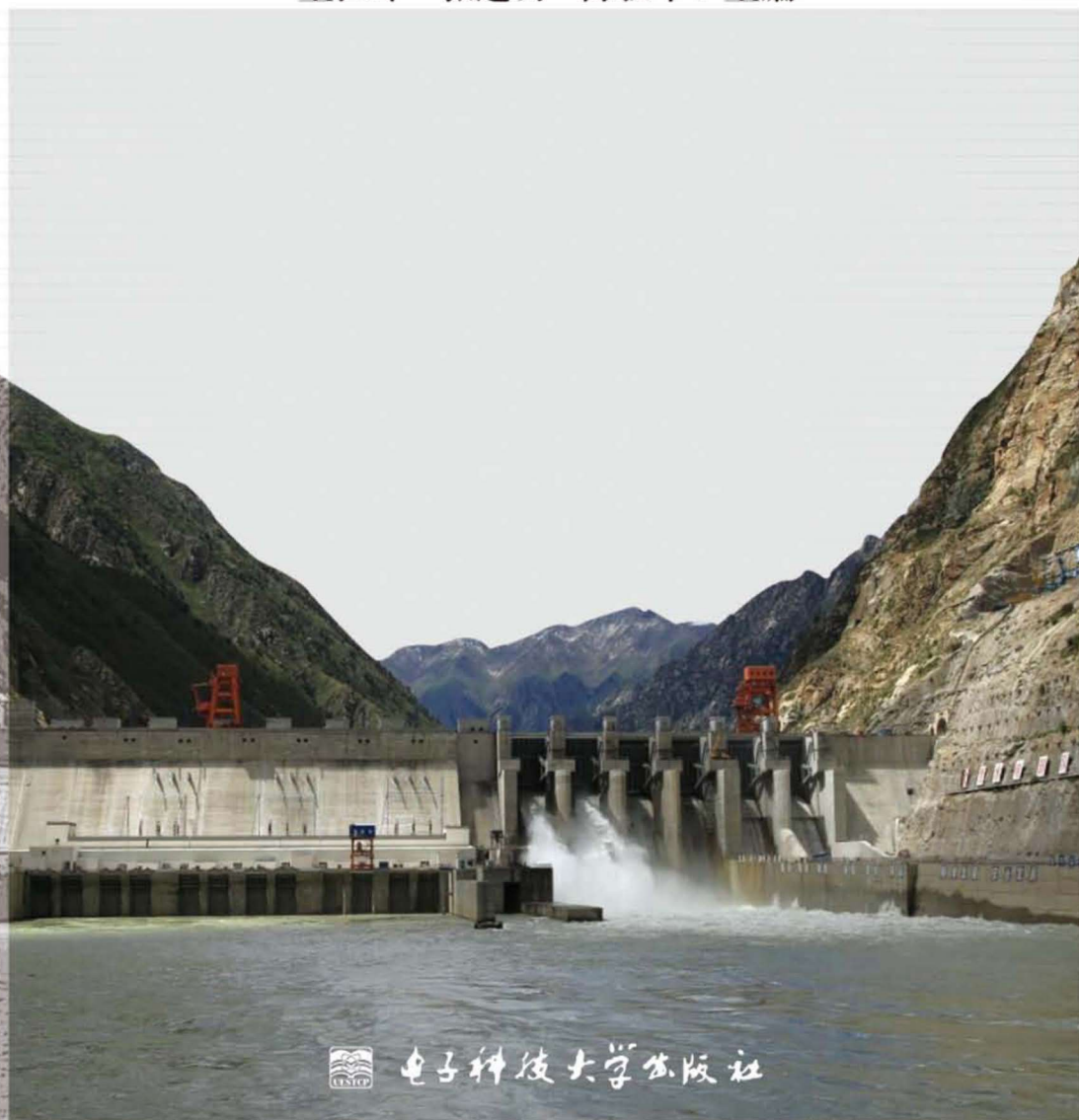


高原、高寒、高海拔、高地震地区 混凝土筑坝技术

GAOYUAN GAOHAN GAOHAIBA GAODIZHEN DIQU
HUNNINGTU ZHUBA JISHU

王仁坤 张连明 陈秋华 / 主编



电子科技大学出版社

高原、高寒、高海拔、高地震地区 混凝土筑坝技术

GAOYUAN GAOHAN GAOHAIBA GAODIZHEN DIQU
HUNNINGTU ZHUBA JISHU



电子科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高原、高寒、高海拔、高地震地区混凝土筑坝技术/
王仁坤, 张连明, 陈秋华主编. -- 成都: 电子科技大学
出版社, 2017.8

ISBN 978-7-5647-4918-7

I. ①高… II. ①王… ②张… ③陈… III. ①高原 -
地区 - 混凝土坝 - 筑坝 - 研究②寒冷地区 - 混凝土坝 - 筑
坝 - 研究③高纬度地区 - 混凝土坝 - 筑坝 - 研究④地震地
区 - 混凝土坝 - 筑坝 - 研究 IV. ①TV642

