

苏洼龙水电站枢纽总体布置

邓毅国, 陈晴, 龙文, 李向阳, 刘新

(中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京 100024)

摘要:苏洼龙水电站是金沙江上游以发电为主要任务的大型水电工程。坝址河床覆盖层深厚,地震烈度高,社会环境复杂。在枢纽布置格局比选中,根据坝址的地形地质条件,分析了工程环境影响、工程安全,采用泄洪建筑物和引水发电建筑物两岸分置的枢纽布置格局。

关键词:地质条件;布置特点;布置原则;坝型选择;布置方案

中图分类号:[TM622];TV61;TN948.11

文献标识码:B

文章编号:1001-2184(2018)06-0082-05

1 工程概况

苏洼龙水电站为金沙江上游水电开发十三个梯级的第十级,坝址位于四川巴塘县苏洼龙乡境内,右岸为西藏芒康县索多西乡。电站正常蓄水位2 475.0 m,死水位2 471 m,校核洪水位2 476.96 m,总库容6.87亿 m^3 ,调节库容0.72亿 m^3 ,电站总装机容量1 200 MW,为一等大(I)型工程。

电站装机4台300 MW混流式水轮发电机组,多年平均发电量54.26亿kWh(联合)。电站为日调节,以发电为主要工程任务。

2 水文气象条件

苏洼龙坝址控制流域面积为183 825 km^2 。坝址多年平均降水量480.4 mm,多年平均气温12.8 $^{\circ}C$,多年平均最高气温21.8 $^{\circ}C$,多年平均最低气温5.8 $^{\circ}C$ 。坝址多年平均径流量938 m^3/s 。这]坝址洪水主要由暴雨形成,汛期为5~10月,洪水过程以双峰或复峰型居多,具有峰高量大特点,坝址PMF洪水洪峰流量12 500 m^3/s ,千年一遇洪水洪峰流量9 610 m^3/s 。坝址年平均输沙总量1 761万t,含沙量0.58 kg/m^3 。

3 坝址地形地质条件

苏洼龙水电站位于青藏高原东南边缘地带的横断山脉中部,属构造稳定性较差区域。坝址基本地震烈度为8°,根据地震危险性评价,50年超越概率10%地震基岩水平峰值加速度为182 gal;100年超越概率2%地震基岩水平峰值加速度为397 gal。

金沙江在坝址处流向为SE145°,呈现“S”型,

收稿日期:2018-10-17

坝线下游,河道凸向左岸。坝址河谷呈“U”型,枯水期江水面高程在2 385~2 388 m,江水面宽为102~292 m左右。两岸岸坡在高程2 500 m以下基本对称,坡度为30°~40°,高程2 500 m以上左岸地形平缓,坡度为10°~15°;右岸地形较陡,坡度为50°~65°。两岸断续发育漫滩、I、II级堆积阶地。左岸坝址下游发育苏洼龙沟,右岸坝线上游有一冲沟,沟内发育方量巨大的堆积体。

坝址河床覆盖层平均厚度约87 m,自上而下分为6层,表层为砂卵石,二层为低液限粘土,三层至六层分别为卵石混合土、(含)细粒土质砂(砾)、混合土卵石(碎石)、冰积块碎石。河床覆盖层具有强渗透性,不均匀沉陷大等特点。

两岸出露黑云母斜长花岗岩,强风化和强卸荷不发育,两岸发育29条断层,f1、f2、f8、f13、f26、f27等规模较大,绝大多数断层为陡倾角,走向与河流流向大角度相交,岸坡整体稳定性较好。两岸地下围岩以II、III类为主。

4 枢纽布置特点

拦河坝、泄洪建筑物、引水发电建筑物为I级建筑物。大坝和泄洪建筑物设计洪水为1 000年一遇洪水,洪峰流量为9 610 m^3/s ,校核洪水按PMF设计,洪峰流量为12 500 m^3/s 。

