

引用格式:高泽宇,陈昌松,和继高,等. 锌冶炼企业智能化工厂建设研究与探索[J]. 有色设备,2024,38(6):1-7.

GAO Zeyu, CHEN Changsong, HE Jigao, et al. Research and exploration of intelligent factory construction in zinc hydro-metallurgy[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(6): 1-7.

锌冶炼企业智能化工厂建设研究与探索

高泽宇^{1,2}, 陈昌松³, 和继高⁴, 夏禹⁴, 姜勇^{1,2}, 王凯^{1,2}

(1. 矿冶科技集团有限公司, 北京 100160; 2. 北矿机电科技有限责任公司, 北京 100160;

3. 云南驰宏锌锗股份公司 会泽冶炼分公司, 云南 会泽 654211; 4. 云南金鼎锌业有限公司, 云南 兰坪 671401)

[摘要] 有色金属行业的智能化升级和新质生产力的构建不仅仅是冶炼企业和冶炼行业的发展方向,更是国家战略矿产资源安全保障和生态环境保护的发展要求。为了推进锌冶炼智能化工厂建设,本文以湿法冶炼中较为典型且难度相对较大的湿法锌冶炼为研究对象,基于湿法锌冶炼的生产流程和锌冶炼企业的发展现状,明确了锌冶炼智能工厂的建设目标,并对其建设内容进行了详细的分析。结果表明,智能化锌冶炼工厂的建设将为锌冶炼行业带来革命性的改变,推动我国锌、铜、铅、锰等大宗有色金属湿法冶炼的生产技术水平的提高,对我国有色金属冶炼行业新质生产力的形成和发展起到巨大的推进作用。

[关键词] 湿法锌冶炼; 智能化工厂; 建设现状; 建设目标; 新质生产力

[中图分类号] TF813

[文献标志码] A

[文章编号] 1003-8884(2024)06-0001-07

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.06.001

0 引言

随着计算机技术和智能化技术的不断发展,智能制造已逐步成为制造业实现有效提升产品质量和数量以形成新质生产力的重要途径^[1-2]。

智能制造是将智能化机器与生产相关人员相结合,通过人机合作的方式,在生产制造过程中实现智能化分析、推理、判断、构思、决策等活动的高阶制造业态和全新生产方式^[3]。自 2015 年《中国制造 2025》行动纲领将智能制造列为实现制造强国战略的重点发展对象以来,我国有色金属冶炼行业已逐步开始了智能化工厂建设。2020 年,由国家工信部、国家发展改革委等部门联合编制的《有色金属行业智能工厂(矿山)建设指南(试行)》提出,要在有色金属行业继续推进新一代信息通信技术的集成创新和融合应用^[4],明晰了有色金属行业智能化改造的总体思路。2022 年,由国家工信部、国家发展

改革委等部门联合编制的《有色金属行业碳达峰实施方案》明确指出,有色金属行业确保在 2030 年前实现有色金属行业的碳达峰^[5],确立了有色金属行业智能化改造的总体规划。2023 年,由国家工信部联合七部委印发了《有色金属行业稳增长工作方案》,提出有色金属工业发展,尤其是铜、铅、锌等行业要进一步加快节能降碳工艺升级改造,促进行业高端化智能化绿色化发展^[6],进一步为有色金属行业的智能制造产业升级提供了发展方向和建设依据。当前,有色金属行业的智能化工厂建设与智能制造产业升级已成为行业发展的迫切需求与核心任务。

1 国内湿法锌冶炼企业建设现状

金属锌被广泛应用于汽车、船舶、机械制造、表面处理、电池等行业,是国民经济的重要基础产业,是实现制造强国的重要支撑^[7-8]。我国是世界金属锌生产大国,据国家统计局统计,2023 年产量达到 715.2 万 t,占世界锌年产量的一半以上^[9-11],如图 1 所示。

