石油开采长管物料堆场自动化出入库研究

黄东
中海油能源物流有限公司 天津 300452

摘 要 基于石油开采对物料周转效率要求的提升，文章以石油开采重载长管物料堆场为研究对象，深入分析国内外管理现状及国内石油开采存在的效率、安全、精度问题，提出全流程自动化出入库一体化系统设计方法，整合智能设备与数字孪生技术，旨在提升堆场作业效率、安全水平及物料追溯能力，满足现代石油开采供应需求。

关键词 石油开采；重载长管物料；自动化出入库系统

Research on Automated Inbound-Outbound Operations of Long-Pipe Material Yards in Petroleum Exploitation

Huang Dong
CNOOC Energy Logistics Co., Ltd., Tianjin 300452, China

Abstract Driven by the increasing demands for material turnover efficiency in petroleum extraction, this paper focuses on the heavy-duty long-pipe material yard in petroleum extraction as the research object. It provides an in-depth analysis of the current management status both domestically and internationally, as well as the efficiency, safety, and precision issues prevalent in domestic petroleum extraction. A design method for a fully automated integrated inbound and outbound system is proposed, integrating intelligent equipment and digital twin technology. The aim is to enhance the operational efficiency, safety level, and material traceability of the yard, thereby meeting the supply demands of modern petroleum extraction.

Key words Petroleum Exploitation; Heavy-Duty Long-Pipe Material; Automated Inbound-Outbound System

随着石油开采规模持续扩大，传统人工主导的重载长管物料堆场管理方式已难以适应高效率、高精度的物料周转需求。国内堆场多环节离散化作业不仅导致单根长管处理时间超过30 min，还存在60%以上的安全事故源于人工操作失误。建立智能化、一体化的堆场管理系统，已成为提升石油开采供应链效率与安全生产水平的关键突破口。

1 国内外重载长管物料堆场的管理现状分析

1.1 国外先进堆场管理技术现状

国外石油开采领域重载长管物料堆场管理已形成技术集成化体系，以挪威、美国等石油工业发达国家为代表，其堆场普遍采用无人化智能装备集群与数字孪生技术融合的模式。针对长管物料重载、细长的物理特性，企业研发专用自动化吊具与AGV输送系统，通过激光雷达与视觉识别技术实现长管卸车、分类、码垛的连贯作业，无须人工介入物料姿态调整与路径规划[1]。

1.2 国内堆场管理现状及问题分析

1.传统作业模式现状。国内石油开采重载长管物料堆场仍以人工主导的重型设备协同模式为主，作业流程呈现多环节离散化特征。具体而言，入库阶段：汽车吊卸车—人工分类理货—叉车+绑带运输—人工叠放+弧形工装架—汽车吊存储；出库阶段：汽车吊取货—人工分拣—人工打包—叉车装箱—汽车吊运输。各环节的衔接依赖人工指令传递，尚未形成连贯的作业链条，设备利用率低下且流程断点多、等待时间长，严重制约物料周转效率与库存管理精度，难以满足现代石油开采的高效供应需求。

2.现有操作缺点分析。一是作业效率存在显著瓶颈，长管物料的卸车分类、姿态调整、码垛存储等环节均依赖人工判断与操作，作业人员需频繁在不同设备间切换配合，单根长管从入库到存储的平均耗时达30 min以上，难以满足石油开采项目对物料快速周转的需求。二是作业安全风险较高，长管物料单根重量可达数吨，在汽车吊吊装、叉车转运过程中，绑带松动、吊具偏移等问题易导致物料坠落。三是物料管理精度不足，长管物料的分类、存储位置、使用记录等信息均通过人工纸质台账或简单电子表格记录，易因人工登记失误导致物料信息与实际状态不符，造成库存积压，而部分急需使用的长管又因追溯信息缺失无法确认性能状态，影响开采作业进度[2]。

2 自动化智能化转型背景与技术应用分析

2.1 自动化智能化转型背景

《“十四五”智能制造发展规划》将智能制造作为制造强国主攻方向，提出推动行业智能化改造升级、构建智慧供应链的重点任务。当前石油开采行业对重载长管物料周转效率与管

理精度需求持续提升，传统人工主导的堆场作业模式已难以适配规模化开采节奏。加之工业互联网、智能传感等技术成熟提供支撑，推动堆场向一体化、自动化智能管理转型，成为落实规划要求、提升石油开采供应链效率的关键环节。

2.2 关键设备技术分析

1.核心搬运设备。桁架助力臂凭借其数吨级的承重能力与毫米级操作精度，可直接夹取单根重载长管物料，通过液压驱动系统调节夹持力度，避免管材表面损伤，有效解决传统人工配合叉车搬运时的承重不足与操作偏差问题。龙门吊系统集成激光定位与智能调度模块，能根据集装箱存储需求自动调整作业路径，与堆场管理系统实时协同，实现集装箱从运输车辆到存储区的无人化装卸与位置精准匹配[3]。

