



黄河大河家至寺沟峡河段 设计最低通航水位的推求

陈希^{1,2}, 曾涛², 张文江²

(1. 重庆交通大学 河海学院, 重庆 400074; 2. 长江重庆航运工程勘察设计院, 重庆 401147)

摘要: 黄河大河家—寺沟峡河段受在建的大河家水电站和已建的寺沟峡水电站综合调节作用, 河段水文条件变化复杂, 要对该河段进行经济合理的整治开发必须以确定合理的设计最低通航水位为保证。结合枢纽的运行特征, 建立一维数学模型对本河段设计最低通航水位进行研究, 从而得到合理的设计最低通航水位。

关键词: 黄河; 大河家至花尖寺河段; 设计最低通航水位; 数学模型

中图分类号: U 612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)07-0124-03

Calculation of design lowest navigation water level of river reach from Dahejia to Sigouxia river reach on Yellow River

CHEN Xi^{1,2}, ZENG Tao², ZHANG Wen-jiang²

(1. College of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Changjiang Chongqing Harbour and Waterway Engineering Investigation and Design Institute, Chongqing 401147, China)

Abstract: Influenced by both Dahejia hydropower and Sigouxia hydropower, Dahejia to Sigouxia river reach on the Yellow River is complex in natural condition, so it is necessary to assure the design lowest navigation water level in order to suitably and economically carry out the regulations and exploitation of this river. Considering the influences of operating characteristics of two hydropowers, we establish one dimensional mathematical model to calculate the design lowest navigation water level, and obtain the reasonable design lowest navigable level.

Key words: the Yellow River; Dahejia to Sigouxia river reach; design lowest navigation water level; mathematical model

黄河为我国第2大长河; 发源于青藏高原巴颜喀拉山, 奔流而下汇入渤海; 横贯我国东部沿海、中部及西部地区。近年随着流域经济的发展和水电梯级的建设, 黄河航运的开发迎来了难得的发展机遇^[1-2]。黄河大河家—寺沟峡河段位于大河家水电站(在建)与寺沟峡水电站之间, 受水库蓄水调节影响, 河段水文条件较天然情况下发生了明显变化。本文采用一维数学模型, 对本河段设计最低通航水位进行研究和推求, 以期为该河段航运建设工程的设计工作提供依据。

1 概况

1.1 河道概况

寺沟峡航运工程^[3]位于黄河上游青海省民和县和甘肃省积石山县境内, 上起大河家黄河大桥(上距大河家水电站0.7 km), 下至华尖寺(下距寺沟峡水电站11.98 km), 全长16.83 km(图1)。寺沟峡水电站蓄水后, 华尖寺以下至寺沟峡水电站段成为常年库区, 航道条件得到极大改善, 为充分利用寺沟峡水库蓄水的航运效益, 《青海省内河航运发展规划》提出将工程河段按VI级航道标

收稿日期: 2013-11-10

作者简介: 陈希(1987—), 女, 博士研究生, 助理工程师, 从事航道整治研究工作。

准进行航运工程建设。目前工程河段受蓄水影响分为变动回水区和天然河段(图2)。变动回水区呈顺直放宽状,两岸漫滩阶地发育,局部发育河心滩,进口段泥沙累积性淤积严重;天然河段蜿蜒曲折,江心洲散布其间,边滩左右错落,河段多存在急滩、浅滩,且河段邻跨水建筑物众多,通航条件较差。为合理制定整治方案,本文对两

