



# 多岸线下多式联运自动化集装箱码头 总平面布置与装卸工艺设计

倪敏敏，夏 剑

(上海振华重工(集团)股份有限公司，上海 200120)

**摘要：**针对多岸线、大纵深的江海铁联运集装箱码头的特点，结合现有自动化集装箱码头工艺方案的突出特点和先进经验，提出一种多式联运自动化集装箱码头装卸工艺方案，并对其进行详细阐述。该方案总体布局采用双U形的垂直布置+侧面装卸的模式，实现了多岸线泊位下自动化集装箱码头江海铁联运的无缝衔接，并具备交通组织简单、车流周转效率高的优点，有效解决了典型装卸系统无法很好地适应该类型自动化集装箱码头工程的难题。

**关键词：**自动化集装箱码头；装卸工艺；多式联运

中图分类号：U651+.1；U656.1+35

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)07-0095-06

## General layout and handling technology design of automated container terminal for multimodal transport under multi-shoreline

NI Minmin, XIA Jian

(Shanghai Zhenhua Heavy Industries Co., Ltd. (ZPMC), Shanghai 200120, China)

**Abstract:** In view of the characteristics of river-sea-rail container terminal with multi-shoreline and large depth, combined with the outstanding characteristics and advanced experience of the existing automated container terminals, we put forward a multi-modal automated container terminal handling process scheme, and expound the handling process scheme in detail. The overall layout of the scheme adopts the double U-shaped vertical layout + side handling mode, which realizes the seamless connection of river-sea-rail transport with multi-shoreline berths, and has the advantages of simple traffic organization and high traffic turnover efficiency. It effectively solves the problem that the typical handling system can not adapt the automated container terminal engineering well.

**Keywords:** automated container terminal; handling technology; multimodal transport

随着集装箱运输船舶的日益大型化和人力成本的上升，全球自动化集装箱码头建设进入快速发展阶段，自2015年厦门远海集装箱码头完成自

动化改造以来，我国已陆续建成多座自动化集装箱码头<sup>[1]</sup>。我国沿海自动化集装箱码头目前典型的布置方式<sup>[2]</sup>见表1。

表1 我国沿海主要自动化集装箱码头布置对比

码头名称	岸线长度/m	堆场纵深/m	布置形式	装卸形式	建设类型
广州南沙四期自动化码头	1 460	587	平行于岸线	堆场侧面装卸	新建
广西北部湾钦州自动化码头	1 300	563	垂直于岸线	堆场侧面装卸	新建
洋山四期自动化码头	2 350	430	垂直于岸线	堆场端部装卸+侧面装卸	新建
青岛一期自动化码头	2 088	430	垂直于岸线	堆场端部装卸	新建
厦门远海自动化码头	447	310	平行于岸线	堆场端部装卸	改造

收稿日期：2022-09-27

作者简介：倪敏敏（1993—），女，硕士，工程师，研究方向为集装箱码头平面布局规划。

其中洋山四期自动化码头<sup>[3]</sup>、青岛一期自动化码头等所采用的模式，将堆场区域完全封闭，海陆侧堆场以外的水平运输均在堆场两端完成与无悬臂轨道吊的交接，堆场内部的堆取箱以及水平运输全部由无悬臂轨道吊完成；广西北部湾钦州自动化码头<sup>[4]</sup>所采用的模式中水平运输设备深入堆场，与双悬臂轨道吊进行交互，采用 U 形设计避免智能导引车 IGV 与外集卡冲突；广州南沙四期自动化集装箱码头<sup>[5]</sup>堆场内采用单悬臂轨道吊与 IGV 交互进行装卸船作业，设计了陆侧堆场采用双悬臂轨道吊与外集卡交互作业，该模式较适合水水中转比例高的码头<sup>[6]</sup>。

