

青海地区清真寺大殿冬季室内热环境改善研究

赵西平, 陈其龙, 马媛

(西安建筑科技大学建筑学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 为研究青海地区清真寺大殿冬季室内的热环境状况, 选取青海省西宁市南关清真寺作为研究对象, 对其室内外空气温度、湿度和风速等参数进行现场测试, 并在人体热舒适方面对参与礼拜的穆斯林进行问卷调查; 根据现场测试和问卷调查结果, 采用室内温度和热感觉投票值的方法对室内热舒适状况进行评价; 最后, 针对清真寺大殿室内热环境的问题, 从围护结构、门窗节能、供暖方式等角度出发提出相应的技术措施对清真寺大殿室内热环境进行改善, 尽量做到既满足穆斯林热舒适需求, 又能减少建筑运行期间的能源消耗, 达到节约能源的目的. 为建造可持续型、舒适型的清真寺建筑提供设计参考.

关键词: 青海; 清真寺大殿; 热环境测试; 评价; 改善措施

中图分类号: TU111

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)01-0092-07

Study on improvement of indoor thermal environment during winter in the mosque hall in Qinghai

ZHAO Xiping, CHEN Qilong, MA Yuan

(School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: In order to study the indoor thermal environment of mosque hall in Qinghai China, Nanguan mosque in Xining of Qinghai is selected as the research subject, and a field test is carried out to test the indoor and outdoor air temperature and relative humidity and wind speed, and a questionnaire is made to survey Muslim who participate in worship on thermal comfort of human body. According to the results of the field test and questionnaire, the method of indoor temperature and thermal sensation vote of occupants are used to evaluate the indoor thermal comfort conditions. On these bases, and aiming at the problem of the indoor thermal environment of mosque hall, technical measures, from the aspects of building envelope, window-to-door energy-saving and heating methods, are put forward for the improvement of indoor thermal environment in the mosque hall. Under these circumstances, best is done to satisfy the thermal comfort requirements of the Muslim while reducing the building energy consumption during the operation and achieving the goal of saving energy. The conclusion of this paper provides designing reference for creating a sustainable and comfortable type of mosque.

Key words: Qinghai; mosque hall; thermal environment test; evaluate; improvement measures

青海地处中国西部, 雄踞世界屋脊青藏高原的东北部, 属于高原大陆性气候, 具有海拔高、气温低、昼夜温差大、降雨少而集中、日照时间长, 太阳辐射强等特点. 冬季漫长而严寒, 夏季短促而凉爽. 按照《民用建筑热工设计规范》GB 50176—93 规定, 青海属于严寒地区, 根据 2015 年青海省气象公布的数据显示, 2015 年冬季全省平均气温在 $-16.3 \sim -1.3$ °C 之间, 因此青海地区冬季室内必须设置采暖设施.

在这样的气候条件下, 为进一步研究清真寺大殿冬季室内热环境对人体热舒适的影响, 本文选取了青海省西宁市南关清真寺在冬季进行现场

测试, 重点测试了使用人数最多的清真寺大殿空间, 并对参加礼拜的人员进行问卷调查, 做出相应的分析与评价, 为改善清真寺大殿室内热环境提供依据, 为青海地区新建清真寺提供设计参考.

1 冬季大殿室内热环境实测及分析

1.1 测试对象

测试对象是位于青海省西宁市的南关清真寺, 调研的清真寺建筑是特殊用途的公共建筑, 由于伊斯兰教规定穆斯林礼拜必须朝向麦加克尔白(沙特阿拉伯麦加城禁寺中央的立方体高大石殿, 为世界穆斯林做礼拜时的正向, 又称“天房”), 麦加

在中国的西方, 故中国的清真寺礼拜大殿的圣龛方向为西向, 调研对象整体坐西朝东。

南关清真寺的结构形式为框架剪力墙结构。清真寺主体建筑南北长 43.6 m, 东西宽 33.1 m, 建筑高度 20.4 m, 大殿同时可容纳 3 000 余人礼拜, 测试的礼拜大殿是当地社区穆斯林使用最为频繁的场。由于冬季调研期间清真寺只有一层开放供暖设施, 二层三层均不开放, 因此测试地点为大殿一层室内空间和室外空间, 在室内放置了三个温湿度自动记录仪, 并且在大殿标记了 8 个位置, 在礼拜时间段内手动记录空气温度、湿度以及空气流速; 在室外背光处放置一个温湿度记录仪, 具体放置位置如图 1 所示。

