

聚丙烯纤维喷射混凝土在大朝山水电站大坝的应用

何军拥¹, 田承宇²

(1. 广州航海高等专科学校, 广东 广州 510330; 2. 中国水利水电第八工程局科研设计院, 湖南 长沙 410007)

摘要: 介绍了聚丙烯纤维喷射混凝土的特点及其配合比设计. 在大朝山水电站大坝实际应用的效果表明, 聚丙烯纤维喷射混凝土具有良好的防裂性和耐久性能.

关键词: 聚丙烯纤维; 喷射混凝土; 配合比设计; 大朝山水电站

中图分类号: TV544.923:TU528.572 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-640X(2007)01-0053-04

Application of polypropylene fiber shotcrete in the dam of Dachaoshan Hydropower Plant

HE Jun-yong¹, TIAN Cheng-yu²

(1. *Guangzhou Maritime College, Guangzhou 510330, China*; 2. *Research Institute of the Eighth Water Resources and Hydropower Engineering Bureau, Changsha 410007, China*)

Abstract: The characteristics and mixture ratio design of the polypropylene fiber shotcrete are introduced. Application effects on the dam of Dachaoshan Hydropower Plant show that the polypropylene fiber shotcrete has high anti-fission performance and durability.

Key words: polypropylene fiber; shotcrete; mixture ratio design; Dachaoshan Hydropower Plant

聚丙烯纤维抗拉强度高,能耐酸、碱、盐等化学腐蚀. 掺入占混凝土体积 0.05% ~ 0.20% 的聚丙烯纤维,既可有效地抑制混凝土的塑性收缩开裂,改善混凝土的抗渗、抗冻和抗蚀等性能,又可提高混凝土的抗冲击性、柔韧性和抗疲劳性. 加之,聚丙烯纤维的价格低廉,掺入的工艺简单,已在国内外得到了广泛应用^[1]. 1989 ~ 1995 年,美国 SuryMountain 坝、PalmerPond 坝、Webber 坝和 Croton 坝的修复工程,均采用了聚丙烯纤维混凝土;我国长江上的三峡大坝 E-120 栈桥为满足建筑物耐磨、抗冲击性能的要求,采用美国 Dura 纤维增强混凝土也取得了良好的效果^[2]. 在混凝土面板中掺入聚丙烯纤维,可提高其结构的抗裂、防渗、抗冻和抗变形能力. 目前,我国已能够生产符合工程要求的改性聚丙烯纤维丝和纤维网,且价格约为进口聚丙烯纤维的 1/2 ~ 1/3,为推广聚丙烯纤维混凝土在工程中的应用创造了有利条件.

大朝山水电站的主体工程—碾压混凝土大坝全长 460 m,高 111 m,混凝土总浇筑量为 130 万 m³. 大坝的 #21、#20 和 #9 坝段上游面在施工后期出现了严重开裂,为确保大朝山水电站首台机组按期投产发电,经研究,决定在常规裂缝处理措施的基础上,再在其面层喷射 20 cm 厚的聚丙烯纤维混凝土,且当喷至 7 cm 厚时,沿裂缝走向布设方格尺寸为 20 cm×20 cm 的 $\Phi 6$ 钢筋网. 本文结合大朝山水电站碾压混凝土大坝上游面裂缝的处理,探讨了聚丙烯纤维喷射混凝土在水工结构混凝土中的应用.

收稿日期: 2006-08-24

作者简介: 何军拥(1971-),男,湖南邵阳人,讲师,硕士,主要从事纤维混凝土复合材料的工程应用研究.

