

# 高压电力电缆护层电流在线监测及故障诊断技术

杜银海 郭 鹏 咸永强

国网吴忠供电公司 宁夏 751101

**摘 要：**随着现代电网规模的不断扩大和复杂性的增加，高压电力电缆在电力系统中扮演着越来越重要的角色。文章首先阐述高压电力电缆在现代电网中的重要性，随后详细探讨在线监测系统的硬件设计、软件平台开发以及系统集成与测试等关键环节。在故障诊断技术方面，本文重点介绍基于大数据与人工智能的创新方法，多参数融合诊断技术，以及快速故障定位与恢复技术。本研究为电力系统的智能化运维提供新的思路和方法，对于推动电力行业的技术进步具有重要的理论和实践意义。

**关键词：**高压电力电缆；护层电流；在线监测；故障诊断

## 引言

随着社会经济的快速发展和城市化进程的加速，电力需求呈现出持续增长的趋势。作为电力系统中的重要组成部分，高压电力电缆因其安全性高、可靠性强、环境友好等优点，在现代电网中的应用日益广泛。本文旨在系统探讨高压电力电缆护层电流在线监测及故障诊断技术的最新进展。首先，文章将阐述高压电力电缆在现代电网中的重要性，其次文章将深入探讨高压电力电缆护层电流在线监测系统的构建方法。最后，文章将重点介绍故障诊断技术的创新点，包括基于大数据与人工智能的诊断方法、多参数融合诊断技术、快速故障定位与恢复技术，以及预防性维护策略的优化。

## 一、高压电力电缆在现代电网中的重要性

### （一）保障电网安全稳定运行

高压电力电缆作为电力系统中的关键设备，在保障电网安全稳定运行方面发挥着不可替代的作用。首先，高压电力电缆具有较高的绝缘性能和机械强度，能够有效减少外界环境对电力传输的影响，提高系统的抗干扰能力。其次，相比于架空线路，高压电力电缆不易受到恶劣天气的影响，如雷击、暴雨、强风等，从而大幅降低由于自然因素导致的停电风险。此外，高压电力电缆的布置通常采用地下敷设方式，不仅美化城市环境，也降低人为破坏和意外事故的发生概率。

### （二）降低运维成本

高压电力电缆的维护和运营成本在电网总体运维费用中占据相当大的比重。传统的电缆维护方式主要依靠定期检查和预防性更换，这种方法不仅耗时耗力，而且

往往会导致设备的过度维护或维护不足，造成资源的浪费或潜在风险的积累。通过实施护层电流在线监测及故障诊断技术，可以实现电缆状态的实时评估和精准维护，从而大幅降低运维成本。在线监测系统可以提供电缆运行的实时数据，包括温度、电流、局部放电等关键参数。通过对这些数据的分析，可以准确评估电缆的健康状态，制定科学合理的维护计划。这种基于状态的维护策略可以避免不必要的检修，延长设备的使用寿命，同时也能及时发现并处理潜在故障，防止小问题演变成大故障。

### （三）提升管理水平和技术创新

高压电力电缆在现代电网中不仅直接提升电网的运行效率和可靠性，还推动电力系统管理水平的整体提升和技术创新。首先，这种针对高压电缆的先进监测技术要求电力企业建立更加完善的数据管理和分析体系，促进信息化和智能化管理的发展，彰显高压电缆作为电网神经系统的重要性。其次，高压电缆在线监测和故障诊断技术的应用为电力系统的预测性维护和智能化运维提供坚实的技术支撑，进一步强调高压电缆在保障电网稳定运行中的关键作用。这不仅显著提高高压电缆故障处理的效率，还为以高压电缆为核心的电力系统智能化升级提供新的思路和方法。最后，高压电力电缆在线监测技术的发展也推动相关领域的技术创新，进一步凸显高压电缆在现代电网技术进步中的引领作用。

## 二、探索高压电力电缆护层电流在线监测系统的构建方法

### （一）系统硬件设计与部署

高压电力电缆护层电流在线监测系统的硬件设计是整个系统的基础，直接关系到数据采集的准确性和系统

的可靠性。硬件设计主要包括传感器选择、数据采集单元设计、通信模块选择和电源设计等方面。在传感器选择上,通常采用罗氏线圈或霍尔传感器,需综合考虑测量范围、精度、频带宽度等因素。数据采集单元设计时,采用高性能的模数转换器和数字信号处理器,同时考虑防护性能。

通信模块选择需考虑远距离、高可靠性的数据传输能力,如光纤通信或无线通信。电源设计通常采用市电供电并配备UPS系统,某些特殊场所可考虑可再生能源供电。系统集成与部署需要考虑现场环境,进行合理的布局设计,确保设备的安全性和可维护性。例如,在电缆接头处安装传感器时,需考虑高压环境下的安全隔离;在地下电缆隧道中部署设备时,需考虑防水、防潮、通风等问题。通过精心设计和合理部署硬件系统,可为高压电力电缆护层电流在线监测奠定坚实的基础,为后续的数据分析和故障诊断提供可靠的数据支撑。

