



航道等级提升后老旧桥梁通航限制条件及安全保障措施研究

罗金先¹, 江涛², 玉凝³

(1. 广西壮族自治区南宁航道养护中心, 广西 南宁 530000;
2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 3. 广西北港规划设计院有限公司, 广西 南宁 530200)

摘要: 随着水运行业不断发展, 低等级航道逐步提级, 且近年来船舶大型化发展迅速, 实际通航船舶主尺度往往超出航道设计标准。部分桥梁通航净空尺度与提级后的航道通航标准不相适应, 但受限于工程投资等原因, 无法及时拆除重建, 对航道通航产生了一定的限制。以武宣大桥为例, 通过分析桥梁的通航净空尺度和所在河段的水文条件、通航船型, 采用数值模拟方法对通航水流条件、桥梁抗撞性能进行有限元模拟分析, 从通航净宽、通航净高、桥梁抗撞能力、气象因素等角度, 提出各类型船舶安全通过老旧桥梁的限制条件和安全保障措施, 可为类似老旧桥梁的通航和管理提供参考。

关键词: 航道等级提升; 通航保证率; 桥梁抗撞能力; 防撞设施; 通航安全保障措施

中图分类号: U612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)04-0135-08

Navigation restriction conditions and safety guarantee measures for old bridges after upgrade of waterway grade

LUO Jinxian¹, JIANG Tao², YU Ning³

(1. Nanning Waterway Maintenance Center of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530033, China;

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

3. Guangxi Beigang Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanning 530200, China)

Abstract: With the continuous development of the water transportation industry, low-grade channels are gradually upgraded, and in recent years, large-scale ships has developed rapidly, and the main dimensions of actual navigable ships often exceed the channel design standards. The navigation clearance scale of some bridges is not compatible with the navigation standard of the upgraded channel. However, due to the limitation of engineering investment and other reasons, it is impossible to dismantle and rebuild in time, which has certain restrictions on the navigation of the channel. This article takes the Wuxuan Bridge as an example to analyze the navigation clearance scale of the bridge, the hydrological conditions of the river section where it is located, and the navigation ship type. Numerical simulation methods are used to simulate and analyze the navigation flow conditions and collision resistance performance of the bridge. From the perspective of navigable clear width, navigation clearance height, bridge anti-collision ability and meteorological factors, etc., the limiting conditions and safety guarantee measures for the safe passage of various types of ships through old bridges are proposed, which can provide reference for the navigation and management of similar old bridges.

Keywords: upgrade of waterway grade; navigation guarantee rate; bridge anti-collision ability; anti-collision facility; measures for ensuring navigation safety

收稿日期: 2024-05-30

作者简介: 罗金先 (1967—), 男, 高级工程师, 从事港航工程技术工作和建设管理工作。

1 桥梁概况

武宣大桥位于来宾市武宣县城北砖厂附近跨越黔江, 原为 209 国道柳州—玉林、柳州—北海公路上的重要桥梁, 上距红水河桥巩水利枢纽约 148.8 km、柳江红花水利枢纽约 150.3 km, 下距

已建黔江大藤峡水利枢纽约 63.0 km。桥区河段为Ⅱ级航道, 航道维护尺度为 $3.8\text{ m} \times 80\text{ m} \times 550\text{ m}$ (水深 $\times$ 宽度 $\times$ 最小弯曲半径)。现状通航船舶基本为单船, 日均通过船舶 200~300 艘次, 最大船舶超过 3 000 吨级。桥区河段通航环境如图 1 所示。

