

特高压输电线路继电保护配置方案

(二)保护配置方案

贺家李¹, 李永丽¹, 李 斌¹, 郭 征¹, 董新洲²

(1. 天津大学电气自动化与能源工程学院, 天津市 300072)

(2. 清华大学电机系, 北京市 100084)

摘要: 根据特高压输电线路结构与运行的特点, 讨论了对其继电保护装置和保护配置的基本要求, 分析了各种纵联保护原理的优缺点, 提出了对特高压输电线路主保护、后备保护、失灵保护、并联电抗器保护以及自动重合闸方式选择的建议。

关键词: 特高压输电线路; 电力系统; 继电保护

中图分类号: TM773

0 引言

特高压输电线路的继电保护也是建立在继电保护基本原理之上, 是由高压和超高压输电线路继电保护技术发展起来的。但是, 由于特高压输电线路是联合系统或全国统一电网的骨架, 其安全可靠运行对于全系统的安全可靠运行起着决定性的作用, 故对其继电保护的性能和可靠性要求极高。因此, 应采取各种可能的措施, 提高其动作速度、灵敏度、选择性和可靠性(包括可依赖性和安全性)。

本文论述和分析了国外在解决这些问题时的经验, 对我国特高压输电线路继电保护配置方案进行探讨, 并提出了初步建议和应该研究解决的问题。

1 特高压输电线路继电保护配置方案

对特高压输电线路继电保护配置的基本要求是: 在所采用的各个继电保护装置满足“四性”(速动性, 灵敏性, 选择性, 可靠性)要求的基础上, 能够实现性能互补、动作协调, 使整个保护系统在整体上和更高的水平上满足“四性”要求。与一般高压和超高压线路相比, 各种保护作用要有更高的独立性、更大的冗余度。保护配置应能保证在任何运行状态(包括两套主保护都退出)下被保护线路上发生任何故障时, 都有一套无延时的快速保护, 能从线路两端同时快速切除故障, 避免发生过电压、系统稳定破坏或设备损坏等事故。与一般高压输电线路不同, 特高压输电线路继电保护的 task, 首先是保证不产生危及设备和绝缘子的过电压, 其次是保证系统稳定。因为特高压输电线路绝缘子短时间能承受过电压的裕度较小, 在过电

压使线路绝缘子绝缘性能降低甚至击穿时, 更换绝缘子停电造成的经济损失可能远大于系统稳定破坏造成的损失。为了保证过电压不超过允许值, 特高压输电线路允许一端投入、另一端断开的时问远小于两端保护相继动作切除故障的时间。因此, 特高压输电线路发生任何故障时必须以最短时间从两端同时切除故障, 不能允许两端保护相继动作(即一端断路器断开后另一端保护才能动作)切除故障。同时, 对于特高压输电线路要求有两套不同原理的能快速切除各种故障的主保护, 另有一套能通过通道传送跳闸信号或允许跳闸信号的后备保护, 以保证在任何故障情况下两端切断的时间差约为 40 ms~50 ms(准确数字应通过过电压计算确定), 其中考虑两端保护动作的时间差约 20 ms 以及两端断路器断开时间之差约 20 ms。两套主保护必须从电流互感器、电压互感器交流输入、直流电源、保护屏到跳闸线圈完全独立。否则, 如果在线路故障期间同时发生电流互感器、电压互感器、直流电源、保护屏或跳闸线圈任一故障, 将使线路一端完全失去主保护, 不能快速切除故障, 只能依靠后备保护, 而使两端切除故障的时间差大于允许值而产生不允许的过电压。同时, 在特高压线路上线路末端发生故障时, 相邻线路上的远后备保护往往不能满足灵敏度的要求, 可能使故障不能切除, 因此特高压输电线路不能依靠远后备。

特高压输电线路一般距离很长, 分布电容很大, 为吸收容性无功功率、防止过电压, 应装设容量很大的并联电抗或可调无功补偿装置, 在故障时会引起电感电容谐振和各种高频分量。加之故障类型复杂, 过渡电阻多变, 使得故障时电压电流数值、波形都在很大范围内变化, 而各种保护原理都有一定的弱点, 采用同一原理的两套主保护可能在某特定的运行方式

和故障情况下都不能动作,而采用两套原理相同的主保护的优点(如运行人员容易掌握、调试方便、备品备件数量可以减少等)对于如此重要的特高压输电线路而言并不重要。国外经验也是如此。

