

以东海大桥为例谈跨海大桥船桥碰撞防控

任亚磊 韩世斌 王 巍

(洋山港海事局, 上海 201306)

摘要: 国内外船桥碰撞事故频发, 已引起业内广泛关注, 相关研究也取得了丰硕成果。随着跨海大桥建设进程的加快和典型碰撞案例的增加, 跨海大桥非通航孔水域的船桥碰撞防控也逐渐被重视起来。本研究梳理了船桥碰撞防控的研究现状, 分析了跨海大桥船桥碰撞防控的难点, 总结了东海大桥船桥碰撞防控的经验, 从海事管理角度分享了提高跨海大桥碰撞防控水平的建议, 以备业内参考。

关键词: 东海大桥; 跨海大桥; 船桥碰撞防控; 海事部门

中图分类号: U698.6; TU997 **文献标志码:** A

近年来, 随着中国经济的发展和交通强国战略的布局, 中国交通基础设施建设进入快车道, 尤其是桥梁建设进入爆发期。截至2019年11月, 长江干线已建成各类跨江大桥115座, 在建或规划建设的还有超过30座; 跨海大桥的建设也硕果累累, 目前全球十大最长跨海大桥中国占了5座, 包括港珠澳大桥、青岛海湾大桥、杭州湾跨海大桥、东海大桥、金塘大桥等。此外, 渤海湾和琼州海峡的大桥也在规划论证之中。桥梁建设为陆上交通带来了便利, 促进了沿江、沿海地区的经济发展, 但同时也挤占了宝贵的通航资源, 随着航运的发展, 船舶大型化、高速化趋势明显, 货运量和船舶密度逐年增加, 使得这一矛盾不断深化。近几十年来, 国内外船桥碰撞事故频发, 已经引起了业内的广泛关注。据国外数据统计, 在1960年至2008年的48年间, 国外船桥碰撞导致桥梁倒塌的事故就达到35起^{[2][9][12]}, 戴彤宇^{[9][20]}等统计我国1989年至2002年船桥碰撞事故总数为213起。本研究拟在前人研究成果的基础上, 从海事管理的视角, 以东海大桥为例, 总结跨海大桥船桥碰撞防控经验和成果, 查找隐患风险点并给出防控建议, 以备业内参考。

1 船桥碰撞防控的研究现状

船桥碰撞问题涉及桥梁工程、船舶力学、水动力学和碰撞力学等多个学科, 国际上最早始于20世纪60年代, 受阳光大桥碰撞事故推动在80年代开始系统研究, 重要事

件是1995年国际航海协会(PIANC)成立工作小组, 专门从事船桥碰撞事故调查研究, 建立了船撞桥事故的国际数据库, 徐言民等人^{[2][9][12][13][15][16][18][20]}对相关研究内容和脉络已有系统介绍, 此处不再赘述。

国内的研究始于20世纪80年代, 研究思路和脉络与国外类似。赵劲松^[1]以南京大桥为例, 从危险分析、桥墩防护、VTS系统和助航设施等方面探讨了船桥碰撞防控问题; 戴彤宇^[2]首次建立了我国的船撞桥数据库; 耿波^[15]建立了桥梁船撞安全评估数据库。随着船舶交通管理系统(VTS)和船舶自动识别系统的普及, 海量船舶动态数据的获取成为现实, 徐言民^[12]建立了船舶运动模型, 开发桥梁主动防碰撞预控系统, 以应对人为因素和突发失控事故造成的桥区水域船舶安全通航问题; 陈明忠^[14]基于AIS和VHF开发了跨海大桥桥区航道智能助航系统; 张文娟^[16]开发了桥区水域预警系统; 刘磊^[18]以长江武汉桥区水域历史AIS数据为基础, 以热力图对碰撞风险进行了可视化呈现。以上研究多从微观层面研究船与通航孔的碰撞问题, 比较适用于内河水域的桥梁或跨海大桥通航孔的防护, 对于跨海大桥全桥段的防护则力有不足。张胜超等^{[9][13][19]}介绍了主动和被动防控体系的构成和非通航孔防穿越技术, 梳理了中国跨海大桥防撞体系的应用现状。方正平等^[9-10]从船桥碰撞事故调查出发, 以海事管理的角度, 提出了实用性管理措施。邵帅则结合自

身航海经历总结了日本跨海大桥防控的经验,并提出了相应建议。

国内外的理论研究成果,也大量被国家级的规范和指南所引用,促进了立法层面的科学性。如2009年AASHTO《船舶碰撞公路桥梁设计指南第2版》的内容就被《美国公路桥梁设计规范》所引用;国内也出台了《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021-89,1989年)、《公路桥涵设计通用规范》(JTJ D60-2004,2004年)、《通航海轮桥梁通航标准》(1997年,目前已被《海轮航道通航标准》(JTS-180-3-2018)替代)。

