

电机电器状态检测与故障诊断

冯东凯

新乡市长城机械有限公司 河南 新乡 453600

摘要：本文围绕电机电器状态检测与故障诊断展开研究，阐述电机电器核心结构、工作原理及电气类、机械类、环境诱发类常见故障的类型与成因，分析故障危害与传播规律。系统介绍传统与现代智能检测技术的特点、优化措施及数据预处理方法，探讨传统与智能故障诊断方法，构建并优化诊断模型，明确评估指标与反馈机制，为电机电器故障的早期预警、精准诊断及高效处理提供理论支撑与实践指导，助力提升设备运行可靠性。

关键词：电机电器；状态检测；故障诊断

引言：电机电器是工业生产与日常生活中的核心动力设备，其运行状态直接影响生产效率、设备寿命及人员安全，故障频发易造成停工停产、经济损失甚至安全事故。当前传统检测与诊断技术存在精度不足、实时性差等局限，难以适配复杂工况需求。基于此，本文聚焦电机电器状态检测与故障诊断，整合基础理论、检测技术与诊断方法，旨在解决实际应用中的诊断难题，为设备安全稳定运行提供保障。

1 电机电器基础理论与常见故障分析

1.1 电机电器核心结构与工作原理

(1) 核心结构：定子是电机固定部分，由铁心和绕组组成，作用是产生旋转磁场；转子为转动部分，通过电磁感应获得转矩，带动负载运行；绕组是电能与磁能转换的关键，分为定子绕组和转子绕组，负责电流传导与磁场产生；轴承支撑转子轴，减少转动摩擦，保障设备平稳运行，其精度直接影响电机振动和噪声水平。(2) 工作原理：电机基于电磁感应定律，通过定子绕组通入电流产生旋转磁场，转子在磁场作用下切割磁感线，实现电能向机械能的转换；电器设备通过控制元件通断电路，按照预设逻辑实现启停、调速、保护等功能，核心是通过电路控制实现设备的有序运行。

1.2 电机电器常见故障类型及成因

(1) 电气类故障：绕组短路多因绝缘老化、导线破损或杂质侵入，违反GB/T14711标准中绝缘要求；绝缘损坏源于长期高温、潮湿或电压冲击，导致绝缘性能下降；接触不良由接线松动、触点氧化引起，造成电路通断异常；电压电流异常多因供电不稳、负载失衡，超出设备额定参数范围。(2) 机械类故障：轴承磨损因润滑不足、杂质进入，导致滚动体与滚道磨损，产生异响；转子偏心由安装偏差、轴承损坏引发，造成气隙不均；机械卡滞源于异物卡阻、部件变形，导致转子无法正常转动；振动

异常多因转子不平衡、基础松动，符合机械振动故障的典型机理。(3) 环境诱发故障：温度过高加速绝缘老化、部件变形，影响设备寿命；湿度超标导致绝缘受潮、金属部件锈蚀；粉尘侵蚀堵塞散热通道、磨损触点，引发电路接触不良或机械卡滞，均为环境因素导致的典型故障表现^[1]。

1.3 故障的危害与传播规律

(1) 故障危害：缩短设备自身寿命，增加维修成本；中断生产连续性，导致生产效率下降，据统计单台电机故障平均造成日均数千元经济损失；电气故障可能引发漏电、火灾，机械故障可能导致部件脱落，威胁人员安全。(2) 传播规律：故障从萌芽如绝缘轻微老化、轴承轻微磨损逐步恶化，最终导致设备停机；电气故障多沿电路扩散，影响关联控制元件；机械故障沿传动部件传播，扩大设备损坏范围。

1.4 故障诊断的核心指标与判定标准

(1) 核心指标：振动指标反映机械部件运行状态，温度指标监测设备热稳定性，电流指标判断电气回路是否正常，绝缘电阻指标评估绝缘性能，选取依据是各指标与故障类型的关联性及可检测性。(2) 判定标准：结合GB/T10068、GB/T14711等国家及行业标准，明确电机振动速度正常范围 $\leq 2.8\text{mm/s}$ ，定子绕组绝缘电阻 $\geq 1\text{M}\Omega$ ，工作温度不超过额定温度，电压电流波动不超过 $\pm 10\%$ ，超出范围即判定为故障状态。

2 电机电器状态检测技术研究

2.1 传统状态检测技术

(1) 直观检查法：操作要点包括外观观察电机电器外壳是否有破损、锈蚀、漏油等情况，接线端子是否松动；声音判断通过聆听设备运行时的声音，区分正常运行声与异响；手动检测用手触摸设备外壳感受温度，转动转子检查是否有卡滞。适用场景为设备日常巡检、简

