

水泥和骨料化学成分对碱骨料活性影响的试验研究

胡强圣¹, 张平¹, 刘志龙¹, 朱正贵²

(1. 安庆职业技术学院 建筑工程系, 安徽 安庆 246003;
2. 中国葛洲坝集团三峡建设工程有限公司, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 试验采用5种不同的水泥、10种不同的骨料, 通过快速砂浆棒法研究水泥和骨料的化学成分对碱骨料活性的影响。结果表明: 当水泥化学成分不同, 骨料化学成分相同时, 各龄期的膨胀率与MgO质量分数成正比, 与SiO₂质量分数成反比; 当骨料化学成分不同, 水泥化学成分相同时, 各龄期的膨胀率与骨料中碱质量分数、SiO₂质量分数成正比, 与MgO质量分数成反比。

关键词: 化学成分; 碱骨料活性; 快速砂浆棒法; 膨胀率

中图分类号: TU525 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5322(2019)04-0001-04

碱骨料反应在国内^[1]、国外^[2]的工程中都有发生, 越来越受到国内外专家和学者的重视。学者们分别从混凝土外观表现^[3]、机理^[4]等方面, 对水利水电^[5-7]、火力发电^[2]、预制构件^[8]等工程的碱骨料反应进行了深入研究, 获得了重要的研究成果, 并提出了降低碱骨料反应风险的工程措施^[9-10], 供实际工程参考。

通常具有活性碱和水两个条件就能发生碱骨料反应, 其中活性碱可以来自水泥、掺和料、外加剂和骨料, 所以应限定混凝土碱的总量不大于2.5 kg/m³。从大量的工程试验数据中可以发现, 碱骨料活性不仅与混凝土的碱有关, 还与水泥和骨料的化学成分有一定的关系。

1 水泥化学成分不同对混凝土碱骨料反应的影响

1.1 水泥

试验按照总碱质量分数的不同, 选取5种不同品种的水泥: 2种为中热水泥, 3种为普通硅酸盐水泥。水泥的化学成分如表1所示(其中: 当量碱质量分数 $Na_2O_{eq} = Na_2O + 0.658K_2O$ ^[11], LOI表示烧失量)。

1.2 骨料

试验按照文献[12]规定的方法, 将某种碎石骨料破碎, 砂料颗粒级配如表2所示。

表1 水泥化学成分分析结果

Table 1 Analysis results of chemical composition of cement

水泥编号	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	LOI	Na ₂ O _{eq}	%
C1	0.14	3.66	3.18	22.32	0.45	63.31	4.54	0.34	0.44	
C2	0.18	1.95	6.01	21.77	0.64	60.03	3.92	2.61	0.60	
C3	0.25	1.69	7.60	25.10	0.69	55.35	3.03	3.67	0.70	
C4	0.28	3.84	5.73	21.36	0.88	62.34	2.64	1.27	0.86	
C5	0.45	3.01	5.92	23.97	0.83	54.80	3.47	4.55	1.00	

收稿日期: 2019-04-29

基金项目: 安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2017A786); 安徽省高校质量工程项目(2018jyxm0643); 安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2018A0899)

作者简介: 胡强圣(1987—), 男, 安徽安庆人, 讲师, 工程师, 硕士, 主要研究方向为混凝土结构耐久性。

表 2 砂料级配比例表

Table 2 The schedule of proportion of sand grading

筛孔尺寸/mm	分级质量比/%
5~2.5	10
2.5~1.25	25
1.25~0.63	25
0.63~0.315	25
0.315~0.16	15

1.3 试验方法

采用化学成分如表 1 所示的水泥和表 2 中的细骨料级配,按照文献[12]规定的配合比制备砂浆棒。砂浆试件成型后,放入养护室养护(24 ± 2) h 后拆模,并在(20 ± 2) °C 的恒温室中测量试件的原始读数。然后将试件浸泡在装有自来水的聚丙烯塑料筒中,盖上塑料盖使筒密封,将塑料筒放入温度为(80 ± 2) °C 的恒温水浴箱中恒温 24 h 后,将试件取出擦干,在恒温室中测量试件的基准长度,试件从擦干到测量完毕应在(15 ± 5) s 内完成。试件测量完后,浸泡在装有 1 mol/L NaOH 溶液的塑料筒中,NaOH 溶液淹没试件,再将塑料盖盖好,放入(80 ± 2) °C 的恒温水浴箱中,观测 3 d、7 d、14 d 的砂浆棒试件膨胀率。

