

金沙江上游巴塘水电站水库初期蓄水方案研究

张文斌¹, 李进², 毕小剑¹, 姬生才¹

(1. 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司, 陕西 西安 710065;

2. 华电金沙江上游水电开发有限公司, 四川 成都 610041)

摘要:巴塘水电站是金沙江上游河段 13 级电站中的第 9 级,其投产发电对于促进地方社会经济发展和移民脱贫致富具有重要意义。水库蓄水是水电站投产发电前的关键一步,笔者以巴塘水电站为研究对象,利用拉格朗日差值公式进行建模,提出了一种基于多因素综合分析的方案,以最大限度地减少对当地环境的影响,并提出了相应的管理措施,以确保电站的安全稳定运行。

关键词:初期蓄水;蓄水规划;蓄水计算

中图分类号:P343.3

文献标志码:B

文章编号:1001-2184(2024)03-0141-04

Research on the Reservoir Initial Impoundment Plan of the Batang Hydropower Station in the Upstream of the Jinsha River

ZHANG Wenbin¹, LI Jin², BI Xiaojian¹, JI Shengcai¹

(1. PowerChina Northwest Engineering Corporation Limited, Xi'an Shanxi 710065;

2. Huadian Jinsha River Upstream Hydropower Development Co., LTD., Chengdu Sichuan 610041)

Abstract: Batang hydropower station is the ninth of the 13 cascade hydropower stations in the upstream of the Jinsha River. Its operation and power generation is of great significance for promoting local social and economic development and helping immigrants get rid of poverty and become rich. Reservoir impoundment is a key step before the hydropower station is put into operation. This paper takes Batang Hydropower Station as the research object, uses Lagelang difference formula for modeling, and proposes a scheme based on multi factor comprehensive analysis to minimize the impact on the local environment, and puts forward the corresponding management measures to ensure the safe and stable operation of the hydropower station.

Keywords: Batang Hydropower Station; Initial Impoundment Plan; Impoundment calculation

1 概述

蓄水方案是水电站建设和运营的重要环节之一,它涉及到水库的初期蓄水和后续的蓄水调度问题。水库的蓄水方案不仅影响到水电站的发电效率和经济效益,还关系到周边地区的生态环境和社会经济发展。因此,研究水电站初期蓄水方案对于提高水电站的经济效益和社会效益具有重要意义^[1-2]。

巴塘水电站位于金沙江上游河段西藏自治区和四川省的界河上,是金沙江上游水电规划 13 个梯级电站中的第 9 级,上、下游梯级分别为拉哇水电站和苏洼龙水电站。巴塘水电站坝址控制流域面积 17.6 万 km²,多年平均流量 859 m³/s。水

库正常蓄水位 2 545.00 m,相应库容 1.28 亿 m³,具有日调节性能。工程采用坝式开发,电站装机容量 750 MW,多年平均发电量 33.75 亿 kW·h。枢纽工程主要由沥青混凝土心墙堆石坝、左岸 3 孔岸边开敞式溢洪道、左岸泄洪放空洞及左岸明钢管岸边式地面厂房等组成。巴塘水电站于 2016 年 5 月开始前期筹建工作,2020 年 12 月主河床截流,导流洞、泄洪放空洞过流,2021 年 5 月,上、下游围堰填筑完成。2023 年 2 月,巴塘水电站四川部分、西藏部分蓄水移民安置验收通过;2023 年 5 月,巴塘水电站蓄水阶段环境保护验收通过,具备 11 月下闸蓄水条件。预计 2024 年 6 月首台机投产发电。

通过对巴塘水电站初期蓄水方案的研究,探

收稿日期:2024-03-15

讨了在满足各种边界条件情况下的蓄水计算方法。研究旨在为水电站的建设和运营提供参考和借鉴,为促进我国水电产业的健康发展做出贡献。

2 边界条件

2.1 蓄水原则

导流隧洞下闸及蓄水时间、程序需满足以下总体原则:

- (1)拦河坝泄水和引水发电建筑物需满足下闸及蓄水前形象面貌要求。
- (2)满足下闸及蓄水前建设征地及移民安置要求。
- (3)下闸后应满足度汛要求。
- (4)导流隧洞下闸后应满足抵御上游发生沙东、敏都以及白格残留滑坡体堵江引发超标准洪水要求。
- (5)导流隧洞下闸后蓄水期间需满足最小下泄流量要求。
- (6)水库蓄水上升速度要求应满足水库水位上升速率要求。
- (7)导流隧洞下闸蓄水需满足鱼类产卵期环保要求,3、4月不蓄水。
- (8)导流隧洞下闸前应做好各项封堵施工准备和应急抢险预案。
- (9)对上下游水库的运行影响较小。

