

DOI: 10.16799/j.cnki.esdqyfh.250911

既有公路桥梁防船撞加固技术研究

接金亮^{1,2}

(1. 广东和立交通养护科技有限公司, 广东 广州 511400; 2. 广东省交通规划设计研究院集团股份有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 近年来,随着水上交通运输的快速发展,船桥碰撞事故不断发生,因此既有桥梁如何进行防船撞加固变得越来越重要。考虑现行规范中关于既有公路桥梁防船撞加固的内容较少,缺少工程重难点分析,结合工程实践案例和相关规范提出既有公路桥梁防船撞加固技术路径和加固体系,通过某项目工程案例进行流程说明,并采用MIDAS Civil软件进行船撞加固后结构验算。结果表明提出的技术路径和加固措施科学合理,可为后续防船撞加固相关工程提供指导和借鉴。

关键词: 既有公路桥梁;防船撞;加固

中图分类号: U445.7²;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)04-0096-05

Research on Anti-ship Collision Reinforcement Technology for Existing Highway Bridges

JIE Jinliang^{1,2}

(1. Guangdong Heli Traffic Maintenance Technology Co., Ltd., Guangzhou 511400, China; 2. Guangdong Communication Planning and Design Institute Group Co., Ltd., Guangzhou 510000, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of water transportation, the collision accidents between ships and bridges have been occurring continuously. Therefore, how to reinforce existing bridges to prevent ship collisions is becoming increasingly important. Considering that the current standards have relatively few provisions regarding the anti-ship collision reinforcement of existing highway bridges and the lack of analysis on the key and difficult points of the project, and combined with the engineering practice cases and relevant specifications, a technical path and system for the reinforcement of existing highway bridges against ship collisions are proposed. The process is explained through a project case, and the MIDAS Civil software is used for structural verification after the ship-collision reinforcement. The results indicate that the technical path and reinforcement measures proposed are scientifically reasonable, which can provide the guidance and reference for subsequent anti-ship collision reinforcement projects.

Keywords: existing highway bridges; anti-ship collision; reinforcement

0 引言

对于既有公路桥梁来说,一方面,部分桥梁由于建设年代久远,建设期防撞标准远低于航道通行现状;另一方面,现行规范《公路桥梁抗撞设计规范》(JTG/T 3360-02—2020)(以下简称“2020船撞规范”)[¹]规定船撞作用需要考虑动力效应,若按现行标准,则部分桥墩会出现防撞能力不足情况。因此,对既有公路桥梁进行防船撞加固有着重要的工程及实际意义。然而现行2020船撞规范主要介绍新建期桥梁防船撞加固方法,关于既有公路桥梁防船撞加

固的相关现行规范又较少,本文考虑结合工程实践和相关规范提出既有公路桥梁防船撞加固技术路径和加固措施,为防船撞加固相关工程提供指导和借鉴。

1 防船撞加固技术

1.1 技术路径

由于水上交通经济的快速发展,通行既有桥梁的船舶种类及船舶吨位复杂多样,也存在一定数量吨位大于航道维护等级代表船型的船舶,因此,防船撞加固首先要结合航道及船舶现状确定防船撞加固标准,再综合桥梁相关实际情况合理确定防船撞加固措施。

2020船撞规范基于概率角度出发,抓住随机事

收稿日期: 2025-09-16

作者简介: 接金亮(1991—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

件的本质出发,由点到线,由线到面,再由面到三维空间,提出了一种立体的基于概率的风险分析方法^[2]。该方法通过收集桥梁、航道以及船舶的基础信息,建立失效概率模型计算桥梁涉水墩的失效概率及设防撞击力,确定防船撞加固标准设防代表船型及相对应的船撞力。结合桥梁既有防船撞能力与加固标准的船撞力差值以及桥梁结构现状、航道阻水比等综合确定防船撞加固措施,再建立有限元模型进行加固后抗撞性能验算是否满足要求^[3]。

