

· 施工 ·



## 葛洲坝三江下引航道扩能施工方案对通航的影响

王晓春，余金燕

(长江三峡通航管理局，湖北 宜昌 443002)

**摘要：**为了解决三江引航道底高程与2#船闸门槛高程不匹配的问题，有效提升枯水期葛洲坝船闸通过能力，有必要实施葛洲坝三江下引航道扩能工程。鉴于葛洲坝船闸当前已处于饱和运行状态，为减少工程施工可能对通航造成的负面影响，在充分调研的基础上提出3套较具代表性的施工方案，并进行深入论证。结果表明，如综合考虑方案实施对施工水域通航安全影响、对船闸通过能力影响、施工工期等因素，全围堰干地施工方案优势明显；如侧重于考虑施工对沿江经济社会运行的影响，湿地施工方案则更具可行性。

**关键词：**葛洲坝；三江下引航道；施工方案；通航影响

中图分类号：U 641

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)03-0173-06

## Navigation influences of schemes for promotion construction project of Sanjiang downstream channel at Gezhouba Dam

WANG Xiaochun, YU Jinyan

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443002, China)

**Abstract:** To solve the problem that the mismatch between the bottom elevation of Sanjiang approach channel and the threshold elevation of No. 2 ship lock, it is necessary to implement the promotion construction project of Sanjiang downstream channel at Gezhouba Dam. The project can effectively improve the throughput of ship locks of Gezhouba Dam in dry season. Considering that ship locks of Gezhouba are currently in saturated operation, we propose three representative construction schemes on the basis of full investigation to reduce the possible negative influences of project construction on navigation, and proof in detail. The results show the all-cofferdam dryland construction scheme is the best one in no doubt if taking into account of various factors such as navigation safety and capacity, construction schedule and so on, while the wetland construction scheme is conversely the best one to uninterrupted the economic and social life along the Yangtze River.

**Keywords:** Gezhouba Dam; Sanjiang downstream channel; construction scheme; navigation influence

### 1 工程概况

葛洲坝三江引航道布置于葛洲坝水利枢纽的左侧，其下引航道维护底高程35.0 m（吴淞高程），葛洲坝2#船闸位于三江引航道内，其下人字门门槛高程34.0 m，相同水位条件下，引航道和船闸允许通过船舶吃水不同，当三江下引航道水位较低时，航道通过能力不满足船闸运行需要。三峡及葛洲坝枢纽通航建筑物运行实行联合调度，

葛洲坝1#、2#船闸主要与三峡南、北线船闸匹配运行。三峡船闸与葛洲坝1#船闸全年船舶控制吃水4.3 m，由于三江下引航道水深限制，葛洲坝2#船闸在枯水期无法满足船舶控制吃水4.3 m的要求，一般在3.5~3.8 m，这造成了枯水期大量船舶待闸的情况下，部分船舶吃水较大却不能通过三江引航道。虽然葛洲坝1#船闸满负荷运行，但三峡南、北线船闸和葛洲坝2#船闸在枯水期却

收稿日期：2022-06-15

作者简介：王晓春（1968—），男，硕士，高级工程师，从事水上交通工程研究。

出现无船安排、运行不足的情况。枯水期葛洲坝三江下引航道通过能力“瓶颈”问题一定程度上限制了葛洲坝 2# 船闸通过能力<sup>[1]</sup>，制约了三峡—葛洲坝枢纽通航效益的进一步发挥。

实施葛洲坝三江引航道扩能工程，对三江下引航道实施挖深，能彻底解决引航道底高程与 2# 船闸门槛高程不匹配问题。工程实施后，三峡—葛洲坝枢纽通过量可提升约 700 万 t，有效缓解船舶过坝供需矛盾。鉴于葛洲坝三江引航道扩能工程涉及面广、影响范围大，因而其施工方案选择应慎之又慎。本文在充分调研的基础上，提出 3 种较具代表性的施工方案，深入分析论证 3 种代表性施工方案对通航的影响，给出考虑不同侧重因素的相对较优方案。

## 2 葛洲坝三江引航道扩能工程

### 2.1 葛洲坝三江引航道扩能工程建设方案

葛洲坝三江上引航道满足全年船舶控制吃水 4.3 m 要求，因而三江引航道扩能工程主要针对三江下引航道进行挖深、扩宽及配套建设待闸设施<sup>[2]</sup>，工程建设方案兼顾三峡水运新通道和葛洲坝航运扩能工程：

