



基于船舶领域的桥区水域范围划定方法^{*}

李元奎¹, 刘 垒², 彭 飞¹, 杨雪锋³

(1. 大连海事大学 航海学院, 辽宁 大连 116026; 2. 交通运输部水运科学研究院, 北京 100088;
3. 重庆交通大学 航运与船舶工程学院, 重庆 400074)

摘要: 桥梁布设在通航水域的桥墩以及通航孔在一定程度上限制了船舶的航行, 划定桥区水域对指导船舶安全航行具有重要意义。通过梳理当前桥区水域法规中船舶航行限制, 分析划定桥区水域的影响因素; 以桥梁涉水桥墩对航道内在航船舶的影响为依据, 基于船舶领域理论设计了桥区水域宽度和纵向长度计算方法, 可依据桥梁特点及航道水域特征对桥区水域进行划定, 实现桥区水域划定的一桥一策; 利用该方法对长江某大桥的桥区水域进行划定。结果表明, 与传统桥区水域划定方法相比, 该划定方法能够在保障船舶桥区航行安全的基础上, 减少对航道内正常航行船舶的约束, 同时可避免岸线资源的浪费。

关键词: 水上通航安全; 桥梁; 船舶领域; 桥区水域

中图分类号: U612.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)08-0077-08

Method for bridge area scope demarcation based on ship domain

LI Yuankui¹, LIU Lei², PENG Fei¹, YANG Xuefeng³

(1. Navigation College, Dalian Maritime University, Dalian 116026, China;

2. China Waterborne Transport Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100088, China;

3. School of Shipping and Naval Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The piers and navigable holes of bridges arranged in navigable waters limit the navigation of ships, and thus the demarcation of bridge area scope is of great significance to guide the safe navigation of ships. We analyze the influencing factors for the bridge area scope delimitation by sorting out the navigation restrictions in the current bridge area laws and regulations. According to the influence of the bridge piers on the navigating ships in the waterway, we design the methods for calculating the width and length of the bridge area scope based on the ship domain theory, which can demarcate the bridge water area scope according to the bridge and waterway characteristics, and realize the one bridge one policy. The method is used to demarcate the bridge area scope in the Yangtze River. The results show that compared with the traditional method of bridge area scope demarcation, the method proposed in this paper can not only ensure the safety of ships sailing in the bridge area but also reduce the navigation constraints of the ships near the bridge while avoiding the waste of shoreline resources.

Keywords: maritime navigation safety; bridge; ship domain; bridge water area

收稿日期: 2022-10-27

***基金项目:** 中央高校基本科研业务费项目(3132022147); 重庆市自然科学基金项目(cstc2019jcyj-msxmX0729); 交通安全应急信息技术国家工程实验室开放基金项目(YW170301-05)

作者简介: 李元奎(1987—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为水上交通安全、智能航海。

通讯作者: 刘垒(1986—), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向为航道与通航技术。E-mail: 892389667@qq.com

长江干线自云南水富至长江入海口,全长 2 838 km,途经云南、四川、重庆、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海等七省二市,连接长江三角洲、长江中游、成渝三大城市群,是目前世界上运量最大、运输最繁忙的内河水运通道。截至 2018 年底,已建成过江通道 108 座,基本覆盖沿江区县,另有 41 座过江通道正在建设。2020 年 3 月,国家发展改革委印发《长江干线过江通道布局规划(2020—2035 年)》^[1]提出了新时代的发展要求,到 2025 年建成过江通道 180 座左右,到 2035 年建成过江通道 240 座左右。

桥梁作为航道上一种大型过江建筑物,会大幅缩短两岸之间的交通、运输等成本,促进经济发展,对当地具有重大的经济效益和战略意义。与此同时,跨江、跨海桥梁一般不是一孔跨过通航水域或通航水域中不设桥墩的非限制性桥梁,布设在通航水域的桥墩以及通航孔在一定程度上限制了船舶的航行,其影响水域不仅是桥孔区域,也包括前后河段^[2],桥梁及其影响船舶通航安全的前后河段即为通常意义上的“桥区水域”,通过分析《中华人民共和国桥区水域水上交通安全管理办法》^[3]的相关规定可以得出:桥区水域为了保证桥梁和通航船舶的安全,在桥梁轴线两侧一定范围内划定的,对过往船舶的某些行为进行限制,避免因船舶行为导致碰撞桥梁的风险警示水域。因此,桥区水域的划定是保障船舶通航安全和桥梁安全的重要手段,桥区水域是指跨航道桥梁两侧若干距离之间、因桥梁的存在而影响或可能影响船舶操纵或安全航行的水域。

