

# 某数据中心机房空调系统 测试分析及优化措施

## Test Analysis and Improvement Measures of Air Conditioning Systems in a Data Center

景淼,何健,董青(联通数字科技有限公司,北京100085)

Jing Miao, He Jian, Dong Qing (China Unicom Digital Technology Co., Ltd., Beijing 100085, China)

### 摘要:

以某数据中心机房为例,通过对数据中心机房内空调系统运行时的温度、湿度、风量进行测试,对其测试方法及测试结果进行分析,总结了该数据中心机房空调系统存在的问题,并根据测试结果提出优化改进措施。提出了恒湿机选型及空调选型时需注意的问题以及推荐的风量测量方法,为今后数据中心的设计、运维提供一定的参考。

### 关键词:

数据中心;空调系统;温湿度;风量;气流组织

doi:10.12045/j.issn.1007-3043.2024.02.017

文章编号:1007-3043(2024)02-0088-05

中图分类号:TU248.7

文献标识码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Abstract:

Taking a data center computer room as an example, it analyzes the test method and test content by testing the temperature, humidity and air volume of the data center room during operation, summarizes the existing problems of the air conditioning systems, and proposes some improvement measures based on the test results. It proposes the issues when selecting constant humidity dehumidifier and humidifier and air conditioner, as well as the recommended air volume measurement method, which provides reference for the design and operation of data centers.

### Keywords:

Data center; Air conditioning system; Temperature and humidity; Air volume; Air distribution

引用格式:景淼,何健,董青. 某数据中心机房空调系统测试分析及优化措施[J]. 邮电设计技术, 2024(2): 88-92.

## 0 前言

近年来5G、人工智能、物联网等新兴技术快速发展,我国数据中心的数量和规模不断增长<sup>[1-2]</sup>。数据中心内服务器等设备全年均处于不间断运行状态,这些设备对环境的温湿度有较为严格的要求<sup>[3]</sup>。为保证服务器的安全稳定运行,机房内一般存在送风温度过低或者送风量过大的情况<sup>[4]</sup>。根据《数据中心设计规范》(GB50174-2017)<sup>[5]</sup>,数据中心冷通道或机柜进风区域的温度为18~27℃,相对湿度不宜大于60%,机柜送回

风温差为8~15℃。但由于某些存储设备的特殊性,如磁带机等,部分机房的温湿度要求较《数据中心设计规范》更为严格。本文以某数据中心机房为例,通过对数据中心机房内空调系统运行时的温度、湿度、风量进行测试,对其测试方法及测试结果进行分析,根据测试结果提出优化改进措施。

## 1 项目概况

某数据中心机房面积约为152 m<sup>2</sup>,层高为5.4 m,单机柜功耗为2.5 kW,IT总功耗为130 kW。气流组织为活动地板下送风上回风,冷通道封闭方式。被测机房室内设计参数具体如表1所示。

收稿日期:2023-12-30

表1 数据机房室内设计参数

功能区域	冷通道送风温度/°C	温度变化率/(°C/h)	相对湿度/%	湿度变化率/(%/h)	新风量/(次/h)	送回风温差/°C
数据机房	18~25	2	40~50	5	1.0	11

机房内安装显冷量 150 kW 的冷冻水下送风型机房专用空调 2 台,1 用 1 备配置,冷冻水、供回水温度分别为 16 °C、22 °C。机房内配置下送风型恒湿机 2 台,1 用 1 备配置。

恒湿机采用湿膜加湿、冷冻除湿的方式。其中,湿膜加湿属于等焓加湿,空气加湿前后的焓值不变,加湿后的空气温度降低,含湿量增加,相对湿度增大,加湿工况时恒湿机送风温度低于进风温度。冷冻除湿利用低温冷凝的原理除去空气中的水分<sup>[6]</sup>,通过风机将机房内潮湿空气吸进机组,通过蒸发器除湿后形成干燥空气,干燥空气经过冷凝器升温最终排至机房内。文献[7]针对冷冻除湿机的原理进行分析,发现恒湿机冷冻除湿时出风温度要略高于进风温度。综上所述,恒湿机除湿时对于机房内温度影响较大。

