

新型电力系统下电弧故障诊断技术及发展

汪琦

国网横峰县供电公司分公司 江西 上饶 334300

摘要：新型电力系统下，电弧故障诊断技术迎来快速发展，这对于保障电力供应安全、减少因电弧故障导致的停电事故至关重要。本文探讨电弧故障诊断技术的最新进展，包括多信息融合技术、基于图像处理和计算机视觉的诊断方法，以及新型传感器与检测技术的研发。这些技术为电弧故障的精准识别、快速响应和高效处理提供有力支持，推动电力系统的安全稳定运行。

关键词：新型电力系统；电弧故障；诊断技术；发展趋势

引言：随着新型电力系统的不断发展和电力需求的日益增长，电弧故障已成为影响电力系统安全稳定运行的重要因素。本文旨在探讨新型电力系统下电弧故障诊断技术的最新进展，以为电力系统的安全稳定运行提供技术参考和支撑。

1 新型电力系统概述

1.1 新型电力系统的构成要素

新型电力系统是以承载实现碳达峰碳中和、贯彻新发展理念、构建新发展格局、推动高质量发展的内在要求为前提的电力系统。新型电力系统的电源结构发生了显著变化，由传统的煤电装机占主导，转变为以强不确定性、弱可控性出力的新能源发电装机占主导。这些新能源包括风电、光伏等可再生能源，以及新兴的低碳电力技术，如海上风电、太阳能光热发电等。新型电力系统的电网形态也发生了变化，包括交直流混联大电网、微电网、局部直流电网和可调节负荷的能源互联网。这些电网形态使得电力传输更加灵活、高效，能够更好地适应新能源发电的波动性。负荷特性由传统的刚性、纯消费性向柔性、生产与消费兼具型改变。新型电力系统中的负荷不仅包括传统的工业、商业和居民用电，还包括电动汽车、智能电器、数据中心等新型负荷，这些负荷具有更高的灵活性和互动性。储能是新型电力系统的重要组成部分，通过部署多元多尺度的储能系统，可以提升电力系统的灵活性和稳定性。储能可以在电源侧、电网侧和用户侧发挥不同的作用，如提升新能源电站的并网主动支撑能力、提供调频调峰服务、降低用户用能成本等。

1.2 新型电力系统运行特性

新型电力系统的运行特性主要体现在几个方面；第一、清洁低碳：新型电力系统强调绿色低碳发展，通过提高新能源发电占比，形成清洁主导、电为中心的能

源供应和消费体系。生产侧实现多元化、清洁化、低碳化，消费侧实现高效化、减量化、电气化^[1]。第二、安全可靠：新能源具备主动支撑能力，分布式、微电网可观可测可控在控。大电网规模合理、结构坚强，构建安全防御体系，增强系统韧性、弹性和自愈能力。第三、灵活高效：发电侧、负荷侧调节能力强，电网侧资源配置能力强。通过源网荷储协同互动和多能互补，实现各类能源互通互济、灵活转换，提升整体效率。第四、智能友好：新型电力系统高度数字化、智慧化、网络化，实现对海量分散发供用对象的智能协调控制，实现源网荷储各要素友好协同。第五、开放互动：新型电力系统适应各类新技术、新设备以及多元负荷大规模接入，与电力市场紧密融合。各类市场主体广泛参与、充分竞争、主动响应、双向互动。

2 电弧故障的基本特征

2.1 高温

电弧故障的最显著特征之一是产生极高的温度。电弧是一种高温电离气体，当电流通过电弧时，由于电子与离子的碰撞和复合，释放出大量的热能。这种高温环境是电弧故障极具破坏性的根源。在电弧产生时，其中心温度可高达3000℃至4000℃，甚至更高。这种高温不仅会使电弧周围的空气或介质迅速膨胀，形成过热气体，还可能引发金属熔化物喷溅。高温还可能导致电弧周围的绝缘材料迅速老化、分解，丧失绝缘性能，从而进一步加剧电弧故障的破坏性，高温还可能引燃电弧周围的易燃易爆物品，造成火灾甚至爆炸事故。在光伏系统中，串联直流电弧故障是引发电气火灾的主要原因之一。由于直流电弧不存在自然过零点，一旦产生难以自行熄灭，电弧的高温将长时间作用于光伏组件和连接线路，极易引发火灾。据统计，光伏系统超过40%的电气火灾事故与直流电弧故障相关。

