

牵引变电所直流系统接地故障分析与查找方法

孟冬贤

西安局集团公司宝鸡供电段 西安 721000

【摘要】：牵引变电所为电气化铁路提供可靠电能，其直流系统作为综自保护及开关分合闸的操作电源，是变电所安全运行的“心脏”。然而，直流系统分布广、接线复杂，极易发生接地故障。本文系统阐述了牵引变电所的组成、直流系统的作用，分析了直流接地的危害，重点探讨了直流接地故障的查找方法与处理流程。

【关键词】：牵引变电所；直流系统；接地故障；故障查找

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.094

1 牵引变电所的组成

牵引变电所是电气化铁路供电系统的核心单元，其主要功能是将电力系统输送来的 110kV 或 220kV 三相交流电降压并转换为适合电力机车使用的 27.5kV 或 55kV 单相交流电。其主要组成部分如下：

1.1 一次系统（高压侧）：

变压器系统、开关设备、隔离开关、高压熔断器、母线及绝缘子、无功补偿装置、防雷接地装置。

1.2 二次系统（控制与保护侧）：

综自保护装置、监控系统、操作与控制回路、直流系统：为上述二次设备提供稳定、不间断的工作电源。

2 直流系统的作用

在牵引变电所中，直流系统是独立于交流电源的“后备”电源系统，其核心作用体现在以下几个方面：

- （1）提供可靠的操作电源。
- （2）保证继电保护与自动装置正常工作的电源。
- （3）提供信号及监测电源。
- （4）作为事故照明和应急电源。

3 直流接地的危害

变电所无论正常运行或是故障停电，所有保护跳闸、开关操作、事故监控全部依靠直流系统，若无可靠直流，故障发生时开关无法动作，极易引发设备损毁乃至大面积停电。

4 直流接地故障查找方法

4.1 传统查找方法（拉路法）

瞬时断合各支路开关，通过拉路试验查找判断接地回路。拉路原则：先次要，后主要；先备用，后主用；先室外、后室

内。严禁在未查清前盲目切断直流电源（会导致保护失电）。

步骤：

1.1 通过直流系统绝缘监视表及监控屏事件记录，判断接地的极性及直流系统绝缘下降的程度(图 1)。



图 1

1.2 巡视设备：主要对二次电缆外观进行巡视，查看有无明显的压伤、外皮破损等明显外伤。按拉路查找的方法进行查找。拉路的顺序是：直流照明、合闸回路、信号回路、备用的控制回路，运行设备倒切至备用后在进行拉路。

1.3 在风险极高危及运行设备安全时，如备自投装置回路拉路时，选择在馈线没有负荷的情况下进行，或在线路天窗时间内进行。在还不能确认回路故障具体位置时宝成、西平、宝中单线区段可申请变电所馈线垂直停电进行。

1.4 瞬时断合各支路开关，当拉路查找至某一开关断开时，接地故障消失，即可判定该直流回路发生接地（拉开时间不得超过 3 秒）。（图 2）



图 2

1.5 判断接地回路后,查看图纸,在接地回路进行分段甩线、分段查找具体接地点。甩线的原则是:先室外、后室内,直落地故障查找确认具体位置单根甩线间隔时间3秒后且马上恢复。(图3)

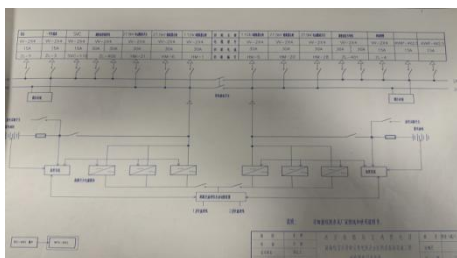


图3

1.6 在接地回路进行分段查找具体接地点。对于环路供电或双电源供电的直流系统,可以采用分段法。

4.2 直流绝缘监测装置辅助查找

现代牵引变电所普遍配备智能直流绝缘监测仪。

原理:采用低频交流注入法或平衡桥+不平衡桥原理,实时计算正、负极对地绝缘电阻。

使用:装置能直接显示故障支路编号及接地电阻值(精度可达几 $k\Omega$)。通过装置自带的“支路巡检”功能,可快速锁定大致的故障支路,大幅缩小排查范围。

4.3 便携式直流接地故障查找仪(注入法/钳形电流法)

目前最常用、最安全的方法是使用手持式查找仪。

步骤:

- (1) 在直流屏处将查找仪信号发生器并联接入直流母线(正、负极及地)。
- (2) 仪器向直流系统注入一个特征低频交流信号(如2.5Hz)。
- (3) 使用高精度钳形电流表(带滤波功能)在各支路电缆上钳测。
- (4) 判断:钳表显示有稳定的特征电流,且方向指向负载侧,则说明该支路有接地;若无特征电流或数值极小,则排除。

参考文献:

- [1] 《直流电源系统绝缘监测与接地查找装置技术规范》(T/CEC 1152-2025)。
- [2] 《城市轨道交通直流牵引供电系统》(GB/10411-2025)。

除。

(5) 沿着电流路径逐级向下钳测(配电屏→端子箱→机构箱→设备内部),最终锁定接地点。

4.4 分段与人工检查

对于查找仪无法精确定位的(如高阻接地、电缆内部受潮),需结合人工排查:

外观检查:检查室外端子箱是否进水、结露;电缆是否有破损、挤压;接线盒内是否有异物(如老鼠、蛇引起短路)。

拆除法:对于怀疑的插件或设备,在确认安全且做好防误动措施后,拔下插件或解开接线,观察绝缘恢复情况。

摇表测试:断开设备与回路连接后,使用500V兆欧表(注意不得冲击保护电子元件,需解线)测量电缆或线圈的对地绝缘电阻。

5 直流接地故障处理

查找到故障位置后,结合现场实际进行处置:

- (1) 由于环境因素造成的端子箱、机构箱或设备零部件受潮造成的绝缘电阻下降,通过烘干受潮设备、通风、密封等进行处理。
- (2) 二次回路绝缘老化、破损、导线磨损等造成的直流接地,修复或更换破损绝缘导线。
- (3) 工艺不达标造成的零部件脱落、线头松动接触盘体造成的直流接地,现场处置零部件或线头紧固处理。
- (4) 其他问题结合现场实际灵活处理。
- (5) 处理完毕恢复原供电方式,复核绝缘状态是否正常。

6 结论

牵引变电所的直流系统虽然电压不高,但其可靠性直接关系到铁路运输安全。直流接地故障具有隐蔽性和潜在危害性。运维人员应熟练掌握从绝缘监测装置到便携式查找仪的使用技巧,结合系统的“拉路法”和人工检查手段,快速、准确地消除接地故障。同时,日常应加强预防性试验(如定期测量直流母线绝缘、清扫端子箱),从源头降低接地故障的发生概率。