

# 机器学习与AI赋能选煤精准智控

李 飞

天津美腾科技股份有限公司 天津 300000

**摘要:** 本文聚焦机器学习与AI赋能选煤精准智控。先阐述机器学习与AI技术基础,包括其核心要素与流程。接着分析选煤工艺流程、传统控制局限,明确精准智控需求与目标。随后介绍选煤精准智控系统架构与关键技术模块。最后通过三个应用实例,展现智能分选、生产过程优化、设备故障预测维护等方面的成效,凸显机器学习与AI对选煤行业的重要推动作用。

**关键词:** 机器学习; AI技术; 精准智控

引言: 在煤炭行业,选煤作为提升煤炭品质、满足市场多样化需求的关键环节,其控制精度与效率至关重要。传统选煤控制方法受限于人工经验与简单自动控制策略,难以应对复杂多变的工业场景。随着机器学习与AI技术的蓬勃发展,其在工业领域的应用日益广泛。本文深入探讨机器学习与AI技术基础,剖析选煤精准智控现状与挑战,并展示其在选煤领域的实际应用成效,为选煤行业智能化转型提供参考。

## 1 机器学习与AI技术基础

### 1.1 机器学习概述

机器学习作为人工智能核心分支,能让计算机从数据中自动学规律、优化决策,无需明确编程。其流程含数据采集、预处理、训练、评估与迭代,按学习方式分监督、无监督、强化学习等。监督学习用标注数据构建预测模型,用于分类和回归;无监督学习挖掘无标注数据潜在结构,用于聚类 and 降维;强化学习通过交互试错、奖励机制优化策略。工业领域中,机器学习可处理高维动态数据,挖掘变量关联,为复杂过程控制提供方案<sup>[1]</sup>。随着算力提升与算法创新,其模型泛化与实时性增强,为选煤等工业场景精准智控提供支撑,推动传统工业向数据驱动转型。

### 1.2 AI技术关键要素

AI技术实现依赖数据、算法、算力、场景四大要素协同。数据是基础,工业场景需精准采集,如选煤数据影响模型训练;算法是核心,涵盖多种技术,需适配场景;算力提供硬件支撑,强大算力提升训练效率,满足实时处理需求;场景是载体,需结合行业定制技术。四大要素相互关联,数据质量影响算法效果,算力支撑算法运行,场景需求引导技术优化,共同构成AI技术落地应用核心体系。

## 2 选煤精准智控现状与挑战

### 2.1 选煤工艺流程与关键环节

选煤是煤炭深加工的核心环节,通过物理或化学方法去除原煤中的杂质,提升煤炭品质,流程主要包括原煤准备、破碎、筛分等阶段。原煤准备阶段需进行破碎、筛分,将原煤按粒度分级,为后续分选做准备,破碎粒度均匀性直接影响分选效率。分选阶段是核心环节,根据原煤性质采用重介选、浮选、跳汰选等方法,重介选煤借助重悬浮液实现不同密度煤炭分离,浮选利用煤与矸石表面疏水性差异分选细粒煤,跳汰选通过水流脉动分层分选<sup>[2]</sup>。脱水阶段采用浓缩、过滤、离心等设备降低产品水分,确保煤炭产品符合运输和使用要求,脱水效果影响产品存储稳定性。回收阶段回收分选过程中的介质、药剂及细粒煤,实现资源循环利用,降低生产成本。关键环节包括分选参数调控、粒度分级精度、脱水效果控制等,各环节相互衔接,前一环节质量直接影响后续工序,需精准控制各参数确保整体流程稳定高效。

### 2.2 传统选煤控制方法局限性

传统选煤控制以人工操作和常规自动控制为主,人工操作依赖操作人员经验调整参数,如根据原煤外观判断分选密度,存在响应滞后、精度低等问题,操作人员技能差异会导致产品质量波动。常规自动控制采用PID控制器等简单控制策略,针对单一变量进行调节,如控制浮选药剂添加量,但选煤过程是多变量耦合的复杂系统,各参数相互影响,单一变量控制难以实现整体优化。传统方法无法处理选煤过程中的非线性、时变特性,当原煤成分、粒度等进料条件变化时,控制系统无法快速自适应调整,导致分选精度下降,矸石带煤量增加或精煤产率降低。另外,传统控制缺乏预测能力,无法提前预判设备故障和质量偏差,只能事后处理,增加生产中断风险和维修成本。

