



液化天然气接卸码头增设加注功能 关键问题研究

薛庆齐

(中海油绿能港浙江宁波能源有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 我国沿海现有液化天然气(LNG)码头主要满足进口LNG运输船的接卸需求, 极少具备对加注船进行反向输装作业的功能。为集约利用岸线资源、减少工程投资, 对现有大型LNG接卸码头通过改造, 以满足小型加注船泊靠泊加注作业是科学合理的解决方案。以浙江某LNG接卸码头增设加注功能改造为例, 对其靠船墩中心距、装卸臂接头作业范围适用性、系统布置等进行研究, 对船体相关工艺参数与规范计算值进行对比复核, 对不同工况下卸料臂作业包络线与船体、码头构筑物的适配性进行分析验证, 并采用OPTIMOOR系泊软件仿真模拟不同吨级船舶在不同工况、环境条件下自由度及系缆力数值。最终提出增设间距32 m靠船设施, 增设变径管组件、岸用导缆器、缆绳数量等设施, 以及根据不同偏拢、偏开风向适当提升风力、波高靠泊标准的解决方案。

关键词: LNG加注船; 靠泊系统; 作业包络线; 靠泊标准

中图分类号: U656.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-4972(2025)05-0055-08

Key problems of adding bunkering function for liquefied natural gas terminal

XUE Qingqi

(CNOOC Green Energy Port Zhejiang Ningbo Energy Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: In China, the existing liquefied natural gas (LNG) terminals in coastal areas mainly meet the loading and unloading requirements for imported LNG carriers, and rarely have the function of reverse loading and unloading of bunkering ships. In order to make intensive use of shoreline resources and reduce project investment, we transform the existing large LNG terminal to meet the berthing and bunkering operation of small bunkering ships, as a scientific and reasonable solution. Taking the transformation of a LNG terminal in Zhejiang Province to increase the bunkering function as an example, we study the center distance of the berthing pier, the applicability of the operation range of the loading and unloading arm joint, and the arrangement of the mooring line, compare the relevant process parameters of the hull with the calculated values of the code, and analyze and verify the adaptability of the unloading arm operation envelope to the hull and wharf structures under different working conditions. Then we use the OPTIMOOR mooring software to simulate the degree of freedom and mooring force of different tonnage ships under different working conditions and environmental conditions. Finally, we propose a solution which adds a berthing facility with a spacing of 32 m, adds a variable diameter pipe assembly, a shore guide cable, a number of cables and other facilities, and appropriately raises the wind and wave height berthing standard according to different wind directions.

Keywords: LNG bunkering ship; berthing system; operation envelope line; berthing standard

收稿日期: 2024-07-05

作者简介: 薛庆齐(1981—), 男, 硕士, 工程师, 从事LNG码头工程管理。

随着全球对温室气体减排的要求越来越高,以液化天然气(LNG)为动力船相关新造、改造政策相应出台,LNG逐渐成为航运系统船舶的主要燃料。LNG加注船因具有吨级小、加注快速、加注灵活等优势,将成为大中型船舶加注的主要方式,而新建专用的LNG加注码头投资较高且将新占岸线,并须新建配套LNG罐区。

在以往的相关研究中,王汝凯等^[1]针对LNG接卸码头建设内容及LNG运输船特点进行概述,指出LNG接卸码头建设标准及作业标准;孙家庆等^[2]通过对我国LNG码头建设现状、区域分布及存在的主要问题阐述,指出依托大型LNG码头进行相应中小型码头建设必要性;王红尧等^[3]通过对LNG燃料罐的位置及仓容、受注船型等级等要素分析,提出LNG码头配套建设规模;柴长清^[4]提出合理设计液化天然气码头的平面及结构对液化天然气船靠泊码头的重要性;马金骑等^[5]针对广州港LNG接卸码头能源运输发展存在的问题,提出开发利用岸线、码头技术改造等方案,以便应对各类船舶的发展趋势。

目前,对LNG接卸码头的研究主要集中于码头新建及大型运输船靠泊卸船等方面,而在现有码头改造以提升加注船靠泊能力的研究却相对较少。因此,考虑集约利用岸线资源和减少工程投资,如何对现有大型LNG接卸码头通过改造以满足小型LNG加注船舶加注是目前亟需解决的问题。本文以现有大型LNG接卸码头为主体,在不新占岸线的基础上,提出增设靠船设施、调整卸料臂管径、增设岸用导缆器等主体改造方案,达到同时实现大型运输船和小型加注船的靠泊输装作业。

