



山区航道跨河桥梁通航净空尺度研究

李文艳, 黄 力, 李歌清, 孙 平, 贾鹏鹏, 魏雪莲, 宋莉莉

(交通运输部规划研究院, 北京 100028)

摘要:我国内河高等级航道普遍存在大量现有桥梁通航净空不足的问题, 如何科学合理地确定分步改造标准, 是高等级航道建设中亟待破解的普遍性、关键性技术问题。以广东省北江、东江航道为例, 对现有跨河桥梁净空尺度进行复核计算, 结合代表船型预测提出船舶航行对桥梁的净空尺度要求, 并对航道设计最高通航水位洪水标准的适应性进行分析。研究提出在北江、东江千吨级航道建设中, 桥梁净空尺度满足净高不小于 8.3 m(最高通航水位的洪水重现期 2 a)、双向通航孔净宽不小于 86 m 或单向通航孔净宽不小于 44 m 的跨河桥梁可暂缓改建。在此基础上, 综合考虑其他航道建设经验, 提出适应国内千吨级山区航道桥梁改建标准的建议, 研究结论可为内河高等级航道建设提供借鉴。

关键词: 山区航道; 桥梁; 适应性; 通航净空尺度; 设计水位

中图分类号: U 611

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)07-0142-07

Research on navigable clearance dimensions of river-crossing bridge on mountainous waterway

LI Wen-yan, HUANG Li, LI Ge-qing, SUN Ping, JIA Peng-peng, WEI Xue-lian, SONG Li-li

(Transport Planning and Research Institute Ministry of Transport, Beijing 100028, China)

Abstract: A large number of existing bridges have insufficient navigation clearance in China's high-grade inland waterways. How to scientifically and rationally determine the standard of step-by-step reconstruction is a universal and key technical problem to be solved urgently in the construction of the high-grade waterway. Taking the Beijiang and Dongjiang waterway in Guangdong province as examples, we analyze the clearance dimension of the existing bridges in the study area. Combining with the prediction of representative ship types, we put forward the requirement of bridge clearance dimension for ship navigation and analyze the adaptability of the flood standard of the designed maximum navigable water level. It is recommended that the clearance dimension of the bridge should meet the requirements of 8.3 m clear height (the flood recurrence period of the design maximum navigable water level is 2 years), and 86 m clear width of two-way navigation with single holes, or 44 m clear width of one-way navigation with double holes in the Beijiang and Dongjiang kiloton waterway projects. On this basis, taking into account the experience of other waterway constructions, suggestions are put forward to adapt to the reconstruction standard of the kiloton mountain waterway bridge. The conclusion may serve as a reference for the construction of the high-grade inland waterway.

Keywords: mountainous waterway; bridge; adaptability; navigable clearance dimension; design water level

2007 年印发的《全国内河航道与港口布局规划》规划了 1.9 万 km 高等级航道。在达标建设中, 存在大量现有桥梁通航净空尺度不足的问题。桥

梁改建耗资巨大, 且对城镇建设和群众出行影响大。如何科学合理地确定分步改造标准, 涉及内河通航标准、区域航道特点、船舶和运输发展实

收稿日期: 2020-10-22

作者简介: 李文艳(1964—), 女, 教授级高级工程师, 从事内河水运规划工作。

际、具体外部条件等复杂因素,是高等级航道建设中亟待破解的普遍性、关键性技术问题。

已有的研究大多针对单一类型或区域的跨河桥梁通航净空尺度开展分析和计算。杨昌道^[1]结合河道特性、运输需求、投资匡算等方面综合分析了沙颍河安徽段碍航桥梁分期适时改造的可行性;丁有鹏等^[2]对韩江流域的桥梁通航安全进行了系统分析;陈爱文^[3]基于 S353 省道跨京杭运河大桥工程论证实例,提出针对该桥梁通航净空的计算方法;贺亮鑫^[4]提出跨河拱桥的桥梁通航净高计算方法,并选取实例判定达标情况;张宇等^[5]利用航道定级成果和长江水位推求比较的方法,提出河口段跨河建筑物设计最高通航水位的计算方法。

