

文章编号:1002-5634(2012)06-0116-05

# 纤维在面板堆石坝面板混凝土中应用的试验研究

赵正<sup>1</sup>, 石建军<sup>2</sup>, 施慧聪<sup>1</sup>, 刘国平<sup>1</sup>, 李孜<sup>1</sup>

(1. 上海罗洋新材料科技有限公司, 上海 200092; 2. 柏叶口水库建设管理局, 山西 吕梁 032299)

**摘要:** 面板堆石坝的混凝土面板层属于大面积敞开式薄壁结构, 在基础及钢筋的约束下, 易产生塑性裂缝和早期干缩裂缝。研究了纤维素纤维和聚丙烯纤维对面板混凝土塑性裂缝及早期干缩裂缝的作用以及对混凝土抗渗性和抗冻性的影响。研究表明: 纤维素纤维在混凝土塑性阶段具有显著的减裂效果, 减裂率达到 86.2%, 而聚丙烯纤维的减裂率为 52.0%; 纤维素纤维和聚丙烯纤维对早期干燥收缩裂缝具有抑制作用, 减裂率分别为 66.7% 和 52.2%; 纤维素纤维和聚丙烯纤维提高了混凝土抗渗性和抗冻性, 其中纤维素纤维混凝土的抗渗等级提高了 2 个等级, 聚丙烯纤维混凝土提高 1 个等级, 两种纤维混凝土的抗冻性提高了 50 个标号。

**关键词:** 纤维素纤维; 塑性裂缝; 早期干缩裂缝; 抗渗性; 抗冻性

面板堆石坝的混凝土面板层属于大面积薄壁混凝土结构, 在高温干燥天气施工时容易因失水过快和内外部的约束产生塑性收缩裂缝; 在混凝土硬化后若养护不及时、不到位或者养护期已过, 混凝土继续失水, 在凝胶分子表面张力、毛细管张力等因素作用下以及在内外部的约束条件下易产生干燥收缩裂缝; 因塑性收缩和干燥收缩引起的裂缝在日温差、季节性温差条件下, 会产生相应的膨胀或收缩, 在长期温差应力作用下裂缝会继续扩展。对于混凝土面板结构来说, 裂缝会降低面板的抗渗性能以及结构的耐久性能。在北方寒冷和严寒地区, 混凝土面板还面临着反复冻融循环的考验, 在冻胀应力作用下, 混凝土易产生裂缝乃至剥落, 影响面板的服役性能, 严重的情况下影响结构的安全。

抗裂性、抗渗性和抗冻性对于面板混凝土来说至关重要, 改善混凝土的抗裂性、抗渗性和抗冻性可以提高面板结构的服役性能、安全性以及服役寿命。通过纤维来提高混凝土的性能早已被工程界所接受, 纤维素纤维作为新一代的工程纤维, 因其天然的亲水性、保水性以及与混凝土良好的相容性, 在混凝土领域的使用日渐广泛<sup>[1-5]</sup>。笔者针对纤维素纤维和聚丙烯纤维在大坝面板混凝土中的应用进行了相关研究。

## 1 试验

### 1.1 试验原材料及配合比

试验采用山西柏叶口水库大坝面板的原材料和混凝土配合比, 水泥为 P·O42.5 普硅水泥, 砂为细度模数为 2.7 的中砂, 石子采用 5~20 mm, 20~40 mm 二级配碎石。试验中采用的纤维物理参数及力学性能见表 1, 采用的 3 种混凝土配合比见表 2。

### 1.2 试验方法

1) 混凝土的工作性能和力学性能按《水工混凝土试验规程》(DL/T 5150—2001) 的相关规定进行测试。

2) 混凝土受约束状态下的塑性收缩裂缝按《纤维混凝土塑性裂缝标准测试方法》(ASTM C1579—06) 的相关规定进行测试, 试验模具如图 1 和图 2 所示。

表 1 纤维的物理参数及力学性能

纤维类型	密度 / (g · cm <sup>-3</sup> )	直径 / μm	弹性模量 / GPa	断裂强度 / MPa
素纤维	1.1	19.3	8.3	780
聚丙烯纤维	0.91	31	3.5	400

