

# 牵引供电设备系统故障测距技术

王玺哲

中国铁路上海局集团有限公司杭州供电段, 浙江 杭州 310009

[摘要] 文章先简单介绍了牵引供电系统故障测距方法, 随后介绍了行波法和故障分析两种测距方法, 希望能给相关人士提供有效参考。随着城市建设的不断发展, 我国在电气铁道方面的投入逐渐增加, 牵引供电设备能够对铁路运行产生直接影响, 为人们出行提供可靠的安全保障。如果牵引供电设备系统出现故障问题, 便会对运输造成一定影响, 为此需要精确定位牵引供电故障, 快速排除其中各种故障问题。

[关键词] 牵引供电; 设备系统; 故障测距

DOI: 10.33142/ec.v2i7.528

中图分类号: U231.8;U231.94

文献标识码: A

## Fault Ranging Technology of Traction Power Supply Equipment System

WANG Xizhe

Hangzhou Power Supply Section of China Railway Shanghai Bureau Group Co., Ltd., Zhejiang Hangzhou, 310009 China

**Abstract:** This paper first briefly introduces the fault location method of traction power supply system, and then introduces the traveling wave method and fault analysis, hoping to provide effective reference for the relevant people. With the continuous development of urban construction, the investment in electrical railway in our country is gradually increasing. Traction power supply equipment can have a direct impact on railway operation and provide reliable safety guarantee for people to travel. If there is a fault problem in the traction power supply equipment system, it will have a certain impact on the transportation. Therefore, it is necessary to accurately locate the traction power supply fault and quickly eliminate all kinds of faults.

**Keywords:** Traction power supply; Equipment system; Fault location

### 1 故障测距方法分析

按照相应的运行原理, 故障检测方法包括高频法、行波法、阻抗法等方法, 以相量为基础的阻抗法也是应用时间最长和提出时间最早的故障测距方法, 主要是通过继电保护设备对故障线路电流和电压进行全面检测, 结合线路相关阻抗参数, 将故障点位置计算出来, 这种方法便是阻抗法。阻抗法的测距原理十分简单, 同时还可以在现有二次设备的基础上进行测算, 能够有效降低应用成本, 但因为在系统运行方式和电路阻抗参数的影响下, 和行波法相比, 其测距方法相继降低。行波法主要是以线路中的电流电压波过程为基础, 通过故障中线路电流和电压暂态行波, 结合线路中行波运输的波速度及时找出故障位置, 该方法拥有较高的测距精度, 其原理上不会受到线路参数和故障类型等因素的影响, 能够进一步提高测距精度, 需要进行频繁采样, 通常不会应用到现有二次设备, 需设置各种专业的通信设备和数据采集设备, 设备整体成本相对较高, 同时行波法还可以通过数据窗进行操作, 一旦检测波头的工作失败, 便无法实施故障测距操作, 同时识别行波波头的过程中, 还需要经验支持。利用故障线路中电流电压中的高频暂态分量实施故障的测距工作, 便是高频法。在近几年发展过程中, 人工智能算法逐渐应用到故障测距当中。

### 2 行波法测距

行波法主要是以暂态行波理论为基础的故障测距技术, 包括双端量法和单端量法, 当输电线路出现短路故障后, 其在暂态过程中, 除了电压行波之外, 还包括电流行波, 其中行波朝着两侧的短路点传播, 对行波波头的抵达时间进行分析, 将波头到短路点的时间乘上行波的速度能够计算获得。可以采用电压行波信号和电流行波信号充当行波信号。而我国在故障测距中应用较多的是电流行波, 主要是因为电流行波的信号较强, 可以轻易获得行波型号。母线中的电压行波信号发生出线增多的状况时, 便会导致行波信号的接收难度增加。行波法在故障测距的过程中拥有较高的精确度, 不会被故障点中的无线路电容和过渡电阻所影响, 是继电保护领域中的重点研究内容。

从测距原理层面分析, 行波测距法主要包括六种形式, 分别是 ABCDEF 型, 这六种型可以划分成两个种类, 分别是双端量法和单端量法, 单端量法包括 ACEF 型, 而双端量法包括 BD 型。行波测距法到目前为止已经基本发展成熟, 并且在我国多个省市当中都有所应用。高压直流的输电系统内, 输电线路两侧的逆变器和整流器拥有较强的波阻抗, 当区内出现故障问题时, 线路中的故障行波只会从逆变器和整流器之间进行来回反射, 从而能够更加轻易地捕捉到行波

