

基于激光扫描的抱罐车自动抱罐安全控制技术

杨国年, 罗旭军, 侯 栖

(广西金川有色金属有限公司, 广西 防城港 538002)

[摘要] 随着人工智能战略在各个行业开始探索创新应用,在冶金行业内实现特种物流装备的智能化作业已经成为发展趋势,其远程超视距操控技术应用便是关键的突破口。冶金行业内的渣处理作业属于封闭场景特种物流装备作业,具有典型物流运输的特点,一旦新应用技术的创新突破,将可以达到以点带面,促进新技术在整个行业的推广应用,提升行业工作效率和安全水平,强化企业运营竞争力,逐步向大数据和基于工业互联网的智能物流迈进。本文就远程超视距操控技术在抱罐车作业的抱罐环节,如何实现安全、可靠、可控作业,引入了激光智能感知控制理念,详实论述了识别检测的方法,希望能为远程超视距操控抱罐车解决其在抱罐作业环节的安全可靠性,提供可以借鉴的技术方案。

[关键词] 远程超视距; 激光雷达; 智能感知; 云数据处理; 拟合算法; 无人化; 智能化; 绿色化

[中图分类号] TH122 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)01-0080-06

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.01.013

0 引言

抱罐车是冶金工厂对冶金废渣进行装载、运输、倾倒的一种特种物流装备。在废渣处理工艺中,由于液态熔炼渣的冷却采用缓冷工艺喷淋水进行冷却,其工艺安全风险较高,因工艺控制等原因经常发生渣罐爆炸事故,造成设备烧损,极大程度上威胁操作人员的生命安全。抱罐车是渣处理作业的主要关键设备,实现抱罐车的远程操控作业可以避免操作人员与抱罐车近距离接触,极大降低作业风险,保障操作人员的生命安全,达到本质安全的目标,这也将是抱罐车装备智能化迈出的关键一步。

1 抱罐车远程超视距操作现状分析

1.1 存在问题分析

接渣作业过程中抱罐车发生设备故障时,人员需要较长时间在热渣罐强热辐射作业环境下作业,面临极大的安全风险和职业健康危害。与此同时还

存在渣罐溶液有时发生溅射、渣罐垮罐等风险问题都存在极大的安全隐患,实践证明抱罐车的作业不适合作业人员直接在抱罐车设备上长期人工操作。

目前抱罐车远程超视距操控技术在实际应用时碰到的一个具体问题,就是远程操作者无法准确判断抱罐车工作机构是否安全准确扣住渣罐两端的耳轴并锁紧。如果不能确定工作机构已经锁死,就会存在工作机构在抱罐车移动过程中发生脱离的风险,一旦脱离,必将造成渣罐倾覆、罐内热渣流出的重大安全事故发生,将极大影响正常的工作流程还可能还会危及周边人员的生命财产安全。抱罐车抱罐状态,如图1所示。



图1 抱罐车抱罐状态示意

1.2 抱罐车远程超视距作业流程

目前,有些冶金工厂场内物流提出需求,尝试通过融合超视距遥操技术+自动驾驶技术+5G网络通信技术,实现在封闭作业场景环境下规定路线的

[收稿日期] 2023-11-20

[第一作者] 杨国年(1975—),男,甘肃金昌人,工程师,大学本科,主要从事设备机械、电气仪表、自动化管理,现任广西金川有色金属有限公司总工程师。

[引用格式] 杨国年,罗旭军,侯栖.基于激光扫描的抱罐车自动抱罐安全控制技术[J].有色设备,2024,38(1):80-85.

抱罐车无人驾驶,抱罐车的抱罐、放罐、倒罐的远程操控+自动作业。

具体作业流程:抱罐车从冶金车间抱起刚出炉的热渣罐,移动到渣缓冷场指定位置放下渣罐;热渣罐需要在缓冷场进行喷淋降温约 72 h,温度降至 50 ℃;然后抱罐车再将冷却后的渣罐从缓冷场移到渣堆场倒渣口,通过倒渣口将渣罐的渣料倒入渣堆场内,把空渣罐放回缓冷场指定位置。

