

桥区水域船舶安全通航系统研究

张 伟 陈洲峰

(交通运输部水运科学研究所 北京 100088)

摘 要 在桥区水域安全环境评价及船舶安全通过桥梁影响因素分析的基础上,提出采用GPS、无线网络、嵌入式和预测控制等技术,建立自动识别船舶航行轨迹和引导船舶航行的桥区水域安全通航系统,主动防止和避免船舶撞击桥梁事故的发生。

关键词 桥区水域;船舶;自动避撞

中图分类号:U675.96 文献标志码:A DOI: 10.3963/j. ISSN 1674-4861.2010.06.012

目前我国交通运输业发展迅速,各种类型的桥梁不断建设,从跨越内河发展到跨越河口甚至跨越大海,同时航运业也不断发展,船舶的吨位、速度不断增加,在运输繁忙的航道上,船舶与桥梁碰撞的事故频繁发生。为有效避免和减少桥梁建设以及营运过程对于通航安全的影响,保障船舶航行和水上、水下施工作业安全,建立桥区水域船舶安全通航系统十分必要。

本文在桥区水域安全环境评价,船舶安全通过桥梁影响因素分析的基础上,对桥区水域船舶安全航行进行研究。通过采用GPS、无线网络、嵌入式、预测控制等技术,建立通过识别船舶航行轨迹和引导船舶安全航行的船舶安全通航系统。系统可以接收GPS基准站发来的位置修正参数,经定位处理后得到船舶准确的位置、航速、航向、轨迹等参数,并将船舶位置、航速、航向等信息发送到岸基船舶通航管理系统,最终采用人工智能、模糊控制等准确判断船舶与桥梁间的距离、预测船舶航行轨迹,根据桥梁通航能力,引导船舶以正确的航线,安全的航速通过桥梁,主动避免船舶与桥梁碰撞事故发生。

国内外研究现状

桥梁和船舶碰撞是船体和桥墩或防撞结构在短时间内的—种复杂的非线性动态响应过程。在碰撞中,船桥结构变形、失效和船体刚体运动同时发生。由于以上这些因素,使得船桥碰撞问题的研究变得比较复杂。防止船舶撞击桥梁的系统研

究始于1978年,美国发生了众多船舶撞毁桥梁的恶性事故之后,马里兰大学率先开展了桥梁及桥墩的防撞保护系统的研究^[1]。

国外桥梁大多使用浮围、缆索拦截、护桩、人工岛、桩群等防撞装置,目的是防止桥梁因船舶撞击力超过桥墩的设计承受能力,保护桥梁结构安全^[2]。桥梁上通过采用不同形式的防撞设施,可以阻止船舶撞击力传到桥墩,或者通过缓冲消能防撞设施,延长船舶的撞击时间,减小船舶撞击力,从而最终保护桥梁安全。防撞设施的设计需要根据桥墩的自身抗撞能力、桥墩的位置、桥墩的外形、水流的速度、水位变化情况、通航船舶的类型、碰撞速度等因素进行。但这些都是被动的防撞设施,不是主动式防撞。

国内桥区水域的桥梁不同程度上建立了相关的防撞设施,如对桥墩按航道部门要求做桥梁防撞设计,安装防撞栏杆、完善桥涵标和水上助航警示标志和设施等^[3]。由于多采用的是被动防撞设施,不能提前预警和防止事故的发生,远远不能满足航运发展建设的需求。为了确保桥区水域航运的安全及预防各种可能存在隐患,应当采取技术更为先进和设置成本较低的主动防撞设施,实现航运安全管理。

桥区水域通航影响因素分析

随着航运业的发展和运力发展的需要,新造船吨位越造越大,目前的内河桥梁净空高度已不能满足大吨位船舶的航行需求,因此桥梁净空

收稿日期:2010-06-09 修回日期:2010-12-11

作者简介:张 伟(1983),硕士,工程师,研究方向:港口控制系统的设计与开发,E-mail:zhangwei@wti.ac.cn

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

高度过低成为近年来船舶撞桥的一个重要原因;许多桥梁选择在弯道上或弯道附近,使桥梁轴线的法线方向与水流主流方向夹角太大,且未按规定加大净空宽度,船舶航行中,船员稍有疏忽,就会撞上桥墩;有些桥梁无相应的助航标志,船舶(特别是第一次进港的船舶)无法识别通航孔,航行随意性大,事故时有发生。

