



LNG 泊位靠泊设施及结构设计

钱怡杰¹, 潘志刚²

(1. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 上海 200032;
2. 浙江杭嘉鑫清洁能源有限公司, 浙江 嘉兴 314031)

摘要: LNG 船型干舷高、外侧弧度大、船体中心不对称于管汇中心, 靠泊时会遇到船舶与护舷接触点过高、与护舷接触面积过少的问题, 常规靠船结构及设施难以适应多等级船舶的停靠要求, 存在靠泊安全隐患。针对此问题, 结合嘉兴港某 LNG 码头进行靠泊结构设计和靠泊设施布置, 通过不同船舶在不同作业工况下的船岸匹配, 分析橡胶护舷和船体平行舯体长度的匹配度, 提出在靠船墩内侧上方设置反向靠船构件, 优化内、外侧橡胶护舷布置高程, 以满足多种等级船型靠泊适应性, 保证船舶与护舷的接触面积, 避免护舷局部压强变大, 船体受损。采用物模试验测定船舶运动量、系统力和撞击力等物理量, 验证靠船构件和护舷布置的合理性, 确保满足 LNG 船舶安全靠泊的作业要求。

关键词: LNG 泊位; 靠泊设施; 结构设计; 船岸匹配

中图分类号: U653.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)05-0061-06

LNG berth berthing facilities and structure design

QIAN Yijie¹, PAN Zhigang²

(1. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China;
2. Zhejiang Hangjixin Clean Energy Co., Ltd., Jiaxing 314031, China)

Abstract: LNG vessel has a high freeboard, a large outward curvature, and an asymmetrical hull center relative to the manifold center. When berthing, it encounters issues of contact points between the vessel and fender being too high and having insufficient contact area. Conventional berthing structures and facilities are unable to accommodate the berthing requirements of various vessel classes, and there are hidden dangers in berthing safety. To solve this problem, this paper carries out berthing structure design and berthing facility layout in combination with an LNG terminal in Jiaxing Port. It analyzes the compatibility between rubber fenders and the parallel length of the vessel's side by considering vessel-shore matching under different operating conditions. It is proposed to install reverse berthing components above the inner side of the berthing dolphins, optimize the arrangement of inner and outer rubber fenders to accommodate various vessel classes and ensure sufficient contact area between vessels and fenders, thus avoiding excessive local pressure on the fenders and hull damage. Physical model tests are conducted to measure the physical parameters, such as vessel motion, mooring force, and impact force to validate the rationality of the berthing components and fender arrangement, ensuring compliance with safety berthing requirements for LNG vessels.

Keywords: LNG berth; berthing facility; structure design; ship-shore matching

LNG 泊位通常考虑蝶形布置或一字形布置, 设置 2 个靠船墩位于工作平台两侧, 作为船舶在

码头的靠泊点。当兼靠船型范围较大时, 可增设辅助靠船墩, 靠泊间距根据设计船长的 25%~45%

收稿日期: 2023-09-06

作者简介: 钱怡杰 (1982—), 女, 高级工程师, 从事港口工程设计工作。

取值^[1]，靠船墩的上下靠泊点按设计高、低水位和船舶满载或压载的干舷高度的组合取值。传统设计中，通常由靠船墩和墩台下方布设的靠船构件共同承受船舶水平荷载。根据实船运营参数，LNG 船型具有干舷高、船舶平直段短、外侧弧度大、管汇中心与船体中心不一致的特点，因此导致小船在设计高水位+压载的作业工况下与护舷的接触点较高，大船在设计低水位+满载的作业工况下与护舷的接触点较低，靠泊点相距较远，使得常规结构设计和设施布置难以满足多种等级 LNG 船舶靠泊码头。

