

# 一起系统故障引起同杆混压线路纵联保护误动分析

曹 斌<sup>1</sup>, 汤大海<sup>1</sup>, 袁宇波<sup>2</sup>, 陈永明<sup>1</sup>, 丁国华<sup>1</sup>

(1.镇江供电公司, 江苏 镇江, 212001; 2.江苏省电力公司电力科学研究院, 江苏 南京 210020)

**摘 要:** 不同电压系统的同杆混合架设线路之间存在零序互感, 当其中某系统发生接地故障时, 故障电流流过该线路时零序电流产生很强的零序磁场, 导致非故障系统线路两侧的零序电压相位变化较大, 会引起该系统线路零序纵联方向保护误动。对电网中不同电压系统的同杆架设线路一实际故障引起 RCS901 保护装置零序纵联方向保护的误动进行了分析, 提出了采用负序方向元件作为零序纵联保护的辅助判据, 在其他系统发生接地故障时, 线路各侧的负序方向元件和零序方向元件只有均判断为正方向, 才出口停信, 来防止零序纵联保护的误动作。此改进措施已在某电网 RCS901 保护装置进行了反措。

**关键词:** 不同电压系统; 同杆架设线路; 零序互感; 线路纵联保护; 误动; 分析

## 0 引言

随着国民经济的高速发展, 土地资源越来越稀缺, 电网中同杆架设线路越来越多, 尤其不同电压系统的同杆混合架设线路(简称同杆混压线路)也越来越多, 这种现象在经济发达地区尤为明显。同电压系统的同杆架设线路存在零序互感, 当一回线发生接地故障引起另一回线路零序纵联方向保护误动, 在广东、江苏、湖北、西北、山西等地不断发生, 国内研究院校和厂商对此类的故障分析研究也较多<sup>[1-5]</sup>。但由于同杆混压线路之间也存在零序互感<sup>[6-9]</sup>, 当其中某电压系统发生接地故障时, 故障电流流过线路零序电流产生很强的零序磁场, 导致非故障电压系统线路两侧的零序电压相位变化也较大, 引起该系统线路零序纵联方向保护误动, 国内研究院校和厂商对此类的故障分析研究不多。2011 年某电网曾经发生了一起 500kV 系统故障, 引起同杆架设的 220kV 线路零序纵联方向保护误动。本文将就这一故障引起同杆架设的 220kV 线路零序纵联方向保护误动原因进行分析, 并根据分析结果, 提出相应的改进措施。

## 1 故障情况简介

### 1.1 电网简介

图 1 为某局部电网示意图, 某电厂通过 220kV 和 500kV 电压向电网送电, 厂内 220kV 和 500kV 之间没有联络, 500kV 部分通过两回 500kV 线路送

电至 500kVA 变电所和电网中 500kV 系统进行联络。其中, 两回 500kV 线路与两回 220kV 线路部分线路同杆四回混压架设, 其中一回 220kV 线路送电至 220kVB 变电所(简称 B 变电所), 另一回 220kV 线路送电至 220kVC 变电所。

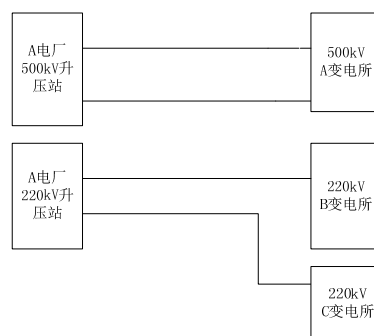
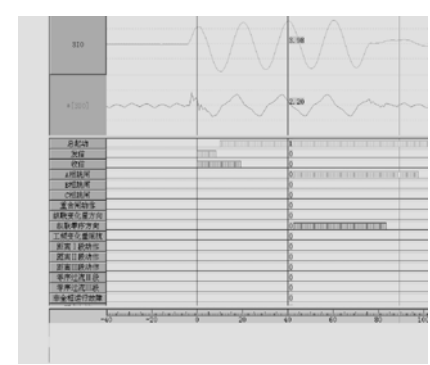


