「开关设备」

真空灭弧室的几种主屏蔽罩电场仿真分析

文/天津平高智能电气有限公司　舒小平　张　敏

介绍了在电力系统一个重要元件——真空灭弧室的主屏蔽罩结构设计。随着真空灭弧室产品向小型化和低成本发展，主屏蔽罩的结构也发生相应变化。

真空灭弧室作为真空断路器的核心元件，其质量性能好坏直接决定了真空断路器的使用性能表现。市场上，真空灭弧室典型结构组成如图1所示。

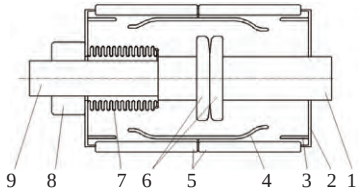

图1　真空灭弧室典型结构图

1—静端　2—盖板　3—端屏蔽罩　4—主屏蔽罩
5—套外壳　6—触头　7—波纹管　8—导向套　9—动端

主屏蔽罩作为真空灭弧室的关键零件之一，主要作用是当触头之间产生电弧时有大量金属蒸气和液滴向真空灭弧室四周喷溅，这些电弧生成物如果沉积在真空灭弧室的内表面，将使真空灭弧室的绝缘强度降低，为了防止这一点，主屏蔽罩要挡住电弧生成物的去路，防止绝缘外壳被电弧生成物所污染。随着封极柱和环网柜等技术发展需要，真空灭弧室的外形结构也进行相应的小型化设计调整。主屏蔽罩的固定方式选择直接影响了真空灭弧室外形尺寸大小和内部电场分布。

固定方式

目前，中压领域的真空灭弧室结构设计已经十分成熟，主屏蔽罩的固定方式主要有下面5种。

图2主屏蔽罩通过中封环固定在两节瓷壳中间，这种结构及装配工艺成熟简单。因为有中间悬浮电位，内部电场分布非常均匀。但由于主屏蔽罩通过一个中封环固定在瓷壳中间，导致真空灭弧室直径尺寸相对较大2～4 mm。

图3主屏蔽罩外置安装在两节瓷壳中间，这样有利于电流开断时热量散发。这种结构也有中间悬浮电位、电场分布均匀。因主屏蔽罩直接外漏，在成形固封时，主屏蔽罩如果是铜材则容易受注射压力而产生向内变形。实际生产中为了避免发生变形，往往将主屏蔽罩的厚度由2 mm增加至3 mm或者用不锈钢替代铜材。前者因厚度增加，将会直接增加拉深加工和材料的成本。后者则因为不锈钢和金属化瓷壳直接焊接，局部的焊接应力偏大，增加了产品漏气的风险。

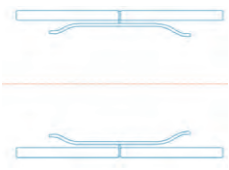

图2　中封环固定主屏蔽罩

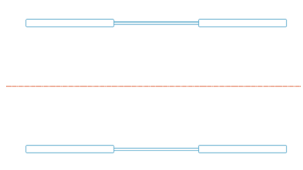

图3　主屏蔽罩中间外置

图4主屏蔽罩通过瓷壳内自带的台阶固定，这种结构瓷壳成本相应增加，而且固定工艺需在超净间完成，工序比较烦琐。因为只有一节瓷壳，产品高度和直径尺寸均可以适度变小。但台阶固定主屏蔽罩处，因为彼此不是完全平面贴合，绝大部分情况下是点面接触和线面接触，两者之间存在真空小间隙。显然，真空间隙的介电常数ε_0（8.854 187 817×10^{-2}F/m）远远小于陶瓷的相对介电常数ε。最终导致主屏蔽罩和陶瓷外壳接触处

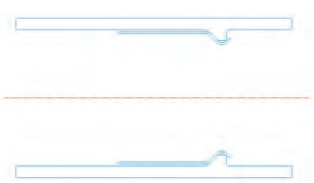

图4　瓷壳台阶固定主屏蔽罩

场强极高，容易发生击穿。

图5和图6都是主屏蔽罩固定在瓷壳一端，区别是前者主屏蔽罩固定在静盖板上，后者则直接将主屏蔽罩外漏一端。这两种结构均没有悬浮电位，主屏蔽罩和静端等电位，内部电场分布相对不均匀。近年，真空断路器的极柱绝缘从开始的空气绝缘到现在的固封绝缘，对真空灭弧室提出了安装高度需变小的要求。同时，真空灭弧室厂家考虑生产成本，也希望陶瓷外壳的使用高度相应减小。所以，市场上这种主屏蔽罩安装在静端的真空灭弧室将会越来越常见。但因为主屏蔽罩偏离静端，导致灭弧室端口也偏离一端，所以动静触头对中相对较差。

