

涉铁桥群河段航道设计及通航安全保障措施



江 涛¹, 王宗传², 杨奕健³

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 江苏省交通运输厅港航事业发展中心, 江苏 南京 210004;
3. 广西纳海交通设计咨询有限公司, 广西 南宁 530200)

摘要: 针对来桂航道铁路桥梁通航净空尺度不能满足通航要求、铁路一桥、二桥年代久远且存在地质病害、改建铁路桥投资巨大等问题, 确定了涉铁段不整治情况下的水位计算控制工况, 依据水文测验资料和水位计算成果, 建立了涉铁段航道与上游迁江水文站的水位-流量相关关系。通过流量保证率分析确定了铁路桥通航净高尺度和航道宽度不足影响的年通航天数为 35.3 d。结合近期船舶流量较小的特点, 确定了近期单线通航、中远期除铁路桥外双线通航方案, 并分别在上下游布置了应急停靠点。提出布设监控、桥梁防撞、助航、交通安全标志等通航安全保障措施和通航规则建议, 可供类似涉铁航道设计借鉴。

关键词: 涉铁桥群河段; 单线通航; 双向通航; 平面布置; 应急停靠点; 通航安全保障措施

中图分类号: U641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)09-0112-07

Channel design and navigation safety guarantee measures for reach of railway-related bridge group

JIANG Tao¹, WANG Zongchuan², YANG Yijian³

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Port and Waterway Development Center, Department of Transportation of Jiangsu Province, Nanjing 210004, China;

3. Guangxi Nahai Communications Design & Consultancy Co., Ltd., Nanning 530200, China)

Abstract: Since the navigable clearance scale of the railway bridges in the Laibin-Guiping Channel cannot meet the navigation requirements, and the first and second railway bridges are old and have geological diseases, the investment in the reconstruction of railway bridges is huge, and thus this paper determines the water level calculation control condition under the condition that the railway-related reach is not renovated. Based on the hydrological test data and water level calculation results, this paper establishes the water level-flow correlation between the channel in the railway-related reach and the upstream Qianjiang hydrologic station. Through the analysis of the flow assurance rate, the paper determines that the annual navigation days affected by the insufficient navigable height scale of railway bridges and channel width are 35.3. According to the characteristics of small ship flow in the near future, this paper determines the scheme of single-way navigation in the near future and double-way navigation except railway bridges in the medium and long term and arranges emergency berthing points at upstream and downstream respectively. The paper also puts forward suggestions on navigation safety guarantee measures and navigation rules such as layout monitoring, bridge anti-collision, navigation aid, and traffic safety signs, which can be used for reference in similar railway-related channel designs.

Keywords: reach of railway-related bridge group; single-way navigation; double-way navigation; plane layout; emergency berthing point; navigation safety guarantee measures

收稿日期: 2022-11-18

作者简介: 江涛 (1983—), 男, 硕士, 正高级工程师, 从事水运工程、岩土工程的规划、咨询和设计工作。

1 航道概况

来宾—桂平2 000吨级航道工程(简称“来桂航道”)起点位于来宾港兴宾港区宾港作业区,终点位于桂平两江汇流口段,航道长度为193.88 km,其中大藤峡枢纽上游的航道设计尺度为3.5 m×80 m×550 m(最小水深×底宽×弯曲半径),开挖水深为3.8 m^[1]。

红水河段来宾城区附近有永鑫大桥、马滩红

水河特大桥、湘桂铁路红水河大桥(简称“铁路一桥”)、湘桂铁路二线红水河斜拉桥(简称“铁路二桥”)、柳南铁路柳州—南宁段来宾红水河双线特大桥(简称“高铁桥”)组成的桥群航段,其中3座铁路桥相距约550 m。根据《铁路安全管理条例》^[2]第三十四条的要求计算,来桂航道涉铁桥区段(简称“涉铁段”)共计约2.62 km,见图1。



图1 涉铁段航道位置

2 航道通航条件分析

2.1 航道现状及存在问题

来桂航道涉铁桥群河段自上而下已建5座桥梁,通航技术参数见表1。根据表2的设计代表船型,依据《内河通航标准》^[3]及相关规定计算并考虑航道的限制条件,确定既有涉铁桥群河段桥梁单向和双向通航净宽按不小于60 m和120 m控制,根据桥梁及运营船舶现状情况,通航净高取不小于13 m。铁路一桥、二桥通航净高均不满足要求,通航净宽仅基本满足单向通航要求,且建设年代久远,存在地质病害。若按照2 000吨级航道标准开展整治,涉铁段内2座铁路桥梁均需改建,且在新铁路桥建成前老铁路桥不能断行,新线路涉及大范围征地拆迁,涉铁段均需采用液压破碎等影响小的施工工艺,投资巨大。

