

试析电学仪表在线计量要点

陈媛媛, 张琼月, 李艳, 何媛, 郭谋, 严伟
湖北省计量测试技术研究院, 湖北 武汉 430223
DOI:10.61369/WCEST.2024090003

摘要 : 本论文围绕电学仪表在线计量展开深入分析, 阐述在线计量的重要意义, 详细探讨电流、电压、电阻、功率等电学参数计量过程中的要点, 结合具体数据说明计量标准、误差范围及操作规范, 同时引入计量设备选型要点、软件技术应用、实际案例分析等内容, 旨在为保障电学仪表在线计量的准确性与可靠性提供全面参考。

关键词 : 电学仪表; 在线计量; 计量要点; 数据; 设备选型; 软件技术

Analysis of the Key Points of Online Measurement of Electrical Instruments

Chen Yuanyuan, Zhang Qiongyue, Li Yan, He Yuan, Guo Mou, Yan Wei
Hubei Institute of Metrology and Testing Technology, Wuhan, Hubei 430223

Abstract : This paper delves into the online measurement of electrical instruments, elucidating the significance of online measurement. It meticulously examines key points in the measurement processes for electrical parameters such as current, voltage, resistance, and power. By presenting specific data, it explains measurement standards, error ranges, and operational norms. Additionally, it introduces considerations for selecting measuring equipment, software technology applications, and case studies. The aim is to provide comprehensive references to ensure the accuracy and reliability of online measurements of electrical instruments.

Keywords : electrical instrument; online measurement; measurement points; data; equipment selection; software technology

引言

在现代工业生产和科研活动中, 电学仪表广泛应用于电力系统、电子设备、自动化控制等领域, 其测量数据的准确性直接影响生产过程的控制、设备的安全运行以及科研结果的可靠性。在线计量能够实时获取电学仪表的测量数据, 并对其准确性进行评估和校准, 及时发现仪表故障和测量偏差, 对于保障生产安全、提高产品质量、降低能源消耗具有重要意义。随着工业自动化和智能化程度的不断提高, 对电学仪表在线计量的要求也越来越高, 不仅需要保证计量的准确性, 还需提高计量效率和智能化水平。因此, 深入研究电学仪表在线计量要点, 确保计量的准确性和可靠性, 是当前亟待解决的重要问题。

一、电流计量要点

(一) 计量标准规范

电流计量的标准依据国家计量检定规程, 对于直流电流计量, 常用的标准器有标准电阻和直流数字电流表。以0.01级直流数字电流表作为标准器, 其测量范围为0-10A, 最大允许误差为 $\pm(0.01\%RD+0.005\%FS)$, 其中RD为读数, FS为满量程。交流电流计量标准器一般采用电流互感器和标准表, 例如0.02级电流互感器, 变比为(0.1-100)A/5A, 其比差不超过 $\pm 0.02\%$, 角差不超过 $\pm 1'$ 。此外, 在高精度电流计量场景中, 霍尔效应电流传感器作为新型标准器逐渐得到应用, 其具有非接触测量、频

带宽等优点, 在一些特殊环境下能发挥独特作用^[1]。

(二) 计量操作方法

1. 直流电流计量: 采用直接比对法开展测量工作, 将待校准直流电流表与标准直流数字电流表串联接入直流电路。当电路电流稳定后, 同步读取两块电表的测量值。例如, 在测量2A直流电流时, 标准表显示2.001A, 被检表显示2.005A, 由此可计算出被检表在该测量点的绝对误差为0.004A, 相对误差约为0.2%。为提升测量效率与精度, 可引入自动化测量系统, 通过程序控制实现多电流值自动切换测量, 减少人为干扰。并完成数据的自动采集与分析。

2. 交流电流计量: 借助电流互感器将大电流转换为标准表可

测量的小电流，再与被检交流电流表进行对比测量。如在测量100A交流电流时，通过100A/5A的电流互感器转换后，标准表测量值为4.998A，被检表测量值为5.01A，经计算被检表比差约为0.24%，角差则需使用专门的相位测量仪器进行测定计算。在实际应用中，针对谐波含量较高的交流电流测量，需配备特殊的宽频电流互感器以及具备谐波分析功能的测量设备，从而保障测量结果的准确性。

