

聚丙烯纤维混凝土抗冲耐磨试验研究

卢安琪, 李克亮, 祝烨然, 胡智农

(水利部南京水利科学研究所 瑞迪高新技术公司, 江苏 南京 210024)

【摘要】 聚丙烯纤维掺入混凝土中能有效抑制混凝土塑性收缩开裂, 改善混凝土抗渗、抗冻、抗冲磨、抗冲击、柔韧性和抗疲劳等性能。试验中, 混凝土设计为三级配 C40, 混凝土试验有 5 组, 即聚丙烯纤维掺量分别为 0、0.6、0.9、1.2 kg/m³ 试验组, 以及掺 0.9 kg/m³ 聚丙烯纤维同时掺 37 kg/m³ HLC-III 硅粉混凝土抗磨蚀剂试验组。抗冲磨试验仿照 ASTM C1138—89 方法进行。结果表明, 掺加聚丙烯纤维能够显著地改善混凝土的抗冲磨和抗冲击性能。当聚丙烯纤维和 HLC-III 硅粉抗磨蚀剂共掺时可使混凝土的抗冲磨和抗冲击性能有进一步的提高。

【关键词】 聚丙烯纤维混凝土; 抗冲磨; 抗冲击

中图分类号: TV431.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0860(2002)04-0037-03

1 引言

抗冲耐磨混凝土用于水工建筑物的高速水流区、水流流态较差及结构应力复杂的部位, 这些部位的混凝土均要求有较高的抗冲击和耐磨损性能。80 年代以来, 硅粉混凝土以其优异的抗冲磨性能在水工泄水建筑物上显示出巨大的技术经济效益^[1], 但硅粉混凝土早期塑性收缩较大, 容易产生早期塑性裂缝。如何找到合适的材料掺入混凝土中, 既能减少混凝土早期的塑性裂缝、提高混凝土的抗裂能力, 又能提高混凝土的抗冲耐磨能力, 是我们需要解决的问题。国内外研究表明: 聚丙烯纤维掺入混凝土中能有效抑制混凝土塑性收缩开裂、改善混凝土抗渗、抗冻、抗冲磨、抗冲击、柔韧性和抗疲劳等性能^[2]。为此, 我们对聚丙烯纤维混凝土抗冲耐磨性能进行了试验研究。

2 试验原材料

水泥: 海螺牌 42.5 级普通硅酸盐水泥, 符合国标 (GB 175—1999) 要求。

改性聚丙烯纤维: (1)*2 聚丙烯纤维, *2 聚丙烯纤维是在纺丝过程中经过改性, 以改善聚丙烯纤维亲水性, 增强与水泥界面结合能力, 同时改善纤维自身的抗老化性能。本次试验除特殊说明

外, 均用 *2 聚丙烯纤维; (2)*3 聚丙烯纤维, *3 聚丙烯纤维在 *2 聚丙烯纤维的基础上对表面进一步处理以改善纤维与混凝土界面结合能力。

集料: 砂为天然河砂, 石料为二级配砾石。

外加剂: (1) 高效减水剂 NMR; (2) HLC-III 硅粉混凝土抗磨蚀剂, 南京水利科学研究所瑞迪高新技术公司生产。

3 聚丙烯纤维混凝土抗冲耐磨性能试验^[3]

3.1 聚丙烯纤维抗冲耐磨混凝土试验配合比

混凝土设计为三级配 C40, 混凝土试验有 5 组, 即聚丙烯纤维掺量分别为 0、0.6、0.9、1.2 kg/m³ 试验组, 以及掺 0.9 kg/m³ 聚丙烯纤维同时掺 37 kg/m³ 硅粉混

表 1 混凝土试验配合比

编号	水灰比	砂率 /%	坍落度 /cm	混凝土单位材料用量 /kg·m ³							聚丙烯 纤维	HLC-III NMR
				水泥	砂	卵石 /mm			水			
						5~20	20~40	40~80				
C-1	0.37	30	5~7	309	596	284	426	714	114	0	2.31	
C-2	0.38	30	5~7	309	596	284	426	711	117	0.6	2.31	
C-3	0.38	30	5~7	309	593	287	426	711	118	0.9	2.31	
C-4	0.39	30	5~7	309	593	284	423	708	121	1.2	2.31	
C-5	0.29	29	5~7	309	575	287	433	723	102	0.9	37	

收稿日期: 2001-09-14

作者简介: 卢安琪, 女, 59 岁, 教授级高级工程师。

凝土抗磨蚀剂试验组。具体混凝土配合比见表1。各试验组中配合比的用水量适当地进行了调整,以保持坍落度基本不变。混凝土中掺入聚丙烯纤维的4个试验组中适当增加了用水量。掺入硅粉抗磨蚀剂的试验组中适当减少用水量。试验的试件均由三级配混凝土拌和后,经40mm筛湿筛后制作成型。

