

文章编号: 0451-0712(2006)11-0128-03

中图分类号: U414.180.3

文献标识码: A

# 粉煤灰对混凝土抗硫酸盐侵蚀性能影响的试验研究

程云虹, 蒋卫东, 尹正风, 刘斌, 赵文

(东北大学 沈阳市 110004)

**摘 要:** 将不同配合比混凝土在不同侵蚀条件下进行抗硫酸盐侵蚀试验, 试验结果表明: 粉煤灰取代部分水泥可以改善混凝土抗硫酸盐侵蚀能力; 粉煤灰取代水泥量越大, 混凝土抗硫酸盐侵蚀能力越强, 尤其对于高浓度硫酸盐溶液更是这样; 粉煤灰混凝土抗侵蚀能力, 随侵蚀介质浓度增加, 下降的程度较基准混凝土小。

**关键词:** 粉煤灰; 混凝土; 硫酸盐; 侵蚀

自19世纪20年代波特兰水泥发明至今, 水泥混凝土材料已有150多年的历史, 目前已成为应用最广泛的土木工程材料之一, 其结构也已成为重要的土木工程结构形式。有专家预计, 在21世纪土木工程中, 混凝土仍然是主要材料。混凝土之所以能够具有如此强大的生命力, 除了因为它良好的力学性能以外, 就是它与周围环境较好的适应性, 即其优良的耐久性。

然而, 混凝土的耐久性 is 相对的, 也就是说, 在正常的使用环境条件下, 混凝土是耐久的, 但是当环境中有害介质存在时, 混凝土的组成成分通常能与这些介质发生复杂的化学反应, 从而引起其耐久性的劣化。其中, 硫酸盐对混凝土的侵蚀作用是引起混凝土耐久性劣化的重要因素之一。

为了提高混凝土耐硫酸盐侵蚀的能力, 首先想到的技术措施往往是选择耐硫酸盐侵蚀的水泥, 因为所谓混凝土被侵蚀其实是其中的水泥石被侵蚀。但目前国内生产这类水泥的厂家很少, 产量较低, 价格也偏高, 大部分耐侵蚀工程实际无法采用。鉴于此, 本研究提出将粉煤灰应用于混凝土中以提高其抗硫酸盐侵蚀的能力。

## 1 试验研究

### 1.1 原材料

(1) 水泥。

普通硅酸盐水泥, 强度等级42.5, 密度3.0 g/cm<sup>3</sup>。

(2) 细骨料。

河砂, 中砂, 细度模数2.54, 含水率5.14%, 密度2 591 kg/m<sup>3</sup>。

(3) 粗骨料。

碎石, 粒径10~30 mm, 含水率2.0%, 密度2 761 kg/m<sup>3</sup>。

(4) 水。

饮用水。

(5) 减水剂。

HFDN 混凝土高效减水剂, 非引气型。

(6) 粉煤灰。

沈海热电厂 I 级粉煤灰, 密度为2 059 kg/m<sup>3</sup>, 粉煤灰的质量指标见表1。

表1 粉煤灰质量指标

化学成分/%						细度(45μm方孔筛筛余)/%	需水量比
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	烧失量		
60.02	24.55	4.70	1.93	0.80	1.66	4.4	0.88

(7) 侵蚀介质。采用沈阳力程试剂厂生产的无水Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>配制各种浓度的侵蚀溶液, 见表2。

### 1.2 配合比

本试验所用混凝土配合比见表3。

### 1.3 试验方法

试验采用100 mm×100 mm×100 mm立方体

表 2 侵蚀介质浓度		
编号	侵蚀介质浓度	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 浓度/(mg/L)	相应 Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 溶液浓度/%
I	0	0
Ⅱ	3 000	0.45
Ⅲ	9 000	1.35
Ⅳ	15 000	2.25
V	21 000	3.15
Ⅵ	30 000	4.5

表 3 粉煤灰混凝土配合比							
编号	水泥	粉煤灰	水	砂	石	粉煤灰取代	减水剂
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	水泥量/%	掺量/%
A	435.22	0	215.0	605.70	1 076.80	0	0
B	304.65	130.57	150.5	569.02	1 055.70	30	0.8
C	261.13	174.09	150.5	562.83	1 044.23	40	0.8
D	217.61	217.61	150.5	556.65	1 032.76	50	0.8
E	174.09	261.13	150.5	550.46	1 021.28	60	0.8

