

分质供冷技术在大型枢纽中的应用实践

Application Practice of Quality-Segregated Cooling Technology in Large Hubs



报告人

戎向阳

—中建集团首席专家

—中建西南院暖通总工

2026.5

主要汇报内容



1. 分质供冷技术背景

2. 分质供冷技术特点

3. 实际工程应用案例

4. 总结与思考



1.

分质供冷技术背景

节能降碳的政策背景

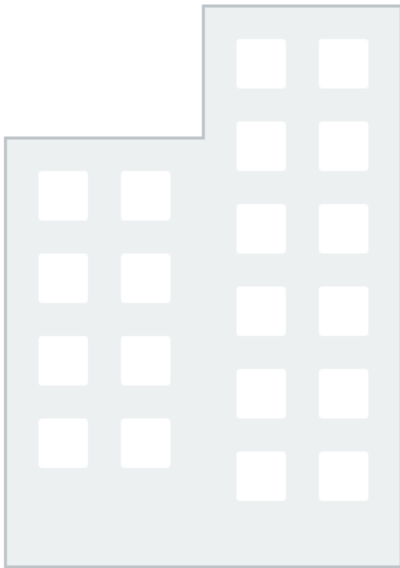
.....

大幅提升制冷空调系统 能效，降低运行能耗

1. 加快用能产品设备和设施更新改造。动态更新重点用能产品设备能效先进水平、节能水平和准入水平，推动重点用能设备更新升级，加快数据中心节能降碳改造。与2021年相比，2025年工业锅炉、电站锅炉平均运行热效率分别提高5个百分点以上、0.5个百分点以上，在运高效节能电机、高效节能变压器占比分别提高5个百分点以上、10个百分点以上，在运工商业制冷设备、家用制冷设备、通用照明设备中的高效节能产品占比分别达到40%、60%、50%。

1、分质供冷技术背景

实现目标的途径



典型大型公共建筑

暖通空调系统能耗占比



- 暖通空调 (冷热源、输配、末端)
- 照明与插座 (25%-30%)
- 电梯与动力 (10%-15%)
- 其他设备 (5%-10%)

※ 暖通空调是建筑节能的第一关键环节

高效设备

冷水机组

永磁同步机组
磁悬浮变频机组
...

水泵

永磁同步变频泵
磁悬浮/直驱泵
...

冷却塔

闭式冷却塔
永磁同步风机
...

末端

EC风机盘管
大风量低阻AHU
...

合理设计

高效系统

系统形式

末端

优化设计

泵组设置

控制策略

控制逻辑

参数匹配

参数匹配

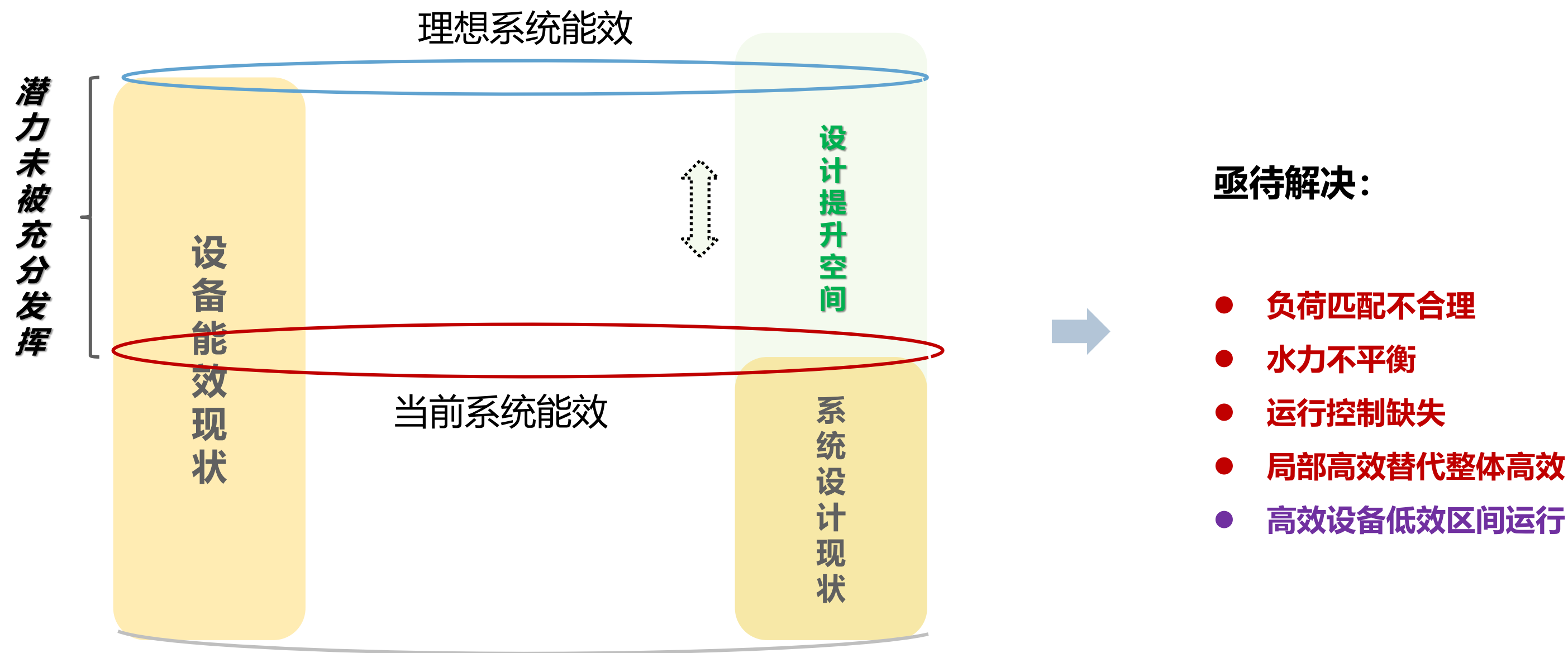
管控平台

管控平台



1、分质供冷技术背景

系统运行能效现状



唯有从整个系统出发，“合理的设计+高效的设备+专业的运维”全链条提升，才能实现真正意义的高效系统！



2.

分质供冷技术特点

2、分质供冷技术特点

系统形式及特点

01. 理论原理

传统系统痛点：过度依赖7℃冷源
为满足除湿(潜热)需求，整体制备 7℃ 低温冷水，导致处理显热负荷时存在巨大的高品位能量贬值与冷热抵消。

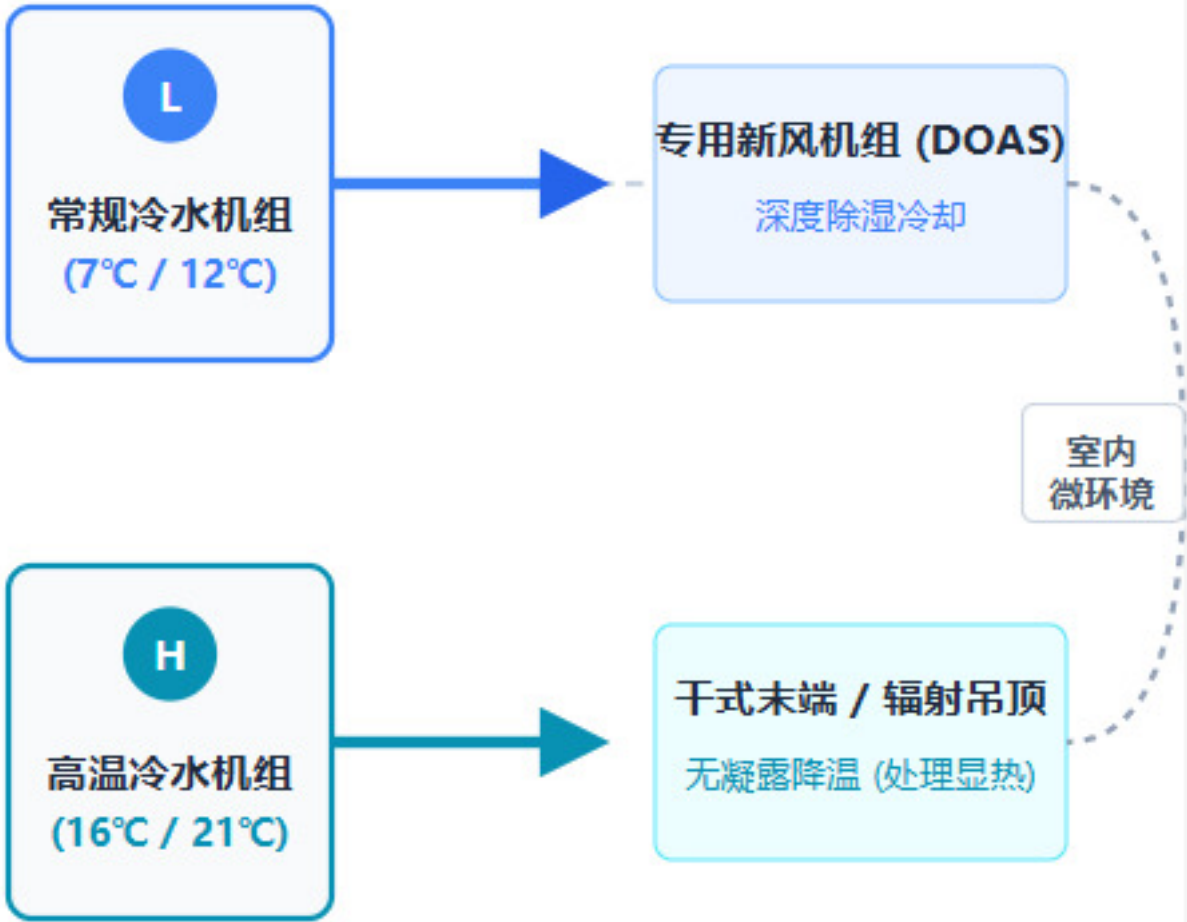
分质供冷机制：温度对口，梯级利用

潜热负荷 (除湿) ≈ 30%
使用 7℃ 低温冷水专门处理

显热负荷 (降温) ≈ 70%
使用 16℃~18℃ 高温冷水处理

“梯级利用，分质供冷”

02. 典型系统架构：双冷源拓扑



扩展形式：多品位冷源串接使用的全空气处理过程
将空气处理过程分为若干段，分别提供适配的冷水，分段处理空气；从而降低品位需求，减少换热火积耗散，典型的方式为双表冷器全空气系统。

03. 特征

- ① **源侧能效大幅提升**
蒸发温度每提升1℃，冷水机组能效提升约3-4%
- ② **消除冷热抵消损耗**
无需像传统全空气系统那样过冷除湿后再利用加热器再热
- ③ **室内环境质量提高**
避免“湿冷”或“干热”，末端干工况运行杜绝霉菌
- ④ **自然冷源利用时间延长**
由于显热负荷水温要求高达16℃过渡季节可大大延长冷却塔免费供冷