当前 GB 50139—2014《内河通航标准》^[4]、JTS 180-4—2020《长江干线通航标准》^[5]和 JTS 180-3—2018《海轮航道通航标准》^[6]对桥梁选址及桥区河段进行了定义和界定,而对桥区水域的划定方法并未明确规定。在《中华人民共和国桥区水域水上交通安全管理办法》颁布之前,桥区水域主要是依照经验拟定,缺乏理论和试验数据支撑。在现有的研究中主要包括理论计算方法^[7-8]、船舶操纵模拟试验的方法^[9-11],对特定桥

梁的桥区水域范围划定进行研究,划定的桥区水域宽度覆盖整个航道。此外,通过分析现有的一些桥区水域范围发现,当前的桥区水域都是桥轴线上下游一定范围内两岸之间的水域,宽度覆盖整个航道,这是基于之前的桥梁涉水桥墩较多,涉水桥墩的存在对整个航道航行的船舶均有影响。但是,随着现代桥梁建造技术的提高,桥梁跨度增加,涉水桥墩减少,桥梁对于航道内通航船舶的影响降低,传统的宽度覆盖整个航道的两岸之间的桥区水域划定方法不但影响了船舶的通航效率,而且由于桥区水域对临河建筑物等的限制,也会在一定程度上对岸线资源的使用产生影响。

因此,本文分析桥梁涉水桥墩对在航船舶的影响,基于船舶领域的理论构建桥区水域划定方法,旨在为管理部门划定桥区水域提供理论支撑。

1 桥区水域内涵分析

1.1 桥区水域现有标准及规定分析

桥区水域范围由交通运输主管部门会同航道管理机构、海事管理机构及桥梁建设或管理单位确定并公布,对过往船舶的某些行为进行限制,避免船舶进入碰撞桥梁的风险警示水域。

根据 GB 50139—2014《内河通航标准》规定,桥区河段为桥梁上游顶推船队长度的 4 倍或拖带船队长度的 3 倍范围内的河段,桥梁下游顶推船队长度的 2 倍或拖带船队长度的 1.5 倍范围内的河段;2015 版《长江干线通航标准》对江阴以下潮汐河段,桥区河段上、下游范围均采用 4 倍顶推船队长度,而 2020 版《长江干线通航标准》删除了对桥区河段的界定内容;JTS 180-3—2018《海轮航道通航标准》要求,拟建工程位于江阴以下潮汐河段,桥区水域应参照桥梁轴线上下游设计代表船型长度的 4 倍设置。

长江海事局于 2014-05-05 实施《关于鄂黄长江公路大桥桥区水域通航安全管理》规定桥区水域范围为大桥轴线上游 1 200 m 处两岸连线为上界线,大桥轴线下游 800 m 处两岸连线为下界线,上下界线之间的水域为大桥桥区水域;上海海事

局于2014-03-18实施《崇启长江公路大桥通航孔和通航孔航道的通航技术要求》,规定崇启长江公路大桥桥区水域为桥梁轴线两侧各1 000 m 之内的水域;上海海事局于2014-03-18实施《上海长江大桥通航孔和通航孔航道通航技术要求》,规定上海长江大桥的桥区(安全)水域为上海长江大桥轴线两侧各1 500 m 之内的水域。

目前关于桥区水域划定的各个标准、规范和管理规定各异,桥区水域的划定方法不明确,缺乏统一的标准,这对管理和执行造成较大的不便;与此同时,随着桥梁建造技术的提高,新建桥梁涉水桥墩减少,甚至在主航道内不设桥墩,桥梁对航道内船舶的航行影响降低,上述标准及规定中所述桥梁轴线两侧两岸连线包围区域为桥区水域的方法不再适用,会浪费岸线资源、降低船舶航行的效率,加重监管负担,而桥区水域过小则不利于保障通航船舶和桥梁安全。因此,明确桥区水域划定的影响因素对桥区水域的合理取值有重要的支撑作用。

1.2 桥区水域划定原则分析

《中华人民共和国桥区水域水上交通安全管理办法》中规定了限制性桥梁须明确水上交通安全保障措施,包括桥梁通航孔对船舶航行的限制、净空高度对船舶航行的限制、桥区水域航行规定对船舶航行的限制。通过梳理桥梁结构对通航影响可以得到桥梁对航道内通航船舶的影响主要包括以下方面:

