

# 氢氧化铝原料仓无人值守系统

刘永轶<sup>1</sup> 纪 彭<sup>2</sup> 张正和<sup>1</sup> 张忠平<sup>1</sup> 安中林<sup>1</sup> 鞠克举<sup>1</sup> 李佐新<sup>1</sup>

(1. 遵义铝业股份有限公司, 贵州 遵义 563100; 2. 中铝智能科技发展有限公司, 浙江 杭州 311199)

**[摘 要]** 针对氧化铝生产过程中的氢氧化铝原料仓天车存在的既有物料、设备状态属性等信息难以监测跟踪,料场作业操作环境恶劣,天车操作工操作时间长、劳动强度较大、运行效率低、电能浪费大等问题,本文通过深入研究氢氧化铝原料仓天车生产运行过程,提出基于物联网,集成基于激光扫描仪的料仓识别感知技术、天车运动控制技术的无人值守系统,实现天车的无人智能值守升级改造。

**[关键词]** 氢氧化铝; 天车; 智能装备; 无人值守; 物联网; 运动控制

**[中图分类号]** TF821 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1008-5122(2022)04-0083-05

**DOI:**10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2022.04.018

## 0 前言

焙烧工序是氧化铝生产六大工序中的最后一道,主要任务是生产合格半成品氢氧化铝和成品氧化铝。工艺流程主要包括成品过滤、焙烧炉、焙烧循环水、氢氧化铝原料储运输送、氧化铝产品储运输送五大生产子项。其中,氢氧化铝原料仓在氧化铝焙烧工序中起着承上启下的作用,平盘过滤机生产的氢氧化铝经胶带输送机送至氢氧化铝原料仓内储存。当生产条件发生变化时,氢氧化铝原料经原料仓转运天车抓送至上料仓,再由定量给料称计量后送入焙烧炉内,接着经过各级旋风筒的预热、焙烧、冷却,然后进入流态化冷却器进一步冷却,最终得到产品氧化铝<sup>[1]</sup>。

氢氧化铝原料的储运管理人员需根据生产计划、原料的堆存现状、各批原料分区属性数据、转运天车的运行状况等信息制定科学有效的原料堆存计划和天车作业任务,进而提高原料堆场利用率和物流中转效率,达到提高氧化铝生产水平以及节能增效的目的。实际生产过程中,存在既有物料、设备状态属性等信息难以监测跟踪,料场作业操作环境恶

劣,天车操作工操作时间长、劳动强度较大、运行效率低、电能浪费大等问题。

本文以氢氧化铝原料仓天车为研究对象,通过深入研究其生产运行过程,提出基于物联网,集成天车控制系统运行状态数据、运行效率数据的氢氧化铝原料仓无人值守系统。

## 1 建设目标

### 1.1 智能化提升

氢氧化铝原料仓管理的总体需求归纳为以下几个方面:1)降低人力成本,减轻人员劳动强度和环境影响;2)提升存、出料协同水平,提升仓储管理的高效性、时效性及安全性<sup>[2-5]</sup>;3)节能降耗。

### 1.2 实施路径

1)硬件改造升级:对氢氧化铝原料仓现有10 t抓斗天车的大车、小车和提升装置进行智能化硬件升级改造,使该设备能够自动完成库区管理系统(Warehouse Management System)下达的工单。该设备自动运行过程中实现识别感知系统、精确定位系统以及安全防护系统的协调配合,保障安全,自动完成各种作业,为实现无人值守、智能调度提供支持。

2)软件系统建设:在设备硬件和网络智能化升级改造的基础上,建成氢氧化铝原料仓库房管理系统。该系统涵盖设备管理、智能调度、过程监控、物料追踪等功能模块。通过精准控制抓取物料过程,实现仓内原料抓取、上料、混料、装车、盘料的自动化与智能化。实时采集和反馈原料的抓取数据,并将调度信息实时展示,便于指挥调度和展览参观,使管

**[收稿日期]** 2022-04-15

**[基金项目]** 贵州省遵义市科技支撑项目(GY(2020)18)

**[作者简介]** 刘永轶(1973—),男,硕士,高级工程师,全国十大杰出岗位能手,长期从事氧化铝生产技术和研发工作。

**[引用格式]** 刘永轶,纪彭,张正和,等. 氢氧化铝原料仓无人值守系统[J]. 有色冶金节能,2022,38(4):83-87.

理者能够实时掌握整个生产动态,满足企业智能化、无人化生产需求,提高运行效率。

3)安全防护:建立视频监控系统以及安全围栏,通过中央控制室的监控屏幕实时显示设备运行、抓取上料以及关键工位的实时影像,使管理者能实时掌握料场工作状态,及时发现问题,减少人为故障、工伤事故,保障企业的安全高效生产。

