

化学激发酸性矿渣粉胶砂性能试验研究

袁俊航, 隆 威

(中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:以 28 天最优配方激发酸性矿渣粉为胶凝材料进行试验, 分析了质量浓度、灰砂比、减水剂掺量、搅拌时间 4 个因素对砂浆流动度、失水率、干缩率、抗压强度的影响规律, 并且针对灰砂比这一因素将水泥与矿渣粉胶凝材料浆液性能进行了对比。最后选取了合适的比例进行正交试验来优化各因素组合, 使砂浆综合性能达到最优。

关键词:矿渣粉; 胶凝材料; 质量浓度; 灰砂比; 减水剂; 砂浆; 矿山充填

中图分类号: TQ177 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2015)08-0071-04

Experimental Research on the Performance of Acid Slag Powder Mortar Motivated by Chemical Activator/YUAN Jun-hang, LONG Wei (School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: The experiment was made on acid slag powder as cementitious material, which was inspired based on the best recipes for 28 days. Analysis was made on the influence law of mass concentration, cement-sand ratio, dosage of water reducing agent and stirring time on the mortar fluidity, water loss rate, shrinkage and compressive strength; and according to the cement-sand ratio, comparison was made on the slurry performance of cement and slag powder cementitious material. Finally, the appropriate proportion was selected for orthogonal experiment to optimize various factors combination to achieve optimal comprehensive performance of the mortar.

Key words: slag powder; cementitious material; mass concentration; cement-sand ratio; water reducing agent; mortar; mine filling

矿渣的化学成分接近于水泥熟料, 但是要通过活化激发才能具有一定的强度。通过前期大量试验^[1], 最终选用 28 d 的最优配方, 即 2% NaOH + 1.5% Ca(OH)₂ + 2.5% Na₂CO₃ + 0.5% KAl(SO₄)₂ · 12H₂O 来激发矿渣粉作为胶凝材料。用此胶凝材料来胶结细砂制成砂浆, 通过实验, 从流动度、失水率、干缩率、不同龄期的抗压强度 4 个方面来判别砂浆的性能优劣, 最终选择最优配方使其能够满足矿山充填需求。本实验对砂浆的流动度、失水率、干缩率、抗压强度都进行了分析, 对以后矿山充填材料的研究起到了借鉴作用。矿渣原本是一种工业废渣, 经过化学激发作为胶凝材料, 减轻了对环境的污染, 跟用水泥对比, 降低了矿山的充填成本, 实现了环境保护和社会经济效益的双赢, 具有重要的意义^[2]。

1 胶砂试验内容

本试验将测试砂浆的流动度、失水率、干缩率和抗压强度, 以这 4 方面性能来分析试验结果^[3]。

浆液的流动性好坏决定了其可泵性与灌注质量。浆液的流动性主要以流动度大小来量度。测定

砂浆的流动度采用跳桌测试法。

失水率是决定砂浆使用效果的重要因素之一, 本试验测定砂浆脱模成型时的失水率。试验前先称模具的质量记为 M_0 , 把搅拌完成后的砂浆倒入模具内称其总质量记为 M_1 , 放养护箱养护 1 d 后称模具和试样的质量记为 M_2 , 则失水率:

$$m_i = (M_1 - M_2) / (M_1 - M_0) \times 100\%$$

砂浆的干缩率越小越好, 参照《水泥胶砂干缩试验方法》(JC/T 603—1995) 标准进行砂浆的干缩率测定。

抗压强度测试采用 NYL-60 型压力试验机, 分别测定试样 3 d、7 d 和 28 d 的抗压强度^[4-8]。

2 胶砂试验结果及分析

2.1 质量浓度对砂浆性能的影响

质量浓度是影响砂浆性能的要害之一。为了分析质量浓度对砂浆性能的影响规律, 本试验固定灰砂比为 1: 4, 搅拌时间为 5 min, 试验结果如表 1 所示。

依据表 1 可知, 在其它因素不变的条件下, 流动度随着质量浓度的增加而逐渐减小, 试样的失水率、

表1 质量浓度对砂浆性能影响试验结果

试样编号	质量浓度/%	流动度/mm	失水率/%	干缩率/%	抗压强度/MPa		
					3 d	7 d	28 d
P1	78	>300	6.4	5.44	0.4	1.0	3.6
P2	80	296	5.2	4.65	0.8	3.0	4.8
P3	82	278	4.1	3.16	3.8	7.0	7.9
P4	84	255	2.2	1.48	4.2	7.2	8.6
P5	86	192	0.9	0.55	4.4	7.8	9.7
P6	88	157	0.4	0.15	7.0	10.2	12.6