2.输送系统设备。板链式输送线采用高强度链条与耐磨托板组合结构，可承载长管物料的连续化运输，其传动系统通过变频控制适配不同规格管材的输送速度，避免物料在运输中偏移，满足堆场卸车至存储区的不间断物料流转需求。滚轮式运输线通过密集排布的耐磨滚轮提供平稳支撑，滚轮间距可根据长管直径灵活调节，减少管材与输送面的摩擦，适配超长管材的短距离转运与暂存环节。

3.柔性运输设备。无人转运车搭载激光雷达与路径规划算法，可根据堆场实时作业需求自主调整运输路线，其承载平台配备可调节固定装置，能适配不同长度的长管物料，在卸车区、存储区与分拣区之间实现柔性化转运。该设备可与其他自动化设备通过工业以太网实时通信，动态响应调度指令，填补传统固定输送设备在跨区域物料转运中的灵活性空白。

2.3 相关行业自动化技术借鉴

1.石油行业成熟技术应用。石油管道自动化焊接设备的高精度伺服控制技术，可迁移至堆场长管物料的定位与夹持环节，提升设备操作精度；海洋平台管材自动化装卸系统的重载适配设计，为堆场卸车设备提供抗风载、高承重的结构参考；炼化企业智能仓储的物联网调度逻辑，能优化堆场物料的出入库订单响应效率，实现各环节设备的协同作业[4]。

2.钢材行业技术经验。钢材行业的钢管自动化生产线通过视觉识别实现管材规格实时检测，该技术可用于堆场长管物料的智能分类理货；重载物料自动化运输系统的轨道式承重结构设计，能增强堆场输送设备对长管物料的支撑稳定性；智能化码垛与分拣技术的分层叠放算法，可适配不同直径长管的存储密度优化，提升堆场空间利用率。

3.其他行业经验借鉴。港口集装箱自动化装卸系统的无人化调度模式，可为堆场龙门吊与无人转运车的协同提供流程参考；汽车制造业自动化仓储的立体存储布局，能启发堆场空间的多层化利用设计。现有跨行业技术应用存在对长管物料特性适配不足的缺点，需通过优化设备夹持结构、调整分拣算法参数等策略，提升技术在重载长管堆场的适用性。

3 堆场全流程自动化出入库一体化系统设计

3.1 系统总体架构设计

系统采用“物理层—控制层—管理层”三层协同架构与集成通信方案。物理层围绕单根43.33 cm、12 m、1 t重载长管的作业需求，集成汽车吊、桁架助力臂及板链输送线等设备，通过弧形工装架与可调托盘优化承载结构，形成覆盖卸车、输送、码垛、存储的全流程实体网络。控制层依托PLC与机器人控制系统，实时接收传感器数据，动态调整夹持力度与输送速度，实现设备间的精准协同。管理层搭建集成数字孪生模块的管理平台，综合出入库订单、物料信息与设备状态，通过可视化界面实时展示堆场运营全貌。系统采用工业以太网与5G混合组网，实现三层间毫秒级数据传输，确保设备动作、控制指令与决策调度实时同步[5]。

3.2 自动化入库流程设计

自动化入库流程以提升效率与安全为核心，通过设备协同与信息互联，实现重载长管物料从卸车到存储的全程无人化作业，消除传统人工干预环节。

1.卸车与理货转运。新料管材运抵堆场后，系统调度汽车吊将整批管材转运至理货区暂存，随后桁架助力臂根据管材摆放位置，通过视觉定位锁定单根管材，启动液压夹持装置平稳夹取，按预设路径搬运至入库输送口，精准移交至板链式输送线的承载托板上。

2.输送与信息分类。板链式输送线以适配长管的低速平稳运行，将单根管材运送至信息采集点位后，自动转至滚轮式运输线体；运输过程中，线体搭载的激光扫描仪与RFID读写器同步读取管材规格、编号及长度数据，系统根据长度参数将管材分为不同类别，生成分类标识。

3.匝道分流与托盘转运。主运输线体两侧的推杆装置接收分类指令后，按类别控制对应匝道推杆动作，将管材平稳推送至专属匝道；同时，系统调度无人转运车托举空托盘行驶至匝道存储点位，通过托盘底部举升机构上升，将管材嵌入托盘弧形工装架内完成固定[6]。