表1 已建跨河桥梁通航技术参数

桥梁名称	航道最高通航水位/m	通航孔数	桥跨/m	净高/m	净空尺度/m		
					净宽	上底宽	侧高
永鑫大桥	75.47	1	172	13.00	172	141	6.00
铁路一桥	75.36	1	85	7.37	60	60	7.37
铁路二桥	75.23	1	92	9.35	60	60	9.35
高铁桥	75.23	1	134	19.50	120	101	18.00
马滩红水河特大桥	75.04	1	320	13.00	220	220	8.00

表2 涉铁段航道设计代表船型尺度

船型	总长/m	型宽/m	设计吃水/m
2 000 t 货船	66	15.6	3.5
XJ-H6 货船	74	14.0	3.5~3.6
XJ-J6 集装箱船	74	15.8	3.4

2.2 航道碍航特性及通航条件

2.2.1 航道碍航特性

涉铁段航道地形复杂,航道地质为灰岩,存

在航道蜿蜒曲折、适航水域狭窄，河道局部水深较浅，凸嘴较多等问题，特别是 3 座铁路桥均位于河道狭窄位置，能满足最低通航水位安全通航的航道宽度仅为 42~70 m，局部可达 80 m。

2.2.2 水位分析

1) 大藤峡水利枢纽运行方式。涉铁段航道位于大藤峡水利枢纽回水变动区范围内，受枢纽调度运行方式影响，1985 高程下的调度运行方式见表 3。

表 3 大藤峡枢纽调度运行方式

时期	流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)	水位/m
汛期 (6—8月)	$Q \leq 20000$	47.76
	$Q > 20000$	44.16
	$Q \leq 5000$	59.76
汛期 (5、9月)	$5000 < Q \leq 14000$	53.76
	$14000 < Q \leq 20000$	47.76
	$Q > 20000$	44.16
	$Q \leq 4500$	61.16
	$4500 < Q \leq 6000$	59.76
非汛期 (10月—翌年3月)	$6000 < Q \leq 8000$	57.76
	$8000 < Q \leq 11000$	54.76
	$Q > 11000$	47.76
	$Q \leq 6000$	59.76
非汛期 (4月)	$6000 < Q \leq 8000$	57.76
	$Q > 8000$	54.76

2) 水位计算控制工况。根据文献[4]的计算方法确定涉铁段 2.62 km 相应断面位置的通航特征水位，见图 2。航道宽度 80~100 m 范围的凸嘴和礁石底高程在 53 m 左右，在航道水位 56.8 m 及以上时可不整治通航。根据表 3，只有汛期(6—8 月)、汛期(5、9 月)流量大于 $5000 m^3/s$ 、非汛期流量大于 $8000 m^3/s$ 时，坝前水位低于 56.8 m，其余时间坝前水位均高于 57.76 m，满足不整治条件所需要的最低水位 56.8 m，因此重点分析汛期(6—8 月)满足航道水位 56.8 m 对应的流量、汛期(5、9 月)流量 $5000 m^3/s$ 、非汛期流量 $8000 m^3/s$ 几种工况，见表 4，其中红水河迁江水文站位于涉铁桥区段上游约 29 km，黔江武宣水文站位于其下游约 102 km，大藤峡枢纽坝址位于其下游约 168 km。

