

数据中心空调系统应用白皮书

目 录

一 引言	5
1.1 目的和范围	5
1.2 编制依据	5
1.3 编制原则	6
二 术语	6
三 数据中心分级	8
3.1 概述	9
3.2 数据中心的分类和分级	9
四：数据中心的环境要求	10
4.1 数据中心的功能分区	10
4.2 数据中心的温、湿度环境要求	11
4.2.1 数据中心环境特点	11
4.2.2 国标对数据中心环境的规定和要求	12
4.3 数据中心的其它相关要求	16
五：数据中心的机柜和空调设备布局	18
5.1 机柜散热	19
5.1.1 数据中心机柜	19
5.1.2 机柜的布局	21
5.2 机房空调及其布置	23
5.2.1 机房空调概述	23
5.2.2 机房空调送回风方式	25
5.2.3 机房空调布局	25
六：数据中心空调方案设计	26
6.1 数据中心的制冷量需求确定	26
6.2 数据中心的气流组织	29
6.2.1 下送上回气流组织	29
6.2.2 上送下(侧)回气流组织	33
6.2.3 局部区域送回风方式	36
6.3 空调系统的冷却方式选择	37
6.4 空调设备的选择	46
七：数据中心中高热密度解决方案	48
7.1 区域高热密度解决方案	48
7.2 局部热点解决方式	50
7.3 高热密度封闭机柜	52
7.4 其它高热密度制冷方式	54
八：数据中心制冷系统发展趋势	54
8.1 数据中心发展趋势：	54
8.2 数据中心制冷系统发展趋势	57
九 机房环境评估和优化	58
附件一：数据中心要求控制环境参数的原因	62
附件二：机房专用空调机组	70

图表 1 电子信息机房分类.....	9
图表 2 TIA942 对机房的分类.....	9
图表 5 不同机房等级的环境要求.....	13
图表 6 ASHRAE 对数据中心环境要求的变化	14
图表 7 服务器主板气流方向.....	19
图表 8 服务器机柜尺寸规格.....	20
图表 9 常见的机柜进出风方式.....	20
图表 10 在不同进出风温差时的风量需求	21
图表 11 中高热密度机房的冷热通道布局示意图.....	22
图表 12 空调设备制冷系统原理图	24
图表 13 空调单侧布置示意图	25
图表 14 空调双侧布置示意图	26
图表 15 空调靠近热源布置示意图	26
图表 16 下送上回气流组织	30
图表 17 地板下送风和机柜冷热通道布局	31
图表 18 地板下静压分布规律示意图	32
图表 19 上送风风道下回气流组织	33
图表 20 风道整体布局示意图	35
图表 21 上送风风帽送风下回气流组织	36
图表 22 局部区域送回风—吊顶式送回风	36
图表 23 局部区域送回风—水平气流送回风	37
图表 24 风冷式系统原理图	38
图表 25 乙二醇式系统原理图	39
图表 26 水冷式系统原理图	40
图表 27 冷冻水式系统原理图	42
图表 28 风冷双冷源式系列原理图	43
图表 29 各冷却方式对比表	45
图表 30 高热密度区域封闭冷风通道空间应用	49
图表 31 高热密度区域封闭冷风通道空间气流分布.....	49
图表 32 高热密度区域通道气流对比	50
图表 33 机房顶部加制冷终端形式	51
图表 34 机柜间安装空调终端形式	51
图表 35 冷通道封闭的示例	52
图表 36 封闭式水冷机柜应用	52
图表 37 封闭式水冷机柜工作原理示意图	53
图表 38 C F D 模拟示意图	60
图表 39 C F D 模拟示意图	61
图表 39 数据中心各设备热密度发展趋势图	62
图表 41 同等计算能力下消耗的机柜、服务器数量、占地和耗电对比.....	62
图表 42 部分计算厂家、机构对环境的要求	63
图表 43 部分交换机厂家对环境的要求	63
图表 44 电池寿命与温度关系	65
图表 45 低温下影响电池放电容量	66
图表 46 Intel 统计电脑故障原因分布.....	67

图表 47 静电损伤的阈值电压	67
图表 48 芯片被 ESD 击穿	67
图表 49 不同情况下产生的静电电压	67
图表 50 纽约地区通讯中心空气平均杂质浓度	68
图表 51 机房专用空调制冷系统原理简图	70
图表 52 舒适性空调在设计上与机房专用空调的差异.....	73

《数据中心空调系统应用白皮书》

一 引言

1.1 目的和范围

本白皮书介绍了数据中心环境要求、设备布局、空调系统设计、未来的发展趋势以及数据中心空调系统的评估和优化。本白皮书可以用于指导数据中心空调系统的规划和设计。

1.2 编制依据

本白皮书依据国家相关法律、法规以及设计标准与行业规范为基础，结合数据中心建设、运行、维护中的实际情况，经过多位行业专家的共同努力编制。主要参考的相法规、规范、标准有：

GB—50174-2008 《电子信息系统机房设计规范》

GB—50462 《电子信息机房施工及检验规范》

GB/T 19413-2003 计算机和数据处理机房用单元式空气调节机

GB 50019-2003 《采暖通风与空气调节设计规范》

GB 50243-2002 《通风与空调工程施工质量验收规范》

GB 10080-2001 《空调用通风机安全要求》

GB 50015-2003 《建筑给水排水设计规范》

GB/T 14295 空气过滤器

GB50243-2003 通风与空调工程施工质量验收规范

JB/T 4330 制冷和空调设备噪声的测定

JB/T 8655 单元式空气调节机安全要求

GB/T18430 蒸汽压缩循环冷水（热泵）机组

Thermal Guidelines for Data Processing Environments 2008

TIA942 标准(Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers)

中国电信[2005]658 号 IDC 产品规范和 741 号文件

中国移动公司对机房的环境控制指标要求

GB/T 15395—1994 《电子设备机柜通用技术条件》

EIA-310-D Cabinets, Racks, Panels, and Associated Equipment 接线

柜、支架、仪器板和辅助设备

1.3 编制原则

1. 考虑内容的适应性、覆盖性、全面性。

适应性：适应当前和未来一段时期数据中心的技术发展状况以及未来新技术、新产品的发展，有关数据和资料与新设备、新材料、新技术、新工艺的发展水平相适应；符合现行的国家标准、行业标准或规定。

覆盖性：应覆盖国内各种数据中心的空调系统工程设计、施工和检验，纳入成熟的、经过验证的应用方案、方法及设备等。

全面性：内容、体系完整。

2. 以数据中心空调系统方案设计为中心。侧重设计方案和原则、重要技术方案的确定、参数计算和确定、设备选型与布置等方面的内容。同时避免内容冗杂，通过分类提供相关标准、规范、参考资料的索引，提供深入学习和研究的途径。

3. 强化充实节能、安全、环保设计的相关内容。

二 术语

2.1 数据中心 dataCenter

数据中心通常是指在一个物理空间内实现信息的集中处理、存储、传输、交换、管理，而计算机设备、服务器设备、网络设备、存储设备等通常认为是网络核心机房的关键设备。

关键设备运行所需要的环境因素，如供电系统、制冷系统、机柜系统、消防系统、监控系统等通常被认为是关键物理基础设施。

2.2 主机房 computer room

主要用于电子信息处理、存储、交换和传输设备的安装和运行的建筑空间。包括服务器机房、网络机房、存储机房等功能区域。

2.3 辅助区 auxiliary room

用于电子信息设备和软件的安装、调试、维护、运行监控和管理的场所，包括进线间、测试机房、监控中心、备件库、打印室、维修室等区域。

2.4 支持区 support area

支持并保障完成信息处理过程和必要的技术作业的场所，包括变配电室、柴

油发电机房、UPS 室、电池室、空调机房、动力站房、消防设施用房、消防和安防控制室等。

2.5 行政管理区 administrative area

用于日常行政管理及客户对托管设备进行管理的场所，包括工作人员办公室、门厅、值班室、盥洗室、更衣间和用户工作室等。

2.6 相对湿度 relative humidity

空气中实际含有的水蒸气量与同温同压下能容纳的水蒸气的最大量之比，用%表示。

2.7 焓 enthalpy

热力学中表示物质系统能量的一个状态函数，表示工质所含的全部热能，等于该工质的内能加上其体积与绝对压力的乘积。常用符号 H 表示。

2.8 加湿量 Humidification

指单位时间内加入密闭空间、房间或区域的空气中的水分，叫加湿量。单位：公斤/小时（kg/h）

2.9 能效比（EER）energy efficiency ratio

在额定工况和规定条件下，空调器进行制冷运行时，制冷量与制冷消耗功率之比。

2.10 性能系数（COP）coefficient of performance

在相关标准规定的名义工况下，机组以同一单位表示的制冷（热）量除以总输入电功率得出的比值。

2.11 全年能效比（AEER）annual energy efficiency ratio

机房空调进行全年制冷时从室内除去的热量总和与消耗的电量总和之比。

2.12 制冷量（制冷能力）total cooling capacity

空调器在额定工况和规定条件下进行制冷运行时，单位时间内从密闭空间、房间或区域内除去的热量总和，单位：kW。

2.13 显热制冷量 sensible cooling capacity

在规定的制冷量实验条件下，空调机从机房或基站除去显热部分的热量，单位：kW。

2.14 制冷消耗功率 refrigerating consumed power

在规定的制冷量试验条件下，机房空调所消耗的总功率，单位为瓦（W）。

2.15 显热比 sensible heat ratio

显热制冷量与总制冷量的比值，用等于 1 或者小于 1 的小数表示。

2.16 送风量 indoor discharge air-flow

空调器用于室内、室外空气进行交换的通风门和排风门（如果有）完全关闭，并在额定制冷运行条件下，单位时间内向密闭空间、房间或区域送入的风量，单位：m³/h。

2.17 冷风比（cooling-air ratio）

在规定的制冷量实验条件下，空调机的总制冷量与每小时送风量之比，单位为 W/(m³·h-1)

2.18 机外静压

机组风机出口处与回风口处的静压差，单位为 Pa。

2.19 机房专用空调机（air-conditioning unit dedicated used in telecommunication equipment room）

机房专用空调是根据通信设备对机房温湿度要求设计的具有高可靠性，高显热比等特点、并具有能自动调节空调参数及进行参数检测、故障报警显示、停电自启动等智能控制功能的空气处理装置。一般送风量较大，空气处理焓差小，显热比大，适合通信机房使用。

2.20 能量使用效率 PUE（power usage effectiveness）

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power (数据中心总能耗)}}{\text{IT Equipment Power (IT设备总能耗)}}$$

2.21 热通道/冷通道（hot aisle/cold aisle）

热通道/冷通道数据中心的服务器机架和其他计算设备的布局设计。热通道冷通道构造旨在通过管理气流来节约能源和降低冷却成本。

2.22 乙二醇（或水）干式冷却器 glycol（water）drycooler

由室外空气对管内带有排热量的乙二醇溶液（或水）进行冷却的冷却器。被冷却的乙二醇溶液（或水）可以用于制冷系统冷凝器的冷却介质，或者低温季节采用乙二醇自然循环冷却器用于冷却机房内的循环空气。简称干冷器。

2.23 双冷源式 dual cool

在风冷式、水冷式或冷水式机房空调吸热侧的空气处理通道中，再附加一套冷水盘管，其冷水由其它冷源提供，可实现以不同冷源制冷运行的机房空调。

三 数据中心分级

3.1概述

随着信息化的深入，越来越多用户需要大量的数据处理和信息交换，相应的越来越多的企业开始建设数据中心建设，专门的数据中心服务企业也应运而生，为其他机构提供专业的数据服务。数据中心是业务系统与数据资源汇聚的场所，从应用层面看，包括业务系统、基于数据仓库的分析系统；从基础设施层面看，包括服务器、网络、存储、供电、环境和管理系统。

3.2 数据中心的分类和分级

按规模，数据中心可以分为超大型数据中心、大型数据中心、中型数据中心和小型数据中心，甚至还有迷你数据中心。从运营层面，数据中心可以分为企业自用数据中心、第三方托管数据中心。

我国在 2008 年制定的《电子信息机房设计规范》GB 50174-2008，从机房可用性角度将电子信息机房定义为 A、B、C 三类，其中 A 类要求最高（如表 1 所示）。数据中心一般按 A 类或 B 类标准执行。

图表 1 电子信息机房分类

等级	A类	B类	C类
机房定义	系统中断导致重大经济损失或者公共秩序严重混乱的电子 信息机房	系统中断导致较大经济损失或者公共秩序混乱的电子 信息机房	其他机房
冗余能力	有容错能力	有冗余	无冗余
可用性	99.99%	99.75%	99.67%
供电系统可用性	99.99999%以上	99.99%以上	99.9%

美国 TIA 942 标准与 Uptime Institute 的定义，将数据中心的可用性等级分为四级（如表 2 所示）：

图表 2 TIA942 对机房的分类

等级	4级	3级	2级	1级
冗余能力	有容错能力	可在线维护	有冗余	无冗余
可用性	99.99%	99.96%	99.75%	99.67%
供电系统 可用性	99.99999%以上	99.999%以上	99.99%以上	99.9%



从以上可以看出, 两个标准对于机房的可用性定义基本一致。数据中心空调系统的要求和配置也与机房的可用性等级直接相关。

四 数据中心的环境要求

4.1 数据中心的功能分区

通常数据中心作为一幢建筑单体(为少数, 如: IDC 或大型企业数据中心)或某一建筑中的一部份(为多数, 占公共建筑物中的一个局部区域)的形式构建。一个数据中心通常主要包括: 主机房、辅助机房、支持机房和行政管理区等。各机房面积的选取应可参考 GB50174-2008 《电子信息系统机房设计规范》的 4.2 中的规定。

主机房主要用于电子信息处理、存储、交换和传输设备的安装和运行的建筑空间。包括服务器机房、网络机房、存储机房等功能区域。

辅助区为用于电子信息设备和软件的安装、调试、维护、运行监控和管理的场所, 包括进线间、测试机房、监控中心、备件库、打印室、维修室等区域。

支持区是支持并保障完成信息处理过程和必要的技术作业的场所, 包括变配电室、柴油发电机房、UPS 室、电池室、空调机房、动力站房、消防设施用房、消防和安防控制室等。

行政管理区是用于日常行政管理及客户对托管设备进行管理的场所, 包括

工作人员办公室、门厅、值班室、盥洗室、更衣间和用户工作室等。

在数据中心的机房中，主机房一般安排在中间位置，并且尽量使主机房设计为规正的四方形。应尽量避免采用圆型、L 型以及过于狭长的长方型建筑，此类数据中心不利于机房内的设备布置以及气流组织分配。

捷联提供相关示意图。

4.2 数据中心的温、湿度环境要求

4.2.1 数据中心环境特点

数据中心中都安装有大量的计算机设备，计算机处理速度越来越快、存储量越来越大、体积越来越小是计算机发展的趋势，也就是说单位面积的散热量越来越大。而在机房场地建设时，为节省初期项目投资，满足一定时期内的业务发展和设备需要，在满足必须的设备运行、维护通道的前提下，一般用户都希望尽可能多地安装设备及设备机架，这就形成了与民用建筑和工业厂房空调负荷的显著区别。

A. 显热量大

数据中心内安装的服务器、路由器、存储设备、交换机、光端机等计算机设备以及动力保障设备，如 UPS 电源，均会以传热、对流、辐射的方式向数据中心内散发热量，这些热量仅造成机房内温度的升高，属于显热。一个服务器机柜散热量在每小时几千瓦到十几千瓦，如果是安装刀片式服务器，散热量会高一些。数据中心设备散热量一般均在 $400\text{W} / \text{m}^2$ 以上，装机密度较高的数据中心可能会到 $1000\text{W} / \text{m}^2$ 以上。机房内显热比可高达 95%。

B. 潜热量小

不改变机房内的温度，而只改变机房内空气含湿量，这部分热量称为潜热。机房内没有散湿设备，潜热主要来自工作人员及室外空气，而大中型数据中心一般采用人机分离的管理模式，机房围护结构密封较好，新风一般也是经过温湿度预处理后进入机房，所以机房潜热量较小。

C. 风量大、焓差小

设备的热量是通过传导、辐射的方式传递到机房内，设备密集的区域发热量集中，为使机房内各区域温湿度均匀，而且控制在允许的基数及波动范围内，就需要有较大的风量将余热量带走。另外，机房内潜热量较少，一般不需要除湿，

空气经过空调机蒸发器时不需要降至露点温度以下，所以送风温差及焓差要求较小，为将机房内余热带走，就需要较大进风量。

D. 不间断运行、常年制冷

机房内设备散热属于稳态热源，全年不间断运行，这就需要有一套不间断的空调保障系统，在空调设备的电源供给方面也有较高的要求，不仅需要有双路市电互投，而且对于保障重要计算机设备的空调系统还应有发电机组做后备电源。长期稳态热源造成即使在冬季机房内也需要制冷，尤其是在南方地区，更为突出。在北方地区，如果冬季仍需制冷，在选择空调机组时，需要考虑机组的冷凝压力和其他相关问题，另外可增加室外冷空气进风比例，以达到节能的目的。

E. 多种送回风方式

空调房间的送风方式取决于房间内热量的发源及颁布特点，针对机房内设备密集式排列，线缆、桥架较多以及走线方式等特点，空调的送风方式分为下送上回、上送上回、上送侧回、侧送侧回、上送后回、前下送上回等。

F. 静压箱送风

机房内空调送回风通常不采用管道，而是利用高架地板下部或天花板上部的空间作为静压箱送回风，静压箱内形成的稳压层可使送风较均匀。

G. 温湿度要求高

由于服务器、存储设备、路由器等电子信息设备的制造精度越来越高，导则其对环境的要求也较高。对温湿度均有较高的要求。温度过高会造成服务器设备故障率升高、可靠性下降，甚至直接造成设备宕机。湿度会影响电子设备内部电路故障，湿度过低易使设备产生静电，造成电子部件击穿短路等故障，湿度过高会造成电器元件短路、腐蚀等。

H. 洁净度要求高

电子计算机机房有严格的空气洁净度要求。空气中的尘埃、腐蚀性气体等会严重损坏电子元器件的寿命，引起接触不良和短路等，因此要求机房专用空调能按相关标准对流通空气进行除尘、过滤。另外，要向机房内补充新风，保持机房内的正压。主机房与其他房间、走廊间压差不应小于 **5Pa**，与室外静压差不应小于 **10Pa**。

4.2.2 数据中心环境要求

目前在国内对数据中心环境要求最权威的标准为 GB50174-2008《电子信息机房设计规范》。标准规定了电子信息机房在不同区域的温湿度要求，主机房和辅助区采用标准规定的温湿度要求，基本的环境设计可按照标准附录 A 中的环境要求，参见下表摘录部分。而数据中心的支持区（不含 UPS 室）和行政管理区的温、湿度控制值应按现行国际标准 GB50019《采暖通风与空气调节设计规范》的相关规定。标准对不同等级的机房以及不同性质的机房的环境要求进行了划分，大部分数据中心属于 A 级或 B 级。

图表 3 不同机房等级的环境要求

项目	技术要求			备注
	A 级	B 级	C 级	
环境要求				
主机房温度 (开机时)	23±1℃		18~28℃	不得结露
主机房相对湿度 (开机时)	40%~ 55%		35%~75%	
主机房温度 (停机时)	5~35℃			
主机房相对湿度 (停机时)	40%~ 70%		20%~ 80%	
主机房和辅助区 温度变化率 (开、停机时)	<5℃/h		<10℃/h	
辅助区温度、相 对湿度(开机时)	18~28℃、35%~75%			
辅助区温度、相 对湿度(停机时)	5~35℃、20%~80%			
不间断电源系统 电池室温度	15~25℃			

标准《电子计算机机房设计规范》还对机房的洁净度有要求：主机房内的空气含尘浓度，在静态条件下测试，每升空气中大于或等于 0.5μ m 的尘粒数，应小于 18000 粒。

