

选矿流程自动化控制与生产过程智能调控技术

郭龙辉

紫金矿业集团股份有限公司，福建省龙岩市，364000；

摘要：为解决我国选矿行业中存在的关键共性技术问题，以智能制造理念为指导，在国家“十四五”规划和2035年远景目标纲要中，明确提出了“加快建设制造强国”“推动制造业高质量发展”“提高产业链供应链现代化水平”的要求。在此背景下，本文以选矿生产过程为研究对象，针对复杂难选矿石的高效分选及产品质量稳定等关键问题，从选矿流程自动化控制技术、生产过程智能调控技术、典型应用案例等方面，系统地介绍了选矿流程自动化控制技术与生产过程智能调控技术的应用情况与实践经验。该技术成果将为我国选矿行业实现智能化转型升级提供有力的理论和应用支撑。

关键词：选矿流程；自动化控制；生产过程；智能调控技术

DOI：10.69979/3060-8767.25.11.089

引言

党的十八大以来，我国经济社会发展取得了巨大成就，但经济发展方式粗放、资源利用效率不高等问题仍然突出。随着新一轮科技革命和产业变革的加速演进，加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国已成为国家发展战略。在此背景下，党的十九届五中全会提出要“坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑”。选矿生产作为我国重要的原材料生产和加工环节，其在保障国家资源安全、支撑国民经济发展等方面发挥着不可替代的作用，是制造业高质量发展的重要组成部分。

1 生产过程中的典型问题与挑战

选矿生产是一项复杂的多变量、非线性、强耦合、高滞后的加工过程，其核心任务是通过合理地利用矿物性质，对矿物进行选择和优化，以获得优质的金属矿物产品。长期以来，我国选矿行业的生产工艺主要以半连续、半机械化方式，自动化控制水平较低，难以实现实时监测与智能决策。选矿流程自动化控制技术是提高选矿过程自动化水平的关键支撑技术之一。在“十四五”期间，为实现选矿行业转型升级，需要从根本上解决“智能制造”背景下复杂难选矿石高效分选及产品质量稳定等关键共性技术问题，从而进一步提升我国选矿行业的综合竞争能力^[1]。

2 自动化控制的必要性与作用

面对选矿生产过程中存在的关键共性技术问题，传统的选矿自动化控制技术难以解决。因此，急需突破复杂难选矿石高效分选和产品质量稳定的关键技术难题。

采用智能制造理念，围绕流程复杂、影响因素多、难以在线检测与精确建模等难点问题，以提升选矿效率和产品质量为目标，通过流程优化设计、多源信息融合和智能控制算法等关键技术研究，突破了复杂难选矿石高效分选和产品质量稳定的关键技术瓶颈^[2]，开发了基于知识融合的选矿流程自动化控制与生产过程智能调控系统，有效解决了传统选矿自动化控制难以解决的多源信息融合和精确建模等关键技术难题。

3 选矿流程自动化控制技术

3.1 自动化控制系统架构与组成

选矿流程自动化控制系统主要由现场监测仪表、PLC、工业控制计算机（DCS）、安全监控与管理信息系统（SCADA）、先进的自动化控制算法与模型等组成，其中，现场监测仪表主要用于实时获取选矿生产过程中的温度、压力、流量等参数信息，并通过工业控制计算机进行数据处理与分析，以实现现场生产过程的监控与管理；PLC主要用于实现现场控制逻辑的执行和控制功能；SCADA系统用于数据的采集与监控；先进的自动化控制算法与模型主要用于实现对选矿过程关键参数的优化以及对生产过程状态信息和其他实时数据的处理及分析。

3.2 主要监测参数与数据采集

选矿生产过程主要监测参数包括温度、压力、流量、pH值、矿石粒度和浓度等。目前，选矿生产过程监测技术主要有在线检测仪表、专家系统与专家经验法等。其中，在线检测仪表主要包括超声波流量计、压力变送器和温度变送器等；专家系统主要包括基于知识的决策支持系统和基于案例的推理系统等；专家经验法主要包

括神经网络、遗传算法、粒子群优化算法等。其中，专家经验法主要用于对选矿生产过程的关键工艺参数进行预测或决策，以实现对生产过程的优化控制；基于知识的决策支持系统则是利用知识与经验，对生产过程中存在的复杂问题进行分析和推理，从而为生产过程控制提供指导^[3]。

