猴子岩水电站坝型选择研究

王党在[1], 窦向贤[1], 程 鲲[2], 黎如雁[2]
(1.中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,四川 成都 610072;2.黄河上中游管理局,陕西 西安 710021)

摘 要:水电站枢纽工程中合理选择坝型对保证工程安全、降低工程投资具有重大意义。从地形地质条件、枢纽建筑物布置、机电及金属结构、施工条件、施工工期、建设征地与移民安置、环境影响、投资等方面对面板堆石坝、砾石土心墙堆石坝和拱坝方案进行技术经济比较,最后推荐面板堆石坝作为选定坝型。

关键词:猴子岩水电站;工程地质条件;方案拟定;坝型比选
中图分类号:[TM622];TV641;S146+.1 **文献标识码**: B **文章编号**:1001-2184(2018)05-0089-04

0 引 言

猴子岩水电站为大渡河干流水电规划22级开发方案的第9个梯级电站,位于四川省丹巴县城下游约47 km处。电站开发任务主要为发电。电站装机容量1 700 MW,水库总库容7.06亿m^3,具有季调节性能。本工程为一等大(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。坝址控制流域面积54 036 km^2,多年平均流量774 m^3/s。1 000年一遇洪水流量7550 m^3/s,5000年一遇洪水流量8 570 m^3/s,可能最大洪水(PMF)为9 940 m^3/s。

1 坝址区工程地质条件

坝址区河谷形态呈较对称的"V"型河谷,两岸地形坡高陡峻,枯水期河面宽60 m~65 m,正常蓄水位高程1 842 m处相应河面宽265 m,河谷系数约1.22,属于典型的狭窄河谷。坝前右岸发育磨子沟,坝址下游左岸发育泥洛堆积体。

坝址区出露地层主要为变质碳酸盐岩、绢云石英白云片岩、泥质结晶白云岩等。坝址区河床覆盖层厚度41.2 m~85.5 m,自下而上分为四层:第①层为含漂(块)卵(碎)砂砾石层,厚度11 m~39 m,结构较密实,透水性强;第②层为粘质粉土,在河床中部连续分布,厚度及分布变化大,厚度为13 m~20 m,颗粒组成以粉粒为主、粘粒次之,未固结,微透水,为可能液化土层;第③层为含泥漂(块)卵(碎)砂砾石层,分布于河床中上部,厚度为5.8 m~26 m,结构稍密实,局部有架空现象,透水性较强;第④层为孤漂(块)卵(碎)砂砾石层,分布于河床上部,厚度3 m~15 m,结构较松散,局部具架空结构,强透水。

坝址区岩石已不同程度区域变质,层理、片理、层间褶皱及结构面较发育。

磨子沟位于坝前右岸,沟口距坝轴线约700 m,主沟长约14 km。磨子沟出口较窄,沟内宽敞,平面形态总体呈一"喇叭"形,谷底总体坡度约为21°,沟谷整体上呈"U"形。沟内堆积物较厚,最厚93.35 m,表面钙质胶结较好,下部透水性较强。磨子沟发生大规模泥石流的可能性较小。泥洛堆积体位于坝址下游左岸,坡度下陡上缓,高程2 000 m以下38°~40°;高程2 000 m以上坡度20°~25°。堆积体顺河向宽度480 m~530 m,厚度54.51 m~147 m,体积约为5 800万m^3。泥洛堆积体现状基本稳定~极限稳定,稳定程度不满足Ⅰ级边坡稳定的安全要求。

桃花块石料场位于坝址下游大渡河左岸,距坝址7 km,有用层储量1 970万m^3。地层岩性为斑状流纹岩夹少量含绢云母片岩,岩石弱~微风化,岩质致密坚硬。色龙沟块石料场位于色龙沟沟口上游侧,距坝址1 km,有用层储量为459万m^3。地层岩性为泥盆系薄~中厚层状变质灰岩、白云质灰岩夹绢云钙质石英片岩。桃花块、色龙沟石料场石料的质量满足作为大坝填筑料及混凝土骨料的要求。

2 坝型方案拟定

枢纽布置方案受坝址下游左岸的泥洛堆积体控制和上游右岸的磨子沟影响。根据坝址区地形

收稿日期:2018-07-31

www.powerfoo.com

地质条件,初拟适宜的坝型进行初步比较,拟定代表性坝型及相应的枢纽布置方案,进行技术经济综合比较最终推荐选定坝型。

2.1 当地材料坝

当地材料坝中有混凝土面板堆石坝、砾石土心墙堆石坝和沥青混凝土心墙堆石坝三种坝型可供比选。

2.1.1 混凝土面板堆石坝

河床坝基第②层粘质粉土层承载、抗变形和抗剪强度均较低,存在不均匀变形,对坝坡稳定影响较大。考虑趾板建在覆盖层上如此规模的面板堆石坝目前国内外缺乏类似工程经验,因此将趾板部位主堆石区的覆盖层全部挖除,趾板和主堆石区建在基岩上,将次堆石建在第①层含漂(块)卵(碎)砂砾石层上。初拟混凝土面板堆石坝坝型作为当地材料坝的代表坝型之一进行比较。