A 机房温度要求

在正常工作的服务器中，一般 CPU 的温度最高，当电子芯片的温度过高时，非常容易出现电子漂移现象，服务器就可能出现宕机甚至烧毁。

数据中心温度是确保服务器等 IT 设备正常稳定运行的先决条件，温度对设备的电子元器件、绝缘材料以及存储介质都有较大的影响。数据通信设备运行时

会产生极大的显热量，当数据通信设备较长时间处于高温或较大温度变化梯度的环境中时，可能因温度过高而出现宕机现象，温度太高，可使数据处理设备工作环境恶化，长此以往，将缩短电子信息设备的使用寿命，也使电子信息设备的可靠性降低。因此机房环境温度与设备运行的可靠性之间有必然联系。

《电子信息系统机房设计规范》(GB 50174—2008)中对相应机房的设计温度也做了规定，该规范将电子信息系统机房划分成 3 级。对于数据中心来讲，均应按 A 级与 B 级要求控制主机房温度，其主机房设计温度为 $23\pm1^{\circ}\text{C}$ ，C 级机房的温度控制范围是 $18\sim 28^{\circ}\text{C}$ ，机房不工作时，其温度应控制在 $5\sim 35^{\circ}\text{C}$ 。辅助机房的无能的控制范围为 $18\text{-}28^{\circ}\text{C}$ 。另外对于不间断电源(UPS)和电池室要求温度控制在 $15\text{-}25^{\circ}\text{C}$ 。

美国的 ASHRAE（美国暖通制冷空调工程师协会）发布的《ASHRAE Environmental Guidelines for Datacom Equipment 2008》也对数据中心的环境进行了详细的规定和解释。ASHRAE 在 2008 版本中推荐的温度范围为 18°C - 27°C ，相比 2004 版本的 $20\text{-}25^{\circ}\text{C}$ 要求放宽了很多。推荐的湿度范围为大于 5.5°C 的露点温度的相对湿度，小于 60% 的相对湿度。放宽的要求在保证机房设备正常运行时,可以减少机房制冷、加热、加湿、除湿的耗能，降低机房空调系统的能耗，提高 PUE。

图表 4 ASHRAE 对数据中心环境要求的变化

	2004 Version	2008 Version
Low End Temperature	20°C (68 °F)	18°C (64.4 °F)
High End Temperature	25°C (77 °F)	27°C (80.6 °F)
Low End Moisture	40% RH	5.5°C DP (41.9 °F)
High End Moisture	55% RH	60% RH & 15°C DP (59 °F DP)

在实际的机房运行过程中，机房环境的控制要求可以根据实际要求参考以上标准以及季节等因素进行区别设定，以达到降低机房能耗的要求。在特殊情况需要根据数据设备供应商的要求而定。

B 环境温度变化率要求

一些数据通信设备制造商制定了数据通信设备允许环境温度变化率的标准，以避免环境温度的突然变化对数据通信设备造成冲击。环境温度变化率标准可适应所有已安装的数据通信设备。国标推荐的温度变化率为小于 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

ASHRAE 推荐最大环境温度变化速率为 $5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。磁带和存储设备对温度变化速率

要求更高，相关厂家一般要求其环境温度变化速率小于 $2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，湿度变化速率小于 $5\%/ \text{h}$ 。但一旦空调冷却系统出现故障，设备周围环境温度的变化速率可能比很大，甚至超过 20°C 。

数据通信设备不工作时可以允许其环境温度在一个较大范围内变化，但需要向数据通信机房提供不间断供冷，以维持最低的运行工况，避免数据通信设备受到热冲击。

C 相对湿度要求

较高的相对湿度会使数据中心内的设备的短路、磁带介质出错和元器件及电路产生腐蚀现象。在极端的情况下，相对湿度较高还会使设备的冷表面可能出现冷凝现象，这对设备的威胁更大。较低的相对湿度将产生影响设备运行的静电，造成元器件的击穿、短路等故障，甚至可能损坏设备。磁带和存储介质在低相对湿度下也会产生过度磨损，所以数据中心环境湿度应控制在合适的湿度范围内。

《电子信息系统机房设计规范》中推荐机房的湿度为：A 级与 B 级机房要求控制主机房湿度 40%-55%，其辅助机房的湿度的控制范围为 35%-75%。

ASHRAE（美国暖通制冷空调工程师协会）发布的《ASHRAE Environmental Guidelines for Datacom Equipment 2008》中推荐的湿度范围为大于 5.5°C 的露点温度的相对湿度，小于 60% 的相对湿度。推荐湿度的下限改为了露点温度，放宽的要求在保证机房设备正常运行时，可以减少机房加湿、除湿、加热的耗能，降低机房空调系统的能耗，提高 PUE。

D 空气过滤要求

空气中的尘粒将影响数据通信设备运行，因此，数据中心的空调系统应采用高效的、合适的过滤装置。腐蚀性气体会快速破坏印刷电路板上的金属薄膜和导体，导致末端连接处电阻值增大。尘粒在散热板上堆积也将增加热阻，降低换热效率。另外，灰尘在高湿环境中会加快设备的腐蚀，使设备寿命下降。

《电子信息系统机房设计规范》中要求 A 级和 B 级主机房的含尘浓度，在静态条件下测试，每升空气中大于或等于 $0.5\mu\text{m}$ 的尘粒数应少于 18000 粒。主机房内空调系统用循环机组宜设初或中效两级过滤器。新风系统应设初、中效空气过滤器，宜设亚高效过滤器。

E 新风要求

为保持机房正压，数据中心空调系统必须提供适量的室外新风，数据通信机房保持正压可防止污染物渗入室内。虽然大多数数据中心内人员较少，但也需确保室内人员的新风需求和卫生要求，室内人员的新风需求量应满足全国或当地设计标准。

《电子信息系统机房设计规范》中空调系统的新风量应取下列二项中的最大值：维持室内正压所需风量；按工作人员计算，每人 $40\text{m}^3/\text{h}$ 。

4.3 数据中心的其它相关要求

数据中心中和环境控制有关的还有保温、密封、防潮、防尘、防水、防火等，需要给予高度重视，以确保计算机系统长期可靠运行工作。这就对机房设计和装修提出了要求，对新建机房的建筑物进行实地勘查，依据国家有关标准和规范，结合所建数据中心各系统运行特点进行总体设计。数据中心装饰装修的基本作用就是要满足数据中心机房防火、防水、防尘、防静电、隔热、保温、屏蔽等要求。下面重点介绍保温、密封、防尘、防水。

4.3.1 保温和密封

数据中心机房的冬季保温、夏季隔热以及防凝露等技术问题是机房设计的重要考虑因素。尤其在夏季，室外温度较高，空气相对湿度大，机房内外存在较大的温差，这时如果机房的保温处理不当，会造成机房区域两个相邻界面产生凝露，更重要的是下层天花的凝露会给相邻部分设施造成损坏而影响工作，同时会使机房区域的机房专用空调的负荷加大，造成能源的浪费。在冬季，由于机房的温湿度是恒定值，此时机房相对湿度高于室外，机房的内立面墙及天地平面产生凝露，使机房受潮，造成墙立面及天地平面建筑结构造成损坏，而影响机房的洁净度。

为了节约能源，减少日后的运行费用，根据以上分析，计算机机房相邻界面凝露应按其起因而采取相应的措施来控制平面、立面隔热及热量的散失，而且数据中心主机房一般建议采用无窗设计或需要对窗户做密封处理。顶板应考虑保温，楼层地板与幕墙之间需考虑保温隔断处理。

建筑围护结构特别是改建机房的建筑围护结构，其热工性能如不符合 GB50189—2005《公共建筑节能设计标准》的有关规定，那么在机房装饰设计时，需作墙体保温设计。

专用空调区域采用地板下送风的形式，出风口温度较低，有时会造成下一层

楼顶结露，所以需要考虑地面做保温层，既能减少制冷需求，降低运行费用，又不至于使下一层楼顶结冷凝水。宜采用下一层楼顶做保温方式。

此外，新风管道也需要做保温处理。

机房的另外一个重要方面就是密封问题，密封可保证机房正压，有利于机房内温湿度以及洁净度的控制。其中管道孔的密封问题是经常被忽略的，如果进出机房的管道孔没有做良好的密封，首先会增大机房空调的负荷，而且还会影响机房的洁净度。在雨季，雨水有时会顺着管线流入机房；在冬季，室内外温差会造成管线结露。在有些机房的建设中，装饰装修部分的施工和电气及空调管线的施工为不同单位，如果工程监理不到位或是工程界面划分不明确，就会使进出机房管道孔的密封成为施工的盲点，因此必须引起足够的重视。

机房外窗宜采用双层玻璃密闭窗，并设窗帘以避免阳光的直射。当采用单层密闭窗时，其玻璃应为中空玻璃。

吊顶空间较高时，不宜直接从吊顶内回风，可设计双层顶以减少空调负荷和灭火气体容量。

4.3.2 防水

对于数据中心机房，水患是不容忽视的安全防护内容之一，数据中心水的来源主要是空调系统产生或引入。由于水患，轻者造成机房设备受损，降低使用寿命；重者造成机房运行瘫痪，中断正常营运，带来不可估量的经济损失和政治影响。因此，数据中心水患的防护是机房建设及日常营运管理的重要内容之一。

在机房外围隔断、幕墙边缘、机房区活动地板下沿走廊处地板下设置适当高度的挡水墙，并应在挡水坝内设置地漏，以防发生水患并能及时排水，并对挡水坝内的地面及挡水坝做防水处理。空调给水和排水尽可能不经过主机房（主要通过走廊），不可避免时，水管应做好防结露保温，水管建议采用铝塑管，接缝处确保严密。为了使产生水情能及时处理，在可能产生水的地方（机房专用空调四周和靠走廊地板下）采用漏水报警系统。这样不仅从技术上，也从物理上充分杜绝了机房漏水的情况。与机房区无关的水管不得穿过主机房。不可避免时，应做好防结露保温，水管采用镀锌钢管螺纹连接，接缝处确保严密并经试压检验。

4.3.3 防尘

按GB 50174—2008规定：“A&B级机房内的尘埃标准要达到规范的要求，即粒度大于或等于0.5um的尘埃个数 ≤ 18000 粒/升”。专用空调区防静电活动地

板下的地表和四壁装饰可采用水泥砂浆抹灰。地表材料应防尘、平整、耐磨。对地板下所有区域需要防尘处理，天花、拦水坝等区域均作防尘处理。

要求严格控制机房内的洁净度，主要从以下几个方面：

采用专用空调、新风系统，对于进入室内的新鲜空气应进行过滤处理（中效、亚高效过滤）。

灯具及桥架（净高2.8m）以上四壁应抹灰，楼板底面应清理干净，并刷黑色防尘漆，管道饰面，亦应选用不起尘的材料，并刷黑色防尘漆。

为满足计算机对含尘量的较高要求，除主材选用不起尘的材料外，机房专用空调区域地板下、吊顶内需作防尘处理（拦水坝内侧区域也需做防尘处理），在机房入口处设置换鞋柜/鞋套机，以减少机房尘埃污染，使机房区域与其他部位有效地分隔为两个不同指标的空间环境。

4.3.4 空调系统的防火措施

空调系统与消防要进行联动，避免扩大火灾区域。如果有风管通过防护分区隔墙时应设置防火阀。

五：数据中心的机柜和空调设备布局

机房内的设备布局需要考虑多种因素，如设备散热、机房管理、人员操作和安全、设备和物流运输、安装和维护等。本文主要针对设备散热进行详细介绍。

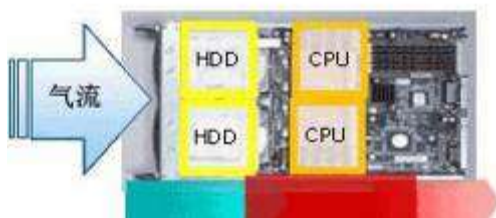
和设备散热最密切的两个机房设备是机房空调和机柜，机房空调提供散热所需的制冷量，机柜则是发热设备的载体，设备的散热都需要通过机柜进行。

服务器等设备是数据中心的设备，其设备散热也是数据中心制冷系统的中心目标。因而服务器的散热形式也就决定了数据中心的制冷方式。早期的服务器、交换机、存储等设备缺乏统一的标准和规范，各个厂家的产品有着各自的散热结构，设备内部气流方向是比较混乱的，有下进后出、前进后出、侧进侧出、前进侧出等多种方式。

随着数据中心应用的设备越来越多，功率密度越来越高，各种IT设备逐步采用相关国际标准，规范了气流设计。目前已经形成了设备进出风形式采用前进后出的共识。如Intel在关于服务器电源的相关标准中，对风扇及风道设计作了详细设计，在《Power Supply Design Guideline for 2008 Dual-socket Server and Workstations》版本1.0 中，定下了ERP1U服务器电源的要求，空气前进后出，

水平流动。也有少量设备采用了其它的气流组织，数量日趋减少。

图表 5 服务器主板气流方向



服务器进风温度，由服务器内部电子器件工作条件决定，主流厂家和规范要求一般为18~25℃，大部分为22~24℃；进风风量由服务器发热量决定，如某型1U高机架式刀片式服务器，满载运行功率达400W，根据进出风温差设计不同，一般需冷却风量80-140m³/h左右。

5.1 机柜及其布置

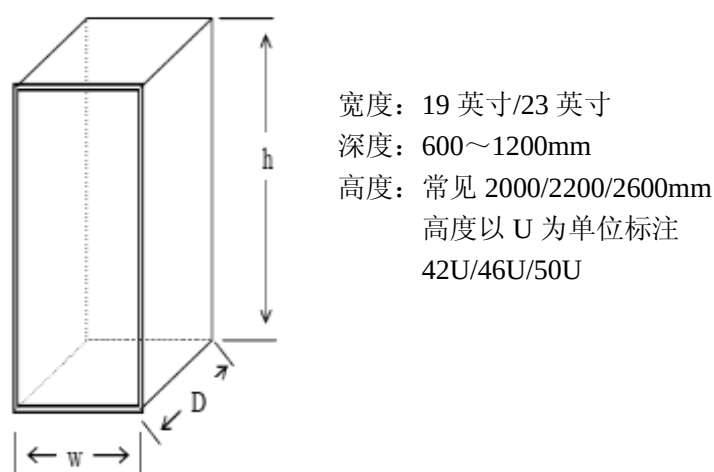
5.1.1 数据中心机柜

随着服务器等IT设备的更新，尤其是机架式、刀片式服务器的大量应用，机柜系统内供电、散热、布线管理的复杂程度大大提高。单机柜内设备数量、功率密度、发热密度都有巨大提高，为解决高密度机柜的承重、布线管理、供电、散热问题，数据中心对的服务器机柜系统有了更高的要求。为适应这些应用要求，出现了很多行业和企业规范和标准，规范服务器机架/机柜的应用，适应服务器的变化要求。

A 数据中心服务器机柜系统的标准化

根据国标《电子设备机柜通用技术条件》GB/T 15395—1994、ANSI/EIA-RS310-C 和 EIA/TIA568 的要求，服务器等主设备标准尺寸为，宽度：19 英寸、23 英寸；高度以 U 为单位（1U=44.4mm）。而目前最常用的服务器宽度为 19 英寸。因而目前应用最多的是 19 英寸服务器机柜，内部安装高度一般为 42U 或 46U。深度最常见的尺寸为 900-1200mm。

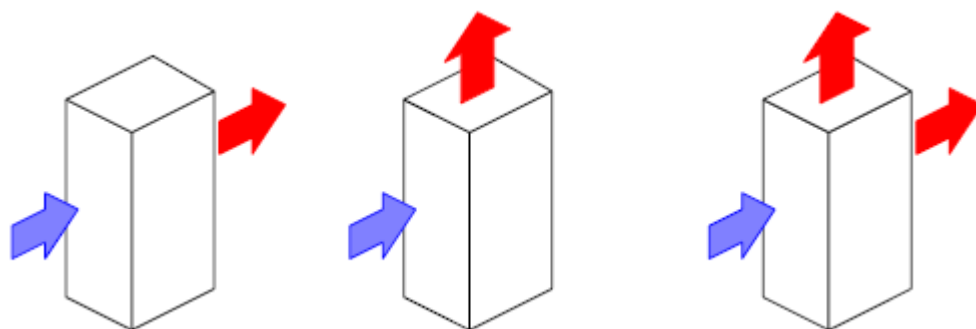
图表 6 服务器机柜尺寸规格



B 机柜系统散热管理

服务器等 IT 设备功率密度的持续提高带来了机柜散热的问题，有的采用传统的机柜内加风扇，加大对机柜内服务器等 IT 设备的送风量。大部分机柜采用和服务器气流一致的前进风方式，出风方式以后出风为主，也有顶出风的方式。下图给出了几种常见的机柜进出风方式。

图表 7 常见的机柜进出风方式



由于采用了高热密度的设备，机柜内发热量大大提高，需要高通风量以利于机柜内设备的散热，所以机柜多采用高通孔率的网孔门，基本采用前后网孔门，网孔门的通孔率取决于设备的发热量和通风量的要求。

机柜内的交换机、服务器等 IT 设备有大量的数据线缆和电力电缆，需要对这些线缆和电缆分别管理和配置。

在机柜内可加装气流隔离、导流附件装置，如盲板（假面板）、导流罩等附件，隔离冷热气流，减少气流阻碍，利于进出气流流动，利于机柜发热大的设备

散热。特别是在冷热通道布局中，需要使用盲板，将服务器机柜上空闲的 U 空间挡住，减少冷空气与热空气的无效热交换。

机柜内设备发热量不同，所需的风量也不同，此外风量的大小还和机柜进出风温差有关，允许的进出风温差越大，机柜所需的风量也就越小。机柜进风量的要求，可以参考下表。

图表 8 在不同进出风温差时的风量需求

ΔT : 温差 (K)	1kw 热量对应风量 m^3/h
6	498
7	426
8	373
9	332
10	299
11	271
12	249

注：计算公式为 $V=3600*Q/(C*P*\Delta T)$ ，其中V：风量 m^3/h ；Q：发热量 kW；C：空气密度取值 $1.2kg/m^3$ ；P：空气比热容 取值 $1.005kJ/(kg.K)$ ； ΔT ：进出风温差， $^{\circ}C$ 。以上数据均为在标准大气压取值。

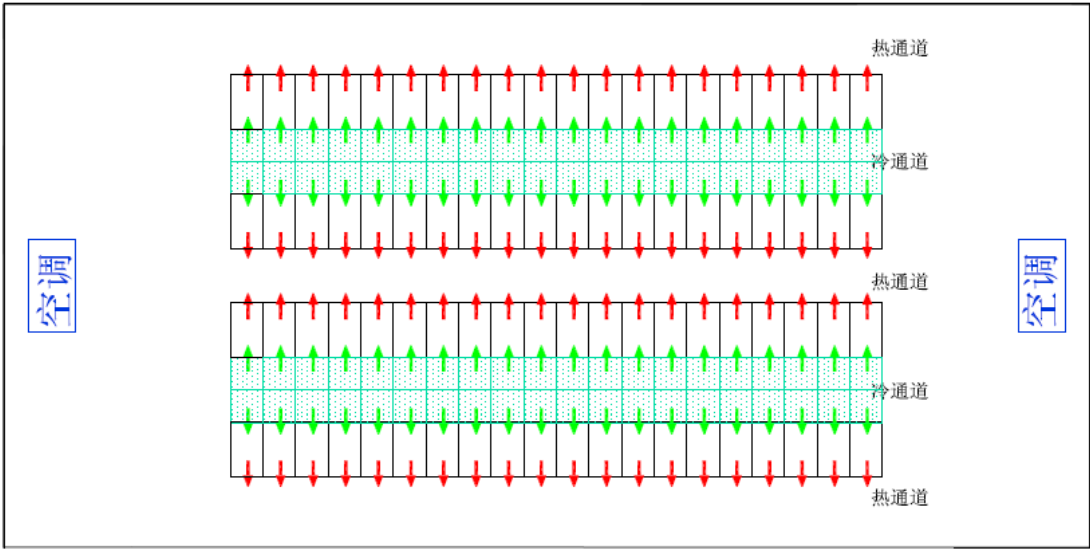
5.1.2 机柜的布置

机柜的布置需要考虑设备散热、维护、搬运、消防等因素。

由于目前机柜大多采用前进风后出风的方式，机柜摆放有两种方式：机柜朝向一致摆放方式和面对面背对背的摆放方式。对于每个机柜小于1KW的低热密度机房，两种机柜摆放方式都可以满足要求。

