

# 桥梁斜交角度控制对船舶过桥操纵的影响

郑大明<sup>1</sup>, 江 莉<sup>2</sup>

(1. 浙江交通职业技术学院, 浙江 杭州 310002; 2. 同济大学浙江学院, 浙江 嘉兴 314051)

**[摘要]** 从通航环境及船舶操纵的角度出发, 结合桥区河段船舶引航方法, 分析斜交桥梁对过桥操纵的影响因素。基于船舶过桥漂移量数学模型, 考虑多变的通航环境参数, 提出适应船舶过桥操纵的桥梁斜交角度控制范围的计算模型, 并针对特殊情况下选取的桥梁斜交角度建设方案提出改善措施。

**[关键词]** 斜交角度; 过桥操纵; 漂移量

**[中图分类号]** U 675.95

## Analysis on the Influence of the Oblique Angle Control on Maneuvering of Ships Crossing Bridges

ZHENG Daming<sup>1</sup>, JIANG Li<sup>2</sup>

(1. Zhejiang Institute of Communications, Hangzhou 310002, China; 2. Tongji Zhengjian College, Jiaxing 314051, China)

**Abstract:** In the perspective of navigational environment and ship maneuvering, and combined with pilotage methodology in a bridge area, we analyse the influencing factors of a skew bridge on the maneuvering of a ship crossing the bridge. In addition, based on mathematical model of the ship drift value and considering variable navigational environmental parameters, this paper proposes the best bridge skew angle calculation model to adapt to the maneuvering of a ship crossing the bridge, and puts forward improvements aiming at the selection of the bridge skew angle in exceptional circumstances.

**Keywords:** oblique angle; maneuvering of a ship crossing the bridge; drift value

## 0 引言

《内河通航标准》要求水上过河建筑物轴线的法线方向与水流流向的交角不宜超过 $5^\circ$ , 如果超过 $5^\circ$ 且横向流速大于 $0.3\text{ m/s}$ 时, 通航净宽应该加大<sup>[1]</sup>。规范未对桥梁斜交角度的上限做出规定, 从船舶过桥操纵的角度来看, 大角度(系指斜交角超过 $5^\circ$ )斜交桥梁的建设一定程度上缩减了航道尺度, 改变了该水域的流速、流态, 过往船舶的习惯航路也将随之改变, 从而影响船舶过桥操纵方案的选择, 增加该水域的通航风险。

近年来, 对船舶过桥操纵的研究主要集中在风流对船舶的影响<sup>[2]</sup>、模拟操纵<sup>[3]</sup>、通过能力<sup>[4]</sup>等方面, 国内尚未有桥梁斜交角度对船舶过桥操纵的影响分析, 因此, 本文旨在通过分析斜交桥梁对船舶过桥操纵的影响因素, 结合船舶操纵及内河引航的相关理论, 提出适应船舶过桥操纵的斜交角度控制范围, 并针对特殊情况下选取的桥梁斜交角度建设方案提出改善措施, 从而为斜交桥梁的建设及保护通航环境提供参考依据。

# 1 斜交桥梁船舶过桥操纵

## 1.1 常用操纵方法

理想状态下船舶应从桥孔正中通过, 但一般情况下, 桥梁轴线的法向方向与河道主流流向均有一定的夹角, 船舶过桥操纵时, 尤其是下行船舶, 主要困难表现在因横流的影响使得船位不易控制。因此依据文献 [5 - 6] 以及实际的操船经验, 过桥操纵一般采用如下方法:

- 1) 挂高船位。在接近桥梁时, 应将航路选择在上流水一侧, 尽量减小船舶首尾线与流向的夹角, 减小因横流的作用而产生的船位偏移。
- 2) 掌握船位。当船舶从桥梁上游以一定夹角与桥梁斜交通过时, 船舶刚达桥墩, 应迅速掉向甩尾, 使船身与桥梁成正交通过。

## 1.2 操纵存在的主要问题

受桥梁斜交角度不同的影响, 船舶在选择过桥方案时主要存在以下问题:

- 1) 船舶首尾线垂直桥梁轴线方向通过桥梁。目前, 多数驾驶员已习惯选择此种方案通过桥梁, 即选择挂高船位, 但是, 当桥梁斜交角度较大时, 过桥船舶首尾线与主流存在较大夹角, 受流影响产生的流致漂移量急剧增大, 极易诱发因横流推压船身而导致碰撞桥墩事故的发生。
- 2) 船舶首尾线顺航道主流方向通过桥梁。当驾驶员选择此种方案通过桥梁时, 虽然过桥时船身与水流流向交角较小, 受横流影响也较小, 但是, 因桥梁斜交的影响, 有效净空宽度相对较小。另外, 选择该种方案时, 船舶在利用助航标志时存在一定的视觉影响, 从而增加了驾驶员操作或判断失误的机率。

