

# 牵引变电所直流系统接地故障检测方法适用性分析

周念

重庆轨道交通运营有限公司 重庆 400000

**【摘要】**：牵引变电所直流系统是轨道交通控制、保护、信号及应急操作的核心电源，接地故障是该系统高发且危害突出的隐患，直接影响轨道交通运营安全。重庆轨道交通受山区地形、隧道潮湿环境、列车高密度运行等特殊工况影响，直流系统接地故障呈现频发、隐蔽、多点并发的特点，常规检测方法适配性存在明显差异。本文结合重庆轨道交通牵引变电所现场运行实际，梳理主流直流接地故障检测方法的核心原理与应用特性，逐一分析各类方法在本地工况下的适用性，提出分层适配的检测方案与工程优化建议，为重庆轨道交通直流系统安全运维、故障快速处置提供技术参考，助力提升牵引供电系统可靠性。

**【关键词】**：牵引变电所；直流系统；接地故障；检测方法

DOI:10.12417/2811-0528.26.11.082

## 1 轨道交通牵引变电所直流系统接地故障的危害及工况特征

### 1.1 接地故障核心危害

重庆轨道交通牵引变电所直流系统给继电保护、断路器操作、信号监控、应急照明等设备供电，电压等级大多为220V，系统的安全直接影响到牵引供电和行车指挥的可靠。单点接地故障会改变系统对地电位分布，使二次回路电压发生偏移，造成保护装置采样精度下降，埋下误动隐患；两点及以上接地故障会产生接地回路，分流保护回路电流，造成保护拒动，并且有可能烧毁直流熔断器、电缆绝缘层，引发大面积设备故障。地下变电所潮湿环境下的高阻接地故障隐蔽性很强，常规巡检很难发现，长时间带病运行会加快绝缘击穿，造成重大供电事故。

### 1.2 本地特殊运行工况

重庆轨道交通牵引变电所直流系统运行存在三个特殊的工况，直接决定检测方法是否适用。一是环境工况恶劣，地下隧道和变电所常年湿度大于80%，部分区段伴有冷凝水、粉尘侵蚀，设备和电缆绝缘容易受潮下降，高阻接地、多点接地故障占比超过70%；二是运营负荷特殊，城区线路列车运营密度大，高峰时段行车间隔短，变电所直流系统负荷波动剧烈，不能长时间停电检测，对在线检测、不停电排查要求很高；三是系统回路复杂，各变电所直流分支回路多，包含控制、保护、信号等各个支路，故障定位难度大，现场电磁干扰强，容易造成检测设备精度下降。

## 2 主流直流接地故障检测方法原理及适用性剖析

### 2.1 平衡电桥法

平衡电桥法是传统的直流接地检测方法，其基本原理就是用对称桥臂电阻来构成平衡回路，系统正常工作时电桥处于平

衡状态，当某一支路出现接地故障时，平衡被破坏，通过测量回路电位的变化来判断接地故障。该方法结构简单、硬件成本低、操作难度小，早期被用来检测简单的直流系统。根据重庆轨道交通工况，该方法不适用。一方面平衡电桥法只能检测单点接地故障，不能识别多点接地、高阻接地，而本地潮湿环境下多点接地、高阻接地是主流故障类型，容易造成漏检；另一方面该方法不能定位故障支路，只能判断系统存在接地，不能指导运维人员快速排查，检测时需要调整桥臂电阻，容易干扰二次回路正常运行，不符合高密度运营下不停电运维的要求，只能作为老旧变电所简易故障初判，不适合规模化应用。

### 2.2 低频信号注入法

低频信号注入法是将直流系统正、负母线上注入一定频率的低频交流信号，利用接地故障支路和正常支路信号传输的差别，通过检测信号电流幅值和相位来判断故障支路，可以实现单点、多点接地故障检测，具有一定的故障定位能力。该方法不需要停电操作，抗分布电容干扰能力强，适合于中等复杂度的直流系统。在重庆轨道交通工况下，该方法适用性一般。其优点是可以检测多点接地故障，适应本地绝缘受潮后的多发故障类型，不需要停电，满足运营期间检测的需求，但是它的缺点也很明显，低频信号容易受到现场牵引负荷电磁干扰的影响，在地下变电所强电磁环境下检测精度会降低，对高阻接地故障的灵敏度不够，而且信号注入装置需要定期校准，运维工作量较大。适合重庆轨道交通普通区间变电所、分支回路少的场合，作为主要检测方法的辅助使用。