对于靠泊船型对码头结构和护舷设施布置的影响，黄一靖^[2]结合某公务船码头实船试靠，对码头护舷进行适当改造，在码头顶面设置靠船立柱，配置转动式橡胶护舷；王飞朋等^[3]阐述了大型石化码头兼靠小船的安全隐患，并提出通过增加水平向靠泊点和竖向护舷布置范围或限定靠泊船型尺度等措施达到消除小船靠泊安全隐患的目的；宋伟华等^[4]强调靠船墩在蝶形布置码头中的重要性及设计关键点。

目前对于 LNG 船舶靠泊码头的研究较少，本文结合工程实例，从安全性、经济性和使用性等多方面考虑，通过船岸匹配，分析各船型在不同作业工况下的靠泊情况，提出能兼顾多等级船型的 LNG 码头靠船墩结构设计和设施布置，旨在为相似工程设计提供参考与借鉴。

1 工程概况

工程位于浙江嘉兴港独山港区，水域新建 2 个 LNG 泊位，分别为 1 个 3 万吨级（水工结构按靠泊 5 万吨级 LNG 船舶设计）的 LNG 卸船泊位和 1 个 5 000 吨级的 LNG 装船泊位，2 个泊位并排布置，泊位后沿通过引桥与后方罐区连接。陆域新建 LNG 储运站 1 座，包括 2 座 10 万 m^3 LNG 储罐并

配套建设高压及中压气化、LNG 储运、中转等设施。项目建成后，每年可接卸 LNG 共 100 万 t（约 14 亿 m^3 ）。

2 技术设计

2.1 设计特点

1) 设计标准高。LNG 为具有低闪点特性的气态燃料，属于甲类危险品。基于货种的特殊性，水工建筑物安全等级为一级，结构重要性系数取 1.1；码头前沿水深起算面为当地理论最低潮面；设计波浪要素为“双百”标准，即 100 a 一遇高水位和 100 a 一遇波浪重现期；地震以操作基准地震工况设计、安全停运工况校核。

2) 船型特殊性。船型参数与码头靠泊结构及设施布置关联紧密，根据目前运营船舶的资料统计，LNG 船舶与其他性质船舶在船型参数上大有不同。①平行舯体长度短，船体外侧弧线段大：靠泊设计中，按照低水位+满载和高水位+压载 2 种工况确定船舶平行舯体长度，此长度关系到靠船墩上靠泊点的间距。②船首和船尾与管汇中心距离不一致：靠泊码头时，需将船舶管汇中心与卸料臂对准进行卸货，LNG 船管汇中心不在船体中心，而码头常采用对称布置，是否能与护舷有足够的接触面积是需要关注的问题。

2.2 设计方案

2.2.1 设计水位（当地理论最低潮面）

设计高水位：6.22 m（高潮累积频率 10%）；设计低水位：0.46 m（低潮累积频率 90%）；极端高水位：8.02 m（50 a 一遇极值高水位）；极端低水位：0.57 m（50 a 一遇极值低水位）；100 a 一遇高水位：8.25 m。

2.2.2 设计船型

卸船泊位设计船型表见表 1，LNG 船体立面见图 1。

表 1 卸船泊位设计船型

规划设计船型对应舱容	船长/m	型宽/m	型深/m	满载吃水/m	备注
1万 GT 1万 m ³	128.0	19.8	11.0	6.0	-
9 001~15 400 m ³ 1.41万 m ³ 华祥 8 号	125.8	22.7	13.1	6.8	-
	152.0	28.0	15.0	7.6	-
2万 GT 3万 m ³	185.2	28.0	18.5	7.5	-
15 401~38 000 m ³ 3万 m ³ 海洋石油 301	184.7	28.1	18.7	7.4	-
	184.7	28.1	18.7	7.4	-
3万 GT 4万 m ³	204.0	30.0	17.0	9.0	-
38 001~79 000 m ³ 6万 m ³	216.0	35.0	17.5	9.0	-
规范船型	230.0	36.6	21.6	12.7	控制吃水 9 m
5万 GT 80 000 m ³	239.0	40.0	26.8	11.0	-
规范船型	230.0	36.7	22.8	13.6	结构兼顾船型
79 001 m ³ ~84 300 m ³ 7.88万 m ³ 传奇太阳轮	239.4	36.6	21.0	8.5	-

