

# 陶粒混凝土自保温砌块及其热工性能的研究

王长宝<sup>1</sup>, 张茂亮<sup>2</sup>, 陈 闯<sup>3</sup>, 杨艳娟<sup>2</sup>, 徐元盛<sup>2</sup>

(1. 河南省建设工程质量监督总站, 河南 郑州 450000; 2. 河南建筑材料研究设计院有限责任公司, 河南 郑州 450002;  
3. 上海天恺硅粉材料有限公司, 上海 200070)

摘 要: 利用粉煤灰陶粒代替天然骨料生产出抗压强度达到 MU3.5 的陶粒混凝土自保温砌块, 并对其砌筑墙体的保温性能进行了测试。研究表明, 粉煤灰陶粒混凝土自保温砌块墙体的实测传热系数低于 1.0 W/(m<sup>2</sup>·K), 保温性能明显优于烧结空心砌块和普通混凝土空心砌块。

关键词: 陶粒混凝土; 自保温砌块; 传热系数

中图分类号: TU528.7 文献标志码: A 文章编号: 1002-3550(2013)10-0145-03

Research on thermal insulating performance of ceramsite concrete self-insulation blocks

WANG Changbao<sup>1</sup>, ZHANG Maoliang<sup>2</sup>, CHEN Chuang<sup>3</sup>, YANG Yanjuan<sup>2</sup>, XU Yuansheng<sup>2</sup>

(1. Henan Projects Quality Supervision Office, Zhengzhou 450000, China; 2. Henan Building Materials Research and Design Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450002, China; 3. Shanghai Topken Silica Fume Co., Ltd., Shanghai 200070, China)

Abstract: It was produced that the ceramsite concrete self-insulation block using flyash ceramsite, which the compressive strength meet the requirements of MU3.5, and the thermal insulating performance of the ceramsite concrete self-insulation block was also studied. The result showed that the heat transmission coefficient of ceramsite concrete self-insulation block masonry was less than 1.0 W/(m<sup>2</sup>·K), the thermal insulating performance was obviously better than fired hollow block and normal concrete hollow block.

Key words: ceramsite concrete, self-insulation block, heat transmission coefficient

## 0 引言

近几年来, 随着我国建筑节能和墙体材料革新工作的深入开展, 新型墙体材料的开发和研究工作得到广泛的重视, 目前在河南地区应用较多的有混凝土多孔砖、蒸压粉煤灰砖和混凝土空心砌块, 以及非黏土烧结砖等, 但能真正比较全面符合轻质、保温、节能、环保等多种功能的优质新型墙体材料并不多见。

陶粒是一种人造轻质粗集料, 一般由页岩、黏土岩或粉煤灰等经粉碎、筛分、再在 1 000 °C 高温左右下烧结而成, 外壳表面粗糙而坚硬, 内部多孔, 具有较小的密度和良好的保温性能, 主要用于配制轻集料混凝土、轻质砂浆, 也可做耐酸、耐热混凝土集料。对其开发、应用方面的研究已有相关报道<sup>[1-6]</sup>, 但针对其在量大面广的墙体材料领域的应用及其热工性能的研究还远远不够。本试验以粉煤灰陶粒为主要原料, 研制粉煤灰陶粒混凝土自保温砌块, 对用空心砌块和空腔填充发泡水泥砌块墙体的热工性能进行了研究并进行了对比分析。

## 1 试验用原材料

水泥: 试验采用郑州某水泥厂生产的 P·C 32.5 级水泥, 其技术性能应符合 GB 175—2007《通用硅酸盐水泥》的要

求, 28 d 抗压强度 36.9 MPa。

粉煤灰: 试验采用郑州新力热电厂的干排 III 级粉煤灰, 烧失量 3.07%。

陶粒: 开封市御锦环保建材有限公司生产的 600 级粉煤灰污泥陶粒, 颗粒堆积密度 520 kg/m<sup>3</sup>, 表观密度 780 kg/m<sup>3</sup>, 筒压强度 3.0 MPa, 1 h 吸水率 5.2%, 粒径 10 mm 以下。

砂: 鲁山普通河砂。

水: 普通自来水。

## 2 陶粒混凝土自保温砌块的力学性能

### 2.1 试验配合比的确定

根据以往试验经验, 选定轻骨料混凝土配合比为: 水泥:粉煤灰:砂:陶粒:水 = 290 kg:70 kg:420 kg:360 kg:160 kg, 成型 100 mm×100 mm×100 mm 立方体抗压强度试件和 250 mm×250 mm×20 mm 导热系数试件, 标准养护 28 d 后进行抗压强度和导热系数试验。

