

玻化微珠保温砂浆的吸放湿及导热性能

任 鹏, 李秀辉, 孟庆林

(华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室建筑节能研究中心, 广州 510640)

摘 要:针对湿热地区潮湿气候作用下建筑保温砂浆受潮的规律,采用天平称重法对玻化微珠保温砂浆进行了自然状态吸放湿实验,并采用热湿气候风洞实验法对其质量平衡含湿率进行测定,进而采用平板法对其湿平衡状态下的导热系数进行了一系列测试分析。结果表明,在南方地区潮湿气候条件下玻化微珠保温砂浆质量平衡含湿率约为3.55%;湿平衡状态下玻化微珠保温砂浆导热系数修正系数在1.04~1.11之间,平均值为1.08,考虑受潮现象的复杂性,建议在实际建筑工程节能设计时,该修正系数宜取1.10。

关键词:玻化微珠;砂浆;保温;吸湿;含水率;导热系数;修正系数

中图分类号:TU111.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2010)04-0071-05

Thermal and Moisture Performance of Insulation Glazed Hollow Bead Mortar

REN Peng, LI Xiu-hui, MENG Qing-lin

(Building Environment and Energy Laboratory (BEEL), State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangdong Guangzhou 510640, P. R. China)

Abstract: Based on the law of moisture absorption under humid environment in hot-humid area, the balance method was adopted to measure the moisture absorption and desorption curve of thermal insulation glazed hollow bead mortar in the natural condition. And wind tunnel hot-humid climatic was adopted to measure its moisture content of quality equilibrium. And then guarded hot plate apparatus was employed to measure and analyze its thermal conductivity in moisture equilibrium condition. It is found that: 1) the moisture content of quality equilibrium of thermal insulation glazed hollow bead mortar under humid climate in southern area is about 3.55%; 2) under the moisture equilibrium condition, the correction factor for thermal conductivity of thermal insulation glazed hollow bead mortar is from 1.04 to 1.11 and with the mean of 1.08, and it is recommended to be 1.10 considering the complexity of moisture absorption during the process of building energy efficiency design for practical projects.

Key words: glazed hollow bead; mortar; thermal insulation; wetting; water content; thermal conductivity; correction factor

玻化微珠是珍珠岩经膨胀急冷形成的表面玻
璃化闭孔的珠状微小颗粒,属于膨胀珍珠岩改进系

列材料,以其为骨料配制的保温砂浆是一种新型无
机保温材料,因具有保温隔热、防火、耐老化性能在

收稿日期:2009-12-16

基金项目:国家自然科学基金重点项目(50538040);国家“十一五”科技支撑计划重大项目课题(2006BAJ01A00、
2006BAJ01A02、2006BAJ01A12、2006BAJ04A12)

作者简介:任鹏(1982-),男,博士生,主要从事建筑节能研究,(E-mail) ren_214@163.com。

孟庆林(联系人),男,教授,博士生导师,主要从事建筑节能研究,(E-mail)mengqinglin@163.net。

国际上受到广泛关注^[1-2]。国外较早开展了以膨胀珍珠岩为主要填料对建材制品改性的研究工作,目的是为了提制品的保温性能^[3-5]。近年来中国学者主要针对玻化微珠保温砂浆配制成型技术和外加剂适应性开展了相关研究^[6-7],同时对玻化微珠及其保温砂浆制品采用憎水法进行优化,提高了干燥状态下保温砂浆的性能^[8-9]。

尽管改性的玻化微珠保温砂浆相比传统膨胀珍珠岩吸水率大幅降低,但其自然吸湿依然是不可忽视的问题。目前针对珍珠岩类制品受潮的吸放湿特性、热工及物理性能等相关研究报道较少^[10-12],因材料集配和气候类型的不同,已发表的相关研究结论也并不能完全适用于玻化微珠保温砂浆和中国的气候类型。中国针对玻化微珠受潮和玻化微珠保温砂浆受潮问题的研究才刚刚开始,尚未形成系统的研究结论^[13-14],以至于中国现行民用建筑热工设计规范无法给出因受潮进行修正的依据^[15],导致实际设计中此类保温材料的导热系数取值混乱,严重影响了建筑节能设计质量。

