矿用乳化液泵站的检修工艺与研究

刘艳帮
陕煤集团神南产业发展有限公司　陕西　榆林　719300

摘　要：矿用乳化液泵站是煤矿综采液压支架的关键供液设备，设备长期在复杂井下工况运行，易出现部件磨损、密封失效、压力异常等各类故障，直接影响综采设备运行稳定性。本文结合泵站结构特性与运行机制，梳理标准化解体检修流程，剖析柱塞缸体、阀组、传动机构等核心部位的专项检修技术，针对传统检修模式的流程缺陷与技术短板，提出工序精细化、部件适配化及作业标准化的优化方案，有效提升泵站检修质量与设备运行可靠性。

关键词：乳化液泵站；结构原理；解体检修；专项检修；工艺优化

引言：煤矿综采工作面的液压支护与设备推移作业，高度依赖乳化液泵站的稳定供液保障。井下潮湿、粉尘密布且高压交变的特殊工况，会持续加剧泵站核心构件损耗，引发渗漏、压力不稳、设备卡顿等故障，制约矿井连续生产。现阶段泵站检修作业仍存在流程不规范、检测精度不足、运维模式滞后等问题。规范检修工序、优化检修技术、完善运维体系，能够有效减少设备故障频次，保障综采工作面安全高效运转。

1 矿用乳化液泵站结构与工作原理

1.1 泵站整体组成结构

矿用乳化液泵站是煤矿综采工作面的核心液压动力设备，整套装置采用集成式模块化布局，适配井下狭小、潮湿的作业环境。设备主体由乳化液箱、主泵机组、电机装置、过滤组件、调压防护构件及外接管路系统构成。各模块独立布置又相互配合，液箱作为储液与沉降净化载体，承载整套设备的基础运行工况。泵组与电机固定于箱体基座，减少设备运行时的震动偏移[1]。过滤、调压部件分别安置在液路进出端，对介质状态和系统压力进行全程管控，整套结构布局紧凑，可满足井下连续作业的工况需求。

1.2 核心零部件构造特征

泵站核心零部件以耐磨、耐压、防爆为核心设计标准。主泵采用卧式三柱塞往复泵结构，柱塞采用高强度合金材质，表面经过硬化处理，耐磨损、抗冲击，可长期承受高压液流冲击。泵体配装整体式阀组，进液阀与排液阀为单向锥形结构，密封精度高，能有效杜绝高压介质回流。电机为矿用隔爆型结构，外壳密封性极强，可隔绝井下瓦斯、煤尘等易燃易爆介质。乳化液箱内部设有分层隔板，可实现液体静置沉降，搭配多级过滤网，逐级拦截液体中的固体杂质，保障介质洁净度。调压阀采用弹簧自适应结构，可根据管路负荷自主调节系统工作压力。

1.3 乳化液泵站运行工作原理

设备启动后，电机通过联轴器带动柱塞泵曲轴运转，驱动柱塞做往复直线运动。柱塞后退过程中，泵腔内部形成负压，乳化液从储液箱经过滤装置吸入泵腔。柱塞向前推进时，泵腔压力持续升高，关闭进液阀、顶开排液阀，高压乳化液流入液压管路。液体压力会随工作面支架作业负荷产生波动，管路压力偏低时，泵组持续输出高压液体。管路压力达到设定上限值，调压阀自动开启卸压，泵组进入空载运转状态，降低设备能耗与磨损。压力回落至标准区间后，阀组自动复位，泵组重新带压工作。

1.4 泵站系统联动运行机制

整套泵站系统依托液路压力信号实现自主联动作业。工作面液压支架执行升降、推移等动作时，管路液压负荷发生变化，压力信号实时传递至泵站调控组件。系统根据压力差值调整泵组输出状态，匹配工作面作业所需的动力参数。过滤系统全程介入液路循环，持续净化回流乳化液，避免杂质磨损泵体与管路配件。防护构件实时监测系统压力、温度参数，出现超压、过载等异常情况时，自动触发保护动作，切断动力输出或泄压稳压，保障整套设备稳定、安全运行。

2 矿用乳化液泵站常规解体检修工艺

2.1 检修前期准备工作

矿用乳化液泵站开展解体检修前，必须做好全面安全与物资筹备工作。作业人员熟读井下设备检修规范，对照设备出厂参数确定本次检修的重点排查点位。清扫泵站周边堆积的煤尘与杂物，规整现场作业环境，腾出充足空间满足拆装、检测作业需求。筹备套筒扳手、百分表、压力检测仪等专用工具，备齐密封垫圈、润滑脂、过滤滤芯等替换耗材。核对所有配件规格型号，保

证可直接适配设备工况。切断设备供电电源，悬挂检修警示标识，锁闭电源开关杜绝误送电情况[2]。缓慢释放管路内部积压压力，排空箱体储存的乳化液，彻底消除拆机过程中的渗漏、高压冲击隐患。