2.1.2 砾石土心墙堆石坝

鉴于深厚覆盖层上修建高土质心墙堆石坝有较成熟的设计与施工经验,坝址区附近有储量丰富、易于开采、质量满足建高坝的砾石土料和堆石料,考虑到本工程的坝高和规模,拟定砾石土直心墙堆石坝作为当地材料坝的代表坝型之一进行比较。

2.1.3 沥青混凝土心墙堆石坝

坝基河床覆盖层②层粘质粉土层振冲处理方案和挖除方案 2 个方案对应的坝高分别为 168 m 和 219 m,沥青混凝土心墙最大底宽分别为 1.9 m 及 2.3 m。

由于本工程挡水高度达 142 m,对于修建在覆盖层上的沥青混凝土心墙坝方案,坝基需修建两道防渗墙,需研究两道防渗墙的间距及施工方式、防渗墙与沥青心墙的连接形式、沿坝轴向沥青心墙的基座与两岸变形协调、沥青心墙可能产生的贯穿上下游方向的裂缝等复杂的应力变形关键技术问题。另外,本工程沥青混凝土心墙底宽较大,目前无相应的施工设备可用,由于国外心墙摊铺机均为专业施工公司从公路摊铺机改造,或者自制,没有形成设备市场,国内无法得到先进设备,且造价昂贵。

本工程沥青混凝土心墙堆石坝坝高、设计和施工技术难度都达到了国内外最高水平,没有类似工程设计施工经验可供借鉴。因此,沥青混凝土心墙堆石坝不参与坝型比较。

2.2 混凝土拱坝

根据坝址地形地质条件,在挖除河床覆盖层后,具有修建拱坝的条件,拱坝坝高 226 m。因此,选用混凝土拱坝作为另一种比较坝型。

因此,在进行坝型初步比选后,以混凝土面板堆石坝、砾石土心墙堆石坝和混凝土拱坝三种代表坝型进行进一步坝型比选。

3 坝型比选

3.1 面板堆石坝方案

枢纽主要建筑物由面板堆石坝、泄水建筑物、引水发电系统、水库放空建筑物和导流建筑物等组成。地下厂房系统布置于右岸的山体中,一条溢洪洞和一条放空洞布置在地下厂房与面板堆石坝之间,两条泄洪洞、两条导流洞布置在左岸。右岸泄水建筑物出口布置于泥洛堆积体下游。

3.1.1 面板堆石坝

面板堆石坝按 1 000 年一遇洪水设计,按 PMF 进行洪水校核。坝顶高程 1 848.00 m,坝顶宽度 13.2 m,坝顶长度 278.32 m,在坝顶设置 5.7 m 高“U”形防浪墙。上游坝坡 1∶1.4,下游高程 1 713.50 m 以上综合坝坡 1∶1.65,下游高程 1 713.50 m 以下设置压重区,压重区坡比分别为 1∶1.5 和 1∶2.0。大坝的主要填筑区为:弃碴盖重区、粘土铺盖区、垫层区、过渡区、主堆石区、堆石区、大块石护坡及坝脚压重区。混凝土面板顶部厚度 30 cm,底部厚度 110 cm。面板设垂直缝,河床部位垂直缝间距 12 m,两岸垂直缝间距 6 m。面板水平向仅设施工缝,面板钢筋穿过施工缝,面板分三期浇筑。面板、趾板混凝土等级为 C30W12F100。根据工程地质条件及作用水头,不同高程趾板厚度分别为 1.0 m、0.8 m 和 0.6 m。在左右岸趾板的转折点及断层破碎带的两侧设置伸缩缝,在周边缝、垂直缝、面板与防浪墙间水平缝、施工缝等结构缝处设止水。

