

引用格式:张明哲,刘玉芳,张文莘.大数据和物联网技术在锌电积节能领域的应用研究[J].有色设备,2024,38(6):81-86.
ZHANG Mingzhe, LIU Yufang, ZHANG Wenxin. Research on the application of big data and internet of things technology in the field of zinc electrodeposition energy saving[J]. Nonferrous Metallurgical Equipment, 2024, 38(6): 81-86.

大数据和物联网技术在锌电积节能领域的应用研究

张明哲¹, 刘玉芳¹, 张文莘²

(1. 白银有色集团股份有限公司, 甘肃 白银 730900; 2. 江苏省丹阳高级中学, 江苏 丹阳 212300)

[摘要] 针对锌湿法冶炼中电积工序高能耗问题, 本文采用工业大数据技术深入分析阴阳极板电流电压变化特性, 创新性地提出了构建基于物联网与工业大数据融合的锌电积节能系统。该系统应用于生产车间电解槽的控制与管理, 有效应对了生产线用电点分散、点位众多、数据收集分析滞后及生产指导效率低下等挑战。通过实现数据自动采集、短路自动检测与定位、生产预判与精准指导等功能, 该系统显著提高了电流效率, 降低了产品能耗, 为锌电积行业的节能降耗提供了有力技术支撑。

[关键词] 锌湿法冶炼; 电积; 工业大数据; 物联网; 节能系统; 电流效率; 能耗降低

[中图分类号] TF813 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1003-8884(2024)06-0081-06

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2024.06.012

目前, 全球超过 80% 的锌产量是通过湿法工艺生产的, 湿法炼锌的主要工序包括精矿焙烧—浸出—净液—电积—阴极锌熔铸等^[1]。在这一工艺中, 电积是主要耗能工序, 其能耗占整个湿法炼锌工艺能耗的 80%, 并且占锌产品加工总成本的 35%^[2-3]。因此, 提高电流效率、降低电积过程电耗, 是电积工序成本控制的关键, 这对于提高湿法炼锌厂的经济效益至关重要, 也是衡量企业技术管理水平的重要指标, 优化电积工序对于降低湿法炼锌厂的生产成本具有显著意义, 对企业的生存和发展具有极其重要的影响。

1 锌电积项目概况

近年来, 西北某锌冶炼厂因处理高杂矿量增加, 导致生产过程频繁波动, 技术经济指标如阴极锌直流电单耗、电流效率、锌回收率等均受到显著影响^[4]。在电解槽中, 阴极板电积锌反复出现透酸、返溶及钴镍铜等杂质引发的烧板现象^[5], 同时阴、阳极板导电搭接不良问题频繁发生, 导致电流效率明显下降, 仅为 85% 左右。这一现象使得电解过程

中直流电单耗居高不下, 远高于同行业的 3 100 kW·h/t·Zn, 阴极锌长期处于欠产状态; 此外, 槽电压方面也面临严峻挑战。在湿法系统中, 尤其是新液中锌浓度偏高, 系统含锰较高、阳极泥量增大, 系统钙、镁积累, 结晶生成速度快, 导致电解液电阻增大, 槽电压随之升高。同时, 阴、阳极板导电头与导电板搭接不良, 导电不良也导致槽电压升高, 槽电压波动幅度加大, 有时高达 3.5 V。由于电流效率的降低和槽电压的增高, 直流电单耗居高不下, 单位生产成本增加, 严重影响了全年生产经营任务的完成和利润目标的实现。

该厂面对复杂多变的矿源, 为了提升对原料的适应能力, 积极动员技术团队开展低锌高杂矿适应性技术攻关。通过科学运用鱼骨图等管理工具和 PDCA 管理方法, 深入剖析影响电流效率和槽电压的主次因素, 结合电积过程的基本原理和生产工艺技术特征, 有效提升了管理和控制水平, 从而实现了阴极锌产量和质量的显著提高。然而, 锌电积过程所处的强腐蚀、强磁场、潮湿的复杂环境为行业带来了挑战^[6-7]。由于缺乏相应的电压、电流实时检测手段, 难以对相关技术与管理手段的改进效果进行精细评价, 也无法实现实时监测和操作改进提醒。目前, 仅采取监测系统和单列总电压、监测正负对地电压偏差等方法, 大致判读可能出现偏差的列, 针对

