

泵站机电设备的故障诊断与维修处理

葛雯静¹ 张宇亮²

1. 南通市通吕运河水利工程管理所 江苏 南通 226300

2. 南通市水利勘测设计研究院有限公司 江苏 南通 226300

摘要：泵站机电设备作为水利工程的关键设施，其稳定运行对水资源调配与防洪排涝至关重要。设备运行中常出现机械、电气及水力故障，主要由老化磨损、操作维护不当及环境因素引发。振动诊断、油液分析、电气检测等技术可实现精准故障识别。通过预防性、针对性及修复性维修策略，能有效降低故障风险，提升设备可靠性与使用寿命。研究成果为泵站机电设备的高效运维提供科学依据与实践指导。

关键词：泵站机电设备；故障诊断；维修处理

引言：在现代水利工程体系中，泵站机电设备承担着水资源调度、防洪排涝等核心功能，其运行状态直接关系到水利工程效益的发挥。随着设备服役时间增长与运行工况复杂化，机械故障、电气故障及水力故障频发，严重影响设备可靠性与安全性。本文基于对泵站机电设备常见故障类型及成因的深入剖析，系统探讨振动诊断、油液分析等先进故障诊断技术，提出预防性、针对性及修复性维修策略，旨在为提升泵站机电设备运维水平提供理论支撑与实践路径。

1 泵站机电设备概述

泵站机电设备作为水利工程中实现水体提升、输送及调控的核心设施，涵盖动力装置、传动系统、工作机组、辅助设备等多类装置。动力装置常以电动机或柴油机为主，电动机凭借稳定高效、节能环保的特性，成为多数泵站的首选，其三相异步电动机通过电磁感应原理将电能转化为机械能，驱动水泵运转；柴油机则以其机动性强、适应性好的特点，在供电不便或应急排水场景中发挥关键作用。传动系统是连接动力装置与工作机组的桥梁，皮带传动、联轴器传动等方式各有优势。皮带传动利用皮带与带轮间的摩擦力传递动力，具备缓冲吸振、过载保护功能；联轴器传动则通过刚性或弹性元件直接连接动力与工作设备，实现精准的动力传递，保障水泵稳定运行。工作机组中，离心泵、轴流泵、混流泵是常见类型。离心泵依靠叶轮高速旋转产生的离心力提升水体，适用于高扬程、小流量工况；轴流泵通过叶片旋转产生推力，在低扬程、大流量排水灌溉中表现优异；混流泵兼具离心泵与轴流泵特性，适应中等扬程与流量需求。辅助设备是确保泵站机电系统可靠运行的重要支撑。润滑系统为设备运转部件提供润滑，减少摩擦磨损，延长设备使用寿命；冷却系统通过风冷、水冷等

方式，及时带走设备运行产生的热量，维持其正常工作温度；电气控制系统借助各类传感器、继电器和PLC（可编程逻辑控制器），实现对设备启停、运行参数监测与调节，提升系统自动化水平。这些机电设备协同运作，使泵站能够高效完成农田灌溉、城市供水、防洪排涝等任务，在水资源调配与利用领域发挥不可替代的作用。

2 泵站机电设备的常见故障类型及原因分析

2.1 常见故障类型

2.1.1 机械故障

泵站机电设备的机械故障多源于部件间复杂的力学交互与运动损耗。泵轴在长期高速旋转过程中，受径向与轴向力的不均衡作用，易引发弯曲变形或疲劳断裂；联轴器若存在装配误差，会产生异常振动，加剧连接部件磨损。轴承作为关键的支撑与传动部件，润滑失效时，滚动体与滚道摩擦系数剧增，致使轴承温度急剧上升，最终因过热导致保持架碎裂、滚珠卡死，严重影响设备的稳定运行与使用寿命。

2.1.2 电气故障

电气故障主要涉及电路系统与电气元件的性能劣化。电机绕组因绝缘材料长期受电磁应力、高温及潮湿环境侵蚀，绝缘层逐渐老化、破损，引发匝间或相间短路；变频器内部功率器件在高频开关动作下，承受着电压与电流的剧烈波动，散热不良时，IGBT模块等核心器件易因过热而损坏。电气连接部位接触电阻过大，会产生局部过热，致使接线端子烧蚀，甚至引发整个电气回路失效。

2.1.3 水力故障

水力故障与泵站流体输送特性紧密相关。当水泵运行工况偏离设计点，如流量过大或过小，会引发汽蚀现象，气泡在叶轮表面破裂产生的高频冲击，使叶片表面材料剥落、穿孔。管路系统中，若存在异物堵塞或局部

阻力突变，会导致水流流态紊乱，压力分布不均，造成水泵扬程下降、效率降低。长期运行使管道内壁结垢，过水断面减小，进一步加剧水力损失，影响泵站的输水能力与运行效率^[1]。

