

# HF 粉煤灰混凝土与普通混凝土 抗冲耐磨性能试验研究

## The experimental research on erosion and abrasion resistance properties of HF fly ash concrete and ordinary concrete

韩苏建<sup>1,3</sup>, 程哲<sup>2</sup>, 李元婷<sup>3</sup>, 李萍<sup>3</sup>

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 陕西泾惠渠管理局, 陕西 三原 713800; 3. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 在依据水力冲刷原理和文丘里原理设计的材料抗冲磨机以及空蚀发生器上,研究了不同流速、不同含沙量水流条件下 HF 粉煤灰混凝土和普通 C30 混凝土抗冲耐磨和抗空蚀性能。试验结果表明 HF 粉煤灰混凝土及普通 C30 混凝土抗冲耐磨和抗空蚀性能随冲刷水流介质条件的变化而变化,以及具有较高抗压强度的 HF 粉煤灰混凝土抗冲耐磨和抗空蚀性能明显优于强度相对较低的 C30 普通混凝土这一事实。

**关键词:** HF 粉煤灰混凝土; 普通混凝土; 抗冲耐磨; 空蚀

**中图分类号:** TU502

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008-5858(2003)03-0017-03

HAN Su-jian<sup>1,3</sup>, CHENG Zhe<sup>2</sup>, LI Yuan-ting<sup>3</sup>, LI Ping<sup>3</sup>

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi Province 710048, China; 2. Management Bureau of Jinghui Canal of Shaanxi Province, Sanyuan, Shaanxi 713800, China; 3. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Under the water flow conditions with different velocities and sand content, the properties of erosion and abrasion resistance and cavitation resistance of HF fly ash concrete and C30 ordinary concrete are researched on the mechanical device designed according to hydraulic scouring principle and Venturi tubes principle. The experimental results show that properties of the two kinds of concrete vary with the difference of velocities and sand content of water flow, and the properties of HF fly ash concrete with relatively higher compressive strength are obviously superior to those of C30 ordinary concrete.

**Key words:** HF fly ash concrete; ordinary concrete; erosion and abrasion resistance; cavitation

## 1 前言

高速水流和高含沙水流会对水工建筑物的受冲刷部位混凝土产生冲刷磨蚀破坏,提高和改善混凝土抗冲耐磨能力成为混凝土材料研究非常关注的问题之一<sup>[1]</sup>。由甘肃电力试验研究所开发生产的 HF

混凝土抗冲耐磨外加剂可以有效的提高混凝土抗磨蚀能力,已被一些工程所采用<sup>[2,3]</sup>。本文通过抗冲磨试验及空蚀对比试验,研究了不同流速、不同含沙量水流条件下 HF 粉煤灰混凝土和普通 C30 混凝土抗冲耐磨和抗空蚀性能,以及相同水流条件下的性能对比。

表 1 HF 粉煤灰混凝土原材料及配合比

水泥品种及标号	沙料种类	石料种类	混凝土材料用量/(kg·m <sup>-3</sup> )					
			水	水泥	沙料	石料	粉煤灰	HF 外加剂
秦岭普硅 525R	中沙	碎石	145	402	555	1187	98	10

收稿日期:2003-05-13

作者简介:韩苏建(1964—),男(汉族),江苏泗洪人,高级工程师,在读博士,主要从事材料结构研究工作。

表2 普通C30混凝土原材料及配合比

水泥品种及标号	沙料种类	石料种类	混凝土材料用量/(kg·m <sup>-3</sup> )					
			水	水泥	沙料	石料	减水剂	引气剂
秦岭普硅 525R	中沙	碎石	144	360	686	1220	1.8	0.036

## 2 试验原材料及配合比

HF 粉煤灰混凝土、普通 C30 混凝土原材料及配合比见表 1、表 2。

HF 混凝土抗冲耐磨外加剂是由甘肃省电力试验研究所开发生产的,其主要成分为减水剂、粉煤灰强度激发剂、载体流化剂、缓凝剂、膨胀剂,外观为干粉状褐灰色粉末,细度(0.315mm 筛),筛余 < 10%,含水量 < 3%,PH 值为 13~14<sup>[2,3]</sup>。HF 外加剂具有可激发粉煤灰的活性,使胶凝材料的水化产物致密,不易产生离析和泌水等特点,使浇筑的混凝土质量更均匀,易于振捣密实和饰面。

