

磷渣抑制集料碱硅酸反应的试验研究

周麒雯,李光伟

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,四川 成都 610072)

摘要 进行磷渣抑制集料 ASR 的试验研究,结果表明,磷渣可以抑制集料的 ASR 膨胀,其抑制效果随着磷渣掺量的增加而提高,复掺粉煤灰可以提高磷渣抑制 ASR 的抑制率。认为从磷渣抑制 ASR 的能力、抑制 ASR 膨胀的程度以及抑制 ASR 膨胀的工程安全性等 3 个方面可以对掺磷渣抑制 ASR 的有效性进行评估。对磷渣抑制 ASR 的效果进行评估,结果表明,掺 40% 的磷渣可以有效地抑制活性集料 ASR 的膨胀。

关键词 混凝土掺合料 磷渣 集料 碱硅酸反应 试验研究

中图分类号 :TU528.041 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)02-0039-03

Experimental study on suppressing of alkali-silica reaction by phosphorus slag//ZHOU Qi-wen, LI Guang-wei (Chengdu Hydroelectric Investigation Design & Research Institute, CHECC, Chengdu 610072, China)

Abstract :Experimental study indicates that phosphorus slag can reduce the expansion of the aggregate alkali-silica reaction (ASR), with the suppressing effect increasing with the amount of phosphorus slag, and the mixing of fly ash will improve the suppressing rate of phosphorus slag on ASR. The effect of phosphorous slag on suppressing ASR expansion could be assessed based on the its capability, degree and safety. The evaluation results show that a mixing ratio of 40% of phosphorous slag may be quite adequate.

Key words :concrete admixture ; phosphorus slag ; aggregate ; alkali-silica reaction ; experimental study

碱集料反应(AAR)是导致混凝土耐久性下降的重要原因之一,半个世纪以来已在世界范围内造成了巨大损失。AAR 按参与反应的集料类型可分为碱硅酸反应(ASR)和碱碳酸盐反应(ACR),其中 ASR 为实际工程中最常见的碱集料反应类型。解决集料 ASR 破坏的最可靠的途径是在工程中使用非活性集料,但由于资源和经济等方面的原因,有些水电工程不得不使用具有活性的集料。国内外大量研究和工程实践证实,使用掺合料抑制集料 ASR 是解决集料 ASR 问题的最实用、经济和有效的途径^[1-2]。磷渣是用电炉法制取黄磷时所得到的以硅酸钙为主要成分的熔融物,具有较高的活性,将磷渣作为混凝土掺合料已经在水电工程中得以应用^[3]。本文结合水电工程实际,对磷渣抑制集料 ASR 进行试验研究,从磷渣所具有的抑制 ASR 的能力、抑制 ASR 膨胀的程度以及抑制

ASR 膨胀的工程安全性等 3 个方面对掺磷渣抑制集料 ASR 膨胀的有效性进行评估。

1 磷渣抑制集料 ASR 的试验研究

1.1 试验原材料

试验采用攀枝花 P. 042.5 级水泥,攀枝花 504 厂的Ⅱ级灰以及川投电冶公司黄磷厂的磷渣,水泥、粉煤灰及磷渣的化学成分见表 1。

试验采用的集料为石英砂岩和角砾熔岩。砂浆棒快速法和混凝土棱柱体法对两种岩石的碱活性进行检验的结果(图 1)表明,两种岩石均为活性集料,其中角砾熔岩的活性大于石英砂岩的活性。

1.2 试验方法

磷渣抑制集料 ASR 的试验方法采用砂浆棒快速法。试验时分别测量不同龄期试件的膨胀率,并

表 1 试验用水泥、粉煤灰及磷渣水泥的化学成分质量分数 %

种类	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P ₂ O ₅	MnO ₂	TiO ₂	烧失量	碱含量
水 泥	22.17	4.09	8.47	58.60	1.59	2.11				1.59	0.70
粉煤灰	51.36	5.74	28.83	4.46	2.71	2.15				4.17	2.32
磷 渣	39.58	0.81	3.07	50.54	0.91		2.26	0.068	0.22	2.26	0.59

