

铁路集中信息机房空调设计

铁道第三勘察设计院集团有限公司 张亚静[☆] 朱建章

摘要 以铁路集中信息机房的可靠性、节能性为重点,结合工程实践,对机房专用空调系统形式、设备备用原则、管路系统、故障处理和检修以及水环热泵、气流组织、运行控制等设计思路进行分析。

关键词 机房专用空调 可靠性 节能性

Air conditioning system design for railway central communication rooms

By Zhang Yajing[★] and Zhu Jianzhang

Abstract Focussing on reliability and energy efficiency of this kind of air conditioning systems, combined with engineering practice, analyses the design of special air conditioning system mode, standby equipment principle, piping system, failure handling and repair, and water-loop heat pump, air distribution, operating control of HVAC system etc.

Keywords special air conditioner for communication room, reliability, energy efficiency

① ★ The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin, China



张亚静

主要设计项目

- 天津地铁1号线
- 深圳地铁1号线续建工程
- 太中银铁路工程

铁路集中信息机房里有大量设备房间,如信息系统机房、网络设备机房、通信机房等,其特点是一般设在建筑内区,围护结构的保温性能很好,电子设备发热量大(散热指标 $400 \sim 2\,000\text{ W/m}^2$),其中95%以上为显热,即便在冬季也需供冷。为保证电子设备稳定的工作环境,要求为机房服务的空调机必须全年 $8\,760\text{ h}$ 连续运转。因此机房设计不仅要重视机房空调设备的节能,更要保证机房空调及系统的可靠性。

1 工程实践

本工程为铁路集中信息机房,建筑面积 6 万 m^2 ,内区工艺设备机房的面积为 $7\,300\text{ m}^2$,冬季空调冷负荷 $4\,380\text{ kW}$;其他为生产办公房间,空调

计算总热负荷为 $3\,470\text{ kW}$ 。

工艺专业提出的机房环境条件如下:

1) 主机房(开机时)温度 $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$,相对湿度为 $40\% \sim 55\%$,不能结露。温度变化率(开、停机时) $< 5^\circ\text{C/h}$ 。

2) 应保证房间的正压,主机房与其他房间、走廊的压差不小于 5 Pa ,与室外压差不小于 10 Pa 。

3) 空调系统的新风量应按下列两项中的较大值进行选取:①按工作人员计算,每人 $40\text{ m}^3/\text{h}$;②维持室内正压所需风量。

4) 主机房内的空气含尘浓度,在静态条件下测试,空气中粒径大于或等于 $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 的尘粒数应少于 $18\,000\text{ 粒/L}$ 。

按 A 类机房进行设计,参照 TIA-942 Telecommunication infrastructure standard for data centers 标准。工艺机房均采用水冷型机房专

①☆ 张亚静,女,1971年11月生,大学,高级工程师
300251 天津市河北区金沙江路33号增1号铁三院建筑分院
(022) 26176174
E-mail: zhangyajing@tsdig.com
收稿日期:2010-04-21

用空调系统,同时机房专用空调、冷却塔、冷却水泵采用 $N+1$ 备用模式(N 为计算的设备台数)。地板静压箱送风(地板架空高度 800 mm,地板内敷设管线),吊顶集中回风。新风机选用变频风机,过渡季及冬季可加大新风量,降低能耗。新风接入机房专用空调送风管;机房内的机房专用空调系统和新风系统分别设置粗、中效过滤器。

夏季工艺机房均采用水冷型机房专用空调系统供冷,采用闭式冷却塔;办公用房通过水源热泵机组制冷,采用开式冷却塔。冬季,办公用房等需要供暖,通过水环热泵系统中水的循环及热泵机组实现舒适空调耗热和工艺空调排热的能量转移。若热量不足,则由市政热源补入;若热量过多,则由闭式冷却塔排出。机房专用空调的选型见表 1。

表 1 水冷型机房专用空调的选型

设备技术参数						
制冷量/kW	风量/(m³/h)	电加热功率/kW	加湿量/(kg/h)	冷却水流量/(L/s)	满负荷电流/A	外形尺寸/mm
20	≥5 600	≤6	4.5	1.15	23.1	853×874×1 970
30	≥8 200	≤6	4.5	1.73	30.4	853×874×1 970
33	≥8 100	≤6	4.5	1.90	32.3	853×874×1 970
53	≥13 600	≤9	10	3.05	53.5	1 704×874×1 970
67	≥16 000	≤9	10	3.83	61.3	1 704×874×1 970
81	≥20 100	≤12	10	4.67	71.9	2 553×874×1 970
90	≥23 500	≤12	10	5.12	77.2	2 553×874×1 970
100	≥23 500	≤12	10	5.73	87.7	2 553×874×1 970

