

10 kV 配网电缆故障的原因与防范措施研究

蒋林梅

(四川明星电力股份有限公司, 四川 遂宁 629000)

摘要 10 kV 配网是电力系统中的一个关键环节, 是连接电网和用户的桥梁, 对社会生产生活具有重要作用。10 kV 配网电缆故障会对供电安全性与居民正常用电需求产生巨大威胁, 为了更好地防范 10 kV 配网电缆故障, 有必要对其产生原因予以分析。本文探讨 10 kV 配网电缆故障的原因, 重点对故障分析方法展开论述, 并提出有效的防范对策, 以期为促进 10 kV 配网的安全稳定运行提供参考。

关键词 10 kV 配网电缆故障; 配电电缆行波; 电压功率波动; 脉冲反射法

中图分类号: TM75

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)11-0043-03

随着产业结构的不断变化, 电力需求持续增长, 10 kV 配网作为连接电力用户和输电网的桥梁, 具有十分重要的作用, 但由于设备老化、自然灾害以及外力破坏等因素, 严重影响了供电的可靠性和安全性^[1]。为此, 深入分析 10 kV 配网电缆故障的原因, 并采取有效的防范措施, 对于提高供电可靠性、保障电网安全具有重要意义。

1 10 kV 配网电缆故障的原因

1.1 绝缘故障分析

10 kV 配网电缆在经过一定的使用年限以后, 极易产生绝缘失效, 而且随着使用年限的增加, 其发生的概率也在不断增加。10 kV 配网电缆对电气设备起到了保护和防止触电的作用, 然而, 由于外界环境的作用, 这些绝缘物质会发生断裂、老化等现象, 从而使其绝缘特性迅速丧失, 并且发生一些物理上的改变, 最终造成配网电缆的绝缘材料和装置的损伤。目前, 10 kV 配网电缆的绝缘失效故障最为普遍, 导致其防护能力降低, 无法保证其安全。

1.2 附件故障分析

配网电源电缆的附件故障是由附件设备产生的故障, 如附件击穿、放电等故障。附件故障主要体现在附件构造上, 由于在拆卸半导体时, 电缆附件被破坏, 附件表面有大量的杂质与粉尘, 使得附件在投入使用以后, 由于其所形成的强烈电能使得杂质与粉尘等都是游离的, 从而加快了附件故障的出现。除此之外, 附件制造过程中, 连接部位存在问题, 附件工作时由于有效连接控制不完善, 使其在接口处的电阻值偏高, 产生明显的热量, 严重时甚至会引附件起火。与此同时, 附件装配技术不够标准也会导致故障发生, 如

连接和密封不够标准, 致使附件使用完毕后, 极易受湿气侵蚀, 从而降低附件的性能。

1.3 设备故障分析

一方面, 可能由于配电变压器故障, 比如烧毁、跌落等情况, 从而导致 10 kV 配网电缆也发生故障, 无法正常供电。另一方面, 在避雷器发生故障后, 雷击电流将不能很好地传导到地面, 反而会对 10 kV 配网电缆造成严重的危害。在此过程中, 由于过电压的存在, 会对设备及电气设备产生严重的电磁干扰, 从而引起损坏、失效甚至烧毁。另外, 长期存在的过压也会加快电缆老化, 降低电缆使用寿命^[2]。

2 10 kV 配网电缆故障的分析方法

2.1 配电电缆行波

电缆自身既可视作电容元件, 又可视作电感元件, 因为 10 kV 配电电缆中有分布电感及电容, 所以当将脉冲测试电压加到被测电缆一端时, 分布电感内的电流要经过一定的时间才能到达电缆另一端, 同样地, 电压也要经过一定的时间才能到达分布电容^[3]。因此, 当施加脉冲测试电压时, 所生成的电磁波能够在电缆媒介中具有特定的传输速率, 将电磁波通过线缆的传输速率设为 V , 并以如下的表达式来计算:

$$V = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \mu_r \beta_0 \beta_r}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_r \beta_r}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \beta_0}} = \frac{C}{\sqrt{\mu_r \beta_r}} \quad (1)$$

其中, C 为光速; β_0 为真空下介电常数; β_r 为相对介电常数; μ_0 为真空下磁导率; μ_r 为相对磁导率。

不难看出, 10 kV 配电电缆内的电磁波传输速率不受结构类型、材料以及长度等因素的影响, 只涉及相对介电常数与相对磁导率值, 并且, 如果 10 kV 配电电缆绝缘材料的种类不一样, 那么介电系数也会有

很大的差别。因此，可以得出，如果10 kV 配电电缆的绝缘材料不一样，那么电磁波在电缆中的传输速率也是不一样的。而且，在同样的材料下，电磁波的传输速度也是恒定的。为此，可以通过脉冲反射法测定初始端头到故障点的距离，一般10 kV 配电电缆电磁波传输速度 V 的参考取值如表1所示。