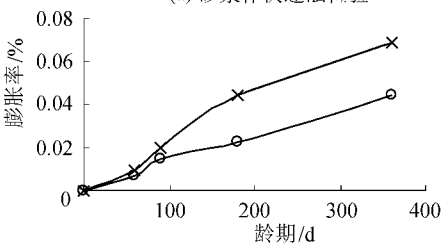
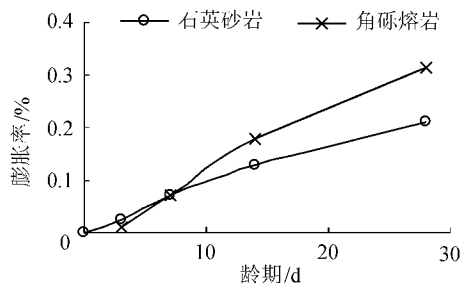


图1 集料碱活性检验结果

计算掺合料对 ASR 膨胀的抑制率 R 。

$$R = \frac{E_0 - E_i}{E_0}$$

式中： E_0 为参比试件（无掺合料掺入）膨胀率； E_i 为同龄期参加掺合料试件的膨胀率。

1.3 试验结果与讨论

1.3.1 磷渣掺量与抑制 ASR 的效果

不同磷渣掺量时活性集料的砂浆膨胀率和砂浆膨胀抑制率分别见图2和图3。从试验结果可以看出：

a. 在水泥中掺入 30% 的磷渣时，活性集料的 14 d 砂浆膨胀率均小于 0.1%（其中石英砂岩的 14 d

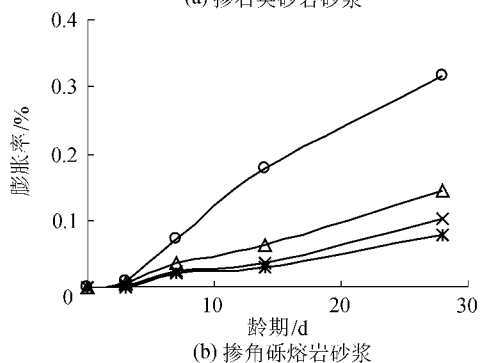
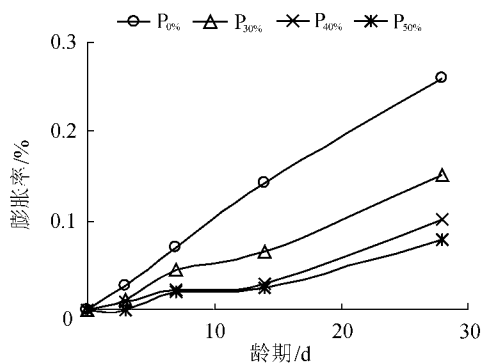


图2 不同磷渣掺量时的砂浆膨胀率试验结果

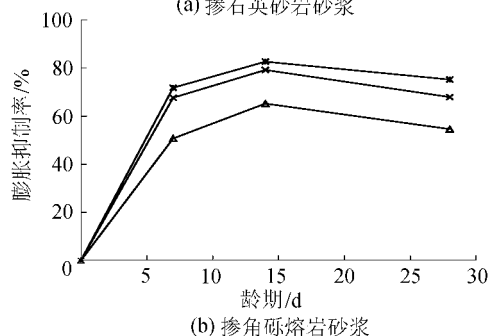
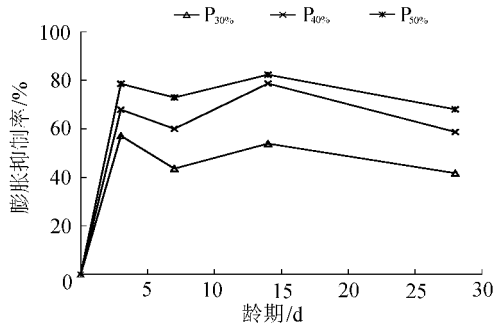


图3 不同磷渣掺量时的砂浆膨胀抑制率试验结果

砂浆膨胀率由 0.141% 降为 0.081%，角砾熔岩的 14 d 砂浆膨胀率由 0.178% 降为 0.062%），表明磷渣可以抑制集料 ASR 的膨胀变形。

b. 当水泥中的磷渣掺量由 30% 增加到 40% 时，活性集料 14 d 的砂浆膨胀抑制率将提高 14.0% ~ 17.0%；当磷渣掺量由 30% 增加到 50% 时，活性集料 14 d 的砂浆膨胀抑制率将提高 17.4% ~ 28.3%。这些结果表明随着磷渣掺量的增加，磷渣对集料 ASR 膨胀的抑制率将提高。