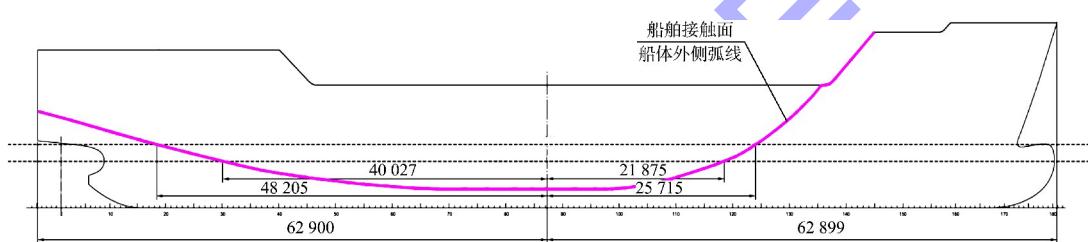


图 1 LNG 船体立面 (单位: mm)

2.2.3 结构方案

卸船泊位码头长 265 m, 采用蝶形布置, 由工作平台、靠船墩及系缆墩组成, 靠船墩和系缆墩对称布置于工作平台两侧^[5]。

不同靠泊船型的靠船墩间距要求不同, 1万 GT 的 LNG 船舶的靠船墩间距要求为 32.0~57.6 m, 3万 GT 的 LNG 船舶的靠船墩间距要求为 57.5~103.5 m。综合考虑, 在每个靠船墩前沿设置内、外侧 2 组护舷, 其中心距分别为 52、76 m。靠船墩高程根据设计水位和船舶作业工况取值, 定为 10.0 m。

靠船墩采用高桩墩式结构, 上部墩台取常规厚度 2.5 m(前沿局部厚度 5 m), 在每座靠船墩内、外侧下方均布置靠船构件, 各安装 1 组 1250H 鼓形橡胶护舷(2 鼓 1 板, 标准反力型), 高 7.9 m, 宽 2 m, 每鼓之间间隔 3.7 m, 2 鼓中心高程分别为 7.5 和 3.8 m。靠船墩结构断面见图 2。

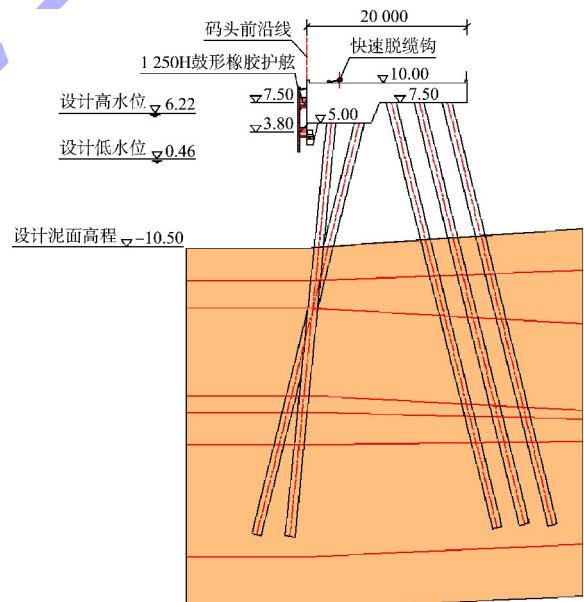


图 2 靠船墩结构断面 (尺寸: mm; 高程 m)

3 船岸匹配

3.1 船舶主要参数

通过收集设计船型登记范围内的最小实船华祥

8号(1.41万m³)和最大实船传奇太阳轮(7.88万m³)船型资料,分别与码头进行船岸匹配分析,为船舶安全停靠码头提供理论依据。

华祥8号:船长125.8 m,船宽22.7 m,型深13.1 m,满载吃水6.8 m,压载吃水5.59 m。传奇太阳轮:船长239.4 m,船宽36.6 m,型深21 m,满载吃水8.5 m,压载吃水7.2 m。

