

# 固增水电站引水隧洞塌方与变形支护方案研究

郭 益, 刘 忠 军

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610213)

**摘 要:**针对固增水电站引水隧洞薄层板岩夹薄层-中层变质砂岩塌方处理施工过程中存在的不利因素:成孔难、空腔大等实际情况,进行了施工技术处理措施的研究并付诸实施,取得了较好的效果,为后续各类不良地质条件洞段的施工奠定了良好基础,所取得的经验可为类似围岩隧洞施工提供技术参考。

**关键词:**变形;塌方;处理;安全风险高;固增水电站;引水隧洞;支护方案;研究

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2022)06-0076-04

## Study on Support Scheme for Deformation and Collapse of Diversion

### Tunnel in Guzeng Hydropower Station

GUO Yi, LIU Zhongjun

(Sinohydro Bureau 7 Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610213)

**Abstract:** There are many adverse factors, such as the difficulty in bore hole formation and the large cavity, in the treatments of the collapse in the diversion tunnel of Guzeng Hydropower Station, where the thin slate is sandwiched with the thin-middle metamorphic sandstone. Technical measures were studied and conducted for this situation and great results were obtained. It has laid a good foundation for the subsequent construction in various unfavorable geological conditions. The experience obtained can provide technical reference for the construction of tunnels in similar surrounding rock circumstances.

**Key words:** Deformation; Collapse; High safety risk; Guzeng Hydropower Station; Headrace tunnel; Supporting Scheme; Research

## 1 概 述

固增水电站引水隧洞 T7+873~T7+892 塌方段位于 5 号施工支洞上游,尤以 T7+892 处的靠山侧边墙坍塌为甚,塌方空腔深达 4.62 m。在坍塌段处理过程中顶拱岩石连续出现塌方,致使已施工完成的超前导管全部损坏,塌方范围较大,渣料体积达 500 m<sup>3</sup> 之多,顶拱空腔深约 11 m,导致 T7+873~T7+892 段支撑用的工字钢变形,靠山侧拱脚膨胀出约 1.5 m,顶拱塌方下沉约 0.3 m。开挖时,经地质工程师现场勘查确认:T7+873~T7+892 段均为 V 类围岩,掌子面岩体由薄层板岩夹薄层-中层变质砂岩构成,掌子面内壁岩体破碎,完整性较差,褶皱与顺层挤压破碎带发育,多见碎裂岩石,导致给隧洞施工方案的制定增加了难度,无法指导后续正常施工。阐述了对固增水电站引水隧洞塌方与变形支护方案进行的

研究。

## 2 施工工艺和方法

### 2.1 施工工艺流程

针对现场实际情况,最终确定的塌方、变形处理采用的施工工艺流程为:跟管加工→跟管钻进→锚筋束安装→锚筋束注浆→锁脚、锁腰锚杆施工→空腔回填→掌子面管棚施工→塌方洞渣清理→素喷混凝土→挂网工字钢架设喷射混凝土→系统锚杆施工→超前支护→下一循环施工。

### 2.2 加强支护处理

根据现场实际情况,T7+873~T7+892 段靠山侧边墙及拱脚受岩层挤压已向隧洞中心线收敛变形约 1.5 m,其拱顶均存在下沉现象,掌子面塌方严重,靠掌子面段工字钢受岩层挤压弯曲变形较大。为防止 T7+873~T7+892 段靠山侧及顶拱受外力挤压再次发生变形塌方,经设计人员现场勘查后最终决定采用以下加强支护方案:

收稿日期:2022-06-06

(1)对 T7+873~T7+892 段顶拱及靠山侧垂直于岩壁进行跟管钻进,  $L=20\text{ m}$ (根据现场钻孔情况可调整跟管钻进的深度),内插锚筋束后灌浆,然后将锚筋束与工字钢连接形成整体以防止顶拱及靠山侧边墙再次收敛变形。

(2)对于 T7+873~T7+892 段每榀工字钢靠河侧增设了  $\varphi 25\text{ mm}$ ,  $L=6\text{ m}$  2 根锁脚及 2 根锁腰锚杆进行加强支护,以防止靠河侧工字钢变形倾覆。T7+873~T7+892 段加强支护情况见图 1。

