

# 某长江公路大桥防船撞设施研究

周雨立<sup>1</sup>, 张安宇<sup>2</sup>, 唐茂皓<sup>3</sup>

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 四川 成都 610031; 2. 四川蜀道高速公路集团有限公司, 四川 成都 610095;

3. 四川省交通工程质量监督站, 四川 成都 610041)

**摘 要:** 以某长江公路大桥为研究对象, 通过规范和 Midas /Civil 软件计算出船舶撞击力和桥墩防撞能力, 得出了中高洪水水位期大桥自身抗撞能力不足的结论。为此, 根据桥墩结构的特点和防撞需求, 设计了一种自浮式钢覆复合材料防撞设施, 并采用 LS-DYNA 有限元分析软件建立船-桥碰撞模型进行不同工况的模拟。研究表明, 该防撞装置能够有效减少桥墩所受的船舶撞击力并延迟撞击时间, 船舶撞击力峰值降低幅度可达 30%~39%, 具有很好的防撞消能效果。

**关键词:** 桥梁防撞; 钢覆复合材料; 船舶撞击力; 有限元模拟

**中图分类号:** U443.86

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1009-7716(2023)08-0131-04

## 0 引 言

近年来, 随着国家的经济发展和交通强国战略的实施, 在内河水运通道如长江流域等新建跨江桥梁的数量与日俱增。然而, 随着水运交通的快速发展, 长江航道中船舶撞击桥梁的事故时有发生, 不仅导致了人员伤亡和经济损失, 也对环境产生了破坏。目前, 我国学者对桥梁防撞措施进行了大量的研究, 主要采用独立防撞墩和自浮式防撞设施等作为缓冲结构, 避免船舶撞击带来的危害。

郁嘉诚等<sup>[1]</sup>以台州椒江大桥为研究对象, 通过数值分析得到既有桥墩在 3 000 t 级船舶正向和侧向撞击下的动力响应, 进而提出了自浮式消能圈与隔离式防撞墩相配合的防撞设施系统。采取该防撞方案后, 船舶和防撞墩所受的撞击力峰值减少了 24.3%。

王纪锋等<sup>[2]</sup>以京港澳高速沙河大桥桥墩为研究对象, 在采用钢覆复合材料浮式防撞设施后, 经过有限元模拟分析得到 500 t 级船舶最大船撞力可降低 26%, 有效地改善了桥墩自身防撞能力不足的问题。

罗强等<sup>[3]</sup>为减少东洲湘江大桥的桥梁船撞风险, 设计了一种自浮式钢-复合材料防撞设施, 并采用 LS-DYNA 有限元分析软件建立带球船船舶或驳船-防撞设施-桥梁的三维有限元模型, 对比分析加设防撞设施前后的桥梁结构的动力响应。分析结果表明: 在加设防撞设施后, 带球船船舶和驳船撞击力峰

值分别降低了 30% 和 54.2%, 其他动力响应也有明显降低。

目前, 针对通航条件较差的跨江大桥, 还可采取结构性防撞设施与主动预警系统相结合的提升措施。闫兴非等<sup>[4]</sup>提出视频监控下的主动防船撞预警系统, 提出采用可见光、主红外、激光进行复合探测并对所得数据进行分析, 实现全天候、全天时和全自动的航道桥梁主动防撞监控及预警效果。

本文以某长江公路大桥为研究对象, 首先基于 Midas/Civil 全桥有限元模型和《公路桥梁抗撞设计规范》(JTG/T 3360-02—2020)(以下简称《规范》)计算出既有桥墩自身的横桥向抗力和船舶撞击力; 其次为满足桥墩的防撞要求, 采用一种钢覆复合材料浮式防撞装置, 并利用 LS-DYNA 有限元分析软件建立有限元模型, 通过数值模拟方法计算出桥墩在 5 000 t 级船舶正向撞击下的船撞力等结果, 以验证防撞系统的效果。

## 1 工程概况

某长江公路大桥位于宜宾市, 地处泸州市与宜宾市之间。该桥于 2007 年 5 月建成通车, 是 1 座连接省道 307 与省道 308 的重要桥梁, 该桥现状如图 1 所示。大桥全长 1 092.8 m, 其中主桥全长 544 m, 为 146 m+252 m+146 m 连续刚构桥; 江安县城方向引桥为 5×40 m 简支 T 梁+11×25 m 简支空心板, 桥面连续, 水清方向引桥为 3×20 m 连续箱梁。

大桥桥位所在河段目前航道等级为Ⅲ级, 航标维护类别为一类, 昼夜通航, 船舶运输繁忙。根据《水运

收稿日期: 2022-09-20

作者简介: 周雨立(1988—), 男, 学士, 工程师, 主要从事桥梁工程设计工作。

“十四五”发展规划的通知》(交规划发[2021]99号),宜宾至重庆段可将航道标准提高至Ⅰ级,随着航道维护的水深提高,在汛期可实现5 000 t级船舶到达宜宾港。根据该桥的船舶撞击风险评估,在2025年、2030年的通航密度下,通航孔桥墩P5~P7号的撞损率均在 $10^{-5}$ 至 $10^{-4}$ 间,属于中风险区,但全桥撞损概率超过 $10^{-4}$ ,属4C中高风险,超过了不可接受风险值,因此3个桥墩均需设置船舶防撞设施。