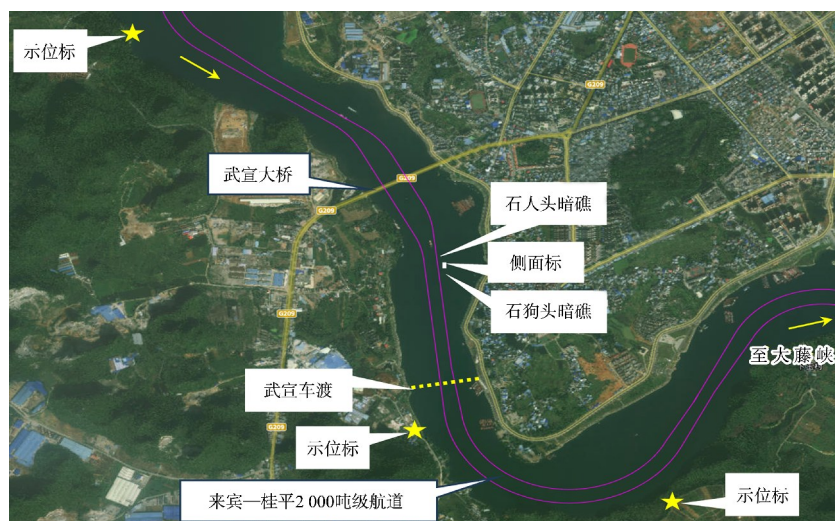


图 1 桥区河段通航环境现状

Fig. 1 Current situation of navigable environment in river section of bridge area

武宣大桥建成于 1990 年, 全长 549.28 m, 主跨为 5 跨净跨为 77.9 m (限制通航水位 60.10 m 时, 1956 黄海高程) 的箱形拱, 边跨为 35 m 净跨板拱, 桥墩下部为重力式基础。桥梁按Ⅲ级航道通航标准建设, 左三孔 (2[#]、3[#]墩之间) 为通航孔, 通航净宽 60 m, 通航净高 10 m, 设计最高通航水位为 63.22 m, 重现期为 20 a。桥梁通航孔已设置桥涵标, 桥墩未设置防撞设施。桥梁现状如图 2 所示^[1]。



图 2 武宣大桥现状

Fig. 2 Current situation of Wuxuan Bridge

桥梁所在的黔江航道原等级为Ⅴ级, 来宾—桂平 2 000 吨级航道工程 (简称“来桂航道”) 建成后提升为Ⅱ级, 航道设计最大通航流量重现期为 10 a。为了避让桥址下游约 600、800 m 处石人头、石狗头礁石及其产生的横流区, 且尽量增加桥区航道直线段长度, 来桂航道将通航孔调整为左四孔 (3[#]、4[#]墩之间) 上行、左五孔 (4[#]、5[#]墩之间) 下行。此外, 综合考虑提级后的航道条件、通航安全等因素, 桥梁限制通航水位由重现期 20 a 水位 63.22 m 调整为 60.10 m, 通航净宽由 60 m 调整为 70 m, 上底宽 52 m, 通航净高范围内梁底最低点高程为 73.14 m^[2]。

2 设计代表船型

桥梁所在航道等级为 2 000 吨级, 但随着大藤峡枢纽蓄水后航道通航条件改善和船舶大型化发展, 桥区航段通航船舶最大吨位已达 5 000 吨级以上。根据调研, 桥区航段现有通航船型为 1 000~5 000 吨级散货船, 船型主尺度见表 1。

表 1 桥区航段船型主尺度			
Tab. 1 Main dimensions of ship types in river section of bridge area			
船舶吨位/吨级	总长/m	型宽/m	满载吃水/m
1 000	66	10. 8	2. 0
2 000	72	14. 0	3. 6
3 000	82	15. 6	3. 6
4 000	83	15. 8	4. 2
5 000	86~88	15. 5~15. 8	4. 8~5. 2

3 通航限制条件分析

3.1 限制因素

桥区航道的通航限制因素主要包括以下 4 个方面:

1) 通航净宽。对于不同的纵向流速和横向流速, 纵向流速越大时桥墩产生的紊流宽度也越大, 桥梁通航孔的有效通航宽度就越小; 横向流速越大, 船舶通过桥梁所需的通航净宽也越大。为了确保桥梁与船舶的安全, 应控制桥区航道的纵向、横向流速。

2) 通航净高。不同水位对应的桥梁实际净高

不同, 桥梁实际净高大于船舶水线以上高度时船舶方可安全通过桥梁。

3) 桥梁抗撞能力。撞击能由船舶吨位和碰撞速度确定, 不同吨位、不同航速的船舶撞击桥墩时产生不同的撞击能, 而桥墩(包括防撞设施)所能吸收的撞击能是一定的, 因此吨位越大的船舶所允许的撞击速度越小。