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 192585 号

高原、高寒、高海拔、高地震地区混凝土筑坝技术

王仁坤 张连明 陈秋华 主编

策划编辑 杨仪玮

责任编辑 熊晶晶

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185mm×260mm

印 张 16.75

字 数 429 千字

版 次 2017 年 8 月第一版

印 次 2017 年 8 月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-4918-7

定 价 58.00 元

版权所有 侵权必究

目 录

藏木水电站枢纽布置设计	张连明 (1)
藏木水电站正常蓄水位选择特点解析	刘 岩 (8)
藏木水电站鱼道工程设计与研究	
陈 静 郎 建 周小波 王泽溪 张连明 张湘隆	(13)
藏木水电站施工期实测应力监测成果分析与评价	冯宇强 钟 声 (24)
藏木水电站大坝混凝土施工技术	黄 玮 洪行远 (30)
藏木水电站坝址选择地质条件分析	杜潇翔 任华江 (39)
藏木水电站坝址悬移质输沙量估算	刘家富 李和平 (43)
藏木水电站坝基岩体质量评价及深层抗滑稳定分析	罗晓红 (49)
石灰石粉掺和料在大坝常态混凝土中的应用研究	李竞波 邓长军 (59)
泄水建筑物表面防空蚀涂层的研究与实践	游 湘 张 旻 杨 敬 (68)
藏木水电站脉动压力下厂房结构动力响应分析	侯 攀 江 波 (73)
藏木水电站鱼道金属结构的布置与设计	涂建伟 刘永胜 龙朝晖 姚昌杰 (81)
藏木混凝土重力坝的地震敏感性分析	闫 勇 张连明 彭文明 (87)
藏木水电站掺石灰石粉混凝土的温控防裂研究与应用	
刘 俊 李红叶 黄 玮 陈 强	(93)
藏木水电站人工和天然骨料对大坝混凝土试验研究	邓长军 杨忠义 (103)
藏木水电站安全监测自动化系统规划设计	马林艳 孙 璇 (109)
高海拔地区混凝土坝施工质量实时监控管理研究 ...	钟桂良 尹习双 邱向东 (115)
高寒高海拔地区混凝土施工特点	阎士勤 曹喜华 (121)
藏木水电站混凝土生产系统设计	张伟锋 张慧霞 (126)
高海拔高寒地区混凝土温控防裂设计	黄 玮 蒋林魁 王可峰 (133)
雅鲁藏布江中游径流还原计算方法探析	夏传清 马顺刚 (139)

沙牌工程简介——中国大坝建设进展宣传资料	陈秋华 (144)
某水电站坝下游面浅埋管设计	杨 嵘 沈 明 (150)
某碾压混凝土重力坝极限抗震能力研究	
	吴世勇 朱瑞晨 周廷清 卢 乾 王进廷 (162)
拉西瓦拱坝施工期温度应力反演计算与裂缝成因分析	
	雷丽萍 黄天润 黄艳艳 康晓娟 (172)
藏木水电站工程——高寒地区大坝混凝土温控管理浅析	陆兆继 (183)
高寒地区大坝及模板粘贴保温苯板施工技术应用	郭志强 (187)
基于降强与超载的岩质边坡综合法稳定分析	
	李思滢 陈 媛 焦 香 蔡睿堃 胡成秋 (196)
高寒、高原地区潜孔式闸门通气孔面积设计探讨 ...	刘 侠 张连明 嵇红刚 (209)
采用数值模拟方法分析附加温度场对综合法试验成果的影响	
	焦 香 陈建叶 杨宝全 李思滢 蔡睿堃 (215)
Y型和X型宽尾墩及溢流面的对比试验研究	
	张叶林 朱瑞晨 吴世勇 吴时强 (226)
石灰石粉替代粉煤灰对藏木水电站大坝混凝土性能影响的试验研究	
	邓长军 李光伟 (232)
“5·12”大地震给水电工程带来的思考	陈秋华 (239)
沙牌碾压混凝土拱坝的技术创新及成就	陈秋华 (245)
碾压混凝土拱坝成缝新技术	陈秋华 (253)
RCC高坝埋设冷却水管技术研究	陈秋华 邵敬东 赵永刚 (259)

藏木水电站枢纽布置设计

张连明

(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: 藏木水电站是西藏首座大型水电站, 枢纽布置设计复杂。本文以藏木水电站工程枢纽设计资料为基础, 从工程设计标准、枢纽总布置、建筑物结构设计、施工导流及工期等几个方面, 对藏木水电站枢纽布置设计进行简要介绍。

关键词: 藏木水电站; 枢纽布置设计; 施工导流及工期

1 工程概述

藏木水电站是雅江中游规划建设的第一座大型电站, 位于西藏中部电网负荷中心。工程场址位于西藏自治区山南地区加查县境内, 地处雅江中游桑日至加查峡谷段出口处, 坝址区距下游加查县县城 17km, 距拉萨直线距离 140km, 距下游右岸藏木村 5.0km, 距下游右岸 S306 省道 7.0km, 对外交通方便。

藏木水电站是雅江中游河段桑日一加查峡谷段水电规划五级开发方式的第 4 个梯级电站。电站主要任务是发电, 枯水年枯期 (12 月至翌年 4 月) 平均出力 143.7MW, 多年平均年发电量 25.008 亿 kW·h, 年利用小时数 4903h。水库正常蓄水位 3310.00m, 总库容 0.93 亿 m³, 调节库容 0.13 亿 m³, 为日调节水库, 水库回水长 12.4km。电站装机容量 510MW, 装 6 台 (6×85MW) 水轮发电机组。

2 工程等级及设计标准

2.1 工程等别、建筑物级别

藏木水电站常态混凝土重力坝最大坝高 116m, 装机容量 510MW, 工程等别为二等工程, 工程规模为大 (2) 型, 其永久性主要水工建筑物大坝、厂房、引水尾水系统等按 2 级设计, 永久性次要水工建筑物按 3 级设计, 临时建筑物为 3 级建筑物。

2.2 设计标准

(1) 洪水标准

根据建筑物级别, 并结合本工程特点, 同时考虑到电站下游加查县县城、雅江干流缺乏历史洪水资料的情况, 并考虑到藏木电站是雅江上拟建的第一个电站, 在电站下游为加查县城, 确定各主要建筑物的设计标准为: 混凝土重力坝方案的挡水、泄水建筑物按 500 年一遇洪水设计, 流量 13600m³/s, 2000 年一遇洪水校核, 流量 17100m³/s; 电站厂房按 200 年一遇洪水设计, 流量 12400m³/s, 500 年一遇洪水校核, 流量 13600m³/s; 2 级建筑物消能防冲建筑物按 50 年一遇洪水设计, 流量 10300m³/s。

(2) 抗震设计标准

根据中国地震局地壳应力研究所、西藏自治区地震局地震工程研究所对工程场地的地震危险性评价报告,工程场地50年超越概率10%的基岩水平动峰值加速度为 140.8cm/s^2 ,相应的电站场址地震基本烈度为Ⅶ度,设防烈度为Ⅶ度。大坝的抗震设防类别为乙类,厂房及其他次要建筑物的抗震设防类别为丙类。

3 枢纽工程总布置及建筑物主要尺寸

工程枢纽建筑物主要由拦河大坝、泄洪消能防冲、排沙、发电厂房、鱼道等建筑物组成。导流明渠布置在左岸和两孔表孔溢流坝结合,前期为导流明渠,后期改建为两个表孔溢流坝。主要建筑物示意图如图1所示。