除主要建筑物外,根据环保要求,需要布置满足下游生态用水的生态流量泄放设施,以及鱼道和过鱼隧洞。受坝址地形限制,可利用河段长度约1 000 m,建筑物布置条件紧张。

坝址河床覆盖层深厚,地质条件差,对坝型选择、枢纽布置、泄洪消能布置、施工导流等带

来不利。

坝址社会环境复杂,坝址上下游村庄分布集中,左坝肩 2 600 m 高程处有一寺庙,为当地的宗教活动中心,属环境敏感目标。左岸坝址下游为苏洼龙乡,人口密集,耕地集中于河岸边,右岸有西藏安麦西村。必须高度重视消能雾化对环境的影响,和泄洪对岸坡的冲刷问题。工程地处深山峡谷地区,耕地资源匮乏,工程布置宜少占耕地。

5 枢纽布置原则

根据坝址的地形地质条件、水文特性、枢纽布置条件及特点、社会环境等,枢纽布置原则如下:

(1) 由于覆盖层深达 80 余 m,且性状不良,综合工程量、导流布置难度、施工难度、工期、投资等考虑,拦河坝应采用建基于覆盖层上的当地材料坝。泄洪建筑物需有一定的超泄能力,控制泄洪对下游河床的冲刷,保证工程安全。

(2) 坝址周边村庄密集,枢纽布置、建筑物选型时应重视运行、施工对环境的破坏,减少泄洪消能雾化对环境的影响,减轻对岸坡的冲刷,及施工期的噪音和粉尘等对环境的不良影响。

(3) 各建筑物布置应相互协调,减少布置、施工和运行干扰。根据坝址的地形和地质条件,泄洪消能建筑物和引水发电建筑物分置两岸。建筑物布置永临结合、主次结合、一专多能,泄洪放空洞参与初期和中期导流,生态泄放设施与泄洪建筑物布置相结合,以减轻枢纽布置压力,减小建筑物运行的相互干扰。右岸布置建筑物时,应避免开坝前堆积体,左岸布置建筑物时,应避免跨越苏洼龙沟。

(4) 电站处于高地震烈度地区,大坝设防地震烈度为 9°,水库放空能力非常重要。根据枢纽布置条件,放空建筑物宜与泄洪建筑物结合布置。

(5) 工程地处高山峡谷,河谷狭窄,渣场布置困难,堆石料开采对环境影响大,水土保持难度大,做好土石方平衡,建筑物开挖料尽量上坝利用。

(6) 施工导流采取“一次拦断、隧洞导流、全年基坑”。

6 坝型选择

坝址河床覆盖层第二层为低液限粘土层,渗透性弱,强度低,承载力小,不宜做为坝基,第四层为细粒土质砂,变形模量小,天然情况下有地震液

化问题。

根据工程区天然建筑材料的种类、储量、运距,坝址的地形地质条件,大坝抗震性能,沥青混凝土心墙堆石坝、砾质土心墙堆石坝、钢筋混凝土面板堆石坝都具有适应性。三种坝型可采用基本相同的枢纽布置方案。

砾质土心墙堆石坝工程经验丰富,抗震性能好,对基础适应性较好,基础开挖到三层,基坑深度较小,上游坝壳可和围堰结合,有利于缩短导流洞长度。但心墙土料采用下游 14km 处王大龙堆积体的砾质土料,该堆积体为冰水堆积形成,土料粘粒含量低、级配变化大,渗透系数较大,施工质量控制难度大。

相对于工程经验成熟的心墙坝,深厚覆盖层上高面板坝经验较少。对面板坝,坝线上游坝基挖除变形较大的四层,使趾板座落于五层以减少周边缝的变形,基坑需局部深挖。由于面板坝的防渗体为刚性布置于坝体表面,容易因坝体的不均匀沉陷出现面板裂缝和周边缝沉降过大造成止水破裂等问题,尤其是在高地震设防烈度情况下。相比较于两种心墙坝型,面板坝对基础的适应性较差。

