

铁路某数据中心控制大厅 气流组织设计探讨

铁道第三勘察设计院集团有限公司 张亚静[☆] 朱建章
妥思空调设备(苏州)有限公司 郭建雄 陈安峰

摘要 根据模拟计算和实验测试结果分析了数据中心控制大厅的气流组织,结果显示在工位置换通风条件下,工作区域的热舒适性、风速和 CO₂ 浓度满足规范要求,沿高度方向温度和 CO₂ 浓度分布有明显的分层现象。

关键词 工位置换通风 数值模拟 热舒适 CO₂ 浓度

Air distribution design for a control hall of railway data center

By Zhang Yajing[★], Zhu Jianzhang, Guo Jianxiong and Chen Anfeng

Abstract Analyses the air distribution based on the simulation and test and measurement results for the control hall. The results indicate that the thermal comfort, air velocity and carbon dioxide concentration meet the demands of relative codes under the condition of displacement ventilation combined with spot ventilation, and that the vertical stratification of temperature and carbon dioxide concentration is obvious.

Keywords displacement ventilation combined with spot ventilation, numerical simulation, thermal comfort, carbon dioxide concentration

★ Railway Third Survey and Design Institute Group Ltd., Tianjin, China

①

1 设计方案

某数据中心控制大厅为三阶梯式半圆形大空间结构,建筑面积约 5 000 m²,半圆的半径为 49.2 m,建筑室内净高为 12.0 m。大厅四周与休息区、办公室、空调机房相邻,顶部为建筑屋面。

1.1 空调设计

该控制大厅处于内区,根据工艺专业提供的资料,发热量为 500 kW。采用组合式空调箱,双风机全空气送风,有利于全年各季节新风比例的调整,达到节能的目的。设计计算风量为 240 000 m³/h,设计计算冷量为 800 kW。

1.2 气流组织设计

该控制大厅建筑高度 12 m,每天 24 h 有人办公,无外窗,房间的 A 声级噪声要求小于等于 45 dB。若采用上送风气流组织方案,需要的送风风速高,噪声大,且不节能;下送风气流组织方案用在

这种特殊空间是节能且可行的。

通常下送风的做法是设置地面送风口,但地面均匀布置了控制台,风口只能布置在走道上。计算发现地面送风口需设置上千个,工程中无法实现,且地面容易积尘,送风的品质较差。

典型的置换送风方式在此项目中不易实现,在设计中,笔者采用风口与控制台的台面背板(台面背板在控制台的设计中用于支撑显示器)结合,风口按一定比例向两侧送风(见图 1)。左侧送风主要负责前一个控制台的人员区域环境,出风口送出的气流由于密度较大,先从台面高度下降吸收部分

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 增 1 号铁三院建筑分院
(022) 26176174
E-mail: zhangyajing@tsdig.com
收稿日期:2011-06-01
修回日期:2011-07-05

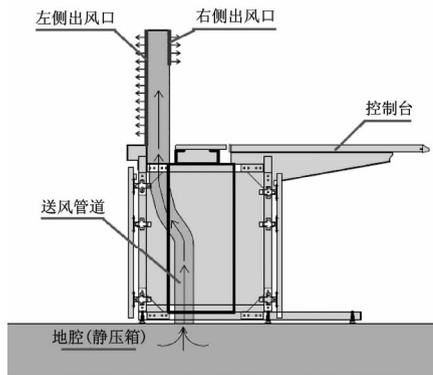


图1 控制台剖面图

房间的热量,再吸收人体等热源周围的热量,形成热对流烟羽卷吸室内气流,产生自下而上的气流运动;右侧出风口主要负责冷却显示器,减少显示器表面对人员的辐射热。风口两侧的风量比例在一定范围内可以调节,以满足各种人员不同的温度需求;每个调度台设一个分支风管,并安装无级调节阀,保证人员对冷量的无级调节。该气流组织形式不同于典型的置换和工位送风,是一种工位和置换送风相结合的方式(以下简称工位置换)。该气流组织方式解决了典型置换送风为提高送风温度需再加热和送风量大的问题,可将新鲜的低温空气以较快速度直接送入人员停留区。