结合广东省北江、东江航道实例,从通航净空尺度和设计最高通航水位 2 个角度提出暂缓改建的建议标准。通过分析区域船舶的发展现状和趋势,预测提出推荐的代表船型,并计

算相应的净空尺度要求,其中最大船舶高度以集装箱船为基准。综合分析河道采砂、梯级建设和水库联合调度对河道水位的影响、控制航道通航条件等,提出山区航道设计最高通航水位的高洪水标准建议,并分析降低最高通航水位洪水标准的影响。

1 航道跨河桥梁现状

1.1 北江航道现状及桥梁适应性分析

北江干流韶关—三水河口 252 km、武江桂头—塔台 36 km,现状航道维护等级为 V 级,通航 300 吨级船舶;浈江周田大桥—塔台 37 km,现状航道维护等级为Ⅶ级,通航 50 吨级船舶。上述河段航道规划等级标准为Ⅲ级,通航 1 000 吨级船舶。依据最新地形和桥梁断面测图,结合 50139—2014《内河通航标准》^[6]规定,对各座桥梁通航净空尺度进行复核。复核后净空尺度不达标的桥梁共 27 座,见表 1。

表 1 北江碍航桥梁净空尺度

桥梁名称	通航孔数	建成年份	净高/m	净宽/m	是否满足规范要求	
			左孔/右孔	左孔/右孔	净高	净宽
曲江大桥	2	—	3.33/3.33	22.3/22.3	否	否
风采大桥	2	—	3.14/3.14	37.8/37.8	否	否
帽峰大桥	1	—	7.59	43.8	否	否
韶关铁路桥	1	—	5.18	55.0	否	否
韶赣铁路韶关浈江大桥	1	2014	4.99	55.0	否	否
韶赣铁路韶关疏解线浈江大桥	1	2014	13.70	55.0	是	否
黄金村大桥	2	—	3.33/3.33	28.0/28.0	否	否
广乐高速韶赣北连接线浈江大桥	1	2014	26.19	55.0	是	否
韶赣铁路腊石坝浈江特大桥	1	—	14.39	26.0	是	否
武江大桥	2	1988	3.05/3.05	32.7/32.7	否	否
西河大桥	2	1967	2.97/2.97	32.9/32.9	否	否
五里亭大桥	1	2004	5.56	116.4	否	是
十里亭大桥	2	1973	3.30/3.30	22.0/22.0	否	否
广乐高速韶赣北连接线武江大桥	1	2014	15.47	72.9	是	否
武广客运专线武江特大桥	1	2009	7.93	60.2	否	否
韶关北江大桥	2	—	5.40/5.40	29.7/29.7	否	否
百旺大桥	1	—	7.83	110.0	否	是
京珠高速公路北江大桥	2	—	9.60/10.20	66.7/66.5	否	是
白土大桥	2	—	7.04/7.04	45.6/45.6	否	否
清远新北江大桥	2	1995	10.00/9.60	80.0/70.0	否	是
清远北江大桥	2	—	8.70/8.40	59.3/57.0	否	是
武广客运专线北江白庙特大桥	2	—	8.90/8.90	70.3/70.3	否	是

续表1

桥梁名称	通航孔数	建成年份	净高/m	净宽/m	是否满足规范要求	
			左孔/右孔	左孔/右孔	净高	净宽
黎溪大桥	1	—	9.40	119.1	否	是
连江口大桥	1	2002	10.00	73.0	是	否
英德人民大桥	2	—	6.60/5.30	31.7/22.5	否	否
英德海螺石灰石输送跨河廊道	2	—	7.00/7.00	55.8/55.8	否	是
沙口北江大桥	3	—	8.90	72.5	否	否

