

通过试验分析不同掺和料对抑制混凝土碱骨料反应的影响

陈 行

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川 成都 610036)

摘要: 面对混凝土碱骨料反应的危害, 探究对具有潜在碱骨料反应危害的混凝土进行有效抑制的方法是一项具有实际意义的研究工作。通过技术处理可以将具有碱活性特征的混凝土骨料顺利投入使用, 从而消除或有效降低混凝土碱骨料反应对工程实体的危害, 实现节约原材料、降低工程成本的目的。阐述了通过试验分析不同掺和料对抑制混凝土碱骨料反应影响的过程。

关键词: 碱骨料反应; 掺和料; 抑制效果; 试验

中图分类号: TV7; TV42+3; TV43

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)03-0033-04

Experimental Analysis of the Effects of Different Admixtures on Inhibiting the Alkali Aggregate Reactions of Concrete

CHEN Hang

(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610036)

Abstract: Exploring effective methods to inhibit the potential alkaline hazard of concrete aggregates is a technical issue of practical significance in the face of the harm caused by the alkaline activity of concrete aggregates. After technological processing, concrete aggregates with alkaline activity characteristics can be successfully put into use, thereby eliminating or effectively reducing the practical problems of alkali aggregate hazards in engineering concrete, achieving the goal of saving raw materials and reducing engineering costs. The paper explains the experimental analysis process of the effects of different admixtures on inhibiting the alkali aggregate reactions of concrete.

Keywords: Alkali aggregate reaction; Admixtures; Inhibition effect; Experiment

1 概 述

碱骨料反应(AAR)是指混凝土中的水泥等碱性物质与某些活性骨料发生化学反应, 引起混凝土产生不均匀膨胀而导致混凝土破坏开裂的现象。影响碱骨料反应的因素很多, 其主要有水泥碱含量、活性骨料的数量、粒径和活性的强度、温度与湿度、外加剂及掺和料等。目前市场上的混凝土骨料多以人工骨料为主, 其母岩岩性大多具有碱活性特征, 在对混凝土骨料进行检验检测过程中, 发现混凝土骨料中潜藏的碱活性危害较为普遍。

面对混凝土碱骨料反应的危害, 若要寻找无碱活性特征的骨料其难度较大, 探究对具有潜在

碱骨料反应的混凝土进行有效抑制的方法是一项具有实际意义的研究工作。通过技术处理可以将具有碱活性特征的混凝土骨料顺利投入使用, 从而消除或有效降低工程中存在的混凝土碱骨料反应对工程实体的危害, 实现节约原材料、降低工程成本的目的。

2 碱骨料反应的分类与危害

2.1 碱骨料反应的分类

工程建设中常见的碱骨料反应通常分为两类, 即碱硅酸盐反应(简称 ASR)和碱碳酸盐反应(简称 ACR)。碱硅酸盐反应是混凝土中的碱物质与骨料中的活性 SiO_2 、白云石晶体等活性成分与水泥、外加剂、掺和料中的碱在有水环境中发生反应, 在骨料表面生成复杂的碱硅酸凝胶, 吸水后

收稿日期: 2024-03-05

可产生 3 倍以上的体积膨胀,进而导致混凝土产生胀裂破坏。碱碳酸盐反应是混凝土中的碱与骨料中的碳酸盐发生反应而引起混凝土产生膨胀破坏。目前,工程检测试验接触到的大部分混凝土碱骨料反应均为碱硅酸盐反应。笔者在文中仅针对碱硅酸盐反应进行论述。

2.2 碱骨料反应产生的条件

发生碱骨料反应需要具备三个条件:(1)混凝土中总碱物质的含量超过标准含量;(2)存在碱活性的骨料并超过一定数量;(3)有足够的水分供给。碱硅酸凝胶吸水后的体积膨胀程度与吸水量直接相关,如果没有水分,碱骨料反应就会减弱或停止。

2.3 碱骨料反应产生的危害^[1]

碱骨料中的活性 SiO₂、白云石晶体等活性成分与水泥、外加剂掺和料中的碱在水环境作用下吸水膨胀,使混凝土产生内部膨胀开裂,导致混凝土失去原有的设计性能而造成混凝土破坏,而且这类开裂破坏是无法修复的。碱骨料反应给工程建设带来的危害相当严重,被人们称为混凝土“癌症”。混凝土碱骨料危害从发生到破坏的时间长短不一,可以从几年到几十年。

