



海外石化码头项目装卸设施多层布置方案

牛红林, 李俊宏, 丁建军, 李少斌

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 针对国外石化码头平台相对于国内码头占地面积较大、设施拥挤严重的问题, 提出一种新型装卸工艺设施布置方案, 即码头结构采用双层设计, 上层为日常操作平台, 下层为靠泊系统平台。在此基础上, 装卸工艺设施分3层布置, 其中需要日常操作的工艺设施布置在上层平台, 辅助管道设施及电仪桥架悬挂在首层平台下, 残液罐及废水收集池布置在下层平台。以东南亚某化工码头项目为例, 介绍该布置方案的运用, 并采用BIM技术创建码头装船工艺设施模型, 进行装卸臂、登船梯的兼容性分析及相互间操作干涉分析, 以提高码头操作可靠性及安全性。设计方案可显著优化装船平台布置, 平台占用率降低40%, 为运营操作、检修及改扩建提升了空间。同时, BIM技术用于船岸兼容性分析可避免装卸操作潜在的风险。

关键词: 石油化工; 码头; 设备布置; BIM; 兼容性

中图分类号: U656.1; TE83

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2024)08-0104-06

Multilayer arrangement of operation facilities for overseas petrochemical jetty projects

NIU Honglin, LI Junhong, DING Jianjun, LI Shaobin

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: Aiming at the problems that overseas petrochemical jetty platform always covers a relative larger areas and facilities are highly congested comparing with domestic jetty platform, this paper proposes a new layout scheme of operation facilities, that is, the jetty is designed with two layers, top layer is designed for routine operation, while bottom layer is dedicated for mooring. Based on this, the operation facilities can be arranged by three layers, the facilities needing to be operated routinely are arranged on top of layer, and the ancillary piping and electrical cable tray are suspended from the bottom of top layer, while the drain pot and drainage water tank are laid onto the bottom layer. Taking a petrochemical project in Southeast Asia as an example, this paper introduces the application of the proposed scheme and creates digital project model using BIM technology. In addition, it conducts the compatibility analysis and interaction interference analysis between loading arms and gangway to improve the reliability and safety of dock operation. The proposed plan can significantly optimize layout of loading platform, and the occupancy of platform is decreased by 40%, providing space for operation, maintenance and expansion. Meanwhile, BIM technology used for ship-to-shore compatibility analysis can avoid potential operation risks.

Keywords: petrochemical; jetty; equipment arrangement; BIM; compatibility

石化码头是用于石油化工品船舶装卸的主要设施, 通常包括管廊结构及码头平台。管廊用于安装工艺输送管道及电仪桥架, 码头平台设置装船工艺设备、管道及配套消防、电仪设施。石化码头一般为高桩式, 管廊结构可为引桥或引堤, 码头设计以满足日常装卸船及检维修操作为主^[1-2]。然而, 海外石化码头因操作理念与国内存

在较大差异, 工艺设计明显更复杂, 设备、管道及辅助设施多^[3]。设备及管道布置通常受制于海工平台的造价, 导致码头设施布置拥挤, 操作及检修不便, 给运营带来极大的困难。为满足某些特定的工艺要求, 受限于码头结构, 有时不得不单独设置专用小平台以安装附属工艺设备及管道, 不仅严重影响操作、检修, 而且不利于设计的美

收稿日期: 2024-03-20

作者简介: 牛红林 (1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事港口工程设计与项目管理工作。

观性。布置方案还需考虑装卸臂及登船梯与船舶的兼容性 & 相互间的干涉问题^[4]。国内外有不少码头因造价原因导致布置过于紧凑而存在与设计船型不兼容的问题及设备间的碰撞风险，不仅影响船舶工作效率，而且容易发生安全事故。

随着“一带一路”倡议的广泛实施，中国企业“走出去”的必要性越来越强，在不影响码头靠船且经济合理的情况下，针对海外石化码头项目提出一种创新型的工艺设施布置方案，在满足工艺要求的前提下，能最大限度地提升码头可操作性及安全性。采用 BIM 技术建立设备布置的数字化模型^[5]，精细化设备布置，提高装卸臂及登船进行船岸兼容性。

