

# Discussion on Fault Location Method of Railway Cable

Lin Wang

China Railway Electrification Bureau Group First Engineering Co., Ltd., Beijing, 100000, China

## Abstract

With the rapid development of the national transportation industry, the operating mileage of the electrified railway is increasing, and the 10 kV railway cable lines are increasing. However, due to the change of engineering construction, power load change, impact current and other characteristics, in the transmission process, 10 kV cable is also prone to failure. Quickly identifying and removing the fault plays a key role in improving the power supply reliability and stability of 10 kV railway power. This paper analyzes several methods of cable fault ranging, and introduces several effective ranging measures to provide help for the good operation of railway transportation and social economy.

## Keywords

cable fault ranging; fault nature; three-phase short circuit; single-phase short circuit; secondary pulse

## 浅谈铁路电缆故障测距方法

王林

中铁电气化局集团第一工程有限公司, 中国·北京 100000

## 摘要

随着国家交通行业的快速发展, 电气化铁路运营里程日益增多, 10 kV铁路电缆线路日益增加。可是由于工程施工、用电负荷变化、冲击电流等多种特征的变化, 在输电过程中, 10 kV电缆同样容易出现故障。迅速判别故障并解除故障对提高10 kV铁路电力的供电可靠性和供电稳定性具有关键作用, 论文分析电缆故障测距的几种方法, 介绍几种有效的测距措施, 为铁路运输和社会经济良好运行提供帮助。

## 关键词

电缆故障测距; 故障性质; 三相短路; 单相短路; 二次脉冲

## 1 引言

铁路电力系统为铁路沿线站区、车辆段、供电段、电务段、机务段等基层单位供电, 特别是向各车站以及电务等电气设备供电。故保证供电的可靠性、安全性及连续性是保证铁路系统正常工作、列车安全行驶的前提及必备条件。

在普速铁路供电系统中, 电能大部分由架空线路输送, 但在站场、配电所、跨越河流、城镇、隧道等地区由电缆输送。在高速铁路及城市轨道交通供电系统中, 电能基本靠地下电缆输送。由于各种原因, 电缆本身, 或由于外界原因会发生各种故障, 对铁路运输系统和社会造成不利影响和经济损失。因此电缆故障一旦发生, 应迅速准确地测定故障点的位置, 这对保证电缆的及时修复有着重要的意义。

10 kV铁路电缆在发生故障点的现场特征, 有的表现的现象很突出, 很容易区分, 有的表现不出明显的与众不同, 铁路的中性点存在不接地情况, 这类系统出现单相电缆接地

现象的时候, 产生的接地电流比较小, 这样的系统在电缆故障的地方形成的经济社会损害比较小, 当配电所的后备保护把这类不正常现象切除后, 电缆发生故障的地点就不容易找到, 可是这次电缆故障会对电缆的绝缘产生不可逆转的损害, 这次故障点的绝缘相较于整条10 kV输电电缆线路绝缘的话很薄弱, 很容易在本次故障点引起下一次的电缆故障, 鉴于这样的原因, 运维人员必须尽可能早点找到本次故障点确切地点。10 kV电力故障测距同样被叫做故障定位, 对于10 kV铁路输电线路, 指的是在电缆线路出现不正常现象后, 根据不正常现象的特征, 要尽可能快速并且精准地确定出不正常点的位置。怎样迅速、精准地确定10 kV电缆故障点的位置是铁路10 kV输电线路运营维护的基本工作职责, 是10 kV铁路电力运营维护的一个持久且弥新的研究课题, 也是铁路电力系统运营维管的一项重要工作。电气化铁路建设以来, 因为10 kV电缆故障点测量精度不高, 不但影响着10 kV故障线路的供电恢复运营时间, 而且给10 kV电缆线路的运营维护人员检查线路故障带来了长期并且沉重的负担。由此, 如何利用不断发展的科学及新技术, 研究探索输10 kV铁路电力线路的故障点确定方法, 提高故障点的测量

【作者简介】王林(1987-), 男, 中国河北安国人, 本科, 工程师, 从事电力变电研究。

准确度,更加便于提高铁路运输生产的正常运转,对 10 kV 铁路电力系统运营维管拥有很重要的意义。

## 2 中国及其他国家测距方法的研究和发展

从 10 kV 铁路电缆应用以来,不管是在中国境内或者是在其他国家,铁路运维人员已经进行了大量的工作从而来确定电缆故障点的确切地点,随着 10 kV 铁路电缆的广泛应用,电缆故障点的不同现象,10 kV 铁路电缆故障定点的测量方法也在不停地向前发展,由此电缆故障测距同样是一个长期而又弥新的工作。