1 聚丙烯纤维喷射混凝土配合比设计

1.1 设计要求

设计部门对喷射混凝土 28 d 的性能指标作出的规定为:①抗压强度大于 25 MPa;②粘结强度大于 1.3 MPa;③回弹率小于 25%;④相对渗透系数小于 0.6×10^{-6} cm/h;⑤极限拉伸值大于 1.2×10^{-4} 。此外,为保证喷射混凝土有足够的初期强度并满足施工的需要,根据《水工混凝土施工规范》^[3]的规定,其水灰比的正常值一般取为 0.40~0.50,当骨料最大粒径小于 15 mm 时,砂率范围为 50%~60%,拌合物坍落度应控制在 10~12 cm 以内。

1.2 原材料

(1)水 泥 为了节约水泥、降低混凝土的水化热温升,在保证强度、耐久性、喷层性能指标和施工工艺的前提下,尽量减少水和水泥的用量。根据设计,大坝工程用水泥为云南红塔滇西生产的 42.5 强度等级的普通硅酸盐水泥。按《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》^[4]检测水泥的 28 d 抗压强度为 55.1 MPa、抗折强度为 8.65 MPa。

(2)骨 料 砂石料的质量必须满足《水工混凝土施工规范》^[3]的有关规定。最大石子粒径小于 15 mm,且应满足级配的要求。因此,采用大朝山 DCS/C2 标人工砂系统生产的玄武岩人工中砂,其表观密度为 2.72 g/cm^3 ,细度为 2.66;粗骨料为 5~10 mm 的米石连续级配,其表观密度为 2.79 g/cm^3 。

(3)砂 率 结合小湾水电站工程湿喷纤维混凝土的成功经验,考虑到粗骨料的粒径小于 15 mm,砂率宜取为 60%~70%,故选取 57%、60%、67% 和 70% 进行试验。

(4)外 加 剂 按设计要求,喷射混凝土中掺入麦斯特(上海)建材有限公司生产的高效减水剂、速凝剂和硅粉 3 种外加剂:①高效减水剂(型号 RH1100)为水剂,在水泥中的适宜掺量为 700~2 000 mL/100 kg。本次试验中的掺量为 1 500 mL/100 kg。在此掺量下,保持水灰比为 0.5,测得减水率为 18.2%。②作为矿物外加剂的硅粉能增加喷射混凝土拌合物的粘稠性,增强抗渗性。本次试验采用外掺,掺量为 20 kg/m^3 。③无碱高性能速凝剂(型号 SA160)为水剂,密度为 1.41 kg/L,温度为 20℃ 的 pH 值为 2.5。推荐掺量为水泥重量的 6%~10%。本次试验取速凝剂与水体积共为 160 mL。因速凝剂掺量对混凝土强度、和易性影响很大,为了测定合适的掺量,按照《喷射混凝土用速凝剂》^[5]的标准进行试验。试验结果见表 1。可见,SA160 速凝剂与滇西 42.5 强度等级普通硅酸盐水泥适应性良好,掺量 8% 即可达到合格品;掺量 9% 时,达到一等品。实际工程施工中取掺量为 9%。

本次试验的投料顺序为:石子+聚丙烯纤维+水泥+砂(干拌 2 min)→水+外加剂(湿拌 3 min)→混凝土。

表 1 SA160 速凝剂性能试验结果

Tab.1 Experimental results of SA160 accelerating admixture

项 目	凝结时间/ s		1 d 抗压强度 / MPa	28 d 抗压强度比 / (%)	
	初凝	终凝			
产品等级	一等品	≤180	≤600	≥8	≥75
	合格品	≤300	≤600	≥7	≥70
试验掺量/ (%)	6.0	>900		14.1	93.4
	8.0	342	684		
	8.5	228	510		
	9.0	158	228	16.2	97.4
	10.0	86	141		

注:28 d 抗压强度比为喷射混凝土掺速凝剂与不掺时的抗压强度之比。

(5)聚丙烯纤维 聚丙烯纤维是由丙烯聚合物或共聚物制成的烯烃类纤维,为完全不吸水的中性材料,且与酸碱不起作用。当聚丙烯纤维的掺量仅为混凝土体积的 0.1% (约 $0.9 \sim 1.2 \text{ kg/m}^3$),即在 1 m^3 混凝土中可以有数千万根纤维随机分布时,可极大地改善混凝土韧性和阻裂性。本文的试验采用了中国纺织大学和