1) 三江下引航道挖深。兼顾葛洲坝航运扩能工程，三江下引航道底部高程由 35.0 m 挖深至 31.5 m，挖深范围为整个三江下引航道，总长约 3.9 km。

2) 三江下引航道扩宽。基于航道现有航宽，三江下引航道局部扩宽 35~40 m，主要通过改航道现有左右岸斜坡式护坡为衡重式挡墙达到扩宽目的，扩宽范围为 2# 船闸下游靠船墩以下至航道口门区，总长约 2.6 km。

3) 配套建设待闸设施。2# 船闸下游增设 3 座靠船墩；三江桥以下至航道口门区分两段在航道两侧布设停靠段，设置靠泊及系缆设施。

### 2.2 葛洲坝三江引航道扩能工程施工方案

葛洲坝三江引航道扩能工程分为航道外施工和航道内施工两部分。航道外施工内容包括三江下引航道扩宽（三江引航道左右 40.0 m 以上高程

护坡开挖）、衡重式挡墙建设及引航道左右停靠段靠泊及系缆设施建设，航道内施工内容包括三江下引航道挖深、三江下引航道扩宽（三江引航道左右 40.0 m 以下高程护坡开挖）及在航道内建设 3 座靠船墩。为了减少施工影响，分别就航道内施工部分提出了具有可行性及代表性的 3 种方案。

#### 2.2.1 方案 1(湿地施工)

三江下引航道以航道中心线为界分为两幅，施工期间，航道半幅通航半幅施工<sup>[3]</sup>。根据施工量，工期为 13 个月。施工时段选择枯水期，两个枯水期完成。一期进行航道左半幅施工（图 1），施工时段为当年 11 月—次年 4 月；二期进行航道右半幅施工，施工时段为次年 10 月—后年 4 月。

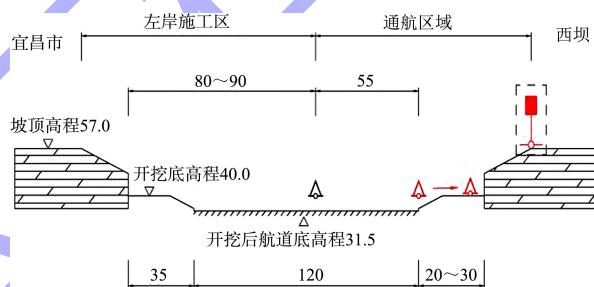


图 1 方案 1 左半幅施工期三江下引航道横截面 (单位: m)

三江下引航道半幅通航期，施工与通航边界设置浮标区隔开，岸坡上设置侧面岸标，航道实际维护航宽一期 55 m、二期 60 m。施工区域布设 8 个作业面，施工船舶约 30 艘。施工区域所对应船闸 2 个月无法通航，根据船闸分月通过能力，停航月份选择在通过能力最小的 12 和 1 月。

#### 2.2.2 方案 2(全围堰干地施工)

根据三江下引航道地形，在三江航道出口庙嘴布置一道土石围堰，在庙嘴土石围堰保护下进行施工，布置见图 2。施工期间主要完成以下工作：庙嘴土石围堰填筑；庙嘴土石围堰防渗墙施工；基坑抽水；航道岸坡退挖及航道基础下挖；靠船墩建设及部分衡重式挡墙建设；土石围堰拆除。根据工程量测算，施工工期约 5 个月，施工时段选择在中枯水期，即当年 11 月—次年 3 月。施工期间，葛洲坝 2#、3# 船闸停止运行。

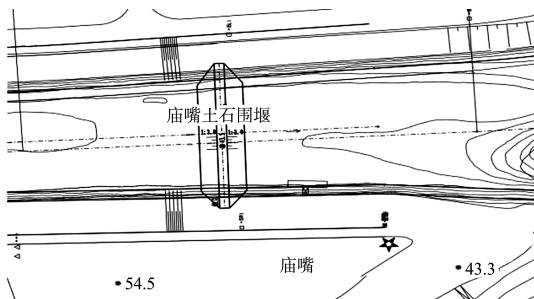


图2 方案2庙嘴土石围堰布置(单位:m)

### 2.2.3 方案3(分期围堰干地施工)

方案3采用航道左右分幅,施工时钢板桩或连续墙围堰沿三江航道中心线附近布置,保证通航侧航宽不小于75m<sup>[4-5]</sup>。施工分为两期,先施工左半幅(一期),再施工右半幅(二期)。

