

云边协同调优的机房热管理解决方案

目录 CONTENTS

01

通信机房湿热环境概述

02

通信机房节能运行原理

03

机房节能基本方法概述

04

高新兴机房热管理方案

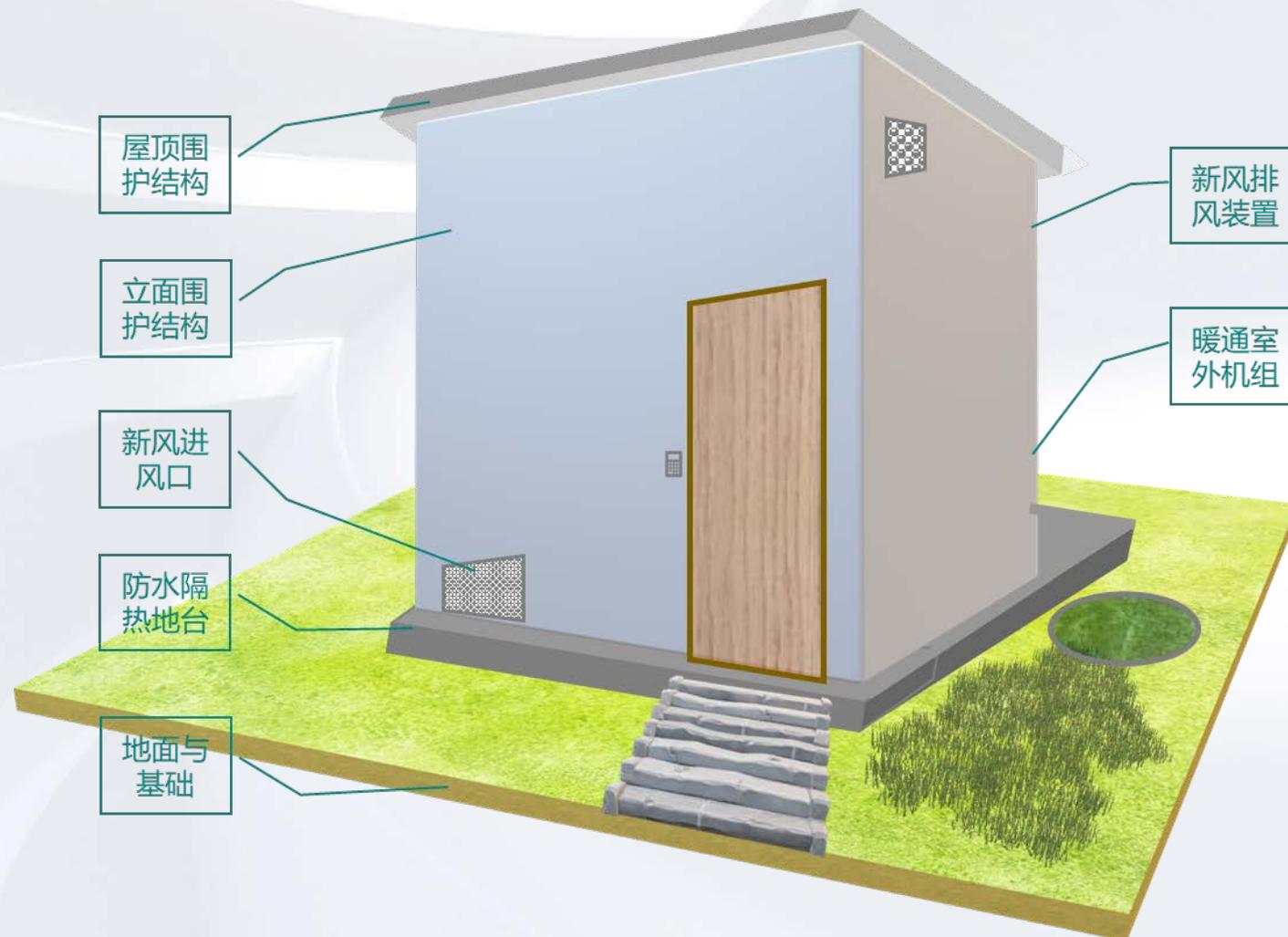
1. 通信机房湿热环境概述——机房结构与特点

机房结构特点：(设计者视角)

- 依据地域气候特征、功能及空间需求进行设计建造；
- 通常由六面无透光围护结构组成，围护结构可储热；
- 机房内环境与外部大气环境存在压差型渗漏；
- 地板/地面结构有承重要求；
- 围护结构有隔热设计并与地域气候强相关。

衍生概念：机房湿热环境系统(动力学视角)

由机房周边太阳辐射、气候与地理环境、机房围护结构、机房能源、生产与环境控制设备等组合而成，对机房内部湿热环境有明确控制要求的动力学系统——可建模进行状态预测和存在最优解空间的系统。