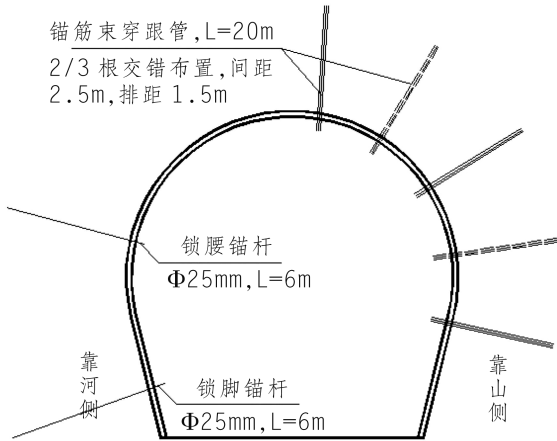


图 1 T7+873~T7+892 段加强支护示意图

(3)对于掌子面顶拱空腔采用跟管钻进,回填 M20 砂浆,高度约为 2~3 m,回填分两次进行。

(4)对于掌子面顶拱  $120^\circ$  范围采用  $\varphi 108\text{ mm}$  管棚,  $L=10\text{ m}$ , 环向间距  $0.5\text{ m}$  进行支护,管棚内插锚筋束并注浆。掌子面加强支护情况见图 2。

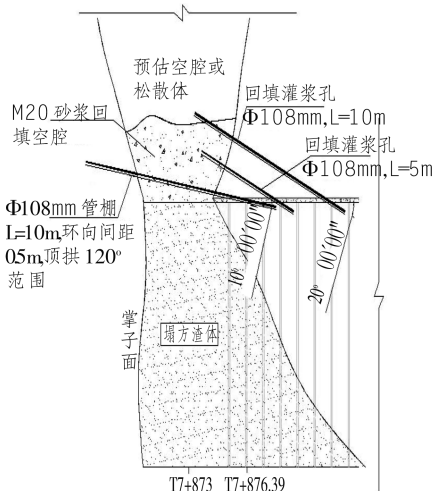


图 2 掌子面加强支护示意图

### 2.3 所采用的加强支护施工工艺

(1)跟管加工。鉴于塌方变形段岩体破碎,松散岩体范围较广,成孔困难,需要采用  $\varphi 108\text{ mm}$ ,  $L=1\text{ m}$ , 壁厚  $6.5\text{ mm}$  的钢管跟进钻孔施工,钢管需加工  $\varphi 8\text{ mm}$  的注浆孔并施打对穿孔,空间角度形成  $90^\circ$ ,孔距  $30\text{ cm}$ 。跟管情况见图 3。

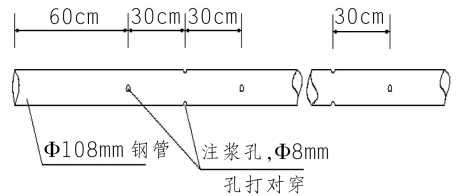


图 3 跟管示意图

(2)跟管钻进。采用 100B 型钻机进行处理,孔深  $10\sim 20\text{ m}$ ,孔径为  $110\text{ mm}$ 。钻孔过程中采用偏心钻具、跟管钻进。对 T7+873~T7+892 段进行加固时使用锚筋束与跟管配套施工,其孔位主要布置在靠山侧边墙及顶拱范围,每榀工字钢环向孔位为  $2/3$  根,交错布置,孔位方向垂直于岩壁。对于 T7+878、T7+879 桩号顶拱范围采用  $\varphi 108\text{ mm}$  跟管钻进 1 根回填管及 1 根排气管,钻孔角度约为  $20^\circ$ ,孔深根据现场实际情况进行调整。钻孔过程中,对所钻进的岩层变化情况、钻进状况(钻压、钻速)和某些特殊状况进行了现场施工记录。

①孔内清理。钻进超过设定水深后不能马上止钻,需要稳钻  $1\sim 2\text{ min}$  以免洞底呈尖形而达不到设计孔径。钻孔孔壁不宜有沉渣或泥土和水面的黏滞,务必清洗干净。钻孔完成后,采用高压空气(风压为  $0.2\sim 0.4\text{ MPa}$ )将孔内的石粉以及泥土和水全部排除出孔外,以减少对水泥砂和孔室岩体的黏接力度。由于塌方区为松散破碎的炭质板岩区,遇水极易软化而塌孔,故要求严禁使用高压水流进行冲刷。

