



袁河龙尾洲枢纽施工期及运行期水位变化研究

黄定军¹, 胡鹏², 范红霞², 王勇²

(1. 江西省港航设计院有限公司, 江西 南昌 330000;

2. 南京水利科学研究院, 水灾害防御重点实验室, 江苏 南京 210029)

摘要: 龙尾洲枢纽工程施工拟采用分期导流的方式, 一期围堰围左侧8孔泄水闸及相应的鱼道, 利用右侧滩地开挖导流明渠进行导流; 二期围堰围船闸进行施工, 利用右侧已建8孔泄水闸进行导流。为满足龙尾洲枢纽运行期时的通航水流条件, 同步实施切滩和疏浚工程。采用数值模拟方法研究施工期围堰、航道疏浚、切滩等工程实施以及龙尾洲枢纽运行引起的水位变化。结果表明, 一、二期围堰分别引起围堰上游水位壅高0.28、0.20 m, 下游水位降低0.08、0.12 m, 且围堰上游断面内水位的横向比降较大; 运行期上下游航道区的疏浚和航道区外的切滩工程有效扩大了河道过水断面面积, 增加了槽蓄量, 导致沿程水位明显下切, 减弱了枢纽工程引起的上游水位的壅高作用。

关键词: 龙尾洲枢纽; 围堰工程; 航道疏浚; 水位变化; 数值模拟

中图分类号: U615

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)07-0131-07

Surface water level variation during construction and operation period of Longweizhou Project in Yuan River

HUANG Dingjun¹, HU Peng², FAN Hongxia², WANG Yong²

(1. Jiangxi Port & Navigation Design Institute Co., Ltd., Nanchang 330000, China;

2. The National Key Laboratory of Water Disaster Prevention, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Longweizhou Project will be constructed by the method of stage diversion. The first-stage cofferdam surrounds the eight-hole spillway gate and fishway, and utilizes the point bar to excavate the diversion channel. The second-stage cofferdam surrounds the ship lock, and utilizes the eight-hole spillway gate for diversion. To satisfy the navigable flow conditions during the operation period, the point bar cutting and channel dredging works are implemented simultaneously. This paper adopts numerical simulation to explore the surface water level variation caused by the implementation of cofferdam during construction period, channel dredging, beach cutting and operation of Longweizhou Junction. The results show that the first-stage and second-stage cofferdam cause the upstream surface water level to increase 0.28 and 0.20 m, and the downstream water level to decrease 0.08 m and 0.12 m, respectively, and the transverse gradient of water level in the upper section of the cofferdam is large. The channel dredging and point bar cutting work can effectively expand the channel section area and increase the channel storage capacity, which leads to the obvious fall of surface water level, and weakens the backwater caused by Longweizhou Project.

Keywords: Longweizhou Project; cofferdam project; channel dredging; surface water level variation; numerical simulation

收稿日期: 2023-10-30

作者简介: 黄定军 (1981—), 男, 高级工程师, 从事水运工程设计、咨询。

通讯作者: 胡鹏 (1995—), 男, 工程师, 从事河流数值模拟与航道整治研究。E-mail: phu@nhri.cn

在内河河流的开发建设中,常采用梯级枢纽对河道进行渠化,以改善通航条件并实现水资源的综合利用^[1]。但是枢纽的建设改变了原天然河流的水文特性,新建的建筑物侵占了部分河道,建筑物的阻碍和束窄作用使得水流局部阻力增大,从而在建筑物前形成一定的水位壅高^[2]。与枢纽建设同步的航道疏浚工程、切滩工程也会对河段水位产生影响,此外施工期的围堰工程也会造成围堰上游水位的壅高,进而对河道的行洪产生不利影响。