注：10 a 一遇洪水位下复核情况(85 高程)。

1.2 东江航道现状及桥梁适应性分析

东江干流河源—石龙三江口长 223 km，现状航道等级为Ⅳ~Ⅵ级，通航 100~500 吨级船舶，规划

航道等级标准为Ⅲ级，通航 1 000 吨级船舶。目前，东江河源—石龙三江口河段已建、在建桥梁 34 座。复核后净空尺度不达标的桥梁共 18 座，见表 2。

表 2 东江干流碍航桥梁净空尺度

桥梁名称	通航孔数	建成年份	最高通航水位/m	净高/m	通航孔净宽/m		是否满足规范	
					1 [#] 孔	2 [#] 孔	净高	净宽
准高速石龙北桥	2	1994	5.89	8.1	65.4	65.4	否	是
新石龙北铁路桥	2	2007	5.90	6.1	65.9	65.9	否	是
石湾大桥	2	1988	6.06	8.6	66.7	43.5	否	否
石龙东岸大桥	2	1993	6.18	8.0	45.0	45.0	否	否
石龙南二桥	2	1996	6.43	9.4	75.0	45.8	否	否
罗浮山东江大桥	2	1994	6.66	8.9	93.1	93.1	否	是
石洲大桥	2	1991	7.44	9.2	46.5	71.6	否	否
博罗大桥	2	2000	11.83	9.7	72.0	72.4	否	是
广梅汕铁路东江大桥	2	1993	13.82	9.8	55.0	55.0	否	是
惠州大桥	1	1989	14.23	8.2	110.0	—	否	是
惠州东江大桥	2	1981	14.60	8.4	55.0	55.0	否	是
广惠高速公路桥	1	2002	18.28	9.3	92.1	—	否	否
观岚东江大桥	2	2008	27.76	6.0	47.3	47.6	否	否
紫金县古竹东江大桥	2	1995	32.10	4.5	45.8	46.8	否	否
紫金县临江东江大桥	2	2004	36.92	7.6	47.9	47.9	否	否
河源东江胜利大桥	1	—	38.35	7.5	92.8	—	否	否
仙塘东江大桥	2	2007	39.26	7.0	43.5	43.5	否	否
河龙高速公路独石东江大桥	2	2007	45.80	6.8	38.0	37.8	否	否

注：10 a 一遇洪水位下复核情况(85 高程)。

2 通航净空尺度

2.1 内河通航标准关于桥梁净空尺度的规定

我国的内河通航标准自 1963 年共修订了4 版，分别为“63 版”“90 版”“04 版”和“14 版”，不同时期的内河通航标准都规定了跨河桥梁最小通航净空尺度和设计最高通航水位的洪水标准。

“63 版”以单排与双排顶推船队为制定通航标准的依据，代表船型为船队，船队尺度为

180 m×12.5 m×1.8 m(总长×型宽×设计吃水,下同)，规定跨河桥梁净高 10 m、净宽 60 m，其中桥梁净宽系指按船队单向通过所规定的净宽尺度，桥梁净高主要满足客轮和推(拖)轮驾驶室高度的要求；“90 版”以尺度为 160 m×10.8 m×2.0 m 的船队为代表船型，规定跨河桥梁通航净高尺度为 10 m，通航净宽 40 m；“04 版”和“14 版”采用的代表船型与“90 版”一致，规定桥梁净高尺度

仍为 10 m, 在综合考虑桥梁工程技术进步和保障安全的基础上, 规定单向通航孔净宽为 55 m, 并补充规定了天然和渠化河流双向通航孔净宽为 110 m。

“63 版”设计最高通航水位采用 20 a 一遇频率的洪水水位或采用水库的正常高水位并考虑回水影响; “90 版”“04 版”“14 版”均将最高通航水位洪水重现期定为 20 a, 对出现高于设计最高通航水位历时较短的山区性河流, 洪水重现期可采用 10 a。