2.2 蓄水阶段划分

巴塘水电站蓄水分为以下五个阶段:

第一阶段:2023年11月21日,导流洞下闸,下闸过程中,水流通过闸门局开控泄向下游供水。水库水位上升至高程2 501.30 m,导流洞闸门完全关闭,由泄洪放空洞敞泄向下游供水。

第二阶段:2023年11月21日至2024年4月30日,通过泄洪放空洞敞泄向下游供水。

第三阶段:2024年5月1日至7日,水库蓄水至高程2 525.00 m,通过泄洪放空洞控泄向下游供水,蓄水速率3 m/d。

第四阶段:2024年5月8日至14日,水位维持在高程2 525.00 m观察一周,通过泄洪放空洞泄放来水。

第五阶段:2024年5月15日至22日,水库蓄水至死水位高程2 540.00 m,5月24日,蓄水至正常蓄水位高程2 545.00 m。蓄水速率2 m/d。期间通过泄洪放空洞控泄向下游供水,蓄至死水

位后,进行机组调试。

2.3 下游制约因素

巴塘水电站位于金沙江上游河段,库区山高谷深,耕地和人口均较少,坝址区河段施工期无通航、过木要求。

巴塘水电站下游为苏洼龙水电站,两水库之间有约12 km的天然河段,综合考虑巴塘—苏洼龙梯级之间保留的约12 km天然河道生态环境用水要求和上下游梯级协调,巴塘水电站最小下泄流量应不小于171 m³/s。

苏洼龙水电站已于2022年11月投产发电,为日调节电站,巴塘水电站蓄水时间较短,对苏洼龙电站发电影响较小。

综合考虑,为保障下游综合用水,巴塘初期蓄水期需满足最小下泄流量171 m³/s的要求。

3 研究方法

3.1 模型

选用75%频率的日均流量作为代表径流过程,并基于拉格朗日插值公式构建蓄水计算模型,在满足各边界条件的情况下进行蓄水计算。

拉格朗日插值公式(Lagrange interpolation formula)指的是在节点上给出节点基函数,然后做基函数的线性组合,组合系数为节点函数值的一种插值多项式。设因变量Y的假设值为y₀,y₁,y₂,...,y_n,对应自变量X的值为x₀,x₁,x₂,...,x_n,对于任意x₀≤x≤x_n,对应因变量值y的拉格朗日插值公式的基本形式如下^[3]:

$$f(x)=\frac{(x-x_1)(x-x_2)\cdots(x-x_n)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)\cdots(x_0-x_n)}y_0$$
$$+\frac{(x-x_0)(x-x_2)\cdots(x-x_n)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)\cdots(x_1-x_n)}y_1$$
$$+\cdots+\frac{(x-x_1)(x-x_2)\cdots(x-x_{n-1})}{(x_n-x_1)(x_n-x_2)\cdots(x_n-x_{n-1})}y_n$$

(1)

在构造插值多项式时,需要平衡拟合效果和函数平滑性之间的关系。使用更多数据点进行插值会得到更高次数的多项式,但这也意味着数据点之间的振荡将增加。因此,尽管数据点的精度可能很高,过度插值可能导致函数在数据点之间的预测出现误差。因此,在选择插值方法时,需要根据实际情况综合考虑权衡。笔者选用一元三点插值公式^[4],公式推导过程及最终形式如下:

$$k_0' = \frac{y_0}{x_0 - x_1} + \frac{y_0}{x_0 - x_2} + \frac{x_0 - x_2}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)}y_1 + \frac{x_0 - x_1}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)}y_2$$

(2)

当三结点 x_0, x_1, x_2 等差时,公式(2)可简化为:

$$k_0' = \frac{4y_1 - 3y_0 - y_2}{2(x_1 - x_0)}$$

(3)

当三结点 x_{n-2}, x_{n-1}, x_n 等差时,公式(3)可简化为:

$$k_n'' = \frac{3y_n + y_{n-2} - 4y_{n-1}}{2(x_n - x_{n-1})}$$

(4)

如果两结点间使用同一插值公式时,根据抛物线各点曲率均匀变化,且两结点间平均曲率等于两结点曲率平均值的特性,可利用公式:

$$k_i' = \frac{2(y_i - y_{i-1})}{x_i - x_{i-1}} - k_{i-1}' (i = 1, 2, \cdots, n)$$

(5)

$$k_i'' = \frac{2(y_{i+1} - y_i)}{x_{i+1} - x_i} - k_{i+1}'' (i = n - 1, n - 2, \cdots, 0)$$

(6)

按正反双向分别计算各结点的曲率,再对各结点曲率平均修正。

$$k_i = \frac{k_i' + k_i''}{2} (i = 0, 1, \cdots, n)$$

(7)