### 2.3 精准智控的技术需求与目标

选煤精准智控的技术需求围绕数据采集、实时调控、预测预警和全局优化展开。数据采集方面,需构建全流程感知网络,实现原煤成分、设备运行参数、原煤破碎粒级、产品质量等数据的实时采集,解决传统数据采集滞后、不全问题,同时确保数据传输的稳定性和准确性。实时调控方面,需开发多变量协同控制技术,应对选煤过程非线性、耦合特性,实现分选密度、药剂添加量等参数的动态自适应调整,提升对进料条件变化的响应速度。预测预警方面,需建立设备故障和质量偏差预测模型,提前识别设备异常运行征兆和产品质量波动趋势,为预防性维护和参数调整提供依据。全局优化方面,需整合各工序数据,实现全流程参数协同优化,打破传统工序独立控制局限。精准智控目标包括提升精煤产率5%-10%,降低矸石带煤量至1%以下;减少设备非计划停机时间30%以上,降低维护成本;实现产品质量合格率稳定在95%以上,提升生产效率和经济效益。

### 3 选煤精准智控系统的设计

#### 3.1 系统架构

选煤精准智控系统采用“感知层-传输层-决策层-执行层”四层架构,各层协同实现全流程智能控制。感知层作为数据采集终端,部署各类传感器,原煤灰分在线分析仪、设备温震传感器、大块识别检测、浮精泡沫检测仪、同时配备视频监控设备实现现场可视化监测,确保数据全面覆盖。传输层采用工业以太网和5G技术相结合的方式,工业以太网保障设备间实时通信,5G技术实现海量数据高速传输,同时通过边缘计算节点对数据进行预处理,过滤噪声数据,提升数据传输效率。决策层是系统核心,基于云计算平台构建AI模型库,包括参数优化模型、故障预测模型、质量控制模型等,对传输层数据进行深度分析,生成控制指令和决策建议。执行层由智能执行机构组成,包括变频电机、调节阀、机器人等,接收决策层指令并精准执行参数调整、设备操作等动作,同时将执行结果反馈至感知层,形成闭环控制。

#### 3.2 关键技术模块

##### 3.2.1 智能参数优化模块

智能参数优化模块是实现选煤精准控制的核心,基于机器学习算法构建多变量优化模型,核心功能包括参数预测、动态调整和离线优化。模块首先整合感知层采集的原煤粒度、灰分、水分等进料数据,以及分选密度、药剂添加量、液位等过程参数和精煤产率、灰分等产品质量数据,构建样本数据库。采用梯度提升树算法建立进料参数与最优过程参数的映射关系模型,通过历史数据训练实现对最优参数的预测。当进料条件变化

时,模块实时分析新数据,结合在线学习算法动态更新模型参数,预测当前工况下的最优控制参数,如根据根据原煤灰分模块具备自适应能力,针对选煤过程时变特性,采用强化学习算法与生产过程实时交互,以精煤产率最大化和成本最小化为目标,持续优化控制策略<sup>[3]</sup>。另外,模块支持离线优化功能,利用历史数据进行仿真实验,测试不同工况下的参数组合效果,更新模型库,提升在线优化精度。模块与决策层其他模型联动,接收质量反馈数据调整优化目标,确保参数优化既满足质量要求又提升经济效益。

##### 3.2.2 故障预测与自愈模块

故障预测与自愈模块旨在提升设备可靠性,减少生产中断,由故障预测、诊断和自愈控制三部分组成。模块通过感知层设备振动、温度、电流等运行数据,结合设备历史故障记录和维护数据,构建故障预测模型。采用长短期记忆神经网络捕捉设备运行状态的时序特征,识别设备异常趋势,如通过电机振动频率变化预测轴承磨损故障,提前3-7天发出预警,并生成维护建议,明确故障位置和维护方式。当设备出现轻微故障时,模块采用专家系统和贝叶斯网络进行故障诊断,精准定位故障原因,如判断泵体压力异常是由管路堵塞还是叶轮磨损导致。针对可自愈的轻微故障,模块自动生成自愈控制指令,如通过调节阀开度缓解管路堵塞,或切换备用设备维持生产,同时通知维护人员处理。对于严重故障,模块立即发出停机预警,切断相关设备电源,防止故障扩大,并提供详细故障报告辅助快速维修。模块还具备故障知识更新功能,将新故障案例纳入数据库,优化预测和诊断模型精度。

##### 3.2.3 质量闭环控制模块

质量闭环控制模块以产品质量稳定为核心,构建“检测-分析-调控-反馈”的闭环控制流程,实现质量精准管控。模块通过在线质量检测设备实时采集精煤、中煤、矸石的灰分、水分、硫分等指标,数据采集频率可达每秒1次,确保质量检测的实时性。采用统计过程控制方法分析质量数据,判断是否存在异常波动,通过灰分曲线图识别超出控制限的质量指标,如精煤灰分高于设定值时立即触发调控流程。结合智能参数优化模块,分析质量异常原因,如精煤灰分超标是因分选密度过高还是原煤成分波动导致,生成针对性参数调整方案,如增加浮选药剂添加量或调整重介悬浮液密度。调控指令通过执行层落实后,模块持续监测质量指标变化,评估调控效果,若质量未达标则再次优化参数,直至指标回归合格范围。模块还具备质量追溯功能,记录各批次产品

