

金属氧化物避雷器典型受潮原因及检测方法分析

马 勇, 谢天喜, 刘 洋, 陈 光, 周志成, 陶风波

(江苏省电力公司电力科学研究院(国家电网公司实验室), 江苏 南京 211103)

摘 要: 受潮是导致避雷器本体故障的主要原因, 结合金属氧化物避雷器的结构特点, 以近几年故障解体实例, 分析了金属氧化物避雷器在设计、组装、安装阶段排水孔、防爆膜、密封孔的缺陷导致的典型受潮原因。通过试验模拟不同受潮程度的电阻片柱, 开展泄漏电流与受潮之间的关系研究。试验结果表明, 开展避雷器持续运行电压下泄漏电流检测时, 应接入参考电压, 并以阻性电流作为主要判断依据; 对于多节组成的避雷器, 当单节内部部分受潮时, 泄漏电流带电测试已无法准确判断设备状态, 应结合红外热像检测等多种状态检测方法综合评估。

关键词: 金属氧化物避雷器; 受潮原因; 解体; 泄漏电流; 检测方法

Research on Test Method and Typical Reason of MOV Damp

MA Yong, XIE Tianxi, LIU Yang, CHEN Guang, ZHOU Zhicheng, TAO Fengbo

(Jiangsu Electric Power Company Research Institute(State Grid Laboratory), Nanjing 211103, China)

Abstract: The main reason for MOV defects is valves being damped. Based on the structure characteristics of MOV and examples of determination, the typical reason of MOV damped during designing assemble, and installing with scupper, antidetonating membrane and closed hole. By simulation tests of different damp zinc oxide varistor, the relationship of leak current and damp level of MOV is tested in the lab. The analysis show that it is necessary to think about the reference voltage and resistive current should be the main criterion of damp level of MOV with on - line detection. FOR the MOV which is not single section, the resistance current on-line detection and infrared thermal imaging are the most effective methods for the condition assessment of MOV, because resistance current is not distinctive feature.

Key words: MOA (metal oxide surge arrester) ; damp reason; determination; leak current; test methods

避雷器在电力系统中起着限制雷电过电压和操作过电压的作用, 保护其他电气设备免受过电压的威胁。金属氧化物避雷器由于其通流容量大、稳定性好等优点, 已取代传统碳化硅避雷器。相对其他设备而言, 金属氧化物避雷器故障率低, 但由于设计、制造、运输、安装及运行阶段的原因, 常会发生各类缺陷, 给电网和设备的安全运行带来隐患。

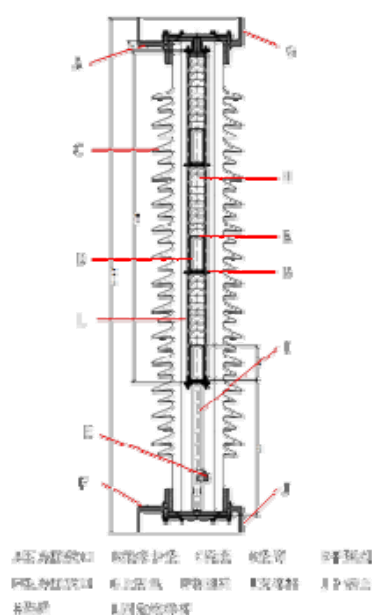
1 金属氧化物避雷器结构特点

目前, 变电站用金属氧化物避雷器基本采用无间隙结构。从外部看, 金属氧化物避雷器一般包括上下法兰、瓷套、均压环、绝缘底座等。瓷套内部为氧化锌电阻片柱, 由氧化锌电阻片、垫片、垫管、金属支撑杆、固定绝缘杆、绝缘卡垫、干燥剂等组成; 瓷套和法兰之间为密封结构、防爆膜和压力释

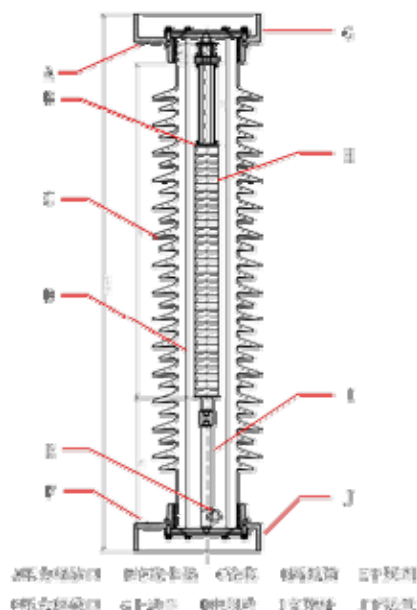
放装置。在超负载动作或发生意外损坏时, 法兰处的压力释放装置动作, 避免瓷套恶性爆炸。

