

# 基于编码电缆和3D扫描技术的精矿仓智能抓斗桥式起重机改造

陈阳升

安徽开发矿业有限公司

DOI:10.32629/jsse.v3i4.17857

**[摘要]** 为响应国家智慧矿山建设及“机械化换人、自动化减人”的科技强安战略要求,解决安徽开发矿业有限公司精矿仓抓斗桥式起重机人工操作存在的人员调配难、劳动强度大、生产效率低、设备故障率高等问题,本文提出基于编码电缆定位技术与3D扫描技术的智能改造方案。改造围绕硬件升级、软件搭建、安全防护三大核心展开,通过采用西门子S7-1500PLC控制系统、编码电缆精准定位系统、3D激光扫描库区建模系统等关键技术,实现抓斗起重机远程自动控制、多模式切换及全流程智能管控。项目实施后,4台20T桥式起重机实现无人化运行,每年节约人工成本100万元,设备故障率降低30%以上,生产效率提升25%,同时显著改善作业环境,降低安全风险。该改造方案为矿山散料搬运设备的智能化升级提供了切实可行的参考范例。

**[关键词]** 编码电缆; 3D扫描; 智能抓斗; 桥式起重机; 矿山智能化

**中图分类号:** TD8 **文献标识码:** A

## Transformation of Intelligent Grab Bridge Crane in Concentrate Silo Based on Encoded Cable and 3D Scanning Technology

Yangsheng Chen

Anhui Development Mining Co., Ltd.

**[Abstract]** In response to the national strategic requirements for the construction of smart mines and the "replacing manual labor with mechanization and reducing workforce with automation" initiative to strengthen safety through technology, and to address the problems existing in the manual operation of grab bridge cranes in the concentrate silo of Anhui Development Mining Co., Ltd.—such as difficulty in personnel deployment, high labor intensity, low production efficiency, and high equipment failure rate—this paper proposes an intelligent transformation scheme based on encoded cable positioning technology and 3D scanning technology. The transformation focuses on three core aspects: hardware upgrading, software construction, and safety protection. By adopting key technologies including the Siemens S7-1500 PLC control system, the encoded cable precise positioning system, and the 3D laser scanning silo modeling system, remote automatic control, multi-mode switching, and full-process intelligent management and control of the grab crane are realized. After the implementation of the project, 4 units of 20T bridge cranes have achieved unmanned operation, saving 1 million yuan in labor costs annually, reducing the equipment failure rate by more than 30%, and increasing production efficiency by 25%. Meanwhile, the operating environment has been significantly improved and safety risks have been reduced. This transformation scheme provides a practical and feasible reference example for the intelligent upgrading of bulk material handling equipment in mines.

**[Key words]** Encoded Cable; 3D Scanning; Intelligent Grab; Bridge Crane; Mine Intelligentization

### 引言

在矿山工业智能化转型的浪潮下,精矿仓作为铁精粉存储与转运的核心环节,其作业效率与安全性直接影响企业的整体生产效益。传统抓斗桥式起重机依赖人工现场操作,存在诸多瓶颈:操作人员需在粉尘大、温差大的司机室长时间作业,面临高

处坠落、职业病等风险;人工操作导致设备运行不稳定,易出现抓斗晃动、钢丝绳脱槽等故障;人员调配受特种作业证限制,老龄化问题加剧岗位缺员危机。

当前,智能遥控抓斗技术已在垃圾清运、港口码头等领域成熟应用,为矿山领域的设备升级提供了借鉴。编码电缆定位技术

凭借高精度、低故障率的优势,在工业设备定位中得到广泛推广;3D扫描技术则能够实现库区物料的实时建模与精准检测,为自动化作业提供数据支撑。本文结合安徽开发矿业精矿仓改造实际,将编码电缆定位与3D扫描技术深度融合,构建一套完整的抓斗起重机智能化改造体系,实现作业现场无人化、运行过程自动化、安全管控立体化,推动精矿仓作业向高效、安全、智能的方向转型。

## 1 改造背景与现存问题

### 1.1 改造背景

安徽开发矿业有限公司精矿仓现有4台20T抓斗桥式起重机,承担着铁精粉的抓取、转运与堆放任务,采用三班制人工操作模式。随着国家对矿山安全生产要求的不断提高,以及企业自身降本增效的发展需求,传统作业模式已难以适应现代化生产。通过对湖北选煤厂、济源钢铁厂及安徽金日盛矿业等单位的实地考察发现,智能抓斗改造后,现场无需人工干预,系统安全性、稳定性显著提升,人力及备件成本大幅降低,这为该公司的改造项目提供了坚实的实践依据。同时,国内外主流起重机自动化企业在控制模式、核心部件等方面的技术日趋成熟,为改造项目的实施奠定了技术基础。

