

基于“电压补偿”的地铁直流联跳保护误动作解决方法

陈明忠

(南京铁道职业技术学院, 江苏 南京 210031)

摘要: 牵引变电所的联跳保护是直流侧重要的保护之一, 对于保障供电设备和人身安全具有重要作用。但在直流系统保护运行中, 会出现联跳保护误动作的情况, 造成相邻变电所跳闸, 在大范围内中断供电。为了从根本上解决联跳保护误动作的问题, 以南京地铁一号线为例, 研究分析联跳保护误动作的原因和机理, 提出采用“电压补偿”的方法对保护回路的继电器元件优化设计, 使保护回路的接触电阻值减小。经施工改造后运行实况证明该方法简捷可靠, 成本低廉, 有效解决了联跳回路保护误动作的问题。

关键词: 保护联跳; 误动作; 电压补偿; 接触电阻

Solution of subway DC bilateral tripping protection maloperation based on voltage compensation

CHEN Ming-zhong

(Nanjing Railway Vocational and Technical College, Nanjing 210031, China)

Abstract: substation bilateral tripping protection is one of the important protection of DC traction, which plays an important role in the security of power supply equipment and personal safety. But in the DC system protection operation, there will be joint protection misoperation, resulting in the neighboring substation tripping and interruption of power supply in large range. In order to fundamentally solve the problem of debugging the misoperation of protection, taking Nanjing Metro as an example, this paper analyzes the reason and mechanism of joint protection misoperation, proposes the "method of voltage compensation" to optimize relay element design of protection circuit and decrease the contact resistance value of protection circuit. The running after construction and transformation proves that the method is simple and reliable and has low cost, which effectively solves the tripping of misoperation of protection loop.

Key words: protection bilateral tripping; maloperation; voltage compensation; contact resistance

中图分类号: TM77 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2014)17-0151-04

0 引言

牵引变电所直流开关柜直接向接触网提供DC1500V电源,是地铁牵引供电系统中重要的电气设备,直流联跳保护是直流侧重要的保护之一。通常情况下,直流开关柜主要采用的保护^[1-4]有:大电流脱扣、过电流、电流变化率与增量保护、框架泄漏保护和双边联跳保护。当系统发生短路故障时,根据故障电流的大小及变化情况,保护装置动作,断开相应断路器以切除故障设备运行保证供电设备的安全。

南京地铁一号线开通运行以来,联跳保护误动作的情况时有发生,仅本年度上半年就发生了五起,

严重影响了直流侧供电系统的安全,给地铁运营带来了很大影响。为从根本上找出保护联跳误动作的原因并予以解决,本文针对联跳保护装置进行分析研究,找到了直流柜联跳保护误动作的原因。经分析比较采用电压补偿的方法,抑制与降低联跳保护回路中的接触电阻,从而使保护回路对各种因素引起回路电阻增加的耐受能力大为提高,解决了保护误动作问题,为直流电气化铁路继电保护安全运行积累了经验,也为今后解决类似问题提供有益的借鉴和指导作用。

1 联跳保护原理

联跳保护主要作为直流开关的后备保护,牵引供电系统在正常运行时一般采用双边供电的方式^[5],当接触网发生接地短路时,则靠近故障点的

基金项目:江苏省“青蓝”工程资助课题(RL13002)

直流断路器首先动作跳闸，而离故障点较远变电所保护装置一般情况下因故障电流较小可能不会启动，此时联跳保护装置动作，向较远变电所发出跳闸指令，此时故障点两侧的变电所都将跳闸。此外，当直流系统发生框架泄漏或运行中开关柜门异常，联跳保护也会动作确保操作者人身安全。

在运行的过程中，联跳保护因各种干扰因素会发生误动现象。此时线路并未发生短路故障，但跳闸回路仍然向相邻变电所发出错误跳闸指令，造成两个变电所的馈线断路器跳闸，造成大范围中断供电。为降低故障造成的程度和影响，通常将联跳保护解除，被迫采用单边供电方式。在单边供电方式下，由于接触网分段绝缘器两端存在电位差，列车受电弓经过时会产生电弧放电，使接触网和受电弓系统运行的可靠性降低，接触网设备运行发生故障的可能性增加。如将保护连锁解除运行，则一旦接触网发生故障直流侧将失去保护，后果将十分严重，因此一般不会采用此种方法解决问题。

南京地铁 1 号线联跳保护采用的是由综合保护模块 SEPCOS 与继电器组成的，联跳保护回路分为联跳输出回路，邻所联跳接收回路和保护出口回路组成。其基本原理如图 1 所示。

