



自动化集装箱码头危险货物堆场 巡检机器人应用技术*

丁飞虎, 陆志勇

(中交第三航务工程勘察设计有限公司, 上海 200032)

摘要: 针对自动化集装箱码头危险货物堆场设计建造过程中缺乏巡检机器人相关研究的问题, 通过调研危险货物堆场的巡检需求, 总结巡检机器人类型和应用案例, 提出适合危险货物堆场自动巡检的机器人应用方案。该方案按照采集层、传输层以及平台层的3层架构, 采用人工智能、视觉识别、5G、北斗定位等技术, 实现危险货物堆场的机器人自动巡检。该技术的应用可减少危险货物作业区域人员进出频率, 降低危险货物堆场现场工作量, 提高危险货物安全管控水平和巡检质量, 从而促进自动化集装箱码头智能化技术的发展。

关键词: 自动化集装箱码头; 危险货物堆场; 巡检机器人; 智能巡检

中图分类号: U656.1+35

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)03-0243-05

Application technology of inspection robot for dangerous goods storage yard in automated container terminal

DING Feihu, LU Zhiyong

(CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: In response to the lack of research on inspection robots in the design and construction of automated container terminal hazardous cargo yards, this paper investigates the inspection requirements of hazardous cargo yards, summarizes the types and application cases of inspection robots, and proposes an application scheme for robots suitable for automatic inspection of hazardous cargo yards. The scheme adopts a three-layer architecture of the collection layer, transmission layer and platform layer, it uses artificial intelligence, visual recognition, 5G, BD positioning and other technologies to achieve automatic inspection of hazardous cargo yards by robots. The application of this technology can reduce the frequency of personnel entering and leaving the hazardous cargo operation area, decrease the on-site workload of hazardous goods storage yards, improve the safety control level and inspection quality of hazardous cargo, and promote the development of intelligent technologies of automated container terminals.

Keywords: automated container terminal; hazardous goods storage yard; inspection robot; intelligent inspection

近年来, 随着数字航运、智慧港口等概念的不断提出, 港航企业对于信息化的投入呈现爆发式的增长, 港口企业通过北斗、5G、人工智能等新技术与业务场景的深度融合, 积极探索通过自

动化建设提升港口智慧化水平和运行效率^[1]。除了在装卸船作业、水平运输作业、堆场作业、闸口通行等主要生产环节大规模应用自动化智能化技术, 港口巡检等辅助系统也引入了更多的智能

收稿日期: 2024-09-27

*基金项目: 国家重点研发计划项目 (2023YFB2604200)

作者简介: 丁飞虎 (1985—), 男, 高级工程师, 从事港口工程通信、控制、智能化系统设计。

算法赋能,港口安全监管、设备监管等智能化水平迅速提升。

目前世界上建成的自动化集装箱码头已超过40座,已建成的自动化码头基本以半自动化集装箱码头为主,即港区堆场装卸等部分主要作业环节实现自动化^[2]。危险货物集装箱是装载《危险物品名表》、《危险货物分类和品名编号》、《国际海运危险货物规则》中所列危险货物的集装箱。危险货物集装箱堆场是集中堆存危险货物集装箱的场所,属于集装箱堆场的重要组成部分。根据集装箱码头危险货物堆场相关规范的要求,危险货物集装箱堆场可选用轨道式龙门起重机、轮胎式龙门起重机或集装箱正面吊。采用轨道式和轮胎式集装箱龙门起重机时可采用远程操控作业模式^[3]。危险货物集装箱堆场应配置火灾自动报警系统总线电话、防爆型手动火灾报警按钮、防爆型火灾声光警报器、防爆型便携式有毒/可燃气体探测器、防爆型无线集群对讲机、危险货物管理信息系统显示终端、喷淋降温设施、视频监控系统^[4],可配置温度探测监控报警装置等设备设施^[5]。

目前已建集装箱码头危险货物堆场主要采用人工现场操作或巡检的方式,配备的安全监测方式是被动式人工监管或非全覆盖式监管。未来,不管从危险货物堆场装卸还是水平运输自动化发展,以及危险源管控等方面,危险货物堆场的安全监管辅助系统均应积极探索自动化、智能化的升级方案,提升危险货物堆场的智能监管水平,减少人员进入自动化、危险堆存区域的安全风险,提高危险货物堆场的安全等级和自动化作业效率。

