

[开关设备]

GIS用接地开关的对地绝缘分析与试验研究

文/西安西电开关电气有限公司 杨伟刚

对于GIS设备中一个元件内部绝缘裕度的提高，必须对其结构进行详细了解，主要包括设备绝缘配合、要求耐压值、触头及导体的配合关系等。在结构了解的情况下，通过对其绝缘结构的研究计算分析，制订相应满足绝缘要求的措施方案，同时在满足绝缘要求和机械性能的前提下通过试验验证，以实现绝缘水平的提高。

随着GIS产品在电网系统和其他特种行业中的广泛使用，GIS与终端元件的组合连接方式也越来越多，尤其GIS设备与变压器之间采用架空线或油气套管的连接方式比较常见；然而GIS现场安装后需要做多项现场交接试验和设备调试，对于架空线的连接方式，可以直接通过变压器套管对变压器做各类试验；而对于油气套管的连接方式，则需要从GIS设备进出线间隔的套管加压，这样势必需要对运行的GIS设备部分停电，甚至全站停电。然而往往对于变压器的一些预防性试验，通常试验电压在20 kV以下；考虑到现场试验便捷性，常常要求将变压器侧最近的一组接地开关外跨接地线拆除，通过此接地开关合闸对变压器来加测试电压，从而减少变电站的停电范围。

结合工程对接地开关的特殊要求，对现有接地开关进行结构分析，通过部分结构改进和试验验证来满足接地开关特殊工况下耐压20 kV的对地

绝缘要求。

问题的引出

某变电站220 kV GIS工程项目就采用终端元件油气套管的连接方式，由于变压器与GIS母线设备距离超过200 m，GIS母线侧分支与变压器侧分支采用电缆连接，再通过油气套管与变压器连接，具体形态图如图1所示。

现场需要通过变压器侧GIS设备上的接地开关ES5加压对变压器进行预防性试验如图2所示，首先，断开断路器CB1，断开断路器两侧隔离开关DS1、DS2、DS3，合上接地开关ES1、ES2、ES3，此时变压器与母线完全脱离；断开辅助变侧隔离开关DS4，合上接地开关ES4、ES5后，断开接地开关ES5与外壳之间的接地线，此时接地开关ES5的外壳与主回路导体处于导通状态，这样就可以通过接地开关对变压器施加试验电压。

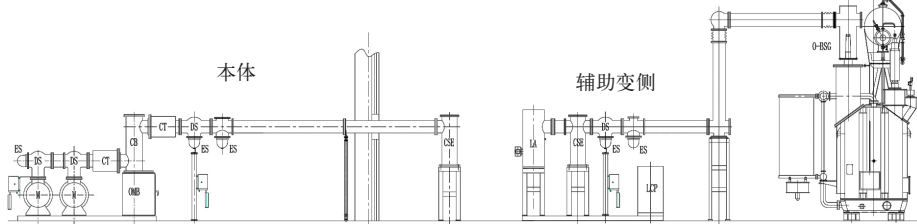


图1 进出线油气套管间隔形态图

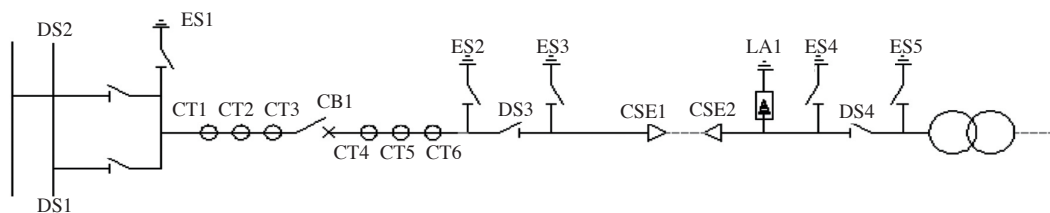


图2 变压器间隔主接线图

由于GIS的外壳正常状态下是可靠接地的，当脱开接地开关外跨接地线后通过接地开关合闸实现外壳与主回路导通且对地绝缘，此时就可以进行主回路电阻、CT变比参数、CB机械特性、变压器等测试工作。接下来利用接地开关这一特性开展耐压20 kV对地绝缘的研究。

