

长河坝水电站枢纽布置设计

郝元麟, 何顺宾, 王寿根

(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:长河坝水电站规模大。结合工程所处川西高原气候区、高山峡谷地区、高地震烈度区等复杂基础建设条件和建设开发背景,围绕电站枢纽布置涉及要素,系统概述了长河坝水电站枢纽布置设计的相关情况及其设防重点和难点,旨在为类似工程设计提供有益的启示。

关键词:长河坝水电站;枢纽布置;调整及优化;设计

中图分类号:TV7;TV222;TV64

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)01-0001-05

1 工程概述

长河坝水电站是以单一发电为主的大型水库电站,位于四川省甘孜藏族自治州康定县境内,地处大渡河上游金汤河口以下约4~7 km河段,为大渡河干流“3库22级”开发的第10级电站,坝、厂址上距丹巴县城约85 km,下距康定县城和泸定县城分别为51 km和50 km,距成都约360 km。

电站坝址控制流域面积56 648 km²,占全流域面积的73.2%,多年平均流量约843 m³/s。电站采用拦河大坝、首部式地下引水发电系统的开发方式,为一等大(1)型工程。拦河大坝采用砾石土心墙堆石坝,最大坝高240 m,坝壅水高约213 m,水库正常蓄水位高程1 690 m,正常蓄水位时大渡河干流回水长度为36.4 km,水库面积12.54 km²、库容10.15亿m³,校核洪水位高程1 694.6 m、相应总库容10.75亿m³,水库最低死水位高程1 650 m,调节库容4.15亿m³,具有季调节能力。电站最大水头216.2 m、最小水头166 m,额定水头200 m,发电引用流量1 458 m³/s,安装4台、单机容量为650 MW的混流立式水轮发电机,总容量2 600 MW,保证出力615 MW,多年平均年发电量为110.5亿kW·h。

2 枢纽区水文及工程地质条件

2.1 水文条件

大渡河流域的径流主要来自降水,其次为地下水 and 冰雪融水补给,径流具有丰沛稳定和年际变化小的特点。洪水主要由降水形成,洪水具有量大、峰不高、缓涨缓落、历时较长的特点,洪水过

程多呈复峰型且涨落缓慢;降水量主要集中在5~10月,其中又以6~9月最多。大渡河上游地区因地势高且远离水汽源地,降水量较少,降水日数一般为100~170 d,多年平均年降水量一般仅为600~700 mm左右且很少出现暴雨,最大日降水量一般为30~70 mm。

长河坝水电站坝址区多年平均气温15.4℃,极端最高气温36.4℃,极端最低气温-5℃,多年平均年蒸发量1 526.9 mm,多年平均相对湿度为66%,最大风速15 m/s,多年平均年降水量642.9 mm,历年最大日降水量72.3 mm。坝址处多年平均流量843 m³/s,汛期(5~10月)多年平均流量1 366 m³/s,枯期(11月~翌年4月)平均流量316 m³/s,多年平均年径流量265.85亿m³。坝址处多年平均悬移质年输沙量910万t,多年平均含沙量351 g/m³,年平均推移质输沙量确定为31.2万t。

2.2 工程地质条件

(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,区域构造稳定性较差。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、相对应的地震基本烈度为Ⅷ度,100 a超越概率2%的基岩水平峰值加速度为359

收稿日期:2015-11-05

gal, 100 a 超越概率 1% 的基岩水平峰值加速度为 430 gal。

(2) 库区地质条件。

水库地处高山峡谷区, 属河道型水库, 两岸基岩裸露, 河谷两岸支流、冲沟发育, 偶见零星的 I ~ III 级阶地分布。水库由大渡河主库及金汤河等支库组成, 正常蓄水位高程 1 690 m 时大渡河主库回水长约 36.4 km, 金汤河支库回水长约 5.1 km, 其余冲沟库容小、回水短。库区无区域断裂通过, 物理地质作用不强, 规模较小, 主要以岩体风化、卸荷、小型崩塌、泥石流为特征。

