

多分支高压电缆线路故障定位技术研究

目前,多分支高压电缆线路存在定位困难、定位不准确的问题。根据 110 kV 多分支高压电缆线路实际参数,建立仿真计算模型,分别模拟电缆不同分支故障时,计算各个分支线路电流变化情况,根据不同分支电流波形、幅值及相位等情况,判断线路故障区间,为现场快速查找故障点提供重要的依据。通过仿真计算得到:故障段接地线三相电流很大,且与故障相相连的接地线电流最大,非故障相接地线电流较小,且故障相电流值约等于非故障相电流之和;故障点之前的干路,接地线电流也很大,但是三相接地线电流大小相等,相位相同。

张玉佳 齐伟强/国网北京电科院



张玉佳/工程师

关键词/Keywords

高压电缆 ·
多分支线路 ·
EMTP ·
主绝缘击穿 ·
故障定位 ·

0 引言

随着电网规模的增加,多分支高压电缆线路得到广泛的应用。目前北京地区的电缆网结构复杂,电缆线路不仅局限于单辐射结构,大多数高压电缆线路不仅存在单分支,部分线路存在多个分支。多分支技术在 110 kV 及以上高压电网中的运用,克服了建造变电站选址困难的问题,加快了城网改造的步伐。但多分支电缆线路随着运行年限的增加,暴露出来的问题主要表现为,设计缺陷、过热、过电压、绝缘受潮、保护层的腐蚀及绝缘老化和机械损伤等均会使电缆主绝缘出现故障,多分支线路任何一处电缆主绝缘击穿故障,就会使整条线路断电,造成停电停产的巨大经济损失。电缆故障后,目前常用的电缆故障定位方法为低压脉冲法、二次脉冲法等,由于电缆存在多个分支,改变了脉冲的折反射波形,使上述方法测得反射

波不能观察出故障点,因此故障测距时往往要拆开分支线。存在的问题主要为:①接头装置比较昂贵,一旦安装,不易拆分;②故障维修后,再次连接接头时,受天气、技术等多方面的影响,易使潮气,灰尘等进入接头,使电缆产生水树枝或电树枝等加快电缆老化,给电缆造成二次伤害,因此不能将线路的每个分支接头都拆开;③故障查找时间较长,不易快速找到故障点。因此本文针对多分支线路进行仿真计算,得到多分支线路故障定位方法,为多分支线路故障定段提供一种依据。

1 仿真模型的建立

由于目前电缆金属护层环流已经成为电缆安全运行的一个不可忽略的因素,因此一般在电缆金属护层接地线上安装 TA 检测护层电流,因此本仿真方案从电缆护层的接地线采集电流信号,根据电流波形特点,判断电缆的故障区段。

1) 仿真软件。本文采用 EMTP 软件进行仿真,EMTP 是目前国际上计算电磁暂态现象以及电动机原理应用最广泛的数字仿真软件,也是电气专业人员研究和模拟计算电力系统的电磁暂态过程的软件之一。

2) 金属故障段的模拟。由于研究对象为电缆主绝缘击穿金属性故障,因此在建模时,主要考虑电缆排列方式,以及交叉互联方式在建模时,用时控开关模拟主绝缘和电缆聚乙烯护层的击穿,击穿后接一小电阻接地。

3) 电源的模型。由于考虑对象为

电缆，因此线路之前部分，用一般的发电机模型等效，电感和电阻取一般模型的参考值。

4) 变压器及负载模型。由于研究对象为各分支电缆，变压器及负载部分可根据变压器容量设置。

5) 电缆模型。单芯电缆模型参数。

单芯电缆选用 64/110kV YJSV 型，其结构如图 1 所示，基本参数如表 1 所示。

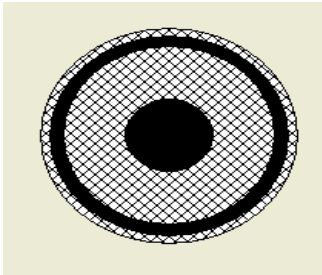


图 1 电缆结构图

表 1 64/110 kV-YJSV 的基本参数

(单位：mm)

