

# 一起地铁供电系统停电事故的分析及对策

魏巍, 严伟, 沈全荣, 牛洪海

(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

**摘要:** 地铁供电系统中的母联闪络是一种具有一定隐蔽性的严重故障, 会导致主变电所的停电和地铁线路的大面积停运。结合一起地铁供电系统停电事故, 分析了母联闪络故障的产生机制和闪络故障时系统中零序过流保护大面积误动作的原因, 并提出了改进措施。

**关键词:** 零序电流保护; 供电系统; 母联闪络; 接地方式; 主变电所

中图分类号: U231

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2014)01-0011-03

2011年某地铁线路发生了供电系统大面积停电事故, 导致相关地铁线路停运近2h。该次事故的特点是供电系统中多个断路器同时跳闸, 导致互为备用的两路地铁电源同时切除。这与以往地铁供电系统的停电事故截然不同<sup>[1]</sup>。

## 1 保护动作情况

该次事故共发送2次保护动作, 一次为110kV电源的线路保护动作, 另一次为35kV系统部分断路器零序过流保护的同时跳闸。发生事故的地铁供电系统如图1所示。地铁主变压器采用Yyn0接线方式, 高压侧经间隙接地, 低压侧经20Ω电阻接地。

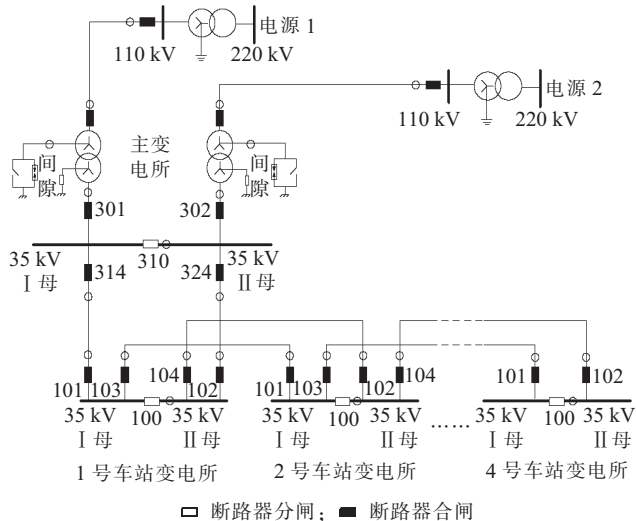


图1 地铁供电系统结构

### 1.1 110kV线路保护动作情况

110kV电源1的保护装置首先跳闸。该线路保护装置的動作报告如图2所示。

故障后经过现场确认, 以上故障信息与实际故障情况吻合。110kV线路1发生了A相永久性接地故障, 110kV线路保护动作正确<sup>[2]</sup>。

序号	动作相	动作相对时间	动作元件
01		00011 ms	零序过流 I 段
02		00016 ms	距离 I 段动作
03		01081 ms	重合闸动作
04		01202 ms	零序过流 I 段
05		01208 ms	距离加速
06		01211 ms	距离 I 段动作
故障测距结果			0008.8 km
故障相别			A
故障相电流值			036.32 A
故障零序电流			037.64 A

图2 110kV线路保护故障信息

### 1.2 35kV系统保护动作情况

110kV线路发生接地故障并被切除后, 图1中的301、302、314、324以及1号车站变电所101和102进线断路器同时跳闸。301和302断路器作为主变低压侧断路器, 跳闸后直接导致主变电所失电。301、302等保护装置的動作报告相同, 如图3所示。

起动绝对时间:	18:47:16.011
0 ms	总启动
945 ms	总启动返回
1000 ms	总启动
2502 ms	零序过流保护动作
2531 ms	发送总跳闸命令
故障相别	
故障相电流	0.616 A
零序电流值	0.591 A

图3 301等断路器保护故障信息

### 1.3 保护定值配合分析

相关装置零序过流保护定值如表1所示。现场定值整定中虽然实现了零序保护电流定值的级差配合, 但时间定值却完全相同。这样整定定值的原因是由于地铁供电系统采用串行供电方式, 且供电级数较多。而供电局强制要求301、302断路器的最大延时定值不超过1.5s, 为了保证供电环串末端零序过流保护的逐级配合, 被迫将上述6个断路器的延时定值整定为相同的1.5s。

该次故障中, 零序电流达到了0.591A, 大于表1中

表 1 零序过流保护整定值

断路器编号	零序电流定值/A	延时定值/s
301	0.52	1.5
302	0.52	1.5
314	0.37	1.5
324	0.37	1.5
1 号车站 101	0.37	1.5
1 号车站 102	0.37	1.5

所有保护装置的电流定值,因此出现了 6 个断路器同时跳闸的情况。

## 2 故障零序电流产生原因分析

301 和 302 断路器的零序电流波形如图 4 所示。301 和 302 断路器的零序电流大小相同,相位相差 180,表现出环流的特点。314 与 324 断路器、1 号车站变电所 101 与 102 断路器的故障零序电流也是大小相同,相位相差 180,同样具有环流的特点<sup>[3]</sup>。可以初步推测:故障时零序电流从 301 一端流入,从 302 一端流出,零序电流回路贯穿了 301、302、314、324 以及 1 号车站变电所 101 和 102 断路器。

