

电线电缆导体电阻测量影响因素

孙晓洋

上海起帆电缆股份有限公司 上海 201514

摘要：导体电阻作为电线电缆的核心电气参数，直接影响其导电性能、电气安全及电网稳定性。通过分析导体电阻对电线电缆性能、电气安全及电网稳定性的影响，以及讨论仪器误差、检测方法、环境误差及人为误差等关键因素对导体电阻测量结果的影响，并提出了具体的改进措施。通过优化仪器选择、校准与维护，规范试样截取与处理流程，控制测量环境温度湿度，以及提升检测人员操作技能与经验，能够有效提高了导体电阻测量的准确性，为电线电缆的性能评估、电气安全保障及电网稳定运行提供了有力支持。

关键词：电线电缆；导体电阻；测量准确性；影响因素；改进策略

引言

随着电力行业的快速发展和电气设备的广泛应用，电线电缆作为电力传输的重要载体，其性能稳定性与安全性日益受到关注。导体电阻作为电线电缆的关键电气参数，不仅直接影响其导电性能，还关系到电气安全和电网的稳定性。导体电阻的测量过程易受多种因素影响，导致测量结果出现偏差，进而影响电线电缆的性能评估和实际应用。深入研究电线电缆导体电阻测量的影响因素，并提出有效的改进策略，对于提高测量准确性、保障电气安全及促进电网稳定运行具有重要意义。

一、电线电缆导体电阻测量的作用

（一）导体电阻对电线电缆性能的影响

导体电阻是电线电缆的核心电气参数之一，直接影响其导电性能。电阻值越小，电能的传输损耗越低，电缆的发热量也越小。例如，在高压输电线路中，导体电阻的微小增加会导致显著的功率损耗，影响输电效率。导体电阻的测量通过恒流源和压降法实现，能够准确反映导体的导电性能（如图1所示）。若电阻过大，不仅会增加电能损耗，还可能导致电缆过热，甚至引发火灾等安全事故。因此，导体电阻的测量是评估电线电缆性能的重要依据。

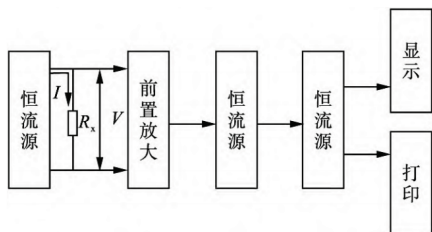


图1 测量原理图

（二）导体电阻测量在电气安全中的作用

导体电阻的测量不仅是性能评估的手段，更是电气安全的重要保障。在实际应用中，电阻过大的电缆容易因发热而引发绝缘层老化或短路，导致电气火灾。例如，在建筑电气系统中，若电缆导体电阻超标，容易导致局部过热，威胁建筑安全。通过精确测量导体电阻，可以及时发现不合格产品，避免安全隐患。

（三）导体电阻测量对电网稳定性的影响

电网的稳定性依赖于输电线路的低损耗和高可靠性。导体电阻的测量结果直接关系到电网的运行效率。例如，在长距离输电线路中，导体电阻的微小增加会导致电压降增大，影响电网的电压稳定性。通过定期测量导体电阻，可以监控电缆的老化情况，及时更换不合格产品，确保电网的长期稳定运行^[1]。

二、电线电缆导体电阻测量的影响因素及改进策略

（一）仪器误差因素及改进策略

1. 仪器精度与规格的影响及改进

导体电阻测量仪器的精度和规格是影响测量结果准确性的关键因素。低精度仪器在测量小电阻时，误差会被放大。例如，使用精度为 $\pm 0.5\%$ 的电阻测量仪测量 0.1Ω 的导体电阻时，误差范围达到 $\pm 0.0005\Omega$ 。这种误差在高精度测量场景中是不可接受的，尤其是在电力传输或精密电子设备中，电阻值的微小偏差会导致系统性能下降或安全隐患。选择高精度仪器是确保测量结果可靠性的首要条件。

高精度仪器如数字微欧计（如Keysight 34420A）具有 $\pm 0.1\%$ 或更高的精度，能够满足大多数高精度测量需求。此外，四线制测量法的应用可以消除引线电阻的影

响,进一步提高测量准确性。例如,在测量铜导体电阻时,四线制测量法可将引线电阻的影响降至 0.001Ω 以下,优于传统的两线制测量法^[2]。

仪器的量程和分辨率也是影响测量结果的重要因素。量程过小的仪器在测量高电阻时可能超限,而分辨率不足的仪器无法准确反映微小电阻变化。以测量 0.01Ω 的导体电阻为例,若仪器分辨率为 0.001Ω ,测量结果则无法捕捉到 0.0001Ω 级别的变化。选择适合量程和高分辨率的仪器是确保测量准确性的基础。例如,Keysight 34420A的量程范围为 $0.1\mu\Omega$ 至 $100M\Omega$,分辨率为 $0.01\mu\Omega$,能够满足从微小电阻到高电阻的广泛测量需求。

