

浅谈小电流接地选线装置的应用

郭磊

国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司 宁夏 银川 750411

摘要：本文聚焦小电流接地选线装置的应用。首先阐述小电流接地系统三种典型拓扑及其特性。接着介绍选线装置基于稳态、暂态特征及综合选线等工作原理，还提及新兴选线原理。深入探讨该装置在中性点不接地、经消弧线圈接地系统等不同规模电网中的应用情况，结合实际案例分析应用效果与问题。最后探讨其与其他电力设备如继电保护、自动化监控等的配合应用。旨在为小电流接地选线装置的优化与应用提供参考，提升电力系统故障处理能力。

关键词：小电流接地选线装置；电力系统；接地故障；选线技术

引言

在电力系统中，小电流接地系统应用广泛，其安全稳定运行至关重要。当发生单相接地故障时，快速准确选出故障线路是保障系统正常运行的关键。小电流接地选线装置应运而生，它通过不同原理实现故障选线。然而，实际应用中，系统复杂多变，不同拓扑结构、运行方式及外界干扰等都会影响选线效果。深入研究小电流接地选线装置的应用，分析其面临的问题并探索解决方案，对于提高电力系统的供电可靠性和安全性具有重要现实意义。

1 小电流接地系统概述

小电流接地系统作为中低压配电网的重要运行模式，涵盖中性点不接地、中性点经消弧线圈接地和中性点经高电阻接地三种典型结构。中性点不接地系统运行时，三相系统相互独立，线电压保持对称；当发生单相接地故障，故障点电流源于系统各线路对地电容电流的叠加，通常处于几安至几十安范围，微弱的故障电流使系统可维持短时间带故障运行，但也加大了故障线路识别难度。中性点经消弧线圈接地系统在变压器中性点与大地间串联消弧线圈，故障发生时，消弧线圈产生的感性电流与接地电容电流形成补偿，通过调节消弧线圈的补偿度，能将故障点残流限制在较低水平，促使接地电弧快速熄灭，有效避免间歇性电弧引发的过电压危害，显著提升系统故障耐受能力。中性点经高电阻接地系统则在中性点与大地间接入高阻值电阻，故障瞬间，电阻快速消耗接地电流能量，既抑制故障过电压幅值、保护设备绝缘，又提供稳定的接地电流特征，便于故障检测与定位。三类系统因结构参数差异，在故障特性、运行表现和处理策略上各有特点，深入剖析其运行机制与故障特征，是精准运用小电流接地选线装置、保障电力系统安全稳定运行的关键所在^[1]。

2 小电流接地选线装置的工作原理

2.1 基于稳态特征的选线原理

基于稳态特征的选线方法主要依据故障线路和非故障线路在稳态下的电流、功率等参数差异进行选线。在中性点不接地系统中，故障线路的零序电流是系统所有非故障线路电容电流之和，其大小和方向与非故障线路明显不同。通过检测各线路的零序电流大小与方向，可判断出故障线路。在中性点经消弧线圈接地系统中，由于消弧线圈的补偿作用，故障线路和非故障线路的零序电流大小差异可能不明显，但可利用功率方向原理，根据零序电流和零序电压的相位关系来判断故障线路。

2.2 基于暂态特征的选线原理

当小电流接地系统发生单相接地故障时，故障瞬间会产生丰富的暂态电气量，基于暂态特征的选线方法就是利用这些暂态量进行选线。故障线路暂态电流的幅值大于非故障线路，且暂态电流的频谱特性也有所不同。通过分析暂态电流的幅值、频率等特征，结合小波变换、傅里叶变换等信号处理技术，可实现故障线路的准确判断。

2.3 综合选线原理

由于单一的选线原理在某些复杂工况下可能存在局限性，因此出现了综合选线原理。综合选线装置结合稳态特征和暂态特征，以及多种选线方法的优势，通过数据融合和智能判断算法，提高选线的准确性和可靠性。例如，在故障发生初期，优先利用暂态特征进行选线；当暂态过程消失后，再依据稳态特征进行判断和校验，从而提高选线的成功率。

2.4 其他选线原理

除了上述常见的选线原理外，还有一些基于新理论和新技术的选线方法不断涌现。如基于注入信号法的选线原理，通过向系统注入特定频率的信号，检测各线路

对注入信号的响应来判断故障线路；基于神经网络和专家系统的智能选线方法，利用大量的故障样本数据进行训练，使系统能够根据实时采集的电气量信息，智能地判断故障线路。这些新的选线原理为小电流接地选线装置的发展提供了新的方向^[2]。

