

# 大型水电站高边坡塌方治理施工技术

曾鸣<sup>1</sup>, 陈巍<sup>1</sup>, 古小梦<sup>2</sup>

(1. 中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610016;

2. 华电金沙江上游水电开发有限公司, 四川 成都 610041)

**摘要:**2020 年 5 月 12 日, 某水电站泄洪放空洞出口 F46/F21 断层引发了边坡坍塌现象, 坍塌高度约 40 m, 坍塌方量约 1.1 万 m<sup>3</sup>, 严重制约泄洪放空洞出口 2020 年 12 月底导流目标实现。参建各方制订了坍塌边坡治理方案, 采用了反压石渣、喷射钢纤维混凝土、“工字钢棚架+牛腿柱”复合支撑结构、钢锚墩临时支护、管棚等联合处理措施, 在极其艰难条件下快速、安全完成边坡治理, 实现了某水电站 2020 年 12 月底按期导流目标。

**关键词:**反压石渣; 钢棚架; 钢锚墩; 管棚

中图分类号: TU94+3.4

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)03-0111-05

## Construction Technology for High Slope Collapse Control of Large Hydropower Stations

ZENG Ming<sup>1</sup>, CHEN Wei<sup>1</sup>, GU Xiaomeng<sup>2</sup>

(1. Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610016;

2. Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD., Chengdu Sichuan 610041)

**Abstract:** On May 12, 2020, the F46/F21 fault at the exit of a flood discharge tunnel of a hydropower station caused slope collapse. The collapse height was about 40 m, and the collapse volume was about 11000 m<sup>3</sup>, which seriously restricted the realization of diversion target by the end of December 2020. All the parties involved in the construction have formulated the treatment plan of the collapse slope, adopted the combined treatment measures such as backpressure stone slag, sprayed steel fiber concrete, I-beam scaffolding and corbel column composite support structure, steel anchor pier temporary support, pipe shed and so on, and completed the slope treatment quickly and safely under extremely difficult conditions, and realized the target of diversion of Batang Hydropower Station by the end of December 2020.

**Keywords:** Backpressure stone slag; Steel shed frame; Steel anchor pier; Pipe shed

## 1 边坡坍塌概况

2020 年 5 月 12 日下午, 某水电站泄洪放空洞出口边坡发生局部坍塌现象, 坍塌情况具体如下: 自第十一级边坡第二层锚索锚墩下边缘至第十四级边坡, 坍塌最大宽度 43.89 m, 高度 39.95 m (未包括十四级边坡), 深度 12.82 m, 面积约 890.5 m<sup>2</sup> (未包括十四级边坡), 坍塌方量约为 11 275.9 m<sup>3</sup>。经现场查看, 第十一级边坡坍塌部位, 施工的锚杆和锚筋桩悬挂在塌腔内; 第十二级边坡坍塌部位, 施工的锚杆、锚筋桩、锚索和锚墩悬挂在塌腔内; 第十三、十四级被塌方体掩盖。2020 年 5 月 15 日, 两洞出口边坡再次发生坍塌情况, 坍塌至第十一级边坡第一层锚索下边缘。

塌方区三维示意图见图 1。

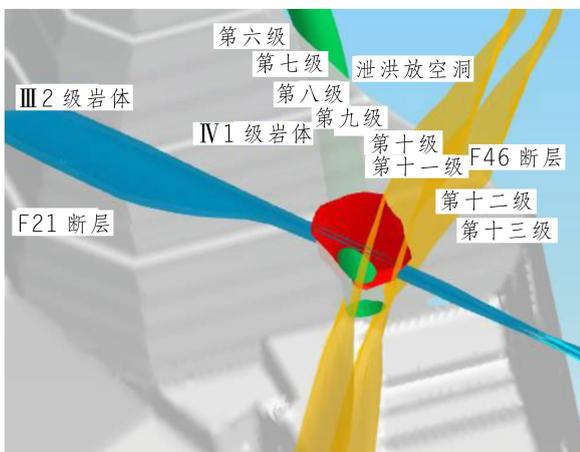


图 1 塌方区三维示意图

## 2 过流可行性分析

收稿日期: 2024-03-15

边坡坍塌发生时,泄洪放空洞和导流洞出口及消力池剩余约 25 万  $\text{m}^3$  土石方开挖和 12 万  $\text{m}^3$  混凝土浇筑。需分析 2020 年年底过流可行性,通过技术方案对比以确定边坡塌方处理措施<sup>[1-2]</sup>。