名称	长度
线芯直径	18.4
绝缘厚度	20.0
护层厚度	4.0
电缆外径	75

由于 110 kV 的线路，当电缆主绝缘击穿后发生单相接地故障，故障发生后，继电保护装置会自行诊断进行跳闸操作，110 kV 和 220 kV 线路从故障发生到继保动作的时间间隔为 120~150 ms，因此仿真输出结果设置在 100 ms 以内，从此段时间内分析线路故障的区段。

建立的仿真模型如下，线路各段命名如图 2 所示。

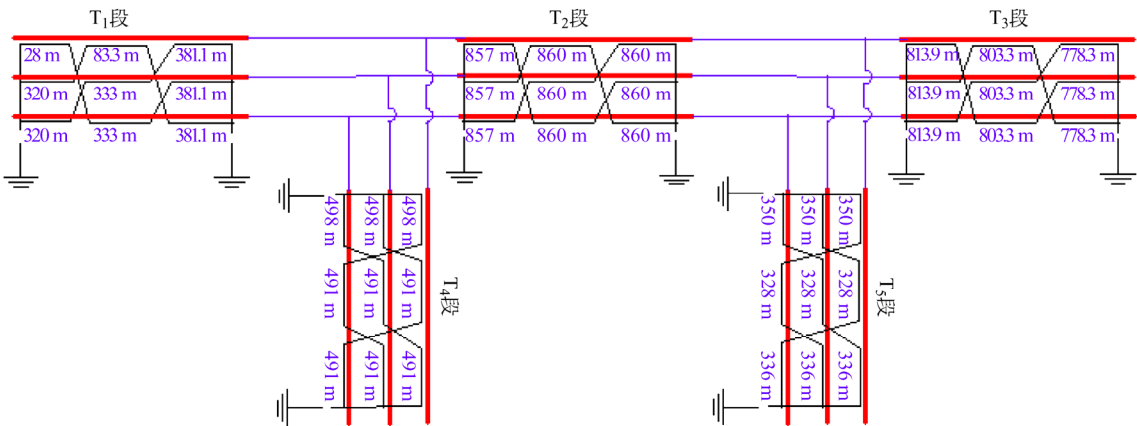


图 2 各电缆段长度和交叉互联方式

2 双 T 线路的仿真

当线路无故障时，各段的线芯电流和护层电流如表 2 所示。

表 2 正常线路的护层感应电流值

(单位：A)

项目	T ₁ 段	T ₂ 段	T ₃ 段	T ₄ 段	T ₅ 段
线芯电流幅值	196.4	223	110	173	125
A 相护层电流幅值	5.65	6.0	2.3	2.9	3.1
B 相护层电流幅值	3.6	1.3	1.5	1.47	1.0
C 相护层电流幅值	6.7	3.9	3.4	3.8	1.9

正常情况下护层感应电流的大小和相位，与线芯电流大小有关，电缆的排列方式（水平一字型、正三角型和直角三角型）、交叉互联的方式、交叉互联段各段的长度的相近程度、接地电阻以及土壤电阻率都有密切的关系，其中起决定作用的是：电缆线芯电流，交叉互联方式的正确性，各交叉互联段长度的相近性，以及接地电阻的大小；因此表 2 只是针对图 2 线路的接地电流，并为一般无故障线路金属护层电流提供参考。

3 带故障线路的仿真

双 T 线路总共分五段，仿真时，分别将主绝缘击穿故障设置在上述五段（T₁，T₂，…，T₅）

中，观察不同故障时，在各个 T 接护层的接地电流区别。

3.1 T₁段故障

故障点在 T₁段时，设置故障点在 T₁—L₁段 A 相，运行仿真程序，从 T₁段首段接地线的测得的电流波形如 3 所示。

由图 3 可见，故障发生后，电流经过一个持续 1 ms 的暂态过程，然后逐渐进入稳态，且与故障相相连的金属护层电流很大，最大幅值近达 5 000 A，非故障相的幅值也较大，最大电流幅值约在 1 000 A。

