



纳米粉煤灰夹心砌块的研制

宋国芳, 朱平, 王四清, 蒋荣

湖南交通工程职业技术学院, 湖南衡阳 421001

摘要 利用纳米材料、水泥、粉煤灰等主要原材料, 加入适量外加剂, 中间填入废弃聚苯乙烯泡沫, 通过自然养护方法研制出纳米粉煤灰夹心砌块这一新型墙体材料。依据粉煤灰混凝土空心砌块的设计要求, 设计砌块块型。根据正交实验方法, 以砌块抗压强度为主要指标, 优化砌块配合比参数, 研制出了具有承重、保温隔热等多重功能的新型砌块。

关键词 纳米材料; 粉煤灰; 夹心砌块; 抗压强度; 保温性能

中图分类号 TU522.3+4

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)17-0096-05

Study on the Nano-fly Sandwich Block

SONG Guofang, ZHU Ping, WANG Siqing,
JIANG Rong

Hunan Technical College of Communications & Engineering,
Hengyang 421001, Hunan Province China

Abstract A fundamental policy of our country is to substitute solid center clunch brick with a new type of mural material. Fly ash block is a new type of mural material, which is encouraged to be studied by the policy. At present, the fly ash mural material has the performance of weight bearing and a poor heat preservation function. But the heat preservation one don't have weight bearing character. The propose of this paper was to work out a new type of mural material which has the functions of load-bearing and thermal insulation. The block is composited by fly ash, nanometer material, portland cement and other raw material. The waste polystyrene is filled in the middle of the block. The block-type was designed in accordance with the requirements of fly ash concrete hollow block. According to the method of orthogonal experiment, block's compressive strength as the main index, the mix ratio of raw materials of the block was optimized. Through methods of nature conservation, a new wall material-the nano-fly sandwich block was developed. Through the experiment, the compressive strength of the new type of block achieved 13.68 MPa. The heat transfer coefficient of such mural material was 1.02 W/(m²·K). The nano-fly sandwich block studied in this paper possesses the good performance of anti-

press strength, attains the standard of Mu10. The block's heat preservation property is better. Such sandwich block has the functions of weight bearing, heat preservation, environment protection and waste using.

Keywords nano-materials; fly ash; sandwich block; compressive strength; insulation properties

0 前言

建筑行业是粉煤灰最主要的应用领域, 但利用层次较低, 对粉煤灰在建筑材料的高掺量高等级的研究和应用一直是广大科研工作者努力的目标^[1]。但是掺粉煤灰新型墙体材料或者具备承重的特性而保温性能差, 或者保温性能好却不具备承重性能^[2], 粉煤灰混凝土小型空心砌块在使用中也存在着一定的缺陷, 主要表现为: 砌筑的墙体产生墙体裂缝, 如在门窗的角部、顶部的山墙, 尤其在多层住宅顶层端开间、纵、横墙部分容易产生各种各样的裂缝; 而且出现渗漏问题的弊病较为普遍; 热工性能差、导热系数高、保温隔热性能差^[3]。

纳米材料是 20 世纪 80 年代初发展起来的新型材料, 具有奇特的性能和广阔的应用前景, 被誉为跨世纪的新材料, 引起了科学界和企业界的极大关注。纳米材料对水泥、混凝土力学性能影响的研究具有探索性意义, 能改善粉煤灰混凝土的物理力学性能^[4]。目前, 塑料泡沫等废弃物日益增加, 白色污染日趋严重, 有研究认为粉煤灰砌块中掺加塑料废弃物, 具有很好的环境效益^[5]。

为提高粉煤灰在建材领域的利用层次, 本文以废弃的聚苯乙烯泡沫为填充物, 砌块强度为主要观察指标, 应用正交实验方法研制出具有承重、利废、环保、保温隔热等多重功能的掺纳米粉煤灰夹心砌块。

收稿日期: 2009-08-07

基金项目: 湖南省科技计划项目(2008GK3113); 湖南省教育厅科学研究项目(08D058); 衡阳市科技计划项目(2007KJ05)

