# 电力变压器铁心接地故障的分析及处理

晏小全

（赣西电力集团公司供电分公司　江西，樟树　332102）

**摘要：**由于大中型变压器铁心多经过油箱外部实现一点接地，以保证电力变压器的正常运行。但如果铁心由于其他原因而造成另外一点接地时，则会导致变压器多点环流，最终导致铁心接地故障。在制造工艺、安装运输和运行维护等方面的影响下，电力变压器在运行过程中容易产生铁心接地故障，不利于电力系统安全、稳定、经济的运行。本文首先分析了造成铁心接地故障的主要原因，然后提出了电力变压器铁心接地故障的检测方法及铁心多点接地故障处理。

**关键词：**电子变压器；铁心；故障分析；油色谱

## 0 引言

变压器内的铁心是实现变压器能量转换的磁路，是变压器内的重要通道。当电力变压器通电运行之后，变压器内铁心需可靠接地，在铁心无一点可靠接地的情况下，由于地与铁心之间所产生的悬浮电压会造成铁心的断续性击穿放电，造成电力变压器的铁心接地故障，不利于变压器的正常运行。为保持铁心电位的正常值，需在铁心上部设置出固定接地点，固定接地点也可设置在铁心下部。但电力变压器内的铁心不能出现 2 点及以上接地，否则铁心与接地点会因不均匀电位而导致电路环流，进而造成铁心出现接地发热故障。铁心局部产生较多热量时会导致轻瓦斯动作，严重者可导致重瓦斯动作，进而导致电力变压器跳闸。局部铁心的烧熔会造成铁心片之间出现明显的电压器短路故障，对变压器的正常运行和电器性能造成严重影响。

## 1 造成铁心接地故障的主要原因

（1）安装程序出错

在变压器运输过程中，油箱顶盖通常使用固定钉加固，以防止内部组件移位。然而，若安装人员在变压器就位后未按规定卸除或翻转这些固定钉，可能导致钉子与铁心或夹件接触，形成异常接地。此外，安装过程中若未严格检查铁心与油箱的绝缘距离，也可能因机械应力或振动导致铁心与箱体短接。

（2）检修与制造工艺缺陷

在变压器制造或检修过程中，若铁心内部结构设计或装配不当，可能引发接地故障，例如铁心支板与心柱间距不足会导致硅钢片在长期运行后因电磁力或热膨胀发生翘曲，进而与夹件支板碰触形成导电通路，或者轭螺杆衬套过长可能直接与铁轭硅钢片接触，破坏绝缘并导致多点接地。

（3）绝缘保护措施失效

铁心夹件与铁轭之间通常垫有绝缘纸板以隔离电位差，但在运行过程中可能因纸板遗失、破损或受潮劣化而引发故障：若检修时未及时更换脱落的绝缘纸板，会导致铁心硅钢片与夹件垫脚直接接触形成金属性接地；同时，当变压器内部存在潮气或油质劣化时，绝缘纸板可能因受潮而丧失介电性能，进而引发铁心与夹件间的沿面放电或短路故障，严重影响设备的安全稳定运行。

（4）潜油泵磨损引入金属杂质

潜油泵长期运行后，轴承部位可能因机械磨损产生金属粉末。这些粉末随油循环沉降于箱底，在电磁场作用下逐渐聚集，形成连接箱底、垫脚与铁轭的导电路径。此类故障通常具有渐进性，初期可能表现为间歇性接地，后期发展为永久性短路。

（5）金属异物侵入油箱

变压器安装或检修过程中，若未彻底清理现场，铁心碎片、焊条头、铜丝等导电异物可能残留于油箱内。这些异物在油流或电磁力作用下移动，可能桥接铁心与接地部件（如夹件、箱壁），造成多点接地。此外，异物还可能刺穿绝缘层，进一步加剧故障风险。

## 2 电力变压器铁心接地故障的检测方法

当变压器内铁心出现接地故障时，可通过油色谱观察到以下特征。

（1）总烃含量大于标准值，可见油色谱内 $C_2H_4$ 与 $CH_4$ 含量较大，而 $C_2H_2$ 含量较低或为零。

（2）通过三比值发对变压器故障性质进行分析，当故障点估算温度高于 700 摄氏度时，可用下式（1）估算变压器内故障温度：

$$t=322\lg(C_2H_4/C_2H_6)+525℃ \quad 公式（1）$$

（3）总烃产气速率高于标准值，可知 $C_2H_4$ 产气速率持续显著增加。

（4）CO 值不变或变化较少，$CH_4$ 与烯烃含量较高，若色谱内可见 $C_2H_2$，则可知变压器出现间歇性接地故障。当电力变压器进行正常工作时，铁心入地电流是其对接地铁心构架、油箱和地面的电容电流。

