

# 浅谈某数据中心空调系统设计

鄢亚

西图建筑工程(上海)有限公司

**摘要** 通过工程实例,介绍了数据中心空调系统的设计。通过数据中心的等级要求确定室内外参数,结合空调负荷计算的论述了空调设备的选型。分析了在保证数据中心可靠性和在线维护性的前提下,采用何种风系统和水系统可以提高数据中心能源效率,同时介绍了数据中心的湿度控制系统及通风系统。

**关键词** 室内外参数 冷热通道封闭 负荷 风系统 水系统 能源效率

## Introduction of HVAC System Design for a Data Center

YAN Ya

CH2M Constructor (Shanghai) Co., Ltd.

**Abstract:** This paper introduces data center HVAC system design on an actual project, which determined indoor and outdoor parameter according to data center classification, and selected equipment based on load calculation. To increase power efficiency in premise of ensuring of reliability and concurrent maintenance, the air system and water system was analyzed. Finally, the humidity control and ventilation system in data center was introduced.

**Keywords:** indoor and outdoor climate parameter, hot and cold aisle containment, load, air system, water system, PUE

随着科技的发展和国家战略的变化,信息技术越来越成为生产生活中不可或缺的一部分。作为信息技术的载体—数据,更是呈现出几何级数的增长。“云计算”、“互联网+”、“大数据”、“移动互联”等新概念、新产业的提出和诞生,促进了信息技术更快的发展。数据中心作为信息技术的基础设施,其建设更是迅速的升温。

数据中心的空调系统与一般工业或民用空调系统相比有一定的特殊性。笔者将结合已完成的某数据中心项目简要介绍数据中心空调系统的设计。

## 1 项目概况

本数据中心为企业自用数据中心,位于广东省东莞市某科技工业园内,建筑物为地上三层,地下一层,建筑面积约 38,000 m<sup>2</sup>。建筑物内共分为 12 个数据机

房,每个数据机房平均容纳 240 个机柜,机柜的功率密度为 5 kW/机柜和 8 kW/机柜。

## 2 数据中心的等级

本数据中心按照美国 TIA 和 Uptime 定义的 Tier 等级来设计,12 个数据机房中,10 个数据机房按照 Tier III 等级要求设计,2 个数据机房按照 Tier IV 等级要求设计。其基础设施的可靠性、稳定性和安全性的要求,如表 1 所列。

表 1 数据机房性能要求

	Tier IV	Tier III
性能要求	有容错能力	可以在线维护
每年服务中断时间 <sup>[1]</sup>	0.8 小时	1.6 小时
可用性 <sup>[1]</sup>	99.99%	99.98%

收稿日期 2016-12-22

作者简介 鄢亚(1977~),男,本科,工程师,上海市浦东新区台儿庄路 666 弄 31 号 201 室(200129),E-mail: 1742945@qq.com

### 3 数据中心的空调系统分级要求

不同等级数据中心对于空调系统提出了不同于普通空调系统的特殊要求。参考美国 TIA-942《数据中心电信基础设施标准》<sup>[2]</sup>中对于空调系统分级要求,本项目的空调系统分级要求如表 2 所列。

表 2 空调系统分级要求

	Tier IV	Tier III
性能要求	有容错能力	可以在线维护
每年服务中断时间 <sup>[1]</sup>	0.8 小时	1.6 小时
可用性 <sup>[1]</sup>	99.99%	99.98%

另外,在本项目中,连续供冷也作为空调分级要求的重要一部分,在设计中予以贯彻实施。实现连续供冷的措施包括设置蓄冷装置,供冷系统的循环泵、机房空调等采用不间断电源(Uninterruptible Power System,以下简称 UPS)供电等。

### 4 数据中心的空调系统

#### 4.1 室外气象参数

考虑到数据中心的高可靠性要求,室外气象参数采用 ASHRAE 气象统计数据中统计期为 20 年以及不保证时间为 0.4%的极端气象参数,如表 3 所列。

表 3 室外气象参数

季节	空调干球 /℃	空调湿球 /℃	空调相对湿度 /%	大气压力 hPa	平均风速 /ms	冷却端设计湿球温度 /℃
夏季	37.8	30.9	57	101.66	2.2	31.4
冬季	19	-3.0	28	101.24	2.8	-

#### 4.2 室内设计参数

结合建设单位的需求,国家规范《电子信息系统机房设计规范》(GB50174-2008)<sup>[3]</sup>中的相关要求和美国 ASHRAE TC 9.9 所出版的《数据处理环境的热工指南》<sup>[4]</sup>中的推荐范围,确定各主要区域的设计参数如表 4 所列。