本文根据 2020 船撞规范和《安全风险及抗撞性能综合评估工作及技术指南》(以下简称“抗撞评估技术指南”)的相关内容确定防船撞加固技术路径,见图 1。

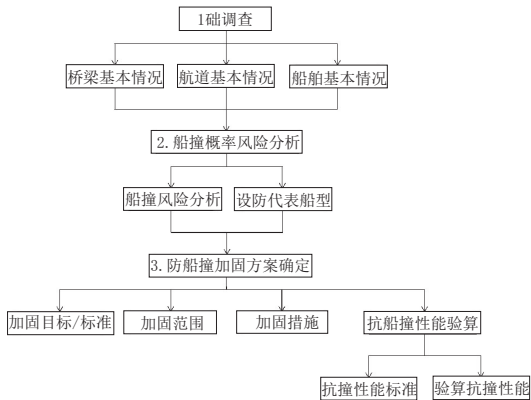


图 1 技术路径图

1.2 防船撞加固体系

按照重点与一般的防护理念以及通过设置多层次、多层级加固措施进行整治提升,以达到节约经济、对桥梁本身影响较小、对航道影响较小的整治提升效果。

(1)通航孔桥墩:作为船舶通行的主要航道应进行重点防护。可先采取物理或结构性措施隔离碰撞船舶,其次对船撞力进行消能,最后考虑提升自身防撞能力,建立多层次的加固防护体系。

(2)非通航孔桥墩:a.通航孔侧相邻边墩:据以往的船舶碰撞事故统计,靠近通航孔侧的边墩往往结构设计防撞能力薄弱,船舶碰撞后造成的安全及经济损失较大,应进行重点防护,可结合通航孔桥墩加固理念建立多层次的加固措施。b.其他水中桥墩:考虑经济性、防洪等因素,可进行一般防护,同时采用管理措施(如主动预警系统)以及浮标/拦截索等隔离防护措施,建立一层次的加固防护体系^[4]。

1.3 常用防船撞加固措施

桥梁常用防船撞加固措施分为主动防撞、被动

防撞或者两者综合^[5]。

(1)主动防撞措施,可采取主动预警系统,对偏离航道和超高船舶提前进行警告,减少船舶撞击桥梁的概率;以及完善通航警示标志标识。

(2)被动防撞措施,即当船舶撞击时采取措施防止或减少桥梁受损,常见的方案有增设柔性防撞设施、增强结构自身的抗撞性能等。

a.具备结构性加固的桥墩,优先考虑结构加固以增强结构的整体稳定和抗撞能力,如扩大墩身、加大承台、多幅相邻桥梁的下部结构横向连接等。

b.不具备结构性加固的桥墩,可考虑采用防撞套箱对船舶撞击力进行消能处理。

c.桩基承载力不满足要求的桥墩,考虑新增桩基和对桥墩结构进行消能。

d.可适当考虑桥墩上下游采取独立防撞墩,以减少船舶直接撞击桥梁的概率及能力。

e.考虑桥梁在枯水期等水位下降,存在撞击桩基的可能,采用隔离栅等隔离措施物理隔离船舶,避免直接撞击水中桩基^[6]。

f.对于维持现状防撞能力的水中桥墩,考虑采用橡胶护舷或者防撞复合材料贴片进行保护,避免船舶的刮蹭。

2 工程案例

2.1 项目概况

2.1.1 桥梁概况

某大桥为一座特大公路桥梁,现状为下游高速老桥、中间扩建桥和上游国道桥共三幅桥梁,三桥基础类型接近,河床冲刷情况也相互影响,历史上曾经进行过承台连接加固。

老桥通航孔主跨为预应力混凝土连续梁,其孔径组合为 100 m+160 m+160 m+100 m。主墩 22#~24#为薄壁墩身,左右幅采用整体式承台,基础采用钻孔灌注桩,由 18 根 D250~D220 cm 变直径桩组成,按嵌岩桩设计;边墩墩号为 21#和 25#,墩身双柱式方形墩,尺寸为顺向 2.0 m×横向 2.3 m,基础采用 2 根 D300 cm 钻孔灌注桩,按嵌岩桩设计。现状部分桥墩设置有橡胶护舷,主要位于承台等位置。汽车-超 20,挂车-120。

