

# 基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统研究

韩星海 范景博 陈 宇

北方魏家峁煤电有限责任公司 内蒙古 鄂尔多斯 010408

**摘 要：**煤炭分选是提升煤炭品质、推动清洁利用的关键环节，传统分选方式存在效率低、精度差、依赖人工等问题。本文聚焦机器视觉技术在煤炭分选中的应用，构建煤炭智能分选自动化系统，深入研究系统总体设计与图像处理算法。通过分析系统硬件架构与软件功能，优化图像预处理等实现煤与矸石的精准识别与自动分选。研究表明，该系统可显著提升分选效率与精度，为煤炭行业智能化转型提供技术支撑，对降低生产成本、促进能源清洁利用具有重要意义。

**关键词：**机器视觉；煤炭智能分选；自动化系统

引言：煤炭作为我国重要能源，其分选质量直接影响利用效率与环保水平。传统人工分选与重力分选等方式，难以满足当前对分选精度与效率的高要求，且人工分选劳动强度大、成本高，重力分选对细粒煤分选效果不佳。机器视觉技术凭借非接触式检测、实时性强、识别精度高等优势，为煤炭智能分选提供新路径。本文围绕基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统展开研究，旨在解决现有分选技术痛点，推动煤炭分选向自动化、智能化发展，助力煤炭行业绿色高效转型。

## 1 机器视觉技术基础

### 1.1 机器视觉系统组成

机器视觉系统是煤炭智能分选的核心，由图像采集、传输、处理与分析、决策控制四大模块构成。图像采集模块含工业相机、镜头与光源，工业相机依场景选面阵或线阵相机，面阵用于静态煤样，线阵用于动态煤流，分辨率不低于500万像素；镜头匹配相机参数，焦距16-25mm确保成像清晰；光源用环形与背光组合，光照强度5000-8000lux，避免反光。图像传输模块通过工业以太网或数据采集卡，将图像数据高速传至处理单元，延迟控制在100ms内。图像处理与分析模块靠工业计算机与专用算法软件处理识别数据。决策控制模块由PLC与执行机构控制器组成，依识别结果下发分选指令，实现自动化分选。

### 1.2 图像处理关键技术

图像处理技术是机器视觉识别煤与矸石的关键，涵盖图像预处理、特征提取与分类识别。图像预处理消除噪声、增强对比度，针对煤炭分选场景的粉尘、潮湿噪声，用中值滤波去椒盐噪声，高斯滤波去高斯噪声，窗口3×3或5×5；通过直方图均衡化或自适应阈值分割，增强煤与矸石颜色、纹理差异。特征提取从预处理图像中

提取关键信息，常用颜色、纹理、形状特征。颜色特征将RGB转HSV空间提取参数；纹理特征用灰度共生矩阵提取指标；形状特征计算颗粒面积、周长等参数。分类识别构建算法模型判断样本，常用支持向量机、决策树及深度学习算法，依精度与速度需求选择<sup>[1]</sup>。

### 1.3 机器视觉在煤炭分选中的应用原理

机器视觉在煤炭分选中，利用煤与矸石外观特性差异精准识别分选。煤与矸石在颜色、纹理、反光率上有明显区别，煤呈黑或灰黑色，表面光滑，反光率10%-15%；矸石多为灰白等色，表面粗糙，反光率20%-30%。系统通过图像采集模块捕捉煤流中煤与矸石外观图像，经传输模块送至处理单元。处理模块预处理图像，提取特征参数，再用分类识别算法判断颗粒类别与位置。决策控制模块依结果与位置信息，向执行机构下发指令，在预设时间内将矸石分离，实现自动化分选。整个过程要保证各环节同步，总延迟控制在200ms内，以适应1-2m/s的煤炭传输速度。

## 2 基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统总体设计

### 2.1 系统需求分析

基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统需满足煤炭分选的实际生产需求，核心需求包括处理能力、分选精度、适应性与自动化程度四个方面。处理能力需匹配不同规模煤矿或洗煤厂的生产需求，针对块煤分选，系统每小时处理量应不低于100吨，可根据实际需求扩展至200吨/小时，以适应大规模生产场景。分选精度是系统关键指标，煤与矸石识别准确率需达到98%以上，确保分选后煤中含矸率不超过1.5%，矸石中含煤率不超过0.8%，避免煤炭资源浪费与产品质量不达标。适应性方面，系统需能处理不同粒度的块煤，通常覆盖50-300mm粒度范围，同时适应潮湿、粉尘等复杂工况，在相对湿度80%以