收稿日期: 2012-08-22

作者简介: 赵正 (1986—), 男, 江苏淮安人, 工程师, 硕士, 主要从事纤维混凝土方面的研究。

表 2 混凝土配合比

编号	水泥	粉煤灰	水	砂	小石		中石	减水剂	纤维素纤维	聚丙烯纤维	引气剂 (1/万)
					5 ~ 20 mm	20 ~ 40 mm					
JZ	350	88	175	597	406	754	6.57	—	—	0.043 8	
RS	350	88	175	597	406	754	6.57	0.9	—	0.043 8	
PP	350	88	175	597	406	754	6.57	—	0.9	0.043 8	

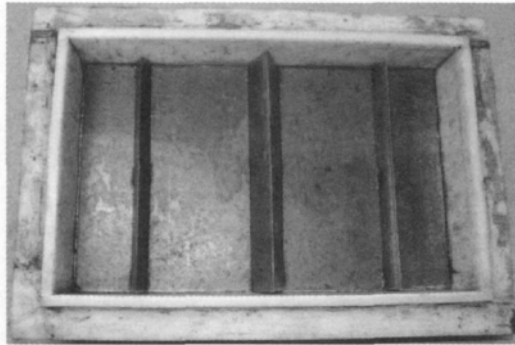


图 1 塑性抗裂试验模具



图 2 塑性抗裂试验模具内置钢板(带裂缝引发器)

3) 混凝土砂浆基体硬化早期干燥收缩裂缝按如下方法进行测试: 砂浆按水泥: 粉煤灰: 水: 砂 = 1: 0. 25: 0. 43: 1. 71 的配比搅拌 3 min( 水泥、粉煤灰、砂比例见表 2, 其中水扣除掉石子饱和面的含水率; 减水剂、引气剂和纤维掺量见表 1) 3 种砂浆编号分别为 JZM, RSM 和 PPM, 浇注在图 3 所示硬化早期收缩开裂试验模具中. 试件是内径为 150 mm、高为 150 mm、厚度为 20 mm 的圆筒体, 以外径为 150 mm、高为 150 mm、厚度为 30 mm 的钢制圆筒体置其内部作为约束体. 试件成型后经标准养护 3 d 后

取出, 在温度为 70 ℃、湿度为 20% 的箱体内进行加速干燥失水收缩开裂实验, 以升温速 10 ℃/h、恒温 1 h 升温至 70 ℃, 然后进行恒温. 测定试件失水速度, 肉眼观察试件是否出现开裂, 当失水速度降至稳定时结束试验( 约为 70 ℃ 恒温 24 h). 用读数显微镜确定裂缝宽度, 根据裂缝宽度  $d$  分段测量裂缝长度  $L_i$ , 根据表 3 列出的裂缝宽度权重值  $W_i$ , 计算开裂系数  $C$ ,

$$C = \sum W_i L_i \quad (1)$$

开裂系数  $C$  反映了砂浆基体硬化早期干燥收缩裂缝的总长度, 单位为 mm.

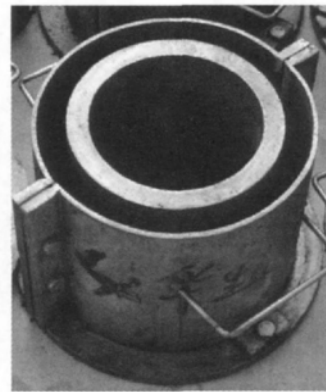


图 3 早期干缩裂缝试验模具

表 3 混凝土早期干燥收缩裂缝权重值

$d/mm$	0.00 ~ 0.05	0.05 ~ 0.10	0.10 ~ 0.20	0.20 ~ 0.30	0.30 ~ 0.40	> 0.40
$W_i$	0.025	0.050	0.100	0.200	0.300	0.400

4) 混凝土抗渗性能和抗冻性能按《水工混凝土试验规程》( DL/T 5150—2001) 相关规定进行测试.

## 2 试验结果与讨论

### 2.1 工作性能和力学性能

混凝土的工作性能和力学性能指标见表 4.

