

智能传感技术在水泵电气控制柜故障预警中的应用

汤国毅

杭州杭港地铁有限公司 浙江 杭州 钱塘 310000

【摘要】：智能传感技术为水泵电气控制柜故障预警提供了核心技术支撑，通过精准捕捉设备运行中的电信号、温度、振动等关键参数，实现故障隐患的早期识别与预判。该应用打破了传统故障排查的滞后性局限，依托传感数据的实时采集与分析，构建起主动预警机制，有效降低设备停机风险与维护成本。其核心价值在于通过技术融合实现预警精准度与响应效率的双重提升，为水泵电气控制系统的稳定运行提供可靠保障，彰显了智能传感技术在工业设备运维领域的实践意义。

【关键词】：智能传感技术；水泵电气控制柜；故障预警；设备运维；参数监测

DOI:10.12417/3041-0630.26.08.017

引言

水泵电气控制柜作为流体输送系统的核心控制单元，其运行稳定性直接关系到工业生产与民生保障的连续性。传统运维模式依赖人工巡检，难以发现潜伏性故障，常因突发故障导致系统停机，造成经济损失与功能中断。智能传感技术的深度应用，为这一痛点提供了突破性解决方案，通过对控制柜运行状态的全方位感知与动态监测，将故障识别关口前移。借助对关键运行参数的实时捕捉与智能分析，提前预判潜在故障风险并发出预警，为运维决策提供科学依据，既保障了设备长期稳定运行，又推动运维模式向智能化、主动化转型，为相关领域技术应用提供了有益借鉴。

1 水泵电气控制柜故障类型及运维痛点

1.1 电气系统典型故障表现及影响范围

水泵电气控制柜的故障主要集中在电气回路、控制模块、接线端子等核心部件，常见表现包括短路跳闸、元件过热烧毁、信号传输异常、动作指令失效等。这些故障不仅会导致水泵停机，影响流体输送的连续性，还可能引发连锁反应，损坏水泵主机或相关配套设备。在工业生产场景中，故障可能造成生产线中断；在供水、排水等民生领域，则会直接影响居民生活与公共服务的正常开展，故障影响范围随应用场景的不同覆盖生产、生活多个层面，其危害具有传导性与扩展性。

1.2 传统运维模式的局限性与应对困境

传统运维以定期人工巡检和事后维修为主，依赖运维人员的经验判断，缺乏对设备运行状态的持续监测^[1]。由于潜伏性故障无明显外在表现，人工巡检难以精准识别，往往在故障发生后才能被动处理，导致故障处理的滞后性。人工巡检的频次有限，无法实现全天候监测，且判断结果易受人员技术水平、责任心等主观因素影响，存在漏判、误判风险。在事后维修模式下，故障修复需要耗费大量时间查找问题根源，维修成本较高；且频繁的停机维修会大幅降低设备整体运行效率，难以适

应现代生产对设备稳定性的高要求。

1.3 故障预警体系构建的核心需求

基于水泵电气控制柜的运行特性与运维现状，故障预警体系的构建需满足多重核心需求。首先是全面性需求，需覆盖电气、温度、机械振动等多维度运行参数，确保无监测盲区；其次是及时性需求，需在故障隐患萌芽阶段捕捉异常信号，为运维预留充足时间；再者是精准性需求，需有效区分正常波动与故障前兆，避免误预警造成不必要的运维投入；最后是实用性需求，预警结果需简洁明确，便于运维人员快速理解并采取针对性措施，同时体系需适应不同工况下的运行环境，具备良好的兼容性与适应性。

2 智能传感技术适配性及核心应用原理

2.1 故障预警适配的智能传感技术类型选择

针对水泵电气控制柜的故障监测需求，需选择适配性强的智能传感技术类型。电流电压传感器用于捕捉电气回路中的电流、电压波动，精准识别过载、短路等电气故障前兆；温度传感器采用接触式或非接触式安装，实时监测控制柜内元件温度变化，及时发现过热隐患；振动传感器可感知设备运行中的振动频率与幅度异常，反映机械结构松动、部件磨损等问题；信号传输类传感器则保障各类监测数据的稳定传输，确保信息不丢失、不延迟。这些技术类型根据监测对象的不同分工协作，形成全方位的感知网络。

2.2 传感技术与控制柜运行参数的匹配逻辑

智能传感技术与控制柜运行参数的匹配遵循针对性与关联性原则。电气参数的监测需选择响应速度快、测量精度高的电流电压传感器，其测量范围需覆盖控制柜的额定工作参数，确保在过载、欠压等异常工况下仍能精准采集数据。温度传感器的安装位置需聚焦发热关键部件，如接触器、继电器、接线端子等，根据部件的工作温度范围选择适配的测量量程，避免

