

文章编号: 1671-6612 (2022) 06-850-04

# 数据中心双冷源列间空调系统设计与实测分析

田振武<sup>1</sup> 张金辉<sup>1</sup> 黄翔<sup>2</sup> 褚俊杰<sup>2</sup> 王丽<sup>1</sup> 吕申龙<sup>1</sup> 陆晓宇<sup>1</sup>

(1. 中通服咨询设计研究院有限公司 南京 210019;

2. 西安工程大学 西安 710048)

**【摘要】** 介绍了苏州某数据中心双冷源列间空调系统的设计及空调参数配置,并通过机房满载运行测试,评价空调系统运行状态与效果。理论结合实际测试数据,分析得出水氟换热主机回水温度偏低的原因是水阻力较小;列间空调风阀开度不均匀会导致热量局部集中现象;氟氟换热系统压缩机带载数量不同会影响末端制冷量不平衡等现象。为类似数据中心项目水氟、氟氟列间空调系统的设计与运维提供参考和思路。

**【关键词】** 数据中心; 列间空调; 双冷源系统; 实测分析

中图分类号 TU83 文献标识码 A

## Design and Measurement Analysis of Double Cooling Air Conditioning System in Data Center

Tian Zhenwu<sup>1</sup> Zhang Jinhui<sup>1</sup> Huang Xiang<sup>2</sup> Chu Junjie<sup>2</sup> Wang Li<sup>1</sup> Lv Shenlong<sup>1</sup> Lu Xiaoyu<sup>1</sup>

(1.China Information Consulting & Designing Institute Co., Nanjing, 210019;

2.Xi'an Polytechnic University, Xi'an, 710048)

**【Abstract】** This paper introduces the design scheme and parameter configuration of the air conditioning system between two cold sources in a data center in Suzhou, and evaluates the running state and effect of the air conditioning system through full load running test. Combining the theory with the actual test data, it is analyzed that the reason for the low return water temperature of the water-fluorine heat exchanger is its low resistance. The uneven opening of inter-column air conditioning valve will lead to the phenomenon of local heat concentration. The terminal heat balance will be affected by the different load quantity of the compressor in the fluorine heat exchange system. It provides reference and ideas for the design and operation and maintenance process of water-fluorine and fluor-fluorine air conditioning system in similar data center projects.

**【Keywords】** Data center; Compartment air conditioning; Double cooling system; Analysis of the measured

## 0 引言

列间空调是专门为数据中心和通信机房设计的一种空调末端,主要适用于单机柜耗电6-10kW之间的中高热密度数据中心,与房间级空调冷却系统相比,更贴近热源不易产生局部过热问题,且风系统阻力小,是一种节能高效的空调冷却形式<sup>[1]</sup>。近年来,随着数据中心机柜功率日益上升以及国家对数据中心等重点能耗领域的节能要求,不同形式

的列间空调方案也应运而生<sup>[2,3]</sup>。目前行级列间空调应用的三种主要类型是冷水式、直接膨胀式以及热管式<sup>[4]</sup>。水氟换热和氟氟换热双冷源列间空调系统是冷水式与直接膨胀式相结合的列间空调冷却方案,可使用15℃的中温冷水,热量交由冷水机组集中处理可达到日常运行节能的目的,而且水氟主机与末端列间空调通过氟泵或热管系统连接,机房内部没有进水风险。近年来,列间空调冷却方案

基金项目: 深圳市科技研发资金资助可持续发展专项项目(KCXFZ20201221173409026)

作者(通讯作者)简介: 田振武(1994-),男,硕士, E-mail: tzw199407@163.com

收稿日期: 2022-05-05

逐渐被推广应用,但是针对列间空调方案以软件模拟分析为主,实际应用测试分析并不多见<sup>[5-8]</sup>,本文以实际工程测试的基础上对一种双冷源列间空调方案进行测试分析。

### 1 制冷方案

#### 1.1 工程概况

本工程位于苏州,地上建筑面积 40938m<sup>2</sup>,地上 8 层,1 层为制冷机房,2~8 层为数据机房及其配套电力室。项目整体规划 3724 个机柜,计算总冷负荷 27358kW,其中 3 层某机房为客户核心机房,共 90 个机柜,单机柜功率 8.8kW,采用双冷源列间空调系统制冷方案。