（三）误差影响因素及处理办法

环境温度和湿度会显著影响电流计量的准确性。一般情况下，温度每变化1℃，部分直流电流表的误差变化可达到±0.05%。为减少环境因素的影响，电流计量应在恒温恒湿的环境中进行，温度宜控制在(20±2)℃，相对湿度保持在40%~60%。同时，要保证计量电路的稳定运行，防止因电路接触问题、电源波动等导致测量误差^[2]。另外，电磁干扰也是影响电流计量准确性的重要因素，特别是在高频电流测量时，需要使用屏蔽性能良好的电缆和测量设备，并合理安排测量线路，以降低电磁干扰的影响。

二、电压计量要点

（一）计量标准规范

直流电压计量标准常用标准电池、标准电阻和高准确度的直流数字电压表。例如，标准电池的电动势稳定性为±1×10⁻⁶/年，0.005级直流数字电压表测量范围为0~1000V，最大允许误差为±(0.005%RD+0.002%FS)。交流电压计量标准器主要有电压互感器和标准电压表，0.05级电压互感器，变比为(6~10)kV/5V，比差不超过±0.05%，角差不超过±2'。在高压电压计量中，电容式电压互感器因其体积小、重量轻等优点得到广泛应用，其计量标准也需符合相关规范要求。

（二）计量操作方法

1. 直流电压计量：主要运用分压法和直接比较法。分压法是通过标准电阻组成的分压器，把高电压转化为标准电压表能够测量的范围后进行比较。比如在测量500V直流电压时，使用分压比为10:1的分压器，标准电压表测得值为49.98V，那么实际电压为499.8V，若被检表测量值是501V，绝对误差为1.2V，相对误差约0.24%。直接比较法是将被检直流电压表与标准直流数字电压表并联接入直流电路，直接进行测量对比^[3]。在高精度直流电压计量中，基于量子霍尔效应的电压标准装置因稳定性和准确性高而被采用。

2. 交流电压计量：与交流电流计量方式类似，先借助电压互感器把高电压转换为低电压，再与被检交流电压表进行对比测量。在测量380V交流电压时，经过380V/100V的电压互感器，标准电压表测量值为99.95V，被检表测量值为100.2V，计算得出比差约0.25%，角差则需通过相位测量仪器确定。对于存在畸变电

压的交流电路测量，需要使用具备波形分析功能的测量设备，从而精确获取电压参数。

（三）测量注意要点

在进行电压计量时，需谨慎选择合适的量程。量程选取不当，过大可能导致测量误差增加，过小则可能损坏测量仪表。同时，要防范感应电压对测量结果的干扰，特别是在高压电压计量场景下，应做好屏蔽措施，保证计量过程的安全与准确。此外，当需要同时测量多路电压时，必须注意各测量通道之间的隔离，避免相互干扰影响测量数据的可靠性。

三、电阻计量要点

（一）计量标准规范

电阻计量的标准器具主要为标准电阻器，其精度等级划分细致，涵盖0.001级、0.002级等。在20℃环境下，0.001级标准电阻器若标称值为100Ω，其年稳定性波动不超过±5×10⁻⁶，电阻温度系数不超过±2×10⁻⁶/℃。随着纳米技术的发展进步，纳米级电阻标准器逐渐进入人们视野，在超精密电阻计量范畴内拥有可观的应用前景。

（二）计量操作方法

1. 直流电阻计量：电桥法是常见的测量手段，其中单臂电桥适用于1Ω~1MΩ的中值电阻测定，双臂电桥则用于1Ω以下的低值电阻测量。例如，使用0.01级单臂电桥对100Ω电阻进行测量，得到测量值为100.05Ω，由此可算出绝对误差为0.05Ω，相对误差为0.05%。此外，数字欧姆表法凭借操作简单、测量快速的特点，常被用于现场直流电阻的快速检测。

