文章编号:1673-0062(2017)04-0001-06

调湿型涂料对建筑室内热湿环境影响的实验研究

王汉青,朱 辉,谢 东

(1.南华大学 土木工程学院,湖南 衡阳 421001;2.建筑环境控制技术湖南省工程实验室,湖南 衡阳 421001;
3.装配式建筑节能技术湖南省重点实验室,湖南 衡阳 421001)

摘 要:为研究调湿型涂料对建筑室内空气温度和相对湿度的调节性能,对涂装了调湿型涂料的房间(实验房)内的空气温湿度进行全天候的动态测量,并与未涂装调湿型涂料的房间(对比房)进行对比.研究发现:当室外环境温度与相对湿度的日变化区间分别为 26~33℃和 35%~85%时,开启门窗条件下实验房内空气温湿度变化范围分别为 28.3~30.2℃和 49.3%~63.5%、关闭门窗条件下实验房内空气温湿度变化范围分别为 28.9~29.6℃和 57%~61%.与对比房比较,实验房内的空气温湿度变化范围更窄.此外,实验房内的温湿度变化与对比房内和室外空气的温湿度保持相似的趋势,但是变化幅度更平缓.研究表明:调湿型涂料可以比较有效地调节建筑室内的空气温度和相对湿度、改善室内热湿环境,是一种节能环保的被动式建筑环境控制材料.

关键词:调湿型涂料;空气温度;相对湿度
中图分类号:TU11 **文献标志码**:A

Experimental Study on the Effects of Humidity-Adjusting Paint on Indoor Thermal Environment of Buildings

WANG Han-qing, ZHU Hui, XIE Dong

(1.School of Civil Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China;
2.Hunan Provincial Engineering Lab of Environment Control in Buildings, Hengyang, Hunan 421001, China; 3.Hunan Key Lab of the Energy-Conservation Technology of Pre-Fabricated Buildings, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: In order to study the effects of the humidity-adjusting paint on the indoor air temperature and relative humidity, the dynamic measurements were conducted in a room with its inside coated by humidity-adjusting paint (Test room) and another room without

收稿日期:2017-09-26
基金项目:湖南省重点研发项目(2017SK2394);衡阳市科技计划项目(2017KJ300)
作者简介:王汉青(1963-),男,教授,博士,博士生导师,主要从事建筑节能与环境控制方面的研究.E-mail:hqwang2011@usc.edu.cn

the paint (Control room). The experiment was carried out when the outdoor air temperature and relative humidity ranged from 26 ~ 33℃ and 35% ~ 85%, respectively. The results showed that the air temperature and relative humidity in the test room ranged from 28.3 ~ 30.2℃ and 49.3% ~ 63.5%, respectively, when the doors and windows were opened. And the air temperature and relative humidity in the control room ranged from 28.9 ~ 29.6℃ and 57% ~ 61%, respectively, when the doors and windows were closed. And the narrowed ranges of air temperature and humidity were observed. Furthermore, the air temperature and relative humidity variations in the test room were found to be similar with the changes of the outdoor air and that of the control room, and more gentle changes in the indoor air temperature and relative humidity were also observed. The results indicated that the humidity-adjusting paint could adjust the indoor air temperature and relative humidity, and improve the indoor thermal environment effectively.

key words: humidity-adjusting paint; air temperature; relative humidity

0 引 言

随着经济社会的发展和人民生活水平的提高,人们对室内热湿环境舒适度的重视程度逐渐增加.室内热湿环境的一项参数——空气温度一直是建筑物理研究领域的热点之一,而室内热湿环境的另一项重要参数——空气相对湿度往往没有引起足够的重视.空气湿度水平直接关系到环境的舒适度和人体健康.世界卫生组织对相对湿度的规定为:室内空气相对湿度应该全年保持在40% ~ 70%之间,并且人生活在相对湿度为 45% ~ 65%的环境中最舒适[1].过高或者过低的湿度均会对人体造成不利影响.研究发现,当空气的相对湿度低于 40%时,肺部和上呼吸道粘膜中的水分会大量损失,引起人体的免疫能力大大减弱.而当空气相对湿度达到 80%以上时,人体水分的蒸发速度减慢,从而引起机体蒸发散热的功能阻滞,甚至会出现中暑等症状[2].此外,室内空气相对湿度的大小也会影响室内污染物的浓度和微生物的发生量[3].同时,由于空气温度与相对湿度高度耦合,因此室内湿环境的改变也会引起室内热环境产生变化,从而使得室内环境的舒适度发生变化.