2.2 推荐代表船型

2.2.1 船舶现状和发展趋势

广东省内河运输市场发达, 除本省内河运输船舶外, 还有大量广西区的船舶在广东运营。2018 年全省仅有一艘驳船, 广西区自 2008 年以来已经没有驳船。广西区现有 1 000 吨级货船尺度特点是空载水线以上高度和吃水较大, 船长较短, 船宽符合标准化要求, 其中船高在 11~14 m 的船舶占比 78.2%, 型宽在 10~11 m 的船舶占比 65.4%, 总长在 49~50 m 的船舶占比 79.8%, 满载吃水在 2.6~3.2 m 的船舶占比 87.4%。广东省现有 1 000 吨级货船的尺度特点是船长、船宽、吃水都比较分散, 其中型宽 14 m 以下的船舶合计占比达 95.4%, 型宽在 11~12 m 的船舶占 41.2%; 总长在 57 m 以下的船舶占比达 91.5%, 总长在 49~50 m 的船舶占比 37.1%; 满载吃水 3.3 m 以下的船舶占比达 93.5%。

考虑新兴货种对运输时间、可控性等要求高, 传统货种中非定点定线的货物运输更适合机动灵活的机动船, 而驳船由于效率和安全性的劣势目前已逐步退出 2 个省区市场。判断未来广东省、广西区的运输船舶仍将以机动单船为主。此外, 在全国内河继续推进落实运输船型标准化工作的背景下, 两省区的船型也将逐步向标准化发展。

2.2.2 相关规范代表船型

GB 50139—2014 内河通航标准关于天然和渠化河流Ⅲ级航道代表船型尺度为 85.0 m×10.8 m×2.0 m, 珠江三角洲至港澳航线Ⅲ级航道代表船型

机动货船尺度为 49.9 m×12.8 m×2.6 m 和 49.9 m×15.6 m×2.8 m, 与现状船型尺度差距较大。

此外, GB 38030—2019《内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列》^[7]也对西江航运干线和珠江水系“三线”船舶的尺度进行了强制性规定, 见表 3。船舶总宽可下浮不超过 2%, 船舶总长可下浮不超过 10%。

表 3 西江航运干线过闸干散货、液货、集装箱船标准船型主尺度系列

船型编号	总宽 $B_{\text{总}}/\text{m}$	总长 $L_{\text{总}}/\text{m}$	参考载货量(载箱量)
XJ-H2	11.0	50.0	1 000 t(干散货、液货)
XJ-H3	—	68.0	1 500 t(干散货、液货)
XJ-H4	13.0	63.0	1 500 t(干散货、液货)
XJ-J2	11.0	60.0	70 TEU(集装箱)
XJ-J3	13.0	74.0	150 TEU(集装箱)

2.2.3 推荐代表船型

考虑航道通航条件, 北江、东江下游靠近珠江三角洲, 航道水深较大, 船舶可采用较大吃水(3 m 左右); 中上游为山区航道, 对船舶的吃水有限制(宜控制在 2.4 m 左右); 干流建有多座梯级, 船宽应适应过闸需求, 总宽采用 10.0 m 和 11.0 m、兼顾 13.0 m。此外, 需航行港澳地区的船舶船长宜在 50 m 以下, 部分船舶可放宽到 75 m 以下。

考虑其他类型的船舶可通过前置驾驶室或者升降驾驶室解决通航净空高度问题, 而集装箱船除了驾驶视线以外, 箱高能安全通过桥梁是必须面对的问题, 因此本研究以集装箱船为推荐船型计算通航净空尺度的要求。根据国际标准化组织(ISO)发布的《集装箱分类、尺寸和额定质量》国际标准, 集装箱普通箱高度为 2.6 m, 高箱高度为 2.9 m。目前区域高箱比例已达 30% 左右, 且仍在增加。北江、东江Ⅲ级航道运输采用 3 层集装箱较经济, 以 1 层高箱为例总箱高为 8.1 m; 以 2 层高箱为例总箱高为 8.4 m。在 2 层高箱的情况下, 考虑船底高度, 从船底到箱顶的高度会达到 8.8~9.0 m, 如果碰到空箱较多的不利情况, 则水线以上集装箱高度将达到 7.5~7.8 m。

