



营口港仙人岛港区 LNG 码头选址规划方案*

薛天寒¹, 杨欣², 沈忱¹, 张民辉¹, 孙平¹

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 仙人岛港区是环渤海地区重要的大型综合性港区, 属于双堤环抱空间格局, 规划大型泊位多, 船舶流量密集。LNG 码头具有一定的特殊性和排他性。针对在环抱式港池内 LNG 码头选址和规划存在的问题, 以仙人岛港区为例, 集成利用多项模型技术研究通航安全、通航影响、陆域安全、泊位布置和空间利用等, 提出 LNG 码头选址、码头泊位及水域布置方案, 对仙人岛港区建设 LNG 码头起到了关键技术支撑。

关键词: 仙人岛港区; LNG 码头; 选址; 规划

中图分类号: U 658.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2022)02-0064-06

Scheme of LNG terminal siting and planning in Xianrendao port area of Yingkou Port

XUE Tian-han¹, YANG Xin², SHEN Chen¹, ZHANG Min-hui¹, SUN Ping¹

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China;

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

Abstract: The Xianrendao port area is an important large-scale comprehensive port area in the Bohai-Rim region, which has the spatial pattern of being encircled by double dikes, with many large-scale berths and dense ship flow. Liquefied natural gas (LNG) terminals are of particularity and exclusiveness. To tackle the problems in the LNG terminal siting and planning in the encircling basin, taking the Xianrendao port area as an example, we integrate multiple model technologies to study navigation safety, navigation impact, land safety, berth layout, space utilization, etc. Then the scheme of site selection and the berth and water area layouts of the terminal is proposed. This research provides key technical support for the construction of an LNG terminal in the Xianrendao port area.

Keywords: Xianrendao port area; LNG terminal; siting; planning

天然气在我国能源结构体系中的地位和作用日益凸显, 伴随着绿色发展理念的深入落实和大气污染防治的持续推进, 特别是北方地区清洁能源政策的实施, 天然气在国家能源体系中的地位迅速加强, 天然气需求量将在未来很长一段时间内稳定增长。作为保障天然气稳定供应的重要方式, 海运进口 LNG 将在供气体系中发挥更为突出的作用^[1]。

为落实国家层面 LNG 码头布局、支撑辽宁省乃至东北地区不断增长的天然气需求, 利用营口

港仙人岛港区优良的港口资源条件建设 LNG 码头是十分必要的。

LNG 码头具有一定的特殊性和排他性, 面对我国沿海船舶流量密集等条件, 其选址和规划的技术较为复杂。商丹等^[2]结合实际工程经验对 LNG 码头选址的关键因素进行探讨, 赵仓龙等^[3]就深圳港 LNG 船采取单向通航方式进出港时对航路通过能力的影响程度进行分析, 房卓等^[4]通过建立涵盖 LNG 船舶通航影响机制的港口运营系统仿真模型对 LNG 船舶通航影响问题进行了研究,

收稿日期: 2021-03-29

*基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFE0201200)

作者简介: 薛天寒(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口规划相关研究工作。

HU Jin-qiu 等^[5] 基于相互依赖网络理论对 LNG 码头系统的信息-物理-社会危害和风险因素进行分析。

仙人岛港区是双堤环抱形成的大型综合性港区，规划泊位数量大，布置有多个大型原油泊位，通航船型多，陆域资源紧张，LNG 码头的选址规划面对技术难题需要破解。本文基于仙人岛港区的建设条件，集成利用多项模型技术，量化分析不同码头选址的影响，论证码头通航和陆域安全，提出平面布置方案，对仙人岛港区科学建设 LNG 码头起到了关键技术支撑。

1 码头建设条件

1.1 港区概况

仙人岛港区是营口港两大主体港区之一，是辽宁沿海经济带和东北老工业基地振兴的重要支撑，主要承担油气、液体化工品和干散货、杂货运输，规划适时发展集装箱运输，逐步发展成为多功能、现代化的大型综合性港区。2019 年完成吞吐量 1 929 万 t，其中原油 1 815 万 t。

港区平面布置上形成“三突堤、六港池”的总体格局，包括液体散货作业区、通用和多用途作业区、集装箱作业区和预留发展区。

1.2 自然条件

1) 风。仙人岛港区常风向为 S 向，频率为 14.51%，次常风向为 NE 向，频率为 13.93%，强风向为 SSW 向，该向≥6 级风出现频率为 0.57%、该向≥7 级风出现频率为 0.05%。全年≥6 级风出现频率为 2.03%，全年≥7 级风出现频率为 0.22%。要关注≥6 级风对 LNG 船舶的影响。