2. 仪器校准与维护的重要性及改进

仪器校准是确保测量结果准确性的关键环节。长期使用或环境变化会导致仪器性能漂移,进而影响测量结果的可靠性。例如,Fluke 8846A电阻测量仪在未校准状态下,测量结果与标准值的偏差将会超过1%。这种偏差在低电阻测量中,会导致导体电阻的测量值偏离实际值,影响电线电缆的性能评估。通过定期校准,可以将偏差控制在0.1%以内,有效提高测量精度。校准周期的设定需根据仪器的使用频率和环境条件进行调整^[3]。对于高频率使用的仪器,建议每半年进行一次校准;对于使用频率较低的仪器,可适当延长至一年。

仪器的日常维护同样不可忽视。探头污染或连接线老化会导致接触电阻增大,影响测量结果。此外,仪器的存放环境也需注意,避免高温、高湿或强磁场环境,以防止仪器性能下降。

(二) 检测方法因素及改进策略

1. 试样截取与处理的影响及改进

试样截取与处理是导体电阻测量中的重要环节,其操作质量直接影响测量结果的准确性。截取试样时,若未去除表面氧化层,会导致接触电阻显著增大,影响测量结果。例如,在测量铜导体电阻时,未去除氧化层的试样电阻值比去除氧化层后高约5%。尤其是在电力传输或精密电子设备中,电阻值的微小变化会导致系统性能下降或安全隐患。试样截取与处理的规范性是确保测量准确性的关键。

表面氧化层是影响接触电阻的主要因素之一。金属导体在空气中暴露后,表面会形成一层氧化膜,其电阻率远高于金属本身。例如,铜导体表面的氧化铜膜电阻率约为 $10^8\Omega\cdot m$,而铜的电阻率仅为 $1.68\times 10^{-8}\Omega\cdot m$ 。若不去除氧化层,测量时电流主要通过氧化膜,导致测量结果偏大。通过使用砂纸或化学方法去除氧化层,可

以有效降低接触电阻。

试样端面的平整度也是影响测量结果的重要因素。若端面不平整,导致探头与试样接触不良,增加接触电阻。例如,在测量铝导体电阻时,端面不平整的试样接触电阻比平整端面高约3%。在截取试样后,应使用切割工具或研磨设备确保端面平整^[4]。

2. 检测过程中的操作规范及改进

检测过程中的操作规范是确保导体电阻测量结果一致性和准确性的关键因素。操作不当会导致测量结果波动,甚至引入系统性误差。例如,在测量铝导体电阻时,若未保持恒定的电流值,电流波动 $\pm 1\%$ 会导致电阻值偏差 $\pm 0.3\%$ 。严格的操作规范和自动化设备的应用是提高测量可靠性的重要手段。

电流稳定性是影响测量结果的核心因素之一。导体电阻测量通常采用恒流源供电,通过测量电压降计算电阻值。若电流不稳定,电压降的测量结果也会随之波动,导致电阻值偏差。例如,在测量铜导体电阻时,电流波动 $\pm 0.5\%$ 会导致电阻值偏差 $\pm 0.15\%$ 。为减少电流波动的影响,建议使用高精度恒流源,在测量过程中实时监控电流值。例如,采用Agilent 34972A数据采集器,其电流输出稳定性可达 $\pm 0.01\%$,能够有效降低测量误差。

操作人员的技能和经验也对测量结果有重要影响。例如,新手操作员在连接探头时未完全压紧,导致接触电阻增大,影响测量结果。某次测量中,由于探头连接不牢固,测量结果比实际值高约0.8%。通过规范操作流程和加强培训,可以有效减少人为误差。

自动化测量设备的应用是减少人为误差的有效方法。例如,Agilent 34972A数据采集器支持自动化测量功能,能够按照预设程序完成电流输出、电压测量和数据处理,减少人为干预。

(三) 环境误差因素及改进策略

1. 温度与湿度对测量的影响及改进

温度是影响导体电阻测量的主要环境因素。导体的电阻随温度升高而增大,其关系可用公式(1):

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (1)$$

其中 α 为电阻温度系数。例如,铜导体的电阻温度系数约为 $0.00393/^\circ C$,若测量时温度偏差 $10^\circ C$,电阻值偏差3.93%。控制测量环境的温度是确保测量准确性的关键。

