



艳洲枢纽下游设计最低通航水位论证

唐蔚¹, 周千凯², 周乐序¹, 吴娴¹, 唐洁¹

(1. 湖南省交通规划勘察设计院有限公司, 湖南长沙 410203;

2. 湖南省水运建设投资集团有限公司, 湖南长沙 410011)

摘要: 随着澧水尾闾航道项目的逐步实施, 澧水下游河道水位及流量有较大变化。其枯水流量因三峡枢纽及上游两大水库的调蓄济枯作用呈增加趋势, 但枯水水位呈略微下降趋势, 津市水文站水位流量关系也出现了下降。为确定澧水末端梯级艳洲枢纽船闸下游最低通航水位, 采用计算枯水期水面比降等方法, 结合航道整治及采砂活动等情况分析上述现象产生的原因及主要变化趋势。提出一种确定艳洲枢纽下游近期及远期最低通航水位的方法, 论证其预留远期水位下降值的合理性。

关键词: 澧水; 枢纽下游最低通航水位; 河床下切; 水位下降

中图分类号: U 617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)11-0128-05

Demonstration of design lowest navigable water level downstream from Yanzhou Hydro-junction

TANG Wei¹, ZHOU Qian-kai², ZHOU Le-xu¹, WU Xian¹, TANG Jie¹

(1. Hunan Provincial Communications Planning Survey & Design Institute Co., Ltd., Changsha 410203, China;

2. Hunan Provincial Water Transportation Construction & Investment Group Co., Ltd., Changsha 410011, China)

Abstract: With the gradual implementation of the Lishui tail channel project, the water level and flow in the lower reaches of the Lishui River have changed greatly. The low flow of the lower reaches increased due to the regulation and storage of the Three Gorges Hydro-junction and two upstream reservoirs, while the low water level showed a slight downward trend. Moreover, the relationship between the water level and flow at the Jinshi Hydrological Station also decreased. To determine the lowest navigable water level downstream from the ship lock of the Yanzhou Hydro-junction at the end cascade of the Lishui River, this paper employs methods such as calculating the water surface slope in the dry season to analyze the causes and main trends of the above phenomena in consideration of channel regulation and sand mining activities. It then proposes a method of determining the short-term and long-term lowest navigable water levels downstream from the Yanzhou Hydro-junction and demonstrates the rationality of the reserved long-term water level drop.

Keywords: Lishui River; lowest navigable water level downstream from hydro-junction; riverbed incision; water level drop

澧水是湖南省四大水系之一, 位于湖南省西北部, 地跨湘鄂两省边境地区, 是湖南省航道布局规划中的地区重要航道。

澧水澧县至茅草街航道建设工程已于2019年完工, 该工程疏浚部分于2016年4月进场施工, 2018年5月全线完工。2013年10月, 澧水干流

刘家河至二圣滩采砂区拍卖, 采区起于澧县水文站下游500 m, 止于东常高速澧水大桥上游2.4 km, 全长约5 km, 目前基本完成开采。艳洲枢纽石门至澧县航道建设工程河段位于澧水下游河段, 上游起点为石门(三江口坝下兆恒工业园), 下游终点为澧县(艳洲枢纽坝下金鸡滩), 航道全长51 km;

澧水艳洲改建船闸工程为石门至澧县航道建设工程的一部分, 拟将拆除现有艳洲电站和 300 吨级船闸, 将坝线移至现有泄水闸坝轴线, 从左至右新建泄水闸、电站及 1 000 吨级船闸等, 该项目已自 2021 年起开工建设。

艳洲枢纽为澧水干流最末端梯级, 其坝下为天然河道, 且工程河段范围内近年来频繁的人类活动导致该段河床形态发生了较大变化, 河床普遍下切 1~5 m, 最大下切深度超 15 m, 导致下游航道水位发生较大变化。考虑到已建的河流末端梯级船闸出现坝下河床冲刷导致枯水位下降的现象较为普遍^[1-3], 为确保改建之后的艳洲枢纽船闸不会成为澧水航道通航的瓶颈, 有必要分析艳洲枢纽坝下河段的水文变化, 进而综合确定合适的船闸下游远期设计最低通航水位。

