

高速铁路电力电缆不对称接地故障 对二次电缆的影响

周思宇¹, 冷 怡²

(1. 四川电力科学研究院, 四川 成都 610072; 2. 四川省电力公司远维检修部, 四川 成都 610041)

摘 要: 由于空间走廊和建设成本的限制, 新建高速客货共线铁路 10 kV 供电电缆、通信电缆、信号电缆等二次电缆同沟敷设。这些电缆之间相邻距离近、平行距离远, 处于同一电磁环境中的电气线缆通过各种电磁耦合方式彼此紧密联系在一起。通过理论分析、计算机仿真计算等方法, 分析高速铁路电力电缆不对称接地故障对通信信号电缆的影响。

关键词: 电缆; 电磁耦合; 不对称接地故障

Abstract: Owing to the limitation of space corridor and construction cost, the construction of newly - built high - speed railway needs to put the 10 kV power supply cable, communication cable and signal cable in one cable pit. These cables are very close to each other and run parallel to others for a long distance. They are in the same electromagnetic environment and closely connecting with each other through a great variety of electromagnetic coupling ways. By the theoretical analysis and using electromagnetic transient program (EMTP), the influence of asymmetrical ground fault in power cable of high - speed railway on the communication cable and signal cable is analyzed.

Key words: cable; electromagnetic coupling; asymmetrical ground fault

中图分类号: TM862 文献标志码: A 文章编号: 1003 - 6954(2012) 05 - 0081 - 04

0 引 言

由于空间走廊和建设成本的限制, 新建高速客货共线铁路建设中将 10 kV 供电电缆、通信电缆、信号电缆同沟敷设。这些电缆之间相邻距离近、平行距离远, 处于同一电磁环境中的电气线缆通过各种电磁耦合方式彼此紧密联系在一起。将通过理论分析、计算机仿真计算等方法分析高速铁路电力电缆不对称接地故障对通信电缆、信号电缆等二次电缆的影响。

1 三相电力电缆系统不对称接地故障分析

考虑电力电缆对通信信号电缆可能产生的电磁感应影响, 10 kV 三相电力电缆系统不对称运行方式主要有 3 种形式: 三相电力电缆有相线断线、三相电力电缆发生单相对屏蔽层的短路、三相电力电缆发生两相对屏蔽层的短路。下面就这 3 种情况分别加以分析。

1.1 三相电力电缆的相线断线引起的不对称运行分析

当三相电力电缆的相线发生一相断线时, 系统若是不接地系统, 则在非故障相流过的电流相同, 但方向相反, 两者对外界产生交变磁场相互抵消, 故不会在信号电缆芯线上产生较大的纵向感应电势; 系统若是直接接地系统, 则在非故障相流过的电流相位相差 120° , 两者叠加恰好是一相的电流, 即这时产生了幅值为正常相电流的零序电流, 该电流产生的磁场会在信号电缆芯线上产生纵向感应电势。

当三相电力电缆的相线发生两相断线时, 若是不接地系统, 非故障相的电流无法流通亦应为零; 系统若是直接接地系统, 则在非故障相流过的电流应为相电流, 即这时产生的零序电流为相电流, 该电流产生的磁场会在信号电缆芯线上产生纵向感应电势。

