



大型公务船码头护舷选型及布置

黄一靖

(福建省港航勘察设计院有限公司, 福建福州 350002)

摘要: 大型公务船泊外形与普通散杂货、集装箱船舶差别较大, 靠泊船型外形轮廓对码头护舷选型与布置影响较大。福建沿海某公务船码头原护舷选型及布置未充分考虑公务船外形及大水位差影响, 实船试靠时护舷不满足安全靠泊需要。通过广泛调研, 并吸收借鉴类似码头护舷布置经验, 对该码头护舷进行了适当的改造。主要在码头面上设置靠船立柱, 配置转动式橡胶护舷, 经过实船涨退潮周期靠泊验证, 总体使用效果良好。该码头护舷改造为大水位差地区大型公务船泊位护舷选型及布置提供了一定的借鉴。

关键词: 公务船泊外形; 钢质护舷; 靠船立柱; 转动式橡胶护舷

中图分类号: U 656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)04-0078-06

Selection and arrangement of fenders for large official ship wharf

HUANG Yijing

(Fujian Port and Waterway Investigation and Design Institute Co., Ltd., Fuzhou 350002, China)

Abstract: The shape of a large official ship is quite different from that of ordinary bulk cargo and container ships, and the shape of a berthing ship has a great influence on the selection and arrangement of wharf fenders. The selection and arrangement of the original fenders of an official ship wharf in coastal areas of Fujian fail to fully consider the influence of the shape of the official ship and the large water level difference, and the fenders cannot meet the requirement of safe berthing during the trial berthing of a real ship. Through extensive investigation and experience reference of similar wharf fender arrangements, this paper appropriately modifies the wharf fenders. Specifically, the paper mainly sets up berthing columns on the wharf surface and installs rotary rubber fenders. Finally, the modified wharf fenders pass the berthing verification of the real ship within the ebb and flow cycle and show an excellent application effect. The modified wharf fenders provide a certain reference for selecting and arranging berthing fenders for large official ships in areas with large water level differences.

Keywords: official ship shape; steel fender; berthing column; rotary rubber fender

在码头泊位工程设计中, 为减小船舶靠泊和系泊时对码头的作用力, 确保船体和码头的安全, 普遍采用的有效措施是在码头上设置防冲设备^[1]。橡胶护舷作为主要的防冲设备被广泛应用于码头工程中。目前, JTS 169—2017《码头附属设施技术规范》^[2]总结了近年来国内外码头建设的实践经验及相关标准, 规定了护舷选型和布置原则, 其主要考虑因素包括: 船舶靠泊时对护舷的撞击作

用, 在波浪作用下船舶系泊码头时三维运动对护舷的作用等。护舷布置应综合考虑靠泊船舶类型、尺度、系靠泊方式、靠泊角度、码头结构形式、水位变动幅度和使用要求等因素。护舷的布置重点是竖向和水平向布置均应保证船舶在设计高低水位和不同吃水条件下安全停靠。JTS 144-1—2010《港口工程荷载规范》^[3]明确了船舶靠岸时以及系泊船舶在横浪作用下对护舷的撞击作用, 并

收稿日期: 2022-07-08

作者简介: 黄一靖 (1974—), 男, 高级工程师, 从事港口航道工程设计与研究。

对护舷选型提供了选择依据。

公务船主要包括海警、海事、渔政等从事海上维权执法监督管理的船舶，公务船泊外形与普通散杂货、集装箱船舶区别较大，刘烨^[4]提出应重视靠泊船型外形轮廓对护舷选型与布置的影响。福建沿海某公务船码头原护舷选型及布置未充分考虑公务船外形影响，在福建海区潮差大的情况下，公务船实船试靠时护舷不满足安全靠泊需要。通过广泛调研，并吸收借鉴了类似码头护舷布置经验，对该码头护舷进行了适当的改造。主要在码头面上设置靠船立柱，配置转动式橡胶护舷，经过实船涨退潮周期靠泊验证，总体使用效果良好。该码头护舷改造为大水位差地区大型公务船泊位护舷选型及布置提供了一定的借鉴。

