

输气场站直流接地系统故障分析及排查

张志刚 高文佳 何 凯（山东省天然气管道有限责任公司，山东 济南 250013）

摘要：随着智能化管道的建设，场站内各系统供电及信号线路接线状态成为影响安全生产的关键因素之一。输气场站生产自控数据采集、安全连锁系统多为直流浮地系统。接地故障难免出现，特别是新建、改造及服务周期较长的场站，直流系统接线未紧固、接线错误、线路破损等问题时有发生。为减少接地故障导致设备误动作或不动作异常，应及时发现并处置直流系统接地异常，开展直流接地检测并加强场站直流系统各回路接地问题分析与排查。

关键词：直流系统；浮地；接地故障排查

1 输气场站直流系统简介

1.1 输气场站直流系统接地情况

输气场站中多数控制类、安全联锁类设备为直流供电，该供电模式的地为零电位参考点。若直流系统负极直接接入大地则与交流系统零线共地，极易受到交流电源接地电流的影响，出现零电位波动或数据异常等问题。为消除因交流电源接地引起的干扰，对直流电源和交流电源接地进行隔离，采用直流系统浮地的方式对设备供电。此外，直流浮地模式可实现功率地（即强电地）与信号地（弱电地）间的隔离电阻接近无穷大，能有效隔离两者因共地引起的阻抗耦合干扰。

输气场站自控机柜中采用直流浮地供电，不仅能消除一定的交流干扰，还能在电源单端接地后保持电源电压稳定输出，一定程度上确保了设备负载运行、数据传输的可靠性与持续性。在正常运行状态下，直流系统的正负两端均对地绝缘；当系统中出现一点接地故障时，应及时进行检测、排查并进行修理维护，防止因正负两端接地导致设备运行故障。

1.2 直流系统接地问题分析及危害

输气场站中直流电源可以稳定可靠地为自控设备供电，但接地故障仍不可避免。当直流系统出现接地故障时，可能产生接地短路导致继电保护、信号中断或传输有误，引起现场设备报警、系统运行报警，也可能造成直流保险丝熔断，使生产、安全类设备掉电、连锁失效。单点接地故障虽然对设备无影响，但对自控系统造成潜在运行风险。同极两点接地时可能出现继电器短接失效与跳闸的情况，极易引起设备损坏。正负极两点接地时设备断电，可能造成场站设备失电动作或误动作，进而引发生产异常事件扩大影响范围，对安全运行造成严重威胁。当直流系统接地故障出现时，技术人员应及时判断直流系统接地故障原

因、涉及范围，明确已经出现或即将出现的影响，锁定问题点并进行整改。分析直流系统接地故障原因并进行分类：①人员引起的接地故障。新建及改造工程施工过程中，由于安装施工不规范或暴力作业，导致电缆出现损伤，破坏了电缆的绝缘引起接地；另外，未紧固接线端子或长时间使用老化或绝缘层磨损严重的线缆，引起单点接地；此外，开展作业后相关人员遗留在机柜或设备接线箱中的工具、弃用接头引线或螺丝等金属杂物若接触到直流回路中将造成接地故障；②设备引起的接地故障。当直流回路中的设备负载或直流电源内部故障时可能导致部分电路非常规短路、断路，引起直流回路接地。同时，输气场站直流系统涉及的设备种类丰富且数量多，投运时间越长，出现接地故障的概率也会越多；③直流系统设计或检测方式引起的接地故障。在回路设计中将交直流系统共地或共用一根电缆，使得直流回路受到交流干扰，造成接地故障；另外，输气场站关于直流接地检测相关的维护或操作标准较少，采用不合理的检测方法可能会引起单点或多点接地；④运行环境引起的接地故障。雷雨季节温度高、湿度大，室外现场设备一旦密封不严极易出现接线端子老化或积水接地故障，该故障有随温度升高消失随雨季到来出现的特点，若不彻底查找处理这种现象将反复发生；另外，输气场站多数位于偏远地区，鼠虫等动物抓咬直流线缆导致绝缘层破损引发接地故障。

2 直流系统接地故障排查方法

2.1 经验判别法

当直流系统出现接地故障时，可根据以往处理直流接地故障的经验进行排查。使用该方法查找输气场站直流系统接地问题对于人员有较高要求，不仅需要技术人员对现场熟悉并了解各直流回路负载特点，还需要对典

型故障点、对应措施有一定处置经验。新投运或改造输气场站直流接地问题故障频率较高且占比较大，因此一旦发生故障，可以通过经验推断，快速确定接地位置。这种方法直接快速，但存在一定的盲目性。