3 小电流接地选线装置的实际应用

3.1 在中性点不接地系统中的应用

中性点不接地系统凭借其故障时三相线电压仍能维持对称、可带故障运行一段时间的特性，在配电网中占据重要地位。基于稳态特征的选线装置，因原理直观、成本可控，成为该系统早期故障检测的主力。其核心逻辑是利用故障线路零序电流为非故障线路对地电容电流总和这一特性，通过安装在线路出口的零序电流互感器，实时采集零序电流（ $3I_0$ ）与零序电压（ $3U_0$ ），经数据处理单元对比各线路零序电流幅值，将电流最大者判定为故障线路。在某轻负荷城市配电网中，10kV线路平均长度较短，采用此类装置对短线路金属性接地故障的选线准确率高达95%以上。然而，实际运行环境远比理想模型复杂。随着线路长度增加，分布电容效应愈发显著，当线路长度超过20km时，各线路对地电容电流增大，故障线路与非故障线路的零序电流差值大幅缩小。在高阻接地场景下，过渡电阻超过1k Ω 时，这种差值可能不足2A，单纯依靠幅值比较极易导致误判。更复杂的是，多条线路同时发生非金属性接地故障时，电流分布紊乱，传统幅法完全失效。为攻克这些难题，工程中广泛引入零序电流比相技术。该技术依据故障线路与非故障线路零序电流和零序电压的相位差异进行判断：故障线路零序电流滞后零序电压90°，而非故障线路超前90°。通过高精度相位比较器捕捉这一特征，可有效识别故障线路。某改造后的城市配电网，结合比幅-比相复合选线装置，在复杂工况下将选线准确率提升至85%。此外，针对接地电弧间歇性重燃产生的高频暂态过电压（可达3.5倍相电压），部分厂家采用宽频带罗氏线圈替代传统电流互感器，并优化电磁屏蔽设计，确保装置在强电磁干扰下仍能精准采集数据，进一步提升稳态选线的可靠性。

3.2 在中性点经消弧线圈接地系统中的应用

中性点经消弧线圈接地系统通过感性电流补偿容性接地电流，将故障点残流限制在10A以下，极大增强了系统的故障耐受能力。但这种补偿机制也带来弊端，它大幅削弱了稳态电气量的故障特征，使基于稳态的传统选线方法基本失效。某化工园区的10kV供电系统，配置调匝式消弧线圈，在单相接地故障时，补偿后的故障线路

与非故障线路零序电流差异不足0.5A，导致基于稳态特征的选线装置误判率高达70%。综合选线技术成为应对这一困境的有效手段，其遵循“暂态优先、稳态校验”原则。故障发生初期（0-10ms），暂态电流具有频率高（1-3kHz）、幅值大的特点，利用小波包分解算法对暂态电流进行多层分解，计算各频带能量熵值，故障线路的能量熵通常是非故障线路的3-5倍，以此实现快速选线。当暂态过程衰减后（>50ms），切换至稳态分析，采用五次谐波分量法校验。由于消弧线圈对基波电流补偿效果显著，但对谐波补偿有限，故障线路的五次谐波电流幅值一般为非故障线路的2-3倍，可作为重要辅助判据。实际工程中，消弧线圈的补偿度（脱谐度）对选线影响重大。过补偿运行时，故障线路与非故障线路零序电流方向相同，传统功率方向法失效。某智能选线装置通过实时监测消弧线圈档位和系统电容电流，建立补偿度-选线判据修正模型，当脱谐度超过10%时，自动调整稳态选线算法权重系数，将选线准确率从65%提升至88%。此外，预调式消弧线圈与暂态选线技术结合，在故障前注入脉冲信号增强暂态特征，进一步提高复杂工况下的选线成功率^[3]。

3.3 在不同规模电网中的应用差异

小型配电网（线路总长度<100km）结构简单、节点少，故障特征相对单一。某乡镇电网拥有15条出线，平均长度3km，采用基于暂态电流突变量的选线装置，设定固定阈值（突变量>0.5A）识别故障线路，选线成功率达92%。其优势在于干扰少、暂态波形完整，可通过简单差分算法快速判断。但这类电网抗干扰能力弱，雷击、电容器投切等操作过电压易引发误动作。引入数字滤波技术（如IIR陷波器抑制50Hz工频干扰），并采用自适应阈值调整策略后，误动率从15%降至5%以下。大型复杂电网（线路总长度>500km）则呈现多电源、多分支、环网运行、电缆与架空线混合的复杂特性。以某省会城市10kV配网为例，其包含200余条出线，分布电容产生的容性电流可达数十安培，不同线路参数差异导致暂态电流特征分散。对此，智能选线系统采用多源信息融合技术，综合分析零序电流、电压行波、谐波含量等12项特征量，运用D-S证据理论融合信息，在电缆占比40%的混合线路中，选线准确率达到89%。针对环网结构导致的电流双向流动问题，通过在联络开关处加装双向电流互感器，结合网络拓扑识别算法，有效解决故障定位难题。同时，大型电网运行方式频繁切换，某智能选线装置内置拓扑识别模块，实时监测开关状态与潮流分布，运行方式变化后200ms内自动更新算法参数，确保选线性能不