1 大型公务船船型特点

大型公务船舶为满足海上执法监督管理的需要，船舶一般具有航速快、机动性能好的特点。因此，公务船舶船型多成“舰型”，横剖面多为V字形（图1）。公务船经常在执法时需靠近海上船舶，为避免海上执法靠近船舶时接触影响，公务船舶在甲板两侧船舷常设置钢质护舷。而普通的散杂货船、集装箱船型横剖面多呈U字形，且一般不设置钢质护舷（图2）。



图1 大型公务船



图2 散杂货船

2 码头泊位护舷布置及实船靠泊

2.1 码头原护舷布置方式

福建沿海某公务船码头为高桩梁板式码头，码头排架间距8 m，护舷采用常规布置形式。码头前沿每个排架上竖向连续布置SA400H-2000L拱型护舷，因兼停靠中小型公务船，码头靠船构件底高程与设计低水位一致，竖向护舷连续布置至码头顶面。码头前沿水平向在每个排架间布置一套SA300H-2000L拱型护舷，护舷安装在码头前沿面板及边纵梁上。

2.2 原护舷布置适应性

2.2.1 原护舷选型复核

大型公务船靠泊或系泊时有效撞击能量按JTS 144-1—2010《港口工程荷载规范》有关规定计算。

1) 船舶靠岸时有效撞击能量 E_0 :

$$E_0 = \frac{\rho}{2}mv_n^2 \quad (1)$$

式中： E_0 为船舶靠岸时的有效撞击能量，kJ； ρ 为有效动能系数，取0.7~0.8； m 为船舶质量，t，按船舶满载排水量计算； v_n 为船舶靠岸时对码头撞击的法向速度，m/s。大型公务船靠岸时法向速度 v_n 按0.17 m/s，满载排水量为6 600 t。经计算，船舶靠岸时有效撞击能量 E_0 为76 kJ。

2) 船舶系泊时在横浪作用下有效撞击能量 E_{w0} :

$$E_{w0} = \frac{1}{2}kC_m mv_B^2 \quad (2)$$

式中： E_{w0} 为横浪作用下系泊船舶有效撞击能量，kJ； k 为偏心撞击能量折减系数，公务船系泊时按满载考虑，设计高水位情况下取0.94，设计低水位情况下取0.90； C_m 为船舶附加水体影响系数，按公务船船型尺度及码头水深条件计算 C_m 为1.07； v_B 为系泊船舶在横浪作用下的法向撞击速度，m/s。本公务船码头处于掩护条件较好水域，公务船系泊时在横浪为小风区风成浪，按横浪波要素及码头水深条件计算法向撞击速度 v_B 为0.13 m/s。经计算，大型公务船系泊时在横浪作用下有效撞击能量 E_{w0} 为56 kJ。

岸壁式码头分配在每组护舷上的有效撞击能量:

$$E_w = K_2 E_{w0} \quad (3)$$

式中: E_w 为分配在每组护舷上的有效撞击能量, kJ; K_2 为护舷之间有效撞击能量分配的不均匀系数, K_2 取 0.36。经计算, 大型公务船在横浪作用下分配在每组护舷上的有效撞击能量(E_w)为 20.2 kJ, 小于船舶靠岸时有效撞击能量(E_0)76 kJ。

综上, 码头橡胶护舷选型控制工况为船舶靠岸时工况, 橡胶护舷变形吸收的能量应不小于 76 kJ。本公务船码头采用 SA400H-2000L(标准反力型)拱型橡胶护舷, 护舷变形可吸能 93 kJ(反力为 550 kN), 满足使用要求。

2.2.2 原护舷布置复核

本码头靠船构件底高程与设计低水位一致, 公务船干舷高度相对较大, 大型公务船最小干舷高度均在 2 m 以上, 因此本码头前沿每个排架上竖向 SA400H-2000L 拱型橡胶护舷为连续布置, 满足公务船安全系泊最小接触长度要求。

