

粉煤灰抑制碱—硅活性反应试验研究

肖祖阔¹, 吴金灶¹, 朱仲¹, 陈平华¹

(1. 中国水利水电第十六工程局有限公司, 福建省 福州市 350001)

摘要: 骨料碱活性是混凝土耐久性的重要指标之一。为抑制骨料的碱—硅活性, 比较经济有效的方法为掺入活性指数较高且有效的 ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$) 含量较高的粉煤灰。单一的活性指数或 ($\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$) 含量并不是判断粉煤灰抑制骨料的碱—硅活性反应效果的依据, 只有两者结合才能加以甄别判断, 因此在选择抑制骨料碱—硅活性的粉煤灰品种时应加以注意。

关键词: 骨料; 碱—硅活性; 粉煤灰; 抑制效果

中图分类号:

文献标识码: A

1 绪言

上世纪由中国水利水电第十六工程局施工的工程项目尚无碱—骨料反应方面的实测。进入本世纪以来, 由于工程上骨料碱活性反应的长久性和破坏性, 越来越得到人们重视, 由水电第十六工程局施工的工程项目陆续有福建水口坝下工程、周宁抽水蓄能电站工程、永泰抽水蓄能电站工程、云南勐野江水电站工程, 新疆西水东引工程相继存在碱—骨料反应。

工程上骨料存在碱活性, 首先要判明碱活性类型。若骨料存在碱—碳酸活性, 就应更换骨料料源; 若存在碱—硅活性, 在无更换料源可能的情况下, 则应考虑采取措施加以抑制。抑制碱—硅活性的措施很多, 主要有限制材料碱含量、采用矿物混合料、掺用化学外加剂、减少混凝土用水量、增加混凝土密实性等措施。但考虑到抑制效果的有效性和经济性, 一般首先考虑采用活性混合料, 尤其是料源丰富的粉煤灰。

2 粉煤灰抑制碱—硅活性机理

2.1 碱—硅反应机理^[1]

碱—硅反应是由混凝土中的水泥、掺合料、外加剂和水中的碱 ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 与骨料中的活性二氧化硅或硅酸盐作用, 在混凝土浇筑后的若干年 (有的多达十几年) 逐渐反应, 生成带多个结晶水的化合物后膨胀, 致使混凝土体积不安定, 使混凝土失去相应的设计功能。由于活性骨料经搅拌后呈均匀分布, 发生碱—硅反应后内部各部位均匀产生膨胀力, 此类病害无法修补, 故应引起足够重视。

2.2 粉煤灰类活性材料抑制碱—硅活性机理

2.2.1 粉煤灰溶出碱含量相对较少, 部分粉煤灰替代水泥后将会稀释混凝土中的碱含量。

2.2.2 粉煤灰通过填充效应以及二次水化作用等能够显著改善混凝土内部孔隙结构分布形态, 提高混凝土密实性及抗渗性, 从而降低孔隙溶液中离子的迁移速率, 降低碱离子与活性骨料接触概率, 延缓碱—骨料反应发生^[2]。

2.2.3 一般来说, 粉煤灰的活性远比骨料的活性高, 且有相当大的比表面积。因此相对骨料与碱的反应而言, 可以认为粉煤灰中的活性组分优先与碱反应。粉煤灰与碱反应将吸收的碱的数量取决于粉煤灰活性组分的数量、粉煤灰的酸碱度 (PH 值) 及其掺量等因素, 总的来说取决于粉煤灰的自身特

收稿日期:

基金项目: 项目名称 (项目号) ; 项目名称 (项目号)

作者简介: 肖祖阔 (1985-), 男, 福建尤溪, 工程师, 主要从事水电建设工作。E_mail:116228558@qq.com

性，剩余的碱将与活性骨料反应^[3]。

2.2.4 粉煤灰通过火山灰反应生成大量水化硅酸钙凝胶，这类凝胶具有较低的钙硅比以及较强的碱吸附能力，因而能够有效降低孔隙溶液中碱金属离子浓度，抑制碱—骨料反应发生。

