

矿渣和粉煤灰对胶砂力学性能的影响研究*

王立华, 陈理达, 刘佳

(广东省水利水电科学研究院, 广东省水利重点科研基地, 广东 广州 510635)

摘要:矿渣和粉煤灰作为掺合料在混凝土中的应用日益广泛, 掺量也不断提高, 尤其在硫酸盐、氯离子和海水侵蚀环境的混凝土中, 掺合料是不可或缺的重要组成部分。该文研究了大掺量矿渣和粉煤灰对水泥胶砂力学性能的影响规律, 结果表明, 水泥胶砂的早期强度随着掺合料掺量的增加而降低, 但掺合料的加入有利于提高水泥胶砂的后期强度, 提高其折压比, 降低其脆性系数, 从而改善其抗裂性能。

关键词:矿渣; 粉煤灰; 胶砂强度

中图分类号:TV42+3 **文献标识码:**B **文章编号:**1008-0112(2012)03-0019-04

前言

为了改善混凝土的性能, 同时达到综合利用工业固体废弃物等目的, 矿渣和粉煤灰作为掺合料在混凝土中的应用日益普及, 掺量也不断提高, 尤其在硫酸盐、氯离子和海水侵蚀环境的混凝土中, 掺合料是不可或缺的重要组成部分^[1], 有必要对矿渣和粉煤灰对胶砂力学性能的影响进行研究。

1 试验用原材料

试验采用的原材料为: 广东省梅州市塔牌集团有限公司生产的 P·II 型硅酸盐水泥(转窑), 强度等级为 42.5R, 物理力学性能见表 1, 化学成分见表 2; 黄埔电厂 II 级粉煤灰, 物理性能见表 3; 韶钢嘉羊公司生产的 S95 级矿渣粉, 物理性能见表 4。

表 1 水泥物理力学性能检验结果

水泥品种	细度 /%	凝结时间		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
		初凝	终凝	3d	28d	3d	28d
普通水泥	3.9	2h51min	4h01min	4.9	8.4	23.6	46.0

表 2 水泥化学成份检验结果

检验结果/%								
Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
/	20.20	7.86	5.51	55.23	2.71	2.54	0.70	0.28

表 3 粉煤灰物理性能检验结果

细度(0.045mm 筛余) /%	需水量比 /%	烧失量 /%	三氧化硫 /%	含水量 /%
17.0	103	6.51	0.45	0.3

表 4 矿渣粉的物理性能指标

烧失量 /%	三氧化硫 /%	氯离子 /%	含 45um 筛余 /%	密度 / (kg·m ⁻³)	比表面积 / (m ² ·kg ⁻¹)	活性系数/%		流动度比 /%	
						7d	28d		
1.6	0.03	0.010	0.4	1.3	2900	483	80	106	109

2 试验方法及配比

以标准砂作为骨料, 矿渣掺量为 20%、30%、40%、50% 和 60%, 粉煤灰掺量为 15%、20%、25% 和 30%, 矿渣和粉煤灰均等量取代水泥。矿渣粉用“K”表示, 粉煤灰用“F”表示, 其后的数字为掺量百分数, 下同。标准砂和用水量与空白组(0[#])相同, 按 GB/T17671-1999 进行胶砂抗折强度和抗压强度试验, 试件尺寸为 40mm×40mm×60mm。

3 试验结果及分析

3.1 掺矿渣粉的胶砂力学性能

由表 5 和图 1 可知, 随着矿渣粉掺量由 20% 增大

收稿日期: 2011-10-11; 修回日期: 2011-11-06

作者简介: 王立华(1972-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事水工材料研究。

* 广东省水利厅立项资助项目, 项目编号: 2003-07[#]

至60%,3d龄期胶砂抗折强度呈线性减小趋势,28d龄期胶砂抗折强度为空白组的0.99~1.08倍,平均增幅为4.4%,3d龄期与28d龄期的胶砂抗折强度之比由0.55减小至0.29。可见,矿渣粉早期的水化进程较慢,导致抗折强度较低,随着水化反应的进行,矿渣粉的活性在碱性环境下不断被激发,其后期强度增长率不断提高^[2]。