对于每个机柜大于1KW的中高热密度机房，从冷却角度考虑，机柜或机架的布置宜采用面对面和背对背的方式。这种摆放方式可以避免前排机柜送出的热风对后排机柜造成影响，而且形成的机房的冷热通道布局，冷热气流相对分离，避免了冷热气流的无效混合，提高冷量利用率，并可提高单机柜的热负荷。

图表 9 中高热密度机房的冷热通道布局示意图



5.2 机房空调及其布置

5.2.1 机房空调概述

空调设备是一种人为的空气调节装置，它可以对房间进行降温、减湿、加热、加湿、通风、净化等调节过程，利用它可以调节室内的温度、湿度、气流速度、洁净度等参数指标，从而使人们获得新鲜而舒适的空气环境。随着应用领域的不同，空气参数的设定也会有所不同。

对于机房空调主要满足机房温度、湿度、气流、洁净度的要求，是数据中心空调系统的核心设备，提供制冷、加热、加湿、除湿、送风、过滤等功能。

A 机房温度控制

空调系统的温度调节功能主要靠制冷循环系统实现。制冷循环系统主要有四个基本部件：压缩机、冷凝器、膨胀阀、蒸发器。由管道将四部分连接成的密闭系统，制冷剂（平常所说的氟利昂）在这个密闭的系统中不断循环流动，发生相态的变化，与周围环境进行热交换，从而达到制冷的目的。

压缩机—制冷循环的核心，是制冷剂在系统内循环的动力装置，使蒸发器中的制冷剂保持低压，冷凝器中制冷剂维持高温高压。

冷凝器—在冷凝介质的作用下，使压缩机排出的过热饱和蒸汽冷凝为液态。

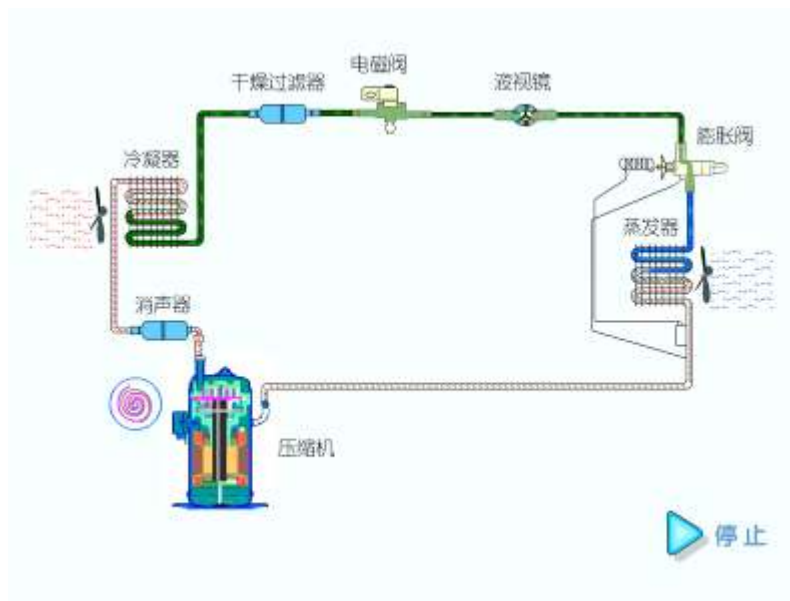
膨胀阀—制冷剂循环流量的调节装置，它对高压液态制冷剂节流降压，使进入蒸发器的制冷剂在要求的低压下吸热蒸发。同时根据被冷却介质的热负荷变化自动调节进入蒸发器的制冷剂的流量。

蒸发器—经节流后的液态制冷剂在蒸发器中吸热汽化，使被冷却物质降温，实现制冷的目的。

制冷剂—它是在制冷系统中不断循环并通过其本身的状态变化以实现制冷的流体介质。制冷剂在蒸发器内吸收被冷却介质（水或空气等）的热量而汽化，在冷凝器中将热量传递给周围空气或水而冷凝。

目前空调机组最常用的制冷剂为 R22，可以在同样的制冷系统中取代 R22 的更环保的制冷剂是 R407C。R407C 对臭氧层没有破坏作用，但仍然是温室气体，仅仅是一种过渡型制冷剂。目前还没有完美替代 R22 的制冷剂。当采用 R407C 制冷剂时需要注意室外机配置，由于 R407C 的特性和 R22 有所不同，其室外散热能力稍弱，一般需要重新匹配室外机。

图表 10 空调设备制冷系统原理图



具体过程为：液态制冷剂在蒸发器吸收房间空气中的热量由液体变成气体，其温度压力均不变化，而房间内的空气由于热量被带走，温度下降，冷气从出风口吹出。液态 R22 制冷剂在室内被气化后，被压缩机吸入压缩成高压、高温的蒸汽，然后进入冷凝器，高温高压的气体制冷剂在冷凝管中于室外空气进行热交换，被冷却成中温高压的液体。此高温高压液体在经节流装置节流以后变为低压、低温的液态制冷剂，再次进入蒸发器吸热汽化，从而起到循环的目的。

当需要加热时，机房空调一般采用电加热器，使房间的空气升温。从加热方式来看，主要为电加热，采用不锈钢加热器或PTC加热器。

B 机房湿度控制

机房内的除湿也依靠制冷循环来实现，在制冷过程中，我们可以控制蒸发器表面的温度低于被冷却的室内空气露点温度，凝结水不断从蒸发器表面流出，达到除湿的目的。

机房内湿度过低时依靠加湿器加湿，加湿器把水汽化为纯净的水蒸气，通过送风系统把水蒸气送入机房，达到加湿的目的。

目前机房常用的加湿方式主要有红外线加湿、电极式加湿。

C 机房洁净度控制

机房洁净度的控制要从两个方面着手：机房正压和过滤。机房正压通过新风来实现。过滤通过空调机组回风口设的过滤器，可以过滤空气的灰尘和杂质，通过选配不同过滤等级的过滤就可以达到控制房间内空气洁净度的目的。为保证机

房的洁净度，过滤器一般为初效或中效过滤器。

以上各部分组合起来，通过控制系统组成一个有机的整体，就构成了空调机组。

机房空调机组按送风方式分为下送风机组、上送风机组，按是否自带冷源方式分为直接膨胀（DX）式机组和冷冻水（CW）机组，DX机组自身具有制冷系统，CW机组自身不带制冷系统，需要利用冷水机组提供的低温冷冻水提供冷源。直接膨胀式机组按冷却方式不同又分为风冷机组、水冷机组、乙二醇冷机组等，近年来随着机房对空调要求等级逐渐提高，有出现了双冷源机组，即一台空调机组内包括DX和CW两种制冷单元，可以互为备份自动切换。

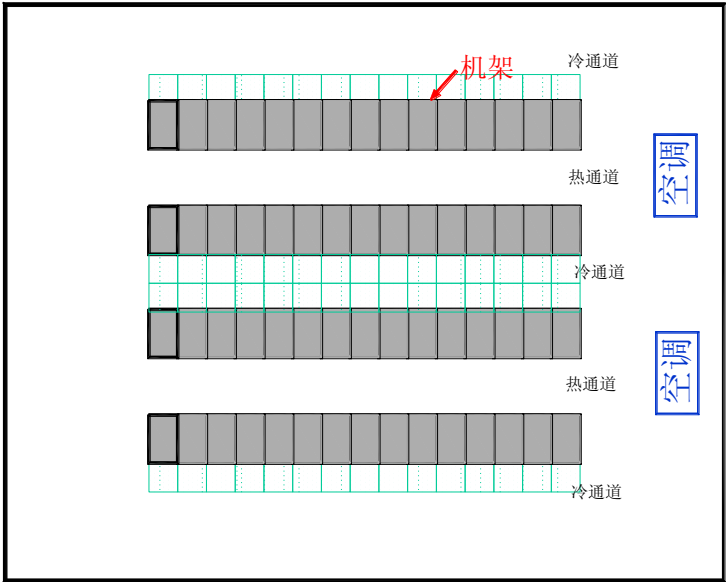
5.2.2 机房空调送回风方式

目前常见的机房空调机组的送风主要有地板下送风上回风、上送风风帽送风、上送风风道送风、局部区域送回风等送风方式。请参见第7部分机房气流组织部分。

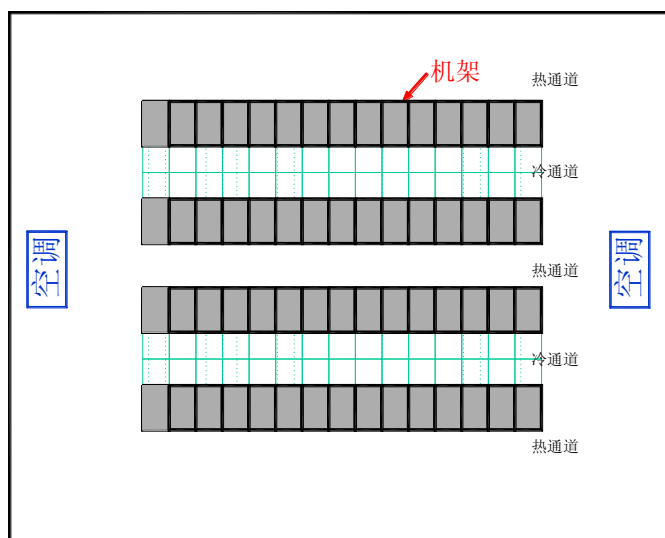
5.2.3 机房空调布置

机房空调机组需要根据机房形状、设备布局、送风方式、热密度等确定布置方式，下面介绍常见的布局方式。

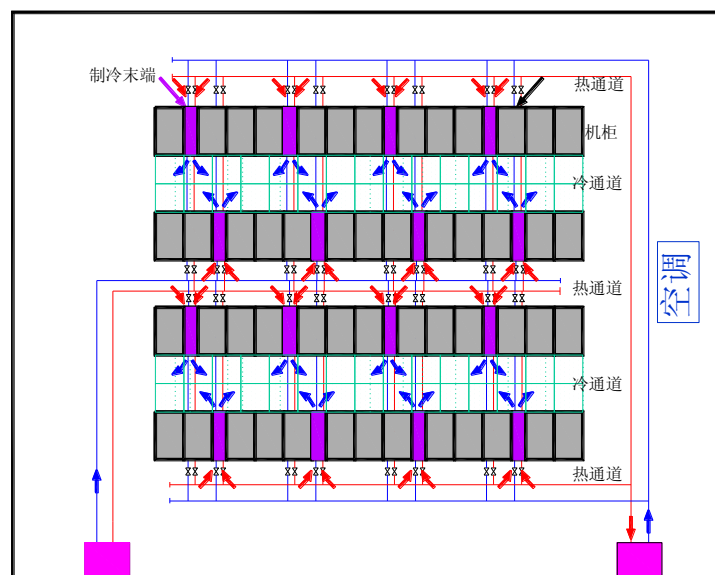
图表 11 空调单侧布置示意图



图表 12 空调双侧布置示意图



图表 13 空调靠近热源布置示意图



六 数据中心空调方案设计

数据中心良好的环境需要合适的空调方案，合适的空调方案不但能保证机房良好的温湿度、洁净度环境，而且可以使运行费用降低，节约运行成本，降到全生命周期成本。空调方案的设计主要包括制冷量需求技术、送风方式选择、空调设备选择和空调设备冷却方式设计等方面。

6.1 数据中心的制冷量需求确定

在某一时刻为保持房间具有稳定的温度、湿度，需要向房间空气中供应的冷量称为冷负荷。相反，为补偿房间失热量而需向房间供应的热量为热负荷。为维持室内相对湿度所需由房间除去或增加的湿量称为湿负荷。

在室内外热、湿扰量作用下，某一时刻进入一个空调房间的总热量和湿量称为在该时刻的得热量和得湿量。根据性质不同，得热量又分为显热和潜热。

数据中心的冷负荷可按照GB50174-2008《电子信息系统机房设计规范》7.2进行设计。根据7.2.2规定，机房空调系统夏季的冷负荷应包括下列内容：

- 1 机房内设备的散热；
- 2 建筑围护结构的传热；
- 3 通过外窗进入的太阳辐射热；
- 4 人体散热；
- 5 照明装置散热；
- 6 新风负荷。
- 7 伴随各种散湿过程产生的潜热。

其中电子信息设备和其它设备的散热量应按产品的技术数据进行计算。

根据 7.2.3 规定，空调系统湿负荷应包括下列内容：

- 1 人体散湿
- 2 新风负荷

1) 设备散热冷负荷

机房内设备传热形成的冷负荷占到总显冷负荷的 90-95%左右，主要包括服务器、路由器、网络设备等电子设备，以及配电系统等电力设备，均属于稳定散热。大多数设备生产厂商均能提供计算机设备的电功率及散热量，设备电功率基本全部转换为散热量，一般在 97%以上。

已知设备电功率，则为

$$Q_s = X_1 X_2 N$$

式中 Q_s -----电子设备冷负荷，KW；

X_1 -----负荷系数，一般取值 0.7~1.0 计算；

X_2 -----同时使用系数，一般取值为 0.9-1.0；

N -----电子设备电功率，kW。

每台服务器在出厂时均附有一个标称额定功率，它标明了该服务器的最大使用功率，但这并不代表实际使用功率。为了了解服务器实际使用功率，往往需要利用厂商提供的功率计算器计算设备在当前配置时的功率需求。例如有服务器厂家提供在线功率计算，在输入了服务器所配置的处理器频率、处理器数量、内

存卡容量规模与数量、PCI 卡数量、硬盘容量规模与数量之后，能够自动计算出该服务器有关功耗与发热量的参考值。

如果不知道设备的电功率，可以通过机房分期规划的设备功耗来估算设备的散热冷负荷。

对于 UPS 设备本身也有发热量，一般大容量的 UPS 布置在一个独立的房间，它对室内环境的温湿度及洁净度也有一定的要求，UPS 设备一般有风扇等散热装置。它的发热与其实际功率和功率因数有关，可参照厂商提供的数据。如没有给定数值时，可按下式计算为

$$Q=N(1-\eta)$$

式中 Q -----散热量，kW；

N -----实耗功率(和安装功率并不同)，kW；

η -----效率，一般取 0.9-0.93。

2) 围护结构的得热量及其形成的冷负荷

围护结构形成的冷负荷主要包括两方面：外围护结构（外墙、屋顶、架空楼板）的传热冷负荷和内围护结构（内墙、内窗、楼板）的传热冷负荷。

3) 通过外窗进入的太阳辐射热及其传热形成的冷负荷

通过外窗进入室内的得热量有温差传热和日照辐射两部分。传热得热形成冷负荷由室内外温差引起。日照辐射得热形成的冷负荷，因太阳辐射到窗户上时，除了一部分辐射量反射回大气之外，其中一部分能量透过玻璃以短波辐射的形式直接进入室内；另一部分被玻璃吸收，提高了玻璃温度，然后再以对流和长波辐射的方式向室内外散热。

4) 人体散热形成的冷负荷

人体散热与性别、年龄、劳动强度、衣着及进入房间的时间有关，包括显热冷负荷和潜热冷负荷。

5) 照明散热形成冷负荷

照明设备的散热也分为对流和辐射部分，其中对流部分形成瞬时冷负荷，辐射部分先由室内表面物体吸收，再通过对流的方式形成冷负荷。

6) 新风形成冷负荷

机房内要保证正压，需要不断向机房内补充新风，新风全冷负荷中分别包括显热

和潜热形成的冷负荷。新风冷负荷最好设计专门的新风处理机组来处理。

在数据中心以上各部分冷负荷中，2-6 项形成的热湿负荷占得比重比较小，约为 5-20%，部分设备发热量小的机房可能占到 30%。大部分冷负荷为机房内设备的发热造成的显热冷负荷。2-6 项冷负荷具体的算法可以参考空气调节相关的规范和设计手册，或者计算软件，有比较成熟的计算方法。

6.2 数据中心的气流组织

为了对数据通信设备进行有效冷却，不但需要足够的制冷量，而且机房空调系统空气分布必须与机房冷负荷相匹配。空调系统的气流分布应能满足发热设备本身的散热方式、设备布置方式、布置密度、设备散热量以及室内风速、防尘、噪声等要求，结合建筑条件综合确定。

数据中心机房空调系统的气流组织简单的说就是送风口回风口的位置设计布置以及采用相应的风口型。气流组织确定要考虑以下几个方面：

A 首先要依据设备冷却方式、安装方式，如目前较常见的设备和机柜的冷却方式都是从前面进风，后面或上部出风。

B 冷量的高效利用。使散热设备在冷空气的射流范围内。

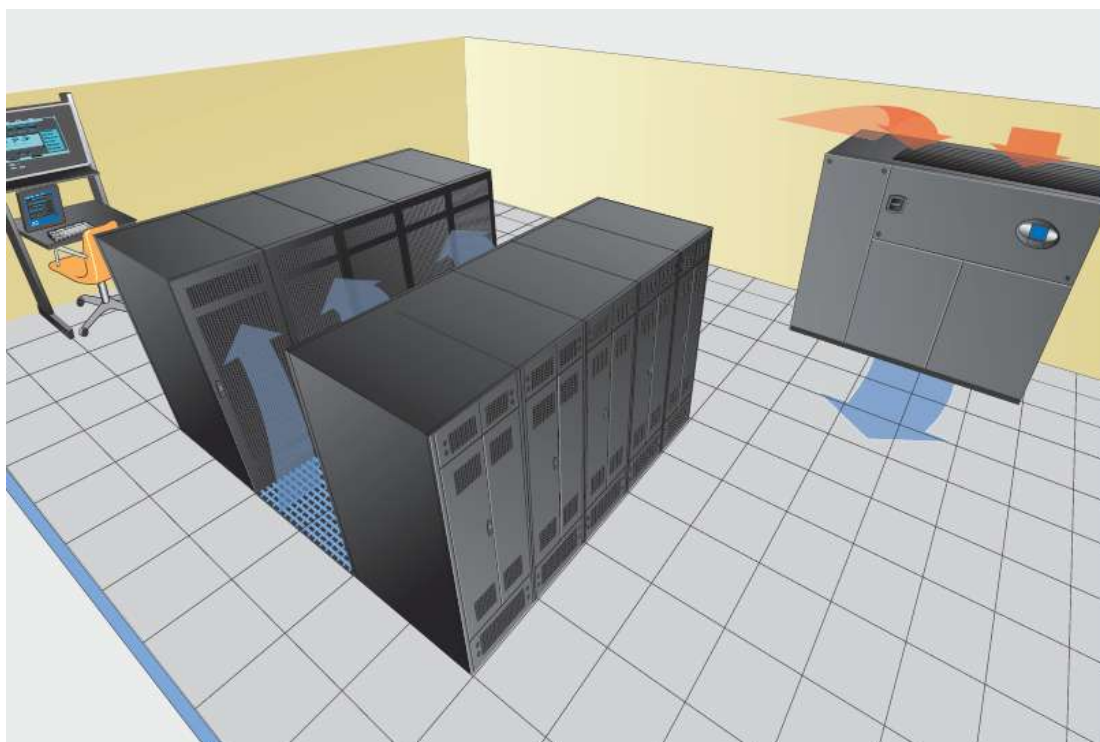
C 机房建筑结构、平面布局。机房各个系统的建设要依托于建筑环境中，也受到这些因素的制约，如建筑层高、形状、面积等。

下面对机房几种常用气流组织形式做分析。

6.2.1 下送上回气流组织

数据中心机房内通常设架空的活动防静电地板，活动地板下的空间, 用作空调送风的通道。空气通过在活动地板上装设的送风口进入机房或机柜内。下送上回气流组织如图 3-5 所示。回风通过空调回风直接回风或通过在机房顶棚上装设的风口回至空调装置。对于中高热密度数据中心，宜采用下送上回的气流组织。