3.2 聚丙烯纤维混凝土抗冲刷性能

抗冲刷试验仿照 ASTM C10138—89 方法进行,该方法为模拟高速夹沙水流对过流面冲刷破坏而设计,由1400 r/min 转速的叶轮带动水和70个大小不等的钢球磨擦试件表面72h,根据冲刷后试件的失重来计算混凝土抗冲刷强度,试验结果见表2。抗冲刷强度按下式计算

$$R_{dm} = \frac{TA}{\bar{Q}_T} \quad (1)$$

式中 R_{dm} ——抗冲刷强度,即单位面积上被磨去单位重量所需的时间[h/(kg·m²)];

T ——试件累计的持续时间(h);

\bar{Q}_T ——经 T 时段冲刷后,试件损失的累积质量(kg);

A ——试件受磨面积(m²)。

表2 混凝土抗冲刷性能

编号	抗冲刷强度 /h·(kg·m ²) ⁻¹	抗冲刷强度 相对倍数
C-1	6.83	1
C-2	9.06	1.33
C-3	10.14	1.49
C-4	10.78	1.58
C-5	13.75	2.02

由表2可见,聚丙烯纤维的掺入,可提高混凝土抗冲刷性能。随着纤维掺量的增加,混凝土抗冲刷性能随之提高。掺0.6,0.9,1.2 kg/m³聚丙烯纤维的混凝土,抗冲刷强度比C40普通高强混凝土分别提高33%、49%和58%。当硅粉抗磨蚀剂和聚丙烯纤维共掺时,其抗冲刷性能显著提高,与C40高强混凝土相比提高一倍多。

3.3 聚丙烯纤维混凝土的抗冲击性能

采用落锤法进行抗冲击试验:(1)按表1配合比拌和混凝土,用20mm筛湿筛后成型试件,标准养护28d后进行试验;(2)冲击锤2.0kg,下落高度 $h=900$ mm;(3)冲击锤中线与试件中心线对齐,测试时,冲击锤自由落下;(4)依据ACI 544委员会推荐的方法计算冲击能量。

试验时,将2kg的落锤从900mm高度自由落下。

表3 混凝土抗冲击性能试验结果

编号	锤击 次数	锤击能 量/J	抗冲击能力 相对倍数
C-1	10	176.4	1
C-2	18	315.5	1.8
C-3	44	776.2	4.4
C-4	48	846.7	4.8
C-5	61	1076.0	6.1

当试件开始出现裂缝时,记录冲击次数,试验结果见表3。试验结果表明:(1)聚丙烯纤维的掺入大大提高了混凝土的抗冲击性能,纤维掺量为0.6 kg/m³时,抗冲击能力提高近一倍,纤维掺量为0.9,1.2 kg/m³时,混凝土抗冲击能力提高3倍以上,掺37 kg/m³硅粉抗磨蚀剂外加0.9 kg/m³聚丙烯纤维的混凝土,比普通混凝土抗冲击能力提高5倍以上;(2)当聚丙烯纤维掺至0.9 kg/m³时,混凝土抗冲击能力提高幅度较大,相比之下而言,1.2 kg/m³纤维掺量的混凝土并未由于纤维掺量的增加而显示出更加突出的抗冲击优势。

3.4 聚丙烯纤维抗冲刷耐磨混凝土的力学和变形性能

聚丙烯纤维抗冲刷耐磨混凝土抗压强度、抗拉强度、抗拉弹模和极限拉伸率见表4。

试验表明:聚丙烯纤维的掺入使混凝土7d抗压强度降低7%~10%,28d抗压强度降低5%~6%,抗拉强度提高2%~4%,纤维掺量不同对抗压强度影响不大,抗拉强度随纤维掺量的增加而增加;极限拉伸率提高7%~11%,抗拉弹模下降,即混凝土刚度下降,韧性提高。

配合比相同的掺*3纤维混凝土与掺*2纤维的混凝土相比,极限拉伸率提高12%,抗拉强度也有3%的提高,说明表面经特殊处理的*3纤维改善了与水泥砂浆的粘结力,故显著提高了混凝土的抗拉强度及极限拉伸率。

掺0.9 kg/m³聚丙烯纤维同时掺37 kg/m³硅粉抗磨蚀剂使混凝土各项性能大幅度提高:当硅粉抗磨蚀剂外掺到混凝土中时,7d抗压强度提高25%,28d提

表4 混凝土力学和变形性能

编号	抗压强度/MPa		28d抗拉 强度/MPa	28d抗拉弹模/10 ⁴ MPa		28d极限拉 伸率×10 ⁻⁴
	7d	28d				
C-1	48.1	56.4	3.92	3.5	123	
C-2	44.7	53.4	4.00	3.4	132	
C-3	44.2	53.5	4.06	3.4	134	
C-3*	44.6	53.1	4.20	3.0	150	
C-4	43.6	53.5	4.08	3.2	137	
C-5	60.2	72.7	5.44	3.4	154	

注:C-3*混凝土配合比同C-3,用*3聚丙烯纤维。

高 29%, 抗拉强度提高 39%, 极限拉伸率提高 25%; 当硅粉抗磨蚀剂内掺到混凝土中时, 28 d 抗压强度提高 14%, 抗拉强度提高 36%, 极限拉伸率提高 20%。

