

矿用皮带异物分拣机器人设计及应用

严海鹏, 贾智新*, 马静雅, 梅华钊, 李爱军
中信重工开诚智能装备有限公司, 河北 唐山 063020
DOI:10.61369/ETQM.2026070017

摘 要 : 针对矿用皮带运输煤块中存在的矸石、木块等异物问题, 研制了一种新型的、可以代替人工的异物分拣机器人, 论述了矿用皮带异物分拣机器人的组成结构、实现方法和其功能特点, 实际应用表明, 利用该机器人能够高效的、精准的分拣皮带运输中高速运动的异物, 实现无人化作业, 为数字化矿山的建设、生产系统智能化提供强有力的保障。

关 键 词 : 矿用机器人; 异物分拣; 皮带运输机; 机器视觉

Design and Application of a Mining Belt Foreign Object Sorting Robot

Yan Haipeng, Jia Zhixin*, Ma Jingya, Mei Huazhao, Li Aijun
CITIC Heavy Industry Kaicheng Intelligent Equipment Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063020

Abstract : In response to the problem of foreign objects such as coal gangue and wood blocks in the coal transportation by mining belts, a new type of foreign object sorting robot that can replace manual work has been developed. This paper discusses the composition structure, implementation method and functional characteristics of the mining belt foreign object sorting robot. The practical application shows that by using this robot, foreign objects moving at high speed in the belt transportation can be sorted efficiently and accurately, achieving unmanned operation, providing a strong guarantee for the construction of digital mines and the intelligence of production systems.

Keywords : mining robot; foreign object sorting; belt conveyor; machine vision

引言

前, 皮带运输机作为煤矿井下的主要运输设备, 在煤矿井下运输环节中起到不可或缺的作用。煤矿井下皮带速度高达4m/s甚至更高, 现有设备和人员无法实现对异物的分拣, 同时停机分拣会影响煤矿井下的正常生产。为此, 针对煤矿高速运行的皮带系统, 急需一种高效、快速的高速移动抓取异物机器人装置。

目前, 煤矸石智能分拣机器人技术发展迅速, 已成为煤炭行业智能化建设的重要方向。在识别技术方面, 基于机器视觉的煤矸识别算法日趋成熟, YOLO系列目标检测算法及改进的卷积神经网络被广泛应用于煤矸图像识别, 识别准确率达95%以上。在执行机构方面, 现有技术路线主要分为气动喷吹式和机械手抓取式两种。应用场景方面, 当前煤矸分拣机器人多部署于地面选煤厂或顺槽皮带, 皮带速度普遍在0.3 ~ 1.6m/s范围, 对于4m/s及以上超高速运行的皮带异物分拣, 国内外尚无成熟应用案例。此外, 现有分拣机器人多针对单一矸石分选场景, 对木块、锚杆等多类型异物的综合分拣能力仍有不足。为此, 针对煤矿高速运行的皮带系统, 急需一种高效、快速的高速移动抓取异物机器人装置, 实现对多类型异物的精准识别与动态抓取^[1]。

一、矿用皮带异物分拣机器人系统组成

机器人系统主要由三轴移动抓取装置、图像采集装置、防爆服务器、防爆控制箱和测速传感器组成, 如图1.1所示。

(一) 防爆服务器

防爆服务器主要包括防爆箱体、高性能工作站、UPS, 高性能工作站配置了高配CPU和GPU, 在其上部署了分拣机器人上位机软件, 负责对异物信息进行智能化分析, 快速定位异物位置, 计算异物抓取时机、实时显示图像等。UPS负责给图形工作站等

供电, 防止意外断电给工作站造成损害^[2]。

(二) 防爆控制箱

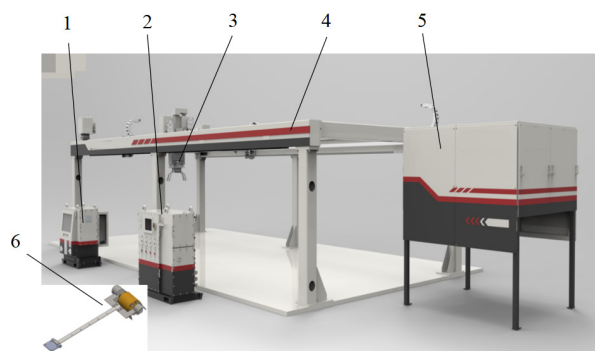
防爆控制箱内包含了高精度伺服驱动控制系统, 负责XYZ轴运动逻辑控制、与防爆服务器的通信、数据处理、限位开关采集、气阀控制、驱动电机速度环运行、皮带实时速度和位置的采集等^[3], 是整个系统的核心控制部件。

(三) 高速机械手

三轴移动抓取机械手为该系统的执行装置^[4], 机械手可在空间三个相互垂直的方向XYZ轴上快速移动, 其中抓取异物的机械

作者简介: 严海鹏 (1989.03-), 男, 汉族, 河北省遵化市人, 学历: 本科, 职称: 工程师, 研究方向或工作领域: 特种机器人, 煤矿智能装备。
通讯作者简介: 贾智新 (1984.10-), 男, 汉族, 河北省秦皇岛市人, 学历: 本科, 职称: 工程师, 研究方向或工作领域: 特种机器人, 煤矿智能装备。