1 问题分析

我国沿海LNG码头规模主要集中在5万~27万 m^3 ,设计船型尺度见表1。可以看出,我国绝大部分已建LNG接卸码头吨级较大,相应的系靠泊设施、装卸设施、安全设施等仅适用于大型

LNG运输船型的要求,极少具备LNG加注船靠泊、加注条件。但LNG加注船较小,多为0.85万~3万 m^3 ,仅为已建LNG接卸码头设计靠泊船型的3%~11%,LNG加注船舶船型见表2。由于加注船与码头原设计船型相差巨大,船长、干舷高度、船体直线段长度等船型尺度均差距悬殊,这就导致原码头在适应小型加注船的靠泊和作业方面将存在诸多问题需要研究解决。

表1 我国LNG运输船的船型尺度

Tab. 1 Dimension of China's LNG carrier type

设计船型	船长/m	型宽/m	型深/m	吃水/m
26.6万 m^3 LNG船舶	345.0	53.80	27.00	12.00
21.5万 m^3 LNG船舶	325.0	50.00	28.00	12.00
17.7万 m^3 LNG船舶	291.0	46.95	26.25	11.50
17.5万 m^3 LNG船舶	290.0	46.95	26.25	11.50
16.5万 m^3 LNG船舶	298.0	46.00	26.00	11.50
14.7万 m^3 LNG船舶	292.3	43.35	26.25	11.43
8.0万 m^3 LNG船舶	239.0	40.00	26.80	11.00

表2 LNG加注船舶的船型尺度

Tab. 2 Dimension of LNG bunkering ship type

船型	总长/m	型宽/m	型深/m	吃水/m
3万 m^3 LNG加注船	184.7	28.1	18.7	7.6
1.2万 m^3 LNG加注船	132.9	22.0	11.8	5.8
0.85万 m^3 LNG加注船	119.3	19.8	11.0	5.9

2 改造方案研究

2.1 工程概况

浙江某LNG接卸码头平面呈蝶型布置,见图1。设计船型为26.6万 m^3 LNG船,兼顾8万~21.5万 m^3 LNG船。泊位长度440m,停泊水域宽度100m,码头前沿设计水深-15m。回旋水域为椭圆,平行于码头的长轴为900m,垂直于码头的短轴为600m,回旋水域设计水深-16m。码头由1个工作平台、4个靠船墩、6个系缆墩组成,其中外侧主靠船墩长20m、宽14m,靠船设施采用2000H鼓型橡胶护舷(两鼓一板,标准反力型);内侧副靠船墩长11m、宽13m,靠船墩中心距为74m,靠船设施采用2000H鼓型橡胶护舷(一鼓一板,标准反力型)^[6-8]。改造码头工程增设计船型为0.85万~3万 m^3 加注船,船型尺度见表2。

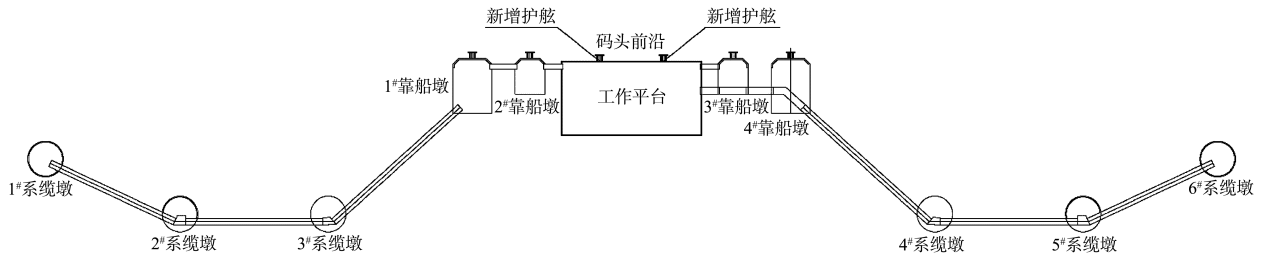


图 1 码头平面布置

Fig. 1 Wharf planar layout

2.2 靠船墩中心距

根据 JTS 165-5—2021《液化天然气码头设计规范》^[9] 规定，靠船墩中心间距可为设计船长的 25%~45%。当停靠船型差别较大时，可设置辅助靠船墩。石油公司国际海事论坛 (OCIMF) 的 *Mooring Equipment Guidelines (MEG4)*^[10] 推荐靠船墩中心间距可为设计船长的 25%~40%，但是这一版特别指出：对于 LNG 船(鉴于船体直线段相对较短)建议上限不超过 35%。

原码头内侧 1 对靠船墩中心距为 74 m，可满足 3 万 m³ 船 25%L~45%L 的要求，无法满足 0.85 万~2 万 m³ 加注船的靠泊最小间距要求，见表 3。