整个大厅设2个 15 m^2 的集中格栅回风口,安装在侧墙的中上部。送风管道结合控制大厅架空地板敷设,其地腔也是电缆的铺设空间。原设计采用地腔作为静压箱直接送风,后考虑到地腔内工艺管线和开口多,难于密封,会对气流组织产生影响,改为管道连接。

2 模拟计算

控制大厅内人员比较密集,无外窗,且全天有人员工作,其环境舒适度尤为重要。为保证设计的气流组织方式满足使用要求,对整个控制大厅的空气温度、气流速度、 CO_2 浓度分布进行模拟分析。

2.1 计算湍流模型和边界条件

2.1.1 湍流模型

工位置换通风条件下,送风速度很低,室内气流运动以自然对流为主,温差造成的浮升力作用显著。因此,本文采用低雷诺数 $K-\epsilon$ 湍流模型^[1]。以建筑水平方向中心面的速度值作为计算结果收敛判定条件。模拟计算作如下假设^[2]:

1) 风速方向垂直于风口出风面,且在整个送

风口平面风速保持均匀和恒定;

2) 忽略建筑物门窗缝隙渗透风的影响;

3) 气流流动状态为湍流;

4) 室内空气为低速不可压缩流体,并满足理想气体状态方程;

5) 室内气体属于牛顿流体,作定常流动;

6) 忽略能量方程中由于流体黏性力做功引起的能量耗散;

7) 显示器的散热量均匀分布。

2.1.2 边界条件

1) 进口边界条件

左侧出风口高度为450 mm,右侧出风口高度为150 mm(见图1),出风口的送风面风速为 0.178 m/s 、送风温度为 $18\text{ }^\circ\text{C}$ 、送风量为 $200\ 000\text{ m}^3/\text{h}$,左右侧风口初始风量比为 $3:1$,可以调节。

由于最后一排调度台无送风口,故在最后一排的地面增设地板格栅风口。送风温度 $18\text{ }^\circ\text{C}$ 、送风量为 $40\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ 、送风速度为 0.3 m/s 。

每人呼出 CO_2 量按 $350\text{ mL}/\text{min}$ 计算,进风中 CO_2 体积分数为 $0.003\ 2\%$ ^[3]。

2) 出口边界条件

空调系统回风口位于侧墙上,尺寸为 $3\text{ m}\times 5\text{ m}$,共2个,其平均风速为 2.22 m/s 。

3) 室内热源边界条件

热边界条件采用第二类边界条件,根据设备和人体的实际散热情况确定。

2.2 计算结果

2.2.1 竖直剖面温度场分布

图2给出了典型竖直剖面的温度场分布。可以看出,随着房间高度的增加,室内温度逐渐上升,产生明显的温度分层现象。在人员活动区域高度,新鲜的低温空气直接送入人员停留区,室内温度基本在 $20\sim 23\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内,满足人体舒适性的要求。

计算距离某一操作人员 $0.5, 1.0, 1.5\text{ m}$ 处(见图3)沿高度方向的温度、风速、 CO_2 浓度分布。温度分布如图4所示,3个采样点处温度沿高度方向的分布基本一致,且 0.1 m 与 1.1 m 高处温差为 $1.5\text{ }^\circ\text{C}$ 左右, 0.1 m 与 1.7 m 高处温差为 $0.8\text{ }^\circ\text{C}$ 左右,均满足ASHRAE手册2009版第9章和ISO 7730:1994标准对空调房间内人员活动区的舒适性要求($-0.5 < PMV < 0.5$)。