2、分质供冷技术特点

技术优势

分质供冷：大型交通枢纽空调高能耗的有效解决构架之一

大型枢纽（机场、高铁站）具有高大物理空间与强流动的人流特征，传统空调系统能耗巨大。

分质供冷技术通过冷源的梯级利用，一方面**减少空气处理的火积耗散**，另一方面**总体降低了冷源品位**，有效提高冷源制备的能效，实现舒适环境与节能的平衡。



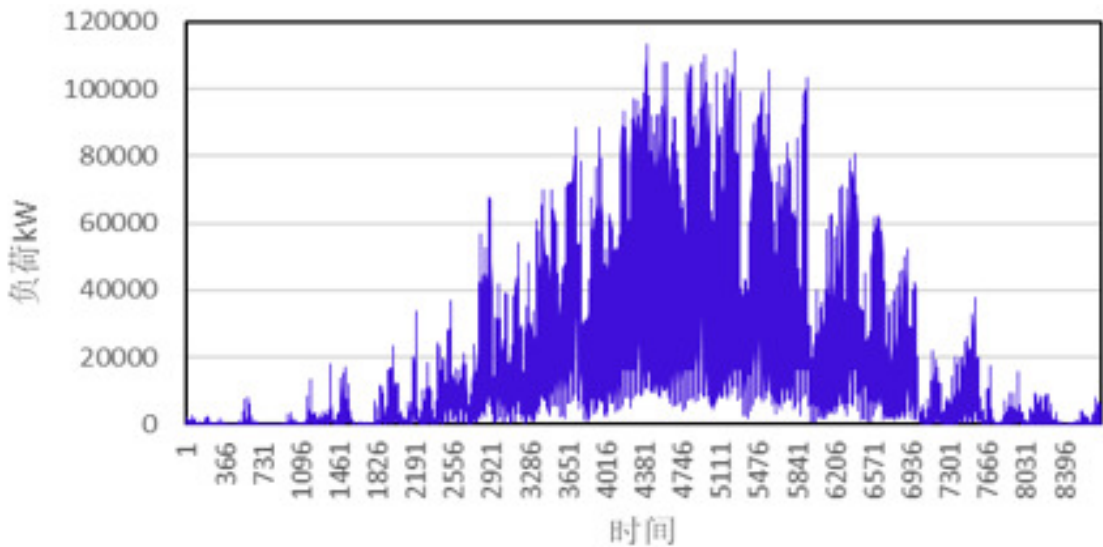
特点一：高大空间、显热负荷大

- 枢纽多采用高大空间+全玻璃幕墙，日照辐射造成大量显热负荷。
- ✓ 分质供冷利用高温冷水搭配干式末端处理显热，或多表冷器分级处理的全空气系统，降低冷源品位需求



特点二：客流潮汐引起潜热负荷变化大

- 旅客密集且流动性极强，带来湿负荷（潜热）的波动，传统系统难以很好兼顾降温与除湿。
- ✓ 分质供冷利用独立除湿或分级除湿的方式承担潜热，实现全时段湿度控制，提高环境舒适度。



特点三：运行周期跨度大

- 大型交通枢纽需高强度连续运行，传统冷源耗电大。
- ✓ 采用分质供冷可通过调节不同品位冷源的供给比例，最大限度提高低品位冷源的使用，同时拓宽冷却塔免费供冷时间，减少能源消耗。

2、分质供冷技术特点

分质供冷的设计方法

1

负荷解耦

剥离潜热与潜热负荷

具体方法

- 分别独立计算各功能区域
- 显热负荷 (人员/设备/结构)
 - 潜热负荷 (散湿/新风)

设计关键

- 精准确定**显热潜热比例**
- 为多级冷源的容量配比提供基础数据支撑

2

冷源构建

按需设置冷源品位

具体方法

- 按需分质供冷
- 高温冷机处理显热，提升能效
 - 常温冷机，负担除湿与新风处理

设计关键

- 优化装机容量，高温冷机供冷占比通常可达60%~70%
- 最大化利用高温冷源

3

末端匹配

除湿降温功能组合

具体方法

- 末端系统组合
- 潜热与显热分别处理—**温湿度独立控制空调系统**
 - 多品位串接处理—**多冷源多表冷器的全空气系统**

设计关键

- 优先使用温湿度独立控制
- 全空气系统按负荷特性，实现分质处理

4

自控寻优

动态调节保障舒适节能

具体方法

- 部署智能化群控调度系统。
- 基于末端需求实时调控
 - 最大化利用高温冷源

设计关键

- 高温空调冷源根据末端需求，合理调配不同品位冷源的供给比例，满足室内环境控制要求；

An aerial photograph of the Tianfu Airport Energy Station, showing a large industrial complex with multiple buildings, storage tanks, and a central landscaped area. A large white number '3.' is overlaid on the top left of the image.

3.

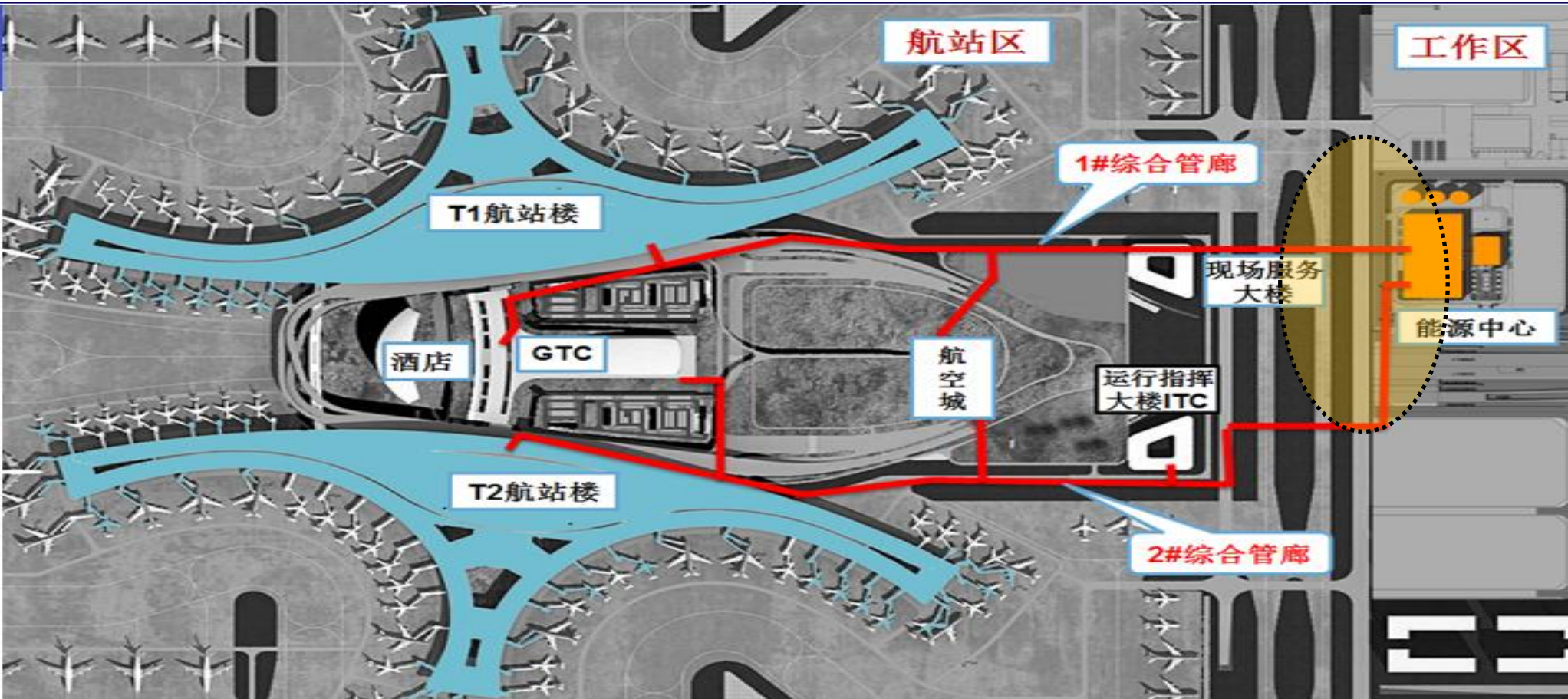
实际工程应用案例——天府机场能源站

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

供冷供热站概况

供能服务区域

- T1、T2航站楼 (合计71万m²)
- 交通换乘中心GTC
- 航空城商业
- 运行指挥大楼ITC (机房应急冷源)



供冷供热站是成都天府国际机场的重要配套工程

- 项目位于机场北侧，服务范围包括T1航站楼、T2航站楼、交通换乘中心（GTC）、运行指挥大楼机房及航空城商业，总供能面积为**101万m²**。
- 冷热水管通过1号综合管廊连接至T1航站楼，约**1100米**；通过2号综合管廊连接至T2航站楼，约**1300米**。

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

供冷供热站——设计概况

供冷供热站主要指标

- 总建筑面积28546m²
(供冷供热站设备区、附属办公)
- 主屋面标高11.5m
- 设计总冷负荷: 113.70 MW
- 设计总热负荷: 49.7 Mkw

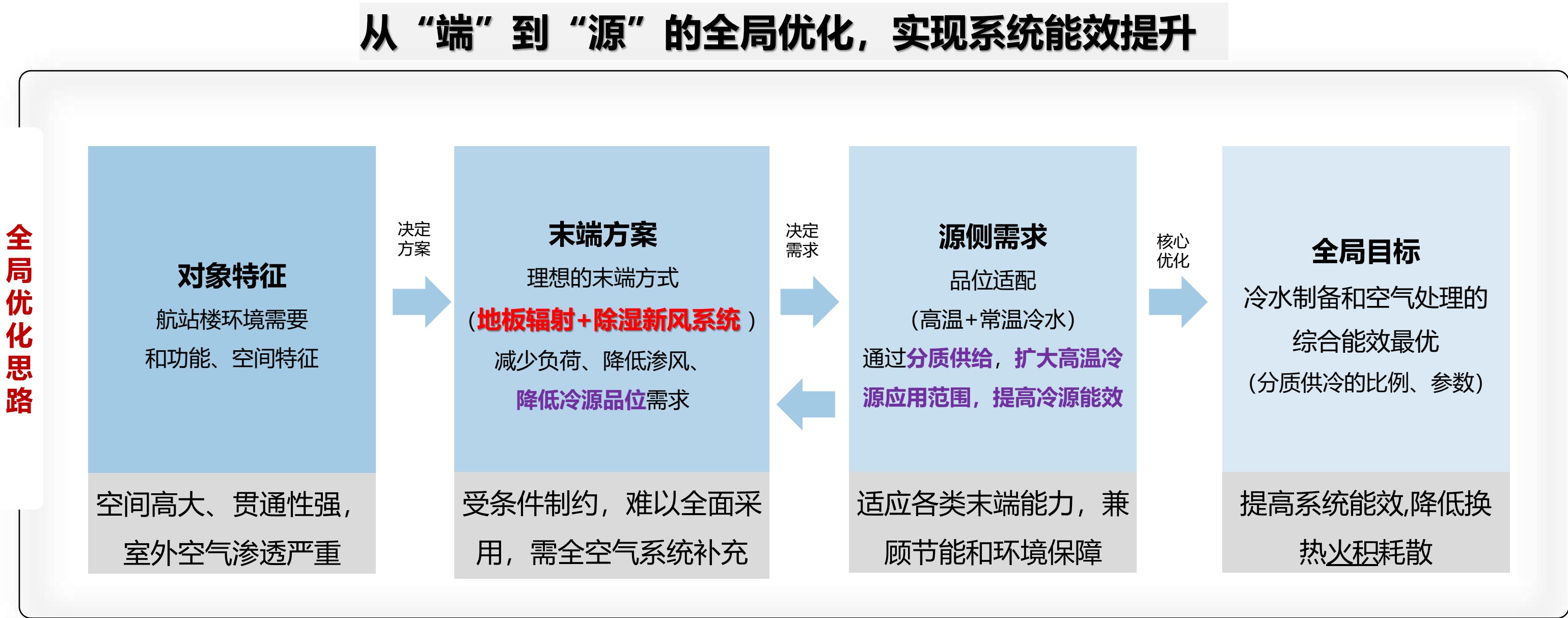


供冷供热站主要设计参数和设备

- 常温冷水系统，三级泵变流量系统，供回水温度 5/12℃
- 高温冷水系统，三级泵变流量系统，供回水温度 15.5/20.5℃
- 空调热水系统，二次泵变流量系统，源侧一级泵系统，供回水温度 76/50℃
- 常温离心式冷水机组 **11**台 (8087kW/台)
- 高温离心式冷水机组 **5**台 (5274kW /台)
- 蓄冷水罐 **3**个 (蓄冷量150000kWh)
- 冷凝低氮热水锅炉 **5**台 (14MW /台)

