

大型数据机房空调系统设计

中国中元国际工程公司 范强[☆]

摘要 介绍了机房内的空调负荷情况,分析比较了三种机房空调系统,介绍了为保证机房空调系统安全运行而采取的措施,以及机房空调系统的主要节能途径与节能措施。

关键词 数据机房 空调系统 安全运行 备用 节能 自然冷却

Air conditioning system design for large data rooms

By Fan Qiang[☆]

Abstract Presents the air conditioning load in large data rooms. Analyses and compares three kinds of air conditioning systems for data rooms. Presents the measures for safe operation and main energy saving approaches and measures of the air conditioning systems.

Keywords data room, air conditioning system, safe operation, stand-up, energy saving, natural cooling

★ China IPPR International Engineering Corporation, Beijing, China



= 范 强 =

代表工程:

- ◎ 中国银行信息中心
- ◎ 中国人民银行清算中心
- ◎ 中国航信高科技产业园区
- ◎ 北京饭店二期改扩建工程
- ◎ 中国常驻联合国代表团宿舍改造工程
- ◎ 中国电子大厦

1 数据机房室内环境要求

《数据处理环境热工指南》(美国供热制冷空调工程师学会 ASHRAE 出版的系列丛书之一)中列出了数据中心相应分级(1~4 级)所对应的环境要求。我国规范按照使用性质、管理要求及重要数据丢失或网络中断造成的损失或影响程度,将数据机房分为 A、B、C 三级,对各级机房提出了相应的环境要求^[1]。一般大型数据机房多为 A 级(极重要)和 B 级(重要),下文以 A 级和 B 级为例说明。

根据相关规范和标准的要求,A 级和 B 级数据机房的温湿度参数见表 1。

表 1 数据机房设计参数

A 级和 B 级	
温度/℃	23±1
相对湿度/%	40~55
温度变化率/(℃/h)	<5,并不得结露

数据机房内计算机设备及机架多采用冷热通道的安装方式,即机柜采用面对面的形式一列一列摆放,在两列机柜的正面面对通道中间的架空地板上设

置空调送风口,在这两列机柜之间形成一个冷空气区,称为冷通道。冷空气流经设备后形成的热空气排到两排机柜背面中的热通道中。采用冷热通道布置的方式,能使整个机房冷空气和热空气不混合,气流流动通畅。通过冷热通道这种气流组织方式,提高了制冷效率。但由于采用冷热通道设计,与规范要求的数据机房空间的温湿度参数有所不同。空调温湿度宜按表 2 设计,更适合现阶段的数据机房。

表 2 数据机房冷热通道设计参数

功能区域	温度/℃	相对湿度/%	最小新风换气次数/h ⁻¹	房间压力/Pa
冷通道	18±2	40~55	1	5~10
热通道	32±2		1	5~10

2 机房内空调负荷概况

数据机房空调负荷包括:设备负荷,新风负荷,围护结构的传热负荷,人体、灯光负荷,湿负荷。

数据机房负荷的显著特点是来自数据处理设备的内热显冷负荷很大及湿负荷非常小。数据机房内的主要空调负荷是设备负荷,数据设备热量高度集中、分布不均匀,且数据设备可以根据机架随时变换。数据机房空调系统具有以下特点:送风量

☆ 范强,男,1976 年 7 月生,大学,高级工程师,注册公用设备工程师

100089 北京市海淀区西三环北路 5 号中元国际工程公司 (010) 68732468

E-mail: fanqiang@ippr.net

收稿日期:2012-11-29

修回日期:2012-12-28

大,全年供冷运行,设备冷负荷密度高,新风负荷小,显热负荷大等。

数据机房的数据工艺布置直到使用时才能确定下来,这就给空调负荷计算带来困难。项目设计时,设计人员应根据配电情况、信息设备工艺布置状况及数据通信设备制造商提供的设备实际散热量计算空调负荷。

3 机房空调系统

根据现有空调设备和数据机房使用情况,数据中心有以下 3 种基本空调系统:风冷直接膨胀式机房空调系统、水冷直接蒸发式机房空调系统、冷水型机房空调系统。

3.1 风冷直接膨胀式机房空调系统

该系统应用非常广泛,易分散设置,随着数据设备的增加,能够容易做到空调设备也随之增加,适应性强;当任意一台空调出现故障时损失极小,安全性很高,运行维护费用低。但是空调数量多时,连接管路繁杂;室外机安装需较大空间,若没有足够大的安装空间,室外机散热受影响,空调效率下降,甚至无法正常工作;空调机组效率较低;室外机噪声不好控制;空调系统供电出现问题时,不能实现供冷延时,不利于对数据设备的保护。