粉煤灰陶粒混凝土立方体 28 d 抗压强度测试结果为 19.7 MPa, 导热系数测试结果为 0.248 W/(m·K)。根据混凝土小型砌块强度与混凝土试配强度间的关系<sup>[7]</sup>, 能够满足生产 MU5.0 级以下轻骨料混凝土自保温砌块的强度要求, 且其具有较低导热系数。

收稿日期: 2013-04-16

## 2.2 陶粒混凝土空心砌块的块型

为了延长砌块壁、肋作为冷热桥的长度,增大热量沿砌块壁、肋传递的距离,不采用传统的长方形砌块块型,改为Z字型块型为主块型,见图1。

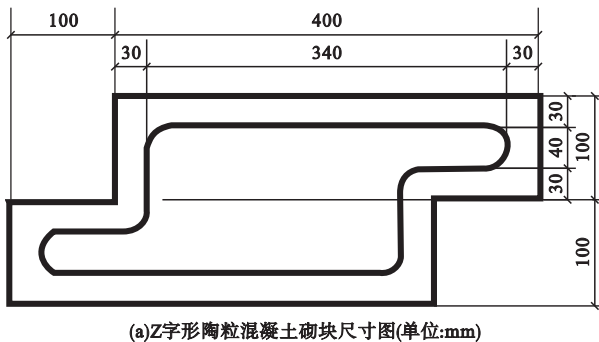


图1 Z字形陶粒混凝土砌块构造

## 2.3 陶粒混凝土自保温砌块抗压强度

按上述选定的配合比作为陶粒混凝土砌块的生产配合比,并在河南建安新型建材有限公司制混凝土砌块生产线上进行批量试生产。试生产的砌块选取一批在空腔中填充密度不大于  $400 \text{ kg/m}^3$  的发泡水泥,进行抗压强度和墙体传热系数试验,并进行对比分析。

抗压强度按照 GB/T 4111—1997《混凝土小型空心砌块试验方法》<sup>[7]</sup>进行检测,2种砌块的抗压强度结果见表1。

表1 陶粒混凝土自保温砌块的抗压强度

砌块类别	28 d 抗压强度 /MPa	
	平均值	单块最小值
带空腔	4.4	3.5
空腔填充发泡水泥	4.6	3.1

由表1可以看出,随机选取的5块带空腔粉煤灰陶粒混凝土砌块抗压强度平均值为  $4.4 \text{ MPa}$ ,单块最小值  $3.5 \text{ MPa}$ ,而用发泡水泥填充空腔的砌块抗压强度平均值为  $4.6 \text{ MPa}$ ,单块最小值  $3.1 \text{ MPa}$ ,能够满足 GB/T 15229—2011《轻集料混凝土小型空心砌块》中 MU3.5 级的要求,也就是说,利用质轻的粉煤灰陶粒做骨料生产自保温砌块是完全可行的。对于空腔填充发泡水泥的砌块,其抗压强度平均值仅比填充的高  $0.2 \text{ MPa}$ ,排除试验误差的影响,可以认为,二者强度基本一致,陶粒混凝土空心砌块空腔填充发泡水泥并不能提高其强度。

## 3 陶粒混凝土自保温砌块墙体热工性能测试

陶粒混凝土自保温砌块的热工性能测试按照 GB/T

13475—2008《绝热稳态传热性质的测定标定和防护热箱法》<sup>[8]</sup>进行测试,墙体为粉煤灰陶粒混凝土空心砌块砌筑,砌筑砂浆和抹面砂浆均采用 1:0.5:2.5 水泥混合砂浆,砌筑缝厚度  $10 \text{ mm}$ ,墙体两侧抹灰层厚度均为  $10 \text{ mm}$ 。本试验是采用防护热箱法对陶粒混凝土空心砌块砌筑墙体的传热系数进行测试,示意图见图1,它是基于一维传热原理,模拟现实条件下围护结构构件的传热过程。热箱模拟室内空气温度、风速和辐射条件,冷室模拟室外空气温度和风速条件,构件放置于冷箱和热箱之间,热量传递通过试件与箱体各表面的热辐射和试件表面的热辐射和试件表面与周围空气的对流换热系数。

传热达到稳定状态后,根据热平衡有如式(1):

$$U = [Q_p - M(T_{jis} - T_{jes})] / [A(T_w - T_{ne})] \quad (1)$$

式中:  $U$ ——试件的传热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$Q_p$ ——总输入功率,  $\text{W}$ ;

$M$ ——防护箱热箱外壁热流系数,本试验设备为  $5.306$ ,  $\text{W}/\text{K}$ ;

$T_{jis}$ ——计量箱内表面温度,  $\text{K}$ ;

