

## 用来保护昂贵中压设备如变压器及开关的屏蔽式避雷器

Frank Claeys, 龙如飞

Euromold, 耐克森 – 比利时, 耐克森 – 上海

[Frank.claeys@nexans.com](mailto:Frank.claeys@nexans.com), [Rufei.long@nexans.com](mailto:Rufei.long@nexans.com)

### 摘要

众所周知避雷器用在架空线上来保护配电线路。现代的避雷器结构是将氧化锌阀片组装在带有硅橡胶伞裙的套管内，许多的出版刊物都描述了这样的产品。但是对于平行安装在插拔头上，然后直接与设备连接的屏蔽式避雷器的介绍却不多。本文介绍了一种带有乙丙橡胶套管的屏蔽式避雷器的详细结构及其试验方法，其结论是这种与现代电缆连接系统连接的非常紧凑型的产品为昂贵设备提供了最优的保护方案。



耐克森屏蔽式避雷器(右) 连接在插拔头上(左)

### 1. 介绍

避雷器用于配电线路的过电压保护。

有很多种原因引发过电压，例如：雷电冲击，短路电流，接地故障，设备开合闸操作，谐波，共振等等。在配电线路中最严重的过电压是由雷电冲击引起。

雷电冲击过电压的可以接受水平取决于网络的绝缘等级。实际的雷电有上百万伏的电压。棒形绝缘子，终端的对地电位距离是通过电网绝缘超负荷及刚引发闪络及仅有一部分过电压流过电网时的情况来确定。

在过去使用过的不同类型的避雷器：

- 锥形火花间隙式避雷器
- 具有火花间隙的碳化硅阀片电阻避雷器
- 无火花间隙金属氧化物避雷器（MO-避雷器，目前主要以插拔头方式用来保护全封闭式 SF6 设备）。

第三种类型的避雷器是本文所介绍的产品。



非屏蔽式 ABB 避雷器

图 1: 架空线避雷器与屏蔽式避雷器

(来源: 耐克森网络解决 NV – Div Euromold / ABB)

### 2. 氧化锌避雷器的特性

氧化锌避雷器无火花间隙。它可以吸收脉冲电流及限制峰值电压。在系统正常电压运行时具有高绝缘特性。当达到一定电压后，以微秒级时间导通并将电压限制到规定值。在导通状态下，避雷器间隙与地之间存在低于电网绝缘水平的残压。当过电压降低，避雷器将以微秒级时间再次变为绝缘。这对于开关操作不需要过

零电压转换，这非常适合使用在低频例如 16 $\frac{2}{3}$ Hz, 机车及直流系统中。避雷器的设计目的不仅限于交流系统。

避雷器按其标称放电电流进行分类。在型式试验中避雷器负载时 8/20  $\mu$ s 标称冲击泄漏电流为其峰值(例如 5 kA, 10 kA, 20 kA, ...), 该值确定了避雷器的残压值。

对于中压系统主要使用 5 kA 及 10 kA 两种避雷器。10 kA 避雷器用于设备与架空线连接距离很短的场合。对于稍长一些的电缆也可以使用 5kA 避雷器，因为随着电缆长度的增加放电电流会相应减小。对于纯电缆系统，避雷器用来限制过电压，使用 5kA 的避雷器就可以完全满足要求。

5 kA 及 10 kA 避雷器的型式试验完全不同。10 kA 避雷器必须比 5kA 避雷器能吸收更多的能量。能量在避雷器上转化成热，由于热稳定性原因，能量不能太高。能量吸收能力主要取决于‘金属氧化物阀片’表面大小。可以说阀片的直径越大，避雷器所能吸收的能量也越大。