为满足 0.85 万~2 万 m³ 加注船的靠泊最小间距要求，参照表 3 的 5 种 LNG 加注船所需靠船点中心间距数据，拟在工作平台前沿新增 2 组对称布置的靠泊系统，其中中心间距 32 m，以基本满足 0.85 万 m³ 加注船 25%L(29.8 m)靠泊最小间距要求。

现对 0.85 万、1.2 万、3 万 m³ 加注船压载和满载工况船侧平直段与气相管水平间距进行进一步复核，见表 4。可以看出，通过对原码头前沿工作平台新增 2 组靠泊系统后，3 种加注船无论压载还是满载条件下，均大于新增靠泊系统中心间距的一半，满足船侧平直段接触码头内侧靠泊系统要求。加注船的船侧平直段见图 2。

表 3 LNG 加注船靠船点中心间距
Tab. 3 Center distance of LNG bunkering ship berthing point

船型	总长 L/m	25%L/m	35%L/m	45%L/m
0.85 万 m ³ 加注船	119.3	29.8	41.8	53.7
1.2 万 m ³ 加注船	132.9	33.2	46.5	59.8
1.86 万 m ³ 加注船	135.9	34.0	47.6	61.2
2 万 m ³ 加注船	159.7	39.9	55.9	71.9
3 万 m ³ 加注船	184.7	46.2	64.7	83.1

表 4 加注船压载和满载工况船侧平直段与气相管水平间距
Tab. 4 Horizontal distance between ship side straight section and gas phase pipe of bunkering ship under ballast and full-load conditions

船型	船侧平直段与气相管水平间距/m			
	船侧压载工况	艏侧压载工况	船侧满载工况	艏侧满载工况
0.85 万 m ³ 加注船	22.852	33.843	27.900	42.250
1.2 万 m ³ 加注船	23.000	35.000	30.000	44.000
3 万 m ³ 加注船	24.160	36.530	33.930	45.520

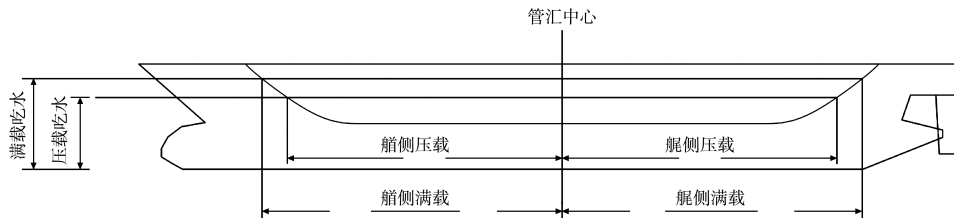


图 2 加注船的船侧平直段

Fig. 2 Side straight section of bunkering ship

改造方案中，考虑 LNG 接卸码头的工作平台均按照不承受船舶荷载进行设计，新增护舷系统的原则是按照其所导致工作平台产生的位移不应

大于原设计为准，可以保障工作平台上的操作平台可以正常作业。新增设的每组靠泊系统包括 1 个 1150H 鼓型橡胶护舷、2 个 800H 鼓型橡胶护

舷和2根 $\phi 1\ 000\ \text{mm}$ 钢管桩通过钢支撑板联成整体,钢管桩中心距4.9 m。钢支撑板外侧安装1150H鼓型橡胶护舷(一鼓一板,标准反力型),钢支撑板两端与 $\phi 1\ 300\ \text{mm}$ 钢套筒焊接,钢套筒套在 $\phi 1\ 000\ \text{mm}$ 钢管桩上。钢套筒与钢管桩之间

的空隙灌注素混凝土,能很好地连接,并适应钢管桩打桩偏位。2个800H鼓型橡胶护舷岸侧安装在钢支座上,钢支座通过种植螺栓安装在工作平台上,2个800H鼓型橡胶护舷海侧安装在钢支撑板上。增设的护舷见图3。