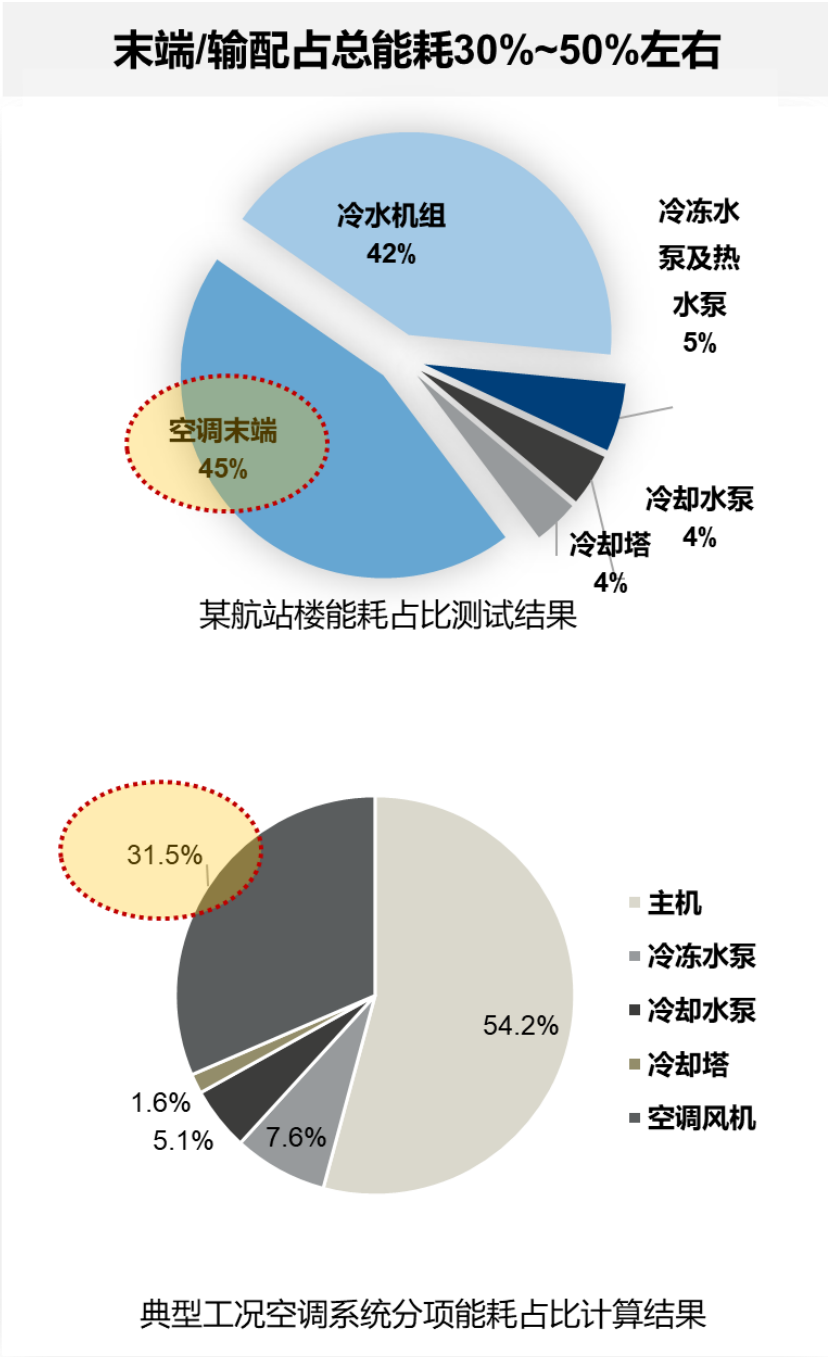
3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

