

含串补电容的线路继电保护运行与整定

张勇

(中国南方电网电力调度通信中心, 广东 广州 510623)

Operation and Setting of Relaying Protection for Lines with Serial Capacitors

ZHANG Yong

(CSG Power Dispatching and Communication Centre, Guangzhou, Guangdong 510623, China)

Abstract: The most serious problem of lines equipped with serial capacitor is the effect to relaying protection. The main configuration and principles of serial capacitor are first introduced in this paper. Then the effect of serial capacitor to various relay protection is detail analyzed. Principles and methods of Relaying protection setting for line with serial capacitor are proposed according to current technical code. Examples of experienced system are given finally.

Key words: serial capacitor; relaying protection; operation; setting

摘要: 输电线路装设串联补偿电容后, 带来的最大问题是对继电保护的影响。通过对串补电容装置主接线、工作原理的介绍, 详细分析了串补电容的出现对各类继电保护运行的影响。结合现行规程, 提出了串补电容线路及相邻线路继电保护的整定原则及方法并结合示例予以阐明。

关键词: 串补电容; 继电保护; 运行; 整定

在超高压输电线路增设串联补偿电容设备是缩短线路电气距离、提高线路输送功率及电力系统安全稳定运行水平的重要手段。

为提高西电东送能力, 改善现有 500 kV 输电线路存在的输送能力不足的问题, 目前南方电网内已在天平双线平果侧, 青河双线河池侧、马百线、罗百线百色侧装设了补偿度为 40%~50%的串联电容

补偿设备。新建的罗百 II 回也将装设串补电容。

线路装设串补后, 系统运行出现了新的特点, 串补及相邻线路的继电保护装置的运行及整定计算也必须考虑线路装设串补后出现的新问题, 采取针对性的措施, 适应新的工况。

1 串补电容的工作原理

图 1 为简化的串联补偿电容装置主接线。目前运行的串补电容基本上均采用的图 1 所示的 MOV 并联触发间隙的接线方式^[1]。C 为串联电容补偿电容器组, 一般补偿度为 40%~50%之间。MOV 为金属氧化物非线性电阻, 电阻值随所加电压瞬时值变化, 正常运行时呈大电阻状态, 当电容器两端电压超出设计值时, 瞬时呈现小电阻状态。G 为触发间隙, 受 MOV 控制, 当 MOV 能量积累到一定值时, G 触发。QF 为旁路断路器, 用于 G 的熄弧和串补电容的投退。

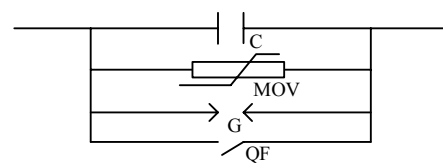


图 1 串联电容补偿装置

Fig.1 Series Capacitor Compensator

当串联补偿电容所在系统发生远区故障时, 由于故障电流产生的能量不大, 此时可由 MOV 导通旁路电容器组并吸收故障电流所产生的能量; 故障清除后, MOV 立即恢复正常, 串补装置瞬时重新投入。此时串补装置对外呈现出 MOV 低电阻和电

容器组并联的外特性。

当串联补偿电容所在系统发生近区故障时,由于故障电流比较大,MOV吸收能量积累到一定值时,发出触发脉冲给放电间隙和旁路断路器,短接串补电容器和MOV。当串联补偿电容所在的线路发生单相接地故障,即使在距离串补电容装置远端,线路保护在快速跳闸的同时,也将发出外部触发脉冲给放电间隙和旁路断路器,短接串补电容器和MOV。放电间隙动作时间大约在1ms左右,旁路断路器的合闸时间一般在30~50ms之间。

如果是单相接地故障,可通过再次打开旁路断路器使串补电容在满足一定条件后重新投入^[2],在线路两侧断路器重合前或重合后重投串补电容可根据系统要求设置。如果是其他类型故障,旁路断路器合上、串补电容退出后不再重投。

2 串补电容对线路保护的影响

2.1 对距离保护的影响

由于串补电容是一个集中的负阻抗,破坏了输电线路阻抗分布的均匀性,在串补电容前后发生短路时,阻抗继电器的测量阻抗会发生突然变化,这种变化和串补装置的MOV、放电间隙、旁路开关动作特性和阻抗保护的工作原理密切相关^[3]。