接地开关绝缘结构分析

现有接地开关结构中的绝缘件主要包括绝缘法兰和绝缘套，如图3所示。绝缘法兰位于接地开关外壳与分支母线外壳金属过渡法兰之间；绝缘套位于接地开关绝缘法兰与分支母线外壳过渡法兰螺栓连接处，与绝缘法兰配合保证接地开关外壳和分支母线外壳可靠绝缘。以下就从内绝缘、外绝缘两方面分析接地开关的绝缘配合。

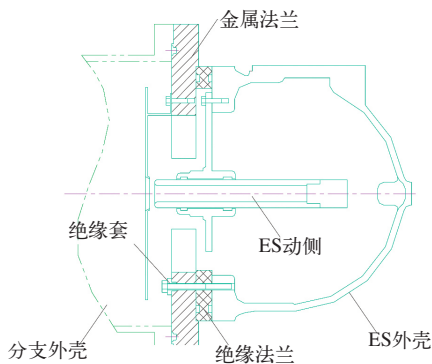


图3 接地开关结构图

1. 内绝缘

当接地开关脱开外跨接地线从外壳加压时，接地开关外壳、接地开关动侧和螺栓处于高电位，金属法兰、分支母线外壳处于低电位。内绝缘主要包括绝缘套、绝缘法兰的击穿电压和SF₆侧沿面闪络电压。

采用直角坐标进行建模，ES壳体、ES动侧和螺栓为高电位20 kV，法兰、DS壳体和屏蔽为低电位0 V。计算结果表明：绝缘套沿面的E_{max}达到 1.256×10^8 V/m，远超过了常规值 1.2×10^7 V/m，

如图4所示。

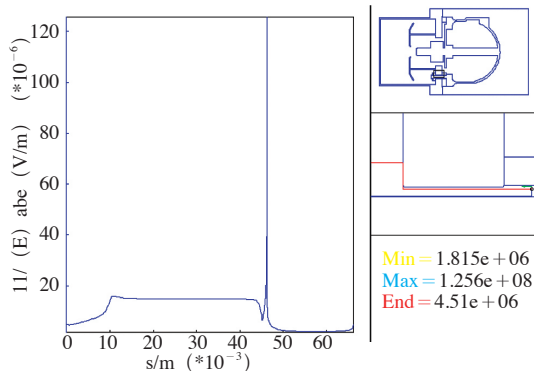


图4 计算结果

根据计算结果及绝缘套的外形结构判断，绝缘套根部位于场强最高的区域，属于耐压考核的关键。所以将金属法兰上绝缘套的安装孔倒圆或倒角，可使绝缘套沿面的E_{max}降低很多。绝缘法兰材质为环氧树脂，接地开关内部充有一定压力的SF₆气体，根据绝缘法兰的设计，理论上能耐受20 kV电压要求，不应发生击穿或闪络现象，因此内绝缘主要考核绝缘套的耐压能力。

2. 外绝缘

接地开关外壳与金属法兰外表面通过绝缘法兰连接，绝缘法兰外表面暴露在空气中，可能发生沿面闪络，因此绝缘法兰的厚度和外表面洁净等级是接地开关外绝缘能否满足20 kV耐压要求的因素。

结合上述分析，要满足接地开关20 kV耐压参数，必须同时满足接地开关内、外绝缘要求，主要是考核绝缘套和绝缘法兰外表面的耐压能力。

绝缘结构改进及试验

考虑到实际应用工况的复杂性，例如绝缘件受潮或表面有缺陷等，都有可能引起放电。根据对绝缘套结构的分析，增加绝缘套厚度，并将金属法兰上绝缘套的安装孔直径增大与之对应，同时对金属法兰与绝缘套对应的开孔部位进行倒圆，优化绝缘套与金属法兰棱边对应部分的电

场。如图5所示。

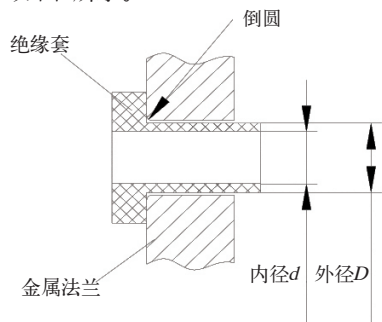


图5 绝缘套与金属法兰配合图

将改进后的绝缘套装配,对接地开关进行耐压试验,验证其耐压参数。

试验形态:选用现有结构接地开关配合隔离开关装配,内充0.4 MPa SF₆气体,脱开接地开关外壳与隔离开关外壳间的接地线,隔离开关外壳可靠接地,从接地开关外壳加压,直至接地开关内部击穿或绝缘法兰外表面发生闪络。

