

龙滩地下引水发电系统聚丙烯纤维喷射混凝土施工

杨示文, 全燕文

(1. 广西龙滩 1478 联营体, 广西 天峨 547300; 2. 广西燕宏经贸有限责任公司, 广西 南宁 530023)

摘要:为了改善龙滩地下引水发电系统洞室群开挖支护混凝土的支护效果, 在喷射混凝土中掺入适量的抗老化和分散性较好的改性聚丙烯微纤维, 通过微纤维在喷射混凝土中均匀无序的分布作用下, 研究其工作性和抗裂、防裂性能以及混凝土与围岩、钢筋网的粘结强度、喷射混凝土回弹量等的关系, 论证在洞室支护中喷射聚丙烯微纤维混凝土的可行性及其洞室快速、安全、优质支护的实效。

关键词:聚丙烯微纤维; 喷射混凝土; 工程施工; 龙滩水电站

中图分类号:TV544+.923 **文献标识码:**B **文章编号:**1001-408X(2004)04-0039-04

1 前言

广西龙滩水电站工程是国内继三峡后目前正在建的第二大水电工程, 电站总装机容量为 6 300 MW (二期后)。其中有两项世界之最: 即碾压混凝土大坝坝高 216 m (二期后); 地下厂房的跨径为 30.7 m。该工程地下发电站分为引水、厂房(主厂房、主变室、尾水调压井)、尾水三大系统。共由 119 条隧洞, 总长近 30 km 的地下洞群组成。

地下厂址洞室的岩层主要为砂岩、粉砂岩以及部分泥板岩, 洞室围岩性质大部分为Ⅲ类, 另有Ⅳ、Ⅴ岩石。由于洞室之间相互交叉, 高低错落, 洞与洞之间相距较近, 开挖支护安全显得尤其重要。

为了保证龙滩工程地下洞室群施工及运行期间的围岩稳定, 在开挖过程中主要采用了锚杆、锚索、喷射混凝土支护型式。在围岩上喷射混凝土, 使锚杆、锚索和喷射混凝土迅速形成一个安全保护层是支护的重要手段。其中, 在喷射混凝土中掺加聚丙烯

微纤维, 由于微纤维在混凝土中构成一种均匀的多向网状体系, 纤维与纤维的编织作用使混凝土的抗拉、抗裂及韧性迅速增加, 产生一种有效的二级加强效果, 从而更加强了喷射混凝土的施工质量和开挖支护的安全性。

2 聚丙烯微纤维混凝土的材料特性

聚丙烯微纤维喷射混凝土是以水泥基为主胶结材料的混凝土中掺加一定量的聚丙烯微纤维制成。因此, 其材料必须满足施工技术规定的材质要求和喷射混凝土的各项性质。

2.1 水泥

采用贵州都匀“剑江”牌 P.O42.5 级普通水泥, 各项物检指标满足 GB175-1999 有关规定要求。

2.2 砂、石骨料

砂、石骨料使用坝址附近麻村石灰岩为母材的人工骨料, 其骨料级配和相关指标如表 1, 表 2。

表 1 喷射混凝土细骨料检测成果表

筛孔尺寸 mm	10	10~5	5~2.5	2.5~1.25	1.25~0.63	0.63~0.315	0.315~0.16	<0.16	细度 %
分计筛余 %	0	13	4.1	15.5	30.9	18.3	12.5	8.4	2.75

2.3 外加剂

聚丙烯喷射混凝土中使用的外加剂主要有高效

减水剂 JM-B 及碱性液体速凝剂, 检测指标如表 3。

收稿日期: 2004-06-20

作者简介: 杨示文(1959-), 男, 湖南永州人, 高级工程师, 主要从事试验研究工作。

表 2 喷射混凝土粗骨料检测成果表

项目	0.6	1.2	2.5	5	10	15
实测(累计通过量%)	0.4	0.6	0.8	3.3	82.8	100

表 3 JM-B 和速凝剂检测成果表

品名	掺量 %	减水率 %	泌水率比 %	凝结时间 min		1 d 抗压强度 MPa	抗压强度比 %		
				初凝	终凝		3 d	7 d	28 d
JM-B	0.6	18	35.0	+57	+34	—	139	—	130
速凝剂	3.5	—	—	1:44	5:30	7.6	—	—	70

