

渠道衬砌膨胀混凝土力学特性试验研究^{*}

闫宁霞, 宋春香

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西杨陵 712100)

摘 要:在水灰比保持不变的条件下, 通过正交试验研究了膨胀剂 AEA 掺量、粉煤灰掺量及养护条件对混凝土膨胀率和强度的影响规律, 提出了强度等级达到 C15、自由膨胀率最大的渠道衬砌补偿收缩混凝土最优配合比。结果表明: 随着膨胀剂掺量的增大, 混凝土膨胀率先升后降, 混凝土 28 d 强度有一定幅度的降低; 在试验条件下, 膨胀剂 AEA 掺量为水泥质量的 12%、粉煤灰掺量为水泥质量的 30% 及养护条件为水中养护时, 混凝土的膨胀率达到最大, 强度亦满足渠道衬砌要求。这表明, 在渠道衬砌工程中应用微膨胀混凝土是完全可行的。

关键词: AEA 混凝土; 膨胀率; 抗压强度

中图分类号: TU311; S274.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)04-0145-04

Study on Expansive Characteristic of the AEA Concrete for Canal Liner

YAN Ning-xia, SONG Chun-xiang

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi, 712100, China)

Abstract: Under water-cement ratio keeping constant, the effects of AEA, fly-ash and maintain condition on the concrete expansive rate and compressive strength were studied by orthogonal test. The optimum mix proportion of indemnifying contract concrete for canal liner was put out. The results show that AEA content deeply influenced the characteristics of expansive concrete, the compressive strength increase with AEA content. Addition of 12% AEA, 30% fly-ash and maintain condition could suit with the channel intensity and the durable request.

Key words: AEA concrete; expansive rate; compressive strength

预制安砌渠道受气候条件影响小, 减少了施工与行水的矛盾, 适应渠基土变形能力强, 施工速度快, 工厂化生产混凝土质量容易保证, 投入小, 易于推广, 故在我国应用非常广泛^[1]。由于填塞预制板之间结构连接缝的水泥砂浆干缩大, 往往造成砂浆与混凝土预制板之间的粘结遭受破坏, 使得预制板之间的结构连接缝成为渠道渗水的主要通道之一。研究资料表明^[2,3], 当水深 1.0 m 时, 对于中等质量的混凝土, 单位渗漏量现浇混凝土约为 $0.165 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 预制块衬砌高达 $0.358 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。因此, 研究解决预制板之间结构缝的止漏问题非常必要。膨胀混凝土由于在水泥水化过程中产生体积膨

胀, 混凝土的膨胀能对约束力作功, 在混凝土内部建立自应力, 由其抵消混凝土干燥、降温以及荷载等作用引起的收缩应力^[4-7]。补偿收缩混凝土(膨胀混凝土)已成为控制混凝土裂缝的重要手段和方法, 在结构自防水、填充性膨胀混凝土工程、延长建筑物伸缩缝间距的连续浇注的混凝土工程以及大体积混凝土工程等城市建筑和市政工程中, 已有许多成功范例^[8,9], 而用于水利工程的实例还比较少。利用膨胀混凝土产生适度变形, 在混凝土预制块和渠基土间摩擦力的约束下建立一定的自应力, 使之部分或全部抵消混凝土干缩和降温等所产生的拉应力, 完全有可能达到抗裂防渗、减少渠道渗漏量的目的。

^{*} 收稿日期: 2006-04-26

基金项目: 西北农林科技大学科研专项(042M075)

作者简介: 闫宁霞(1965-), 女, 陕西杨陵人, 讲师, 硕士, 主要从事材料力学性能研究。

本此试验将 AEA 膨胀剂、减水剂和粉煤灰联合掺入混凝土中,研究大量掺用粉煤灰的条件下,膨胀剂 AEA 掺量对混凝土强度和膨胀率的影响规律,探求补偿收缩能力强、强度高的膨胀混凝土最佳配比,为膨胀混凝土在渠道防渗工程中的应用提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

