

文章编号: 1000-5013(2009)03-0326-05

聚苯乙烯掺量对石渣粉混凝土性能的影响

严捍东, 欧小燕, 陈秀峰

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 系统测试聚苯乙烯掺量对石渣粉混凝土干表观密度、28 d 抗压强度和传热系数的影响程度和规律, 以及其砌块和墙体的相关物理、力学和热工性能. 试验数据表明, 掺加聚苯乙烯在一定程度上降低了石渣粉混凝土干表观密度和传热系数, 但 28 d 抗压强度有较大幅度降低. 通过改变成型工艺和调整配合比, 与基准砌块相比, 掺聚苯乙烯的石渣粉混凝土空心砌块强度可增大, 墙体传热系数 $K \leq 2.0 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, 可满足夏热冬暖地区节能 50% 的要求. 当单掺聚苯乙烯时, 可在一定程度上降低混凝土的导热系数, 从而提高空心砌块壁肋的热阻, 降低砌块墙体的传热系数, 但砌块墙体传热系数降低幅度不大, 需进一步采取其他配套措施.

关键词: 聚苯乙烯; 石渣粉; 混凝土空心砌块; 力学性能

中图分类号: TU 522.3⁺4

文献标识码: A

随着我国经济和社会的快速发展, 人们对建筑热环境和舒适性的要求不断提高, 这将导致建筑能耗大幅度增加. 建筑能耗占全国总能耗的比例也将从现在的 27.6% 快速上升到 33% 以上, 建筑节能的一个重要方面是提高建筑围护结构的保温隔热性能. 围护结构材料如果不考虑提高材料的热工性能, 势必造成保温隔热成本的成倍增加. 因此, 将墙材革新与建筑节能有机结合, 直接关系到建筑节能的成败. 在混凝土空心砌块墙体中, 热传递过程主要由混凝土肋、壁, 砌筑砂浆灰缝的导热和孔内空气的对流换热组成. 本文系统测试了废弃聚苯乙烯颗粒掺量对石渣粉混凝土干表观密度、抗压强度、导热系数的影响程度和规律, 并实测和分析了对掺聚苯乙烯砌块墙体传热系数等指标的影响情况.

1 实验部分

1.1 实验材料

(1) 水泥: P. O32.5R 水泥(福建惠安三德水泥建材工业有限公司), 其 3 d 抗折强度为 3.4 MPa, 抗压强度为 20.4 MPa; 28 d 抗折强度为 7.0 MPa, 抗压强度为 41.4 MPa. (2) 石渣粉: 花岗岩破碎后的废料, 粒径 0.16~10 mm, 干表观密度为 $2600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 堆积密度为 $1670 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 空隙率为 35.8%, 含水率为 1.8%. (3) 聚苯乙烯颗粒: 回收废弃聚苯乙烯, 经破碎, 紧堆积密度为 $16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1.2 实验方法

当基准石渣混凝土水泥与石渣粉的质量比为 1:6 时, 聚苯乙烯颗粒等体积取代量分别为石渣粉体积的 6%, 12%, 18%, 24% 和 30%; 当基准石渣混凝土水泥与石渣粉的质量比为 1:7, 1:8 时, 则分别为 12%, 24% 和 36%. 加水量以满足基准混凝土成型为准, 强度采用 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体试件, 测定试件常温养护 28 d 的抗压强度, 每个龄期 3 个试件.

干表观密度和导热系数采用 300 mm×300 mm×(40~50) mm 平板试件. 试件在水中养护 14 d 后, 于 $(80 \pm 2)^\circ\text{C}$ 烘干 48 h, 用游标卡尺测试件厚度, 称重, 计算试件干表观密度; 用 DRP-4A 型导热系数测定仪(天津建筑仪器厂) 测定导热系数.

收稿日期: 2007-12-20

通信作者: 严捍东(1968), 男, 副教授, 博士, 主要从事高性能混凝土和固体废渣综合利用的研究. E-mail: hdyan@hqu.edu.cn.

基金项目: 建设部科技计划项目(06-K7-35); 泉州市科技计划项目(2006G4)

内、外墙砌块^[1]由福建泉州某新型建筑材料厂制作,其外观如图 1 所示. 内墙砌块外观尺寸为 290 mm×180 mm×190 mm,双排双孔,孔长 225 mm,孔宽 50 mm, $m(\text{水泥}):m(\text{石渣粉})=1:11.31$,聚苯乙烯体积分数分别为 7% 和 12%. 外墙砌块尺寸为 290 mm×180 mm×140 mm,三排七孔,孔长 220 mm,孔宽 30 mm, $m(\text{水泥}):m(\text{石渣粉})=1:9.8$,聚苯乙烯体积分数为 11%.

