



内河大水位差 LNG 接卸码头技术应用

谭 伦¹, 李传战²

(1. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430074

2. 安徽长江液化天然气有限责任公司, 安徽 芜湖 241003)

摘要: 长江中上游等内河码头工程, 具有水位差大、水流流速快的特点。国内外暂无已经运营的内河 LNG 接卸码头, 无相关工程经验可以借鉴。因此, 为推动内河 LNG 航运的发展, 开展内河大水位差 LNG 接卸码头的技术研究十分必要。通过对已有沿海 LNG(液化天然气, liquefied natural gas) 码头、内河油气化工码头的布置及结构形式等进行分析, 结合内河大水位差 LNG 接卸码头的特点, 提出连片式码头平面布置方式和高桩框架直立式码头结构方案, 研制一种可拆卸式快速脱缆钩和自动升降导轨式激光测距仪, 并将相关技术应用于实际工程, 解决了大水位差条件下内河多船型组合、多层系缆以及辅助靠泊等关键技术问题, 可为类似工程提供参考。

关键词: 内河; LNG 接卸码头; 大水位差

中图分类号: U656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)06-0069-07

Application of technologies for LNG loading and unloading wharf with large water level difference in inland rivers

TAN Lun¹, LI Chuazhan²

(1. CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430074, China;

2. Anhui Changjiang Liquefied Natural Gas Co., Ltd., Wuhu 241003, China)

Abstract: The inland river wharf projects in the middle and upper reaches of the Yangtze River have the characteristics of large water level difference and fast flow velocity. There are currently no operating LNG loading and unloading wharves neither at home nor abroad, and there is no relevant engineering experience for reference. Therefore, in order to promote the development of inland river LNG shipping, it is very necessary to carry out technical research on LNG loading and unloading wharves with large water level difference in inland rivers. This paper analyzes the layout and structural forms of existing coastal LNG(liquefied natural gas) wharves and inland river oil and gas chemical wharves, combined with the characteristics of LNG loading and unloading wharves with large water level difference in inland river. It proposes the plane layout of contiguous wharf and structure scheme of upright wharf with high pile frame, develops a detachable fast cable release hook and a laser rangefinder with automatic lifting guide rail. The appeal schemes that have been applied in practical engineering solve the key technical problems such as multi-boat combination, multi-layer mooring and auxiliary berthing in inland river under the condition of large water level difference, and can provide reference for similar projects.

Keywords: inland river; LNG loading and unloading wharf; large water level difference

随着全球能源需求的不断增长以及对环境保护的要求越来越高, LNG(液化天然气, liquefied natural gas)作为一种清洁、高效的能源, 燃烧排放的二氧化碳比煤少 40%, 比石油少 25%, 对于

实现碳达峰和碳中和有着举足轻重的作用。近年来, 我国已形成了完整的 LNG 产业链, 并已经进入了产业的快速发展期^[1]。我国现已成为全球第 3 大天然气消费国^[2], 近年来我国天然气在一次性能

收稿日期: 2024-09-03

作者简介: 谭伦 (1987—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程设计与研究工作。

源消费总量的占比不断上升,以 2023 年为例,全年天然气消费量占一次性能源消费的 8.5%,比 2022 年提高 0.1%^[3],总消费量为 3 945 亿 m³,比 2022 年增加消费 282 亿 m³,同比增长 7.6%。

为优化我国能源结构,响应国家节能减排号召,发展清洁能源和实现可持续发展战略,同时为解决近年来各地冬季面临天然气供应量不足的情况,国家发改委要求现有国内沿海 LNG 接收站提高接收规模,对应于接收站规模的提升,同时要求提高接收站的外输能力,因此,LNG 从沿海向内陆运输也将成为必然趋势。

LNG 主要通过专用管道、船舶、汽车以及火车进行运输。与其他运输方式相比,船舶运输成本低,不受陆地自然环境的限制,适用于大规模远距离运输,且能够满足长期稳定的大批量需求,因此成为国际间大宗 LNG 贸易的主要运输方式。目前,我国 LNG 船舶的制造技术已实现国产化,进一步促进了内河 LNG 船舶运输的发展。