1 石化码头设备及管道布置

1.1 国内外石化码头设计对比

石化码头作为原油、成品油、化工品等的运输终端，设计应以操作简单、安全、检修方便为主，而国内外不同的操作习惯与文化背景，导致设计理念存在巨大差异^[6]。大多数海外项目，如东南亚、中东、非洲等均以欧美标准为主，而我国拥有成套完善的标准，设计均采用国内标准。国内外石化码头设计方案对比见表 1。由表可知，由于海外项目通常要求设置计量撬、残液罐、残液泵等设备，导致占地面积显著增加，同等靠泊等级的运输船所需的海工平台面积增大、造价增高。

表 1 国内外石化码头项目设计方案对比

石化码头项目类别	设计标准	隔离措施	计量措施	装卸臂残液排净	自控系统
国内	JTS 165—2013 海港总体设计规范	单阻断	设置流量计或检查船、罐	1)吹扫至船上； 2)采用凸轮泵经装卸船主管转移至库区储罐	以操作方便、适用为主，部分码头装卸臂无紧急释放耦合（Emergency Release Coupling, ERC）系统
国际	美标、欧标，需要严格遵循危险与可操作性分析（Hazard and Operability Analysis, HAZOP）审查	重要部位为双阻断配置	大部分需设置计量撬	1)自流排放至码头残液罐，采用氮气吹扫残液罐至库区储罐； 2)自流排放至码头残液罐，安装残液泵输送物料至库区储罐	控制系统要求高，装卸臂均配置 ERC 系统，阀门为安全完整性等级（Safety Integrity Level, SIL）认证

注：对比仅限于常温石化产品，不包括液化气体，如液化天然气（liquefied natural gas, LNG）、液化石油气（liquefied petroleum gas, LPG）、乙烯等。

1.2 海外石化码头常规布置方案

装卸船完成后，装卸臂内残液需通过自流排入残液罐中。要满足自流要求，残液罐须布置在低于装卸臂最低点的位置。残液罐通常有 2 种布置方式：一是在码头平台开孔，将残液罐下沉安装；二是在码头平台边沿设置 1 个高程低于操作平台的小平台，其内布置储罐及其配套设施，如图 1 所示。

下沉式开孔平台结构尺寸受限，且石油化产品均为危险物料，低凹处易造成可燃气体聚集，引发火灾爆炸危险。外挂小平台需额外增加海工结构，成本增加，且影响美观性。因此，很有必要提出一种既不增加成本、又有助于提升操作便

捷性、安全性的方案。

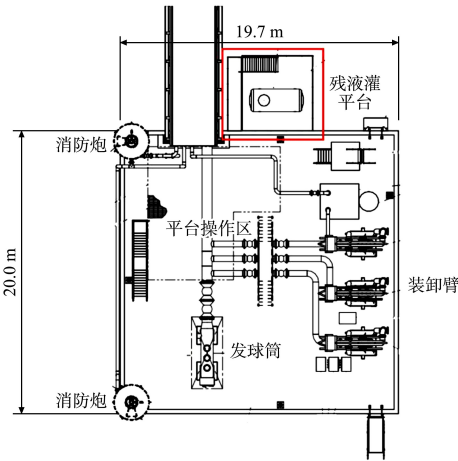


图 1 某海外项目外挂小平台布置残液罐

2 石化码头设备及管道多层布置方案

2.1 多层布置原则

本文提出一种双层装卸设施布置方案,上层为装船日常操作平台,下层为靠泊系缆平台。装船工艺设施分3层布置:日常操作工艺设施布置在上层平台,附属管道设施及电仪桥架悬挂在首层平台下,残液罐及废水收集池布置在下层平台。日常操作工艺设施包括装卸臂、登船梯、计量撬、消防炮、氮气及仪表空气储罐、主要装船管线等。辅助管道设施包括残液排净罐、消防水管及废水收集罐及管道等。

