

本专栏特约组稿专家 寿炜炜 李著萱

数据中心  
空调设计

## 栏 首 语

近年来,数据中心建设成为全球各行业的 IT 建设重点,国内数据中心建设的投资年增长率超过 20%,金融、制造业、政府、能源、交通、教育、互联网和运营商等各个行业都在规划、建设和改造各自的数据中心,数据中心已经成为各企业 IT 系统的核心。然而,随着企业信息化发展的不断深入和信息量的爆炸式增长,数据中心的建设正面临着前所未有的挑战,而作为数据中心配套服务的通风空调系统同样也正面临巨大的变化与挑战。

挑战之一:数据机房的高负荷密度和高可靠性要求。数据机房的发热负荷密度已从以前的每  $\text{m}^2$  几百 W 提高到目前的几 kW,数据机房设备正在朝着高密度、集成一体化及系统模块化的方向发展,机房的通风空调设计完全脱离了常规的方法。同时数据机房的建设涉及金融、通讯、政府等行业,这些行业的重要性决定了数据机房运行时的高可靠性、高安全性要求,其中当然包括环境的温湿度、洁净度的可靠性和稳定性。这些都对暖通专业的设计提出了新的挑战。

挑战之二:在我国大力提倡节能减排、建设绿色家园的今天,对于全年能耗巨大的数据机房,通风空调设计具有相当的挑战性。从目前完成的工程项目看,设计人员在这方面已经做了很好的尝试,如充分利用自然冷源、采用专供的高温冷水机组等,都体现了设计人员的智慧。

得知《暖通空调》杂志要为数据中心空调设计做一期专栏,心中很是高兴。这是《暖通空调》杂志为我们搭建的一个展示设计技术和技术交流的平台,通过交流能使我们的视野大大开阔,同时也有助于促进设计技术进一步成熟与完善。感谢《暖通空调》杂志社。

(寿炜炜)

## 上海地区数据中心空调系统 节能措施探讨

上海建筑设计研究院有限公司 何钟琪<sup>☆</sup> 黄霞

**摘要** 分析了数据中心空调系统能耗的构成,介绍了几种节能措施,包括提高围护结构性指标,合理布置数据机房气流组织,利用免费冷源供冷,回收冷水机组热量等。

**关键词** 数据中心 PUE 值 冷热通道 免费冷源 热回收

### Energy saving measures for data center air conditioning systems in Shanghai area

By He Zhongqi<sup>☆</sup> and Huang Xia

**Abstract** Analyses the composition of energy consumption of air conditioning systems in data centers, and presents some energy saving measures including improving the performance index of the envelope,

properly arranging the air distribution in data centers, applying free cold source for cooling, recovering the heat of chillers, etc.

**Keywords** data center, PUE value, cold/hot aisle, free cooling, heat recovery

★ Shanghai Institute of Architectural Design & Research Co., Ltd., Shanghai, China

## 0 引言

随着社会的飞速发展,金融行业需要处理的信息量越来越大,电信设备的集成度越来越高。金融类建筑中的数据中心面积少则数千  $\text{m}^2$ ,多则数万  $\text{m}^2$ ,其内部设备发热量巨大,空调能耗十分惊人。为了减少能耗、降低成本,建设绿色数据中心是当代金融行业信息化建设的主要任务。

### 1 数据中心空调系统的能耗分析

数据中心能耗指标采用 PUE 来衡量,PUE 是数据中心的服务器和交换机等 IT 设备和机械设备的总能耗与 IT 设备能耗的比率。服务器和交换机等 IT 设备的能耗一般是依据数据中心的规模而定的,减少服务器和交换机机房的空调和供电系统的机械能耗可以提高设施的效率。表 1 列出了某数据中心的用电情况。

表 1 某数据中心的用电情况

	全年耗电量/ (kW·h)	耗电百分 比/%	PUE
计算机设备耗电	52 612 560	70	
配电损耗耗电	7 577 440	10	
其他设备(安保门禁 ECC 等)耗电	876 000	1	
照明耗电	525 600	1	
空调设备耗电	13 487 600	18	
总耗电	75 079 200		1.43

