

信息机房冷池布局优化与热管理研究

梅文超 邹鑫灏 黄媛 刘天姗

湖北中烟工业有限责任公司红安卷烟厂 湖北 黄冈 438400

摘要: 信息机房冷池布局与热管理直接影响数据中心能效与设备稳定性。当前机房存在气流组织紊乱、设备配置失衡及管理智能化不足等问题,导致能耗攀升、散热效率低下。通过优化气流组织设计、科学选型制冷设备、搭建智能化热管理平台及推进余热回收改造,可有效提升冷池利用效率,降低PUE值,实现机房高效散热与节能降耗,为信息机房可持续发展提供技术支撑与实践路径。

关键词: 信息机房;冷池布局优化;热管理

引言

在数字化浪潮推动下,信息机房作为数据存储与处理核心枢纽,其规模与能耗呈指数级增长。机房内高密度设备持续散热,对冷池布局与热管理提出更高要求。不合理的冷池布局易导致气流短路、冷热气流混合,降低制冷效率;传统粗放式热管理模式难以精准调控温湿度,加剧能源浪费。本文聚焦信息机房冷池布局与热管理现存问题,深入探讨优化策略,旨在为提升机房能效、实现绿色低碳运行提供理论与实践参考。

1 信息机房冷池布局与热管理概述

1.1 信息机房冷池布局

信息机房冷池布局是构建高效散热环境的核心架构,通过精密的空间规划实现制冷资源的最优配置。在典型设计中,冷池由封闭通道构成,将空调送出的低温冷空气集中引导至服务器进风口区域,形成独立低温空间。机柜采用面对面或背对背排列方式,面对面机柜进风口共同围合形成冷池,背靠背机柜的出风口则构建热通道,以此构建冷热气流分离的物理屏障,有效避免冷热空气混合导致的制冷效率下降问题。冷池布局通常采用玻璃或金属材质的封闭顶棚与侧板,确保冷气流严格沿预定路径流动,配合架空地板下的静压箱设计,实现冷空气的均匀分配。这种布局模式大幅提升了冷空气利用率,在同等制冷设备配置下,可使服务器进风口温度一致性偏差控制在极小范围,有效保障服务器在设计温度阈值内稳定运行。通过封闭结构减少了制冷设备的无效能耗,显著降低机房整体PUE(电源使用效率)值,为数据中心的节能运行提供了坚实的物理基础。

1.2 信息机房热管理

信息机房热管理是融合流体力学、热力学原理的复杂系统工程,旨在精准控制机房内的热量传递与温度分布。随着服务器集成度与功率密度的持续攀升,热管理

已成为保障机房可靠性的关键要素。其核心任务在于通过合理的气流组织与散热技术,及时转移IT设备运行产生的大量废热,维持机房环境参数稳定。在散热技术层面,风冷系统通过精密空调与风机组合实现空气循环散热,配合冷池布局形成高效对流散热通道;液冷技术则利用冷却液高比热容特性,直接接触服务器关键发热部件,实现高热流密度散热。热管理系统通常部署温度传感器矩阵,实时监测机柜内部及关键区域温度数据,通过智能算法动态调节制冷设备功率与气流分配,确保机房温度场均匀分布。热管理还需考虑设备负载变化、季节环境差异等因素,通过冗余设计与动态优化策略,在保障设备运行安全的同时,实现能源利用效率的最大化,构建安全、高效、节能的机房运行环境。

2 信息机房冷池布局与热管理存在的问题

2.1 气流组织效率低下

信息机房内部设备高度集成且密集部署,使得气流组织成为热管理的核心环节。然而,当前机房普遍存在气流组织效率低下的状况。在传统的机房布局中,制冷设备送出的冷空气与服务器等设备排出的热空气容易发生混合,形成冷热气流短路现象。冷空气尚未充分吸收设备散发的热量,就与热空气过早混合,导致冷空气无法有效冷却设备,极大降低了制冷效率。机房内复杂的设备布局和线缆铺设也对气流组织产生干扰。服务器机柜、网络设备以及大量纵横交错的线缆,在机房空间内形成了不规则的障碍物,扰乱了气流的正常流动路径。气流在遇到这些障碍物时,会产生涡流和滞流区域,使得部分区域气流速度过快,而另一些区域则气流不足,造成局部过热。例如,在机柜之间的狭窄通道,气流容易受到阻挡,导致机柜内部热量积聚,无法及时排出。缺乏合理的气流组织设计,使得机房内难以形成稳定、有序的气流循环。部分机房虽然设置了冷通道封闭或热

通道封闭等措施,但由于密封不严、通道高度不合理等原因,无法实现理想的气流隔离效果。冷热空气仍会在一定程度上相互渗透,影响整体制冷效果。这种气流组织效率低下的问题,不仅导致制冷设备能耗增加,还可能因设备局部过热而缩短使用寿命,甚至引发设备故障,严重影响机房的稳定运行^[1]。