经过几十年的发展,我国湿法锌冶炼行业的多个工艺指标已相当先进,电流效率高达 92%,电耗

[收稿日期] 2024-09-06

[第一作者] 高泽宇(1994—),男,内蒙古包头人,工程师,硕士,主要从事矿山及冶炼装备智能化等方面的研究工作。

[基金项目] 国家工业和信息化部智能制造新模式应用项目“新型稀土铝锌合金智能生产系统及示范应用”项目资助。

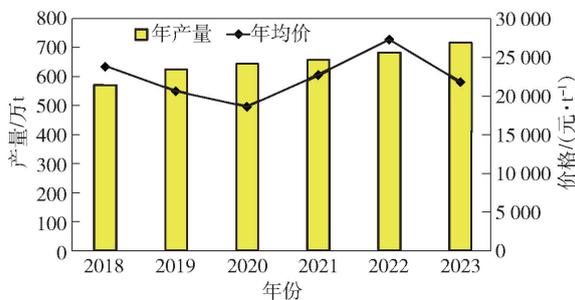


图1 2018—2023年国内锌年产量及锌吨价统计

Fig.1 Statistical chart of annual domestic zinc output and zinc ton-price in 2018—2022

低至 $2\,950\text{ kW}\cdot\text{h}/\text{t}^{[12]}$ 。然而,由于有色金属冶炼的生产过程复杂、生产环境恶劣,流程长、环节多,实现全流程机械化和自动化仍面临巨大挑战。当前,国内有色金属冶炼企业普遍面临工艺和装备相对落后、生产自动化及智能化程度低、关键设备长期依赖进口、生产环境恶劣、人员需求量大、安全保障薄弱等问题,这些问题严重制约了我国有色金属冶炼行业的健康发展^[13-14]。此外,我国有色金属冶炼企业还面临着原料供应紧张、原料市场竞争加剧、高品质矿石原料逐渐减少、生产成本逐年增加、招工难度日益加大等诸多问题,也给我国有色金属冶炼企业带来前所未有的压力。国内锌冶炼企业面临盈利能力普遍不强、生产集中度较低、产品同质化竞争激烈、高精尖材料开发能力偏弱等问题,在此背景下,锌冶炼行业存在由高速增长向高质量发展转变的迫切需求^[13]。

在整个锌冶炼生产过程中,焙烧工序、浸出工序、净化工序及电积工序中的电解作业流程已趋于成熟,技术和工艺较为稳定,且设备机械化与自动化程度较高。然而,在电积工序后段的剥离、刷洗作业流程及熔铸工序中,由于其生产流程复杂、生产环节离散性强以及进口设备价格高昂且难以适应国内复杂生产工艺等因素,生产仍然以人工作业为主,设备自动化程度低,生产能耗高、污染大、环境恶劣,生产安全保障性低^[14],这些问题已经成为锌冶炼行业亟待攻克的重点技术难题。

自2010年以来,国内许多大型冶炼厂和冶炼装备供应企业针对锌冶炼行业的难题,投入了大量的资源和精力进行创新研发,目前已取得了显著成果。以驰宏锌锗股份有限公司为例,自2011年起,该公司联合矿冶科技集团有限公司共同开发国产化锌冶

炼装备及相关技术。2015年,在其会泽冶炼分公司建成了国内首台套具有完全自主知识产权的 3.2 m^2 大极板锌片剥离设备,首次实现了国内复杂工艺条件下的锌片自动化剥离作业,打破了国外技术垄断,在行业内引起了巨大反响^[14]。2019年,建成了国内首台套 150 kt/a 锌熔铸自动生产系统,首次实现了超大型感应电炉及熔铸工序全流程自动化生产,基本实现了熔铸工序全流程自动化运行。2021年,建成了国内首个剥锌熔铸一体化自动生产系统,在国际上首次实现了国内复杂苛刻工艺条件下的剥锌、刷洗、熔化、铸锭、转运等湿法锌冶炼后段全流程一体化、连续化、自动化生产及管控,整体技术达到国际领先水平^[14]。

尽管我国锌冶炼行业目前已经从手工操作、人工控制的阶段迈进仪表控制、自动运行的阶段,基本实现了生产自动化和过程信息化,并在剥锌、熔铸等工序的部分环节取得了智能化的突破。然而,由于锌冶炼全流程装备种类多,安全及环保敏感源多,锌冶炼企业的生产经营、生产执行、产业链供应链等管理领域数智化程度低,数据质量不高、集成度不足,数据价值挖掘能力弱、人工依赖性强,因此国内锌冶炼企业的数智化生态建设进展缓慢,智能制造水平落后,难以满足“高质量发展”的要求^[15],无法有效推动冶炼行业“新质生产力”的形成。由此可见,锌冶炼企业的数智化改造依然任重道远,实现湿法锌冶炼智能化工厂建设仍需进一步探索明确的方向和方法。