图1 某长江公路大桥现状

## 2 桥墩水平抗撞性能计算

### 2.1 桥墩抗船撞能力等级划分

根据《规范》第4.2条,桥梁抗船撞能力采用分级设防,桥墩和基础的抗撞性能采用分级评估的分析方法,其性能等级需根据船撞重要性等级、抗船撞性能设防目标、船撞作用设防水准确定。

本文的长江公路大桥属于一级公路上的特大桥,故船撞重要性等级为C1;大桥抗船撞性能设防目标为P1;桥梁结构的抗船撞性能等级为JX1,即结构不允许出现损伤,仍保持弹性状态。

### 2.2 桥墩水平抗撞能力计算

按照桥梁结构实际情况,建立P5~P7号墩的Midas/Civil全桥有限元模型,如图2所示。模型中采用节点弹性支承模拟桩土效应,桩基埋在土里的部分均根据土层情况施加相应的土弹簧约束。船撞抗力计算的荷载组合为: $1.0 \times \text{自重} + 1.0 \times \text{二期恒载} + 0.4 \times \text{车辆荷载} + 1.0 \times \text{船撞力}$ 。《规范》第6.1.4条规定,计算桥梁抗撞能力时无需确定设防船舶,撞击力着力点可选在水面以上2 m处。

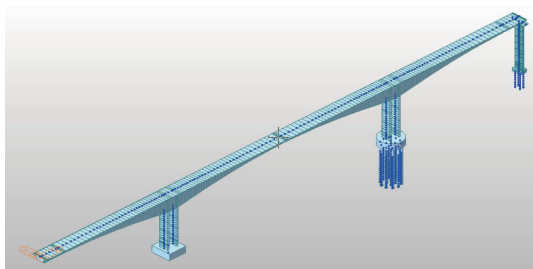


图2 通航孔桥梁有限元模型

大桥最不利验算截面为墩身截面、桩基截面和扩大基础截面。根据截面配筋情况计算截面的抗弯、抗剪强度,在同一个水位上施加不同的水平力,直到桥墩(或桩基)不满足强度要求时,此时的水平力即为该水位下的极限船撞抗力。同时,根据《规范》第5.1.3条中轮船的设防船撞力计算规定,计算得到通航孔桥墩在P1性能设防目标下的船舶撞击力。

桥墩船撞抗力计算结果见表1。

表1 桥墩船撞抗力计算结果

| 水位/m             | 桥墩 | 裸撞撞击力/<br>MN | 横桥向抗力/<br>MN | 相对抗力差/<br>% |
|------------------|----|--------------|--------------|-------------|
| 242.74(枯水期)      | P6 | 55.8         | 49.3         | 11.65       |
| 246.16<br>(中洪水位) | P5 | 52.2         | 49.2         | 5.75        |
|                  | P6 | 55.8         | 51.1         | 8.42        |
| 263.38<br>(高洪水位) | P5 | 52.2         | 58.3         | 满足          |
|                  | P6 | 55.8         | 46.0         | 17.56       |
|                  | P7 | 33.6         | 11.8         | 64.88       |

由表1可知,枯水期P5、P7号墩不涉水,中洪水位期P5、P6号墩抗撞力差在10%以内;高洪水位期,P5号墩抗力满足,P6号墩抗力差为17.56%,P7号墩抗力差为64.88%。

## 3 防撞方案设计

### 3.1 防撞结构设计

大桥P5~P7号墩被撞概率较高,同时桥梁抗撞能力较弱,需要增加附属消能设施,保护桥梁主体结构安全,降低船舶撞击损伤程度。针对桥墩的具体特点与要求,大桥防撞设施采用钢覆复合材料浮式防撞装置,结构设计形式如图3、图4所示。P5号墩采用直径为D250筒形,长宽尺寸为 $18.3 \text{ m} \times 16.8 \text{ m}$ ;P6号主墩采用直径为D350筒形,总体长宽尺寸为 $20.5 \text{ m} \times 19 \text{ m}$ ;P7号墩采用直径为D320筒形,总体长宽尺寸为 $16.2 \text{ m} \times 11.7 \text{ m}$ 。

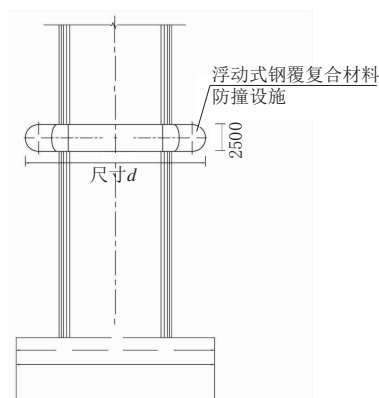


图3 防撞设施立面图(单位:mm)





