



固定式拖轮码头设计中的问题

付博新，张馨竹，李林青，卓文雅

(中交水运规划设计院有限公司，北京 100007)

摘要：可靠泊拖轮的码头形式通常分为浮式和固定式两种。因拖轮外形与小型的客货船、渔船、游艇等类似，过去对拖轮码头鲜有专门的设计要求和研究成果，多按照国内外研究成果较为丰富、设计要求相对明确的客货码头现行规范设计，或参照类似码头规范设计。可是，毕竟拖轮有自身特性和独到功能，需要提供专为拖轮停靠的码头设计。以国内某北方海港固定式拖轮码头设计项目为案例，着重分析拖轮船舶特性和其靠泊要求。借鉴类似码头设计和使用经验，解决了固定式拖轮码头设计过程中遇到的一些问题。

关键词：拖轮；码头；设计；护舷

中图分类号：U 614

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2021)10-0136-07

Problems in design of fixed tugboat wharf

FU Bo-xin, ZHANG Xin-zhu, LI Lin-qing, ZHUO Wen-ya

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: There are usually two types of wharves for berthing tugboats: floating and fixed. Because tugboats are similar in appearance to small passenger and cargo ships, fishing boats, yachts, etc., there were few special design requirements and research results for tugboat terminals in the past. They were mostly designed in accordance with the current standards for passenger and cargo wharf with abundant domestic and foreign research results and relatively clear design requirements, or designed with reference to similar dock specifications. However, after all, tugboats have their own characteristics and unique functions, and it is necessary to provide a dock design specifically for tugboats to dock. This article uses a domestic northern seaport fixed tugboat dock design project as a case to analyze the characteristics of tugboat ships and their berthing requirements. Drawing lessons from the design and use experience of similar piers, some problems encountered in the design of fixed tugboat piers are solved.

Keywords: tug; terminal; design; fender

拖轮主要用来拖曳没有自航能力的船舶或协助大型船舶进出港口、靠离码头，或救助海洋遇难船只。拖轮没有装载货物的货舱，船身不大，但装有大功率的推进主机和拖曳设备。拖轮的性能与一般的货运或客运船舶有着很大的不同：首先，拖轮功率大、型宽与船长比大、抗横倾力矩强，一般货运船舶的功率和总吨位比值在 0.35~1.2 马力/t(0.26~0.88 kW/t)，而拖轮一般比值在

2.2~4.5 马力/t(1.77~3.31 kW/t)，小型拖轮更大；其次，因用于顶推拖拽，船体更牢固，转向灵活，航行稳定性和操纵性能好^[1]。

对于 1 000 吨级以下的小型船舶，现行 JTS 165—2013《海港总体设计规范》中没有设计船型；对于滚装船、渔船、游艇码头，均有专门的码头设计规范，或采用浮码头形式(图 1)参照现行 JTJ 294—1998《斜坡码头及浮码头设计与施工规范》进行设

计。对于固定式拖轮码头(图 2),当前拖轮船型和实际靠泊方式有一定的特殊性,鲜有专门的码头设计要求和研究成果,多参照类似码头规范开展设计。本文以国内某北方海港固定式拖轮码头设计项目为案例,着重分析拖轮船舶有关特性和其靠泊要求,借鉴类似码头设计和使用经验,提出固定式拖轮码头的优化设计方案。