为保证操作、检修的便利,设计遵循以下原则:1)上下层平台净空不低于4 m;2)辅助管道设施及电仪桥架应集中布置,吊架底部距离下层平台净空不少于2.2 m^[7];3)当桥架与管道平行布置在不同高程空间时,桥架不应布置在管道正下方;4)码头平台与栈桥间仅设置1处净空高5 m的跨路桁架,满足检修、消防车辆通行,桁架顶部同时作为工艺设施放空的高点;5)所有设备、管道及电仪桥架均采用国际上广泛使用的Smart 3D平台进行BIM建模,并进行碰撞检测^[8];6)采用BIM技术对装卸臂及登船梯在设计船型范围内进行操作兼容性分析,以确定高程布置的合理性;7)采用BIM技术进行装卸臂及登船梯作业的干涉分析,以确定相对位置的合理性;8)根据码头操作、检修原则,上层平台考虑通行吊车及专用标定撬操作位置。

2.2 方案设计实例

东南亚某化工码头靠泊船型为2 000~1.5万DWT,设计低水位0 m、设计高水位3.51 m。设计装卸臂2条、立柱式登船梯1台、计量撬1套、消防炮2台、残液罐1个、废水收集池1个、仪表气罐及氮气罐各1座、工艺管道、消防管道、电仪桥架等。装卸臂用于连接码头输送管道与船舶管汇,计量撬用于实时监控、记录装船流量;登

船梯提供上下船通道;消防炮用于码头事故灭火;残液罐用于回收装卸臂内的残液;废水收集池用于收集码头泄漏的物料,防止流入大海污染环境;管道设施分别用于物料及消防水、废水输送;电仪桥架用于相关电气、自动化控制电缆的敷设。

设计方案:1)码头上、下层平台高程分别为8.50、4.50 m,上层平台用于日常装船操作,靠泊系缆设施位于下层平台。2)在下层平台适当位置布置残液罐,装卸臂内残液可自流进入残液罐回收;在下层平台建设混凝土结构废水收集池,收集检修或事故泄漏废料。3)电缆桥架经跨路桁架、给排水消防管道经镂空式栈桥进入上层平台底部,节省空间,电缆桥架净空不低于2.2 m。4)残液罐安全放空管道沿跨路桁架高点布置,向海侧放空。5)设置标定专用撬用于计量撬定期检定,确保贸易交接参数的准确性。6)检修操作时,允许最大质量50 t的移动式汽车吊停靠于专用位进行吊装作业,监控室用于工作人员日常工作监控。

码头设备、管道及配套设施见图2。由图可知,码头平台上仅有主要工艺设备,操作及检修空间明显增大,可通行50 t吊车负责设备安装及检修;计量撬设施设置专用标定撬位置,可进行在线标定。相比传统码头布置需要设置3处跨路桁架,本方案可节省2处10 m×3 m×6 m(长×宽×高)跨路桁架,只设置1处。在满足全部工艺要求及不影响码头结构经济性的前提下,即便设置有众多设备及建筑,平台占用率仅为50%,极大提升了可操作性及维修、改扩建空间,比传统设计的90%平台占用率节省40%的空间。码头残液罐布置在靠近装卸臂的位置,可自行流下,无需在码头平台边沿外挂残液罐小平台(以2条装卸臂为例,小平台长×宽为10 m×8 m,废水收集池长×宽×高为7 m×5 m×3 m),显著节省了投资。