2. 交流电阻计量：主要采用交流阻抗电桥法和伏安法。以伏安法为例，通过测量交流电路中的电压与电流，利用欧姆定律计算电阻值。如某次测量中，电压测量值为220V，电流测量值为2A，计算出电阻值为110Ω，若标准值为108Ω，经计算相对误差约为1.85%。在高频交流电阻测量场景下，由于趋肤效应和邻近效应的影响，必须采用专门的高频测量技术与设备来保证测量准确性。

（三）测量影响因素控制

电阻值极易受温度变化干扰，计量过程中需精确测定环境温度，并按照电阻温度系数对测量结果实施修正^[4]。同时，要着重消除接触电阻带来的影响，确保测量电极与被测电阻接触稳固。此外，湿度同样会对电阻测量产生影响，尤其在绝缘电阻测量时，需严格遵循规定湿度条件开展测量工作，从而保障测量结果的可靠性。

四、功率计量要点

（一）计量标准规范

功率计量的主要标准器是标准功率表，其准确度等级能达到

0.05级。在三相功率计量方面，常使用三相标准功率表，当测量范围在0-10kW时，最大允许误差为 $\pm(0.05\% \text{测量值} + 0.02\% \text{满量程})$ 。在智能电网和新能源领域不断发展的背景下，新型的宽频带、高精度功率标准装置不断出现，以满足复杂电能质量条件下的功率计量要求。

（二）计量操作方法

1. 直流功率计量：通过测量直流电压和直流电流，运用公式 $P=UI$ 来计算功率。比如在测量某直流电路时，电压测量值为24V，电流测量值为5A，计算得到的功率是120W，若标准功率表测量值为120.5W，绝对误差为0.5W，相对误差约0.42%。为了提高直流功率测量精度，可采用四端测量法，减少引线电阻对测量结果产生的影响。

2. 交流功率计量：单相交流电路采用 $P=UI\cos\phi$ （ ϕ 为电压电流相位差）进行功率计算；三相交流电路需根据三相三线制、三相四线制等不同接线形式选择对应公式。如在三相四线制电路功率测量中，三相标准功率表测得值为5kW，被检功率表测量值为5.02kW，经计算相对误差为0.4%。在谐波丰富的交流电路中，需借助基于傅里叶变换的测量手段，精确区分并计算基波功率与谐波功率。

（三）计量关键点

在功率计量过程中，准确测量电压、电流和相位差是保证计量准确性的关键所在。要选择合适的电压互感器和电流互感器，并确保其相位误差符合要求。同时，必须注意功率表的正确接线方式，防止因接线错误致使测量结果出现偏差。此外，针对动态变化的功率测量，需要选用具备高速采样和数据处理能力的测量设备，以便实时、准确地获取功率参数^[6]。

五、计量设备选型要点

（一）依测量参数适配选型

各类电学参数的计量工作，对应着不同类型的计量设备需求。就电流计量而言，大电流测量时，需选择量程恰当、精度达标的电流互感器和电流表；小电流测量任务，则适宜采用高灵敏度的微安表或皮安表。在电压计量范畴内，高压测量必须借助高压电压互感器与高压电压表，低压测量使用普通电压表便能完成。电阻计量需根据电阻值大小，合理选用电桥或数字欧姆表；功率计量则要依据电路特性和功率数值，挑选适配的功率表。

（二）按需确定准确度等级

计量设备的准确度等级是影响测量结果可靠性的关键因素。在设备选型时，需紧密结合实际测量需求以及允许误差范围，科学选定适配的准确度等级。通常情况下，科研实验以及高精度测量领域，对设备的准确度要求极为严格，需选用高准确度等级的设备；而在工业生产的常规测量环节，可在满足生产过程控制要求的前提下，适当放宽准确度标准^[6]。

（三）注重设备稳定性和可靠性

计量设备在长时间使用过程中，稳定可靠的性能至关重要。选型时，需综合考量设备的制造工艺、材料质量以及厂家的售后服务等因素。具备良好稳定性和可靠性的设备，能够减少测量误差的起伏，保证计量结果的准确性和一致性，同时降低设备维护和校准成本。