2.2 设备选型与配置不匹配

信息机房设备选型与配置的合理性直接关系到热管理的效果。在实际建设过程中,设备选型与配置不匹配的情况较为常见。第一,部分机房在选择制冷设备时,未能充分考虑机房内设备的发热量、功率密度以及未来的扩容需求。例如,一些机房在初期建设时,按照较低的设备负载配置制冷系统,但随着业务的发展,机房内设备不断增加,设备总发热量远超制冷设备的设计制冷能力,导致制冷不足,机房温度升高。第二,服务器等IT设备的选型也可能存在与制冷系统不匹配的问题。不同型号、不同品牌的服务器,其散热方式、发热量以及气流需求各不相同。如果在机房中混合部署大量散热特性差异较大的服务器,会给制冷系统带来很大挑战。例如,一些高密度服务器采用液冷散热方式,而普通服务器采用风冷散热方式,将这两类服务器混合部署,会使机房内气流组织变得更为复杂,增加热管理难度。机房内辅助设备的配置也对热管理有着重要影响。配电柜、UPS等设备在运行过程中同样会产生热量,但在设备选型与配置时,往往容易忽视这些设备的散热需求,导致其周围温度过高,影响设备正常运行。设备之间的功率分配不合理,也可能造成局部区域设备功率密度过大,发热量集中,而制冷设备无法针对性地进行有效冷却,进一步加剧了热管理的难度。

2.3 智能化管理水平不足

在信息机房热管理领域,智能化管理水平的高低决定了机房运行的高效性与稳定性。当前,众多机房智能化管理水平不足的问题较为突出。机房内的环境监测系统存在局限性。多数机房虽部署了温湿度传感器等监测设备,但监测点分布不合理,无法全面、精准地获取机房内各个区域的温湿度数据。部分监测点仅布置在机房主要通道或制冷设备附近,对于机柜内部、角落等易出现局部过热的区域监测不足,导致无法及时发现潜在的热隐患。现有的制冷控制系统智能化程度较低。传统的制冷控制方式多采用简单的阈值控制,当机房温度达到预设阈值时,制冷设备启动或加大制冷功率;温度降低后,制冷设备功率相应减小或停止运行。这种控制方式缺乏对机房热负荷变化的动态适应性,无法根据设备实际发热量的变化实时调整制冷策略。例如,在业务低谷

期,设备发热量减少,但制冷设备仍按照固定模式运行,造成能源浪费;在业务高峰期,设备发热量剧增,制冷设备可能无法及时响应,导致机房温度升高。机房热管理缺乏智能化的数据分析与决策支持。大量的环境监测数据和设备运行数据未能得到有效利用,无法通过数据分析预测机房热负荷变化趋势,也难以评估不同热管理策略的效果。运维人员无法依据数据制定科学合理的热管理方案,只能依靠经验进行操作,导致热管理工作的盲目性较大,难以实现机房热管理的精细化和高效化,无法满足信息机房对热管理日益增长的需求^[2]。

3 信息机房冷池布局与热管理的优化策略

3.1 优化气流组织设计

在信息机房内,机柜布局直接影响气流走向,应采用冷热通道分离的布局方式,将机柜面对面、背对背排列,形成冷通道与热通道。冷通道封闭处理,配备专用通道门和顶板,阻止冷空气与热空气混合,确保冷空气精准输送至服务器进风口,提高制冷效率;热通道同样封闭,引导热空气快速排出,避免热回流现象。合理规划通风管道与风口位置,依据机房空间结构和设备散热需求,科学计算风口尺寸与数量。采用下送风、上回风的气流组织形式时,地板下作为静压箱,需确保地板高度满足空气流通要求,且出风口风速均匀,避免局部热点产生。在机柜顶部安装挡风板,防止热空气上升后回流至冷通道。利用气流仿真软件对机房气流组织进行模拟分析,通过建立三维模型,输入机房环境参数、设备布局、散热功率等数据,直观呈现气流分布情况。根据模拟结果,优化调整机柜间距、风口位置和风量分配,消除气流死区,使机房内温度场分布更加均匀,为服务器提供稳定的运行环境。热管理模拟图“如图1(所示)”。