1.3.2 集料活性对磷渣抑制集料 ASR 的影响

不同活性集料的 ASR 膨胀抑制率试验结果（图4）表明 在磷渣掺量一定的条件下，集料的活性越高则磷渣对集料 ASR 的膨胀抑制率越大。

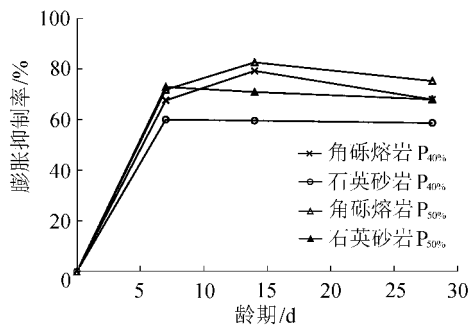


图4 不同活性集料的膨胀抑制率试验结果

1.3.3 胶凝材料碱含量对磷渣抑制 ASR 的影响

不同胶凝材料碱含量条件下磷渣抑制集料 ASR 膨胀的试验结果见图5，其中活性集料为角砾熔岩。由试验结果可以看出：当碱含量从 0.9% 增加到 2.0% 时，掺 40% 磷渣的 14 d 的砂浆膨胀率将增加 7.0%；掺 50% 磷渣的 14 d 的砂浆膨胀率将增加 8.0%。

要优于单掺磷渣。

2 磷渣抑制集料 ASR 有效性的评估

如何评价掺掺合料抑制 ASR 的有效性,迄今为止国际上还没有统一和有效的评价手段和标准。笔者认为采用掺掺合料的膨胀抑制率、砂浆 14 d 膨胀限定值以及低于非活性集料的砂浆膨胀值等 3 个指标,从掺合料取代水泥后抑制 ASR 的能力、抑制 ASR 膨胀的程度以及抑制 ASR 膨胀的工程安全性这 3 个方面可以对掺掺合料抑制 ASR 的有效性进行评估^[4]。

2.1 指标1 磷渣膨胀抑制率 R

以磷渣膨胀抑制率 R 的大小评价磷渣所具有的抑制 ASR 的能力,参照 DL/T 5151—2001 中 5.7 节“抑制骨料碱活性效能试验”的要求,以 R 是否大于 75% 作为掺磷渣是否具有抑制 ASR 效能的标准。

不同磷渣掺量下的砂浆膨胀抑制率试验结果表明 掺 40% 磷渣时砂浆膨胀抑制率均大于 75%,说明掺 40% 磷渣时其具有抑制 ASR 的效能。

2.2 指标2 砂浆 14 d 膨胀值

混凝土中集料发生 ASR 破坏的标志就是产生了有害膨胀。参照砂浆棒快速法的要求,以砂浆 14 d 的膨胀值小于 0.1% 限定值作为标准。当掺一定量的磷渣时,其 14 d 砂浆膨胀值小于 0.1%,则认为所选掺量的磷渣对抑制 ASR 的膨胀满足标准要求。

不同磷渣掺量下 14 d 的砂浆膨胀率试验结果表明 掺 30% 的磷渣时,其 14 d 的砂浆膨胀率均小于 0.1%,说明当掺量不少于 30% 的磷渣时其抑制 ASR 的膨胀能够满足标准要求。

2.3 指标3 低于非活性集料的砂浆膨胀值

在实际工程中,非活性集料可以作为混凝土的人工骨料,因此以相同碱含量情况下非活性集料的砂浆膨胀值作为标准,当掺一定量的磷渣时,活性集料的砂浆膨胀率低于相同碱含量情况下非活性集料的砂浆膨胀值,则认为在掺一定量磷渣的情况下,将活性集料用于实际工程中具有一定的安全性。