当三相电力电缆的相线发生三相断线时, 电力电缆中将无电流输出, 亦不会产生能交链信号电缆的磁场, 故不会对信号电缆产生影响。

综上所述, 当三相电力电缆系统发生断相故障时, 对于中性点直接接地系统可能产生的最大零序

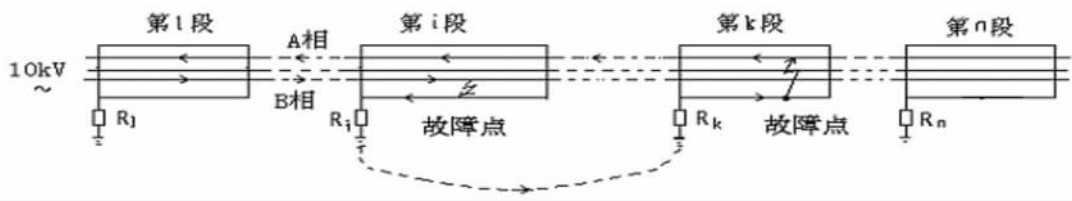


图1 分析电力电缆单相接地故障电流分布示意图

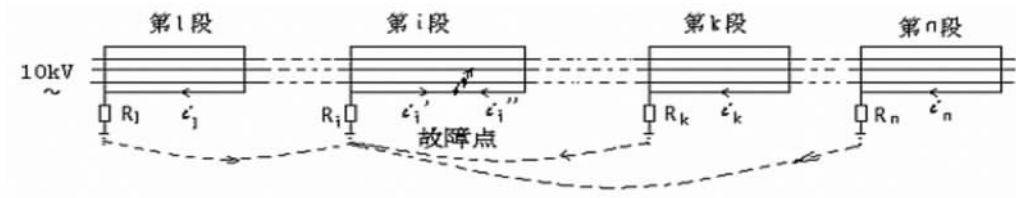


图2 分析电力电缆两相接地故障电流分布示意图

电流为系统运行的相电流,而系统的相电流一般不超过 80 A;而对于中性点不接地系统,不会产生对信号电缆有影响的纵向感应电势。

1.2 三相电力电缆发生单相对屏蔽层的短路故障分析

在电力系统中,单相对地短路是最常见的故障形式。对于电力电缆发生单相短路,是指电缆相导线对屏蔽层的短路,当系统中性点不接地时,流过故障点的电流是非故障相的分布对地电容电流的矢量和,而能引起同沟信号电缆纵向电势的短路电流,是指流经电力电缆屏蔽层的短路电流。

当电力电缆发生单相对屏蔽层的短路故障时,流经外皮的电流可用图 1 加以说明。图 1 中设铁路三相电力电缆由 n 段构成,其中 n 段电缆的三相导线串联联接,而每段电力电缆的屏蔽层为一段经接地装置接地,另一端经保护器接地(相当于开路),每段电力电缆长度约为 1 km。

假设第 i 段内发生单相对屏蔽层的短路故障,则非故障段的对地电容电流经接地体流向故障段的故障点,再返回电源,电缆屏蔽层的电容电流流向如图 1 所示。该零序电流产生交变磁场,会交链相邻的信号电缆,在信号电缆芯线上产生感应电势 E_1 。

若故障点发生在 i 段首端(图 1 中靠近接地装置处),则 n 段电缆外皮流过相同的电流,且电流流向相同,在相邻电缆上产生的感应电势相叠加为 $n E_1$;

若故障点发生在 i 段末端,则在故障相外皮上流过的电流为非故障段的对地电容电流之和,且方向相反,相应综合在信号电缆上产生的感应电势就

很小。

1.3 三相电力电缆发生两相对屏蔽层的短路故障分析

同样假设三相电力电缆由 n 段构成,假设在第 i 段内 L2 相发生对电缆屏蔽层的短路,而在第 k 段内发生 L1 相对屏蔽层短路,如图 2 所示。

由电流分布可知,在 i 段的左侧靠近电源的所有电缆段内,流过故障相(两相)的短路电流大小相等,方向相反,不会在相邻信号电缆产生纵向感应电势;在 k 段的右侧靠近负载的所有电缆段内,无故障电流,亦不会在相邻信号电缆中产生感应电势;在第 i 段与 k 段间的所有电缆段的一相导线(图中 L1 相)中有故障电流流过,该电流会在相邻信号电缆中产生感应电势;而在第 k 段内,若故障点在其端部,则在该段内相导线与屏蔽层流过的短路电流相等,流向相反,不会产生磁感应电势;在第 i 段内,不论故障点在什么位置,都有相间短路电流可以产生磁感应电势。

在相邻信号电缆中产生感应电势最严重的情况是,在第 1 段电缆的首端发生一相(例 L2 相)对屏蔽层短路,而在第 n 段电缆内发生另一相(例 L1 相)对屏蔽层短路。若 1 段(一般 1 km)两相短路电流在相邻信号电缆产生的感应电势为 E_2 ,则 n 段电缆发生两相短路故障时,在相邻信号电缆芯线上产生的最大感应电势为 $(n - 1) E_2$ 。

2 感应电压的仿真计算

针对以上的理论分析,利用国际通用的电磁暂

态仿真计算程序 ATP - EMTP 的图形输入程序 ATP - Draw 对电力电缆发生不对称接地故障时,在通信信号电缆芯线产生的感应电压进行仿真计算。仿真计算主要考虑了信号电缆屏蔽层多点接地(最理想屏蔽状况)、信号电缆屏蔽层两端经接地装置接地两种情况。

2.1 二次电缆屏蔽层理想接地

二次信号电缆屏蔽层理想接地时,电缆芯线纵向感应电动势的仿真计算模型如图3所示。

图3中电源为电力电缆故障状态下,流过其外皮的短路电流值;LCC为电力电缆外皮与带屏蔽层的二次电缆并列运行模型,其中二次电缆屏蔽层理想接地,测量信号电缆芯线上的纵感应电动势值。