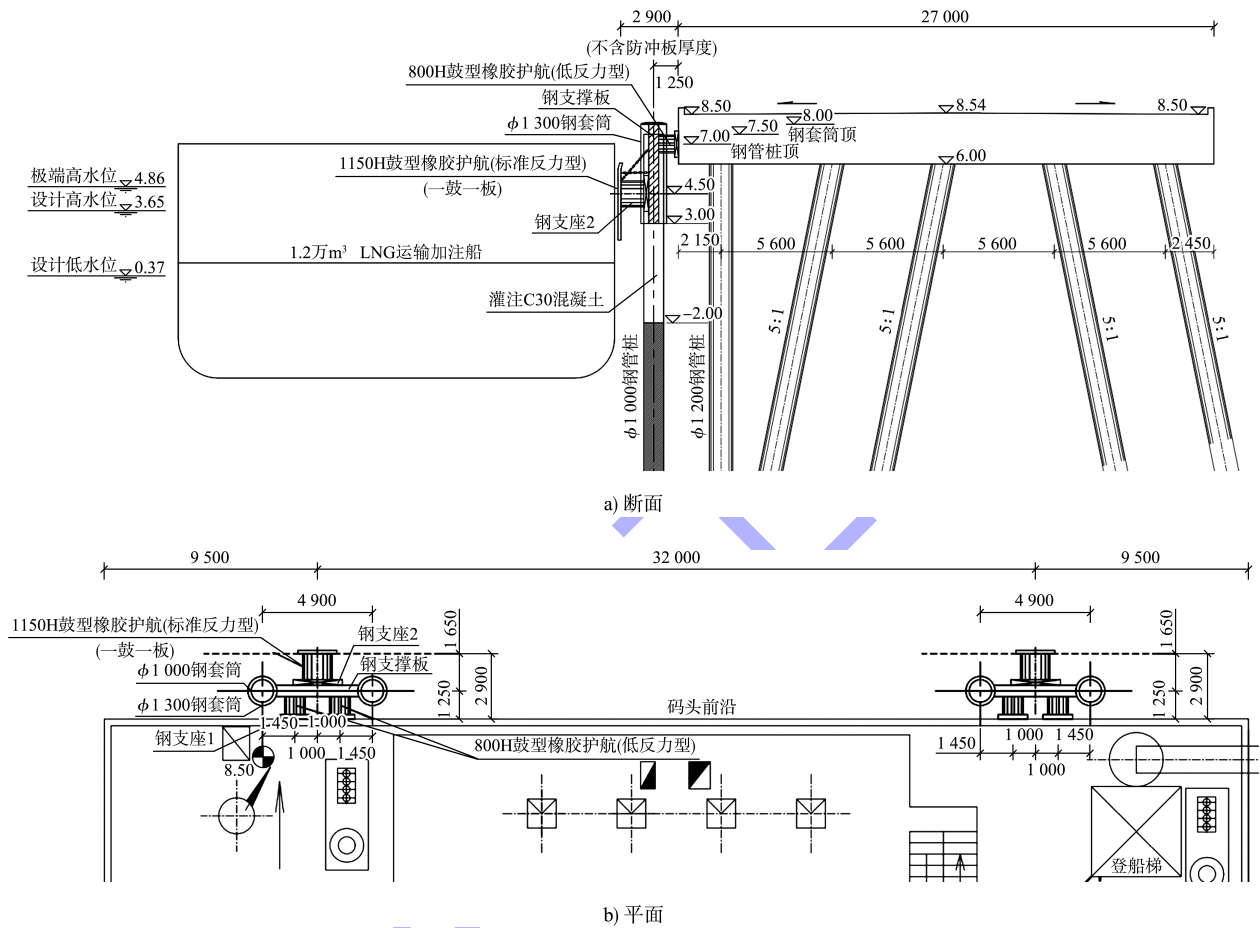


图3 增设的护舷 (高程: m; 尺寸: mm)
Fig. 3 Added fenders (elevation: m; dimension: mm)

2.3 装卸臂接头作业范围适用性

2.3.1 加注船舶工艺参数

已建LNG接卸码头共设置3条口径20"(1"约合2.54 cm)的LNG卸船臂、1条口径20"气体返回臂、1条口径40"的卸料总管和1条口径24"气体管

道,其接卸系统同时具备卸料和装船功能。但由于加注船船型与码头原设计船型相差悬殊,需要对装卸臂接头作业范围包络线与加注船管口的适配性开展研究。

1.2万与3万 m^3 LNG加注船的船型数据见表5。

表5 加注船的船型结构数据
Tab. 5 Structural data of bunkering ship

船舶 舱容/ 万 m^3	干舷高度/m		甲板上 栏杆高度/ m	接管高度 (高于海平面)/m		运输船管 口与船舷 距离/m	运输船管口 法兰中心距/ m	运输船管口和 主甲板距离/ m	运输船管口与 平台距离/ m	汇管 口径/ (")
	满载	空载		最大	最小					
1.2	6.01	7.91	1.05	18.65	16.75	3.55	3	10.75	1.3	10
3.0	11.10	12.38	1.08	18.20	16.90	4.00	3	5.80	3.1	16

