



西江龙圩水道航道整治工程施工展布方案

陈艺

(广西壮族自治区梧州航道养护中心, 广西 梧州 543002)

摘要: 龙圩水道为枢纽坝下天然河道, 针对多线船闸大密度通航环境下航道整治施工问题, 进行了施工展布方案研究。通过分析河床水文、通航环境、航运状况和航道整治设计方案, 采用数学和物理模型研究得出, 大密度船舶通航、桥梁通航限制和施工降水是龙圩水道航道整治施工展布的难点。制定了“拓宽航道、半幅分层施工、半幅通航、通航交通管制”施工展布原则, 解决了施工与通航的矛盾, 确保了施工顺利推进和船舶通航安全。研究思路可供类似工程借鉴。

关键词: 龙圩水道; 航道整治; 施工展布方案

中图分类号: U617

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)09-0139-06

Construction layout scheme of Xijiang Longxu Waterway regulation project

CHEN Yi

(Wuzhou Waterway Maintenance Center, Guangxi Zhuang Autonomous Region, Wuzhou 543002, China)

Abstract: Longxu Waterway is a natural river under the hub dam. In view of the channel regulation and construction problems under the environment of large-density navigation of multi-line locks, this paper studies the construction layout scheme. Through the analysis of riverbed hydrology, navigation environment, shipping conditions, and channel regulation design scheme, the paper uses mathematical and physical models and concludes that large-density ship navigation, bridge navigation restrictions, and construction precipitation are three difficult points in the construction layout of Longxu Waterway regulation. Therefore, the paper formulates the construction layout principles of “widening the channel, half-section layered construction, half-section navigation, and navigation traffic control” to alleviate the contradiction between construction and navigation and ensure the smooth progress of construction and the safety of ship navigation. The research ideas can be used as a reference for similar projects.

Keywords: Longxu Waterway; channel regulation; construction layout scheme

1 工程概况

西江航运干线贵港—梧州3 000吨级航道工程的起点为贵港航运枢纽, 止于梧州界首, 建设内河3 000吨级航道290.5 km, 满足3 000吨级内河船舶、两排一列式一顶2×3 000吨级及一顶2×2 000吨级顶推船队通航。项目分两期实施:一期工程为自贵港航运枢纽至长洲水利枢纽坝上266.5 km库区航道;二期工程为自长洲水利枢纽坝下至梧州界首24 km天然航道。

龙圩水道为长洲水利枢纽坝下天然河道, 属

二期工程整治滩险之一。二期工程从上游长洲水利枢纽坝下至梧州界首依次为龙圩水道、洗马滩、鸡笼洲滩和界首滩。从长洲水利枢纽坝下至长洲尾为龙圩水道, 全长约7.8 km, 河面宽520~750 m, 河道较宽, 但是Ⅱ级航道整治工程在此段修建了11座丁坝, 枯水期宽400~500 m, 实际可通航宽度较窄。长洲枢纽建设前, 涠江流经枢纽坝址附近时, 江中泗化洲岛、长洲岛将浔江由南向北分为外江、中江、内江, 往下外江、中江汇合成龙圩水道, 龙圩水道与内江又汇合成浔江, 浔江与

收稿日期: 2022-11-23

作者简介: 陈艺 (1971—), 男, 高级工程师, 从事航道航标工程建设管理及养护。

桂江汇合成西江。龙圩水道航道起点与长洲水利枢纽4线船闸的下引航道连接。长洲水利枢纽规划建设6线船闸，是目前世界上内河河流中同一个断面船闸线数最多的枢纽，其中已建成运行一

