
Research on Indoor Thermal Environment Testing of Coach Station Buildings in Xi'an Area

Li Xueping, Qin Luo, Li Jingjing

College of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, China

Email address:

1142550891@qq.com (Li Xueping), ql15829474860@163.com (Qin Luo), 208805484@qq.com (Li Jingjing)

To cite this article:

Li Xueping, Qin Luo, Li Jingjing. Research on Indoor Thermal Environment Testing of Coach Station Buildings in Xi'an Area. *Science Discovery*. Vol. 11, No. 2, 2023, pp. 61-67. doi: 10.11648/j.sd.20231102.16

Received: March 9, 2023; **Accepted:** April 13, 2023; **Published:** April 23, 2023

Abstract: In order to study the current situation of the indoor thermal environment of the coach station in Xi'an, Xi'an Chengxi Coach Station was selected as the research object, and the indoor and outdoor air temperature and relative humidity of the coach station in winter and summer were tested on-site and questionnaires were distributed, based on the cumulative frequency evaluation and The PMV-PPD thermal evaluation system was analyzed. The results show that some passengers have poor comfort in the waiting room of the coach station; the average temperature of the indoor waiting area in winter is 16.1°C, and the average relative humidity is 31.3%. The PPD is 39.13%; the average temperature of the indoor waiting area in summer is 28.3°C, the average humidity is 60.7%, the average value of summer PMV is 0.90, and the predicted unsatisfactory percentage PPD is 23.83%; The overall poor indoor thermal environment in winter and summer needs to be improved. The quality of the indoor thermal environment can be improved by adding an insulation layer to the outer envelope of the passenger station building and replacing the glass material of the outer window. The research results can improve the quality of the highway passenger station in Xi'an Building indoor thermal environment provides a reference.

Keywords: Coach Station, Indoor Thermal Environment, PMV-PPD Thermal Evaluation

西安地区公路客运站建筑室内热环境测试研究

李雪平, 秦洛, 李京京

西安科技大学建筑与土木工程学院, 西安, 中国

邮箱

1142550891@qq.com (李雪平), ql15829474860@163.com (秦洛), 208805484@qq.com (李京京)

摘要: 为研究西安地区公路客运站室内热环境现状, 选取西安市城西公路客运站作为研究对象, 通过对客运站冬夏两季室内外空气温度、相对湿度进行现场测试及发放调查问卷, 依据累积频率评价和PMV-PPD热评价体系进行分析。结果表明: 有部分旅客在客运站候车室舒适度感受较差; 冬季室内候车区域平均温度为16.1°C, 平均相对湿度为31.3%, 预测热感觉投票PMV的均值为-1.23, 预测不满意百分比PPD达39.13%; 夏季室内候车区域平均温度为28.3°C, 平均湿度为60.7%, 夏季PMV的均值为0.90, 预测不满意百分比PPD为23.83%; 冬夏两季室内热环境整体较差需要改善, 可通过在客运站建筑外围护结构加设保温层、更换外窗玻璃材料等方式提升室内热环境品质, 研究结果可为提升西安地区公路客运站建筑室内热环境提供参考。