扩建桥通航孔主跨为连续刚构桥箱梁,跨径与老桥箱梁保持一致。主墩 21#~23#为薄壁墩身,基础采用钻孔灌注桩,由 9 根 D280~D250 cm 变直径桩组成,按嵌岩桩设计;边墩墩号为 20#和 24#,墩身采用

双柱式方形墩,尺寸为2.5 m(顺向)×2.5 m(横向),基础采用4根D180 cm 钻孔灌注桩,按嵌岩桩设计。公路-I级。

2.1.2 原设计船撞标准

老桥通航船舶吨位为3 000 t 江海快速轮船^[7]。

2.1.3 航道及船舶概况

现状航道技术等级为 I 级,通航3 000 t 级代表船舶。根据船舶 AIS 航迹线可知,多数船舶主要通

过大桥通航孔通行,非通航孔也有少量船舶通行。

2.1.4 现状防船撞能力

根据《船舶碰撞桥梁隐患治理三年行动实施方案》,结合2020年船撞规范,对外侧下游老桥进行了抗撞性能综合评估,按原航道批复代表船型3 000 t 级标准采用新规范进行现状抗撞性能验算。结果表明,通航孔主墩22#~24#墩满足要求,但两侧21#、25#过渡墩不满足抗撞性能要求,见表1。

表1 21#、25#现状抗撞性能验算(加固前)

墩号	撞击方向	控制截面	轴力/kN	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	等效屈服弯矩/(kN·m)	控制截面抗剪承载力/kN	剪力安全系数	弯矩安全系数
21#墩	横桥向	墩身	-1 099	23 094	6 656	5 959	6 389	0.26	0.96
		原桩基	15 275	16 603	1 608	19 380	4 822	1.17	3.00
	顺桥向	桥墩	6 658	20 203	1 310	12 410	7 344	0.61	5.61
		原桩基	9 664	35 308	4 104	15 820	4 822	0.45	1.18
25#墩	横桥向	墩身	-2 491	31 470	8 048	5 067	431	0.16	0.05
		原桩基	8 785	33 413	1 844	19 300	6 906	0.58	3.75
	顺桥向	桥墩	6 812	13 654	1 002	12 050	7 344	0.88	7.33
		原桩基	15 427	36 701	2 056	25 590	6 906	0.70	3.36

2.2 老桥防船撞加固流程

考虑21#、25#墩作为通航孔侧过渡墩,船撞风险较大^[8],且事故发生时,造成的安全后果较为严重。因此,需对其进行防船撞加固。

2.2.1 加固标准及范围确定

结合抗撞评估技术指南设防代表船型的确定原则以及相关主管部门意见,老桥加固桥墩标准如下:非通航孔边墩(21#、25#):基于桥墩存在偏航船只撞击风险,按照原航道批复3 000 t 级海轮设防要求进行防撞加固,提升至与主墩同一设防标准^[9]。

2.2.2 加固措施确定

21#、25#墩结合以往老桥与扩建桥承台连接及新增桩基加固实际,以及上述加固措施及原则,本次采用结构性加固措施,具体见图2。

(1)21#墩:a.老桥左右幅墩身横向刚性连接,桥墩承台向下游侧扩大成凸形,桥墩大桩号侧增加4根D2.5 m 桩基;b.扩建桥左右幅墩身横向刚性连接,桥墩承台由工字形扩建成矩形;c.老桥与扩建桥承台横向刚性连接^[10]。

(2)25#墩:a.老桥左右幅墩身横向刚性连接;b.扩建桥左右幅墩身横向刚性连接;c.老桥与扩建桥承台横向刚性连接^[11]。

2.2.3 抗撞性能验算

采用MIDAS Civil 软件建立全桥加固后桥梁有限元模型,按照2020年船撞规范的强迫动力法进行新

增防撞加固措施后结构抗撞能力计算,来确定加固效果是否满足防撞标准^[12],模型见图3。

(1)模型建立

a.模型主要材料及其性能

新增墩身及承台采用C40 混凝土,新增桩基采用C30 水下混凝土;混凝土结构采用HRB400 钢筋。为保证船撞后桩基抗剪承载力要求,箍筋采用12 mm 直径;桩基主筋配筋率不小于3%。