恒湿机加、除湿量计算如下:

$$W = \frac{\rho V n (d_2 - d_1)}{1000} \quad (1)$$

其中,  $W$  为加(除)湿量(kg/h);  $\rho$  为空气密度(kg/m<sup>3</sup>);  $V$  为房间体积(m<sup>3</sup>);  $n$  为换气次数;  $d_1$  为加湿前(除湿后)空气的含湿量(g/kg);  $d_2$  为加湿后(除湿前)空气的含湿量(g/kg)。被测机房位于建筑中心位置,新风从走道取风,走道内安装多联机空调系统。被测机房室内设计参数取 23 °C、45%,换气次数为 1 次/h;走道冬季室内计算参数为 16 °C,夏季室内计算参数为 26 °C,走道内相对湿度均按照极端情况取值。按照公式(1)计算得出加湿量为 7.8 kg/h,除湿量为 13.3 kg/h。

空调送风量计算如下:

$$G = \frac{Q}{(h_h - h_s)\rho} \times 3600 = \frac{Q}{\rho C \Delta t} \times 3600 \quad (2)$$

其中,  $G$  为空调送风量(m<sup>3</sup>/h);  $Q$  为显冷量(kW);  $\rho$  为空气密度(kg/m<sup>3</sup>);  $h_h$  为回风焓值(kJ/kg);  $h_s$  为送风焓值(kJ/kg);  $C$  为空气定压比热容(kJ/kg·°C);  $\Delta t$  为送回风温差(°C)。按照式(2)计算得出本项目单台空调送风量为 40 500 m<sup>3</sup>/h。

## 2 测试方法

### 2.1 温湿度测试方法

文献[8]针对冷通道内不同高度的温度进行测试,发现随着垂直高度的增加,机柜进风侧温度升高。本项目为避免测点高度对温湿度的影响,将测点布置在冷通道距地面以上 1.0 m,距机柜进风侧 0.6 m 处<sup>[9]</sup>,测点布置如图 1 所示。温湿度测试采用温湿度传感器,传感器安装高度距架空地板 2.4 m,探头距架空地板 1.0 m。温湿度传感器信号由动环实时采集。

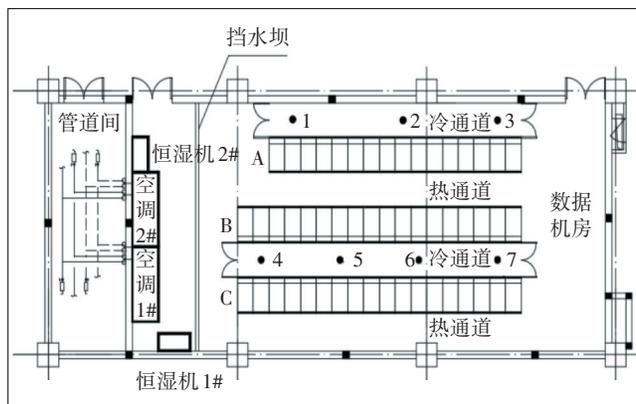


图1 机房测点布置

### 2.2 风量测试方法

数据中心机房常用测量通风地板风量的工具有叶轮风速仪、热敏风速仪、矩阵式风速仪和风量罩 4 种。对风量测试方法的分析如表 2 所示。

本项目采用准确性最高的矩阵式风速仪作为测量工具(见图 2)。

表2 风量测试方法分析

测试工具	原理	测量方法	准确性
叶轮风速仪	由叶轮和计数机构组成,测量时使叶轮旋转面垂直于气流方向。叶轮的转数通过机械传动方式连接到计数机构	一块地板测 9 个点,取平均值	由于仪器本身的惰性和机械摩擦力等原因,误差较大
热敏风速仪	风速探头端部的热敏感部件与空气进行热交换,引起热电偶热势变化,与基准反电势比较后产生微弱差值信号,对比电信号差,仪器自动计算风量	一块地板测 9 个点,取平均值	高于叶轮风速仪
矩阵式风速仪	利用压差计算出风速	一块地板测 4 个点,取平均值。每次测量仪器自动取 16 个点,输出平均值,相当于整个地板风口取 64 个点	最高
风量罩	-	直接测量	较低