单故障排查,尤其适用于缺乏专业仪器的现场,可快速判断设备基本状态。(2) 仪器检测法:万用表可测量电压、电流、电阻,用于检测绕组通断、接线是否正常;绝缘电阻测试仪用于测量电机绕组、电器绝缘性能,判断绝缘是否损坏;示波器可显示电压电流波形,检测电路信号是否异常、有无谐波干扰。检测范围覆盖电机电器的电气参数、绝缘状态、信号波形,是传统检测中最常用的精准检测手段^[2]。(3) 传统技术的优势与局限性:优势在于操作便捷,无需复杂培训,直观检查法可随时开展,仪器检测法设备成本较低、易普及;局限性明显,检测精度有限,难以发现早期潜伏故障,检测结果依赖操作人员经验,实时性不足,无法实现设备运行状态的持续监测,不适用于复杂工况下的精准检测。

2.2 现代智能检测技术

(1) 传感检测技术:分布式光纤传感可实现电机绕组温度、机壳振动的分布式监测,适配高温、高压复杂环境;无线无源传感无需外接电源,可安装于旋转部件等不易布线位置,实现非接触式检测;超高频局部放电检测可精准捕捉绕组绝缘局部放电信号,提前发现绝缘老化隐患,广泛应用于高压电机电器检测。(2) 数据采集技术:采用多源数据融合采集方案,整合温度、振动、电流、绝缘等多维度数据,提升检测全面性;优化传感器布局,根据电机电器结构特点,在关键部位布置传感器,确保数据采集的针对性;通过无线通信、光纤传输等方式,保障数据传输的稳定性,避免环境干扰导致的数据丢失。(3) 智能检测技术的优势:相比传统技术,检测精度大幅提升,可捕捉微小故障信号,实现早期故障预警;实时性显著增强,能够持续监测设备运行状态,及时反馈异常;适配高温、高湿、强电磁干扰等复杂工况,可应用于大型工业电机、高压电器等各类设备,降低人工检测强度^[3]。

2.3 检测技术的优化与改进

(1) 传统技术的优化措施:将传统检测方法与智能仪器相结合,如在直观检查、仪器检测的基础上,搭配智能数据记录仪,实现检测数据的自动记录和初步分析,提升检测精度;优化操作流程,制定标准化的检测步骤,明确各环节的操作要求和判断标准,减少人为操作误差,提高检测效率,同时加强检测人员的专业培训,提升操作规范性。(2) 新型检测技术的适配性改进:针对不同类型、不同规格的电机电器,调整检测方案,如高压电机侧重绝缘性能和局部放电检测,小型电机侧重振动和电流检测,确保检测技术与设备特性匹配;通过技术革新和规模化应用,降低新型检测设备的生产成本,简化

操作流程,让智能检测技术更易普及,适配中小型企业的检测需求^[4]。(3) 检测系统的集成设计:整合传统检测技术与现代智能检测技术,构建一体化状态检测平台,实现多维度数据的集中采集、分析、展示和预警;平台集成数据处理、故障诊断、报表生成等功能,实现检测流程的自动化、智能化,减少人工干预,同时支持多设备、多站点的集中监测,提升电机电器状态管理的效率和水平。

2.4 检测数据的预处理方法

(1) 数据降噪处理:采用滤波、小波分析等方法,消除环境干扰、仪器误差带来的噪声,过滤无效干扰信号,保留真实的设备状态数据,提升数据准确性,为后续故障诊断提供可靠依据,避免噪声导致的故障误判。(2) 数据标准化与归一化:统一不同检测仪器、不同检测指标的数据格式和量纲,将数据转换为统一的标准范围,消除数据差异带来的影响,便于后续多维度数据的对比分析、融合处理,提升故障诊断的科学性和准确性,确保不同设备、不同时段的数据具有可比性。(3) 异常数据识别与处理:通过阈值判断、趋势分析等方法,筛选出检测过程中产生的无效数据、异常数据;针对缺失数据,采用插值、拟合等方法进行补充,确保检测数据的完整性,避免因数据缺失或异常导致故障诊断结果不准确,保障检测数据的可用性。

3 电机电器故障诊断方法与模型构建

3.1 传统故障诊断方法

(1) 故障树分析法(FTA):构建流程以顶事件如设备停机、性能异常等故障现象为起点,逐步向下分解中间事件、底事件,梳理各事件间的逻辑关系,绘制故障树图谱。通过定性分析识别故障因果关系,明确各部件故障对系统的影响程度,定量分析可计算各底事件的故障概率,适用于大型复杂电机电器系统的故障诊断,能快速定位根本故障原因,为故障排查提供清晰的逻辑指引。(2) 专家系统诊断法:核心是基于领域专家的故障诊断经验,构建包含故障现象、故障原因、处理方法的规则库,采用正向推理或反向推理机制,结合检测数据与规则库匹配,得出故障诊断结果。其优势是贴合实际工程经验,易于理解和应用,但存在局限性,规则库依赖专家经验,难以覆盖所有复杂故障场景,且对新型故障的适配性较差,更新维护难度较大。(3) 对比诊断法:核心是通过将实时检测的振动、温度、电流等数据,与设备额定标准数据、历史正常运行数据进行对比,分析数据偏差幅度与变化趋势,进而判断故障类型与严重程度。该方法操作简便、直观易懂,无需复杂的模型支撑,