针对湿度控制问题,目前在建筑中常借用中央空调系统来调节室内空气湿度.为满足除湿要求,空调系统中的冷凝除湿过程需要 7 ~ 12 ℃的冷源,且除湿后的空气温度往往低于要求的送风温度,因此还需通过再热将空气处理到适宜的温度,整个过程耗能较高.根据相关统计资料,空调系统中用于湿度调节所消耗的能源占到整个空调能耗的 20% ~ 40%[4].此外,冷凝除湿导致系统中的冷表面潮湿甚至积水,为微生物的繁殖提供了条件,会严重影响室内空气品质.其他的湿度调节方法,如热电冷凝法、转轮除湿法均存在能耗过高的问题.

对于被动式湿度调节技术/材料(如调湿涂料/材料)的研发,目前已有一系列报道.如冯乃谦利用沸石为试验对象,结果发现沸石粉可使容器内的湿度维持在 60% ~ 70%[5].李双林等研制出一种调湿涂料,在 40 min 内可使相对湿度由 92.5%降低到了 79.5%[6].王新江与渡村信泊以煤系高岭土为原料,制备出一种调湿材料,其吸湿率可达到 6.3%[7].张连松等研制出一种具有净化空气、抗菌,又具有调湿功能的新型粉末涂料,其吸湿率可达 5% ~ 6%[8].西安建筑科技大学所开发的调湿板材,当室内空气相对湿度为 30% ~ 60%时,1 m^2的调湿板材可使 10^3 m^3 左右的空间相对湿度降低约 8%[9].也有学者对调湿涂料/材料的应用效果进行了测试,如肖秋连[10]通过对比实验,发现涂装调湿涂料房间的内墙温度和空气温度均高于对比房间,且相对湿度稳定在一定范围内.蔡林翔等发现调湿建材能在一定程度上减缓室内的温度和湿度的波动,且房间内空气含湿量变化趋势与温度变化趋势相同,与相对湿度的变化趋势相反[11].此外,南京大学等高校的学者也在这方面进行了一系列研究[12-14].

综上所述,在建筑室内环境问题越来越受到重视的大环境下,人们采用了已有的各种湿度控制技术对建筑室内的湿度进行调节和控制.同时,目前已有的湿度控制技术在能耗和调湿效果存在不平衡,效果较好的调湿技术存在着能耗高的问题、而低能耗的调湿技术在效果方面却大不如前者.在控湿问题量大面广的背景下,为了同时保证

能耗和调湿效果,必须重视调湿涂料/材料的开发和改进,力求在满足使用要求的前提下,实现建筑的低能耗、绿色、可持续发展.

1　实验设计

1.1　实验材料与仪器

实验中所采用的调湿涂料由“建筑节能与环境控制关键技术协同创新中心”所研制,并由“建筑环境控制技术湖南省工程实验室”所改进.该调湿涂料以天然海泡石为调湿材料,通过对其进行酸化、碱化改性和无机盐改性,提高其吸、放湿性能,并按照一定的比例添加苯丙乳液、高吸水性树脂、TiO_2、$CaCO_3$等填料,严格按照生产工艺制成涂料.涂料中调湿材料海泡石含量为 20%.通过 GB/T 9756—2009 中的所有检验指标后,均匀地涂刷于实验测试房间的内墙.

主要的测试仪器为温湿度测试仪(TESTO 625).其温度测试量程为-10~60 ℃、湿度量程为 0~100%.测温精度为±0.5 ℃,测湿精度为±2.5% RH.可连续记录 30 d 的温湿度数据.

1.2　实验方案

为了研究调湿涂料对室内空气温湿度的影响,本实验对某建筑一间涂刷了调湿涂料的房间(实验房)以及一间未涂刷调湿涂料的房间(对比房)分别进行了温湿度测量.测试房间为两相邻房间,且房间朝向、面积、室内热湿源均相同.在实验过程中房间内均没有人员工作或者走动.

实验采用温湿度测试仪对房间内的温湿度进行实时记录.实验房与对比房内均设置 5 台温湿度测试仪:在房间长、宽的 1/4 处和 3/4 处各安装一台测试仪、在房间的中心位置安装一台测试仪.所有测试仪的安装高度为房间高度的中心处.这种安装方式可在一定程度上保证整个房间内温湿度数据采集的完整性.此外,在两间房的室外安装一台温湿度测试仪,用来记录实验期间室外空气的温湿度数据.