图 1 拖轮靠泊趸船、趸船接岸



图 2 拖轮靠泊固定式码头结构

1 拖轮靠泊分析

传统的拖轮船用护舷主要有 3 种方式:船体周围悬挂旧轮胎、平整型、圆柱型,也有 3 种方式混合使用的情况,见图 3。



a) 船体周围悬挂旧轮胎



b) 平整型拖轮船用护舷



c) 圆柱型拖轮船用护舷

图 3 拖轮船用护舷

该项目港口所在地区冬季寒冷,因受填海政策的限制,拖轮码头考虑透水的高桩梁板结构形式,码头结构须承受冰荷载;此外,业主已采购的拖轮护舷属圆柱形与空隙悬挂旧轮胎结合的方式。上述限制条件使得拖轮码头设计应克服如下困难:1)拖轮的头部和尾部的圆柱形护舷均为连续设置,但船体两侧存在较大空档,虽然会悬挂轮胎,但无法做到像货船船体侧面一样平整,码头护舷间距须适当,见图 3c)、4;2)若拖轮靠泊不当,拖轮船用护舷可能插入码头护舷之间的空档,撞击码头结构或刮蹭码头护舷;3)拖轮两侧的圆柱形护舷挑出船体之外,类似“挑檐”,高水位时,船体可能超出码头面,伸向码头平台陆侧,“挑檐”可能随着水位的降低挂在码头护舷或护轮坎顶部,引起拖轮侧倾,造成拖轮或码头的损坏。

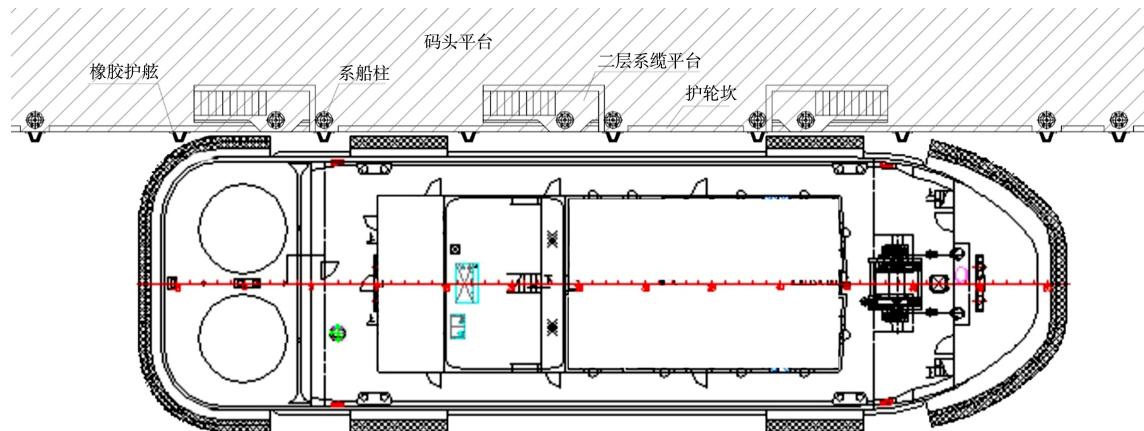


图 4 不合理的码头护舷布置

因此,码头上沿外侧须设置更临近码头顶面的横向条形护舷加强防护,同时码头护舷顶部护轮坎须设置斜坡以避免船用护舷被挂住。国内某个已投用多年的拖轮码头,竖向护舷间距过大,码头护舷和靠船构件受到拖轮护舷的碰撞、摩擦和挤压,导致码头护舷破损和脱落,靠船构件磨损剥落严重,钢筋露出,存在安全隐患,见图 5、6。



图 5 受损脱落的码头护舷



图 6 磨损严重的靠船构件

考虑到设计项目所靠拖轮船用护舷的特殊构造,为保证安全靠泊,按 3 m 间隔布设竖向 V 形

码头护舷,在码头平台上沿海侧布设横向 D 形码头护舷。此外,建议在实际运营中,拖轮船体两侧边沿尽量多地悬挂旧轮胎等防撞设施,且尽可能保持船体侧面平整,避免突出部位和空档的形成,保障船体和码头安全。

