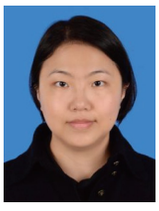


智慧系统在液体散货码头装卸工艺中的应用

李艺颖，王　媞
（中交第四航务工程勘察设计院有限公司，广东 广州 510290）

摘要：结合智慧港口应用热点和当前行业发展现状，以某液体散货码头为例，针对码头装卸工艺中智慧系统的应用，从智能装卸臂、在线腐蚀监测、在线自动取样、管道无人巡检等系统进行多角度的分析，提出可在当前液体散货码头装卸工艺中落实的智慧系统模块的应用方案。该方案可减少现场工人的工作量，通过数据赋能提升码头运营、管理等作业效率，提高港口管理的信息化、精准化，并可为类似工程提供参考。

关键词：智慧化；智能装卸臂；在线腐蚀监测系统；在线自动取样系统；管道无人巡检系统

中图分类号：U656.1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2024)08-0245-05

Application of intelligent systems in handling technology of liquid bulk cargo terminals

LI Yiying, WANG Ti
(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: Based on the hot topics of intelligent port applications and the current development status of the industry, this paper takes a liquid bulk cargo terminal as an example to analyze and explain the application of intelligent systems in port handling technology from multiple perspectives, including intelligent handling arms, online corrosion monitoring, online automatic sampling, and unmanned pipeline inspection systems. The application scheme of intelligent system module content which can be implemented in the current handling technology of liquid bulk cargo terminal is proposed. This scheme can reduce the workload of on-site workers, improve the efficiency of terminal operation and management through data empowerment, enhance the informatization and precision of port management, and provide reference for similar projects.

Keywords: intelligence; intelligent handling arm; online corrosion monitoring system; online automatic sampling system; unmanned pipeline inspection system

当前国内港口建设逐步向信息化、数字化、智慧化升级发展，自动化集装箱码头在智慧港口应用方面已走在前列[1-2]，而对于液体散货类专业化码头，也有必要研究其在智慧港口方面的应用及发展趋势，为智慧港口的未来发展提供技术支持。

在智慧港口的建设中，应进行港口基础设施的不断创新，提升基础设施的信息化水平，提升港口的生产力和服务能力，促进港口运营的安全性，确保和智慧港口发展相匹配[3-4]。码头装卸工艺系统是港口运营的核心基础设施，其安全有序、高效运营是提升港口核心竞争力的关键。因此，从设计源头考虑装卸工艺设备及系统管理的智慧化是建设智慧化液体散货码头的重要组成部分。

本文以某液体散货码头为例，论述当前行业发展中可在液体散货码头装卸工艺系统中落实的智慧系统模块应用方案，以期为类似工程提供参考。

1　系统组成

液体散货码头装卸工艺系统一般由装卸臂、管道、阀门及压力、温度、流量等监测仪表组成，

收稿日期：2024-03-20

作者简介：李艺颖（1984—），女，高级工程师，从事港口装卸工艺设计和研究工作。

水运工程

码头装卸工艺系统同时与船舶、陆域罐区的装卸设施相连并协同作业。液体散货码头装卸工艺流程见图 1。

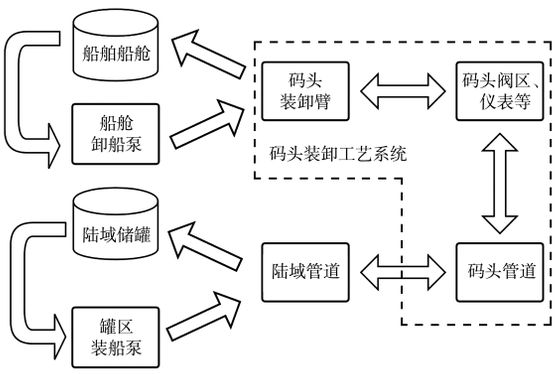


图 1　液体散货码头装卸工艺流程

2　智慧化现状分析

经过多年来的高速发展，国内液体散货码头自动化程度相对较高，具有良好的信息化、智慧化基础。码头装卸臂及阀门等设备可实现远程操作，工艺管道上安装压力、温度、流量等仪表，码头普遍设置分布式控制系统(distributed control system，DCS)用于码头装卸船工艺的过程控制，可以实现对装卸臂、阀门控制装置等设备及管道压力、温度、流量等工艺参数的自动监控、报警及联锁开关，同时还能完成数据采集、报警管理、报表打印等功能。码头 DCS 可预留智慧应用平台[5]接口，为智慧液体散货码头提供各工艺流程设备的基础实时数据。

