

带数据机房的复合型建筑空调冷源系统优化研究

周建勇¹, 薛琴^{2*}, 陈飞虎^{3,4}

¹湖南省建筑设计院集团股份有限公司 湖南长沙

²长沙市数据标注协会 湖南长沙

³湖南第一师范学院数统院 湖南长沙

⁴井冈山大学机电工程学院 江西吉安

【摘要】目前,机器学习、大模型及人工智能呈井喷式的发展。算例的稳定运行依托数据中心等的支撑。而数据中心的特点是显热量大,行业普遍采用提高冷水供水温度的方式来降低系统的能耗。本建筑中含有一个数据机房,但如果按照行业送水温度等参数的话,数据中心的能耗可以降低。但是需要另外建设机房。而从原来中央空调冷水取水的话,可以减少机房新建的成本,但是数据中心的整体能耗将提高。本文比较了这两种方式的优劣。对其初投资、能耗等生命周期的能效和经济型进行了对比分析。采用 CYCLEPAD 热力软件进行建模计算。结果表明,第二种方式可以节约电费 7%左右,但其回收周期超过 5 年,建议采用第一种方案。该分析方案可以为同类空调系统设计及改造提供参考。

【关键词】空调风系统; 空调水系统; 空调改造; 风机特性曲线

【收稿日期】2025 年 1 月 20 日 **【出刊日期】**2025 年 2 月 24 日 **【DOI】**10.12208/j.jer.20250044

Discussion on energy-saving reconstruction of air conditioning system in a studio

Jianyong Zhou¹, Qin Xue^{2*}, Feihu Chen^{3,4}

¹Hunan Provincial Architectural Design Institute Group Co., Ltd, Changsha, Hunan

²Changsha Data Labeling Association, Changsha, Hunan

³School of Statistics, Hunan First Normal University, Changsha, Hunan

⁴Jinggangshan University College of Mechanical and Electrical Engineering, Ji'an, Jiangxi

【Abstract】In view of the actual operation status of a studio, through on-site measurement and consulting the original air conditioning system design documents, through theoretical analysis, the reasons for poor air conditioning operation in the studio are explored, and a variety of transformation schemes are proposed to provide reference for the design and transformation of similar air conditioning systems.

【Keywords】Air conditioning system; Air conditioning water system; Air conditioning transformation; Fan characteristic curve

1 引言

人工智能(AI)、无人驾驶以及 5G 网络等行业蓬勃发展,其数据中心等是其稳定运行的保障。设备在运行的时候会发热,需要维持一定的温度和湿度。从而保障机房的稳定运行。而根据数据中心负荷特点,其主要负荷是降温。根据数据中心的国标要求,目前的供水温度一般采用 12-17℃,个别的提高到 14-19℃^[1]。本综合楼中包含一个数据中心。本

文将比较数据中心独立供应冷冻水与直接应用中央空调冷冻水供水这两种方式的优劣。

2 项目概况

2.1 项目概况

项目用地位于广州市,属于丙类高层厂房,总建筑面积约 15 万 m²(地上 20 层,地下 4 层,建筑高度为 99.70 米(最高点)。地上建筑面积约为 11.55 万 m²,地下建筑面积约为 3.45 万 m²。其中:

第一作者简介:周建勇(1984-)男,汉,湖南长沙,硕士,高级工程师,研究方向:供暖、通风、空调;

*通讯作者:薛琴(1991-)女,汉,湖南长沙,本科,助理工程师,研究方向:数字经济、数据标注、数据要素。

- (1) 地下为车库、设备用房;
- (2) 首层为生产车间;
- (3) 二层为大堂、生产车间;
- (4) 三至十八层为生产车间(联调联试场地)、生产车间、其中 4 层约 400 平方数据机房;
- (5) 十九层为辅助用房;
- (6) 二十层为配套用房、露天设备调试区。

2.2 空调负荷

本项目地上建筑面积为 11.55 万 m², 其中空调面积为 7.8 万 m², 经逐时负荷计算空调冷负荷尖峰负荷 12657kW (3600RT), 其中数据中心部分 24 小时运行, 数据中心的负荷约为: 280 个机柜 (RAK)×5KW/RAK=1400KW。