2) 冰。仙人岛港区冰情从每年 11 月中旬至翌年 3 月中下旬，平均冰期 120 d。港区近海海域以流冰为主，近岸的浅水海岸地带则为固定冰。港区固定冰以西海域有一呈东北—西南走向的流冰带，在风、流等综合作用下往复运动。流冰往往由薄冰、厚冰组成，并有可能在整体港池口门处产生堆积冰现象，平均冰厚 1 月份为 7~15 cm、2 月份为 15~30 cm。要减少冰对 LNG 船舶的影响，LNG 码头应尽量靠近宽阔水域。

3) 浪。据仙人岛测站观测资料统计，常波向

为 SW 向，频率为 12.28%；次常波向为 N 向，频率为 11.48%；强浪向为 NNW 向，该向 $H_{4\%} > 1.0$ m 出现频率为 2.08%， $H_{4\%} > 1.5$ m 出现频率为 0.40%，全年 $H_{4\%} > 1.0$ m 出现频率为 9.36%， $H_{4\%} > 1.5$ m 出现频率为 1.60%。

1.3 运输需求

仙人岛 LNG 码头可以通过管道连接干线管道，供应东北地区，也可兼顾供应京津冀地区。未来，东北地区天然气需求增长潜力巨大，供需矛盾依然存在。黑龙江省和吉林省自产天然气不能满足消费需要时，产生的消费缺口将依靠中俄东线管道供应；辽宁省天然气供应的缺口主要依靠沿海 LNG 补充。因此，营口港仙人岛 LNG 接收站的供应腹地应立足辽宁、辐射东北。

预测 2035 年辽宁省天然气消费量将达到 200 亿 m³。除去自产气和陆上管道来气，预计 2035 年辽宁省沿海港口需要接收 147 亿 m³，约合 1 065 万 t LNG。基于营口市及周边地区需求，预测营口 LNG 接收站 2025 年 LNG 接卸量约 300 万 t。基于仙人岛港区 LNG 码头的定位和运量需求，结合减少船舶艘次、控制通航影响的考虑，将仙人岛港区 LNG 码头规模确定为 1 个 15 万总吨的泊位。

2 码头选址论证

仙人岛港区是环抱式港池，港池内 LNG 码头选址的关键因素是通航安全、通航影响和陆域罐区布置问题，港池内掩护条件较好，波浪潮流一般不造成制约。通航安全方面，通过操船模拟试验，分析船舶在航道通航和靠离泊的安全问题；通航影响方面，建立 LNG 船舶进出港仿真模型，量化 LNG 船舶对港区其他船舶通航效率的影响；陆域罐区布置方面，选址规划层面关注的是安全问题，论证陆域选址安全可行性。

2.1 选址方案

考虑到围填海政策，在仙人岛南侧已形成陆域区域开展 LNG 码头选址，根据 LNG 码头选址和设计要求，基于码头和陆域建设现状，将一港池和二港池间栈桥端部两侧作为选址方案。仙人岛港区陆