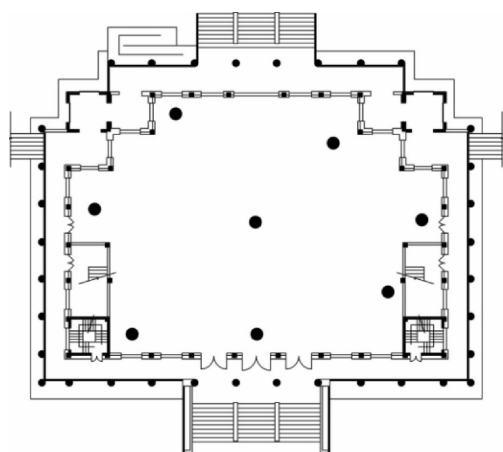


图 1 青海西宁市南关清真寺测试点布置

Fig. 1 Test point arrangement in Nanguan mosque in Xining of Qinghai

清真寺建筑的围护结构采用加气混凝土砌块, 外墙干挂 30 mm 厚白色毛面花岗岩石板, 厚重的围护结构以隔绝冬季不利的自然条件, 有效起到隔热保温的作用。屋面采用了保温防水措施, 具有长期稳定的保温隔热性能与抗压强度。屋面及围护结构的设计反映了设计者的初衷是为了能让建筑适应当地冬季寒冷的气候。

1.2 测试对象

具体测试时间为 2015 年 1 月 24 日。测试时一层大殿通向二层的大门全部关闭, 一层窗户均不开启, 只有东面入口大门开启(仅靠门帘遮挡), 其余入口全部关闭。测试内容包括: 大殿室内温湿度、室外温湿度和空气流速。测试仪器与方法: 室内温湿度由热力指数计人工记录, 测试时间集中在大殿礼拜时间。同时, 室内室外都放置了自动温湿度记录仪, 由仪器逐时记录室内外的温度和湿度的变化。测试使用的仪器测量范围和测量精度满足 ISO 7726 标准, 室外温度的测点距地面 1.5 m

阴影背风处, 室内温度的测点距地面 1.5 m。

1.3 测试结果分析

1.3.1 空气温度

如图 2 所示为清真寺大殿室内外温度变化的对比图。测试数据截取 2015 年 1 月 24 日 21:00 至 1 月 25 日 21:00, 室外天气寒冷, 全天室外最低温度出现在早晨 8:00 和 9:00, 最低温度 -22°C , 全天最高气温出现在 17:00 左右, 最高温度 -4°C , 测试期间室外平均温度 -13°C , 最大昼夜温差 18°C 。

大殿室内温度变化规律与室外温度变化规律大致吻合, 由于采用间歇式地暖辐射采暖方式, 采暖时间为 4:00~9:00、11:00~13:00 和 17:00~21:00。因此 4:00 以后室温开始上升, 9:00 以后室温开始下降, 12:00~14:00 室内温度逐渐升高, 18:00 开始大殿使用人数逐渐增多达到每天使用高峰期, 加之地暖供暖, 20:00 测试室温达到全天最高, 室温最高为 15°C , 之后温度又开始下降。

