

高压断路器故障诊断研究

王迎春

西门子能源高压开关(杭州)有限公司 浙江 杭州 310000

摘要: 高压断路器故障诊断对电网安全至关重要。其故障分机械与电气两类,各有不同特征。诊断方法包括机械、电气特性诊断及多源信息融合诊断,可精准识别故障。关键技术涵盖在线监测、信号处理及智能诊断算法。诊断系统采用分层分布式架构,基于专家知识与历史数据建立诊断规则,通过诊断准确率等指标评估性能,确保系统稳定可靠,为高压断路器安全运行提供有力保障。

关键词: 高压断路器;故障诊断;机械特性;在线监测;智能诊断

引言: 高压断路器作为电力系统的关键设备,其运行稳定性关乎电网安全。然而,在实际运行中,高压断路器易出现机械故障与电气故障,影响电力系统正常运作。为保障设备安全运行,精准识别故障特征、开展有效故障诊断至关重要。本文聚焦高压断路器,深入研究其故障类型与特征、诊断方法、关键技术,以及诊断系统的设计与实现,旨在构建高效、可靠的故障诊断体系,提升诊断的准确性与及时性。

1 高压断路器故障类型及特征

高压断路器是电力系统中极为关键的设备,承担着控制和保护电路的重要任务,其运行稳定性直接关系到电网的安全与可靠。高压断路器的故障主要可归为机械故障与电气故障两大类型,精准识别这些故障的特征,是开展有效故障诊断、保障设备安全运行的重要前提。(1)机械故障方面,操动机构卡涩是较为常见的问题。操动机构作为驱动断路器分合闸动作的核心部件,一旦出现卡涩,会使得断路器在执行分合闸操作时动作迟缓、不流畅,直接导致分合闸时间偏离正常范围,影响电力系统正常的操作顺序和故障隔离效率。弹簧疲劳也不容忽视,弹簧为操动机构提供动力,长期使用后,弹簧的弹性会逐渐降低,进而改变断路器的速度特性,使其分合闸速度过快或过慢,这不仅会影响灭弧效果,还可能缩短设备的使用寿命。缓冲器失效同样会产生严重后果,缓冲器的作用是在断路器分合闸末期减缓运动部件的速度,若其失效,运动部件会产生较大的冲击力,对设备造成机械损伤,影响分合闸的稳定性。(2)电气故障方面,触头电磨损会导致触头表面粗糙度增加、接触面积减小,使得接触电阻增大,在电流通过时产生更多的热量,加速触头的进一步磨损。绝缘劣化会使断路器的绝缘性能下降,出现局部放电现象,若不及时处理,可能引发绝缘击穿,导致短路故障。线圈断路则会使操动机

构失去动力来源,断路器无法正常分合闸,严重影响电力系统的正常运行。因此,运维人员需密切关注高压断路器的运行状态,准确识别各类故障特征,以便及时采取有效的维修和处理措施。

2 高压断路器故障诊断方法研究

2.1 机械特性诊断方法

在高压断路器故障诊断领域,机械特性诊断方法发挥着关键作用。该方法主要通过精准监测一系列机械参数来开展工作,具体涵盖分合闸时间、速度特性以及行程曲线等。这些参数犹如断路器机械状态的“晴雨表”,能够直观反映其运行状况。(1)建立标准特征数据库是机械特性诊断的重要基础。将正常运行状态下高压断路器的各项机械参数进行详细记录和整理,形成具有代表性的标准数据集合。在实际监测过程中,利用偏差分析法,将实时监测到的机械参数与标准特征数据库中的数据进行细致比对,一旦发现参数偏差超出正常范围,即可初步判定存在机械故障。(2)研究基于振动信号分析的诊断技术为机械故障诊断提供了新的有力手段。操动机构在运行过程中会产生振动信号,这些信号蕴含着丰富的设备状态信息。通过先进的信号处理技术,提取振动信号的时频特征,如频率、幅值等。对这些特征进行深入分析,能够准确判断操动机构的运行状态,及时发现潜在的机械故障,为高压断路器的稳定运行提供可靠保障^[1]。

2.2 电气特性诊断方法

在高压断路器的故障诊断中,电气特性诊断方法具有重要地位,能够精准识别电气方面的潜在故障,保障设备稳定运行。(1)线圈电流波形分析法是一种有效的电磁机构故障诊断手段。操作线圈在通电过程中会产生特定的电流波形,其特征点的变化能够直观反映电磁机构的工作状态。例如,电流起始时刻、峰值大小以及达