表 1 清楚地显示出数据中心有三个大的耗能项:计算机设备耗电、空调设备耗电、配电损耗耗电。因此,数据中心的节能除计算机设备的节能和降低配电损耗外,机房空调系统的节能潜力也很大。

### 2 数据中心机房的温湿度要求

数据中心机房室内空气温湿度参数:冷通道干球温度( $18 \pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 40%~60%。热通道干球温度( $29 \pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度 40%~60%。

### 3 节能措施

#### 3.1 提高围护结构的性能指标

1) 围护结构应当使用导热系数小的建筑材料,以减小机房空调设备的制冷量。

2) 设计全封闭型数据中心,取消外窗,既能防止因吸收太阳辐射热而消耗能量,又能保持数据中心的正压值,防止机房温度随外界温度的变化而波

动。

3) 在数据机房空调区域对围护结构作保温处理,防止机房相邻区域因温度、湿度差异较大而产生冷凝水和冷负荷。

#### 3.2 合理布置数据机房的气流组织

由于电信机房内的设备功率很大,为之选配的机房专用空调制冷量也很大。由于机房设备发热量分布不均匀,机房内部存在局部过热现象。造成这种现象的主要原因是机房内的气流组织不合理,多数机房采用的上送风方式不符合热空气自然上升的流动规律,这种“先冷环境,后冷设备”的送风方式,导致出现了局部过热现象,并且冷热空气互相混合,减小了送回风温差,增大了送风量,造成不必要的浪费。因此如何合理设计机房内的气流组织,减少无效回风和冷热气流混合成为电信机房配套设计所面临的一大问题。如果这一问题能得到很好解决,也就意味着机房空调的利用率可以大大提高,从而达到节能的目的。

为了解决上述问题,机房内的上送风方式正逐步向着架空地板送风、机房上部回风方式改进。GB 50174—2008《电子信息系统机房设计规范》中指出:机柜或机架高度大于 1.8 m、设备热密度大、设备发热量大或热负荷大的主机房,宜采用活动地板下送风、上回风。应该注意的是,这种送风方式的效果与电信机房内的机柜布置有直接关系。传统机房内机柜一般采用正面同向摆放,前排机柜设备排出的热风被后排机柜吸收,冷热气流混合严重。而按照冷、热通道交替设置的原则布置机柜,使机柜面对面、背对背排列,就能形成冷热通道。冷通道设在机柜前面,热通道设在机柜后面,可以避免机柜间的冷热气流短路,使得空调冷风被 IT 设备充分利用,提高

☆ 何钟琪,女,1964 年 4 月生,大学,学士,高级工程师,主任工程师  
200041 上海市石门二路 258 号机电一所  
(0) 13641696367  
E-mail: hezq@siadr.com.cn  
收稿日期:2011-05-18

冷风的利用率。以下对机房的3种不同冷热通道布局稍作探讨。

图1所示为机柜面对面、背对背排列,冷通道设在机柜前面,热通道设在机柜后面的布局方式。冷风送入架空地板层,通过机柜前面的孔板风口送入室内,冷风进入机柜内换热后由房间上部回到机房空调。由于冷热通道划分明确,这种方式可以提高冷风的利用率,但是在机柜上方和机柜列的末端仍存在冷热气流短路的危险。

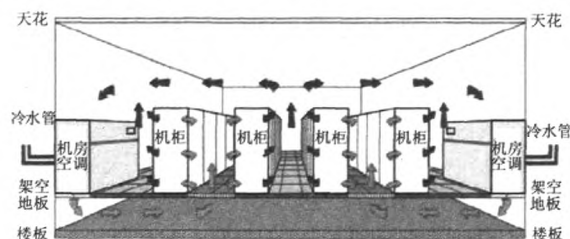


图1 冷热通道布局(房间直接回风)

图2所示为冷风送入架空地板层,通过孔板风口送入室内,冷风进入机柜内换热后由风管和吊顶层回到机房空调的布局方式。采用这种送风方式时整个架空地板都可以设置孔板送风口,而且机柜无需面对面、背对背排列。此设计可消除冷热气流短路的现象。

