

巴塘水电站左岸高边坡快速施工技术

丁 善 锋， 罗 文 广， 张 显 为
(中国水利水电第五工程局有限公司,四川 成都 610066)

摘 要:巴塘水电站左岸高边坡自上游划分为 A、B、C 三个区域,C 区边坡下部布置的导流洞和泄洪放空洞出口及出口消力池建筑物是制约导流目标实现的关键。为确保该电站 2020 年底导流目标的实现,采取了重点实施左岸高边坡 C 区的开挖与支护、兼顾 A、B 区域的措施;调整了锚索造孔设备和施工工艺,解决了断层与裂隙较发育的复杂地质条件地层中锚索成孔困难的难题,实现了左岸高边坡快速开挖与支护施工,为导流洞和泄洪放空洞出口及消力池的施工争取了时间,所取得的经验可为同类高边坡快速施工提供借鉴。

关键词:巴塘水电站;分区分层;快速施工;施工规划;造孔工艺;止浆包

中图分类号:TV7;TV52;TV223.1;[TV221.2] **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2021)02-0019-05

Rapid Construction Technology of High Slope on the Left Bank of Batang Hydropower Station

DING Shanfeng, LUO Wenguang, ZHANG Xianwei
(Sinohydro Bureau5Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: The high slope on the left bank of Batang Hydropower Station is divided into three sections: A, B and C. The diversion tunnel and the outlet and outlet stilling pool arranged in the lower part of section C are the key restriction for the project to reach diversion on time. To ensure the goal of diversion by the end of 2020, excavation and support are mainly done to the high slope at section C, while taking into account the excavation and support at section A and B. And the hole-making equipment and construction technology for anchor cable are adjusted to solve the problem of hole formation in complex geological conditions with relatively developed faults and fissures. Rapid excavation and support of high slope on the left bank gains more time for construction of the outlet and stilling pool of the diversion tunnel and flood discharge tunnel. Experience in this project provides reference for rapid construction of similar high slopes.

Key words: Batang Hydropower Station; zonal &-stratification; rapid construction; construction planning; hole-making process; slurry-stop bag

1 概 述

巴塘水电站位于四川省和西藏自治区的界河——金沙江上游河段上,右岸为西藏昌都地区芒康县,左岸为四川甘孜藏族自治州巴塘县,是金沙江上游河段十三级开发中的第九级电站。巴塘水电站以发电为主,总装机容量为 750 MW,为Ⅱ等大(2)型工程,正常蓄水位高程为 2 545 m。

大坝左岸高边坡自上游至下游分别为 A 区、B 区和 C 区,其中 C 区边坡相应布置了导流洞和泄洪放空洞出口。该标段自左岸第 4 级边坡高程 2 669 m 起,两洞出口消力池边坡为第 16 级,最低高程为 2 469 m,最大高度为 200 m,共设置 13

级边坡支护。4~6 级边坡开挖的支护坡比为 1 : 0.6,7~14 级边坡开挖的支护坡比为 1 : 0.4,15~16 级左右侧边坡开挖的支护坡比为 1 : 0.5(两洞出口洞脸为垂直边坡)。左岸高边坡土石方开挖约 890 万 m³,布置了 545 束无黏结预应力锚索(1 000 kN·m—45 m),867 束无黏结预应力锚索(1 000 kN·m—35 m),1 620 束锚筋桩(3Φ28—12 m)。左岸边坡第一层布置锚索 1 000 kN·m—45 m,第二层布置锚索 1 000 kN·m—35 m,第三、四层布置锚筋桩 3Φ28—12 m,锚索和锚筋桩呈 4 m×4 m 矩形布置。