2 湿法锌冶炼智能化工厂建设目标

如今在国内,除少数企业采用火法炼锌外,约有95%的企业都采用湿法炼锌。湿法冶炼是通过电场作用将溶液中的金属离子在极板上还原为金属单质的方法,自1915年在美国首次进行工业化应用以来,以其产品质量好、回收有价金属效率高、易于实现大规模自动生产、对环境的影响程度低等技术和经济优势^[16],成为锌冶炼的主要生产方式,每年通过湿法冶炼的锌产量约占国内全年锌产量的60%^[17]。

湿法锌冶炼生产工艺一般包括焙烧、浸出、净化、电积和熔铸5个主要工序。由于锌在自然界多以硫化物状态存在,因此在湿法锌冶炼流程中常采用焙烧的方法将锌精矿中的硫化锌及其他硫化物转

化为氧化锌和其他氧化物,同时除去部分对冶炼有害的杂质元素并补充浸出循环系统中硫酸根^[18]。经过焙烧后的锌焙砂通过浸出剂将其中的锌溶解在水溶液中,并去除其中的铁和大部分砷、锑、锕等杂质^[19-20],然后通过沉淀剂、氧化剂等多种药剂配合作用去除其中的铜、镉、钴、镍、钙、镁等杂质^[20],得到纯净的硫酸锌溶液。纯净硫酸锌溶液配制成电解液后注入电解槽中,通入直流电进行 24 ~ 48 h 电积

作业,阴极板上沉积的金属锌达到一定厚度后,通过天车吊运至剥锌作业流程,进行锌片剥离作业,剥离下来的锌片堆码成垛,然后送入熔铸炉进行熔化,最终铸成产品锌锭。剥离后的阴极板则进入刷板作业流程,进行阴极板的刷洗作业,刷洗后的阴极板则返回电解槽继续进行电积作业^[21-22]。湿法锌冶炼生产基本工艺流程如图 2 所示^[23]。