3.2 设计方案的船岸匹配

橡胶护舷的主要关注点在于布置位置及高程和船体平行舯体长度的匹配度。将船舶管汇中心与卸料臂对准,分别考虑设计高水位+压载和设计

低水位+满载2种作业工况,此时船舶与护舷的接触情况见图3、4。

从图3可见,因LNG船体本身外侧弧度大,且船体中心不对称于管汇中心,船舶平行舯体首端距离管汇中心较艉端近,船首处弧线段更短,导致华祥8号在设计高水位+压载情况下船首处与护舷的接触点较高,仅与上部防冲板接触,几乎没有靠到鼓形护舷上。可见,靠船墩上常规安装的橡胶护舷范围太小,顶高程太低,难以适应小船的停靠要求。当船舶与护舷接触面小时,护舷局部压强变大,船体容易侧倾和受损。

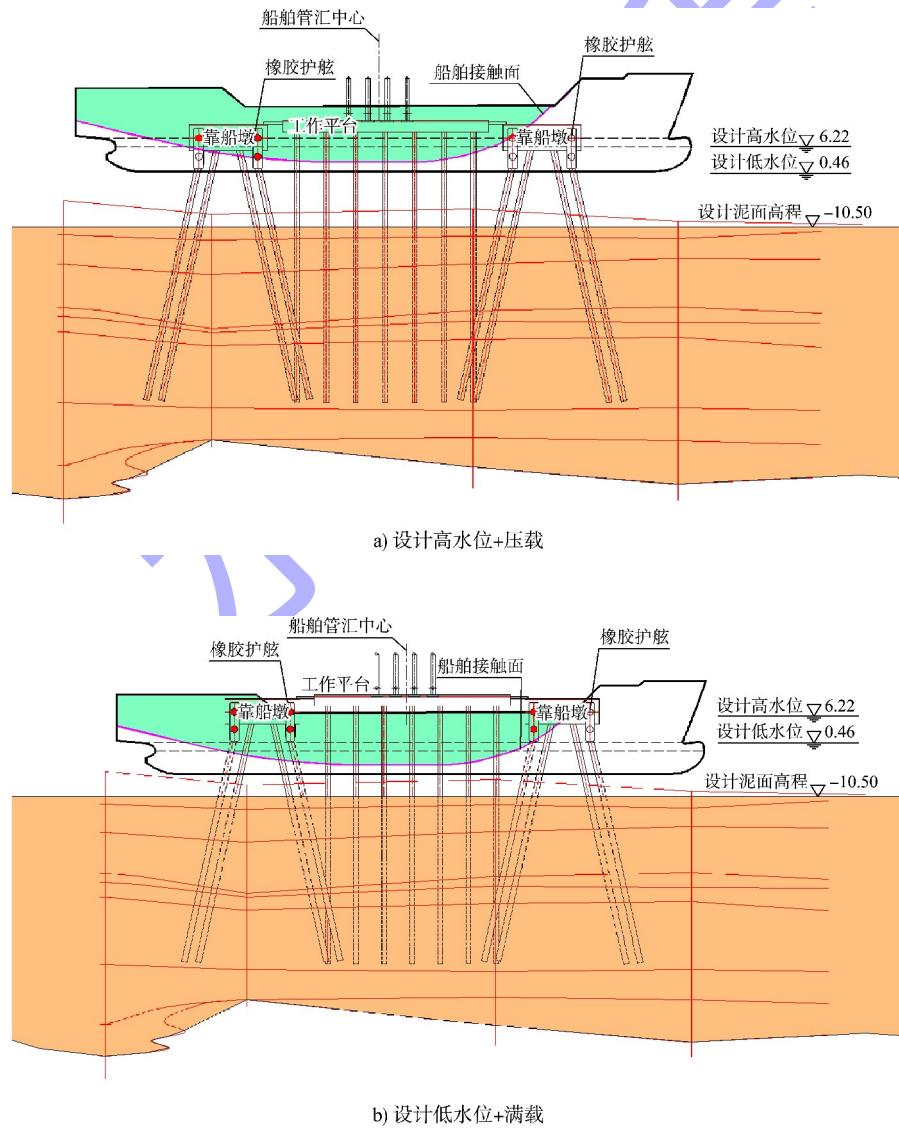


图3 华祥8号靠泊码头正立面 (单位: m)