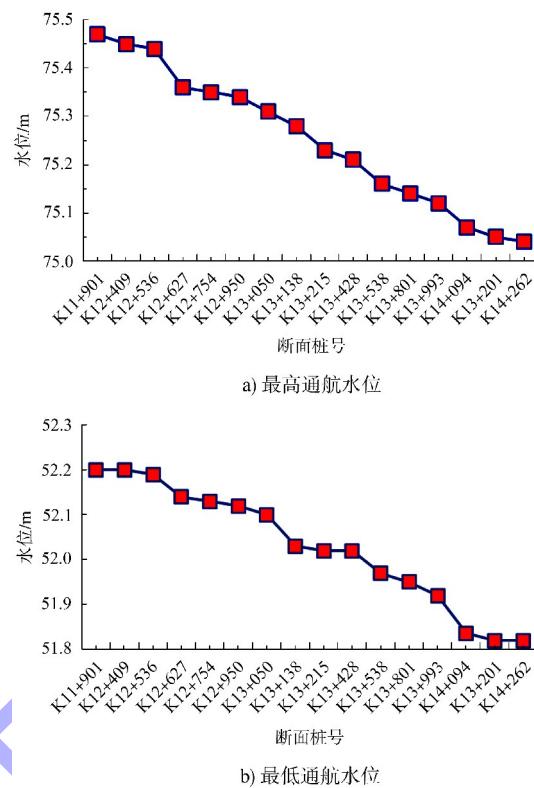


图 2 涉铁段设计最高和最低通航水位

表 4 涉铁段不整治情况下的水位计算控制工况

工况	计算工况
1	汛期(6—8月)迁江站保证率 80% 流量 $2280 m^3/s$, 大藤峡坝前水位 47.76 m
2	汛期(6—8月)迁江站保证率 85% 流量 $2090 m^3/s$, 大藤峡坝前水位 47.76 m
3	汛期(5、9月)武宣站流量 $5000 < Q \leq 14000 m^3/s$, 大藤峡坝前水位 53.76 m
4	非汛期(10月—翌年4月)武宣站流量 $8000 m^3/s$, 大藤峡坝前水位 54.76 m

3) 水位分析。根据迁江水文站 1990—2014 年逐日径流系列统计资料，其水位-流量关系见图 3，从图中可看出，其全年水位均高于 55.4 m，可认为当大藤峡坝前水位降至 54.76 m 以下时，迁江水文站河段已恢复天然状态。为推算涉铁段水位与迁江水文站对应水位关系，结合 3 次水文测验资料^[5]及大藤峡枢纽的水文计算成果^[6]，求得对应工况 1、2 的分析成果见表 5，可见在汛期 6—8 月涉铁段 85% 保证率下仅 K13+538—K14+262 断面水位略低于 56.8 m，80% 保证率下均高于 56.8 m。

表5 涉铁段水位与迁江水文站水位

断面桩号	大藤峡水利枢纽计算水位/m					来桂航道计算水位/m		实测水位/m			汛期6—8月水位/m	
	$P=50\%$	$P=20\%$	$P=10\%$	$P=5\%$	$P=10\%$	正常蓄水位	汛期6—8月	2016年3月	2016年11月	2017年1月	$Q=2\,090\text{ m}^3/\text{s}$, $P=85\%$	$Q=2\,280\text{ m}^3/\text{s}$, $P=80\%$
K14+262	71.67	74.83	76.35	77.68	75.04	62.63	51.82	53.81	51.50	52.47	56.67	57.26
K14+094	71.68	74.84	76.36	77.69	75.05	62.63	51.82	53.90	51.50	52.47	56.68	57.27
K13+993	71.70	74.86	76.39	77.72	75.07	62.64	51.84	53.96	51.50	52.48	56.70	57.30
K13+801	71.72	74.88	76.40	77.73	75.12	62.67	51.92	54.00	51.51	52.50	56.74	57.33
K13+538	71.76	74.91	76.44	77.76	75.14	62.69	51.95	54.08	51.54	52.55	56.78	57.37
K13+428	71.81	74.96	76.48	77.81	75.16	62.73	51.97	54.20	51.57	52.62	56.83	57.42
K13+215	71.83	74.98	76.50	77.83	75.21	62.75	52.02	54.25	51.58	52.65	56.87	57.46
K13+201	71.89	75.04	76.56	77.88	75.28	62.79	52.10	54.38	51.62	52.74	56.94	57.53
K13+138	71.90	75.06	76.57	77.89	75.31	62.80	52.12	54.42	51.63	52.77	56.96	57.56
K13+050	71.92	75.07	76.59	77.91	75.34	62.82	52.12	54.47	51.63	52.80	56.98	57.57
K12+950	71.96	75.11	76.62	77.94	75.35	62.84	52.13	54.45	51.65	52.87	57.00	57.59
K12+754	71.99	75.14	76.65	77.97	75.36	62.84	52.14	54.49	51.68	52.91	57.02	57.62
K12+536	72.04	75.19	76.69	78.01	75.45	62.88	52.20	54.61	51.72	52.99	57.09	57.69
K11+901	72.13	75.27	76.78	78.10	75.57	62.88	52.20	54.64	51.72	52.99	57.11	57.71
迁江水文站	81.30	83.64	84.85	86.00	84.92	67.56	61.04	64.19	61.03	61.90	65.56	66.15