通过比较我国沿海主要自动化集装箱码头建设方案<sup>[7]</sup>，总结现有建设方案的突出特点和先进经验进行提升改进，开发出契合码头实际特点的装卸工艺，有助于提升集装箱码头自动化装卸工艺设计水平。

## 1 工程概况及特点分析

不同码头的地理环境、规模、集疏运方式、功能定位各不相同，自动化集装箱码头装卸工艺方案应综合考虑码头箱型构成比例、货物流向及港区水陆域条件等因素，根据各码头不同的情况做相应的调整。本文依托的码头工程具有如下特点：

1) 多岸线，大纵深。主泊位岸线停靠海轮，侧面岸线挖入式小港池内可停靠驳船，见图 1。主泊位岸线连续布置，驳船泊位岸线以 90°的夹角分设于两段；整体岸线呈不规则的多段线形态；相比于广西北部湾钦州自动化集装箱码头，该码头纵深更长，陆域资源更为丰富。

2) 货物流向多样，码头工艺复杂。码头工艺呈现了公路、铁路、水路之间复杂的多式联运特点。码头有海轮泊位、驳船泊位，后方有铁路场站。不同于其他有驳船小港池的海港集装箱码头水水占比高的特点<sup>[8]</sup>，例如广州南沙四期自动化码头所采用的高水水中转特点的装卸工艺；本文依托的码头工程具有水水中转与集疏运占比相差不大的特点，故须同时兼顾海陆侧的作业。

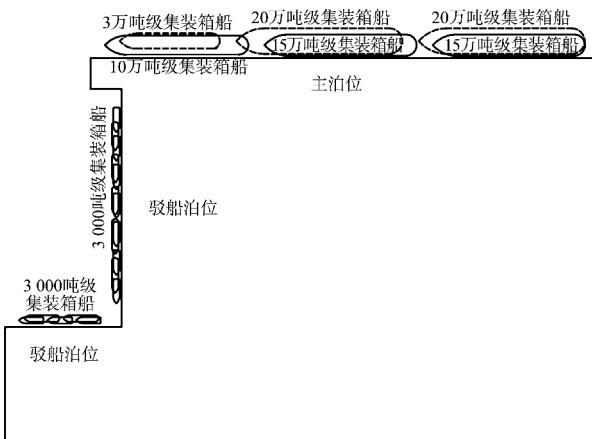


图 1 码头岸线分布

假设码头设计年吞吐量 380 万 TEU，其中驳船泊位 120 万 TEU。主泊位岸线长约 1 200 m，可停靠 10 万~20 万吨级船，驳船泊位岸线长约 800 m，可停靠 3 000 吨级船舶，码头水水中转比例主泊位可达 57%，驳船泊位较高可达 70%。堆场主要堆存空箱、重箱、冷藏箱，各类型箱占比分别为 25%、72%、3%。

## 2 码头总体平面布局

### 2.1 装卸工艺

考虑到码头水水中转和进提箱量均不低，若采用类似于广州南沙四期自动化码头的平行布局+侧面装卸的模式，存在二次转运的问题，还须考虑驳船泊位、海轮泊位以及铁路之间的转运。若采用传统自动化集装箱码头垂直布局+端部装卸的模式，则自动化堆场箱区纵深较长，轨道吊长距离往复运动能耗高、堆场作业点少。

本文采用侧面装卸的 U 形装卸工艺模式。堆场若平行于主泊位岸线，进提箱平均运距较大，外集卡行走距离长，交通组织复杂，故采用垂直于主泊位岸线更为合理。综合以上分析，若要提高集装箱在港内运转率，兼顾驳船泊位、主泊位与铁路之间的自动化作业，在总体布局为垂直布局+侧面装卸模式上进行优化以适应码头特点。按照 JTS/T 174—2019《自动化集装箱码头设计规范》<sup>[9]</sup>进行能力计算，计算结果显示，采用此模式堆场堆存能力可以满足设计要求。