2.1 桥区通航安全特点研究

相对于开阔通航水域,桥区通航水域具有一定的特殊性,进而决定了桥区水域船舶通航的特点。

1) 顺水与逆水通航风险差别。桥区水域由于河水流动或潮流作用,其桥下通航水域的水流具有一定流速,船舶顺水与逆水通过桥梁,其操纵难度差别较大。顺水航行船速较快,舵效较差;而逆水航行则航速较慢,航时较长。因此顺水时事故发生可能性较高。

2) 复杂的水动力影响。对于大多数桥区水域,船舶多属于浅水航行,受到浅水效应影响,船舶会出现船速下降,下沉量增加等现象,同时船舶通过桥梁过程,还可能与桥墩产生“岸推”与“岸吸”等岸壁效应,这使得船舶通过桥梁过程的水动力影响更加复杂。

3) 通航净空尺度对于船舶的双重制约。开阔水域通航,船舶主要受到吃水深度制约,而桥梁通航,船舶则受到吃水深度和水线上建筑高度的双重制约。船舶必须合理控制吃水深度,并合理控制浮态,以同时满足水下航道深度以及桥梁净空高度对通航安全的双重要求。

4) 对通航船舶视野的不利影响。由于部分桥区航道的弯曲,船舶可能受到地形或建筑遮挡而造成驾驶人员视野不够开阔,同时桥梁本身对于船舶驾驶人员视野也具有一定的影响,因此造成桥梁上下游水域船舶间在互见距离及时间上均受影响,导致船舶可利用避让时间缩短,同时造成驾驶人员心理负担加重,增加事故风险。

2.2 桥区水域通航安全影响因素

2.2.1 桥区水域通航净高

桥梁通航净空高度是指船型安全通过桥孔时所需的最小高度,为代表船型空载水线以上至船上最高点的高度和富裕高度之和。

桥梁的净空高度的计算及评价过程应考虑设计最高、最低通航水位,设计船型、潮汐预报值及可能误差、船舶纵摇及垂荡、咸淡水差、观测和设计吃水误差等因素。

航道水深按下式计算:

$$D = T + Z_0 + Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$$

式中: D 为航道设计水深, m; T 为船舶吃水深度, m; Z_0 为船舶航行时船体下沉值, m; Z_1 为龙骨下最小富裕深度, m; Z_2 为波浪富裕深度, m; Z_3 为船舶装载纵倾富裕深度, m; Z_4 为备淤富裕水深, m。

船舶吃水同时应考虑船舶浮态(首倾与尾倾)、咸淡水差、水流及波浪引起的船舶纵摇和垂荡等因素,此外船舶航行过程中,还会产生下沉,即船舶动吃水增量。

2.2.2 桥区水域通航净宽

船舶顺直航道通过桥梁的净宽,可以通过分析船舶航迹带宽度和船舶与桥墩安全距离,从而做出评价。船舶航迹带宽度 A 可由下式计算:

$$A = n(L \sin \gamma + B)$$

式中: A 为航迹带宽度, m; n 为船舶漂移倍数, m; L 为船舶长度, m; B 为船舶宽度, m; γ 为风、流压偏角($^\circ$)。

弯曲航道通航净宽:

弯曲航道桥梁净宽可以按如下公式进行量化评价。

$$B = \frac{1}{2}b(\cos \alpha - \cos \alpha) + P(\sin \alpha - \sin \alpha) + L \sin \alpha + 2\rho \sin \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} \sin \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

式中: b 为船舶宽度, m; L 为船舶长度, m; P 为船舶转心至船尾的距离, m, 由转心位置确定; ρ 为船舶航迹曲率半径, m; α_1 为船舶进入弯道时的起始航向角, ($^\circ$), 沿航道轴线方向逆时针旋转到船舶首尾线为正, 反之为负; α_2 为船舶驶出弯道时的航向角, ($^\circ$), 沿航道轴线方向逆时针旋转到船舶首尾线为正, 反之为负。

此外,桥梁通航的净宽度还应该考虑如下因素。

1) 风致漂移。主要以下列公式为基础,进行定量评价研究:

$$\Delta B_F = K \sqrt{\frac{B_a}{B_w}} e^{-0.14V_s} \cdot V_a \cdot \frac{\theta \cdot \rho}{V} \cdot \sin \varphi$$

式中: K 为修正系数,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 , 取 $B_w = L \cdot T$; θ 为流向角, rad, 即水流流向与桥轴法线的夹角; ρ 为船舶航迹曲率半径, m; V_s 为风中船速, km; V_a 为相对风速, m/s; φ 为风向与桥轴法线的夹角, ($^\circ$); V 为舰队静水速

