

长河坝水电站枢纽区工程地质勘察与评价

胡金山, 刘永波, 唐世明, 曹建平

(中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

摘要:长河坝水电站为高地震烈度区、深厚覆盖层上建造的世界最高的砾石土心墙堆石坝,国内外尚无成熟经验可供借鉴,其地质勘察与评价也遇到前所未有的挑战。介绍了长河坝水电站枢纽建筑物主要工程地质问题与评价,包括区域地质与地震及水库大坝、地下厂房大型地下洞室、泄洪放空系统进出口边坡、环境边坡主要工程地质问题与评价。阐述了主要工程地质问题的处理及取得的效果,总结了长河坝工程地质勘察经验,可供类似工程借鉴,尤其是深厚覆盖层超高土石坝。

关键词:长河坝水电站;工程地质问题;勘察;评价

中图分类号:TV7:[221.2];TV221;TV641

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)01-0006-05

1 概述

长河坝水电站规划阶段的勘察设计工作始于1977年,至2003年7月编制完成了《四川省大渡河干流水电规划调整报告》。经相应的地质、勘探和试验研究工作论证,在初步查明和揭示坝址区工程地质条件与主要工程地质问题的基础上,于2004年10月编制完成了《坝址选择及枢纽布置初步研究报告》并进行了咨询。根据咨询意见,设计单位又对地下厂房、两岸坝肩、河床覆盖层、导流洞进口、左岸坝前卸荷松弛岩体等部位进行了补充勘探和地质调查研究工作,并针对坝区次级断层进行了补充取样和测龄研究工作,于2004年12月完成了《四川省大渡河长河坝水电站预可行性研究报告》并通过审查。设计单位在可行性研究阶段相继完成了坝址选择研究、坝线与坝型选择以及枢纽布置专题研究和针对查明水工建筑物工程地质条件等的地勘试验工作,同时,对枢纽区高边坡稳定性开展了专题研究。为进一步研究河床深厚覆盖层的颗粒级配和力学性能,又进行了专门的、较大口径($\phi 130$)取芯钻探和现场原位旁压试验等工作,于2006年6月完成了《四川省大渡河长河坝水电站可行性研究报告》,2007年10月通过审查。在招标技施阶段,进行了工程地震及断裂活动性补充研究、防震抗震专题研究、坝基河床覆盖层补充勘察、坝址左岸及基坑涌水水文地质条件专题研究、工程边坡以外天然边坡调查、砾石料场深化复勘(分区分层及分

级储量评价)及料场边坡勘察、泥石流沟补充专题研究及综合治理设计。

长河坝水电站为高地震烈度区、深厚覆盖层上建造的世界最高的砾石土心墙堆石坝,国内外尚无成熟经验可供借鉴,其地质勘察与评价也遇到了前所未有的挑战。

工程区河谷深切、谷坡高陡、冲沟发育,工程高边坡稳定、崩塌、滑坡、泥石流问题较突出,深厚覆盖层建坝工程地质问题包括坝区深厚覆盖层基础承载及不均匀沉降、坝基抗滑稳定、渗漏及渗透稳定、砂层液化等问题突出,高地应力区特大型地下洞室群稳定也是工程地质勘察与评价的重点。

2 枢纽区工程地质勘察与评价

2.1 区域地质与地震

该电站地处鲜水河断裂带、龙门山断裂带和安宁河~小江断裂带所切割的川滇菱形块体、巴颜喀拉块体和四川地块交接部位,处于川滇菱形块体东缘外侧,区域地质构造背景复杂。工程区外围区域断裂带规模宏大,发育历史悠久,北西向鲜水河断裂带和北东向龙门山断裂带南西段具有发生7.5~8级潜在地震的危险性。经地震地质背景和地震危险性分析得知:工程区不具备发生强震的地质构造条件,工程场地的地震危险性主要受外围强震活动的波及影响,其中鲜水河地震统计区康定8级潜在震源对场地地震危险性起主要作用。