关键词: 公路客运站, 室内热环境, PMV-PPD热评价

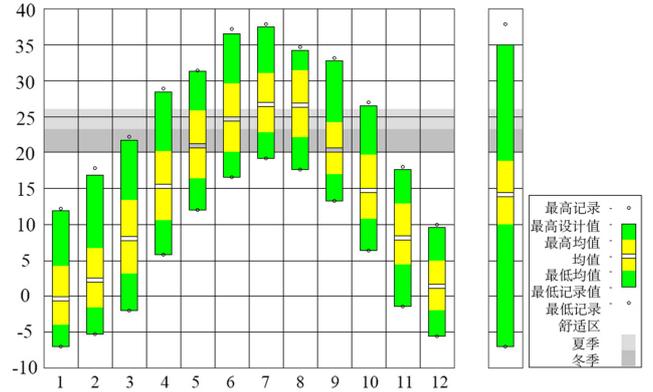
1. 引言

近年来，公共建筑的面积迅速增长，大体量公共建筑占比不断增加[1]，尤其是客运交通类建筑，在服务城市居民的同时，其室内热环境问题也备受关注[2]。徐子龙[3]通过对西安火车站夏季室内外热环境进行实测发现室内温度偏高，并提出改变回风口位置方案以提升室内热环境。王智鹏[4]通过对西安北客站候车厅进行热环境测试，使用Airpak模拟分析不同气流组织形式对室内热环境的影响，提出增加顶部诱导射流可候车区温度分布更加均匀。刘赛可[5]对桂林火车站进行夏季室内热环境实测，结合DesignBuilder软件模拟分析，提出可通过变动空调系统送风口的方案有效改善室内环境。蒋婧等人[6]耦合出冬季供暖时室内PMV值、PPD值的模型公式，可计算出最舒适的室内环境参数。孔德慧[7]对严寒和寒冷地区公路客运站进行夏季室内热环境测试，分析数据后得到旅客可接受温度范围。Yang[8]等人通过对哈尔滨地铁站站内进行热环境测试分析，结合乘客在地铁站内身体热量变化，提出站内各区域最低舒适温度。Liu[9]等人通过对寒冷地区高铁站室内热环境现场测试和问卷调查相结合的方法，分析得出旅客的中性温度，以及旅客可接受温度范围。Jia[10]等人对旅客从出发和到达进行实地模拟，发现旅客对室内热环境的适应能力优于PMV-PPD预测结果。武峰[11]等人通过对西安市商业建筑冬季室内热环境进行测试发现，室内温度偏高且空气流速偏小，室内人们的热感受与性别、职业以及所在楼层有关。以上学者对各类交通建筑的室内热环境进行了详细研究，其中针对公路客运站室内热环境的研究很少。根据建筑热工设计规范，西安地区属于寒冷B区，四季分明，空调期为六月至九月，供暖期为十一月至次年三月。该地区公路客运站建筑年代整体较晚，对建筑节能方面考虑较少，其围护结构热工性能已不满足现行公共建筑节能设计标准要求，虽在后续运营过程中对围护结构及空调系统进行过改造，但仍存在单位面积能耗较高、室内热环境舒适度低以及空调、照明设备能效较低等问题。

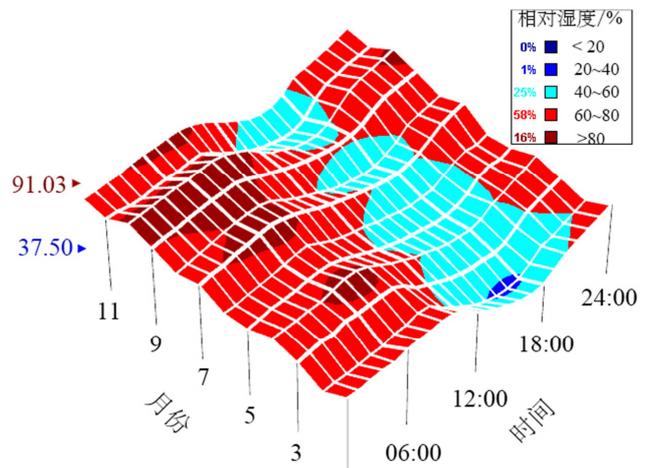
本文对具有代表性的城西客运站的室内热环境进行分析研究，在冬夏两季最冷最热月份进行室内外空气温度、湿度测试，并采用PMV-PPD热评价体系进行分析，提出改善室内热环境的措施，为该地区公路客运交通建筑节能优化做参考作用。

2. 测试区域气候环境

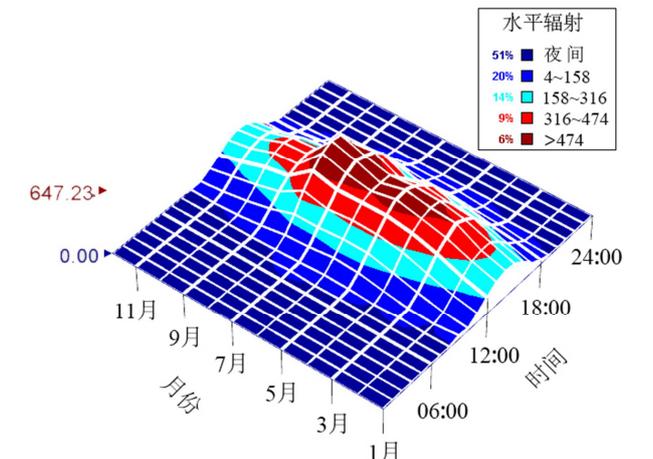
西安地区位于关中平原中部，秦岭以北，渭河以南。该地区气候特点是夏季炎热多雨，冬季寒冷干燥。Climate Consultant软件获取的数据显示，西安地区年平均气温在13.0℃到13.7℃之间，年降水量在522.4mm到719.5mm之间，其中7月至10月的降水量最多。此外，该地区空气相对湿度均高于70%，全年约有70%的时间湿度处于人体湿度舒适区间规定的40%到70%之间。全年日照时长约为1500小时左右，5月至8月太阳辐射量较大，其中8月份太阳辐射达到峰值647.23W/m²。



