

电力系统故障预测与健康管理技术研究

米思奇

宁夏送变电工程有限公司 宁夏银川 750001

摘要: 电力系统故障预测与健康管理 (PHM) 技术研究聚焦于提升系统可靠性和运维效率。PHM 技术基于设备状态监测, 其发展背景源于对电力系统稳定运行和高效维护的迫切需求。关键组成部分包括特征选择、状态评估及故障预测, 它们共同构成了 PHM 技术的核心框架。在电力系统应用中, PHM 技术通过数据采集与传输、故障诊断与预测、健康评估与预警以及自适应维护与决策支持, 实现了对设备状态的全面监控和智能化管理, 有效降低了故障风险, 优化了运维资源, 保障了电力系统的安全稳定运行。

关键词: 电力系统; 故障预测与健康管理; 技术研究

引言

电力系统的稳定运行是确保国家经济和社会稳定的重要保障。然而, 随着电网规模的扩大和复杂性的增加, 电力系统面临的故障风险也随之增加。传统的运维方式依赖于人工巡检和事后维修, 无法及时发现和预防潜在的故障。因此, 引入故障预测与健康管理技术, 实现对电力系统的实时监测和故障预测, 具有重要的现实意义和应用价值。

1. PHM 技术的发展背景

PHM (故障预测与健康管理) 技术的发展, 其根源深植于现代武器装备日益增长的复杂性、综合化以及智能化趋势之中。随着科技的飞速发展, 武器装备的功能愈发多样, 结构愈发复杂, 这对它们的作战效能以及维护保障提出了更为严苛的要求。特别是在信息化战争背景下, 武器装备需要具备更高的作战效率, 以及更为快捷、精确、持续的保障能力, 以确保在复杂多变的战场环境中立于不败之地。在这样的背景下, 20 世纪 90 年代中期, PHM 技术应运而生, 并迅速获得了美英等军事强国的密切关注与高度重视。这一技术充分利用传感器采集的各类信息, 结合专家知识库中的丰富经验与专业知识, 以及维修保障过程中的大量数据, 通过运用先进的智能算法与精密的推理模型, 对武器装备的运行状态进行全面、深入的监测与分析。它不仅能够实现低虚警率的故障检测与精准隔离, 还能够对设备的未来状态进行预测, 从而制定出更为科学合理的智能任务规划, 以及更为精准有效的基于设备状态的智能维护策略。随着传感器技术、芯片技术、计算机软件技术、大数据分析及人工智能等领域

的持续进步与不断成熟, PHM 技术的应用范围也日益广泛。从最初的航天军工领域, 到如今的石油化工、风电、交通等多个关键行业, PHM 技术都展现出了其强大的生命力与广泛的应用前景。它已经成为现代武器装备实现自主式后勤管理、降低全寿命周期费用的重要手段, 也是推动各行业设备维护保障向智能化、自主化方向发展的关键核心技术。

2. PHM 技术的关键组成部分

2.1 特征选择

特征选择作为 PHM 技术实施流程中的关键初始步骤, 扮演着至关重要的角色。其核心目标是从海量的、多维度的监测数据中, 精准地识别并提取出那些对于故障预测具有实质性贡献的特征信息。在电力系统这一应用场景中, 特征选择的过程尤为复杂且重要, 因为它涉及到对电气参数、温度波动、振动状态等多种类型数据的综合考量与分析。电气参数, 如电流、电压、功率因数等, 直接反映了电力系统的运行状态和负载情况, 是故障预测不可或缺的基础数据。同时, 温度信息作为设备健康状况的直观体现, 能够揭示出潜在的过热问题, 为预测设备故障提供重要线索。另外, 振动分析也是电力系统中常用的故障预测手段, 通过监测电机、变压器等关键设备的振动情况, 可以及时发现机械磨损、松动等异常情况。通过科学严谨的特征选择过程, 能够有效地降低数据维度, 减少冗余信息的干扰, 使得后续的故障预测模型更加简洁高效。更重要的是, 这一过程能够显著提升故障预测的准确性, 帮助维护人员快速定位潜在问题, 采取必要的预防措施, 从而保障电力系统的稳定运行。