从作业流程看,无论是远程操控还是自动作业,都需要抱罐车用工作机构对渣罐的耳轴进行叉取,这个环节以前需要操作人员根据视频图像对叉取耳轴装置是否抱住锁紧进行确认,渣罐车作业环境多雾气环绕,很难看清楚渣罐耳轴是否被叉取臂抱住锁紧,存在安全隐患。因此,必须要寻找到一种方法,对抱罐车抱罐锁紧及放罐开锁环节进行检测判定。

1.3 抱罐车工作机构结构分析

抱罐车是一种专用运罐的工程机械,设计的抱罐叉取工作机构,具有叉罐、提罐、运输、放罐和翻罐等功能为一体。

抱罐车工作的机构为 U 形,如图 2 所示,在作业时需要与渣罐的耳轴进行配合抱住,再用液压缸锁紧,以保证工作机构 U 形槽沿耳轴圆周贴合抱紧,这样才能保障渣罐在运输过程中的绝对安全。

针对渣罐车叉取臂与渣罐耳轴的结构形式,如何实现抱罐车抱罐锁紧及放罐开锁环节进行检测判定,成为渣罐车实现远程操控作业的主要问题。



图 2 项抱罐车工作机构结构

2 系统设工作机构自动作业安全检测解决方案

2.1 激光雷达感知技术

随着“工业 4.0”等的不断推进与发展,无人码头、无人驾驶、物流仓储智能自动化、机器人停车库智能化、无人巡线、军用精准地图测绘等技术不断涌现。而在这一系列“智能”事件中,都离不开“激光

雷达”的完美贡献。“激光雷达”因其精确的测量距离精度和高角度分辨率及快速的响应,可获取更大量的轮廓点云数据,在自动化港口、码头、矿山、工程车辆及工业机器人自动驾驶、交通监控、安防等诸多领域,已经成为主机设备环境感知及安全防护不可或缺的技术手段。

在动态作业环境下,通常选用工业级激光雷达,采用 TOF 测量法,具有安全激光 I 级,抗干扰能力强。利用激光测距原理进行物体探测、距离测量、轮廓扫描等数据采集功能,可以获得物体在测量系统中的位置坐标。其内置防区策略算法可以在设备扫描范围内的防区设置、防区入侵判断、入侵信号输出。

常规 2D 激光雷达也称为二维激光扫描仪,技术成熟度高,可以在二维平面内对周围物体进行扫描,输出二维位置坐标,实现物体的精准定位。主要功能包括探测、测距、区域安全防护、防碰撞、料位测量、测绘、轮廓扫描,导航定位,数据采集、数据处理、特征识别等。成为工业领域人工智能战略实现的核心感知硬件,被广泛应用环境感知和安全防护,促进了装备智能化进程的快速发展。

激光雷达扫描定位技术在港口集装箱码头无人化作业中得到广泛应用。常规做法集装箱起重机装卸车作业属于典型应用场景,集卡司机需要与作业起重机进行停车对位。在对位停车过程中,集卡司机凭借目视的标记,粗略判断起重机大车方向集卡的停车位置。当起重机吊具到达集卡上方附近时,集卡司机通过目测移动集卡反复确认停车位置,配合起重机司机完成吊具对位。

多年以来,大量研究试图从智能化辅助对位的角度找出解决方案。其核心思路是通过获取车辆与起重机的相对位置,引导集卡与起重机及早、精确的对位,实现降低对位操作难度,减少集卡与吊具间配合对位时间。使用激光技术实现集卡停车对位的辅助功能是目前研究最多应用也较为成熟广泛的技术方案。集卡对位案例显示^[1],针对集装箱码头集卡对位困难的问题,使用二维激光扫描设备对集卡进行垂直扫描,实现了车辆对位的辅助功能。进一步,通过对集装箱顶部边缘数据点的拟合,计算集装箱精确定位坐标及姿态。

由此可知,激光扫描定位技术在港口起重机集卡对位的应用方式、原理以及成功案例,同样技术路

线可以用到本项目应用场景,定位的对象转换为抱罐车叉取臂与渣罐耳轴。

2.2 工作机构安全锁罐检测思路

通过对激光雷达技术的了解发现,可以选用激光雷达的测距、轮廓扫描、定位功能,对工作机构锁板的抱罐状态进行扫描检测,获取工作机构与耳轴的相对位置关系,引导工作机构与耳轴实现完全抱锁状态。这个检测系统称为抱罐车自动抱罐作业激光扫描引导系统。