2.3.2 加注船与卸料臂包络线范围适配性

现有卸料臂包络线范围见图 4，卸料臂包络线范围适配性数据见表 6。可以看出，1.2 万与 3 万 m³ 加注船汇管与船舷距离均大于现有卸料臂包络线左侧与护舷最小间距，满足装卸设备包络线范围；1.2 万与 3 万 m³ 加注船汇管与海平面最小距离均小于现有卸料臂包络线上侧与最高潮位最大距离，满足装卸设备包络线范围；而现有卸料臂包络线下侧与最低潮位最小距离虽满足 3 万 m³ 加注船要求，但存在低潮位泊接 1.2 万 m³ 加注船压舱操作时，超过了卸料臂机械伸长限位的下限，将导致卸料臂在操作过程中触发安全控制系统 ESD1 和 ESD2 紧急连锁，使得紧急脱离系统（ERS）启动。

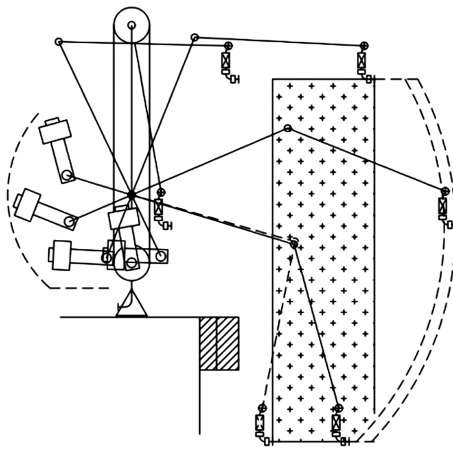


图 4 装卸臂包络线范围

Fig. 4 Loading and unloading arm envelope range

表 6 包络线适配性数据

Tab. 6 Envelope line suitability data

影响范围	距离标准/m	与 1.2 万 m ³ 加注船距离/m	与 3 万 m ³ 加注船距离/m
现有包络线左侧	现有卸料臂包络线左侧与护舷最小间距 3.0	3.550	4.000
现有包络线下侧	现有卸料臂包络线下侧与最低潮位最小距离 16.0	15.875	16.900
现有包络线上侧	现有卸料臂包络线上侧与最高潮位最大距离 26.3	18.650	18.200

综上，为避免出现卸料臂包络线伸长下限不满足最低潮位时 1.2 万 m³ 以下加注船最小距离情况，可通过在加注船汇管口上加装提高管口高程

的变径管组件(向上)，见图 5，以增加加注船汇管与海平面最小距离，保证其最小距离大于卸料臂包络线下限的要求。另外，随着 LNG 加注船不断增大，可能面临现有装卸设备不满足增设加注功能的情况，可以通过增设反输装船泵组和卸料臂改造的措施满足加注作业需要。



图 5 变径管组件

Fig. 5 Variable diameter tube assembly

2.4 系缆泊稳

2.4.1 系缆平面布局

由于 LNG 加注船较小，因此靠泊时船体横荡、纵荡、垂荡、横摇、纵摇、艏摇运动与原设计船型差异较大。因此，现针对 LNG 接卸码头增设加注功能后加注船系缆泊稳开展研究。

1) 码头系泊设施。①系缆墩 6 座，其中 1[#]、6[#]系缆墩配置 1 500 kN×4(四钩)快速脱缆钩；2[#]~5[#]系缆墩配置 1 500 kN×3(三钩)快速脱缆钩。②靠船墩 4 个，包括 2 个主靠船墩(1[#]和 4[#])，相距 116 m；2 个副靠船墩(2[#]和 3[#])，每个靠船配置 1 500 kN×2(双钩)快速脱缆钩。

2) 加注船带缆方式。为使加注船吨级与码头设计形式相适应，系缆平面布局按照船上的气相管对准工作平台上气相臂考虑，其中 0.85 万、1.2 万、3 万 m³ 加注船带缆均采用“艏缆+横缆+倒缆”的方式。

①3 万 m³LNG 加注船在靠泊码头时，加注船的艏、艉缆分别系泊在外侧 2[#]、5[#]系缆墩 3×1 500 kN 快速脱缆钩，横缆系泊在内侧 3[#]、4[#]系缆墩 3×1 500 kN 快速脱缆钩，倒缆系泊在 2[#]、3[#]靠船墩 2×1 500 kN 快速脱缆钩。

