

钢渣掺量对泡沫混凝土性能的影响研究

赛音巴特尔, 廖洪强, 马刚平, 余广炜, 田明阳

(首钢总公司能源环保产业事业部, 北京 100041)

摘要: 钢渣的高附加值综合利用一直是我国钢铁工业的重要研究方向。本文利用首钢钢渣作为原料, 采用超细粉磨、化学激发等复合方式, 改善其安定性和水化活性, 进而达到取代部分水泥, 制备钢渣泡沫混凝土的目的。在试验过程中, 选取了 5%-30% 掺量的五组超细钢渣掺量制备成泡沫混凝土试样。对试样的抗压强度、抗折强度和导热系数等性能进行了研究。

关键词: 泡沫混凝土, 超细钢渣, 抗压强度, 抗折强度

1 引言

随着建筑行业的蓬勃发展, 建材资源与能源问题日益紧张, 建筑节能成为可持续发展战略的一个重要组成部分。而工业废弃物作为一种资源, 已越来越多的被用于建材领域, 成为一种重要的胶凝材料。另一方面, 泡沫混凝土作为一种新型的节能环保材料, 集节能、轻质、保温、隔热、耐火、隔音、调湿、防水、抗震、利废、等性能于一体^[1], 相比传统材料具有明显的优势, 对于新型建材的发展有着深远的意义。

钢渣是炼钢工业排出的废渣, 产量大, 综合利用率低, 目前我国仅为 22% 左右^[2], 如何实现钢渣高附加值的规模化利用一直是我国钢铁工业的主要研究方向。本实验便是考虑利用钢渣与硅酸盐水泥类似的矿物组成^[3], 通过钢渣的超细粉磨, 激发其水化活性, 消除 f-CaO 的潜在危害, 进而部分取代水泥, 制备钢渣泡沫混凝土, 以达到消耗钢渣、变废为宝、保护环境的目的。

2 试验原料及方法

2.1 试验原料

钢渣: 北京首钢资源综合利用公司产生的钢渣, 经气流磨制成超细钢渣粉。其化学成分见表 1, 比表面积为 $512.6 \text{ m}^2/\text{kg}$, 用 LMS-30 激光粒度分布测定仪分析了超细钢渣的粒度分布, 如图 1 所示, 用扫描电镜观察了超细钢渣颗粒的形貌, 如图 2 所示, X 射线衍射分析如图 3 所示。

表 1 水泥及钢渣的化学成分 (%)

材料	成分 (%)						
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	P ₂ O ₅
水泥	61.34	20.82	5.01	2.23	4.33	--	--
钢渣	44.21	16.07	5.72	21.01	7.52	1.84	1.51

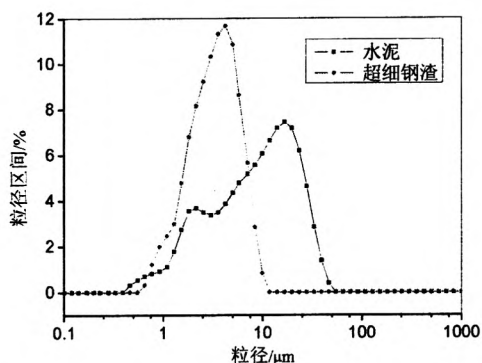


图 1 超细钢渣和水泥的颗粒粒度分布

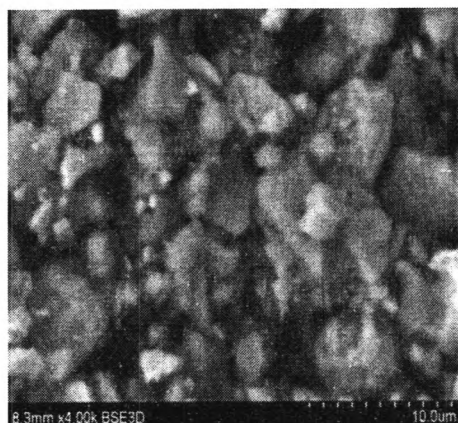


图 2 超细钢渣颗粒形貌

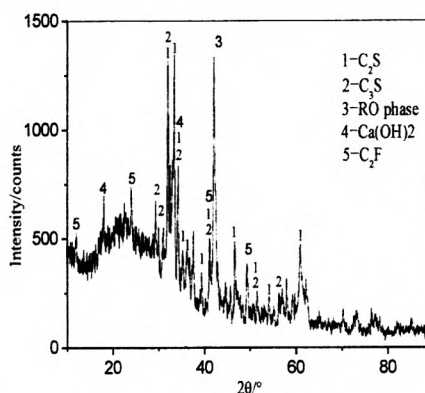


图 3 超细钢渣的 XRD 曲线

从图 1 可以看出，超细钢渣粒度分布区间较水泥更窄，粉磨均匀；图 2 超细钢渣的形貌显示出钢渣呈无规则形态，含大量亚微米及纳米级颗粒，存在发生“微集料反应”的条件；图 3 超细钢渣的 XRD 显示，钢渣中的矿物为硅酸二钙 (C_2S)、硅酸三钙(C_3S)、RO 相(主要是 MgO 、 FeO 和 MnO 的固溶体)、氢氧化钙和铁酸二钙(C_2F)，具有一定的水化活性。