该工程的弃渣和大坝有用料场布置在金沙江右岸,电站主要建筑物布置在金沙江左岸,左右岸

通道仅有 1 座长度为 165 m 的索桥,限重 60 t,限速 10 km/h,理论通行能力远小于投标高峰的开挖强度。受 2018 年“白格”堰塞湖和 2020 年初突发“新冠”疫情影响,导致导流洞工程工期紧、任务重。第四至六级锚索采用传统导轨锚固钻机+坡面脚手架施工工艺,每级边坡的造孔与注浆平均历时超过 60 d,远超投标时的 45 d。受巴塘、雄松~苏洼龙断裂带影响,边坡岩体卸荷剧烈,山体较破碎,导轨锚固钻机扭矩小且跟管易断裂,成孔率低,传统工艺不能满足工期要求,不适宜巴塘水电站坝址区的地质条件施工。设计要求边坡开挖与锚索深层支护的高差不大于 30 m,不具备多级边坡同时施工锚索的条件,故锚索造孔已成为制约高边坡开挖与支护的关键工序。为实现 2020 年度电站导流的目标,必须优化区域规划,调整锚索施工工艺,快速进行边坡开挖与支护。笔者对优化工作进行了阐述。

2 施工规划

2.1 开挖与支护的分区规划

左岸边坡自上游至下游分为 A 区、B 区和 C 区三个区域,其中 A 区布置有引水发电引水口、溢洪道和压力管道等建筑物,B 区布置有溢洪道、压力管道和发电厂房等建筑物,C 区布置有发电厂房、尾水渠、导流洞和泄洪放空洞出口等建筑物,其中导流洞和泄洪放空洞出口为导流项目的重要组成部分。考虑到左岸边坡 A、B、C 区坡面

总长度为 370 m,具备左岸边坡 C 区与左岸边坡 A、B 区分区开挖的条件。根据边坡高度、道路纵比降要求,项目部重新规划了左岸边坡开挖^[1]。并经参建各方讨论,同意自第七级边坡起调整开挖和支护设备资源,重点施工左岸 C 区,在左岸 C 区,自第八级边坡起其开挖与支护进度领先于左岸边坡 A、B 区。

2.2 道路规划

左岸边坡 A、B、C 区域交通通道有 7 号施工道路和 C 便道。7 号施工道路的起点为 2 号渣场,终点为左岸边坡 A 区高程 2 645 m 处;C 便道起点为泄洪放空洞进口下游 1 号施工道路,经多级“S 路”接 7 号施工道路。7 号施工道路的终点高程高于左岸第五级边坡马道的高程 2 639 m,主要用于左岸边坡第五级边坡及以上部位的开挖与支护。随着开挖高程的下降,开挖面积增加,在左岸 B、C 区交界处的 C 便道规划修筑了多条施工支路用于左岸 C 区的开挖与出渣。在左岸 B、C 区交界处其 C 便道高于左岸 C 区第十级马道,C 便道已不能满足出渣要求。采用了自厂房尾水渠至左岸 C 区第十级边坡修筑 1—1 号施工便道用于左岸 C 区开挖与支护的措施,C 便道用于左岸 A、B 区的开挖与支护(图 1)。

