

文章编号:1673-9469(2011)03-0009-04

粉煤灰掺量对相同浆体体积比砂浆性能的影响

白金剑¹,李帅²,刘茉莉¹,沈小红³

(1.河北工程大学 土木工程学院,河北 邯郸 056038;2.山东汇智工程设计有限公司,山东 淄博 255036;3.河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038)

摘要:为了研究粉煤灰掺量对砂浆性能的影响,采用相同浆体体积比,分别以0%、10%、20%和30%的粉煤灰掺量配制砂浆,进行强度和碳化深度对比试验。结果表明,当水胶比一定时,随粉煤灰掺量的增加,砂浆的流动性不会明显降低;早期掺粉煤灰的水泥砂浆的强度会随着粉煤灰掺量的增加而降低,但其后期强度随着龄期的增长会逐渐提高并超过未掺粉煤灰的砂浆的强度;随着粉煤灰掺入量的增加,水胶比的增大以及暴露时间的增长,砂浆的碳化深度呈逐渐增加的趋势。

关键词:浆体体积比;粉煤灰;流动度;碳化

中图分类号: TU528

文献标识码: A

The influence of mortar performance with FA based on the equal ratio of grout volume

BAI Jin-jian¹, LI Shuai², LIU Mo-li¹, SHEN Xiao-hong³

(1. College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China; 2. Shandong Huizhi Engineering Design Co., Ltd., Shandong Zibo 255036, China; 3. College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: The experiment of strength and carbonation depth were compared respectively with the ratio of 0%、10%、20%、30% of fly ash (FA) and the same ratio of grout volume, to research the influence of the content of FA to the mortar. The result shows that with the certain water - binder ratio (W/C), the fluidity of cement mortar does not significantly reduce when FA increases; the strength of mortar with FA decreases with the increase of the FA in the early stage while it catches up with gradually and surpass that of mortar without FA; the carbonation depth of cement mortar increases with the increase of the amount of FA, and exposure time.

Key words: ratio of grout volume; fly ash; fluidity; carbonation

1919年 Abrams 提出了在世界各地普遍应用的水灰比(W/C)定理:当混凝土原材料确定后,只要保证混凝土浇筑密实,则它的强度与W/C关系为

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^{w/c}}$$

但由于采用指数形式不方便以及没有考虑水化程度等因素, Bolomey 又提出了比较简单的双曲线方程 $f = A + B \cdot C/W$, 称为 Bolomey 公式。目前,

我国应用的混凝土强度公式 $f_{cu,0} = Af_{cu}(C/W - B)$ 是 Bolomey 公式的另一种表示形式^[1]。

从上面公式的提出和发展,可以看出混凝土原材料确定以后,W/C 决定混凝土强度大小,同时为保证混凝土密实,必须有足够的浆体^[2]。本文在满足砂浆工作性的前提下,采用相同的浆体包裹相同的骨料,即相同浆体体积比配制粉煤灰砂浆,研究不同粉煤灰掺量对砂浆力学指标、工作性能以及碳化深度的影响。

1 浆体体积比

浆体体积比指新拌浆体(混凝土或砂浆)的体积与新拌浆体总的体积的比值,用 R_j 来表示,其表达式为

$$R_j = (V_B + V_W) / V_A$$

式中 V_B —新拌浆体中胶凝材料的体积, $V_B = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{\rho_i}$; V_W —新拌浆体中水的体积; V_C —新拌浆体中粗骨料的体积; V_S —新拌浆体中细骨料的体积; V_A —新拌浆体的总体积, $V_A = V_B + V_W + V_C + V_S$; m_i —新拌浆体中第 i 种胶凝材料的质量; ρ_i —新拌浆体中第 i 种胶凝材料的密度。

水胶比是指每立方米混凝土的用水量与所有胶凝材料用量的比值,通常用 W/B 来表示,计算公式如下:

$$W/B = m_w / m_B \quad (1)$$

$$m_B = \sum_{i=1}^n k_i m_i \quad (2)$$

式中 k_i —新拌浆体中第 i 种胶凝材料占总胶凝材料的质量百分比。

2 原料及方法

2.1 原材料

水泥:山东山水水泥集团有限公司,硅酸盐水泥 P152.5,其化学成分、物理指标见表 1、表 2。

粉煤灰:日照华能电厂 I 级粉煤灰(表 3)。

标准砂:厦门艾思欧标准砂有限公司,中国 ISO 标准砂,其细度模数 2.4。

减水剂:山东华伟银凯建材有限公司生产的 NOF-AS 缓凝高效减水剂,减水率 25%。

2.2 试验方法

砂浆工作性参照 GB/T2419-2005《水泥胶砂流动度测试方法》进行^[3]。砂浆抗折、抗压强度参照 GB/T 177-1985《水泥胶砂强度检验方法》进行。试验所用试件为掺粉煤灰的水泥砂浆试件,尺寸均为 40 mm×40 mm×160 mm 的长方体,经标准养护后,通过 TYE-3000 型压力机测试砂浆的 3 d、7 d、28 d 抗折、抗压强度。砂浆的碳化试验,充分暴露在室外环境中,达到一定的龄期后,再用 1%~2% 酚酞酒精指示剂检验碳化深度。