$T_{jes}$ ——计量箱外表面温度,  $\text{K}$ ;

$A$ ——试验墙体面积,按计量面积计算,  $\text{m}^2$ ;

$T_w$ ——试件热侧环境温度,  $\text{K}$ ;

$T_{ne}$ ——试件冷侧环境温度,  $\text{K}$ 。

墙体热工性能测试采用沈阳紫微机电设备有限公司生产的 MW-B/WT-1821/1515 型门窗稳态综合检测设备,测试墙体厚度为砌块原厚  $200 \text{ mm}$ ,两侧抹面砂浆各  $10 \text{ mm}$ ,面积  $2.30 \text{ m}^2$ ,试验装置见图3~5。设定冷室温度  $263.00 \text{ K}$ ,热室温度  $303.00 \text{ K}$ 。试验过程由设备自动控制,设定稳定状态维持时间  $3\sim 4 \text{ d}$ ,有效数据记录时间  $3 \text{ h}$ 。试验期间随时观察设备运行情况,并适当调整设备冷室和环境空间冷热供给量,使各项参数达到设置值。稳定结束后开始记录数据,每个  $0.5 \text{ h}$  记录一次各项参数平均值,共计测量  $6$  次,测试结果如表2、3所示。

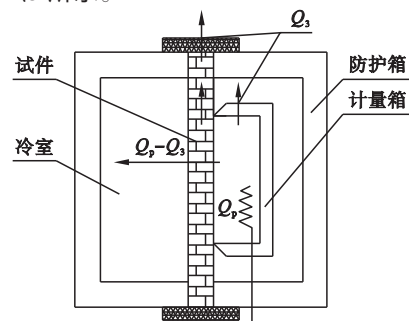


图2 防护热箱法墙体传热系数测定示意图



图3 防护热箱法墙体传热系数测定过程

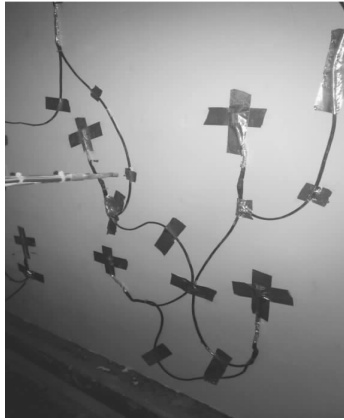


图4 冷侧温度传感器分布位置图

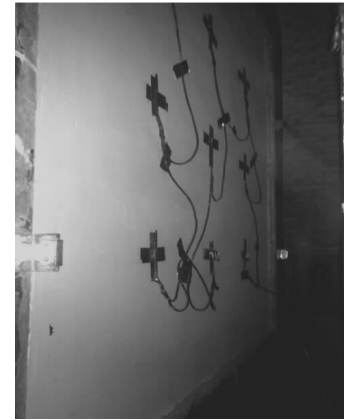


图5 热侧温度传感器分布位置

表2 陶粒混凝土空心砌块墙体传热系数测试结果

热侧环境温度 /K	冷侧环境温度 /K	计量箱外表面温度 /K	计量箱内表面温度 /K	加热功率 /W	传热系数 /(W/(m <sup>2</sup> ·K))
302.99	263.02	302.88	302.91	99.79	0.977
302.99	262.95	302.92	302.91	99.60	0.975
303.00	262.99	302.90	302.85	99.41	0.973
302.99	263.10	302.87	302.88	99.40	0.973
303.00	263.03	302.91	302.87	99.31	0.972
302.99	262.97	302.85	302.87	99.31	0.972

表3 陶粒混凝土空心砌块(空腔填充)墙体传热系数测试结果

热侧环境温度 /K	冷侧环境温度 /K	计量箱外表面温度 /K	计量箱内表面温度 /K	加热功率 /W	传热系数 /(W/(m <sup>2</sup> ·K))
303.01	263.08	302.90	302.82	91.18	0.886
302.99	23.02	302.91	302.79	90.80	0.882
303.00	262.97	302.85	302.85	90.87	0.883
303.00	263.01	302.88	302.87	90.69	0.881
302.99	262.93	302.90	302.90	90.46	0.879
302.99	262.96	302.87	302.83	90.45	0.879