设计思路——基于全局优化的思路，合理选择冷源系统

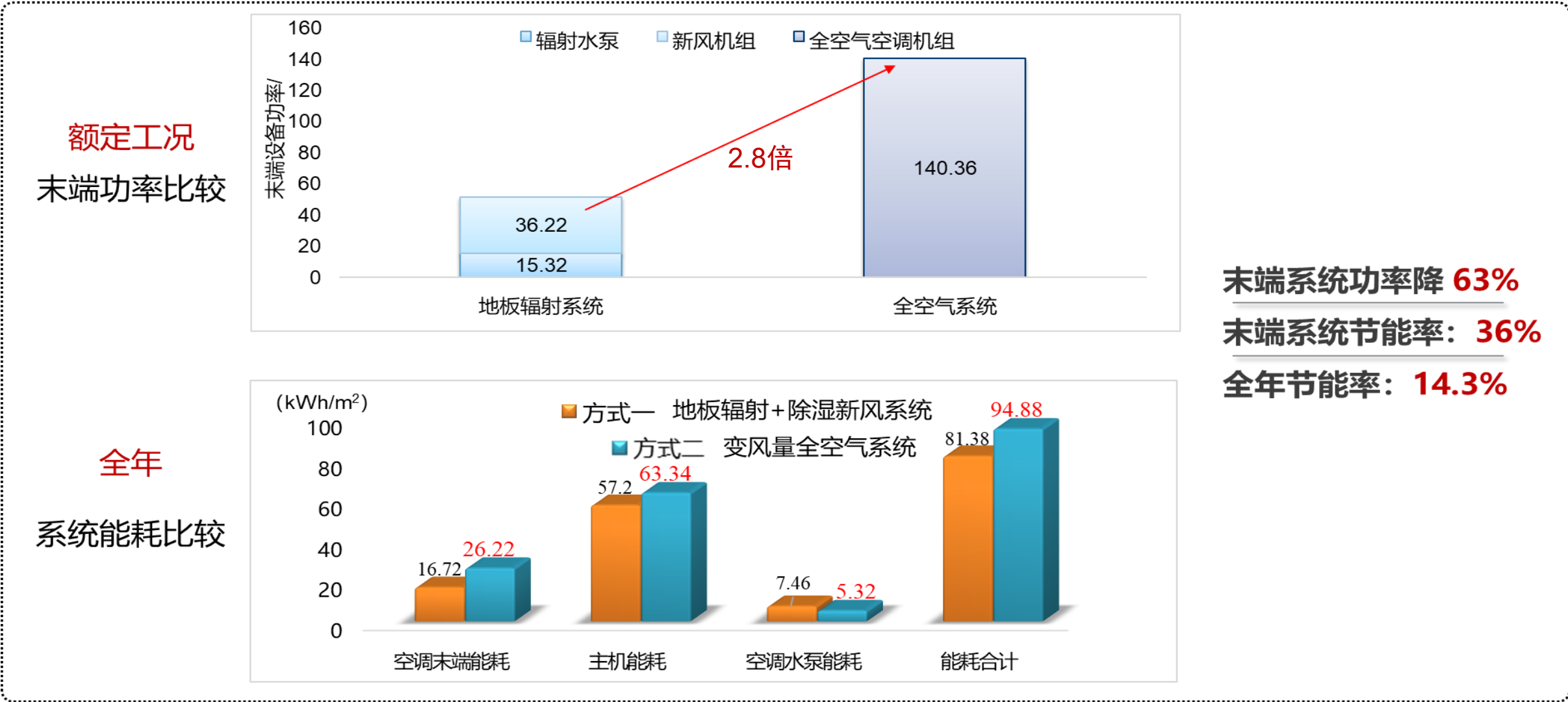


3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

系统形式——末端形式确定

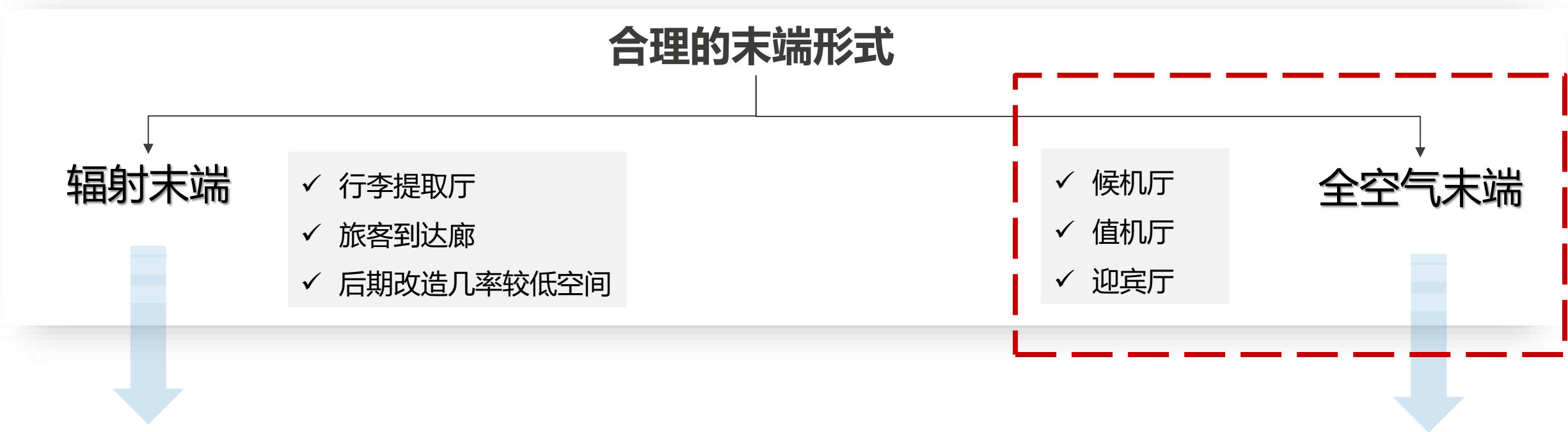


- ✓ 高大空间采用全空气系统--服务半径长、无效负荷大、冬季舒适度差
- ✓ 基于辐射的温度湿度独立控制系统节能性显著，在项目允许范围内尽量采用

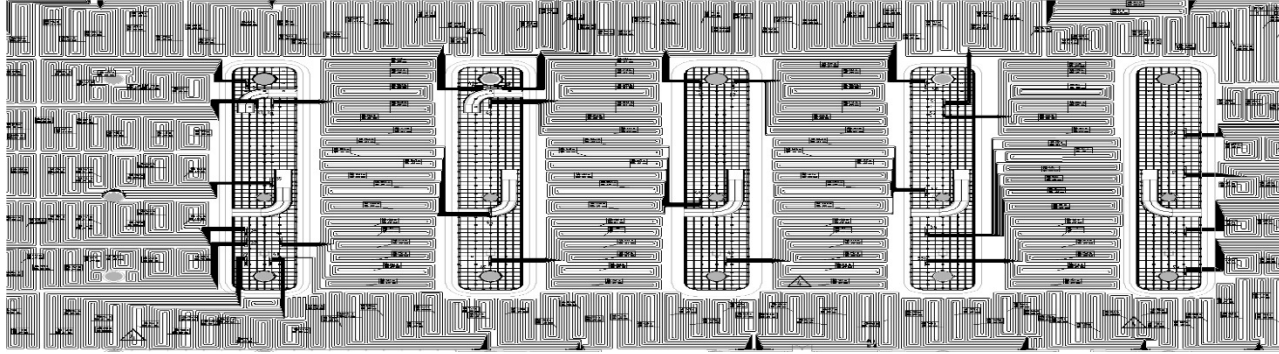


3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

系统形式——末端形式确定



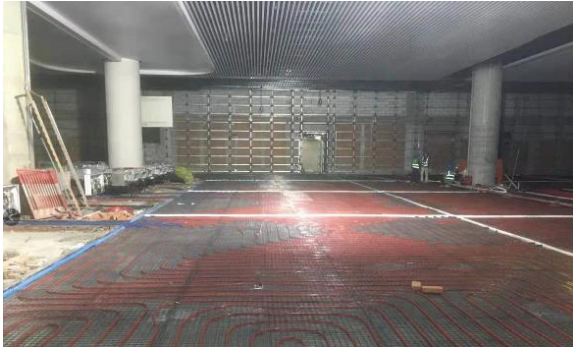
地面辐射布置图



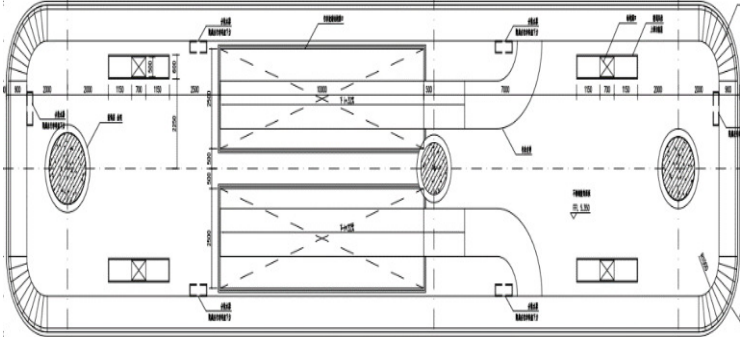
冷梁运用



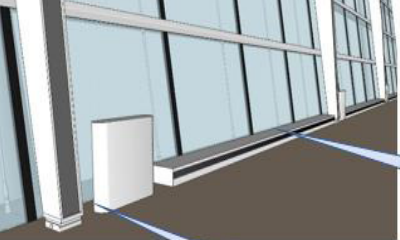
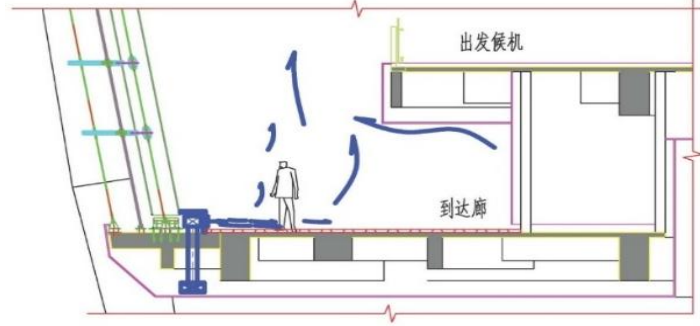
地面辐射施工现场



行李提取层分布送风装置（湿度控制系统）



到达廊地面辐射+地台送风装置

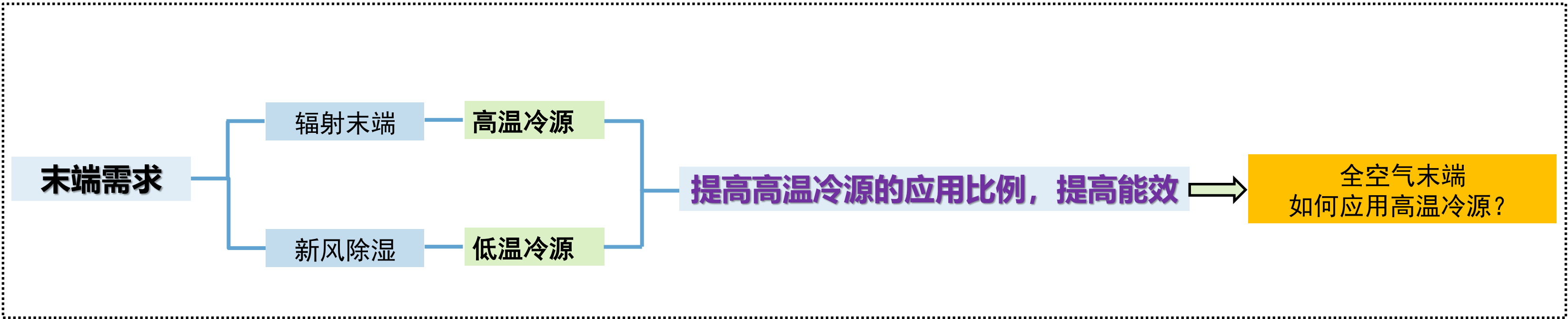


地台空气分布装置

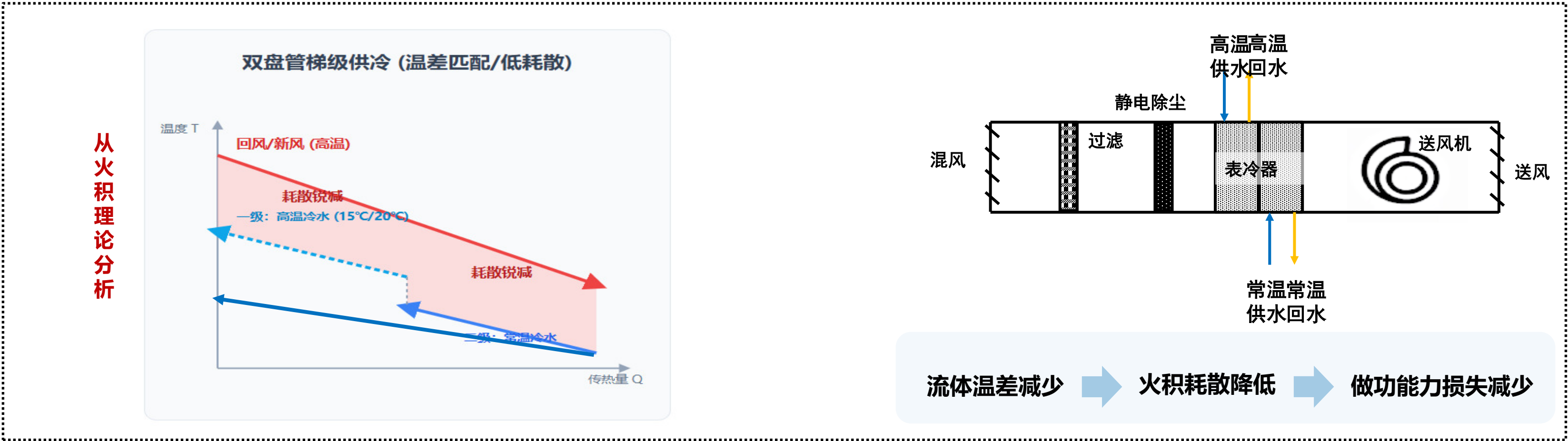
地板辐射集、分水器

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

系统形式——冷源系统架构



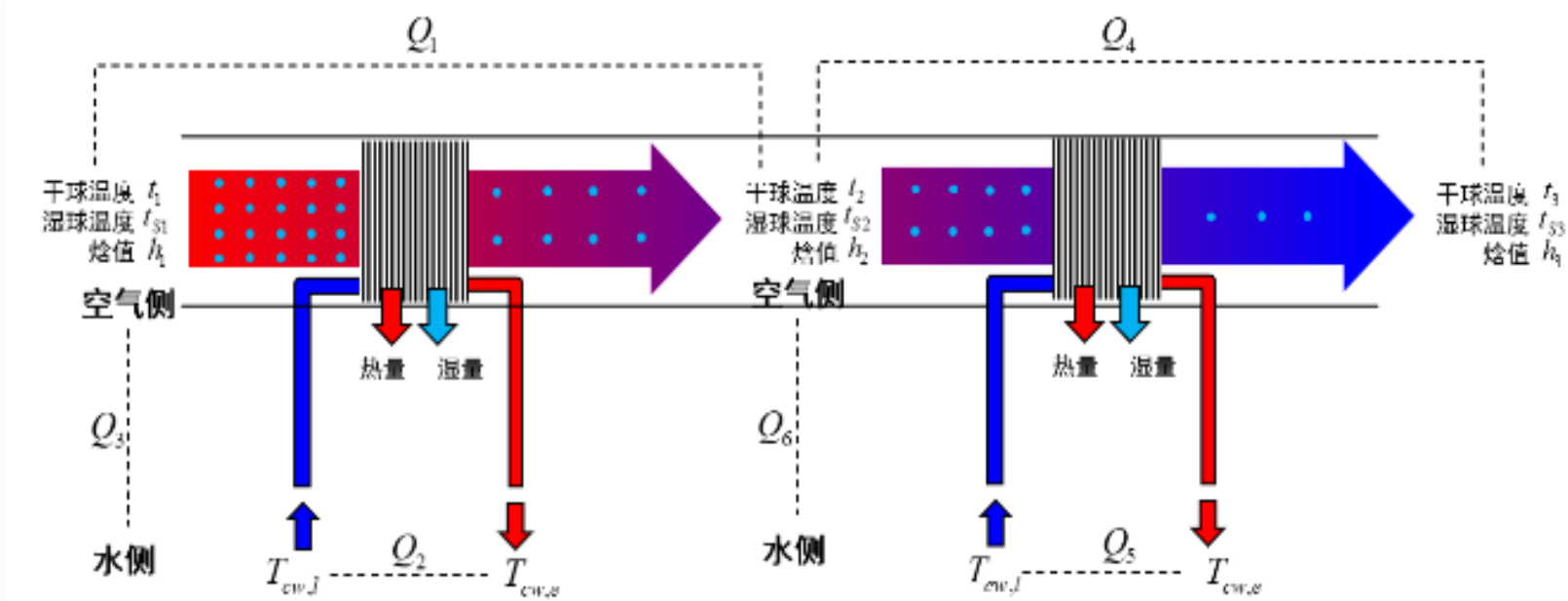
根据末端需求采取**分质供冷**路线，梯级利用，提高能效



3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

系统形式——冷源（分质冷源匹配）

双冷源空调机换热能力计算模型



$$Q_1 = G_{air}(h_1 - h_2) = G_{air}[f(t_1, t_{s1}) - f(t_2, t_{s2})]$$
$$= G_{air}[f(t_1, t_{s1}) - f(t_2, t_2 - (1 - \varepsilon)(t_1 - t_{s1}))]$$
$$Q_2 = G_{water}c(T_{cw,e} - T_{cw,l})$$
$$Q_3 = AK\Delta t_m = A\left[\frac{1}{Av_y^m \xi^p} + \frac{1}{Bw^n}\right]^{-1} \frac{(t_1 - T_{cw,e}) - (t_2 - T_{cw,l})}{\ln \frac{t_1 - T_{cw,e}}{t_2 - T_{cw,l}}}$$
$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

综合能耗，确定：
双冷源盘管数量、高温冷源最佳温度



参数优化方法

高温冷源参数优化计算逻辑步骤

1. 输入边界与总负荷

基于全年气象计算总负荷与固定的显/潜热基数。

2. 常温冷源保持7°C不变

空气除湿具硬性露点要求，由7°C冷源保底承担。

3. 分离纯显热负荷

剩余显热交由高温冷源。温度设定越高处理潜热越少。

4. 多变量迭代寻优

改变高温冷源设定(12-20°C)，综合计算全年冷源、末端综合能耗并寻极小值点。

冷源配置权衡机制

尽可能扩大高温冷源的比例

设定较低 (12~14°C)