波头。牵引供电系统当中，行波波速和光速接近，在测量牵引变电所距离是 4 千米的状态下，光速传播时间是 13.3 $\mu$ s。因为地铁中的牵引变电所距离相对较短，为此在对故障实施测距的过程中需要将精度控制在一百米之内，AD 采样数据是采样点时间间隔所带来的最小误差，计算出来的 AD 采样频率应该超出 3MHz。D 型测距方法主要是对最大行波幅值中的初始行波波头进行测距，A 型测距法在进行故障测距中的主要原理是对从不连续的波阻抗位置和故障点中的反射行波进行检测，能够看出和 A 型测距方法相比，D 型的测距方法更加可靠，当下应用到实际运行中的行波故障测距都是 D 型为主的测距原理，特别是可以结合 GPS 设备实施高精度的时间同步，从而将两种牵引变电之间检测端行波信号的同步时间误差控制到 1 $\mu$ s 之内，而测距误差控制在 150 米范围之内。

### 3 故障分析测距

故障分析的测距方法主要是阻抗法为主，十分接近于距离保护原理，阻抗法主要原理是线路出现短路故障后，其回路阻抗和故障的距离两者成正比关系，即故障距离可以用故障回路中的阻抗除上单位长度线路中的阻抗值来获得。电力系统内，因为阻抗法投资金额少，因此容易实现，得到了广泛应用，可以通过单端法进行测距，其中较为常见的方法包括以下几种。

#### 3.1 求解微分方程

求解微分方程。怎样有效降低过渡电阻对于故障测距精度不良影响成为当下主要的解决问题。而现在已经出现了几种可以有效消除或降低电阻的方法。一种是设置电流分布系数，其具体值由电路两端综合阻抗角所决定，可以将该分布系数当作实数，假定过渡电阻中流经的短路电路和所测量到的电流故障分量两者之比是常数，进而能够有效解决过渡电阻问题。现有的故障消除测距方法中还包括其他的方法，即针对供电系统相关等效短路故障模型创建复数方程，并提取方程虚部，利用过渡电阻中的纯电阻性质降低过渡电阻影响。微方程解析测距方法会涉及到对端系统阻抗，在系统运行出现波动或阻抗角差距过大的情况下，相关假设条件也不成立，进而降低测距的准确性。

#### 3.2 迭代法

迭代法的主要操作原理是，结合故障序网结构和故障边界条件，列出相应的电路方程式，并获得测量端所测得的短路电流，及其相对过渡电阻中的电流幅值和相位关系，通过测量设备对电压数据进行准确测量，最后利用迭代方法解出故障距离。利用该方法进行测距时，还涉及到单端电气量，为此需要创建假设条件彻底消除或降低过渡电阻不良影响，误差来源还包括各种假设条件，为了进一步降低误差，可以按照迭代中的计算结果对假设条件进行修正，具体方法包括相位法修正故障电流和电力修正方法以及以微分方程为基础的电流相位修正。但在利用该方法进行测量的过程中，如果运行模式出现一定的波动变化，其测距误差也会相继扩大。同时在迭代过程中还会出现测距方法无法收敛、收敛到负距离或伪根的现象<sup>[1]</sup>。

#### 3.3 电压法

这种故障测距方法主要是以行波原理为基础的贝瑞隆方法，结合线路中测量端所测出来的电压电流，可以对故障相沿线中某一时刻中电流电压的分布状况进行合理计算，而故障相电压的最小值便是短路点。这种测距方法适用于分布参数条件下的长距离输电线路。同时这种方法还可以扩展成以零序分量、负序故障分量和故障分量的电压沿线故障线路，将故障电路中的最高点当作故障点测距方法。这种方法只是通过电压相对值实施故障测距操作，因此并不会被过渡电阻所影响。此外这种方法主要是通过双端数据实施测距工作，双端测距主要是通过双端电气量对短路点的电压进行计算，在双端短路点中的电压计算结果相同的条件下，该点便是最终的测距值。从双端电气量对于时间同步的需求分析，双端测距方法包括双端不同步和同步算法两种类型。双端同步测距在硬件方面具有较高的需求，但不同步测距方法对硬件设备却没有任何需求，因此和同步测距方法相比，具有较高的应用优势<sup>[2]</sup>。

### 结语

综上所述，电气化成为我国铁路未来发展的主流趋势和方向，而牵引供电设备还会对正常运输秩序造成一定影响，为此需要尽快消除其中的故障问题，找出故障的原因，实现对故障的精准定位。

#### [参考文献]

- [1] 窦雪薇. 高速铁路牵引供电系统故障及继电保护系统的仿真研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2018.
  - [2] 高朝晖. 基于 CPW 电流的全并联 AT 供电方式故障测距方案研究[D]. 重庆: 西南交通大学, 2013.
- 作者简介: 王玺哲 (1993-), 本科生。