

巴拉水电站溢洪洞进口浅埋洞段开挖支护技术方案优化

罗来宏, 张自森, 舒玉

(四川二滩国际工程咨询有限责任公司, 四川 成都 610072)

摘要:巴拉水电站溢洪洞岩石为花岗岩,以弱风化为主,分布小断层和风化夹层,隧洞进口位于强卸荷带内,部分处于松动岩带内,两侧边墙存在节理不利组合,形成不稳定块体,隧洞最大洞挖尺寸 19.6 m×21.8 m,右侧、竖向埋深分别为 4.1 m 和 2.8 m,属于浅埋强偏压隧洞开挖。浅埋洞段须采取预固结灌浆、边坡浇筑贴坡混凝土、增设锚杆(锚筋桩)、预应力锚索等预加固措施;进洞开挖前采用大管棚超前支护、洞挖采用台阶法分层开挖等措施,才能保证浅埋洞段开挖顺利完成。

关键词:浅埋;偏压;预加固;超前支护;爆破开挖

中图分类号:[TM622];TV651.1;TU94+1

文献标志码: B

文章编号:1001-2184(2023)05-0132-05

Optimization of Technical Scheme for Excavation and Support of Shallow Buried Section at the Inlet of Bala Hydropower Station Spillway Tunnel

LUO Laihong, ZHANG Zimiao, SHU Yu

(Sichuan Ertan International Engineering Consulting Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610072)

Abstract: The spillway of the Bala Hydropower Station is granite, mainly weakly weathered, distributed and small faults and weathered interlayers. The inlet is located in the strong unloading zone, and some part in the loose rock zone. There are unfavorable joint combinations of joints on both sides of the side walls, forming unstable blocks. The maximum tunnel excavation size is 19.6 m X 21.8 m, and the right and vertical burial depths are 4.1 m and 2.8 m respectively, which is a shallow buried strong bias tunnel excavation. The pre-reinforcement measures such as pre-consolidation grouting, pouring concrete on the slope, setting anchor rods (anchor piles) and pre-stressed anchor cable support are taken for the shallow buried tunnel section. the excavation of the tunnel began. Before digging into the tunnel, using large pipe shed advance support and step method of excavation in layer can ensure the successfully completion of the excavation of the shallow buried tunnel section.

Key words: Shallow buried; Eccentric pressure; Pre-reinforcement; Advanced support; Blasting excavation

1 概述

巴拉水电站位于四川省阿坝藏族自治州马尔康市境内脚木足河上,为二等大(II)型工程,枢纽建筑物主要由首部枢纽、引水建筑物和厂区建筑物等组成。主要建筑物包括混凝土面板堆石坝、溢洪洞、泄洪放空洞、引水隧洞、调压室、地下厂房、生态机组等,最大坝高 138.0 m。溢洪洞布置于面板堆石坝左岸,全长 1199.0 m,由进口渐变段(溢)0+34~0+64、上平段(0+64~0+94,0+200~0+574)、渐变段1(0+94~0+200)、泄

槽段(0+574~1+233)组成;k0+000~0+574洞段坡比 $i=0.02$,k0+574~1+233 坡比 $i=0.1107$;溢洪洞进口底板高程 2 886.80 m,左岸绕坝公路高程 2 928.00 m,进口边坡高程 2 928.00~2 903.00 m 开挖坡比为 1:0.3,高程 2 903.00 m 以下为垂直边坡,进口分布一条冲沟。隧洞进口位于强卸荷带内,围岩为花岗岩,弱风化为主,分布小断层和风化夹层,隧洞及外侧边墙部分处于松动岩带内,两侧边墙存在节理不利组合可形成不稳定块体,溢洪洞进口浅埋洞段成洞条件差。

收稿日期:2023-08-24

2 溢洪浅埋洞段工程

受溢洪洞进口下游侧冲沟、上部公路和边坡开挖影响,进口前段约 30.0 m(0+034~0+064)上覆岩体垂直埋深约 15.0 m,最小埋深 7.0~10.0 m,隧洞埋深不足 1 倍洞径,属于浅埋洞段,进口浅埋段长度 60.0 m(k0+034~0+094),浅埋段最大洞挖尺寸 19.6 m×21.8 m;在溢洪洞进口洞脸边坡开挖过程中,洞脸外侧边坡发生局部垮塌,导致洞室埋深进一步减少,(溢)0+034 最小垂直埋深仅 2.8 m,临河侧最小埋深仅 4.1 m,溢洪洞进口洞身段埋深情况统计见表 1。隧洞位于强卸荷带内,隧洞上及外侧边墙部分处于松动岩带内,两侧边墙存在节理不利组合可形成不稳定块体,基于溢洪洞浅埋洞室段岩体裂隙发育、岩体完整性差,垂直埋深、右侧埋深不足 1 倍洞径^[1],且洞室开挖断面尺寸较大,故需要采取专门技术措施来保证洞挖围岩稳定。