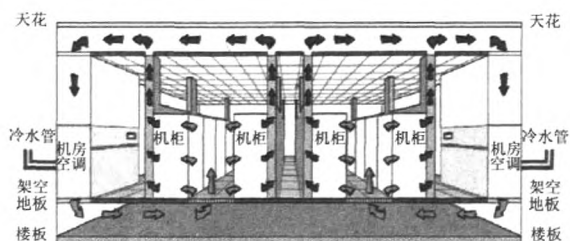


图2 冷热通道布局(冷热通道隔离)

图3所示为冷风送入架空地板层,通过机柜前面的送风管直接送入机柜换热后由风管和吊顶层回到机房空调的布局方式。采用这种送风方式时整个架空地板都无需设置孔板送风口,而且机柜无需面对面、背对背排列。刀片式服务器可以采用高温送风( $20^{\circ}\text{C}$ ),机房内或机柜前的送风量可以增大。这种方式适用于高发热的机柜。

优化冷热通道布局,可以减少无效回风和冷热气流混合,机房空调机组的回风温度得以提高。当机房空调送风温度同为 $18^{\circ}\text{C}$ 时,采用图2或图3

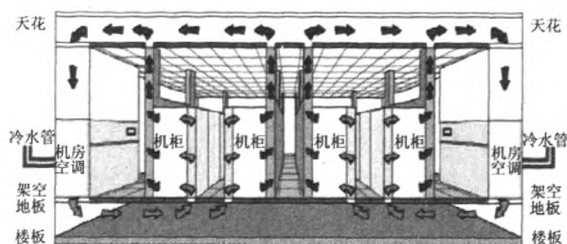


图3 冷热通道布局(冷风直接进机柜)

所示的冷热通道布局,回风温度可以从 $25^{\circ}\text{C}$ 提高到 $30^{\circ}\text{C}$ ,送回风温差由 $7^{\circ}\text{C}$ 提高到 $12^{\circ}\text{C}$ ,可使送风量降为原来的58%。如果为机房空调机组配备高效EC风机,实现变风量控制,则整个空调系统的风机耗功量将会显著下降。

通常机房空调机组中都设有电再热盘管和电加湿器,如果空调供回水温度比较低,数据机房湿工况运行,就会发生有的空调机组在加湿、而有的在除湿的现象,产生了很大的不必要的耗电量。随着空调送回风温度的提高,机房空调机组可依据 $12^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$ 冷水供回水温度选型,干工况运行,全部承担机房的显热负荷,无需设置电再热盘管和电加湿器。由于机房内发湿量很小,而且机房围护结构的密闭性、防水隔汽性较好,所以可以在新风空调机组中集中设置电加热器和湿膜加湿器进行温湿度调节,机房内部的湿度完全由新风控制,夏季新风以等室内露点温度送入室内,以保证机房内湿度控制;冬季新风经电加热至 $5^{\circ}\text{C}$ 后送入室内吊顶,与机房空调机组回风混合后,再送入室内。空调机组的干工况运行不再需要电加湿和电加热,避免了同时除湿和加湿所产生的能耗抵消。

另外,当机房空调冷水供回水温度提高至 $12^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$ 时,冷水机组的COP值可提高至6.3,部分负荷下可达到8.0以上。因此无论从安全稳定性考虑,还是从节能角度考虑,数据机房的空调冷水系统应与使用常规供回水温度( $7^{\circ}\text{C}/12^{\circ}\text{C}$ )的办公空调冷水系统分开设置。

### 3.3 利用免费冷源供冷

在冬季和过渡季通过利用免费冷源来降低数据中心的PUE是一个简单有效的方法。

#### 3.3.1 利用水系统进行免费供冷

如图4所示,把板式换热器串联在冷水和冷却水系统中,同时将冷水的供回水温度提高到 $12^{\circ}\text{C}$

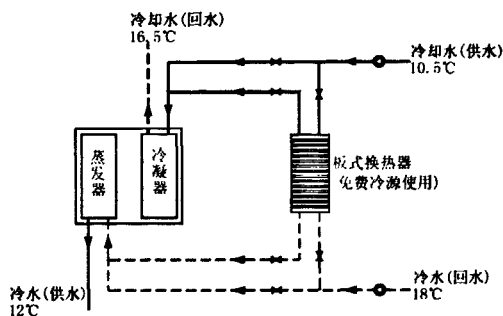


图4 利用水系统免费供冷示意图  
(板式换热器与制冷机组串联)