## 2 系统架构与功能

为实现氢氧化铝原料仓无人值守改造,需将现有天车的系统整体框架扩展到三个层次。

1)调度层(L2):连接生产计划与控制层,将操作人员输入的原料库生产主计划按照作业流程分解为各个细节排程,实现对生产主计划的子任务分解,并对分解完成的子任务序列进行调度执行。

2)控制层(L1):负责将调度层(L2)分解并排程的任务转化为控制信号,根据工序要求指挥执行层(L0)设备执行各项作业任务,并将实际的执行结果传递给调度层。

3)执行层(L0):包含多项子系统的执行硬件和软件处理等功能。如系统的硬件部分,包括机械结构、轨道、链条、胶带输送机、电机(驱动设备)、减速机、视频传传感器等设备;系统的软件部分可获取和处理作业设备本身或作业对象的状态数据,并转化为L1或L2所需的控制信号。

## 3 关键技术开发

### 3.1 基于激光扫描仪的料仓识别感知技术

库区物料分布检测系统通过激光扫描仪对库区进行三维数据采集,得到库区物料实时状态、料堆位置及料堆高度和宽度,并通过系统分析得到库区物料堆存状态及总库容情况。物料调度系统根据库区堆料高程数据、下料点堆积物情况,为入库、倒料、上料、下料、入仓、配料等作业提供抓取、存放地点位置和小车移动路径策略<sup>[6]</sup>。

#### 3.1.1 库区物料分布式检测系统

本系统采用激光扫描测距设备,获取库区及下料口等关键区域的数字高程数据,为控制系统提供数据输入。激光扫描测距设备搭载在天车或云台上,按固定采样间隔及扫描角度(均可根据实际精度需求灵活调整)完成对库区及下料口区域的地面数字高程原始数据的获取,而后以扫描仪时间戳为基准,融合天车时间及坐标原始数据,内插出每个扫

描行数据对应的扫描仪横向坐标,并按固定网格分辨率,完成标准网格数字高程模型的生成。

通过分析处理三维激光点云数据,可以获取各料堆的高度分布和位置信息。为了计算料堆体积,需要在三维激光数据的基础上,在 $X/Y$ 平面上将整个数据区域划分为等分栅格,通过统计每个栅格内的激光点高度作为该栅格的高度值,从而构建三维激光点云的高程模型。料堆体积可以通过计算所有栅格内立方体的体积获得。栅格尺寸参数 $a$ 可以根据体积精度要求进行调整( $a$ 值越小,计算精度越高,相应的计算耗时越长)。点云提取后,通过建立数学模型,利用多重积分运算得出体积,然后与密度相乘即可估算料堆重量,实现连续盘料功能。该结构数学模型也可用于后续工艺中的平整度、边缘界定等特征提取。三维模型图如图1所示。

将点阵数据单元格化(网格化),进行数据补全(若单元格内没有点,则根据周围点阵数据插值填充)和压缩(若单元格内有多个点,则归一为一个点)。最后将立体三维数据转化为平面数据,利用等高线表示 $Z$ 轴的值,通过平面等高线图进行散料堆堆顶和边界的查找。立体三维数据转化为平面数据模型图如图2所示。

#### 3.1.2 天车抓斗抓取和放置策略生成

配备激光扫描仪对原料库的料堆采集三维数据,为物料状态实时显示提供数据。计算料堆位置、料堆高度和宽度,通过系统分析实时得出库区内物料堆存状态以及总库容情况。通过系统分析规划抓取、存放地点和小车移动路径策略,并提供原料库模块及抓取作业规划模块。在物料堆放的过程中,要同时兼顾堆放的形状,尽量保证后续抓取的满斗率。

