

内河跨航桥梁复杂环境下通航净空尺度专项论证

孙刘林, 郭永生, 孙鹏程

(安徽省交通科学研究院, 安徽 合肥 230000)

摘要: 内河跨航桥梁通航净空尺度的确定, 关系到所跨航道处船舶通行的安全性和水路交通的便利性。本文结合涡河航道青阜铁路桥工程实际, 对与上下游通航建筑物和弯道距离较近、闸坡限制桥梁净高等复杂通航环境下内河跨航桥梁通航净空尺度进行论证分析, 并针对性提出了相应的解决方案, 以期对类似跨航桥梁的通航净空尺度确定提供借鉴参考。

关键词: 内河航道; 跨航桥梁; 通航净空尺度

中图分类号: U611; U24

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 05—0043—03

跨河桥梁属于永久性建筑物, 投资大、使用年限长, 其通航净空尺度设置过低不仅会限制其所跨越航道航运功能的发挥, 甚至成为碍航建筑物, 同时也会危及通过桥区水运船舶的通航安全及桥梁自身安全; 通航净空尺度设置过高则会增加非必要的工程投资和设计施工难度。^[1] 因此合理确定复杂通航水域桥梁的通航净空尺度具有重要意义。

涡河航道青阜铁路桥作为涡河航道(大寺闸至入淮口段)整治工程的一部分, 因不满足Ⅳ级航道通航净空尺度要求需拆除重建。受青阜铁路线两侧接线及涡阳站的控制, 桥梁选址方案唯一, 工程位于弯曲段航道处, 且与上游桥梁间的安全距离不满足规范要求, 桥区段通航环境复杂。为此, 本文结合涡河航道青阜铁路桥工程实例, 对该桥梁所需的通航净空尺度进行论证研究。

1 工程概况

1.1 跨航桥梁概况

青阜铁路桥位于涡阳县城东部, 涡阳闸~蒙城闸之间, 距上游涡阳船闸约 4.4km, 项目改建起点位于青阜线 K67+300 处, 线路自改建起点以 R=1800m 的曲线偏离既有线开始双线绕行, 在既有青阜线下行线东侧 30m 间距处跨越涡河航道。桥梁采用简支钢桁梁结构, 桩基础, 双线圆端型实体桥墩, T 型桥台。

1.2 航道概况

拟建桥梁位于涡河航道(大寺闸至入淮口段), 该段航道于 2018 年开始进行航道整治工程, 航道全线 185.67km 按天然及渠化河流Ⅳ级双线标准实施, 航道底宽 50m、最小通航水深 3.2m、最小弯曲半径 330m。

1.3 设计代表船型

设计代表船型主要参照《内河通航标准》、交通

运输部《内河过闸运输船舶标准船型主尺度系列 第二部分: 京杭运河、淮河水系》和已批复的《涡河航道(大寺闸至入淮口段)整治工程施工图设计》, 确定本次研究的设计代表船型及船队如下:

500t 级货船: $44 \times 8.8 \times 2.3\text{m}$ (长 × 宽 × 设计吃水, 下同);

1 拖 6 × 500 吨级拖带船队: $275 \times 8.8 \times 2.3\text{m}$;

1 顶 2 × 500 吨级顶推船队: $111 \times 10.8 \times 1.6\text{m}$ 。

1.4 设计通航水位

设计最高通航水位: 工程位于涡阳闸至蒙城闸之间, 上距涡阳闸约 4.4km, 下距蒙城闸约 43.6km, 涡阳闸闸下最高通航水位取 10 年一遇洪水位为 28.56m, 蒙城闸闸上最高通航水位取 10 年一遇洪水位为 26.05m, 通过内插计算, 工程位置处设计最高通航水位为 28.33m (10 年一遇洪水位)。

设计最低通航水位: 工程位置处设计最低通航水位取涡阳闸闸下~蒙城闸闸上设计最低通航水位为 22.39m (95% 保证率水位)。

2 工程通航环境分析

工程位置处通航环境的复杂性主要体现在以下四个方面:

(1) 工程距上游在建 S245 涡河大桥之间的轴线距离约 700m, 《内河通航标准》中规定四级航道两座相邻跨河桥梁最小轴线间距不应小于代表船队长度与代表船队下行 5min 航程之和, 按照 8km/h 的船舶航速计算, 轴线间距要求 $L=2.2 \times 60 \times 5 + 275 = 935\text{m} > 700\text{m}$ 。拟建工程受青阜铁路线两侧接线及涡阳站的控制, 选址方案唯一, 只能采取加大通航跨径的措施以满足船舶航行安全要求。

(2) 工程处于连续弯曲段航道处,距上下游弯道节点的距离均不满足安全距离要求,桥梁轴线与水流方向之间的夹角为 7.23° ,桥位处船舶航行所受到的限制性因素较多。