2 跨海大桥船舶碰撞防控的难点

跨海大桥防控难度和工作量大于内河桥梁,主要体现在以下几个方面:

一是,水动力状况更加复杂。跨海大桥一般处于海湾、河口,属于江流、海流的交汇处,流急浪高、水深、潮大,喇叭口地段还容易形成涌潮^[17],以东海大桥为例,通航孔附近最大流速将近2m/s,且流向与船舶航向线夹角有 $5^{\circ}\sim 18^{\circ}$ 。

二是,气象条件更加恶劣。海区大风和能见度不良等恶劣气象多发,以东海大桥为例,近12年预报风力 ≥ 7 级年均天数为289.75d,其中预报风力达到8级的年均天数约89.91d,达到9级及以上的年均天数约54.08d;能见度低于1000m的年均天数为42.75d,其中低于500m的年均天数为19.83d。

三是,通航环境更加复杂。跨海大桥所处的水域一般渔业资源丰富,是传统渔业作业区,在渔业捕捞季节,大量渔船出现在桥区水域,增加了船舶的会遇风险;大量碍航的渔船渔网还会侵占部分航道和习惯航路,使得船舶可航水域减少,避让回旋余地不足。

四是,跨海大桥通过船舶船型复杂,船况良莠不齐,且受潮汐影响有明显通航高峰时段。以东海大桥为例,每天通过东海大桥的船舶数量在200艘次左右,绝大数集中在2号通航孔,其中500总吨以下的小型船舶及渔船占比近90%,这些船舶多数为舟山籍小型运输船舶,在船管系统里信息资料缺漏或不实,经常不按规定航路行驶,不守听或不回应高频呼叫,在监控和管理上存在一定难度。

五是,跨海大桥附近水工程项目多,水上设施多。以东海大桥为例,大桥3号孔东西两侧分布有东海大桥风电一期和二期工程,已建成风机62台;2号通航孔东侧目前正在建设嵊泗风电项目,计划安装6MW风机23台。已建成的风机会对VTS雷达有一定影响,导致部分水域出现雷达盲

区,影响桥区船舶动态监控;风电场附近还会铺设大量海底电缆,影响船舶应急抛锚;风电场规划水域与目前船舶交通流有交会,施工期间有导致船舶碰撞水下沉桩后失控,威胁大桥安全的可能性。

六是,由开阔水域驶入跨海大桥桥区水域,会增加驾驶员心理压力,导致操纵失误。

七是,跨海大桥桥体跨度大,防控困难。以东海大桥为例,全长32.5km,海上段有25.3km,导致内河水域常用的CCTV监控和激光测距技术不能简单复制在跨海大桥上。

八是,非通航孔占比高,防撞能力差。以东海大桥为例,非通航水域长度占比约92%,大桥仅在通航孔附近水域的桥墩设置了物理防撞装置,且目前国内尚未出台关于桥梁非通航孔防撞设施建设的国家标准与规范^[10]。

九是,跨海大桥施工周期长,建设期间风险大。以东海大桥为例,2002年6月26日开始施工,2005年5月25日全线贯通,工期长达三年。东海大桥建成通车后尚未发生过船桥碰撞的事故,但发生过船桥碰撞险情约44次,其中建设期间23次。

十是,巡逻艇数量有限,执法力量不足。海区巡航和应急搜救工作繁忙,对巡逻艇抗风等级要求较高,一般40米级巡逻艇只能防抗8级及以下大风,不能满足洋山水域恶劣气象条件下保护东海大桥的要求。

十一是,应急力量不足。桥区未配备专用的应急大马力拖轮,临时从港区抽调需要1~2h,无法及时有效执行强制措施或对失控船舶进行处置。

十二是,跨海大桥造价高,社会关注程度高,一旦发生擦碰除了经济损失外,还要考虑社会影响和政治影响,主管机关管控压力大。

除此之外,跨海大桥可能还面临已有防撞设施失效的和桥墩附近冲刷,海底桩基埋深变浅^[6],导致防撞能力进一步下降的问题。东海大桥在2016年和2019年发生过3次主通航孔辅墩防撞设施脱离的事件;而据2019年的扫测结果,东海大桥桥墩处普遍冲深在5~10m。

3 东海大桥碰撞防控的经验

东海大桥是中国第一座真正意义上的外海跨海大桥,设计和建设阶段相关规范还不完善,船桥碰撞防控的技术尚不成熟,大桥在被动防撞设施方面只强化了通航水域的防控,非通航水域无额外防控措施,后来的杭州湾跨海大桥则设计了由独立群桩防撞墩、系泊浮体和连接锚链组成的专用的船

