

# 温度与负荷对电流互感器的影响及补偿研究

吴广生, 王博

国家电投集团贵州金元股份有限公司纳雍发电总厂, 贵州 毕节 553303

DOI:10.61369/EPTSM.2025030018

**摘 要 :** 本论文围绕温度与负荷对电流互感器性能的影响展开深入研究。通过理论分析与原理探讨, 明确温度变化和负荷波动对电流互感器误差特性、绝缘性能及稳定性的具体作用机制。在此基础上, 针对性地提出一系列有效的补偿方法, 并对补偿效果进行理论评估。研究结果表明, 采用合适的补偿策略能够显著提升电流互感器在复杂环境下的测量精度与运行可靠性, 为电力系统中电流互感器的优化设计与稳定运行提供重要的理论依据与技术支持。

**关 键 词 :** 电流互感器; 温度; 负荷; 影响; 补偿

## Study on the Influence and Compensation of Temperature and Load on Current Transformer

Wu Guangsheng, Wang Bo

Guizhou Jinyuan Co., LTD. Nayong Power Plant, State Power Investment Group, Bijie, Guizhou 553303

**Abstract :** This paper delves into the impact of temperature and load on the performance of current transformers. Through theoretical analysis and principle exploration, it clarifies the specific mechanisms by which temperature changes and load fluctuations affect the error characteristics, insulation performance, and stability of current transformers. Based on this, a series of effective compensation methods are proposed, and their effectiveness is theoretically evaluated. The research findings indicate that adopting appropriate compensation strategies can significantly enhance the measurement accuracy and operational reliability of current transformers in complex environments, providing crucial theoretical support and technical guidance for the optimized design and stable operation of current transformers in power systems.

**Keywords :** current transformer; temperature; load; influence; compensation

## 引言

电流互感器作为电力系统中不可或缺的关键设备, 承担着将一次侧大电流转换为二次侧小电流的重要任务, 其测量精度与运行稳定性直接关系到电力系统的计量准确性、继电保护可靠性以及自动化控制的有效性。在实际运行过程中, 电流互感器不可避免地会受到环境温度变化和负荷波动的影响。环境温度的变化会导致电流互感器内部材料的物理化学性质发生改变, 而负荷的波动则会使互感器的工作条件处于动态变化之中。这些因素均会对电流互感器的性能产生显著影响, 进而威胁电力系统的安全稳定运行。因此, 深入研究温度与负荷对电流互感器的影响, 并探索有效的补偿方法, 具有重要的理论意义和实际应用价值。

## 一、温度对电流互感器的影响

### (一) 对误差特性的影响

电流互感器的误差主要包括比差和角差, 而温度变化会对这两项误差指标产生重要影响。从材料特性角度来看, 电流互感器的铁芯和绕组等部件所用材料的磁导率、电阻率等参数会随温度发生变化。依据居里 - 外斯定律, 磁性材料的磁导率与温度存在紧密联系, 当温度升高时, 铁芯中磁畴的热运动加剧, 磁畴的有

序排列被破坏, 导致铁芯的磁导率下降, 励磁电流增大。根据互感器的电磁感应原理, 励磁电流的增加会使得比差和角差增大; 反之, 温度降低时, 磁导率有所上升, 但绕组材料的电阻率会遵循电阻温度系数规律减小, 导致二次侧回路参数改变, 同样会引起误差的变化。此外, 在实际运行场景中, 电流互感器内部由于散热条件的差异, 会出现温度的不均匀分布, 这会导致互感器内部各部分性能不一致, 进一步加剧误差的波动<sup>[1]</sup>。在长期运行过程中, 温度的频繁变化会使误差偏离标准范围, 严重影响电流互感

器的计量精度。例如，在电力系统的季节性运行中，夏季高温和冬季低温交替出现，电流互感器的误差会在较大范围内波动，若不进行有效处理，会使得电力计量出现较大偏差，影响电费结算的准确性和电力系统的经济运行。