图表 14 下送上回气流组织



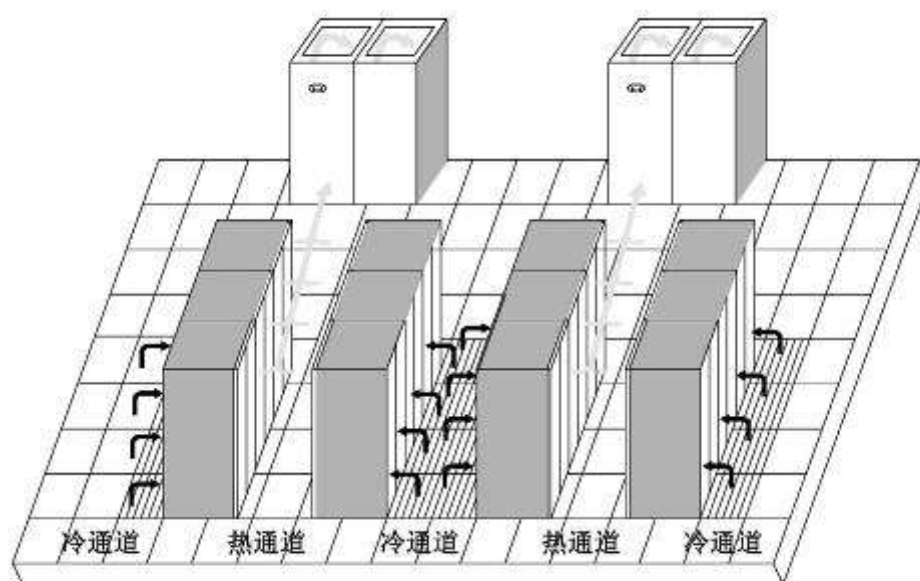
下送上回方式是大中型数据中心机房常用的方式，空调机组送出的低温空气迅速冷却设备，利用热力环流能有效利用冷空气冷却效率，因为热空气密度小、轻，它会往上升；冷空气密度大、沉，它会往下降，填补热空气上升留下的空缺，形成气流的循环运动，这就是热力环流。热力环流不同于水平流动的风，它是空气上下垂直的对流运动，冷与热激发出气流缓慢的运动。跟风不一样，风能够改造局部环境的气候，而热力环流是气流运动的原始动力。利用气流的原始动力，可以不用设置动力设备，同样达到最佳的冷却效果，如图 1 所示。

送风口可安装在高架活动地板上，也可用高架地板配套的风口地板送风，地板下的空间可作为空调送风静压箱。静压箱可以减少送风系统动压、增加静压、稳定气流和减少气流振动，可使送风效果更加理想。空气经过地板上安装的风口板向设备和机柜送风。下送风机房活动地板的空调送风风口一般布置在机柜近侧或机柜底部。冷却空气从设在机柜近侧或机柜底部的活动地板风口送出，送出的低温空气只在瞬间与机房内的热空气混合，即刻从机柜的进风口进入机柜，有效地提高了送入机柜冷却空气的质量，用较少的风量，提高了机柜的冷却效果。

为了形成以机柜冷热通道相间隔的状态（图 3-4），也可以采用机柜背对背的形式布置，在 IDC 机房采用下送风方式，可以采用图 3-6 的气流组织形式。美国 2005 年 4 月发布的 TIA942《数据中心通信基础架构标准》中要求机房内

计算机设备及机架采用“冷热通道”的安装方式。“冷热通道”的设备布置方式，打破常规，将机柜采用“背靠背、面对面”摆放，这样在两排机柜的正面面对通道中间布置冷风出口，形成一个冷空气区-----“冷通道”，冷空气流经设备后形成的热空气，排放到两排机柜背面中的“热通道”中，通过热通道上方布置的回风口回到空调系统，使整个机房气流、能量流流动通畅，提高了机房专用空调的制冷量利用率，进一步提高制冷效果。

图表 15 地板下送风和机柜冷热通道布局



如果采用吊顶天花回风，回风口可安装在天花板上，也可以利用微孔铝天花板回风。回风同样也是利用天花板与楼板之间的空间构成的静压箱回风。

下送上回风具有以下显著优点：

- (1) 有效利用冷源，减少能耗。
- (2) 机房内整齐、美观，所有线槽都可暗敷。
- (3) 便于设备扩容和移位。活动地板下用作送风静压箱,当计算机设备进行增减或更新时，可方便地调动或新增地板送风口及机柜接线口的位置及数量。

采用地板下送风天花板上回风，在设计中需要注意以下问题。

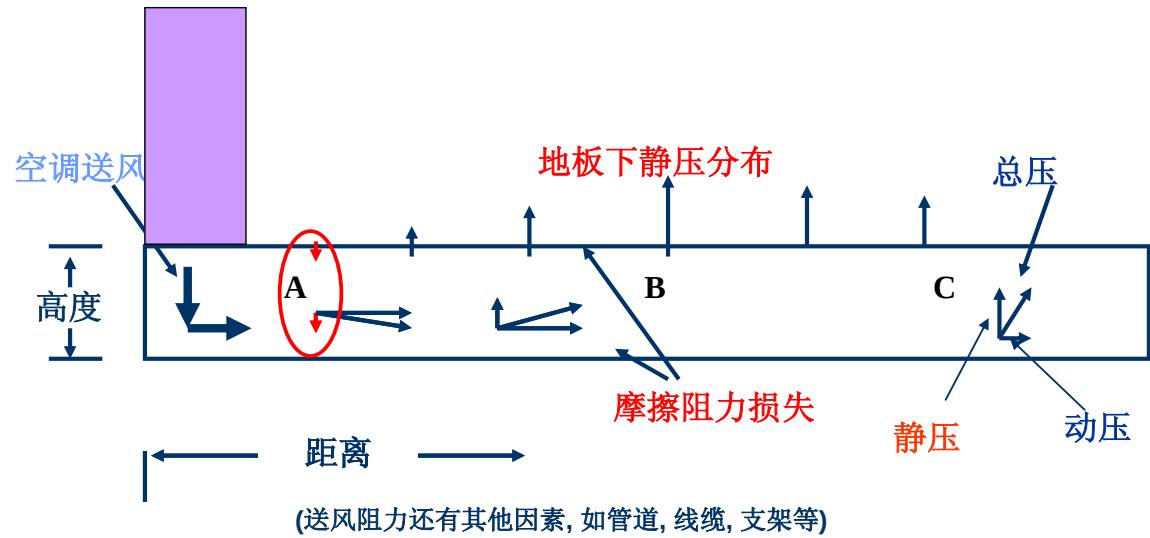
1、保持活动地板下一定的均压静压值

机房内架空的活动地板下的空间，用作送风风道，通风截面较大，为矩形形

状，截面竖向间隔有许多活动地板的支撑杆，造成空气沿地板长度方向流动过程中的压力损失。如果送风沿途的距离较长，选用的通风机全压值虽能克服地板长距离送风的全部压力损失，但送风的始、终端的压差较大，不利于地板下保持均匀的静压值。如果地板下布设有电缆及通信线缆线槽，将会进一步增大送风压力损失，造成地板下的送风压力不均匀，所以尽量不要在地板下敷设各种通信线缆，同时要适当控制地板下送风的距离。

在送风通畅的地板下，静压分布也并不是完全均匀的。见图 20，在空调近端 A 点，送风风速较高，动压较大，静压较小，在风量过大或地板高度较小的极端情况下，甚至会出现静压为负值的情况。地板下静压在距离空调设备一定距离的 B 点，地板下送风速度逐渐下降，静压达到最大值，B 点后，送风阻力逐渐增大，静压和动压均逐渐减小。

图表 16 地板下静压分布规律示意图



2、保证高架地板架空高度

地板高度的确定需要根据功率密度、机房形状、空调机组摆放、送风距离、备份方式等确定。一般数据中心机房高架地板敷设高度宜在 400mm 以上，有条件时应该尽量增加静压箱高度，这样可以保证不影响气流。在高热密度机房，如大于 1kW/m²，地板高度需要在 600mm 以上，有的机房地板高度甚至超过 1000mm。

3、控制活动地板下送风风速

根据机房内设备集中布置的特点，为将局部大量的显热量带走，送风口需集

中布置在设备前方进风口，在全压一定的情况下，这样会造成静压箱断面动压增大，静压减少。如果地板下送风风速过大，送风口有可能会变成吸风口。为避免这种现象发生，在风口板上宜安装调节阀，来调整局部的静压、动压值，以达到最佳送风效果。

机房内有多台专用空调机时，也应将空调机沿机房长度方向，适当间隔一定距离布置，以利于活动地板下的气流分布均匀。

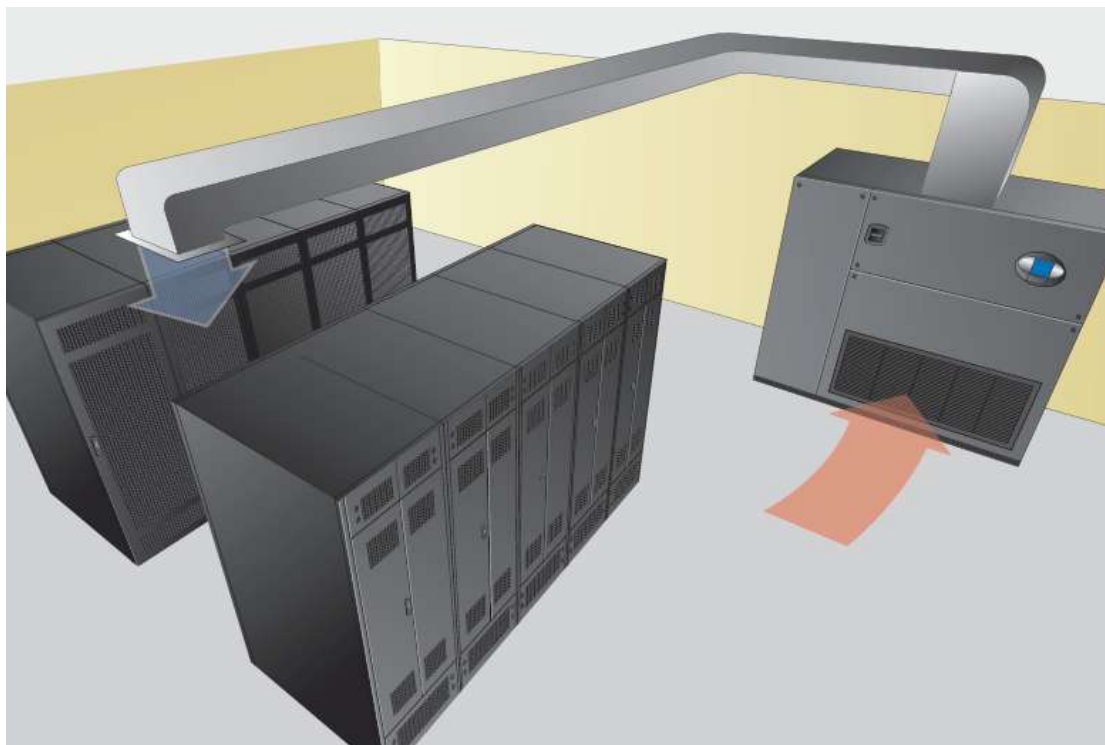
4、送回风风道净化处理

为保证机房的洁净度，地板下和天花板上的送回风空间需做净化处理，装饰材料宜选择不起尘、不吸尘的材料。

6.2.2 上送下(侧)回气流组织

上送下回气流组织是通常采用空调送回风的基本方式。上送还可分为上送风风道送风下回风或上送风风帽送风下回风两种形式。下图为机房的上送风风道送风下回风形式。

图表 17 上送风风道下回气流组织



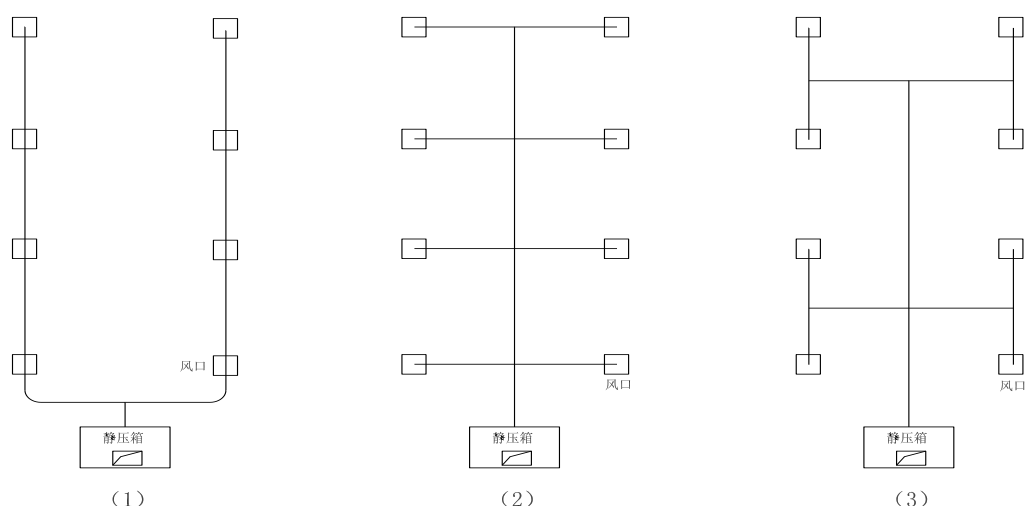
图表 20 所示的气流组织，空调送风经过风道送风到机柜上部，并在通道上方往下送冷空气，风道安装百叶送风口或散流器。如果风口送下的冷空气与机柜顶上排出的热空气，两股气流逆向混合，会导致进入机柜的空气温度偏高，影响了对机柜的冷却效果，我们曾在调查中发现这类情况。由于机柜进风温度偏高，

机柜内得不到良好的冷却效果，必然造成机柜内的气温偏高，导致计算机不能进行有效的正常工作。所以建议在采用冷热通道布局的机房中向冷通道送风。回风可通过室内直接回风，如有不同空调房间时，也可采用管道回风，但较少采用地板下回风。风道送风由于受风道尺寸和机房层高的影响，送风风量受到限制，而且现场调整比较困难，所以在高热密度场合应用受到限制。

风管设计的主要内容及任务如下：A、风管的整体布局选定。B、确定风管的形状和选择风管的尺寸。C、计算风管的压力损失。下面具体介绍：

A、风管的整体布局选定。机房精密空调的风管系统不宜设计过大，一般最远风口到主机的风管距离最好控制在 40 米以内。较大面积的机房最好将其分成几个空调区域，由空调风管子系统进行温湿度调节。一般根据机房的面积及形状大致有三种风管布置方法（如下图），其中第（1）种风管布局最为简洁，设计中只需考虑好风管的变径即可，工程安装最简单，工程造价最低，但各送风口的管道阻力很难设计均匀，空调效果很难控制均匀，较为适合机房面积在 60 平方米以下，形状较为规则的机房。第（2）种风管布局使用最为常见，性价比最高，风管的设计及安装也较为简单，工程造价一般都会比第（1）种高，其空调效果也比第（1）种好，设计时不仅需要考虑合理的风管变径，还要考虑好各支管的风量平衡，较为适合机房面积在 200 平方米以下的机房，常见的机房一般推荐使用此种风管布局。第（3）种风管布局也使用得较为普遍，设计及安装较为复杂，工程造价最高，但各送风口的阻力平衡最好，容易调控各送风区域的送风量，空调效果最佳，设计时也只需考虑好合理的风管变径及各支管的风量平衡即可，非常适合机房面积在 200 平方米以下，机房精密环境控制精度较高的重要场所。

图表 18 风道整体布局示意图



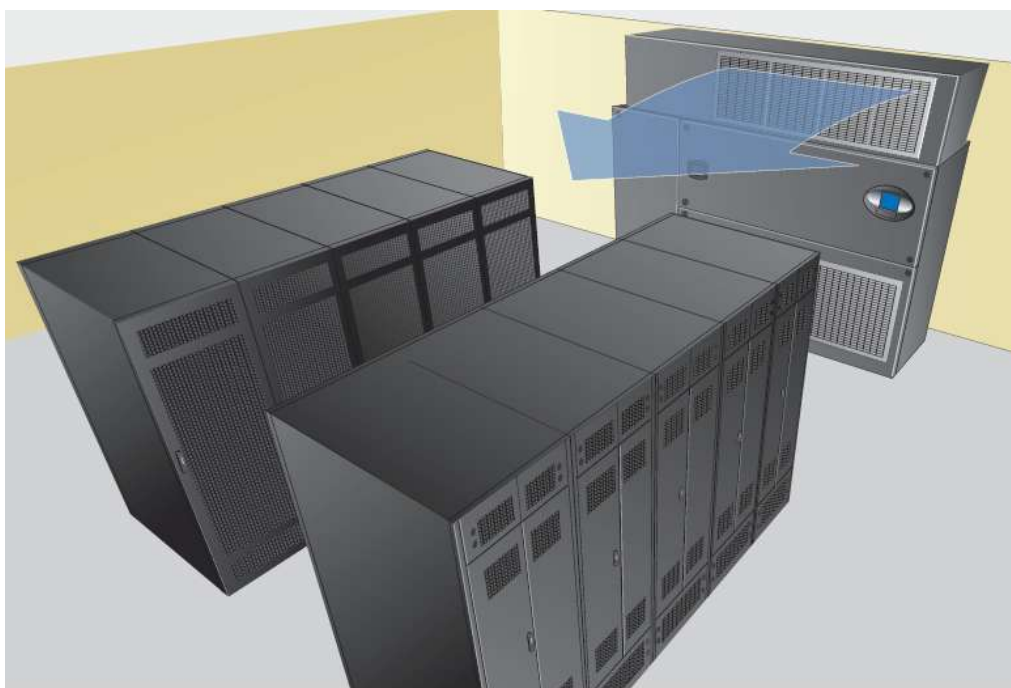
B、确定风管的形状和选择风管的尺寸。常用的风管形式一般采用圆形或矩形风管。圆形风管的强度大，耗材料少，但加工工艺复杂些，占用空间大，不易布置得美观，常用于暗装。矩形风管易布置，弯头及三通等部件的尺寸较圆形风管的部件小，且容易加工，因而使用较为普遍。风管的尺寸主要由风管的风量及流速确定，而风管的风速又要根据机房的噪音要求、风管的材料等来确定。采用镀锌风管，机房精密空调风管风速设计可以参照民用空调设计规范中风速的要求，一般建议风速小于 8 米/秒。

C、计算风管的压力损失。风管设计时，应尽量使风管系统中各并联环路之间的风管阻力相当，以达到各送风口风量均匀的目的，设计要求规定各并联环路之间的压力损失的差值应保持在小于 15% 的范围内。管道的阻力主要包括管道沿程阻力和管道局部阻力。

上送风风帽送风下回风通常可在建筑层高较低时，见图 2 1，机房面积不大时采用，但要保证送回风气流畅通，不被设备阻挡。上送风风帽送风安装最为简便、整体造价较低，对用户房间的要求也较低，在机房室内净空较低以及计算机设备热密度较低时多推荐此种送风方式。

上送风风帽送风机房温度场均匀性较差，同时风帽送风气流容易被机柜阻挡，形成不了一个通畅的气流回路，造成局部滞流或出现小区的涡流。机房内出现的不均匀温度场，影响着部分机柜散热的冷却效果。此种送风方式还要求设计考虑机组回风通畅，回风口前 >1.5 米以内无遮挡物。