根据设计院下发的 2020 年及 2021 年防洪度汛技术要求,导流洞单洞过流满足枯期导流要求。

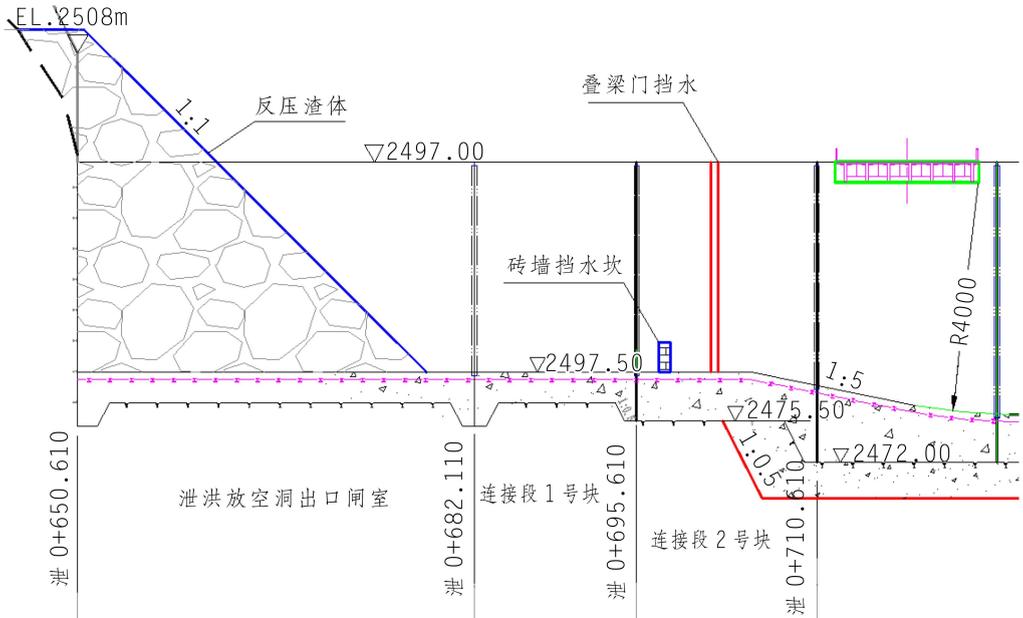


图 2 泄洪放空洞出口枯期过流方案图(单位:m)

### 3 边坡塌方治理措施

基于 2020 年年底导流洞出口具备过流可行性和边坡塌方处理的紧迫性,经参建各方现场踏勘,争得参建各方意见,应将边坡塌方上缘处理完成,方可进行下部施工。

#### 3.1 反压石渣

边坡塌方已由第十四级边坡高程 2 498.00 m 坍塌至第十一级边坡高程 2 560.00 m,塌腔顶部上缘距离开挖面高差 62 m。为防止边坡再次变形塌方及塌腔内预应力锚索施工,采用填筑反压石渣至高程 2 549.00 m(至第十一级边坡马道)形成施工作业平台。

施工平台填筑到位后,泄洪放空洞出口闸室及连接段 1~3 号块、导流洞出口闸室段均被反压石渣占压。随边坡塌方处理进度,反压石渣逐层进行下挖至高程 2 508.00 m 后,泄洪放空洞出口连接段 2~3 号块及导流洞出口闸室段具备施工条件,出口过流结构物施工与边坡塌方处理施工干扰已消除,反压石渣形成施工平台见图 3。

结合出口结构物设计,提出利用泄洪放空洞出口连接段 2 号块叠梁闸门进行枯期挡水,叠梁闸门后设置挡水坎强排水,可实现导流洞出口侧先过流,泄洪放空洞出口用叠梁闸门挡护,在 2021 年汛前完成边坡塌方处理剩余工作。泄洪放空洞出口枯期过流方案见图 2。