在俄罗斯的 750 kV 和 1 150 kV 线路上^[1],要求主保护动作时间小于 20 ms,最大的故障切除时间小于 70 ms。采用两套主保护:一套是高频闭锁负序方向保护,反应各种故障,再用高频闭锁零序方向保护反应接地故障,增加接地保护的冗余度;另一套是用高频闭锁距离。两套主保护从蓄电池、直流回路、电流互感器、电压互感器、保护屏到跳闸线圈,都是独立的,实现完全的双重化。用欠范围整定、可传送跳闸信号的距离保护和三段式距离做后备。而在单相重合闸周期中,则采用相差高频保护反应非全相状态下的故障,并使距离选相元件独立工作,作为辅助保护,将可能误动的保护短时退出。

美国 765 kV 线路继电保护的配置特点也与此相似。采用一个周期动作的保护,两个周期断开的断路器、快速重合闸、开关失灵保护以及后备保护等。装设两套主保护,分别按不同的信号原理构成。一套采用闭锁式、另一套采用允许式信号构成的方向高频保护。此外,还有高频相差和后备距离保护。通道也用两种不同原理^[2]:闭锁式用载波,允许式用微波。这样选择的原因是考虑到有冰雪时载波通道衰减大,而在空气中水蒸汽很大时微波信号衰落很大。如果两套采用一种信号原理、一种通道,在上述情况下不能实现完全的保护。

在微机保护中可以同时实现多种保护原理,因此对于微机保护也可采用两套硬件相同而软件原理不同的装置。横差保护是平行双回线简单有效的保护原理,因此对于平行双回线可以考虑附加装设横差保护,以增加保护的冗余度。对于微机横差保护,不必将双回线的电流回路交叉连接以取得差电流并检查其方向,而可直接比较双回线保护的功率方向标志。当双回线外部短路时,两端双回线的功率方向总是一致的,当双回线之一内部短路时总有一端双回线的功率方向不一致,由此可判断有内部故障并可选出故障线路而动作切除,同时,通过通道送跳闸信号跳开对端故障线路开关。

集成电路保护和其他非微机保护的电子元件、节点、线圈很多,故保护装置的可靠性问题多表现为由于接点接触不良、继电器线圈断线或电子元件损坏等造成的拒动。微机保护则不然,受干扰影响的误动概率高于拒动。因为拒动和非选择性动作只能发生在历时较短的线路故障期间,而误动可发生在长期正常运行期间。此外,微机保护不断对大量的数字

代码进行处理和传送,在处理和传送中任一代码的任一位,尤其是高位受外部或内部干扰影响而改变时都将影响保护的正确工作。因此,对于非微机型保护,各个保护通过“或”门输出一般是合理的,但对微机保护则不然。在有些情况下,通过表决方式输出更为合理,这就要求保护装置有足够的冗余度。

自动重合闸与保护的配合方式对保护配置的整体性能有很大影响。对于特高压输电线,为了防止操作过电压,应将两端断路器切除的时间差限制在 40 ms~50 ms,而重合也要有一定的时间差(具体数值应根据过电压计算确定)。输电线的投入和切除都应该是半自动的。例如投入时从一端(应预先经过过电压计算,先投入产生过电压小的一端)手动投入,同时通过通道自动启动对端的同期并列装置进行同期投入。在手动切除时也是从一端手动切除,同时通过通道传送跳闸信号切除另一端。在故障跳闸后的自动重合闸和重合闸不成功时的二次跳闸,也应按一定的顺序进行。

特高压输电线在两相运行状态下可能产生较高的过电压^[3]。如果经过电压计算在非全相状态下产生的过电压倍数(考虑到故障相切除时的暂态过电压)大于一定值(俄罗斯对于 1 150 kV 线路,从绝缘子短时能承受的过电压能力出发定为 1.4 倍)时,不允许采用单相重合闸,只能是三跳三合。对于允许采用单相重合闸的线路,两端重合的顺序和时间间隔要预先通过过电压计算来确定。对于单相重合不成功时,切除其他两相的顺序和时间间隔也要预先通过过电压计算来确定。特高压输电线所连接的系统一般容量很大,惯性常数较大,因而系统振荡发展较慢,振荡周期较长,故可考虑采用不检查电压和同期的快速重合闸,亦即重合闸方式除了单相重合、三相重合外还应有快速重合。快速重合闸也应在通道配合下从两端同时进行,避免一端投入、一端断开的超过过电压的允许时间。