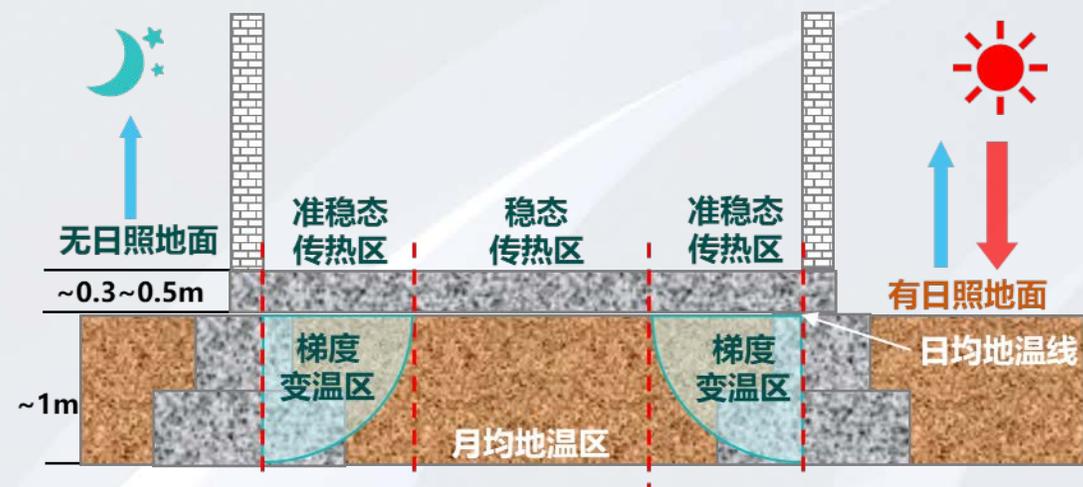


1. 通信机房湿热环境概述——外部湿热环境与热量传递

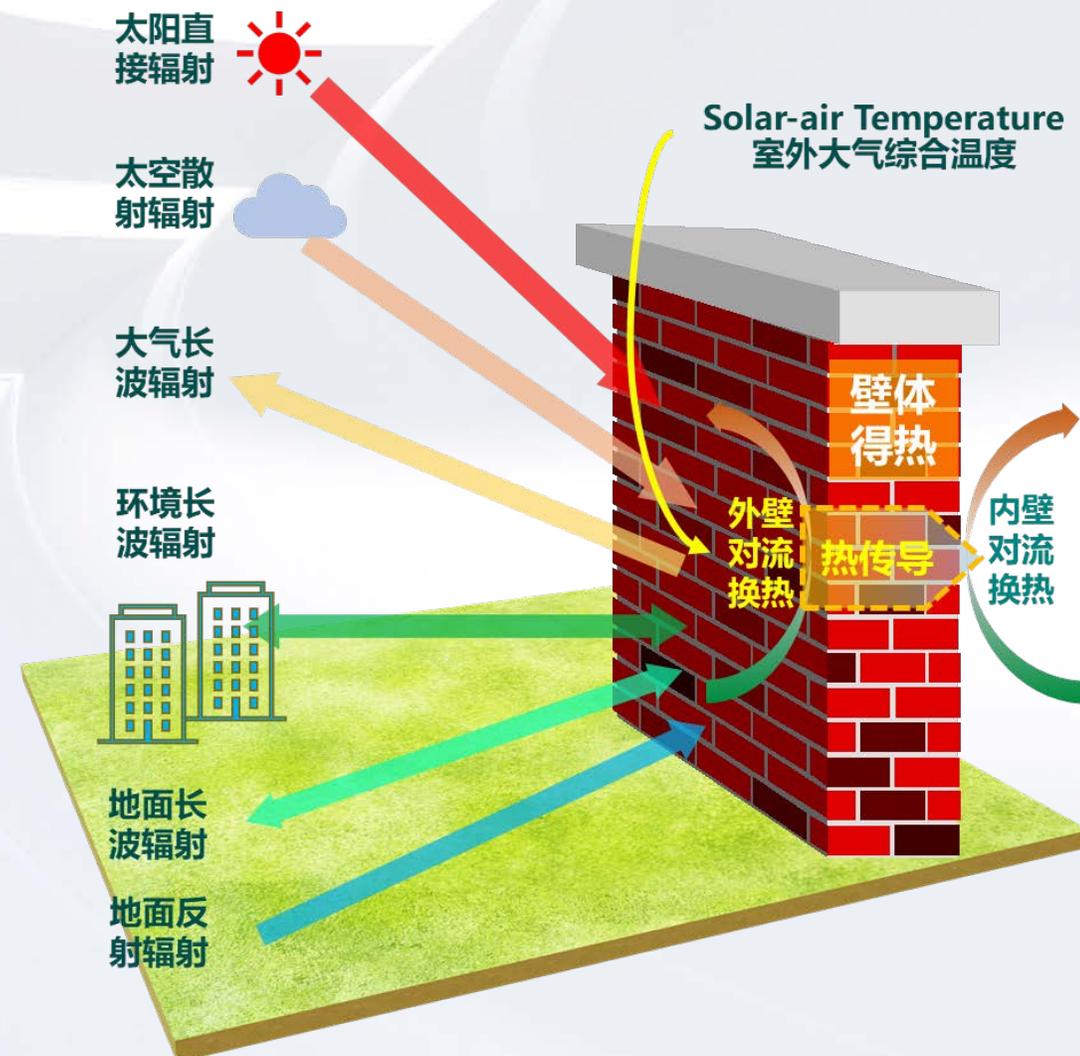
热量传递方式：辐射、对流、传导

外部湿热环境描述：

- 室外大气环境：太阳直接辐射、长波辐射、温湿度、风速、大气压 → 室外大气综合温度
- 机房地面湿热环境：变温层深度、变温梯度、地面太阳辐射
- 内外环境交互热流参数：围护材料物性参数、地面物性参数、壁面吸热系数、壁面对流换热系数、地面反射系数、海拔高度



地面土建/彩钢机房地面传热模型



地面土建/彩钢机房围护传热模型

1. 通信机房湿热环境概述——机房内部湿热环境控制

机房湿热环境控制的对象是一个准封闭的可预测系统，湿热状态通过温度和湿度及其流场三个要素描述。在机房干空气储/释显热流量大波幅小，是热流分析的关键，为维持湿度稳定的潜热流、驱动热交换的气流动能也需要持续分析与控制。

□ 气流组织类型：

界面换热型：直接在热源散热界面(通道间隔)进行热交换

空间换热型：冷热气流在机房空间混热，同时在热源界面热换

□ 热转移方式：

介质载热转移：压缩循环、热管、氟泵、冷冻水等

空气载热转移：新风系统、间接蒸发、机房呼吸渗漏

围护结构传热：包含热量辐射、传导与对流三个过程

□ 温度控制要求：

上限温度：保证半导体、磁材、电芯等部件不产生热失控的最高温度

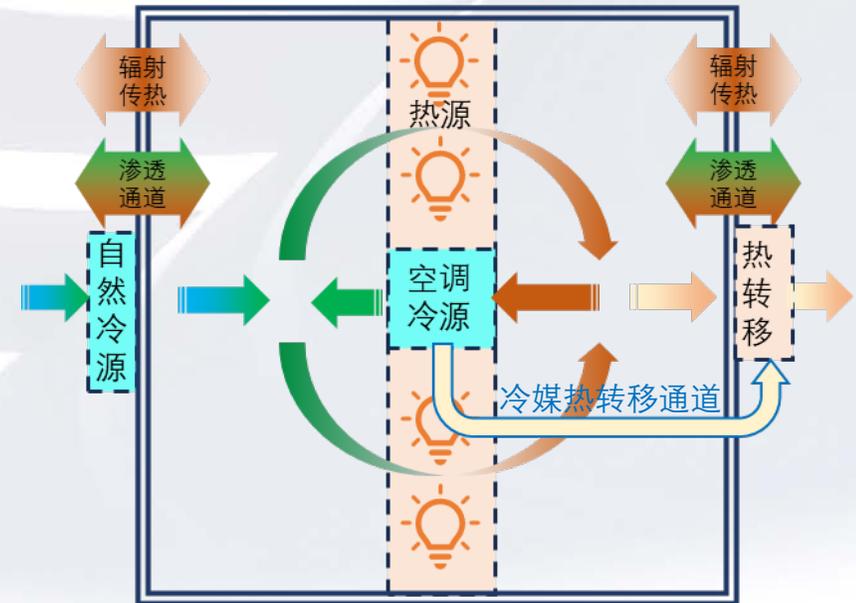
下限温度：保证机房的电化学、相变等过程处于合理区间工作温度

温度波动：波动幅度和频率适配温度控制精度、部件热应力承受范围

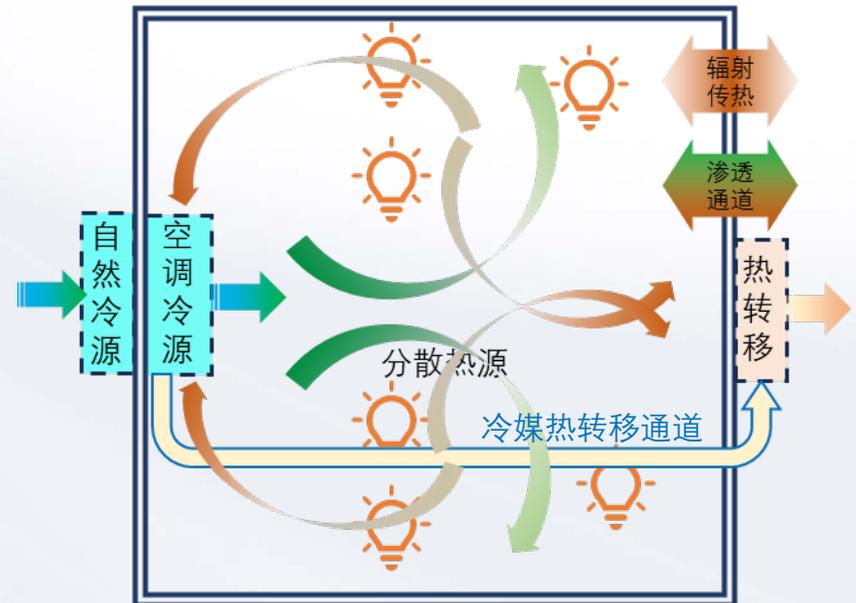
□ 湿度控制要求：

由电气、结构件的腐蚀、积尘、静电迁移等湿度敏感因素决定

界面换热模型



空间换热模型



2. 通信机房节能运行原理——机房里的热力学

机房里的热力学第一定律：电热联控的基础

机房系统储存能量的增量 = 进入机房系统的能量 - 离开机房系统的能量
= 流入机房电能 + 围护传导进入机房热能 + 流入机房空气携能量 - 流出机房电能 - 流出机房空气携能量(热能+动能+势能) - 制冷系统制冷量
= 机房空气储热增量 + 机房结构储热增量 + 设备储热增量 + 电化学储能增量

机房里的热力学第二定律：节能管理的基础

机房制冷/热机，从低温热源T1转移Q1热量到高温热源T2，需要付出的代价为W：

$$\text{吸热量 } Q_1 + \text{需要的轴功 } W = \text{放热量 } Q_2$$

制冷/热机从两个热源之间转移热量，机器的效率定义为：

制冷压缩机性能系数COPc $\epsilon_c = Q_1 / W_{\text{轴}}$

$$EER = Q_1 / (W_{\text{压缩}} + W_{\text{蒸发}} + W_{\text{冷凝}})$$

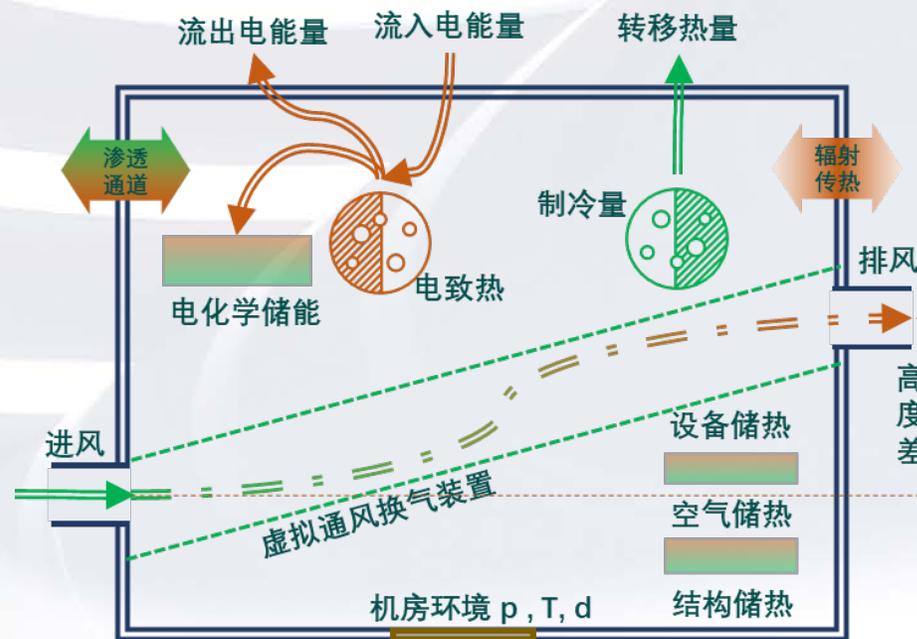
热泵压缩机性能系数COPh $\epsilon_h = Q_2 / W_{\text{轴}}$

$$COP = Q_2 / (W_{\text{压缩}} + W_{\text{蒸发}} + W_{\text{冷凝}})$$

机房暖通空调运行调优基本原则：

在满足机房内生产湿热尘环境要求的前提下(约束条件)，实现：

1. 转移热量的附加能源消耗最小化，即让暖通空调系统动态能效保持最优；
2. 最大限度利用自然冷源就是节能运行，如利用低温湿空气能、干空气能等；
3. 采用成本最低能源驱动暖通空调运行，如谷电价时段储冷，尖/峰电价时段释放。