1) 桥梁的涉水桥墩对船舶通航的影响。涉水桥墩相当于在水中布设的固定碍航物,船舶通过桥梁区域时增加了碰撞的风险。同时,由于桥下驾驶操作受限,只能做小角度调整,船舶航线调整的空间有限,桥墩的数量和其与航道的位置关系是航道内航行船舶的通航风险的主要因素。涉水桥墩数量多,对船舶通航安全的影响更为明显,对桥区水域的划定影响更大。

根据桥墩与航道相对位置关系可分为以下类别:①通航孔桥墩位于航道内,限制性明显,碰撞概率高;②通航孔两侧桥墩在航道外的大跨度

桥梁,限制性较小,该类情况可细化分类,包括两侧主墩涉水但位于航道之外、单侧主墩不涉水但另一主墩位于航道之外两种情况;③两侧主墩均不涉水的非限制性桥梁,这一类桥梁对航道的通航条件影响较小,船舶碰撞桥梁的可能性较低。

2) 桥梁的净空尺度对船舶通航的影响。净空尺度的影响包括净空高度和净空宽度两个方面。由于桥梁的通航净空尺度所限,可能形成限制航道通航能力的节点,一些大型船舶不能通过桥梁,因此,桥梁的净空尺度决定了航道可航行船舶的吨级。

3) 航道自然条件对船舶操纵性能的影响。桥区水域划定有重要影响作用的主要是风、流、水深3个方面因素,风、流因素会影响船舶航行偏移,在顺风、顺流的不利工况下,会导致船舶向桥墩附近偏移,在极端风流条件下,船舶因操纵能力变差进一步增大碰撞风险;水深的影响是通过判断能够抵达桥墩附近船舶的吃水而引入的,水深越深对应可通航的船舶吨级越大,给桥梁带来的风险也越大,为避免船舶碰撞桥墩而需要的制动距离就越大。

综合上述分析,桥区水域划定须考虑通航船舶尺度、船舶操纵能力、桥梁桥墩设置对船舶航行的影响。

2 基于船舶领域的桥区水域应用分析

2.1 船舶领域模型

船舶领域是研究水上交通运输效率与安全保障最为有效的理论之一,它是指在水路运输中,为避免碰撞事故发生,船舶与他船舶保持的排他性时空区域,即船舶航行时,在每艘船舶周围设置1个安全缓冲区,他船进入本船的安全缓冲区内,一般就认为有碰撞的危险。船舶领域模型当前广泛应用于航道通过能力计算、船舶碰撞风险评价和避碰决策^[12-13]。

通常情况下,基于船舶领域两船相遇时的安全判断准则主要包括4种,如图1所示。同时,

综合分析当前船舶领域的研究方法和研究结论可知,船舶领域的确定与船舶尺寸、船速、船舶类型、船舶密度、航道条件等都有一定的关系,受限水域内船舶的领域尺寸是不断变化的,其大小与船舶尺度、航速等有关,主要体现在:1)船舶越大,船舶领域也越大;2)船速越大,领域的长度越长、宽度越窄;3)受限水域的船舶领域比开阔水域的船舶领域小。