自动重合闸应按断路器配置。自动重合闸与各保护之间的配合关系应周密考虑,避免各保护对重合闸的控制不协调,例如,有的保护启动快速重合闸,有的保护启动单相或三相重合闸等。单相重合闸的合闸时间应根据熄弧情况可以自适应调整。例如,根据输电线两端并联电抗器中性点上所连接的消弧电抗器通过的电流,判断消弧电抗器是否投入和短路点弧光熄灭情况,从而改变单相重合闸的重合时间。最好能研制和采用新的自适应重合闸原理,以提高单相重合闸的成功率,减少系统承受冲击的次数。

为了防止过电压,特高压输电线两端一般应装设并联电抗器。对于很长的特高压输电线,为了防止

线路中部的过电压,在线路中点也要装设并联电抗器。根据运行情况,两端的电抗器正常运行时可能投入,也可能不投入。但断路器跳开时必须立即投入,以防止过电压和进行消弧。因此,对于并联电抗器和消弧电抗器应装设专门的保护和自动控制装置。线路保护应不断监视并联电抗器和消弧电抗器的断路器状态,如果在线路故障时并联断路器未投入,消弧电抗器也未投入(被断路器旁路),则线路保护在发出跳闸命令的同时,要启动并联电抗器的保护和自动装置,立即将并联电抗器和消弧电抗器投入(闭合并联电抗器的线路侧开关,断开消弧电抗器的旁路开关)。与此同时,单相自动重合闸应监视消弧电抗器的电流互感器中的电流。如果消弧电抗器投入时其电流互感器中有电流,表示消弧电抗器已投入,应立即缩短重合闸的合闸时间。相反,如果无电流,则表示其投入不成功,应采用正常的合闸时间。

特高压输电线的断路器失灵保护原理和一般高压线路一样,但因特高压输电线路一般距离较长,其失灵保护启动元件的灵敏度可能遇到困难。尤其是当本线路保护需要作为下一级线路保护的远后备时,要求在下级线路末端发生任何故障时,如果该线路保护拒动,本线路开关也拒跳时,失灵保护的启动元件(检测故障未消失的元件)应有足够的灵敏度。因此,失灵保护应采用多种启动原理,以保证在各种故障类型下的灵敏启动,例如除故障相电流、电压外可能还需要负序、零序、阻抗等启动量。失灵保护启动元件不需要带方向,因为在反方向故障时线路保护不会动作,不会去启动失灵保护。不带方向可免除方向元件的死区。

特高压输电线路对线路两端跳闸和合闸时间之差有严格的要求,因此,应充分利用通信通道使两端的保护紧密配合。俄罗斯 1 150 kV 输电线的保护专用 7 种高频信号(对较低电压线路也可如此),并按其功能的重要性排出优先等级。例如,输电线正常操作的直跳或直合对端断路器的信号,或者本端断路器因故障跳闸或在后备保护 I 段范围内故障发出直跳对端断路器的信号,优先级别应是最高;其次应是纵联保护动作发出的允许跳闸信号,快速保护切除故障后启动快速重合闸的信号,由慢动作保护跳闸时闭锁快速重合闸的信号,非全相状态下退出保护、切换保护的信号等。事实证明,充分利用通信通道可以改善保护的性能,这在应用光纤通道时将更容易实现。我国应加强这方面的研究。

以上是对我国特高压输电线路继电保护配置方案提出的一些见解。对于具体工程还应结合每条线路的具体情况深入研究,制订具体的配置方案。

2 特高压输电线路主保护原理的选择

目前比较成熟的、在我国有运行经验的、可以为主保护的纵联保护原理不外乎以下几种:工频变化量方向保护、负序方向保护、分相电流差动保护、高频闭锁距离保护和相电压补偿式方向保护等。这几种原理各有一些优点,也都存在一定的缺点,简单分析如下。

工频变化量方向纵联保护可以反应全相和非全相状态下的各种故障,不受负荷电流、系统振荡等的影响且动作速度很快,已在我国 500 kV 和 220 kV 输电线路取得成功的运行经验。其主要缺点与所有利用故障分量的保护一样,只能反应故障的初瞬间,不能反应故障的全过程。其次,其灵敏度与系统运行方式(保护背后系统阻抗)有关,有一定程度的不确定性,但是作为方向元件,灵敏度总是能够保证的。因此,这种保护原理作为特高压输电线路的主保护没有问题。