2.2.1 办公生产车间与数据中心负荷的特点

- (1) 负荷时间差异:

数据中心: 负荷全年稳定, 无昼夜波动。

办公区: 日间负荷高(人员、设备), 夜间大幅降低。

系统需同时满足“24 小时连续制冷”与“部分时段动态调节”。

- (2) 冷热需求并存:

冬季: 外区办公区可能需要供暖, 而数据中心仍需制冷。

传统冷热源系统难以协调, 需采用热回收技术(如利用数据中心余热供暖)。

- (3) 温湿度控制精度差异

数据中心:

温湿度控制精度高(±1°C、±5%RH), 需避免静电或设备过热。

要求低湿度波动, 防止设备腐蚀或结露。

办公区:

人员舒适性为主, 温湿度范围较宽(如 24~26°C、30%~60%RH)。

新风需求大, 潜热负荷(湿度)占比高。

系统冲突: 需分区独立控制, 避免温湿度调节相互干扰。

2.2.2 能耗矛盾与节能挑战

数据中心能耗占比高:

数据中心能耗可占建筑总能耗的 40%~60%, 其中空调系统占数据中心能耗的 30%~40%。

冷源效率(PUE 值)是关键指标, 需采用高效

制冷技术(如冷冻水系统、间接蒸发冷却)。

办公区部分负荷问题:

夜间或节假日办公区负荷极低, 但数据中心仍需满负荷运行, 导致系统整体能效下降。

需采用变频水泵、动态变流量系统(VWV)等调节部分负荷能效。

3 空调方案

3.1 方案一: 共用一套中央空调冷源系统

项目合用一套冷源系统, 选用 2 台 1200RT 离心式冷水机组+ 1 台 800RT 离心式冷水机组+1 台 400RT 磁悬浮离心机组, 其中 1 台磁悬浮机组配置双电源, 4 楼数据中心设置 2 套水系统环路, 一套与大楼公用水系统环路, 一套独立设置冷冻水支路。

3.1.1 优点

(1) 初期投资较低: 设备总数较少, 共用基础设施减少重复建设成本。

(2) 部分负荷灵活性: 通过不同容量机组组合(如磁悬浮机组)优化部分负荷能效。

(3) 双电源冗余: 400RT 磁悬浮机组配备双电源, 提升关键区域供电可靠性。

(4) 利用磁悬浮机组部分负荷高效性(IPLV≥10.0), 匹配办公区日间负荷波动。

(5) 夜间或节假日期间数据中心低负荷时段, 可仅运行磁悬浮机组, 降低能耗。

3.1.2 缺点

(1) 单点故障风险: 共用系统若故障, 可能同时影响数据中心和大楼。

(2) 能效匹配问题: 数据中心与大楼冷负荷特性不同(稳定 vs 波动), 共用系统可能导致效率损失。

(3) 扩展性受限: 未来扩容需调整整体系统, 可能影响现有运行。

3.2 方案二: 大楼和数据中心分别设置独立冷源系统

办公大楼选用 2 台 1200RT 离心式冷水机组+ 1 台 800RT 离心式冷水机组+1 台 400RT 磁悬浮离心机组。数据中心冷源选用 2 台 400RT 变频螺杆式温冷水机组(出水温度 12°C/18°C, 1 用 1 备)。

3.2.1 优点

(1) 高可靠性: 数据中心独立运行, 避免大楼系统故障的连带风险; 螺杆机变频技术适配稳定负

载。

(2) 能效优化: 数据中心中温冷水机适合服务器冷却, 尽可能利用自然冷却或高效制冷循环; 大楼系统通过离心机+磁悬浮组合适应负荷波动, 提升部分负荷效率。

(3) 扩展灵活: 数据中心可单独升级, 不影响大楼系统。

(4) 冗余设计: 两台机组互为备份, 提升系统可用性。

3.2.2 缺点

(1) 初期成本较高: 需建设两套独立系统, 设备及安装费用增加。

(2) 运维复杂性: 需维护两套系统, 可能增加人力及管理成本。

(3) 独立机房、冷却塔及管路建设增加成本, 总投资较方案一高约 25%~30%。

3.3 空调系统的仿真模型

利用 CYCLEPAD 热力学仿真软件, 建立空调系统的仿真模型^[2]; 工质(S1)进入压缩机(CMP1), 经压缩后进入冷凝器(HX1), 其冷却水进水(SOURCE1), 回水为 SINK1, 冷凝后进入膨胀阀(THR1), 膨胀后进入蒸发器(HX2)^[3-5]。如图 1 所示。

