

电力系统中的电气故障诊断与排除

文 / 刘金柱 潍坊昌大建设集团有限公司

孙江鹏 潍坊昌大建设集团有限公司

徐超 潍坊昌大建设集团有限公司

摘要: 本文探讨了电气故障诊断与排除的多种方法及其重要性。首先概述了传统诊断方法如直观检查、仪表测量和经验判断的应用及其局限性。随后,详细介绍了现代诊断技术,包括红外热成像、超声波检测、振动分析以及基于神经网络和专家系统的智能诊断方法,这些技术显著提高了故障诊断的效率和准确性。文章还阐述了电气故障排除的具体措施,包括故障隔离与修复以及预防措施与改进建议的重要性。最后,对电气故障诊断与排除技术的未来发展进行了展望,强调了智能化、自动化趋势及其在能源转型和可持续发展中的潜在作用。

关键词: 电气故障诊断; 现代诊断技术; 红外热成像; 超声波检测

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.079

引言

在电力系统的复杂运行环境中,电气故障是不可避免的问题,其快速准确的诊断与排除对于保障系统稳定、防止故障扩大具有重要意义。随着科技的进步,电气故障诊断技术从传统的直观检查、仪表测量逐渐向智能化、自动化方向发展。现代诊断技术如红外热成像、超声波检测以及基于人工智能的方法,不仅提高了诊断的效率和准确性,还实现了对电气设备的实时监测和预警。本文旨在综述电气故障诊断与排除的多种方法,分析其优缺点,并展望技术未来的发展趋势,以期为电力系统运维提供有力支持。

一、电气故障分类与特点

在电力系统的复杂网络中,电气故障作为不可避免的现象,其分类、特点及对系统的影响构成了运维工作的核心内容。深入理解和有效应对这些故障,是保障电力系统安全、稳定运行的关键。

(一) 常见电气故障类型概览

在电力系统的复杂运行中,电气故障作为不可避免的挑战,其种类繁多,各具特点。以下是对几种常见电气故障类型的详细阐述:

短路故障作为电力系统中最为直接且极具破坏力的故障类型,短路故障的发生源于电路中不同电位点之间的意外连接,导致电流异常增大。这种故障不仅瞬间产生高温和电磁力,对设备造成直接损害,还可能引发火灾等严重后果。其突发性要求运维团队具备高度的警觉性和快速的响应能力,以迅速隔离并修复故障点。

开路故障与短路相反,开路故障表现为电路中某部分因断线、接触不良等原因而断开,电流无法流通。虽然开路故障不会造成电流过大,但其隐蔽性使得故障排查变得困难。负载因供电中断而无法正常工作,对系统的连续性和稳定性构成威胁。因此,运维人员需具备专业的检测技能和细致的观察力,以准确诊断并修复开路

故障。

过载故障当设备或线路承受的电流超过其额定负载能力时,便发生过载故障。长时间过载运行会导致设备温度升高、绝缘老化加速,进而可能引发短路或设备烧毁。过载故障的原因多样,包括设计选型不当、负载增加及运行环境恶化等。为预防过载故障,系统设计和运行维护过程中需充分考虑设备的负载能力和运行环境,确保设备在额定范围内安全运行。

接地故障电气设备的金属外壳或其他导电部分与大地之间发生非正常的电气连接时,即发生接地故障。此类故障不仅可能导致设备漏电和人身触电危险,还可能引发系统保护误动作。接地故障类型多样,包括单相接地、两相接地和三相接地等,对系统的影响程度和危害各异。因此,在处理接地故障时,需根据具体情况采取针对性的措施,确保故障得到及时有效的解决。

谐波污染作为电力系统中一种特殊的电气故障形式,谐波污染主要由非线性负载产生。它会对电网的电能质量造成严重影响,导致设备发热、振动、噪声增加,甚至引发谐振现象,损坏设备或影响系统稳定运行。为应对谐波污染问题,电力系统中需采取有效的谐波抑制措施,以保障电能质量和系统的安全稳定运行。

(二) 故障特点分析

电气故障的特性深刻影响着其诊断与排除的复杂性与紧迫性。突发性强调了预防与应急准备的重要性,运维团队需建立健全的监测预警机制,确保能在第一时间发现并响应故障,减少损失。隐蔽性则是对运维人员专业素养的考验,要求他们不仅要有敏锐的观察力,还需掌握先进的检测工具和技术,以揭开故障的面纱,防患于未然。连锁性揭示了电力系统的高度集成与相互依赖,这要求故障处理策略必须具备全局视野,不仅要解决当前故障,还需评估其对系统其他部分的影响,采取综合措施切断故障传播路径,保障系统整体稳定。因

此，深入理解和把握电气故障的这些特点，对于提高故障诊断与排除的效率与质量至关重要。

（三）电气故障对电力系统的深远影响

电气故障对电力系统的影响深远且广泛，其后果往往不容忽视。从设备层面来看，电气故障可能直接导致设备内部的元器件受损，进而影响设备的整体性能和寿命。这种物理性的损害不仅增加了维修成本，还可能因设备停运而引发连锁反应，影响整个系统的稳定运行。

