

DOI: 10.7500/AEPS201204205

变压器后备保护拒动事故原因分析及对策

刘桂林, 马静辉

(徐州供电公司, 江苏省徐州市 221005)

摘要:通过对一起 110 kV 变电站主变压器 35 kV 侧复合电压闭锁过电流保护拒动事故的调查分析,得出事故的原因是:当 35 kV 线路远端发生三相短路时,变电站 35 kV 母线残压高于变压器后备保护中低电压元件的整定值,低电压元件将后备保护闭锁。指出了在现有变压器中、低压侧后备保护中,低电压元件存在对线路远端三相短路故障灵敏度不足的问题。为防止类似事故的发生,提出了在变压器后备保护中增设一段不带电压闭锁的纯过电流保护的策略,并用定量计算的方法分析了其对现有变压器后备保护的改善效果。

关键词:变压器; 后备保护; 复合电压闭锁; 过电流保护; 低电压元件; 拒动; 灵敏度

0 引言

对由外部相间短路引起的变压器过电流,变压器应装设相间短路后备保护,该保护宜选用过电流保护^[1]。为提高灵敏度、增加安全性,变压器相电流保护宜采用复合电压闭锁过电流(简称复压过流)保护的方法^[2]。复压过流保护作为变压器外部相间短路的后备保护在电网中得到广泛应用。

目前,对于变压器相间后备保护的分析和研究多集中在变压器相间后备保护对低压侧相间短路故障灵敏度不足和动作时限过长 2 个方面^[3-8],而对于变压器低压侧相间后备保护对本侧出线远后备灵敏度问题的论述则较少^[9-10]。

本文通过对一起事故的具体分析,指出了目前变压器中、低压侧复压过流保护对本侧出线三相短路远后备灵敏度不足的问题并提出了相应的对策。

1 事故经过及原因分析

2010 年 11 月 28 日,徐州地区的 110 kV 利国变电站(一次接线图如图 1 所示)1 号主变压器(简称主变)带 35 kV 及 10 kV 侧全部负荷运行,2 号主变停电检修。16 时 48 分,35 kV 钢厂线 303 断路器过电流 II 段保护动作出口,因断路器机构卡死、跳闸线圈烧坏,断路器未能跳开。随后,1 号主变高压侧后备保护动作跳开主变三侧断路器。当 35 kV 钢厂线 303 断路器拒跳时,应当由 1 号主变中压侧后备保护动作跳开 301 断路器来切除故障。1 号主变中压侧后备保护为复压过流保护,复合电压元件的

二次整定值分别为低电压 65 V、负序电压 4 V,并且复合电压元件取主变三侧复合电压元件的并联形式。

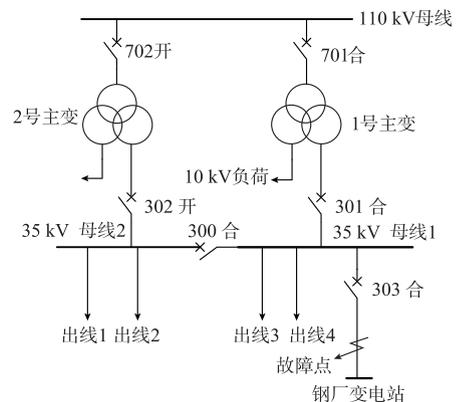


图 1 利国变电站一次系统接线图
Fig. 1 Primary system wiring diagram of Ligu substation

调取 1 号主变中压侧后备保护事故报告后发现,故障时中压侧线电压二次值分别为:AB 相线电压 $U_{AB} = 78.5$ V, BC 相线电压 $U_{BC} = 79.4$ V, CA 相线电压 $U_{CA} = 77.9$ V, 3 个线电压基本一致,应为三相短路。经钢厂用户对线路及其厂内设备巡视检查后发现,故障点在线路末端,确为三相短路。由于事故时的线电压高于低电压元件整定值,低电压元件不动作,又因为是三相短路,负序电压元件也未动作,故中压侧后备保护的本侧复合电压元件未开放出口。由于故障时中压侧母线残压很高,显然主变高、低压侧母线残压也很高,高、低压侧的复合电压元件也不可能开放出口,最终导致中压侧后备保护拒动。对于为什么高压侧后备保护能出口跳闸将故

