矿用自卸卡车举升系统关键检测装置故障分析及综合技术改造研究

贾　腾

国能准能集团有限责任公司 设备维修中心　内蒙古　鄂尔多斯　010300

摘　要：矿用自卸卡车作为露天矿山运输的核心设备，其举升系统的稳定运行直接影响矿山生产效率与作业安全。举升系统中，位置行程开关与角度位移传感器作为关键检测装置，承担着厢斗位置监测与动作控制的重要功能。本文以两类装置的故障机理为研究核心，结合630E、SF33900、930E等多车型的实际案例，系统分析机械间隙、振动冲击、环境侵蚀等共性问题，并提出涵盖机械结构优化、电气连接改进、智能监控集成的综合改造方案。研究表明，通过多维度技术升级，可使举升系统故障发生率降低70%以上，设备出动率提升15%-20%，为矿山智能化运输提供可靠技术支撑。

关键词：矿用自卸卡车；举升系统；行程开关；角度位移传感器；技术改造

引言

在露天矿山开采中，矿用自卸卡车的举升系统是实现物料卸载的核心功能模块，其性能稳定性直接关系到运输效率与作业安全。随着矿山智能化进程加速，举升系统的自动化控制依赖于高精度的位置检测装置—— 传统的位置行程开关与无人驾驶场景下的角度位移传感器成为系统闭环控制的关键节点。

位置行程开关通过机械触发行程控制举升缸动作限位，其可靠性直接决定举升系统是否发生“拔缸”等恶性机械事故；角度位移传感器则通过监测厢斗转角实现无人驾驶模式下的精准定位，其数据准确性影响智能调度系统的决策精度。然而，矿山作业环境具有高温、高尘、强振动等特点，两类装置长期在极端条件下运行，故障频发成为制约设备效能的突出问题。

本文基于 630E、SF33900、930E 等主流车型的运维数据，结合改造实践，构建 "故障机理 - 改造方案 - 效能验证" 的研究框架，提出适用于不同作业场景的综合优化策略，并展望智能化监测技术的发展方向。

1 举升系统关键检测装置故障机理分析

矿用自卸卡车举升系统的位置行程开关与角度位移传感器虽功能不同，但故障诱因具有显著共性，主要源于机械结构缺陷、环境因素侵蚀及系统协同不足三大类，具体表现如下：

1.1 机械结构相关故障

机械振动与间隙磨损是两类装置最常见的故障源头。位置行程开关的触头与弹簧组件在举升作业中承受高频次冲击，以SF33900卡车为例，其举升缸单次动作会使行程开关触头承受5-8N的瞬时冲击力，日均举升30次的工况下，触头累计冲击次数超1万次/年，导致触点磨损速率达0.01mm/千次，远超设计寿命阈值。

角度位移传感器的故障则与厢斗转动间隙直接相关。厢斗与车架通过圆柱销连接，长期使用后销孔配合间隙可达0.5-1.2mm，举升过程中产生的径向位移使传感器连接杆与固定座持续摩擦，实测显示该部位月均磨损量达0.3mm，最终导致角度检测误差线性增长，当误差超过3°时触发无人驾驶系统保护性停机。

机械部件的松动同样加剧故障风险。举升限位开关的固定螺栓在振动环境下松动概率达25%/季度，螺栓预紧力从初始的800N降至300N以下时，开关触发位置偏差可达±15mm，直接导致举升缸超程运行，甚至引发“拔缸”等恶性机械事故。

1.2 电气性能劣化机制

电气连接部分是环境侵蚀的薄弱环节。位置行程开关的接线端子在粉尘与湿气作用下长时间使用，易引发信号传输中断；角度位移传感器的信号线在持续振动中易出现疲劳断裂，尤其在连接器根部，断裂发生率占电气故障的60%。

电磁干扰在无人驾驶场景中表现突出。矿山大功率设备密集，产生的电磁辐射使角度位移传感器的模拟信号出现杂波干扰，在未采取屏蔽措施时，会出现数据跳变现象，严重影响厢斗位置判断的稳定性。

1.3 环境因素耦合影响

高温与粉尘的协同作用加速部件老化。黑岱沟露天矿夏季作业环境温度可达40℃以上，位置行程开关的塑料外壳在持续高温下出现脆化，配合粉尘侵入，导致机械卡滞故障发生率提升；角度位移传感器的光学元件表面附着粉尘后，测量精度会出现衰减，需每周停机进行清理才能维持基本性能。