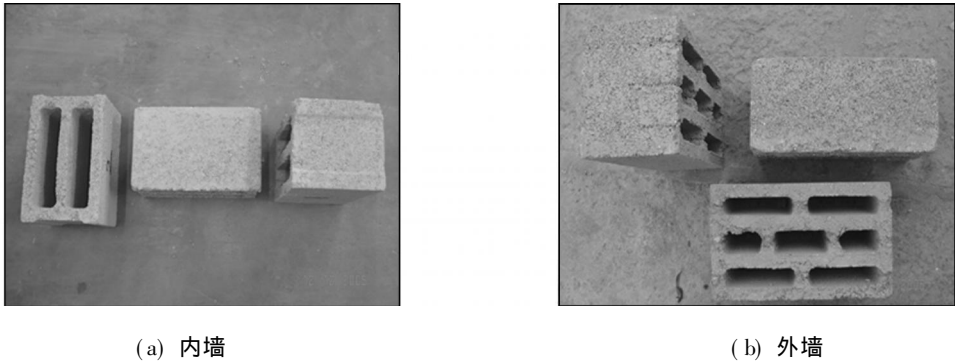


图 1 砌块外观图

Fig. 1 Configuration of blocks

用砌块砌筑成 1.4 m×1.4 m 的墙体,采用 M10 水泥砂浆砌筑,水泥与中砂的质量比为 1:4.4. 采用 BES-D 型热箱式围护结构传热系数检测装置(哈尔滨工业大学建筑节能仪表研究室)测试墙体的传热系数和热阻,其测试装置原理如图 2 所示,数据记录格式如图 3 所示. 检测仪根据实时测量的温度、热流密度自动计算出围护结构热阻、传热系数,围护结构热阻是表征围护结构(包括两侧表面空气层)阻抗传热能力的物理量. 围护结构热阻 R 为

$$R = T_n - T_w / q$$

其中, T_n , T_w 分别为围护结构内、外表面温度的当前测量值, q 为热流密度当前测量值.

围护结构传热系数是在稳态条件下,围护结构两侧空气温度差为 1 K,1 h 内通过 1 m² 面积传递的热量. 围护结构的传热系数 K 为

$$K = 1 / (R_n + R + R_w).$$

其中, R_n , R_w 分别为内、外表面换热阻.

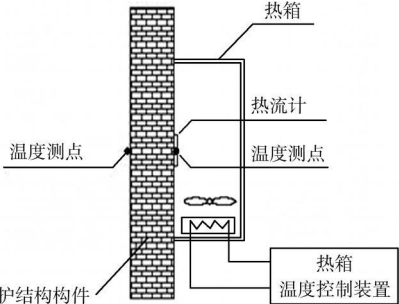


图 2 BES-D 测试装置原理图

Fig. 2 Setup of BES-D measure equipment

图 3 BES-D 的 Excel 数据记录格式

Fig. 3 Excel format data of BES-D

2 结果和分析

2.1 掺聚苯乙烯石渣粉混凝土的性能

聚苯乙烯掺量对石渣粉混凝土物理、力学性能的影响,如表 1 所示. 表 1 中, φ , ρ_0 , $f_{cu,28}$, λ 分别为聚苯乙烯体积率、干表观密度、28 d 抗压强度(已进行试件尺寸换算)和导热系数, η 为相对于基准混凝土性能指标值的降低率.

从表 1 可知,在水泥与石渣粉比例相同时,随聚苯乙烯取代石渣粉量的提高,石渣粉混凝土的干表观密度、28 d 抗压强度和导热系数均降低. 可以看出,聚苯乙烯掺量降低石渣粉混凝土干表观密度的幅度最小,降低石渣粉混凝土导热系数的幅度次之,降低石渣粉混凝土强度的幅度最大. 因此,在一定程度

上, 聚苯乙烯掺量提高可以降低石渣粉混凝土的重量和导热系数, 有利于减轻砌块自重并提高石渣粉砌块壁、肋的热阻。但是, 聚苯乙烯掺量提高却会在更大程度上降低石渣粉混凝土的抗压强度, 聚苯乙烯掺量应在保证砌块强度的前提下来达到降低砌块自重和提高砌块热阻。