作者简介: 宋国芳, 副教授, 研究方向为工程结构与材料, 电子信箱: sgf203@126.com

2) 水泥

1.1 试验材料

1) 粉煤灰

采用耒阳电厂 III 级湿排原状粉煤灰, 其化学成分和物理性能见表 1。

试验所用水泥为衡阳市水泥厂生产的湘江牌 42.5R 普通硅酸盐水泥,性能指标见表 2。

3) 纳米 SiO₂

浙江弘晟科技材料股份有限公司生产,技术指标见表 3。

表 1 粉煤灰化学成分和部分物理性能

Table 1 Chemical composition and part physical properties of fly ash

项目	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	烧失量	细度 (45 μm 筛余)	需水量比/%
检测值/%	53.35	4.23	28.95	4.70	2.14	1.45	11.5	18.4	102

表 2 水泥部分物理性能

Table 2 Part physical properties of cement

需水量比/%	安定性	凝结时间/min		强度/MPa			
		初凝	终凝	3 d		28 d	
				抗折	抗压	抗折	抗压
26.5	合格	135	190	6.7	31.3	8.4	47.3

表 3 纳米 SiO₂ 的物理性质

Table 3 Physical properties of nanometer SiO₂

名称	纯度 /%	粒径 /nm	比表面积 /(m ² ·g ⁻¹)	松装密度 /(g·cm ⁻³)
纳米 SiO ₂	>99.5	20~50	640±30	<0.12

4) 集料

细集料:本地河砂、中砂,细度模数 2.162,表观密度 2.167 g/cm^3 ,堆积密度 1.52 g/cm^3 。粗集料:本地碎石,粒径为 $5\sim 10 \text{ mm}$,密度 2.63 g/cm^3 。集料配比:砂/(砂+石)=0.39。

5) 其他

废旧聚苯乙烯泡沫:将废旧聚苯乙烯泡沫加工破碎成1~4 cm的颗粒。外加剂主要由高效减水剂、早强剂、激发剂等有机和无机材料复合而成。水:普通自来水。

1.2 设计方案

1) 块型设计

根据目前粉煤灰混凝土小型空心砌块 190 宽系列的规格,其主砌块的尺寸为 390 mm×190 mm×190 mm。

2) 孔型设计

砌块采用横向双孔方式,孔形为方孔,两孔中间为厚 42 mm 壁。孔为 144 mm×130 mm×130 mm,周边壁厚 30 mm,中间壁厚 42 mm,孔内填入废旧聚苯乙烯泡沫,如图 1 所示。

3) 泡沫颗粒大小设计

垂直空气间层的厚度,太大了没有用,太小了效果不很

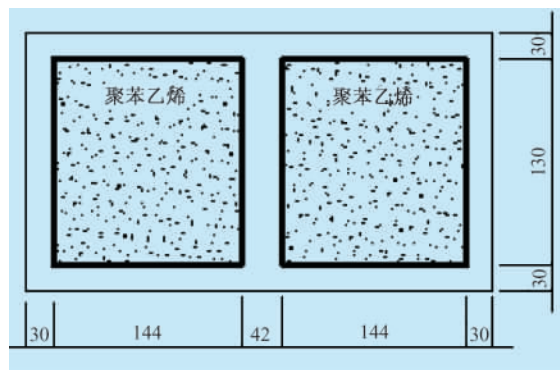


图 1 纳米粉煤灰夹心砌块示意图(单位:mm)

Fig. 1 Diagram of nano-flyash sandwich block
(unit: mm)

好,宜选用 2~4 cm 厚的垂直(与传热热流方向垂直)空气间层,这样的空气间层占用的空间少,保温效果也比较好^[6]。将聚苯乙烯泡沫破碎成 1~4 cm 的颗粒,不但利用了聚苯乙烯颗粒的保温隔热效果,而且利用了颗粒间形成的空气间层的保温隔热效果。

1.3 试验方法

1) 试件的制作和养护

试验在湖南交通工程职业技术学院土建试验室完成,拌和料采用轮碾机搅拌,试块成型采用加压振动成型。常温常压下养护,逐步达到设计强度及各指标的要求。试块成型过程如下:①试模壁涂刷机油;②装试模;③填料、捣实;④孔

洞成型及孔洞内填充聚苯乙烯泡沫;⑤ 盖料及压制成型;
⑥ 拆模,取出试块。试验试块的龄期为 28 d。本次试验正交设计共 9 组,每组 6 个。按照正交设计的原则,经计算,各组的材料用量见表 4。

表 4 各组材料用量 Table 4 Amount of material in each group					
序号	A/%	B/%	C(代	集料	D 掺量/%
1	1(35)	1(10)	1	100-A-B-C	1(0.20)
2	1	2(12)	2	同上	2(0.22)
3	1	3(14)	3	同上	3(0.24)
4	2(40)	1	2	同上	3
5	2	2	3	同上	1
6	2	3	1	同上	2
7	3(45)	1	3	同上	2
8	3	2	1	同上	3
9	3	3	2	同上	1

注: A 为粉煤灰;B 为水泥;C 为纳米材料;D 为掺量。
Notes: A, fly ash; B, cement; C, nano material; D, water.