2.2 状态评估

状态评估构成了 PHM 技术的核心精髓，它专注于深入剖析系统的运行状态，以确定系统当前是处于健康稳定的正常工作状态，还是隐藏着某些潜在故障风险。在电力系统中，这一环节的重要性尤为凸显，因为电力供应的稳定性和安全性直接关系到社会的正常运转与民众的日常生活^[1]。为了实现精准的状态评估，电力系统广泛采纳了先进的机器学习算法作为技术支撑。支持向量机（SVM）和神经网络等算法因其强大的数据处理能力和模式识别能力，成为了这一领域的佼佼者。这些算法通过对历史数据的深入挖掘与学习，能够捕捉到系统在不同状态下的细微差异，从而构建出精确的系统状态评估模型。一旦模型建立完成，它便能对电力系统的实时运行数据进行高效处理，准确判断系统当前的状态。这种实时监测与评估的能力，使得维护人员能够迅速响应系统状态的任何异常变化，及时采取必要的干预措施，有效避免潜在故障可能引发的严重后果。

2.3 故障预测

故障预测是 PHM 技术追求的最终目标与核心价值所在，它致力于通过对系统当前运行状态的深入分析与未来趋势的精准预测，达到对潜在故障的提前发现与有效预警，进而实现系统的健康管理。在电力系统中，这一技术的运用显得尤为重要，因为电力供应的中断或故障可能会对社会经济活动和民众生活造成重大影响。为了实现故障预测，电力系统广泛采用了多种预测模型和技术方法，其中时间序列分析、灰色预测模型以及机器学习算法是最为常用的几种。时间序列分析通过对系统历史运行数据的整理与分析，揭示数据随时间变化的规律，从而预测系统未来的运行状态。灰色预测模型则适用于信息不完全或不确定的情境，通过构建灰色微分方程来预测系统的发展态势。而机器学习算法，如支持向量机、神经网络等，则凭借其强大的数据处理能力和模式识别能力，能够从大量数据中提取出故障预测的关键特征，构建出高精度的预测模型。借助这些先进的预测模型和技术手段，电力系统能够实现对系统状态的实时监测与数据分析，准确预测系统未来的运行状态，及时发现并定位潜在故障。这不仅为系统的维护人员提供了宝贵的预警信息，使他们能够提前采取必要的干预措施，有效避免故障的发生或减轻故障的影响，同时也为电力系统的健康管理与持续优化提供了有力支持。

3. PHM 技术在电力系统中的应用

3.1 数据采集与传输技术

数据采集与传输技术在电力系统故障预测与健康管理体系中扮演着至关重要的角色，它是整个系统有效运作的前提和基础。这一技术依赖于一个由高精度、高可靠性的传感器构成的庞大网络，这些传感器如同电力系统的“神经末梢”，能够实时、精确地捕捉并记录下电力设备的各类关键运行参数，包括但不限于电流、电压、温度以及其它反映设备状态的物理量。这些参数的精确获取，为后续的故障诊断、预测及健康管理提供了宝贵的第一手资料。

在数据的传输环节，先进的通信技术如物联网（IoT）、5G 等被广泛应用。这些技术不仅具备高速率、低延迟的特点，还确保了数据传输的安全性和稳定性^[2]。通过这些技术，传感器所采集的数据能够高效、及时地传输至中央处理系统，为后续的数据处理、分析以及故障预测提供强有力的支持。在这一过程中，数据传输的实时性和准确性至关重要，它们直接决定了故障预测与健康管理系统能否及时、准确地响应设备状态的变化，进而影响到整个电力系统的稳定性和安全性。

3.2 故障诊断与预测技术

故障诊断与预测技术在电力系统故障预测与健康管理体系中占据着举足轻重的地位，它是确保系统稳定运行和高效维护的关键所在。这一技术充分利用了数据挖掘、机器学习以及深度学习等一系列先进算法，对从传感器网络中采集到的海量数据进行深入的分析和处理。这些数据涵盖了电力设备的运行参数、历史故障记录以及环境条件等多种信息，为故障的诊断与预测提供了丰富的数据支撑。

通过应用这些算法，技术人员能够准确地识别出设备的异常状态，包括微小的性能下降或潜在的故障隐患^[3]。更重要的是，这些技术还能够基于历史数据和当前状态，预测潜在故障的发生概率以及可能的时间点，从而实现了故障的早期预警。这种预警机制为运维人员提供了宝贵的时间窗口，使他们能够在故障发生之前采取必要的干预措施，如调整运行策略、进行预防性维护等，从而有效地降低了故障对电力系统运行的影响。故障诊断与预测技术的不断发展和完善，不仅显著提高了故障检测的准确率，还极大地提升了电力系统的可靠性和安全性。随着算法的不断优化和数据的不断积累，这一技术将在未来发挥更加重要的作用，为电力系统的