## 2.2 码头前沿

根据码头的相关情况, 海轮泊位采用远程操控双小车岸桥, 轨距 35 m, 最大可满足 20 万吨级集装箱船装卸。轨内布置舱盖板、特殊箱作业通道及检修道, 轨后依次布置 7 条自动导引车 AGV (IGV) 车道(作业车道+通行道)、缓冲(PB)区、6 条 AGV(IGV)通行道, 驳船泊位采用轻型岸桥, 轨距 16 m, 轨内布置特殊箱作业通道及检修道, 轨后从前往后依次布置 4 条 AGV(IGV)车道(作业车道+通行道)、PB 区、4 条 AGV(IGV)通行道。

## 2.3 堆场作业区域及功能分区

堆场布局及堆场设备选型既要综合考虑码头陆域纵深、设计吞吐量、海陆侧作业峰值、集疏运模式、集装箱平均堆存期等诸多因素, 又要结合水平运输设备选型和交通规划。为此将主泊位后方区域堆场垂直于主泊位岸线布置, 驳船泊位后方区域堆场平行于驳船泊位岸线布置; 堆场左上区域设置转驳中转区域, 其余箱区为综合箱区。转驳中转箱区和综合箱区中均布置有空箱堆区, 空箱设置在自动化作业区域, 主要堆存在驳船泊位后方, 有少部分堆存在主泊位后方。堆场后方最后一条箱区为铁路装卸区, 见图 2。该工艺中堆场采用双悬臂轨道吊作业, 铁路双悬臂轨道吊轨距采用 50 m, 空重箱双悬臂轨道吊轨距均采用 36.5 m。

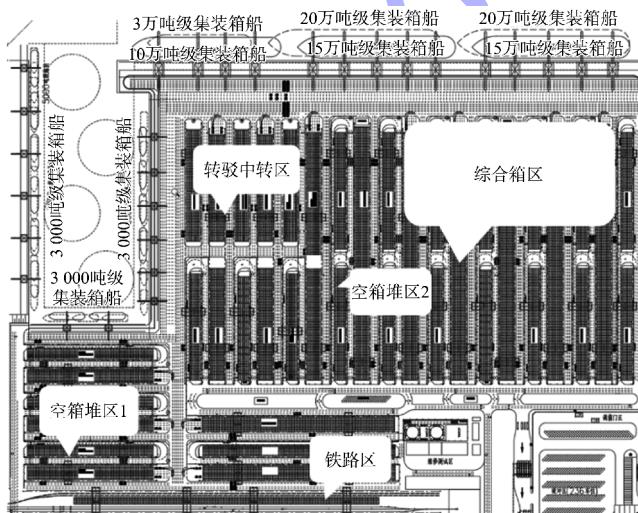


图 2 自动化堆场作业区

## 2.4 水平运输

港区内的场内水平运输道路可将前沿岸桥作业区和各空箱、重箱、冷箱堆区以及铁路堆存作业区直接沟通, 场外水平运输道路布置也可直达目标堆区, 实现了内、外道路的物理隔离。内、外运输设备间路径互不干涉, 互不交叉, 在集卡自动混行技术尚未完善的现状下, 为自动运输和非自动运输路网系统的分离运行增加了安全保障。

场内运输采用 AGV(IGV)进行作业, AGV(IGV)直进直出, 直接抵达目标贝位, 避免了轨道吊长距离、往复搬运。外集卡通过 U 形或双 U 形路径直接到达堆场目标贝位, 进行进提箱作业, 完成后通过 U 形或双 U 形路径直接出港, 场内外水平运输路径见图 3。