2) 抗压强度测定

试件准备及试验步骤参考《混凝土空心砌块试验方法》(GB 4111-1997)规定进行,在砌块养护 28 d 后进行抗压强度试验,加压设备为 200 t 压力试验机。

测试方法:应用压力试验机进行测试,记录最大破坏荷重。

结果计算:每个试件的抗压强度按下列公式计算^[7],精确至 0.1 MPa。

$$R=P/LB \tag{1}$$

式中,R 为抗压强度,MPa;P 为最大破坏荷重,N;L 为受压面的长度,mm;B 为受压面的宽度,mm。

1.4 试验结果

正交表采用 $L_9(3^4)$ 试验方案因素包括粉煤灰、水泥、纳米材料和水(骨料掺量为非独立因素),每个因素有三个水平。各水平抗压强度的试验结果和正交分析、极差分析见表 5。每种水平/因素的试件为 6 个,取平均值为其试验结果;表中的抗压强度、容重均为 28 d 测定值;水的掺量为水泥与粉煤灰之和的百分比。

表 5 $L_9(3^4)$ 28 d 抗压强度结果和极差分析 Table 5 Result of compressive strength and range analysis of the 28th day ($L_9(3^4)$)					
试验号	A/%	B/%	C/%	D/%	抗压强度 /MPa
1	1(35)	1(10)	1	1(0.20)	8.75
2	1	2(12)	2	2(0.22)	12.26
3	1	3(14)	3	3(0.24)	13.82
4	2(40)	1	2	3	8.47
5	2	2	3	1	11.52
6	2	3	1	2	13.68
7	3(45)	1	3	2	7.53
8	3	2	1	3	9.82
9	3	3	2	1	12.39
K_{1j}	11.61	8.25	10.75	10.89	
K_{2j}	11.22	11.20	11.04	11.16	
K_{3j}	9.91	13.30	10.96	10.70	
极差(R)	1.7	5.05	0.29	0.46	
最优方案	A1	B3	C2	D2	

注: A 为粉煤灰;B 为水泥;C 为纳米材料;D 为掺量。
Notes: A, fly ash; B, cement; C, nano material; D, water.

1.5 结果分析

粉煤灰的潜在火山灰活性使粉煤灰混凝土的强度随龄期的增加而增加,后期强度的不断增加,保证了粉煤灰小砌块墙体的承载力,提高了建筑物的安全性^[8]。但粉煤灰中活性成分参与水泥的水化反应,比起水泥本身矿物成分实体强度低,因此,砌块实体强度随掺灰量的增加而有所下降。试验中发现(图 2),当粉煤灰掺量为 45%时,较 40%抗压强度下降 11.7%;粉煤灰掺量为 40%时较 35%抗压强度下降约 3.4%,强度下降不明显,但掺灰量明显增加,故认为掺量为 40%较好。

从极差分析结果看,水泥对砌块强度贡献最大。结果表明,在相同的条件下,砌块的强度随着水泥掺量的增加而有规律的变化,大致呈线性增加,从图 3 可以看出,水泥掺量由 10%增加到 12%,28 d 强度增加 35.8%;水泥掺量由 12%增加到 14%,28 d 强度增加 18.8%。

水掺量在拌和料形成、试块制作以及养护过程中,都是影响砌块强度、吸水率指标的重要因素。在拌和时,如果加入的水掺量过少,形成的拌和料不均匀,使制成砌块差异太大,同时也影响其强度。本研究发现,水掺量占粉煤灰加水泥重