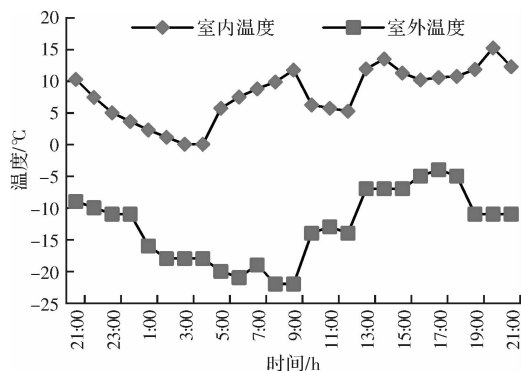


图 2 室内外温度对比

Fig. 2 Comparison of indoor and outdoor temperature

1.3.2 空气相对湿度

如图 3 所示为清真寺大殿室内外相对湿度变化的对比图。由于受室外气象条件, 如风、雪、太阳辐射等因素的影响, 室外空气的相对湿度随着时间的推移而变化。在测试期间, 室外空气温度最低时, 室外空气的相对湿度最高为 68.8%, 日平均相对湿度为 42.8%。在 7:00 之前, 没有太阳辐射的影响, 室外空气的绝对湿度变化不明显, 而室外温度逐渐降低导致室外空气的饱和水蒸气量 f_{\max} 降低, 因此室外空气的相对湿度随时间的推移而增大; 7:00 之后, 由于太阳辐射的影响, 室外空气温度升高, 相对湿度也随之降低。

清真寺大殿室内的相对湿度在大多数时间内保持在 30%~60% 的正常范围内, 而在做礼拜的各个时间段内室内空气的相对湿度均保持在 30%

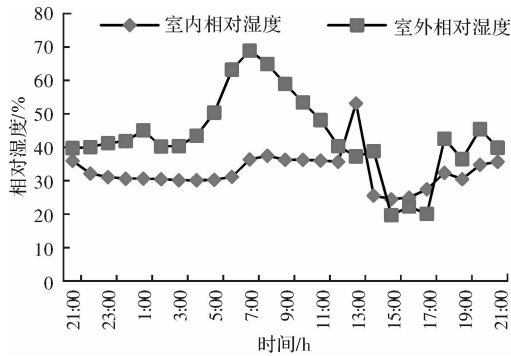


图 3 室内外相对湿度对比

Fig. 3 Comparison of indoor and outdoor relative humidity

~40%之间。在夜间室内空气的相对湿度趋于平稳,而在白天由于人员活动以及东面大门的频繁开启导致室内空气的相对湿度发生波动。

1.3.3 空气流速

严寒地区冬季寒冷,建筑大多会紧闭门窗,并且为了防止冷风渗透和室内热量外流,一般采取相应的技术措施来提高门窗等围护结构的气密性。但是由于清真寺属于公共建筑,礼拜人员流动性较大,且东面大门开启(仅靠门帘遮挡),因此在东面大门处的风速最大为 2.33 m/s,而在大殿中央风速最小为 0.02 m/s,大门处较强的冷风渗透对室内温湿度产生很大的影响。

2 问卷调查分析

人们在不同的心理活动和心理要求下,对建筑的物理环境和生态环境都会提出不同的要求。为了解清真寺大殿室内热环境现状,研究适用于人群的热舒适状况,本文采用问卷调查的方式进行了初步的研究。本次调研在每天做礼拜的时间段内(8:00~9:00; 14:00~14:30; 17:00~18:00; 19:30~21:00)选取 100 名年龄各异的穆斯林男性作为被调研人员,其年龄所占比例如图 4 所示。

采用问卷的形式主要调查人们对冬季大殿室内的热感觉和热舒适状况,以及对于室内热环境的满意程度。其内容包括:受试者的基本情况及服装热阻的统计、礼拜者在大殿内的热感觉、对热舒适状况的满意程度和对室内温湿度的整体感觉以及满意程度。热感觉投票值采用 ASHRAE 的 7 级指标表示,即 1-很冷、2-冷、3-有点冷、4-不冷不热、5-有点热、6-热、7-很热,调查结果如图 5 所示。