②验收。钻孔完成并经现场施工监督员检测合格后,方可实施下道工序。对于孔径、孔深的检查,通常根据设计孔深、钻机磨损情况和标准钻杆在现场施工人员和监理单位旁站人员在场的情况下验孔,要求验孔过程中钻机平顺推进,不产生撞击及震动,采用钻具验收孔深且孔深达到设计要求的深度,并用高压风吹孔检验锚孔孔位与倾斜度,直至钻孔验收合格为止。

(3)锚筋束的安装。锚筋束由三根  $\varphi 25\text{ mm}$

钢筋,一根 $\varphi 20$  mm 注浆管,一根 $\varphi 20$  mm 通气管组成,采用三根 $\varphi 25$  mm 钢筋围绕注浆管呈品字形排列。由于现场钢筋原材高度为9 m且受施工作业面的空间限制,锚筋束钢筋必须通过套筒连接并将连接接头错开。沿锚筋束轴线方向每隔约2 m设置一套锚筋束的定位支架,支架均使用 $\varphi 6.5$  mm 圆钢块现场制造以确保锚筋束的保护层厚度适当。

施工前,首先要保证每根钢筋接头的顺直,除锈、除污垢,在安放锚筋束前仔细核实锚孔序号,确定无误后由人工缓慢将锚筋束插入 $\varphi 108$  mm 跟管中。

#### (4) 锚筋束的灌浆。

① 灌浆材料。选择强度等级不小于P.042.5的普通硅酸盐水泥,并满足有关规定的质量标准。

② 灌浆参数。注浆成型水灰比为1:1、0.5:1,开灌水灰比为1:1,灌浆的目的是使泥浆在较疏松的岩石中扩散充填,将较破碎的岩石固结,有利于相邻孔在钻进时减少落块,从而避免出现卡钻或落钻等现象,亦可加快施工进度。

灌浆压力为0.2~0.4 MPa,水压视吸浆量情况和现场监理工程师指示进行调节。

③ 孔口封闭。由于采用的是有压灌浆施工工艺,因此锚筋束孔口需承受灌浆压力。故在封闭段内侧(距孔口1~1.3 m)塞入软质材料后灌水泥浆液封闭孔口,封闭长度不小于1 m,待封闭段水泥浆液满足强度要求后再进行灌浆作业。

#### ④ 灌浆结束标准。

a. 若灌浆过程中围岩发生较大的掉块或漏浆时应停止注浆。

b. 若灌浆量远大于设计量时应停止注浆并排查原因。

c. 当灌入浆量不再增加、灌浆压力持续超过设计值时结束灌浆。

(5) 特殊情况的处理。灌浆时极有可能出现浆液漏失的情况。当漏浆、吸浆量大时应及时通知现场监理工程师,按照监理工程师的指示采取越级变浆、间歇灌浆法或反复注浆法严格控制灌浆质量,确保灌浆饱满。

对于注浆成型过程中发生的如停水、断电等特殊情况导致灌浆中断时,应优先选用高压风对锚洞进行吹孔<sup>[2]</sup>;而对于不具备高压风吹孔要求的锚

洞,应与监理工程师商定后选用低压水流冲孔。

(6) 系统支护。锚筋束及砂浆回填施工完成后,应按照设计蓝图要求施工系统锚杆。为增加工字钢的稳定性,在系统锚杆的基础上每榀工字钢增加四根 $\varphi 25$  mm,  $L=6$  m的锁腰锚杆。锁腰锚杆应使用“L”型钢筋与工字钢焊接,其靠山侧可利用锚筋束加固工字钢,在端头焊接“L”型钢筋与工字钢连接。

