

# 泰州大桥中塔墩防船撞研究

沈刚<sup>1</sup>, 伏耀华<sup>2</sup>, 金允龙<sup>2</sup>

(1. 江苏省长江公路大桥建设指挥部, 江苏泰州 225321; 2. 上海船舶运输科学研究所, 上海 200135)

[摘要] 泰州大桥主墩位于航道边缘, 可能遭受船舶的撞击。为保护大桥, 综合考虑多种因素研究大桥中塔墩防船撞方案。针对泰州大桥三塔悬索桥型, 结合通航船舶规划、桥梁参数、桥墩基础特点, 开展防撞研究, 提出针对性防撞方案, 进行防撞特性计算分析, 确定防撞方案的技术、经济特性。通过有限元数值仿真技术, 研究泰州大桥在船舶撞击下的安全性和防撞方案的有效性。

[关键词] 船舶碰撞; 船撞力; 船舶碰撞数值仿真; 独立防撞墩; 钢套筒防撞; 风险分析

[中图分类号] U448.25 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)04-0073-05

## 1 防撞研究概述

泰州大桥位于江苏省长江的中段, 处于江阴长江大桥和润扬长江大桥之间, 三塔悬索桥中塔墩位于航道边缘, 可能遭受船舶的撞击; 通过研究偏航船舶撞击大桥桥墩的概率和作用荷载, 并根据作用力大小和桥墩承受水平力的能力, 提出切合实际的防撞方案。

## 2 泰州大桥防撞设计基础条件

### 2.1 通航净空尺度

通航净空尺度见表 1。

表 1 桥梁通航净空尺度

Table 1 Navigation clearance scale of the bridge

位置	单孔单向	单孔双向	主通航孔通	副通航孔通
	通航净宽	通航净宽	航净空高度	航净空高度
太平洲左汊	≥391 m	≥760 m	≥50 m	≥24 m

### 2.2 通航代表船型

通航代表船型见表 2。

表 2 主要代表船型

Table 2 Main type of the vessel

桥位	船型	载重	排水	总长	型宽	满载	压载首
		吨/t	量/t	/m	/m	吃水/m	吃水/m
太平洲左汊	散货船	50 000	62 500	190	32	12.5	4~7

### 2.3 典型中塔墩防撞工况

典型中塔墩防撞工况见表 3。

表 3 中塔墩防撞工况

Table 3 Working condition of ship-bridge collision

船型	航向	航速/	撞击速度/
		(m·s <sup>-1</sup> )	(m·s <sup>-1</sup> )
5万吨级	上水	4.0	4.0
满载	下水	5.0	4.0

## 3 研究工作技术路线

研究工作技术路线见图 1。

## 4 泰州大桥船舶撞击风险评估

### 4.1 可接受风险标准

参照欧洲或美国(AASHTO)规范<sup>[1]</sup>, 桥梁遭受船舶严重碰撞的年频率≤10<sup>-4</sup>为可接受范围。

### 4.2 船舶撞击概率的模型

#### 4.2.1 AASHTO 模型

大桥各桥墩年撞击频率按以下公式计算:

$$P_{\text{imp}} = N P_A P_G$$

#### 4.2.2 德国昆兹(C. U. Kunz)<sup>[2]</sup>模型

偏航角  $\phi$  的分布函数:

$$F_{\phi}(\phi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\phi}} \int_{-\infty}^{\phi} e^{-\frac{(\phi-\phi)^2}{2\sigma_{\phi}^2}} d\phi$$

[收稿日期] 2010-01-05

[作者简介] 沈刚(1973-), 男, 江苏常州市人, 高级工程师, 研究方向为特大跨径桥梁建设管理; E-mail: taizhoubridge@126.com