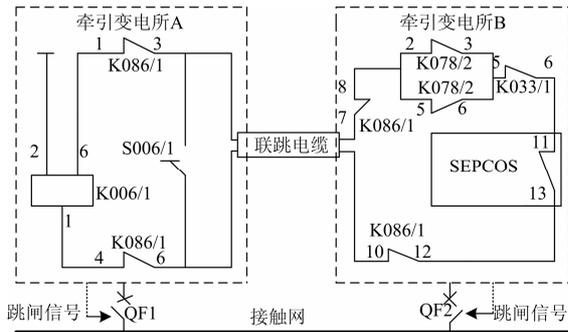


图 1 联跳保护的原理图

Fig. 1 Diagram for bilateral tripping protection principle

图 1 中 K006/1 为联跳保护主继电器，正常运行时该继电器的端子 6 与 1 间的回路保持闭合状态。也就是继电器 K086/1 的常闭触点 1 与 3, 4 与 6 (均位于变电所 A 内)，通过联跳电缆与变电所 B 内的继电器 K086/1 的常闭触点 7 与 8, 10 与 12, 转换继电器 K078/2 常闭触点 1 与 3, 5 与 6 (两对触点并联)，继电器 K033/1 的常闭触点 5 与 6, 与 SEPCOS 保护模块联跳输出常闭触点 11 与 13 组成闭合回路。S006/1 为试验按钮常开触点，用于对 A 变电所保护联跳回路状态的试验与检测。联跳保护回路主继电器 K006/1 实时监视相邻变电所联跳保护装置的动作情况。当相邻变电所 B 联跳保护装置动作时，动作信号经由区间联跳电缆转换继电器 K086 的常闭

触点送至 K006/1，由该继电器的逻辑元件进行判断并发出跳闸信号使 A 所的馈线断路器 QF1 跳闸。在实际运行过程中，如果回路任意处（一般是继电器接点触头）阻抗增大，则 K086 的常闭将不能保持而释放，此时 SEPCOS 保护模块将向相邻变电所发出联跳信号。根据联跳保护的接线原理，可得出基本结论：故障信号的发出与联跳输出回路接触电阻值增大和继电器（如继转换继电器 K0861 等）的误动作有关。

2 保护误动作分析

为了找到联跳保护误动作的原因，对变电所直流系统断路器保护控制回路进行一系列测试分析和检查试验^[5-9]。使用 RDC2511 型直流电阻测试仪对某 3 个变电所的 7 个联跳保护回路的电阻进行测试。在正常情况下联跳保护回路的电阻一般在 30~2 770 Ω 范围内。联跳回路的电缆采用型号为 KVV-2.5×2 (450/750 V)，在保护回路电压损失不大于 10% 的计算条件^[10]下，得到电缆的计算长度为 14.2 km。而变电所中有保护误动作回路最长电缆为 4.7 km，因此联跳回路的电阻值（包括继电器触点，端子连接的接触电阻）是满足要求的。根据运行经验和现场测试，在保护投入工作过程中继电器 K086/1, K078/2, K033/1 误动作的可能性极小，这样就需要分析主继电器 K006/1 误动的可能性。

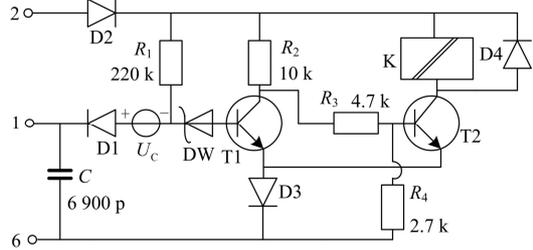


图 2 继电器 K006/1 电压补偿原理图

Fig. 2 Chart of voltage compensation relay for K006/1

端子 2 提供继电器正极性直流电源 $U_s = 48 \text{ V}$ ，正常运行时 T1 的基极电位为 U_{B1} ，联跳回路的总电阻为 R_{16} ， $U_{B1} = R_{16}(U_s - V_{D1} - V_{D2}) / (R_{16} + R_1)$ 小于 T1 的启动电压 0.7 V 时，T1 工作在截止状态，T2 工作在导通状态（一般情况下为放大状态），继电器线圈 K 受电而不发出联跳动作信号。如果此时发生故障需要保护联跳动作，则联跳回路中的常闭触点因相关继电器动作而打开，则此时联跳回路为开路，回路电阻 $R = 500 \text{ M}\Omega$ ，此时 $U_{B1} > 0.7 \text{ V}$ ，T1 导通而 T2 截止，使继电器线圈 K 失电发出联跳信号。由此可得到保护联跳的动作条件，由 $U_{B1} = R_{16}(48 \text{ V} - 0.7 \text{ V} - 0.7 \text{ V}) / (R_{16} + R_1)$ ，