采用的水胶比、粉煤灰掺量见表 4。

表 1 水泥熟料化学成分

Tab.1 Chemical composition of cement %

水溶性 Cl ⁻ 含量	SO ₃ 含量	Na ₂ O + 0.658K ₂ O	f-CaO	MgO	烧失量
0.019	2.05	0.77	2.16	1.92	1.94

表 2 水泥物理力学指标

Tab.2 Physical and mechanic properties of cement

标准稠度用水量/%	凝结时间/(h·min ⁻¹)		抗折强度/MPa		抗压强度/MPa	
	初凝	终凝	3d	28d	3d	28d
29.6	02:15	03:35	6.8	8.3	36.4	55.8

表 3 粉煤灰物理性能

Tab.3 Physical properties of FA

烧失量/%	需水量比/%	细度 45 μ m 方孔筛筛余/%	含水率/%	密度/(g·cm ⁻³)
2.59	94	9.7	0.4	2.7

表4 粉煤灰砂浆配合比
Tab.4 The mix design of mortar with FA

编号	W/B	材料用量/g				浆体 体积比	FA		减水剂	
		B	C	W	S		替代量/g	百分率/%	用量/g	百分率/%
MF1-1	0.35	550	550	193	1 350	0.425	0	0	2	0.4
MF1-2	0.35	540	486	189	1 350	0.425	54	10	2.5	0.5
MF1-3	0.35	530	424	186	1 350	0.425	106	20	2.7	0.5
MF1-4	0.35	520	364	182	1 350	0.425	156	30	3.0	0.6
MF2-1	0.40	515	515	206	1 350	0.425	0	0	1	0.1
MF2-2	0.40	503	453	201	1 350	0.425	50	10	1.5	0.3
MF2-3	0.40	495	396	198	1 350	0.425	99	20	2.0	0.4
MF2-4	0.40	485	340	194	1 350	0.425	146	30	2.0	0.4

注:减水剂的掺入量是按照新拌砂浆的流动度为 180~220 mm 来控制,浆体体积比 $R_f = 0.425$ 。

3 结果与分析

3.1 粉煤灰砂浆总胶凝材料

由计算配合比可以看出,在水胶比 $W/B = 0.35$,砂浆达到 0.425 浆体体积比时,粉煤灰的掺量从 0~30%,胶凝材料的用量会从 1 100 g 降到 884 g;在水胶比 $W/B = 0.40$,砂浆达到 0.425 浆体体积比时,粉煤灰的掺量从 0~30%^[4-5],胶凝材料的用量会从 1 030 g 降到 825 g。由此可以得出在水胶比相同的情况下,如果粉煤灰掺量增加,保证砂浆的流动性不显著变化,胶凝材料的总用量会降低。

3.2 粉煤灰砂浆工作性能

粉煤灰可以明显改善砂浆的流动度,使减水剂的用量大大减少,掺加优质粉煤灰可以减少砂浆用水量,以 30% 粉煤灰替代相应的水泥,达到相同的砂浆流动度时,其需水量可以明显降低^[6-7],同样本文试验结果表明在浆体体积比为 0.425 时,水灰比 $W/B = 0.35$ 时,粉煤灰掺入量的增加不明显降低砂浆的流动度,具体值见表 5。

3.3 粉煤灰砂浆力学性能

掺入粉煤灰后,砂浆的早期强度会随粉煤灰掺入量增加而降低^[8],掺入的粉煤灰早期是不参与反应的^[7],粉煤灰中的玻璃质的 SiO_2 , Al_2O_3 和水泥水化产生的高碱型水化硅酸钙凝胶及 $Ca(OH)_2$ 晶体发生反应(即“火山灰反应”),所以火山灰反应滞后于水泥的水化反应。

砂浆试验得到 3 d、7 d、28 d 抗折、抗压强度见表 6。可以看出:当龄期为 3 d 或 7 d 时,不掺粉煤灰的砂浆抗折、抗压强度明显高于掺粉煤灰的砂浆。当龄期达到 28 d 时, $W/B = 0.35$,粉煤灰掺量为 10% 的砂浆抗折强度比 0% 时提高了 11%,抗压强度提高了 6%;粉煤灰掺量为 20%、30%,砂浆的抗折强度已经超过未掺粉煤灰的砂浆强度,抗压强度也逐渐提高。大量试验都表明掺入粉煤灰的砂浆随着龄期的增加,砂浆的强度都会优于同等条件下纯水泥的强度。