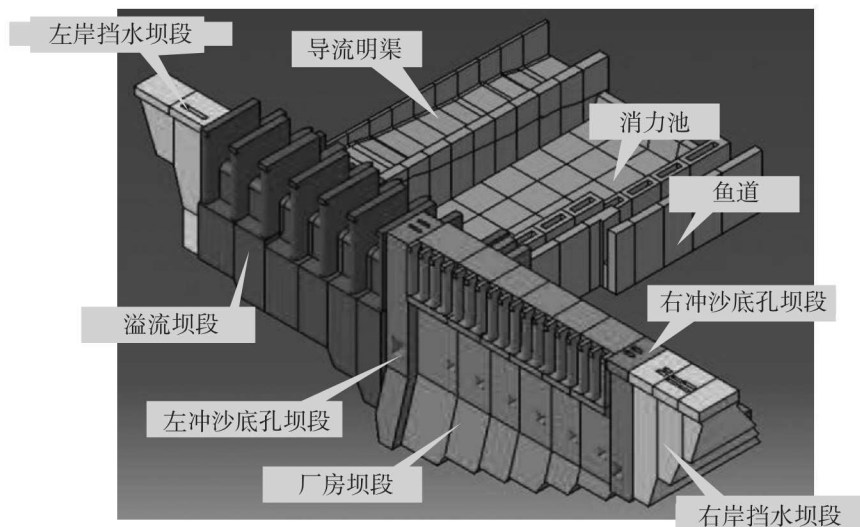


图1 主要建筑物示意图

3.1 大坝挡水及泄水建筑物

(1) 大坝整体布置

拦河大坝坝顶总长度387.50m,共分19个坝段。其中,1#~2#为左岸挡水坝段,左岸坝顶长48.00m,1#、2#坝段长分别为24.00m、22.00m;17#~19#为右岸挡水坝段,右岸坝顶长49.00m,坝段长分别为17m、17m、15m;3#~8#坝段为溢流坝段,坝顶全长125.00m,坝段长分别为24.50m、21.00m、20.00m、20.00m、20.00m、19.50m;9#、16#为左右冲沙底孔坝段,每个坝段长度均为15.00m;10#~15#坝段为厂房挡水坝段,坝顶全长135.50m,坝段长分别为27.90m、22.40m、19.50m、22.40m、19.50m、23.80m。

(2) 溢流坝段结构

溢流坝共设6个坝段,坝顶高程3314.00m,最低建基面高程3204.00m(8#坝段部分坝趾建基面高程),最大坝高110.00m。溢流堰顶高程3291.00m,堰顶前缘为1/4椭圆曲线,后接方程为 $y=0.0392x^{1.85}$ 的幂曲线段,高程3265.26m后接1:0.7斜坡,再通过半径35m的反弧段与消力池相接。考虑三期导流采用导流底孔方式,在每个溢流坝段内布置一孔导流底孔,尺寸为7.0m×11.5m(宽×高),导流底孔高程在3#、4#坝段进口高程为3249.00m,

5#~8#坝段进口高程为3246.00m。为减少对坝体的削弱并避免底孔封堵时的施工困难,底孔进口段布置在坝体断面以外,5#~8#坝段3268.00m高程以下(3#、4#坝段3271.00m高程以下)坝体向上游延伸至(坝)0+010.00m桩号,作为导流底孔进口段。溢流坝下游尾坎高程与消力池底板高程相适应,3#、4#坝段下游溢流面尾部高程为3246.16m,与导流明渠底板高程相衔接;5#~8#坝段溢流面尾部高程为3236.00m,与消力池底板高程相差4.0m,形成一个跌坎,辅助消能。溢流坝3#、4#坝段最大底宽83.0m,5#~8#坝段最大底宽88.0m。综合考虑坝顶启闭设备布置和结构要求,表孔闸墩长度初步确定为54.50m,边墩厚度4.5m,中墩厚度5.0m。左岸导流明渠与3#、4#溢流坝段结合,前期为导流明渠,后期改建为溢流坝。表孔溢流坝同时作为排污通道,参与水库排污。

(3) 底孔坝段结构

冲砂底孔坝段共设2孔,分别布置于厂房挡水坝段两侧,坝顶高程3314.00m,左冲砂底孔坝顶宽度25.00m,最低建基面高程3198.00m,最大坝高为116.00m,右冲砂底孔坝顶宽度27.00m,最低建基面高程3234.00m,最大坝高为80.00m。左、右底孔均采用有压深式进水孔型式,包括进口段、压力段、明流段。底孔进口底板高程为3246.00m,左冲砂底孔进口段上唇为 $(x^2/62) + (y^2/22) = 1$ 椭圆曲线,左孔冲砂底孔坝段进口尺寸为5m×6m(宽×高),采用矩形孔口,进口段分别布置平板检修闸门和平板工作闸门,压力段后接明流段,尾部设底流消能消力池,左冲砂底孔消力池底板高程3238.5m,底孔坝段上游上部铅直,下部1:0.3斜坡,折坡点高程为3235.00m,下游面坝顶至高程3296.00m为铅直段,以下坝坡为1:0.75至中孔出口部位,坝段最大底宽95.1m。右冲砂底孔进口段上唇为 $(x^2/52) + (y^2/1.672) = 1$ 椭圆曲线,坝段进口尺寸为进口4m×5m(宽×高),进口段分别布置平板检修闸门和平板工作闸门,工作闸门之后采用直径为4.0m坝内埋管的形式,右底孔坝段上游铅直,下游面坝顶至高程3304.00m为铅直段,以下坝坡为1:0.8至中孔出口部位,底孔坝段最大底宽81.0m。