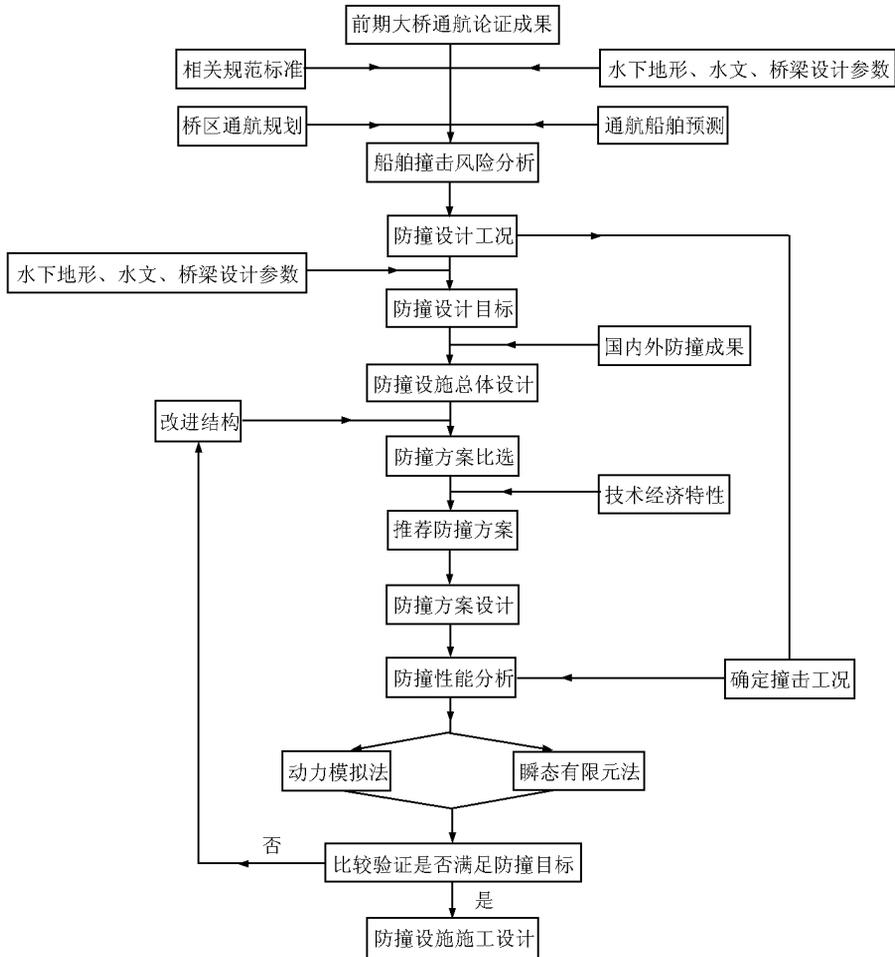


图1 防撞研究技术路线

Fig. 1 Research procedure flow chart

停船距离  $x$  的分布函数:

$$F_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-x)^2}{2\sigma_x^2}} dx$$

### 4.3 泰州大桥船舶撞击风险

泰州大桥船撞损坏频率水平为  $10^{-4}$ , 按照美国国防部的风险决策<sup>[3]</sup>标准, 风险指标为 1D, 为尽量采取有效措施避免发生的风险。

### 4.4 相关因素对船舶撞击风险影响

- 1) VTS 和船舶航行定线制可以减少风险;
- 2) 船舶过桥航速与撞桥风险和撞击力成正比;
- 3) 桥区航道水流;
- 4) 在桥墩设置防撞设施, 碰撞概率增加, 但是撞桥风险降低;
- 5) 大桥施工期风险大;
- 6) 航运发展加大船撞桥风险;
- 7) 船舶撞击风险概率模型不同但量级基本吻合。

合。

综上所述, 泰州大桥船撞损年频率水平为  $10^{-4}$ , 应尽量采取有效措施防船撞, 依据泰州大桥船舶撞击风险结果, 其中中塔墩防撞设计受 5 万吨级船舶控制。

### 4.5 典型船舶直接撞击中塔墩数学模拟分析

- 1) 5 万吨级船舶满载, 中水位速度 4.0 m/s, 横桥向撞击桥墩, 见图 2。
- 2) 5 万吨级船舶满载, 中水位速度 1.0 m/s, 顺桥向撞击桥墩, 见图 3。