表 4 室内设计参数

区域	夏季		冬季	
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%
数据机房	21~25	40~70	21~25	40~70
UPS 间	<25	<60	25	<60
电池间	25	<60	25	<60

#### 4.3 空调负荷计算

数据中心的空调系统冷负荷主要由设备散热、围护结构传热、照明散热、人员散热、新风负荷等几个部分组成。

取项目中 1 个功率密度为 8 kW/ 机柜的数据机房及其对应配电间,其负荷计算如表 5 所列。

表 5 典型数据机房负荷

项目	设备容量	空调显热负荷/kW
服务器	1920kW	1920
精密配电柜	16 台 315kVA	62.72
数据机房 (820m <sup>2</sup> )	照明负荷 15W/m <sup>2</sup>	12.3
	围护结构 15W/m <sup>2</sup>	12.3
	人员 8 人	0.8
	汇总	2008.12
	变压器 1 台 1600kVA	13.3
	UPS 2 台 800kVA	96
配电间 (165m <sup>2</sup> )	照明负荷 15W/m <sup>2</sup>	2.475
	围护结构 0W/m <sup>2</sup>	0
	高低压柜 30 面	9
	汇总	120.775

注:精密配电柜的发热量参考《工业与民用配电设计手册》<sup>[5]</sup>中的相关数据,UPS 的设备发热量按为其额定功率的 6%计算,新风负荷由单独设置的湿度控制系统来处理。

#### 4.4 空调风系统

##### 4.4.1 数据机房的空调风系统

###### 1) 数据机房的气流组织

本项目的数据机房采用了热通道封闭的气流组织方式,高架地板下送风,吊顶静压箱回风,如图 1 所示。采用热通道封闭可以明显改善数据中心的总体能效、作业环境和整体运营成本。施耐德电气所出版的 135 号白皮书《热通道与冷通道封闭对数据中心温度和效率的影响》<sup>[6]</sup>中的研究成果,证明了选择热通道封闭的方式比采用冷通道封闭的方式最多可以节能 43%,是提高能源效率的最佳方案。

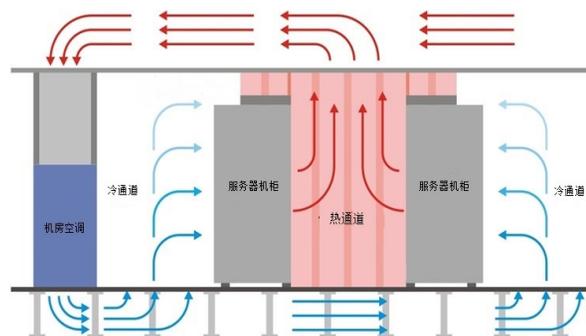


图 1 数据机房气流组织

采用了热通道封闭的气流组织方式,可以防止通过服务器后的热气流与送入服务器的冷气流的混合,因此机房空调的送风温度与服务器进风口的温度是近似一致的。采用更高温度的送风温度可以提高相应的冷水水温,从而提高了数据中心的能源效率。

本项目中机房空调的送风温度确定采用 23℃,经过服务器的空气温升按照 14℃ 计算。通过辅助采用 CFD 模拟工具,模拟了此场景下的气流组织,如图 2 和图 3 所示意。

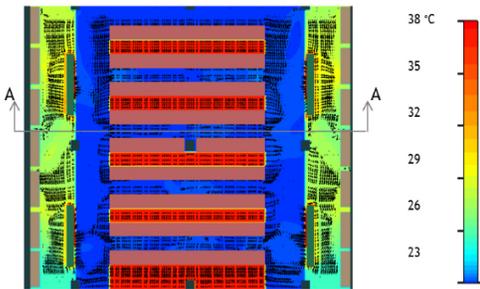


图 2 数据机房区温度分布

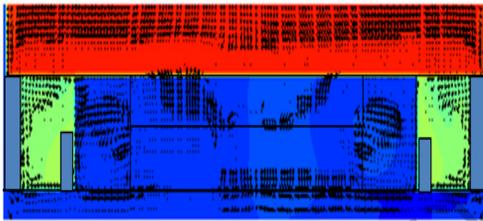


图 3 数据机房温度分布剖面

## 2) 机房空调的选择

Tier III 机房的空调末端装置采用冷水型机房空调,根据机房空调 23℃ 的送风温度,确定冷水供回水温度为 13℃/20℃。Tier IV 机房的空调末端装置采用了双冷源的机房空调以满足容错的需求,每台机房空调中包括 2 个制冷盘管,一个为冷水盘管,另一个为冷媒直接蒸发式盘管,与设置室外的风冷冷凝器相连,并配有相关的压缩机系统。