从收回的问卷数据中可以看出,80%的人们认为全天最冷的时段在早晨跟晚上。对于白天室内

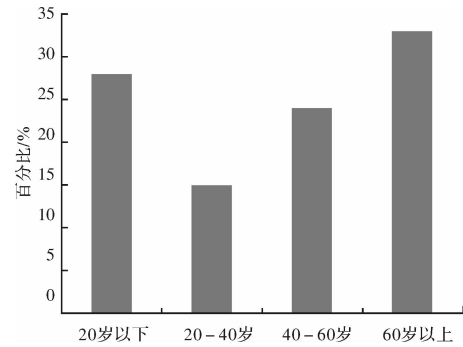


图 4 各年龄段比例

Fig. 4 Percentage of all ages

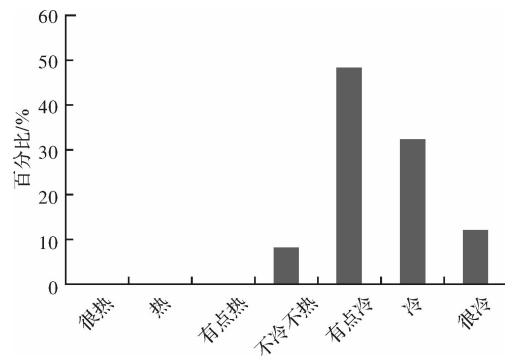


图 5 热感觉投票比例

Fig. 5 Percentage of thermal sensation vote

温度的主观感觉,只有 12% 的人们感到适中,48% 的人感觉稍冷,另有 40% 的人感觉冷。

礼拜的穆斯林是不能穿着不干净的鞋子做礼拜的,要脱去鞋子进入大殿,所以大殿地板铺设厚地毯,脚与膝盖直接接触地面,一部分人感到脚与膝盖局部不舒适。并在调研过程中,大多数礼拜者表示在窗户与门口附近以及大殿墙壁附近明显感觉到身体局部受到冷辐射,这个区域内人体舒适感最差,这是由于室外温度较低,导致大殿外墙和外窗等围护结构内表面温度低于内墙等其他围护结构的内表面温度,室内为不均匀的冷辐射环境,这种冷辐射会给人带来类似“吹风感”的不舒适感觉,即“人体所不希望的局部降温”。

冬季室内的湿度状况与室内温度状况相比,大多数的人们并不是太在意室内的湿度状况。从测试数据来看,礼拜时间的各个时间段内湿度均在 40% 左右,绝大多数的礼拜者表示可以接受。

3 大殿室内热环境评价

3.1 影响热舒适度的主要因素

人体与周围环境的换热方式有三种:对流、辐射与蒸发。据研究,当达到热平衡状态时,对流换热量占总散热的 25%~30%,辐射散热量占 45%~50%,呼吸和无感觉蒸散热量占 25%~

30%,人体才能达到热舒适状态,能达到这种适宜比例的环境便是人体热舒适的充分条件^[1].

由于人体调整温度的范围是有限的,因而就利用房间、衣服、采暖空调设备等来减轻人体调节的负荷.身体与周围环境要达到平衡的状态,取决于许多因素的综合作用,其中一些属于个人的性质,如活动量、适应力及衣着情况等;另外与此有关的是由室内空气温度、相对湿度、气流速度及壁面热辐射等因素综合而成的室内微气候,室内气候主要取决于室外热环境,因此需要通过建筑围护结构优化室内外热湿状态对室内热环境的影响^[2].

影响清真寺建筑室内热环境的因素比较多,主要包括:清真寺建筑朝向、建筑面积、层数、建筑长宽比、围护结构热工性能、窗墙比、屋面结构和室内温度、照明标准、灯具类型、设备功率、开灯时间、运行时间、新风指标、人员密度等.

3.2 热舒适评价指标及热舒适度差异性分析

以人体热平衡理论为基础,丹麦 Fanger 教授在人体热平衡方程的基础上,结合实验数据,提出了热舒适方程,继而建立了预测热感觉的 PMV-PPD 模型.PMV 热舒适模型是目前广泛应用的室内热舒适评价模型.

PMV 热舒适模型将 4 个环境变量(空气温度、湿度、风速和平均辐射温度)和两个人为因素(新陈代谢率和服装热阻)综合成 1 个能预测热舒适的指标,即 PMV 指标^[3].它将热感觉分为 7 个等级:冷、凉、微凉、适中、微暖、暖和热,对应的 PMV 指标值分别为-3、-2、-1、0、1、2、3.

由于水房等辅助用房在清真寺主建筑旁边,需要常在室外活动,人体瞬间受到的温差变化很大.这些都导致前来做礼拜的当地穆斯林在冬季穿厚重的防寒衣物,服装的热阻远高于寒冷地区低海拔城市的居民.而且做礼拜的时间和当地穆斯林的生活特点导致他们的热舒适状态也具有自身的独特性.

高原对能量代谢的影响存在着寒冷和低氧复合因素的作用.高海拔地区的人体新陈代谢率高过中、低海拔地区^[4].由于青海高寒地区与中、低海拔地区存在着这些环境差异和不同地区人体主观影响因素的差异,造就了当地人有不同于其他地区人们的热舒适感特点.