干缩率随着质量浓度的增大而逐渐降低,基本呈线性关系,主要原因在于质量浓度越大,砂浆凝结后析出的自由水越少,析水率降低,干缩率降低。试样3个不同龄期的抗压强度都是随着质量浓度的增大而增大的。说明质量浓度在88%以内时,加入的水足够矿渣粉水化所需,加入的水越少,游离态水越少,水化产物凝结后抗压强度越大。

2.2 灰砂比对砂浆性能影响

用矿渣粉胶凝材料胶结细砂制成砂浆试样,固定质量浓度为84%、搅拌时间为5 min,变化灰砂比来判别其对砂浆性能的作用效果,试验结果见表2。

表2 矿渣粉胶砂灰砂比对砂浆性能影响试验结果

试样编号	灰砂比	流动度/mm	失水率/%	干缩率/%	抗压强度/MPa		
					3 d	7 d	28 d
P7	1:3	261	2.5	1.65	7.8	10.4	14.0
P8	1:5	245	1.5	0.86	3.2	5.0	7.8
P9	1:6	217	1.3	0.74	1.1	3.2	4.8

采用同样的方法,用PO 42.5普通硅酸盐水泥作为胶凝材料胶结细砂制成砂浆试样,与矿渣粉胶凝材料形成对比,试验结果如表3所示。

表3 水泥胶砂灰砂比对砂浆性能影响试验结果

试样编号	灰砂比	流动度/mm	失水率/%	干缩率/%	抗压强度/MPa		
					3 d	7 d	28 d
P10	1:3	264	4.8	4.25	12.4	18.4	28.6
P11	1:4	253	3.4	3.65	6.6	12.0	18.4
P12	1:5	232	2.3	2.65	4.8	6.8	14.4
P13	1:6	198	1.6	1.60	3.2	5.6	10.8

由表2、表3并结合表1中试验P4做出图1、图2,可见,在其它因素不变的条件下,灰砂比在1:3~1:6之间变化时,无论是矿渣粉砂浆还是水泥砂浆,流动度、失水率、干缩率、抗压强度都随着灰砂比的减小而减小^[8-9],矿渣粉砂浆的失水率、干缩率明显低于水泥砂浆,说明矿渣粉胶凝材料的性能好。

2.3 搅拌时间对砂浆性能影响

用矿渣粉胶凝材料胶结细砂制成砂浆试样,

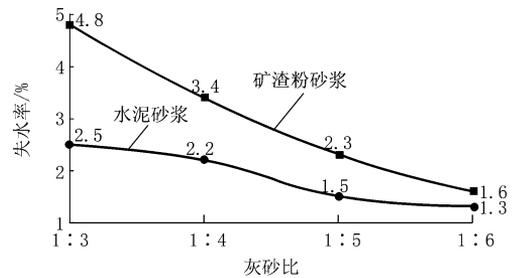


图1 灰砂比对砂浆失水率影响

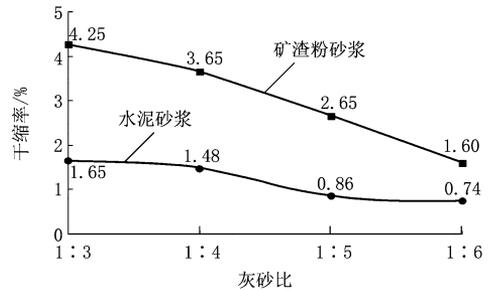


图2 灰砂比对砂浆干缩率影响

固定质量浓度为84%、灰砂比1:3,变化搅拌时间判别其对砂浆性能的影响。试验结果见表4。

表4 搅拌时间对砂浆性能影响试验结果

试样编号	搅拌时间/min	流动度/mm	失水率/%	干缩率/%	抗压强度/MPa		
					3 d	7 d	28 d
P14	4.0	258	1.8	1.06	7.6	10.0	12.8
P15	4.5	265	2.0	1.25	7.8	10.6	13.4
P16	5.5	263	2.8	1.86	7.2	9.5	12.2
P17	6.0	267	3.1	1.94	6.0	8.8	11.0