由于大部分液体散货码头属危险品码头，在实际运营中，码头装卸工艺设备和管道仍存在大量的人工操作工作量，如装卸臂与船舶接口的对接、码头设备设施的日常巡检维护工作等。因此，液体散货码头如何应用新技术补齐短板、融合全要素是进一步提高液体散货码头智慧化的关键所在。

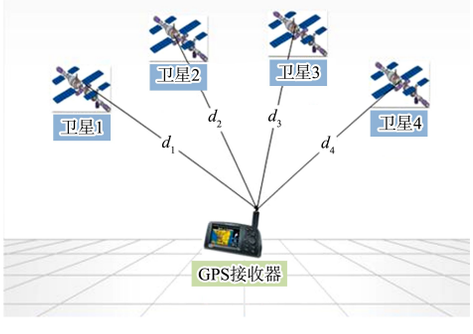
3　智慧系统模块方案

3.1　智能装卸臂

常规装卸臂虽然可以通过远程控制操作外臂至船舶接口附近，但与船舶接口法兰的精确连接还需要多名工人现场人工操作，操作时间较长，且易发生泄漏等风险。

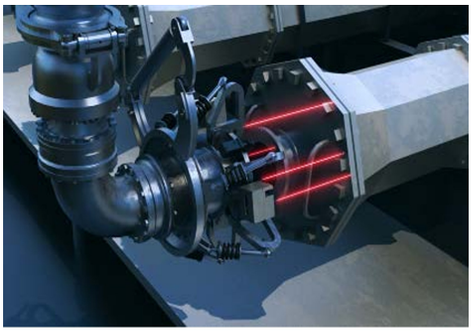
如图 2 所示，智能装卸臂系统主要由智能装卸臂本体、液压驱动机构、视觉识别系统、高精度卫星定位系统、下位机控制系统、上位机软件系统以及智慧云平台组成，可实现与船舶接管法兰快速、准确、安全的一键自动对接。通过设置 3D 视觉识别和卫星定位装置，对装卸臂法兰及船舶法兰实时精确定位，并通过上位机软件系统对装卸臂的运行路径进行最优化规划，可自动、快速地进行柔性对接[6-7]。装卸臂上位机主控系统包含庞大的数据库信息，对各船型进行记录分析，通过自主学习，针对当前船舶参数并结合对比数据库中以往对接过的船舶参数信息，规划最佳运动速度和路径。