[收稿日期] 2024-09-10

[第一作者] 张明哲(1972—), 男, 甘肃白银人, 电气工程师, 主要从事锌冶炼行业电气技术工作, 现任白银有色集团股份有限公司铅锌厂主管工程师。

有问题的列电解槽,采用热成像仪辅助检查,以发现并处理温度过高的异常极板。这种局限性的方式严重制约了生产管理过程的进一步优化和技术经济指标的进一步提升。

2 因素分析

锌电解过程中,电积锌所需电能的计算公式为:

$$w = \frac{1\ 000v}{q\eta} \quad (1)$$

式中: v 为槽电压, V; q 为锌的电化学当量,其值为 1.219 g/A·h; η 为电流效率,%; w 为电能消耗, kW·h/t·Zn。

从式(1)可以看出,槽电压和电流效率是决定电积直流电单耗的关键参数。只有当槽电压较低且电流效率较高时,才能实现最低的直流电单耗。为了达到节电目标,众多工厂和科研院所正在积极探索多种途径,包括改变阳极材料(如使用多元复合阳极、钛阳极等)、添加添加剂、研究新的电积锌工艺以及加强工艺操作管理等。然而,由于这些方法缺乏实时定量分析和控制能力,难以实现对直流电单耗的精准调整和降低。在此背景下,采用计算机自动检测和大数据分析技术对现有工业技术与装备进行改造,成为了一种可行的解决方案。例如,通过在线检测槽电压和阳极电流,可以为生产过程的工艺变化提供实时参数,并实现优化组合。这种方法有望有效提升节能降耗的效果,为电积锌行业的发展带来新的突破。

槽电压增大的主要因素包括电解质成分如锌离子浓度增加导致的电解质电阻率上升、阳极表面附着阳极泥引起的阳极电阻增加以及导电棒与导电排接触不良等。这些因素在槽电压上的响应特征各不相同,因此,通过在线检测槽电压,并结合电压数据、电压变化率以及对电压波动数据的频域处理,可以对这些因素进行有效监测和实时状态评估。依据评估和分析的结果,及时提醒操作人员处理发现和存在的问题,从而消除生产中的电能消耗,实现降低直流电单耗和减少生产成本的目标。然而,通过文献检索发现,目前尚无相关在线检测应用报道,通常情况下仍采用人工检测方式,这不仅增加了劳动量,而且所得数据难以有效用于实时状态监测和过程评估,限制了生产效率和成本控制能力的进一步提升。

在众多影响电流效率的因素中,阴极与阳极之间的短路尤为突出,其主要成因包括阴极板和阳极板的变形以及阴极表面生成阴极锌所致。短路现象的发生,导致电流直接通过短路点从阳极流向阴极,绕过了锌离子的阴极沉积过程,进而降低了电流效率。此外,短路还使阴极电位升高,可能引发阴极锌的返溶现象^[8],进一步加剧了阴极锌的损失。更为严重的是,阴极短路后极间电阻减小,导致大电流从短路的阴极和阳极之间通过,对阳极造成烧损。这一过程使得阳极板中的铅溶到电解液中,进而导致锌片含铅量升高,严重影响锌片的质量,使得企业难以达到零级品率 100% 的严格标准。

针对短路问题,生产现场目前主要采取洒水观察蒸汽产生和红外成像检测温度异常区域的方法进行检测。然而,这些方法均存在明显局限:一方面,无法实现对全部电解槽的全面检查;另一方面,通常只能在电极短路发生 30 min 以上,且阴极导电棒被大电流加热至 100 ℃ 甚至更高温度时才能发现短路现象。此时,大量电能已损失,对生产效率和成本控制造成了不利影响。

准确、及时地在线检测槽电压和阳极电流,对于及时发现并调整处置异常的阴阳极板具有重要意义。这一举措不仅为降低槽电压、提高电流效率提供了直观、可靠的指导依据,更是实现降低直流电单耗、优化生产成本的关键所在。

在锌电解槽电压和阳极电流的在线检测领域,目前国内外均处于空白状态。然而,利用物联网和大数据技术对传统制造业进行改造和提升,不仅符合国家重点支持的发展方向,更能高效利用社会资源,为企业带来显著的节能降耗效益,推动行业向更加智能化、高效化的方向发展。

3 设计内容

本文针对锌电解槽中阳极与阴极短路导致的严重电流效率损失、槽电压波动引发的产品能耗上升及成本增加等问题,采用在线测量技术,实时监测电解槽中的阳极电流和槽电压。通过及时发现并报告短路状态,提示操作人员迅速处理,有效缩短短路持续时间,进而显著提高电流效率,为降低生产成本、提升产品质量提供有力保障。