线(2 000吨级)、二线(1 000吨级)、三/四线(3 000吨级)共4线船闸，近期拟建五线船闸，规划预留六线船闸。二期工程龙圩水道位置见图1。

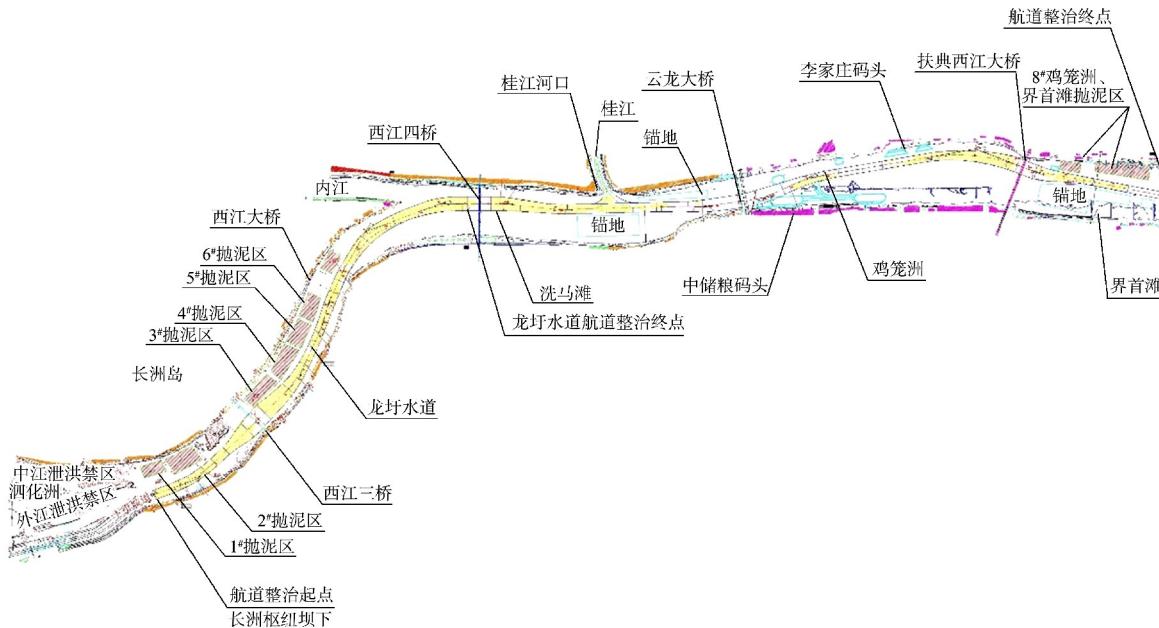


图1 二期工程龙圩水道位置

2 河床水文

2.1 河床演变

自长洲水利枢纽2007年以及贵港—梧州Ⅱ级航道2009年建成以来，分别于2010年3月、2013年5月、2018年3月、2019年3月对龙圩水道进行了4次全断面水下地形测量。对比分析水下地形测量结果表明^[1-2]，龙圩水道总体呈现以冲刷下切为主，其中船闸下引航道口门区、西江三桥桥区的河床明显变低，航道范围大部分区域冲刷幅度在1 m以内，根据现场调查主要为工程建设所致。

2.2 枢纽流量日调节水位变幅

长洲水利枢纽是一座以防洪发电为主兼顾航运的水利枢纽，具有日调节功能，日调节下泄流量不均衡。根据龙圩航道站水位观测资料统计，枯水期坝下航道水位日变幅一般为0.3~0.6 m，有时日变幅超过1.0 m，对坝下航道水深、过往船舶及施工均造成较大影响。

2.3 水流流态

二期工程开工前龙圩水道河段水流流态实测表明，西江大桥及上、下游转弯段存在紊流和横流，横流流速为0.3~0.5 m/s。水流从龙圩航道入口开始受枢纽电站水流影响，流向偏向右岸；流经西江大桥后，受地形突嘴影响，流向偏左岸。

3 通航环境

3.1 跨临河建筑物

1) 跨河建筑物。工程河段已建成跨河建筑物2座，分别是西江三桥和西江大桥，其主要技术参数见表1。

表1 桥梁主要技术参数

桥梁名称	孔数	净高/m	净宽/m	最高通航水位/m	重现期/a
西江三桥	双孔	13.0	166.2	26.39	20
西江大桥	双孔	10.0	65.0	24.60	10

2) 临河建筑物位于河道右岸，包括重力式码头1座、高桩码头1座、简易栈桥式码头3座；

工作墩船 2 艘；渡口 1 个；栈桥式水文站 1 座；水上渔民居住船舶十多艘。

3) 整治建筑物丁坝 11 座，位于河道左岸，枯水期丁坝和坝田全部露出水面。

3.2 航道现状

龙圩水道现状航道技术等级为Ⅱ级，航道主尺度为 $3.5\text{ m} \times 80\text{ m} \times 550\text{ m}$ (航道水深×航道宽度×弯曲半径)，2009 年 12 月建成投入使用，通航内河 2 000 吨级船舶，除桥区航道外，航道宽度仅为 80 m。设计最小通航流量：龙圩水道(外江) $845\text{ m}^3/\text{s}$ ，内江 $245\text{ m}^3/\text{s}$ ，桂江 $50\text{ m}^3/\text{s}$ ；汇流于梧州水文站流量 $1\,140\text{ m}^3/\text{s}$ 。龙圩水道航道起点设计水位 4.541 m ，设计航道底高程 0.741 m ；终点设计水位 3.291 m ，设计航道底高程 -0.509 m 。龙圩水道航道紧连长洲水利枢纽船闸下引航道，为船舶进出船闸咽喉要道，4 线船闸同时运营时，3~4 艘船舶同时同向或对遇时有出现，此时航道宽度明显不满足船舶通航的需要。

