

# 老鹰岩一级水电站水库泥沙淤积及汛期运行调度方式研究

胡茂银<sup>1</sup>, 李胜双<sup>2</sup>

(1. 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072;

2. 四川省水文水资源勘查中心, 四川 成都 610072)

**摘 要:**老鹰岩一级水库与上游龙头石水电站尾水相衔接,其水库汛期坝前运行水位将直接影响龙头石电站厂房的防洪安全。文章结合工程特点,拟定了老鹰岩一级水库的汛期运行调度方式,采用一维水沙数学模型针对各汛期排沙运行控制水位方案开展水库泥沙淤积计算及衔接回水计算,综合考虑防洪安全、库区淹没影响、发电效益等因素,推荐汛期排沙运行控制水位为 903.00 m。

**关键词:**汛期排沙运行控制水位;分级流量;水库泥沙淤积;一维水沙数学模型

**中图分类号:**TV697.1+3;TV145

**文献标志码:** B

**文章编号:**1001-2184(2024)06-0072-04

## Research on Sediment Deposition and Operation Mode in Flood Season of Laoyingyan I Hydropower Project

HU Maoyin<sup>1</sup>, LI Shengshuang<sup>2</sup>

(1. Powerchina Chengdu Engineering Corporation Limited, Chengdu Sichuan 610072;

2. Sichuan Hydrological and Water Resources Survey Center, Chengdu Sichuan 610072)

**Abstract:** Laoyingyan I reservoir is connected with the tailwater of the Longtoushi Hydropower Project, and the operating water level during the flood season of the Laoyingyan I reservoir will directly affect the flood control safety of the Longtoushi Hydropower Project. Combined with the characteristics of the project, the operation and regulation mode of Laoyingyan I reservoir in the flood season is formulated, and the erosion and deposition calculation and the connection backwater calculation of the proposed schemes are carried out based the one-dimensional morphodynamic model. Comprehensively considering the factors such as flood control safety, submersion effects, and the power generation benefit, the recommended water level of sediment discharge in the flood season is 903 m.

**Key words:** Water level of sediment discharge in the flood season; Grading discharge; Sediment deposition of the reservoir; One-dimensional morphodynamic model

### 1 概 述

老鹰岩一级水电站位于四川省雅安市石棉县境内的大渡河干流上,坝址区位于石棉县松林河口以上约 700 m 河段处,坝址集水面积为 63 115 km<sup>2</sup>,为大渡河干流水电规划调整 28 个梯级电站中的第 17 个梯级,上游与已建龙头石水电站衔接,下游为拟建的老鹰岩二级水电站。

老鹰岩一级水电站具有日调节能力,水库正常蓄水位为 905.00 m,死水位为 902.00 m,调节库容 580 万 m<sup>3</sup>,水库长约 9.7 km,库区河道平均

比降 2.54‰。坝址处天然情况下悬移质年平均输沙量为 2 370 万 t,年平均含沙量为 0.723 kg/m<sup>3</sup>,入库推移质年输沙量为 32.4 万 t。老鹰岩一级上游龙头石水电站、大岗山水电站已分别于 2008 年 9 月、2015 年 8 月开始蓄水拦沙,龙头石水库的悬移质泥沙淤积洲头已于 2015 年到达坝前,已基本没有拦淤悬移质泥沙的作用。考虑上游大岗山水库拦沙后,老鹰岩一级电站的入库悬移质年输沙量约为 724 万 t,入库推移质输沙量较少。