3.1 工业物联网架构

结合生产实际以及工业物联网的发展应用,锌电

积节能系统拟采用如图1所示的架构及技术路线,通过数据分析、预判、调控,以实现综合节能目标。

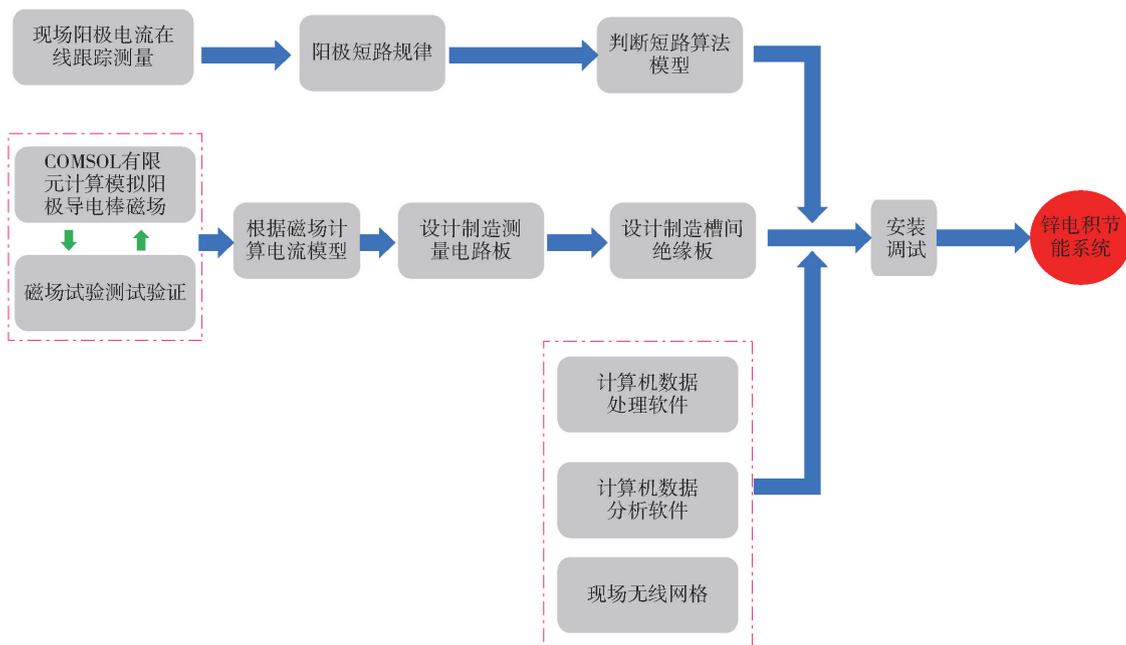


图1 锌电积节能系统研究技术路线

Fig. 1 Research technology roadmap for zinc electro-winning energy-saving system

3.2 技术方案

在锌电积节能系统中,采用霍尔传感技术测量电解槽上每块阳极的导电棒通过的电流产生的磁场强度,利用有限元模型计算电流,与槽电压信号一起通过无线网络上传至控制室计算机服务器进行计算处理,给出电解槽槽况信息、阴阳极短路信息并显示到控制室和现场显示器、操作人员的智能终端。操作人员可根据显示的任务清单,对异常电解槽及短路的阴阳极板进行针对性的处理和结粒去除操作,确保生产过程的稳定与高效。该系统主要由电流电压测量子系统、数据传输子系统、数据分析子系统和槽况信息展示子系统四大功能模块构成,其整体架构如图2所示。

3.2.1 测量子系统配置

测量子系统,其功能是为了实现电解槽上阳极电流与槽电压的在线测量,根据电解槽和槽间母线的结构和尺寸来确定。

在电流测量方面,采用了先进的霍尔传感器技术。每块阳极导电棒的底部位置放置了一组传感器元件,以确保准确检测到由导电棒上电流产生的磁场。考虑到每台电解槽上配备有49块阳极板,安装时只需将测量装置置于槽间母线旁,确保各电流测

