

民爆行业装卸转运AGV机器人无人化系统创新设计与应用实践

闫丽娜 周航宇

巴彦淖尔盛安化工有限责任公司 内蒙古 巴彦淖尔 015543

摘要:民爆行业产品易燃易爆,装卸转运安全规范严苛,如炸药转运车单车载量禁超10吨,形成“生产即入库、销售再出库”模式。当下行业多靠人工手推车完成炸药垛体出入库,劳动强度大、效率低且存在安全风险,AGV机器人在此领域应用空白。本文针对行业防爆要求高、环境苛刻等痛点,创新设计集防爆、高效、精准于一体的装卸转运AGV机器人无人化系统。攻克关键技术后完成调试与试运行,实践显示该系统可替代人工,提升效率与安全性,为行业智能化转型提供可行方案,推广价值大。

关键词:民爆行业;AGV机器人;无人化系统;创新设计;应用实践

引言:民爆行业是国民经济建设基础产业,其产品运输存储安全管理关乎行业稳定。按法规,炸药单车载量超10吨为重大危险源,禁上路,企业形成“生产后入库、销售时出库转运”流程。目前,多数民爆企业炸药装卸转运靠人工手推车逐垛作业,耗时费力且因人工操作不确定性有安全隐患。AGV机器人虽在多行业成熟应用,但民爆行业有特殊防爆要求、库区空间小、垛体形态不规则,难以直接适配。在此背景下,研发专用AGV机器人无人化系统是破解痛点关键,本文聚焦此系统创新设计与应用,填补技术空白,推动行业升级。

1 民爆行业装卸转运现状与AGV应用必要性

1.1 行业装卸转运核心痛点

民爆行业炸药装卸转运环节长期受限于产品特性与安全规范,形成了多重行业痛点。从作业流程来看,炸药生产完成后需立即由转运车运送至总库区存储,销售时再从库区出库装车,整个过程需经过两次装卸转运,且因单车载量不得超过10吨,导致装卸频次居高不下。从作业方式来看,行业内普遍采用人工手推车进行垛体转运,单垛炸药重量通常在数百公斤,人工搬运不仅劳动强度极大,还容易因疲劳操作导致垛体倾斜、碰撞等问题,进而引发安全风险。从管理层面来看,人工操作的主观性强,难以实现作业流程的标准化管控,且作业数据无法实时追溯,不符合民爆行业精细化安全管理的发展要求。调研数据显示,国内某中型民爆企业日均炸药装卸转运量约50吨,需配备8-10名专职操作人员,单吨炸药装卸转运耗时约40分钟,且每年因人工操作导致的轻微安全隐患达10余起。这种作业模式不仅增加了企业的人力成本,还制约了企业的产能提升,与民爆行业智能化、安全化转型的趋势严重不符。

1.2 AGV应用的必要性与可行性

AGV机器人无人化系统在民爆行业的应用,是解决装卸转运痛点的必然选择。从安全角度来看,AGV系统可实现全程无人化作业,大幅减少人员与爆炸物品的直接接触,从根本上降低人为操作引发的安全风险;从效率角度来看,AGV机器人可实现连续作业,作业效率远超人工,且能精准执行作业指令,避免重复劳动与操作失误;从管理角度来看,AGV系统可实时采集作业数据,实现装卸转运全流程的数字化管控,为企业安全管理提供数据支撑。可行性方面,AGV技术经过多年发展已趋于成熟,在仓储、制造等领域的应用积累了丰富的经验,为其在民爆行业的适配改造提供技术基础^[1]。另外,近年来防爆技术的不断突破,也为AGV机器人适配民爆行业苛刻的防爆要求提供了可能。

2 民爆行业AGV机器人无人化系统核心技术难点

2.1 防爆技术适配难点

民爆库区属于爆炸性危险环境,根据GB3836系列标准,进入该区域的电气设备需具备相应的防爆等级。AGV机器人包含电机、控制器、传感器等多个电气部件,其运行过程中产生的电火花、高温等均可能引发爆炸事故,因此防爆设计成为系统适配的核心难点。与普通工业场景不同,民爆行业不仅要求AGV机器人的单个部件具备防爆性能,还需确保整体结构的密封性能,防止爆炸性物质进入设备内部。此外,AGV机器人的充电环节也存在安全风险,如何实现防爆充电,避免充电过程中产生的热量与电火花引发安全事故,是亟待解决的关键问题。

2.2 作业环境适配难点

民爆库区通常采用封闭式防爆土堤设计,站台较

窄、较高,给AGV机器人的导航与行驶带来极大挑战。同时,炸药品种规格较多,纸箱尺寸大小高低不一,导致垛体高度、宽窄存在差异,要求AGV机器人具备精准的垛体识别与抓取能力。此外,库区站台高度一般有将近2米且较窄,很有可能影响AGV机器人的行驶安全性、稳定性与定位精度。与其他行业宽敞的作业环境相比,民爆库区的苛刻条件对AGV机器人的灵活性、适应性提出更高要求。

