

# 桐子林水电站工程技术特点和难点

徐劲松, 何长青, 冷超勤

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川成都 610051)

**摘要:**桐子林水电站是雅砻江流域最末1个梯级电站, 技术复杂, 具有复杂地质条件下的高边坡处理、框格式地下连续墙在水电工程中的首次应用、左岸深厚覆盖层灌浆设计与施工、大流量软弱河床地基条件下的二期和三期截流、一期和二期围堰防渗体系控制、引水排沙设计、水轮发电机组部件尺寸大、大泄量和软弱基础条件下的泄洪消能设计等技术特点和难点。

**关键词:**桐子林水电站; 雅砻江; 高边坡处理; 框格式地下连续墙; 深厚覆盖层; 二期截流; 三期截流; 防渗体系; 引水排沙; 水轮发电机; 泄洪消能

中图分类号: TV7; TV52

文献标识码: B

文章编号: 1001-2184(2014)03-0129-03

## 1 工程概况

桐子林水电站位于四川省攀枝花市盐边县境内, 距上游二滩水电站18 km, 距雅砻江与金沙江汇合口15 km, 是雅砻江下游最末一个梯级电站。电站装机4台, 总容量为60万kW, 设计枯水年枯水期平均出力22.7万kW, 多年平均发电量29.75亿kW·h, 年利用小时数4 958 h。水库正常蓄水位为1 015.00 m, 总库容0.912亿m<sup>3</sup>, 水库具有日调节性能。水库涉及盐边和米易两县, 干流与二滩尾水衔接, 一级支流(安宁河)回水至湾滩水电站, 长度约7 km。桐子林水电站以发电任务为主, 兼有下游综合用水要求。

工程枢纽由左岸接头挡水坝段、河床式厂房坝段、泄洪闸坝段、右岸接头挡水坝段组成。坝顶总长度为439.73 m, 坎顶高程1 020.00 m, 最大坝69.50 m。

左岸挡水坝段(1#~3#坝段)长51.25 m, 坎顶高程1 020.00 m, 坎顶宽度13.00 m, 最大坝高33.80 m; 厂区枢纽建筑物主要由厂房主机间坝段(4#~8#坝段)、安装间坝段、引水渠及其导墙、拦沙坎、尾水渠及其导墙、副厂房、主变及GIS室、进厂交通公路(上坝过坝公路)等组成, 厂房坝段沿坝轴线总长215.40 m, 顺水流向最大宽度为89.60 m, 最大坝高69.50 m; 河床4孔泄洪闸坝(9#~11#坝段)布置于河床右侧, 岗室顺水流方向长60.00 m, 最大闸坝高63.30 m, 下游消力池护坦表面高程970.00 m, 消力池长度为65.00 m; 右岸

导流明渠3孔泄洪闸坝(12#~13#坝段), 沿坝轴线方向长74.60 m, 岗室顺水流方向长度60.00 m, 最大闸高58.00 m; 右岸挡水坝段(14#~15#坝段)长50.48 m, 坎顶高程1 020.00 m, 最大坝高49.00 m。

桐子林水电站采用右岸明渠、主体建筑物分两段三期进行施工的导流方式。一期建设导流明渠(包括部分泄洪闸和右岸挡水坝段), 2009年11月~2010年5月由缩窄的左河道过流, 2010年6月~2010年10月由河道及明渠基坑过流, 2010年11月~2011年5月由缩窄的左河道过流; 二期建设河床4孔泄洪闸、电站厂房和左岸挡水坝段, 由导流明渠过流; 三期完建明渠内三孔泄洪闸及右岸挡水坝段, 由主河床4泄洪闸过流。

桐子林水电站工程于2005年开始筹建; 2010年9月25日通过核准; 2010年10月20日正式开工; 2011年6月导流明渠工程完工; 2011年8月1日厂房和泄洪闸工程开工; 2011年11月28日大江截流。本工程总工期78个月, 其中准备工程工期25个月, 主体工程工期41个月, 完建期12个月。2015年3月底第一台机组发电, 2016年3月全部建成发电。

## 2 工程技术特点和难点

### 2.1 复杂地质条件下的高边坡处理

桐子林水电站坝址河段顺直、河谷开阔, 为一不对称的“U”型谷。右岸边坡以F1断层及影响带为界, 断层及影响带宽约30.0 m, F1断层上游为混合岩, 下游为砂页岩互层, 整个边坡以破碎的

收稿日期: 2014-01-11

V类岩为主。边坡高度最低约100.0 m,最高约160.0 m。边坡开挖坡比较陡,一般为1:0.7、1:0.75,部分坡比1:0.5。

中国水电顾问集团成都勘测设计研究院以地质勘探为先导,借鉴国内外其他类似工程经验,通过边坡稳定计算和科学分析,主要采取浅层喷锚,局部采取深层锚索的支护手段。右岸边坡共布置锚索测力计13套,多点位移计4套。目前,监测数据无异常,边坡整体处于稳定状态。