## 3 混凝土抗冲耐磨性能试验及空蚀性能试验

### 3.1 抗冲耐磨性能试验

试验研究采用的抗冲磨机是依照水力冲刷磨蚀原理并参照国内同类设备自行研制的,该机利用水泵加压使水流通过压力管道输送到端头的矩形断面喷嘴而形成高速水流、与试件上表面成 15 度夹角、直接冲刷试件上,其模拟了水流冲磨混凝土的实际状态。试件受水流冲磨实际工作状态见图 1。受冲磨的试件固定在逆水流转动的圆盘上,试件为圆弧形。根据试验要求可在循环水源的容器内配制不同的浓度的含沙水流,形成不同含沙量下水流的冲刷。

混凝土的抗冲磨性能可通过抗冲磨强度即单位面积上被磨损去单位重量所需的时间进行评价,计算公式如下:

$$R_{chm} = \frac{TA}{Q_T} \quad (1)$$

式中:  $R_{chm}$  为抗冲磨(空蚀)强度,即单位面积上被磨损去单位重量所需的时间, h/kg·m<sup>-2</sup>;  $T$  为试验累计冲刷持续时间, h;  $A$  为试件受磨面积 0.0157, m<sup>2</sup>;  $Q_T$  为经  $T$  时段冲磨(空蚀)后,试件损失的累计重量, kg。

本次设计了三种含沙水流进行冲磨试验,含沙量分别为  $\rho = 0$  kg/m<sup>3</sup>、 $\rho = 0.5$  kg/m<sup>3</sup>、 $\rho = 30$  kg/m<sup>3</sup>;选取的试验流速分别为  $V = 32$  m/s、 $V = 25$  m/s、 $V = 20$  m/s;试验结果见表 3。



图1 试件受水流冲磨实际工作状态

表3 历时6小时混凝土抗冲磨强度试验结果

冲磨水流速度 (m·s <sup>-1</sup> )	混凝土抗冲磨强度/[h·(kg·m <sup>-2</sup> ) <sup>-1</sup> ]					
	无含沙水流		0.5 kg·m <sup>-3</sup> 含沙水流		30 kg·m <sup>-3</sup> 含沙水流	
	HF 混凝土	C30 混凝土	HF 混凝土	C30 混凝土	HF 混凝土	C30 混凝土
20			65.72	47.10		
25			31.05	14.87	19.22	13.85
32	376.80	209.33	10.39	7.92	1.82	1.02

试验结果表明:(1)随着冲刷水流含沙量的提高混凝土的抗冲磨强度明显降低。(2)随着冲刷水流流速的提高混凝土抗冲耐磨能力相对下降。(3)HF 粉煤灰混凝土在相同试验条件下抗冲磨强度明显高于按表 2 配比成型的普通 C30 混凝土。分析其原因我

们不难看出,一是 HF 粉煤灰混凝土使用的胶凝材料为 500 kg 比普通 C30 混凝土使用的胶凝材料高出了 140 kg 使前者 28 d 强度达到 64.4MPa,比后者的 33.3MPa 提高了近 1.94 倍;二是 HF 外加剂具有的激发性使混凝土中的活性物质特别是粉煤灰

的活性得到了很大程度的提高,带来混凝土强度倍数明显高出胶凝材料的增长倍数。

### 3.2 空蚀性能试验

混凝土的空蚀试验是在按照文丘里原理设计的空蚀发生器中进行的,如图 2 所示。

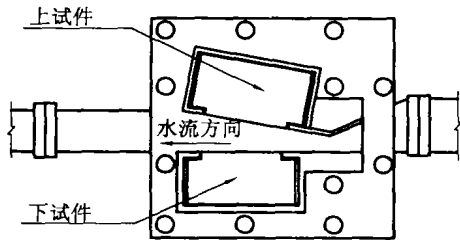


图 2 空蚀发生器示意图

其工作原理为:在固定过水断面设计一个工作喉,该喉部过水断面比前段正常过水断面小,当水通过时水流的压强降低,流速加大,在喉部后段,过水断面又突然变大,使水流的流速减缓,压强突然增大,从而在喉部后段产生空化,并对安装在该段的混凝土试件产生空蚀破坏。混凝土受空蚀影响面与扩散段的壁面平齐。该喉部的工作最佳流速为 26 m/s,形成的水流空穴数约为 0.84~0.87,丹麦 BK 公司空化噪声频谱系统观测表明已发生空化,可以肯定重量损失就是空蚀。试验时可以通过上游阀门调整流量,控制空化强度,并使空化大约发生在混凝土试件的中部。空蚀发生器中可同时放入上下两个混凝土试件,其中上试件主要用来检验水流空蚀对混凝土的影响,下试件主要用来检验水流磨蚀对混凝土的影响。

