快速检测骨料碱活性的研究

郝挺宇　冯乃谦
(清华大学土木系　100084)

摘　要:在已有的用传统方法检测结果的基础上,本文采用快速砂浆棒法(AMBT)对北京地区有代表性的粗、细骨料进行了检测。证实永定河水系卵石及南口矿碎石均有碱活性,发现从永定河中挑选出来的粗骨料发生碱-硅膨胀时有"最劣比"现象。另外,探讨了AMBT方法中骨料粒径、含量、试件尺寸对膨胀率的影响。

关键词:快速砂浆棒法　骨料　碱活性　碱-骨料反应　最劣比现象

0　前言

北京每年浇注混凝土约8000万m^3,需要消耗粗骨料约800万吨,细骨料约500万吨。过去北京每年使用的粗、细骨料的主要来源有:①永定河水系卵石;②温榆河水系卵石;③潮白河水系卵石;④南口采石场的石灰石碎石。

自80年代末,北京的一些钢筋混凝土工程陆续发现因碱-骨料反应(AAR)所引起的破坏。如1988年北京内燃机总厂铸造分厂地下室墙壁严重开裂破坏;1990年发现北京三元立交桥盖梁与主梁开裂,裂缝逐年扩大;原西直门立交桥横梁和上面的护栏开裂等。这样就迫切需要对本地区骨料的碱活性进行检测。

在中国,检测骨料碱活性的标准有两种:一是行业标准JGJ52-92,93所规定的膨胀测长法,类似于ASTM C227的40℃砂浆棒法,需半年时间才能出结果;二是中国工程建设标准化协会规定的CES 48:93中所采用的150℃压蒸法,仅需一天就能出结果,但由于高温高压改变了水泥水化条件,与实际有一定差距。因此,需要研究实用的碱活性骨料快速测定法。

南非学者Oberhoster.R.E和Davies.G于1986年提出了快速砂浆棒法。该法将试件放入80℃的1M NaOH溶液中,以浸泡12天的膨胀值作为评定骨料潜在活性的依据。膨胀率<0.1%为非活性,膨胀率>0.2%为活性,膨胀率在0.1~0.2%之间为潜在活性。此法也被称为NBRI法[1]。随后经多个国家针对本国骨料的试验发现此法与实际工程有较好的相关性,1994年稍作修改后同时被订为美国和加拿大标准,标准号分别为ASTM C1260-94[2]和CSA A23.2-25A[3]。

作者在前人工作基础上,研究了这种快速砂浆棒法(Accelerated Mortar Bar Test,简称AMBT法)检测北京

补材料,特别适合于高速公路、城市主干道、机场跑道、桥梁等的修补。

参考文献

[1] Emmons, P.H., Vaysburd, A. M. and McDonald, J. E., "A rationl approach to durable concrete repair", Concrete International: Design & Construction, 15(9)(1993)40-45

[2] Emmons, P.H., "Selecting concrete repair materials for long-term durability based on available test data", Proceedings of the Second National Concrete Engineering Conference, Chicago, 1992

[3] Popovics, S., Rajendran, N. and Penko, M., "Rapid hardening cement for repair of concrete", ACI Materials Journal, 84(1)(1987)64-73

[4] Abdelrazig, B. E. I., Sharp, J. H. and Ei-Jazairi, B., "The chemical composition of mortars made from magnesia-phophate cement", Cement and Concrete Research, 18(3)(1988)415-425

[5] Sarkar, A. K., "Phosphate cement-based fast-setting binders", Ceramic Bulletin, 69(2)(1990)234-238

[6] 杨全兵、吴学礼,新型超快硬磷酸盐修补材料的研制,混凝土与水泥制品,86(6)(1995)29…36

[7] Yoshizaki, Y., Ikeda, K., Yoshida, S. and Yoshizumi, A., "Physicochemical study of magnesium-phosphate cement", Proceedings of the MRS International Meeting on Advanced Materials, Vol.13, Tokyo, May 31-June 1, 1988(Materials Research Society, Pittsburgh, Pennsylvania, 1989)27-37

[8] Seehra, S. S., Gupta, S. and Kumar, S., "Rapid setting magnesium phosphate cement for quick repair of concrete pavements", Cement and Concrete Research, 23(2)(1993)254-266