1 工程概况

艳洲坝枢纽工程位于澧水下游河段, 上游起点为石门(三江口坝下兆恒工业园), 下游终点为澧县(艳洲枢纽坝下金鸡滩), 航道全长 51 km。为配合航道等级提升改扩建原坝址船闸, 拆除右汊现有电站、300 吨级船闸及滚水坝, 新建主要建筑物从左至右为 5 孔泄水闸、3×11 MW 电站厂房及安装场、2 000 吨级船闸及接岸建筑物, 改造电

站坝顶桥及下游艳洲澧水大桥通航孔。本工程石门至澧县高等级航道建成以后, 1 000 吨级船舶常年可直接从石门通江达海, 工程区域主要水文站点位置见图 1。

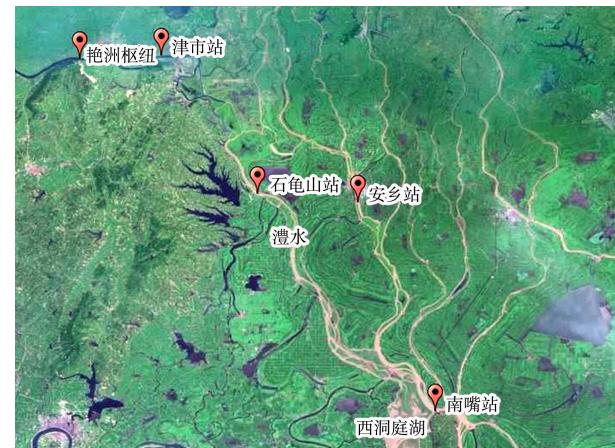


图 1 工程区域主要水文站点位置

2 水文变化

艳洲枢纽坝下航道为天然航道, 考虑到三峡枢纽(2003 年开始蓄水)、澧水上游皂市(2007 年蓄水运行)和江垭(1999 年建成)等几大水利枢纽的建成和调度对下游河道的枯期影响, 选取 1999—2020 年艳洲枢纽坝下站及下游各水文站日均水位及流量系列数据, 分长、中、短系列计算出各站综合历时保证率的水位及流量, 见表 1、2。澧水下游尾闾各水文站流量变化情况见表 3。

表 1 艳洲下游各站综合历时保证率的流量变化

站点	系列年	流量/(m ³ ·s ⁻¹)							
		50%	75%	80%	90%	95%	98%	99%	最小值
艳洲枢纽坝下站	1999—2020	260	150	129	93	69	50	33	8
	2009—2020	292	167	150	100	80	50	50	8
	2015—2020	342	200	175	118	100	80	50	8
津市站	1999—2020	260	160	145	110	88	71	63	40
	2009—2020	270	170	151	120	92	74	68	40
	2015—2020	290	182	170	140	119	85	70	46
石龟山站	1999—2020	500	226	202	129	96	82	73	17
	2009—2020	510	236	208	139	100	85	78	17
	2015—2020	479	261	238	192	155	123	101	89
南嘴站	1999—2020	1 080	500	428	311	261	213	176	114
	2009—2020	1 170	580	508	360	304	271	252	114
	2015—2020	1 278	697	627	499	384	319	285	232

