煤矿综采工作面机电设备常见故障分析与运维优化研究

李云南

陕西华电榆横煤电有限责任公司　陕西　榆林　719000

摘　要：综采工作面机电设备是煤矿规模化、集约化生产的主体设备，在很大程度上影响着矿井生产能力和安全性。由于工作环境恶劣、载荷变化大、系统间相互制约性强，采煤机、刮板输送机、液压支架电液控制系统以及供电装置等主要设备都会出现不同程度的机械磨损、液压渗漏、电气绝缘下降以及控制失灵等问题，造成综采工作面停机率高，安全隐患突出。以综采设备的工作条件为依据，总结各类主要设备常见的故障类型及其产生原因，主要有应力疲劳、磨损腐蚀、油液污染、热老化以及人为操作不当等原因造成的；结合上述分析结果，给出相应的预防措施和对策建议。综采机电设备维护保养应当由原来的“事后维修”变为现在的“事前预防”，依靠技术和管理双重保障来提高设备整个寿命周期内的可靠性和减少运行费用。

关键词：综采工作面；机电设备；故障原因；维护改进；在线检测

引言

综采机械化开采已成为目前井工煤矿主要生产方法，在综采工作面上布置有采煤机、刮板输送机、转载机、破碎机、液压支架电液控制系统、乳化液泵站、移动变电站以及各种组合开关等众多电气设备。它们共同完成落煤、装煤、运煤、支护和推移等工作，而其中任何一个设备出现问题都会使整个综采工作面停止运转，造成极大的经济损失和安全隐患。但是目前多数煤矿综采设备维护仍是以事后维修或者定期检修为主，缺乏根据设备实际情况进行有效维护的方法。故障诊断大多依靠个人经验和感觉判断，缺少对设备故障本质理解；维修手段单一，存在过度维修和维修不到位现象；备件储存及维修资源分配无依据，导致库存积压或者急需时无法及时供应。这些都是由于对综采设备故障机理了解不够透彻以及现有管理方式和综采设备复杂程度之间存在矛盾所引起的。本文通过对综采工作面上常见机电设备可能出现问题及其原因进行研究，借鉴现代化运营管理理念和技术方法，给出适合煤矿现场实际情况综采设备维护建议，以提高综采设备稳定性和经济效益。

1 综采工作面机电设备的组成与工况特征

1.1 主要设备构成与功能耦合

综采工作面机电设备根据作用分为四个部分。一是采掘部分，主要由采煤机组成，用于割煤、装煤，其中截割部、牵引部以及电气控制系统承受较大载荷；二是运输部分，由刮板输送机、转载机、破碎机等组成，用于将落煤运出工作面，其中链传动机构、减速器、电动机处于恶劣环境之中；三是支撑部分，即液压支架及其电液控制系统，用于支撑顶板、推移输送机，其中液压缸、阀组、控制器工作频繁；四是动力及控制系统部分，包括乳化液泵站、移动变电站、综保装置、集控系统等，为整个综采工作面提供动力源及控制。这四个部分相互联系，任何一个子系统出现问题都会造成一系列严重后果。

1.2 恶劣工况对设备可靠性的影响

综采设备的工作环境十分恶劣。采煤工作面空间有限、通风不良，设备四周有大量的煤尘、岩尘等杂质进入电气设备内部降低其绝缘性能、进入机械运动部件加剧磨粒磨损。井下空气湿度很大，容易结露、淋水引起金属生锈以及电气短路。在采煤时会有很大的冲击载荷和交变应力，尤其是在采煤机切割硬夹石时，其截割部分所受到的动载荷可能达到额定扭矩的几倍甚至更多，从而导致齿轮及轴承早期损坏[1]。由于设备经常起停并且负载变化大，因此对电动机、变频器等造成较大的温差变化而使得绝缘老化加快。另外，在工作面推进中设备要反复移设及重新安装，在这个过程中拆卸与搬运易造成隐形损伤，给以后使用带来隐患。

2 主要机电设备的常见故障模式与成因

2.1 采煤机的典型故障与失效机理

采煤机是综采工作面上发生最多故障的设备，而这些故障大部分发生在截割部、牵引部以及电控部分上。截割部滚筒齿座磨损、截齿折断等是常见的机械故障，

主要是由于截齿与煤岩之间摩擦产生的磨粒磨损以及冲击导致截齿断裂，在遇到硬夹矸或者截齿合金头质量问题的情况下，折断率明显提高；截割部齿轮、轴承故障主要是出现点蚀、剥落、保持架断裂等问题，都是由于长期重负载下所产生的接触疲劳造成的，而且油污严重以及缺少润滑油也会加剧磨损；牵引部变频调速装置出现频率较高，主要是 IGBT 模块过热损坏、驱动板电容失效以及牵引电动机绝缘破损等原因引起，这是由井下通风不良、电压不稳定以及频繁起停所引起的；电控系统中 PLC 输入输出模块因为灰尘较多造成端子松动而导致采煤机运行失常甚至不能开机。