表 1 水泥物理力学性能试验检测指标表

水泥品种及 强度等级	密度 /(g·cm ⁻³)	比表面积 /(m ² ·kg ⁻¹)	安定性	凝结时间 /min		抗折强度 /MPa		抗压强度 /MPa	
				初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
海螺 P. O42.5R	3.08	340	合格	194	340	5.0	7.9	25.3	48.8
《通用硅酸盐水泥标准》 GB 175—2007 P. O42.5R	—	≥300	合格	≥45	≤600	≥4.0	≥6.5	≥22.0	≥42.5

表 2 人工砂石骨料级配表

项目	粒径 /mm				
	2.5~5	1.25~2.5	0.63~1.25	0.315~0.63	0.16~0.315
分级质量 /%	10	25	25	25	15
分级质量 /g	90	225	225	225	135

本次试验选用的骨料经过筛分、洗净、烘干后,按照表 2 中的级配配置试验用料,按照碱活性试验标准方法,采用《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151—2014 中的砂浆棒快速法测定得到 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期试块的膨胀率分别为 0.013%、0.148%、0.309%和 0.499%。

4 不同掺和料对碱骨料反应活性的影响分析

本次试验采用的方法是通过分别添加锂盐(碳酸锂)、粉煤灰(Ⅰ级和Ⅱ级)、火山灰、硅粉、聚

3 基础掺和料骨料碱活性指标

笔者通过查阅相关资料、规范并结合以往工程现场大量碱骨料反应试验取得的经验成果得知:一般情况下,为抑制混凝土中的碱骨料反应,可以在混凝土中添加混凝土碱活性抑制剂、聚丙烯纤维、锂盐、掺和料(主要是Ⅰ级或Ⅱ级粉煤灰、火山灰)或掺料组合^[2]。

本次进行的试验研究与分析是在水泥原材料选用由西藏昌都海螺水泥厂生产的海螺 P. O42.5R 水泥、骨料采用绰斯甲水电站项目生产的人工级配砂石的基础上,通过试验分析了在分别添加粉煤灰(Ⅱ级)、硅灰、火山灰、聚丙烯纤维、锂盐、调和剂、抑制剂后,对混凝土试块 3 d、7 d、14 d、28 d 膨胀率分别进行了检测,分析了不同掺和料对混凝土碱骨料活性抑制的影响程度。

所采用的检验检测方法按照中国规范《水工混凝土砂石骨料试验规程》(DL/T5151—2014)^[3]中的砂浆棒快速法,骨料的碱活性抑制性试验采用美国规范《胶凝材料和骨料混合物的潜在碱硅酸盐反应标准试验方法(快速砂浆棒法)》(ASTMC 1567—2021)。其水泥物理力学性能试验检测指标见表 1,人工砂石骨料级配情况见表 2。

聚丙烯纤维和外加剂(调和剂和抑制剂)分析不同掺和料对基础碱骨料活性的影响。

检验检测操作方法选用《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151—2014 中的砂浆棒快速法,骨料的碱活性抑制性试验采用《胶凝材料和骨料混合物的潜在碱硅酸盐反应标准试验方法(快速砂浆棒法)》ASTMC 1567—2021。

根据《水工混凝土砂石骨料试验规程》DL/T 5151—2014:

(1) 砂浆试件 14 d 的膨胀率小于 0.1%，则骨料为非活性骨料；

(2) 砂浆试件 14 d 的膨胀率大于 0.2%，则骨料为具有潜在危害性反应的活性骨料；

(3) 砂浆试件 14 d 的膨胀率为 0.1% 至 0.2%。对于这种骨料，应结合现场记录、岩相分析或开展其他辅助试验、将试件观测时间延至 28 d 后的测试结果等进行综合评定；

(4) 砂浆试件 28 d 的对比试件膨胀率小于 0.1%，则该掺量下的抑制材料对该种骨料的碱骨料反应危害抑制效果评定为有效。

笔者按照上述材料、检测检验方法及标准要求分别进行了试验，对其检验检测结果进行的分析如下。

4.1 锂盐(碳酸锂)