a) 指令发出



b) 高精度卫星定位

c) 运行路径计算



d) 自动对接

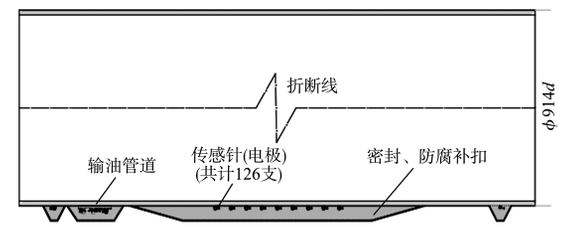
图 2　码头装卸臂与船舶接口智能对接

3.2　在线腐蚀监测系统

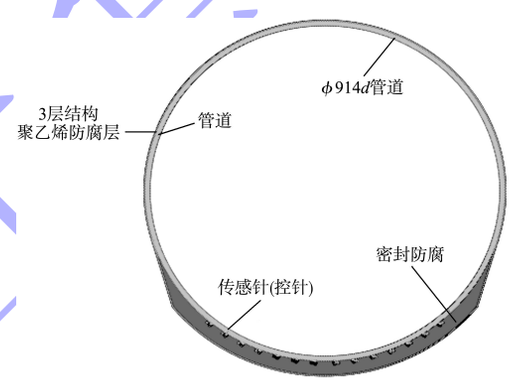
码头处于极度潮湿的盐雾腐蚀环境，管道受外部环境腐蚀影响较大，且码头管道通常具有长度长、管径大、带压且输送介质成分复杂等特点，如果管道发生腐蚀穿孔泄漏，会对海洋环境造成污染，造成较大公共影响。当前，码头管道采用日常人工巡检并委托特检部门每年进行 1 次管道壁厚监测，不能及时发现管道的腐蚀情况。因此，在线管道壁厚测量是提高码头运营安全性及智慧化的必要手段。

在线腐蚀监测系统是一种在线、原位、实时测量壁厚的无损检测技术，由按照一定间距焊接在管道外壁上的电极矩阵和测量系统构成，其本质是电位矩阵法[8]。整个系统与工艺介质无直接接触，是一种非介入式的测量方法。通过电极矩阵的电压变化直接测量材料本体(管道)的壁厚损失，可测量均匀腐蚀及坑蚀、冲蚀等局部腐蚀，还可以定位局部腐蚀。所有监测节点都可以通过卫星以物联网方式将数据传输到智慧应用平台，实现数据的有效集中管理。

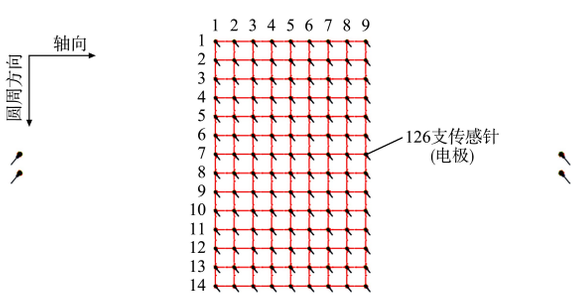
如图 3 所示，采用场指纹在线腐蚀监测系统，具有测量面积大的特点，适合本码头 DN900 的大口径管道。配置 14×9 支电极共 126 支探针，电极间距为管道壁厚的 4～8 倍，探针布置区域为管道壁厚监测部位。布置在管道 6 点钟位置为中心的轴向 3—9 点以内的半圆弧面上，用于监测原油管道的均匀性和局部实时壁厚 d。壁厚测量数据由场指纹现场测量仪器上传至服务器，通过上位机软件可对现场各监测点进行设置、管理、数据采集、分析及处理腐蚀监测数据，计算并绘制腐蚀速率曲线，对管道的腐蚀情况进行预测。



a) 轴向



b) 圆周方向



c) 展开

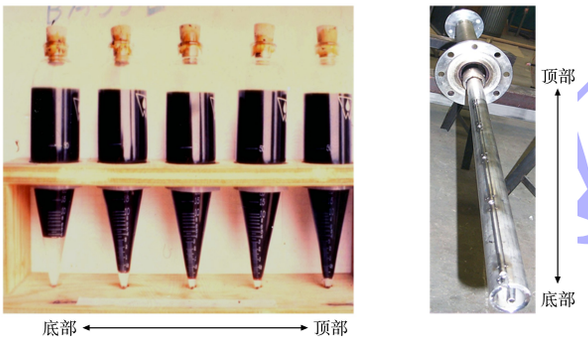
图 3　场指纹电极布置位置（单位：mm）

3.3　在线自动取样系统

原油在贸易交割中需进行取样，通常采用罐区手工取样或在油罐设置取样器。如采用手工取样，人员易暴露在危险环境中，样本也较易被污染，且手工取样适用于组成和品质不随时间发生明显变化的均匀液体。本项目输送介质为原油，静止状态下难以形成均匀液体，而油罐取样样品不能有效代表原油的实际属性，在贸易交割中易

