

# 煤矿选矸机器人智能控制技术

王新盼

陕西建新煤化有限责任公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i2.6511

**[摘要]** 煤矸分选是提升煤炭清洁高效利用的重要技术环节。传统筛选原煤、矸石一般采用人工手选的方式选出矸石，但人工捡矸效率低，而且由于工作环境恶劣、劳动强度大，存在安全隐患。为解决煤炭生产过程中人工选矸劳动强度大、危险性高的弊端，本文设计了一种智能选矸机器人系统，很大程度上实现了煤矸智能分选，对推动我国煤矿行业数字化发展有一定促进意义。

**[关键词]** 煤矿选矸；智能机器人；控制技术；应用

## Intelligent control technology of gangue selection robot in coal mine

Wang Xinpan

Shaanxi Jianxin Coal Chemical Co., Ltd

**[Abstract]** Coal gangue separation is an important technical link to improve the clean and efficient use of coal. The traditional selection of raw coal and gangue generally adopts manual hand selection to select gangue, but the efficiency of manual gangue picking is low, and due to the harsh working environment and high labor intensity, there are hidden safety risks. In order to solve the disadvantages of high labor intensity and high risk of manual gangue separation in the process of coal production, this paper designs an intelligent gangue separation robot system, which realizes the intelligent separation of coal gangue to a large extent, and has certain significance to promote the digital development of coal mining industry in China.

**[Key words]** coal mine gangue selection; intelligent robot; control technology; application

### 1 煤矿选矸技术发展现状

#### 1.1 煤矿选矸必要性

煤矸分选是煤炭生产过程中必不可少的技术环节。由于原煤中含有大量矸石和其他杂质。如果未经分选就进行燃烧，产生的气体会造成环境污染；同时矸石会导致煤炭燃烧不彻底，从而造成能源浪费。因此，矸石分选直接影响到煤炭的利用率，是我国低碳减排的发展要求。然而，拣矸石车间粉尘大、噪声大、体力劳动强，严重影响职工的身心健康。

#### 1.2 煤矿选矸技术发展

在传统的煤矸分选技术中，多数是采用人工分拣。人工分选被分为正式手选和检查性手选两种作业。正式手选是利用人

工将矸石从块煤中分离出来，而检查性手选则是利用机器进行分选。当煤中包含少量密度低但灰分高的块煤，且在矸石泥化特别严重的情况下，为保证煤的质量，往往会安排进行人工拣选<sup>[1]</sup>。

随着煤炭工业机械化的应用，机械分拣逐渐取代人工分拣，成为煤矸分拣的主要形式、具体方法有人工拣选、风力选煤、流化床选煤、选择性破碎法、射线透射法、图像法以及磁选法等。

#### 1.3 传统煤矸分选技术不足

对比以往的煤矸分选方法可见，人工分拣方式分拣效率低，而且工作人员作业环境差，劳动强度高等问题突出。风力

选煤、跳汰选煤、重介质选煤等方法往往需要前期较大的资金投入以建设设备和生产线，后期的维护费用也居高不下。在大数据时代背景下，传统的机械化矸石分拣技术已不能适应我国当前煤矿智能化发展需求<sup>[2]</sup>。

为了解决传统煤矸分拣存在的不足，基于人工智能技术、深度学习算法和迭代计算的煤矸分选机器人应运而生。煤矿选矸智能机器人的研发和应用将在一定程度上解决煤炭企业的用工难问题，实现煤矸高效分离。

## 2 选矸机械手发展现状

在煤矿生产中，挑选矸石、提高煤质是煤矿生产的一个关键环节。国家煤矿安监局办公室 2019 年 7 月 9 日发布的《国家煤矿安监局办公室关于开展煤矿安全生产先进适用技术装备遴选工作的通知》中，将“煤矿机器人”纳入了煤矿安全生产先进适用技术装备范围。这对解决选矸环境复杂、占用人员多、劳动强度大、安全性差等问题具有重要指导意义。

目前，国内大多数煤矿都有人工手选的生产环节。人工选矸工艺简单，但很难实现自动化。2010 年左右，国内一些研究单位设计了“射线识别+风吹选矸”的选矸模式。该技术利用煤和矸石对 X、 $\gamma$  射线吸收率不同这一特性，建立起一种识别模型，对煤和矸石进行在线识别。但它对被测煤矸的厚度范围有一定限制，只能处理粒度小于 200mm 的小型矸石块。由于其效率低、范围窄、故障率较高，目前已逐渐被淘汰<sup>[3]</sup>。