(3) 坝址区地质条件。

① 地形地貌。

电站所处部位的大渡河由南东转为南西流向形成一个 90° 的河湾。坝轴线附近河谷相对开阔, 呈较宽的“V”型, 两岸自然边坡陡峻, 临江坡高 700 m 左右, 左岸 1 590 m 高程以下坡角一般为 60° ~ 65°, 1 590 m 高程以上坡角一般为 40° ~ 45°; 右岸 1 660 m 高程以下坡角一般为 60° ~ 65°, 1 660 m 高程以上坡角一般为 35° ~ 40°; 枯水期河水面宽 110 ~ 120 m, 水深 3 ~ 5 m。正常蓄水位高程 1 690 m 时对应谷宽 459 m, 两岸冲沟较发育, 沟谷走向基本垂直岸坡, 规模较小, 切割较浅, 除左坝肩棒棒沟和右岸下游沙场沟有常年流水外, 其余冲沟均为季节性沟谷。

② 地层岩性。

坝址区出露岩体为一套晋宁期-澄江期的侵入岩, 其岩性以花岗岩 ($\gamma_2^{(4)}$)、石英闪长岩 ($\delta_{02}^{(3)}$) 为主。河床覆盖层厚 60 ~ 70 m, 局部达 79.3 m, 自下而上(由老至新)可分为 3 层: 第①层为漂(块)卵(碎)砾石层 ($fglQ_3$), 第②层为含泥漂(块)卵(碎)砾石层 (alQ_4^1), 第③层为漂(块)卵砾石层 (alQ_4^2), 第②层中有厚度为 0.75 ~ 12.5 m 的②-C 砂层分布、砂层顶板埋深 3.33 ~ 25.7 m。

③ 地质构造。

坝址区无区域性断裂通过, 地质构造以次级小断层、挤压破碎带、节理裂隙(裂隙密集带)、岩脉为特征。断层测年活动时间为 14.2 ± 1 万年 ~ 21 ± 1.5 万年, 主要活动期在中更新世, 晚更新世以来不具活动性。

④ 风化卸荷特征。

坝址区岩体主要为花岗岩, 次为辉长岩和石英闪长岩。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, 其风化强度、深度和分布规律明显受构造、地形、岩体卸荷和地下水等因素控制。两岸河谷深切, 谷坡陡峻, 天然地应力较高, 在河谷强烈下切导致谷坡向临空方向产生较强烈的卸荷。

⑤ 水文地质条件。

坝址区地下水赋存可分为第四系松散堆积层孔隙水和基岩裂隙水两种类型。第四系孔隙水主要分布于河谷地带的松散堆积物中; 基岩裂隙水分布于裂隙岩体和断层带附近, 受断层或岩脉阻水而局部富集; 地下水均由大气降水补给, 向河床排泄。

⑥ 地应力特征。

坝址区地处深山峡谷, 新构造运动总体表现为以整体性、间歇性强烈抬升为主, 区域构造应力作用方向表现为近东西向挤压。花岗闪长岩致密、坚硬、较完整, 抗变形性能强, 易蓄集较高的应变能, 应力相对集中且地应力较高。左岸水平埋深 200 ~ 450 m 山体内最大主应力 σ_1 方向大致为 N60° ~ 80°W, 倾角为 -20° ~ -54.98°, 最大主应力 σ_1 量级为 16 ~ 32 MPa; 右岸水平埋深 250 ~ 360 m 山体内最大主应力 σ_1 方向大致为 N40° ~ 60°W, 倾角为 6° ~ 68°, 最大主应力 σ_1 量级为 18 ~ 20 MPa。

3 枢纽布置设计

3.1 工程等级及洪水、地震设防标准

该工程为一等大(1)型工程, 挡水、泄洪、引水及发电等永久性主要建筑物为 1 级建筑物, 永久性次要建筑物为 3 级建筑物, 临时建筑物为 3 级建筑物。

各主要建筑物的洪水设防标准为: ①挡水、泄水建筑物按 1 000 a 一遇洪水流量 7 650 m³/s 设计, 可能最大洪水(PMF)流量 10 400 m³/s 校核; ②电站厂房按 200 a 一遇洪水流量 6 670 m³/s 设计, 1 000 a 一遇洪水流量 7 650 m³/s 校核; ③泄水建筑物消能防冲按 100 a 一遇洪水流量 6 230 m³/s 设计并考虑在低于该洪水标准时可能出现的不利情况。