℃/18℃。当冷却水供水温度高于16℃时,冷水机组为数据中心提供全部的冷负荷。当冷却水供水温度低于16℃且高于10℃时,系统开始使用部分免费冷源,此时免费冷源与冷水机组共同承担系统的冷负荷。当冷却水供水温度低于10℃时,冷水机组停止运行,全部由免费冷源供冷。基于上海的气象参数统计,一年中有26%的时间可以利用自然冷却,其中14%的时间(1 230 h)为全部自然冷却,12%的时间(1 064 h)为部分自然冷却。

需要注意的是,虽然板式换热器串联在冷水和冷却水系统中时免费供冷时间比板式换热器并联在冷水和冷却水系统中时的免费供冷时间长,但需要切换阀门,操作比较麻烦,容易造成系统的不稳定,并且板式换热器与机组串联在系统中,会增加系统的阻力,因此选用何种方案,需经过综合比较。

### 3.3.2 利用风系统进行免费供冷

如图5所示,在空调机房的回风口处设置自然冷却盘管,把冷却水引入自然冷却盘管以达到降低机房回风温度、减少精密空调耗冷量的目的。因回收需要消耗一定的风机能耗,因此该系统一般在21℃气温以下使用自然冷源才能得到经济效益,

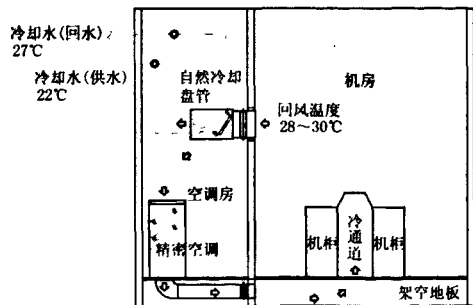


图5 利用风系统进行免费供冷示意图

上海地区一年中61%的时间可以利用该方式进行自然冷却,节能效果非常显著。

### 3.3.3 利用新风进行自然冷却

将室外的低温空气直接引入机房内实现机架的降温。这是一种效率最高的自然冷却方式,但是此类方法经常被机房设计顾问予以否定,原因在于空气中的灰尘等物质会给机柜带来极大的损害,新风往往需要进行中高效过滤处理,若新风量过大,则过滤器面积增加,并需要经常进行更换,成本很高,脱硫处理也很麻烦,同时大量新风引入机房,会造成机房温度和湿度的波动,机房的温湿度不容易控制。

### 3.4 回收冷水机组热量

由于数据中心全年不间断运行,若设置热回收冷水机组,可以为普通办公楼提供整个冬季稳定的免费热源供空调系统供暖使用,这样一方面减少了冷水机组运行过程中排放的大量余热,降低了对环境的热污染,另一方面减少了锅炉燃气或燃油的使用,更进一步降低了碳排放对环境造成的危害,也是一个值得推荐的节能措施。

## 4 结语

目前金融类建筑中的数据中心的规模越来越大,在建成并达到设计容量后,其运营能耗非常巨大,每年需支付的电费可能达到其建设投资的1/3左右。其中空调设备的耗电量占到了18%,节能潜力巨大,通过采取多种空调节能手段降低机房能耗是空调工程师的重任。

本文从四个方面对数据中心空调的节能措施作了一些分析探讨。在实际工程中,设计人员可结合工程的具体情况,决定采取何种措施以更好地实现节能目标。本文中所提出的措施只是抛砖引玉,希望各位专家能提出更多更好的建议,供专业设计人员在将来的数据中心设计中采用。

### 参考文献:

- [1] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008
- [2] 黄翔. 空调工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
- [3] 黄赞, 柯成. 数据机房空调设计探讨[C]// 2008 通信电源学术研讨会论文集, 2008
- [4] 郭端晓, 刘国胜, 袁伟. 通信机房空调节能探讨[J]. 机械制造与自动化, 2008(4)