从掺 40% 磷渣的活性集料砂浆膨胀率与非活性集料砂浆膨胀率进行比较(图8)的试验成果可以

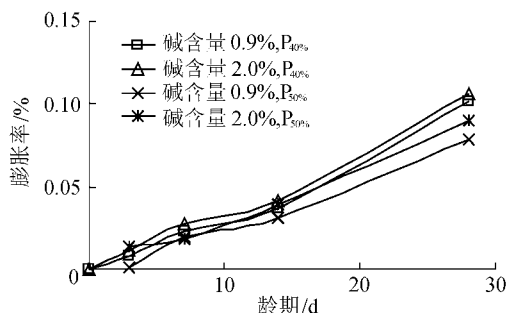


图5 不同碱含量时的砂浆膨胀率试验结果

这些结果表明胶凝材料中碱含量对集料 ASR 的膨胀有一定的影响,碱含量越高,磷渣抑制集料ASR膨胀的效果越差。

1.3.4 磷渣及粉煤灰抑制集料 ASR 效果的比较

磷渣和粉煤灰抑制集料 ASR 的对比试验结果见图 6。对比两者的试验结果可以看出:在掺量为 30% 时,单掺磷渣 14 d 的抑制率比单掺粉煤灰的抑制率低 36.1%, 28 d 要低 38.2%。在掺量为 50% 时,单掺磷渣 14 d 的抑制率比单掺粉煤灰的抑制率低 7.8%, 28 d 要低 10.8%。这些结果表明磷渣抑制集料 ASR 膨胀的效果要逊于粉煤灰。

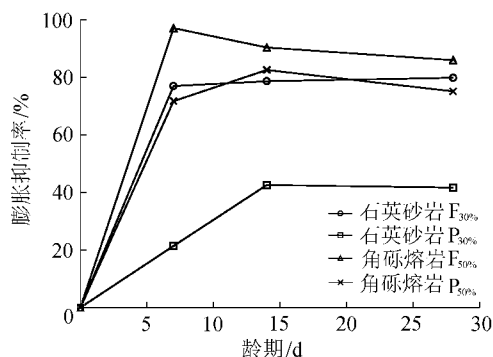


图6 掺磷渣及粉煤灰时的砂浆膨胀抑制率

1.3.5 复掺磷渣及粉煤灰抑制集料 ASR 的效果

单掺 50% 磷渣以及复掺 25% 磷渣和 25% 粉煤灰的对比试验结果见图 7,试验活性集料为石英砂岩。对比两者的试验结果可以看出:与单掺 50% 的磷渣相比,复掺 25% 磷渣及 25% 粉煤灰的 14 d 砂浆膨胀率降低了 22.0%, 14 d 膨胀抑制率增加 16.6%。可见复掺磷渣及粉煤灰抑制集料 ASR 膨胀的效果

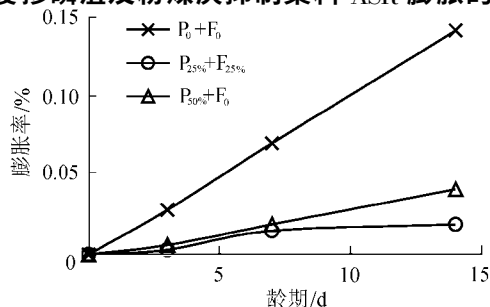


图7 复掺磷渣及粉煤灰时的砂浆膨胀率

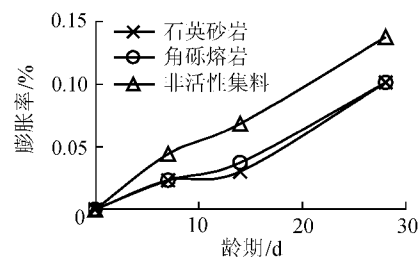


图8 不同集料砂浆膨胀率比较 (下转第 46 页)

上没有溶解、腐蚀作用,与泡沫不起反应,所以泡水后不易脱落。其主要理化性能指标如下:内部密度为 $29 \sim 60 \text{ kg/m}^3$,表层密度为 $35 \sim 50 \text{ kg/m}^3$,尺寸稳定性小于 2.0% ,吸水率小于 150 g/m^2 ,抗压强度大于 0.17 MPa ,导热系数为 $(0.019 \pm 0.003) \text{ W/(m} \cdot \text{k)}$,耐燃性(离火自熄时间)小于 3 s 。

每年9月底开始对大坝进行全面保温,上游面高程 98 m 以下粘贴 5 cm 厚聚苯乙烯板,高程 98 m 以上粘贴 3 cm 厚聚苯乙烯板跟进保温;大坝下游面粘贴 3 cm 厚聚苯乙烯板跟进保温。

由于采取了上述一系列温控防裂措施^[5-6],葛洲坝集团承建的三峡三期大坝 3-1B 标段自 2003 年 7 月开始浇筑首仓混凝土到 2006 年 4 月大坝全线到顶,共浇筑混凝土 270 余万 m^3 。在连续 3 年的联合检查中,大坝混凝土未发现一条裂缝,创造了大坝混凝土工程质量的奇迹。