出现争议甚至导致损失。

采集管道中流动介质的样品，是为了测定其所代表的一定数量介质的平均组成和品质。对管道中一定数量介质的样品进行分析，可以测定其组成、水和沉淀物含量、密度、黏度、蒸气压等属性(图 4)。为获得具有代表性的样品，在码头管道上设置在线自动取样系统，从管道中连续或重复提取多个小样，由此保证该批量液体的任何组成变化都能反映到所采集的样品中，保证满足规范标准中关于取样点液体均匀性和小样提取频率的要求[9]。由于原油性质相对复杂，根据本码头工况，自动取样系统采用强制循环回路并集成动态喷射混合装置，以达到最好的混合效果。取样器选型考虑按流量比例提取样品，以保证样品和主管道中的流体同质，实现取样的代表性。在线取样系统流程见图 5。



a) 样品　　b) 采样器

图 4　相同管道不同位置所取样本

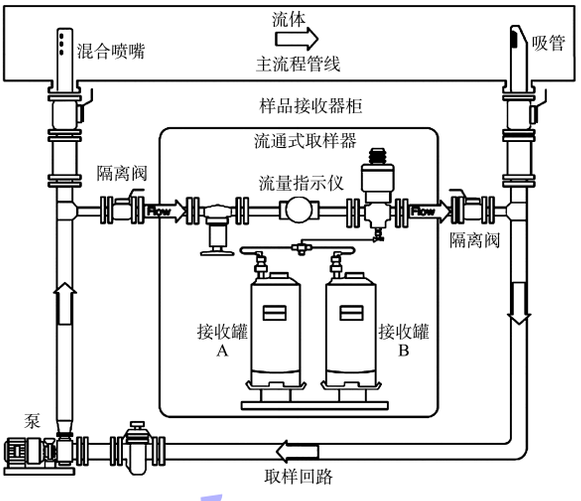


图 5　在线取样系统流程

3.4　管道无人巡检系统

码头常规采用人工日常巡检，而本码头管廊长约 5 km，人工巡检的工作量非常大，炎热的气候导致高温职业危害等易发。

管道无人巡检系统通过无人机实现管道巡检，降低劳动强度，提高巡检工作效率。提前将管廊路由及管廊两侧巡检范围在地图上进行标注，地面站系统自动规划巡检路线。接收到规划路线的无人机可以一键起飞，全程自动完成巡检作业，飞行过程全程录像和拍照，指挥中心实时查看影像数据，发现问题及时处理[10]。无人机巡检系统不仅可以实现隐患点精准锁定、智能分析和报警推送等功能(图 6)，还可以构建大数据分析系统，实现多数据综合分析汇总，为企业生产运营提供相应的参考数据。

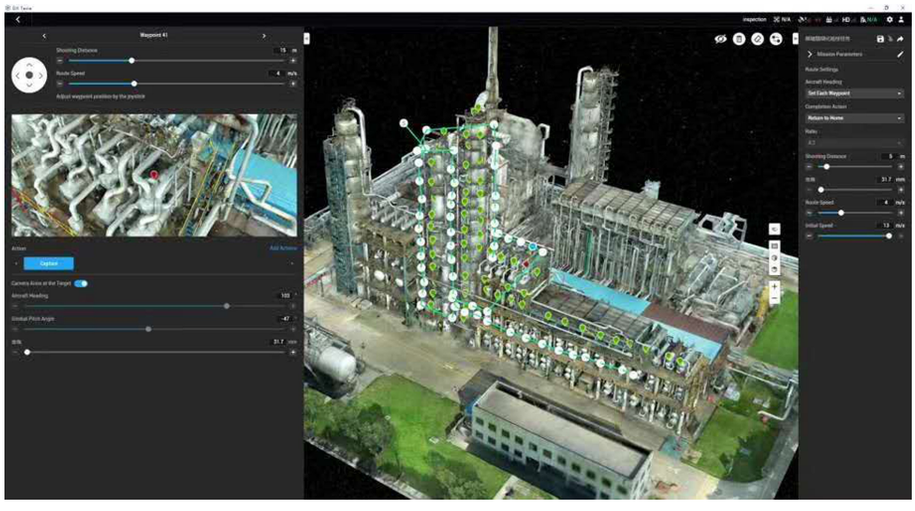


图 6　管道无人巡检系统操作画面

4　结论

1）通过液体散货码头自动化、信息化建设提升方案，赋能智慧港口基础设施升级，通过数据分析和可视化展示，提供准确、实时的信息[11]，提升了港口运营管理的安全性、高效性、精准性。