水泥: 陕西省眉县水泥厂生产的 42.5[#] 普通硅酸盐水泥。

膨胀剂: 西安市得莱克混凝土外加剂有限公司生产的铝酸钙膨胀剂,简称 AEA。

粉煤灰: 采用宝鸡电厂生产的 iv 级灰,其物理性能测试结果见表 1。

1.2 试验设计

为了探求补偿收缩能力强、强度高、抗渗性好的膨胀混凝土最佳配合比,达到补偿收缩的最佳效果,以满足渠道衬砌混凝土抗裂防渗要求。在混凝土中掺入不同剂量的膨胀剂和粉煤灰,以混凝土 28 d 强度和自由膨胀率为考核指标,研究上述因素对混凝土膨胀收缩特性的影响。为了减少试验次数,采用 $L_{12}(6^1 \times 2^2)$ 正交表进行安排试验,选定的因素水平见表 2。

表 1 粉煤灰技术指标测试结果

项目	45 μ m 方孔筛筛余/ %	烧失量/ %	需水量比/ %	SO ₃ 含量/ %	等级
国家标准	< 12	≤5	≤95	≤3	iv
GB146-90	≤20	≤8	≤105	≤3	㊦
	≤45	≤15	≤115	≤3	㊧
测试结果	14.6	1.38	93	0.66	iv

表 2 $L_{12}(6^1 \times 2^2)$ 正交试验因素水平表

水平	因素		
	AEA 掺量 (A) / %	粉煤灰掺量 (B) / %	养护条件 (C)
1	0	30	标养
2	6	40	水养
3	8		
4	10		
5	12		
6	14		

1.3 试验方法

膨胀率按《水泥胶砂干缩[湿胀]实验方法》DL/T 603- 1995 进行测定,强度按《水泥胶砂强度检验方法》GB177- 85 进行测定。试件成型时,每组配比成型 3 个试块,48 h 后拆模。

2 结果与分析

试验结果见表 3,极差分析结果见表 4,对膨胀率进行的方差分析结果见表 5。

表 3 $L_{12}(6^1 \times 2^2)$ 正交实验结果

编号	AEA 掺量 (A)	粉煤灰掺量 (B)	养护条件 (C)	强度/MPa \bar{X} (28 d)	膨胀率/($\times 10^{-4}$)			
					\bar{X}_1 (3 d)	\bar{X}_2 (7 d)	\bar{X}_3 (14 d)	\bar{X}_4 (28 d)
1	2(6%)	1(30%)	1(标养)	32.45	16.955	27.297	20.266	14.476
2	5(12%)	1(30%)	2(水养)	28.50	45.82	55.728	57.794	79.658
3	5(12%)	2(40%)	1(标养)	26.53	49.393	36.517	34.445	31.127
4	2(6%)	2(40%)	2(水养)	28.92	21.212	0.827	- 1.874	4.576
5	4(10%)	1(30%)	1(标养)	30.63	47.689	43.536	32.759	23.638
6	1(0%)	1(30%)	2(水养)	33.08	8.706	20.720	25.281	6.633
7	1(0%)	2(40%)	1(标养)	30.97	9.359	10.815	8.735	0.416
8	4(10%)	2(40%)	2(水养)	23.30	33.032	28.380	27.749	38.219
9	3(8%)	1(30%)	1(标养)	32.97	12.036	5.398	- 10.366	- 4.957
10	6(14%)	1(30%)	2(水养)	21.40	24.959	24.128	32.034	34.538
11	6(14%)	2(40%)	1(标养)	21.30	7.072	16.227	14.145	13.731
12	3(8%)	2(40%)	2(水养)	25.20	27.869	30.366	37.013	37.429

注: A, B, C 分别代表 AEA 掺量, 粉煤灰掺量, 养护条件。

表 4 极差分析结果(28 d)

考核指标	项目	AEA 掺量/ %	粉煤灰 掺量/ %	养护条件	考核指标	项目	AEA 掺量/ %	粉煤灰 掺量/ %	养护条件
混凝土 强度/ M Pa	K_1	64. 05	179. 03	174. 85	膨胀率/ ($\times 10^{-4}$)	K_1	7. 049	153. 980	78. 431
	K_2	61. 37	156. 22	160. 40		K_2	19. 052	125. 498	201. 053
	K_3	58. 17				K_3	32. 472		
	K_4	53. 93				K_4	61. 857		
	K_5	55. 03				K_5	110. 785		
	K_6	42. 70				K_6	48. 269		
	R	10. 68	3. 80	2. 41		R	51. 868	4. 748	20. 437
	最优方案	A1	B1	C1		最优方案	A5	B1	C2

注: (1) $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ 分别代表实验因素 1, 2, 3, 4, 5, 6 水平的指标和; (2) R 代表各因素不同水平指标和的极差。