此时在其他非故障段接地线测得的电流波形基本相同，典型的电流波形图如图 4 所示。

其经过短暂的高频衰减之后，接地电流值较小，幅值基本都在 100 A 以内，因此可根据故障后接地线的电流，准确定位出 T₁段的故障。

改变故障点在 T₁的位置，将故障点设在 T₁—L₂的 A 相、T₁—L₃的 A 相以及故障点在 B 相和 C 相，所测结果除电流幅值如表 3 所示。

表 3 T₁段 A 相故障时故障后护层最大电流幅值
(单位：A)

故障段	T ₁ —L ₁ 段	T ₁ —L ₂ 段	T ₁ —L ₃ 段
电流			
A 相护层电流幅值	3 969	1 322	1 304
B 相护层电流幅值	902	3 228	1 374
C 相护层电流幅值	815	936	2 845

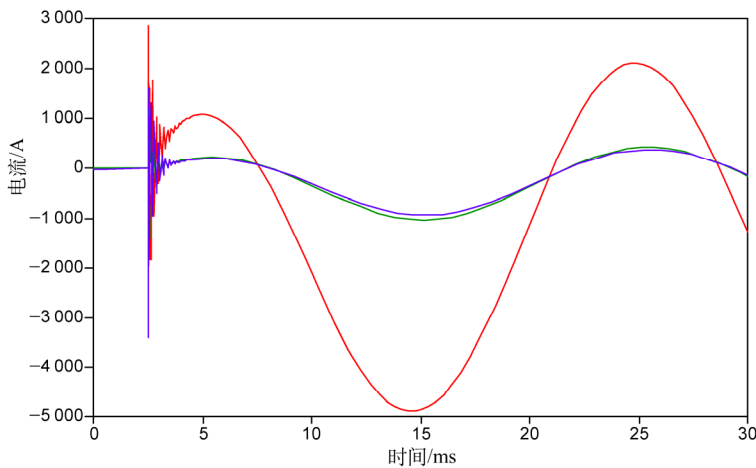


图 3 T₁段故障时故障段首端接地线电流波形

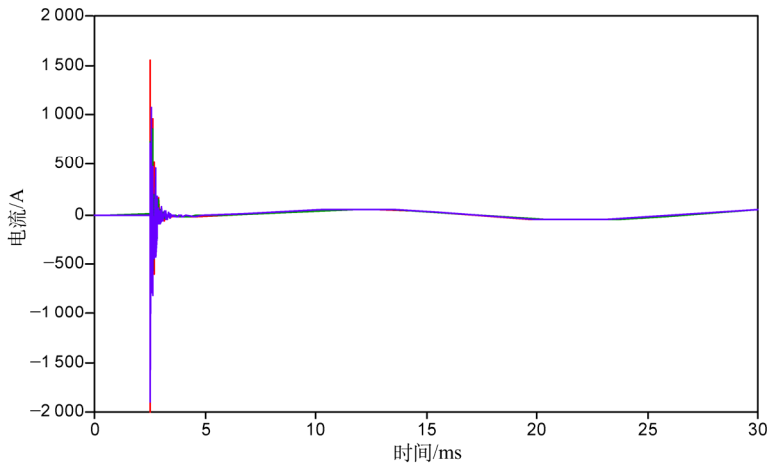


图 4 T₁段故障，非故障交叉互联段接地线测得电流

故障点在在 T₁—L₂的 A 相或 T₁—L₃的 A 相时，在 T₂、T₃、T₄和 T₅段接地线测得电流波形

与图 4 相似。故根据接地线电流能准确定位出 T₁段故障。

3.2 T₂ 段故障

将电缆故障点改变到 T₂ 段，在 T₂ 段首段接地线的位置所测得电流信号，与故障在 T₁ 段时，从 T₁ 段接地线的测得的电流信号除相位和幅值

在大小上略有差别外，其他性质基本相同。

T₂ 段故障，在 T₃、T₄ 和 T₅ 段接地线测得的电流信号与图 4 相似。在 T₁ 段的接地线测得电流与其他情况明显不同，所测电流波形如图 5 所示。

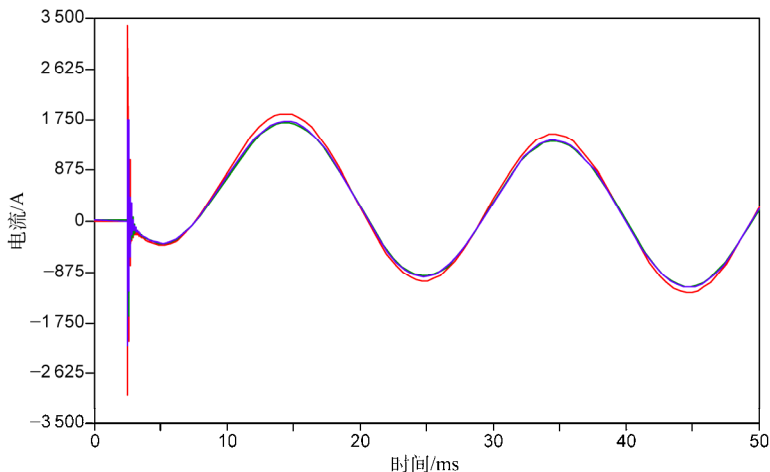


图 5 单 T 线路 T₂ 段故障时 T₁ 段首端接地线的电流波形

