

# 马头洗选厂浮选系统智能化研究

宋拥强

(冀中能源峰峰集团有限公司马头洗选厂 河北邯郸 056046)

**摘要:** 自 20 世纪 80 年代末引进机器视觉技术以来, 机器视觉技术在浮选系统中的应用研究和开发一直在继续。机器视觉能够准确和快速地从数字图像中提取图像特征, 包括自然物理性质(如灰度)和动力学性质(泡沫速度), 并将目前的数字图像结果呈现给操作人员或将结果作为过程控制系统的输入。

**关键词:** 计算机器视觉; 图像分析; 浮选; 过程控制; 建模

## 1 背景

通过对开放文献进行分析, 大多数应用(约 48.2%)已报道在基础金属工业, 主要包括铜、铅和锌, 少数论文涉及镍、镁和锡。煤炭行业的应用(30.4%), 其次是铂系金属行业的应用(12.5%)。剩余的文献报道(8.9%)与氧化物有关, 如  $P_2O_5$ 、 $SiO_2$  和  $CaO$ 。

浮选对于选煤来讲, 是细煤泥分选的重要环节, 但总体自动化程度低, 基本上处于人工操作阶段, 浮选分选效果影响因素多, 收到入料性质、煤质波动、粒度组成变化、工况波动等众多影响, 此外分选环境受到充气量、药剂剂量、药剂配比、液位、泡沫层厚度等因素的影响, 因此属于分选环节中最难控制的过程。

近年来, 随着智能化选煤厂建设的热潮, 浮选自动化乃至智能化正在成为选煤生产一个重要的方面, 为此, 从入浮浓度、流量、液位、加药装置、液位调整装置等都发生了很大变化, 对于浮选精煤和尾煤灰分的检测也在取得较大的进展。

X 射线检测浮选精煤和尾煤灰分开始在部分洗选厂试用, 取得了教好的效果, 但该原理的仪表最大的问题是入浮煤泥浓度低, 而 X 射线原理的煤浆分析仪从根本上来讲还是要对干料进行检测, 导致了浮选精煤需要 25-30 分钟, 而尾煤灰分检测需要 40-45 分钟之久, 尽管和人工化验相比, 有较大的进步, 但从控制的角度讲, 存在较大的滞后, 导致用于自动控制受限, 但可用于指导生产。

基于图像进行尾煤灰分智能检测取得初步成功, 柳湾选煤厂采用的图像灰分仪, 采用人工智能技术, 实现了 3 分钟出一个灰分在线检测值, 精度可达到  $\leq \pm 1.5\%$ , 尤其适用于浮选尾煤灰分在线检测。

控制方法上, 鉴于煤质和工况波动, 采用开放结构专家系统进行药剂添加的稳定控制正在成为相对可靠的控制方案, 相比较于基于煤泥量的添加算法, 其运行的稳定性和效果均经受了现场的考验。

伴随着人工智能在图像处理技术上的进步, 浮选泡沫在线检测正在成为一种有前途的 32 检测方案, 泡沫图像检测关键要确定合理的泡沫特征, 以及泡沫特征要表征什么样的浮选状态是泡沫图像处

理能否成功应用的关键, 目前这方面的进展正在不断取得突破。

## 2 对于马头洗选厂浮选智能化的方案设计

煤泥浮选是马头洗选厂处理细粒煤的主导分选技术, 浮选涉及入料煤质、入料工况波动、浮选机充气量、泡沫层厚度、药剂添加种类和药剂制度等众多变量, 可采取的手段为药剂智能调整和泡沫层厚度协同控制, 再加上浮选产品灰分检测这一世界性难题, 浮选智能化面临巨大的挑战。山西理工智联科技有限公司联合太原理工大学开发了浮选全流程智能控制系统, 并形成了浮选尾煤智能图像在线检测技术与浮选精煤灰分软测量技术。

浮选主要功能包括尾煤灰分在线检测、智能加药、入浮浓度流量检测。其中 PLC 选型为 AB 1756-L30ER PLC, 各个模块包括模拟量输入、模拟量输出、以太网模块、数字量输出、数字量输入模块。控制器模块化结构设计, 具有先进的 I/O 与兼容各类通讯功能, 广泛适用于过程控制, 处理能力强, 方便后续在此系统的扩展与改进以及多平台间的融合。

智能控制器选用高性能工控机或边缘计算终端, 形成智能处理器环境, 实现控制系统所涉及的智能分析与智能控制。

依据现场条件, 推荐药剂自动添加、浮选尾煤灰分在线监测、浮选液位自动控制、浮选精煤灰分预测与浮选过程优化控制五个部分。

## 3 基于案例推理技术的浮选药剂智能添加描述

I 案例产生: 通过前期浮选操作试验和现场观察, 总结出大量的案例, 主要包括煤泥泵运行信号、浮选机入料浓度、入料量流量、矿浆液位、产品指标要求以及实际的浮精和浮尾灰分组成的案例;

II 案例检索和案例重用, 在系统运行过程中对各输入变量进行实时检测, 同时结合控制系统目标值及产品指标要求值, 然后对当前工况进行案例特征进行描述, 然后采用最近相邻法 (KNN) 计算当前案例与案例库中案例的相似度, 若在案例库中有  $n$  个案例匹配的相似度在设定的阈值范围内, 则输出结果取其加权平均值。

