

牛湾大桥船桥撞击的力学问题分析

刘毓湘^{1,2}, 王波^{1,2}, 高敬红^{1,2}

(暨南大学 1. 重大工程灾害与控制教育部重点实验室, 2. 力学与土木工程系, 广东 广州 510632)

[摘要] 利用大型商用有限元软件 Midas/Civil 对牛湾大桥进行整体建模,研究了在船舶撞击下的结果安全性. 根据船舶撞击力的合理取值,在合理模拟边界条件的前提下,分析了支座、预应力效应和汽车荷载等因素对大桥结构安全性的影响.

[关键词] 牛湾大桥; 船舶撞击; 支座模拟; 预应力

[中图分类号] U473.1 [文献标识码] A [文章编号] 1000-9965(2009)03-0259-05

Research on the mechanical problem of the vessel collision with NiuWan Bridge

LIU Yu-xiang^{1,2}, WANG Bo^{1,2}, GAO Jing-hong^{1,2}

(1. Key Laboratory of Disaster Forecast and Control in Engineering, Ministry of Education of China,
2. Department of Civil Engineering, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

[Abstract] The structural safety of the Niuwan Bridge subjected to vessel collision is investigated by the large-scale commercial finite element software Midas/civil. A whole FEM model is built and a reasonable analysis and illustration for taking the value of vessel-collision forces is presented. Additionally, under the premise of reasonable simulation of the boundary conditions, the effects of the support abutments, the prestressing and the carloads are considered.

[Key words] NiuWan Bridge; vessel collision; supporter imitate; prestressing

近年来我国发生了多起船舶撞击桥墩的事故. 例如:2003年8月,安徽朝阳路淮河大桥遭驳船撞击,混凝土内部钢筋外露,驳船也受到严重破坏;2004年5月26日,江苏樊川镇东汇大桥遭一铁驳船队中最后一艘驳船的撞击,导致桥面坍塌并压住肇事驳船,严重影响了交通和河流;2004年8月,杭州渔临关大桥被两艘货船撞击,导致桥梁坍塌^[1];2007年6月15日,广州九江大桥被“南桂机035”撞击,造成3个桥墩倒塌,桥面约200米坍塌,而且致使8人死亡,1人失踪.

在世界范围内,船撞桥事故的发生率仍在呈不断上升的趋势. 船桥相撞的事故不同于一般交通事故,一旦发生,后果严重. 且近年来随着我国道路交通和航运事业的发展,桥梁日益增多,船舶吨位日益增大,船舶航速也越来越快,这将给桥梁的安全带来新的问题. 因此应对船桥碰撞问题加以足够的重视,并积极采取相应对策,化解风险.

本文针对位于新会市牛湾镇的牛湾大桥,对船舶撞击的力学问题作了一些研究与分析,对实际工程应用有一定的参考意义.

[收稿日期] 2009-02-05

[基金项目] 重大工程灾害与控制教育部重点实验室资助

[作者简介] 刘毓湘(1956-),男,高级工程师,硕士,研究方向:桥梁结构理论与应用, E-mail: tliuyx@jnu.edu.cn

3.1 结构计算模型

采用 Midas/Civil 进行有限元分析. 全桥模型按实际建模, 采用空间梁单元, 桩底固结. 31#、34#边墩与主梁为铰接, 采用弹性连接模拟边界条件. 32#、33#与主梁固结(见图2). 由于牛湾大桥主桥为大跨径预应力钢筋混凝土连续刚构桥, 为了合理的模拟出大桥的结构特性, 在分析过程中考虑了预应力效应、混凝土收缩徐变效应以及汽车-超20的作用.

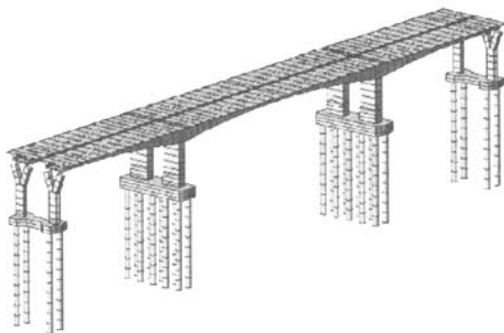


图2 牛湾大桥有限元模型

3.2 基础模拟方法

基础模拟的主要问题是桩土相互作用的合理模拟问题, 这是结构计算模型建立的必要条件, 大量研究^[9-10]表明, 在整个船舶碰撞过程中, 在船舶类型(包括船体结构、排水量等)、航行速度、撞击角度的一定情形下, 桥墩基础的刚度和结构形式是决定整个撞击行为的主要因素.

目前工程界对桩土作用的处理方式中, 应用最为广泛的主要有3种方法: 等效桩长法^[11]、m法^[12]和 $p-y$ 曲线法^[11].

对于牛湾大桥, 桩底嵌固, 桩周土体层状性质明显, 地质情况较好, 因此考虑“m”法的土弹簧, 来模拟桩周土体与桩的相互作用, 利用 Midas/Civil 中的弹性联接并设置相关弹性系数来模拟.