度, m/s。

2) 流致飘移。水流与船舶航向存在夹角的情况下, 船舶会因为水流作用产生漂移, 主要以下列公式为基础, 进行定量评价研究。

$$\Delta B_L = \frac{u \cdot \theta \cdot \rho}{V} \cdot \sin \varphi$$

式中: u 为流速, m/s; θ 为流向角, rad; φ 为弯曲角, ($^\circ$); ρ 为船队航迹曲率半径, m; V 为船队静水速度, m/s。

3) 船舶甩尾量。船舶由弯曲航道进入桥梁通航孔, 船舶因通过过程中转向甩尾而导致航迹宽度增加, 需进行量化计算, 并在桥梁通航净宽度中考虑。

4) 通航孔与航道线布置。航道线与潮落潮方向夹角, 与常风向方向夹角, 决定航道是否可以充分利用天然水深, 减轻航道淤积。此外, 航道线布置与通航孔轴向夹角, 对通航船舶航迹宽度也有一定影响, 进而影响船舶桥下通航安全。

岸壁效应。船舶驶过桥墩, 桥墩会对船舶产生复杂的“岸壁效应”, 导致船舶操纵能力下降, 增大事故风险。

船舶安全通航系统

通过以上分析可知, 船舶通过桥梁是一个非常复杂过程, 受多方面多种因素的影响, 必须有一套自动预警和避撞的系统引导船舶安全通过桥梁, 避免撞击桥梁。本文在桥区水域通航影响因素研究分析的基础上, 通过建立船舶安全通航系统, 获取桥区水域水位, 计算出桥梁的净高和净空等通过能力; 同时为船舶提供 GPS 精确定位信息, 在已知船舶船型、载重、吃水、航速、航向、位置等信息的基础上, 预测船舶的航行轨迹, 指导船舶以安全的航速, 正确的航线通过桥梁, 防止船舶撞击桥梁。整个系统包括获取桥区水域实时水位的水位监测子系统, 引导船舶安全航行的船载导航预警子系统和船舶通航管理子系统, 系统结构图 1。

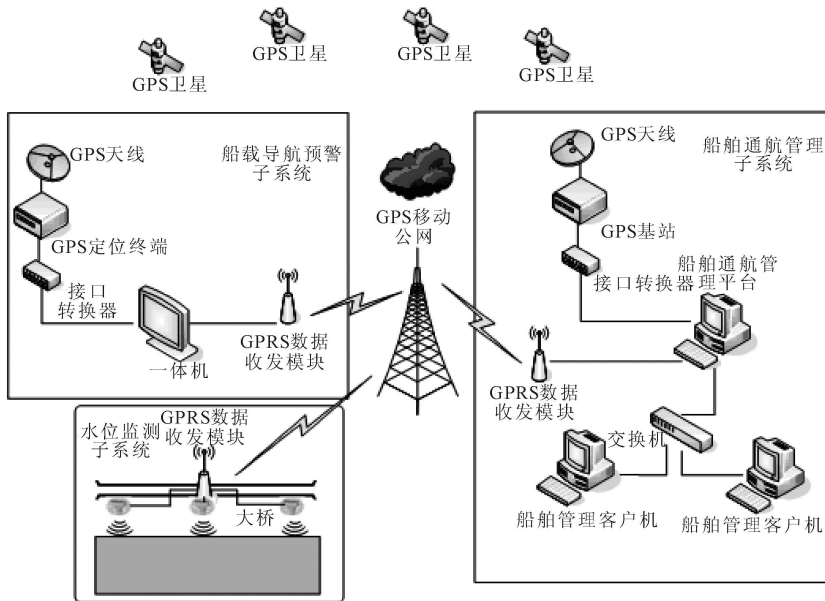


图 1 船舶安全通航系统结构图

3.1 桥区水域水位监测子系统

由于桥区水域的水位会有所不同, 这就造成了桥梁净空、净宽和桥梁的通过能力会有所不同。水位低时能安全通过桥梁的船舶, 在高水位时有可能撞击桥梁, 这就需要对桥区水位进行实时的监测。

桥区水域水位监测子系统主要由水位 RTU 和监测中心组成。水位 RTU, 主要完成对水面水位数据的采集和发送。水位 RTU 可设置为自动定时向监测中心发送信息, 也可设置为平时处于待命状态, 在收到监测中心的指令后才将信息发

