



柳江 II 级航道工程可行性研究

郑卫平

(柳州航道养护中心, 广西柳州 545006)

摘要: 柳江 II 级航道作为西南水运出海北线通道的重要组成部分, 但运力不足。根据整治河段自然资源分布、社会经济发展与工业布局现状及规划、航运发展前景对建设柳江 II 级航道进行可行性研究。建立柳江 II 级航道设计标准和设计原则, 依据通航率和航道等级, 提出一种计算航道尺寸的方法, 并基于柳江 II 级航道工程设计最低通航水位和河段分期水位-流量计算柳江 II 级航道流量, 根据 II 级航道弯曲半径的要求及使用和维护的便利性, 提出滩段航道线路方案, 实现全长 173 km 的 2 000 吨级 II 级航道建设, 根据运量预测 2025、2035、2050 年货运量分别为 2 670 万、4 810 万、6 500 万 t。

关键词: II 级航道; 航道流量; 通航水位; 运量预测

中图分类号: U612

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)01-0171-06

Feasibility of Liujiang class II waterway project

ZHENG Weiping

(Liuzhou Waterway Maintenance Center, Liuzhou 545006, China)

Abstract: The Liujiang class II waterway is an important part of the northbound route of southwest water transport to the sea, but the transportation capacity is insufficient. The feasibility study on the construction of the Liujiang class II waterway is carried out according to the distribution of natural resources of regulation river reach, the current situation and planning of social and economic development and industrial layout, and shipping development prospect. The design standards and principles of the Liujiang class II waterway are built. A method for calculating the size of the waterway are proposed according to the navigation rate and the class of the waterway, and the flow of Liujiang class II waterway is calculated on the basis of the minimum navigable water level and the stage water level-flow of the river section. The beach section waterway route scheme is proposed to realize the construction of a total length of 170 km and 2,000-ton level of class II waterway according to requirements of the bending radius of the class II waterway and the convenience of use and maintenance, in view of the freight volumes in 2025, 2035 and 2050 are 26.7 million tons, 48.1 million tons and 65 million tons respectively.

Keywords: class II waterway; waterway flow; navigable water level; traffic forecasting

柳江航道上游接融江、都柳江, 上游起点为凤山三江口, 下游通过黔江与西江航运干线连通。黔江上游起点为石龙三江口, 黔江在此与柳江、红水河连通, 下游在桂平三江口连接西江航运干线。柳江是黔、桂经西江航运干线通往华南沿海

的西南水运出海北线通道, 目前主要承担柳州、象州、武宣等港口的物资运输任务。随着融江、都柳江航道的打通, 柳江航道还将担负起黔桂与珠三角地区之间物资交流的运输任务。

柳江为柳州市境内的主要航运干流, 通过柳

收稿日期: 2024-04-07

作者简介: 郑卫平 (1986—), 男, 工程师, 从事航道设计、整治与维护, 航标设置与养护等。

江溯融江、都柳江而上可达贵州省，顺流而下可达梧州、广州及港澳地区。红花水利枢纽建成后柳江河段通航条件得到较大改善。目前，柳州以上库区航道局部已达Ⅱ级，但红花水电站—石龙三江口段航道仍然为Ⅵ级航道。受航道通航能力的限制，同时2016年红花枢纽二线船闸建设，受此影响柳州绝大多数水运货源都转移至来宾港的象州、武宣港区。通过对货源流量及流向的调查分析，目前柳江航道的水运量主要来自柳州港、来宾港象州港区进出港口的货运量。2010—2023年柳州港货物吞吐量见表1，柳江航道水运量见表2。

表1 2010—2023年柳州港货物吞吐量
Tab.1 Cargo throughput of Liuzhou
Port from 2010 to 2023

年份	出港/万 t	进港/万 t	总吞吐量/万 t
2010	187.00	2.07	189.07
2011	122.28	1.81	124.09
2012	194.54	2.15	196.69
2013	230.25	8.50	238.75
2014	242.09	10.21	252.30
2015	216.38	17.26	233.64
2016	116.59	11.99	128.58
2017	84.46	13.25	97.71
2018	42.85	2.37	45.22
2019	44.70	1.50	46.20
2020	43.75	1.55	45.30
2021	37.06	1.40	38.46
2022	12.96	1.10	14.06
2023	53.03	6.50	59.53