中国能效标识 CHINA ENERGY LABEL	
生产者名称	名称
规格型号	AAA-000
耗能低	1
	2
中等	3
	4
耗能高	5
能效比	3.30
输入功率(瓦)	1060
制冷量(瓦)	3500
依据国家标准: GB 12021.3-2004	

2. 通信机房节能运行原理——室内/外环境温度与动态能效

参考文献计算的某房间冷负荷

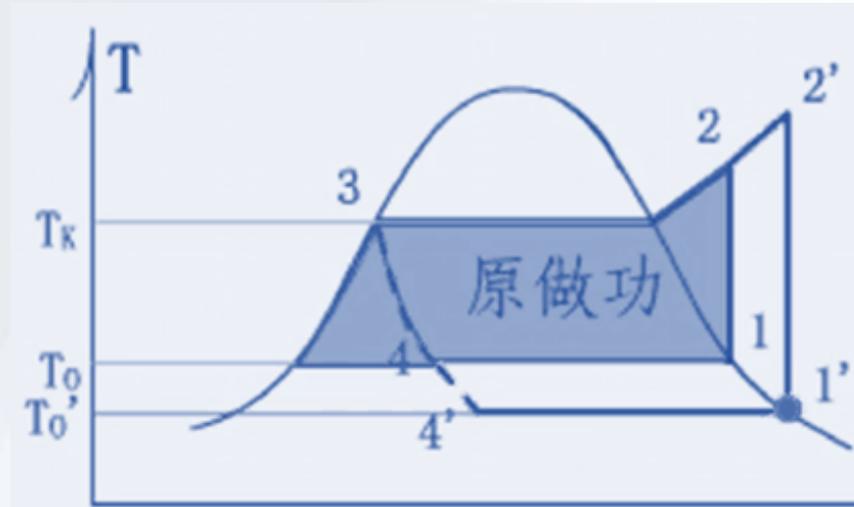
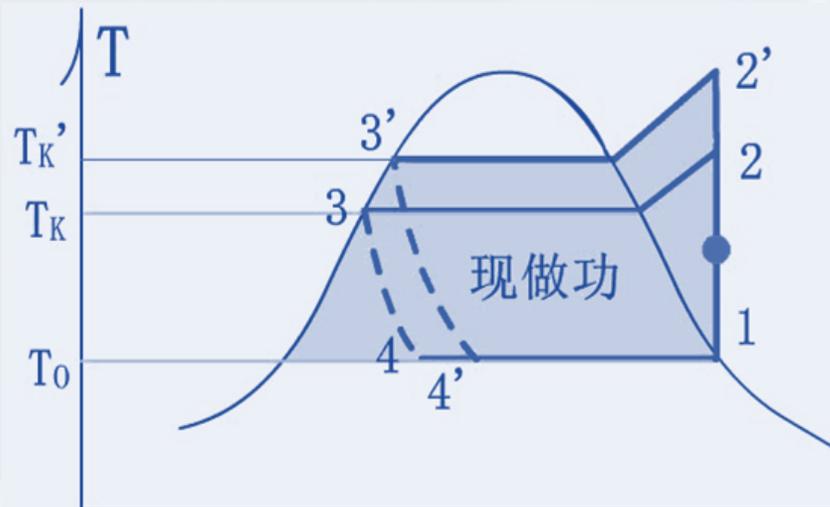
不同室温时夏季室内冷负荷			
$t_R(^{\circ}\text{C})$	$Q_R(\text{W})$	$t_R(^{\circ}\text{C})$	$Q_R(\text{W})$
16	2387.4	25	1581.9
17	2303.8	26	1486.1
18	2219.2	27	1390.0
19	2133.2	28	1288.7
20	2039.4	29	1185.4
21	1950.8	30	1082.7
22	1859.7	31	976.4
23	1769.5	32	867.8
24	1676.5		

固定室温、固定冷负荷下的大气温度与系统能效的关系：(干球温度敏感, 不能管)

1. 冷凝性能固定：大气温度 \nearrow \rightarrow 冷凝温度/压力 \nearrow \rightarrow 压比/轴功 \nearrow \rightarrow COP \searrow \rightarrow EER \searrow (家用空调)
2. 冷凝性能适配：大气温度 \nearrow \rightarrow 冷凝温度/压力 \cong \rightarrow 压比/轴功/COP \cong \rightarrow 冷凝能耗 \nearrow \rightarrow EER \searrow (商用空调)

固定大气温度下室内温控变化与系统能效的关系：(湿球温度敏感, 不好管)

1. 湿度不控运行：控制室温 \nearrow \rightarrow 空气储热(可忽略) \rightarrow 室温/露点 \nearrow \rightarrow 传导热流 \searrow \rightarrow 冷负荷 \searrow \rightarrow 蒸发温度 \nearrow or \searrow \rightarrow 压比/轴功/COP \nearrow or \searrow \rightarrow 温控能耗 \searrow \rightarrow EER \nearrow (普通机房/基站)
2. 恒温恒湿运行：控制室温 \nearrow \rightarrow 空气储热(可忽略) \rightarrow 室温/露点 \nearrow \rightarrow 传导热流 \searrow \rightarrow 冷负荷 \searrow \rightarrow 蒸发温度 \nearrow or \searrow \rightarrow 压比/轴功/COP \nearrow or \searrow \rightarrow 加湿耗能/潜热需量 \nearrow \rightarrow 温控能耗 \nearrow or \searrow \rightarrow EER \nearrow or \searrow (核心机房/IDC)



不同室温时冬季室内的冷负荷

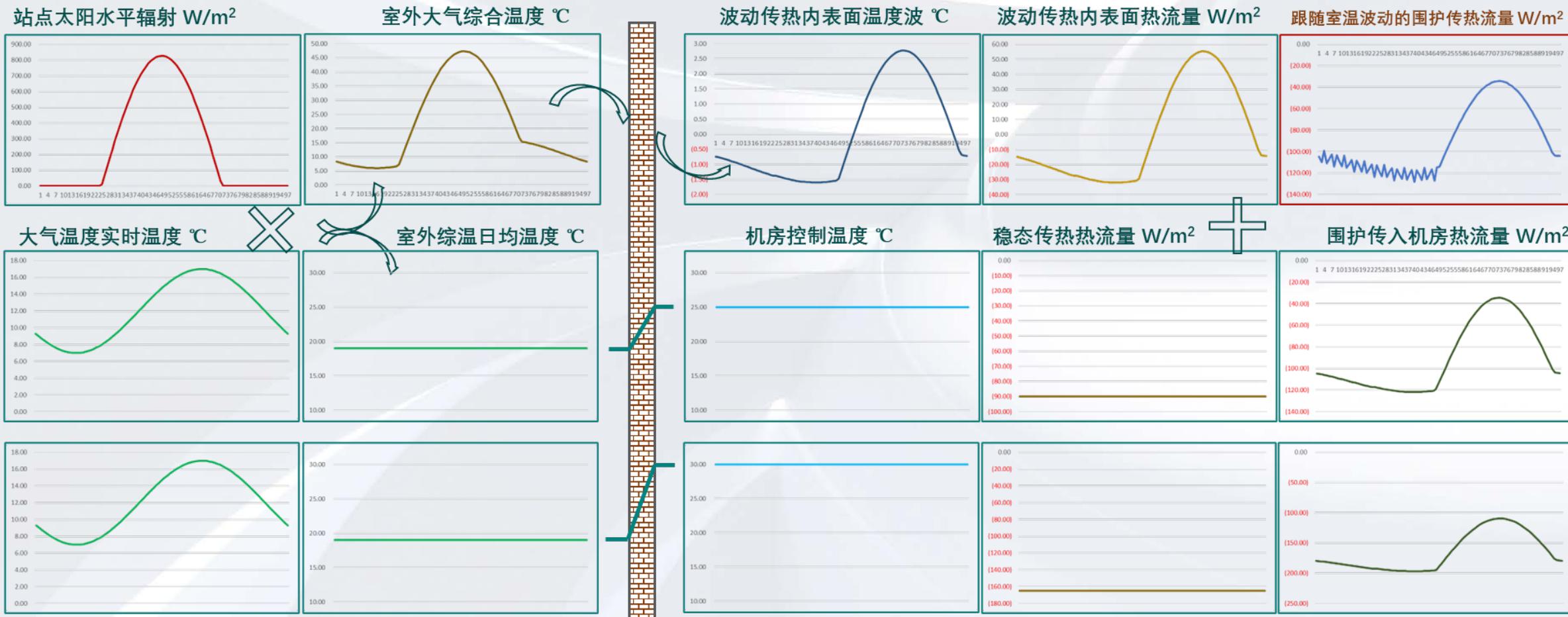
$t_R(^{\circ}\text{C})$	$Q_H(\text{W})$	$t_R(^{\circ}\text{C})$	$Q_H(\text{W})$
16	1459.2	25	1928.2
17	1511.3	26	1980.3
18	1563.4	27	2032.5
19	1615.5	28	2084.6
20	1667.7	29	2136.7
21	1719.8	30	2188.8
22	1771.9	31	2240.9
23	1824.0	32	2293.0
24	1876.1		

