# 变电站开关柜绝缘改造典型设计

沙　骏

（盐城供电公司东台县域检修分公司，东台市北关北路 57 号　224200）

**摘　要：**本文针对目前公司系统内运行变电站普遍存在 12-40.5kV 中置开关柜由于各种因素的影响导致其绝缘性能欠佳，新的开关设备投入运行一年左右就开始出现放电现象。为从根本解决问题，本文着重从开关柜设计、柜内所用绝缘件选型、柜内元器件之间搭接设计、搭接工艺以及金属搭接件的加工工艺等全方面的因素来解决开关柜绝缘问题进行了简要论述。

**关键词：**开关柜；绝缘改造；选型；设计

## 0 引言

目前电网运行的 12-40.5kV 中置式开关柜由于受环境、温度、材料结构等因素问题，柜内绝缘问题一直得不到好的解决。从而严重影响了设备、电网的安全稳定运行。因此其绝缘设计成为这种开关设备的关键技术，也是决定这种开关设备运行可靠性的关键因素。运行实际表明，目前开关柜由于各种因素的影响，导致其绝缘性能欠佳，新的开关设备投入运行在一年左右就开始出现放电现象，其中东台弶港变的 24kV 开关柜就是典型的例子，这个站的开关柜在运行不到两年的时间内发生过对地击穿，从而导致短路故障停电事故。经过抢修更换其中的所有的绝缘部件，包括触头盒、穿墙套管以及绝缘子和热缩套管，但运行时间不到几个月，放电现象再次出现。绝缘故障的根本问题仍然没有得到解决。可见，绝缘件更换不是解决这种开关设备绝缘问题的有效措施，若要解决这类柜子绝缘可靠性，必须要从开关柜设计、柜内所用绝缘件选型、柜内元器件之间搭接设计、搭接工艺以及金属搭接件的加工工艺等全方面的因素入手来解决问题。

## 1 现状分析

### 1.1 12KV 及 24kV 开关柜设备运行绝缘故障调查分析

针对上述故障现象和故障特征，我们对市内 5 个交流金属封闭开关柜变电站绝缘性能进行调查分析。经过定期巡检发现，这五个变电站的开关柜都存在同样的绝缘因素。尽管其设计和其中所用的元器件有所差异，但是故障现象都表现一致：运行一段时间后就发现局部放电现象。其中穿墙套管和电缆室中下支排对触头盒出口挡板放电最为严酷，以海堰 110kV 变电站中的 24kV 为例，放电现象严重，放电故障典型，见图 1、图 2。

图 1 触头盒支排出口处放电痕迹

图 2 触头盒中部伞群放电痕迹

### 1.2 40.5kV 开关柜设备运行绝缘故障调查分析

40.5kV 交流金属开关设备近几年也同样朝着小型化、封闭式方向发展。在减少开关设备占地面积所带来的优势的同时，开关设备小型化设计时绝缘问题同样是其安全可靠运行的挑战，在采用小型化设计时没有解决好绝缘设计和配合问题仍然是制约这种开关设备运行可靠性的关键问题。2011 年 8

月份，扬州某 220kV 变电站 40.5kV 开关设备绝缘击穿发生短路爆炸事故。见图 3。

图 3 40.5kV 开关柜电缆室爆炸图

2011 年 9 月浙江绍兴某变电站 40.5kV 开关柜断路器室与电缆室相间短路，导致开关柜爆炸烧毁。见图 4。

图 4 绍兴某变电站 40.5kV 开关柜相间短路爆炸图

### 1.3 开关柜子绝缘改造的必要性

综合上述中压两类电压等级的金属封闭开关设备的运行绝缘故障现象和典型案例可知，12-40.5kV 金属封闭开关设备在小型化设计所带来好处的同时，绝缘设计成为这种开关设备的关键，绝缘问题也是影响这种开关设计运行可靠性的决定性因素。统计表明，中压金属交流封闭开关设备非计划停电事故有 68%的情况都是由于绝缘故障所导致。特别是 24kV 和 40.5kV 开关设备表现更为严重，近年来，40.5kV 金属封闭开关设备在全国范围内爆炸事故频频发生.可见，其绝缘故障隐患已经成为制约供电可靠性的关键因素。

根据公司所有开关柜内设备的运行现状，为了消除绝缘故障隐患，提高供电可靠性，降低停电率和维护费用。需要对其故障原因从根本上进行分析，并根据故障根本原因提出可靠、可执行的技术改造方案。对所有开关柜进行全面、彻底的整改，从开关设计、元器件选型、装配搭接工艺以及零部件加工工艺等方面彻底消除故障隐患，为确保开关设备安全运行提供技术保障。同时，还需对开关设备运行环境做出改善，为其运行提供良好的运行环境，解决环境因素对其绝缘性能所造成的威胁。