在供电层面，电气故障可能导致供电中断，这是电力系统最为严重的后果之一。供电中断不仅影响居民的日常用电，更对工业生产、商业运营等造成巨大冲击。特别是在医疗、交通等关键领域，供电中断可能直接威胁到人们的生命安全和社会的正常运转。电气故障还可能引发电能质量下降，如谐波污染等问题。这不仅会降低用电设备的运行效率，还可能加速设备老化，增加故障风险。在精密制造、数据处理等高科技领域，电能质量的微小波动都可能对产品质量和数据安全产生重大影响。更为严重的是，电气故障可能破坏电力系统的稳定性，导致系统电压崩溃、频率偏移等灾难性后果。系统稳定性的丧失将使整个电网陷入混乱，甚至可能引发大面积停电，给社会带来不可估量的损失。因此，在电力系统的运行和维护过程中，必须高度重视电气故障的预防、诊断和排除工作。通过加强设备维护、提高监测水平、完善应急预案等措施，努力降低电气故障的发生概率和影响程度，确保电力系统的安全、稳定、高效运行。

二、电气故障诊断方法

在电力系统的日常运维中，电气故障诊断是一项至关重要的任务。准确、快速地定位并解决故障，对于保障系统稳定、提高设备可靠性以及减少经济损失具有重要意义。随着科技的进步，电气故障诊断方法也在不断演进，从传统的手工检查到现代的智能诊断技术，每一种方法都有其独特的应用场景和优势。

（一）传统诊断方法

直观检查法是最基础也是最直接的电气故障诊断方法。它依赖于运维人员的视觉、听觉、嗅觉等感官，通过直接观察设备的外观、指示灯状态、声音变化以及气味等来判断设备是否存在故障。例如，检查设备是否有烧焦痕迹、连接是否松动、指示灯是否异常等。这种方法简单易行，不需要复杂的工具和设备，但受人为主观因素影响较大，且对于隐蔽性强的故障难以发现。仪表测量法是通过使用各种电气测量仪表（如万用表、示波器、绝缘电阻测试仪等）对设备的电气参数进行测量，以判断设备是否存在故障。例如，测量电路的电压、电流、电阻、绝缘电阻等参数，与正常值进行对比，从而判断设备是否处于正常状态。这种方法相对直观检查法更为

准确，但需要运维人员具备一定的电气测量知识和技能，且测量过程可能较为复杂和耗时。经验判断法是基于运维人员长期积累的经验 and 直觉，通过对设备故障现象的观察和分析，结合以往类似故障的处理经验，来判断故障类型和位置。这种方法依赖于运维人员的个人经验和判断能力，对于常见的、典型的故障具有较高的诊断效率，但对于复杂、不常见的故障则可能难以奏效。

（二）现代诊断技术

随着信息技术的飞速发展，现代电气故障诊断技术应运而生，这些技术不仅提高了诊断的效率和准确性，还实现了对电气设备的非接触式、在线监测和智能诊断。

红外热成像技术是一种利用红外辐射进行非接触式温度测量的技术。在电气故障诊断中，红外热成像仪能够捕捉设备表面的温度分布图像，通过对比正常状态下的温度分布图，可以快速识别出温度异常点，进而判断设备是否存在故障。这种方法对于发现设备内部的热故障尤为有效，如接触不良、过载、短路等引起的局部过热现象。超声波检测技术是通过检测电气设备内部放电、机械振动等产生的超声波信号来分析设备健康状况的一种方法。在电气系统中，许多故障都会伴随着超声波的产生和传播，如局部放电、机械松动、轴承磨损等。通过超声波传感器接收这些信号，并对其进行处理和 分析，可以实现对设备健康状况的在线监测和故障诊断。这种方法具有非接触式、灵敏度高等优点，特别适用于对设备内部故障的检测。

振动分析法是通过分析电气设备的振动信号来诊断其健康状况的一种方法。在电气系统中，许多设备（如电机、变压器等）在正常运行时都会产生一定的振动。当设备出现故障时，其振动特性往往会发生变化。通过振动传感器采集设备的振动信号，并对其进行频谱分析、时域分析等处理，可以提取出与故障相关的特征信息，从而实现了对设备故障的诊断。这种方法对于发现设备内部的机械故障尤为有效。专家系统与神经网络是现代人工智能技术在电气故障诊断领域的应用。专家系统通过模拟人类专家的知识 and 推理过程，构建出一套完整的故障诊断规则库和推理机制。当设备出现故障时，专家系统能够根据故障现象和相关信息，在规则库中搜索匹配的故障模式和解决方案，从而实现了对故障的智能诊断。而神经网络则通过模拟人脑神经元的结构和功能，构建出一种能够自我学习和适应的故障诊断模型。通过训练神经网络模型，使其能够识别并分类不同的故障模式，从而实现了对电气故障的智能识别和预测。

（三）故障诊断流程

电气故障诊断流程的科学性和规范性对于快速、准确地定位并解决问题至关重要。一个完善的诊断流程不

仅要求步骤清晰、逻辑严密，还需注重信息的全面性和技术的先进性。故障信息收集阶段应确保信息的准确性和时效性，利用信息化手段实现数据的快速整合与共享，为后续分析提供坚实基础。在故障现象分析阶段，应充分运用专业知识和经验，结合设备运行环境、历史故障案例等多维度信息，进行深入的剖析与推理，力求准确把握故障本质。

