

高压直流输电系统及各种保护装置综述

许昌继电器研究所 郝运仲

随着我国国民经济迅速发展及能源开发的需要,电能传输以及电力系统的规模将不断扩大,在我国各大系统中出现超高压交流输电系统的同时,也将采用在经济和技术上都具有重要意义的高压直流输电系统。直流输电不仅是一种节省能量损耗的输电方式,而且在开发利用边远地区的资源和新能源,以及采用新发电方式等方面都是一种有效的手段。高压直流输电有它独特的优越性,在国际上已经获得较广泛的采用。目前世界上许多国家根据直流输电和交流输电各自的特点,特别是考虑到交流远距离输电会受到同步运行稳定性的限制,因而进行大功率远距离高压直流输电的研究。随着我国电力系统的不断发展,仅仅采用交流超高压输电,不能完全满足能源发展的要求,必须使高压直流输电在我国得到较快发展。

一、高压直流输电系统的特点

直流输电在经济和技术上有许多不同于交流输电之处,交流输电目前虽然已经广泛得到采用,但有的工程由于经济或技术上的原因而采用直流输电将更为合理。两者在同样输电容量下,直流输电具有:线路造价低,架空线路杆塔的结构较简单,同样绝缘水平的电缆可以运行于较高的电压,线路损耗较小。因此输电距离越长,高压直流输电越有利。

目前国际上高压直流输电线路较长的有美国西部太平洋联络线(1360公里),莫桑鼻克—南非间卡伯拉巴沙线(1410公里),扎伊尔的英加—沙巴线(1700公里),而苏联则将建设更长的高压直流输电线路。

直流输电不但因为经济上的原因,适用于远距离输电和越过海峡的电缆送电,而且由于它在技术上的特点也可作为额定频率不同的交流电力系统之间的短距离联络线。它以交流—直流—交流转换的方式,使两个系统得到联系,不受两端交流系统的频率、电压相位的牵制,而且还能够根据一定的技术要求迅速和简便地加以调节。

作为直流输电的主要组成部分的高压直流联络线,具有下列优点:

1. 当输送距离适中时比较经济。

2. 宜在两个额定频率不相同的交流系统之间采用直流输电线路。在正常运行时,使这两个交流系统之间可互相交换功率,互为备用,实现水、火电的配合,发挥电力系统互联的经济效益;又可各自调频,在有冲击负荷时,可减轻它对系统的影响。事故时,可迅速地实现健全的一端系统对事故系统的紧急支援。由于直流线路自动调节短路

电流功率，对于一些系统解列后能独立运行的电力系统，可避免造成大面积停电事故的发生。

3. 高压直流输电的电力潮流可以快速控制。除此以外，高压直流输电线路还具有在正常运行时没有电容电流、沿线电压分布较平稳，线路不需要无功补偿、并且电晕及无线电干扰较小等优点。

高压直流输电系统如图一所示：



图一 直流输电系统结线图

二、保护系统概况

联接到超高压输电系统的可控硅换流阀装置，是由各种设备组成的，它包括换流变压器，可控硅阀，直流电抗器，电压互感器，电流互感器和避雷器等。因此对保护系统提出下列要求：需要有较大范围的保护区，即要求电力系统所有设备均须置于保护区内。它与超高压交流输电系统一样，当发生故障时，要求各种保护在故障时应快速可靠地动作。除此以外，高压直流输电系统中还应设置某些保护，能最大限度地减小系统瞬时扰动对系统冲击的影响，还应设置反映设备故障性质的保护，以便于运行人员及时排除故障。

保护装置的设计原则可按主保护和后备保护来设计。后备保护能在主保护装置动作失败的情况下防止主设备损坏。

高压直流输电系统各种保护装置简介：

1. 交流侧保护：交流侧主设备的保护，即换流变压器保护，此保护装置采用常规的主变压器保护。但对交流滤波器和并联电容器则应采用专门设计的滤波器和电容器组的保护装置。

1.1 变压器差动保护：

(1) 用途：检测换流变压器的内部故障。当在阀侧绕组上发生接地故障，其故障类型与在交流导线上发生接地故障相类似。其它的变压器故障将导致换相失败，为减轻故障时对变压器的损坏应快速切断故障换流器。