(7) 掌子面支护。针对掌子面塌方渣体空腔或松散体高度约为11 m的实际情况,采用了M20 砂浆回填部分空腔的方式进行治理,回填高度约为2~3 m,将回填灌浆孔设置在T7+878、T7+879 顶拱处,单个断面跟管钻进2个孔(进浆孔1个,排气孔1个),长度约为5~10 m(钻孔长度根据现场实际情况进行调整),间隙分层回填砂浆,砂浆由3号拌和站供料,混凝土泵送至顶拱空腔,回填完成后,在灌浆孔内插入锚筋束,待衬砌完成后采用采用回填灌浆的方式将空腔回填密实。

掌子面回填砂浆完成后,在T7+876 顶拱120°范围施工一环 $\varphi 108$  mm 管棚, $L=10$  m,间距0.5 m布置,钻进角度为10°,管棚入原状岩层3 m后进行插锚筋束及灌浆施工。

顶拱灌浆完成并等强7 d后,先在最上游相邻的三榀不侵占隧洞内衬砌混凝土断面的钢拱架中间部位布置长度为6 m的锚杆进行加固,锚杆的间排距约为1.5 m,成环向布置,其外露钢筋端头应与钢拱架连接紧密,以保证钢拱架的稳固,然后向下游方向架立钢拱架并在顶拱180°范围布置直径为6 m的超前小导管进行联合支护固定。在钢拱架180°范围铺设双层 $\varphi 6.5$  mm 钢筋网,并布设纵向连接钢筋,采用逐榀浇筑混凝土的方式进行封闭。对于钢拱架模板支立过程中的渣料处理分顶拱与边墙两层完成,待顶拱处的渣料处理完毕、尽快安装顶拱钢架底脚位置的锁脚锚杆,再处理连接边墙位置的钢支架。型钢拱架应座落在隧洞岩石基础上,以保证型钢拱架的稳固与安全。在架立钢拱过程中,应对其侵占的衬砌截面部分采用人工风镐修补。

(8) 开挖进尺。掌子面支护施工完成后进行清渣,由于洞室坍塌段的围岩破碎,需采用适当的方法进行施工。预留核心土法施工能够更有效地

防止洞身开挖后产生较大的收敛和沉降,因此,核心土断面的大小应按照环形开挖断面积的百分之五十、以便于作业人员作业进行施工,将每循环掘进的长度控制在0.5~1 m范围。每次施工后及时进行支护,实现“早喷锚”。初期支护的顺序为:初喷混凝土→打系统锚杆→挂网→架立钢支撑→打锁脚锚杆→再次喷混凝土(满足设计厚度)。

初喷混凝土厚5 cm,密封岩面,以避免围岩松散变形造成坍塌。喷射混凝土完成后,持续推进并控制好风压、水压,以保证喷射混凝土的强度和稳定性。锚杆施工一般采用测量定位,以便在锚杆安装后与钢支撑连接在一起,进而构成整个受力构件。而网片则根据工程设计要求进行安装,牢固并紧靠岩面。钢支撑立架必须根据设计要求立架,拱架连接板处用螺栓连接好并拧紧使拱架更牢固,在需要时可采用焊接连接,以确保初支的稳定性,待系统支护完成后进入下道工序。

### 3 针对塌方采取的施工措施及塌方的预防

#### 3.1 施工措施

对于塌陷洞段,应采取“管超前、严灌浆、短进尺、弱爆破、强支撑、快封堵”的施工治理原则。首先,应尽快处理从整体围岩段中涌出的塌陷体及邻近的塌陷掌子面;随后跟进注浆并封堵坍塌体掌子面;之后,对坍塌体采用固结的方式灌浆并待渣体固结且足够自稳时,再采用人工配合风镐的方式开始施工;挖至靠近塌方段掌子面时施工超前小管棚,之后按顺序对塌方段进行治理。在挖掘过程中,采用钢拱架与锚喷结合混凝土支护的施工方法进行掘进,最后对空腔采用回填混凝土与砂浆的方式完成塌方段的处理。坍塌处理时要严格按照“小塌清,先支后清”和“大塌穿,先棚后穿”的原则<sup>[3]</sup>,其中“小塌清,先支后清”系指水工隧洞挖掘时坍塌数量相对较小的情况,此时可先将坍塌顶拱支护稳固,随后再将坍塌体全部清理,但必须确保坍塌顶拱支护的稳固,否则有可能会继续发生塌落、掉块砸伤施工人员的情况。一般情况下,隧洞在出现首次坍塌后,由于顶拱两侧不平衡,假如不及时进行塌方段的顶部支护,就可能使坍塌的部位失去平衡而导致再次发生坍塌。