各主要建筑物的地震设防标准为: 壅水建筑物抗震设防类别为甲类, 按 IX 度抗震设防, 设计地

震工况下,壅水建筑物基岩水平峰值加速度取100 a超越概率2%的值,即0.359 g;校核地震工况下,壅水建筑物基岩水平峰值加速度取100 a超越概率1%的值,即0.43 g。非壅水建筑物抗震设防类别为乙类,按Ⅷ度进行抗震设计,基岩水平峰值加速度取50 a内超越概率5%的值,即0.222 g。

3.2 枢纽布置设计及优化

3.2.1 坝址选择

按照所审定的大渡河流域梯级开发原则和规划,长河坝规划坝址区位于大渡河上游金汤河下游响水沟至蒙子坝之间长约7 km的大渡河干流河段上,工程场址上游受限于金汤河,下游受限于金汤河最末一级梯级——金康电站厂房。根据长河坝工程开发任务和基础建设条件,在规划河段拟定了上、下两个坝址进行枢纽建筑物布置和方案比较,上坝址位于响水沟至大奔牛沟长约2 km的河段上,下坝址位于大奔牛沟至蒙子坝长约2 km的河段上,两坝址相距仅2 km、水位差7~11 m。

两坝址间流域面积和水库淹没补偿相差甚微、径流基本相同、水量利用和环境影响程度基本无差别。所确定的坝址选择原则为“相同特征水位、相同装机规模、相同机组台数”。综合考虑坝体两岸接头条件、坝基防渗与坝体工程量、泄洪及引水发电建筑物布置条件、导流建筑物布置条件、施工条件、河段水头利用、工程经济指标等要素,确定下坝址为工程代表坝址。

3.2.2 坝轴线选择

长河坝工程规模大,所选定的坝址(下坝址)由于左岸坝前的卸荷松弛岩体、坝后的大湾沟及金康电站,右岸坝前的笔架沟、坝后的花瓶沟限制了枢纽布置,可供枢纽布置的河段长度较短。从地形、地质、水工建筑物布置考虑,坝轴线布置的范围基本局限于横I勘探线上游80~120 m范围内。为此,拟定了上、下两条坝线进行枢纽建筑物布置和方案比较。上坝线位于横I-2勘探线,下坝线位于横I-1勘探线位置,两坝线相距约50 m、夹角7°。

鉴于两条比选坝线距离较近,从工程地质条件、枢纽布置条件、施工组织、投资等方面进行比较,两坝线差异不大。相比较而言,上坝线具有地

质条件略优,枢纽布置(取水口、压力管道、厂房及附属洞室等)的适应性、协调性较好,工程投资少等优势,故最终确定上坝线为工程选定坝线。

3.2.3 坝型选择

鉴于坝址区地震基本烈度为Ⅷ度、河谷宽高比约为2.1、坝基覆盖层最厚达80 m、深覆盖层上拟建的最大坝高为240 m等复杂筑坝条件以及坝址附近有足够储量满足高土石坝要求的防渗土料和坝壳堆石料可以利用,初步考虑该拦河大坝宜采用当地材料坝。从已有工程成熟经验、坝体结构、投资和工期等方面分析,较适宜的坝型为砾石土心墙堆石坝、砾石土斜心墙堆石坝和沥青混凝土心墙堆石坝等三种坝型。

三种坝型的坝坡稳定、平面渗流和坝体应力应变计算分析成果等均满足高土石坝修建的各种技术要求,工期安排差异不大。沥青混凝土心墙堆石坝虽然投资最省,但因心墙与基础防渗墙接头结构复杂,基础防渗墙应力高,沥青心墙的应力和变形复杂,防渗体结构可靠性差,基础防渗墙施工难度大,总工期保证度低,最大坝高远高于目前已建同类型之最大坝高(约130 m)、可借鉴经验少等缺点不宜采用。砾石土直心墙堆石坝抗震性能和抗渗透稳定性均好于斜心墙,投资也略低于斜心墙方案,工程区气候条件也适宜土质心墙的施工填筑,故最终确定砾石土直心墙堆石坝为工程选定坝型。

