

变电站直流系统接地故障查找与处理

王 辉 王嘉诚

国网中卫供电公司 宁夏 中卫 755000

【摘 要】：直流系统是变电站二次设备的供电主体，给保护装置、测控设备、断路器操作机构等重要设备提供稳定的电源，其运行状况直接影响到变电站整体的安全稳定运行。直流系统接地是变电站高发典型故障，单点接地虽然不会直接导致系统停运，但是会大大增加二次设备误动、拒动的风险，两点及多点接地极易引发电源短路、设备烧毁、电网故障扩大等问题。本文根据变电站运维工作实际，对直流系统接地故障原因及危害进行分析，整理出标准化的故障查找方法和处理流程，并通过实际运维案例验证排查技术的可行性，最后提出相应的故障预防措施，为变电站直流系统故障处置、日常运维、隐患管控提供技术依据。

【关键词】：变电站；直流系统；接地故障；故障查找；运维处理

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.053

1 直流系统接地故障类型与危害

1.1 故障主要类型

按照接地极性可以将直流接地故障分为正极接地、负极接地和正负极多点接地三种。正极接地会使得回路的正电位出现失衡情况，进而造成二次控制回路、信号回路的电位发生偏离现象；负极接地会导致负极对地电位上升，会对测控设备的采样精度以及保护装置的动作逻辑造成影响；多点接地故障会造成直流回路短路，从而导致熔断器熔断、电源模块损坏等问题。

根据故障接地情况可以分为金属性接地和高阻接地。金属性接地为直接短路接地，绝缘电阻接近于零，故障特征明显，监测装置告警清楚，容易定位。高阻接地是由电缆绝缘老化、潮湿积污、轻微破损引起的，绝缘电阻值较高，故障特点比较隐蔽，电压偏移不大，告警信号间断出现，属于最难查找的故障类型。

1.2 故障的主要危害

直流系统单点接地不会造成直流电源的中断，但是存在极大的安全隐患。当系统存在单点接地的时候，如果回路其它位置又发生了接地，则会形成两点接地短路回路。短路电流会使直流熔断器熔断，造成保护装置、操作机构失去电源，引起断路器拒动、故障不能隔离。接地故障引起的电位偏移，会使得继电保护装置对运行参数做出错误的判断，进而造成误动作，致使线路发生误跳闸现象，扩大了停电影响区域。

长期隐性接地故障会加快直流电缆、端子排、二次元器件的老化速度，缩短设备的使用寿命，增大设备的运维成本。潮湿环境下高阻接地故障会造成局部放电，灼伤电缆绝缘层，慢慢演变为永久性接地故障，给变电站二次系统安全稳定运行造成严重威胁。

2 直流接地故障常用查找方法

2.1 电压监测分析法

该方法为故障初步定位的基本方法，运维人员测量直流母线正负极对地电压来确定故障的极性和严重程度。系统正常工

作时，正负极对地电压相差不大，约为直流母线额定电压的一半。正极接地时正极对地电压降低、负极对地电压升高，负极接地时负极对地电压降低、正极对地电压升高。故障接地电阻越小，电压偏移幅度越大，金属性接地时故障极对地电压趋近于零。根据电压数据可以迅速判断出故障类型，为后续准确查找提供依据。

2.2 逐路拉路排查法

拉路法是变电站直流接地故障排查的主要方法，其基本原理就是瞬时断开各个直流馈线支路，观察母线电压和绝缘监测装置的状态变化来快速找到故障支路。为了保证设备的安全，排查应按固定顺序进行，先断开信号回路、照明回路、户外辅助回路，再查操作回路、保护测控回路，最后查直流电源模块和蓄电池回路。

单次支路断电时间不超过三秒，防止长时间断电造成二次设备失电误动。断开支路之后如果接地告警消失、母线电压恢复正常，就可以判断出该支路有接地故障，对该支路进行分段细化排查。该方法操作简便、实用，适合大部分单一接地故障的查找，但是对于多点接地、高阻间歇性接地故障的查找效果不佳，并且操作过程中必须对接调度，严格按照停电操作规程进行。

2.3 低频信号探测法

低频信号探测法适合于复杂隐性接地故障的查找，对高阻接地、间歇性接地和拉路法无法找到的故障。用直流绝缘监测装置向直流母线注入低频交流信号，用专用钳形探头检测各个支路的信号电流，故障支路会产生明显的信号反馈，通过信号强度来确定故障点位。本方法不切断回路电源，不影响二次设备的正常运行，安全可靠，可以准确找到电缆中间绝缘损坏、隐蔽端子接地等隐性的故障，是传统拉路法的补充。

2.4 分段拆解排查法

锁定故障支路之后，用分段拆解法细化到具体的故障点上。将故障支路从屏柜端子、中间转接端子、设备终端断开，

逐段对地绝缘电阻测量，逐步缩小故障范围，最后找到故障点。可以很好地避免寄生回路的干扰，克服复杂回路故障定位不准确的难题，适合于二次回路复杂、接线较多的间隔设备故障查找。

