

「开关设备」

550 kV高压套管绝缘结构优化设计

文/特变电工（沈阳）高压开关研究所 高 辉 高国宪 孟维东 常 越

500 kV等级电网是我国的骨干网架，550 kV高压开关设备是保证其安全可靠运行的关键设备。550 kV高压套管是550 kV GIS或T-GCB的重要组成部分，优化设计550 kV高压套管，提高其运行可靠性对于保证电力系统的安全可靠运行具有重要意义。国内550 kV高压套管的成熟内屏蔽结构为双屏蔽结构；采用有限元电场分析计算方法优化设计550 kV高压套管的绝缘结构，优化其双屏蔽结构为单屏蔽结构，屏蔽罩端部采用多圆弧过渡；优化顶部多环均压结构为一个较大R的单环结构；在减少其零部件、降低成本的同时提高了运行可靠性。优化后的550 kV高压套管顺利通过了整套绝缘型式试验。

电力工业是一个国家经济发展的命脉。随着我国经济建设的蓬勃发展，对电网建设也提出了更高的要求。500 kV超高压电网是我国电网的重要网架，550 kV GIS或T-GCB是保证500 kV电网安全可靠运行的关键设备。

550 kV 高压套管（BG）是550 kV GIS或T-GCB等高压开关设备的重要组成部分，其主要功能是将高电压、大电流引入或引出，需要具备一定的绝缘耐受能力和载流能力。目前国内550 kV SF₆/AIR高压套管的内屏蔽结构多数为双屏蔽，结构较为复杂，成本也较高。本文应用有限元分析计算方法对如图1所示的550 kV套管的绝缘结构进行了优化设计，优化其内部双屏蔽结构为单屏蔽结构，屏蔽罩端部采用多圆弧过渡；优化顶部多环均压结构为一个较大R的单环结构。优化后的550 kV套管在0.4 MPa SF₆最低功能压力下顺利通过了整套绝缘型式试验，其成本较原结构降低约15%。



图1 550 kV BG结构外形图

550 kV套管绝缘结构及绝缘水平要求

550 kV高压套管典型的绝缘结构如图2所示。

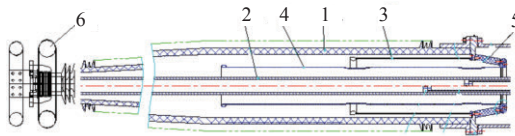


图2 550 kV BG典型绝缘结构

1—套管 2—导体 3—接地屏蔽罩
4—中间电位屏蔽罩 5—绝缘筒 6—上均压环

该550 kV套管内部具有双层屏蔽结构，即接地屏蔽罩和中间电位屏蔽罩，中间电位屏蔽罩通过一个绝缘筒固定在过渡法兰上；上均压结构采用多环结构。

根据GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》，550 kV高压套管需要满足的绝缘耐受水平等主要技术参数如表1所示。

表1 550 kV 高压套管主要技术参数

额定电压/kV	550
额定电流/A	4 000、5 000、6 300
额定频率/Hz	50
额定雷电冲击耐受电压/kV	1 675
额定操作冲击耐受电压/kV	1 300
额定短时工频耐受电压/kV	7 40

数学模型

绝缘结构的优化设计基于电场分布的计算分析。目前,复杂绝缘结构电场分布的计算主要采用有限元数值分析计算方法。

对于550 kV及以下电压等级SF₆气体绝缘的高电压设备,其雷电冲击耐受电压与工频耐受电压(峰值)之比大于1.5,因此,其绝缘性能主要取决于雷电冲击耐受电压下的电场分布。

550 kV高压套管在结构上属于典型的轴对称结构,将其轴截面的一半作为分析对象,与该电场问题分析对应的数学模型如下

$$\begin{cases} \nabla(\varepsilon_r \varepsilon_0 \nabla u) = 0 \\ \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{\partial u}{\partial n} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, u 为电势; ε_0 为真空介电常数; ε_r 为材料相对介电常数。

场域中各点的电场强度

$$E = -\nabla u \quad (2)$$

式中, E 为电场强度。

550 kV 套管绝缘结构优化

高压套管的绝缘性能涉及到套管内部的SF₆放电和套管外部的AIR放电,主要取决于其内部屏蔽结构及顶部均压环的良好设计。

结合表1,550 kV高压套管需要满足的绝缘水平,基于图2,550 kV高压套管典型绝缘结构,采用有限元电场分析计算方法对其内部屏蔽结构及均压环结构进行优化设计。

1. 优化前后电场分布对比

550 kV高压套管优化前和优化后的电位等值云图分布分别如图3和图4所示;套管顶部均压环处的电位等值云图对比如图5所示。优化前后关键部位电场强度最大值对比如表2所示。

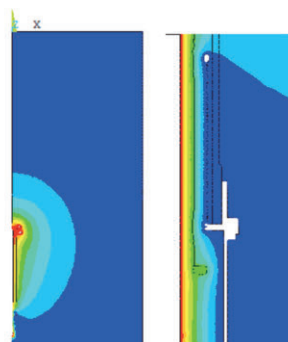


图3 优化前电位等值云图分布

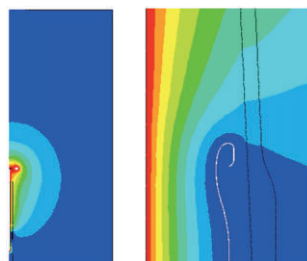
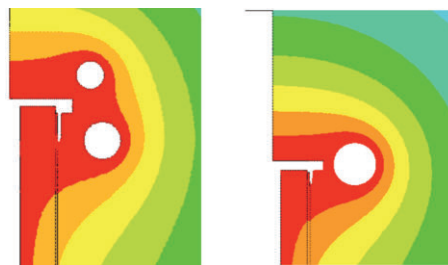


