

Research on the Design and Port Application of a New Type of Electromagnetic Circular Hoist

Lei Fa¹ Guijiang Zhou^{1*} Guodong Yuan² Can Zhang¹ Quan Mao¹

1. Dongjiakou Branch of Qingdao Port International Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266021, China

2. Huludao Tianli Industrial Co., Ltd., Huludao, Liaoning, 125099, China

Abstract

To address the deficiencies in port handling operations represented by coiled steel hoisting, a novel electromagnetic spreader for coiled steel is developed and designed based on conventional port portal cranes. Based on the principle of electromagnetic adsorption, the spreader is integrated with electrical control systems, safety protection devices and an intelligent management platform, enabling remote, high-precision and low-latency operation control. The proposed system reduces or eliminates on-site operators and realizes the safety concept of man-machine separation, man-cargo separation and unmanned operation under the warehouse, thus ensuring the intrinsic safety of operations. Meanwhile, it significantly improves hoisting efficiency, shortens ship turnaround time, reduces overall operating costs and enhances economic benefits, providing a solid foundation for the digital transformation of port enterprises.

Keywords

round steel lifting equipment; automated control; inherent safety

一种新型电磁盘圆吊具设计与港口应用研究

法磊¹ 周桂江^{1*} 袁国东² 张灿¹ 毛泉¹

1. 青岛港国际股份有限公司董家口分公司, 中国·山东 青岛 266021

2. 葫芦岛天力工业有限公司, 中国·辽宁 葫芦岛 125099

摘要

针对当前以盘圆钢材吊装为典型代表的港口装卸中存在的弊端问题,以传统港口门机为主要作业载体,自主研发设计一种新型电磁盘圆吊具,利用电磁吸附基本原理,加装一系列电气控制设备、安全防护设施和智能管理系统,可实现远距离、高精度、低延迟的操作控制,减少甚至取消现场作业人员,实现“人机分离、人货分离、仓下无人”的安全理念,确保作业“本质安全”,同时能够大幅提升吊装作业效率,节省船舶装卸时间,有效降低港口企业综合运营成本、提升经济效益,为稳步推动港口企业数字化转型奠定坚实基础。

关键词

盘圆钢材吊具; 自动化控制; 本质安全

1 背景描述

《中国制造 2025》指出,全球制造业格局面临重大调整,国内经济发展环境发生重大变化,我国制造业发展必须紧紧抓住历史机遇,积极稳妥应对内外部挑战。“建设数字中国”为大型企业集团公司的产业升级指明了数字化建设的方向,各大企业集团均在发展规划中明确指出,坚持以数字化产业化、产业数字化为主线,积极推动传统工业应用现场的数字化升级、转型的步伐。

【作者简介】法磊(1981-),男,中国山东青岛人,本科,高级技师,从事设备安全管理研究。

【通讯作者】周桂江(1989-),男,中国山东日照人,本科,工程师,从事设备安全管理研究。

2 问题分析

放眼全国,虽然门机制造技术突飞猛进,但是门机使用技术却发展缓慢,以盘圆钢材吊装为代表的码头船边作业仍是沿用传统的“门机+人”式作业,存在以下三点弊端[1]。

2.1 安全隐患大

船边作业现在全部由门机来配合人工操作属具,手动装卸。人、货、吊具、门机密切接触,人机需要大量的配合作业,作业中人-机-货之间频繁交叉,没有实现人机分离,作业安全在客观上得不到有效保证,大量人员参与现场作业,人的操作失误或者违章作业都容易造成安全事故,这样就加大了事故发生的概率,安全隐患极大[2]。

2.2 运营成本高

当前,各大港口现场作业工人老龄化严重,据港口行业内部调研数据显示,其中45~55岁人员占比约75%,

而且招工越来越难。随着工人工资的不断提高,用工成本也越来越高。按照“机械化换人,自动化减人”的理念,迫切需要改进工艺、减少人工占比[3]。

2.3 作业效率低

现有工艺需要多名人员在作业现场对起重工具属具进行装卸和操作,每钩作业都需要工人频繁上下车、频繁摘挂钩。同时,现有的吊运方式,易对盘圆钢材等货物造成摩擦刮伤,在当前的运作模式下,只能采取又慢又稳、绑牢勤查的方式减少损坏。这些都直接导致了作业效率无法提升。