表2 2010—2023年柳江航道水运量
Tab.2 Water transport scale of Liujiang
Waterway from 2010 to 2023

年份	客运量		货运量	
	客运量/ 万人次	客运周转量/ (万人·km)	货运量/ 万 t	货运周转量/ (亿 t·km)
2010	12.70	174.00	479.30	25.85
2011	13.00	192.00	668.30	36.41
2012	5.90	84.00	342.30	19.32

续表2

年份	客运量		货运量	
	客运量/ 万人次	客运周转量/ (万人·km)	货运量/ 万 t	货运周转量/ (亿 t·km)
2013	13.60	164.00	780.40	44.46
2014	37.20	307.00	805.90	46.68
2015	22.05	200.00	728.20	37.96
2016	19.90	199.27	727.38	38.93
2017	16.98	169.83	753.30	39.65
2018	22.38	223.84	793.60	41.66
2019	19.92	298.88	875.30	43.87
2020	20.50	205.99	800.01	43.15
2021	15.55	162.35	600.72	32.73
2022	10.01	110.55	502.35	28.35
2023	20.45	208.58	805.45	45.89

通过对柳江沿线的柳州港、来宾港象州港区等地的船舶现状调查发现，航区现有运输方式为单船运输，没有顶推船队营运，并且货船船型有向大型化发展的趋势，最大已达2 000 t以上。航区内主要以广西籍船舶为主，航线多为经黔江、西江至珠江三角洲及港澳等地。2019年柳江红花枢纽过闸船舶1.010 6万艘，日均过闸船舶数量约30艘。柳江目前运输船舶的吨位以500~1 000吨级货船为主，最大已达2 000 t，针对柳江实施建设Ⅱ级航道迫在眉睫。柳江位于西江的上游，属于山区河流，河床质多为卵石或岩石，含沙量少，河床较为稳定，河岸地质为水成岩、黏土，岸线基本稳定，深泓摆幅小、滩槽位置稳定少变，河势总体稳定，此工程将解决柳江航道枯水期水浅问题，为柳江提升航道等级创造有利条件。

1 设计原则

1.1 货运量预测

根据整治河段自然资源分布、社会经济发展与工业布局现状及规划、航运发展前景等，对柳江货运量进行预测，结果见表3。

表 3 柳江航道货运量预测
Tab. 3 Freight volume forecast in Liujiang Waterway

年份	类型	货运量/万 t																	
		煤炭	石油	金属 矿石	钢铁	矿建 材料	水泥	木材	非金属 矿石	化肥 农药	粮食	机械设 备电器	商品 汽车	化工原 料制品	有色金属	轻工医 药产品	农副 产品	集装箱	货物 合计
2025 年	上行	133	10	225	0	62	0	6	19	24	5	26	45	0	19	10	71	75	730
	下行	47	0	0	540	153	90	9	71	86	0	384	225	45	71	35	109	75	1 940
	合计	180	10	225	540	215	90	15	90	110	5	410	270	45	90	45	180	150	2 670
2035 年	上行	242	20	495	0	133	0	13	45	44	15	68	81	0	35	18	111	100	1 420
	下行	88	0	0	910	267	165	17	140	156	0	692	359	90	140	67	199	100	3 390
	合计	330	20	495	910	400	165	30	185	200	15	760	440	90	175	85	310	200	4 810
2050 年	上行	331	35	660	0	144	0	23	66	60	30	113	107	0	48	26	132	125	1 900
	下行	154	0	30	1 220	316	280	17	214	220	0	947	443	115	212	114	283	125	4 690
	合计	485	35	690	1 220	460	280	40	280	280	30	1 060	550	115	260	140	415	250	6 590