表 1 溢洪洞进口洞身段埋深情况统计表

洞段名称	桩号(km+m)	开挖断面宽(m)×高(m)	最小埋深/m		
			上部	侧向	
进口渐变段	(溢)0+034	19.6×21.8	2.80	4.10	
	(溢)0+039	19.17×21.8	14.65	9.56	
	(溢)0+044	18.73×21.8	17.96	11.71	
	(溢)0+049	18.3×21.8	21.58	13.42	
	(溢)0+054	17.87×21.8	22.01	12.89	
	(溢)0+059	17.43×21.8	22.71	12.15	
	(溢)0+064	17×21.8	24.67	13.41	
	(溢)0+064	16.4×21.2	24.37	13.11	
	(溢)0+069	16.4×21.2	24.5	14.14	
	(溢)0+074	16.4×21.2	24.61	15.44	
	上平段 1	(溢)0+079	16.4×21.2	24.71	17.84
		(溢)0+084	16.4×21.2	28.94	22.22
		(溢)0+089	16.4×21.2	33.01	25.17
(溢)0+094		16.4×21.2	37.08	31.73	

3 浅埋段洞室边坡专项技术措施

溢洪洞进口浅埋段(溢 0+034~0+074)分为垮塌浅埋段(溢 0+034~0+044)和非垮塌浅埋段(溢 0+044~0+074)。在洞挖前首先对溢洪洞进口浅埋洞段周围岩体采取贴坡钢筋混凝土、预固结灌浆、锚杆/锚筋束/预应力锚索等措施进行加固处理,其中预固结灌浆以在浅埋段区域边坡及上部公路路面浇筑的钢筋混凝土作为盖重。

3.1 溢洪洞进口浅埋洞段边坡预固结灌浆加固措施

浅埋段对边坡垮塌松散体清理及原始边坡浮渣、腐殖土、树根杂物等清除后,从隧洞底板高程 2 887.00 m 至公路高程范围临河侧边坡及洞脸至公路高程边坡浇筑 C25 贴坡混凝土,贴坡混凝土厚度 1.0~1.5 m,公路路面混凝土厚 0.5 m,混凝土表层布设 $\Phi 20@20 \times 20$ cm 钢筋网。预固结灌浆垂直向下布置灌浆孔,间排距溢 0+034~0+044 段为 2.0 m、0+044~0+074 段为 3.0 m 交错布置,孔深约 15.0~38.0 m,溢洪洞洞身范围内区域预固结灌浆约灌至隧洞半洞高程(2 896.00 m),洞身范围外区域预固结灌浆灌至溢洪洞底板高程(2 887.00 m)。结合预固结灌浆加固岩体的目的,预固结灌浆经过现场生产性试验后,根据试验成果结合现场实际情况,经专题讨论确定预固结灌浆条件为:具备成孔条件的采取一次性钻孔成孔、全孔一次灌浆的施工工艺。能够一次性成孔的,直接采用 0.5:1 的纯水泥浆进行灌注,当每米注浆耗灰量超过 2 t 且无压力和回浆时,改用水泥砂浆进行灌注直至达到设计压力且不再吸浆后正常结束。当每米注浆耗灰量超过 2 t,灌浆压力已有明显上升趋势时,继续采用纯水泥浆进行灌注直至结束。当岩体破碎,灌浆孔无法一次性钻孔成孔时,可先灌浆后再扫孔继续灌浆(此时的灌浆段长不做严格规定),直至达到设计孔深,灌浆正常结束。当灌浆孔钻至孔底后因塌孔而孔深不足时,直接采用水泥砂浆进行灌注直至结束,并在待凝后对该孔进行扫孔至设计孔深,再采用纯水泥浆液进行灌注。预固结灌浆 I 序孔采用纯水泥浆灌注时终孔压力为设计压力 0.2 MPa,采用水泥砂浆灌注时终孔压力调整为 0.4 MPa;II 序孔终孔压力为 0.5 MPa^[1],现场灌浆水泥用量均参照第一种能一次性成孔的情况进行控制。

