

# 复杂地质条件下预应力锚索成孔技术研究

曾 鸣, 丁善锋

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

**摘要:**巴塘水电站左岸边坡裂隙、断层较发育,地质条件复杂,锚索工程量大,工序多。在锚索造孔施工过程中存在塌孔、掉块、卡钻、漏风和跟管断裂等现象,成孔困难。阐述了为实现 2020 年 12 月底前的导流目标,通过深化锚索成孔试验,确定适合左岸边坡复杂地质条件的锚索成孔工艺以满足巴塘水电站边坡支护工期进度和质量要求的过程,采用跟管护壁、固壁灌浆、预注浆等工艺,提高了锚索成孔率,满足了边坡支护施工进度安排和质量要求。

**关键词:**预应力锚索;固壁灌浆;跟管护壁;成孔;巴塘水电站

**中图分类号:**TV7;TV52;TV53+6;TV546

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2022)03-0106-05

## Research on Pre-stressed Anchor Cable Drilling Technology under Complex Geological Conditions

ZENG Ming, DING Shanfeng

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

**Abstract:** The left bank slope of Batang Hydropower Station has relatively developed fissures and faults. The complex geological conditions require large amount of anchor cable engineering with so many procedures. During construction of the anchor holes, such phenomena as anchor hole collapse, block drop, drill sticking, air leakage and follow-up pipe breakage are encountered, which makes it difficult to form holes. This paper expounds the procedure of selecting the anchor cable hole forming technology suitable for the complex geological conditions of the left bank slope through deepening the anchor cable hole forming test, so as to meet the schedule and quality requirements of the slope support construction of Batang Hydropower Station and to achieve the diversion target before the end of December 2020. The anchor hole-forming rate is improved by adopting such techniques as drilling with casing, wall consolidation grouting and pre-grouting, which satisfies the construction schedule and quality requirements of slope support.

**Key words:** pre-stressed anchor cable; wall consolidation grouting; drilling with casing; hole-forming; Batang Hydropower Station

### 1 概 述

巴塘水电站位于金沙江上游河段,右岸为西藏昌都地区的芒康县,左岸为四川甘孜藏族自治州的巴塘县,是金沙江上游河段水电梯级开发十三级中的第九级电站。电站以发电为主,为二等大(2)型工程。正常蓄水位高程 2 545 m,总库容 1.41 亿  $m^3$ ,总装机容量为 750 MW,多年平均发电量为 33.75 亿  $kW \cdot h$ ,装机年利用小时数为 4 500 h。

电站左岸边坡顶高程为 2 712 m,最大开挖支护高度约为 270 m,分 17 级边坡进行支护,每级边坡垂直高度设计为 15 m,共布置无黏结预应力锚索 2 000 多束。为保证边坡的稳定及施工期安全,边坡支护的设计形式有浅层支护、中部支护

和深层支护,其中深层支护为 1 000 kN—45 m 和 1 000 kN—35 m 两种无黏结预应力锚索<sup>[1]</sup>,锚固段长度均为 7 m,终孔孔径不小于 120 mm,锚索造孔下倾角度为  $15^\circ$ ,孔斜偏差不得大于 2%。

巴塘水电站左岸边坡地质条件复杂,坡面基岩大面积裸露,岩性为黑云母石英片岩,岩体风化、卸荷剧烈成堆积体,边坡松散,其中强风化带厚 20~32 m,弱风化带厚 30~35 m,卸荷带厚度基本与强风化带一致,有 F50 断层破碎带和雄松~苏洼龙断裂的分支断层 F11 分布,对锚索成孔极为不利。

受边坡岩石破碎、强风化程度高、卸荷裂隙发育等影响,经常发生塌孔、掉块、卡钻、串风、漏风、掉钻以及打断钻杆和管靴等问题,致使锚索造孔

收稿日期:2022-04-04

时间延长(YXZ-70A钻机每孔平均历时为2.5 d)且废孔率高。成孔率低严重影响到左岸边坡的支护施工进度,不仅施工成本高,而且对2020年底导流目标的实现造成较大考验。自移交工作面两个月来仅完成了第四级边坡的支护施工,剩余工程量较大,工期紧,锚索成孔已成为影响锚索施工全工序中的关键工序,占用了锚索施工直线工期。为提高锚索成孔率,加快边坡施工进度,迫切需要针对左岸边坡锚索成孔率低的难题进行锚索成孔生产性工艺试验,比选最佳成孔工艺,用以指导边坡锚索施工以扭转支护进度慢的现状。