空蚀试验选取了两种含沙量,即  $\rho=0 \text{ kg/m}^3$  和  $\rho=0.5 \text{ kg/m}^3$ 。混凝土抗空蚀性能按照试验前后试件的重量损失,根据(1)式计算出抗空蚀强度,试验结果见表 4。

表 4 历时 8 小时混凝土抗空蚀(冲磨)强度试验结果

冲磨水 流速度 /( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	抗空蚀(冲磨)强度 [ $\text{h} \cdot (\text{kg} \cdot \text{m}^{-2})^{-1}$ ]			
	无含沙水流		0.5 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 含沙水流	
	HF	C30	HF	C30
26 上试件	190.5	63.0	142.8	53.0
下试件	无损失	150.9	49.4	45.4

表 4 试验结果表明:(1)随水流含沙量的增加,混凝土抗空蚀强度在降低。(2)在相同流速下受冲刷为主的下试件与受空蚀作用为主的上试件混凝土抗蚀强度有所不同,上试件的抗空蚀强度低于下试件

的抗冲磨强度说明空蚀对混凝土的危害更大一些。(3)HF 粉煤灰混凝土抗空蚀破坏能力要明显优于 C30 混凝土。

另外,比较空蚀发生器中下试件在 26 m/s 流速下与抗冲磨机上混凝土试件在流速 25 m/s 下含沙量完全同时的抗磨蚀强度,不难看出不同试验装置上得到的结果存在着较大差异,其原因是位于空蚀发生器中下试件与抗冲磨机上混凝土试件所承受水流作用力存在着明显的差异。空蚀发生器中下试件被冲刷表面与作用水流平行,这时被冲刷表面主要受的是水流的摩擦力作用,而抗冲磨机上混凝土试件除了承受作用水流摩擦力外还要承受水流的冲击力,从而造成试件产生过多的重量损失以及较小的抗磨蚀强度。由此我们也可以得到这样一个结论,就是抗冲耐磨试验中如果方法不同或者混凝土试件实际受力状态存在差异,即便是相同材料试验所得到的抗磨蚀强度差值距较大。选择能模拟实际水流状态和水质介质的试验方法检验材料的抗冲耐磨性能则更具实际意义。

## 4 结 语

通过冲磨和空蚀试验可以看出:(1)HF 粉煤灰混凝土无论是抗冲磨能力还是抗空蚀能力均优于掺引气剂的 C30 混凝土;(2)混凝土抗冲耐磨和抗空蚀能力是相对的,随着水流流速的提高以及水流含沙量的增加,混凝土抗冲耐磨能力在降低,因此建议实际工程在选取抗冲耐磨混凝土时,可根据过水建物流速、水流含沙量以及工程的重要程度合理选择混凝土强度等级和种类,避免造成不必要的浪费;(3)不同的试验方法和条件得到的混凝土抗冲磨能力有所不同,高强度的冲磨力使混凝土抗冲磨强度降低,因此选择能模拟工程实际工作状态的试验设备检验材料抗冲耐磨能力,对正确客观评价混凝土抗冲耐磨性能无疑是非常有帮助的。

### 参考文献:

- [1] 卢安琪,等. 聚丙烯纤维混凝土抗冲磨试验研究[J]. 水利水电技术,2002(4):37-39.
- [2] 王连光. HF 高强耐磨粉煤灰混凝土的应用[J]. 四川水力发电,1999(2):48.
- [3] 李文成. 抗冲耐磨外加剂的应用[J]. 水利科技与经济,2002(4):255.
- [4] 韩苏建,等. R500HF 粉煤灰混凝土抗冲磨试验研究[R]. 西北水科所,1999.