(a) 温度范围



(b) 湿度范围



(c) 总辐射范围

图1 西安市全年气象数据图。

3. 测试方案

3.1. 测试对象

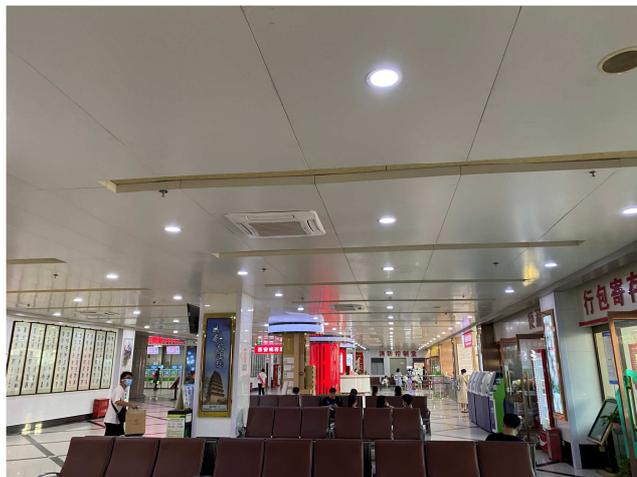
本文选取西安市城西公路客运站进行室内热环境测试分析，如图2所示。城西客运站建成时间为2005年，一

共6层，一层为包括售票厅和候车区域在内的综合大厅，2层为旅客出站步行长廊，3~6层为酒店客房和办公用房，建筑高度为25m，其中售票大厅高度为9m。建筑冷热源设备均为多联式空调机组，部分办公用房使用分体式空调，客运站能耗类型只有电力消耗、水资源消耗两方面。

建筑结构形式为框架结构，售票大厅南面采用玻璃幕墙结构，其售票厅上方结构呈网格状，留出的方形空隙上方装有锥形半透明钢化玻璃，可使自然光线柔和透过玻璃射入售票大厅。建筑外墙未加保温层，外窗采用单层塑钢窗，部分外窗已随时间老化破损。



(a) 城西客运站外观



(b) 城西客运站内部候车区域

图2 西安城西客运站实际图。

3.2. 测试点布置以及测试方案

测试时间为2022年2月13日至2月14日和2022年7月23日至7月24日，对候车区域、售票厅、建筑室外的温湿度进行测试。测试仪器为testo175H1温湿度测试记录仪，共4台，温度测试范围为-20°C~+55°C，测量精度为±0.4°C，

选取客运站运营时间进行测试，测量时间间隔为30min。如图3所示，共设置4处测点，分别为室外测点A、售票厅测点B、东、西两侧候车区域测点C、D，室内测试仪器放置高度为距地面0.8m的候车旅客休息水平面上，室外放置在避免阳光直射，距地面1.5m处。