III 案例修正, 本系统中的案例修正主要是通过浮选机精煤和尾

煤灰分化验值(快灰值, 1h 一次)对案例进行校正, 假设浮选机精煤和尾煤灰分目标值范围分别为  $A_{min} \leq A \leq A_{max}$ 、 $B_{min} \leq B \leq B_{max}$ , 若实时值在目标值范围内则不需要进行案例修正, 则此案例可直接转入案例存储, 若测得的值偏离了目标值的范围, 则此时需要对药剂设定值进行修正, 直到目标值进入工艺要求目标值范围内。

IV 案例存储, 案例存储的过程即是对案例库的补充和优化的过程, 当设定的案例满足浮选产品质量要求时, 则被添加到案例库, 同时, 经过修正后的案例则重新被添加至案例库中。

整个系统控制结构包括设备层(传感器、执行机构)控制层(控制器)和管理层(现场触摸屏+调度室上位机)三层硬件平台, 系统具备远程、就地控制模式, 其中远程又包括远程手动和远程自动控制方式。系统数据库具备历史数据存储和查询功能。

与原有人工手动加药方式相比, 浮选智能加药能实现自动加药, 并能保证加药的实时性与准确性。降低了浮选岗位司机的劳动强度, 增强了工作效率及健康保障。

药剂自动添加系统具备自动启停功能, 当检测到煤泥水泵运行时, 系统在预设的时间 T1 分钟之后开始提前输出药剂添加量并执行添加动作, 保证了加药的及时性, 当系统检测到煤泥水泵停止运行或者空载运行时, 经过时间 T2 分钟后自动停止加药动作, 避免药剂损耗。

浮选液位自动控制系统主要用于控制浮选机液位(泡沫层厚度)。执行机构采用了专利技术电动执行机构, 液位控制执行装置安装在浮选机第四室尾矿槽闸板处, 液位调整用于调整泡沫层厚度, 依据浮选实际需要, 改变泡沫层厚度, 通过改变闸板位置来实现, 系统实时检测液位值, 当需要调整液位时, 控制器控制液位执行装置对尾矿闸板进行提升或下降调整液位, 到达设定值后停止动作, 完成液位调整。

系统由案例推理系统构成开环稳定控制, 控制药剂添加和液位调整, 在此基础上, 通过浮选尾煤灰分的检测和浮选精煤灰分预测, 以浮选尾煤灰分在线检测值和浮选精煤灰分预测值为依据, 通过蚁群优化算法, 进行浮选过程反馈优化控制, 微调药剂添加和液位, 实现浮选过程智能推断控制, 保证浮选精煤灰分合格, 尾煤灰分达标, 精煤产率提升, 药剂消耗降低, 人工劳动强度降低的多重效果。

浮选系统: 手动模式下, 通过不断观察浮选系统运行状态, 泡沫层情况以及尾煤灰分, 手动调整加药司机可根据入浮煤种性质和经验初步确定加药量。自动模式下, 根据当前司机在手动模式下设定加药量, 进入自动模式后会写入专家系统, 在浓度流量发生变化时, 自动调整加药量。

#### 4 智能浮选系统应用效果

浮选全流程智能化控制系统包括: 基于案例推理的浮选药剂自

动添加; 浮选尾矿图像检测技术; 基于智能预测算法的浮选精煤软测量技术; 基于浮选精煤灰分的闭环控制(智能推断控制、双向可控)。

智能加药系统兼顾药剂计量准确性和可靠性, 包括浮选药剂桶(含过滤、计量等装置)可进一步提升药剂添加集成度, 适应现场不同药剂种类、对药剂中杂质可高效处理, 具备更换快速简洁等优点。

近段时间以来, 由于入洗煤质复杂, 对浮选尾煤灰分仪建模带来较大挑战, 以十二月为例, 入浮煤质变化频繁, 直接影响灰分仪检测精度。

项目目前已构建两种主要配洗模型: 大社: 梧桐庄模型和羊一: 梧桐庄模型。

在现有两个模型下浮选尾矿灰分仪(550)和精煤软测量计算, 运行结果为:

对西部浮选尾矿, 11月测量偏差为: -3.71%, 12月1日-12月10日测量偏差为: -1.98%,

下一步将继续完善不同煤种及配比的灰分模型, 以适应洗选厂的实际生产需求(下一步收集数据构建相应模型包括: 羊一单洗、大社单洗、梧桐庄单洗、新疆: 梧桐庄等)。

#### 5 结语

(1)目前选煤厂浮选系统智能化水平普遍比较低, 实现浮选系统智能化势在必行。浮选设备控制装置及执行机构、高精度的变量检测传感器、机器学习功能的系统算法的技术发展, 是实现浮选系统智能化的前提和基础。

(2)浮选智能化应用实践表明: 西部浮选智能化改造之后, 浮选灰分降低明显, 尾矿灰分明显提高, 精煤理论抽出率明显提高。智能浮选的浮选灰分比传统浮选更低, 灰分区间更窄, 智能浮选系统可大大改善浮选岗位的工作环境, 降低岗位司机的劳动强度。因此, 浮选系统智能化具有良好的经济效益和社会效益。

(3)在现阶段要想真正实现浮选智能化尚有很多工作要做, 但是随着智能化技术的不断发展, 浮选智能化将得到快速发展, 再上新台阶。

#### 参考文献

- [1] 金明国, 张秀峰. 选煤厂浮选智能化技术研究及应用[J]. 选煤技术, 2021(1): 155-162.
- [2] 赵新华, 王光辉, 匡亚莉, 等. 基于 SVMR 的煤泥浮选智能化优化控制系统研究[J]. 矿山机械, 2012, 40(8): 78-81.
- [3] 白晓渊. 选煤厂浮选机自动化控制系统优化设计改造[J]. 机械研究与应用, 2019, 32(2): 192-194.