

码头橡胶护舷的优化设计

尹春辉^{1,3}, 贺军^{2,3}

(1. 中交四航局港湾工程设计院有限公司, 广东 广州 510290; 2. 中交二航局第二工程有限公司, 重庆 401121; 3. 中国港湾工程有限责任公司西部非洲区域管理中心, 科特迪瓦 阿比让 06 BP 6687)

摘要: 船舶靠泊时撞击能量和橡胶护舷的受力分析是橡胶护舷选型最重要的部分。以加纳某新集装箱码头为例, 通过对橡胶护舷吸能的分配进行分析计算, 将原设计单个护舷吸能模式改为中外规范允许的多个护舷吸能的模式, 并以靠泊时船艏撞击点的不同来分析不利靠泊工况, 以船舶船艏圆弧半径、护舷组吸能能量及对应的变形为分析因素, 确定不同撞击点时参与吸能的护舷数量 (不同的吸能护舷的数量也称为不同的靠泊工况)。根据不同的靠泊工况对护舷组的吸能和变形进行分析计算, 得出满足吸能及码头结构保护的佳橡胶护舷型号, 实现对护舷的优化设计。

关键词: 橡胶护舷; 撞击能量; 护舷反力; 吸能分配

中图分类号: U653.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-7874(2018)05-0036-05

doi :10.7640/zggwjs201805009

Optimization design for wharf rubber fender system

YIN Chun-hui^{1,3}, HE Jun^{2,3}

(1. Engineering Design Institute Co., Ltd. of CCCC Fourth Harbour Engineering Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510290, China; 2. China Communications 2nd Navigational Bureau 2nd Engineering Co., Ltd., Chongqing 401121, China; 3. China Harbour Engineering Company Limited Western Africa Division, Abidjan 06 BP 6687, Cote d'Ivoire)

Abstract: The berthing energy and rubber fender reaction load are the most important parts in choosing the type of the rubber fender. As a typical example of Ghana some new terminal expansion project, by analyzing and calculating the absorption distribution of fender system, we changed the single energy-absorbing fender mode to multiple energy-absorbing fenders which is allowed by the standards of China and British. When the ship berthing, we used the different berthing points to analyze the adverse berthing conditions, by using the ship bow radius, fender energy absorption capacity and the corresponding deformation as the analysis of factors to determine the different points of impact fenders involved in energy absorption (The number of different fenders is also called different berthing conditions). According to the different berthing conditions, we analyzed and calculated the energy absorption and deformation of the fender group to get the optimal rubber fender model that meets the requirements of energy absorption and wharf structure protection, so as to realize the optimal design of the fender.

Key words: rubber fender; berthing energy; reaction force; absorption distribution

护舷系统的设计是一个较复杂的过程, 目前在世界范围内还没有一本设计规范能让护舷系统的设计标准化, 大部分设计程序还是需要依赖护舷系统专业设计人员的经验来实现。目前全世界最主流的设计规范是国际航运协会(PIANC)出版的“Guidelines for the Design of Fender Systems :2002

Report of Working Group 33-MARCOM, Appendix A, Procedure to Determine and Report the Performance of Marine Fenders”, 此外还有英国国家标准(BIS), 日本国家标准(JIS), 欧洲标准(EURO CODE)等。护舷的设计一般有 4 个步骤, 首先是收集船舶、码头、靠岸和环境因素信息, 第二是确定最大船舶靠岸动能, 第三是根据码头船舶的特质分别确定护舷弹性体、前部结构和运动限制装置(可以有多种方案), 最后是根据设计合理性及材料

收稿日期: 2017-12-12 修回日期: 2018-04-12
作者简介: 尹春辉 (1985—), 男, 湖北麻城人, 工程师, 从事港口工程设计和施工管理工作。E-mail: yin_chunhui@qq.com

安装成本从各方案中选取最佳方案。

随着我国水运行业海外业务的蓬勃发展,国内设计院对使用国际标准对船舶撞击能量的计算已完全掌握。但是,目前还没有规范规定撞击能量选取橡胶护舷的计算方法,国内水运设计行业在橡胶护舷选型时普遍只考虑撞击能量被单个橡胶护舷吸收的情况。然而中外规范^[1-2]都允许靠泊时撞击能量被单个或者多个橡胶护舷吸收的情况,即橡胶护舷组进行吸能分配。本文通过对加纳某新集装箱码头橡胶护舷吸能分配进行分析计算,提出橡胶护舷的优化设计方法,可供海外水工工程设计借鉴。

