

巴塘水电站地下洞室湿喷混凝土配合比设计

罗 鹏, 吕 彩 云, 姜 帆

(中国水利水电第五工程局有限公司中心试验室,四川成都 610066)

摘要:喷射混凝土作为初期支护的重要组成部分在水电站大跨径地下洞室中对保证围岩稳定和施工安全的作用尤为明显。介绍了巴塘水电站导流洞工程湿喷混凝土配合比的设计情况,提出了湿喷混凝土配合比配制强度必须考虑速凝剂抗压强度比的损失量的观点,根据现场喷混凝土试验的回弹率确定砂率、验证喷混凝土的力学性能,设计出满足施工需求、经济效益最大化的湿喷混凝土配合比。

关键词:初期支护;地下洞室;湿喷混凝土配合比;巴塘水电站

中图分类号:TV7;TV52;TV33;TV43;TV544 文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2021)增1-0022-04

Mix Design of Wet Shotcrete in Underground Cavern of Batang Hydropower Plant

LUO Peng, LV Caiyun, JIANG Fan

(Central Laboratory of Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: As an important part of primary support, shotcreting is critical to stability of the surrounding rock and construction safety in large-span underground cavern of hydropower station. This paper introduces the mix design of wet shotcrete applied in the diversion tunnel of Batang Hydropower Station, and puts forward the idea that preparation strength in mix design of wet shotcrete must consider the loss of rapid condensate compressive strength ratio. After field test of the rebound rate and verifying the mechanical performance of wet shotcrete, sand ratio is determined, and a mix design meeting the construction requirements and minimizing the cost is applied.

Key words: primary support; underground caverns; mix design of wet shotcrete; Batang HPP

1 概述

巴塘水电站C2标工程中的导流洞为城门洞型,长度为796.03 m,过流断面尺寸为(宽)14 m×(高)12 m,最大断面尺寸达273.5 m²,最大跨径达20.3 m,属特大型断面;导流洞所处岩体:Ⅲ类围岩长464.76 m、Ⅳ类围岩长176 m、Ⅴ类围岩长155.27 m,岩体整体风化、卸荷剧烈,导流洞先后穿越四处断层破碎带,施工难度较大。施工过程中采取了喷射混凝土封闭开挖面、超前锚固、底拱锚固或封闭仰拱等措施进行锚喷联合支护。

喷射混凝土的施工工艺是借助喷射机具利用压缩空气将按照比例配制的混凝土混合料通过管道输送、高速喷射到受喷面上迅速挤压凝结硬化形成混凝土的一种工艺。由于其施工便捷、凝结时间快、能够紧跟开挖工作面进行支护,确保了开挖面短时间内达到稳定和安全,有利于下一道工

序施工,故其应用十分广泛。该导流洞洞身段喷射混凝土施工工艺为湿喷。项目部技术人员对如何科学、合理地拌制出符合相关规范及设计要求、满足施工需求的湿喷混凝土配合比进行了研究。

2 原材料试验

(1)水泥。该工程使用的四川峨胜水泥集团股份有限公司生产的P. O42.5水泥作为此次配比试验用的水泥,所检各项指标均满足规范^[1]对P. O42.5水泥的要求。

(2)骨料。骨料选用粒径小于15 mm的粗细骨料混合料连续级配,粗骨料碱活性膨胀率为0.078%,细骨料碱活性膨胀率为0.08%,骨料检测为非碱活性骨料。骨料所检项目均符合规范^[2~3]的要求。

(3)速凝剂。速凝剂采用四川省晋川建材有限公司生产的液体速凝剂,速凝剂的掺量为7%,水泥净浆的初凝时间为3 min 2 s,终凝时间为7

收稿日期:2021-06-16

min 4 s, 水泥砂浆 1 d 的抗压强度为 8.9 MPa, 28 d 的抗压强度比为 76%, 所检指标满足规范^[3~4]的要求。

(4) 拌和用水。配合比拌和用水为和达通沟营地生活用水, 其碱含量为 388.69 mg/L, 氯化物(以 Cl⁻计)为 373.54 mg/L, 检测结果符合《水工混凝土施工规范》(DL/T5144—2015)对水质的要求。

