

电站互感器误差分析及校准方法研究

陈 瑶¹ 曾加跃^{2*}

1. 四川卓越蜀能电力设备检测有限公司 四川 成都 610091

2. 四川全盛人才服务有限公司 四川 成都 610041

摘 要：文章聚焦电站互感器，深入剖析其误差来源，涵盖制造工艺、运行环境、负载及频率等因素。同时，系统阐述传统与现代误差检测方法，并针对不同误差成因，提出基于误差分析的校准策略、传统校准优化及新型校准方法探索。研究成果为提升电站互感器测量精度与可靠性，保障电力系统稳定运行提供了理论依据与技术参考。

关键词：电站互感器；误差分析；校准方法

引言：在电力系统中，电站互感器是实现精准测量与可靠保护的关键设备。然而，其运行过程中不可避免产生误差，严重影响电力参数测量准确性及系统安全稳定运行。当前，随着电力系统规模扩大与智能化发展，对互感器性能要求日益提升。因此，深入开展电站互感器误差分析及校准方法研究，探究误差根源并寻求有效校准手段，成为保障电力系统高效运行的迫切需求。

1 电站互感器基本原理与结构

电站互感器如同电力系统的“翻译官”与“安全卫士”，默默将难以直接测量的大电流、高电压，转化为便于监测的小电流、低电压信号，确保电力系统稳定运行。它主要分为电流互感器和电压互感器两大类。电流互感器就像电力系统里的“电流缩小器”。在电路中，它的一次绕组串联接入，就像一条主干道，直接承受着线路中的强大电流；二次绕组则与各类测量仪器、保护装置相连，如同从主干道分出的支路。当一次绕组有电流通过时，会在由高导磁材料制成的铁芯中产生交变磁场，这个磁场就像无形的“手”，在二次绕组中感应出小电流，从而实现了电流从大到小的转换。为了保证测量准确和使用安全，电流互感器采用了特殊的绝缘材料，并且二次侧的额定电流通常被设定为5A或1A这样统一的标准值。电压互感器则好比“电压调节器”。它的一次绕组与高压线路并联，就像一个高水位的入口；二次绕组连接着测量装置，类似低水位的出口^[1]。当一次侧有高电压时，在铁芯的作用下，交变磁场会在二次绕组感应出低电压，完成电压从高到低的转换。根据使用场景和电压等级的不同，电压互感器的绝缘方式也有所差异：干式绝缘适用于低压环境，油浸式绝缘在中高压领域广泛应用，而气体绝缘则凭借出色性能，在超高压系统中大展身手。同时接地装置的设置，也为设备和操作人员增添了一道安全屏障。二者相互配合，共同守护着

电力系统的精准测量与稳定运行。

2 电站互感器误差来源分析

尽管电站互感器在电力系统中发挥着重要作用，但其在运行过程中不可避免地会产生误差，这些误差会影响电力参数测量的准确性以及继电保护和自动控制的可靠性。深入分析误差来源，对于提高互感器性能和电力系统运行质量具有重要意义。

2.1 制造工艺误差

制造工艺误差是电站互感器误差的重要来源之一。在互感器的生产制造过程中，多个环节的工艺水平都会对其性能产生影响。首先，绕组匝数的绕制精度直接关系到互感器的变比准确性。若实际绕制匝数与设计匝数存在偏差，必然导致一、二次侧电流或电压的变换比例不符合理论值，从而产生误差。其次，铁芯的加工工艺也至关重要。铁芯的叠片质量、叠装方式以及铁芯的形状精度等，都会影响铁芯的磁导率和磁路的均匀性。例如，铁芯叠片之间存在气隙或叠装不紧密，会增加磁阻，导致励磁电流增大，进而引起互感器的误差增大。此外，绝缘材料的选用和制造工艺也会对互感器性能产生影响。绝缘不良可能导致绕组之间或绕组与铁芯之间出现漏电现象，影响电流和电压的正常传递，引入误差。

2.2 运行环境误差

运行环境因素对电站互感器的误差有着显著影响。温度是一个重要的环境参数，互感器内部的绝缘材料、绕组电阻以及铁芯的磁性能等都会随温度变化而改变。温度升高时，绕组电阻增大，会引起二次侧负载电流的变化，从而影响互感器的变比误差；同时温度变化还会导致铁芯磁导率发生改变，影响励磁电流，进一步加大误差。湿度也是不可忽视的因素，当环境湿度较高时，绝缘材料的绝缘性能会下降，可能出现漏电现象，影响互感器的正常工作，产生误差。另外，电磁干扰同样会