#### 3.2 隧洞塌方的预防措施

(1)认真做好隧洞沿线岩体的地质勘查与设计工作。在隧洞勘察设计过程中,要求深入细

致、全方位地对其进行研究并探索隧洞所在区域的水文条件和岩体情况,全方位熟悉和掌握隧洞主轴和出入口区的地貌资源,分析和探讨隧洞所跨越垭口、破碎山体、沟谷等的状况,从而最大程度地掌握可能引起坍塌的恶劣地质状况。在进行洞线选址工作时,应尽量避免断裂、软弱破裂带、地下水等恶劣地貌段,若不能避免时,应事先准备相应的施工方法和技术措施<sup>[4]</sup>,并选用适当的施工方式,做好施工组织设计,从而有效指导隧洞施工。

(2)根据塌方程度采取有针对性的解决措施。对于小区域的坍塌,由于其破坏面积相对较小,应尽可能地采取彻底处理的解决方法。必须重新调整支护的措施防止隧洞内坍塌的风险,预防因塌方进一步扩大引起的严重坍塌发生。因为隧洞中出现一次塌方后整条隧洞都会受到影响,若不能进行及时的加固,很容易出现二次大规模的塌方。对于较大规模的坍塌,在一段时间内很难完成处理工作,所以,在出现小坍塌后应先打开塌方隧洞,再通过超前支护的方式对隧洞两端进行保护,使隧洞均衡受力以防止坍塌进一步延伸,再通过钢拱架保护的方法<sup>[5]</sup>对隧洞顶部加以保护。

(3)加固未发生塌方的洞段。在每次隧洞坍塌发生后,必须对尚未坍塌的区域施以有效的加强措施,以达到巩固的目的。对隧洞中尚未坍塌区域的加强保护可以采用由大口径钢管和工字钢制成的钢拱架进行加固,并采用该方法对隧洞中的软弱区域进行支护。此外,对隧洞中不稳固的围岩也需要进行有效的加强保护,如果隧洞地质结构发生变化,在采取对岩体进行加强支护时可以采用钢筋混凝土衬砌的方法对隧洞围岩结构加以巩固。

### 4 结 语

综上所述,隧洞施工前探明隧洞掘进前方岩体的地质条件是关键,亦是整个工程建设顺利与否的前提;在塌方处理的施工过程中,应注意施工环境和围岩的改变,科学合理地制定有效的治理措施与方法。固增水电站引水隧洞塌方段治理采用的处理措施通过多次优化,有效地保证了实施过程中的施工安全,提升了实施效能,为该电站顺

(下转第90页)

的优势明显。可以通过缩短相邻段位延期时间、增加爆破段别的方式,只要其最后一段的延期时间设定不超过 130 ms 便可满足瓦斯隧道施工规范;结合安全导爆索,可以实现周边孔间隔装药,实现高瓦斯隧道真正意义的光面爆破;且数码电子雷管通过电信号控制延期时间,不会产生火花,可以孔外起爆,能够节约雷管用量,降低施工成本。

5 结 语

根据上述提出的采用数码电子雷管进行高瓦斯隧道光面爆破的设计思路,瓦斯隧道采用安全导爆索和数码电子雷管进行爆破网络设计、孔外延期起爆的方案在理论上可行。其实施效果应在工程中进行试验予以验证。

参考文献:

[1] 徐翔. 爆破卸压在冲击地压防治中的应用研究[D]. 辽宁工程技术大学,2014.

[2] 王华. 数码电子雷管在露天深孔爆破中的应用试验[J]. 铜业工程,2011,27(4):22-27,54.

[3] 胡增康. 数码电子雷管延期技术的研究[D]. 中北大学,

(上接第 79 页)

利实现发电目标提供了有利条件,所取得的经验对类似塌方的处理工作具有一定的参考意义。

参考文献:

[1] 达瓦. 浅谈水利水电工程引水隧洞超前预报及塌方处理[J]. 西部探矿工程,2007,19(11):160-162.