## 3) 机房空调数量计算

数据机房内的空调负荷特性为显热负荷为主,因此机房空调主要负责带走数据机房内的显热负荷。通常采用如下的计算公式来确定数据机房内所需的机房空调数量。

$$N = \frac{Q_x}{0.85 \times q_c} \quad (1)$$

式中:  $N$  为机房空调数量,需根据最终计算结果进位取整,例如计算结果为 3.3,则取为 4;  $Q_x$  为机房显热负

荷,  $q_c$  为考虑了机房空调送风效率与设备容量裕量的综合系数,为单台机房空调在设计送回风温度和冷水供回水温度下的显冷量, kW。

本项目中,对于 Tier III 和 Tier IV 要求的机房,其机房空调数量最终按照  $N+2$  的备用方式来确定。

## 4.4.2 配电间的空调风系统

配电间的显热负荷由机房空调带走,气流组织为下侧送风,机房空调风帽上回风。机房空调的送回风温度为 16℃/25℃,冷水供回水温度 13℃/20℃。机房空调按照  $N+1$  的备用方式来设置。

## 4.4.3 电池间的通风系统

参考《爆炸危险环境电力装置设计规范》(GB 50058-2014)<sup>[7]</sup> 中 3.2.4 条及附录 B 中的要求,UPS 配套用的电池间设置了排风系统,排风量按照每平方米 18 m<sup>3</sup>/h 来计算。电池间的排风系统采用了防爆风机,风机按 1 用 1 备的方式设置。从配电间渗入电池间的空气作为电池间排风的补风,在保证电池间相对周围环境为负压的同时,也保证了电池间的温度。

## 4.4.4 数据机房和配电间的湿度控制系统

单独设置的湿度控制系统给各数据机房和配电间送风以保证湿度控制,房间正压以及电池间排风的补风。

湿度控制系统的空调机组使用中温冷水和低温冷水用于控温和除湿,用湿膜加湿器加湿。中温冷水管的供回水温度 13℃/20℃,提供显热冷却,而低温冷水管的供回水温度 6℃/13℃,提供除湿,保证送风的露点温度。

湿度控制空调机组采用了双风机系统,可以提供数据机房“事故除湿气排风”。在这种模式下,需要除湿气区域的空调机组将全新风运行。回风将被排至室外而新风经过除湿后送入相应的数据机房。当受控区域的湿度达到标准后,空调机组将恢复到正常运行。湿度控制空调机组包括回风机,排风段,旁通风阀段,新风段,初中效过滤段,电加热段,湿膜加湿段,表冷段,除湿盘管段和送风机。空调机组也采用了 1 用 1 备的设置方式。

## 4.5 空调水系统

为了提高整个数据中心的能源效率,采用双冷水系统。1 个中温冷水系统的水温高于数据机房的露点温度,满足带走数据机房和配电间显热负荷的需求。另 1 个低温冷水系统的水温低于数据机房的露点温度,满足数据机房和配电间除湿的需求,并给数据中心的辅助区域提供降温。

低温冷水供回水温度为 6 °C/13 °C ,所需冷量为 2,500 kW。系统采用一次泵变流量系统 ,设置 3 台 400 RT 水冷离心式冷水机组 2 用 1 备 配套 3 组冷却塔、3 台一次冷水泵和 3 台冷却水泵。

中温冷水供回水温度为 13 °C/20 °C ,所需冷量为 22,000 kW。系统采用一次泵变流量系统 ,设置 8 台 1200 RT 水冷离心式冷水机组 6 用 2 备 ,配套 8 组冷却塔,8 台一次冷水泵和 8 台冷却水泵。中温冷水系统还设置 8 个蓄冷罐 ,所有冷水泵采用 UPS 供电 ,满足在电源切换过程中连续供冷的需求。

冷水泵、冷却水泵以及冷却塔和冷水机组一一对应。管道系统采用环状、多网格方式以保证 Tier III 等级要求的可靠性和在线维护的功能要求。冷水系统设置了定压补水及加药装置 ,以保证系统稳压和水质要求 ,冷却水系统设置了加药和砂滤装置 ,以保证冷却水水质。