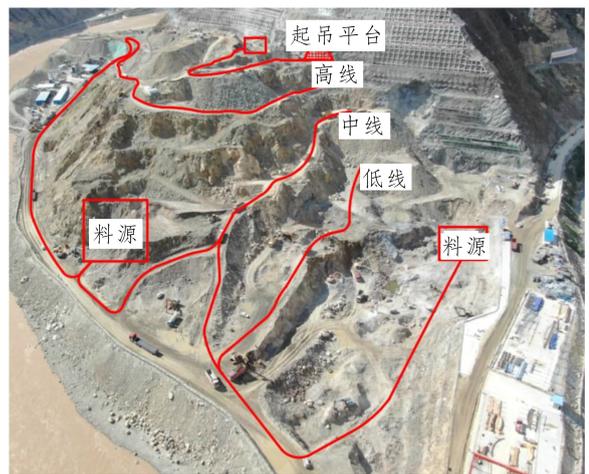


图 3 反压石渣形成施工平台

#### 3.2 喷射钢纤维混凝土

为避免边坡裂缝进一步发展引发二次坍塌,形成作业平台后立即对塌腔体进行喷射混凝土封闭。为增强喷射混凝土抗拉强度,采用掺加 2% 左右钢纤维。

利用施工平台布置 1 台臂长 49 m 的混凝土输送泵车配合 1 台 PZ-5D 混凝土潮喷机进行施

工。将混凝土潮喷机喷嘴固定在混凝土汽车泵末端,喷浆管道采用钢丝与混凝土输送泵车臂架末端固定,由混凝土汽车泵控制喷射角度及喷射方向。

### 3.3 塌腔上部新增锚索施工

坍塌发生后,泄洪放空洞出口第十级永久边坡形成较大面积倒悬体,进行塌腔处理施工需先消除倒悬体坍塌安全隐患,故先完成塌腔体上部第八~十级边级增设的 104 束 50 m 长 1 500 kN 预应力锚索。

在左岸边坡 B 区与 C 区交界处填筑一起吊平台,平台高程 2 572.0 m。采用 80 t 汽车吊将 8 台 YZX-90 锚固钻机及 3 台 HM-90A 履带式钻机分别吊至第八级和第九级边坡马道,2 台 YZX-90 锚固钻机调至第十级边坡。空压机吊至 B 区高程 2 564.0 m 平台。锚固钻机及空压机吊至施工作业面后,同时进行泄洪放空洞出口第

八~十级边坡支护造孔施工。

### 3.4 第十一级边坡塌腔处理

钢纤维喷射混凝土封闭及上部新增预应力锚索张拉完毕后,监测数据显示倒悬体已稳定,具备进行第十一级边坡塌腔处理施工的安全条件。

经施工平台近距离勘测,第十一级边坡塌腔最大深度 5.5 m,最大高度 10.8 m。综合考虑施工期工人个体安全防护,并结合边坡永久支护结构,提出采用“工字钢棚架+牛腿柱”的处理方案:即加工 I20A 工字钢棚架作为施工人员个体防护措施,采用液压反铲推入塌腔内,工人在工字钢棚架的防护下进行牛腿柱施工,棚架部分埋入牛腿柱内,作为柱体永久结构。