3.2.4 枢纽布置方案比选

(1) 枢纽布置格局。

坝址区大渡河河道为由南东转为南西流向的一个90°河湾。为了充分利用河湾地形裁弯取直,节省工程量,使建筑物布置顺畅,设计单位将所有泄水建筑物进口均布置于象鼻沟上游侧、出口布置于花瓶沟下游,形成“平、直、顺”一坡到底的无压泄水隧洞,同时结合地质条件和各泄水建筑物运行、出流情况,拟定了泄水洞按“大断面、短洞线及小断面、长洞线”的排列布置原则,使各泄水出口水流顺河道、归槽条件较好。根据引水发电系统位置的不同,研究了右岸厂房和左岸厂房两大枢纽布置格局。

鉴于该电站坝址位于高山峡谷地区,山体雄厚,岸坡陡峻,无较宽阔的阶地分布,不具备布置大型地面厂房的条件,故发电厂房宜采用地下式。

在综合考虑了大型地下洞室群对地质条件的适宜性、工程量省、运行管理方便等条件,左、右岸厂房宜采用首部式地下厂房型式。左岸厂房布置方案研究了无溢洪道、小溢洪道(1孔,宽15 m、高16 m)、大溢洪道(3孔,单宽11 m、高15 m)三种不同泄洪方式组合及相应的尾水布置方案;右岸地下厂房方案研究了开敞式溢洪道组合长、短尾水洞,开敞式泄洪洞组合长尾水洞、尾水利用导流洞等4个方案。比较而言,将地下厂房洞室布置在左岸,围岩稳定条件较好,以开敞式泄洪洞代替岸边溢洪道避免了大面积高陡边坡稳定问题和对花瓶沟堆积体、大湾沟堆积体的不利影响。该方案两岸建筑物布置较均衡,施工干扰较小,不可预见的地质问题相对较少,施工工期短。

从工程的技术可靠性、电站运行风险、施工干扰、施工工期及其保证性等方面进行综合权衡后确定该工程采用泄洪建筑物布置于右岸、引水发电系统布置于左岸的枢纽布置格局。

(2) 泄水建筑物布置。

长河坝属高坝大库,坝址处河谷较宽,两岸岸坡陡峻,枢纽泄量大($10\ 400\ \text{m}^3/\text{s}$)、水头高(最大约200 m,泄洪功率约21 000 MW),结合当地材料坝的运行特点和水库调度要求,该泄水建筑物需顺应地形、地质条件、具有良好的进流归河条件,具有较大的超泄能力,宜布设多层泄流通道以合理控制水位的升降,在中小洪水时具有较大的运行灵活性并尽量与其他建筑物和周边环境相协调。据此,所拟定的工程泄水建筑物由泄洪洞和放空洞组成,泄洪洞的主要任务是下泄大、中、小洪水,具有一定的运行灵活性,泄洪洞由1条深孔泄洪洞和2条开敞式泄洪洞组成。单条开敞式泄洪洞在校核洪水位时下泄流量为 $3\ 138\ \text{m}^3/\text{s}$,设计洪水位时下泄流量约为 $2\ 140\ \text{m}^3/\text{s}$,具有很强的超泄能力;深孔泄洪洞最大下泄流量约为 $3\ 692\ \text{m}^3/\text{s}$ 。放空洞的主要任务是放空水库以检修大坝及其它相关建筑物并兼做后期导流洞用,不参与泄洪,最大下泄流量约为 $1\ 970\ \text{m}^3/\text{s}$ 。

(3) 导流洞的利用。

为满足工程施工期导流需要,该工程共布置了两条初期导流洞和一条中期导流洞。三条导流洞均布置在右岸,两条初期导流洞进口紧邻象鼻沟的上游侧,出口紧邻花瓶沟的上游侧;中期导流