1.4 试验结果及分析

3 d、7 d、14 d 的砂浆棒试件膨胀率如表 3 所示。

表 3 不同碱质量分数水泥快速砂浆棒法试验结果

Table 3 Test results of accelerated mortar bar test for cement with different alkali content %

编号	水泥碱质量分数	各龄期膨胀率		
		3 d	7 d	14 d
C1	0.44	0.015	0.025	0.057
C2	0.60	0.015	0.022	0.087
C3	0.70	0.008	0.014	0.029
C4	0.86	0.012	0.030	0.142
C5	1.00	0.006	0.013	0.046

水泥中碱质量分数、MgO 质量分数、SiO₂ 质量分数与砂浆棒膨胀的关系如图 1~图 3 所示。从图 1 中可以看出,随着水泥中当量碱质量分数的增加,砂浆的膨胀率总体呈增加的趋势;从图 2 中可以看出,随着水泥中 MgO 质量分数的增加,砂浆棒的膨胀率是逐渐增加,3 d 龄期膨胀率区别不明显,到了 7 d 和 14 d 龄期,增加趋势明显;从图 3 中可以看出,随着水泥中 SiO₂ 质量分数的增加,砂浆棒的膨胀率是逐渐减少的,特别到了 14 d 的时候,下降趋势显著。

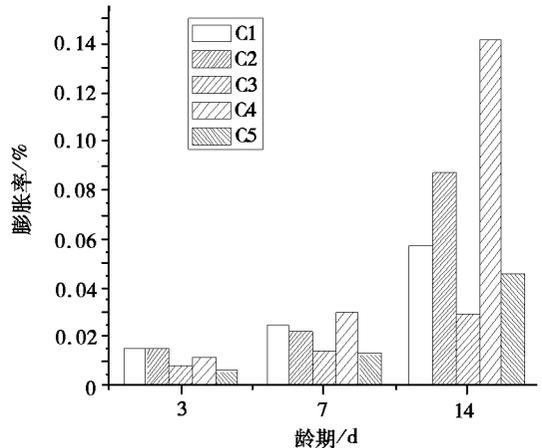


图 1 水泥中碱质量分数与砂浆棒膨胀率关系

Fig 1 Relationship between alkali content in cement and expansion rate of mortar bar

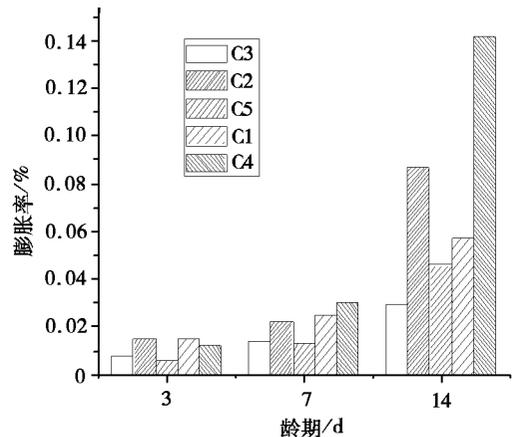
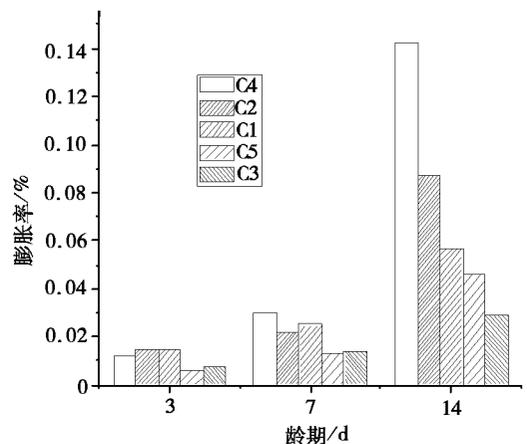


图 2 水泥中 MgO 质量分数与砂浆棒膨胀率关系

Fig 2 Relationship between MgO content in cement and expansion rate of mortar bar

图 3 水泥中 SiO₂ 质量分数与砂浆棒膨胀率关系图Fig 3 Relationship between SiO₂ content in cement and expansion rate of mortar bar

由于试验过程在高温(80 ± 2) °C、强碱(1 mol/L)环境中进行,水泥中碱、MgO 可能参与了反应,因此砂浆棒呈现了膨胀的趋势;在高温(80 ± 2) °C 环境下,水泥中 SiO₂ 质量分数越高,水泥浆体生成的胶凝材料越多,增强了砂浆抵抗强碱环境的能力,所以砂浆的膨胀率逐渐减少。