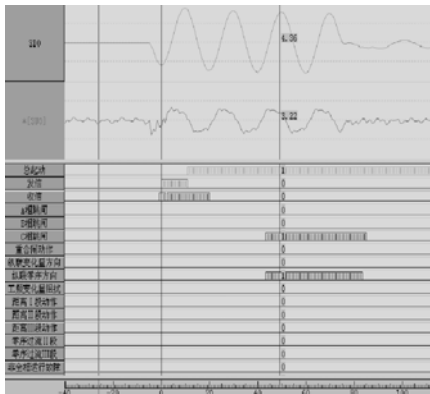
图 1 某局部电网示意图

### 1.2 故障情况

2011 年 4 月 18 日, 该电厂 500kV 升压站建成, 设备进行倒送电启动, 13 时 23 分由 500kVA 变电所通过 500kV 线路向该电厂 500kV 升压站充电时, 厂内某 C 相电流互感器发生单相接地故障, 500kVA 变电所侧 500kV 线路跳闸的同时, 同杆架设的某条 220kV 线路两侧 RCS901A 保护零序纵联方向保护误动作(均配置了 RCS901A 保护和 PSL602 保护), B 变电所侧 43ms 保护出口跳开 A 相开关, 重合成功(二次零序电流为 2.93A,); 电厂侧 43ms 保护出口跳开 C 相开关(二次零序电流为 3.06A,), 重合成功。事发后, 打印了事故动作报告, 录波图见图 2。



(a) B 变电所侧



(b) 某电厂侧

图 2 故障录波图

1.3 初步分析

由录波分析得出B变电所侧和电厂侧虽然零序电压较小，但也达到了启动值，其中零序电流超前零序电压 120 度左右，零序功率方向为正方向故障，根据目前 RCS901A 零序纵联保护原理，零序保护应停信，若收不到对侧闭锁信号则零序纵联保护出口，两侧保护均跳闸出口。

2 不同电压系统线路零序互感产生的零序电压电流分析<sup>[9]</sup>

2.1 线路区内接地故障时的零序电流电压分布

正常线路区内接地故障时的零序电流、电压分布如图 3。

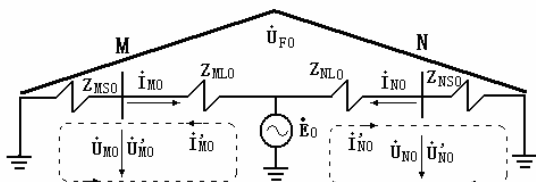


图 3 线路正常区内故障时零序电压、电流分布图  
三角形粗实线为零序电压分布，故障点零序电

压 ( $\dot{U}_{F0}$ ) 最高，逐渐向接地的中性点降低。细的虚线为接地点两侧零序电流分布情况。这里故障点的零序电压源以并联的形式出现。

图中  $\dot{U}_{M0}$ 、 $\dot{I}_{M0}$ ； $\dot{U}_{N0}$ 、 $\dot{I}_{N0}$  为两侧了零序电压、电流规定正方向，可见两侧实际零序电压  $\dot{U}_{M0}'$ 、 $\dot{U}_{N0}'$  和规定正方向相同，零序电流  $\dot{I}_{M0}'$ ； $\dot{I}_{N0}'$  和规定正方向相反。因此两侧零序纵联方向保护判正方向区内故障。

实际零序电压、电流相量如图 4，假设线路零序阻抗角为  $80^\circ$ ，则两侧零序电流超前零序电压  $110^\circ$ 。

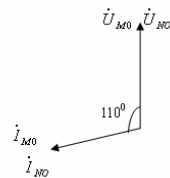


图 4 正常接地故障时零序电压、电流微量关系

2.2 不同电压系统产生零序互感的模型

甲线对乙线是不同电压系统的同杆架设线路。甲线对乙线产生零序互感的模型如图 5 所示，甲线零序电流作用下，乙线产生的零序互感电势源以串联的形式出现。

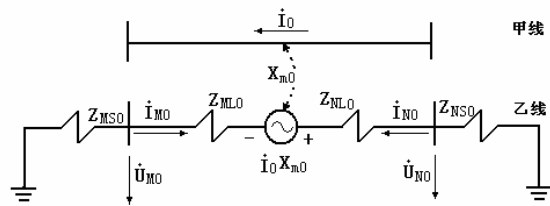


图5 平行双回线的零序互感模型

2.3 零序互感对非故障系统线路零序电压电流分析

在串联的零序电势源作用下，乙线的零序电压、电流分布如图 6 所示。

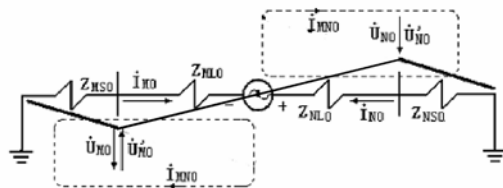


图6 被感应线路零序电压、电流分布图

图 6 中粗实线，为零序电压分布，细的虚线为串联零序电势源作用下，两侧零序电流分布情况，N 侧的零序电压与规定正方向相同、电流与实际规定正方向均相反；M 侧的零序电压与规定正方向相反、电流与实际规定正方向均相同（即 M 侧的零序电压、电流的关系出现了“负负得正”的效果）。向量如图 7 所示。