#### 4.6 空调系统的控制逻辑

##### 4.6.1 机房空调的控制逻辑

不同区域的机房空调采取不同的控制逻辑。

服务数据机房的机房空调采用定送风温度 ,变送风量的控制方式 ,数据机房内的机房空调采用直流无刷电机驱动风机(以下简称 EC 风机)。通过调节机房空调内中温冷水的控制阀以保证机房空调的送风温度 ,从而确保数据机房内冷通道的环境温度。通过设于冷热通道之间的压差传感器来调节 EC 风机的转速 ,从而改变机房空调的送风量。用压差控制较传统的回风温度控制 EC 风机转速的方式能更快响应服务器设备负载的增减所体现的散热风量的增减。

服务配电间的机房空调 ,风机采用定转速运行 ,通过调节机房空调内中温冷水的控制阀以保证配电间的房间温度。

##### 4.6.2 空调水系统的控制逻辑

本项目采用的是一次泵变流量系统。

通过测量冷水总管的流量以及供回水的温差计算出实际需求的冷量 ,通过冷水机组群控系统确定需要运行的冷水机组数量。

冷水泵采用的是变频水泵 ,通过设于末端的压差传感器控制水泵的转速 ,以保证末端压差设定值。

通过调节冷水机组最小流量控制阀以保证通过冷水机组蒸发器管束的流量是最小允许流量的 110%。

通过对控制冷却塔风机的转速来保证冷却水的温度。

当需要启动一台冷水机组时 ,先打开冷却塔进水管上的阀门 ,然后依次启动冷水泵和冷却水泵。在冷水机组允许启动前 ,由压差开关证明冷水泵和冷却水泵的流量经过了冷水机组。冷水机组的就地控制盘监视冷水机组的运行并自动维持冷水的出水温度。

## 5 数据中心的能源效率

数据中心的能源效率是评价数据中心运行是否高效节能的指标。能源效率(Power Usage Efficiency ,以下简称 PUE)是一个无量纲的比值 ,则其计算公式如下 :

$$PUE = \frac{\text{数据中心总能耗}}{\text{IT 设备总能耗}} = \frac{\text{空调系统总能耗} + \text{供电系统损耗} + \text{IT 设备总能耗}}{\text{IT 设备总能耗}} \quad (2)$$

$$= 1 + \text{空调系统能耗系数} + \text{供电系统能耗系数}$$

通常情况下 ,PUE 做到 1.6~1.8 才能体现出数据中心的节能<sup>[9]</sup>。本项目中 ,设计的 PUE 年平均 1.49 ,最高 1.542 ,最低 1.468。如表 6 所列。

表 6 PUE 计算统计

	空调系统能耗系数	供电系统能耗系数	PUE
年平均	0.285	0.205	1.49
最低	0.263	0.205	1.468
最高	0.327	0.215	1.542

从表 6 中可以看出 ,空调系统能耗是影响 PUE 的主要因素 ,更节能的空调系统 ,能极大提升数据中心整体能源效率。

## 6 结语

不同等级的数据中心 ,对可靠性和空调系统有不一样的要求。结合不同要求有针对性的设计数据中心的空调系统 ,在保证可靠性的前提下 ,尽量提升数据中心的能源效率。

采用冷热通道封闭的方式提高了服务器进风温度 ,从而提高了冷水温度 ,降低了冷水系统能耗。

采用连续供冷设计并设置适当的设备冗余 ,保证了系统可靠性和在线维护性的要求。

### 参考文献

- [1] W Pitt Turner IV, John H Seader, Vince Renaud, et al. Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance (White Paper)
- [Z]. Santa Fe, NM, Uptime Institute, 2008.

(下转 41 页)

### 2.5 接种量对原料产气效果的影响(单位 TS 产气率)

各预处理试验组的日均产气量、TS、VS 产气率如表 4 所示。相对于对照组日均产气量、TS、VS 产气量, 经过预处理的试验组分别高出 44.79%、57.47%、67.44%、60.15%。综合分析以上数据可得对原料进行预处理可提高原料的 TS、VS 产气率, 合适的预处理条件对提高厌氧发酵效果至关重要。预处理菌种过量或者预处理时间过长都会导致原料营养元素的流失, 反而降低秸秆厌氧发酵的效果, 在本次预处理试验中, 原料 TS 含量为 20%的情况下原料产气效果相对来说是最好的。

