

±800 kV 特高压直流换流站过电压 保护特点及直流暂态过电压计算

安萍, 苟锐锋, 程晓绚, 周晓琴

(西安高压电器研究所, 陕西 西安 710077)

Characteristics of Over Voltage Protection in ±800kV Ultra High Voltage Direct Current Convert Station

AN Ping, GOU Rui-feng, CHENG Xiao-xuan, ZHOU Xiao-qin

(Xi'an High Voltage Apparatus Research Institute, Xi'an 710077, China)

摘要: 分析总结了±800 kV 特高压每极2个400 kV 12脉动换流器串联结构直流换流站的过电压保护特点, 将其与现有±500 kV 直流工程换流站的过电压保护作了比较。同时以±800 kV具体直流工程为例, 选取典型故障工况, 在考虑避雷器保护特性的条件下, 对换流站几个关键点的典型操作过电压进行了简单模拟计算。计算结果为确定 UHVDC 输电工程换流站主要避雷器保护水平及主设备耐受水平提供了参考。

关键词: 特高压直流; 换流站; 过电压; 避雷器

中图分类号: TM86

文献标志码: A

Abstract: This paper analyzed and summarized characteristics of over voltage protection in ±800 kV ultra high voltage direct current each pole had two 400 kV 12 pulse converter in series, and compared with that of ±500 kV HVDC convert station. Meanwhile, instancing practical UHVDC project, typical fault status were selected, simple simulated calculations of switching impulse over voltage were performed to several key spot in convert station under the condition of arrester's protection. The results provided the references to protection level of main arrester, and to the withstand voltage level of facility in UHVDC convert station.

Key words: ultra high voltage direct current(UHVDC); converter station; overvoltage; arrester

0 引言

目前±800 kV 特高压直流(UHVDC)输电工程采用每极2个400 kV 12脉动换流器串联的方案, 与现有±500 kV 每极一组12脉动换流器直流输电工程相比, 其直流输电系统结构更复杂^[1]。如何合理、安全、经济地进行绝缘配合, 确定整个系统的绝缘水平, 是建设±800 kV 直流输电工程的重要技术问题。

笔者将±800 kV 特高压直流工程换流站与现

有±500 kV 直流工程换流站的过电压保护作以比较, 分析总结了特高压每极2个12脉动换流器串联的换流站的过电压保护特点。同时以±800 kV 具体直流工程为例, 选取避雷器保护方案及典型故障工况, 在考虑避雷器保护特性的条件下, 对换流站直流侧几个关键点可能产生的暂态过电压进行了分析计算。计算结果为确定 UHVDC 输电工程换流站主要避雷器保护水平及主设备耐受水平提供了参考。

1 避雷器保护方案设计

1.1 避雷器配置原则

换流站内设备的主要保护装置为氧化锌无间隙避雷器。

氧化锌避雷器配置的原则是: 交流侧产生的过电压用交流侧的避雷器限制; 直流侧产生的过电压由直流侧的避雷器限制; 重点保护设备由与之直接并联的避雷器保护。

1.2 避雷器保护方案

高压直流换流站的避雷器配置有多种方案, 不同避雷器配置方案大同小异。图1给出了±800 kV 直流输电工程换流站避雷器的推荐配置方案, 不同类型避雷器的名称及布置见图1。

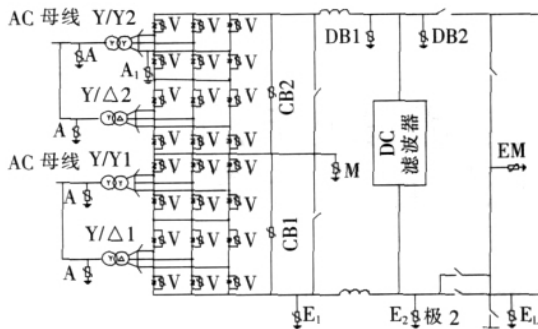
1.3 方案说明

和现有±500 kV 直流工程换流站避雷器保护方案相比, ±800 kV 换流站增加了桥避雷器(CB)、桥中点母线避雷器(M)和换流变阀侧避雷器(A_i)^[2]。

±800 kV 直流输电工程换流站为每极两组12脉动换流器串联, 12脉动换流器两端并联旁路开关, 通过旁路开关的操作投入或者退出该组换流器。因此, 每组换流器两端需并联桥避雷器防止12脉动换流器两端的过电压对旁路开关等设备造成危害。该

收稿日期: 2007-03-07; 修回日期: 2007-05-25

作者简介: 安萍(1978-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事高压直流输电工程过电压计算与绝缘配合研究。



V—阀避雷器 DB1, DB2—桥线避雷器 E₁, E₂—中性母线避雷器 EM—金属回线避雷器 EL—地板引线避雷器 CB1, CB2—桥避雷器 M—桥中点母线避雷器 A₁—换流变阀侧避雷器 A—交流母线避雷器