2.2 刮板输送机及转载机的故障分析

刮板输送机常见问题有链条断裂、刮板弯曲变形、链轮磨损以及减速箱发热等。由于刮板长时间受到反复拉伸及冲击作用，在链条连接处产生磨损，当磨损量达到一定程度而不能满足伸长要求时，链条和链轮啮合不好，在起动或者超载情况下容易断链。刮板弯曲或者掉落一般是由于运输过程中大块煤岩堵塞引起，在堵塞状态下刮板承受很大侧向力而发生塑性形变。减速机出现的问题主要是齿轮齿面磨损严重和轴承温度过高，除了负载过大以外，还可能是因为润滑周期设定不当或者是透气孔被堵塞使得内部压力增加所致[2]。转载机和破碎机联合作业，如果破碎机的锤头或者齿辊磨损严重导致出料粒度过大，大颗粒物料进入转载机易造成溜槽堵塞以及刮板卡死从而引发一系列问题。

2.3 液压支架电液控制系统故障

液压支架的控制方式已由人工操作发展到电液控制，相应的故障类型也增多，在液压上，立柱窜液（内泄漏）和千斤顶外泄漏是最常见的问题，主要是由于密封件磨损、乳化液污染以及缸筒拉伤所造成的；而在电气上，电磁先导阀阀芯卡死或者线圈烧毁使得支架不能正常工作，原因是在乳化液中有杂质进入到先导阀配合缝隙中，或者是由于线圈频繁通断电导致漆包线绝缘被破坏；控制器以及传感器（如压力传感器、位移传感器和角度传感器）之间通讯出现问题也比较普遍，一般是由于接插件氧化、电缆被挤压而断裂或者电磁干扰引起信号失真。电液控系统出现的问题往往是“一对多”，即一个传感器出现问题会牵连到附近几架支架的动作出问题，不易判断故障来源。

2.4 乳化液泵站与供液系统故障

乳化液泵站是液压支架的动力源，而柱塞泵柱塞—缸套之间的配合副，在高压下做往复运动时磨损较大，使得漏泄量增加，造成供液压力不足以及流量波动加大。泵站上的安全阀、卸载阀与蓄能器均属于辅助部件，但是由于安全阀弹簧老化引起开启压力不稳定变化或者蓄能器气囊破损失去作用，都会使整个系统的压力剧烈变化从而缩短支架上阀件使用寿命。乳化液浓度自动调配装置出现故障会导致乳化液浓度不符合要求，即浓度过低造成防锈效果差，加速缸体生锈；浓度过高则会使密封圈膨胀失效。供液管路上过滤器堵塞以及高压软管老化破裂都是常见的问题。

2.5 供电系统与电气保护装置故障

移动变电站、组合开关以及馈电开关组成工作面供电系统。常见的故障有：干式变压器由于散热不良引起绕组温度过高造成绝缘老化击穿；真空接触器触头粘连或者分断能力减弱致使开关无法正常分合闸；漏电保护器因为零序电流互感器受潮或者电子元件漂移发生误动作或者拒动作。采煤机变频器、输送机软启动器等电气设备对电网电压变化比较敏感，在工作面上大功率设备同时启动造成电压突然下降，会使变频器出现过压或者欠压故障而跳闸。另外，电缆接线盒受潮、积灰造成绝缘电阻降低发生单相接地故障，造成全矿停电是较为严重的供电事故。

3 运维优化策略与管理体系构建

3.1 基于状态的预测性维护模式

运维优化的重点在于检修模式的变化——从基于时间的预防性维修转为基于设备状态的预测性维护。预测性维护利用对振动、温度、油液等监测数据变化趋势以及剩余寿命预测的方法来判断何时需要进行维修和需要维修的内容，避免盲目地“到期即修”和冒险地“不坏不修”。而要进行预测性维护就需要有设备健康基线库，在每个监测指标上都有一个警戒值和注意值，在监测指标超过注意值后就可以列入检修计划中，而在超过警戒值之后就必须立刻停止机器进行检查。这样可以大大减少意外停机次数并且避免过多的维修所带来的备用件及人工成本损失。