公务船靠泊码头时橡胶护舷最大水平间距, 根据 JTS 169—2017《码头附属设施技术规范》有关规定计算。

$$S \leq 2\sqrt{R_B^2 - (R_B - h + C)^2} \quad (4)$$

$$R_B \approx \frac{1}{2} \left(\frac{B}{2} + \frac{L^2}{8B} \right) \quad (5)$$

式中: S 为护舷间距, m; R_B 为船首曲率半径, m; h 为受压时, 在护舷中心线测得的护舷突起, m; C 为船舶和码头之间的间距, m, 取未变形护舷高度的 5%~15%; B 为船舶宽度, m; L 为船舶总长, m。

根据码头靠泊公务船型尺度及配置护舷性能参数可计算护舷最大水平间距, 靠泊 60 米级公务船护舷最大水平间距为 8.5 m, 靠泊大型(120 米级)公务船最大水平间距为 10.5 m。同时参考英国标准 BS 6349-4^[5]规定护舷间距不超过 $0.15L$ (L 为靠泊船舶长度), 复核护舷最大水平间距。本码头

排架间距为 8 m, 码头前沿每个排架上均布置护舷, 护舷最大间距为 8 m 满足靠泊要求。

2.3 公务船实船试靠问题

码头原护舷选型及布置未充分考虑公务船舶外形影响, 60 米级公务船在进行试验靠泊时(图 3), 主要存在的问题: 1) 公务船甲板两侧突出钢护舷会卡在水平向及竖向橡胶护舷安装缝上; 2) 高水位时公务船甲板超出码头面, 钢质护舷会碰撞护轮槛及系船柱。停靠码头期间, 公务船随着涨落潮上下浮动, 码头上常规布置的橡胶护舷不满足使用要求。



图 3 60 米级公务船试靠码头

3 公务船码头护舷改造

3.1 改造途径

3.1.1 浮体形式

“舰型”船舶在靠泊码头时通常设置具有一定宽度的浮体^[6], 使得船舶与码头分离, 避免船舶甲板及钢质护舷触碰码头。浮体形式一般可分为充气式浮体、充填型浮体和钢质浮体, 见图 4。



a) 充气式



b) 钢质

图4 浮体形式

3.1.2 靠船立柱形式

“舰型”船舶在靠泊码头时，出现顶层甲板高出码头面一定高度的情况，考虑在码头前沿顶面设置靠船立柱^[7]，在立柱上再增设橡胶护舷（图5）。公务船停靠码头期间，随着潮水上下浮动，码头上常规布置的橡胶护舷结合立柱上增设的橡胶护舷可满足使用要求。



图5 设置靠船立柱的码头

3.1.3 改造途径比选

采用增设浮体形式，优点是浮体安装较为方便，不需对原有码头结构进行大的改造，但也有较大的缺点。充气式浮体具有安装、拆卸方便的特点，但需定期进行维护保养，一般需要每3~5个月检修一次，保证充气气压及橡胶气囊的质量，采用专用充气设备，专业维护机构，因此一般临时性靠泊时采用，需长期靠泊公务船的专用码头泊位采用充气式浮体的后期维护保养不便。充填型浮体较充气式浮体可延长维护保养周期，仅需每年进行一次检修，但充填型浮体防台时需拆卸上岸运至码头后方保存，本码头处于福建沿海地区，夏季受台风影响频率较大，台风期需频繁拆装使用不便。钢质浮体的缺点与充填型浮体类似，台

风期需频繁拆装，而且钢质浮体无法拆卸上岸，在台风预警时必须提前拖航至防台锚地抛锚避台，且一次性投资较高，后期维护保养不便。

采用靠船立柱形式，优点是可在立柱上安装橡胶护舷，与码头已安装的竖向橡胶护舷连续布置，码头结构受力明确，同时靠船立柱形式使用维护方便，不需要专门的防台措施。但靠船立柱高出码头面一定高度，对码头面的整体观感有影响。

增设浮体形式存在造价高，使用期间保养工程量较大，防台不方便等问题，无法达到安全、便捷的使用要求，因此经综合分析比较采用靠船立柱形式，并在此基础上进行优化。

3.2 改造方案

3.2.1 水平向橡胶护舷

在公务船停靠码头期间，涨潮时公务船随潮水上涨，钢护舷会卡在水平向护舷下侧；落潮时公务船随潮水下落，钢护舷会卡在水平向护舷上侧。水平向橡胶护舷主要避免公务船停靠期间与码头触碰。经复核码头护舷最大间距8 m可满足靠泊要求，同时公务船上一般配置有防碰撞垫起到防触碰的作用，因此考虑取消水平向橡胶护舷。