杜国翰等^[3]认为由于拦河泄流建筑物过水断面的缩窄和底槛设置偏高所形成的卡水与枢纽上游河道的冲淤特性变化关系密切,可能会加重壅水河段的淤积,即使在闸门全开敞泄的情况下,仍会使上游河道行洪水位升高。刘万利^[4]认为枢纽下游河道演变主要表现为河床的展宽与下切,同流量水位降落尤其是枯水位降落以及河床组成等也发生相应的调整。赵文焕等^[5]研究三峡二期围堰工程时发现壅水高度及壅水量随流量增大而增大,且从坝址向上游递减,回水长度约125 km。林金波^[6]开展了分期导截流模型水利枢纽导流能力与截流方案对比研究,围堰修建后,束窄河床使水流流速增大,造成局部流场更加复杂,对围堰的冲击破坏作用增加。王晓丽等^[7]研究向家坝一期施工导流时的通航水流条件,结果表明受河道束窄、坝轴线处横向围堰挑流及弯道特性等综合因素

影响,工程河段流速迅速增大,局部水面比降变陡,流态变坏,通航水流条件较天然河道差。

本研究以龙尾洲枢纽为例,采用数值模拟方法研究施工期围堰、龙尾洲枢纽、航道疏浚等工程实施引起的水位变化,以期类似工程提供参考。

1 工程概况

袁河为赣江主要支流之一,规划等级为Ⅱ级航道,近期发展目标为Ⅲ级标准,2021年提出采用三级渠化方案,自上而下布置石洲、笏洲、龙尾洲3个梯级。拟建龙尾洲枢纽为最后一座梯级,距离袁河口35.5 km。工程所在河段河道弯曲,洲滩和凸嘴众多,自洛湖往下左岸分布有南蒲洲、兰溪洲、新江洲、碧环洲,右岸分布有新溪洲、龙尾洲和任家洲,龙尾洲坝址位于上下游两弯道中间较短的直线段。

龙尾洲枢纽坝线处河面开阔,河床内具备同时布置挡水、泄水建筑物以及通航建筑物等水工建筑物的条件,枢纽总体可采用集中布置的方式,龙尾洲枢纽平面布置见图1。根据对现场地形的分析,河道主流在左岸,枢纽总体布置考虑在左岸布置泄水闸,更方便船闸的管理与检修;将船闸布置在右岸侧,船闸轴线与坝轴线垂直布置。从左到右依次布置左岸土坝(鱼道穿越土坝)、检修坝段、泄水闸、连接坝段、船闸、右岸土坝。

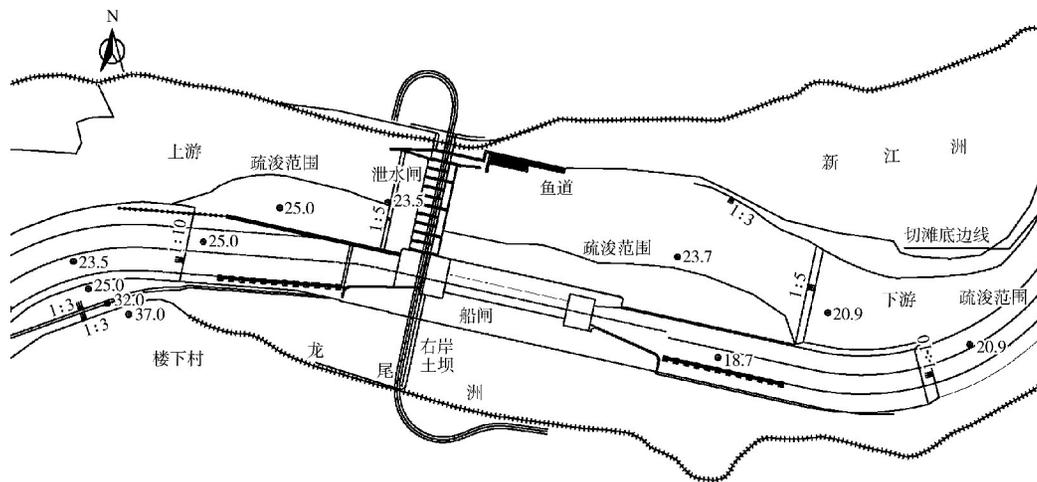


图1 龙尾洲枢纽平面布置(单位:m)