域形成现状见图 1，LNG 码头选址方案见图 2。

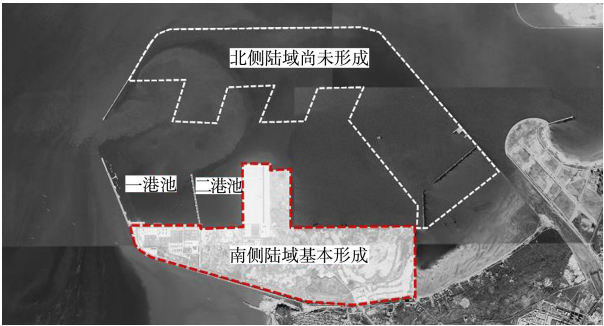


图 1 仙人岛港区陆域形成现状

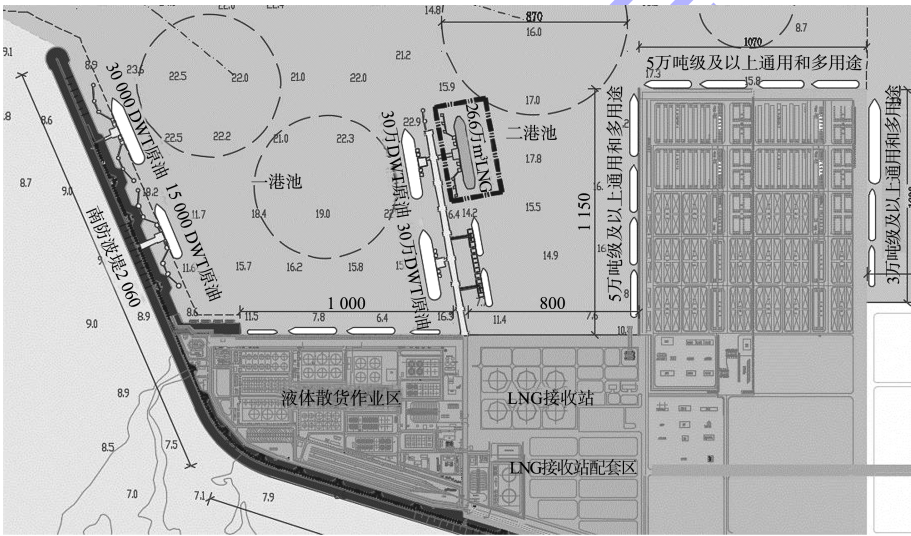
2.1.1 选址方案 1

LNG 码头位于现状栈桥东侧端部、二港池西

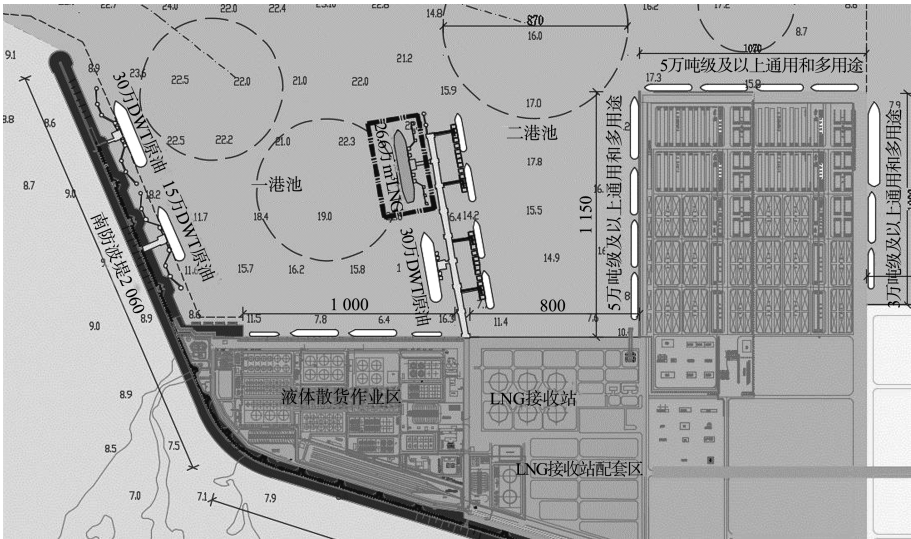
侧，布置一个 15 万总吨 LNG 泊位，采用蝶形布置，接收站位于二港池顺岸泊位后方陆域。鉴于二港池内水域相对狭窄，回旋水域布置在港池北侧。此方案中，LNG 码头栈桥背侧布置有 30 万吨级原油泊位。

2.1.2 选址方案 2

LNG 码头位于现状栈桥西侧端部、一港池东侧，布置 1 个 15 万总吨 LNG 泊位。采用蝶形布置，接收站位置与方案 1 相同，位于二港池顺岸泊位后方陆域，回旋水域布置在一港池内。此方案中，LNG 码头占用了原规划 30 万吨级原油泊位的位置，原油泊位将调整至栈桥东侧。



a) 选址方案1



b) 选址方案2

图 2 LNG 码头选址方案 (单位: m)