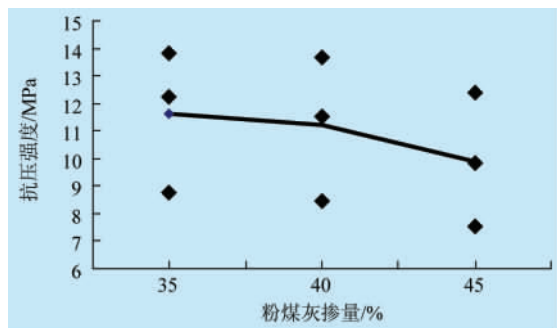


图 2 粉煤灰掺量和抗压强度的关系

Fig. 2 Relationship between the compressive strength and the content of fly ash

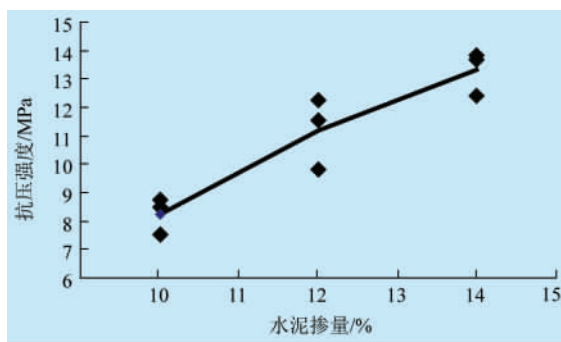


图 3 水泥与抗压强度的关系

Fig. 3 Relationship between the compressive strength and the content of cement

量的 22% 时,砌块强度较大(见图 4)。

研究发现,当纳米材料的掺入比率为配方 2 时较配方 1 砌块强度略有提高,但成本增加明显;当纳米材料的掺入比率为配方 3 时较配方 2 砌块强度略有下降,此时砌块成本又有增加,故纳米材料掺入量选用配方 1。综合考虑,选取的因素水平组合为 A2B3C1D2,即粉煤灰 40%,水泥 14%,纳米材料为配方 1,水 0.22%。

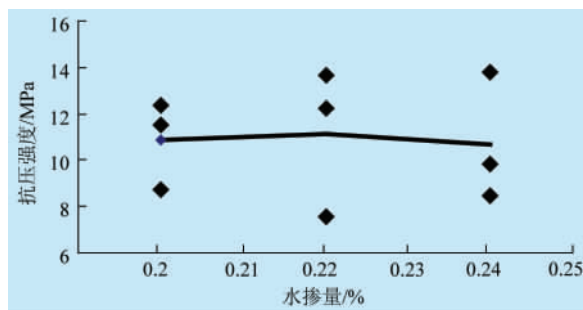


图 4 水掺量和抗压强度的关系

Fig. 4 Relationship between the compressive strength and the content of water

本试验发现,掺入不同掺量的纳米材料对砌块的抗压强度影响不大,3种配方的纳米材料对砌块强度影响仅为0.29 MPa。掺加纳米材料与否对砌块抗压强度的影响,将通过下一

阶段的实验进一步研究探讨。

2 抗压强度和砌块墙体保温性能测试

2.1 试验设计

根据第一阶段试验结果可知,不同掺量的纳米材料对砌块的抗压强度影响不大,不掺加纳米材料对砌块强度是否产生影响,需进一步研究。故本阶段试验制作了 A2B3C1D2 纳米粉煤灰夹心砌块,其他配方不变但未加纳米材料的粉煤灰夹心砌块。在这两种砌块的基础上,其他配方不变,砌块中央不填充聚苯乙烯泡沫,制作了相应的粉煤灰空心砌块及纳米粉煤灰空心砌块。本阶段试验比较这 4 种砌块的抗压强度,及测试由这 4 种砌块砌筑的墙体保温性能,试验中砌块墙体的尺寸均为 1 200 mm×1 200 mm×190 mm, 每组共做了 6 个试件。

2.2 试验方法

砌块抗压强度测试与第1小节第2)点相同,墙体保温性能试验参照 GB/T 13475-2008《绝热 稳态传热性质的测定标定和防护热箱法》进行,试验装置与文献[9~10]类似,主要包括计量箱、热套间、冷箱、冷套间和空调器,以及量测不同位置温度的热电偶温度计。各墙体的传热系数为

$$K=Q/A(T_{ni}-T_{ne}) \quad (2)$$

式中, K 为传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; A 为试件计算面积, m^2 ; Q 为通过试件热量, W ; T_{ni} 、 T_{ne} 分别为热、冷室的环境温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

