

文章编号: 1005-0329(2014)11-0079-04

# 数据中心机房空调系统设计及气流优化分析

陈修敏 张九根

(南京工业大学 江苏南京 211800)

**摘 要:** 以江苏省某数据中心机房为研究对象,简要介绍了该中心机房空调系统空调方式、气流组织、新风系统、消防排烟系统、高密度制冷方案的设计。通过 CFD 软件模拟分析数据中心主机房的气流组织情况,针对主机房出现的局部热点、气流组织不畅等问题,提出气流优化方案,模拟仿真结果验证了气流组织优化设计的有效性。

**关键词:** 数据中心机房;空调系统;CFD;气流优化

中图分类号: TH48;TB65

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1005-0329.2014.11.017

## Air Conditioning System Design and Air Distribution Optimization for the Data Centre Room

CHEN Xiu-min ZHANG Jiu-gen

(Nanjing University of Technology, Nanjing 211800, China)

**Abstract:** Taking a data center room of Jiangsu as the study object, describes the design of air conditioning mode, air distribution, outdoor air system, smoke control and extraction system, refrigeration scheme of the air conditioning system briefly. Then uses CFD software to simulate and analyze the air distribution situation of the data center main room. Aiming at problems of local hot spots, poor air distribution in the room, puts forward the airflow optimization scheme, and the simulative result shows that the air distribution optimization design is effective.

**Key words:** data center room; air conditioning system; CFD; airflow optimization

## 1 引言

在数据中心众多用电成本支出中,空调的用电占有相当大的比例。根据调查了解,仅精密空调运行耗电就占机房电费总量的 50% 以上<sup>[1,2]</sup>。因此,合理设计数据中心的空调系统,对降低数据中心机房的运行成本具有重要意义。

机房中,因设计不合理等因素制约,会造成机房气流组织不合理、不畅通,从而导致局部热点、机房能源利用率低等问题<sup>[3-6]</sup>。因此,不仅需要合理设计机房的空调系统,更需要在空调系统运行阶段利用 CFD 软件模拟分析数据中心主机房气流组织情况,并提出气流组织优化设计方案,这对数据中心机房的节能减排有着巨大的作用。

## 2 工程概况

本文设计对象——数据中心机房大楼位于江苏省南京市,为四层钢筋混凝土框架建筑,总面积 2522m<sup>2</sup>,机房楼层高 5.5m,净高 3m。主要分为一层 UPS 区(约 312m<sup>2</sup>),二层网络、介质区(797m<sup>2</sup>),三层主机房区(827m<sup>2</sup>),四层设备维护区(174m<sup>2</sup>)等主要区域。

## 3 机房环境技术要求

根据《电子信息系统机房设计规范》,该程控机房为 A 级,其设计的参数要求如表 1 所示<sup>[7]</sup>。为使机房达到上述温度、湿度、洁净度等要求,需用机房专用精密空调以满足要求。

## 4 空调系统设计

### 4.1 负荷计算

收稿日期: 2014-07-07 修稿日期: 2014-08-27

数据中心负荷一般包括墙体、窗、人等冷负荷及服务器产生的显热冷负荷。其负荷特点是:发热量大且相对稳定,需要全年制冷。

空调负荷计算结果如表 2 所示。

表 1 数据中心机房设计参数要求

项目	数值
主机房温度(开机时)(℃)	23 ± 1
主机房相对湿度(开机时)(%)	40 ~ 55
主机房温度(停机时)(℃)	5 ~ 35
主机房相对湿度(停机时)(%)	40 ~ 70
主机房和辅助区温度变化率(开、停机时)(℃/h)	< 5
辅助区温度(开机时)(℃)	18 ~ 28
辅助区相对湿度(开机时)(%)	35 ~ 75
辅助区温度(停机时)(℃)	5 ~ 35
辅助区相对湿度(停机时)(%)	20 ~ 80
不间断电源系统、电池室温度(℃)	15 ~ 25
冷冻机组、冷冻和冷却水泵	N + 1 冗余
机房专用空调	N + 1 冗余

表 2 数据中心机房计算负荷

名称	面积(m <sup>2</sup> )	空调冷负荷(kW)	空调热负荷(kW)
UPS 区	312	25	201.6
网络、介质区 797	63.7	297	
主机房区	827	66.1	617
设备维运区	174	13.9	60