3.3 舒适温度区间的确定

西安建筑科技大学的茅艳博士进行人体热舒

适气候适应性研究时,根据澳大利亚学者 Dedear 提出的“气候适应性模型”,即建立人体室内舒适温度和室外气温的关系式,在这个基础上经过研究得出了我国不同气候区“人体热舒适气候适应性模型”,其中针对严寒地区的模型^[5]:

$$T_n = 0.121 t_o + 21.488 \quad (16.3 < T_n < 26.2) \quad (1)$$

式中: T_n 为舒适温度,℃; t_o 为平均室外温度,℃.

通过使用茅艳博士针对严寒地区“人体热舒适气候适应性模型”结合冬季室外温度变化规律对调研建筑冬季室内舒适温度进行计算,西宁最冷月 1 月白天平均气温 1℃,夜间平均气温-14℃,由公式(1)可以计算得出,室内最低的舒适温度为 19.79℃.

3.4 热中性温度的确定

人体都有一个最适合的环境温度,在这个温度环境中,人体皮肤的蒸发、散热量是最低的,此时使人体感觉到最舒适的温度为热中性温度.对参加礼拜人员的问卷调查中,在室内不同的操作温度下,用数字投票的方式来描述人体的热感觉,即平均热感觉 MTS 投票值^[6].将问卷调查所得到的结果以散点图的形式表达出来,如图 6 所示,并以每一温度区间内的平均温度和平均热感觉投票值分别作为自变量和因变量做线性回归分析,并拟合成线性回归方程为:

$$MTS = 0.2786 T_{op} - 0.0571 \quad (2)$$

式中: MTS 为平均热感觉投票值; T_{op} 为室内操作温度,℃.

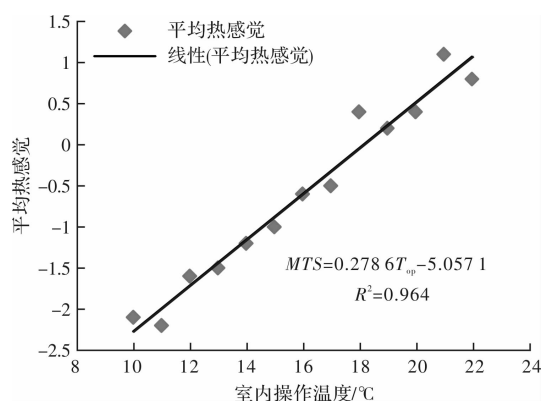


图 6 室内操作温度与平均热感觉关系

Fig. 6 The relation between MTS and indoor operative temperature

在公式(2)中,令 $MTS=0$,得出 $T_{op}=18.15$ ℃,此温度即为室内操作温度的热中性温度.当室内实际温度大于 18.15℃时,人们会感觉室内偏热;小于 18.15℃时,室内偏冷.由现场实测数据

可知,在整个测试期间,室内温度均低于 18.15℃,因此清真寺大殿冬季室内偏冷,使人体感到不舒适。

4 大殿室内热环境改善措施

4.1 外墙的改善措施

青海属于严寒地区,该地区的建筑必须充分满足冬季保温要求。根据建筑的耗热量构成分析,外墙散失的热量占很大的比例,必须提高外墙的保温能力。提高保温能力的关键在于增加墙体的热阻,减小传热系数。对于青海省西宁市南关清真寺外墙的改善,需知原有外墙各层材料的热工参数,以便计算外墙的传热系数,如表 1 所示。

表 1 外墙各层材料热工参数

Tab. 1 Thermal parameters of materials for external wall

项目	构造层次	厚度 /mm	导热系数 / $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$	热阻 / $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$
外墙	水泥砂浆	20	0.93	0.022
	加气混凝土砌块	300	0.16	1.875
	岩棉板	80	0.064	1.25
	白色毛面花岗石板	30	3.15	0.01