2.2 拉回路法

拉回路法又称拉路法，即对输气场站直流回路断开进行问题查找，本质为通过不断尝试消除警报来锁定接地故障回路。具体操作为：对直流回路逐条进行检查测试，当某条回路断开直流接地报警消失，则表明该回路接地存在故障，需进一步查找原因，否则排查下一条回路。采用此方法排查输气场站直流接地故障应遵循：先查备用查在用，先排查室外后查室内，先查关键设备后查次要设备，先查信号线后查控制线。拉回路法操作简单且具有普适性，但在输气场站接地问题排查过程中涉及的设备较多、情况复杂可能引起直流回路多点接地的情况，同时在出现多点接地时该方法不能快速锁定接地回路，效率较低。对于安全管理要求严格、自动化水平较高的输气场站需提前设置安全设备维护值并摘除联锁回路，以免接地故障排查造成异常事件。

2.3 电流检测法

电流检测法经检测电流变化来确定直流系统接地回路。此方法是通过在各回路中安装串联电阻式或电感式电流传感器，检测直流回路电流变化来实现故障检测。该方法能够简单高效地确定输气场站直流回路接地故障，但这种方法的局限性在于在主电路的各个支路都要装设传感器，成本较高。

2.4 平衡电桥法

平衡电桥法是通过检测接地电流来判断故障回路。原理为：回路中并入两个串联等值电阻，两电阻中间点连接继电器后接地，通过判断电阻大小或变化来判定是否出现接地故障。当输气场站内直流系统正常时，继电器无电流；当某条回路出现正极或负极接地，电桥的平衡被打破，继电器因电流增加而动作、报警。该方法精度高，但无法锁定接地回路，需结合其他方法来确定故障点。

2.5 信号导入检测法

信号注入法是一种查找直流系统接地故障的装置，其基本原理为：在各直流回路安装电流互感器，对其实时反馈的检测电流进行分析、判断。有低频信号导入法和变频信号导入法两种，均能满足现场在线检测或人判断接地故障回路的需求，但此法准确性一般、抗干扰能力差、电路情况复杂。

3 直流系统接地故障排查案例

某输气场站新建一套自控系统，在自控机柜中安装了直流接地监测仪（图1），投产后该设备出现报警。



图 1 直流接地检测仪

3.1 直流接地监测仪原理

监测仪先检测供电压后检测漏电流。检测到电压小于动作电压值时再检测漏电流，当泄漏电流小于动作电流值，监测仪进行下一循环检测，且无输出。当出现电压值或漏电流超限时，监测仪进行接地极性判定，输出正极或负极接地报警信号。监测流程见图2：

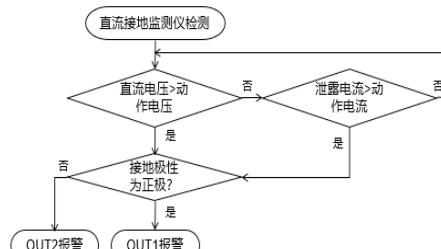


图 2 直流接地监测仪检测流程

监测仪采用平衡桥检测法与电流检测法相结合的方式进行故障检测，其原理见图3。供电电压U一定， R_1 、 R_2 是监测仪内部阻值相等的高阻值取样电阻（某品牌电阻值为 $105k\Omega$ ），两个取样电阻的端电压即直流电源正/负极对地电压的绝对值分别定义为 U_1 、 U_2 。

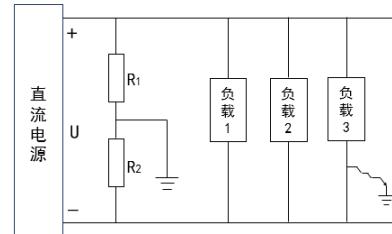


图 3 监测仪原理示意图

不考虑电压极性前提下，直流系统正常运行且不接地时，电源正负极电压对地平衡，即 $U_1=U_2=\frac{U}{2}$ 。当出现电源负极接地时，对应于直流回路接地程度从弱到强（漏电到短路的过程），电压变化为： U_1 由 $\frac{U}{2}\rightarrow U$ ； U_2 由 $\frac{U}{2}\rightarrow 0$ 。类似地，当出现电源正极接地时，

对应于直流回路接地程度从弱到强（漏电到短路的过程），电压变化如下： U_1 由 $\frac{U}{2}\rightarrow 0$ ； U_2 由 $\frac{U}{2}\rightarrow U$ 。

通过检测并判断回路中取样电阻端电压 U_1 、 U_2 的大小，可实现在线接地故障监测并可确定接地极性，同时也证明直流浮地供电系统发生单端接地时，电源电压 U 始终保持不变，可持续稳定供电。此外，当直流系统出现接地故障时，接地点有电流通过导致电源正负极电流出现不平衡的情况，使用泄漏电流传感器也可以检测到电流变化判断接地极性。