施工期围堰及导流方案见图 2。一期围堰工程围左侧 8 孔泄水闸及相应的鱼道, 利用右侧宽约 220 m 滩地开挖导流明渠进行导流, 明渠底宽由 70 m 渐变为 60 m, 边坡 1:3, 主要完成 8 孔泄水闸的土建及金属结构的安装和纵向混凝土围堰的

修建; 二期工程利用一期纵向混凝土围堰, 新建船闸全年围堰进行施工, 利用已建右侧 8 孔泄水闸进行导流, 完成剩余 2 孔泄水闸及船闸部分的土建及金属结构的安装。

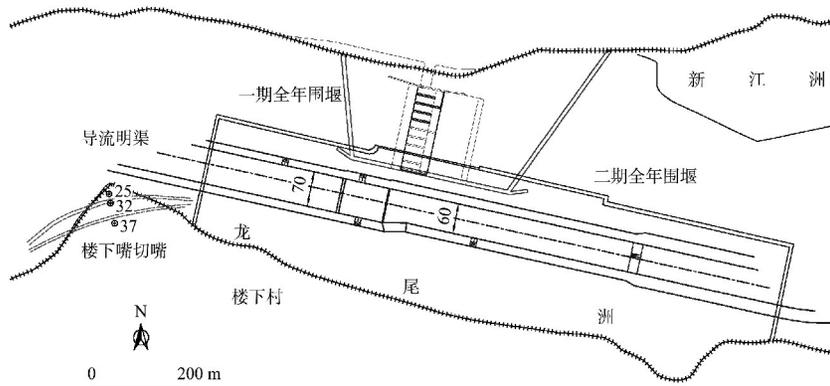


图 2 一、二期围堰布置 (单位: m)

一、二期围堰施工时, 在洪水流量条件下, 由于围堰占用了部分河道行洪面积, 河道过水面积减小, 围堰前端壅水严重, 导流明渠内流速较大, 河床冲刷, 可能影响围堰的稳定及安全。龙尾洲枢纽所在河段蜿蜒曲折, 上下游为连续弯道, 且有挑流凸嘴和四处边滩存在, 边界条件复杂, 使得船闸布置较为困难, 通航水流条件难以达到要求。

10 a 一遇流量条件下水深见图 3。由图可知, 工程前导流明渠上游楼下嘴挑流明显, 主流位于河道左侧, 且上引航道处横流较大, 对船舶安全通航影响较大。由于龙尾洲滩地高程较高, 拟建船闸上下游引航道以及船闸处水深较小, 不满足通航要求。同时枢纽上下游地形变化较大, 对泄洪不利, 为满足通航水流条件, 与枢纽工程同步实施切滩和疏浚工程^[8]。切滩与疏浚范围见图 1, 具体工程包括: 上游楼下嘴退堤(底高程 23.5~32.0 m)、龙尾洲左缘切滩(上游底高程 25.0 m, 下游底高程 23.7 m)、枢纽上下游河道疏浚(上游底高程 23.5~25.5 m, 下游底高程 22.5~23.7 m)、下游新江洲切滩(底高程 20.9 m)、上下游航道疏浚(上游底高程 23.5~25.0 m, 下游底高程 18.7~20.9 m)。