表5 掺矿渣粉的胶砂力学性能试验结果

序号	掺合料种类及掺量/%	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa			折压比	
		3d	28d	3d/28d	3d	28d	3d/28d	3d	28d
		1	0#	4.8/100	8.7/100	0.55	24.8/100	47.3/100	0.52
2	K20	4.5/94	9.4/108	0.48	20.1/81	52.0/110	0.39	0.224	0.181
3	K30	3.8/79	9.3/107	0.41	16.7/67	50.4/107	0.33	0.228	0.185
4	K40	3.5/73	8.6/99	0.41	15.2/61	48.0/101	0.32	0.230	0.179
5	K50	2.9/60	8.9/102	0.33	12.4/50	44.5/94	0.28	0.234	0.200
6	K60	2.7/56	9.2/106	0.29	9.8/40	42.0/89	0.23	0.276	0.219

注:“/”前的数字为抗折强度和抗压强度实测值,“/”后的数字为试验组抗折强度和抗压强度相对于同龄期空白组(定为100)的数值,即该龄期的相对值;下同。

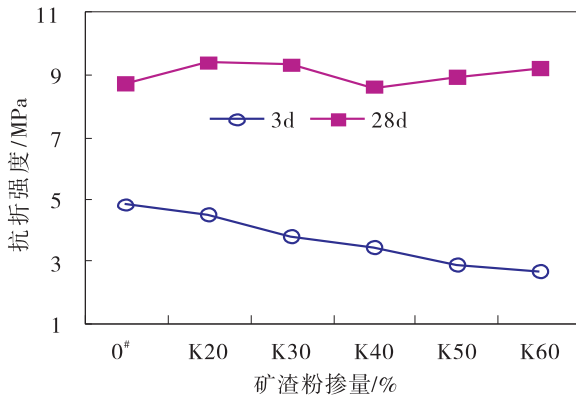


图1 胶砂抗折强度—矿渣粉掺量关系

由表5和图2可知,随着矿渣粉掺量由20%增大至60%,28d龄期胶砂抗压强度先增大后减小,在矿渣粉掺量20%时,抗压强度最大,达到空白组的110%,3d龄期与28d龄期的胶砂抗压强度之比由0.52减小至0.23。各个掺量的28d龄期抗压强度相对值均比3d龄期显著增大,这主要是由于在水化后期矿渣粉活性效应逐渐显现,对胶砂抗压强度的贡献也不断增大。同时矿渣粉的水化需要水泥水化产物Ca(OH)₂的激发作用,在28d龄期内,当矿渣粉掺量为20%时,矿渣粉的作用发挥得最充分,强度也最大,随着矿渣粉掺量增大,矿渣粉的水化效应受到体系中Ca(OH)₂生成量的制约未能

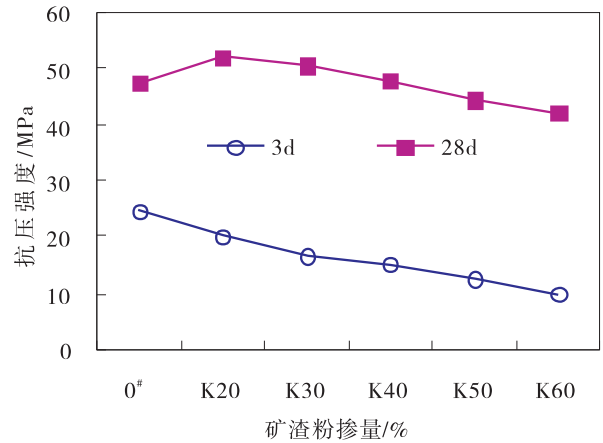


图2 胶砂抗压强度—矿渣粉掺量关系

充分发挥,因此胶砂抗压强度呈下降趋势,可以预见随龄期进一步增长,矿渣粉会进一步水化,抗压强度相对值会进一步增大,其抗压强度峰值会后移^[3]。此外,掺矿渣粉的胶砂3d龄期折压比平均值比空白样约高22.9%,28d龄期约高4.8%,这有助于提高胶砂的抗裂性。

