

# 大桥独立墩柱防船撞方法计算分析

何益勇

(福州市交通建设集团有限公司, 福建 福州 350009)

**摘要:** 提出了一种采用独立墩柱作为大桥防船撞设施的设计方法. 基于弹性地基梁法及“m 法”假定, 以平潭海峡大桥 47 号桥墩设防为例, 在给定船舶撞击力的两种工况下, 采用 Midas Civil 2006 软件对独立防撞墩结构的抗撞能力进行了有限元模拟分析. 计算分析结果表明: 在给定工况下, 钢管桩的最大压应力和最大拉应力均小于结构材料的屈服极限, 独立防撞墩的强度均满足抗撞要求, 即独立防撞墩可以选作为大型桥梁主桥桥墩和引桥桥墩防船撞设施.

**关键词:** 桥梁防护; 船撞; 数值分析; 防撞设施

中图分类号: U697

文献标识码: A

文章编号: 1001-5132 (2012) 03-0101-04

随着交通建设的快速发展, 跨江、跨海大型桥梁大量兴建, 同时, 随着船舶吨位、航速和船只密度的增加, 船舶碰撞桥梁的机率越来越大, 所造成的灾难性后果越来越严重. 一旦船桥相撞, 严重时不但将造成船毁人亡、桥梁倒塌等重大事故, 经济损失巨大; 还可能由于船体破损泄漏进一步引起灾难性环境污染, 所以防止发生船撞桥灾难性事故的研究具有重要的应用价值<sup>[1-5]</sup>.

20 世纪 80 年代初, 国际上开始了对船撞桥以及相关防护方法和技术的研究, 至 90 年代, 国际上根据船桥碰撞的动能或动量原理, 提出了桥梁设计的新标准<sup>[6-7]</sup>, 为桥梁的抗船撞设计提供了指导. 21 世纪以来, 人们开始更关注采用动态有限元方法针对具体的桥梁防船撞问题进行数值模拟分析<sup>[8-11]</sup>. 数值模拟研究表明, 船舶的尺寸、吨位、航速、形状、材料等物理性能以及桥墩的形貌和材料力学性能等都将对船撞力有明显的影响<sup>[8-9,12]</sup>.

经过三十余年的研究, 研究者和设计师们发展了多种桥梁防船撞方法<sup>[4]</sup>, 以适应于不同桥型、水文地质条件桥梁防船撞的需求. 在桥墩前设置独立防撞墩可以有效保护大桥墩柱遭受船舶撞击, 该防护方法由于不会影响航道上船只的通行, 既适用于主桥桥墩的防护, 也适用于长桥的水中引

桥桥墩的防船撞设计. 笔者以平潭海峡大桥水中引桥桥墩的防船撞分析为例, 采用数值计算的方法研究独立防撞墩的设计方法及其在船舶撞击下的受力和变形.

## 1 独立防撞墩

独立固定防撞墩方案采用钢管桩基础加承台形式. 防撞墩承台主要作用是承受船只的直接撞击, 通过自身破坏耗能, 并减小传到桩基础的荷载. 根据桥梁防船撞评估分析, 在有必要设防的桥墩前方设置独立防撞墩, 防撞墩中心距大桥中心线约 100 m. 独立墩防撞系统的布置如图 1 所示.

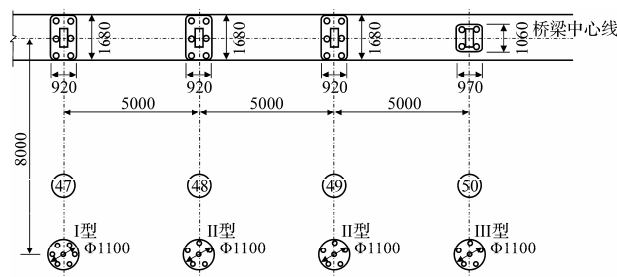


图 1 独立墩防撞系统布置图(单位: cm)

防撞墩和承台为一体式, 外形设计为圆柱形, 既减小对水流的干扰, 利于通航, 又能使船舶撞击易于转向, 减小船撞力, 有效保护防撞墩及船舶.