表 4 混凝土的工作性能和力学性能指标

编号	坍落度/mm	含气量/%	7 d 抗压强度/MPa	28 d 抗压强度/MPa	7 d 劈拉强度/MPa	28 d 劈拉强度/MPa
JZ	75	4.2	25.3	37.2	2.41	3.34
RS	70	4.3	25.9	38.4	2.55	3.58
PP	50	4.4	25.4	37.7	2.38	3.46

表4的试验结果表明:纤维素纤维混凝土和聚丙烯纤维混凝土的坍落度比基准混凝土分别降低5 mm和25 mm,聚丙烯对混凝土坍落度的影响稍大,而纤维素纤维对混凝土坍落度的影响较小;纤维对混凝土含气量的影响较小;纤维混凝土的力学性能比基准混凝土略有提高。

## 2.2 纤维对混凝土塑性收缩裂缝的影响

纤维对混凝土塑性收缩裂缝的影响结果见表5。

表5 纤维对塑性收缩裂缝的影响

编号	裂缝平均宽度 /mm	裂缝长度 /mm	裂缝面积 /mm <sup>2</sup>	减裂率 /%
JZ	0.92	336	309.12	—
RS	0.52	82	42.64	86.2
PP	0.54	275	148.5	52.0

表5中的减裂率为与基准混凝土裂缝面积相比纤维混凝土裂缝面积减少的百分比。由表5及图4

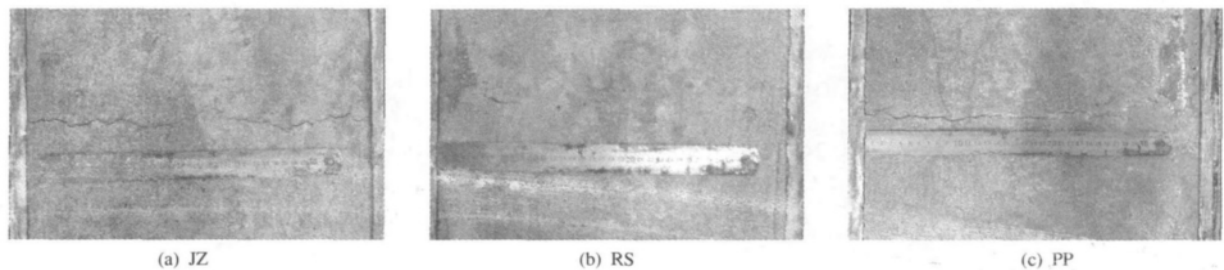


图4 塑性裂缝情况

表6 纤维在混凝土中的分布参数

纤维品种	$N$ / (根/m <sup>3</sup> )	$S$ /mm	$\sum L$ / (km/m <sup>3</sup> )
纤维素纤维	$1.3 \times 10^9$	0.9	2 730
聚丙烯纤维	$7.3 \times 10^7$	2.4	1 314

## 2.3 纤维对混凝土砂浆基体早期干燥收缩裂缝的影响

纤维对混凝土基体早期干燥收缩裂缝的影响结果见表7。

表7 纤维对早期干燥收缩裂缝的减裂效果

编号	开裂系数 $C$ /mm	减裂率 /%
JZM	5.46	—
RSM	1.82	66.7
PPM	2.61	52.2

表7中的减裂率为与基准砂浆开裂系数相比掺纤维的砂浆开裂系数减少的百分比。由表7及图5

可知,在混凝土中掺入纤维能够限制塑性裂缝的扩张和延伸,表现在纤维混凝土板裂缝的宽度和长度都比基准混凝土低。其中纤维素纤维混凝土板的裂缝宽度降低43.5%,裂缝长度减少75.6%;而聚丙烯纤维混凝土板的裂缝宽度降低41.3%,裂缝长度减少18.2%。从裂缝面积来看,纤维素纤维混凝土板比基准混凝土板减少86.2%,而聚丙烯混凝土板减少52%。

纤维在塑性状态混凝土中的阻裂作用主要取决于单位体积混凝土中纤维的根数 $N$ 、纤维的平均中心间距 $S$ 与纤维的累计长度 $\sum L$ 。 $N$ 值越大、 $S$ 值越小、 $\sum L$ 值越大,则纤维的阻裂作用也越明显<sup>[6-9]</sup>。

由表6可知,纤维素纤维的 $N$ 值和 $\sum L$ 值分别是聚丙烯纤维的17.8倍和2.1倍,而 $S$ 值是聚丙烯纤维的0.375倍,根据上述规律可得出纤维素纤维在塑性状态混凝土中的阻裂作用强于聚丙烯纤维,试验结果也与此相符。