洞进口布置在初期导流洞上游侧、深孔泄洪洞进口前沿低高程处,出口紧邻花瓶沟下游侧,与初期导流洞隔花瓶沟布置。

为达到工程灵活运行并降低投资的目的,设计单位还研究了永久泄水建筑物与导流洞相互结合利用的可行性与合理性,组合方案包括:①泄水建筑物和初期导流洞结合利用;②深孔泄洪洞和中期导流洞的龙抬头结合利用方案;③放空洞和中期导流洞的全结合利用方案;④放空洞和中期导流洞的龙抬头结合利用方案;⑤中期导流洞不结合方案。综合工程布置、结构、水力条件、施工导流、金属结构、生态环保、投资、工程安全风险等方面的分析比较,确定该工程永久泄水建筑物不与初期导流洞结合利用,深孔泄洪洞、放空洞均不考虑与中期导流洞结合利用。

(4) 枢纽布置方案。

枢纽主要建筑物由砾石土心墙堆石坝、引水发电系统、3条泄洪洞和1条放空洞等建筑物组成。坝轴线位于横I-2勘探线,方位角 $\text{N}82^\circ\text{W}$ 。引水发电系统布置在左岸,进水口布置在倒石沟下游侧附近,厂房轴线平行于坝轴线,尾水洞下穿大湾沟后在1#泄洪洞出口上游归河。泄洪、放空和施工导流建筑物均布置在右岸,自河道往山里依次布置了2条初期导流洞、1条中期导流洞,3条泄洪洞和1条放空洞;所有泄水建筑物进口均在象鼻沟上游侧,除初期导流洞出口布置在花瓶沟上游侧外,其余泄水建筑物出口均布置在花瓶沟下游。

3.2.5 枢纽布置的调整及优化

工程实施阶段,在维持可行性研究设计枢纽布置总格局不变的前提下,依据新的基础资料和条件,重点对枢纽泄水建筑物的布置和型式进行了调整和优化:鉴于泄洪洞、放空洞、中期导流洞等泄水建筑物进、出口开挖洞脸和侧坡地形陡峻,边坡最高达300 m级,开挖和支护工程量大,提前形成施工通道非常困难;此外,工程实施阶段,由于低高程2条初期导流洞已提前完工并开始导流度汛,泄洪洞、放空洞、中期导流洞高边坡开挖弃渣客观上不允许下河。因此,合理而有效地减低泄水建筑物进、出口开挖坡高,对降低工程风险、保障工程工期具有明显的现实意义。

枢纽布置调整优化的情况主要有:进出口边

坡采取高边、强支护、低开口,1#、2#泄洪洞轴线微调;1#泄洪洞进口塔体长度由52 m减为49 m,2#、3#泄洪洞进口塔体长度由40 m减为36.5 m;1#、2#、3#泄洪洞总长略有增加,坡度略有变缓,断面略有减小;对出口挑坎体型进行了有针对性的优化,增设了补气洞;对放空洞洞身断面尺寸进行了调整;中期导流洞增设了弧形闸门。

4 主要枢纽建筑物

4.1 拦河大坝与基础防渗处理

大坝采用砾石土心墙堆石坝,心墙与上、下游坝壳堆石之间均设有反滤层、过渡层,防渗墙下游心墙底部及下游坝壳与覆盖层坝基之间设有水平反滤层,心墙与两岸岸坡接触部位设有协调变形的高塑性粘土。坝体建基面最低高程为1 457 m,最大坝高240 m,坝顶长度为502.85 m,坝顶宽16 m,上、下游坝坡均为1:2;在上游坝坡1 645 m高程处设置了一条5 m宽的马路,下游坝坡布置“之”字形上坝道路。

河床坝基面以下覆盖层采取全封闭混凝土防渗墙方案,覆盖层以下及两岸基岩基础防渗均采用灌浆帷幕,帷幕深入3 Lu基岩以下5 m。防渗墙采用一主一副两墙分开、端部采用帷幕搭接的联合防渗布置,两墙之间净距14 m;主墙最大墙深约55 m、墙厚1.4 m,位于坝轴线平面内,采用廊道式与心墙连接;副墙最大墙深约50 m、墙厚1.2 m,布设于上游侧,采用插入式与心墙连接。