将系统的运行参数输入: 冷冻水供水温度 7℃, 回水温度 12℃, 压缩机出口温度 65℃, 冷凝温度 40℃ 输入^[6]。如图 2。

系统得到仿真结果。空调制冷主机的能效:

$$COP = \frac{E}{W_{Comp}}$$

$$= \text{制冷量} (158.1KW) / \text{压缩机输入功}(56.79KW) = 2.9$$

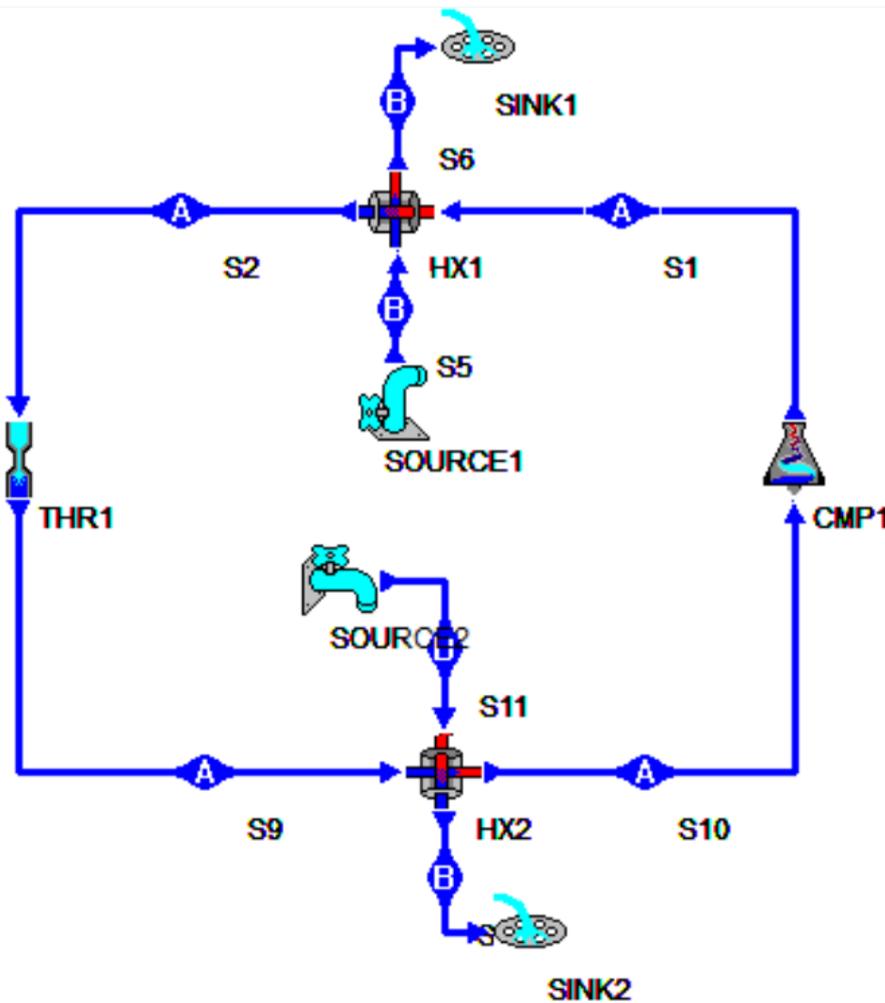


图 1 空调系统的仿真模型

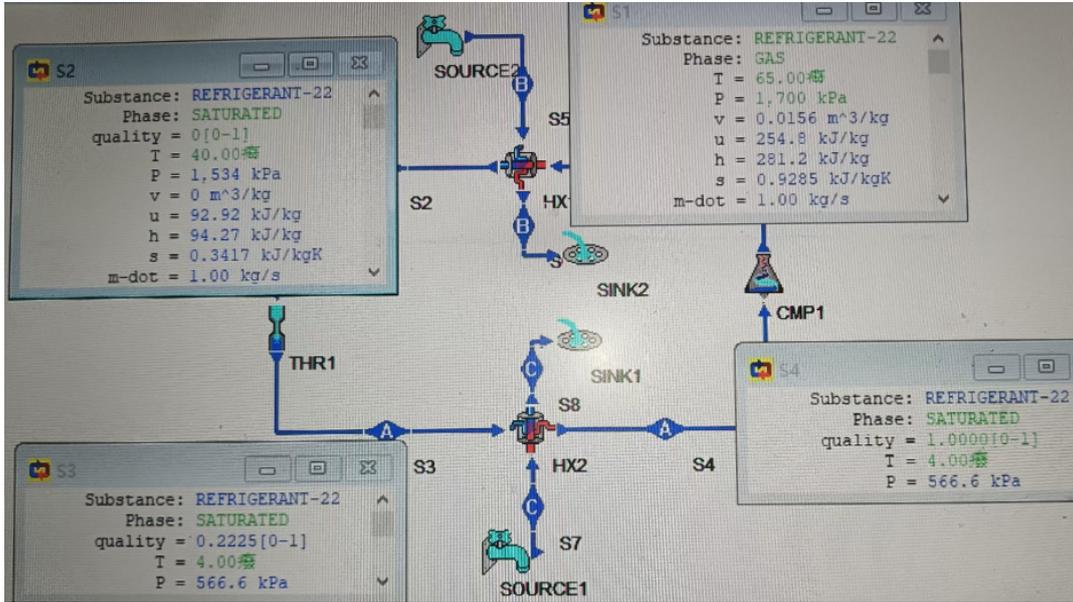


图2 空调系统的参数输入

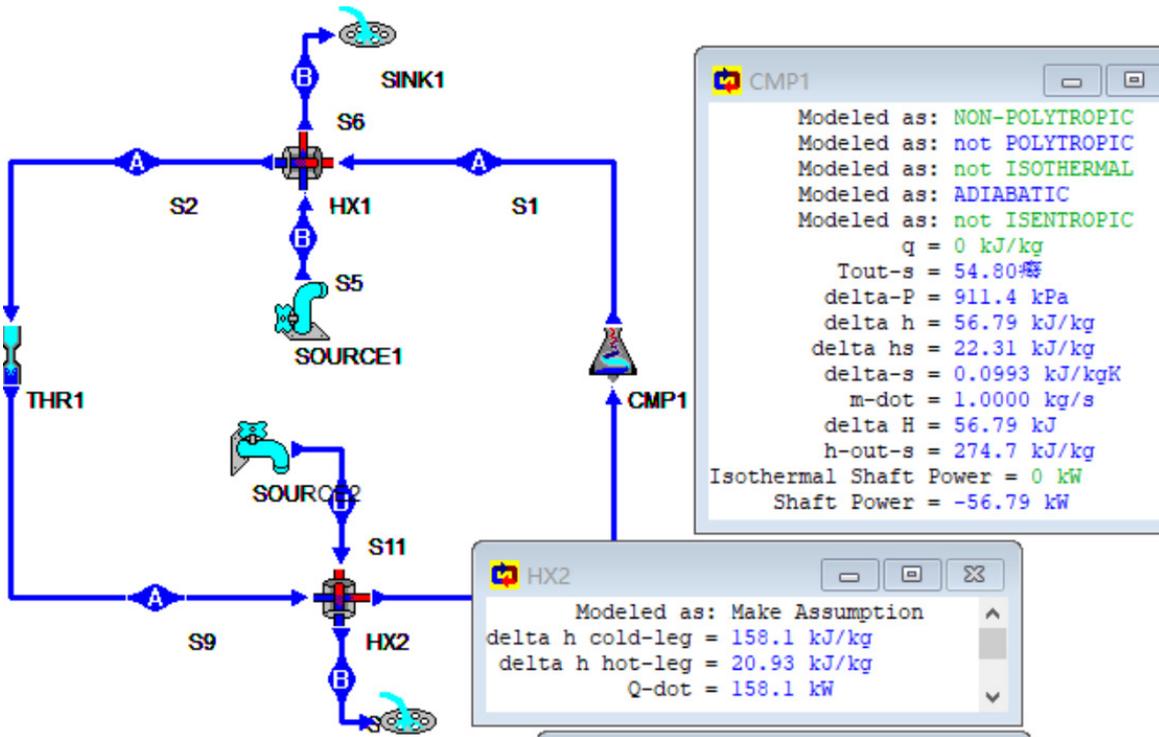


图3 系统仿真结果示意图

根据数据中心的负荷 2000KW, 计算得冷水水量为: 95KG/s。压缩机的输入功为:

$$W=2000KW \cdot H/2.9 = 690KJ$$

方案二 供水温度为 12℃, 回水温度 17℃。同理得到压缩机的输入功为 602.9KJ。

系统仿真结果: 空调制冷主机的能效: 约为 3.3。则每小时节约的能耗为 87KJ。以电价 0.9 元 /KWH 计算^[7]。可以节约电费约 78.2 元。全年节约的电费为 365 天×24 小时×78.2 元=68.5 万元。

3.4 方案选择