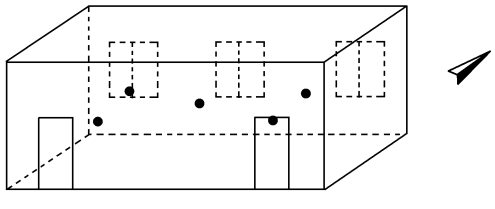


图 1　实验房间与测点分布示意图

Fig.1　Diagram of the test room and measuring locations

实验测试在连续的两天内进行.为了分别验证调湿涂料在门窗打开和关闭时的效果,实验第一天在打开所有的门窗的情况下进行温湿度数据采集,第二天关闭所有门窗进行温湿度数据的记录.温湿度测试仪在实验第一天的 0:00 开启,直至第二天的 24:00.温湿度测试仪的采样周期设置为 1 h,每天每台测试仪可采集 24 组温湿度数据.考虑到两间房在房型结构、朝向、热湿源完全相同,因此可以假设开、关门窗时室内气流运动和得热均一致,即房间内的温湿度分布完全相同.故在进行数据分析时,对某时刻 5 个测点所测得的温湿度数据进行算术平均,取其平均值作为该房间该时刻的温湿度.

2　结果与分析

实验时间为夏末,室外空气温度和相对湿度的昼夜变化较大,白天空气温度较高、相对湿度较低,夜晚空气温度较低、相对湿度较高.根据安装在室外的温湿度测试仪的记录数据,在进行实验测试的两天内,室外全天空气温度均在 26~33 ℃范围内波动、相对湿度在 35%~85%之间变化.

2.1　实验房内空气温度的变化

2.1.1　打开门窗时室内空气温度的变化

打开门窗时的实验数据见图 2.由图 2 可知,房间门窗打开的情况下,实验房、对比房内的空气温度与室外空气温度保持相同的变化趋势,但是实验房和对比房内的空气温度变化幅度明显小于室外,这可能与建筑本身的保温性能有关.此外还发现,实验房内的空气温度在 0:00~9:00,以及 21:00~24:00 的时间段内高于对比房内的空气温度,但在 9:00~21:00 的时间段内略低于对比房内空气温度.测试结果显示,在第一天实验中 9:00~21:00 时间段内,室外空气温度峰值约为 33 ℃,而实验房内空气温度峰值为 30.2 ℃,对比房内空气温度峰值可到达 31 ℃.在在 0:00~9:00,以及 21:00~24:00 的时间段内,室外空气温度变化范围为 26.5~28.4 ℃,而实验房内空气温度变化范围为 28.3 ~29.1 ℃,且变化比较平缓,对比房内空气温度变化范围为 27.3~28.9 ℃.出现这些现象的原因在于:在室内空气含湿量不变的前提下,由于调湿涂料的作用,室内空气的相对湿度出现变化,使空气温度出现一定程度的变化.因此在门窗打开的条件下,调湿涂料对室内温度具有一定的调节作用.

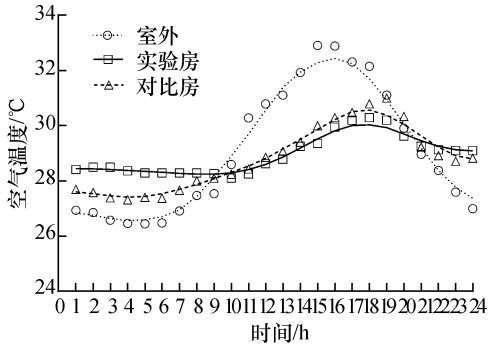


图 2 打开门窗时室内空气温度小时平均变化

Fig.2 Changes in the indoor air temperature when the doors and windows are open

2.1.2 关闭门窗时室内空气温度的变化

关闭门窗时的实验数据见图 3.由图 3 可知,房间门窗关闭的情况下,实验房、对比房内的空气温度与室外空气温度保持相似的变化趋势,且实验房和对比房内的空气温度变化幅度明显小于室外.结果显示:室外空气温度保持明显的昼夜节律,在 0:00~10:00 和 19:00~24:00 时间段内空气温度较低,在 10:00~18:00 时间段内较高,在 15:00 左右达到温度峰值.而实验房和对比房内的空气温度虽然在 10:00~18:00 时间段内也呈上升的趋势,但是上升幅度较小.这一方面可能与建筑本身的保温性能有关,另一方面还可能与调湿涂料的调节作用有关.