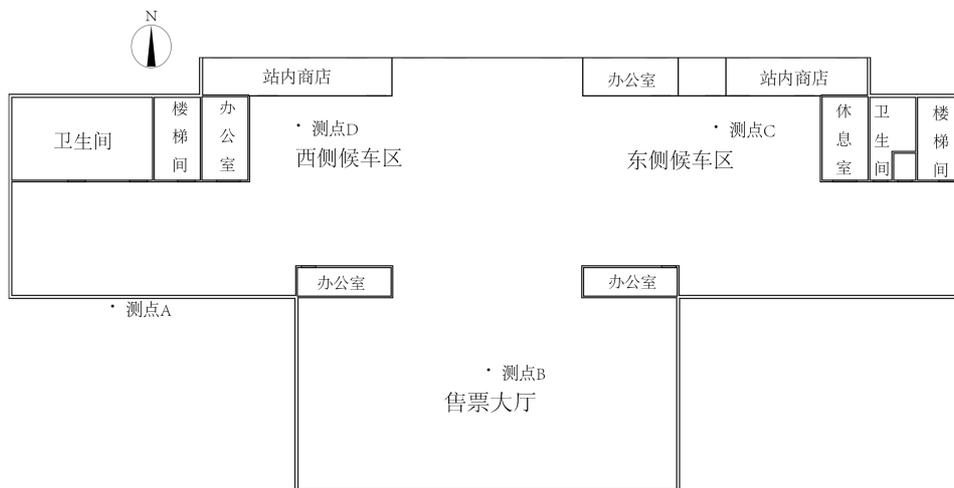


图3 客运站一层平面图及测点位置。

4. 测试结果分析

4.1. 冬季温湿度分析

冬季室内外温度测试结果如图4，测试时间为8:00至19:00，最高值为16:30时的7.2°C，最低值为8:00时的1.7°C，

平均值为4.44°C，波动幅度不大。售票厅空气温度最高值为19.4°C，最低值为13.3°C，平均值为17.3°C，波幅为6.1°C；东侧候车区域空气温度最高值为14.8°C，最低值为11.2°C，平均值为13.1°C，波幅为3.6°C；西侧候车区域空气温度最高值为21.2°C，最低值为15.1°C，平均值为19.2°C。东侧候车区域由于商户在客运站内外皆有出入口且未设置门帘，导致室内与外界空气流动频繁，增加无组织通风量，

使得室内温度低于《室内空气质量标准》(GB/T18883-2002) [12]所要求的16°C~24°C。

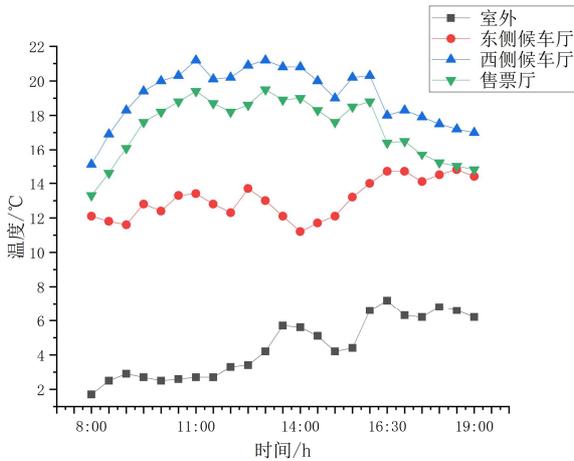


图4 冬季室内外温湿度变化图。

冬季空气相对湿度结果如图5，室外相对空气湿度平均值为59.4%，室内售票厅相对湿度为31.5%，东侧候车区域相对湿度为37.1%，西侧候车区域相对湿度为25.5%，空气相对湿度稍低于标准的30%~60%的范围。室外空气温度较低，而空气相对湿度较室内高。冬季采暖情况下室内空气相对湿度应保持在30%~60%，而室内空气由于长时间供暖的影响，室内通风不畅，相对湿度整体较低，并不符合标准规定，人体热舒适度较低。

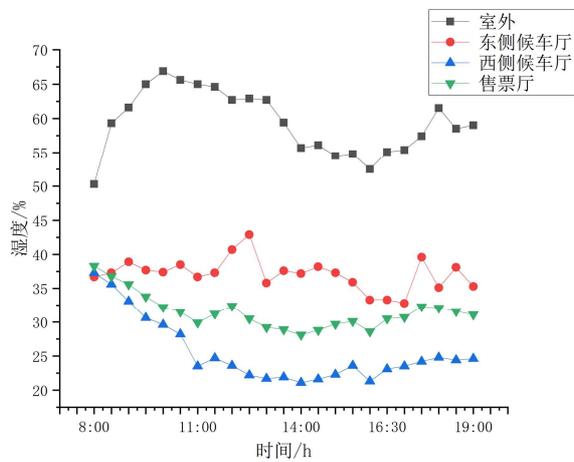


图5 冬季室内外空气相对湿度变化图。

4.2. 夏季温湿度分析

夏季室内外空气温湿度测试结果如图6，测试时间为8:00至19:30。夏季建筑室外平均温度为32.3°C，售票厅平均温度为27.7°C，最高和最低温度为29°C和24.7°C，东西两侧候车区域平均温度为28.3°C和27°C，最高温度分别为29.1°C和27.9°C，最低温度分别为26.3°C和25.5°C，温度稍低于售票厅。虽然平均温度在规定范围22°C~28°C之间，但午后升温导致候车区域及售票厅温度高于28°C，由于候车区域靠近室外，室外热量可通过检票口及商店通道进入，