根据计算结果,利用公式(8)作为 x_i, x_{i+1} 之间的插值公式进行插值计算。

$$y = y_i + k_i(x - x_i) + \frac{k_{i+1} - k_i}{2(x_{i+1} - x_i)}(y - y_i)^2$$

(8)

蓄水计算过程如下:

(1)当不对蓄水速率进行控制时,设起蓄水位为 a_0 ,来水流量为 q_i ,蓄水量为 Cap_i ,每日日末水位为 a_i 。

$$Cap_{i\text{存储}} = \frac{(q_{i\text{来水}} - q_{i\text{下泄}})}{24 \times 3\,600}$$

(9)

$$Cap_{i\text{日末}} = Cap_{\text{初始}} + Cap_{i\text{存储}}$$

(10)

根据每日起始水位,代入库容曲线,利用公式(8)可得每日日初库容 $Cap_{i\text{日初}}$

$$q_{i\text{实际下泄}} = q_i - \frac{10\,000 \times (Cap_{i\text{日末}} - Cap_{i\text{日初}})}{24 \times 3\,600}$$

(11)

$$Cap_{i\text{蓄水}} = Cap_{i\text{日末}} - Cap_{i\text{日初}}$$

(12)

代入库容曲线,利用公式(8)可得每日日末水位 a_i 。

(2)当对水位上升速率进行控制时,设水位每日上升速率不超过 d 。

$$\text{当 } a_i \geq a_{i-1} + d \text{ 时, } a_i = a_{i-1} + d$$

代入库容曲线,利用公式(8)可得每日日末库容 $Cap_{i\text{日末}}$,根据每日起始水位,代入库容曲线,利用公式(8)可得每日日初库容 $Cap_{i\text{日初}}$ 。

利用公式(11)、(12)可分别得到每日实际下泄流量 $q_{i\text{实际下泄}}$ 、每日蓄水量 $Cap_{i\text{蓄水}}$ 。

代入库容曲线,利用公式(8)可得每日日末水位 a_i 。

$$\text{当 } a_i \leq a_{i-1} + d \text{ 时,计算过程同情形(1)。}$$

3.2 日均流量保证率选取

根据《水库调度设计规范》(GB/T 50587—2010)^[5],“12.0.3 年调节水库初期蓄水调度设计中,宜采用保证率 75%、50% 年份的入库径流过程和不同用水量方案,分别进行水库调节计算”。

根据《蓄水工程蓄水计划和调度方案管理办法(试行)》,“年调节以下蓄水工程蓄水方案编制应采用保证率 75%、50% 年份的净入库日径流过程和满足下游综合用水要求的日下泄流量过程,分别进行调节计算,推求水库完成蓄水(保证率 75%)和可争取完成蓄水(保证率 50%)的时间”。

笔者以巴塘水电站 75% 保证率日均流量为例进行蓄水计算,巴塘水电站站址 5 月 75% 频率的日均流量过程见图 1。

4 计算分析

巴塘水电站正常蓄水位 2 545.00 m,死水位 2 540.00 m。正常蓄水位以下库容 1.28 亿 m^3 ,调节库容 0.21 亿 m^3 。基于上述蓄水计划,考虑 75% 保证率来水流量,进行水库蓄水计算,蓄水过程如下:

2023 年 11 月 21 日,导流洞下闸,下闸过程中,水流通过闸门局开挖泄向下游供水。当水位上升至高程 2 501.30 m 时,完全关闭导流洞闸门,由泄洪放空洞敞泄向下游供水。之后通过泄洪放空洞敞泄泄放上游来水,直至导流洞永久堵头施工完成。