老桥原桥混凝土相关参数按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)进行换算。

b.模型边界条件

下部结构桩基建立全长模型,并考虑一般冲刷对桩基的影响,桩基结合实际地质情况采用现行地勘规范“m”法建立边界条件,在模型中通过节点弹性支承添加^[13]。

(2)荷载与组合

a.自重与二期荷载、活载、水流压力:自重按实际重量1.04 系数添加,二期荷载为36.4 kN/m,活载采用公路-I 级,水流压力为5 kN。

b.船撞力在模型中采用强迫振动法施加,利用时程分析的方法,根据输入节点动力荷载 $F(t)$,计算出相应的船舶碰撞效应数值,纵向撞击力取横向撞击力的0.5 倍,见图4。

根据2020 船撞规范,结合水流速度、船舶速度计

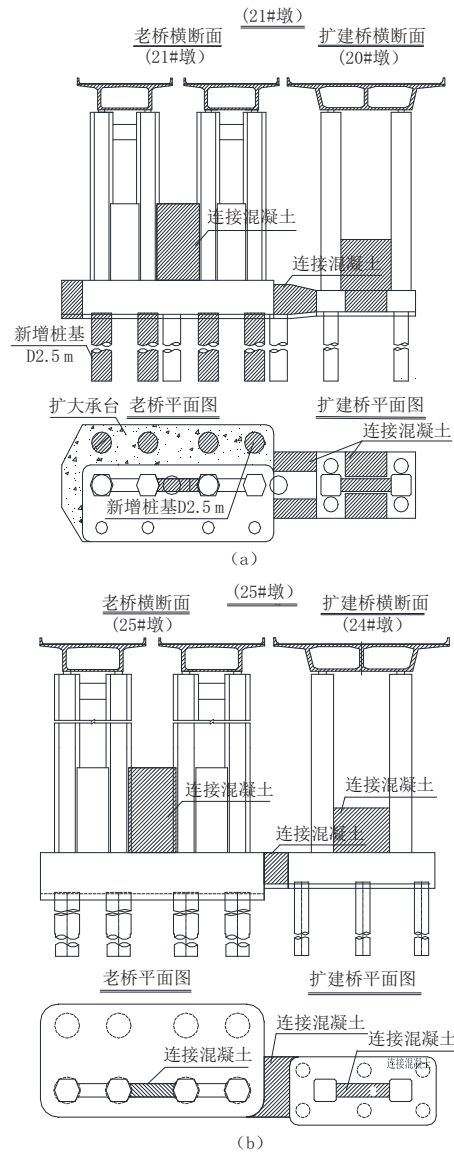


图2 21 #、25 #墩加固构造图

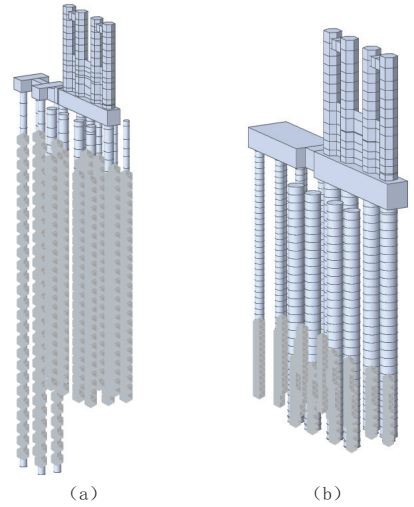


图3 21#、25 #墩结构性加固后模型渲染图

算21#墩、25#墩船舶撞击速度为2.13 m/s,船撞力时程函数最大峰值为12 050 kN^[14]。

c. 荷载组合(强度验算):1.0 恒载+1.0 船撞力+

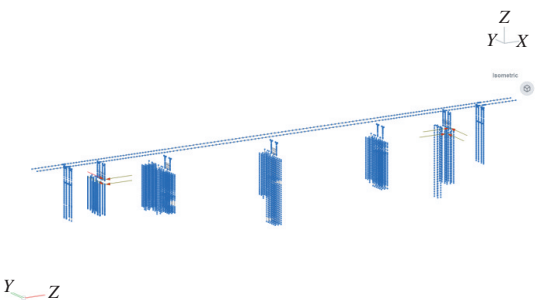


图4 21#、25 #墩船撞力时程函数输入图

1.0 水流压力+0.4 活载。

(3) 抗力判定标准与计算方法

a. 抗撞性能标准

公路等级:高速公路;船撞重要性等级:C1;船撞作用设防水准:L2;桥梁结构的抗船撞性能等级:P1。

b. 墩身、桩基抗力计算方法

正截面抗弯承载能力:在轴向力作用下,对桥墩或桩基的控制截面在轴向力作用下进行 $M-\varphi$ 分析,计算截面等效屈服弯矩;抗剪承载力验算:根据2020船撞规范抗剪公式计算控制截面抗剪承载力^[15]。