合;③独特的速溶袋装形式。该产品材质经国家水泥混凝土制品质量监督检验中心和江苏纺织产品质量监督检验测试中心检验,品质满足 GB/T50080-2002 和 Q/32118/BH010-2003 的标准,其主要检测指标见表 4。

表 4 “国产”聚丙烯微纤维材质检验成果表

序号	检测项目	单位	标准要求	本工程技术要求	检测结果
1	线密度	Dtex	10~20	—	11
2	抗拉强度	MPa	≥358	≥500	581
3	抗拉强度(酸)	MPa	≥358	—	551
4	抗拉强度(碱)	MPa	≥358	—	556
5	酸性溶解度	%	≤0.5	—	0.4
6	碱性溶解度	%	≤0.5	—	0.2
7	初始模量	MPa	≥3 860	—	5 250
8	熔点	℃	160~170	—	167~170
9	比重	g/cm ³	0.91	0.19~1.0	0.91
10	长度	mm	—	12~19	10、15、19

3 聚丙烯微纤维喷射混凝土配合比

根据喷混凝土的各项性能要求,在满足喷混凝土强度保证率 95% 的同时,选择喷混凝土的强度标准差为 5 MPa,按喷混凝土配制强度设计理论,则有 $f_{cu28} = f_{cu,k} + \sigma \cdot t = 25 + 5 \times 1.645 = 33.2$ MPa 考虑到现场喷射时,由于速凝剂的强降作用,则实际配制强度应在 43.2 MPa。通过水胶比与强度关系试验的成果分析,确定满足本工程三大系统洞室聚丙烯喷射混凝土的配合比如表 5 所示。

2.4 聚丙烯微纤维

聚丙烯微纤维的主要特点是:①采用了特殊的纤维表面处理技术(即在 200 倍显微镜下,纤维断面呈星型截面);②纤维中长短丝按一定比例搭配混

表 5 聚丙烯微纤维混凝土配合比表

强度等级	配制强度 MPa	水胶比	砂率 %	每方材料用量 kg/m ³						力学性能指标 MPa	
				用水量	纤维	水泥	砂	5~15	JM-B	抗压 28 d	抗拉 28 d
C25	43.2	0.41	70	200	0.9	488	1 142	488	2.929	47.0	3.54
	设计要求									>25	>2.3

4 聚丙烯微纤维喷射混凝土现场工艺研究

为了检验聚丙烯喷射混凝土现场施工工艺的效果,确保喷射混凝土的施工质量,在室内配合比试验研究的基础上,就聚丙烯微纤维在喷射混凝土中的分散均匀性、与基岩的粘结强度和喷射回弹量三个方面进行了检验分析。

4.1 分散均匀性

聚丙烯微纤维在喷射混凝土中的分散均匀性是在工地 1×1.0 m³ 的双轴强制式拌和楼上进行,在砂、石骨料称量进斗后,直接将两袋(每袋 450 g)丹强丝投入料斗内,进料后加水 and 外加剂搅拌 50 s,出料取样按一盘的前、中、后各取一个样,用水洗分离法进行均匀性检验,其检验结果见表 6。

表 6 聚丙烯微纤维在喷射混凝土中均匀性分析成果表

接料顺序	混凝土种类	水灰比	纤维掺量 kg/cm ³	样品重 g	纤维重 g	含量 %
前	喷射混凝土	0.41	0.9	3 090	1.4	0.045
中				3 120	1.2	0.038
后				3 446	1.2	0.035

从出机口喷射混凝土拌和物看,混凝土材料中单丝分布均匀,从表 6 取样检测结果分析,混凝土各

点的纤维含量基本接近,因此说明,速溶袋装纤维经搅拌后的分散性良好。

4.2 现场喷射聚丙烯微纤维混凝土回弹量

聚丙烯微纤维喷射混凝土回弹量分别在主厂房、主变室和尾水洞等部位进行了多点测试。试验时采用上海麦斯特湿喷机喷射混凝土,在喷咀部位掺加碱性液态速凝剂,掺量 3.5%,电脑控制喷射参数,并按喷射工艺要求将喷射区域喷护到规定的厚度,然后进行回弹量测试,其成果列入表 7。