因量程不匹配导致数据失真。振动传感器则需结合控制柜的安装结构与运行振动特性，选择合适的安装位置与测量频率范围，确保能够捕捉到与故障相关的特征振动信号。

2.3 数据采集与信号转换的核心工作机制

智能传感技术的核心工作机制围绕数据采集与信号转换展开。传感器通过敏感元件感知控制柜运行中的物理量变化，将温度、电流、振动等非电信号转化为可测量的电信号。在数据采集环节，采用实时采样模式，根据不同参数的变化特性设定合理的采样频率，确保能够捕捉到瞬时异常信号^[2]。采集到的电信号经信号调理模块进行放大、滤波处理，去除环境干扰带来的噪声信号，提高数据纯度。随后，通过模数转换模块将模拟信号转化为数字信号，为后续的数据分析与故障判断提供标准化的数据支持，整个过程确保数据采集的实时性、准确性与完整性。

3 故障预警系统构建关键技术与流程

3.1 传感节点部署与监测网络搭建策略

传感节点的部署需遵循全面覆盖、重点突出的原则。在控制柜内部，根据故障高发部位与关键部件分布，合理规划传感器安装位置，确保每个核心部件都有对应的监测节点，如在主电路接触器、控制回路继电器、电源模块等关键部位均部署温度与电流传感器。考虑到控制柜的空间结构与电磁环境，传感器部署需避免相互干扰，保障信号传输顺畅。监测网络采用分布式架构，各传感节点通过有线或无线方式连接至数据汇聚节点，形成全覆盖、无死角的监测网络，确保各类运行数据能够高效汇聚与传输。

3.2 数据预处理与特征参数提取方法

数据预处理是保障故障预警准确性的关键环节。首先对采集到的原始数据进行清洗，去除因传感器故障、环境干扰等导致的异常值与缺失值，采用插值法等方式补充缺失数据，确保数据集的完整性^[3]。随后进行数据归一化处理，将不同维度、不同量纲的参数统一到相同的数值范围，为后续的特征提取与分析奠定基础。特征参数提取则聚焦于能够反映故障状态的关键指标，如电流的峰值、温度的变化率、振动的频谱特征等，通过时域分析、频域分析等方法，从预处理后的数据中提取与故障相关的特征信息，筛选出能够有效区分正常状态与故障状态的核心参数。

3.3 故障识别算法适配与预警模型构建

故障识别算法的选择需结合控制柜故障的特征与数据特点。针对电气故障、温度异常等不同类型的故障，适配相应的识别算法，如采用阈值判断法识别电流过载、温度超标等简单故障，采用机器学习算法如支持向量机、决策树等识别振动异

常、信号传输不稳等复杂故障。通过对历史故障数据与正常运行数据的学习训练，优化算法参数，提高故障识别的精准度。在此基础上构建预警模型，将提取的特征参数输入模型，通过模型运算判断设备运行状态，当特征参数超出设定阈值或符合故障特征模式时，自动触发预警信号，实现故障隐患的精准识别与预警。

4 系统应用实施与运行效果优化

4.1 现场安装调试与运行环境适配调整

系统应用实施阶段首先进行现场安装调试，根据控制柜的实际结构与运行工况，完成传感节点的固定安装与线路连接，确保传感器安装牢固、接线规范。安装完成后进行通电调试，测试各传感节点的数据采集功能与信号传输稳定性，检查传感器与控制柜运行的兼容性。针对高温、潮湿、多尘等不同的恶劣运行环境，对传感器进行防护处理，调整数据采集参数与信号传输方式，确保系统在复杂环境下仍能稳定运行。根据现场实际运行情况，对传感器的安装位置与监测范围进行微调，优化监测效果。如图 1：



图 1 智能传感技术应用于水泵控制柜的现场部署示意

4.2 预警阈值校准与故障响应机制完善

预警阈值的校准需紧密结合设备额定运行参数的标准区间、历史故障数据的特征规律以及现场长期积累的运维经验，构建多维度校准体系。通过深度分析设备正常工况下电压、温度等参数 $\pm 5\% \sim \pm 8\%$ 的自然波动范围，科学设定初始预警阈值基准。在系统试运行的 1-3 个月内，持续采集每小时一次的实际运行动态数据，同步开展 20 余种典型故障模拟测试，基于测试结果对阈值进行 3-5 轮反复微调优化，精准把控阈值边界，既规避阈值过高导致 30% 以上潜伏故障漏判的风险，也防止阈值过低引发超 40% 的无效预警干扰^[4]。同时完善故障响应机制，按故障影响程度划分三级预警标准，匹配差异化响应流程与专项处理方案，确保预警信号发出后 10 分钟内相关方接收信息，快速锁定故障位置并启动检修。