(4) 厂房挡水坝段结构

桩号为0+188.0m~0+323.50m,为10#~15#共6个坝段,厂房挡水坝段沿坝轴线全长135.50m,采用一机一缝的布置形式,分为6个机组段,厂房挡水坝段10#~15#长度分别为:27.90m、22.40m、19.50m、22.40m、19.50m、23.80m,顺水流方向最大长度89.1m,上游面折坡点3235.00m以下坡度1:0.3,下游面折坡点高程3304.00m以下坡度为1:0.8。坝基置于弱风化花岗岩上,最低开挖高程3198.00m(10#坝段坝踵建基面高程),坝顶高程3314.00m,最大坝高116m。坝内分别布置一条灌浆廊道、1条交通廊道和2条排水廊道,并同冲砂底孔坝段廊道连通。每个坝段前设厂房进水口,在满足进水口淹没深度和拦污栅布置的前提下,进水口底高程3285.00m,宽度为6.2m。进口设拦污栅、检修闸门和工作闸门各一道。拦污栅、检修闸门、工作闸门孔口尺寸分别为5.0m×25m、6.2m×14m、6.2m×11m(宽×高)。坝顶宽27m,布置一台双向门机,用于进水口拦污栅及闸门启闭。进水口后接压力钢管,采用坝内埋管,钢管直径6.10m,钢管壁厚20mm,加劲环间距1.6m、高度200mm、加劲环钢板厚度20mm。为满足冲沙要求,在厂房坝段坝体内设置排沙廊道。每个机组段设置一个进口,断面2m×3m,进口高程为3249.00m,每个进口后分别设置一道平板检修闸门和一道平板工作闸门。主廊道断面3m×3m,前半段高程3249.00m,并同各机

组段进口连接；后半段坡度为12.37%，出口布置于冲沙底孔坝段边墙上，出口高程3238.50m。

(5) 左右岸挡水坝段结构

左、右挡水坝段共分5个坝段，其中，左岸2个坝段、右岸3个坝段。坝顶高程3314.00m，最低建基面高程为3238.00m，最大坝高76m。左岸挡水坝坝顶为满足交通需要，上游设置悬臂结构外伸6.00m，坝顶宽19.00m，挡水坝段上游面上部铅直，同样为利用部分水重增加坝体稳定性进而减少坝体混凝土量，下部为折坡，折坡点高程3256.00m，坡比为1:0.3，下游面坝顶至高程3304.00m为铅直段，以下坝坡左岸为1:0.75，坝段最大宽度72.9m。右岸考虑与厂房挡水坝段一致，坝顶宽度27.0m，下游坝坡采用1:0.8，坝段最大底宽76.80m。

(6) 消力池

溢流坝消能防冲按50年一遇洪水设计。考虑到本工程坝区岸坡稳定问题突出，泄洪消能应最大限度减小对岸坡稳定的影响，从运行安全可靠角度出发，确定溢流坝消能采用底流消能方式。

本工程左岸布置导流明渠，后期改建为2孔溢流坝，结合枢纽区地形地质条件，即河床覆盖层深厚，岸边基岩出露早的特点，消能采用河床4孔溢流坝设置宽尾墩+综合消力池和左岸边2孔溢流坝下游采用泄水槽的方式。根据泄洪消能计算结合水工模型试验，中间4孔溢流坝宽尾墩尾部宽度为3.0m，下游消力池底板高程为3232.00m，长度为147.50m，尾坎高程为3243.50m，下游海漫高程为3241.00m。与明渠结合两孔溢流坝，由于受到导流明渠布置的限制，在溢流坝下游难以挖形成消力池，因此下游采用泄水槽的方式，接入河道主流，在明渠末端布置了三道导流坎，使下泄水流向主河床扩散。

消力池中部根据岩石出露高程确定护坦局部建基面高程为3210.00m，护坦厚22.0m。消力池左、右两侧护坦的厚度，根据消力池护坦抗冲磨计算，并类比同类工程的经验，确定护坦厚度为8m，建基面高程为3224.0m，基础岩石为Ⅲ级。

中间4孔溢流坝下游消力池池底高程3232.00m，池长147.50m，宽75.0m，池尾设高11.5m的尾坎，尾坎高程3243.50m。左侧2孔溢流坝下游与导流明渠全结合，明渠底板高程桩号（坝）0+073.0m~（坝）220.50m为3246.09~3244.71m。底板混凝土分区为：顶部0.6m范围内采用HF抗冲耐磨C40W6F200混凝土，以下为常态混凝土2.4m厚C25W8F150以及C20W6F150，厚3.6m，河床中部挖除覆盖层采用C10混凝土回填。

结合枢纽布置，消力池左右侧混凝土边墙均采用直墙。左侧结合导流明渠外边墙顶高程桩号（坝）0+073.0m~（坝）220.50m为3265.20~3262.88m，墙厚8.0m。右侧混凝土边墙结合左冲砂底孔边墙迎水面铅直，边墙背水面顶部铅直，桩号（坝）0+073.0m~（坝）103.00m为3263.50m，墙厚9.5m，底高程3232.00m；桩号（坝）0+103.0m~（坝）0+220.500m为3253.50m，底高程3232.00m。

(7) 坝基防渗和排水布置

坝址处地下水类型分为基岩裂隙水和第四系松散堆积层孔隙水两类。坝区以花岗岩为主，岩石致密坚硬，透水性较弱，岩体裂隙较发育，岩体透水性受构造、风化、卸荷等因素控制具明显分段性。坝区压水试验统计成果表明，强卸荷岩体具中等~强透水、弱风化

岩体具弱透水性、微新岩体具弱微透水性，并具有随深度增加透水性逐渐减弱的规律。坝址河床基岩透水率 $q \leq 3\text{Lu}$ 顶板垂直埋深5~10m（基岩面以下）；两岸水平埋深一般为20~40m。

由于本工程坝基下基础岩体 $q \leq 3\text{Lu}$ 相对较浅。根据《混凝土重力坝设计规范》的规定，依据坝址渗透地质剖面并借鉴国内外已建工程的经验，帷幕采用悬挂式帷幕。防渗帷幕采用双排孔，主帷幕深度为坝高的0.5~0.7倍，副帷幕孔深取为主帷幕孔深的1/2倍，帷幕排距1.50m，孔距2.0m，孔间错布置。河床及右岸帷幕一般深入弱偏下透水带（ $3\text{Lu} > 1$ ），帷幕最低高程为3142.00m；坝顶两岸帷幕布置为左岸在坝顶高程3314.00m设5m×5.5m（宽×高）的上坝交通洞兼作灌浆平洞，帷幕伸入坝肩83.00m，并在高程3239.00m也设置3m×3.5m（宽×高）的一层灌浆平洞，长61.00m；右岸帷幕由坝肩高程3314.00m和3239.00m设灌浆平洞，左岸坝肩平洞下帷幕底高程由3294.00m向河床逐渐降低，河床坝段帷幕底高程3142.00m。帷幕灌浆压力按大坝承受的水头和地质情况，最大压力暂定为5MPa。以上帷幕、固结灌浆参数在灌浆试验后最终确定。