1.2 船型设计

广西内河大多采用略大于航道等级相应吨位的船舶营运，枯水期减载航行、中洪水期满载航行以获取较好的航运经济效益。根据航道条件及广西内河船舶运输习惯以及预测柳江航道货种的构成情况，柳江 II 级航道设计代表船型采用西江航运干线过闸船舶标准船型主尺度系列中 2000 吨级货船及 GB 50139—2014《内河通航标准》^[1] 中 2 排 1 列式 2 000 吨级顶推船队。2 000 吨级设计代表船型尺度参数取值见表 4。

表 4 设计代表船型尺度参数取值

船型	总长/m	型宽/m	设计吃水/m
2 000 吨级顶推船队	182	16.2	2.6
2 000 吨级货船	72	14.0	3.5
2 000 吨级集装箱船	74	15.8	3.4

2 航道尺寸设计

2.1 航道水深设计

航道水深按以下公式计算：

$$H=T+\Delta H \quad (1)$$

式中： H 为航道水深，m； T 为船舶设计吃水，m，因设计代表船型中的单船满载吃水较大，根据航道条件和广西内河船舶运输习惯，船舶吃水取枯水期减载时的吃水，为 3.0 m，当航道水位接近设计水位时，船舶减载航行（载货率约 85%）； ΔH 为富余水深，取 0.5 m。

2.2 航道宽度设计

根据运输要求和航道条件^[2]，柳江 II 级航道采用双线航道，直线段宽度按以下公式计算：

$$B_2 = B_{Fd} + B_{Fu} + d_1 + d_2 + C \quad (2)$$

$$B_{Fd} = B_{Sd} + L_d \sin \beta \quad (3)$$

$$B_{Fu} = B_{Su} + L_u \sin \beta \quad (4)$$

式中： B_2 为双线航道宽度，m； B_{Fd} 为下行船舶或船队航迹带宽度，m； B_{Fu} 为上行船舶或船队航迹带宽度，m； d_1 为下行船舶或船队外舷至航道边缘的安全距离，m； d_2 为上行船舶或船队外舷至航道边缘的安全距离，m； C 为船舶或船队会船时的安全距离，m； B_{Sd} 为下行船舶或船队宽度，m； B_{Su} 为上行船舶或船队宽度，m； $d_1 + d_2 + C$ 为各安全距离之和，货船取 0.75 倍上行和下行航迹带宽度，船队取 0.55 倍上行和下行航迹带宽度； L_d 为下行顶推船队或货船长度，m； L_u 为上行顶推船队或货船长度，m； β 为航行漂角，取 3°。

参数取值及计算结果见表 5。

表 5 航道宽度公式参数取值及计算结果

Tab. 5 Calculation results and formula parameter values of channel width

船型	$L_d(L_u)/$ m	$B_{Sd}(B_{Su})/$ m	$B_{Fd}/$ m	$B_{Fu}/$ m	$(d_1 + d_2 + C)/$ m	$B_2/$ m
货船	72	14.0	17.7	17.7	26.6	62.2
集装箱船	74	15.8	19.7	19.7	29.5	68.9
船队	182	16.2	25.7	25.7	28.3	79.7

2.3 航道弯曲段设计

航道弯曲段宽度在直线段宽度的基础上加宽,其加宽值按下式计算:

$$\Delta B = L^2 / (2R + B) \quad (5)$$

式中: ΔB 为加宽值, m; L 为船长, m; R 为弯曲半径, m; B 为直线段航道宽度, m。

根据柳江航道条件及库区航道的特点, 重点考虑对弯曲半径小于 800 m 的弯曲段航道进行加宽, 加宽值按船队计算, 对于小麻子滩—新滩段, 考虑到开挖对降水影响较大, 适当减小加宽值。弯道加宽的方式根据航道水深、地形及水流条件确定, 条件许可时, 优先考虑在弯道内侧加宽。

不同弯曲半径航道加宽值计算结果见表 6。

表 6 航道加宽值计算结果

Tab. 6 Calculation results of waterway widening values

弯曲半径 R/m	400	440	480	550	600	670	700	800
加宽值 $\Delta B/m$	38	35	32	28	26	24	22	20