上游大岗山水库拦沙后,老鹰岩一级电站入库沙量锐减,且入库悬移质泥沙主要为大岗山水

收稿日期:2024-04-22

库下泄的悬移质细沙,基本不会在老鹰岩一级库区淤积,库区泥沙淤积主要为少量的区间产沙,大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前,泥沙问题不突出。但老鹰岩一级水库与上游龙头石水电站尾水相衔接,汛期坝前运行水位将直接影响龙头石电站厂房的防洪安全,尽管老鹰岩一级水库泥沙问题并不突出,但为保证上游梯级龙头石水电站厂房的防洪安全,仍有必要对其汛期运行调度方式进行研究。文章通过分析老鹰岩一级水库的汛期运行调度方式,采用一维水沙数学模型<sup>[1-3]</sup>,研究不同排沙运行控制水位对老鹰岩一级水库泥沙淤积和龙头石水电站厂房防洪安全的影响,推荐合适的汛期排沙运行控制水位,为电站运行提供参考<sup>[4-5]</sup>。

2 汛期运行调度方式分析

2.1 汛期运行方式的拟定

大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前,老鹰岩一级电站水库运行调度中,中小流量时水库应尽量在相对高水位运行,使电站尽量多发电,大流量时,为了保证龙头石电站厂房的防洪安全,避免老鹰岩一级库区回水对其产生不利影响,需降低水位运行。老鹰岩一级水库在大流量时降低水位,一方面可以避免水库回水对库尾龙头石电站厂房防洪的影响,另一方面也对老鹰岩一级水库的拉沙和排沙有促进作用。为此,老鹰岩一级水库在汛期推荐采用按分级流量调度坝前水位的运行方式。

大岗山悬移质泥沙淤积洲头出库后,考虑到入库输沙量增加较多,老鹰岩一级水库在6月~10月按不超过库区汛期排沙运行控制水位运行,11月~翌年5月水库在正常蓄水位~死水位间作日调节运行。

2.2 分级流量的确定

从发电角度考虑,分级流量越大,老鹰岩一级电站发电量越大。从避免对上游龙头石电站厂房及坝下游河段防洪影响的角度考虑,分级流量则越小越有利。

以正常蓄水位 905.00 m 为代表,分级流量为 3 000 ~5 000 m<sup>3</sup>/s 时的年发电量为 13.66 ~13.70 亿 kWh,发电量差异不大。根据老鹰岩一级坝址下游河道两岸防洪对象及防洪现状,确定正常调度过程中老鹰岩一级下泄安全流量按不超过安顺场河段 2 年一遇洪水 4 270 m<sup>3</sup>/s 控制。

水库由正常蓄水位 905.00 m 水位消落至 903.00 m 时需腾出库容约 328 万 m<sup>3</sup>,洪水预报期 6 h 内水库需增大下泄流量约 150 m<sup>3</sup>/s,为保证下游河道安全泄量小于 4 270 m<sup>3</sup>/s,则分级流量不大于 4 120 m<sup>3</sup>/s 为宜。从防洪和发电两方面综合考虑,老鹰岩一级水库坝址处的分级流量推荐为 4 000 m<sup>3</sup>/s。

3 水库泥沙冲淤计算模型

采用中国电建成都院自主研制的“SBED 扩展一维水库泥沙冲淤数学模型”开展老鹰岩一级库区河段水库泥沙冲淤模拟计算。模型采用分时段、分河段、分粒径组计算。模型中各参数经龚嘴、岷江大海子、大洪河、映秀湾、下庄等水库泥沙冲淤实测资料进行验证,符合较好,可用于预测不同类型水库的泥沙淤积。

模型基本假定条件是:

(1)恒定流假定:将非恒定水沙过程作为恒定过程处理,即将各计算要素的连续时间序列概化为梯级过程,假定各梯级过程内各要素为常值。

(2)非耦合假定:假定河床发生冲淤过程中,在每一短时段内河床变形对水流条件的影响不大,可采用非耦合解进行计算,即在方程求解中,可先单独对本时段水面线进行求解,再进行泥沙输移求解。

根据上述假定,模型基本方程为:

水流连续方程: $Q=BHU$  (1)

水流运动方程: $\frac{dZ}{dX}=\frac{Q^2}{K^2}+\frac{U}{g}\frac{\partial U}{\partial x}$  (2)

泥沙联系方程: $\frac{\partial(QS)}{\partial X}=-(g_x-g_s)B$  (3)