表1 常见10 kV 配电电缆脉冲波速度参考值

序号	介质	速度
1	高分子聚合物	168 ~ 186 m/μs
2	聚四氟乙烯	213 m/μs
3	泡沫聚乙烯	246 m/μs
4	填充聚乙烯	192 m/μs
5	交联聚乙烯	155 ~ 174 m/μs
6	油浸纸	160 m/μs
7	填充聚乙烯	192 m/μs
8	聚乙烯	201 m/μs
9	空气绝缘	294 m/μs

将10 kV 配电电缆等效为长线，其特征参量即为特征阻抗，也称为波阻抗。在10 kV 配电电缆中，电压与电流是相伴而行的，公式表达如下：

$$Z = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} \quad (2)$$

其中，10 kV 配电电缆的绝缘材料和内部芯线、电缆剖面构成、绝缘层厚度、介电系数以及磁导率值等相关，为此，不同的电缆，波阻抗 Z 也不尽相同^[4]。

为此，波阻抗值 Z 主要与电缆的内芯导体材质、绝缘层介质以及自身架构的变革有关，说明波阻抗值 Z 与电缆的长度无关，不论电缆的长度如何，其各点的波阻抗都是恒定的。因此可以假定，10 kV 配电电缆可以被分割成若干个部分，或者是许多个点，在这些点上电压和电流的瞬时值，均是无数个电流行波、正电压叠加而成的。

2.2 电压功率波动

在配网系统中，电缆传输过程中会出现一些不正常的信号，这种情况下，电压波浪是一种非常关键的信息反馈，通常在0.01 ~ 0.6秒之间。若出现这种常态的波动周期，说明配网电缆出现了故障，而且，由于电压的起伏部位通常就是线缆的故障部位，所以能够通过电压的凹凸状况予以分析与辨识，从而确定电缆的故障点。特别是电压降压，通常是由10 kV 配网电缆短路引起的，也有可能是因为闪电因素引起的。因此，在识别电压拨冗的时候，和分段开关的信息识

别是一个道理，也要把其他的原因也纳入其中。

当出现电压暂降时，标称电压与剩余电压方均根的比值，比如0.75p.u，则代表电压暂下降了25%，而剩余电压为额定电压的75%，即可以采用平方根的方法来计算电压暂降。连续周期电压信号方均根值表达式如下：

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t_0}^{t_0+T} \int U^2(t) dt} \quad (3)$$

根据式(3)，拟定 T 为信号周期，若 $T < 1/2$ ，意味着信号周期不存在，需要重新定义电压信号，如下：

$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u^2(n)} \quad (4)$$

2.3 脉冲反射法波形分析

1. 低压脉冲反射法。低电压脉冲反射仪主要是用来检测低开路故障与低阻电路，该方法也适用于电缆长度测量，还可以区分电缆的终端头、T型接头以及中间接头等。（见图1）

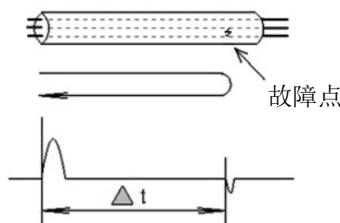


图1 低压脉冲反射法原理图

如图1所示，利用低电压脉冲反射法进行电缆故障点间距的测量，其基本原理在于，在进行测量时将一个较低电压的脉冲信号作用于被测电缆的一头，当该信号在传输途中碰到了阻抗发生显著改变的部位，例如电缆与电力装置的接头、故障点以及电缆之间的接头等，此时会出现行波的反射状态，即所谓的“脉冲回波”，然后在试验端探测到的脉冲回波，由仪表记录。那么，从试验终端到该节点之间的距离，就可以从下面的公式中得到。

$$L = \frac{\Delta t \times v}{2} \quad (5)$$

2. 脉冲电流法。基于脉冲电压方法而产生的脉冲电流法，主要有冲击高压闪络法与直流高压闪络法，与采用脉冲电压方法进行电缆故障探测的方法相似，当电缆发生故障时，直线耦合器会记录下测量脉冲的波形，并对测量脉冲生成的行波从试验端到故障点再到试验终端的全部时间进行分析，这样就可以根据波速率求出故障点到试验终端的距离，该方法可以参照脉冲电压方法进行，在此不再赘述。

3. 直闪法与冲闪法。在10 kV 配网电缆短路电阻

很小的情况下,由于直流漏电流很大,所以在测试装置的内阻上,电压基本上都下降到了测试装置的内阻以下,因此,在短路点处没有发生闪络,所以需要采用冲闪法^[5]。其布线模式和直接闪烁方法的线路相似,在能量存储电容和电缆接部位,还添加了一套球面缝隙,其工作原理是通过调整调压提升器,对蓄能电容予以逐级充电,如果蓄能电容上的电压达到某个数值,则该球状缝隙将被释放,这时,蓄能电容将对电缆放电,因此从初始试验到此刻,当球状缝隙被放电后,相当于在第一次试验中,将电压立即加在了线缆上,而不是直线增压。