## 2 试验方案

### 2.1 试验目的

(1)通过锚索成孔生产性试验进行工效分析与经济性对比,确定适合的锚索造孔设备,验证固壁灌浆在造孔过程中的效果,确定适合巴塘水电站左岸边坡的锚索造孔施工工艺。

(2)通过锚索成孔生产性试验,检验并揭示影响锚索承载力的各种因素,验证并确定设计参数,熟悉、检验施工工序并优化施工工艺,为大规模施工提供参考数据,积累施工经验。

### 2.2 方案一:全跟管+预注浆

该方案锚索造孔采用全孔跟管至设计深度,达到设计孔深后拔出跟管,将拔管长度控制为10~12 m,拔管完成后立即对套管拔出部分的孔段进行预注浆<sup>[2]</sup>处理,预注浆完成、待凝8 h后扫孔下索。试验孔为左岸第五级边坡A区第一排32号锚索,孔深45 m,超深不大于0.2 m;B区第一排34号锚索,孔深35 m,超深不大于0.2 m(设计技术要求)。

### 2.3 方案二:跟管+锚固段固壁<sup>[3]</sup>+预注浆

该方案锚索张拉段采用跟管方式造孔,锚固段采用固壁灌浆<sup>[4]</sup>辅助造孔,达到设计孔深后对锚固段进行预注浆处理,预注浆完成待凝8 h后扫孔下索。试验孔为左岸第五级边坡A区第一排5号、6号锚索,孔深均为45 m,超深不大于0.2 m。

### 2.4 方案三:全固壁

该方案锚索造孔采用全孔固壁方式造孔,达到设计孔深后直接下索。试验孔为左岸第六级边坡

A区第一排25号锚索,孔深45 m,超深不大于0.2 m;C区第一排31号锚索,孔深35 m,超深不大于0.2 m。

## 3 试验准备

### 3.1 试验设备

根据巴塘水电站左岸边坡地质条件和现场施工条件,本次无黏结预应力锚索造孔试验设备选用YXZ-70A型锚固钻机和HM-90A履带钻机,配置同心钻具以形成满足设计要求的孔径,现场配置一套孔内摄像仪器用于锚索孔孔壁检查,及时了解孔内状况以指导施工和参数调整。

灌浆设备选用3 SNS灌浆泵、挤压灌浆泵和1 000 r/min高速制浆机。灌浆记录仪使用HSD 610记录仪,配套检测合格的电磁流量计和压力变送器及孔口灌浆压力表,使用前所有仪器设备全部校定合格并报送至监理方审核后使用。

### 3.2 试验材料

固壁灌浆和预注浆选用四川峨胜P. O. 42.5级普通硅酸盐水泥。拌制砂浆用砂采用粒径为0~2.5 mm的天然砂,天然砂使用前应经筛分并清洗干净。外加剂使用“晋川”牌减水剂与速凝剂。

锚索造孔过程中固壁灌浆采用M30砂浆,锚固段预注浆采用M35净浆。浆液配合比均需经监理工程师批准后使用。锚索造孔浆液配合比统计情况见表1。

表1 锚索造孔浆液配合比统计表

标号	浆液配合比 /kg				
	水泥	砂	水	减水剂	速凝剂
M30砂浆	841	889	336	6.73	42
M35净浆	1 300	/	480	13	/

## 4 试验孔施工过程

### 4.1 方案一:全跟管+预注浆

该方案采用同心钻头跟管造孔,跟管直径为146 mm,壁厚7 mm,钻机为YXZ-70型锚固钻机,同心钻头。预注浆采用M35水泥净浆,砂浆采用掺5%速凝剂的M30水泥砂浆。

左岸第五级边坡A区第一排32号锚索造孔,跟管造孔至孔深42 m处,跟管管靴断裂,无法跟管钻进,42~45 m孔段由同心钻头裸钻钻进完成。达到设计孔深后对42~45 m孔段进行固