根据产品的使用情况，将‘阀片’的直径做成 30mm (中压) 到 70mm (高压和超高压) 之间。高度为 20 至 45mm 之间（根据电压决定）。



图 2: 氧化锌阀片

例如：一个直径 30mm 阀片每毫米将产生 450 V 的残压，一个直径 7mm 阀片 每毫米将产生 280 V 残压。根据 10 kA (8/20 $\mu$ s)避雷器规定的残压值，选取对应片数的阀片按照并联方式组装在避雷器的高电位与地之间。



图 3: 氧化锌阀片的组装

阀片具有典型的非线性伏安特性，如图 4 所示。该曲线显示了非线性电阻效应。

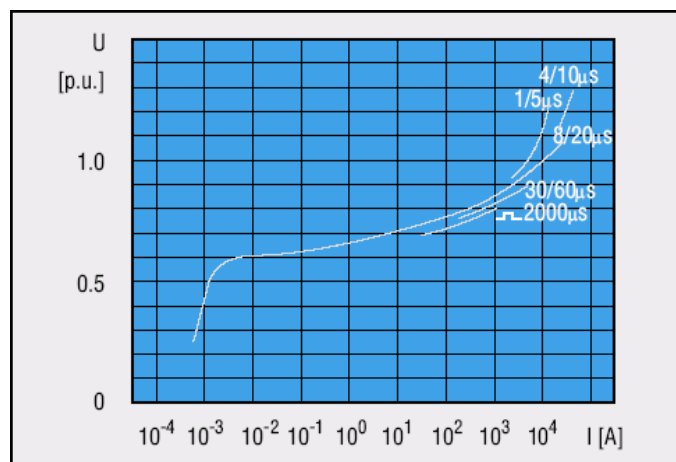


图 4: 避雷器的伏安特性(来源: ABB [2])

### 3. 避雷器的应用

避雷器用来保护电器设备如开关，变压器，电缆，电缆附件等。他们承担限制超过常规绝缘等级的过电压的任务。尤其是在中压网络中出现的雷电冲击过电压。例如：在 10 kV 网络中的设备如开关，变压器，电缆，电缆附件等应具有最小 75 kV 的冲击电压水平，在 20 kV 网络中应具有最小 125 kV 的冲击电压水平，在 30 kV

网络中应具有最小 170 kV 的冲击电压水平。当过电压出现时如雷电，产生的最大电压幅值至少要小于网络绝缘电压 1/1.15 倍。也就是一个绝缘水平 125 kV 的 20 kV 网络为 109 kV。当避雷器使用在上述网络时，在避雷器上相对地上保留的残压值不大于 1/1.4 倍网络绝缘水平。20 kV 网络大概是 89 kV。这个‘安全裕度’很有意义，因为残压值会随着避雷器与被保护设备之间的电缆长度增加而有所增加。

**在确定过电压保护时，必须明确注明避雷器所能保护的极限范围，在中压网络中只有几十米的保护范围。**

例如：保护一段从架空线到开关的电缆，原则是将避雷器连接在户外架空线或电缆上(在塔杆上)。但是如果被保护的电缆长度在 10 kV 网络中超过 30 米，20 kV 网络中超过 25 米，30 kV 网络中超过 20 米，我们建议在另一侧也安装一个避雷器。

我们的屏蔽式避雷器直接安装在设备上（变压器，开关），所以不用考虑保护长度。

#### 4. 避雷器的计算

如下避雷器计算例子是假设系统连续稳定的运行，如果需要更高一级的保护水平，这可能会对避雷器的稳定性造成不利的影响。由于放电电流(μA- 级)原因，保护水平越高，避雷器的热负载也越高。

**低阻抗或直接接地网：**

最小要求为：

$$U_c \geq 1.05 \cdot U_m / \sqrt{3}$$

$$U_r = 1.4 \cdot U_c$$

如果最高工作电压水平无特殊要求，则用：

$$U_c = 1.4 \cdot U_m / \sqrt{3}$$

$$U_r = 1.4 \cdot U_c, \text{ 这个值不是直接除以 } 3 \text{ 得到的结果，必须根据后一位数除以 } 3 \text{ 进行四舍五入。} [1]$$