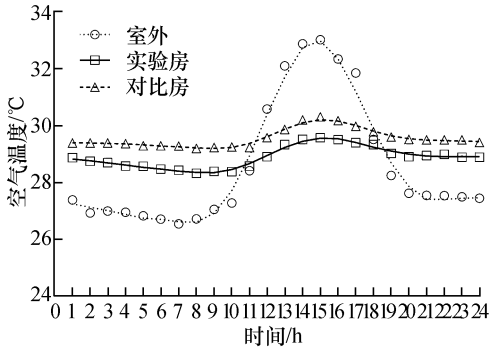


图 3 关闭门窗时室内空气温度小时平均变化

Fig.3 Changes in the indoor air temperature when the doors and windows are closed

此外还发现,实验房内的空气温度在全天内均低于对比房内的空气温度.实验结果显示:实验房内的全天空气温度变化范围为 28.9~29.6 ℃,而对比房内空气温度为 29.4~30.3 ℃,两者差值约为 0.5~0.7 ℃.这说明在门窗关闭的条件下,调湿涂料也可以在一定程度上调节全天室内的空气温度,并可使空气温度变化更加平缓.

2.2 实验房内空气相对湿度的变化

2.2.1 打开门窗时室内空气相对湿度的变化

打开门窗时室内空气相对湿度的变化情况见图 4.由于图 4 可知,在打开门窗的条件下实验房和对比房内空气的相对湿度与室外空气相对湿度保持相同的变化趋势,但是实验房内空气的相对湿度变化幅度较小,这与调湿涂料的调节作用有关.

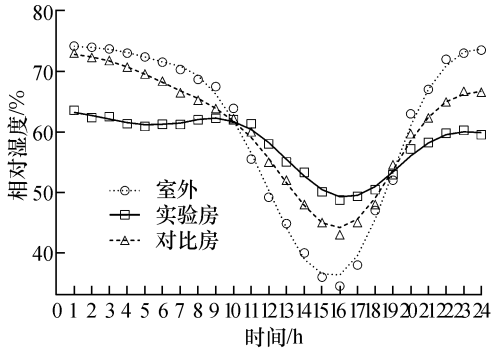


图 4 打开门窗时室内空气相对湿度小时平均变化

Fig.4 Changes in the indoor air humidity when the doors and windows are open

此外还发现,对比房内的空气相对湿度与室外接近,且变化幅度要高于实验房.这可能与门窗开启,从而室外空气中的水蒸汽源源不断地进入室内有关.实验结果显示:当全天室外空气相对湿度从 34.5%变化至 74.2%时,实验房内的空气相对湿度变化范围为 49.3%~63.5%、对比房内空气相对湿度变化范围为 43.5%~73%.从结果看,实验房内的空气相对湿度具有更窄的范围,从而避开了室内出现低湿和高湿环境.

并且,当室外空气相对湿度达到极低值 34.5%时,实验房内空气湿度可保持在人体热舒适所要求的范围(40%~70%)之内[15].这与调湿涂料的调节作用有关:在空气相对湿度较低时,调湿涂料开始释放其在高湿条件下所吸收的水蒸气,使室内空气保持一定的湿度.

2.2.2 关闭门窗时室内空气相对湿度的变化

门窗关闭时室内空气相对湿度的变化情况见图 5.由图 5 可知,打开门窗的条件下实验房和对比房内的空气相对湿度在总体上仍与室外空气湿度保持相似的变化趋势,但变化幅度存在显著的差别.这可能与门窗关闭,从而阻止了室外空气中

的水蒸气进入室内有关.

此外,在实验过程中,实验房的全天空气相对湿度均低于对比房.实验结果显示:室外空气相对湿度仍保持着明显的昼夜节律,从 50.2%变化至 83.3%,而实验房内空气相对湿度变化范围为 57%~61%、对比房内空气相对湿度变化范围为 64.6%~71.4%.因此,实验房具有更窄范围的空气相对湿度,并且处于人体热舒适对空气湿度的要求范围内.这说明在门窗关闭的条件下,调湿涂料可以更加有效地调节建筑室内空气湿度.