制冷机房配置 10kV 高压变频离心式冷水机组,末端供回水温度为 15/21℃,冷却水供回水温度为 32/37℃。当冷却塔能提供小于 14℃ 冷却水时,冷水机组停机,采用冷却塔+板换采用完全自然冷

却运行;当冷却塔能提供 14℃~20℃ 的冷却水时,采用板换+冷水机组部分自然冷却;当冷却塔出水温度大于 20℃,采用冷水机组供冷。

#### 1.2 制冷系统

核心机房制冷系统采用水氟换热主机+水氟列间空调、风冷氟氟换热主机+氟氟列间空调双制冷系统的形式,如图 1 所示。该制冷系统日常主用水氟换热主机+水氟列间空调模式,当水氟换热主机或水氟列间故障或需要检修时,开启氟氟换热主机+氟氟列间空调模式。

水氟列间与水氟换热主机之间用制冷剂铜管连接,在液相管路中利用液泵驱动该制冷循环构成氟泵制冷系统,制冷剂通过循环将水氟列间所吸收的热量传递到水氟换热主机的板换中,板换再将热量换热给另一侧的冷冻水系统。氟氟列间与氟氟换热主机之间用制冷剂铜管连接,并与室外风冷冷凝器构成压缩制冷循环。

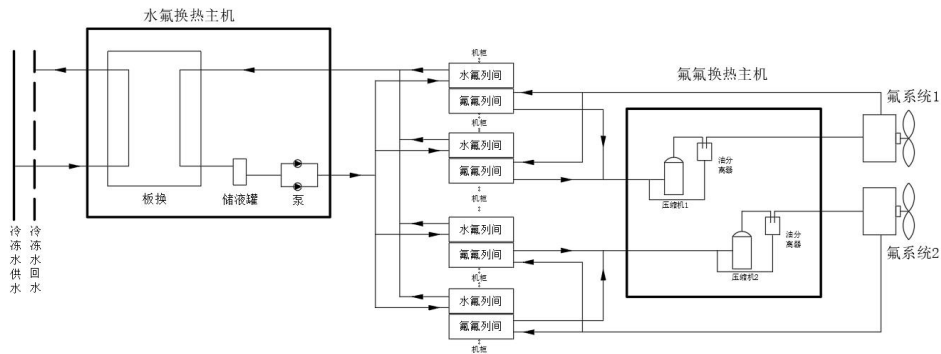


图 1 双冷源列间空调系统

Fig.1 Double-cooling compartment air conditioning system

#### 1.3 空调参数配置

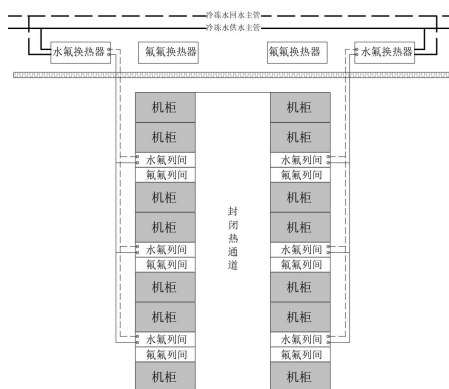


图 2 双冷源列间空调系统平面图

Fig.2 Plan of Double-cooling compartment air conditioning system

如图 2 所示,该机房内采用封闭热通道的气流组织形式,每列机柜面对面形成开放冷通道,每列机柜背对背形成封闭热通道,列间空调送风温度 22℃,回风温度 35℃。每列机柜中设置 4~5 组水氟列间和氟氟列间,机柜宽度 800mm,深度 1200mm,单台列间空调宽度 300mm,深度 1200mm。水氟换热主机与氟氟换热主机设置于机房一侧的空调间内。

水氟换热主机、氟氟换热主机参数配置如表 1 所示,其中氟氟换热主机内置双压缩机构成 A、B 两个不同的路由,在没有柱子的机柜列中 A 路由配置 3 个末端,B 路由配置 2 个末端,水氟列间、氟氟列间空调参数配置如表 2 所示。

