

基于数字孪生的离子型稀土矿水冶工艺数据动态可视化研究

吴传松¹, 高志江², 楚金旺², 郝亮钧², 王要武³, 邱海涛³

(1. 广东风华高新科技股份有限公司, 广东 肇庆 526000; 2. 中国恩菲工程技术有限公司, 北京 100038;

3. 平远县华企稀土实业有限公司, 广东 平远 514600)

[摘要] 利用数字孪生技术为支撑体系,以离子型稀土矿水冶车间生产过程产生的实时海量数据资源分析、数据可视化、设备传感器、数据优化分析为核心,统筹工艺流程数字化赋能理念。将离子型稀土矿水冶车间数据动态可视化以“一张图”的方式呈现,构建离子型稀土矿水冶车间各工序数字孪生体,实现水冶时空动态监测,融合浸采、除杂、沉淀、压滤四大生产流程,打通多节点数据通道,支持智慧水冶车间数据汇聚共享,提供全方位、多种类立体数据监测信息,从而更好地支撑离子型稀土矿水冶车间管理工作,提高设备利用率和生产效率,降低成本,优化产能,提升智能化决策水平。

[关键词] 离子型稀土矿水冶工序; 数字孪生; 数据可视化; 智能化决策

[中图分类号] TP315 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1003-8884(2023)05-0001-04

DOI:10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2023.05.001

0 引言

离子型稀土矿采用原地浸采工艺,即用特定的浸矿液从自然赋存条件下的非均质含矿层中把呈离子吸附态的稀土金属元素置换浸出并进一步分离、回收稀土元素的采矿方式^[1]。通过在矿体表面布置注液孔,形成注液管网来完成浸矿剂的持续注入。产出的稀土浸出母液,通过提前建设的集液系统进行收集,包括:集液巷道、导流孔和集液沟,然后通过管网将收集到的浸出母液输送至水冶车间进行相应的富集处理^[2]。

因此,可以将水冶车间简化为离子型稀土矿开采过程中生产稀土产品的一个工段。离子型稀土矿水冶车间浸出母液处理过程的工艺流程相对较短、操作运行直接明了、劳动强度较低。主要的特点是

由于离子型稀土矿含矿层的水文地质参数和矿石的赋存形态存在一定差异,导致收集到的浸出母液中稀土离子的浓度存在差异,所以水冶车间各个工段的工艺参数的控制对经验具有较强的依赖性^[3]。而且,水冶车间的自动化程度较低,无法实现相关生产数据的精准统计、高效处理和实时共享。

目前,数字孪生技术的应用可以突破众多复杂物理条件限制,通过模型和数据双驱动,以数字化的形式在虚拟空间中构建与物理车间一对一映射的孪生车间^[4]。一方面,通过孪生车间与物理车间的双向真实映射,实现从设计到运维的全要素、全流程、全生命周期数字化仿真,推进工程管理、流程控制、决策验证等,从而大大提升设计、生产、运维等各环节的质量与效率^[5]。另一方面,通过孪生车间与物理车间的双向实时交互,对物理车间的运行状态进行动态优化调控,使生产过程持续优化,实现具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新生产方式,最终完成以虚仿实、以虚映实、以虚控实、以虚预实、以虚优实、虚实共生,通过与物理车间不间断的闭环信息交互反馈与数据融合,能够模拟物理生产过程,监控生产过程变化,反映生产运行状况,评估生产运行状态,诊断异常故障,预测生产趋势^[6]。

[收稿日期] 2023-06-16

[第一作者] 吴传松(1987—),男,湖南常宁人,工程师,大学本科,主要从事电子元器件研发、投资及项目管理工作,现任广东风华高新科技股份有限公司投资发展部总监助理。

[引用格式] 吴传松,高志江,楚金旺,等.基于数字孪生的离子型稀土矿水冶工艺数据动态可视化研究[J].有色设备,2023,37(5):1-4.