由表4并结合表2中试验P7可知,在其它因素不变的条件下,搅拌时间在4~6 min的区间内变化时,砂浆的流动度先增再减随后再增加(图3),产生这种现象的原因是搅拌时间过短,矿渣粉、细砂没有被均匀搅拌,颗粒没有分散,流动度较低;而搅拌时间越长,搅拌越均匀,颗粒分散细化程度越高,矿渣粉水化越充分,析出来的自由水越多,所以宏观上表现为流动度越大,砂浆的失水率、干缩率随着搅拌时间的增加而增大。

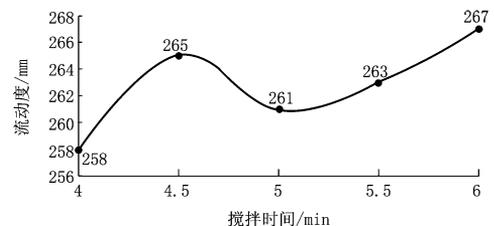


图3 搅拌时间对砂浆流动度影响

试样3个不同龄期的抗压强度都是随着搅拌时

间的增加先增加再降低(见图 4)。由于材料混合的越均匀,矿渣粉水化程度越高;但是水化过程中搅拌的时间过长就会导致水化产物凝胶与晶体网状结构不能形成,或者破坏了凝胶与晶体网状结构,不易形成坚硬的结石,而成为疏松的膏体,导致强度降低。

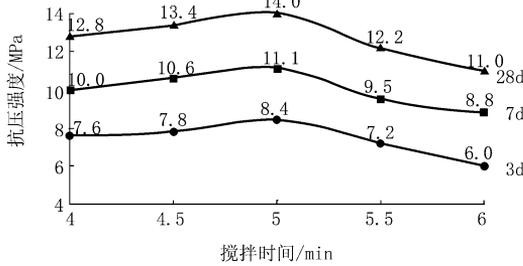


图 4 搅拌时间对抗压强度影响

2.4 减水剂对砂浆性能影响

用矿渣粉胶凝材料胶结细砂制成砂浆试样,固定质量浓度为 86%、灰砂比 1: 3、搅拌时间为 5 min,变化减水剂掺量(减水剂掺量为矿渣粉掺量的百分比)判别其对砂浆性能的影响,试验结果如表 5 所示。

表 5 减水剂对砂浆性能影响试验结果

试样编号	减水剂掺量/%	流动度/mm	失水率/%	干缩率/%	抗压强度/MPa		
					3 d	7 d	28 d
P18	0	202	1.1	0.78	8.9	14.8	18.0
P19	0.05	213	1.3	0.86	10.3	16.4	19.6
P20	0.1	225	1.6	1.05	9.3	15.8	19.2
P21	0.15	232	1.8	1.64	2.8	9.6	13.6

由表 5 知,砂浆的流动度会随着减水剂掺量的增加而变大。减水剂是亲水性有机活性物质,加入后能吸附在矿渣粉颗粒表面形成亲水的吸附稳定层,降低了颗粒间接触时的摩阻力,由于分散效应使得絮凝结构中的游离态水释放出来,从而有效的增大了砂浆的流动度。砂浆的失水率、干缩率随减水剂掺量的增加而增大,产生这样现象的主要原因是减水剂加入后,将砂浆中的结合水分离,使水以游离态的形式存在,这部分水不参加水化反应,会慢慢的析出,导致了失水率增大、干缩率增大。砂浆的抗压强度随着减水剂掺量的增加先增加后减少(图 5),产生此现象的主要原因是释放出来自由水使得矿渣粉水化时更充分的与水接触,会提高强度,然而当减水剂掺量超过了一定量时,相当于降低了质量浓度,导致强度反而降低。