近几年，随着 AI 视频自动识别技术的高速发展，一些研究单位在此基础上逐步研发了智能选矸机器人。智能选矸机器人是基于机器视觉的智能煤矸识别技术，通过高速相机拍摄的煤和矸石图像，对煤块和矸石的轮廓、灰度、纹理、反射光线、波长进行数据采集、标定入库，经过识别煤矸轮廓，对煤矸初筛和精筛分类。该技术配合神经网络技术深度学习，实现煤矸识别。识别后的矸石经过仿生机械手时，能够快速精准被抓取。此项技术能够解决“射线识别+风吹选矸”模式的弊端，大幅度提升选矸机械手的煤矸适用范围和效率。

## 3 智能选矸机器人优势

(1) 分选精度高。采用视觉识别 AI 分析技术中的卷积神经网络技术识别分类块煤和矸石，并可块煤的形状、大小、位置、速度等处理信息通过数据接口传送至企业控制中心。采用视觉识别分析技术分选煤矸，安全可靠，识别准确率可达 85% 以上<sup>[4]</sup>。

(2) 分拣效率高、分拣精准。气动分拣装置融合智能识别 AI 分析技术，通过不同喷嘴组合的差异化控制，可实现同时分拣多块矸石，分拣效率高；采用差异化阵列式喷嘴，提高了喷吹力的力度分辨率，采用先进的路径寻优算法，根据矸石

的目标落点区域和矸石大小控制喷嘴开启、关闭与喷气时间，实现了喷吹力的精准控制。

(3) 分选粒度宽。有效分选粒度宽的上限可达到 300mm，下限为 50mm，能够满足绝大部分场所。

(4) 环保。采用智能图像识别系统，识别系统小巧、功耗低；除尘系统能够避免二次污染。

## 4 智能选矸重点技术

当前，煤矿企业已经开始从粗放管理走向精细化管理。加强智能化装备的投入和使用，减员增效，是当前企业的战略目标。对智能选矸机器人来说，这是一个很大的发展机遇，它能够切实改善职工作业环境，降低劳动强度。

### 4.1 技术基础

(1) 在不改变原带式输送机布局的情况下，加装控制系统装置满足识别和分拣的需求。此系统安装工作量少，可实现快速安装，节约工期。

(2) AI 视频视觉识别技术发展迅速，具有高分辨率和深度学习等优势，已广泛应用在许多领域。当前视觉识别技术已经达到或接近人工肉眼视觉水平。

(3) 执行装置的机械手，在构造和性能上兼有人工和机器的优点，既能像人手一样灵活，又可以重复同一动作，远远超过人手臂力。它可以从带式输送机上取下矸石，代替人工拣矸。

(4) 机械手的行为均通过程序执行，主机系统具有计算、处理数据与信息的能力，能够实现比较复杂的动作。综上所述，智能选矸机器人运用视觉识别技术、控制系统和机械手等关键技术，在理论上代替人工分选矸石是成熟、可行的。

### 4.2 AI 视频煤矸识别技术

随着高清摄像技术的发展，视频图像识别技术已被广泛应用到各个行业。煤矸识别是基于机器视觉的 AI 识别技术，通过将煤块和矸石的各种参数采集入库，经过神经网络技术深度学习，从而具有煤与矸高效识别的一种方式。

与传统煤矸识别技术中的 X、 $\gamma$  射线识别法相比，AI 视频识别具有智能化程度高、识别效率高等优势。AI 视频识别系统通过高速相机摄取，对煤块的表面特征进行数据采集、建模、存库等一系列的流程，经过图片分析识别煤矸轮廓和特性进行煤矸初筛和精筛分类。该技术充分采用神经网络技术深度学习后，能够实现煤矸识别<sup>[5]</sup>。现场测试时，AI 视频识别率可达到 98%。煤矸识别包括目标检测网络 YOLOv2 以及两级分类网络 AlexNet，前者用于煤矸轮廓的识别；后者作为初筛分类器和精筛分类器，进行煤矸筛选。高速相机模拟人眼发现煤矸，程序延伸人脑识别煤矸，抓手扩展人的肢体做出相应的动作。

### 4.3 运动控制算法

当煤矸识别系统有任务通过以太网传输时,处于空闲状态的机械手面对任务排队领取抓取任务,然后去完成抓取任务。处于工作状态或发生故障的机械手,不参与任务排队。机械手完成工作任务后,处于空闲状态,重新参与任务排队。

## 5 智能煤矸石分选机器人控制技术应用

随着煤炭分选行业对煤矸石分选技术智能化需求的增长,智能煤矸石分选机器人已经成为业内研究的焦点。智能煤矸石分选机器人要求能够替代原有人工拣矸的方式,就需要实现机器人对矸石及煤的自动识别,自动分拣,自动分流处理。智能煤矸石分选机器人采用最先进的 AI 技术,即机器视觉技术判别煤与矸石,用深度学习算法不断提高煤与矸石的识别率,从而有效解决了煤矸识别这一难题;通过采用弹性、叠加机械安装方式,能够有效分段处理煤矸的拣选,完全实现了智能机械化替代人工作业,达到了“机械化减人、自动化换人”的目的。