根据国内现阶段使用情况,使用风冷直接膨胀式机房空调系统的数据机房都是 2008 年以前建设的或规模较小的数据机房。中国银行信息中心、华夏银行等都采用了该系统。

3.2 水冷直接蒸发式机房空调系统

该系统是在风冷直接膨胀式机房空调系统基础上将风冷改为水冷,具有前一种系统的所有优点,同时克服了一些缺点。风冷改为水冷后,空调系统配管距离、高低差不受限制,克服了风冷系统室内外机高差受限制的缺点,空调机组的散热效果较好。但同时冷却水系统存在单点故障,为了保证系统的安全性,冷却塔和水泵需要备份;空调冷却水系统采用复线或环状管网,以提高水系统的可靠性。

该系统现阶段多使用在数据机房较分散又没有

风冷室外机设置位置的建筑,如写字楼内各层的服务器数据机房,也用在一般建筑改作数据机房的场所。德外印钞造币总公司数据机房采用了该系统。

3.3 冷水型机房空调系统

该系统由冷水机组、冷却塔、冷水泵、冷却水泵、机房空调末端及空调水系统组成。相比前两种复杂很多,但是该系统不仅具有水冷直接蒸发冷却系统具有的优点,还可以在空调系统供电出现问题时,通过设置蓄冷装置实现供冷延时,对制冷系统的安全性有实质性的提高。此空调系统中如果某个设备存在故障,整个系统就出现问题;为了保证系统安全性,空调主要设备——冷却塔、冷水机组和水泵需要备份;空调水系统采用复线或环状管网,以提高水系统的可靠性。

该系统适用于大型新建数据机房,冷水机组的 COP 值较高。1 台投入使用的冷水机组只有很短的时间工作在满负荷状态,大部分时间都运行在 50%~75% 负荷状态;冷水机组部分负荷时综合能效指标非常高,节能效果显著。中国航信数据机房、农行数据中心等采用了该系统。

为了使机房内的空调机组不产生冷凝水,提高数据机房的安全性,空调冷水供回水温度由 7℃/12℃ 提高到 12℃/18℃。同时冷水温度提高,冷水机组的 COP 值可以更高,系统节能性更好。

3.4 机房专用空调系统确定

目前大型新建数据机房普遍选用冷水型机房空调系统。下面以位于北京、总负荷为 3 500 kW 的数据机房为例进行分析,该项目一期负荷为 2 500 kW。对风冷直接膨胀式机房空调系统、水冷冷水型机房空调系统及风冷冷水型机房空调系统进行经济分析比较(水冷直接蒸发式机房空调系统使用较少,不列入此次比较),结果见表 3。由表 3 可以看出,对于空调负荷小于 2 500 kW 的数据机房,使用风冷直接膨胀式机房空调系统经济性更优;但是对于空调负荷大于 2 500 kW 的数据机房,使用水冷冷水型机房空调系统经济性更优。

表 3 3 种空调系统经济分析比较

	一期投资/ 万元	前 3 年费用合计/ 万元	二期投资/ 万元	一、二期每年运行费用/ (万元/a)	5 年费用合计/ 万元	差额/万元
风冷直接蒸发式机房空调系统	982	2 128	722	690	4 230	0
水冷冷水型机房空调系统	1 216	2 182	408	513	3 616	-614
风冷冷水型机房空调系统	1 241	2 240	628	537	3 942	-288

以上分析中没有考虑部分自然冷却时间,实际上分析更优。特别是在严寒地区,可以利用自然冷却的时间更长,节能性和经济性更加突出。对于多

上分析更优。特别是在严寒地区,可以利用自然冷却的时间更长,节能性和经济性更加突出。对于多

大规模的数据机房使用冷水型机房空调系统没有指标规定,需要根据实际情况计算负荷后,进行经济分析确定。

空调系统制冷的冷凝热量也可以通过热回收的方式利用,为数据机房周边的辅助建筑供热。水冷冷水型机房空调系统及风冷冷水型机房空调系统节能方式不同,下文详细说明。

3.4.1 水冷冷水型机房空调系统

为了提高数据机房的安全性和节能性,空调冷水供回水温度采用 $12\text{ }^{\circ}\text{C}/18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。选型时适当加大冷却塔容量,避免散热效果下降造成制冷不足。水冷冷水型机房空调系统冷源示意图见图 1。