(2) 构成原理：比较线路侧和阀侧的相电流，当变压器安匝数失去平衡时检出故障。

1.2 交流过电流保护：

(1) 用途：作为变压器差动保护的后备保护。

(2) 构成原理：测量换流变压器线路侧的各相电流，由各相过电流来检出故障。

但所采用的过流继电器应不反应故障瞬时值的直流分量。

1.3 交流滤波器过负荷保护:

(1)用途:检测基波和谐波过负荷电流。

(2)构成原理:测量滤波器支路中的基波和谐波频率的电流(谐波过流保护)。该保护应具有与电抗器过负荷特性相匹配的反时限特性。

1.4交流滤波器和并联电容器组的不平衡保护:

(1)用途:检测电容器组的故障。

(2)构成原理:测量和比较在两个电容器回路中的基波电流,即采用谐波过电流保护。目前研制的保护是采用电压差保护,即测量和比较在两个电容器回路中的电压差值来实现保护。它可用于同一滤波支路中的并联回路,也可用于两个不同滤波支路的回路。

2 直流侧保护:直流侧保护是高压直流输电的专用保护装置。

2.1短路保护:(每组换流器一套)

(1)用途:a检测换流阀组短路:当整流阀组发生故障,则在阀中将产生过电流。这时要求保护装置应具有足够的灵敏度。b检测阀的短路:在整流工况运行时,发生两相短路,这时在桥的故障换相阀对及三个阀中的健全阀上,流过正方向短路电流,这时应快速切断换流阀组。在逆变工况运行时,两相短路类似于永久性的换向失败。

(2)构成原理:比较交流电流和直流电流的大小。当交流电流大于直流电流时检出故障。

2.2 直流过流保护:(每组换流器一套)

(1)用途:检测对阀可能产生应力的过电流。并作为短路保护的后备保护。

(2)构成原理:此保护对较大的直流电流和变压器阀侧电流反应是灵敏的。且具有反时限特性,在较大的故障电流下能瞬时跳闸。

2.3 换相失败保护:(每组换流器一套)

(1)用途:检测换相失败。直流输电系统中在下列情况下将产生换相失败。a交流网络发生故障时,交流电压低于换相成功所需要的换相电压。b由可控硅阀恢复保护时引起的干扰。(最大的可能是由于逆变侧交流系统发生故障所引起)c对一个阀的控制脉冲丢失。d对一个阀施加持续控制脉冲。

当换相失败时将产生过电流,第一个波涌流幅值将达到约两倍的额定直流电流。由于换相失败直流线路电压将大幅度下降,甚至极性反转,所以整流器侧的保护装置应快速地将电流降到30%额定电流值。

大多数换相失败是由于逆变器交流网络扰动而引起的。此类故障的发生将造成直流电压和电流中含有大量的谐波分量。

(2)构成原理:利用比较交流电流和直流电流,当产生较大的直流电流时应检出故障。它分为:a瞬时换向失败:利用脉冲测出交流侧电流和换向电压之间的相位关系,并报警。b连续换相失败:通过变压器绕组的换向失败,由固定脉冲测出直流电

流和交流电流值。

2.4 直流谐波保护：（每组换流器一套）

（1）用途：作为换相失败保护的后备。

（2）构成原理：滤除直流回路的谐波分量。即当直流回路出现基波或二次谐波时检出此故障。

2.5 阀侧交流过电压保护：（每组换流器一套）

（1）用途：测量换流变压器阀侧交流过电压。

（2）构成原理：测量换流变压器线路侧的交流电压，并对其分接头切换器调节时引起的电压变化进行补偿。将所测得的数值与参考值进行比较来检出故障。

2.6 滞后角过大保护：（每组换流器一套）

（1）用途：可控硅阀是由许多串联的可控硅元件组成，当裕度角不足时，由于可控硅元件的关断时间不一致，将其中某些可控硅元件先关断，因而整个桥臂电压就加在已关断的可控硅元件上，使阀损坏。因此要检测过大的滞后角，防止发生此类故障。当裕度角不足时，重新发出触发脉冲，实行强迫换向失败，起到有效的保护作用。