航道左半幅(一期)施工分为两段,其中一期一段上接3#船闸下导航墙,下至三江大桥以下约

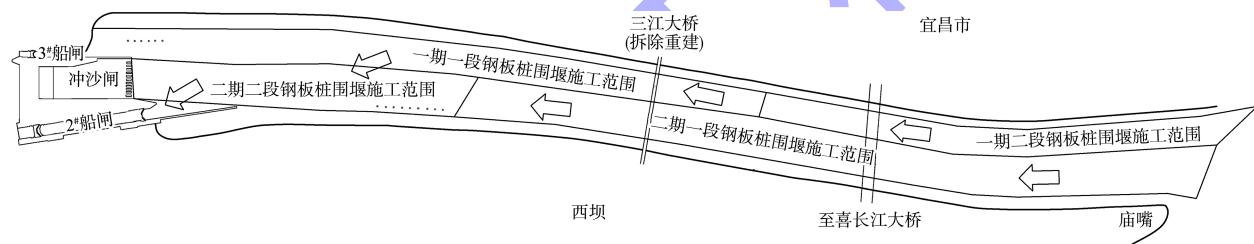


图3 方案3施工顺序

## 3 通航影响分析

### 3.1 对航道运行及施工水域通航安全的影响

分析近年来三江引航道通过船舶,其代表船型尺度可分为5类:130m×16.3m(长×宽)、110m×17.2m、105m×16.3m、88m×15.0m、88m×13.8m,依次为代表船型1~5。按照《内河通航标准》<sup>[6]</sup>,船舶航行,单线航道的直线段宽度应满足:

$$B_1 = B_f + 2d \quad (1)$$

$$B_f = B_s + L \sin \beta \quad (2)$$

双线航道的直线段宽度应满足:

$$B_2 = B_{fd} + B_{fu} + d_1 + d_2 + C \quad (3)$$

$$B_{fd} = B_{sd} + L_d \sin \beta \quad (4)$$

$$B_{fu} = B_{su} + L_u \sin \beta \quad (5)$$

式中:  $B_1$  为单线航宽, m;  $B_2$  为双线航宽, m;  $B_f$  为船舶航迹带宽度, m;  $d$  为船舶外舷至航道边缘的安全距离, 取  $0.34B_f$ , m;  $B_s$  为船舶宽度, m;  $L$  为船长, m;  $\beta$  为船舶或船队航行偏航角,

250 m 处, 该段施工期约3个月。一期二段上接一期一段下横向围堰, 下至三江航道口门航道中心线附近, 该段施工期约4个月。

航道右半幅(二期)施工同样分上下两段分别实施。二期一段利用一期二段保留的纵向围堰并向上游延伸与三江桥以上约480 m 处的横向围堰衔接, 形成二期一段围堰区, 该段施工期约3个月。二期二段围堰范围上接3#船闸下导航墙下至二期一段上横向围堰, 完成余下施工内容, 施工期约4个月。

为缩短围堰搭建施工工期, 三江下引航道两侧搭建钢平台辅助施工。施工期间, 葛洲坝1#~3#船闸停航3个月, 停航月份为当年1—3月; 2#船闸停航4个月, 停航月份为次年11月—后年2月。施工顺序及施工范围见图3。

取  $3^\circ$ ;  $B_{su}$ 、 $B_{sd}$  分别为航道双线通航时上、下行船舶宽度, m;  $B_{fu}$ 、 $B_{fd}$  分别为航道双线通航时上、下行船舶航迹带宽度, m;  $L_u$ 、 $L_d$  分别为上、下行船长, m;  $d_1$ 、 $d_2$  分别为上、下行船舶外舷至至航道边缘的安全距离, m;  $C$  为船舶会船时的安全距离, m,  $d_1+d_2+C$  取  $0.67(B_{fu}+B_{fd})$ 。

计算5类船型船舶在三江下引航道航行所需航道宽度, 结果见表1。

表1 三江下引航道通航所需航宽

代表船型	单向通航航宽/m	双向通航航宽/m
1	38.81	69.32~77.17
2	38.56	69.08~76.92
3	36.62	67.14~75.61
4	32.94	63.48~71.32
5	30.93	61.47~69.32