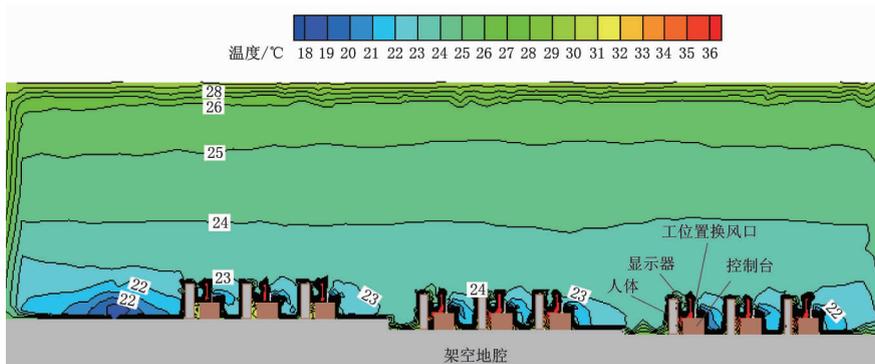


图2 竖直剖面温度场分布

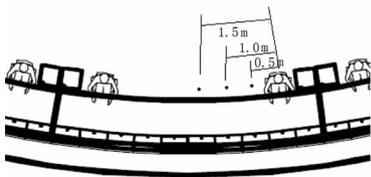


图3 采样点位置

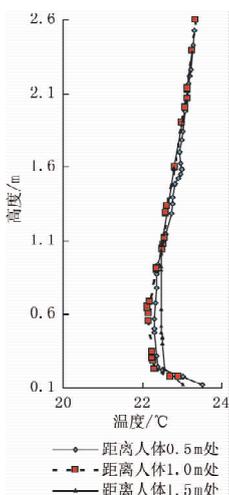


图4 温度沿高度方向分布曲线

2.2.2 竖直剖面速度场分布

图5为竖直剖面速度场分布。可以看出,室内风速场均匀性好,风速较小,大部分区域速度都仅为0.08 m/s,仅在靠近送风口处部分区域速度达到0.16 m/s,不会引起吹冷风感。送风为层流送风方式,人员停留区气流湍流度低,如图5,6所示。

2.2.3 竖直剖面 CO₂ 浓度场分布

图7为竖直剖面 CO₂ 体积分数分布。可以看出,室内 CO₂ 浓度场基本均匀,大部分区域 CO₂ 体积分数值都在(600~750)×10⁻⁶范围内,靠近送风口处部分区域 CO₂ 体积分数值较小,为 450×10⁻⁶左右,满足卫生标准要求。

由图8可以看出,靠近人体呼吸高度平面,

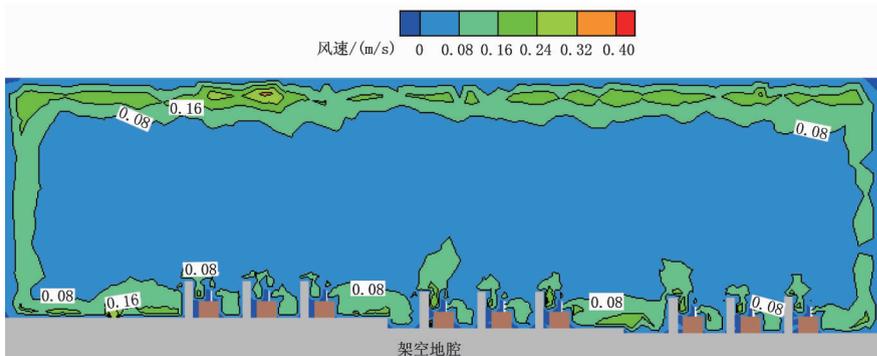


图5 竖直剖面速度场分布

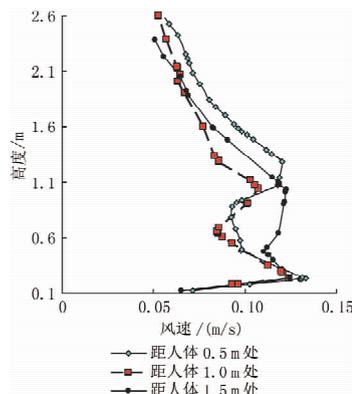
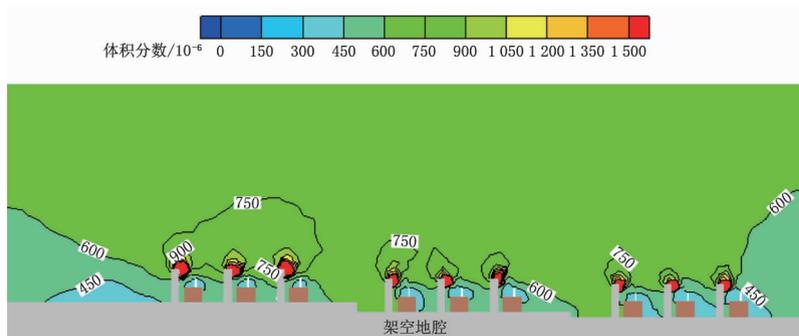
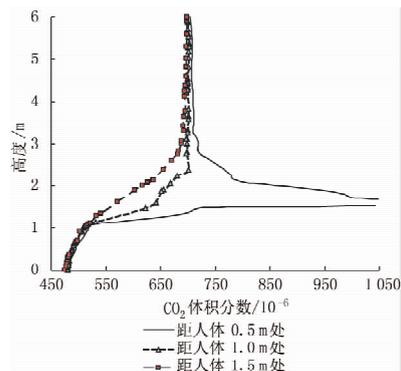