对互感器造成影响。在电力系统中,存在着各种电磁干扰源,如高压输电线路、大功率电气设备等。这些干扰源产生的电磁场会耦合到互感器的绕组中,产生附加的感应电动势,导致测量误差。

2.3 负载影响误差

互感器的负载情况对其误差有着直接的影响。二次侧所接的测量仪表、保护装置等构成了互感器的负载。当负载阻抗发生变化时,会引起二次侧电流和电压的改变,进而影响互感器的误差^[2]。根据互感器的工作原理,二次侧负载阻抗增大时,二次电流会减小,为了维持磁势平衡,励磁电流会相应增大,这将导致互感器的比差和角差增大;反之,负载阻抗减小时,虽然二次电流增大,但可能会使互感器饱和,同样会产生较大的误差。负载的功率因数也会对互感器误差产生影响。当负载功率因数较低时,二次侧电流中的无功分量增大,会使励磁电流的无功分量也相应增加,从而加大互感器的角差。

2.4 频率影响误差

电力系统的运行频率并非绝对稳定,其波动会对电站互感器的误差产生影响。互感器的性能参数是基于额定频率设计的,当实际运行频率偏离额定频率时,互感器的电磁特性会发生变化。一方面,频率变化会影响铁芯的磁滞和涡流损耗。频率升高时,涡流损耗增大,铁芯发热加剧,会导致磁导率下降,励磁电流增大,进而引起互感器误差增大;频率降低时,磁滞损耗相对增加,同样会影响互感器的性能。另一方面,频率变化还会对绕组的感抗和容抗产生影响。绕组的感抗与频率成正比,容抗与频率成反比,频率的改变会打破互感器内部的电磁平衡,导致测量误差。在一些特殊情况下,如电力系统发生故障时,可能会出现非正弦波电流和电压,其中包含丰富的谐波成分,这些谐波也会对互感器的误差产生复杂的影响。

3 电站互感器误差检测方法

准确检测电站互感器的误差是保证其正常运行和电力系统可靠工作的关键环节。随着技术的不断发展,误差检测方法也在不断更新和完善,目前主要包括传统检测方法和现代检测方法。

3.1 传统检测方法

传统的电站互感器误差检测方法主要有比较法和直接测量法。比较法是最常用的传统检测方法之一,其基本原理是将被检测互感器与准确度等级更高的标准互感器进行比较。在检测过程中,使二者通过相同的一次电流或电压,然后测量它们二次侧输出的差异,从而确定被检测互感器的误差。比较法通常需要使用专门的互感

器校验仪,该仪器能够精确测量和显示比差和角差。比较法具有操作相对简单、检测结果较为准确等优点,但它对标准互感器的依赖程度较高,且检测效率较低,不适合大规模检测。直接测量法是通过直接测量互感器的相关参数来计算其误差^[3]。例如,测量互感器的励磁电流、绕组电阻、二次侧负载等参数,然后根据互感器的工作原理和误差计算公式,计算出比差和角差。直接测量法能够深入分析互感器误差产生的原因,但该方法测量过程繁琐,需要使用多种测量仪器,且对测量人员的技术水平要求较高,同时测量结果受仪器精度和测量方法的影响较大。

3.2 现代检测方法

随着电子技术和计算机技术的发展,现代检测方法逐渐应用于电站互感器误差检测领域。其中,基于数字信号处理的检测方法得到了广泛关注。该方法利用高精度的A/D转换器将互感器二次侧输出的模拟信号转换为数字信号,然后通过数字信号处理算法对信号进行分析和处理,计算出互感器的误差。这种方法具有检测速度快、精度高、能够实时监测等优点,还可以对非正弦波信号进行处理,适用于复杂电磁环境下的互感器误差检测。另外,基于虚拟仪器技术的检测方法也在不断发展。虚拟仪器通过软件和硬件的结合,利用计算机强大的计算和显示功能,构建出具有传统仪器功能的虚拟检测平台。在互感器误差检测中,虚拟仪器可以实现信号采集、处理、分析和显示等功能的一体化,用户可以根据实际需求灵活配置检测参数和功能模块,具有很强的通用性和扩展性。同时,现代检测方法还包括基于人工智能的检测技术,如神经网络、支持向量机等,这些技术能够通过对大量检测数据的学习和训练,实现对互感器误差的智能诊断和预测,为互感器的状态评估和维护提供有力支持。

4 电站互感器校准方法研究

为了保证电站互感器的测量精度和可靠性,在误差检测的基础上,需要对存在误差的互感器进行校准。互感器校准方法的研究对于提高电力系统的运行质量具有重要意义,目前主要包括基于误差分析的校准策略、传统校准方法优化以及新型校准方法探索。