2.2 原因分析

2.2.1 设备老化与磨损

泵站机电设备长期处于连续或高频次运行状态，各部件在物理、化学及机械作用下逐渐老化。金属材料受交变应力作用，晶格结构发生位错与滑移，随着时间推移形成微裂纹并不断扩展；密封件在介质侵蚀与机械挤压下，弹性丧失、材质变硬变脆，导致密封失效。这种累积性的老化与磨损，使设备性能逐步衰退，故障发生概率显著增加，严重威胁设备的安全稳定运行。

2.2.2 操作与维护不当

操作过程中，若启动、停机顺序错误或未按设备额定参数运行，极易引发故障。例如，水泵在无水状态下启动，会造成机械密封干磨损坏；频繁启停电机，会产生较大的冲击电流，加速电气元件老化。维护方面，未能及时更换润滑油、清理过滤器，会导致润滑系统失

效、杂质进入设备内部，加剧磨损。设备点检不全面，无法及时发现潜在的异常振动、温度升高等隐患，错过最佳修复时机，最终演变成严重故障。

2.2.3 环境因素影响

环境因素对泵站机电设备运行影响显著。高温环境下，电气元件散热受阻，电子器件性能参数漂移，绝缘材料加速老化；潮湿空气会降低电气设备的绝缘电阻，增加漏电风险，同时引发金属部件锈蚀。在多尘环境中，粉尘易堆积在电机散热片、电气控制柜内，影响散热与电气性能，甚至造成短路故障。流体介质中的腐蚀性物质，会侵蚀水泵叶轮、管道内壁，加速材料腐蚀，降低设备的结构强度与使用寿命。

3 泵站机电设备的故障诊断方法

3.1 振动诊断法

振动诊断法是通过采集、分析泵站机电设备运行时的振动信号，来判断设备运行状态及故障情况的方法。当设备出现故障时，其振动特征会发生变化，利用相关技术和设备可对这些变化进行捕捉和分析，从而实现故障的精准识别与预测。具体内容如下表所示：

诊断维度	具体内容
诊断原理	基于设备运行时的振动信号，正常运行时振动频率和幅值稳定，故障时部件受力改变引发振动特性变化。
检测设备	加速度传感器、速度传感器等，将机械振动信号转换为电信号。
信号处理技术	傅里叶变换、小波变换等，将时域信号转换为频域信号，呈现振动能量分布。
故障识别方式	对比标准频谱与实测频谱，结合设备转速、结构参数，识别故障类型、程度及部位。
预测功能	基于振动信号幅值变化，建立设备运行状态趋势模型，预测潜在故障。

3.2 油液分析诊断法

油液分析诊断法以设备润滑系统和液压系统中的油液为检测对象，通过分析油液的各项指标和磨损颗粒信息，来判断设备的磨损状况和故障隐患。油液在设备运

行中会融入磨损产物和污染物，其理化性质也会随之改变，对这些变化的分析能为故障诊断提供依据。具体内容如下表所示：

诊断维度	具体内容
诊断原理	油液充当润滑剂、冷却剂和清洁剂，设备磨损产物及外界污染物会融入油液，使其理化性质改变。
理化性能分析指标	黏度（影响润滑效果）、酸值（反映油液氧化变质情况）、水分（破坏油膜稳定性）、闪点等。
污染度检测	通过颗粒计数器测定油液中固体颗粒的数量、尺寸及分布，评估清洁程度。
磨损颗粒分析	利用铁谱技术分离、沉积磨损颗粒，通过显微镜观察颗粒形态、尺寸、成分，判断磨损类型 ^[2] 。
应用示例	切削状磨损颗粒可能预示齿轮啮合面异常磨损，球状磨损颗粒与疲劳磨损相关。

3.3 电气检测诊断法

电气检测诊断法针对设备的电气系统，通过检测电气参数和分析电气信号来诊断故障。电气设备正常运行

时各项参数保持在规定范围，故障时参数会出现异常，对这些异常的检测和分析可实现故障的诊断。具体内容如下表所示：

诊断维度	具体内容
诊断原理	电气设备运行时电压、电流、电阻、绝缘性能等参数应在规定范围，故障时参数异常。
绝缘性能检测	使用绝缘电阻测试仪、介质损耗测试仪，测量绝缘电阻、介质损耗因数等指标，评估绝缘性能。
直流电阻检测	通过直流电阻测试仪测量电动机、变压器绕组的直流电阻，判断绕组是否存在断路、短路等问题。

续表:

诊断维度	具体内容
电气信号分析	运用示波器、频谱分析仪监测电压、电流波形及频谱特性,如定子绕组匝间短路时电流波形畸变、谐波成分增加。
局部放电检测	捕捉电气设备内部局部放电产生的高频脉冲信号,在故障初期发现绝缘缺陷。

