

胶凝材料对水泥基自流平砂浆性能的影响

邓鑫^{1,2}, 张铭^{1,2}, 曹青^{1,2}

(1.广东龙湖科技股份有限公司, 广东 汕头 515041;

2.广东龙湖科技股份有限公司西科大联合技术中心, 四川 绵阳 621010)

摘要: C₃A 作为水泥熟料矿物的重要组成部分之一, 对水泥水化的后期强度和水泥石结构的体积变化起着重要作用。利用正交试验方法, 分析研究 3 种胶凝材料对水泥基自流平砂浆早期、后期强度及伸缩率的影响。结果表明, 高铝水泥主要影响自流平砂浆的早期强度, 硅酸盐水泥主要影响自流平砂浆的后期强度和伸缩率。

关键词: C₃A; 高铝水泥; 硅酸盐水泥; 钙矾石; 强度; 收缩率

中图分类号: TU564.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-702X(2013)02-0051-03

Influence of cementing materials on the performance of cement-base self-leveling mortar

DENG Xin^{1,2}, ZHANG Ge^{1,2}, CAO Qing^{1,2}

(1.Guangdong Longhu Sci. and Tech. Company Limited, Shantou 515041, Guangdong, China;

2.Guangdong Longhu Sci. and Tech. Company Limited Mianyang Technical Center, Mianyang 621010, Sichuan, China)

水泥基自流平砂浆因其具有硬化速度快、早期强度高、表面光滑平整等优点被广泛应用于家装、工业和商业地面^[1]。水泥作为自流平砂浆主要的胶结材料, 它的选择对自流平砂浆早期和后期性能都会产生重要影响。市售的大多数自流平砂浆以普通硅酸盐水泥为主、铝酸盐水泥(或硫铝酸盐水泥)为辅, 再添加一定量的硬石膏作为主要胶凝材料。本文采用正交试验方法, 分析 3 种胶凝材料对自流平砂浆早期和后期性能的影响。

1 试验

1.1 原材料

普通硅酸盐水泥(OPC): 选用 3 个不同厂家的 P•O42.5R 水泥(分别为 F、Z、S), 对应的化学成分见表 1;

表 1 3 种普通硅酸盐水泥的化学成分 %

水泥品种	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	其它
F	0.16	1.53	4.26	18.33	3.23	4.57	0.43	65.78	1.35	0.10	0.26
S	0.16	2.64	5.85	21.34	3.81	3.94	0.80	60.09	0.83	0.15	0.38
Z	0.33	2.52	4.66	19.34	3.20	3.96	0.63	62.91	1.93	0.12	0.40

收稿日期: 2012-05-29

作者简介: 邓鑫, 男, 1982 年生, 四川阆中人, 助理工程师, 主要从事干粉砂浆及添加剂研发和应用。E-mail: dengx@longhu.biz。

高铝水泥: 广东龙湖科技股份有限公司, SiO₂ 含量 7.2%、Al₂O₃ 含量 51.3%、CaO 含量 34.1%、Fe₂O₃ 含量 2.0%, 比表面积 376 m²/kg;

硬石膏: 市售, 化学成分见表 2;

表 2 硬石膏的化学成分 %

SO ₃	MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	结晶水
53.90	1.68	40.48	0.63	0.09	0.12	0.04	0.06	0.01	0.03	0.16

精制河砂: 粒径 0.11~0.22 mm;

可再分散乳胶粉: WACKER VINNAPAS RE5010N, 最低成膜温度 4℃, 玻璃化转变温度 16℃;

稳定剂: DOW Walocel MT400PFV, 黏度 380 mPa·s;

减水剂: BASF MELFLUX 2651F;

消泡剂: 德国明凌化工集团 AGITAN P803;

其它添加剂: 市售。

1.2 试验方法

按照 JC/T 985—2005《地面用水泥基自流平砂浆》对试样进行搅拌及成型, 试验温度(23±2)℃, 相对湿度(50±5)%, 循环风速低于 0.2 m/s。试验使用 JJ-5 型搅拌机, TYE-200B 抗折抗压试验机, BC-II 型比长仪, 其中测试自流平砂浆强度的试件尺寸为 40 mm×40 mm×160 mm; 测试伸缩率试件尺寸为 25 mm×25 mm×280 mm。

1.3 正交试验研究

本文采用正交试验方法,探索在其它影响因素不变的情况下,OPC种类(F、Z、S)、石膏掺量及高铝水泥掺量对自流平砂浆强度和收缩性能的影响。试验中,石膏及高铝水泥掺量按占砂浆干粉料的总质量计。采用L₉(3⁴)试验表,其因素和水平见表2。