由于故障电流要流回电源端，形成闭合的回路，所以 T₂ 段的故障电流从 T₂ 段首端接地线流出后，由于土壤的电阻率较大，所以故障电流以 T₁ 段的金属护层为回路，因为三相接地电阻相同，所以接地电流幅值基本相同，相位也基本相同。

3.3 T₃、T₄ 和 T₅ 段分别故障

当故障点分别在 T₃、T₄ 和 T₅ 故障时，故障点所在段的接地线电流波形如图 3 所示（幅值、相位有所差别）。故障段之前的干路波形如图 5 所示，故障段之前的支路和故障段之后的所有线路，其接地线电流波形与图 4 类同。故通过观察接地线的电流能准确定位故障段。

4 结束语

当电缆发生主绝缘击穿故障时，通过监测各段的接地线电流能准确的判断出发生故障的故障段。依据：故障段接地线所测护层三相电流很大，且与故障相相连的接地线电流最大，非故障相接地线电流较小，且故障相电流值约等于非故障相电流之和，所测电流值在千安级；故障点之前的干路，护层电流也很大，但是三相护层电流大小相等，相位相同；故障段之前的支路与故障段之后的各个交叉互联段，在故障之后的 0.5 ms

之内有高频的衰减振荡，经过这短暂的振荡之后，电流值恢复为正常的感应电流，其值很小，约为故障段接地线电流的 1%。

参考文献

[1] 江日洪. 交联聚乙烯电力电缆线路[M]. 北京：中国电力出版社，1997.

[2] 蔡兴波. 在 110 kV 交联电缆进行分支 T 接的尝试[J]. 广东电力，1994（3）：65-66.

[3] 陈天翔，段建东，陈天韬，等. 电力电缆绝缘在线监测测量方法及判据设计[J]. 高压电器，2004，40（3）：183-185.

[4] 欧景茹. 高压单芯电缆金属护层感应电压计算及其保护方式[J]. 吉林电力，2001，（3）：14-16.

作者简介

张玉佳（1984-），女，硕士，工程师，主要研究方向为电力系统分析及控制、带电检测技术、电网事故分析、设备状态评价等。

齐伟强（1985-），男，博士研究生，研究方向为高压电器设备状态监测、故障诊断及状态评价。

（收稿日期：2015-12-10） EA
（编辑：杨帆）