4) 气象因素。风、能见度和降水是造成水上交通事故的主要气象因素。根据相关统计, 与风、能见度有关的水上交通事故最多, 分别达 70%、25%以上^[3]。

3.2 通航净宽

3.2.1 通航净宽限值

船舶通航净宽由航迹带、偏行距和相应的富余宽度组成, 当横流超过 0.3 m/s 时还包括横流加宽值^[4]。武宣大桥采用单孔单向通航方式, 不同流量工况^[5]条件下, 不同吨级的船舶通航流量限值和通航净宽限值见表 2。

表 2 武宣大桥通航孔净宽											
Tab. 2 Clear width of navigable holes of Wuxuan Bridge											
船舶吨位/吨级	流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	重现期/ a	桥址处 水位/ m	3 [#] -4 [#] -5 [#] 桥墩 墩前流速/ (m·s ⁻¹)	计算值/m				实际值/m		是否满足通航要求
					上底宽	通航净宽	紊流宽度	通航孔净宽	上底宽	通航孔净宽	
1 000	35 500	10	62. 05	2. 10-2. 40-2. 50	32. 88	43. 85	19. 32	63. 17	52. 5	77. 9	满足
2 000	35 500	10	62. 05	1. 89-1. 95-2. 10	41. 23	54. 97	19. 32	74. 29	52. 5	77. 9	满足
3 000	12 000	1	55. 68	0. 88-0. 96-1. 04	50. 77	67. 7	9. 15	76. 85	52. 5	77. 9	满足
4 000					51. 14	68. 19	9. 15	77. 34	52. 5	77. 9	满足
5 000	4 500~5 000	-	61. 00~61. 07	0. 28-0. 28-0. 34	51. 16~51. 77	68. 21~69. 02	3. 62	71. 83~72. 64	52. 5	77. 9	满足

注: 计算流量取满足通航净宽时的极限流量, 且不超过航道设计通航流量。

3.2.2 通航净宽保证率

通航流量与水流流速相对应, 水流流速决定了通航净宽, 因此通航净宽保证率与通航流量限制的保证率相对应。根据 1990—2014 年武宣水文站平均流量保证率统计成果进行计算, 得出通航流量限值的保证率, 见表 3^[6]。由表可知, 1 000~2 000 吨级船舶通航流量限值 $Q_1=35\,500\text{ m}^3/\text{s}$ 全年保证率为 0.3%, 则通航净宽保证率为 99.7%; 3 000 吨级船舶通航流量限值 $Q_2=12\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 全年保证率为 6%, 则通航净宽保证率为 94%;

5 000 吨级船舶通航流量限值 $Q_3=5\,000\text{ m}^3/\text{s}$ 全年保证率为 24%, 则通航净宽保证率为 76%。

表 3 极限流量保证率				
Tab. 3 Guarantee rate of extreme flow				
时段	保证率/%			
	4 500 m ³ /s	5 000 m ³ /s	12 000 m ³ /s	35 500 m ³ /s
非汛期(4月)	7	5	0	0
非汛期(10月—翌年3月)	3	2	0	0
汛期(5月、9月)	34	28	3	0
汛期(6—8月)	79	73	21	1
全年	28	24	6	0.3

3.3 通航净高

3.3.1 通航净高限值

根据文献[4],结合广西航道特点,I级航道通航净高 h 最小值为18 m,Ⅱ~Ⅲ级航道通航净高最小值为10 m。

3.3.2 通航净高保证率

桥梁位于大藤峡枢纽库区,桥址水位受流量和大藤峡枢纽调度的影响,从而引起桥梁实际通航净高变化。通航净高的保证率即对应着相应入库流量的保证率。大藤峡调度方式见表4^[7],实际通航净高与相应流量及其保证率见表5,桥梁通航净高、出现时段及天数见表6^[8]。