1 LNG 接卸码头发展现状

国外 LNG 接卸码头以日本为例,共建成 LNG 码头 30 多座,共有 LNG 装卸泊位 38 个^[4],其主要 LNG 接收站均分布在沿海地区。我国自 2006 年建设第 1 座 LNG 接卸码头,先后在环渤海湾、江苏沿海、浙江沿海、福建沿海以及环北部湾等沿海地区建成多个 LNG 接卸码头。

沿海 LNG 接卸码头受波浪潮汐影响较大,由于 LNG 船舶作业时,受环境影响较大,其码头均位于波浪条件较好的港湾内或者防波堤已建成的成熟港区,常采用蝶形独立泊位布置^[5],靠泊最小和最大的船型分别为 8.0 万和 26.6 万 m³LNG 船,水工建筑物主要包括用于卸料的 LNG 接卸平台和用于系缆和靠泊用的系靠船墩等,墩台之间设置钢引桥供人员通行。根据各工程所在的地质条件,结构形式采用高桩墩台式结构或者大型沉箱重力式码头结构。

目前,国内外暂无已经投入运营的内河 LNG 接卸码头,尤其是长江中上游,由于受三峡大坝

的防洪蓄水调度的影响,其水位差较大,水文环境复杂,没有相关工程经验可以借鉴。因此,为推动内河 LNG 航运的发展,开展内河大水位差 LNG 接卸码头的技术研究十分必要。本文以全国首座内河 LNG 接收站配套接卸码头工程为依托,开展相关技术研究。

2 工程概况

2.1 建设规模及设计船型

本工程位于长江中游安徽芜湖段黑沙洲北水道与南水道交汇处下游约 3 km,芜湖海螺水泥专用码头上游。新建 3 个 LNG 接卸泊位,其中 1[#]泊位位于下游侧,3[#]泊位位于上游侧。码头可同时停靠 3 艘 0.6 万~1.4 万 m³LNG 船,远期可以满足同时停靠 2 艘 4 万 m³LNG 船。考虑到未来船型发展,码头结构按靠泊 2 艘 4 万 m³LNG 船设计,设计接卸能力为 150 万 t/a。

2.2 地质条件

工程地处白茆水道右岸,由于受水流的近岸冲刷,曾出现过险情,经实施大量的抛石护岸工程后岸线得到控制。近年来,白茆水道始终保持微弯单一河形,河道滩、槽总体形态变化不大,河势基本稳定。根据勘察报告,工程岩土主要由冲填土、中密、密实的粉细砂组成。

2.3 水文条件

工程所处河段属长江中游,水位受长江上游来水以及下游潮汐共同影响。根据上游大通水文站、下游芜湖水位站(弋矶山站)实测水位资料,按照 JTS 145—2015《港口与航道水文规范》(2022 版)^[6],确定码头设计水位,按重现期 50 a 的年极值高水位考虑,设计高水位为 12.04 m(1985 国家高程),按当地航行基准面确定设计低水位为 0.93 m,水位差约为 11 m。