坝体过渡料、主堆石料采用桃花沟块石料场开采料,次堆石料采用部分开挖明挖料及桃花沟块石料场开采料,垫层料采用洞渣料加工,混凝土

www.powerfoo.com

骨料考虑采用开挖的洞渣料和明挖料加工,不足部分采用桃花沟料场的块石料加工,坝脚压重采用开挖石料中的弃碴填筑。

趾板基础进行固结灌浆和帷幕灌浆。

3.1.2　泄洪、放空建筑物

枢纽泄洪、放空建筑物由 1 条洞式溢洪道、2 条深孔泄洪洞及 1 条放空洞组成。

洞式溢洪道最大泄量为 3 800.00 m^3/s。控制段堰面为 WES 型曲线,控制闸尺寸 15 m×23 m(宽×高)。泄槽段桩号 0+000 m~0+980 m 为隧洞段,底坡 $i=0.015$,泄槽断面为 15 m×22 m(宽×高)的城门洞型。桩号 0+980 m~1+240 m 为明渠陡槽段,底坡 $i=0.286\ 3$,断面为 15 m×16 m(宽×高)的矩形明渠。出口段挑流消能,挑坎采用直鼻坎型式。

两条常规泄洪洞单孔最大泄量为 2 995.5 m^3/s。两洞洞轴线间距 45 m,1#洞洞线长 720.723 m,2#洞洞线长 875.319 m。1#洞有压段洞长 372.879 m,坡比 $i=0.013\ 41$;无压洞段长 317.844 m,坡比 $i=0.240\ 98$。2#洞有压段洞长 449.478 m,坡比 $i=0.011\ 2$;无压洞段长 395.841 m,坡比 $i=0.175\ 19$。隧洞断面直径 13.5 m。出口均采用挑流消能,1#洞出坎最大流速 40.10 m/s,2#洞出坎最大流速 38.25 m/s。放空洞兼作中后期导流和蓄水期向下游供水,总长 1 196 m,水库放空率约为 89%。

3.1.3　引水发电建筑物

引水发电建筑物布置于右岸,采用首部地下厂房,安装 4 台 425 MW 的水轮发电机组。采用“单机单管”引水及“两机一室一洞”尾水的布置格局。

电站进水口采用岸塔式,塔高 76 m。4 条压力管道平行布置,管轴线间距 31.40 m,管径为 10.5 m,4 条压力管道总长 2 501 m。单机设计引用流量 373.00 m^3/s,最大引用流量 1 492 m^3/s,最大流速 4.31 m^3/s。

3.2　心墙堆石坝方案

心墙堆石坝方案坝轴线距面板坝方案坝轴线 83 m,枢纽布置格局同面板坝方案。

砾石土心墙堆石坝最大坝高 220 m,坝顶宽度 14 m。上游坝坡 1∶2.0,下游坝坡 1∶1.9,上游坝坡在 1 798.00 m 高程处设一 5 m 宽的马道,下游坝坡分别在高程 1 798.00 m 和 1 748.00 m 各设一 5 m 宽的马道。坝体从内到外分为砾石土直心墙、反滤层、过渡层、堆石区及弃渣压重区。在心墙与岸坡、坝基混凝土基座及廊道与心墙的接触部位填筑高塑性粘土。心墙顶宽 6.00 m,上、下游坡度均为 1∶0.25,底宽 113.50 m。心墙基础固结灌浆,大坝基础及两岸灌浆平洞帷幕灌浆。坝基处理将心墙、反滤基础的第②层全部挖除,砾石土心墙座在基岩上。

过渡料、堆石料采用桃花沟料场开采料;反滤料采用桃花沟块石料人工轧制,坝脚压重采用开挖弃渣料等填筑。砾石土心墙料采用折洛料场碎砾石土料,寸达料场作为备用料场;高塑性粘土料采用角坝粘土料场料。

枢纽泄洪、放空建筑物及引水发电建筑物布置同面板堆石坝方案。

3.3　拱坝方案

混凝土拱坝方案的总体布置格局为:混凝土拱坝+坝身泄洪深孔+左岸泄洪洞+右岸引水发电建筑物+左岸导流洞。

混凝土拱坝最大坝高 226.0 m,顶拱中心线弧长 436 m,拱冠顶厚 8.0 m,拱冠底厚 51.0 m,最大中心角 91.45°。拱坝主要建基于新鲜~微风化岩体,顶部高程拱端局部区域利用弱风化下限岩体。建基面岩体进行全面固结灌浆,坝基设置防渗帷幕。

泄洪建筑物采用坝身 4 深孔+左岸 1 条泄洪洞联合泄洪的方式,深孔闸门尺寸为 5.8 m×7.0 m,坝后水垫塘消能,不设二道坝;泄洪洞为有压接无压泄洪洞,工作闸门尺寸为 10 m×8.2 m,出口挑流消能。