温度会随室外变化而有所波动，因此这段时间旅客会感受稍热。

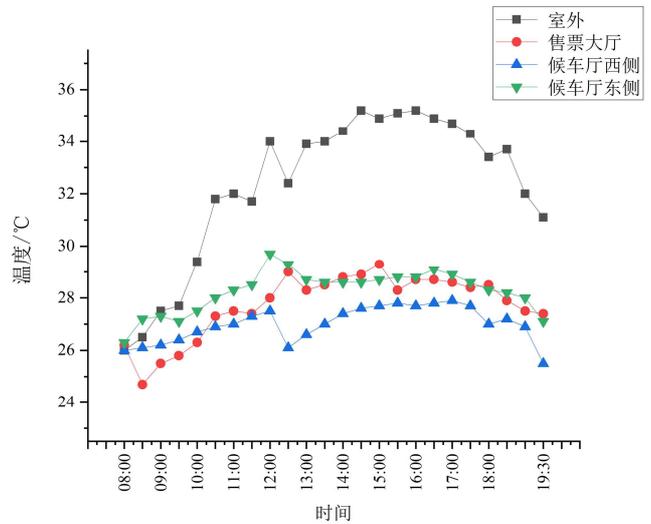


图6 夏季室内外温湿度变化图。

夏季室外空气相对湿度平均值为50.4%，售票厅、东西两侧候车区域相对湿度平均值为60.5%、63.0%和58.4%。测试日相对湿度变化幅度不大，基本保持在10%以内，湿度适宜。

4.3. 问卷调查

通过对候车区域候车旅客进行夏季建筑室内热环境感受问卷调查，了解其对候车区域室内热环境的直观感受。问卷调查包括两方面内容，第一部分为受访旅客年龄、穿着、候车时间等基本信息；第二部分为候车旅客对于客运站室内温湿度、采光程度等方面的感受。问卷共发放212，其中有效问卷共208份，调查结果如表1~表4。

受调查旅客的基本情况如图7，受访旅客大多为16~35岁，其中年龄为20~30岁的旅客群体占比最大，男性旅客共134人，占总体的64.42%。旅客目的地大多为省内某地，出行原因主要是回家或出差。男性旅客着装为短袖+短裤/长裤，女性着装为短袖/长袖+长裤/长裙/短裤，因此服装热阻取值0.50clo。

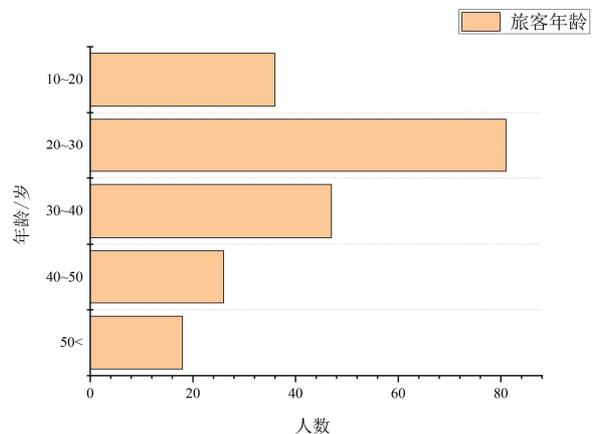


图7 受访旅客各个年龄分布图。

表1 受访旅客候车时间分布调查表。

候车时间	30分钟以内	30-60分钟	1~2小时	2~3小时	3小时以上
人数	38	67	74	22	7
所占比例	18.27%	32.21%	35.58%	10.58%	3.37%

表2 受访旅客温度感受调查表。

冷热感受	凉	稍凉	舒适	稍热
人数	17	22	129	40
所占比例	8.17%	10.57%	62.02%	19.23%

表3 受访旅客空气湿度感受调查表。

干湿感受	较为潮湿	轻微潮湿	湿度适中	轻微干燥	较为干燥
人数	4	19	169	14	2
所占比例	1.92%	9.13%	81.25%	6.73%	0.96%