3 关键技术研究

3.1 结构形式及平面布置

为适应大水位差,长江中上游的油气化工码头大多采用浮码头结构,如图 1 所示。

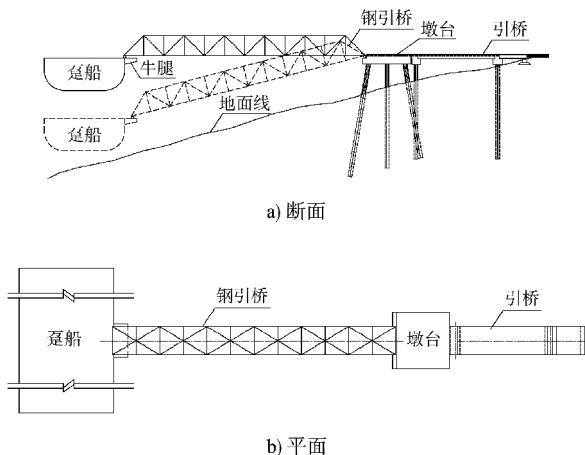


图 1 浮码头
Fig. 1 Floating wharf

浮码头的系靠船设施为趸船，卸料臂设置在趸船上，水工建筑物主要由固定墩台、引桥组成，墩台与趸船之间通过钢引桥连接。但是，LNG 是通过特殊工艺制作而成的低温液体，具有膨胀比大、低温等特性^[7]，其温度低至 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，对钢材具有严重的破坏性，一旦泄露将使趸船等设施发生脆性破坏，若趸船采用低温钢，由于制造工艺复杂且用钢量大，将导致造价太高。从生产上考虑，连接趸船与后方设备的软管需要定期更换，使用寿命较短，影响生产；从安全上考虑，趸船随水位变化而涨落，软管极易突然损坏，存在较大的安全隐患。

相比而言，直立式码头具有泊位利用率高，工艺适应能力强，水工结构通常采用钢筋混凝土

结构，耐久性好，并且码头上便于设置集液池，LNG 泄漏时可汇集到集液池中，不会破坏码头结构，安全可靠，因此，本工程采用直立式码头结构形式。

工程共 3 个 LNG 泊位，总平面布置时需保证多个 LNG 泊位的同时作业和能力发挥^[8]。根据船舶调研资料，工程设计船型如表 1 所示。由于工程岸线顺直，为充分利用岸线资源，不仅要考虑 2 艘 4 万 m^3 船同时接卸和 3 艘 1.4 万 m^3 船同时接卸，还要考虑到长江流域中其他可能出现的船型进行组合。因此，考虑 3 个泊位连续布置。

第 1 种布置方式是采用连片式码头布置，如图 2 所示。3 个 LNG 卸料工作平台及码头面布置成一个连续整体，根据系泊需要，在 1[#]泊位下游，3[#]泊位上游，各设置 2 座系缆墩供船舶进行系缆，码头端部通过混凝土联桥与系缆墩连接，码头后沿设置 2 座补偿平台。

第 2 种布置方式是卸料工作平台采用墩式布置，如图 3 所示。每个 LNG 接卸泊位均由 1 座卸料工作平台、若干座系缆墩等组成。为满足系缆要求，共设置 10 座系缆墩。各墩台之间通过预应力空心板或现浇实心板联桥连接，以便设置管架。

两种布置方式均通过引桥与后方罐区进行衔接，在码头和引桥上设置管架用以布置 LNG 工艺、电气、给排水消防及环保等管线。

表 1 设计船型
Tab. 1 Design ship type

LNG 接卸泊位设计船型	长度/m	型宽/m	型深/m	满载吃水/m	备注
4 万 m^3 LNG 船	182.0	31.6	18.0	8.0	LNT40-WUHUMAX LNG Carrier (LNT 研制船型), 结构设计船型
1.4 万 m^3 LNG 船	130.0	23.6	15.0	6.8	淮河能源启航设计船型
1 万 m^3 LNG 船	125.1	22.4	8.6	4.1	中海油研制内河船型, 设计船型
6 000 m^3 LNG 船	115.0	19.8	8.2	4.1	中海油研制内河船型, 设计船型

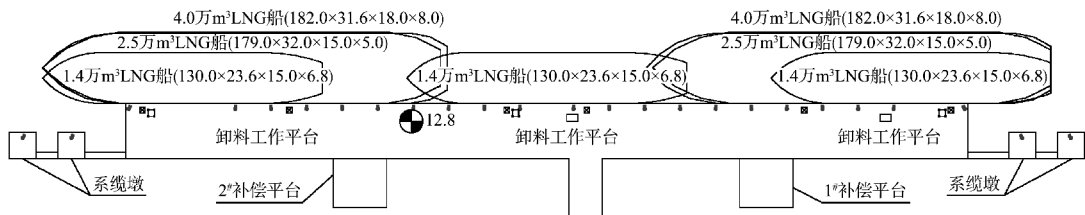


图 2 连片布置形式 (单位: m)
Fig. 2 Contiguous layout (unit: m)