按照现行建筑热工设计标准,在稳定条件,外墙的传热系数可按以下公式进行计算:

$$K = \frac{1}{R} = \frac{1}{R_i + \sum \frac{d}{\lambda} + R_e} \quad (3)$$

式中: K 为围护结构的传热系数, $W/(m^2 \cdot K)$; R 为围护结构的总传热阻, $(m^2 \cdot K)/W$; R_i 为外墙内表面换热阻,取 $R_i = 0.11(m^2 \cdot K)/W$; R_e 为外墙外表面换热阻,取 $R_e = 0.04(m^2 \cdot K)/W$; d 为材料层的厚度, m ; λ 为材料层的导热系数, $W/(m \cdot K)$ 。

经调研计算清真寺体型系数为 0.2,依据《公共建筑节能设计标准青海省实施细则》DB63/617—2007 中规定,体型系数 ≤ 0.3 的建筑,外墙传热系数 $K \leq 0.5 W/(m^2 \cdot K)$ 。由表 1 和外墙传热系数公式(3)计算得出,外墙的传热系数 $K = 0.303 W/(m^2 \cdot K)$,满足冬季保温的要求。但是,根据现场实测数据图 1 可知,冬季最冷月清真寺大殿室内温度常在 16℃以下,且室内温度波动较大,说明外墙的保温能力仍然较差,因此应对外墙进行改善。考虑到调研对象具有特殊的使用用途,供暖方式为间歇性地板辐射采暖,因此可采用外墙内保温的做法,即在外墙内侧窗台下粘贴 50 mm 厚导热系数为 $0.032 W/(m^2 \cdot K)$ 的 EPS 泡沫板,计算出改造后的外墙传热系数 $K = 0.205 W/(m^2 \cdot K)$ 。

改善后外墙传热系数明显减小,经由外墙散失的热量也随之减少,室内能够保持较高的温度,且内保温墙体由于室内侧为密度较小的材料,它的蓄热系数小,能使间歇供热房间的室温快速上升,人们在短时间内感到舒适^[7]。

4.2 外窗的改善措施

在外围护结构传热损失的热量中,外窗流失的热量占 25%左右,而对南关清真寺的调研中发现,外窗形式为铝合金中空玻璃窗,经过计算得出外窗的窗墙比接近 0.4,由外窗损失的热量占外围护结构总散热量的 40%。为提高大殿室内温度,对外窗的保温性能提出了更高的要求。

从外窗的传热分析可以看到,要减少清真寺外窗的热量损失就应该阻隔外窗的传热途径,即减小外窗的传热系数。要使窗户有较小的传热系数,窗玻璃与窗框的传热系数越小越好,同时可以采用涂膜技术减少窗玻璃部分的传热系数^[8]。运用美国劳伦斯伯克利国家实验室(LBNL)开发的 WINDOW 5.2 软件对不同类型的窗户进行模拟,通过模拟计算的到窗户的传热系数如表 2 所示。

表 2 不同类型窗户的 K 值

Tab. 2 K value of the different types of windows

窗户类型	传热系数 $K/W \cdot (m^2 \cdot K)^{-1}$
铝合金中空玻璃窗	3.6
塑钢中空玻璃窗	2.8
塑钢中空 Low-e 玻璃窗($e=0.12$)	1.8
塑钢中空 Low-e 玻璃窗($e=0.07$)	1.6

从表 2 可以看出,窗框材质的不同以及窗玻璃部分是否镀膜对窗户整体的传热系数影响较大,为减少经由外窗流失的热量,提高清真寺大殿室内的温度,可用塑钢中空 Low-e 玻璃窗代替原有的铝合金中空玻璃窗,传热系数明显降低,使室内保持较高的温度。

4.3 外门的改善措施

由于清真寺的特殊使用要求,在一天之中会分时段进行 5 次礼拜,清真寺正殿前方设前廊,是开敞的,前廊不封闭。因此外门受到频繁使用的人流量的影响并且门外没有门斗,外门会成为一个“进风口”,从现场测试数据中可以看出,冬季清真寺东面正门在开启瞬间的风速可达到 2.33 m/s,不断的开启幕帘使大量的冷风进入大殿室内,形成较强的冷风渗透,致使外门处的温度变化幅度较大,进而影响大殿室内的温度,使礼拜人员感觉到不舒适。