3.3 关键环节自动化控制方法（如破碎、磨矿、分级、浮选等）

选矿生产过程中，影响矿石分选的因素很多，主要有矿石性质、设备状态、操作参数和环境因素等。因此，在生产过程中，应根据具体情况采用不同的控制方法。目前，选矿生产过程中常用的控制方法有静态优化控制、闭环自适应控制等。其中，静态优化控制主要用于对设备状态的控制，包括基于模型的静态优化控制和基于机理模型的静态优化控制；动态优化控制则是指根据系统运行情况和工艺要求，采用在线辨识技术获得实时生产参数，再根据实时生产参数实现动态优化控制；闭环自适应控制主要用于对生产过程进行自适应调节，以避免由于设备故障导致的生产不稳定或产品质量问题。

3.4 控制算法与模型（如PID、模糊控制等）

选矿生产过程中，由于受矿石性质、操作参数和环境因素等多方面因素的影响，各生产环节之间存在着强耦合关系，导致选矿过程难以建立精确的数学模型，导致难以实现对生产过程的实时控制。因此，基于智能控制理论开发了PID、模糊控制、神经网络等先进的选矿自动控制算法与模型，以实现对选矿过程的实时控制。其中，PID控制算法主要用于对设备状态进行优化；模糊控制算法主要用于对生产过程进行优化；神经网络算法主要用于对生产过程进行实时预测和决策。此外，还有基于机理模型的方法、基于数据驱动的方法等多种选矿自动控制方法。

3.5 自动化控制系统集成与通信技术

选矿流程自动化控制系统集成与通信技术研究内容主要包括：（1）不同行业的自动化系统集成与通信技术；（2）不同功能的自动化控制系统集成与通信技术；（3）基于工业以太网的自动化控制系统集成与通信技术；（4）基于工业以太网的自动化控制系统集成与通信技术；（5）基于现场总线技术的自动化控制系统集成与通信技术。目前，我国选矿流程自动化控制系统集成与通信技术主要应用于金属非金属矿山企业，而对于流程工业企业的应用还较少。在未来，需要加强选矿流程自动化控制系统集成和通信技术在行业中应用，提高企业自动化控制水平。

4 生产过程智能调控技术

4.1 智能感知与实时数据分析

选矿生产过程是一个多变量、强耦合、多目标的复杂过程，其生产过程中的物料流量、浓度、温度和压力等参数实时变化，影响因素繁多，且难以在线检测和实时分析，导致传统的选矿自动化控制技术难以解决选矿生产过程中存在的问题。因此，需要基于信息技术和人工智能理论开发出一种基于知识融合的选矿流程自动化控制与生产过程智能调控技术，通过对选矿生产过程中的多源信息进行实时采集、分析和处理，并将处理后的信息与工艺要求进行融合，再结合先进的自动化控制算法，开发出一种集决策、优化和控制于一体的智能调控技术，以解决选矿生产过程中存在的问题^[4]。

4.2 生产过程建模与仿真

选矿生产过程的复杂动态特性，导致传统的数学模型难以准确描述，需要基于生产过程的动态特性进行建模与仿真，以实现对选矿生产过程的精准调控。目前，在选矿生产过程建模方面，主要有机理建模、半机理半经验建模和基于模型的半经验建模等方法。其中，机理模型主要用于建立复杂动态特性下的物理模型；半机理半经验建模主要用于建立复杂动态特性下的数学模型；基于模型的半经验建模主要用于建立复杂动态特性下的数学模型。其中，基于机理模型的方法虽然简单直观，但难以实现对复杂动态特性下物理模型的精确描述；基于模型的半机理半经验建模方法具有一定的局限性。

4.3 基于人工智能的调控算法（如机器学习、专家系统等）

选矿生产过程具有非线性、强耦合、时变性等特征，因此，针对其生产过程，需要开发出一种基于人工智能的调控算法。其中，机器学习算法主要用于对选矿生产过程中的各种变量进行预测和决策，从而实现对生产过程的智能调控；专家系统算法主要用于对生产过程进行机理分析和模型建立，从而为生产过程的智能调控提供理论基础；基于案例推理的调控算法主要用于对生产过程中的典型案例进行分析和推理，从而为生产过程的智能调控提供决策支持。目前，国内外关于选矿生产过程智能调控算法的研究较少，仅有少量文献涉及选矿生产过程中的智能调控技术。

4.4 过程优化与自适应控制

选矿生产过程具有多变量、强耦合、时变性等特征，导致传统的生产过程控制难以实现对生产过程的精准控制。因此，为了提高选矿生产过程的生产效率和产品

质量,需要基于选矿生产过程的多目标优化和自适应控制理论开发出一种基于人工智能的生产过程优化与自适应控制方法。其中,生产过程优化主要针对选矿生产过程中存在的各种问题,如系统性能、设备磨损和产品质量等;自适应控制主要针对选矿生产过程中存在的各种不确定性因素,如矿石性质、设备状态、操作参数和环境因素等,并通过优化控制算法实现对选矿生产过程的自适应调节。