从故障点定位方法看:我们把电缆故障点的定位方法分为三个阶段:直接测试阶段、模拟存储技术测试阶段、数字技术测试阶段<sup>[1]</sup>。

从测试方法看:有电桥法、雷达法、小波变换分析法、脉冲电压法、二次脉冲法、人工神经网络法。

从按不同的功能看:可以分成 3 个类型:简单便携式检测设备、有一定附加功能的检测设备、功能强劲的检测系统。

## 3 现阶段 10 kV 铁路电缆线路故障的定位方式

现阶段 10 kV 铁路电缆线路故障的定位方式,一是经过保护故障的类型归类,经过后方保护的执行情况,初步判断出故障点的距离与 10 kV 配电所之间的远近,二是使用人工进行半段试送电的方法多次对故障线路进行开口试验检查。这种办法用来定位的时间偏长、线路断开的多、确切故障点发现困难等许多缺点。随着科技的发展推广同样使用过经典的电桥法、驻波法、高低压脉冲法、二次脉冲法、闪络法、小波变换分析法等方法<sup>[2]</sup>。

## 4 电缆线路故障点判定的理论分析

### 4.1 从形式上分

10 kV 电缆线路故障从电路形式上可以分为串联故障与并联故障。现实中的故障形式却是多种多样的,现场比较常见的故障形式是单相接地、两相接地、三相接地。

### 4.2 从故障情况分

根据 10 kV 电缆故障点电阻与击穿点的间隙特征情况,10 kV 电缆故障分为开路故障、低阻故障、高阻抗故障与闪络性故障。

### 4.3 从故障原因分

电缆故障原因一般分为施工质量原因、电缆外力原因、电缆自身原因及电力电缆运行问题。

①施工质量原因:主要由于受环境影响部分地段无法深埋,导致电缆外漏没有保护,或由于排水不良导致电缆井内积水,电缆浸泡在水中,或电缆外皮受损。导致施工过程中不符合安装要求或没有达到施工标准,从而在运行中容易引起电缆故障。

②电缆外力原因:主要由于普速铁路提速或升级改造

或周边建设,从而在电缆径路周围存在施工机具,如装载机、钻孔机、打井机、顶进设备等。由于施工原因导致直接损害电缆。

③电缆自身原因:由于电缆本身制作过程中由于工艺不同材料的膨胀系数,导致气隙的形成,使绝缘性能降低,或是制造过程中混入杂质或半导体层缺陷绞合不紧、毛刺等同样会影响绝缘引起过早老化。

④电缆运行原因:有的电缆长期在高温或高压情况下运行形成局部放电造成电缆故障。有的电缆长期过负荷运行容易引起绝缘老化,从而引起击穿或放电形成电缆故障<sup>[3]</sup>。

## 5 10 kV 铁路电缆线路故障测距原理分析

10 kV 铁路电缆故障点测量距离的基本原理:根据 10 kV 铁路故障电缆电阻的高低,通过对电缆芯线加以不同幅值的直流电压或者对其加以冲击电压,使故障电缆在故障的地方对地放电,形成闪络,故障位置的闪络会在故障电缆中产生突变电压,这种突变的电压会以电磁波的方式在故障电缆本地和终端之间来回地进行反射,在故障电缆的测量终端用电波记录仪将电缆中传播的波形记录下来,之后根据记录的波形特点计算出电波在故障电缆中的传播时间,最后根据电磁波在 10 kV 铁路电缆中传播的速度计算出故障现场距离该电缆测量地点的距离<sup>[4,5]</sup>。

10 kV 铁路电缆故障点测量距离的方式方法:①低压脉冲反射法:在 10 kV 铁路故障电缆的芯线测量点加以特定的低压脉冲,该脉冲在故障电缆中进行传播,用准备好的示波器记录好电缆中传播的波形,之后计算出故障现场与测量地点之间的距离。②二次脉冲法:由脉冲发射器发射一个低压脉冲,该低压脉冲在阻抗较高或遇到故障电缆间歇性出现故障的时候不可以反射,用波形记录的仪器将整个故障电缆中传播的波形记录完整。之后使用高压放电设备,对该电缆进行高压放电,如此该故障电缆同样会在故障点产生高压放电,此处放电由于有电弧的影响电阻阻值会呈现很低的阻值。同时脉冲发射器再次产生一次低压脉冲,这样高低压信号叠加的脉冲会从故障发生的地点进行反射。之后利用波形分析设备对前后两次波形进行分析,很容易发现两个波形有一个明显的分散点,这个点就是该故障电缆在故障发生地点反射回的波形分界点,利用该波形可以算出故障发生点距离测试点之间的距离。用该方法来测量 10 kV 铁路电缆的高电阻值和发生放电的故障点的距离,方法简单,很方便地识别不同的波形<sup>[4]</sup>。

