

发电厂大型机组高压厂用电系统电流互感器 参数建议研究

高攀

西北电力设计院有限公司, 陕西 西安 710075

DOI:10.61369/WCEST.2025070006

摘 要 : 本文针对发电厂大型机组高压厂用电系统安全稳定运行需求, 重点关注电流互感器也就是 CT 的参数配置方面问题, 通过对高压厂用电系统故障工况进行分析, 再结合 CT 在继电保护和测量监控中的功能定位, 从额定参数、暂态特性、精度等级、绝缘性能这些关键维度来提出参数选择的建议, 目的是为大型机组高压厂用电系统 CT 的选型与配置提供理论依据和工程实践参考, 从而提升系统运行的可靠性与经济性。

关 键 词 : 高压厂用电系统; 电流互感器; 参数选择

Research on Recommended Parameters of Current Transformer in High-Voltage Power System of Large-Scale Power Plant Unit

Gao Pan

Northwest Electric Power Design Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075

Abstract : In view of the safe and stable operation requirements of the high-voltage power system of large-scale power plants, this article focuses on the parameter configuration of the current transformer, that is, CT. By analyzing the fault conditions of the high-voltage power system, combined with the function determination of CT in relay protection and measurement monitoring, This paper proposes parameter selection suggestions from the key dimensions of rated parameters, transient characteristics, accuracy level, and insulation performance. The purpose is to provide theoretical basis and engineering practice reference for the selection and configuration of large-scale unit high-voltage plant power system CT, thereby improving the reliability and economy of system operation.

Keywords : high-voltage plant power system; current transformer; parameter selection

大型发电机组高压厂用电系统的安全运行情况直接影响机组的稳定性, 电流互感器也就是 CT, 作为连接一次系统与二次保护、测量装置的核心设备, 它的参数配置直接决定继电保护的准确性、测量精度以及系统故障处理能力。

一、CT 在高压厂用电系统中的功能需求

电流互感器在高压厂用电系统中承担着继电保护、测量监控以及安全联锁这三大核心功能, 其性能好坏直接决定系统运行的安全性与经济性, 在继电保护方面, CT 需要为过流保护、差动保护、接地保护等装置提供准确的电流信号, 以此确保故障发生时保护装置能够快速可靠动作, 这就要求 CT 在故障暂态过程中保持线性传变特性, 避免因饱和问题导致保护拒动或者误动情况出现。

在测量监控功能方面, CT 要为电能计量、电流表计以及自动化系统提供高精度电流数据, 以此支持机组运行状态监测与经济指标分析工作, 正常运行时, CT 应该在 0 - 120% 额定电流范围之内保持 0.2 级或者 0.5 级测量精度, 从而确保负荷统计、能耗分

析的结果准确无误, 在过负荷工况的情况下, 需要避免因铁芯饱和而导致的测量偏差问题, 进而保障监控系统对异常工况能够进行有效识别。

二、电流互感器关键参数影响因素分析

(一) 额定参数

额定一次电流要依据高压厂用电系统最大正常工作电流以及负荷波动范围来确定, 通常按照 1.2 至 1.5 倍最大计算电流进行选取, 目的是确保正常运行时铁芯不饱和并且留有一定裕量, 额定变比的选择需要兼顾二次设备接口标准, 常见的二次额定电流是 5A 或者 1A, 其中 1A 规格在长电缆回路中能够降低线路损耗, 更

适合大型电厂的复杂二次网络，额定短时热电流和动稳定电流是保障 CT 在故障工况下安全的关键指标，需根据系统最大三相短路电流计算来确定，通常要求热稳定电流持续时间不少于 1 秒，动稳定电流倍数不小于 2.5 倍额定热稳定电流，以此耐受短路电流产生的高温与电动力冲击。电流互感器额定一次电流计算公式如下：