2）智能装卸臂可实现装卸臂与船舶接口的自动对接，减少现场工人劳动强度，降低船舶在港时长，提高码头装卸作业效率；在线腐蚀监测系统可实时进行管道壁厚监测并对管道腐蚀进行分析预测，提高管道系统的安全性和管理精准化；在线自动取样系统通过对取样点液体均匀性和小样提取频率的优化，实现取样的代表性，减少贸易交割的争议并避免由于样品问题造成的经济损失；管道无人巡检系统辅助日常巡检工作可大幅减少现场工作量，提高码头巡检工作效率。

参考文献：

[1] 孙博文. 国际港口发展趋势与智慧港口建设[J]. 珠江水运, 2022(16): 85-87.
[2] 袁玉祥, 随振营. 新兴技术在智慧港口的应用现状及发展趋势[J]. 中国水运(上半月), 2022(3): 60-62.
[3] 王建军. 新基建背景下智慧港口发展对策[J]. 现代工程科技, 2022, 1(7): 113-116.
[4] 刘文占, 阮永欣, 郇婷婷. 新基建背景下智慧港口发展概述[J]. 中国住宅设施, 2022(11): 34-36.
[5] 高虹桥, 邵文渊, 刘婷, 等. 智慧港口的技术框架[J]. 港口科技, 2017(2): 1-5, 52.
[6] 王选智, 王为周, 张增龙, 等. 智能化流体装卸臂: 202123203276. 4[P]. 2021-12-20.
[7] 王红宾, 杨献鹏, 韩锋, 等. 输油臂智能化自动对接系统方案研究[J]. 中国水运, 2023(8): 57-58.
[8] 程前进. 电场矩阵壁厚在线监测技术在闪蒸系统的应用[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2019, 36(4): 39-42.
[9] 龚达乐, 王凯卫, 王伟. 原油自动取样系统组成和选型浅析[J]. 石油化工自动化, 2020, 56(5): 72-75.
[10] 李凯. 无人机在油气管道巡检管理中的应用前景分析[J]. 科技资讯, 2023, 21(8): 126-129.
[11] 梅叶. 智慧港口安全生产特征及协同治理策略[J]. 集装箱化, 2023, 34(12): 1-5.

（本文编辑　王传瑜）

（上接第 244 页）

4）为更充分发挥标准体系的战略性、引领性、基础性作用，需进一步推进智慧港口标准体系的有效供给和提档升级。建议未来充分调动智慧港口标准主要用户的积极性，鼓励地方交通部门、企事业单位及社会其他组织积极参与智慧港口标准制修订工作，形成多方共同参与、投入的机制。坚持统筹引领、急用先行、应用驱动，有序加快推进智慧港口标准制修订工作，规范指导我国智慧港口建设，为智慧港口高质量发展提供基础支撑。

参考文献：

[1] 李红, 刘婷, 王大成. 智慧港口建设标准体系架构研究[J]. 中国水运(下半月), 2020, 20(2): 29-30.
[2] 2022 年 12 月全国港口货物、集装箱吞吐量. 交通运输部网站[EB/OL]. (2023-01-30)[2024-01-30]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202301/t20230130_3747863.html.
[3] 2022 年 12 月水路货物运输量. 交通运输部网站[EB/OL]. (2023-01-30)[2024-01-30]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202301/t20230130_ 3747856.html.
[4] 我国港口吞吐量和海船运力规模十年大幅增长. 中华人民共和国中央人民政府网站[EB/OL]. (2023-07-11)[2024-01-30]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202307/content_ 6891231.htm.
[5] 中华人民共和国交通运输部. 水运工程标准体系[R]. 北京: 中华人民共和国交通运输部, 2018.
[6] 中华人民共和国交通运输部. 港口标准体系[R]. 北京: 中华人民共和国交通运输部, 2023.

（本文编辑　王传瑜）

水运工程