

部分受访者感觉室内温度略低,说明地板送风的出风口距离人员较近,温度即使略有降低,也会造成人员的不适感。冬季室温比设计值偏高,受访者的主观感受好于夏季,说明人员对较高的送风温度不敏感。考虑到阅览室的人员基本处于静坐状态,在设计中略微提高设计温度,将会带来较为舒适的体感。

6.3 模拟数据显示风速随高度增加而递减,实测受周围家具、人员的影响,且测点并非位于末端装置正上方,风速大小与高度并无太大的联系。主观评价中,大多数受访者也无明显的吹风感。说明地台送风末端装置只要设计及布置合理,室内风速完全能满足阅览室的使用要求。

6.4 从客观测试和主观调研结果看,地板送风在提高室内空气品质方面效果较好。主要是因为地板送风直接把经过处理的空气送入人员活动区的缘故。在实测中,夏季室内含尘量高于冬季,分析原因,可能由于经过一个供暖季,空调箱过滤器存在破损,物业未及时更换,导致室内含尘量上升较

多。

6.5 通过合理布置机房及管道,做好消声措施,选用噪声低的地台送风末端装置,室内噪声值完全能达到室内使用者的要求,不会产生噪声污染。

6.6 受测试时间、测试环境等条件制约,测点的布置还不充分,没有测试 1.2 m 高度以上区域的参数,给这次测试留下遗憾。今后还望能弥补这一遗憾,并增加过渡季全新风运行时的客观测试和主观调查。

参考文献:

- [1] 中国建筑西北设计研究院. JGJ 38—99 图书馆建筑设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1999
- [2] 万嘉凤,左涛,吴国华,等. 一大型图书馆工程暖通空调设计[J]. 暖通空调,2008,38(6):26-30
- [3] 连之伟,马仁民. 下送风空调原理与设计[M]. 上海:上海交通大学出版社,2006
- [4] 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所. GB/T 18883—2002 室内空气质量标准[S]. 北京:中国环境科学出版社,2003

某阅览室地板送风设计与实测

华东建筑设计研究院有限公司 李伟刚[☆] 万嘉凤 左 涛 吴国华 虞世放
同济大学 刘燕敏 王 全

摘要 介绍了某阅览室地板送风的设计计算、模拟结果以及竣工后的实测数据。通过对室内热环境、空气品质等测试数据及问卷调查结果的分析,介绍了地板送风末端装置在阅览室的应用效果及设计要点。

关键词 阅览室 地板送风系统 设计 模拟 测试

Design and measurement of underfloor air distribution system for a reading room

By Li Weigang[★], Wan Jiafeng, Zuo Tao, Wu Guohua, Yu Shifang, Liu Yanmin and Wang Quan

Abstract Presents the design calculation, simulation result and measured data of this room. Based on the analysis of the test data concerning indoor thermal comfort, indoor air quality and the questionnaire assessments, shows the application effect and design points of the underfloor air distribution system of reading rooms.

Keywords reading room, underfloor air distribution system, design, simulation, test

★ East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai, China

①

1 工程概况

该图书馆总建筑面积为 80 538 m²,檐高 27.1 m,包括主楼和车库两部分。其中主楼地上 5 层、地下 3 层,为框架剪力墙加巨型钢桁架结构。主楼各分层面积及主要功能见表 1。

表 1 主楼各分层面积及主要功能

	建筑面积/m ²	主要功能
地下 3 层	11 700	密集书库、机电用房
地下 2 层	11 700	密集书库、机电用房
地下 1 层	11 700	管理中心、四库全书库、中转库
1 层	10 200	门厅、检索区、期刊阅览室
2 层	9 020	外借库、阅览室
3 层	9 020	阅览室
4 层	9 300	电子阅览室
5 层	9 300	电子阅览室、行政办公

工程于 2008 年 9 月竣工并投入使用。笔者所在课题组于 2010 年 1 月和 7 月两次进行实地回访与测试,测试以 3 层东北和东南两个阅览区(阅览室地板送风实景和平面图分别见图 1,2)的地板送风系统为主,分为客观测试与主观问卷调查,测试内容包括室内热环境和空气品质等方面。

2 设计过程

2.1 设计介绍

位于 3 层的阅览区根据朝向不同分设空调系统。



图 1 3 层阅览室地板送风实景

系统由变频控制的空调机组和采用地板送风、配置直流无刷电动机的旋流式地台风机末端装置组成。

东北、东南两个阅览区的空调机组位于 4 层空调机房内,送风管经竖井至 2 层吊顶,再穿越 3 层楼板,将处理后的空气送至 3 层架空地板中,回风管经竖井下至 3 层,在吊顶下设百叶回风口(见图 3)。

