

继电保护 CT 二次回路多点接地导致保护误动

——以燃机电厂为例

张洪侠

深圳大唐宝昌燃气发电有限公司

摘要：电流互感器（CT）二次回路的正确接地是保障燃机电厂继电保护系统可靠运行的关键环节。本文针对燃机电厂 CT 二次回路多点接地问题，从理论机理、实际案例和防范措施三方面展开研究。首先阐述了 CT 二次回路接地的基本原则及多点接地产生的电气干扰机制，结合某电厂联变差动保护误动和某百万千瓦机组高厂变保护误动案例，分析了多点接地导致保护误动的具体过程。针对燃机电厂振动大、启停频繁的特殊运行环境，提出了包含施工规范、在线监测和检修策略在内的“三位一体”防范体系。研究结果对提高燃机电厂继电保护可靠性具有实际指导意义。

关键词：燃机电厂；继电保护；电流互感器；二次回路；多点接地；保护误动

引言

随着电力系统向高参数、大容量方向发展，燃机电厂以其启动迅速、调峰能力强等优势在电力系统中占据重要地位。继电保护系统作为燃机电厂安全运行的“第一道防线”，其可靠性直接关系到机组乃至整个电网的安全稳定运行。电流互感器（CT）作为继电保护系统的“感知元件”，其二次回路的正确接线和接地方式对保护装置的准确动作至关重要。

根据 GB/T 14285-2023《继电保护和安全自动装置技术规程》要求，CT 二次回路必须且只能有一个接地点，这一规定旨在防止地网电位差引入干扰电流，避免保护装置误动或测量失真。然而在实际运行中，由于施工不规范、设备老化、环境振动等原因，多点接地现象时有发生。特别是在燃机电厂中，机组运行时振动较大易导致电缆绝缘受损，且启动停机频繁引发回路应力变化，使得 CT 二次回路多点接地问题较常规电厂更为突出。

1 CT 二次回路接地原理及多点接地危害

1.1 接地基本原则

CT 二次回路接地的核心目的可分为两类：一是安全防护，防止一次侧高压通过分布电容耦合至二次回路，避免人员触电或二次设备绝缘损坏；二是信号保障，通过固定回路电位基准，避免地电位差干扰导致的保护误判或测量偏差。

1.2 多点接地的电气机理

当 CT 二次回路存在两个及以上接地点时，地网中不同接地点的电位差（ ΔU ）会在二次回路中形成闭合回路，产生干扰电流（ I 干扰），其电气机理可

通过以下过程解析：①电位差产生：当系统发生短路故障时，地网中会流过数千安培的故障电流，导致不同区域接地网电位出现差异（ ΔU ），且故障电流越大， ΔU 值越高（可达数百毫伏至数伏）。②干扰电流形成：根据欧姆定律， ΔU 会在二次回路中产生 I 干扰 = $\Delta U/R$ 回路，其中 R 回路为两个接地点之间的二次回路总电阻（含电缆电阻、端子接触电阻等，通常为几欧至几十欧）。

对于差动保护而言，多点接地的危害尤为显著：差动保护通过比较两侧 CT 的电流差值（差流）判断故障，当两侧回路均存在多点接地时，两侧干扰电流可能不一致，形成“虚假差流”。若虚假差流超过保护整定值（通常为额定电流的 0.2~0.5 倍），则会触发保护误动。

1.3 燃机电厂的特殊影响因素

与火电机组、水电机组相比，燃机电厂的运行环境对 CT 二次回路接地系统的稳定性要求更高，主要特殊影响因素包括以下方面。

（1）持续振动冲击：燃气轮机运行时振动频率通常为 50~200Hz，长期振动会导致电缆固定卡松动、接线端子氧化松动，甚至电缆绝缘层与金属穿管摩擦破损，增加接地故障概率；

（2）剧烈温度变化：燃机电厂启停周期短（冷态启动至满负荷仅需 1~2 小时），设备温度从常温升至 400℃ 以上，电缆绝缘材料（如聚氯乙烯）会因热胀冷缩产生疲劳裂纹，绝缘性能逐步下降；

（3）负荷波动频繁：燃机电厂多承担调峰任务，负荷变化率可达 10%/min，CT 二次电流频繁波动会在

回路中产生电磁感应电动势，加速绝缘材料老化，同时增加接地回路的暂态干扰风险。

2 多点接地导致保护误动的案例分析

2.1 漫湾电厂联变差动保护误动案例

2.1.1 事故概况

2009年2月16日，某电厂联变（500kV/220kV/35kV）运行中，Ⅱ组波形对称差动保护突然动作，导致联变高、中、低压侧断路器跳闸，机组停运1.5小时。现场检查发现：一次设备无短路、放电痕迹，联变油色谱分析正常，排除一次故障可能，初步判定为保护误动。