脆性系数,指抗压强度和抗折强度的比值。试验结果表明:随着粉煤灰掺入量的增加脆性系数呈下降趋势,表明粉煤灰对抗折强度的改善优于抗压强度,因此更适应于道路桥梁等对抗折性能要求高的工程(表 6)。

表5 粉煤灰砂浆的流动度
Tab.5 The fluidity of mortar with FA

W/B	NOF-AS:6g			NOF-AS:5g
	FA:0%	FA:10%	FA:20%	FA:0%
0.35	265mm	270mm	260mm	260mm

表6 不同水胶比、不同粉煤灰掺量各龄期强度结果

Tab.6 The strength results of mortar with FA at different and ages

编号	抗折强度/MPa			抗压强度/MPa			脆性系数		
	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d
MF1-1	9.03	10.41	10.32	59.85	67.00	70.55	6.63	6.43	6.84
MF1-2	8.98	9.80	11.47	57.55	65.95	74.65	6.41	6.73	6.51
MF1-3	8.26	8.85	10.55	51.15	64.10	69.43	6.19	7.24	6.58
MF1-4	7.42	8.69	10.32	44.45	57.68	66.95	5.99	6.64	6.49
MF2-1	7.99	8.97	9.85	48.50	60.70	68.30	6.07	6.77	6.93
MF2-2	7.67	8.85	10.10	48.25	56.70	63.30	6.29	6.41	6.27
MF2-3	7.40	8.24	8.99	42.60	55.20	58.23	5.76	6.70	6.48
MF2-4	6.70	7.66	8.90	37.08	47.50	55.40	5.53	6.20	6.22

表7 不同龄期掺粉煤灰砂浆碳化深度结果

Tab.7 The depth of carbonation of mortar with FA at different ages

编号	碳化深度/mm			编号	碳化深度/mm		
	30 d	40 d	60 d		30 d	40 d	60 d
MF1-1	—	—	0.15	MF2-1	—	—	0.10
MF1-2	—	0.10	0.23	MF2-2	0.15	0.18	0.30
MF1-3	0.10	0.40	0.65	MF2-3	0.69	0.91	1.26
MF1-4	0.38	0.65	0.92	MF2-4	0.80	1.13	1.52

注:本试验碳化深度的测试为采用多点测试求平均的方法获得,“—”代表无碳化深度。

3.4 粉煤灰砂浆碳化深度

一般情况下,早期砂浆呈较强碱性,当空气、土壤、地下水等环境中的酸性气体或液体侵入砂浆中,与水泥石中的碱性物质发生化学反应,使其PH值下降,成为砂浆中性化。其中由空气中的CO₂引起的中性化过程成为砂浆的碳化,碳化对砂浆力学性能及构件受力性能的负面影响不大,但其最大的危害是引起钢筋锈蚀,从而影响砂浆结构的耐久性^[9]。

试验结果表明:随着粉煤灰掺入量的增加,水胶比的增大以及暴露时间的增长,砂浆的碳化深度呈增加趋势(表7)。

4 结论

1)水胶比一定时,随着粉煤灰掺量的增加,胶凝材料的总用量会降低,但砂浆的流动性不会明显降低。

2)掺粉煤灰的水泥砂浆的早期强度会随着粉煤灰掺量的增加而降低,但其后期强度随着龄期的增长会逐渐提高并超过未掺粉煤灰的砂浆的强度。

3)随着粉煤灰掺入量的增加,水胶比的增大以及暴露时间的增长,砂浆的碳化深度呈增加趋势。

参考文献:

- [1] MINDESS S, YOUNG J F, DARWIN D. 混凝土[M]. 北京:北京化工出版社, 2005.
- [2] 赵若鹏, 郭自力, 吴佩刚, 等. 掺粉煤灰的高强度自流平混凝土试验研究[J]. 工业建筑, 2002, 32(5): 8-11.
- [3] GB/T 2419-2005, 水泥胶砂流动度测试方法[S].
- [4] 邓汝锋. 粉煤灰在混凝土中掺量的研究[J]. 山西建筑, 2009, 35(17): 147-148.
- [5] 马志霞, 李金奎, 侯瑞珀, 等. 不同掺量粉煤灰混凝土强度试验研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2005, (4): 32-34.
- [6] 杨静, 覃维祖. 粉煤灰对高性能混凝土的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 1995, (5): 10-14.
- [7] 胡建勤, 管斌君, 何庆丰. 粉煤灰对混凝土补偿收缩性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品, 2001, (2): 15-17.
- [8] 程祖锋, 牛中元, 杨大顺. 粉煤灰水泥改良垃圾土的强度试验研究[J]. 河北工程大学学报:自然科学版, 2009, 26(2): 13-15.
- [9] 李红辉. 大掺量粉煤灰高性能混凝土研究[D]. 北京:北京建筑工程学院, 2005.

(责任编辑 马立)