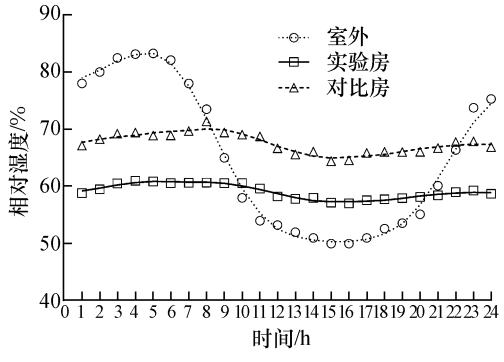


图 5　关闭门窗时室内空气相对湿度小时平均变化

Fig.5　Changes in the indoor air humidity when the doors and windows are closed

3　结　论

为了研究调湿涂料对室内热湿环境的影响,选择两间结构、朝向、室内热湿源完全相同的两间房间进行了空气温湿度的实验测试,其中一间的内墙涂刷了调湿型涂料,而另一间未涂刷.研究结果表明:

当室外空气温度变化范围为 26~33 ℃时,在门窗开启的条件下,实验房内空气温度变化范围为 28.3 ~30.2 ℃、对比房内为 27.3 ~31 ℃,两者差值约为 0.8~1.0 ℃;在门窗关闭的条件下,实验房间内的空气温度被控制在 28.9~29.6 ℃,此时对比房内空气温度为 29.4~30.3 ℃,两者差值约为 0.5~0.7 ℃.这表明在门窗关闭的条件下,调湿涂料的作用可以在一定程度上降低室内空气温度,并且可以使室内空气温度变化更加平缓,尤其是在关闭门窗的条件下.

当室外空气相对湿度变化范围为 35%~85%时,在门窗开启的条件下,实验房内的空气相对湿度变化范围为 49.3%~63.5%、对比房内空气相对湿度变化范围为 43.5%~73%;在门窗关闭的条件下,实验房内空气相对湿度变化范围为 57%~61%、对比房内空气相对湿度变化范围为 64.6%~71.4%.因此调湿度涂料可以使得建筑室内空气相对湿度的变化范围变窄,并且与室外空气湿度比较变化得更加平缓,尤其是在关闭门窗的条件下.

研究还发现,在打开门窗的条件下,当室外空气相对湿度较低时,实验房内空气湿度仍可保持在人体热舒适所要求的范围之内,这是由于调湿涂料在低湿环境下的放湿作用而引起.调湿涂料的这种特性使其特别适用于间歇性空调的环境.

研究表明调湿型涂料对建筑室内热湿环境具有一定的调节作用,尤其是在门窗关闭的条件下.因此可为建筑环境控制领域提供一种绿色的、可持续的湿度控制解决方案.为了改进调湿涂料,在下一步研究中,将进行该调湿涂料吸放湿性能衰变的研究,并且将考虑人体和设备的散热和散湿等因素.

参考文献:

[1] MCMICHAEL A J,CAMPBELL-LENDRUM D H,CORVALAN C F,et al.Climate change and human health:risks and responses[M].Geneva:World Health Organization,2003.

[2] DAVIS R E,MCGREGOR G R,ENFIELDK B.Humidity:a review and primer on atmospheric moisture and human health[J].Environmental research,2016,144:106-116.

[3] ARUNDEL A V,STERLING E M,BIGGIN J H,et al.Indirect health effects of relative humidity in indoor environments[J].Environmental health perspectives,1986,65:351-361.

[4] VAKILOROAYA V,SAMALI B,FAKHAR A,et al.A review of different strategies for HVAC energy saving[J].Energy conversion and management,2014,77:738-754.

[5] 冯乃谦,李桂芝,邢锋.调湿材料的研究[J].新型建筑材料,1994,36(6):16-19.

[6] 李双林,吴玉庭,马重芳,等.新型调湿涂料调湿性能的初步试验研究[J].工程热物理学报,2004,25(3):502-504.

[7] 王新江,渡村信治.利用煤系高岭土制备自律型调湿材料的研究[J].中国非金属矿工业导刊,1998(6):17-19.

[8] 张连松,冀志江,王静,等.空气净化抗菌调湿功能内墙粉末涂料[J].中国建材科技,2005,14(2):1-5.

[9] 尚建丽,闫增峰,马斌齐,等.一种可自动调节室内湿度的调湿建筑材料:CN200810017527.X[P].2008-08-06.

[10] 肖秋连.调湿材料对室内环境调控的实验研究[J].制冷与空调(四川),2013,27(2):114-117.