2.3 抱罐车自动抱罐作业激光扫描引导系统

由于抱罐车远程超视距作业受周围环境影响较大,特别是热渣罐与周围空气形成强烈的温度差,形成烟雾状气体环绕在渣罐周围,使得摄像头无法识别出抱罐车工作机构与渣罐耳轴是否完全锁住达到理论抱罐状态。进一步要想实现自动作业,在这个环节同样需要对锁罐机构和渣罐耳轴的组合状态进行检测,那就需要找到一种方法,弥补摄像头的视觉感知不足。

2.3.1 系统构成、原理与安装方式

抱罐车自动抱罐作业激光扫描引导系统是以抱罐车为平台,实现渣罐姿态识别和位置定位的测量系统。系统由激光扫描仪(用于实时获取被检测对象的空间坐标),车载计算单元(用于处理激光扫描仪所获取的点云坐标数据,并计算出工作机构叉口与渣罐的空间相对位置)系统构成,如图3所示。

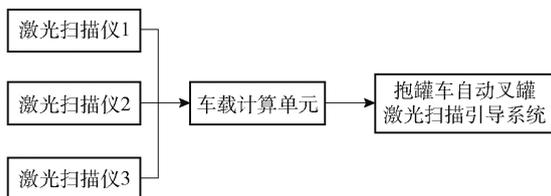


图3 抱罐车自动抱罐激光扫描系统硬件组成

通过对抱罐车抱罐工艺和工作机构的结构进行分析,再结合渣罐搬运时抓取点的特征,创新性的提出基于3点固定扫描的结构形式,在抱罐车的工作机构上安装3台渣罐扫描识别激光雷达,其中一台安装在工作机构的中间位置,用于引导工作机构靠近渣罐;另两台激光雷达分别对称安装于工作臂的左右两端用于确认渣罐的耳轴是否放进工作臂的叉取固定点内,安装示意如图4~5所示。