由于 C 便道弯多坡陡,局部为单车道通行,故在弯道处增加了钢筋石笼防护,沿路增加了挡土坎和警示柱。由于左岸边坡 C 区较 A、B 区的

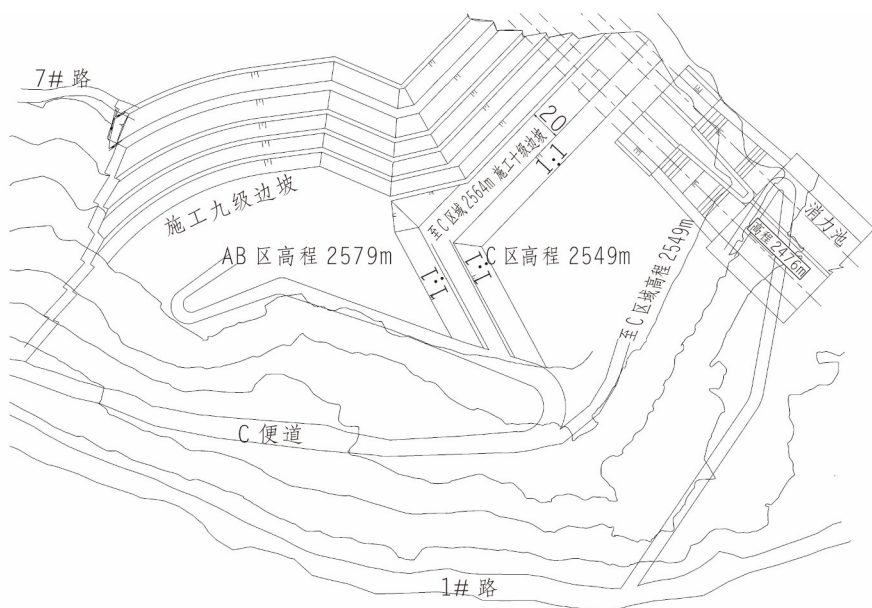


图 1 高边坡施工道路规划和局部开挖图

开挖与支护进度快,导致出现左岸 A、B 区边坡高于 C 区的现象。在 C 便道至左岸边坡 C 区各级边坡的施工支路上临时堆筑了拦渣坎或钢筋石笼挡渣墙,避免左岸 B 区开挖的渣料滚落至 C 区威胁 C 区的作业人员和设备。

2.3 开挖规划

2.3.1 边坡的局部开挖

鉴于左岸边坡的设计坡面距原始地面的水平距离平均为 200 m,每级边坡的平均开挖量约为 95 万 m³,远超索桥的通行能力和投标月进度的强度要求。因此在进行左岸边坡 C 区开挖与支护时,需保障左岸边坡 A 区和 B 区、导流洞和泄洪放空洞及进口的开挖进度,需在第四级至第八级每级边坡开挖量相对较少的阶段充分发挥索桥的通行能力,提前完成左岸边坡的局部开挖^[1]。局部开挖完成后,其作业平台的宽度应满足履带锚固钻车锚索造孔的要求、满足二次局部开挖双车道通行的要求,即预留作业平台宽度 20~22 m 为最佳(图 1)。依据爆破质点振动速度计算公式,局部开挖减少了支护时段每级边坡的开挖量和爆破振动对支护的影响,亦避免了第八级边坡以下每级边坡明挖强度不满足支护强度要求而影响到支护进度并造成不必要的人员和设备窝工。

爆破质点振速公式^[2]: $V=K(\frac{Q}{R})^{\frac{1}{3}}\times(\frac{Q}{H})^{\beta}$
式中 V 为安全允许爆破振动速度,cm/s;Q 为

单段或单响较大药量,kg;R 为爆区中心与被保护对象的水平距离,m;H 为爆区中心至被保护对象的高差(对爆破质点的振动速度影响较大),m;K 为与爆区中心至计算保护对象间场地有关的系数; α 为与爆区中心至计算保护对象间地质条件有关的指数; β 为与爆区中心至计算保护对象间地形条件有关的衰减指数。

2.3.2 分层开挖

该工程坝址区岩体断层和裂隙较发育,卸荷剧烈,岩体较破碎,在锚索造孔过程中出现了破碎岩体和完整岩体交替而造成锚索跟管极易断裂。履带锚固钻车的重量约为 5~6 t,适用于在开挖面进行锚索造孔,最佳高度为 60~70 cm,作业平台宽度不少于 6 m,最优宽度为 8 m,钻机后方平台作为人员通道。该作业平台的设置应易于作业人员更换钻杆、安装套管和穿索,同时也是从事体力劳动的最佳用力高度。

根据左岸边坡开挖坡比和锚索、锚筋桩和系统锚杆布置参数,坡比为 1:0.6 时,分层高度分别为^[3]:第一层 262 cm,第二层 343 cm,第三层 343 cm,第四层 343 cm,第五层 209 cm。坡比为 1:0.4 时,分层高度分别为:第一层 310 cm,第二层 360 cm,第三层 360 cm,第四层 360 cm,第五层 110 cm。每级边坡的分层开挖与支护情况见图 2。