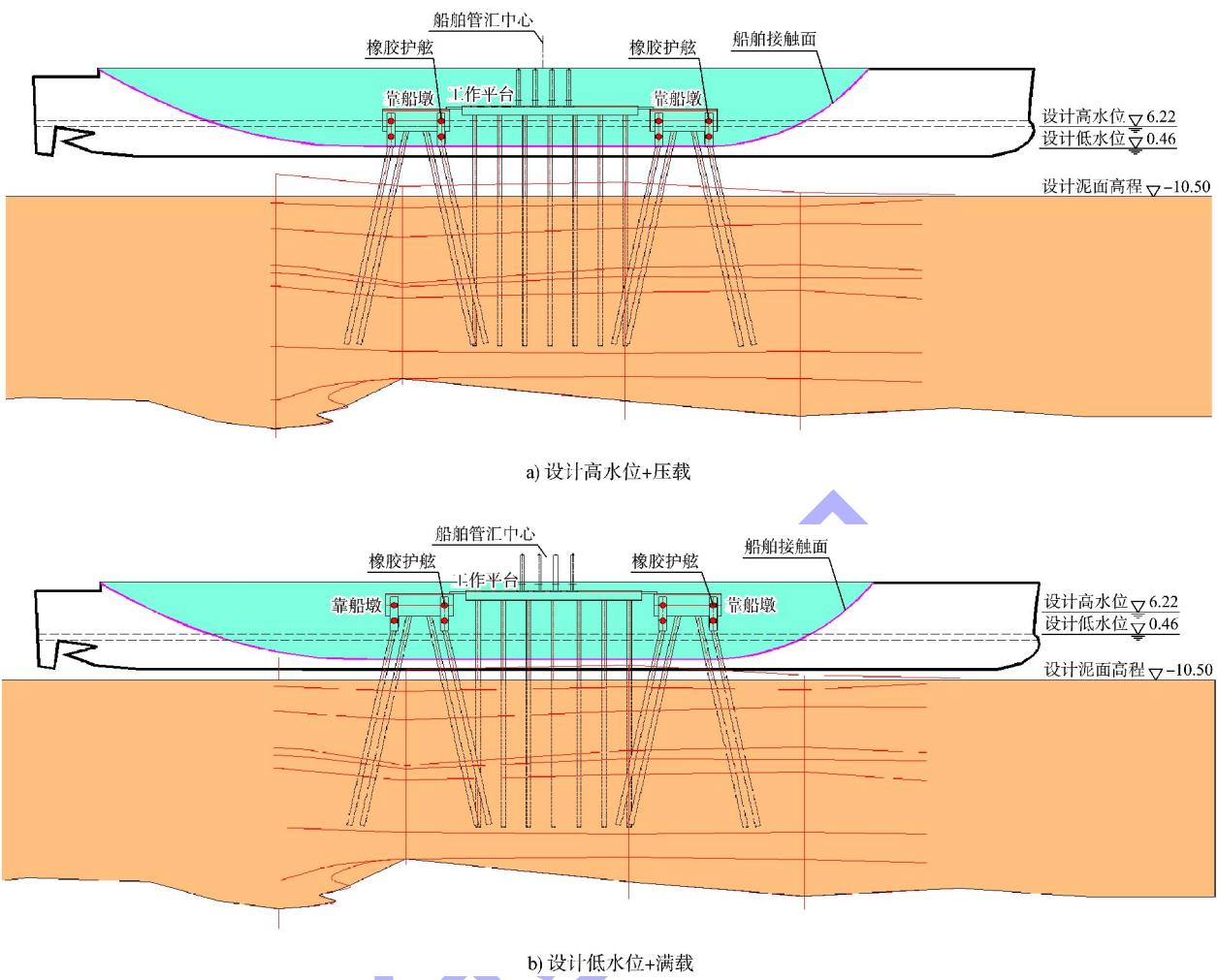


图4 传奇太阳轮靠泊码头正面立面 (单位: m)

若考虑抬高靠船墩顶高程, 则会出现墩台尺寸过厚或靠船构件悬臂过长的问题; 若缩小内侧2组护舷间距, 降低靠泊点高度, 则会缩小工作平台尺寸, 影响码头使用性。因此, 靠船墩结构和护舷安装高度需重新调整, 以满足小船靠泊适应性。

3.3 调整方案的船岸匹配

方案调整为在靠船墩内侧上方布置反向靠船构件, 顶高程 14.0 m, 同时抬高护舷高程, 将原 