4.3 运行过程中的技术优化与性能提升

系统投入正式运行后,持续进行技术优化与性能提升。通过对运行数据的持续分析,评估传感器的监测精度与稳定性,对性能下降的传感器及时更换或校准。根据实际故障发生情况,优化故障识别算法与预警模型,补充新的故障特征数据,提高模型对新型故障的识别能力。优化数据传输协议,减少数据传输延迟与丢失,提升系统的实时响应速度。结合运维人员的反馈意见,简化预警信息展示界面,优化操作流程,提高系统的实用性与易用性,确保系统在长期运行中持续发挥良好的故障预警作用。

5 技术应用价值与实践推广路径

5.1 设备运维效率提升的实践价值体现

智能传感技术在水泵电气控制柜故障预警中的应用,其核心价值体现在运维效率的显著提升。通过实现故障隐患的早期预警,运维工作从被动应对转变为主动预防,避免了因突发故障导致的长时间停机,减少了生产中断与服务停滞带来的损失。精准的故障定位与预判,使运维人员能够针对性地准备维修工具与备件,缩短了故障排查与修复时间,降低了运维工作量与劳动强度。减少了不必要的定期检修次数,降低了运维成本与设备损耗,延长了设备的使用寿命,为设备长期稳定运行提供了有力保障。

5.2 行业内技术推广的可行性条件分析

该技术的行业推广具备充分且扎实的可行性条件。从技术层面来看,智能传感技术历经多年发展已日趋成熟,传感器的可靠性、稳定性在持续迭代中不断提升,核心元件的生产工艺优化使得设备成本逐步降低,为技术的大规模普及应用提供了坚实的技术支撑与经济基础^[5]。从市场需求来看,工业生产、

市政供水、环保处理、农业灌溉等多个领域对水泵设备的连续运行稳定性要求不断提高,传统依赖人工的运维模式在效率与精度上均难以满足现代生产需求,市场对智能化、主动化故障预警技术的需求愈发迫切。从应用基础来看,现有水泵电气控制柜的结构设计预留了充足的传感器安装与改造空间,无需进行大规模设备拆解或更换,改造流程简便、难度较低,适配行业内大中小型企业的不同应用场景,便于快速落地采纳。

5.3 跨领域拓展应用的潜力与实现路径

该技术不仅适用于水泵电气控制柜,还具备跨领域拓展应用的巨大潜力。其核心的故障预警逻辑与技术架构,可迁移至风机、压缩机、机床等各类工业电气控制设备的故障监测中。实现跨领域拓展的关键路径在于根据不同设备的运行特性与故障类型,调整传感器类型选择、参数设置与算法模型,适配不同设备的监测需求。通过与不同行业的设备制造商、运维企业合作,开展定制化技术开发与应用试点,积累不同领域的应用经验,形成标准化的技术解决方案,逐步实现技术在工业设备运维领域的广泛推广与应用。

6 结语

本文通过对智能传感技术在水泵电气控制柜故障预警中的应用研究,明确了技术应用的核心逻辑与实践路径。该技术通过精准感知设备运行参数、构建智能预警体系,有效解决了传统运维模式的滞后性与局限性,为设备稳定运行提供了可靠保障。其在提升运维效率、降低运行成本方面的显著价值,不仅适用于水泵设备领域,更具备跨行业推广的潜力。随着智能传感技术的持续发展与优化,未来在工业设备运维智能化转型过程中,将发挥更加重要的作用,为推动行业高质量发展注入持续动力,助力构建更加高效、可靠的工业生产与公共服务保障体系。

参考文献:

- [1] 刘宏暘.智能传感技术在发电企业设备状态多维度监测中的应用[J].粘接,2025,52(12):275-278.
- [2] 张丰,李孟洁,贾洪愿,等.AI赋能建环专业跨学科融合:建筑智能传感技术课程的创新设计与实践探索[C]//昆明理工大学建筑工程学院.(西南地区)建环工程教育创新协作平台 2025 年人才培养研讨会论文集.重庆科技大学;重庆市经贸中等专业学校,2025:60-62.
- [3] 卢常达.超高层建筑大体积混凝土裂缝智能监测技术应用分析[J].山西建筑,2025,51(23):103-107.
- [4] 汪承畅,黎凌云.人工智能驱动的分布式声学传感技术研究进展[J].船电技术,2025,45(11):82-86.
- [5] 赵佳迪,吴旖萱.智能传感技术在电力自动化运维中的应用[J].光源与照明,2025,(10):97-99.