表 1 聚苯乙烯石渣粉混凝土部分性能实测值

Tab. 1 Experimental values of partial properties of slag powder concrete incorporating polystyrene							
$m(\text{水泥}): m(\text{石渣粉})$	$\varphi/\%$	$\rho_0/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$\eta(\rho_0)/\%$	$f_{\text{cu},28}/\text{MPa}$	$\eta(f_{\text{cu},28})/\%$	$\lambda/W\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$	$\eta(\lambda)/\%$
1: 6	0	2 120	0	22.7	0	0.769 9	0
	6	2 070	2.4	17.0	25.1	0.732 2	4.9
	12	1 960	7.6	14.8	34.8	0.644 2	16.4
	18	1 900	10.4	12.8	43.6	0.595 1	22.7
	24	1 800	15.1	10.1	55.5	0.533 6	30.7
	30	1 690	20.3	8.1	64.3	0.431 1	44.0
1: 7	0	2 080	0	22.0	0	0.765 0	0
	12	1 920	7.7	15.0	31.8	0.670 0	12.4
	24	1 830	12.0	11.4	48.2	0.562 5	26.5
	36	1 730	16.8	9.9	55.0	0.485 0	36.6
1: 8	0	2 110	0	21.6	0	0.657 5	0
	12	2 070	1.9	11.8	45.4	0.618 5	3.9
	24	1 850	12.3	9.4	56.5	0.535 0	18.6
	36	1 680	20.4	9.0	58.3	0.455 0	30.8

随着聚苯乙烯掺量提高, 在聚苯乙烯体积分数 12% 以内, 石渣粉混凝土强度降低幅度较大; 而当聚苯乙烯体积分数超过 12% 以后, 石渣粉混凝土强度随着聚苯乙烯掺量提高而降低的幅度增加很少。这说明, 在高聚苯乙烯取代率时, 石渣粉混凝土的强度不会产生大幅度的降低, 对于保证聚苯乙烯砌块的强度等级达到 5.0 MPa 是有利的。根据混凝土立方体抗压强度推算砌块强度的经验公式, 有

$$f'_{\text{cu},28}/f_{\text{cu},28} = 0.957\,7 - 1.129\,K.$$

其中, $f'_{\text{cu},28}$ 为混凝土小砌块 28 d 抗压强度, $f_{\text{cu},28}$ 为混凝土立方体试件 28 d 抗压强度, K 为小砌块空洞率(以小数计)。假设所生产砌块的空洞率为 40%, 混凝土 28 d 立方体抗压强度只要在 10.0 MPa 左右就可以生产 MU 5.0 的砌块, 则聚苯乙烯取代石渣粉的体积率可达到 24% 左右。

从表 1 还可以看出, 随着基准混凝土骨灰比的提高, 石渣粉混凝土强度降低的幅度呈现出增大的趋势, 同时, 石渣粉混凝土导热系数降低的幅度呈现出减小的趋势。这说明降低骨灰比即提高水泥用量, 对于降低石渣粉混凝土强度降低幅度和提高其导热系数降低幅度是有利的; 水泥用量的提高对提高混凝土强度是有利的。即在提高混凝土强度的同时提高聚苯乙烯的掺量, 从而降低混凝土导热系数。