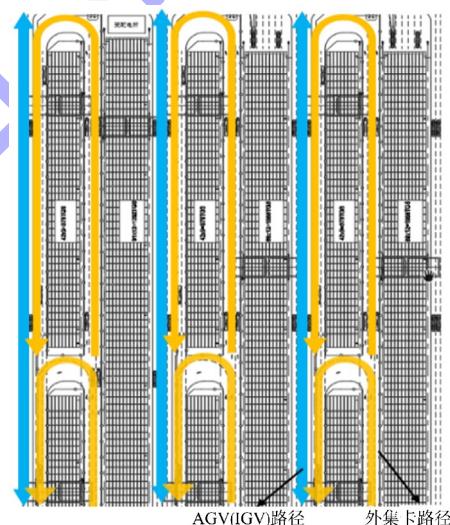


图 3 堆场内水平运输路径

## 3 装卸工艺特点分析

### 3.1 多式联运

水铁联运、公铁联运、水水联运是集装箱多式联运的重要组成方式。该码头具有公路、铁路、水路多种运输方式, 见图 4。通过将铁路、水路和公路运输有机结合完成集装箱运输, 集装箱多式联运能够发挥多种运输方式的多重优势。

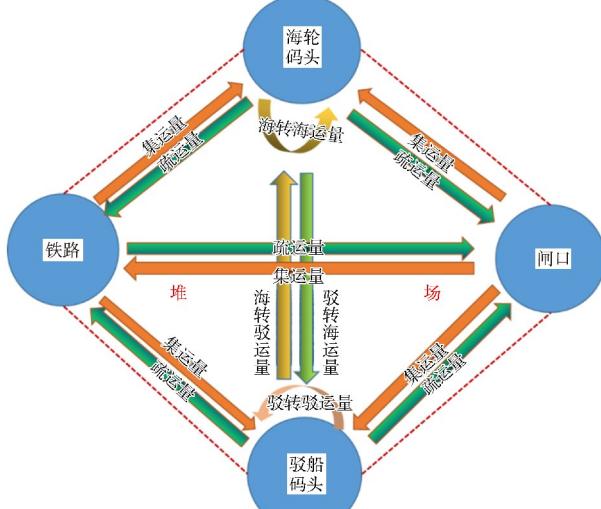


图 4 多式联运流向

### 3.1.1 水水联运

除了满足基本水陆联运外，考虑到该码头工程是具有驳船港池的海轮集装箱码头，且驳船泊位水深中转比例高的特点，为了最大程度地兼顾驳船与海轮之间的中转作业，降低驳船转大船、大船转驳船的水平运输设备平均行驶距离，提高车流周转效率，设置相应的转驳中转区域，专为驳船转大船、大船转驳船服务。此区域双悬臂两侧均为 AGV(IGV)，一侧 AGV(IGV) 在堆场内双向行驶、直进直出，为海轮服务；一侧 AGV(IGV) 在堆场内单向行驶，与前沿作业路径呈环形流向，为驳船服务。见图 5。两侧作业物理隔离，

交通分流，缓解了前沿的交通压力。

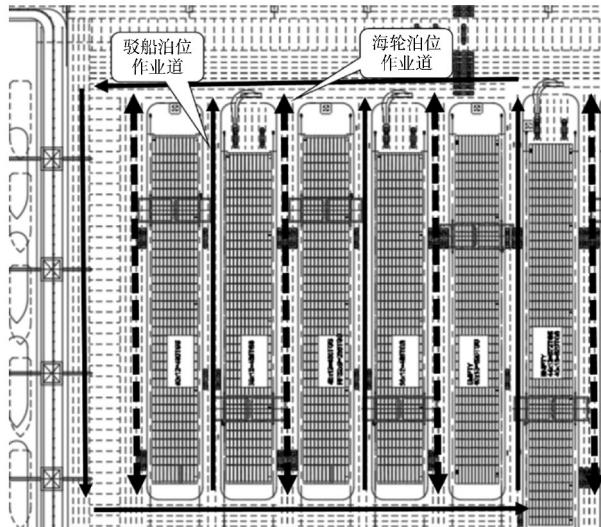


图 5 转驳中转区交通组织

### 3.1.2 水铁、公铁联运

后方铁路进堆场，铁路专用线引入港口内部，并在港口内建设用于列车到发和装卸作业的相关设施。集装箱在列车和堆场间的装卸过程可全部在码头内部完成。铁路装卸作业区由双悬臂铁路轨道吊作业，轨内可作为集装箱的临时堆存区域，轨外一侧悬臂下对 AGV(IGV) 作业，可直接进行海铁联运、江铁联运；一侧悬臂下对外集卡作业，可直接进行公铁联运。集装箱公铁、水铁联运作业流程见图 6。