#### 4.2 空调方式设计

目前数据中心机房空调系统主要有 3 种空调方式:

- (1) 风冷直接蒸发式精密空调机组;
- (2) 水冷直接蒸发式精密空调机组;
- (3) 冷冻水型精密空调机组。

结合现场环境条件,以及在建筑格局、可靠性、安全性、初投资方面的比较,本工程选择水冷直接蒸发式精密空调机组的空调方式,主要采用冷媒直接蒸发式蒸发器,冷凝器采用循环水直接冷却方式,系统制冷介质为冷媒(R22)。系统原理如图 1 所示。由图 1 可知,系统主要由室内空调机组,冷却水系统(含冷却塔、水泵、管路)构成。冷却塔一用一备,水泵设计为 2 用 1 备,冷却水管采用机械循环同程式布置。冷却塔放置楼顶,循环水泵房设置在冷水机房。

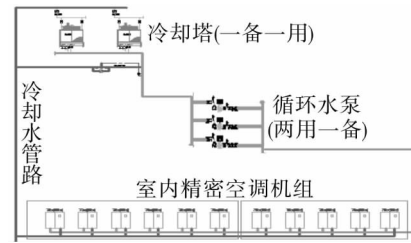


图 1 系统原理

#### 4.3 气流组织方式设计

由于机房机柜以面对面、背对背方式布置,在机房内形成冷热通道分离。因此,主机房区采用下送上回的气流组织方式,热空气从机房空调机顶部进入,经冷却后送入地板下的送风静压箱,由穿孔地板进入机房,使末端送回风温差增大,减少循环风量,送风口与回风口分别采用孔板风口 600mm × 600mm、格栅风口 600mm × 600mm。

#### 4.4 新风系统设计

根据《电子信息系统机房设计规范》要求:(1) 主机房与其它房间、走廊的压差不宜小于 5Pa,与室外静压差不宜小于 10Pa。(2) 空调系统的新风量应取下列两项中的最大值:按工作人员计算,每人 40m<sup>3</sup>/h;维持室内正压所需风量<sup>[7]</sup>。

数据中心机房新风量计算公式为:

$$L = SHN \quad (1)$$

式中  $L$ ——新风量, m<sup>3</sup>/h

$S$ ——房间面积, m<sup>2</sup>

$H$ ——机房有效高度, m

$N$ ——换气次数,取  $N = 1.5$  次/h

以主机房为例,主机房面积为 400m<sup>2</sup>,层净高 5.5m,则主机房所需新风量应不小于 3300m<sup>3</sup>/h,根据该参数选择新风机。新风经过三级过滤,过滤效率达到 95% 以上,能够保证每升空气中大于或等于 0.5μm 的尘粒数少于 18000 粒<sup>[4]</sup>,处理新风温度至 23℃ 后送至室内。

新风机进风口由风管接至室外吊顶安装,送风风管在机房内安装,风管上接散流器,将新风均匀地送至机房内。另室内设置余压阀,当室内正压超过 10Pa,能够自动启动泄压。

#### 4.5 消防排烟系统设计

主机房区和 UPS 区采用七氟丙烷(FM200)气体灭火系统,当发生火灾经气体灭火后,为有效排出灭火后的废气,需设气体灭火后的排气系统。

根据消防排烟系统特点以及《气体灭火系统设计规范》的规定“灭火后,防护区应及时进行

通风换气 换气次数可根据防护区的性质考虑:通信机房、计算机机房可按每小时 5 次进行”本工程采用 5 次/h 的换气次数作为主机房及 UPS 室的排烟风量<sup>[4]</sup>。

排风量计算公式为:

$$Q = NV \tag{2}$$

式中  $Q$ ——排风量  $m^3/h$

$N$ ——换气次数 取 5 次/h

$V$ ——房间体积  $m^3$

以主机房为例,计算出主机房所需排风量为  $11000m^3/h$ ,以此参数来选择消防排烟风机。由于七氟丙烷的密度比空气大,当灭火后气体聚集在房间的下部,因此需在架空地板上和下分别设置排烟风口。