为降低坝基扬压力，在防渗帷幕的下游设置一排主排水孔，深度取为主帷幕孔深的0.5倍，孔距3m。在河床溢流坝段3#~8#、左右冲砂底孔坝段9#和16#、厂房挡水坝段10#~15#设两排纵向辅助排水廊道；在1#~2#、17#~19#坝段设一排纵向辅助排水廊道；并在4#~18#坝段之间的分缝处共设置7排横向辅助排水廊道连接帷幕灌浆廊道及各排纵向辅助排水廊道。廊道内钻副排水孔，副排水孔深为8~15m，孔距3m。在左底孔坝段和厂房坝段（10#）基础下各设一个集水井，通过中孔边墙上的抽排水管将集水井中的水抽往下游。

根据渗流计算分析，坝区总渗流量估算为 $1122\text{m}^3/\text{d}$ ；根据抽水机的运行要求，在一个小时内水泵启动的次数不得大于6次。因此，为避免频繁起泵，在9#、10#坝段最下游一排辅助排水廊道位置布置了两个集水井，集水井底高程均为3198.00m，其尺寸为8m×3m×5m（长×宽×高）。

3.2 引水、尾水建筑物

（1）引水建筑物

根据枢纽整体布置，厂房紧靠坝下游为坝后式厂房，因此进水口与挡水坝结合，采用坝式进水口。进水口前半部为拦污栅闸，进水口共设有19孔拦污栅闸，为统一拦污栅的尺寸，部分拦污栅将跨越两个坝段间的分缝，进水口后半部为进水闸室结构，闸室内设检修闸门槽、工作闸门槽、渐变段、通气孔。检修闸门孔口宽6.10m，孔口高10.12m，工作闸门孔口宽6.10m，孔口高8.73m。工作闸门后接渐变段，渐变段长10.16m，由6.1m×8.31m（宽×高）矩形孔口渐变为直径为6.1m的圆形孔口。通气孔断面尺寸1.20m×2.00m，为避免通气孔充气、排气时对周围物体构成危险，其出气孔设置在塔体背后。

压力管道从进水口到坝后厂房，单机单管供水，6条压力管道平行布置。采用坝内浅埋管的结构布置形式，电站引用流量为 $1071.30\text{m}^3/\text{s}$ ，单机引用流量为 $178.55\text{m}^3/\text{s}$ ，压力管道管径与蜗壳连接管直径一致为6.10m，管内流速6.11m/s。钢衬材料为16MnR。

（2）尾水建筑物及进厂交通

6台水轮发电机组分由两个厂家提供，其中1#~3#机组由哈尔滨电机厂有限责任公司

制造, 4#~6#机组由浙江富春江水电设备股份有限公司制造。1#~3#机组同4#~6#机组尾水流道尺寸略有差异, 其中1#~3#机尾水管出口高程3225.50m, 4#~6#机尾水管出口高程3225.00m, 尾水管净宽14.56m, 高5.25m, 设置2.5m厚的中墩分隔成两孔, 尾水检修门孔口尺寸为6.03m×5.25m(宽×高), 三期截流时尾水12孔检修门应具备下闸(或临时下闸)条件。

尾水管出口接尾水渠, 尾水渠起点高程3224.75m, 厂(纵)0+034.00m~厂(纵)0+104.00m为尾水渠反坡段, 尾水渠以1:4的反坡升至高程3242.00m, 厂(纵)0+104.00m~厂(纵)0+215.98m为尾水渠平段, 高程3241.00m, 尾水渠反坡段尾部和平段之间所设1m直坎可减少泄洪泥沙进入尾水渠反坡段。

为减小泄洪水流对机组运行的影响, 减少冲砂底孔、冲砂廊道排出的泥沙直接进入尾水渠尤其是反坡段, 尾水渠同冲砂廊道、右冲砂底孔之间设置隔墙。尾水渠同冲砂廊道间隔墙高程3260.00~3250.00m, 末端延伸至(坝)0+280.50m(厂(纵)0+190.98m), 尾水渠同由冲砂底孔间隔墙高程3263.00~3250.00m, 末端延伸至(坝)0+245.51m(厂(纵)0+155.99m)。

尾水渠挡墙兼作进厂公路挡墙及厂区防洪墙, 尾水渠兼进厂公路挡墙共分3段: 挡墙1#~12#块(厂(纵)0+036.01m~厂(纵)0+215.98m)为衡重式挡墙; 挡墙13#~17#块(厂(纵)0+215.98m~厂(纵)0+285.35m)为渐变段; 挡墙18#~35#块(厂(纵)0+285.35m~厂(纵)0+512.50m)为贴坡式挡墙。

进厂公路接4#路, 为明路直接进厂, 路面设计净宽8m, 按双车道4级公路设计。

3.3 发电厂房及出线场

藏木水电站为坝后式厂房, 采用“主机间两机一缝、厂坝分开、厂房挡水坝段一机一缝”的布置形式。主机间和安装间呈“一”字形布置, 主机间纵轴线与坝轴线平行, 为NE54°58'0", 厂房纵轴线距坝轴线间距89.52m。厂内安装六台混流式水轮发电机组, 单机容量85MW, 总装机510MW, 机组安装高程3237.20m。机组间距19.50m。主机间建基面高程3217.65m, 置于弱风化的花岗岩上。

主机间长度135.50m, 其中1#、2#机组段长43.30m, 3#、4#机组段长41.90m, 5#、6#机组段长50.30m, 主机间段顺水流方向宽度为47.50m, 高度49.15m, 厂房跨度为26.0m, 厂内设有230t/50t、Lk=22m的桥式起重机两台, 厂房轨顶高程3260.80m。屋顶底高程3266.80m。主机间分为二层, 发电机层高程3249.80m, 水轮机层高程3241.80m, 两层之间分别布置楼梯作为上下层的交通。