沥青混凝土心墙堆石坝型的优点基本和土心墙坝型一样,但心墙的施工质量容易保证,也避免了土料开采带来的环境问题和水土保持的工作量。

在对基础进行处理的情况下,三种坝型都是可行的;施工布置和工期方面,三种坝型相差不大;工程投资为 140 ~ 143 亿元,以沥青混凝土心墙堆石坝型最低;环境影响方面,在堆石料以开挖料为主情况下,面板坝和沥青混凝土心墙堆石坝相差不大,比土心墙坝较优。比较而言,沥青混凝土心墙堆石坝施工质量容易保证,基坑深度小,施工期风险小,运行维护方面较优,为推荐坝型。

7 泄洪消能建筑物布置

根据工程的泄洪流量,泄洪安全要求,采用超泄能力较大的开敞式溢洪道和泄洪放空洞联合泄洪方案。溢洪道泄量约占总泄量的 88%,泄洪放空洞泄量约占 12%。

就坝址两岸就地形地质条件而言,均可布置泄洪消能建筑物。影响左岸布置泄洪消能建筑物的因素有两个:一是左坝肩的寺庙;二是水流的归

槽条件。在左岸布置开敞式溢洪道,其边坡开挖高度达到216 m,开挖线距寺庙最短水平距离不足百米,开挖爆破对寺庙影响较大。苏洼龙沟口的河漫滩深入河道,阻碍了下泄水流的归槽,需要对河道进行开挖整治以解决水流归槽问题,由此永久占用了漫滩上苏洼龙乡的耕地,且下泄水流指向右岸,受下游河道地形影响,易形成折冲水流,对左岸形成冲刷。另外,溢洪道和泄洪放空洞出口位于右岸厂房尾水的上游,泄洪时对发电影响较大。环境影响、占用耕地多及对发电影响大是制约泄洪消能建筑物布置在左岸的因素。

右岸布置泄洪建筑物时,进口需避开坝前堆积体。受到堆积体和拦河坝布置的影响,右岸可用于布置泄洪建筑物进口的位置紧张,采用洞室泄洪建筑物,按泄洪要求,建筑物数量多且规模较大,布置难度很大。右岸山体雄厚高陡,开敞式溢洪道边坡高度达到248 m,石方开挖量约577.0万 m^3 ,从边坡高度和支护处理难度上,溢洪道布置两岸的条件相差不大,但布置右岸离寺庙较远,施工和运行期的环境影响较小,下泄水流的归槽较好,整体水工模型试验表明,泄洪水流与下游衔接平顺,河床冲刷不会危及大坝安全,淤积也不会影响电站运行,归槽水流对左岸河滩冲刷较小,在采取护岸保护后,河滩耕地可免受冲刷。泄洪放空洞布置在溢洪道右侧,进口离坝前堆积体较远,出口位于溢洪道消力池下游,实现了分区消能,有利于减缓对河床的冲刷。

环境因素、水流归槽条件是影响泄洪消能建筑物布置的重要因素,在两岸地形地质都能满足布置要求的前提下,右岸方案避免了对寺庙和耕地的影响,水流归槽条件好,河床冲淤不严重,工程安全性较好。综合技术、经济、环境影响、安全分析,推荐右岸溢洪道和泄洪放空洞做为泄洪消能建筑物布置方案。

8 引水发电建筑物布置

右岸地形高陡,围岩以Ⅱ、Ⅲ类为主,可布置地下厂房和地面厂房。当引水发电系统布置右岸时,泄洪消能建筑物布置在左岸,对环境影响大且水流归槽条件差,而电站尾水位于泄洪消能建筑物下游,泄洪水流对尾水形成顶托,下游水位波动也对发电影响较大。