注: 计算航道双向通航航宽时, 以5类代表船型船舶两两组合进行测算。

方案 1 实施期间, 通航航宽 55~60 m, 三江下引航道可单向控制通航; 方案 2 航道阻断停止运行; 方案 3 通航航宽不低于 75 m, 通过船舶过坝调度组织, 避免 2 艘 130 m 长船舶或 1 艘 130 m 长和 1 艘 110 m 长在航道内会遇, 基本满足双向通航需求。

在通航安全方面, 采用施工方案 1, 三江下引航道施工船舶在掉头、回旋时占用一部分航道, 存在与航道内过闸船舶的碰撞风险; 采用施工方案 2, 通航水域内无作业船舶, 施工对通航安全基本无影响; 采用施工方案 3, 施工初、末期三江下引航道存在少量施工作业船舶, 施工对水域通航安全存在一定影响, 故在施工期间, 过闸船舶在下引航道航行应降低航速, 避免碰撞钢板桩, 影响施工安全。

### 3.2 对船闸运行的影响

枯水期, 葛洲坝 2# 船闸单向运行, 每日 2 次定时换向, 一般情况下闸次间隔时间为 90 min, 因上下游无靠船墩, 换向运行时闸次间隔延长, 其中下行换上行闸次间隔延长 30 min, 上行换下行闸次间隔延长 60 min<sup>[7]</sup>。葛洲坝 2# 船闸单向运行, 每日 4 次定时换向, 一般情况下闸次间隔时间为 90 min, 换向运行时闸次间隔无变化。葛洲坝 3# 船闸迎向运行, 辅助葛洲坝 1#、2# 船闸实现与三峡南、北线船闸及三峡升船机的调度平衡, 一般情况下闸次间隔时间为 45 min。

3 种施工方案实施对葛洲坝船闸运行产生不同程度的影响, 具体体现在船闸的通停航和每日运行闸次变化 2 个方面。采用方案 1, 葛洲坝 1# 船闸基本不受影响; 2# 船闸停航 2 个月, 其他非停航

施工时段, 因下引航道实施单向控制, 其下行换上行闸次间隔延长 60 min, 每日闸次将减少 1.33 个; 3# 船闸停航 2 个月, 其他非停航施工时段, 其下行换上行, 闸次间隔延长时间与葛洲坝 2# 船闸相同, 为 60 min, 由于枯水期 3# 船闸不饱和运行, 通过调度调整换向频次, 每日运行闸次不减少。采用方案 2, 施工期间葛洲坝 1# 船闸 48 h 换向一次, 每日闸次增加 0.83 个; 2#、3# 船闸整个施工期停止运行, 共停航 6 个月。采用方案 3, 葛洲坝 2# 船闸停航期间, 1# 船闸每日运行闸次增加 0.83 个, 其他施工时段闸次无变化; 2# 船闸停航 4 个月, 3# 船闸停航 5 个月, 其他非停航施工时段两船闸运行闸次无变化。

### 3.3 对枢纽通过量的影响

基于《船闸总体设计规范》<sup>[8]</sup>对单级船闸单向年过闸客货运量进行计算, 结合近年来葛洲坝船闸实际通过量情况进行模型构建, 葛洲坝船闸客货运量为:

$$P_i = 60 (t - t_i) N_i G_i \alpha_i / T_i \quad (6)$$

式中:  $P_i$  为计算周期内葛洲坝  $i$  船闸过闸客、货运量 ( $i=1, 2, 3$ ),  $t$ ;  $t$  为日运行时间, 取 24 h;  $t_i$  为葛洲坝  $i$  船闸每日换向增加闸次间隔时间, h;  $N_i$  为葛洲坝  $i$  船闸计算周期内折算通航时间, d;  $G_i$  为葛洲坝  $i$  船闸一次过闸平均最大参考载质量, t;  $\alpha_i$  为葛洲坝  $i$  船闸通过船舶装载系数;  $T_i$  为葛洲坝  $i$  船闸闸次间隔时间, min。

