

# 一起出线过流保护误动事故分析

于辉<sup>1</sup>, 吴书峰<sup>2</sup>

(1. 沈阳工程学院, 辽宁 沈阳 110136; 2 江苏省如皋市供电公司调度所, 江苏 如皋 100512)

**摘要:** 介绍了 2004 年如皋变电站检修完 35 kV 侧出线开关后进行倒闸操作时所发生的过流保护误动事故经过。分析结果表明, 对于单母分段带旁路这种接线方式, 在由旁路开关代替出线开关运行方式恢复到正常供电方式时所进行的倒闸操作过程中, 根据不停电原则, 在倒闸操作过程中会形成环网; 此时若出线负荷远小于分段母线负荷, 则必然出现负荷转供现象, 致使流经过出线开关的电流远大于正常情况下该出线可能出现的最大负荷电流, 造成出线开关过流保护误动。最后, 文章就如何预防这类事故提出了有效的解决方案。

**关键词:** 保护误动; 倒闸操作; 环网潮流

**中图分类号:** TM773 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2006)14-0065-03

## 1 概述

### 1.1 如皋变电站概述

如皋变电站隶属于苏北电网, 主要负责向如皋地区供电。该地区的大部分负荷为重要工业负荷, 供电线路的故障将给如皋市造成重大的经济损失, 保证线路的正常供电是该站的首要任务。

该站有三个电压等级, 110 kV、35 kV 和 10 kV, 彼此之间通过两台三绕组变压器联系。110 kV 侧主接线形式为单母线带旁路, 35 kV 和 10 kV 侧均为单母分段带旁路。35 kV 侧的主接线图如图 1 所示。

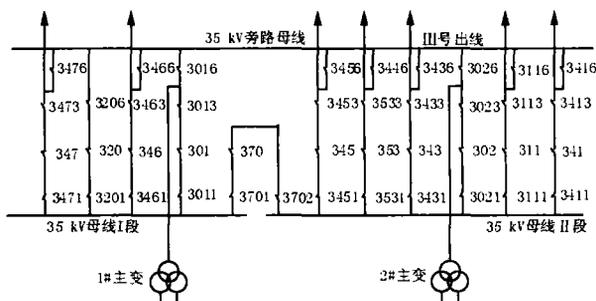


图 1 35 kV 侧主接线图

Fig 1 Primary connection of 35 kV side of Rugao substation

1 #、2#主变为同型号三绕组变压器, 容量为 31 500 kVA; 35 kV 侧采用单母分段带旁路的接线形式, 正常运行方式下分段开关 370 闭合, 由 2#主变供电, 1#主变作为冷备用。35 kV 母线共接有 2 座变电站和 5 条负荷线路。其中 号出线的负荷电流通常小于 20 A, 为提高过流保护的灵敏度, 在保护人员给出的 号出线过流保护定值中 (76/1.4 A, 145/1.6 A, 225/1.8 A), 选择最小的一个整定

值——76 A/1.4 A。

### 1.2 事故前 35 kV 侧的运行状况

2#主变开关 302 闭合运行, 分段开关 370 闭合, 1#主变开关 301 冷备用。

由于出线开关 343 正在检修, 号出线负荷由旁路开关 320 代替出线开关 343 转供。该出线上接有重要负荷, 不能停电。

2#主变的总负荷为 26 700 kVA; 流经旁路开关 320 的电流为 17.8 A; 流经分段开关 370 的电流为 365 A, 各条线路都没有过负荷现象。

35 kV 侧母线电压为 35.5 kV。

### 1.3 事故发生过程

号出线开关 343 检修完成后, 操作人员进行号出线由旁路开关 320 供电倒换到由出线开关 343 供电的倒闸操作。依据不停电原则, 操作时应先闭合出线开关 343 再断开旁路开关 320。倒闸操作时, 号出线开关 343 合闸瞬间, 号出线过流保护动作, 出线开关 343 合闸未成功。由于当时旁路开关 320 仍处于合闸状态, 所以 号出线未发生停电事故, 没有给所带的重要用户造成经济损失。