安装间布置于主机间右侧, 顺水流方向宽度同主机间为26.0m, 沿机组纵轴线方向长38.50m。

主变及GIS楼布置于厂房挡水坝段下游坝趾上, 长135.50m, 宽15.50m, 主要布置有主变压器、GIS及屋面出线场。下游副厂房布置于厂房主机间下游与尾水平台之间, 长度与主机间相同, 宽10.50m。

3.4 鱼道总体布置

鱼道采用竖缝式。藏木鱼道工程主要由进口、尾水渠段、暗涵段、岸坡段、过坝段、

出口明渠段、出口和鱼道观测研究室等部分组成，全长3566.325m。

鱼道设两个常用进口，高程分别为3241.00m和3243.00m；设两个备用进口，高程分别为3243.30m和3245.60m。鱼道尾水渠段与尾水渠底板及尾水左、右导墙结合布置。鱼道暗涵段与厂房防洪墙结合布置，并设置通气孔。鱼道岸坡段利用尾水渠下游护岸、混凝土拌和系统台地、白沟坡地进行布置，逐步爬升。大坝右岸下游边坡陡峭，难以布置鱼道，该处鱼道采用渡槽方式进行布置。鱼道在19#坝段处穿越大坝，该部分鱼道采用平坡，可兼起休息池作用。出口明渠段利用大坝上游右岸边坡进行布置，逐步爬升。鱼道设置四个出口，高程分别为3304.00m、3305.00m、3306.00m和3307.50m。

为与枢纽主体建筑充分结合，鱼道分部位采用不同底坡，其中：鱼道进、出口底坡 $i=0$ ；尾水渠段采用 $i=0.0202$ 、 $i=0.0232$ 、 $i=0.0234$ 三种不同底坡；暗涵段、岸坡段及出口明渠段底坡 $i=0.02$ ；鱼道出口底坡 $i=0$ 。鱼道共设9个不同底坡的休息池，以供鱼类在上溯过程中暂时休息。

4 施工导流及工期

工程施工采用“左岸明渠全年导流、导流及主体工程分三期、基坑全年施工”方式。一期，进行左岸导流明渠修建；二期，进行主河床内的大坝、厂房修建；三期，完建明渠坝段。

导流及主体工程、施工辅助工程等主要分为：左、右岸交通工程标，砂石系统及混凝土系统标，导流明渠标，厂房标，大坝标，鱼道标。除部分机电设备标、鱼道标外，其他各标均已完成招标工作。

工程于2007年9月开始场内交通等筹建项目施工；2008年9月开始导流明渠施工；2009年10月1日开始明渠混凝土浇筑；2010年11月导流明渠具备过流条件；2011年5月开始基坑开挖，11月开始大坝、厂房混凝土浇筑；2013年9月厂房、尾水渠和消力池混凝土浇筑完成，10月开始拆除二期围堰，11月三期工程截流，然后进行明渠内坝段、左挡水坝段完建；2014年7月，大坝混凝土浇筑全线到顶，11月初开始下闸蓄水，11月中旬工程具备第一台机组发电条件，11月下旬开始导流底孔封堵与改建；2015年5月底孔封堵完成；2016年2月底，全部机组投产。

5 结束语

藏木水电站是雅干流上建成的第一座大型水电站，是西藏第一座超过百米级的高坝，是西藏自治区成立以来西藏建成投产的最大水电站，实现从雅鲁藏布江支流到干流，从10万kw级到50万kw级成功跨越，建成目前国内规模最大、最长的鱼道，且运行初见成效，成功建成投产的鱼类增殖站填补了雅江鱼类放流的空白，电站具有里程碑意义。其建设有利于缓解西藏中部地区用电的紧张局面，有利于环境保护和加快西藏社会经济发展，对维护西藏和平稳定等具有重要意义。本文介绍了藏木水电站枢纽布置设计中枢纽总布置、建筑物结构设计、施工导流及工期设计等几个主要关键技术内容，为读者对藏木水电站的总体认识提供一些支撑。

藏木水电站正常蓄水位选择特点解析

刘 岩

(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: 藏木水电站的开发建设对于缓解西藏中部电网长期以来的缺电局面、满足地区不断增长的用电需求具有重要作用。藏木水电站开展前期设计时雅鲁藏布江中游河段水电规划尚未完成, 因此其正常蓄水位的选择首先应不影响上下游梯级电站布置, 并在综合分析坝址区地形地质条件、水库淹没、水工布置和施工条件的基础上, 重点结合电站在电力系统中的作用进行选择。

关键词: 藏木水电站; 正常蓄水位; 西藏中部电网

藏木水电站是雅鲁藏布江干流开发的第一个梯级电站, 也是同时期西藏中部地区开发条件最好的水电电源, 建成后供电西藏中部电网。根据当时的用电需求预测, 藏木水电站建成后可有效缓解西藏中部电网长期缺电局面。为尽快解决地区用电矛盾、满足不断增长的用电需求, 藏木水电站在雅鲁藏布江中游河段水电规划正在开展的同时启动了项目前期设计。因此, 与一般情况下水电站正常蓄水位选择不同, 藏木水电站正常蓄水位的选择应当为上下游梯级电站布置留有余地, 并需重点结合电力系统用电需求特性及藏木水电站在电力系统中的作用进行。

1 藏木水电站开发的作用和意义

藏木水电站位于西藏自治区山南地区加查县境内雅鲁藏布江中游桑日—加查峡谷段出口处, 是雅鲁藏布江干流开发的第一个梯级电站。电站开发任务为发电, 建成后供电西藏中部电网。西藏中部地区是西藏的政治、经济、文化中心, 2000年以来地区经济呈现快速发展的势头, 人民的生活水平不断提高, 电力需求连年增加, 用电市场呈现持续高速增长态势。与用电需求高增长形成鲜明对比的是, 地区电力工业基础薄弱, 电力供应严重不足, 电源结构不合理, 电源项目储备严重不足, 迫切需要尽快启动具有一定规模的电源项目前期工作并尽快推动开发, 以支撑地区经济社会持续快速发展。