智能化运维和健康管理提供更加有力的支持。

3.3 健康评估与预警技术

健康评估与预警技术是电力系统故障预测与健康管理体系中不可或缺的一环，它扮演着对设备健康状况进行量化监控与及时预警的重要角色。这一技术的核心在于，它不仅是对故障诊断与预测结果的简单反馈，而是通过对设备健康状态的全面、深入评估，为运维人员提供直观、准确的设备健康状况报告。

为了实现这一目标，健康评估与预警技术首先构建了一套完善的设备健康指标体系。这一体系涵盖了设备的各类关键参数，如运行效率、磨损程度、温度波动等，通过实时监测和历史数据的综合分析，能够动态地反映出设备的退化程度和剩余寿命。这种动态评估不仅有助于运维人员及时了解设备的当前状态，还能够预测设备未来的发展趋势，为制定维护计划提供科学依据^[4]。当设备健康状态评估结果显示其性能低于预设的阈值时，健康评估与预警系统会立即触发预警机制。这一机制能够自动生成预警信息，并通过多种渠道（如短信、邮件、系统通知等）及时传达给运维人员。预警信息中包含了设备的具体位置、故障类型、潜在风险以及建议的维护措施等关键信息，使运维人员能够迅速定位问题、判断风险并采取有效的维护措施，从而避免或延缓故障的发生，确保电力系统的稳定运行。健康评估与预警技术的实施，不仅提高了运维工作的效率和质量，还显著降低了设备故障对电力系统运行的影响。随着技术的不断进步和数据的持续积累，这一技术将在未来发挥更加重要的作用，为电力系统的智能化运维和健康管理提供更加精准、高效的支持。

3.4 自适应维护与决策支持技术

自适应维护与决策支持技术在推动电力系统故障预测与健康管理向自动化、智能化方向发展上扮演着至关重要的角色。这一技术融合了先进的维护策略与智能决策技术，旨在根据电力设备的实时健康评估结果和当前的运维实际需求，自动生成一套最优化的维护计划。这套计划不仅包括了维护的具体时间安排，还详细规划了维护的内容，如需要检查的部件、可能进行的维修或更换操作，以及执行这些任务所需的各类资源，如人力、备件和工具等。

更为先进的是，自适应维护与决策支持技术还集成了

专家系统和智能决策算法，为运维人员提供了强有力的决策支持。专家系统能够模拟领域专家的思维过程，结合丰富的知识库和案例库，对复杂的运维问题进行深入分析，提出专业的维护建议。而智能决策算法则能够基于实时数据与历史信息，运用先进的数学模型与优化技术，快速计算出最优的维护策略，帮助运维人员快速做出准确的决策。这一技术的实施，不仅显著提升了运维工作的效率和准确性，还优化了资源的配置，避免了不必要的资源浪费^[5]。通过精确预测设备的维护需求，运维人员可以提前做好准备，合理安排工作计划，避免了因设备突发故障而导致的紧急停机或维修，从而确保了电力系统的高效、可靠运行。

4. 结语

随着电力系统规模的不断扩大和复杂性的增加，故障预测与健康管理（PHM）技术显得尤为重要。PHM技术的发展，不仅提升了电力系统的可靠性和安全性，还优化了运维策略，降低了维护成本。通过特征选择、状态评估和故障预测等关键组成部分，PHM技术实现了对电力设备状态的全面监控。在电力系统中的应用，如数据采集与传输、故障诊断与预测、健康评估与预警以及自适应维护与决策支持，进一步推动了电力系统的智能化和高效化。未来，PHM技术将持续创新，为电力系统的稳定运行保驾护航。

参考文献：

- [1] 徐国卿, 王翔, 竺伟, 向大为. 电力电子器件故障预测与健康管理技术的研究现状和趋势[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43 (05): 1912-1927.
- [2] 李成龙, 喻冰春, 李鑫, 李佳懿, 杨臻. 和谐型机车故障预测与健康管理系统总体设计[J]. 铁路计算机应用, 2023, 32 (02): 23-27.
- [3] 蒲米世行, 杨孟, 陈建忠. 高速公路机电设备故障预测与智慧管理动态研究[J]. 交通节能与环保, 2023, 19 (04): 90-94.
- [4] 贾书丽, 罗昊, 杨青. 无人船舶综合电力系统健康管理技术[J]. 中国造船, 2020, 61 (S1): 191-197.
- [5] 李刚, 于长海, 刘云鹏, 范辉, 文福拴, 宋雨. 电力变压器故障预测与健康管理: 挑战与展望[J]. 电力系统自动化, 2017, 41 (23): 156-167.