#### 4.6 高密度制冷方案设计

一方面,在机房不同区域内,由于刀片式服务器的分布不均等原因,导致机房各个部位发热量不同,加上一些机房因下送上回的送风方式,使得地板下线路拥堵,阻碍气流流通;另一方面,在业务增长而增加网络设备过程中,不同机柜内以及区域的功率密度也会变得不再均衡,导致不同节点设备辐射的热量不同。这些问题都会使机房出现局部设备附近过热现象,即产生局部热点,严重增加机房能耗,影响机房效率。

为降低能耗,本工程使用冷水背板技术,一种近距离制冷技术来改善局部空间发热密度过高的问题。该背板安装在机柜门后,不占用机房空间,使用过程中没有功率损耗,也不产生噪声,能够满足密度大的机房冷却需要。该技术原理如图 2 所示。

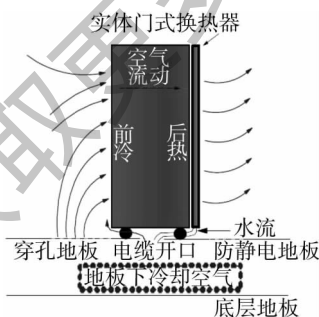


图 2 冷水背板技术原理

### 5 气流组织模拟分析及优化

目前数据中心空调节能技术归结起来,可分为自然冷源利用、气流组织优化、提高空调设备本

身效率 3 种方式<sup>[3]</sup>。本文仅以数据中心主机房为例,从气流组织优化角度进行气流分析与优化。

#### 5.1 数据中心主机房模型

为研究对象建立 3D 模型如图 3 所示。

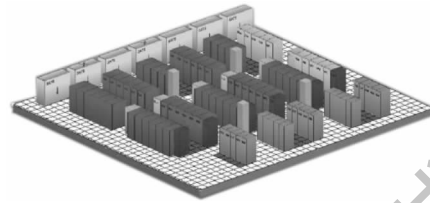


图 3 主机房模型

(1) 房间面积为  $400m^2$ ,高为  $5.5m$ 。机房采用防静电高架地板,铺设高为  $750mm$ 。

(2) 根据测量资料,主机房内人员及照明等冷负荷为  $32W$ ,服务器显热冷负荷为  $444W$ ,采用精密空调机 7 台,5 用 2 备。

#### 5.2 气流组织模拟分析

数据中心主机房应运行在一个稳定、合理、温湿度分布均匀的环境中<sup>[8]</sup>,主机房采用下送上回的气流组织方式。下送风的气流方式,虽然有简单、制冷效果好等优点。但其应用中极易出现地板下走线拥堵等问题,导致气流组织不合理,增长空调能耗。为避免以上问题,本文使用 IBM 机房专用气流模拟分析软件对主机房气流组织、温度场进行模拟,分析机房布局与气流组织的合理性。因本工程主机房门窗较为密封,且开启时间相当少;室外空气难以渗透进室内,加上主机房无人值守,故假设此主机房空调系统运行在理想状态下,室外温度仅通过主机房外墙导热到机房内,并且假设没有室外湿度进入。

经过模拟后,主机房气流组织模拟与温度分布如图 4~7 所示。

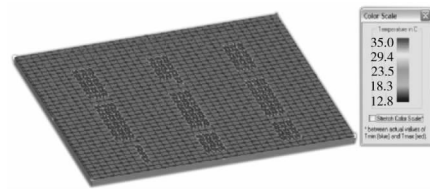


图 4 主机房地板下温度和气流分布

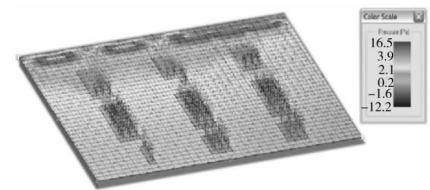


图 5 主机房地板下压力和气流分布

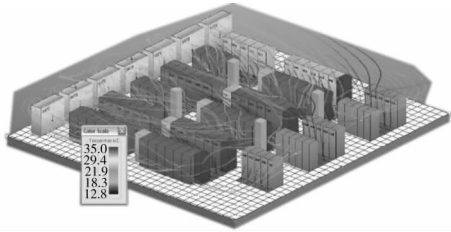


图6 主机房热气流模拟

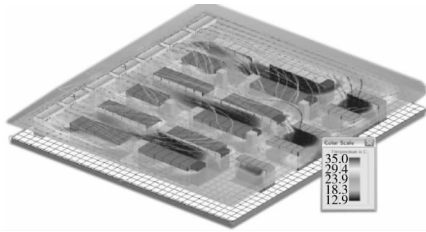


图7 离静电地板 1.6m 层温度气流分布

根据气流模拟图与温度分布图,需观察分析如下数据:

- (1) 模拟气流组织,监视冷热气流的交汇,以观察造成的能量损失情况;
- (2) 验证空调总制冷量计算及设计是否正确;
- (3) 验证空调送风量计算及设计是否满足要求;
- (4) 验证静电地板下的温度、压力情况是否符合设计要求;
- (5) 验证地板下气流组织是否符合设计要求;
- (6) 验证离地 1.6m 情况下,是否存在“热点”问题;

通过模拟图,可以看出程控机房的空调整体设计满足基本的要求,气流组织良好,满足设计需求,但在热气流模拟图与温度分布图中发现,主机房气流出现几处混乱,存在多处热气流和冷气流混合的情况,并伴随着局部热点,主要集中在靠近空调的区域。分析原因是总的制冷量足够,但是风量不够(越靠近精密空调的区域,风量越小)。

### 5.3 气流组织优化设计

#### (1) 冷池技术解决气流混乱问题

冷池技术是在机柜内构建机柜设备制冷用的冷通道,从而将冷空气限制在机柜中,避免了冷热空气混合,并限制冷气设备散热作用,从而改善冷空气利用率、减少气流紊乱问题<sup>[9~11]</sup>。

本机房采用“冷池”技术隔绝精密空调送风,使其不参与与环境空气以及服务器排风的混合过程,这样空调系统就能提供更多有效送风量,解决气流紊乱问题的同时可降低精密空调制冷能耗。

优化设计后,用 IBM 专用 CFD 软件进行模拟,分析优化后其气流组织情况如图 8 所示,发现气流组织良好,气流混乱问题解决的效果良好,验证了方案的有效性。

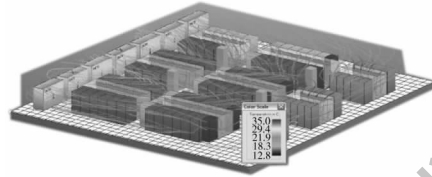


图8 优化后主机房气流组织分布

#### (2) 变风量辅助制冷单元解决局部热点问题

变风量辅助制冷单元温度探头安装在受控服务器机柜区域,感测设备的出风温度,调节送风机转速改变风量。由于风量调节的过程中对地板送风静压箱内的静压产生影响,故用静压传感器采集静压变化,实现空调送风机的变频调节,以达到节能优化的目的。

优化后进行模拟实验,观察温度与气流分布如图 9 所示,发现机房的温度分布得到了明显的改善,气流也趋于稳定。

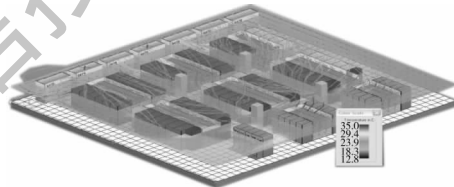


图9 优化后离静电地板 1.6m 层温度气流分布

## 6 结语

本数据中心工程已经竣工并投入使用,目前运行情况良好,机房内温湿度稳定,工程中气流优化设计能很好解决局部热点等问题,使气流组织分布均匀,既满足了空调设计规范要求,又能满足数据中心长远发展的需要。本工程参考国内外的机房建设经验,汲取现代数据中心机房工程前沿技术,设计了本数据中心的空调系统,该空调系统满足机房高密度设备的制冷要求。

根据机房绿色节能要求,从气流组织优化的角度,结合 IBM 专用 CFD 软件模拟,分析了主机房的气流组织及温度场,发现主机房存在的局部热点等问题,并对存在的问题提出节能优化方案。模拟仿真结果表明优化设计节能方案,能有效解决机房中存在的局部过热等现象,对同类机房的节能设计与优化具有一定的参考意义。