表 1 喷射混凝土配合比设计要求表

强度等级 /MPa	黏结强度 /MPa	施工工艺	胶骨比	水胶比	砂率 /%	设计坍落度 /mm
C20	0.5	湿喷	1:3.5~1:4	0.42~0.5	50~60	80~120

3.2 试配强度

普通 C20 混凝土的试配强度按下式确定:

$$f_{cu,o} \geq f_{cu,k} + 1.645\sigma$$

式中 $f_{cu,o}$ 为混凝土试配强度(MPa); $f_{cu,k}$ 为混凝土强度标准值(MPa); σ 为混凝土强度标准差。当无统计数据时, 混凝土可取 4 MPa。

按照规范, 标准速凝剂硬化砂浆的性能要求 28 d 抗压强度比 $\geq 75\%$, 意味着喷射混凝土在加

要求。

3 配合比设计

3.1 喷射混凝土配合比设计要求

根据《金沙江上游巴塘水电站引水发电及导流泄洪系统工程》施工技术条款及《水工混凝土配合比设计规程》(DL/T5330—2015)中的相关要求, 对喷射混凝土配合比的设计要求见表 1。

表 1 喷射混凝土配合比设计要求表

入速凝剂后会有 25% 的强度损失, 因此将 C20 喷射混凝土的室内试配强度确定为 $20/(1-0.25) + 1.645 \times 4 = 33.25$ (MPa)。

3.3 试喷配合比

根据表 1 中的配合比设计要求对喷射混凝土进行试配, 通过室内试验, 最终推荐表 2(喷射混凝土试喷配合比表)中的配合比进行现场试喷。

3.4 回弹率与砂率测试

表 2 喷射混凝土试喷配合比表

试样 编号	水灰比 W/C	砂率 /%	速凝剂掺量 /%	每 m ³ 混凝土原材料用量 /kg · m ⁻³			
				水	水泥	人工砂	粗骨料
SP-1		50		198	440	856	856
SP-2	0.45	52	7	198	440	890	822
SP-3		54		198	440	924	788

采用表 2 中的配合比分别拌制 1 m³, 采用湿喷工艺, 在喷头处添加液体速凝剂, 在地下洞室中选择边墙长度为 3 m、厚度为 10 cm 的喷层进行试喷, 在边墙下方放置钢板、彩条布或帆布进行喷

射混凝土回弹料回收, 回收后进行称重, 按照容重换算为体积, 与拌制方量进行比较后得出回弹率。回弹率检测情况见表 3。

本次试喷使用的型号 PX28A 湿喷机由同一

表 3 回弹率检测情况表

试样 编号	水灰比 W/C	砂率 /%	速凝剂掺量 /%	总用量 /m ³	回弹量 /m ³	回弹率 /%
SP-1		50			0.29	29
SP-2	0.45	52	7	1	0.25	25
SP-3		54			0.23	23

操作手进行操作, 通过对表 3 中的数据进行整理归纳, 结合现场施工情况分析后认为: 随着砂率的增高, 回弹率逐渐降低, 这是由于随着砂率的增高粗骨料比例降低, 喷射时粗骨料之间的碰撞挤压减少, 可着陆浆体增多, 易嵌入砂浆层中, 这与以往得出的经验——喷射混凝土回弹材料主要为粗骨料^[5]是一致的。

3.5 力学性能测试

按照表 2 中的配合比采用湿喷工艺分别进行抗压强度和黏结力强度检测, 力学性能检测结果见表 4。

(1) 抗压强度采用喷大板切割法, 选用长 450 mm、宽 350 mm、高 120 mm 的开敞式不吸水的带底试模, 成型时喷头垂直于试模沿水平方向喷射, 在施工现场养护一昼夜后脱模移至试验室, 在标准养护条件下养护 7 d 后将其切割加工为边长

100 mm 的立方体试件,28 d 龄期后进行抗压试验。

(2) 喷射混凝土与围岩的黏结强度采用喷大板切割法制作、劈裂法检测黏结强度。在试模内放置与施工现场岩体同品种超过 50 mm 厚的岩石板, 将岩石板表面清洁湿润, 喷头垂直于试模沿