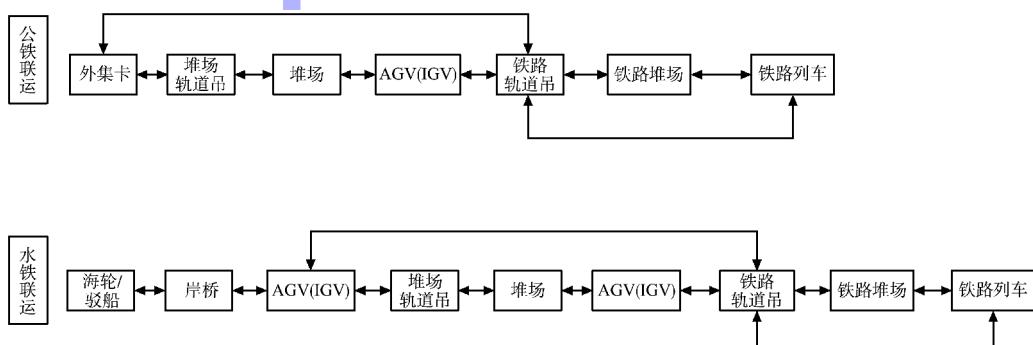


图 6 后方铁路堆场装卸作业流程

### 3.2 双 U 工艺

堆场采用双悬臂轨道吊，在一侧悬臂下实现对 AGV(IGV) 的自动化作业，在另一侧悬臂下实现对外集卡的作业。可双向行驶的 AGV(IGV) 直

接抵达目标贝位，避免了堆场起重机长距离、往复搬运集装箱，外集卡通过 U 形路径直接到达堆场目标贝位进行提箱作业，完成后通过 U 形路径直接出港。AGV(IGV) 与外集卡物理隔离、交