当需要保持较好的功率因数，确保系统稳定运行不致发生换向失败。逆变侧应设置检测过大的熄弧角保护。

（2）构成原理：由过大的滞后角和熄弧角来检测故障。

2.7 直流差动保护：

（1）用途：检测换流器直流侧接地故障。

（2）构成原理：利用测量换流器高压和低压侧的直流电流，当出现差值时检出故障。

2.8 直流过电压保护：

（1）用途：检测直流线路过电压。即保护线路和设备的绝缘。

（2）构成原理：测量直流线路电压和直流线路电流。当线路过电压同时电流又低于最小整定值时检出故障。

2.9 直流低电压保护：

（1）用途：检测永久性直流电压击穿。

（2）构成原理：此保护反应直流电压。当电压过低时检出故障。

2.10 直流线路接地保护：

（1）用途：当直流线路发生接地故障时将导致整流器阀流过涌流。直流平波电抗器的电抗将限制此涌流的幅值，涌流的最大幅值约为两倍的额定电流值。设置此保护用来检测直流线路的接地故障。

（2）构成原理：a 带有高阻抗的故障（过渡电阻较大）：此时直流线路保护将按其电平判据动作。利用线路电压降低到某一定值以下时检出故障。b 近端的故障：此时直流线路保护按其微分判据动作。即可以利用线路电压下降的导数超过某定值，同时电压又降低到某定值以下时检出故障。

2.11 电极线路开路保护：

(1) 用途：在电极线路开路或者当解列换流器，并同时将中性线负荷开关切断时，将产生过电压，为此，保护中性线设备免于遭受过电压。

(2) 构成原理：利用避雷器来保护中性点母线上的过电压，看它是否通过电流。若通过避雷器的电流大于某一定值时检出故障。

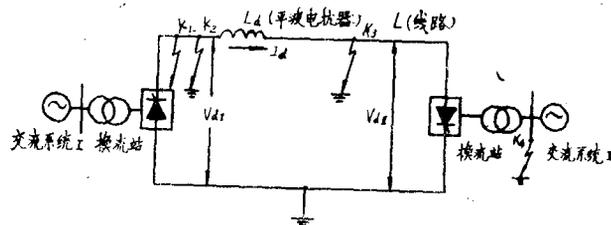
根据上述高压直流输电系统的各种继电保护装置的用途及构成原理，其中有的可采用高压交流输电系统的继电保护装置，但由于高压直流输电系统有它独特性，有些保护必须采用专用的保护装置。例如对于滤波器失谐，则应设置谐波过电流保护，或谐波过电压保护，用来发出报警信号，并闭锁那些由于谐波分量过大可能造成误动作的其它保护装置。又如在可控硅阀的运行期间，很重要的一点是可控硅阀和控制设备必需有机的配合，这样控制设备能对阀体内部的运行状态进行监视，并立即检测到阀体内部的异常现象，以便使必要的保护装置投入工作。因此需要保护装置能反应可控硅元件故障，控制极关断失效，控制极脉冲丢失及可控硅元件温度过高等情况。

建立完整的直流输电系统的继电保护装置，必须考虑到各种故障之间的相互作用及其影响，及各种操作与保护装置的相互配合。

根据交直流系统对设备安全和运行的影响程度分成重、中、轻三类故障，针对不同程度的故障，考虑了不同的操作顺序及继电保护的動作。（参阅下表）直流侧故障电路见图二

保护操作顺序一览表

故障分类	处 理
重 故 障	故障发生→门极封锁→旁通对动作→切断交流开关→投入旁通刀闸
中 故 障	I 类 故障发生→门极移相→门极封锁→旁通对投入→定时限 →旁通对解开 →门极解开 →再起。再起失败再作重故障处理。
	II 类 故障发生→定时限后若故障继续存在→作故障 I 处理
轻 故 障	I 类 报警，亮光字牌
	II 类 故障发生→急速增大控制角→定时间后复归



图二：直流侧各种故障电路图