负序方向纵联保护具有悠久的历史和丰富的运行经验。负序分量存在于故障的全过程,因此,负序方向纵联保护可以可靠地反应不对称故障的全过程,不受振荡的影响,不受平行线零序互感的影响。但其灵敏度也与系统运行方式和线路换位情况有关。另外,其主要缺点是被认为“不能可靠反应三相短路”。在集成电路式和非微机保护中,负序分量用模拟电路(负序过滤器)提取,由于三相短路的初瞬间出现的不对称和负序过滤器电路有一定的滤除高频分量的能力等原因,负序方向保护也可反应三相短路。俄罗斯 750 kV 和 1 150 kV 输电线路继电保护对于三相短路的方向是依靠对故障初瞬间的负序功率方向加以固定,然后和接于一相间电压与相电流之差的阻抗继电器通过“与”门进行判断。由于有负序功率方向继电器把握方向,故阻抗继电器采用向反方向偏移的圆特性而不需要记忆回路,而且不必设振荡闭锁。几十年的运行经验表明,这种判断三相短路方向的组合继电器在三相短路时从未拒动过。对于如三相地线未拆除等固定的三相短路则靠后备距离保护反应。但是,这个方法可能不适合于微机保护,因为微机保护中的数字负序“过滤器”很难在三相短路初瞬间几毫秒的不对称期间内正确地滤出负序分量,因而很难捕捉到三相短路初瞬间的不对称短路。但如果给负序功率方向元件配以正序故障分量方向元件或相电流电压突变量方向元件专门反应三相短路,可以构成一种完善的纵联保护。负序方向纵联保护的另一个缺点是在非全相状态下再故障时不能可靠动作,因而在俄罗斯 1 150 kV 线路保护

中,在单相重合闸周期的非全相状态下,负序方向高频保护被退出,而切换成相差高频保护^[1]。综上所述,负序功率方向(辅以零序功率方向)配以正序突变量方向或相电流电压突变量方向的纵联保护在理论上和实践中都是比较成熟的,应是特高压输电线路主保护待选方案之一。

分相电流差动纵联保护从原理上是最理想的保护方式,具有绝对的选择性,不受系统振荡的影响,不受运行方式的影响,受过渡电阻的影响小,本身具有选相功能。但是,用于长距离特高压输电线路时,首先要分析线路分布电容电流的影响。文献[3]提到特高压输电线路为了提高自然功率,需要减小波阻抗,而要减小波阻抗就必须减小线路电感,增大电容。例如,具有每相4根分裂导线的750 kV线路每km电容可达 13.2×10^{-9} F,每km电容电流可达 $\{\omega C U_{\varphi}\}_A = 314 \times 13.2 \times 10^{-9} \times (750/\sqrt{3}) \times 10^3 = 1.7948$ 。而传送自然功率时每相的负荷电流为1 698 A,亦即100 km线路的每相电容电流将达到额定负荷电流(设为自然电流)的10%左右,500 km线路将达到其50%。1 150 kV线路的自然电流约等于2 766.5 A,而500 km长线路的电容电流将达到1 440 A,也是约50%。这只是稳态运行情况下的电容电流,在故障或重合闸时,暂态充放电电流将要增大数倍。尤其是在暂态状态下电压中有很多高频分量,电容电流与频率成正比,将会产生更大的高频电容电流,这将使线路区外故障时两端电流的波形、幅值和相位都发生严重畸变,影响电流差动的正确工作。因此,欲采用分相电流差动保护原理时,应采取补偿电容电流的措施。对于微机保护,可研究补偿电容电流的算法,尤其是补偿暂态电容电流的算法。在不采取电容电流补偿措施的情况下,分相电流差动保护可能只能用在200 km以下的线路,其电容电流可达到自然功率电流的20%左右,外部故障时还可利用定值躲过。

距离纵联保护有很多优点,有丰富的运行经验。其主要优点是可以兼作主保护和下一级线路的远后备保护,保护范围基本固定(若不考虑过渡电阻影响),不受系统运行方式变化影响,根据需要可以欠范围或超范围整定,以实现闭锁式、跳闸式、允许式等各种纵联保护方式^[4],还可以根据线路情况和保护目标采用各种不同的动作特性。但其缺点也是严重的。首先是受系统振荡影响很大,必须采用复杂的影响保护动作可靠性的振荡闭锁措施;受过渡电阻影响,保护范围可能缩短或伸长;方向性特性(动作特性通过原点)不能可靠反应保护安装处的故障;线路有串补电容时快速段动作范围大大缩短;电压回