(3) 受弯曲段航道水流流速、流向、流态的制约,桥墩处(尤其是北岸 5# 桥墩)紊流影响较大,进一步加剧了工程航道的通航复杂性。

(4) 由于既有桥梁下行线存在 150m7.6‰ 的坡度,为了满足规范规定最小坡段长度要求,改造后的上行线若设计通航净高标准过大则会存在闯坡现象,恶化铁路桥的运营环境。

3 通航净空尺度论证

3.1 通航净空高度论证

3.1.1 通航净空高度标准

航道整治过程中的碍航桥梁改造数量多、任务重、投资大,且随着通航净高的增加,也存在技术难度加大、投资增加、占地增加等问题。从项目业主的角度而言,在保证船舶航行安全的前提下,通航净高控制在能够减小的最低程度最好;从航道、海事主管部门的角度而言,跨航桥梁的通航净高应符合现行国家技术标准,满足船舶的安全通航需求,并留有一定的富裕高度。因此,合理确定通航净宽高度的论证标准至关重要。

2015 年《航道法》实施以来,安徽省除芜申运河外,内河航道桥梁净高均按照《内河通航标准》执行。涡河航道全段 226.4km 规划为Ⅳ级航道,Ⅳ级航道桥梁通航净高不应小于 8m。

交通运输部 2011 年发布的《运河通航标准》中提出了运河水上过河建筑物净高分长江三角洲地区(此时安徽省尚未纳入长三角)和其他地区,长三角地区Ⅱ~Ⅳ级航道通航净高标准为 7m,与《内河通航标准》存在明显差异。江苏、浙江和上海其他Ⅳ级及以上的航道均参照该标准执行。

安徽省目前已全域纳入长三角区域,全省高等级航道均直接或间接与沪苏浙地区相通,航道条件、功能和船型相似度高,^[2]为全面融入长三角港航一体化发展,省内也提出了对纳入省干线航道网规划的航道(不含一级航道),按不小于 7 米(通航净宽范围内)控制的新要求。因此,拟建工程通航净空高度按照不小于 7m 进行控制。

3.1.2 船型与通航净高的适应性分析

近期涡河航道过往船舶以 500 ~ 1000 吨级为主,根据安徽省境内近 20000 艘次货船的统计数据^[3]分析(详见表 1),在船舶满载情况下,货船吃水线以上高

度小于 7m 的船舶占比为 99.91%;空载情况下货船吃水下以上高度小于 7m 的船舶占比为 98.73%,少量超高船舶通过倒桅、收放天线等措施后空载干舷高度均能达到 7m 以下,本段航道桥梁的通航净高控制为不小于 7m,基本上能够满足现状船舶的航行需求。

表 1 各吨位构成下吃水线以上高度船舶占比表

Height above waterline	Tonnage			
	500-1000	1000-1500	1500-2000	>2000
≥7m				
Shipful	99.91%	91.13%	95.13%	90%
Ship in ballast	98.73%	89.81%	61.50%	40%
≥8m				
Shipful	99.95%	99.59%	97.50%	93%
Ship in ballast	99.44%	96.54%	80.14%	60%
≥10m				
Shipful	100%	99.87%	99.82%	97%
Ship in ballast	99.94%	99.24%	94.99%	90%

3.2 通航净空宽度论证

3.2.1 正交情况下通航净宽计算

《内河通航标准》附录 C.0.1:天然和渠化河流水上过河建筑物轴线的法线方向与水流流向的交角不大于 5° 时,通航净宽可按下列公式计算:

$$B_{m1}=B_F+\Delta B_m+P_d \tag{1}$$

$$B_{m2}=2B_F+b+\Delta B_m+P_d+P_u \tag{2}$$

$$B_F=B_S+L\sin\beta \tag{3}$$

式中:

B_{m1} —单孔单向通航净宽(m);

B_{m2} —单孔双向通航净宽(m);

B_F —船舶或船队航迹带宽度(m);

ΔB_m —船舶或船队与两侧桥墩间的富裕宽度(m);

I ~ V 级航道可取 0.6 倍航迹带宽度;

P_d —下行船舶或船队偏航距(m);

P_u —上行船舶或船队偏航距(m);

b —上下行船舶或船队会船时的安全距离(m);

B_S —船舶或船队宽度(m);

L —顶推船队或货船长度(m);

β —船舶或船队航行漂角($^{\circ}$)。

根据设计代表船型和内河通航净宽的计算公式,交角不大于 5° 情况下通航净宽计算见表 2。

表 2 桥位正交情况下通航净宽计算

Calculated parameters	Single ship	Fleet
B_S (m)	8.8	10.8
L (m)	44	111
β ($^{\circ}$)	6	6
B_F (m)	13.40	22.40
ΔB_m (m)	8.04	13.44
P_d (m)	15.00	15.00
P_u (m)	12.75	12.75
b (m)	8.8	10.8
B_{m2} (m)	71.39	96.80

综合考虑《内河通航标准》第 5.2.2 条，Ⅳ级航道上过河建筑物双向通航孔通航净宽不应小于 90m，结合表 1 计算结果，正交情况下的计算净宽值取 96.80m。

