

柔性直流换流阀串联支撑绝缘子电压分配均衡方法

Voltage Distribution Equalization Method of Flexible DC Converter Valve Series Supporting Insulator

王丰

Feng Wang

中国南方电网有限责任公司超高压输电
公司天生桥局
中国·贵州 兴义 562400
China Southern Power Grid, UHV Transmission
Company, Tianshengqiao Bureau,
Xingyi, Guizhou, 562400, China

【摘要】柔性直流输电技术是中国乃至世界构建起能源互联网框架并且促进清洁能源并网的重要技术,目前已经发展到了支撑结构,需要考虑到串联支撑绝缘子中各层绝缘子承受较大电压的问题,论文通过对串联支撑绝缘子的电压分配进行分析计算,找到了提高工程效率的方法。

【Abstract】Flexible HVDC technology is China and the world to build up the energy Internet framework and promote the importance of clean energy grid technology, at present has developed to the supporting structure, need to take into account the series support insulator of each layer under high voltage insulator in question, paper through analysis of series support insulator voltage distribution calculation, found a way to raise efficiency of engineering.

【关键词】柔性直流换流阀;串联支撑绝缘子;分配均匀方法

【Keywords】flexible DC converter valve; series support insulator; uniform distribution method

【DOI】10.36012/peti.v2i1.1283

1 引言

在电压等级的不断提升中,柔性直流换流阀常常采用绝缘子串联的多层支撑结构设计。这种结构能够保证足够的对地绝缘间隔,但是在测试的过程中发现换流阀各层绝缘子电压的分配不均匀,使得绝缘子的选型出现了问题,这样就使得在设计过程难度更大,所需要投入的成本更多。

2 实验概述

串联绝缘子电压分配的计算方式很多,文章选取有限元法来进行计算,针对于 $\pm 800\text{kV}$ 柔性直流换流阀,并探究该换流阀电压分配不均衡的原因,从而有针对性地建立相应的数学模型,获取相应参数。因为本质上,该换流阀的工频电场只是一个具有电阻和电容的电路系统,所以可以将绝缘子电压表示成各层的寄生电容,而用线性电阻表示水路,这样就可以有效地得出电压分配结论^[1]。文章实验中采用的是 Ansys 软件,该软件操作便捷,计算较为准确。

3 电压分配分析

3.1 建立模型以及绝缘型试验

需要建立起 $\pm 800\text{kV}$ 换流阀的三维模型,可以得到阀体、

屏蔽系统以及阀模块冷却水路四个部分。阀体包含有 12 个功率阀,每 4 个功率阀就会组成一层。而阀塔的整体结构是多个复合绝缘子串联形成的支撑结构,每一根绝缘子的相对介电常数为 3.5,电导率是 $10\sim 12\text{m/s}$ 。屏蔽系统包括有屏蔽环和罩,都是针对电厂屏蔽发挥作用。阀模块冷却水路设定在阀底,阀模块冷却水通过每一层进行分流,流向各个模块,在经过热量交换之后集中在各层之中,并通过冷却水路从底部排出。因为换流阀与整个系统的稳定与安全直接挂钩,在使用之前还需要做好测验与测试参数的工作,确认运行状态下其运行指标符合要求。

3.2 串联支撑绝缘子电压分配问题

在建立了 $\pm 800\text{kV}$ 换流阀的三维模型后,因为其具有较好的对称性,所以只需要四等分模型,分析其中一块即可。在进行仿真实验时,要预留一定的空气空间,施加 0 电位,并且在该空间内以阀塔为参照物,其后方和右侧的两个对称面设置第二类齐次边界条件。根据相关理论,阀层和屏蔽罩之间的层级对于电容的影响不大,并不影响电位的分布,所以只需要考虑上下两层绝缘子的电压影响即可,并利用这一点去简化模型。在直流耐压试验中,将屏蔽系统和上下两层模块进行短接,阀层和屏蔽系统施加高电位,记录为 A 导体。同时将串联

绝缘子连接法兰的整体记录为 B 导体(B 导体电位未知)。将底座施加 0V,并记录为 C 导体。因为换流阀在直流耐压实验中的要求使每一根绝缘子只能承受所施加电压的 1/3~2/3,而通过计算可以得到其分配效果并不能满足上述条件,且 B 导体与 A 导体、B 导体和地两者存在的寄生电容不相同是导致分配效果不满足条件的直接原因,也就导致了分配不均匀的情况。