②1.2 万 m³ LNG 加注船在靠泊码头时，艏缆

依托 3# 系缆墩 3×1 500 kN 快速脱缆钩带缆，艏缆依托 4# 系缆墩 3×1 500 kN 快速脱缆钩带缆，横缆依托 1#、4# 靠船墩 2×1 500 kN 快速脱缆钩带缆，倒缆依托 2#、3# 靠船墩 2×1 500 kN 快速脱缆钩带缆。由于 1#、4# 靠船墩 2×1 500 kN 快速脱缆钩与码头前沿夹角为 10°，无法带横缆，因此在 1#、4# 靠船墩海侧前沿各新增 1 个导缆器，见图 6，以此改变船舶缆绳角度，方便带缆。



图 6 导缆器
Fig. 6 Cable guide

③与普通 LNG 加注船相比，0.85 万 m³ LNG 加注船配备了多达 14 根船用缆绳，系缆的灵活性更高。靠泊码头时，艏缆依托 3# 系缆墩 3×1 500 kN 快速脱缆钩带缆，艏缆依托 4# 系缆墩 3×1 500 kN 快速脱缆钩带缆。横缆依托 1#、4# 靠船墩 2×1 500 kN 快速脱缆钩及新增导缆器带缆，倒缆依托 2#、3# 靠船墩 2×1 500 kN 快速脱缆钩带缆。

3) 水平系缆角度复核。JTS 165—2013《海港总体设计规范》^[11]指出，为加强对于船舶横向位移的控制，同时也为了保证缆绳受力均匀和改善船舶泊稳条件，艏、艏缆水平系缆角度取 45°~75°。现通过对 0.85 万、1.2 万、3 万 m³ 加注船平面系缆水平角度进行进一步复核，见表 7。由于原码头快速脱缆钩与装卸平台前沿夹角较小，通过调整缆绳布置、增加缆绳数量、增设岸用导缆器等措施，可灵活调整横缆角度，以满足加注船的艏、艏缆系缆要求。

表 7 平面系缆水平角度
Tab. 7 Horizontal angle of planar mooring line

船型	平面系缆水平角度/(°)			
	艏缆	艏缆	横缆	倒缆
0.85 万 m ³ 加注船	52	52	90	23
1.2 万 m ³ 加注船	55	55	90	26
3 万 m ³ 加注船	50	50	62	10

2.4.2 系缆竖向高程

由于 LNG 加注船干舷高度远小于原码头设计船型，需要对加注船竖向系缆高程做专门核算，避免挂缆现象发生，影响船舶系泊安全。在设计低水位并船舶满载这种最不利情况下，若船舷侧出缆孔位置低于系缆点，会存在挂缆的可能性。

本工程设计低水位 0.37 m，靠船墩、系缆顶高程为 6.5 m，系缆点至水面的最大高差为 6.13 m。为避免挂缆发生，在设计低水位船舶满载的工况条件下，加注船出缆孔距水面高程应大于 6.13 m。根据各加注船的船型图，它们的甲板最低出缆孔距满载水线高度均大于 6.13 m，见表 8。满足缆绳竖向高程要求，不会发生挂缆。

表 8 各加注船出缆口与水面距离
Tab. 8 Distance between ship's outlet and water surface

船型	缆绳	出缆口与水面距离/m
3 万 m ³ 加注船	1	13.8
	2	13.8
	3	13.8
	4	13.8
	5	17.1
	6	17.1
	7	17.1
	8	17.1
	9	15.1
	10	15.1
	11	15.1
	12	15.1
1.2 万 m ³ 加注船	1	8.5
	2	8.5
	3	8.5
	4	8.5
	5	12.1
	6	12.1
	7	12.1
	8	12.1
	9	10.7
	10	10.7
	11	10.7
	12	10.7
0.85 万 m ³ 加注船	1	7.0
	2	7.0
	3	7.0
	4	7.0
	5	8.5
	6	8.5
	7	8.5
	8	9.7
	9	9.7
	10	9.7
	11	9.7
	12	9.7

2.4.3 靠泊控制条件

原码头系靠泊设施是针对大型 LNG 运输船相应要求设计的，现用于小型加注船系靠泊使用，其对船只的约束方面，并不完全适合，必将导致加注船的系缆力、船舶自由度、挤靠力等方面容易超过常规码头的允许值。根据不同的 LNG 船舶，分别适当提高码头靠泊标准，是科学可行的方法。

本文采用 OPTIMOOR 船舶系泊软件，分别对 0.85 万、1.2 万、3 万 m³ 加注船的系泊进行仿真模拟分析。OPTIMOOR 软件通过分析所输入的船舶、泊位、风、流、波浪、潮汐、吃水和其他外力等详细数据，计算系泊船舶在静力荷载作用下的缆绳张力、护舷受到的挤靠力、码头上的系船柱受到的拉力和船舶运动量等，进而分析船舶的系泊安全。系泊试验方案根据现码头设计条件，同时考虑到风、流、浪的联合作用按较不利的环境组合状态进行设置。试验方案包含 3 种加注船试验船型的 2 种载态，以及不同风、浪、流、潮汐等共计 216 种工况组合，根据 OPTIMOOR 软件模拟结果，得到系靠 3 种加注船稳泊临界条件，见表 9。