路断线可能造成立即误动作,必须采用高速的电压回路断线闭锁措施等。此外,用于特高压输电线时必须按分布参数整定,使得保护定值不能直接反应故障点距离。对于长线路,始端电压和电流相量是末端电压电流相量的双曲线函数^[5]:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{U}_2 \operatorname{ch} \dot{\gamma} l + \dot{I}_2 Z_c \operatorname{sh} \dot{\gamma} l \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_2 \operatorname{ch} \dot{\gamma} l + (\dot{U}_2 / Z_c) \operatorname{sh} \dot{\gamma} l \end{cases} \quad (1)$$

式中: $\dot{U}_1, \dot{I}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_2$ 分别为输电线始端、末端的电压、电流相量; $\dot{\gamma}$ 为线路的传输常数相量; Z_c 为波阻抗。

在末端三相短路时, $\dot{U}_2 = 0$,则从始端测量的阻抗为:

$$Z_1 = \dot{U}_1 / \dot{I}_1 = (\operatorname{th} \dot{\gamma} l) l Z_c$$

即阻抗继电器的测量阻抗是故障距离的双曲线正切函数,不与距离成正比。线路很长时,故障点距离变化一点将使测量阻抗有很大变化,再考虑到过渡电阻,使保护整定复杂,整定精度降低,线路保护I段的动作范围要留有较大的裕度。

按照距离保护的以上特点,可配以远方跳闸信号,作为特高压输电线的独立后备保护较好。

相电压补偿式方向纵联保护原理具有一系列优点^[5],在我国500 kV线路上也有长期的运行经验。其主要优点是:可反应全相状态下各种故障和非全相状态下除两相接地外的其他各种故障的全过程,在合理整定条件下不受全相状态和非全相状态下系统振荡的影响,在反方向的各种故障包括经各种过渡电阻故障的情况下有很强的方向性;也可按照多相补偿的原理作为下一级线路的后备保护。其缺点是:与多相补偿阻抗继电器相似,在单相接地时允许过渡电阻的能力较差;另外,动作时间需要约23 ms。这种保护原理可作为第2主保护,或作为非全相状态下的保护,专门用以反应单相重合闸周期中的故障。

综上所述,建议作为特高压输电线路的第1主保护采用工频变化量方向纵联保护原理。作为第2主保护可采用负序方向、零序方向和相电压电流突变量方向相结合的纵联保护或相电压补偿式方向纵联保护。作为非全相状态下的保护,可采用相电压补偿式纵联保护。对于200 km以下的特高压输电线,可采用分相电流差动保护作为第2主保护。两套主保护要用不同的通道:一个用载波,另一个用光纤或微波。允许信号和跳闸信号用光纤或微波通道,闭锁信号用载波通道传送。在没有条件用光纤或微波通道情况下,至少也要用两个独立的“相—地”载波通道。

对于以上各种保护,都要深入研究特高压输电线分布电容电流和并联电抗的影响。要研究保护与

通道的紧密配合和充分发挥通道作用,以满足特高压输电线防止过电压和保证保护“四性”的要求。

3 特高压输电线的后备保护

作为特高压输电线的后备保护,可采用欠范围整定、传送跳闸信号、兼有Ⅰ段和Ⅱ段的距离保护,保证在两套主保护都退出情况下内部故障时,输电线两端切除故障的时间差为 $40\text{ ms}\sim 50\text{ ms}$ 。特高压输电线一般较长,容易做到使两端距离保护Ⅰ段有相互交叉的区域。因此,在线路上任一点故障时,至少有一端的距离保护Ⅰ段能可靠动作,动作后立即通过通道向对端发出直接跳闸(不受对端保护监控)命令。其Ⅰ段和Ⅱ段作为本线路和下级线路保护的后备。可传送允许信号,在对端保护监控下跳闸。