### 4.6 三塔悬索桥中塔墩防撞力

中塔墩防撞力见表 4。

## 5 泰州大桥中塔墩防撞方案

为对泰州大桥中塔沉井基础进行保护, 由上下游独立防撞墩、桥梁自身加强及在基础外围设置的

附着式钢套箱防撞设施和桥区通航管理措施共同形成防撞体系保护大桥(见表 5 和图 4)。

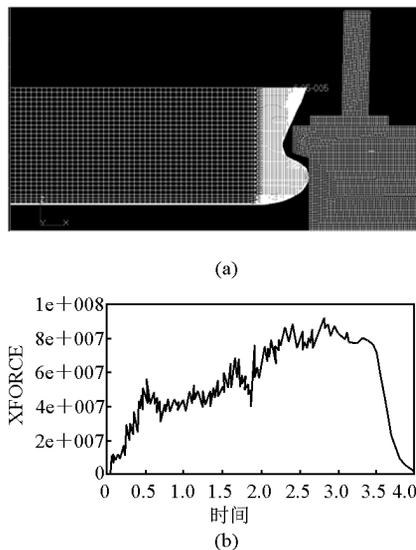


图 2 撞击桥墩数学模拟分析

Fig.2 Mathematical simulation analysis of impact to pier

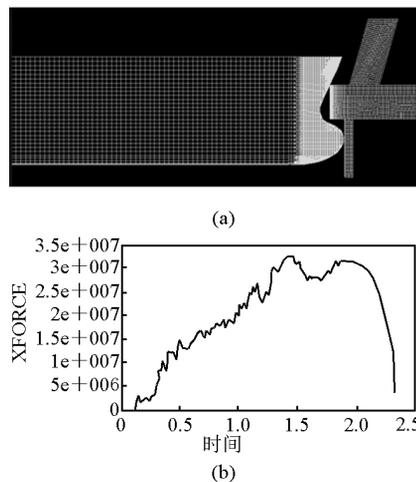


图 3 撞击桥墩数学模拟分析

Fig.3 Mathematical simulation analysis of impact to pier

### 5.1 中塔墩独立式防撞设施

上下游防撞墩布置在中塔主墩上下游 170 m 处,上游防撞墩平面形状为鱼嘴形,顺水流方向最大尺寸为 34.5 m,横水流方向最大尺寸为 33 m,桩基

表 4 中塔墩防撞力

Table 4 Design impact force of the center tower

桥墩距航道边缘距离/m	防撞力 /MN	桥墩附近水深/m		撞击部位 (国家 85 高程)	撞击墩柱	防撞工况
		最高通航水位	最低通航水位			
~ 50	116	21.1	14.9	+ 23.5 / - 12.2	有撞击墩柱可能	5 万吨满载船舶 4.0 m/s 撞击

表 5 中塔墩基础防船撞体系组成

Table 5 Components of ship - bridge collision protection system

序号	系统组成	效果
1	助航设施:桥涵标、桥柱灯、界限标及大桥水域的助航标志、VTS、AIS	减少船撞事故率,保障船舶交通安全,提高船舶交通效率,保护水域环境
2	桥区通航管理规则;定线制	
3	水上事故应急搜救系统	减少事故损失,控制事故规模
4	独立防撞墩	船舶导向,减少船撞事故率;减少船舶撞击中塔墩基础概率;消能,减少船舶撞击中塔墩基础速度
5	防撞套箱	消能,减少船撞力;保护沉井壁、钢塔
6	基础本体抗撞	避免撞损桥墩基础

采用 20 根  $\phi 1\ 200 \times 14$  mm 斜度为 5:1 的钢管桩(斜桩)和 6 根  $\phi 1\ 200 \times 14$  mm 钢管桩(直桩),上部结构采用墩台结构,中心区域厚度为 2 m,外设高 6 m 的防撞构件,并在圆弧段安装橡胶护舷。

下游防撞墩平面为长方形,在转角位置采用圆

弧相接,顺水流方向最大尺寸为 24 m,横水流方向最大尺寸为 30 m,桩基采用 16 根  $\phi 1\ 200 \times 14$  mm 钢管桩,上部结构同上游防撞墩。

两个防撞墩均布置有太阳能航标灯。

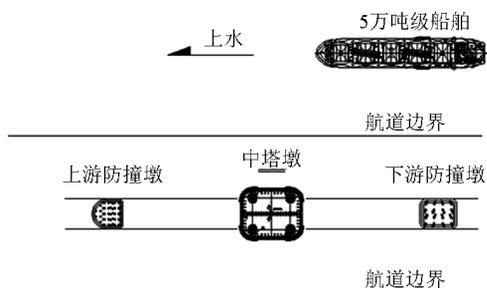


图4 中塔墩防撞体系布置图

Fig. 4 Layout of ship - bridge collision protection system

## 5.2 中塔墩附着式防撞设施

防撞设施主体的结构由内、外围壁,底板,上甲板,平台甲板(两层)及钢护舷等板架构件组成。总长度71.6 m,宽度57.6 m,高度7.8 m,壁体宽度3.5~2.1 m。为了施工及安装方便,承台钢防撞设施分为8分段,采用高强度螺栓进行连接。

在中塔沉井基础上部设置36套预埋件,防撞设施依靠自重置于承台上表面,用拉杆连接承台预埋件与防撞设施眼板,防撞设施内侧安装0.1 m厚的板状橡胶,防止钢防撞设施直接与浇注承台碰撞。

## 5.3 防撞设施功能

设施防撞功能见表6,中塔墩防撞设计控制船舶为5万吨级。

表6 设施防撞功能

Table 6 Function of protection system

防撞设施	设施防撞功能
减少船撞事故率	太阳能航标灯,对船舶起引航、导向作用
减少船撞概率~50%	船舶撞击防撞墩后转向,船舶撞击防撞墩停止前进
独立防撞墩	防撞墩破坏消能,减少船舶撞击动能;船舶撞击防撞墩后,船舶转向,减少正撞中塔墩基础几率;避免大型船舶横桥向侧撞中塔墩基础
减低船撞速度	
保护撞击船舶	防撞墩侧面设置滚动式橡胶护舷,防撞墩刚度较小,船舶碰撞时发生较大位移,能减少撞击船舶损伤
附着式防撞设施	减小船舶撞击碰撞力,保护沉井基础