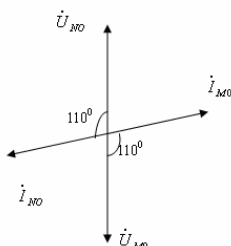


图7 串联零序电势源作用下两侧零序电流、电压的向量关系

## 2.4 不同电压系统线路零序互感对零序纵联保护的影响

由图 7 向量图可看出，实际乙线两侧零序纵联方向元件中，零序电流均超前零序电压 110 度，零序纵联保护判区内正方向故障，因此乙线两侧的零序纵联保护动作出口跳闸。

## 3 RCS901A保护动作行为分析

为了分析 RCS901A 保护装置的動作行为，提出相应的改进措施，防止类似误动情况的发生，我们调取了 RCS901A 装置相应的各种动作录波来进行分析。

### 3.1 电厂侧 RCS901A 电气量分析

#### 3.1.1 电厂侧 RCS901A 录波波形

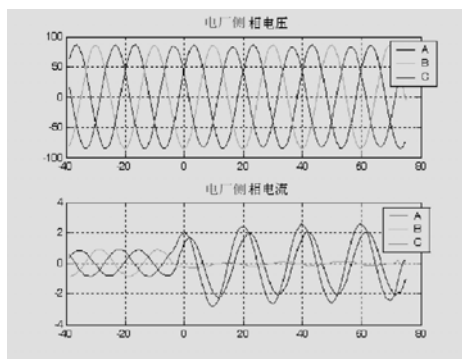


图 8 电厂侧 RCS901A 录波波形

#### 3.1.2 电厂侧零序电压、零序电流、零序电压电流相对相位和零序功率

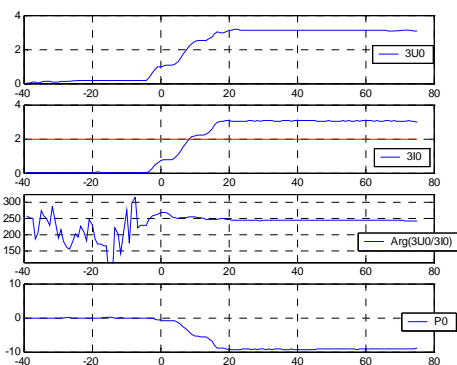


图 9 电厂侧零序电压、零序电流、零序电压电流相对相位和零序功率图

第一幅图为零序电压有效值，第二幅图为零序电流有效值，第三幅图为零序电压超前零序电流相位，第四幅图为零序功率。零序功率低于 0，即表明零序功率判为正方向，而零序电流有效值约为 3A，大于“零序方向过流定值”2A，故电厂侧零序纵联判为正方向并停信。