电阻片为实心或环形圆柱, 其圆柱四周涂有绝缘釉, 防止沿面闪络, 上下表面为铝或其他金属电极。电阻片若干片一组, 根据瓷套高度需要, 有的电阻片之间有垫管(铝管); 实心电阻片外部有四根绝缘支撑杆固定, 环形电阻片则中部由绝缘支撑杆贯穿固定。电阻片柱下端通过金属支撑杆与下端法兰密封板结构相连。

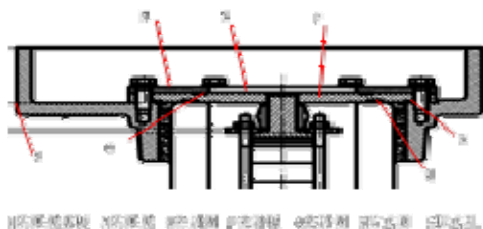
防爆膜两侧分别为盖板 and 密封板, 其中法兰侧为盖板(圆环形状), 瓷套侧为密封板, 防爆膜与密封板、密封板与瓷套之间有密封圈, 密封板与法兰之间有防水圈。法兰下方有排水孔, 用于排出法兰内部积水。



(a) 本体结构组成（实心电阻片）



(b) 本体结构组成（环形电阻片）



从上至下依次：防爆膜盖板、防爆膜、密封圈、密封板、
密封圈和防水圈、瓷套和法兰

(c) 密封结构

图1 氧化锌避雷器典型结构

2 金属氧化物避雷器典型受潮缺陷

2.1 常见缺陷

金属氧化物避雷器的缺陷按照部件可分为以下几类：

1) 本体缺陷，主要包括受潮导致的发热、泄漏电流超标， U_{1mA} 和 0.75 倍 U_{1mA} 下泄漏电流超标异常等；

2) 表计缺陷：主要包括放电计数器（泄漏电流表）进水、损坏、读数异常（与正常值偏差超 20%）等缺陷；

3) 其他附件缺陷，主要包括瓷瓶开裂、有明显放电痕迹，硅橡胶破损、开裂，憎水性下降，底座金属表面锈蚀或油漆脱落，引线断股、锈蚀，均压环脱落等。

2.2 典型受潮原因分析

氧化锌避雷器故障的通常是其本体缺陷导致。金属氧化物避雷器结构简单，内部介质单一，本体缺陷主要是内部受潮和电阻片老化。目前电阻片生产配方和技术比较稳定，发生电阻片老化的概率较小。以某电力公司为例，近两年发现的 6 起本体缺陷（故障）中，涉及到内部受潮的有 5 起，占 83.33%。发生故障前，内部受潮缺陷的主要表现形式包括：带电运行时本体发热异常、泄漏电流指示超标，停电试验时 U_{1mA} 、0.75 倍 U_{1mA} 下泄漏电流超标等。

避雷器密封结构简单，在设计、组装、安装阶段相关程序管控不当，均可导致密封出现问题。瓷套式氧化锌避雷器内部空腔约占整支避雷器内部空间的 50%，在遇到恶劣环境，温度冷热循环交替变化的情况下，内部腔体内空气热胀冷缩形成呼吸作用，使避雷器原来潜在的微小漏孔可能扩大，潮气逐步侵入，导致避雷器受潮故障。

以下结合近三年国内避雷器故障解体情况，对典型受潮原因进行分析说明。

2.2.1 设计缺陷导致的内部受潮

避雷器密封结构简单，主要通过两个密封圈和一个防水圈将内部腔体与外部隔离，法兰处的空间在日常运行中易积水，如不及时排出，在大量积水的长期侵蚀下，防爆膜、密封板锈蚀，最终导致水汽进入内部，电阻片受潮，如图 1 所示。改进后的设计中通常在法兰处开排水孔，以防法兰长期积水。如果排水孔只在一侧法兰设置，则要求必须是下端法兰。