①[☆] 李伟刚,男,1979 年 9 月生,硕士研究生,工程师
200002 上海市江西中路 10 楼华东建筑设计研究院有限公司
(021) 63217420-6011
E-mail:weigang_li@ecadi.com
收稿日期:2011-03-08

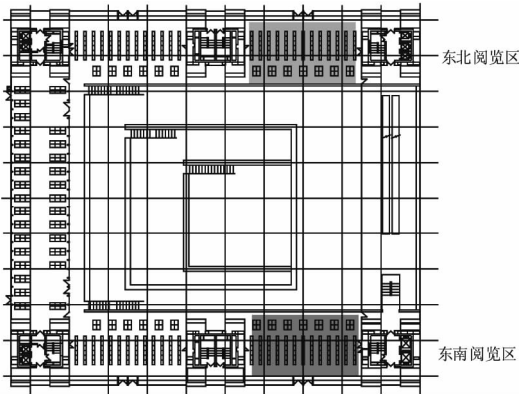


图2 3层实测阅览区平面图

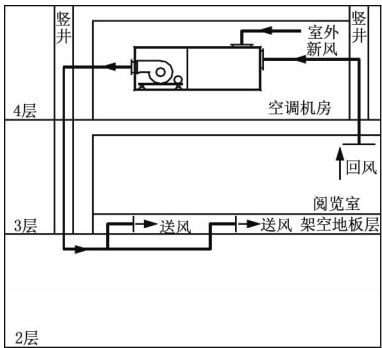


图3 阅览室空调送风示意图

2.2 设计计算

普通阅览室室内空气调节设计参数见表2。

表2 普通阅览室室内空气调节设计参数^[1]

干球温度/℃		相对湿度/%		风速/(m/s)	
冬	夏	冬	夏	冬	夏
18~20	24~28	40~60	40~65	<0.2	<0.3

在设计地板送风时,合理的竖直温度分布最为重要,即要求人员活动区内温度梯度小,人员活动区外(头部以上部分)温度梯度大。阅览区夏季室内设计温度取26℃,由于地台送风末端装置布置在离固定座位2m远处,确定送风温差为5℃,即二次风送风温度设定为21℃。

一次风风量计算公式:

$$L_1 = \frac{3.6Q_x}{1.2 \times 1.01 \Delta t_s} \tag{1}$$

热平衡式:

$$L_1 t_1 + L_h t_h = (L_1 + L_h) t_s \tag{2}$$

式(1),(2)中 L_1 为空调箱一次风风量, m^3/h ; Q_x 为室内显热冷负荷, W ; Δt_s 为空调箱送风温差, $^\circ\text{C}$; t_1 为空调箱一次风送风温度, $^\circ\text{C}$; L_h 为地台送风末端装置二次风风量, m^3/h ; t_h 为室内回风温度, $^\circ\text{C}$; t_s 为一、二次风混合温度, $^\circ\text{C}$ 。

计算结果见表3。

表3 南、北阅览区送风参数

区域	一次风总风量/ (m^3/h)	一次风送风 温度/ $^\circ\text{C}$	二次风风量/ (m^3/h)	二次风送风 温度/ $^\circ\text{C}$	地台送风末端 数量/个	地台送风末端风量/ ($\text{m}^3/(\text{个} \cdot \text{h})$)
南阅览区	32 000	17.7	18 000	21	98	511
北阅览区	20 800	17.5	12 480	21	64	520

2.3 室内风速

送风口纵向布置在离座位2m处,回风口纵向布置在离座位1.5m处,相邻两个送风口之间的水平距离为1.8m。末端送风百叶的出风口净尺寸为600mm×225mm,送风百叶的送风速度为1.07m/s^[2]。风口出口风速能满足人体舒适性的要求^[3]。

2.4 室内噪声

根据文献[1]的要求,普通阅览室内的允许A声级噪声为40dB。在空调箱送、回风管上均采用二级消声措施,并控制风管内的风速,使其送、回风口出口A声级噪声小于40dB。地台送风末端装置在设计送风工况时的A声级噪声为38dB,低于规定值。

3 CFD模拟

为了验证设计的合理性,根据上述空调系统参数与末端装置配置,进行CFD模拟,得到室内温度场分布与速度场分布。

3.1 温度场模拟(见图4)

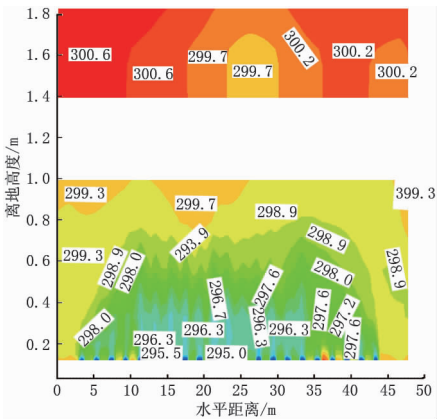


图4 夏季地板送风温度场模拟(单位:K)