2.3 续航与精准控制难点

民爆企业的装卸转运作业具有连续性特点,要求AGV机器人具备较长的续航能力,避免因频繁充电影响作业进度。但受防爆结构设计限制,AGV机器人的电池安装空间有限,难以搭载大容量电池,如何在有限空间内实现长续航供电,成为技术难点之一^[2]。同时,炸药装卸转运对定位精度要求极高,垛体的抓取、放置偏差需控制在毫米级,否则可能导致垛体倾斜、碰撞,引发安全隐患。而库区环境中的金属构件、墙体等可能干扰导航信号,影响AGV机器人的定位精度。

3 民爆行业 AGV 机器人无人化系统创新设计

3.1 系统整体架构设计

本次设计的民爆行业装卸转运AGV机器人无人化系统采用“分层架构、协同管控”的设计思路,整体分为设备层、控制层、管理层三个核心层级。设备层包含AGV机器人本体、防爆充电装置、垛体识别传感器等硬件设备,负责执行具体的装卸转运作业;控制层采用工业级防爆控制器,负责接收管理层指令,协调各设备协同工作,同时实时处理传感器采集的作业数据;管理层搭载智能调度系统与数据管理平台,负责作业任务的规划、调度以及作业数据的存储、分析与展示。系统通过物联网技术实现各层级之间的通信,采用防爆通信模块确保数据传输过程的安全性。同时,系统预留与企业现有WMS(仓储管理系统)、MES(生产执行系统)的接口,实现与企业现有管理系统的无缝对接,打通信息壁垒,提升企业整体管理效率。

3.2 AGV机器人本体创新设计

AGV机器人本体采用底叉式结构设计,该结构可从垛体底部直接叉取货物,无需额外的抓取装置,适用于炸药垛体的装卸转运。防爆设计方面,机器人的电气部件均采用隔爆型结构,电机、控制器等核心部件封装于防爆壳体内部,壳体采用高强度铝合金材料制作,具备良好的密封性能与抗冲击性能,防爆等级达到ExdbIIBT4,符合民爆库区爆炸性环境的使用要求。同时,机器人表面采用抗静电材料处理,表面电阻 <

10 Ω ,并设置静电接地装置,防止静电积聚引发爆炸事故。导航与定位方面,采用激光SLAM+视觉导航融合技术,激光SLAM负责构建库区地图与初步定位,视觉导航通过摄像头采集库区标识信息,实现精准定位与路径修正,定位精度可达 $\pm 5\text{mm}$ 。为应对库区狭窄通道与障碍物,机器人配备360°立体感知系统,通过毫米级避障雷达实时扫描8米范围内的风险,结合AI视觉系统识别异常工况,实现0.1秒级急停响应,确保行驶安全。续航设计方面,采用大容量锂电池组作为动力源,电池组具备防爆、防水、防短路等特性。同时,系统配备自动防爆充电装置,当AGV机器人电量低于设定阈值时,可自动返回充电区域进行充电,充电过程采用隔爆型充电接口,且具备过充、过温保护功能,确保充电安全。单次充电后,机器人可连续作业8小时以上,满足民爆企业连续作业需求^[3]。

3.3 智能调度与管控系统设计

智能调度系统采用多任务优先级调度算法,可根据作业订单、库区库存等信息,自动规划AGV机器人的作业路径与作业顺序,实现多台机器人的协同作业。系统具备任务动态调整功能,当出现紧急订单或设备故障时,可实时调整作业任务,确保作业流程的顺畅性。同时,系统内置库区电子地图,可实时显示AGV机器人的位置、作业状态等信息,便于管理人员实时监控。数据管理平台负责采集AGV机器人的作业数据,包括作业量、作业时间、行驶轨迹、设备状态等,通过大数据分析技术对作业数据进行处理,生成作业报表与设备维护建议。平台具备数据追溯功能,可查询任意时间段的作业记录,为企业安全管理与绩效考核提供数据支撑。另外,平台还具备安全预警功能,当出现设备故障、作业异常等情况时,可及时发出声光报警,并推送预警信息至管理人员手机终端,确保问题得到及时处理。

4 系统应用实践与效果验证

4.1 应用场景概况

本次应用实践选取国内一家中型民爆企业作为试点,该企业炸药总库区占地面积约2000 m^2 ,库区设置10个存储库房,装卸区域与存储区域之间的通道宽度为1.8米,日均炸药装卸转运量约50吨,原有作业模式需配备8名专职操作人员。试点过程中,企业投入4台AGV机器人组成无人化装卸转运系统,主要负责炸药从生产车间转运至库区、从库区转运至转运车的全流程作业,作业对象为重量500kg/垛的乳化炸药垛体。