3 矿渣粉砂浆优化方案

通过之前的试验研究,明确了质量浓度、灰砂比、

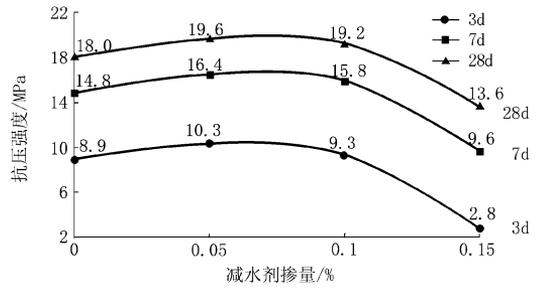


图 5 减水剂掺量对抗压强度影响

减水剂掺量以及搅拌时间对矿渣粉砂浆各项性能的影响规律。为了更加精确的得出优化配比,采用正交试验来确定具体掺量,使其既可以达到矿山充填的强度要求,又能满足管输要求。

本次正交试验采用 $L_9(3^4)$ 正交表安排试验,4 个影响因素为质量浓度(A),灰砂比(B),减水剂掺量(C),搅拌时间(D),取 A 的水平值为 84%、85%、86%,B 的水平值为 1: 4、1: 4.5、1: 5,C 的水平值为 0、0.05%、0.1%,D 的水平值为 4 min、4.5 min、5 min,见表 6。正交试验结果见表 7。

表 6 各因素与水平值

序号	质量浓度	灰砂比	减水剂掺量	搅拌时间
	A/%	B	C/%	D/min
1	84	1: 4	0	4
2	85	1: 4.5	0.05	4.5
3	86	1: 5	0.1	5

根据极差分析,最终综合各因素确定充填材料各组分掺量的推荐值为:质量浓度为 $A_2(85\%)$;灰砂比为 $B_2(1: 4.5)$;减水剂为 $C_3(0.1\%)$;搅拌时间为 $D_3(5\text{ min})$ 。优化配方后的充填材料性能参数见表 8。

4 结论

试验研究了质量浓度、灰砂比、减水剂掺量、搅拌时间等因素对用矿渣粉制备的砂浆的流动度、失水率、干缩率、抗压强度的影响规律,并分析了各因素的作用机理。选取了合适的比例进行正交试验,确定了砂浆的优化配方为:质量浓度 85%、灰砂比为 1: 4.5、减水剂掺量为 0.1%、搅拌时间为 5 min,使得砂浆的综合性能达到最优。该研究成果主要可以用于路基以及矿山充填中。由于目前获得的主要是室内试验数据,有待今后施工现场试验数据的验证。

参考文献:

[1] 袁俊航,隆威.酸性矿渣粉活性激发剂配方试验研究[J].探矿

表7 正交试验结果

试样编号	A	B	C	D	流动度/ mm	失水率/ %	干缩率/ %	抗压强度/MPa		
								3 d	7 d	28 d
T1	84	1: 4	0	4	253	2.1	1.38	4.0	6.4	9.6
T2	84	1: 4.5	0.05	4.5	265	2.7	1.64	3.8	5.5	8.2
T3	84	1: 5	0.1	5	262	2.5	1.58	1.6	3.6	6.4
T4	85	1: 4	0.05	5	263	1.9	1.31	5.8	7.6	11.0
T5	85	1: 4.5	0.1	4	261	1.6	1.14	3.0	5.2	8.0
T6	85	1: 5	0	4.5	249	1.1	0.87	2.8	4.4	7.2
T7	86	1: 4	0.1	4.5	208	0.9	0.83	5.2	8.2	12.2
T8	86	1: 4.5	0	5	185	0.5	0.58	5.4	8.0	12.0
T9	86	1: 5	0.05	4	178	0.2	0.43	4.6	6.0	9.2
流动度极差分析	$K_1/3$	260.00	241.33	229.00	230.67	1. 组分 A 影响最大, 掺量取最小值合适;				
	$K_2/3$	257.67	237.00	235.33	240.67	2. 组分 C 影响较大, 掺量取最大值合适;				
	$K_3/3$	190.33	229.67	243.67	236.67	3. 组分 B 影响较大, 掺量取最大值合适;				
	R	69.67	11.66	14.67	10.00	4. 组分 D 影响较小, 掺量取中值合适。 最佳组合: $A_1B_1C_3D_2$				
失水率极差分析	$K_1/3$	2.43	1.63	1.23	1.30	1. 组分 A 影响最大, 掺量取最大值合适;				
	$K_2/3$	1.53	1.60	1.60	1.57	2. 组分 C 影响较大, 掺量取最小值合适;				
	$K_3/3$	0.53	1.27	1.67	1.63	3. 组分 B 影响较大, 掺量取最小值合适;				
	R	1.90	0.36	0.44	0.33	4. 组分 D 影响最小, 掺量取最小值合适。 最佳组合: $A_3B_3C_1D_1$				
干缩率极差分析	$K_1/3$	1.53	1.17	0.94	0.98	1. 组分 A 影响最大, 掺量取最大值合适;				
	$K_2/3$	1.11	1.12	1.13	1.11	2. 组分 C 影响较大, 掺量取最小值合适;				
	$K_3/3$	0.61	0.96	1.18	1.16	3. 组分 B 影响较大, 掺量取最小值合适;				
	R	0.92	0.21	0.24	0.18	4. 组分 D 影响最小, 掺量取最小值合适。 最佳组合: $A_3B_3C_1D_1$				
3 d 抗压强度极差分析	$K_1/3$	3.13	5.00	4.07	3.87	1. 组分 B 影响最大, 掺量取最大值合适;				
	$K_2/3$	3.87	4.07	4.73	3.93	2. 组分 A 影响较大, 掺量取最大值合适;				
	$K_3/3$	5.07	3.00	3.27	4.27	3. 组分 C 影响较大, 掺量取中值合适;				
	R	1.94	2.00	1.46	0.40	4. 组分 D 影响较小, 掺量取最大值合适。 最佳组合: $A_3B_1C_2D_3$				
7 d 抗压强度极差分析	$K_1/3$	5.17	7.40	6.27	5.87	1. 组分 B 影响最大, 掺量取最大值合适;				
	$K_2/3$	5.73	6.23	6.37	6.03	2. 组分 A 影响较大, 掺量取最大值合适;				
	$K_3/3$	7.40	4.67	5.67	6.40	3. 组分 C 影响较大, 掺量取中值合适;				
	R	2.23	2.73	0.70	0.53	4. 组分 D 影响最小, 掺量取最大值合适。 最佳组合: $A_3B_1C_2D_3$				
28 d 抗压强度极差分析	$K_1/3$	8.07	10.93	9.60	8.93	1. 组分 B 影响最大, 掺量取最大值合适;				
	$K_2/3$	8.73	9.40	9.47	9.20	2. 组分 A 影响较大, 掺量取最大值合适;				
	$K_3/3$	11.13	7.60	8.87	9.80	3. 组分 D 影响较大, 掺量取最大值合适;				
	R	3.06	3.33	0.73	0.87	4. 组分 C 影响最小, 掺量取最小值合适。 最佳组合: $A_3B_1C_1D_3$				

表8 优化配方充填材料性能参数

质量 浓度/ %	灰砂 比	减水 剂掺 量/%	搅拌 时间/ min	流动 度/ mm	失水 率/ %	干缩 率/ %	抗压强度/MPa		
							3 d	7 d	28 d
85	1: 4.5	0.1	5	263	1.8	1.25	4.2	7.6	9.8

工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(6): 71-75.

- [2] 张云鹏, 等. 高炉矿渣超微粉技术浅谈[J]. 江苏冶金, 2007, (8).
- [3] 郭银来, 隆威. 矿渣微粉基注浆材料浆液配比试验研究[J]. 低温建筑技术, 2014, (10).
- [4] GB/T 2419—2005, 水泥胶砂流动度测定方法[S].

- [5] 王李昌, 隆威, 高士娟. 复杂地层钻探堵漏浆液的研究与应用[J]. 地质与勘探, 2013, 49(4).
- [6] 吴芳, 段瑞斌. 外加剂对预拌砂浆性能影响试验研究[J]. 化学建材, 2009, (3).
- [7] 钟世云, 李晋梅, 等. 掺聚丙烯纤维聚合物改性砂浆的早期失水[J]. 建筑材料学报, 2011, 14(5): 581-585.
- [8] 蔡安兰, 严生. 水泥基体参数对水泥砂浆干缩性能的影响[J]. 水泥工程, 2004, (6).
- [9] 吴芳, 段瑞斌. 外加剂对预拌砂浆性能影响试验研究[J]. 化学建材, 2009, (3).