水电站机组自动化元件维护与可靠性提升

郭自恒　周湘宁
湖南澧水流域水利水电开发有限责任公司 湖南 长沙 410000

【摘　要】：水电站机组自动化元件长期处于复杂运行环境中，容易受到设备老化、信号异常及运行负荷变化等因素影响，导致控制系统稳定性下降。针对自动化元件运行过程中的故障问题，通过完善维护管理流程，加强设备状态检测与故障诊断，提高元件运行准确性和可靠性。合理开展预防性维护，可降低自动化系统故障发生概率，保障机组运行过程中的安全性与稳定性，为水电站设备管理提供可靠支撑。

【关键词】：水电站机组；自动化元件；维护管理；故障诊断；可靠性提升

DOI:10.12417/2705-0998.26.14.018

引言

随着水电站自动化水平不断提高，机组运行对自动化元件的依赖程度逐渐增强。传感器、控制装置以及执行机构等关键部件直接影响机组运行状态判断和控制指令执行效果。在长期运行过程中，设备受到环境变化、机械振动、电气干扰等因素影响，容易出现信号偏差、动作异常以及性能下降等问题，增加机组运行风险。自动化元件维护工作需要从传统故障处理模式向主动检测和状态管理方向转变，通过及时发现设备隐患，提高维护工作的针对性。围绕自动化元件运行特点，分析影响设备可靠性的主要因素，并结合维护过程中的实际问题，探讨提升机组自动化系统稳定性的技术途径，为水电站安全运行提供参考。

1 水电站机组自动化元件运行问题

1.1 自动化元件运行异常表现

水电站机组自动化元件长期处于连续运行状态，受到电气环境、机械振动以及温湿度变化等因素影响，容易出现运行异常情况。传感器在长期工作过程中可能产生检测数据偏差，导致机组运行参数采集不准确；控制模块受到信号干扰时，可能出现指令传输延迟或控制响应异常；执行机构性能下降后，也会影响设备调节精度[1]。这些异常问题通常具有隐蔽性，初期难以直接发现，但随着运行时间增加，可能造成自动化系统控制效果降低，影响机组运行稳定性。需要结合设备运行状态及时识别异常表现，为后续维护工作提供依据。

1.2 设备故障产生主要因素

自动化元件故障的产生与设备自身性能变化以及外部运行条件密切相关。长期运行过程中，元件内部电子部件会受到使用周期影响，出现老化、灵敏度降低等问题，使设备性能逐渐下降。水电站运行环境较为复杂，潮湿、粉尘、电磁干扰等因素容易影响元件正常工作，增加故障发生概率。部分设备在安装调试过程中存在参数设置不合理、连接部件松动等情况，也可能造成运行异常。设备维护过程中故障排查不及时、检查内容不全面，会使潜在问题逐渐积累，影响自动化系统整体可靠性。

1.3 维护管理中存在薄弱环节

水电站机组自动化元件维护过程中，部分管理环节仍存在不足，影响设备运行状态的有效控制。在日常维护工作中，部分检查内容主要集中于故障发生后的处理，对设备运行状态变化的提前判断不足，容易造成突发性问题。维护记录管理不完善时，设备历史运行情况难以及时掌握，不利于故障原因分析和维护周期调整。不同类型自动化元件具有不同运行特点，如果维护标准和检测方式缺乏针对性，可能导致维护效果下降。提升维护管理精细化程度，有助于及时发现设备隐患，提高自动化元件运行可靠性。

2 自动化元件可靠性影响因素分析

2.1 运行环境对元件性能的影响

水电站机组自动化元件长期运行于复杂环境中，外部条件变化会对设备性能产生直接影响。机组运行区域通常存在较高湿度、温度波动以及机械振动等情况，容易造成电子元件内部结构受潮、线路连接部位氧化以及绝缘性能下降等问题。发电设备运行过程中产生的电磁干扰，也可能影响传感器信号采集精度和控制模块信息传输稳定性[2]。当自动化元件长期受到不利环境因素影响时，其检测准确性和响应速度会逐渐降低，导致控制系统出现参数偏差或动作异常。运行环境成为影响自动化元件可靠性的关键因素，需要在设备管理过程中加强环境条件监测，降低外部因素对设备性能造成的不良影响。

2.2 设备老化对控制稳定性的影响

自动化元件随着使用时间增加，会受到材料损耗和内部结构变化影响，逐渐出现性能衰减现象。传感器长期工作后可能出现测量灵敏度降低，控制模块中的电子元器件可能因使用周期延长而产生参数变化，执行机构也可能因机械部件磨损出现动作迟缓等问题。这些老化现象会降低自动化系统的信息采集能力和控制执行精度，使机组运行过程中出现调节偏差。当关键自动化元件性能下降时，还可能影响多个控制环节的协调运行，增加设备异常停机风险。对设备运行状态进行持续跟踪，