表 4 大藤峡枢纽调度方式

Tab. 4 Dispatching mode of Datengxia Hub

时段	流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	水位/m
非汛期(4月)	$Q\leq 6\,000$	59.6
	$6\,000<Q\leq 8\,000$	57.6
	$Q>8\,000$	54.6
非汛期(10月—翌年3月)	$Q\leq 4\,500$	61.0
	$4\,500<Q\leq 6\,000$	59.6
	$6\,000<Q\leq 8\,000$	57.6
	$8\,000\leq Q\leq 11\,000$	54.6
	$Q>11\,000$	47.6
汛期(5月、9月)	$Q\leq 5\,000$	59.6
	$5\,000<Q\leq 14\,000$	53.6
	$14\,000<Q\leq 20\,000$	47.6
	$Q>20\,000$	44.0
汛期(6—8月)	$Q\leq 20\,000$	47.6
	$Q>20\,000$	44.0

表 5 实际通航净高与相应流量及其保证率

Tab. 5 Actual navigation net height, corresponding flow rate and its guarantee rate

时段	流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	流量保证率/%	流量保证天数/d	净高保证天数/d	大藤峡坝前水位/m	桥址水位/m	实际通航净高/m
非汛期(4月)	5 000	5	1.5	28.5	59.6	59.70	13.0
	4 500	11	2.1	27.9	59.6	59.70	13.0
非汛期(10月—翌年3月)	5 000	2	3.6	178.4	59.6	59.70	13.0
	4 500	4	5.5	176.5	61.0	61.07	12.0
汛期(5月、9月)	12 000	3	1.8	59.2	53.6	55.65	17.0
	5 000	28	17.1	43.9	59.6	59.70	13.0
	4 500	40	20.7	40.3	61.0	61.07	12.0
	35 500	1	0.9	91.1	44.0	62.05	11.0
汛期(6—8月)	30 600	2	1.8	90.2	44.0	59.50	13.5
	23 600	4	3.7	88.3	44.0	55.85	17.0
	12 000	21	19.3	72.7	47.6	55.63	17.0
	5 000	73	67.2	24.8	47.6	47.90	25.0
	4 500	79	72.7	19.3	47.6	47.85	25.0

注:通航净高范围内梁底最低点高程为73.14 m。

表 6 不同通航净高对应天数

Tab. 6 Number of days corresponding to different navigable net heights

通航时段	11 m< h ≤13 m		13 m< h ≤17 m		17 m< h ≤25 m	
	流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	天数/d	流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	天数/d	流量/($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	天数/d
非汛期(4月)	$Q\leq 5\,000$	28.5	$5\,000<Q\leq 30\,600$	1.5	$Q>30\,600$	0
非汛期(10月—翌年3月)	$Q\leq 5\,000$	178.4	$5\,000<Q\leq 30\,600$	3.6	$Q>30\,600$	0
汛期(5月、9月)	$Q\leq 5\,000$	43.9	$5\,000<Q\leq 12\,000$	15.4	$Q>12\,000$	1.8
汛期(6—8月)	$30\,600<Q\leq 35\,500$	0.9	$23\,600<Q\leq 30\,600$	1.9	$Q\leq 23\,600$	88.3
合计	—	251.7	—	22.4	—	90.1
全年保证率/%	—	69.0	—	6.1	—	24.7

根据表6,通航净高11 m的保证率为99.8%,可满足设计船型2 000吨级及以下船舶的通航净高要求;通航净高13 m的保证率为30.8%,基本出现在5—9月,可满足3 000吨级船舶倒桅杆后的通航净高要求;通航净高17 m的保证率为24.7%,基本出现在5—8月,可满足5 000吨级船舶倒桅杆后的通航净高要求。

3.4 桥墩允许撞击速度

3.4.1 模型建立

运用结构动力学非线性有限元方法,采用SolidWorks进行主体结构建模、采用ANSYS、LS-DYNA分析软件,模拟桥梁在船撞击过程中桥梁结构总体、局部受力以及结构位移、内力的动态响应过程。船舶撞击主墩不同时刻的撞击效果如图3所示。