混凝土试件,A、B、C、D、E 等 5 种配合比(见表 3)混凝土试件,标准养护 28 d 后,在常温下分别浸泡于 I、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、V、Ⅵ等 6 种侵蚀溶液(见表 2)中,进行硫酸盐侵蚀试验。

参照《水泥抗硫酸盐侵蚀快速试验方法》(GB2420—81),定义了混凝土抗蚀系数  $K$ : 同龄期混凝土试件分别在硫酸盐溶液中浸泡与常温下水中养护的抗压强度之比。以此表示各种配合比混凝土抗硫酸盐侵蚀能力:

$$K=R_{\text{侵蚀溶液}}/R_{\text{水}}$$

(1)

式中: $R_{\text{侵蚀溶液}}$  为混凝土试件在硫酸盐溶液中浸泡 2 个月的抗压强度,MPa; $R_{\text{水}}$  为混凝土试件在常温下水中养护同龄期的抗压强度,MPa。

1.4 试验结果

试验结果见表 4 及图 1。

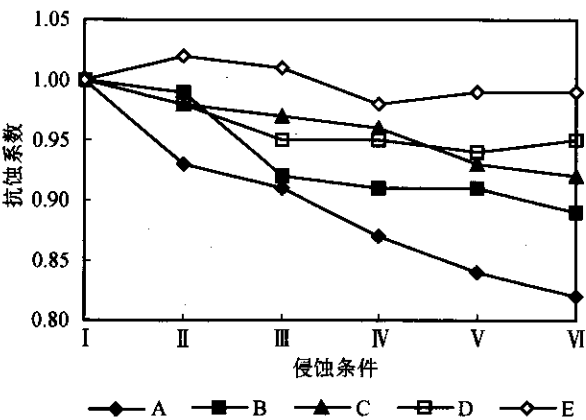


图 1 抗蚀系数与侵蚀条件之间的关系

表 4 抗蚀系数				
编号	侵蚀条件	抗压强度/MPa	抗蚀系数	抗蚀系数平均值
A	I	41.99	1.00	0.895
	Ⅱ	39.02	0.93	
	Ⅲ	38.12	0.91	
	Ⅳ	36.67	0.87	
	V	35.15	0.84	
	Ⅵ	34.39	0.82	
B	I	69.47	1.00	0.937
	Ⅱ	68.78	0.99	
	Ⅲ	64.15	0.92	
	Ⅳ	63.46	0.91	
	V	63.34	0.91	
	Ⅵ	61.94	0.89	
C	I	63.11	1.00	0.960
	Ⅱ	61.94	0.98	
	Ⅲ	60.99	0.97	
	Ⅳ	60.42	0.96	
	V	58.83	0.93	
	Ⅵ	57.83	0.92	
D	I	58.68	1.00	0.962
	Ⅱ	57.79	0.98	
	Ⅲ	55.98	0.95	
	Ⅳ	55.55	0.95	
	V	55.29	0.94	
	Ⅵ	55.48	0.95	
E	I	54.79	1.00	0.998
	Ⅱ	56.05	1.02	
	Ⅲ	55.10	1.01	
	Ⅳ	52.89	0.98	
	V	52.56	0.99	
	Ⅵ	54.34	0.99	

2 分析与讨论

2.1 试验结果综述

表 4 给出 A、B、C、D、E 等 5 种配合比混凝土,在 I、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、V、Ⅵ等 6 种侵蚀条件下,抗压强度、抗蚀系数及抗蚀系数平均值;图 1 为各种配合比混凝土抗蚀系数与侵蚀条件之间的关系;图 2 为各种侵蚀条件下混凝土抗蚀系数平均值与粉煤灰取代水泥量之间的关系。

由图 1 可见以下几点。

(1) 掺粉煤灰的混凝土抗蚀系数均高于基准混凝土,即用粉煤灰取代部分水泥,对改善混凝土抗硫酸盐侵蚀能力是有利的。

(2) 随着侵蚀介质浓度的提高,各种配合比混凝土的抗蚀系数,均呈下降趋势,即混凝土被硫酸盐侵蚀程度受硫酸盐溶液浓度影响较大。但掺粉煤灰的混凝土抗蚀系数下降的程度较基准混凝土小。