[9] 黄永昌编著,金属腐蚀与防护原理,上海交通大学出版社出版,(1989)138-176

地区骨料活性的适用性。

1　北京地区骨料的碱活性

北京市建筑工程研究院等单位，曾对北京市四个砂石来源，随机取样16种，共2.8吨，按ASTM C227砂浆棒法进行了6个月测长试验，结果如表1[4]。

表1　北京地区骨料的砂浆棒膨胀值

石样来源及编号			含活性岩石比例(%)	砂浆棒膨胀率(%)
永定河	卢沟桥南	1	53	0.082
		2	53	0.074
		3	53	0.096
	卢沟桥北	1	55	0.107
		2	54	0.114
	八宝山	1	53	0.119
		2	51	0.090
温榆河	龙凤山	1	30	0.043
		2	31	0.044
潮白河	怀柔	1	32	0.040
		2	34	0.051
	密云	1	28	0.050
		2	30	0.050
	顺义	1	30	0.047
		2	32	0.052
南口碎石			100	0.147

由表3可见，南口碎石有明显的碱－硅反应活性，不宜做混凝土骨料。永定河系的卵石，有三个试样的膨胀值＞0.1%，其余四个试样的膨胀值也接近0.1%，而且从岩相分析来看，这些骨料中有的含有玉髓、微晶石英及波状消光石英等具有碱－硅反应活性的矿物，见图1。温榆河及潮白河水系骨料属非活性骨料。

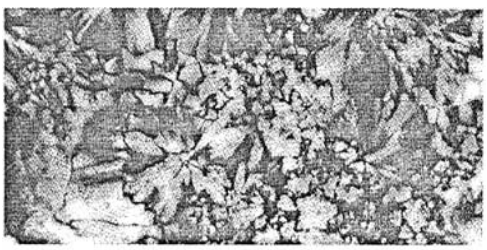

图1　永定河活性骨料的岩相照片(×200)

目前，永定河骨料已被封闭。南口的碎石也停止开采。北京每年使用的混凝土骨料大部分来自河北省。

2　骨料碱活性的快速测定

2.1　快速检测方法简述

在AMBT法中，用普通硅酸盐水泥(525#)为胶结料，与待测骨料按1:1.25的比值配制砂浆棒，成型后先标养1天，脱模后试件放入80℃水中养护1天，测初始长度，然后放入80℃、1M NaOH溶液中浸泡14天，测不同龄期的膨胀率。按ASTM C1260－94的规定，判断骨料活性。

2.2　中国标准砂的活性检测

标准砂是非活性骨料，按上述AMBT方法测得的膨胀曲线如图2所示。根据ASTM C1260－94的规定，14天膨胀率＜0.1%，可判断为非活性骨料。也就是说该法所得的结论与实际相符。但是，由该图还可见，当龄期超过14天时，膨胀率很快超过0.1%。也就是说，若时间太长，即使惰性骨料也会表现出活性。因此，必须强调时间的作用。

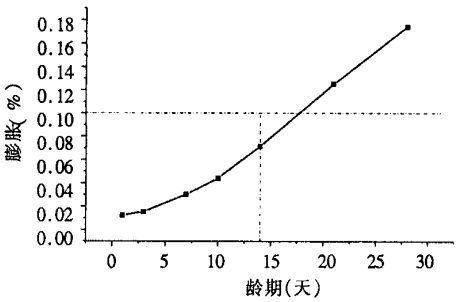

图2　标准砂砂浆棒膨胀曲线

2.3　对北京地区天然活性骨料的检测

将待测的粗骨料破碎、洗净、烘干，经筛分达到表2的要求。待测的细骨料直接按表2筛分，再来配制砂浆试件。

表2　检测骨料活性时级配要求

粒径(mm)	0.15～0.3	0.3～0.6	0.6～1.2	1.2～2.5	2.5～5.0
含量(%)	15	25	25	25	10

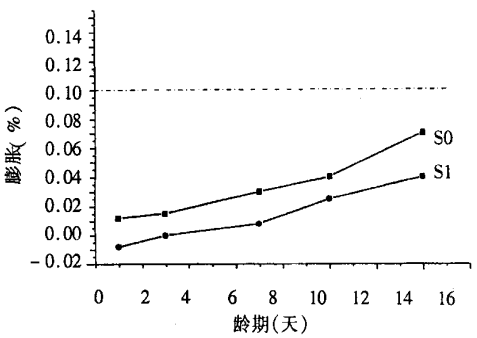

图3　两种砂子的膨胀曲线

S0—标准砂；S1—龙凤山砂

(1)龙凤山砂子的检测

将龙凤山砂子与标准砂一起进行对比试验。标准砂和龙凤山砂分别用 S0、S1 表示，膨胀曲线如图 3。

由图 3 可知龙凤山砂 (S1) 为非活性骨料，并且可看到 S1 表现出来的膨胀比标准砂还低，原因在于龙凤山砂按表 2 筛分后粒径大的骨料在砂浆中含量较多，而标准砂的颗粒细得多。同样条件下，小粒径骨料因比表面积大更容易和碱液反应。由此可知试验中对粒径的统一是必须的。