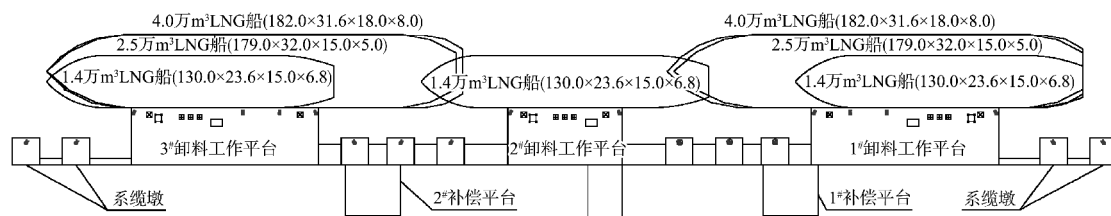


图3 墩式布置形式 (单位: m)

Fig. 3 Dolphin layout (unit: m)

与墩式布置相比，连片式布置主要优点为：码头前沿连续、不间断，靠泊时便于更多船舶组合，泊位利用率高。从码头设施布置上看，码头面规则，便于管架、工艺、电气、环保、消防等设备设施以及管线的布置。

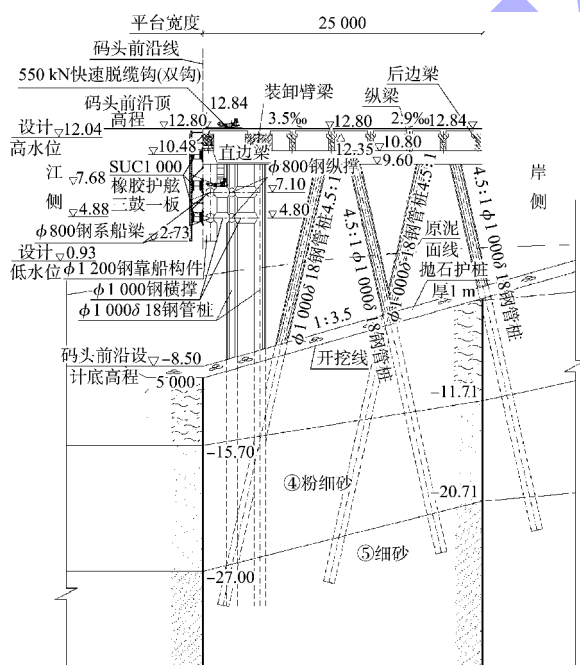
由于墩台数量少，上部结构可采用预制安装方式，现浇量小，施工速度相对快。桩基按排架方式布置，施工船舶不用频繁起锚抛锚，桩基施工速度快，对于位于长江沿岸的工程，有利于抢水位施工，降低施工成本。从安装设备和运营上看，由于码头作业面宽，便于设备安装的机械和

运营检修车辆通行。

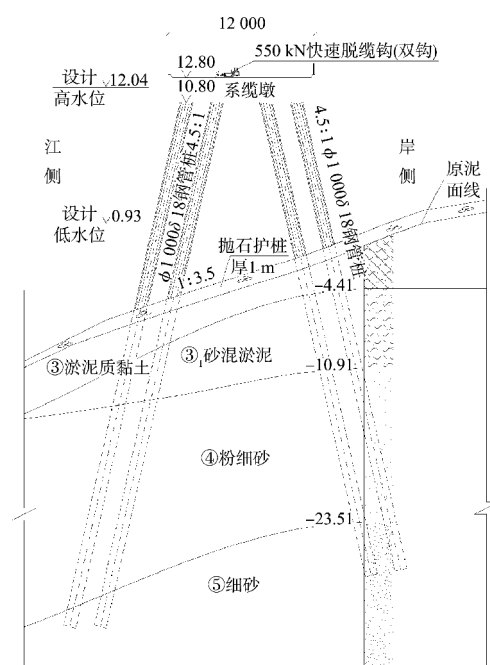
主要缺点为：上部构件较多，施工工序较多，建设投资略高。

综合以上因素,工程采用连片式布置方式。

码头面高程为 12.8 m, 水位差约为 11 m, 卸料工作平台前沿需设置钢靠船构件、鼓型橡胶护舷(三鼓一板)以及多层系缆平台, 以满足大水位差条件下船舶系靠泊。同时, 由于工程地质持力层较深, 因此码头采用高桩框架直立式码头结构, 较好地解决系靠泊的问题, 系缆墩采用高桩墩式结构。水工结构如图 4 所示。