1 水冶车间工艺流程

离子型稀土矿采用特定的浸矿剂实现原地浸矿,通过沉淀富集的生产工艺实现对浸出母液的处理,母液处理工艺过程主要包括母液预处理除杂、沉淀、压滤脱水三个工序。

原地浸出的稀土母液,经过收液系统进入中转池,调节母液的质量和流量,再通过泵打入除杂池。向除杂池中加入对应的化学药剂进行除杂反应后,上清液自流进入沉淀池,渣头自流进入沉渣池。进入沉淀池的上清液经过进一步的沉淀反应后,上清液返回浸矿剂配液池,而沉淀物进入孵化池,经过压滤机压滤脱水处理后,废水进行废水处理,而产品被运送至分离厂进一步进行分离加工。配液池中的清液,通过进一步调配保证其维持在一定浓度范围和 pH 范围内,然后泵入高位池,再通过注液孔注入矿体中。

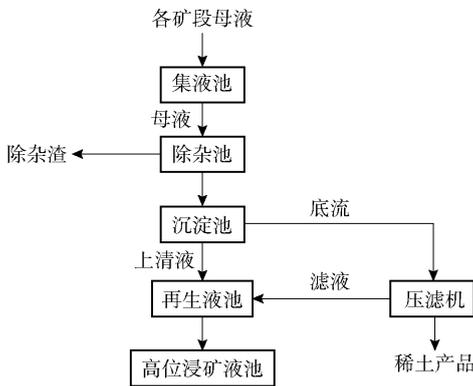


图 1 水冶车间工艺流程图

2 数字孪生水冶车间

数字孪生水冶车间采用机理模型、数据模型耦合迭代的方法,实现水冶流程全要素、全过程、全生命周期的数字化建模^[7]。其中,机理模型为基于内在化学反应和水冶机理的建模方法,该方法与先

验知识相结合,具有可解释性。数据模型为基于数据驱动的建模方法,包括深度学习、人工神经网络、集成学习、强化深度学习、迁移学习等,该方法适用于非线性、多约束、复杂的生产系统^[8]。通过两种建模方法的耦合迭代,实现数字孪生水冶车间不同层级、不同功能系统的数字化建模。

按照离子型稀土矿水冶车间生产工艺流程,包括:母液-除杂中转-除杂-沉淀中转-沉淀-孵化-压滤,将相关的全部生产过程数字化,建立离子型稀土矿水冶车间全流程动态模型,实现物质流、信息流等多要素数字化无缝连接。

2.1 设备智能体构建

根据离子型稀土矿水冶车间各个工序所用设备的能力、属性、运行操作机制、能耗、故障规律等特点,建立除杂中转池、除杂池、沉淀中转池、沉淀池、孵化池、压滤机、配液中转池、配液池等主要环节的智能体模型。同时,基于已有的物性数据库、工艺数据库、生产信息库等,实现物理水冶车间各种生产要素在数字孪生工厂的全面集成和融合。

2.2 生产全流程建模

基于所构建的设备智能体和工艺流程逻辑,建立从浸出母液输入到稀土产品输出整个离子型稀土矿水冶车间生产过程的数字化工艺模型,将物质流、信息流等多要素数字化耦合衔接,并针对生产监控需求和过程优化目标,在流程模型上设置相应的参数控制器,实现对物理生产全过程的一对一虚拟数字化映射,为水冶车间数字孪生功能应用提供底层数字化模型,将离子型稀土矿水冶车间数据动态可视化以“一张图”的方式呈现^[9],如图 2 所示。

2.3 工艺参数数据读取和展示

立足于离子型稀土矿水冶车间的生产工艺流程,以及基础自动化改造,通过对接和读取 DCS 系统的各类检测数据,包括:母液中转池的母液流速、稀土离子浓度、杂质浓度,除杂池的液位值、pH 值、

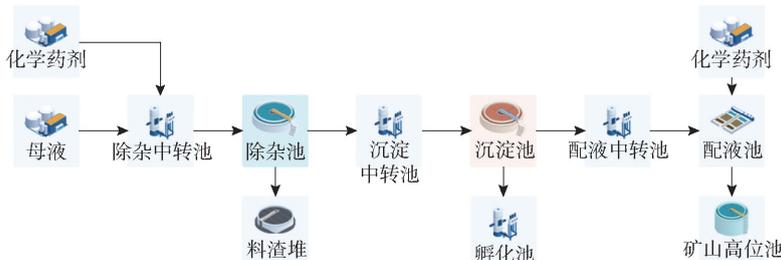


图 2 水冶车间生产全流程建模

稀土浓度数据,沉淀池的液位值、pH 值、稀土离子浓度,孵化池的液位值、稀土产品质量以及配液池的液位值、pH 值,形成相应的数据库。通过设备智能体模型和数据双驱动,以数字化的形式构建了与物理设备一对一映射的监测模型。