3 航道流量设计

3.1 航道高水位设计

枢纽上游河段设计最高通航水位采用重现期洪水与相应的汛期坝前水位组合, 以及坝前正常蓄水位或设计挡水位与相应的各级入库流量组合, 得出多组回水曲线, 取其上包线作为沿程各点的设计最高通航水位^[3-4]。设计最高通航水位应取洪水重现期 20 a 一遇, 但考虑到柳江属山区性河流, 洪水期水流急、流态差、洪峰历时较短的情况 (10 a 一遇洪水平均年停航时间约 0.5 d), 设计最高通航水位洪水重现期设计标准采用 10 a 一遇。

以红花枢纽库区为例说明通航高低水位设计方法。根据红花水库调度运行方式, 红花枢纽库区设计最高通航水位分两种工况: 工况 1-1, 发电

停止流量及其以下各级流量与相应蓄水位组合的回水上包线; 工况 1-2, 重现期 10 a 一遇的洪水 2.25 万 m^3/s 与相应的汛期坝前水位 80.19 m 组合。由于汛期柳州大桥水位须控制不超过 78.63 m, 相应流量为 9 600 m^3/s , 因此, 工况 1-1 计算的回水位较低, 回水上包线由工况 1-2 确定, 见表 7。

表 7 红花枢纽库区设计最高通航水位

Tab. 7 Designed highest navigable water level in Honghua Hub reservoir area

位置	距红花坝里程/km	回水线/m
坝址	0.000	80.19
立冲村	5.730	80.89
洛维村	12.440	81.70
阳和村	16.035	82.14
余家村上	21.965	82.71
三门江新渡口上 900 m	28.045	83.30
七里塘村下	35.360	84.00
八卦河码头下	41.550	84.60
板滩村下	44.590	84.89
鹧鸪江渡口下	48.645	85.28
白沙村	52.900	85.69
柳江大桥	58.085	86.19
水文站	60.520	86.67
双冲村	65.960	87.22
维义村	67.440	87.86
湘桂铁路桥	70.420	88.17
柳州水泥厂	72.275	88.53
新圩码头	72.340	88.54

3.2 航道低水位设计

根据红花枢纽水库运行方式, 红花枢纽库区设计最低通航水位分两种工况: 工况 2-1 采用入库流量 192 m^3/s 与相应的坝前死水位 77 m 组合; 工况 2-2 坝前挡水位与相应的各级入库流量组合坝前水位及入库流量组合见表 8, 计算结果取各种水位组合回水曲线的下包线, 见表 9。

表 8 柳江大桥控制水位不超过 78.5 m 时坝前水位-水库流量关系

Tab. 8 Relationship between water level in front of dam and flow when controlling water level below 78.5 m at Liujiang Bridge

坝前水位/m	77.5	77.0	76.5	76.0	75.5	75.0	74.5	74.0	73.5	73.0	72.5
柳江大桥水位 78.5 m 时相应入库流量/ $(m^3 \cdot s^{-1})$	4 800	5 800	6 600	7 200	7 800	8 200	8 600	8 900	9 200	9 400	9 600

表 9 红花枢纽库区设计最低通航水位
Tab. 9 Designed minimum navigable water level in Honghua Hub reservoir area

位置	距红花坝里程/km	设计最低通航水位/m
坝址	0.000	72.50
立冲村	5.730	72.96
洛维村	12.440	73.51
阳和村	16.035	73.80
余家村上	21.965	74.25
三门江新渡口上 900 m	28.045	74.72
七里塘村下	35.360	75.28
八卦河码头下	41.550	75.75
板滩村下	44.590	75.98
鹧鸪江渡口下	48.645	76.29
白沙村	52.900	76.61
柳江大桥	58.085	77.01
水文站	60.520	77.01
双冲村	65.960	77.02
维义村	67.440	77.02
湘桂铁路桥	70.420	77.02
柳州水泥厂	72.275	77.02
新圩码头	72.340	77.02