## (二) 系统软件平台开发

高压电力电缆护层电流在线监测系统的软件平台是整个系统的大脑,负责数据处理、分析、存储和展示等核心功能。软件平台开发需要综合考虑系统的功能需求、性能要求、可扩展性和用户友好性等多个方面。系统架构设计采用分层架构,包括数据采集层、数据处理层、业务逻辑层和用户界面层,同时考虑微服务架构以提高可扩展性。数据处理算法是软件平台的核心,包括数据清洗、滤波、特征提取等基础算法,以及基于机器学习的高级分析算法。

数据库设计采用时序数据库存储原始监测数据,关系型数据库存储设备信息和配置参数。可视化界面开发采用Web技术,实现数据的动态展示、趋势分析、告警提示等功能。系统安全性设计包括网络安全、数据加密、访问控制和审计日志等多个层面。接口设计采用REST API或WebSocket API等技术,提供实时数据推送、历史数据查询、控制指令下发等功能<sup>[1]</sup>。通过精心设计和开发软件平台,可以充分发挥硬件系统采集的数据价值,为高压电力电缆的状态监测和故障诊断提供强大的支持。

## (三) 系统集成与测试

系统集成与测试是将硬件设备、软件平台和各个功能模块整合成一个完整、可靠的高压电力电缆护层电流在线监测系统的关键步骤。系统集成包括硬件集成、软硬件对接、功能模块整合和系统配置等环节<sup>[2]</sup>。硬件集成需要注意各设备间的接口兼容性和电气特性匹配。软硬件对接需开发驱动程序,实现软件平台与硬件设备的

通信和控制。功能模块整合确保各模块能协同工作,实现预期的系统功能。系统配置根据实际应用场景进行参数设置和优化。

系统测试包括功能测试、性能测试、可靠性测试、安全性测试、兼容性测试和实地测试等多个方面。功能测试验证各项功能是否符合设计要求,性能测试评估系统在高负载下的处理能力,可靠性测试验证系统的稳定性和容错能力,安全性测试评估系统的安全防护措施,兼容性测试验证与其他系统的接口兼容性,实地测试在真实环境中验证系统性能。根据测试结果,对系统进行优化和调试,包括调整硬件参数、优化软件算法、完善系统功能等。最后,编写完整的系统文档,包括技术方案说明书、操作手册、维护手册和测试报告等。通过严格的系统集成与测试过程,可以确保高压电力电缆护层电流在线监测系统的可靠性和有效性,为电力系统的安全稳定运行提供强有力的技术支持。

## 三、故障诊断技术的创新点

### (一) 基于大数据与人工智能

随着高压电力电缆护层电流在线监测系统的广泛应用,海量的监测数据为基于大数据和人工智能的故障诊断技术提供坚实的基础。这种创新的诊断方法能够从复杂的数据中挖掘出有价值的信息,实现更加准确、及时的故障预警和诊断。大数据分析技术方面,利用分布式计算框架对原始数据进行预处理,应用数据挖掘技术发现隐藏的模式和规律,采用时间序列分析方法进行趋势预测<sup>[3]</sup>。机器学习算法方面,利用监督学习实现故障类型的自动识别,使用无监督学习发现异常运行状态,采用深度学习模型提取复杂的特征模式。

此外,构建高压电力电缆领域的知识图谱,结合推理引擎实现基于知识的智能诊断和决策支持。开发在线学习算法使诊断模型能够不断从新数据中学习,利用迁移学习技术提高模型的泛化能力。考虑到电力系统的高可靠性要求,采用解释性人工智能技术使诊断结果更加透明,便于专家理解和验证。通过结合大数据分析和人工智能技术,高压电力电缆护层电流故障诊断系统能够实现从“数据驱动”到“智能驱动”的转变,大幅提高诊断的准确性、实时性和可靠性。

### (二) 多参数融合诊断方法

多参数融合诊断方法通过综合分析多种监测参数,能够提供更加全面、准确的诊断结果。这种方法不仅考虑护层电流,还包括温度、局部放电、介质损耗等多个相关参数。数据融合技术方面,在低层、特征层和决策

层进行融合,如利用卡尔曼滤波器对多个传感器的数据进行融合,使用主成分分析或独立成分分析进行特征提取和降维,采用D-S证据理论对不同诊断模型的结果进行融合。多源信息协同分析方面,考虑电缆沿线不同位置的参数变化,建立参数的时空分布模型,研究不同参数之间的相互影响和制约关系。

