

矿山机械设备故障诊断及维护保养策略探讨

姚浩君¹ 叶喜平² 唐震³ 李天宝⁴

江西铜业集团(德兴)铸造有限公司 江西德兴 334224

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18534

[摘要] 矿山生产环境具有高粉尘、强振动、大负载的典型特征,致使机械设备长期处于高负荷运行状态,故障频发问题直接制约生产效率提升,同时对作业安全构成严重威胁。本文以破解矿山机械设备运维难题、提升设备运行可靠性为研究目标,采用文献梳理、工况调研与技术分析相结合的方法,系统剖析机械结构磨损、液压系统失效、电气系统故障、润滑系统失效4类核心故障的表现形式与成因机理,阐述振动监测、油液分析等关键故障诊断技术的应用要点,构建涵盖预防性保养、针对性保养及协同优化的全流程维护体系。研究表明,该协同运维体系可实现故障精准预判,使设备故障率降低,维修成本降低。研究结论为矿山企业建立科学运维机制、保障安全高效生产提供了理论支撑与实践指引。

[关键词] 矿山机械设备; 故障诊断技术; 故障成因; 维护保养

引言:

矿山机械设备是矿山生产体系的核心基础设施,其运行稳定性直接决定开采作业的连续性与安全性。随着我国矿山开采向深部化、规模化、智能化方向推进,机械设备面临的工况环境愈发严苛:井下粉尘浓度常达 $50\text{--}80\text{mg}/\text{m}^3$,设备承受载荷普遍超出设计阈值 $10\%\text{--}15\%$,潮湿、高温、瓦斯等复杂环境进一步加剧设备老化。在此背景下,矿山机械设备故障频发,不仅导致生产中断、维修成本攀升,更易诱发安全事故。基于此,本文从故障类型与成因解析切入,明确故障诊断关键技术,构建科学高效的维护保养体系,探索故障诊断与保养的协同优化路径,旨在形成“精准诊断—靶向保养—高效运维”的全链条解决方案,为提升矿山机械设备运维水平、保障生产安全高效开展提供有力支撑。

1 矿山机械设备常见故障类型及成因解析

1.1 机械结构磨损故障

此类故障在矿山机械设备故障中占比最高,达 42% ,是影响设备运行的首要问题,主要发生在核心运动传动部件。故障表现具有明显的工况关联性:采掘设备中,采煤机截齿长期与岩石、煤层高强度碰撞摩擦,平均使用寿命仅 $80\text{--}120$ 个工作循环,故障多表现为刃口钝化、齿体断裂,直接导致采煤效率下降 30% 以上;运输设备中,刮板输送机的刮板、链条及滚筒受物料持续冲击与摩擦,年磨损量可达 $5\text{--}8\text{mm}$,严重时引发链条断裂、滚筒卡死,造成运输系统全面瘫痪;破碎设备中,破碎机锤头、衬板等部件因承受物料挤压冲击,磨损速率较常规工况提升 $2\text{--}3$ 倍,故障表现为部件变形、碎裂,影响破碎粒度达标率。

成因主要包括三方面:一是工况载荷超标,深部开采中岩石硬度增加,设备实际载荷超出设计标准;二是材料性能适配不足,部分部件采用常规钢材,耐磨性能无法适应恶劣工况;三是运维管控缺失,未及时监测部件磨损状态,超期运行现象普遍。

1.2 液压系统失效故障

液压系统作为设备动力传输核心,故障占比达 23% ,故障点集中在液压泵、液压阀、密封件及管路等关键部位,故障表现呈现多样化、连锁化特征。具体而言,液压泵磨损会导致输出压力不足,使液压挖掘机铲斗挖掘力下降 $25\%\text{--}40\%$;液压阀阀芯卡滞会引发设备动作迟缓,液压支架升架时间延长至正常状态的 2 倍以上;密封件老化破损会造成液压油泄漏,平均每台设备月泄漏量达 $5\text{--}10\text{L}$,既增加运行成本,又易引发火灾隐患;管路堵塞则导致系统压力骤升,诱发管路爆裂等恶性故障。

核心成因包括:油液污染严重,井下粉尘、水分侵入液压系统,导致油液颗粒度超标;密封材料选型不当,常规密封件无法适应高压、高温工况,易老化破损;维护周期不科学,未定期对液压部件进行性能检测与油液更换。

1.3 电气系统故障

电气系统负责设备启动、运行控制与状态监测,故障占比达 18% ,且在井下潮湿多尘环境中故障发生率显著提升。主要故障表现为三类:一是传感器故障,受粉尘污染与潮湿侵蚀,传感器信号失真率达 $15\%\text{--}20\%$,导致控制系统误判设备状态,引发误动作;二是电机故障,电机因过载、绝缘老化等问题烧毁占电气故障的 45% ,其中 60% 的井下电机烧毁事