工程场地50 a超越概率10%的基岩水平峰值加速度为172 gal,100 a超越概率2%的基岩水

收稿日期:2015-12-21

平峰值加速度为 359 gal, 相对应的地震基本烈度为Ⅷ度, 区域构造稳定性较差。“5.12”地震后, 长河坝水电站不需要进行工程场地地震安全性评价的复核。地震后区域地震地质环境有一定变化, 故进行了断裂活动性及工程地震补充研究, 补充论证了 100 a 超越概率 1% 的基岩水平峰值加速度为 430 gal。

2.2 水库主要工程地质问题评价

水库由大渡河主库、金汤河等支库组成, 属高山峡谷河道, 两岸岸坡基岩多裸露, 覆盖层分布零星且主要集中分布于库尾段。库区两岸出露地层为元古界澄江~晋宁期花岗岩($\gamma_2^{(4)}$)、石英闪长岩($\delta_{02}^{(3)}$)、闪长岩($\delta_2^{(3)}$)及库尾出露的元古界前震旦系石门坎组(Pts)变质流纹岩、变质石英砂岩夹千枚岩; 震旦系上统(Zb)中厚层状白云岩、结晶灰岩、千枚岩。

库区出露基岩以坚硬岩为主, 少量中硬岩夹软岩, 谷坡变形破坏形式以岩体卸荷拉裂、局部小型崩塌、坠落为主, 除库中段下索子上游约 1.2 km 左岸卸荷拉裂岩体和金汤河支库左岸小型花岗岩塌滑体外, 其它库段均未发现大的滑坡和潜在不稳定体, 库岸整体稳定。

两岸第四系松散堆积物多位于正常蓄水位 1 690 m 高程以下, 在下索子沟下游右岸分布有较厚的冰碛堆积物(一柱香堆积体), 岸坡高陡, 厚达数十米, 水库蓄水后会产生一定的塌岸, 但对水库的正常安全运行影响甚微。

库区两岸山体雄厚, 未发现通向库外的构造透水带分布, 加之无深切邻谷, 水库蓄水后不存在向库外及下游产生永久性渗漏问题。

库区两岸基岩裸露, 第四系松散堆积物不丰, 植被覆盖较好, 塌岸规模总体不大, 两岸除有两处矿山泥石流、响水沟泥石流及野牛沟古泥石流发育外, 冲沟泥石流活动不发育或规模不大, 松散固体物质来源有限, 水库淤积问题不突出。

水库区耕地林地稀少, 多分布在正常蓄水位以下, 水库蓄水后, 绝大多数库段无水库浸没问题。只有库尾正常蓄水位附近的菩提河坝有少量的耕地存在浸没问题, 但其高程高于正常蓄水位 3~5 m, 水库浸没影响较小。

库区无控制性区域性断裂通过, 两岸平行水库发育的断裂如昌昌断裂、红锋断裂距库岸均在

2~5 km 以远, 断层多具压扭性质, 未被库水淹没, 水库沿断裂诱发地震的可能性小; 库区大部分库段为典型的花岗岩、闪长岩峡谷区, 坝前水深可达 215 m, 表浅部岩体卸荷松弛。经中国地震局地质研究所预测评价认为: 水库蓄水后花岗岩库段存在卸荷型诱发地震的可能, 发震能量最高的坝前花岗岩库段存在发生 4 级诱发地震的可能, 震中烈度小于Ⅷ度(低于场地基本烈度), 故其对水工建筑物不会造成破坏性影响。

2.3 大坝工程地质问题评价

坝址区两岸地形陡峻, 基岩出露且以花岗岩及闪长岩为主, 无区域性断裂通过, 坝区断层测年成果表明其主要活动期在中更新世, 晚更新世以来不具活动性。

两岸岩体地应力较高, 大部分属高应力区, 最大主应力达 31.96 MPa。坝区岩石致密坚硬, 抗风化能力强, 风化作用主要沿裂隙进行, 局部可见球状风化, 浅表部为弱风化, 未见强风化, 具集中卸荷和夹层式风化特点。