水平方向向大板内喷射, 在现场养护 7 d 后加工成边长为 100 mm 的立方体试件(其中岩石和喷射混凝土厚度各为 50 mm 左右), 养护至 28 d 龄期, 在混凝土与岩块结合面处用劈裂法测定混凝土与岩块的黏结强度。

表 4 力学性能检测结果表

试样 编号	水灰比 W/C	砂率 /%	速凝剂掺量 /%	抗压强度 /MPa	喷混凝土与围岩的黏结强度 /MPa
SP-1		50		30.3	2.37
SP-2	0.45	52	7	27.1	2.04
SP-3		54		23.6	1.58

从表 4 中可以看出: 50%、52% 砂率的喷射混凝土抗压强度均满足设计要求, 喷射混凝土与围岩的黏结强度均符合设计强度指标。但是, 伴随着砂率的增加, 抗压强度、喷射混凝土与围岩的黏结强度均有不同程度的降低, 说明

砂率的增加不利于喷射混凝土力学性能。

3.6 确定配合比

通过对表 3 和表 4 中的数据进行分析, 结合回弹率、抗压强度、喷射混凝土与围岩的黏结强度, 最终选定推荐的喷射混凝土配合比见表 5。

表 5 喷射混凝土配合比表

水灰比 W/C	砂率 /%	速凝剂掺量 /%	每 m ³ 混凝土原材料用量 /kg · m ⁻³			
			水	水泥	人工砂	粗骨料
0.45	52	7	198	440	890	822

4 工程应用情况及效果

将该湿喷混凝土配合比在导流洞初期支护中应用, 其喷射混凝土的和易性、可泵性满足施工需求, 黏结强度高, 保证了围岩的稳定性。湿喷混凝土效果见图 1。洞身段湿喷混凝土强度、实体钻芯强度评定情况见表 6, 洞身段回弹率统计情况见表 7。

5 结语

通过在半封闭地下洞室中采用湿喷工艺进行喷射混凝土作业, 在保证喷射混凝土质量的同时,



图 1 湿喷混凝土效果图

表 6 洞身段喷射混凝土强度评定表

检测项目	设计强度等级	取样方式	试件组数 /组	最大值 /MPa	最小值 /MPa	平均值 /MPa	标准差 /MPa	离差系数	合格率 /%
强度评定	C20	切大板法	140	26.6	20.8	23.9	1.28	0.0537	100
		现场钻芯	12	26.1	21.3	23.6	1.68	0.0713	100

表 7 洞身段回弹率统计表

序号	循环桩号	总用量 /m ³	回弹量 /m ³	回弹率 /%	统计时间
1	导 0+512-509	33.5	7.8	23.3	20200420
2	导 0+483-481	39.4	10.1	25.6	20200430
3	导 0+556.1~558.9	34.6	8.7	25.1	20200821
4	导 0+583.9~586.7	33.1	7.5	22.7	20200911
5	导 0+652.7~655.6	29.8	6.2	20.8	20201002
6	导 0+683.6~685.8	32.3	6.9	21.4	20201027
7	平均值	33.8	7.9	23.3	

降低了粉尘浓度,保证了作业人员的身体健康,回弹率的降低减少了湿喷混凝土的浪费,亦为后续清理回弹料节省了费用。

文中以地下洞室湿喷混凝土配合比设计为例,发挥了试验室在质量控制中的关键作用,从喷射混凝土配制强度、现场试喷回弹率、砂率3个环节进行控制,注重现场喷射效果与湿喷混凝土拌和物性能之间的联系,设计出了符合设计要求、满足现场需求的湿喷混凝土配合比,取得了良好的社会效益和经济效益。

参考文献:

[1] 通用硅酸盐水泥,GB175-2007[S].