✓ 附带除湿，处理部分湿负荷

⬇ 传热温差大，末端风水量减小

⬇ 导致：7°C冷源配置比例缩小

⚠ 代价：高温主机自身能效受限

设定较高 (16~18°C)

✓ 蒸发温度高，主机能效极高

✗ 丧失除湿，负荷向常温转移

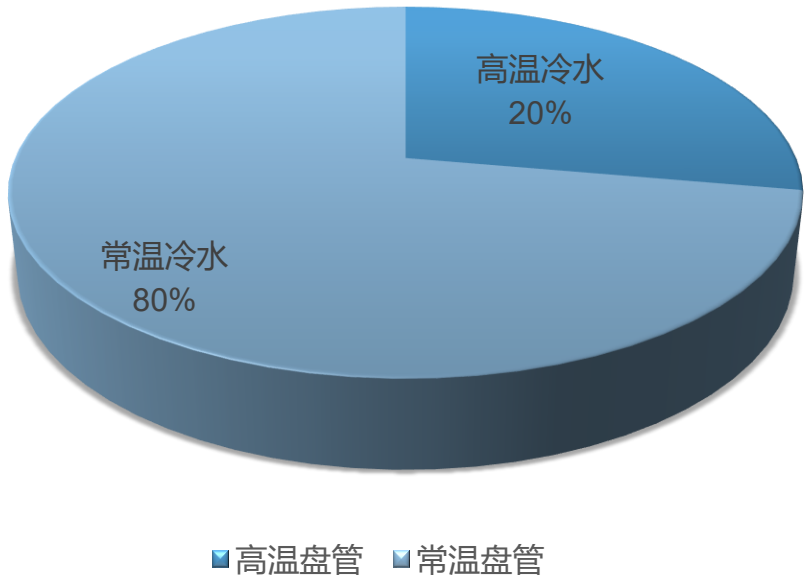
✗ 传热温差小，末端风水量激增

⬆ 导致：7°C冷源配比显著增加

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

系统形式——冷源（全年综合能效测算）

设计工况



常温水系统设计负荷 **83508kW**

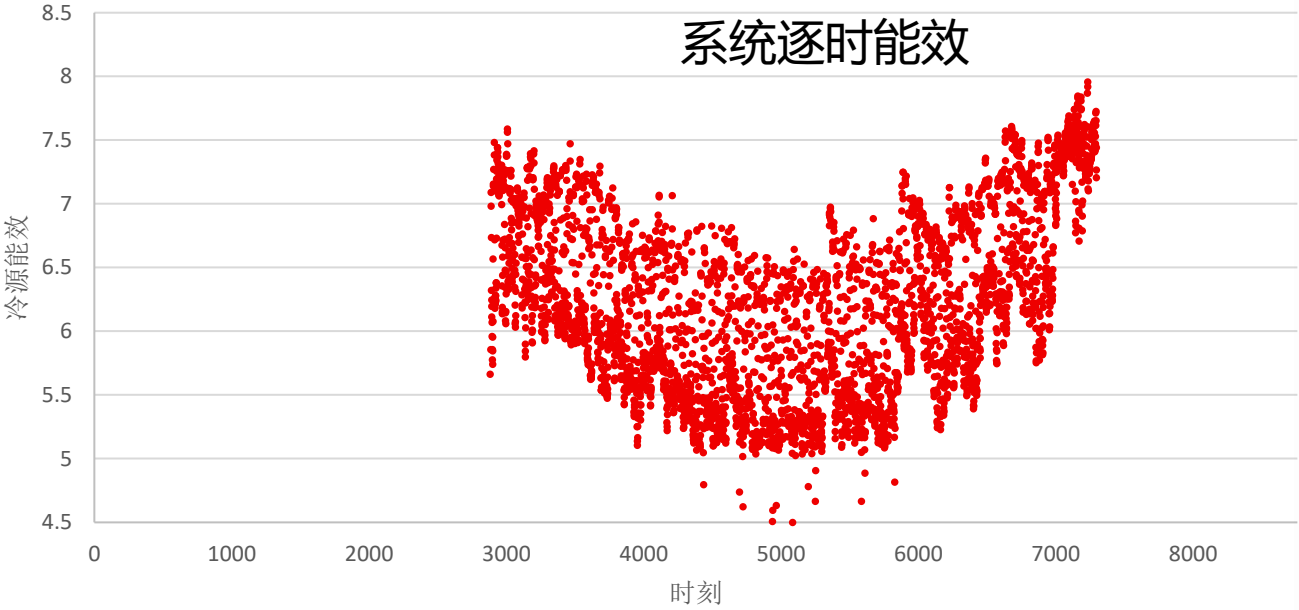
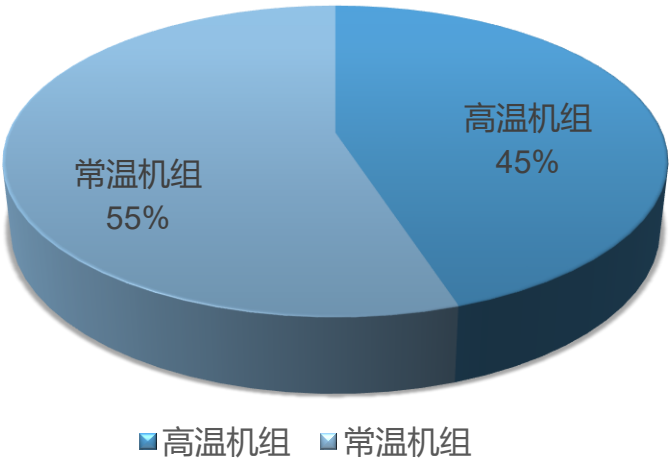
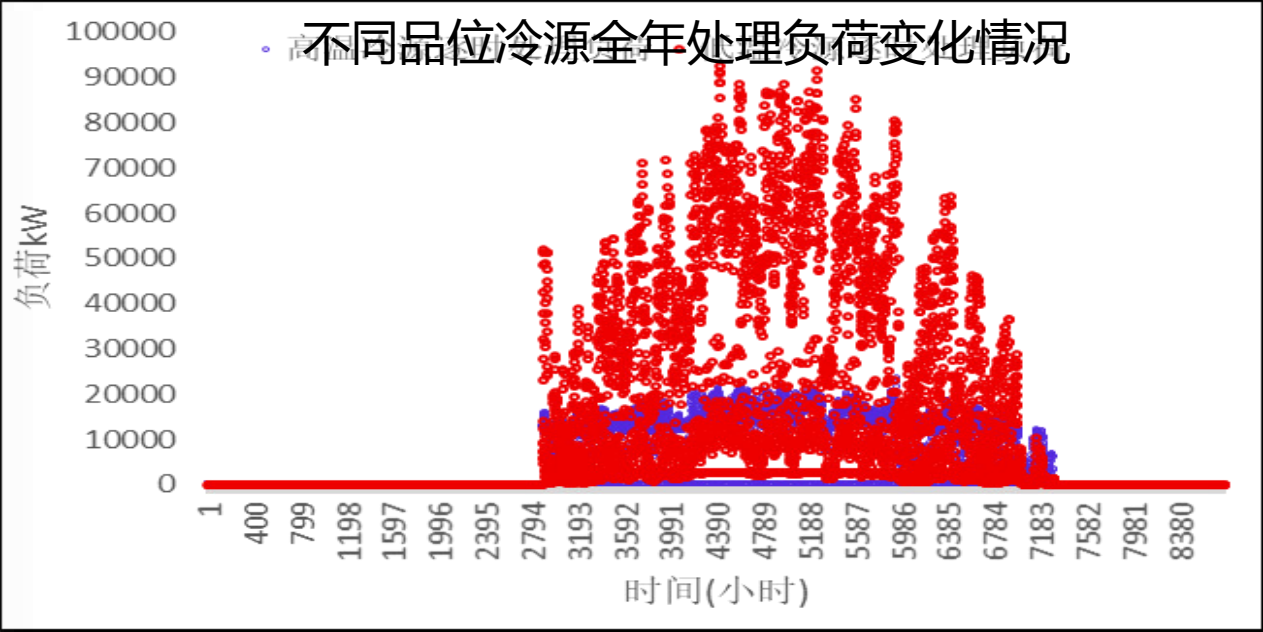
(80%的设计容量—承担55%的全年负荷)

高温水系统设计负荷 **20897kW**

(20%的设计容量—承担45%的全年负荷)

高温冷源全年供冷量提高 **3755万kWh**

全年综合

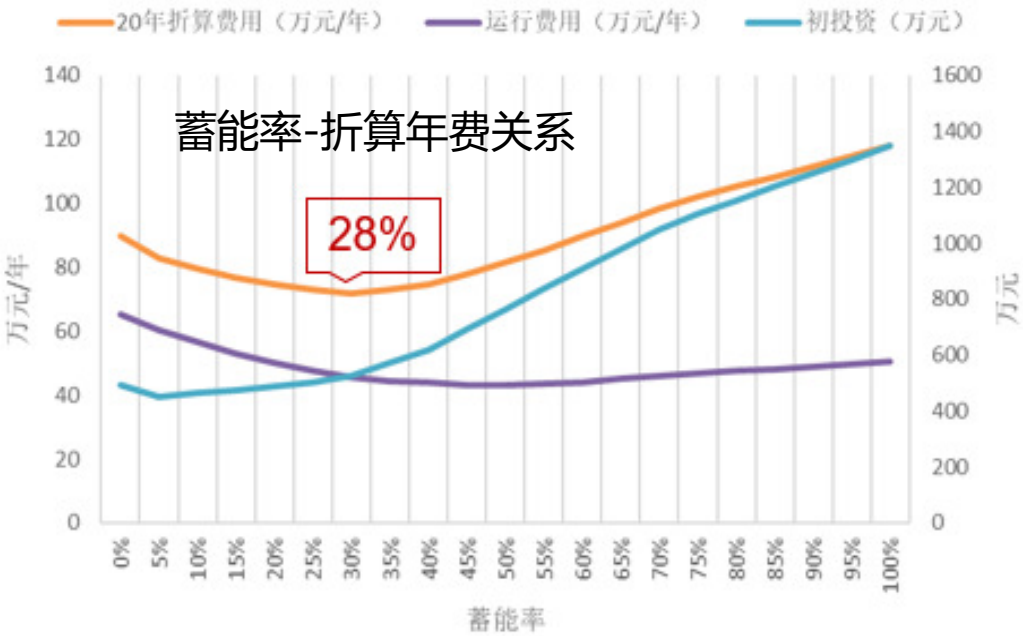


- ✓ 天府机场的累计冷负荷为10505万kWh
- ✓ 空调系统的总能耗为2759万kWh
- ✓ 冷源系统供冷能效为 **6.08** (未考虑蓄冷系统影响)
- ✓ 空调系统综合能效比为**3.8**