### （二）对绝缘性能的影响

绝缘材料的性能对电流互感器的安全运行至关重要，而温度是影响绝缘材料性能的关键因素之一。随着温度的升高，绝缘材料中的分子热运动加剧，根据分子动力学理论，分子间的碰撞频率和能量增加，化学键的稳定性受到破坏。以常见的有机绝缘材料为例，高温会使分子链发生断裂，导致绝缘电阻下降、介质损耗增大。同时，高温还会加速绝缘材料的老化进程，使绝缘材料变脆、开裂，降低其绝缘强度。当温度超过绝缘材料的耐热极限时，绝缘材料的物理和化学性质会发生急剧变化，甚至会引发绝缘击穿，造成电流互感器故障，严重威胁电力系统的安全稳定运行。例如，环氧树脂绝缘材料在长期高温作用下，会出现老化降解现象，导致其电气性能大幅下降。此外，温度的急剧变化还会在绝缘材料内部产生热应力，由于绝缘材料各部分热膨胀系数不同，热应力会导致材料内部产生裂纹，进一步加速绝缘材料的损坏。在电力系统中，由于负荷的突变或环境温度的骤变，电流互感器的绝缘材料可能在短时间内承受较大的热应力冲击，从而缩短其使用寿命，增加故障发生的概率<sup>[2]</sup>。

### （三）对稳定性的影响

温度变化会使电流互感器的内部结构发生微小变形，如绕组的膨胀或收缩、铁芯的尺寸变化等。根据热胀冷缩原理，当温度升高时，绕组和铁芯的尺寸会增大；温度降低时，尺寸则会减小。这些结构变化会导致互感器的电磁参数发生改变，进而影响其运行稳定性。例如，绕组尺寸的变化会改变绕组间的互感和分布电容，铁芯尺寸的变化会影响磁路的磁阻，从而对互感器的传变特性产生影响。同时，温度的波动还会引起互感器内部气体压力的变化，对于采用气体绝缘的电流互感器来说，压力的不稳定可能导致密封性能下降，引发气体泄漏等问题，进一步影响互感器的正常运行。在极端温度条件下，如极寒地区的低温环境或高温工业场所，电流互感器的稳定性问题更为突出，可能出现误动作或拒动作等情况，给电力系统的安全运行带来隐患。例如，在高寒地区，低温会使气体绝缘电流互感器内部气体的压力显著降低，导致绝缘性能下降，使得继电保护装置可能无法正确反映系统故障，从而影响电力系统的故障快速切除和安全恢复<sup>[3]</sup>。

## 二、负荷对电流互感器的影响

### （一）对误差特性的影响

负荷电流的大小和性质对电流互感器的误差特性有着显著影响。从电磁学原理来看，电流互感器基于电磁感应定律工作，当负荷电流增大时，一次侧磁动势增强，促使电流互感器铁芯的磁通量增加，铁芯的饱和度也随之上升<sup>[4]</sup>。根据磁化曲线特性，铁芯在接近饱和时，磁导率急剧下降，励磁电流呈现非线性增大趋势。励磁电流的异常增大直接导致比差和角差明显增大，尤其是

在接近或超过电流互感器额定电流的工况下，误差的增长速度会急剧加快，严重影响测量精度。例如，在工业用电高峰期，大量设备同时运行，负荷电流大幅增加，若电流互感器选型不当或性能不佳，其测量误差可能导致电力计量出现较大偏差，影响电费结算的准确性。此外，负荷电流的谐波成分也会对电流互感器的误差产生影响。谐波电流具有非正弦特性，会在铁芯中产生附加损耗，导致励磁电流发生畸变。由于电流互感器的设计通常基于正弦波工况，谐波电流的存在打破了这一理想条件，使得互感器的传变特性恶化，进一步加剧误差特性的劣化。不同类型的负荷，如感性负荷、容性负荷和阻性负荷，其电流的相位、波形等特性各异，对电流互感器误差的影响也各不相同。感性负荷会使电流滞后电压，容性负荷则使电流超前电压，阻性负荷电流与电压同相，这些差异需要电力工程人员进行针对性的分析和研究，以保障电流互感器的测量精度。