图4 优化后电位等值云图分布



(a) 优化前 (b) 优化后
图5 优化前后均压环处电位等值云图对比

表2 550 kV套管电场强度最大值(单位:kV/mm)

部位	优化前	优化后
导体	22.7	23.8
屏蔽罩	19.5	16.9
上均压环	5.49	4.44

(2) 结果分析

550 kV 高压套管额定SF₆充气压力为0.5 MPa,最低功能SF₆充气压力为0.4 MPa。在雷电冲击耐受电压作用下,0.5 MPa SF₆气体、0.4 MPa SF₆气体及AIR的许用场强如表3所示。

表3 SF₆、AIR许用场强

气体种类	许用场强/(kV/mm)
SF ₆ /MPa	0.5 24
	0.4 29
AIR	5.0

对比表2和表3,550 kV高压套管优化后的绝缘结构能够满足其绝缘水平相关要求。

(3) 距地面1.5 m高度处电场分布

330 kV及以上变电站附近的工频电场、工频磁场以及因电晕放电而产生的高频电磁场对周围生态环境的影响越来越受到人们的关注。为保证套管附近的电磁环境不影响其周围生态环境,相关标准中要求套管在额定运行相电压下距地面1.5 m高度处的电场强度不大于10 kV/m。

优化后的550 kV高压套管距地面1.5 m处的电

(下转第74页)

进行生产过程中要选好爬电比距保证系统运行的可靠性。相关标准规定,开关柜中各个绝缘元件的绝缘爬电比距不小于18 mm/kV,有机绝缘的爬电比距应不小于20 mm/kV。

2. 提高开关柜的安装调试水平

10 kV开关柜的运行状况很大程度上取决于安装调试水平。当开关柜的绝缘间隙不符合放电要求、开关手车使用不灵活或者是传动机构有卡涩现象时要及时地联系生产厂家进行相关的处理;当导电回路电流在设计标准下出现发热现象时,可以通过紧固设备连接点、改进接触结构的方式进行解决。在进行相关的调试工作时,操作人员要按照相关的规范进行开关柜的调试和安装工作,从而尽量避免在安装调试过程中导致的故障。因此,在保证开关柜质量的前提下也要提高其安装调试水平。在日常工作过程中,要加强相关安装调试人员的培训工作,定期对调试人员进行考查。只有通过考查测验的调试人员才能进行相关的安装调试工作。

3. 加强对开关柜的运行巡检工作

对于无人值守的变电站,要定期安排相关的工作人员对开关柜的工作状况进行检查,认真做好相应的巡检工作从而及时掌握开关柜的工作状况。工作人员在巡检过程中要认真检查,因为有时一个很小的放电现象都有可能发展为绝缘故障。另外在巡检过程中,一般还要使用红外线测

温仪等相关设备对开关柜的导电回路进行测温操作。当巡视人员发现异常的温升现象时,应当及时向上级部门报告并且转移负荷,避免出现发热故障。从而提高设备过热故障的巡视水平。例如当巡视人员发现主变压器回路存在异常的温升现象时,应当及时向上级部门报告并且转移负荷,避免出现发热故障。

4. 改善开关柜的运行环境

开关柜的绝缘放电、污闪等故障很大程度上由其工作环境恶劣造成的。所以要努力根据环境变化改善开关柜的运行环境,比如在夏季负荷高峰期时,设备的环境温度高,负荷大发热多,要做好通风散热工作防止设备过热,另外要安装除湿设备和空调防止开关柜内的湿度过高;在进行停电检修时相关工作人员要做好开关柜的清扫工防止污闪的出现。

结束语

10 kV开关柜的运行状况对电力系统能否安全可靠的运行具有重要的意义。开关柜故障不仅会加大电网的运行成本,而且会威胁到相关工作人员生命安全。对10 kV开关柜的常见故障进行了分析,同时提出了相关的预防措施以防止开关柜故障发生,从而提高配网运行的安全性和可靠性。EA

(收稿日期:2014.09.05)

(编辑:刘群彦)

(上接第71页)

场强度分布如图6所示。其最大场强为6 kV/m,满足相关要求。

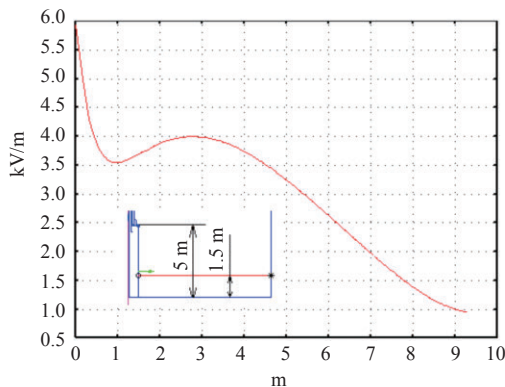


图6 额定运行电压下距地面1.5 m电场强度

550 kV高压套管型式试验验证

优化后的新型550 kV 高压套管在国家高压电

器质量监督检验中心(西安)进行了工频耐受电压、操作冲击耐受电压、雷电冲击耐受电压、无线电干扰等整套绝缘型式试验,顺利通过试验。

结束语

1) 通过电场分析,优化国内成熟的550 kV高压套管双屏蔽结构套管为单屏蔽结构。优化后的结构减少了中间电位屏蔽罩和固定用的相关绝缘件,减少了安装中间电位屏蔽罩的环节,在减少零部件数量的同时提高了其运行可靠性。

2) 优化后的550 kV高压套管在0.4 MPa SF₆最低功能压力下顺利通过了整套绝缘型式试验,满足相关标准的绝缘水平要求。

3) 优化后的550 kV高压套管总成本下降约15%。EA

(收稿日期:2014.09.05)

(编辑:刘群彦)