牛腿柱混凝土完成后通过柱体预埋钢管进行坍塌体内锚索施工,反压石渣开挖前割除棚架外露工字钢。在工字钢棚架防护下进行牛腿柱施工,见图 4。

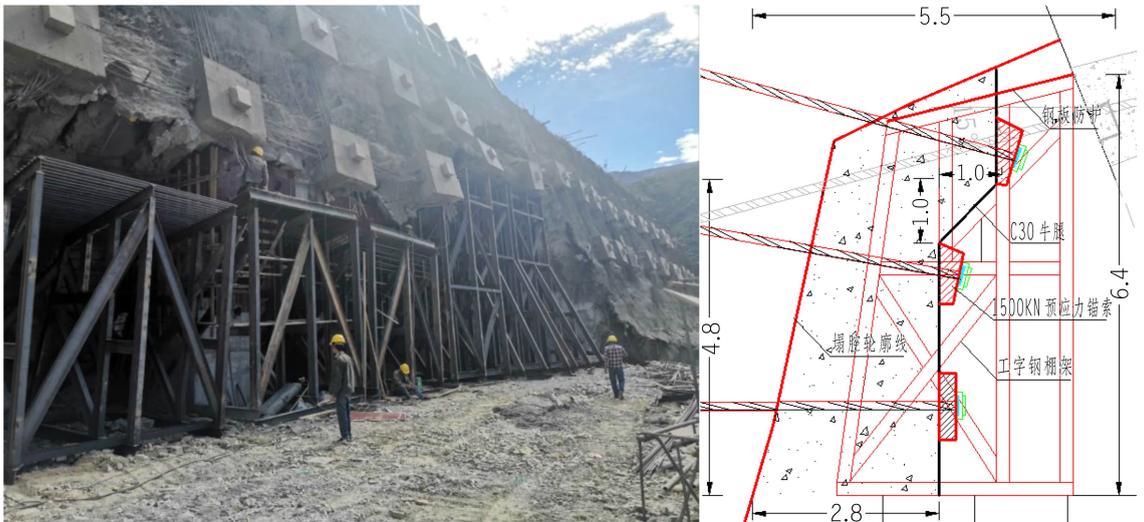


图 4 在工字钢棚架防护下进行牛腿柱施工图(单位:m)

### 3.5 第十二、十三级边坡坍塌处理

具备泄洪放空洞出口过流结构物施工条件需将反压石渣下挖至高程 2 508.00 m。制约反压石渣下降速度的主要因素为第十二、十三级边坡坡面设计新增的 73 束 1 500 kN,  $L=50$  m 预应力锚索。按照分层施工锚索、逐层下挖的施工方

案已无法满足 2020 年年底导流工期。根据现场勘察情况,第十二、十三级边坡原设计 1 000 kN 预应力锚索均已失效,锚墩悬挂在塌腔体内。考虑到导流方案为泄洪放空洞出口叠梁

挡水,具备采取措施利用该部分已失效锚索先进行临时支护,导流后再由下至上进行永久锚索支护的施工条件。

#### 3.5.1 原设计锚索重新利用

采用钢锚墩对第十二级、第十三级塌腔内原设计 1 000 kN,  $L=35$  m 预应力锚索重新恢复利用。

钢锚墩<sup>[3]</sup>采用 4 cm 厚 45 号钢板、I20A 工字钢、 $\phi 108$  钢管等制作,钢板四个角的部位开设  $\phi 80$  mm 孔,用于穿  $\phi 25$ ,  $L=1.5$  m 插筋,入岩 1.0 m,钢锚墩结构图见图 5。

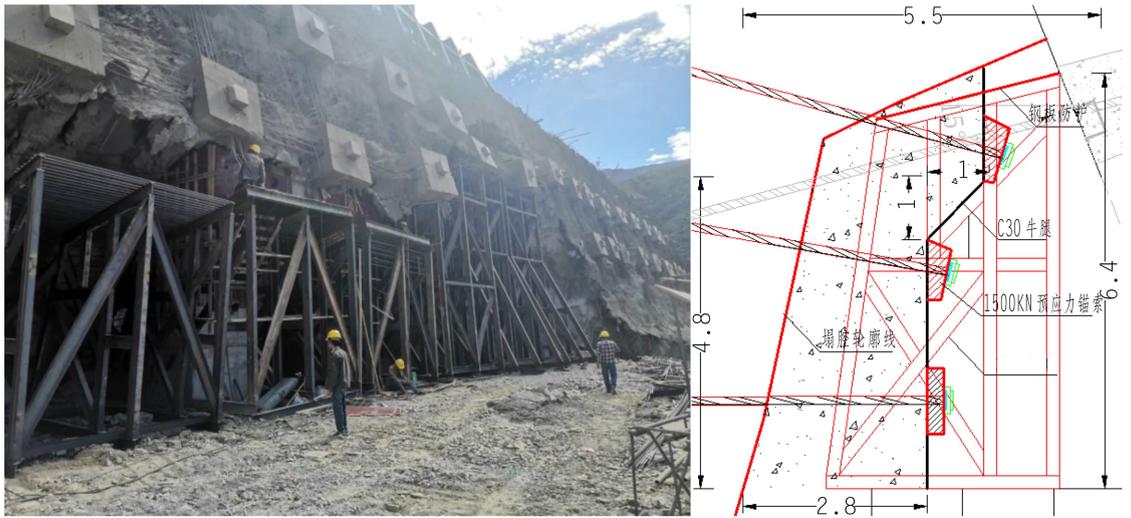


图5 钢锚墩结构图(单位:cm)