坝间全河段的设计最低通航水位进行研究和推求。

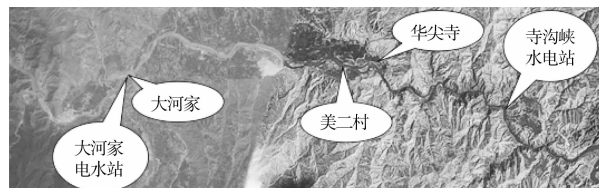


图1 黄河大河家—寺沟峡水电站河道走向

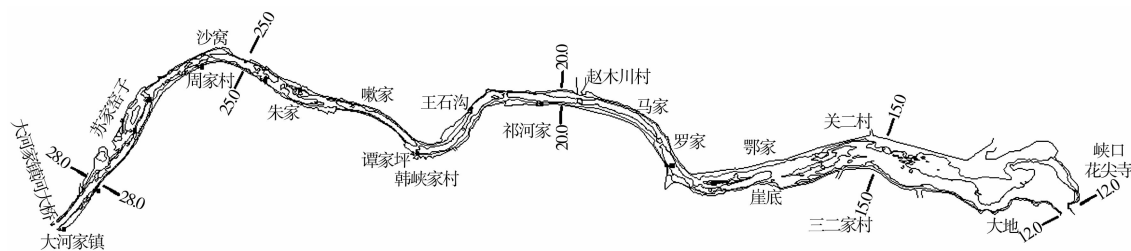


图2 寺沟峡航运工程河段河势

1.2 水流条件

循化水文站位于研究河段的上游约35 km,水文站至研究河段无较大支流入汇,虽有已建的积石峡水电站及在建的大河家水电站截流发电影响,但上述两座电站均为日调节水电站,对日均来流量的影响甚小,故选择该站为本次研究的基本站,采用1999—2009年系列水文资料。根据实测资料统计:多年平均流量 $571 \text{ m}^3/\text{s}$,历年最大流量 $1770 \text{ m}^3/\text{s}$,历年最小流量 $4.86 \text{ m}^3/\text{s}$ 。多年平均水位 1850.73 m (黄海高程,下同),实测年最高水位 1851.58 m ,实测最低水位 1848.68 m 。

2 模型的建立与验证

2.1 模型建立

一维水流运动和连续方程:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(UQ)}{\partial x} + gA \frac{\partial Z}{\partial x} = -\frac{B}{\rho} \tau_b \quad (2)$$

由于所研究的问题为长河段、长时段内发生的,在实际计算中对方程组进行简化。将整个计算时段划分为小的计算时段,将长河段划分为若干个短河段,可按恒定非均匀流考虑^[4-5],水流运动变为:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

$$Z_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = Z_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_f + h_j \quad (4)$$

式中: Z_2, Z_1 为计算段上、下游断面水位; v_2, v_1 为计算段上、下游断面平均流速; α_2, α_1 为计算段上、下游断面的动能修正系数,一般取1.05; h_f 为沿程水头损失; h_j 为局部水头损失。在流量、尾段水位和水头损失确定后,即可由式(4)算出河道断面的各水力要素。

2.2 模型验证

采用2013年4月实测的地形资料建立模型,将实测瞬时水尺水位流量数据和推算得到的沿程断面水位数据输入计算模型,通过率定、调整糙率和河道形态参数,进行模型验证计算。通过对比分析计算水位与实测水位,计算值与实测值偏差在 $\pm 0.1 \text{ m}$ 以内,满足《内河航道与港口水流泥沙模拟技术规程》中对模型验证精度的规定,本次建立的研究模型能够较为准确地反映河道的真实情况。

3 计算条件

研究河段上游的大河家水电站仅具备日调节功能,其建成后运行对研究河段来流影响较小,

故重点考虑研究河段下游寺沟峡水电站对本河段水位的影响。根据《内河通航标准》及《内河航运工程水文规范》，枢纽上游设计最低通航水位应采用表1规定的多年入库保证率的入库流量与相应的坝前消落水位组合，以及坝前死水位或最低运行水位与相应的各级入库流量组合，得出多组回水曲线，取其下包络线作为沿程各点的设计最低通航水位。

表1 设计最低通航水位多年历时保证率、年保证率和重现期

航道等级	多年历时保证率/%	年保证率/%	重现期/a
I, III	≥98	99~98	10~5
III, IV	98~95	98~95	5~4
V~VII	95~90	95~90	4~2