故障类型判断与定位环节是整个流程的核心，它要求诊断人员具备扎实的理论基础和丰富的实践经验，能够灵活运用各种现代诊断技术，如红外热成像、超声波检测等，实现对故障的快速精准定位。同时，加强跨部门、跨领域的协作与交流，也有助于拓宽诊断思路，提高诊断效率。在处理故障时，应注重原因分析与根本解决，避免“头痛医头、脚痛医脚”的短视行为。通过深入分析故障产生的机理，制定针对性的修复措施和改进方案，从根本上消除隐患，提升设备运行的稳定性和可靠性。最后，总结与改进阶段是不可或缺的一环，它不仅能够巩固诊断成果，还能促进知识积累和技能提升，为未来的故障诊断工作提供宝贵的经验和参考。

三、电气故障排除措施与预防策略

在电气系统的运维管理中，故障排除不仅是恢复系统正常运行的关键步骤，更是提升系统稳定性和可靠性的重要手段。通过科学、合理的故障排除措施与预防策略，可以有效减少故障的发生，降低故障对系统的影响，保障电力系统的安全、稳定运行。

（一）故障隔离与修复

一旦电气故障被准确定位，首要任务是采取隔离措施，以防止故障进一步扩大或影响其他正常运行的设备。隔离措施的具体实施应根据故障类型、设备特性及系统结构来制定。例如，对于短路故障，应立即切断故障电路，防止电流过大造成设备损坏；对于开路故障，则需找到断点并暂时绕过或修复，以恢复电路通路。在隔离过程中，应确保操作人员的安全，遵循相关的安全操作规程。故障修复是排除故障的核心环节。在修复前，应充分了解故障设备的结构、工作原理及故障现象，制定详细的修复方案。修复方案应明确修复步骤、所需工具及材料、安全注意事项等。修复过程中，应严格按照修复方案进行操作，确保修复质量。对于需要更换的元器件或部件，应选择与原设备相匹配、质量可靠的产品。修复完成后，应对修复部位进行必要的检查和测试，确保故障已彻底排除，设备恢复正常运行。

（二）预防措施与改进建议

针对已发生的电气故障，应组织专业人员进行深入分析，找出故障的根本原因。分析过程中，应充分考虑

设备的设计、制造、安装、运行及维护等各个环节，以及外部环境因素（如气候、温度、湿度等）对设备的影响。通过综合分析，确定故障发生的直接原因和间接原因，为后续制定预防措施和改进建议提供依据。根据故障原因分析的结果，制定针对性的预防措施。预防措施应旨在消除或降低故障发生的可能性，提高设备的可靠性和稳定性。具体措施可包括：优化设备设计，提高设备的抗故障能力；加强设备选型与验收工作，确保设备质量；完善运维策略，制定合理的巡检、维护和保养计划；加强人员培训，提高运维人员的专业技能和故障处理能力；建立故障预警机制，及时发现并处理潜在故障隐患等。

在深入分析故障原因和制定预防措施的基础上，进一步提出改进建议。改进建议应着眼于提升系统整体的抗故障能力和可靠性，促进运维管理的持续优化。具体建议可包括：引入先进的监测和诊断技术，提高故障检测的准确性和及时性；建立故障数据库和案例库，为故障分析和处理提供有力支持；加强与其他单位的交流与合作，共同研究解决电气故障中的难题；推动技术创新和升级换代，提高设备的自动化、智能化水平等。

总结与展望

电气故障诊断与排除技术经历了从传统到现代的演变。传统方法如直观检查、仪表测量虽基础但受限，现代技术如红外热成像、超声波检测及人工智能则显著提升效率和准确性。通过系统化流程与严格修复措施，确保故障及时隔离并修复。同时，深入分析故障并提出预防措施，增强系统抗故障能力。这些努力共同保障了电力系统的稳定运行。展望未来，随着物联网、大数据、云计算与AI技术的深度融合，电气故障诊断将更加智能化、自动化。高效精准的诊断系统将成为标配，为电力稳定提供坚实后盾。此外，绿色能源与可持续发展理念将推动电气故障诊断技术在能源转型中发挥更大作用，助力构建更加环保、可持续的能源体系。

参考文献

- [1] 张伟华. 电气试验在变压器故障分析中的应用[J]. 电力设备与技术, 2021(4): 100-105.
- [2] 王敏. 潜油电泵系统电气故障特征分析及诊断方法[J]. 机电技术与应用, 2022(15): 20-25.
- [3] 刘洋晨. 泵站电气设备故障诊断与安全性能分析[J]. 水利科技与管理, 2021(5): 60-64.
- [4] 周静. 电牵引采煤机电气故障处理与维护策略[J]. 煤炭工程, 2022(6): 85-90.
- [5] 郑雨欣. 维修电工电路故障检修策略与技术分析[J]. 电气与自动化, 2022(7): 45-50.