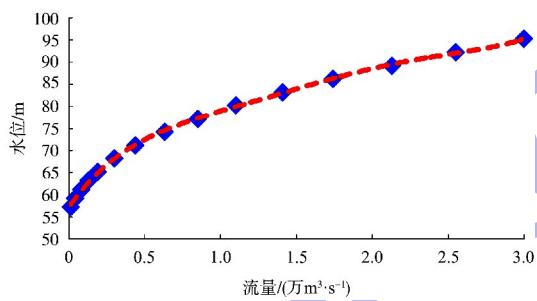


图3 迁江水文站水位-流量关系曲线

2.2.3 通航条件影响分析

1) 铁路桥通航净高不足的影响。根据表1可知,铁路一桥、二桥的通航净孔高度仅7.37 m和9.35 m,考虑到两者之间仅约550 m,通航限制水位按铁路一桥的限制水位69.67 m控制。

铁路一桥可采用K12+754断面水位,根据涉铁段与迁江水文站水位相关关系,该断面水位达到69.67 m时,迁江水文站水位约78 m,对应流量约9 200 m^3/s ,全年保证率约2%,全年约占7.3 d。

2) 铁路桥通航净空不足的影响。该因素的影响不受水位变化而变化,如要根本解决铁路桥碍航问题,需开展桥梁整治,但改建2座铁路桥影响巨大,约需增加投资近20亿元。因此可以采用

单线限制性通航和加装防撞设施以节约投资。

3) 涉铁段航道宽度不足的影响。

①控制工况1和2——汛期(6—8月):表5为航道整治前汛期6—8月保证率为85%和80%流量下对应的水位,考虑航道开挖降水值0.3 m,航道整治后,汛期6—8月保证率为85%对应水位为56.37~56.81 m。除K11+901断面外,其余断面水位均低于56.80 m,无法完全满足双向通航要求;汛期6—8月保证率为80%对应水位为56.96~57.41 m,高于56.80 m,此时除铁路桥桥位处均满足双向通航要求。故约20%天数需单向通航,共计18.4 d。

②控制工况3——汛期(5、9月):根据武宣站流量统计资料,汛期5、9月期间流量达到5 000 m^3/s 的天数保证率约28%,折合天数17.1 d。同期迁江站流量达到2 280 m^3/s 的保证率约43.6%,故约56.4%天数需单向通航,共计9.6 d。

③控制工况4——非汛期(10月—翌年4月):根据武宣站流量统计资料,期间流量达到8 000 m^3/s 的天数非常少,保证率仅约0.1%,折合天数0.2 d。同期迁江站流量达到2 280 m^3/s 的保证率高达90%,故约10%天数需单向通航,共计0.02 d。

综上,涉铁段航道长约 0.7 km 航道在水位低于 56.8 m 时,航道宽度无法达到 80 m 设计底宽的要求,共计 28.02 d 需全线单向通航。

4) 综合评价。

①通航保证率分析。涉铁段航道通航条件受影响的时间合计约 35.3 d,若不整治,除铁路桥下外双向全年通航保证率仍可达 90.3%。

②通过能力分析。涉铁段下游作业区的船舶基本不通过此段,若不整治,仅对上游宾港作业区、大村码头作业区、白鹤隘作业区及桥巩船闸上游的相关作业区运营产生一定影响。宾港作业区建成 4 个 500 吨级和 6 个 1 000 吨级泊位,设计年吞吐量 286 万 t,运营天数 320 d,年靠泊船舶数量约 3 575 艘次,平均每天靠泊约 12 艘次,按当天装卸完成,则通过涉铁段船舶数量为 24 艘次/d;大村作业区规划建设 3 个 2 000~3 000 吨级泊位,设计年吞吐量 120 万 t,年靠泊船舶数量约 480 艘次,通过涉铁段船舶数量为 3 艘次/d;白鹤隘作业区规划建设 3 个 2 000~3 000 吨级泊位,设计年吞吐量 120 万 t,年靠泊船舶数量约 480 艘次,通过涉铁段船舶数量为 3 艘次/d。通过涉铁段的船舶合计约 30 艘次/d。大藤峡枢纽建成后,枯水期通航水流条件得到极大改善,船舶不再需要集中在中洪水期通航,各时段通航船舶的数量将趋于平均,从通航安全的角度考虑不平衡系数取 1.5,则涉铁段通过的船舶数量按 45 艘计。