表2 正交试验因素水平

水平	因素		
	OPC种类(A)	石膏掺量/(%) (B)	高铝水泥掺量/(%) (C)
1	F	7	8
2	Z	8	6
3	S	6	7

2 实验结果与讨论

正交实验方案及结果见表3。

表3 正交实验方案及测试结果

序号	A	B	C	抗压强度/MPa			抗折强度/MPa			28 d 收缩率/%	
				1 d	7 d	28 d	1 d	7 d	28 d		
				1	1	1	1	14.4	20.8		28.6
2	1	2	2		12.2	16.4		2.39	4.62		1.315
3	1	3	3	2.8	23.4	30.1		4.95	9.14		0.200
4	2	1	2	5.2	25.5	31.5		3.98	8.84		0.051
5	2	2	3	5.8	24.2	33.8		4.48	0.38		0.108
6	2	3	1	12.4	17.4	22.9	3.73	5.27	10.00		-0.042
7	3	1	3	13.1	28.4	36.1	3.23	6.45	10.76		-0.092
8	3	2	1	14.4	27.9	36.1	2.72	5.32	11.16		-0.056
9	3	3	2	5.9	26.8	33.7		5.77	9.77		0.005

2.1 对抗压、抗折强度的影响

依据正交试验方法得到强度的极差分析(见表4)。

表4 抗折、抗压强度极差分析

因素	抗折强度			抗压强度		
	1 d	7 d	28 d	1 d	7 d	28 d
A	0.320	1.270	3.103	4.700	8.900	10.267
B	0.826	1.647	1.250	3.867	3.467	3.300
C	1.016	1.716	2.184	9.333	3.833	6.133

由表4可以看出,影响自流平砂浆1 d强度的主次因素顺序是:C→B→A,即高铝水泥量的增加,显著提高了自流平砂浆的早期强度。这是因为高铝水泥强度发展非常迅速,1 d内几乎可以达到最高强度的80%。而影响自流平砂浆28 d强度的主次因素顺序是:A→C→B,即普硅水泥种类是决定自流平砂浆28 d强度的最主要因素,且强度大小顺序是:S>Z>F。

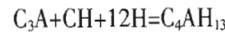
这是因为高铝水泥的长期强度不稳定,特别是在湿热环境下,可能明显下降。原因是高铝水泥的水化产物CAH₁₀或C₂AH₈都是亚稳相,当温度升高时,2种水化产物都不能稳定

存在,按照下式进行转化:

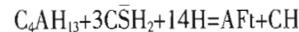


逐渐转化成比较稳定的C₃AH₆。体积为1 ml的CAH₁₀经转化后仅形成0.254 ml的C₃AH₆和0.22 ml的AH₃总的固相体积不过0.474 ml,而析出的水却有0.549 ml之多,浆体孔隙率达53.7%,C₂AH₈转化为C₃AH₆也与此相似,并且这种晶型转化随温度的升高而加速。AH₃·aq是一种含水量不定的胶体物质,能够无限膨胀,最后溶解于水,排出水泥石体外。这2种反应对水泥石的强度极其不利。

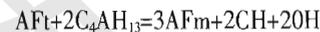
硅酸盐水泥各熟料矿物中C₃A的水化速率是最快的,它首先遇水溶解,然后与C₂S水化形成的Ca(OH)₂饱和溶液反应,其水化反应可以表述为:



由于石膏的存在,C₄AH₁₃会与石膏反应生成三硫型水化硫铝酸钙,又称钙矾石,以AFt表示,其反应式为:



当浆体中的石膏被消耗完,而水泥中还有未完全水化的C₃A时,C₃A的水化物C₄AH₁₃又能与上述反应生成的钙矾石继续反应生成单硫型水化硫铝酸钙,以AFm表示,即:



通常情况下,C₃A生成AFm,固相体积增加了81.5%;C₃A生成AFt,固相体积增加了133%^[2]。硅酸盐水泥中的石膏量一般都能满足铝盐的水化物转变为钙矾石和单硫型水化硫铝酸钙。本文中的石膏掺量远大于形成钙矾石所需要的量,故C₃A的量决定着最终钙矾石的生成量,同时钙矾石向单硫型水化硫铝酸钙的转化也变慢。钙矾石是水泥石产生强度的主要来源,它在水泥水化早期形成一个强度骨架,C₂S水化后的C-S-H凝胶填充在骨架之间,针棒状的钙矾石与其它水化产物紧密结合,形成水泥石的强度。它的量决定着最终水泥制品的强度。通过分析3种硅酸盐水泥物相对比(见图1)以及对各

