

既有历史建筑绿色改造后室内人体热舒适性研究

于水,张昊,彭晓烈,吕海平

(沈阳建筑大学市政与环境工程学院,辽宁 沈阳 110168)

摘要 目的 研究既有历史建筑在进行绿色改造之后室内人体的热舒适性,制定相应的检测和评定方案,得出既有历史建筑的改造方案。**方法** 以沈阳市第124中学为研究对象,对选取的5个典型房间采用现场测试的方式对建筑室内相关物理参数进行实测,通过迭代公式计算出房间内的预计平均热感觉指数(PMV)和预计不满意率(PPD),客观评测建筑室内的人体热舒适度。**结果** 123 办公室 PMV 值为 0.16,PPD 值为 5.53%;礼堂 PMV 值为 -0.23,PPD 值为 6.1%;206 教室 PMV 值为 0.43,PPD 值为 8.9%;208 办公室 PMV 值为 0.06,PPD 值为 5.1%;225 电教室 PMV 值为 0.31,PPD 值为 7.0%。5 个典型房间的 PMV 值均在 -1 ~ +1,人体热感觉处在适中的范围。PPD 均低于 10%,室内可进行正常的教学活动。**结论** 绿色改造后室内的热环境得到明显改善,室内人体热舒适性的各项指标均处在正常范围内,满足冬季供暖季室内人员的基本要求。

关键词 历史建筑;人体热舒适度;PMV;PPD

中图分类号 TU832.5⁺2

文献标志码 A

Study on the Thermal Comfort of Indoor Human Body after the Green Renovation of Historic Buildings

YU Shui, ZHANG Hao, PENG Xiaolie, Lü Haiping

(School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168)

Abstract: The indoor thermal comfort of the existing historical buildings after the green transformation is studied to formulate the corresponding detection and evaluation scheme, and the transformation effect of the existing historical buildings. Five typical rooms in Shenyang No. 124 middle school taken as the research object, the relevant indoor physical parameters of these rooms are measured on site. And through the iterative formula PMV and PPD is calculated to objectively evaluate the thermal comfort of human body in the building. PMV value of 123 office was 0.16, PPD value was 5.53%; PMV value of auditorium was -0.23, PPD value was 6.1%; PMV value of 206 classroom was 0.43, PPD value was 8.9%; PMV value of 208 office was 0.06, PPD value

收稿日期:2021-03-18

基金项目:“十三五”国家重点研发计划项目(2018YFC0704800)

作者简介:于水(1983—),女,教授,主要从事建筑节能技术和室内空气品质保障技术方面研究。

was 5.1% ; PMV value of 225 electronic classroom was 0.31 , PPD value was 7% . The PMV values of the five typical rooms are all within the normal range of(-1 ~ +1) , indicating that the human body's thermal sensation is in the moderate range. PPD is all less than 10% , indicating that normal indoor teaching activities can be carried out. After the green renovation, the various indicators of indoor human thermal comfort within the normal range, the indoor thermal environment has been significantly improved and meeting the basic requirements of indoor personnel during the winter heating season.

Key words: historic buildings; human thermal comfort; PMV ; PPD

建筑热舒适性是指人对建筑室内热环境所做的主观满意度评价^[1]。因此,建筑室内热舒适性是人们评判建筑环境的必要条件之一^[2],除了工业建筑对室内热舒适性的要求相对较差一些之外,民用居住建筑和公共办公建筑均对室内热舒适性有着较高的要求^[3]。每天 80% 以上时间要在室内度过的人员,对室内环境的要求也越来越高^[4]。一个良好的室内热舒适性能够让室内人员精神愉悦,有助于提高工作效率^[5],因此对改造后的历史建筑室内热舒适性的研究是十分必要的。张涛等^[6-7]给出了人与环境的热交换方式、人与环境的热平衡、热舒适环境的定义,通过过热或过冷环境对人体的影响以及服装的热工特性等方面的研究,得出影响建筑室内热舒适性的主要因素。由于对于既有历史建筑经过绿色改造后的室内人体热舒适性的相关研究较少^[8],笔者选取沈阳市第 124 中学 5 个典型的房间进行实地检测,分析既有历史建筑绿色改造后的室内人体热舒适性变化规律^[9],为既有历史建筑围护结构的改造和冬季供暖标准提供技术支持。