1 船舶撞击能计算

根据 PIANC 2002^[3],船舶靠泊对护舷的撞击能量表达式为:

$$E = 0.5C_M M_D V_B^2 C_E C_S C_C$$

式中: E 为撞击能量,kJ; M_D 为船舶排水量,t; V_B 为船舶正常靠泊时的靠泊速度,m/s,根据靠泊码头是否有掩护、靠泊条件的难易,以及船舶排水量等条件查表确定; C_S 为柔性系数,取0.9~1.0,当护舷连续布置时取0.9,其他情况取1.0; C_C 为泊位形状系数,取0.8~1.0,开敞式高桩码头取1.0,实体码头取0.8~1.0,通常取1.0; C_M 为船舶附加水体影响系数; C_E 为偏心系数。

1) 船舶附加水体影响系数计算公式如下:

$$C_M = 1 + \frac{2D_V}{B}$$

式中: D_V 为船舶与计算装载度对应的吃水,m; B 为船舶型宽。

2) 偏心系数计算公式如下:

$$C_E = \frac{K^2 + R^2 \cos^2 \gamma}{K^2 + R^2}$$

其中船舶回转半径 K 计算公式如下:

$$K = (0.19C_b + 0.11)L$$

式中: C_b 为方形系数; L 为船舶垂线间长度,m; R 为船舶质心至靠泊点的距离,m; γ 为靠泊方向与 R 之间的锐角夹角,°。

当船舶停靠发生不正确处理、发生故障或者异常的横风、水流或者异常风和水流的结合时,需要考虑非正常靠泊。非正常靠泊的能量计算是在正常靠泊能量的基础上乘以相应的安全系数实现的。其安全系数的建议值见 PIANC。

2 实例

2.1 工程概况

加纳某新集装箱码头工程位于非洲西部,加纳南部沿海,濒临几内亚湾的北侧。集装箱码头岸线总长1400m,顶标高为+4.0m。码头结构采用重力式沉箱结构。码头橡胶护舷原设计选型为SCN1800 F2.0,码头橡胶护舷结构示意图见图1。

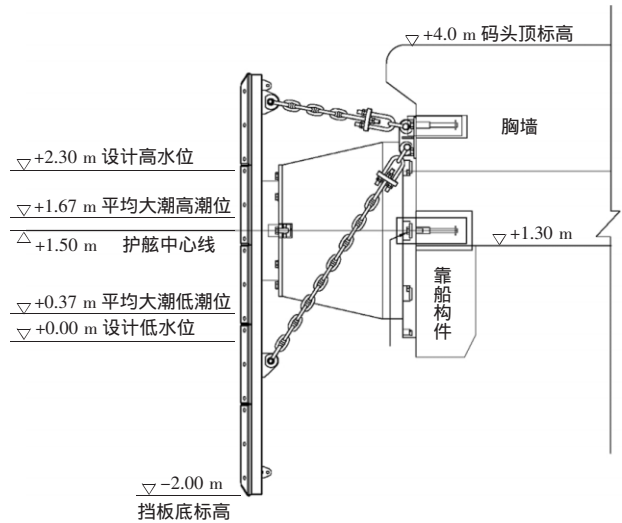


图1 码头橡胶护舷结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of the wharf rubber fender

2.2 计算条件

本项目设计条件汇总见表1。

表1 设计条件汇总表

Table 1 Design parameter table list

	船舶类型	小船	中型船	大型船
设计船型	总长 L_{0A} /m	230	350	367
	两柱间长 L_{BP} /m	217	334	352
	型宽 B /m	32	50	51
	设计吃水/m	12.5	15.0	16.0
	设计排水量/t	60 000	145 000~150 000	195 000~200 000
船型靠泊参数	横向靠泊速度/($m \cdot s^{-1}$)	0.15	0.10	0.10
	最大靠泊角度/(°)	6	6	6
船舶撞击能量计算结果	撞击能量/($kN \cdot m$)	1 174	841.8	641.1
	非正常靠泊撞击能量(系数=2.0)/($kN \cdot m$)	2 349	1 684	1 282
修正后橡胶护舷吸能要求	靠泊撞击能/($kN \cdot m$)	1 174	841.8	641.1
	非正常靠泊撞击能(安全系数=2.0)/($kN \cdot m$)	2 349	1 684	1 282
	总修正系数	0.872	0.872	0.872
	橡胶护舷吸能要求/($kN \cdot m$)	2 693.2	1 930.5	1 470.2