3 工程案例分析

本文选取了某 110kV 常规变电站两个典型的直流接地故障为研究对象，对故障排查和处理全过程进行了梳理，并检验了各种排查方法的适用性，归纳出了故障处置要点。该变电站的直流系统是采用 220V 双母线供电方式，配有智能绝缘监测装置，主要给全站的二次设备提供电源。

3.1 案例一：户外回路高阻接地故障

3.1.1 故障现象

变电站运维巡检时，直流绝缘监测装置一直发出负极接地告警，后台监测显示负极对地电压 48V，正极对地电压 172V，系统有轻微电压偏移，属于负极高阻接地故障，没有出现设备异常动作。

3.1.2 故障排查

首先通过电压监测来确定故障极性为负极接地，用逐路拉路法排查室内信号、操作回路，没有发现故障点位，判定故障在户外回路。然后重点检查各个间隔户外机构箱、端子箱，采用分段断电的方式查找 10kV 出线间隔机构箱回路异常。开箱发现机构箱密封胶条老化破损，箱内有受潮积露现象，电缆端子表面氧化锈蚀严重，产生高阻导电通道，引起间歇性负极接地。清理排查过程中所得到的主要监测数据如表所示。

表 1 主要监测数据

排查阶段	正极对地电压/V	负极对地电压/V	对地绝缘电阻/kΩ	故障状态
故障初始状态	172	48	12.6	负极高阻接地
室内支路全部断开	170	50	13.1	故障未消除
故障间隔支路断开	110	110	无穷大	故障消除
故障处理后	110	110	无穷大	系统正常

3.1.3 故障处理

对机构箱内部端子进行彻底的清扫、除锈、干燥，更换老化密封胶条，重新紧固接线端子，对裸露的线头进行绝缘包扎。处理完后的测量回路绝缘电阻达到合格标准，接地告警消失，电压正常。户外设备密封失效受潮是高阻接地故障的主要诱因，该类故障的故障特征微弱，电压偏移幅度小，需要精细分段排查定位，日常运维要重点加强户外设备密封防护和防潮检查。

3.2 案例二：电缆破损金属性接地故障

3.2.1 故障现象

该 110kV 变电站运维后台发出直流系统持续性正极接地告警，装置无间隙频繁告警，和间歇性高阻接地故障不同。现场实测直流母线总电压为 220V，正极对地电压接近于零，负极对地电压升高到 218V 左右，回路整体对地绝缘电阻趋于 0Ω。全站保护、测控设备无动作告警，断路器机构处于正常待命状态，没有出现误动、拒动情况，但是系统处在高危单点金属接地状态，如果再次出现异地接地故障，就会造成直流短路、二次设备失电，存在极大的电网安全隐患。

3.2.2 故障排查

根据故障电压特征判断为典型的正极金属性永久性接地故障，先用安全快速的逐路拉路法进行排查。按照先辅助回路后主控回路的排查顺序，短时断开全站直流照明回路、信号回路、10kV 馈线操作回路、35kV 及主变测控保护回路。每路断电时间不大于 2~3 秒，观察后台绝缘监测装置和母线电压的变化。当断开 35kV 母线测控直流馈线支路的时候，接地告警完全消失，正负极对地电压又回到了 110V 的均衡状态，初步判断故障点在 35kV 母线测控直流回路。

表 2 故障排查全过程监测数据

排查阶段	正极对地电压/V	负极对地电压/V	对地绝缘电阻/Ω	故障状态判定
故障初始状态	0	218	0	正极金属性永久接地
低压辅助支路全部断开	0	218	0	故障未消除
35kV 测控支路断开	110	110	无穷大	故障完全消除
故障电缆段隔离后	110	110	无穷大	回路绝缘正常

为了准确找到故障点位，避免回路寄生干扰，对该故障支路进行分段拆解排查，依次断开屏柜内部端子、电缆转接箱端子、户外设备终端端子，逐段测量对地绝缘电阻。经过测试屏柜到转接箱段的绝缘参数合格，转接箱到 35kV 户外测控设备段的绝缘电阻为 0。现场开箱、查线排查发现，该回路户外直流电缆穿越墙体预留孔处由于长期受墙体挤压、设备运行振动摩擦，电缆外层绝缘护套全部破损，内部铜芯导线直接紧贴墙体金属预埋件，形成永久性金属导通接地，是本次故障的直接原因。本次故障排查全过程监测数据如下表所示。