2 结 语

在三峡工程的大坝混凝土施工中,根据工程各阶段进展和质量等需要采取引进、吸收再创新和自主创新的方法实施了许多新的技术,这些新技术

的应用,一方面,直接转化成为先进的生产力,加快了施工进度,提高了施工质量,产生了巨大的综合经济效益;另一方面,使我国的水工混凝土施工技术和水平得到了大幅度的提高,进入了世界领先地位。随着我国水利水电建设事业的进一步推进,上述各项新技术将会得到更加广泛的推行和应用,取得更大的效益。

参考文献:

[1] 周厚贵.三峡工程混凝土生产输送综合监控系统的研发与应用[J].系统工程应用研究,2002(1):14-19.
[2] 戴会超,周厚贵.三峡工程大坝混凝土快速施工方案及工艺研究[J].中国三峡建设,2002(7):10-12.
[3] 周厚贵,曾明.三峡二期工程大坝混凝土塔带机入仓快速施工技术[J].水利水电科技进展,2004,24(6):24-26.
[4] 曹西高,钱继源.钢筋机械连接技术及其在三峡工程中的应用[J].中国三峡建设,2001(9):32-34.
[5] 周厚贵.三峡二期工程大坝混凝土施工温度控制的综合技术[J].湖北水力发电,2002(4):22-25.
[6] 周厚贵.三峡工程三期大坝混凝土防裂措施[J].湖北水力发电,2006(3):55-57;2006(4):41-43.

(收稿日期:2007-05-30 编辑:高建群)

(上接第 41 页)

看出:掺 40% 的磷渣时,其活性集料的砂浆膨胀值低于在相同水泥含碱量(不掺磷渣)时非活性集料的砂浆膨胀值。该结果表明在掺 40% 磷渣时,采用活性集料作为人工骨料应用于实际工程,具有一定的安全性。

综上所述,选用 3 个指标,从 3 个不同的方面对掺磷渣抑制 ASR 的效果进行评估的结果表明:在掺 40% 磷渣的条件下,磷渣对砂浆膨胀率的抑制率大于 75%,其 14 d 的砂浆膨胀率小于 0.1%,其各龄期的砂浆膨胀率均低于相同碱含量条件下(不掺磷渣)的非活性集料的砂浆膨胀率。因此,笔者认为掺 40% 的磷渣能够有效地抑制集料的 ASR 膨胀。

3 结 语

AAR 是造成混凝土结构破坏失效的重要原因之一,随着我国重点工程持续大规模地发展,预防 AAR 破坏,延长工程的寿命已成为人们普遍关注并急需解决的问题。磷渣抑制集料 ASR 的试验研究结果表明:磷渣可以抑制集料 ASR 的膨胀变形,其抑制效果随着磷渣掺量的增加而增强;与粉煤灰相比,在同等条件下,磷渣抑制集料 ASR 的效果要逊

于粉煤灰;复掺粉煤灰可以提高磷渣抑制集料 ASR 膨胀的能力。

采用掺磷渣的膨胀抑制率、砂浆 14 d 膨胀限定值以及低于非活性集料砂浆膨胀值等 3 个指标,从磷渣所具有的抑制 ASR 的能力、抑制 ASR 膨胀的程度以及抑制 ASR 膨胀的工程安全性这 3 个方面对掺磷渣抑制集料 ASR 膨胀的有效性进行评估的结果表明,掺 40% 的磷渣可以有效地抑制集料的 ASR 膨胀。

参考文献:

[1] 唐明述,邓敏.碱集料反应研究的新进展[C]//姚燕.新型高性能混凝土耐久性的研究与工程应用.北京:中国建材工业出版社,2004:1-7.
[2] 卢都友,许仲梓,吕忆农,等.碱硅酸反应(ASR)抑制措施研究评述[C]//王伶俐,姚燕.重点工程混凝土耐久性的研究与工程应用.北京:中国建材工业出版社,2000:9-15.
[3] 吴定燕,曾力,方坤河,等.磷渣掺和料在混凝土中的应用[J].云南水力发电,2000,16(2):50-52.
[4] 李光伟,周麒雯.粉煤灰抑制集料 ASR 有效性的评估[J].水力发电,2007,33(5):34-37.

(收稿日期:2007-03-29 编辑:高建群)