

亚曼苏水电站引水发电系统的优化设计

蒙富强

(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:在亚曼苏水电站招标技施阶段,本着技术可行、经济合理的原则,结合该工程实际地形地质条件,针对工程引水发电系统可研方案存在的主要问题,采用气垫式调压室技术进行了深入优化研究,包括压力前池、压力管道、厂房等布置优化,优化方案既满足了调保设计要求,解决了工程问题,又取得了良好的经济效益,为施工提供了可靠依据,亦可为类似工程提供借鉴与参考。

关键词:亚曼苏水电站;引水发电系统;压力前池;压力管道;气垫式调压室;优化设计

中图分类号:TV7;TV22

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)增2-0123-03

1 概述

亚曼苏水电站位于新疆维吾尔自治区阿克苏地区乌什县亚曼苏乡境内的托什干河上,是托什干河“2库11级”水电开发中的第九级克克机格代和第十级牙满苏合并而成的亚曼苏梯级,工程等别为三等中型。亚曼苏水电站的开发任务为:在满足灌溉和河道生态用水的前提下发电,采用引水式开发,电站进水闸接上游别迭里二级水电站的尾水,利用别迭里电站尾水发电,装机4台,总容量为244 MW。

根据亚曼苏水电站工程区的地形地质条件,引水发电系统设置地面常规调压室的难度大,因此,可研方案通过采取工程措施,即下移前池、上移厂房,缩短压力管道长度,采用单机单管减小流速来满足引水系统调保设计要求。可研方案虽然在技术上可行,但仍存在一些问题:前池高填方,稳定安全问题突出;厂房深挖,开挖量巨大,覆盖层边坡高;压力管道为“单机单管”布置,管内流速不是经济流速,工程投资较大。

在招标技施阶段,设计单位采用气垫式调压室技术对引水发电系统布置进行了优化设计,既满足了引水系统调保设计要求,又大大降低了压力前池基础填方高度和厂房开挖深度,减少了工程投资,很好地解决了可研方案中存在的问题。

2 引水发电系统可研方案中存在的主要问题

2.1 引水发电系统可研方案布置情况

亚曼苏水电站可研方案中的主要建筑物由进

水闸、引水渠道、事故退水闸、事故退水渠、壅水闸、排冰闸、前池、压力管道、电站厂房、泄水渠、尾水渠、渠系交叉建筑物等组成。

进水闸采用无胸墙式平底堰闸,设2孔,孔口宽6 m,进口底板高程为1 709.45 m,设检修闸门及工作闸门。进水闸后接引水渠道,引水渠道经左岸山前洪积平原沿托什干河向下游延伸,引水设计流量 $Q=140\text{ m}^3/\text{s}$,渠道总长25 519 m,纵坡为 $i=1/3\ 000$,渠道断面为梯形,底宽4 m,内边坡为1.75。根据冬季运行要求,引水渠道沿程共设置5座壅水闸。引水渠道末端接压力前池,前池顶高程为1 707.33 m,底高程为1 691.13 m,设计水位高程1 705.15 m,池身断面为矩形,池长51 m,宽度为23.2 m,最大池深16.2 m。压力管道上接前池,采用单管单机布置型式,均采用钢衬钢筋混凝土管。大机组单机设计引用流量为 $40.2\text{ m}^3/\text{s}$,小机组为 $19.4\text{ m}^3/\text{s}$;3根70 MW压力管道,管径由4.5 m渐变到3.8 m,4.5 m管径管长为1 399 m,3.8 m管径管长为419 m。设置34 MW压力管道1根,管径由3.8 m渐变到2.7 m,3.8 m管径管长1 399 m,2.7 m管径管长419 m。地面厂房尺寸为87 m×23 m×44 m(长×宽×高),安装3台单机容量70 MW和一台单机容量34 MW的混流式水轮发电机组,总装机容量244 MW。

2.2 可研方案存在的主要问题

由于在亚曼苏水电站工程区设置地面常规调压室的高度约为130 m,难度很大。因此,在可研

收稿日期:2017-04-26

阶段,引水发电系统布置的思路为不设置调压室,采取有效的工程措施满足调节保证设计要求,即机组最大转速升高率不超过60%和蜗壳最大压力上升率不超过30%,具体的工程措施为:

(1)引水发电枢纽布置采用“高筑前池,缩短管道、深挖厂房”的布置型式,前池基础填方高度达23 m,厂房最大开挖深度为89 m。

(2)压力管道采用“单机单管”布置,每台机组对应一条压力管道,同时增大管径,降低管内流速,降低 $\sum LiVi$ 。

由于可研设计思路的局限,导致引水发电系统建筑物布置不可避免地存在以下主要问题:

(1)“高筑前池,深挖厂房”的布置型式导致厂区枢纽开挖量巨大,覆盖层高边坡问题突出。鉴于工程所在区域地质构造稳定性较差,该电站厂区枢纽距亚曼苏断层很近,地震基本烈度为Ⅷ度,属于强震区,工程施工及运行期间高边坡抗震安全问题突出,风险巨大。

(2)“缩短管道”导致前池与厂房距离过近,前池漏水对厂房存在直接影响。

(3)压力管道采用“单机单管”布置,导致管内流速不是经济流速,工程投资较大。

(4)“深挖厂房”开挖弃渣量大,环保、水保工程量较大,对环境的影响大。

3 引水发电系统优化分析

亚曼苏水电站引水发电系统优化的思路是在可行性研究阶段枢纽总体布置格局基本不变的条件下保持渠道、压力前池、压力管道、厂房及尾水渠等主要水工建筑物的轴线及引水流量不变,通过合理调整压力前池及厂房位置,增设调压室,并与原可研方案比较,论证优化方案解决调节保证计算问题技术措施的经济、合理性。

3.1 压力前池优化分析

针对可研方案压力前池的布置,经分析研究,压力前池优化调整的原则为:在前池工程规模基本不变的基础上,沿原轴线上移前池位置,以减少前池基础填方高度,从而保证前池的稳定安全。

结合前池上下游地质、地形条件,拟定了三个优化方案:(1)优化方案1(少填方案):前池位置向上游移约220 m,取水口段、左侧溢流堰及右侧扶壁式挡墙等部分的基础回填高度约3.5 m,前池池身底板基础回填高度约3.5~12 m;(2)优化

方案2(不填方案):前池位置向上游移约380 m,基本没有回填,局部少量开挖;(3)优化方案3(开挖方案):前池位置向上游移约600 m,需开挖,最大开挖高度约20 m。

设计人员针对压力前池的三个优化方案进行了初步对比分析:三个方案压力前池的布置及稳定要求均满足相关规程规范要求,总体上可行且工程规模基本相当,与原设计方案相差不大,但在经济比较方面,由于压力管道的长度变化为控制性因素,方案1增加的压力管道工程量最少,其次是方案2和方案3。经比较得知:方案1较优,故最终选择该方案作为推荐方案。

3.2 厂房优化分析

可研方案中厂区下游约750 m左右地形相对较陡,750 m后为农田,地形较平缓。因此,若要降低开挖深度,厂区在下游750 m范围内移动效果相对明显。结合地质地形条件及调保计算要求,可将厂房移到下游730 m的位置布置,下移后厂区最大开挖深度由89 m降低到63 m左右。

3.3 压力管道优化分析

在压力前池及厂房布置调整优化后,压力管道总长增至约2 745 m。由于单机引用流量不大且压力管道较长,根据可研对比成果且通过定性分析得知:单机单管引水布置明显不经济,因此而推荐采用“两机一管”方案。为解决压力管道增长带来的调节保证问题,提出了设置调压室和不设调压室两种方案进行比较分析。

由于亚曼苏水电站工程区设置常规地面调压室高度及难度大,因此而决定采用气垫式调压室。依据目前取得的工程经验,气垫式调压室可采用钢球或钢管型式,但考虑到钢球式气垫调压室直径较大,对钢管的制造、安装、焊接工艺等要求较高,现场施工难度相对较大,抗震稳定性相对较差,因此,宜采用钢管型式的气垫式调压室。

设置调压室方案的2条压力管道主管平行布置,中心间距10 m,主管直径为5 m、4.4 m,气垫式调压室平行于压力管道纵轴线方向布置,调压室总长180 m、135 m,直径12 m;压力管道及气垫式调压室均采用“明钢管+外包混凝土”的结构型式。