结合专家知识,构建高压电力电缆故障树和贝叶斯网络模型,通过概率推理实现多参数条件下的故障诊断和风险评估。采用小波变换等多尺度分析方法,对不同参数在不同时间尺度和频率域的特征进行分析,捕捉瞬态和长期变化特征<sup>[4]</sup>。开发自适应权重调整算法,根据电缆运行环境和状态的变化,动态调整不同参数在诊断过程中的权重。通过多参数融合诊断方法,可以充分利用各种监测数据的互补性,克服单一参数诊断的局限性,实现对高压电力电缆运行状态的全面评估和准确诊断。

### (三) 故障定位与快速恢复技术

高压电力电缆一旦发生故障,快速准确的故障定位和及时有效的恢复措施对于最小化供电中断时间和减少经济损失至关重要。高精度故障定位技术方面,利用行波法、时域反射法和分布式光纤传感技术等方法实现精确定位。智能故障特征提取方面,利用小波分析、经验模态分解和深度学习方法识别不同类型故障的特征模式<sup>[5]</sup>。综合定位策略结合多种定位方法的优势,如利用行波法进行粗略定位,再结合时域反射法进行精确定位,最后通过分布式光纤温度监测进行验证和修正。

快速隔离与恢复技术方面,在电缆关键节点部署智能开关设备,开发分布式自愈控制算法,预先制定多套应急供电方案。利用虚拟现实技术为维修人员提供直观的故障位置和维修指导信息,开发专用的电缆检修机器人进行精确定位和初步处理。基于历史故障数据和实时监测数据,建立故障预测模型,实现由“事后维修”向“预测性维护”的转变。通过这些创新的故障定位与快速恢复技术,可以显著提高高压电力电缆系统的可靠性和韧性,减轻故障对电网运行的影响。

### (四) 预防性维护策略优化

创新的故障诊断技术是高压电力电缆系统可靠运行的基石。通过整合多种先进方法,可以显著提升诊断的精准度,同时优化维护策略<sup>[6]</sup>。在基于状态的维护(CBM)方面,创新点在于构建精确的电缆健康状态评估模型,结合大数据分析进行退化趋势预测,实现对潜在故障的早期识别。可靠性中心维护(RCM)的创新在于深入分析失效模式,精确定位关键部件和薄弱环节,从而制定针对性的诊断方案。风险基础检测(RBI)技术的

创新体现在建立动态风险评估模型,根据实时风险水平调整诊断策略,提高诊断的针对性。

人工智能在故障诊断中的创新应用包括构建智能专家系统和应用强化学习算法,不断优化诊断策略,提高诊断的准确性和效率<sup>[7]</sup>。数字孪生技术的创新应用则是构建高压电力电缆系统的虚拟模型,通过虚拟仿真验证不同诊断方法的有效性,为实际应用提供决策支持。通过这些创新的故障诊断技术,能够实现高压电力电缆系统的精准诊断和智能管理。这不仅大幅提升系统的可靠性,还有效控制了维护成本,推动电力资产管理向更高效、更智能的方向发展。这些创新点的综合应用,标志着高压电力电缆故障诊断技术迈入一个新的发展阶段。

### 结束语

通过分析可以看出,高压电力电缆护层电流在线监测及故障诊断技术正朝着智能化、精准化和综合化的方向发展。基于大数据和人工智能的诊断方法,多参数融合的分析技术,以及快速定位与恢复技术的创新,大大提高故障诊断的准确性和效率。同时,预防性维护策略的优化,为电力系统的科学管理和经济运行提供新的思路。未来,随着5G通信、边缘计算、人工智能等新兴技术的发展,高压电力电缆护层电流在线监测及故障诊断技术将迎来新的发展机遇。

### 参考文献

- [1] 孟飞, 贾润泽, 刘鲁嘉, 等. 高压电缆交叉互联接地电流异常分析[J]. 电线电缆, 2024, 67(03): 71-75.
- [2] 晏泽剑, 张育梁, 夏向阳. 基于决策树的新型高压电缆在线监测策略[J]. 电工技术, 2023(17): 90-94.
- [3] 周欣, 夏向阳, 夏君山, 等. 基于护层电流构建新型判据的高压输电电缆在线监测[J]. 中国电力, 2021, 54(09): 45-54+118.
- [4] 兰雪珂. 高压电缆金属护层及载流回路缺陷状态识别研究[D]. 重庆大学, 2022.
- [5] 姚天翼, 翟超超, 王悦, 等. 110 kV 高压电缆金属护层接地电流过大分析[J]. 电力安全技术, 2020, 22(11): 53-58.
- [6] 邵新炜, 姜玉林, 于航. 高压电缆金属护层多点接地原因分析及预防措施[J]. 东北电力技术, 2020, 41(11): 56-58.
- [7] 陈勇, 王永君, 郝乾, 等. 一种高压电缆及通道综合在线监测系统研究[J]. 通信电源技术, 2020, 37(11): 48-49+53.