表 7 聚丙烯微纤维喷射混凝土回弹量测试成果表

水灰比	速凝剂 掺量 %	喷射 混凝土量 kg/cm ³	回弹量 kg/m ³	加弹率 %	设计 回弹率 %	素喷 回弹率 %
0.41	3.5	2 320	218	9.4	≤10.0	11.2

从表 7 可见,尽管本工程喷射混凝土骨料中的米石级配欠佳,但掺聚丙烯微纤维后其混凝土的回弹率仍能满足技术要求。且在相同条件下掺加聚丙烯微纤维后,喷射混凝土的回弹率较素喷有所降低。所以,湿喷混凝土中掺加聚丙烯微纤维有改善混凝土喷射质量的作用。

5 聚丙烯微纤维喷射混凝土施工

通过聚丙烯微纤维喷射混凝土的各项性能及工艺研究,证明在喷射混凝土中掺加聚丙烯纤维后,其喷射混凝土的工作性、力学性、抗裂性均有所提高,喷射混凝土的回弹量降低,同时对地下洞室连续开挖施工进度有利。因此,在龙滩地下引水发电系统的开挖支护施工中聚丙烯微纤维喷射混凝土得到了广泛应用。

5.1 施工工艺过程

在地下引水发电系统各洞室的侧墙安全支护施工中,除引水系统的局部由于不能使用大型喷车而采用素喷外,其余洞室侧墙均使用聚丙烯微纤维喷射混凝土支护。整个工艺流程为集中拌料→罐车运输→麦斯特湿喷机喷护成型。每工艺过程均按要求严格控制。

5.1.1 集中拌料

聚丙烯微纤维喷射混凝土是在 1 号公路拌和站由 1×1.0 m³ 的双轴强制式拌和机拌和,进料顺序为石、砂、聚丙烯微纤维水泥、水和外加剂,拌和时间 50 s,控制喷射混凝土的出机口坍落度在 12~16 cm。

5.1.2 罐车运输

所有喷混凝土均由混凝土搅拌车在拌和楼接料运往洞内各支护点,运输时间约 5 min,喷混凝土的运输过程实际是一个再搅拌过程,因此,经过两次搅拌到达支护现场的微纤维混凝土更加均匀。

5.1.3 喷射支护

在聚丙烯微纤维混凝土喷射支护前,要喷护的洞室墙面先经过安全处理,对已松动的小块岩石先将其撬下,并根据围岩的节理及结构部位先进行锚杆和锚索支护,然后高压水清洗墙面,待墙面无自由水后即进行聚丙烯微纤维混凝土喷护。喷护是用麦斯特车载湿喷机(喷射能力 10~15 m³/h,输送压力 6~8 kg),喷护时碱性速凝剂在喷头处掺加,掺量 3.5%,喷咀距离岩面一般在 50~100 cm,喷射角大于 70°,每次喷射厚度 5~7 cm,一般分两次喷射到总厚度 10~15 cm。按此法严格控制,可以连续喷射支护,回弹量和吊块现象很少。到目前为止,龙滩工程地下引水发电系统洞室群的开挖支护已近尾声,总计喷射聚丙烯微纤维混凝土近 3.0 万 m³。

由于采用聚丙烯微纤维喷射混凝土和先进的湿喷施工工艺,有效地降低了洞室粉尘浓度,改善了洞室施工的环境条件;尽管喷射混凝土所使用的米石级配较差,但聚丙烯微纤维的加入,仍有效地减少了喷射混凝土的回弹量,使本工程喷射混凝土支护质量有了明显提高。

5.2 聚丙烯微纤维混凝土施工质量评价

为了检验聚丙烯微纤维喷射混凝土的施工质量,在现场用大板试模取样检验其喷射混凝土的力学和耐久性能,并在三大洞室不同高程的侧墙随机抽检喷射混凝土粘结强度,其综合性能指标列入表 8。

从表 8 的检测数据可见,本工程洞室喷射聚丙烯微纤维混凝土的抗压、抗拉及粘结强度以及耐久性指标均满足设计要求,质量指标检测合格率 100%,强度保证率达 95% 以上,从喷护面观察,喷护之后洞室围岩稳定,未发现支护混凝土裂缝以及掉渣、掉块现象,说明聚丙烯微纤维喷射混凝土的支护效果是很好的。