根据寺沟峡电站设计及运行资料，水库设计死水位为1746 m，汛期防洪排沙水位为1744 m。本次研究分别就1999—2009年全年流量统计95%保证率流量对水库死水位1746 m和每年汛期（每年6月10日—10月10日）流量统计95%保证率流量对汛期防洪排沙水位1744 m两种工况进行计算。

根据1999—2009年逐日平均流量统计资料，绘制全年和汛期流量保证率曲线（图3，4）。

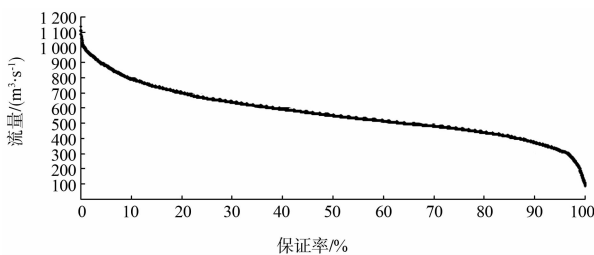


图3 循化站1999—2009年流量保证率

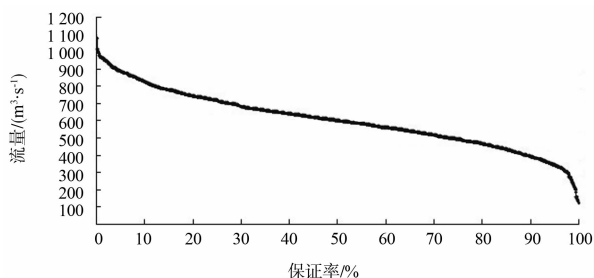


图4 循化站1999—2009年汛期流量保证率

从图3，4可看出，1999—2009年全年95%保证率流量为320 m³/s，1999—2009年汛期95%保

证率流量为343 m³/s。设计最低通航水位计算工况见表2。

表2 设计最低通航水位计算工况

工况	进口流量/(m³·s⁻¹)	出口水位/m
1	320	1746
2	343	1744

4 计算成果分析

从计算沿程水位数据可以看出，在流量较小并且对应的水位较高工况下，天然河段水位略低于小流量高水位情况，由此可见，天然河段最低水位主要由上游来流决定，库区河段水位较低的工况主要由坝前水位决定。绘制以上两种工况条件下本河段沿程最低水位，用下包络线法得到研究河段设计最低通航水位（图5）。

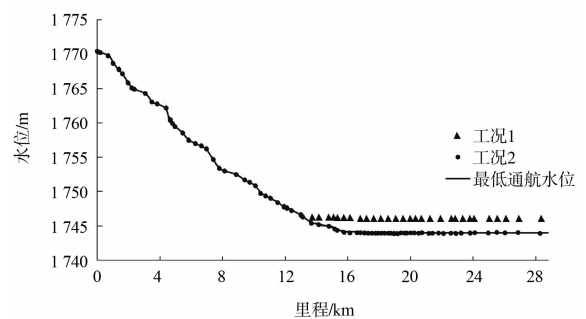


图5 最低通航水位曲线

5 结语

1) 黄河大河家—寺沟峡河段位于两坝间，天然河段、变动回水段和常年库区段共存，加之受两坝调度影响，通航水流条件及边界条件复杂，按常规的综合历时保证率确定设计最低通航水位是不合适的。

2) 分析两坝实际调度方案，按两种工况确定设计通航最低水位：综合历时95%保证率流量320 m³/s与坝前死水位1746 m对应、汛期95%保证率流量343 m³/s与坝前排沙水位1744 m对应，既符合实际，又简化了分时段计算的复杂性和不确定性。

3) 应用一维恒定非均匀流数学模型，计算获得的回水曲线明显存在3段特点。设计最低通航水位（下包络线），常年库区、变动回水区由工况2确定，天然河段由工况1确定。

（下转第136页）