图表 19 上送风风帽送风下回气流组织



上送下回气流组织宜用在机房热密度较小的数据中心,这种方式用在大型的 IDC 机房,效果并不理想。

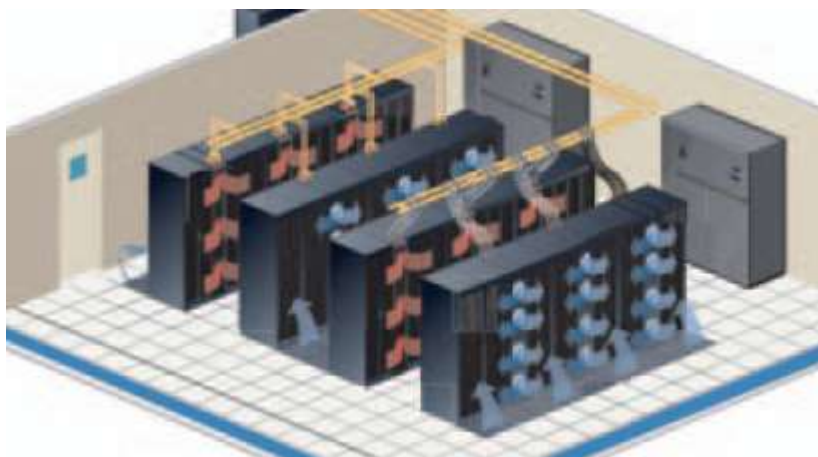
6.2.3 局部区域送回风方式

随着高热密度机房的逐渐涌现,传统的送风方式常常会力不从心,如下送风地板高度越来越高,上送风常常会造成局部过热等。数据中心就有了针对高热密度的方案,此类方案其中的一个方式就是把空调设备安装在靠近热源的地方,如安装在机柜侧面、上部、背部等,并从机柜出风口吸热风,向机柜进风口吹冷风。见以下示意图,形成局部的送回风,提高冷却效率,降低风机功耗。

图表 20 局部区域送回风—吊顶式送回风



图表 21 局部区域送回风—水平气流送回风



6.3 空调系统的冷却方式选择

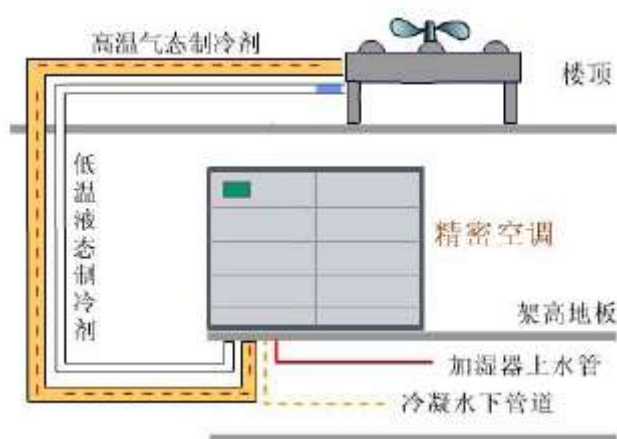
空调系统需要不停运行把机房内的热量转移到机房外散到大气，才能保持机房的环境，热量向大气散热的方式多种多样，这决定了机房专用空调设备制冷系统形式很多，可以根据数据中心的特点，选用不同的制冷系统。直接膨胀（DX）式机房专用空调机组主要冷却形式有风冷式、水冷或乙二醇水冷式，冷冻水（CW）机组冷冻水式、冷冻水双盘管，还有直接膨胀式+冷冻水式的双冷源空调机组。

6.2.1 风冷式系统

1、风冷式机组的组成及工作原理

风冷式直接蒸发系统使用冷媒作为传热媒介。机组内的制冷系统由蒸发盘管、压缩机、冷凝器等制冷管路组成，室内空气穿过机组内部风道进行循环。将远端的风冷冷凝器与室内机相连接，整个制冷循环在一个封闭的系统内，从而吸收房间内的热负荷并排放到大气中去。风冷冷凝器要根据安装地的夏季环境温度、室内外机高差、管路距离、室外机安装散热条件等因素综合考虑，配置合适的冷凝器，避免冷凝器散热不足，造成夏季高压告警等故障。当多台风冷冷凝器集中安装时，需要注意避免换热不足，冷凝器的间距和进风通路需要经过仔细核算。

图表 22 风冷式系统原理图



2、风冷式机组的应用特点

风冷式机组在数据中心机房的应用最为广泛，它具有以下特点。

优点：

- (1) 直接蒸发制冷循环，没有冷冻水和冷却水系统。
- (2) 每个机组都有自带的压缩机，可以在每个机房内实现 N+1 的备份方式。
- (3) 安装内容相对简单。
- (4) 室外机安装分散，不需太多考虑室外机承重问题。
- (5) 日常维护相对简单，不需考虑水系统。

缺点：

- (1) 对于大型数据中心，每个机组、压缩机制冷系统均需要一套制冷铜管连接，工程量巨大。
- (2) 室内机、室外机距离受到限制，当量长度大于 60m 时效率会有较明显的下降。
- (3) 室外机由于过于分散，需占用大量的面积。
- (4) 多台室外机过密安装易造成过热。

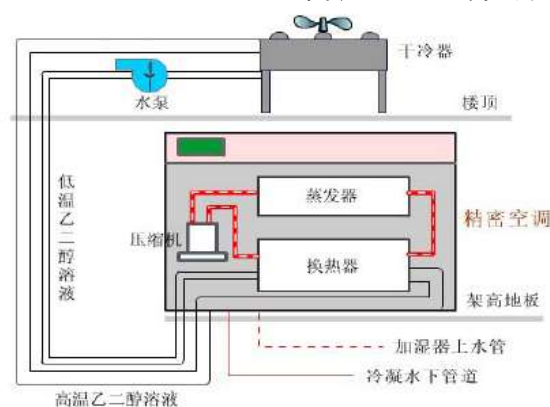
6.2.2 水冷或乙二醇水冷式系统

1、水冷式机组的组成及工作原理

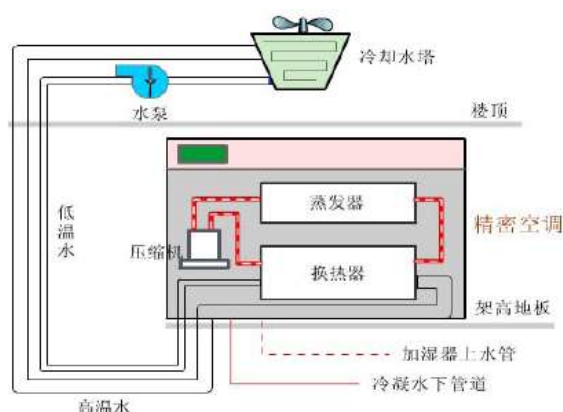
水冷或乙二醇冷却系统的内部结构与风冷式机组相同，室内空气通过蒸发器盘管循环。与风冷式不同的是，水冷机组内部安装有板式冷凝器，将实现房间热量与乙二醇溶液之间的热转换。该冷凝器内的液体作为一个二级传热媒介，被抽到远处安装的空气冷却式干冷器或冷却塔内，热量在那里最终排到大气。水冷却系统机房专用空调机组每台机组均自带制冷循环系统，并配有单独的水冷冷凝器，冷凝器置于室内机内部。所有机组的冷却水可以做成一个冷却水循环系统，由水泵提供循环动力，室外冷却水可采用开放冷却水塔和封闭干冷器两种方式。机房专用空调要求一年四季连续运行，开放式冷却水塔由于受环境影响大，不宜采用；通常采用封闭干冷器的冷却方式。

从节能方面考虑，有的专用空调机组在水冷或乙二醇冷却系统的蒸发器上平行加入一个自然冷却用的盘管。在较低的室外环境温度下，通过中央控制器精确地控制阀门，自然冷却盘管将吸收室内的全部的传热量。在换季期间，环境温度将降至机房所需的温度以下，自然冷却盘管将提供预制冷以减少压缩机的运行时间，压缩机一般只需80%的输入功率，因此可以显著地节省成本。

图表 23 乙二醇式系统原理图



图表 24 水冷式系统原理图



2、水冷式机组的应用特点

优点：

- (1) 每个机组的冷凝器、蒸发器均在室内机内部，制冷循环系统在机组内部完成，制冷效率相对风冷机组高。
- (2) 不需要室内、室外机的连接铜管，只需要一组冷却水管道可以将所有的机组连接在一起，在大型数据中心系统里，工程量能相对减少不存在室内、室外机距离限制。
- (3) 可以用几组较大的室外干冷器做 **N+1** 备份工作方式，占地面积相对较小。
- (4) 每个机组都有自带的压缩机，可以在每个机房内实现 **N+1** 的备份方式。
- (5) 空调机组在工厂内就配好制冷系统，现场接好水管后即可投入使用，不存在现场安装影响机组质量的问题。
- (6) 扩容方便，初期设计时留好接口，不需要在投入使用后需要扩容时再寻找室内、室外机通道。
- (7) 水循环管道不需要太厚的保温处理，节省通道空间。

缺点：

- (1) 数据中心内部带有水循环系统，需要设置防漏水检测系统和防护措施。
- (2) 施工工程相对复杂，需要有压力管道施工资质的工程队完成。
- (3) 日常维护的工作较风冷型复杂，但比冷冻水型简单。

6.2.3 冷冻水式系统

当有中央空调冷冻水系统或具备单独的风冷冷冻水机组被作为换热方式时，室内空气可通过冷冻水盘管，直接将热负荷传递到冷冻水系统内。在专用空调机组中央控制器的控制下，冷冻水流量通过一个两通或三通的阀门进行调节，精确地保持机房内的气温状态。

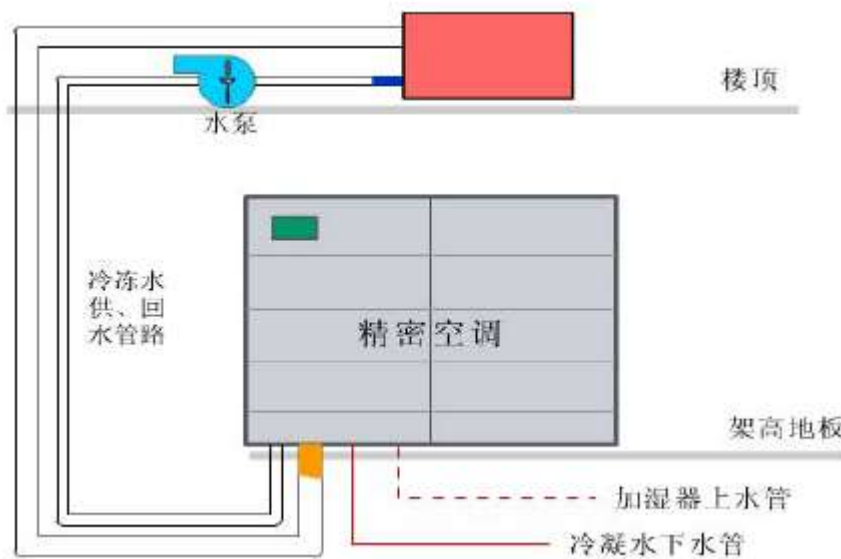
为提高数据中心内机房空调机组的安全性和备份能力，可以采用双盘管方案，即在一台机房空调内安装两套独立的制冷盘管和控制阀门，能够控制来自两个独立系统的冷冻水，当其中一套冷冻水系统故障时，还能继续保证冷量的供应，提高数据中心冷却的可靠性。

冷水机组是中央空调系统的冷源，主要是指产生冷冻水的冷机。冷水机组按工作原理不同分为蒸气吸收式、蒸气压缩式等。其中压缩式制冷用途最为广泛，按压缩机类型又可以分为活塞式、涡旋式、离心式、螺杆式等；按冷却方式主要分为风冷式和水冷式。离心式冷水机组制冷量较大，一般在500冷吨以上；螺杆式制冷量一般在100-600冷吨；涡旋式冷水机组制冷量一般在100冷吨以下。

由于中央空调冷源统一由冷水机组提供，如果出现故障影响巨大，以在数据中心设计时冷冻水系统一般采用双管路设计，即采用两套冷冻水管路和冷水机组，提高系统的可靠性。近年模块化数据中心受到越来越多人的关注，如果采用模块化数据中心设计，就可以采用多套中小制冷量的冷冻水系统，避免了制冷系统过于集中造成的潜在风险。另外，在条件允许时，建议设立蓄冷装置，能够在冷冻水系统故障时短时间提供冷源，给解决故障和IT系统备份提供宝贵的时间。

在设计中央空调方案时，应尽量选取能效比较高的冷水机组，并在条件合适的区域考虑采用自然冷却方案。如果数据中心和所在建筑的中央空调冷冻水系统共用冷水系统，建议另外增加单独的风冷或水冷冷冻水机组作为二级冷冻水源，特别适用于中央空调冷冻水系统在周末、冬季或深夜不再使用的情况。

图表 25 冷冻水式系统原理图



优点：

- (1) 风冷冷水机组集中制冷，制冷效率较高，运行费用最低。
- (2) 不需要室内机、室外机的连接铜管，只需要一组冷却水管道可以将所有的机组连接在一起。
- (3) 在大型数据中心系统里，工程量能相对减少。
- (4) 不存在室内机、室外机距离限制。
- (5) 可以用几组冷水机组做 $N+1$ 备份工作方式，占地面积相对小。
- (6) 室内机价格非常便宜，整体造价低。

缺点：

- (1) 数据中心内部带有水循环系统，需要设置防漏水检测系统和防护措施。
- (2) 施工工程相对复杂，需要有压力管道施工资质的工程队完成。
- (3) 日常维护的工作复杂，需要在冷水机组的维护人员。

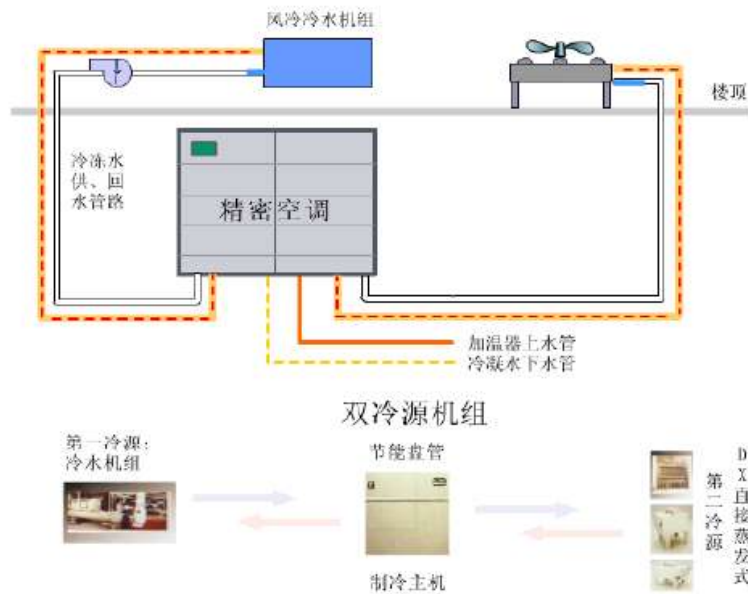
6.2.4 双冷源系统

由上述三种基本的冷却方式可组成不同类型的双冷源系统，如风冷+冷冻水系统、水冷+冷冻水系统。

1、风冷+冷冻水系统

风冷+冷冻水系统是分别由风冷和冷冻水系统的制冷盘管组成，通过中央控制器控制系统运行，将风冷系统作为冷冻水系统的备用系统，增加了机房的安全性和附加备份，反之亦然。

图表 26 风冷双冷源式系列原理图



2、水冷+冷冻水系统

水冷+冷冻水系统分别水冷和冷冻水系统的两盘管组成，可以使两个系统互为备份。

3、双冷源系统的应用特点

优点：

- (1) 适应性强，具备灵活的冷却方式。
- (2) 双系统互为备份，安全可靠性能高。
- (3) 可以充分利用机组的节能模式。

缺点：

- (1) 初期投资较大。
- (2) 管线较多，占用空间大，给安装带来麻烦。

6.2.5 自然冷却方案

数据中心内设备发热量大，空调设备需要常年制冷，能耗很大，其节能方案也就被各方广为重视。从冷却方案上看，数据中心比常规的商业建筑有一个得天独厚的条件：室外温度低于数据中心内部温度时，仍然需要空调提供冷量，如果把室外自然界的低温冷源直接用来冷却机房，就可以节省大量的能耗，这类方案统称为自然冷却方案。此类方案可以有多种方式，下面对重要的几种分别介绍。

1、新风冷却自然冷方案

在室外温度低于室内温度时，直接引入室外新风冷却机房是最容易想到的自然冷却方案，而且如果仅仅考虑降温的话，其节能率也最高。新风冷却自然冷方案由于其鲜明的优缺点一直受到大家的关注，也产生了巨大的争议。其优势是初投资低，实现方案简单，而且仅仅考虑降温时节能率非常高。在国内移动通信行业的基站中，有少部分合适的环境和区域采用了此方案。但其缺点也同样突出，新风引入机房内会污染机房，主要包括灰尘、湿度、二氧化硫等化学成分。如果严格处理这些因素达到机房的标准，这前后期的成本非常高，投资收益并不合算，如果放宽标准，又会威胁到设备的安全运行，造成IT设备故障率和寿命下降，总成本上升。所以在数据中心领域，鲜有采用者。

总的来讲，此方案可以在条件合适的区域，经过评估和研究后，在要求不高的机房或基站采用。目前国内并没有详细的评估信息，美国的研究表明，在沿太平洋海岸线25英里的狭长地带才能在大多数时间适合新风自然冷却。

2、风冷机房空调自然冷却方案

目前风冷机房空调的应用仍然占据了主流地位，在风冷机房空调机组上实现自然冷却方案将会给行业带来最大的节能效果。如果在室外低温时采用制冷剂泵代替压缩机循环制冷剂，在室外机吸收室外冷量，在室内换热器吸收机房热量冷却机房，可以实现自然换热冷却，泵的功耗仅仅是压缩机的十分之一到几分之一，节能效果非常显著。由于循环的制冷剂在室内外换热器会有蒸发和冷凝过程，所以所需的流量小于水，所以其效率较高。

以前受制于各种技术因素，在风冷机房空调上采用自然冷却的方案均没有成熟的产品，但近几年已经有厂家推出了相关的产品。应用领域可以覆盖到秦岭以北的广大北方区域。如果随着机房冷热气流的隔离，回风温度的升高，甚至能在长江领域使用。

此方案的优势在于可以在采用风冷机房空调的任何大小和总类的机房使用，应用面极广，较好的利用率原有风冷机房空调的投资，共用了风机、散热器的部件。而且即可在新建机房使用，也可在老机房进行改造。其节能率较高，据艾默生公司的实测数据，在内蒙古某机房室外0℃时节能率达到了40%。由于没有新风进入机房，也就不存在新风冷却存在的种种问题。

3、乙二醇冷机房空调自然冷却方案

乙二醇冷机房空调室外采用干冷却散热，冷却液为乙二醇的水溶液，用来冷却冷凝器。如果在室内机组上增加一换热盘管可实现自然冷却。当室外温度低于室内合适温度时，可以直接把经过室外冷却的乙二醇溶液通入增加的换热盘管，直接冷却机房，可以减少压缩机的运行时间，降低能耗。

此方案的优势在于室内外机组的距离基本不受限制，但节能率低于方案二，而且必须是在乙二醇冷的机组上进行，应用的范围较窄。

4、冷冻水系统自然冷却方案

目前越来越多的冷冻水系统应用于数据中心，在冷冻水系统上如何高效安全的应用自然冷却是近来大家关注的热点。数据中心冷冻水系统分为风冷系统和水冷系统。

风冷冷水机组系统的自然冷却方案二和方案三类似。风冷型的自然冷却方案一般集成在冷水机组上，由厂家直接提供带自然冷却功能的风冷冷水机组。

水冷系统的自然冷却一般是在冷却水和冷冻水回路之间增加换热器，在室外温度较低时部分开启冷水机组或者关闭冷水机组，直接用低温冷却水作为冷源来冷却冷冻水。水冷系统的自然冷却方案一般由设计单位设计，可以有多种设计方法和控制逻辑，并由相关的厂商提供相应的设备。在北方寒冷地区采用自然冷却时需要注意冷却水系统的防冻问题，或者选择采用防冻剂。