因此，推荐代表船型如下(表4)。

表 4 北江、东江推荐船型尺度

船型	总长/ m	总宽/ m	吃水/ m	空载水线 以上高度/m	备注
1 000 吨级货船	49.9	11.0	3.0	7.0	下游
70 TEU 集装箱船	60.0	11.0	2.4~3.0	7.8	上下游
1 000 吨级货船	68.0	11.0	2.4	7.0	上游
1 000 吨级货船	63.0	13.0	2.4	7.0	上游(兼顾)
120 TEU 集装箱船	74.0	13.0	2.4	7.8	上游(兼顾)

注：船型采用前置驾驶室，最低通航水位时适当减载。

2.3 推荐船型对跨河桥梁通航净空尺度的要求

桥梁通航净空高度为船舶高度与安全富余高度之和，船舶高度选取集装箱船高度 7.8 m 作为计算跨河桥梁净高尺度的船型高度。富余高度总计考虑水位测报误差、船舶高度丈量误差等取 0.5 m。本次暂缓改建桥梁净空尺度按代表船型最大尺度确定。

桥梁净空高度为：7.8 m+0.5 m=8.3 m。

表 5 北江、东江通航净宽尺度计算结果

船型	总长/m	总宽/m	吃水/m	单孔单向通航净宽/m	单孔双向通航净宽/m
1 000 吨级货船	49.9	11.0	3.0	40.95	80.91
70 TEU 集装箱船	60.0	11.0	2.4~3.0	42.63	83.66
1 000 吨级货船	68.0	11.0	2.4	43.97	85.83
兼顾船型:1 000 吨级货船	63.0	13.0	2.4	46.34	91.67
				41.34*	82.42*
兼顾船型:120 TEU 集装箱船	74.0	13.0	2.4	48.18	94.66
				43.18*	85.41*

注：横向流速取 0.3 m/s；带“*”者为横向流速取 0.2 m/s 时的净宽尺度。

根据计算结果，考虑兼顾船型，跨河桥梁的通航净宽尺度取推荐代表船型最大值：单孔单向通航净宽 44 m，单孔双向通航净宽 86 m。

3 航道设计最高通航水位

3.1 水文站特征水位

3.1.1 河道特点

北江、东江干流中上游均为山区河流，坡陡流急，险滩浅滩多，洪水暴涨暴落，水位变幅大。目前，北江已建清远、飞来峡、白石窑等枢纽，东江已建剑潭、沥口、风光、木京等枢纽，北江、

根据《内河通航标准》附录 C，天然和渠化河流水上过河建筑物轴线法线方向与水流向的交角不大于 5°时，通航净宽计算公式如下：

$$B_{m1}=B_l+\Delta B_m+P_d$$
 (1)

$$B_{m2}=2B_l+b+\Delta B_m+P_d+P_u$$
 (2)

$$B_l=B_s+L\sin\beta$$
 (3)

式中： B_{m1} 为单孔单向通航净宽(m)； B_l 为船舶或船队航迹带宽度(m)； ΔB_m 为船舶或船队与两侧桥墩间富余宽度(m)，I~V 航道可取 0.6 倍航迹带宽度； P_d 为下行船舶偏航距(m)，取 15 m； B_{m2} 为单孔双向通航净宽(m)； b 为上下行船舶会船时的安全距离(m)，可取船舶宽度； P_u 为上行船舶偏航距(m)，可 0.85 倍下行偏航距 m； B_s 为船舶宽度(m)； L 为船舶长度(m)； β 为船舶航行漂角(°)，I~V 航道可取 6°。

按上述计算公式，对推荐代表船型和兼顾船型进行通航净宽计算，结果见表 5。

东江河道基本渠化。除飞来峡、湾头等枢纽外，大部分枢纽为径流式电站，调度运行方式基本相同：非汛期水库水位维持在正常蓄水位运行，汛期水库降低水位至洪前预泄水位，当入库流量水大于枢纽预泄流量时，枢纽敞泄，河道恢复天然状态。因此，北江、东江具有山区和库区河道特点。

