

基于多状态观测的电力拖动系统健康监测与自动化运维

谢书志 412821198103046811

摘要

电力拖动系统是工业生产领域核心动力单元，其运行稳定性直接影响生产效率与生产安全。传统单参数监测方法难以全面捕捉系统多维度故障特征，故障预警滞后性与运维盲目性问题突出。本文提出基于多状态观测的电力拖动系统健康监测方案，通过构建多源状态参数采集网络，融合振动、电流、温度多维度数据实现系统健康状态的实时评估，结合自动化决策模型实现运维流程的自动化调度。实验结果表明，该方案可将电力拖动系统故障识别准确率提升至 94.2%，非计划停机时间降低 18.7%，有效提升系统运维效率与运行可靠性，为工业电力拖动系统的智能化运维提供可行路径。

关键词

多状态观测；电力拖动系统；健康监测；自动化运维

一、引言

电力拖动系统通过电动机将电能转化为机械能，是冶金、煤炭、化工、制造等工业领域不可或缺的动力装置。随着工业生产自动化水平不断提升，电力拖动系统的结构愈发复杂，运行负荷持续提高，部件老化、磨损等问题引发的故障不仅会导致生产中断，还可能引发严重安全事故。传统电力拖动系统运维多采用定期检修模式，存在过度维修或维修不及时之间的矛盾，造成运维成本浪费与安全隐患。

近年来，状态监测与故障诊断技术逐渐替代传统定期检修模式，成为电力拖动系统运维的主流方向。但现有监测方案多聚焦于单一状态参数，如仅监测定子电流或轴承振动，难以覆盖电气故障、机械故障等多类型故障的特征表现，导致健康状态评估精度不足，误报漏报问题频发。因此，构建覆盖多维度运行状态的监测体系，实现健康状态的精准评估与运维流程的自动化执行，成为电力拖动系统运维领域亟需解决的问题。本文基于多状态观测理念，整合多源状态信息，探索电力拖动系

统健康监测与自动化运维的实现路径，为提升系统运行可靠性提供技术支撑。

二、电力拖动系统多状态观测体系构建

电力拖动系统故障可分为电气类故障与机械类故障两大类，不同故障会引发不同运行参数的变化，单一参数观测难以全面反映系统健康状态。因此，多状态观测体系需要覆盖电气参数、机械参数、环境参数三类核心观测维度，实现系统运行状态的全特征捕捉。

在电气参数观测层面，选取定子三相电流、输出功率、绕组温度三个核心参数。定子电流畸变是定子绕组短路、转子断条等电气故障的典型特征，通过实时采集三相电流的瞬时值，可以提取电流谐波分量判断故障类型与故障程度；输出功率波动能够反映系统负载变化与传动机构故障，当传动齿轮磨损或皮带打滑时，输出功率会出现无规律波动；绕组温度则直接反映绕组绝缘老化状态，长期过热运行会加速绝缘老化，引发短路故障，因此需要将绕组温度作为核心健康指标纳入观测体系。

在机械参数观测层面，重点监测轴承振动、转轴位移两个参数。滚动轴承是电力拖动系统中磨损最快、故障率最高的部件，约占电力拖动系统整体故障的 40%以上，振动信号能够直接反映轴承的磨损、点蚀、疲劳剥落等故障，通过加速度传感器采集不同方向的振动信号，可以提取时域、频域特征实现轴承健康状态评估；转轴位移监测则能够及时发现转轴不对中、不平衡等故障，避免转轴长期偏心运行引发的进一步损坏。

在环境参数观测层面，主要采集环境温度、湿度两个参数。环境温度湿度会影响电气绝缘性能与部件磨损速率，高温高湿环境会加速绝缘老化与金属锈蚀，因此将环境参数纳入观测体系，可以为健康状态评估提供修正依据，提升评估结果准确性。

三、基于多源数据融合的健康状态评估

多状态观测体系获得多源数据后，需要通过数据融合算法实现健康状态的综合评估。本文采用层次分析法确定各状态参数的权重，结合模糊综合评价法实现健康等级划分。首先根据故障对系统运行的影响程度，将电力拖动系统健康状态划分为四个等级：健康良好、轻度异常、中度异常、严重故障，不同等级对应不同的运维策略。

具体评估流程分为三步：第一步对采集的多源数据进行标准化处理，消除不同参数量纲差异，将所有参数映射到[0,1]区间，其中数值越接近 0 表示状态越差，越接近 1 表示状态越好；第二步根据领域专家经验确定各参数的权重，其中振动信号权重为 0.32，定子电流权重为 0.25，绕组温度权重为 0.18，输出功率权重为 0.12，环境参数权重为 0.13；第三步通过模糊综合评价计算健康状态得分，根据得分区间确定系统当前健康等级。

为验证评估方法有效性，选取某钢厂 110kW 拖动异步电动机作为实验对象，人为设置轴承轻度磨损、定子绕组匝间短路两种典型故障，分别采用单参数监测方法与本文多状态融合方法进行识别。实验结果显示，单参数监测方法对两种故障的识别准确率分别为 76.3%与 72.8%，而本文方法的识别准确率分别达到 93.7%与 94.8%，整体平均准确率达到 94.2%，显著优于单参数监测方法，证明多状态数据融合能够有效提升健康状态评估的准确性。

四、自动化运维决策与实现路径

在获得健康状态评估结果后，自动化运维系统根据健康等级自动生成运维决策，并通过工业互联网下发至运维终端，实现运维流程的自动化调度，具体决策规则如下：当系统处于健康良好等级时，保持原有监测频率，继续常规运行，无需采取运维措施；当系统处于轻度异常等级时，提高监测频率，增加数据采集次数，生成预警信息推送至运维管理人员，安排计划性检修；当系统处于中度异常等级时，自动调整运行负载，降低系统输出功率，避免故障进一步扩大，同时生成检修工单推送至运维调度系统，安排近期停机检修；当系统处于严重故障等级时，自动触发紧急停机保护，生成故障报警信息与故障初步诊断结果，通知运维人员立即开展故障处理。

自动化运维系统还建立了健康状态趋势预测模型，基于历史观测数据采用长短期记忆网络预测未来一周内系统健康状态变化趋势，提前预判潜在故障，实现从状态监测到预测性运维的升级。该模型能够根据历史数据学习参数变化规律，提前 3-7 天识别出潜在故障风险，为运维计划安排预留充足时间，避免突发故障引发的非计划停机。

五、结论与应用价值

本文针对传统电力拖动系统监测方法存在的缺陷，提出基于多状态

观测的健康监测与自动化运维方案，通过构建覆盖电气、机械、环境多维度的观测体系，融合多源数据实现健康状态精准评估，结合自动化决策规则实现运维流程自动化调度。现场应用结果表明，该方案可有效降低电力拖动系统误报漏报率，将非计划停机时间降低 18.7%，运维成本降低 12.3%，显著提升了电力拖动系统运行的稳定性与可靠性。该方案不需要对现有电力拖动系统进行大规模改造，仅需加装传感器与边缘计算节点即可部署，具备较强的适用性与推广价值，可为工业领域动力系统的智能化运维提供参考。

参考文献

- [1] 张李军, 王键. 电力拖动系统故障诊断与状态维修技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
- [2] 刘辉, 李刚, 张磊. 基于多传感器信息融合的异步电机故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(12): 3624-3632.
- [3] 王明杰, 赵坤. 工业电机健康状态监测技术发展现状及趋势[J]. 电力自动化设备, 2021, 41(5): 23-31.