3.2.2 竖向橡胶护舷

现有码头前沿每个排架上竖向连续布置SA400H-2000L拱型护舷，护舷选型及布置基本满足中低水位靠泊要求，但护舷安装时存在100 mm安装缝（护舷顶面间距250 mm）。当公务船随着涨落潮上下浮动时，钢护舷会卡在竖向橡胶护舷安装缝上。综合考虑投资等因素，改造保留了原有竖向橡胶护舷，安装缝处采用定制护舷进行填充，不留缝隙。

若新建码头工程，可适当调整护舷安装缝的位置使其不形成水平向通缝。由于公务船钢护舷与橡胶护舷挤压摩擦，在橡胶护舷表面增设PE防冲板形成无缝隙连续布置，既可避免钢护舷卡在安装缝上，又可有效防护橡胶护舷。

3.2.3 增设靠船立柱

公务船码头靠泊最主要的问题是中高水位时

公务船甲板超出码头面后，钢质护舷会碰撞护轮槛及系船柱等码头设施，且落潮时钢质护舷有卡在码头面上的风险。在极端高水位时，停靠的 60 米级公务船主甲板高出码头面约 1.4 m，因此采用增设 1.5 m 高靠船立柱方案。

120 米级公务船在极端高水位时直升机甲板高出码头面 4.3 m，直升机甲板侧面设有钢护舷，若增设靠船立柱，其高度将达到 4.5 m，大大增加码头结构受力，现有码头结构承载能力无法承受，且影响码头外观。因此，大型公务船泊位不适用于增设靠船立柱方案。

3.2.4 大型公务船泊位

如何解决中高潮位大型公务船靠泊问题，并且降低靠船立柱的高度。采用直立式靠船立柱形式，在中高潮位时公务船上钢护舷直接在靠船立柱面上下滑动，直立式靠船立柱高度应保证极端高水位时公务船上钢护舷不卡在靠船立柱顶面。综上分析，要大大降低靠船立柱的高度，可改变钢护舷与靠船立柱的接触方式，将滑动接触改变为转动接触。当高水位时公务船上钢护舷超过靠船立柱后，落潮时公务船钢护舷再次接触立柱顶部，随着潮水下落钢护舷对立柱施加向下压力，转动立柱在偏心压力作用下发生转动，使钢护舷随潮水顺利下落。因此，靠船立柱配置的护舷采用转动式橡胶护舷竖向布置。目前，转动式护舷多用于船坞、船闸等水工建筑物上，以水平向布置。当前国内部分码头已采用转动式橡胶护舷如：上海港宝钢全天候成品码头工程为减小反力，码头前沿采用 $\phi 1500 \times 500$ H 转动式橡胶护舷水平向布置；琼州海峡铁路轮渡工程采用 $\phi 1800 \times 600$ H 转动式橡胶护舷水平向布置，避免船舶碰触岸壁。

3.2.5 转动式橡胶护舷选型

大型公务船靠泊码头存在直接撞击转动式橡胶护舷的工况，因而转动式护舷选型按船舶靠岸时的有效撞击能量进行选择。船舶靠泊有效撞击能量 E_0 为 76 kJ，转动式橡胶护舷规格取 $\phi 1500 \times 500$ H，护舷变形可吸能为 90 kJ，反力为 382 kN，

小于 SA400H-2000L 护舷反力 550 kN。经复核计算，改造后码头结构受力满足要求。

转动式橡胶护舷固定在靠船钢结构立柱上，为满足护舷安装需要立柱高度取 1.9 m。立柱基础螺栓采用植筋方式与码头平台横梁连接。

3.3 码头改造后使用效果

福建沿海某 120 米级公务船码头泊位采用转动式靠船立柱改造方案。2021 年 12 月初大型 120 米级公务船正式靠泊，经涨退潮周期验证(图 6)，总体靠泊使用效果良好。