障切除的问题,将保护定值单与现场保护装置中的定值核对后发现,高压侧后备保护虽然也是复压过流保护,且复合电压元件取主变三侧复合电压元件的并联形式,但高压侧后备保护装置中的复合电压元件投退控制字却被误整定为了退出,这样高压侧后备保护就变成了不带电压闭锁的纯过电流保护,电流元件动作将故障切除,反而避免了主设备损坏和事故扩大。

2 应对措施

文献[9]针对变压器 10 kV 侧的后备保护提出了一种解决方案,其核心内容是:建议在负荷较轻时,取消主变低压侧后备保护的复合电压闭锁;必须使用复合电压闭锁时,一定要与线路保护相配合;合理配置 10 kV 配电线路上的柱上开关及其保护定值。但地区电网中各变电站的负荷总是不断变化,面对电网中数量众多的变电站(截至 2011 年底,徐州市级调控中心直接调度管辖的 110 kV 公用变电站就超过 80 座),根据不断变化的负荷及时调整复合电压闭锁的使用方式,这无论是对继电保护整定人员、调度值班员,还是对变电运行人员来说都是不胜其烦、难以做到的。另外,合理配置柱上开关的措施也并不适用于 35 kV 线路,所以文献[9]提出的措施并不能很好地解决变压器中、低压侧后备保护拒动问题。

2.1 变压器过电流保护采用复合电压闭锁的必要性

首先,变压器的运行规程中要求变压器正常运行时要有一定的过负荷运行能力^[11],具体的过载能力倍数及运行时间随着变压器的类型及变压器制造厂家的不同而不同。各地区电网实际运行中均要求变压器在事故后及一些特殊情况下能过负荷运行特定的时间,若按变压器的过载能力来整定变压器过电流保护定值,会降低过电流保护的灵敏度。而复压过流保护的电流元件可以不考虑变压器的过载能力,只需按躲过变压器额定负荷电流整定即可(一般整定为 $1.4I_e$ 左右,其中 I_e 为额定电流)^[2,12]。

其次,变压器应当具备躲过电动机启动时产生的短时过负荷的能力。变压器负荷侧通常会接有大量电动机负荷,电动机负荷启动时,可能使变压器产生短时(约 20~30 s)的过负荷^[13]。显然,此时变压器后备保护不应误动。如前所述,为躲过此时的过负荷,同时又希望变压器后备保护中的电流元件整定值可以按躲过变压器额定负荷电流整定,此时应当采用复压过流来作为变压器的后备保护。徐州地区以前就曾经多次发生主变负荷侧电动机启动过程

中后备保护误动跳闸的情况(因当时主变后备保护未用复合电压闭锁),因此,相关整定规程规定变压器过流保护宜采用复合电压闭锁。这样既可以降低过电流元件的整定值,提高其灵敏度,又可以在变压器超额定负荷电流运行时不误动。

2.2 复压过流保护低电压元件拒动时的应对措施

变压器过流保护采用复合电压闭锁后,过电流元件的灵敏度虽然提高了,但如果复合电压元件的灵敏度不高,那么变压器后备保护整体的灵敏度将受到影响。复合电压元件实际上由 2 个部分组成:一是负序电压元件,主要针对不对称故障而设;二是低电压元件,主要针对三相对称短路故障而设^[14]。负序电压元件按躲过正常运行时的不平衡电压整定,一般整定为 $0.04U_N \sim 0.08U_N$ (U_N 为系统额定电压)^[2],其灵敏度很高,不会影响变压器后备保护整体的灵敏度。低电压元件需躲过电动机启动时系统出现的低电压,整定值一般应不大于 $0.7U_N$ (通常整定为 $0.5U_N \sim 0.7U_N$)^[2],显然低电压元件的整定值限制了变压器后备保护对三相短路故障的反应能力。

由上述事故的动作过程可以得到一个启示:在某些情况下,当复压过流保护的低电压元件拒动时,不带电压闭锁的纯过电流保护段可以正确动作。在保留现有复压过电流段的基础上,增加一段不带电压闭锁的、有较高定值的纯过电流保护(整定值按躲过电动机启动时产生的变压器过负荷整定,一般大于 $1.9I_e$)^[12],就可以防止上述事故的发生。复压过流段负责切除两相短路及近端三相短路,高定值纯过电流段则负责切除远端三相短路。