3.3 支座模拟方法

牛湾大桥的31#和34#桥墩与两边主梁的支座设计采用的是盆式橡胶支座. 盆式橡胶支座是桥梁工程中广泛采用的一种支座形式, 牛湾大桥的31#墩和34#墩上采用的是 GPZ2000DX 的盆式支座(布置方式如图3).

GPZ2000DX 作为单向支座仅允许主梁在顺桥向能产生 ± 100 mm 的位移, 而不允许在横桥向产生位移, 当船舶横桥向撞击主墩时, 必然导致主梁在横桥向上产生位移, 这就会与该盆式支座横桥向的限位产生冲突, 因此必须作合理模拟. 该类型盆式支座

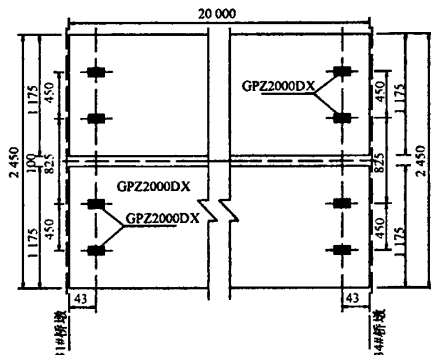


图3 牛湾大桥主桥边墩盆式橡胶支座平面布置示意

的竖向最大承载力为 2 100 kN, 对应的横桥水平方向承载能力(即限制主梁产生横桥向位移的最大承载能力)约为竖向承载能力的 3%, 即 63 kN.

31#和34#支座的模拟可通过试算, 最终确定主梁与31#、34#边墩的连接形式, 从以下两方面考虑.

(1) 从船舶撞击的角度考虑. 当船舶横桥向撞击32#主墩时, 撞击力导致主梁产生横桥向偏移. 在撞击开始时, 31#和34#桥墩上支座会对主梁产生一个滑动摩阻力. 对于不同大小的船舶撞击力, 所产生的滑动摩阻力大小必然不一样.

(2) 从数值计算的角度考虑. 试算建模时, 考虑限制31#和34#上部主梁横桥向自由度的弹性连接, 加载船舶撞击力试算, 可得到弹性连接横桥向的反力, 此反力就对应于(1)叙述的摩阻力.

最终试算时, 考虑31#和34#与主梁按横桥向固定的弹性连接, 得到反力(即支座摩阻力), 将此力与支座横桥向承载能力(63 kN)进行比较, 如果弹性连接的反力大于支座横桥向承载能力, 即支座横桥向限位功能已破坏, 实际计算时, 应释放该支座处弹性连接的横桥向自由度, 允许其横桥向的自由变位. 如果弹性连接的反力小于支座横桥向承载能力, 则仍然考虑此弹性连接横桥向固定约束的影响.

桥梁结构支座仿真模拟非常重要, 因为作为预应力连续刚构桥这样复杂的超静定结构来说, 如果边界条件失真, 内力则相差甚远. 图4表明的是最大船舶横桥向撞击32#主墩时, 边墩支座已被破坏时



图4 正确模拟支座后的主梁侧向弯矩图

的主梁侧向弯矩图;图 5 所示的是仍考虑支座横桥向固定约束的情况下的主梁侧向弯矩图。



图 5 未正确模拟支座后的主梁侧向弯矩图

3.4 汽车荷载影响

2007 年 6 月发生的九江大桥被撞事故,正行驶的 4 辆汽车,当场坠入江中。这就告诉我们,在分析船舶撞击问题时,应考虑汽车荷载的组合影响。这里的汽车影响主要指的是船舶撞击时汽车荷载在顺桥向对下部结构的影响。牛湾大桥设计汽车荷载为汽-超 20,单幅布置二车道,由 Midas/Civil 的移动荷载分析模块实现。计算结果如图 6 和 7:

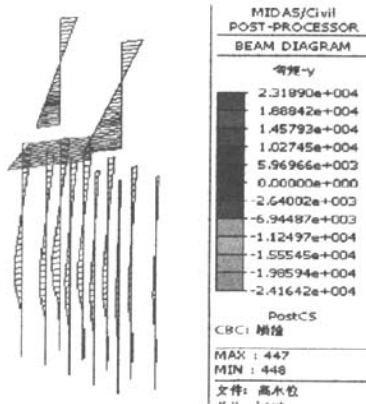


图 6 未考虑汽车影响的下部结构弯矩图

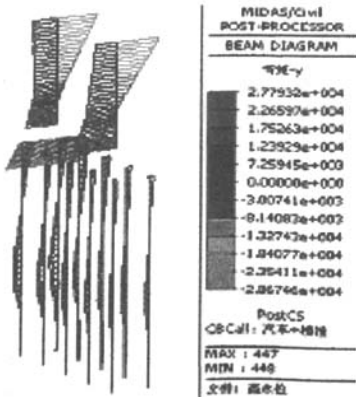


图 7 考虑汽车影响的下部结构弯矩图

由上述计算结果及图形可知,在船舶相撞时,分析大桥下部结构时,由于汽车荷载的影响,导致下部结构的最不利组合情况会有明显变化。因此,在分析船舶相撞的时,一般应考虑汽车荷载的影响。