a) 卸料工作平台断面



b) 系统墩断面

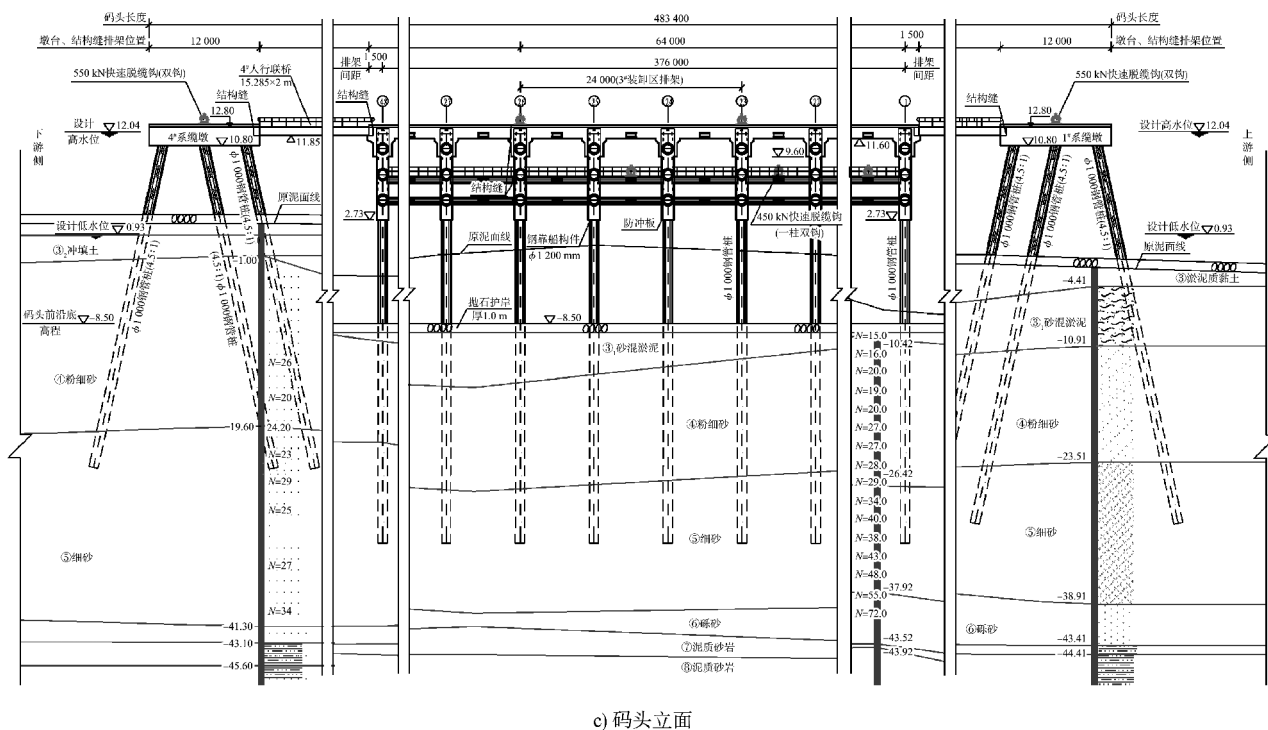


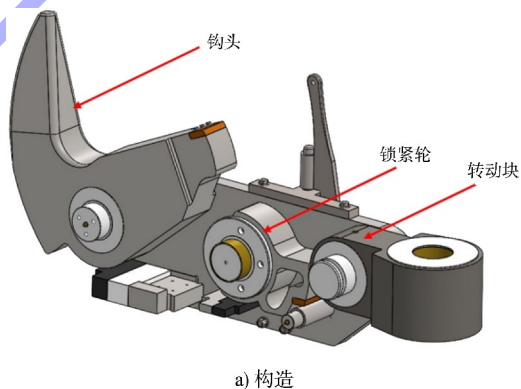
图4 码头水工结构 (高程: m; 尺寸: mm)