适用于常规故障的快速排查, 缺点是对早期微小故障的识别能力较弱, 易受检测数据误差影响。

3.2 现代智能故障诊断方法

(1) 机器学习诊断法: 借助卷积神经网络(CNN)、循环神经网络(LSTM)等深度学习模型, 对预处理后的检测数据进行特征提取与模式识别。CNN擅长提取数据中的空间特征, 适用于振动信号、图像类检测数据的故障诊断; LSTM可捕捉数据的时序特征, 适配电流、温度等时序变化数据, 能自动挖掘数据与故障的关联关系, 大幅提升复杂故障的诊断精度。(2) 数字孪生诊断法: 先构建电机电器的虚拟镜像, 还原设备的结构、运行参数与工况环境, 通过实时采集的设备运行数据, 对虚拟镜像进行动态校准, 实现虚拟与实体的同步运行。基于虚拟镜像可进行故障动态模拟, 预测故障发展趋势, 提前识别潜伏故障, 同时可模拟故障处理方案, 降低实际故障处理的风险与成本。(3) 边缘计算与IoT融合诊断: 构建IoT监测网络, 将传感器采集的实时数据传输至边缘节点, 边缘节点对数据进行本地化实时分析, 无需上传至云端, 大幅提升故障响应速度, 实现故障的快速预警与初步诊断。该方法适配工业现场复杂的网络环境, 减少数据传输延迟与带宽消耗, 可实现多台电机电器的协同监测与集中诊断^[5]。

3.3 故障诊断模型的构建与优化

(1) 模型构建基础: 以预处理后的检测数据为核心, 明确模型输入参数与输出参数, 结合诊断需求选择合适的模型结构, 如简单故障场景选用传统机器学习模型, 复杂故障场景选用深度学习模型, 确保模型的针对性与实用性。(2) 模型训练与验证: 收集不同故障类型、不同运行工况下的样本数据, 对构建的模型进行训练, 通过调整模型参数优化训练效果; 利用未参与训练的实验数据对模型进行验证, 检测模型对未知故障的识别能力, 评估模型的准确性与可靠性, 确保模型能适配实际工程场景。(3) 模型优化策略: 针对模型诊断准确率低、误判率高的问题, 通过增加样本数据量、优化特征提取方法, 提升模型的泛化能力; 调整模型的网络结构、学习率等参数, 减少模型过拟合、欠拟合现象; 结合多模型

融合策略, 整合不同模型的优势, 进一步提升故障诊断的准确率与稳定性, 降低误判率。

3.4 诊断结果的评估与反馈

(1) 评估指标: 诊断准确率指正确诊断出的故障数量与总故障数量的比值, 反映模型的诊断效果; 响应速度指从数据采集到得出诊断结果的时间, 体现诊断的实时性; 误判率指误判为故障的正常状态数量与总正常状态数量的比值, 衡量模型的可靠性。各指标通过对应计算公式量化, 为模型优化提供数据支撑。(2) 反馈机制: 根据诊断结果, 明确故障类型、故障位置与严重程度, 提出针对性的故障处理建议, 如绕组短路需及时停机检修、轴承磨损需更换部件等; 同时结合诊断过程中发现的问题, 优化检测数据的采集流程、预处理方法与诊断模型参数, 形成“检测-诊断-处理-优化”的闭环机制, 提升整体故障诊断水平。

结束语

本文全面梳理电机电器状态检测与故障诊断的相关理论、技术与方法, 明确了不同检测技术的适配场景, 优化了故障诊断模型的构建与应用流程, 形成了“检测-诊断-处理-优化”的闭环机制。研究虽取得一定成果, 但仍存在智能技术普及度不足、小样本故障诊断精度待提升等问题。未来需持续优化检测与诊断技术, 推动其向智能化、规模化发展, 更好适配各类电机电器的运行监测需求。

参考文献

- [1] 谢宝义. 工程机械状态检测与故障诊断技术[J]. 计量与测试技术, 2022, 8(4): 61-63.
- [2] 韩军. 工程机械状态检测与故障诊断网络化系统研究[J]. 建设机械技术与管理, 2023, 10(8): 89-92.
- [3] 王宇星. 电气设备管理状态检测及故障诊断技术探究[J]. 电力设备管理, 2022, 16(7): 113-116.
- [4] 王继户. 电气设备管理状态检测及故障诊断技术[J]. 中国设备工程, 2024, 10(3): 172-175.
- [5] 李连锋. 电气设备状态监测与故障诊断技术运用[J]. 水电水利, 2021, 4(12): 121-123.