## 2.2 框格式地下连续墙在水电工程中的首次应用

桐子林电站导流明渠布置在右岸滩地上,地质条件较差。局部基础承载力低,抗冲性能很差,不宜作为地基。本工程主要对导流明渠末端左导墙桩号0+215.000~0+326.481 m及明渠桩号0+280~0+340.502 m范围基础采用地下连续墙加固。该区域覆盖层深厚,不具备开挖建基的条件,同时该段基础覆盖层分界线变化较大,设置沉井施工困难,且施工工期较长。根据现场地质条件及实验情况,经设计优化后,地下连续墙顺河向设置2.5道,横河向设置12道,结构形式采用框格式,框格间距顺河向为10 m,横河向导墙区域为10 m,明渠区域为17.5 m。

地下连续墙在水利水电工程中主要还是用作基础防渗——即防渗墙,用于其它用途的地下连续墙并不多见。本工程采用框格式地下连续墙改善软弱地基基础,不挖除框格中的覆盖层,直接用框格式连续墙结构承担水平向和垂直向荷载的处理方法,拓展了地下连续墙在我国水利水电工程中的应用范围,对类似工程具有借鉴意义。

## 2.3 左岸深厚覆盖层灌浆设计与施工

桐子林水电站二期上游围堰左堰肩覆盖层厚约60~91 m,成分复杂,为冲洪积、塌滑堆积及崩积成因的砂卵石(alQ3)、砂层夹卵石层、块碎石夹土、砂卵砾石夹粉细砂、碎石土。覆盖层帷幕防渗轴线长193.9 m,有约70 m轴线在宽×高=3×3.5 m的涵洞内,防渗灌浆工程总量约2.33万m<sup>3</sup>,最深施工孔深为92 m,施工工期4个月,高峰平均施工强度为5 800 m<sup>3</sup>/月。

针对地质条件复杂,施工技术难度大、工期紧、任务重,缺乏类似工程经验借鉴的实际情况,

施工队伍成功研发了“套管--循环综合灌浆法”、“预设花管模袋式分段阻塞灌浆法”等关键技术并得到了成功运用。通过灌浆,灌前先导孔渗透系数最小值为 $1.0 \times 10^{-3}$  cm/s,最大值为 $6.44 \times 10^{-2}$  cm/s;灌后检查孔渗透系数最小为 $1.47 \times 10^{-5}$  cm/s,最大为 $1.38 \times 10^{-4}$  cm/s,质量检查全部合格。

## 2.4 大流量、软弱河床地基条件下的二期截流

桐子林水电站河床段覆盖层厚20~30 m,最大厚度约35 m。分为三层,上、下层为砂卵砾石层,中部为粉砂质粘土层(厚10~28 m)。基岩为混合岩,为弱透水( $Lu = 1 \sim 10$ )。

经过水力学计算,二期截流预进占左戗抛投石渣料10.67万m<sup>3</sup>,进占时段龙口最大平均流速为5.51 m/s,龙口最大落差2.58 m,龙口最大单宽流量21.75 m<sup>3</sup>/s·m,龙口最大单宽能量50.85 t/s。龙口抛投料总量为2.2万m<sup>3</sup>。

桐子林参建各方高度重视大江截流,委托国内知名科研院校进行了截流模型试验,经过充分论证研究,制定了行之有效的截流方案,并通过了国内相关导截流专业专家的评审,为成功实现雅砻江流域流量最大的大江截流奠定了坚实的基础。

## 2.5 一期围堰、二期围堰防渗体系控制

桐子林水电站一期纵向围堰采用了单排高压旋喷防渗,高喷防渗墙共约4.2万m<sup>2</sup>,深度一般在40 m以内,最大深度约52 m;二期围堰堰体采用复合土工膜芯墙防渗,最大防渗高度约13.0 m,堰基采用1.0 m厚混凝土防渗墙防渗,防渗墙共约2万m<sup>2</sup>,最大深度约67.3 m。一期、二期防渗体系施工均不足5个月,地质条件复杂,防渗深度大,防渗体系的质量控制关系到围堰是否能成功闭气,甚至可能会影响电站发电目标的实现。

在业主的主导下,监理单位狠抓过程质量控制,施工单位成立了以项目经理为首的质量管理领导小组,落实责任,严格奖罚制度。最终质量检查钻孔渗透系数:一期围堰防渗墙为10~6~10~7 cm/s,二期围堰防渗墙为10~6~10~8 cm/s,全孔可视为基本不透水,防渗效果显著。经过2012年汛期5年一遇大流量洪水考验,二期围堰基本上“滴水不漏”。