2.2.5 混合材料中的活性 SiO₂ 自身存在的“最危险含量”的影响^[3]。

3 各工程用于抑制碱—硅活性采用的粉煤灰品质检测

3.1 用于抑制碱—硅活性的各种粉煤灰物理力学性能检测结果

用于抑制碱—硅活性的各种粉煤灰物理、力学性能检测结果见表 3.1。

表 3.1 用于抑制碱—硅活性的各种粉煤灰物理、力学性能检测结果

序号	工程名称	粉煤灰品种	密度 (g/cm ³)	细度 (%)	含水 量(%)	烧失量 (%)	需水量 比(%)	活性指数(%)	
								7d	28d
1		华能 F 类 II 级粉煤灰	2.22	19.7	0.3	3.30	102	64	71
2	水口坝下工程	大唐 F 类 I 级粉煤灰	2.40	3.7	0.2	0.72	95	72	87
3		大唐 F 类 II 级粉煤灰	2.19	21.8	0.2	1.28	98	65	73
4	周宁抽蓄工程	大唐 F 类 II 级粉煤灰	2.24	12.4	0.3	1.18	96	66	81
5		磊鑫 F 类 II 级粉煤灰	2.50	9.8	0.3	3.40	94	71	89
6	永泰抽蓄工程	华能 F 类 II 级粉煤灰	2.36	17.6	0.2	2.65	98	65	78
7	新疆西水东引工程	乾元盛 C 类 I 级粉煤灰	2.57	8.7	0.2	2.19	88	78	85
		I 级粉煤灰	≤2.60	≤12	≤1.0	≤5.0	≤95	/	≥70
	GB/T1596-2017	II 级粉煤灰	≤2.60	≤30	≤1.0	≤8.0	≤105	/	≥70
		III 级粉煤灰	≤2.60	≤45	≤1.0	≤10.0	≤115	/	≥70

3.2 用于抑制碱—硅活性的粉煤灰化学成分检测结果

用于抑制碱—硅活性的各种粉煤灰化学成分检测结果见表 3.2。

表 3.2 用于抑制碱—硅活性的各种粉煤灰化学成分检测结果 (%)

序号	工程名称	粉煤灰品种	SO ₃	CaO	fCaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃
1		华能 F 类 II 级粉煤灰	1.74	1.99	0	58.04	24.66	5.71	1.85	0.47	0.76	88.41
2	水口坝下工程	大唐 F 类 I 级粉煤灰	0.79	4.47	0.12	46.65	24.26	6.30	4.50	1.01	1.22	77.21
3		大唐 F 类 II 级粉煤灰	0.85	3.90	0.42	51.18	26.44	5.50	0.96	0.32	0.42	83.12
4	周宁抽蓄工程	大唐 F 类 II 级粉煤灰	0.94	5.00	0.23	42.94	26.94	5.54	0.26	0.71	0.84	75.42
5		磊鑫 F 类 II 级粉煤灰	1.00	7.46	0.06	47.32	27.55	7.98	2.86	0.57	0.55	82.85
6	永泰抽蓄工程	华能 F 类 II 级粉煤灰	1.18	9.55	0.24	46.10	25.95	7.37	2.73	0.16	0.20	79.42
7	新疆西水东引工程	乾元盛 C 类 I 级粉煤灰	3.30	21.20	2.08	39.40	13.48	5.21	7.62	4.45	0.99	58.09
		I 级粉煤灰		F 类	F 类							F 类
	GB/T1596-2017	II 级粉煤灰	≤3.0	<10	≤1.0	/	/	/	/	/	/	≥70
		III 级粉煤灰		≥10	≤4.0							≥50

3.3 从表 3.1 和表 3.2 可知:

3.3.1 水口坝下工程采用的 F 类 I 级粉煤灰、周宁抽蓄工程采用的大唐 F 类 II 级粉煤灰、永泰抽蓄工程采用的磊鑫 F 类 II 级粉煤灰、新疆西水东引工程采用的乾元盛 C 类 I 级粉煤灰活性较高; 而水口坝下工程采用的华能 F 类 II 级粉煤灰以及大唐 F 类 II 级粉煤灰、永泰抽蓄工程采用的华能 F 类 II 级粉煤灰活性较低。

3.3.2 除了新疆西水东引工程采用的乾元盛 C 类 I 级粉煤灰的 $(SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 含量较低外, 其余粉煤灰的 $(SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3)$ 含量均大于 70%。