配备符合国家标准要求的危险货物堆场信息化系统,结合人工智能、机器视觉、机器人等新技术,建设危险货物集装箱堆场的自动巡检系统,是自动化集装箱码头发展的重要内容之一。

本文根据机器人在电力、石化、散货码头的情况,结合自动化集装箱码头生产作业和安全监管的实际需求,探索机器人巡检系统在自动化集装箱码头危险货物集装箱堆场的应用技术。

1 巡检需求分析

1.1 生产作业

生产作业主要包含堆场装卸、水平运输、冷藏箱监控等内容。

新建及已建自动化集装箱码头将积极探索在危险货物堆场装卸环节采用装卸设备自动化控制或远程操控,水平运输环节采用自动驾驶的方式。冷藏箱监控系统覆盖率和接口适应性已可满足港口实时监管的需求,集装箱危险货物堆场防爆区内系统设备需采用防爆型号。

1.2 辅助系统

辅助系统包含安全及消防等设施。新建危险货物堆场在传统视频监控系统、火灾报警系统基础上增配了智能视频分析、可燃气体检测报警等系统。智能视频分析系统可实现对集装箱外表面温度、烟雾和火焰的智能识别和主动探测报警,对堆场围网、进出口、堆场四周、应急处理场所人员入侵、未戴安全帽等异常情况进行智能识别和主动探测报警。由于危险货物堆场堆存可燃/有毒物料的种类繁多且无固定堆放位置、可燃/有毒探测器覆盖范围小、大量可燃/有毒探测器检修不便且影响堆存率和增加大量检修工作量等原因,可燃气体检测报警系统一般设置于围网沿线,仅实现对堆存区域四周的可燃气体检测。但针对堆存区域的火灾和爆炸风险,智能视频分析系统、可燃气体检测报警系统对于堆场里层箱存在无法探测的盲区和风险点,需要人工佩戴便携式探测器进行定期检查。

危险货物堆场内的降温喷淋、供配电、消防灭火设备设施需要维保人员按照国家标准和企业管理要求定期现场进行维护保养。

1.3 需求总结

危险货物堆场生产作业自动化程度的提高必然要求安全辅助自动化程度的同步提升,尽量减少自动化作业区域人工操作和维保的种类、频次和时间。巡检系统的设置应助力生产作业更安全、可靠和高效。

2 巡检方案比选

根据煤炭行业^[6-8]、电力行业^[9-10]、石化行业、水运行业等特殊场景的需求,目前已出现相关自动巡检系统的应用,采用机器人、光纤等自动监测方案。

机器人类型主要包括轨道式、履带式、轮式等。自动化集装箱码头危险货物堆场地面较为平整,考虑到巡检速度及对地面破坏等因素,可排除履带式机器人方案;轨道式机器人需在围网四周设置支架和轨道,基础设施建设成本较高,且无法深入到堆场内部进行箱区内、辅助设备设施的监测;轮式机器人在巡检范围、行驶方式、工程造价等方面具有优势,适用于自动化集装箱码头危险货物堆场的巡检场景^[11]。

光纤探测范围有限且光纤测声技术仍未成熟,暂时无法应用在危险货物堆场探测场景。

3 机器人巡检系统

3.1 系统架构

机器人巡检系统架构包括采集层、传输层以及平台层,见图1。



图1 系统架构

Fig.1 System architecture

3.1.1 采集层

采集层采用软件联通各功能模块。机器人各功能模块包括通信模块、中央控制模块、云台控制模块、电源管理模块、导航模块和传感器模块

等。软件具有光学识别、任务管理、运动控制、充电管理等功能。

导航模块具有外界环境信息采集、路径规划和导航、运动控制和避障等功能,是系统的重要组成部分。云台控制模块集成图像采集、红外发热量成像和夜光辅助激光光谱采集分析等功能。电源管理模块辅助整个机器人终端的电源供给,通过优化各功能模块的电源供给,采用设定好的控制策略,使机器人始终保持良好的电源储备。

3.1.2 传输层

机器人巡检系统主要采用4G或5G无线通信方式,具体方式需根据项目整体无线网络建设情况和综合业务场景需要灵活选择。

3.1.3 平台层

平台层可为机器人操作提供自动巡检、异常巡检、定点巡检、手动巡检等多种工作模式选项,并且提供全方位的数据展示功能界面。平台软件具有开放性和扩展性,通过外部通讯数据接口,提供向现场设备控制系统的数据推送功能,从而实现数据信息的共享和联动功能。