#### 3.1.3 库区物料状态计算

氢氧化铝原料仓无人值守系统以长宽固定的标准网格为基准,结合库区数字高程模型的原始数据,计算该网格平均高程,即可计算出每个库区对应的堆宽及库容数据。

输入:库区所有卸料口及库位的数字高程模型。

倒料流程:以对应卸料口相对高程较高的网格区域为起点,以对应库位相对高程较低的网格区域为终点,为中控系统提供最佳运动轨迹规划。

上料流程:以对应库位相对高程较高的网格区域为起点,以对应下料口(需要先判断下料口是否已完成下料过程)为终点,为中控系统提供最佳运

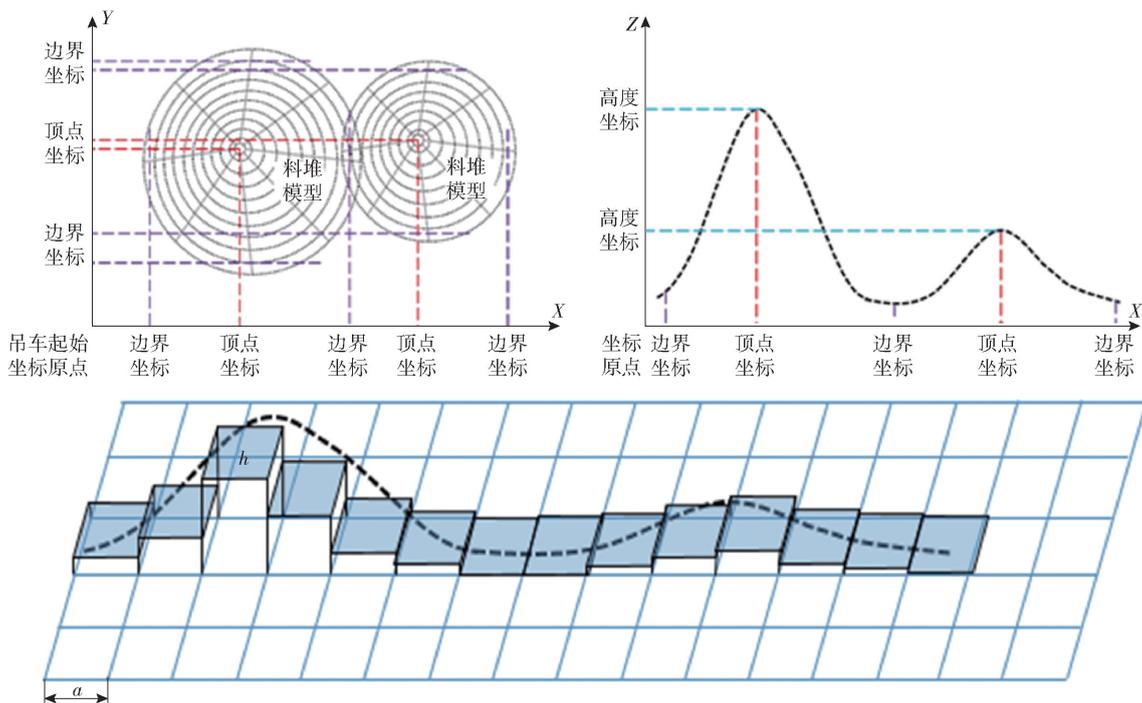


图1 基于三维模型分析料堆最高点坐标、料堆边界坐标、料堆高度模型图

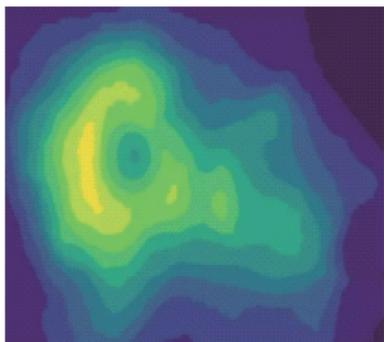


图2 立体三维数据转化为平面数据模型图

动轨迹规划。

### 3.2 天车运动控制技术

天车运动控制包含上层装备调度指令计算和底层运动控制电机脉宽调制信号计算两部分。

#### 3.2.1 调度指令计算

系统按照操作人员输入的后工序生产情况调整物料含水指标  $\varepsilon_{\text{设定值}}$ , 根据后工序焙烧炉用料需求调整时间  $t_{\text{规划值}}$ , 自动求解二次规划命题, 计算下一拍的天车目标位置。天车调度规划算法如下:

$$\begin{aligned} \min & \lambda_1 x_i^2 + \lambda_2 y_i^2 + \lambda_3 z(x_i, y_i) + \\ & \lambda_4 (\varepsilon(x_i, y_i) - \varepsilon_{\text{设定值}})^2 + \\ & \lambda_5 (x_i - x_{i-1})^2 + \lambda_6 (y_i - y_{i-1})^2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$t(x_i, y_i) > t_{\text{规划值}} - \Delta t \quad (2)$$

$$-t(x_i') > -t_{\text{规划值}} - \Delta t \quad (3)$$

式中:  $x_i$  为待计算的天车目标位置的  $X$  轴坐标;  $y_i$  为待计算的天车目标位置的  $Y$  轴坐标;  $z(x, y)$  为根据库区平面等高线计算出的  $Z$  轴坐标;  $\varepsilon(x_i, y_i)$  为库区物料含水指标;  $\varepsilon_{\text{设定值}}$  为含水设定值;  $t(x_i, y_i)$  为时间;  $t_{\text{规划值}}$  为天车物流装置到达天车目标位置  $(x_i, y_i)$  的时间(该时间由操作人员根据焙烧炉后工序需求情况确定);  $\Delta t$  为时间偏差阈值。  $x_{i-1}$  与  $y_{i-1}$  为上一拍的天车  $X$  轴坐标与  $Y$  轴坐标;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6$  为各项权系数。