3.2 溢洪洞进口浅埋洞段边坡增加锚筋桩、锚杆、锚索等加强支护措施

进口垮塌浅埋段(溢)0+034~0+074 洞顶高程至洞底高程范围内临河侧边坡坡面及洞脸边坡布置水平(竖向)长短锚筋(锚筋束)。(溢)0+034~0+044 段 2 913.00 m 高程以上沿洞脸坡面布置水平长短锚筋(束),间排距 4.0 m,长锚筋

束为 $3\Phi 28, L=18.0\text{ m}$, 间排距 4.0 m ; 短锚筋为 $\Phi 28, L=9.0\text{ m}$, 间排距 4.0 m , 交错布置; $2\ 913.00\text{ m}$ 高程以下至洞顶高程布置两排锁口锚筋束, 锚筋参数为 $3\Phi 28, L=18.0\text{ m}$, 间排距 3.0 m ; 左岸公路路面高程以下外缘边坡(洞脸边坡)采用系统长短锚杆加固, 长锚杆为 $\Phi 28, L=9.0\text{ m}$, 间排距 4.0 m , 短锚杆为 $\Phi 28, L=6.0\text{ m}$, 间排距 4.0 m , 局部不稳定块体设置 2 排 150 t 预应力锚索加强

支护, 锚索长度约 50.0 m , 锚固段长度 10.0 m 。溢 $0+044\sim 0+074$ 段边坡预固结灌浆完成后灌浆孔兼做锚筋孔, 设置竖直向下的锚筋桩, 锚筋桩参数为 $3\Phi 28, L=12.0\text{ m}$, 间排距 3.0 m ; 左岸公路外缘边坡(临河侧边坡)局部不稳定块体和隧洞底部高程外侧边坡分别设置 2 排 150 t 压力分散型锚索进行加强支护, 锚索参数同上。溢洪洞进口浅埋段预加固处理措施见图 1。

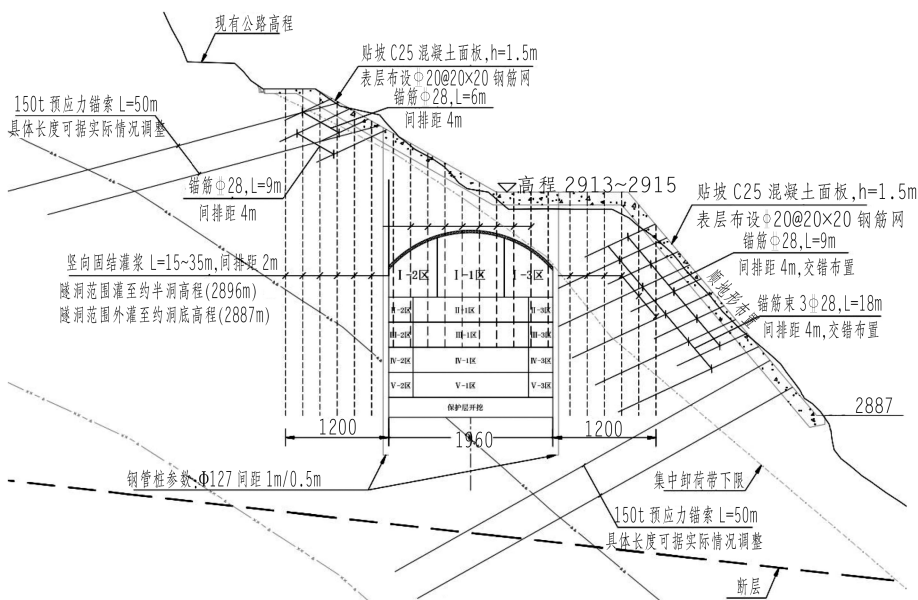


图 1 溢洪洞进口浅埋段预加固处理措施示意图

4 溢洪洞进口浅埋洞段爆破开挖措施

4.1 竖向钢管桩

(溢) $0+034.0\sim 0+094.0$ 段隧洞距离两侧边墙 30 cm 处以公路和侧向贴坡混凝土为施工平台, 实施 $\Phi 127$ 竖向钢管桩, 靠山侧边墙钢管桩间距 1.0 m , 临河侧边墙钢管桩间距 0.5 m , 钢管桩至溢洪洞底板高程^[2]。

