

不同年份水沙系列下水库泥沙淤积变化分析

霍玉国, 洪振国*, 李建伟
(云南省水利水电勘测设计研究院, 昆明 650021)

摘要: 泥沙淤积会引起库区水位抬高, 侵占调节库容, 造成库容损失, 降低水库的调节能力。针对云南省大多数山区河道中泥沙量受季节影响强、泥沙粒径变化幅度大、河流走向弯道多、恒定一维均匀流数学模型不能真实反映水库泥沙淤积的情况。因此, 本研究采用武汉水利电力大学研制开发的 susbed-2 一维恒定非均匀流输沙模型计算不同年份水沙系列下水库泥沙淤积变化。结果表明, 水库泥沙淤积的总体形态基本服从带状淤积规律, 泥沙淤积最为剧烈的区域为坝前, 泥沙淤积发展速度较快的时段主要是第1年, 此后水库泥沙淤积速度逐渐变慢。1998年水沙系列下水库泥沙累计淤积量较大, 1992—2001年水沙系列下水库泥沙累计淤积量较小, 泥沙累计淤积量总体呈增加趋势。与1992—2001年相比, 1998年水沙系列由于入库沙量不同, 淤积量也有所不同, 历时2~3 a后, 不同水沙系列下的排沙比均稳定在90%以上, 变化范围在90%~102%, 水库基本达到平衡。

关键词: 水电站水库; 水沙系列; 输沙模型; 泥沙淤积变化

中图分类号: X52

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2022607

霍玉国, 洪振国, 李建伟. 不同年份水沙系列下水库泥沙淤积变化分析[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(Supp.2): 105-109.
HUO Yugu, HONG Zhenguo, LI Jianwei. Analysis of Sediment Deposition Change of Reservoir under Water and Sediment Series in Different Years[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(Supp.2): 105-109.

0 引言

泥沙淤积会引起库区水位抬高, 侵占调节库容, 造成库容损失, 降低水库的调节能力, 减少工程效益^[1]。水中的有害粒径对水轮机的磨损会引起水轮机运行效率下降, 出力和年发电量减小, 检修间隔时间缩短, 费用增大, 影响机组正常运行。在20世纪50年代, 我国学者开展了大量的水库泥沙淤积观测工作, 得到水库泥沙淤积形态是泥沙运动的结果。20世纪80年代后, 水库淤积计算主要为一维均匀流数学模型。由于挟沙水流运动的复杂性, 目前恒定一维均匀流数学模型存在区域局限性^[2]。

云南省的河流大多为山区河流, 河道中的泥沙量受季节变化影响较强, 泥沙粒径变化幅度较大, 河流走向弯道较多, 恒定一维均匀流数学模型不能真实反映水库泥沙淤积情况, 不适用于云南地区。分析不同年份水沙系列下水库泥沙淤积变化具有重要作用。本文采用武汉水利电力大学研制开发的 susbed-2 一维恒定非均匀流输沙模型计算^[3], 分析不同年份水沙系

列下水库泥沙淤积形态、泥沙淤积量和累计淤积量的变化; 并分析水库运行后库区排沙比的变化情况, 为水库防沙设计提供科学依据。

1 工程概述

腊寨电站处于云南省西部保山市的龙陵县和腾冲县龙江界河干流下游段^[4]。电站取水坝位于腾龙桥水文站下游约4 km处河段, 取水口以上径流面积3 672 km²; 电站厂房位于腾龙桥水文站下游约8 km处河段, 径流面积为3 773 km²。电站水库总库容599.6万 m³, 正常库容549万 m³, 调节库容397万 m³, 死库容165.7万 m³, 装机容量12万 kW, 保证出力2.09万 kW, 多年平均发电量6.07亿 kW/h。电站所处的河道为山区河流, 库区天然河床平均比降为7.0‰, 其中距坝址4 km的河道比降较陡, 达到11‰。水库正常蓄水位在1 102.5 m时, 回水长度约7.4 km, 水面宽约53~134 m, 为河道型水库。库区河床天然状态下由砂卵石组成^[5]。