船拦截体系^[13]。在大桥建设和运行管理期间,国家相关法律法规、行业规范不断健全,在海事部门的呼吁下,政府和业主单位也逐渐认识到船桥碰撞防控的必要性和严峻形势,东海大桥水域逐渐建成了较为完善的航标系统,海事管理部门也逐渐形成了不断完善的管理体系,船桥碰撞的险情呈现逐年下降的趋势,再加上 VTS 升级改造、AIS 电子围栏、电子巡航、智能助航等理念的兴起和技术的成熟,未来在主动防控方面还将有进一步的强化。

3.1 法律法规较为健全

2018 年交通运输部印发了《中华人民共和国桥区水域水上交通安全管理办法》和《海轮航道通航标准》(JTS-180-3-2018),在政策上对桥区水域的导助航标识和警示标志的设置提出了明确要求。2019 年交通运输部海事局修订了《上海洋山深水港区及其附近水域通航安全管理规定》,在航行、停泊、报告等方面对桥区水域的通航管理进行了规范。

3.2 航标系统较为完善

东海大桥设置了较为完整的航标系统^[5],在桥孔上设置了最佳通过点标志,双向通航的桥孔设置了禁航标志确保各自向右单向通航;通航孔附近水域航道布设了对称的引导侧面标,以引导船舶及早校正风流压差,调整航向,安全通过通航孔;东海大桥东西两侧各 1 000 m 水域为安全水域,在安全水域设置了警戒灯浮,灯浮间间距约 1.1 km,禁止船舶在此安全水域锚泊、航行。除可视航标外,还在大桥各通航孔安装了雷达应答器,全桥两侧安装了 5890 套蓝色 LED 灯具,布设间距为 10 m,以勾勒出大桥整体轮廓,使船舶在远距离判断出通航孔位置。

3.3 风险隐患治理及时

在海事管理部门和其他相关单位的呼吁下,2017 年上海市将“东海大桥(含颍珠山大桥)非通航孔水上碰撞安全风险”列为市级督办事故隐患(风险)治理项目,计划在 2 a 内完成非通航孔水上碰撞安全风险治理。目前项目,更新安装了 5 890 套蓝色 LED 灯具,在大桥各通航孔和颍珠山段桥孔安装了 30 个 CCTV 探头,并完成了颍珠山段物理隔绝的方案设计和理论论证,今后还将进一步完善颍珠山桥域的警示标志系统。

洋山港海事局也配合进行了船舶非法穿越非通航水域的整治,桥区通航秩序有所改善,以颍珠山段为例,2016 年 7 月进行了 21 d 的观测,日均通过船舶 47.9 艘次,其中 30 m 以上的有 89 艘次,50 m 以上的有 30 艘次,最大的船

长 88 m,近 5 000 载重吨;治理后 2019 年日均通过船舶已下降至 13 艘左右,且 95% 以上为对桥墩威胁较小的小型渔船。

3.4 海事管理形成机制

洋山港海事局是东海大桥船舶通航管理的主管机关,近十五年来积累了大量的跨海大桥管理经验,形成了“一个机制五个制度”的长效机制,配套了 VTS 系统、还配置了电子巡航系统、电子围栏系统和现场巡逻艇作为辅助手段,主要做法包括:

一是,做好东海大桥桥区水域安全宣贯工作。搜集东海大桥桥区水域相关法律、法规、规范性文件、典型案例等,制作宣贯材料,利用 VHF、电话、微信公众号、宣传册等方式,向社会公众宣传桥区水域安全知识,压实企业安全主体责任。

二是,加强东海大桥桥区水域安全预警工作。收集可能影响船舶在东海大桥桥区水域航行安全的大风、能见度不良等恶劣气象信息,以 VHF 信息广播、电子围栏系统 AIS 短报文为主要发布方式,以官方微信公众号、手机短信为辅助发布方式向相关船舶、设施和单位推送,提醒其及早落实防控措施。

三是,加强东海大桥水域远程监控能力。以 VTS 系统为中心,综合利用电子巡航系统、电子围栏系统、CCTV 等多手段不断提升对东海大桥桥区水域远程监控的有效性和全面性。在东海大桥轴线东西两侧,距离大桥分别约 10 n mile 和 5 n mile 位置设置两条警戒线,在非通航水域设置报警区,以实现动态不明船舶的预警预控。

四是,加强对东海大桥现场监管工作。落实巡逻艇守护巡航制度,加强 VTS 和现场巡逻艇的联动,强化船舶通航秩序的整治。

五是,通过体系化管理,规范做好大桥水域应急处置工作。洋山港海事局在体系文件中纳入了《应急管理程序》,制定了东海大桥应急处置的预案。

六是,多单位合作,建立安全共商机制。洋山港海事局牵头与上海东海大桥管理有限公司等 27 家单位作为洋山深水港区安全共商机制成员单位,按照信息共享、资源共用、快速反应、安全共商、联动共治的基本原则,共同抵御洋山深水港区及其附近水域水上交通安全事故和污染事故,并制定了《洋山深水港区及其附近水域安全共商机制》。