$$I_{1N} = K_{load} \times I_{1max}$$

其中， I_{1N} 为 CT 额定一次电流（A）；

K_{load} 为负荷系数，取值范围 1.2~1.5（根据系统负荷波动特性确定）；

I_{1max} 为系统最大工作电流（A）。

（二）暂态特性参数

暂态特性主要受一次电流非周期分量、衰减时间常数以及二次回路时间常数的影响，非周期分量会让铁芯磁通量快速累积进而易引发 CT 暂态饱和，暂态等级作为衡量 CT 暂态性能的核心指标，常见等级包含 TPS、TPX、TPY 和 TPZ，其中 TPY 级通过设置非磁性间隙来抑制暂态饱和，适用于需要准确反映故障暂态电流的场合，暂态面积系数 K_{td} 表征 CT 在规定暂态条件下的误差限值，需和保护装置的动作时间配合以确保在保护动作前 CT 不饱和，二次时间常数 T_s 由二次回路电感与电阻决定，需通过优化二次负荷阻抗与 CT 励磁特性来控制 T_s 值以减少暂态误差。

（三）精度等级与误差特性

精度等级按照用途可以分为测量用和保护用，测量用 CT 需要保证在正常运行范围之内的高精度，常见等级是 0.2 级和 0.5 级，其中 0.2 级适用于电能计量且要求在额定电流 1% 至 120% 范围中电流误差不超过 $\pm 0.2\%$ 、相位差不超过 $\pm 10'$ ，保护用 CT 则侧重于故障大电流情况下的误差控制，常用 5P 和 10P 等级，分别表示在额定准确限值一次电流下电流误差不超过 $\pm 5\%$ 和 $\pm 10\%$ 、复合误差不超过 $\pm 10\%$ 和 $\pm 15\%$ ，准确限值系数是保护用 CT 的关键指标，指的是允许的最大一次电流与额定一次电流的比值，例如 5P20 表示在 20 倍额定电流下仍能够满足精度要求，励磁特性曲线反映 CT 在不同一次电流之下的励磁电流变化，拐点电压越高 CT 抗饱和能力就越强，需要通过测试确保励磁电流在额定工况下处于线性段。

（四）绝缘与结构参数

额定绝缘水平要依据系统最高工作电压来确定，例如 10kV 系统 CT 的雷电冲击耐受电压不能低于 75kV，工频耐压不能低于 30kV，并且要通过局部放电试验，在 1.1 倍额定电压下局部放电量不能大于 10pC。绝缘结构分为内绝缘和外绝缘这两种类型，内绝缘一般采用油纸绝缘或者气体绝缘的方式，外绝缘则需要满足爬电距离的相关要求，户外型 CT 爬电比距不能小于 20mm/kV，以此来适应不同的环境条件。结构设计需要考虑散热性能方面的问题，通过优化铁芯与绕组的布置情况、设置散热气道或者采用低损耗材料，控制额定负荷下的温升不超过 80K 或者 100K^[1]。

三、高压厂用电系统 CT 参数选择建议

（一）基于系统拓扑的参数差异化选择

1. 电源进线侧 CT

电源进线侧 CT 要优先满足继电保护的严格要求，特别是系统发生短路故障时需准确传变含非周期分量的暂态电流，所以暂态

特性应选择 TPY 级并通过设置非磁性间隙抑制暂态饱和，以此确保在故障发生后的 100 毫秒内保持线性传变能力，额定一次电流要按进线最大工作电流的 1.5 倍进行配置，同时还需校核系统最大短路电流下的热稳定与动稳定性能，热稳定电流持续时间不能低于 2 秒且动稳定电流倍数不小于 3 倍额定热稳定电流，这样才能耐受短路电流产生的电动力与高温冲击，在精度等级方面保护绕组采用 5P20 级以确保在 20 倍额定电流下误差不超过 10%，测量绕组采用 0.5S 级来满足正常运行时的计量需求^[2]。

2. 馈线回路 CT

对于电动机类的负荷，因为启动电流能达到额定电流的 6 至 8 倍，并且持续时间比较长，所以额定一次电流要按照电动机额定电流的 1.2 至 1.5 倍来选取，目的是避免启动过程中 CT 出现饱和情况，暂态等级一般选择 TPX 级，它的铁芯采用无气隙设计能够在稳态短路时保持较高精度，适用于馈线回路中以过流保护为主的场景，保护绕组精度等级采用 5P20 或者 5P10，以此确保在 10 至 20 倍额定电流的情况下误差可以满足保护装置的要求，测量绕组则依据负荷重要性来选择 0.5S 或者 1.0S 级，用于日常运行监控以及电能统计工作，二次负载阻抗需要综合考虑电缆长度和保护装置输入阻抗，通过合理配置电缆截面来控制回路阻抗，从而确保 CT 在额定负荷下误差达到最小^[3]。