# 2 桥梁斜交角度控制推算模型

## 2.1 斜交角度控制推算原则

本文基于船舶航行漂移量数学模型, 并考虑过桥操纵中的人为因素, 推算船舶过桥操纵的斜交角度控制范围, 在建立推算模型时遵循以下原则:

- 1) 船舶只能在特定的外界环境下通过桥梁, 即当风速、流速超过一定界限值时, 禁止船舶通过桥梁。
- 2) 设计桥梁斜交角度不得影响船舶过桥操纵方案的选择, 即桥梁有效航行净宽均应满足船舶垂直桥梁、顺水流通过桥梁的要求;
- 3) 船舶过桥操纵需避免的最大风险为撞击桥墩;
- 4) 船舶选定过桥方案时, 假定当船首到达桥墩后航向、航速不变, 直至船尾通过桥梁为止。

## 2.2 船舶过桥航行漂移量计算

为了计算船舶过桥航行时受风、流影响而产生的漂移量, 必须先建立船舶过桥漂移量的计算坐标系, 如图 1、图 2 所示。

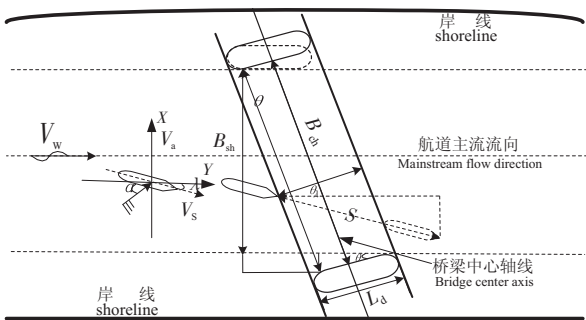


图 1 顺航道过桥操纵漂移量示意图

Fig.1 Schematic of smooth waterway crossing bridge steering drift

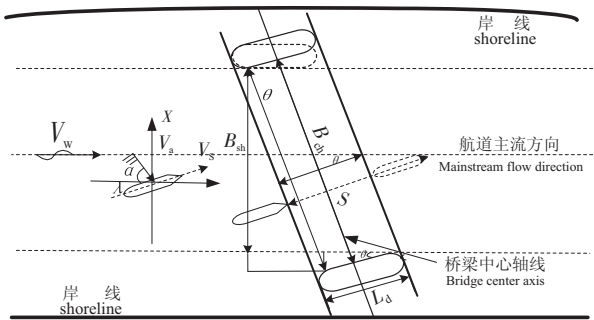


图 2 垂直航道过桥操纵漂移量示意图

Fig.2 Schematic of vertical channel crossing bridge steering drift

其中： $V_w$  为水流速度； $V_s$  为航速； $V_a$  为相对风速； $B_{sh}$  为顺航道主流方向过桥所需航迹带宽； $S$  为计算河长； $I_d$  为桥面宽度； $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\lambda$  分别表示船舶过桥时，风向、流向、船舶首尾线与  $Y$  轴的交角； $\theta$  为航道密度与桥梁斜交角。

风引起的航行漂移量：

$$B_F = (K \sqrt{B_a/B_w} e^{-0.14V_s} V_a) \sin \alpha \times S / (V_s \cos \lambda \pm V_a \cos \alpha \pm V_w \cos \beta) ;$$

流引起的航行漂移量

$$B_L = V_w \sin \beta \times S / (V_s \cos \lambda \pm V_a \cos \alpha \pm V_w \cos \beta) ;$$

偏航角引起的航行漂移量

$$B_P = V_s \sin \lambda \times S / (V_s \cos \lambda \pm V_a \cos \alpha \pm V_w \cos \beta) 。$$

式中： $K$  为系数，一般取 0. 038 ~0. 041； $B_a$  为船体水线上侧受风面积（ $m^2$ ）； $B_w$  为船体水线下侧面积（ $m^2$ ）。

2.3 桥梁斜交角度控制

船舶过桥操纵时，选择顺航道操纵方式将存在一定偏航角（参照《内河通航标准》确定），选择垂直桥梁操纵方式则不存在偏航角，根据图 1、图 2 所示，两种操纵方案下计算河长分别为：

$$S_{sh} = L + L_d / \cos(\theta + \lambda) ; \tag{1}$$

$$S_{ch} = L + L_d \circ \tag{2}$$

式中： $L$  为船长。

由于航行坐标系以主流流向为  $X$  轴，因此可认为航道主流流向与航道中心线一致，即  $\beta$  在  $X$  轴方向角度为 0；考虑最不利风、流、偏航角的影响，即风舷角  $\alpha$  始终为 90°；在考虑最不利因素影响下，航迹带宽度应由同向叠加而得，即  $B_F + B_L + B_P$ ，由此推算出顺航道主流方向和垂直桥梁轴线方向过桥所需航迹带宽分别为：