[2] 张剑波,吴长庚,刘竹. 南俄 5 水电站引水隧洞固结灌浆工程施工技术浅析[J]. 四川水利,2020,41(5):35-37.

[3] 郭继东,邵华. 引水隧洞穿越不良地质段开挖施工技术探讨[J]. 黑龙江水利科技,2016,44(5):86-88.

(上接第 86 页)

能够及时发现施工过程中存在的问题,从而提前做好好解决方案及应对措施。

4 结 语

EPC 模式对于承包人而言利润与风险并存,良好的施工组织协调能够有效地完成项目履约,控制成本投入,达到预期的经营效果。面对 EPC 模式下的水电站发电厂房,其专业范围更广、施工工作面更多,施工穿插干扰更大,其组织协调任务更重,亦更加重要,期望固增水电站取得的经验能够为后续类似工程起到一定的借鉴作用。

参考文献:

2013.

[4] 田小宝. 澳瑞凯数码电子雷管起爆系统优势及应用案例[J]. 矿业装备,2012,2(10):98-101.

[5] 杨译,顾光祥. 数码电子雷管在高瓦斯隧道开挖中的应用探讨[J]. 交通建设,2015,8(11):272-273.

[6] 杨年华. 应用电子雷管进行干扰降振爆破试验研究[J]. 工程爆破,2013,19(6):41-45.

[7] 罗世刚,高峰,夏维学,孙慕楠,万俊义,范道林. 一种瓦斯隧道光面爆破施工方法[P]. CN114593651A,2022-06-07.

[8] 刘博,黄丹. 水炮泥填塞在大直径深孔爆破中的应用[J]. 有色金属工程,2015,67(5):116-119.

[9] 潘涛,陈辉峻,赵明生,等. 数码电子雷管延时精度误差影响因素及改进措施研究[J]. 爆破,2014,31(2):135-138.

[10] 曹景祥. 121-1 型煤矿许用安全药包的研制[J]. 煤矿爆破,2000,18(3):6-8.

[11] 张敏. 煤矿许用导爆索工艺技术的研究[J]. 爆破器材,2011,40(1):35-37.

作者简介:

罗世刚(1987-),男,重庆市人,分局工程技术部副主任,工程师,学士,从事水利水电及市政工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

[4] 颜英军. 橙子沟水电站引水隧洞塌方地质分析及处理措施[J]. 资源环境与工程,2017,31(1):85-88.

[5] 曹仰海. 引水隧洞塌方原因探讨及处理措施分析[J]. 黑龙江水利,2017,44(5):47-50.

作者简介:

郭益(1976-),男,四川眉山人,一分局副分局长,项目经理,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与项目管理工作;刘忠军(1987-),男,四川内江人,工程师,从事水利水电工程施工技术与项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[1] 王元. EPC 工程项目协调管理之重要性[J]. 化工管理,2014,29(8):256.

[2] 席卫民. EPC 项目之协调管理[J]. 中国石油企业,2008,25(11):78.

[3] 郑敬波. 浅谈大型工业厂房基建项目中的协调管理[J]. 工程建设,2010,42(3):48-51,55.

[4] 梁雄,卢武生. 浅谈国外某水电项目 EPC 管理[J]. 红水河,2013,32(2):99-103.

[5] 严磊,刘明,孙琼芳. BIM 技术在水电工程 EPC 项目中的应用研究[C]. 第二届全国岩土工程 BIM 技术研讨会论文集,2017:122-135.

作者简介:

张金朋(1997-),男,陕西咸阳人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

的优势明显。可以通过缩短相邻段位延期时间、增加爆破段别的方式,只要其最后一段的延期时间设定不超过 130 ms 便可满足瓦斯隧道施工规范;结合安全导爆索,可以实现周边孔间隔装药,实现高瓦斯隧道真正意义的光面爆破;且数码电子雷管通过电信号控制延期时间,不会产生火花,可以孔外起爆,能够节约雷管用量,降低施工成本。

5 结 语

根据上述提出的采用数码电子雷管进行高瓦斯隧道光面爆破的设计思路,瓦斯隧道采用安全导爆索和数码电子雷管进行爆破网络设计、孔外延期起爆的方案在理论上可行。其实施效果应在工程中进行试验予以验证。

参考文献:

[1] 徐翔. 爆破卸压在冲击地压防治中的应用研究[D]. 辽宁工程技术大学,2014.