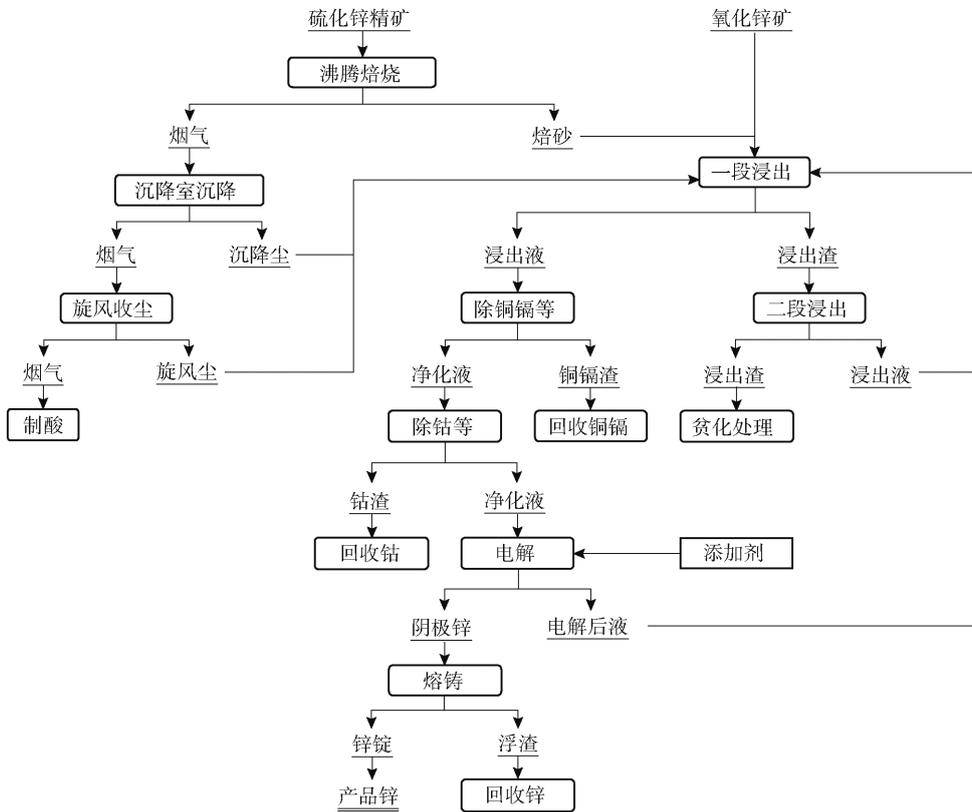


图 2 湿法锌冶炼工艺流程图^[23]

Fig. 2 Flow chart of zinc hydrometallurgy^[23]

由于湿法锌冶炼生产是一个流程复杂、分工精细的复杂集合过程,其智能工厂建设的过程中,除了各类生产设备和生产过程的智能化升级外,还需要根据供给侧和需求侧的情况,对原料投入、生产工艺、加工条件及能源需求精确评估与计算,通过计划、调度、控制、协调等手段,实现工厂内各部门、各环节和各种资源的统筹优化,以确保产品生产的合理规划,保证产品质量,控制生产成本,提高劳动生产率,降低能耗和环境污染。因此,推进锌冶炼智能工厂建设,不仅能大幅优化生产方式,减少原料及能源消耗,最大限度地降低各环节生产成本,还能极大

减轻操作人员的劳动强度、改善恶劣作业环境、降低作业危险风险,这有助于我国锌冶炼企业及整个行业在变化市场环境中占据有利地位,提升竞争力。

锌冶炼智能工厂的建设目标,是以现有自动化装备和技术为基础,通过生产过程数字化的方式进行数据驱动与智能化决策,根据市场需求、原料供应、生产过程等各方面因素进行生产过程的决策和生产流程的优化,具备自动化、数字化、可视化、模型化、集成化等特点以及预测、感知、协同、优化等能力,最终达到智能交互决策、降低生产成本、提高生产效率、减少环境污染的目的,从而实现锌冶炼行业

从粗放型、劳动密集型生产方式向精细化、高端化、绿色化的升级改造^[24]。

除锌以外,铜、锰、镍、钴等大宗有色金属普遍采用湿法电积工艺进行生产,在此背景下,锌冶炼智能工厂的建设,对我国有色金属冶炼行业在国际市场中提升竞争优势具有重要意义。

3 湿法锌冶炼智能化工厂建设内容

锌冶炼智能化工厂是智能设备、智能管控及模型驱动共同构造而成的智能制造模式,是智能化技术与机械、电子、液压、气动、冶炼、化工等多学科交互融合,并最终投入工业生产的具体化应用。因此,在锌冶炼生产中,基于现有的自动化或智能化单体设备、离散的各工序自动生产系统,通过构建一个汇集通信技术、软件技术、智能装备及控制技术、智能分析及决策技术等多种智能化技术为一体的智能系统,是锌冶炼企业实现智能制造,完成智能化升级,形成新质生产力的必要条件。

锌冶炼智能工厂的建设可分为 3 个阶段:①实现焙烧、浸出、净化、电积和熔铸 5 个主要工序各自生产过程中设备及生产线的自动化运行;②实现 5 个主要工序间的物料转运、接收、储存功能自动化运行,以及人机交互、生产情况、设备状态等信息的互联互通;③基于人机交互,整合人员管理、市场需求、制造能力、生产安排、原材料供应等制造资源,实现生产经营智能化决策。因此,基于目前湿法锌冶炼企业现状,智能化锌冶炼工厂的建设内容主要包括以下几个方面。

3.1 生产管理智能化

锌冶炼生产管理智能化是通过对企业生产执行过程的生产计划、生产调度、生产质量、生产设备、生产文档、生产数据进行集中管理和智能化控制,以提升锌冶炼企业生产执行过程对变化的适应能力,均衡生产资源,提高生产效率,降低劳动损耗,增强企业核心竞争力^[25]。生产管理智能化的建设包括 3 个方面:①建立生产现场焙烧、浸出、净化、电积、熔铸工序各类装备融合协同的集群化控制系统,将生产过程中离散的作业过程有效整合并进行一体化控制,实现锌冶炼生产全流程一体化、数字化、智能化、连续化、无人化作业;②构建融合各工序特性的全流程生产计划和调度管理系统,通过对底层数据的深度挖掘和设备状态的实时监控,将生产计划、资源分