$$\begin{aligned} B_{sh} = & (K \sqrt{B_a/B_w} e^{-0.14V_s} V_a \sin(90^\circ - \lambda)) / (V_s \cos \lambda - V_a \cos(90^\circ - \lambda) + V_w \cos(0^\circ)) + \\ & (V_w \sin(0^\circ) + V_s \sin \lambda) / (V_s \cos \lambda - V_a \cos(90^\circ - \lambda) + V_w \cos(0^\circ)) \times \\ & L_d / \cos(\theta + \lambda) + L \cos \lambda + L \sin \lambda + B \cos \lambda ; \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} B_{ch} = & (K \sqrt{B_a/B_w} e^{-0.14V_s} V_a \sin(90^\circ - \theta)) / (V_s \cos \theta + V_a \cos(90^\circ - \theta) + V_w \cos(0^\circ)) + \\ & (V_w \sin(0^\circ) + V_s \sin \theta) / (V_s \cos \theta + V_a \cos(90^\circ - \theta) + V_w \cos(0^\circ)) \times \\ & L_d + L \cos \theta + L \sin \theta + B \cos \theta 。 \end{aligned} \tag{4}$$

根据斜交角度控制的推算原则，在一定的外界风流条件下，假定由于人为因素导致的偏航角不变，为了不影响船舶过桥操纵方案的选择，桥梁斜交角度应控制在一定的角度内，以满足船舶选择两种过桥方案时所需的有效净宽应相等，联立式（3）和式（4），即可求出桥梁斜交角度控制范围推算公式。利用 Matlab 制图工具，绘制航迹带宽度与桥梁斜交角度（ $\theta$ ）的关系，如图 3 所示。

图 3 反映出：1）在选择顺航道过桥操纵方式时，船舶航迹带宽度受  $\theta$  的影响较小，而当选择垂直桥梁过桥操纵方式时，航迹带宽度受  $\theta$  的影响较大；2）为不影响过桥操纵方案的选择，桥梁斜交角度不应大于两种方案航迹带宽度相同时所对应的角度；3）对于特定的桥梁，当设计通航风速  $V_a$ 、流速  $V_w$ 、船速  $V_s$  确定后，斜交角度  $\theta$  控制

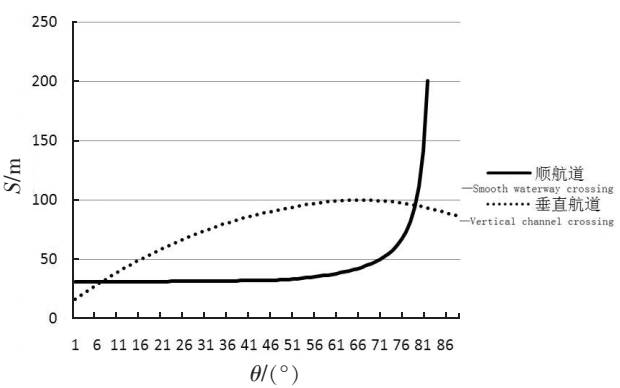


图 3 斜交角度与航迹带宽度的关系图

Fig.3 Diagram of the relationship between oblique angle and track width

范围也可确定。

### 3 斜交桥梁通航控制改善措施

斜交桥梁,尤其是大角度斜交桥梁的建设对通航及桥梁自身安全的影响是永久性的,桥梁的建设最好采取一跨过江的方案,且桥梁的净宽不影响船舶的过桥操纵。但我国内河航道宽阔,尤其是长江中下游,基本都需在江中设置桥墩,因此桥梁建设应保持足够的航道有效宽度,供过往船舶通行。为平衡通航与工程本身的矛盾,本文从通航安全的角度出发,提出几点斜交桥梁通航控制改善措施。

1) 当受各种因素的影响使得桥梁建设仅能选取斜交角度较大的建设方案时,应保证足够的有效通航净宽,不得影响船舶的过桥操纵。

2) 斜交角度应控制在本文所提出的斜交角度控制范围内,从而最大限度减小斜交桥梁对船舶过桥操纵的影响。

3) 完善助航标志,当流向与桥梁轴线的水平垂线存在  $10^{\circ}$  以上夹角时,则桥墩上游浮标的中心线应与流向平行。

### 4 结束语

本文提出的桥梁斜交角度控制推算模型旨在为最大限度地保护通航环境提供科学的依据,在实际应用中,应科学合理确定所在航道的设计通航风速、流速、船速,并参照《内河通航标准》确定桥梁斜交角度和通航净空宽度。对于船舶和环境复杂航段,还应进行数值模拟或实船试验,确保水域通航安全。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 内河通航标准: GB50139-2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 田超. 风浪流作用下船舶操纵运动的仿真计算 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- [3] 徐言民. 基于操纵模拟的桥区水域船舶通航安全预控研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.
- [4] 应静华, 肖英杰. 桥梁通航孔船舶通行能力研究 [J]. 中国航海, 2007.
- [5] 郭国平. 船舶操纵 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [6] 刘明俊. 航道与引航 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [7] 刘明俊, 吕习道. 船舶过弯道所需航宽建模 [J]. 武汉理工大学学报 (交通科学与工程版), 2006, 30(1): 178-179.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 周云龙)