2.2 通航安全分析

依托船舶操纵模型,对两个选址开展船舶航道、靠离泊操纵模拟试验,考虑风流对船舶操纵的影响,试验中采用了极限风速和最不利的大潮流急、落急流速。

通航安全影响十分关键的两个阶段是口门通航和靠离泊阶段。横风、横流叠加时口门段船舶通航操纵较为困难,部分试验记录见图3,LNG船舶靠船模拟试验记录见图4。

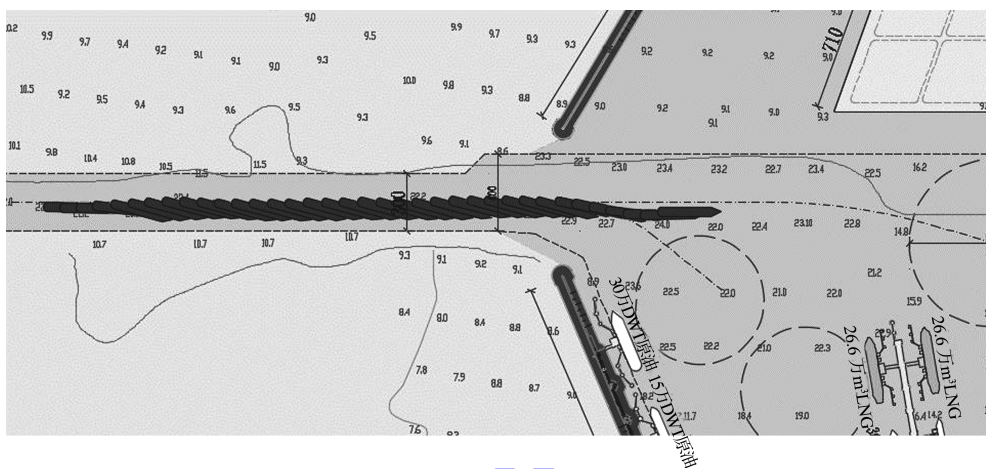


图 3 口门段 LNG 船舶航道航行模拟试验记录 (单位: m)

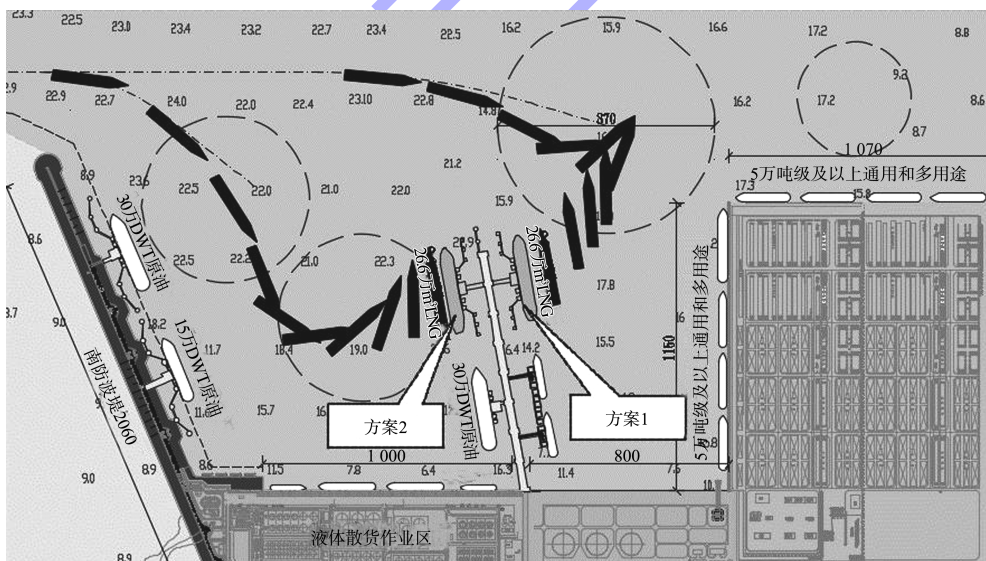


图4 LNG 船舶靠泊模拟试验记录 (单位: m)

试验结果表明: 1) 在限定条件下, 两个 LNG 码头选址, 设计船型能够安全进出港、靠离泊。2) 码头前沿掉头水域, 能够满足最大船型掉头操纵的要求。3) 限制条件为航道航行、靠离泊时风力 ≤ 6 级。口门附近涨急流速较强时达 4.07 km/h

左右, 流向与航道接近垂直, 尽管试验中在急流时段能够完成进出港操纵, 但急流时段对船舶操纵十分不利, 实际工作中应尽可能在缓流时段进行进出港靠离泊操纵。4) 优选的操作方式左右舷靠泊均可。根据规范, 船首宜朝向有利于船舶紧