不设调压室方案的2条压力管道主管平行布置,中心间距为11.8 m,主管直径为8.2 m、6.4

m,压力管道采用“明钢管+外包混凝土”型式。

经分析可知:(1)两个方案技术上均可行;(2)不设调压室方案工程投资比调压室方案多约14 000万元,后者的工程投资明显偏优。因此,推荐设置调压室方案。

3.4 调压室位置的选择

通常情况下,气垫式调压室距厂房机组越近,对水锤波反射的效果越好,并能在一定程度上降低机组最大转速上升率。但就该工程而言,气垫式调压室距机组越近,对气垫式调压室的设计要求越高:(1)越靠近厂房,调压室受地形条件限制其布置高程降低,气室内初始气体压力越高,气室最大压力越大,气垫式调压室的结构设计要求越高;(2)布置位置高程的降低对稳定性不利,因而所要求的稳定体积亦越大。此外,气垫式调压室越靠近厂房,调压室上游侧压力钢管所承受的内水压力越大,钢管壁厚及钢材量均有所增加。因此,需合理选择调压室位置,使其既能满足电站调节保证要求,又能在一定程度上控制工程投资。

设计过程中,主要对调压室距厂房机组约700 m、900 m两个方案进行了技术经济比较,主要参数见表1。经分析知:700 m方案比900 m方案可节省投资约1 450万元,但700 m方案的蜗壳末端最大压力与机组转速最大上升率均逼近计算控制值,即机组甩负荷后的安全裕量较小;而900 m方案的调保计算结果裕度相对较大,对机组运行相对有利,加之工程总投资可控,因此,该阶段调压室位置推荐900 m方案。

表1 调压室位置选择对比表

项目	700 m方案	900 m方案
ξ_{\max}	264.34	261.04
β_{\max}	53.6	51.6
T_w/T_d	0.33	0.26
气垫式调压室底高程/m	1 573	1 565
气室体积/m ³	12 008	12 685
气室长度/m	165、116	180、135
气室压力/MPa	1.16~1.61	1.26~1.7
气室钢管壁厚/mm	44	46
工程投资/万元	40 994	42 448

4 引水发电系统优化方案

通过以上深入优化分析,最终确定的亚曼苏水电站引水发电系统优化方案为:电站从别迭里

二级水电站尾水渠引水,经25.495 km长的输水明渠至压力前池;考虑冬季运行的要求,输水线路沿程布置了5座壅水闸;引水发电系统布置采用“低筑前池,延长压力管道、设置气垫式调压室,浅挖厂房及尾水”的布置型式。

前池布置在山前冲洪积倾斜平原地面中心高程1 682~1 688 m附近,由连接段、池身段、电站进口闸、侧堰及扶壁式挡墙等组成。引水渠道末端底高程为1 700.32 m,前池底板最低高程为1 685.2 m,前池正常水位高程为1 705.05 m,总容积为31 092 m³,工作容积为21 294 m³。

压力管道采用“两机一管、气垫式调压室”布置型式,沿纵向依次分为气室前管段、气室管段、气室后管段及支管段。压力主管长约2 700 m,引用流量分别为80.2 m³/s、59.8 m³/s,管径分别为5 m、4.4 m;支管长33~38 m,管径分别为3.1 m、2.2 m。气垫式调压室平行于压力管道纵轴线方向布置,2个调压室与同侧压力管道的中心线间距均为20 m;1#调压室总长180 m,其中主体室身长90 m,断面直径为12 m,两端渐变段均长45 m,由直径12 m渐变至直径6.5 m,形成闷头。2#调压室总长135 m,其中主体室身长45 m,断面直径为12 m,两端渐变段与1#调压室相同。2个调压室底部高程均为1 565 m。压力管道及气垫式调压室均采用“明钢管+外包混凝土”型式,气室前管段、气室管段与气室后低压段钢管采用Q345R钢材,气室后高压段、支管段及气室钢管采用600 MPa高强度钢,钢管外包钢筋混凝土厚0.5 m。考虑到工程所处环境及冬季运行防冰冻等要求,压力管道采用浅埋回填方式,回填料为砂砾石土。钢管顶部回填料最小厚度为1.5 m。

发电厂房布置在亚曼苏乡布拉克勒西村西北部山前冲洪积倾斜平原坡脚靠乡村防洪堤外侧、地面中心高程1 545 m附近。厂区枢纽建筑物主要包括主厂房、副厂房及GIS楼、尾水池、尾水渠、尾水渠交叉建筑物、防洪堤及进场公路等。厂房建基面高程为1 479.67 m,后坡开口线高程约为1 545 m,施工期最大开挖边坡约65 m,厂区发电机层高程为1 503.2 m,厂区大面高程为1 503.2 m,最大永久边坡高约42 m。

发电尾水由长约3 778 m的尾水渠退入秋格

(下转第135页)