3.2 直流接地监测仪现场接线

输气场站自控机柜内冗余电源模块 PW711 输出（两正一负）穿过传感器然后接入端子排，24V+ 端子排的输出接给监测仪的 24V+，24V- 端子排的输出接给监测仪的 24V-，供电电源与传感器监测电源是同一电源（图 4）。

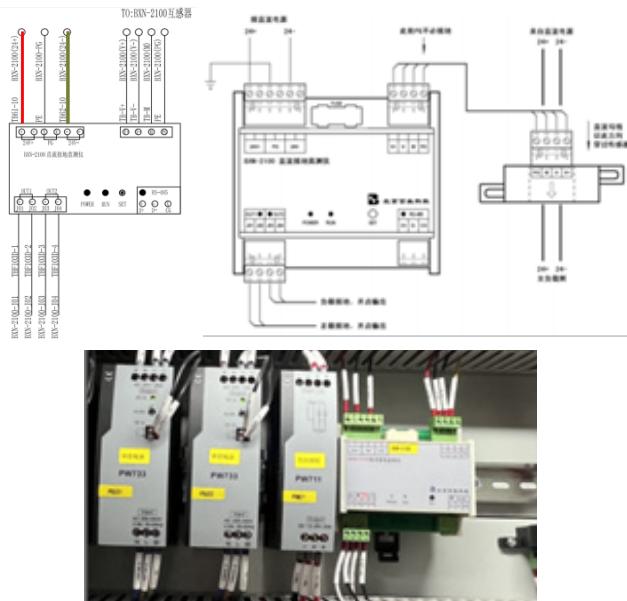


图 4 直流接地监测仪接线图

3.3 直流浮地系统接地故障的解决

现场监测仪报警指示灯中 OUT2 灯亮（红灯），判断存在负极线路接地。先采用拉回路法逐项排查现场设备接线端子排的负极信号线，未发现异常。与有经验的技术人员沟通，按图纸排查供电、接线回路，发现电流传感器接地线与监测仪未进行连接，导致直流接地监测仪负极故障灯亮。将电流传感器接地线与监测仪连接后故障消失。



图 5 直流接地故障确定

4 直流系统接地故障防护措施

为了减少直流系统接地故障，实现输气场站直流系统的正常运行，需要在日常的运行中加强对设备与系统的维护。对常见的故障问题进行预防，并采取科学、合理的防范措施，将故障严格地控制在萌芽时期。

①对直流系统施工人员进行管控。直流回路信号线、控制电缆较细，可承受应力小且极易损坏接地，施工现场应避免损坏线缆绝缘层；在新建或改造输气场站施工中，安排专人检查线缆状态，监督作业人员按要求规范接线，作业结束及时清理现场设备接线箱及机柜内部杂物；②对设备设施运行状态进行确认。定期检查直流系统设备负载、机柜内保险端子及安全栅等设备配件运行状态，防止因设备配件故障导致断路、短路的情况；定期检查电缆沟内及直埋式直流电缆，防止电缆沟内水位升高淹没电缆或直埋式电缆其保护铁管中积水造成接地；③检查并及时更换直流系统中老化线缆、接线端子等。使用有一定硬度、厚度并有防腐绝缘外层的线缆；直流回路中采用绝缘性能良好且稳定的接线端子；④检查直流接地监测设施适用性与合理性。在输气场站直流系统施工作业前，根据现场实际检查设计资料是否符合现场使用要求，设计精度能否满足生产需要；⑤加强直流系统运行环境的检查与维护。定期对现场接线盒（箱）检查，内部放置干燥剂、外部安装防雨罩；定期对输气场站工艺现场、机柜间的防鼠虫密封工作检查，封堵直流接线箱电缆孔，机柜间设置挡鼠板，以免因小动物进入直流带电回路造成接地故障。

5 总结

直流系统是输气场站供电中重要组成部分，接地故障具有随机性和不确定性，单点接地不会影响生产，但出现两点以上接地可能造成异常事件甚至影响扩大。为确保直流设备可靠运行，应及时发现并解决接地故障。本文介绍了几种常见直流接地故障原因、排查方法及防护措施，每种方法都有优劣势，应根据输气场站运行实际，进行选择与组合使用，以提高直流系统接地故障处置效率，提升设备安全运行管理水平。

参考文献：

- [1] 董楚然, 陈豪, 申杰. 变电站直流系统接地故障的危害及处理 [J]. 电力与能源, 2024, 45(03):335-338.
- [2] 陆伟明. 直流系统接地故障查找方法及其优缺点分析 [J]. 电工技术, 2020(08):86-87.
- [3] 林子阳. 直流系统接地故障查找方法分析 [J]. 农村电工, 2023, 31(03):47-48.