上海建筑科学研究院联合研制的、方大特种纤维有限公司生产的改性 PP 纤维。该公司生产的聚丙烯纤维性能见表 2。本试验采用 1.5 kg/m^3 、 2.0 kg/m^3 和 2.2 kg/m^3 三种掺量进行试验。

表 2 聚丙烯纤维性能品质标准

Tab. 2 Physical and mechanical properties of the polypropylene fiber

密度 / $(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	直径 / μm	长度 / mm	燃点 / $(^\circ\text{C})$	熔点 / $(^\circ\text{C})$	弹性模量 / MPa	抗拉强度 / MPa	极限拉伸应变 / $(\%)$
0.91	20~40	15±1	590	160~170	3 400~3 500	200~300	59.9

2 聚丙烯纤维喷射混凝土性能试验

2.1 混凝土拌和物性能试验

由于掺入了速凝剂的喷射混凝土会瞬间凝固,故无法与普通混凝土一样进行配合比设计,只得在添加速凝剂前按普通混凝土配合比作成拌和物,并参照《普通混凝土拌合物性能实验方法》^[6]测量拌和物的坍落度等。考虑到修复用的喷射混凝土(C25)的设计强度指标较低,且外掺物太多会增加称料程序,故进行了不掺硅粉的聚丙烯纤维混凝土试验。试验结果见表 3。可见,由于聚丙烯纤维、高效减水剂掺量均较大,导致混凝土的泌水率也较大,不掺硅粉时混凝土的泌水率更是高达 10%。设计要求拌合物的坍落度应控制在 10~12 cm,从 4、5 号试件的测定结果来看,在外掺高效减水剂、硅粉,高砂率,纤维大掺量等因素的共同作用下,聚丙烯纤维喷射混凝土的和易性良好,也降低了泌水率。

表 3 聚丙烯纤维混凝土拌和物的用量及物理性能试验结果

Tab. 3 Composition and experimental results of the polypropylene fiber concrete mixture

试件 编号	水灰比	用水量 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	砂率 / $(\%)$	高效减水剂 / $(\text{mL} \cdot (100 \text{ kg})^{-1})$	聚丙烯纤维 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	硅粉 / $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	坍落度 / cm	泌水率 / $(\%)$
1	0.40	198	57	1 800	2.0		12.5	
2	0.45	197	60	1 800	1.5		9.7	
3	0.45	202	60	1 800	2.0		10.2	10.00
4	0.45	217	67	1 500	2.2	20	11.8	5.78
5	0.50	225	70	1 500	2.2	20	11.8	5.12

2.2 聚丙烯纤维混凝土力学性能和抗渗透性能

按设计要求,需进行聚丙烯纤维混凝土的抗压强度、粘结强度、渗透系数、极限拉伸应变和回弹率等 5 项性能测试,其中,回弹率只能在现场喷射混凝土时才能测试。聚丙烯纤维混凝土力学性能和抗渗透性能试验结果见表 4。

表 4 聚丙烯纤维混凝土物理力学性能试验结果

Tab. 4 Experimental results of physical and mechanical properties of the polypropylene fiber

试件 编号	弹性模量 / $(\times 10^4 \text{ MPa})$	抗压强度 / MPa		劈裂抗拉强度 / MPa	粘结强度 / MPa	极限拉伸应变 / $(\%)$		渗透系数 / $(\times 10^{-9} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$
		7 d	28 d	28 d	28 d	7 d	28 d	
1		36.7	51.2	3.42				
2	3.0	31.6	40.2	2.81		0.0145		0.49
3	3.1	34.1	45.4	2.83		0.0140		0.50
4	3.0	33.1	40.9	3.07	1.76	0.0149	0.0179	0.01
5	2.8	30.9	38.3	2.36	1.36	0.0142	0.0156	0.21

抗压强度和劈裂抗拉强度试验测定的方法见文献[7]. 粘结强度的测定按《喷射混凝土施工技术规程》^[8]进行. 抗渗性能的试验方法按《水工混凝土试验规程》^[9]进行.