距离保护应设有振荡闭锁和电压回路断线闭锁措施。保护最好设两个启动元件与振荡闭锁相结合。一个是灵敏启动元件,在下级线路末端短路时应能启动,使快速保护段短时(例如 $30\text{ ms}\sim 40\text{ ms}$)投入,然后将其闭锁,以防止振荡时误动,一直闭锁到振荡停息以后。另一个是不灵敏启动元件,只在本线路上短路时能够动作,动作后又将快速保护段第2次投入。因此,在灵敏启动元件将快速保护段闭锁期间发生本线路故障时,快速保护段仍能动作。这就解决了保护启动元件既要有很高的灵敏度,在正方向故障时都能启动,又要避免由于灵敏度过高而使保护频繁启动,启动后又将快速段闭锁很长时间,使其不能反应在此期间内本线路发生故障的问题。

距离保护的動作特性如何,对保护性能有决定性的影响。对特高压输电线不应局限于目前常用的几种特性,如圆特性、四边形特性、椭圆特性等。微机保护可以很容易地实现任何动作特性,应该充分利用这一优越性,使得距离保护各不同功能的保护段都具有最优的动作特性,充分发挥其功能。对于距离保护Ⅰ段的动作特性,要求在线路出口短路时能可靠动作,并具有方向性和一定的承受过渡电阻的能力。为了消除保护安装处线路出口短路时的电压死区,一般采用方向阻抗特性和电压记忆回路相结合的方法,也可采用向第三象限偏移的特性与使用故障前电压和故障后电流构成的方向元件相结合的特性,两者都是基于记忆故障前电压相位的原理。故障后频率的偏移会使电压实际相位逐渐偏离所记忆的相位,这种误差对阻抗特性影响较大,而对方向元件的方向特性影响较小,因为方向元件的动作范围接近 180° 。因此,应该说采用偏移特性和方向元件特性结合的方法较好。这还需要根据线路具体情况进行具体的研究和分析后确定。承受过渡电阻的能力

和减小系统振荡影响的要求是相互矛盾的。考虑到接地短路时的过渡电阻远大于相间短路的过渡电阻,故对单相接地短路和其他相间短路应用不同的动作特性。当选相元件选定为单相接地时,启用单相接地动作特性,否则应用相间短路动作特性。

距离Ⅰ段应采用向第三象限偏移的特性,偏移的范围不要超过背后线路或母线快速保护的動作范围。在背后快速保护范围内故障时,反方向快速保护动作切除故障,本线路保护Ⅱ段不会误动。特高压线路背后的母线、线路或变压器的快速保护都有两套以上,因此不必考虑两套快速保护都拒动的情况。但是距离保护Ⅱ段的延时应大于断路器失灵保护动作切除故障的时间。基于这种考虑,距离保护Ⅱ段可采用偏移特性而不需要附加方向元件保证其方向性。更不能记忆特性,因为Ⅰ段延时很长,频率可能变化,相位可能偏移。对于Ⅰ段,照例可对接地和相间短路用不同的动作特性。为了防止由于过渡电阻增大(电弧伸长)使Ⅰ段动作后又返回,不能可靠跳闸起见,可采用将Ⅰ段动作信号固定并与不带延时的Ⅱ段通过“与”门给出Ⅰ段跳闸命令,只要Ⅰ段曾经动作,而且故障未清除,Ⅱ段未返回,即可保证Ⅰ段跳闸,此即所谓“瞬时测量”原理。

距离保护Ⅲ段或阻抗启动元件(如果用阻抗启动)动作特性的选择主要考虑避越负荷阻抗、承受过渡电阻能力和减小系统振荡影响等。为此,应研究设计特殊的动作特性。例如在第一象限,在最大负荷功率因数角以下的区域缩小保护动作范围以利于躲避最小负荷阻抗,在大于此角的上部区域扩大实轴方向的動作范围以利于承受较大的过渡电阻。因为距离Ⅲ段有较长的延时,也可研究采用按照负荷大小自动改变动作特性的自适应动作特性。为防止系统振荡时Ⅲ段反复启动时误动,可设置两个形状相同、大小不同、彼此嵌套的特性,当测量阻抗向量从大曲线进入小曲线的时间超过一定值时即认为是振荡,使阻抗元件不予反应(类似于“大圆套小圆”但不一定是圆)。这可只作为Ⅲ段防止振荡误动的措施。对于Ⅰ段、Ⅱ段可采用其他更完善的振荡闭锁原理。此外,应研究完善的能在振荡期间反应区内对称和不对称故障的原理。

4 其他保护和自动装置

4.1 断路器失灵保护

前已提到断路器失灵保护的原理及功能与其他线路一样,但对特高压输电线要采取多种启动(检测故障未消失)措施以保证其灵敏度。因失灵保护受保护控制,其启动元件不需带方向性。