该文在中国南方湿热气候条件下对玻化微珠保

温砂浆进行了自然态吸放湿实验、质量平衡含湿率实验,测定其湿平衡态下的导热系数,进而提出湿热地区的玻化微珠保温砂浆导热系数修正系数。

1 玻化微珠保温砂浆的自然状态吸放湿试验

1.1 试验仪器及方法

试验采用 2007 年下半年制成的玻化微珠保温砂浆试块,尺寸为 300 mm×300 mm×30 mm,如图 1 所示。测试所采用的仪器包括 HOBO 温湿度自记仪、202A-2S 型数显电热恒温干燥箱和电子天平,仪器及其设置参数如表 1。测试时间为 2008 年 4 月 13-24 日。

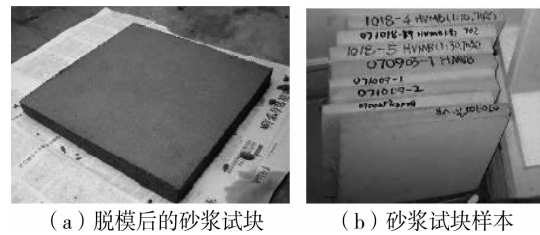


图 1 玻化微珠保温砂浆试块

表 1 吸放湿性能测量参数及仪器

测量参数	测量仪器	仪器精度	采集频率及方法
室内空气温度	HOBO 温、湿度自记仪	±0.1 °C	10 min、自动
室内空气湿度	HOBO 温、湿度自记仪	±5%	10 min、自动
干燥试块	202A-2S 型数显电热恒温干燥箱	±1 °C	手动操作
试块质量	电子天平	±0.1 g	手动称量

试块干燥至恒重的质量记为 m_0 , 将试块置于室内自然环境下,每 24 h 记录试块质量 m , 连续记录 10 d, 得到试块质量含湿率随时间变化的关系曲线如图 2。由 HOBO 温、湿度自记仪测定的室内温、湿度变化见图 3。

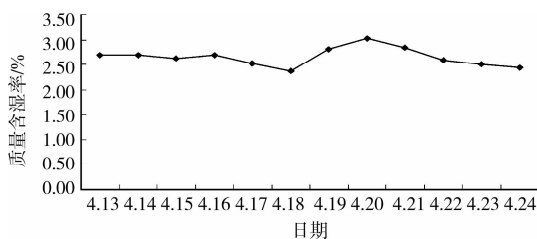


图 2 测试期间试块质量含湿率变化曲线

1.2 试验结果与分析

测试期间的温度基本在 26°C 上下波动,波动幅度小于 2°C,可以视为温度基本恒定。图 3 表明,在该温度条件下,试块吸湿量与室内相对湿度变化趋势一致,即当环境的相对湿度升高时,试块吸收空气

中的水分,并且随着相对湿度的提高质量含湿率也不断增大;相反,当空气相对湿度下降时,试块能释放一部分的水分,使质量含湿率降低。

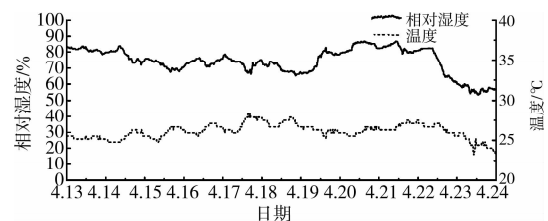


图 3 测试期间环境空气温度、湿度变化曲线

2 质量平衡含湿率试验

根据上面自然状态吸放湿试验结论,试块的吸放湿受环境变化波动的影响。为进一步观察环境湿度波动对玻化微珠保温砂浆含水率变化的影响,更精确了解玻化微珠保温砂浆的吸放湿性能,为测定试件受潮后导热系数提供更充分依据,质量平衡含

湿率试验应用风洞实验台构建稳定的温湿度环境进行吸放湿性能的测定,取得其在某特定温度,不同湿度条件下的质量平衡含湿率,观察分析试件吸湿放湿过程。

2.1 试验装置和仪器

实验在华南理工大学亚热带建筑科学国家重点实验室经国家计量认证(CMA)的热湿气候风洞实验台(2008002969K)完成。实验台试块测试槽及精密电子天平如图 4 所示,环境控制参数见表 2。考虑到风速对实验材料吸放湿效果影响较大,并尽可能使风洞内热环境接近实际,根据《采暖通风与空气调节设计规范》(GBJ 50019-2003),对应南方城市室外夏季平均风速,构建了风洞的逐时刻风速分布如图 5 所示。

