

两河口水电站第一阶段蓄水方案比选研究

伍远朋¹, 武晓杰²

(1. 雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051;
2. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 611130)

摘 要:两河口水电站是雅砻江中上游龙头水库, 水库蓄水深度约 285 m, 大坝为心墙土石坝。电站蓄水分三个阶段四期蓄水, 其中第一阶段蓄水深度约 80 m。通过河道水文特性及径流来水分析、闸门挡水风险分析、生态供水要求、下闸后度汛要求、枢纽工程施工形象面貌、封堵设计与施工、移民安置等进行综合比较分析, 确定了第一阶段的蓄水方案, 并达到了预期蓄水的目的。

关键词:径流来水分析; 闸门挡水风险分析; 初期水位上升速率分析; 蓄水方案
中图分类号: [TM622]; TU991.34; TV551.1+6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2184(2022)04-0123-04

Comparison and Selection of First-Stage Impoundment Schemes of Lianghekou Hydropower Project

WU Yuanpeng¹, WU Xiaojie²

(1. Yalongjiang River Basin Hydropower Development Co., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610051;
2. Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu, Sichuan, 611130)

Abstract: Lianghekou Hydropower Project has the leading reservoir in the middle and upper reaches of the Yalong River, with a storage depth of about 285 m. And the main dam is a rockfill dam with core. The full impoundment of Lianghekou Hydropower Project is divided into three stages and four phases, with the first-stage depth of about 80 m. Based on the comprehensive analysis of river hydrological characteristics and runoff, risk analysis of gate waterhead, ecological flow requirements, flood control requirements after gate closure, current construction status of Project, plugging design and construction, resettlement, etc., the first-stage impoundment was put forward and the expected impoundment plan achieved.

Key words: runoff analysis; risk analysis of gate waterhead; analysis of water level rise rate during initial impoundment; impoundment scheme

1 概 述

两河口水电站工程为一等大(Ⅰ)型工程, 位于四川省甘孜藏族自治州雅江县境内的雅砻江干流上, 电站水库是雅砻江干流中、下游的控制性工程, 控制流域面积 6.57 万 km², 多年平均流量 666 m³/s。水库正常蓄水位 2 865.00 m, 总库容为 107.67 亿 m³, 死水位 2 785.00 m, 调节库容 65.60 亿 m³, 具有多年调节能力。电站安装 6 台 500 MW 的水轮发电机组, 多年平均发电量 110 亿 kWh。枢纽建筑物由砾石土心墙堆石坝、左岸洞式溢洪道、深孔泄洪洞、旋流竖井泄洪洞、放空

洞、中期导流洞、右岸输水发电系统建筑物、初期导流洞等组成^[1]。

下闸蓄水是水电工程建设中重要的一环, 是电站顺利投产发电的基本条件。工程大坝为 300 m 级高土石坝, 分三层布置 5 条导流洞, 其中初期导流洞为右岸低高程的 1、2 号导流洞, 中期导流洞为左岸中高高程的 5 号导流洞, 后期导流洞为左岸高高程的 3、4 号导流洞。工程蓄水历时长、条件复杂、技术难度大, 下闸蓄水的方案是否科学合理, 对工程能否如期实现发电目标至关重要。因此, 为正确地指导下闸蓄水等相关工作, 设计单位对方案开展了一系列的专题讨论, 本文仅对第一阶段蓄水方案的比选进行研究分析。

2 径流来水分析

2.1 多年平均径流来水分析

雅砻江流域径流主要来源于降水,其次是地下水和上游山源地带的融雪水。径流的年际、年内变化及地区分布,与降水的变化趋势基本一致^[2]。

电站坝址与雅江水文站区间面积为 130 km²,仅占雅江水文站的 0.2%,因此,坝址径流直接采用雅江水文站成果。根据雅江站 1952 年 6 月~2012 年 5 月径流系列统计,多年平均流量 666 m³/s,折合年径流量为 210 亿 m³。径流的年内分配与降水的年内分配基本一致。6~10 月为丰水期,主要为降水补给,水量约占全年的 75.4%。11 月至次年 5 月为枯水期,主要由地下水补给,水量占全年的 24.6%。雅江站径流年际变化不大,最大年平均流量 996 m³/s(1965 年 6 月~1966 年 5 月),是多年平均流量的 1.5 倍,最小年平均流量 424 m³/s(1973 年 6 月~1974 年 5 月),是多年平均流量的 0.64 倍。最枯流量多发生在 1~3 月,历年实测最小流量 94.00 m³/s(1974 年 1 月 4 日)。