## 3 电力变压器铁心多点接地故障处理

### 3.1 临时应急处理

当运行时的电力变压器出现铁心接地故障时，为保证变压器设备的功能性和安全性，需立即停电处理和检查吊罩。针对系统不允许直接停役检查的变压器，采取串接电阻的应急措施，即将电阻串接在外引铁心接地回路上，以达到限制铁心接地回路的目的，避免环流造成故障的恶化。以某变电所为例，该电力变压器在进行电气实验时测得该铁心绝缘电阻为 3mΩ。由于系统用电的连续性，因此不可进行停电吊罩处理。为保证电压器的安全性，需进行串接电阻处理。首先用钳形电流表对铁心接地回路进行测量，串接起电阻控制其环流在 300mA 内。在串接电阻后分析各个时段油色谱数据的检测结果，具体数据见表 1 所示。在串接电阻后，变压器内总烃含量出现短暂增加现象，造成该现象的原因为故障点气体未得到及时扩散，但随着时间变化，电压器内总烃数逐渐下降。串接 2 小时后，热点温度经公式估算为 741 摄氏度，表明发热点温度逐渐下降，故障得以有效控制。

表 1 变压器串接电阻后的油色谱数据分析（μL/L）

| 分析时间 | $H_2$ | $CH_4$ | $C_2H_6$ | $C_2H_4$ | $C_2H_2$ | $C_2+C_2$ | CO | $CO_2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 串接前 | 81.6 | 261.7 | 47.5 | 268.5 | 1.1 | 587.5 | 785.0 | 6121.0 |
| 0.5 小时 | 70.1 | 243.1 | 53.4 | 326.5 | 1.0 | 623.7 | 690.0 | 5315.0 |
| 1 小时 | 68.0 | 181.2 | 50.5 | 305.7 | 1.0 | 593.5 | 871.0 | 6913.0 |
| 2 小时 | 31.8 | 22.4 | 48.5 | 230.1 | 0.9 | 501.1 | 648.0 | 5751.0 |

### 3.2 吊罩检查

吊罩检查是处理变压器铁心接地故障的重要检修手段。检查时需移开钟罩，对铁心可接地部位进行全面排查，重点检查夹件和铁心接片等关键部位。具体检查流程包括：首先使用兆欧表检测穿心螺杆与铁心间的绝缘性能；其次仔细检查变压器内部各槽部和间隙，查找可能存在的硅钢片碎屑、螺帽等金属异物；然后采用专用工具清理铁心底部等隐蔽部位；最后使用氮气或绝缘油对各间隙进行系统性吹扫处理。

检查中常见的接地故障多由变压器内残留的金属杂质引起，主要包括电焊作业产生的焊瘤、油碳化形成的导电颗粒等。这类杂质往往导致间歇性接地故障，其特点是接地电阻值会随油流运动而波动。通过彻底清除这些杂质，通常可以有效消除铁心接地故障。为确保检修质量，在清理完成后还需进行 24 小时空载试验验证，确认故障完全排除后方可回装钟罩。整个检查过程需严格控制环境湿度，做好防护措施，并建立完整的检修记录档案。

## 4 结论

变压器铁心接地故障容易造成轻瓦斯动作和局部过热，严重时可导致铁心局部烧损，使电力变压器不得不更换铁心硅钢片。目前，我国电力变压器在运行过程中时常发生铁心接地故障，对国家电网的安全运行造成不利影响，制造厂、运行单位和检修单位需高度重视该现象，做好提前预防工作。相关部门需严格按照国家电力标准，执行电力试验和色谱监督工作，综合判断故障特征，势必最大化的降低故障损失，维护电力变压器的正常运行。

**参考文献：**

[1] 葛小燕，黄国强．一例 220 kV 主变压器油中溶解气体快速增长原因分析及处理措施[J]．陕西电力，2007,35(5):38-41.

[2] 谢荣斌，马文磊，薛静，张曼丽，蓝兰．变电站

变压器铁心多点接地故障分析与处理［J］. 南方电网技术 ,2007,1(1):85–87.

［3］王立军 , 张伟 , 李强 . 基于振动信号分析的变压器铁心故障诊断方法［J］. 高电压技术 , 2021, 47(5): 1823–1831.

［4］陈明 , 刘洋 , 黄志鹏 . 变压器铁心多点接地故障在线监测系统设计［J］. 电力系统自动化 , 2020, 44(12): 178–185.

［5］国家电网公司设备管理部 . 电力变压器典型故障案例分析［M］. 北京 : 中国电力出版社 , 2022: 56–72.

［6］李振华 , 吴晓东 . 基于红外成像的变压器铁心故障诊断研究进展［J］. 电工技术学报 , 2023, 38(2): 412–423.

［7］IEEE Std C57.152–2019, IEEE Guide for Diagnostic Field Testing of Fluid–Filled Power Transformers, Regulators, and Reactors［S］.

［8］张建国 , 王丽娜 . 油浸式变压器铁心接地故障特征及处理［J］. 变压器 , 2021, 58(3): 45–49.

［9］周永强 , 等 . 基于深度学习的变压器故障智能诊断［J］. 中国电机工程学报 , 2022, 42(10): 3728–3737.

［10］南方电网科学研究院 . 电力变压器检修技术问答［M］. 广州 : 华南理工大学出版社 , 2020: 89–102.