注:送风形式为下送上回,风机余压≥200 Pa,冷却水阻力≤8 kPa;A 声级噪声≤55 dB。

该工程电子设备用房位于建筑物内区,办公用房等布置在外区。机房专用空调需接入冷却水管、加湿管道、排水管,机房单独设置。图 1,2 分别为集中信息机房专用空调的平面图和原理图。

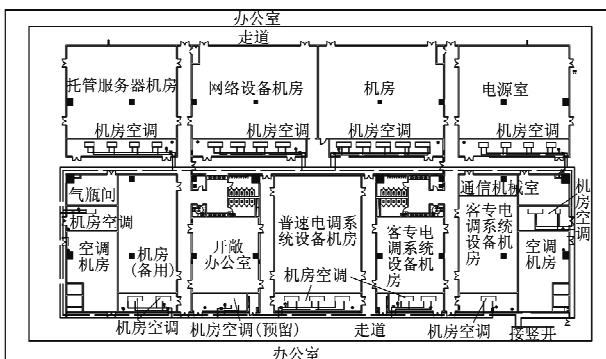


图 1 集中信息机房专用空调平面图

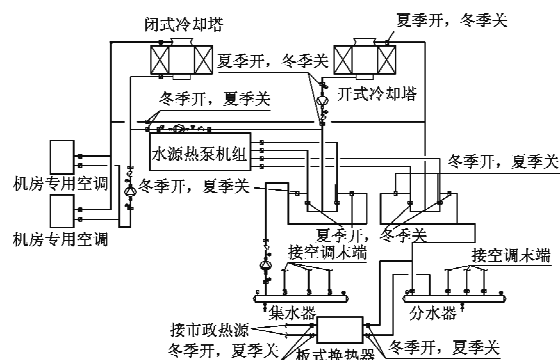


图 2 集中信息机房空调系统原理图

铁路集中信息机房的设计特点主要体现在高

可靠性、节能性两方面,下面以上述工程的机房为例,围绕系统可靠性、运行节能性进行探讨。

2 可靠性

2.1 外部条件

设置空调专用机房,与工艺设备房间隔开,同时设置水坝,采取排水、水位报警等措施,防止水管路跑水、渗漏等对工艺设备的影响。为避免水源出现问题影响空调系统的连续运行,设计中除考虑双路水源供水外,还应适当考虑储水条件,保证冷却塔 6~8 h 运行补水量。设计应为三路电源(第一、二路为独立的低压电源,第三路为柴油发电机电源)。机房专用空调系统用电为一级负荷。

2.2 机房系统形式

机房专用空调系统一般分为风冷型、水冷型、冷水型。

风冷型机房专用空调一般由若干独立系统组合而成,出现故障也只影响一个局部独立系统,每个独立系统针对信息机房要求专项设计、工厂化制造,运行控制一体化,因此可靠性较高。系统冗余措施简单,机组平均无故障时间≥10 万 h,使用寿命为 10 a^[1],故障率很低。

冷水型机房专用空调需设置冷水机组、冷水泵、冷却塔、冷却水泵等设备,虽然室内的冷水型机房空调机故障率很低、可靠性有保障,但整个系统大部分配置属于舒适性空调设备,可靠性受设计、施工、产品质量的影响大。系统冗余措施复杂,按

运行时间 2 000 h/a 计,舒适性空调设备使用寿命为 5~8 a^[1],故障率较高。

水冷型空调需设置冷却塔、冷却水泵等设备,整个系统的可靠性介于风冷型和冷水型空调之间。本文主要介绍采用水冷型机房的专用空调系统。

2.3 设备冗余

为了保证空调系统的可靠性,机房专用空调机组数量采用 $N+X$ 方式确定,其中 N 为计算的空调机数量, X 为冗余机组($X=1\sim N$),主机房每个区域冗余 X 台(还可以考虑双压缩机作为备用)。冷水机组、冷水泵、冷却塔、冷却水泵等设备也相应采用 $N+X$ (冗余)的方式。根据信息机房级别的不同,一般 X 值取 1,也有一些设计将冷水机组、冷水泵、冷却塔、冷却水泵的 X 值取 N 进行备份,设置 2 套系统。