## 2 故障分析

### 2.1 开关设计缺陷

交流金属封闭开关设备的绝缘故障有很大一部分隐患是由设计造成的，经过对开关柜现场勘查分析，总结以下几个方面的设计问题。

#### 2.1.1 上进线与下出线触头盒之间的中隔板设计缺陷

对于 24kV 中置柜，其手车式断路器的极间距离为 275mm，其所采用的触头盒的顶部外径尺寸在 170-200mm 之间，因此触头盒静触头安装孔中心到两个触头盒安装中心线的最大距离为 275/2=137.5mm。其触头盒的外形尺寸请见图 5。

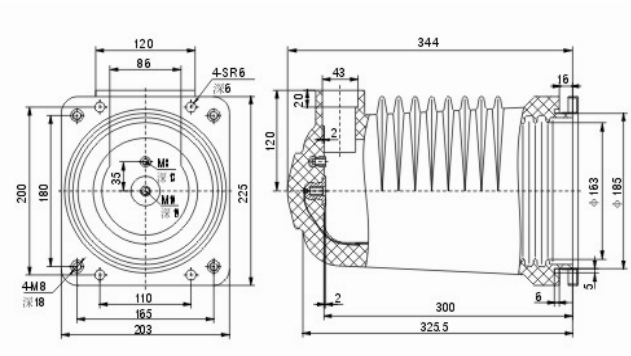


图 5 触头盒的外形尺寸图

从图 5 中可以看出，为了满足 IEC 供电连续性中断 LSC2 设计的要求，上进线触头盒与下出线触头盒之间加装一块覆铝锌板，从而保证电缆室与母线室完全独立隔开。设计过程中，为了考虑电缆室通风效果良好，达到 GB 和 IEC 标准对柜子温升设计的要求。中隔板上开有百叶窗孔。

故障根源分析，由前面的分析可知：进、出线支排触头盒顶部树脂外表面到中隔板的最大空气距离为(275-180)mm/2=47.5mm，而静触头中心到中隔板的距离为 137.5mm。因此，静触头面对中隔板的圆弧面就相当于高压与之间的一块绝缘板。起着绝缘挡板的左右。有高电压绝缘知识可知：高压到绝缘板之间的距离与绝缘板到地之间的距离有一个最为合适的比列，即 D1/(D1+D2)=1/5—1/6 之间（见图 6），三者之间的位置关系满足了这个比列才会有最好的绝缘效果（验证方法：短时工频耐压与雷电冲击试验可以证明）。本柜中 D1/(D1+D2)=70/135≈1/2,远远大于 1/5 和 1/6 的比

例，从这个比例上说，柜子的绝缘设计存在很大绝缘故障。

另外中隔板上的百叶窗孔的边缘形成了刀刃尖端效益，在绝缘设计中，金属尖端效益是诱发绝缘故障的重要原因之一。

综合上述两个方面原因可知，触头盒正对带百叶窗孔的中隔板放电是必然会发生的绝缘隐患，这是设计存在的缺陷。

由于开关柜厂家一般不生产绝缘件，因此这种缺陷从某种程度上看也存在元器件选型错误问题。

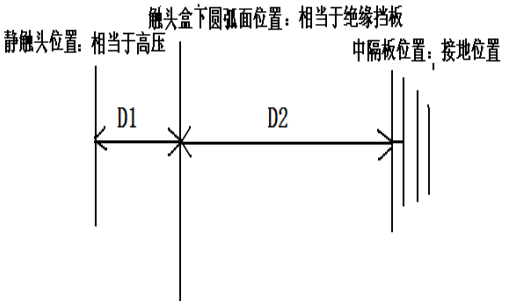


图 6 绝缘板与高压和地之间的位置关系图

2.1.2 电缆室出线支排在触头盒出线口折弯位置设计缺陷

触头盒出线口处的下支排折弯设计不好，将导致支排折弯处对触头盒出线口挡板放电，见图 7。

图 7 支排折弯处对触头盒出线口挡板放电

## 2.2 开关柜内绝缘件选型问题

2.2.1 穿墙套管的选型错误

图 8 套管内部放电图

穿墙套管故障图片见图 8 和图 9 为高压母排对套管内部放电痕迹。图 10 为套管外伞群的沿面放电烧蚀痕迹。

穿墙套管由于其安装和结构特点，电场集中于套管的安装面周围，其电场分布请见仿真图 10。

图 9 套管外伞群沿面爬电

图 10 套管中部伞群放电痕迹

为了提高穿墙套管绝缘安全性能，本改造技术方案决定采用带双屏蔽套管来取代原有不带屏蔽设计的老产品。并对两种不同设计的产品性能与电场分布进行了仿真分析。由仿真结果电场分布图可知，不带屏蔽设计的穿墙套管，其电场集中与安装金属板孔周围，这种电场分布容易导致局部放电。带双屏蔽设计的穿墙套管的金属安装板周围空气中电场分布均匀，不容易导致局部放电，从而提高其绝缘安全性能。见图 11。