2. 通信机房节能运行原理——围护结构传热与节能分析



1. 机房控制平均温度调高或调低到底影响了整个机房热动力系统的什么，主要是空调吗？
2. 如果调高机房控制温度产生节能的主因是空调能效变化，本结论是否对所有机房都成立？

$$\text{控温调高 } 1^{\circ}\text{C} \text{ 空调能耗下降率} = \frac{\text{冷负荷下降率} + \text{EER提升率}}{1 + \text{EER提升率}}$$



图示解释：① 机房平均温度变化主要影响稳态传热热流量；② 围护结构波动传热有相位落后效应；③ 波动传热流量受室内温度波动影响。

2. 通信机房节能运行原理——机房内部热流控制过程节能分析

机房内热耗散与节能措施:

暖通设备能耗 = 风机能耗 + 泵类能耗 + 压缩机能耗 + 加湿功耗

□ **空气动能耗散:** 机房热交换是以气流按照一定的动能运行实现的, 气流与板壁、换热面、交会气流等摩擦导致速度下降, 形成热耗散, 可通过①**气流组织优化**来减少热耗散损失。

□ **局部热点解决:** 局部热点是①**气流组织不当**造成的, 增加辅助通风或降低机房控制温度会造成传出热减少和暖通能耗增加。

□ **最佳轴功率点偏移:** 变频压缩机或EC风机偏离最佳功率点导致设备效率下降而产生的额外电能损耗, 可通过②**群控策略跟踪**和调节出力适配设备最佳功率点。

□ **换热效率适配偏差:** 换热界面上气流(焓)差与气流速度成反比, 表面换热系数与气流速度成正比, 通过换热面③**温(焓)差与气流速度适配**可使换热效率最优。

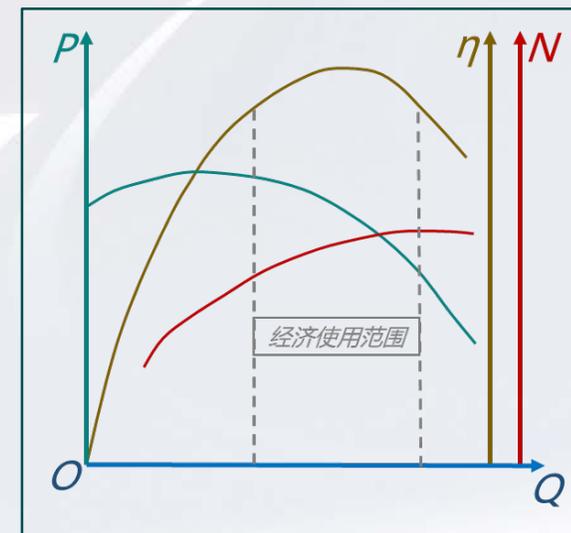
机房暖通设备节能效益:

在线运行暖通设备的能效提升节能空间有限, 通过有效评估、管控和运维, 找回不应该的管控损失也是节能。

风机功率-风量-风压之间的关系:

$$N = \frac{Q_f P_f m}{1000 \times \eta \times \eta_j}$$

N —— 配用的电动机功率, kW
Q_f —— 风机的风量, m³/s
P_f —— 风机的风压, Pa
η —— 风机运行时的效率
η_j —— 机械传动效率
m —— 电动机容量安全系数



新风换热开口系风机串联模型:

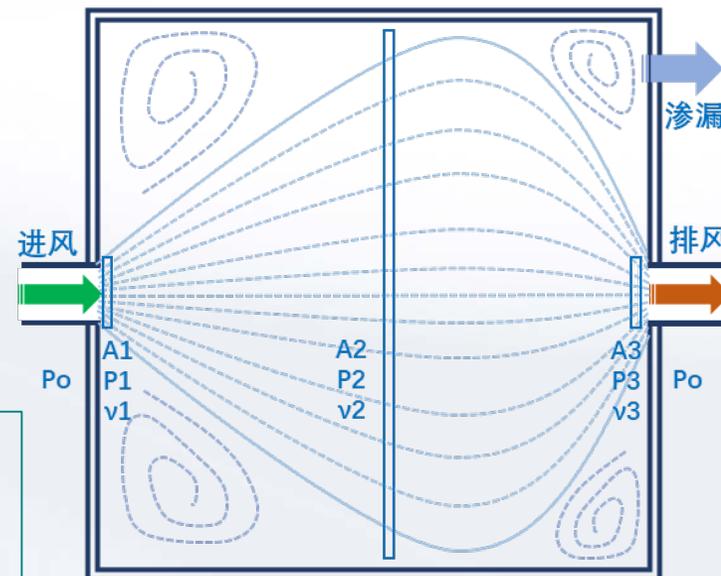
无内部热源扰动情况下, 每个截面:

$$\text{气流量} = \rho v_x A_x$$

伯努利方程(忽略势能):