2.2 初选下闸时机径流来水分析

根据可行性研究成果、下闸设计要求和蓄水计划,初期导流洞宜安排在枯水期前段(11 月上旬~12 月上旬)下闸。为减少枯水期蓄水对下游梯级电站发电量的影响,应根据水文流量统计及水情报报情况,选择汛末 10 月择机下闸,且实际来水流量满足下闸标准。

另外,根据 2006~2019 年每年 10 月的实测流量分析可知,近 14 年 10 月存在流量小于 550 m³/s 的情况,10 月择机下闸蓄水有一定的可行性。

结合分期洪水可知,10 月 5 日之前仍属于主汛期,因此,初期导流洞下闸宜选择在 10 月中旬至 12 月上旬之间进行。

3 初期导流洞下闸方案比选

3.1 方案拟定

初期导流洞可能的最早下闸时间为 2020 年 10 月中旬,最迟下闸时间为 2020 年 12 月上旬。考虑到下闸时间越晚,对初期导流洞封堵施工越不利,因此,拟定以下三个方案对初期导流洞下闸时间进行比较研究^[3]:

方案一:2020 年 10 月中旬下闸,下闸标准为

10 年一遇旬平均流量 1 240 m³/s;

方案二:2020 年 10 月下旬下闸,下闸标准为 10 年一遇旬平均流量 888 m³/s;

方案三(可研审定方案):2020 年 11 月上旬下闸,下闸标准为 10 年一遇月平均流量 550 m³/s。

3.2 各方案闸门挡水风险分析

初期 1、2 号导流洞各设有 2 孔封堵闸门,进口由中墩分成两孔,各设一扇封堵闸门。计划于 11 月初下闸,底坎高程为 2 597.50 m,最高挡水水位为 2 694.00 m,下闸水位 2 606.10 m,考虑到下闸时可能遇到的意外情况,封堵闸门在水头为 13 m(下闸后约 30 min)以下时可动水启门,启闭机容量按此要求确定。闸门为平面滑动闸门,上游止水,采用滑道支承。

闸门的孔口尺寸为 6 m×14 m-96.50 m/8.60 m(宽×高一设计水头,下同),采用平面滑道支承,上游止水,在 8.60 m 水头下位动水关闭,最大启门水头为 13 m。闸门总水压力为 79 336 kN,门槽主要材质为 Q345B。启闭机选用 2 500 kN 固定式卷扬启闭机,扬程为 45 m,启闭机布置在 EL. 2658.00 m 交通洞内,现地操作。

根据初期导流洞进水口闸门设计情况,方案一:1、2 号导流洞每套封堵闸门需要另外增加 20 t 配重,启闭机容量由 2 500 kN 调整为 3 600 kN。方案二:同方案一。方案三:1、2 号导流洞启闭机容量为 2 500 kN,杨程为 45 m,待导流洞下闸完成后,本机回收,并将 1 号导流洞两台独立的 2 500 kN 启闭机改造为 1 台 2×2 500 kN 启闭机,应增加低速轴联轴器及传动轴一套。

由于方案一、二启闭机容量需要增加至 3 600 kN,鉴于启闭机已经招标,要调整启闭机拟考虑两种子方案:

子方案 1:维持原启闭机招标不变,另增加 4 台 3 600 kN 启闭机,专门用于导流洞闸门,启闭机不再借用。

子方案 2:变更启闭机招标,维持启闭机借用关系不变,即《卷扬式启闭机采购》中洞式溢洪道检修闸门、旋流竖井泄洪洞事故闸门启闭机容量由 2×2 500 kN 调整为 2×3 600 kN。采用子方案 2,增加的费用相对较小,约 598 万元。初期导流洞启闭机容量调整后,首先是闸顶平台孔口宽度由 2.20 m 变为 2.60 m,需要对原闸室顶部孔

口进行适当扩大。其次,基础布置及荷载也发生变化,需要根据变化后的荷载对原导流洞竖井闸室进行结构安全复核。

3.3 初期水位上升速率分析

各方案初期导流洞下闸后蓄水规划基本相同,均在初期 1、2 号导流洞下闸后,由供水洞按 $94 \text{ m}^3/\text{s}$ 生态流量控泄,待蓄至水位 $2\,678.90 \text{ m}$ 时,供水洞下闸,5 号导流洞按生态流量标准过流^[4]。