2 不同的骨料对碱骨料反应的影响

2.1 骨料

试验采用的骨料从工地中采取,对骨料的化学成分进行分析,并按照骨料的当量碱质量分数进行排序,如表 4 所示。

表 4 岩石化学成分分析结果

Table 4 Analysis results of chemical composition of rocks

编号	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O _{eq}	LOI
G1	36.33	6.76	14.62	19.85	7.32	0.04	0.32	2.18	2.39	5.6
G2	47.92	9.72	14.06	12.98	4.64	0.1	1.32	2.13	3.00	2.74
G3	57.95	3.64	11.46	10.01	4.38	0.02	2.01	2.19	3.51	4.51
G4	47.90	8.99	15	13.12	3.95	0.05	1.2	2.93	3.71	1.69
G5	48.44	8.92	14.37	13.2	3.97	0.07	1.23	2.92	3.73	1.77
G6	50.97	4.01	13.75	13.97	5.74	0.03	1.33	3.28	4.16	3.71
G7	43.59	7.02	14.18	14.64	6.16	0.04	0.45	4.27	4.57	4.05
G8	47.18	5.19	15.24	13.42	4.8	0.04	1.43	3.66	4.6	4.97
G9	44.96	7.85	15.89	13.1	5.32	0.05	1.34	3.82	4.7	2.53
G10	48.03	8.5	12.62	11.41	4.22	0.03	1.11	4.5	5.23	4.73

%

2.2 试验结果及分析

采用同一种中热硅酸盐水泥,水泥当量碱质量分数为 0.44% (表 1 中水泥编号为 C1), 试验方法与前述相同,观测 7 d、14 d、28 d 砂浆棒试件膨胀率,试验结果如图 4 ~ 图 6 所示。

量分数的增加,砂浆膨胀率总体趋势是降低的,与水泥中 MgO 质量分数的影响趋势相比较弱。

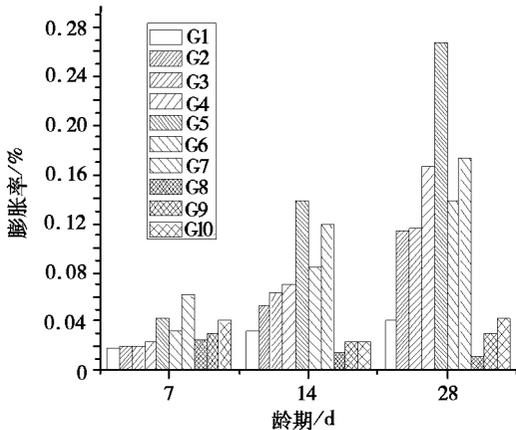


图 4 骨料中当量碱质量分数与砂浆棒膨胀率关系

Fig 4 Relationship between equivalent alkali content in aggregate and expansion rate of mortar bar

从试验结果可以看出,随着骨料中当量碱质量分数的增加,膨胀率总体上是增加的趋势,但趋势不明显;随着骨料中 SiO₂ 质量分数的增加,膨胀率总体上是降低的,与水泥中 SiO₂ 质量分数对砂浆膨胀率的影响作用相似;随着骨料中 MgO 质

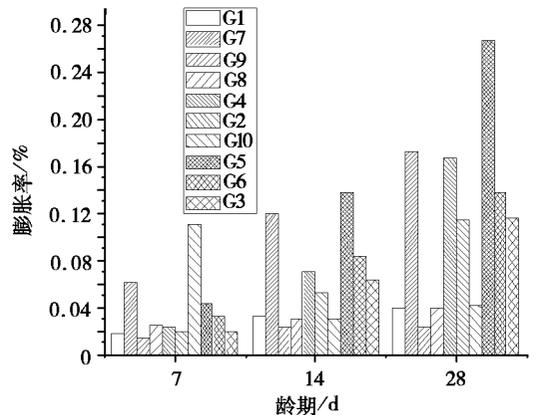


图 5 骨料中 SiO₂ 质量分数与砂浆棒膨胀率关系

Fig 5 Relationship between SiO₂ content in aggregate and expansion rate of mortar bar

究其原因,笔者认为,骨料中的化学成分在高温、强碱环境中可能更难参与反应,因此总体上趋势不明显。随着碱质量分数、SiO₂ 质量分数增加,砂浆膨胀率增加,说明参与碱硅酸反应的硅质更可能是来自于骨料本身,而不是水泥的水化产物;随着骨料中 MgO 质量分数增加,砂浆膨胀率呈现了下降的趋势,表明骨料中 MgO 参与反应的可能较小。