水泥：某建材公司生产的 PO42.5R 硅酸盐水泥，3d、28d 抗折强度分别为 4.8MPa、9.4MPa，3d、28d 抗压强度分别为 26.7MPa、50.2MPa，初凝、终凝时间分别为 245min、290min，标准稠度用水量为 26.7%，其化学成分见表 1，颗粒粒度分布见图 1。

此外，其他试验原料为：减水剂选用萘系高效减水剂 (FDN)，发泡剂为北京某公司生产的复合型发泡剂，早强剂为钙基早强剂，促凝剂为碱金属盐系促凝剂，纤维使用的是聚丙烯纤维。

2.2 试验方法

(1) 试验准备：按照试验配比称取所需物料备用；

(2) 泡沫制备：将发泡剂用水稀释 30 倍并轻微搅拌均匀，然后将泡沫剂稀释液加入水泥发泡机中制泡，将制备的泡沫用桶盛装以备用；

(3) 浆体制备：将水倒入搅拌器中，加入纤维和减水剂搅拌使之分散，然后加入

称好的水泥、促凝剂、钢渣、早强剂等组分，搅拌 2-3 分钟，得到流动状态良好的浆体；

(4) 试块成型：将制备的泡沫加入到搅拌好的浆体中，搅拌至设计高度，然后将泡沫浆体注入标准模具中成型，泡沫浆体自流平即可，之后在模具表面盖上保鲜膜以防止表面失水开裂；

(5) 脱模养护：两天后取下保鲜膜，用钹刀将表面刮平，用气泵脱模后放入温度 20℃、湿度 95% 的标准养护室养护；

(6) 性能测试：在达到龄期后对抗压、抗折、吸水、导热等性能进行相关测试，并通过 XRD 等方法进行相关理化分析。

3 试验结果及分析

泡沫混凝土配合比设计依据固定原材料重量法和固定混合料体积法进行^[4]，设计密度等级为 1000kg/m³，分别用 5%、10%、15%、20%、30% 的超细钢渣等量替代水泥，其具体配合比见表 2；抗压、抗折强度测试结果见图 4，图 5。

表 2 不同钢渣掺量的泡沫混凝土配合比

编号	钢渣掺量	水料比	早强剂	纤维	促凝剂	减水剂
P1	5%	0.3	1	0.4	0.6	1.0
P2	10%	0.3	1	0.4	0.6	1.0
P3	15%	0.3	1	0.4	0.6	1.0
P4	20%	0.3	1	0.4	0.6	1.0
P5	30%	0.3	1	0.4	0.6	1.0

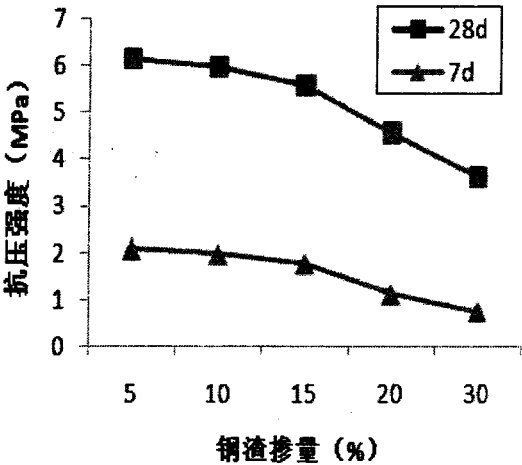


图 4 钢渣掺量对泡沫混凝土抗压强度的影响

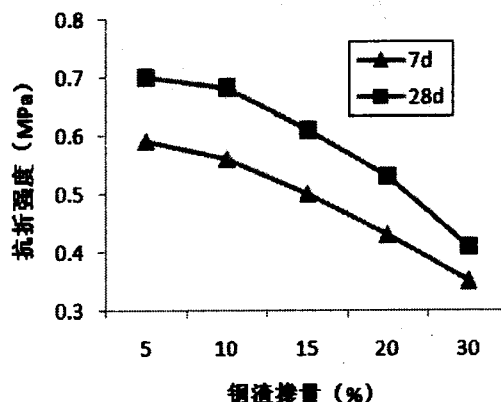


图 5 钢渣掺量对泡沫混凝土抗折强度的影响

从图 4、图 5 中可以看出，在试验要求的设计密度等级条件下，随着钢渣掺量的增加，泡沫混凝土的抗压、抗折强度都呈现出逐渐降低的趋势，这主要是因为钢渣虽然有一定的水化活性，但较之水泥相比其活性仍然较低，部分取代后体系整体的胶凝性下降，导致混凝土强度下降。因此要全面考虑钢渣对体系的贡献率，我们引入强度变化率的概念，既从 7d 强度 (P_7) 到 28d 强度 (P_{28}) 的变化趋势 $S = (P_{28} - P_7) / P_7 \times 100\%$ ，经计算可知，抗压强度变化率 S_Y 和抗折强度变化率 S_Z 结果表 3 所示。