#### 3.1.3 零负序选区

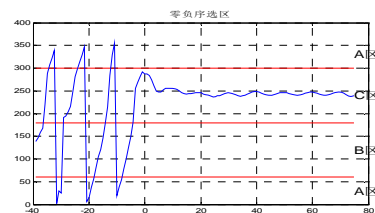


图 10 电厂侧零负序选区图

RCS901 仅零序纵联动作时，启动辅助选相，辅助选相参考零负序选区。本次故障中零负序选取进入 C 区，故电厂侧 RCS901A 零序纵联单跳 C 相。

#### 3.1.4 相间电压和电流变化量

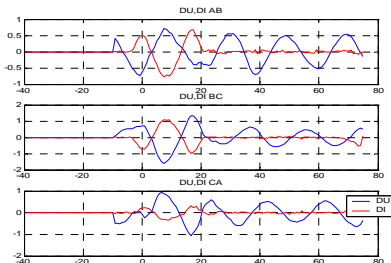


图 11 电厂侧相间电压和电流变化量图

相间电压和电流基本反向，表明为正方向扰动。

#### 3.1.5 电厂侧负序电压、负序电流、负序电压电流相对相位和负序功率

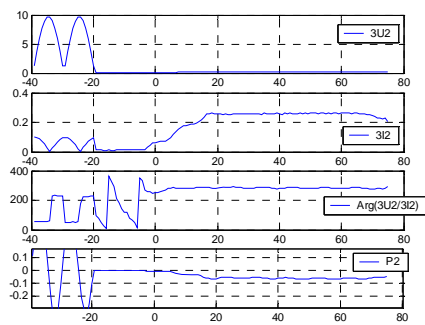


图 12 电厂侧负序电压、负序电流、负序电压电流相对相位和负序功率图

第一幅图为负序电压有效值，第二幅图为负序电流有效值，第三幅图为负序电压超前负序电流相位，第四幅图为负序功率。负序功率低于 0，即表明负序功率判为正方向。

从各种电气量特征来看，电厂侧确为正方向特征。

### 3.2 B 变电所侧 RCS901A 电气量分析

#### 3.2.1 B 变电所侧 RCS901A 录波波形

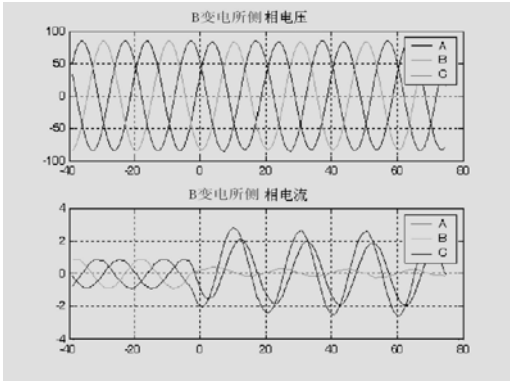


图 13 B 变电所侧 RCS901A 录波波形图

#### 3.2.2 B 变电所侧零序电压、零序电流、零序电压电流相对相位和零序功率

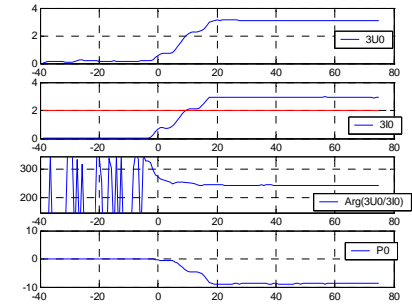


图 14 B 变电所侧零序电压、零序电流、零序电压电流相对相位和零序功率图

第一幅图为零序电压有效值，第二幅图为零序

电流有效值，第三幅图为零序电压超前零序电流相位，第四幅图为零序功率。零序功率低于 0，即表明零序功率判为正方向，而零序电流有效值约为 3A，大于“零序方向过流定值”2A，故 B 变电所侧零序纵联判为正方向并停信。