引水发电系统布置于右岸,采用坝肩地下厂房。采用“单机单管”供水及“两机一室一洞”尾水的布置格局。

3.4　坝型方案比较

对初拟的面板堆石坝、土质心墙堆石坝及混凝土拱坝坝型及相应的枢纽布置方案,从工程地质条件、枢纽建筑物布置、机电及金属结构、

www.powerfoo.com

施工条件、施工工期、建设征地与移民安置、环境影响、投资等方面进行技术经济综合比较,确定推荐坝型。

3.4.1　工程地质条件

坝基覆盖层、磨子沟泥石流和泥洛堆积体经专门的工程处理后,具备建坝的地形地质条件,坝址工程地质条件不构成坝型选择的决定性制约因素;从天然建筑材料料源分析,对堆石坝和混凝土拱坝均具有适应性。

3.4.2　枢纽布置条件及建筑物技术难度

从建坝技术难度、枢纽布置及泄洪消能条件、地下洞室成洞条件、边坡处理难度差异等各方面因素分析,三种坝型均是可行的。

3.4.3　机电及金属结构

以三种坝型为代表的枢纽布置方案的投资差异很小,不影响坝型选择。

3.4.4　施工条件

拱坝方案导流洞较短,磨子沟在基坑之外,无需对磨子沟进行工程处理,施工导流风险较小。心墙坝方案较拱坝方案多 3 个土料场,较面板坝方案多 2 个土料场。场内交通方面,心墙坝方案比拱坝方案多修建场内道路 23.21 km,比面板坝方案多修建场内道路 17.7 km。面板坝方案和心墙坝方案总工期均为 95 个月,拱坝方案为 107 个月。因此,综合导流、筑坝材料和料场、施工布置及施工工期等方面,面板坝方案略优。

3.4.5　建设征地影响

三种坝型方案在建设征地范围、实物指标和补偿投资三方面差别不大,因此建设征地移民安置不是坝型选择的制约性因素。

3.4.6　环境影响比较

三种坝型方案对区域生态环境的影响类似,只是在数量上有微小的差别,但无本质上的区别。从环境影响的角度分析,各方案均无重大环境制约因素。

3.4.7　工程投资估算

面板坝方案静态总投资比心墙坝方案少 4.45 亿元,差值占总投资的 2.95%;比拱坝方案少 6.86 亿元,差值占总投资的 4.55%。因此,从工程投资方面面板坝最优。

综上所述,从工程地质条件、枢纽建筑物布置、机电及金属结构、施工条件、施工工期、建设征地与移民安置、环境影响、投资等方面进行技术经济综合比较,混凝土面板堆石坝方案较优。因此,推荐混凝土面板堆石坝作为选定坝型。

4　结　语

坝型选择是水电站枢纽工程前期设计工作的主要内容之一,合理选择坝型对于保证工程安全、缩短工期、降低工程投资具有重大意义。大渡河猴子岩水电站通过对以面板堆石坝和土质心墙坝为代表的当地材料坝方案及以混凝土拱坝为代表的拱坝方案进行综合技术经济比较后,推荐混凝土面板堆石坝作为选定坝型。

参考文献:

[1]　DL/T 5016－2011 混凝土面板堆石坝设计规范[S]. 北京:中国电力出版社,2011.

[2]　水电水利规划设计总院. 中国混凝土面板堆石坝 30 年——引进 发展 创新[M]. 北京:水利水电出版社, 2016.

[3]　陈道周. 水电工程枢纽布置[M]. 北京:水利水电出版社, 2013.

[4]　中国水电顾问集团成都勘测设计研究院. 四川省大渡河猴子岩水电站可行性研究报告[R],成都,2009,9.

作者简介:

王党在(1979-),男,陕西乾县人,硕士,教授级高级工程师,从事水电工程设计及研究工作;

窦向贤(1974-),男,安徽六安人,硕士,教授级高级工程师,从事水电工程设计及研究工作;

程　鲲(1978-),女,陕西西安人,本科,高级工程师,从事水土保持规划设计及水利水电工程设计工作;

黎如雁(1978-),男,四川威远人,本科,高级工程师,从事水土保持规划设计及水利水电工程设计工作.

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 77 页)

[3]　窦向贤,猴子岩水电站高面板堆石坝设计,《人民长江》第 45 卷第 8 期,2014 年 4 月。

作者简介:

朱永国(1969-),男,湖北长阳人,教授级高级工程师,长期从事水电工程建设技术管理工作;

唐　珂(1982-),男,四川泸州人,高级工程师,从事水电工程建设技术与管理工作;

戴　绘(1988-),男,湖南溆浦人,工程师,从事水电工程建设技术与管理工作.

(责任编辑:卓政昌)

www.power-fcc.com