4.2 泄洪、放空建筑物

枢纽永久泄水建筑物均布置于河道右岸,由三条泄洪洞和一条放空洞组成,从左至右依次为1#泄洪洞、2#泄洪洞、3#泄洪洞和放空洞。泄洪洞的主要任务是下泄大、中、小洪水,放空洞的主要任务是放空水库以检修大坝及其它相关建筑物并兼做后期导流洞,不参加泄洪。三条泄洪洞下泄校核洪水(PMF)时洪水峰值流量为10 400 m³/s,其最大泄洪功率约为21 000 MW。

1#泄洪洞由岸塔式短有压进口段、无压隧洞段和出口挑流鼻坎段组成。进水塔长49 m、宽27 m、高52 m,工作闸门孔口宽14 m、高11.5 m,无压城门洞断面宽14 m、高16~19 m,洞身长1 362 m,隧洞纵坡 $i=0.10279$,最大泄量3 692 m³/s。

2#、3#泄洪洞由开敞塔式进口段、无压隧洞段和出口挑流鼻坎段组成。进口塔长36.5 m、宽28

m、高37.5 m,工作闸门孔口宽17 m、高17.564 m,无压城门洞断面宽14~17 m、高15~18 m,洞身长度分别为1 508 m和1 540 m,隧洞纵坡分别为 $i=0.10848$ 和 $i=0.10552$,单洞最大泄量为3 138 m³/s。

放空洞由岸塔式短有压进口段、无压隧洞段和出口挑流鼻坎段组成。进水塔长49 m、宽22 m、高114 m,工作闸门孔口宽9 m、高7 m,无压洞断面宽9 m、高13 m,洞身长1 711.65 m,隧洞纵坡 $i=0.05877$,最大泄量为1 970 m³/s(对应高程1 658.5 m水位)。

4.3 引水发电建筑物

引水发电建筑物布置于河道左岸,采用首部式地下厂房布置方案,主要由岸塔式进水口、压力管道、主副厂房、主变室、开关站、尾水调压室、尾水洞等建筑物组成。

电站4台机组进水口呈“一”字型并排布置,进水口塔体尺寸:长137.2 m、宽30 m、高74 m;压力管道采用单机单管($\varphi 9.5$ m)供水,设计引用流量364.5 m³/s,洞内流速5.178 m/s;发电厂房位于左坝肩坝轴线下游约18 m处,最小垂直埋深230 m、水平埋深约200 m,厂房纵轴线方位N82°W,主厂房(长228.8 m、宽30.8 m、高73.35 m)、主变室(长150 m、宽19.3 m、高25.7 m)、尾调室(长144 m、宽22 m、高79 m)三大洞室平行布置,尾水调压室中心线和厂房顶拱中心线间距为135.2 m,主变室和厂房、尾水调压室间的岩柱厚度分别为45 m和44.5 m;尾水系统采用“二机一室一洞”布置方案,共设两个长条形圆拱直墙阻抗式调压室(总长144 m)、中间采用15 m厚岩柱隔开,1#、2#尾水洞长度分别为1 360.51 m、1 145.34 m,单洞断面宽12 m、高16 m;地面开关站长145 m、宽30 m,位于左岸坝轴线下游约120 m处,地坪高程1 685 m,与地下洞室通过两条竖井和一条平洞连接。

5 结语

长河坝水电站工程规模大、基础建设条件复杂,枢纽布置设计在经验把控的基础上开展了大量的论证和多方案比选工作,实施阶段据实进行了有针对性的优化调整。调整后的枢纽布置充分适应了地形、地质与建设条件,枢纽建筑物的设计

(下转第14页)

堰堆石填筑。过渡料和堆石料均采用坝址上游响水沟料场开采的微、弱风化或新鲜的花岗岩和坝址下游江咀料场开采的微、弱风化或新鲜的石英闪长岩,两个料场石料的饱和抗压强度均大于 60 MPa。