## 2 35 kV 侧 号出线过流保护误动原因分析

### 2.1 过流保护

过电流保护也称为 段电流保护, 是一种以躲开线路的最大负荷电流来整定的保护装置。正常运行时不应该起动, 电网发生故障时能反应于电流的增大而动作。一般情况下, 它不仅能够保护本线路的全长, 也能保护相邻线路的全长, 起到后备保护的作用<sup>[1]</sup>。

过流保护的定值  $I_{dz}$  通常根据式 (1) 计算:

$$I_{dz} = \frac{K_k K_{zq}}{K_h} I_{f \max} \quad (1)$$

式中:  $K_k$  为可靠系数, 一般取 1.15 ~ 1.25;  $K_{zq}$  为自启动系数, 数值大于 1, 应由网络具体接线和负荷性质决定;  $K_h$  为电流继电器的返回系数, 一般取 0.85;  $I_{f \max}$  为流过支路的最大负荷电流。

### 2.2 号出线过流保护误动原因分析

记录数据显示出线开关 343 跳闸瞬间流过该开关的电流为 76.04 A, 大于该出线过流保护定值 (76 A/1.4 A), 故该保护动作。是什么原因使得流经开关 343 的电流突然增大? 这需要详细分析一下倒闸操作前后 35 kV 侧的潮流分布情况。

#### 2.2.1 35 kV 侧倒闸操作前的潮流分布

35 kV 侧倒闸操作前的潮流分布情况如图 2 所示。2# 主变经由 A—D—C—B 给 号出线负荷供电, 其电流  $I_b$  为 17.8 A; 2# 主变经由 A—D 给 段母线负荷供电, 段母线等值负荷为  $S_D$ , 其电流  $I_b$  为 347.2 A。根据实际情况, 取功率因数为 0.9。

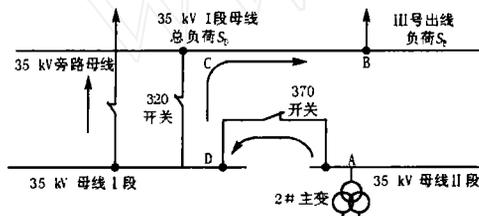


图 2 倒闸操作前潮流分布图

Fig 2 Diagram of power flow before operation of switching breakers

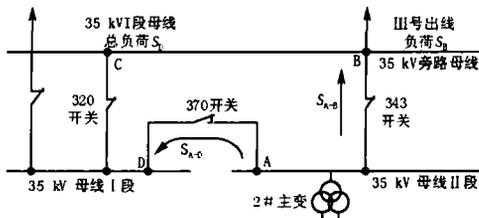


图 3 倒闸操作过程中潮流分布图

Fig 3 Diagram of power flow during operation of switching breakers

$$\tilde{S}_B^0 = \sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_b (\cos \phi + j \sin \phi) = \sqrt{3} \times 35.5 \times 17.8 (0.9 + j0.43) = 1.086 \quad 25.62 \text{ } ^\circ \text{ (MVA)} \quad (2)$$

$$\tilde{S}_D^0 = \sqrt{3} \cdot U_0 \cdot I_b (\cos \phi + j \sin \phi) = \sqrt{3} \times 35.5 \times 347.2 (0.9 + j0.43) = 21.29 \quad 25.62 \text{ } ^\circ \text{ (MVA)} \quad (3)$$

式中:  $\tilde{S}_B^0$  为出线开关 343 闭合前 号出线的负荷;  $\tilde{S}_D^0$  为出线开关 343 闭合前 段母线等值负荷;  $U_0$  为出线开关 343 闭合前母线电压;  $I_b$  为出线开关 343 闭合前流经旁路开关 320 的电流值;  $I_b$  为出线开关 343 闭合前 段母线等值负荷电流。