通过资料查阅得知，锂盐对碱骨料反应能够较好的进行有效抑制^[4]。锂盐的种类很多且采购便捷。本次试验采用由四川嘉龙化工有限公司生产的锂盐，其主要成分为碳酸锂，呈白色粉末状。

碳酸锂的溶解度较小，本次采用水温为 20℃ 的溶解度进行质量百分比的配制，其掺量为 10%、20% 和 30%。骨料采用绰斯甲水电站人工砂石骨料，采用参考文献[3]中的砂浆棒快速法测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期的膨胀率。

试验结果分析：碳酸锂盐溶解度较小，对碱活性骨料进行有效抑制的效果不理想。当其掺量达到 30% 时，其 28 d 的膨胀率为 0.363%，未能实现砂浆试件 28 d 的对比试件膨胀率小于 0.1% 的有效抑制效果。同时，因锂元素在市场上的广泛应用导致锂盐价格较高，将其作为碱活性骨料的抑制手段时其成本较高，不经济。

4.2 粉煤灰

经查阅资料和大量的实践经验表明^[5]：粉煤灰作为碱骨料反应抑制有效且成本较低。本次试验采用由四川神华天明发电有限公司生产的 F 类 I 级和 II 级粉煤灰，骨料采用绰斯甲水电站人工砂石骨料，采用参考文献[3]中的砂浆棒快速法测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期的膨胀率。

试验结果分析：根据相关试验标准，粉煤灰对碱骨料的活性均能够进行有效的抑制。当其掺量为 15%~25% 时，I 级粉煤灰的抑制效果优于 II

级粉煤灰的抑制效果，且粉煤灰的掺量与抑制效果成正比，粉煤灰掺量越大，抑制效果越好，膨胀率越小。

4.3 火山灰

本次试验采用的火山灰是由四川省炉霍县华康水泥有限责任公司生产的火山灰，骨料采用绰斯甲水电站人工砂石骨料，采用参考文献[3]中的砂浆棒快速法测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期的膨胀率。

试验结果分析：本次采用的火山灰其掺量为 30% 时能够对碱骨料反应进行有效抑制；随着火山灰掺量的增加，其抑制效果会越来越明显。虽然市场上较多的火山灰按照《水工混凝土掺用天然火山灰质材料技术规范》DL/T 5273—2012 标准进行检测能够满足相关要求，但严格意义上的火山灰不多，资源相对贫乏。

4.4 硅灰

本次试验采用的硅灰是由四川辛发建材有限公司生产的“92 型”微硅粉，骨料采用绰斯甲水电站人工砂石骨料，采用参考文献[3]中的砂浆棒快速法测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期的膨胀率。

试验结果分析：本次采用的硅灰在掺量为 10% 时能够对碱骨料反应进行有效抑制；随着硅灰掺量的增加，其抑制效果会越来越明显。但硅灰掺入量太大对混凝土的和易性会产生影响。

4.5 聚丙烯纤维

本次试验采用的聚丙烯纤维是由成都锦祥科技有限公司生产的聚丙烯纤维，骨料采用绰斯甲水电站人工砂石骨料，采用参考文献[3]中的砂浆棒快速法测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期的膨胀率。

试验结果分析：本次采用的聚丙烯纤维在其掺量为 1.0% 时无法对碱骨料反应进行有效抑制；而 1.0% 的掺量是常态混凝土外掺的高限，故未进行更高的掺量试验。

4.6 外加剂(调和剂和抑制剂)

抑制碱骨料反应试验的外加剂(调和剂)采用由北京厚德交通生产的“HD—THJ”混凝土调和剂以及由四川恒高新型建材有限公司生产的骨料抑制剂，测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d

龄期时的膨胀率。

试验结果分析:采用北京厚德交通“HD—THJ”调和剂和四川恒高抑制剂均能对碱活性骨料进行有效的抑制,其掺量为 15%左右时抑制效果最佳。

4.7 粉煤灰和聚丙烯纤维双掺

笔者采用固定聚丙烯纤维的掺量(1.0%)和不同的粉煤灰掺量进行了组合碱骨料反应抑制试验,粉煤灰采用四川神华天明发电有限公司生产的 F 类Ⅱ级粉煤灰,当粉煤灰掺量分别为 20%、25%和 30%时,测定了试块在 3 d、7 d、14 d、28 d 龄期时的膨胀率。