手为串联式升降机构，因为电动缸运动定位准确但相应速度慢，气动缸响应速度快但精准度不高，该升降机构将电动缸与气动缸以串联方式结合到一起，在快速响应的同时保证了精准定位，使机械手能有效的从皮带上抓取目标物^[5]。



1- 防爆服务器、2- 防爆控制箱、3- 高速机械手、4- XYZ三轴移动机构、5- 图像采集装置、6- 测速传感器

图 1.1 矿用皮带异物分拣机器人组成结构

（四）XYZ移动机构

XYZ移动机构（三轴移动装置）是由 X 轴、Y 轴、Z 轴组成，其中 X 轴采用两台高精度大扭矩伺服电机，移动速度可达 4m/s，可实现对高速移动皮带上的异物进行快速跟踪，两台电机实现高精度同步控制。Y 轴由一台高精度电机驱动，可快速移动到异物位置，Z 轴由一台高精度电机驱动，负责快速抓取异物。三轴协同动作，完成整个抓取流程，快速精准抓取高速移动皮带上异物。

（五）图像采集装置

图像采集装置主要包括高速相机、补光设备、吹扫设备等，可对高速移动皮带上的异物信息进行快速采集，将数据传递给计算机进行智能化分析。由于现场灰尘较大，使用吹扫设备对高速相机和补光灯进行定期清扫，保证了相机的成像质量，提高识别准确性。防爆高速相机镜头部位，布置气动吹扫装置，通入高压气体，进行定期吹扫，保证相机镜头除尘效果^[6]。除尘装置核心部分为空气风刀，使用空气风刀特殊结构，可以将高压气体聚拢，形成风墙，保护相机镜头不受粉尘污染。如下图 1.2 所示：

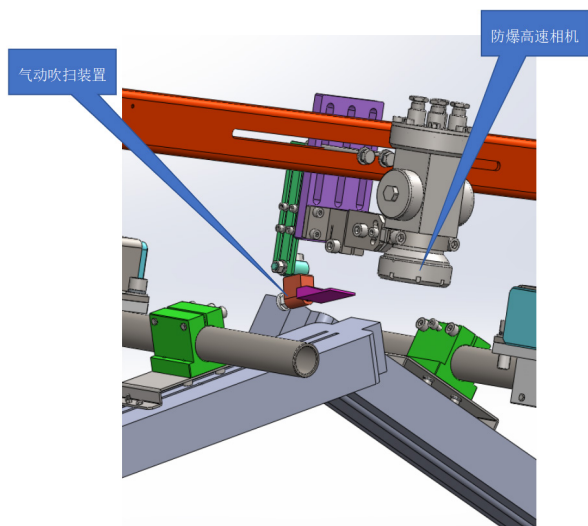


图 1.2 气动吹扫结构示意图

（六）测速传感器

测速传感器内置了 1000p/s 的增量式编码器，负责采集编码器脉冲数据，通过通信网络发送给防爆控制箱和防爆服务器，计算异物实时位置信息，从而进行精准的追踪和抓取。

二、矿用皮带异物分拣机器人创新点

（一）异物智能识别定位技术

为解决高速运输过程中的皮带采集清晰度难题，研究基于高速工业相机和摄像机的图像采集系统，对皮带表面进行高速、高清图像采集；通过大吞吐量高速核心运算系统与 AI 算法相配合，去除由于皮带高速运动带来的模糊，并通过智能识别框架对图像采集系统输入的大量图像进行人工智能算法处理，实现对异物的智能识别。

（二）运动模糊去除算法

煤矿井下低照度、高速运动的皮带，拍摄高清晰度的异物照片是该机器人研究的技术难点。自主研发了运动模糊去除框架，将去除模糊问题当作图像重建任务中的一个特例。将模糊图像输入到模糊去除框架中，通过模糊去除框架中的生成器重建清晰图像，然后模糊去除框架中的判别器对图像清晰程度及进行判断，通过不断迭代最终生成最优的清晰图像。并且，通过并且加入了残差学习的方式使得训练更快、模型泛化能力更强，处理时间更短。

（三）智能识别算法框架

为满足机器人应用需求，研究了一种具有自动 AI 异物识别分析的智能识别算法框架，该技术基于工业摄像机的图像采集系统，对皮带表面进行高速、高清图像采集；通过大吞吐量图像信息的高速核心运算系统与 AI 算法相配合，对图像采集系统输入的大量图像进行运算处理，实现对异物进行智能识别^[7]。

在异物智能识别框架中，首先，通过 YOLOv5s 目标检测算法对皮带异物进行精准定位，获得异物图像；其次将图像送入到结合 ResNet 网络和 Inception V3 网络的特征融合分类器中进行特征提取，获得同一图像的局部特征和深层特征；最后，将两种网络提取到的异物特征图进行拼接后输入到线性分类器中进行分类，从而识别出异物种类^[8]。