P6号墩为6.76 m/s, P7号墩为5.61 m/s。建立最高通航水位下5 000 t级船舶正面撞击有防撞设施的桥梁有限元模型, 得到船-桥碰撞的撞击力时程曲线等动态响应数据, 如图5和图6所示。

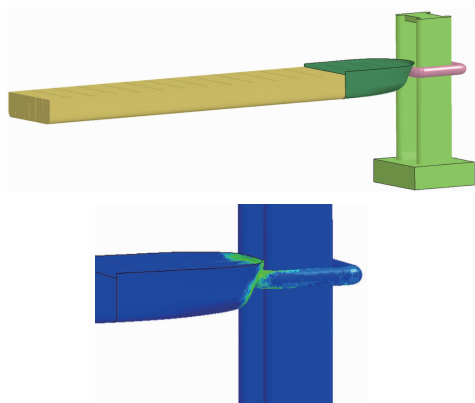


图5 代表模型及撞击过程示意

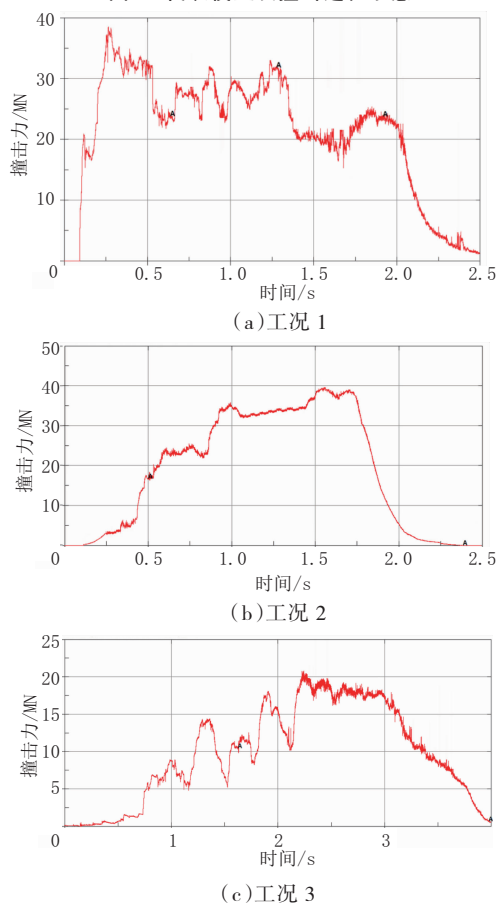


图6 撞击力时程曲线

比较不同工况下船舶裸撞撞击力、桥墩基础抗力、加装防撞设施的船舶撞击力, 结果如表6所示。其中, P5、P6号墩安装防撞设施后, 船撞力均小于桥墩抗力; P7号墩在正撞条件下不满足防撞要求, 但侧撞条件下可满足, 因此建议在P7号墩增加主动预警系统或其他相关警示措施, 避免船舶偏航。

表6 桥墩船撞计算结果

| 工况 | 船速 /<br>( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) | 桥墩 | 裸撞撞击<br>力 /MN | 基础抗力<br>/MN | 加装防撞设施<br>的撞击力 /MN | 结论       |
|----|------------------------------------------|----|---------------|-------------|--------------------|----------|
| 1  | 6.33                                     | P5 | 52.2          | 58.3        | 36.6               | 通过       |
| 2  | 6.76                                     | P6 | 55.8          | 46.0        | 39.0               | 通过       |
| 3  | 5.61                                     | P7 | 33.6          | 11.8        | 20.5               | 不通过      |
| 4  | 5.61                                     | P7 | 16.8          | 11.8        | 10.3               | 侧撞<br>通过 |

## 5 结 语

(1)通过防撞设施的受力变形来吸收船舶撞击力, 并延迟撞击时间。同时, 防撞设施可以拨动船头, 改移船舶方向, 减少撞击过程中的能量转换。

(2)相比无防撞装置的情况, 采用钢覆复合材料浮式防撞装置后, 最大峰值船撞力降幅可达30%~39%。同时, 船艏变形明显减小, 船舶安全性等到保障。

(3)加设防撞设施后的P7号墩在正面撞击条件下不满足防撞要求, 可采取与主动预警相结合的提升措施。

### 参考文献:

- [1] 郁嘉诚, 韩娟, 祝露, 等. 隔离墩与自浮结构相组合的桥梁防船舶撞系统方案与评估[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2020, 42(5): 626-633.
- [2] 王纪锋, 关梁超, 葛晶, 等. 京港澳高速沙河大桥桥墩抗船撞能力评估及防撞设施方案研究[J]. 中国水运, 2019(10): 62-66.
- [3] 罗强, 刘榕, 樊伟, 等. 钢-复合材料组合防撞装置在不同船舶撞击下的性能分析[J]. 桥梁建设, 2020, 50(1): 67-73.
- [4] 闫兴非, 张涛, 侯伟, 等. G1501跨浏港大桥主动防撞系统设计[J]. 城市道桥与防洪, 2020(10): 65-69.