6 结束语

龙滩电站引水发电系统地下洞室群在开挖支护施工时,因洞室的结构要求不同使用了素喷、聚丙烯、钢纤维等品种的喷射混凝土。聚丙烯微纤维亦先后使用了几个品种。综合从试验到现场施工整个过程,就喷射聚丙烯微纤维混凝土而言,总的有如下认识:

表 8 聚丙烯微纤维喷射混凝土综合检测成果表

部 位	水灰比	砂率 %	速凝剂掺量 %	微纤维 kg/m ³	抗压 fcu.28 MPa	抗拉 fts.28 MPa	冻融 F(100)	粘结强度 MPa	平均回弹量 %
侧墙	0.41	70	3.5	0.9	36.8	2.67	>100	0.73	9.4

(1) 在喷混凝土中加入聚丙烯微纤维可以降低喷射回弹量,且由于纤维在混凝土中的乱向分布,使混凝土的工作性和混凝土与岩石的粘结强度提高;

(2) 使用聚丙烯微纤维后,由于纤维的截面形状和长短搭配特点使纤维与骨料及钢筋网的握裹作用进一步加强;

(3) 喷射混凝土中加入聚丙烯微纤维后,由于

纤维在混凝土中的无序网状链接,使喷混凝土的韧性增强,混凝土的抗裂、限裂能力提高,洞室支护的安全系数加大。

(4) 喷混凝土中掺加聚丙烯微纤维后,在保证混凝土工作性不变的情况下,混凝土的用水量提高。

(5) 其速溶袋装形式使投料更加方便,特别是环境污染得到了有效控制,降低了环保成本。

Sprayed Concrete Construction with Polypropylene Fibre for the Underground Diversion System of Longtan Project

YANG Shi-wen¹, QUAN Yan-wen²

(1. Guangxi Longtan 1478 Joint Venture; 2. Guangxi Yanhong Economy & Trade Co. Ltd.)

Abstract: In view of improving the concrete supporting during the tunnels excavation of the underground water diversion system of Longtan, a moderate quantity of polypropylene with good aging-proof and dispersive performance is mixed in the sprayed concrete, and the uniform and disorder action of the fibre on the concrete performance is analyzed, such as workability, anti-cracking, binding strength of concrete to the surrounding rock and reinforcement fence, and the rebounding of sprayed concrete, etc., so as to demonstrate the feasibility of adding the polypropylene fibre to concrete and its good performance in fast, safe and reliable supporting.

Key words: polypropylene fibre; sprayed concrete; construction; Longtan Hydropower station

全国优秀科技期刊 广西十佳科技期刊

《红水河》杂志 2005 年征订启事

《红水河》属国内外公开发行的科技期刊,为中国科技论文统计源期刊,《中国学术期刊(光盘版)》入编期刊,《中国科学技术期刊文摘数据库(CSTA,英文版)》入选期刊,并全文入编《中国期刊网》、《万方数据(ChinaInfo)系统科技期刊群》、《中文科技期刊数据库》,本刊在 CODEN 国际刊名中心的代码为 HNGSEK。

本刊是水力发电技术刊物,内容丰富、信息量大、实用性强、编辑严谨。主要栏目设有“水电规划和动能经济”“工程地质与勘测”“水工设计与施工”“机电设备与金属结构”“水电站运行”“试验研究”“环境监测与环境评价”“水库移民”“计算机应用”等,内容涉及高坝建设关键技术研究和高坝快速施工技术,各大、中型水电站建设的新理论、新技术、新方法、新材料、新工艺和新型机电设备的研应用以及经验交流,开展水电学术理论探讨,推动解决技术难题,提高技术水平。

本刊的读者对象主要是:从事水电工作的各级管理人员及广大工程技术人员、大中专院校师生。

竭诚欢迎各单位各界人士订阅。另外本刊亦开展广告业务,欢迎惠顾。

本刊每册定价 6 元,全年四期定价 24 元(含邮费),请直接向《红水河》编辑部订阅。

地 址:广西南宁市建政路 10 号

电 话:(0771)5699109

邮 编:530023

开户银行:建行南宁市民主支行园湖分理处

帐 号:45043004324100743

开户单位:红水河杂志编辑部