两岸岩体浅表部位局部形成松动岩体。两岸崩塌较发育并发育多处崩塌堆积体, 坝址区冲沟发育, 易产生小规模泥石流。

河床覆盖层深厚, 坝区河床覆盖层厚度为 60~70 m, 局部达 79.3 m。根据河床覆盖层成层结构特征和工程地质特性, 自下而上(由老至新)可分为 3 层: 第①层为漂(块)卵(碎)砾石层(fglQ₃), 第②层为含泥漂(块)卵(碎)砂砾石层(alQ₄¹), 第③层为漂(块)卵砾石层(alQ₄²), 第②层中有砂层分布。覆盖层以粗颗粒为主, 局部为砂层透镜体。

综上所述, 大坝的主要工程地质问题包括坝基深厚覆盖层基础承载及不均匀沉降、坝基抗滑稳定、渗漏及渗透稳定、砂层液化等以及左右岸坝肩边坡、料场勘察与边坡支护等。

目前国内外在覆盖层上所建造的最高坝均未超过 200 m。而长河坝水电站坝高达 240 m, 已超出了现有工程经验, 其勘察与评价难度较大。主要工程地质问题包括:

(1) 覆盖层坝基承载及不均匀变形问题。

河床覆盖层地基具多层结构, 总体为漂(块)卵砾石层, 粗颗粒基本构成骨架, 结构较密实, 其抗变形能力和强度均较高, 可满足基础承载变形

和抗滑稳定要求。

由于②-C砂层分布广、埋深较浅、力学强度较低且在Ⅷ度地震工况下为可能液化砂层。在经方案比选后最终决定采取挖除处理。

坝基持力层为第②层含泥漂(块)卵(碎)砂砾石层(alQ_4^1)、第③层为漂(块)卵砾石层,坝基还有最大深度为53 m的覆盖层。为提高坝基覆盖层的承载力和土体密实度,增加压缩模量,减小坝基的不均匀变形和沉降,最终决定对心墙建基面底部的覆盖层坝基进行固结灌浆处理,深度为5 m。

据武汉大学三维应力应变分析,挖除②-C砂层后大坝发生的不均匀沉降变形不大,坝体变形较平顺。

(2)覆盖层坝基抗滑稳定问题。

坝基第②、③层土粗颗粒构成骨架,结构较密实,力学强度较高,现场大剪试验表明:其内摩擦角 $\varphi=28^\circ\sim 32^\circ$,能够满足堆石坝坝基抗滑稳定要求。坝基下砂层抗剪强度低,不能满足坝基抗滑稳定要求,需进行挖除处理。

挖除砂层后,采用极限平衡法圆弧滑动分析坝坡稳定性,经计算,各种工况下坝坡稳定安全系数均满足规范要求且最危险滑弧均不经过坝基覆盖层,说明挖除坝基砂层后,坝基覆盖层能够满足堆石坝坝基抗滑稳定要求。

(3)覆盖层坝基渗漏及渗透稳定问题。

坝基覆盖层除砂层外均具强至极强透水性,抗渗性能差,存在坝基渗漏及渗透稳定问题。两岸岩体及河床覆盖层下的基岩强卸荷岩体一般具强~极强透水性;弱卸荷岩体具中等~强透水性;微新岩体具弱微透水性,沿两岸及河床下的基岩存在绕渗问题。

经研究决定,坝基采用两道全封闭防渗墙及墙下帷幕防渗,防渗墙深入基岩1 m,主副防渗墙厚度分别为1.4 m和1.2 m。两岸山体及河床下的基岩采用钻孔孔内压水试验,查明基岩小于3 Lu的防渗线,设计帷幕深度超过此防渗线。另外,右岸为凸岸,大渡河在坝址处的流向由南东转为南西,形成一个90°的河湾,库水易沿右岸渗漏,故右岸防渗帷幕需适当延长。

坝基处理后,通过渗流计算,坝基内的各层覆盖层渗透坡降均小于0.1,小于其允许渗透坡降,

渗漏量也小于规范允许值。

施工过程中,由于坝基砂层的开挖,其上的覆盖层20~30 m被挖除,施工中基坑涌水较多,最大时达12 000 m³/h。为此,设计单位与中国地质大学联合进行了大坝基坑涌水渗流场专题研究,查清了基坑涌水的来源,认为在防渗体系完成的情况下施工期涌水对大坝永久运行影响不大。由于大坝的两道防渗墙与基岩组成了相对封闭的水文地质体,该电站开创性地采用水文地质方法宏观检测了防渗墙的渗透性(此法获得两项实用新型专利)。通过在主、副防渗墙之间进行多组多孔抽水试验,综合利用解析法、GMS模型参数反演和水力层析法计算分析得出两防渗墙体的渗透系数在0.01~0.02 m/d之间,防渗体的渗透性与设计值接近,即大坝防渗墙总体效果良好。