根据来水概率对应的蓄水保证率计算得到:10 月中旬下闸,库水位日最大上升速率为 $35.80 \sim 43.30 \text{ m/d}$;10 月下旬下闸,库水位日最大上升速率为 $34.00 \sim 38.80 \text{ m/d}$;11 月上旬下闸,库水位日最大上升速率为 $29.70 \sim 35.20 \text{ m/d}$ 。受初期蓄水期间泄水建筑物(供水洞)泄流能力影响,各方案库水位日最大上升速率基本相当,方案三日最大上升速率最小。由于库容较大,其初期蓄水库水位日最大上升速率与国内已建 200 m 级土石坝(瀑布沟、长河坝)比较接近。

3.4 初期导流洞闸门抛物孔封堵时间分析

考虑到初期导流洞下闸后可能存在的局部渗漏等情况,在导流洞闸门井前设置了抛物孔,以便进行堵漏,抛物孔封堵需要 $2 \sim 3 \text{ d}$ 工期,因此,要求闸门下闸后至库水位上升抛物孔封堵施工高程 $2\,656.50 \text{ m}$ 时,至少不少于 2 d 。根据相关计算成果,方案一按 5% 、 50% 保证率蓄水,水位上升时间仅为 1.2 d 和 1.8 d ,均不能满足抛物孔封堵时间要求;方案二按 5% 保证率蓄水,水位上升时间仅 1.6 d ,同样不能满足抛物孔封堵时间要求;方案三无论是 75% 保证率、 50% 保证率和 5% 保证率,其水位上升时间均能满足抛物孔封堵施工要求。

3.5 防洪度汛保障分析

根据径流及洪水分期和近年来实测流量可知,10 月份仍处于丰水期,来水流量较大,尤其是 10 月上半月,并未稳定退水,存在来洪水的可能性(2018 年 10 月上旬出现一次约 $2\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量)。10 月下半月,除去个别年份流量出现小幅度的波动,基本处于稳定退水状态。进入 11 月,退水状态则完全稳定。由此看来,方案一、二均存在 10 月的度汛风险,且方案一要高于方案二。但是,从近年实测流量看,方案一、二的风险可控。

根据分析,各方案初期导流洞下闸后,均能在 2021 年 4 月底前完成初期导流洞封堵施工,枢纽工程各部位形象面貌也能满足要求,因此,方案一、二、三对 2021 年度汛无影响。

3.6 初期导流洞封堵分析

若考虑到 10 月上半月仍有较大流量,导流洞按方案一在 10 月中旬下闸后即遭遇流量为 $1\,980 \text{ m}^3/\text{s}$ 20 a 一遇的洪水,对应上游水位是 $2\,722.63 \text{ m}$,比封堵期导流洞设计水位 $2\,693.54 \text{ m}$ 高出 29.09 m ,比现阶段初期导流洞封堵闸门挡水水位 $2\,694.00 \text{ m}$ 高出 28.63 m 。因此,方案一存在初期导流洞封堵期挡水水头超过初期导流洞衬砌及封堵闸门原设计挡水水头的风险,需要对导流洞竖井闸室、堵头前衬砌以及封堵闸门、门槽结构进行复核和加固工作。对于竖井闸室加固,可以安排在汛前实施;对于堵头前衬砌加固,无论是采用直接加固或者临时堵头方案,均只能在下闸后进行,而下闸后再进行施工,其承担的安全风险是无法排除的;对封堵闸门加固,可重新设计改造;对于门槽加固,只能安排在枯水期进行,且两条初期导流洞需成互为导流洞,而对另一条导流洞门槽进行改造加固,目前已不具备完成门槽改造加固的施工条件。

方案二在 10 月下旬下闸。根据近年实测流量资料,10 月下旬遭遇洪水的可能性小,因此,其下闸后封堵期间的风险低于方案一,而方案三则不存在上述风险。

方案一、二下闸后的堵头施工均与方案三一致,施工工期会相应地提前,对封堵施工进度有利。

4 初期导流洞下闸蓄水方案综合比选

初期导流洞下闸蓄水方案综合比选项目包括河道水文特性及下闸风险、生态供水要求、下闸后度汛要求、枢纽工程施工形象面貌、封堵设计与施工、移民安置等进行综合比较分析。初期导流洞下闸蓄水各方案综合对比分析见表 1。

根据初期导流洞下闸蓄水各方案综合对比情况,三个方案均不影响首台机组发电目标,方案一可能存在 10 月份遭遇洪水的风险高于方案二,给导流洞闸室、堵头前衬砌、封堵闸门等带来不利影响。方案一、二需要对已招标启闭机进行重新设计改造,并对竖井闸室顶部闸孔进行扩孔施工。