注 PIANC 中规定集装箱船的非正常靠泊系数取 1.5~2.0, 此处合同要求统一取 2.0。

2.3 橡胶护舷选择

考虑到锥形橡胶护舷具有高吸能低反力及船舶靠泊角度 10°内不影响其吸能性能的优点，选择锥形橡胶护舷。

2.4 橡胶护舷型号确定

考虑单个护舷吸能大于 2 693 kN·m，选择 SCN1800 F2.0 橡胶护舷。橡胶护舷的反力和变形如图 2 所示^[4]。

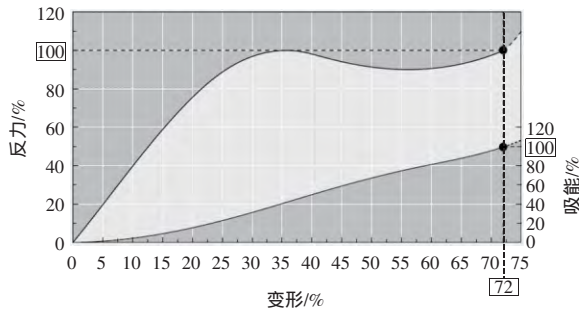


图 2 SCN1800 反力和变形曲线图

Fig. 2 SCN1800 reaction and deformation curve

由图 2 可知，SCN1800 F2.0 橡胶护舷最大吸能 2 775 kN·m，满足最大撞击能量 2 693 kN·m 的要求。

3 护舷优化计算和结果

3.1 橡胶护舷优化思路

1) 由于非正常靠泊已考虑由温度变化、船舶本身及异常靠泊速度等因素，因此在撞击能量计算中不应再重复考虑，而只考虑橡胶护舷制造偏差，BS6349-4^[3]中规定制造偏差取 10%，经咨询厂家，其制造偏差能达到 5%。

2) BS6349-4^[3]中明确指出，在船舶靠泊过程中可同时考虑多个护舷吸能的工况。因此，本优化方案主要考虑船舶靠泊时 2 个和 3 个橡胶护舷单元共同作用下的护舷型号选取。

3.2 橡胶护舷优化计算

1) 船舶圆弧半径计算，其结果见表 2。

$$R_B = \frac{1}{2} \left(\frac{B}{2} + \frac{L_{OA}^2}{8B} \right)$$

表 2 设计船型船舶圆弧半径和护舷吸能要求计算结果
Table 2 Bow radius and fender absorption requirement calculation results of the design ship type

设计船型	小船	中型船	大型船
船舶圆弧半径/m	111	166	178
吸能要求(±5%偏差)/(kN·m)	1 350	1 758	2 473

2) 橡胶护舷推荐

根据前面的分析，可知最大撞击能量为设计撞击能量再考虑±5%的偏差。因此，橡胶护舷能效吸能要求如表 2。

初步推荐橡胶护舷为锥形橡胶护舷 SPC 1300 G3.0，其额定吸能 1 402 kN·m，额定反力 2 048 kN。

3) 撞击时护舷组的工作原理

护舷设计时还需将跟船舶舷侧板压力相关的船舶圆弧半径、靠泊角度、护舷布置间距、非正常靠泊及靠泊时撞击多个橡胶护舷的因素都考虑在内。同时，进行护舷设计时，BS6349-4 规定船舶靠泊需假定为船舶船舶接触单个或者多个护舷、船舶纵轴线与码头前沿线形成一个向右的角度(靠泊角度在规范规定范围内)并绕接触点向右旋转以完成靠泊，一般考虑参与撞击能吸能的护舷个数为 2 个或者 3 个。当参与吸能的护舷为 2 个和 3 个单元时，船舶靠泊初始状态及撞击能完全吸能时的示意图见图 3。船舶靠泊几何图示见图 4。

4) 护舷吸能能力复核

所选护舷为 SPC 1300 G3.0，其产品性能曲线如图 5^[5]所示。

根据护舷性能参考表和曲线图，可得出不同工况下护舷组的实际吸能能力见表 3。

由此可知，设计船型均是护舷组(每组 2 个护舷单元或者 3 个护舷单元)吸能，且均能满足设计船型靠泊时的吸能要求。

5) 船舶靠泊时船体与码头结构最小距离复核

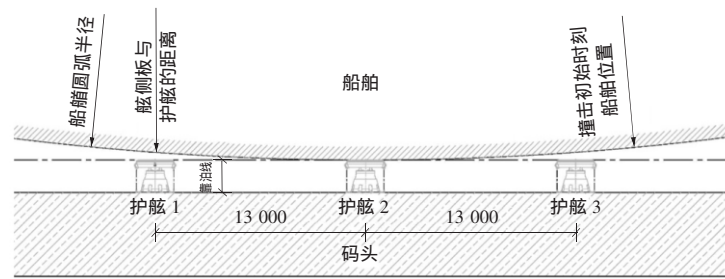
根据产品设计手册^[6]，船舶靠泊时，橡胶护舷吸能后会产生变形，船体至码头结构的距离会因此缩小，过小的净距将给船舶及码头结构带来被破坏的风险，结合护舷的吸能大小和性能曲线图(图 5)，可得出正常靠泊及非正常靠泊情况下船体与码头结构的净距最小值为 680 mm，其净距示意图见图 6，计算结果满足规范^[2]最小净距 250 mm 的要求。