(4)砂层液化问题。

河床覆盖层中分布较广的②-C砂层厚度为0.75~12.5 m,埋藏深度为3.3~25.7 m,厚度较大,为饱水的少粘性砂土。在可行性研究阶段,进行了初判(地层时代、颗粒组成、剪切波速)、复判(标准贯入、相对密度、液性指数、振动液化试验)均认为其可能为液化砂,需进行挖除或采用专门的工程措施予以处理。开挖后进行了原位复核,包括相对密度、液性指数、标准贯入试验,同时进行了现场大剪试验,查明了其力学性能。

经初判、复判及施工复核认定其均为液化砂。下游砂层不处理时,在设计地震工况下,下游坝坡稳定安全系数不满足规范要求。经综合比较后决定采用全挖除方案。

(5)左右坝肩边坡稳定问题。

坝肩边坡开挖坡比为1:0.5~1:0.95。右岸开挖高度为343 m,左岸开挖高度为300 m,最大水平开挖深度约40 m。坝肩边坡稳定具有以下特点:

①均为弱至强卸荷岩体边坡,部分浅表部分为松动岩体;

②坡高达300多m,其中240 m坝体范围内为临时边坡。支护按临时稳定进行设计,但需要临时稳定3~5 a,施工期安全问题突出,任何一个小掉块都会造成下方出现较大的安全事故。

在前期勘察过程中,进行了坝肩边坡稳定专题研究,坝肩无规模较大的顺坡控制性软弱结构

面分布,边坡整体稳定,但节理裂隙的不利组合、局部松动岩体边坡控制了边坡的局部稳定性,遂对其进行了有针对性的支护设计。同时,每隔30~50 m坡高设置深层锚索支护,以确保边坡在较长时间内的临时稳定。松动岩体因卸荷松弛产生了松动变形,稳定性极差,为V类岩体,易产生滑塌破坏,施工中予以挖除处理。目前,大坝已顺利填筑至170 m,距最终坝高仅剩70 m,开挖支护后大坝边坡整体稳定。

(6) 块石料场边坡稳定问题。

两大块石料场边坡高度均超过300 m,料场边坡稳定问题较一般工程突出。

在前期料场勘察时查明了料源质量及储量,但对料场边坡勘察较少。施工阶段,重点进行了料场边坡勘察,查明了料场边坡的主要变形破坏模式,进行了稳定性评价,也查明了料场松动岩体分布情况,提出了料场支护的建议,如避开或挖除松动岩体,开采坡比随地质条件变化而变化,对强卸荷岩体和断层带采用缓于1:0.75、弱卸荷岩体1:0.5、微新岩体1:0.3的开采坡比,同时根据不利结构面组合形成的块体稳定问题随机增加支护,条件许可时将断层带挖除,并根据开挖后变形破坏模式进行有针对性的支护设计等。随着大坝填筑高程的上升,料源富余系数越来越高,在料场开挖下部可以将开挖坡比放缓。

(7) 土料场勘察与边坡稳定问题。

超高土石坝对防渗土料要求高,既要达到防渗要求,同时也要满足土料力学特性的要求,甚至超出现有规范要求。一般要求土料中粒径大于5 mm的颗粒含量(简称P₅含量)范围为30%~50%(建材规程规定宜为20%~50%),因而对土料场的勘察也提出了较高的要求。除了根据现有土料勘察规程查明土料级配和物理力学特性、进行质量及储量评价外,还须提出不同P₅含量(包括P₅<30%的偏细料、P₅=30%~50%的合格料、P₅>50%的偏粗料)土料在平面及深度空间分布特征及其分级储量,为土料场的合理开采及土料利用提供地质依据。据此,我们创新地提出了超高土石坝防渗土料勘察与确定的方法并获得了发明专利。