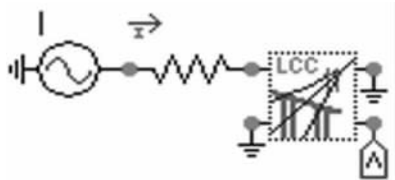


图3 二次电缆芯线纵向感应电动势
计算模型(屏蔽层理想接地)

当电力电缆外皮流过短路电流时,在并列运行二次电缆芯线上产生的感应电压仿真计算结果见表1。

表1 电缆外皮流过短路电流时,二次电缆芯线上的纵向感应电动势

I/A	1	10	20	23.5	50	100	800
U/V	0.024	0.24	0.48	0.56	1.19	2.37	18.98

注:二次电缆与电力电缆间距100mm,二次电缆长度1km。

由表1中数据可画出,流过电力电缆外皮的短路电流值与二次电缆芯线上的纵向感应电动势关系曲线如图4所示。

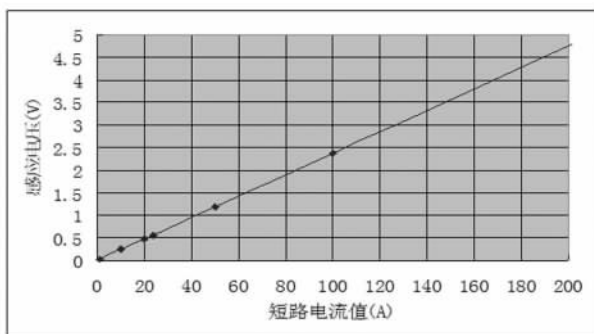


图4 二次电缆芯线纵向感应电动势与流过
电力电缆屏蔽层短路电流的关系

由图4可见,二次电缆芯线上的纵向感应电动

势随电力电缆外皮的短路电流值增大而增大,两者间满足线性关系。

2.2 二次电缆屏蔽层经接地装置接地

二次电缆屏蔽层两端经接地装置接地,二次电缆芯线感应电压的仿真计算模型如图5所示。

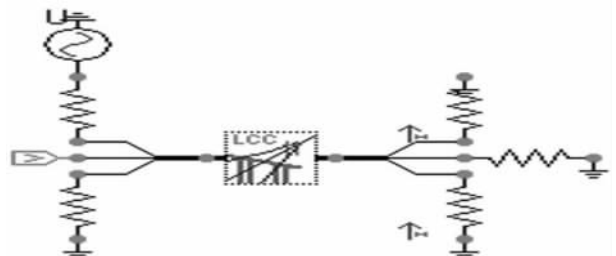


图5 二次电缆芯线纵向感应电动势计算模型

图5中电源为电力电缆故障状态下,流过外皮的短路电流值;LCC为电力电缆外皮与带屏蔽层的二次电缆并列运行模型;二次电缆屏蔽层两端分别经电阻接地,目的是为了引入接地电阻对感应电压的影响,并通过改变接地方式、接地电阻值得出二次电缆芯线感应电动势与接地电阻的关系。

2.2.1 二次电缆屏蔽层一端接地时,电缆芯线感应电压的计算

当二次电缆屏蔽层一端直接接地时,电缆芯线上的纵向感应电动势与电缆间距的关系数据见表2。

表2 二次电缆芯线纵向感应电动势与电缆间距d的关系

电缆间距/mm	50	100	200	400	800	1000
U/V	33.13	30.84	28.57	26.31	24.01	23.31

注:线路长度1km,短路电流恒定,二次电缆屏蔽层一端直接接地。

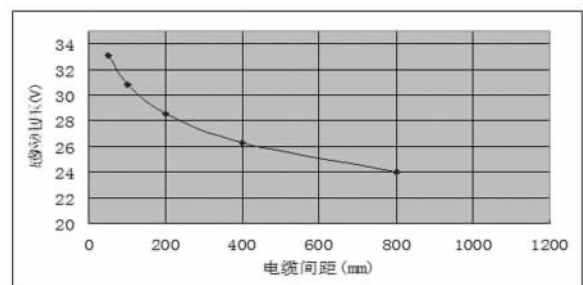


图6 二次电缆芯线纵向感应电动势与电缆间距的关系

由表2中数据可知,二次电缆屏蔽层一端接地时,电缆芯线上的感应电压值相比于理想接地的情况已急剧增大。由理论分析可知,二次电缆屏蔽层一端接地只能消除静电感应分量,而不能起到电磁电缆屏蔽的作用。仿真计算还进一步表明,这时二次电缆芯线感应电压与屏蔽层的接地电阻无关,而