通分流、互不干涉, 形成交互简洁、直进直出、侧面装卸的码头平面布置。由于码头纵深较长, 主泊位后方对应的综合箱区采用了双 U 的模式,

与单 U 不同的是, 双 U 中间增设了 1 条集卡回程道, 可使集卡作业完成后快速驶离箱区, 不必绕完整个箱区, 减少集卡行驶距离, 见图 7。

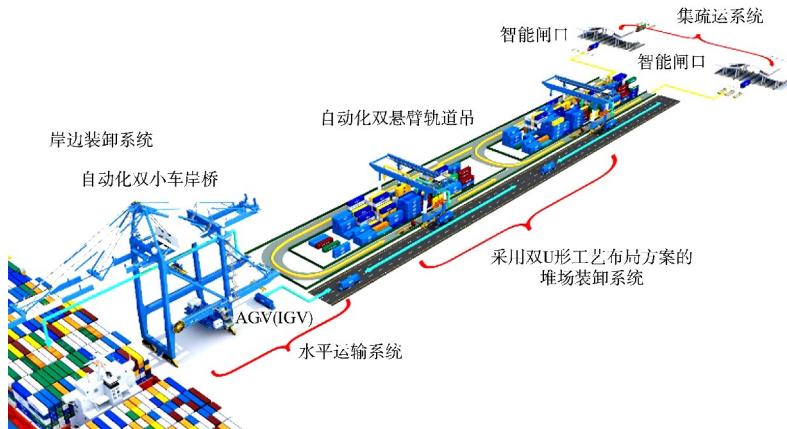


图 7 双 U 工艺流程

### 3.3 空箱自动化作业

空箱堆场设置于自动化堆场内, 采用双悬臂空箱轨道吊作业, 一侧为 AGV (IGV) 作业车道, 一侧为集卡作业车道, 转驳空箱堆区双悬臂轨道吊两侧均为 AGV (IGV)。空箱箱区轨内密堆, 可堆 6 过 7 或堆 7 过 8, 按全自动化作业模式与综合箱区、转驳中转箱区统一规划。AGV (IGV) 可直接抵达空箱堆区作业, 空箱主要堆存在码头后方空箱堆区 1。为了缩短海轮泊位、驳船泊位到空箱堆区的行驶距离, 部分空箱堆存在前方空箱堆区 2, 见图 2。泊位与箱区间有多条路径, 利于交通分流, 缓解局部拥堵情况。

### 3.4 单向环岛模式

根据码头闸口位置以及码头整体的交通流向, 陆侧主干道采用单向车流的环形布置方案。外集卡进入港口后, 沿主干道 1 行驶, 进入堆场进行进提箱作业, 从堆场回程道驶离堆场, 环行进入主干道 2, 后驶出港口。其中纵向有多个流向指向主干道 2 的支路, 形成了多个小环形。集卡可根据进提箱位置选择最近的支路, 环行进入主干道 2, 减少了集卡出港的行驶距离, 也可避免局部的交通拥堵。纵向也留有若干个流向指向主干道 1 的支路, 方便应对其它作业情况, 路径选择灵活。见图 8。环岛模式单向行驶, 流向简单, 改善了主干道交通拥堵情况。

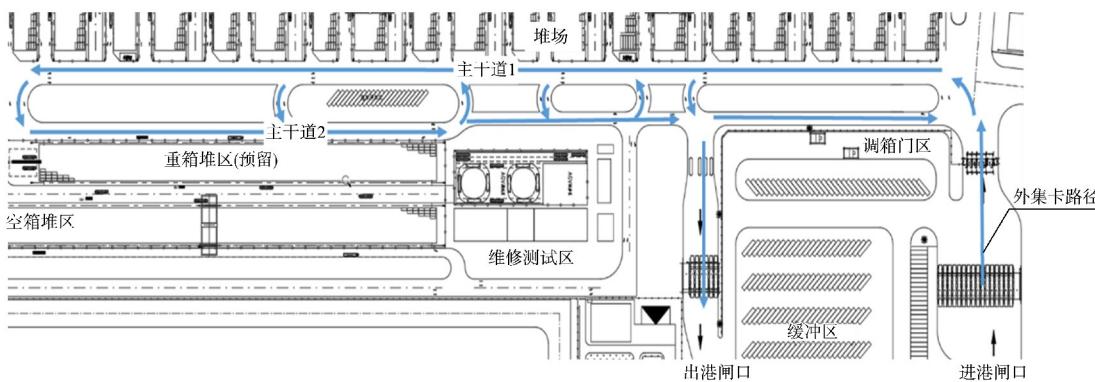


图 8 陆侧进出堆场主干道路径

#### 4 结语

1) 此方案可兼顾铁路、驳船的装卸，整合各方资源，使江河、铁路、公路运输与海运航线无缝对接，实现全自动化的多式联运，提升了港口的综合服务水平。

2) 在衔接方面，堆场中设置了相应的转驳中转区域，最大程度地兼顾驳船与海轮之间的中转作业，降低水平运输设备中转行驶距离，提高车流周转效率；铁路进堆场采用双悬臂轨道吊，一侧悬臂下对 AGV(IGV) 作业，可直接海铁联运、江铁联运，一侧悬臂下对外集卡作业，可直接公铁联运；空箱自动化作业的泊位与箱区间有多条路径，利于交通分流缓解局部拥堵情况。