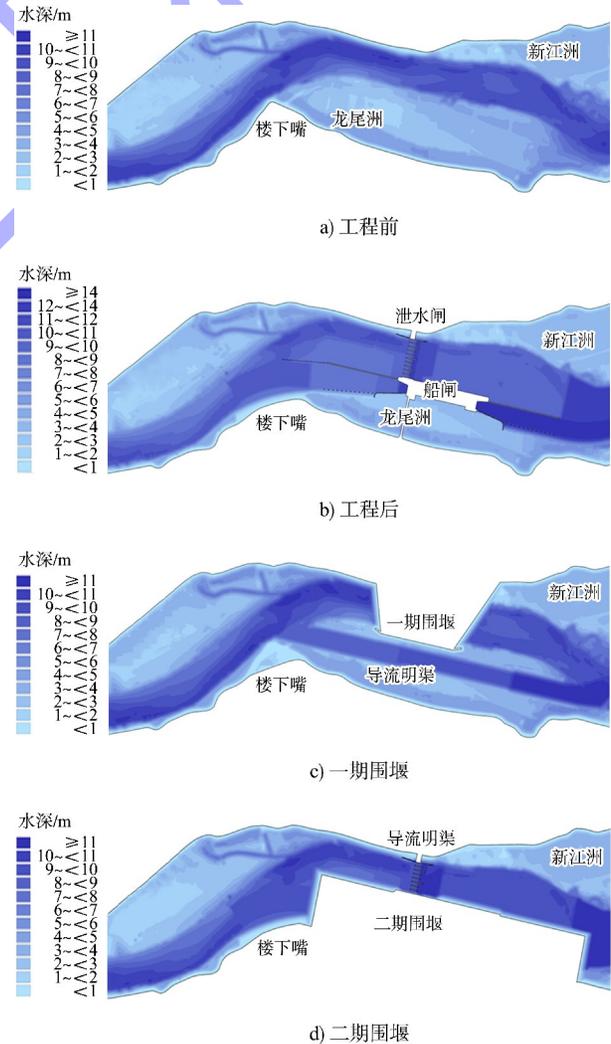


图 3 10 a 一遇流量条件下水深

2 研究方法

2.1 数学模型

采用丹麦水力研究所(Danish Hydraulic Institute, DHI)研制的 MIKE21 水动力模块, 分别建立龙尾洲枢纽工程前、工程后、一期围堰、二期围堰 4 个数学模型。

2.2 模型范围及网格

模型上起洛湖水位站, 下至坝址以下 5.0 km, 模拟天然河道长约 10 km, 龙尾洲枢纽段采用 2023 年 5 月实测 1:500 地形、枢纽以外段采用 2021 年 2 月 1:2 000 实测地形。采用三角形网格, 工程后局部网格见图 4。