冷冻水自然冷却一般应用于中大型数据中心，节能率较好，可以根据具体情况选择不同的自然冷却方案，但需要充分考虑切换时的逻辑设计，避免风险。

图表 27 各冷却方式对比表

项目	风冷系统	开放式水冷系统	闭式水冷系统	冷冻水系统	双冷源系统
系 统 组成	主要由室内机和室外冷凝器组成。	由室内机和室外冷却塔以及水泵组成。	由室内机和室外闭式冷却塔以及水泵组成。	由冷冻水机房空调和 大楼制冷系统（冷水机组、冷却塔及水泵等）组成。	由室内机和以及大楼制冷系统（冷水机组、冷却塔及水泵等）组成和第二冷源的散热系统（风冷、水冷乙二醇等）组成。选、配件多。
系 统 优势	系统简单，可靠性高。易于冗余和容错配置。 具有自然冷却选件	室外部分占用面积小，室内外机不受距离限制 夏季换热效率高	无水飘洒问题 无需水处理装置 可适应低温运行 可选乙二醇系统，	冷量有冷水机组统一提供 室外机占地面积小 在大型数据中心有	系统的运行可靠性高 具有自然冷却选件 室内外机不受距离

			具有自然冷却选件 室内外机不受距离限制	优势，具有自然冷却选件 室内外机不受距离限制	限制
系 统 劣势	管道的长度及高差受到严格限制。 需要合适的位置安装风冷冷凝器	系统组成复杂 需要进行水系统的清理和维护，有飘水问题 解决容错问题时成本较高	系统组成复杂 需选择合适的水泵和管路 成本较高	系统组成复杂 要求大楼制冷系统必须全年工作需要 进行水系统的清理和维护，有飘水问题 解决容错问题时成本较高	系统复杂，有两套系统所组成 维护量大 成本非常高
适 应 环境	适应温度环境宽 需要有特定的位置安装冷凝器	适应温度环境窄， 适合冬天不结冻的南方地区使用。	适应温度环境宽， 适合各种地区使用、各种位置使用。	在低温环境下需要采取特定的措施	可根据不同的环境，选择不同的冷却方式
适 应 范围	适用的范围面宽 有适合安装风冷冷凝器的机房	适合室外机安装受限制机房 适合机房面积大，使用台数多的机房采用	适合在室外机安装距离较远的机房使用 在不同机房面积下均可采用	具有集中制冷系统的机房使用 制冷系统有备份和全年运行 适合大型数据中心	适合带有集中制冷系统的机房使用 适合对机房可靠性要求极高的机房采用
维 护 和 维 修 特 性	维护简单	维护复杂，需定时清理水系统及机组	密闭系统维护相对简单	维护复杂，需要专门的人员对制冷系统进行专门的维护	两套系统维护复杂

6.4 空调设备的选择

数据中心空调设备的选择需要考虑机房等级、制冷量需求、气流组织方式、冷却方式、机房形状和设备布局等因素，同时应符合运行可靠、经济适用、节能和环保的要求。

6.4.1 空调设备选择原则

数据中心主机房和不间断电源室应选用机房专用空调机组，满足机房大风量、高热密度、连续运转等需求。空调机组的制冷量需要有**15-20%**的备份。为保证数据中心的可靠性，**A和B级**机房空调设备应设置备份机组，超过五台空调机组的机房建议至少采用**2台**备用机组。

选用机房专用空调机时，空调机宜带有通信接口，通信协议应满足机房监控系统的要求。空调设备的空气过滤器和加湿器应便于清洗和更换，设备安装应留有相应的维修空间。空调设备需要和消防进行联动。

为保证机房静压和人员要求，需选配新风机组。如果是无人值守的密闭机房，尽可能减少新风量，降低运行费用。

6.4.2 空调设备性能要求

对于空调设备规格，按方案提出的制冷量、送风方式、冷却方式确定后，还需要关注空调设备性能要求。

A. 可靠性

设备的可靠性是最基本的要求，主要的衡量指标为平均无故障时间（MTBF）。但更重要的还是要了解厂商的实力、口碑、过往运行情况等。

B. 高效性

衡量空调设备效率的指标是能效比，能效比指的是设备在额定工况下静态的能效比，为反映数据中心全年制冷运行的特点，一个新的指标全年能效比应运而生，更接近数据中心空调设备实际运行的能效指标。

C. 智能控制

空调设备的控制系统要有良好的交互界面，一般为中文显示，可以显示室内当前的温度和湿度、温湿度设定值、运行状态及报警情况。还应从显示屏的主菜单上进入浏览各设定点、事件记录、图形数据、传感器数据，报警设置等更详细的信息。为防止非法操作，宜有多级密码保护，同时具有掉电自恢复功能和存储历史事件记录。

在一个场地有多台空调设备时，空调设备还需要有群控功能，控制系统可以根据现场情况，将空调设备联动与群控，实现备份、轮巡、避免竞争运行等功能，保证空调系统的可靠性和高效性，如果对空调设备能耗特别关注，还需要控制系统对空调设备有能源管理功能，采用智能的控制策略，来降低空调设备的能耗。

D. 可维护性

空调设备可维护性非常重要，空调过滤器、加湿器、室外机等需要定期更换和清洗，制冷系统、控制系统和风机系统等也需要定期进行检查，到厂家推荐年限还需要进行大修。为节省数据中心空间，空调设备最好为正面维护。

E. 根据不同数据中心，有时还会关注设备尺寸、可变容量等个性化的需求。

七 数据中心中高热密度解决方案

随着服务器等设备的应用提升，尤其是机架式、刀片式服务器的应用，单机柜内设备数量、功率密度、发热密度都有巨大提高。并随着应用技术，如虚拟技术、云计算等技术的广泛应用，更是提高服务器等IT设备的利用效率，如42U高机柜内放置满机架式或刀片式服务器满负荷运行，功率密度可超过30KW，发热密度也相应达30KW左右。根据有关研究报告表明：发热密度超过5KW/机柜，采用常规的机房空调地板下送风形式，也会在机柜的顶部产生局部热点，容易导致设备过热保护。

机房内常见的上送风、下送风等方案一般只能解决3-5kW/机柜发热量的机房，其无法满足更高热密度设备的原因主要有以下几点：1.制冷量不足2.制冷量无法合理送到设备进风口3.无法针对不同的高发热量设备按需送风4.冷量利用率低。

当前不计成本的高性能计算时代已经一去不复返了，解决尖端问题的高端系统同样也必须降低成本。为了避免由于服务器爆炸性增加而造成机房面积过快扩大以及随之而剧增的各种运行维护费用，机构数据中心要求大幅度缩小服务器(以及存储设备和网络通信设备)的占地面积、提高计算密度、发展高密度计算。这一方面要求采用新的服务器设计和器件实现更高的计算密度，另一方面要求建设能够支持高密度计算机系统安全稳定运行的数据中心，即高密度计算数据中心。

高密度数据中心虽然与大多数数据中心一样也必须致力于提高能效，但它们在供电和散热两方面都对机房基础设施的容量规划和电源和制冷设施建设提出了更高的要求。为解决数据中心高热密度设备散热制冷问题，目前大致有高热密度区域解决方式、局部热点解决方式、高热密度机柜等方式。

7.1 区域高热密度解决方案

高热密度区域解决方式是将高热密度设备在机房内集中布置，形成高热密度区域，在此区域采用相应的高热密度制冷的方案。

其核心理念是合理加大冷量供应、提高冷量利用率。具体方案为提高地板高度，使更大的风量和冷量能合理送到高热密度区域；减少冷热风的混合，提高制冷量的利用率。

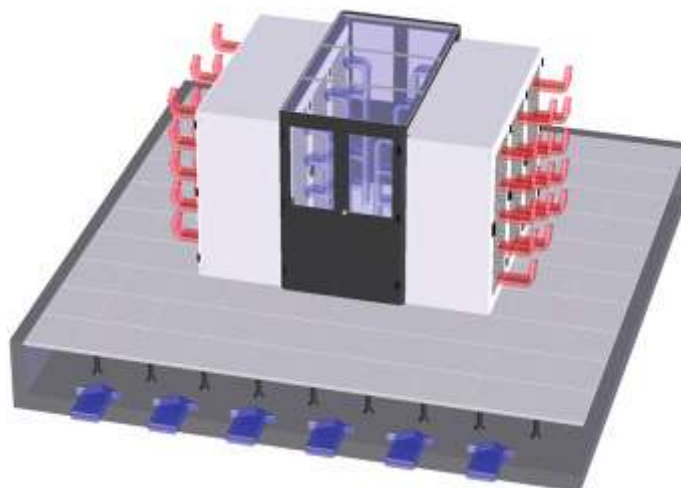
地板高度根据热密度、机房大小、形状等因素综合考虑，一般高热密度机房地板高度大于600mm。

隔离冷热气流，防止冷热气流混合而降低制冷效率的混合有多种方案，最常见的有冷热通道密封、地板下直接向机柜内送风、上送风风道精确送风等，但采用盲板密封机柜是最基本的措施。

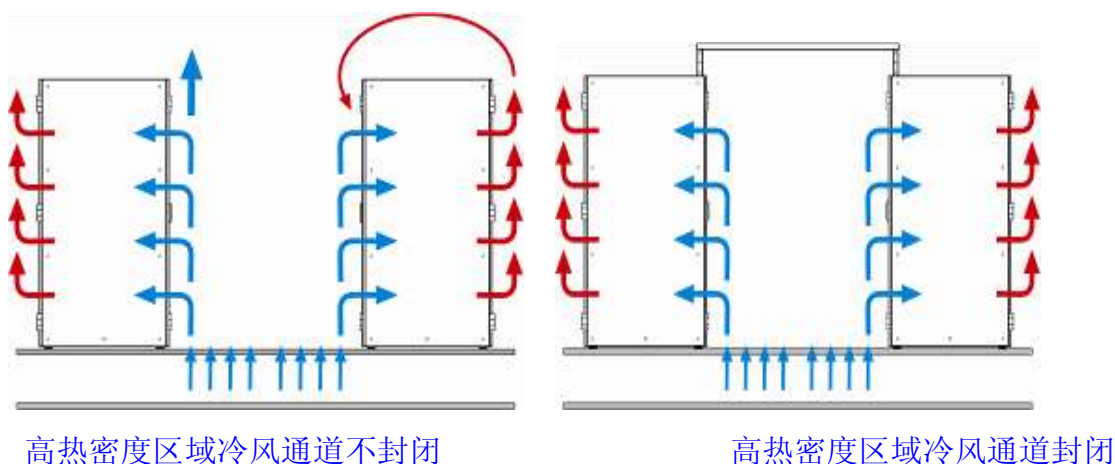
图表 28 高热密度区域封闭冷风通道空间应用



图表 29 高热密度区域封闭冷风通道空间气流分布



图表 30 高热密度区域通道气流对比



这些方案可以确保机房中，冷、热气流完全隔离。而冷热气流不再有机会如上图所示的混合，机房空调送出的冷风全部用于设备制冷，将静压箱延伸到了机柜的正面空间，充分利用了机房空调的制冷量，提高了制冷效率，解决了设备的高热密度散热问题。这种方式需要将高热密度设备集中布置，进行集中统一的制冷、供电等管理。因而要求数据中心设计阶段做好规划，将高热密度设备与普通发热密度设备分开，集中布置、管理。

高热密度区域解决方案，简单易行，在方案设计和实施良好的情况下，甚至能解决高达8-10KW/机柜的发热量，确保高热密度机柜内设备正常散热和工作，同时也能实现较一般机房空调送风方式更高的制冷效率。限于机房空调送风量和制冷量，这种方式的可解决的热密度不如下面介绍的其它几种加强制冷的高热密度制冷方式。

7.2 局部热点解决方式

局部热点解决方式是在机房空调对机房整体空气调节的基础上，针对高热密度设备发热，而导致机房空调送风无法冷却的局部热点区域，采取加强制冷处理。即在容易形成局部热点的区域，放置相应制冷终端，加强局部热点区域的制冷循环，确保机柜内设备正常散热和工作。

如下图为机房顶部加装制冷终端的解决形式。通过挂在机房天花上的制冷终端内的蒸发器，冷却机柜背面排出的热风，直接向会产生局部热点机柜正面送冷风，消除局部热点，保证高热密度设备的散热。制冷主机系统通过相关管道，为机房内各个制冷终端提供制冷剂，以带走制冷终端冷却高热密度设备排出的热空气产生的热量。采用这种方式，单机柜的制冷量可达到30KW。

图表 31 机房顶部加制冷终端形式



这种方式布置灵活，可根据机房设备布置情况，在高热密度设备区域加装制冷末端。并可以根据扩容规划，在数据中心建设初期铺设管道，随着数据中心应用扩容，增加相应制冷终端和主机。冷媒采用制冷剂形式，安全可靠，杜绝了机房进水带来的风险。

业界还有在高热密度机柜顶部、侧面、背部加装加强制冷的制冷终端方式，冷媒也有制冷剂和冷却水等方式。这些制冷方式都是配合机房空调制冷系统，加强局部热点区域制冷的解决方案。如下图在机柜间增加空调制冷末端的方案；

图表 32 机柜间安装空调终端形式



但这种在局部热点区域加强制冷的形式需要加装制冷终端，需要占用机房

相关空间,因而要求数据中心设计阶段做好规划,以便加装相关设备和铺设管道。

在此基础上,可以通过采取冷热通道密封方案来更进一步的提高应对高热密度的能力,同时提高系统的效率。如下图的冷通道密封方案:

图表 33 冷通道封闭的示例



此类方案也可以在机房内单独使用,作为整个高热密度机房的解决方案。

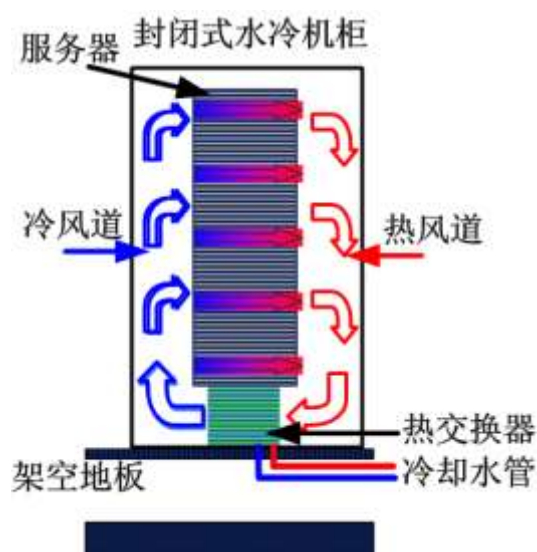
7.3 高热密度封闭机柜

高热密度封闭机柜采用柜内直接制冷的方式,机柜内设备运行发出的热量通过机柜内空气循环,经机柜内热交换器,通过水冷循环回路,传递到机柜外的冷冻水系统或机房空调系统中。下图国内某超级计算机中心内封闭式水冷机柜的应用现场。

图表 34 封闭式水冷机柜应用



图表 35 封闭式水冷机柜工作原理示意图



高热密度机柜为封闭机柜，机柜内空气独立循环，如上图。机柜内由风扇带出服务器排出的热风，送入机柜底部的空气—冷却水热交换器，将空气冷却，再送回服务器正面，完成机柜内空气循环，实现高热密度服务器的散热。由于机柜内空气循环路径短，散热效率高。

采用冷却水系统与高热密度机柜连接，带走机柜内热量，由于水冷热交换器具有高效率，可满足单机柜高达 35KW 的制冷量。机柜内空气循环，回路气流量小、温差大、环流路径短，热交换效率高。机柜风扇可根据机柜内温度高低调速，调节风量，并可充分利用服务器风扇，系统效率高。

这种形式机柜完全封闭，制冷循环在机柜内完成。机柜与机房环境基本独立，利于迅速、准确控制每个机柜内环境，减少制冷能量在机房内的浪费，并可减少机房内大量的噪声。

由于封闭式机柜需要冷却水将热量带出机柜，需要将冷却水引入机房，带来了漏水和结露的隐患。因而系统需要的冷却水由一个中间热交换单元提供，确保机房内的冷却水的温度高于机房的露点温度，防止结露的危险，同时保证冷冻水的流量稳定，确保末端机柜内空气温度的精确控制。并在机房工程和机房管理上，必须做好防漏水措施和预警管理。

业界还有在机柜的侧面放置热交换器的方式，同时热交换器可采用模块化设计，可根据机柜内发热设备的增加，增加热交换器模块，实现机柜制冷能力的灵

活配置。

还有一种半封闭的机柜冷却系统，即在机柜背部增加制冷终端，在服务器的出风口安装带冷却装置的门，冷却液体可以采用制冷剂或水。通过安装在机柜背部的冷却终端，吸收服务器排出的热量，降低机柜排风的温度，消除局部热点，解决局部高热密度的问题。冷却终端通过与其连接的制冷剂管道或水管把热量带走。液冷柜门系统可以为每个机柜降低 30KW 的热量。它为局部高密度的服务器散热问题提供了一个非常有效地解决方案。

7.4其它高热密度制冷方式

除了机房整体解决方式和高热密度封闭机柜外，还有其它一些高热密度的制冷方式，如对芯片直接制冷，将冷媒（如制冷剂、制冷液、二氧化碳等）送到发热的芯片上，直接吸收芯片发出的热量。如 AMC（Active Micro-Channel Cooling）技术通过制冷液体直接吸收 CPU 芯片发出的热量，可实现芯片上每平方厘米 1000w 的散热量（传统 CPU 风冷形式，可实现芯片上每平方厘米 250w 的散热量）。

由于直接对芯片制冷，制冷效率高，系统制冷容量大，充分满足高性能计算机的高密度散热要求。但系统较复杂，管理维护复杂，应用较少。

八 数据中心制冷系统发展趋势

随着业务的发展，数据中心的问题与日俱增，数据中心管理者所面临的压力和挑战也越来越大：企业业务的不断调整和改变让数据中心总体架构面临极大的压力、有限的物理空间让数据中心扩展性和灵活性有所限制、虚拟化的欠缺让数据中心资源调配能力有限、复杂多变的异构环境让数据中心管理效率异常低下、高居不下的耗电量让数据中心能源成本迅速上升、数据中心的建设无法满足业务发展的需求，这些都要求数据中心管理者通过有限的预算使数据中心运行更加高效、可靠。所以数据中心的未来的发展牵动着业界的神经，大家都试图把握未来的发展趋势。

8.1数据中心发展趋势：

1) 绿色数据潮流不可阻挡

在数据中心的快速扩张中，众多难题逐渐露出水面：最突出的就是高耗能，电费成本居高不下，导致很多数据中心建得起，用不起。2006年占到美国全年总

耗电量的1.5%，且增长非常快，大概到2011年要翻一番。2007年，欧洲数据中心的耗电量比2006年增长了13%。从中国情况看，数据中心和IT产品的耗电量也非常大、增长非常快。专家预测：从2007年到2012年期间，年增长率将达到88%左右。2007年IT产品总的耗电量已经超过300亿度电，大概是三峡电站年发电量的一半左右。中国现在的数据中心跟国外的相比，其能源综合利用效能更低，其中有三分之二的能源消耗在IT设备以外的配套设施上。数据中心的能耗，一方面是利用效率低，另一方面是增长非常快。因此，建设具备节能环保特点的绿色数据中心，已经成为数据中心建设和使用方，以及设备供应商的共识。

2) 虚拟化技术的将得到广泛应用

物理服务器和繁复的存储设备因为能耗和散热成本过高，已经濒临被淘汰的边缘。不仅数据中心的设备朝着高效节能的方向发展，而且虚拟机和精简配置的出现彻底改变了IT行业并将持续改变整个IT行业的发展。在2010年，技术发展的重点将更多地集中在如何提供必需的智能和弹性以提高虚拟数据中心的效率和灵活性。我们会发现虚拟化已经渗透到数据中心的方方面面。

3) 云计算数据中心

到目前为止，云计算已经成为整个IT业界最火热的话题。随着市场的不断变幻，我们会发现云还将继续积聚人气和发展动力。然而，在2010年，我们也将看到拥有强劲“云”实力的厂商将脱颖而出，并引发一系列跟风的市場热潮。确实，已经有一大批能够正确理解云的创新者，他们时刻思考着将云的智能性、高灵活性以及容量定制功能纳入这一新模式。

4) 模块化数据中心将逐渐流行

数据中心的建设对建设成本、建设周期、低运行费用的要求越来越高，而模块化数据中心的概念正迎合了这种需求。模块化数据中心采用将大型数据中心分割成多个标准设计的模块。由于采用大量可以复制的标准设计模块，意味着可以按需逐步建设，并可以降低成本，在需求的时候又可以快速投入使用。通过模块数据中心的精心设计，并和需求进行定制化的匹配，可以得到更高效的方案。