4 航道路线设计

根据 II 级航道弯曲半径的要求及大藤峡枢纽建成回水航道条件变化的局部航线进行调整，按照航道设计要求和满足适航性、安全性等要求，

表 10 锁匙筒滩航道线路方案比较

Tab. 10 Comparison of schemes in Suoshitong Beach channel

线路方案	工程量	航道适应性	施工条件	通航安全性	外部条件
方案 1-1(左汉)	现有航道,水深 2.0 m 以上,工程量较小	是主流所在汉,较稳定,航道适应性较好	施工期通航受影响	好	较好
方案 1-2(中汉)	新开航道,原水深浅,工程量较大	一般	施工期通航不受影响	好	较好

考虑左汉为现航道，经历年整治，工程开挖量小，航道较稳定^[8-10]，锁匙筒滩推荐方案 1-1，即原航道线路方案，线路布置见图 2。

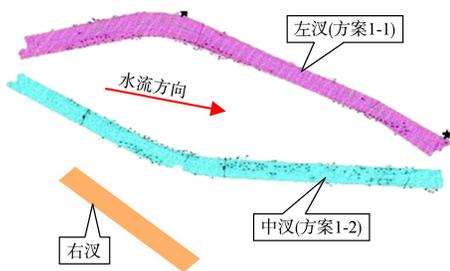


图 2 锁匙筒滩比选方案平面布置

Fig. 2 Layout of two comparison schemes in Suoshitong Beach

充分考虑使用和维护的便利性，尽可能加大弯曲半径^[5-7]，视需要调顺局部航线。在充分考虑必要性和可能性的基础上，全程提出锁匙筒滩和新滩两个滩段进行航道线路方案比选，柳江航道部分及两个滩段见图 1。

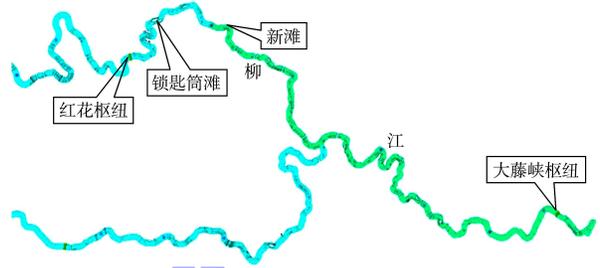


图 1 柳江航道及两个滩段

Fig. 1 Liujiang Channel and two beaches

4.1 锁匙筒滩

该滩段长约 3 km，分左、中、右 3 汉。左汉为主汉，枯水期分流比为 84.5%，现航道选在该汉；中汉为洪水航道，枯水期水深很浅，分流比为 10.8%；右汉较弯曲狭窄，左边分布有零星礁石，分流比为 4.7%。右汉由于条件较差，不宜开辟为新航道，现就左、中汉线路方案进行比选，见表 10。

4.2 新滩

新滩左边大沙洲边滩伸入河中，占据大部分河床，在新滩洲附近河势很弯曲，水流较急。本滩段在原航道在此有两个连续的反向弯道，平面上呈“S”形反弯，方案 2-2 拟将航道拉直，航道靠近左岸布置，避免连续多次转向，方案比较见表 11。

考虑新航道开挖工程量较大，原航道为习惯航道，加大弯曲半径后也能满足 550 m 的要求。因此，该滩推荐方案 2-1，线路布置见图 3。

表 11 新滩航道线路方案比较

Tab. 11 Comparison of schemes in Xintan Beach channel

线路方案	工程量	航道适应性	施工条件	通航安全	外部条件
方案 2-1 (原航道)	原有航道,水深 2.0 m 以上,工程量较小	航道与枯水主流流向一致,较稳定,适应性较好	施工期通航受影响较大	一般	较好
方案 2-2 (新航道)	新开航道,开挖长约 450 m 的浅段,工程量较大	直接连通上下深槽,基本为新挖航槽,适应性尚好	施工期通航受影响略小	航道顺直,通航安全性较好	较好

