

寒冷地区某数据机房机柜散热测试及仿真模型研究

李国柱^{1,2}, 崔美华², 李忠辉³, 王天来¹, 赵乃妮^{1,4}

(1. 中国建筑科学研究院有限公司; 2. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院; 3. 辽宁省建筑设计研究院有限责任公司; 4. 北京市绿色建筑设计与工程技术研究中心)

【摘要】为了解数据机房机柜排风温度的特点, 详细掌握数据机房热环境特征, 文章对寒冷地区某办公楼用数据机房机柜送排风情况开展测试和CFD模拟研究。测试结果表明, 机柜进风口温度为16℃时, 机柜进出口空气温差为12℃左右; 本例中数据机房冷热通道未封闭, 结果显示机柜进风侧和出风侧空气温度均随垂直距离的增加而升高, 冷热气流的掺混会导致数据机房冷量过度消耗。通过CFD模拟对气流组织形式进行合理设计, 有利于降低数据机房制冷能耗。

【关键词】数据机房; 机柜散热; 气流组织; 数值模拟

【基金项目】国家自然科学基金项目, 项目编号: 52008386

中图分类号: TP308; TU83

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2022.11.045

Research on Heat Dissipation Test and Simulation Model of the Cabinet in a Data Room in Cold Area

LI Guo-zhu^{1,2}, CUI Mei-hua², LI Zhong-hui³, WANG Tian-lai¹, ZHAO Nai-ni^{1,4}

(1.China Academy of Building Research; 2.School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University; 3.Liaoning Provincial Building Design & Research Institute; 4.Beijing Engineering Technology Research Center of Green Building Design)

【Abstract】In order to understand the characteristics of the exhaust temperature of the cabinet in the data room and master the thermal environment parameters of the data room, this paper carries out a test and CFD simulation study on the air supply and exhaust of the cabinet in the data room of an office building in cold area. The results show that when the inlet temperature of the cabinet is 16 °C, the air temperature difference of the inlet and outlet of the cabinet is around 12 °C. In this example, the cold and hot channels are not closed in this data room, the results show that the air temperature of the inlet side and outlet side of the cabinet increases with the increasing of vertical distance. The mixing of cold and hot air flow leads to excessive cold consumption in the data room. The reasonable design of air distribution through CFD simulation is conducive to reducing the cooling energy consumption in a data room.

【Keywords】data room; cabinet heat dissipation; air distribution; numerical simulation

1 引言

随着物联网、人工智能、5G技术的快速发展, 海量数据的产生、交互都离不开数据中心的支撑, 数据中心是为集中放置的电子信息技术提供运行环境的场所^[1-2], 其特点是全年不间断运行, 产生大量的热量。数据中心的能耗密度通常为120W/m²~940W/m², 但对于业务量繁杂的大型数据中心而言, 其能耗密度高达1080W/m²~3230W/m², 是普通商业建筑能耗密度的几倍甚至数十倍^[3]。数据机房对于环境参数的要求较高, 为保证服务器的安全稳定运行, 往往存在送风温度过低或送风量过大的情况^[4], 导致机房冷量的过度浪费, 并且增加电力系统的负担^[5]。资料

显示, 空调的制冷能耗占数据中心总能耗的30%~50%^[6-8], 数据机房空调的冷却效果和系统的能耗量受数据机房内气流组织的影响很大^[9], 因此合理控制机房热环境参数对于数据机房节能降耗具有重要意义^[10]。

本文对寒冷地区某数据机房机柜进行了热环境测试, 并利用CFD软件对该机房典型机柜进行了仿真模拟, 根据实测数据验证边界条件的合理性, 进而建立机房热环境的数值模型, 以期后续开展数据机房节能研究提供参考。

2 项目概况与测试方法

以寒冷地区某办公楼用数据机房为测试对象,

根据《数据中心设计规范》(GB 50174-2017)中数据机房等级划分标准,该机房属于B级。该数据机房面积100m²,无外窗,数据机房内共有两排机柜,机柜数量分别为11、14架,服务器额定功率分别为585W、600W、700W,机柜尺寸为0.6m×1.05m×2m,冷却通道宽1.2m,送风方式为地板下送风、无管道自由回流,其中穿孔地板尺寸为0.6m×0.6m,地板架空高度为0.6m,空气处理由两台精密空调配合完成,冷热通道未封闭。

数据机房内选取A07机柜布置测点,机柜进、排风侧对称布置6个测点,测点距离机柜0.25m,距离地板高度分别为0.5m、1.0m、1.5m,机柜示意及进风侧测点位置如图1所示。室外排风机组空气出口处布置2个测点。测试仪器每隔10s自动记录一次温度变化,测试日期为2021年4月29日至5月10日,共计12d。