表 1 初期导流洞下闸蓄水各方案综合对比分析表

项目	方案一	方案二	方案三
初期导流洞下闸时间	2020 年 10 月中旬	2020 年 10 月下旬	2020 年 11 月上旬
下闸标准	10 年一遇旬平均流量	10 年一遇旬平均流量	10 年一遇月平均流量
下闸流量 / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	1 240	888	550
下闸水位 /m	2 611.00	2 610.67	2 606.10
下闸水头 /m	13.5	13.17	8.6
下闸水头是否满足设计要求	否 闸门增加配重 启闭机调整	否 闸门增加配重 启闭机调整	是
下闸可能增加的费用 /万元	598	598	0
导流洞闸门挡水水位 /m	2 694.00 (2 722.63)	2 694.00 (2 722.63)	2 694.00
生态供水	初期导流洞下闸后,由供水洞向下游供水。		
75%保证率下蓄至初期导流洞闸室 抛物孔平台所需时间 /d	2.1	3.3	3.7
75%保证率下蓄水至 5 号导流洞下 泄生态流量所需时间 /d	6.2	7.6	11
下游河道 尾水清理	75%保证率下 可利用时间 /d 施工条件	6.2 7.6	11
下闸后工程度汛及 工程形象面貌	时间短,施工强度高 1. 2021 年汛期大坝度汛设计 标准为 500 年洪水重现期,度 汛校核标准为 1 000 年洪水 重现期,枢纽工程施工进度满 足各方案下闸及度汛形象面 貌要求。 2. 封堵期度汛风险较高。	时间短,施工强度高 1. 2021 年汛期大坝度汛设计 标准为 500 年洪水重现期,度 汛校核标准为 1 000 a 洪水重 现期,枢纽工程施工进度满足 各方案下闸及度汛形象面貌 要求。 2. 封堵期度汛风险较低。	时间较长,施工强度较高 1. 2021 年汛期大坝度汛设计 标准为 500 a 洪水重现期,度 汛校核标准为 1 000 a 洪水重 现期,枢纽工程施工进度满足 各方案下闸及度汛形象面貌 要求。 2. 封堵期度汛风险低。
封堵设计与施工	设计与施工方案一致		
环保水保	不制约		
移民安置	不制约		

由于初期导流洞开工较早,原设计下闸标准是按 11 月 10 年一遇月平均流量 $550 \text{ m}^3/\text{s}$ 进行设计。根据 2006~2018 年 11 月 13 年实测流量统计表分析,11 月上旬出现小于等于 $550 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量的概率为 53.8%,且主要集中在 2012 年之前。如果按 2015~2019 年 5 年统计,11 月上旬出现小于或等于 $550 \text{ m}^3/\text{s}$ 流量的概率仅为 20%,由此可见,方案三下闸的保证率偏低。

根据以上分析,考虑到封堵期度汛风险,初期导流洞下闸推荐仍与可研及招标阶段方案基本一致,即 2020 年 11 月下闸。具体实施情况是:2020 年 11 月 1 日 2 号导流洞下闸,2020 年 12 月 3 日 1 号导流洞下闸;2020 年 12 月 11 日晚 5 号导流洞顺利过流,2020 年 12 月 18 日入库出库流量达到平衡,第一阶段蓄水任务顺利完成,5 号导流洞敞泄,水位维持在高程 2 682.00 m 左右。

5 结 语

通过河道水文特性及径流来水分析、闸门挡水风险分析、生态供水要求、下闸后度汛要求、枢纽工程施工形象面貌、封堵设计与施工、移民安置等进行综合比较分析,确定了第一阶段蓄水方案^[5]。从实施情况看,分析成果与实际情况基本相符。

(1)电站蓄水方案必须根据工程安全、下游生态环境用水需要、下游生产生活综合用水需要以及对下游梯级电站的影响来确定。同时,还要满足工程枢纽建筑物控制运用的工程安全性、形象面貌和最小下泄生态流量的要求。

(2)由于封堵期存在度汛风险,为保证初期导流洞竖井闸室抛物孔封堵、下游河道尾水清理等施工项目的安全,因此,初期导流洞下闸时间不宜

(下转第 130 页)

吊装时的 1/15,同时也缩短了转轮更换的检修工期,减少了发电量的损失。

5 结 论

新型转轮翻转吊具是针对水斗式转轮结构特点及原常规吊具存在的安全风险大、效率低等问题,采用力学和结构理论分析计算进行设计的。新型翻转吊具结构紧凑、操作简单、省力高效、安全耐用、经济适用,解决了水斗式转轮常规吊具吊装时的操作繁琐、投入资源多、费时费事、安全风险高等问题,可在大型水斗式转轮翻转吊装中普遍应用,并以转轮重量、水斗宽度、转轮直径为基本参数,规范水斗式转轮翻转吊装工具,形成系列针对性产品,应用前景十分广泛。

参考文献:

[1] 周文桐,周晓泉. 水斗式水轮机水电站[J]. 大电机技术,

2008,(5):35-38.