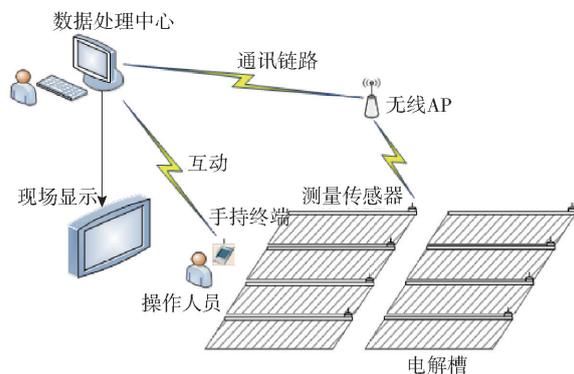


图2 系统结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of system structure

量点与相应阳极导电棒的位置一一对应,即可实现高效、准确的测量。此外,测量元件、信号处理模块以及无线数据模块的电源来自槽两端的电压差,因此从测量装置中伸出2根导线分别连接在电解槽两端的导电排上。测量装置在从导电排上获取电源的同时,也能实时获取该槽的槽电压数据,并与测量到的电流数据一并传输至数据处理服务器,为后续分析提供全面、可靠的数据支持。

3.2.2 数据信息传输子系统

鉴于生产现场的严酷环境以及测量点数量众

多,测量数据的传输全部采用无线方式进行。除了在每个测量装置中有相应的无线发射模块,在车间的墙上合适位置布置相应数量的无线AP,用于中继传输测量数据及向测量板下达相应的测量指令、槽况及电流分析数据等,从而构建起一个覆盖整个车间稳定、可靠的无线网络,确保了数据传输的实时性和准确性。无线网络的示意图如图3所示。

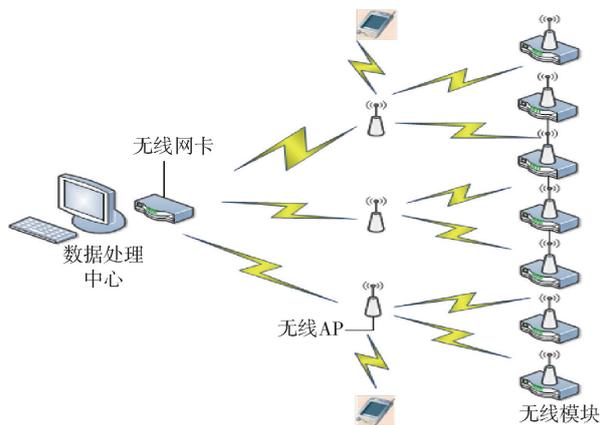


图3 车间无线网路子系统

Fig.3 Workshop wireless network subsystem

3.2.3 数据分析子系统

数据分析子系统,用于对测量子系统获得的槽电压数据、阳极电流数据,以及从整流机组获取的系列电流数据、其他途径提供的温度和电解液成分等多元数据进行深度融合与处理。该系统旨在对槽况进行全面监测,并对阴阳极短路等异常情况进行精准诊断,为电解过程的稳定运行提供有力保障。

1) 阴阳极短路的诊断。阴阳极短路的诊断核心在于对阳极电流系列数据信号的精细化处理,涵盖短路预测、快速判断以及严重短路警告等关键环节。短路预测的准确性取决于短路成因,即是否由阴阳极接触短路及其接触面积大小所决定,通过实时监测阳极电流的微小变化,能够有效预测即将发生的短路事件。短路的快速判断是在预测失效的情况下进行的。阴极与阳极发生短路后,电流快速增大,30 min左右就高达1 000 A以上。利用这种特点,在短路发生5 min左右可诊断出来,以便及时处理,减少后续的电流损失,提高电流效率。此外,当短路发生后未及时处理,短路电流迅速增大到1 500 A以上,确定出短路电流的判断阈值并发出警告信息,提醒现场操作人员及时进行处理。

2) 槽电压变化影响因素分析。槽电压的变化

受多种因素综合影响,其中80%以上是分解电压分摊的,剩余的20%则由电解质电阻、阳极泥电阻、基础电阻等因素引起的。过高的槽电压主要反映在电解质电阻和阳极泥电阻上,而电解质电阻又与电解液温度、电解质成分及杂质含量等因素相关,而阳极表面阳极泥的形成和增厚,也是造成槽电压升高的原因。极板搭接不良也是造成槽电压升高的一个主要因素。通过对槽电压数据的深入分析,并结合其他参数对主要影响因素进行辨识,对于优化电解过程、提高能效具有重要的价值^[8-10]。