壁灌浆,待浆液起强后扫孔拔除锚固段跟管,拔出跟管 9 根。孔内摄像仪器发现套管距离孔底 13.5 m 以及约 6 m 处孔壁出现孔壁坍塌(32 号孔预注浆前孔内摄像资料见图 1),孔壁裂隙极为发育,岩石呈块体,颜色为青色。根据孔内摄像情况和试验要求对锚固段进行了水泥预注浆。注浆 45 min 未起压,改注 M30 水泥砂浆,灌浆压力达到 0.5 MPa 后稳压 30 min 结束灌浆。预注浆完成后,拔出止浆塞<sup>[5]</sup>待凝(8 h)后扫孔,孔内摄像仪器发现孔壁完整,满足下索条件。32 号孔预注浆后孔内摄像资料见图 2。



图 1 32 号孔预注浆前孔内摄像资料

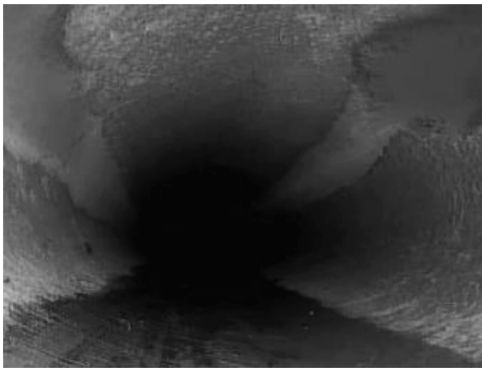


图 2 32 号孔预注浆后孔内摄像资料

左岸第五级边坡 B 区第一排 34 号锚索造孔;34 号孔全孔跟管至设计深度 35 m,造孔完成后拔出套管 4 根(6 m)时套管被拔断,锚固段长度不满足设计要求,同心钻头裸钻增加孔深至 36 m。拔管后对锚固段进行孔内摄像时发现:孔壁岩体呈青色,锚固段整体成孔良好,局部受裂隙切割影响呈块体,未出现孔内坍塌。对锚固段预注 M35 水泥净浆 45 min 未起压,后改注 M30 浓砂浆;在灌浆压力达到 0.4 MPa 后,稳压 30 min 结

束灌浆。预注浆完成后,拔出止浆塞完成扫孔,孔内摄像仪器发现孔壁完整程度满足下索条件。

#### 4.2 方案二:跟管+锚固段固壁

该方案采用  $\phi 120$  mm 直钎偏心钻具跟管造孔,跟管直径为 146 mm,壁厚 7 mm,钻机为 HM-90A 型履带钻机,固壁采用掺 5% 速凝剂的 M30 水泥砂浆,预注浆采用 M35 水泥净浆。

第五级边坡 A 区第一排 5 号锚索(45 m):跟管钻进至 34.5 m 后停止跟管,后续 34.5~45 m 孔段采用固壁扫孔工艺造孔,固壁扫孔循环 2 次,采用 M30 砂浆固壁,耗用水泥 1 500 kg,扫孔后通过孔内摄像仪器发现孔壁局部固壁效果不理想(5 号孔固壁灌浆后的效果见图 3)。为减少锚固段注浆量,对锚固段预注了 M35 水泥净浆,注浆 45 min 未起压,在灌浆压力达到 0.4 MPa 后稳压 30 min 结束灌浆。预注浆完成后,拔出止浆塞完成扫孔,孔内摄像仪器发现孔壁的完整程度满足下索条件。5 号孔预注浆后取得的效果见图 4。



图 3 5 号孔固壁灌浆后效果图



图 4 5 号孔预注浆后效果图

第五级边坡 A 区第一排 6 号锚索(45 m):跟管钻进至 34.5 m 后停止跟管,后续 34.5~45 m

孔段采用固壁扫孔工艺造孔,固壁扫孔循环3次,采用M30砂浆固壁,耗用水泥1 000 kg,扫孔后孔内摄像仪器发现孔壁出现裂缝。该孔与第五级边坡A区第一排5号锚索锚固段一样采用预注浆措施,重新扫孔后,孔内摄像仪器发现孔壁完整程度满足下索条件。