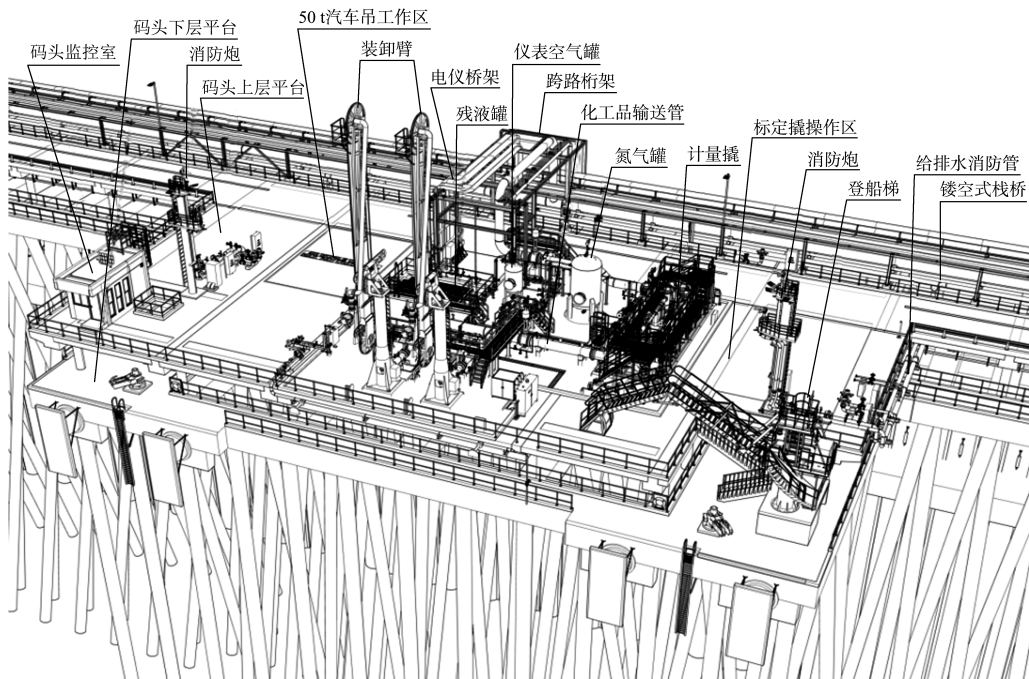


图 2 某东南亚化工码头项目 3 层布置方案

3 BIM 技术在船岸兼容性分析中的运用

采用 BIM 技术分析装卸臂与登船梯的船岸兼容性, 装卸臂与登船梯的包络面 BIM 模型见图 3^[9]、装卸臂与登船梯的作业包络面干涉分析见图 4。如图 3 所示, 包络面根据设计范围内船型的管汇参数、操作工况参数等, 采用 Smart 3D 软件进行 BIM 建模, 精细化、可视化操作范围, 定义装卸臂及登船梯的包络面空间。按照实际参数, 若登船梯布置在上层平台, 受限于登船梯的

稳定性及可操作性, 无法满足小船低水位情况下的登船操作, 因此登船梯需布置在高程较低位置, 需要局部降低码头平台(图 5)。如图 4 所示, 采用 BIM 技术分析登船梯与装卸臂包络面的操作干涉可能性, 装卸臂与登船梯包络面的俯视图显示, 两者包络面间距大于 0.3 m, 满足 OCIMF 规范要求^[10]。此外, BIM 分析技术还可以用于对装卸臂及登船梯布置的相对位置分析, 以寻求最优布置。