可得 $R_{16} = U_{BI} R_1 / (48V - 0.7V - 0.7V)$, $R_1 = 220 \text{ k}\Omega$ 。当 $U_{EI} = 0.7 \text{ V}$ 则 $R_{16} \geq 3355 \Omega$, 联跳保护动作。经过分析可知, 如果正常运行中联跳回路的电阻 R_{16} 大于 3350Ω , 则将引起联跳保护误动。在正常运行时, 各联跳保护回路由于电缆的长度和连接端子数目, 串联的继电器常闭触点数量较多, 使得联跳保护回路的电阻值在很大范围内变化。前期测试的结果显示, 在最小时为 39.573Ω , 最大值可达 2770Ω 。不仅如此, 测试还发现同一回路的由继电器常闭触点构成的电阻值呈分散性。这充分说明

表 1 补偿电压与回路接触电阻
Table 1 Offset voltage and circuit contact resistance

电压/V	5	12	18	25	30	35	45	
触点个数 对应电阻/ Ω	7	46.231	44.437	41.150	41.112	40.010	39.582	39.573
	10	357.527	311.432	302.427	279.527	185.341	173.215	169.327
	15	2770.41	2753.52	2750.41	2517.30	2327.15	1907.39	1725.17

由表 1 可以看出, 回路中含有的常闭触点数目较多时, 同一电压值下的电阻值也较大。测试电压升高时, 回路中常闭触点数目较少时电阻减小不明显。电压补偿的方法就是在联跳保护回路中, 串接一个电压源 U_c , 提高联跳回路的保持电压, 补偿回路的接触电阻 R_{16} 。得到补偿后回路电阻值受到抑制, 不会在正常运行中增大, 这样就能保证联跳不会发生误动。根据继电器的动作条件和测试分析的结果, 补偿

表 2 补偿电压的取值范围
Table 2 Scope of compensation voltage

V_c / V	5	10	12	15	18	22	25	30	35	45
R_{16} / V	50	100	200	300	500	1000	1500	2000	2500	3000
$K^B \setminus \Delta$	5.7	10.7	12.7	15.6	18.5	22.5	25.4	30.4	35.6	45.7
K_s	1.0	1.0	1.0	1.07	1.4	1.4	1.75	1.75	1.07	1.10

为了不降低继电器动作的灵敏度^[12], U_c 的取值应恰当, 取值过小则使电压的补偿效果不明显, 起不到抑制误动的作用, 取值过大, 灵敏度会降低。根据表 2 的计算结果, U_c 取值为 25 V 左右是恰当的。考虑到直流侧继电器保护的同一性与协调性, 也鉴于解决现场施工的可操作性, 采用在 T1 的前端串接一只 24 V 稳压管的方法, 亦可起到电压补偿作用。根据前面的分析选取稳压管 DW, 型号为 IN5253B, 位置如图 2 中所示。

4 结论

联跳保护是牵引变电所重要的保护之一, 在供

了在正常运行过程中, 继电器常闭触点的接触电阻值会发生较大范围的变化。尤其当继电器触点表面氧化, 蚀损和接触压力改变时, 电阻值的变化范围将会更大。

3 电压补偿

对于正常运行时联跳回路接触电阻增大, 导致联跳保护误动作的情况, 可以采用电压补偿^[11]的方法予以解决。在测试中发现, 联跳回路的接触电阻随测试电压的升高而减小, 并且不构成线性关系, 试验测试的数据如表 1 所示。

电压 U_c 可按如下方法确定。由上图 2 中的电路, 可得: $U_{BI} = -U_c + R_{16}(U_s - U_c - V_{D1} - V_{D2}) / (R_1 + R_{16}) - V_{D1}$, 由此解得补偿电压 $U_c = [R_{16}(U_s - U_B - V_{D1} - V_{D2}) / (R_1 + R_{16}) - V_{D1}] \cdot (R_1 + 2R_{16}) / (R_1 + R_{16})$, 此时定义继电器的灵敏度为 $K_s = U_{BI} / (U_B - U_c)$ 。补偿电压与回路的电阻相关, 将电阻的测试值依次代入, 可得 U_c 的计算值范围如表 2 所示。

