

大型接地网接地电阻测试中架空线路法的工频感应电压干扰特性及抑制策略

陈九林

四川华能泸定水电有限公司，甘孜藏族自治州，626700；

摘要：近年来，建筑工程施工的数量不断上升，电力设施的建设与维护也随之增加，接地电阻测试在保障电力系统安全性方面显得尤为重要。架空线路法作为常用的接地电阻测试技术，在应用过程中会受到工频感应电压干扰，影响测试精度。针对这一问题，提出了有效的抑制策略，包括硬件屏蔽、滤波技术以及软件数据处理方法。通过实验验证，结果显示这些策略显著提高了测试的准确性和稳定性。随着电力系统日益复杂，接地电阻测试方法的优化将朝着智能化、自动化方向发展，为电力系统的安全运行提供更加可靠的技术支持。

关键词：接地网；架空线路法；电阻测试；工频感应电压；干扰抑制

DOI：10.69979/3029-2727.24.07.017

引言

随着建筑工程施工的数量不断上升，电力系统的建设和接地网的测试需求也逐渐增大。接地电阻的准确测试是保障电力系统稳定运行的关键，但在实际测试过程中，架空线路法常常受到工频感应电压干扰，影响测试结果的精度。为解决这一问题，需要深入研究工频感应电压的干扰特性，并提出有效的抑制策略。随着电力系统的复杂性增加，接地电阻测试方法的优化亟待推动，以确保测试在各种环境下的高效、准确执行。

1 架空线路法在接地电阻测试中的应用现状

架空线路法是大型接地网电阻测试的一种方法，其原理与传统的三极或四极法类似，但在实际操作中有所不同。传统测试方法需要敷设很长的电缆，操作极为繁琐，而架空线路法利用现有的未送电的架空线路来替代电缆敷设，在一定程度上简化了操作流程，尽管并非完全不与被测接地网接触，但仍展现出相较于传统方法的明显优势，尤其是在一些特殊环境中，如高电压、高频干扰或者人员安全要求较高的情况下，为接地电阻测试提供了一种可行的解决方案。该方法通常依赖于架设于高空的电力线路或电缆进行电流传输，通过远离接地网的测试设备感应流经接地电阻的电流，从而计算出接地电阻值。尽管架空线路法具有便捷性和安全性，其在实际应用过程中也面临着一定的挑战。

随着电力系统日益复杂，特别是在建筑工程等大型项目中，接地电阻测试所受到的电磁干扰问题也愈加突

出。架空线路由于其高架特性，容易在测试过程中受周围环境中电力设施、通信设备、甚至是大气电场等因素的影响，产生工频感应电压。这些感应电压可能会对测试结果造成误差，导致接地电阻值的不准确，进而影响整个电力系统的安全性和稳定性^[1]。架空线路法的应用效果受到了广泛关注，尤其是在高密度电磁环境下，工频感应电压所引发的干扰问题愈发显著。

架空线路法的另一大挑战是如何有效消除这些感应干扰。随着建筑施工领域的快速发展，尤其是一些大型建筑工程中，电力设施的建设密集度和复杂度不断提高，使得电磁环境变得更加复杂。这使得传统的架空线路法在一些特定区域的适用性受到制约。电流的传播路径、感应电压的产生机制以及不同电磁干扰源的作用方式，都成为了架空线路法在接地电阻测试中的技术瓶颈。尤其是在接地电阻值较小的情况下，微小的感应电压变化也可能对测量结果产生显著影响，影响测试的准确性。

2 工频感应电压干扰问题的分析

工频感应电压干扰在接地电阻测试中的问题，主要体现在架空线路法应用过程中，由于高电压电力系统与周围环境相互作用，产生的感应电压对测试仪器和被测接地电阻造成了不可忽视的影响。电力系统中的高电压传输线路通过空气传播电场和磁场，当这些电场和磁场与接地电阻测试设备相互作用时，就可能产生感应电压。这种感应电压常常与接地电阻的真实值无关，却能够在仪器的测量回路中产生不容忽视的误差。尤其是在电力系统负荷波动较大、或者系统中有大功率电气设备工作

的情况下,工频感应电压的幅度和频率变化往往会更加剧烈,进而影响测量结果的准确性。从物理原理来看,工频感应电压的产生与电磁感应现象密切相关。

用于接地电阻测试的架空线路由于受周边已投运线路的电磁干扰影响,在被测试线路上产生感应电压,叠加在测试电压上,从而对测试结果造成干扰。该感应电压通常是周期性的,频率与电力系统的工频(50Hz)一致,因此被称为工频感应电压。感应电压的幅度取决于电力线路的电流强度、与测试设备的相对位置、以及周围电气设备的干扰强度等多个因素。其影响是无规律的,且具有一定的随机性,这使得对测量值的影响更加难以预料和控制。对于接地电阻测试来说,工频感应电压带来的最大问题是测量精度的降低^[2]。感应电压通常会导致电流回路中的信号与噪声混杂,进而导致仪器的读数偏离真实的接地电阻值。尤其是在测量接地电阻较小的情况下,这种干扰更加显著。