2 计算方法

采用武汉水利电力大学研制开发的 susbed-2 一维恒定非均匀流输沙模型对泥沙淤积变化进行分析。该模型是建立在河流泥沙动力学理论、非均匀悬移质

收稿日期: 2022-10-30

基金项目: 云南省创新团队建设专项(2018HC024)

作者简介: 霍玉国(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事水利水电设计工作。E-mail: huoy2022@126.com

通信作者: 洪振国(1976-), 男, 高级工程师, 主要从事水利水电设计工作。E-mail: 402897694@qq.com

不平衡输沙以及水库淤积与河道冲淤变形研究成果的基础上, 解答较为全面, 该模型为《水电水利泥沙工程设计规范》推荐使用的模型之一^[6-8]。

3 基本方程

连续性方程和动量方程:

$$\gamma \frac{\partial P_k A_m}{\partial t} + \frac{\partial G_k}{\partial x} + \frac{\partial QS_k}{\partial x} + \gamma \varepsilon_2 [\varepsilon_1 P_{0k} - (1 - \varepsilon_1) P_k] \left(\frac{\partial A_s}{\partial t} - \frac{\partial Am}{\partial t} \right) = 0 \quad (3)$$

悬移质不平衡输沙法:

$$\frac{\partial QS_k}{\partial x} = \alpha \omega_k B (S_m - S_k) \quad (4)$$

推移质不平衡输沙法:

$$\frac{\partial QS_k}{\partial x} = K_k B (G_m - G_k) \quad (5)$$

式中: Q 为流量; A 为过流面积; Z 为水位; R 为水力半径; B 为水面宽; A 为河床变形面积; S_m 、 S_k 分别为悬移质分组水流挟沙力和含沙量; G_m 、 G_k 分别为有效推移质输沙量和实际输沙量; ω_k 为沉速; P_k 为床沙组成; P_{0k} 为原始河床组成; A_m 为混合层面积; ε_1 、 ε_2 为标记。

4 控制条件

4.1 泥沙特性

腾龙桥水文站实测有 1966—2002 年悬移质泥沙资料, 由于腾一腊区间径流面积小, 下游边界条件与上游基本相同, 产沙特性与上游基本一致。因此, 可用腾龙桥水文站的实测资料计算分析腊寨电站的泥沙淤积变化情况。根据水文分析, 腊寨电站取水口处多年平均输沙总量为 273 万 t, 其中悬移质输沙量为 227 万 t, 推移质输沙量为 45.5 万 t。悬移质含沙量为 0.454 kg/m³。

1) 输沙量年际变化情况

腾龙桥水文站历年输沙量的年际变化大于来水量。实测悬移质输沙量在 1985 年最大, 达到 433 万 t; 1969 年最小, 仅为 89.3 万 t。

2) 输沙量在年内的分配

根据腾龙桥水文站实测资料, 汛期(6—10月)输沙量占全年输沙量的 91.2%, 非汛期输沙量仅占 8.8%。全年输沙量分配在 1 月最少, 多年平均输沙量仅为 0.98 万 t, 占全年的 0.43%; 全年沙量分配在 7 月最多, 多年平均输沙量达 59.9 万 t, 占全年的 26.4%。汛期月输沙量占全年的 8.1%~26.4%, 非汛期月输沙量占全年的 0.43%~3.5%。

3) 悬移质及河床质颗粒级配

悬移质来沙的粗细分布不均, 细至 0.005 mm, 粗达 0.5 mm。中值粒径为 0.04 mm, 平均粒径为 0.09

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = q_1 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{2gA} \right) + \frac{n^2 Q^2}{A^2 R^{4/3}} = 0 \quad (2)$$

河床变形方程:

mm。河床质颗粒细少粗多, 中值粒径为 7.8 mm, 平均粒径为 25.4 mm。

4.2 断面资料

腊寨电站回水长度约 7.6 km, 共布置了 14 个断面, 由 2004 年实测的 1:2 000 地形图剖面而得。断面平均间距 582 m, 断面最大间距为 675 m, 最小间距为 327 m。