土料场前期勘察以料源勘察为主,重点放在料源质量及储量评价上,但对土料场边坡进行勘

察的较少。施工阶段进行了土料场边坡勘察。长河坝水电站砾石土有两个料场,分别为汤坝土料场和新莲土料场。汤坝土料场为先期填筑时唯一的土料场。料场开采时,由于开采边坡高陡且无支护,料场后边坡出现了蠕滑变形,危及料场开采安全及大坝的顺利填筑。施工阶段进行了扩大范围地形测量、地质测绘、钻孔和井探、物理力学试验等勘察工作。根据试验成果及工程地质类比法提出了岩土体的力学参数,对变形区进行了现状调查、变形机制分析,对边坡进行了稳定性分区,提出了基于宏观判断及分析计算的稳定性评价,分析研究并确定了边坡支护设计方案,将已出现蠕滑变形土体边坡覆盖层予以挖除,沿覆盖层较浅部位开口从上至下将覆盖层挖除,如覆盖层不能完全挖除,则采用抗滑桩和锚索等强锁口措施,或在地形允许时采用稳定坡比进行开挖。为确保料场安全,同时不影响大坝填筑,边坡处理分应急及永久支护两期进行。应急处理措施包括巡视、监测、预警等应急管理措施和开口线外截水沟的施工、裂缝回填、削坡减载、开口线附近钢管桩应急锁口等应急工程措施等。通过应急及永久处理措施的实施,有力地保障了料场开采安全及大坝顺利填筑。

2.4 地下厂房大型洞室主要工程地质问题评价

经可行性研究阶段勘察,地下厂房三大洞室水平和垂直埋深均大于200 m,岩性单一,以花岗岩为主,岩体新鲜坚硬,完整性较好,多呈块状~次块状结构,以Ⅲ~Ⅱ类围岩为主,整体成洞条件和围岩自稳能力较好,具备修建大跨度地下建筑物的工程地质条件。洞室顶拱局部稳定性受缓倾角结构面控制,边墙局部稳定性受NWW向陡倾角结构面(与边墙小角度相交)控制,三大洞室均存在局部不利结构面组合形成的块体稳定问题。洞室水平埋深350 m以里最大主应力 σ_1 量级为25.68~31.96 MPa,属高应力区,易产生岩爆。地下厂区的地下水活动微弱,洞壁以渗滴水为主,局部呈线状流水。此外,金康水电站引水洞距地下厂房仅255 m(直线距离),其水位高于地下厂房,分析预测厂房开挖过程中地下水活动将加强,可能产生较大的涌水,因此,需要加强地下厂房内侧的防渗和排水措施。

招标阶段,进行了左岸地下厂房水文地质专

题研究,在金康水电站引水隧洞充水现状的影响下,分析了左岸坝区地下水的补给、径流和排泄以及金康水电站引水隧洞渗水对左岸坝区地下水动力场的影响,分析预测了厂房开挖时可能产生的最大涌水量、施工开挖期及运行期地下水动力场变化对工程安全的影响,为防渗和排水处理措施的优化提供了水文地质依据。

开挖过程中,由于厂房边墙避开了最大主应力方向,岩爆现象不突出,仅局部存在片帮脱落、劈裂等现象,支护后洞室稳定。由于该地下厂房断面大,长228 m,最大高度为73.35 m,最大跨度为30.8 m,开挖时卸荷回弹明显,通过声波测试及全景图像显示洞室松动圈厚度为2.8~4 m。在母线洞距厂房边墙约6~8 m处最深达12 m处出现裂缝,方向与厂房边墙近平行、直立。针对母线洞裂缝,在厂房边墙处有针对性地增加了锚索支护。针对顶拱缓倾结构面及较大不利组合块体,增加了锚索支护或锚筋束支护。总体而言,厂房洞室稳定性较好,未出现大的塌方及块体失稳现象。

