[电容器]

变电站电容器组电压差动保护动作的分析及对策

文/中国石化河南油田分公司　姜俊莉
中国石化河南石油勘探局有限公司水电厂　王勇焕　李林卿

针对某站电容器电压差动保护频繁动作跳闸的现状，进行了电容器电压差动保护定值的计算、电容器电容量测试及现场检查，分析出其原因为保护定值较小及B相放电线圈上串联二次部分连接点接触电阻较大，处理后电容器运行正常。

并联电容器作为电网中无功补偿的主要措施，是保证电能质量和电压质量、降低网络损耗及安全运行的重要部分。并联电容器组由单台电容器串并联组成。单台电容器故障时，由其专用的熔断器切除，对整个电容器组影响不大；但当多台电容器故障并切除后，就可能使留下来继续运行的电容器严重过载或过电压，需采取保护措施。并联电容器常用的保护方式有零序电压保护、电压差动保护、电桥差电流保护、中性点不平衡电流或不平衡电压保护等。

电容器组情况

某油田35 kV开关站电容器组投运于1995年，至今已运行25年，电容器型号为BFF11-50-1 W，额定电压为11 kV，补偿容量为3 600 kvar，电容器组为单星形接线，每相为两组电容器串联组成，上、下每组各12只，共72只，电容器采用单台熔断器保护。电容器组设置有电流保护、电压差动保护、过电压保护和失电压保护，其中电压差动保护整定值如下：电压U_{op}=6 V，动作时间t=0.2 s。其电压差动保护原理接线图如图1所示。

保护动作情况

该站自2020年4月以来先后发生了10次电容器电压差动保护动作跳闸，每次跳闸间隔为1～7天，值班人员到现场检查后，均未发现单台电容器熔断器熔断及其他任何故障情况，送电后电容器组恢复正常运行。具体情况见表1。

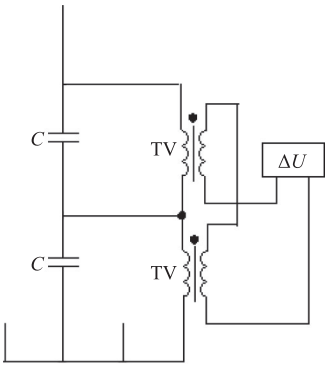

图1　单星形电容器组相电压差动保护原理接线

表1　2020年古城开关站电容器电压差动保护动作情况

序号	时间	保护动作值	现象
1	4月8日14:49	U_{BP1}=0.016 V，U_{BP2}=10.12 V，U_{BP3}=0.301 V	电容本体、外部无明显故障
2	4月15日10:20	U_{BP1}=1.539 V，U_{BP2}=14.37 V，U_{BP3}=0.297 V	电容本体、外部无明显故障
3	4月19日15:13	U_{BP1}=1.576 V，U_{BP2}=13.12 V，U_{BP3}=0.270 V	电容本体、外部无明显故障

（续）

序号	时间	保护动作值	现象
4	4月23日18:58	U_{BP1}=1.610 V，U_{BP2}=6.094 V，U_{BP3}=0.311 V	电容本体、外部无明显故障
5	4月26日17:48	U_{BP1}=1.657 V，U_{BP2}=6.032 V，U_{BP3}=0.283 V	电容本体、外部无明显故障
6	5月3日17:47	U_{BP1}=1.625 V，U_{BP2}=6.188 V，U_{BP3}=0.297 V	电容本体、外部无明显故障
7	5月8日16:51	U_{BP1}=1.625 V，U_{BP2}=10.31 V，U_{BP3}=0.283 V	电容本体、外部无明显故障
8	5月12日11:25	U_{BP1}=1.602 V，U_{BP2}=6.032 V，U_{BP3}=0.297 V	电容本体、外部无明显故障
9	5月18日13:03	U_{BP1}=1.657 V，U_{BP2}=8.250 V，U_{BP3}=0.258 V	电容本体、外部无明显故障
10	5月19日13:10	U_{BP1}=1.641 V，U_{BP2}=11.31 V，U_{BP3}=0.287 V	电容本体、外部无明显故障

注：U_{BP1}、U_{BP2}、U_{BP3}分别为电容器组A、B、C三相的电压差值。

电压差动保护定值的计算

已知各串联段并联电容器台数M=12，电容器串联段数N=2，正常运行时35 kV系统不平衡差压$U_{unb}\approx$4 V，电压比n_y=110，U_{NX}=11 kV。

单星形接线电容器组电压差动保护的整定值计算为

$$K=\frac{3NM(K_V-1)}{K_V(3N-2)}=\frac{3\times2\times12\times(1.1-1)}{1.1\times(3\times2-2)}=1.63 \quad (K_V=1.1) \tag{1}$$

$$K=\frac{3NM(K_V-1)}{K_V(3N-2)}=\frac{3\times2\times12\times(1.15-1)}{1.15\times(3\times2-2)}=2.35 \quad (K_V=1.15) \tag{2}$$

由式（1）、式（2）可知，K=1.63～2.35，取值2。

$$\Delta U_C=\frac{3KU_{NX}}{3N(M-K)+2K}=\frac{3\times2\times11\,000}{3\times2\times(12-2)+2\times2}=1\,031.25\ \text{V} \tag{3}$$

$$U_{0P}=\frac{\Delta U_C}{n_yK_{sen}}\leqslant\frac{1\,031.25}{110\times1}=9.375\ \text{V} \tag{4}$$

$$U_{op}=K_kU_{unb}\geqslant1.5\times4.0=6\ \text{V} \tag{5}$$

由式（3）～式（5）可知，电压定值U_{op}=6～9.375 V，取8 V，动作时间t=0.1～0.2 s。

式中，ΔU_C表示故障相的故障段与非故障段的差压；K表示因故障切除的同一并联段中的电容器小元件数，K=1～m（取整）；过电压系数K_V=1.1～1.15；灵敏系数$K_{sen}\geqslant1$；可靠系数$K_k\geqslant1.5$。