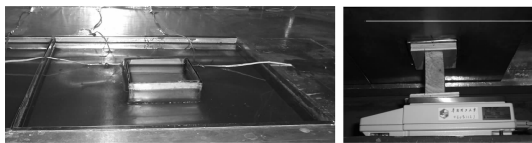


图 4 吸放湿测量槽及精密电子天平

表 2 风洞实验台各环境参数模拟范围及控制精度

环境参数	模拟范围	控制精度	采集频率及方法
空气温度	20~40℃	0.5℃	10 min、自动
相对湿度	40%~90%	5%	10 min、自动
辐射照度	0~1 030 W/m ²	10 W/m ²	手动操作
风速	0~5 m/s	0.2 m/s	手动称量

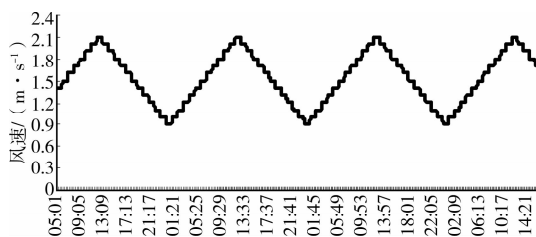


图 5 热湿气候风洞内逐时刻风速值^[16]

2.2 试验方法及内容

根据规范要求并结合风洞实验台的模拟范围,测试构建的温、湿度条件是:温度恒定为 25℃,分别测定试块在相对湿度为 45%、55%、65%、75%、85%的环境下试块的质量平衡含湿率。试块质量通过精度为 0.01 g 的电子天平系统自动记录,当试块的质量每间隔 24 h 的连续 3 次测量结果的变化小于总质量的 0.1%,即认为达到了恒重状态。

根据风洞实验台测试试件的要求,将玻化微珠保温砂浆制成尺寸为 100 mm×100 mm×50 mm 的标准试块,按《建筑材料及制品的湿热性能 吸湿性

能的测定》(GB/T 20312-2006/ISO 12571:2000)的测定步骤,在干燥温度为 105±1℃的干燥箱内干燥达到恒重后,置于风洞实验槽中,从相对湿度为 45%开始逐级增加湿度,分别测定每个湿度环境下材料达到湿平衡时的质量 *m*,求出平衡含湿量。每一级相对湿度达到平衡的时间为 7~10 d。表 3 为 25℃,不同相对湿度吸湿过程的含湿量。

表 3 25℃不同相对湿度吸湿过程质量含湿率

相对湿度/%	45	55	65	75	85
质量含湿率/%	0.396	1.174	2.677	3.644	5.358

当试块在相对湿度为 85%达到湿平衡后,开始逐级降低湿度,分别测定每个湿度环境下材料达到湿平衡时的质量 *m*,求出放湿过程的平衡含湿量。表 4 为 25℃,不同相对湿度放湿过程的含湿量。

表 4 25℃不同相对湿度放湿过程质量含湿率

相对湿度/%	85	75	65	55	45
质量含湿率/%	5.358	5.024	4.695	4.154	4.066

2.3 实验结果与分析

从 2008 年 6 月 12 日-9 月 16 日,经过 3 个多月的测试,测试了试块的等温吸放湿过程,求出每个湿度条件下的平衡含湿率 μ ,得到试件在 25℃时的吸放湿曲线,如图 6。可以看出,试块的等温吸放湿过程并非完全可逆过程。测量范围内平衡放湿曲线斜率明显小于吸湿曲线,说明随着空气相对湿度下降,试块内部所含水分在短时间内并不能完全排出。南方地区潮湿多雨气候条件,相对湿度多在 60%~90%之间,致使玻化微珠保温砂浆频繁受潮,其中水分并无足够时间排出,因此玻化微珠保温砂浆内湿度变化曲线应更接近于平衡放湿曲线,始终保持在较高水平,十分有必要进行玻化微珠保温砂浆受潮后导热系数的变化。