及时掌握元件性能变化情况，是保持机组控制稳定的重要环节。

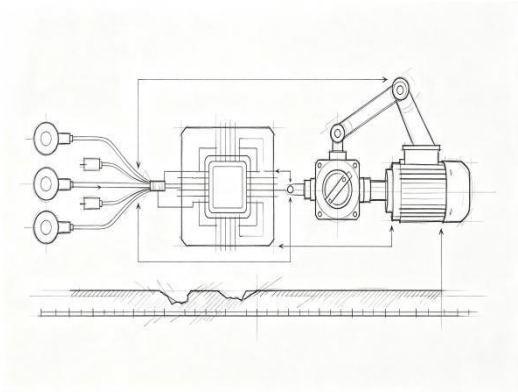

图 1 元件老化扰动控制系统图

2.3 检测维护不足带来的运行风险

自动化元件检测维护工作的完善程度，会直接影响设备故障发生概率。在实际运行过程中，如果缺少定期检测和状态分析，部分元件存在的隐性故障难以及时发现，容易在机组运行负荷变化时突然暴露。维护过程中若仅依靠传统故障排查方式，可能无法准确判断设备内部性能变化，导致问题处理存在滞后性。维护人员对不同类型元件运行特点掌握不足，也可能影响检查结果的准确性。检测维护不到位不仅会增加设备故障风险，还可能造成自动化控制系统运行不稳定，影响机组整体运行效率。加强检测流程规范化和维护内容针对性，有助于及时消除设备隐患，提高自动化元件运行可靠水平。

3 自动化元件维护优化措施

3.1 加强设备巡检与状态监测

水电站机组自动化元件维护过程中，加强设备巡检与状态监测能够及时掌握元件运行变化情况，减少异常问题积累。日常巡检应结合设备运行特点，对传感器、控制模块、执行机构等关键部件进行检查，重点关注信号传输、参数变化以及设备响应情况[3]。通过运行数据采集和状态分析，可以发现元件性能下降、测量偏差等潜在问题，为维护工作提供准确依据。状态监测方式能够改变传统故障发生后处理的模式，使设备维护更加主动化。针对运行时间较长或负荷较高的自动化元件，应适当增加检测频次，及时调整维护内容，保证设备处于稳定运行状态，提高机组自动化系统的可靠程度。

3.2 完善故障诊断处理流程

自动化元件故障诊断流程的完善，有助于提高故障处理效率和准确性。在设备出现异常时，需要结合运行参数变化、报警信息以及现场检查结果，对故障位置和产生原因进行综合判断。通过建立规范化诊断流程，可以避免故障排查过程中出现判断偏差或处理不及时的问题。针对不同类型自动化元件，应明确对应的检测方法和处理措施，提高故障分析的针对性。维护过程中应做好故障记录，对异常情况、处理过程以及设备恢复状态进行详细保存，为后续维护工作提供参考。完善的故障诊断流程能够减少设备停运时间，降低故障对机组运行造成的不利影响，提升自动化系统运行稳定性。

3.3 提升维护人员操作规范性

维护人员操作水平直接影响自动化元件维护质量，规范化操作能够减少人为因素造成的设备异常。在自动化元件检查、调试和更换过程中，需要严格按照设备技术要求执行操作，避免因操作方式不当导致元件损坏或参数偏差。维护人员应熟悉不同类型自动化元件的结构特点和运行规律，提高故障判断能力和设备处理能力。维护记录填写、工具使用以及安全操作流程也需要保持规范，确保各项维护工作准确开展。通过强化操作标准管理，可以降低维护过程中的失误风险，提高设备检修质量，为水电站机组自动化元件长期稳定运行提供保障。

4 机组自动化系统可靠性提升方法

4.1 强化关键元件维护管理

水电站机组自动化系统中，关键元件的运行状态直接影响整体控制效果，因此需要加强对核心设备的维护管理。对于传感器、控制模块、保护装置以及执行机构等重要部件，应结合设备运行时间、使用环境和故障记录制定针对性的维护要求。维护过程中应重点检查元件连接状态、信号传输情况以及参数变化趋势，及时发现性能下降或运行异常问题[4]。针对影响机组控制的重要元件，可建立重点维护清单，提高检查工作的准确性和针对性。应加强设备运行数据记录，通过历史数据分析掌握元件性能变化规律，为维护周期调整提供依据。强化关键元件管理能够减少设备突发故障，提高自动化系统运行连续性，使机组在复杂运行条件下保持稳定控制能力。

4.2 优化预防性维护模式

预防性维护模式能够改变传统故障处理方式，使自动化元件维护更加主动和科学。在实际运行过程中，应根据设备运行状态和性能变化情况，合理安排检查、检测以及更换工作，避免元件长期带病运行。通过采集设备运行参数，对自动化元件进行状态分析，可以提前发现潜在故障隐患，降低故障发生概率。对于运行时间较长、故障频率较高的设备，应结合实际情况制定维护计划，加强重点检查和性能评估。预防性维护还需要与设备技术标准相结合，保证维护内容符合运行要求。通过优化维护模式，可以提高设备管理效率，减少非计划停机情况，使自动化系统始终保持较高可靠水平，为机组安全运行提供稳定保障。