图2 矩阵式风速仪探头

### 3 测试结果分析及优化措施

#### 3.1 温湿度分析及优化措施

##### 3.1.1 除湿风速对湿度影响

恒湿机除湿时可以调节风速,当风速降低时,机组总风量降低。根据式(1),相同除湿量下,风量降低时含湿量的差值增加,使得恒湿机送风含湿量值降低,送风温度相同时相对湿度更低。从图3和图4中可以明显看出,恒湿机低风速工况各测点的湿度明显低于高风速工况。

风速降低时,进入恒湿机回风口的空气流量会降低,而压缩机的制冷能力是恒定的,空气会被冷却到更低的温度。若流速过低,冷却温度很可能在0℃以下,导致蒸发器结冰。因此,实际项目中除湿风速不

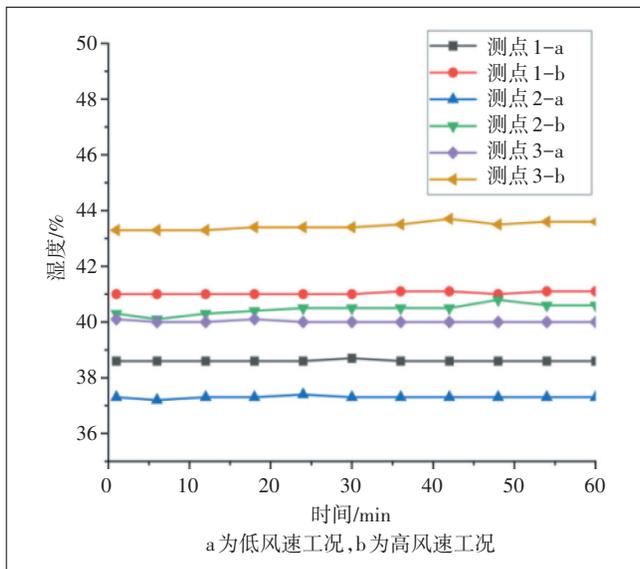


图3 A列对应通道内3个测点湿度

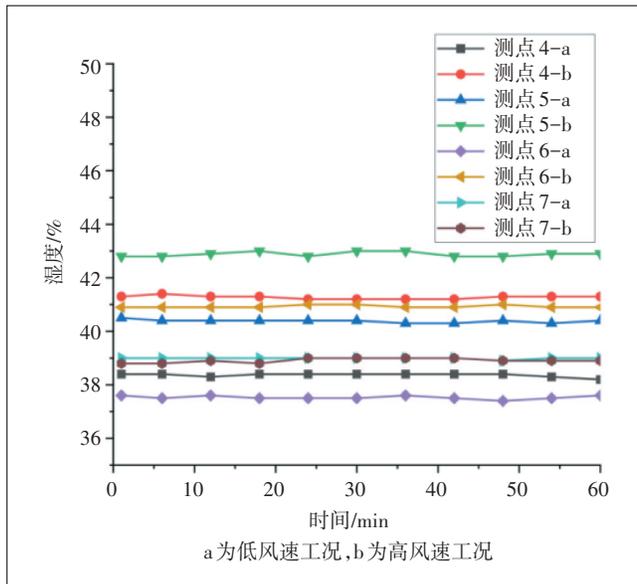


图4 B、C列对应通道内4个测点湿度

能一味地降低,需找到除湿风速与蒸发器结冰的最佳状态点。

此外,除湿量受除湿工况的风机风量影响较大,恒湿机厂家在设计产品时也会根据除湿工况的风机风量和所配置的压缩机制冷量进行计算<sup>[7]</sup>,但除湿时所能达到的含湿量未必是设计计算时的含湿量。因此,在设计选型时建议注明需要处理到的送风状态点,防止设计人员和厂家对于除湿量理解的不一致。