$$P_1 + \rho v_1^2 / 2 = P_2 + \rho v_2^2 / 2 = P_3 + \rho v_3^2 / 2$$

P_x —— 截面压强, N/m²
v_x —— 流体平均速度, m/s
A_x —— 风道截面积, m²
ρ —— 流体密度, Kg/m³



- ◆ 维持通风正压的进排风量差靠渗漏平衡
- ◆ 各截面能流密度由串联系统决定
- ◆ 排风气流的动能热耗散在机房外环境

2. 通信机房节能运行原理——节能运行安全边界

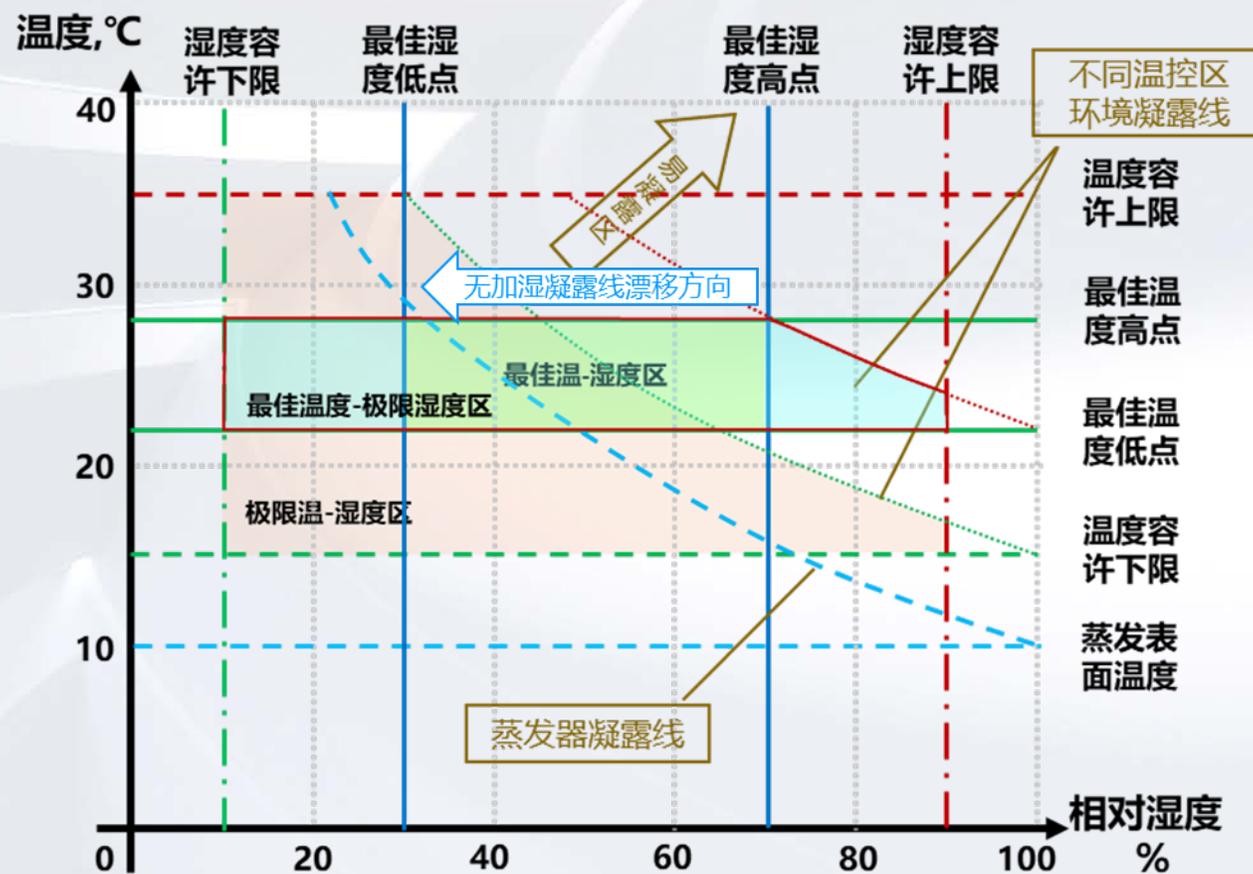
湿热环境控制的安全边界：

- 宏观边界：空气温度范围、空气相对湿度范围，如图所示
- 微观边界：关键器件芯级温度限值、关键部件节点温度限制、不同测点极限温度耐受时间
- 技术边界：风机/压缩机启停最小间隔时间要求、最佳效率点适配
- 管理边界：配置冗余与故障策略，停电时的后备措施、灾变应急方案

机房节能与成本约束条件：

- 如果机房供能存在分类或分时分能成本差，在满足安全边界的前提下，尽量减少暖通设备使用高成本能源
- 智能群控模式下优先使用能效比高的暖通设备

机房环境温度-相对湿度边界示意图



3. 机房节能基本方法概述——自然冷源利用

自然冷源利用方法:

1. 围护结构传导: 提升机房控制温度、调节围护外表面综合温度、动态改变围护热阻
2. 新风热交换: 低温大气进入机房热交换后排除高温空气
3. 热管热交换: 利用热管技术实现热转移
4. 氟泵热交换: 在空调机组压缩循环基础上叠加泵循环, 辅助或独立完成热转移
5. 干空气能利用: 利用干空气强化水蒸发吸热能力对循环工质吸热降温, 如间接蒸发制冷

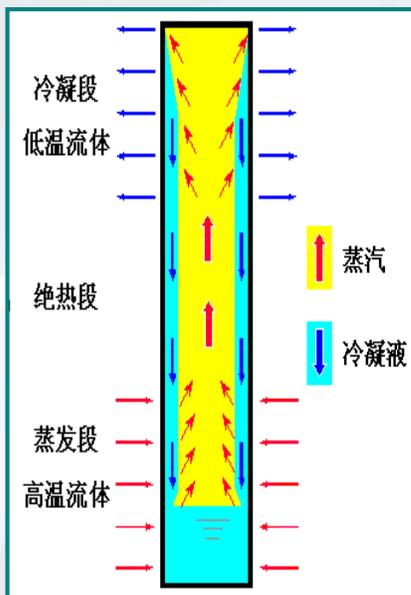
自然冷源利用效益/代价: (与站址气候特征强相关)

1. 围护结构热传导: 低投入低维护 / 安全隐患
2. 新风热交换: 高效能 / 维护成本高
3. 热管热交换: 高效能 / 性价比良好
4. 氟泵热交换: 高效能 / 性价比优(压缩氟泵混合)
5. 干空气能利用: 高效能 / 水消耗、维护成本高

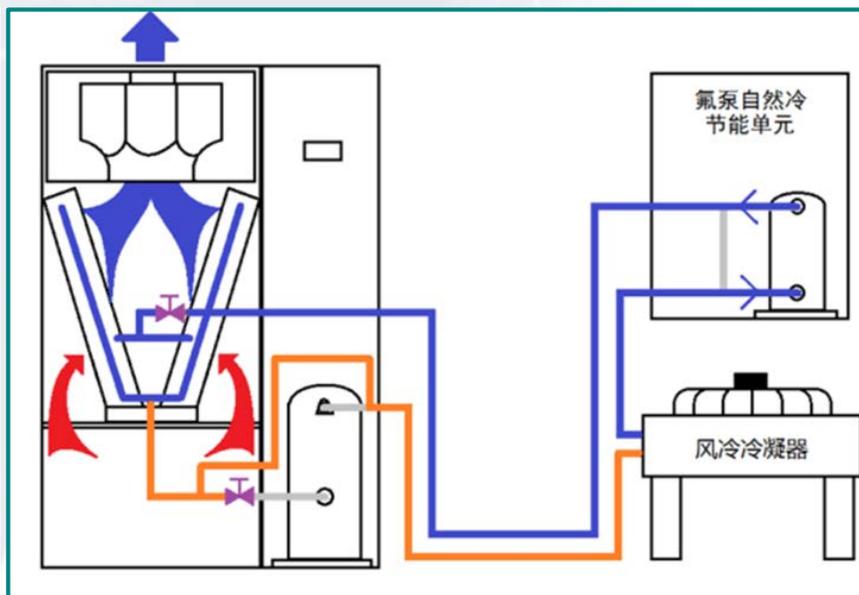
围护结构传热



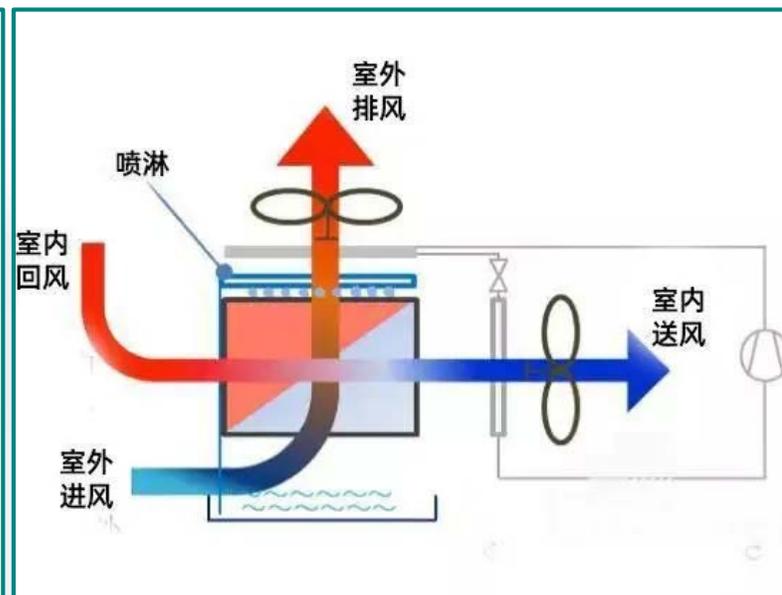
热管换热



氟泵制冷循环



间接蒸发制冷



3. 机房节能基本方法概述——气流组织优化

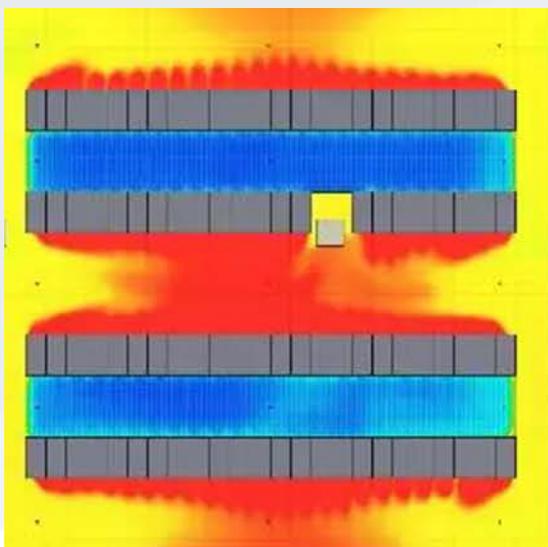
气流组织优化方法：

1. 冷热通道封闭：针对高热密度场景，冷通道封闭：通过强迫低温气流提升热源换热效率；热通道封闭：与低温环境一次换/混热；
2. 重点热源气流强化：通过辅助风机/导流装置强化关键设备气流，同时提升机房控制均温；
3. 气流通道风阻优化：过滤网维护、室内外风道阻隔清理、交会气流调整等。

气流组织优化效益/代价：

1. 提升换热效率，降低气流驱动能耗和热耗散损失；
2. 提升暖通设备使用效率和寿命；
3. 定期进行气流组织状态评估；
4. 机房热密度上升，可实施冷热通带封闭改造。