4.3 水沙系列的选择

腊寨电站水库库沙比为 1.5, 库小沙多, 水库达到淤积平衡状态所需时间较短。根据水沙差积曲线及沙量频率计算的结果, 选择 1992—2001 年和 1998 年 ($P=41.3\%$, 中偏丰沙年) 作为水沙系列年份, 其水沙特征值见表 1。

表 1 不同年份水库水沙系列水沙特征值

Table 1 Characteristic values of water and sediment series of reservoirs in different years

年份	流量/(m ³ ·s ⁻¹)	产沙量/(10 ⁴ 万 t)
1998 年	384.0	875.0
1992—2001 年	370.4	884.5

5 结果与分析

根据 susbed-2 一维恒定非均匀流输沙模型计算得到图 1—图 5。其中图 1、图 2 分别为 1998 年水沙系列及 1992—2001 年水沙系列下的水库泥沙淤积形态变化。由于腊寨电站属于河道型水库, 水库泥沙淤积的总体形态基本服从带状淤积规律, 泥沙淤积最为剧烈的区域主要是坝前, 泥沙淤积发展速度较快的时段主要是第 1 年。第 1 年以后水库泥沙淤积发展速度逐渐变慢。这些均反映了本水库所具有的基本泥沙淤积特征。

图 3 为 1998 年水沙系列和 1992—2001 年水沙系列下的水库区泥沙淤积量变化。1998 年水沙系列下, 水库运行第 1、第 2、第 3、第 4、第 5、第 6、第 7、第 8、第 9、第 10 年的泥沙淤积量分别为 136×10⁴、6×10⁴、23×10⁴、29×10⁴、34×10⁴、94×10⁴、-19×10⁴、40×10⁴、43×10⁴、43×10⁴ t。1992—2001 年水沙系列下, 水库运行第 1、第 2、第 3、第 4、第 5、第 6、第 7、第 8、第 9、第 10 年的泥沙淤积量分别为 109×10⁴、60×10⁴、

92×10^4 、 -16×10^4 、 22×10^4 、 73×10^4 、 12×10^4 、 99×10^4 、 -19×10^4 、 103×10^4 t，泥沙淤积发展速度较快的时段 主要是第 1 年。