以平潭海峡大桥引桥防船撞设计为例,考虑引桥桥墩的设防标准为 5 000 t、航速为 6 节的海轮和水文条件,独立防撞墩的承台直径取 11 m;承台底面标高取为 -2.0 m;防撞墩顶部标高应大于最高潮位,取 6.5 m。防撞墩上部为空心结构,内部填充砂石料,在受到撞击时耗能。内部设计十字形支撑,以加强墩壁抵抗撞击。独立防撞墩的结构如图 2 所示。防撞墩顶面为圆台形,设置 2.5% 坡度便于排水。中部设置警示灯。在防撞墩上部空心结构外围迎船方向,250° 范围内设置 3 层 DA-300H 橡胶护舷,使船只撞击墩壁时有所缓冲。基础采用 7 根直径为 1.5 m 的钢管桩,其壁厚为 20 mm,由于钢管桩上部 15 m 以内受力较大,则采用 Q345 钢材,钢管桩下部采用 Q235 钢材。钢管桩的倾斜角度均为 20°,但各桩倾斜方向不同。桩尖高程与对应桥墩基础一致,直至基岩顶面。钢管填芯混凝土 C35,最上段设置钢筋笼,其长度均为 30 m。

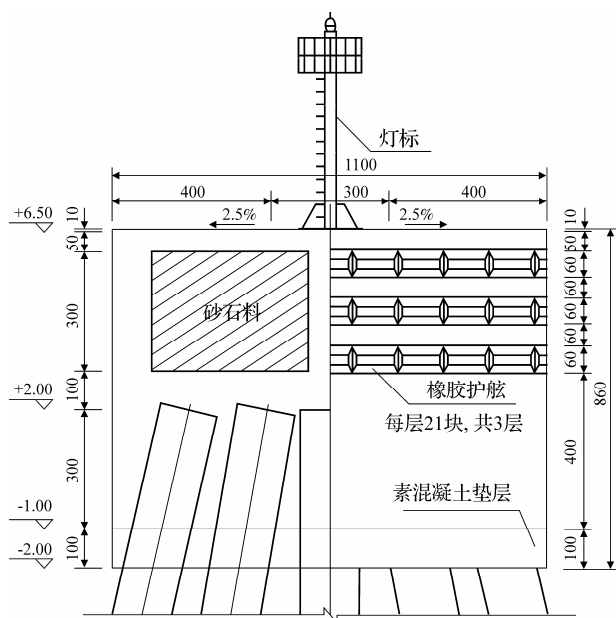


图 2 独立防撞墩结构示意图(单位: cm)

## 2 独立防撞墩抗撞能力的数值模拟分析

下面以 47# 桥墩防撞墩为例开展计算分析。承台封底底面高程 -2.0 m, 河床高程 -15 m, 桩尖高程 -70 m。相应地质情况按照 47# 桥墩进行考虑(表 1)。采用 Midas Civil 2006 软件进行计算。群桩计算采用杆系模型。桩采用梁单元, 桩周围的土用等效弹性支撑模拟, 计算模型如图 3 所示。计算采用弹

性地基梁法, 地基系数采用“m 法”假设。认为桩在承台处固结, 不计嵌入承台的部分, 计入承台和墩身重量。船撞荷载按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)第 4.4.2 条给出的撞击力计算, 即 5 000 吨级海轮, 对桥墩施加的横桥向撞击力为 25 400 kN, 假定该撞击力作用于高程 6.00 m 的承台位置。并验算 40 000 kN 静力荷载作用于承台下部 ±0.00 m 位置的工况。

表 1 平潭海峡大桥 47 号墩位地质结构

| 高程/m    | 土层名称       |
|---------|------------|
| -15~-22 | 含淤泥贝壳细砂    |
| -22~-27 | 含沙淤泥       |
| -27~-38 | 淤泥质粘性土     |
| -38~-53 | 砂质粘性土      |
| -53~-58 | 砂土状强风化凝灰熔岩 |
| -58~-61 | 弱风化凝灰熔岩    |
| -61 以下  | 微风化凝灰熔岩    |



图 3 独立防撞墩的有限元模型

下面对两种工况进行计算分析。计算工况一为规范荷载, 即 5 000 吨级海轮产生的静力荷载 25 400 kN 作用于高程 6.00 m 位置。计算工况二为 40 000 kN 静力荷载作用于承台下部 ±0.00 m 位置。工况一的计算结果如图 4~图 7 所示, 工况二的计算结果如图 8~图 11 所示, 并包括每根桩的轴力、

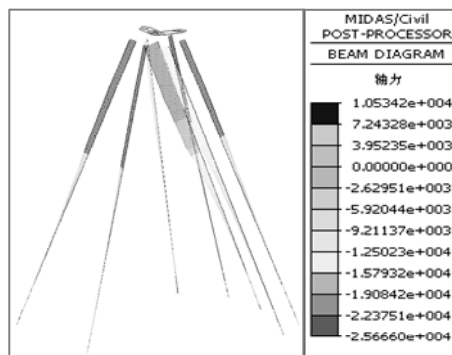


图 4 工况一的轴力图(单位: kN)