##### 3.1.2 回风相对湿度对湿度影响

为增加下送风恒湿机的除湿效果,实际工程中常将恒湿机前的架空地板更换为地板送风口。将恒湿机前架空地板更换为地板送风口后,各测点在温度不变的情况下相对湿度降低。这是因为架空地板下方为空调送风静压箱,空气温度较低,相对湿度较高,在恒湿机前增加地板送风口,可以增加恒湿机回风口的相对湿度,提高除湿效果。

##### 3.1.3 切机工况对温湿度影响

机组热备稳态运行时,空调和恒湿机均在部分负荷下运行。若一台空调或恒湿机发生故障,机组切机过程中机房内温湿度会产生波动。当机组热备运行切机至空调1#、恒湿机1#时,1h内机房温湿度变化情况如图5和图6所示。

由图5、图6可知,测点1的温度波动为1.9℃/h,湿度波动为3.9%/h;测点2的温度波动为1.2℃/h,湿度波动为2.7%/h;测点3的温度波动为1.0℃/h,湿度波动为5.2%/h;测点4的温度波动为2.6℃/h,湿度波动

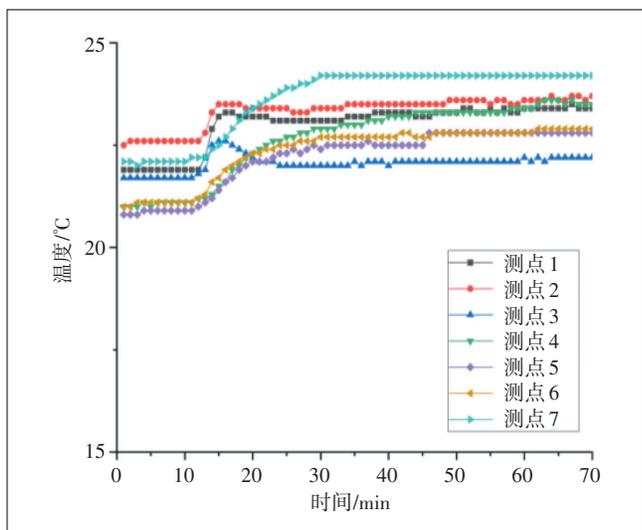


图5 切机至空调1#、恒湿机1#时1 h内机房温度变化

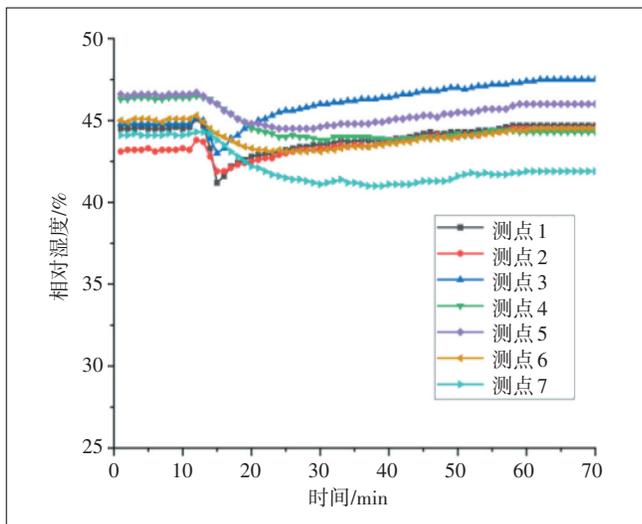


图6 切机至空调1#、恒湿机1#时1 h内机房湿度变化

为2.7%/h;测点5的温度波动为2.0 °C/h,湿度波动为2.2%/h;测点6的温度波动为1.9 °C/h,湿度波动为2.2%/h;测点7的温度波动为2.2 °C/h,湿度波动为3.3%/h。这是由于恒湿机安装在机房热区,恒湿机进风为机房热区的回风,与空调送风温度约相差11 °C,而恒湿机除湿时的送风温度略高于其进风温度,使得恒湿机除湿时的送风温度与机房空调送风温度温差更大。两股气流互相掺混,对温度和湿度均造成较大的波动,不能满足该机房的室内设计参数。