到峰值的时间等特征点,若出现异常波动,如起始时刻延迟、峰值偏离正常范围等,就可能意味着电磁机构存在卡涩、线圈匝间短路等故障。通过专业的波形分析软件,对这些特征点进行精确捕捉和分析,能够快速定位故障类型和位置。(2)接触电阻测试法主要用于监测触头的磨损状态。触头在长期使用过程中,会因电弧烧蚀、机械磨损等原因导致接触电阻增大。定期对触头进行接触电阻测试,将测试结果与正常值对比,若接触电阻明显增大,则表明触头存在磨损或接触不良等问题,需要及时维护或更换。(3)绝缘电阻和介质损耗因数测试是评估绝缘状况的关键方法。绝缘电阻能够反映绝缘材料的整体绝缘性能,而介质损耗因数则可以检测绝缘材料内部的局部缺陷。通过这两项测试,可及时发现绝缘劣化、受潮等问题,为绝缘系统的安全运行提供有力保障。

2.3 多源信息融合诊断方法

在高压断路器故障诊断领域,单一信息源往往存在局限性,难以全面、精准地反映设备故障状况。因此,研究将机械特性、电气参数、温度等多源信息进行数据融合的诊断策略具有重要意义。(1)机械特性信息,如分合闸时间、速度特性、行程曲线等,能够直观呈现断路器机械部分的运行状态,可有效判断操动机构是否存在卡涩、弹簧疲劳等机械故障。电气参数信息,包括线圈电流波形、接触电阻、绝缘电阻等,能精准反映电气系统的性能,可诊断出触头电磨损、绝缘劣化等电气故障。而温度信息则能体现设备整体的发热情况,异常的温度变化可能是内部存在短路、过载等故障的征兆。(2)为充分利用这些多源信息,可采用证据理论、模糊推理等先进方法进行数据融合。证据理论能够处理不确定信息,将不同信息源的证据进行合理组合,提高诊断的确定性。模糊推理则可以处理模糊和不确定的知识,通过对多源信息的模糊化处理和推理,得出更准确的故障诊断结果。通过这种多源信息融合诊断方法,能够克服单一信息源的不足,显著提高高压断路器故障诊断的准确性和可靠性,为设备的稳定运行提供有力保障。

3 故障诊断关键技术研究

3.1 在线监测技术

在高压断路器故障诊断中,在线监测技术是获取设备运行状态信息、实现实时故障预警的关键手段。研究基于传感器网络的在线监测系统,旨在构建一个全面、精准且高效的监测体系,能够实时采集断路器运行状态数据,为后续的故障诊断提供可靠依据。(1)传感器网络作为在线监测系统的“感知触角”,其合理配置与高效

运行至关重要。位移传感器可精准测量断路器操动机构的行程、位置等参数,反映其机械动作的准确性和稳定性;加速度传感器能捕捉操动机构在分合闸过程中的振动和冲击信息,有助于判断机构是否存在卡涩、松动等故障;电流互感器则用于实时监测操作线圈的电流变化,通过分析电流波形特征,可诊断电磁机构的工作状态。(2)为确保数据采集的准确性和完整性,需重点研究这些设备的优化配置方法。根据断路器的结构特点和运行要求,合理确定传感器的安装位置和数量。同时,优化数据采集方法,采用高速、高精度的数据采集卡,结合先进的信号处理算法,提高数据的质量和可靠性,为后续故障分析和诊断奠定坚实基础。

3.2 信号处理技术

在高压断路器故障诊断领域,信号处理技术是精准识别故障特征、实现有效诊断的核心环节。由于高压断路器运行过程中产生的振动信号和电流信号蕴含着丰富的故障信息,但这些信息往往被噪声干扰且具有非平稳特性,因此研究其特征提取方法至关重要。(1)小波变换作为一种强大的时频分析技术,具有多分辨率分析的特点。它能够在不同尺度上对信号进行分解,将信号中的高频和低频成分分离出来。对于振动信号和电流信号,小波变换可以精准定位信号中的突变点和奇异点,这些点通常与断路器的故障事件相关联,如操动机构的机械卡涩、触头的电弧烧蚀等。通过分析小波系数的大小和分布,能够有效提取故障特征信息。(2)经验模态分解也是一种实用的时频分析方法,它可以将复杂的非线性、非平稳信号自适应地分解为若干个本征模态函数。这些本征模态函数反映了信号在不同时间尺度上的特征,能够突出信号中的局部变化。利用经验模态分解对振动信号和电流信号进行处理,可以提取出与故障相关的特征模态,为故障诊断提供有力依据。通过综合运用这些时频分析技术,可显著提高故障特征信息的提取效果,提升故障诊断的准确性^[2]。