3. 变压器中性点 CT

因为中性点回路在正常运行时电流较小，只有在系统发生单相接地故障时才会出现故障电流，所以额定一次电流一般选择比较小的值，这样能够提高接地故障检测的灵敏度，变比的选择需要和接地保护装置的整定值相匹配，要保证故障电流经过 CT 转换之后可以可靠触发保护动作，通常变比范围是在 100A/5A 至 400A/5A，在暂态特性方面，由于接地故障电流中的非周期分量比较小，所以可以选择 PX 级或者 5P 级 CT，不需要有特别严苛的暂态饱和抑制能力，但要保证在故障电流作用下能够线性传变，精度等级采用 5P10，要确保在 10 倍额定电流的情况下误差不超过 10%，以此满足接地保护对电流测量的准确性要求，二次负载阻抗应该尽可能小，要通过缩短二次电缆长度、增大电缆截面的方式来降低回路阻抗，避免因负载过大导致 CT 误差增大而影响保护灵敏度^[4]。

（二）暂态特性参数优化建议

1. 暂态等级与保护算法匹配

数字式保护装置具备强大数据处理能力，能通过算法对 CT 暂态误差进行补偿，所以可选用暂态性能相对简化的 TPX 级 CT，TPX 级 CT 铁芯没有气隙（见表 1），在稳态短路情况下精度比较高，并且成本低于 TPY 级，适用于配置数字式保护的馈线、电动机等回路，传统电磁式保护装置依赖电流波形的完整性实现动作逻辑，因此需选用 TPY 级 CT，通过铁芯气隙设计抑制暂态饱和，确保在故障暂态过程中电流传变误差不超 5%，避免保护装置出现误动或拒动情况^[5]。变压器差动保护等对暂态特性要求极高的场景，需选用 TPZ 级 CT，其铁芯气隙较大可有效消除剩磁影响，确保在整个暂态过程中传变特性呈线性，满足差动保护对两侧电流波形一致性的要求^[6]。

表1 CT暂态等级与保护算法匹配关系				
暂态等级	铁芯结构特点	适用保护类型	典型应用场景	保护算法兼容性
TPX	无气隙, 暂态饱和抑制弱	常规过流保护、限时速断保护	馈线回路、电动机保护	数字式保护
TPY	带非磁性气隙, 暂态抑制强	差动保护、接地保护	电源进线、主变压器	传统电磁式保护、数字式差动保护
TPZ	大气隙, 无剩磁影响	超高压系统差动保护	大型变压器、发电机	高精度差动保护

2. 二次负载阻抗限制

CT的额定二次负载阻抗是制造商依据铁芯特性和绕组参数来确定的，通常会标注成2.5VA、5VA、10VA等数值，在实际应用中二次回路总阻抗要控制在额定值的25%至100%范围之内，要是负载阻抗超过了额定值就会导致CT励磁电流增大，使得误差超出允许范围严重时还会引发饱和，电缆阻抗作为二次负载的主要组成部分需要根据电缆长度与截面来计算，对于长距离回路应该选用较大截面电缆或者降低二次额定电流，以此来减小电缆电阻与电抗，保护装置输入阻抗需要和CT额定负载相匹配，优先选择高输入阻抗的保护装置以降低对CT负载能力的要求^[7]。CT二次负载阻抗计算公式如下：

$$Z_{2\Sigma} = Z_{cable} + Z_{device} + Z_{contact}$$

其中， $z_{2\Sigma}$ 为二次回路总阻抗（Ω）；
 Z_{cable} 为二次电缆阻抗（Ω），与电缆长度、截面及频率相关；
 Z_{device} 为保护/测量装置输入阻抗（Ω）；
 $Z_{contact}$ 为连接端子接触电阻（Ω），通常取0.1~0.5Ω。