6) 船舶舷侧板压强复核

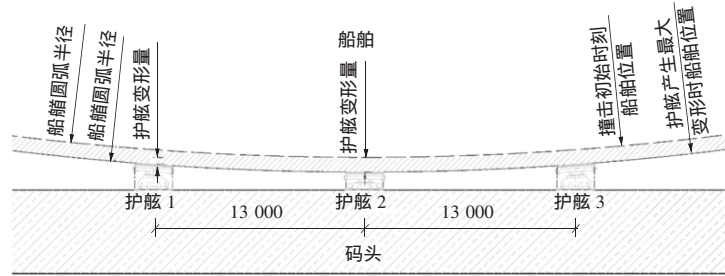
靠泊时船舶舷侧板压强大小可通过调整护舷防冲板的面积实现，本项目配备的防冲板尺度为宽度 2.1 m 和高度 5.12 m，经计算其对舷侧板的压强为 200 kPa，在允许范围内。

7) 结论

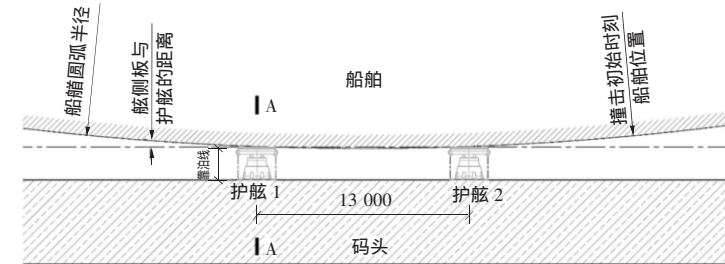
SPC 1300 G3.0 护舷满足本项目船舶靠泊的设计要求和设计要求。



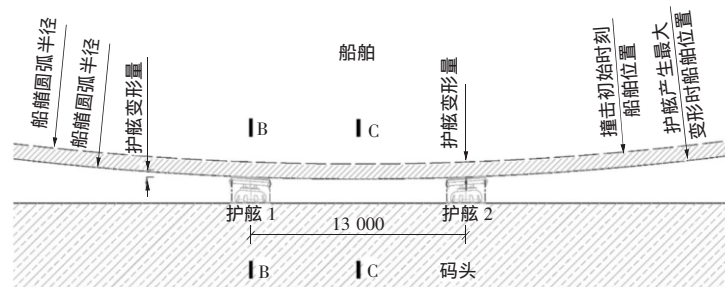
(a) 3个护舷吸能时初始状态



(b) 3个护舷吸能撞击后状态



(c) 2个护舷吸能时初始状态



(d) 2个护舷吸能撞击后状态

图3 护舷吸能及变形的靠泊示意图

Fig. 3 Berthing schematic of energy absorption and deformation of fenders

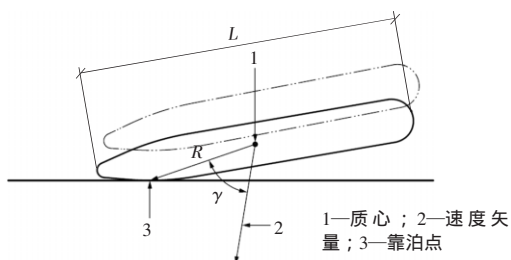


图4 船舶靠泊几何图示(渡船及滚装船靠泊除外,另有规定)

Fig. 4 Vessel berthing geometry illustration(Except the ferry and ro-ro berthing, otherwise specified)