2.3.3 第二次局部开挖

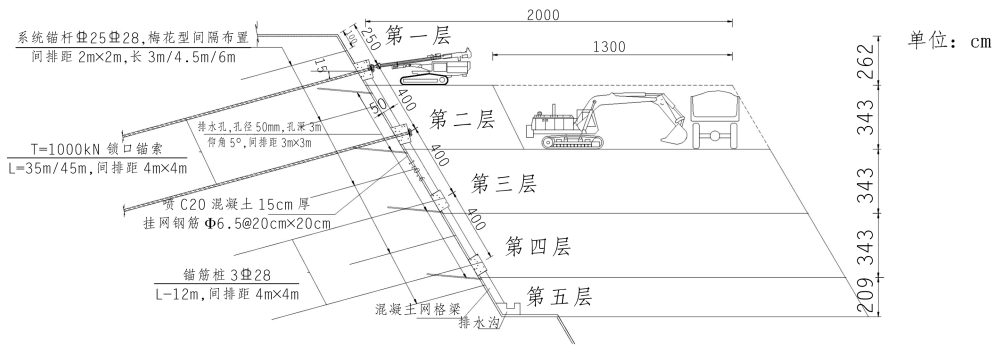


图 2 高边坡分层开挖支护示意图

左岸边坡平均坡面长度为 370 延米,边坡局部开挖后,为满足履带锚固钻车和预留作业平台土石方明挖,将每级边坡分为若干个作业区域,每个区域长约为 60 延米,可布置 2~3 台履带锚固钻车,2 台 1.8 m³ 液压反铲。单个区域每层土石方开挖量约为 4 100 m³,按 2 台 1.8 m³ 液压反铲

产能理论计算需 2 d 时间,而在实际开挖过程中,受作业面限制需 3 d。单个区域每层布置 15 束锚索和 45 根系统锚杆,2 台履带锚固钻车约需 3 d 时间完成造孔,两工序施工时间方能匹配。锚索作业面开挖完成后进行了二次局部开挖,预留了 7 m 长的履带锚固钻车作业平台,以避免锚索造

孔时出现窝工情况。

2.4 流水作业

左岸边坡 A、B、C 区的开挖与支护各自分块进行,每个区块按 60 m 长为若干个区域。如左岸边坡 C 区分为 2 个区块,区块 1 进行开挖,区块 2 进行锚索孔造孔。在进行下一层锚索或锚筋

桩造孔时,进行上层锚索锚墩混凝土的施工。第五层开挖完成后,采用液压潜孔钻进行下一级边坡预裂孔的造孔,在锚索或锚筋桩造孔完成后,边坡预裂孔未完成,可协调履带锚固钻机进行预裂孔造孔以加快预裂孔造孔的进度。开挖与支护流水作业情况^[4]见图 3。