2 拖轮吃水和富余水深要求

与一般商船相比拖轮存在如下特殊要求:1)拖轮的构造不同于商船,尤其是广泛使用的全回转拖轮,螺旋桨可 360° 旋回且带有导流罩,这种结构具有超强的吸入流,螺旋桨构造见图 7。2)拖轮活动水域常有废旧轮胎和缆绳等杂物漂浮在水中或沉在海底,螺旋桨在高速旋转下经常会搅起海底杂物并吸入导流罩,造成缠摆事故。3)根据多个港口的实践经验,对于拖轮码头而言,其前沿停泊水域、港池和航道按规范计算得到的设计水深,还应额外考虑不宜小于 1 m 的富余水深,才能有效减少上述事故发生的几率。



图 7 某全回转拖轮底部

关于拖轮吃水, 比照造船厂提供的拖轮船舶水尺图(图 8)和完工稳定性计算书, 以及该拖轮的国内航行船舶入级证书(普通拖轮, 功率 4 420 kW, 总长 38 m, 型宽 10.8 m, 型深 5.15 m, 设计吃水 4.093 m, 结构吃水 4.378 m, 干舷高度 1.057 m), 该拖轮设计吃水未考虑船舶底部以下分水踵 0.514 m 的吃水深度。拖轮船体稳定性理论计算时, 选取的所有吃水均为型吃水, 从基线量取, 但由于拖轮的特殊性, 受舵桨尺寸和布置的影响, 底部设有分水踵用以保护舵桨和降低横摇。根据交通运输部海事局发布的《关于印发载重线标志和水尺勘划及船体颜色检验指南的通知》(海船检[2011]254 号), “水尺应以船中平板龙骨(或龙骨底缘)的外表面及其延长线作为计量基准线。”故实船的水尺标记是从分水踵的底部开始起算, 因此计算码头前沿底高程时拖轮吃水须在设计吃水基础上额外考虑分水踵的吃水高度。经造船厂稳定性计算, 控制工况为表 1 中状态 2 对应的船底分水踵及纵倾的最终船舶尾部吃水为 4.837 m, 与该工况设计吃水对应的尾吃水 4.260 m 相差 0.577 m, 吃水差与船舶底部以下分水踵的高度基本相当。

表 1 拖轮造船厂提供的船舶稳定性计算的部分结果

状态	吃水 d/m	艏吃水 d_f/m	艉吃水 d_a/m	纵倾值 t/m
状态 1: 空载	3.648	3.249	3.927	0.678
状态 2: 满载	4.093	3.867	4.260	0.393
状态 3: 空载+结冰	3.656	3.273	3.924	0.651
状态 4: 满载+结冰	4.101	3.888	4.258	0.370