#### 3.1.4 优化措施

如图1所示,恒湿机1#与空调1#的送风气流相互垂直,空调的送风速度远大于恒湿机的送风速度,恒湿机风速降低时其送风气流受到空调送风气流的阻

挡,导致恒湿机出现压力报警。此外,由于恒湿机和空调均为地板下送风,恒湿机送风温度高于其进风温度(即机房内热区的回风温度),并且远高于空调的送风温度,导致切机工况时机房内的温湿度变化超过机房室内设计参数要求。为保证恒湿机的除湿效果及避免气流波动引起的温湿度超标,本项目将恒湿机支架抬高500 mm,保证恒湿机出风口位于架空地板上方,如图7所示。改造后,恒湿机送风气流不再受空调送风的影响,可以调整除湿工况的送风风速。此外,本项目也将末端空调的送风温度传感器由空调机组下方调整至冷通道中心位置,通过送风温度控制保证冷通道内各测点温度满足机房室内设计参数。

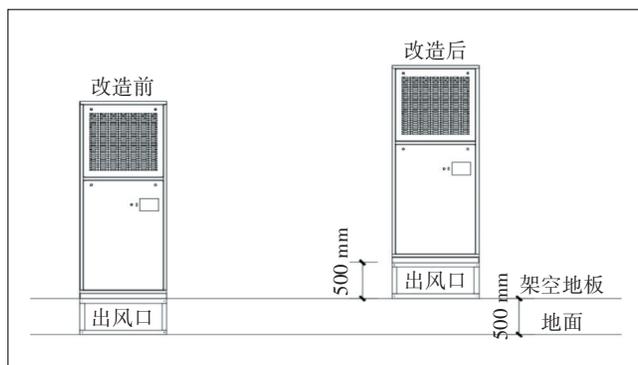


图7 改造前后恒湿机安装示意

改造后机组热备运行切机至空调1#、恒湿机1#时,1 h内机房温湿度变化情况如图8和图9所示。

如表3所示,改造后机组热备状态切机到空调1#、恒湿机1#运行时,1 h内机房的温度波动均在2 °C/h,湿度波动均在5%/h以内,完全满足该机房的室内设计

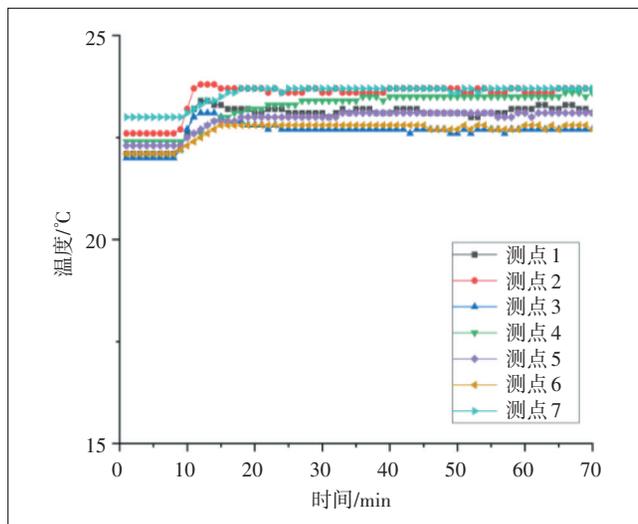


图8 改造后切机至空调1#、恒湿机1#时1 h内机房温度变化

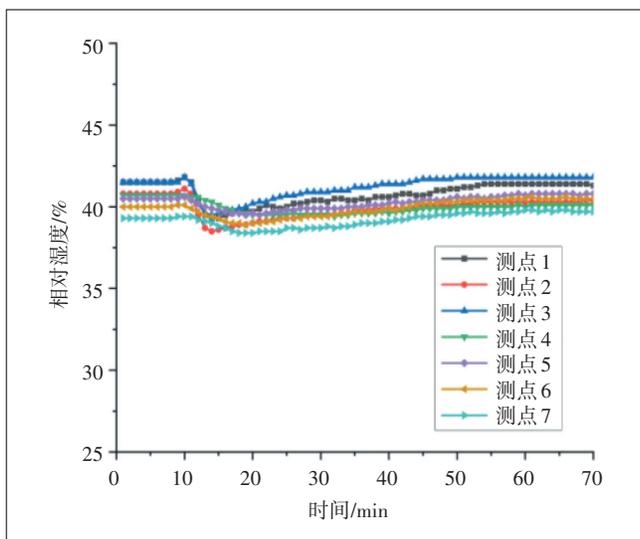


图9 改造后切机至空调1#、恒湿机1#时1h内机房湿度变化

表3 改造前、后切机到空调1#、恒湿机1#时的温湿度变化

测点		改造前	改造后
测点1	温度/(°C/h)	1.9	1.3
	湿度/(%/h)	3.9	2.6
测点2	温度/(°C/h)	1.2	1.2
	湿度/(%/h)	2.7	2.6
测点3	温度/(°C/h)	1.0	1.1
	湿度/(%/h)	5.2	2.6
测点4	温度/(°C/h)	2.6	1.3
	湿度/(%/h)	2.7	1.3
测点5	温度/(°C/h)	2.0	0.8
	湿度/(%/h)	2.2	1.3
测点6	温度/(°C/h)	1.9	0.7
	湿度/(%/h)	2.2	1.7
测点7	温度/(°C/h)	2.2	0.7
	湿度/(%/h)	3.3	1.4

参数。

### 3.2 风量分析及优化措施

本项目机房内共有104块通风地板,优化前各列机柜前地板送风口的风量如表4所示。

根据式(2),理论上单机柜风量为675 m<sup>3</sup>/h。根据表4的数据,地板风口存在送风不均的问题,本项目通过调节地板风口的开度,平衡冷通道内各地板风口的