2 鼓 1 板护舷(标准反力型)改为 3 鼓 1 板护舷(低反力型), 3 鼓中心高程分别为 12.5、8.4 和 4.3 m (图 5)。此时, 华祥 8 号船首位置在设计高水位+压载情况下能接触到上侧 2 鼓护舷, 靠泊情况良好(图 6)。调整后墩台内侧上、下均设置靠船构件, 适用于较小船舶的靠泊, 更顺应不同水位时船型外侧弧度的变化, 保证船舶安全靠泊。

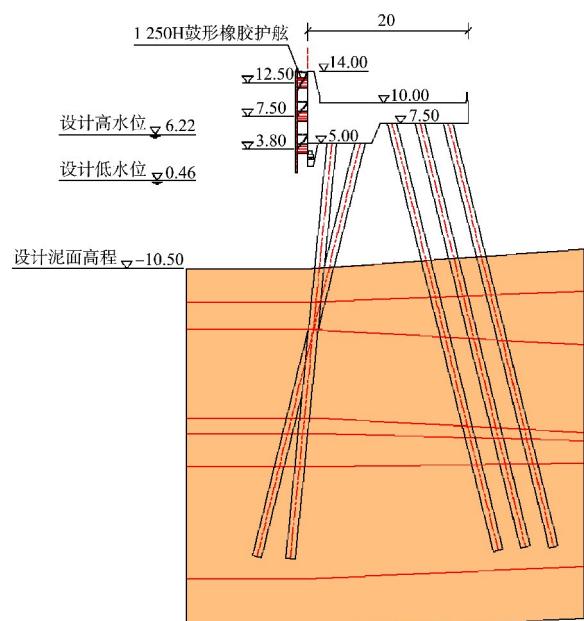


图5 靠船墩内侧结构断面 (单位: m)