结合以上分析, 且考虑到机房面积有限, 且数

据机房设置在 4 层, 因此本工程选用方案一。

3.5 建议

当项目预算紧张且数据中心负载较低的情况, 建议选择方案一, 需加强系统冗余 (如增加备用机组) 以降低风险。若预算允许, 独立系统在可靠性、能效和扩展性上显著占优, 尤其适合数据中心对稳定性要求高的场景, 建议选用方案二。

4 结论

针对空调系统改造, 为了降低运行能耗, 提高供冷效率, 空调水系统应根据末端设备、管路及相应辅材的承压情况, 最大限度地利用一侧用水, 冷水直接供至末端, 避免在板式换热器位置的温度损耗及局部阻力损耗, 提高空调末端盘管换热效率。

对于采用全空气系统的空调系统, 阻力应经过严格计算并考虑足够的裕量, 对于一次回风的全空气系统, 当回风段管路阻力大于 150Pa 时需要配置回风机^[8]。当机外余压不足时, 除直接更换空气处理机组外, 也可采用更换电机、重新调整电机皮带轮等方式, 提高原有设备的风压和风量。不同工程中应根据不同条件制定不同的改造方案, 本文提供空调系统改造思路可为同类型空调系统改造提供指导。

参考文献

[1] 广州市住房和城乡建设局. 广州市绿色建筑设计与验收规范[S]. 2022.

- [2] ASHRAE. HVAC Applications Handbook (Chapter 21: Data Centers) [M]. 2023.
- [3] 王伟, 等. 磁悬浮冷水机组在湿热地区的应用特性[J]. 制冷学报, 2021, 42(3): 56-62.
- [4] 广州市供电局. 2023 年广州市有序用电方案[Z]. 2023.
- [5] Feihu Chen, Shuguang Liao, Guangcai Gong. Finite time thermodynamic analysis and optimization of water cooled multi-split heat pipe system (MSHPS)[J]. Energy and Built Environment. 2022, Volume3, Issue3:373-383.
- [6] 全国民用建筑供暖通风与空调室外气象参数表《GB50736-2012》.
- [7] 齐蓉, 陈飞虎, 廖曙光, 张泉, 岳嗣华. 基于计算机辅助设计软件 CYCLEPAD 的列间热管设计[J]. 暖通空调. 2022, 52(S2):246-248.
- [8] 隆先进, 陈飞虎, 廖曙光. 热力学仿真软件 CYCLEPAD 在实际热力系统中的应用现状及展望[J]. 暖通空调. 2022 年第 2 卷增刊 1:286-288.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

