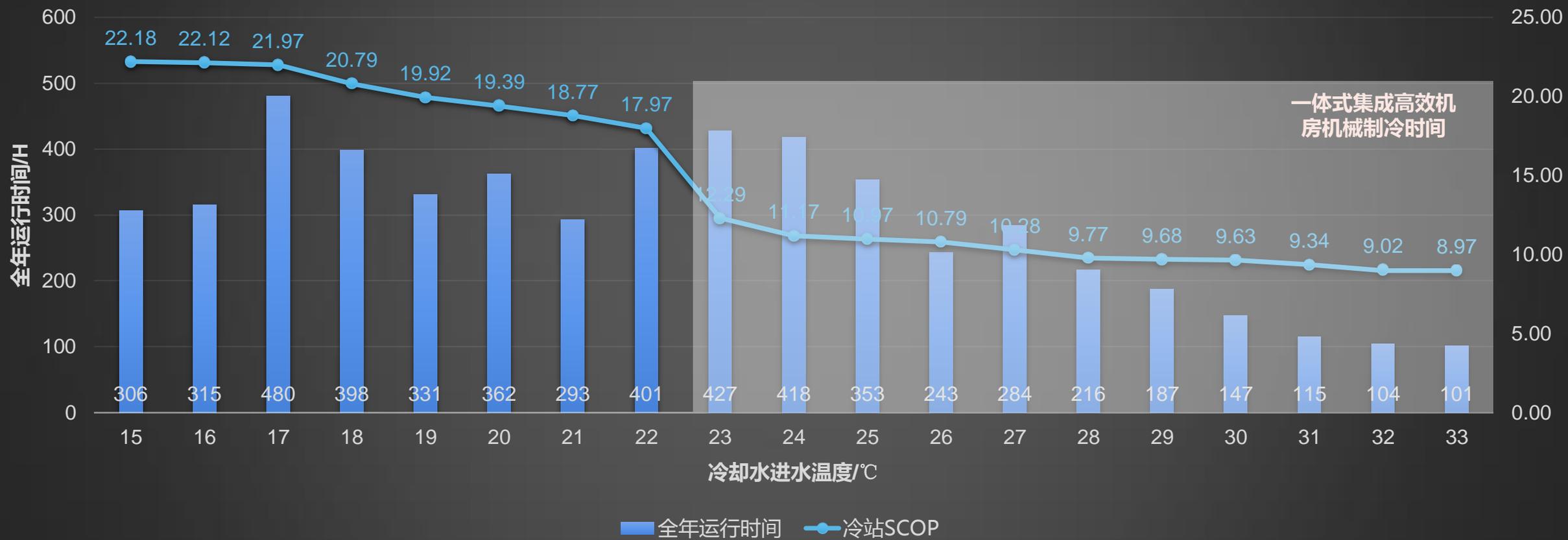


海尔LSBLX150/R4(BP)

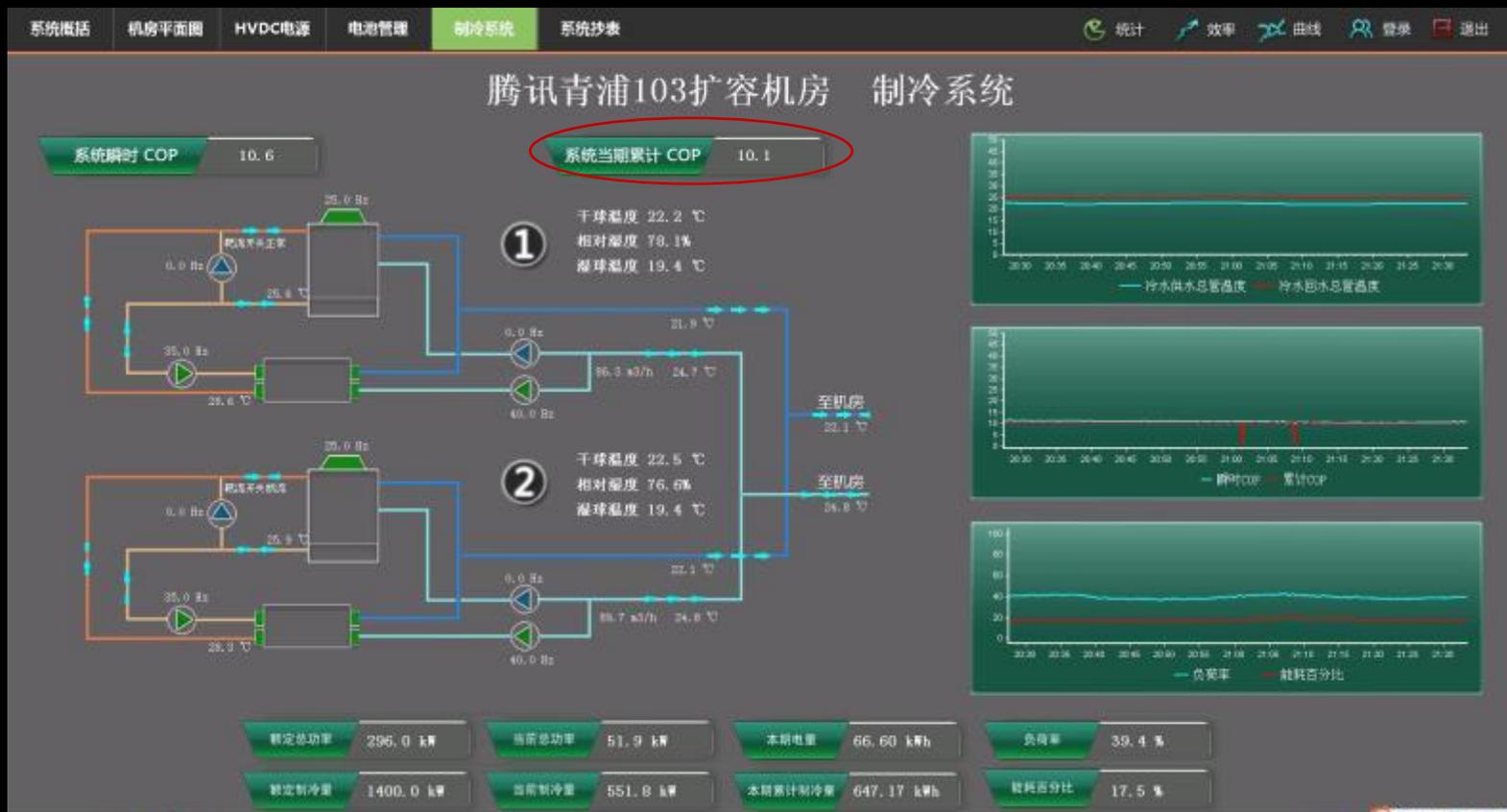
- 制冷量：875kW
(22°C出水)
- 额定流量：
150m³/h
- 扬程：22mH₂O
- COP>10
- 运行重量：35T
- 尺寸 (L*W*H)：
7000*2800*6800
- 制冷量：8kW
(22°C冷水)
- 额定流量：1.7m³/h
- 热通道封闭，同程
风路
- 尺寸 (L*W*H)：
600*1200*3000

不同冷却水温下SCOP

腾讯青浦数据中心不同冷却水温累计运行时间



年度运行数据



节能效果验证

经过夏季测试，系统综合PUE为1.18，其中一体式集成高效机房平均COP > 10；

可靠性验证

无人值守，自动完成切换，机房24小时不间断持续运行，可用性99.999%。

**海尔中央空调
物联中央空调创领者**