表4 优化前各列机柜风量

机柜	A列	B列	C列	合计
风量/(m <sup>3</sup> /h)	9 716	15 166	15 011	39 893
单机柜风/(m <sup>3</sup> /h)	607	842	834	767

送风量。若冷通道内地板风口风量差别较为悬殊,也可增加智能通风地板。智能通风地板可根据温度传感器的数值自动调整风量,也可手动设置参数。

## 4 结束语

数据中心机房内温湿度及风量对于服务器的安全稳定运行影响极大,本文通过对某机房的环境测试进行分析,得出如下结论。

a) 在恒湿机选型时,室外环境参数需选取最不利参数。除湿工况选型时建议同时注明除湿量、回风状态点温湿度以及需要处理到的送风状态点温湿度。除湿风速、回风相对湿度等都会对除湿效果产生影响。对于采用地板下送风且对机房内温湿度变化率要求较高的机房,建议恒湿机采用上送风方式,避免恒湿机送风气流与空调送风气流相互掺混,造成较大的温湿度波动。

b) 空调选型时需根据送回风温差计算出风量。风量测量建议选用矩阵风速仪,测量结果最为准确。对于送风不均的问题,可采用调节地板送风口或增加智能通风地板等方式解决。

### 参考文献:

- [1] 许伟伟. 数据中心机房空调气流组织研究[D]. 北京:北方工业大学,2022.
- [2] 秦怡. 基于CFD在线反馈的数据机房送风温度控制策略研究[D]. 广州:广州大学,2017.
- [3] 谢若怡. 数据中心机房局部热环境测试系统及模拟模型研究[D]. 杭州:浙江大学,2022.
- [4] 李瑞. 基于CFD仿真的数据中心气流组织优化[D]. 济南:山东大学,2020.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 数据中心设计规范:GB 50174-2017[S]. 北京:中国计划出版社,2017.
- [6] 刘德一. 冷冻除湿机优化设计及实验研究[D]. 杭州:中国计量大学,2017.
- [7] 黄剑云. 冷冻除湿机设计探讨[J]. 机电工程技术,2002,31(z1):66-68.
- [8] 李国柱,崔美华,李忠辉,等. 寒冷地区某数据机房机柜散热测试及仿真模型研究[J]. 智能建筑与智慧城市,2022(11):144-146.
- [9] 万鑫,周朝瑜. 某数据中心机房环境测试分析[J]. 建筑热能通风空调,2022,41(9):63-65.

### 作者简介:

景淼,高级工程师,硕士,主要从事数据中心空调技术研究工作;何健,高级工程师,硕士,主要从事数据中心电源技术研究工作;董青,博士,主要从事数据中心客户营销工作。