3.2 故障根因分析与维修策略优化

每次设备发生故障后，要进行根本原因分析，找出导致该故障的具体原因以及深层次的管理问题，而不能简单地更换一个部件就算解决问题。根本原因分析可以使用“5Why”或者故障树的方法，从材料、润滑、操作、环境、维护等方面进行全面排查。而对于经常发生的故障，则需要对维修程序进行修改或者是对设备进行优化设计，比如频繁出现断链现象的输送机可以考虑增

大链条预紧力或者使用更耐磨链条；经常烧毁的变频器应该检查其谐波滤波装置和散热情况等[3]。维修方式也应由原来的单纯事后维修转变为“事后 + 预防 + 预测”的综合手段，根据不同设备的重要程度及故障后果采取不同的措施，重要的设备（如采煤机、主运输皮带等）实行预防性维护，一般的设备（如破碎机、水泵等）实行定期检查结合事后维修。

3.3 备件储备与维修资源优化配置

备件管理是运维体系的重要支撑。要依据设备故障率以及维修所需时间来确定合理安全库存量。对于易损件（截齿、密封件、滤芯、皮带等），可以采取定期补库的方法，在以往使用基础上设定补货点；而对于重要零部件（电机、减速机、变频器等），实行“零库存 + 供应商寄售”的方法降低资金占用并保证及时供应。备件编码及出入库均需实现信息化管理以便追踪与报警。维修力量配置上，应组建专门从事采掘设备维修的技术工人班组，并购置相应的拆卸工具以及检测设备，将大件修理工作移至地面车间完成，地下只做简单的维护和更换工作，提升工作效率和质量。

3.4 运维信息化平台与数据驱动决策

建设综采设备运维信息系统，把每一台设备的型号、位置、工作时间、出现的问题以及更换的零件都汇总到一起。系统会自动生成设备运行报表和故障统计报表，并根据故障次数、停机时间和维修费用等因素给设备分为 ABC 三类，以便制定检修计划及采购。另外还可通过对以前的数据进行分析来找出问题出现的时间以及它与工作条件之间的关系，从而用灰色预测法或者神经网络的方法来预测设备寿命到期的时间点，起到辅助检修的作用[4]。信息化平台还需要有手机端的功能，让工作人员可以随时用手机扫描二维码查看设备档案并录入检修情况，保证数据及时准确地被采集。

3.5 人员培训与标准化作业体系建设

运维优化最终要靠人去执行，要根据采煤机司机、输送机操作工、支架工、检修电工以及机械维修工人分别进行有针对性培训，在培训中突出设备结构原理、故障早期预兆、规范巡检方法及应对措施等内容。编写图文并茂的标准操作卡，包括设备日常巡检、定期维护、故障排除以及部件更换等各种维护工作内容，规定每个步骤注意事项、技术要求和标准。实行岗位责任制以及检修质量可追溯管理，把设备故障率和维修费用作为班组业绩考核指标，促使员工积极主动进行状态监控与预防性维护，营造全员参与良好氛围。

4 结语

综采工作面机电设备的故障防控与运维优化是煤矿高效安全运行的关键。本文基于设备构成与工况特征，系统分析采煤机、刮板输送机、液压支架电液系统、泵站及供电设备的主要故障模式，揭示疲劳磨损、污染腐蚀、操作不当与维护缺陷等多因素耦合的失效机理，提出以状态监测和预测性维护为核心的运维优化路径。核心观点在于：故障是损伤累积的必然结果，非不可预见的“意外”，通过系统监测与预控可显著降低发生率与损失。运维优化不仅是技术升级，更是管理理念变革——由被动应对转向主动预控、经验判断转向数据驱动、碎片维修转向全生命周期管理。未来，结合 5G、数字孪生、边缘计算与人工智能，综采设备运维将迈向精准预警与智能决策，实现从“计划检修”向“视情维护”乃至“自主维护”的跨越，为煤矿安全高效开采提供坚实装备保障。

参考文献

[1] 刘志强, 王建军, 李明. 综采工作面采煤机截割部故障特征及诊断方法综述 [J]. 煤炭科学技术,2023,51(6):112-120.

[2] 张海涛, 陈永生, 马晓东. 刮板输送机链条疲劳断裂机理与寿命预测研究 [J]. 矿山机械,2024,52(2):33-39.

[3] 赵刚, 王丽霞, 李国华. 液压支架电液控制系统常见故障分析与可靠性提升 [J]. 煤矿机械,2022,43(9):56-61.

[4] 孙明宇, 陈丽, 刘伟. 乳化液污染对液压元件磨损的影响及过滤技术优化 [J]. 液压与气动,2023,47(5):98-104.