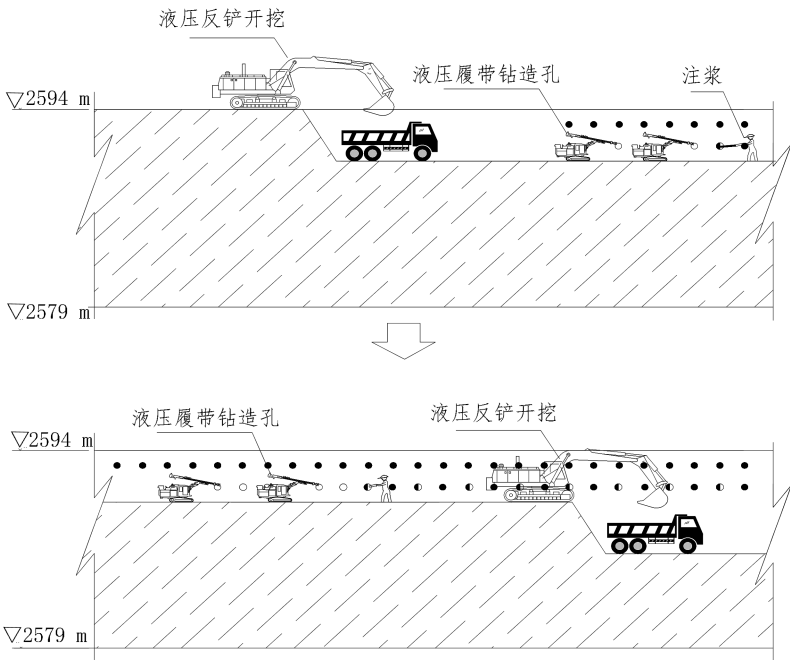


图 3 开挖与支护流水作业示意图

3 锚索施工工艺的优化

3.1 锚索造孔工艺

该标开工后,根据前期施工单位边坡锚索造孔的情况,针对巴塘水电站左岸高边坡锚索造孔的实际情况进行了“全孔跟管造孔”“全孔固壁造孔”和“跟管+固壁造孔”三种施工工艺试验。进行孔内摄像时,锚索孔裂隙由浆液结石充填,试验成果表明其均能实现锚索孔成孔,但三种施工工艺各有利弊。

“全孔跟管造孔”下穿索后拔管,若拔管长度小于 7 m 则跟管被拔断,剩余跟管无法拔出而造成锚固段长度不足;采用先拔管至自由段、再进行锚固段预注浆、扫孔和穿索,与“跟管+固壁造孔”有相似之处,但增加了跟管成本。“全孔固壁造孔”成孔时间较长,部分孔段需反复固壁,不能满足支护进度要求。“跟管+固壁造孔”结合了“全孔跟管造孔”和“全孔固壁造孔”两种锚索造孔工艺的的优点,适用于锚索自由段较破碎岩体的成孔,

张拉段采用固壁灌浆成孔工效高。在造孔过程中,若岩体成孔性变好,可改直钎钻头进行后续孔段的造孔,能够节约造孔成本。固壁浆液可能渗透进入套管与岩壁之间而增加后期拔管难度,故宜在固壁和预注浆后及时采用液压拔管机松动套管以提高拔管的成功率。

综上所述,三种锚索造孔施工工艺中的“跟管+固壁造孔”更适应巴塘水电站坝址区的地质情况,成孔率较前期阶段大幅提高。

3.2 锚索造孔设备

高边坡预应力锚索的传统施工工艺为:边坡开挖完成后,搭设坡面承重脚手架。锚索造孔、穿索、注浆、锚墩混凝土、张位和封锚全部在坡面承重脚手架作业,采用导轨式锚固钻机造孔。由于该工程断层和裂隙较发育,卸荷剧烈,岩体较破碎,而导轨式锚固钻机扭矩小,造孔效率低。尤其是在跟管断管后续固壁造孔时待凝时间需 8~10 h,在脚手架上人工移动导轨式锚固钻机定位的

时间需 2~3 h,有效利用时间较短,安全隐患大,且承重脚手架搭设约需 15 d,直接影响到边坡开挖与支护的直线工期。

考虑到该工程左岸边坡设计结构边坡面距原始地面线平均水平距离为 200 m,一次开挖瘦身预留 20 m 平台,具备履带锚固钻车在开挖面上进行造孔作业。履带锚固钻车要求造孔作业与开挖作业分区进行,根据该工程锚索和锚筋桩参数,最优分区长度为 50~60 m,造孔区布置了 2~3 台履带锚固钻车进行造孔作业,开挖区布置了 2~3 台 1.8 m³ 液压反铲,实现了边坡分区开挖与锚索造孔施工呈流水作业,减少了坡面承重搭设脚手架占支护直线工期的影响,降低了作业人员的劳动强度和安全风险,在固壁待凝时进行相邻锚索孔的造孔,从而提高了履带锚固钻车的利用率和钻孔效率。

3.3 锚索体止浆工艺

该工程高边坡主要采用无黏结预应力 1 000

kN 锚索,在孔口设置止浆环,全孔一次性注浆。在进行无黏结预应力 1 000 kN 锚索全孔一次注浆时,由于本工程高边坡岩体断层和裂隙发育,导致注入水泥净浆量较大。为保障锚索锚固段的注浆质量,控制注浆量的措施主要有:限流、限压和速凝剂等。采用待凝措施,必须用高压风将注浆管吹通。全孔一次性注浆灌注量较大、时间长,在灌注过程中,采取限流措施易造成水泥沉积在注浆管内而影响到锚固段的注浆质量。