#### 2.2.2 倒闸操作过程中的潮流分布

如图 3 所示, 号出线开关 343 闭合后旁路开关 320 断开前, 35 kV 侧形成闭合环网。

由于事故发生在变电所低压侧, 并且只考虑稳态情况, 故可设开关 343 闭合前后各节点负荷保持不变, 母线电压恒定。

即:

$$\tilde{S}_B = \tilde{S}_B^0 = 1.086 \quad 25.62 \text{ } ^\circ \text{ (MVA)} \quad (4)$$

$$\tilde{S}_D = \tilde{S}_D^0 = 21.29 \quad 25.62 \text{ } ^\circ \text{ (MVA)} \quad (5)$$

$$U = U_0 \quad (6)$$

式中:  $\tilde{S}_B$  为出线开关 343 闭合后 号出线的负荷;  $\tilde{S}_D$  为出线开关 343 闭合后 段母线等值负荷;  $U$  为出线开关 343 闭合后母线电压。

由于事故发生在 35 kV 侧, 可以忽略电流互感器、开关与刀闸的阻抗, 只考虑各段导线的阻抗。根据该站的平面布置图和运行规程, 可得: 35 kV 母线为 LM60 × 6, 单位长度阻抗为 0.099 m /m; 35 kV 侧出线型号为 LGJ - 120, 单位长度阻抗为 0.27 + j0.36 /km; 线路  $L_{A-D} = L_{B-C} = 40$  m,  $L_{A-B} = L_{C-D} = 12$  m, 则  $Z_{A-D} = Z_{B-C} = 3.96$  m,  $Z_{A-B} = Z_{C-D} = 3 + j5$  m。

根据环网潮流公式 (2) 得:

$$\tilde{S}_{A-B} = \frac{(Z_{B-C}^* + Z_{C-D}^* + Z_{A-D}^*) \cdot \tilde{S}_B + Z_{A-D}^* \cdot \tilde{S}_D}{(Z_{A-B}^* + Z_{B-C}^* + Z_{C-D}^* + Z_{A-D}^*)} \quad (7)$$

$$\tilde{S}_{A-D} = \frac{(Z_{B-C}^* + Z_{C-D}^* + Z_{A-B}^*) \cdot \tilde{S}_D + Z_{A-B}^* \cdot \tilde{S}_B}{(Z_{A-B}^* + Z_{B-C}^* + Z_{C-D}^* + Z_{A-D}^*)} \quad (8)$$

式中:  $\tilde{S}_{A-B}$  为流经出线开关 343 的负荷;  $\tilde{S}_{A-D}$  为流经分段开关 370 的负荷;  $Z_{A-B}$  为图 3 中 号出线在 AB 两点间的阻抗值;  $Z_{B-C}$  为图 3 中旁路母线在 BC 两点间的阻抗值;  $Z_{C-D}$  为图 3 中 CD 两点间的阻抗值;  $Z_{A-D}$  为图 3 中 段母线和 段母线间的阻抗值。

将式 (4)、(5) 代入式 (7)、(8), 可分别计算出 A - B 支路和 A - D 支路的负荷:

$$\tilde{S}_{A-B} = [(10.92 - 5j)(0.98 + j0.47) + 3.96(19.21 + j9.18)] / (13.92 - j10) = 5.61 \quad 57.7 \text{ } ^\circ \text{ (MVA)} \quad (9)$$

$$I_{A-B} = \frac{S_{A-B}}{\sqrt{3}U} = \frac{5.61}{\sqrt{3} \times 35.5} = 91.25 \text{ A}$$

$$\tilde{S}_{A-D} = [(9.96 - j10)(19.21 + j1.18) + (3 - j5)(0.98 + j0.47)] / (13.92 - j10) = 17.89 - 15.84j \text{ (MVA)} \quad (10)$$

$$I_{A-D} = \frac{S_{A-D}}{\sqrt{3}U} = \frac{17.89}{\sqrt{3} \times 35.5} = 290.96 \text{ A}$$