冷通道封闭



辅助通风



过滤网更换



3. 机房节能基本方法概述——最佳效率寻优

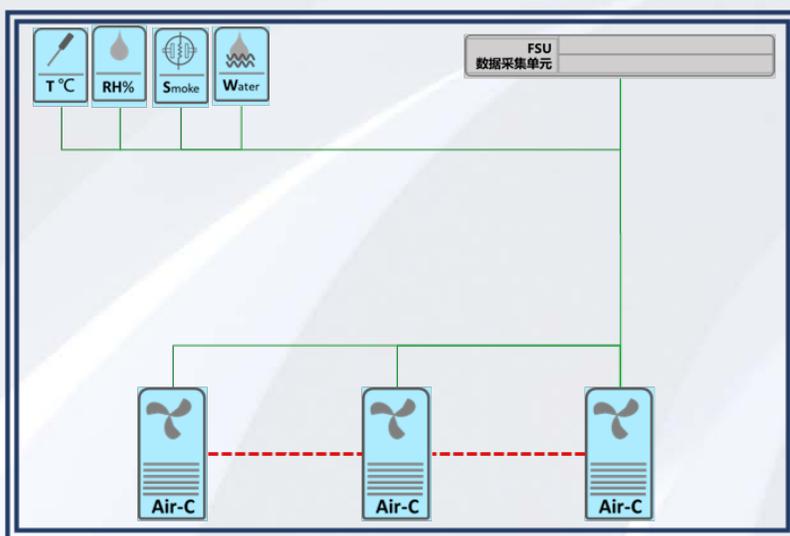
最佳效率寻优方法:

1. 空调设备群控: 对于变冷量空调组, 通过群控策略, 通过对群组空调运行排产, 保证在产空调处于最佳功率点; 对于定冷量空调组, 群控主要作用是延长空调启停周期;
2. 暖通设备群控: 组合压缩制冷与自然冷源利用设备, 实时预测自然冷源可用度, 优化自然冷利用与空调整冷联动逻辑, 最大化利用自然冷源设备制冷;
3. 动态利用维护结构传热: 动态调整机房控制温度、气流辅助, 最优利用围护结构传热能力;
4. 融合关键点温控: 确定机房内关键温控点并跟踪测量, 在保证关键温控点换热需求的前提下开展机房温度动态控制。

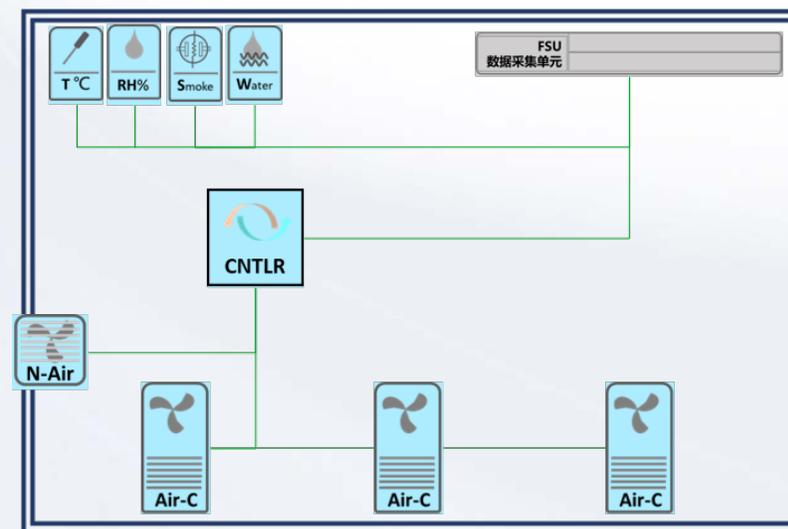
最佳效率寻优的效益/代价:

1. 提高暖通设备效率, 最大限度降低暖通能耗;
2. 数智化解决传统运维过程无法参与的热管理问题, 如管理节能、能效评估、智能运维等;
3. 为能源管理合同提供技术和数据支撑, 实现可信交易;
4. 基于专业模型或AI算法应用, 按站施策, 用最小的成本实现机房持续节能。

多机组自组织群控方案(单一品牌空调)



第三方物联网群控方案(多品牌空调)



4. 高新兴机房热管理方案——云边协同AI调优方案

方案面向的问题点：

1. 是否存在机房节能差异化结果的共性数理逻辑，即智能分析的基础？
2. 能否确认机房围护结构在机房节能中的影响和展开利用？
3. 如何动评估机房能耗、能效状态，节能措施的效果，节能改善空间？
4. 如何有效展示衡量机房管理节能与节能管理的直接与间接价值，阐释机房数字化、智能化热管理必要性？
5. 现有动力设备与环境监控系统在机房热管理的作用和缺陷，如何构建低成本演进方案？

方案要点：

1. 将外环境、机房建筑、电气设备、暖通设备作为一个完整的湿热环境系统管理；
2. 将自然冷源作为重要资源和空调冷源一同管理；
3. 按照机房面积、热密度、电热耗散热流、气流组织方式分类管理；
4. 边缘/站点：通过智能边缘控制器/网关实现实时站点热管理；
5. 云端/中心：为边缘控制器提供公共数据、共享策略支持，组织协同调度和运营、分布式站点的集中管理。



适用场景：

1. 各类土建、彩钢机房、基站；
2. 大型机楼独立通信、数据机房；
3. 微模块数据中心、集装箱储能单元。

4. 高新兴机房热管理方案——云端EMS和边缘EMU



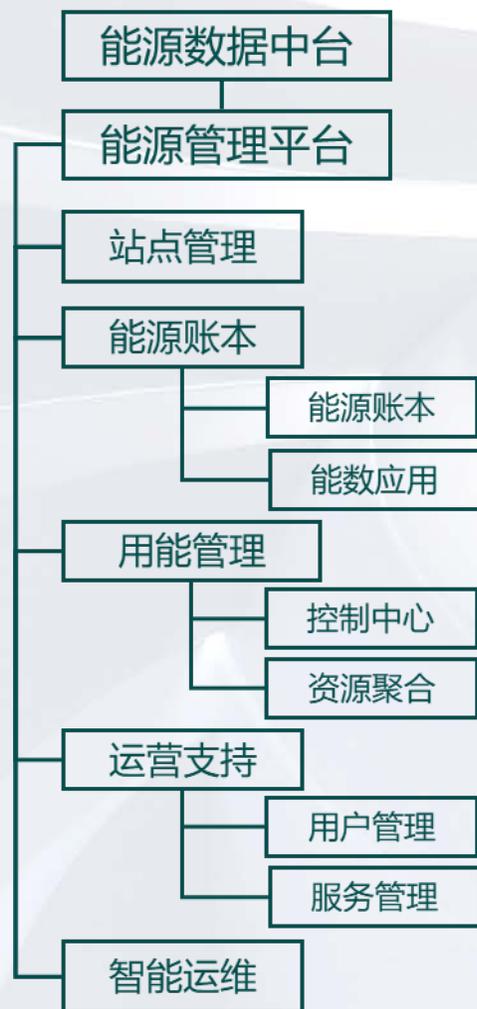
云端 能源管理系统 (EMS)

(能源数据底座+应用平台)



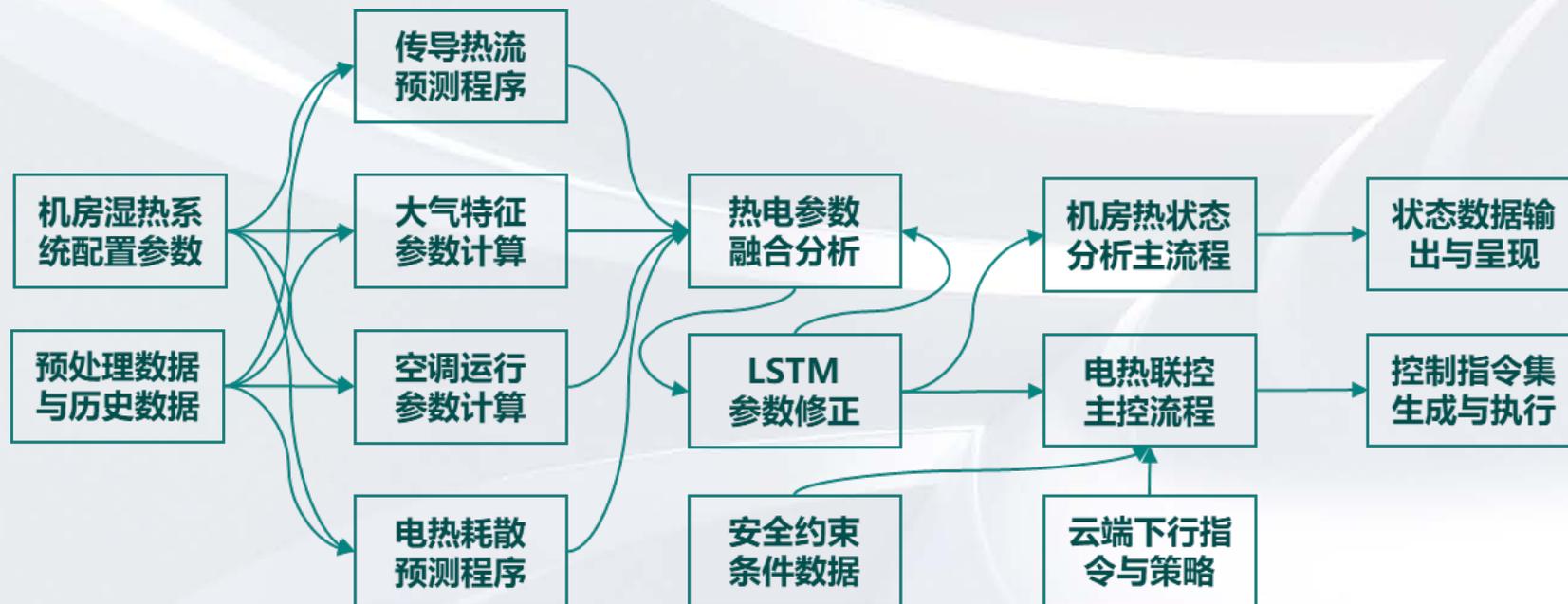
边缘 智慧能源网关 (EMU)