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

其他节能措施——水蓄冷

蓄能容量设计



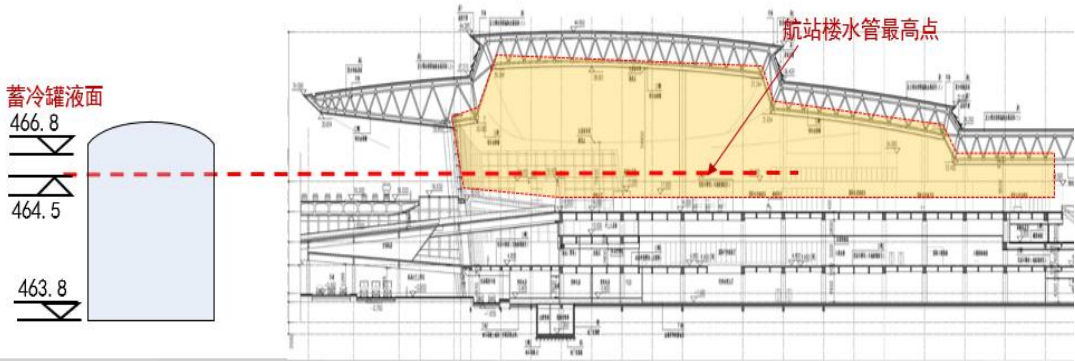
150000kWh×3台 → 30%设计日负荷

满足绿建评价要求

蓄冷系统设计

采用直接供冷方式

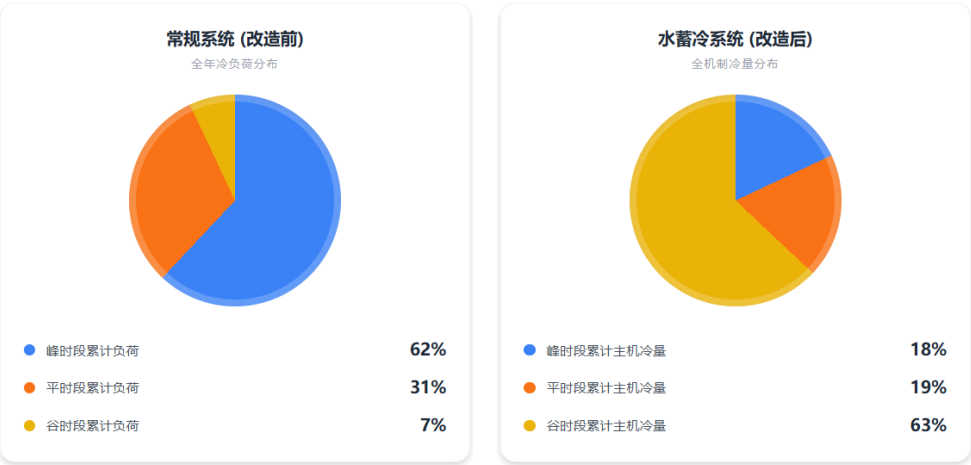
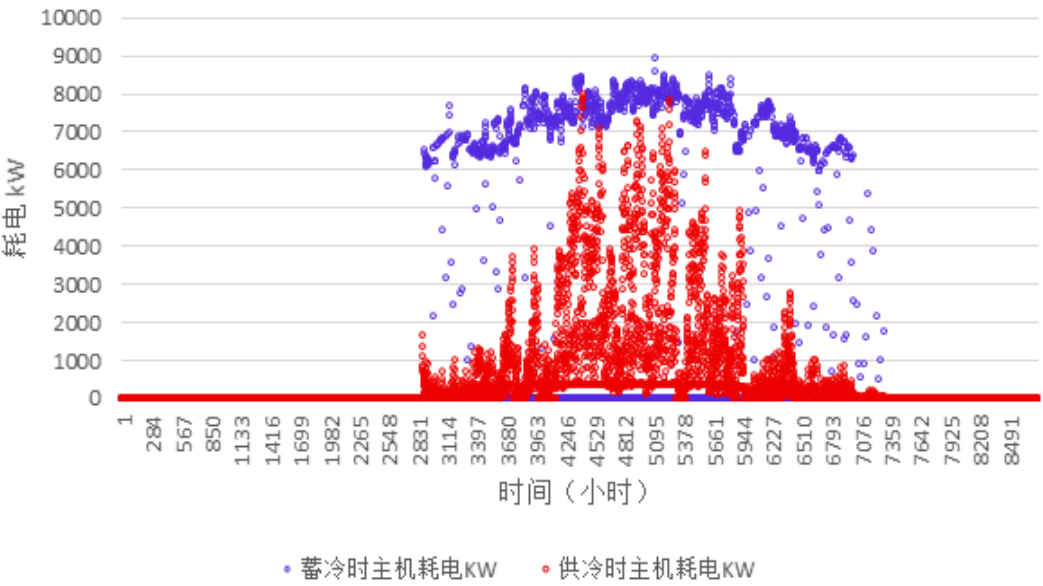
- ✓ 减少板换的换热环节，减少输送能耗；
- ✓ 避免了换热端差损失，提高主机能效；
- ✓ 利用一级泵蓄冷，二级泵释冷，系统运行简化；
- ✓ 避免板换及水泵的投资；
- ✓ 兼做二级泵系统的耦合罐作用；
- ✓ 实现定压功能。



蓄冷罐水位与航站楼系统的标高关系

节能降费

冷水机组在蓄冷及供冷的运行



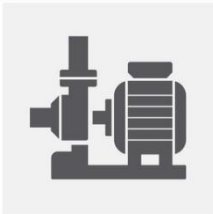
峰段电价时段--主机制冷量下降71%

平段电价时段--主机制冷量下降39%

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

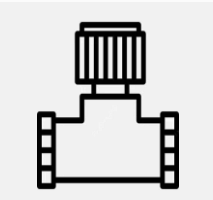
其他节能措施——管路降阻

精细化低阻管路设计



设备选型限制

- 结合各品牌冷水机组选型参数，对蒸发器、冷凝器的压降进行合理的引导性限制，**避免采购高压降设备**



阀件与管件优化

- 水泵入口采用 T形导流过滤器，对比常规过滤器加弯头，压降锐减 **46%**
- 管路广泛采用 长半径弯头 (曲率半径=1.5D) 及顺流三通等低阻管件



管路布置与施工全程把控

- 机组与水泵——对应就近布置，直进直出连接**减少常规设计上下翻弯头**
- 现场施工综合订货设备接口标高、减振配重，严格实现机与泵的“一”字型 布置

阀门及管件的局部阻力部件系数

序号	传统阀门、管件		优选阀门、管件	
	阻力部件名称	局部阻力系数	阻力部件名称	局部阻力系数
1	升降式止回阀	7	静音止回阀	1.2
2	弯头	1	90°弯头R/D=1.5	0.6
3	T型三通	1.5	顺水流三通	0.5
4	Y型过滤器	3	T型导流过滤器	0.13