引水发电建筑物布置于左岸,避免了泄洪对

发电的影响。电站装机4台混流式水轮发电机组,采用地下厂房方案,厂区建筑物主要由地下厂房、主变洞、低压电缆洞、母线洞、出线平洞及竖井、进厂交通洞、通风洞、排风平洞及竖井、排水廊道、灌浆廊道等组成,洞群规模较大,石方洞挖量大,工期长,地下洞室施工是工程的控制性线路,尾水采用了二机一洞一室,电站的运行灵活性不好,洞群布置于寺庙底部,施工期对寺庙环境影响较大。采用地面厂房方案,厂房布置于苏洼龙沟上游基岩出露处,厂区建筑物由主厂房、主变开关楼、上游副厂房、下游尾水副厂房等组成。引水系统采用一机一洞型式,不设调压室,运行灵活。厂房座落于微新花岗岩上,永久后边坡高110m左右。地面厂房方案引水隧洞规模小,厂房布置离寺庙较远,施工对环境的影响较小。

根据泄洪消能建筑物的布置,引水发电建筑物布置在左岸。地面厂房方案运行灵活、机电布置及厂房环境控制和照明优于地下厂房,施工对寺庙环境的影响小。综合电站的运行、机电布置条件、环境影响等,引水发电系统推荐左岸地面厂房方案。

9 其它建筑物布置

右岸地形高陡,布置泄洪消能建筑物后,再布置生态泄放设施和过鱼设施的条件很差。

可研前期,生态泄放设施采用生态泄放洞,布置于引水隧洞左侧,泄放洞为有压洞,出口位于厂房和苏洼龙沟之间,地质条件较差,消力池座落在河滩阶地上。泄放洞的出口布置与过鱼鱼道相互干扰,并影响过鱼效果。通过优化研究,和水工模型试验,取消了生态泄放洞,将溢洪道的中孔缩小改为生态泄放闸,对溢洪道剩余四孔宽度加大,在遭遇设计洪水以下洪水时,生态泄放闸可不参与泄洪,使得生态泄放闸的独立可控性得到保证。

取消左岸生态泄放洞后,改善了左岸鱼道和过鱼隧洞的布置条件,鱼道的运行维护和过鱼效果也得到了明显改善。

10 推荐枢纽布置方案

在对各建筑物型式、布置条件、运行条件研究比较的基础上,考虑环保、施工、移民、投资等,枢纽采取了泄洪建筑物和引水发电建筑物两岸分置的布置格局。在左岸地面厂房方案、左岸地面厂房方案、右岸地下厂房方案、右岸地面厂房方案

中,经过地形地质条件、运行条件、施工条件和工期、工程量、移民、环保、投资等综合比较,四个方案在施工条件、工期、工程量、移民等方面差别不大,左岸地面厂房方案具有泄洪水流归槽条件好,厂房机电布置等条件好、施工和运行期对寺庙环境影响小、投资较低等优点,为推荐布置方案,即拦河坝采用沥青混凝土心墙堆石坝,右岸布置溢洪道、泄洪放空洞,左岸布置引水隧洞和地面厂房。生态泄放闸与溢洪道结合布置,鱼道和过鱼隧洞布置在左岸。

10.1 沥青混凝土心墙堆石坝

沥青混凝土心墙堆石坝坝顶高程 2 480 m,坝顶长 464.7 m,最大坝高 112 m。上游坝坡 1:1.8,下游平均坝坡 1:1.9,上游坝壳与围堰结合,沥青心墙厚度为 0.5~1.5 m,两侧各设粗、细两层过渡层,每层水平厚度 3 m。河床覆盖层采用混凝土防渗墙防渗,防渗墙通过坝基廊道和心墙相接。

10.2 溢洪道

溢洪道布置于右坝肩,由引渠、控制段、泄槽、消力池组成。引渠底板高程 2 442 m,中线长度 185 m,宽度为 83.5~133 m,平面转弯半径 140 m。控制段采用 WES 堰,堰顶高程 2 458 m,控制段设 4 个孔口,每个孔口尺寸为 14.5×17 m。控制段中部设生态泄放闸,泄放闸采用 WES 堰,堰顶高程同溢洪道,孔口尺寸为 4.5×17 m。泄槽段宽度 80.5 m,水平长度 178.98 m,底坡为 0.01~0.75。消力池采用下挖式,长 120 m,宽 80.5 m,池深 15 m,底板高程 2 371.0 m。

