

「断路器」

新型550 kV断路器的研制开发

文/新东北电气集团高压开关有限公司 李 或 魏俊梅
机械工业高压电器产品质量检测中心 魏长宇

介绍了新东北电气自主研制开发的新型550 kV 6 300 A SF₆断路器在通流结构上的独特特点，对其不同工况下的绝缘性能进行了数值仿真，计算结果表明其绝缘性能安全可靠。

500 kV超高压电网是我国的主干网架，550 kV GIS是保证其安全运行的重要设备。目前国内外生产550 kV GIS的厂家虽有很多，但额定电流大多数局限在4 000 A或5 000 A，难以满足1 000 kV特高压电站外送500 kV输电线路6 300 A的要求；而且，两条500 kV 6 300 A输电线路的输送能力强于三条500 kV 4 000 A的输电线路，而所需输电走廊及线路损耗却大为降低。

550 kV SF₆断路器是550 kV SF₆ GIS中的重要元件，其主要功能是用来开断、关合高压线路中各种空载电流、负荷电流及严重的短路故障电流。

本文详细介绍了新东北电气集团自主研制开发的新型550 kV 6 300 A GIS用断路器在通流结构上的独特特点；应用有限元分析计算方法对其绝缘性能进行了数值仿真，计算结果表明其绝缘性能安全可靠。

550 kV GIS用断路器结构及参数

550 kV 6 300 A GIS用断路器为分相式结构，其结构外形如图1所示。

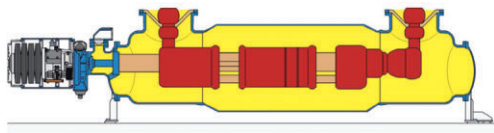


图1 550 kV 6 300 A断路器

550 kV 6 300 A断路器设计结构具有以下特点：

- 1) 断路器为双断口结构，每个断口设置有均压电容。灭弧室采用经典的压气式双向吹拂灭弧原理。
- 2) 可以配置合闸电阻。
- 3) 绝缘水平高，断路器断口耐受电压可以达到（1 675 + 450）kV。

4) 开断能力强，T100a在基于系统时间常数 $\tau = 120$ ms时，直流分量可高达81.3%。

5) 铝合金外壳设计，涡流损耗小；重量轻，对基础的载荷小，吊装运输方便。

6) 配液弹簧操动机构，体积小、效率高、可靠性高、无任何外漏管路，减小了外漏油可能性。

7) 机械寿命10 000次，满容量开断20次，在容性电流开合过程中具有非常低的重击穿概率。

8) 断路器近地布置，重心低，抗震能力强；且易于安装、操作及维护。

550 kV 6 300 A GIS用断路器的主要技术参数如表1所示。

表1 550 kV 6 300 A 断路器主要技术参数

额定电压/kV	550
额定电流/A	6 300
额定频率/Hz	50
额定短路开断电流/kA	63
额定峰值耐受电流/kA	171
额定雷电冲击耐受电压/kV	对地 1 675
	断口 1 675 + 450
额定操作冲击耐受电压/kV	对地 1 300
	断口 1 175 + 450
额定短时工频耐受电压/kV	对地 740
	断口 740 + 318

550 kV 6 300 A断路器通流结构特点

由图1可知，为实现550 kV 断路器额定电流6 300 A，该断路器在通流结构上进行了如下设计：

- 1) 罐体中间采用较大尺寸，增强了SF₆气体对罐体及罐体对外界的散热能力。
- 2) 主回路关键导体采用铝铜结合高导电率新型材料。
- 3) 主回路采用并联通流方式，为导电回路瓶

颈处分流,减小回路电阻,改善其发热条件。

其中第3条设计至关重要,其示意图如图2所示,即在导体1和导体2通流支路(绿色所示)的基础上增加了一条导体1和导体3的通流支路(红色所示),连接部分可以采用经典的自力型触头、梅花触头、表带触指或螺旋圈弹簧。

目前该断路器通流结构已在中国申请专利。

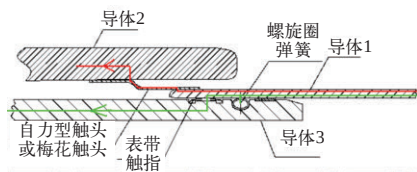


图2 550 kV 6 300 A GIS用断路器结构图

550 kV 6 300 A断路器绝缘性能仿真

断路器的绝缘性能是其基本性能。为提高550 kV断路器的绝缘性能,在研发阶段对其电场分布进行了优化设计。

1. 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仿真主要采用有限元数值分析计算方法。

对于550 kV电压等级及以下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。本文考虑了三种较苛刻的工况,分别为合闸位置雷电冲击、静侧雷电冲击叠加动侧工频反向峰值、动侧雷电冲击叠加静侧工频反向峰值三种工况。

550 kV 6 300 A断路器合闸位置电场数值仿真对应的数学模型为

$$\begin{cases} \nabla(\epsilon_r \epsilon_0 \nabla u) = 0 \\ u_1 = 1675 \\ u_2 = 0 \\ \epsilon_r \epsilon_0 \frac{\partial u}{\partial n} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

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。

2. 计算结果

三种工况下的电场强度最大值如表2所示。

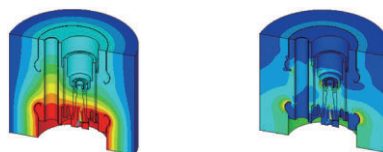
对应工况2(分闸位置,静侧1 675 kV,动侧-450 kV,罐体0),一个断口的电位等值云图

表2 550 kV 6 300 A断路器

电场强度最大值 $E_{\max}$ (单位:kV/mm)

工况	$E_{\max}$	备注
工况1	18.5	合闸位置1 675 kV
工况2	25.3	分闸位置,静侧1 675 kV,动侧-450 kV,罐体0
工况3	27.4	分闸位置,动侧1 675 kV,静侧-450 kV,罐体0

分布和电场强度等值云图分布如图3所示。



(a) 电位等值云图 (b) 电场强度等值云图

图3 550 kV断路器电场分布

3. 结果分析及校核

550 kV 6 300 A GIS用断路器额定SF₆充气压力为0.6 MPa,最低功能SF₆充气压力为0.5 MPa。在雷电冲击耐受电压作用下,0.6 MPa SF₆气体、0.5 MPa SF₆气体的许用场强如表3所示。

表3 SF₆许用场强(单位:kV/mm)

气体压力/MPa	许用场强
0.6	35
0.5	29

对比表2和表3,新型550 kV 6 300 A GIS用断路器三种工况下的绝缘性能均满足其绝缘水平相关要求,且具有较大的安全裕度。

550 kV 6 300 A 断路器型式试验验证

新东北电气自主研发开发的新型550 kV 6 300 A断路器在机械工业高压电器产品质量检测中心按照相关标准顺利通过了温升试验(试验电流6 930 A)和整套绝缘型式试验验证。整个试验过程有国网专家现场见证。

结束语

新东北电气新型550 kV 6 300 A断路器的成功研制,为进一步研制550 kV 6 300 A GIS提供了可能,为未来1 000 kV电站外送500 kV输电线路容量的提升提供了可能,也为减少输电走廊、降低线路损耗创造了条件;同时也大大提高了新东北电气在550 kV电力系统中的竞争力。EA

(收稿日期:2015.01.13)

[编辑:白文亭]