3) 数据分析子系统。该系统由数据接收、数据存储和数据分析三部分构成。数据接收主要是通过无线网获得的实时测量数据,包括从整流机组获得的系列电流数据以及从其他系统录入界面获得的数据。数据存储是将这些数据存储在数据库中进行长期保存,以备后续的分析 and 查询使用。数据分析部分是该子系统的核心,其包括相关数据的融合、数据的分析计算以及对计算结果的解释推理。通过先进的数据处理技术,为用户提供准确、可靠的决策支持^[11-13]。

4) 槽况信息展示子系统。该子系统集成了历史数据的查询、趋势变化、提示、警告及报警等多项功能,全部结果以直观、生动的可视化图表形式实时呈现,简洁明了、界面友好。结果不仅在控制室的计算机屏幕上显示,还通过网络安全传输至远程计算机,同时支持在车间定制大屏幕上显示。此外,系统还提供App版本,适用于手机及其他专用移动终端,实现了随时随地、便捷高效的查询、监控与管理,极大地提升了用户的使用体验和操作灵活性^[14-18]。

4 应用效果

2021—2023年,本文所研究的锌电积节能系统中的四项关键技术——电解槽阳极电流测量、阴阳极短路预测与快速判断、槽况诊断、工艺优化及辅助决策在西北某锌冶炼电解锌生产线^[9-10]得到了实践与应用。该厂停产检修期间,对原有的电解槽间绝缘齿形台进行改造,制作了一种能够适用于水溶液电解槽电极电流测量的导电排底座(已申请发明专利并授权)、以及一种能够抬高搭接的齿形铜导电排(目前正申请专利中)。在电解车间选择5台电解槽进行了试验,并在主控室中

布置1台工控机用于数据储存和计算。通过获取的测量数据,进一步验证并优化了测量装置和计算机软件的功能。

1)在线监测与自动报警:系统实现了对选定5台电解槽中每块阳极的电流和槽电压的实时在线测量,同时自动监控阴阳极短路及槽况,并具备自动报警功能,提升了监控的精准性和及时性。

2)短路预测与快速检测:研发了解析槽短路预测技术、快速检测装置、槽电压测量及预警系统,配套了先进的软件,并提供了实现测量数据实时传输的无线网络解决方案,构建了全方位的电解槽监控体系。

3)工艺参数优化:基于阳极电流和槽电压的数据挖掘,形成了一套优化工艺参数的技术方案,为电解过程的高效运行提供了科学依据。

4)腐蚀问题解决:针对试验过程中发现的现场腐蚀问题,对导线和传输设备进行了更换、涂防腐胶等防腐处理,有效消除了腐蚀影响,保障了设备的稳定运行。

5)实时数据监测与异常处理:装置具备实时监测功能,可切换和查看5个电解槽的实时数据。系统准确提示了第6、7、11、13、15、18张阳极板电流异常,特别是第13张阳极板电流波动较大。现场操作人员根据提示进行处理,发现并解决了导电头粘附杂物的问题,恢复了正常导电。

6)生产实践与应用效果:经过生产实践,系统在5台试验槽中发挥了显著作用。通过在线监测,即时获取极板电压和电流参数,快速判断槽况,实现即时预警。作业人员能够迅速检查并调整极板搭接状态和极距,确保电解过程的稳定运行。此外,系统还助力快速调整进槽流量和更换极板,有效保证了阴极锌析出质量,显著提高了电流效率,降低了槽电压和产品电耗,实现了电解过程的优化和能效提升。

在本次试验中,对试验槽的产量进行了单独计量与统计,经过深入分析,实现了电流效率的稳定提升,从85%提高至88%,同时平均槽电压也从3.4V降低至3.3V。基于这些显著效果,若将此优化方案扩大应用到该厂所有电解槽中,预计产量将增加7320t,能耗降低 4.1×10^7 kW·h电。以工业用电每度0.5元的价格估算,年节省电费可达2050万元,经济效益十分可观。

5 结论

目前,世界范围内锌冶炼工厂的电解过程中,均通过测定槽电压的方法,间接监测电解过程的生产状况,没有开发和适用适用的技术,实时获取每槽每片阴极板电流大小和变化,无法及时优化控制每槽每片阴极板的生产,无法进一步提高电流效率和降低直流电单耗。