4 粉煤灰抑制骨料碱—硅活性试验

4.1 粉煤灰抑制骨料碱—硅活性试验结果

粉煤灰抑制骨料碱—硅活性试验结果见表 4.1

表 4.1 各种粉煤灰抑制骨料碱—硅试验结果

序号	工程名称	粉煤灰种类	采用的水泥	骨料品种	粉煤灰掺量 (%)	抑制效果 (快速砂浆棒膨胀率) (%)			
						龄期 (d)			
						3	7	14	28
1	福建水口坝下工程	华能 F 类 II 级粉煤灰	虎球牌 P•042.5 水泥	花岗岩卵石	0	/	0.05	0.19	0.33
					15	/	0.04	0.12	0.22
					25	/	0.03	0.09	0.17
					30	/	0.01	0.06	0.09
					35	/	0.01	0.03	0.06
				0	/	0.09	0.28	0.40	
				20	/	0.06	0.18	0.27	
				花岗岩碎石	30	/	0.04	0.10	0.15
					35	/	0.03	0.07	0.09
				40	/	0.01	0.04	0.06	
		花岗岩卵石	0	/	0.07	0.20	0.33		
			15	/	0.01	0.03	0.05		
			20	/	0	0.01	0.02		
			25	/	0	0	0.01		
			0	/	0.07	0.20	0.33		
		花岗岩碎石	15	/	0.02	0.03	0.07		
			20	/	0	0.01	0.02		
			25	/	0	0	0.01		
			0	/	0.07	0.20	0.33		
			15	/	0.01	0.01	0.03		
花岗岩卵石	20	/	0	0	0.01				
	25	/	0	0	0				
	0	/	0.17	0.30	0.41				
	花岗岩碎石	0	/	0.17	0.30	0.41			

序号	工程名称	粉煤灰种类	采用的水泥	骨料品种	粉煤灰掺量 (%)	抑制效果 (快速砂浆棒膨胀率) (%)			
						龄期 (d)			
						3	7	14	28
					15	/	0.01	0.02	0.07
					20	/	0.01	0.02	0.02
					25	/	0	0	0
					0	/	0.14	0.25	0.35
2	福建周宁抽蓄工程	华能 F 类 II 级粉煤灰	福建“建福” P•042.5 水泥	花岗岩碎石	15	/	0.02	0.06	0.12
					20	/	0.01	0.02	0.05
					25	/	0	0	0
					30	/	0	0	0
					0	0.03	0.12	0.18	0.33
					10	0.01	0.02	0.04	0.09
					20	0	0.01	0.02	0.05
					30	0	0	0.01	0.02
					0	0.05	0.16	0.23	0.26
					10	0.03	0.05	0.08	0.16
3	福建永泰抽蓄工程	磊鑫 F 类 II 级粉煤灰	福建金牛 P•042.5 水泥	凝灰岩碎石	15	0.02	0.03	0.03	0.08
					20	0.01	0.01	0.01	0.02
					25	0	0	0	0
					30	0	0	0	0
					0	0.07	0.16	0.26	0.33
					10	0.03	0.07	0.13	0.22
					15	0.01	0.04	0.06	0.11
					20	0	0.01	0.02	0.05
					25	0	0	0	0.02
					30	0	0	0	0
4	新疆西水东引工程	乾元盛 C 类 I 级粉煤灰	新疆天山 P•042.5 水泥	花岗岩卵石	10	0.04	0.08	0.15	0.22
					20	0.03	0.08	0.15	0.21
					30	0.03	0.06	0.14	0.18
					20	/	/	0.05	0.09

备注: a. 骨料碱活性快速砂浆棒检验法判断: 当无采取抑制措施时, 骨料 14d 龄期膨胀率 < 0.10%, 则骨料为非碱活性骨料; 当骨料 14d 龄期膨胀率 ≥ 0.20% 时, 则该骨料为潜在碱活性骨料; 当骨料 14d 龄期膨胀率 $0.1\% \leq \varepsilon < 0.2\%$ 时, 则该骨料为存在可疑碱活性, 应结合其它资料并延长试验龄期加以判断。

b. 根据 DL/T5298-2013 规定, 抑制骨料碱活性以快速砂浆棒 28d 膨胀率进行判断, 若膨胀率 < 0.10%, 则可有效抑制, 若膨胀率 ≥ 0.10%, 则抑制效果不佳。

c. 表格中的黑体字为具有抑制效果的粉煤灰掺量。

4.2 粉煤灰抑制骨料碱—硅活性试验结果分析

4.2.1 福建水口坝下工程、福建周宁抽水蓄能工程、福建永泰抽水蓄能工程、新疆西水东引工程混凝土采用的粗骨料都存在潜在碱—硅活性或疑似碱—硅活性。对于潜在碱—硅活性骨料必须采取措施进行抑制，对于疑似碱—硅活性骨料需结合其他资料以及长龄期的混凝土棱柱体试验综合判断，若因施工时间紧迫无法判断，也应采取抑制措施。