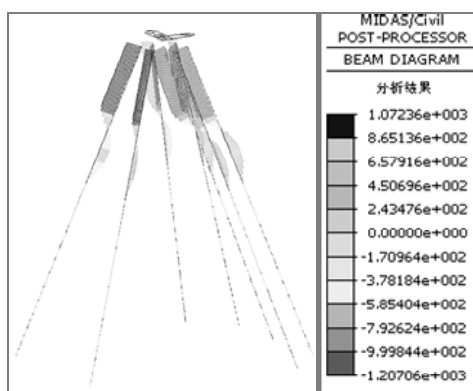


图5 工况一的剪力图(单位: kN)

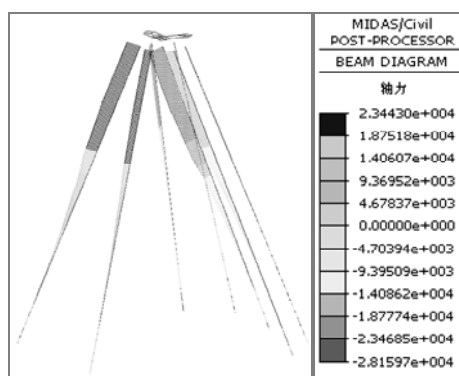


图8 工况二的轴力图(单位: kN)

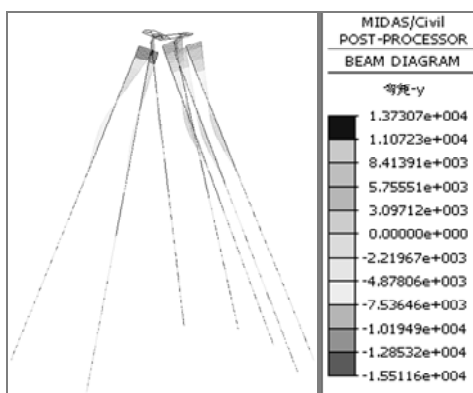


图6 工况一的弯矩图(单位: kN·m)

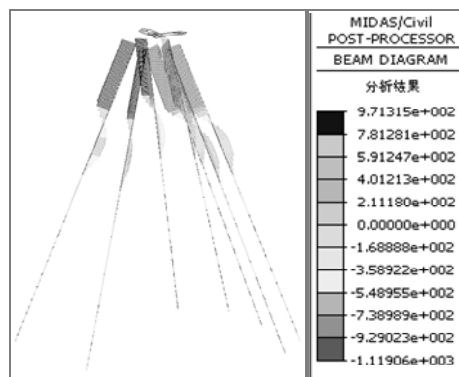


图9 工况二的剪力图(单位: kN)

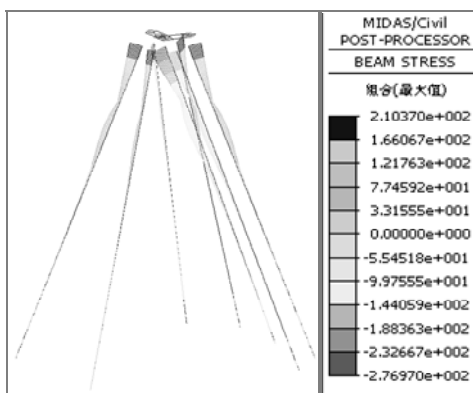


图7 工况一的截面最大应力图(单位: MPa)

剪力、弯矩以及截面最大应力分布。

从图4~图7中可以看出,在工况一中:管壁最大压应力为277 MPa,出现在中间桩与承台的交接部;最大拉应力为210 MPa,出现在受拉侧桩与承台的交接部。

从图8~图11中可以看出,在工况二中:最大压应力为263.8 MPa,出现在中间桩与承台的交接部;最大拉应力为226 MPa,出现在受拉侧桩与承台的交接部。

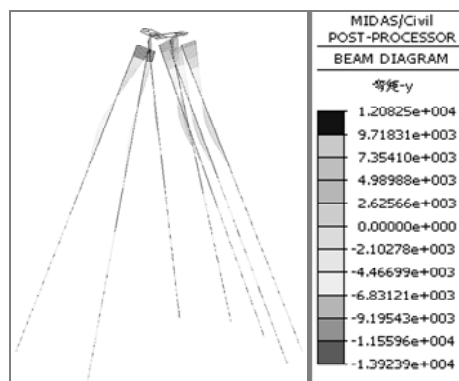


图10 工况二的弯矩图(kN·m)