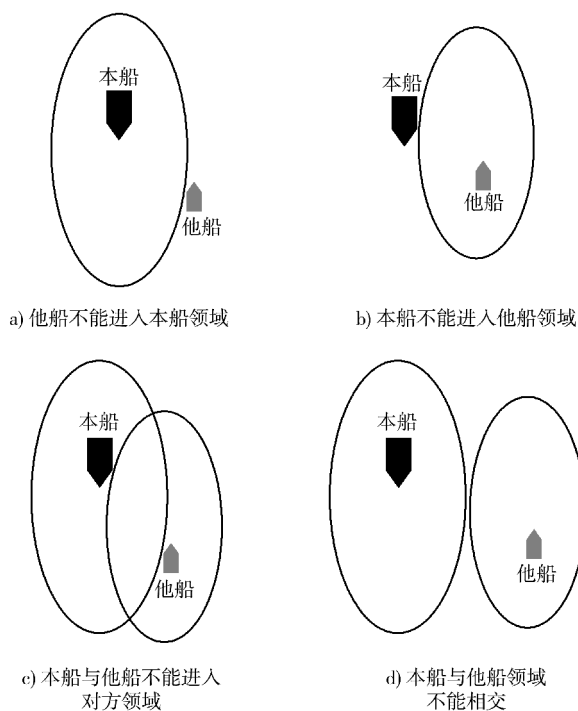


图1 两船相遇时的不同安全准则

2.2 桥区水域与船舶领域的相关性

船舶在桥区水域内航行时,对航行方法具有一定的限制,包括船舶操纵限制、航速限制等,这是因为船舶在桥区水域航行穿过桥孔时,在航船舶与桥墩存在一定的碰撞风险,船舶进入桥区水域则认为船舶进入了风险区域。因此,桥区水域范围的划定是为了保障船舶的航行安全,这与船舶领域的理论和目的一致,桥区水域可以船舶风险区域为依据进行划定,这是因为:1)桥梁桥墩在航道中作为一个固定碍航物,在船舶驶过桥梁时与桥墩有碰撞风险,因此桥区水域作为一个风险区域,其大小与船舶尺度、航速等具有一定的关系;2)桥区水域作为一个警示区域,在船舶进入桥区水域之前应该

确认是否能够安全通过桥梁,如果不能安全通过,那么桥区水域的范围应能够保证船舶完成应急操纵,保障水域内船舶与桥梁的安全。

综上所述,桥区水域的大小主要取决于在航船舶的安全水域。因此,本文采用图1a)所示的安全准则划定桥区水域,即以桥墩不能进入在航船舶的领域作为安全准则,以桥墩侵犯在航船舶的领域为界划定桥区水域范围,船舶在桥区水域内采用安全方法航行。与此同时,考虑到管理和执行的可操作性,将用于桥区水域划定的船舶领域模型的形状设置为矩形,如图2所示。由图2a)可看出,当船舶驶近桥梁时,风险大,桥区水域范围较大;由图2b)可看出,当船舶驶离桥梁时,风险小,桥区水域的范围较小。

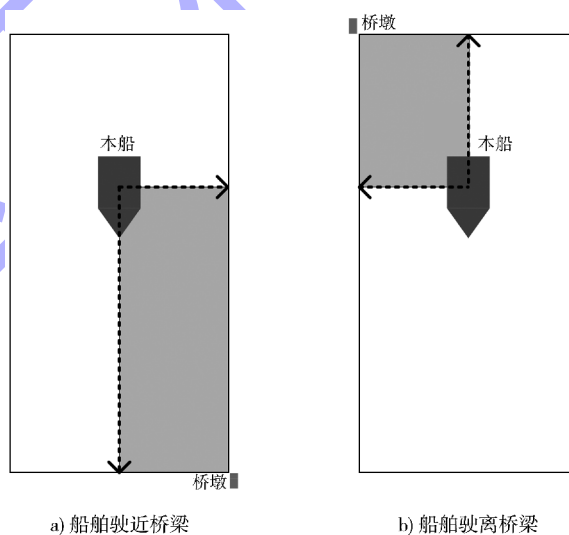


图2 船舶领域与桥区水域关系

3 基于船舶领域的桥区水域划定

分析现有船舶领域的研究发现,选用四元船舶领域模型作为碰撞风险判断成为主流,用近似椭圆形表示船舶领域的形状最为贴切^[14-16]。因此,本文以Wang^[17]基于统一解析架构使用智能技术提出的四元船舶领域模型展开研究,四元船舶领域模型如图3所示。可以看出,船舶领域范围呈现出前大后小的分布情况,这与船舶穿越桥梁航海实践是一致的,当船舶驶近桥梁时的危险性比船舶驶离桥梁时更大。

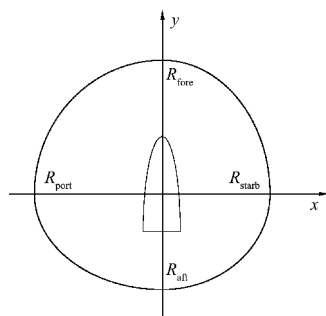


图3 四元船舶领域模型

四元船舶领域(quaternion ship domain, QSD)的边界方程为:

$$Q_{SD_k} = \{ (x, y) \mid f_k(x, y; Q) \leq 1, \\ Q = \{ R_{fore}, R_{aft}, R_{port}, R_{starb} \}, k \geq 1 \} \quad (1)$$

$$f_k(x, y; Q) = \left[\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn}x)R_{fore} - (1-\operatorname{sgn}x)R_{aft}} \right]^k + \\ \left[\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn}y)R_{starb} - (1-\operatorname{sgn}y)R_{port}} \right]^k \quad (2)$$

$$\text{其中: } \operatorname{sgn}x = \begin{cases} 1 & (x \geq 0) \\ -1 & (x < 0) \end{cases} \quad (3)$$