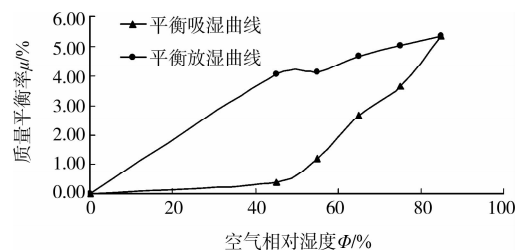


图 6 玻化微珠保温砂浆等温吸放湿曲线

3 导热系数试验

3.1 试验方法

试验选取 7 块 2007 年制成的玻化微珠保温砂浆试块先后测定其湿平衡和烘干状态下的导热系

数,模拟玻化微珠保温砂浆做为外墙内保温系统受潮情况下与绝干状态下导热系数差别。测试之前,试块保存于样品间内长达 1 a 之久(样品间内温度湿度与普通无空调房间类似,主要随室外温湿度影响),可认为内部含水率与环境温湿度已经达到平衡状态。

试验时间为 2009 年 4 月 6 日—4 月 23 日。测试仪器为中国建筑科学研究院研制的 TPMBE—300 平板导热仪,热板设定温度为 35.0℃,冷板设定温度为 15.0℃,平均温度 25.0℃。每次导热系数测试前后均测量试块质量,以免试验过程中试块含水率变化对试验结果造成不可忽略影响。试验期间样品间室内温度 20~30℃,空气相对湿度在 60%~90%之间。测定室测试湿平衡试件导热系数时,只开启空调控制温湿度,环境温度 20~22℃,空气相对湿度 45%~55%;测试烘干后试件导热系数时,开启空调和除湿机,环境温度 20~22℃,空气相对

湿度 30%~40%。

3.2 试验结果与分析

3.2.1 测试过程中试块质量变化

湿平衡状态下,试块测量过程中质量变化率均小于 0.2%,其变化对于试块热系数的影响已经远小于导热系数测定仪的精度。另外,导热系数测定室内采用空调控温,其环境温湿度均小于样品间,因此测量过程中试块质量均为负变化。

根据《无机硬质绝热制品试验方法—密度、含水率及吸水率》GB/T 5486.3—2001,试块应在 105±5℃温度烘干下,每隔 3 h 对试块进行称重,质量变化率小于 0.2% 认为达到绝干状态。试块烘干后,整个测试过程总质量变化率只有试块 3 和试块 6 超过 0.2%。

3.2.2 导热系数及质量平衡含湿量测试结果

含湿与烘干状态的导热系数测试结果如表 5。

表 5 含湿与烘干状态的导热系数测试结果

试块编号	状态	测试前密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	测试后密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	质量平衡 含湿率/%	导热系数/ ($\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$)	修正系数
1	湿平衡	445.5	445.2	3.98	0.090	1.10
	烘干	428.4	429.0		0.082	
2	湿平衡	410.6	410.0	3.81	0.083	1.07
	烘干	395.5	396.2		0.078	
3	湿平衡	370.1	369.8	3.57	0.079	1.09
	烘干	357.4	358.3		0.072	
4	湿平衡	458.7	458.5	4.49	0.094	1.11
	烘干	439.0	439.6		0.085	
5	湿平衡	351.0	350.5	3.22	0.074	1.09
	烘干	340.1	340.7		0.068	
6	湿平衡	367.0	366.7	2.84	0.076	1.04
	烘干	356.9	357.7		0.073	
7	湿平衡	363.3	363.0	2.93	0.076	1.06
	烘干	352.9	353.5		0.072	
平均值	湿平衡	395.2	394.8	3.55	0.082	1.08
	烘干	381.5	382.1		0.076	

测试结果表明:

1) 试块烘干状态下导热系数为 0.068~0.085 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,均符合 GB/T 20473—2006 对“硬化后的物理力学性能”II 型规定。湿平衡状态下导热系数在 0.074~0.094 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 之间,导热系数增大 4.11%~10.61%,平均增大 7.82%。

2) 试块干密度在 340.1~439.0 kg/m^3 ,大部分满足 GB/T 20473—2006《硬化后的物理力学性能》II 型干密度小于 400 kg/m^3 的要求。湿平衡状态下试件密度在 369.8~458.5 kg/m^3 ,质量平衡含水率在 2.84%~4.49% 之间,平均值为 3.55%,如图 7 所示。