目前,徐州电网的所有变电站都已经实现了微机化。国内主要保护厂家所生产的微机型变压器后备保护装置一般均配置了多段多时限的过电流保护供选用,而且一般每段过电流保护都可以根据需要设置为是否经复合电压闭锁并可以根据需要选择独立的跳闸方式。因此,在原有的微机型变压器后备保护中增加一段纯过电流保护,只需整定相应的定值即可,既不增加设备,也无需更改二次回路接线,因而也不会降低整套保护的可靠性。

2.3 增设不带电压闭锁的过电流段对变压器后备保护的改善效果

为方便叙述,下文中将不带电压闭锁的过电流保护称为高定值过流保护。

以 110 kV 终端变电站主变中压侧后备保护为例,选取徐州电网中的典型设备参数,以图 2、图 3 所示的系统接线图及其阻抗图为例来定量化对比分析复压过流保护中的低电压元件与高定值过流保护

对三相短路的保护区大小。图3中: Z_s 为来自系统的110 kV母线正序等值阻抗; Z_{T1}, Z_{T2}, Z_{T3} 分别为主变高、中、低压侧正序等值阻抗; Z_L 为35 kV线路正序等值阻抗。

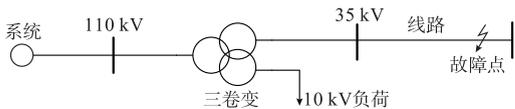


图2 系统接线
Fig. 2 System wiring diagram

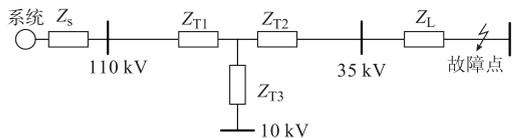


图3 正序阻抗
Fig. 3 Positive sequence impedance

2.3.1 低电压元件保护区的计算^[15]

低电压元件整定值(线电压) U_{zd} 为:

$$U_{zd} = \alpha U_N \quad (1)$$

式中: α 为系统额定电压的倍数。

短路计算用平均额定线电压 U_{av} 为:

$$U_{av} = 1.05 U_N \quad (2)$$

35 kV母线等值阻抗 Z_s' 为:

$$Z_s' = Z_s + Z_{T1} + Z_{T2} \quad (3)$$

线路末端三相短路时主变中压侧母线的残压

U_{cy} 为:

$$U_{cy} = \frac{Z_L}{Z_L + Z_s'} U_{av} \quad (4)$$

线路末端短路时低电压元件的远后备灵敏度

K_{lm} 为:

$$K_{lm} = \frac{U_{zd}}{U_{cy}} \quad (5)$$

由式(1)至式(5)可以推导出线路阻抗 Z_L 为:

$$Z_L = \frac{(Z_s + Z_{T1} + Z_{T2})\alpha}{1.05 K_{lm} - \alpha}$$

然后根据线路单位正序阻抗值(按0.4 Ω /km计),即可计算出低电压元件可以保护到的线路长度 L 。

2.3.2 高定值过流保护电流元件保护区的计算^[15]

高定值过流保护电流元件整定值 I_{zd} 为:

$$I_{zd} = \beta I_e \quad (6)$$

式中: β 为主变中压侧额定电流的倍数。

线路末端三相短路时的短路电流 I_K 为:

$$I_K = \frac{U_{av}}{\sqrt{3}(Z_s' + Z_L)} \quad (7)$$

线路末端短路时高定值过流保护电流元件的远

后备灵敏度为:

$$K_{lm}' = \frac{I_K}{I_{zd}} \quad (8)$$

由式(3)、式(6)、式(7)和式(8)可以推导出线路阻抗 Z_L 为:

$$Z_L = \frac{U_{av}}{\sqrt{3} K_{lm}' \beta I_e} - (Z_s + Z_{T1} + Z_{T2})$$

然后根据线路单位正序阻抗值(按0.4 Ω /km计),即可计算出高定值过流保护电流元件可以保护到的线路长度 L' 。

2.3.3 选用典型参数的计算结果及对比分析

设图2中110 kV变压器的高、中、低压各侧的额定电压分别为110 kV/38.5 kV/10.5 kV,各侧的容量比为100/100/100,短路阻抗分别为: $U_{k1-2} = 10.5\%$ (高、中压侧之间), $U_{k2-3} = 6.5\%$ (中、低压侧之间), $U_{k1-3} = 18\%$ (高、低压侧之间)。低电压元件的整定值取 $U_{zd} = 0.7 U_N$ (即 $\alpha = 0.7$), $K_{lm}' = K_{lm} = 1.2$, $I_{zd} = 2 I_e$ (即 $\beta = 2$,由文献[12]可推知 β 取值范围为1.9~3.0,一般可取较低值,当有大量电动机负荷集中接入时,可视具体情况整定)。