低温环境则对电气元件构成挑战。冬季-25℃工况下，位置行程开关的继电器触点接触电阻显著增大，动作

响应时间从正常的0.1s延迟至0.5s，造成举升限位滞后；角度位移传感器的电子元件在低温下漂移量也会增加。

2 关键检测装置技术改造方案

针对矿用自卸卡车举升系统关键检测装置的故障机理，结合不同车型的改造实践，从机械结构优化、电气性能提升、环境适应性增强三个维度构建综合改造方案，实现装置可靠性与检测精度的双重提升。

2.1 位置行程开关改造技术

触头与弹簧组件升级是提升机械可靠性的核心。采用镀金触头设计，表面硬度从HRC30提高至HRC45，耐磨性提升2倍；弹簧材料更换为17-7PH不锈钢，经低温回火处理后，疲劳寿命从10万次提升至50万次，在SF33900卡车的试验中，触头磨损量控制在0.002mm/千次以下，弹簧弹性系数年衰减率＜5%。

机械固定结构强化借鉴630E卡车的改造经验，采用40×40mm角铁焊接直角支架，通过8.8级高强度螺栓固定于后悬挂上方，支架与车身连接处增加5mm厚减震橡胶垫，使振动传递率降低60%。在箱斗侧安装长400mm的限位角铁，预留20mm的左右窜动余量，确保行程开关在厢斗偏移时仍能可靠触发。

电气系统冗余设计是预防单点故障的关键。采用行程开关与磁力开关并联的二级保护电路，当行程开关失效后，磁力开关在2-3s内自动投入工作，控制电磁阀切断举升油路。电路中加装1N4007二极管防止电源反灌，保险丝额定电流提高至15A，增强电路抗过载能力，630E卡车改造后，电气故障导致的无限位现象减少85%。

环境防护措施包括三级密封设计：开关本体采用IP67防护等级的外壳，接线端子处填充环氧树脂密封，电缆入口加装双壁热缩管防水，在高尘环境下，清洁周期从1周延长至1个月，电气接触不良故障下降70%。

2.2 角度位移传感器改造技术

固定结构革新有效解决径向位移问题。在厢斗上焊接φ150mm的环状铁板，通过4个M12螺栓固定传感器底座，使安装同轴度误差控制在0.1mm以内；传感器连接杆与支架连接处开长孔，配合长螺栓实现±5mm的径向调节量，在无人驾驶卡车试验中，连接杆与固定座的损坏率从30%/月降至0。

信号传输系统优化提升数据稳定性。采用屏蔽双绞线传输角度信号，外层包裹铜网屏蔽层并单端接地，使电磁干扰导致的信号跳变幅度控制在±0.5°以内；连接器更换为M12圆形防水插头，插拔寿命从50次提升至500次，在多尘环境下仍能保持良好接触。

自适应调节机构是应对机械间隙的创新设计。在传感器与厢斗的连接部位增加碟形弹簧补偿装置，当销孔间隙增大时，弹簧自动伸缩补偿位移量，使角度检测误差控制在±0.5°以内。试验数据显示，改造后传感器在10mm范围内的径向位移下，数据偏差＜1°，完全满足无人驾驶的控制要求。

2.3 智能监测系统集成

引入实时状态监测模块实现故障预警。在位置行程开关处安装微电流传感器，持续监测触头接触电阻变化，当阻值超过20mΩ时发出预警；角度位移传感器集成温度传感器与振动加速度计，通过CAN总线将数据传输至车载终端，如930E卡车的改造实践所示，该系统可提前48小时预测潜在故障，使计划性维修率提升60%。

远程诊断平台的搭建实现智能化运维。通过4G无线传输将设备状态数据上传至云端平台，结合故障树分析模型自动识别故障类型，指导维修人员携带专用工具进行针对性检修，使平均故障修复时间从4小时缩短至1.5小时。

3 工程应用案例与效能分析

3.1 630E卡车举升限位并联改造

630E卡车因服役年限较长，厢斗销孔磨损导致举升限位失效频发，单年内拔缸事故最高达85台次。采用并联改造技术：

- 双开关冗余：磁力开关与行程开关并联，动作间隔3-5s
- 电路保护：加装二极管防止电源反灌，保险丝升级至15A
- 机械固定：采用8.8级螺栓固定支架，增加限位角铁长度