3)测试结果验证了玻化微珠保温砂浆密度越小导热系数越小这一基本趋势,并且在湿平衡状态下试件导热系数随密度增长趋势与烘干状态下一致,如图8。

4)试块受潮后导热系数修正系数在1.04~1.11之间,平均值为1.08。因实际工程中存在若干施工允许误差和质量允许偏差,诸如保温砂浆干粉料的质量偏差、现场拌合和施工成型的误差等,均会导致保温砂浆的保温性能出现偏差,为适当保守起见,该修正系数取为1.10为宜。

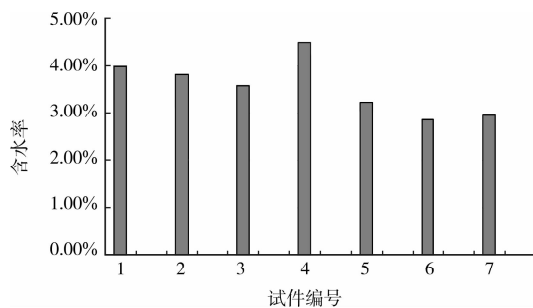


图7 湿平衡质量含水率图

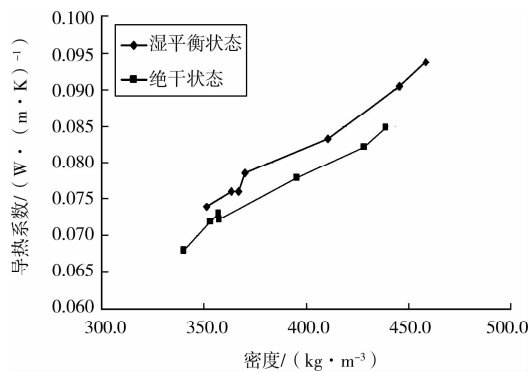


图8 导热系数与密度关系图

4 结论

通过测试在室内自然条件下存放的建筑玻化微珠保温砂浆试块的自然态吸放湿曲线、风洞试验台测得的质量平衡含水率以及在实验室标准工况下测得的湿平衡状态及绝干状态下导热系数,得出结论如下:

1)玻化微珠保温砂浆吸放湿过程短时间内并非完全可逆过程;测量范围内平衡放湿曲线斜率明显小于吸湿曲线,表明随着空气相对湿度下降,砂浆内部所含水分在短时间内并不能完全排出。

2)玻化微珠保温砂浆在相同温湿度环境下存在平衡含水量,且平衡含水量随环境温湿度同向变化;测试分析结果表明,在南方地区潮湿气候条件下玻

化微珠保温砂浆质量平衡含水率约为3.55%。

3)满足现行标准要求的玻化微珠保温砂浆烘干状态下导热系数为0.068~0.085 W/(m·K),湿平衡状态下导热系数在0.074~0.094 W/(m·K)之间,导热系数增大4.11%~10.61%,平均增大7.82%。湿平衡状态下玻化微珠保温砂浆导热系数修正系数为1.08,工程设计该修正系数取1.10为宜。

参考文献:

- [1] PAPADOPOULOS A M. State of the art in thermal insulation material and aims for future developments [J]. Energy and Buildings, 2005, 37 (11): 77-86.
- [2] PAPADOPOULOS A M. Design and Development of Innovative Stone-wool Products for the Energy Upgrading of Existing and New Buildings[R]. Project Thessaloniki, 2004.
- [3] ILER BEKIR TOPCU, BURAK ISLKDAG. Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite[J]. Building and Environment, 2007, 42 (10): 3540-3546.
- [4] KIKAVA O SH, BAJKOV B K, NEJMAN S M. Composition for Making Heat Insulating Material: Russia, SU 1079654-A1[P], 1984-03-15.
- [5] RAMAZAN DEMIRBOG A, RUSTEM GUL. Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate concrete with mineral admixtures[J]. Energy Buildings, 2003, 35: 1155-1159.
- [6] 贺智敏, 闫成文, 张剑锋. 膨胀玻化微珠保温砂浆配制技术试验研究[J]. 新型建筑材料, 2007(8): 73-76. HE ZHI-MIN, YAN CHENG-WEN, ZHANG JIAN-FENG. Experimental study on preparation technique of expanded vitrified microsphere heat insulation mortar [J]. New Building Materials, 2007(8): 73-76.
- [7] 徐迅, 李英丁, 张铭. 外加剂对玻化微珠保温砂浆性能的影响[J]. 新型建筑材料, 2008(12): 60-63. XU XUN, LI YING-DING, ZHANG GE. Influence of addition agent on performance of vitrified microsphere thermal insulation mortar[J]. New Building Materials, 2008(12): 60-63.
- [8] 孟庆林, 李宁, 李秀辉, 等. 低品质玻化微珠改性试验研究[J]. 新型建筑材料, 2008(5): 43-45. MENG QING-LIN, LI NING, LI XIU-HUI, et al. Experimental study on modification of low quality vitrified microspheres [J]. New Building Materials, 2008(5): 43-45.