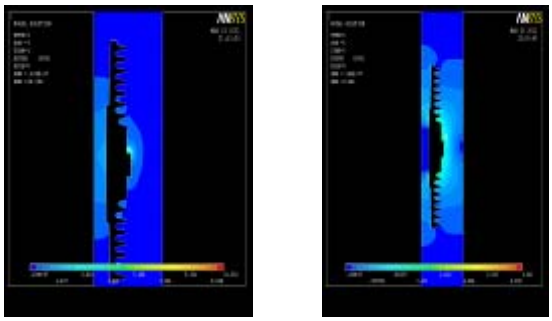

图 11 不带屏蔽的套管电场分布 带双屏蔽套管电场分布

2.2.2 柜内加热器选型错误

柜内安装加热器是为了在环境湿度大的环境

下，通过加热器来提高柜内问题达到降低柜内湿度的目的，但是由于薄片式平板加热器紧贴柜壳体安装，不利于加热器所产生的热量的散发。特别是当加热器材质不是非常好的情况下，很容易把加热器本身烧毁，从而达不到当初设计的目的。

仅仅采用加热板进行加热的另一个缺点是，加热器产生的热量绝大部分集中加热器周围某一有限的空间内。很难均匀达到柜内各个角落。因此，加热器的除湿效果并不明显。特别是传统的加热除湿控制还有经常烧毁的现象，请见图 8。

也有为了改善散热效果，采用带散热片的产品。但由于其散热效果仍然欠佳而把加热器电源线接头烧毁的，导致温湿度控制无法控制加热器的投运。

### 2.3 母排搭接设计与绝缘包封工艺上存在的缺陷

母排搭接位置设计的是否合理，是绝缘配合设计的关键问题之一，搭接位置设计不正确，将导致绝缘隐患的出现，并最终导致绝缘故障。而且搭接位置的绝缘包封方式是否合理，对绝缘隐患变成绝缘故障起到重要影响。针对弼港变电站的实际情况，主要是 A、C 相支排与主母排搭接位置，以及母线桥架中的主排搭接位置。

### 2.4 金属搭接件加工工艺问题

金属尖端放电是绝缘设计中必须关注的问题，特别是母排端部，如果不采用正确的倒圆角工艺处理，在湿度大的环境下，很容易导致在正常运行电压下产生放电现象。

请见图 12。

图 12 母排端部金属尖角处理不规范

### 2.5 开关柜运行环境恶劣

由于开关柜所在变电站地处沿海地区，环境湿度大，空气中含有大量盐分，并具有化学腐蚀性。这对开关柜的绝缘配合设计，所采用的绝缘件提出更高的要求。由于环境恶劣所产生的问题请见图 23：环境污秽大，导致绝缘表面电阻小，在湿度度的情况下，表面泄漏电流大，严重时导致沿面放电. 由图 24 可知：环境湿度大，导致热缩套管表面发生潮湿霉变。

### 2.6 不同运行情况产生不同结果的分析

运行中的开关柜进出线触头盒都是带电的。因此由于中隔板设计以及触头盒的尺寸问题，导致了，进出线触头盒正对中隔板的圆弧面同时对中隔板放电，从而其放电导致局部发热使严重使得空气中盐分淤积在触头盒表面。由于带电运行，母排会产生适当的热量，因此也可见到其支排的热缩套管表面干净，没有淤积的白色盐粉末，其原因是适当的热量使得热缩套管表面不会有含盐分的潮气滞留，因此其表面不会发生霉变。

## 3 改造方案及对策

针对上述绝缘故障和隐患，在分析其问题根源的基础上我们制定了可执行的技术改造方案及对策。达到提高开关设备运行可靠性和延长维护周期，降低设备运行寿命周期费用的目的。

（1）为了解决触头盒与中隔板之间的放电问题，采用触头盒内径较小的产品，改善触头盒正对中隔板的圆弧面之间的电场分布，消除放电现象；

（2）选用带双屏蔽的穿墙套管产品。改善套管安装面周围的电场分布，降低其电场值，提供局部放电电压。使开关设备在正常运行电压下，套管周围不会发生局部放电现象。

（3）采用进口制作的自粘硅胶带对母排搭接处进行包封，防止出现热缩套盒包封方式所存在的问题；

（4）采用带风机加热器，提高加热器除湿效果。采用温湿度控制器对带风机加热器进行控制，通过温湿度传感器自动检测运行环境的温度与湿度，从而对加热器发出运行或退出的指令。确保环境湿度保持在合理的范围内。