a) 停靠码头



b) 接触转动护舷



c) 钢护舷在退潮过程中下落

图 6 大型公务船靠泊

4 结语

1) 大型公务船舶外形与普通散杂货、集装箱船舶区别较大，船型横剖面多为V字形，甲板两侧船舷常设置钢质护舷。公务船码头护舷选型及布置应充分考虑公务船舶外形影响。

2) 码头竖向护舷需连续布置，护舷间安装应不留缝隙。新建码头工程可通过适当调整护舷安装缝的位置使其不形成水平向通缝。公务船钢护舷与橡胶护舷挤压摩擦，可在橡胶护舷表面增设PE防冲板形成无缝隙连续布置，既避免钢护舷卡在安装缝上，又可有效防护橡胶护舷。

3) 在大型公务船泊位码头面上设置靠船立柱具有结构受力明确、使用期维护方便等优点。靠船立柱采用转动式橡胶护舷，可大大降低靠船立柱的高度，经120米级大型公务船涨退潮周期靠泊验证，总体使用效果良好。本码头护舷改造为大水位差地区大型公务船泊位护舷选型及布置提供了一定的借鉴。

(上接第31页)

3 结论

1) 通过拟合缺陷反射前的反射波曲线，得到对应完整桩段桩-土参数组合，并在此基础上按实际缺陷起始位置设置模拟缺陷以计算衰减系数，进而修正完整性系数，可以有效考虑入射波和反射波信号的衰减，提高缺陷程度的分析精度。

2) 考虑缺陷上下界面反射波叠加效应可以更准确确定缺陷长度，利用升余弦函数构建拟合函数拟合叠加后的反射波，一定程度上消除了叠加干扰，有利于缺陷特征参数的定量获取。

3) 基于本文方法，通过从上至下逐个确定缺陷程度及特征可以进一步分析多缺陷问题。

参考文献：

- [1] 王奎华,肖偲,吴君涛,等.饱和土中大直径缺陷桩振动特性研究[J].岩石力学与工程学报,2018,37(7):1722-1730.

参考文献：

- [1] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司.海港工程设计手册[M].2版.北京:人民交通出版社,2018.
- [2] 中国工程建设标准化协会水运专业委员会,中交水运规划设计院有限公司.码头附属设施技术规范:JTS 169—2017[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
- [3] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司,中交第二航务工程勘察设计院有限公司.港口工程荷载规范:JTS 144-1—2010[S].北京:人民交通出版社,2010.
- [4] 刘晔.码头防冲护舷选型与布置应注意的问题[J].中国港湾建设,2014(11):42-44.
- [5] BSI. British Standard 6349-4: Maritime Structures-Part4: Code of practice for design of fendering and mooring systems[S]. British: BSI, 1994.
- [6] 靳庆杰.海港码头橡胶护舷的配置[J].港工技术,1994(1):19-24.
- [7] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司,中国工程建设标准化协会水运专业委员会,中交上海三航科学研究院有限公司.码头结构改造技术指南:JTS/T 172—2016[S].北京:人民交通出版社,2016.

(本文编辑 赵娟)

- [2] 娄学谦,吕述晖,桑登峰,等.灌注桩复合缺陷的低应变反射波法检测实例分析[J].水运工程,2018(7):182-185,214.
- [3] 柴华友.波动理论在基桩完整性定量分析中的应用[J].振动工程学报,1996,9(3):76-81.
- [4] 柴华友.桩土相互作用对基桩定量分析的影响[J].岩土力学,1996,17(4):41-47.
- [5] 张献民.时间域中基桩缺陷低应变动测的定量分析[J].土木工程学报,2004,37(6):64-69.
- [6] 张献民,康静.低应变基桩缺陷量化分析软件系统[J].中国民航大学学报,2009,27(1):19-22.
- [7] 智胜英.时域内低应变基桩缺陷定量分析方法研究[D].天津:天津大学,2008.
- [8] 陶明江,张莹,祝龙根.基桩完整性小应变动力检验的定量分析[J].工程勘察,2000(2):64-65,68.
- [9] 吕述晖,戴宇文,娄学谦.大直径实心桩缺陷瞬态响应分析[J].水运工程,2017(10):197-201,215.

(本文编辑 王传瑜)