式中: k 为参数, 其决定船舶领域的形状, k 值越大, 船舶领域的形状越接近长方形; R_{fore} 、 R_{aft} 、 R_{port} 、 R_{starb} 分别为船舶领域在前、后、左、右4个方向上的半径, 需要根据实际的水域环境和需求进行计算和分析; Q 为4个方向上半径的集合。

3.1 桥区水域宽度分析

船舶在内河及桥区水域航行时并非一直保持船首向与航道平行的直线航行, 存在着航迹带的概念。在桥区水域内, 航迹带宽度将直接影响船舶是否能够安全穿过桥梁, 桥墩如果在船舶航迹带内, 说明船舶极有可能会碰撞桥墩; 航迹带宽度大于航道可航水域宽度, 则说明船舶会偏出航道, 极有可能发生碰撞或搁浅等事故。

船舶穿过桥梁时, 分为上行和下行, 对同一桥墩则视为左侧和右侧追越: 如果从右侧追越可能要考虑避免岸壁效应; 左侧追越时, 在考虑右侧与被追越船留有安全横距的同时, 需要避免船舶不进入对向航道。因此, 桥区水域的宽度主要从以下方面进行考虑:

1) 航道的通航宽度由航迹带宽度、富余宽度组成, 桥区水域内的船舶领域范围可以采用狭窄水域中

航道宽度的理论进行界定, 航道宽度 W 可表示为:

$$W = A + b = n(L \sin \gamma + B) + b \quad (4)$$

式中: A 为航迹带宽度; L 为船长; B 为船宽; b 为富余宽度, 与船型和船速有关, 取 B 的倍数; n 为船舶漂移倍数; γ 为风流压偏角($^\circ$)。 n 与 γ 的取值与横流速度有关, 横流速度越大, n 与 γ 的取值越大。

2) 当前的研究发现, 船舶在内河桥区等狭窄水道内追越时, 横距为 $0.35L$ 时船间效应非常明显, 横距至少为 $0.5L$ 时, 船间距离才能避免。

综上所述, 船舶在桥梁区域航行时, 船舶领域的短轴(横轴)半径 a 可描述为:

$$a = \max(0.5L, W) \quad (5)$$

$2a$ 为任意桥墩两侧桥区水域的宽度。桥区水域宽度如图4所示。由图4a)可看出, 桥梁涉水桥墩较多, 各个桥墩周围水域相连, 桥区水域的宽度覆盖了整条河道的宽度; 由图4b)可看出, 只有一侧涉水桥墩, 桥区水域的宽度不能覆盖整条河道, 桥区水域宽度的选择可以按照实际情况进行设置, 其中“桥区水域宽度1”严格按照桥区船舶领域的宽度进行选择, “桥区水域宽度2”设置为单侧航道, 从左岸至航道分隔带。

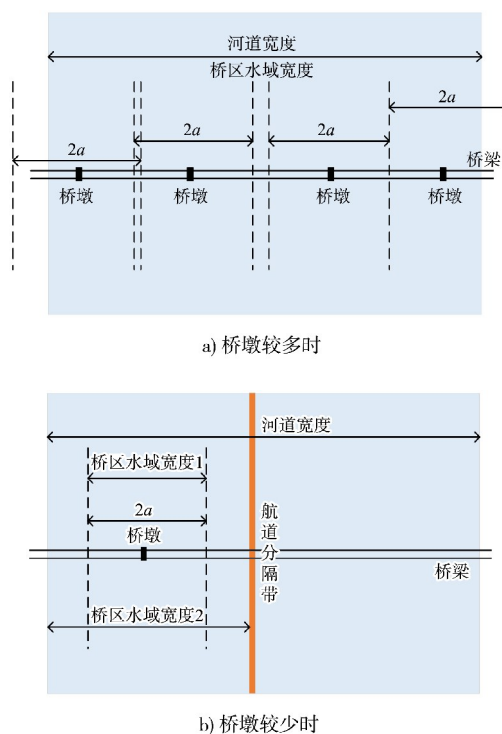


图4 桥区水域宽度

3.2 桥区水域纵向长度分析

当前分析狭窄水道, 尤其内河航道的船舶领域长轴普遍采用“停船视距”, 即船舶倒车冲程。这与桥区水域的划定思路是一致的, 即在桥区水域内的前船因某种原因停船或出现故障导致后面的船舶不能正常通过桥梁时, 桥区水域的范围应该能够保证桥区水域之外的船舶通过采取有效行动避免碰撞桥墩或以其他不安全的方式穿过桥梁。这些有效行动包括大角度旋回、倒车停船等, 桥区狭窄水道内最有效的方式就是倒车停船。