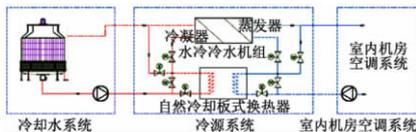


图 1 水冷冷水型机房空调系统冷源示意图

该系统中冷水机组的 COP 值较高,可以达到 6.0 以上。冷水机组采用变频技术时部分负荷下综合能效指标非常高,冷水机组的 $IPLV$ 可达到 9.0 以上,节能效果显著。

系统工作模式:

1) 夏季,利用水冷冷水机组制冷运行,充分利用水冷冷水机组夏天运行高能效率特点。

2) 冬季,充分利用室外自然冷源,通过自然冷却换热器供冷,无压缩机运行供冷,系统能效显著提高。

3) 过渡季节,利用水冷冷水机组和自然冷却换热器联合供冷。

3.4.2 风冷冷水型机房空调系统

水冷冷水系统的冷却水消耗量比较大,适用于水资源丰富的地区。鉴于此原因,可以考虑采用风冷冷水型机房空调系统。该系统采用这种自然冷却方式,优先利用室外低温空气冷却循环冷水,可以实现无压缩机运行制冷,显著降低压缩机的电耗。

1) 夏天,开启制冷机(和常规一样)。

2) 过渡季节大部分时间,当环境温度比冷水回水温度低 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,进行自然冷却预冷冷水(无压缩机功耗),自然冷却不够的部分,由常规压缩制冷补充(有压缩机功耗)。

3) 冬季和过渡季节的部分时间,当环境温度比冷水回水温度低 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时,完全采用自然冷却方

式冷却冷水,无压缩机功耗,仅有少量风扇电耗。

自然冷却作为节能的主要手段,主要使用在严寒及寒冷地区。基于以上的原则,大型数据机房建议建设在严寒及寒冷地区且水资源丰富的地区。

4 空调系统安全

为了保证数据中心全年 8 760 h 不间断供冷,设计中需要对机房空调进行互为备用和多样化的设计,以保证空调系统的安全运行,避免因空调系统故障影响数据中心运行。

4.1 末端设备(机房空调)的备用和多样化

1) 各数据机房设置 N (表示实际需要的设备台数)+ X (备用)台机房空调,保证任何 1 台机组发生故障都能有备用空调替代,同时合理分配每台机房空调的运行时间。

2) 对于双冷源的数据中心,机房空调配备了双冷冻盘管。设计双路冷水系统,保证在任何时候都有两路不同的冷水可供应机房空调。

3) 机房空调交叉供电,降低因供电系统故障导致数据机房全部断电。

4.2 制冷系统的备用

1) 空调系统冷源设计按照 M (空调设备的数量)+1 原则备份;空调水系统管道均设置环线或复线,可保证当一条管线检修或故障时,空调系统运行不受影响。

2) 冷却水补水设置补水池(一般保证 36 h 的用水量),保证空调系统安全运行。

4.3 电力故障时空调系统的延时运行

当采用冷水型机房空调系统时,给冷水循环水泵提供不间断电源(UPS),并设置一定体积的蓄冷罐,在电力故障和冷水机组重启期间维持设备运行一段时间,给设备恢复供冷提供缓冲时间,从而保证设备安全。

4.4 数据机房的防水和排水

水冷系统应当充分考虑数据机房的防水和水系统的紧急泄水及泄水收集措施。

5 节能

衡量数据机房的重要指标——电力使用效率 $PUE = \text{数据中心的总能耗}/\text{IT 设备能耗}$ 。据统计,机房空调系统电耗占整个数据机房电耗的 45% 左右,其中冷源部分占到 2/3。因此,优化数据机房冷却系统是最有效的节能措施,可以有效提高 PUE 值。