(下转第95页)

- 703-709.
- [12] JAYAMOBAN S, OHGAIKI S. Effect of DO on kinetics of nitrification[J]. *Water Supply*, 1996, 6: 141-150.
- [13] 赵庆良, 刘雨. 废水处理与资源化新工艺[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
- [14] 沈耀良, 王宝贞. 废水生物处理新技术[M]. 2版. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [15] 彭永臻, 刘秀红. DO浓度对生活污水硝化过程中 N_2O 产生量的影响[J]. *环境科学*, 2006, 29(3): 660-664.
PENG YONG-ZHEN, LIU XIU-HONG. Effects of DO concentration on N_2O production during nitrification for treating domestic wastewater [J]. *Environmental Science*, 2006, 29(3): 660-664.
- [16] LIU Y, CAPDEVILLE B. Response pattern of nitrifying biofilm reactor to shock loading[J]. *Biotechnol. Lett.*, 1994, 16: 655-660.
- [17] 马俊. 倒置 A^2/O 工艺污水生物脱氮效果研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2006.
- [18] 沈耀良, 王宝贞. 废水生物处理新技术[M]. 2版. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [19] 陈金声, 史家辉, 徐亚同. 硝化速率测定和硝化细菌计数考察脱氮效果的应用[J]. *上海环境科学*, 1996, 15(3): 18-20.
CHEN JIN-SHENG, SHI JIA-HUI, XU YA-TONG. Measurement of nitrifying rate and nitrobacteria count for application to investigating the effects of denitrification [J]. *Shanghai Environmental Science*, 1996, 15(3): 18-20.

(编辑 王秀玲)

(上接第75页)

- [9] 曾亮, 黄少文, 胡欣, 等. 玻化微珠保温砂浆的性能优化[J]. *南昌大学学报: 工科版*, 2008, 30(4): 341-344.
ZENG LIANG, HUANG SHAO-WEN, HU XIN, et al. Optimizing properties of vitrified microsphere insulation mortar[J]. *Journal of Nanchang University: Engineering & Technology*, 2008, 30(4): 341-344.
- [10] SEMIHA YILMAZER, MESUT B OZDENIZ. The effect of moisture content on sound absorption of expanded perlite plates[J]. *Building and Environment*, 2005, 40, (3): 311-318.
- [11] WALDEMAR PICHOR, AGNIESZKA JANIEC. Thermal stability of expanded perlite modified by mullite[J]. *Ceramics International*, 2009 35(1): 527-530.
- [12] IBRAHIM TURKMEN, ABDULHAMIT KANTARCL. Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete[J]. *Building and Environment*, 2007, 42(6): 2378-2383.
- [13] 方萍, 吴懿, 龚光彩. 膨胀玻化微珠的显微结构及其吸湿性能研究[J]. *材料导报*, 2009, 23(10): 112-114.
FANG PING, WU YI, GONG GUANG-CAI. Study on the microstructure of expanded and vitrified small balls and its sorption performance [J]. *Materials Review*, 2009, 23(10): 112-114.
- [14] 方正. 保温砂浆的热湿性能研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
- [15] 中华人民共和国建设部. GB 50176-93 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993
- [16] 张玉. 建筑多孔材料热蒸发量湿气候风洞测试方法[D]. 广州: 华南理工大学, 2005.

(编辑 胡英奎)