表 5 28 d 膨胀率方差分析结果

考核指标	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	$F_{\alpha}(f_j, f_e)$
膨胀率	A	10317. 0718	5	2063. 4144	9. 489* *	$F_{0. 01}(5, 28) = 3. 76$
	B	202. 8915	1	202. 8915	0. 933	$F_{0. 05}(5, 28) = 2. 557$
	C	3759. 0387	1	3759. 0387	17. 287* *	$F_{0. 01}(1, 28) = 7. 60$
	E	6088. 4187	28	217. 4435		$F_{0. 05}(1, 28) = 4. 20$
	Σ	20367. 4207	35			

2. 1 膨胀率

从表 3、表 4 的分析结果可以看出:

(1) 影响混凝土膨胀率的因素主次顺序: A (AEA 掺量) \rightarrow C (养护条件) \rightarrow B (粉煤灰掺量), 其中 AEA 掺量和养护条件是显著因子, 粉煤灰掺量则看不出明显的影响, 最佳组合是 A5B0C2。

(2) 混凝土的膨胀率随着 AEA 掺量的增加先升后降, 当 AEA 掺量为 10% ~ 12% 时混凝土的膨胀率最大, AEA 掺量超过 12% 后对混凝土的膨胀并无益处。

(3) 在选定的 30% ~ 40% 范围内, 粉煤灰掺量对混凝土 28 d 膨胀率影响并不具有显著的差异, 这可能是由于粉煤灰掺量取值范围较小的缘故。粉煤灰掺量为 30% 时, 混凝土膨胀率大于粉煤灰掺量为 40% 的混凝土。

(4) 养护条件对膨胀混凝土膨胀率的影响较大, 长期在水中养护的混凝土膨胀率远大于标养护条件下混凝土的膨胀率。

(5) 混凝土的膨胀多发生在早期, 主要在 7 d 龄期以前, 14~ 28 d 龄期时膨胀趋于稳定。

2. 2 强 度

(1) 影响抗压强度的因素主次顺序为: A (AEA 掺量) \rightarrow B (粉煤灰掺量) \rightarrow C (养护条件), 最佳组合是 A1B1C1(抗压强度越大越好)。

(2) 膨胀剂掺量对混凝土的强度有较大影响, 膨胀剂掺量越大, 混凝土强度越低。这是因为混凝土

自由膨胀没有约束, 难以抑制钙矾石的膨胀, 从而使混凝土强度降低。膨胀剂掺量在 10% 以下时对混凝土强度影响较小, 当掺量超过 12% 后混凝土强度降低非常明显。

(3) 粉煤灰的掺量直接影响混凝土的强度, 在相同水灰比的情况, 掺 40% 粉煤灰的强度低于 30% 粉煤灰的混凝土强度。为了提高混凝土的强度, 粉煤灰的掺量不宜过高, 否则混凝土的强度将有所降低。

(4) 水中养护混凝土强度低于标养的混凝土强度, 在水分充足的情况下, 自由膨胀混凝土无限制地膨胀, 使其强度降低。

2. 3 混凝土因素水平的选取

(1) 膨胀剂的掺量不是越大越好, 而是要选则合适的掺量, 才能达到补偿收缩的功效。当膨胀剂掺量在 10% ~ 12% 时, 混凝土膨胀率均达到最大, 其强度亦能满足渠道衬砌要求。所以, 根据试验结果, 膨胀剂 AEA 掺量宜取 12%(A5)。

(2) 粉煤灰的掺量对混凝土的膨胀率和强度均有一定的影响, 粉煤灰掺量为 30% 时, 混凝土的膨胀率和强度均比掺量 40% 时高, 所以选取粉煤灰的掺量为 30%(B1)。

(3) 养护条件对混凝土膨胀率的增长产生显著影响, 而对混凝土强度的影响较小, 综合考虑强度和膨胀率的要求选用水中养护(C2)。

综合分析膨胀率和强度的影响因素, 选取的最佳组合为 A5B1C2, 即 AEA 掺量为 12%, 粉煤灰掺

量为 30%, 养护条件为水中养护, 此组合能满足渠道衬砌工程的强度要求。

3 结 论

(1) AEA 掺量及养护条件对混凝土的膨胀率具有显著影响, 在选取的试验范围内粉煤灰掺量对混凝土膨胀率和强度影响较小, 对膨胀率的效应顺序为 AEA 掺量> 养护条件> 粉煤灰掺量; 对强度的效应顺序为 AEA 掺量> 粉煤灰掺量> 养护条件。