受影响。

3.4 实际应用中的案例分析

某沿海城市化工园区电网采用中性点经消弧线圈接地方式，初期配置的稳态选线装置在2022年夏季多次误判。一次典型故障中，15km电缆线路发生高阻接地故障（过渡电阻约3kΩ），装置误将相邻8km架空线路判定为故障线路。经分析，故障线路稳态零序电流仅1.2A，消弧线圈过补偿使相位特征失效。更换为暂态-稳态融合选线装置后，运用改进的HHT（希尔伯特-黄变换）提取暂态电流边际谱特征，结合稳态五次谐波比幅比相，选线准确率提升至93%。该装置还具备故障录波功能，记录故障前后电气量波形，为故障分析提供有力支撑。某山区县级电网改造前，基于稳态特征的选线装置在雨雾天气频繁误动。该电网含30条出线，总长度280km，架空线路占比90%。分析发现，潮湿环境下绝缘子表面泄漏电流增大，干扰零序电流测量。改造后采用基于暂态零模电流极性比较的选线装置，并在PT开口三角形侧加装阻尼电阻抑制铁磁谐振，选线准确率从68%提升至87%，年均减少非必要停电时间200小时以上。同时，集成行波测距功能，将故障点定位精度控制在±500m范围内，显著提高检修效率^[4]。

3.5 与其他电力设备的配合应用

小电流接地选线装置与继电保护系统协同配合是实现快速故障隔离的关键。某工业园区微电网中，选线装置与智能分布式馈线自动化系统深度集成。故障发生时，选线装置100ms内将故障线路信息上传至馈线终端单元（FTU），FTU依据预设逻辑控制分段开关动作，实现故障区段自动隔离。为防止暂态干扰引发误动，采用“选线确认+延时跳闸”策略，选线装置连续3次确认后才向保护装置发跳闸命令。与自动化监控系统的信息交互提升了运维管理水平，某市级供电公司将选线装置接入配电自动化主站系统，通过IEC 61850协议实时传输

数据。运维人员可在调度端查看装置状态、故障记录及选线结果，利用大数据分析统计故障规律。例如，分析2023年数据发现某片区夏季暴雨期间电缆接头接地故障频发，据此制定预防性维护计划，使该区域故障次数同比下降40%。选线装置与在线监测系统联动，结合局部放电、电缆温度等信息，实现故障早期预警与风险评估。在新能源并网场景下，选线装置需与分布式电源控制系统协同。某含光伏电站的配电网中，接地故障发生时，选线装置不仅要识别故障线路，还需向光伏逆变器发送孤岛检测信号。通过优化通信协议，将故障信息传输延时控制在50ms以内，确保分布式电源快速脱网。同时，建立源-网-荷协同模型，动态调整选线装置参数阈值，适应新能源出力波动，保障不同工况下的选线准确性。

结语

小电流接地选线装置在电力系统中发挥着不可或缺的作用，其多种选线原理为不同工况下的故障选线提供了可能。在实际应用中，虽面临诸多挑战，但通过不断优化选线算法、改进装置设计以及加强与其他电力设备的配合，选线准确性和可靠性得以提升。未来，随着电力系统的发展和技术的进步，小电流接地选线装置将不断升级完善，更好地适应复杂多变的电网环境，为电力系统的安全稳定运行提供更有力的保障，推动电力行业持续健康发展。

参考文献

- [1]李晓明.基于变压器故障量的分布式小电流接地选线方法[J].电工技术,2024,(01):76-78.
- [2]刘小亮,朱浩男,艾先政.小电流接地系统单相接地故障快速处置改造[J].电工技术,2023,(S1):91-92+95.
- [3]张玉杰,卞兴炜.小电流接地选线装置校验方法改进[J].电力安全技术,2022,24(12):66-67.
- [4]郝帅,张旭,马瑞泽,等.基于改进Goog Le Net的小电流接地系统故障选线方法[J].电网技术,2022,46(1):8.