如果网络包含有其他一些数据（过电压大小，间断次数等），可以选取不同数值来确保更高的保护水平。

**补偿或高阻抗网络（德国常规网络）：**

对于避雷器相对地：

$$U_c = U_m$$

对于在变压器中性点与地之间的避雷器：

$$U_c = U_m / \sqrt{3}$$

$U_r = 1.25 \cdot U_c$ , 这个值不是直接除以 3 得到的结果，必须根据后一位数除以 3 进行四舍五入。[1]

#### 5. 结构

Euromold 型避雷器的氧化锌阀片被紧压在一个橡胶套管内。

这种橡胶套管是经过专门设计与橡胶插拔头连接，避免了在避雷器半导体层至插拔头半导体层连接处形成的所谓的‘径向气隙’电场问题（图 6）。这个连接头用静态电场程序计算研究分析。

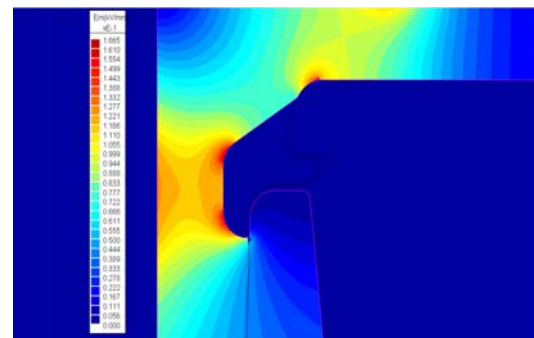


图 6: 在径向气隙中的电应

避雷器 3 mm 厚的导电护套（与橡胶插拔头类似）确保了半导体层的稳定性，即使是浸泡在水中及被气体侵袭（如臭氧）。

所有的套管都按照规定电压进行局放及交流耐压试验。

在将氧化锌片组装在套管后，按照规定电压对成品再次进行局放试验。之后，按照 IEC 标准例如 IEC 60099-1 进行例型试验。



图7: 51 kV 避雷器的例型试验

## 6. 中国市场避雷器型式试验

2007 年 Euromold 将避雷器的产品范围扩展到 42 kV 网络，如应用在中国市场的产品。该类型产品通过了中国武汉特种实验室的型式试验。

进行了下列试验：

阀片上的试验：

- 残压试验：

- 陡波电流冲击
- 雷电冲击
- 开关操作冲击
- 长持续时间电流冲击耐压试验
- 动作负载试验

### 成品避雷器试验：

- 1mA DC 参考电压： $U_{DC,1mA}$
- 泄漏电流： $0.75U_{DC,1mA}$
- 长持续时间电流冲击： $U_c$
- 1mA 交流参考电压： $U_{AC,1mA}$
- 内部局放测试
- 密封试验
- 抗弯负荷试验
- 避雷器套管的绝缘耐压试验

上面所述试验均在下面的试验报告中。

2008 年，51kV 避雷器推向市场（图 8）。

现在避雷器在风能的应用中很受欢迎。有多种和避雷器配合使用的附件，如避雷器计数器 [3]。



图 8: 武汉试验报告

## 7. 结语

Euromold 屏蔽式避雷器可以保护昂贵的设备，因为它是直接安装在设备上的。紧凑型设计方案，避雷器的‘阳’橡胶套管直接插入插拔头内。Euromold 扩展了产品范围至 41 kV，使其满足中压系统最高电压等级要求。

#### 参考文献

[1] ABB 高压技术有限公司, 过电压保护产品应用导则: 尺寸检验及金属氧化物避雷器在中压网络中的应用, Wettingen Switzerland, 1999 年 7 月

[2] IEC60099-4 第 4 部分, 用于交流系统的无间隙式金属氧化物避雷器, 第二版, 2004-05

[3] ABB 高压产品, 高压避雷器采购指南 Ludvika, Sweden, 第六版, 2008 年 8 月