#### 4.3 方案三:全固壁

该方案采用 $\phi 130$  mm同心直钎钻头造孔,钻机为YXZ-70锚固钻机,固壁采用掺5%速凝剂的M30水泥砂浆。

左岸第六级边坡A区第一排25号锚索(45 m):固壁6次,钻孔孔深25 m,耗用水泥量为6.3

t。扫孔时因塌孔将钻杆卡死导致钻杆、冲击器和钻头全部无法取出,成为废孔。

左岸第六级边坡C区第一排31号锚索(35 m):固壁7次,成孔孔深18.5 m,耗用水泥量达4.5 t。该孔因已固壁过的孔段再次出现塌孔而停止造孔,不再进行试验。

## 5 成果分析

### 5.1 试验数据

试验过程中,详细记录了各方案施工过程中取得的试验数据用于分析总结,确定和固化施工参数以指导后期锚索施工。各方案施工过程取得的试验数据统计情况见表2。

表2 试验数据统计表

试验方案	孔号	耗用水泥/t	跟管长度/m	拔管长度/m	固壁次数	成孔时间/d	钻孔设备	备注
方案一	32号	13.18	42	13.5	1	2.4	YXZ-70A	成孔
	34号	3.2	35	6	0	2.1	YXZ-70A	成孔
方案二	5号	6.55	35	1.5		1.8	HM-90A	成孔
	6号	4.34	35	1.5		2.2	HM-90A	成孔
方案三	25号	6.3	0	0	6	5.5	YXZ-70A	钻孔25 m,钻杆卡死成废孔
	31号	4.5	0	0	7	4.1	YXZ-70A	钻孔18.5 m,未成孔

注:34号孔拔管长度为6 m,锚固长度不足,加深1 m。

### 5.2 成孔工艺分析

(1)试验方案一采用同心钻具全孔跟管造孔的造孔工艺,试验方案二采用自由段偏心钻头跟管造孔和锚固段固壁造孔的施工工艺,试验方案三采用全孔固壁扫孔造孔的施工工艺。方案一和方案二锚索造孔工艺均成孔,顺利下索;方案三造孔失败,无法下索。

(2)由表2得出:方案一32号孔跟管42 m,未达到设计孔深45 m,后续固壁成孔方式采用方案二跟管+固壁工艺成孔;34号孔因锚固段跟管未拔完而造成锚固段长度不足,存在锚固段套管未全部拔出的风险,后续锚索孔加深1 m,导致造孔和锚索成本增加。

(3)方案二采用跟管+固壁工艺造孔,锚索孔固壁长度短,经孔内摄像仪器判定锚固段成孔岩体完整时,可不进行预注浆而直接下索。

(4)方案一和方案二均对锚固段进行了预注浆处理,重新扫孔后,孔内摄像仪器发现锚固段内的裂隙被水泥结石填充,孔壁完整,均成功实

现下索。

### 5.3 试验功效及结论

由表2中的试验数据可以看出:方案一和方案二中的锚索孔成孔时间约为2 d,方案三仅完成约25 m长的锚索造孔,两孔均未成孔,造孔时间超过4 d,已固壁孔仍存在塌孔风险,同时不满足进度要求。方案二验证了HM-90A履带钻机配偏心钻头跟管钻孔工艺可行,钻机转移时间短,工效高,对加快支护施工进度和节约施工成本有利。

“跟管+固壁的施工工艺”为跟管至距离设计孔底10~12 m,剩余孔段采用固壁成孔。下索前进行预注浆,预注浆措施可有效减少下索后锚固段的注浆量,易达到设计结束标准,有利于加快边坡的施工进度。后续施工固化了锚索成孔工艺,对左岸边坡支护形成规模施工。在实施固壁和预注浆措施后,及时采用液压拔管机松动套管以降低下索后的拔管难度。锚固段固壁成孔岩体完整时,在锚固段与张拉段之间增加止浆袋后可不进行预注浆而直接下索,约束浆液在锚固段内以减

少浆液渗透进入自由段注浆,达到提高固壁段注浆质量的目的。

### 6 结 语

实践证明:“跟管+固壁的施工工艺”更适合于巴塘水电站左岸边坡的复杂地质条件,固壁灌浆和预注浆有利于改善锚索锚固段的成孔质量,止浆袋有利于提高锚固段的注浆质量并减少注浆量。孔内摄像成果证明该锚索成孔工艺可行,措施得当,成孔率高。项目部技术人员针对复杂地质条件下无黏结预应力锚索成孔技术提出了切实可行的施工方法并予以实施,获得了成功,积累了丰富的施工经验,可为类似工程借鉴。

### 参考文献:

[1] 水电水电工程预应力锚索施工规范,DL/T5083-2004[S].