3 校核试验

取聚丙烯纤维样品进行聚丙烯纤维混凝土试拌校核试验. 试验材料为韶峰 42.5 强度等级普通硅酸盐水泥、沙牌花岗岩碎石、湘江天然砂和掺量为 0.8% 的 TG-2 高效减水剂. 试验结果见表 5. 可见, 试拌的聚丙烯纤维混凝土能满足强度要求, 但和易性略偏低. 建议根据施工时聚丙烯纤维混凝土的坍落度大小加入适量的稠度剂.

表 5 聚丙烯纤维混凝土校核试验结果

Tab. 5 Checking test results of the polypropylene fiber

水灰比	用水量 / (kg·m ⁻³)	砂 率 / (%)	减水剂 / (%)	聚丙烯纤维 / (kg·m ⁻³)	坍落度 / cm	7 d 抗压强度 / MPa	28 d 抗压强度 / MPa	28 d 极限拉伸应变 / (%)
0.45	194	56	0.8	2.0	9.6	32.1	36.9	0.015

4 工程应用效果分析

在上述试验的基础上, 经过现场校核后, 确定了大朝山水电站大坝工程喷射混凝土施工配合比. 施工中, 尽管聚丙烯纤维混凝土具有较高的粘稠性, 但因聚丙烯纤维有润滑作用, 喷射聚丙烯纤维混凝土的初始速度仅为普通喷射混凝土的 70% ~ 80%, 因而可大大减少喷射聚丙烯纤维混凝土的回弹量, 经喷射现场实测, 回弹率小于 20%, 从而能保证混凝土的强度. 实践表明, 将聚丙烯纤维喷射混凝土应用于大朝山水电站大坝面板混凝土裂缝的修复工程中, 使面板的裂纹总数量、宽度、深度和长度都得到了明显地改善. 到 2005 年底为止, 该坝在经受了蓄水运行考验后, 混凝土面板的裂缝已很少.

5 结 语

(1) 聚丙烯纤维混凝土具有粘稠性高、回弹率小、成本低和对喷射机械磨损少等优点, 很适合用于喷射混凝土;

(2) 外加剂的掺量应精确控制. 速凝剂的掺量若偏大, 会使聚丙烯纤维喷射混凝土的强度大幅降低、和易性变差等. 还应注意, 掺外加剂的混凝土拌和后超过 1 h 就不可使用;

(3) 组份投料的顺序要正确无误, 并确保必需的拌和时间, 以利纤维分散均匀;

(4) 聚丙烯纤维可提高混凝土早期极限拉伸率, 耐久性能好, 特别是耐化学腐蚀性强. 因此, 对改善水工混凝土结构的耐久性能、抗裂能力等均十分有利.

参 考 文 献:

- [1] 卢安琪, 祝烨然, 李克亮, 等. 聚丙烯纤维混凝土试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2002, (4): 14-19.
- [2] 王 岩, 王海川, 方元龙. 新沭河泄洪闸闸墩工程聚丙烯纤维混凝土的应用[J]. 江苏建筑, 2005, (1): 51-53.
- [3] DL/T 5144-2001, 水工混凝土施工规范[S].
- [4] GB175-1999, 硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥[S].
- [5] JC 477-92, 喷射混凝土用速凝剂[S].
- [6] GB/T 50080-2002, 普通混凝土拌合物性能实验方法[S].
- [7] 洪 雷. 混凝土性能及新型混凝土技术[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2005. 138-145.
- [8] YBJ 226-91, 喷射混凝土施工技术规程[S].
- [9] DL/T 5150-2001, 水工混凝土试验规程[S].