根据上游桥巩船闸的统计资料,2009—2021 年间,桥巩船闸年过闸船舶数量为 236~791 艘次。按船闸运行 320 d 计,平均每天通过 0.74~2.47 艘次,其中汛期 6—8 月平均每天通过 0.51~2.88 艘次,按 3 艘次/d 计。

近期,日通过本航段的船舶数量最大为 48 艘,平均约 2 艘/h,船流量较小,单向通航亦可满足船舶通航要求。一年之中满足除铁路桥局部外双向通航的时间保证率可达 90.3%,其余时间可满足单向通航。

2.3 解决方案思路

从水位分析可知,高水位条件下,涉铁段除铁路桥局部外可双向通航、低水位可单向限制性通航,因此涉铁桥群河段航道的整治思路为不开展航道整治工程。结合船舶通过量情况,近期按照全年单向通航布置航道平面,在涉铁段上下游各设置 1 个应急停靠点,供铁路桥通航净高不足时船舶临时停靠;待中远期船舶通过量提高之后,高水位时双向通航布置航道平面、低水位时恢复单向通航,水位在 56.8 m 时移动浮标,以满足安全要求。为确保涉铁桥群河段的航道通航安全,需考虑相应安全保障措施,如设置相应助航标志和交通安全标志及监控、制定航行规则、建设桥梁防碰撞设施等。

3 航道平面布置

3.1 航道平面

综合考虑铁路部门要求涉铁段不能开展炸礁施工、航道设计需满足适航性和安全性等要求,同时考虑航槽的稳定性,布置航道线路。

根据《内河通航标准》,计算航道水深为 3.5 m,开挖水深为 3.8 m;计算双线航道和单线航道宽度分别为 68.9、33.4 m,为与广西其他 2 000 吨级航道标准统一,双线航道和单线航道宽度分别取为 80、40 m;弯曲半径不小于 450 m。

考虑涉铁段近期单向通航可满足通过能力需求,近期航道布置方案为:永鑫大桥上游 250 m 至下游 300 m 航道宽度 70 m、铁路一桥上游 150 m 至高铁桥下 300 m 航道宽度 45 m、下段航道宽度 42 m,至终点段航道宽度为 80 m,全线单向通航,宽窄衔接处均采用 1:15~1:20 顺接,见图 4a)。中远期按照双向通航布置:起点至永鑫大桥下游 400 m 航道宽度 80 m、铁路一桥上下游约 100 m 航道宽度 60 m、铁路二桥和高铁桥上下游约 500 m 航道宽度为 60 m、其余 1.8 km 航道宽度为 80 m,宽窄衔接处均采用 1:15~1:20 顺接。见图 4b)。