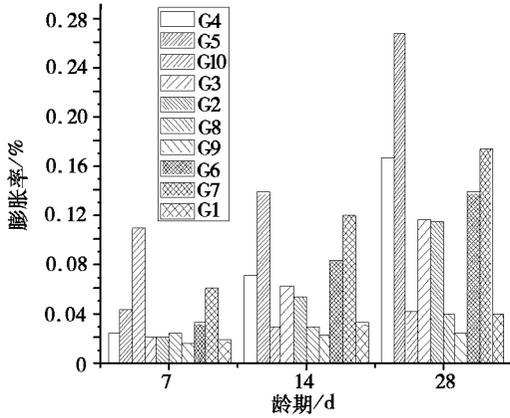


图 6 骨料中 MgO 质量分数与砂浆棒膨胀率关系

Fig 6 Relationship between MgO content in aggregate and expansion rate of mortar bar

参考文献:

[1] 卢都友,许仲梓,韩苏芬,等.我国首例混凝土结构碱骨料反应破坏的研究[J].南京化工大学学报,1994,16(S1):1-6.

[2] 潘坚文,徐艳杰,金峰,等.混凝土坝碱骨料反应模型及其长期运行分析[J].水力发电学报,2014,33(5):169-176.

[3] 慕晓方,许仲梓,唐明述.混凝土中碱骨料反应与冻融破坏的特征判据[J].低温建筑技术,1995,17(3):6-8.

[4] 潘坚文,蔡小莹,张楚汉.混凝土碱骨料反应力学性质劣化机理研究[J].水利学报,2014,45(S1):38-42.

[5] 周守贤,曹鹏举.三峡工程混凝土碱骨料试验研究[J].长江科学院院报,1992,9(4):55-59.

[6] 杨华全,李鹏翔.三峡工程花岗岩骨料的碱活性试验研究[J].水力发电学报,2010,29(2):222-227,233.

[7] 卢亚召,赵顺波.洛河流域安山玢岩碱骨料反应试验研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2014,35(3):36-38.

[8] 王文娇.减水剂与粉煤灰抑制混凝土碱骨料反应试验研究[J].四川建材,2014,40(3):33-34.

[9] 闫春岭,付向红.粉煤灰掺量和龄期对硷骨料反应的因素分析[J].河南科技大学学报(自然科学版),2015,36(2):70-73,6.

[10] 李鹏翔,王黎,彭尚仕.石英砂岩碱骨料反应抑制措施的试验研究[J].人民长江,2013,44(7):75-78.

[11] 胡明玉,唐明述.碱集料反应中当量碱计算问题探讨[J].混凝土,2003(8):3-9.

[12] 南京水利科学研究所,中国水利水电科学研究所.水工混凝土砂石骨料试验规程:DL/T 5151—2001[M].北京:中国电力出版社,2002.

3 结论

(1)采用快速砂浆棒法测试骨料的碱活性时,各龄期的趋势一致。

(2)采用不同种水泥与同一种骨料进行碱活性试验时,随着水泥中碱质量分数、MgO 质量分数增加,砂浆膨胀率增加,随着水泥中 SiO₂ 质量分数增加,砂浆膨胀率降低。

(3)采用不同种骨料与同一种水泥进行碱活性试验时,随着骨料中碱质量分数、SiO₂ 质量分数增加,砂浆膨胀率增加,随着骨料中 MgO 质量分数增加,砂浆膨胀率总体降低。

Experimental Study on the Influence of Chemical Composition of Cement and Aggregate on the Activity of Alkali Aggregate

HU Qiangsheng¹,ZHANG Ping¹,LIU Zhilong¹,ZHU Zhenggui²

(1. Department of Construction Engineering, Anqing Vocational & Technical College, Anqing Anhui 246003, China;)
(2. China Gezhouba Group Three Gorges Construction Engineering Co.,Ltd. Yichang Hubei 443002, China)

Abstract: Five kinds of cement and 10 kinds of aggregate were used to study the influence of chemical composition of cement and aggregate on the activity of alkali aggregate by the accelerated mortar bar test. The results show that when the chemical composition of cement is different and the chemical composition of aggregate is the same, the expansion rate of each age is directly proportional to the MgO content and inversely proportional to the SiO₂ content. When the chemical composition of aggregate is different and the chemical composition of cement is the same, the expansion rate of each age is directly proportional to the alkali content and SiO₂ content of aggregate, and inversely proportional to the MgO content.

Keywords: chemical composition; the activity of alkali aggregate; accelerated mortar bar test; expansion rate

(责任编辑:熊璐璐)