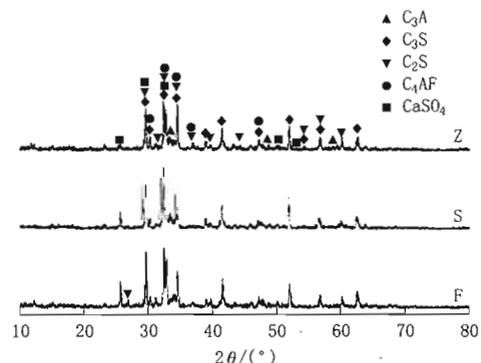


图1 3种普硅水泥物相对比

自熟料矿物组成的计算,得出3种水泥的 C_3A 含量从高到低分别是S>Z>F,也就是说自流平砂浆的最终强度从大到小应该是S>Z>F,这与正交试验得到的结论一致。

需要特别说明的是,2号试样因为石膏掺量过多,使后期持续形成钙矾石,产生膨胀应力,造成结构破坏,强度降低。

2.2 对伸缩率的影响

依据正交试验方法得到28d伸缩率极差分析表5,各龄期自流平砂浆的伸缩率见图2。

表5 28d伸缩率极差分析

因素	A	B	C
极差R	0.537	0.485	0.505

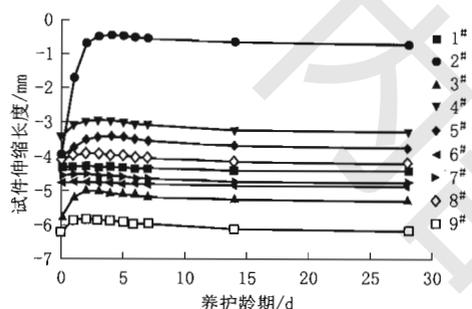


图2 各龄期砂浆的伸缩率

由表5可以看出,影响自流平砂浆28d伸缩率的主次因素顺序是:A→C→B,即普硅水泥种类是影响自流平砂浆28d尺寸变化的最主要因素,且尺寸变化从大到小为:F→Z→S。这是因为高铝水泥的水化产物中晶体的量较大,其干缩量较小,普硅水泥的水化产物中凝胶含量多,因此干缩量则相对较大。

当普硅水泥中加入高铝水泥,铝酸钙水化时要吸收氢氧化钙,而氢氧化钙是硅酸钙的水化产物,这样就促进了硅酸钙

的水化。从而使得水泥石结构中的C-S-H凝胶增加,干缩增大。还有一种原因是当普硅水泥的含量大于50%时,其主要水化产物为 C_3AH_6 、 $Ca(OH)_2$ 、C-S-H和铝胶等,水化样中没有发现 CAH_{10} ,原因是因为普硅水泥含量较多,pH值和 CaO/Al_2O_3 的比值较大,使得 CAH_{10} 和 C_2AH_8 向 C_3AH_6 转化比较完全。而转化使得水泥石的孔隙率增加,也会使干缩增大^[2]。

根据单矿物减缩作用的研究可知,水泥熟料中4种矿物的减缩作用按由大到小的排列是: $C_3A>C_4AF>C_3S>C_2S$ ^[1]。水泥石的体积变化主要包括3种,一是化学减缩;二是失水收缩;三是碳化收缩。其中以化学减缩造成的体积变化最大,本文通过加入石膏和铝酸盐水泥,共同水化反应生成钙矾石来补偿化学减缩造成的体积变化,故 C_3A 含量又决定了体积变化的大小,含量越高,水化生成的钙矾石越多,体积变化越小;含量越低,水化生成的钙矾石越少,体积变化越大。从前面可以得知,3种硅酸盐水泥的 C_3A 含量高低依次是S>Z>F,所以体积变化从大到小应该是F>Z>S,这与正交试验得到的结论相符。

3 结 语

(1)高铝水泥的掺量会影响自流平砂浆的早期强度,掺量越大,强度越高。

(2)普硅水泥影响着自流平砂浆的后期强度和伸缩率,并且与普硅水泥所含矿物组成密切相关,通过试验发现, C_3A 的含量决定着普硅水泥对自流平砂浆的影响。

参考文献:

- [1] 袁润章.胶凝材料学[M].武汉:武汉理工大学出版社,1996:82-148.
- [2] 刁桂芝.硅酸盐水泥与铝酸钙水泥复合性能和水化机理的研究[D].北京:中国建筑材料科学研究院,2005.

(上接第11页)

Chinese Ceram Soc.,2010,38(9):1718-1722.

- [3] 韩利华,张雪丽,封孝信,等.聚羧酸系高效减水剂的研究进展及发展现状[J].混凝土,2008(2):96-98.
- [4] Bury J R,Lu R,Moreau J,et al.High pozzolan cement mixtures:US,W02000009460[P].2000-02-24.
- [5] 张力冉,王栋民,刘治华,等.早强型聚羧酸减水剂的分子设计与性能研究[J].新型建筑材料,2012(4):73-77.

- [6] 张智.聚羧酸减水剂的合成及其引气与早强性能研究[D].广州:华南理工大学,2010:76.
- [7] 张新民,李国云,傅雁.早强快凝型聚羧酸减水剂的合成和应用[J].混凝土,2009(4):87-89.
- [8] 王万金,王靖,贺奎,等.早强型聚羧酸系高性能减水剂作用机理研究[C]//聚羧酸系高性能减水剂研究与工程应用——第三届全国混凝土外加剂应用技术专业委员会年会.北京:中国建筑学会,2007:124-128.