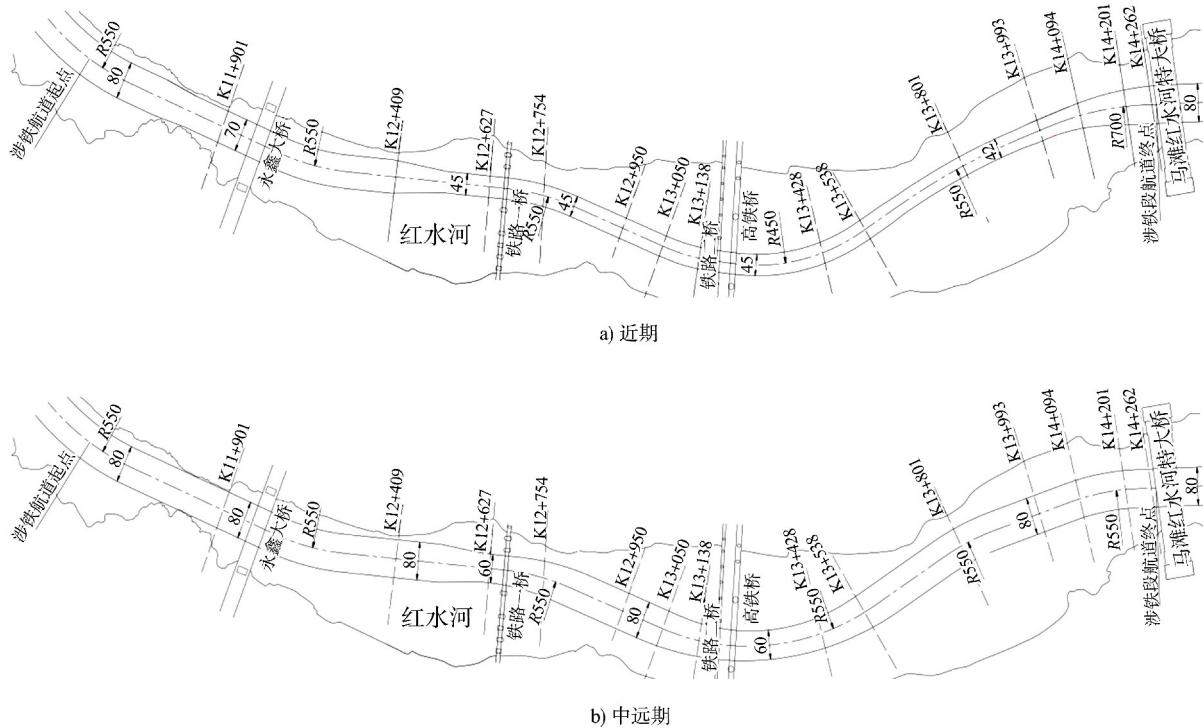
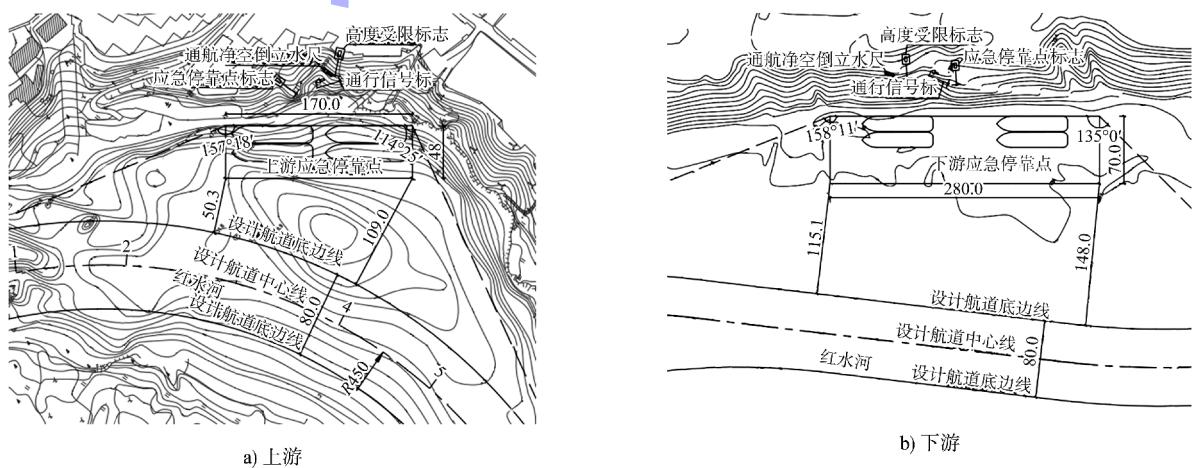


图4 涉铁段航道平面布置

3.2 应急停靠点

在非汛期和汛期上游来流量较小时, 河道流速较小, 水流平稳, 铁路一桥的水位达不到限制水位 69.67 m, 且非汛期适宜锚泊的水域较多, 船舶可自行选择合适的水域锚泊, 等待通过。在上游来流量大且铁路一桥的水位高于限制水位 69.67 m 的特殊情况, 在涉铁段航道的上下游设置应急停靠点。1) 在涉铁段起点的上游约 1.2 km 设置上

游应急停靠点, 长 170 m、宽 48 m, 石质河床底高程为 28~40 m, 现状为船舶习惯锚泊点, 已设置简易地锚等系泊设施, 可同时容纳 4 艘船舶停靠。2) 在涉铁段终点的下游约 2.6 km 设置下游应急停靠点, 长 280 m、宽 70 m, 沙质河床底高程为 50~55 m, 拟采用抛锚系泊方式锚泊, 可同时容纳 4 艘船舶停靠。3) 应急停靠点均可满足 2 h 不通航积压的船舶停靠要求, 平面布置见图 5。