1 研究对象和测试方法

1.1 既有历史建筑改造前后状况

以原葵寻常小学旧址沈阳市 124 中学为研究对象,该建筑是沈阳市不可移动历史建筑^[10],沈阳市第 124 中学现状模型如图 1 所示。建筑类型为公共建筑,建筑功能为学校,占地面积为 3 826.9 m²,建筑面积为 6 831.7 m²,建筑高度为 12.03 m。

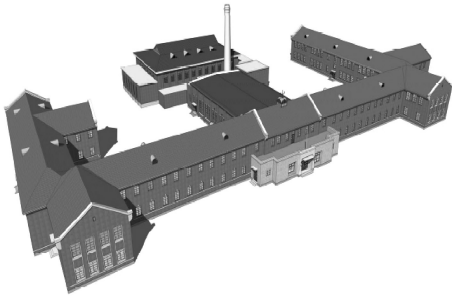


图 1 沈阳市第 124 中学现状模型图
Fig. 1 The model diagram of Shenyang No. 124 Middle School

沈阳市第 124 中学旧址建筑的砌体外墙和内墙、屋架、屋顶、门窗、台阶、楼梯和设备设施等构件的破损状况、病害情况,建筑受损状况如图 2 所示。①受潮。各部位外墙墙体均存在较为严重的受潮病害。一是雨水无组织排放导致的“尿墙”受潮,局部墙面发霉、灰缝脱落;二是墙体防潮措施失效后因墙根部位积水、积雪导致的下部受潮。一层内墙因防潮措施失效导致普遍受潮严重,墙面抹灰粉化、脱落。②开裂。墙体的非受力裂缝主要集中在混凝土预制檐口及墙体顶部,多为温度差和沉降造成的斜裂缝。③腐蚀。建筑大面积外墙墙面产生粉化、起皮、酥松和剥落,同时伴有大面积的灰缝砂浆老化脱落,砌块砖松动、移位和局部弹出状况。因墙体受潮、冻融循环加剧墙面的腐蚀病害,多处墙面发霉。④破损。主要因人为原因造成墙面空洞和破损,因腐蚀造成破损部位周边连带病害。其次为部分抹灰部位开裂、剥落,导致红砖外露。



图2 改造前状况

Fig. 2 The situation before renovation

由于沈阳市第124中学是沈阳市不可移动历史建筑,在对其进行节能改造时不能对建筑外观进行较大的改变,因此只能通过采用内保温等形式对教学楼主体和学校礼堂的围护结构进行修缮改造,甚至是结构加固。外窗方面,通过拆除并按照原始外窗各槅的分格、颜色更换为单框中空双玻断桥铝保温窗,为了提高窗户的气密性,采用聚氨酯发泡剂填充并用密封膏嵌缝做好保温构造处理,避免产生热桥,防止窗框周围产生结露现象,造成建筑的能耗损失。屋面方面,由于沈阳市第124中学建筑的屋面形式为坡屋面,所

以在对屋面节能改造时采用架空屋面隔热的方式。原有建筑屋面上设计有很多气孔,保留建筑坡屋顶上的进气口和出气口,对这些气孔进行修复,使其恢复原有功能。利用屋顶内外的热压差和迎风面的风压差,在屋架内形成空气对流,造成屋架内的自然通风,以减少有屋顶传入室内的辐射热量,从而达到隔热降温的目的,在屋面下设置一层木制屋架,在屋架上铺设岩棉板进一步改善屋面的保温隔热性能。沈阳市第124中学改造后现状如图3所示。