Fig. 4 Hydraulic structure of wharf (elevation: m; dimension: mm)

3.2 可拆卸机械式快速脱缆钩

LNG 码头普遍采用快速脱缆钩作为系船设施, 具有解缆快速安全^[9]等特点。本工程二层系缆平台由于长时间内处于淹没状态, 江水含沙量大, 易挂缠漂浮物, 现有快速脱缆钩产品安装有大量电气、通信设备, 通常不可拆卸, 不能适应全淹没环境。因此, 本工程研制了一种可拆卸式快速脱缆钩, 安装在二层系缆平台上, 如图 5 所示。

为便于拆卸和维护，设备各零件全部采用机械连接方式。在传统的制造工艺中，钩头、锁紧轮以及转动块是铸造而成。本工程为了提高脱缆钩的安全载荷和防腐性能，钩头、锁紧轮和转动块全部采用锻造件，可以将安全系数从 1.25 提高到 1.50。制作时使用 CNC 技术加工生产，以提高各个零件的精度，便于后期拼接成整体。使用时可通过钩身侧边的操作杆实现快速脱缆并自动复位。



a) 构造



b) 实物

图 5 可拆卸快速脱缆钩

Fig. 5 Detachable quick release mooning hook

3.3 激光靠泊系统

根据 JTS 165-5—2021《液化天然气码头设计规范》^[10] 要求, 为保证船舶靠泊安全, LNG 接卸码头需设置激光靠泊系统, 主要利用激光测距仪的传感器, 在船舶停靠过程至离港期间, 测量码头与船头距离、船尾距离, 并通过系统, 自动计算船舶靠岸速度和角度, 提供船舶漂移监测及报警。现有的 LNG 码头工程中, 激光测距仪通常固定在码头上, 需要调整位置时, 采用人工操作。

由于工程 LNG 接卸泊位的船型组合多, 需要覆盖的范围大, 所处区域的水位变化大, 传统安装的激光测距仪监测范围局限性较大, 视野存在盲区, 并且会出现由于调整不及时被水浸没而损坏的现象。

基于上述问题, 应用了一种全自动升降导轨式激光测距仪, 如图 6 所示, 导轨系统固定在码头横梁上, 每个泊位配备 2 台, 分别监控船首和船尾, 并提取、传输相关数据。



图 6 自动升降导轨式激光测距仪
Fig. 6 Laser rangefinder with automatic lifting guide rail

该系统可预先设定激光测距仪与水面的距离, 需要使用设备时, 使仪器以设定的数值为基准, 根据水位的变化而自动调整仪器位置, 保证船舶停靠时, 在仪器的检测范围。船舶离港后, 通过控制系统让仪器自动返回到保护仓中。

同时, 为避免码头建筑物的遮挡形成视野盲区, 系统可自动进行识别、自动调整位置; 并具有电机堵转和超时的报警功能, 一旦出现故障, 同时启动控制箱的声光报警器和软件系统的声光报警提示。为防止水流中的悬浮物对导轨造成损坏, 在自动升降轨道外侧设置了防护网进行保护。

4 结语

1) 创新性将连片式码头布置方式以及高桩框架直立式码头结构应用于大水位差条件下的 LNG 接卸码头工程, 既解决了内河船型组合多的问题, 充分利用岸线资源, 提高泊位利用率, 又解决了