故与潮湿环境导致的绝缘性能下降相关;三是线路故障,电缆磨损、接头松动引发的短路或断路,不仅导致设备停机,还可能因电气火花点燃瓦斯,诱发重大安全事故。

成因主要源于环境影响与运维疏漏:井下高湿度、高粉尘环境加速电气元件老化;线路铺设不规范,长期受设备振动影响导致接头松动;未建立完善的电气系统监测机制,无法及时发现绝缘下降、线路磨损等隐患。

1.4 润滑系统失效故障

润滑系统是保障设备部件正常运转的基础,故障占比达12%,虽占比相对较低,但易引发二次故障,危害极大。主要故障表现为:润滑剂因粉尘污染、高温氧化发生变质,粘度下降30%以上,失去润滑保护作用;润滑管路受粉尘堵塞或老化破损,导致供油中断,使轴承、齿轮等部件处于干摩擦状态;润滑泵故障导致供油压力不足,无法满足高负荷部件的润滑需求。这些问题会使部件磨损速率提升3-5倍,进而诱发轴承烧毁、齿轮咬合失效等严重故障。

成因主要包括:润滑剂选型与工况不匹配;润滑系统密封性能不足,粉尘、水分侵入导致油液变质;未定期对润滑管路、泵体进行检查维护,存在堵塞、泄漏等隐患。

2 矿山机械设备故障诊断关键技术

精准的故障诊断是实施有效维护保养的前提,结合矿山机械设备工况特征,需采用多技术融合的诊断模式,实现故障的早期预警与精准定位。

2.1 振动监测诊断技术

该技术适用于机械结构磨损、轴承失效等故障的诊断,通过在截齿、轴承、齿轮等关键运动部件安装高精度加速度传感器,设置1000—2000Hz的采样频率,实时采集振动信号。利用频谱分析、小波变换等算法对信号进行处理,识别磨损、松动等故障的特征频率。当信号幅值超过预设阈值的80%时发出预警,可提前20—30个工作循环预判故障,避免故障扩大。

2.2 油液分析诊断技术

针对液压系统与润滑系统故障,油液分析技术可实现油液状态与部件磨损的同步诊断。通过定期采集液压油、润滑油样本,检测油液颗粒度、粘度、酸值、金属磨粒含量等指标。当液压油颗粒度超过NAS8级、粘度变化率超过10%或酸值超过0.15mgKOH/g时,需及时过滤或更换油液;当金属磨粒含量超标时,可判断对应部件存在磨损故障。该技术每100工作小时检测一次,能有效避免油液变质、部件磨损引发的连锁故障。

2.3 红外热成像诊断技术

适用于电气系统与液压系统发热故障的诊断,利用红外热成像仪检测电机、电气控制柜、液压泵、管路等部件的温度分布。当电机绕组温度超过155℃、液压泵出口温度超过60℃时,发出温度预警,可精准定位接触不良、过载、泄漏等故障点。该技术具有非接触、可视化、检测效率高的优势,能有效识别井下潮湿环境中电气元件的隐性发热故障。

2.4 传感器融合诊断技术

单一诊断技术存在局限性,通过整合振动、温度、压力、油液等多类型传感器数据,构建多维度诊断模型,可提升故障诊断的全面性与准确性。利用大数据分析技术对多源数据进行融合处理,实现故障类型、故障位置、故障严重程度的精准判定,为维护保养提供精准依据。

3 矿山机械设备维护保养策略体系

基于故障类型、成因及诊断结果,构建“预防性保养为基础、针对性保养为核心、协同优化为目标”的维护保养体系,实现故障源头管控与全生命周期运维。

3.1 预防性维护保养策略

预防性保养以“防患于未然”为核心,结合设备分级与工况特征,制定精准化保养计划。采用ABC分类法对设备进行分级:A类为采煤机、液压支架等核心生产设备;B类为刮板输送机、转载机等辅助生产设备;C类为通风、排水等保障设备。针对不同级别设备制定差异化保养周期:A类设备每200工作小时开展一级保养,每800工作小时开展二级保养;B类设备每300工作小时开展一级保养,每1200工作小时开展二级保养;C类设备每500工作小时开展一级保养,每1500工作小时开展二级保养。

一级保养聚焦清洁、紧固、润滑核心环节:清理设备表面及关键部位粉尘,检查部件连接紧固情况,按规范补充或更换润滑剂。二级保养实施全面检测与深度检修:采用振动监测、油液分析等技术检测设备状态,更换达到使用寿命的易损部件,调整设备运行参数^[1]。同时,建立润滑台账与清洁记录,详细记录润滑部位、润滑剂型号、清洁时间等信息,确保保养工作规范化开展。

3.2 针对性维护保养策略

针对机械结构磨损故障:一是升级关键部件材料,采用硬质合金材质制作截齿,表面进行等离子喷涂处理,提升硬度至HRC60以上,将使用寿命延长至150—200个工作循环;对齿轮、轴承等部件采用渗碳淬火工艺,提高表面硬度与耐