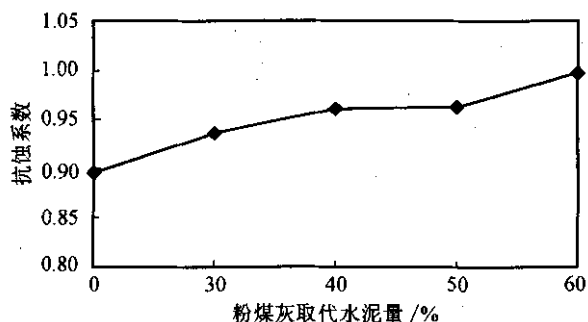


图2 抗蚀系数与粉煤灰取代水泥量之间的关系

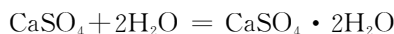
由图2可见,随着混凝土中粉煤灰取代水泥量的提高,混凝土抗蚀系数呈上升趋势,即较大掺量粉煤灰使混凝土的抗硫酸盐侵蚀能力获得较大改善。

由表4可见,混凝土E在养护条件Ⅱ、Ⅲ时,抗蚀系数出现大于1的情况,即此时混凝土抗硫酸盐侵蚀能力没有下降,反而有所提高。

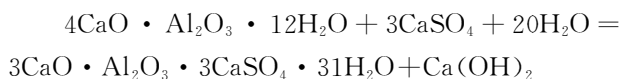
## 2.2 混凝土硫酸盐侵蚀机理

硫酸盐侵蚀引起混凝土膨胀性破坏,它包括两方面的内容。

(1)硫酸盐与水泥石中氢氧化钙作用生成硫酸钙,在水泥石孔隙中直接结晶成二水石膏,引起石膏膨胀:



(2)硫酸钙与水泥石中固态水化铝酸钙作用生成高硫型水化硫铝酸钙(钙矾石):



高硫型水化硫铝酸钙含有大量结晶水,比原有体积增加1.5倍以上,对水泥石起极大的破坏作用。

## 2.3 粉煤灰改善混凝土抗硫酸盐侵蚀机理

粉煤灰由于其化学成分、矿物组分及颗粒形态等特征,在混凝土中主要产生3大效应,即活性效应(火山灰效应)、形态效应及微集料效应<sup>[1~3]</sup>。

活性效应:粉煤灰中的活性氧化硅和活性氧化铝能与混凝土中的氢氧化钙反应生成水化硅酸钙和水化铝酸钙:



使混凝土中氢氧化钙浓度降低,石膏及钙矾石生成数量相应减少,缓解了结晶膨胀,随着掺量的增加,这种缓解作用越发明显;同时,此反应消耗了混凝土中薄弱的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 结晶,大大降低了混凝土内部孔隙率,改善了混凝土孔结构,提高了混凝土的密实性。

形态效应:粉煤灰由大小不等的球状玻璃体组成,其表面光滑致密,在混凝土中具有滚珠轴承的作用;同时,粉煤灰微细颗粒均匀分布在水泥颗粒之中,阻止了水泥颗粒粘聚,减少用水量,提高混凝土的密实度。

微集料效应:粉煤灰微细颗粒填充到未水化水泥颗粒之间,改善混凝土的微观结构,增强混凝土的密实性。

由此可见,粉煤灰在混凝土中,一方面,稳定了易引起侵蚀的组分,限制了侵蚀的发生,掺量越大,这种作用越大;另一方面,提高了密实度,提高了抗渗性,从而阻止硫酸盐的渗透。

抗蚀系数出现大于1的情况,可解释为:粉煤灰取代水泥量为60%的混凝土,由于粉煤灰含量大,导致水泥水化较慢,使浸泡初期的混凝土内部尚有较多未被填充的孔隙,这样,侵蚀介质的侵蚀作用产生的晶体就会借机填充到这些孔隙中来,使混凝土致密,强度提高。但随着时间的延长,混凝土最终还是要受到膨胀作用的。