4.2.2 乾元盛 C 类 I 级粉煤灰虽然活性指数较高，但无抑制碱—硅活性作用。

4.2.3 同一品牌粉煤灰在不同工程中，其抑制骨料碱—硅活性的效果不一样，这与粉煤灰品质波动及使用的水泥成分有关。

4.2.4 同一种粉煤灰在同一工程采用不同水泥时，其抑制骨料碱—硅活性的效果不一样，这与采用水泥中的火山灰及矿渣组分有关。若水泥中加入比例较高的活性掺合料，则其抑制骨料碱—硅活性效果更为明显。

4.2.5 粉煤灰抑制骨料碱—硅活性效果与粉煤灰活性指数有关，但活性高的粉煤灰其抑制骨料碱—硅活性的效果不一定明显。

4.2.6 粉煤灰抑制骨料碱—硅活性效果与粉煤灰中的 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 含量有关，但不成正比。

4.2.7 当 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 有效活性高的粉煤灰，其抑制骨料碱—硅活性比较明显。即粉煤灰的活性指数和 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 含量同时都比较高的粉煤灰，其抑制骨料碱—硅活性效果较好。

5. 结语

碱骨料反应是混凝土耐久性的重要指标之一。为抑制骨料的碱—硅活性，比较经济的方法是掺入活性指数较高且有效的 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 含量较高的粉煤灰。单一的活性指数或 $(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 含量并不是判断粉煤灰抑制骨料的碱—硅活性反应效果的依据。只有两者结合才能加以甄别判断，因此在选择抑制骨料碱—硅活性的粉煤灰品种时应加以注意。本文仅起抛砖引玉作用，不是之处，敬请同行指正。

参 考 文 献：

- [1] 林仙斌, 吴金灶, 朱仲, 福建地区建筑骨料碱—硅活性状况及抑制方法研究[J]. 福建建筑, N001:2020 Vol. 259
- [2] 高东坡, 南水北调工程水工混凝土碱活性抑制与配合比优化方案研究[J]. 中国建筑科学, 2015(5): 41-43
- [3] 殷强, 混凝土碱—骨料反应监测方法和碱性预防措施[D]. 西南交通大学, 硕士学位论文, 2006.04

Experimental study on the inhibition of alkali silica reaction by fly ash

Xiao zukuo¹, Wu Jinzao¹, Zhu Zhong¹, Chen Pinghua¹

(1. Sinohydro Bureau 16 Co., Ltd., Fuzhou City, Fujian Province 350001)

Abstract: the alkali activity of aggregate is one of the important indexes of concrete durability. In order to inhibit the alkali silica activity of aggregate, the more economical and effective method is to mix fly ash with higher activity index and effective content ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$). A single activity index or ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$). content is not the basis for judging the effect of fly ash on inhibiting alkali silica reactivity of aggregates. Only a combination of the two can be used to distinguish and judge. Therefore, attention should be paid to the selection of fly ash varieties that inhibit alkali silica reactivity of aggregates.

Keywords: aggregate; alkali silica activity; fly ash; inhibition effect

第一作者简介:

肖祖阔, 男, 工程师, 中国水利水电第十六工程局有限公司中心实验室副主任, 1985年2月出生于福建省三明市尤溪县, 2006年8月至今工作于中国水利水电第十六工程局有限公司中心实验室, 先后参加或负责过福建龙岩白沙水电站、云南戈兰滩水电站、贵州沙沱水电站、南水北调中线一期、加蓬共和国K051公路、丰满水电站全面治理(重建)等工程的质量检测工作。

通讯地址 福建省福州市鼓楼区湖东路82号

电话 0591-86293027 传真 0591-87840294 手机号 18759818356

电子邮箱 116228558@qq.com