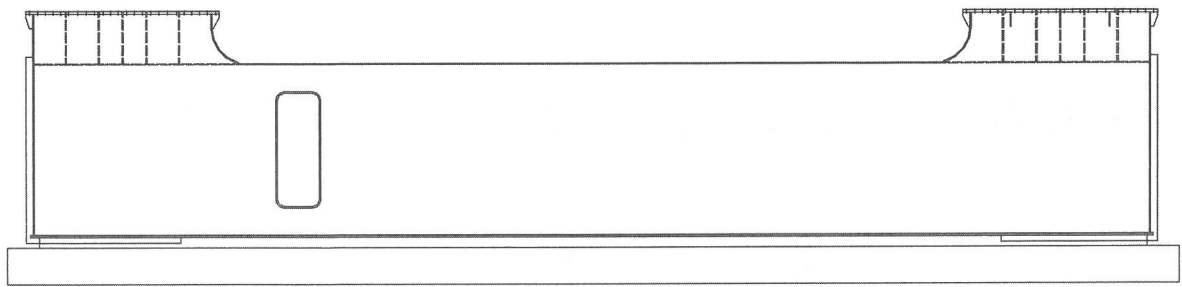


图3 主梁加强肋板示意图

门式起重机构件。TBM设备的拆卸从机头开始,基本工序是将大件分块拆卸,逐个拆散由拖车运出拆机洞室。由于主轴承构件的特殊性,只能整体起吊拆卸,其为TBM最重的部件,临时起吊装车在吊重荷载范围内,满足吊装要求。改造后的布置情况见图4。

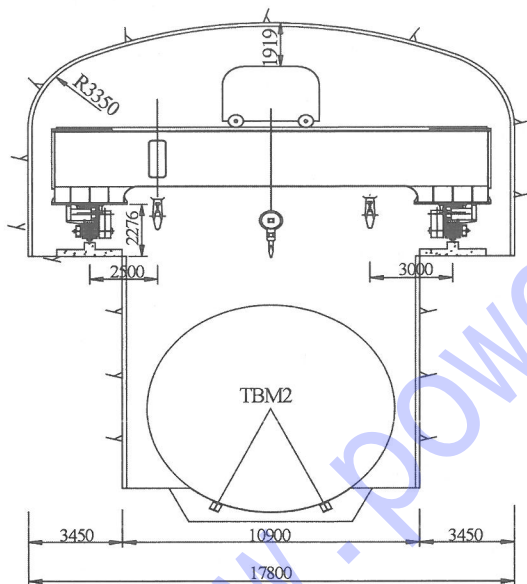


图4 200 t门机改造后在2B支洞拆卸洞室布置示意图

4 结语

随着施工技术的进步,采用TBM进行隧洞施工越来越普遍,针对TBM的安装及拆除,门式起重机得到了广泛应用。笔者针对厄瓜多尔CCS项目TBM2的实际情况,在2B支洞内单独设计了拆机洞室,在拆机洞室内安装改造后的200 t门式起重机进行TBM2的拆除施工,减少了设备投入,为项目节约了施工成本。另外,由于工程地处厄瓜多尔亚马逊支流流域原始森林环境,常年多雨,洞内拆除正好避开了多雨天气的干扰,从而使工期得到了有效保证。对于类似施工环境,该方案具有良好的经济性和可借鉴性。

参考文献:

- [1] 万力,主编.起重机械安装使用维修检验手册[M].北京:冶金工业出版社,2000.
- [2] 机械工程手册及电机工程手册编辑委员会.机械工程手册物料搬运设备(第二版)[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [3] 高忠民,主编.工程机械使用与维修[M].北京:金盾出版社,2002.

作者简介:

孙启云(1972-),男,江西万载人,高级工程师,学士,从事国际工程项目设备管理工作。

(责任编辑:李燕辉)

(上接第125页)

尔灌溉渠渠首工程取水口上游的托什干河中。

经计算,引水发电系统优化方案工程投资较可研方案减少了约8000万元。

5 结语

亚曼苏水电站是第一个采用地面钢管型式气垫式调压室的工程,很好地解决了强震区引水发电系统调节保证设计问题。笔者结合工程区地形、地质条件,提出采用气垫式调压室技术,对引

水发电系统布置进行了优化研究,所提出的“低筑前池,延长压力管道、设置气垫式调压室,浅挖厂房及尾水”的布置型式合理且可行,降低了工程风险,减少了工程投资,可为类似引水发电工程提供借鉴与参考。

作者简介:

蒙富强(1980-),男,广西田林人,高级工程师,硕士,从事水工结构设计工作。

(责任编辑:李燕辉)