六、软件技术在电学仪表在线计量中的应用

（一）数据采集处理一体化软件

数据采集处理一体化软件能够高效实现电学仪表测量数据的实时采集、存储及分析功能。借助与计量设备通信接口的连接，软件可自动获取测量数据，并对数据实施滤波、校准、误差剖析等处理操作。比如在电流计量过程中，该软件可对采集到的电流数据开展实时监测分析，判断电流稳定性状况，精确计算测量误差，并生成数据报表，为计量工作提供直观的数据支持^[7]。

（二）自动化计量智能控制软件

自动化计量操作软件推动计量过程迈向自动化，实现测量设备的智能切换、测量参数的自动设定以及测量流程的自动运转。用户只需通过编程设置计量任务和流程，软件便能按照预定规则自动完成电学仪表在线计量工作，显著提高计量效率，同时减少因人为操作不当引发的误差，保障计量工作的规范性和准确性。

（三）远程监控与管理软件

随着物联网技术的普及，远程运维管理软件在电学仪表在线计量中得到广泛应用。该软件支持对分布在各处的电学仪表进行远程监控与管理，实时掌握仪表运行状态和测量数据，开展远程校准和故障诊断工作，有效突破地域限制，提升计量管理的灵活性和工作效率，为电学仪表在线计量的智能化管理提供新途径^[8]。

七、实际案例分析

（一）电力变电站电流计量故障处理案例

于某电力变电站的电流计量工作中，以0.02级电流互感器和0.01级直流数字电流表作为标准器，对站内交流电流测量设备进行在线校验。在测量进程中，监测数据显示某一路电流互感器的比差超出允许误差范围^[9]。技术人员随即展开排查，发现是电流互感器二次侧接线存在接触不良的情况，进而致使测量误差扩大。找到问题根源后，工作人员重新规范接线，并对设备进行全面校准，成功使测量误差恢复至正常水平，确保了变电站电流计量的精准度。

（二）电子生产车间电阻计量误差优化案例

在某电子生产车间的电阻计量中，使用0.001级标准电阻器和单臂电桥对生产线上的电阻元件进行在线检测。在测量过程中，

发现部分电阻元件的测量值与标称值偏差较大,经过分析,发现是环境温度变化导致电阻值发生变化^[10]。通过对测量结果进行温度修正,并加强对环境温度的控制,有效提高了电阻计量的准确性,保证了产品质量。

八、结论

电学仪表在线计量涉及多参数测量校准,各参数需特定标准、方法与规范。计量标准明确各类标准器,科学的计量方法为

测量提供路径。实际工作中,环境、设备选型和操作规范影响计量结果,通过控制环境、合理选型设备、规范操作可降低误差。同时,计量设备选型要点、软件技术应用及实际案例经验,都为保障计量准确性提供支撑。计量人员需严格遵循规程,综合运用多种手段,才能确保测量数据真实有效,筑牢计量保障根基。

参考文献

- [1] 康宁. 试析电学计量仪表在线检测要点[J]. 数码设计, 2020(12): 88-89.
- [2] 张小龙. 电子仪器仪表计量管理及计量检测分析[J]. 新潮电子, 2024(2): 130-132.
- [3] 蔡文嘉, 唐登平, 李亮波, 郭正, 李云峰. 低压电流互感器自动化检定系统在线计量检测[J]. 沈阳工业大学学报, 2022(6): 613-619.
- [4] 段志明. 电气仪表计量检定及自动化探究[J]. 电气技术与经济, 2023(9): 214-216.
- [5] 杨晓梅, 杨琪华, 王慧. 电学计量仪表在线检测探讨[J]. 工业计量, 2004(S1): 187-190.
- [6] 潘炳全. 试析电学计量的现状和发展趋势[J]. 百科论坛电子杂志, 2022(19): 13-15.
- [7] 曹莉君. 电学计量检定和测量的系统误差因素分析[J]. 产品可靠性报告, 2023(6): 88-89.
- [8] 明艳. 基于物联网与大数据的电学计量检测架构研究[J]. 计量与测试技术, 2020, 47(6): 3.
- [9] 王开文, 赵雷, 于萌. 试析电学计量中测量不确定度评定的应用[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2021(12): 3.
- [10] 程丽萍, 李剑, 夏春, 等. 电化学氧测定仪计量比对结果与分析[J]. 化学分析计量, 2022(007): 031.