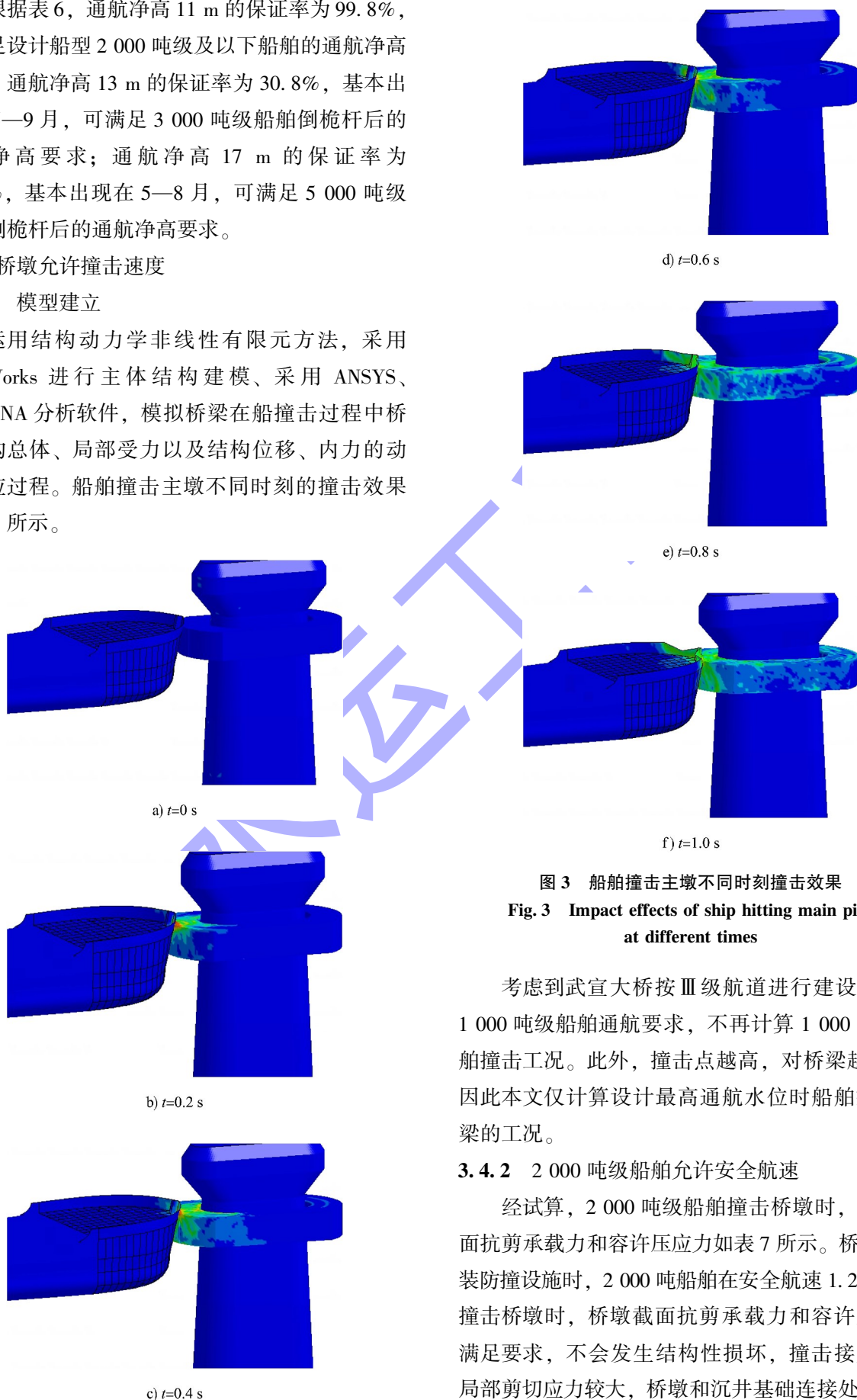


图3 船舶撞击主墩不同时刻撞击效果
Fig. 3 Impact effects of ship hitting main pier at different times