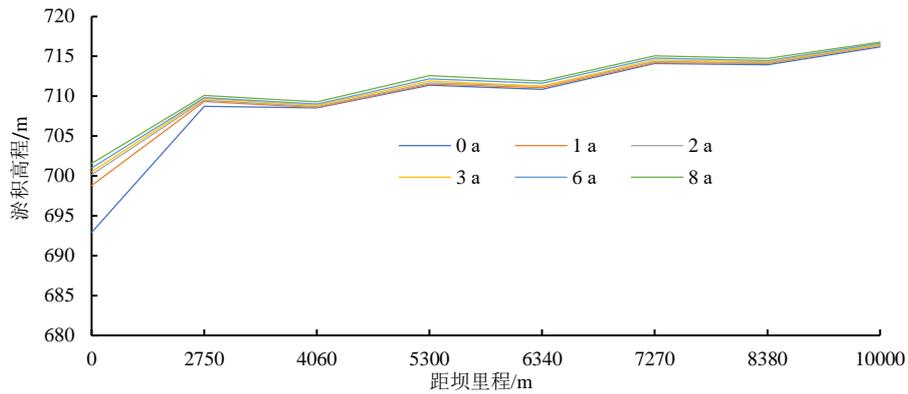


图 1 1998 年水沙系列下水库泥沙淤积形态变化

Fig.1 Sediment deposition pattern of reservoir in 1998 water and sediment series

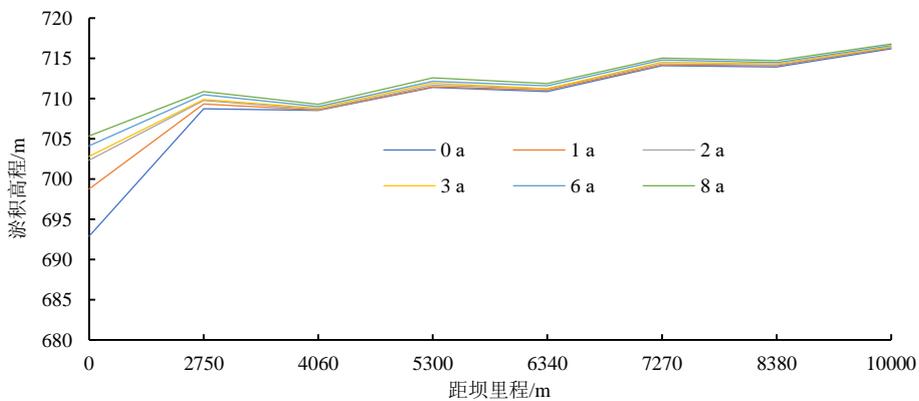


图 2 1992—2001 年水沙系列下水库泥沙淤积形态变化

Fig.2 Variation of sediment deposition form of lower reservoir in water and sediment series from 1992 to 2001

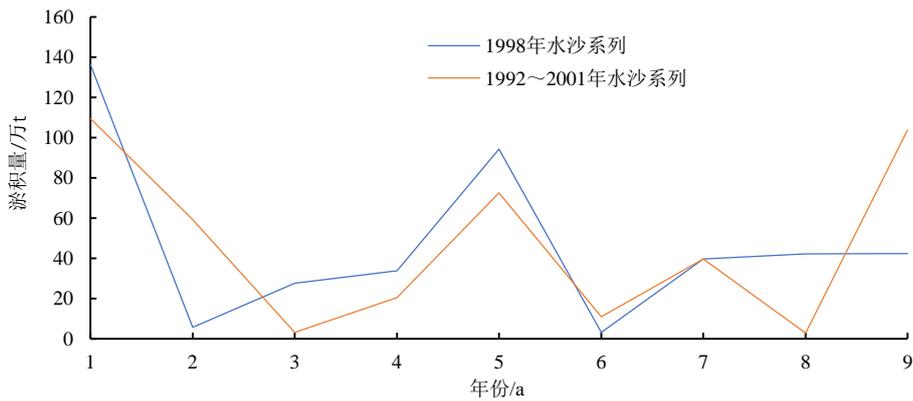


图 3 不同年份水沙系列下水库区泥沙淤积量变化

Fig.3 Variation chart of sediment deposition in lower reservoir area of water and sediment series in different years

图 4 为 1998 年水沙系列及 1992—2001 年水沙系列下的水库泥沙累计淤积量变化。1998 年水沙系列水库运行第 1、第 2、第 3、第 4、第 5、第 6、第 7、第 8、第 9、第 10 年的水库泥沙累计淤积量分别为 136×10^4 、 142×10^4 、 165×10^4 、 194×10^4 、 228×10^4 、 322×10^4 、 303×10^4 、 343×10^4 、 386×10^4 、 429×10^4 t。1992—2001 年水沙系列下的水库运行第 1、第 2、第

3、第 4、第 5、第 6、第 7、第 8、第 9、第 10 年的水库泥沙累计淤积量分别为 109×10^4 、 169×10^4 、 262×10^4 、 245×10^4 、 267×10^4 、 340×10^4 、 352×10^4 、 451×10^4 、 433×10^4 、 535×10^4 t。1998 年水沙系列下的水库泥沙累计淤积量较大，1992—2001 年水沙系列下水库泥沙累计淤积量较小，由于入库沙量不同，水库泥沙累计淤积量也有所不同。泥沙累计淤积量总