3.3 航运状况

自长洲水利枢纽 2007 年和贵港—梧州Ⅱ级航道 2009 年建成，航道通航条件得以改善。西江航运发展迅猛增长，自 2010 年开始，贵港—梧州水路运输货运量每年基本保持两位数的增长，至 2021 年船闸货物通过量再创新高，继 2020 年已连

续两年超过 1.5 亿 t，累计过货量位居全国天然河流第一。船舶航行密度较大，每天平均约有 500 艘船舶通过，高峰时接近 600 艘，平均约每 3 min 就有 1 艘船舶经过。船舶大型化发展趋势明显，目前已有吃水超过 5 m 的船舶，且不断增多。

4 航道整治方案

4.1 整治标准

龙圩水道航道按满足内河 3 000 吨级单船、两排一列式一顶 $2 \times 3\,000$ 吨级及一顶 $2 \times 2\,000$ 吨级顶推船队通航整治，设计航道尺度 $4.1\text{ m} \times 90\text{ m} \times 670\text{ m}$ (水深×宽度×最小弯曲半径)，设计富余水深 0.4 m 。

4.2 整治范围

龙圩水道疏浚炸礁区为长洲枢纽坝下引航道出口至长洲尾段共 7.745 km 。除西江三桥桥区航道(0.4 km)在桥梁建成前已按 3 000 吨级航道设计标准整治完成外，其余区域均需整治才能达到 3 000 吨级航道宽度。西江大桥为老旧桥梁，需加宽桥区航道并与通航孔平顺衔接，桥区外的龙圩水道航道宽度为 160 m，西江大桥至长洲尾河段为弯曲河段，对该段航线进行调顺，航道中心线向右移动 53 m ，同时对右侧航道再加宽。龙圩水道 3 000 吨级航道整治范围见图 2。



图 2 龙圩水道 3 000 吨级航道整治范围

4.3 设计参数

1) 设计流量。长洲水利枢纽 2007 年建成以来受枢纽清水下泄影响, 龙圩水道河床一直处于下切中, 河段水位不断下降, 龙圩水道 3 000 吨级航道起点断面设计最小通航流量为 $845 \text{ m}^3/\text{s}$ (外江), 终点断面设计最小通航流量为 $1 090 \text{ m}^3/\text{s}$ (外江 $845 \text{ m}^3/\text{s}$ +内江 $245 \text{ m}^3/\text{s}$)^[3]。

2) 设计水位及设计航道底高程。龙圩水道航道起点设计最低通航水位 2.01 m ^[4], 设计航道底高程 -1.49 m ; 龙圩水道航道终点长洲尾设计最低通航水位 1.35 m , 设计航道底高程 -3.15 m 。

3) 设计开挖工程量。疏浚工程量 126.61 m^3 , 一般炸礁工程量 169.05 万 m^3 , 控制爆破工程量 6.32 万 m^3 , 液压破碎工程量 9.67 万 m^3 。龙圩水道总设计开挖工程量为 311.65 万 m^3 。右半幅航道工程量大于左半幅航道, 比例约为 3:2; 右半幅航道开挖覆盖层及岩层厚度均大于左半幅航道。

4) 施工难点。西江大桥上、下游各有 250 m 的桥区航道需整治, 工程量 9.67 万 m^3 , 地质资料显示为花岗岩, 个别区域岩石厚度达 3 m , 设计施工工艺为液压破碎。由于岩石坚硬、厚度大, 液压破碎工艺施工效率低, 因此西江大桥桥区航道施工是龙圩水道航道整治施工进度的关键节点和难点。