本文探索在试验槽上安装了槽电压、电极电流检测装置,在车间调度室和腾讯云上安装了测量数据存储和分析系统,通过电磁感应技术,实现了锌电积槽槽电压、电极电流和电解液温度在线检测,并通过物联网技术,即时向主要技术人员、管理人员和相关作业人员推送了检测数据实时分析网页地址,建立基于云计算和移动终端的电解槽实时监控、历史数据查询和分析系统。电极电流分布与电解槽上的阴极安装状况、出锌操作等完全一致,为车间进一步精准化槽面作业管理、提高电流效率和降低能耗提供了最有效手段。

本文开展的试验应用表明,该系统值得在锌电解的整个系统中全面推广应用,通过该系统,实时获取电解过程中每片阴极板电流的大小和变化,生成作业调整指令,精细化管控生产过程,降低锌电积直流电单耗,实现锌电解过程数字化和智能化水平,实现锌电解的优质低耗。

[参考文献]

- [1] 彭容秋. 锌冶金[M]. 长沙:中南大学出版社,2005.
- [2] 雷霆. 锌冶金[M]. 北京:冶金工业出版社,2013.
- [3] 胡小龙,王晓丽. 锌的湿法冶金[M]. 北京:冶金工业出版社,2018.
- [4] 邹晓勇,彭清静,吴贤文. 锌产业技术及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2019.
- [5] 彭容秋. 锌冶金[M]. 长沙:中南大学出版社,2005.
- [6] 王吉坤. 铅锌冶炼生产技术手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2012.
- [7] 包晓波,黄其兴. 世界锌技术经济[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.
- [8] 黄艳芳,杨泽,韩桂洪,等. 锌电积用阳极材料 Pb-Ag/PbO 电化学性能研究[J]. 湿法冶金,2023,42(5):537-545.
- [9] 邹晓勇,彭清静,吴贤文. 锌产业技术及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2019.
- [10] 孙成刚,陈超. 10万吨电解锌熔铸生产线工艺特点及应用[J]. 中国金属通报,2015(2):26-41.

- [11] 李冬萍. 地下铜矿山智能化建设架构研究与应用[J]. 有色矿冶,2023,39(5):58-61.
- [12] 雷伟岩,李金贵,何齐升,等. 湿法炼锌除铁工艺研究进展[J]. 湿法冶金,2023,42(5):458-463,479.
- [13] 李晚平,张焰,李明,等. 管链输送机在锌冶炼烟气制酸系统的实践及推广应用[J]. 硫酸工业,2023(4):36-39.
- [14] 杨媛,陈先友,姚应雄. 锌电积节能降耗生产实践[J]. 中国有色冶金,2020,49(3):37-39,53.
- [15] 郑永杰,刘旭东,周桐,等. 机器人与自动化技术在工艺智能化升级中的优化策略研究[J]. 制造业自动化,2023,45(10):216-220.
- [16] 马广驰. 湿法炼锌热镀锌合金质量提升改造工程综述[J]. 有色矿冶,2023,39(2):38-41.
- [17] 王雪怡,杨海东. 智能高效硫黄喷枪的设计及应用[J]. 硫酸工业,2023(6):61-64.
- [18] 肖常玲. 浅谈提高锌电积电流效率的措施[J]. 有色冶金节能,2015,31(3):26-28.

Research on the application of big data and internet of things technology in the field of zinc electrodeposition energy saving

ZHANG Mingzhe¹, LIU Yufang¹, ZHANG Wenxin²

(1. Baiyin Nonferrous Metals Group Co., Ltd., Baiyin 730900, China;

2. Danyang Senior High School of Jiangsu Province, Danyang 212300, China)

Abstract: Addressing the high energy consumption issue in the electrowinning process of zinc hydrometallurgy, this paper employs industrial big data technology to deeply analyze the current and voltage variation characteristics of the anode and cathode plates. Innovatively, it proposes the construction of an energy-saving system for zinc electrowinning based on the integration of the Internet of Things and industrial big data. This system is applied to the control and management of electrolytic tanks in the production workshop, effectively tackling challenges such as dispersed power usage points, numerous locations, lagging data collection and analysis, and low production guidance efficiency. By realizing such functions as automatic data collection, automatic short-circuit detection and localization, production prediction, and precise guidance, the system significantly enhances current efficiency and reduces product energy consumption, providing strong technical support for energy saving and consumption reduction in the zinc electrowinning industry.

Keywords: zinc hydrometallurgy; electrowinning; industrial big data; Internet of Things; energy-saving system; current efficiency; energy consumption reduction ▲