图1 避雷器保护方案

避雷器保护方案中有两个桥避雷器，下十二脉波桥避雷器 CB1、上十二脉波桥避雷器 CB2。

桥中点母线避雷器 M 接于低端十二脉波桥顶端和地之间，防止双十二脉波阀组中点出现危险的过电压，并有助于降低平抗阀侧极线端的过电压。

换流变阀侧避雷器 A₁ 置于高压端 Y/Y 接线的换流变压器阀侧三相出线上，以抑制交流过电压通过换流变传递到最高电位换流变阀侧的过电压，同时降低 CB2 避雷器的保护水平。如不使用该避雷器，则换流变阀侧绕组的保护水平将由多个串联连接的避雷器（如 CB2+M）确定，使该处的保护水平过高。

图1所示的保护方案中并未在直流极线平抗两端加装避雷器。平抗两端是否跨接避雷器保护，由设备厂家能做到的平抗纵绝缘水平决定。

2 直流暂态过电压计算

以具体 ±800 kV 直流输电工程为例，在图1所示的避雷器保护方案下，使用 EMTDC 程序对整流站直流侧几个关键点可能出现的直流暂态过电压进行了简要模拟计算。

避雷器特性使用三沪直流工程中使用的避雷器伏安特性曲线。

直流控制保护系统按已有 ±500 kV 直流输电工程的保护配置和延迟时间设置，以针对各种故障采用移相、闭锁等措施保护相关设备安全。

2.1 典型故障工况

对于直流侧几个关键点，主要研究了接地和短路故障引起的暂态过电压。计算选取的典型工况具体如下：①换流变压器阀侧绕组套管对地闪络；②直流线路平抗阀侧和线侧接地故障；③双极对称或不对称运行时，一极发生接地故障，在健全极产生的感应过电压；④双极对称运行，一极发生接地故障，健全极高压端换流变压器阀侧对地短路；⑤金属回线或大地回线运行方式下，换流变阀侧对地故障；⑥金属回线或大地回线运行方式下，直流极线对地短路；

⑦换流变 A, C 两相同时反极性进波。

2.2 计算结果

直流侧几个关键点的过电压计算结果如下：

- ①整流侧负极性线路接地，在正极性线路上会产生约 1 350 kV 的过电压，此时若健全极换流变压器阀侧发生接地故障，阀避雷器将承受最大应力，阀避雷器最大电压可达 380 kV 左右，见图 2(a)；
- ②双极对称运行方式下，一极发生接地故障（靠近整流侧），健全极产生的感应过电压将会使直流极线避雷器 DB1 承受 1 380 kV 左右的过电压，见图 2(b)；
- ③单极金属回线，换流变阀侧绕组最高位单相接地故障时，中性母线避雷器应力最大，最大电压可达 350 kV 左右，见图 2(c)；
- ④换流变压器 A, C 两相同时反极性进波故障下，换流变阀侧避雷器最大电压可达 1 330 kV 左右，见图 2(d)。

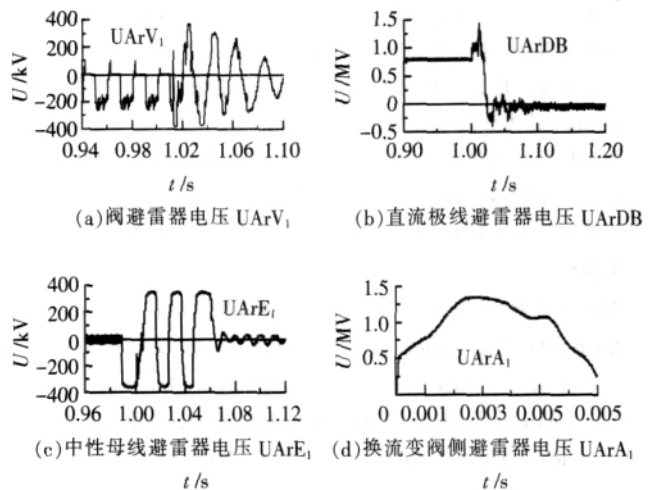


图2 几个关键点的最大操作过电压

2.3 关键点主设备操作耐受水平

参照 IEC 60071-5，取直流侧操作冲击绝缘配合裕度为 15%，由 2.2 计算结果初步选择的整流侧几个关键点主要设备的操作耐受电压为：高压端换流变压器 1 600 kV；直流极线平抗阀侧 1 600 kV；直流极线平抗线路侧 1 600 kV；平波电抗器侧直流母线 450 kV^[3]。

3 ±800 kV 换流站过电压保护特点

通过对直流侧过电压的简单模拟计算，可以看出，与 500 kV 单 12 脉动换流器接线相比，±800 kV 每极 2 个 400 kV 12 脉动换流器串联结构换流站的过电压保护有其特点，具体表现在以下几个方面：

- (1) ±800 kV 换流站每极为双 12 脉动换流器串联接线，正常运行方式为 ±800 kV 双极对称运行。当其中一个 12 脉动换流器故障时，允许剩余健全阀组以 ±400kV/±800kV 双极不对称方式继续运行。这时若 ±800 kV 极直流线路发生接地故障，±400 kV 极线路会产生 2.6 p.u. 的过电压（以运行电压 400 kV 为