[2] 周文桐,周晓泉. 认识水斗式水轮机[J]. 大电机技术,2008,(2):54-61.

[3] 蒯海荣. 材料力学[M]. 北京:国防工业出版社,2001.

[4] 黄国权. 有限元法基础及 ANSYS 应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.

[5] 贾恒信,李明波,吕江涛. 基于力矩平衡原理的物体重量重心测量系统的研究及应用[A]. 第十一届称重技术研讨会论文集[C]. 南京:中国称重协会,2012.

作者简介:

杨超龙(1970-),男,四川崇州人,高级政工师,硕士,主要从事水电站生产经营管理;

伍超(1970-),男,四川都江堰人,高级工程师,本科,主要从事水电站安全生产及技术管理;

何念民(1974-),男,四川武胜人,正高级工程师,本科,主要从事水电站安全生产及技术管理.

(责任编辑:卓政昌)

(上接第 126 页)

再提前。因导流洞进水口淤积影响,使实际泄流曲线跟原设计方案有所差别,所以,初期导流洞封堵闸门下闸具体时机应同时参考竖井闸室封堵门前实测水位低于 2 606.10 m 进行选择。

参考文献:

[1] 王小波,陶湘明. 四川省雅砻江两河口水电站下闸蓄水规划专题报告[R]. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,2020,169-264.

[2] 杨会刚. 大渡河长河坝水电站下闸蓄水研究[J]. 四川水力发电,2017,36(2):79-82.

[3] 罗智锋,杨子俊,黄登水电站水库初期蓄水方案研究[J]. 云南水力发电,2020,36(1):88-91.

[4] 陈强,赵凯,陆高明. 杨房沟水电站下闸蓄水规划研究[J]. 四川水利,2021,(4):34-37.

[5] 叶飞武,蒋华波. 百色水利枢纽汛末蓄水分析[J]. 广西水力发电,2019,(3):41-43.

作者简介:

伍远朋(1988-),男,四川成都人,工程师,硕士,主要从事水利水电工程建设管理;

武晓杰(1982-),女,内蒙古赤峰人,高级工程师,硕士,主要从事水利水电工程建设管理与计划经营管理.

(责任编辑:卓政昌)

白鹤滩水电站 13 号机组正式投产发电

2022 年 9 月 18 日,由中国能建葛洲坝机电公司承建的全球在建规模最大水电站白鹤滩水电站 13 号机组顺利通过 72 小时试运行,正式投产发电。13 号机组的投入运行,标志着白鹤滩水电站右岸电站投入商业运行过半。

白鹤滩水电站位于四川省宁南县和云南省巧家县交界的金沙江河道上,总装机容量 1 600 万千瓦,是全球在建规模最大、技术难度最高的水电工程,共安装 16 台我国自主研发的全球单机容量最大功率百万千瓦水轮发电机组,13 号机是白鹤滩水电站投产发电的第 11 台机组,2020 年 9 月 20 日开始机组安装工作,2020 年 9 月 20 日完成转子吊装,2022 年 9 月 15 日进入 72 小时试运行阶段,试运行结果表明,13 号机组运行稳定可靠、各项数据参数优良,符合白鹤滩水电站百万千瓦水轮发电机组“精品机组”标准。

(北极星水力发电网)

枕头坝二级水电站首仓混凝土浇筑

2022 年 9 月 15 日,四川省“十四五”重点建设项目——枕头坝二级水电站首仓混凝土浇筑。该电站由国能大渡河流域水电开发有限公司投资开发,中国电建水电七局承建。系大渡河干流调整规划的第 22 级电站,位于乐山市金口河区境内,乐山市“挂图作战”重大项目。总装机容量 300 兆瓦,采用堤坝式开发,枢纽由左侧泄洪闸、右侧河床式厂房、两岸混凝土重力坝和鱼道等建筑物组成,最大坝高 54 米。电站建成后,每年可节约标煤 45 万吨,减少二氧化碳排放 96 万吨,为国家“双碳”目标和地方经济提供更有力的绿色能源。

(水电七局 余静、王冠英)