考虑到武宣大桥按Ⅲ级航道进行建设,满足1 000吨级船舶通航要求,不再计算1 000吨级船舶撞击工况。此外,撞击点越高,对桥梁越不利,因此本文仅计算设计最高通航水位时船舶撞击桥梁的工况。

3.4.2 2 000吨级船舶允许安全航速

经试算,2 000吨级船舶撞击桥墩时,桥墩截面抗剪承载力和容许压应力如表7所示。桥梁未安装防撞设施时,2 000吨船舶在安全航速1.2 m/s下撞击桥墩时,桥墩截面抗剪承载力和容许压应力满足要求,不会发生结构性损坏,撞击接触位置局部剪切应力较大,桥墩和沉井基础连接处存在较

大拉应力，会发生结构表面局部破坏；同时墩顶位
移较小，船舶撞击对上部结构造成的影响较小。安

装 F-250 型防撞设施后，安全航速由 1.2 m/s 提升
至 1.8 m/s。

表 7 2 000 吨级船舶撞击桥墩承载力计算
Tab. 7 Calculation of bearing capacity of bridge piers impacted by 2,000-ton ships

工况	截面应力/kN			剪切应力/MPa			主压应力/MPa			主拉应力/MPa			墩顶最大位移/mm		
	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果
无防撞设施 ($v=1.2\text{ m/s}$)	5 653	45 950.5	满足	4.2	1.48	不满足	5.7	6	满足	3.8	0.635	不满足	5.5	10	满足
安装 F-250 型防撞 设施($v=1.8\text{ m/s}$)	5 562	45 950.5	满足	4.2	1.48	不满足	5.6	6	满足	3.6	0.635	不满足	5.4	10	满足

3.4.3 3 000 吨级船舶允许安全航速

经试算，3 000 吨级船舶撞击桥墩时，桥墩截
面抗剪承载力和容许压应力如表 8 所示。桥梁未安
装防撞设施时，3 000 吨船舶在安全航速 0.8 m/s
下撞击桥墩时，桥墩截面抗剪承载力和容许压应
力满足要求，不会发生结构性损坏，撞击接触位

置局部剪切应力较大，桥墩和沉井基础连接处存
在较大拉应力，会发生结构表面局部破坏；同时墩
顶位移较小，船舶撞击对上部结构造成的影响较
小。安装 F-250 型防撞设施后，安全航速由 0.8 m/s
提升至 1.2 m/s。

表 8 3 000 吨级船舶撞击桥墩承载力计算
Tab. 8 Calculation of bearing capacity of bridge piers impacted by 3,000-ton ships

工况	截面应力/kN			剪切应力/MPa			主压应力/MPa			主拉应力/MPa			墩顶最大位移/mm		
	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果
无防撞设施 ($v=0.8\text{ m/s}$)	5 725	45 950.5	满足	4.2	1.48	不满足	5.5	6	满足	3.8	0.635	不满足	5.5	10	满足
安装 F-250 型防撞 设施($v=1.2\text{ m/s}$)	5 560	45 950.5	满足	4.5	1.48	不满足	5.3	6	满足	3.6	0.635	不满足	5.3	10	满足

3.4.4 5 000 吨船舶允许安全航速

经试算，5 000 吨级船舶撞击桥墩时，桥墩截

面抗剪承载力和容许压应力如表 9 所示。

表 9 5 000 吨级船舶撞击桥墩承载力验算
Tab. 9 Calculation of bearing capacity of bridge piers impacted by 5,000-ton ships

工况	截面应力/kN			剪切应力/MPa			主压应力/MPa			主拉应力/MPa			墩顶最大位移/mm		
	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果	计算值	允许值	验算 结果
无防撞设施 ($v=0.6\text{ m/s}$)	5 785	45 950.5	满足	6.2	1.48	不满足	5.9	6	满足	3.6	0.635	不满足	6.1	10	满足
安装 F-250 型防撞 设施($v=0.9\text{ m/s}$)	5 562	45 950.5	满足	4.3	1.48	不满足	5.8	6	满足	3.4	0.635	不满足	5.6	10	满足