对表 1 中的试验数据经过线性回归分析, 结果如图 4(a), (b) 所示。从图 4 可知, 聚苯乙烯石渣粉

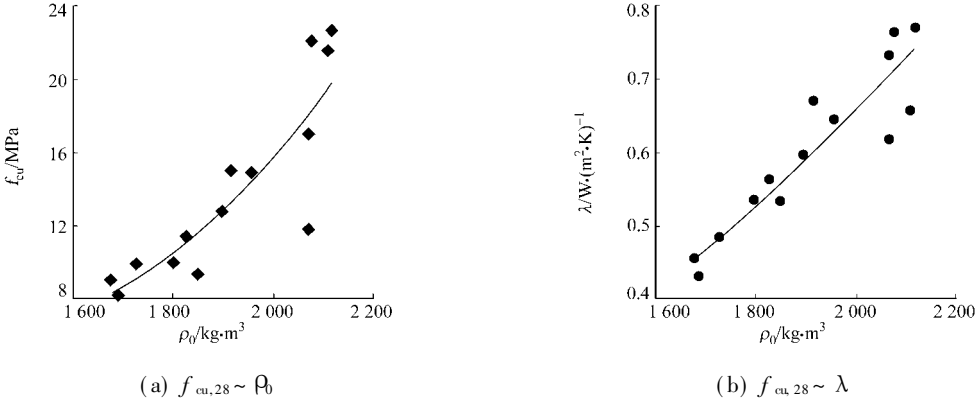


图 4 表 1 数据线性回归分析

Fig. 4 Linear regression analysis on table 1 data

混凝土干表观密度与 28 d 抗压强度及导热系数间均存在一定的线性相关性, 其回归方程分别为

$$\ln f_{\text{cu},28} = 0.001\,979\,1\cdot\rho_0 - 1.210\,82,$$

$$\ln \lambda = 2.094\,07 \cdot \ln \rho_0 - 16.339\,4$$

其中,干表观密度与 28 d 抗压强度回归方程的相关系数为 0.80,标准偏差为 0.027;干表观密度与导热系数回归方程的相关系数为 0.87,标准偏差为 0.005.在实际生产中,可以通过测定混凝土的干表观密度,来初步计算混凝土可能达到的 28 d 抗压强度和导热系数.

2.2 掺聚苯乙烯空心砌块及其墙体性能

内、外墙的基准砌块、掺聚苯乙烯砌块和墙体的性能实测值,如表 2 所示.表 2 中, ρ 为块体密度, Q 为吸水率, $\varphi(\text{H}_2\text{O})$ 为相对含水率(质量分数), P 为空洞率, f_{av} 抗压强度平均值, f_{min} 为抗压强度单块最小值, K_{av} 为墙体平均传热系数, R_{av} 为墙体平均热阻.

表 2 空心砌块及其墙体的性能实测值

Tab.2 Experimental values of properties of hollow block and its wall

性能指标	内墙			外墙	
	A	B	C	A	B
$\varphi/\%$	0	7.1	12.1	0	11.300
$\rho/\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$	1 040	1 100	1 100	1 260	1 330
$Q/\%$	9.2	7.2	7.2	9.4	8.0
$\varphi(\text{H}_2\text{O})/\%$	20.3	15.6	15.6	20.6	34.8
$P/\%$	45.6	44.0	44.0	33.6	33.2
f_{av}/MPa	2.6	4.3	4.3	4.9	4.4
$f_{\text{min}}/\text{MPa}$	2.1	2.5	2.5	4.1	4.0
$K_{\text{av}}/\text{W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$	2.01	1.94	1.86	2.23	2.08
$R_{\text{av}}/\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$	0.344	0.366	0.385	0.296	0.327

2.2.1 内墙砌块 从表 2 可以看出,经过调整砌块成型机的振动频率和成型压力,与基准砌块相比,掺聚苯乙烯颗粒砌块的强度不仅没有降低,反而有较大幅度的提高.这是由于为了抑制聚苯乙烯颗粒反弹引起的砌块裂缝产生,加大了成型压力,使得砌块壁肋的密实度提高,因而砌块的体积密度也有所提高.通过微调配方(如提高水泥用量等),可生产出强度等级在 MU5.0 以上的砌块.

BES-D 型热箱式检测仪的测试结果和计算结果表明,采用聚苯乙烯对普通石渣粉混凝土进行改性,可以在一定程度上降低砌块混凝土壁肋的导热系数.聚苯乙烯改性空心砌块墙体的传热系数降低到 $2.0\text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$ 以下,其墙体传热系数可以满足夏热冬暖地区节能 50% 的要求.但掺加聚苯乙烯并不可能使石渣粉混凝土内墙空心砌块墙体的传热系数明显降低.

2.2.2 外墙砌块 从表 2 可知,由于水泥与石渣粉比例的提高及砌块壁肋面积增加等,使得该型砌块的体积密度和抗压强度均比双排双孔砌块提高.聚苯乙烯颗粒对砌块及其墙体性能的影响规律与前述相同,但三排孔砌块墙体的传热系数却高于前述双排孔砌块墙体的传热系数.这似乎与理论不符.因为从理论上来说,相同块型的砌块,孔洞排数增加,砌块热阻应增加^[2-6],但此三排孔砌块的热阻还高于上面双排孔砌块的热阻.