4.2 超前管棚支护

(溢) $0+034.0\sim 0+094.0$ 桩号段起拱线以上范围采用 $\Phi 125$ 、壁厚 8 mm 、 $L=15\text{ m}$ 热压无缝钢管作超前大管棚, 每排间距 0.5 m , 搭接长度 5.0 m , 管棚上仰角 3° , 管内设 $3\Phi 28, L=15.0\text{ m}$ 锚筋束。洞口管棚施工前, 洞脸轮廓线外采取“ $I20$ 工字钢+C25 钢筋混凝土”明拱作管棚支撑基础, 明拱自高程 $2\ 903.00\text{ m}$ 起至拱顶采用“工字钢+钢筋混凝土”, 高程 $2\ 903.00\text{ m}$ 以下部分采用钢筋混凝土形式, 明拱断面尺寸 $0.6\text{ m}\times 0.5\text{ m}$ (宽 \times 厚)^[3]。明拱上部采用 2 榀 $I20$ 工字钢组

成, 工字钢中对中间距 50 cm , 明拱工字钢底高程 $2\ 903.00\text{ m}$ 。明拱起拱线以上部位混凝土内部设置“ $\Phi 16@100\text{ mm}$ 纵向钢筋及 $\Phi 25@500\text{ mm}$ ”双层钢筋网片, 网片中间预置 $\Phi 160\text{ PVC}$ 管作导向管, 便于后续管棚施工; 明拱起拱线以下部位立柱混凝土内部设置“ $\Phi 25@100\text{ mm}$ 竖向钢筋及 $\Phi 16@300\text{ mm}$ 箍筋”; 每一个支撑内布置 7 根 $\Phi 28, L=6.0\text{ m}$ 锚杆(外露 1.0 m), 配合洞脸 $\Phi 32, L=9.0\text{ m}$ 锁口锚杆进行加强固定。在高程 $2\ 903.00\text{ m}$ 处先施作混凝土支撑墩, 后续根据洞身每一层开挖进度及时进行明拱支撑墩下部立柱基础及下一层支撑墩混凝土浇筑, 待后续洞内衬砌后对洞脸明拱及其附属结构进行拆除。为便于明拱立柱基础混凝土入仓每一层支撑墩底部预留 45° 角楔口。

4.3 分台阶法施工

洞身开挖分台阶法施工, 洞身开挖施工程序如下:

施工准备→开挖断面测绘→超前支护→钻孔→爆破→通风散烟→初期支护→出渣→下一循环开挖施工。

第一层台阶采取中导洞后扩挖、数码电子雷管爆破;第一层台阶开挖完成后依次进行第二层、第三层及保护层台阶开挖。因受浅埋偏压影响,第一层台阶开挖循环进尺1.2~2.0 m,第二、三层、四层、五层及保护层开挖循环进尺。

4.3.1 第一层开挖

第一层开挖主要分2区进行,先对I-1区进行开挖,为减小爆破震动对上部岩体的扰动,I-1区再分3层进行,先进行中导洞开挖,中导洞开挖完成之后再分别进行两次顶部压顶。导洞进尺1.2~2.0 m,扩挖进尺1.2~2.0 m,扩挖完成后对顶拱进行安装工字钢拱架及喷锚支护;I-2区施工,首先进行靠山侧开挖,待靠山侧I-2区开挖支护完成后,再进行靠河侧I-2区开挖,待两侧I-2区开挖后立即安装I-2区工字钢拱架及喷锚支护以保证洞身稳定,防止坍塌伤人事故发生。

4.3.2 第二、三层、四层、五层开挖

进口段第一层开挖支护贯通后,按设计断面尺寸进行第二、三层、四层、五层开挖,第三层在第二层开挖完成后进行,层厚3.0 m,循环进尺3.0 m,V类围岩开挖前应做好超前支护,开挖后及时按照设计支护参数进行工字钢拱架、系统锚杆、挂钢筋网及喷混凝土支护,确保隧道围岩稳定。