可知,2种纤维对早期干燥收缩裂缝均有一定的防裂作用,减裂率分别为66.7%和52.2%。纤维素纤维的防裂作用较好。这是因为纤维素纤维的弹性模量和抗拉强度均比聚丙烯纤维高(见表1),而这两个指标对控制早期干燥收缩裂缝十分重要。若要更好地控制早期干燥收缩裂缝,对纤维的弹性模量和强度指标要求较高,但目前看来,高弹性模量、高强度纤维的成本较高,在混凝土中应用较困难,因此开发出成本合理的高弹性模量、高强度纤维具有重要的实际工程意义。

## 2.4 纤维对混凝土抗渗性能的影响

纤维对混凝土抗渗性能的影响结果见表8。表8中的渗水高度指标为试验水压1.1 MPa时水渗入试件的高度。表8的试验结果表明:纤维提高了混凝土的抗渗性能,其中纤维素纤维使得混凝土抗渗等级提高2个标号,聚丙烯纤维提高1个抗渗等级,1.1 MPa水压时渗水高度比分别为31.7%和55.8%。在混凝土早龄期抗拉强度较低时,混凝土内部微裂

缝容易扩展,而纤维通过桥联搭接作用阻碍了混凝土内部微裂缝的扩展和连通,从而减少了混凝土的渗水通道.纤维素纤维除了阻碍微裂缝扩展和连通

之外,且具有一定的吸水性,有助于促进水泥水化,进而促使毛细孔细化,将部分有害孔转化为无害孔,提高了混凝土的抗渗性.

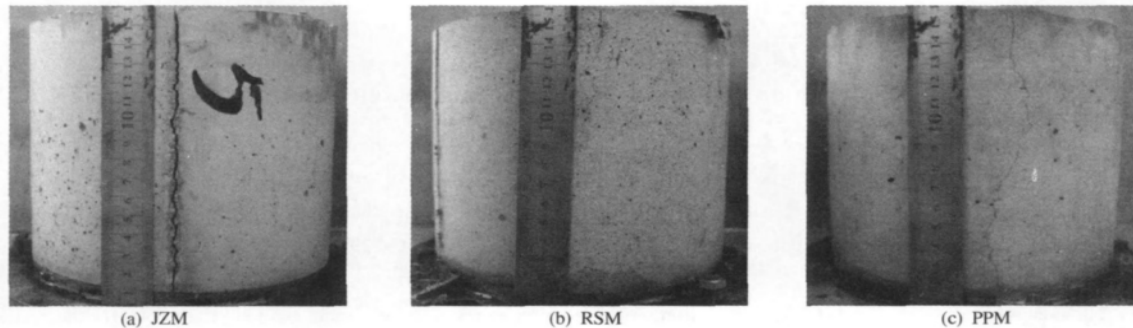


图 5 早期干燥收缩裂缝情况

表 8 纤维对混凝土抗渗性能的影响

编号	抗渗等级	渗水高度 /mm	渗水高度比/%
JZ	W10	104	100
RS	W12	33	31.7
PP	W11	58	55.8

## 2.5 纤维对混凝土抗冻性能的影响

纤维对混凝土抗冻性能的影响结果见表 9.

表 9 冻融循环后混凝土试件的相对动态弹性模量 %

编号	150 次	175 次	200 次	225 次	250 次
JZ	83.2	70.5	63.1	55.4	—
RS	91.4	87.6	82.5	75.7	67.4
PP	90.6	84.1	78.5	71.6	62.9

表 9 中的试验结果表明:纤维的掺入提高了混凝土的抗冻性能,纤维混凝土均比基准混凝土提高了 50 个抗冻标号.混凝土受冻时产生冻胀应力,此应力促进了混凝土内部微裂缝的产生和扩展,而纤维的掺入提高了混凝土冻融损伤过程中的能量损耗,抑制了微裂缝的扩展,延缓了混凝土损伤的过程,从而提高了混凝土经受冻融循环的次数,这对提高混凝土面板的服役性能具有积极意义.

## 3 结 语

1) 纤维素纤维对混凝土坍落度的影响较小,聚丙烯纤维对混凝土坍落度的影响稍大;2 种纤维对混凝土含气量的影响几乎可以忽略;与基准混凝土相比,纤维混凝土的力学性能略有提高,其中纤维素纤维的增强作用较好.