即便是微小的感应电压变化,也可能在测试中引入较大的误差,影响接地电阻值的准确计算。与此同时,感应电压的影响并非局限于单一的干扰源,而是受周围电力设施、电气设备甚至环境因素的综合作用,这使得干扰的特性变得复杂且难以预见。工频感应电压的干扰特性并非是固定的,它会随着时间和环境的变化而有所波动。例如,在负荷突变或高峰时段,电力系统中的感应电压可能会剧烈波动,进而对测试结果产生不同程度的影响。如何精确识别和抑制这种感应电压的干扰,成为了确保接地电阻测试精度的重要技术难题。

3 影响接地电阻测试准确性的主要因素

测量仪器的精度和稳定性是影响接地电阻测试结果的关键因素之一。不同型号、不同精度等级的接地电阻测试仪器,在测试过程中可能因电路噪声、信号处理能力或零点漂移等问题导致测量误差。尤其在低接地电阻值测试时,仪器的误差往往占据较大比例,影响测量结果的可靠性。测试仪器的校准情况也是必须考虑的因素。仪器在出厂后可能会由于长时间使用或环境变化导致校准误差,从而影响测试精度。接地电阻本身的变化也是影响测试精度的重要因素。接地电阻的大小与接地体的材料、尺寸、埋设深度以及周围土壤的电导率等条件密切相关。土壤电导率作为影响接地电阻的重要因素,其变化往往具有不稳定性。

在湿润季节和干燥季节之间,土壤的电导率差异可能非常显著,从而导致接地电阻值出现较大波动。接地体的腐蚀程度、物理结构的损坏等也可能改变接地电阻

的实际值,从而使得测试结果不稳定。外部环境的影响则是接地电阻测试精度面临的另一大挑战。电磁干扰,尤其是工频感应电压,是影响测试结果的常见因素。架空线路等电力设施产生的电磁场会在周围空间传播,进而干扰到测试设备。尤其是在工业区或者电力密集区域,电力系统中的电流波动会产生较强的电磁干扰,使得测试信号与干扰信号混杂,进而影响接地电阻的测量精度。天气条件、湿度变化以及大气电场的波动等也可能对接地电阻测试产生影响,尤其在使用架空线路法时,周围环境的变化会直接影响测试精度。测试布置和方法本身的选择同样是影响测量准确性的关键因素^[3]。接地电阻测试通常采用多种测试方法,如三极法、四极法等,不同方法对接地电阻的测量要求和适用条件不同。

测试电极的布置位置、间距等因素都会直接影响测试结果。例如,在进行大范围接地网测试时,测试点的选择、接地电极的接触质量、测试路径的长短等因素都会造成测量误差。同时,在大面积接地网测试时,接地电阻值的分布通常不均匀,这要求测试方法能够充分考虑到接地网的空间分布特性,否则可能会因区域性的电阻变化导致不准确的测量结果。

4 工频感应电压干扰的抑制策略与实验验证

在接地电阻测试过程中,工频感应电压的干扰已成为影响测试结果准确性的主要因素之一。针对这一问题,采取有效的抑制策略是提高测试精度的关键。减少或消除工频感应电压干扰,首先需要从电磁兼容性(EMC)的角度进行系统性分析。抑制工频感应电压的干扰策略可以分为两大类:硬件抑制和软件抑制。硬件抑制方法主要依赖于在测试系统中引入有效的电磁屏蔽和滤波装置。通过在测试仪器与被测接地网之间增加屏蔽层,可以显著减少外部电磁波的干扰,降低感应电压的影响。电磁屏蔽通常使用具有良好导电性能金属材料制成,这些材料能够有效吸收并反射感应电场,从而防止其进入测量系统。除了屏蔽措施,滤波器的应用也是减少工频感应电压干扰的有效手段。通过安装适当的低通滤波器,可以滤除 50Hz 工频干扰信号,仅保留与接地电阻测量相关的频率成分。

尤其是对于架空线路法而言,设置滤波器能够有效避免高频噪声的影响,增强测量信号的清晰度和可靠性。软件抑制策略则侧重于通过改进数据处理算法来识别并去除干扰信号。基于信号处理技术的应用,采用先进的数字滤波算法和信号分离技术,可以在信号采集后对其进行处理,分离出测量信号和干扰信号。常见的技术

包括自适应滤波、傅里叶变换和小波分析等, 这些方法能够针对工频干扰的特征进行优化, 消除不必要的噪声, 保留真实的接地电阻信号。使用多通道数据采集系统, 可以同步采集不同位置的信号, 通过算法分析各通道数据间的相关性, 进一步提高测量结果的准确性和抗干扰能力。