2.4 工艺参数数据动态监测

1) 生产辅助分析

对水冶生产过程中,主要生产设备(除杂池、沉淀池、配液池、孵化池等)的关键工艺控制参数,主

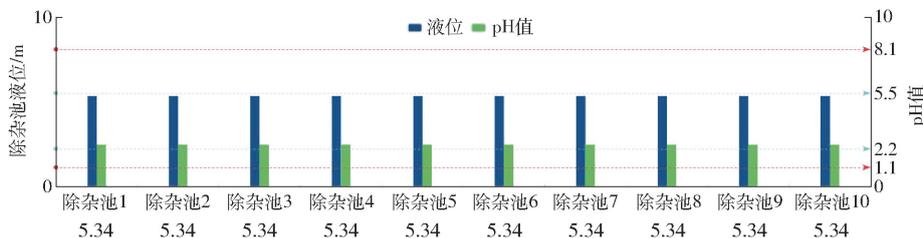


图3 生产辅助分析界面-沉淀池

2) 稀土产品监测

对水冶生产过程中,任一生产阶段(设定起始时间、终止时间)内的浸出母液输入、稀土产品输出进行统计分析计算,进而得到稀土的母液注入、产物产量以及回收率的动态变化分析值,如图4所示。通过此功能模块,能够对水冶生产过程中,任一时间阶段内的稀土生产情况进行分析掌握。通过汇总稀土产品的实际生产结果,进行自动数据统计,并与实际生产排班计划进行对比,为后续生产计划的制定和安排提供数据支撑。同时对收集到的数据,进一步进行量化、衡量、跟踪、统计,实现生产计划与浸采工序、中间物料、原辅料、库存的数据交互。

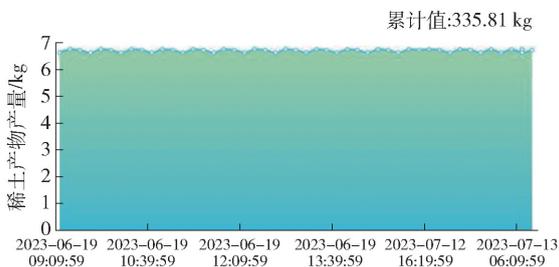


图4 稀土产品监测界面

3) 原料消耗监测

对水冶生产过程中,各种辅助原料的动态消耗状况,以及每种原料在各种生产设备的动态消耗占比等进行计算分析,同时对任一时间阶段内的各种

要包括:液位和酸碱度,设定相应的上限值和下限值,进行实时监控和预测预警,如图3所示。通过此功能模块,能够对生产异常情况,如反应池异常排液、酸碱度超出阈值等进行预警分析,辅助生产稳定运行。基于数据的动态交互,可准确监控各个工段生产设备的实时运行状态,各关键技术参数的变化情况,设备的启停情况、设备仪表实时数据等。汇总相关信息生成设备运行记录,按预设规则可自动生成报表。

原料的消耗总量进行统计分析,如图5所示。通过此功能模块,能够对生成过程中的各种辅助原料消耗情况进行动态实时掌握,同时对任一时间阶段内的累计消耗情况进行统计分析。统计分析以趋势、条形图、饼图、报表等方式表现,及时、准确、全面地反应各种辅助原料的存货状况和存货资源占用情况。

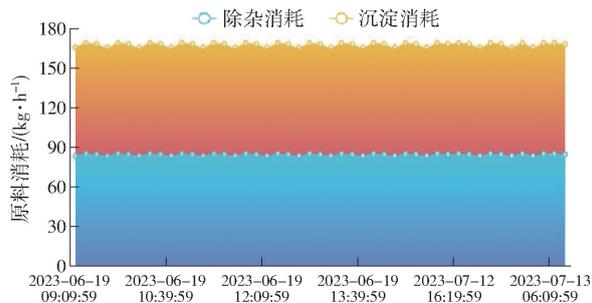


图5 原料消耗监测界面

3 结论

通过应用数字孪生技术构建离子型稀土矿水冶车间动态数据可视化展示系统,基于工业互联网平台应用,链接设备传感器,对接自动化数据,实现对水冶车间各个工序/工段进行全方位、多类别立体数据监测,进一步促进多源数据的互通融合,包含由生产数据、传感器数据、设备数据等为主的基础数据,