图6 风速沿高度方向分布曲线

CO₂ 体积分数值急剧变化。可见人体呼吸区域排污能力强,置换通风方式可以保证人体呼吸区良好的空气品质。

3 工位置换送风系统测试

为保证空调设计达到预期效果,实现最佳的室内气流组织和送风效果,在模拟计算的基础上对控制大厅气流进行特性实测和烟雾演示。

图7 竖直剖面 CO₂ 体积分数分布图8 CO₂ 体积分数沿高度方向分布曲线

3.1 实验装置

取3个工位置换风口为一组进行测试,每个风口尺寸为490 mm×450 mm×100 mm(宽×高×厚),主风管上设有风量调节阀,确保每个风口风量均匀分配。风口安装于控制台上,安装高度为0.8 m。控制台对应应有3个显示器和1个假人模型,假人模型带有内热源(60 W)。整个测试控制台布置见图9,10。

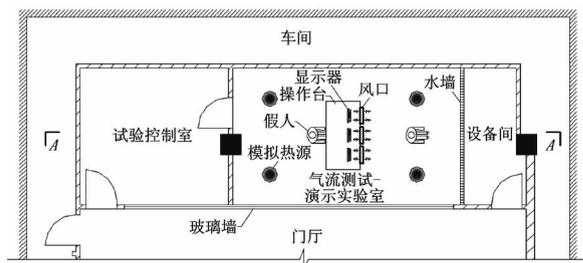


图9 气流测试-演示实验室平面图

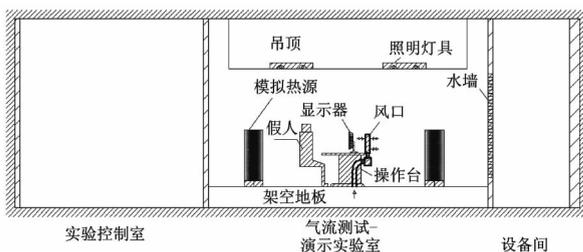


图10 气流测试-演示实验室 A-A 剖面图

3.2 测试结果

3.2.1 出口气流均匀性与面风速测量

1) 出口气流均匀性测量

图11,12为送风发烟实验图,可以看出,送风气流能够在出风面上均匀流出,具有置换通风的典型特点。

2) 面风速测量

沿高度方向,用手持式热线风速仪对出口风速



图11 送风发烟实验图



图12 送风气流在地面的覆盖情况

进行连续测量,发现出风面上风速均匀,在0.25~0.35 m/s之间。测试点的风速和模拟计算结果基本一致,人员无吹风感。

3.2.2 室内温度与速度场测试分析

根据设计工况,测量不同出风温度、不同送风量下竖直温度、风速的分布,结果见表1。工况4的实测数据如图13所示。

表1 竖直温度、风速测量结果

	工况1	工况2	工况3	工况4	工况5
房间温度/°C	25	25	25	25	25
送风气流 总风量/(m ³ /h)	560	450	360	560	450
单个风口风量/(m ³ /h)	188	150	120	188	150
出风温度/°C	16	16	16	18	19
供冷量/W	1 697	1 364	1 091	1 320	909