反压石渣开挖至原设计 1 000 kN 预应力锚索下口 60 cm 后,割除原设计预应力锚索、锚墩并剥除钢绞线 PE 皮和洗除油脂后,采用钢锚墩<sup>[4]</sup>进行二次张拉利用,张拉力控制在 500~750 kN。

### 3.5.2 石渣分层开挖方法

第十一级边坡牛腿柱内预应力锚索张拉完毕后进行反压石渣分层开挖施工,分层开挖至原设计 1 000 kN 预应力锚索高程,采用钢锚墩对原设计 1 000 kN 预应力锚索进行二次利用,形成坡面临时支护体系。坡面临时支护体系形成过程中,采用加强安全监测、锁口锚筋桩、随机锚筋桩和锚杆、局部固结等措施保证边坡稳定。

第十二、十三级边坡在坡面临时支撑体系及保证措施共同作用下进行反压石渣开挖施工。

## 3.6 第十四级及以下边坡坍塌处理

### 3.6.1 新增坡面锚筋桩施工

对第十四级边坡坡面新增 3 $\Phi$ 28,  $L=12$  m 锚筋桩,采用分层开挖、逐层支护的施工方案。

采用 HM-90A 履带式钻机进行第十四级边坡塌腔范围内的锚筋桩造孔施工,采用 PC270LC-7 长臂反铲进行逐层开挖,每层开挖至锚筋桩孔位以下 60~70 cm。锚筋桩造孔采用 A127 壁厚 8 mm 跟花管,加压灌注 M35 净浆,注浆压力 0.2~0.3 MPa。

### 3.6.2 管棚施工

根据泄洪放空洞出口坍塌、泄洪放空洞洞内堆渣及锚筋桩造孔情况,推测出口高程 2 515.00 m 以下洞轴线方向存在三角斜型坍塌。为保证

下挖过程中施工安全,提出在泄洪放空洞出口设置两层管棚的施工方案;对下层管棚采用灌注浓砂浆,封闭下层管棚渗漏通道,避免浆液大量进入泄洪洞洞内;对上层管棚采用加压灌注净浆,两层管棚之间形成胶结较为密实的支撑拱。

两层管棚层间距 100 cm,第一层管棚环向间距 90 cm,第二层管棚环向间距 60 cm,外倾角 2~3°。泄洪放空洞第十四级边坡管棚布置见图 6。

钢管采用  $\phi 146$  mm,壁厚 8 mm 热轧无缝钢管,尾部焊接  $\phi 10$  加劲箍,管壁四周钻两排  $\phi 20$  压浆孔,孔距 20 cm,梅花形布置。 $\phi 146$  mm 热轧无缝钢管分节长度 1.5 m,接头采用厚壁管靴连接,上满丝扣,丝扣长度不小于 15 cm。

管棚施工作业平台利用 PC270LC-7 长臂反铲将反压石渣料开挖形成拱形平台,采用 2 台 HM-90A 及 2 台 YXZ-90A 导轨式锚固钻机同步进行造孔施工。第一层管棚施工完毕后,采用 PC270LC-7 长臂开挖,继续下挖形成第二个拱形平台,进行第二层管棚施工作业。

### 3.6.3 连接段中隔墙挖除

导流洞与泄洪放空洞闸室及连接段设中隔墙预留岩坎(图 4),顶宽 11.70~4.65 m。因导流洞及泄洪放空洞出口闸室及连接段施工工期大幅压缩,出口闸室及连接段需具备多个仓位同步施工条件。