#### 3.2.2 脉宽调制信号计算

运动控制方面采用传统位置速度双闭环调速方案。根据天车运动机构当前位置与设定位置的偏差情况计算外环对应速度设定值(遵循“先加速中间匀速最后减速”的原则), 最后通过内环速度 PID 控制器计算出对应的控制信号, 采用变频调速方式驱动异步电机运动。其控制结构框图如 3 所示。

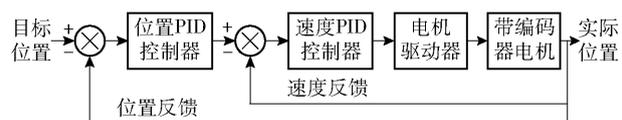


图3 控制结构框图

### 3.3 智能装备可靠性措施

#### 3.3.1 安全联锁措施

为了提升氢氧化铝原料仓无人值守系统的整体可靠性, 需对设备运行过程中的极端或者异常情况

设置必要的电气或机械安全连锁保护。本系统主要的安全保护措施见表1。

表1 安全保护措施

序号	实施项	安全措施
1	短路保护	1)总电源回路设置自动空气开关作为起重机主回路的短路保护 2)控制回路设置小容量自动空气开关作为控制回路的短路保护
2	失压保护	当线路电压下降到某一数值时,电机自动脱离电源停转
3	零位保护	各机构启动电机前检测控制器的手柄是否置于零位
4	行程限位保护	1)大车运行在端梁设激光防撞,同时设置机械式防撞限位开关用作冗余保护措施;大车端梁两端均装有缓冲器,保证若发生碰撞可吸收大部分天车运行能量;在大车运行中采用声光报警提醒装置 2)在小车轨道两端分别设小车限位开关,作为行程限位保护
5	起升限位保护	1)使用卷筒后的凸轮开关控制起升机构的上、下极限位置。当吊具到此位置时,只能反向运行 2)钢丝绳处设置重锤限位作为额外超上限位,保证吊钩到极限位置时,能够自动切断上升回路电源或者总电源
6	超速保护	起升机构设有超速开关,可保证吊钩超速时,切断主回路及制动器的电源,确保安全
7	超载保护	在主起升机构上设置负荷限制器,当载荷达到额定起重量的90%时,声光报警装置预报警;当载荷达到额定起重量的105%时,声光报警装置延时报警;当载荷达到额定起重量的110%时,吊钩只能下降,不能上升
9	紧急停车	电气室、司机室、地面中控室内均设置有紧急停车按钮,发生故障时,可在任何地点紧急停车

### 3.3.2 设备可靠性监测

本系统核心在于散料的连续物流输送,相关装备(包含电机等旋转类动力设备)较多,为确保天车等物流运输装备长时间可靠运行,避免传统设备点巡检人员巡检周期长导致的“故障漏检”,确保动力设备的可靠运行,需对电机等设备运行状态进行在线监测与故障预警。

本系统通过在电机表面或内部装设传感器和数据采集系统,实现电机运行中的振动、温度等信号的采集,并将数据上传至现场服务器,利用专业系统软件进行分析和处理。

设备可靠性监测预警算法主要包含硬阈值报警和智能报警两种机组报警模型,满足不同场景下的报警应用需求。在完成设备信息录入、报警指标计算、数据预处理3个环节后,系统根据用户指定的报警模型进行设备异常状态判断、报警推送,最后由相关设备管理人员进行报警处理。

1)硬阈值报警是经典的振动报警方式。设备管理人员根据国家、行业、企业等标准,并可参考历史运行数据,比较同类设备的运行数据,确定警告、危险报警绝对阈值。硬阈值报警部署方便、简单易用,在铝行业应用广泛。但绝对合理的硬阈值很难获取,设定值过高会产生故障导致无法报警的风险,而设定值过低又可能带来大量的误报警,给现场处理造成不便;此外,硬阈值报警一般仅参考振动总值等少数故障特征指标,能够发现的故障模式有限,而