河床变形方程: $\frac{\partial G}{\partial X}+\gamma'_s\frac{\partial AF}{\partial t}=0$  (4)

式中:Q 为流量;B 为河宽;H 为平均水深;U 为平均流速;Z 为水位; $\overline{K}$  为河段平均流量模数;S 为含沙量; $g_x$ 、 $g_s$  为单位时间沉至单位床面和自单位床面上扬沙量;G 为全沙输沙率;AF 为断面冲淤面积;X 为距离;t 为时间;g 为重力加速度; $\gamma'_s$  为泥沙干容重。

4 计算条件

4.1 计算河段

冲淤计算范围为老鹰岩一级坝址~龙头石坝址,长度约 7.9 km,共布设横断面 15 条,断面平

均间距 565 m;老鹰岩一级坝前 5 km 河段横断面为 2016 年 3 月实测、库尾 3 km 河段横断面为 2020 年 3 月实测。

4.2 代表系列选取

从坝址 1984 年~2007 年长系列水沙资料中选取 1991 年~2000 年作为代表系列,代表系列多年平均流量 1 050 m<sup>3</sup>/s、输沙量 2 530 万 t、含沙量 0.774 kg/m<sup>3</sup>,与长系列多年平均流量、输沙量均较接近,以此代表系列循环组合成 100 年的水沙过程作为水库的入库水沙过程。

大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前后,入库多年平均悬移质年输沙量按 724 万 t、1 630 万 t 考虑。由于上游梯级水库拦沙后,老鹰岩一级入库推移质输沙量甚小,计算中未考虑。

大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前的入库悬移质颗粒级配考虑了大岗山水库的拦沙影响,大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库后的入库悬移质颗粒级配按天然情况考虑。

5 计算结果及分析

5.1 汛期排沙运行控制水位研究

根据老鹰岩一级水库推荐的正常蓄水位 905.00 m 方案,拟定了 905.00 m、904.00 m 及 903.00 m 三个水库汛期排沙运行控制水位方案进行水库泥沙冲淤计算,并在各方案淤积 20 年床面上开展水库回水计算。

水库泥沙冲淤计算结果表明:汛期排沙运行控制水位越高,水库淤积量、调节库容损失越大,但各方案间的整体差异并不显著。水库运行 80 年内,各汛期排沙运行控制水位方案水库泥沙淤积总量及调节库容淤积量均很小;水库运行 80 年后,受大岗山淤积洲头出库的影响,入库沙量增加至 1 630 万 t,各方案水库泥沙总淤积量及调节库容淤积量均较水库运行 80 年前显著增加。

老鹰岩一级水库的主要防洪对象为龙头石水电站厂房。龙头石电站厂房设计洪水标准为 200 年,相应流量为 7 510 m<sup>3</sup>/s,设计洪水位为 912.32 m。根据老鹰岩一级 905.00 m、904.00 m 及 903.00 m 三个库区汛期排沙运行控制水位方案的水库回水计算成果,当入库流量为 7 510 m<sup>3</sup>/s 时,三个库区汛期排沙运行控制水位在龙头石厂房处的水位较天然水位分别抬高 0.41、0.18 及 0 m。按库区回水尖灭的标准 0.3 m 考虑,库区汛期排沙运行控制水位 905.00 m 方案对龙头石电站厂房防洪已略有影响,从尽量减免对龙头石电站厂房防洪影响的角度考虑,老鹰岩一级水电站库区汛期排沙运行控制水位不宜高于 904.00 m。