表 9 各试验船型稳泊临界条件
Tab. 9 Critical conditions of mooring stability of each test ship type

船型	载态	拢风(NW)工况	开风(SE)工况
3 万 m ³ LNG 加注船	重载	风力≤9 级,波高≤1.5 m; 风力≤8 级,波高≤2.0 m; 风力≤7 级,波高≤2.0 m	风力≤9 级,波高≤1.0 m; 风力≤8 级,波高≤1.0 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m
	压载	风力≤9 级,波高≤1.5 m; 风力≤8 级,波高≤1.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m	风力≤9 级,波高≤0.5 m; 风力≤8 级,波高≤1.0 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m
1.2 万 m ³ LNG 加注船	重载	风力≤9 级,波高≤1.5 m; 风力≤8 级,波高≤1.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m	风力≤9 级,波高≤0.5 m; 风力≤8 级,波高≤0.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.0 m
	压载	风力≤9 级,波高≤1.5 m; 风力≤8 级,波高≤1.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m	风力≤8 级,波高≤0.5 m; 风力≤7 级,波高≤0.5 m
0.85 万 m ³ LNG 加注船	重载	风力≤9 级,波高≤1.5 m; 风力≤8 级,波高≤1.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m	风力≤9 级,波高≤0.5 m; 风力≤8 级,波高≤0.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.0 m
	压载	风力≤9 级,波高≤1.5 m; 风力≤8 级,波高≤1.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m	风力≤8 级,波高≤0.5 m; 风力≤7 级,波高≤0.5 m

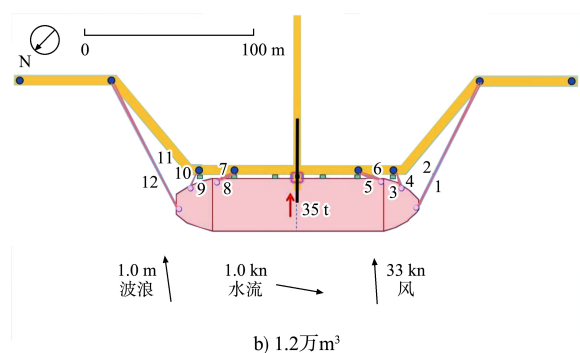
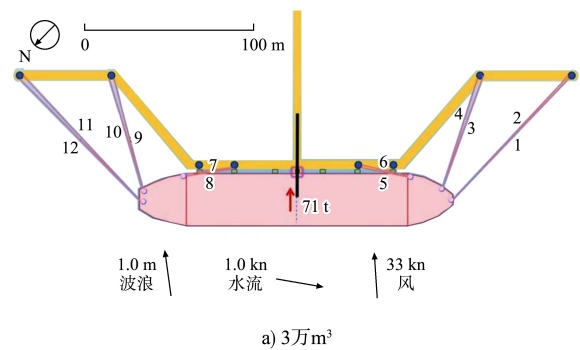
考虑到模拟试验更大程度具备普遍性特征，从安全特殊情况角度考虑，提出适用于本工程加注船系靠控制条件，见表 10，LNG 加注船数值模拟见图 7。

通过上述研究可知，现有 LNG 接卸码头水域自然条件下，竖向高程上均满足系缆要求，平面上可通过缆绳布置及增设倒缆设施等措施，满足带缆要求，同时提出适用于本工程系靠加注船稳泊控制条件，以满足安全靠泊作业需求。

表 10 本工程系靠 0.85 万~3 万 m³ LNG 船舶稳泊控制条件

Tab. 10 Berthing control conditions of 8,500 m³ to 30,000 m³ LNG ships for this project

船型	载态	偏拢风(偏 NW 向) 工况	偏开风(偏 SE 向) 工况
3 万 m ³ LNG 加注船	重载	风力≤8 级,波高≤2.0 m	风力≤8 级,波高≤1.0 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m
	压载	风力≤8 级,波高≤1.5 m	风力≤8 级,波高≤1.0 m; 风力≤7 级,波高≤1.5 m
1.2 万 m ³ LNG 加注船	重载	风力≤8 级,波高≤1.5 m	风力≤8 级,波高≤0.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.0 m
	压载	风力≤8 级,波高≤1.5 m	风力≤8 级,波高≤0.5 m
0.85 万 m ³ LNG 加注船	重载	风力≤8 级,波高≤1.5 m	风力≤8 级,波高≤0.5 m; 风力≤7 级,波高≤1.0 m
	压载	风力≤8 级,波高≤1.5 m	风力≤8 级,波高≤0.5 m