从第1节的动作原理分析可知,用来保护电容器的MOV几乎瞬时动作,用来保护MOV的间隙1ms动作,用来间隙熄弧的旁路开关动作时间为30~50ms。而对继电保护来说,主保护(纵联差动、纵联方向、纵联距离、工频变化量阻抗、距离一段等)规程要求瞬时动作,动作时间实际为10~30ms,距离二段及三段规程要求延时动作,一般接地二段取0.5s、相间1s,三段更长,一般在2s以上。

可见,对于具有延时段距离二段及三段来说,动作出口时串补电容基本已旁路退出,串补电容对其动作的影响主要从整定配合计算的角度来考虑,本节主要讨论串补电容对距离一段的影响。

图2给出装设串联补偿电容装置的系统接线。

(1) 保护装置1。

为了避免串联补偿电容后发生短路故障时的误动作,整定阻抗应按躲P母线短路整定,见下式:

$$Z_{zd1}=(0.7\sim 0.8)(Z_{MQ}-jX_C) \quad (1)$$

动作特性见图3圆1。与不装串补电容相比,保护范围缩小。补偿度越大,保护范围缩小得越多。

(2) 保护装置2。当采用母线侧电压互感器(TV1)时,为避免对侧母线短路故障时误动作,保护装置2应按照式(1)来整定。动作特性见图3圆2。如果故障时串补电容的MOV及间隙均未动作,则正方向电容后一定范围内故障,保护可能拒动;如果串补电容的MOV及间隙动作,保护范围将缩小,补偿度越大,保护范围缩小得越多。

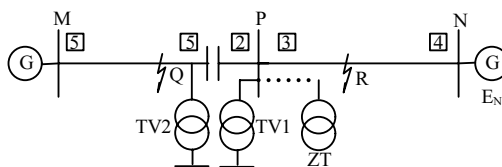


图2 装设串联补偿电容装置的系统接线图
Fig.2 The Line Diagrams of System with Series Capacitor Compensator

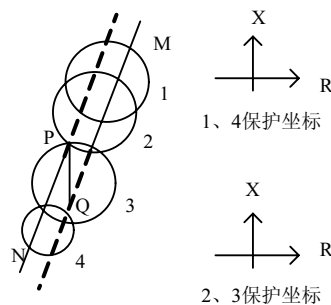


图3 继电器动作特性示意图
Fig.3 Figure of Relay Actions

(3) 保护装置3。

保护装置3正向短路故障的保护区不受串联补偿电容影响,与正常的距离一段相同,按本线路阻抗的70%~80%整定。

动作特性见图3圆3。当反方向串补电容后一段范围内发生短路时,如果串补电容的MOV及间隙未动作,则可能因误动失去方向性。如果串补电容的MOV及间隙动作,误动区消失。

(4) 保护装置4。保护装置4所在的相邻线始端串补电容带来的问题与保护装置1本线末端串补电容带来的问题性质相类似,但由于有其他线路电流的助增作用,本保护测得的视在容抗更大。

$$Z_{zd1}=(0.7\sim 0.8)(Z_{PN}-K_{zz}\times jX_C) \quad (2)$$

K_{zz} 为图2线路MQ之间故障时,线路PN与电容之间的助增系数。

如果对端母线P处出线很多,助增作用很强的

话, 保护装置4处保护范围将缩小很多, 甚至测量阻抗为容性。动作特性如图3圆4所示。

(5) 保护装置5。当采用线路侧电压互感器(TV2)时, 正向短路故障的保护区不受串联补偿电容的影响, 保护装置5与正常的距离一段相同。

动作特性和图3圆3类似。同样, 在反方向串补电容后一段范围内发生短路时, 如果串补电容的MOV及间隙未动作, 则可能因误动失去方向性。

需要指出的是, 图3所示各特性圆是根据按照常规的采用不带记忆的正序电压极化的阻抗继电器性能, 当采用不管正序电压是多少, 极化电压均带记忆的阻抗继电器时, 可有效防止上述串补电容的MOV及间隙未动作时拒动、误动的发生^[4]。

带有串补电容线路发生短路时, 短路电流中将出现低于工频的周期性分量电流, 在高压电网中其衰减时间常数很大, 是基本非周期分量衰减常数的二倍。继电器的测量阻抗不仅受站暂态低频分量影响, 而且也受分布电容、电容器两端电压被截波产生的高频分量影响。以上两类暂态分量不符合目前微机保护微分方程采用的线路模型, 从而导致继电器测量阻抗发生波动, 因此, 装设在串补及相邻线路的继电器必须有良好的滤波环节, 滤去较大的暂态低频分量和高频分量^[5]。