3.1.2 水文特性

北江、东江流域径流主要由降雨形成，径流年际变化大、年内分配不均匀，洪枯流量相差悬殊。河道水文特征见表 6。

表 6 北江、东江水文特征值

水文站	多年平均 径流量/亿 m ³	历年最大 径流量/亿 m ³	历年最小 径流量/亿 m ³	历年最大日均 流量/(m ³ ·s ⁻¹)	历年最小日均 流量/(m ³ ·s ⁻¹)	历年最高 日均水位/m	历年最低 日均水位/m
北江石角站 (1955—2010 年)	417	722	163	17 200	131	14. 66	0. 61
东江博罗站 (1956—2005 年)	238	374	51	—	—	8. 61	−0. 20

受河道采砂和梯级建设的影响, 2000 年后石角站日均最高水位、日均最低水位、同流量水位呈现出连续下降特点。2010 年与 2000 年比, 600 m³/s 流量级的水位下降 3. 87 m, 1 000 m³/s 流量级的水位下降 3. 8 m, 1 万 m³/s 流量级的水位下降约 2 m(图 1)。2011 年北江采砂被禁止, 目前清远枢纽坝下冲刷亦趋缓, 未来北江下游河段河床和水位将趋于稳定。

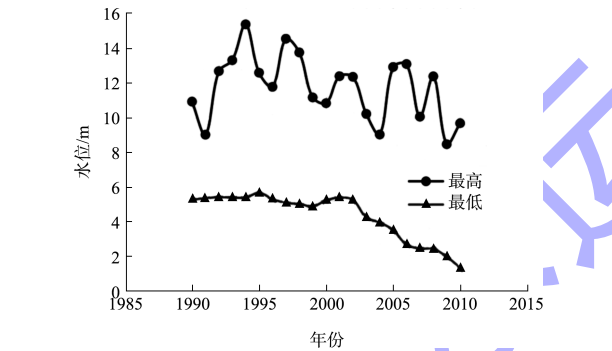


图 1 北江石角站 1990—2010 年日均最高、最低水位变化

受河道采砂、梯级建设和水库联合调度影响, 近年来东江干流河道下切、日均水位下降明显, 同频率洪水水位和洪峰流量有较大幅度的降低。

博罗站 2015 年深泓点较 2005 年下降 9. 6 m, 最高、最低水位均呈下降趋势, 见图 2。

比较东江博罗、岭下、河源站 1995—2016 年与 1953—2015 年不同系列年份下 10 a 一遇洪水水位, 分别降低了 0. 15、0. 77 和 1. 27 m(表 7)。

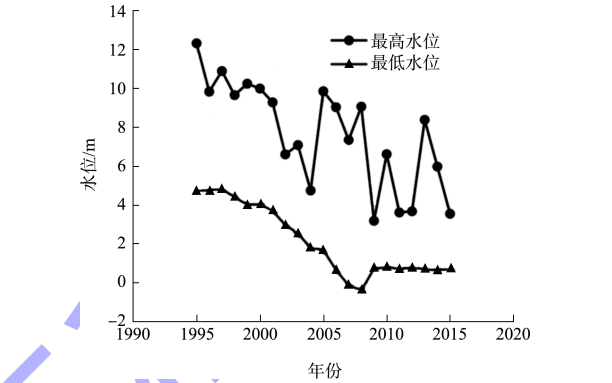


图 2 东江博罗站 1995—2015 年日均最高、最低水位变化

表 7 不同保证率下东江主要水文站洪水水位

水文站	洪水水位/ m			统计年份
	10%	20%	50%	
博罗	11. 96	10. 5	8. 12	1995—2016
	12. 11	10. 59	7. 83	1953—2015
岭下	19. 43	18. 89	17. 88	1995—2016
	20. 20	19. 36	17. 84	1953—2016
河源	36. 55	35. 82	34. 67	1995—2016
	37. 82	36. 80	34. 92	1951—2016