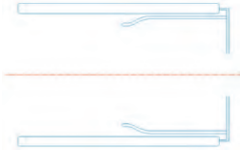

图5　静盖板固定

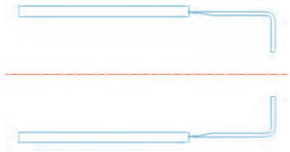

图6　静端外置

电场分布计算

针对上面几种结构，建立了实际可行的产品模型，进行电场仿真计算。电场计算中涉及到的材料参数如下表所示。触头拉至额定开距8 mm（额定电压12 kV），静端加载雷电冲击电压85 kV，动端加0电位，计算结果如图7～图11。

表　计算中使用的材料参数

材料名称	相对介电常数
空气	1.000 585
真空	1
铜	1e10
不锈钢	1e10
尼龙66	3.6
陶瓷	8.5

从图7和图8中可以看出，中封环固定主屏蔽罩和主屏蔽罩中间外置这两种结构，内部电场分布均匀，最大值出现在触头之间，分别为13.19 kV/mm和18.689 kV/mm。

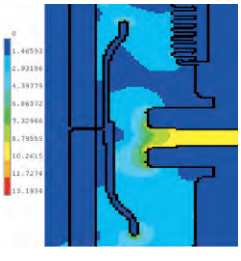

图7　中封环固定主屏蔽罩电场分布

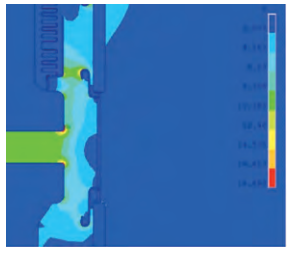

图8　主屏蔽罩中间外置电场分布

图9为瓷壳台阶固定主屏蔽罩结构电场分布，电场最大值在触头间，大小18.89 kV/mm。但瓷壳台阶和主屏蔽罩接触局部电场强度也达到14.695 kV/mm，这样容易导致此处瓷壳有绝缘损坏的隐患。

图9　瓷壳台阶固定主屏蔽罩电场分布

图10和图11中为两种无中间悬浮电位主屏蔽罩的固定结构的电场分布，内部电场最大值分别为20.0 kV/mm和26.338 kV/mm。最大值相对于前面三种结构明显偏大，而且图11中场强最大值出现在主屏蔽罩和瓷壳的连接处，产品存在击穿真空绝缘损坏的隐患。

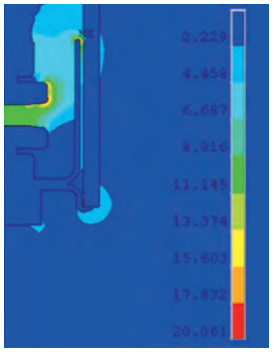

图10　静盖板固定主屏蔽罩电场分布

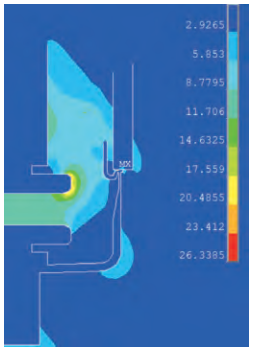

图11　主屏蔽罩静端外置电场分布

电场仿真计算的结果不能作为产品设计时的唯一参考，计算模型也和实际结构不完全相同。

结束语

通过上述电场计算可以得出，主屏蔽罩通过中封环固定和主屏蔽罩中间外置两种结构内部电场分布均匀，产品质量可靠性高，唯一缺点是外形尺寸偏大。后面三种结构，产品外形偏小，成本低，但产品可靠性会降低很多。当今，小型化是真空灭弧室发展趋势之一。既保持产品小型化和低成本，又使真空灭弧室具有高可靠性，是今后仍需努力的方向。EA　（收稿日期：2014.11.17）