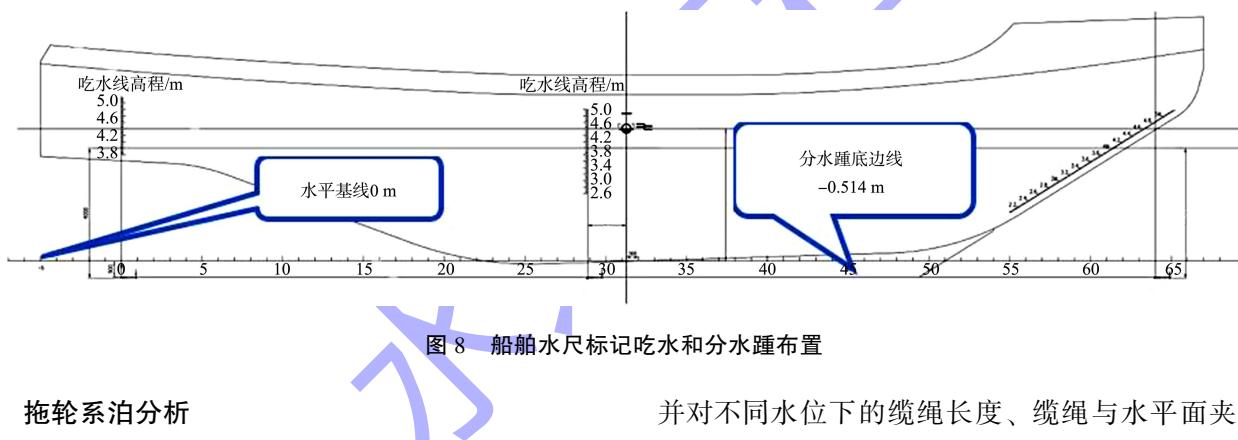
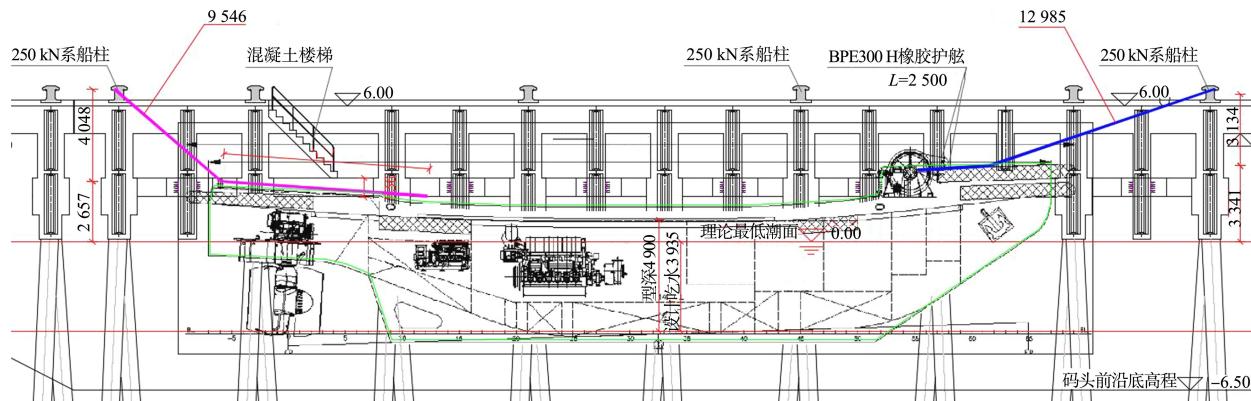


图 8 船舶水尺标记吃水和分水踵布置

3 拖轮系泊分析

根据船型资料和拖轮公司实际的系缆方式, 选取典型拖轮绘制不同水位的系缆侧视图(图 9),

并对不同水位下的缆绳长度、缆绳与水平面夹角进行了计算, 结果见表 2。



a) 当地理论最低潮面

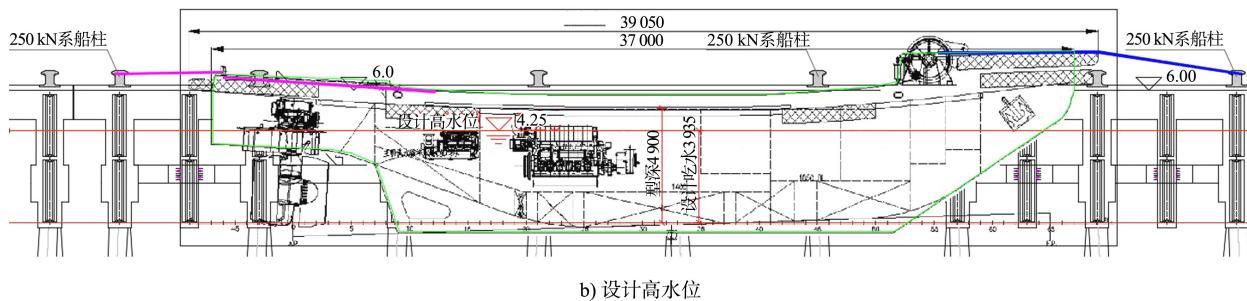


图 9 不同水位的缆绳侧视图 (高程: m; 尺寸: mm)

表 2 某施轮在不同水位下的缆绳状态分析

水位	缆绳	缆绳长度/m	缆绳与水平面夹角
当地理论最低潮面 0.0 m	艏缆	16.6	-15.0
	艉缆	18.6	-25.1
设计高水位 4.25 m	艏缆	16.1	接近 0
	艉缆	17.7	接近 0