体呈增加趋势。

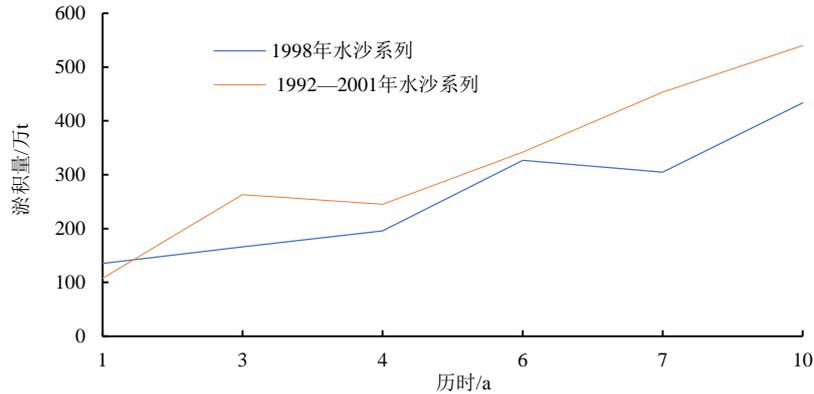


图4 不同年份水沙系列下水库泥沙累计淤积量变化

Fig.4 Variation chart of accumulative sediment deposition in the reservoir under water and sediment series in different years

图5为1998年水沙系列及1992—2001年水沙系列下的水库排沙比变化。1998年水沙系列水库运行第1、第2、第3、第4、第5、第6、第7、第8、第9、第10年的水库排沙比分别为85.7%、99.3%、97.7%、97.0%、96.4%、90.2%、102.0%、95.8%、95.5%、95.5%。1992—2001年水沙系列水库运行历时第1、

第2、第3、第4、第5、第6、第7、第8、第9、第10年水库排沙比分别为81.4%、95.7%、86.3%、101.3%、96.3%、93.7%、98.8%、92.1%、102.6%、90.9%。历时2~3 a后,不同水沙系列下的排沙比均稳定在90%以上,变化范围在90%~102%。根据《水电水利工程泥沙设计规范》可判断水库基本达到平衡。

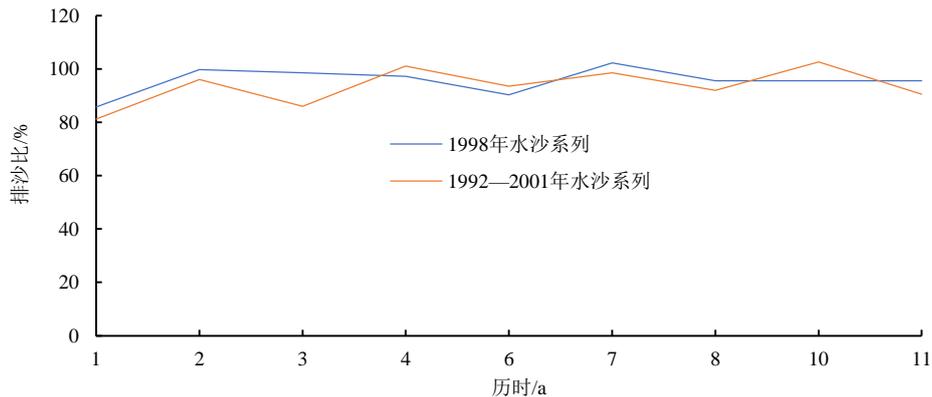


图5 不同年份水沙系列下水库排沙比变化

Fig.5 Variation chart of accumulative sediment deposition in the reservoir under water and sediment series in different years

1998年水沙系列与1992—2001年水沙系列相比,由于入库沙量不同,淤积量也有所不同,但历时2~3 a后,不同水沙系列下的排沙比均稳定在90%以上,变化范围在90%~102%,水库基本达到平衡。水库的实际平衡时间主要由来水、来沙条件决定。淤积达到平衡的时间很短,平衡后的淤积形态是一致的。水库平衡后,来沙多则多出库,来沙少则少出库;遇到水小沙大,则多淤积些,遇到大水小沙,则将水库前期淤积物冲刷出库。不同水沙系列下的差别主要是达到平衡的时间略为提前或推迟,最终状态基本一致。