(4) 计算结果分析

通过软件船撞效应及与抗力进行对比分析,21#墩、25#墩加固后验算结果见表2。

由验算结果可知,21#、25#墩在3 000 t级海轮撞击力作用下均满足要求,最小安全系数1.01。防船撞加固措施能满足设防标准要求。

3 结 语

本文提出了既有公路桥梁防船撞加固技术路径和加固体系,并通过工程案例进行详细介绍,形成以下结论:

(1)防船撞加固的难点为加固标准的确定,由于航道现状通行船舶的复杂性,可基于风险-概率法确定设防代表船型;加固标准最低应满足原设计批复代表船型要求。

(2)应结合船舶撞击桥梁风险对通航孔桥墩与非通航桥墩分别设置不同的防撞加固体系。

(3)加固措施应因桥施策,重点结合航道、防洪、桥梁现状等因素综合确定,选择要有原则性,措施可组合使用。

参考文献:

[1] JTG/T 3360-02—2020 公路桥梁抗撞设计规范[S].
[2] 邱珍锋,李雨昂,唐盛林,等.山区河流典型桥梁船撞概率分析模型比较[J].水道港口,2024(1):75-81.
[3] 李伟,廖鸿钧,武建中.肇云大桥船撞概率风险及抗撞性能评估[J].

表2 21 #、25 #墩验算结果(加固后)

墩号	撞击方向	控制截面	轴力/kN	剪力/kN	弯矩/(kN·m)	轴向抗力/kN	抗剪承载力/kN	等效屈服弯矩/(kN·m)	安全系数(剪力)	安全系数(弯矩/轴力)
21#墩	横桥向	墩身	-6 906.5	-1 037.1	-7 046.3	—	8 147.2	9 355.6	7.86	1.33
		墩身	-3 852.1	3 170.5	-7 039.0	10 632.5	8 147.2	—	2.57	2.76
		原桩 D2.5 m	-19 364.2	-1 187.9	-13 926.7	—	4 580.9	2 0605.5	3.86	1.48
		原桩 D2.5 m	-21 069.9	-1 389.8	3 690.1	41 725.3	4 580.9	—	3.30	1.98
		新桩 D2.5 m	2 879.4	-571.3	-10 229.3	3 094.1	1 969.8	—	3.45	1.07
		新桩 D2.5 m	-2 424.0	-1 168.0	-14 073.5	—	4 580.9	22 192.0	3.92	1.58
	顺桥向	墩身	-6 921.9	814.8	9 719.1	—	8 147.2	9 804.0	10.00	1.01
		墩身	-6 727.8	835.6	9 517.1	—	8 147.2	9 671.0	9.75	1.02
		原桩 D2.5 m	-24 303.9	-1 846.3	-20 374.7	—	4 580.9	22 600.5	2.48	1.11
		原桩 D2.5 m	-26 139.8	-2 150.4	3 581.3	44 639.4	4 580.9	—	2.13	1.71
		新桩 D2.5 m	4 417.7	-1 076.4	-18 758.3	5 072.0	1 969.8	—	1.83	1.15
		新桩 D2.5 m	4 020.0	-1 057.6	-19 668.5	4 509.5	1 969.8	—	1.86	1.12

山西交通科技,2023(6):98-103.

[4] 樊伟,钟正午,王君杰,等.桥梁船撞研究进展综述:事故、分析与防护[J].中国公路学报,2024(5):38-66.

[5] 樊伟,刘斌.桥梁船撞分析[M].北京:人民交通出版社,2022.

[6] 任正林.航道桥梁防撞设计与分析[J].北方交通,2024(10):5-9.