3) 在交通方面，堆场中主要采用双 U 模式，与单 U 不同的是双 U 中间增设了 1 条集卡回程道，对于纵深较长的情况下，集卡作业完成后可快速驶离箱区，不必绕完整个箱区，减少集卡行驶距离；陆侧进出堆场主干道采用环形路径，流向简单、交通顺畅，方便外集卡灵活进出堆场，减少外集卡的行驶距离，改善了主干道交通拥堵情况。

4) 以上新工艺的提出有助于提高码头的自动化水平，为我国港口集装箱自动化装卸工艺的发

展提供新思路。

#### 参考文献：

- [1] 杨毅. 自动化集装箱码头工艺设计与布置[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20(7): 69-70.
- [2] 刘广红, 程泽坤, 林浩. 自动化集装箱码头总体布置[J]. 水运工程, 2015(2): 101-107.
- [3] 吴沙坪, 何继红, 罗勋杰. 洋山四期自动化集装箱码头装卸工艺设计[J]. 水运工程, 2016(9): 159-162, 166.
- [4] 彭骏骏, 梁浩, 刘汉东. 钦州港全自动化集装箱码头装卸工艺系统设计[J]. 水运工程, 2022(10): 85-89.
- [5] 梁浩, 吴邵强. 广州港南沙四期自动化集装箱码头新型装卸工艺系统设计[J]. 港口装卸, 2020(3): 55-58.
- [6] 张立斌, 李刚. 高水水中转比例下的自动化集装箱码头堆场装卸工艺方案比较[J]. 水运工程, 2019(5): 78-83, 151.
- [7] 王夏宇, 刘璐, 李歆婳, 等. 我国沿海主要自动化集装箱码头建设方案比较[J]. 集装箱化, 2021, 32(8): 9-12.
- [8] 刘洋, 麦宇雄, 覃杰. 适用于江海联运海港自动化集装箱码头的总体布置方案[J]. 水运工程, 2019(9): 119-124.
- [9] 中交第三航务工程勘测设计院有限公司, 中国港口协会. 自动化集装箱码头设计规范: JTS/T 174—2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.

(本文编辑 王璁)

(上接第 78 页)

#### 参考文献：

- [1] 郭新杰, 陈伟. 低温液化烃码头集液池容量计算[J]. 港口装卸, 2021(3): 65-68.
- [2] 付博新, 刘玉晗, 陈刚. 液化烃码头设计中的问题分析[J]. 水运工程, 2019(10): 61-67, 72.
- [3] 薛天寒, 杨欣, 沈忱, 等. 营口港仙人岛港区 LNG 码头选址规划方案[J]. 水运工程, 2022(2): 64-69, 94.
- [4] 王卓智. LNG 相变节流过程热力学特性研究[D]. 大庆: 东北石油大学, 2014.
- [5] 唐建峰, 蔡娜, 郭清, 等. LNG 垂直喷射源连续泄漏扩散的模拟[J]. 化工学报, 2013, 64(3): 1124-1131.
- [6] DAVIS P M, DIAZ J M, et al. Performance of European cross-country oil pipelines, statistical summary of reported

spillages in 2013 and since 1971 [R]. Brussels: CONCAWE, 2015.

- [7] 汪志明, 崔海清, 何光渝. 流体力学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2006.
- [8] 时亚丽. 易燃液体公路运输泄漏扩散模型计算分析及研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2005.
- [9] 张翰林. 大型 LNG 罐区泄漏扩散及蒸气云爆燃规律研究[D]. 北京: 中国石油大学(北京), 2019.
- [10] 刘强. 非洲某国 LNG 接收码头总体方案研究[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2016.
- [11] 中国石油天然气集团有限公司. 液化天然气泄漏收集系统设计技术指南: Q/SY 06043—2021[S]. 北京: 中国石油天然气集团有限公司, 2021.

(本文编辑 王璁)