表 1 水氟换热主机、氟氟换热主机参数配置

Table 1 Parameter configuration of Water-Freon and Freon-Freon heat exchanger

类型	水氟换热主机	氟氟换热主机 (A 路由)	氟氟换热主机 (B 路由)
电源 (V) / 电压 (Hz)	380/50	380/50	380/50
显冷量 (kW)	108	67.2	55.0
输入功率 (kW)	1	21.59	18.55
带末端个数 (个)	5	3	2

表 2 水氟列间、氟氟列间空调参数配置

Table 2 Parameter configuration of Water-Freon and Freon-Freon air conditioner

类型	水氟列间	氟氟列间 A	氟氟列间 B
电源 (V) / 电压 (Hz)	220/50	220/50	220/50
显冷量 (kW)	20.6	22.4	27.5
风量 (m³/h)	6300	6000	6000
室内风机数 (个)	8	7	7
室内风机功率 (kW)	0.9	0.86	0.86

## 2 测试分析

### 2.1 测试条件

在核心机房综合测试期间,在所有机柜中装置假负载测试设备,假负载功率均高出单机柜设计功率 4%~7%,每一列机柜假负载功率均匀设置波动不大于 3%,即所有机柜中假负载功率均在 9.15~9.42kW 之间。各水氟主机的进出水管处安装温度传感器,所有列间空调出风面、回风面均设置上下两个温度传感器,温度传感器读取数据精度为±0.1℃。所有温度传感器以及水氟主机进水阀、列间空调风阀均接入动环监控系统,数据在系统稳定十分钟后记录。

### 2.2 测试结果及分析

在核心机房的 9 组水氟系统中抽取 4 组做分析,各水氟主机运行参数如图 3 所示,各主机进水温度基本保持一致,负载一定的情况下水阀开度越大回水温度越低。从进出水温度来看,水氟主机进出水温差均在 3~4℃,没有达到设计值 6℃。设计过程中,考虑水氟换热主机水侧压降 40kPa,水冷空调末端水侧压降 62.2kPa,但是两者同时并联在同一供回水主管上,为了平衡两者之间的阻力,水系统在水氟换热主机处设有静态平衡阀。但是,实际运行过程中静态平衡阀未调试是全开启状态,根据公式 (1) 水氟换热主机阻力较小,其流量偏大导致回水温度底,从图 3 中也可以看出,调节水流量大小影响回水温度,应通过静态平衡阀平衡支管

阻力。

水系统管段压力损失与水流量关系如式 (1) 所示:

$$\Delta P = S \cdot Q^2 \quad (1)$$

式中:  $\Delta P$  为管段压力损失, Pa;  $S$  为与管段沿程阻力和几何形状有关的综合阻力系数,  $\text{kg/m}^7$ ;  $Q$  为流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

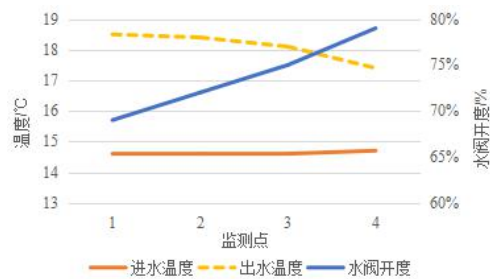


图 3 水氟换热系统主机运行参数

Fig.3 Operation parameters of water-Freon heat exchanger

各水氟系统列间空调运行参数如图 4 所示,整体上看,回风温度普遍低于设计值 35℃,且风阀开度均没有超过 80%,则说明机柜服务器在满负荷运行时列间空调仍有一定余量。制冷量以列间空调出风量为载体,当送回风温差一定时,风量越大制冷量越大。在四个水氟系统中都能看到风阀开度大的列间空调不仅风量大且回风温度大,如公式(2),风阀开度大的列间空调吸收的热量较多,空调出现“抢风”现象,导致热量分布过于集中。