## 2.6 高水头、高流速条件下的三期围堰截流

三期围堰截流是导流明渠三孔泄洪闸施工的必要条件。导流明渠宽63.8 m,设计流量为12 700 m<sup>3</sup>/s,单宽流量200 m<sup>3</sup>/s·m,渠内最大流速约12 m/s,各项指标为雅砻江流域同类工程第一,部分指标列国内前5,各项指标均列国内已建工程的前10。

雅砻江公司充分认识到了实现三期明渠截流任务的艰巨,在完成了二期截流施工后,即部署了三期截流工作。设计和施工单位积极与经验丰富的高等院校和科研单位合作,以科学技术为先导,通过水力学模型试验和原型试验观测,将使参建各方进一步了解三期截流的水力学特性,明确施工方案,有效解决技术上的难题。

## 2.7 电站引水排沙设计

桐子林水电站坝址上游2.5 km处的支流安宁河输沙量较大,多年平均悬移质年输沙量为1 240万t,推移质年输沙量为13.2万t。该支流河口距坝址较近,淤积体泥沙将很快到达河口进入雅砻江干流,并逐渐向坝前推移。当淤积洲头及推移质粗沙抵达坝前时,将涉及到拦截干流入库泥沙、电站拦沙坎、推移质过坝及粗沙过机等较为突出的工程泥沙问题。

2012年业主已委托国内知名科研单位开展了桐子林水电站引水防沙模型试验研究工作,以了解泥沙淤积过程,提出合理的水库调度运行防沙,确定最优排沙方案。

## 2.8 定子、转子、转轮、座环等部件尺寸大

桐子林水电站主厂房尺寸为149.40 m×89.60 m×69.5 m(长×宽×高),主机间安装4台轴流转浆式水轮发电机组。机组具有设计水头低、通流能力大、部件尺寸大(定子外径17.6 m,810槽;转子外径15.318 m,磁极45对;转轮直径10.09 m,5个活动桨叶;座环外径15.8 m,高度5.1 m)的结构特点。如何合理的安排机电安装的施工布局,减少对土建施工的影响,确保按期实现达标投产发电、建精品工程的目标,是前期需要充分考虑的问题。

## 2.9 大泄量、软弱基础条件下的泄洪消能设计

桐子林水电站水头低、洪水流量大,1000年

重现期校核洪水流量23 600 m<sup>3</sup>/s,100年重现期设计洪水位流量18 300 m<sup>3</sup>/s。但限于坝址地形地质条件,左岸有成昆铁路,右岸山高坡陡,溢流宽度受到很大限制,泄洪闸单宽流量较大,泄洪消能问题成为该工程枢纽布置的控制因素之一。通过对比研究和设计优化,本工程泄洪系统泄水建筑物由河床4孔泄洪闸坝和右岸导流明渠内3孔泄洪闸坝组成。泄洪闸堰顶高程994.0 m,孔口尺寸为16.0 m×21.0 m(宽×高),闸墩中墩厚5.6 m,边墩厚4.6 m,闸墩长度60.0 m。为获得较好的泄流流态及消能效果,河床4孔泄洪闸坝闸墩采用宽尾墩进行辅助消能,闸墩在闸室后端将孔口宽度缩小至9.1 m。

下游消能防冲设计,河床4孔泄洪闸消力池池长65.0 m,宽85.4 m,消力池底板中部厚4.0 m,上游接尾水闸室尾部设6.0 m深齿槽,消力池尾端不设尾坎,但设6.0~10.0 m防冲齿槽。消力池下游附近,采用大块石抛填护底。明渠3孔泄洪闸消力池不设辅助消能工。

## 3 结语

相比国内其它大型水电站,桐子林工程规模不大,但难度不小。比如说,导流明渠要在两个枯期建成,直到现在还有专家觉得是不可能的事;大流量、软地基条件下的二期大江截流也是历经艰险;框格式地下连续墙在水电工程中的首次应用,还有左岸深厚覆盖层帷幕灌浆等技术难题也有待我们一一攻克。桐子林电站距离城市较近,对项目管理也提出了更高的要求。同时,对今后建设同类型电站具有一定的借鉴作用。参建各方将秉承“一布置,九落实”的工作态度和工作作风,将桐子林水电站建成精品工程。

### 作者简介:

徐劲松(1965-),男,贵州龙里人,大连理工大学水工建筑专业毕业,助理工程师,从事水利水电工程施工技术管理;  
何长青(1968-),男,湖南沅江人,天津大学水工建筑专业毕业,工程师技术部主任,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;  
冷超勤(1987-),男,湖北武汉人,三峡大学水利水电工程专业,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:姚国寿)