（三）精度与可靠性平衡策略

1. 双绕组CT配置

保护绕组和测量绕组采用独立铁芯或者独立绕组的设计方式，它们分别连接到保护装置以及测量仪表之上，以此确保保护回路出现故障时不会影响测量精度，同时测量回路负载发生变化时也不会干扰保护性能，保护绕组需要具备比较强的过电流能力，其铁芯截面设计得比较大，采用5P或者10P级精度，匝数设置得较少来降低二次感应电压，适用于故障大电流的传变工作，测量绕组则更侧重于小电流情况下的精度^[8]。铁芯采用高磁导率

的材料制作，匝数设置得比较多，精度等级为0.2S或者0.5S，确保在正常运行时误差能够达到最小，双绕组CT的变比可以根据保护和测量的需求分别进行选择，绕组排列方式通常采用同心式的形式，保护绕组处于外侧位置，测量绕组处于内侧位置，这样能够减少漏磁所带来的影响。

2. 极端工况校验

短路电流校验要计算系统最大三相短路电流以及单相接地短路电流，还要校核CT的热稳定与动稳定性能，以此确保在短路电流作用下绕组温升不超过80K且铁芯与外壳无变形、绝缘无损坏，过负荷校验需考虑机组启动和设备异常等情况下的长期过负荷，要验证CT在过负荷时的误差变化，保证测量绕组误差不超过1.5倍额定精度限值且保护绕组不饱和，暂态饱和校验通过仿真计算故障暂态过程中的CT励磁电流来判断是否发生饱和，要是饱和和时间早于保护动作时间就需调整CT暂态等级或二次负载阻抗，温度适应性校验需考虑电厂高温、高湿环境对CT性能的影响，在-25℃至+70℃温度范围内CT误差变化应控制在±10%以内且绝缘电阻不低于1000MΩ（见表2）。

表2 CT极端工况校验关键指标与标准			
校验类型	校验参数	允许限值	校验方法
短路电流校验	热稳定电流/动稳定电流	温升≤80K，无结构变形	仿真计算+实验室短路试验
暂态饱和校验	饱和时间/励磁电流	饱和时间/保护动作时间(>100ms)	ATP-EMTP暂态仿真
温度适应性校验	误差变化/绝缘电阻	误差变化≤±10%，绝缘电阻≥1000MΩ	高低温箱环境试验
剩磁影响校验	剩磁系数	≤10%饱和磁通	多次短路后剩磁测量

四、结论

CT参数选择要把系统安全稳定运行当作核心，依据不同拓扑位置的功能定位进行差异化配置，电源进线侧要优先保障暂态特性和短路耐受能力，推荐TPY级、5P20保护绕组以及0.5S测量绕组，馈线回路需要兼顾电动机启动负荷和稳态精度，选用TPX级、5P10/20保护绕组以及0.5S/1.0S测量绕组，变压器中性点着重于接地故障灵敏度，采用小变比、5P10级配置。

参考文献

[1]王应坤,刘顺意,黄晨,等.特高压换流站站用电系统自备投可靠性提升研究[J].湖南电力,2022,42(04):90-94.
[2]陈轩,朱超.用于特高压站站用电系统的绝缘监测系统研究[J].机电信息,2022,(02):1-5.
[3]孙楠,严佳梅,赵俊,等.特高压换流站站用电系统保护配置及定值配合研究[J].广东电力,2021,34(08):86-93.
[4]李晓.高压厂用电系统单相接地零序过电流保护的整定计算[J].电工技术,2021,(16):143-145.
[5]王永生.大型火力发电厂高压厂用电系统创新应用[J].西安文理学院学报(自然科学版),2020,23(03):67-70.
[6]陈思.±800kV特高压换流站交流站用电系统设计优化分析[J].电力勘测设计,2020,(06):49-54.
[7]王家庆,王家福.特高压变电站站用电系统设计与运维[J].山东工业技术,2019,(09):188.
[8]曹大军.电厂用电系统中高压变频器的应用[J].电气时代,2018,(09):66-67.