若只在码头顶面布置系船柱，在潮位变动下，拖轮存在“吊缆”问题，见图 9a)。《海港总体设计规范》^[2]5.4.22.3 中提到“不同装载度时各缆绳与水平面的夹角可取 0°~30°”，该条款适用于靠泊在蝶形码头的大船，对于较小船舶规范未给予明确规定。

根据《海港总体设计规范》附录 A 计算，3 000 吨级杂货船、散货船、油船、集装箱船的型深与满载吃水的差分别为 1.9、2.0、1.3、2.9 m。如图 9 所示，该拖轮不同于货船，出缆孔位于船首船尾，位置相对较高，4 500 kW 拖轮满载状态船首出缆孔位于水面线以上 3.3 m，船尾出缆孔位于水面线以上 2.7 m，吊缆影响相对较小。

对于国内 5 万吨级以上码头，向下兼顾至 3 000 吨级甚至更小吨级的情况是较为普遍的，重载低潮位靠泊时存在不同程度的吊缆问题。吊缆问题造成的影响相关实践经验概括如下：

1) 小船靠大码头的情况普遍存在，为克服轻微的吊缆问题，一般采取系船柱前部水工结构做圆角或斜坡的方式，缓解吊缆时缆绳与水工结构的摩擦。

2) 对于可能发生吊缆问题较大的码头，一般设置多层系缆平台，小船系泊在下层平台系船柱，下层平台顶面一般高出水位变动区，不被潮水淹没，且一旦完成系泊一般不考虑更换带缆位置。因为如果下层平台和缆绳被潮水淹没，若有疏忽未能及时解缆并系泊在较高的系船柱上，此时解缆的人员坠海风险较大、被海水淹没的缆绳易发生漂浮脱缆事故。

3) 为兼顾更多的船型，国内码头最小与最大船型等级跨度大是普遍现象，中小型船舶受吊缆问题影响较普遍，可通过合适的带缆方式和缆绳系法加以缓解，必要时随潮位变化调节系缆长度。

4) 实践中，为快速离泊，多艘拖轮同时顺岸靠泊时常采用图 10 所示的系泊方式：拖轮船首顶推用护舷有较强的防护，拖轮可头对头顶靠在一起，更有利系泊稳定；螺旋桨位于尾部，启动时有灵活的操纵空间且避免船体碰撞，拖轮船尾与船尾的间距不宜小于 10 m。