图3 改造后现状

Fig. 3 Current status after transformation

1.2 测量方法

室内人体热舒适性的评价是建筑改造效果必不可少的一部分,因此需要对室内人体热舒适性检测,评价沈阳市第 124 中学的改造效果。

为了精准和科学地评价沈阳市第 124 中学的改造后室内人体热舒适性的效果,选取不同楼层、不同朝向、不同使用功能的 5 个典

型房间进行测试,分别是 123 办公室、礼堂、206 教室、208 办公室和 225 电教室,具体位置如图 4 所示。测试时间为 2020-01-13 至 2020-01-15,在测试时室内人员均保证在静止的状态,根据实际情况设置室内人体衣服热阻为 $0.230(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$,检测时长为 20 min,检测频率为 30 次/min^[11]。

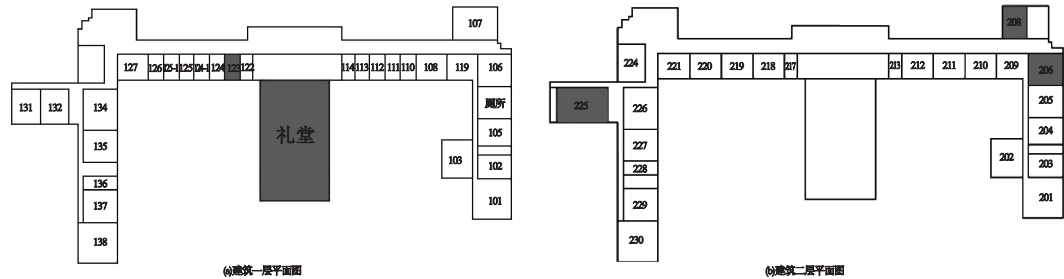


图 4 监测房间位置分布

Fig. 4 Testing room location distribution map

笔者测试采用 testo480 检测仪器和相对应的探头检测典型房间内预计平均热感觉指数(PMV)和预计不满意率(PPD)两项指标^[12]。检测设备主要包括: testo480 检测主机、球形探头直径 150 mm-K 型热电偶、舒适度探头、IAQ 室内空气质量探头等。

1.3 测试内容

测试的主要内容是影响建筑室内热舒适性因素:空气温度、平均辐射温度、气流速度、空气湿度、新陈代谢率和人员着装情况。其中空气温度、平均辐射温度、气流速度、空气湿度属于建筑室内物理客观因素^[13],主要与建筑围护结构的状况、冬季供暖效果、通风时间和频率相关^[14]。新陈代谢率和着装情况属于室内人体主观影响因素^[15],最终热舒适性的评测结果受这 6 因素的综合影响决定。PMV 与热感觉的关系如表 1 所示。

表 1 PMV 值与热感觉的关系

Table 1 Relationship between PMV value and thermal sensation

PMV	热感觉
3	热
2	暖
1	稍暖
0	适中
-1	稍凉
-2	凉
-3	冷

将检测的各项数据通过迭代计算出平均热感觉指数 PMV。

$$PMV = [0.303 \exp(-0.036M) + 0.0275] \times \{M - W - 3.05 \times 10^{-3} [5733 - 6.99(M - W - P_a)] - 0.42(M - W - 58.2) - 0.00173M(5867 - P_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_{cl} (t_{cl} - t_a)\} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} h_{cl} (t_{cl} - t_a)\} \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 |t_{cl} - t_a|^{0.25}, & 2.38 |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \sqrt{v_{ar}}; \\ 12.1 \sqrt{v_{ar}}, & 2.38 |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \sqrt{v_{ar}}. \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290 I_{cl}, & I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}; \\ 1.05 + 0.645 I_{cl}, & I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}. \end{cases} \quad (4)$$

式中: M 为代谢率, W/m^2 ; W 为有效机械功率, W/m^2 ; I_{cl} 为服装热阻, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$; f_{cl} 为服装表面积系数; t_a 为空气温度, $^{\circ}\text{C}$; \bar{t}_r 为平均辐射温度, $^{\circ}\text{C}$; v_{ar} 为相对风速, m/s ; P_a 为水蒸气分压, Pa ; h_c 为对流换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; t_{cl} 为服装表面温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