(兼容FSU+边缘智能)



CPU处理器	ROCKCHIP RK Cortex-A55 四核处理器, 主频高达2GHz, 外置RAM/ROM, 具有GPU、NPU, 算力1T
操作系统	Ubuntu操作系统
内存	LPDDR4 标配 2/4/8GB
存储器	EMMC 5.1 标配 8/16/32GB
可扩展存储器	可通过TF卡扩展32GB, 支持SSD固态硬盘
串口	8路独立的串行智能设备接口, 4路RS232/RS485通用接口, 4路RS485通用接口;
串口扩展	2个扩展槽位, 可扩展8路串口
HDMI接口	支持
DO	4路DO, 1路为可选, 其它为常开, 触点容量2A/30V DC
AI/DI	8路AI/DI 接口, 支持标准电压型或电流型输入, 默认电压型 电压型: 0~5V (DC12V供电); 电流型: 4~20mA
可扩展AI/DI/DO	2个槽位, 可扩展16路AI/DI
USB	4路USB接口
无线通信	支持2/3/4G全网通无线通信
以太网接口	4路100M/1000M
扩展网口	2路10M/100M/1000M
扩展光口	1路
工作电源	单电源DC48V型 双电源AC220V型

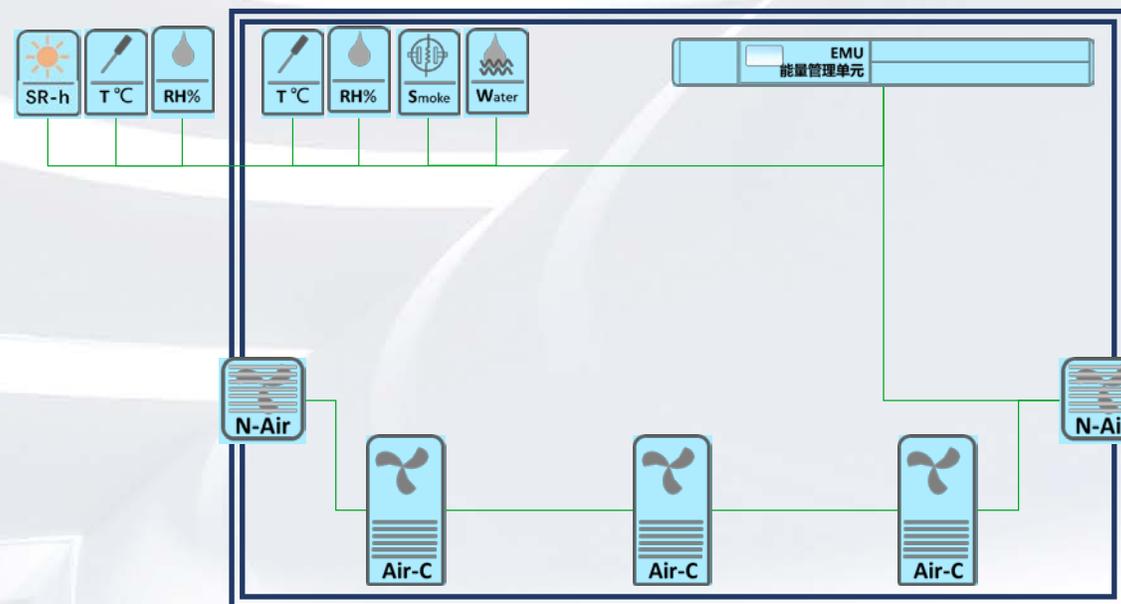
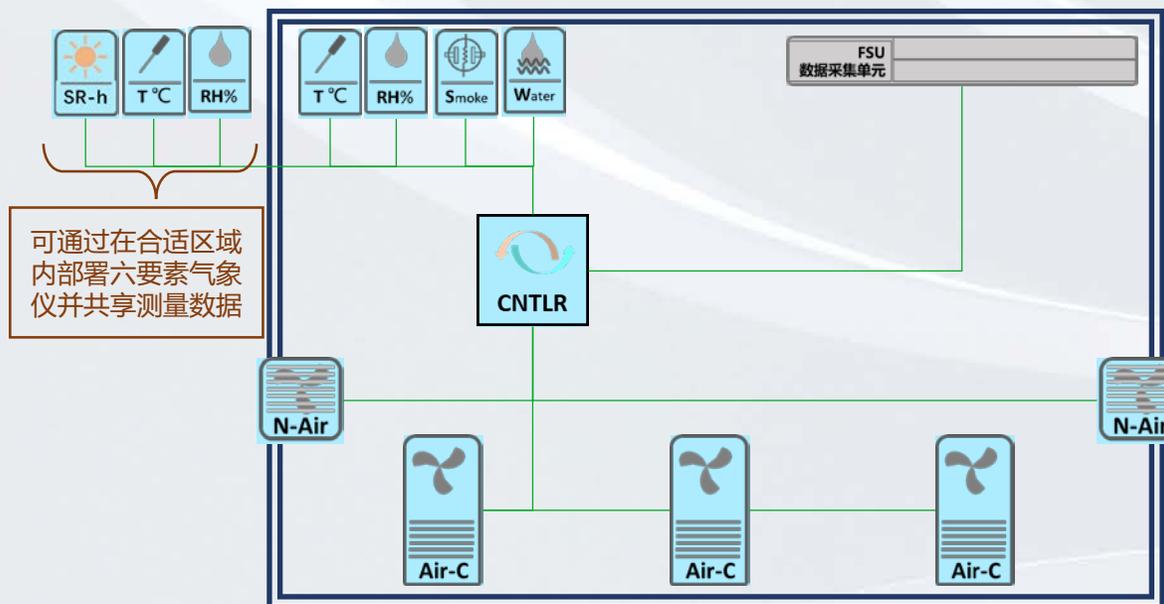
4. 高新兴机房热管理方案——边缘热电联控算法与流程



算法特点:

1. 采用灰箱模型：最大程度解耦参数相关性，奠定AI分析极简、收敛、普适、实时的基础；
2. 跨学科技术融合：算法融合了传热学、工程热力学、建筑物理学、气象与气候学、空调技术、AI技术、IoT技术、控制技术等众多学科与关键技术。

4. 高新兴机房热管理方案——边缘网关/控制器的部署方式



方式1. 存量机房部署智能电热联控控制器:

- 传统动环设备FSU部署保留，增加部署智能环境控制器；
- 已有与新增环境测量IOT、暖通设备通信割接到控制器，动环需要的暖通数据通过控制器透传；
- 控制器作为智能设备通过FSU与云端后台数据交换。

主要优势与劣势:

优势：可不依赖后台与周边数据独立进行湿热环境管理和节能运行；

劣势：电能热耗散数据缺失，控制算法收敛需要更长时间数据积累。

方式2. 存量或新建机房部署智慧能源边缘网关:

- 智慧能源网关兼容传统FSU的所有功能，同时具备边缘计算能力；
- 所有智能设备和IOT设备迁移到边缘网关，替换掉FSU；
- 在后台或底端对边缘网关进行参数配置。

主要优势与劣势:

优势：①维持组网拓扑与布线不变；②边缘网关可承载存在更多应用；③实时单站全方位能源管理，电热联控。

劣势：与传统动环相比，需要配置的参数和设定的参数更多。

4. 高新兴机房热管理方案——机房能效与可改善性评估(自定义参数)