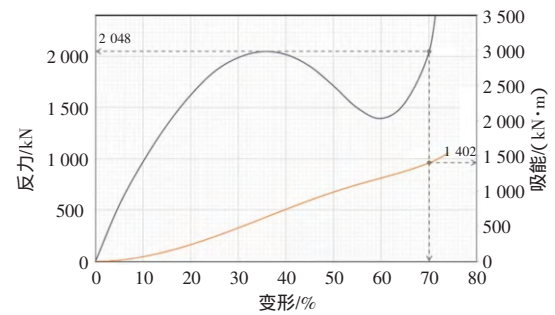


图5 SPC 1300 G3.0性能曲线图

Fig. 5 SPC 1300 G3.0 performance curve

表3 护舷组吸能能力校核
Table 3 Fender absorption capacity checking

每组护舷个数	船型	项目	护舷 1	护舷 2	护舷 3	撞击能量/(kN·m)	吸能能力/(kN·m)	结论
3	小船	位移/mm	146	910	400	1 350	1 570	满足
		吸能/(kN·m)	84	1 402	84			
	中型船	位移/mm	400	910	400	1 758	2 412	满足
		吸能/(kN·m)	505	1 402	505			
	大型船	位移/mm	435	910	435	2 473	2 524	满足
		吸能/(kN·m)	561	1 402	561			
2	小船	位移/mm	500	500	—	1 350	1 386	满足
		吸能/(kN·m)	693	693	—			
	中型船	位移/mm	600	600	—	1 758	1 788	满足
		吸能/(kN·m)	894	894	—			
	大型船	位移/mm	820	820	—	2 473	2 502	满足
		吸能/(kN·m)	1 251	1 251	—			

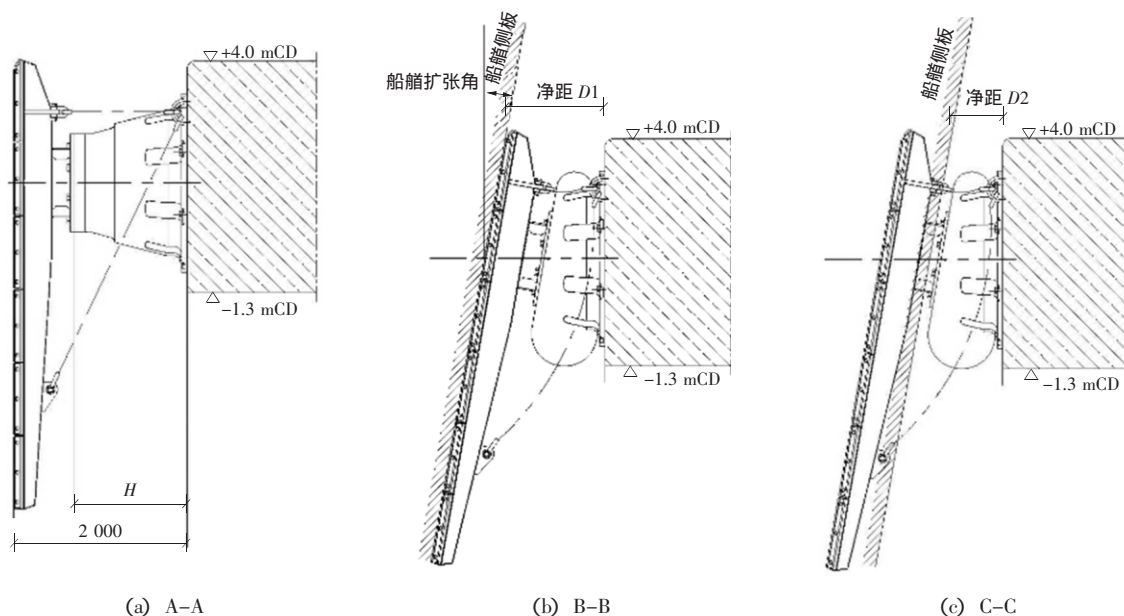


图6 非正常靠泊时船舷侧板与码头结构净距示意图

Fig. 6 Vessel hull to quay wall clearance at abnormal berthing energy

4 结语

1) 基于国外标准和规范计算出的撞击能量，需根据设计船型及护舷产品手册和设计指南对船舶靠泊时作用的护舷个数进行分析，避免将所有能量分配在一个护舷单元上。

2) 本项目因为护舷优化后本体尺度变小，能安装在胸墙上，因此取消了码头靠船构件，经成本分析，优化节省约250万美元。另外，在本项目工期压力较大的情况下，靠船构件的取消也节省了工期，意义非凡。

3) 若非设计条件限制，本项目护舷优化时

还可组合护舷布置间距(可增大)，对比分析后合理选择护舷型号及间距，将进一步降低造价。

参考文献：

- [1] JTJ 297—2001, 码头附属设施技术规范[S]. JTJ 297—2001, The technical code of subsidiary facilities for wharf[S].
- [2] BS 6349-4—2014, Maritime works – code of practice for design of fendering and mooring systems [S].
- [3] PIANC 2002, Guidelines for the design of fender system [M]. Belgium: International Navigation Association, 2002.
- [4] Fender systems product brochure[K]. Trelleborg.
- [5] Shibata fender team product[K]. Shibata.
- [6] Shibata fender team design manual[K]. Trelleborg.