在实际测量中,环境温度的波动也会导致测量结果的不稳定。例如,在非恒温实验室中,昼夜温差会导致测量结果偏差超过2%。为减少温度波动的影响,建议在

恒温实验室中进行测量，并将环境温度控制在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 范围内。例如，使用空调系统和温度监控设备（如 Testo 605-H1）实时调节实验室温度，确保测量环境的稳定性。

湿度是另一个影响测量结果的环境因素。高湿度环境会导致仪器内部电路受潮，增加测量误差。例如，在湿度为 80% 的环境下测量电阻时，仪器读数波动较大，而在湿度为 50% 的环境下读数稳定。建议将实验室湿度控制在 40%~60% 之间，并使用除湿设备调节环境湿度。例如，在湿度较高的地区，安装除湿机并定期检查湿度水平，确保测量环境的稳定性。

2. 实验室环境的选择与控制及改进

实验室环境的稳定性对导体电阻测量结果的准确性具有重要影响。环境因素如温度波动、湿度变化以及外部振动都会干扰测量过程，导致结果偏差。例如，在靠近空调出风口的位置进行测量时，温度波动会导致电阻值偏差超过 1%。选择合适的实验室环境并严格控制环境条件是确保测量准确性的关键。

实验室位置的选择是减少环境干扰的第一步。靠近热源（如空调出风口、加热设备）或振动源（如大型机械设备、交通干道）的区域不适合进行高精度测量。建议选择温度稳定、无振动的区域作为实验室，并避免外部环境对测量的干扰。

温湿度监控设备的应用是控制实验室环境的重要手段。例如，使用 Testo 605-H1 温湿度监控设备可以实时记录环境参数，并在温度或湿度超出设定范围时发出警报。某建议在实验室中安装温湿度监控设备，并定期检查其工作状态。

实验室的隔热和隔振设计也是减少环境干扰的有效方法。例如，在实验室墙壁和地面使用隔热材料，可以减少外部温度变化对室内环境的影响。此外，使用防振台或隔振垫可以减少外部振动对测量设备的干扰^[5]。例如，在测量铝导体电阻时，使用防振台后，测量结果的重复性从 $\pm 0.8\%$ 提高至 $\pm 0.2\%$ 。

（四）人为误差因素及改进策略

1. 检测人员的操作技能与经验及改进

检测人员的操作技能和经验是影响导体电阻测量结果准确性的重要因素。操作不当会导致测量误差，甚至引入系统性偏差。例如，新手操作员在测量时未正确连接四线制测量探头，导致接触电阻增大，测量结果偏差达到 2%。提高检测人员的操作技能和规范操作流程是确保测量准确性的关键。

操作技能不足是导致测量误差的主要原因之一。例如，在连接四线制测量探头时，若未完全压紧或接触面不清洁，导致接触电阻显著增大。规范操作流程和加强技能培训是减少人为误差的有效方法。

操作经验的积累对测量结果的准确性也有重要影响。例如，经验丰富的操作员能够根据测量设备的反馈及时调整操作，减少误差。操作经验的积累是提高测量准确性的重要途径。

2. 多人对比法的应用及改进

多人对比法是一种有效减少人为误差的方法，通过多名操作员对同一试样进行独立测量，可以消除个别操作员的系统性误差，提高测量结果的可靠性。例如，在测量铜导体电阻时，安排三名操作员分别测量同一试样，结果发现三人测量值的平均偏差为 0.1%，而单人测量时的偏差为 0.5%。多人对比法不仅能够提高测量结果的准确性，还能帮助识别操作中的潜在问题。

结语

通过对电线电缆导体电阻测量的深入研究，揭示导体电阻对电线电缆性能、电气安全及电网稳定性的重要影响。系统分析了仪器误差、检测方法、环境误差及人为误差等关键因素对导体电阻测量结果的影响，并提出了具体的改进措施。不仅能够有效提高了导体电阻测量的准确性，还为电线电缆的性能评估、电气安全保障及电网稳定运行提供了有力的技术支撑。随着科技的进步和测量技术的不断发展，需继续探索更加高效、准确的导体电阻测量方法，为电力行业的持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1] 朱进明. 电线电缆导体电阻实验中引入贴片式热电偶的研究[J]. 电工技术, 2024, (18): 180-183.
- [2] 黄思婷. 浅析导体直流电阻测试系统的影响因素与改进方法[J]. 电子元器件与信息技术, 2023, 7(09): 19-22.
- [3] 吴俊生. 电线电缆导体直流电阻测量不确定度的评定[J]. 上海电气技术, 2023, 16(02): 35-37.
- [4] 田战玲. 电线电缆导体直流电阻试验要点及影响因素[J]. 价值工程, 2020, 39(10): 270-271.
- [5] 蒋雪花. 电线电缆导体直流电阻检测问题及改进方法研究[J]. 科技视界, 2019, (35): 136-137.