表4 受访旅客风速感受调查表。

风速感受	无吹风感觉	有轻微吹风感	有明显吹风感
人数	54	139	15
所占比例	25.96%	66.83%	7.21%

从表1中可以看出，大部分旅客候车时间在30分钟至2小时以内，如部分车站旁有火车站、地铁站等还会延长旅客等待时间；由表2可知，感觉候车区域较为舒适的乘客占62.02%，有10.57%的旅客感觉候车区域室内环境较凉，19.23%的旅客认为候车区域有点热，由于部分客运站空调冷风量较大，乘客从室外刚进入候车区域时感受不明显，但当久坐后，经过一段时间热量散失就会感到微冷；由表3可知，有81.25%的旅客感觉候车区域湿度适中，11.05%的旅客觉得有点潮湿，由于西安地区夏季多雨，雨水受热蒸发使空气中水蒸气含量增加，导致候车区域空气湿度增加；由表4可知，有66.83%的旅客舒适并且有吹风感，7.21%的旅客感觉有明显的吹风感，而有25.96%的旅客感受不到吹风，候车区域除检票乘车出口以外整体风速较低，只有0.1m/s~0.2m/s，因此能感受到微风但不明显。

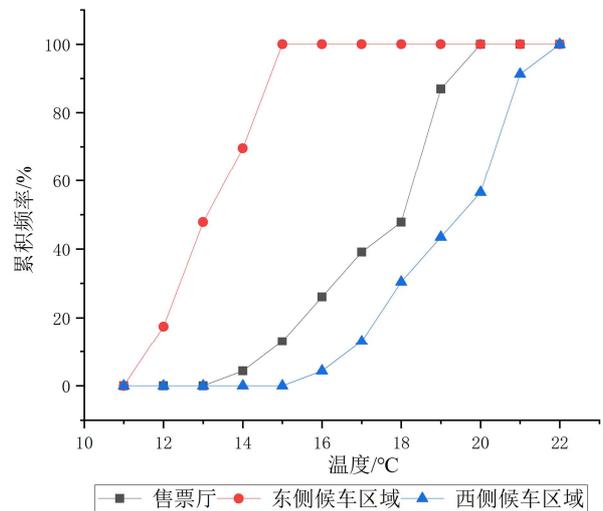


图8 冬季温度累积频数。

5. 室内热舒适评价

5.1. 累积频率评价

采用温度累积频率[13]指标对建筑室内温度的频率进行评价，即测量的候车区域和售票厅区域的空气温度在冬季大于等于设定温度的时数占总时数的比值，在夏季小于等于设定温度的时数占总时数的比值。

根据《室内空气质量》（GB/T 18883-2002）中所规定的室内空气温度值，设定冬季温度16°C~24°C，夏季温度22°C~28°C，该民居的功能房间的温度累积频率如图8和图9所示。

候车区域为旅客最多也是旅客所待时间最长的区域，经统计分析，在冬季，西侧候车区域有95.65%的时间高于16°C，而东侧候车区域全天温度均低于16°C，温度分布在13°C~15°C之间的时间占83%；售票厅有26%的时间低于16°C。在夏季，西侧候车区域全天温度均低于28°C，东侧候车区域只有33%的时间低于28°C，大部分温度分布在28°C~30°C之间，售票厅有50%的时间高于28°C。