2.5 泄洪放空系统进出口工程地质问题评价

泄洪放空系统布置于右岸,沿线岸坡山体雄厚,谷坡陡峻,岸坡冲沟较发育。岩体主要为晋宁期~澄江期的侵入岩,其岩性以石英闪长岩($\delta_{02}^{(3)}$)、花岗岩($\gamma_2^{(4)}$)为主,局部侵入少量细晶花岗岩脉(γ_1)。

其进口边坡强卸荷水平深度为20~35 m,弱卸荷水平深度为64~78.5 m。岩体发育mj5裂隙密集带,带内小断层及挤压破碎带较发育,其产状与自然边坡呈小角度相交,与洞轴线呈大角度相交,对洞脸边坡、洞室稳定、塔基稳定均不利。可行性研究阶段将其挖除。

由于谷坡陡峻,在挖除mj5裂隙密集带后,开挖边坡坡高达300余m,施工难度大且工期长。技施阶段采用“高清坡、强锁口、低开口、早进洞”原则将边坡优化,部分保留mj5裂隙密集带,将开挖边坡降低至100 m左右。调整后泄洪洞延长,塔体外移,使mj5裂隙密集带的大部分处于洞身进口段。由于mj5裂隙密集带产状与洞轴线呈大角度相交,虽然其岩体破碎,但在采用预灌浆及管棚施工后洞室保持稳定。调整后的洞脸边坡整体稳定性主要受与洞脸斜交的、倾向坡外的长大

裂隙控制,同时,局部碎裂结构岩体边坡易产生塌滑。经边坡稳定性计算后在自然边坡进行了系统锚索支护以确保地震工况下稳定,开挖边坡中对破碎岩体增加了框格梁支护。开挖过程中,虽然局部由于支护不及时在破碎岩体中出现小规模垮塌现象,但总体边坡稳定。

出口边坡下部岩体强卸荷深度为16.5~27 m,弱卸荷深度为42.5~60.5 m,无控制性软弱结构面分布,边坡整体稳定。开挖后边坡稳定受长大顺坡裂隙控制。可行性研究阶段按1:0.5坡比开挖,坡高达300 m以上,施工难度大且工期长。在按上述原则进行优化后,将坡高降至100 m左右,同时经稳定性计算,对自然边坡采用系统锚索强锁口,目前大部分边坡已开挖完毕,边坡稳定性良好。

2.6 枢纽区环境边坡的勘察与防治

长河坝水电站为典型的高山峡谷地貌,边坡高陡,工程区左右岸坡基岩多裸露,植被差,岩体裂隙较发育,卸荷较强烈。工程边坡开口线以上至第一级谷肩的环境边坡高达700~800 m,其浅表部发育有较多可能失稳塌落的危岩体,分布范围较广,包括危石、危石群、孤石、孤石群、松动岩带等。

环境边坡(工程开口线外的自然边坡)危岩体对工程、施工安全影响较大。随着水电工程的不断建设,工程开口线外环境边坡的安全问题日益突出,因此,对环境边坡危岩体进行有针对性地勘察与防治就显得尤为必要。目前水电工程危岩体勘察、稳定性评价及防治尚无统一的标准。长河坝水电站危岩体稳定性评价遵循定性定量评价相结合、以定性分析为主的原则,根据已有的研究成果,考虑到地层岩性、地形坡度、结构面特性、结构面组合特征建立了一套半定量快速评价方法,以快速评价危岩体的稳定性。对中小型危岩体以定性分析为主;大中型危岩体可采用半定量快速评价方法,按危岩体稳定性影响因素快速评分表进行评价;大型、特大型危岩体宜采取定性定量结合的评价方法,考虑危岩体影响对象,结合《水电水利工程边坡设计规范》稳定性标准,确定危岩体的稳定性。危岩体危害性评价首先根据建筑物的重要程度及人员工程活动情况进行危害对

(下转第21页)

度为1.5 m, IV类围岩衬砌厚度为0.8 m; II、III类围岩洞段仅进行边墙及底板衬砌, 顶拱只作喷锚支护, 衬砌厚度为0.6 m。边墙和底板衬砌采用C₄₀40高强混凝土, 顶拱采用C25混凝土。