### （二）对发热与温升的影响

随着负荷的增加，电流互感器绕组中的电流增大，依据焦耳定律  $Q=I^2Rt$ ，绕组中的铜耗会与电流的平方成正比增加，从而导致绕组温度迅速升高。与此同时，铁芯中的磁滞损耗和涡流损耗也会随着负荷电流的增大而显著增加。磁滞损耗是由于铁芯在交变磁场中反复磁化和去磁过程中，磁畴的摩擦和不可逆转动消耗能量产生的；涡流损耗则是由铁芯中感应出的涡流在铁芯电阻上产生的热效应。这两种损耗共同作用，进一步加剧了互感器的发热<sup>[5]</sup>。如果电流互感器长期在高负荷下运行，其内部热量不断积累，温度持续升高，一旦超过设计允许的温升范围，会对绝缘材料产生严重影响。绝缘材料在高温环境下，分子链的稳定性被破坏，加速老化进程，使其机械性能和电气性能下降，进而降低电流互感器的使用寿命。更严重的情况下，过高的温度可能引发过热故障，如绝缘击穿、绕组烧毁等。此外，负荷的频繁变化会使电流互感器内部产生热疲劳。每次负荷变化都会导致绕组和铁芯经历一次温度的升降循环，这种反复的热胀冷缩会在材料内部产生交变应力，随着时间推移，会对电流互感器的结构和性能造成不可逆的损伤，增加设备故障的风险。

### （三）对动态响应的影响

在电力系统中，负荷的快速变化较为常见，如短路故障的发生与切除、大容量设备的启停等场景。电流互感器作为电力系统中关键的测量和保护元件，需要具备良好的动态响应能力，以便准确、及时地反映一次电流的变化情况。然而，负荷的快速变化会对电流互感器的动态性能产生严峻挑战。当一次电流发生突变时，电流互感器的铁芯会出现磁滞和涡流效应。磁滞现象使得铁芯的磁化过程滞后于磁场的变化，而涡流效应则会在铁芯中产生感应电流，阻碍磁场的快速变化。这两种效应共同作用，导致二次电流不能及时准确地跟随一次电流的变化，从而产生动态误差。在电力系统继电保护中，动态误差可能影响保护装置的动作准确性。例如，在短路故障发生时，如果电流互感器的动态误差过大，继电保护装置可能无法正确判断故障电流的大小和方向，导致保护误动作，切除正常运行的线路，造成不必要的停电；或者在故障切除后，由于动态误差的存在，保护装置可能延迟返

回，影响电力系统的快速恢复<sup>[6]</sup>。

### 三、电流互感器的补偿方法

#### （一）温度补偿方法

为了降低温度对电流互感器性能的影响，可采用多种温度补偿方法。一种常见的方法是通过设计温度补偿电路来实现。利用温度传感器实时监测电流互感器的环境温度或内部关键部位的温度，将温度信号转换为电信号后输入到补偿电路中。补偿电路根据温度与误差的对应关系，对二次输出信号进行调整，从而补偿温度变化引起的误差。此外，还可以从材料选择和结构设计方面进行温度补偿。选用温度系数较小的铁芯材料和绕组材料，优化互感器的散热结构，提高其散热能力，以减少温度变化对互感器性能的影响。例如，采用新型纳米晶铁芯材料，其磁导率随温度变化较小，能够有效降低温度对误差特性的影响<sup>[7]</sup>。

#### （二）负荷补偿方法

针对负荷对电流互感器的影响，可采用负荷自适应补偿技术。通过实时监测负荷电流的大小、相位和谐波成分等参数，利用先进的信号处理算法，计算出当前负荷条件下电流互感器的误差值。然后，根据误差计算结果，对二次输出信号进行调整，使互感器的输出能够准确反映一次电流。例如，采用数字信号处理（DSP）技术和自适应滤波算法，能够快速准确地识别负荷变化，并对误差进行补偿。此外，还可以通过优化电流互感器的设计参数，如增加铁芯截面积、优化绕组匝数等，提高其在不同负荷条