3.2.3 故障处理

在确认了故障点位之后立即着手进行标准化整改。第一时间对故障电缆所在回路进行停电隔离，切除墙体破损、绝缘完

全失效的电缆段落,清除墙体预留孔尖锐边角和金属杂物,消除摩擦挤压隐患。重新敷设同型号、同规格的全新阻燃绝缘直流电缆,电缆穿过墙体处加装绝缘防护套管,全程梳理线缆走向,用专用卡扣固定,杜绝线缆悬空、挤压、摩擦、弯折等问题。重新制作电缆终端头,打磨接线端子,规范压接接线,对所有的接线点位、裸露芯线用绝缘胶带和绝缘护套双重防护。施工完毕后,对整个回路进行全方位的绝缘检测、电压校验,保证回路没有接地隐患,各项电气参数合格后,恢复支路送电,设备运行正常,无告警再次发生。

4 故障标准处理流程

4.1 故障确认和风险评价

收到直流感告警之后,运维人员立刻对后台监测数据展开核查,测量母线对地电压以及绝缘电阻,判定故障极性、故障类型和故障严重程度。排查系统有无多点接地、设备异常等次生隐患,评价故障运行风险,制订针对性排查方案,不得擅自带风险开展排查工作。

4.2 分层精准排查定位

按照先整体后局部、先室内后室外、先通用回路后专用回路的排查原则,先用电压分析来确定故障类型,再用拉路法找到故障支路,对疑难隐性故障利用低频探测法、分段拆解法具体到点,准确找出故障位置,全程做好数据记载和操作监护。

4.3 故障整改与性能复核

根据故障原因有针对性地进行整改,清除受潮积污的端子、修缮破损的电缆、更换老化失效的元件、改善设备的密封性能。整改完毕后,对直流回路对地绝缘电阻、母线对地电压进行测量,复核设备运行状态,保证故障彻底消除,不留隐患。

4.4 故障复盘及台账记录

故障处理完毕后立即进行故障复盘,对故障根本原因和排查过程中的问题进行分析,制定出运维管控措施的改进方案。同步更新设备缺陷台账、故障处置台账,记载故障时间、故障类型、处置过程、整改措施,给同类故障处置提供借鉴。

5 故障预防和运维优化措施

5.1 加强日常巡管控

编制直流系统专项巡检计划,主要对户外端子箱、机构箱

密封情况进行检查,及时清除箱内积尘、积水、杂物,排除端子氧化、松动、裸露等隐患。定期对直流母线电压、回路绝缘电阻进行检测,与以前的数据相比较,可以提前发现绝缘性能下降的趋势,从而达到早发现、早处理的目的。潮湿、雨雪天气加大巡检频率,主要对户外二次回路受潮情况进行检查。

5.2 规范施工检修工艺

严格遵守二次回路施工、检修工艺标准,电缆敷设时做好防护,防止拉扯、挤压、磨损,线缆走向规范固定,穿越墙体、支架处加装防护套管。接线作业规范操作,杜绝线头过长、裸线外露问题,端子紧固力适中,接线完成后做好绝缘包封和密封处理。技改、检修作业完毕后立即进行绝缘试验,试验合格后才能投入运行。

5.3 持续推进设备的升级改造

对老旧变电站老化、绝缘性能差的电缆、二次元器件进行分批升级更换,使用高绝缘、耐老化、耐潮湿的优质设备材料。更换防护等级不够的端子箱、机构箱,加装除湿装置、驱潮装置,提高户外设备的环境适应性。升级智能绝缘监测设备,提高故障准确告警和快速定位能力。

5.4 健全运维管理制度

建立直流系统全生命周期运维台账,对设备投运时间、检修记录、故障记录、绝缘测试数据进行记录,达到设备状态精细化控制的目的。定期开展运维人员技能训练,加强接地故障查找、处理的实践操作水平,规范操作程序,消除由于人为原因造成的隐患。对可能造成直流回路隐蔽性缺陷的隐患进行定期检查并加以解决,从而减少故障的发生。

6 结论

变电站直流系统接地故障种类繁多、原因各异,隐性故障的发现比较困难,属于电网安全稳定运行的重大隐患。单点接地的隐蔽性、多点接地的高风险性决定了直流故障处置要实行精准排查、规范处理、提前预防。本文对直流接地故障的种类、危害及主要成因进行梳理,总结出电压分析法、拉路排查法、低频探测法、分段拆解法等常用排查技术的使用场合,并用实际工程案例来检验处置流程是否可行,从而形成了一套完整的故障排查、处理、预防体系。

参考文献:

- [1] 郭恒宇.变电站直流系统接地故障的快速排查与维修实践[J].电力设备管理,2026,(8):43-45.
- [2] 马颖.变电站直流系统非金属性接地故障监测技术研究[J].电气技术与经济,2026,(1):400-402+406.
- [3] 姜勇,焦浩峰.变电站直流系统常见接地故障分析及处理策略[J].电力设备管理,2025,(17):191-193.
- [4] 肖磊.变电站直流系统接地故障查找方法研究[J].应用能源技术,2025,(7):40-42.
- [5] 海之晨,刘永军,邵可欣,等.基于行波时频谱图和改进 CNN 的变电站直流系统接地故障定位方法[J].智慧电力,2025,53(7):100-107.