参照有黏结预应力锚索工艺,在锚固段和张拉段的交界处设置了充浆式止浆包,止浆包满足承受 0.5 MPa 的注浆压力且不漏浆。止浆包两端用铅丝绑牢,钢绞线与止浆袋之间、钢绞线与钢绞线之间用土工布条密封好。经过多束锚索注浆和张拉试验,在锚固段注浆管上的止浆包内开 2 个直径不小于 1 cm 的注浆孔,可节约 1 根止浆包注浆管并能达到止浆效果,提高锚固段的注浆质量和施工进度。止浆包改进措施见图 4。

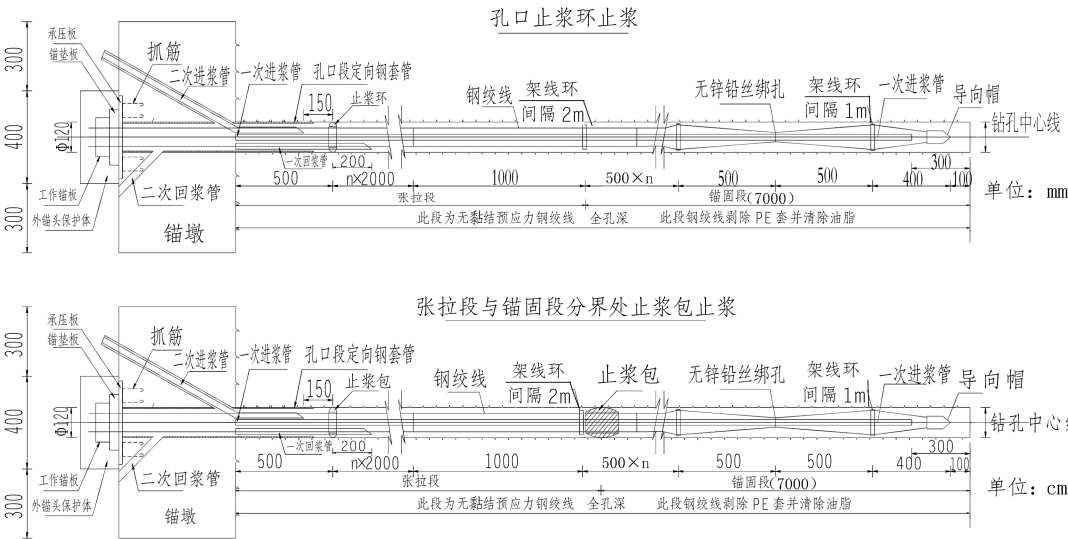


图 4 无黏结预应力锚索止浆措施对比图

3.4 浆液配合比

锚索施工规范中的灌浆技术要求水泥净浆水灰比为 0.38~0.45^[5],水泥砂浆水灰比为 0.4~0.5。因该工程岩体中断层和裂隙较发育,水泥净

浆注入率较大,为控制投资和提高锚索锚固段注浆质量,经试验室和现场生产性试验,锚固段采用浓度较大的水泥净浆,水灰比采用 0.37,掺入 1% 的减水剂。锚索注浆配合比见表 1。

表 1 锚索注浆配合比表

标 号	浆液配比 /kg						用途
	水泥	砂	水	减水剂	速凝剂 5%	水灰比	
M30 砂浆	841	889	336	6.73	42	0.42	张拉段注浆
M35 净浆	1 300	/	480	13	/	0.37	锚固段注浆

(下转第 32 页)

灌浆效果良好。Ⅰ、Ⅱ序孔的单位注入量整体较低,仅少数孔段大于 5 kg/m。

3.6 效果评价

化学灌浆后,检查孔微细裂隙内可见明显的化学浆结石充填且黏结较好,说明灌浆效果良好,达到了封堵微细渗水裂隙和固化断层破碎带的试验目的,其充填效果见图 3。

4 结 语

本次在 YGJ6 灌浆平洞 f4、f12 断层及影响区环氧树脂化学灌浆的平均单位注入量为 0.51 kg/m,说明通过前期的水泥灌浆其绝大部分裂隙已得到了填充,再用环氧树脂对局部水泥颗粒无法灌入的微细裂隙和断层破碎带进行补充填充,虽然环氧树脂的单位注入量较小,但仍能进一步提高灌浆帷幕的防渗效果和耐久性。本试验为某水电站砂板岩地层断层及影响区、软弱破裂带等不良地质区域的水泥-化学复合灌浆提供了较为成熟的处理方法,亦对同类水电工程和地质条件的水泥-化学复合灌浆具有指导意义。