2.2 高能量放散

电弧故障的另一个重要特征是释放大量的能量。电弧的能量是电流和电弧电压的乘积，由于电弧电压通常较高，而电弧电流也可能非常大，因此电弧释放的能量往往非常可观。在电力系统中，电弧故障可能导致短路电流激增，短时间内释放出巨大的能量。这些能量不仅会使电弧周围的设备和线路受到严重破坏，还可能通过电弧放电产生的电磁力、电弧冲击波等物理效应，对周围的设备和人员构成威胁。电弧故障还可能引发气体爆炸，当电弧产生的高温使周围气体迅速膨胀时，如果气体无法及时释放，就会在封闭的电气设备内部形成高压环境。当压力达到一定程度时，就会发生气体爆炸，对设备和人员造成严重伤害。在光伏系统中，直流电弧故障释放的能量同样巨大。由于直流电弧难以自行熄灭，电弧能量将持续积累，直至引发火灾或爆炸事故，对于光伏系统的直流电弧故障，必须采取及时有效的检测措施，以避免事故的发生。

2.3 电磁辐射

电弧故障还会产生强烈的电磁辐射。当电弧在电气设备内部产生时，由于电流的快速变化和电弧的高温效应，会在周围空间产生强烈的电磁场。这个电磁场会以电磁波的形式向外辐射，形成电磁辐射。电磁辐射的强度与电弧电流的大小、电弧电压的高低以及电弧持续的时间等因素有关^[2]。在电力系统中，电弧故障产生的电磁辐射可能对周围的电子设备、通信设备等造成干扰或损坏，电磁辐射还可能对人体健康产生不良影响。在光伏系统中，直流电弧故障产生的电磁辐射同样强烈，由于直流电弧的电流和电压波形较为稳定，因此其电磁辐射也具有明显的特征。通过检测这些电磁辐射信号，可以实现对光伏系统直流电弧故障的有效识别与定位。国内外许多学者已经开展了基于电磁辐射的电弧故障检测方法研究。例如，利用电弧电磁辐射信号进行故障检测和定位，通过测量电弧电磁辐射信号的频率、幅度等特征参数，可以实现对电弧故障的准确识别。这种方法具有抗干扰能力强、检测灵敏度高等优点，在光伏系统电弧故障检测中具有广阔的应用前景。

2.4 电压波动

电弧故障还会引起电压的剧烈波动。当电弧在电气设备内部产生时，由于电弧电阻的非线性特性和电流的快速变化，会导致电压波形发生畸变。这种畸变可能表现为电压的突然升高或降低，以及电压波形的不规则变化。电压波动对电力系统的稳定运行构成严重威胁。电压波动可能导致电力设备的过载或欠压运行，从而引

发设备故障或损坏；电压波动还可能影响电力系统的电能质量，对用户的用电设备造成不良影响。在光伏系统中，直流电弧故障引起的电压波动同样显著，由于直流电弧的电流和电压波形较为稳定，因此其引起的电压波动也具有明显的特征。通过监测光伏系统直流侧的电压波动情况，可以实现对直流电弧故障的有效预警和检测。数据方面，以电力系统中常见的电弧故障为例，当电弧时产生，其引起的电压波动幅度可能达到额定电压的几倍甚至几十倍。这种剧烈的电压波动不仅会对电力设备造成严重冲击，还可能引发电力系统的保护动作，导致停电事故的发生。

3 新型电力系统下电弧故障诊断技术

在新型电力系统中，电弧故障作为一类常见的电气故障，其准确、快速的诊断对于保障电力系统的安全稳定运行至关重要。随着技术的进步，电弧故障诊断技术也在不断更新和发展。

3.1 基于机器学习的检测算法

在新型电力系统中，基于机器学习的电弧故障检测算法已成为研究的热点。这类算法通过收集大量的电弧故障数据，利用机器学习算法对数据进行训练和学习，从而实现对电弧故障的准确识别。机器学习算法能够自动地从数据中提取特征，构建分类模型，实现对电弧故障的精准分类。例如，支持向量机（SVM）、随机森林（RF）、神经网络（NN）等算法已被广泛应用于电弧故障检测中。这些算法通过不断优化模型参数，提高模型的分类精度和泛化能力，实现对电弧故障的准确识别。深度学习算法，如卷积神经网络（CNN）和循环神经网络（RNN），也在电弧故障检测中展现出强大的性能^[3]。深度学习算法能够自动地学习数据中的深层次特征，提高模型的识别精度。通过构建多层神经网络结构，深度学习算法能够实现电弧故障数据的深度挖掘和分析，为电弧故障检测提供更加准确和可靠的手段。在实际应用中，基于机器学习的电弧故障检测算法已取得了显著的成效。

3.2 红外成像技术与光纤传感器检测技术

红外成像技术和光纤传感器检测技术是新型电力系统中电弧故障诊断的另一种重要手段。这两种技术分别利用红外热成像和光纤传感的原理，实现对电弧故障的检测和定位。红外成像技术通过捕捉电弧故障产生的高温辐射，将其转化为红外图像，从而实现对电弧故障的可视化检测。红外成像技术具有非接触、实时、直观等优点，能够实现对电弧故障的快速响应和精确定位。在电力系统中，红外成像技术已被广泛应用于电气设备的