2.3 试验结果与讨论

1) 试验结果

试验测得的各类砌块的抗压强度见表 6, 试验得到的各类砌块墙体的实测传热系数见表 7, 这些结果是剔除误差较大的试验结果后剩余试验结果的平均值。由表 6 可见, 各类砌块抗压强度比较: 纳米粉煤灰夹心砌块=纳米粉煤灰空心砌块>未加纳米材料的粉煤灰夹心砌块=未加纳米材料粉煤灰空心砌块。由表 7 可见, 纳米粉煤灰夹心砌块墙体的传热系数<未加纳米材料的粉煤灰夹心砌块<纳米粉煤灰空心砌块<未加纳米材料粉煤灰空心砌块。

表 6 不同砌块抗压强度(单位:MPa)

Table 6 Compressive strength of different block (unit: MPa)

粉煤灰 空心砌块	纳米粉煤灰 空心砌块	粉煤灰 夹心砌块	纳米粉煤灰 夹心砌块
9.75	13.53	9.32	13.68

表 7 不同砌块墙体的传热系数(单位:W/(m²·K))

Table 7 Heat transfer coefficient of the walls by different block (unit: $W/(m^2 \cdot K)$)

粉煤灰 空心砌块	纳米粉煤灰 空心砌块	粉煤灰 夹心砌块	纳米粉煤灰 夹心砌块
1.62	1.43	1.29	1.02

2) 讨论

由于粉煤灰混凝土空心砌块强度增长缓慢^[11],在试块制作期间,加入一定量的纳米材料,有利于提高砌块的早期强度及密实度。纳米材料是比水泥细 1 000 倍的颗粒,在水泥浆中能够填充细小的空隙,提高混凝土的黏聚性和保水性。当纳米 SiO₂(NS)有一定的数量时,比水泥更容易形成絮凝结构,包裹一定水分,使得水泥浆变得干稠,影响混凝土的流动性,NS 的数量越多,这种现象越显著,故较大掺量纳米 SiO₂将严重地影响水泥净浆的流动性。NS 严重增加水泥净浆的稠度^[12],说明 NS 对混凝土流动性将有不利的影响。NS 主要作用也是把水泥中的 Ca(OH)₂ 转变成水化硅酸钙,提高了水泥石的强度;NS 与粉煤灰(FA)复合后纳米级的微粉填充于 FA 颗粒中,形成更好的颗粒级配,因此复合后有更好的效果。

从以下方面可以反映出 NS 对粉煤灰混凝土强度的提高:① Ca(OH)₂ 在 7 d 龄期内在水泥浆体和骨料界面大量形成,这对黏结强度是不利的,对混凝土的早期强度也不利,NS 由于比表面积大,是高活性的掺合料,能够以极快的速度与早期形成的 Ca(OH)₂ 进行反应,有效细化 Ca(OH)₂ 晶粒,减少了碱集料反应和硫酸盐侵蚀的可能性,提高水泥浆和骨料的界面强度,从而提高混凝土早期的抗压和抗折强度,对提高混凝土后期的强度也有利。② NS 与早期析出 Ca(OH)₂ 的快速反应,使水化过程的 Ca(OH)₂ 浓度降低,从而加快了水泥的水化,水化热的提早产生加速了水泥其他成分的水化过程,因此混凝土的早期强度有所提高。③ NS 不但可以填充水泥的空隙,更重要的是可改善混凝土中水泥石与骨料的界面结构,使混凝土强度、抗渗性与耐久性均得以提高。加入纳米材料的砌块与未加入纳米材料的砌块相比,强度明显提高,具有承重功能,达到了 Mu10 标准。加入聚苯乙烯泡沫与否,对砌块强度无明显影响,说明砌块中央填入聚苯乙烯泡沫对砌块强度无明显影响。

填入聚苯乙烯泡沫的夹心砌块墙体保温性能较未加入聚苯乙烯泡沫的空心砌块墙体有明显提高,说明聚苯乙烯泡沫可明显改善墙体的保温性能,且砌块消耗了大量废弃聚苯乙烯泡沫,有利于清除白色污染。掺加纳米材料的砌块与未掺加纳米材料的同类砌块相比,保温性能也有所提高,其机制有待于今后运用扫描电镜进行进一步研究。