表 2 艳洲下游各站综合历时保证率的水位变化

站点	系列年	水位/m							
		50%	75%	80%	90%	95%	98%	99%	最小值
艳洲枢纽坝下站	1999—2020	32.31	31.84	31.75	31.55	31.43	31.31	31.27	27.07
	2009—2020	32.37	31.93	31.83	31.62	31.45	31.32	31.27	31.21
	2015—2020	32.40	32.05	31.97	31.80	31.71	31.51	31.45	31.21
津市站	1999—2020	29.73	28.64	28.46	28.05	27.78	27.45	27.25	26.46
	2009—2020	29.61	28.61	28.45	28.03	27.73	27.45	27.20	26.46
	2015—2020	29.61	28.66	28.52	28.19	27.97	27.29	27.11	26.76
石龟山站	1999—2020	29.06	28.11	27.97	27.59	27.31	27.00	26.77	26.26
	2009—2020	28.87	28.02	27.88	27.52	27.29	27.00	26.74	26.26
	2015—2020	28.88	28.05	27.93	27.67	27.43	26.80	26.58	26.44
南嘴站	1999—2020	27.51	26.76	26.62	26.41	26.28	26.14	26.07	25.91
	2009—2020	27.45	26.69	26.58	26.39	26.23	26.15	26.09	25.91
	2015—2020	27.46	26.83	26.70	26.45	26.27	26.16	26.11	25.96

表 3 澄水下游各站综合历时保证率流量变化

站点	系列年	流量/(m·s ⁻¹)					
		80%	90%	95%	98%	99%	min
南嘴	1995—2006	346	248	202	164	149	90.4
	2007—2020	482	333	291	256	241	114
	流量增加值	136	85	89	92	92	24
石龟山站	流量增加比例/%	39	34	44	56	62	26
	1995—2006	147	98.3	67.7	35.5	23.6	12.1
	2007—2020	196	135	106	88	81	43
安乡站	流量增加值	49	37	38	53	57	31
	流量增加比例/%	33	37	57	148	242	256
	1995—2006	82	51	35	28	24	7
	2007—2020	122	70	56	43	38	18
	流量增加值	40	19	21	15	14	11
	流量增加比例/%	49	37	61	54	56	160

艳洲枢纽坝下枯水期河段呈现两个特点：

- 1) 从各站的枯水期流量综合保证率成果来看, 长、中、短 3 个系列相比较, 枯水期 98% 保证率流量均呈现递增趋势。其中, 澄水下游的石龟山站 98% 保证率流量较三峡枢纽建成前增加了 148%。
- 2) 津市、石龟山两站的长、中、短 3 个系列 98% 保证率水位呈现下降趋势, 而南嘴站 98% 保证率水位呈现基本稳定且有略微上升的趋势。

表 4 给出了长江干线宜昌与螺山两个水文站自三峡枢纽建成蓄水以来逐年枯水流量的变化情况, 可以看出长江中游枯期流量呈现整体抬升的趋势。结合三峡枢纽以及澄水上游皂市、江垭两

大水利枢纽建成及正常蓄水运行的时间不难得出, 长江干流增加的流量部分从三口进入了澄水、沅水等, 导致了其下游枯期流量的明显增加, 即三大枢纽对于澄水下游河道的枯水期补水作用是引起各站枯水期流量抬升的主要原因^[4-5]。考虑到 2016—2018 年间澄水澧县至茅草街航道建设工程疏浚部分的实施及澄水干流相关采砂活动的进行, 采用津市站工程前后的 2011、2012 年与 2013、2019 年的实测水位与流量数据拟合出水位流量关系曲线(图 2)。可以看出: 较 2011 年而言, 2019 年津市站低水位段的水位流量关系曲线有较大程度的下降。

表 4 长江干线宜昌、螺山逐年枯水流量变化

年份	宜昌流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		螺山流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	
	98%保证率	最小流量	98%保证率	最小流量
2009	5 130	5 030	7 490	7 340
2010	5 320	5 240	6 820	6 740
2011	5 700	5 640	8 240	7 810
2012	5 730	5 680	8 020	7 785
2013	5 780	5 620	7 935	7 560
2014	5 871	5 714	8 480	8 240
2015	5 962	5 808	8 058	8 029
2016	6 053	5 902	8 558	8 550
2017	6 144	5 996	9 032	9 002
2018	6 231	6 094	9 401	9 190
2019	6 403	6 043	9 247	8 809
2020	6 663	6 550	10 036	9 620
平均	5 916	5 776	8 317	8 096