(下转第 86 页)

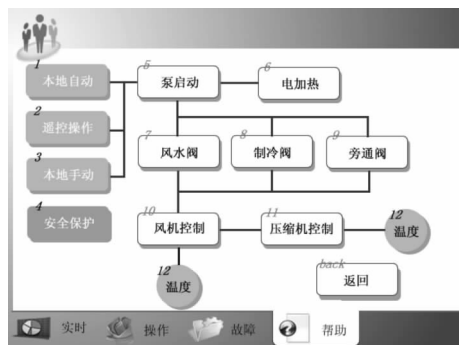


图7 人机界面设计

## 7 结语

在电子装置中,冷却系统是极其重要的部分,关乎被冷却系统的安全运行和寿命,对于大功率电子器件的冷却系统,也是非常重要的配套设备。通过对二次冷却装置工作模式切换点、供液温度、露点问题的分析,保证了冷却装置 24h 安全可靠工作的同时,还对冷却装置健壮性思考,对冷却装置长期工作时,可能出现的一些故障的处理做好前期预判。人机界面的设计往往是机电行业比较忽视环节,在保证操作、显示基本功能的同时,要考虑界面设

计的原则,同时做好产权的保护。

本控制方法已成功应用于某车载冷却装置,设备运行良好。解决了常规换热模式与压缩机制冷模式切换点的选择问题,通过露点温度的值确定供液温度,很好地满足了用户的要求。

## 参考文献

- [1] 林秀雄. 田口方法实战技术 [M]. 深圳: 海天出版社 2004 9.
- [2] 陈恩,钟根仔,江用胜,等. 大功率电子设备冷却系统的设计[J]. 流体机械, 2014, 42(5): 84-87.
- [3] 赵培聪,袁广超,陈恩,等. 半导体制冷片对电子元件降温效果的试验研究[J]. 流体机械, 2012, 40(3): 71-73, 77.
- [4] 张宝军,张国丰,严智,等. 核电厂主螺栓超声自动检测技术研究及实现[J]. 压力容器, 2013, 30(5): 68-73.
- [5] 周苏. 人机界面设计 [M]. 北京: 科学出版社 2007.

作者简介:江用胜(1980-),男,工程师,主要从事工业自动化方面的设计研究工作,通讯地址:230088 合肥市天湖路29号合肥通用机械研究院。

(上接第82页)

## 参考文献

- [1] 孙研. 通信机房节能综合解决方案[J]. 电信工程技术与标准化, 2006, (6): 26-29.
- [2] 刘成,陈乐天,王颖. 通信机房空调气流组织合理化研究[J]. 建筑热能通风空调, 2010, 10(29): 80-84.
- [3] 李红霞. 通信机房空调节能气流优化措施[J]. 邮电设计技术, 2011, 9(3): 6-8.
- [4] 孙云雷,王丽慧. 地铁活塞风与空调送风耦合的温度场的试验研究[J]. 流体机械, 2012, 40(11): 61-65.
- [5] 黄艳山,邓伟雄,廖坚卫. 广州白云机场主航站楼空调气流组织模拟研究[J]. 流体机械, 2011, 39(11): 81-83.
- [6] 齐洪洋,高磊,张莹莹,等. 管壳式换热器强化传热技术概述[J]. 压力容器, 2012, 29(7): 77-82.
- [7] GB50174-2008 电子信息机房设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社 2009.
- [8] 吴灵敏. IDC 机房空调设计浅析[J]. 空调设计, 2008, (12): 55-58.
- [9] 查贵庭,张勇,李新权. 冷池技术让数据中心更环保[J]. 中国教育网络, 2012, (10): 57-58.
- [10] 赖世能,侯福平,宗凌. IDC 机房上下送风方式空调系统分析比较[J]. 电信技术, 2005, (11): 33-35.
- [11] ASHRAE. Datacom equipment power trends and applications [EB/OL]. [2014-02-08]. Http://tc99.ashraecs.org.

作者简介:陈修敏(1989-),男,在读硕士研究生,主要从事建筑电气及其智能化研究,通讯地址:211800 江苏南京市浦口区浦珠南路30号南京工业大学自动化与电气学院。