参考文献:

(上接第 23 页)

4 施工效果

左岸第四级至第六级边坡采用每级边坡一次成型的方式,搭设坡面脚手架,利用导轨式锚固钻机进行锚索和锚筋桩的造孔作业,完成每级边坡开挖支护的持续时间均大于 45 d。为实现 2020 年底电站的导流目标,项目部采取了导流洞和泄洪放空洞出口边坡(C 区)优先施工、兼顾左岸 A、B 区域开挖和支护的策略。

将左岸第七级至第十四级边坡优化为分区分层开挖,开挖与支护立体多层次、平面多作业面,开挖与支护形呈流水作业。将锚索和锚筋桩造孔作业优化为履带锚固钻机造孔,在锚索锚固段和张拉段交界处设置充浆式止浆包,实现了每级边坡开挖支护时间较投标阶段或施工工艺调整前平均压缩 15 d,左岸 C 区边坡开挖支护较 A、B 区超前三级边坡,为两洞出口消力池开挖、支护和混凝土施工争取了时间。

5 结 语

合理利用大坝左岸高边坡分区,科学规划施工道路,重点针对导流建筑物段边坡的开挖与支护,调整锚索造孔设备,采取分层开挖分层支护的

[1] 祝 红,陈琪新,熊 进.三峡工程水泥化学复合灌浆处理软弱断层试验[J].人民长江,2001,47(10):57-59.

[2] 尹作仿,董建军.三峡 F215 断层化学灌浆现场试验研究[J].长江科学院院报,2000,17(6):12-14.

[3] 董建军,魏 涛,吕书云.三峡工程 f1096 断层复合灌浆处理技术[J].长江科学院院,2005,22(2):35-38.

[4] 王国旗.论基岩防渗帷幕的化学灌浆工艺[J].科技信息,2009,27(33):275.

[5] 水工建筑物化学灌浆施工规范,DL/T5406-2010[S].

[6] 何光宇,钟语超,等.大岗山水电站防渗帷幕科研试验区的化灌设计与选材[J].广州化学,2012,37(4):1-6.

[7] 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范,DL/T5148-2012[S].

作者简介:

干海勇(1974-),男,四川成都人,项目副经理兼总质检师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
甘贻强(1981-),男,四川成都人,项目经理,工程师,从事水利水电工程项目管理工作;
王宏刚(1986-),男,甘肃灵台人,项目总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
孙起军(1989-),男,青海乐都人,项目副总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)

工艺,开挖与支护呈流水作业。所实施的履带锚固钻机+跟管+固壁锚索造孔工艺提高了锚索成孔率和造孔效率,节约了脚手架搭设成本,锚索穿索难度低,降低了作业人员的劳动强度和安全风险,实现了高边坡开挖与支护快速施工,进而为 2020 年底导流目标的顺利实现创造了条件。

参考文献:

[1] 水利水电工程施工组织设计规范,SL303-2017[S].

[2] 水电水利工程爆破施工技术规范,DL/T 5135-2013[S].

[3] 中国电力企业联合会主编.水利水电工程施工手册(第 2 卷)—土石方工程[M].北京:中国电力出版社,2002.

[4] 全国水利水电施工技术信息网编.水利水电工程施工组织设计手册(第 2 卷)—施工技术[M].北京:中国电力出版社,2003.

[5] 水利水电工程预应力锚索施工规范,DL/T 5083-2010[S].

作者简介:

丁善锋(1980-),男,河南濮阳人,项目总工程师,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
罗文广(1978-),男,江西丰城人,副局长兼项目常务副经理,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;
张显为(1987-),男,甘肃定西人,项目安全总监,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(责任编辑:李燕辉)