1)情况1

给定110 kV系统等值阻抗值 Z_s ,然后选取不同的变压器额定容量 S_N 来分别计算 L 及 L' 。110 kV系统等值阻抗选用徐州地区的典型值12 Ω (折算至110 kV电压等级的有名值)。计算结果如表1所示。表中, $\lambda = (L' - L)/L$ 。

表1 计算结果(情况1)
Table 1 Calculation results (case 1)

S_N /MVA	L /km	L' /km	$\lambda/\%$
20.0	24.4	54.6	124
31.5	16.9	33.5	98
40.0	14.2	25.8	82
50.0	12.1	20.0	65
63.0	10.4	15.2	46
80.0	9.0	11.3	26

由表1的计算结果可以看出,当110 kV变电站高压侧母线的系统等值阻抗一定时,变压器的容量越小,高定值过流保护相对于复压过流保护(低电压元件)的优势越明显,当变压器的容量为31.5 MVA和20 MVA时,高定值过流保护的保护区甚至可达复压过流保护的2倍。

2)情况2

给定变压器容量,然后选取不同的系统等值阻抗 Z_s 来分别计算 L 及 L' 。变压器容量选用徐州地区应用较多的50 MVA。计算结果如表2所示。由表2的计算结果可以看出,当变压器的容量一定时,110 kV变电站高压侧母线的系统等值阻抗越小,高

定值过流保护的优势相对于复压过流保护(低电压元件)的优势越明显。

表 2 计算结果(情况 2)
Table 2 Calculation results (case 2)

Z_s/Ω	L/km	L'/km	$\lambda/\%$
5	9.8	21.8	122
10	11.5	20.5	78
15	13.1	19.2	47
20	14.7	17.9	22
25	16.3	16.6	2
30	17.9	15.3	-15

在上述对比计算中,如果低电压整定值选用规程中推荐的较低值,那么高定值过流保护的优势将更加明显。

式(3)没有考虑 Z_{T3} 支路的影响,当主变 10 kV 侧有地区小电源并网时应当计及 Z_{T3} 支路的影响。在 110 kV 系统等值阻抗及主变的参数给定时,小电源并联阻抗支路的存在将使式(3)的计算结果较无小电源时小,从而使复压过流保护的保护区更小、高定值过流保护的保护区更大。

2.4 主变后备保护中低电压整定值的探讨

主变后备保护中低电压整定值主要考虑 2 点^[2]:①躲过正常运行时可能出现的低电压;②躲过电动机负荷自起动时的低电压,电压取自变压器低压侧电压互感器时,低电压整定值可取 $0.5U_N \sim 0.7U_N$;电压取自变压器高压侧电压互感器时,低电压整定值可取 $0.7U_N \sim 0.8U_N$ 。当主变低压侧后备保护中增设高定值过流保护,低电压元件对三相短路故障灵敏度不足的问题已经由高定值过流元件来解决时,为更可靠地躲过非故障时出现的低电压,低电压元件宜取规程推荐值中的较低值。比如:电压取自变压器低压侧电压互感器时,低电压整定值可取不大于 $0.6U_N$;电压取自变压器高压侧电压互感器时,低电压整定值可取不大于 $0.7U_N$ 。