基值)。此故障将对双 12 脉动换流器中点对地的“M”避雷器形成最大应力。

(2)±800 kV 双换流器接线中阀避雷器的最大连续运行电压(MCOV)比±500 kV 单换流器接线的阀避雷器低,其参考电压也比单换流器避雷器的低。因此当最高电位换流变阀侧绕组发生单相接地故障时,双换流器接线中的阀避雷器将承受更大的能量应力,要求的并联柱数也更多。如果在直流线路过电压发生时发生上述故障,由于阀侧绕组对地电位高,最高电位的阀避雷器承受的应力可能明显高于其它阀避雷器,从而使前者要求的并联柱数更多。±500 kV 单换流器接线问题则不突出。

(3)最高电位换流变阀侧绕组的 MCOV 很高,一般要在最高电位阀侧绕组与地之间加装“ A_1 ”避雷器以降低换流变高压阀侧对地绝缘水平。已有的±500 kV 直流工程的单换流器换流站均不用加装该避雷器。

(4)±800 kV 换流站平波电抗器电感值较大,将其分为两台制作,分别置于极线及中性母线,有利于

降低换流器高压端接地故障时中性母线避雷器的应力,同时阻隔了从中性线侵入的雷电波。

4 结语

针对±800 kV 直流换流站每极 2 个 400 kV 12 脉动换流器串联的结构,推荐了±800 kV 避雷器的配置方案。同时选取典型工况,对整流站直流侧几个关键点可能出现的直流暂态过电压进行了简要模拟计算。通过计算分析并与 500 kV 单 12 脉动换流器接线作比较,总结了±800 kV 每极 2 个 400 kV 12 脉动换流器串联结构换流站的过电压保护特点。

参考文献:

- [1] 刘振亚. 特高压直流输电技术研究成果专辑(2005 年)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [2] 赵晓君. 高压直流输电工程技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [3] IEC TS 60071-5 Insulation Co-ordination-part 5: Procedures for High-voltage Direct Current (HVDC) Converter Stations [M]. International Electrotechnical Commission, 2002.

(上接第 347 页)

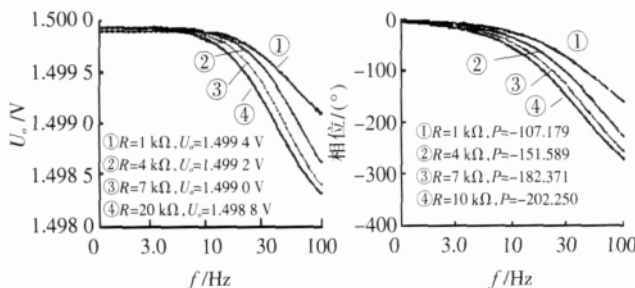


图 4 调相电路幅频响应 图 5 调相电路相频特性

阻阻值; P 为对应相位差。

由于实际选用的电阻值与理论值有误差,从图 5 中可以看出,全通滤波器的幅值稍微有些波动,但是足以满足对精度的要求。经过试验测试,可得在测量为 0~100 A 时的相位差结果见表 1。

表 1 相位差试验结果

I/A	/()	I/A	/()
0.25	32.4	5.0	11.1
1.00	16.5	6.0	11.3
3.00	13.2	100	22.6

由表 1 可知,在规定的测试范围内试验数据与理论值有一定的误差,这主要是因为试验环境及仪器设备所引起的。若采用更精准的设备,并且在干扰不很严重的情况下完全可以达到 0.2 级标准。

6 结语

通过对电子式电流互感器传感头部分的相位差研究,设计出相位补偿电路并给出 Pspice 仿真结果及试验结果。所研制的电流互感器的测量范围为 0~100 A,试验证明其精度可以达到 0.2 级要求。

参考文献:

- [1] 方志, 邱毓昌, 李双. 光纤电流互感器的发展[J]. 电力建设, 2002, 23(12): 42-45.
- [2] 乔娥, 安作平, 罗承沐, 等. 光电式电流互感器的开发与应用——21 世纪互感器技术展望 [J]. 变压器, 2000, 37(1): 40-43.
- [3] 郭晓华, 叶妙元, 徐雁, 等. 用于 110 kV 变压器的空心线圈电流传感器研究[J]. 高压电器, 2002, 38(3): 23-27.
- [4] 邱志刚, 贾春荣, 郑绳植. 用于小电流测量的高精度 Rogowski 线圈的研究与设计 [J]. 电气应用, 2005, 24(5): 62-65.
- [5] 田朝勃, 索南加乐, 罗苏南, 等. 应用于 GIS 保护及监测的罗氏线圈电子式电流互感器[J]. 中国电力, 2003, 36(10): 53-56.
- [6] 刘家芳, 刘霞忠. 混合式光电电流互感器相位补偿技术[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(5): 30-33.
- [7] 李红斌, 冯凯, 张艳, 等. 光学电流互感器相位误差的分析[J]. 高电压技术, 2004, 30(3): 15-16.
- [8] D E 约翰逊, J R 约翰逊, H P 穆尔. 有源滤波器精确设计手册[M]. 李国荣, 译. 北京: 电子工业出版社, 1984.