4.码垛与集装箱绑定。无人转运车承载载管托盘，沿规划路径转运至码垛区，码垛区行吊机械夹具通过红外定位抓取托

盘，按“下宽上窄”的堆叠规则逐层叠放，叠放层数根据管材重量动态调整；叠放完成后，码垛区输送线与待装集装箱对接，将整组叠放托盘输送至集装箱内，系统同步将管材信息与集装箱编号进行绑定存档。

5.集装箱存储。装载完成的集装箱经系统确认后，由龙门吊通过激光定位获取堆场指定存放点位坐标，启动起重机构将集装箱平稳转运至目标位置，同时管理层数字孪生模块实时更新集装箱存储位置与内部管材信息，完成全流程入库闭环。

3.3 自动化出库流程设计

出库流程与入库系统形成闭环，基于数字化信息追溯与设备智能调度，实现管材精准调取、自动拆垛与快速配送，满足石油开采的物料时效需求。

1.集装箱调取与输送对接。系统根据出库订单需求，自动识别目标管材绑定的集装箱编号，调度龙门吊从堆场存储区抓取对应集装箱，按最优路径转运至出库作业点位；集装箱落位后，其内部预设的输送线与出库点位的外部滚轮式输送线自动对齐对接，形成连贯的物料输送通道。

2.拆垛与管材分离。机械臂搭载夹爪装置移动至拆垛位，通过视觉识别定位叠放托盘的最上层位置，精准抓取托盘并移至旁侧暂存区，拆垛位输送线同步根据管材直径下降至适配高度，将单根管材从托盘弧形工装架中平稳分离，启动输送机构将管材转入横向运输状态。

3.输送与信息核验分类。管材经横向输送线运送至信息核验点位后，转至滚轮式运输线体，线体上的识别设备再次读取管材规格、编号及长度数据，与出库订单信息进行比对核验，同时按长度参数完成二次分类，确保出库物料与订单要求一致。

4.匝道分流与托盘转运。主运输线体两侧的推杆装置根据二次分类结果动作，将符合订单要求的管材推送至对应出库匝道；无人转运车托举空托盘行驶至匝道存储点位，通过托盘举升动作将管材嵌入弧形工装架，随后承载托盘沿调度路径转运至出库码垛区。

5.出库。出库码垛区的机械臂根据集装箱装箱要求，将载管托盘按预设顺序逐层码放，码放完成后，输送线启动将整组托盘运输至待出库集装箱内；装箱作业结束，系统生成出库完成指令，由人工转运车接收指令后，将满载集装箱转运至堆场出库等待区，完成管材出库流程。

4 自动化一体化系统优势分析与预期效果

4.1 物资追溯能力提升

系统利用RFID标签与集装箱信息绑定机制，实现管材入库时自动采集规格、编号、入库时间等数据，出库时同步核验信息并记录领用单位，全程追踪其在卸车、存储、分拣等环节的位置变化，形成不可篡改的数字档案。该机制解决了传统人工记录易遗漏、数据难关联的问题，管理人员可通过平台随时调取任意管材的全生命周期轨迹，显著提升追溯效率与准确性。

4.2 堆场智能化管理

管理平台整合设备状态、出入库订单、物料位置等多维数据，通过智能算法动态优化存储布局，实现同规格管材集中存放以减少转运距离，同时依据订单优先级调度龙门吊、无人转运车等设备，避免设备闲置或冲突。与传统依赖经验的人工调度模式相比，系统能够实时调整作业计划，提高堆场空间利用率与设备协同效率，推动管理决策的数字化与精准化。

5 结束语

综上所述，面向石油开采重载长管物料的堆场全流程自动化出入库一体化系统通过设备协同与信息互联，有效解决了传统模式下的人工干预痛点，实现物料追溯精度提升、堆场智能化管理与数字孪生应用三大核心优势；未来，该系统可向更多石油基地及相关行业推广，还可引入深度学习算法优化调度，并持续改进设备结构与成本效益，推动行业智能化发展。

参考文献

[1]赵志成,罗泽,王鹏彦,等.基于深度残差网络图像分类算法研究综述[J].计算机系统应用,2020,29(1):14-21.

[2]李健,宋昱光,张文.区块链在突发事件应急管理中的应用研究[J].经济与管理评论,2020,36(4):5-16.

[3]张蕾.物资仓储管理电子信息化建设分析[J].科技与信息,2021(32):176.

[4]张竞波,赵移.计算机设备领借用（出入库）信息管理系统设计与实现[J].电脑知识与技术,2023,19(2):53-56.

[5]郑伟鸿,阳斌皓,谢淳.基于位置船图的自动化集装箱码头卸船方法[J].港口装卸,2024(6):6-9,13.

[6]魏庆辉.强化物资到货质量验收 提升物资管理工作水平[J].中国物流与采购,2023(14):71-72.

（本文编辑 曹 阳）