形成庞大的、可复用的数据资产库,解决由于缺少数字化赋能而导致的数据采集碎片化、数据内容不完整、数据格式不一致、数据传输孤岛化等问题。通过构建水冶车间生产运营“一张图”,实现水冶时空动态监测,融合浸采、除杂、沉淀、压滤四大生产流程,一张图绘到底,支撑对多个工序/工段的业务实时全局管理,实现多要素的动态场景监测。通过数据来驱动动态场景,映射物理水冶车间,形成有效的、精细化的管理模式,赋能离子型稀土矿水冶车间实现生产、设备、物流、质量全数字化管控,让动态数据产生价值,辅助智能决策。

[参考文献]

- [1] 袁磊. 原地浸矿后稀土矿区土工程性质的试验研究[D]. 赣州:江西理工大学,2013.
- [2] 桂勇. 离子型稀土原地浸矿注入参与溶质运移规律及其应用[D]. 赣州:江西理工大学,2018.
- [3] 彭晓东. 离子吸附型稀土矿床地质特征分析[J]. 河

南科技, 2021, 40(22): 143 - 145.

- [4] 张维国,葛启发,赵奕,等. 基于数据感知的数字孪生矿山建设研究[J]. 有色设备, 2021, 35(2): 13 - 18.
- [5] 刘娜,黄振林,刘俊杰,邹波. 基于数字孪生的智能采矿可视化集控平台的搭建与应用[J]. 有色设备, 2022, 36(4): 6 - 10.
- [6] 于超,郝玉刚,刘瑶. 垃圾焚烧发电趋势分析及余热锅炉技术进展[J]. 有色设备, 2021, 35(3): 47 - 57.
- [7] 耿璐,李卫华,郝哲. BIM 技术在矿山工程结构设计中的应用[J]. 有色冶金节能, 2019, 35(2): 54 - 57.
- [8] 郜传厚,渐令,陈积明,等. 复杂高炉炼铁过程的数据驱动建模及预测算法[C]. 双清论坛. 2008: 725 - 730.
- [9] 刘屹,张理,秦飞宇. 三维全信息可视化系统开发及应用研究[J]. 有色设备, 2022, 36(3): 19 - 22.
- [10] 吴传松,高志江,楚金旺. 基于工业互联网平台的稀土冶炼分离智能生产管控研究[J]. 有色设备, 2023, 37(4): 1 - 7.

Research on the Data Dynamic Visualization of Hydrometallurgical Process in the In-situ Leaching of Ionic Rare Earth Ore Based on Digital Twin

WU Chuansong, GAO Zhijiang, CHU Jinwang, HAO Liangjun, WANG Yaowu, QIU Haitao

Abstract: Utilizing digital twin technology as the support system, the digital empowerment of hydrometallurgical process could be integrated planning with the focus on real-time analysis of massive data resource, which could be generated from the producing process of hydrometallurgical plant of ionic rare earth ore, data visualization, sensing equipment and optimizing analysis. With the construction of digital twin model referring to each process in the hydrometallurgical plant of ionic rare earth ore, dynamic visualization of data generated from the hydrometallurgical plant of ionic rare earth ore could be presented with developing a “big picture”, in order to realize both the spatial and temporal dynamics of hydrometallurgical process. Through integrating the four primary producing processes of leaching, impurity removing, precipitating and filtering, multi-node data channel could be opened up, in favor of the data convergence and sharing of intelligent hydrometallurgical plant and further providing comprehensive and multi-dimensional data monitoring information. As a result, the management of hydrometallurgical plant of ionic rare earth ore could be well supported with the improving of equipment utilization and production efficiency so as to achieve the reducing of costs and the optimizing of producing capacity. Furthermore, the intelligent decision-making capability of hydrometallurgical process could be enhanced.

Key words: ionic rare earth ore hydrometallurgy process; digital twin; data visualization; intelligent decision-making