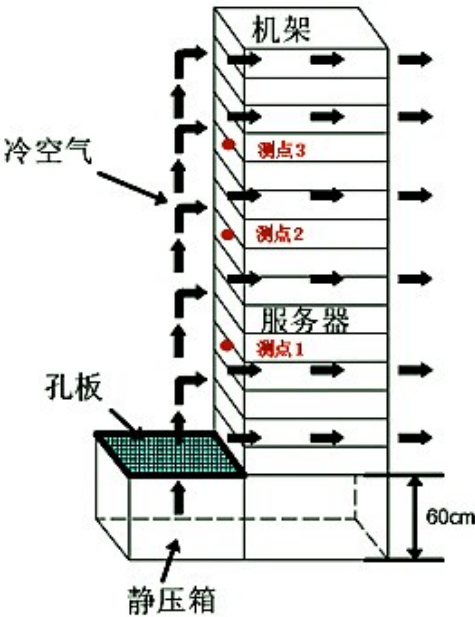


图1 测试机柜示意图及进风侧测点位置

3 测试结果及分析

数据机房机柜进排风平均温度变化情况如图2所示,对每组测试数据取平均值,整理分析可知该数据机房A07号机柜进出口空气温度由于测点高度的不同存在较大差异,处于同一测点位置的进出口空气温度范围波动范围小,不同测点位置的温度变化范围如表1所示。

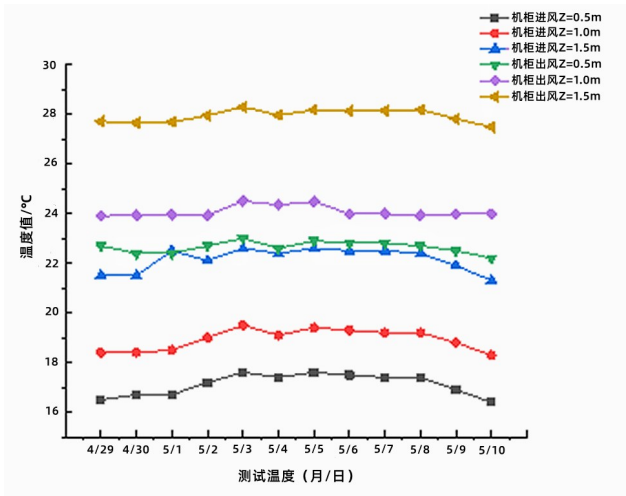


图2 机柜进、排风平均温度变化情况

表1 机柜进、出风侧测点位置及温度范围

区域	距地板高度/m	温度/°C
机柜进风侧	0.5	16.4~17.6
	1.0	18.3~19.5
	1.5	21.3~22.6
机柜出风侧	0.5	22.2~23.1
	1.0	23.9~24.5
	1.5	27.5~28.3

机柜进风侧0.5m处温度变化范围为16.4℃~17.6℃,而1.5m处温度变化范围达到了21.3℃~22.6℃,两个测点之间的最大温差为6.2℃。分析认为,随着垂直高度的增加,机柜进风侧温度升高的原因是机房在冷热通道不封闭的情况下,机柜产生的热空气不能及时排出,在机房上部有所聚集,并与冷通道内地板送风口送出的冷空气进行了掺混,导致机柜进风侧温度随垂直距离的增加而逐渐升高。《数据中心设计规范》(GB 50174-2017)规定机房冷通道或机柜进风区域的温度设计值为18℃~27℃,该数据机房冷气流送风温度为16℃,低于规范要求。

机柜出风侧0.5m处温度变化范围为22.2℃~23.1℃,1.5m处温度变化范围为27.5℃~28.3℃,两个测点之间的最大温差为6.1℃。这是因为冷气流通过服务器时,随着垂直高度的增加,气流风速有所衰减,冷气流与服务器之间的换热相对减少,故机柜排风侧高度越高,温度测量值越高,同时冷热气流的掺混导致出风温度的测量值与实际值相比偏低。

行业内常用掺混指数(Index of Mixing, IOM)来评价和描述单个机柜气流高温渗透的程度^[11-12]。IOM值越大,机柜存在局部热点、热环境恶化的潜在风险越高,其计算方法为:

$$IOM = \frac{T_{in_max} - T_{in_min}}{T_{out} - T_{in}} \quad (1)$$

式中: T_{in_max} 为机柜进气端最高温度, °C; T_{in_min} 为机柜进气端最低温度, °C; T_{out} 为机柜排气端平均温度, °C; T_{in} 为机柜进气端平均温度, °C。经计算, 该测试机柜的IOM值为1.29。