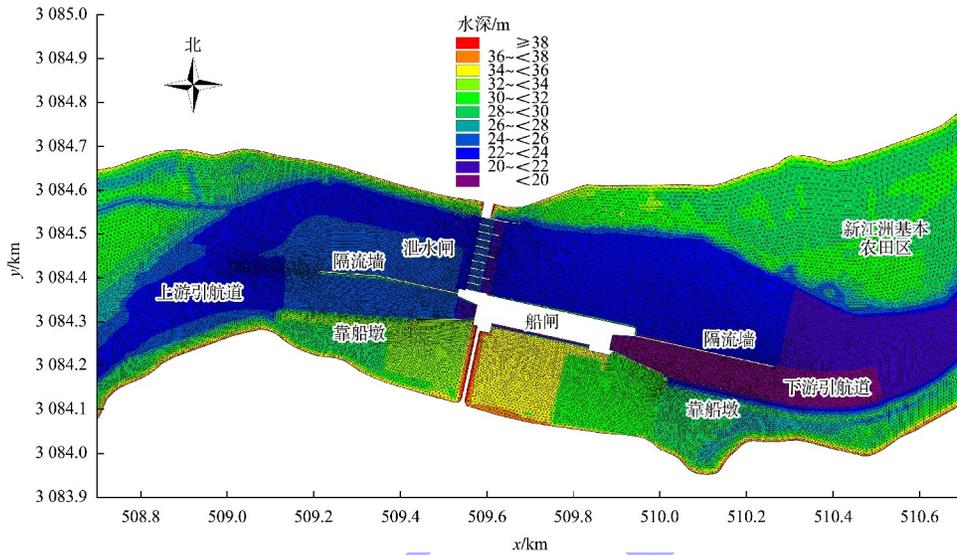


图 4 工程后局部网格

2.3 模型率定与验证

采用洪中枯三级现场水文测验资料对模型进行验证, 验证结果见图 5, 模型水位误差在 ± 0.05 m

之内, 流速误差在 ± 0.10 m/s 以内, 满足规范要求。曼宁综合糙率取值为 0.020~0.035, 其中深槽糙率小, 滩地及已有水工建筑物附近糙率大。

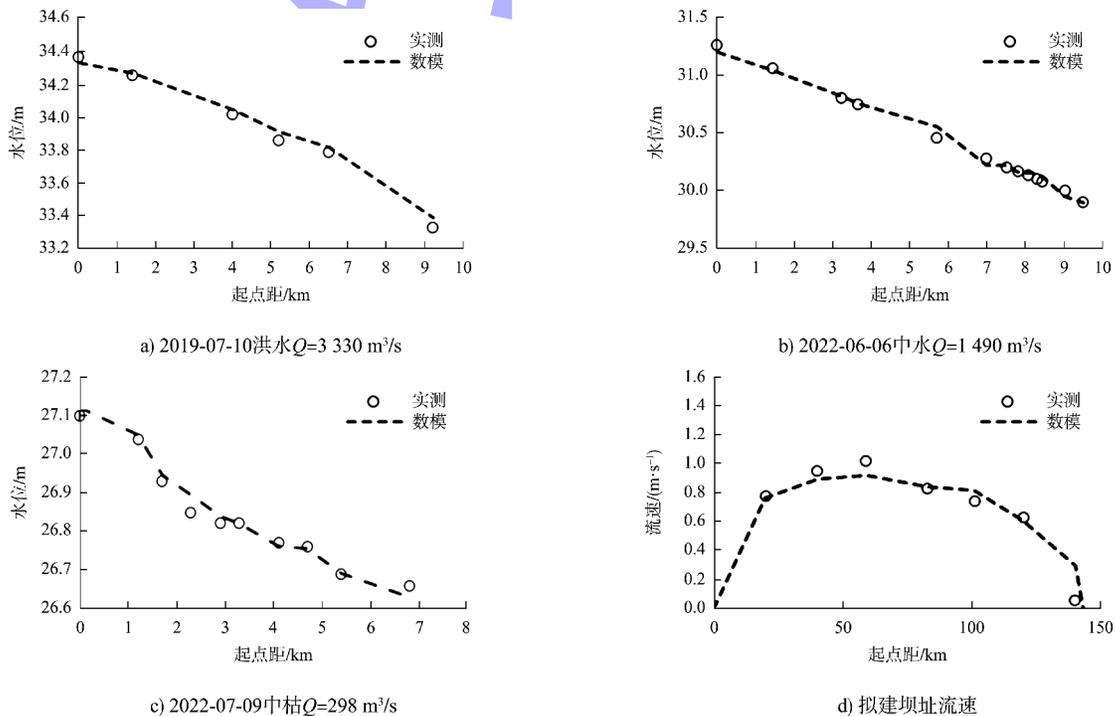


图 5 模型验证结果

3 水位变化分析

根据水文分析成果,计算水文条件见表1。

一、二期围堰按照10 a一遇全年洪水标准设计,10 a一遇洪峰流量 $2\,760\text{ m}^3/\text{s}$,坝下水位为 33.75 m ;河道防洪标准20 a一遇洪峰流量为 $3\,410\text{ m}^3/\text{s}$,天然情况下坝址处防洪设计水位为 35.05 m ,两岸堤顶高程为 36.5 m 。龙尾洲枢纽左岸连接坝、水闸

中墩、船闸闸首和右岸连接坝束窄行洪断面将产生壅水,坝下长河段航道疏浚扩大行洪断面会降低水位,两者综合作用下,遭遇20 a一遇洪水时,坝下水位 34.75 m ,比工程前下降 0.30 m 。基于数学计算结果,与天然情况相比,分析一、二期围堰工程及运行期的水位变化情况。

表1 计算水文条件

工况	模型进口流量/ m^3	坝下水位/ m	模型出口水位/ m	备注
1	2 760	33.75	32.75	一、二期围堰,10 a一遇洪水
2	3 410	35.05	34.83	运行期20 a一遇洪水,不考虑疏浚和切滩引起的水位下切
3	3 410	34.75	34.58	运行期20 a一遇洪水,考虑疏浚和切滩引起的水位下切