2.1.2 数据与现象分析

保护装置动作记录显示：动作时差动电流为0.549A（整定值0.2A），动作时间27ms（符合差动保护速动特性）；35kV侧15LH、17LH两组CT二次电流出现三相突变，且三相电流相位基本一致。故障录波图显示，CT二次电流突变前无任何一次系统扰动，排除区内外故障引发的正常差流。

2.1.3 接地问题定位

进一步拆解回路发现：15LH、17LH采用“主CT+中间CT”两级变换接线，主CT副边导线穿过中间CT铁芯后，未直接回到主CT线圈N端，而是错误连接至中间CT副边N端端子，导致主CT与中间CT副边形成直接电连接。其中，中间CT副边在保护屏内接地，主CT副边在开关场端子箱接地，形成两点接地。

2.1.4 误动机理

当系统某区域发生区外故障时，地网中故障电流导致保护屏接地与开关场接地之间产生 $\Delta U=320\text{mV}$ ，在两级CT连接回路中形成 $I_{\text{干扰}}=320\text{mV}/8\Omega=40\text{mA}$ 。该电流叠加在35kV侧CT正常电流上，导致联变Ⅱ组差动保护两侧电流不平衡，虚假差流超过整定值，最终引发误动。整改措施为：断开主CT与中间CT副边的错误连接，重新规范接线，确保回路仅在保护屏内一点接地，后续未再发生同类事故。

2.2 某百万千瓦机组高厂变差动保护误动案例

2.2.1 事故概况

2014年1月，某电厂5号、6号百万千瓦机组（含燃气轮机模块）运行中，发变组保护同时动作停机。检查确认：6号机组主变存在单相接地故障，保护正确动作；5号机组无一次故障，高厂变B相差动保护误动。

2.2.2 数据与现象分析

5号机组保护动作记录显示：B相差动电流达0.428A（整定值0.334A），动作时间31ms；故障录波器记录的5号机组一次电流无突变，但保护装置采集

的B相二次电流突然增大。对比发现：保护装置与故障录波器的B相CT二次回路取自不同抽头，录波器回路正常，保护回路异常。

2.2.3 接地问题定位

检查5号机组高厂变低压侧B相CT二次回路：CT二次抽头S1至就地端子箱的电缆绝缘层因振动磨损，与接地金属支架接触，绝缘电阻降至 $0.5\text{M}\Omega$ （规范要求 $\geq 1\text{M}\Omega$ ）；而二次抽头S2（N600）已按要求在保护屏内接地，形成S1与S2两点接地。

2.2.4 误动机理

6号机组主变发生单相接地故障时，其主变中性点CT二次电流通过地网传导，在5号机组地网中形成局部电位差。该电位差通过5号机组高厂变B相CT的两点接地回路（S1-接地支架-地网-S2-N600）形成干扰电流，注入5号机组高厂变差动保护装置，导致B相差流超标误动。整改措施为：更换破损电缆，加强振动区域电缆绝缘防护，后续机组运行正常。

2.3 案例共性与燃机电厂警示

上述两起案例虽发生于不同电厂，但多点接地导致保护误动的核心特征一致，案例共性有以下方面。

- （1）信号异常性：保护装置采集的电流波形相位、幅值异常，与一次设备运行状态不匹配；
 - （2）差流特殊性：误动时差流无明显故障发展过程，多为突然突变，且谐波成分占比高；
 - （3）接地隐蔽性：多点接地多由绝缘磨损、接线错误导致，常规巡检难以发现，需结合专项测试定位。
- 对燃机电厂而言，案例警示如下：

- （1）振动环境易导致电缆绝缘破损，需加强振动区域（如燃气轮机附近）CT二次回路的绝缘检查；
- （2）启停频繁导致的热应力易引发接线端子松动，需采用双螺母固定端子，避免接地连接不可靠；
- （3）燃机电组调峰时负荷波动大，需加强CT二次回路的暂态干扰监测，提前预警接地隐患。

3 防范措施与技术看案

针对燃机电厂CT二次回路多点接地问题，结合其特殊运行环境，提出“设计规范-运行监测-检修维护”三位一体的防范体系，具体措施如下：

3.1 设计与施工阶段：源头防控

3.1.1 接地点与回路设计

（1）接地点优化：绘制CT二次回路接地示意图，明确标注唯一接地点位置，在接地点处设置“唯一接地，严禁增设”警示牌；振动较大区域（如燃气轮机厂房）的CT，采用防震型端子箱，接地点选用弹簧式防震固定结构，避免振动导致接地松动。