件下的适应性，降低负荷变化对互感器性能的影响<sup>[8]</sup>。

#### （三）综合补偿策略

由于实际运行中电流互感器同时受到温度和负荷的影响，单一的补偿方法往往难以达到理想的补偿效果。因此，需要采用综合补偿策略，将温度补偿和负荷补偿方法有机结合起来<sup>[9]</sup>。构建一个基于多传感器信息融合和智能控制算法的综合补偿系统，实时采集温度、负荷电流等多种信息，并通过智能算法对这些信息进行分析处理，制定出最优的补偿方案。例如，采用模糊控制或神经网络等智能控制算法，能够根据不同的温度和负荷工况，自动调整补偿参数，实现对电流互感器误差的精准补偿<sup>[10]</sup>。

### 四、结论

本论文系统地研究了温度与负荷对电流互感器的影响，并提出了相应的补偿方法。研究表明，温度变化和负荷波动会对电流互感器的误差特性、绝缘性能、稳定性以及动态响应等方面产生显著影响，严重威胁电力系统的安全稳定运行和计量准确性。通过采用合理的温度补偿方法、负荷补偿方法以及综合补偿策略，能够有效降低温度和负荷变化对电流互感器性能的不利影响，提高其测量精度和运行可靠性。然而，随着电力系统的不断发展，对电流互感器的性能要求越来越高，未来还需要进一步深入研究更先进的补偿技术和优化设计方法，以满足电力系统日益增长的需求。同时，还应加强对电流互感器在复杂运行环境下的性能研究，为电力系统的智能化、高效化发展提供更有力的技术支持。

### 参考文献

[1] 樊晓鸥. 智能电器嵌入式电流互感器特性及补偿方法研究 [D]. 大连理工大学, 2019.

[2] 孙帆, 王维庆, 金铭, 等. 油浸型倒立式电流互感器内绝缘缺陷特征及检测方法 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(02): 120–126.DOI: 10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2025.02.014.

[3] 李宗, 朱述川, 吕现传, 等. 浅谈电流互感器饱和对电流保护的影响 [J]. 中国设备工程, 2022, (05): 94–95.

[4] 廖耀华, 李正兴, 雷雨兴, 等. 一种电流互感器新型二次短接装置 [J]. 云南电业, 2024, (10): 1–5.

[5] 周浪, 刘水平, 杨茜, 等. 防爆型油浸式电流互感器研制 [J]. 电力电容器与无功补偿, 2025, 46(01): 89–97.DOI: 10.14044/j.1674-1757.pcrpc.2025.01.015.

[6] 王倩, 赵书耀, 曹琦, 等. 光学电流互感器的关键技术发展综述 [J]. 电工技术, 2025, (04): 77–84.DOI: 10.19768/j.cnki.dgjs.2025.04.021.

[7] 卓越. 基于磁致伸缩效应的光纤电流互感器研究与设计 [D]. 华北理工大学, 2025.DOI: 10.27108/d.cnki.ghelu.2025.000003.

[8] 王智, 贺星, 杨静. 外磁场影响下电流互感器误差校正方法研究 [J]. 机电信息, 2024, (22): 17–21+26.DOI: 10.19514/j.cnki.cn32-1628/tm.2024.22.005.

[9] 周仕豪, 徐在德, 刘彬, 等. 基于改进 BP 神经网络的全光纤电流互感器误差补偿方法 [J]. 江西电力, 2024, 48(05): 1–5+42.

[10] 周君. 语境理论视域下高年级基础型学习任务群教学设计与实施策略——以人教版小学语文五年级上册第四单元为例 [J]. 文教资料, 2024, (18): 142–145.