10.3 泄洪放空洞

泄洪放空洞位于溢洪道右侧,由进水塔、有压段、工作闸门井、无压段、明渠、挑坎组成,洞长 701.2 m。进水塔塔高 75 m,进口底板高程 2 410 m,布置一道平面检修门;有压洞段长 299 m,采用圆形断面,洞径 9.2 m,末端渐变为矩形断面,尺寸为 9 m×6.3 m(宽×高),采用 1 m 厚钢筋混凝土衬砌;工作闸门井位于岸幕下游约 12 m 处,闸室长 21.8 m,宽 17 m,底板高程 2 410 m,设工作弧门,2 430 m 高程设启闭机平台,2 457 m 高程设交通洞;无压洞段采用城门洞型,洞宽 9 m,高 10 m,洞长 380.4 m,底坡 0.045,钢筋混凝土衬砌厚度 1 m;明渠长 30 m,采用矩形断面,宽 9 m,底坡

0.045;挑坎采用异型鼻坎,鼻坎顶高程 2 394.34~2 400.42 m,挑坎反弧半径 65 m,挑角 32°。

10.4 引水隧洞及进水口

进水口采用岸塔式,布置于左坝肩上游,底坎高程 2 448 m,引水系统采用单管单机,4 个进水口呈“一”字型并排布置,前缘总宽度为 124 m。

引水隧洞由上平段、上弯段、斜井段、下弯段、下平段、锥管段及钢衬段组成。4 条隧洞平行布置,轴线间距 31.0 m,1#~4#引水洞长分别为:506.92 m、550.82 m、594.72 m 及 638.62 m。引水隧洞采用圆形断面,钢筋混凝土衬砌洞段洞径 12 m、钢衬洞段洞径 10 m。

10.5 地面厂房

主厂房位于苏洼龙沟上游,平行河道布置。主厂房总尺寸 186.0 m×31.5 m×68.0 m(长×宽×高),其中主机间长 129 m,安装间长 57 m。主厂房内共安装 4 台单机容量为 300 MW 水轮发电机组,机组间距 30 m,一机一缝布置。尾水副厂房位于主机间下游,平面尺寸 129 m×11.5 m×27.5 m。主变开关楼位于安装间上游,平面尺寸为 129 m×18.5 m×45.5 m。

11 结 语

(1)苏洼龙电站坝址可利用河段较短,两岸的地形地质条件较好,但河床覆盖层深厚。在枢纽布置格局比选中,建筑物的布置、运行、施工、安全等条件是决定性因素。

(2)环境因素是除地形地质条件外影响枢纽布置格局的一个重要因素。在枢纽布置及建筑物的选型时,高度重视环境因素,通过采取措施减少了不利影响。

(3)推荐的枢纽布置格局,较好的适应了坝址的地形地质条件,将施工期和运行期对环境的影响降低到最小。在电站运行方面,泄洪建筑物和引水发电建筑物分置两岸,不会相互干扰;泄洪消能建筑物布置于右岸,水流归槽条件好,下游水流衔接平顺,对河床和左岸冲刷较轻,利于保证工程安全。

(4)针对坝址河床覆盖层条件和料源情况,拦河坝选择对覆盖层适应性好,抗震性能高的沥青混凝土心墙堆石坝,提高了拦河坝的安全性,减少了施工对环境的影响和水土保持工作。

(5)主要泄洪建筑物为溢洪道,出口采用底

流消能,减少了雾化对周围环境的破坏,对河床的冲刷和淤积作用较小,可保证拦河坝坝基抗滑安全,及对发电尾水的影响。

(6)地面厂房布置于苏洼龙沟的上游,地形地质条件较好,地面厂房施工、机电布置、照明、环境控制等条件较好,有利于节能环保。电站尾水位于消能建筑物上游,发电运行受泄洪影响小。