实验验证是检验抑制策略有效性的关键步骤。在实际应用中, 通常会在不同的电磁环境下对上述硬件和软件抑制措施进行测试, 并比较其对接地电阻测试准确性的影响。通过搭建模拟电磁干扰环境, 使用标准接地电阻器进行测试, 能够客观评估抑制策略的有效性^[4]。实验结果表明, 采用屏蔽与滤波相结合的硬件措施, 能够显著降低感应电压的幅度, 提升接地电阻测试的稳定性和准确度。而通过数字信号处理算法的优化, 进一步提高了在复杂电磁环境下测试的精度。这些策略的结合, 不仅有效减少了工频感应电压干扰, 也增强了测试系统对其他高频噪声的免疫能力。

5 接地电阻测试方法的优化与未来发展

接地电阻测试方法的优化和未来发展主要围绕如何提高测试精度、提高测试效率以及适应复杂电磁环境的需求展开。在当前接地电阻测试方法中, 尽管传统的三极法和四极法已经得到广泛应用, 但随着电力系统日益复杂, 建筑工程规模的扩大, 电磁干扰的影响越来越显著, 传统方法在一些特定条件下面临着精度和适应性的双重挑战。优化现有测试方法, 提升其在复杂环境下的表现, 已成为研究的重点方向。在优化现有接地电阻测试方法时, 首先要关注测试设备的性能提升。传统接地电阻测试仪的测量精度常常受到电磁干扰、仪器硬件局限以及测量环境变化的影响。

为了提高测试精度, 研发新型高精度、低误差的测试仪器成为关键。例如, 采用数字信号处理技术和更先进的噪声抑制算法, 可以显著减少仪器内部的噪声干扰, 提高信号的提取能力。集成智能算法与传感技术的接地电阻测试设备, 可以更灵活地应对不同电力系统和环境条件下的测量需求, 自动调整测量方式, 优化测量参数, 提高测试的准确性和适应性。除了硬件方面的创新, 测试方法本身的改进也是优化工作的一个重要方向。当前的接地电阻测试方法多依赖于外部电源和地网之间的电流和电压关系, 而在复杂环境中, 接地电阻的分布往往不均匀, 传统方法难以精确反映整个接地网的电阻特性。通过改进测试布置和方式, 使其能够更好地适应大

范围接地网的测试需求, 成为提高测试结果可靠性的关键。

例如, 通过采用多点联合测试、阵列传感器等技术, 可以更全面地评估接地网的整体电阻特性, 避免单一测量点的局限性。发展基于无线传感网络的远程测试技术, 可以大大提高测试效率, 尤其是在高风险或远距离测试场景中, 降低了人工干预和操作风险^[5]。未来, 接地电阻测试方法的发展将更多地依赖于智能化技术的融合, 人工智能、机器学习等先进算法将在数据分析和干扰抑制方面发挥重要作用。通过大数据分析技术, 结合历史测试数据与实时电网运行数据, 可以实现更加精准的预测和自适应测试。特别是在复杂电磁环境下, 智能化测试系统可以根据实时测量情况自动优化测试方案, 减少干扰源的影响, 提高测试结果的稳定性。随着电力系统中新能源、智能电网和高压直流输电 (HVDC) 等新兴技术的不断发展, 接地电阻测试方法面临的挑战将进一步增加。

6 结语

接地电阻测试在电力系统的安全性保障中发挥着至关重要的作用, 随着电力系统日益复杂, 传统测试方法面临的挑战不断增多。工频感应电压的干扰问题已成为影响测试精度的主要因素之一, 针对这一问题, 硬件和软件相结合的抑制策略已被广泛应用, 有效提升了测试结果的稳定性和准确性。未来, 随着智能化、自动化技术的发展, 接地电阻测试方法将在提升测试精度、适应复杂环境以及提高效率方面得到进一步优化。新的测试技术和方法将能够更好地应对电力系统中不断变化的需求, 保障电力设施的安全稳定运行, 为电力系统的持续发展提供坚实的技术支持。

参考文献

- [1] 王红宝, 刘力. 大型接地网接地电阻测试方法选择及应用实践[J]. 中外企业家, 2018, (26): 127-128.
- [2] 杨金城. 关于大型接地网接地电阻测试[J]. 智慧城市, 2017, 3(07): 105.
- [3] 杨晓玲. 大型水电站接地网接地电阻测试[J]. 机电工程技术, 2013, 42(12): 58-61.
- [4] 董家斌, 施勇, 杨殿成, 等. 大型接地网接地电阻测量及其影响因素探讨[J]. 电工技术, 2012, (08): 8-9.
- [5] 马明, 王文敏, 陈达, 等. 基于异频法的大型接地网接地电阻测试研究[J]. 浙江电力, 2008, (04): 56-58.