4.4 整治前后水位变化

1) II 级航道枯水期设计水位呈逐年下降趋势^[5-6]。II 级航道建设时设计水位对应的梧州水文站流量 $1 140 \text{ m}^3/\text{s}$, 经分析观测数据, 2007—2011 年龙圩水道航道起点设计水位由 4.541 m 降至 3.600 m , 降幅达 0.941 m 。其后年际水位波动缓慢。至 2016 年左右水位出现明显的跌落, 设计水位跌至 2.810 m , 主要与三、四线船闸引航道的开挖以及梳齿坝南侧导流槽的开挖密切相关。其后, 受坝下河床冲淤, 水位波动频繁。2019 年设计水位 2.830 m , 较 2008 年 4.541 m 下降 1.711 m 。

2) 3 000 吨级航道整治前后水位变化工况采用梧州水文站流量 $1 118 \text{ m}^3/\text{s}$, 建立数学模型研究。结果表明, 实施 3 000 吨级航道整治后工程水

位下降, 最大降幅 0.705 m , 在龙圩水道起点。工程前后沿程水位变化见表 2。

表 2 工程前后沿程水位变化

里程/ m	工程前		工程后		水位 变化/m	备注
	水位/m	比降/%	水位/m	比降/%		
0	2.916	-	2.211	-	-0.705	龙圩水道起点
1 000	2.739	0.177	2.106	0.105	-0.633	-
2 000	2.473	0.266	1.998	0.107	-0.475	-
2 220	2.473	0.000	1.998	0.000	-0.475	西江三桥
3 000	2.346	0.162	1.957	0.053	-0.389	-
4 000	2.241	0.105	1.863	0.093	-0.378	-
4 842	2.047	0.230	1.772	0.108	-0.275	西江大桥
5 000	2.043	0.029	1.770	0.017	-0.273	-
7 839	1.843	0.041	1.626	0.033	-0.217	龙圩水道终点

5 施工展布方案及效果分析

5.1 施工影响因素

1) 施工与通航矛盾。3 000 吨级航道整治工程在现状 II 级航道基础上进行拓宽加深, 现状航道既是通航航道也是施工水域, 宽度仅 80 m , 而每天平均约有 500 艘船舶通过, 高峰时接近 600 艘, 通航密度大, 施工与通航矛盾突出。

2) 桥梁通航净宽限制。施工河段现有 2 座桥梁, 其中西江大桥属于 90 年代建成的老旧桥梁, 桥墩基础较浅, 设计单孔通航净宽 65 m , 不满足通航内河 2 000 吨级船舶单孔双向通航最小净宽 75 m 的要求, 限制了施工期采用单孔双向通航的施工展布方案。

3) 施工降水。航道整治开挖工程量巨大、开挖断面宽度为 II 级航道的 2 倍, 航道设计最低水位及底高程均比 II 级航道低。相同流量下, 3 000 吨级航道整治完成后, 龙圩航道起点设计水位比 II 级航道低 2.531 m , 设计航道底高程低 2.231 m ; 终点设计水位比 II 级航道低 1.941 m , 设计航道底高程低 2.641 m 。对比可见, 3 000 吨级航道整治开挖过程中引起降水是必然的。

5.2 施工展布原则

1) 确保施工与通航安全, 互不干扰, 通航优先; 2) 确保不因施工降水过快引起断航; 3) 确保施工期间不因水上交通管制严重降低航道通过能力。

5.3 实施方案

根据前文分析，围绕西江大桥桥区航道施工难点制定了“拓宽航道、半幅分层施工、半幅通航、通航交通管制”施工展布方案。半幅分层施工是为了防止施工降水过度引起断航；半幅通航是为了解决施工与通航矛盾；通航交通管制是由于西江大桥通航净宽不足采取的措施。为此需进行3次施工展布和航道调整才能完成整治任务。

5.3.1 拓宽航道

龙圩水道3 000吨级航道除桥区以外的航道宽度为160 m，Ⅱ级航道宽度为80 m，尚有80 m宽水域的水深不满足Ⅱ级航道设计水深要求，因此需先浚深达到要求，才能调整航道进入Ⅱ级航道内施工。

5.3.2 分层施工区域及参数确定

结合河床走势、流向、3 000吨级航道整治设计开挖工程量分布等，选取西江大桥桥区航道500 m、上游1 500 m、下游500 m共2 500 m作为分层施工控制段，拟定分层施工参数为上述区域右半幅航道施工至3 000吨级航道设计底高程1 m左右时，实施换幅。