质量数据及对应的控制参数,形成质量档案,为质量问题追溯和工艺优化提供数据支持,确保产品质量稳定符合标准。

#### 4 机器学习与 AI 在选煤精准智控中的应用实例

##### 4.1 案例一:智慧洗选系统

大型选煤厂采用AI技术改造传统重介分选系统,构建智能分选系统,核心采用前馈+反馈的密度智能调节方法,构建机器学习的方法,根据原煤大样资料及快浮数据,自动生成可选性曲线,建立洗选密度控制数学模型,并结合实时煤质信息,预测重介分选的理论密度区间、理论精煤产率等参数;与在线灰分仪的检测数据联动,实时精准调节重介分选密度;根据重介分选系统设置参数及实时监测参数,以最合理的控制逻辑控制分流阀和补水阀的当前开度,将合格介质密度和实时分选密度控制在适宜范围内。可根据系统的不同状态采用不同的控制逻辑,使重介分选系统处于最佳状态并合理系统加介需求改造前,该选煤厂重介分选系统依赖人工调整参数,精煤产率波动在65%-70%,灰分合格率为88%。改造后,智能分选系统实现参数自动调整,当精煤煤灰分从18%升至22%时,系统在3秒内将悬浮液密度从1.5g/cm<sup>3</sup>调整至1.4g/cm<sup>3</sup>,确保精煤灰分稳定在10%以下。运行数据显示,改造后精煤产率稳定在72%-75%,平均提升4%,灰分合格率提升至96%,年增加经济效益超800万元,同时减少操作人员3人,降低人工成本。

##### 4.2 案例二:生产过程优化控制

动力煤选煤厂针对浮选过程药剂消耗高、精煤回收率低的问题,部署AI生产过程优化控制系统,核心为多变量预测控制模型。系统整合浮选过程中的原煤入浮浓度、粒度、矿浆pH值、药剂添加量、浮选机液位等12项关键参数,以及精煤回收率、尾煤灰分等质量指标数据,构建历史数据库。采用极限学习机算法建立参数与指标的预测模型,通过遗传算法优化药剂添加量和浮选机液位等关键参数。系统具备实时优化功能,当入浮浓度从100g/L升至120g/L时,模型在2秒内计算出药剂添加量从0.8kg/t增至1.0kg/t,液位从1.2m调整至1.3m,确保精煤回收率稳定。改造前,该厂浮选药剂单耗为1.2kg/t,精煤回收率为85%;改造后,药剂单耗降至0.9kg/t,下降

25%,精煤回收率提升至89%,年减少药剂成本30万元,增加精煤产量1.2万吨,新增经济效益超500万元。系统运行稳定,参数调整响应速度较传统方法提升80%,适应不同原煤性质变化。

##### 4.3 案例三:设备故障预测与维护

炼焦煤选煤厂针对主洗设备频繁故障导致生产中断的问题,引入AI设备故障预测与维护系统,覆盖跳汰机、离心机、泵类等关键设备。系统在设备关键部位安装振动、温度、电流传感器,实时采集运行数据,通过边缘计算节点预处理后传输至云端平台<sup>[4]</sup>。采用栈式自编码器提取设备运行状态特征,结合支持向量机算法构建故障预测模型,针对不同设备设置个性化预警阈值,如跳汰机振动加速度超过5m/s<sup>2</sup>时触发预警。系统通过历史故障数据训练,能精准预测轴承磨损、电机过载、密封泄漏等常见故障,预测准确率达92%。改造前,该厂主洗设备年均非计划停机时间为120小时,维护成本为150万元;改造后,系统提前预警故障并指导预防性维护,非计划停机时间降至35小时,减少70.8%,维护成本降至90万元,下降40%。

#### 结束语

机器学习与AI技术为选煤行业带来了变革性影响。精准智控系统凭借其科学的架构与关键技术模块,有效解决了传统选煤控制中的诸多难题。从智能分选提升精煤产率,到生产过程优化降低药剂消耗,再到设备故障预测减少停机时间,都展现出显著成效。未来,随着技术持续发展,其在选煤领域的应用将更深入,推动行业向智能化、高效化迈进。

#### 参考文献

- [1]李峰.重介选煤智能化对磁性物含量动态变化的监控[J].煤炭加工与综合利用,2022(7):38-41.
- [2]韩益标.智能加介系统在选煤厂的研究与应用[J].煤炭加工与综合利用,2025(5):76-79.
- [3]李瑾.基于智能化的重介质选煤装备改造研究[J].现代工业经济和信息化,2025,15(7):92-94.
- [4]马文伟,辛绍磊,吴秀金,等.3D无人化智能加介系统在选煤厂的应用[J].煤炭加工与综合利用,2023(12):33-38.