(下转第 11 页)

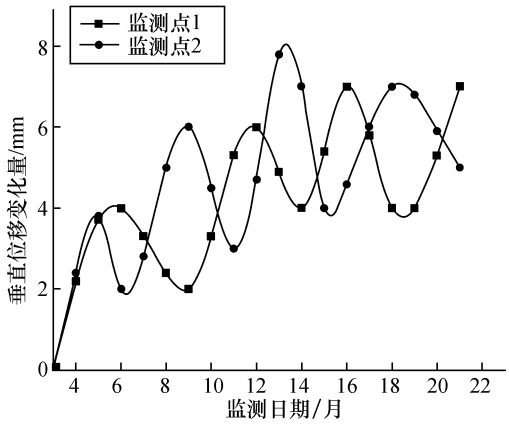


图 11　边坡垂直位移变化与时间关系

Fig.11　Relationship between vertical displacement of slope and time

4　结　论

1)工程上桩锚悬臂式挡墙组合结构分开单独设计方法得到的墙身立板弯矩大小和变化规律基本保持一致,而底板弯矩计算偏保守,导致底板配筋量将远大于实际需要配筋量,造成材料的浪费.

2)与联合支护设计模型比较,单独桩锚设计会使桩身位移和变形计算偏于危险,不利于桩锚支护结构的安全.同时,高估了锚杆锚固段轴力,使得锚杆设计偏于保守.

3)以现场监测结果为参考,单独悬臂式挡墙设计坡顶的水平位移偏高,而低估了坡顶沉降.

4)联合支护设计模型同时考虑了上部悬臂式挡墙和下部桩锚结构,模拟过程中考虑了两种支护结构的协同作用,且真实反映了在该路堤边坡开挖支护填方过程中的空间时空效应,分析结果基本接近实际情况,结论可为类似工程设计提供参考.

参考文献:

[1] 赵晓彦,吴兵,李登峰,等.考虑桩间水平土拱效应的边坡桩间墙组合结构受力计算方法[J].岩土工程学报,2016,38(5):811-817.

[2] 封志军,赖紫辉,薛元.考虑桩-梁协调作用的桩基托梁计算理论分析[J].铁道工程学报,2012,29(6):33-36.

[3] 陈荣,杨仕教,李锐.高填土边坡中双排桩扶壁式挡墙设计方法研究[J].南华大学学报(自然科学版),2016,30(2):117-122.

[4] 谭韬,李明,朱平,等.一种复杂工况下的桩锚扶壁式复合挡墙的设计及数值分析[J].南华大学学报(自然科学版),2017,31(2):102-106.

[5] ZHANG Q.Analysis and study on slope stability of high fill subgrade[J].Advanced materials research,2014,3149(919):637-640.

[6] 张可能,符滨,廖来兴,等.桩承扶壁式挡墙受力特性及监测分析[J].中外公路,2014,34(2):37-40.

[7] 王抒扬.桩基挡墙在高速铁路陡坡路基中的应用[J].铁道勘察,2015,41(3):57-59.

[8] 王俊杰,赵迪,杨恒.单排桩基-承台-挡墙组合支挡结构设计计算方法[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2017,36(4):63-68.

[9] 高立,李洪岗,聂文峰,等.新型桩墙组合结构在高陡边坡支护中的应用研究[J].路基工程,2017(3):184-187.

[10] 李洪亮,魏洪涛,沈可,等.采用桩基础的悬臂式挡墙计算分析[J].公路,2009(11):111-115.

[11] 马平,申平,秦四清,等.深基坑桩锚与土钉墙联合支护的数值模拟[J].工程地质学报,2008,16(3):401-407.

[12] 洋晓华,薛雷,涂杰楠,等.深基坑疏排桩锚与土钉墙水平联合支护数值模拟[J].工程勘察,2010,38(11):1-5.

[13] LIU W T,TSAI H Y,TU M H.Numerical analysis of the ground anchor and row piles in mudstone dip slope[J].Applied Mechanics & Materials,2012,1975(204):703-707.

[14] 中华人民共和国国家标准编写组.建筑边坡工程技术规范:GB 50330—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.

(上接第 5 页)

[11] 蔡林翔,于航,赵美,等.调湿型建筑材料对室内温湿度调节效果实验研究[J].建筑科学,2016,32(2):54-60.

[12] 杨骏.多孔调湿材料对室内热湿环境的影响[D].南京:南京大学,2015.

[13] 张浩,黄新杰,刘秀玉,等.优化制备棕榈醇-棕榈酸-月桂酸/SiO_2复合相变调湿材料[J].材料研究学报,2015,29(9):671-678.

[14] 张言武,陈剑波,梁煦,等.调湿材料对室内湿环境影响的实验研究[J].建筑节能,2016(2):48-51.

[15] Internatonal standards organization.Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria:ISO7730:2005[S].London:International Standards Organization,2005:14-17.