## 3 结论与展望

(1)粉煤灰取代部分水泥可以改善混凝土抗硫酸盐侵蚀能力。

(2)粉煤灰取代水泥量越大,混凝土抗硫酸盐侵蚀能力越强,尤其对于高浓度硫酸盐溶液更是这样。

(3)粉煤灰混凝土抗侵蚀能力,随侵蚀介质浓度增加,下降的程度较基准混凝土小。

本研究表明,用优质粉煤灰取代部分水泥,使混凝土耐硫酸盐侵蚀能力获得提高是非常有效的,尤其对于大掺量粉煤灰混凝土更是有意义的。

侵蚀是时间的函数,在今后的研究中,将对研究对象进行更长期的试验观察,以使此项研究取得更显著成果。

## 参考文献:

- [1] Wang Aiqin, Zhang Chengzhi, Sun Wei. Fly ash effects I: The morphological effect of fly ash [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33.
- [2] Wang Aiqin, Zhang Chengzhi, Sun Wei. Fly ash effects II: The active effect of fly ash [J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34.
- [3] Wang Aiqin, Zhang Chengzhi, Sun Wei. Fly ash effects III: The microaggregates effect of fly ash [J]. Cement and Concrete Research, 2004, 34.

文章编号: 0451-0712(2006)11-0131-04

中图分类号: U414.7

文献标识码: B

# 排水板滤膜标准与国产长丝滤膜

娄 炎<sup>1</sup>, 郭伟玲<sup>2</sup>, 叶锡平<sup>3</sup>

(1. 南京水利科学研究院 南京市 210029; 2. 广州四航工程技术研究院 广州市 510230;

3. 佛山市南海锦龙无纺有限公司 广州市 528225)

**摘 要:** 叙述了现行排水板滤膜的标准和国产短纤维滤膜现状, 指出标准中缺少有关滤膜梯形撕裂强度和滤膜粘合缝的粘结强度两个重要指标; 阐述长丝滤膜的优越性, 比较了国产长丝滤膜和进口长丝滤膜的差异, 指出目前完全能用国产长丝滤膜替代进口长丝滤膜; 并提出了滤膜技术指标的建议标准, 供修订标准参考。

**关键词:** 排水板; 短纤维滤膜; 长丝滤膜; 梯形撕裂强度; 滤膜标准

塑料排水板因其工厂化生产, 产品生产率高、质量易于保证, 工程中运输、使用方便, 造价低廉, 近几年来在高速公路软基加固中得到广泛的应用。每年用于高速公路的排水板不少于 1 亿延米; 在其他岩土工程中, 也一直是一种广泛使用的材料。

在地基预压加固中, 塑料排水板是一种良好的垂直排水通道。由于它的设立, 改变了地基原有的排水边界条件, 由原来的垂直向渗流变成以水平向为主的渗流, 孔隙水能很快进入排水板, 改变了土层中自由水的渗出途径, 缩短了排水路径, 加速了地基的固结, 减少了工后沉降量, 增加了地基的强度和稳定性, 使预压效果得到极大地提高, 缩短了加固时间和

工期, 加快了高速公路的建设速度, 提高了高速公路的通行能力及行车舒适度。

塑料排水板是由芯板和滤膜两大部分组成, 因此塑料排水板的质量主要取决于芯板和滤膜的质量及其二者的结合工艺。经过近十年的不断努力和创造, 国内制造排水板芯板的用材, 由原来都是用 PVC 旧料、聚乙烯旧料经加工成粒子做成的芯板, 变成今天完全使用聚丙烯新料粒子制成<sup>[1]</sup>, 使排水板芯板的刚度加大, 芯板齿槽不易压缩, 排水截面积不易减小, 排水板的整体性能有了极大地提高, 特别在复合体的抗拉强度和排水板的纵向通水量方面<sup>[1]</sup>。塑料排水板滤膜的包裹方式也有了根本的改进, 由过去

收稿日期: 2006-05-16

## Test and Research on Effects of Fly Ash on Concrete Sulphate-Corrosion Resistance

CHENG Yun-hong, JIANG Wei-dong, YIN Zheng-feng, LIU Bin, ZHAO Wen

(Northeastern University, Shenyang 110004, China,)

**Abstract:** The tests of concrete sulphate-corrosion resistance are carried out and some results obtained. Firstly, fly ash substituting for some cement in concrete can improve concrete sulphate-corrosion resistance. Secondly, the higher substitution ratio of fly ash for cement is, the stronger concrete resists to sulphate-corrosion, particularly under higher concentration sulphate solution. Thirdly, when the concentration of sulphate solution increases, the concrete sulphate-corrosion resistance decreases, but there is a smaller decrease in fly ash concrete than in ordinary concrete.

**Key words:** fly ash; concrete; sulphate; corrosion