2.4 水管路系统

冷水型和水冷型机房专用空调都存在水管路系统可靠性保障的问题。

2.4.1 管材的选择

目前各种新型管材很多,从安全可靠角度考虑,应采用加厚无缝钢管,焊接。

2.4.2 阀门防漏的处理措施

在系统运行中发现,水系统的薄弱点是阀门,除了选取高品质的阀门、精心施工外,合理设计非常重要。水系统采用如图 3 所示的环状管网,根据系统的冗余能力设分段阀门,便于检修。

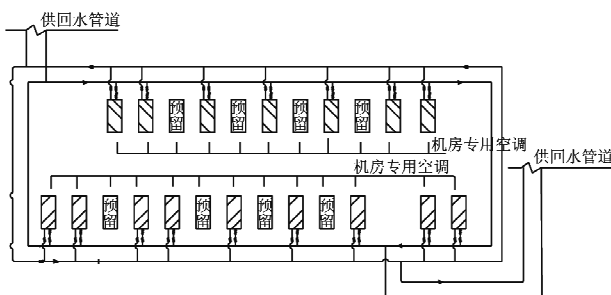


图 3 环状管网

环状管网供水一定程度上提高了供水的可靠性,当某个阀门泄漏时,切断局部的供回水阀门,保证机房其他部分的供冷。但阀门的设置也因此大大增多,不安全因素也随之增加,且由于综合管线复杂,环管阀门一般设于吊顶内,空间条件使切断和更换阀门难度很大,甚至不可能实现。

笔者认为,提高其可靠性最基本的做法是减少漏水点,即在满足基本需求的情况下尽量减少阀门

的设置。设计思路是,泵房范围内的主管采用环状管网,其余采用枝状管网,在竖井内接入每层的水平干管上设置一处主阀门,其余调节阀门均设置在每个机房专用空调房间内的支管上,以最大限度减少阀门设置。阀门设置采用两个阀门并联方案,当其中一个阀门堵塞或发生漏水等问题时,采用带压封堵技术进行处理,由另外一个备用阀门进行供水。这样做的优点是大大简化了水路系统,无局部停机之虞,可靠性也能得到保证。

2.4.3 管道防冻

由于冷水或水冷型机房专用空调要求全年制冷,冷却塔也要求全年运行,故在北方地区,冷却水和冷却塔的防冻问题需要重视。冷却塔的积水盘通常采用电伴热的方式进行防冻处理,但闭式塔内的盘管需要采用乙二醇防冻液作为循环介质^[2]。

2.4.4 故障处理和检修

若阀门漏水,可采用动态堵漏技术。动态堵漏是指在实现密封的过程中,输送管道中介质的工艺参数如温度、压力、流量均不降低,即在动态下阻止泄漏。目前,国内外动态堵漏技术最常用的是注射式带压堵漏技术、带压粘接堵漏技术和带压焊接堵漏技术。三种技术各有优缺点,应根据具体的泄漏情况,采取合理的措施^[3]。

带压堵漏技术只作为应急处理措施,在管道的正常检修期应进行长期可靠的修复。但机房空调全年运行,可在冬季最有利时间段或利用室外的免费冷源进行供冷的时间段,对水管道分区域进行维修。

综合考虑机房专用空调系统可靠性影响因素,笔者认为宜采用适当分散的系统,即一个信息机房的多台机房空调机组分别由不同的独立冷水、冷却水系统供给。

3 节能性

3.1 系统形式

在节能方面,风冷型、水冷型、冷水型三种机房专用空调机组中,风冷机组的 COP 值最低,而且在大型电子设备用房的设计中,由于风冷机组的冷凝器与室内机的制冷剂管长度一般限制在 30 m 内,风冷机组的室外机需要占用立面或屋面的面积很大,室外机组的噪声值大,建筑立面难以处理,故在铁路集中信息机房难以实现。

冷水机组 COP 高于水冷型的机房专用空调。在北方,冬季冷水型空调可利用闭式冷却塔供冷,

而水冷型空调不能实现此功能,只有选用双冷源(冷水/水冷直接膨胀系统)机组才能实现冬季的免费供冷,但此机组(尚没有国产)的投资增加 30% 左右,占地面积相应增加。从空调运行节能角度看,在北方地区应优先选用冷水型机房专用空调。

3.2 水环热泵

铁路集中信息机房空调中共享空间、办公用房等的空调属于舒适性空调,电子设备用房属于工艺性空调。办公用房设置在外区,冬季需供暖;而电子设备用房在内区,有大量的设备散热,冬季需供冷,适合使用水环热泵空调系统。