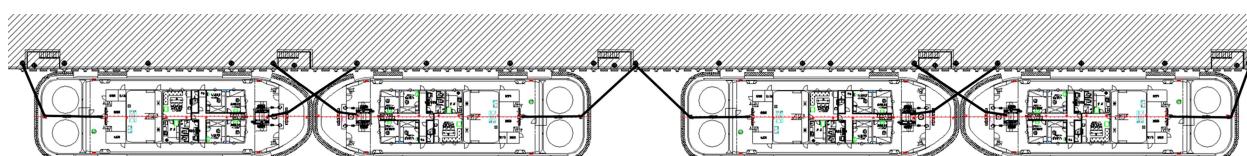


图 10 实际的多艘拖轮顺岸系泊

4 拖轮泊位装卸作业标准和离泊标准

对于拖轮泊位船舶装卸作业标准，主要受风、降水、雾、波浪等要素影响。对于拖轮泊位船舶

离泊标准，《海港总体设计规范》5.4.32 提到“因受灾害性的风、浪影响，船舶必须离开码头时，其离泊波高可综合考虑港作拖船的作业条件以及

码头结构和水域条件确定。设计离泊波高可采用 1.2~2.0 m。不考虑风暴条件系泊的码头, 可按大于 9 级风时船舶离开码头设计。”对于拖轮受能见

度和降水条件影响时, 其条件变化基本不会对拖轮靠泊安全构成威胁, 因此不对这两项进行离泊标准限制。拖轮装卸作业标准和离泊标准见表 3。

表 3 某拖轮泊位装卸作业标准和离泊标准

标准	风力	能见度	日降水量	波浪	海冰
装卸作业标准	≤6 级	≥1 km	≤25 mm	顺浪 $H_{4\%} \leq 0.6$ m, 横浪 $H_{4\%} \leq 0.4$ m, 周期 $T \leq 6.0$ s	海面洋量 ≥8 级, 浮水密集度大于或等于 8 级, 且出现灰白冰和白冰时, 船舶停止作业
离泊标准	≥9 级	无	无	波高 ≥2.0 m	不超出拖轮自身的冰区等级

中小型工作船和拖轮通常按照港区掩护情况和实操经验判断是否离泊。绝大多数情况中小型工作船和拖轮都可靠泊在泊位, 若出现恶劣天气, 一般增加系缆; 若出现极端恶劣天气, 拖轮须配备足够的补给和人员, 在掩护较好且较开阔的水域(如有掩护的海湾或港池内)抛锚停车避风, 随时待命应对突发紧急情况, 一旦发生走锚便顶风开车给予适当的动力以尽量保持拖轮稳定, 时刻处于戒备状态直至恶劣天气结束。

5 拖轮泊位受船行波影响分析

当拖轮泊位临近航道布置时须评估受大船船行波对拖轮系泊稳定的影响。

根据 PIANC 相关规范^[3], 船舶在行进过程中产生的波主要为两大类, 分别为一次波和二次波。其中, 一次波引起船舶航行时的水位下降, 包括前浪和横向尾波的综合, 表现为一个与船舶长度相似的孤立波, 通常对泊位的影响不大; 影响较大的是二次波, 根据 PIANC 相关规范第 3.3.1.8 款式(23)并参考计算船行波的工程案例计算二次波波高, 发现在水深条件、行驶船舶与泊位距离等外部条件确定的情况下, 船行波波高对于船舶的行驶速度非常敏感, 与船舶本身的尺寸和大小没有明确的相关性。对比表 4 可以看出船舶行驶速度对船行波波高的影响。

表 4 不同船速下的船行波对比

船速/kn	水深/m	船舶与泊位距离/m	波高/m	周期/s
6	16	200	0.025	1.62
13	16	200	0.560	3.51
14	16	200	0.750	3.78
15	16	200	1.000	4.05

对于机动性差、惯性大的大型船舶在港内行驶时, 需要限制其行驶速度, 一般不大于 6 kn, 对应的船行波波高不超过 0.025 m, 对拖轮泊位的泊稳影响有限, 可结合工程实际情况, 对泊位预留一定的波浪富余深度, 并对港内船舶的行驶速度进行相应控制, 以保证拖轮泊位的系泊安全。

6 拖轮泊位码头前沿底部冲刷影响分析

由于拖轮码头通常水深较小, 螺旋桨对于码头前沿底部的冲刷问题不可忽视, 对于重力式码头、板桩码头或者码头后方接岸结构距码头结构较近时, 冲刷问题尤为明显, 局部淘蚀, 甚至造成码头主体结构失稳或位移增大, 影响结构安全。对于船舶螺旋桨射流的冲刷问题, 国内现行规范缺乏相关的理论依据或操作层面的指导。国际上可参考 PIANC 标准^[4]、德国 EAU 手册^[5]以及 Rock Manual^[6]等规范和手册中的方法进行计算。

以该拖轮码头为例, 推进器出口流速计算值高达 5.31 m/s, 码头前沿底面水的流速达到 2.3 m/s, 流速较大。

7 拖轮码头除靠离泊外的其它功用

7.1 物资补给及配套

拖轮码头除满足拖轮靠离泊和人员上下, 还要满足不同类型的物资补给功能, 如补给物质吊装、生活用水补给、船舶污水收集、加油、岸电等。

考虑拖轮码头加油功能, 若是趸船形式, 可在趸船中设置油舱加油; 若是固定式码头结构, 可布置一整套加油工艺设施或将加油车开上码头平台进行加油。设计时应杜绝安全隐患和环境风险,