当 PMV 值确定后,计算出预测不满意率 PPD。

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353 PMV^4 +$$

0.217 9 PMV^2)]。(5) 果如表3所示。

2 结果与分析

通过采用 testo480 在沈阳市第 124 中学选取的 5 个典型房间进行实地测试。测试系统计算得出 5 个检测房间的 PMV 与 PPD 检测结果(见图 5)。测量 5 个房间基本信息如表 2 所示。各房间内的学生和老师均静坐状态,衣着服装为冬季一般服装,衣服热阻为 $0.230\text{ (m}^2\cdot\text{K)}/\text{W}$,通过各个房间的测量基本信息数据,运用 PMV 和 PPD 的迭代计算式(1)~式(5)得出各个房间的 PMV 和 PPD 的具体结

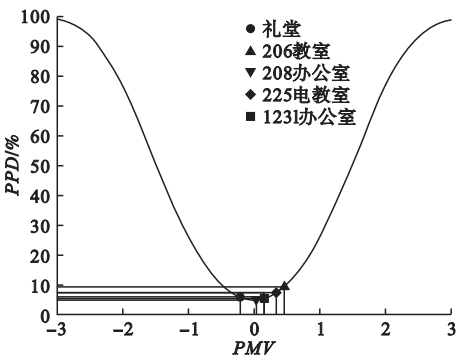


图5 典型房间检测 PMV - PPD 结果
Fig. 5 PMV - PPD of typical room

表2 5个典型房间的测量基本信息
Table 2 Physical parameters in 5 typical rooms

房间	面积/ m^2	人员/人	空气温度/ $^{\circ}\text{C}$	辐射温度/ $^{\circ}\text{C}$	空气相对湿度/%	室内风速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
123 办公室	34.78	3	20.6	20.0	30.4	0.06
礼堂	678.05	120	19.1	17.8	42.3	0.06
206 教室	71.44	40	22.6	22.4	26.2	0.06
208 办公室	56.64	12	20.2	20.8	27.9	0.05
225 电教室	192.78	50	22.0	22.3	18.3	0.06

表3 不同教室 PMV - PPD
Table 3 PMV - PPD of different classrooms

房间	$PPD/\%$	PMV
123 办公室	5.5	0.16
礼堂	6.1	-0.23
206 教室	8.9	0.43
208 办公室	5.1	0.06
225 电教室	7.0	0.31

根据《热环境的人类工效学 通过计算 PMV 和 PPD 指数与局部热舒适准则对热舒适进行分析测定与解释》(GBT_18049—2017)中规定:学校等公共机构的 PMV 值处于 -1 和 $+1$ 为正常范围,根据检测结果,第 124 中学 5 个检测房间的室内人员热感觉处于人体热舒适度正常范围,符合国家标准的要求。保障了室内师生的正常要求和舒适度。

3 结 论

(1)礼堂的 PMV 值为 -0.23 ,相对其他房间的 PMV 值最小,但仍处在国家标准规定的 -1 至 $+1$ 正常范围内,人体热感觉适中,基本上满足礼堂内人员对热舒适性的要求。
(2)206 教室的 PMV 值为 0.43 ,相对其他房间的 PMV 值最大,室内人体预计不满意率最高,原因是室内温度较高,应当适当开启门窗,在保证室内温度在正常范围内的前提下,增加室内通风。
(3)通过对 5 个典型房间的检测结果,进一步验证了沈阳市第 124 中学建筑配套的围护结构改造方案的正确性和科学性,实现对历史建筑的绿色改造,保障了室内师生的热舒适性要求,使历史建筑重新焕发生机,满足了绿色建筑的要求。