由表 2、3 可以看出,空心砌块墙体的实测传热系数为 0.97 W/(m<sup>2</sup>·K),空腔填充发泡水泥砌块墙体的传热系数为 0.88 W/(m<sup>2</sup>·K),基本能赶上加气混凝土砌块墙体的传热系数,远远低于烧结多孔砖墙体的 1.90 W/(m<sup>2</sup>·K)左右和普通混凝土多孔砖墙体的 2.20 W/(m<sup>2</sup>·K)左右,具有良好的保温性能。但是同这两类墙体传热系数的理论计算值相比较,空心砌块墙体 0.45 W/(m<sup>2</sup>·K),空腔填充发泡水泥砌块墙体 0.61 W/(m<sup>2</sup>·K),还是偏大,考虑这是由于砂浆砌缝成为主要冷热桥造成的影响。还有一点,理论计算值空腔填充发泡水泥的砌块墙体传热系数比空心砌块高很多,应为空气的导热系数要比发泡水泥的导热系数小得多,但从实测值来看,空腔填充发泡水泥砌块的传热系数却比空心砌块要低,分析其原因,虽然空气的导热系数远远小于发泡水泥的导热系数,大概为 0.020 W/(m·K)左右。但是由于空心砌块的空洞是上下贯通的,试验墙体大概高约 1.6 m 左右,在试验墙体内部,空腔其实相当于一个个 1.6 m 的小烟囱,靠近热室一侧的空气受热向上方运动,到空腔顶部运动受阻转向冷室方向,而靠近冷室一侧的空气遇冷则向下方运动,到空腔底部运动受阻转向热室方向,于是空腔内的空气层在温度的作用下来回上下左右循环,在空腔内部形成了一个内部环流层,加速的热量由热室往冷室传

递的速递过程,因此,虽然空气的导热系数远小于发泡水泥,但是填充发泡水泥还是能够增强砌块的保温性能。

#### 4 结语

(1)利用粉煤灰陶粒作为骨料可以生产出 MU3.5 级的陶粒混凝土自保温砌块。与当前的普通混凝土多孔砖相比,粉煤灰陶粒混凝土多孔砖具有较小的密度和良好的保温性能,其采用普通砂浆砌筑墙体的实测传热系数就能够达到 1.0 W/(m<sup>2</sup>·K)以下。

(2)相同配合比生产出来的陶粒混凝土砌块空腔填充发泡水泥与空心相比,抗压强度并没有明显增加。但从其保温性能来讲,填充发泡水泥的砌块墙体传热系数为 0.88 W/(m<sup>2</sup>·K),低于空心砌块墙体传热系数为 0.97 W/(m<sup>2</sup>·K),空腔填充发泡水泥能提高砌块的保温性能。

#### 参考文献:

- [1] 奚新国,许仲梓.粉煤灰陶粒制备无砂多孔混凝土研究[J].混凝土,2012(10).
- [2] 刘轶.陶粒混凝土多孔砖及其热工性能的研究[J].混凝土,2011(9).
- [3] 鹿健良,孙晶晶.陶粒泡沫混凝土配合比试验研究[J].混凝土与水泥制品,2012(9).
- [4] 王敦强,徐捷,等.陶粒赤泥粉煤灰免烧砖性能研究[J].山东建筑大学学报,2012(4).

代水泥后,混凝土拌合物中浆体含量增大,流动性增加。随着取代量的增大,浆体含量增大,这一效果将更加明显。因此,混凝土的坍落度随着石灰石粉掺量的增加而增大。还有细度比水泥大的石灰石粉比表面积大于水泥,将需要更多的水来润湿其表面,这将直接导致混凝土拌合物流动性的降低,从而表现为坍落度随着掺量增加的增幅放缓。表面需水量的增加使石灰石粉混凝土拌合物的保水性和黏聚性均要优于普通混凝土拌合物。

综上所述,由于掺合料的填充效应和形态效应,掺加了掺合料的混凝土拌合物工作性能优于普通混凝土。其他条件相同时,石灰石粉混凝土拌合物的坍落度要大于粉煤灰混凝土。

### 3.3 掺石灰石对混凝土力学性能的影响

根据表9的试验数据分析,从图1中可以看出,在不同掺量的粉煤灰和石灰石中,随着掺量的增加,粉煤灰的强度略高于石灰石粉。不同掺量下石灰石粉随着龄期的增加,混凝土抗压强度也逐渐降低。但是粉煤灰在掺量超过25%后,后期强度仍有所提高。主要原因是因为在石灰石粉掺量达到20%时,由于粉体材料太多,提高混凝土的单位立方米用水量。所得到新拌混凝土的黏聚性很好,但是水灰比的提高使混凝土的强度降低。在混凝土中不取代水泥参加石灰石粉时,为了保证混凝土的强度和工作性能,在混凝土中掺加石灰石粉时掺量在10%左右为佳。大量的石灰石粉等量取代水泥,尽管也能发挥上面的作用,但是石灰石粉的活性不及水泥,取代水泥后水化产物的总量减少,由此引起强度的降低,这一效应随着掺量的增大而增大,掺量达到一定值时,将完全抵消石灰石粉对混凝土强度的贡献。