4 提高跨海大桥碰撞防控水平的建议

结合东海大桥船桥碰撞防控的现状,综合考虑技术进

步和费效平衡,建议当前一段时期以主动防控措施的落实为主,建议:

一是,进一步完善和优化助航设施。建议加强桥区水域的潮汐、潮流、风力、能见度信息采集,以虚拟 AIS 或者 AIS 短报文的形式发送给船舶;在通航孔桥墩和附近非通航孔桥墩设置 AIS 虚拟标,提示可航水域;在蒋公柱山设置电子指示牌,以保障靠离四期码头船舶与后港池进出船舶交会安全。

二是,加强大数据应用,实施智慧监管。将海事监管数据与船舶动态数据相结合,以数据挖掘的方式查找重点船舶,实施精准服务和重点监管。如可通过交通流分析,查找通过大桥频次较多的船舶及所属船公司,建立档案,加强点对点的信息推送;可通过在 MIS 系统接入船舶进出港报告信息、船舶安检记录和违章信息,对载运危险货物船舶、低标准船舶予以识别,方便提前介入管控。

三是,关注新设备、新技术、新理念的应用,做好监管盲区的补点。如:远程监管和大部分智能监控手段对 AIS 不开启的船舶束手无策,常规的 CCTV 探头监控距离较近,应急响应时间不足,派遣巡逻艇现场查看成本过高,且受海况限制,全景摄像头和鹰眼球机配合使用可有效解决这一难题;此外对超高船舶的监测也是难点之一,香港海事处基于 CCD 摄录机和冷却热像仪开发的船只高度检测系统提供了一种新的思路。

四是,开发和完善跨海大桥桥区航道智能助航系统。陈明忠^[14]开发的基于 AIS 的智能助航系统比较符合跨海大桥保护的实际情况,建议以此为基础,接入雷达、CCTV 和船舶管理信息,强化预警预控能力。

参考文献

- [1] 赵劲松. 船—桥碰撞与南京长江大桥的防碰问题[J]. 大连海事大学学报, 1992(1):77-81.
- [2] 张景峰. 船舶—桥梁碰撞动力分析及船撞作用下桥梁结构可靠度研究[D]. 2016.
- [3] 方正平, 马延辉. 船舶触碰跨海大桥事故的调查和思考[J]. 中国水运(下半月), 2009, (8):38-41.
- [4] 陈宏, 陈峰. 船舶碰撞大桥事故分析与对策[J]. 航海技术, 2011(1):26-28.
- [5] 李汶. 东海大桥安全通航的指路明灯[J]. 航海, 2006, (4):17-18.
- [6] 闫磊, 金永兴. 东海大桥安全隐患与对策思考[J]. 中国

水运:学术版, 2008, (1):71-73.

- [7] 姜朝, 孙守旺, 任亚磊. 东海大桥非通航孔船舶碰撞风险量化分析与管理对策[J]. 上海海事大学学报, 2017(3).
- [8] 陈述. 东海大桥桥墩基础冲刷防护方案研究[J]. 世界桥梁, 2019(4).
- [9] 张胜超. 洞头峡跨海大桥非通航孔拦截体系施工技术研究[D]. 2015.
- [10] 吴忠华, 李锋. 防止船舶碰撞金塘大桥的措施建议[J]. 中国水运(上半月), 2010, (5):26-27.
- [11] 邵帅. 海事部门如何在防止船舶碰撞跨海桥梁中发挥有效作用[J]. 中国海事, 2008, (10):42-45.
- [12] 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]. 上海交通大学, 2010.
- [13] 仇实. 跨海大桥非通航孔防止穿越技术研究[D]. 2016.
- [14] 陈明忠. 跨海大桥桥区航道智能助航系统研发*[J]. 水运工程, 2020(1):107-112.
- [15] 耿波. 桥梁碰撞安全评估[D]. 同济大学土木工程学院, 2007.
- [16] 张文娟. 桥区船舶航行风险预警系统研究[D]. 武汉理工大学, 2013.
- [17] 蓝兰. 我国跨海大桥建设情况分析[J]. 交通世界(19期):24-30.
- [18] 刘磊. 武汉桥区水域船舶航行碰撞风险可视化研究[D]. 武汉理工大学, 2018.
- [19] 冯忠居, 李维洲, 戴良军, et al. 中国跨海大桥防撞体系的应用现状[J]. 筑路机械与施工机械化, 2017, 34(11):40-45.
- [20] 戴彤宇. 船撞桥及其风险分析[D]. 哈尔滨工程大学博士学位论文. 2002.