4 串联支撑绝缘子的电压分配计算

4.1 电准静态场数值计算

水路传导电流比位移电流密度大,换流阀冷却水管结构的蛇形主管部分,水路温度和流速变化不大,电导率波动小,所以电位呈均匀分布,这会影响到寄生电容的分压情况^[9]。所以,在本优化设计实验中,选用水路钳制的方式,从水管层面来增加连接法兰,达到分配均匀的目的。因为水管顶部是与阀端相连接的,作为高电位点钳制点,而为了能够方便工程,加强安全性,还需要增加串联绝缘子连接法兰与平齐位置的水管钳制点。忽略其感应电场,以电准静态场为背景,利用软件来得到相应的电场模型后再进行计算。

4.2 电路计算方法

其实从整体来看,电准静态场不过是一个有电阻和电容的简单电路,将每一条水路进行等效处理,标记为 R ,与电源并联可以得到钳制前后的电路简化图。以水路的钳制点位来进行分段,并分别标记分段后的电阻为 R_1 和 R_2 ,并分别与电容进行并联,可以有效地改善电压分布不均匀的问题。在计算静电能量获得寄生电容矩阵之后则需要利用不同的计算方式来得到连接法兰平齐位置在经过钳制工作后的电压分配情况。

4.3 电压分配优化计算

因为绝缘子的分压情况没有达到标准范围,而在经过上述的计算思路和计算过程后,可以发现对于分配均匀的优化主要在于水路钳制点位置的适合性,问题也就简化成了寻找更加适合的钳制点。将 R_1 、 R_2 、水管基本参数、水电导率进行组合计算,因为蛇形水管的特点,可以忽略绝缘子的等效电阻,通过绘制交流耐压试验和直流耐压试验的钳制点位置变化下的分压结果曲线,找到钳制点的合适范围。并且保持模型整体不变,对钳制数量、钳制点位置两项自变量进行分别的优化实验,结合相应的公式和取值范围,可以有效地绘制出相应的电压分配变化曲线,确定好钳制点的取点范围,这样不仅可以有效地提高分压均匀性和工作效率,还能够减小投入成本。

5 串联支撑绝缘子电压均衡设计思路

5.1 简化模型

因为在实际的工程中,施工条件可能还未达到设计要求,无法对所有的水路进行钳制,并且在钳制之后的阀塔也无法保证其对称性。为了能够在一定的精度下进行计算,在计算过程中还是使用金具简化原则。在设定换流阀模型后还需要建立一定空间的空气,阀厅周边为第一边界条件,和底座金具一起来施加 0 电位,而阀模块和上层屏蔽系统要施加高电位。利用阀层来分级,每一级提取出相应的电容,并将底层阀段和阀第均压环作为 A 导体。串联绝缘子连接法兰作为 B 导体。底座与地作为 C 导体。在文章所使用的软件程序中,利用精准的计算逻辑得到寄生电容矩阵。

5.2 结构设计

在阀塔比较稳定时,可以去减少支撑绝缘子的数量来达到分压均衡的目的,同时其如果能够满足耐压要求,也可以相应地减少单根绝缘子的长度,从而节省换流阀的投入成本。所以文章在原有阀塔模型上,减少串联支撑绝缘子,同时另取一个模型减小绝缘子的高度,在两者寄生电容的对比下,进行水路钳制数量为 4 的情况下钳制点的取值计算,可以得到在两者结合的情况下分压在条件范围内,所以具有可行性。也就是说,通过水路钳制的方式能够使得柔性直流换流阀串联支撑绝缘子电压分配均匀,并且钳制的水路数量越多其效果越好。顶端钳制点下移的过程中,在一定的稳定性要求下如果能够减小绝缘子的数量以及高度,那么将能够有效地促进钳制工作,有利于减小投入成本。

6 结语

综上所述,在对柔性直流换流阀串联支撑绝缘子电压分配不均匀问题的研究中,找出了引起电压分配不均匀的原因,并且根据相应的计算模型提出可以利用水路钳制方式来保持电压分布均衡,减小寄生电容对电压分布影响的方法。为了保证水路钳制方式的效率,还可以通过减小绝缘子的数量和绝缘子的高度来进行,这样不仅提高了工程效率,还能够减小工程投入成本。

参考文献

- [1]李静怡,沈弘,刘珂鑫,等.柔性直流换流阀串联支撑绝缘子电压分配均衡方法[J].电工技术学报,2018,33(21):5128-5135.
- [2]谢瑞,周兴扬,徐建建,等.柔性直流输电系统换流阀选型研究[J].华东电力,2014,42(12):2511-2515.