[7] GB 50139—2014 内河通航标准[S].

[8] 周强,刘宪庆,余葵,等.已有设防的连续刚构桥船撞风险评估分析[J].水道港口,2023(4):686-693.

[9] 梁波,张焱焜.某大型跨海桥梁抗船撞性能分析及设防标准研究[J].科技创新与应用,2023(19):33-42.

[10] 阮云龙,张恒.某连续刚构桥防船撞设计方案研究[J].公路与汽运,2023(23):107-114.

[11] 周雨立,张安宇,唐茂皓,等.某长江公路大桥防船撞设施研究[J].城市道桥与防洪,2023(8):131-134.

[12] 彭聪.广东某桥船撞数值模拟与防撞设施设计[J].广东土木与建筑,2022(9):64-68.

[13] 杨旭,管群辉.基于有限元法的桥梁抗船撞性能计算分析[J].广东土木与建筑,2024(1):64-67.

[14] 郑蔚,诸志强,肖潜.浙江温州永宁大桥防船撞方案研究与数值模拟[J].工程建设与设计,2024(5):128-130.

[15] 刘斌.受压圆形钢筋混凝土墩柱侧向抗冲击性能试验与分析方法研究[D].长沙:湖南大学,2019.

(上接第95页)

广州:广东工业大学,2014.

[2] Li G, Wang J, Shen Y, et al. Experimental study on the combined shear and bending behaviour of corbel joints in precast concrete segmental inverted-T caps[J]. Structures, 2020, 28: 2367-2378.

[3] Jiang H, Cao Q, Liu A, et al. Flexural behavior of precast concrete segmental beams with hybrid tendons and dry joints[J]. Construction and Building Materials, 2016, 110: 1-7.

[4] 李立峰,毛佳豪,叶萌,等.体外预应力UHPC节段梁抗弯性能试验研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2022,49(11):67-76.

[5] Duanmu X, Xu D, Qiu T, et al. Bending behavior of precast concrete segmental girders with steel rebars through epoxy joints[J]. Structures, 2024, 63: 106491.

[6] Hu H, Zhou P, Yang H, et al. Shear behavior of externally prestressed precast concrete segmental beams with positive and negative moment regions[J].Engineering Structures, 2024, 316: 118544.

[7] Ye M, Li L, Yoo D, et al. Mechanistic understanding of precast UHPC segmental beams with external tendons and epoxy joints subject to combined bending and shear[J]. Engineering Structures, 2023, 280: 115698.

[8] Zheng H, Chen D, Ou M, et al. Flexural behavior of precast UHPC segmental beams with unbonded tendons and epoxy resin joints[J]. Buildings, 2023, 13(7): 1643.

[9] Chen Y, Zhou J, Guo F, et al. Experimental study on the flexural behaviors of prestressed segmental ultra - high - performance concrete channels and reinforced conventional concrete deck composite girders [J]. Buildings, 2023, 13(7): 1841.

[10] Yuan A, Dai H, Sun D, et al. Behaviors of segmental concrete box beams with internal tendons and external tendons under bending[J]. Engineering Structures, 2013, 48: 623-634.

[11] Traver-Abella C, Bonet J L, Miguel P F, et al. Shear strength of self-compacting concrete dry joints subjected to combined axial, bending and shear forces in precast concrete segmental bridges[J]. Engineering Structures, 2024, 303: 117495.

[12] 刘文杰,韩冰,阎武通,等.预制拼装混凝土节段梁的结构力学性能研究进展[J].中国公路学报,2023,36(4):81-99.

[13] Algorafi M A, Ali A A A, Othman I, et al. Experimental study of externally prestressed segmental beam under torsion[J]. Engineering Structures, 2010, 32(11): 3528-3538.

[14] Men P, Zhou X, Ye J, et al. Shear capacity investigation of steel-concrete composite girders in hogging moment regions[J]. Journal of Constructional Steel Research, 2022, 194: 107341.

[15] Turmo J, Ramos G, Aparicio A C. FEM modelling of unbonded post-tensioned segmental beams with dry joints[J]. Engineering Structures, 2006, 28(13): 1852-1863.