3 结论与建议

1) 通过正交设计,研制的纳米粉煤灰夹心砌块具有较高强度和较好的保温性能,克服了目前掺粉煤灰新型墙体材料或者具备承重的特性而保温性能差,或者保温性能好却不具备承重性能的缺点,为利用粉煤灰生产优质的建筑墙体材料提供了一条新思路。可提高建筑物的保温隔热性能,降低建筑物的综合能耗和使用能耗,对环保节能极为有利。

2) 研制的纳米粉煤灰夹心砌块粉煤灰掺量高,大量消耗

掉废弃聚苯乙烯泡沫,为消除白色污染找到一条新途径,为粉煤灰的高等级研究和应用提供了新的方法。

3) 填充聚苯乙烯泡沫与否,对砌块强度无明显影响,说明砌块中央填入聚苯乙烯泡沫不影响砌块的承重性能。

4) 掺加纳米材料的砌块保温性能高于未掺加纳米材料的粉煤灰夹心砌块,可能与纳米材料改善砌块的微观结构有关,其机制有待于运用电镜扫描进行进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 姚哲, 支楠, 刘媛媛. 高掺量粉煤灰砌块制备的实验研究 [J]. 砖瓦, 2009(1): 10-13.
Yao Zhe, Zhe Nan, Liu Yuanyuan. *Block-Brick-Tile*, 2009(1): 10-13.
- [2] 王尚友. 粉煤灰承重砌块的研制[J]. 房材与应用, 2000, 28(6): 34-36.
Wang Shangyou. *Housing Materials & Applications*, 2000, 28(6): 34-36.
- [3] 李学芳, 孙玉凤. 利用粉煤灰生产各种墙体材料的性能特点 [J]. 砖瓦, 2006, 2: 13-15.
Li Xuefang, Sun Yufeng. *Block-Brick-Tile*, 2006, 2: 13-15.
- [4] 季韬, 黄与舟, 郑作樵. 纳米混凝土物理力学性能研究初探[J]. 混凝土, 2003. 3: 13-14.
Ji Tao, Huang Yuzhou, Zheng Zuoqiao. *Concrete*, 2003. 3: 13-14.
- [5] 张照宇. 粉煤灰砌块的研究 [J]. 苏州城建环保学院学报, 2002,15(2): 56-58.
Zhang Zhaoyu. *Journal of Suzhou Institute of Urban Construction and Environmental Protection*, 2002,15(2): 56-58.
- [6] 杨伟军, 田俊杰, 祝晓庆. 硅空心砖性能及其应用研究报告[R]. 长沙市新型墙体材料办公室, 2002.
Yang Weijun, Tian Junjie, Zhu Xiaoqing. Research report about the properties and applications of silicon hollow brick [R]. Neotype walling office of Changsha, 2002.
- [7] 混凝土空心砌块试验方法 (GB/T 4111-1997)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
Test methods for the small concrete hollow block GB/T4111-1997[S]. Beijing: China Building Industry Press, 1997.
- [8] 武民, 祁岩. 粉煤灰小型空心砌块性能指标[J]. 砖瓦, 2006, 4: 53-54.
Wu Min, Qi Yan. *Block-Brick-Tile*, 2006, 4: 53-54.
- [9] 杨莉萍, 张双喜, 王延东. 新型复合保温砌块的热工性能研究[J]. 新型建筑材料, 2002(10): 85-87.
Yang Liping, Zhang Shuangxi, Wang Yandong. *New Building Materials*, 2002(10): 85-87.
- [10] 陈建芳, 张双喜, 叶必朝. 复合墙体保温性能的试验研究[J]. 新型建筑材料, 2005(6): 85-88.
Chen Jianfang, Zhang Shuangxi, Ye Bichao. *New Building Materials*, 2005(6): 85-88.
- [11] Kumar S. Utilisation of FaL-G bricks and blocks in buildings[J]. *Indian Concr J*, 2001, 75: 463-467.
- [12] 李颖, 唐明, 聂元. 纳米级 SiO_x 与硅灰对水泥浆体需水量的影响[J]. 沈阳建筑工程学院学报: 自然科学版, 2002, 18(4): 278-281.
Li Ying, Tang Ming, Nie Yuan. *Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science Edition*, 2002, 18(4): 278-281.

(责任编辑 岳臣)