4.2 自动重合闸

前已提到首先通过过电压计算决定能否采用单相重合闸。如果能够采用,尚需计算重合闸不成功时同时切除故障相后,切除其他两相的顺序。由于特高压输电系统振荡发展较慢,应首先考虑采用快速重合闸,由快速保护启动;其次是检电压和同期的三相一次重合闸。自动重合闸与各种保护的配合要周密考虑,避免出现矛盾。国外有采用二次重合闸的成功经验。因为特高压输电系统振荡发展较慢,振荡周期较长,应根据系统具体情况研究能否采用捕捉同期的二次重合闸。

4.3 并联电抗器的保护和自动装置

对并联电抗器内部和引线的各种故障应有完善的快速保护。应预先通过过电压计算,如果并联电抗器内部故障被切除可能引起不能允许的过电压时,则在切除故障电抗器的同时应通过线路保护同时跳开线路两侧断路器。

并联电抗器根据系统运行方式和线路传输功率有时可能要断开,但在线路故障保护跳闸时应立即通过并联电抗器的自动控制装置将其投入。并联电抗器中性点所接的消弧电抗器的容量可能不能承受线路接地故障时的零序电流,故在正常运行时一般将其用断路器旁路,在线路故障保护动作跳闸时应立即将旁路断路器断开,将消弧电抗器投入消弧,在自动重合时又应立即将其旁路。这些操作都应由并联电抗器的自动装置在保护的控制下完成。并联电抗器的保护要考虑线路故障时或线路跳闸后,由于电抗器电感与线路分布电容谐振产生的过电压和各种谐波的影响。

5 结论

a. 由于特高压输电线在电力系统中所处地位的重要性的和巨大的经济效益,对保证其安全可靠运行的继电保护的性能和可靠性提出了极高的要求。

b. 特高压输电线继电保护和自动装置的配置方案,首先应保证在任何运行、操作和故障状态下的过电压不超过允许值,其次是保证系统稳定运行和设备安全。

c. 本文根据以上基本要求,提出了关于特高压输电线继电保护和自动重合闸配置方案的意见。

d. 通过对各种纵联保护原理的分析比较,本文提出了对特高压输电线主保护、后备保护和自动重合闸原理选择的建议。

参考文献

- 1 Morkov A N, Koch G, Liebach T. Refurbishment Scheme for Transmission Line Protection Relays. In: CIGRE. Paris: 1994
- 2 Horowitz S N. Relaying the AEP 765 kV System. IEEE Trans on PAS, 1969, 88(9)
- 3 贺家李,李永丽,郭征,等(He Jiali, Li Yongli, Guo Zheng, et al). 特高压输电线继电保护配置方案:(一)特高压输电线的结构与运行特点(Relay Protection for UHV Transmission Lines: Part One Construction and Operation Characteristics). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(23)
- 4 Elmore W A. Pilot Protective Relaying. New York: Marcel Dekker Inc, 2000
- 5 贺家李,葛耀中(He Jiali, Ge Yaozhong). 超高压输电线故障分析与继电保护(Fault Analysis and Relay Protection of EHV Transmission Lines). 北京:科学出版社(Beijing: Science Press), 1987

贺家李(1925—),男,教授,所长,中国电机工程学会名誉理事,IEEE 高级会员,俄罗斯工程院外籍院士,研究方向为电力系统故障分析与继电保护。E-mail: jlh86222@yahoo.com

李永丽(1963—),女,博士,教授,中国电机工程学会继电保护专委会委员,研究方向为电力系统故障分析与继电保护。E-mail: yonglili@etang.com

李斌(1976—),男,博士研究生,研究方向为电力系统继电保护与自适应重合闸。

RELAY PROTECTION FOR UHV TRANSMISSION LINES

Part Two Disposition of Relay Protection

He Jiali¹, Li Yongli¹, Li Bin¹, Guo Zheng¹, Dong Xinzhou²

(1. Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Ultra-high voltage (UHV) transmission lines possess enormous economic benefits and technical superiorities. It has obtained great development and successful experiences abroad. Based on the construction and operation characteristics of UHV transmission lines, this paper studies and analyzes the foreign experiences in relay protection of UHV transmission lines and proposes the main protection scheme of UHV transmission lines in China and the problems should be investigated and solved.

Key words: UHV transmission line; power systems; relay protection