#### 3.2.3 零负序选区

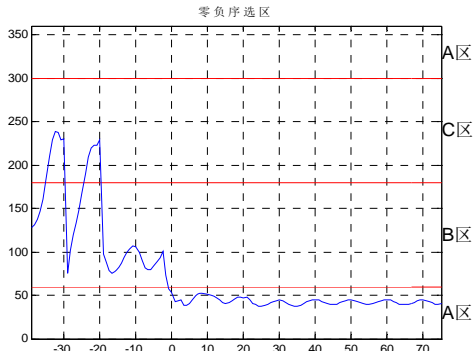


图 15 B 变电所侧零负序选区图

RCS901 仅零序纵联动作时，启动辅助选相，辅助选相参考零负序选区。本次故障中零负序选取进入 A 区，故电厂侧 RCS901A 零序纵联单跳 A 相。

#### 3.2.4 相间电压和电流变化量

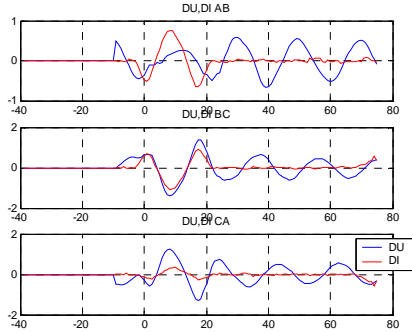


图 16 B 变电所侧相间电压和电流变化量图

相间电压和电流基本同相，表明为反方向扰动。变化量电流有效值如下图 13。

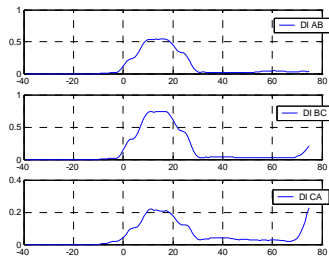


图 17 B 变电所侧变化量电流有效值图

变化量电流有效值均为达到方向判别用电流门槛 (0.2In)，故变化量方向未判别为反方向。

### 3.2.5 B 变电所侧负序电压、负序电流、负序电压电流相对相位和负序功率

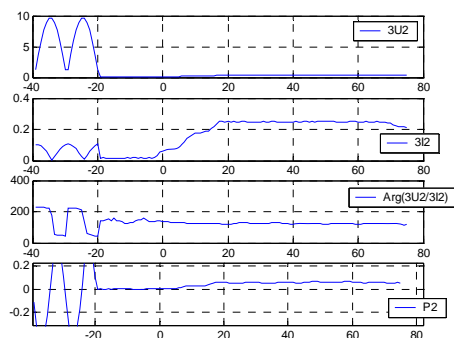


图 18 B 变电所侧负序电压、负序电流、负序电压电流相对相位和负序功率图

第一幅图为负序电压有效值，第二幅图为负序电流有效值，第三幅图为负序电压超前负序电流相位，第四幅图为负序功率。负序功率大于 0，即表明负序功率判为反方向。南凤电厂侧零序特征表现为正方向，变化量和负序特征表现为反方向。

### 3.3 RCS901 装置零序纵联动作行为分析

从上述电气量分析来看，电厂侧为比较明确的正方向特征，而 B 变电所侧零序表现为正方向，而变化量方向为反方向，但由于变化量电流未达到动作门槛值，故变化量方向未判为反方向。因此，两侧零序纵联均判为正方向，且电厂侧选跳 C 相而 B 变电所选跳 A 相。

## 4 改进措施

由于不同电压系统的同杆混合架设线路之间没有负序互感，同时区外故障，线路两侧的负序功率方向元件是一侧判断为正方向、一侧判断为反方向，两侧纵联负序方向保护在此情况下不会误动，这一结论在上述 RCS901 装置零序纵联动作行为分析中已得到证实（见图 12 和图 18，电厂判为正方向，B 变电所判为反方向），因此提出采用负序方向元件作为零序纵联保护的辅助判据。在系统发生接地故障时，必须要求线路各侧的负序方向元件和零序方向元件均判断为正方向，才出口停信，来防止上述零序纵联保护的误动作。此改进措施已在某电网 RCS901 保护装置进行了反措。

## 5 结束语

由于土地资源越来越稀缺，同杆架设线路越来越

越多，尤其不同电压系统的同杆架设线路越来越多。为防止上述零序纵联保护的误动作，需要对现运行的零序纵联保护保护进行分析，继电保护装置生产厂家应提出和生产其他反映系统发生接地故障时纵联保护原理，建议在有光纤通道的线路优先采用分相电流差动保护。

### 参考文献：

- [1] 史亚南，李志建.110kV 平行线路零序互感对零序保护的影响分析[J].内蒙古电力技术，2006，24（2）：15-17.
- [2] 曾耿晖，黄明辉，刘之尧，等.同杆线路零序纵联保护误动分析及措施[J].电力系统自动化，2006，30（20）：103-107.
- [3] 郭润生，何彩红，郅建杰.相邻线路零序互感对线路零序纵联方向保护的影响[J].继电器，2004，32（9）：71-73.
- [4] 张太升，鄢安河，赵一，等.同杆双回线的新型继电保护方案研究[J].继电器，2008，36（8）：16-19.
- [5] 景敏慧，柳焕章，邓洪涛，等.平行双回线路高阻接地故障保护的新思路[J].电力系统自动化，2008，32（8）：55-58.
- [6] 徐振宇，杜兆强，孟岩，等.零、负序方向元件的特殊问题研究[J].电力自动化设备，2008，28（5）：21-25.
- [7] 王梅义.高压电网继电保护运行技术[M].北京：电力工业出版社，1981.
- [8] 江苏省电力公司.电力系统继电保护实用技术问答[M].北京：中国电力出版社，1999.
- [9] 国家电力调度通信中心.国家电网公司继电保护培训教材[M].北京：中国电力出版社，2009.

### 作者简介：

曹 斌（1977—），男，江苏海安人，本科，工程师，从事电网继电保护运行管理工作；

汤大海（1963—），男，江苏镇江人，本科，高级工程师/高级技师，江苏省电力公司基层公司技术专家，从事电网继电保护运行管理工作；

袁宇波（1975—），男，江苏南京人，博士，高级工程师，江苏省电科院电网技术中心从事管理工作；

陈永明（1979—），男，江苏海安人，工程师，从事电网继电保护运行管理工作；

丁国华（1972—），男，江苏海安人，工程师，从事电网继电保护运行维护工作。