配、装备调度与生产机理相关联,集合生产过程中各类不确定因素对锌冶炼生产过程进行精确描述,对生产计划和生产调度进行合理安排,从而提高执行过程对变化的适应能力,实现锌冶炼精益生产;③建立集合各工序各类装备和系统标准件、动力件、易损件等使用情况、库存情况、存放情况、采购需求的备品备件综合管理系统,通过对库存备品备件数量进行实时监控,结合系统对各工序故障诊断结果和易损件寿命分析预测,实现易损件更换及备品备件采买的智能化管理。以云南驰宏会泽冶炼分公司为例,该公司通过建立锌电解熔铸全流程一体化生产管控系统,运用在线设备监测和模型预测分析,对各工序进行故障诊断和易损件寿命预测,实现湿法锌冶炼锌电解、剥锌、刷洗、熔铸、码垛、打包等生产全流程一体化智能化管控和无人化作业,生产效率提升 15% 以上。

3.2 物流管理智能化

锌冶炼物流管理智能化通过对锌冶炼企业全流程生产环节的物料进行自动化、智能化输送及流通,从而提高物流效率,优化资源配置,满足锌冶炼智能工厂的物流流通需求^[26-27]。物流管理智能化的建设包括 2 个主要方面。①建立锌冶炼生产过程全流程物料自动化传递和智能化管控系统,针对锌冶炼生产过程中各工序环节物料种类繁多且物态各异的特点,对各环节物料研制专用传输装置并进行集中管控和实时监控,实现生产流程中各工序各传输环节的连续化自动运行,同时建立各生产车间高效化、连续化、智能化联动系统,使各环节生产节奏互相适应,提高生产和管理效率,降低生产成本。例如,云南驰宏会泽冶炼分公司采用桥式抓斗起重机、圆盘给料机、胶带输送机、星型给料机、称量给料机、螺旋给料机、链条输送机、桥式移载机等多种物流自动化传递装置,实现全流程物料自动化传递和智能化管控。②建立锌冶炼产品智能化仓储系统,通过对工业机器人、AGV、RGV、立体仓库等技术的综合应用,实现对产品转运、仓储的动态监控和实时管理,实现锌锭堆垛运输、运载工具统筹调度、物流状态实时跟踪、产品仓储动态监控等多平台协同和智能化运行,提高物流效率,降低仓储成本。例如,云南驰宏会泽冶炼分公司采用基于 AGVs 的产品锌智能化仓储系统,通过智能化技术实现产品锌锭从码垛、打捆至转运入库、出库装车等流程的智能化、无人化

管理。

3.3 环保管理智能化

锌冶炼环保管理智能化通过对锌冶炼企业全流程生产环节的能源消耗、碳排放、各类污染物治理等环境信息进行实时监测及综合管控,从而加强高耗能、高污染的锌冶炼企业的环境治理能力,加快实现锌冶炼企业智能制造和绿色低碳转型发展。环保管理智能化建设包括3个主要方面。①进一步推进锌冶炼企业内部循环经济,通过对焙烧烟气、浸出渣等各工序废弃物料进行回收及其再利用,提升冶炼过程中各类资源的利用率,实现冶炼资源的综合利用以及环境足迹最小化生产。例如,云南驰宏会泽冶炼分公司采用两段旋涡收尘器对焙烧烟尘进行收集,后由排风机送制酸系统制酸,同时对浸出及净化工序中的浮渣进行压滤收集,送至综合回收车间回收铜、镉、钴等有价值金属,有效提升了冶炼过程中各类资源的利用率,节约了生产成本,创造了附加效益。②建立各类污染物排放实时监测系统,通过对排放口、风险源和污染物等进行实时监测和报警管理,实现污染物排放的在线监控和及时治理。③建立锌冶炼全流程能源管理系统,通过对生产过程中多种介质和来源的能源供给、传输、转换、消耗等情况的综合分析和清洁能源的替代化使用,实现多介质能源优化与能源梯级利用,进一步加强锌冶炼企业清洁能源在生产中的占比,降低设备的碳排放和综合能耗。例如,云南驰宏会泽冶炼分公司采用创新锌电积技术及节能感应电炉,并采用各类输送及电动AGV小车代替传统叉车使用,增加了清洁能源的应用,减少能源消耗,每年可节约柴油450 t,节约电耗4500万kW·h。