### 5.1 结构组成

由图 1 可知,智能选矸机器人由图像采集与识别模块、机械臂模块、上位机监控系统模块和 PLC 控制系统模块 4 个部分组成。

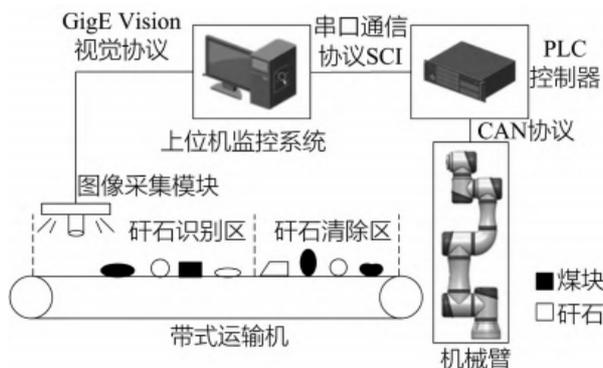


图1 智能选矸机器人整体结构方案

首先,将待选原煤放入原煤供给装置,通过整料排队装置中的碎料锤将大块原煤破碎成小块,再通过三角形的整料装置将原煤平铺到带式输送机;其次,通过安装在带式输送机正上方的高清相机将胶带上的原煤图像传输到服务器端,服务器通过 YOLOv5 神经网络对煤与矸石进行定位识别,通过编码器实时计算矸石的位置信息并传输到分拣执行机构;最后,分拣执行机构通过服务器传输的矸石位置信息控制高压气源,对矸石进行精准、高效地筛选。

### 5.2 智能识别系统

智能煤矸石分选机器人的智能识别系统由智能识别分析系统、后端服务器和机器人软件平台构成。智能识别分析系统部署在后端服务器上,通过安装在带式输送机顶端的高清相机拍摄胶带面图像并传输到后端服务器,智能识别分析系统通过

YOLOv5 网络对图像进行识别分析,完成煤矸石的定位和分类,并且通过编码器计算出矸石的位置,将矸石的形状、大小、位置、速度等处理信息通过网络接口传输到气动分拣系统。

智能煤矸石分选机器人的软件平台由 C# 编写,其主要实现选矸流程的实时查看、胶带急停和复位、配置机器人参数、查看历史选矸记录等功能。

### 5.3 执行机构

智能煤矸石分选机器人的气动分拣系统如图 4 所示。分拣执行机构见图 4 (a),该机构共有 64 个空气喷嘴,每个空气喷嘴的直径为 15mm,空气喷嘴口对准矸石的运动轨迹,分拣执行机构根据智能识别系统传入被执行对象的信息并实时开启相应位置的高压空气喷嘴,通过不同喷嘴组合的差异化控制,实现同时分拣多个矸石,提高分拣效率;采用差异化阵列式喷嘴提高了喷吹力的力度分辨率,采用先进的路径寻优算法,根据矸石的目标落点区域和矸石大小控制喷嘴开启、关闭与喷气时间。

为了有效对 50~300mm 矸石进行筛选,选择型号为德蒙 DM280z 的空压机,DM280z 的排气量为 60.2~47.0m<sup>3</sup>/min,排气压力为 0.75~1.30MPa。智能煤矸石分选机器人还配置了除尘系统,除尘系统通过吸风管、离心机、过滤器等辅助机构的组合形式,保证设备工作时无飞尘,避免了对现场环境的二次污染。

## 6 结束语

综上所述,随着国家对职业健康管理的重视,长期在高强度、高污染的环境下工作会增大职业病发病率,将给企业生产带来不可预知的风险。针对传统人工选矸存在效率低、劳动力成本较高、危险系数高、分拣费时费力等问题。本文提出了一款智能选矸机器人,智能选矸机器人采用先进的图像识别技术,能准确识别矸石且节能环保,对人体无任何伤害,其经济效益、社会效益和环境效益更高,维护成本更低,便于后续的推广应用。

### [参考文献]

- [1] 缪杰.煤矸石智能分拣机器人的研究与应用[J].智能矿山, 2023, 4(1):58-62
- [2] 张袁浩 潘祥生 陈晓晶等.智能选矸机器人关键技术研究[J].工矿自动化, 2022, 48(6):69-76+111
- [3] 江洪 宋勇 隋国成等.智能选矸机器人系统的研究与应用[J].选煤技术, 2020, 281(4):81-87
- [4] 韩龙 唐凌翔 王顺葵等.智能选矸机器人的煤矸石图像识别系统设计[J].科学技术创新, 2023(5):47-50
- [5] 亢健东.煤矸分拣机器人控制系统研究[J].中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(6):155-157