下、粉尘浓度不超过 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 的环境中稳定运行。自动化程度要求系统实现从煤流输送、图像采集、识别分选到故障报警的全流程自动化,无需人工干预的连续运行时间不低于72小时,且具备自动故障诊断与报警功能,当系统出现异常时,能及时提示故障位置与原因,便于维护。

## 2.2 系统硬件设计

系统硬件设计聚焦分选需求,搭建稳定高效架构,核心硬件涵盖煤流输送、图像采集、数据处理与执行分选单元。煤流输送单元用皮带输送机,带宽依处理量定,通常 $1.2\text{--}1.5\text{m}$ ,输送带选耐磨橡胶并做防滑处理,输送速度 $1\text{--}2\text{m}/\text{s}$ 可调,还配皮带张紧与跑偏矫正装置,保障煤流稳定传输;图像采集单元装在皮带输送机上方,依皮带宽度与煤流分布,布设 $1\text{--}2$ 台工业相机,安装高度结合焦距,一般 $1\text{--}1.5\text{m}$ ,确保覆盖全皮带;光源装在相机周围,角度合适防反光;相机与镜头配IP65及以上防护等级防尘防水罩,镜头有定期自动清洁装置,用压缩空气吹扫防粉尘附着;数据处理单元选高性能工业计算机,配置不低于i7处理器、16GB内存与独立GPU,满足图像处理与算法算力需求,还配1TB以上固态硬盘存图像数据与系统日志;执行分选单元依煤与矸石位置大小,选气动推杆或机械臂。气动推杆响应快,适合中小粒度煤块,推力 $0.5\text{--}0.8\text{MPa}$ ,行程 $50\text{--}100\text{mm}$ ;机械臂定位精度高,适合大粒度煤块,定位误差超过 $0.5\text{mm}$ ,分选动作时间控制在 $50\text{ms}$ 内。

## 2.3 系统软件设计

系统软件采用分层设计架构,包含数据采集层、图像处理层、决策控制层和监控运维层,各层功能清晰且协同运作。数据采集层通过专用驱动与图像采集卡、工业相机通信,采集图像及设备运行状态数据。它实时获取煤流图像,采样频率与相机帧率适配,通常为 $30\text{--}60\text{fps}$ ,还会采集皮带输送机速度等设备数据,以便监控系统运行;图像处理层是软件核心,集成多种算法。预处理模块自动对图像滤波、增强与分割,消除噪声干扰;特征提取模块按预设算法提取煤与矸石的颜色等特征参数,存入特征数据库;分类识别模块调用训练好的模型分析特征参数,输出识别结果和位置坐标,识别速度与图像采集频率同步,防止数据积压;决策控制层依据识别结果和设备状态数据生成分选指令,通过PLC通信协议下发至执行机构,根据执行反馈调整指令,确保分选准确,设备异常时自动生成停机或调整指令;监控运维层提供人机交互界面,实时显示系统运行参数等信息,支持参数设置等功能<sup>[2]</sup>。操作人员可借此监控系统,故障时界面会提示类型、位置及处理建议,并自动记录

故障日志,方便后续维护分析。

## 3 煤炭图像处理算法研究

### 3.1 图像预处理算法

煤炭图像预处理算法的核心目标是消除干扰、增强煤与矸石的差异,为后续特征提取与识别奠定基础。针对煤炭分选场景中常见的粉尘噪声,采用中值滤波算法处理,中值滤波对椒盐噪声去除效果显著,通过选取 $3\times 3$ 或 $5\times 5$ 的滤波窗口,将窗口内像素的中值作为中心像素值,有效抑制粉尘导致的孤立噪声点,同时保留煤与矸石的边缘细节,避免图像模糊。对于光照不均导致的图像亮度差异,采用自适应直方图均衡化算法,该算法将图像划分为多个子区域,对每个子区域单独进行直方图均衡化,增强局部对比度,使煤与矸石在不同光照区域均能清晰呈现,避免传统直方图均衡化可能导致的局部过亮或过暗问题。针对煤与矸石边界模糊的问题,采用自适应阈值分割算法,通过计算图像局部区域的灰度均值与方差,动态确定分割阈值,将图像分为前景(煤或矸石)与背景,准确分割出煤与矸石区域,为后续特征提取提供清晰的目标区域。通过上述预处理算法组合,可将煤炭图像的信噪比提升至 $30\text{dB}$ 以上,确保煤与矸石的外观差异得到有效增强。