3.5 聚丙烯纤维抗冲耐磨混凝土的干缩性能

混凝土干缩性能见表 5, 由表 5 可见, 聚丙烯纤维混凝土的干缩均比普通高强混凝土略大, 聚丙烯纤维与硅粉抗磨蚀剂共掺组其干缩率早期增加较多, 但 90 d 时其收缩已低于普通高强混凝土。由于混凝土干缩试验试件是养护 2 d 拆模后即测试初长, 然后直接进入相对湿度为 60%±5% 的干缩室, 试件得不到应有的养护, 故对收缩影响较大, 尤其是掺硅粉抗磨蚀剂的混凝土, 没有充分养护就不能发挥抗磨蚀剂中减缩成分的作用, 现场施工加强养护, 实际收缩将会小得多。

表 5 混凝土干缩性能

编号	干缩率/10 ⁻⁶					
	3 d	7 d	14 d	28 d	60 d	90 d
C-1	58	101	235	347	487	535
C-2	63	114	257	384	554	597
C-3	69	117	248	377	528	560
C-4	61	112	252	382	549	584
C-5	68	148	278	390	509	532

4 机理分析

首先, 高速含沙水流对泄水建筑物的破坏是冲击、摩擦和切削。当聚丙烯纤维以每方数千万根的数量掺入到混凝土中时, 其互相搭接、牵连, 在混凝土内形成一个乱向支撑系统, 阻碍由于冲击或磨损发生的裂缝的发展, 纤维也牵制了混凝土碎块从基体中剥落, 使得混凝土碎块从基体上剥离需要消耗更多的能量, 从而提高了混凝土的耐磨能力。

第二, 高强混凝土一般水泥用量多, 本身的自收缩、温度应力及干缩作用使其易开裂、脆性大、抗冲击性差。聚丙烯纤维把混凝土收缩能量分散到高抗拉强度而低弹模的聚丙烯纤维上, 阻止混凝土原有缺陷(微裂缝)的扩展并延缓新裂缝的出现, 减少微裂缝的尺度, 增强材料内部的连续性, 减少了冲击波被阻断

引起的局部应力集中程度, 所以对高强混凝土的脆性有很大的改善, 因此聚丙烯纤维的加入可以明显提高高强混凝土的抗冲击性能。

第三, 掺入硅粉抗磨蚀剂后, 由于硅粉的微集料填充作用和火山灰作用, 改善了混凝土的微观结构, 使混凝土密实性显著增加^[1]。此外, 硅粉抗磨蚀剂的掺入改善了水泥浆体与聚丙烯纤维与砂、石界面的疏松结构, 提高了相互之间的粘结力, 使聚丙烯纤维能更好地发挥其优越性, 共同提高混凝土抗冲耐磨能力。纤维的掺入又改善了硅粉混凝土早期塑性收缩偏大易产生塑性收缩裂缝的缺点, 故聚丙烯纤维和硅粉抗磨蚀剂共掺是抗冲磨混凝土最理想的搭配。

5 结论

聚丙烯纤维掺量为 0.6, 0.9, 1.2 kg/m³ 的混凝土与水泥用量相同的普通高强混凝土相比, 抗冲磨强度分别提高 33%、49% 和 58%, 极限拉伸率分别提高 7%、9% 和 11%, 抗冲击能力提高 0.8~4.8 倍, 抗拉强度提高 2%~4%, 抗压强度略降, 弹性模量降低, 韧性增加。

当硅粉抗磨蚀剂与聚丙烯纤维共掺时, 能发挥各自优点, 取长补短, 使各项性能有进一步的提高。

聚丙烯纤维 #3 丝比 #2 丝在抗变形性能上更好, 掺 #3 丝的混凝土比掺 #2 丝混凝土 28 d 的极限拉伸率提高 12%, 抗拉强度提高 3%。故聚丙烯纤维表面处理情况和纤维本身性能对混凝土性能有较大影响, 应做进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] 林宝玉, 卢安琪等. 高强抗冲磨硅粉混凝土的研究和应用[R]. 南京水利科学研究院, 1990.
- [2] 杨松玲. 用聚丙烯纤维增强三峡抗冲磨混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2000 增刊
- [3] 卢安琪, 祝焯然等. 聚丙烯纤维抗冲磨混凝土试验研究[R]. 南京水利科学研究院, 2001.

(责任编辑 陈小敏)

广 告 目 次

封 二: 广西柳州海威姆建筑机械有限公司

前插一: 珠海市长路科技发展有限公司研制的水电建设碾压混凝土专用搅拌设备

前插四: 安徽安庆恒特工程机械有限公司生产的叶轮式混凝土喷湿机

封 三: 重庆永固工程拉筋带厂

封底: 奥地利国家水力机械研究所简介

暗 59: 北京耀华路业仪器有限公司

暗 60: UWB 水下不分散混凝土絮凝剂(外加剂)

暗 61: 中国纺织科学研究院研制开发的砂浆/混凝土抗裂专用合成纤维—CTA Fiber