3.3 智能诊断算法

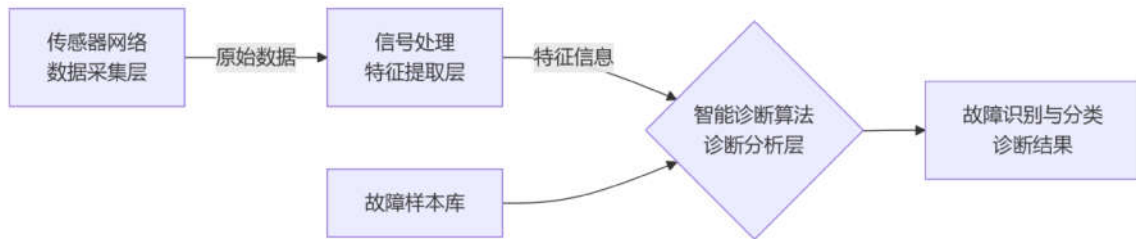
在高压断路器故障诊断中,智能诊断算法凭借其强大的数据处理和模式识别能力,成为提升诊断效率和准确性的关键手段。研究基于机器学习、深度学习的智能诊断算法,旨在构建高效、精准的故障诊断体系。(1)机器学习算法,如支持向量机、决策树等,通过对大量历史故障数据的学习和分析,能够挖掘出数据中隐藏的故障特征与故障类型之间的映射关系。建立故障样本库是运用机器学习算法的基础,该样本库需涵盖高压断路器在不同运行工况、故障模式下的各类数据,包括机械

特性参数、电气参数等，以确保样本的全面性和代表性。利用这些样本对诊断模型进行训练，使模型具备自动识别和分类故障的能力。(2) 深度学习算法，如卷积神经网络、循环神经网络等，在处理复杂、高维的故障数据方面具有独特优势。它们能够自动提取数据中的深层特征，无需人工进行复杂的特征工程。同样基于故障样本

库对深度学习模型进行训练，经过大量数据的迭代优化，模型可以准确识别出高压断路器的各种故障类型，实现故障的自动分类，为运维人员提供及时、准确的故障信息，保障电力系统的稳定运行。

4 故障诊断系统设计与实现研究

4.1 高压断路器故障诊断系统分层分布式诊断系统架构



核心流程解读：

数据采集层：传感器网络负责采集高压断路器的机械与电气参数等原始数据。

特征提取层：通过信号处理（小波变换等）技术，从原始数据中提取出关键的特征信息。

诊断分析层：智能诊断算法结合故障样本库，对特征信息进行分析，最终完成故障的自动识别与分类，输出诊断结果。

4.2 诊断规则建立

在高压断路器故障诊断系统设计中，科学合理的诊断规则是准确识别故障的核心依据。基于专家知识和历史数据来研究诊断规则的建立方法至关重要。专家知识汇聚了行业领域内资深技术人员的实践经验和理论智慧，能为诊断规则提供方向性和原则性的指导。历史数据则包含了高压断路器在不同运行工况、故障模式下的详细信息，是挖掘故障特征和规律的重要素材。通过对专家知识和历史数据的深入分析，制定故障判定阈值。这些阈值明确了正常状态与故障状态的边界，是判断设备是否出现故障的关键指标。规划清晰合理的诊断流程，按照从简单到复杂、从宏观到微观的顺序，逐步对故障进行排查和确认。最终，将故障判定阈值和诊断流程有机整合，形成一套完整、系统的诊断体系，为故障诊断提供可靠保障^[3]。

4.3 性能评估研究

在高压断路器故障诊断系统投入实际应用前，对其进行全面、科学的性能评估不可或缺。建立一套完善的诊断系统性能评估指标是评估工作的基础，其中诊断准

确率、误报率、响应时间等关键参数尤为重要。诊断准确率反映了系统正确识别故障的能力，是衡量系统性能的核心指标；误报率则体现了系统将正常状态误判为故障状态的概率，误报率过高会降低系统可信度；响应时间决定了系统从接收数据到给出诊断结果的快慢，直接影响故障处理的及时性。研究这些关键参数的测试方法，通过大量模拟实验和实际案例验证，收集相关数据并进行分析计算，以此验证诊断系统在各种工况下的有效性，确保其能够稳定、可靠地运行，为高压断路器的安全运行提供有力保障。

结束语

高压断路器作为电力系统的关键设备，其故障诊断至关重要。本文围绕故障类型与特征、诊断方法、关键技术及诊断系统设计与实现展开研究。通过机械、电气特性诊断及多源信息融合方法，结合在线监测、信号处理与智能诊断算法等关键技术，构建分层分布式诊断系统架构，建立科学诊断规则并进行性能评估。这一系列研究为高压断路器故障诊断提供了全面、系统的解决方案，有助于保障电力系统安全稳定运行。

参考文献

- [1]刘文,程江洲.基于小波变换的高压断路器机械故障监测装置的研究[J].东北电力技术,2021,42(03):56-59.
- [2]杨秋玉,阮江军,庄志坚,翟鹏飞.高压断路器机械振动信号的参数自适应降噪方法[J].高电压技
- [3]万书亭,郭胡森,豆龙江,等.基于电振联合特征的高压断路器多故障诊断[J].电子测量技术,2024,47(20):140-149.