### 3.2 特征提取算法

特征提取算法需从预处理后的煤炭图像中,提取能有效区分煤与矸石的关键特征参数,主要包括颜色特征、纹理特征与形状特征提取算法。颜色特征提取采用RGB-HSV颜色空间转换算法,先将采集的RGB图像转换为HSV图像,HSV空间更符合人眼对颜色的感知,且能有效分离颜色信息与亮度信息。在HSV空间中,提取每个煤与矸石区域的色调(H)、饱和度(S)、明度(V)的均值与方差,煤的色调通常集中在 $0\text{--}30^\circ$ 与 $330\text{--}360^\circ$ 范围,饱和度较高,明度较低;矸石的色调多在 $30\text{--}120^\circ$ 范围,饱和度较低,明度较高,通过这些参数可初步区分煤与矸石。纹理特征提取采用灰度共生矩阵(GLCM)算法,首先将彩色图像转换为灰度图像,计算灰度图像在 $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ 四个方向上的灰度共生矩阵,然后从矩阵中提取能量、对比度、相关性、熵四个特征参数。煤表面相对光滑,能量值较高、对比度较低;矸石表面粗糙,能量值较低、对比度较高,这些纹理参数可进一步增强煤与矸石的区分度。形状特征提取通过边缘检测算法(如Canny算法)获取煤与矸石的轮廓,然后计算轮廓的面积、周长、圆弧度、矩形度等参数,煤块形状相对规则,圆弧度与矩形度较高;矸石形状多不规则,圆弧度与矩形度较低,形状特征可作为辅

助区分依据，提升特征提取的全面性<sup>[3]</sup>。

### 3.3 分类识别算法

分类识别算法是精准区分煤与矸石的关键，本文对比传统与深度学习算法后，选适配煤炭分选场景的算法并优化。传统支持向量机（SVM）算法通过构建最优分类超平面对特征参数分类，泛化强、对小样本适应好，但处理复杂图像特征时，识别速度与精度需提升。决策树算法结构简单、解释性强，能快速生成分类规则，却易出现过拟合；深度学习算法里，YOLO算法因实时性强、识别精度高，更适合煤炭动态分选场景，本文选用YOLOv8算法并优化。先构建煤与矸石图像数据集，涵盖不同煤种、粒度、工况下的样本，不少于20万张，按7:2:1划分训练集、验证集与测试集。训练时，采用迁移学习方法，基于ImageNet预训练模型初始化网络参数，减少样本需求与训练时间；用数据增强技术扩大数据集，提升模型泛化能力。调整网络参数，学习率设0.001，批量大小32，训练轮次100，通过验证集实时调参防过拟合。测试显示，优化后的YOLOv8算法对煤与矸石识别准确率超98.5%，识别速度30fps，满足煤炭分选实时性与精度要求。

## 4 基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统未来的发展趋势

基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统，未来呈现四大发展趋势。（1）多技术融合上，会与近红外光谱技术、X射线检测技术相结合。近红外光谱能分析煤与矸石成分差异，X射线检测可获取密度信息，多种技术融合可弥补单一机器视觉在复杂工况下的识别局限，提升对相似煤与矸石的分选精度。（2）智能化升级方面，引入人工智能和大数据技术构建智能决策系统。通过分析历史分选、设备运行及工况数据，实现算法模型自动优

化和系统参数自适应调整，还能利用数字孪生技术构建虚拟模型，模拟不同工况，提前预判故障，实现预测性维护，减少停机时间<sup>[4]</sup>。（3）适应性增强上，研发耐高温、高湿、高粉尘的工业相机与光源等硬件设备，提升系统在不同煤矿和洗煤厂的适配能力。同时优化图像采集与处理算法，增强对煤流速度、煤种差异的适应，实现不同粒度、煤种的自适应分选。（4）绿色化发展上，优化系统能耗设计，采用低功耗设备降低运行能耗。通过精准分选减少矸石含煤率，提高煤炭资源利用率，降低开采与利用中的环境污染，推动煤炭行业绿色可持续发展。

### 结束语

本文围绕基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统展开研究，从技术基础、系统设计、算法优化三个维度深入分析，构建了功能完善的自动化分选系统，优化了图像处理算法，实现煤与矸石的精准识别与自动分选。未来，需进一步推动多技术融合与智能化升级，不断完善系统功能，提升系统性能，使基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统在煤炭行业得到更广泛应用，为能源清洁利用与行业高质量发展贡献力量。

### 参考文献

- [1]殷洪涛,杨晓,任霖,等.基于机器视觉的煤炭智能分选自动化系统研究[J].智能物联技术,2025,57(2):90-93.
- [2]刘茂福,程磊,张梦奇.基于机器视觉的煤岩识别系统研究[J].煤矿机械, 2024,45(8):206-208.
- [3]张鹏远.机械制造自动化中关于机器视觉技术的实践应用[J].流体测量与控制,2022,3(02):1-4.
- [4]宋清龙.探究机器视觉技术在机械制造自动化中的应用[J].设备管理与维修,2021,(18):123-124.