10 kV 铁路电缆故障点初步测量位置与现场实际故障发生点的误差基本在  $\pm 0.2\%$ ,对于普速铁路实际测量结果与故障点误差约为 10 m。但在实际现场进行电缆故障点确认时时常出现过大的误差,甚至相差几十米至上百米,原因可能是电缆的长度与实际地面的距离不同,或电缆的波形不准确,或电缆的预留或打盘。

10 kV 铁路电缆故障的精准定位：在使用行波测距方法测量出故障点距离测量点的距离后，需要根据电缆敷设路径和测量距离找到电缆故障点的大致物理位置。由于运营维护人员无法知道电缆施工人员在电缆线路敷设时确切的预留地点及长度和电缆波浪敷设等多种外在因素，使 10 kV 铁路电缆故障点确认的位置与实际发生故障点的物理位置存在偏差，为了精确找到故障点，需要运营维护人员进行下一步操作，故障定点。通常 10 kV 铁路电缆故障定点进一步确定方法如下：①声测法：利用 10 kV 铁路电缆故障点施加高压电压时在绝缘被击穿的地方产生的噼啪放电声进行现场确认，噼啪声最大并且带有火花释放的地方即为故障电缆故障的位置。②跨步电压测量法：10 kV 铁路电缆同样可以应用放电点不同位置电压差比较大的原理，对 10 kV 铁路直埋电缆的外护套所出现的不正常现象进行精准地确定位置。

## 6 故障测距方法在实际中的应用

呼和浩特东客车整备所 10 kV 电源线接地故障。电缆全长 6.4 km，大部分路段直埋敷设，个别路段沟槽敷设，旁边有正在施工的高铁工地，有为城市建设的房地产建设工地，电缆工作运行情况复杂<sup>[5]</sup>。

用摇表测量各相的对地电阻值，B 相、C 相的对地测量电阻显示无穷大，A 相测量的对地电阻显示为 2 MΩ，诊断为单相高阻接地故障。选择波速为 85 m/μs，通过二次脉冲测试法获得的波形如图 1 所示，测得 10 kV 电缆的故障点长度为 487.7 m。

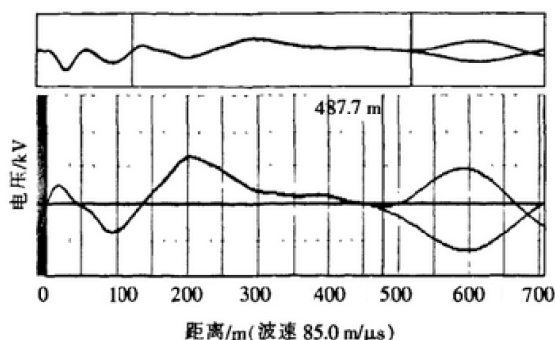


图 1 呼东客车整所 10 kV 电缆二次脉冲波形图

通过距离寻找故障点，实际开挖与预测地段相差 86 m。距离差距原因为：电缆直埋线路路径存在弯曲，电缆存在波

浪敷设，电缆进出电缆井进行了预留，根据施工难易程度，及规范要求，每个电缆井内预留不尽相同，导致预测地点与实际地点存在偏差。A 相电缆的外护层、铠装、半导体层、导体均受到破坏，电缆故障点照片见图 2。



图 2 电缆故障照片

## 7 结语

铁路电缆故障的测距方法有很多，随着技术不断提高，测距的精度和实用性也在不断地提高。但没有一种确定的办法能够发现并解决所有现实韩中遇到的问题，只能特定的问题进行特定分析，根据 10 kV 电缆的故障特点、敷设情况以及 10 kV 电缆所在的外部环境特征综合考虑，采用有效且合理的方法进行测距和故障定位。充分利用科学技术的新发展分析输电线路的故障，提高线路测距精度，对提高铁路运输生产和电力系统运营维管具有重要的现实意义。

## 参考文献

- [1] 汪梅. 电缆线路故障自适应预报系统[J]. 长安大学学报, 2004, 24(3): 104-107.
- [2] 董新洲, 贺家李, 葛耀中. 小波变换在故障检测中的应用[J]. 继电器, 1998, 26(5): 1-4.
- [3] 刁彦华, 陈国通. 小波变换在电缆故障精确定位中的研究[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(4): 17-18.
- [4] 魏万华. 关于电力电缆故障及测试方法的探讨[J]. 机械研究与应用, 2004, 17(5): 61-62.
- [5] 朱云华, 艾芊. 电力电缆故障测距综述[J]. 继电器, 2006, 34(14): 81-88.