3.2 系统组成

3.2.1 智能管理平台

智能管理平台可实现远程集中监控巡检机器人、充电设施和无线网络,同时机器人本体采集的视频信息等数据也可在软件平台上直观显示。智能管理平台存储和处理机器人收集到的感知信息,根据日期随时查询设备信息,形成实时和历史报警记录数据库。远程工作站可完成与平台的数据交互,实现与上级控制系统的信息互通。此外,平台可通过自身控制,对分辨出的设备故障进行报警或控制机器人完成报警后的下阶段工作。

智能管理平台包含功能:1)提供多种工作模式,如自动巡视、异常巡视、定点巡视和人工巡视;2)全方位的功能接口,提供数据显示;3)使用权限管理功能实现机器人系统的安全稳定运行;4)对监控区域全景展示;5)数据分析和

管理功能；6) 历史查询功能，包括机器人运行数据、报警记录等相关信息。

3.2.2 机器人

机器人本体包含功能：1) 仪表识别及分析功能，可判断设备是否异常；2) 通过红外热成像、光学识别、气体探测等探测器对探测物状态识别，实现与探测物设定状态的对比，判断是否异常^[12]；3) 温度异常检测功能，可实现集装箱外表面、配电箱、电缆等温度状态识别、分析、判断，高低温异常及时报警；4) 自主导航、定位功能；5) 双向对讲功能，满足远程指挥和现场警告；6) 安全运行避障功能，防止设备损坏；7) 机器人本体自诊断功能；8) 自动充电功能，可实现跟班运行及灵活配置工作模式；9) 灯光补偿功能，根据照片清晰度自动调节亮度，提高夜间作业效率；10) 智能提示功能，机器人巡查出异常或者自身异常，可通过语音或短信提示客户；11) 数据历史查询功能，可随时查看机器人运行数据、报警记录等相关信息；12) 手动控制功能，提供控制手柄。

机器人外形见图2。

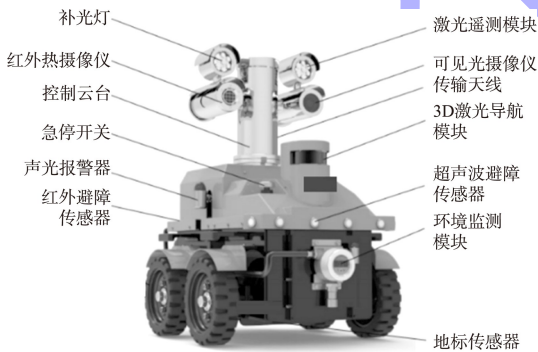


图2 机器人外形

Fig.2 Robot appearance

3.2.3 充电设施

机器人自动充电站主要为机器人提供自动充电和运维场所。考虑到本质安全、建造成本、运维便利性，机器人自动充电站设置于危险货物堆场附近的非防爆区域。机器人自动充电站采用无接触方式充电，充电过程自动化。机器人按照预设的巡检路线自主返回充电房，卷帘门自动打开，

机器人回到充电桩位置，自动对准、自主充电。机器人自动充电站外形见图3。

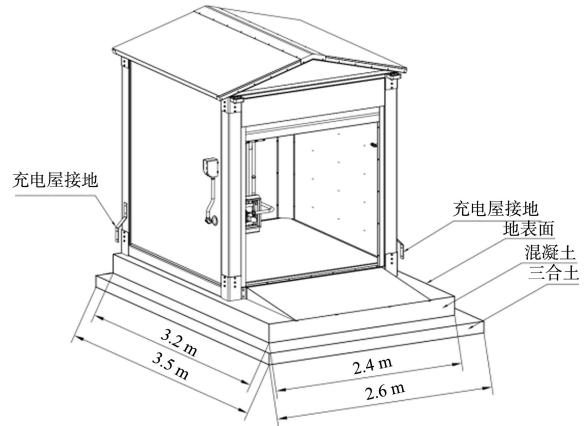


图3 机器人自动充电站外形

Fig.3 Appearance of robot automatic charging station

3.2.4 无线网络

无线通讯实现机器人与智能管理平台间的数据传输。系统主要采用4G或5G网络进行控制指令、状态数据、采集数据的传输。无线通讯基站安装于堆场附近灯塔上，覆盖面广、穿透力强，数据传输率高，内置大功率放大器以及多输入多输出 (multiple-input multiple-output, MIMO) 天线接口，满足室外远无线传输和覆盖范围需求。