该数据机房机柜进风侧、精密空调室外机组换热出风平均温度变化情况如图3所示, 室外机组空气出口处温度呈现近似“W”型波动, 原因是5月1~5月7日为国庆假期, 相对于工作日而言服务器的使用率降低, 服务器散热量减少, 数据机房空调冷负荷降低。办公楼用数据机房室外机组出风温度大部分时间符合工作日设备散热情况, 基本保持在34°C~38°C, 该部分热量较高且具有一定的余热回收价值。

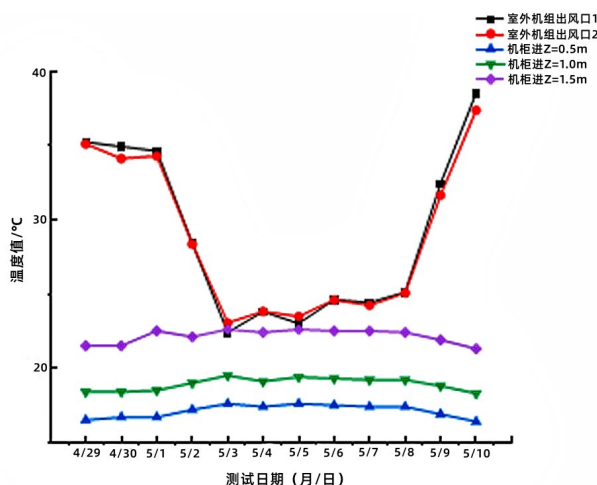


图3 机柜进风侧、室外排风侧平均温度变化情况

4 数值模拟研究

利用CFD软件对A07号机柜整体建模和研究, 结合机柜中服务器的数量及排列方式, 设置为热通量边界(heat flux), 数值上取其总发热量与散热表面积之比, 该机柜共有7台服务器, 包括700W、600W、568W三种功率, 服务器功率按95%转化。地板格栅送风口简化为简单的矩形开口, 有效出风面积率为0.35, 入口风速为测量值1.5m/s, 送风温度为16°C。

模拟结果显示: 机柜出风口平均温度为28.8°C, 其中, 机柜1.5m处出风温度为29.1°C, 0.5m处出风温度为22.1°C。该模型未考虑设备、管线对冷气流扰动的影响, 因此温度模拟值略小于实测值, 整体误差小于10%, 误差可接受。利用数值模拟手段建立数据机房模型, 对于数据中心的气流组织设计和节能设计具有重要参考性。

5 结语

通过对寒冷地区某办公楼用数据机房开展热环境测试发现, 机柜出风温度受数据机房送风形式的影响较大, 在数据机房冷热通道不封闭的情况下, 存在冷热气流的掺混现象; 机柜散发的热量不能及时排出, 一定程度上影响冷气流对服务器的冷却效果; 送风温度偏低使得数据机房冷量存在较大浪费。因此, 可考虑冷热通道封闭的形式, 同时配合使用CFD模拟手段对数据机房热环境进行模拟分析, 排除潜在的机房局部热点, 为数据机房整体布局、气流组织的设计及优化提供参考。

参考文献

- [1] 秦怡. 基于CFD在线反馈的数据机房送风温度控制策略研究[D]. 广州: 广州大学, 2017.
- [2] 丁慷. 高热流密度数据中心不同冷却系统的能耗分析[D]. 天津: 天津商业大学, 2021.
- [3] 高彩凤, 于震, 吴剑林. 典型数据机房热环境分析及气流组织优化[J]. 暖通空调, 2013, 43 (9): 101-106.
- [4] 李瑞. 基于CFD仿真的数据中心气流组织优化[D]. 济南: 山东大学, 2020.
- [5] 姚喻晨. 风道结构对数据中心热性能的影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2019.
- [6] Arif M, Kataygiotou M, Mazroei A, et al. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature[J]. International Journal of Sustainable Built Environment, 2016, 5 (1): 1-11.
- [7] 贾晨昱, 黄翔, 田振武, 刘振宇, 金洋帆. 间接蒸发冷却技术在国内外数据中心的应用研究[J]. 制冷与空调, 2020, 20 (1): 61-67.
- [8] Ebrahimi K, Jones G F, Fleischer A S. A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014 (31): 622-638.
- [9] 马永荣. 数据中心节能降耗技术探讨[J]. 智能建筑与智慧城市, 2019, 268 (3): 44-45+65.
- [10] 李国柱, 赵乃妮, 郭阳, 等. 我国绿色数据中心的政策、标准与发展展望[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021 (2): 12-16.
- [11] 张泉, 李震, 等. 数据中心节能技术与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2018.
- [12] 田浩, 李震, 刘晓华, 等. 数据中心热环境评价指标研究[J]. 制冷学报, 2012, 33 (5): 5-9.