指标名称	符号	指标描述	计算方法
动态电能利用率	dPUE	可测量或计算的短时间周期内的PUE值, 机房一般有备电或储能存在, 充放电时PUE会有比较大波动, 这是dPUE的真实状态, 也反应储能设备对电热耗散的跨时空影响。	某计算时间段内, 机房消耗电能量与机房通信设备用电量之比
空调组合能效比	tEER	机房多台空调运行时,组合表现出的制冷系数。组合制冷系数是对空调群控效果的评估系数, 是体统级评价系数而非设备级系数。	某时间段内, 空调组输出的冷量与空调耗电量的比值
气流组织效率	ADE	机房内气流循环合理性的综合评价。考虑建立机房温度场、气流场模型和实施计算的高成本和非必要, 提出了一种动态指标, 某时间段内机房冷热总量对冲需要提供的辅助能耗, 并考虑储放热的影响。	$(\text{冷负荷} + \text{制冷量}) / (\text{暖通设备功率} - \text{压缩机功率})$
自然冷然流量	NCS	单位时间内自然冷源传导与对流进入机房的能量。热流入为正(冷负荷), 流出为正, 包含围护结构传热与渗漏、直接利用自然冷源设备制冷/热量。也可定义为机房冷负荷与压缩制冷量或集中供冷量的差额。	机房冷负荷减去机房压缩制冷量或机房冷冻水制冷量=机房围护结构传导与渗漏热流量加上自然冷源直接利用设备导入制冷量之和。
能效可改善空间	EIS	以绝对最高能效1为基准, 某机房所在地域最高月均气温的月PUE为上限, 之间的差距为能效改善空间。能效改善空间为动态值, 增加为能效恶化、减少为能效改善。	上年度机房属地月均气温最高月份的月PUE值-1

4. 高新兴机房热管理方案——机房热管理与运维协同

序号	关键词	协同关键要素描述	协同支持运维内容
1	气流组织	计算气流组织效能系数，并对系数各维度的影响解耦，发现气流组织动态波动的关键点。	判定气流组织合理性，提出气流组织优化建议；
2	不确定负荷	正常运行时，机房内因环境、负荷波动造成的不确定负荷量会是一个期望值稳定的随机过程，只有在冷负荷发生比较大测量与拟合差距时产生突变。	判定是否有非机房内负荷搭接，确定是否存在偷电行为；小型机房开门时可能形成不确定负荷波动。
3	湿热突变	机房湿度伴随冷负荷量发生突变，一般是其它热、湿源进入机房。	湿度突变可能湿机房发生漏水或门窗开启，需要配合围护工单与门禁联合验证。
4	能效恶化	在没有特别维护措施实施的情况下，机房动态和静态PUE持续趋势性下降，同时组合制冷系数恶化	判定机房暖通设备维护相关要素变坏，可提示和触发维护行动。
5	故障预警	通过参数拟合结果判定模式切换失败、非制冷空调调度异常等，并分析剩余制冷能力安全性	支持非智能暖通设备故障判定，辅助智能设备故障告警，同时做出安全预警。

4. 高新兴机房热管理方案——支持EMC的热管理逻辑



为了降低机房能耗，长期以来，各种节能措施在机房内部署和运行，为机房节能减排提供两有效支持，但也面临一些问题：

1. 节能措施的效果评估一直比较模糊，缺乏绝对可行的数据支持；
2. 第三方公司想通过投资参与节能减排的EMC，在节能核算上没有比较好方法，导致业务推进困难，甚至导致投资损失。

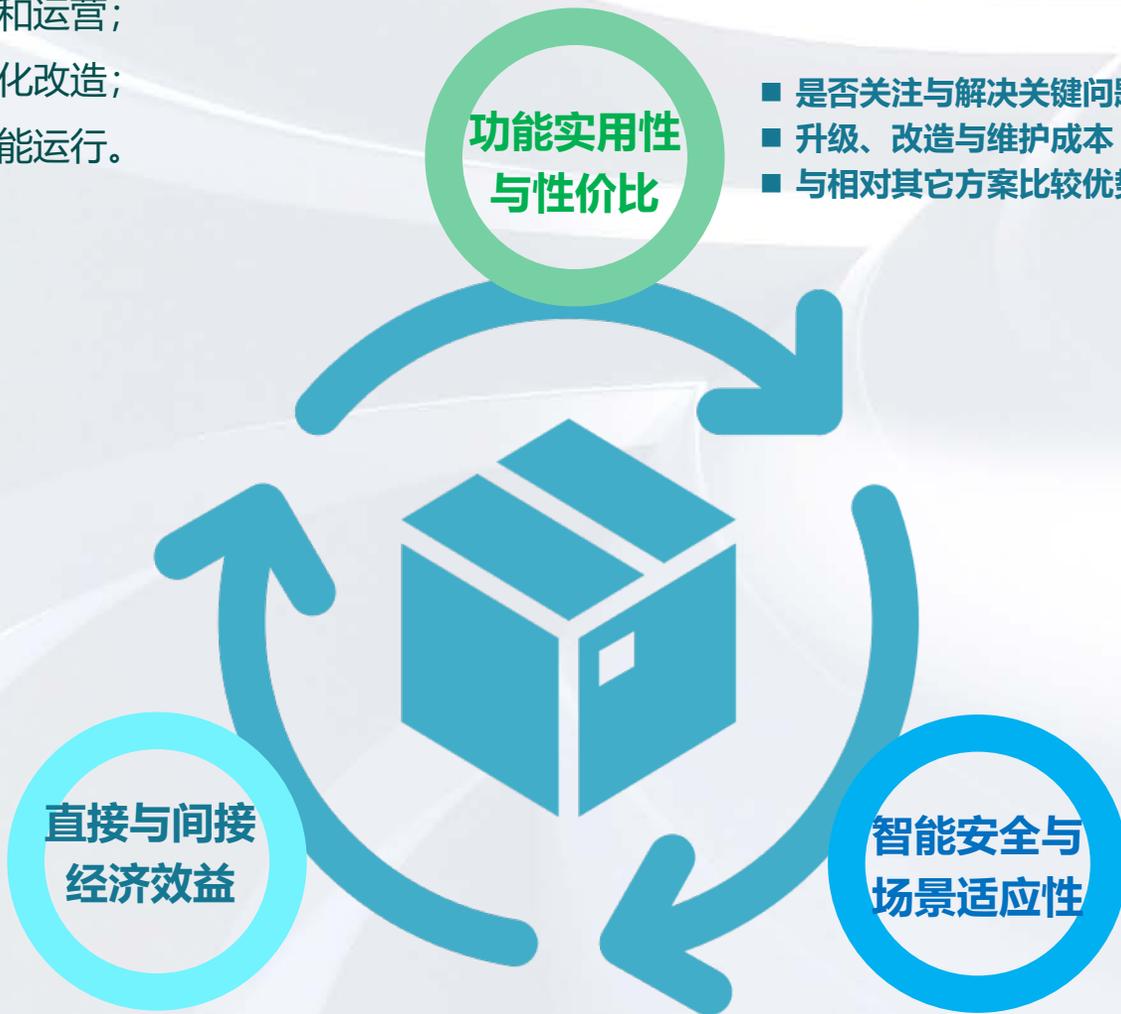
高新兴方案：

1. **方案特点：**在不考虑围护结构传热与机房渗漏的前提下，任何方式的节能效益计算是不可信的，本方案是计算自然冷源利用的绝对值，无需通过参考日进行核算；
2. **基本原则：**仅考虑直接冷源利用设备对自然冷源的利用，剔除管理节能的贡献；
3. **基本描述：**自然冷源利用设备导入机房的冷量，单位 Kwh或KJ；
4. **计算方法：**直接计算自然冷源利用设备运行时段产生的冷量；
5. **校验方法：**计算时段机机房冷负荷+围护结构导入热量-暖通设备输出制冷量；
6. **效益核算：** Σ 自然冷源设备导入冷量*对应时段电能价格*能效折算系数。

4. 高新兴机房热管理方案——方案应用效果评估维度

高新兴热管理解决方案业务支撑范围:

1. 全面支持机房节能改造、运维和运营;
2. 支持站点能源数字化、微电网化改造;
3. 支持存量暖通设备智能调优节能运行。



功能实用性 与性价比

- 是否关注与解决关键问题
- 升级、改造与维护成本
- 与相对其它方案比较优势

直接与间接 经济效益

- 节能管理的价值所在, 如政策契合、新质生产力等
- 管理节能的效益呈现, 如短中长期关键参数的改善, 实际能耗的变化趋势等

智能安全与 场景适应性

- AI技术的应用与可靠性
- 安全策略是否复合规范
- 面对复杂机房场景的自适应能力



技术交流可联系：

陈汉洲：13603089960/18665328669(微信)

张永亮：18520660219/13928910729(微信)



GOSUNCN
高新兴

THANKS

谢谢观看



公众号



视频号

高新兴科技集团股份有限公司
GOSUNCN TECHNOLOGY GROUP CO.,LTD.

中国广东省广州市黄埔区科学城开创大道2819号 邮编 510530 www.gosuncn.com
+86 020 32068888 (电话) +86 020 32032888 (传真) 股票代码 300098