试验结果分析:采用粉煤灰与聚丙烯纤维双掺组合后,通过数据分析得知:双掺组合中的聚丙烯纤维基本不产生作用,主要是粉煤灰的抑制效果发挥作用。

5 结 语

笔者通过试验分别掺入锂盐、粉煤灰、火山灰、硅灰、外加剂、聚丙烯纤维材料对混凝土碱骨料反应进行了抑制试验数据的整理分析与研究,得出以下结论:

(1)按照参考文献[3]中的控制要求,在粉煤灰中的游离氧化钙含量符合相关规范要求的条件下,F 类粉煤灰、火山灰、硅灰和外加剂材料能够对碱骨料反应进行有效的抑制,而锂盐(碳酸锂)和聚丙烯纤维单独使用时几乎没有抑制作用。

(2)F 类粉煤灰和火山灰对碱骨料反应抑制的效果与其品质成正比:Ⅰ级灰优于Ⅱ级灰;其掺

量越大,抑制效果越明显。

(3)调和剂和抑制剂能够对碱活性骨料进行有效的抑制,其掺量越大,抑制效果越好;掺量的大小与外加剂品质和原料的有效浓度有关。

(4)硅灰能够对碱骨料反应进行有效的抑制,其掺量越大,抑制效果越好;但硅灰掺量太大对混凝土的流动性影响较大。

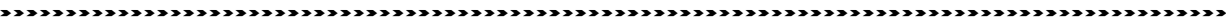
通过对本次试验取得的检验结果进行分析得知:应优先推荐选用粉煤灰对碱骨料反应进行有效抑制;其次,选用碱骨料反应抑制外加剂对其进行抑制。在实际工程项目应用中,可以根据成本测算择优选择性价比较高的抑制方案。在绰斯甲水电站工程抑制碱骨料反应试验成果中,其成果报告得到了相应验证,所取得的试验检验分析结果具有较好的指导意义和实际操作价值,可为类似工程提供借鉴。

参考文献:

[1] 崔博涛,邓良超,董瑞靖,等. 阜康抽水蓄能电站骨料碱活性及抑制试验研究[J]. 四川水泥,2020,55(12):327-329.
[2] 程恒. 高拱坝混凝土碱-骨料反应变形控制方法[P]. 中国专利:CN202110526816. 8,2021. 07. 30.
[3] 水工混凝土砂石骨料试验规程:DL/T 5151-2014[S].
[4] 徐文峰. 一种混凝土骨料抑制碱活性的方法[P]. 中国专利:CN201910326939. X,2019. 07. 16.
[6] 朱盛胜,白银. 水泥自身所含碱和外加 NaOH 对碱骨料反应影响[J]. 甘肃水利水电技术,2011,55(2):21-23.

作者简介:

陈 行(1985-),男,四川成都人,副高级工程师,学士,从事水电工程施工技术与管理工作。(编辑:李燕辉)



(上接第 24 页)

石等复杂条件下非通航河道疏浚存在的施工难点进行研究,结合现场实际情况提出了合理的解决方案,通过采取先左岸后右岸、右岸修建矮丁坝等方式进行施工期的水流控制,利用水情流量监测系统以及电站历年下泄流量大数据进行分析得知:在流量为 500~800 m³/s 时段,利用大斗容反铲及长臂反铲开挖,采取横向由河道内水、陆分界位置向岸坡方向开挖,纵向由上游向下游开挖的顺序,其疏浚进度、质量、安全及成本控制良好,所取得的经验可为后续类似工程施工参考。

参考文献:

[1] 王娜,孔卫东. 河道清淤施工方案设计[J]. 河北工程技术高等专科学校学报,2010,21(4):13-14.
[2] 韦洪舰. 河道清淤疏浚施工现状及常见问题的分析[J]. 低碳世界,2016,6(33):88-89.
[3] 徐海波,杨兴明. 河道疏浚施工技术与管理[J]. 山西建筑,2021,47(16):175-176,179.
[4] 蔡振邦. 航道疏浚工程的技术措施探讨[J]. 中国新技术新产品,2016,24(15):120-121.
[5] 李长雨. 河道疏浚技术在河道整治中的应用研究[J]. 黑龙江水利科技. 2022,50(2):172-174.

作者简介:

巫德武(1991-),男,广西宁明人,项目总工程师,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(编辑:李燕辉)