现场检查与测试

1. 专用熔断器及连接部分的检查

对该站72只电容器的专用熔断器及连接部分进行检查，未发现熔断器熔断及连接螺栓氧化锈蚀、连接松动现象。

2. 电容器电容值的测试

对该站72只电容器及三相6串电容器组的电容值分别进行了现场测试。

1）单只电容值为1.31～1.35μF，与额定电容值1.32 μF相比，电容值偏差为0.7%～2.27%，满足电力设备预防性试验规程规定的电容值偏差在－5%～+10%的要求。

2）A相上下两串电容器组的电容值分别为15.94 μF、16.03 μF，B相上下两串电容器组的电容值分别为15.92 μF、16.02 μF，C相上下两串电容器组的电容值分别为16.04 μF、15.95 μF，三相上下两串电容器组的电容差值为0.09～0.10 μF，由此产生的电压偏差很小。

由此可见，该站电容器电容值符合要求，上下两串电容器组的电容差值较小，电容器本体及连接部分未发现问题。

3. 放电线圈的检查

对该站电容器组三相放电线圈及连接部分进行检查，发现B相放电线圈上串联二次部分连接螺栓锈蚀严重，接触不良。

原因分析

由上述电容器组保护动作情况、保护定值计算及电容器现场测试结果可知，该站电容器组电压差动保护频繁动作跳闸的原因如下：

1）电压差动保护定值中电压整定值较小，目前设置为6 V，为计算值的最小值，当电容器组单台熔断器熔断、系统三相电压不平衡度增加或上下两串联段部分电容器性能下降时，即会引起保护动作跳闸。

（下转第75页）

（a）交流产品　　（b）直流产品

图5　电气寿命对比

表5　电气寿命试验数据列表

指标	额定电流/A	DC电压/DC	极数	时间常数/ms
参数	63	500	2	2
试验结果	交流产品65次失效，直流产品2 090次仍可继续			

总的来讲，直流断路器与交流断路器相比，更考验设计水平，从结构设计、选材到工艺，都有更高的要求和更严酷的考验。市场价值也远高于交流MCB，约是交流MCB的5倍。在四极达到1 000 V、时间常数10 ms及分断指标10 kA的产品，价格可以达到交流MCB的10倍以上。目前还处于高利润的时期。

塑壳断路器（MCCB）在光伏、风能领域引用前景广阔，尤其是做到两极DC 1 500 V/2 ms/16 kA的产品。

它的设计难点与MCB类似，直流电感的存在，间接体现在时间常数上，使电弧移动缓慢。其设计要点为

1）需要加大开距，增大到交流的1.5倍左右；提高介质恢复的速度，以此保证承受过电压不至于电弧重燃，达到提高额定工作电压等级的目的。

2）减小机构启动的速度，降低电弧停滞的时间，使电弧电压出现得早。

3）采用交叉式栅片设计，有利于电弧离开触头并迅速进入灭弧室。

4）窄缝和磁吹灭弧，有助于拉长和移动电弧，从而快速提高电弧电压，有助于提高临界负载电流的分断水平。

5）合理增加气吹结构，采用自动气吹技术，冷却和驱动电弧进入灭弧室。结合增大开距，使电弧电压上升的幅值大大提高。从而提高介质恢复的速度和保证产品的绝缘水平。

结束语

随着世界清洁能源革命的到来，电力电子技术的快速迭代，以及碳化硅等第三代半导体材料的快速应用，导致半导体功率器件性能有大幅的提高，而价格存在大幅下降的空间。直流配电未来广阔，而其末端的低压直流断路器在机械式断路器提高性能的同时，固态和混合式断路器的占有率也将提高。EA

（收稿日期：2021-05-10）

（上接第53页）

2）电容器组运行时间较长，至今已运行25年，且电容器组布置在室外，长期受高温、高湿及日照等因素的影响，造成B相放电线圈上串联二次部分连接螺栓氧化锈蚀严重，接触电阻较大，以使该相放电线圈二次回路上下两部分电压差值增大，当电压差值超过6 V时，即引起电压差动保护动作跳闸。

防范对策

1）调整该站电容器组电压差动保护电压整定值，由原来的6 V改为8 V，避免电容器组中单台熔断器熔断或系统三相电压偏差值波动时引起的电压差动保护动作跳闸。

2）更换电容器组中B相放电线圈上串联二次部分连接螺栓及螺母，使其接触良好，避免二次回路电阻变化引起的电压差值增大。

3）依据电容器运行维护管理规范及电气设备预防性试验规程中的有关规定，做好电容器组及其附属设备的维护保养及试验、测试工作，及时处理存在的缺陷。

结束语

将该站电容器组电压差动保护电压整定值改为8 V及B相放电线圈二次部分连接螺栓及螺母更换处理后，电容器组运行正常，未再发生电压差动保护动作跳闸现象。在运行中应加强电容器组的巡视检查及维护，提高电容器组运行可靠性，确保电网安全稳定运行，降低网络损耗。EA

（收稿日期：2021-02-25）