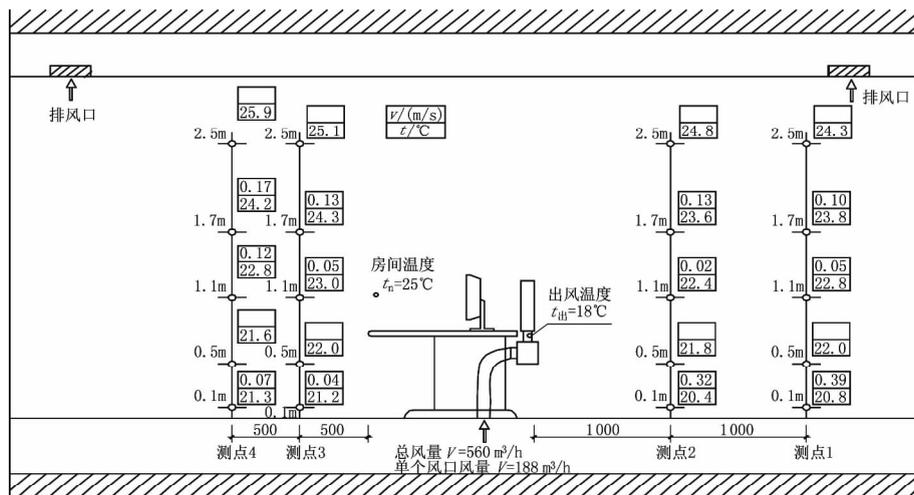


图 13 工况 4 实测数据

综合测量结果可得出:

1) 距离地面 0.1 m 高处的空气温度通常比出风温度高 3~4 °C, 尽管送风温度低至 16 °C, 但此处温度均在 20 °C 左右, 处于舒适范围; 送风温度为 19 °C (工况 5) 时, 1.7 m 高度处温度为 24 °C, 可以满足设计要求。

2) 竖直温度分布测量结果显示, 0.1~1.1 m 与 1.1~1.7 m 高度区域之间的温升大致在 1.0~1.5 °C 之间, 属于正常的温升范围。

3) 不同位置相同高度上的测量结果表明, 温度和速度在水平方向分布均匀, 工位置换送风可有效覆盖服务区域。

4) 0.1~1.7 m 高度范围内的风速均小于 0.2 m/s, 满足舒适性要求。

4 结语

该送风系统用于控制大厅是一种新的尝试, 解决了置换送风需再热和送风量大的问题, 新鲜的低温空气可以直接送入人员停留区。模拟和实验测试结果基本一致, 可以满足使用要求, 同时节能效果明显, 尤其适用于高大空间中有控制台或类似构筑物的场所。

参考文献:

- [1] Nielsen P V. The selecting of turbulence models for prediction of room airflow [G]// ASHRAE Trans, 1998, 104(1): 1119-1126
- [2] 赵彬, 李先庭, 彦启森. 置换通风的数值模拟[J]. 应用力学学报, 2002, 19(4): 75-79
- [3] 卫生部卫生法制与监督司. GB/T 18883—2002 室内空气质量标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003

· 简讯 ·

中国勘察设计协会建筑环境与设备分会总参工程兵委员会在京成立

2011年6月30日, 中国勘察设计协会建筑环境与设备分会总参工程兵委员会第一届常务委员会第一次会议在京召开。会议由总参工程兵第四设计研究院李国繁总工主持, 来自13个成员单位的19名代表出席了会议。会议推选李国繁总工为主任委员, 总参工程维护总队卫明义总工、解放军理工大学耿世彬教授、总参工程兵第四设计研究院姜建中高工为副主任委员。会议审议并通过了《总参工程兵委员会章程》。

7月1日, 中国勘察设计协会建筑环境与设备分会总参工程兵委员会第一届技术交流会开幕。分会领导、挂靠单位领导、各会员单位代表共计53人参加了

会议。中国勘察设计协会建筑环境与设备分会罗继杰理事长、杨爱丽秘书长、总参工程兵第四设计研究院卫东院长、科研处陈叶青处长作为特邀嘉宾出席了开幕式, 并致贺词。会上耿世彬教授、朱传珍研究员、姜建中高工、李春安高工分别作了《国防工程通风空调相关问题探讨》、《〈人民防空工程防化设计规范〉宣讲》、《防护工程设计问题探讨》和《人防工程空调方案优化设计》等专题报告。与会代表听取报告后, 就防护工程内部环境在研究、设计与维护等多个领域面临的问题进行了广泛而深入的交流。

(韩旭 李春安)