分析西藏中部地区能源资源特点和开发条件, 开发利用距离负荷中心近、技术水平较为成熟、经济指标相对较好的水能资源以支撑中部地区的经济发展是最为现实可行的。考察西藏中部地区河流开发条件可知, 雅鲁藏布江中游的桑日—加查河段为峡谷段, 该河段坡降大, 落差集中, 淹没损失小, 开发条件较好, 距离负荷中心较近, 可作为西藏中部电网近期电源开发的主要河段。其中藏木水电站枢纽区位于加查县藏木乡上游约3km处, 地质条件和水工布置条件相对较好, 施工较为方便, 电站基本位于中部电网的中心位置, 水库淹没影响小, 工程区不涉及重要的环境敏感对象, 规模适中, 能较好适应西藏中部电网

2020年左右的负荷发展要求，是桑日一加查河段开发条件最好的梯级。

能源供应不足和生物能的过度消耗是危及西藏实施可持续发展战略的主要问题。藏木水电站的建设在实现西藏优势能源资源开发的同时，对于保护区内脆弱的生态环境也具有重要意义。此外，藏木水电站的建设有利于提高中部电网电压等级，改善其网架结构，提高电网运行可靠性及覆盖面；同时，可担负系统中的调峰、调频和备用等任务，可极大缓解中部电网的电力供需矛盾，改善电网的运行条件，增加运行的安全性。

2 正常蓄水位选择影响因素分析

（1）藏木水电站对上游衔接梯级布置的影响

藏木水电站开展前期设计时，雅鲁藏布江是我国当时唯一未进行水电规划和开发的大型河流。了解其资源条件、开发条件和开发规模对今后西藏和我国水电建设提供项目储备，合理开发雅鲁藏布江的水力资源，促进西藏繁荣、稳定 and 经济社会可持续发展具有深远的意义。

雅鲁藏布江中游河段是西藏中部地区开发条件较好的河流（河段），也是西藏中部电网近期开发的主要河流（河段）。藏木水电站开展前期设计时，雅鲁藏布江中游桑日一加查河段梯级开发方案调整初拟开发方案中，藏木水电站的上游梯级是街需水电站。为合理利用该河段水力资源，避免与今后的梯级开发产生矛盾，藏木水电站正常蓄水位的选择应当为街需水电站的布置留有余地。

（2）藏木水电站在电力系统中的作用是影响正常蓄水位选择的重要因素

西藏中部地区电力供应长期不足，已成为制约地区经济社会持续健康发展的瓶颈，迫切需要尽快开发建设具有一定规模的骨干支撑电源。藏木水电站是同时期西藏中部电网开展前期工作的水电站中装机容量最大的水电站，按照《西藏电力发展“十一五”规划及2020年远景目标》负荷预测成果，藏木水电站建成后可满足西藏中部电网2020年的用电需求。

藏木水电站所在河段水电规划尚未完成，各梯级利用水头尚未确定。藏木水电站正常蓄水位的选择直接关系到电站利用水头及开发规模，可在不影响上下游梯级布置，并结合自身开发条件的基础上，重点结合电力系统需求来确定。

（3）藏木水电站开发条件

与一般水电站正常蓄水位选择相同的是，藏木水电站的正常蓄水位需结合坝址区地形地质条件、水库淹没、环境影响、水工布置及施工条件、电站动能经济指标确定。

3 正常蓄水位选择方案拟定

截至2005年底，藏中四地市电网加林芝电网共有电站14座，装机总容量仅243.86MW，不能满足系统的用电需求。负荷中心无电源支撑，电网运行可靠性低。系统内除羊湖电厂、满拉、查龙外，几乎全为径流式电站，无调节能力，由于缺乏抽水电源，羊湖电厂只能借水发电。藏木水电站位于中部电网的中心位置，辐射范围大，且是同时期西藏中部电网开展前期工作的水电站中装机容量最大的。根据《西藏电力发展“十一五”

规划及2020年远景目标》，西藏中部电网在2006—2010年、2011—2015年、2016—2020年分别需要新增装机500MW、350MW、350MW。经综合考虑系统需求、藏木水电站的设计、施工进度以及西藏中部电网电源建设安排，藏木水电站的装机规模应在一个较为充分的范围内进行选择，因而其正常蓄水位比较方案范围也应适当放宽。

藏木水电站上游衔接梯级街需水电站坝址位于藏木峡谷段内的街需村上游约2km河段，坝区水面高程3310m，初拟正常蓄水位3362m。电站拟采用坝式开发，岸边地下式厂房，初拟装机容量400MW。

藏木水电站工程区总体地质条件较好，库区没有城镇、成片耕地和大量人口、矿产、文物古迹等，水库的淹没损失小，地形地质条件、水库淹没、环境影响均不是正常蓄水位选择的控制因素。藏木水电站枢纽主要建筑由挡水坝、泄水建筑物、厂房坝段、发电厂房等组成，最大坝高超过100m。除坝址处覆盖层较深、开挖工程量较大，导流建筑物布置相对较困难等缺点外，无其他制约性工程技术问题，水工布置和施工条件均较好，不制约正常蓄水位的选择。

在综合地形地质条件、水库淹没、梯级衔接、水工布置及施工条件等因素的基础上，充分考虑藏木水电站在西藏中部电网中的重要作用，拟定3280m、3290m、3300m、3310m、3320m五个正常蓄水位方案进行比较。各方案动能经济指标如表1所示。

表1 藏木水电站各正常蓄水位方案动能经济指标表

项目	单位	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
正常蓄水位	m	3280	3290	3300	3310	3320
汛期排沙运用水位	m	3275	3285	3295	3305	3315
死水位	m	3275	3285	3295	3305	3315
正常蓄水位以下库容	亿 m ³	0.217	0.394	0.613	0.866	1.158
调节库容	亿 m ³	0.065	0.095	0.114	0.131	0.152
调节性能	—	日调节	日调节	日调节	日调节	日调节
设计枯水年枯水期平均出力	MW	6.44	8.45	10.46	12.47	14.48
装机容量	MW	24	33	42	51	60
多年平均年发电量	亿 kW·h	12.485	16.911	21.337	25.763	30.189
丰水期电量	亿 kW·h	7.745	10.646	13.546	16.446	19.345
平水期电量	亿 kW·h	1.754	2.330	2.906	3.482	4.058
枯水期电量	亿 kW·h	2.986	3.936	4.886	5.836	6.786
年利用小时数	h	5202	5125	5080	5052	5032
机组台数	台	6	6	6	6	6
最大水头	m	36.1	46.1	56.1	66.1	76.1
最小水头	m	16	26	36	46	56
加权平均水头	m	26.9	36.8	46.8	56.8	66.8
汛期加权平均水头	m	24.4	34.4	44.4	54.4	64.4
额定水头	m	24	34	44	54	64