且硬阈值需要手动调整,工作量大。

2)智能报警是根据关键指标体系的历史表现,通过统计回归、时序预测等方法,自动获取最优报警阈值,无需人为设定、调整,保证在不漏报设备故障的前提下,最大程度减少误报警数量。根据指标的形态、幅值水平等多维度信息,确定故障严重程度以及劣化速度,对报警信息进行分级推送,帮助设备管理人员合理安排报警信息的处理计划,保证最严重的报警被最优先关注。

## 4 结束语

针对氧化铝生产过程中的氢氧化铝原料仓天车抓料存在问题及需求分析,提出采用物联网技术,集成基于激光扫描仪的料仓识别感知技术、天车运动控制技术的无人值守系统,实现天车的无人智能值守升级改造,达到降低人员劳动强度和环境影响,提升仓储管理效率、安全性及节能降耗的目标。

### [参考文献]

- [1] 杨重愚. 氧化铝生产工艺学[M]. 北京:冶金工业出版社,1982.
- [2] 吴毅平,商晓东,陶钧. 无人化料场和库场设计与实现[J]. 自动化仪表,2014,35(12):83-87.
- [3] 杨多兵,宗琦,罗威强. 散货码头3D数字堆场管理系统[J]. 水运工程,2018(6):208-211.
- [4] 郭鹏,周俊,胡慧. 智能仓储管理系统的设计与实现

[J]. 湖南工程学院学报(自然科学版), 2016, 26(3): 42-45.

[5] 于勇, 万海龙. 大型钢企智能天车系统的设计开发及

应用[J]. 中国冶金, 2017, 27(1): 69-72.

[6] 黄传朋. 基于三维激光扫描仪的三维地形获取及应用[D]. 天津理工大学, 2019.

## An Unattended Material Handling System for Aluminum Hydroxide Bins

LIU Yong-yi, JI Peng, ZHANG Zheng-he, ZHANG Zhong-ping, AN Zhong-lin, JU Ke-ju, LI Zuo-xin

**Abstract:** To address issues that plague the overhead crane for aluminum hydroxide bins during the alumina production process, including difficulty in monitoring material levels and equipment status and properties, the inhospitable working environment of the loading site, extended and intense working hours of the crane operator, low operation efficiency and great electricity consumption, this article first analyzed the patterns of the operation process, then proposed an IOT-based unattended system, which integrated laser scanner for bin level sensing and overhead crane movement control techniques, to upgrade the system and realize unattended crane operation.

**Key words:** aluminum hydroxide; overhead crane; smart equipment; unattended; IOT; movement control

(上接第 74 页)

实验样品的氰化尾渣具有第Ⅱ类一般工业固废的特性,大部分样品呈一定强碱性,其中砷含量在自然雨淋的情况下容易发生浸出,可以通过雨水淋溶等方式进入环境,存在一定的环境污染风险,应采取相关防治措施。本文分析研究成果可为氰化尾渣产生企业和工程单位提供参考和借鉴。

### [参考文献]

[1] 张元伟,徐建昌. 堆浸法提金氰化过程影响因素分析[J]. 华北国土资源, 2008(2): 55-58.

[2] 环境保护部关于发布《黄金行业氰渣污染控制技术规范》国家环境保护标准的公告[NB/OL]. [2018-03-05]. [https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201803/t20180313\\_432317.htm](https://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201803/t20180313_432317.htm).

[3] 刘志建,金哲男,王保仁,等. 黄金冶炼氰渣火法处理研究现状及展望[J]. 有色金属(冶炼部分), 2021(1): 84-88.

[4] 李婷,尹艳芬,方夕辉,等. 从金氰化尾渣中回收铜、铅、锌、硫的工艺技术现状[J]. 现代矿业, 2011, 27(4): 28-29.

[5] 陈玉清,刘爱民. 氰化物中枢神经毒性与钙稳态失调的关系[J]. 劳动医学, 2001, 18(6): 357-358.

## The Pollution Characteristics of the Legacy Residue from Cyanide Heap Leaching of a Gold Mine in the Arid Zone of Western China

HAO Jian-qing, HE Xin-chun, WEN Xing, ZHAO Qing-yuan

**Abstract:** With the cyanidation heap leaching residue in a gold mine in the arid zone in Western China as the object of study, acidic & water leaching toxicity tests were conducted to study the pollution characteristics. The test results indicates that while the legacy residue is hazardous, the leaching toxicity (acidity) does not reach the leaching toxicity standard for hazardous waste. The reason is that after years of natural degradation, the cyanide content has decreased. The water leaching test results show that the residue is typical of China's Class II general industrial solid waste.

**Key words:** cyanidation heap leaching residue; pollution characteristic; gold mine; acidic leaching; water leaching; hazardous waste