### 2.3 直流漏电流检测法

直流漏电流检测法利用霍尔电流传感器实时监测直流系统各个支路的漏电流差值，系统正常运行时正、负母线电流差值为0，发生接地故障时，故障支路会产生明显的漏电流差值，用阈值判断锁定故障支路。该方法为纯在线检测方式，没有外

源信号的注入,不会影响直流系统的正常运行,响应速度快,对高阻、低阻接地都有较好的检测效果,抗电磁干扰能力强。该方法是重庆轨道交通工况下适用性较好的检测方案。第一,完全满足不停电检测的要求,可以24小时不间断地进行监测,不会影响到列车高峰期的运营;第二,霍尔传感器防护等级容易调整,可以适应地下变电所潮湿、多尘的环境,再加上防潮密封之后可以长期稳定工作;第三,对本地高发的高阻接地、多点接地故障检测灵敏度高,能准确找到故障支路,大大缩减了故障排查的时间。唯一不足就是对传感器安装精度要求高,需要规范布线防止干扰,适合重庆轨道交通核心枢纽变电所、高密度运营区段变电所的常态化在线监测。

#### 2.4 便携式接地故障检测仪

便携式检测仪集低频信号注入、漏电流检测等多种功能于一身,体积小、携带方便,不需要固定安装,运维人员可以带去现场做临时检测、巡检排查,适合故障应急处置和定期绝缘检测。该方法不需要对现有的直流系统进行改造,成本低、操作方便,可以满足各种规模变电所临时检测的要求。在重庆轨道交通运维体系中,此方法是不可缺少的辅助检测手段。对地下变电所定期巡检、突发故障应急排查,便携式检测仪可以快速到场检测,不需要使用固定装置,特别适合老旧变电所改造过渡期、偏远区间变电所的日常巡检。但是该方法不能实现实时在线监测,需要人工操作,不能进行故障的提前预警,只能作为辅助手段,不能代替固定在线检测装置。

#### 2.5 在线智能监测法

在线智能监测法是将漏电流检测、绝缘监测、故障定位、远程传输、智能报警等结合起来的一种方法,用多传感器数据采集、算法分析来完成接地故障的实时监测、精准定位、远程上传,可以接入轨道交通智能运维平台,实现无人值守和故障预警。该方法智能化程度高,适应复杂的回路和恶劣的环境,

可以自行识别故障类型,并给出运维处置建议。该方法是重庆轨道交通未来直流接地检测的最佳方案,适用性最强。一方面可以完全适应重庆轨道交通潮湿、强干扰、高密度运营的工况,在任何时间都能进行全天候监测,提前发现高阻接地等隐蔽故障,防止故障扩大;另一方面可以接入重庆轨道交通现有的智能运维系统,实现远程监控、集中管理,减少现场运维工作量,符合轨道交通数字化、智能化运维的发展趋势。虽然初期的设备投资较大,但是长期可以降低故障的发生率和维护成本,适合于核心枢纽变电所、新建线路变电所的规模化使用。

#### 2.6 工程应用优化建议

根据重庆轨道交通特殊工况,为了提高检测方法的应用效果,提出四点工程优化建议,第一,改善检测设备防护等级,地下变电所所用传感器、监测装置全部采用IP65及以上防护等级,做好防潮、防尘、防冷凝水处理,延长设备使用寿命;第二,规范检测回路布线,把检测线缆和牵引负荷线缆分开敷设,远离电磁干扰源,校准检测阈值,防止误报、漏报;第三,创建分级运维机制,依靠智能监测数据,定时开展直流系统绝缘检测,对潮湿区段缩减巡检周期,及时解决绝缘薄弱隐患;第四,加强运维人员专业培训,熟练掌握各种检测方法的操作流程,针对多点接地、高阻接地等特殊故障,加快快速排查和处置速度。

### 3 结论

牵引变电所直流系统接地故障检测是重庆轨道交通牵引供电运维的关键环节,不同检测方法的适用性受本地潮湿环境、运营密度、系统复杂度影响显著。平衡电桥法适配性差,仅可用于简易初判;低频信号注入法与便携式检测仪适合普通场景,作为补充手段;直流漏电流检测法适配性较好,可满足核心场景在线监测需求;在线智能监测法契合本地工况与智能化运维趋势,是最优选型方案。

#### 参考文献:

- [1] 朱江.末端牵引变电所直流供电系统研究[J].运输经理世界,2023,(09):1-3.
- [2] 周康.牵引变电所蓄电池组电压均衡及管理方案研究[J].电气化铁道,2021,32(S1):136-139.
- [3] 仵宇宁.高速铁路牵引变电所直流系统负荷统计及蓄电池容量计算[J].中国科技投资,2021,(10):116+120.