为提高清真寺外门处的保温能力,在冬季可

以增加保温幕帘、热风幕等临时性的保温措施。保温幕帘一般设置在外门开启的位置,根据外门的宽度设置保温幕帘的数量。对于同一个外门,安装幕帘的数量越少,幕帘之间形成的间隙越小,冷风渗透对室内温度的影响越小。为防止保温幕帘被冷风吹起造成长时间的冷风渗透,常常采用比较厚重的幕帘,即在幕帘底部添加重物使幕帘开启后能够快速落下,减少冷风渗透。但应注意,幕帘不应太厚重,否则会影响人员的正常通行;热风幕可安装在外门内侧正上方位置,利用热风幕从上到下吹出的强大热气流形成一面无形的门帘,将透过外门渗入的冷空气加热后送入大殿室内空间,调节室内温度。同时可以适当提高热风幕的送风温度、速度以及单位长度喷嘴的空气流量等参数来提高外门处的温度。由于热风幕对进出人员头顶直接吹风,温度不宜过高,以免使人产生不舒适感^[9]。

4.4 供暖系统的改善措施

在对清真寺大殿室内热环境的研究中,供暖系统是影响室内热环境的重要影响因素之一,但由于单一的地板辐射供暖方式,导致在供暖时间段内室温上升缓慢,且室温常常低于16℃,使人感觉到不舒适。为提高清真寺大殿室内的实际温度,可以通过地板辐射供暖自身的改善或增加对流散热器供暖系统来改善室内的热环境。

对于地板辐射供暖,研究表明,当盘管内水流速度和供回水温差一定时,随着盘管间距的减小,地板表面温度分布越均匀,舒适性越好;当盘管间距和供回水温差一定时,随着盘管内水流速度的增大,地板表面的温度也随之上升;当盘管间距和管内水流速度一定时,随着供回水温差的增大,地板表面的平均温度变化不大,但是在地板表面中心区域的温度会有所下降^[10]。因此为提高清真寺大殿室内的实际温度,在设计初期减小盘管的间距,在运行期间增大盘管内水流速度以及减小供回水温差来提高辐射地板表面的温度。

在地板辐射供暖改善后依旧无法满足人们的热舒适需求,可以考虑在大殿室内窗台下部安装对流散热器供暖系统。由于对流散热器供暖系统的供回水温度要高于地板辐射采暖的供回水温度,可以将对流散热器供暖系统的回水作为地板辐射供暖系统的供水,即把对流散热器供暖系统的回水管与地板辐射供暖系统的供水管串联起来,这样既可以在供暖时间段内使大殿室内温度快速上升,又可以提高室内的温度,使礼拜人员感觉更

加舒适。

5 结论

通过对青海省西宁市南关清真寺大殿室内热环境进行现场测试,并以问卷调查的方式,分析了清真寺大殿冬季室内的温湿度变化特点,得出了大殿冬季室内热环境不佳的结论。对于清真寺大殿冬季室内热环境不佳的问题,通过对室内热环境指标的评价,以及从建筑外围护结构、供暖方式等方面采取相应的改善措施来提高大殿室内的热舒适度,得出以下结论:

(1)应用茅艳博士提出的人体热舒适气候适应性模型以及软件分析计算得出冬季热舒适温度值,提出了冬季室内19.79℃的热舒适温度参考值。

(2)根据热感觉投票平均值与室内操作温度之间的关系式计算可得,清真寺大殿冬季室内的热中性温度为18.15℃。

(3)保温性能良好的外围护结构与高效节能的供暖系统是保证冬季清真寺室内具有良好热环境的关键因素,建筑朝向与日照等其他因素影响相对较小。

(4)针对南关清真寺大殿室内热环境的现状,提出4种改善措施,并且对措施的节能性以及适用性进行了分析,可供青海地区既有清真寺改善冬季室内热环境环作为参考以及为更多新建清真寺提供设计依据。

参考文献 References

- [1] 闫海燕. 基于地域气候的适应性热舒适研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2013.
YAN Haiyan. Study on adaptive thermal comfort on the basis of regions and climates of China[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2013.
- [2] 刘加平, 杨柳. 室内热环境设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.
LIU Jiaping, YANG Liu. Indoor thermal environment design [M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [3] 徐小林, 李百战. 室内热环境对人体热舒适的影响[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2005(4): 102-105.
XU Xiaolin, LI Baizhan. Influence of indoor thermal environment on thermal comfort of human Body[J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2005(4): 102-105.
- [4] 刘国丹. 无症状高原反应域低气压环境下人体热舒适研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2008.
LIU Guodan. Study on human thermal comfort within lower-pressure environment of asymptomatic altitude reaction[D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2008.