回路隔离设计:不同保护装置的 CT 二次回路采用独立电缆,禁止共用电缆或接地线;CT 二次绕组与开口三角绕组的电缆分开敷设,间距 $\geq 10\text{cm}$,避免信号交叉干扰;

等电位网建设:控制室和开关场敷设 $\geq 100\text{mm}^2$ 紫铜排构成等电位网,通过 ≥ 4 根 50mm^2 铜缆与主接地网连接;保护屏柜下部设置 100mm^2 接地铜排,设备外壳、金属穿管与铜排可靠焊接,降低地网电位差。

3.1.2 电缆选型与敷设

电缆选型:优先选用耐振动、耐高低温的交联聚乙烯(XLPE)绝缘电缆,其耐温范围 $-40\text{℃}\sim 90\text{℃}$,抗疲劳性能优于传统聚氯乙烯电缆。

敷设规范:电缆敷设路径远离高温管道(距离 $\geq 1.5\text{m}$)和强振动设备,采用不锈钢固定卡每隔 0.5m 固定一次,避免电缆晃动磨损;电缆沟内设置分隔支架,不同回路电缆分层敷设,层间间距 $\geq 5\text{cm}$ 。

屏蔽处理:CT 二次电缆采用铜带屏蔽层,屏蔽层在开关场端子箱和控制室屏柜两端接地,接地线截面 $\geq 4\text{mm}^2$;高频信号(如差动保护)传输采用双绞双屏蔽电缆,内层屏蔽接地,外层屏蔽悬浮,降低电磁干扰。

3.2 运行阶段:实时监测

3.2.1 带电监测装置应用

安装 CT 二次回路多点接地带电监测装置,原理为:在 CT 二次接地线上串联非接触式电流传感器,实时采集接地电流(正常工况下接地电流应接近 0);当接地电流超过阈值时,装置发出声光告警,并上传至电厂监控系统。

3.2.2 定期绝缘测试

结合燃机电厂检修周期,开展 CT 二次回路绝缘测试:

(1)绝缘电阻测试:采用绝缘电阻表打到 500V 档位,测试 CT 二次绕组对壳、各绕组间的绝缘电阻,要求 $\geq 10\text{M}\Omega$;测试二次电缆芯线对地绝缘电阻,要求 $\geq 10\text{M}\Omega$;

(2)升流试验:新安装或检修后的 CT 二次回路,在 $0.6I_e$ 、 $0.8I_e$ 、 $1.0I_e$ (I_e 为 CT 额定二次电流)三个工况下测量各点电流,验证回路完整性;差动保护两侧电流差值应满足规范要求,确保无干扰电流。

3.2.3 差流异常预警

在保护装置中启用“差流越限报警”功能。当机组低负荷运行时,若差流持续超过报警阈值且无一次故障迹象,立即触发告警,提醒运维人员排查多点

接地隐患。

3.3 检修与维护阶段:精准防控

3.3.1 振动区域专项检查

对靠近燃气轮机、压缩机等强振动设备的 CT 二次回路,缩短检查周期,重点检查内容如下:

(1)电缆绝缘层是否有磨损、裂纹,铠装层是否破损;

(2)接线端子是否松动、氧化;

(3)接地连接是否可靠,接地线有无断股、腐蚀,接地端子与铜排接触是否良好。

3.3.2 反措执行与闭环管理

严格执行《电力系统继电保护及安全自动装置及反事故措施要点》,应重点落实以下方面。

(1)交流二次回路中每个电气连接回路只允许一点接地;

(2)尽量避免在 CT 二次回路中接入与保护无关的设备(如计量仪表),避免额外接地节点。

(3)建立反措执行台账,定期开展反措落实情况检查,对发现的问题制定整改计划,明确责任人与完成时限,形成“检查-整改-验证”闭环管理。

4 结论

本文通过理论分析、案例拆解和措施研究,得出以下结论:

(1)CT 二次回路多点接地的核心危害是地网电位差在回路中形成干扰电流,导致保护装置采集信号失真,其中差动保护对虚假差流最为敏感,易引发误动;

(2)燃机电厂的振动、温度变化等特殊因素,加剧了 CT 二次回路多点接地风险,需针对性优化设计与维护策略;

(3)提出的“设计-监测-检修”三位一体防范体系,可从源头减少接地隐患、实时预警异常、精准排查故障,有效提升燃机电厂继电保护可靠性。

参考文献:

- [1] 中国电力企业联合会.继电保护和安全自动装置技术规程:GB/T 14285-2023[S].中国标准出版社,2023.
- [2] 国家能源局.电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点[Z].1994.
- [3] 李军.燃机电厂 CT 二次回路多点接地隐患的防控措施[J].燃气轮机技术,2021,34(3):58-62.
- [4] 中国电力科学研究院.电流、电压互感器二次回路接地及布线规则[Z].2025.