模块化数据中心一个非常有竞争力的方向是集装箱数据中心。集装箱数据中心在国外已经大规模部署，如google，Microsoft等均已部署了集装箱数据中心。在国内近两年也是热度持续飙升，2010年已经有多个集装箱数据中心投入使用或者试点。集装箱数据中心作为一种典型的模块化数据中心，其既有模块化数据中心的优势，又具有可以快速部署、工厂组装、运输方便、低成本、搬运方便等特点，所以近年来发展迅速。



5) 低碳数据中心的潮流

在低碳的潮流下，数据中心也会在相关的领域有所作为。有许多数据中心在采用新能源，如太阳能、风能等，降低数据中心的碳消耗；还有的数据中心采用了热回收装置，产生热水，作为生活、洗澡、游泳池等用途，降低整个系统的碳消耗。类似的方案应用有着广阔的空间，如果商业模式成熟，就能有效驱动低碳数据中心的发展。

8.2 数据中心制冷系统发展趋势

数据中心的发展趋势决定了制冷系统的发展将向以下方向发展。

1) 节能方案和节能机房空调机组将大行其道

随着绿色数据中心概念的深入人心，制冷系统的节能受到了前所未有的关注。制冷系统在数据中心是耗电大户，约在整个能耗的30-45%。

在节能方案方面，也呈现百花齐放的现象，如优化送风方式、采用冷热通道布局、冷热通道隔离、智能群控、利用室外自然冷源等多种方案。

在节能机房空调机组方面，变容量压缩机（数码涡旋）、高效EC风机、节能智能控制、利用自然冷源等技术的应用使得机房空调机组的能效和适应性原来越强。

在温湿度设定方面，ASHRAE在2008版本中推荐的温度范围为18℃-27℃，推荐的湿度范围为大于5.5℃的露点温度的相对湿度，小于60%的相对湿度。放宽的要求在保证机房设备正常运行时，可以减少机房制冷、加热、加湿、除湿的耗能，降低机房空调系统的能耗，提高PUE。

2) 动态制冷更能适应虚拟化的需求

数据中心虚拟化的发展使得服务器等设备的发热量会有更大的波动，包括不同时间的变化、不同空间上的变化。这就相应的要求制冷系统适应这种趋势，要能提供动态的制冷方案，满足不同时间和不同空间的需求。目前主要应用的技术有数码涡旋压缩机、风量智能调节技术（温度控制或风压控制）、列间制冷等。

3) 高热密度制冷将成为数据中心发展的必然之路

伴随着数据中心和服务器的不断发展，高热密度冷却的需求已经越来越强烈，并将在未来几年逐渐渗透到各类型的数据中心。高热密度冷却在方案和设备上均和传统的方案有较大的区别，冷却末端越来越靠近热源，以便提供更大的散热能力和降低运行成本。一种方式是在高热密度机柜左右两侧或上部或背部安装冷却末端，另一种方式是把机柜变成一个“冰箱”，把冷却末端安装在机柜内部，每个机柜自成一个的冷却系统。这些方案甚至可以为每个机柜大于30KW热负荷提供冷却。

4) 灵活适应模块化数据中心的冷却系统

模块化数据中心需要冷却系统能完全匹配其需求，这就使得现有产品很难满

足要求，在现有产品上进行升级改造或定制化的产品是其发展的方向。

例如一些公司采用集装箱数据中心作为其模块化设计的载体，一个集装箱数据中心设计好后，如果需要建设可以在工厂完成大部分基础设施如空调配电等的安装，运输到现场后进行服务器等设备的安装和调试。这可以保证数据中建设的低成本、快速、灵活等要求。

九 机房环境评估和优化

9.1 机房评估目的

数据中心在建设完成运行后，还需要根据机房运行情况定期进行环境评估和优化。评估和优化的主要目的是：

A 了解机房环境状况是否正常，是否有隐患。如机房温度场是否满足要求，是否有局部过热等

B 机房运行情况和设计是否一致。机房的运行情况是否达到了设计的目标，如果机房还需要扩容或建设，是否能满足需求，是否需要进行方案调整等。

C 机房空调系统运行状态评估和功耗测量。空调系统的运行状况是否最佳，有没有故障隐患，运行效率是高还是低

D 评估环境是否有优化措施，空调系统是否有降能耗的措施，措施的可实施性和收益。根据测试和评估情况，结合业界的现状，提出是否需要优化，如改善机房温度、优化气流组织、解决局部过热、降低空调系统能耗。

9.2 机房评估方法

机房评估一般需要专业的评估团队来实施。一般可以遵循以下流程：

A 首先要明确评估希望达到的目标，可以是上述的其中部分或其他目标；

B 然后确定评估团队的成员和分工，并由相关人员根据机房的情况提出具体的评估方案，并组织评审确定最终方案；

C 进入实施环节后由相关人员进行现场数据的测试、技术和初步分析；

D 得到充分的数据后，有相关专家对机房的环境、设备的运行状态进行评估，并给出结论，是否需要优化和整改；

E 如果需要优化，提出具体的措施，并评估可行性，甚至提出具体的实施方案；

F 最后进行方案的实施。

对于在机房测试的内容来讲，一般包括机房尺寸及气密性检测、机房温度场分布、机架具体设备配置及温度测量、服务器等发热设备耗电量、空调系统耗电量、空调设备制冷系统测试（包括空调机组的送回风温湿度、高低压压力、压缩机运行状况、风机、蒸发器和冷凝器等）、气流组织测量（空调送风量、送风口风速）等。常用的测试设备有卷尺、温湿度计、压力表、风速仪、电量表、万用表、远红外摄像机等。

评估的标准可以依据相关标准看温湿度是否满足要求，局部是否有过热，空调系统是否运行正常。

评估空调系统效率的常用指标是能效比，能效比是在额定工况和规定条件下，空调器进行制冷运行时，制冷量与有效输入功率之比，其值用 W/W 表示。能效比测试可以表明在测试工况下空调机组的效率，全年能效比可以表明在一年内空调系统的效率，更接近于实际情况。但能效比数据在现场非常难于测试，而且测试误差非常大，一般需要在实验室测试。所以在数据中心现场建议采用能量使用效率 PUE（Power Usage Effectiveness）来评估机房空调系统效率的高低，PUE 由美国 Green Grid（绿色网格）制定，Green Grid（绿色网格）是美国一个非盈利的第三方机构，由业界专家构成，该机构主要负责研制修订数据中心能效定量评价指标。2007 年 2 月才由 Green Grid（绿色网格）在文章《Green Grid Metrics: Describing Data Center Power Efficiency》定义出来。PUE 定义如下：

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Power (数据中心总能耗)}}{\text{IT Equipment Power (IT 设备总能耗)}}$$

数据中心总能耗：IT 设备总能耗+空调能耗+供配电能耗+其它能耗

所以 PUE 可以按下面分解：

$$\begin{aligned} PUE &= \frac{\text{数据中心总能耗}}{\text{IT 设备总能耗}} \\ &= \frac{\text{IT 设备总能耗} + \text{空调能耗} + \text{供配电能耗} + \text{其它能耗}}{\text{IT 设备总能耗}} \\ &= 1 + \text{空调能耗因子} + \text{供配电能耗因子} + \text{其它能耗因子} \end{aligned}$$

空调能效因子就代表在每 W 主设备上消耗的制冷用电量，而供配电能效

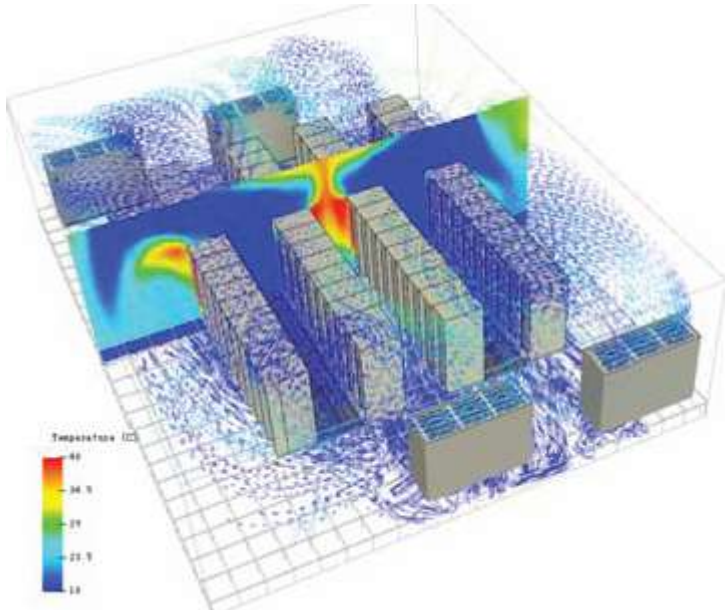
因子就代表在每 W 主设备负载上供电系统的损耗，1 则永远不会变，因为这是主设备和自己的比率。这样，就可通过空调能效因子来衡量空调系统和主设备负荷的能效关联度，确定空调系统的效率高低。空调能效因子越小表示空调系统效率越高。目前数据中心空调能效因子一般在 0.6-1.0 左右的居多，比较合理、运行状况较好的机房的空调能效因子一般在 0.4-0.8 左右，如果大于 1.0，则机房空调系统的效率就非常低，绿色数据中心更无从谈起，就需要对空调系统进行优化和整改。谷歌公司曾宣布其数据中心 PUE 达到 1.2，这表明其空调能效因子小于 0.2，远远超出了业界的平均水平，其空调系统采用了高热密度和自然冷却等方案，这也是未来发展的趋势。

例如一个 6 0 0 平方米的数据中心，通过测量温度场、局部热点温度，以及冷热气流混合分析，并计算空调系统能效因子。后来经过评估，通过实施补救措施，消除了局部热点，并降低了的旁路气流，提高了空调系统的效率，每年降低的电力消耗是 1 5 万元，在半年内就收回了投资。

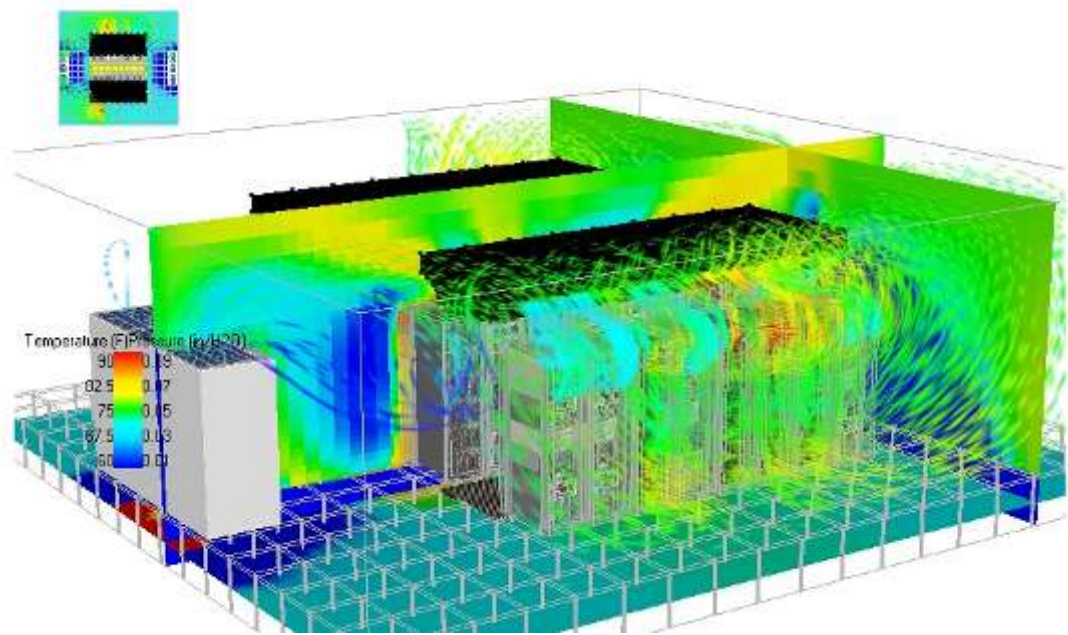
某金融系统的机房，仅仅通过简单的评估，把数据中心和外界连通的孔洞等泄露点进行了重新密封，每年就节省了 4 万元的电费。

在机房的评估完成后，需要进行整改时，还可以通过 C F D 软件模拟措施来验证和改进整改方案。C F D 是 Computational Fluid Dynamics 的简称，即计算流体动力学，它可以通过建模，模拟数据中心气流和温度场的分布情况，预评估空调方案的合理性，尽可能避免在方案实施后才发现问题。

图表 36 C F D 模拟示意图



图表 37 C F D模拟示意图



附件一：数据中心要求控制环境参数的原因

数据中心制冷系统的建设主要取决于 IT 设备本身散热的需求，IT 设备对其运行环境的要求相对严苛，不良的运营环境会对 IT 设备造成严重的伤害。

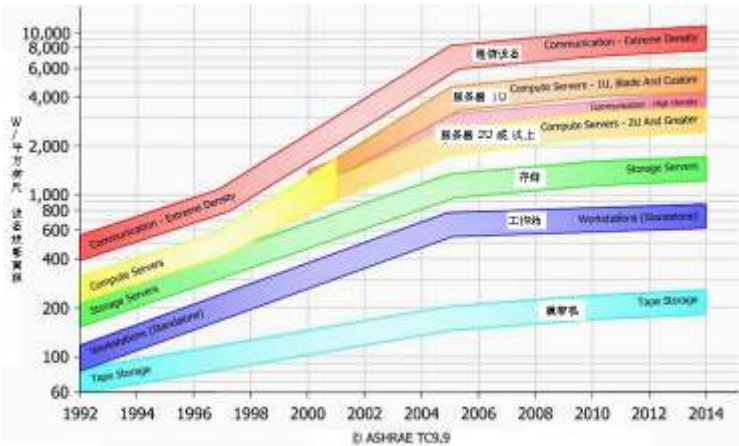
1 数据中心 IT 设备的发展

数据中心中大量使用服务器等 IT 设备，其核心器件为半导体器件，发热量很大。以主要的计算芯片 CPU 为例，其发展速度遵循著名的“摩尔定律”，即半导体芯片上的晶体管数（密度）大约每两年就翻一番。

随着CPU运算速度的快速提升，所需要的驱动功率也是成倍增加的。为了平衡运算速度的提高和驱动功率的增长，已经出现了双核、三核、四核的CPU，且CPU的功率需求也将进一步攀升。除CPU外，计算机的其他处理芯片，如总线、内存、I/O等，均是高发热器件。当前如1U高（约44.4mm）的双核服务器发热量可达1000W左右，放满刀片式服务器的机柜满负荷运转，发热量可达20～30KW。

以服务器为例，其功率密度在过去的10年中增长了10倍。这个数据基本意味着在单位面积的发热量也提高了近10倍。

图表 38 数据中心各设备热密度发展趋势图



资料来源：数据电信设备功率趋势和散热应用，ASHRAE，2005年美国采暖、制冷和空调工程师协会（ASHARE, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers）

与此同时，同等计算能力下，计算机集成度大大提高了。

图表 39 同等计算能力下消耗的机柜、服务器数量、占地和耗电对比



2 数据中心 IT 设备对环境的要求

因为IT设备在24小时×365天的不间断运行过程中，会产生巨大的发热量，为了保证设备工作安全可靠，必须为IT类设备提供正常工作的温度、湿度、灰尘等环境。所以每个IT设备的厂家对设备运行环境的温度、湿度、洁净度有着严格范围，下表为部分厂家主要型号、设备的运行环境要求。

图表 40 部分计算厂家、机构对环境的要求

国别	公司或机型		温度（℃）	湿度（%）
美国	IBM4361、4381、370 系列		24 ±1	50 ±10
	ASHRAE 规定		23.9 ±1	45 ± 5
	Heney well DPS 5/52、8/49		22 ±1	40~60
日本	富士通		22~24 ±2	50 ±10
	横河电机研究所		夏 26 ±2	50 ±10
			冬 21 ± 2	
	工业标准 JEIDA-29	A 级	15~30	40~70
		B 级	5~40	20~80
		S（S ₁ ）级	0~50	10~90
德国	西门子公司 7770 系列		20 ±2	55 ±5

图表 41 部分交换机厂家对环境的要求

生产国	设备型号	建议范围		允许范围	
		温度（℃）	湿度（%）	温度（℃）	湿度（%）
瑞典	AXE-10	15~25	40~65	5~30	20~80

日本	HDX-10	18~30	50~60	5~45	20~85
法国	E ₁₀ B	15~30	30~70	变化率 5℃/h	变化率 10%/h
中国	S1240	15~35	20~80	—10~0 35~45	80~90 10~20
	F-150	15~30	40~64	变化率 ±10℃/h	≥20%

3 数据中心不良环境对 IT 设备的危害

数据中心的环境不良包括温度问题、湿度问题、灰尘等。当环境不正确时，将对IT设备运行产生严重干扰或损坏。

1. 高温对设备运行的影响

（1）温度与平均无故障运行时间的关系—“10℃”法则

温度和平均无故障运行时间（MTBF）的关系由于现代电子设备所用的电子元器件的密度越来越高，这将使元器件之间通过传导、辐射和对流产生热耦合。因此，热应力已经成为影响电子元器件失效率的一个最重要的因素。对于某些电路来说，可靠性几乎完全取决于热环境。所以，为了达到预期的可靠性目的，必须将元器件的温度降低到实际可以达到的最低水平。有资料表明：环境温度每提高10℃，元器件寿命约降低30%~50%，影响小的也基本都在10%以上。这就是有名的“10℃”法则。

（2）高温对元器件的影响

1) 半导体器件

电子元器件在工作时产生大量的热，如果没有有效的措施及时把热散走，就会使集成电路和晶体管等半导体器件形成结晶，这种结晶是直接影响计算机性能、工作特性和可靠性的重要因素。

根据实验得知，室温在规定范围内每增加10℃，其可靠性约降低25%

器件周围的环境温度大约超过60℃时，就将引起计算机发生故障，当半导体器件的结温过高时，其穿透电流和电流倍数就会增大。

2) 电容器

温度对电容器的影响主要是：使电解电容器电解质中的水份蒸发增大，降低其容量，缩短使用寿命，改变电容器的介质损耗，影响其功率因数等参数的变化。

实验得知，在超过规定温度工作时，温度每增加10℃，其使用时间下降50%。

3) 记录介质

实验表明，当磁带、磁盘、光盘所处温度持续高于37.8℃时，开始出现损坏，当温度持续高于65.6℃时则完全损坏。

对于磁介质来说，随着温度的升高，开始磁导率增大，当温度或到某一值时，磁介质交丢失磁性，磁导率急剧下降。磁性材料失去磁性的温度称为居里温度。

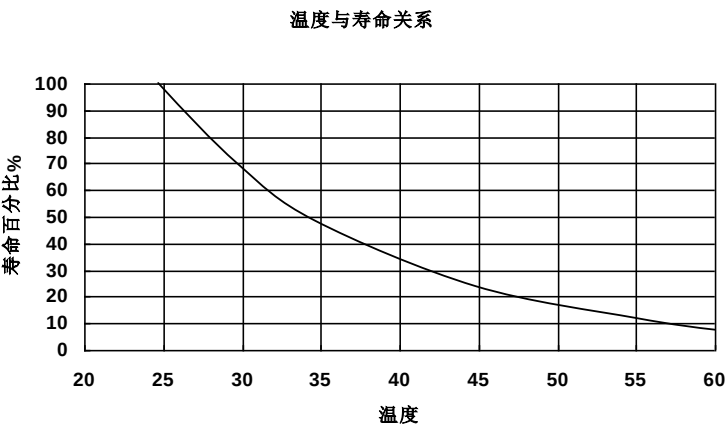
4) 绝缘材料

由于高温的影响，用玻璃纤维胶板制成的印刷电路板将发生变形甚至软化，结构强度变弱，印刷板上的铜箔也会由于高温的影响而使粘贴强度降低甚至剥落，高温还会加速印制插头和插座金属簧卡的腐蚀，使接点的接触电阻增加。