3.4 信息管理智能化

锌冶炼信息管理智能化通过对企业的物质资源、资金资源和信息资源进行全面集成管理,实现对物质流、资金流、信息流的获取和分析,从而缩短企业物质和资金的周转周期,增强企业对市场变化的快速反应能力^[28-29]。信息管理智能化建设包括3个主要方面。①建立锌冶炼企业智能化综合管理系统,通过对企业内部的人力资源、财务资源、材料资源、生产信息资源进行集成管理,对审批流程、最高最低安全库存、批次管理、质量管理、价格管理、账款管理等关键环节进行智能化管控,进一步加强企业内部各项事务的垂直管理能力,使管理者能够及时、

全面地获取企业信息,降低管理成本,提高管理能力。②推进企业生产运营智能化云服务平台的建设,通过对锌冶炼生产全流程各类数据进行获取、传输、云计算与远程监控,实现生产过程的实时云端可视化监控和智能化控制。③加强生产数据分析能力,通过深度学习及云计算处理能力,对生产流程中种类繁多的各种设备的运行状态、运行数据、反馈信号等各类数据进行深度分析,实现生产系统作业计划、调度安排、执行情况的智能化管理,以及设备控制、设备故障反馈、生产环节衔接的精准响应和智能化分析预测,为锌冶炼生产优化作业流程、提高设备性能、加快故障处理效率、提升劳动生产效率提供技术支撑。

3.5 产业链协同智能化

锌冶炼产业链协同智能化是通过将企业外部的各类供应商、上下游协作单位及销售市场等外部影响因素纳入企业生产体系,为企业建立起行业级的生产管理和规划系统,从而消除生产过程中的无效作业和资源浪费,为企业实现准时制生产奠定基础。产业链协同智能化建设主要包含以下3个方面。①推进企业资源协同平台的建设,通过对供应商及上下游协作单位的信息互联、产品互供及规模匹配,实现锌冶炼企业产业链一体化。②建立锌冶炼企业物料供给及产品销售一体化智能管理机制,通过对原材料及产品的库存情况、库内布局、采买需求、市场价格等信息进行汇总及综合分析,实现原料采购、产品销售和库存管理的智能化决策,从而提高原材料的管理效率,并增强企业成本控制能力。③推动社会公共服务管理平台的建设,通过对公用设备设施、物流系统、安全保障、环保设施、科学技术、企业管理和人才服务等社会资源的利用,加强企业间的互动协作,实现产业链和价值链的提升,为企业发展拓展空间。

3.6 分析决策智能化

锌冶炼分析决策智能化通过综合分析企业内部和外部的各项信息,对企业的销售、生产、物流需求、生产能力、采购、利润、财务预算和人力资源等各项计划进行决策,实现锌冶炼管理“整体利益最大化,管理成本最小化”的根本目标,进而推动锌冶炼行业整体竞争力的提升。分析决策智能化建设主要包含2个方面。①持续推进大数据技术应用,通过建立锌冶炼经营管理决策模型,以效益最大化为目标,

推动冶炼企业向智慧决策管理模式的转型;②建立企业内部智能化综合管理系统,通过对企业生产过程中各项数据的统合分析,深度挖掘数据资源,实现决策层、管理层和执行层的一体化闭环管控,使企业能够将决策要求准确传递至管理层和执行层,并将效益指标解构为操作指标,从而提高冶炼企业对智能化决策的执行力。