- [5] 茅艳. 人体热舒适气候适应性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2007.
MAO Yan. Study on climate adaptability of human beings to thermal comfort in China [D]. Xi'an: Xi'an Univ. of Arch. & Tech., 2007.
- [6] 王昭俊. 现场研究中热舒适指标的选取问题[J]. 暖通空调, 2004, 34(12): 39-42.
WANG Zhaojun. Selection of thermal comfort indexes in the field study[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2004, 34(12): 39-42.
- [7] 白宪臣, 张献萍. 建筑节能改造中内保温构造技术的应用[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 164-167.
BAI Xianchen, ZHANG Xianping. Application of Interior thermal insulation technology in building energy-saving reform [J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(12): 164-167.
- [8] 邹惠芬, 王国业, 郭立杰, 等. 严寒地区窗户热工性能对建筑能耗的影响分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2009, 25(5): 982-986.
ZOU Huifen, WANG Guoye, GUO Lijie, et al. The impact analysis on the building energy consumption of the windows in the Sub-Zero area[J]. Journal of Heilongjiang Institute of Science and Technology (Nature Sciences Edition), 2009, 25(5): 982-986.
- [9] 金虹, 邵腾, 赵丽华. 严寒地区建筑入口空间节能设计对策[J]. 建设科技, 2014(21): 40-42.
JIN Hong, SHAO Teng, ZHAO Lihua. Energy-saving design of building entrance space in severe cold regions [J]. Construction Science and Technology, 2014(21): 40-42.
- [10] 邵鹏华. 大空间建筑低温地板辐射采暖特性和盘管不同敷设方式热舒适性的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2012.
SHAO Penghua. Study on radiant floor heating characters of large space building and thermal comfort for different tube spacing[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2012.

(编辑 桂智刚)

(上接第86页)

- versity of Technology (Nature Science), 2015, 38(6): 726-732.
- [12] 段爱华, 傅成红, 谭剑. 基于 GO-FLOW 法和 FTA 法的香蕉物流流程评价[J]. 长沙大学学报, 2012, 26(2): 81-83.
DUAN Aihua, FU Chenghong, TAN Jian. Evaluation of banana logistics flow based on Go-Flow and Fat[J]. Journal of Changsha University, 2012, 26(2): 81-83.
- [13] PAUL Chinowsky, JAMES Diekmann, VICTOR Gallotti. Social network model of construction[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2008, 134(10): 804-812.
- [14] 李永奎, 乐云, 何清华, 等. 基于 SNA 的复杂项目组织权力量化及实证[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(2): 312-318.
LI Yongkui, LE Yun, HE Qinghua, et al. Complex projects organization power quantification and empirical study based on SNA[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2012, 32(2): 312-318.
- [15] 王盼, 韩同银, 王淑雨. 建设项目利益相关方信任关系研究[J]. 建筑经济, 2014(5): 51-55.
WANG Pan, HAN Tongyin, WANG Shuyu. Research on trust relationship of stakeholders in construction projects[J]. Construction Economy, 2014(5): 51-55.
- [16] WOUTER Stam, SOURENS Arzlanian, TOM Elfiring. Social capital of entrepreneurs and small firm performance: A meta-analysis of contextual and methodological moderators[J]. Journal of Business Venturing, 2014, 29(1): 152-173.
- [17] 付举磊, 孙多勇, 肖进, 等. 基于社会网络分析理论的恐怖组织网络研究综述[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(9): 2177-2186.
FU Julei, SUN Duoyong, XIAO Jin, et al. Review of the research on the terrorist networks based on social network analysis[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(09): 2177-2186.
- [18] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑施工企业信息化评价标准: JGJ/T272-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the P. R. C. Information Construction Evaluation Standard for Construction Enterprises: JGJ/T272-2012 [S]. Beijing: China Building Industry Press, 2012.

(编辑 桂智刚)