试验情况:升压至16 kV时绝缘法兰外表面发生局部闪络,继续升压至18 kV时绝缘法兰外表面出现大范围闪络,由于闪络情况较严重,试验停止。

试验分析:检查绝缘法兰外表面,没有明显的放电痕迹,仅出现沿面闪络。解体后检查绝缘套,外观保持良好,无任何放电痕迹。

虽然理论上绝缘法兰的厚度能够满足20 kV耐压要求,但在实际试验中出现了较为严重的沿面闪络现象,排除导致绝缘法兰外表面绝缘下降的外在不可控因素,如绝缘件材质的突变,内外表面光洁度、洁净度和客观环境等,从绝缘件本身结构上分析原因来改进。

根据试验数据,推算绝缘法兰外表面能够承受20 kV耐压要求需要的厚度。原绝缘法兰的厚度为 m ,绝缘法兰与金属法兰连接处存在高度为 n 的凸台,因此金属法兰与接地开关外壳间最短的距离为 $h = m - n$,即绝缘法兰的有效厚度,如图6所示。试验中绝缘法兰外表面在16 kV时发生局部闪络,可推算出绝缘法兰的爬电比距 $h/16$,也就得出满足20 kV耐压要求时的有效厚度约为 $H = 20 h/16$,即绝缘法兰的绝对厚度需要大于 $H + n$ 。考虑到现场条件污秽程度较严重,对有效厚度进行1.1倍修正,得出最终选用的绝缘法兰厚度。

用改进后的绝缘套和绝缘法兰重新装配接地开关进行试验,试验形态不变,升压至20 kV后保持1 min,无任何闪络现象。解体后观察绝缘法兰

和绝缘套,无任何放电痕迹,表明改进后的绝缘结构能够满足20 kV耐压要求。

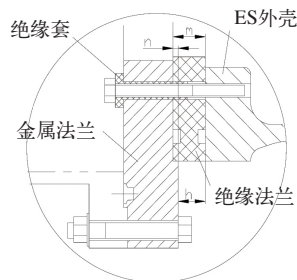


图6 绝缘法兰与金属法兰配合图

后续工作

通过对绝缘套和绝缘法兰的改进,使得接地开关绝缘配合能够满足20 kV耐压要求,但绝缘件改进后尺寸变化影响与其他零件的配合关系,所以要在满足电气性能的同时还需满足接地开关本身的机械性能,后续工作还要考虑以下几点。

1. 零部件之间的配合

绝缘套壁厚加厚,与之配合的金属法兰开孔直径需相应增加;绝缘法兰加厚一定尺寸,金属法兰、绝缘法兰与接地开关外壳之间的连接螺栓长度需要重新计算,保证螺栓旋入深度满足紧固要求。

2. 机械性能

绝缘法兰厚度增加一定尺寸,接地开关开距也相应增加该尺寸,为了保证接地开关的机械性能满足要求,对接地开关动触头长度必须增加相同尺寸,保证开距和原结构一致,并进行机械性能试验验证其机械性能满足要求。

3. 户外环境试验要求

上述理论计算分析虽对绝缘法兰进行了绝缘裕度修正,但现场试验时还必须对长期外露的绝缘法兰外缘及其周围进行清理擦拭干净并干燥处理,确保试验顺利进行。

结束语

通过对接地开关绝缘配合的改进,在保证其自身电气和机械性能的前提下,满足现场试验对接地开关20 kV耐压参数的要求,大大简化电站现场部分工作量。伴随GIS设备越来越多的使用,用户及GIS制造厂商可以充分挖掘更多类似改进的可能性,使GIS设备在现场发挥更大的作用。然而对于GIS设备进行改进时,要充分分析元器件的电气、机械结构,通过理论计算和试验验证来保证设备安全可靠。EA

(收稿日期:2016.10.10)

(编辑:刘群点)