东江流域新丰江、枫树坝、白盆珠三大水库控制集水面积占东江石龙以上的 43. 4%, 三大水库的有效库容共计 83. 75 亿 m³, 综合平均库容系数达 0. 71, 对东江径流有强大的调节功能。近 20 年来三大水库加大了联合调洪调峰力度, 使得河源、岭下、博罗等水文站实测洪峰流量大为减小。1995—2017 年系列与 1953—1984 年系列比, 博罗、岭下、河源站 1%~50% 的洪峰流量均有降低, 河源站 10% 洪峰流量减小了 48. 7%(表 8)。

表 8 不同保证率下东江主要水文站洪峰流量

水文站	洪峰流量/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)								
	1953—1984 年			1975—2017 年			1995—2017 年		
	10%	20%	50%	10%	20%	50%	10%	20%	50%
河源	5 923	4 940	3 650	4 029	3 125	1 882	3 414	2 603	1 488
岭下	7 600	6 700	4 650	5 503	4 620	3 199	3 898	3 451	2 636
博罗	8 200	7 300	5 500	7 196	6 109	4 286	6 469	5 015	2 831

分析认为：受河道采砂、梯级建设等影响，近年来北江、东江河道中下游水位呈下降态势；受梯级联合调度影响，东江干流洪水流量有较大幅度的减少；未来北江、东江同流量水位下降态势趋缓，不同频率洪水水位仍会有一定程度的降低。

3.2 最大安全通航流量

模型试验表明，北江、东江山区河流特性，在 2 a 一遇洪水条件下，河道水面比降及流速大，局部弯曲河段和桥区河段水流条件较差，船舶通过这些水域安全风险大，不适宜通航；除湾头、飞来峡、清远、白石窑等梯级外，大部分梯级船闸最大安全通航流量为 2 a 一遇洪峰流量。

综上所述，北江乌石以上、东江石龙以上河段跨河桥梁最高通航水位的洪水标准宜取 2 a 重现期洪水。

3.3 降低最高通航水位的影响

浈江新韶站、武江犁市站 2007—2013 年日均流量统计和北江韶关站日均水位统计资料显示，大于 2 a 小于 10 a 一遇洪水流量天数多年平均约 0.5 d。因此判断设计最高通航水位的洪水重现期取 2 a 对运输基本无影响。

4 结语

1)在北江、东江Ⅲ级航道建设中，净高不小于 8.3 m、双向通航孔净宽不小于 86 m 或单向通航孔净宽不小于 44 m(2 个以上通航孔)的跨河桥梁可暂缓改建。综合考虑下一阶段广东省及珠江

水系船舶大型化的发展趋势，考虑为今后航道发展预留空间，跨河桥梁净空尺度标准建议：净高不小于 10 m，单向净宽不小于 55 m，双向净宽不小于 110 m(同内河通航标准)。

2)综合考虑北江、东江河道特性及较大洪水期枢纽敞泄特点，同时考虑各枢纽船闸最大安全流量、局部弯道、桥区段最大安全流量等，结合现有跨河桥梁众多、通航标准低的情况，建议北江、东江Ⅲ级航道设计最高通航水位洪水标准取 2 a 重现期洪水。

参考文献：

[1] 杨昌道.沙颍河安徽段航道整治工程碍航桥梁分期适时改造的可行性分析[J]. 工程与建设, 2011, 25 (1): 17-18, 82.

[2] 丁有鹏, 马陈林, 余继信, 等. 韩江流域桥梁通航安全分析[J]. 珠江水运, 2012, 323(22): 82-83.

[3] 陈爱文.复杂水域桥梁通航净空尺度研究[J]. 中国水运(下半月), 2017, 17(6): 59-60.

[4] 贺亮鑫. 跨河桥梁通航净空尺度的确定和验算方法[J]. 中国水运, 2017, 561(10): 53-54.

[5] 张宇, 欧阳飞, 李彪, 等. 长江支流河口段跨河建筑物设计最高通航水位确定方法探讨[J]. 中国水运. 航道科技, 2020, 649(3): 21-24.

[6] 长江航道局. 内河通航标准: GB 50139—2014[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.

[7] 武汉长江船舶设计院有限公司. 内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列(第 3 部分): GB 38030—2019[S]. 北京: 中国质检出版社, 2019. (本文编辑 郭雪珍)