表9 试验早期和后期强度值

编号	3 d	7 d	28 d	56 d
N00	36.7	45.7	57.4	60.0
N01	35.8	47.4	56.9	59.6
N02	37.0	44.9	52.8	59.3
N03	35.1	41.3	54.1	57.4
N04	39.8	48.4	55.2	59.7
N05	33.0	46.8	50.2	56.7
N06	32.4	40.4	45.8	50.1

## 4 应用情况

本次掺石灰石粉做矿物掺合料主要应用于中山板芙项目的K1+425.430渡兴半互通立交,主要工程量包括A、B、C、D四个右转弯匝道、E左转匝道、主线跨线桥及互通区内规划路路段。主要浇筑C40混凝土方量约1000m<sup>3</sup>。整个施工过程采用直接放料浇筑,混凝土坍落度在180~200mm,1h经时损失为10mm。C40混凝土28d抗压强度为53.0MPa,混凝土

·上接第147页

- [5] 邵永健, 劳裕华, 等. 承重兼保温的陶粒混凝土砌块型设计[J]. 混凝土, 2007(9).
- [6] 邵永健, 殷志文, 等. 陶粒混凝土砌块的配合比设计与抗压强度试验[J]. 混凝土, 2007(10).
- [7] GB/T 4111—1997 混凝土小型空心砌块试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [8] GB/T 13475—2008 绝热稳态传热性质的测定标定和防护热箱

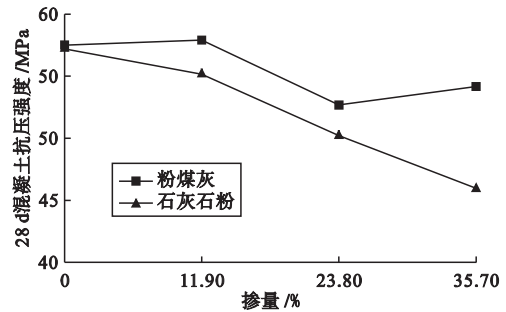


图1 不同掺量下的抗压强度比较

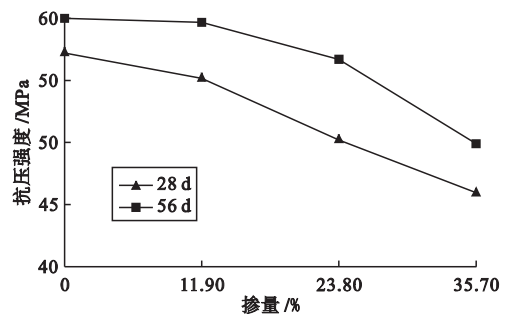


图2 不同龄期下的抗压强度比较

混凝土抗压强度的标准差为0.85。强度整体稳定性较好。

## 5 结论

本次主要通过对石灰石粉在桥梁工程中的应用中,发现石灰石做矿物掺合料的混凝土一般有以下一些特点:

- (1) 石灰石粉可以作为矿物掺合料很好的应用于公路桥梁工程中。
- (2) 当石灰石粉作为矿物掺合料时,其掺量一般不超过15%。如果采用超细石灰石粉可以考虑放大掺量。
- (3) 石灰石粉混凝土其混凝土的工作性、流动性和黏聚性较好。

### 参考文献:

- [1] MIELENZ R C. Mineral admixtures—history and background[J]. Concrete International, 1985(8).
- [2] 陈剑雄, 李鸿芳, 陈寒斌, 等. 掺超细石灰石粉和钛渣粉超高强混凝土研究[J]. 建筑材料学报, 2005(12): 672-676.
- [3] 张雄, 吴科如. 矿渣微粉作用机理及其关键技术[A]//矿渣微粉研究和应用论文集[C]. 上海: 上海远东出版社, 2003: 1-8.
- [4] 王冲, 蒲心诚. 超细矿物掺合料对新拌混凝土的增塑减水机理分析[A]//矿渣微粉作用机理及其关键技术. 矿渣微粉研究和应用论文集[C]. 上海: 上海远东出版社, 2003: 95-99.

作者简介: 田晓霞(1981-), 中级工程师, 主要从事公路和桥梁材料研发和检测工作。

联系地址: 广州市番禺区大石镇洛溪新城(511431)

联系电话: 15920327692

法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

作者简介: 王长宝(1955-), 男, 高级工程师, 主要从事建设工程质量技术工作。

联系地址: 河南省郑州市金水区金水路102号(450000)

联系电话: 13838176641