4.3 提高自动化控制稳定水平

自动化控制系统稳定性与元件运行质量密切相关，提高控制稳定水平需要从设备性能管理和系统运行协调两个方面进行完善。在设备运行过程中，应保证自动化元件采集信息准确、

传输过程稳定，并及时处理影响控制效果的异常信号。针对控制系统中容易受到干扰的环节，需要加强参数校验和运行调整，避免因数据偏差导致控制指令执行不准确。自动化系统各组成部分之间需要保持良好的协调关系，使检测、判断和执行过程形成有效连接。通过加强元件性能管理和控制过程优化，可以降低系统运行波动，提高机组调节能力。当自动化控制水平得到提升后，能够有效减少设备运行风险，增强水电站机组整体运行稳定性。

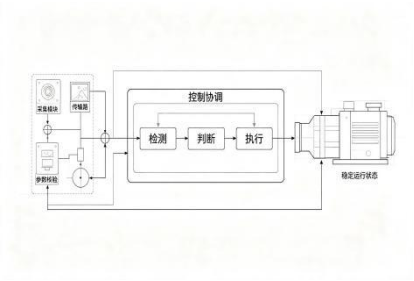

图 2 水电站自控调控流程示意图

5 自动化元件维护管理完善方向

5.1 建立设备运行评价机制

建立科学的设备运行评价机制，有助于全面掌握水电站机组自动化元件运行状态，为维护管理提供准确依据。评价机制应结合元件类型、运行参数、故障记录以及维护情况等内容，对设备性能进行综合分析。通过对传感器检测精度、控制模块响应速度、执行机构运行状态等指标进行评价，可以及时发现设备性能变化趋势，判断元件是否存在潜在异常[5]。应完善设备运行档案管理，记录元件使用时间、维护过程以及故障处理情况，使设备管理更加规范。合理的运行评价机制能够提高维护工作的针对性，避免因信息掌握不足造成维护不到位的问题，推动自动化元件管理向精细化方向发展。

5.2 加强维护过程质量控制

自动化元件维护质量直接影响机组运行可靠性，加强维护过程质量控制能够保证各项检修工作达到预期要求。在实际维护过程中，需要严格按照设备技术标准开展检查、调试和更换工作，确保操作流程规范、检测数据准确。维护人员应对关键环节进行重点控制，包括元件连接状态检查、参数校准以及功能测试等内容，避免因维护操作不规范造成设备性能下降。应加强维护过程记录，对发现的问题、处理措施以及设备恢复情况进行完整保存，便于后续分析和管理。通过提高维护过程控制水平，可以减少人为因素造成的设备故障，提升自动化元件维护质量，增强机组运行过程中的稳定性。

5.3 保障机组长期稳定运行

水电站机组长期稳定运行需要依靠可靠的自动化元件和完善的维护管理体系。自动化元件作为机组控制系统的重要组成部分，其运行状态会直接影响设备调节能力和安全水平。在设备管理过程中，应持续关注元件性能变化，加强运行数据分析和故障隐患排查，及时处理影响系统稳定性的异常问题。应结合机组运行特点，合理安排维护周期，使设备检查、维修和性能调整保持有效衔接。通过完善自动化元件管理流程，提高设备维护质量，可以降低故障发生概率，减少运行过程中的不稳定因素，使机组控制系统保持良好的工作状态，为水电站安全连续运行提供可靠保障。

6 结语

水电站机组自动化元件的运行稳定性与维护管理水平密切相关，设备异常、元件老化以及维护不足等问题都会影响自动化系统可靠运行。加强设备巡检、完善故障诊断流程、优化预防性维护模式，能够有效降低元件故障风险，提高机组控制系统稳定性。建立设备评价机制和强化维护质量管理，有助于提升自动化元件管理规范化水平。自动化元件维护工作需要结合设备运行特点持续完善，使机组始终保持良好的运行状态，为水电站安全稳定运行提供可靠保障。

参考文献：

[1] 闫浩.水泵水轮机自动化元件配置方案概述[J].东方电气评论,2025,39(6):31-36.

[2] 刘鑫.基于边缘计算的大型水电站机组轴电流分布式监测系统研究[J].信息化研究,2025,51(5):122-126.

[3] 杨荣杰,陈开超,刘显著.水电站机组振动监测及故障诊断系统设计与应用[J].电站辅机,2025,46(3):78-81.

[4] 周先亮.水电站机组全停原因分析与应对措施[J].水电站机电技术,2025,48(2):69-72.

[5] 陈云志.水电站机组技术改造措施分析[J].电力设备管理,2024,(23):261-263.