参考文献

- [1] 王清勤,唐曹明.既有建筑改造技术指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2012.
(WANG Qingqin,TANG Caoming. Technical guidelines for reconstruction of existing buildings [M]. Beijing: China Construction Industry Press,2012.)
- [2] 陈宇青.结合气候的设计思路:生物气候建筑设计方法研究[D].武汉:华中科技大学2005.
(CHEN Yuqing. Design ideas combining climate: research on bioclimatic building design method [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology 2005.)
- [3] 邸小坛,陶里.既有建筑评定改造技术指南[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
(DI Xiaotan,TAO Li. Technical guidelines for evaluation and renovation of existing buildings [M]. Beijing: China Construction Industry Press,2011.)
- [4] 薛航.关于推进既有建筑节能改造的建议[J].资源节约与环保,2018,203(10):118.
(XUE Hang. Suggestions on promoting energy-saving renovation of existing buildings [J]. Resource conservation and environmental protection,2018,203(10):118.)
- [5] 刘晶.夏热冬冷地区自然通风建筑室内热环境与人体热舒适的研究[D].重庆:重庆大学,2007.
(LIU Jing. Research on indoor thermal environment and thermal comfort of human body in naturally ventilated buildings in hot summer and cold winter area [D]. Chongqing: Chongqing University,2007.)
- [6] 张涛.国内典型传统民居外围护结构的气候适应性研究[D].西安:西安建筑科技大学,2013.
(ZHANG Tao. Research on the climate adaptability of the envelope structure of typical traditional houses in China [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology,2013.)
- [7] 于惠泳.大庆市建筑能耗测试及节能研究[D].大庆:大庆石油学院,2008.
(YU Huiyong. Building energy consumption test and energy saving research in Daqing city [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute,2008.)
- [8] 李炙毫.豫北地区既有办公建筑绿色化改造研究[D].郑州:郑州大学,2018.
(LI Zhibo. Research on the green transformation of existing office buildings in northern Henan [D]. Zhengzhou: Zhengzhou University,2018.)
- [9] 王岳人,段冠囡,于靓.沈阳地区高校宿舍供暖前后人体热舒适实地调查与分析[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版),2020,36(1):172-178.
(WANG Yueren,DUAN Guannan,YU Liang. Investigation and analysis of human thermal comfort during heating and non-heating periods in university dormitories in Shenyang area [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science),2020,36(1):172-178.)
- [10] 彭晓烈,郝梦桐,于恩海.近代沈阳砖混结构历史建筑现状综合评估研究:以葵寻常小学旧址评估为例[J].沈阳建筑大学学报(社会科学版),2020,22(2):109-114.
(PENG Xiaolie,HAO Mengtong,YU Enhai. Comprehensive assessment of existing condition of modern brick-concrete structure historic building in Shenyang: taking an assessment of the old site of kwai ordinary primary school as an example [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (social science),2020,22(2):109-114.)
- [11] 刘参昌.沈阳既有建筑改造成效显著[J].建筑节能,2014(1):58.
(LIU Shenchang. Renovation of existing buildings in Shenyang has achieved remarkable results [J]. Building energy efficiency,2014(1):58.)
- [12] 张敬宇,张淑贞.既有建筑节能改造案例研究[J].甘肃科学学报,2018,30(5):129-136.
(ZHANG Jingyu,ZHANG Shuzhen. Research on cases of existing buildings energy saving reconstructions [J]. Journal of Gansu sciences,2018,30(5):129-136.)
- [13] 李博.既有历史风貌办公建筑围护结构的节能改造[D].天津:天津大学,2008.
(LI Bo. Energy-saving renovation of the envelope structure of an existing historic office building [D]. Tianjin: Tianjin University,2008.)
- [14] 王自耕.基于能耗与热环境的严寒地区办公建筑腔体设计研究[D].沈阳:沈阳建筑大学,2019.
(WANG Zigeng. Research on cavity design of office buildings in severe cold areas based on energy consumption and thermal environment [D]. Shenyang: Shenyang Jianzhu University,2019.)
- [15] 周红亚.住宅类绿色建筑适宜技术应用研究:以苏州地区为例[D].苏州:苏州科技大学,2018.
(ZHOU Hongya. Research on the application of suitable technologies for residential green buildings: taking Suzhou as an example [D]. Suzhou: Suzhou University of Science and Technology,2018.)

(责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)