防撞设施	设施防撞功能
附着式防撞设施	保护中塔塔基 避免船舶撞击塔基,保护承台上钢主塔根部结构
自身加强	保护沉井 保护沉井较薄弱的沉井薄壁
自身加强	保护局部结构 加厚可能被撞击范围内的薄壁

## 5.4 典型中塔墩防撞设施性能数学模拟分析

1) 5万吨级船舶满载,撞击上游防撞墩速度4.0 m/s,撞击能量142 MJ,见图5。

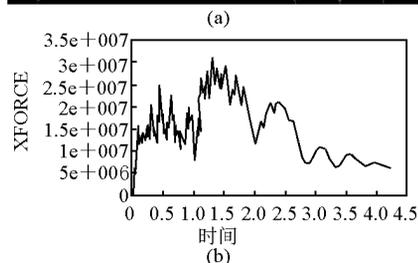
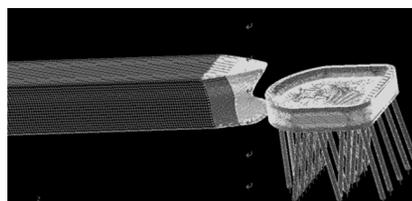


图5 防撞设施性能数学模拟分析

Fig. 5 Mathematical simulation analysis of collision protection device performance

2) 5万吨级船舶满载,撞击下游防撞墩速度1.5 m/s,撞击能量20 MJ,见图6。

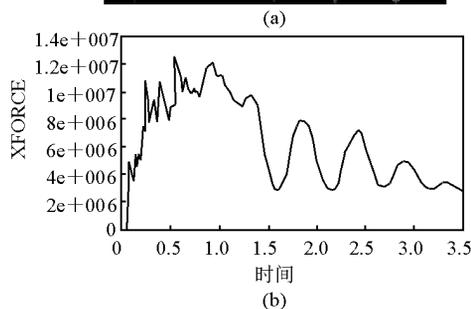
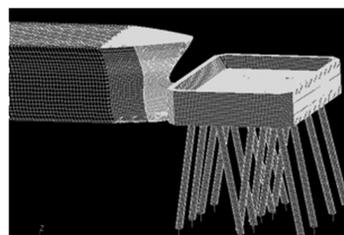


图6 防撞设施性能数学模拟分析

Fig. 6 Mathematical simulation analysis of collision protection device performance

## 6 结语

依据有关船舶碰撞规范和指导文件,并结合泰州大桥水文及结构特点,进行船舶撞击风险分析,运用船舶碰撞动力学理论,就船舶对桥墩和防撞设施的撞击力进行计算分析,并按照研究结论设计大桥中塔墩防撞设施,为大桥施工及运营的防撞安全提供了保证。

## 参考文献

- [1] AASHTO. LRFD 桥梁设计规范[S]. Washington DC,1994
- [2] Claus Uwe Kunz. Ship Bridge Collision Models for German Inland Waterways [ A ]. 4th International Conference on Collision and Grounding of Ships[C]. ICCGS, 2007, P - 63
- [3] 美国国防部. 系统安全纲要规定“MIL - STD - 882C”[ S ]. USA,1993

# The research of ship-bridge collision protection system for Taizhou Bridge

Shen Gang<sup>1</sup>, Fu Yaohua<sup>2</sup>, Jin Yunlong<sup>2</sup>

(1. Jiangsu Provincial Yangtze River Highway Bridge Construction Commanding Department, Taizhou, Jiangsu 225321, China; 2. Shanghai Ship and Shipping Research Institute, Shanghai 200135, China)

[ **Abstract** ] The risk of ship collision to the center tower located at the edge of navigation channel of Taizhou Yangtze River Highway Bridge is expected. To protect the bridge, this research integrates a variety of factors to study the protection system of the center tower. Aiming at the suspension bridge with three-tower-span, with combination of ship navigation planning, bridge parameters and characteristics of bridge foundation, the ship collision research is carried out and protective measure scheme is proposed. Calculation and analysis for crash characteristics are carried out to determine the technical and economic characteristics of the protective measures. The safety of the bridge and effectiveness of the protection system under ship collision is studied by applying the dynamic FEM techniques.

[ **Key words** ] ship-bridge collision; ship-collision force; the numerical simulation of ship collision; pile supported systems; steel fenders; risk analysis