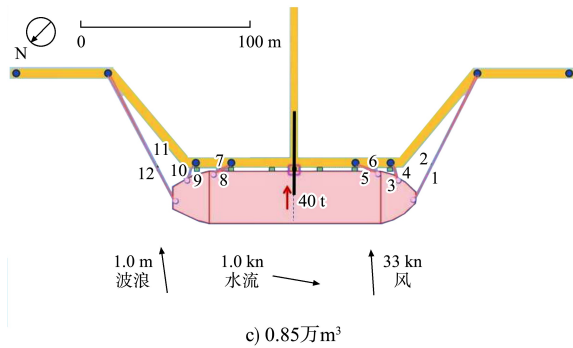


图7 LNG加注船数值模拟

Fig. 7 Numerical simulation of LNG bunkering ships

3 结语

1) 可通过增加靠泊系统(靠船桩、护舷等)解决加注船船体直线段过小的问题,但需要注意靠泊系统不应原工作平台结构安全及作业操作造成影响。

2) 需要绘制装卸臂接头作业范围包络线与船体线型图进行适应性研究,如不能满足吨级较小的加注船作业要求,可通过增加变径管等设备的方式解决。

3) 由于原码头设计船型与小型加注船船型尺度存在巨大差距,原码头对于加注船的空间约束必然存在一定不足,设计时需要核算各缆绳空间布置、应力分布是否合理并满足要求,可通过增加缆绳数量、加设导缆器等工程措施解决。在管理上,通过系泊试验研究,适当提高靠泊标准是可行、安全的。本文研究成果可为今后类似LNG码头改造项目提供一定参考。

参考文献:

- [1] 王汝凯,蔡长泗. LNG接卸港设计须知[J]. 水运工程, 1998(3): 47-58.
WANG R L, CAI C S. Instructions for LNG terminal design[J]. Port & waterway engineering, 1998(3): 47-58.
- [2] 孙家庆,孙倩雯,李沛泽. 我国LNG码头建设现状与对策建议[J]. 中国港口, 2016(3): 5-8.
SUN J Q, SUN Q W, LI P Z. Current situation and countermeasures of LNG terminal construction in China [J]. China ports, 2016(3): 5-8.
- [3] 王红尧,覃杰,陈良志. 内河液化天然气岸基式加注码头设计要素及要点[J]. 中国港湾建设, 2022, 42(11): 46-49.
WANG H Y, QIN J, CHEN L Z. Design elements and key points of inland river LNG shore-based bunkering wharf [J].

China harbour engineering, 2022, 42(11): 46-49.

- [4] 柴长清. 进口液化天然气(LNG)码头建设中的几个问题[J]. 中国港湾建设, 2004(4): 5-8.
CAI C Q. Issues in Construction of LNG terminals for imported liquefied natural gas [J]. China harbour engineering, 2004(4): 5-8.
- [5] 马金骑,邓进乐. 加快码头技术改造提升能源接卸能力[J]. 中国水运, 2005(5): 10-11.
MA J Q, DENG J L. Speed up the technical transformation of the terminal to improve the energy handling capacity [J]. China water transport, 2005(5): 10-11.
- [6] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 浙江省引进液化天然气(LNG)及应用工程项目港口工程初步设计[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2009.
CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd. Preliminary design of port project for the introduction of liquefied natural gas (LNG) and application project in Zhejiang Province[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., 2009.
- [7] 交通部天津水运工程科学研究所. 浙江LNG接收站项目LNG船舶系泊试验研究报告[R]. 天津: 交通部天津水运工程科学研究所, 2009.
Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT. Study report of LNG ship mooring test for Zhejiang LNG Receiving Station project [R]. Tianjin: Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, MOT, 2009.
- [8] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司. 浙江LNG码头护舷系统技术改造投资项目可行性研究[R]. 上海: 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 2023.
CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd. Feasibility study of Zhejiang LNG terminal fender system technical renovation investment project[R]. Shanghai: CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., 2023.
- [9] 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.
Code for design for liquefied natural gas port and jetty[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [10] Mooring equipment guideline (MEG4) [S]. 4th ed. London: OCIMF, 2018.
- [11] 海港总体设计规范: JTS 165—2013[S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
Design code of general layout for sea ports: JTS 165—2013[S]. Beijing: China Communications Press, 2013.

(本文编辑 王璁)