急离开码头的方向。优选的靠泊方式是方案 1 左舷靠泊、方案 2 右舷靠泊。

2.3 通航效率影响

LNG 船舶通航的严格管制会对港区其他船舶产生影响，通过建立 LNG 船舶进出港全过程仿真模型，对仙人岛现状陆域全投产和规划陆域全投产两种工况下的 LNG 船舶通航影响进行分析。LNG 船舶通航管制规则是：待前一艘 LNG 船舶进港靠泊完成后或离港驶出港区航道后，船舶方允许进出港。分析 LNG 船舶进出港航路影响范围，由于仙人岛和鲅鱼圈两个港区地理位置较近，大型船舶从外海进入港区经过同一段航路，因此通航效率影响研究范围覆盖两个港区。通航效率研究范围见图 5。

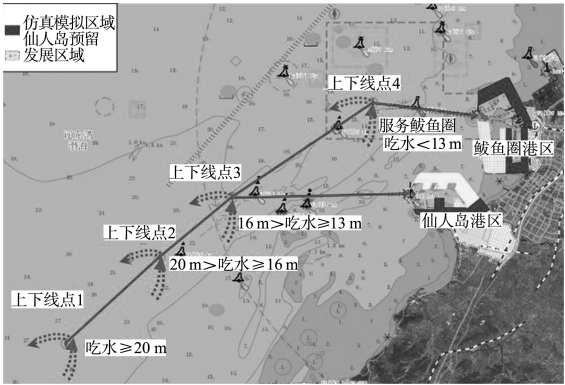


图 5 通航效率研究范围

2.3.1 工况设置

基于营口港相关岸线及水域条件，综合考虑现阶段环渤海区域严格的围填海政策等因素，共设计 2 组工况，即是否考虑仙人岛预留发展区的船舶流量，用以分析 LNG 船舶进出对其他船舶进出港的影响，见表 1。

表 1 通航效率影响基础工况设置

工况编号	LNG 接收能力/ (万 t·a ⁻¹)	LNG 船舶全年 到港艘次/艘	是否考虑仙人岛预留 发展区的船舶流量	LNG 船舶航时 交通管制	LNG 船舶登轮点
F1	300	40	考虑	单向通航，不允许其他船舶尾随	20 m 以上吃水船舶登轮点
F2	300	40	不考虑		

2.3.2 仿真结果

仿真结果显示，选址 1 比选址 2 影响略大，但差异较小：全年进出港船舶延误艘次占比相差在 0%~0.14%，单艘 LNG 船舶导致的船舶进出港延误艘次相差在 0.1~0.7 艘，单船进出港平均延误时间相差在 0.03~0.26 h。

2.3.3 通航优化

通过对 LNG 船舶的通航组织进行优化，可进一步减缓 LNG 船舶通航的影响。以现状陆域全投产(工况 F2)作为基础工况，采取的优化措施包括允许船舶尾随(优化工况 1)、缩短管制距离(优化工况 2,从 20 m 以上吃水船舶登轮点缩短至 13~16 m 吃水船舶登轮点)以及两种措施共同实施(优化工况 3)。从结果来看，允许船舶尾随的优化效果更佳，且两种优化措施共同实施时，LNG 船舶通航影响会显著降低，缩短管制距离的方式对鲅鱼圈港区的影响将极大降低。LNG 船舶通航效率影响优化效果见图 6。

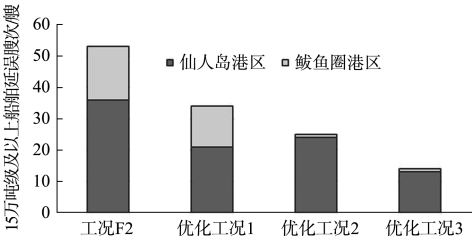


图 6 LNG 船舶通航效率影响优化效果

2.4 陆域安全分析

选址 1 与选址 2 的陆域方案一致。为判断 LNG 规划陆域选址安全可行性，分析评估国家产业政策、国家及地方的相关规划、外部安全间距及其与周边场所相互影响。分析认为，接收站具备项目建设的良好自然条件，与周边敏感场所、设施的防火间距满足相关规范的要求。

2.5 选址结论

从陆域安全角度，两个 LNG 选址的罐区布置方案一致。

从通航安全和通航影响角度，两个 LNG 选址

差距不大。根据通航安全影响分析结论,两个选址设计船型都符合安全进出港、靠离泊要求,并存在各自优缺点,技术上总体方案 2 略优;根据通航影响仿真结论,方案 2 的通航影响略大于方案 1,但差异较小。