4.1 基于误差分析的校准策略

基于误差分析的校准策略是在深入研究互感器误差来源和特性的基础上,制定针对性的校准方案。首先,通过对制造工艺误差的分析,针对绕组匝数偏差、铁芯加工缺陷等问题,可以采用重新绕制绕组、调整铁芯结构等方法进行校准。例如,若发现绕组匝数存在误差,

可以精确计算并调整匝数,使其符合设计要求。对于运行环境误差,需要考虑环境因素对互感器性能的影响规律。在温度变化较大的场合,可以根据温度-误差曲线,对测量结果进行温度补偿校准;对于电磁干扰环境,可以采用屏蔽、滤波等技术减少干扰影响,进而对互感器进行校准。针对负载影响误差,需要根据负载特性,合理选择和调整负载阻抗,使互感器工作在最佳负载范围内,以减小误差。通过对频率影响误差的分析,可以建立频率-误差模型,在不同频率下对互感器进行校准,以提高其在宽频范围内的测量精度。

4.2 传统校准方法优化

传统的互感器校准方法在实际应用中存在诸多局限性,严重制约了校准工作的效率与准确性。以比较法为例,传统模式下标准互感器的数量和精度有限,难以覆盖多样化的互感器检测需求,在面对特殊规格或高电压等级互感器时,检测范围和精度都受到极大限制。通过引入高精度、宽量程的标准互感器,并采用智能化的切换和控制技术,可有效解决这一问题。同时对互感器校验仪进行改进,采用更先进的信号处理和显示技术,如运用数字滤波算法和高分辨率显示屏,能够将误差测量的精度和分辨率提高一个数量级,使微小误差也能精准呈现。对于直接测量法,优化测量仪器和测量方法是提升校准效果的关键。采用高精度、多功能的测量仪器,如数字电桥、高精度电流表等,相比传统仪器,测量参数的准确性提高了20%以上;改进测量方法,通过优化测量电路布局,采用更合理的测量步骤,能够减少测量过程中的干扰因素,使校准的可靠性大幅增强,有效降低因测量误差导致的校准不准确问题。

4.3 新型校准方法探索

随着科技的不断进步,新型校准方法的探索成为提高电站互感器校准水平的重要方向。基于微机电系统(MEMS)技术的校准方法凭借其独特优势,在互感器校准领域崭露头角。MEMS传感器具有体积小、功耗低、灵敏度高等特点,将其集成到互感器内部后,可实现对互感器关键参数的实时监测。基于云计算和大数据

技术的校准方法同样展现出巨大的发展潜力。电力系统中互感器产生的海量检测数据蕴含着丰富信息,云计算平台强大的计算能力和存储能力,能够对这些数据进行深度分析与处理。通过挖掘数据中的潜在规律,可建立更精准的误差模型,从而实现对互感器的智能化校准^[4]。以某省级电网为例,引入该技术后,通过对多年互感器检测数据的分析,误差模型的准确率提升了30%,校准效率提高了40%。结合物联网技术,将互感器与智能终端设备连接,运维人员可通过手机、电脑等终端远程对互感器进行校准和监测,极大地提高了校准的便捷性和及时性,降低人力成本与运维难度。另外,量子计量技术的发展为互感器校准带来了全新思路。量子化的测量标准具有极高的准确性和稳定性,其测量精度可达传统方法的数十倍。目前,虽然量子计量技术在互感器校准领域的应用尚处于研究探索阶段,但已有研究表明,将其应用于互感器校准,有望使校准精度提升一个数量级以上,为实现更高水平的互感器校准提供了可能。

结束语

综上所述,对电站互感器误差的全面分析与校准方法研究,有效提升互感器测量精度与可靠性。从制造工艺到运行环境,多维度剖析误差来源为校准提供方向;传统与新型校准方法结合,推动校准技术革新。未来,随着科技进步,应持续探索更先进的检测与校准技术,适应电力系统不断发展的需求,为电力行业高质量发展筑牢基础。

参考文献

- [1] 巩锐锐.电力系统继电保护的故障分析及处理方法探讨[J].中国设备工程,2021,(09):47-48.
- [2] 酒小鹏.“比较测差”法检定电流互感器设备存在问题及分析[J].电子世界,2021,(08):102-104.
- [3] 陈骏,王德全,陈鸿桑.互感器测试误差问题的分析[J].集成电路应用,2020,37(08):86-87.
- [4] 刘向红.互感器测量误差分析及补偿措施[J].电子世界,2020(07):158-159.