通过以上异物识别框架，经过大量现场图片识别测试，综合识别准确率可达 98% 以上，可以保证皮带带面异物的有效、准确识别。

（四）高精度位置测量装置

针对目前常规测速装置，检测下层皮带速度的原理，由于输送皮带运输距离长达几公里，下层皮带的运动距离，无法很好的反馈到上层皮带上。

异物抓取装置需要检测精确的异物位置，以便准确的对异物进行抓取。为克服以上问题，研发了一种检测上层皮带运动距离的防空转皮带测速装置，经现场测试使用，测量精度 $\leq 10\text{mm}$ ，很好的满足了异物抓取对皮带机运动位置高精度测量的需求。

（五）高速大负载串联式机械手

抓取过程中，高速移动追踪机构对 Y 轴进行加速，当 Y 轴与

皮带速度同步后，留给机械爪抓取的时间 $\leq 150\text{ms}$ ，为了解决快速高精度异物抓取难题，自主研发了串联式机械手，满足抓取重量 $\geq 20\text{kg}$ 的大负载抓取需求，分拣异物能力大（异物尺寸 $\leq$ 长 1000° 宽 270° 高 300° ），满足绝大部分场所需求，如图1.3所示。机械手串联式机械手升降机构，该升降机构采用将可精准定位与可快速升降的器件进行串联的结构，取二者之长，使机械手的升降机构兼顾了精准性与敏捷性，使机械手能有效的从皮带上抓取目标物。

三、应用效果

该异物分拣机器人已经在多个煤矿中得到应用，机器人主要应用于煤矿井下顺槽皮带，以及地面除杂皮带机上，机器人图像识别装置安装于皮带机上游，执行机构横跨于皮带机上方，图像识别装置识别到带面异物后，将信号发送执行机构，执行机构对皮带带面上的异物进行精准抓取。机器人可以将皮带机带面上物料中的大块矸石、锚杆、枕木、铁丝网等异物，实现不停机的抓取分拣，并将异物抛弃到指定位置，图3.1所示为该分拣机器人现场工作时的情况^[9]。



图3.1 异物分拣机器人现场应用

机器人投入应用前，煤矿现场需设置岗位员工守在皮带机头尾拾取皮带上的异物。由于皮带机处于高速运行状态，员工进行上述操作存在着安全风险，且异物遗漏率高。机器人投入应用后，可以实现皮带运行过程中的自动、不停机分拣，机器人自动识别异物，自动分拣，将岗位工人从繁重恶劣的一线现场解脱出来，提升了皮带运输系统的安全性，减少皮带故障停机时间^[10]。

四、结语

通过大量现场实验验证表明，该机器人工作可靠，运行状况稳定，对皮带运输煤块中夹杂的木块、大块矸石等异物识别准确，机械手抓取稳定，不但节省了大量人力物力，而且提高了分拣异物的效率和准确率，代替了人工剔除异物的工作，减员增效取得明显成效。当然，实际测试过程中，机器人也存在一些未识别、未成功抓取的概率，总结归纳主要原因为物料堆叠、杂物辨识度差、机械爪抓取结构限制等原因。因此，在后续研究中，仍需要从物料排队平铺、采用更先进的识别手段、改进优化机械爪这几个方面着手，继续进行优化改进，提升抓取成功率。

皮带异物分拣机器人的研发，实现了矿用机器人从“监测”到“执行”的跨越式发展，该款机器人的出现，真正的引领机器人行业从“发现问题”向着“解决问题”转变。

参考文献

- [1] 韩学敏. 矿用皮带智能巡检机器人的分析与应用 [J]. 机械管理开发, 2021(010):036.
- [2] 许开成, 陆文涛, 张树生, 等. 矿用皮带运输机巡检机器人控制系统和控制方法 :CN201510023774.0[P].CN104670842B[2026-04-17].
- [3] 岳雨田. 基于 MPC-PPID 的矿用巡检机器人运动控制 [J]. 工矿自动化, 2025, 51(S1):131-134.
- [4] 万鹏 杨家稳 王云飞. 矿用挖掘机器人多执行器轨迹规划方法研究 [J]. 2025.
- [5] 曹宏利. 矿用救援机器人运动规划与柔顺控制研究 [J]. 工矿自动化, 2024, 50(S2):188-190.
- [6] 张杰. 基于机器视觉的工业机器人快速分拣技术应用研究 [J]. 家电维修, 2025(4):12-15.
- [7] 陈宜涛, 方成刚, 张文东, 等. 基于机器视觉的工业零件智能分拣系统设计 [J]. 工业仪表与自动化装置, 2024(6):24-29.
- [8] 蒋文娟, 刘经天, 邵开丽. 激光雷达融合机器视觉的物流分拣多目标视频跟踪 [J]. 激光杂志, 2024, 45(6):221-226.
- [9] 孙波, 任永力, 周茂普, 等. 矿用钻锚机器人精准钻孔定位控制系统的研究与探讨 [J]. 煤矿支护, 2025(3):43-47.
- [10] 范红斌, 张坤. 矿用煤流安检杂物预报筛检机器人关键技术研究 [J]. 山东煤炭科技, 2022(005):040.