3 10 kV 配网电缆故障的防范措施

3.1 外力因素防范措施

第一,降低意外情况。为保证 10 kV 配电电缆的安全,必须对电缆引下塔架予以喷涂,并加装对应的反射标识。此外,还为容易受到冲击的电缆导柱设置防撞墩。第二,标准化处理电缆安全标识。设置电缆警示标识、标识柱,对于电缆通道中经常开挖的电缆线路,要设置醒目的警示标识,动员公众做好保护工作,增强有关人员的安全意识。第三,选择可靠的电缆通道。电缆敷设区域如果存在酸碱性等化学成分,就会对其进行侵蚀,如果是受到了地下水的影响,也会对电缆形成侵蚀。所以,在选用电缆敷设通道时,应尽量避免这一地区。第四,电缆敷设方法的选取。在进行电缆敷设时,必须选用合适的方法,才能使电缆不受外界因素的影响,且不受邻近管道施工的影响,从而更好地防止因外部因素造成的损害。

3.2 自身因素防范措施

第一,应用北斗定位系统。在 10 kV 配网中,电缆故障一般都很隐蔽,通过北斗定位系统加强对 10kV 配网电缆的巡视,有助于检测和消除故障。此外,将北斗定位系统应用于巡视工作中,能够精确地确定线路杆塔和线路位置,从而为日常巡视工作带来许多方便。第二,加大配网自动化研究。由于配网的发展相对于主干网络来说较为滞后,而且还具有一些设备的陈旧性,因此,在配网中出现的电缆故障的概率也很大,为了保证配网电缆的可靠性与安全性,必须强化高科技技术的应用。

3.3 自然因素防范措施

第一,要对电缆接地状况做好周期性的检测。在使用期间,要经常检测电缆的接地电阻,以防止发生接地事故。第二,提高隔热材料的防雷击性能。通过提升电缆的绝缘耐压水平,从而改善电缆的防雷击能

力。第三,设置避雷器。目前,由于电缆铺设面积较大,而且距离较长,所以很有可能会遭受到雷电的影响,可以通过设置避雷器来加强电缆的雷电防护能力。

3.4 管理和使用因素防范措施

第一,做好电缆施工、设计及验收工作。要求运行单位全程参与质量管理,做好电缆施工规范、设计规范以及验收规范,保证电缆施工的品质,禁止存在隐患和缺陷电缆接入 10 kV 配网。第二,改造与规划配网结构。通过科学的规划,对配网结构予以科学的设计,缩短电缆的长度,把电缆负载率保持在许可的限度之内,从而使电缆的失效概率大大减小。第三,完善电缆线路资料。编制并健全有关电缆的技术文件与资料,并建立相应的巡视和缺陷处置的档案,尽量使其能够被记录在案。第四,加大电缆负载监控力度。迎峰度夏时期,电力系统处于高温高负载状态,必须强化负载监控,及时调节负载,保证电缆负载在可接受的限度之内,以防止其因超载造成的过热而烧坏。第五,提高员工培训质量。在平时的工作中,要对员工展开关于电缆故障有关知识与技术的培训,提高员工的职业素养,并制定切实可行的奖惩机制,使员工能够更好地履行自己的职责,提高对 10 kV 配网电缆故障的处理效率。

4 结束语

相关人员在充分认识到 10 kV 配电电缆重要性的基础上,应结合电缆故障原因,展开科学的故障分析,具体的故障分析方法主要有配电电缆行波、电压功率波动、脉冲反射法波形分析,应结合实际条件选择针对性的方法,从而提高故障分析精准性;同时,从外力因素、自身因素、自然因素、管理和使用因素等方面,制订出相应的防范对策,确保 10 kV 配网的安全稳定运行,减少电力事故,保障人民群众的生命财产安全。

参考文献:

- [1] 许科杰,孙宁.10kV 配电线路故障分析及解决方法研究[J].电子技术与软件工程,2021(17):227-228.
- [2] 林淑艺.10kV 配电线路电力电缆故障排查及防范措施[J].科学家,2016,04(07):87,89.
- [3] 刘同银,郭路宣,赵世磊,等.10kV 配电线路电缆故障查找方法[J].山东工业技术,2019(11):186.
- [4] 邱辛泰,陆钊.10kV 配电电缆故障探寻及原因分析[J].中国高新技术企业,2015(05):145-146.
- [5] 张润骏,陈森,李旭旻.电力工程中配电电缆的运行维护与故障分析[J].科技风,2024(13):82-84.