2024 年 5 月 1 日,水库正式开始蓄水,起蓄水位高程 2 503.80 m,并使蓄水过程满足蓄水速

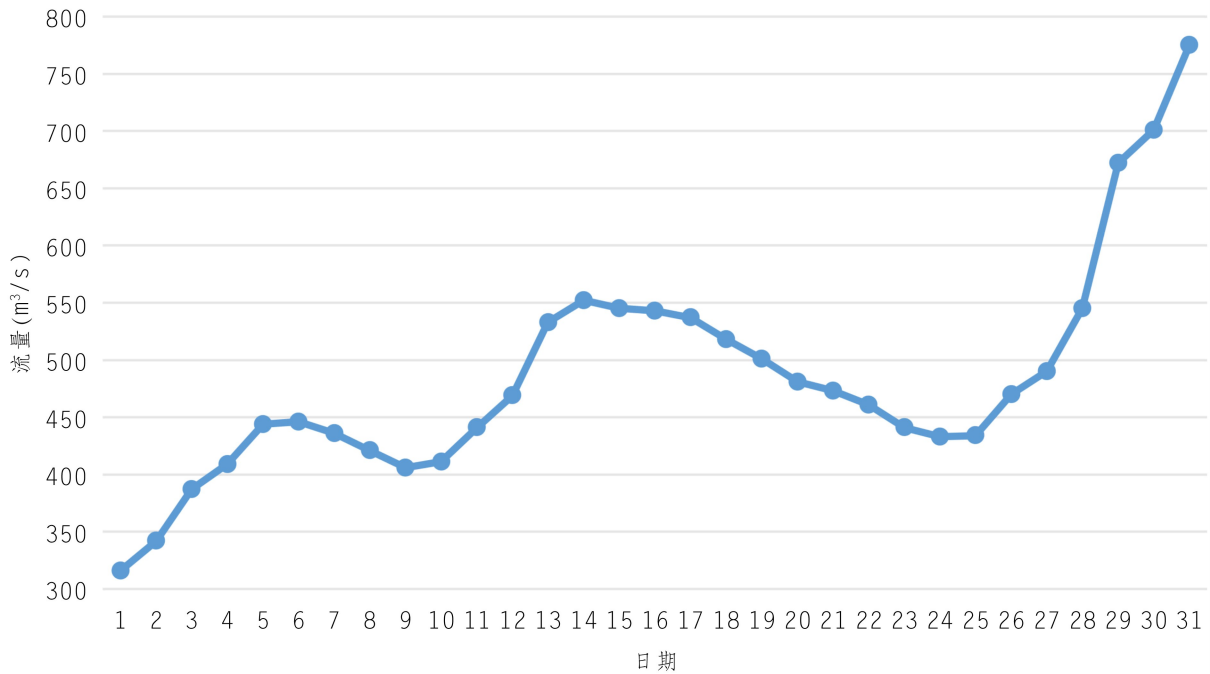


图1 巴塘水电站5月75%保证率逐日平均流量变化图

率控制要求。经计算,2024年5月7日蓄水至高程2 525.00 m;2024年5月8日~5月14日,使水位维持在高程2 525.00 m观察一周;2024年5月22日,蓄水至死水位高程2 540.00 m,具备发电条件;2024年5月24日,蓄水至正常蓄水位高程2 545.00 m;整个蓄水过程用时24 d。

5 结 语

(1)基于拉格朗日插值公式的蓄水模型,可以较好地模拟水电站蓄水过程,并可通过边界条件的调整进行蓄水方案的优化,适用于各类水库的蓄水分析,对其他水库的蓄水计算具有一定的借鉴意义。

(2)水电站在初期蓄水过程中应注重降低环境影响和对下游已建水电站的发电影响,保障水生生态稳定和上下游梯级的协调。当来水流量小于最小下泄流量时,应根据来水流量及自身调节库容保障最小下泄流量;当来水流量和调节库容无法满足最小下泄流量要求时,可按来水量下泄,保障下游用水需求。

(3)通过分段蓄水、缓慢上升水位等措施,可以有效减少对下游环境和社会经济的影响:①分段蓄水。将初期蓄水分为数个阶段,每天水位上升不超过一定限度,以减少对下游环境和社会经济的影响;②缓慢上升水位。在每个蓄水阶段内,

尽量缓慢提高水位,避免因突发事件导致水库泄洪失控;③调整蓄水时段。根据流域水文特征,选择合适的时间段进行蓄水,以减少对下游水资源的影响;④加强监测和预警。加强水库周边环境和基础设施的监测和预警,及时发现问题并采取措施,保证水库安全稳定。

参考文献:

[1] 伍远朋,武晓杰.两河口水电站第一阶段蓄水方案比选研究[J].四川水力发电,2022,41(4):123-126,130.

[2] 李卫起,张艳,赵圆元.浅析锅浪跷水电站汛末蓄水时机[J].四川水力发电,2023,42(4):119-121,127.

[3] Das B, Chakrabarty D. Lagrange's Interpolation Formula: Representation of Numerical Data by a Polynomial curve[J]. International Journal of Mathematics Trends and Technology, 2016, 34(2):64-72.

[4] 龚建新.一元三点拉格朗日插值公式在水位流量关系曲线中的应用[J].西北水电,2014(4):9-11.

[5] 水库调度设计规范:GB/T 50587-2010[S].

作者简介:

张文斌(1997-),男,甘肃陇南人,助理工程师,硕士,从事能源规划工作;

李 进(1984-),男,湖北南漳人,工程师,硕士,从事水电工程建设管理工作;

毕小剑(1980-),男,山西隰县人,正高级工程师,硕士,从事水利动能经济工作;

姬生才(1990-),男,山东临沂人,高级工程师,硕士,从事能源规划工作。

(编辑:吴永红)