3.4.5 桥墩允许最大撞击速度

综上所述，2 000~5 000 吨级船舶在最不利撞
击点(直倾船首)撞击船舶桥梁时允许的最大撞击

速度为：

1) 2 000 吨级单船：无防撞设施时桥墩允许
最大撞击速度为 1.2 m/s；桥墩加装 F-250 型防撞

设施后桥墩允许最大撞击速度为 1.8 m/s。

2) 3 000 吨级单船:无防撞设施时桥墩允许最大撞击速度为 0.8 m/s;桥墩加装 F-250 型防撞设施后桥墩允许最大撞击速度为 1.2 m/s。

3) 5 000 吨级单船:无防撞设施时桥墩允许最大撞击速度为 0.6 m/s;桥墩加装 F-250 型防撞设施后桥墩允许最大撞击速度为 0.9 m/s。

需要注意的是,为了保证船舶舵效,船舶航行速度应与水流速度相适应,不宜过小,船舶通过桥梁时应结合通航水流条件控制航速。

3.5 气象因素

目前国家和行业尚未出具气象因素对船舶影响的统一评判标准。湖南省对水上交通气象灾害风险预警等级进行划分,关于风、能见度、降雨等对水上交通可能造成安全隐患的风险等级分为无风险、低风险、中风险、高风险和极高风险 5 级^[9]。本文研究对象为老旧桥梁,本身抗风险能力较弱,为了确保桥梁安全,当风险等级达到中风险时,应限制船舶通过桥区航道。

参考文献[6],风力 4 级 $\leq W < 5$ 级、能见度 $1\text{ km} \leq L < 2\text{ km}$ 、6 h 降雨量 $R_{6h} \geq 50\text{ mm}$ 且 3 h 降雨量 $R_{3h} < 50\text{ mm}$ 为中风险,应限制船舶通过桥区航道。

3.6 通航限制条件

根据对桥梁通航净空尺度和桥墩允许撞击速度的分析,来桂航道升级后,1 000~5 000 吨级船舶在水流条件适宜,桥梁通航净宽、净高均满足要求的条件下可安全通过桥区航道。通航限制条件如下:

1) 流量不超过 35 500 m^3/s 、净高大于 10 m 时,桥梁通航净宽和净高满足 1 000、2 000 吨级船舶通航要求,对应通航保证率为 99.8%。

2) 流量不超过 12 000 m^3/s 、净高大于 13 m 时,桥梁通航净宽和净高满足 3 000 吨级船舶(倒桅杆)通航要求,对应通航保证率为 26.0%。

3) 流量不超过 5 000 m^3/s 、净高大于 17 m

时,桥梁通航净宽和净高满足 5 000 吨级船舶(倒桅杆)通航要求,对应通航保证率为 7.3%。

4) 通航气象条件:风力小于 4 级、能见度小于 2 km、6 h 降雨量大于 50 mm 且 3 h 降雨量小于 50 mm。

4 结论

1) 对于航道等级提升后无法及时拆除重建的老旧桥梁,桥区航道的通航限制因素主要包括通航净宽、通航净高、桥梁抗撞能力和气象因素等 4 个方面。在航道和桥梁运营过程中,无法通过其他措施改变通航净宽和净高,因此只能通过采取提高桥梁的抗撞能力和加强对桥区航道的管理等保障措施以确保桥区航道的通航安全^[10]。

2) 对于老旧桥梁,①通过安装防撞设施,提高桥梁吸收撞击能量的能力,减小作用在桥梁的反力,减轻碰撞对桥梁的伤害,从而达到提高桥梁抗撞能力的目的;②完善桥涵标、通航净高标牌、桥前侧面标及通航净空倒立水尺等助航标志,引导船舶安全通过桥区,尤其是通航净高倒立水尺,作为最直观反映桥梁实时通航净高的标志,对确保桥梁的安全至关重要;③完善配套锚地建设,供不满足通过条件的船舶有序待泊,等待时机通过;④做好水文、气象等观测工作,并通过甚高频通信(very high frequency, VHF)等有效信息沟通手段,向周围船舶通报,加强对超限船舶的管理。