3 设计方案

针对这一普遍问题,成立了技术攻关课题组,经过深入学习、调研、讨论和分析,根据门机起重机的自有特点,在不改变门机现有结构的前提下,充分结合运用先进电气技术,设计制造出新型盘圆吊具,推动装卸作业向电控化、智能化方向发展[4][5]。

具体方案:此电磁盘圆吊具配套港口门机通过专用钩头带电连接,电磁盘圆吊具通过6块电磁铁进行盘圆螺纹钢的吊运工作,在吊运过程中由两侧护翼保护钩加持勾住盘圆螺纹钢,起到防止因电磁铁断电致使盘圆螺纹钢掉落的作用。电磁钢板吊具通过智能控制系统实现远程控制,操作人员通过远程控制在驾驶室完成盘圆吊具的吊运工作,通过主、副定位针来实现物理精准定位[6]。定位时,操作人员通过操作港口门机以及钩头进行移动、旋转等动作,将电磁盘圆吊具下放至盘圆螺纹钢上方一定距离,利用主、副定位针靠在盘圆螺纹钢一侧后,使吊具的6块电磁铁对准盘圆螺纹钢,从而实现精准定位[7](见图1)。

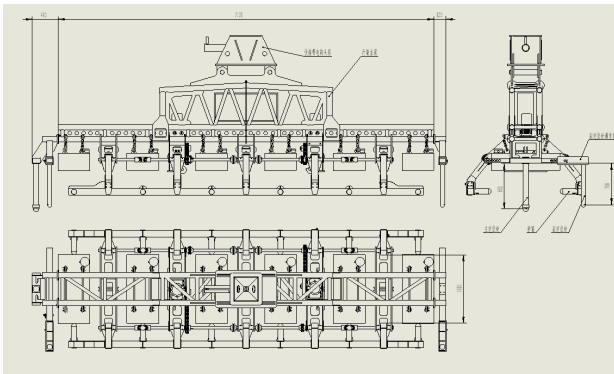


图1 吊具结构图

3.1 钩头带电改造(钩头带电配套使用)

盘圆吊具与钩头带电配套使用,钩头端加装电缆卷筒,预留取电和通讯端口,再与电动自动吊具连接,加装电力、通讯信号传输系统及缆线收放系统。

取电的技术要求如下

在不改变门机现有结构的前提下,从门机电气房取电,电压为380V、50HZ。在不改变臂架结构的前提下,在门机大臂铺设电缆通过快速插头引至钩头吊具,为钩头及电动吊

具提供功率不大于100KW。其中,吊具电磁部分供电总功率不大于60KW。

电缆采用高强度抗拉耐磨弯曲的专用缆线,电缆有抗紫外线、耐油等特点,适用电缆频繁弯曲和卷绕场所及干燥或潮湿场地使用。电压等级不低于600/1000V,电缆内部设有多种抗拉件结构,缆线整体抗拉强度不低于1000kg。

电缆大臂远端连接取电,旋转带电钩头自带集成智能PLC伺服电缆卷筒,满足旋转带电钩头缆线在任意升降速度下,电缆随动收放,适应在上下任意速度,不影响电力输送。

3.1.4 旋转带电钩头与盘圆电磁吊具设有远程无线遥控装置,可实现钩头下部吊具的旋转控制及电磁铁供电等。钩头遥控旋转速度不大于6rap/min,旋转角度不小于350度,方便操作人员控制放置。

配有电缆检测及预警提示装置,通过装置能够提前发现电缆问题并更换电缆。

3.2 钩头受控旋转吊钩(盘圆吊具工作原理)

工作原理如下:

电磁铁部分:为通电带磁、断电消磁通过磁力来吊运盘圆螺纹钢。

保护钩部分:分为两侧护翼,通过链条传动,电机减速机带动两侧护翼沿着两侧旋转轴旋转,当两侧保护钩穿过盘圆螺纹钢后停止。

3.3 吊具结构设计

回转范围不大于10m,具备远程遥控、异常报警等功能。满足吊装货物重量不小于15吨,吊具重量不大于25吨,总重量不大于40吨。

吊具框架结构采用钢结构箱型梁强度满足要求,通过梁架下侧吊耳,用链条方式与各电磁铁连接,梁架下端共挂有6块电磁铁,每块上设有磁铁异常断电保护钩和指示标志。

尺寸范围要满足,总长度不超过7.5米(边缘不超过6件盘圆总长),吊具梁架两端端部高度含电磁铁和被吊物盘圆(盘圆直径1.2米)不超过2米,宽度(含机械保护装置,在开起状态下)不超过1.5米。采用Q345以上规格优质钢材进行制造。

吊具吊梁下方设置6组电磁铁吊耳用于悬挂6台电磁铁悬挂方式采用软硬相结合的方式兼顾电磁铁位置支撑和相对移动冗余,6台电磁铁采用联吊方式排布,尺寸在长1.4米宽0.8米以内。

为确保电磁铁吊运安全,需装配物料机械安全锁紧装置,避免因电器线路故障导致失磁,物料落下造成安全事故(见图2)

3.4 可视化管理实现(远程控制和监视技术)

加装视频监控系统,为门机司机提供远程实时影像并对作业全过程进行记录,实现“全覆盖、可追溯、可倒查”,安全管理形成闭环。

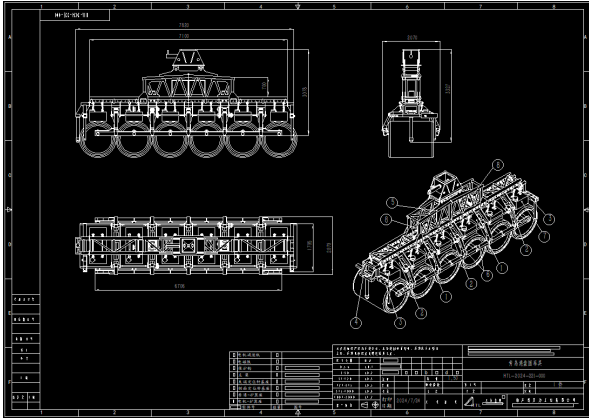


图2 吊具总装图

通过高度灵活的通信技术，操作人员可以在远控中心，远程控制门机以及智能化盘圆吊具和配套钩头带电，并实时监视门机和吊具的状态、位置和性能，这为实时干预和决策提供了有力支持 [8]。从技术角度来看，远程控制和监控涉及复杂的数据传输和处理过程 [9]。通信系统必须能够实时传输大量数据，包括门机的位置、速度、负载情况等 [8][9]。在远控中心，需要建立高效的数据处理和分析系统，用于处理来自门机的大规模数据流 [10]。为了实现远程控制，需要设计安全可靠的通信协议和机制，以确保操作指令的准确传达和门机的安全操作 [9][10]。

远程控制系统具体配置如下：远程操作台内设置独立的远控 PLC 系统，该系统可与门机实现稳定通信，进而完成远程控制操作 [10][11]。操作台远控 PLC 与机上自动化 PLC 之间的通信，采用西门子特有 S7 通信协议，保障通信的稳定性与兼容性 [11][12]。机上自动化系统 PLC 则与定位系统、激光扫描建模系统、安全防护、视频 / 语音系统和主机电控 PLC 等多个系统相连，采用工业总线或以太网通信方式，实现各系统间的数据高效交互与协同工作 [9][11]。

3.5 其他辅助系统（数字化应用系统）。

加装风稳系统、坐标控制系统、电力通讯信号输送及 PLC 程序控制系统、数据通讯电缆等。

4 典型应用

以盘圆线材或螺纹钢装卸为例，吊具（见图 3）直接用吸盘吸取线材，无工人参与作业，期间机械安全锁钩关闭，进行二次安全保护。门机运行过程中，吊具始终保持顺着车船长度方向吊运（坐标控制系统、PLC 系统），确保安全进入船舱（PLC 安全防撞控制系统）。无需稳钩，直接落钩（风稳系统无需辅助等待）。全过程门机司机和数字化系统相互配合，无需工人参与作业，通过数字化手段，实现自动化装卸。