3.1 一期围堰

施工期一期围堰建成后,与天然情况相比,过水断面束窄造成上游壅水,在10 a一遇洪水条件下,一期围堰特征水位见表2。围堰上游水位 33.50 m ,与天然情况相比壅高 0.28 m ;围堰下游水位 33.12 m ,由于导流明渠的开挖,与天然情况相比降低 0.08 m 。围堰上下游水位差为 0.38 m ,大于导流明渠进出口水位差 0.24 m ,围堰施工后上下游水位均低于围堰设计高程 35.4 m 。

一期围堰上游断面水位分布见图6,其位置在弯顶下游,工程前左岸水位比右岸水位高 0.02 m ;一期围堰实施后,上游左岸壅水更为明显,左岸水位比右岸高 0.3 m ,即围堰上端和导流明渠间存在较大横向比降。

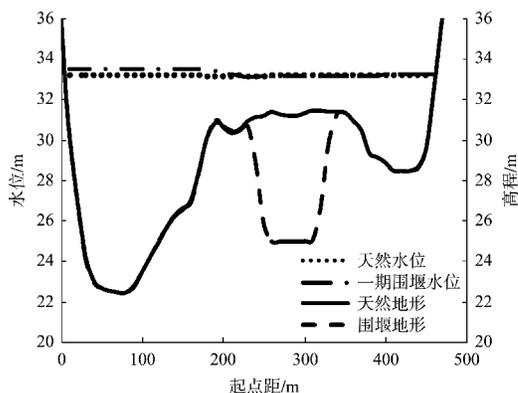


图6 一期围堰上游断面水位分布

表2 一期围堰特征水位

工况	水位/ m			
	导渠进口	围堰上游	围堰下游	导渠出口
一期围堰	33.43	33.50	33.12	33.19
天然	33.22	33.22	33.20	33.20
水位差	0.21	0.28	-0.08	-0.01

3.2 二期围堰

二期围堰利用已建8孔泄水闸导流,在10 a一遇洪水条件下,二期围堰特征水位见表3。围堰上游水位 33.42 m ,与天然情况相比抬升 0.2 m ;围堰下游水位 33.08 m ,与天然情况相比降低 0.12 m 。围堰上下游水位差为 0.34 m ,泄水闸上下游水位差为 0.05 m ,围堰施工后上下游水位均低于围堰设计高程 35.4 m 。

二期围堰上游断面水位分布见图7,其位置在弯顶下游,工程前左岸水位比右岸水位高 0.05 m ,由于二期围堰导致上游右岸壅水更为明显,右岸水位比左岸高 0.16 m ,与天然情况相反,围堰上端和泄水闸侧存在较大横向比降。

表3 二期围堰特征水位

工况	水位/ m			
	围堰上游	泄水闸前	泄水闸后	围堰下游
二期围堰	33.42	33.07	33.02	33.08
天然	33.22	33.19	33.19	33.20
水位差	0.20	-0.12	-0.17	-0.12

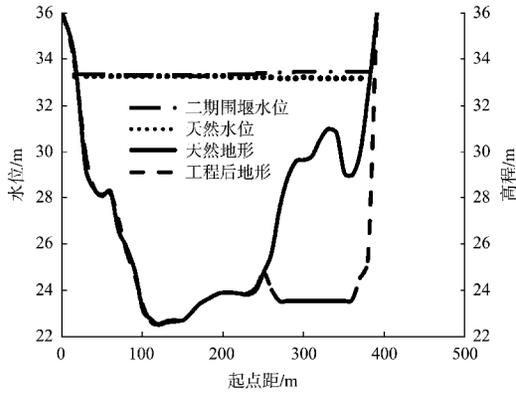


图7 二期围堰上游断面水位分布

在施工期，一期、二期围堰工程引起围堰前端水位的壅高，可能会影响围堰稳定与安全，若设计时不考虑围堰的壅水，则施工区域存在大洪水期间被淹没的风险。同时导流明渠内若水面比降较大，流速较大，对新开挖的导渠和堤岸也会产生一定的冲刷影响。因此设计时需考虑围堰的壅水作用，同时尽可能提升导流明渠的过流能力。