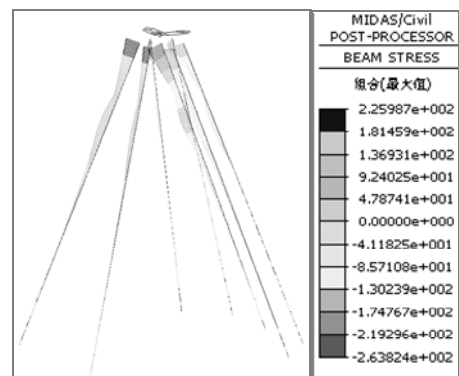


图11 工况二的截面最大应力图(单位: MPa)

### 3 结论

通过上述有限元计算分析可以得到以下结论:在两种工况下钢管桩的最大压应力和最大拉应力均小于 Q345 钢的屈服极限,所采用的独立固定防撞墩的强度均满足承载力要求,即所设计的独立固定防撞墩方案可以满足给定工况的防撞要求,可以用作一个平潭海峡大桥引桥的防船撞方案。

由于独立防撞墩不影响航道上船舶的航行,并且结构简单,容易保养,可以选作为水文条件复杂的大型桥梁主桥桥墩和引桥桥墩防船撞设施。但在该设施的设计中,不仅需考虑独立防撞墩的强度满足桥梁的防船撞等级要求,而且要考虑独立防撞墩的柔性设计,即防撞墩承台应当具有较强的柔性,以降低船舶受到的撞击力,尽量减轻在船桥相撞事故中船舶受到的损伤。

#### 参考文献:

- [1] Larry D, Olson P E. Dynamic bridge substructure evaluation and monitoring[R]. Report No. FHWA-RD-03-089, U.S. Federal Highway Administration, 2005.
- [2] IABSE. Ship collision with bridges and offshore structures, preliminary report[R]. IABSE Colloquium, Denmark: Copenhagen, 1983.
- [3] Jones N. Structural aspects of ship collisions[M]//Jones N, Wierzbicki T. Structural Crashworthiness. London and Boston: Butterworths Publishers, 1983:308-337.
- [4] 陈国虞,王礼立. 船撞桥及其防御[M]. 北京: 铁道工业出版社, 2006.
- [5] 翁卫军. 大型桥梁防船撞方法及应用研究[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2011, 24(4):106-111.
- [6] AASHTO. Guide specifications and commentary for vessel collision design of highway bridges[M]. Washington D C: American Association of State Highway and Transportation Official, 1991.
- [7] Larsen O D. Ship collision with bridges[M]. Switzerland, Zurich: IABSE-AIPC-IVBH, 1993.
- [8] Pedersen P T, Valsgård S, Olsen D, et al. Ship impacts: Bow collisions[J]. International Journal of Impact Engineering, 1993, 13:163-187.
- [9] Consolazio G R, Cowan D R. Nonlinear analysis of barge crush behavior and its relationship to impact resistant bridge design[J]. Computers & Structures, 2003, 81:547-557.
- [10] 王礼立, 张忠伟, 黄德进, 等. 船撞桥的钢丝绳圈柔性防撞装置的冲击动力学分析[M]//洪友士. 应用力学进展——祝贺郑哲敏先生八十华诞, 北京: 科学出版社, 2004:172-180.
- [11] Wang Lili, Yang Liming, Huang Dejin, et al. An impact dynamics analysis on a new crashworthy device against ship-bridge collision[J]. International Journal of Impact Engineering, 2008, 35:895-904.
- [12] 杨峰, 杨黎明. 六边形结构桥墩柔性防撞装置等效弹性系数研究[J]. 宁波大学学报: 理工版, 2011, 24(2): 89-93.
- [13] JTG D60-2004. 公路桥涵设计通用规范[S].

## Numeric Study on Crashworthy Pier to Protect Bridge Against Vessel Collision

HE Yi-yong

(Fuzhou Communications Construction Group Co. Ltd., Fuzhou 350009, China)

**Abstract:** This paper presents a design method using independent pier as the ship collision protection facilities. Taking NO.47 pier of Pingtan Strait Bridge as the case-study, and based on the method of elastically-based beam and the “m” hypothesis, we use the Midas-civil-2006 to study responses of the crashworthy device under the preset condition. The simulation results show that under the given condition, both the maximum compressive stress and maximum tensile stress of the steel pipe pier are less than the yield limit of the steel. The strength of protection piers satisfies the related technical requirements, and the scheme of crashworthy piers can be applied to protect a bridge against vessel collision.

**Key words:** bridge protection; vessel collision; numeric analysis; crashworthy device

(责任编辑 章践立)