分析其原因可能是,此三排孔砌块的高度为 140 mm,而前面的双排孔砌块高度为 190 mm.这就使得相同尺寸的墙体,高度低砌块墙体带来更多的水平砌筑灰缝,而水平砌筑灰缝的热桥效果,使得该三排孔砌块墙体的传热系数增加,热阻降低.另外,该三排孔砌块在孔洞排列方面使孔交错排列,以孔来隔断肋、壁热桥,加长热沿肋、壁的传导路径.但是,中间毕竟增加了 3 道肋,与前述双排孔相比,其传热途径还是增加了,这也在一定程度上增加了热流量.

因此,通过在石渣粉混凝土中掺加一定量的聚苯乙烯颗粒,可以在一定程度上降低混凝土的导热系数,从而提高空心砌块壁肋的热阻,降低砌块墙体的传热系数,但其效果比较有限.还需进一步采取其他措施,如优化砌块孔的排列,使孔交错排列,以孔来隔断肋、壁热桥,加长热沿肋、壁的传导路径.

3 结论

通过测试和分析废弃聚苯乙烯颗粒掺量对石渣粉混凝土干表观密度、抗压强度、导热系数的影响程度和规律,以及掺聚苯乙烯砌块墙体传热系数等指标的影响情况,得到如下 3 点主要结论.

(1) 在一定程度上, 提高聚苯乙烯掺量可以降低石渣粉混凝土的质量和传热系数. 这有利于减轻砌块自重并提高石渣粉砌块壁、肋的热阻. 但是, 聚苯乙烯掺量的提高会在更大程度上降低石渣粉混凝土的抗压强度. 因此应在保证砌块强度的前提下, 提高聚苯乙烯掺量以达到降低砌块自重和提高砌块热阻的目的.

(2) 适当提高水泥用量有利于在提高混凝土强度的同时, 提高聚苯乙烯的掺量, 从而达到降低混凝土导热系数的目的.

(3) 采用聚苯乙烯对普通石渣粉混凝土进行改性, 可以在一定程度上降低砌块混凝土壁肋的导热系数. 即使得聚苯乙烯改性空心砌块墙体的传热系数降低到 $2.0 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$ 以下, 可以满足夏热冬暖地区节能 50% 的要求. 但是, 掺加聚苯乙烯并不可能使石渣粉混凝土内墙空心砌块墙体的传热系数明显降低, 需要进一步采取其他措施.

参考文献:

- [1] 孙甯萍, 唐岱新, 周炳章, 等. 混凝土小型空心砌块建筑设计[J]. 北京: 中国建材工业出版社, 2001, 11(1): 21.
- [2] 中华人民共和国建设部. GB 50176-1993 民用建筑热工设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.
- [3] 朱盈豹. 保温材料在建筑墙体节能中的应用[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2003.
- [4] 高 岩, 赵立华, 张泓森. 复合混凝土砌块热工特性研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(7): 866 868.
- [5] 夏 贇, 宋志晨, 赵 吻. 关于影响砌块节能效果的因素分析[J]. 低温建筑技术, 2005(3): 95 96.
- [6] 王继唐. 改善混凝土小型空心砌块墙体热工性能的途径[J]. 墙材革新与建筑节能, 1999(2): 22 23.

Experimental Researches of the Influence of Polystyrene Content on Properties of Stone Slag Powder Concrete

YAN han-dong, OU Xiao-yan, CHEN Xiu-feng

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The influence of the polystyrene content on the dry apparent density, compressive strength of 28 d and heat conductivity coefficient, is investigated systematically. The physical, mechanical and thermal properties of hollow block and block wall are also tested. The experimental results demonstrate: incorporating the polystyrene, the apparent density and heat conductivity coefficient of the stone slag powder concrete decrease, the compressive strength of 28 d decreases greatly. The compressive strength of stone slag powder concrete hollow block incorporating polystyrene increases by improving the forming technology and mixture proportion. The heat transfer coefficient K of the block wall incorporating polystyrene is less than $2.0 \text{ W} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{K})^{-1}$, which meets the requirement of saving energy by 50% in the area of hot summer and warm winter. When incorporating polystyrene only, the heat conductivity coefficient of the stone slag powder concrete decreases, then the thermal resistance of hollow block wall rib increases, and the heat transfer coefficient of the block wall decreases, but the heat transfer coefficient of the block wall decreases little, therefore other necessary measures would be taken to decrease further the heat transfer of the block wall.

Keywords: polystyrene; stone slag powder; concrete hollow block; mechanical property

(责任编辑: 钱 筠 英文审校: 方德平)