3.3 运行期

龙尾洲枢纽建设前，在防洪设计水位 35.05 m 条件下，坝址河道行洪面积为 3 116 m²；龙尾洲枢纽建设后，两岸连接坝、泄水闸中墩与船闸上闸首阻水面积 1 569 m²，10 孔泄水闸每孔净宽 14 m、闸底板高程 24.0 m，其行洪断面面积为 1 547 m²，建筑物阻水面积比为 50.3%。与此同时，工程上下游切滩、切嘴、疏浚规模较大，总开挖量为 170 万 m³，其中上游区开挖量 45 万 m³，下游区开挖量 125 万 m³。上游楼下嘴切嘴断面面积增加 810 m²，行洪面积增加 28.7%；下游新江州切滩、疏浚断面面积增加 829 m²，行洪面积增加 16.6%。

工程前后沿程水位见图 8，不考虑和考虑切滩和航道疏浚引起水位下切的工程前后水位变化见图 9。如果仅考虑枢纽建筑物工程本身开挖和阻水

的双重作用，而暂不考虑上下游河道切滩和航道疏浚引起的沿程水位下切，与工程前相比，拟建龙尾洲枢纽坝址以上 5.5 km 河道范围内沿程水位均有一定程度抬升，工程引起的水位壅高变化范围为 0.03~0.18 m。同时，在拟建龙尾洲枢纽坝址以下 4.8 km 河道范围内沿程水位均有一定程度下降，变化范围为-0.01~-0.15 m。在上游隔流墩前端断面，水位壅高幅度最大，为 0.18 m；在坝下消力池断面，水位降低幅度最大，为 0.15 m；在距坝址 5.5 km 的模型进口断面，水位仍壅高 0.14 m。如果既考虑枢纽建筑物本身开挖和阻水的双重作用，又考虑上下游河道切滩和航道疏浚引起水位下切的综合作用，与工程前相比，坝上、坝下和坝下 5 km 处水位分别降低了 0.10、0.30 和 0.25 m，工程后河道内水位均有一定程度下降，降幅为 0.06~0.38 m。拟建坝址上游 5 km 和坝上水位降幅分别为 0.06 和 0.10 m。坝下消力池断面水位降低幅度最大，为 0.38 m；上游隔流墩前端断面水位降低幅度最小，为 0.03 m。

上下游航道区的疏浚和航道区外的切滩能有效扩大河道过水断面面积和增加槽蓄量，引起沿程水位明显的下切，减弱枢纽工程建筑物本身引起的上游水位的壅高作用，从而降低工程对河道行洪带来的不利影响。