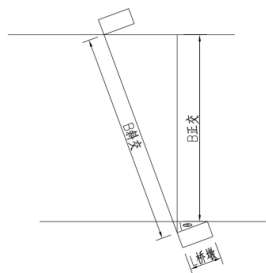


图 1 斜交净宽计算示意图

3.2.2 斜交加宽

拟建桥梁轴线法线方向与水流流向交角最大约为 7.23°，根据斜交几何关系，桥梁通航孔内缘净宽计算简图如图 1 所示。

斜交时桥墩内缘净宽计算公式为：

$$B_{斜} = (B_{正} + L_{墩} \times \sin \theta) / \cos \theta \quad (4)$$

$L_{墩}$ 取桥梁 5#、6# 平均墩柱长度 18.0m 进行计算，斜交时桥墩内缘净宽为：(96.80+18.0×sin7.23°) / cos7.23° =99.86m，斜交加宽值为 3.06m。

3.2.3 横向流速加宽

桥轴线法线方向与水流流向交角最大约为 7.23°，横向流速最大值为 0.35m/s，根据《内河通航标准》表 C.0.3 内插计算本桥单向横向流速加宽为 7.5m，双向横向流速加宽为 15m。

3.2.4 紊流加宽

根据《内河通航标准》第 5.2.4 条，“当水上过河建筑物的墩柱附近可能出现碍航紊流时，其通航孔的净宽可在本标准第 5.2.2 条规定的通航净宽基础上加大，增加值宜通过模拟实验研究确定。”

对于上述要求，在没有条件进行模拟实验研究的前提下，可参照《长江干线通航标准》C.0.3 中的算式确定因水上过河建筑物墩柱附近紊流的影响通航净宽的增加值。^[4]

$$E=0.88K_s V^{0.75} b^{0.56} h^{0.44} \quad (5)$$

式中：

K_s —与桥墩形状相关的系数，(s/m)^{0.75}；

V —墩前水流流速 (m/s)；

b —墩形计算宽度 (m)；

h —桥墩附近水深 (m)；

E —桥墩紊流宽度 (m)。

对于圆柱墩和片状墩： $K_s=1.0$ ， b —桥墩宽度；

对于圆头墩： $K_s=0.8$ ， $b=(墩长-墩宽) \times \sin \alpha + 墩宽$ ；

对于尖头墩： $K_s=0.66$ ， $b=(墩长-墩宽) \times \sin \alpha + 墩宽$ ；

对于方头墩： $K_s=1.2$ ， $b=2 \times (墩长 \times \sin \alpha + 墩宽 \times \cos \alpha)$ ；

注： α 为桥轴线法线方向与水流方向的夹角。

结合本桥桥跨及桥墩布置方案，桥墩墩柱近似圆头墩，尺寸分别为 15×4m (墩长×墩宽)， $K_s=0.8$ ， $b=(15-4) \times \sin 7.23^\circ + 4=5.38m$ 。选取 5#、6# 桥墩为特征采样点，测量水流参数计算紊流加宽值，计算结果见表 3 所示。取 5#、6# 桥墩处水流特征值计算的紊流加宽值 5.56+3.84=9.4m 为本桥的紊流加宽值。

表 3 10 年一遇洪水时桥墩紊流宽度计算表

Pier	V (m/s)	b (m)	h (m)	K_s	E (m)
5#	1.64	5.38	5.53	0.8	5.56
6#	1.52	5.38	2.73	0.8	3.84

3.2.5 设计通航净宽论证

根据上述计算，在考虑正交情况下通航净宽、斜交加宽、横向流速加宽、紊流加宽等条件后本桥要求的最小通航净宽为：

$$96.80+3.06+15+9.4=124.26m。$$

拟建桥梁钢桁架全长 130m，通航孔跨径为 128m，在考虑桥梁两侧各 1.5m 防撞设施宽度的前提下，能够满足天然和渠化河流Ⅳ级航道计算通航净宽 124.26m 的要求。

4 结论

内河航道与航道桥梁之间的关系紧密，确定合理的通航净空尺度，使跨河桥梁的工程投资和船舶通航安全之间的平衡能够达到最佳的效果，对桥梁通航净空尺度设计具有重要的参考意义。

参考文献：

- [1] 陈爱云. 复杂水域桥梁通航净空尺度研究 [J]. 中国水运. 2017,17(6):59-60.
- [2] 慈红武. 安徽Ⅳ级及以上航道桥梁通航净高尺度研究 [J]. 中国港口. 2021,(6):52-53.
- [3] 尤兴涛, 姜玉波. 南淝河航道 (合肥新港-312 国道) 段桥梁通航净高专项研究 [J]. 工程与建设. 202034(4):588-590.
- [4] 刘质伟. 桥梁通航孔通航净宽设计分析 [J]. 中国水运. 2019,19(3):169-170,173.