参考文献:

- [1] 庄敏,杨奕健.武宣大桥通航安全保障方案[R].南宁:广西纳海交通设计咨询有限公司,2022.
ZHUANG M, YANG Y J. Navigation safety guarantee scheme for Wuxuan Bridge[R]. Nanning: Guangxi Nahai Transportation Design and Consulting Co., Ltd., 2022.
- [2] 江涛,毕雪峰.来宾至桂平 2 000 吨级航道工程初步设计[R].北京:中交水运规划设计院有限公司,2020.

- JIANG T, BI X F. Preliminary design of Laibin-Guiping 2 000-ton-class channel project[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2020.
- [3] 李玲. 水上交通气象灾害风险评估模型的研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2019.
- LI L. Research on risk assessment model of meteorological disasters in water traffic [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2019.
- [4] 内河通航标准: GB 50139—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- Navigation standard of inland waterway: GB 50139-2014 [S]. Beijing: China Planning Press, 2014.
- [5] 郭东浦, 王常义, 宋爱群, 等. 大藤峡水利枢纽工程初步设计报告[R]. 长春: 中水东北勘测设计研究院有限责任公司; 广州: 中水珠江规划勘测设计院有限公司, 2015.
- GUO D P, WANG C Y, SONG A Q, et al. Preliminary design report of Datengxia water conservancy project [R]. Changchun: China Water Northeastern Investigation, Design and Research Institute Co., Ltd; Guangzhou: China Water Pearl River Planning, Investigation and Design Institute Co., Ltd., 2015.
- [6] 江涛. 来宾至桂平 2 000 t 级航道工程通航水位计算与分析[J]. 中国水运(下半月), 2016, 16(9): 260-262.
- JIANG T. Calculation and analysis of navigable water level of Laibin-Guiping 2, 000-ton-class channel project [J]. China water transport (second half of month), 2016, 16(9): 260-262.
- [7] 江涛. 大藤峡枢纽运行方式调整对来桂航道方案的影响[J]. 水运工程, 2022(4): 133-137.
- JIANG T. Influence of operation mode adjustment of Datengxia hydro-junction on scheme of Laibin-Guiping channel [J]. Port & waterway engineering, 2022 (4): 133-137.
- [8] 庄爱军. 来宾至桂平 2 000 吨级航道工程测量设计高水位水文观测[R]. 南京: 江苏省水文地质工程地质勘察院, 2017.
- ZHUANG A J. Hydrological observation of designed high water level for Laibin-Guiping 2 000-ton-class channel project survey [R]. Nanjing: Jiangsu Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, 2017.
- [9] 水上交通气象灾害风险预警等级划分和评判标准: DB43/T 2055—2021[S]. [出版地不详]: [出版者不详], 2017.
- Classification and evaluation criteria for early warning of meteorological disaster risk in waterborne traffic: DB43/T 2055-2021[S]. [s. l.]: [s. n.], 2017.
- [10] 周作胜. 浅谈泥湾门-鸡啼门水道航道工程桥梁处理方案[J]. 珠江水运. 2020(6): 112-114.
- ZHOU Z S. Brief discussion on bridge treatment scheme for waterway project of Niwanmen-Jitimen waterway[J]. Pearl River water transport, 2020(6): 112-114.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 119 页)

- [8] 海港总体设计规范: JTS 163—2013 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- Design code of general layout for sea ports: JTS 163-2013[S]. Beijing: China Communications Press, 2013.
- [9] 孟照意, 季则舟. 大型人工复式航道设计关键技术[J]. 中国港湾建设, 2021, 41 (12): 35-39.
- MENG Z Y, JI Z Z. Key technologies for the design of large artificial compound channel [J]. China harbour engineering, 2021, 41 (12): 35-39.
- [10] 沿海助导航工程设计规范: JTS/T 181-4—2023[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2023.
- Design code of aids to coastal navigation engineering: JTS/T 181-4 - 2023 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2023.

(本文编辑 赵娟)