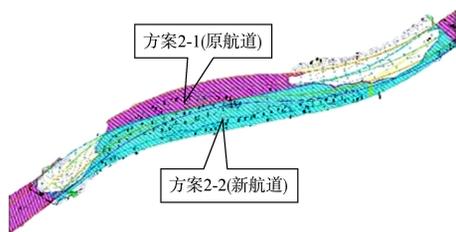


图 3 新滩比选方案平面布置

Fig. 3 Layout of two comparison schemes in Xintan Beach

5 项目收益

根据工程实施的时间安排,此次预测货运量的水平年为 2025、2035 和 2050 年。根据货物流量和流向分析可知,本工程货运量包括两部分运量,即若不实施本工程,除该水运量有一定增长(正常运输量)外,预测的货运量中将有部分短途货运量要采用其他的运输方式去完成(转移运量)。“有项目”时,本工程实施后,将使柳江航道通行能力达到 2 000 吨级;“无项目”时,若不实施本工程,柳江航道通行能力只能维持现状的 500 吨级,而无法承担过多运量,因此,腹地内的部分货运量必将转为其他运输方式,被转移的货物主要为矿材,考虑采用公路运输方式。柳江Ⅱ级航道建成后,173 km 航道将达到 2 000 吨级,航运效益主要体现为因航道通航条件提升,船舶大型化而节约的运输费用、部分转移至公路运输而增加的运输费用,见表 12。

表 12 节约的运输费用预测

Tab. 12 Forecast of saved transportation cost

水平年	船舶大型化运费节约		转移运量运费节约		合计	
	运量/ 万 t	节约效益/ 万元	运量/ 万 t	节约效益/ 万元	运量/ 万 t	节约效益/ 万元
2025	686	4 149	1 984	2 4791	2 670	28 760
2035	686	4 149	4 124	51 532	4 810	55 681
2050	686	4 149	5 814	72 649	6 500	76 798

6 结论

1) 柳江Ⅱ级航道工程的实施,对于提高柳江

航道等级、完善国家高等级航道网、改善航段通航条件、促进沿江经济社会发展、推动区域经济社会协调发展等具有积极作用。

2) 通过采取疏浚、炸礁、筑坝等工程措施在原有Ⅵ级航道基础上进行航道整治,能够使柳江航道达到Ⅱ级航道标准,在技术上是可行的。

3) 本工程实施后,柳江航道可提升至Ⅱ级航道标准,通航条件将得到较大改善,2 000 吨级船队经由柳州港可直达广东等“珠三角”地区,经济内部收益率大于社会折现率。

参考文献:

- [1] 长江航道局. 内河通航标准: GB 50139—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [2] 武汉长江船舶设计院有限公司, 交通运输部珠江航务管理局. 内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列第 3 部分: 西江航运干线: GB 38030. 3—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [3] 吴凌波, 祁永升. 黄河兰州城区段航道设计通航水位分析[J]. 水运工程, 2023(9): 119-125.
- [4] 沈保根, 陈建军. 涡河安徽段航道设计最高通航水位分析方法探讨[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(4): 130-132.
- [5] 刘晓辉, 张文忠. 黄河三盛公库区河段桥梁通航水位分析[J]. 中国港湾建设, 2023, 43(2): 61-65.
- [6] 陈艺, 黄贤智. 长洲枢纽坝下 3000 吨级航道设计最低通航水位可靠性研究[J]. 珠江水运, 2023(8): 3-5.
- [7] 覃昌佩, 何修伟, 邓涯, 等. 西江长洲枢纽库尾段采砂工程对航道通航水流条件的影响[J]. 水运工程, 2022(2): 147-152, 213.
- [8] 李顺超, 张有林, 何熙, 等. 岷江下段航道典型滩险整治技术[J]. 水运工程, 2020(4): 84-91.
- [9] 陈婷婷, 胡阳, 周玉洁, 等. 航道疏浚对复杂桥群河段通航水流条件影响的试验研究[J]. 水运工程, 2022(9): 99-105, 111.
- [10] 于广年. 黄河上游典型崩岸碍航河段航道整治[J]. 水运工程, 2021(11): 111-115, 158.

(本文编辑 王璁)