实现原理:首先对工作机构成功抱罐状态的渣罐外缘进行位置标定,然后利用安装在工作机构对

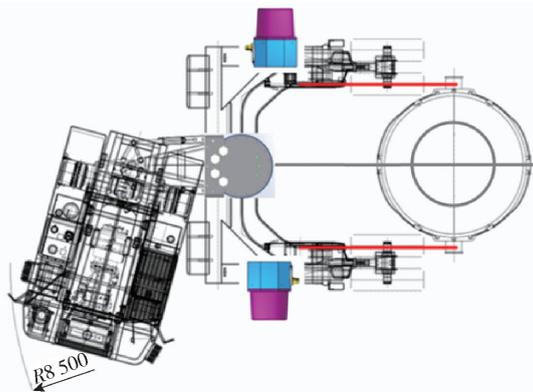


图4 渣罐位置姿态检测识别激光扫描仪安装位置

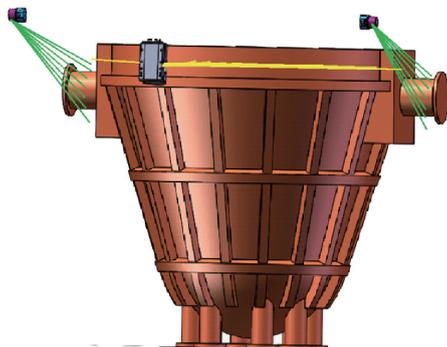


图5 渣罐位置水平和垂直方向扫描

中位置的1台激光扫描仪扫描,对标定的渣罐外缘进行扫描,获得渣罐外缘的轮廓数据;运用车载计算单元,对采集数据进行分析处理,通过软件算法将数据拟合成一个圆,计算出圆心,再将此圆心与工作机构锁座理论条件下完全抱住渣罐时渣罐所在位置的圆心作比对,以确定渣罐与锁座在水平方向的误差值,系统将该误差值作为调整抱罐车姿态水平方向的调整量,引导车辆向理论坐标定位点移动,进而得以控制渣罐与工作机构锁座水平匹配误差落入设计允许公差范围内。同理,用来检测渣罐耳轴的另外2台激光扫描仪,同时对渣罐2侧的耳轴实施轮廓扫描,获取耳轴的外缘轮廓数据。经过车载计算单元对数据进行分析处理后,分别得到一个拟合圆的圆心,将此圆心与工作机构锁座理论条件下完全抱住渣罐时渣罐所在位置的圆心作比对,获得垂直方向的误差值,将此误差值作为工作机构垂直方向的调整量。通过调整工作机构的俯仰角度,使得工作机构与渣罐耳轴匹配误差落入设计允许公差范围内。至此,设计的3个定位检测点的检测数据均满足系统设定要求。从而,系统成功实现抱罐车对叉

取抱罐作业的引导和安全锁定。

2.3.2 激光扫描点云的数据处理

由于抱罐车自动抱罐激光扫描系统需要工作在复杂的工业环境下,并且需要具备全天时和全天候室外工作能力的特性。因此点云数据不可避免地会因为雨、雪、雾等天气因数所造成的大量背景噪声和离散空间噪声(激光打在雨滴、雾气上的背向散射激光信号被激光扫描仪探测器捕获)数据混入正常有效数据中,这些离散点和散射噪声数据对后面的对象检测识别的精度和效率带来严重的影响。

针对抱罐车自动抱罐激光扫描系统点云数据的特点,下文将对抱罐车自动抱罐激光扫描系统所采集到的点云数据处理方法进行研究讨论。当今主流的激光扫描点云数据处理流程最早由 Hoffman, R^[2] 和 A. K. Jain^[3] 提出,如图 6 所示。

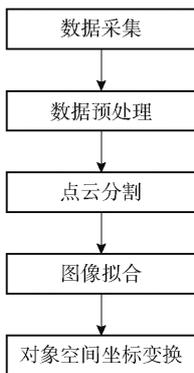


图 6 激光点云数据处理流程

激光点云数据处理的原则是需要保证点云数据的空间信息和强度特性在不变的前提下,对激光点云数据进行预处理,然后通过先验规则进行点云分割处理,最大限度滤除背景噪声数据,最后拟合计算预处理后的点云数据,为下一步的抱罐车自动抱罐引导系统提供精确的数据支撑。

根据本文所研究对象的特点,渣罐的整体外形为一个倒圆锥体,渣罐搬运吊点为圆柱形结构,如图 7 所示。通过合理的设计激光扫描仪的安装位置,激光扫描仪所扫描获得的点云数据,即渣罐上圈圆截面和吊装耳轴的截面圆。通过分析可知,只要知道这 3 个圆的圆心坐标,就可以转换出与工作机构锁罐座的圆弧中心的空间距离,所以点云数据的处理最重要是对点云数据进行拟合圆匹配操作。

点云拟合圆操作采用最小二乘法求解拟合圆方式进行,最小二乘法是一种数学的最佳函数匹配。

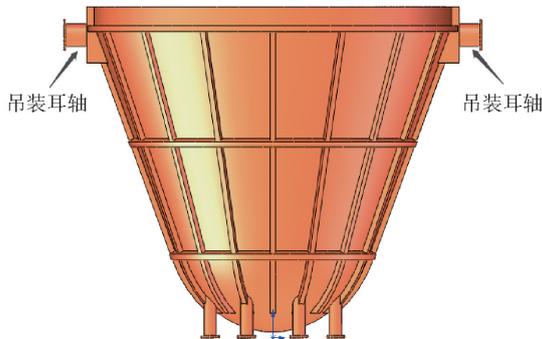


图 7 渣罐耳轴位置

利用最小二乘法可简便求得未知的数据,并使得这些求得的数据与实际数据之间误差的平方和为最小。最小二乘法圆拟合算法又细分为 Kasa 法^[4] 圆拟合法和 Pratt 法^[4] 圆拟合法,下面将对 2 种算法进行优缺点概述。

根据圆的标准方程可写为:

$$D = \sum_{i=1}^n [\sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2} - R]^2 \quad (1)$$