5) 电池环境温度与寿命的关系

电池是对环境温度最敏感的器件（设备），温度在工作温度25℃上，每上升10℃，寿命下降50%。

图表 42 电池寿命与温度关系



2. 低温对IT设备运行的影响

低温同样导致IT设备运行问题，包括绝缘材料、电池等，当机房温度过低时，部分IT设备将无法正常运行。

(1) 机房温度过低，设备无法运行

机房的环境温度低于5℃，通讯设备将无法正常运行；机房的环境温度低于-40℃，铅酸电池无法提供能量。

(2) 绝缘材料

低温时，绝缘材料会变硬、变脆，使结构强度同样减弱，对于轴承和机械传

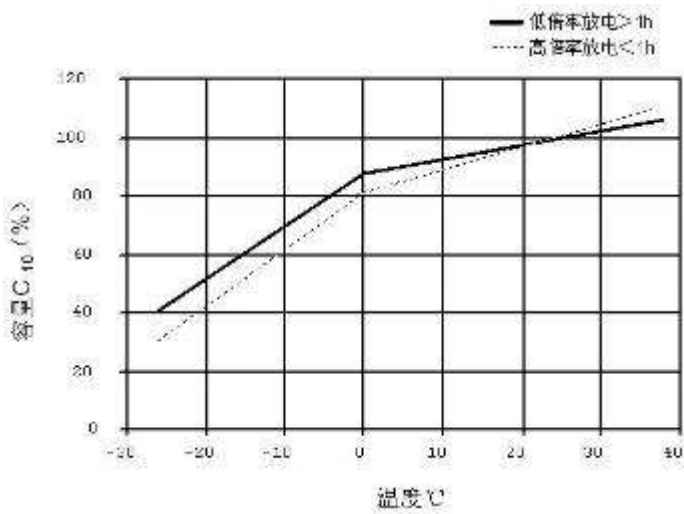
动部分，由于其自身所带的润滑油受凝结，粘度增大而出现粘滞现象。

温度过低时，含锡量高的焊剂会发生支解，从而电气连接的强度降低，甚至出现脱焊、短路等故障。

（3）电池环境温度与放电容量的关系

同样，当温度在工作温度25℃之下时，随着温度的下降电池放电容量下降。

图表 43 低温下影响电池放电容量



通常的湿度要求是40%~65%，在IT类设备工作，要求湿度为40%~55%。超过65%的湿度，为湿度过高。如果湿度超过80%，属于潮湿。低于40%属于湿度过低（空气干燥）。

3. 湿度过高对IT类设备运行的影响

当空气的相对湿度大于65%时，物体的表面附着一层厚度为0.001-0.01微米的水膜，湿度为100%，水膜厚度为10微米。这样的水膜容易造成“导电小路”，或者飞弧，严重降低电路可靠性。

在相对湿度保持不变的情况下，温度越高，对设备的影响越大，这是因为水蒸气压力随温度或高而增大，水分子易于进入材料内部。

当相对湿度由25%增加到80%时，纸张的厚度将增加80%，这就是为什么在潮湿的天气里，打印机无法正常工作的原因。

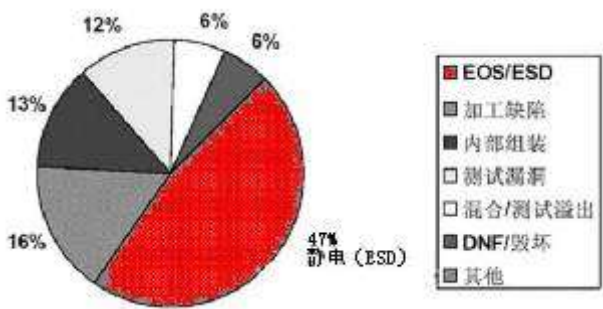
4. 湿度过低对IT类设备运行的影响

静电放电（ESD，electrostatic discharge）是电子工业中曾遍存在的“硬病

毒”，在内外因条件具备的特定时刻便会发作，业已成为电子工业的隐形杀手。

据报道，仅美国电子工业每年因ESD造成的损失就达几百亿美元。根据Intel公布的资料显示，在引起电脑故障的诸多因素中，电气过应力（EOS，Electrical Over Stress）/ESD是最大的隐患，将近一半的电脑故障都是由EOS/ESD引起的，ESD对电脑的破坏作用具有隐蔽性、潜在性、随机性和复杂性的特点。

图表 44 Intel 统计电脑故障原因分布

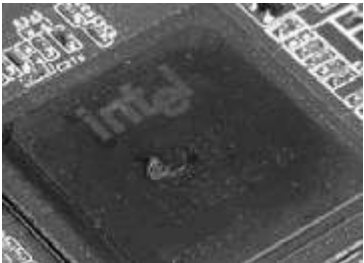


IT类设备由众多芯片、元器件组成，这些元器件对静电都很敏感，不同的静电敏感器件受静电损伤的阈值电压见下表。

图表 45 静电损伤的阈值电压

器件类型	耐静电放电电压值（V）
奔腾处理器	5
EPROM芯片	100
CMOS	250
肖特基二极管	300
可控硅	680

图表 46 芯片被 ESD 击穿



在空气湿度过低（干燥环境）时候，工作人员的活动非常容易产生静电，下表反映的是不同条件下人的各种动作所产生的静电电压。

图表 47 不同情况下产生的静电电压

人体动作产生的静电	相对湿度		
	10%RH	40%RH	55%RH

压 (KV)			
人在塑胶地板上行走	12	5	3
人在塑胶工作台上工作	6	0.8	0.4
在塑料台面上滑动塑料盒	18	9	2
从泡沫塑料包装中取出PCB	21	11	5.5

实验表明,当机房相对湿度为30%时,静电电压为5000V;当相对湿度为20%时,静电电压为10000V;而当相对湿度降到5%时,静电电压高达20000V以上。

根据IEC 61000-4-2测试标准,静电放电时,产生的瞬间电压可达到7000伏,甚至超过10000伏。

5. 灰尘对主设备运行的影响

除温度和湿度之外,灰尘是IT类设备更严厉的杀手。

(1) 腐蚀电路板

微小颗粒吸收空气中的湿气后就在被微小颗粒污染的设备表面形成电解层,这对许多金属会产生腐蚀作用。如果电解液侵透到导线保护层形成腐蚀点,且该腐蚀点所处位置的导体有不同的电压,则在导线与导体之间就可能产生电弧,这样的电弧通常会烧坏元器件。严重的电弧会电解电路板形成导电电桥。

(2) 降低绝缘性能

灰尘中存在大量的金属离子,这些金属离子与潮湿空气结合,就会降低电路与元器件的绝缘性能。

图表 48 纽约地区通讯中心空气平均杂质浓度

毫克/立方米

	微小颗粒		较大颗粒	
	室内	室外	室内	室外
TSP	2.88	18.1	0.61	12.3
氯化物	0.004	0.066	0.004	0.502
硫酸盐	0.721	5.214	0.025	0.725

钠	0.014	0.103	0.003	0.446
铵	0.168	1.631	0	0.001
钾	0.019	0.053	0.002	0.03
镁	0.003	0.014	0.001	0.09
钙	0.01	0.025	0.02	0.297

-来源于《贝尔实验室的研究报告》

（3）灰尘影响散热，间接地促使零部件温度升高，影响寿命

一定量的灰尘附着在电路与元器件上，影响散热效果，导致局部元器件温度上升。

《贝尔实验室的研究报告》认为导致电子设备退化最主要的环境因素是灰尘颗粒和水蒸气，暴露在潮湿空气中的电子设备被微小颗粒污染后，就可能产生故障，这种故障通常表现为串话和软故障。

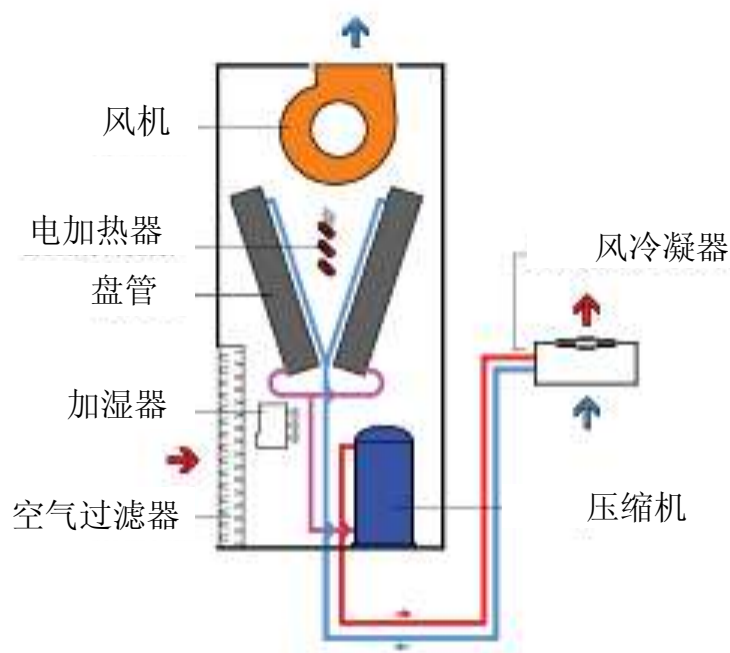
附件二：机房专用空调机组

1 机房专用空调的基本工作原理

首先,基本的机房专用空调系统是由下述几大系统组成：制冷系统、加湿系统、再热系统、送风系统、空气过滤系统、电器控制系统和微处理控制器、传感器和显示器等组成。机房专用空调机组基本的运作方式是当机组接到传感器感测到的机房回风温湿度信号后，经过与设定的温、湿度点进行比较和逻辑计算，通过电器控制系统使机组的制冷系统、加湿系统、再热系统、送风系统等协调工作，达到控制机房环境恒温、恒湿的要求。

请参看下述的风冷机房专用空调制冷系统原理简图。

图表 49 机房专用空调制冷系统原理简图



2 机房专用空调的特点

2.1 大风量、小焓差

与相同制冷量的舒适性空调机相比较，机房专用空调机的循环风量约大一倍，相应的焓差只有一半。机房专用空调机运行时不需要除湿，循环风量较大将使得机组在空气露点以上运行，不必要象舒适性空调机组那样为应付湿负荷而不得不使空气冷却到露点以下，故机组可以通过提高制冷剂的蒸发温度提高机组的热力效率，从而提高运行的经济性。机房要求温湿度指标相对稳定，较大的循环风量将有利于稳定机房的温、湿度指标。显然，在制冷量一定的情况下，风量的增大将导致焓差的减少，因而通常机组只能在显热比相当高的工况下运行，这恰好与机房的负载特点相适应。所以机房专用空调机具有大风量、小焓差、高显热比的特点。也就是说，机房的热负荷 90~95%是显热负荷，同样的热负荷显热比越高，要求的送风量越大。这也就是要求机房的空调系统能够提供较大的送风量，所以要求机房送风量要比通常舒适性空调房间所需的送风量大 1.6 ~ 2 倍。

2.2. 机房的热负荷变化的幅度较大

通常机房的热负荷变化率会大于 20%，这是由于主机设备所处的工作状态不同，消耗的功耗不同所造成的。因此，机房空调系统必须能够适应这种负荷的变化，以使元器件在所要求的环境条件之中，保证电路性能的可靠性。

2.3. 送风方式多样

机房专用空调机组送风形式多为上送下回式和上回下送式。机房中铺设防静电活动地板，机房专用空调机采用下送上回式送风，使冷风直接送入活动地板下，这样使地板下形成静压箱，然后通过地板送风口，把冷气均匀地送入机房内，送入计算机柜内。为此，机房专用空调机应有足够的风量把机房内的热量带走。采用这种送风形式可大大提高空调效率，同时还使室内布局美观。这是计算机房理想的送风形式。当然，机房送风形式要与计算机主机散热形式相一致。

2.4. 有效的空气过滤

机房专用空调机组内安装有空气过滤器，使机组送出的冷气达到一定的净化能力，以满足洁净度的要求。当机组过滤器容尘量超过设定值时，过滤器堵塞报警器启动，提示操作人员清扫过滤器。通常标准机型中，空气过滤器均采用初效空气过滤器。而一般舒适性空调机组只配有简单的过滤网。

2.5. 可靠性较高

针对机房空调系统高可靠性的要求，计算机房专用空调机在结构与控制系统设计和制造以及空调系统组成等方面都必须相应采取一系列措施，例如设置后备机组或后备控制单元，微机控制系统自动对机组运行状态进行诊断，及时对已经出现或将要出现的故障发生警报，自动用后备机组或后备控制单元切换故障机组或故障单元。众所周知，机房专用机的控制系统功能比舒适机要完善的多。

控制系统的性能与空调系统技术经济性能密切相关，不少计算机房专用空调机生产企业专门开发一系列的控制器作为空调系统的组成部分，采用电子控制器或微机控制已经十分普遍，有些企业已经把模糊逻辑控制技术应用在计算机房专用空调系统中。

控制器具有自诊断功能，可以按照程序自动地对机组以及控制器本身各部分的状态进行诊断，诊断也可以由操作人员采用手动方式进行。自诊断将及时对出现异常现象的部件或者出现故障的类型和发生部件作出判断。控制器远端监控功能在机组控制器上加入通信接口插板后，该控制即可与网络控制器联机，机组的运行将可以利用网络控制器进行集中控制。

控制器的后备机组管理功能，可把同一区域内的机组分别在不同的时间内作为运行机组和后备机组。即当某台运行机组发生故障时，在控制器的控制下可把该机组的负载自动切换到后备机组。正常情况下，每台机组均按一定的时间轮流作为运行机组和后备机组，从而均衡各机组的运行时间。这样，有利于提高专用空调机组的寿命和运行的可靠性。

2.6. 全年制冷运行

无论是大、中型计算机，还是程控交换机和 IDC 中心，都要求空调机全年制冷运行。而冬季的制冷运行要解决稳定冷凝压力和其它相关的问题。多数机房专用空调机能在室外气温降至 -15°C 时仍能够制冷运行，而采用附加的技术可在室外气温降至 -35°C 时仍能制冷运行。与此明显对比的是舒适性空调机或常规恒温、恒湿机，在此种条件下，根本无法工作。

2.7. 设计点对应运行点

如果把舒适空调机用于计算机房空调系统时，由于机房要求其运行点为： 23°C ，而舒适空调机的设计点温度一般为 27°C ，所以机组的实际供冷能力一般比样本标明的额定值低 10 ~ 25%。此外，运行点偏离设计点时，在一定程度

上机组的部分机件性能由于偏离了最佳运行点，从而影响了机组整体的匹配状态，不利于机组性能的充分发挥和高效率运行。然而计算机专用空调机组，由于把运行点当作设计点，因而机组始终处于最佳运行状态，这就从根本上避免了这些问题。

3 机房专用空调和普通舒适性空调的区别

目前机房内大都采用机房专用空调，也有极少数机房采用了普通的舒适性空调机组。舒适性空调为保证人的舒适性设计，据调查表明，使用舒适性空调机组的机房内产生和发现的问题较多。其主要原因在于舒适性空调的设计标准不适合机房对温湿度的要求。在机房内使用舒适性空调时造成的结果如下：

- A. 舒适性空调无法保持机房温度恒定—会造成电子元气件的寿命大大降低。
- B. 无法保持机房温度均匀，局部环境容易过热—导致机房电子设备突然关机。
- C. 无法控制机房湿度，机房湿度过高—会产生冷凝水，导致微电路局部短路。
- D. 无法控制机房湿度，机房湿度过低—会产生有破坏性的静电，导致设备运行失常。
- E. 风量不足和过滤器效果差，机房洁净度不够—灰尘的聚集造成电子设备散热困难，容易过热和腐蚀。
- F. 舒适性空调设计选材可靠性差—空调维护量大，寿命短。

二、舒适性空调和机房专用空调的差异和分析

从空调设计来看，舒适性空调在设计上与机房专用空调的差异如下表：

图表 50 舒适性空调在设计上与机房专用空调的差异

	普通空调	机房专用空调
热密度(W/平方米)	100-150	300-800
环境调节要素		
显热比	0.6-0.7	0.9-1.0
运行温度范围	-5-35℃	-35-45℃
控制温度精度	±3-5℃	±1℃
换气能力(次/小时)	10-15	30-60
空气过滤	简单	ASHRAE20%+
出风温度	6-8℃	13-15℃
对特别功能的要求		
再热器	部分有	提供

加湿器	没有	提供
集中监控能力	没有或功能简单	完善的监控功能
设计运行时间(每年)	1000-2500	8760
连续运行使用寿命	2~3年	>8年
断电自动恢复	无断电自动恢复和启动延时	断电可自动恢复,可调启动延时

下面对以上问题作简要分析。

A. 舒适性空调风量小，出风温度过低

舒适性空调的设计为小风量、大焓差，出风温度设计在 $6 \sim 8^{\circ}\text{C}$ ，换气次数设计在 $10 \sim 15$ 次。机房专用空调的设计为大风量、小焓差，出风温度设计在 $13 \sim 15^{\circ}\text{C}$ ，换气次数设计在 $30 \sim 60$ 次。舒适性空调出风温度为 $6 \sim 8^{\circ}\text{C}$ ，而在温度为 24°C ，相对湿度大于等于 50% 的时候， 13.2°C 为露点温度，就是说空气中的水蒸气在此温度下会凝结成水滴。尤其对靠近空调出风处的设备极其不利，会导致微电路短路。舒适性空调在不考虑湿度对设备影响的前提下，对近端设备可以有效降温，但由于风量不足，导致换气次数不够，即对距离出风口较远的设备无法起到降温作用。机房专用空调出风温度高（ $13 \sim 15^{\circ}\text{C}$ ），设计上避免了“露点问题”，并通过大风量（换气次数最小设计为 30 次，即每 2 分钟将机房空气有效过滤一次）的设计解决了机房整体降温问题。

B. 舒适性空调在 -5°C 以下即无法正常运行

舒适性空调在设计理念上只是在夏季发挥降温功能，当室外温度在 -5°C 及以下时，即无法降温，强制其运行时，机组的寿命就会大大缩短！而机房的特点是发热量大，其空调即使在冬季也要具备降温功能！机房专用空调的设计能够适应各类室外温度变化的要求，在 -35°C 到 $+45^{\circ}\text{C}$ 区间保证空调 24 小时正常工作，包括降温 and 升温。

C. 舒适性空调温度调节精度过低

舒适性空调温度调节精度为 $\pm 3 \sim 5^{\circ}\text{C}$ 。从风量及出风问题上考虑，仅仅保障近端设备处的温度。温度的波动对设备稳定运行极其不利。机房专用空调温度调节精度为 1°C ，温度基本无波动。

D. 舒适性空调没有湿度控制功能

舒适性空调无法进行湿度控制。没有加湿功能，只能进行除湿。湿度过高产生的水滴及湿度过低产生的静电对设备运行都极其不利。机房专用空调的重要控制参数为湿度，可以达到 $\pm 5\%$ 的控制精度。

E. 舒适性空调设计寿命短

机房专用空调的设计寿命为10年，运行要求为全年365天，每天24小时。目前已经有一些舒适性空调厂家标称设计寿命超过5年，然而其计算方法为每年应用1～3个季度，每天运行不超过8小时，根据机房专用空调设计寿命的计算方法要求，其设计寿命一般不超过3年。

F. 舒适性空调基本没有空气过滤能力

舒适性空调只具备简单的过滤功能，其过滤器的过滤效果根本无法达到机房的要求。

G. 舒适性空调综合成本高

舒适性空调机组一次性购买成本较低，但其从运行成本上看，在取得同样制冷效果的前提下，舒适性空调的耗电量是机房专用空调耗电量的1.5倍。从维护成本上看，舒适性空调的维护量远高于机房专业空调，维护费用上升。所以从一个产品的生命周期总体来看，一般经过3～4年，舒适性空调和机房专用空调机组的费用基本持平，此后，舒适性空调的费用就越来越高于机房专用空调。

对于机房来讲，要保证机房的环境稳定可靠降低全寿命周期成本，需要机房专用空调来实现，使用舒适性空调机组仅仅是减少了初投资，但无法保证机房要求的温湿度环境，总的费用也高于机房专用空调。