由图4可知,地台送风末端装置出风口处的温度约为22℃,距地0.4m处温度为24℃,距地0.8m处温度为26℃,距地1.2~1.4m处温度为26~27℃,距地1.8m以上,温度高于27℃。模

拟所得温度值呈现随高度增加而上升的规律,温度梯度效应较为明显。

3.2 速度场模拟(见图 5)

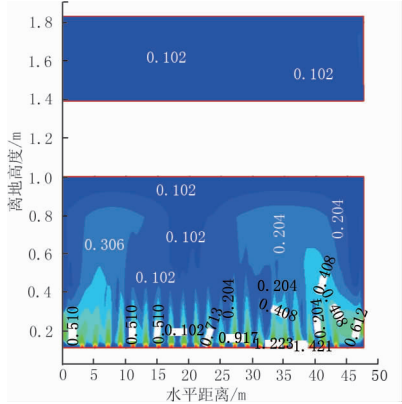


图 5 夏季地板送风速度场模拟(单位:m/s)

地台送风末端装置出风口处风速约 1 m/s,距地 0.4 m 处风速约 0.4 m/s,距地 0.8 m 处风速约 0.3~0.2 m/s,距地 1.2~1.4 m 处风速约 0.3~0.2 m/s,距地 1.8 m 以上,风速约 0.1 m/s。模拟所得风速呈现随高度增加而减小的规律,且符合文献[1]对于室内风速的要求。

3.3 PMV 值模拟(见图 6)

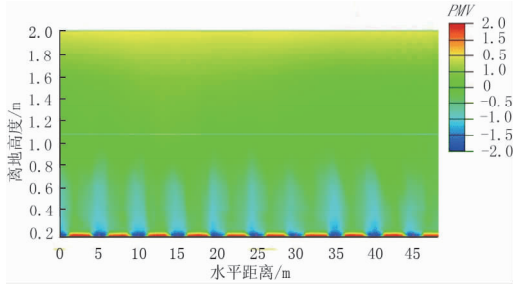


图 6 夏季地板送风 PMV 值模拟

由图 6 可知,在人员活动区(即距地 1.2~1.5 m 处),PMV 值在推荐的一0.5~0.5 范围内。模拟结果表明室内人员处于较好的热舒适环境中。

4 实测

在冬季空调供暖与夏季空调供冷两个季节,随机选取东南、东北阅览区靠近读者座椅的两处、4 个位置进行实测,包括冬季测点(1~4)与夏季测点(5~8)共 8 个测点。每个测点选取距地面 0.4, 0.8, 1.2 m 三个高度进行测试。

4.1 阅览区温度测试(见图 7)

由图 7 可知,冬季温度在 22.5~23.5℃之间,夏季温度在 24.5~26.0℃之间。人员活动区内,冬季的温度变化在 1℃之内,夏季的温度变化在

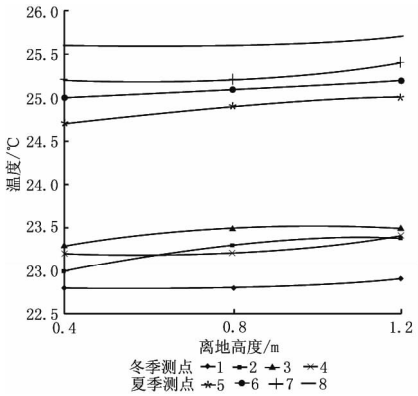


图 7 地板送风室内温度场分布

1.5℃之内。随高度增加,4 个测点温度均有上升趋势,但温度变化并不明显,完全在人员可接受的范围之内。

4.2 阅览区相对湿度测试(见图 8)

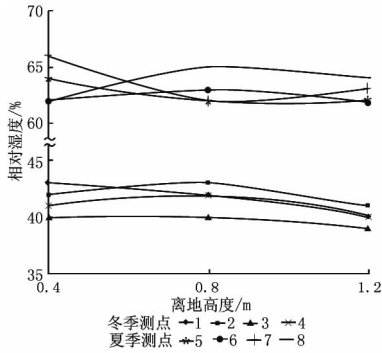


图 8 地板送风室内相对湿度分布

由图 8 可知,人员活动区内,冬季相对湿度在 40%~45%之间,夏季相对湿度在 60%~65%之间,满足表 2 中阅览室对相对湿度的要求。

4.3 阅览区风速测试(见图 9)

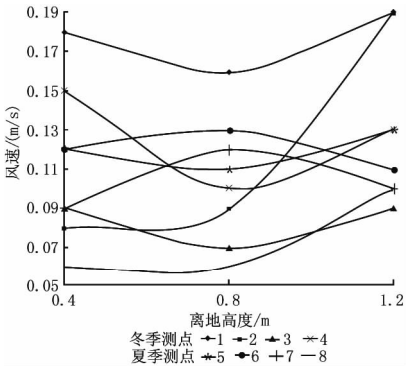


图 9 地板送风室内速度场分布

由图 9 可知,人员活动区内,冬季和夏季的风速在 0.05~0.2 m/s 之间,满足表 2 中阅览室对风

速的要求。由于实测点在座椅附近,受周围家具布置、人员走动等影响,风速值显得较无规律。

4.4 阅览区 PM₁₀ 含尘量测试(见图 10)