点式中: x_i 为圆弧上特征点坐标; y_i 为参与拟合的特征点数。

通过引入 Kasa 方法对上式进行变换在保持这优化目标函数特征的前提下,需要对其用一种稍微不同的改进方法来定义误差平方,且其避免了平方根,同时将非线性问题转换为线性问题可得到一个最小化问题的直接解,定义如下:

$$D = \sum_{i=1}^n [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - R^2]^2 \quad (2)$$

Kasa 方法圆拟合作为最常见的圆拟合方法,虽然计算方法简单、效率快,但是拟合结果存在较大偏差。通过将 $D = \sqrt{(x - a)^2 + (y - b)^2}$ 与半径 R 的差值 $D - R$ 转换为 $D^2 - R^2$,将非线性问题转换为线性问题。但是因为 $D^2 - R^2 = d(d + 2R)$,令 $d = D - R$,当偏离值 d 较大时,Kasa 方法导致 R 明显变小。

Pratt 方法通过将 Kasa 方法的目标除以 $(2R)^2$ 的方式,取得更准确的结果定义如下:

$$f = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - R^2]^2}{(2R)^2} \quad (3)$$

通过变换可得:

$$A(x^2 + y^2) + Bx + Cy + D = 0 \quad (4)$$

通过对比 2 个算法公式可以看出 Pratt 方法有 2 个明显优势。①消除了半径的影响,使得曲率半径

非常大、噪声大的情况下算法也能正确运行。②在方程式上融合了直线方程,当系数 $A=0$ 时,求得的曲线是直线,在实际应用中,不清楚待拟合曲线为直线还是曲线的情况下非常有效。Pratt 方法的效率也比较高,因此是一种非常实用的方法^[5-6]。

利用 Pratt 方法拟合法得到圆的中心坐标,将该坐标与抱罐车工作机构锁座圆弧中心坐标进行布尔运算就可得到渣罐与锁座的空间位置差^[7-9]。

2.3.3 系统可视化引导界面设计

通过对抱罐车抱罐作业现场的观察设计了可视化引导界面,该界面由水平方向引导界面和垂直方向引导界面构成,如图 8、图 9 所示。非常直观地引导远程操作者控制车辆相关操作机构,实现抱罐车的叉取抱罐的安全作业。

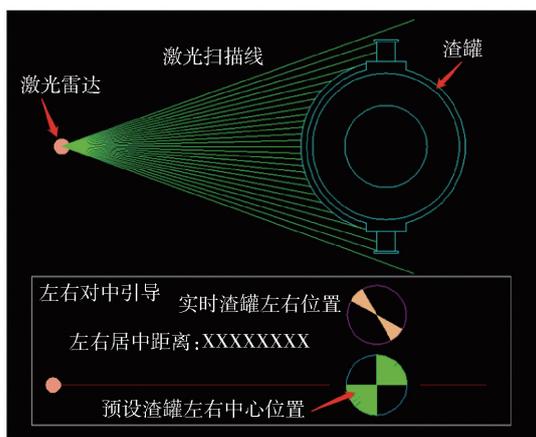


图 8 水平方向引导界面

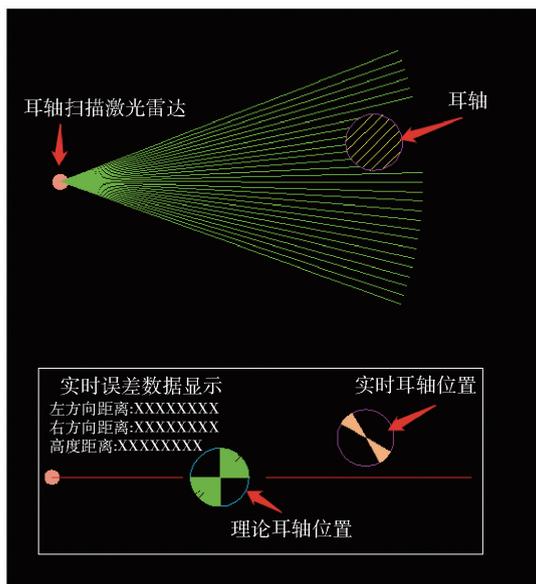


图 9 垂直方向引导界面

水平方向引导界面包括:渣罐水平拟合圆、渣罐理论水平中心点和实时渣罐与理论水平中心点的误差值显示;垂直方向引导界面包括:渣罐耳轴截面拟合圆、工作机构锁座理论水平中心点和实时渣罐与理论水平中心点的误差值显示^[10-12]。