2.2 泵站停机与拆机操作流程

泵站拆机严格遵循标准化停机拆解步骤。缓慢调低系统工作压力，让设备逐步脱离高压负载状态。按压停机按钮，静置等待设备运转完全停止，复测管路压力数值，确保内部无残余压力存留。逐一拆除外接液压管路和设备控制线路，用防尘堵头封闭管路端口，阻挡井下粉尘、杂物进入管路内部。拆解作业坚持先外后内、先辅后主的作业原则。依次拆卸设备防护外壳、压力调节组件与过滤总成，松卸泵体与电机的连接螺栓及联轴器固件，抽出柱塞、阀组等核心配件，所有拆解零件分类摆放，做好标识区分。

2.3 各零部件分步检修工序

全部零件拆解完毕后，逐项开展精细化检修作业。细致观察柱塞外表面，排查磨损沟槽、氧化锈蚀、形变弯曲等缺陷，实测柱塞配合间隙，核对工业标准数值。检查进出液阀组密封端面，判断密封配件磨损程度，排查阀芯卡滞、端面密封不严等常见故障。手动转动电机转轴，感受运转流畅程度，检测轴承磨损状态与线路绝缘电阻数值。检查乳化液箱体内壁及分隔板，排查腐蚀、开裂、破损问题，检查滤网堵塞、变形、破损情况。对调压阀、安全阀进行压力测试，检验启闭灵敏程度，标记性能不达标零件，统一进行更换处理。

2.4 零部件清洁与养护操作规范

各类检修零件使用专用工业清洗液完成彻底清洗。冲刷去除零件表面附着的煤垢、油污和乳化液残留，疏通阀体内腔流道与滤网细小孔洞。柱塞、精密阀件等高精度构件采用软质棉布擦拭，杜绝硬质工具划伤精密配合接触面。静置摆放清洗后的零件，等待表面完全风干。在齿轮、柱塞等金属配合部位均匀涂抹专用矿用润滑防锈油脂，提升运转灵活度。更换全部出现老化、硬化、变形的密封构件，从源头杜绝设备后期渗油漏水。清洗修复后无法正常使用的过滤配件，直接更换全新成品。

2.5 泵站回装与装配工艺要求

零件养护作业结束后，按照拆机反向顺序开展整机回装。装配阶段精准校准构件安装位置，设备螺栓采用对称分次紧固方式，让连接部位受力均匀。微调电机与泵体联轴器间距与同轴度，规避设备运行产生剧烈震动。平整摆放管路密封配件，压实紧固各个连接端口，避免出现松动虚接问题。全部构件装配结束后，逐点检查安装位置与装配精度，排查错装、漏装问题。复原设备控制线路与液压管路，清理现场作业工具与杂物，完成整机装配作业，等待后续调试投运。

3 矿用乳化液泵站关键部位专项检修技术

3.1 泵体柱塞与缸体检修技术

柱塞和缸体是乳化液泵站的核心加压构件，高频次往复运动极易造成表面磨损、划伤和间隙超标。检修作业需细致检查柱塞外圆表面，精准排查细微点蚀、纵向划痕、局部磨损不均等损伤。采用专业量具测量柱塞外径磨损参数，核对设备检修标准判定构件使用价值。仔细检视缸体内壁工作面，重点排查拉毛、锈蚀、内壁变形等缺陷。彻底清除缸体内部积存的杂质污垢，精准测量柱塞与缸体的配合间隙[3]。磨损参数超标、表面损伤严重的构件需直接更换配套总成，保障泵体加压作业的稳定输出。

3.2 阀芯、阀组密封结构检修技术

阀组及密封构件直接决定泵站压力稳定性与液路密封性。拆解进液、排液阀组后，仔细检查阀芯与阀座的贴合接触面，轻微磨损产生的毛刺、划痕需精细打磨修整。清理阀腔内部堆积的污垢杂质，保障阀芯活动灵活，杜绝卡滞故障。逐一检查各类密封垫圈、平面垫片的工况状态，及时甄别硬化、开裂、弹性衰退等老化问题。全部老化密封件统一更换全新备件，规避高压运行阶段的渗液、泄压问题。手动测试阀组启闭状态，保证阀口闭合严实、开合动作灵敏。

3.3 曲轴与传动机构检修技术

曲轴、连杆等传动构件负责整机动力传输，构件故障会直接引发设备异响、震动甚至停机。拆除传动防护壳体后，全面检视曲轴整体表面，排查裂纹、磕碰凹痕、形变等结构性缺陷。精准测量曲轴轴颈磨损量、圆度及圆柱度误差，记录数据并对照规范标准。检查连杆、销轴的磨损状况，紧固所有松动的连接螺栓。仔细甄别轴承运行状态，更换转动卡顿、磨损超标的轴承配件。检修装配完成后手动盘车，检验整套传动结构运转流畅度，消除偏磨、卡滞隐患。

3.4 过滤与补液系统专项检修技术

过滤与补液系统可净化乳化液介质，维持系统液量平衡，延缓设备磨损速度。拆解泵站各级滤网、滤芯结构，清理网面附着的煤尘、油垢及固体颗粒。出现严重变形、堵塞且无法清理修复的滤材，直接更换全新配件，保障乳化液过滤纯度。疏通补液管路内部堵塞通道，检查管路端口通畅程度。核验补液阀开合灵敏度，保证介质补给量均匀稳定。彻底清理乳化液箱底部沉积杂质，保持循环介质