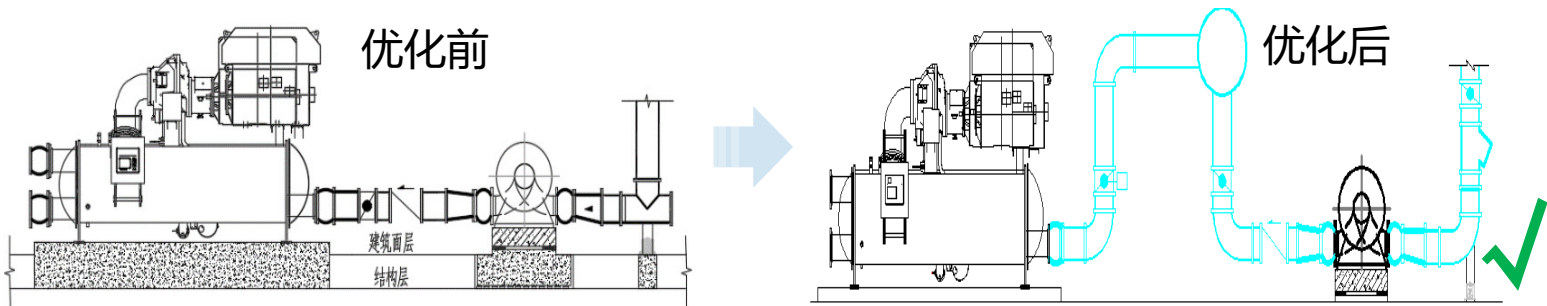
T型导流过滤器



长半径弯头



一级泵管路布置

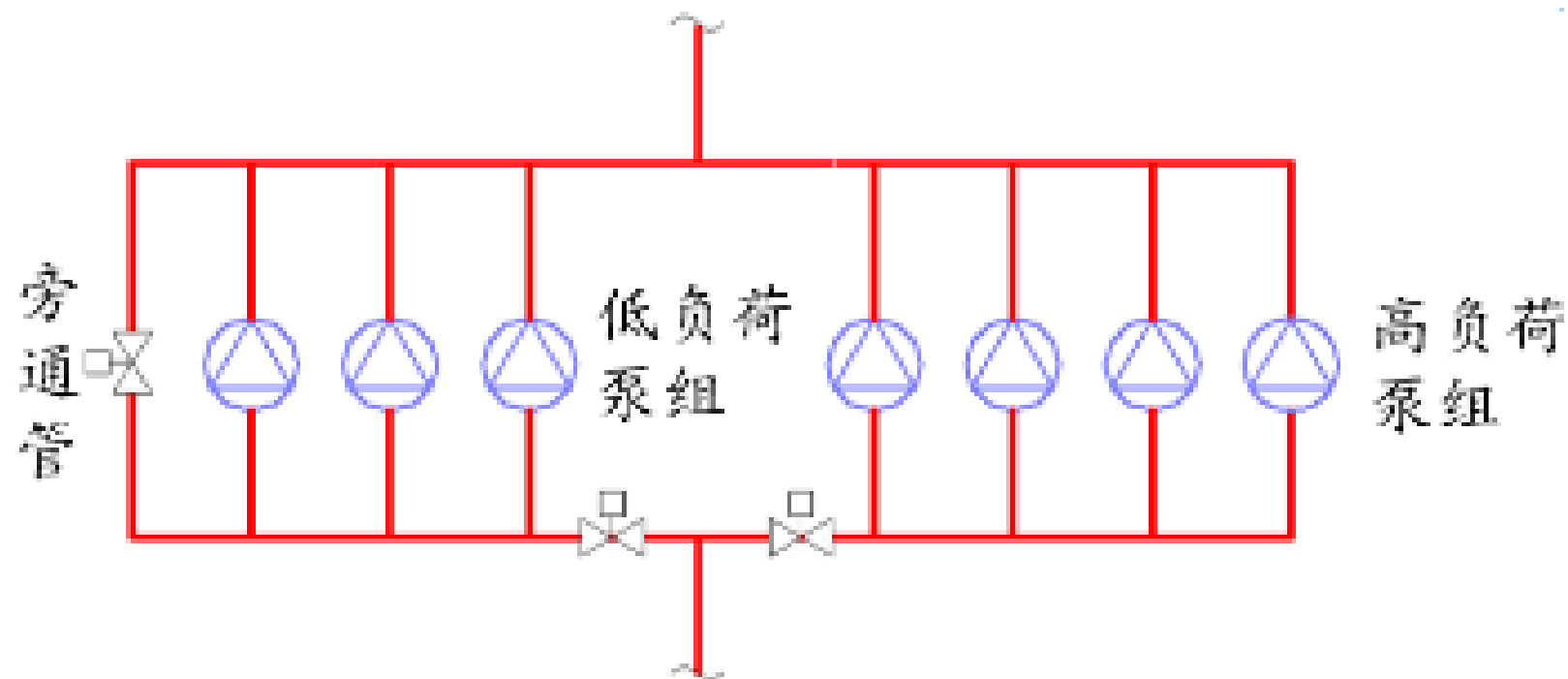


精细化设计降低阻力，一级泵系统 **335kPa → 106kPa**

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

其他节能措施——多泵组设计

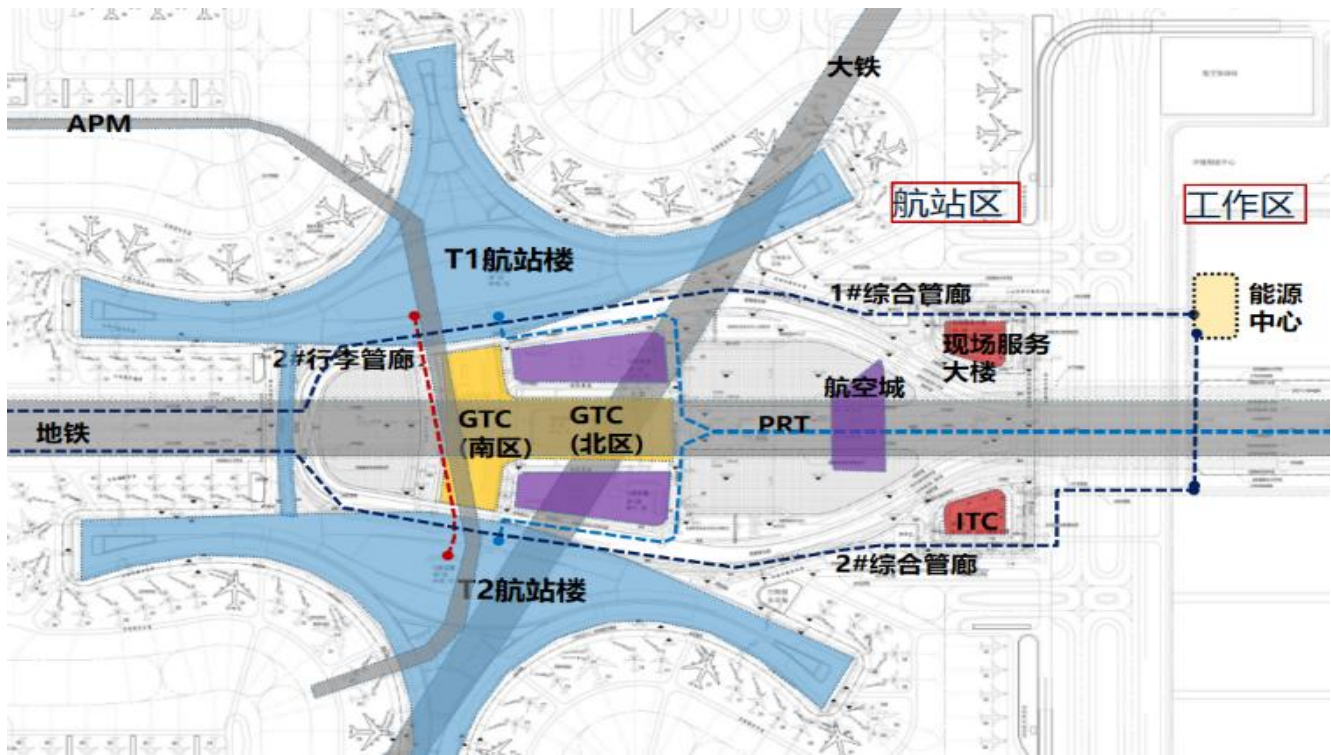
■ 针对大型管网阻力的宽域变化特性，合理设置泵组及控制策略



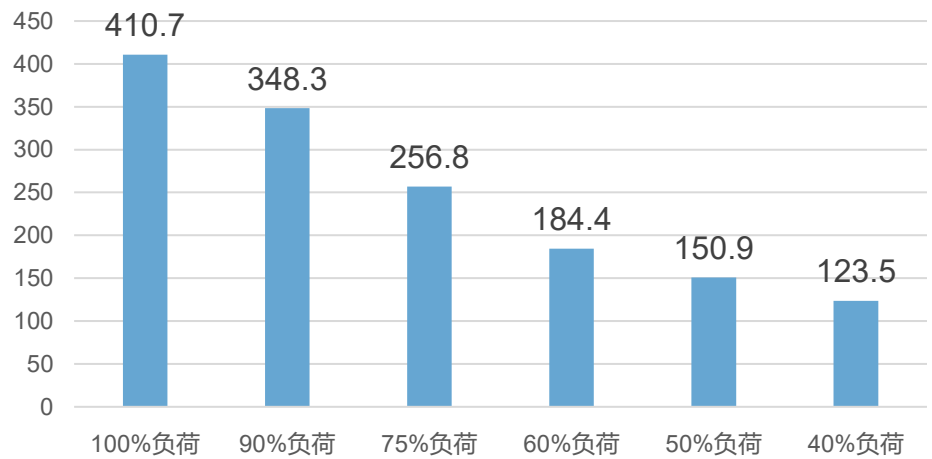
- ✓ 分设高负荷、低负荷泵组，提高水泵高效运行的域宽；
- ✓ 高负荷泵组按适应设计工况（100%负荷）选型，低负荷泵组按50%负荷下管网特性进行选型；
- ✓ 极小负荷时，一级泵能承担二级管网阻力，二级泵停运，开启旁通阀，

二级泵全负荷段效率提升 20%

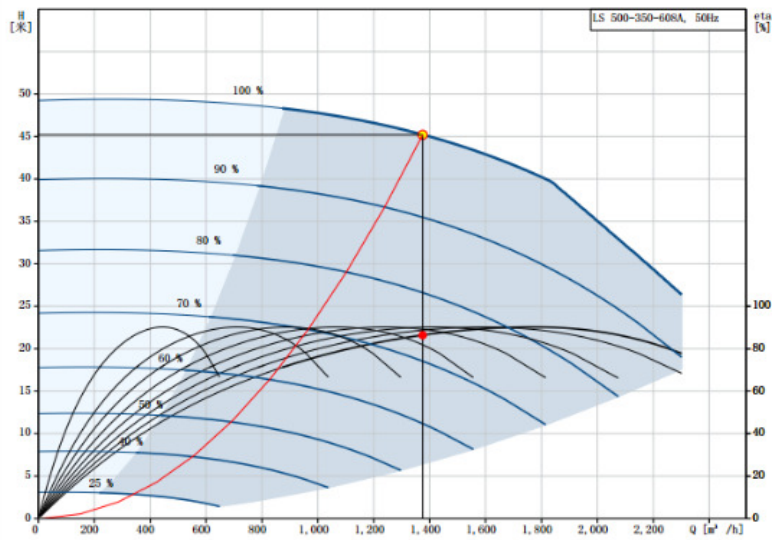
分析二级泵环路在各负荷下的阻力变化



二级泵环路管路压力降 (kPa)



50%负荷时，阻力下降260kPa。

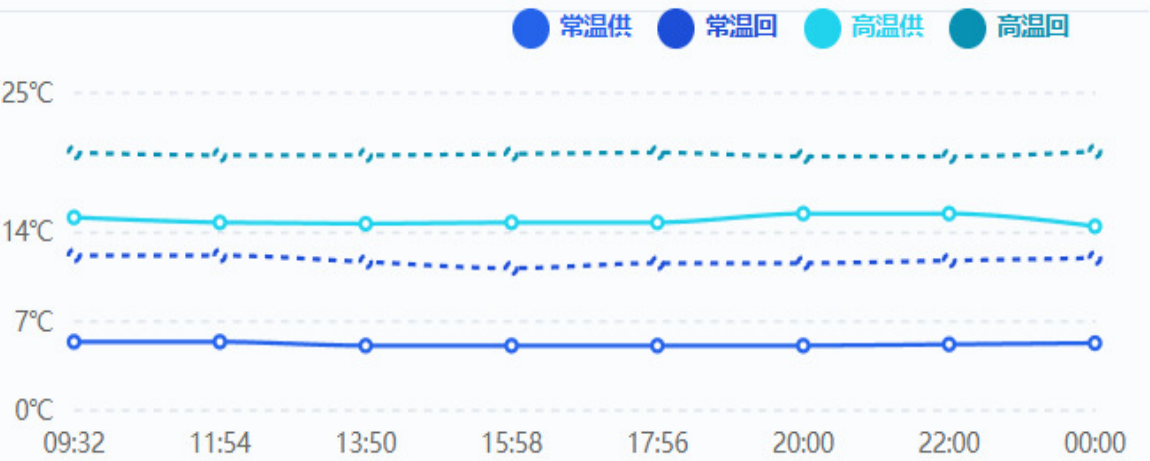


3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

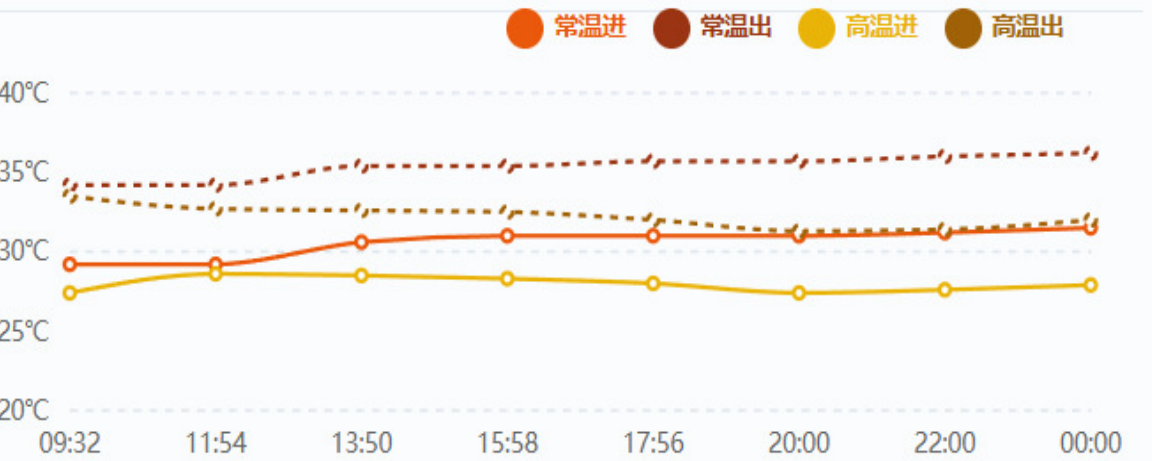
实际运行情况——供回水温差

典型日、典型月冷冻水冷却水温度及温差测试结果

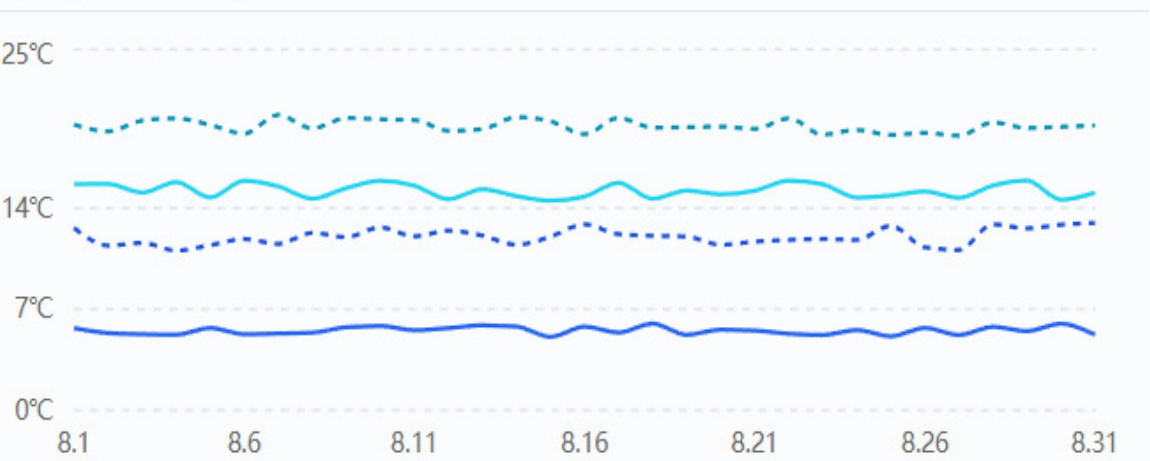
冷冻水系统 (典型日)