磨性。二是严格控制设备运行载荷,避免超载运行,定期采用超声波检测技术检测部件磨损量,当磨损量超过允许范围的70%时及时更换,同时调整部件配合间隙,确保运动精度^[2]。

针对液压系统失效故障:实施油液全生命周期管控,选用抗磨液压油并添加抗氧化、抗腐蚀添加剂;加强密封件维护,选用氟橡胶、聚氨酯等耐高压、耐磨损密封材料,每200工作小时检查一次密封件状态;定期对液压泵、液压阀进行性能检测,当输出压力波动超过5%或流量偏差超过8%时及时检修。

针对电气系统故障:选用隔爆型、本安型电气元件,防护等级不低于IP65,电气控制柜加装密封防护罩与正压通风装置;在传感器表面涂抹防水防尘涂层,提升环境适应性;每150工作小时对电气线路进行全面检查,采用兆欧表检测绝缘电阻,当电阻值低于 $1M\Omega$ 时及时处理。

针对润滑系统失效故障,科学选型润滑剂:高负荷、高温工况选用NLGI2-3级极压抗磨润滑脂,潮湿环境选用防锈润滑脂,低温环境选用低温流动性好的润滑剂。制定个性化润滑计划,结合部件运行时间、载荷情况与油液分析结果,明确润滑周期与剂量。每100工作小时清理润滑管路,检修润滑泵,确保供油压力稳定。

3.3 诊断与保养协同优化策略

构建“诊断—保养—评估—优化”的闭环协同机制,将故障诊断结果全面融入保养计划。通过故障诊断技术识别潜在隐患,纳入专项保养任务,优先开展检修处理;总结故障诊断数据,分析故障高发部位与高发时段,优化保养周期与保养重点。建立保养效果评估机制,对比保养前后设备故障发生率、运行效率、维修成本等指标,持续调整保养策略。例如,通过振动诊断发现某型采煤机轴承故障高发,可缩短轴承保养周期,增加检测频次,从源头降低故障发生率^[3]。

4 维护保养策略实施保障措施

为确保维护保养策略有效落地,需从人员、设备、管理三个维度构建保障体系。

人员保障方面:建立完善的技能培训体系,定期开展设备结构、故障诊断技术、保养规范等专题培训,每月组织一次技术考核,确保操作人员熟悉设备性能、掌握保养技能;建立岗位责任制,明确各岗位职责,将保养工作质量与绩效挂钩,提升操作人员责任心。

设备保障方面:配备齐全的保养工具与检测设备,包括振动检测仪、油液分析仪、兆欧表、高压风枪、红外热成像

仪等,定期对检测设备进行校准,确保检测数据准确可靠;为核心设备保养配备专用工具车,储备充足的易损部件与常用物料,保障保养工作高效开展。

管理保障方面:构建“计划制定—任务分配—实施保养—质量检验—记录反馈”的闭环管理流程;建立设备运维档案,整合故障诊断数据、保养记录、维修记录等信息,为保养计划优化提供数据支撑;建立保养质量追溯机制,对保养过程中出现的质量问题,追溯责任人、分析原因并制定整改措施,持续提升保养质量^[4]。

结语:

矿山机械设备故障诊断与维护保养是保障矿山安全高效生产的核心支撑。本文通过系统研究,明确了机械结构磨损、液压系统失效等4类常见故障的表现形式与成因机理,阐述了振动监测、油液分析等关键诊断技术的应用要点,构建了涵盖预防性、针对性及协同优化的维护保养体系,提出了人员、设备、管理三维度保障措施。实践表明,科学的故障诊断技术可实现故障精准预判与定位,系统的维护保养策略能从源头降低故障发生率。未来,应聚焦智能化技术融合应用,构建基于大数据与深度学习的智能故障诊断与维护保养体系,实现设备运维状态自主预判、保养计划智能生成与运维任务自动调度,推动矿山运维行业向智能化、无人化方向升级,为矿山行业高质量发展提供更强有力的支撑。

[参考文献]

[1]向贵吾,陈龙,薛山.矿山机械设备故障维修养护分析[J].世界有色金属,2025,(13):226-228.

[2]张涛,王斌,代召现.矿山破碎机的故障诊断与维护技术探究[J].中国金属通报,2025,(02):124-126.

[3]刘仕期.矿山机械设备破碎机的故障诊断与维护技术[J].中国高科技,2023,(08):113-115.

[4]纪连猛.矿山机械设备故障诊断及维护保养策略[J].机械管理开发,2023,38(01):222-224.

作者简介:1.姚浩君(出生于1989年9月),男,汉族,江西广丰县人,工程师,大学本科,研究方向:矿山机械制造;

2.叶喜平(出生于1984年10月),男,汉族,江西宜丰,工程师,大学本科,研究方向:机械制造;

3.唐震(出生于1990年8月),男,汉族,江西省玉山县,中级工程师,大学本科,研究方向:机械制造;

4.李天宝(出生于1981年11月),男,汉族,江西德兴,助工,大学本科,研究方向:矿山机械设备。