[2] 王华. 数码电子雷管在露天深孔爆破中的应用试验[J]. 铜业工程,2011,27(4):22-27,54.

[3] 胡增康. 数码电子雷管延期技术的研究[D]. 中北大学,

(上接第 79 页)

利实现发电目标提供了有利条件,所取得的经验对类似塌方的处理工作具有一定的参考意义。

参考文献:

[1] 达瓦. 浅谈水利水电工程引水隧洞超前预报及塌方处理[J]. 西部探矿工程,2007,19(11):160-162.

[2] 张剑波,吴长庚,刘竹. 南俄 5 水电站引水隧洞固结灌浆工程施工技术浅析[J]. 四川水利,2020,41(5):35-37.

[3] 郭继东,邵华. 引水隧洞穿越不良地质段开挖施工技术探讨[J]. 黑龙江水利科技,2016,44(5):86-88.

(上接第 86 页)

能够及时发现施工过程中存在的问题,从而提前做好好解决方案及应对措施。

4 结 语

EPC 模式对于承包人而言利润与风险并存,良好的施工组织协调能够有效地完成项目履约,控制成本投入,达到预期的经营效果。面对 EPC 模式下的水电站发电厂房,其专业范围更广、施工工作面更多,施工穿插干扰更大,其组织协调任务更重,亦更加重要,期望固增水电站取得的经验能够为后续类似工程起到一定的借鉴作用。

参考文献:

2013.

[4] 田小宝. 澳瑞凯数码电子雷管起爆系统优势及应用案例[J]. 矿业装备,2012,2(10):98-101.

[5] 杨译,顾光祥. 数码电子雷管在高瓦斯隧道开挖中的应用探讨[J]. 交通建设,2015,8(11):272-273.

[6] 杨年华. 应用电子雷管进行干扰降振爆破试验研究[J]. 工程爆破,2013,19(6):41-45.

[7] 罗世刚,高峰,夏维学,孙慕楠,万俊义,范道林. 一种瓦斯隧道光面爆破施工方法[P]. CN114593651A,2022-06-07.

[8] 刘博,黄丹. 水炮泥填塞在大直径深孔爆破中的应用[J]. 有色金属工程,2015,67(5):116-119.

[9] 潘涛,陈辉峻,赵明生,等. 数码电子雷管延时精度误差影响因素及改进措施研究[J]. 爆破,2014,31(2):135-138.

[10] 曹景祥. 121-1 型煤矿许用安全药包的研制[J]. 煤矿爆破,2000,18(3):6-8.

[11] 张敏. 煤矿许用导爆索工艺技术的研究[J]. 爆破器材,2011,40(1):35-37.

作者简介:

罗世刚(1987-),男,重庆市人,分局工程技术部副主任,工程师,学士,从事水利水电及市政工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

[4] 颜英军. 橙子沟水电站引水隧洞塌方地质分析及处理措施[J]. 资源环境与工程,2017,31(1):85-88.

[5] 曹仰海. 引水隧洞塌方原因探讨及处理措施分析[J]. 黑龙江水利,2017,44(5):47-50.

作者简介:

郭益(1976-),男,四川眉山人,一分局副局长,项目经理,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与项目管理工作;刘忠军(1987-),男,四川内江人,工程师,从事水利水电工程施工技术与项目管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

[1] 王元. EPC 工程项目协调管理之重要性[J]. 化工管理,2014,29(8):256.

[2] 席卫民. EPC 项目之协调管理[J]. 中国石油企业,2008,25(11):78.

[3] 郑敬波. 浅谈大型工业厂房基建项目中的协调管理[J]. 工程建设,2010,42(3):48-51,55.

[4] 梁雄,卢武生. 浅谈国外某水电项目 EPC 管理[J]. 红水河,2013,32(2):99-103.

[5] 严磊,刘明,孙琼芳. BIM 技术在水电工程 EPC 项目中的应用研究[C]. 第二届全国岩土工程 BIM 技术研讨会论文集,2017:122-135.

作者简介:

张金朋(1997-),男,陕西咸阳人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)