4 展望

通过上述研究与探索,基于湿法锌冶炼企业目前的生产实际,锌冶炼智能工厂未来建设的方向应主要集中于以下几个方面:①创新设计底层设备和工艺,进一步完善各生产工序的机械化、自动化改造和智能化升级,建立冶炼厂生产过程一体化智能控制系统;②加强数字化改造力度,进一步完善工业互联网与云平台建设,建立起冶炼厂智能化数据快速获取、海量储存、深度分析、安全防护的企业数据平台;③优化机器学习算法,融合大数据、云计算、人工智能等前沿技术,进一步优化企业的生产和运营流程,建立冶炼厂生产运营智能化决策系统。通过智能化技术不断研究和应用,进一步提高锌冶炼厂的效率和可持续发展能力;④探索环保冶炼技术,研发新型环保锌冶炼工艺及生产方法以及资源、能源回收利用技术,以降低锌冶炼企业的污染排放和能源消耗,减轻对环境的影响。

有色金属矿产资源作为我国经济发展的重要支柱,对国家工业和科技发展具有至关重要的影响,战略性的矿产资源更是国家安全的重要保障。因此,有色金属行业的智能化升级和新质生产力的构建,不仅是冶炼企业和行业的发展趋势,更是响应国家战略需求、保障矿产资源安全及促进生态环境保护的重要举措。然而,由于湿法锌冶炼行业自身因素的限制,锌冶炼工厂的建设与智能工厂的基本要求仍存在显著差距,其自动化、智能化水平与其他行业相比也相对落后。因此,对锌冶炼智能工厂建设中建设目标和建设内容的研究与探索,为锌冶炼企业的智能化升级改造提供了方案,将助力锌冶炼行业的技术升级和新质生产力的构建。

未来,随着智能制造的进一步发展,通过对锌冶炼智能化技术的研发与应用,使企业实现生产过程的精细化动态管理,推动企业低能耗、低污染、高效率的生产模式。此外,智能化技术的应用还有助于

提高生产的机械化程度,减少人为因素的干预,提高生产过程的安全性及稳定性。通过不断深入探索这些研究方向,智能化锌冶炼工厂的建设将为锌冶炼行业带来革命性的改变,对提升我国锌、铜、铅、锰等大宗有色金属湿法冶炼的生产技术水平、提高生产效率、消除安全隐患具有深远意义,将有力推动我国有色金属冶炼行业新质生产力的快速发展。

[参考文献]

- [1] 王文泽. 以智能制造作为新质生产力支撑引领现代化产业体系建设[J]. 当代经济研究, 2024(02): 105 - 115.
- [2] 王政. 向智能制造要质量要增量[N]. 人民日报, 2023 - 04 - 26(018).
- [3] 刘建丽, 李娇. 智能制造: 概念演化、体系解构与高质量发展[J]. 改革, 2024(2): 75 - 88.
- [4] 《有色金属行业智能工厂(矿山)建设指南(试行)》解读[N]. 中国有色金属报, 2020 - 05 - 09(006).
- [5] 有色金属行业碳达峰实施方案[J]. 资源再生, 2022(11): 58 - 61.
- [6] 编辑部. 工信部等七部门印发《有色金属行业稳增长工作方案》[J]. 粉末冶金工业, 2023, 33(5): 62.
- [7] 张艳飞, 陈其慎, 邢佳韵, 等. 中国“新能源矿产目录”厘定研究[J]. 中国矿业, 2024, 33(1): 1 - 11.
- [8] 鞠建华, 张照志, 潘昭帅, 等. 我国战略性新兴产业矿产厘定与“十四五”需求分析[J]. 中国矿业, 2022, 31(9): 1 - 11.
- [9] 朱逸慧. 有色协会召开2022年度有色金属工业经济运行情况发布会[J]. 中国有色金属, 2023(4): 17 - 18.
- [10] 于瑞, 张伟波, 张福良, 等. 2023年全球矿业政策变化与启示[J]. 中国矿业, 2024, 33(2): 29 - 35.
- [11] 郭娟, 崔荣国, 周起忠, 等. 2023年中国矿产资源形势回顾与展望[J]. 中国矿业, 2024, 33(1): 12 - 19.
- [12] 王成彦, 陈永强. 中国铅锌冶金技术状况及发展趋势: 锌冶金[J]. 有色金属科学与工程, 2017, 8(1): 1 - 7.
- [13] 罗涛. 大极板电积锌技术和设备的发展[J]. 世界有色金属, 2019(18): 41 - 44.
- [14] 战凯, 郭鑫, 姜勇, 等. 有色金属锌电解剥锌熔铸智能化成套装备研发及示范应用. 国家科技成果: 9112023Y494, 2023.
- [15] 刘松昊. 智能制造助力有色金属工业高质量发展[J]. 中国有色金属, 2024(4): 38 - 41.
- [16] 梅光贵, 王德润, 周敬元, 等. 湿法炼锌学[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2001.
- [17] 赵翠青. 当前中国锌工业的发展形势与思考[J]. 中国金属通报, 2005(23): 4 - 5.
- [18] Yang J L, Li H Y, Li Z Y, et al. Study on sulfuric acid