### 1.2 现存主要问题

**人员调配困难:**现有操作模式需12人,实际在岗仅10人,且3名员工年龄超50岁,退休后存在缺员风险。抓斗起重机为特种设备,操作人员需持有特种作业证,人员招聘与调配难度较大。

**作业环境恶劣且劳动强度大:**精矿仓内粉尘浓度高,司机室夏季炎热、冬季寒冷,操作人员需长时间弯腰低头作业,易引发职业病。上下起重机需攀爬狭窄钢梯,冬季存在高处坠落风险。

**生产效率低下:**夜班视线受阻、冬季雾气影响,导致抓取效率降低;白班高峰时段运销需求大,现有人员无法满足多台抓斗同时作业的需求,常出现货车拥堵现象。

**设备故障率高:**人工操作无法实现平稳调速,抓斗晃动易造成漏矿、钢丝绳脱槽,同时导致大车啃轨、减速机损坏等问题,增加了维修量与备件消耗。

**动力费用较高:**人工操作难以实现避峰填谷,白班电价高峰时段作业时间长,导致电费支出过高。

## 2 改造核心技术选型

### 2.1 编码电缆定位技术

表1 三种定位技术优缺点对比

| 定位技术   | 优点   | 缺点                                      |
|--------|--|---|
| 编码电缆   | 定位精度高(误差±10mm以内);机械结构简单,非接触式传输,使用寿命长;故障率低,皮实耐用 | 前期投资成本高,电缆单价600元/米                      |
| 绝对值编码器 | 定位精度满足要求(误差±50mm以内);投资成本低,单台单价2.5万元            | 依赖车轮转动,故障率高;啃轨、打滑时精度降低,需定期校验;更换车轮时需拆卸校准 |
| 雷达定位   | 投资成本低;机械结构简单,无磨损;受抖动、轨道变形影响小                   | 信号易丢失,可能导致全车停运;存在遮挡限制,安装位置受限;多车作业时信号易干扰 |

在大小车定位技术选型中,对比了编码电缆、绝对值编码器、雷达定位三种方案,各技术优缺点如表1所示。

综合考虑改造后设备的长期运行稳定性与维护成本,最终选择编码电缆作为大小车定位技术。该技术安装在走廊墙壁及拖缆支架上方,不占用作业空间,且电缆损坏后可直接连接修复,生产厂家均能做到6年质保,大幅降低后期维护风险。

### 2.2 3D扫描技术

选用高精度3D激光扫描仪,由激光雷达和3D云台组成,实现库区物料的实时扫描与建模。扫描仪采用多次回波检测技术,可穿透雨雾、灰尘,精准获取物料轮廓数据。3D扫描云台具备自动校零功能,通过伺服控制旋转,每旋转一个周期自动清零积累误差,确保扫描精度。同时,结合最优抓料点算法,根据实时扫描数据计算抓斗落地姿态与满斗率,优先选择满斗率最高的位置进行抓取,提升作业效率。

### 2.3 辅助核心技术

**防摇技术:**采用防摇一体化控制器,通过PN通讯将设备数据传输给PLC,实现现场数据汇聚,减少远程通讯负担。在自动工况下,抓斗摆动偏离值不大于5°,确保作业平稳。

**PLC控制系统:**选用西门子S7-1500PLC,模块化结构设计,I/O备用点不少于20%,模拟量通道备用不少于4个,满足系统扩展需求。PLC集成电气、定位、设备状态等信号,实现对变频器、编码器等设备的集中控制。

**无线通讯技术:**采用有线+无线AP冗余的通讯方式,每台起重机配备2个固定无线基站,地面对应设置2个无线基站,实现控制信号与视频信号的稳定传输。无线AP采用工业级产品,防护等级达IP67,适应恶劣的矿山环境。

## 3 智能化改造实施方案

### 3.1 硬件系统升级

**电控系统改造:**升级PLC控制系统,将原台达PLC更换为西门子S7-1500PLC,加装DP通讯卡与增量式编码器反馈卡。更换大车、小车变频器为安川CIMR-HB4A系列,统一型号以确保通讯程序一致,提升系统兼容性。保留原提升、开闭变频器,通过加装通讯模块实现远程控制。