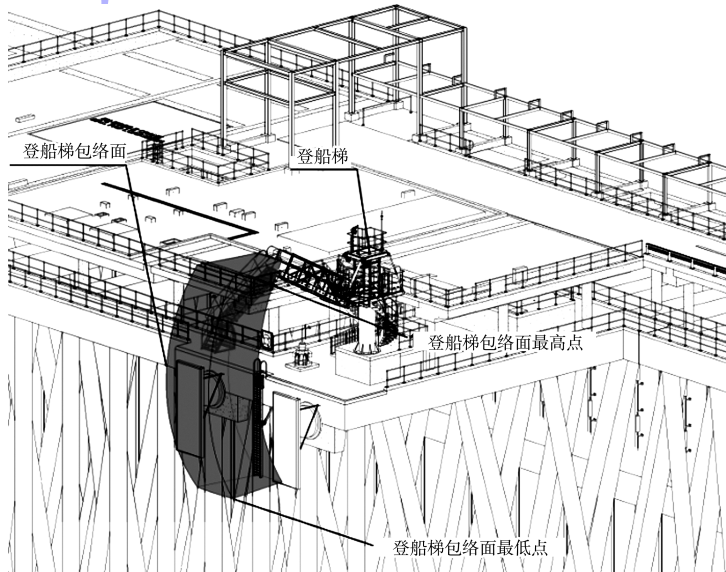


图 3 登船梯包络面 BIM 模型

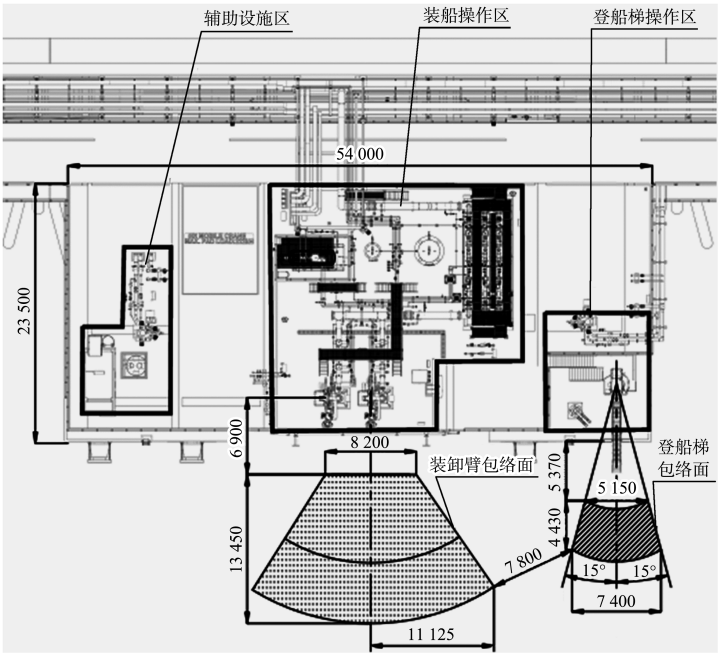


图 4 装卸臂及登船梯操作干涉分析 (单位: mm)

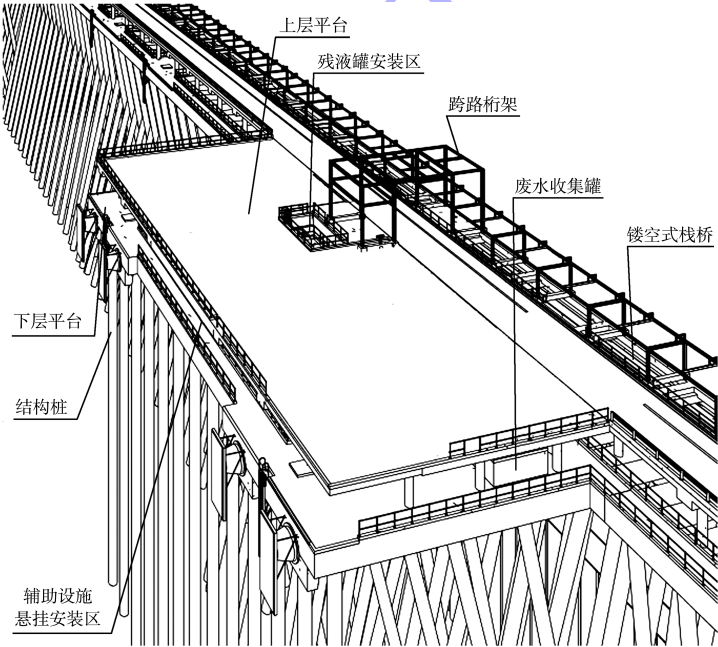


图 5 原码头平台结构

4 结语

1) 本文提出一种新型装卸工艺设施布置方案, 采用双层码头结构设计, 上层为日常操作平台, 下层为靠泊系缆平台。装卸船工艺设施分 3 层, 其中日常操作的工艺设施布置在上层平台, 辅助管道设施及电仪桥架悬挂在首层平台下, 残液罐及