- leaching and purification of zinc ferrite by roasting zinc-containing Gossan ore [J]. *Processes*, 2023 - 07, 11 (7):2149.
- [19] 陈向强, 许良. 锌冶炼焙烧系统设计的改进和完善[J]. *中国有色冶金*, 2013, 42(4):12-13, 82.
- [20] 彭容秋. 锌冶金[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2005.
- [21] 伍文丙. 锌电积大极板和自动化剥锌的应用实践[J]. *中国有色冶金*, 2013, 42(6):32-34.
- [22] 谷成敏, 杨支海, 赵晓燕, 等. 150 kt/a 锌熔铸锌锭智能传输系统的设计与应用[J]. *中国矿业*, 2022, 31(S1): 335-339.
- [23] Jha M K, Kumar V, Singh R J. Review of hydrometallurgical recovery of zinc from industrial wastes [J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2001, 33(1):1-22.
- [24] 熊晓洋. 大型流程型企业智能工厂建设探索[J]. *当代石油石化*, 2016, 24(7):9-12.
- [25] 陈亮, 王孝春. MES 系统在企业数据化转型中的应用分析 [J]. *数字技术与应用*, 2024, 42(1):18-20.
- [26] 张国栋. 智能仓储物流管理系统[J]. *电子技术与软件工程*, 2018(20):165.
- [27] 张宁恩, 侯振, 万莹. 智能仓储物流管理系统分析 [J]. *信息系统工程*, 2023(7): 24-27.
- [28] 刁望英. ERP 系统在企业管理中的应用[J]. *合作经济与科技*, 2023(5):131-133.
- [29] 阳春华, 刘一顺, 黄科科, 等. 有色金属工业智能模型库构建方法及应用[J]. *中国工程科学*, 2022, 24(4): 188-201.

Research and exploration of intelligent factory construction in zinc hydrometallurgy

GAO Zeyu^{1,2}, CHEN Changsong³, HE Jigao⁴, XIA Yu⁴, JIANG Yong^{1,2}, WANG Kai^{1,2}

(1. BGRIMM Technology Group, Beijing 100160, China;

2. BGRIMM Machinery and Automation Technology Co., Ltd., Beijing 100160, China;

3. Huize Smelter of Chihong ZN&Ge Co., Ltd., Huize 654211, China;

4. Yunnan Jinding Zinc Industry Co., Ltd., Lanping 671401, China)

Abstract: The intelligent upgrading of producing departments and construction of newquality productive forces in the non-ferrous metal industry are not only the development direction of smelting enterprises and industry, but also the development requirements of national strategical mineral resource security and ecological environment protection. In order to promote the construction of an intelligent non-ferrous metal smelting factory, this paper takes the zinc smelting which is typical and difficult in hydrometallurgy as the research object. Based on the production process of zinc hydrometallurgy and the development status of zinc smelting enterprises, the construction goal of intelligent smelter for zinc is proposed, and the construction content is analyzed in detail. Through the above research, it can be concluded that the construction of intelligent zinc smelter will bring revolutionary changes to the zinc hydrometallurgy industry, and promote the improvement of production technology level for bulk non-ferrous metals such as zinc, copper, lead, manganese in hydrometallurgy industry in China. By building the intelligent zinc smelter, it will have a huge promoting effect on the formation and development of newquality productive forces in domestic non-ferrous metal smelting industry.

Keywords: zinc hydrometallurgy; intelligent factory; existing circumstances; construction target; newquality productive forces