电系统运行中必须采取措施, 保证其可靠性与灵敏性。南京地铁一号线联跳保护继电器, 如 K086, K006, K032 等都是国外 TURCK 公司的系列产品, 在运行 6 年内, 除联跳保护发生误动作以外, 其他保护装置工作均稳定正常。说明这些继电器用于由继电器常闭触点启动的联跳保护是不适合的。解决的办法是采用电压补偿的方法抑制保护回路继电器常闭触点接触电阻的异常增大。在保证继电器动作灵敏性的要求下, 联跳回路中串接一电压源, 能有效解决保护误动的问题。在保护优化的施工操作中, 采用稳压管代替电压源, 能同样起到电压补偿作用。运行实践证明, 该方法简便易行, 能够有效解决联

跳保护误动作的问题。

参考文献

- [1] 李建民. 基于双边供电的直流牵引馈线保护研究[J]. 电力自动化设备, 2007, 27(11): 55-59.
LI Jian-min. Research of DC feeder protection based on bilateral power supply system[J]. Electric Power Automation Equipment, 2007, 27(11): 55-59.
- [2] 韩志伟, 董杰, 屠黎明, 等. 一种直流牵引馈电区段域保护方法[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(22): 135-138.
HAN Zhi-wei, DONG Jie, TU Li-ming, et al. A domain protection of DC traction supply system[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(22): 135-138.
- [3] 蔡彬, 陈德佳. 城市轨道交通直流供电的控制和保护系统[J]. 低压电器, 2006(6): 21-24.
CAI Bin, CHEN De-jia. The control and protection system in DC power distribution system for mass transit railway[J]. Low Voltage Apparatus, 2006(6): 21-24.
- [4] 章新华, 岳宏波. 地铁直流牵引双边联跳保护探讨[J]. 机车电传动, 2009(2): 40-41.
ZHANG Xin-hua, YUE Hong-bo. Bilateral tripping protection in subway DC traction[J]. Electric Drive For Locomotives, 2009(2): 40-41.
- [5] 叶笠, 王厚军, 田树林, 等. 差容模拟电路软故障诊断的一种方法[J]. 电工技术学报, 2011, 26(5): 120-125.
YE Li, WANG Hou-jun, TIAN Shu-lin, et al. An approach for soft fault diagnosis on analog circuits with tolerance[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(5): 120-125.
- [6] 蒋陆萍, 胡峰, 冷建群. 继电保护故障快速查找的几种典型方法及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(18): 124-127.
JIANG Lu-ping, HU feng, LENG Jian-qun. Several typical and applications of quickly finding relay faults[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(18): 124-127.
- [7] 王淑娟, 余琼, 翟国富. 电磁继电器接触失效机理判别方法[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 39-44.
WANG Shu-juan, YU Qiong, ZHAI Guo-fu. Discrimination method of contact failure mechanisms for electromagnetic apparatus[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(8): 39-44.
- [8] 刘帼巾, 陆俭国, 王海涛, 等. 接触式继电器的失效分析[J]. 电工技术学报, 2011, 26(1): 81-85.
LIU Guo-jing, LU Jian-guo, WANG Hai-tao, et al. Failure analysis of contactor relay[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2011, 26(1): 81-85.
- [9] 庄洪波, 欧阳帆. 电流电压二次回路现场试验方法技巧探讨[J]. 电力系统保护与控制, 2009, 37(21): 141-143.
ZHUANG Hong-bo, OUYANG Fan. Investigation of on-site testing techniques and inspecting methods for PT and CT secondary circuits[J]. Power System Protection and Control, 2009, 37(21): 141-143.
- [10] 中国航空工业规划设计院. 工业与民用配电设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
Aviation Industry Planning and Design Institute of China. Handbook of industrial and civil power distribution design[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2010.
- [11] 符时民. 电压补偿伏安法测量电阻[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2007(1): 90-92.
FU Shi-min. Resistance measurement with voltage compensation[J]. Journal of Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology, 2007(1): 90-92.
- [12] 戴志辉, 王增平. 继电保护可靠性研究综述[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(15): 162-167.
DAI Zhi-hui, WANG Zeng-ping. Overview of research on protection reliability[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(15): 162-167.

收稿日期: 2013-11-25; 修回日期: 2014-01-09

作者简介:

陈明忠(1974-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为电气设备智能控制与检测。E-mail: cmz50223@163.com