大水位差条件下船舶系靠泊设施布置的问题。

2) 研制并使用一种可拆卸的机械式快速脱缆钩, 解决了全淹没环境和水位变化条件下的系缆和脱缆问题。

3) 研制并使用一种自动升降导轨式激光测距仪, 解决了大水位差条件下激光靠泊系统全范围覆盖测量的问题。

4) 研究成果已应用于工程中, 相关技术和设施安全可靠、适应性强, 可供类似工程参考。

参考文献:

- [1] 梅强, 胡勤友, 刘希亮, 等. 全球 LNG 海上运输网络演化及中国贸易现状分析[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(9): 1701-1716.
MEI Q, HU Q Y, LIU X L, et al. Research on the evolution of global LNG maritime transportation network and trade condition of China [J]. Journal of geo-information science, 2022, 24(9): 1701-1716.

[2] 房卓, 张民辉, 沈忱, 等. 我国沿海港口液化天然气码头建设运营现状研究[J]. 水运工程, 2020(10): 63-69.
FANG Z, ZHANG M H, SHEN C, et al. Study on status of construction and operation of LNG berths in coastal ports of China [J]. Port & waterway engineering, 2020 (10): 63-69.

[3] 中国石油国家高端智库研究中心. 中国天然气发展报告[R]. 北京: 石油工业出版社, 2024.
China Petroleum National High-end Think Tank Research Center. China natural gas development report [R]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2024.

[4] 母宝颖, 房卓, 王文渊, 等. 日本 LNG 码头与接收站建设特征研究[J]. 水运工程, 2019(5): 67-72.
MU B Y, FANG Z, WANG W Y, et al. Construction characteristics of Japanese LNG wharf and receiving terminal [J]. Port & waterway engineering, 2019 (5): 67-72.

[5] 钱怡杰, 潘志刚. LNG 泊位靠泊设施及结构设计[J]. 水运工程, 2024(5): 61-66.
QIAN Y J, PAN Z G. LNG berth berthing facilities and structure design [J]. Port & waterway engineering, 2024(5): 61-66.

[6] 港口与航道水文规范: JTS 145—2015(2022 版)[S]. 北京: 人民交通出版社, 2022.
Code of hydrology forharbour and waterway: JTS 145—2015 (2022 Ed.) [S]. Beijing: China Communications Press, 2022.

[7] 马金晶, 皇甫立霞, 韩力, 等. 国内外 LNG 内河运输安全标准现状及展望[J]. 天然气工业, 2015, 35 (12): 117-123.
MA JJ, HUANGFU L X, HAN L, et al. Current status and prospect of LNG inland water transportation safety standards at home and abroad [J]. Natural gas industry, 2015, 35(12): 117-123.

[8] 薛天寒, 董敏, 沈忱, 等. 开敞岛礁海域环境大型 LNG 码头规划布置关键问题[J]. 水运工程, 2023 (7): 42-47.
XUE T H, DONG M, SHEN C, et al. Key issues in planning and layout of large liquefied natural gas terminals in open island and reef waters [J]. Port & waterway engineering, 2023(7): 42-47.

[9] 于新帅. 快速脱缆应用技术[J]. 水运工程, 2018(9): 210-213, 219.
YU X S. Quick release application technology [J]. Port & waterway engineering, 2018(9): 210-213, 219.

[10] 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, 2021.
Code for design of liquefied natural gas port and jetty: JTS 165-5 - 2021 [S]. Beijing: China Communications Press, 2021.

(本文编辑 赵娟)

· 消 息 ·

印尼青山园区危化品码头工程主体完工

2025 年 4 月，由中国港湾（印度尼西亚）有限公司总承包、三航局承建的印尼青山工业园区拉博塔港区危化品码头工程主体完工。该项目位于印度尼西亚苏拉威西省中南部，是园区冶炼的核心物资运输枢纽，主要建设内容为 1 座危化品码头专用泊位、1 座引桥、2 座系缆墩。该项目建成后，将填补印尼青山工业园区危化品船靠泊码头的空白，提升危化品储运能力，优化园区整体运营能力，推动区域经济发展和产业升级。

https://www.ccccltd.cn/news/jcxw/jx/202505/t20250519_220413.html (2025-04-24)