(2) 在膨胀剂和粉煤灰双掺条件下, 即使粉煤灰掺量较大, 亦能配置出满足规范要求的渠道衬砌高性能混凝土。通过实验, 建议配合比参数为 AEA 掺量 12%, 粉煤灰掺量 30%, 养护条件为水中养护。

(3) 补偿收缩混凝土应用在渠道中能起到良好抗裂防渗作用, 减少了裂缝的产生, 从而提高抗渗能力, 有着良好的应用前景。

参考文献:

[1] 李安国, 建功, 曲强. 渠道防渗工程技术[M]. 北京: 中

国水利水电出版社, 1985.

[2] 朱强, 何韧, 高启仁, 等. 混凝土防渗渠道技术在我国的发展[J]. 农田水利与小水电, 1991, (3): 4- 8.

[3] 马移军, 李振亮, 张树辉. 膨胀混凝土在渠道防渗工程中的应用[J]. 人民黄河, 1991, (6): 45- 50.

[4] 重庆建筑工程学院. 混凝土学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.

[5] 薛军珏, 吴中伟. 膨胀和自应力水泥及其应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.

[6] 建设部标准定额研究所. 补偿收缩混凝土应用技术导则(RISN- TG002- 2006)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

[7] 王延生. 关于补偿收缩混凝土设计的几个问题[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2002.

[8] 王华生, 赵慧如. 混凝土技术禁忌手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[9] 王铁梦. 工程结构裂缝控制[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

(上接第 144 页)

[2] 潘贤章, 史学正. 土壤质量数字制图方法浅论[J]. 土壤, 2002, (3): 138- 140, 148.

[3] 昌成文, 顾也萍, 刘付程, 等. 土壤系统分类在大比例尺土壤制图中的应用[J]. 土壤, 2001, (1): 38- 41.

[4] 李锦. 土壤圈[M]. 福州: 福建地图出版社, 1997. 24- 30.

[5] 朱显谟. 陕西土地资源及其合理利用[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1982.

[6] 文雅. 黄土高原土地资源评价与土地生态系统的建设[D]. 杨陵: 中科院水利部水土保持研究所, 1995.

[7] 杨文治, 余存祖. 黄土高原区域治理与评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[8] 陈光伟, 等. 安塞县土地类型遥感调查与制图[A]. 中国科学院国家计划委员会自然资源综合考察委员会等编著. 黄土高原遥感调查试验研究[M]. 北京: 科学出版社, 1988. 137- 145.

[9] 林景亮. 福建土种志[M]. 福州: 福建省土壤普查办公室. 1990.

[10] 福建省土壤普查办公室编. 福建土壤[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1991.

[11] 靳孟贵, 张人权, 孙连发, 等. 土壤水资源评价的研究

[J]. 水利学报, 1999, 16(2): 73- 78.

[12] 张立恭. 岷江上游水源涵养林涵水能力综合评价[J]. 四川林业勘察设计, 1997, (4): 27- 31.

[13] 曾大林. 对当代林业水土保持作用的几点认识[J]. 中国水土保持, 2000, (10): 26- 27.

[14] 马玉玺, 杨文治, 韩仕峰. 黄土高原刺槐生长动态研究[J]. 水土保持学报, 1990, 4(2): 27- 32.

[15] 李代琼, 吴钦孝, 刘克俭. 宁南沙棘、柠条蒸腾和土壤水分动态研究[J]. 中国水土保持, 1990, (6): 29- 45.

[16] 穆兴民, 陈国良. 半干旱黄土丘陵区春小麦生长的水分生态效应[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 86- 90.

[17] 吴钦孝, 丁汉福, 刘克俭. 黄土丘陵半干旱地区柠条根系的研究[J]. 水土保持通报, 1989, 9(3): 45- 49.

[18] 邹厚远, 鲁子瑜, 刘克俭. 沙打旺种群对土壤水分的影响及其调节[J]. 生态学杂志, 1991, 10(3): 15- 17.

[19] 道尔果夫, . 土壤水分性状的基本规律及其对植物生命活动的意义[A]. 灌溉农业生物学基础[M]. 北京: 科学出版社, 1961.

[20] 邵明安. 黄土区土壤水分有效性研究[J]. 水利学报, 1987, (8): 38- 44.