过渡料宜在变形及渗透性能上具有良好的过渡作用,即在反滤层到堆石料之间不至于产生突变。要求过渡料最大粒径不大于 400 mm, $D_{15} \leq 20$ mm,粒径小于 5 mm 的颗粒含量不大于 17% 且不小于 4%,粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量不宜超过 3%,级配连续良好。过渡料铺料厚度 50 cm,采用 26 t 自行式振动平碾静碾 2 遍后振碾 8 遍,碾后孔隙率不大于 20%,渗透系数不小于 5×10^{-2} cm/s。

要求堆石料最大粒径不大于 900 mm, $D_{15} \leq 29$ mm,粒径小于 5 mm 的颗粒含量不大于 20%,粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量不大于 3%,级配连续良好。堆石料铺料厚度为 100 cm,采用 26 t 自行式振动平碾静碾 2 遍后振碾 8 遍,碾后孔隙率不大于 21%,渗透系数大于 1×10^{-1} cm/s。

3.4 抗震设计

针对高设防烈度,该大坝主要考虑了以下抗震措施:

(1) 坝型选择了抗震性能较好的土质直心墙堆石坝。坝顶超高考虑了若发生地震时坝体和坝基产生的附加沉陷和水库地震涌浪。扩大了心墙厚度,采用宽心墙,同时加厚了反滤层和过渡层的厚度。在上下游坝脚铺设压重,以增强大坝地震时的抗滑稳定性。

(2) 提高了坝料设计和填筑标准。

(3) 在心墙与混凝土及岸坡基岩接触部位填筑高塑性粘土并加大防渗体断面。

(4) 在坝体上部约 1/5 坝高范围堆石内布置了土工格栅加筋。在大坝上、下游坡面分别设置

了大块石护坡和干砌石护坡。

(5) 设置了放空洞。

4 结 语

长河坝水电站砾石土心墙堆石坝是防渗体位于深厚覆盖层上的世界最高堆石坝,大坝具有以下特点和难点:

(1) 工程等别高:电站为 I 等大(1)型工程,砾石土心墙堆石坝为 1 级建筑物。

(2) 工程地处高山峡谷地区,两岸坝肩自然边坡高陡。

(3) 地震烈度高:工程场址基本地震烈度为 VIII 度,大坝设防地震烈度为 IX 度。

(4) 坝址区河床覆盖层深厚,一般厚度为 60 ~ 70 m,局部达 79.3 m,且结构复杂。

(5) 坝高度大:最大坝高 240 m,心墙建基面以下覆盖层还余约 53 m。

针对上述特点和难点进行了大量、专门的研究工作,在坝体结构、坝基处理、筑坝材料及抗震设计中采取了一系列针对性措施,以保证大坝安全可靠。大坝心墙于 2013 年 7 月开始填筑,目前大坝填筑高度约为 163 m,工程进展顺利。

参考文献:

[1] DL/T5395-2007,碾压式土石坝设计规范[S].
[2] 张宗亮. 200 m 级以上高心墙堆石坝关键技术研究及工程应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.
[3] 顾淦臣,沈长松,岑威钧. 土石坝地震工程学[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.

作者简介:

张 丹(1979-),女,四川眉山人,设计副总工程师,高级工程师,硕士,从事水工结构设计工作;
何顺宾(1968-),男,四川广安人,副总工程师兼项目经理、设计总工程师,教授级高级工程师,工程硕士,从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作;
伍小玉(1965-),女,江西南康人,教授级高级工程师,硕士,从事水工结构设计工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 5 页)

不仅形式简单、布置合理,而且技术可靠、安全经济。目前,工程已进入施工高峰的关键阶段,计划于 2017 年内实现全部机组投产发电。

作者简介:

郝元麟(1964-),男,安徽蚌埠人,党委书记,教授级高级工程师,

学士,从事水电水利工程勘测设计管理及科研工作;
何顺宾(1968-),男,四川广安人,副总工程师兼项目经理、设计总工程师,教授级高级工程师,工程硕士,从事水电水利工程勘测设计、项目管理及科研工作;
王寿根(1966-),男,四川成都人,副总经理,教授级高级工程师,硕士,从事水电工程建设技术与管理工。

(责任编辑:李燕辉)