2) 纤维素纤维在混凝土塑性阶段具有显著的

减裂效果,减裂率达到 86.2%;聚丙烯纤维的减裂率为 52.0%,这是因为纤维素纤维混凝土的单位体积混凝土中纤维根数( $N$ )、纤维平均中心间距( $S$ )与纤维累计长度( $\sum L$ )等参数均优于聚丙烯纤维.

3) 纤维素纤维和聚丙烯纤维对早期干燥收缩裂缝具有抑制作用,减裂率分别为 66.7% 和 52.2%.

4) 纤维素纤维和聚丙烯纤维可以提高混凝土的抗渗性,与基准混凝土相比,纤维素纤维混凝土的抗渗等级提高了 2 个标号,聚丙烯纤维混凝土提高了 1 个标号.

5) 纤维素纤维和聚丙烯纤维提高了混凝土的抗冻性,抗冻标号比基准混凝土的提高了 50.

## 参 考 文 献

- [1] Ankit Bhargava, Nemkumar Banthia. Permeability of concrete with fiber reinforcement and service life predictions [J]. Materials and Structures, 2008, 41(2): 363-372.
- [2] Balaguru P. Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period [J]. ACI Materials Journal, 1994, 91(3): 280-288.
- [3] Banthia N, Yan C, Mindess S. Restrained shrinkage cracking in fiber reinforced concrete: a novel test technique [J]. Cement and Concrete Research, 1996, 26(1): 9-14.
- [4] Fisher A K, Bullen F, Beal D. The durability of cellulose fibre reinforced concrete pipes in sewage applications [J]. Cement and Concrete Research, 2001, 31(4): 543-553.
- [5] Macvicar R, Matuana L M, Balatinecz J J. Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites [J]. Cement & Concrete Composites, 1999, 21(3): 189-196.
- [6] 孙伟, Mandel J A. 纤维间距对界面层的影响 [J]. 硅酸盐学报, 1989, 17(3): 266-271.

- [7] 刘国平,马鹰,施慧聪,等.生态合成纤维抑制混凝土开裂性能的研究与应用[J].混凝土,2006(10):41-44.
- [8] 沈荣熹,崔琪,李清海,等.新型纤维增强水泥基复合材料[M].北京:中国建材工业出版社,2004:10-11.
- [9] Shiho Kawashima,Surendra P Shah. Early-age autogenous and drying shrinkage behavior of cellulose fiber-reinforced cementitious materials [J]. Cement & Concrete Composites,2011,33(2):201-208.

### Experimental Research on Application of Fibers in Concrete Face of Rockfill Dam

ZHAO Zheng<sup>1</sup>, SHI Jian-jun<sup>2</sup>, SHI Hui-cong<sup>1</sup>, LIU Guo-ping<sup>1</sup>, LI Zi<sup>1</sup>

(1. Shanghai Royang Innovative Material Technologies Co., Ltd., Shanghai 200092, China;

2. Baiyekou Reservoir Construction Bureau, Lvliang 032299, China)

**Abstract:** The concrete face slab of rockfill dam has a large surface area and a relatively small thickness, thus under the restraints of foundation and reinforcements, it inclines to form plastic cracking and early dry shrinkage cracking. In this paper, the effects of cellulose fiber and polypropylene fiber on plastic cracking and early dry shrinkage cracking of face slab concrete, and also on concrete impermeability and freezing resistibility. The results show that cellulose fiber has notable effect on concrete plastic cracking and reduces cracking area by 86.2%, while polypropylene fiber only reduces cracking area by 52.0%; cellulose fiber and polypropylene fiber both have certain effects on reducing early dry shrinkage cracking, cracking area reduced by 66.7% and 52.2% respectively; cellulose fiber and polypropylene fiber can improve concrete impermeability and freezing resistibility, in which, the impermeability grade of cellulose fiber concrete is improved by 2, that of polypropylene fiber concrete is improved by 1, and the freezing resistibility grade is both improved by 50.

**Key words:** cellulose fiber; plastic cracking; early dry shrinkage cracking; impermeability; freezing resistibility

(责任编辑:杜明侠)