取近 5 年来葛洲坝 1#~3# 船闸关于式(6)的特征均值, 测算 3 种施工方案实施对葛洲坝船闸通过量影响, 数据见表 2。

表 2 施工对葛洲坝客货运量影响

施工 方案	阶段	1# 船闸客货运量/万 t			2# 船闸客货运量/万 t			3# 船闸客货运量/万 t			葛洲坝船闸总客货运量/万 t		
		施工期	正常期	变幅/%	施工期	正常期	变幅/%	施工期	正常期	变幅/%	施工期	正常期	变幅/%
1	工期 13 个月	8 422	8 344	0.93	5 023	6 589	-23.77	1 771	2 103	-15.79	15 216	17 037	-10.69
	2# 船闸停航期	1 394	1 316	5.93	0	1 040	-100	331.82	331.82	0	1 726	2 688	-35.79
	3# 船闸停航期	1 316	1 316	0	941	1 040	-9.52	0.00	331.82	-100	2 257	2 688	-16.03
2	工期 5 个月	3 396	3 206	5.93	0	2 532	-100	0	808	-100	3 396	6 546	-48.12
	工期 14 个月	9 174	9 023	1.67	5 114	7 126	-28.23	1 793	2 275	-21.19	16 081	18 424	-12.72
	2# 船闸停航期	2 699	2 548	5.93	0	2 012	-100	642	642	0	3 341	5 202	-35.77
3	3# 船闸停航期	1 911	1 911	0	1 509	1 509	0	0.00	482	-100	3 420	3 902	-12.35

注: 变幅为正, 表示施工期船闸客货运量增长; 变幅为负, 表示施工期船闸客货运量下降。

### 3.4 对船舶过闸航次周期的影响

船舶过闸航次周期是指船舶确认开始过闸排队至船舶发航过闸的时间间隔。饱和运行条件下, 影响船舶过闸航次周期的主要因素为船闸通过能力和船舶过闸航次需求, 且船闸通过能力变幅可等同于船闸客货通过量变幅。一段时期内, 船舶过闸航次需求基本稳定, 船舶过闸航次周期变化和与船闸通过能力(客货通过量)变幅呈线性关系, 见图4。

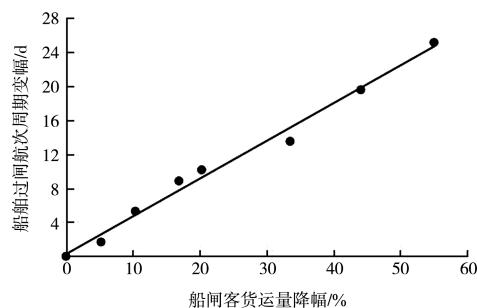


图4 船舶过闸航次周期变化和与船闸通过能力(客货通过量)变幅关系

根据图4的拟合曲线, 当葛洲坝船闸客货通过能力下降16.02%时, 船舶过闸航次周期增加6.12 d; 当葛洲坝船闸客货通过能力下降35.77%时, 船舶过闸航次周期增加15.12 d; 当葛洲坝船闸客货通过能力下降48.12%时, 船舶过闸航次周期增加20.21 d。

## 4 施工方案比选

### 4.1 方案1

1) 主要优点: 施工期间, 葛洲坝2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>船闸停航时间最短, 施工对船闸客货运输影响最小, 对长江干线水运物流及沿江经济社会发展影响最小。

2) 主要问题: 三江下引航道有效航宽减小, 航道实施单向控制, 航道通过能力降低; 施工与通航相互干扰, 下引航道有施工船舶30艘左右, 其中抛渣船在通航水域回旋掉头时与过闸船舶存在航路交叉, 碰撞风险大, 施工组织和船舶过坝交通组织统筹协调难度大。

### 4.2 方案2

1) 主要优点: 工期最短, 仅5个月, 施工对通航影响作用时段缩短; 施工与通航互不干扰, 围堰干地施工期间, 仅葛洲坝1<sup>#</sup>船闸单线运行, 施工在三江引航道下游进行, 施工对1<sup>#</sup>船闸运行无影响。

2) 主要问题: 葛洲坝船闸通过能力陡降, 短期内客货运量下降近一半, 对沿江经济运行影响大; 船闸通过能力陡降后, 通过能力与过坝需求矛盾更加突出, 民生物资保障难度增大; 船舶过闸航次周期延长至20 d以上, 且持续时间达5个月, 船舶待闸形势更为严峻, 安全维稳压力增大。

### 4.3 方案3

1) 主要优点: 施工对通航干扰较小, 除钢板桩围堰建设期间和工程扫尾期三江下引航道存在少量施工作业船舶, 其他时段围堰内干地施工, 施工期间对过往船舶影响较小; 与湿地施工方案相比, 三江下引航道有效航宽增加, 超过75 m, 可控制性实施双向通航, 船舶过坝交通组织难度减小。