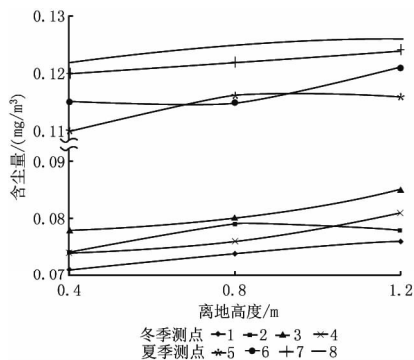


图 10 地板送风室内 PM₁₀ 含尘量分布

由图 10 可知,在人员活动区内,冬、夏季室内空气 PM₁₀ 随高度增加而略有增加,夏季室内可吸入颗粒物浓度高于冬季。

4.5 阅览区 CO₂ 体积分数测试(见图 11)

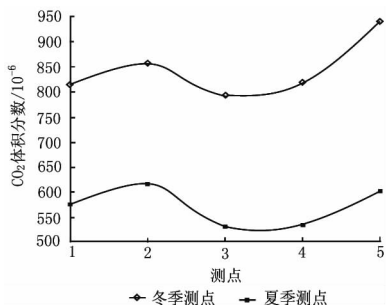


图 11 地板送风室内 CO₂ 体积分数分布

CO₂ 体积分数测试时,随机选取了阅览区内的 5 个测点,测点距地 1.2 m。由图 11 可知,室内 CO₂ 体积分数符合规范要求(不大于 10^{-3} [4])。

5 主观调查

在冬、夏季主观调研中,受访者在阅览室内的停留时间均在 20 min 以上。具体调查问卷的回收情况:冬季实发 35 份,收回 33 份,夏季实发 70 份,收回 66 份。

调查内容及结果如下。受访者对温度的评价为:夏季,75%认为适中,17%认为偏高,8%认为偏低;冬季,54%认为适中,4%认为低,42%认为偏低。对阅览室内垂直方向冷热不均匀感的评价为:冬季,58%认为不明显,17%认为略有,25%认为没有;夏季,42%认为不明显,45%认为略有,13%认为没有。对相对湿度的评价为:冬季,47%认为适

中,38%认为偏干燥,10%认为湿润,5%认为偏湿;夏季,83%认为适中,13%认为偏干燥,4%认为偏湿。对阅览室内风速评价为:冬季,73%认为适中,20%认为偏低,7%认为低;夏季,83%认为适中,13%认为偏低,4%认为偏高。对阅览室内腿部是否有空调吹风感:冬季,52%认为没有,43%认为不明显,5%认为略有;夏季,26%认为没有,48%认为不明显,21%认为略有,5%认为明显。对室内空气品质评价为:冬季,47%认为好,38%认为适中,7%认为差,8%认为很好;夏季,54%认为好,42%认为适中,4%认为差。对室内声环境评价为:冬季,33%认为好,42%认为适中,25%认为很好;夏季,29%认为好,25%认为适中,42%认为很好,4%认为差。

可以看出:

1) 受访者对冬季室温的满意度要高于夏季,夏季认为室温偏低的人数占总人数的 42%。而从实测数据来看,冬季实际室温比设计温度高 2℃,夏季实际室温则比设计温度低 1℃。

2) 受访者都未对冬、夏的温度梯度感觉明显。夏季 45%的受访者对温度梯度略有感觉,也与实测中夏季温度梯度比冬季稍大相吻合。

3) 大多数受访者对室内的相对湿度感觉适中。冬季感觉偏干燥的人数多于夏季,这符合冬季室外比夏季干燥这一客观情况。

4) 绝大多数受访者对室内风速感觉满意,腿部吹风感也不明显。夏季略有吹风感的比例高于冬季,这可能与夏季衣服穿着较少有关。

5) 绝大多数的受访者对室内空气品质评价良好。

6) 绝大多数的受访者对室内声环境评价良好。

6 比较与结论

6.1 通过对阅览室地板送风区域室内热环境、空气品质等方面进行的主、客观测试可知,设计完全满足阅览室正常使用的要求。合理设计系统,并通过模拟分析,调整设计参数与末端布置,是保证室内热环境和空气品质的有效手段。

6.2 阅览区夏季室内设计温度取 26℃,模拟值与设计值较吻合。实测数据夏季温度在 24.5~26.0℃之间,较设计值略低。从主观调查来看,夏季有

(下转第 5 页)