表 5 澄县、津市、石龟山站年保证率 98%水位变化

年份	水位/m					澧县-津市 水位/m	澧县至津市 比降/%	津市-石龟 山水位/m	津市至石龟 山比降/%	石龟山-草 尾水位/m	石龟山至草 尾比降/%
	澧县	津市	石龟山	南嘴	草尾						
2013	29.76	27.80	27.37	26.20	26.12	1.97	0.187	0.43	0.011	1.17	0.012
2014	29.46	27.24	26.78	26.15	26.09	2.22	0.211	0.46	0.012	0.63	0.007
2015	28.47	27.72	27.23	26.26	26.20	0.75	0.072	0.49	0.012	0.97	0.010
2016	28.33	27.63	27.16	26.21	26.15	0.70	0.066	0.47	0.012	0.95	0.010
2017	28.18	27.97	27.45	26.19	26.11	0.22	0.021	0.52	0.013	1.26	0.014
2018	28.20	28.08	27.43	26.35	26.27	0.12	0.011	0.65	0.017	1.08	0.012
2019	26.95	26.92	26.51	26.08	25.98	0.03	0.003	0.41	0.011	0.43	0.005
2020	26.95	26.92	26.72	26.12	26.04	0.02	0.002	0.20	0.005	0.60	0.006
下降值	-2.82	-0.87	-0.65	-0.08	-0.08	-	-	-	-	-	-

可以看出, 澄县至津市段的河床比降从 2013 年的 0.187‰降低到了 2020 年的 0.002‰, 由陡比降段变为基本平水段, 变化明显, 但对津市以下的石龟山至草尾段河段影响有限, 水面比降变化较小。因此 2013—2020 年工程河段的航道工程及采砂活动对河床产生了较大影响, 直接导致了枯水期水面比降的下降。实际上, 近年来津市、石龟山两站因枯水流量的增加掩盖了其枯水水位下降的事实。

3 远期设计最低通航水位的确定及合理性分析

根据上述分析可知, 艳洲枢纽下游的澧县至津市河段近年来因为航道疏浚及采砂活动等影响, 枯水期水面比降逐年下降, 枯水期水位有下降趋势, 且澧水澧县至茅草街航道建设工程完工时间

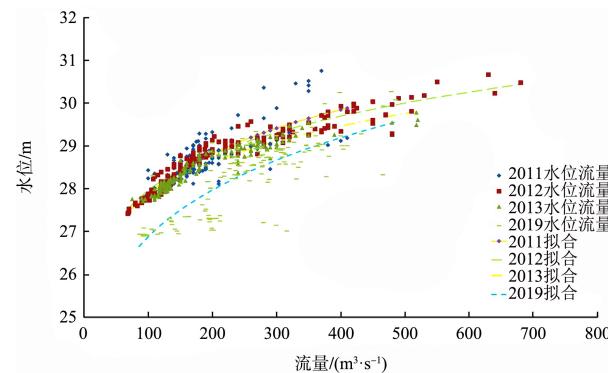


图 2 津市站历年水位流量关系散点

为更进一步研究艳洲枢纽下游河道近年来枯水期水位的变化情况, 以澧县站、津市站、石龟山、南嘴及草尾 5 站 2013—2020 逐年 98%保证率水位为例, 计算得到各河段的枯水期水面比降(表 5)。

较短, 河床调整仍然在进行, 这些均为项目河段枯水位下降的原因。伴随着澧水石门至澧县航道建设工程的进一步实施及未来艳洲枢纽坝下揭家洲的疏挖, 项目河段枯水位还有进一步下降的可能, 待经历几个水文年的调整后, 其水位可能还会有小幅变化, 加之艳洲枢纽下游为天然河道, 船闸下游最低通航水位的取值在远期或将成为制约船闸通过能力的瓶颈。根据国内其他流域最末端水利枢纽(如长沙枢纽)下游河床的冲刷变化情况, 在确定该水位时需预留一部分水位下切值^[6-8]。以津市水文站多年统计的 95%保证率水位 27.73 m 作为艳洲近期坝下最低通航水位, 结合澧水下游的南嘴水文站位于西洞庭湖区, 其多年 95%保证率水位基本稳定在 26.25 m 附近, 故选取南嘴水文站多年 95%保证率水位 26.23 m, 也即在近期