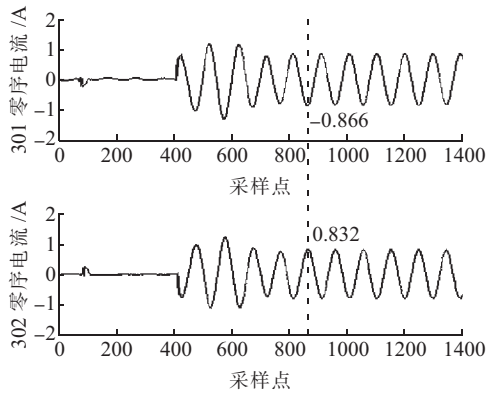


图 4 断路器 301 与 302 的零序电流波形

110 kV 电源线距离保护跳闸前后的故障波形如图 5 所示。 $U_a, U_b, U_c$  分别为主变电所 35 kV 侧 I 母的三相电压, $I_0$  为主变电所 301 断路器的零序电流。 $T_1$  时刻 110 kV 线路发生了 A 相接地故障,电压发生了一次畸变; $T_2$  时刻 110 kV 电源 1 断路器三相跳开,切除了 A 相的接地故障,电压波形再次发生了畸变。 $T_2$  时刻后,零序电流开始产生,直至  $T_3$  时刻达到稳态值。因此, $T_2$  时刻 110 kV 电源 1 的跳闸才是故障零序电流的直接触发因素<sup>[4]</sup>。

由于地铁 35 kV 系统为单端电源系统,当 110 kV 电源 1 断路器完全跳开后, I 母 A、B、C 三相电压应全部为 0。但实际的录波数据如图 6 所示。 $T_2$  时刻 110 kV 电源 1 跳开后, C 相电压先降低后增加,特别是进入稳定期的  $T_3$  时刻后 C 相电压有效值稳定在 38 V 左右,

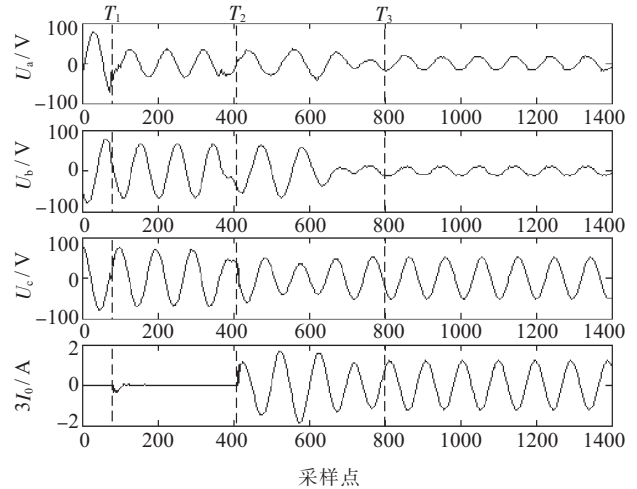


图 5 110 kV 电源 1 跳闸时的故障波形

A 相、B 相电压也没有降到 0,而是稳定在 10 V 左右。38 V 左右的电压二次值对应的一次值将高达 23 kV,因此可以断定  $T_2$  时刻后 I 母 C 相有高压电源串入<sup>[5]</sup>。

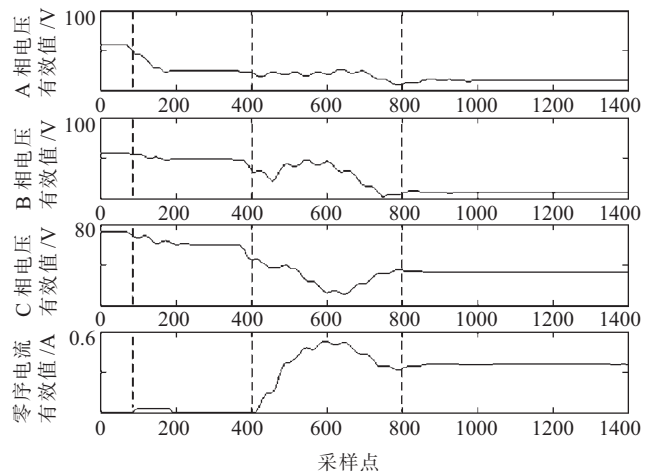


图 6 110 kV 电源 1 跳闸时的故障波形有效值

$T_2$  时刻 110 kV 电源 1 跳开后,地铁供电系统由电源 2 供电,结合之前对零序电流回路的分析,可以得出:1 号车站变电所的母联断路器发生了 C 相闪络故障,电源 2 的 C 相电压通过闪络点串入了 I 母。故障过程为:1 号车站变电所的母联断路器首先出现了绝缘问题, $T_2$  时刻 110 kV 电源 1 跳开后,1 号车站变电所的 I 母 C 相电压迅速降低(与图 6 中 C 相电压有效值曲线相吻合),导致母联断路器 C 相两侧的电势差  $\Delta E$  明显增加,当  $\Delta E$  大于断路器残存的绝缘电压时断路器发生闪络。零序电流产生机制如图 7 所示。