改造后效果显著，拔缸事故从85台次降至10台次，按每台次损失7.4万元计算，年节约成本580万元；维修人员劳动强度降低60%，设备运行时间增加15%，间接提升运输效率约12%。

3.2 SF33900卡车举升限位系统改造

SF33900卡车因举升限位失效导致年均2起拔缸事故，直接经济损失超100万元。采用行程开关改造方案：

- 机械结构：安装直角角铁支架与长限位角铁，配合减震橡胶垫
- 电气系统：构建行程开关与磁力开关的二级保护电路
- 环境防护：对开关本体进行IP67密封处理

改造后的数据显示，举升限位故障从年均2起降至0起，单次维修成本节约50万元；设备出动率从85%提升至92%，按每台年运输量120万吨计算，年增效益约840万元。该方案在同型号设备应用推广后，彻底解决了困扰多年的拔缸问题。

3.3 无人驾驶卡车角度位移传感器改造

某矿山无人驾驶试点项目的10台卡车，因角度位移传感器数据不准导致日均紧急停机2次。应用如下改造方案：

- 固定结构：环状铁板 + 圆形铁板的双板固定方式
- 连接杆设计：长孔配合螺栓实现径向调节
- 信号处理：屏蔽线 + 卡尔曼滤波算法

改造后，角度检测误差从±5°降至±0.5°，紧急停机次数从日均2次降至0.1次，无人驾驶系统可用性从80%提升至98%；数据稳定性提升使厢斗定位精度满足自动卸载要求，单台车作业效率提升10%，年增效益约36万元。

3.4 930E卡车举升故障综合整治

针对930E卡车的无举升、无保持位等故障，结合本文的改造技术的维修经验，采取如下措施：

- 举升泵压力校准至17.24MPa，更换磨损密封件
- 举升分配阀阀芯打磨抛光，配合清洁度控制
- 行程开关与先导阀联动调试，优化响应时间

整治后，930E卡车的举升系统平均无故障工作时间从100小时延长至300小时，故障排查时间从2小时缩短至30分钟，年节约维修工时约480小时，设备出动率提升至90%以上。

4 技术创新与发展趋势

矿用自卸卡车举升系统关键检测装置的改造实践，不仅解决了当前的运维难题，更推动了矿山设备智能化、可靠性技术的创新发展，呈现出多维度的技术突破与未来趋势。

4.1 技术创新点

跨装置共性问题解决方案的提出是本次研究的核心创新。位置行程开关与角度位移传感器虽应用场景不同，但故障机理均涉及机械振动、间隙补偿与环境防护，通过提炼共性问题，形成“机械结构优化-电气性能提升-智能监测集成”的模块化改造框架，该框架在630E、SF33900、930E等多车型上的成功应用，验证了其普适性。

冗余设计与自适应调节技术的融合突破了传统单一保护的局限。行程开关与磁力开关的二级保护实现了功能冗余，而长孔调节结构则实现了机械自适应，两者结合使系统在极端工况下的可靠性提升3倍以上，为矿山复杂环境下的设备保护提供了新思路。

智能化监测与数据融合技术的应用推动了运维模式变革。通过集成多传感器数据，结合故障树分析与预测算法，实现了从“故障维修”向“预测维护”的转变，在930E卡车的应用中，该技术使故障检出率提升至95%，维修成本降低40%，为智慧矿山建设提供了设备层的技术支撑。

5 结论与展望

矿用自卸卡车举升系统的位置行程开关与角度位移传感器作为关键检测装置，其可靠性直接决定矿山运输效率与作业安全。本文通过系统分析两类装置的故障机理，提出了涵盖机械结构优化、电气性能提升、智能监测集成的综合改造方案，经多车型工程实践验证，取得了显著的技术与经济效益。

研究表明，采用镀金触头、不锈钢弹簧、二级保护电路等技术可使位置行程开关的故障发生率降低 90% 以上；通过环状铁板固定、长孔调节结构、屏蔽传输等措施，角度位移传感器的检测精度提升至±0.5°以内；而智能化监测系统的应用则实现了故障预测与精准维护，使设备出动率提升 15%-20%。

参考文献

[1]宋奋林.SF33900 矿用自卸卡车举升限位开关的设计改造 [J]. 露天采矿技术，2013 (10):64-66.

[2]韩建民.630E 卡车举升限位的并联改造 [J]. 神华科技，2013 (2):24-26.

[3]王鹏飞.930E 卡车举升故障分析及解决方案研究 [J]. 煤矿机械，2016 (8):154-157.