**定位与扫描系统安装:**在大车走廊墙壁2.0米处安装编码电缆,小车拖缆支架上方布置编码电缆,配套安装地址编码器、天线箱等设备。每台起重机大梁侧安装3D激光扫描仪,库区取料口上方安装4台雷达料位仪,实现物料全覆盖检测。

**安全防护设备加装:**新增钢丝绳防脱槽报警装置、大车防撞装置,设置定位软件防撞、雷达检测和机械限位防撞三重保护。在13个铲车取料口安装急停按钮、声光报警器,每个取料口设2个急停按钮,分别用于卸料联锁和紧急停机。

**视频监控与远程操作台搭建:**在起重机上安装3台摄像头,分别监控卷筒、库区和作业区域;在库区取料口安装4台枪机摄像头,实现作业全程可视化。在操控室配置服务柜、27寸显示器和远程监控台,设置急停按钮,可实时监控并控制任意一台起重机。

### 3.2 软件系统搭建

**多机协同功能:** 基于时间最优算法, 实现4台起重机的协同作业与智能调度, 协同工况下极限效率提升35%。系统可根据作业任务自动分配作业区域, 避免设备碰撞, 提高作业效率。

**库区数字孪生:** 实时采集起重机位置、速度、故障信息及扫描数据, 构建库区数字孪生模型, 实现作业过程的可视化监测。利用虚拟模型可进行效率仿真, 推演不同工况下的运行效率, 为生产调度提供参考。

**数据统计与分析:** 开发效率统计报表与能耗统计功能, 自动记录作业任务斗数、作业时间、单斗效率等数据, 生成日报、周报。在总电源进线加装电能统计表, 实时监测能耗数据, 为错峰填谷提供数据支撑。

**多模式控制切换:** 系统具备远程自动、远程人工、现场遥控、本地司机室操作4种控制模式。正常作业采用远程自动模式, 使用率达95%以上; 故障时可切换至其他模式, 确保生产不间断。

### 3.3 运行管理体系建设

**人员调配:** 改造后, 原抓斗操作人员由公司统筹安排至紧缺岗位, 精矿仓作业由锅炉房值班人员远程监管, 无需额外增加岗位人员。

**作业时间优化:** 根据峰平谷电价及运销需求, 制定合理的作业计划。8:00-9:00、14:00-17:00、23:00-次日8:00安排3台车作业; 9:00-12:00、17:00-18:00安排2台车作业; 12:00-14:00新增2台车作业, 18:00-22:00停止作业, 实现错峰填谷。

**维护制度完善:** 编制《智能抓斗专项管理考核实施细则》, 定期对设备进行巡检与维护。通过系统的故障报警与历史查询功能, 精准定位故障点, 缩短维修时间。

## 4 改造效果与效益分析

### 4.1 经济效益显著提升

**降低人工成本:** 改造后取消专职操作岗位, 每年节约工资支出100万元, 原操作人员转岗至维修等紧缺岗位, 优化了人力资源配置。

**减少备件消耗:** 通过防摇、防撞等技术手段, 设备运行更加平稳, 故障率降低30%以上, 备件消耗成本每年减少20万元以上。

**节约动力费用:** 优化作业时间后, 峰段作业时间减少2小时, 谷段作业时间增加2小时, 每年可节约电费15万元左右。项目总投资301.4万元, 预计3年即可收回成本。

### 4.2 生产效率大幅提高

智能抓斗实现24小时不间断作业, 每班任务时间从7小时缩

短至6小时, 作业效率提升25%。夜间及午休时段的连续作业, 有效缓解了白班高峰时段的运销压力, 减少了货车拥堵现象。系统具备冗余作业能力, 当日出矿量增加时, 可随时调整开机数量, 满足突发需求。

### 4.3 安全与社会效益突出

**安全风险显著降低:** 远程操作模式彻底消除了操作人员高处作业的风险, 作业环境从恶劣的精矿仓转移到舒适的操控室, 杜绝了职业病隐患。多重安全防护措施的实施, 有效避免了碰撞、脱槽等安全事故的发生。

**推动行业技术升级:** 项目响应了国家智慧矿山建设号召, 融合编码电缆、3D扫描等先进技术, 为矿山散料搬运设备的智能化改造提供了示范案例。改造后的设备满足《智能矿山建设规范》要求, 提升了企业在行业内的竞争力。

## 5 结论

安徽开发矿业精矿仓智能抓斗桥式起重机改造项目, 通过编码电缆定位技术与3D扫描技术的深度应用, 成功解决了传统作业模式下的人员、效率、安全等诸多问题。改造后的起重机实现了远程自动控制、精准定位、智能调度和多重安全防护, 构建了“无人化作业、智能化管控、立体化防护”的全新作业模式。项目实施后, 不仅为企业带来了显著的经济效益, 降低了人工与运维成本, 还大幅提升了生产效率与作业安全性, 改善了职工工作环境。该改造方案充分结合了矿山生产实际, 技术选型科学合理, 具有较强的推广价值。未来, 可进一步优化系统算法, 提升多机协同的精准度, 并探索与矿山工业互联网的深度融合, 实现设备运行数据的全生命周期管理, 为智慧矿山的全面建设奠定坚实基础。

### [参考文献]

- [1] GB/T 14405-2011, 通用桥式起重机[S].
- [2] GB 6067.1-2015, 起重机械安全规程[S].
- [3] 王强. 智能抓斗起重机在港口散货作业中的应用[J]. 港口科技, 2023(05): 45-49.
- [4] 李刚. 编码电缆定位技术在工业自动化中的应用研究[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(08): 123-126.
- [5] 张磊. 3D扫描技术在矿山料场管理中的实践应用[J]. 矿山机械, 2021, 49(10): 89-92.

### 作者简介:

陈阳升(1988--), 男, 汉族, 湖北襄阳人, 本科, 学士学位, 主要研究方向: 电气自动化。