2.2 对工频变化量阻抗保护的影响

含有串补装置的系统发生故障时, 电容器附近的最大电压变化量将为 $(U_{0l}+U_{pl})$, U_{0l} 为故障前故障处的电压, U_{pl} 为MOV的保护级电压, 与无串补系统相比电压变化量增加了 U_{pl} , 如图4所示。

因此为防止欠范围的工频变化量阻抗继电器超越, 采用提高工频变化量阻抗继电器动作门槛的方法, 动作门槛按 $(U_{0l}+U_{pl})$ 设置, 并取一定的裕度^[6]。必须指出, 这种方法在串补电容旁路或退出运行时, 减小了保护范围。

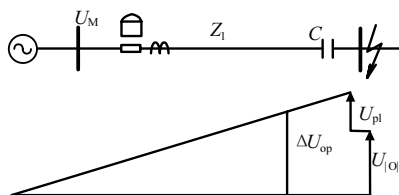


图4 工频变化量阻抗保护动作原理示意图

Fig. 4 The Action Sketch Map Of Power Frequency Variety Impedance Relay

2.3 对纵联方向保护的影响

负序、零序以及突变量方向继电器的正确工作取决于从母线到与故障点相反方向的等值电源中性点的等值正序阻抗(零序阻抗)的感性性质^[7]。

在图2中, 对保护3方向元件来说, 位于PN线P侧, 电压取自母线, 当正方向R点短路时, 方向元件可靠动作的条件是 $Z_T // (Z_M + Z_{MP} - jX_C)$ 呈感性, 事实上, Z_{MP} 总大于 X_C , 条件满足; 反方向Q点短路时, $Z_T // (Z_N + Z_{PN})$ 总为感性, 保护3方向元件可靠不动作。因此, 保护3方向元件适应相邻线路有串补电容的情况。

对保护2方向元件来说, 位于PM线P侧, 电压取自母线, 当正方向Q点短路时, 因 $Z_T // (Z_N + Z_{NP})$ 总呈感性, 所以可靠动作; 反方向R点短路时, 方向元件可靠动作的条件是 $Z_T // (Z_M + Z_{MP} - jX_C)$ 呈感性, 事实上, Z_{MP} 总大于 X_C , 条件满足, 保护2方向元件可靠不动作。因此, 采用母线PT的保护2方向元件适应本线路有串补电容的情况。

当PM线P侧保护电压取自线路PT如保护5所示, 反方向Q点短路时, 保护安装处与故障点相反方向上等值阻抗为 $(Z_M + Z_{PM})$ 总为感性, 保护可靠不动作;。反方向R点短路时, 保护安装处与故障点相反方向上等值阻抗为 $-jX_C + Z_T // (Z_N + Z_{NP})$, 若在P母线上接有大容量变压器, 零序 Z_{0T} 很小, 造成 $Z_{0T} // (Z_N + Z_{NP})$ 小于 X_C , 导致等值阻抗呈容性, 可造成保护5方向元件不动作。

这时可采用对零序电压进行补偿的方法, 使补偿后的电压为 $U'_0 = U_0 - I_0 Z_m$ 。

Z_m 的选取应保证 $-jX_C + Z_{0T} // (Z_N + Z_{NP}) + Z_m$ 。对于无串补的线路、串补不在本侧或串补在本侧但取母线TV的则不需补偿。

综上所述, 对于纵联方向保护来说, 负序、突变量方向均能适应本线或相邻线路有串补电容的情况。零序方向保护经补偿后也可适应本线或相邻线路有串补电容的情况。

2.4 对纵联距离保护的影响

欠范围允许式纵联距离保护要求两端欠范围距离元件的保护范围有重叠区, 才能快速切除全线任何一点发生的故障。靠近串补电容一侧的欠范围距离元件可按照保线路全长80%~85%整定, 远离串补电容一侧的距离元件按式(1)或式(2)整定, 其保护范围缩短很多, 但只要大于线路全长的15%~20%

就可出现重叠区。

超范围允许式纵联距离保护一般采用保线路全长有足够灵敏度的距离二段或三段作发信段,且距离元件仅起方向判别作用,因此不受串补电容影响。

2.5 对纵联电流差动保护影响

串补电容的容抗不可能改变电容器任何一侧系统电抗的性质,系统一次设计会避免发生电流反相的情况。纵联差动保护比较被保护线路两侧的电流,对各条线路来讲,发生外部短路时,线路中流过的是穿越性的短路电流,尽管有了串补电容后短路电流会增大,但线路两端电流相位相反,因此外部短路能可靠不动作。发生内部故障时,两端电流相位相同。