无线通讯基站的功能：1) 与远程集控后台、机器人通过4G/5G网络进行信息交互；2) 利用无线通信技术满足平台对现场环境数据、物品数据、设备状态数据的实时读取；3) 机器人本身有通信预警信号，如果出现通信中断或数据异常，异地集控后台会发出异常通信警报。

4 结语

1) 通过总结港口巡检机器人类型和应用案例，进行自动化集装箱码头危险货物堆场巡检需求分析和巡检方案比选。

2) 提出危险货物堆场巡检机器人技术应用方案，提高了自动化集装箱码头整体设计水平和巡检质量，促进了自动化集装箱码头自动化、智能化技术的发展。

参考文献:

- [1] 徐凯,郭胜童,彭宜嵩,等.全球港航信息化发展报告(2021版)[M].上海:上海浦江教育出版社,2022.
XU K, GUO S T, PENG Y Q, et al. Global shipping & port informatization development report (2021 edition) [M]. Shanghai: Shanghai Pujiang Education Press, 2022.
- [2] 程泽坤,何继红,刘广红.自动化集装箱码头设计与实践[M].上海:上海浦江教育出版社,2019.
CHENG Z K, HE J H, LIU G H. Design and practice of automated container terminal [M]. Shanghai: Shanghai Pujiang Education Press, 2019.
- [3] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.自动化集装箱码头建设指南:JTS/T 199—2021[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd. Guidelines for the construction of automated container terminal: JTS/T 199-2021[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2021.
- [4] 中交第三航务工程勘察设计院有限公司.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,2019.
CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd. Design code of automated container terminals JTS/T 174-2019 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2019.
- [5] 宁波市港航管理中心,交通运输部水运科学研究院.港口危险货物集装箱堆场设计规范:JTS 176—2020[S].北京:中国交通出版社股份有限公司,2020.
Ningbo Port and Shipping Management Center, China Waterborne Transport Research Institute. Design code for dangerous goods container yard in port area: JTS 176-2020[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2020.
- [6] 何毅飞,宋建,王俊喆,等.带式输送机巡检机器人设计[J].煤矿机械,2023,44(6):3-5.
HE Y F, SONG J, WANG J Z, et al. Design of inspection robot for belt conveyor [J]. Coal mine machinery, 2023, 44(6): 3-5.
- [7] 刑伟.矿用皮带机自动巡检系统设计与应用[J].江西煤炭科技,2024(3):315-317,321.
XING W. Design and application of automatic inspection system for mining belt conveyor [J]. Jiangxi coal science and technology, 2024(3): 315-317, 321.
- [8] 张小虎.矿用带式输送机巡检机器人研究与设计[J].矿业装备,2022(5):219-221.
ZHANG X H. Research and design of mine-used belt conveyor inspection robot system [J]. Coal mine machinery, 2022(5): 219-221.
- [9] 华北电力大学.电缆隧道机器人巡检技术导则:DL/T 1636—2016[S].北京:中国电力出版社,2016.
North China Electric Power University. Technical guide for robot inspection in cable tunnel: DL/T 1636-2016 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2016.
- [10] 侯志华.电气巡检机器人轨迹规划控制系统设计研究[J].机器人产业,2024(4):90-95.
HOU Z H. Research on trajectory planning control system design of electrical inspection robot [J]. Robot industry, 2024(4): 90-95.
- [11] 王有明,陈品,陈德福.轮式电力巡检机器人控制系统设计与实现[J].中国高新科技,2024(8):20-22.
WANG Y M, CHEN P, CHEN D F. Design and implementation of control system for wheeled power inspection robot [J]. China high-tech, 2024(8): 20-22.
- [12] 王晓杰,刘晓林.图像识别技术在变电站智能巡检机器人中的应用研究[J].电气技术与经济,2023(9):131-133.
WANG X J, LIU X L. Application of image recognition technology in substation intelligent inspection robot [J]. Electrical equipment and economy, 2023(9): 131-133.

(本文编辑 王传瑜)