在式(1)(2)中, 当 $k=2$ 时, 四元船舶领域是由 4 个不同长短半轴的 1/4 椭圆所组成的近似椭圆形, 船舶领域纵向长度, 即前、后半半径的计算公式为:

$$\begin{cases} R_{\text{fore}} = [1 + 1.34 \sqrt{k_{\text{AD}}^2 + (k_{\text{DT}}/2)^2}] L \\ R_{\text{aft}} = [1 + 0.67 \sqrt{k_{\text{AD}}^2 + (k_{\text{DT}}/2)^2}] L \\ k_{\text{AD}} = 10^{0.359 \lg v + 0.0952} \\ k_{\text{DT}} = 10^{0.544 \lg v - 0.0795} \end{cases} \quad (6)$$

式中: k_{AD} 为船舶旋回初径的系数; k_{DT} 为船舶进距的系数; v 为船舶的航行速度; L 为船舶长度。从式(6)可以看出, 船舶领域长轴是关于船速的增函数, 即航速越大, 船舶领域的纵向长度越大, 船舶领域前、后范围的比值在 1.6~1.7。

桥区水域对船舶的航行速度、航行方式都具有一定的限制, 桥墩的存在也在一定程度上限制船舶的航行, 刘绍满^[18]得出长江内河拥挤水域船舶领域的模型, 如图 5 所示。该模型与四元船舶领域模型一致为椭圆形, 前后纵向距离为 $4.8L$, 前部为 $3L$, 后部为 $1.8L$ 。此外, 船舶领域与船舶的吨级及航速有关^[19], 长江流域的船舶制动距离与船舶领域纵长的研究表明: 船速为 7 m/s 时, 船舶领域纵长为 $4.2L \sim 4.9L$; 船速为 6 m/s 时, 船舶领域纵长为 $3.7L \sim 4.6L$; 船速为 5 m/s 时, 船舶领域纵长为 $3.3L \sim 4.2L$; 同时, 船舶领域的取值也与船舶吨级有关。当船舶驶近桥梁时, 船舶与桥墩的碰撞风险相对船舶驶离桥梁时的风险更大。

因此, 桥区水域上、下游的范围并不是相等的均分船舶领域的纵长, 而是四元船舶领域模型的计算结果接近, 桥区水域上、下游范围的比值也在 1.6~1.7。

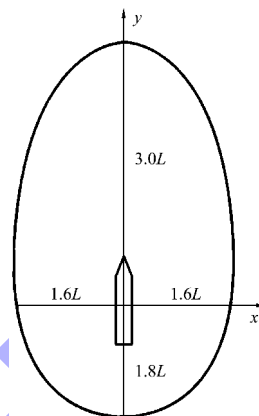


图5 内河拥挤水域船舶领域模型

综上所述, 桥区水域为内河拥挤水域, 航速一般限制在 6~7 m/s, 内河船舶拥挤水域的船舶领域模型前后纵向距离为 $4.8L$ 的纵距, 位于前文所述根据船舶制动距离得出的船舶领域纵长区间之内。因此, 桥区水域的纵向距离可以采用桥梁上游 $3L$ + 下游 $1.8L$, 符合四元船舶领域模型前后范围的比值在 1.6~1.7 的基本理论, 如图 6 所示。综上所述, 船舶在桥梁区域航行时, 船舶领域的纵轴 $2b$ 为 $4.8L$ 。

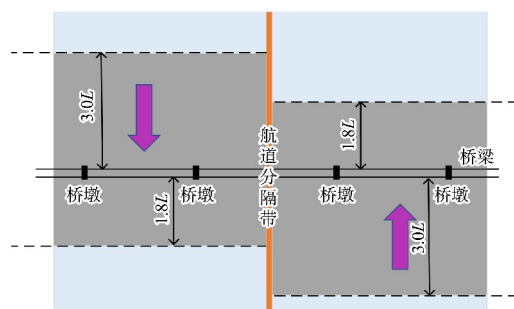


图6 桥区水域上下游长度

4 桥区水域划定对比分析

本文以长江上某大桥为例对桥区水域划定进行分析, 该桥桥墩布设方案如图 7 所示。该桥梁北侧航道内设置有 1 个涉水主桥墩和 3 个边墩, 边墩之间的距离为 140 m; 涉水主桥墩与边墩之间