4.3.3 保护层(1.5 m厚)开挖

第二、三、四、五层开挖及支护完成后,按设计断面尺寸进行保护层(1.5 m厚)开挖,循环进尺3.0 m,V类围岩开挖前应做好超前支护,开挖后及时按照设计支护参数进行工字钢拱架、系统锚杆、挂钢筋网及喷混凝土支护,确保隧道围岩稳定。

4.4 洞内系统支护

溢洪洞进口浅埋洞室设置I25 a工字钢间距0.5 m、锁脚锚杆 $\Phi 28$, $L=6.0$ m、每榀工字钢12根锁脚锚杆;系统砂浆锚杆 $\Phi 28$, $L=6.0$ m,间排距1.0 m,入岩5.5 m,交错布置;挂 $\phi 8$ mm钢筋网@20 cm \times 20 cm,喷C20混凝土厚20 cm^[4]。

为限制溢洪洞隧洞进口段整体变形,减弱浅埋和强偏压条件的影响作用,利于围岩稳定,保证

溢洪洞进口浅埋段洞室开挖成型施工安全及后续施工顺利进行。在前期溢洪洞进口浅埋段预加固基础上,在溢洪洞进口桩号(溢)0+034.00~(溢)0+094.00段内侧边墙新增2排1500 kN压力分散型预应力锚索,锚索间距3.0 m,深度30.0 m。两排锚索布置于内侧边墙(顺水流向左侧),第一排锚索布置于底板开挖线以上约11.8 m位置,第二排锚索布置于边墙中部(底板开挖线以上约8.8 m位置),两排锚索排距3.0 m,交错布置。

5 预防地质塌方的控制措施

5.1 严格管理 落实措施

浅埋洞段围岩地质条件较差,开挖过程中为防止塌方必须采取精细化的控制措施。首先进洞开挖前,进口浅埋段预加固(预固结灌浆、锚杆/锚筋束、预应力锚索、贴坡混凝土等)应全部施工完成;第一循环超前大管棚安装及注浆完成;在管棚超前支护的情况下,根据揭露的地质情况进一步增加超前锚杆或超前小导管再次进行超前加强支护。其次应根据揭露的围岩情况,提前做好爆破设计,钻孔及装药参数应根据上一循环的爆破效果结合实际情况进行动态调整;钻孔、装药、联网爆破严格按爆破设计执行,确保爆破设计落到实处;爆破开挖先测量放线,精准控制爆破孔位;爆破遵循“短进尺、弱爆破、勤量测、强支护”的原则,开挖后必须完成设计全部支护措施后方可进入下一循环的开挖。初期支护施工,钢拱架与岩面应结合紧密,喷混凝土必须密实,不得出现脱空。施工中设置变位观测装置,定时监测,认真进行数据分析,发现问题及时采取应对措施,做到“早发现、早应对、早处理”^[4]。每一循环爆破后认真进行分析总结,做到“一炮一总结”,以优化爆破参数,不断提高爆破质量。

5.2 做好超前地质预报

开挖过程中应做好超前地质预报,及时了解前方岩石情况,围岩较差时提前制定相应对策。地下洞室超前勘探孔的长度和尺寸应以设计意见为准,最终勘探孔的位置、方向、长度和数量应报业主或监理批准^[5]。完成超前勘探后,应立即通知设计代表和监理工程师,并及时将超前勘探资料提交监理。

6 结语

巴拉水电站溢洪洞进口浅埋洞段因地质条

件较差,又属于强偏压隧洞开挖,施工安全风险大,技术要求高。在召开专家咨询会后,确定了洞挖前浅埋洞段边坡预加固处理措施,即:溢洪洞进口浅埋段通过预固结灌浆提高围岩的整体性,改善岩体性能;同时增加贴坡钢筋混凝土,并在贴坡钢筋混凝土上采用竖向长短锚杆(锚筋桩)、水平锚杆(锚筋桩)、在坡脚(隧洞底板高程外侧)及岩体不稳定区施以预应力锚索等加固措施,提高了溢洪洞进口浅埋段围岩的整体稳定性,为洞挖施工创造了有利条件。为了进一步减缓隧洞开挖后偏压对洞室造成的不利影响,还采用超前大管棚结合超前小导管(或超前锚杆)对隧洞顶拱进行支护,增强了顶拱围岩的稳定性。浅埋洞段开挖完成后,通过在洞室内侧边墙新增 2 排 1 500 kN 压力分散型预应力锚索,减弱隧洞浅埋和强偏压条件的影响作用,确保了溢洪洞进口浅埋洞段的稳定性。

实践证明,对于特殊地质条件下的浅埋偏压隧洞开挖,必须要在充分的分析了解地质情况下,经过反复研究最终确定处理措施,施工单位根据该措施(正式下发的设计文件)结合现场实际情况

(上接第 123 页)

[12] 刘鐸璞,于德双. 混凝土面板堆石坝过鱼设施布置方案研究[J]. 广东水利水电,2021(4):35-40.