物理模型^[7]试验验证结果显示：在西江四桥—界首段实施完成3 000吨级航道施工基础上，长洲水利枢纽坝下一四桥段（即龙圩水道）左半幅不施工作为临时航道，而右半幅封航施工至3 000吨级航道设计底高程之上1 m后，龙圩水道内枯水位发生不同程度降落，梧州水文站流量为1 500、2 000、2 500 m³/s时，龙圩水道水位最大降落分别为0.29、0.18、0.12 m，降落趋势随流量加大

趋小，梧州水文站流量大于2 500 m³/s时，左半幅临时通航航道水深方能基本满足Ⅱ级航道3.5 m水深要求。

综上，右半幅航道施工至3 000吨级航道设计底高程之上1 m后，换幅封航施工左半幅航道。

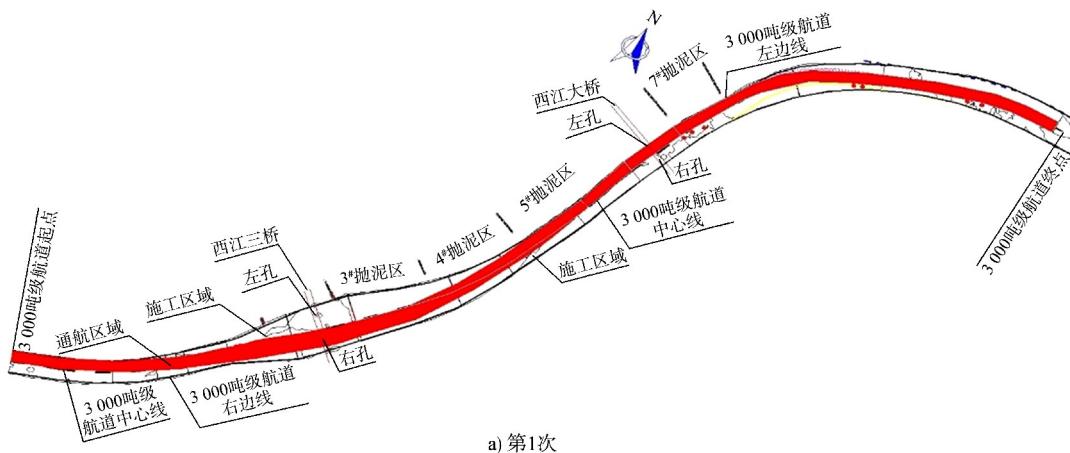
5.3.3 通航交通管制

西江大桥属老旧桥梁，设计单孔通航净宽仅为65 m，不满足通航内河2 000吨级船舶单孔双向通航最小净宽75 m的要求，2个通航孔也需整治才满足3 000吨级航道的设计要求，因此只能采取单孔单向通航，实施水上交通管制。

物理模型试验验证结果显示：长洲—界首段3 000吨级航道施工展布阶段，考虑到西江大桥左通航孔通航净宽仅65 m，小于Ⅱ级航道单向通航孔75 m要求，存在一定风险，为了确保施工期船舶单向通过大桥时的通航安全，航道、海事、船闸运营等部门施工期间对龙圩水道航道实行通航交通管制。

5.3.4 施工展布航道调整

图3为施工展布3次航道调整。第1次：封航施工西江大桥右孔及右半幅航道、左孔及左半幅航道通航，西江三桥右孔通航。第2次：西江大桥右半幅航道施工至设计航道底高程之上1 m后，封航施工西江大桥左孔及左半幅航道，右孔及右半幅航道通航，西江三桥调整为左孔通航。第3次：西江大桥左孔及左半幅航道施工达到3 000吨级航道设计标准时，封航施工右孔及右半幅剩余分层工程量，左孔及左半幅航道通航，西江三桥调整为右孔通航。