为了让操作人员更加客观地观察到渣罐与工作机构的相对位置关系,该界面采用实时动画技术,把渣罐与工作机构的空间位置关系采用动画 1:1 尺寸动画还原引导展示。

3 结语

超视距远程操控技术在冶金渣处理工艺环节抱罐车作业上的应用,目前尚处于探索应用开发阶段,其抱罐、放罐、倒罐的安全作业,还需要引入高端感知传感器。本文创新点在于将激光雷达技术引入到抱罐车作业,可以有效解决困扰抱罐车远程作业操作的实际问题,据悉目前该技术的运用已经得到了抱罐车生产厂家的关注。希望该技术可以尽快在工业领域得到实践检验和后续的应用推广,促进抱罐车智能化升级和作业环节的安全可靠性,推动冶金行业装备智能化水平的提升,为冶金行业物流装备的无人化、智能化、绿色化发展提供技术支撑。

[参考文献]

- [1] 黎广宇. 集装箱起重机集卡停车对位辅助技术发展浅析[J]. 中国水运, 2020(2): 39-41.
- [2] HOFFMAN R, JAIN A K. Segmentation and Classification of Range Images[J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. 1987. PAMI-9(5): 608-620.
- [3] KASA I. A curve fitting procedure and its error analysis [J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 1976, 25(1): 8-14.
- [4] PRATT V. Direct least squares fitting of algebraic surfaces [J]. ACM SIURAPH computer graphics, 1987, 21(4): 145-152.
- [5] 范阿水. X 射线分选机在某钨矿选矿厂的分选实验[J]. 有色矿冶, 2021(6): 23-27.
- [6] 周建萍. 基于有色冶金电气自动化控制技术特点与应用分析研究[J]. 有色设备, 2023, 37(6): 34-37.
- [7] 李福生. 抱罐车液压敲罐系统的设计及应用[J]. 液压气动与密封, 2023, 43(5): 5-8.
- [8] 杨骏, 耿会良, 李利民, 等. BGC-60D 抱罐车后车架结构有限元分析及轻量化研究[J]. 机械设计与制造工程, 2021, 50(5): 88-93.

- [9] 黄伟,柳俊杰,乐安胜. BCG70 抱罐车的技术改进与运行维护[J]. 有色冶金节能,2020,36(4):50-52+65.
- [10] 袁伟杰. 一种渣选矿缓冷控制系统[J]. 有色冶金设计与研究,2020,41(S1):20-22+28.
- [11] 范阿水. X 射线分选机在某钨矿选矿厂的分选实验[J]. 有色矿冶,2021(6):23-27.
- [12] 谢庆刚,吴疆,朱建龙. 炼钢区域智能废钢车间无人化配料系统设计[J]. 冶金自动化,2022,46(S1):427-432.

Automatic safety control technology for holding tank trucks based on laser scanning

YANG Guonian, LUO Xujun, HOU Xi

Abstract: As the artificial intelligence strategy begins to explore innovative applications in various industries, the realization of intelligent operation of special logistics equipment in the metallurgical industry has become a development trend, and the application of its remote over-the-horizon control technology is the key breakthrough. The slag treatment operation in the metallurgical industry belongs to the special logistics equipment operation in the closed scene, which has the characteristics of typical logistics transportation. Once the innovation breakthrough of new application technology, it will be able to achieve the promotion and application of new technology in the entire industry, improve the work efficiency and safety level of the industry, and strengthen the operation competitiveness of enterprises. Step by step to big data and intelligent logistics based on the industrial Internet. This paper introduces the laser intelligent perception control concept on how to achieve safe, reliable and controllable operation in the holding process of the holding tank truck with the remote beyond visual range control technology, and discusses the identification and detection methods in detail, hoping to provide a technical scheme that can be used for reference to solve the safety and reliability of the holding tank truck in the holding process with the remote beyond visual range control technology.

Key words: long distance beyond visual range; laser radar; intelligent perception; cloud data processing; fitting algorithm industry; unmanned; intelligent; green ▲