4 泵站机电设备的维修处理策略

4.1 预防性维修

(1) 预防性维修聚焦于通过对泵站机电设备运行数据的持续监测与深度分析,精准预判潜在故障风险,以避免设备突发失效。运用振动分析、油液检测、温度监测等先进技术手段,对电机轴承磨损程度、液压系统油液清洁度、电气元件发热状态等关键指标进行实时跟踪,构建设备健康状态评估模型,提前识别异常变化趋势,在故障萌芽阶段介入处置。(2) 基于设备运行工况与历史故障数据,制定科学合理的周期性维护计划是预防性维修的重要环节。针对不同类型的机电设备,如离心泵、配电柜、变压器等,依据其设计寿命、运行负荷、环境条件等因素,确定适宜的维护周期与维护内容,包括零部件的定期润滑、紧固、更换,以及电气系统的绝缘检测、触点清洁等,确保设备始终处于良好运行状态。(3) 预防性维修通过主动干预设备运行状态,定期对设备进行全面检查、维护与保养,及时发现并处理潜在故障隐患,从而有效降低设备故障率。这能够减少因突发故障导致的停机损失,避免因停机造成的生产延误和经济损失,显著提升泵站运行可靠性与稳定性。它还能有效延长设备使用寿命,大幅降低全生命周期维修成本,科学优化资源配置,使泵站机电设备的运行效能得到充分保障^[3]。

4.2 针对性维修

(1) 针对性维修以设备实际运行状况和故障特征为导向,深度聚焦设备运行过程中的各类信息,深入剖析设备故障产生的根本原因,精准定位故障部位,进而制定具有高度针对性的维修方案。在设备出现异常振动、异常声响、性能下降等故障现象时,通过故障树分析、故障模拟实验等方法,系统排查故障诱因,避免盲目维修。(2) 针对不同类型的机电设备故障,采用差异化的维修技术与工艺。对于机械部件的磨损、变形故障,运用激光熔覆、热喷涂等先进修复技术恢复部件尺寸与性能;对于电气系统的短路、断路故障,借助精密检测仪器确定故障点,采用专业的焊接、更换等修复手段进行处理,确保维修工作高效精准。(3) 针对性维修具有显著优势,它能够快速解决设备当前出现的故障问题,精准定位故障点并迅速采取修复措施,及时恢复设备的正常运行功能,从而最大限度减少设备停机时间,保障生产的连续性。在维修过程中,通过对故障进行深入分析

与专业处理,维修人员能够积累宝贵的维修经验。这些经验可为后续设备维护工作提供重要参考,有效提升设备维修的针对性与有效性,降低同类故障再次发生的概率。

4.3 修复性维修

(1) 修复性维修是在泵站机电设备发生故障后,为恢复设备正常运行功能而采取的维修措施。当设备出现严重损坏、功能丧失等情况时,依据设备技术资料与维修手册,对故障部件进行拆解、检测与修复,运用机械加工、零部件更换、电气调试等多种维修技术,使设备恢复至原有性能水平。(2) 在修复性维修过程中,严格遵循维修工艺规范与质量标准,对维修过程中的每一个环节进行严格把控。技术人员凭借丰富的经验与精湛技艺,从故障部件的精准拆卸、细致清洗、全面检测,到新部件的规范安装、精准调试,每一步都严谨细致。操作中均采用专业工具与设备,不放过任何一个细节。对维修后的设备进行全面性能测试与试运行,验证维修效果,保证设备可靠运行。(3) 修复性维修作为设备故障后的重要补救措施,能够有效解决设备突发故障问题,保障泵站生产运行的连续性。在实际操作中,需提前制定完备的应急维修预案,储备充足的维修配件与工具。维修过程中,安排专业技术人员迅速响应,精准定位故障点。通过科学合理的维修组织与管理,优化流程、提高效率,降低生产损失,维持泵站机电设备基本运行能力^[4]。

结语:综上所述,泵站机电设备的故障诊断与维修处理是保障水利工程安全高效运行的关键环节。通过对常见故障类型、成因的分析,结合振动诊断、油液分析等科学诊断方法,以及预防性、针对性和修复性维修策略,能够显著降低设备故障率,延长设备使用寿命。未来,随着智能化技术的发展,泵站机电设备故障诊断与维修将向自动化、智能化方向迈进,进一步提升运维效率与管理水平。

参考文献

- [1]霍海洲.泵站机电设备故障诊断及改进策略分析[J].水上安全,2023(5):149-151.
- [2]张祝培.泵站机电设备故障诊断方法的应用[J].户外装备,2023(9):430-432.
- [3]孙万霞.泵站机电设备维修与管理[J].数字农业与智能农机,2021(24):126-128.
- [4]张健,孙鲁楠,董通,等.信息化背景下泵站机电设备维修养护策略研究[J].水电站机电技术,2024,47(10):111-114,133.