纵联电流差动保护从原理上保证了选择性,串补电容对纵联差动保护没有影响。只是应考虑线路装设串补电容后,CT 容易出现饱和的情况,为防止分相光纤差动的补正确动作,应采取抗饱和措施防止误动和拒动^[7]。

3 含串补电容及相邻线路保护的整定

确保继电保护装置的正确动作,除了要在保护装置的原理实现、逻辑、算法上适应串补电容线路外,还应在整定计算配合上综合考虑串补电容装置的工作原理,MOV、间隙及旁路开关的动作特性,使保护的定值适应串补电容运行和被短接退出、检修各类工况。

3.1 主保护的整定

纵联差动保护在原理确保了选择性,适应于串补运行及退出的各类工况,按常规线路整定。

超范围允许式纵联距离保护基本也不受串补电容影响,按常规线路整定。只是要确保发信段在串补运行、退出时均有足够灵敏度。

纵联方向保护为确保零序方向不拒动,应根据系统实际运行状况进行补偿。

距离一段按照式(1)、式(2)根据系统实际运行情况合理考虑助增进行计算,为防止误动,在保护范围很小时可退出距离一段。

工频变化量阻抗继电器通过提高动作门槛来防止误动,本质上是缩小了保护范围,在对侧母线出线装设多个串补电容时或相邻线始端串补电容有很大助增作用时,工频变化量阻抗宜退出。

对于一些采用波形识别原理^[8]快速算法实现的快速距离一段,应充分考虑串补电容低频和暂态高

频分量的影响引起波形畸变,在不能有效防止误动时,应退出运行。

3.2 后备保护的整定

规程^[9]要求距离二段定值按本线路末端发生金属性短路故障有灵敏度并与相邻线路距离一段配合。若配合有困难,可与相邻线路纵联保护配合,但阻抗定值按躲过相邻线路末端故障整定。若仍无法配合,可与相邻元件距离二段配合。动作时间可取0.3~0.5 s,接地可取0.5~1.0 s。

从前面串补装置动作原理分析可知,在距离二段动作时间内,串补电容随系统故障距离远近、短路电流的大小可呈现出低电阻(MOV 动作)与串补电容并联和串补电容全部退出两种外特性。应根据保护的不同安装位置分别整定。

(1) 保灵敏度的要求

距离二段保证本线路末端发生金属性短路故障有灵敏度,因此必须考虑串补电容投入和退出两种工况。

整定时,即使本线有串补也应按串补电容退出的情况进行计算。这样,在正常运行串补电容投入时,依然保证有足够灵敏度。

(2) 与相邻线路配合的要求

与相邻线路配合的目的是保证上下级后备保护之间的选择性,因此对于距离二段的整定应保护不同安装位置分别考虑:

对于串补电容线路两端的保护如图2保护1、2、5,与相邻线路配合时应按照本线串补电容正常运行和相邻线路配合,避免伸得过长,超越出下一级线路。

对于串补电容相邻线路两侧的保护,如图2保护4,和串补线路保护图2保护2或5配合时,应根据串补线路被配合段动作的情况及串补电容的动作原理综合考虑:

串补线路保护2的距离一段由于串补影响,范围很小,保护4不考虑与之配合。

和保护2的纵联保护配合时,应考虑正常运行时串补电容投入的情况,以免按保全长配合,在正常运行时出现超越。

和保护2的距离二段配合时,保护2的距离二段整定时本身已考虑了串补运行的情况,在二段动作时限内,串补电容也已完全退出,这种情况下配合时可不考虑线路串补电容运行的情况。

如串补电容侧的保护采用线路PT,如图二保护5,其距离保护二段整定时按常规线路整定,这时保

护4和其配合时应考虑串补因素,避免伸的过长。

距离三段的整定和二段类似,要求距离三段定值还可靠躲过本线路的最大事故过负荷电流对应的最小阻抗,以免误动。

4 后备保护整定示例

图5为一实际运行系统,下面结合具体保护配置,说明距离二段后备保护的整定:

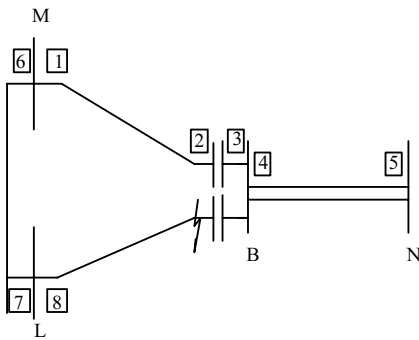


图5 实际系统接线保护配置图

Fig.5 Protection Collocation of the Actual System Lines

4.1 保护1、8

(1) 确保在串补电容退出运行时全线有灵敏度: $Z_{ZD2} \geq K_{lm} \times Z_{MB}$ 。

(2) 与 BN 一段配合,应考虑本线串补电容运行影响: $Z_{ZD2} \leq 0.8 \times (Z_{MB} - jX_c) + 0.8 \times K_{ZZ} \times Z_{ZD1}$

(3) 与 BN 纵联配合,应考虑本线串补电容运行影响: $Z_{ZD2} \leq 0.8 \times (Z_{MB} - jX_c) + 0.8 \times K_{ZZ} \times Z_{BN}$

(4) 与 BN 二段配合,应考虑本线串补电容运行影响: $Z_{ZD2} \leq 0.8 \times (Z_{MB} - jX_c) + 0.8 \times K_{ZZ} \times Z_{ZD2}$

保护8整定同保护1。

4.2 保护6、7

(1) 确保在串补电容退出运行时全线有灵敏度: $Z_{ZD2} \geq K_{lm} \times Z_{ML}$ 。

(2) 保护1、8的距离一段由于串补电容影响,范围很小,不考虑与之配合,与MB纵联配合,应考虑MB串补电容运行影响:

$$Z_{ZD2} \leq 0.8 \times Z_{ML} + 0.8 \times K_{ZZ} \times (Z_{MB} - jX_c)$$

(3) 与MB距离二段配合,可不考虑MB串补电容运行影响: $Z_{ZD2} \leq 0.8 \times Z_{ML} + 0.8 \times K_{ZZ} \times Z_{ZD2}$ 。

保护7整定同保护6。

4.3 保护2、3、4

正方向发生故障时保护2(采用线路侧PT)和

保护4的保护范围不受串补电容的影响,保护的整定可按照常规的线路保护。对于采用母线侧PT的保护3整定基本上同保护1。

4.4 保护5

(1) 和串补侧采用母线PT的保护3配合时,同保护6、7。

(2) 如果串补电容侧保护采用线路PT,距离二段、三段和保护2的距离二段、三段配合时,由于保护2的二段、三段整定时按常规线路整定,这时保护5配合时应考虑串补电容因素,按下式整定:

$$Z_{ZD2} \leq 0.8 \times Z_{BN} + 0.8 \times K_{ZZ} \times (Z_{ZD2} - jX_c)$$

距离三段整定同二段类似,但要考虑躲最小负荷阻抗。

5 结束语

串补电容对本线两侧及相邻线路继电保护的影响与串补电容的安装位置、串补保护间隙类型、短路情况下保护间隙是否击穿(MOV可靠动作)、保护装置采用PT的位置等因素密切相关。本文通过对上述因素的分析,结合具体的保护装置类型、整定运行规程提出了含串补电容及相邻线路保护整定的一些基本原则和方法,目前已应用于平果串补、河池串补、百色串补所在线路及相邻线路保护的整定计算实践。

参考文献:

- [1] 500 kV 平果可控串补站现场运行规程[Z]. 中国南方电网有限责任公司.
- [2] Tian-Guang at PingGuo Series Capacitor System Operation and Maintenance Manuals[Z]. China Southern Power Grid Co., Ltd.
- [3] 翁子文. 串联补偿线路的继电保护[C]//江苏省电机工程学会学术活动文集, 1997(2).
- [4] 高中德. 超高压电网继电保护专题分析[M]. 中国电力出版社, 1997.
- [5] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 中国水利水电出版社, 2002.
- [6] RCS-931AS型超高压线路成套保护装置技术说明书[Z]. 南京南瑞集团公司.
- [7] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 中国电力出版社, 1995.
- [8] PSL-603AS型数字式线路保护装置技术说明书[Z]. 国电南京自动化股份有限公司.
- [9] DL/T 559-94 220~500kV 电网继电保护装置运行整定规程[S].

收稿日期: 2007-08-24

作者简介:

张勇(1972-), 男, 工程师, 硕士, 从事继电保护的运行及整定计算工作。

(本文责任编辑 黄瑜)