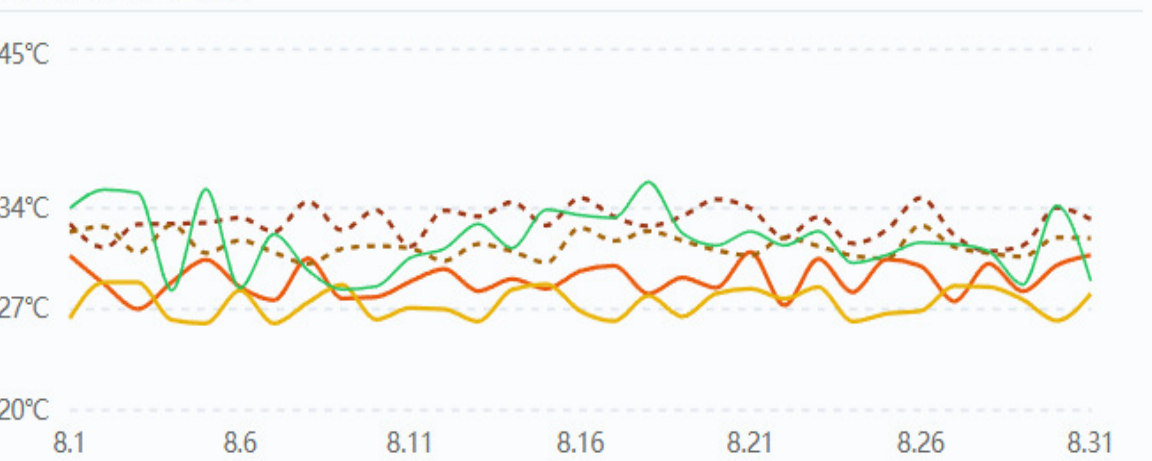
冷却水系统 (典型日)



冷冻水系统 (典型月)



冷却水系统 (典型月)



冷水 (典型日)

- **常温水:** 供水5.1-5.4 °C, 运行温差 6.1-6.8°C, 机组负载率95%左右
- **高温水:** 供水14.5-15.5 °C, 运行温差 4.5-5.9°C, 机组负载率90%左右

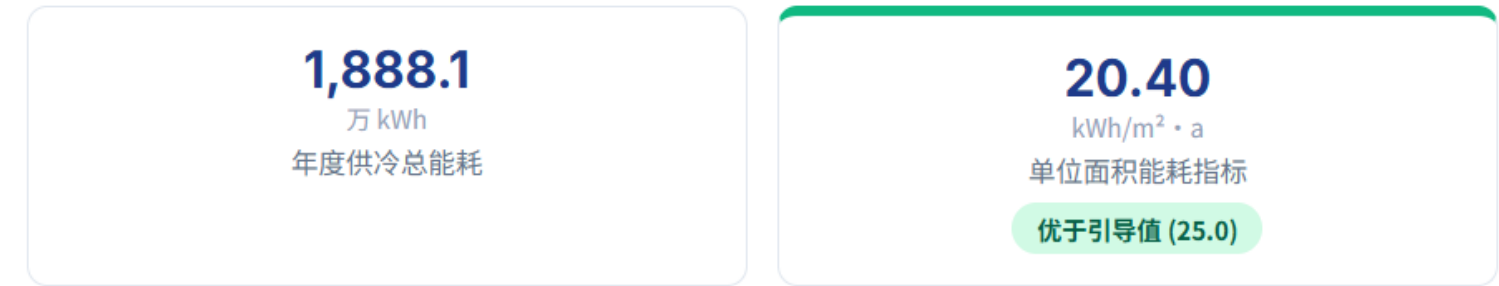
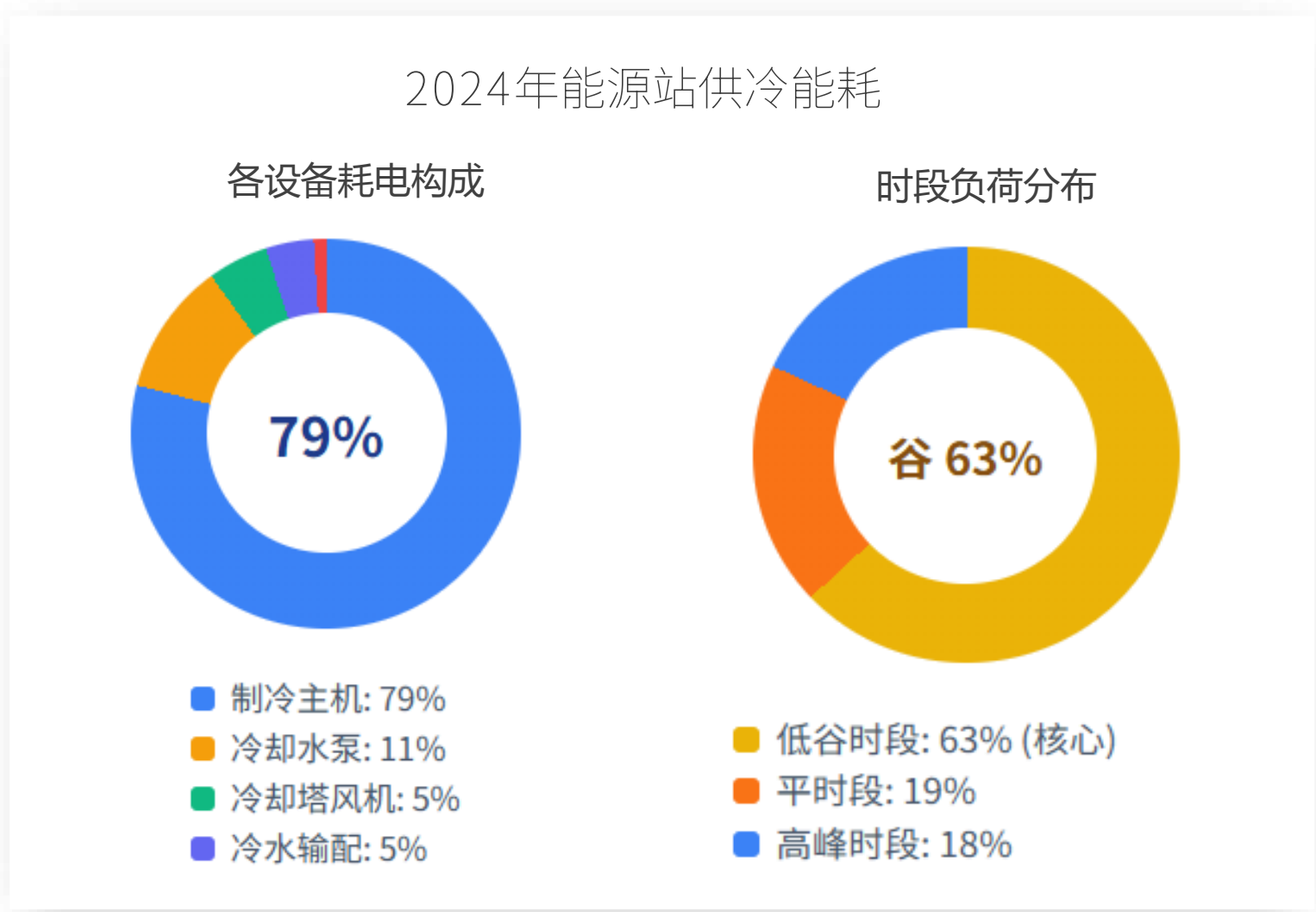
冷却水 (典型日)

- **常温水:** 供水29.2-31°C, 运行温差 4.4-5°C
- **高温水:** 供水27.4-31.9 °C, 运行温差 3.6-4.5°C

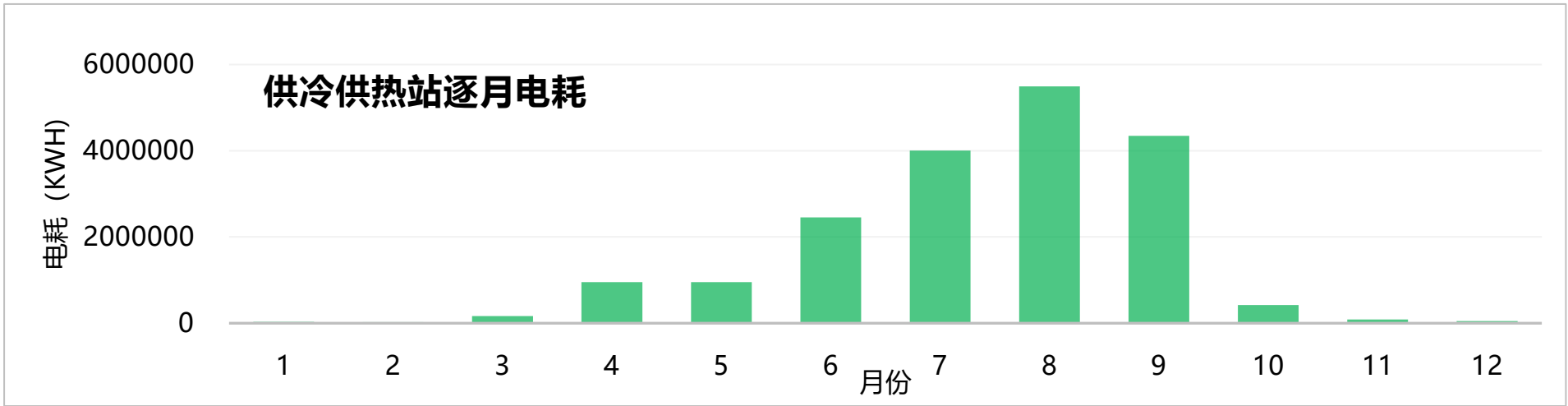
冷水循环泵的流量基本能够实时跟随负荷变化, 未出现严重的“大流量小温差”运行

3. 实际工程应用案例——天府机场能源站

实际运行情况——供冷运行能耗



T/CECA20042-2024



航站楼实测能耗指标评价				
指标名称	单位	实测指标	评价指标	
			约束值	引导值
冷源系统能耗指标	kWh/ (m ² ·a)	20.25	55.3	28.8
空调末端系统能耗指标	kWh/ (m ² ·a)	21.12	28.8	20.8

节能节费成效

✓ 系统节能较好

能效比同类建筑提升 32%，能耗较同类建筑降低 26%

✓ 水蓄冷降费

充分利用夜间低谷电价蓄冷，年节约电费 460万元*



4.



总结与思考

4、总结与思考



1. 分质供冷技术在大型工程中应用，可实现冷源品位按需适配，有效提高源侧系统能效；降低末端系统火积耗散；
2. 分质供冷技术应用使得系统复杂度提高，对设计、运行提出了更高的要求；设计应基于数字模拟技术，以全局高效的技术思路优化系统架构；运行则需构建适应负荷特性变化科学调配不同品位冷源的控制系统来支撑；
3. 在未来全电气化趋势下，热泵技术将广泛模应用。分质供能的思想将不仅仅局限在供冷的问题上，也是热的问题。如何实现冷热同时分质，就要综合冷和热一起来考虑进行优化设计，这样才能进一步发挥分质供能的优势。



感谢聆听
敬请指正

分质供冷技术在大型枢纽中的应用实践

报告人

戎向阳 2026.05

CSWADI 中国建筑西南设计研究院有限公司