送给监测中心。

监测中心由船舶通航管理平台兼备、同时配有 GPRS 数据收发模块和监测软件, 监测中心可将巡检指令发送各水位 RTU, 水位 RTU 收到指令后即向监测中心发送信息。同时监控软件提供接口可以将实时水位信息发送到船舶管理软件中, 以便计算桥梁的净高和净宽, 为船舶航行轨迹确定提供数据。

3.2 船载导航预警子系统

桥区水域桥梁的通航能力受多种因素影响,

而船舶要安全通过,必须考虑桥梁的净高、净宽等多种因素,按照正确的航行轨迹。这就需要对船舶的航行轨迹进行预测,如果偏离安全航道,就需要及时报警,提醒驾驶人员调整航行,这些工作由安装在船舶上的导航预警子系统来完成。船载导航预警子系统主要由 GPS 定位终端、工业一体机、GPRS 数据收发模块和导航预警软件组成。

船载导航预警子系统接收 GPS 信号和岸上的 GPS 基准站的校准信号,定位船舶位置,确定船舶的航向、航速等。同时发送船舶的名称、船型、吃水、载重、位置、航向、航速等信息到船舶通航管理平台,接收船舶通航管理平台提供桥梁位置、桥梁通过能力、船舶安全航线,最终采用人工智能、模糊控制等技术来预测船舶的航行轨迹是否在安全的航线上,以电子地图方式提示船舶驾驶人员修正航向、航速,引导船舶顺利通过桥梁。若系统处于警戒状态,则分级报警,提醒驾驶员采取紧急处理措施。

3.3 岸基管理子系统

岸基管理子系统主要由 GPS 基准站、船舶通航管理平台、船舶管理客户机、GPRS 数据收发模块等组成。GPS 基准站通过已知精确三维坐标,求得位置修正值,再将这个修正值发送到船舶上的 GPS 定位终端,以提高船载 GPS 定位终端的精度,获得比较精确的船舶位置信息。

船舶通航管理平台能够接收船载导航预警子系统发送的船舶的名称、船型、吃水、载重、位置、航向、航速等信息,接收水位监测子系统发送的水位信息,根据桥梁的固有参数,计算桥梁的净高和

净宽等通过能力,获得船舶的安全航线和航线,发送到船载导航预警子系统,使船舶的船载导航预警子系统计算出船舶与桥梁的距离,并预测船舶航行安全状态,指引驾驶人员操作,安全通过桥梁。

岸基管理子系统采取 B/S 结构,船舶通航管理平台同时作为服务器,可以存贮船舶和桥梁的相关数据和通航数据,便于日后查询和管理。船舶管理客户机设置在通航管理部门,方便相关部门对于桥区水域的通航管理和船舶指挥调度。

结束语

桥区水域安全通航系统作为一种主动避撞的系统,能够为船舶提供航行信息服务、对桥区水域船舶实施管理和通航引导。通过系统的研究,能够更好地保证桥区水域桥梁和航行船舶的安全,避免船舶通过桥梁时因疏忽或者由于季节、天气等原因而导致的船舶碰撞桥梁事故的发生。随着设备成本的降低,系统的广泛应用能够为桥区水域航运安全 and 生产提供必要的帮助,给通航船舶提供信息支持,为桥区水域航运的科学化管理创造良好的基础,具有较好的经济效益。

参考文献

- [1] 夏 飞. 桥梁防撞系统的发展[J]. 中国水运, 2008, 6(1): 68-69.
- [2] 张耀宏, 顾金钧. 名港中央大桥桥墩防撞结构的设计[J]. 国外桥梁, 1999(1): 61-65.
- [3] 李松炬, 邬亚永, 刘立新. 内河桥梁碰撞原因及监管对策分析[J]. 物流工程与管理, 2009, 31(7): 133-135.

A Bridge-waters Area Ship Safety Navigation System

ZHANG Wei CHEN Zhofeng

(Waterborne Transportation Institute, Beijing 100088, China)

Abstract: This paper establishes a bridge-waters area ship safety navigation system to automatically identify the ships sailing track and guide the navigation by using GPS, wireless network, embedded technology and predictive control technologies based on the bridge waters safety environmental assessment and analysis of the factors affecting the ship when safely passing through the bridge, which can be used to positively prevent and avoid the accidents.

Key words: bridge waters; ships; automatic collision avoidance