空调制冷量与风量关系如式 (2) 所示:

$$Q = mc(t_2 - t_1) \tag{2}$$

式中:  $Q$  为列间空调的制冷量, kW;  $m$  为列间空调出风量, kg/s;  $c$  为空气的比热, 空气在 20~35℃ 之间,  $c$  取值 1.013kJ/(kg·K);  $t_2$  为空调回风温度, ℃;  $t_1$  为空调送风温度, ℃。

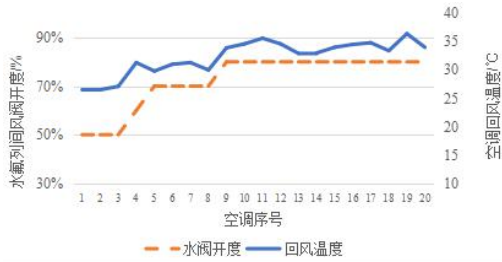


图 4 水氟换热系统列间空调运行参数

Fig.4 Operation parameters of Compartment air conditioning of Water-Freon systems

注: 列间空调送风和回风温度均为两个传感器显示数据的平均温度。

在核心机房的 9 组氟氟换热系统中抽取 4 组做分析, 各氟氟主机运行参数如表 3 所示, 由于每个氟氟换热系统 A 路由比 B 路由多一个列间空调且每列列间空调均匀布置在机柜列间, 导致 A、B 路由的压缩机功率不均衡, 甚至出现部分压缩机超载现象, 因此不建议氟氟换热系统的两台压缩机带载不同数量的列间空调。

表 3 氟氟主机运行参数

Table 3 Operation parameters of Freon-Freon heat exchanger

氟氟主机	负载功率 kW	路由	压缩机功率	冷凝器吸气温度 ℃	冷凝器排气温度 ℃
一号系统	111.5	A 路	110%	20.5	79.6
		B 路	70%	23.6	70.7
二号系统	93.6	A 路	67%	22.8	65.6
		B 路	52%	23.1	75.1
三号系统	93.3	A 路	90%	20.5	75.7
		B 路	55%	21.6	65.9
四号系统	92.9	A 路	56%	26.1	67.2
		B 路	44%	25.0	59.4

注: 1. 每个氟氟换热系统有两个压缩机构成 A、B 两个路由, A 路由连接 3 个列间空调, B 路由连接 2 个列间空调。  
2. 压缩机功率为压缩机实际输出功率与额定功率比值。

各氟氟换热系统列间空调送风温度的波动范围在 -4.4~+2.3℃ 之间 (基于设计值), 比水氟列间送风温度波动大, 虽然回风温度基本能控制在设计值, 但是氟氟列间的风阀开度整体较小且不相同, 各列间空调送风温差不均衡也是导致表 3 中各系统 A、B 路由的压缩机功率差异性的原因。与水氟列间空调相似, 如图 5 所示, 氟氟列间空调也有风阀开度大吸收热量多的“抢风”现象, 例如一号系统 A 路的 3 号列间、二号系统 A 路的 2 号列间、三号系统 A 路的 2 号列间、四号系统 A 路的 2 号列间比同路的其他两个列间的风阀开度大且送回风温差大, 热量汇聚到同一列间空调的热量变大, 造成同列机柜热量不均衡, 这也是导致局部热点产生的原因。



图 5 氟氟换热系统列间运行参数

Fig.5 Operation parameters of Compartment air conditioning of Freon-Freon systems

### 3 结论

(1) 要适当通过增加水管平衡阀等设置来平衡阻力较小的水氟换热主机, 提高水氟换热主机的回水温度, 同时避免水系统在其他部位的流量不够等现象。

(2) 在列间空调实际运行过程中, 风阀开度要考虑机柜负荷分布位置, 同列之中风阀开度大的列间空调吸收的热量越多。

(3) 为均衡氟氟换热系统的两路压缩机, 建议将同一系统的氟氟列间空调负载率调均匀, 同时不建议同一系统的两路压缩机带不同的负载。

### 参考文献:

[1] 黄翔, 邵双全, 吴学渊, 等. 绿色数据中心高效适用制冷技术及应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.