5 前景优势

5.1 提升安全性

应用这种新型吊具的门机能做到“人机分离、人货分离、

仓下无人”，作业过程中无需工人在吊装区域内现场配合，将人从作业环节中隔离出来，现有作业当中由于人的参与而产生的安全隐患就彻底消除了，这就从根源上防止了安全事故的发生，从而实现“本质安全”的目标。

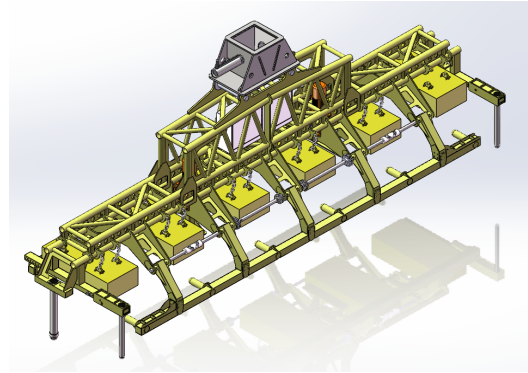


图3 吊具效果图

5.2 节约运营成本

应用这种新型吊具的门机实施远程操控，现场无需人员参与，与改造前相比可有效降低综合成本，减少装卸造成的货物损坏。以人工费为例，应用新型吊具后，多个岗位实现无人化操作，可大幅缩减现场作业工人工额，降低港口作业人工成本。

5.3 提高作业效率

全程自动化作业，无需工人上下车进行辅助作业，节省了单位作业时间，提高了作业效率。经测算，作业效率预计可以提高 15% 以上。同时，相应提高了码头泊位利用率，压缩了船舶在港停时。

5.4 推动数字化转型

这种新型吊具应用 PLC、坐标系统、防撞系统等一系列数字化手段，来配合门机装卸作业，将实现除了门机司机控制门机之外，其他控制基本由数字化手段来完成，并可为门机司机的控制提供技术帮助。项目的设备和系统，全部兼容目前主流的 WMS 类无人化控制系统，并预留了数字化管理系统接口。将来，依托 5G、互联网+、大数据等技术的加持，可进行门机的完全无人化升级，从而实现港口钢杂货物无人化装船，成为全国同行业标杆。

参考文献

- [1] 王健. 基于多维感知和智能控制的全自动门机开发和应用 [J]. 港口科技, 2025 (7):1-6.
- [2] 李磊. 自动化控制技术在门座式起重机上的应用研究 [J]. 工程机械与维修, 2026 (2):89-91.
- [3] 交通运输部研究所. 商港码头作业劳动力进用改善策略之研究 [R]. 2025.
- [4] 荣建生. 一种新型门座起重机 [J]. 起重运输机械, 2025(24):74-82.
- [5] 王日华. 门座起重机电气系统故障诊断与解决方案 [J]. 中国科技期刊数据库 工业A, 2025(12):175-177.

- [6] 李庆凯. 门座式起重机回转机构一键锚定技术的应用研究[J]. 中国高新科技, 2023(12):147-149.
- [7] 许力. 全功能小车自动化轨道吊吊具精确定位研究[J]. 港口装卸, 2019(05):2-4.
- [8] 张磊. 港口门机远程控制系统的设计与实现[J]. 港口科技, 2024(8):32-36.
- [9] 刘军. 工业物联网在港口起重机远程监控中的应用研究[J]. 起重运输机械, 2025(18):98-102.
- [10] 陈峰. 港口设备远程控制通信协议的安全性设计[J]. 中国航海, 2024(3):112-116.
- [11] 赵伟. 西门子S7通信协议在港口起重机远程控制中的应用[J]. 电工技术, 2025(10):134-136.
- [12] 孙浩. 港口门机PLC控制系统的设计与优化[J]. 机械工程与自动化, 2024(6):189-191.