的距离为 528 m, 涉水主桥墩距离推荐航道的边缘为 300 m。

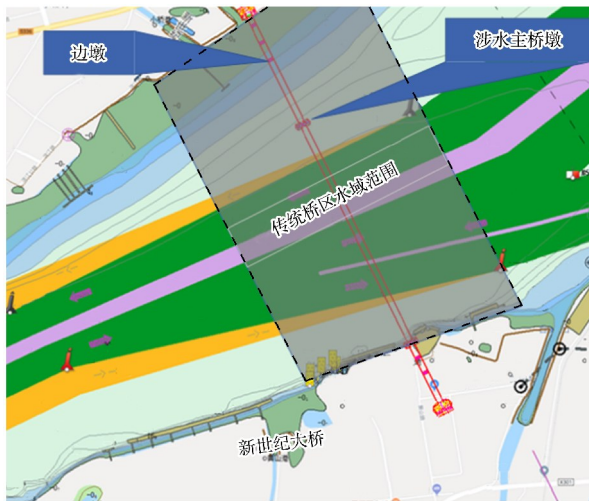


图7 长江某大桥及传统桥区水域

传统桥区水域划定方法为桥轴线上下游一定范围内两岸之间的水域,如图7中虚线范围所示。可以看出,该桥梁的涉水主桥墩及边墩都设置在主航道之外,对航道内船舶航行影响较小,而传统的桥区水域的划定方法覆盖整个航道宽度,在桥区水域划定之后,航道内船舶的航速、航法约束较多,将极大地影响该水域的通过效率;同时,由于航法的限制,桥区水域之内码头、泊位及其他涉水建筑等都会造成极大影响,浪费岸线资源。实际上,无桥墩的水域对船舶航行几乎没有影响,可以不划定桥区水域,图7的桥区水域划定方案尚未考虑该桥梁一跨过主航道方面的因素,忽略了桥梁大跨度已从本质上降低了船舶碰撞桥梁的风险概率。

该工程河段的设计船型为5万吨级货轮,代表船型尺寸为船长223 m、船宽32.3 m、满载吃水12.8 m。通过该地水文实测资料可得,该水域的最大横流速度为0.05 m/s,基于此,可得到船舶漂移倍数 n 取1.81,风流压偏角 γ 取 3° 。桥区水域的宽度基于式(5)进行计算,得到船舶领域的短轴(横轴)半径 $a=112$ m。结合该桥梁桥墩的布设,桥区水域的宽度可设为自北岸至推荐航道;根据式(6),桥区水域的上、下游的长度分别为

670、400 m。综上所述,该桥梁桥区水域的范围划定如图8虚线区域所示。

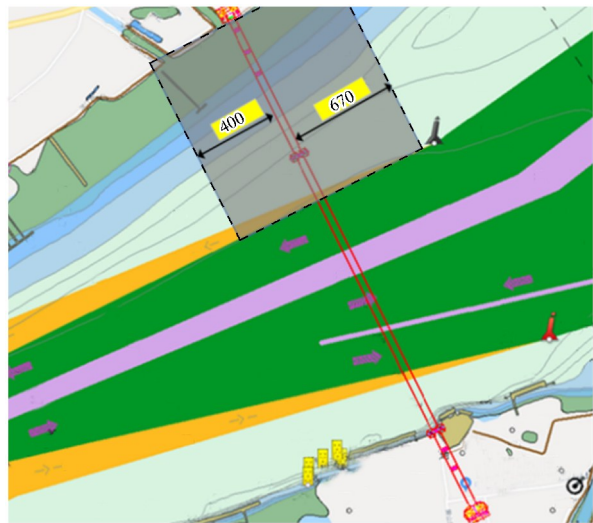


图8 桥区水域划定参考范围(单位:m)

对比图7、8的桥区水域范围可以看出,本文所设计的桥区水域划定方法在保障船舶航行安全的基础上,极大地减小了船舶在该水域的航行限制,能够提升航道通航效率,避免了传统划定桥区水域后南侧岸线资源的浪费,更加符合该桥梁大跨度的设计初衷。

该河段规定船舶抵达桥区水域上、下界线时,逆流最高航速不得超过8 kn。故以8 kn作为初始航速开展制动试验,船舶轨迹如图9所示。试验结果显示,自航速为8 kn时开始倒车制动,待船速降至2 kn时抛双锚直至船舶制动稳定状态时,船舶的航行距离为590 m,这也验证了本文基于船舶领域得出的桥区水域参考范围能够满足船舶紧急制动的水域范围要求。