由计算可知,由于 35 kV 侧 段母线总负荷  $S_D$  (21.29 MVA) 远大于 号出线负荷  $S_B$  (1.086 MVA),使得 段母线部分负荷的供电路径由正常情况下的 A-D 变成了 A-B-C-D (如图 3 所示),即 段母线部分负荷在倒闸操作过程中是经由出线开关 343 转供的,致使流经 号出线开关 343 的电流  $I_{A-B}$  远大于 号出线的正常负荷电流。因此,在流经出线开关 343 的电流由 17.8A 向 91.25 A 过渡时, 号出线过流保护动作。

### 2.2.3 出线过流保护误动原因分析

在由旁路开关 320 代替出线开关 343 的运行方式恢复到正常运行方式时所进行的倒闸操作过程中,根据不停电原则,应先闭合出线开关 343 再打开旁路开关 320。这样在闭合出线开关 343 后打开旁路开关 320 前必然在 35 kV 侧形成环网;并且由于 35 kV 侧 段母线总负荷远大于 号出线负荷,导致 D 点成为功率分点。这样流经开关 343 的电流除 号出线正常负荷电流外,还有部分 段母线负荷电流。因此流经出线开关 343 的电流远大于正常运行方式下 号出线可能出现的最大负荷电流,超过 号出线过流保护定值,造成了该线路过流保护动作。

因此该保护误动的主要原因是过流保护定值设定过小。在确定保护定值时,计算人员只考虑了单母分段带旁路接线的正常运行方式下 号出线所带负荷的可能最大值,忽略了在倒闸操作过程中出线

开关 343 由于分流而承担的额外负荷,造成了该事故的发生。

## 3 小结

保护误动是电力系统中非常严重的事故,不仅会造成极大的经济损失,还有可能导致系统失去稳定。避免这类事故的发生,最重要的一点就是合理确定保护定值。在确定保护定值时,应充分考虑各种可能出现的运行方式,以避免保护因整定值过小而误动。对于单母分段带旁路这类典型接线方式,在确定出线过流保护定值时,应注意以下两点:

1) 充分考虑各种可能出现的运行方式,包括倒闸操作过程中出现的过渡运行方式,合理确定流经出线开关的可能最大负荷电流值  $I_{f \max}$ ,进而合理计算保护定值。

2) 如果受到灵敏度的限制,不能提高保护定值,可以考虑在倒闸操作过程中,先停用过流保护,待倒闸操作完成后,再把过流保护投入运行。

## 参考文献:

- [1] 贺家李. 电力系统继电保护原理 [M]. 北京:水利电力出版社, 2001.  
HE Jia-li Theory of Power System Relay Protection [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 2001.
- [2] 陈珩. 电力系统稳态分析 [M]. 北京:水利电力出版社, 1996.  
CHEN Heng Power System Steady-state Analysis [M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1996.

收稿日期: 2006-01-05; 修回日期: 2006-04-27

作者简介:

于辉 (1978 - ),女,硕士,讲师,研究方向为电力系统分析与控制、电力市场; E-mail: carrie\_yu@mail@eyou.com  
吴书峰 (1977 - ),男,本科,助工,从事电力系统调度工作。

## Analysis of an accident of a feeder over-current protection malfunction

YU Hui<sup>1</sup>, WU Shu-feng<sup>2</sup>

(1. Shenyang Engineering Institute, Shenyang 110136, China;

2. Dispatching Bureau, Rugao Power Supply Company, Rugao 100512, China)

**Abstract:** This paper introduces a malfunction of over-current protection, which happened in the operation of switching breakers in a 110kV substation of Rugao in 2004. The calculation result shows that, to the interconnection style of sectionalized single bus with transfer bus and according to the principle of no interruption of power supply, there will form a ring net during the operation of switching breakers which changes the way of power supply from using a bypass switch to a feeder switch. When feeder loads are far less than sectionalized bus loads, with the transporting of loads, the current flowing through the feeder switch is larger than the possible maximum load current, and the feeder over-current protection malfunction happened. Efficient solutions are presented in the end.

**Key words:** malfunction of protection; operation of switching breakers; power flow of ring net