续表

项目	单位	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
静态总投资	万元	537168.48	610917.12	647815.08	678544.11	738430.10
单位千瓦投资	元	22382	18513	15424	13305	12307
单位电能投资	元	4.303	3.612	3.036	2.634	2.446
设计枯水年枯水期平均出力差	MW	2.01	2.01	2.01	2.01	2.01
装机容量差	MW	9	9	9	9	9
多年平均年发电量差	亿kW·h	4.426	4.426	4.426	4.426	4.426
其中:丰水期电量差	亿kW·h	2.900	2.900	2.900	2.900	2.900
平水期电量差	亿kW·h	0.576	0.576	0.576	0.576	0.576
枯水期电量差	亿kW·h	0.950	0.950	0.950	0.950	0.950
静态总投资差	万元	73748.64	36897.96	30729.03	59885.99	
补充单位千瓦投资	元	8194	4100	3414	6654	
补充单位电能投资	元	1.666	0.834	0.694	1.353	

4 正常蓄水位方案选择

(1) 从电站动能经济指标看,抬高正常蓄水位是有利的

随着正常蓄水位的抬高,电站利用水头增加,动能指标相应增加,单位经济指标逐渐降低,说明正常蓄水位越高越经济。

(2) 从满足西藏中部电网电力电量需求的角度分析,3310m方案较为合理

根据西藏中部电网的电源建设安排,2015年前陆续建成投产的直孔、雪卡、老虎嘴、旁多等水电站部分缓解了中部电网的用电紧张局面,2015—2020年,电网新增电源分别为藏木水电站及羊湖抽水蓄能电站四台80MW机组。若藏木水电站装机510MW,到2020年中部电网总装机达到1432MW,其中水电1408MW,占98.0%,藏木水电站装机容量占系统总装机的35.6%。

根据中部电网2020年电力电量平衡成果分析,藏木水电站正常蓄水位3310m相应装机容量510MW,电力系统供需平衡,汛期有大量弃水电量可供羊湖电站抽水蓄能,羊湖抽水蓄能机组所抽水量能够满足发电用水需求,不需借水发电。

在设计水平年2020年藏木水电站已投产较长时间且具有日调节能力,除供系统的容量和电量外,在汛期还为羊湖电站提供部分抽水容量和电量。正常蓄水位3320m方案相应装机容量600MW,在满足系统电力及电量的需求作用方面与正常蓄水位3310m方案相差不大,但由于单机容量增大,将增加系统的事故备用,且有太多的空闲容量及弃水电量,在系统中不能较好地发挥容量和电量的作用。正常蓄水位3280m方案、3290m方案及3300m方案装机容量分别为240MW、330MW、420MW,电站出力较小,由于中部电网的总装机容量较小,藏木水电站装机容量以及发电量的减小对系统的影响较大:汛期常规水电站除供系统的电力和电量外,能够提供给羊湖抽水的容量和电量下降较多,致使羊湖电站汛期有较多的抽水容量空闲;平枯水期若要满足系统的用电需求,羊湖电站必将借水发电,从

而限制羊湖电站抽水蓄能作用的发挥并改变羊湖的水量平衡状况,而且将对电网运行产生不利影响。综上,藏木水电站装机510MW与羊湖抽水蓄能电厂配合运行能够较好地满足中部地区负荷增长的需要,即正常蓄水位3310m方案是较为合适的。

(3) 从梯级衔接关系看,以选择3300m、3310m方案略为有利

藏木水电站上游衔接梯级街需电站坝址位于藏木梯级坝址上游12.4km,枯期的水面高程为3310m。街需库区为峡谷段,两岸山体雄浑,坝址两岸基岩裸露,自然边坡稳定性较好,具备建中、高坝条件。

藏木水电站正常蓄水位为3280m时,街需坝址区位于街需村,其右岸岸坡完整、稳定;其左坝肩发育街需基岩滑坡,坝肩绕坝渗漏问题突出。藏木水电站正常蓄水位为3290m时,街需坝址区位于街需村上游1km,其右岸岸坡完整、稳定;其左坝肩发育街需上游拉裂岩体,左坝肩边坡稳定性问题、绕坝渗漏问题突出。藏木水电站正常蓄水位为3300m、3310m时,街需坝址位于街需村上游1.7~2.3km河段,两岸岩体较完整,自然边坡稳定性较好。藏木水电站正常蓄水位为3320m时,街需坝址位于街需村上游4km,其右岸岸坡完整、稳定;但左岸岸坡潜在不稳定块体较发育,肩边坡稳定性问题突出。

综上所述,与藏木水电站3300m、3310m正常蓄水位方案衔接的街需梯级地质条件相对较好。

(4) 水库淹没、环境影响、枢纽布置及施工条件等均不控制正常蓄水位选择

藏木水电站水库淹没损失小,淹没对象单一,各方案均不存在移民安置问题。各方案均不存在重大环境制约因素,工程造成的环境影响可通过适当的环保措施消除或减缓。各方案枢纽布置格局基本一致,筑坝技术难度不大,施工组织均可行。各方案在机组制造及运行、金属结构、大件运输方面难度差异不大。

综上,从合理利用水能资源,更好地满足供电系统的电力电量需求、实现梯级合理衔接等方面综合分析,推荐藏木水电站正常蓄水位为3310m。

5 结论

藏木水电站正常蓄水位选择极具特殊性,电站设计时雅鲁藏布江中游河段水电规划尚未完成,方案未定,梯级衔接并不能完全制约正常蓄水位的选择。同时,因为藏木水电站建成后占电力系统电源装机比重非常大,正常蓄水位的选择与装机容量的选择直接相关,即电站在电力系统中的作用是影响正常蓄水位选择的重要因素。