由于地铁主变采用 Yyn0 接线方式,且低压侧采用  $20 \Omega$  电阻接地方式,母联闪络故障时,经过闪络故障点、2 台主变的  $20 \Omega$  接地电阻以及大地就形成了闪络故障的零序电流回路。故障发生后,作者与地铁公司电气检修人员对 1 号车站变电所的母联断路器进行了现场检查,检查结果为:母联真空断路器的 C 相真空

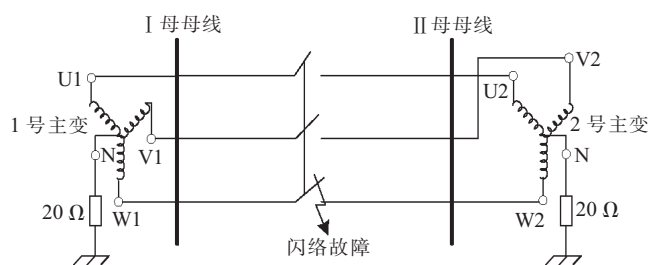


图7 零序电流产生机制

包漏气,绝缘能力降低,且断路器C相有明显烧损痕迹。进一步验证了以上分析。

### 3 改进措施

地铁供电系统母联闪络故障的危害性较大,为进一步提高地铁供电系统的安全运行能力,提出以下改进措施:(1)实现零序过流保护的时间级差配合。通过以上分析,零序保护延时定值相同大面积同时跳闸主要原因。如果能够实现上下级断路器间保护定值的时间级差配合,该次事故是完全可以避免的。但是考虑到地铁环网供电系统定值整定方面的实际困难,该方法的适用性会受到一定的影响。(2)配置专用地铁母联闪络保护装置。闪络保护装置利用零序电流和断路器位置信号为闪络判据<sup>[6]</sup>。当闪络故障发生后快速隔离切除故障点,从而完全避免主变电所停运事故的发生。

### 4 结束语

地铁供电系统的母联断路器绝缘降低在系统正常

运行时具有一定的隐蔽性,一旦发生单路110kV电源切除事件,母联闪络故障就有可能发生,并导致大面积的停电停运事故。结合对一起地铁供电系统停电事故,分析了母联闪络故障的产生原因和危害。最后提出了有针对性的改进升级措施,供同行技术人员参考。

#### 参考文献:

- [1] 张建根. 广州地铁供电系统33kV环网接线方式的思考[J]. 城市轨道交通研究, 2006, 9(7): 1-5.
- [2] 赵立峰, 李延强, 姚刚. 线路光纤纵差保护在北京地铁5号线的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2008, 11(4): 14-17.
- [3] 江文东. 10kV小电阻接地系统零序过流定值的探讨[J]. 电力自动化设备, 2002, 22(10): 79-81.
- [4] 鲍有理, 严芬. 几起主变保护动作原因分析[J]. 江苏电机工程, 2012, 31(4): 9-11.
- [5] 刘静. 变电站事故跳闸信号的分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(4): 17-20.
- [6] 汤勇, 常胜, 赵志华, 等. 220kV主变开关断口闪络保护设计探讨[J]. 继电器, 2003, 31(9): 45-48.

#### 作者简介:

魏巍(1978),男,辽宁抚顺人,工程师,从事电气主设备保护的研究和开发;

严伟(1975),男,江苏南京人,高级工程师,从事电气主设备微机保护的研究、开发和管理工作的;

沈全荣(1965),男,江苏苏州人,研究员级高级工程师,从事电力系统继电保护的研究、开发和管理工作的;

牛洪海(1980),男,辽宁鞍山人,工程师,从事电气主设备保护的研究、开发和管理工作的。

## Analysis and Countermeasures of a Metro System Power Failure

WEI Wei, YAN Wei, SHEN Quanrong, NIU Honghai

(Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

**Abstract:** The flashover fault of bus tie breaker in metro power systems is of invisibility. It can cause power supply failure in main transformer station to lead whole line outage. Based on the analysis of a metro power system blackouts, the general mechanism of bus tie breaker flashover and the causes of zero sequence over-current relay protection malfunction are analyzed. At last, based on the analysis, three improvement suggestions are proposed.

**Key words:** zero sequence over-current relay; power supply system; bus tie breaker flashover fault; grounding method; main power station

(上接第10页)

## Analysis on Terminal Overheat of a 110 kV Cable

WANG Yuyang, WANG Yongqiang, WANG Hao

(Nanjing power supply company, Nanjing 210013, China)

**Abstract:** A fault of overheat of a bolt of the strut at an 110 kV cable termination is introduced. A check and analysis of the cable machinery are implemented and it is found that bad contact between grounding flat iron and grounding grid and connection error in the induced sheath are the main causes of the overheat. Corresponding countermeasures for tackling this kind of fault are designed, which provides a reference for similar issues in the future.

**Key words:** cable termination; frame strut bolt; overheat