6 结论

由于腊寨电站属于河道型水库,水库泥沙淤积的总体形态基本服从带状淤积规律,泥沙淤积最为剧烈

的区域主要是坝前,泥沙淤积发展速度较快的时段主要是第1年。第1年之后水库泥沙淤积发展速度逐渐变慢,这些均反映了本水库所具有的基本泥沙淤积特征。

1998年水沙系列下水库泥沙累计淤积量较大,1992—2001年水沙系列下水库泥沙累计淤积量较小,泥沙累计淤积量总体增加。

1998年水沙系列与1992—2001年水沙系列相比,由于入库沙量不同,淤积量也有所不同,但是历时2~3 a后,不同水沙系列下的排沙比均稳定在90%以上,变化范围在90%~102%,水库基本达到平衡。

参考文献:

- [1] 涂启华,杨贇斐.泥沙设计手册[M].北京:中国水利水电出版社,

2006. 程学报, 2021, 39(3): 251-256.
- [2] 水利水电工程泥沙设计规范. DL/T5089—1999[S]. 北京: 中国电力出版社, 1999. [6] 洪振国. 水电站水库泥沙淤积的二维数学模型[J]. 排灌机械工程学报, 2020, 38(9): 910-914.
- [3] 李瑞江. 用准二维泥沙数学模型计算岳城水库库区淤积[J]. 水利水电工程设计, 2016, 21(2): 39-41. [7] 潘庆荣. 三峡工程泥沙问题研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [4] 洪振国, 苟勤章, 李海华. 水利工程溢洪道底流消能水力特性分析[J]. 排灌机械工程学报, 2022, 40(3): 258-263. [8] 洪振国, 李建伟. 水电站水库排沙漏斗排沙措施研究[J]. 中国农村水利水电, 2019(2): 193-196.
- [5] 洪振国, 田辉. 水电站排沙漏斗水沙运动规律分析[J]. 排灌机械工

Analysis of Sediment Deposition Change of Reservoir under Water and Sediment Series in Different Years

HUO Yuguo, HONG Zhenguo*, LI Jianwei

(Yunnan Water and Hydropower Engineering Investigation, Design and Research Institute, Kunming 650021, China)

Abstract: Sediment siltation causes the water level in the reservoir area to rise, encroaches on the regulated storage capacity, causes storage capacity loss, reduces the regulation capacity of the reservoir, reduces the benefits of the project, and the harmful particle size wears the hydraulic turbine, causing the reduction of the operating efficiency of the hydraulic turbine, the reduction of output and annual power generation, the shortening of maintenance intervals and the increase of costs, affecting the normal operation of the unit. For most mountainous rivers in Yunnan, the sediment content in the river channel is strongly affected by the seasons, the sediment particle size changes greatly, and the river trend has many bends. The constant one-dimensional uniform flow mathematical model cannot truly reflect the reservoir sediment deposition, and is not applicable to Yunnan. At the same time, it is important to analyze the reservoir sediment deposition change under the different years of water and sediment series. In this paper, the susbed-2 one-dimensional steady non-uniform sediment transport model developed by Wuhan university of water conservancy and electric power is used to calculate and analyze the changes of sediment deposition in reservoirs in different years. The results show that: In 1998, the accumulated sediment deposition of water and sediment series was relatively large, while in 1992—2001, the accumulated sediment deposition of water and sediment series was relatively small, but their total sediment deposition was not far away, and the accumulated sediment deposition was generally increasing. Compared with the results obtained under the water and sediment series from 1992 to 2001, the amount of sediment deposition is different due to the different amount of sediment entering the reservoir. However, after 2~3 years, the sediment discharge ratio under different water and sediment series is stable at more than 90%, with a variation range of 90% to 102%, and the reservoir is basically balanced.

Key words: hydropower station reservoir; water and sediment series; sediment transport model; sediment deposition change

责任编辑: 韩 洋