数据机房空调系统的主要节能途径与节能措施如下。

5.1 合理设定参数

在满足机房工艺的前提下,确定合理的温度、湿度和新风量,可以降低运营成本,同时延长空调设备的使用寿命,是节能的重要体现。通过对部分机房进行现场测试,发现机房空调设置温度每调高 1℃,可以节能 5%~12%,所以适当提高空调设置温度,对节能意义较大。在温度优先原则下,放宽湿度控制标准,可根据季节的不同,改变湿度的设定值。如夏季的室内相对湿度值可适当提高,缩短空调的除湿时间;冬季机房相对湿度值尽量降低,缩短空调的加湿时间。

5.2 合理优化工艺和配电系统的配置

应尽量按照信息设备系统的重要性和运行连续性要求等分别配置工艺供电回路。对于非 24 h 运行的设备,在安全的前提下可以考虑在其非运行工况下关闭,或减少空调设备的运行负荷。

5.3 送回风方式

所有 IT 机柜采用面对面、背对背的冷热通道形式,机房空调机组和电脑机架的行列呈垂直式布置。机房空调气流组织采用下送上回,空调机组输送冷空气进入活动地板静压箱,通过地面送风口,空调风吹向计算机设备,通过封闭的热通道和吊顶静压箱进行回风。

高密度机柜模块区域,加大冷通道宽度,并采用封闭冷通道,以改善气流组织,为机柜提供足够的冷风;或者采用密闭液冷机柜(密闭液冷机柜是在普通机柜排前部安装 20 cm 深延伸框架,后部也安装 20 cm 深延伸框架,机柜排左右两个侧端安装封板,前部 20 cm 为冷气流通道,后部 20 cm 为热气流通道。冷热空气在整排柜体内部进行循环,与机房空气不连通),直接将冷水送至数据机柜,减少了地板送风能耗。

送风节能控制:当风机、水泵转速下降时,消耗的功率也大大下降,所以建议机房专用空调室内机选用直流调速风机。可以根据机房的要求和空调的显热比来合理选择风机风量。

5.4 选择合理的空调系统

根据数据机房的容量,考虑空调系统节能,可优先采用水冷冷水型机房空调系统,选用高效比冷水主机设备,采用一级泵变流量系统,通过板式

换热器节约冬季运行费用。

北方地区采用全热回收水冷螺杆式冷水机组回收热量,为数据机房新风处理机组及办公区空调提供冬季所需热源。对于寒冷地区的数据机房还可采用空气侧自然冷却系统,直接通过室内外空气的换热或混合等实现数据机房的降温,原理见图 2。

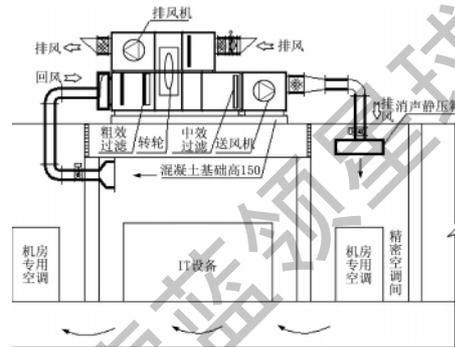


图 2 空气侧自然冷却系统原理

以北京地区为例,单个数据机房空气侧自然冷却机组使用状况分析见表 4。

表 4 空气侧自然冷却系统分析

室外新风温度/℃	空气侧自然冷却系统所承担房间负荷百分比/%	运行时间及占全年百分比
-5	100	约 50 d, 占全年 13.7%
0	82.2	约 35 d, 占全年 9.6%
5	64.4	约 30 d, 占全年 8.3%
10	56.7	约 60 d, 占全年 16.4%

5.5 冷热电联产

冷热电联产可以有效缓解用电高峰时大电网的压力,减少严重事故发生的可能;电网一旦发生故障时,分布式能源系统可以保证重要用户的供电不中断。

6 设计体会

数据机房项目发展很快,从低密度的数据机房发展到现阶段的高密度数据机房,空调系统也不断调整,从风冷直接膨胀式机房空调系统到现在使用很普遍的水冷冷水型机房空调系统。随着数据机房能耗的不断增长,对系统的节能要求越来越高。

近几年,大型数据机房和大型计算机发展很快。设计时必须考虑空调系统的节能要求,要考虑将成熟的节能技术应用在项目中,特别是北方的项目,应当考虑如何利用机房的发热,同时还要保证空调系统的安全性不降低。

参考文献:

- [1] 中国电子工程设计院. GB 50174—2008 电子信息系统机房设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008