[2] 梁均,主编.锚固预注浆手册[M].北京:中国电力出版社,1999.

[3] 杨晓东.锚固与注浆技术手册[M].北京:中国电力出版社,1999.

[4] 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范,DL/T5148-2012.[S].

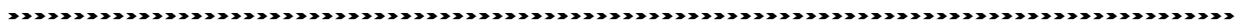
[5] 马一霖.膨胀土锚索止浆塞施工工艺现场试验研究[J].施工技术,2016,45(19):70-72.

### 作者简介:

曾 鸣(1989-),男,甘肃岷县人,工程师,一级建造师,从事水利水电工程施工技术与管理工;

丁善锋(1980-),男,河南濮阳人,项目总工程师,高级工程师,一级建造师,从事水利水电工程施工技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)



(上接第 73 页)

布局框架,针对大型矿山,中型矿山也相应地完成了基本指标,环保绿色也在矿山建设的过程中不断响应升级,国家仅在试点的绿色矿山即达到 700 家左右,省级试点百家以上。

2020 年 6 月 1 日,自然资源部矿产资源保护监督司印发了《绿色矿山评价指标》和《绿色矿山遴选第三方评估工作要求》,文件规定了国家级绿色矿山的评价指标和遴选过程中对第三方评估工作的要求。评价指标评分表共 100 项,总分 1 000 分,总得分原则上不低于 800 分,各省(区、市)自然资源管理部门可在综合要求不降低的前提下,根据各地的实际情况适当调整具体的“达标线”。

《绿色矿山评价指标》(2020 年版)的部分核心指标较 2019 年版本进行了重大修改,尤其是突出了砂石等行业特性,对砂石行业的多个方面提出了专门指标要求,砂石行业共有 90 个评分项,其中专项评分高达 260 分,这对砂石行业绿色矿山建设的评分更具有针对性,意义重大。

“国家级绿色矿山”称号代表着我国绿色矿山建设的国家级水平,是砂石矿山企业的“一张靓丽的名片”,对引领砂石等绿色矿业转型升级、绿色矿山高质量发展具有重大意义和现实价值<sup>[5]</sup>。

### 5 做好砂石业务的一些认识

(1)要有整体规划,有远大目标,要统一认识并投入与之相匹配的资源,要有紧迫感。

(2)要认识到城市商品砂石与行业砂石生产

具有的巨大区别。仍然使用以前砂石生产、供应的模式和经验肯定会出问题。

(3)要认识到砂石企业的经营已发生深刻变化,以前砂石企业的发展是需求驱动的,区域竞争有限,企业容易生存;但目前砂石企业的发展是由资金驱动的;而在不久的将来,一定会是高质量的运营能力驱动。待跑马圈地结束、硬件投入到位,竞争将更加激烈。一旦产能过剩,企业就将面临生死存亡的局面。

(4)要建造具有特色的砂石企业,从卖砂石产品向为客户深度服务转变,帮助客户提质降本。只有成为下游产品的专家,才能做好上游产品。未来的竞争力要更多地转向以产品为载体向下延伸的服务。因此建议:将“追求品质、深度服务、绿色发展”作为砂石品牌的特色去打造。

### 参考文献:

[1] 郭彦丽,向学教.浅谈绿色建筑发展前景[J].丝路视野,2018,9(20):1-3.

[2] 张英亮,张兄明.绿色矿山建设浅析[J].中国非金属矿工业导刊,2019,22(2):3-4.

[3] 韩继先.砂石行业的发展现状及发展趋势[J].广东建材,2014,30(1):56-58.

[4] 胡幼奕.我国砂石行业的发展现状及趋势[J].混凝土世界,2013,43(12):7-9.

[5] 佚名.砂石行业发展 5 模式之 3.0—建设绿色建材产业园[J].现代矿业,2020,36(8):1-2.

### 作者简介:

赵云飞(1974-),男,四川苍溪人,副总经理兼总工程师,正高级工程师,从事工程建设技术与管理工。(责任编辑:李燕辉)