[13] 曾理,彭正良,周涛,等. 白鹤滩水电站尾水出口集鱼站混凝土施工技术[J]. 云南水力发电,2022,38(11):172-177.

作者简介:

侯宁(1997-),男,山西运城人,工学硕士,从事水电站生态环境保护工作;

刘鑫(1975-),男,四川成都人,高级工程师,工学硕士,从事水电站工程管理及生态环境保护工作;

(上接第 131 页)

荷载假定提供依据;三是方案设计遵循常规规范的基本计算原则和标准,但创新性地建立了塌腔上部散离体荷载模型假定,即可能散离体高度和散粒体浮容重为施加衬砌顶荷载假定,并通过模型分析确定“内衬、固灌和外填”的有效处理方式。

参考文献:

[1] DLT 5148—2021,水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S]. 北京,国家能源局,2021.

[2] DLT 5144-2015,水工混凝土施工规范[S]. 北京,中国电力出版社,2015.

[3] 李传州,鲜世雄. 龙江水电站导流洞塌方浅埋段冒顶塌方处

编制专项施工方案,并按超过一定规模的危险性较大分部分项编制和报审程序要求,经审批同意后方可组织现场实施。

参考文献:

[1] 孟建正. 表孔泄洪洞浅埋洞室段开挖技术方案[J]. 大众标准化,2019,(14):26-27.

[2] 李旭峰. 苗尾水电站导流隧洞施工中钢管桩的应用[J]. 云南水力发电,2012,28(06):102-103.

[3] 袁伟,王玉刚. 超前大管棚支护技术在隧道洞口段施工中的应用研究[J]. 大众标准化,2023,(16):135-137.

[4] 湛建华. 木里沙湾水电站调压竖井开挖支护施工综述[J]. 低碳世界,2018,(10):48-49.

[5] 王振环. 保和村隧道与成贵高铁并行段施工工序研究[J]. 工程机械与维修,2022,(06):207-209.

作者简介:

罗来宏(1987-),男,四川会理人,学士,工程师,从事水利水电工程监理工作;

张自森(1986-),男,云南宜良人,学士,工程师,从事水利水电工程监理工作;

舒玉(2000-),女,贵州习水人,学士,助理工程师,从事水利水电工程合同管理。

(责任编辑:卓政昌)

江磊(2000-),男,新疆博乐人,工学学士,从事水电站生态环境保护工作;

吴开帅(1988-),男,浙江杭州人,高级工程师,工学硕士,主要从事水电环保设计和环境影响评价工作;

汤优敏(1982-),女,浙江杭州人,高级工程师,工学硕士,主要从事水电环保设计和环境影响评价工作;

张祺(1994-),男,内蒙古临河人,工程师,工学博士,从事水利水电工程生态环境保护的设计和研发;

宋靖国(1982-),男,山西静乐人,高级工程师,工学硕士,主要从事水电站建设征地移民安置和生态环境保护工作。

(责任编辑:卓政昌)

理方案[J]. 青海电力,2009,12(28):67-72.

[4] 李大江,李正先,李君祥. 龙腾桥一级水电站导流洞冒顶塌方处理施工技术[J]. 水利电力,2015,(3):184-188.

[5] NB/T 10391-2020,水工隧洞设计规范[S]. 北京,国家能源局,2021.

作者简介:

杨宏昆(1969-),男,云南大理人,高级工程师,硕士,从事水利水电水电站水工设计和项目管理咨询工作;

王坤雷(1987-),女,河北石家庄人,工程师,硕士,从事水利水电水电站水工设计工作;

许红军(1977-),男,四川彭州人,高级工程师,学士,从事水利水电水电站施工组织设计工作;

夏俊江(1986-),男,四川广安人,高级工程师,学士,从事水利水电水电站水工设计工作。

(责任编辑:卓政昌)