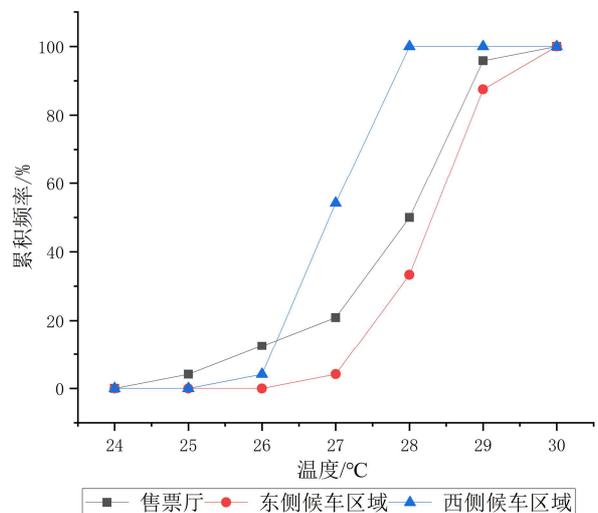


图9 夏季温度累积频数。

5.2. 热环境PMV-PPD评价

本节选取旅客所待时间最长的候车大厅进行室内热环境分析，使用国际标准化组织ISO7730标准作为评价标准，取室内风速为0.1m/s，通过调研结果取旅客的冬季服装热阻为1.5clo，夏季服装热阻取0.5clo，考虑到候车旅客为静坐状态，取人体新陈代谢率为1.0met，根据测试所得到的室内热环境数据计算预测平均热感觉指数PMV和预测不满意百分比PPD，通过PMV值计算工具得到冬夏两季同一时刻下的PMV和PPD值，如图10所示。

结果显示，冬季预测平均热感觉指数PMV值在-1.75~0.75之间，均值为-1.23；预测不满意百分比PPD值

在30%~70%之间，均值为39.13%。根据《民用建筑室内湿热环境评价标准》(GB/T 50785-2012) [14]，冬季室内环境达到III级整体评价标准，即室内热舒适度差，超过半数的候车旅客感受较冷。夏季预测平均热感觉指数PMV值在0.4~1.3之间，均值为0.90；预测不满意百分比PPD值在5%~35%之间，平均值为23.83%。夏季室内PMV值稍高，达到II级整体评价标准，即75%以上的旅客感受舒适，但在下午13:00至17:00部分时刻PMV值偏高，室内稍热。