3.2 掺粉煤灰的胶砂力学性能

由表6和图3、图4可知,随着粉煤灰掺量由15%增大至30%,各龄期胶砂抗折抗压强度均呈减小趋势,这是由于粉煤灰水化活性远小于水泥熟料和矿渣,在水化早期时所产生的强度仅仅是由于粉煤灰微珠颗粒表面层发生了物理化学吸附作用,其水化活性基本上未得到发挥,不能对胶砂的强度发挥作用。在28d龄期时,随着粉煤灰掺量的增加,胶砂抗折抗压强度的减小幅度已明显降低,3d龄期与28d龄期的胶砂抗折强度之比由0.55减小至0.42,抗压强度之比由0.52减小到0.37。可见在水化后期,粉煤灰中的活性物质在水泥水化的碱性环境下发生二次水化反应,使得其后期强度增长加快。可以预见这种“火山灰反应”将随龄期增长而继续增大,掺粉煤灰的胶砂强度将会逐渐赶上并超过空白组^[5]。此外,掺粉煤灰的胶砂3d龄期的折压比不掺粉煤灰的约高12.9%,两者28d龄期的折压比相当,这有助于提高胶砂早期的抗裂性。

3.3 矿渣粉及粉煤灰复掺的胶砂力学性能

由表7可见,当掺量相同时,矿渣和粉煤灰双掺的胶砂抗折强度与抗压强度均比单掺矿渣低、比粉煤灰高,也比两者单掺的平均值约高4.3%,这主要得益于矿渣粉和粉煤灰的协同效应,主要是由于粉煤灰和矿渣粉的颗粒组成、表面特性和水化特性等具有互补性,从而改善胶砂的力学性能和耐久性。矿渣和粉煤灰双掺的28d龄期与3d龄期抗折强度比、抗压强度比以及折压比与两者单掺

的平均值相当,基本不受协同效应的影响。

表6 掺粉煤灰的胶砂力学性能试验结果

序号	掺合料种类及掺量	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa			折压比	
		3d	28d	$\frac{3d}{28d}$	3d	28d	$\frac{3d}{28d}$	3d	28d
1	0#	4.8/100	8.7/100	0.55	24.8/100	47.3/100	0.52	0.194	0.184
2	F15	4.0/83	7.7/89	0.52	19.3/78	44.0/93	0.44	0.207	0.175
3	F20	3.9/81	7.5/86	0.52	17.2/69	40.7/86	0.42	0.227	0.184
4	F25	3.3/69	7.1/82	0.47	14.9/60	37.7/80	0.40	0.221	0.188
5	F30	3.0/63	7.2/83	0.42	13.6/55	36.8/78	0.37	0.221	0.196

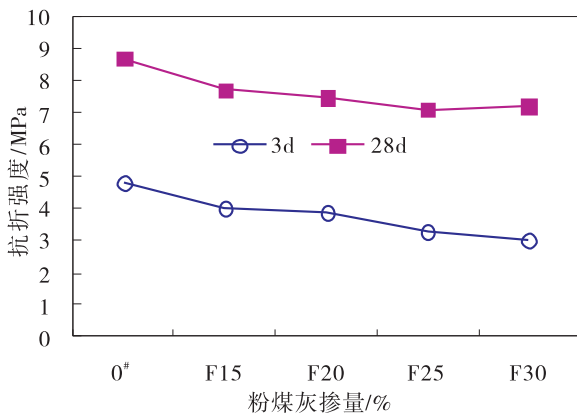


图3 胶砂抗折强度—粉煤灰掺量关系

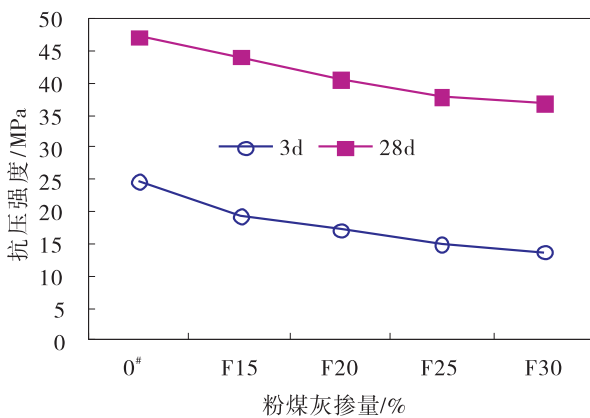


图4 胶砂抗压强度—粉煤灰掺量关系

3.4 胶砂脆性系数

脆性系数是指胶砂相应龄期抗压强度与抗折强度的比值。一般认为,胶砂的脆性系数越小,其抗裂性能越好,配制的砂浆和混凝土抗裂性能也越好。

从表8可知,3d龄期时,掺入矿渣粉和粉煤灰的胶砂较空白组的脆性系数小得多,而且掺量越大,脆性系数越小;28d龄期时,掺入矿渣粉和粉煤灰的胶砂较空白组的脆性系数总体上要小。可见,掺入矿渣粉和粉煤灰