从表 3 中可以看出，随着钢渣掺量的增加，泡沫混凝土的强度变化率整体呈现增长的趋势，这可能是由于钢渣中胶凝物质水化过程相对较慢，活性逐步释放造成的。而其中抗压强度变化率 S_Y 尤其显著，这表明超细钢渣的掺入有利于泡沫混凝土砌块后期抗压强度的持续发展，同时考虑到 P1、P2、P3 组符合泡沫混凝土抗压强度 A3.5 等级，P4、P5 组满足 A2.5 等级，因此配制过程中，在满足强度要求等级的条件下，适量加入钢渣取代水泥，还可以起到加强砌块后期强度，改善体系长期稳定性的目的。

表 3 不同钢渣掺量的泡沫混凝土砌块的强度变化率 (S)

组分	$S_Y/\%$	$S_Z/\%$
P1	95.6	18.6
P2	101.0	21.4
P3	114.7	21.9
P4	201.7	23.1
P5	268.2	18.9

4 钢渣泡沫混凝土的其他性能测定

泡沫混凝土大多是作为保温材料使用，导热系数是一项重要的考察指标。绝干密度与吸水率对其有很重要的影响，在保证干密度设计等级的基础上，有必要对系统吸水率及导热系数进行深入研究，测试结果见图 6。

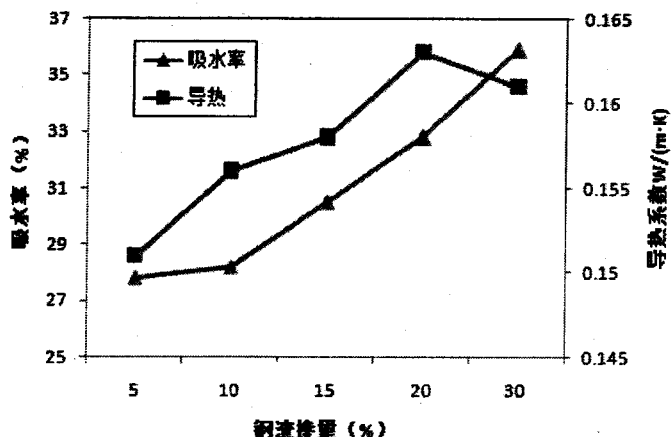


图 6 钢渣掺量对吸水率及导热系数的影响

从图 6 中可以看出,随着钢渣掺量的增加,体系吸水率呈现上升的趋势,这可能是由于钢渣粒度较水泥小,增加了体系的比表面积,增大了需水量,多余水分在硬化过程中蒸发,增加了泡孔间壁开口孔隙的几率,进而导致吸水率上升。而钢渣的掺加量对导热系数产生影响,是由于钢渣自身导热系数很高,玻璃相为 $1\sim 2\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,晶体相约为 $7\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$,致使体系导热整体呈上升趋势,但总体数值变化相对不大,保温能力还在标准允许的范围內。

5 结论

(1) 利用钢渣取代水泥制备泡沫混凝土,抗压强度、抗折强度均随着钢渣掺量的增加而降低。

(2) 随着钢渣掺量增加,砌块的强度变化率呈上升趋势,抗压强度变化率尤其明显,表明钢渣掺入对泡沫混凝土砌块的后期强度发展具有积极作用。

(3) 在设计密度等级为 $1000\text{kg}/\text{m}^3$ 的情况下,钢渣掺量在 5%-15%时,泡沫混凝土抗压强度可以达到 A3.5 等级,掺量在 20%-30%时,亦可达到 A2.5 等级。

(4) 随着钢渣用量的增加,吸水率、导热系数整体均呈上升趋势,但幅度有限,试块保温性能仍在允许的范围內。

参考文献

- 1 张朝辉,张菁燕,王沁芳,等.泡沫混凝土的特点及应用[J].砖瓦,2008(6): 49-52.
- 2 方雪萍.冶金渣深度开发利用进入十二五规划[J].资源再生,2010(8): 28-29.
- 3 吕林秀,刘秀梅.利用钢渣粉制备干粉砂浆的研究[J].新型建筑材料,2008, 35(9): 12-15.
- 4 王武祥.泡沫混凝土绝干密度与抗压强度的相关性研究[J].混凝土世界,2010(12): 50-53.