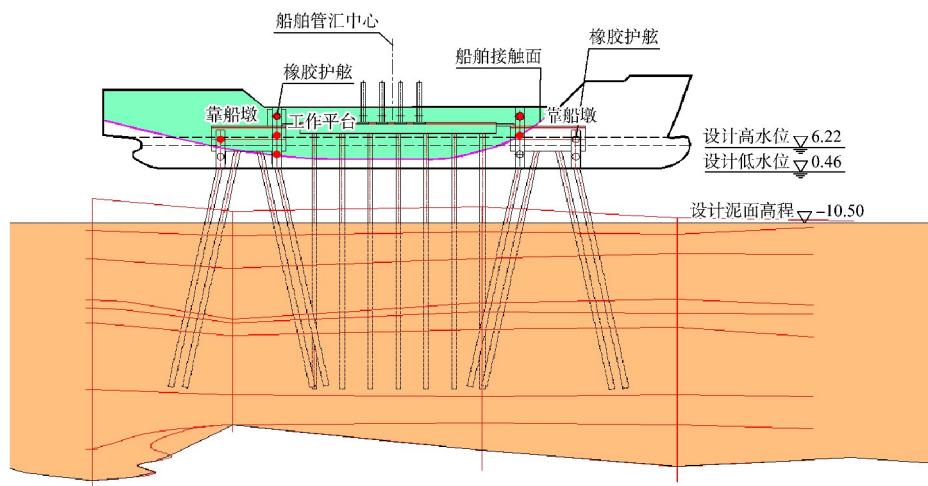


图 6 调整后华祥 8 号靠泊码头正面立面 (单位: m)

4 物理模型验证

考虑到靠泊 LNG 船型尺度的范围较大, 特进行 LNG 船舶系泊试验研究, 通过物理模型试验测定相关参数, 为设计提供依据^[6]。本次进行几何比尺 1:60 船舶系泊整体物理模型试验, 主要观测横浪与顺浪 2 种波浪条件及风和流作用下, 卸船码头靠泊舱容量 1 万和 8 万 m^3 LNG 船的船舶运动量、系缆力和撞击力等物理量, 试验过程中同步测量船舶的 6 个运动量、系缆力、护舷的撞击力及变形, 并计算撞击能量。

试验表明: 1) 在横浪和顺浪 2 种波浪条件作用下, 卸船泊位停靠的 1 万、8 万 m^3 LNG 船舶的作业情况均满足规范作业标准。2) 在进行船舶靠泊碰撞试验时, 2 种船舶的最大撞击力和最大撞击能量均在码头护舷的设计值范围内。

5 结论

1) LNG 船舶停靠码头时, 重点关注靠泊适应性问题。规范给出的靠船墩间距取值跨度较大, 需根据实船参数和作业工况细化布置。若以常规结构形式设计, 容易造成靠船墩顶高程过高、结构尺度过厚、靠船构件悬臂过长等问题; 若通过缩小两靠船墩间距来顺应船型外侧弧度, 降低靠泊点高度, 则会减少操作平台尺度, 码头使用性和经济性均不具备优势。可通过在靠船墩结构上方设置反向靠船构件来抬高靠泊点高程, 满足多等级船型靠泊要求。

2) LNG 船型干舷高、外侧弧度大、管汇中心与船体中心不一致, 导致船舶与护舷接触点较高, 需重点关注护舷安装高程, 分析不同船舶作业情况下橡胶护舷设置的位置和船体平行舯体长度匹配度, 优化橡胶护舷布置, 保证船舶与护舷有足够的接触面积, 避免脱离。通过物模试验测定了船舶运动量、系缆力和撞击力等, 结果表明 2 种波浪条件作用下, 卸船泊位停靠船舶的作业情况均满足规范作业标准, 且船舶靠泊的最大撞击力和最大撞击能量均在码头护舷的设计值范围内。

参考文献:

- [1] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 液化天然气码头设计规范: JTS 165-5—2021[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2021.
- [2] 黄一靖. 大型公务船码头护舷选型及布置[J]. 水运工程, 2023(4): 78-83.
- [3] 王飞朋, 常纪磊, 胡宗敏, 等. 某大型石化码头兼靠小型船舶安全隐患及整改维护方案[J]. 水运工程, 2022(8): 52-57.
- [4] 宋伟华, 叶剑, 费达, 等. 蝶形布置油码头平面设计要点[J]. 水运工程, 2021(3): 70-73, 82.
- [5] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 浙江嘉兴(平湖)LNG 应急调峰储运站项目码头工程施工图设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2020.
- [6] 交通运输部天津水运工程科学研究所. 浙江嘉兴(平湖)LNG 应急调峰储运站项目码头工程 LNG 船舶系泊试验研究报告[R]. 天津: 交通运输部天津水运工程科学研究所, 2020.

(本文编辑 王传瑜)