当然,必须强调的是,采用上述建议整定值时需注意校验高定值过流元件对三相短路的灵敏度。

3 结语

1)在主变中、低压侧后备保护中增设一段高定值过流的措施目前已在徐州地区的 110 kV 变电站中大量采用,取得了良好的效果。

2)上述措施对 220 kV 及以下电压等级的降压变压器的相间后备保护均有借鉴意义。

3)对于主变中、低压侧超长线路末端的相间短路故障,若变压器复压过流或高定值过流保护均不能动作时,可考虑采用负序过电流保护或阻抗保护。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 14285—2006 继电保护和安全自动装置技术规程[S]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. DL/T584—2007 3 kV~110 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S]. 北京:中国电力出版社,2008.
- [3] 贺元康,赵鑫,樊江涛. 变压器相间短路后备保护中负序阻抗继电器应用探讨[J]. 电力系统自动化,2011,35(15):84-87.
HE Yuankang, ZHAO Xin, FAN Jiangtao. Application of negative sequence impedance relay in backup protection for transformer phase-to-phase faults[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(15): 84-87.
- [4] 王来军,文明浩,李丰. GOOSE 方式变压器后备保护探讨[J]. 电力系统自动化,2011,35(2):84-88.
WANG Laijun, WEN Minghao, LI Feng. A discussion on transformer back-up protection based on GOOSE network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(2): 84-88.
- [5] 潘贞存,丛伟,丁磊,等. 基于纵联比较原理的降压变压器及其中低压母线保护方案[J]. 电力系统自动化,2006,30(1):83-85.
PAN Zhencun, CONG Wei, DING Lei, et al. New protection scheme for step-down transformer and corresponding middle and low voltage buses based on longitudinal comparison principle [J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 83-85.
- [6] 周旭,包玉胜,尤旦峰,等. 变压器相间后备保护的改进[J]. 电力系统自动化,2002,26(7):59-61.
ZHOU Xu, BAO Yusheng, YOU Danfeng, et al. Improvement of transformer backup protection for phase-to-phase faults[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(7): 59-61.
- [7] 贺元康,姜山,郑州,等. 高阻抗变压器相间短路后备保护灵敏度的提高[J]. 电力系统保护与控制,2010,38(3):67-71.
HE Yuankang, JIANG Shan, ZHENG Zhou, et al. Sensitivity enhancement of backup protection for high impedance transformer phase-to-phase faults[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(3): 67-71.
- [8] 吴运祥,沈国荣,朱声石. 重视并应用好变压器后备保护[J]. 电力系统保护与控制,2000,28(7):8-11.
WU Yunxiang, SHEN Guorong, ZHU Shengshi. Bring the backup protection for transformer into full play [J]. Power System Protection and Control, 2000, 28(7): 8-11.
- [9] 赵敏,王素华. 220 kV 变电站主变后备保护与 10 kV 侧出线保护配合问题的探讨[J]. 电力系统保护与控制,2009,37(7):95-97.
ZHAO Min, WANG Suhua. Discussion on coordination of 220 kV substation main transformer back-up protection and the protection of 10 kV side [J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(7): 95-97.
- [10] 魏莉,彭建宁. 变压器、配网线路后备保护配置、整定方面的改进措施[J]. 电力系统保护与控制,2007,35(17):83-85.
WEI Li, PENG Jianning. Improvement of configuration and setting for back up protection of transformer and distribution line [J]. Power System Protection and Control, 2007, 35(17):

83-85.

- [11] 中华人民共和国国家标准化委员会. DL/T 572—2010 电力变压器运行规程[S]. 北京:中国电力出版社,2010.
- [12] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T684—1999 大型发电机变压器继电保护整定计算导则[S]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [13] 许正亚. 发电厂继电保护整定计算及其运行技术[M]. 北京:中国水利水电出版社,2009.
- [14] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京:中国电力出版社,2005.

[15] 崔家佩,孟庆炎,陈永芳,等. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京:中国电力出版社,2006.

刘桂林(1976—),男,通信作者,工程师,主要研究方向:电网继电保护运行整定及运行方式管理。E-mail: jwddgl@sina.com

马静辉(1973—),女,高级工程师,主要研究方向:电网继电保护运行整定及运行方式管理。

(编辑 孔丽蓓)

Cause Analysis and Countermeasures on Transformer Backup-protection Operation-failure Accident

LIU Guilin, MA Jinghui

(Xuzhou Power Supply Company, Xuzhou 221005, China)

Abstract: A 35 kV side compound voltage blocking over-current protection operation failure accident occurred on main transformer in a 110 kV substation. According to the on-site survey and analysis, the cause of the accident is that backup-protection did not act because the bus residual voltage was higher than the low-voltage element setting value of backup-protection of the transformer when three-phase short circuit fault occurred in distant end of 35 kV line. It points out that the device voltage sensitivity of transformer backup-protection on middle and low voltage side is not enough when the three-phase short circuit occurred in distant end of lines. In order to prevent occurrence of similar accidents, a countermeasure is put forward. That means to add a segment over-current protection without voltage blocking to the transformer backup-protection. The quantitative analysis is used to show the improvement of the transformer backup-protection.

Key words: transformer; backup-protection; compound voltage blocking; over-current protection; low-voltage components; operation failure; sensitivity