故障检测中,包括变压器、开关柜等设备。光纤传感器检测技术则利用光纤传感器对电弧故障产生的物理量进行监测,光纤传感器具有灵敏度高、抗干扰能力强等优点,能够实现对电弧故障的精确检测。通过将光纤传感器安装在电力设备的关键部位,可以实时监测电弧故障的发生情况,为故障处理提供及时的信息支持。在新型电力系统中,红外成像技术和光纤传感器检测技术相结合,可以实现对电弧故障的全方位监测和诊断。这两种技术互补性强,能够覆盖不同类型的电弧故障,提高故障检测的准确性和可靠性。

3.3 信号分析、特征提取与模式识别方法

信号分析、特征提取与模式识别方法是新型电力系统中电弧故障诊断的核心技术之一。这些方法通过对电弧故障产生的信号进行分析和处理,提取出故障特征,并利用模式识别方法对故障进行分类和识别。信号分析技术主要包括时域分析、频域分析和时频域分析等方法,通过对电弧故障产生的电流、电压等信号进行采集和分析,可以提取出故障信号的时域特征和频域特征。这些特征能够反映电弧故障的发生情况和发展趋势,为故障诊断提供重要依据。特征提取技术则是从故障信号中提取出具有代表性的特征向量。这些特征向量能够反映电弧故障的本质特征,提高故障识别的准确性和可靠性。常见的特征提取方法包括主成分分析(PCA)、线性判别分析(LDA)等。模式识别方法则利用提取出的特征向量对电弧故障进行分类和识别。常见的模式识别方法包括支持向量机(SVM)、神经网络(NN)等。这些方法通过构建分类模型,实现对电弧故障的准确分类和识别。在新型电力系统中,信号分析、特征提取与模式识别方法已被广泛应用于电弧故障诊断中。通过结合其他技术,如机器学习算法、红外成像技术和光纤传感器检测技术,可以实现对电弧故障的全方位监测和诊断,提高电力系统的安全性和可靠性。

4 新型电力系统中电弧故障诊断技术的发展趋势

随着新型电力系统的快速发展,电弧故障诊断技术正朝着更加智能化、精准化和高效化的方向发展。其中,多信息融合技术、基于图像处理和计算机视觉的诊断方法,以及新型传感器与检测技术的研发,成为电弧故障诊断领域的重要发展趋势。在多信息融合技术方面,通过将电流、电压、温度、声音、图像等多种信息

源进行融合处理,可以实现对电弧故障的全方位、多角度监测。这种技术能够充分利用各种信息源的互补性,提高故障诊断的准确性和可靠性。例如,在电力系统中,可以结合电流、电压监测数据与红外热成像图像,对电弧故障进行精确定位和识别^[4]。基于图像处理和计算机视觉的诊断方法,则是利用先进的图像处理技术和计算机视觉算法,对电弧故障产生的图像信息进行自动分析和识别。这种方法能够实现对电弧故障的快速响应和准确判断,提高故障处理的效率。随着深度学习等人工智能技术的不断发展,基于图像处理和计算机视觉的电弧故障诊断方法将具有更加广泛的应用前景。新型传感器与检测技术的研发也是电弧故障诊断技术发展的重要方向。通过研发更加灵敏、准确、可靠的传感器,可以实现对电弧故障的早期预警和实时监测。随着物联网、大数据等技术的不断发展,新型传感器与检测技术的集成应用也将为电弧故障诊断提供更加智能化、高效化的解决方案。新型电力系统中电弧故障诊断技术的发展趋势将更加注重新多信息融合、图像处理和计算机视觉、新型传感器与检测技术的研发与应用。这些技术的发展将为电弧故障诊断提供更加精准、高效、可靠的手段,为电力系统的安全稳定运行提供有力保障。

结束语

新型电力系统中电弧故障诊断技术取得显著进展,多信息融合、图像识别与新型传感技术的综合应用,极大提升电弧故障的精准诊断与快速响应能力。未来,随着智能化、网络化技术的深入融合,电弧故障诊断技术将更趋完善,为电力系统的安全、高效运行提供更加坚实的保障,助力构建更加绿色、智能的电力新时代。

参考文献

- [1]王聪.变电运维风险及技术检修分析[J].技术与市场,2021,28(06):176-177.
- [2]沈思丹.电力设备状态检修和运维一体化技术探究[J].无线互联科技,2020,17(20):167-168.
- [3]黄慧.梁铮,张世超.基于泛在电力物联网的电力设备故障诊断与评估平台设计[J].机电信息,2020(14):110-111.
- [4]周东波,费咏攀.智能机器人在电力设备故障诊断中的应用[J].集成电路应用,2021,38(1):172-173.