通常水环热泵空调系统是按负荷特性在各房间或区域分散布置水环热泵机组,通过一个双管封闭的水环路系统,将水侧换热器连接成并联环路,通过水-水换热来达到节能目的。但在铁路集中信息机房设计中,水环热泵空调系统是将舒适性空调的冷水机组设计成水源热泵机组,夏季制冷供办公用房,冬季通过机房专用空调系统冷却水的循环及热泵机组的联合工作,实现舒适空调耗热和工艺空调排热的能量转移,最大限度地减少外界供给能量。当循环水温度高于设定上限温度时,开启冷却塔排出多余热量;当水温低于设定下限温度时,通过市政热网以换热方式向系统补充热量。

3.3 气流组织

电子设备用房应尽可能与一般建筑及外部环境隔离。一旦室内封闭,必须确保高效的空气流动,实现以最少的能量排除最多的设备热量。

现今大多数的设备正面进气,背面排气,这种设计使得设备机架可通过正确摆放来形成热通道/冷通道。按照这种方法摆放机架,各排机架相对而立,对立排列的机架的正面从同一通道(冷通道)吸收冷空气。两排的热空气进入热通道,提高了返回至机房专用空调的空气温度,使得机房专用空调运行更为高效。

这种方法在冷热空气隔离时最为有效。因此,应移走热通道的带孔地板,且只在冷通道使用带孔地板。机架中的闲置空间应安装挡板,防止热空气被吸入机架;可使用电缆密封环,防止冷空气通过位于机架背面的电缆入口进入热通道;也可以吊顶集中回风,使天花板形成负压,将空气引回至机房专用空调,以及在冷通道末端安装挡板,这种做法已被证实可最大限度地防止热冷空气混合。

使用热通道/冷通道方法时,机房专用空调设备始终应与热通道相互垂直,以减少空气流动和防止热空气返回空调时向下流入冷通道。天花板负压可最大限度地防止热冷空气混合。

3.4 设备匹配与控制

以水冷型为例进行分析。机房专用空调、冷却水泵全年运行,在保证工艺要求的条件下,降低其设备的运行能耗非常关键。

3.4.1 机房专用空调的匹配与控制

GB 50174—2008《电子信息系统机房设计规范》规定,机房的送回风温差为 $4\sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且送风温度高于露点温度,工程中按不结露控制送风量更具有可行性。A 类电子设备用房的设计温度为 $(23\pm 1)^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $50\%\pm 5\%$,对应露点温度为 $13.6\text{ }^{\circ}\text{C}$, $12.7\text{ }^{\circ}\text{C}$,故机房专用空调的选型按 $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温差(保证不结露)的风量进行匹配,冷风比为 3.13 Wh/m^3 。

水冷型机房专用空调运行的节能优势在于:在机房内设置的智能数字温湿度探测器可采集不同区域的环境温湿度,根据本区域机房内热负荷的变化自动控制机组中空调机的运行数量,可以自动切换备份机组,并能避免同一机房内多台空调机同时运行在相反的运行状态(制冷/加热、加湿/除湿),达到节能的目的。

3.4.2 冷却水泵的匹配与控制

在机房专用空调的设计中,由于设备散热量全年基本稳定,冷却水泵变频意义不大,控制冷却塔及对应的冷却水泵的台数以满足节能要求。但冷却水泵流量是否按机房专用空调的冷却水流量选取值得商榷。国内外机房专用空调配置的冷风比一般为 $3.5\sim 4.4\text{ Wh/m}^3$,按计算风量选取机组,其冷量对应的冷负荷增加 $12\%\sim 40\%$ 左右,若按所有机组的冷凝热量来计算冷却塔的冷却水流量,则大大超出实际运行的水量要求。

以水冷型机房专用空调标准制冷量 90 kW 、风量 $20\ 020\text{ m}^3/\text{h}$ 的机组为例,室内设计温度 $24\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 45% ,盘管的水阻力 80 Pa ;冷却水供水温度 $32\text{ }^{\circ}\text{C}$,冷却水流量的变化对机组制冷量的影响见图 4。

由此可以看出,在冷却水流量减少 40% (机器报警下限)、风量不变的情况下,机组制冷量降低 2.2% 左右。冷却水泵流量完全可以按照设计负荷设置,配合机房专用空调启停,减少冷却水泵运行能耗。

(下转第 57 页)