表 4 各实验组产气特性

预处理原料 TS	总产气量/ml	平均日产气量/ml·d	TS 产气率/ml·g	VS 产气率/ml·g
对照组	2838	94.60	179.51	150.14
10%	4109	136.97	237.19	259.90
15%	4469	148.97	257.97	282.67
20%	4752	158.40	274.30	300.57
25%	4545	151.50	262.35	287.48

## 3 结论

1)以总的产气量为评价指标的情况下, 可以得出当原料 TS 含量为 20%的沼液预处理条件下, 预处理时间为 5 天, 玫瑰秸秆厌氧发酵产沼气总产气量最大, 为 4752 ml, 相对于对照组来说, 产气量提高了 67.44%。

2)从玫瑰秸秆厌氧发酵产沼气的沼气中成分分析来看, 经过沼液预处理的试验组比对照组的甲烷含量显著提高。预处理试验组最高甲烷含量为 69.8%, 而对照组最高甲烷含量为 59.3%。

3)沼液预处理能够有效降解玫瑰秸秆中的细胞壁成分, 预处理沼液量越高, 原料纤维组分降解效果越明显。过量沼液预处理会使秸秆原料养分流失, 因此, 合理的沼液原料配比是沼液预处理的关键。

4)通过沼液预处理的方法预处理玫瑰秸秆, 可以高效、低成本、无污染的促进玫瑰秸秆厌氧发酵。预处理过后纤维组分含量降低 9%~22%, 沼液预处理促进玫瑰秸秆厌氧发酵主要归功于预处理沼液中丰富的微生物菌群, 改善了玫瑰秸秆的生物降解性能, 提高了玫瑰秸秆厌氧发酵效率。

### 参考文献

- [1] 菇根水, 吕明亮, 黄雪全. 衢江区玫瑰产业现状和发展对策[J]. 浙江林业科技, 2015, (4): 97-100.
- [2] 陆继亮. 生态高效生产模式推动云花种植方式变革[J]. 中国花

卉园艺, 2016, (11): 40-41.

- [3] 中国科学院植物研究所, 商业部土产局. 中国经济植物志(蔷薇属)[M]. 北京: 科学出版社, 1961.
- [4] Ochir S, Ishii K, Park B J, et al. Botanical origin of Mei-gui Hua (petal of a Rosa species)[J]. J Nat Med, 2010, 64: 409-416.
- [5] 方文杰, 刘广青, 康佳丽, 等. 堆沤处理对稻草厌氧消化产气的影响[J]. 生态与农业环境学报, 2007, 23(4): 63-66.
- [6] 陈超, 徐凤花. 规模化沼气工程沼液中微生物的细菌种群分析与功能初探[J]. 中国沼气, 2012, (6): 7-11.
- [7] Wan C, Huang F, Liu R, et al. Effect on increasing biogas production using rape straw by microbiological pretreatment[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(6): 267-271.
- [8] Hu Y, Pang Y, Yuan H, et al. Promoting anaerobic biogasification of corn stover through biological pretreatment by liquid fraction of digestate (LFD)[J]. Bioresource Technology, 2015, 175: 167-173.
- [9] Yuan X, Wen B, Ma X, et al. Enhancing the anaerobic digestion of lignocellulose of municipal solid waste using a microbial pretreatment method[J]. Bioresource technology, 2014, 154: 1-9.
- [10] Zhong W, Zhang Z, Luo Y, et al. Effect of biological pretreatments in enhancing corn straw biogas production[J]. Bioresource Technology, 2011, 102(24): 11177-11182.

(上接 102 页)

- [2] Telecommunications Industry Association. TIA-942 Telecommunications Infrastructure Standard for Data Centers[S]. 2500 Wilson Boulevard Arlington, VA 22201 U.S.A. 2005
- [3] 中国电子工程设计院. GB 50174-2008 电子信息机房设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009
- [4] ASHRAE Technical Committee (TC) 9.9. Thermal Guidelines for Data Processing Environments[R]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 2011
- [5] 中国航空工业规划设计研究院. 工业与民用配电设计手册(第 3 版)[M]. 北京: 电力工业出版社, 2005
- [6] John Niemann, Kevin Brown, Victor Avelar. Impact of Hot and Cold Aisle Containment on Data Center Temperature and Efficiency (White Paper 135, Revision 3)[Z]. Schneider Electric, 2013.
- [7] 中国寰球工程公司. GB 50058-2014 爆炸危险环境电力装置设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014
- [8] 钟景华, 朱利伟, 曹播. 新一代绿色数据中心的规划与设计[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010