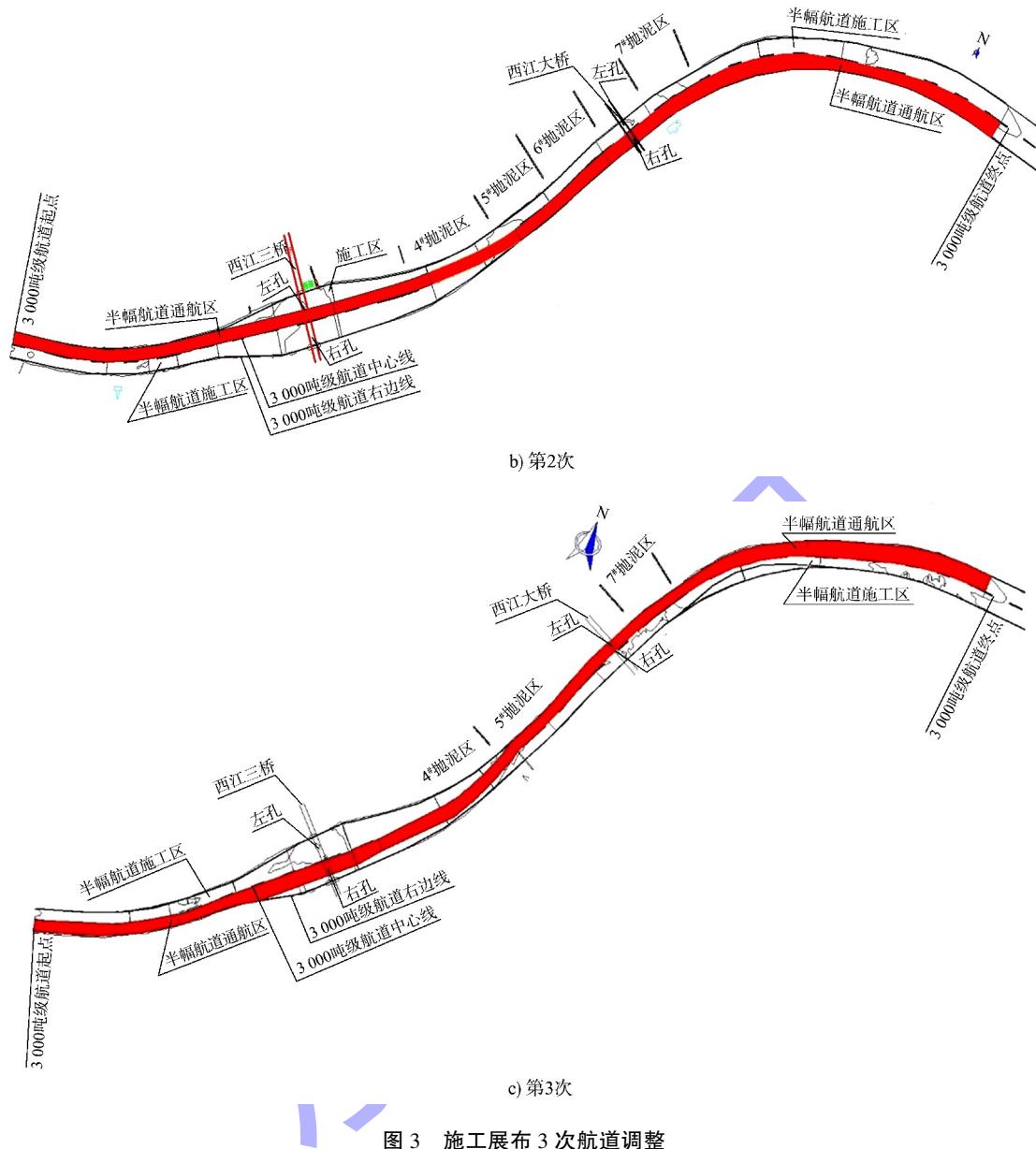


图 3 施工展布 3 次航道调整

5.3.5 桥区航道衔接要求

西江大桥为老旧桥梁，桥梁通航净宽不足，桥区航道水流紊乱，横向流速较大，为了确保船舶顺利通过桥区航道，根据 2 000 吨级船舶单船航行要求，西江大桥上游预留 1 000 m 航段作为船舶进入桥区航道调直段，下游预留 500 m 作为船舶调直驶离桥区的航道段。

5.4 效果分析

1) 有效解决了施工与通航矛盾。

①航运影响较小。施工期间方案试运行基本安全有序，实施单向通航试运行期间，船舶过闸数与正常调度时的日均最大过闸船舶数基本持平。

施工对航运基本没有影响。

②海损事故减少。施工展布方案实施以来船舶通航秩序良好，水上通航交通管制调度运行正常，没有发生船舶偏航搁浅等事故，也没有发生运输船舶碰撞施工船舶或施工船舶阻碍运输船舶通航的海损事故，相比同期海损事故明显减少，施工展布效果良好。

③施工进展顺利。截至 2022 年 11 月，施工进度已达 91.47%，西江大桥单孔单向通航交通管制将于 12 月底解除，3 000 吨级航道将于 12 月底开通试运行。

(下转第 150 页)