(3) 出口段设计。

放空洞出口采用扭曲挑流鼻坎, 平面弯曲非对称扩散。从“放1+701.65”位置起挑, 起挑点高程为1490 m。出口左侧挑射半径为91.67 m, 挑角为18°, 左侧边墙从桩号1+701.65起接半径R=60.84 m的圆弧, 圆弧沿轴线方向长度为27.77 m, 挑坎出口高程为1494.31 m。出口右侧挑射半径R=80.51 m, 挑角为30°, 右侧边墙平面投影R=225 m的圆弧, 轴线方向长度为40.11 m, 出口高程为1500.7 m。

放空洞挑坎水舌空中舒展, 扩散比较充分, 全部落在河道中, 归槽情况很好, 挑距约52.4~123.5 m, 入水宽度大约为51.8 m。在河岸左侧

(上接第10页)

象分级, 然后综合确定危岩体的危害程度, 其危害程度从高到低分为I、II、III级, 最后综合确定其防治措施。

3 结语

笔者主要介绍了长河坝水电站枢纽建筑物主要工程地质问题与评价, 简要介绍了主要工程地质问题的处理及取得的效果, 简单总结了长河坝工程地质勘察经验, 可供类似工程借鉴, 尤其是深厚覆盖层超高土石坝。

参考文献:

- [1] 胡金山, 凡亚, 闵勇章, 刘永波, 曹建平. “超高砾石土石心

(上接第17页)

尾水闸门室位于叮铛沟上游侧的山体内, 闸室轴线走向为N6°48'14"E, 闸室高55.3 m, 垂直埋深70~108 m, 最小水平埋深约30 m。尾水闸门室长度为132 m, 宽度为10 m, 城门洞型。

尾水洞出口布置在大坝下游约500 m处, 出口纵轴线与河道中泓线的交角约为40°。

4 结语

长河坝水电站工程引水发电系统地下洞室群复杂、规模大, 各建筑物布置紧凑, 很好地解

产生回流, 但回流影响很小。

4 结语

长河坝水电站泄水建筑物泄洪总量近9 970 m³/s, 笔者结合坝址区地形、地质条件, 对泄水建筑物的布置进行了比较研究, 所提出的1条深孔泄洪洞+2条开敞泄洪洞+放空的全泄洪洞组合方式是合理、可行的, 且随着勘测设计工作的深入, 对泄水建筑物的布置进行了适当的优化, 很大程度上降低了工程施工难度, 降低了工程风险。

泄水建筑物泄洪水头高、流量大、流速高, 水力学问题复杂, 根据水工模型试验成果, 对泄水建筑物的体型及结构进行了优化设计, 设计成果满足规范要求, 为施工提供了可靠依据, 亦可为类似泄水工程提供借鉴与参考。

作者简介:

蒙富强(1980-), 男, 广西百色人, 高级工程师, 硕士, 从事水工结构设计工作。 (责任编辑:李燕辉)

墙坝防渗土料勘察与确定方法(以长河坝水电站为例)”。高坝建设与运行管理的技术进展(中国大坝协会2014学术年会论文集)[C]. 郑州:黄河水利出版社, 2014:592-599。

作者简介:

胡金山(1973-), 男, 江西余干人, 教授级高级工程师, 注册岩土工程师, 学士, 从事工程地质勘察、岩土工程设计与研究工作;

刘永波(1981-), 男, 河南许昌人, 工程师, 学士, 从事水电工程勘察技术工作;

唐世明(1958-), 男, 四川西昌人, 高级工程师, 从事水电工程勘察技术工作;

曹建平(1957-), 男, 云南曲靖人, 高级工程师, 学士, 从事水电工程勘察技术工作。 (责任编辑:李燕辉)

决了地应力高、地质构造复杂、地下水丰富、通风、排烟难等一系列问题, 可为今后类似工程设计提供参考。

作者简介:

谭可奇(1980-), 男, 陕西石泉人, 副处长兼设计副总工程师, 高级工程师, 硕士, 从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作;

蒲晓峰(1963-), 男, 四川南部人, 专业副总工程师, 设计副总工程师, 教授级高级工程师, 学士, 从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作。

(责任编辑:李燕辉)