与电力电缆外皮流过的短路电流值成正比关系。二次电缆芯线感应电压与电缆间距的关系如图6所示。与前面结果相同,二次电缆芯线上的感应电压值随电缆间距增大而逐渐减小,这与理想屏蔽时的变化趋势相同。

信号电缆屏蔽层一端接地时,二次电缆芯线感应电压值与接地电阻的关系数据见表3。由表3可以看出,二次电缆屏蔽层一端接地时,二次电缆芯线纵向感应电动势与接地电阻大小无关。

2.2.2 二次电缆屏蔽层两端接地时,电缆芯线感应电压的计算

当二次电缆屏蔽层两端直接接地时,信号电缆芯线上的纵向感应电动势与电缆间距关系的仿真计算结果见表4。

表3 二次电缆芯线纵向感应电动势与接地电阻大小的关系

接地电阻值 /Ω	0	0.1	0.5	1	5	10	15
U/V	30.85	30.84	30.85	30.84	30.85	30.85	30.85

注:线路长度1 km,短路电流恒定,电缆间距100 mm。

表4 二次电缆芯线纵向感应电动势与电缆间距d的关系

电缆间距 d /mm	50	100	200	400	800	1000
U/V	2.70	2.51	2.33	2.14	1.96	1.90

注:线路长度1 km,短路电流100 A,二次电缆屏蔽层两端直接接地。

由表中数据可知,二次电缆屏蔽层两端理想直接接地时,比二次电缆屏蔽层理想接地(屏蔽层各点均理想接地)情况下的表2数据稍大一些,相应的结论同前。表4数据亦表明,二次电缆芯线纵向感应电动势随着电缆间距增大而减小。当二次电缆屏蔽层两端经接地装置接地时,电缆芯线上的纵向感应电动势与接地电阻值关系的仿真计算结果见表5。由表5数据可得,二次电缆芯线纵向感应电动势与接地电阻的关系曲线见图7。

表5 二次电缆芯线纵向感应电动势与接地电阻大小的关系

$\frac{R_1}{R_2}/\Omega$	0	0.1	0.2	0.5	1	5	10	12
U/V	2.51	2.67	3.39	5.39	7.34	10.16	10.60	10.73

注:线路长度1 km,短路电流恒定,电缆间距100 mm。

从表5中的数据 and 图7可以看出,当二次电缆屏蔽层两端经电阻接地后,电缆芯线感应电压值随着接地电阻值的增大而增大,并且在接地电阻阻值

较小时感应电压上升幅度较大。

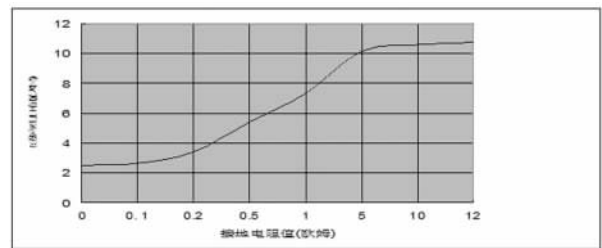


图7 二次电缆芯线纵向感应电动势与接地电阻大小的关系

3 结 语

经过理论分析和仿真计算,主要得出以下几个结论。

(1) 同沟铺设的电力电缆与二次电缆,在一定间距范围内,当三相电力电缆发生单相接地、两相接地故障时,会在二次电缆芯线上产生纵向感应电动势。

(2) 二次电缆芯线上的纵向感应电动势与影响电流满足线性关系。

(3) 当二次电缆屏蔽层一端接地时,其芯线上的纵向感应电动势与接地电阻大小无关;当二次电缆屏蔽层两端接地时,其芯线上的纵向感应电动势与接地电阻大小有关。

参考文献

- [1] 冯慈璋. 电磁场[M]. 北京:高等教育出版社,1983.
- [2] 庞延智. 电力线路对电信线路的影响和保护[M]. 北京:水利电力出版社,1986.
- [3] 肖小军. 铁路电气化对通信电磁干扰影响的分析与计算[J]. 电信技术,2004(3):63-66.
- [4] 邱关源. 电路[M]. 高等教育出版社,1993.
- [5] 何仰赞,等. 电力系统分析[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1984.
- [6] 马任明. ATP-EMTP程序使用说明[R]. 武汉高压研究所,1991.
- [7] 陆家榆,等. 电力线路附近金属管线的感应电流和电压的计算[D]. 电磁兼容论文集,1999.
- [8] 北京全路通信信号研究设计院. 铁路内屏蔽数字信号电缆技术条件(讨论稿),2003.

作者简介:

周思宇(1982),男,硕士研究生,工程师,从事高电压绝缘研究工作。

冷 怡(1981),女,本科,工程师,从事大修技改管理工作。
(收稿日期:2012-05-11)