4 通航安全保障措施

4.1 限制通航

1) 水位限制。按铁路一桥的限制水位 69.67 m 对涉铁段进行限制性通航, 当迁江水文站流量接近 $9\,200\text{ m}^3/\text{s}$ 时, 应密切关注本航段水情, 超过限制水位时禁止吃水线以上高度超过 13 m 的船舶通过。

2) 通航时段限制。铁路一桥和铁路二桥桥区通航净宽仅能满足 2 000 吨级船舶单向通航, 涉铁段采用通行信号标控制的方式进行通航限制。

涉铁段长约 2.6 km, 上下游应急停靠点之间距离约 6.4 km, 上行船舶空载率高达 95% 以上, 航速可达 $12\sim15\text{ km/h}$ 。按 12 km/s 计, 船舶通过涉铁段所需时间约为 13 min、通过上下游应急停靠点之间航段所需要的时间为 32 min/h。因此, 初拟单向通航时间为 30 min, 清场时间为 30 min, 共计 1 h, 即每小时交替通航。

3) 应急停靠点。铁路一桥处水位高于限制水位 69.67 m 时, 船舶在应急停靠点停靠, 其余时段自行选择合适的水域锚泊, 等待通过。

4.2 助航标志和交通安全标志

为了配合实行单向通航控制, 在涉铁段设置一系列助航标志及交通安全标志: 在涉铁段 2.62 km 桥区航道两侧布置 16 座浮标; 在铁路一桥上游约 200 m 处、高铁桥下游约 500 m 处分别设置鸣笛标 1 座; 在铁路一桥上游约 200 m 处、马滩红水河特大桥上游约 200 m 处分别设置减速标 1 座; 在永鑫大桥下游约 150 m 处、马滩红水河特大桥上游约 200 m 处分别设置禁止追越标志、禁止并列行驶标志、两侧变窄标志各 1 座; 在永鑫大桥上游约 300 m 处、马滩红水河特大桥上游约 400 m 分别设置解除禁止追越标志 1 座。

在上、下游应急停靠点分别设置通航净空倒立水尺、通航信号标、高度受限标志和应急停靠点标志。

4.3 监控

为确保涉铁段通航安全, 实现涉铁段实时监控, 在永鑫大桥、铁路一桥、高铁桥及马滩红水

河特大桥各设置摄像头 1 座, 接入航道信息化系统统一管理。

4.4 航行规则建议

为了确保通航安全, 应针对涉铁段制定特殊的航行规则, 建议原则如下: 汛期、非汛期铁路一桥水位 $\leq 69.67\text{ m}$ (对应迁江流量 $\leq 9\,200\text{ m}^3/\text{s}$) 时, 船舶应在通航时段按照单向通航要求依次通过涉铁段, 上下行等待通过船舶自行选择合适位置锚泊; 汛期铁路一桥水位 $> 69.67\text{ m}$ (对应迁江流量 $> 9\,200\text{ m}^3/\text{s}$) 时, 对于超高的船舶, 应至上下游应急停靠点锚泊, 待水位下降至 69.67 m 以下方可通航; 特殊情况按海事和航道等相关部门的调度要求执行。

4.5 桥梁防碰撞

涉铁段桥梁的养护及运管单位应按照相关要求实施船舶碰撞桥梁隐患治理, 以做到桥梁满足航道对应的设计代表船型碰撞的安全要求。

5 结语

1) 计算确定涉铁桥群河段汛期 6—8 月 80% 和 85% 保证率下的通航水位, 其中 80% 保证率时可满足航道不整治情况下的双向通航的水深要求。

2) 通过统计分析, 铁路桥全年通航净高不足共约 7.3 d、航道宽度不足共约 28.02 d, 对航道通航的影响可控, 满足通过能力要求。

3) 为确保涉铁桥群河段通航安全, 设置 2 个应急停靠点以弥补铁路桥通航净空不足是必要的; 根据涉铁段航道特点及安全要求, 在航道沿线和应急停靠点布设监控、桥梁防碰撞设施、助航和交通安全标志等是必要的。

4) 根据近期涉铁段船舶流量小的特点, 设置近期单向通航; 中远期结合船舶流量在除铁路一桥和铁路二桥下为单向通航外, 其余部位高水位时双向通航、低水位时单向通航; 同时建议尽快改建不满足通航净空的铁路桥。

(下转第 138 页)