(7)生态泄放闸和溢洪道结合布置,改善了枢纽布置条件,做到主次结合,运行条件好,工程投资小。

作者简介:

邓毅国(1962-),男,湖北汉川人,教授级高级工程师,北京勘测设计研究院副总工程师,主要从事水利水电工程技术与管理工作;

(上接第75页)

10日召开了验收会议,出具了《金沙江苏洼龙水电站截流阶段迁移人口安置验收委员会报告》,验收结论为:“从建设征地迁移人口安置角度分析,苏洼龙水电站截流阶段迁移人口安置工作已具备验收条件,验收委员会同意通过苏洼龙水电站截流阶段迁移人口安置验收。”四川省扶贫和移民工作局成立苏洼龙水电站截流阶段移民安置验收委员会,并于2017年11月10日召开了验收会议,出具了《金沙江苏洼龙水电站(四川部分)截流阶段移民安置验收委员会报告》,验收结论为:“从建设征地移民安置角度分析,苏洼龙水电站截流阶段移民安置工作已具备验收条件,验收委员会同意通过苏洼龙水电站截流阶段移民安置验收。”

4.4 通过苏洼龙水电站截流验收专家组验收

2017年11月15日,苏洼龙水电站截流验收委员会对截流前形象面貌做出评价:截至2017年11月13日,导流洞工程形象面貌基本满足过流条件,截流交通工程满足截流运输需求,截流戛堤及围堰填筑备料、所需机械设备已准备就绪;未完成项目已作了计划安排,不影响截流。截流前工程形象面貌基本满足截流要求。

苏洼龙水电站工程预计2017年11月中旬可具备导流洞分流和截流条件。专家组建议:根据水文气象和水情测报成果,可在2017年11月中下旬择机进行苏洼龙水电站工程截流。

工作;

李向阳(1983-),男,山西晋城人,高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水电工程坝工设计专业;

龙文(1968-),男,湖南宁远人,教授级高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水电工程坝工设计专业;

陈晴(1967-),男,江苏泰安人,教授级高级工程师,北京勘测设计研究院副总工程师,主要从事水利水电工程技术与管理工作;

刘新(1968-),女,山东莱州人,教授级高级工程师,现供职于中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司,从事水电工程坝工设计专业。

(责任编辑:卓政昌)

5 结语

苏洼龙水电站截流关键工期的整体策划取得良好实效。2017年11月12日,苏洼龙水电站截流关键工期均满足截流需要,苏洼龙水电站截流验收委员会于11月15日明确下达具备导流洞分流和大江截流条件的结论意见,导流洞实体工程于11月13日通过建设四方现场联合检查验收,11月16日实现导流洞分流,11月21日胜利完成大江截流。

苏洼龙水电站大江截流完成后,工程建设全面进入奋战“一枯一汛”的重要阶段。为按期实现2020年12月首台机组发电目标,向党的百年华诞献礼,苏洼龙人秉承“百折不挠、同心奋进”的企业精神,努力践行“中国梦、华电梦、金上梦”,建设“安全好、质量好、效益好、形象好”的新时代清洁能源开发示范工程先导项目,力争为促进藏区经济社会跨越式发展和长治久安作出更大贡献!

作者简介:

何永胜(1968-),男,四川蓬溪人,高级工程师,苏洼龙分公司总经理,从事苏洼龙水电站全面管理工作;

田光华(1962-),男,四川双流人,学士,高级政工师,华电金沙江上游水电开发有限公司苏洼龙分公司党委书记,从事苏洼龙水电站党建、人资及移民管理工作;

傅自义(1968-),男,汉族,湖北监利人,硕士,高级工程师,现就职于华电金沙江上游水电开发有限公司苏洼龙分公司,从事苏洼龙水电站工程技术管理工作。

(责任编辑:卓政昌)