老鹰岩一级水电站汛期排沙运行控制水位水库泥沙冲淤计算成果见表 1,老鹰岩一级库区汛期排沙运行控制水位回水计算成果见表 2。

表 1 老鹰岩一级水电站汛期排沙运行控制水位水库泥沙冲淤计算成果

| 汛期排沙运行控制<br>水位 /m | 淤积年限<br>/年 | 水库总淤积量<br>/万 m <sup>3</sup> | 调节库容淤积量<br>/万 m <sup>3</sup> | 调节库容损失率<br>/% |
|-------------------|------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| 905.00            | 20         | 190                         | 7.2                          | 1.2           |
|                   | 80         | 228                         | 8.2                          | 1.4           |
|                   | 100        | 1 057                       | 72.4                         | 12.5          |
| 904.00            | 20         | 184                         | 6.4                          | 1.1           |
|                   | 80         | 220                         | 7.9                          | 1.4           |
|                   | 100        | 1 055                       | 70.0                         | 12.1          |
| 903.00            | 20         | 157                         | 5.6                          | 1.0           |
|                   | 80         | 199                         | 6.6                          | 1.1           |
|                   | 100        | 1 053                       | 67.1                         | 11.6          |

表 2 老鹰岩一级库区汛期排沙运行控制水位回水计算成果

| 流量<br>/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> ) | 龙头石厂房设计<br>洪水位 /m | 库区汛期排沙运行控制水位方案 |                  |            |                  |            |                  |
|-------------------------------------------|-------------------|----------------|------------------|------------|------------------|------------|------------------|
|                                           |                   | 903            |                  | 904        |                  | 905        |                  |
|                                           |                   | 回水水位<br>/m     | 较设计洪水位<br>抬高值 /m | 回水水位<br>/m | 较设计洪水位<br>抬高值 /m | 回水水位<br>/m | 较设计洪水位<br>抬高值 /m |
| 7 510                                     | 912.32            | 912.32         | 0                | 912.50     | 0.18             | 912.73     | 0.41             |

从不影响龙头石电站厂房防洪的角度考虑,老鹰岩一级库区汛期排沙运行控制水位不宜高于 904.00 m;从尽量减少库区河段淹没影响的角度,汛期排沙运行控制水位越低则越有利,汛

期遭遇 20 年一遇洪水时,汛期排沙运行控制水位每降低 1.00 m,库区中后部河段淹没范围线最大降幅可达 0.5 m;从能量指标来看,老鹰岩一级坝址流量大于分级流量 4 000 m<sup>3</sup>/s 时水库水位降至汛期排沙运行控制水位的天数平均约 2 d,水库在不同汛期排沙运行控制水位运行时多年平均年发电量差异很小。综合上述分析,并考虑大流量时水库运行调度的灵活性,推荐库区汛期排沙运行控制水位较死水位抬高 1.00 m,即 903.00 m。

5.2 水库淤积特性分析

根据推荐的老鹰岩一级水库汛期运行调度方式及汛期排沙运行控制水位 903.00 m 开展水库泥沙冲淤计算。

计算结果表明:老鹰岩一级水库运行 80 年内,受上游大岗山水库的拦沙影响,98.6%的入库泥沙为上游水库下泄的细颗粒泥沙,基本不在老鹰岩一级水库落淤,大岗山坝址~老鹰岩一级坝址的天然区间入库沙量仅 10 万 t,库区淤积量甚少且主要集中在前 10 年,水库运行第 80 年末时

库区淤积总量仅约 199 万 m<sup>3</sup>。水库运行 80 年后,受大岗山淤积洲头出库的影响,入库泥沙显著增加,尤其是粗沙,使水库泥沙淤积速率加快,总淤积量陡增,水库很快淤积平衡,水库运行第 100 年末时库区淤积总量达 1 053 万 m<sup>3</sup>,约为第 80 年末淤积量的 5 倍。

老鹰岩一级水库库区淤积形态整体呈锥体形,老鹰岩一级水库运行 80 年内,淤积主要集中在坝前 2 km 河段范围内,水库运行 80 年后,受大岗山淤积洲头出库的影响,入库沙量显著增加,淤积整体后延至距坝约 6 km 河段处。

大岗山水库泥沙淤积洲头出库前,老鹰岩一级水库入库沙量少,库区淤积量少,水库泥沙淤积对老鹰岩一级水库调节库容影响甚微,水库运行第 80 年末,调节库容损失率仅为 1.1%,当大岗山水库泥沙淤积洲头出库后,入库沙量陡增,水库淤积量显著增加,运行 100 年末调节库容损失率增大至 11.6%。