3.5 预应力影响

牛湾大桥作为预应力连续刚构桥,运营阶段,本身就处在预应力的作用之中,因此在船舶撞击大桥时,应考虑预应力的影响,预应力影响主要包括两方面,一方面是船舶撞击时预应力在顺桥向对下部结构的影响,一方面是船舶撞击时预应力对主梁横桥向的影响。以牛湾大桥为例,计算结果如图 8~11。

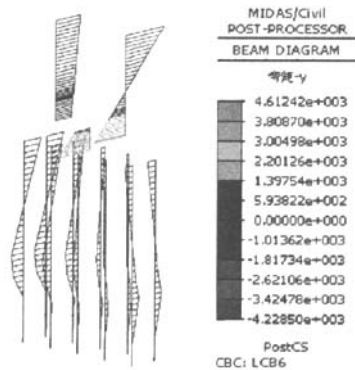


图 8 未考虑预应力影响的下部结构弯矩图

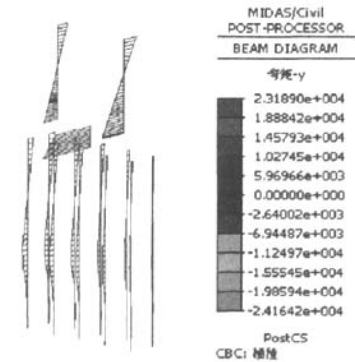


图 9 考虑预应力影响的下部结构弯矩图

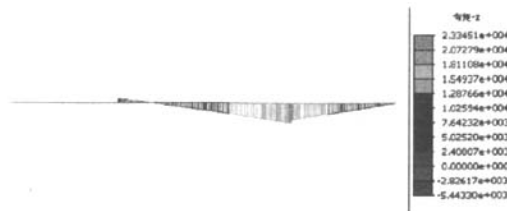


图 10 未考虑预应力影响的主梁侧向弯矩图



图11 考虑预应力影响的主梁侧向弯矩图

从上述计算结果的数值来看,预应力连续刚构桥在船舶撞击的情况下,对下部结构的计算仍应该考虑预应力的影响,但是预应力效应对于主梁的横桥向影响则比较小。

4 结语

船舶撞击的力学分析是很复杂的问题,首先是撞击过程中力边界条件和位移边界条件的复杂性,其次存在流固耦合的问题,还有冲击动力学的问题。本文在对牛湾大桥进行船舶相撞安全分析的过程中,考虑了传统的经验公式法,就其中的一些力学问题提出了一些想法。分析表明,在研究船舶相撞问题中,支座的模拟、汽车荷载的影响和预应力荷载的影响都应该考虑。

本文在合理选取船舶撞击力、合理模拟边界条件的前提下,对支座、预应力、汽车荷载的考虑与否及模拟方法提出了一种思路,对实际工程有一定参考意义。

[参考文献]

[1] 耿波. 桥梁船撞安全评估[D]. 上海: 同济大学桥梁工程系, 2007.

- [2] DERUCHER K N. Analysis of Concrete Bridge Piers for Vessel impact[C] // Proceedings of Sino-American Symposium on Bridge and Structural Engineering, 1982, China, Part1.
- [3] MICHAEL W W, ISSAM E H, JAMES J G, et al. Barge collision design of highway bridges[J]. ASCE Journal of Bridge Engineering, 1996, 1(2): 150 - 158.
- [4] PEDERSEN P T, VALSGARD S, OLSEN D, et al. Ship-impacts; bow collisions[J]. International Journal of Impact Engineering, 1993, 2: 163 - 187.
- [5] 梁文娟, 金允龙, 陈高增. 船舶与桥墩碰撞力计算及桥墩防撞[C] // 第十四届全国桥梁学术会议论文集. 上海: 同济大学出版社, 2000: 566 - 571.
- [6] 罗林阁, 曹映泓, 陈国虞, 等. 船舶撞击桥梁的撞击力计算方法探讨[J]. 中外公路, 2006, 26(5): 78 - 81.
- [7] 欧碧峰, 王君杰. 带防撞设施的船桥碰撞数值模拟[J]. 计算机辅助工程, 2006, 15: 75 - 77.
- [8] 陈诚. 桥梁设计船撞力及损伤状态仿真研究[D]. 上海: 同济大学桥梁工程系, 2006.
- [9] ZHANG Bi-bo. Influence of Pier Nonlinear, impact Angle and Column Shape on Pier Response to Barge impact Loading[D]. Florida: University of Florida, 2004.
- [10] GARY R C, RONALD A C. Barge impact Testing of the ST[R]. George Island Causeway Bridge/Phase I: Feasibility Study. Florida: University of Florida, 2002.
- [11] 赵明华. 桥梁桩基计算与检测[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [12] 杨克己. 实用桩基工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.

[责任编辑: 王景周]