4.2 系统调试与试运行

系统调试阶段,首先对库区环境进行扫描建模,构

建高精度电子地图,并根据库区布局与作业流程,设置AGV机器人的行驶路径、作业点、充电区域等参数。随后,对机器人的防爆性能、导航精度、装卸稳定性等核心指标进行测试,测试结果显示,机器人防爆性能符合GB3836系列标准要求,定位精度达到 $\pm 5\text{mm}$,垛体装卸偏差 $\leq 10\text{mm}$,满足作业要求。试运行阶段,系统采用“人工辅助+自动作业”的模式运行,管理人员通过监控平台实时监控作业过程,及时处理异常情况。试运行1个月内,系统累计作业时长达到1440小时,完成炸药装卸转运量1500吨,未出现任何安全隐患与作业失误,设备故障率低于1%。根据试运行数据,对系统的调度算法、作业参数等进行优化,进一步提升系统作业效率。

4.3 应用效果评估

系统实现炸药装卸转运全流程无人化作业,彻底替代人工手推车作业,操作人员无需进入库区直接接触炸药,大幅降低人为操作引发的安全风险。试运行期间,库区安全隐患发生率较之前下降100%,未出现垛体倾斜、碰撞等问题,作业安全性显著提升;AGV机器人单台每小时可完成8-10吨炸药的装卸转运作业,4台机器人日均作业量可达80吨,远超原有人工模式的50吨/日,作业效率提升60%以上。同时,机器人可实现连续作业,有效缩短炸药入库出库的周期,为企业扩大产能提供了支撑;系统投入使用后,企业可减少6名专职操作人员,按人均年薪8万元计算,每年可节省人力成本48万元。同时,系统作业效率的提升减少了转运车的等待时间,每年可节省运输成本约10万元。综合测算,该系统的投资回收期约为2.5年,经济效益显著^[4]。

5 行业推广价值与未来优化方向

5.1 行业推广价值

本次研发的AGV机器人无人化系统填补了民爆行业装卸转运自动化技术的空白,其创新的防爆设计、精准的导航控制以及高效的作业性能,可有效解决行业普遍存在的劳动强度大、安全风险高、作业效率低等痛点。该系统符合国家关于民爆行业智能化转型的政策要求,且具备成熟的技术方案与应用案例,具备广泛的推广价值。对于大型民爆企业,可通过大规模部署AGV机器人无人化系统,构建智能化仓储物流体系,提升企业整体

运营效率与安全管理水平;对于中小型民爆企业,可根据自身作业需求,采用轻量化系统配置,实现装卸转运环节的局部自动化升级。此外,该系统的核心技术可延伸至民爆行业的原材料运输、成品配送等其他环节,推动整个行业的智能化转型。

5.2 未来优化方向

尽管该系统已实现初步应用,但仍有进一步优化的空间。可进一步提升AGV机器人的自主决策能力,通过引入工业垂类AI小模型,实现机器人对复杂作业场景的自适应调整;同时,可研发更紧凑的防爆结构设计,提升机器人在狭小空间内的作业灵活性。增加垛体质量检测功能,通过搭载重量传感器与视觉检测设备,实时检测垛体重量与完整性,进一步提升作业安全性;推动系统与民爆行业的供应链管理系统深度融合,实现从生产、存储到销售的全链条数字化管控;同时,加强行业标准的制定与推广,联合相关机构制定民爆行业AGV机器人的技术标准与应用规范,为行业整体升级提供支撑。

结束语

民爆行业装卸转运AGV机器人无人化系统的创新设计与应用,是技术创新与行业需求深度融合的成果。该系统通过攻克防爆、导航、续航等核心技术难点,实现了炸药装卸转运全流程的无人化作业,有效解决了行业长期存在的劳动强度大、安全风险高、作业效率低等痛点。未来,随着技术的不断优化与推广,AGV机器人无人化系统有望在民爆行业实现规模化应用,推动行业安全管理水平与运营效率的全面提升,为行业高质量发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]苗涛.民用爆炸物品购买运输流程智能监管系统设计[J].煤矿爆破,2021,39(04):33-36.
- [2]高建民.民爆行业典型并购模式比较研究[J].财经界,2025(22):59-61.
- [3]宋春霞,王红建.民爆行业安全生产标准化管理重要性[J].中国化工贸易,2020,12(23):62-63.
- [4]郝绪伟.民用爆炸物品安全生产标准化管理经验探讨[J].当代化工研究,2021(20):177-178.