(上接第18页)

何方向的拉扯力。裙罩的上开口固定在防水罩边缘且与防水罩严密吻合。用环形、质轻的塑性材料支撑裙罩,使其既可以维持张开状态,又可以在垂直方向任意调整长度。裙罩的下开口采用卡扣与保护外罩上表面预留的孔洞严密吻合。预留孔洞边缘可设置一定长度向上伸出的筒状连接段,以便于和裙罩相接,并可阻止水流入内。

在安装保护罩之前,应对被保护的坐标仪进行全面的检修以排除设备本身存在的各种故障;对坐标仪的引出电缆进行检查和保护,防止从破损处进水或从电缆接头处进水;应避免引出电缆与交流电缆一同敷设;严格按照规范要求进行电缆的连接及敷设^[4]。运行过程中,应严格按照规范要求对垂线监测系统进行维护^[5]。

漳州市市区第二饮用水源工程(一期工程)顺利通过竣工验收

2021年5月25日,由中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司承担建设的漳州市市区第二饮用水源工程靖城大道~三水厂段一期工程(A路段)顺利通过竣工验收。漳州市市区第二饮用水源工程项目是福建省“重点工程”、漳州市“为民办实事工程”;也是成都院在福建市场首个具有规模的EPC工程项目,以及首个“大管径、高水头、长距离”市政管网工程项目。项目主要以原水管道建设为主,采用DN2000、DN1800、DN1600等规格的球墨铸铁管敷设管道,管线全长约21.44千米。本次验收的一期工程管线全长约8.7千米。自2019年10月施工人员进场,项目建设即面临“建设标准高、施工战线长、地下管网密集、涉及权属单位众多、外围协调难度大”等的挑战和风险。在公司各级领导的关心和相关部门的密切配合下,项目部协同各参建方,充分发挥自身资源优势,以“立足安全、保证质量、满足工期”的目标为指引,攻坚克难,确保优质高效地完成项目建设节点。项目一期工程顺利通过竣工验收,使公司在市政管网工程项目管理领域积累了宝贵经验和行业业绩。项目部将以此为根基,持续开拓福建乃至华南地区市场。

(供稿:高丽歌)

成都院中标前台子风电场49.5MW工程EPC项目

2021年8月,中国电建成都院成功中标大唐景泰乾丰风电有限公司前台子风电场49.5MW工程EPC项目。该项目位于甘肃省白银市景泰县境内,该项目的顺利中标标志着公司首次以新能源总承包身份进入甘肃市场,为公司进一步拓展西北市场开辟了新区域,拓宽了新能源西北区域市场发展的新跑道。

项目团队将全力以赴做好本项目履约工作,并以该项目为契机,以履约带动经营,持续深入拓展当地新能源市场,为在该区域获取后续项目奠定良好基础。

(供稿:张畅)

- [2] 水工混凝土施工规范,DL/T5144-2015[S].
- [3] 水电水利工程锚喷支护施工规范,DL/T5181-2017[S].
- [4] 喷射混凝土用速凝剂,JC 477-2005[S].
- [5] 徐永红,李凯琦,李金海.高强高性能喷射混凝土的试验研究[J].煤炭科学技术,2009,37(2):32-34,62.

作者简介:

罗鹏(1989-),男,陕西宝鸡人,工程师,二级建造师,从事试验检测工作;
吕彩云(1991-),女,山西昔阳人,助理工程师,从事试验检测工作;
姜帆(1987-),女,河北涿州人,助理工程师,从事试验检测工作;
潘新元(1991-),男,四川西昌人,助理工程师,从事试验检测工作.

(责任编辑:李燕辉)

5 结语

电容式垂线坐标仪异常数据的产生有其内在的规律。但只要认真进行分析,必能找到其产生的原因,从而制定出相应的措施预防其发生,保证监测数据的质量。

参考文献:

- [1] 大坝安全监测系统鉴定技术规范,SL 766-2018[S].
- [2] 吕刚,刘果,刘冠军,等.电容式引张线仪、垂线坐标仪性能特点及改进[J].水电自动化与大坝监测,2011,35(1):44-45,72.
- [3] 电容式垂线坐标仪,DL/T 1019-2006[S].
- [4] 混凝土坝安全监测技术规范,DL/T 5178-2016[S].
- [5] 大坝安全监测系统运行维护规程,DL/T 1558-2016[S].

作者简介:

尹国生(1975-),男,四川简阳人,高级技师,从事工程测量与安全监测工作.

(责任编辑:李燕辉)