(2)粗骨料的检验

对永定河骨料(YD)、南口石灰石碎石(NK)及标准砂(S0)配制的试件，其膨胀率对比见图 4。

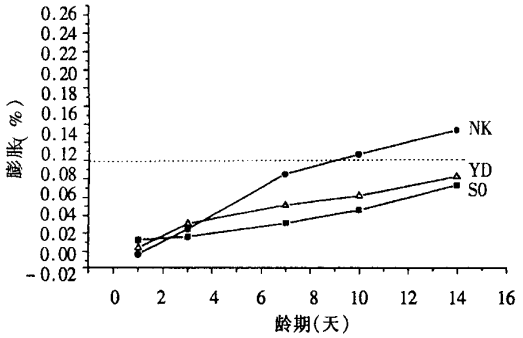

图 4　YD 及 NK 骨料的膨胀
(注：YD 为永定河骨料；NK 为南口石灰石碎石)

由图可知，来自南口的 NK 骨料表现出较大的膨胀，14 天为 0.13%，属活性骨料。而来自永定河的 YD 骨料却没有表现出较大膨胀，但岩相分析中却证明该骨料里存在微晶石英、玉髓等活性矿物(见图 1)，而且前人的试验也证实了 YD 是活性骨料，这与本试验的结果产生矛盾。

试验证明，对某些活性骨料，当其含量占全部骨料的某一范围时膨胀最大，而骨料全是活性骨料时，其膨胀反而较小。此即碱－骨料反应中的“最劣比”现象。在本试验中，YD 骨料是专门从永定河卵石堆中挑出的燧石、硅质条带灰岩等高碱－硅活性骨料（这种骨料在整个骨料中所占比例在 20～40%不等)。因此全部用 YD 骨料进行的试验并不能代表永定河骨料的情况，必须用不同比例的 YD 配合非活性骨料才能正确判断这种骨料的活性。

为此，取两种粒径的 YD 骨料和标准砂，并以不同比例混合后拌制成型试件，按 AMBT 法测定砂浆棒 14 天膨胀。以 YD－3 表示粒径分布在 0.6～1.2mm 的骨料；YD－4 表示粒径范围在 0.3～0.6mm 的骨料。结果见图 5。

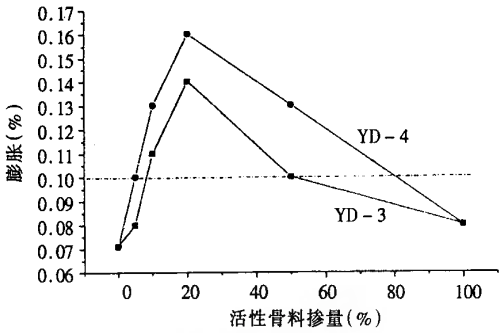

图 5　活性骨料含量对试件膨胀的影响
注：YD－3 — 骨料粒径 0.6～1.2mm
YD－4 — 骨料粒径 0.3～0.6mm

由图 5 可知，从永定河卵石中挑选出来的这种活性骨料含量在 20%时，膨胀最大。这与郑红卫、傅沛兴用 40℃砂浆棒法的试验结果一致[4,5]。

英国 F.E.Jones 针对燧石的试验也说明了最劣比的影响[6]。他选用 Thames Valley 的燧石砂配制成级配砂，100%为燧石，结果按 ASTM C227 方法试验时砂浆棒只有微量膨胀，燧石活性被掩盖；当用 20%的燧石和 80%的惰性石英砂作骨料时，才揭示出燧石的高活性。当时试件在 40℃环境中湿热养护，试验周期为 6 个月～1 年。本研究用 AMTB 法，在 14 天时间内得出相似的结论，发现 YD 骨料最劣比为 20%，与 Jones 得到的结果正好一致。这有其必然因素：特意从永定河卵石挑选出的 YD 骨料大多为燧石，还有一些条带状硅质灰岩，全用这些高活性岩石制成级配砂浆棒，由于硅钠比 (SiO_2 和 Na_2O 的摩尔比) 未匹配到最劣点，因此膨胀并不明显，只有当含量在 20%左右才表现出最大膨胀。其它高活性岩石如蛋白石的最劣比更低，为 5%[7]。