2) 主要问题: 葛洲坝2<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>船闸停航时间较长, 略小于方案2, 2<sup>#</sup>船闸停航期间, 对沿江经济运行影响仍较大; 过坝船舶存在碰撞钢板桩的可能性, 施工水域船舶过坝组织难度增大。

### 4.4 方案选择建议

综合考虑3种施工方案实施对施工水域通航安全影响、对船闸通过能力影响、施工工期长短、施工组织难易及安全维稳压力等因素, 建议作为三江下引航道施工方案的优先顺序依次为: 方案2、3、1。

如侧重于考虑长江干线上、中、下由水运物流链的稳定及重点、民生物资过闸保障, 建议作为三江下引航道施工方案的优先顺序依次为: 方案1、3、2。

## 5 结论

1) 综合考虑方案实施对施工水域通航安全影响、对船闸通过能力影响、施工工期长短、施工组织难易及安全维稳压力等因素，方案 2 优势明显，但如侧重于考虑施工对沿江经济社会运行的影响，施工期客、货通过量降幅较少的方案 1、3 则更具可行性。

2) 葛洲坝三江引航道扩能工程分为航道内施工和航道外施工两部分，对现有枢纽通航运行产生不利影响的施工阶段主要集中在航道内施工部分，在进行工程施工组织设计时合理压缩该部分施工时间，可有效减少施工对现有枢纽通航运行的不利影响。

3) 受三江下引航道施工影响，三峡船闸和三峡升船机客货运量也将随葛洲坝船闸同步减少。建议结合两坝枢纽通航建筑物大修周期，合理安排施工工期，利用葛洲坝 2#、3# 船闸长时段停航时机，开展两坝枢纽通航建筑物计划性大修中耗时较长的工程，提高工程实施的综合效应。

(上接第 108 页)

## 4 结语

1) 综合考虑三峡枢纽航运扩能后两坝船闸通过能力及匹配运行要求、三峡枢纽河段通航调度组织需求、锚地现状情况等因素，研究提出了待闸锚地规划建设方案，其中坝上锚地规划建设时可根据船舶大型化程度分期实施。

2) 临江坪锚地位于中华鲟核心保护区，未来可在三峡枢纽航运扩能时同步实施葛洲坝坝下航道整治工程，提高枯水期维护水深，保障枢纽航运效益。如航道维护水深达不到 5.5 m 吃水要求时，需采取过驳减载手段对船舶进行吃水控制。

## 参考文献：

- [1] 张义军, 杨利. 三峡枢纽船闸年通过量亿吨后通过能力提升思考[J]. 中国水运, 2016(10): 28-29.
- [2] 朱旺峰. 葛洲坝三江下引航道挖潜效果分析[J]. 水运工程, 2022(3): 101-105, 110.
- [3] 长江勘测规划设计研究有限责任公司. 三峡水利枢纽水运新通道和葛洲坝枢纽航运扩能工程项目建议书[R]. 武汉: 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 2018.
- [4] 重庆交通大学. 葛洲坝左岸船闸改扩建方案施工期通航条件研究[R]. 重庆: 重庆交通大学, 2021.
- [5] 张绪进, 吴澎, 王召兵, 等. 三峡新通道研究进展及主要技术问题[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2016, 35(S1): 33-40.
- [6] 长江航道局, 中交水运规划设计院有限公司. 长江干线通航标准: JTS 180-4—2015[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [7] 吴蓉, 杨利, 胡赛军. 三峡—葛洲坝枢纽水运新通道联合运行方式研究[J]. 中国水运, 2020(12): 95-97.
- [8] 中交水运规划设计院. 船闸总体设计规范: JTJ 305—2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.

(本文编辑 王璁)

## 参考文献：

- [1] 朱俊凤. 三峡大坝至庙河河段待闸锚地建设规划研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2014.
- [2] 长江三峡通航管理局. 三峡枢纽河段通航交通组织及航运配套设施研究[R]. 宜昌: 长江三峡通航管理局, 2021.
- [3] 吴迪. 内河锚地设置关键要素研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2016.
- [4] 刘敬贤, 李昌伟, 刘文. 基于排队论的锚地规模论证分析[J]. 船海工程, 2009(4): 158-161.
- [5] 刘明俊, 刘佳仑, 周立. 基于排队论的三峡库区锚地容量分析[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2013, 37(1): 35-38.

(本文编辑 王传瑜)