废水收集池布置在下层平台。

2) 相比传统码头需要设置 3 处跨路桁架, 新型设计可节省 2 处跨路桁架, 节省空间的同时, 降低了成本; 在满足全部工艺要求及不影响码头结构经济性的前提下, 平台占用率降低约 40%, 为改扩预留了极大的空间; 码头残液罐可布置在

靠近装卸臂的位置, 自流进入残液罐, 无需在码头平台边沿外挂残液罐小平台, 设计美观的同时也节省投资。

3) 采用 BIM 技术对装卸臂及登船梯进行了兼容性 & 相互间的干涉分析, 优化装卸臂及登船梯的布置, 避免了潜在的不兼容甚至相互碰撞等问题。

参考文献:

- [1] 乔剑华, 郭丽锦, 武守元, 等. 浅析港口液体化工码头的装卸工艺设计[J]. 港工技术, 2013, 50(1): 16-18, 21.
- [2] 徐健, 刘伟, 李训明, 等. 综合性液体散货港口工程集成创新研究与应用[Z]. 大连: 大连港集团有限公司. 2018.
- [3] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 多个泊位甲醇同时装船系统及方法: CN202211655003. X [P]. 2023-05-12.
- [4] 李俊宏, 李恬, 覃杰, 等. LNG 船用装卸臂的包络面设

计[J]. 化工设计通讯, 2022, 48(3): 69-72.

- [5] 陈家悦, 黄黎明, 李家华. BIM 技术在大型散货码头设计中的应用实践[J]. 中国港湾建设, 2021, 41(2): 71-75.
- [6] 乔剑华, 郭丽锦, 武守元, 等. 浅析港口液体化工码头的装卸工艺设计[J]. 港工技术, 2013, 50(1): 16-18, 21.
- [7] 中华人民共和国原化学工业部. 工业金属管道设计规范: GB 50316—2000[S]. 北京: 中国计划出版社, 2000.
- [8] 于美玉, 陶岳来, 张蕊. 基于 SP3D 技术的液体散货码头装配式工艺模块设计应用[J]. 水运工程, 2023(5): 39-43.
- [9] CHOI B Y, JO H J, CHOI H S, et al. A Study on loading arm envelope and alarm setting according to ship movement [J]. Journal of advanced research in ocean, 2018, 4(3): 115-123.
- [10] Oil Companies International Marine Forum. Design and construction specification for marine loading arms [M]. 4th ed. Penrith: Trade Colour Printing, 2019.
- (本文编辑 王传瑜)

(上接第 86 页)

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司. 三亚南山港公共科考码头工程可行性研究报告[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2020.
- [2] 中交水运规划设计院有限公司. 《三亚港总体规划》(2018—2030 年)[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2017.
- [3] 河海大学. 三亚南山港公共科考码头工程潮流数学模型与泥沙回淤分析报告[R]. 南京: 河海大学, 2020.
- [4] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 港口与航道水文规范: JTS 145—2015 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015.
- [5] 中交水运规划设计院有限公司, 中交第一航务工程勘察设计院有限公司. 海港总体设计规范: JTS 165—2013 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2013.
- [6] 广东航鑫咨询有限公司. 三亚南山港公共科考码头工

程航道通航条件影响评价报告[R]. 广州: 广东航鑫咨询有限公司, 2020.

- [7] 中交第四航务工程勘察设计院有限公司. 三亚南山港公共科考码头工程项目设计施工(EPC)总承包施工图总体设计[R]. 广州: 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 2022.
- [8] 中交水运规划设计院有限公司. 三亚南山港公共科考码头工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2020.
- [9] 谭永安, 余杨明. 三亚南山港公共科考码头项目滑道设计与施工技术研究[J]. 珠江水运, 2022(9): 64-66.
- [10] 中交第一航务工程勘察设计院有限公司, 中交第三航务工程勘察设计院有限公司, 中交第四航务工程局有限公司. 码头结构设计规范: JTS 167—2018 [S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2018.
- (本文编辑 赵娟)