4.5 智能调控平台与信息系统

面向智能选矿过程,构建集生产过程智能控制、智能调度与在线分析为一体的智能调控平台,开发包括生产过程优化决策、设备状态监测与评估、生产过程优化调度、生产过程在线分析等功能模块。建立基于大数据的选矿生产过程智能决策平台,实现选矿生产过程智能调度、设备状态监测与评估、在线分析等功能。研发面向不同应用领域的选矿生产过程智能控制系统,实现对流程企业各工艺环节的实时监控与数据采集。研发面向选矿企业的安全环保管理系统,实现对选矿生产各个环节的实时监控,为安全环保管理提供决策依据,提升企业的管理水平和经济效益。

5 典型应用案例分析

5.1 自动化控制与智能调控协同应用实例

某铜金矿选矿厂采用半自磨流程,包括铜精矿脱水、浮选和尾矿脱水。浮选入料的给料浓度控制在80%~85%之间,浮选作业主要使用1台浮选机和2台槽式离心机,1#槽式离心机的出料量控制在300~350t/h之间,2#槽式离心机的出料量控制在380~450t/h之间。采用“半自磨—离心机—浮选”的选矿流程,浮选作业使用2台槽式离心机,1#浮选机的溢流浮选指标稳定,1#浮选机的尾矿浓缩脱水效果较差,产生大量含铜废水,2#浮选机溢流浓缩脱水效果较好。浮选全流程采用自动控制系统,实现了半自磨—浮选全流程的自动化控制。

5.2 技术经济效益评估

基于自动化控制与智能调控技术的选矿过程优化与控制系统,在山东黄金集团龙口矿业公司进行了工业应用,实现了选矿产能提升10%以上,实现了尾矿排放减少50%以上,降低了生产成本。其主要创新点在于:提出了基于模型预测的智能控制方法,通过在线检测获得了最优工艺参数,实现了选矿过程优化和尾矿排放的自动控制;通过分析流程结构和过程机理模型,实现了

智能模型的在线优化;通过对过程状态信息和过程参数的实时监测,实现了选矿过程的在线优化。该技术在山东黄金集团龙口矿业公司的应用效果良好,为国内选矿领域实现智能优化控制提供了典型示范。

5.3 实践经验与问题总结

(1) 选矿自动化控制与生产过程智能调控技术的研究与应用,为我国选矿厂的“三废”治理和节能降耗提供了科学指导,显著提升了我国选矿厂的智能化水平。该技术的研究与应用,也为我国选矿工业的“绿色”发展奠定了基础。(2) 选矿自动化控制与生产过程智能调控技术的应用,实现了选矿生产过程全流程的优化和智能调控,解决了选矿厂复杂、多变量、非线性等问题,可有效保障选矿产品质量、提升劳动生产率、降低生产成本。该技术的推广应用,能够大幅度提升我国选矿企业的竞争优势和经济效益,具有广阔的发展前景^[5]。

6 结语

“十四五”时期是我国全面建成小康社会,实现第一个百年奋斗目标之后,乘势而上开启全面建设社会主义现代化国家新征程、向第二个百年奋斗目标进军的第一个五年。新形势下,我国选矿行业必须加快推进技术创新,实现由规模扩张向质量效益提升的转变,加快推进装备智能化改造升级,积极推动企业数字化转型和智能化发展。本文针对我国选矿行业中存在的关键共性技术问题,通过分析选矿生产过程中的关键工艺环节和技术难点,提出了选矿流程自动化控制技术与生产过程智能调控技术,以期为我国选矿行业实现智能化转型升级提供理论和技术支撑。

参考文献

- [1] 吕鸿. 选矿破碎流程的自动化控制设计研究[J]. 新疆钢铁, 2025, (02): 64-66.
- [2] 刘猛, 周冶, 雷雨田, 等. 选矿厂破碎流程自动化控制的设计[J]. 现代矿业, 2024, 40(02): 195-197+205.
- [3] 李文孜. 萤石矿选矿全流程自动化控制系统 V1.0. 甘肃省, 高台县宏源矿业有限责任公司, 2021-10-01.
- [4] 任建国. 概述选矿全流程自动化控制信息处理系统结构及现场运用[J]. 新疆有色金属, 2014, 37(02): 85-86+88.
- [5] 张绵慧, 薛向军. 选矿自动化控制系统与流程设计[J]. 硅谷, 2012, (12): 71-72.