老鹰岩一级水库冲淤计算成果见表 3,库区淤积纵剖面见图 1。

表 3 老鹰岩一级水电站水库冲淤计算成果

| 淤积年限<br>/年 | 水库总淤积量<br>/万 m <sup>3</sup> | 调节库容淤积量<br>/万 m <sup>3</sup> | 调节库容损失率<br>/% | 悬移质出库率<br>/% | 出库含沙量<br>/(kg·m <sup>-3</sup> ) |
|------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|--------------|---------------------------------|
| 10         | 149                         | 5.4                          | 0.9           | 97.4         | 0.100                           |
| 20         | 157                         | 5.6                          | 1.0           | 99.7         | 0.101                           |
| 40         | 160                         | 5.8                          | 1.0           | 99.8         | 0.105                           |
| 60         | 181                         | 6.4                          | 1.1           | 99.9         | 0.109                           |
| 80         | 199                         | 6.6                          | 1.1           | 100.0        | 0.110                           |
| 100        | 1053                        | 67.1                         | 11.6          | 100.0        | 0.540                           |

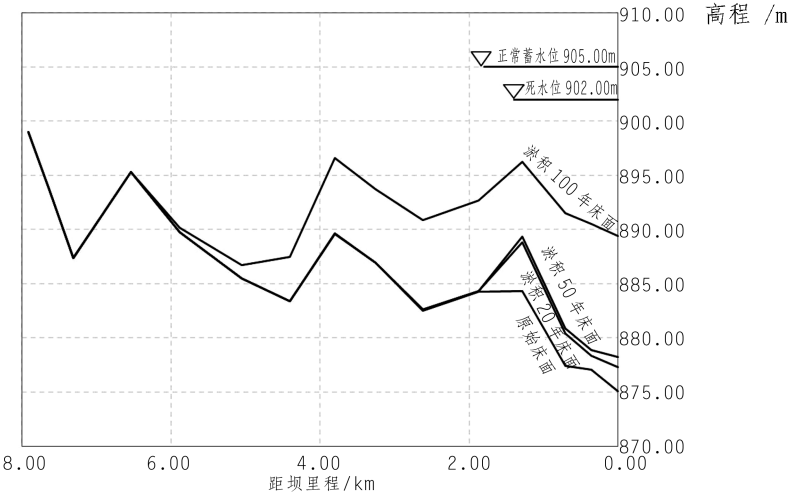


图 1 老鹰岩一级水电站水库冲淤纵剖面图 (下转第 83 页)



用水点需要。参考国内类似电站,滤水器过滤精度确定为1 mm、滤芯有效过滤面积为8倍管道横截面积。

3 结 语

作为基建强国,中国已经走上国际舞台,在国际上遇到的工程,有不同的地质、水文、气象条件,各工程的设计需要因地制宜。尼泊尔塔纳湖项目技术供水系统与消防系统、空调冷却系统、主变压器冷却系统、生活用水系统共用一个取水口,减少了尾水管及压力钢管上的开孔数量,对压力钢管及尾水管结构强度有利。生活用水系统从技术供水系统取水,减少了一系列阀门、自动化元件、水泵和粗滤滤水器,节约了生活用水系统投资。尼泊尔塔纳湖项目技术供水系统与其他系统结合设计可以为多泥沙、机组频繁启停、主变压器和空调水冷的水电站项目提供参考,也为节约电站投资提供了参考。