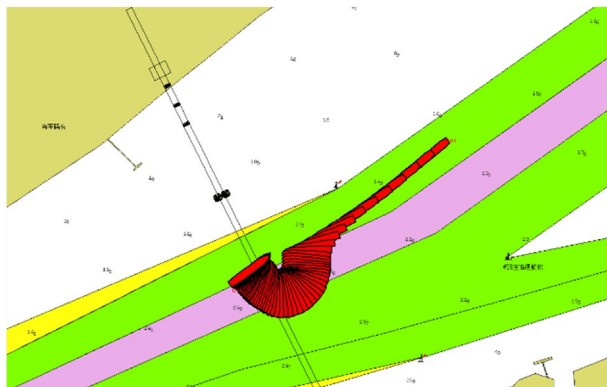


图9 船舶制动模拟试验轨迹

综上所述,本文提出的基于船舶领域的桥区水域划定方法,充分考虑了桥梁特性、航道特点以及河段典型船舶的特点,可实现桥区水域“一桥一策”的划定,具有普遍适用性和可操作性,对未来新建桥梁桥区水域的划定具有一定的参考作用。

5 结语

1) 通过剖析《中华人民共和国桥区水域水上交通安全管理办法》中桥区水域的内涵,提出一种基于船舶领域理论的桥区水域划定方法,采用狭窄水域中航道宽度和船舶追越中的船间效应界定桥区水域的宽度,结合四元船舶领域模型与长江内河拥挤水域船舶领域模型界定桥区领域的纵向范围。

2) 以长江上某大桥为例对桥区水域划定进行分析,结果表明本文提出的方法可根据桥梁工程所在水域的航道特点、船舶特性、桥梁特性为划定桥区水域提供参考,能够在一定程度上保障桥梁水域的航行安全,又能尽量减小对规划岸线资源的影响。

参考文献:

- [1] 国家发展改革委.长江干线过江通道布局规划(2020—2035 年)[R/OL]. (2020-03-31) [2022-06-01]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-04/08/content_5500124.htm.
- [2] 李永泉,李元奎,崔金龙.基于船舶操纵模拟的桥区水域划定方法[J].中国水运,2021(11):68-70.
- [3] 交通运输部.中华人民共和国桥区水域水上交通安全管理办法[R/OL]. (2018-05-25) [2022-06-01]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/haishi/202006/t20200630_3319314.html.
- [4] 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.
- [5] 长江航道勘察设计院(武汉)有限公司.长江干线通航标准:JTS 180-4—2020[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
- [6] 中交水运规划设计院有限公司.海轮航道通航标准:JTS 180-3—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
- [7] 朱日春.内河桥区水域范围界定的量化计算方法研究[J].船舶工程,2009,38(6):124-126.
- [8] 李中刚.感潮河段桥梁水域界定方法研究[D].武汉:武汉理工大学,2010.
- [9] 喻晓.桥区水域范围的界定研究[D].武汉:武汉理工大学,2012.
- [10] 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.
- [11] 肖悦.港珠澳大桥桥梁区桥梁水域范围研究[J].珠江水运,2019(6):114-115.
- [12] 郑海涛.内河典型水域船舶领域建模研究[D].武汉:武汉理工大学,2017.
- [13] SZLAPCZYNSKI R, SZLAPCZYNSKA J. Review of ship safety domains: models and applications [J]. Ocean engineering, 2017, 145: 277-289.
- [14] 周壮壮,刘钊,刘敬贤,等.基于四元船舶领域的船舶碰撞危险度模型[J/OL].武汉理工大学学报(交通科学与工程版):1-11. [2022-08-05]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1824.U.20220620.1702.006.html>.
- [15] 江行,贾志霏,郑海涛.基于四元船舶领域和避碰规则的碰撞危险度模型[J].船舶工程,2020,42(S1):370-375.
- [16] 徐海翔.互见中基于船舶领域的狭水道避碰决策研究[D].大连:大连海事大学,2016.
- [17] WANG N. An intelligent spatial collision risk based on the quaternion ship domain [J]. The journal of navigation, 2010, 63(4): 733-749.
- [18] 刘绍满.内河船舶拥挤水域通过能力的研究[D].大连:大连海事大学,2006.
- [19] 李瀛,张伟.基于停船视距的船舶领域模型研究[J].水运工程,2014(1):36-40.

(本文编辑 王璁)