(3)骨料粒径对膨胀的影响

从图 5 还可发现，YD－3 和 YD－4 膨胀曲线是不同的，后者在每一个龄期的膨胀都比较高，而它们的差

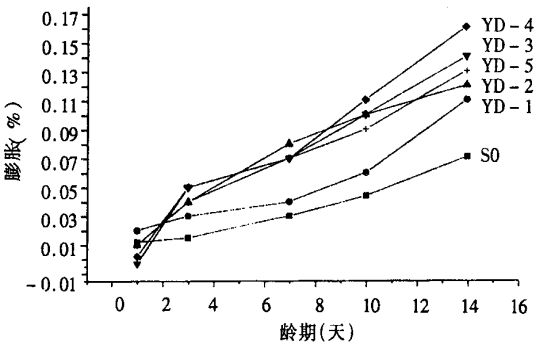

图 6　粒径分布对 YD 膨胀的影响

别只在粒径分布。为进一步探讨骨料粒径对膨胀的影响，固定活性骨料20%的掺量，按表2中给的5个粒径范围，各成型一组试件，其膨胀如图6所示。

图中YD－1～YD－5分别表示表2中从粗到细五个粒径范围，可以看出从YD－1到YD－4，膨胀随粒径变小逐渐增大，但到最细一级时膨胀反而不如YD－4，即膨胀最大的粒径是在0.3～0.6mm这一范围。其原因可能是活性骨料细到一定程度后，与NaOH反应速度加快，且分布比较均匀，造成碱的消耗与分散使产物不易在一个地方富集，因此膨胀减小。有人报道了用磨细的蛋白石（高活性）可抑制ASR[8]，其原因也在于此。

(4)试件尺寸的影响

在试验室采用YD－3、YD－4两种骨料，掺量为20%，制作40×40×160mm及ASTM C1260中规定的25×25×285mm试件，对比14天膨胀率，结果发现，25×25mm的标准截面试件测得的膨胀值稍大于40×40mm截面所得值。这说明检测骨料ASR活性时，必须注意统一试件尺寸，才有可比性。

3　结论

3.1　已有的试验结果及快速法检测结果均证实北京永定河水系的骨料和南口的石灰石碎石为碱活性骨料。

3.2　用AMBT进行试验，发现永定河卵石中挑选出来的YD骨料具有最劣比现象。膨胀最大的条件为YD含量占全部骨料的20%。

3.3　试件的最大膨胀率与骨料的粒径有关。本试验中膨胀最大的粒径是在0.3～0.6mm范围内。

3.4　试件尺寸对膨胀也有影响。在AMBT试验中，25×25×285mm试件14天膨胀率大于40×40×160mm试件的膨胀率。因此，必须统一试件尺寸，试验结果才有可比性。

参考文献

[1] Oberhoster R E, Davies G, An accelerated method for testing the potential alkali reactivity of siliceous aggregates, Cement and Concrete Research, Vol.16, 181－189, 1986

[2] ASTM C1260－94, Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar－Bar Method). Annual book of ASTM standards. Vol.04.02

[3] CSA A23.2－25A. Test method for detection of alkali－silica reactive aggregate by accelerated expansion of mortar bars, Canadian Standards association. ISSN 0317－5669, Rexdale, Ontario, June, 236－242, 1994

[4] 傅沛兴，北京地区混凝土骨料碱活性问题调研，北京市建筑工程研究所

[5] 郑红卫，抑制碱－集料反应矿物掺和料的试验研究，清华大学硕士论文，1995

[6] 刘崇熙、文梓芸，坝工混凝土专论（一）——混凝土碱－骨料反应，华南理工大学出版社，1995年

[7] F. M. Lea，水泥混凝土化学，中国建筑工业出版社，1980年8月，pp.708

[8] Bian Qinghan, WuXuequan, Tang Migshu, S. Nishibayashi, T. Kuroda and Wang Tidcheng, Effect of Reactive Aggregate Powder on Suppressing Expansion due to Alkali－Silica Reaction, 10th International conference on Alkali－Aggregate Reaction, Melbourne, Australia, August 1996, ahmad Shayan Editor, pp.546

优惠销售：

混凝土构件生产用书

构件生产用书《预制混凝土构件实用质量管理手册》，哈尔滨出版社1996年出版，殷殿有、徐有邻、贾志远主编，大32开本，750页，全书共分九章(一章，混凝土构件生产工艺；二章，混凝土预制构件质量通病防治；三章，原材料检验；四章，混凝土构件强度评定；五章，混凝土构件结构性能检验；六章，混凝土构件生产操作规程；七章，混凝土构件厂质量管理制度；八章，预制构件质保体系及表格形式；九章，预制构件技术的发展)。适合协会举办技术培训班之用。

该书原定价每册48元，现每册售价22元(含2元邮费，2元包装费)。另有《新编普通混凝土常用问答手册》一书，黑龙江科学技术出版社1995年出版，350页，原定价每册19.60元，现每册售价8.00元。欢迎选购。

联系电话：0452－2115074　　联系人：殷殿有