水位基础上预留 1.5 m 水位下切值, 即 $27.73 \text{ m} - 1.5 \text{ m} = 26.23 \text{ m}$, 作为艳洲枢纽远期设计最低通航水位, 从而以湖区一个稳定水文站点的多年保证率水位成果来确保其远期下游最低通航水位能适应其坝下水位一定程度的下降。

4 结论

1) 近年来澧水艳洲枢纽坝下河段沿程典型水文站枯水期流量呈现出逐步增加的趋势, 其原因来自于三峡枢纽及其上游几大水库建成后对下游河道的枯期调蓄补水作用等。

2) 受人类采砂及近期航道疏浚等活动影响, 近年澧水下游澧县—石龟山河段枯水期保证率水位呈下降趋势, 其逐年水面比降有大幅度的下降, 津市水文站水位流量关系有一定程度的下切, 但津市、石龟山等站多年综合历时保证率水位变化却不大, 甚至还有增加的趋势, 其原因是上述水文站点枯水流量增加的现象掩盖了其同保证率枯水水位下降的事实。

3) 考虑到澧水艳洲枢纽为河流最末端梯级, 并且其下游天然河道还将进行航道整治工程。从远期发展角度出发, 为充分预留下游河道水位下降值, 综合该河段河床与枯水水位的变化原因及其变化趋势, 提出一种将下游较近水文站点(津市站)水位作为枢纽下游近期最低通航水位, 同时结

合下游较远西洞庭湖区稳定站点(南嘴站)的多年综合保证率水位作为枢纽远期下游最低通航水位(在近期水位基础上预留了下切值)的方法, 为其他类似河流末端梯级的枢纽确定下游最低通航水位有一定借鉴意义。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司.渠化工程枢纽总体设计规范: JTS 182-1—2009 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] 周作茂.长沙综合枢纽下游远期设计通航低水位论证分析[J].水利水运工程学报, 2012(4): 87-91.
- [3] 王冬, 李义天, 邓金运, 等.水库下游冲刷河道最低通航水位确定方法[J].水力发电学报, 2014, 33(1): 120-126.
- [4] 栾震宇, 施勇, 陈炼钢, 等.三峡工程蓄水前后长江中游水位流量变化分析[J].人民长江, 2009, 40(14): 44-46.
- [5] 李聪, 邓金运, 韩剑桥.三峡水库蓄水后长江中游航道设计水位变化研究[J].水运工程, 2015(2): 95-100.
- [6] 王军, 王义安, 于广年.松花江大顶子山航电枢纽坝下冲刷深度及水位降落研究[J].水道港口, 2011, 32(3): 197-201.
- [7] 张柏英, 李一兵.枢纽下游河床极限冲刷及水位降落研究进展[J].水道港口, 2009, 30(2): 101-107.
- [8] 陈一梅, 徐造林.水利枢纽下游河段设计最低通航水位推算方法探讨[J].东南大学学报(自然科学版), 2002(2): 259-263.

(本文编辑 武亚庆)

(上接第 127 页)

3) 为尽量提前警示船舶驾驶人员即将驶入小间距桥梁区水域, 有必要在桥梁的迎船面设置必要标示牌、助导航标志等。

参考文献:

- [1] 闵朝斌.对通航河流相邻桥梁合理间距的探讨[J].水运工程, 2006(4): 58-60.
- [2] 彭钜新.跨河桥梁通航标准的探讨[J].水运工程, 2008(3): 73-78.

- [3] 长江航道局.内河通航标准: GB 50139—2014[S].北京: 中国计划出版社, 2014.
- [4] 邱野.顺直及弯曲河道条件下桥群合理间距的分析[D].长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [5] 朱周巧.桥梁间距的合理性及选择方法研究[D].重庆: 重庆交通大学, 2013.
- [6] 颜毅.跨河桥梁间距的合理性研究[J].江西建材, 2015(21): 163-164.

(本文编辑 武亚庆)