洁净，为设备长效运行提供基础条件。

3.5 管路连接与承压部件检修技术

高压管路及承压配件长期承载高压载荷，恶劣井下环境会加速构件老化破损。逐段排查高压管路管壁，重点识别鼓包、裂纹、锈蚀、渗液等破损迹象。逐一紧固管路法兰、接头连接螺栓，检查接口密封完整性，处理松动漏液点位。校验压力表、高压接头等承压配件的承压性能，性能衰减或损坏的配件及时替换。调整管路安装角度与位置，避免管壁出现扭曲、挤压受力情况，提升整套液压管路的承压能力与运行可靠性。

4 矿用乳化液泵站检修工艺优化与技术提升

4.1 传统检修工艺存在的流程短板

传统乳化液泵站检修多依靠作业人员现场经验开展作业，没有统一的量化检修标准。检修环节存在工序随意跳转、部件排查遗漏的情况，细小磨损、隐性泄压等轻微故障难以及时发现。零部件检修判定方式单一，多以肉眼观察为主，精准检测设备使用率偏低，部分性能衰减构件继续投入使用，埋下运行隐患。检修流程分工较为模糊，拆装、检测、养护工序衔接混乱，作业效率偏低[4]。老旧检修模式缺乏常态化管控机制，设备故障多为事后维修，无法提前规避部件损坏与设备停机问题。

4.2 检修工序精细化优化方式

针对传统检修短板，可对整体检修工序进行精细化拆分与规范。梳理拆解、检测、清洁、养护、回装全流程工序，固定每一步作业顺序与操作标准。明确各检修环节的检测项目与判定参数，替换主观化的经验判断方式。细分作业人员岗位职责，划分专项检修区域，专人负责核心部件检测、管路排查、设备调试等不同工作。增加中途复检环节，单一部件检修完成后即时核验质量，避免装配失误、检修不到位的问题，稳步提升整体检修质量与作业效率。

4.3 零部件检修适配性技术改进

结合泵站各部件运行工况，针对性优化零部件检修与适配技术。柱塞、缸体等精密构件检修，增加间隙精准测量、表面平整度检测项目，对轻微磨损部位开展打磨修复处理，提升构件复用率。阀组密封检修摒弃全套盲目更换的模式，根据密封件老化程度、磨损数据按需替换配件。传动曲轴、轴承等受力构件，引入磨损量化检测标准，精准判断构件运行状态。管路配件检修优化对接工艺，规范管路折弯角度与紧固力度，减少高压工况下的构件损耗。

4.4 泵站常态化检修技术升级方向

泵站检修技术升级聚焦常态化、前置化故障防控。改变传统事后抢修模式，推行周期分级检修制度，根据部件损耗速度划分日检、周检、月检项目。引入便携式检测仪器，精准采集设备压力、间隙、震动等运行数据，依托数据变化预判部件损耗趋势。升级部件养护技术，选用适配井下工况的耐磨润滑材料，强化构件防锈、耐磨性能。记录每次检修数据，形成设备检修台账，为设备运维、配件更换提供可靠数据支撑。

4.5 检修作业标准化流程完善思路

完善泵站检修作业标准化体系，贴合井下作业实际梳理全套作业流程。细化前期准备、停机拆机、部件检修、清洁养护、回装调试各环节操作细则，明确每道工序的作业标准和验收要求。规范工具使用、配件存放、现场管控的作业规范，规避不规范操作带来的检修缺陷。组织作业人员开展标准化实操培训，熟练掌握量化检修标准和新型检测技术，持续规范现场检修行为，保障泵站长期稳定、安全运行[5]。

结束语

从设备结构原理、常规检修流程、核心部位专项检修技术多个维度，梳理乳化液泵站完整的检修作业体系，梳理传统检修模式存在的各类短板。对应工况特点优化检修工序与部件适配技术，搭建常态化检修管控模式，完善标准化检修作业流程。相关检修优化思路可规范现场检修作业行为，改善设备运维效果，为矿用乳化液泵站长效稳定运行提供实操性技术支撑。

参考文献

[1]王玲玲.矿用乳化液泵站在线监测系统设计应用[J].机械研究与应用,2022,35(6):193-196.

[2]云俊文,王博,倪伟强,等.矿用乳化液泵站泵头供液流量匹配控制研究[J].煤矿机械,2024,45(11):52-55.

[3]王寒庆,陈仁建,赵亮亮,等.考虑响应滞后的矿用乳化液泵站泵头压力稳定模糊控制方法[J].煤矿机械,2024,45(11):98-102.

[4]黄帅.矿用高端乳化液泵站泵头组件设计[J].煤矿机械,2023,44(12):108-111.

[5]郝佩儒,郭开玺,石转转.矿用乳化液泵液压系统分析和发展趋势[J].内蒙古煤炭经济,2022(23):114-117.