水库水温结构一般分为分层性、过渡型和混合型<sup>[5]</sup>。塔纳湖水电站进水口距离水面约50~90 m,若在国内,水库中发电取水处水温约为8.5℃~14.7℃。由于缺乏尼泊尔地区大中型水库全年分层水温资料,无法给出技术供水进

~~~~~

(上接第75页)

6 结 语

(1)为保证上游衔接梯级龙头石水电站厂房的防洪安全,推荐老鹰岩一级水库在汛期采用按分级流量调度坝前水位的运行方式,从防洪及发电两方面综合考虑,水库坝址处的分级流量推荐为4 000 m<sup>3</sup>/s。

(2)从水库泥沙冲淤角度,汛期排沙运行控制水位越高,水库淤积量、调节库容损失越大,但方案间差异并不显著。

(3)根据水库衔接回水计算成果,从尽量避免对龙头石水电站厂房防洪影响的角度考虑,老鹰岩一级水电站库区汛期排沙运行控制水位不宜高于904.00 m。从尽量减少库区淹没影响,增大电站发电量以及提高水库运行调度的灵活性方面综合考虑,推荐老鹰岩一级库区汛期排沙运行控制水位为903.00 m。

(4)根据推荐方案的水库泥沙冲淤计算成果,老鹰岩一级水库库区淤积形态整体呈锥体形,上游大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前,老鹰

水温度的确切范围,但是参考国内水库水温分布,塔纳湖技术供水开式循环实际进水温度与设计温度之间还有较大裕量,这也是该项目水泵流量只是略大于计算值的原因,实际各部位冷却效果会明显优于设计,运行期可根据需要调节阀门开度。在塔纳湖电站运行期尽量收集技术供水进水温度,为后续类似项目提供参考。

参考文献:

[1] 水电站机电设计手册编写组. 水电站机电设计手册—水力机械[M]. 北京:水利电力出版社,1983.

[2] 茅媛婷,陈宏川. 龙洞水电站技术供水系统设计,2018年水力机械信息网技术交流会议论文集[C]. 杭州:中国水利水电出版社,2018年.

[3] 龙海军,耿清华. 循环冷却技术供水系统在某水电站的设计及应用[J]. 吉林水利. 2014(2):50-52.

[4] 朱亚军,赵弦. GIBEⅢ水电站循环冷却供水系统优化设计,第二十一次中国水电设备学术讨论会论文集[C]. 天津:中国水利电力出版社,2017.

[5] 靖争,张爵宏,曹慧群,等. 水库水稳研究进展及趋势[J]. 长江科学院院报. 2023,40(2):52-58.

作者简介:

曹 静(1986-),女,山东济宁人,高级工程师,硕士学位,从事水力机械专业设计和设备成套管理工作;

丁 况(1984-),男,河南周口人,高级工程师,硕士学位,从事水力机械专业设计和设备成套管理工作. (编辑:廖益斌)

岩一级库区淤积总量仅约200万m<sup>3</sup>左右,大岗山淤积洲头出库后,老鹰岩一级水库迅速淤积平衡,运行第100年末时库区淤积量为1 053万m<sup>3</sup>。大岗山水库悬移质泥沙淤积洲头出库前后,老鹰岩一级调节库容损失率约为1.10%、11.60%。

参考文献:

[1] 张瑞瑾,谢鉴衡,王明甫,等. 河流泥沙动力学[M]. 北京:中国水利电力出版社,1988.

[2] 韩其为,何为民. 水库淤积与河道演变的一维数学模型[J]. 泥沙研究,1987(3):14-29.

[3] 韩其为. 非均匀沙不平衡输沙的理论研究[J]. 水利水电技术,2007,38(1):14-23.

[4] 曲少军,丁六逸,缪凤举,等. 小浪底水库运用后三门峡水库运用方式的初步研究[J]. 泥沙研究,2001(2):29-32.

[5] 刘娜,李仲钰,杜志水,等. 澜沧江乌弄龙水库泥沙淤积及排沙运行方式[J]. 西安理工大学学报,2020,36(3):357-361.

作者简介:

胡茂银(1991-),女,重庆垫江人,硕士研究生,工程师,从事水力学及河流动力学工作;

李胜双(1990-),男,重庆忠县人,硕士研究生,工程师,从事水文及水资源工作. (编辑:廖益斌)