将中隔墙预留岩坎进行挖除,出口闸室及连接段开挖施工作业面大幅拓宽,具备多台液压反

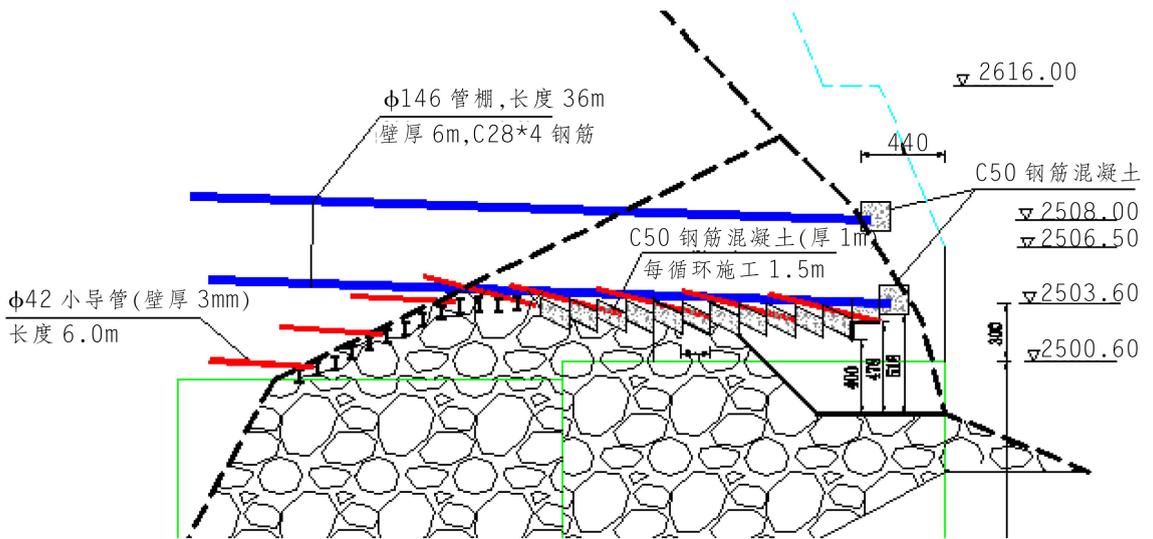


图 6 泄洪放空洞第十四级边坡管棚布置图(单位:cm)

铲同步开挖作业施工条件。同时,中隔墙挖除后,作为施工通道,布置吊车及布料机,可覆盖闸室及连接段多个仓位,反压石渣占压区结构物能按期完成施工任务。

#### 4 治理效果

项目于 2020 年 5 月底开始进行泄洪放空洞边坡塌方处理施工,2020 年 9 月 12 日完成反压石渣开挖,历时约三个半月完成 62 m 高差塌方体处理施工。

泄洪放空洞出口坍塌断面安全监测结果显示,各高程锚索测力计周变化量在 $-10.8 \sim 3.6$  kN 之间;锚筋桩、锚杆应力计各测点变化量相对较小,月变化量在 $-2.10 \sim 6.02$  MPa 之间;多点位移计孔口累计月变化量在 $0.00 \sim 2.97$  mm 之间。各监测数据均呈收敛状态,表明经治理后,边坡已经稳定,满足进行永久支护施工安全条件。

#### 5 结语

2020 年 5 月 12 日泄洪放空洞出口边坡坍塌发生后,泄洪放空洞出口尚剩余约 25 万  $m^3$  土石方开挖及 12 万  $m^3$  混凝土浇筑施工作业。基于 2020 年 12 月底泄洪放空洞出口需过流,项目采用了反压石渣、喷射钢纤维混凝土、“工字钢棚架+牛腿柱”复合支撑结构、钢锚墩临时支护、悬吊锚筋桩、管棚等联合处理措施,安全、快速完成了

边坡治理施工,为泄洪放空洞出口过流赢得了宝贵的时间。

某水电站泄洪放空洞出口 F46/F21 断层坍塌边坡二次治理工作,积累了在复杂地质条件、施工工期受限的情况下,如何安全、快速地进行边坡坍塌处理<sup>[5]</sup>的施工经验,为类似工程问题提供了解决思路。

#### 参考文献:

- [1] 滑坡防治工程设计与施工技术规范:DJ/P0219-2006[S].
- [2] 梁金成.小朋坡隧道洞口滑坡体综合治理施工技术[J].城市建设理论研究,2013(12):1-3.
- [3] 葛畅,张文军,褚洪臣.轻型钢垫板锚墩的施工设计与应用[J].黑龙江水专学报,2010,37(10):43-46.
- [4] 罗加贵,牛珣.轻型钢锚墩在糯扎渡水电站工程施工中的应用[J].云南水利发电,2011,27(3):63-65.
- [5] 冯述平.高边坡大滑坡体塌方段成洞研究与实践[J].工程技术研究,2020,5(6):30-32.

#### 作者简介:

曾 鸣(1989-),男,甘肃岷县人,项目副总工,工程师,本科,从事水利水电工程施工工作;

陈 巍(1989-),男,四川遂宁人,项目副总工,工程师,学士,从事工程项目管理工作;

古小梦(1993-),男,四川泸县人,助理工程师,学士,从事水电工程建设管理工作。

(编辑:吴永红)