措施到位；加油过程中严格遵守作业操作规程，在作业区设置禁火标志并配备必要的消防器材。

7.2 消防取海水

如果港区及周边发生重大火灾事故，且短时间内得不到有效控制，消防淡水不足时，可考虑以海水作为补充。但消防车直接抽取海水可能存在如下问题：1)若码头或护岸水工建筑物阻挡，或者水位较低超出消防车竖向吸程，造成无法抽取海水；2)近岸取水，淤泥或垃圾较多，造成抽水管堵管；3)若紧急状态操作不当，消防车存在坠海风险；4)北方港口消防车取水时遭遇冰冻无法直接抽取海水；5)若采用固定式海水泵房，长期处于闲置状态，如果疏于日常维护，紧急状态下可能无法正常工作或及时维修，相关设施设备保障率低。

建议采用消拖两用船在靠泊状态下抽取海水，并通过事先准备好的取水管与陆域消防车连通，将消拖船作为移动式水泵为消防车补充海水，可有效规避上述问题。但应同时注意利用消拖船取水会削弱水上消防力量，应根据事故现场实际情况酌情采用合理的措施。2010年“7·16 大连新港输油管道爆炸事故”中消防淡水不足时就采用此种方式为消防车补水。

8 结语

1) 归纳常见的拖轮码头形式，针对各自特点分析利弊。

(上接第 135 页)

2) 通过对案例港口进行一系列的计算分析，得出不同控制标准下的平均泊位作业效率，验证了方法的科学性和可操作性。

参考文献：

- [1] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2013.
- [2] DHI. MIKE 21 Mooring Analysis[R]. Copenhagen: DHI, 2020.
- [3] 郭延祥, 田琦. 风浪后报系统研究与开发[J]. 水运工程, 2016(10): 40-45.

2) 实际工程案例中，在多个限制条件下，采用与拖轮船用护舷特性相适应的水工结构和附属设施设计。

3) 论证拖轮吃水和富余水深要求，结合拖轮自身特点进行系泊分析，提出拖轮泊位的装卸作业标准和离泊标准。

4) 对拖轮泊位受船行波影响和码头前沿底部冲刷影响问题、拖轮码头加油和消防取海水功能在设计中可能遇到的问题，从设计角度进行分析并提出解决方案。

参考文献：

- [1] 方学智. 船舶设计原理[M]. 2 版. 北京: 清华大学出版社, 2014: 35.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2014.
- [3] PIANC. Guidelines for the Design and Construction of Flexible Revetments Incorporating Geotextiles for Inland Waterways [S] //Report of Working Group 4 of the Permanent Technical Committee I Supplement to Bulletin N°57. Brussels: PIANC, 1987: 70-77.
- [4] PIANC. Criteria for movements of moored ships in harbours: a practical guide [S]. Brussels: PIANC, 2015.
- [5] HTG. Recommendations of the Committee for waterfront structures harbours and waterways: EAU 2012 [M]. Hamburg: John Wiley and Sons Ltd., 2016.
- [6] CIRIA. The rock manual: the use of hydraulic engineering [S]. London: CIRIA, 2007. (本文编辑 武亚庆)

[4] TOLMAN H L. User manual and system documentation of WAVEWATCH III [EB/OL]. (2014-05-02) [2020-05-18] <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/manual.v4.18.pdf>.

[5] DHI. Boussinesq waves module[R]. Copenhagen: DHI, 2017.

[6] PIANC. Criteria for movements of moored ships in harbours[R]. Copenhagen: Maritime Navigation Commission, 1995.

[7] STOSCHEK O, LESCHKA S, HEIN C, et al. Optimizing pier structures using dynamic mooring forces[C] //PIANC-World Congress. Brussels: [s.n.] 2008: 1-16.

(本文编辑 武亚庆)