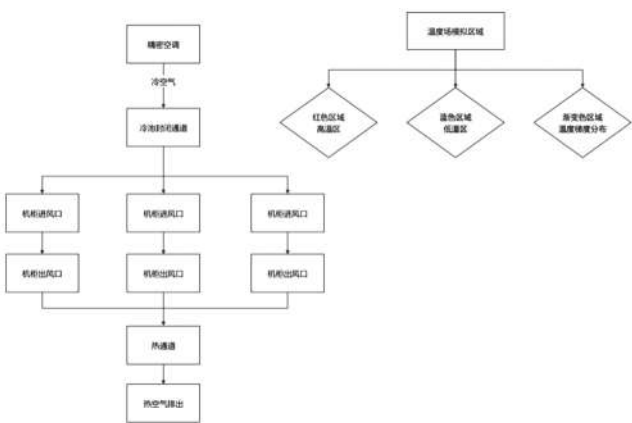


图1 热管理模拟图

3.2 科学配置制冷设备

根据信息机房的设备总发热量、空间体积、环境温

湿度要求等因素,精确计算所需制冷量。采用热负荷计算方法,综合考虑设备显热负荷、照明负荷、人员散热等因素,确定制冷设备的容量。选择制冷设备时,优先选用能效比高、适应性强的产品,如冷水机组搭配精密空调的组合模式,满足机房不同负荷工况下的制冷需求。制冷设备的冗余配置至关重要,为保障机房不间断运行,应按照国家N+1或2N的模式配置制冷机组。当一台设备出现故障时,其余设备能够迅速承担全部制冷负荷,避免因制冷不足导致服务器过热宕机。合理分布制冷设备在机房内的位置,确保冷空气均匀覆盖所有机柜,减少制冷盲区。引入变频技术提升制冷设备运行效率,根据机房实际热负荷动态调节制冷设备的输出功率。在低负荷时段,降低压缩机转速和风机风量,减少能耗;在高负荷时段,自动提升制冷能力,满足散热需求。定期对制冷设备进行维护保养,清洗蒸发器、冷凝器,检查制冷剂压力和管路密封性,确保设备始终处于高效运行状态^[3]。

3.3 构建智能化热管理平台

部署高密度温度传感器网络,在机房内关键位置,如机柜进风口、出风口、冷热通道交界处等,安装高精度温度传感器,实时采集环境温度数据。通过无线或有线传输方式,将数据汇聚至中央控制系统,形成全面的温度监测网络,实现对机房热环境的精细化感知。利用大数据分析 with 人工智能算法,对采集的温度数据进行深度挖掘和处理。建立热管理模型,预测机房热负荷变化趋势,提前调整制冷设备运行参数和气流组织模式。例如,当系统预测到某区域设备将出现高负荷运行时,自动增加该区域的送风量,或启动备用制冷设备,预防局部过热问题。开发可视化热管理界面,以直观的图形、图表形式展示机房温度分布、设备运行状态、能耗数据等信息。运维人员通过界面可实时掌握机房热管理情况,快速定位热点区域和故障设备。设置智能报警功能,当温度超过阈值或设备出现异常时,及时发出声光报警,并推送通知至相关人员,实现快速响应和处理。温度传感器点位图“如图2(所示)”。

3.4 推进余热回收与节能改造

采用余热回收技术,将机房制冷设备排出的热量进行回收再利用。如通过热交换器把机房热空气热量传递给生活用水供热水,或利用余热加热办公区以减少冬季供暖能耗。设计时需综合考虑多因素,确保系统经济高效运行。对机房基础设施进行节能改造,更换高耗能

设备为节能型产品。选用高效能服务器,其先进的散热设计和低功耗芯片可降低设备发热量;采用LED照明替代传统照明灯具,减少照明系统能耗。优化机房供电系统,提高电源转换效率,降低线路损耗。引入自然冷却技术,充分利用室外自然冷源降低机房制冷能耗。在气候条件适宜的地区,采用新风冷却、间接蒸发冷却等方式,当室外温度和湿度满足要求时,引入室外冷空气为机房降温,减少机械制冷设备的运行时间。通过自然冷却与机械制冷有机结合的复合冷却模式,可灵活适配不同工况,实现机房能耗的显著降低,提升整体能源利用效率^[4]。

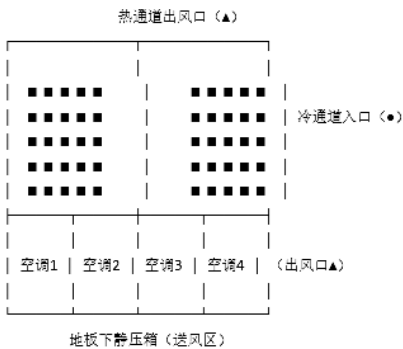


图2 温度传感器点位图

结语

综上所述,信息机房冷池布局优化与热管理是一项系统性工程。针对当前气流组织、设备配置及智能化管理等方面的问题,通过优化气流组织设计、科学配置制冷设备、构建智能化热管理平台及推进余热回收改造等措施,可有效提升机房热管理水平。未来,随着技术发展,需进一步探索多技术融合的创新方案,以适应信息机房不断升级的需求,推动数据中心向高效、节能、绿色方向发展。

参考文献

[1]王璐瑶.基于Contiki的信息机房温湿度控制系统[J].电脑知识与技术,2025,21(5):41-43.
[2]贺源.信息机房UPS供电系统设计与应用要点[J].数码设计,2023(18):47-50.
[3]吴刚.智能运维在信息机房的应用和研究[J].百科论坛电子杂志,2020(12):100.
[4]徐惠刚.IDC数据机房布局设计与安装研究[J].通信电源技术,2022,39(12):7-9.