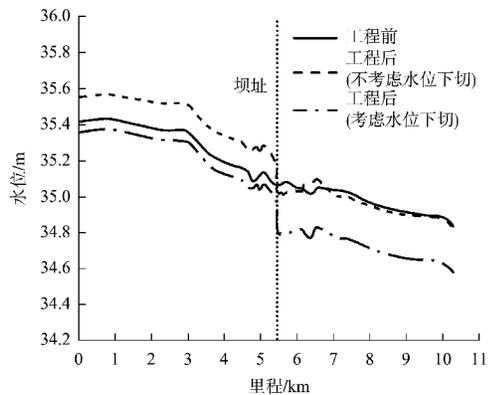


图8 工程前后沿程水位

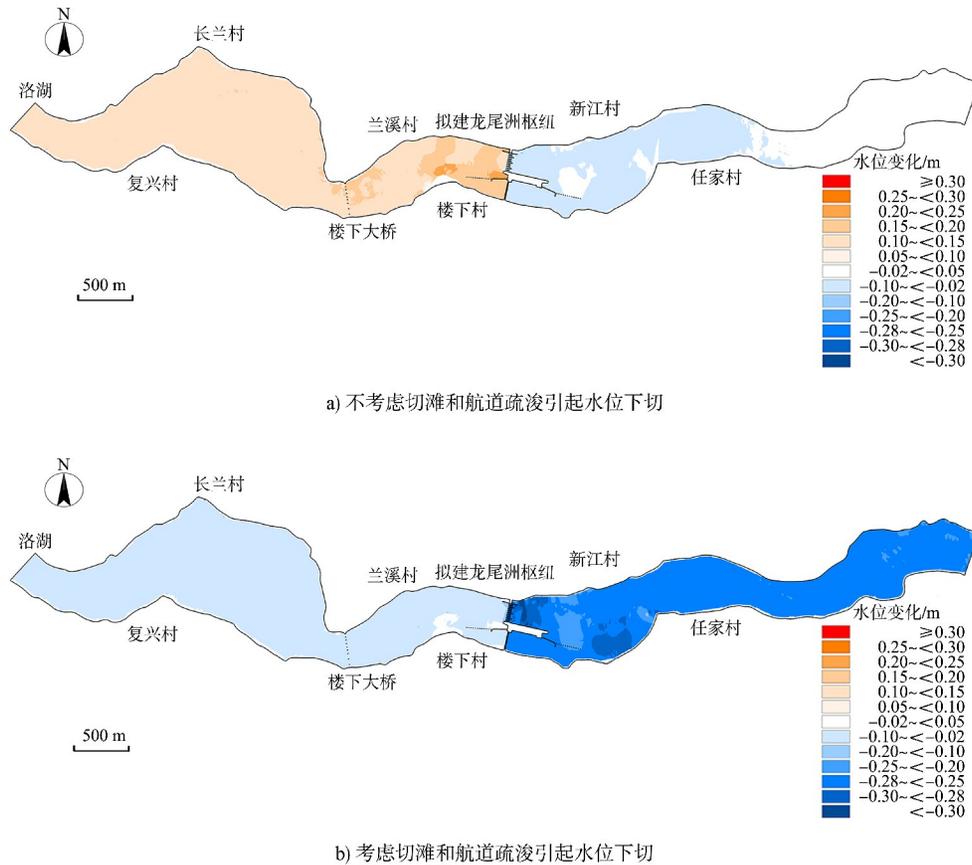


图 9 工程前后水位变化

4 结论

1) 一、二期围堰实施后会引引起围堰上游水位壅高, 围堰下游水位降低, 增大了围堰上下游的水位差; 同时围堰工程也会增大围堰上游断面水位的横向比降。

2) 由于枢纽建筑物的阻水作用, 若不考虑水位下切, 即使在闸门全开敞泄的情况下, 仍会使上游河道水位升高。

3) 上下游航道区的疏浚和航道区外的切滩工程有效扩大了河道过水断面面积, 增加了槽蓄量, 导致沿程水位明显下切, 减弱了枢纽工程建筑物本身引起的上游水位的壅高作用。

参考文献:

[1] 黄涛, 沈保根, 周琪琪, 等. 涡河涡阳枢纽设计最低通航

水位研究[J]. 水运工程, 2023(3): 138-142.

[2] 石定球. 宣城市海棠湾水利枢纽工程壅水分析[J]. 工程与建设, 2018, 32(5): 651-652.

[3] 杜国翰, 张振秋. 平原多沙河流修建引水枢纽中的一些泥沙问题[J]. 泥沙研究, 1983(3): 1-11.

[4] 刘万利. 枢纽坝下冲刷深度及水位降落研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2009.

[5] 赵文焕, 刘天成, 何正先. 三峡工程二期围堰壅水对行洪的影响[J]. 人民长江, 2002, 33(1): 17-18.

[6] 林金波. 水利枢纽分期导截流数值模拟方法及应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2020.

[7] 王晓丽, 金瑞, 宋成涛. 向家坝一期施工导流通航条件数值模拟研究[J]. 水运工程, 2010(11): 110-114.

[8] 肖钦, 赵凯, 范红霞, 等. 复杂河道边界条件下新建船闸布置方案及运行方式[J]. 水运工程, 2023(9): 93-100.

(本文编辑 王传瑜)