（5）在母线室的柜顶加装带百叶窗盖的风机，通过手投的方式来控制风机的投切，为母线室散热通风提供良好的条件，同时也可防止风机不运行时污秽掉入母线室内。

（6）在母线室后柜门处加装可更换式的带风机加热器，一旦加热器损坏，可以带电安全更换，确保主母线不停电，而柜内湿度环境又能安全地得到及时改善。

（7）对柜内因盐雾影响而腐蚀脱落的柜壳体漆进行修补。保证柜内干净。

## 4 改造方案取得的成效

在通过以上技术方案进行开关柜改造后，我们对检测数据进行比较分析并结合实际应用取得了较好的效果，提高了开关柜设备运行可靠性，主要表现如下：

（1）从开关柜设计上彻底消除绝缘故障隐患；

（2）从绝缘器件选型上，改善绝缘故障隐患；

（3）从柜内元器件搭接工艺上，消除绝缘故障隐患；

（4）从柜内金属元器件加工工艺上，降低局部放电的可能性；

（5）改善开关柜内运行环境的湿度，降低局部放电概率；

（6）改善母线室通风条件，防止柜内发生凝露现场，防止穿墙套管发生放电；

（7）延长开关柜停电维护周期，降低开关柜维护费用。

改造后效果见图 13、14、15。

图 13 改造前及改造后搭接处包封效果图

图 14 改造前支排及改造后支排处理效果图

图 15 改造后母线可带电更换式的风扇加热器图

## 5 结束语

这次开关柜绝缘改造典型设计方案从开关柜设计、柜内所用绝缘件选型、柜内元器件之间搭接设计、搭接工艺以及金属搭接件的加工工艺等方面彻底解决了开关柜长期困扰的绝缘问题，给电网设备的安全稳定运行提供了保障。

为了验证技术改造项目的长期效果，我们同时需要对改造后的开关柜运行情况进行长期跟踪。因此我们又制定了效果跟踪计划和方法：

（1）定期巡视

在高温高湿季节，通过检修人员现场巡视，可以通过听觉来判断是否有明显放电。

（2）定期测试

通过专业的绝缘件研发、生产企业或者有能力的测试单位对在运开关设备进行局放测试，出具局放性能分析报告。对存在故障隐患和已经存在严重放电现象的开关设备提出技术改造方案。每年分两次进行。

（3）停电检查

停电检查主要从两个方面来判定绝缘故障：针对运行时间较长的开关设备，可以从放电痕迹上来判定。针对运行时间较短的产品，需要从设计上、元器件选择上、搭接和加工工艺上来判定是否存在绝缘隐患。同时检查开关设备运行改善设备的设计与采用。

1）查看放电痕迹的关键部位；

2）触头盒内底部和内筒中部位置；

3）断路器触臂绝缘包封搭接处；

4）穿墙套管安装面周围；

5）穿墙套管内壁；

6）穿墙套管离支排搭接最近的端面；

7）触头盒安装搭接面；

8）电缆室内互感器外伞群；

9）电缆室内相间绝缘板上靠近互感器位置；

10）母排搭接用绝缘护罩尖角；

11）触头盒出口挡板边沿以及相对应位置支排热缩套管表面；

12）PT 手车上相间绝缘板表面及电压互感器表面；

（4）设计、元器件选型等故障隐患判别关键点

1）柜内采用的所有绝缘制品是否通过老化型式

试验（按照 GB3906 附录 C 老化试验方法，而且要求全程带电老化）；

2）触头盒内部支排端部是否倒角规范；

3）采用的触头盒屏蔽设计是否合理；

4）穿墙套管是否采用双屏蔽设计；

5）穿墙套管高压屏蔽与母排的搭接方式；

6)母排搭接处绝缘包封护套是否跟母排紧贴牢固；

7）所有的高压母排端部、特别是外露部分是否倒角；

8）避雷器是否直接跟高压母排直接相连；

9）PT 手车上的熔管设计安装是否保证三相居中。

10）PT 手车上的互感器之间的有效空气距离；

11）开关柜顶盖是否带通风散热设计。

（5）开关设备的运行环境

1）二次室的温湿度控制器是否运行正常；

2）带风扇加热器是否正常工作；

3）母线室柜顶的风扇是否工作正常。

通过以上效果跟踪测试方法我们更能正确的验证该典型设计方案的持久性及效果性，同时也可根据发现的问题进一步完善、改良相关改造方案，更好的为电网设备的安全稳定运行提供良好的保障。

**参考文献：**

[1] 雷振山.中小型变电站实用设计手册[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

[2] 丁雁.高压开关柜安装、调试、运行与维护手册[M]. 北京:中国电力出版社,2002.

[3] 钱林.最新高、低压开关柜外形与主电路方案设计选用标准图集[M]. 北京:中国电力出版社,2006.

**作者简介：**

沙　骏（1979－），男，江苏东台人，电力工程师，技师，从事变电检修工作，E-mail：shasha.super@sohu.com。