从泊位布置角度,方案2选址需占用原规划30万吨级原油泊位岸线,若取消30万吨级原油泊位,则仙岛原油接卸能力将大幅下降,若调整位置至二港池,30万吨级原油船的操纵空间和安

全需要专题研究。

从空间利用角度，LNG 罐区位于二港池南侧，方案 1 位于一港池，管道布置需要穿越栈桥，与二港池油品及液体化学品管道存在交叉可能性。方案 1 位于二港池，空间利用相对更易统筹。

LNG 码头选址论证情况见表 2。综合考虑, 将方案 1 作为 LNG 推荐选址, 在二港池西侧、现状栈桥东侧端部规划 LNG 泊位。

表 2 LNG 码头选址论证情况

选址方案	陆域安全影响	通航安全影响	LNG 船舶通航影响	泊位布置	空间利用
1	两个 选址 陆域 布置相同,与周边主要场所、设施的防火间距满足相关规范要求	能够安全进出港、靠离泊	影响略大	占用 2 个 5 万~8 万吨级成品油和液体化工品泊位岸线	罐区、泊位均位于二港池,空间更易统筹,有拓展空间
2		能够安全进出港、靠离泊。技术上总体略优	影响略小	占用原规划 30 万吨级原油泊位岸线	罐区、泊位分居一、二港池,管线需穿越栈桥,未来空间拓展困难

3 码头规划方案

3.1 码头布置

将二港池西侧、栈桥端部区域规划为 LNG 泊位，布置 1 个 15 万总吨 LNG 泊位（设计船型：26.6 万 m^3 LNG 船舶），采用蝶形布置。栈桥内侧维持原有成品油和液体化工品泊位规划方案。二港池南侧考虑到岸线后方布置有 LNG 罐区，在通过安全论证前，作为预留泊位。规划实施阶段，严格落实规范和安全要求，保障船舶靠离泊和码头运营安全。码头布置方案见图 7。

3.2 航道布置

仙人岛港区进港主航道是 30 万吨级原油码头的配套工程，目前该航道已建成。按照规范 15 万总吨 LNG 船计算，航道设计底高程为 -16.0 m、通航宽度为 342.2 m。经核算，现有仙人岛港区进港主航道满足规范 15 万总吨 LNG 船和 26.6 万 m³ LNG 实际最大船型安全进出港要求，可以作为 LNG 船舶进出港航道。

4 结语

1) 环抱式港池内部,特别是周边布置有大型泊位的情况,LNG 码头选址规划应充分论证通航和靠离泊安全影响,减少相互干扰。大型原油船舶的通航安全一定程度上比 LNG 船舶更为复杂,要统筹好大型泊位之间的空间关系。

2) 仙人岛港区 LNG 泊位布置在罐区西侧栈桥, 罐区前方岸线不是 LNG 泊位。对于此类情况, LNG 罐区前方岸线应尽量布置与 LNG 功能有关的设施, 布置其他类型泊位时要开展安全论证。

3) LNG 船舶通航会对港区其他船舶通航效率产生影响,在运营初期应严格进行通航管制,随着经验累积,可以研究允许船舶尾随和缩短管制距离等优化通航组织措施,减少影响。(下转第 94 页)

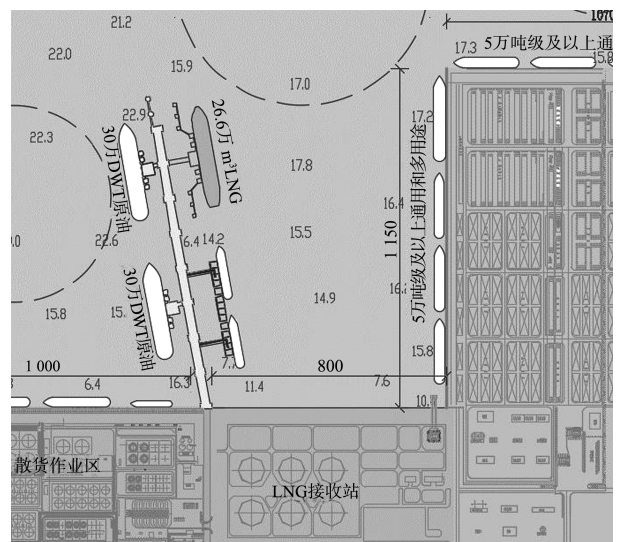


图 7 LNG 码头泊位布置方案 (单位: m)