有利于提高胶砂和混凝土的抗裂性能。

表7 矿渣粉及粉煤灰混合掺合料的胶砂力学性能试验结果

序号	掺合料种类及掺量/%	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa			折压比	
		3d	28d	$\frac{28d}{3d}$	3d	28d	$\frac{28d}{3d}$	3d	28d
(1)	K20	4.5	9.4	2.09	20.1	52.0	2.59	0.224	0.181
(2)	F20	3.9	7.5	1.92	17.2	40.7	2.37	0.227	0.184
(3)	K12F8	4.2	9.0	2.14	20.0	47.3	2.37	0.210	0.190
$\frac{2 \times (3)}{(1) + (2)}$	/	1.00	1.07	1.07	1.07	1.02	0.95	/	/
(4)	K30	3.8	9.3	2.45	16.7	50.4	3.02	0.228	0.185
(5)	F30	3.0	7.2	2.40	13.6	36.8	2.71	0.221	0.196
(6)	K18F12	3.6	8.7	2.42	15.8	44.9	2.84	0.228	0.194
$\frac{2 \times (6)}{(4) + (5)}$	/	1.06	1.05	0.99	1.04	1.03	0.99	/	/
(7)	K40	3.5	8.6	2.46	15.2	48.0	3.16	0.230	0.179
(8)	K24F16	3.1	8.5	2.74	12.6	40.7	3.23	0.246	0.209
(9)	K50	2.9	8.9	3.07	12.4	44.5	3.59	0.234	0.200
(10)	K30F20	2.5	8.0	3.20	10.2	37.9	3.72	0.245	0.211

表8 掺矿渣和粉煤灰胶砂的脆性系数

序号	掺合料种类及掺量/%	抗折强度/MPa		抗压强度/MPa		脆性系数	
		3d	28d	3d	28d	3d	28d
1	0#	4.8	8.7	24.8	47.3	5.17	5.44
2	K20	4.5	9.4	20.1	52.0	4.47	5.53
3	K30	3.8	9.3	16.7	50.4	4.39	5.42
4	K40	3.5	8.6	15.2	48.0	4.34	5.58
5	K50	2.9	8.9	12.4	44.5	4.28	5.00
6	K60	2.7	9.2	9.8	42.0	3.63	4.57
7	F15	4.0	7.7	19.3	44.0	4.83	5.71
8	F20	3.9	7.5	17.2	40.7	4.41	5.43
9	F25	3.3	7.1	14.9	37.7	4.52	5.31
10	F30	3.0	7.2	13.6	36.8	4.53	5.11

4 结论

1) 随着矿渣粉掺量由20%增大至60%,掺矿渣粉的胶砂3d龄期抗折强度和抗压强度随矿渣粉掺量的增加而线性减小;但28d龄期可赶上甚至超过空白组的强度;矿渣降低了胶砂的早期强度,但提高了胶砂28d龄期后的强度。

2) 随着粉煤灰掺量由 15% 增大至 30%, 3d 和 28d 抗折强度和抗压强度呈线性减小, 但 28d 龄期减小的幅度较 3d 小; 粉煤灰降低了胶砂的早期强度, 有利于提高胶砂 28d 龄期后的强度。

3) 粉煤灰和矿渣具有复合效应, 双掺效果优于单掺。掺入矿渣粉和粉煤灰有利于降低水泥胶砂的脆性系数, 从而提高水泥胶砂的抗裂性能。

参考文献:

[1] 杨医博, 梁松, 莫海虹, 等. 抗氯盐高性能混凝土技术手册 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2006.

[2] 袁润章, 高琼英, 欧阳世翕. 矿渣结构与水硬活性及其激发机理[J]. 武汉工业大学学报, 1995, (3): 297 - 302.

[3] 王爱勤, 杨南如, 钟白茜. 粉煤灰水泥的水化动力学[J]. 硅酸盐学报, 1997, 125(3): 123 - 129.

[4] 沈旦申, 张萌济. 粉煤灰效应的探讨[J]. 硅酸盐学报, 1981, (6): 58 - 63.

[5] E. Tazawa, S. Miyazawa, T. Kasai. Chemical shrinkage and autogenous shrinkage of hydrating cement paste[J]. Cem. Concr. Res. 1995, 25(2): 288 - 292.

(本文责任编辑 马克俊)