评价依据ISO7730标准推荐PMV值在-0.5~0.5范围内，PPD≤10%以内，结合计算结果，冬夏两季客运站室内热环境均不满足，都需要改善。

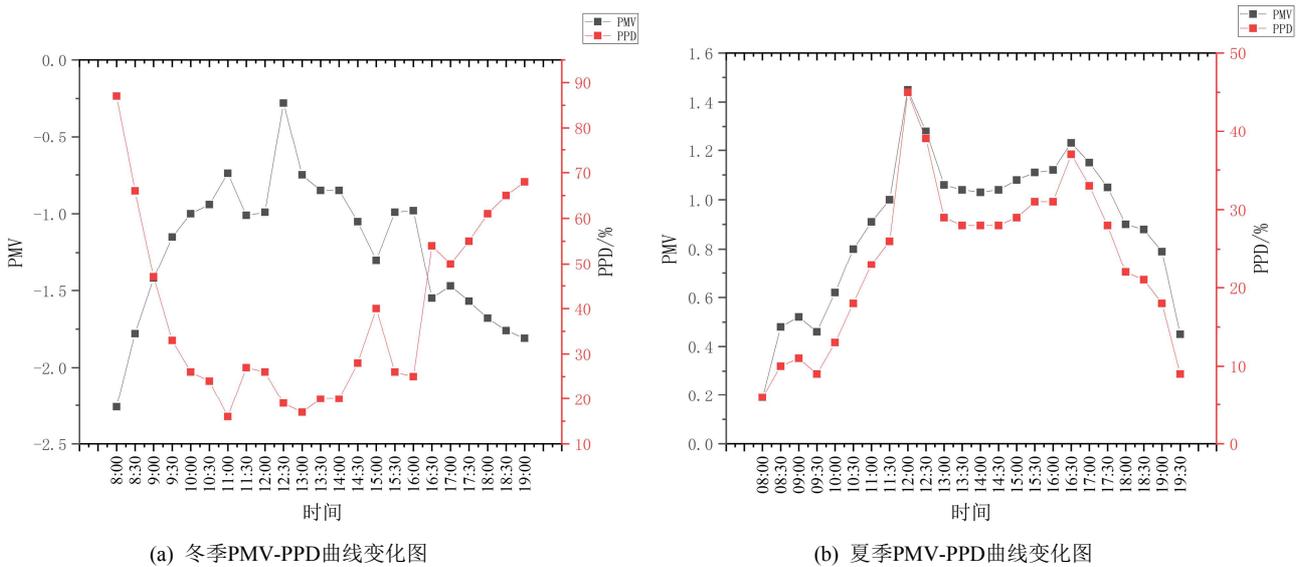


图 10 PMV-PPD 曲线图。

6. 优化方案

依据上文分析，可以提出以下几种优化方案，具体如下：

- (1) 分析测试结果发现，客运站室内温度不满足要求，可通过对外墙、屋面等围护结构增加隔热保温材料。对于老化损坏外窗，更换整个外窗；对于窗框保存完好，而玻璃导热系数大的外窗，可以贴低辐射膜或更换低辐射玻璃，以减少热量的散失。
- (2) 对于无组织侵入风量的影响导致建筑能耗增大，室内温度随室外温度波动，可在检票口和商店外侧出口设置电动门[15]，从而降低空调和采暖季的热冷负荷。

7. 结论

本文通过对西安地区公路客运站室内热环境进行空气温度、相对湿度现场实测以及调查问卷，使用PMV-PPD

热评价体系理论对客运站室内热环境进行分析，提出有效改善室内热环境的办法，并得出以下结论：

- (1) 冬季室内候车区域平均温度为16.1℃，最低温度为11.2℃；夏季室内候车区域平均温度为28.3℃，最高温度达29.1℃。室内空气温度均值已达标准规定范围边界值，部分时刻温度远达不到标准要求。
- (2) 依据PMV-PPD热评价体系进行分析，冬季客运站室内预测热感觉投票PMV均值为-1.23，预测不满意率PPD均值为39.13%，夏季预测热感觉投票PMV均值为0.90，预测不满意率PPD均值为23.83%，室内热舒适度有待提高。
- (3) 通过在外墙外侧增加保温层，更换外窗玻璃材料，同时在检票口及站内商店出入口设置电动门，可有效减少室内外热交换。

致谢

本文为陕西省社会科学基金项目《绿色低碳视角下陕西农村住宅生态优化设计研究》(编号：2022J052)。

参考文献

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告2022 (公共建筑专题) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.
- [2] 彭芑, 房杰, 张建新, 曾路. 严寒地区公共建筑室内热环境与热舒适研究进展 [J]. 建筑热能通风空调, 2022, 41 (04): 48-52.
- [3] 徐子龙. 西安火车站候车厅夏季热环境研究 [D]. 西安工程大学, 2015.
- [4] 王智鹏. 西安北客站候车厅热环境分析及空调节能研究 [D]. 西安工程大学, 2016.
- [5] 刘赛可. 夏热冬冷地区火车站候车室夏季热环境与节能研究 [D]. 桂林电子科技大学, 2019.
- [6] 蒋婧, 牛淑佳, 狄育慧, 等. 西安高校教学建筑冬季室内热环境研究 [J]. 西安工程大学学报, 2020, 34 (6): 20-26.
- [7] 孔德慧. 严寒和寒冷地区公路客运站建筑能耗调研与模拟研究 [D]. 天津大学, 2018.
- [8] Yang B, Yang C, Ni L, et al. Investigation on thermal environment of subway stations in severe cold region of China: A case study in Harbin [J]. Building and Environment, 2022, 212: 108761.
- [9] Liu G, Cen C, Zhang Q, et al. Field study on thermal comfort of passenger at high-speed railway station in transition season [J]. Building and Environment, 2016, 108: 220-229.
- [10] Jia X, Cao B, Zhu Y, et al. Field studies on thermal comfort of passengers in airport terminals and high-speed railway stations in summer [J]. Building and Environment, 2021, 206: 108319.
- [11] 武峰, 李梦, 高斯如, 赵胜凯, 杨柳, 翟永超. 西安地区大型商场冬季室内热环境与热舒适研究 [J/OL]. 暖通空调: 1-12 [2023-03-28]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2832.TU.20230312.2036.008.html>.
- [12] 《室内空气质量标准》GB/T18883-2002 [M]. 北京: 环境保护总局, 2002.
- [13] 宋平, 唐鸣放, 郑开丽. 重庆农村住宅热环境实测与评价 [J]. 建筑科学, 2015, 31 (06): 118-123.
- [14] 《民用建筑室内湿热环境评价标准》GB/T 50785-2012 [M]. 住房和城乡建设部, 2012.
- [15] 杨德润, 张旭, 周翔. 客站无组织通风量计算及其对空调负荷的影响 [J]. 建筑节能, 2012 (12): 1-6.