图2 下法兰无排水孔积水示意图

2.2.2 组装不当导致的内部受潮

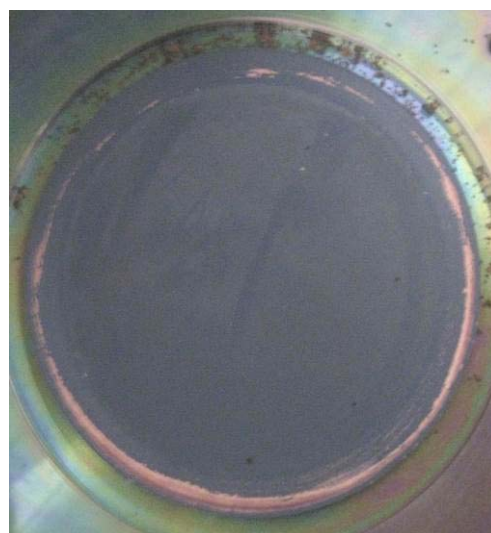
避雷器的密封结构中，防爆膜盖板、防爆膜和瓷套之间依靠两个密封圈做到内外隔离，盖板与法兰之间依靠螺丝固定，将两个密封圈压紧。因此，避雷器密封结构组装过程中未严格按照标准工艺进行，极易造成防爆膜压接不紧，导致密封不良。在避雷器解体分析中，发现过盖板各角螺丝紧度不一致，导致防爆膜压接不紧，存在缝隙导致水分进入，电阻片受潮。图3为某避雷器防爆膜未压紧，导致密封不良，内部受潮。解体时触摸防爆膜松动且有明显缝隙，防爆膜四周挤压痕迹不完整，仅四分之一圆周存在油漆脱落现象和挤压痕迹，压紧的防爆膜四周均存在油漆脱落并留下完整挤压痕迹，防爆膜盖板未将防爆膜压紧，防爆膜四周边缘未受力，存在缝隙。



(a) 防爆膜存在缝隙



(b) 未压紧的防爆膜



(c) 压紧的防爆膜

图3 防爆膜压接不紧示意图

图4为某避雷器防爆膜错位，导致密封不良，内部受潮。从防爆膜冲开后收缩情况来看，图4(a)的防爆膜压接错位(未处于正中间位置)，或未压紧，密封圈未能在防爆膜和瓷套间发挥密封隔离作用，水分进入导致内部受潮。



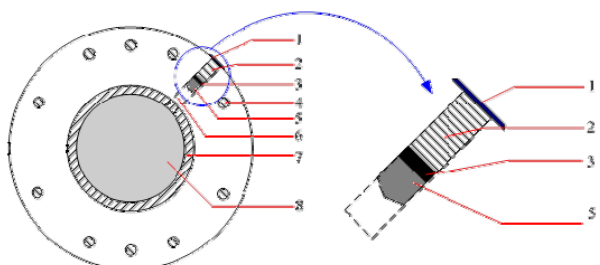
(a) 压接错位的防爆膜



(b) 压接正常的防爆膜

图4 密封圈错位示意图

部分厂家在组装时为了抽真空充氮气，在盖板上设计了密封孔，如图5所示，密封孔内依次塞入了橡胶垫、铜片，最后拧入螺栓，其正常结构形式橡胶垫的尖端应朝里。如果橡胶垫组装错误，尖端朝外，在塞入过程中易导致橡胶垫和铜片卡在密封孔中部的螺纹上，导致螺栓无法完全拧入，密封胶无法完全覆盖，如图6所示，最终水分可由此进入避雷器腔体内部。



1-密封胶；2-螺栓；3-铜片；4-螺孔；5-橡胶垫；6-密封孔；
7-密封圈；8-防爆膜

图5 避雷器密封孔结构示意图

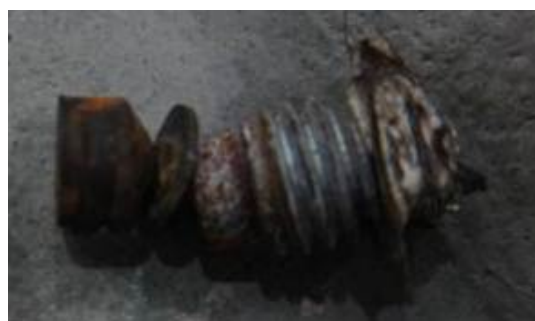


图6 组装错误的密封孔

2.2.3 安装阶段密封结构破损导致内部受潮

避雷器的防爆膜是整个设备结构中最薄弱的部分，用于故障时冲破释放压力。如果安装过程中受到冲击，同样极易破损，破坏密封结构。图7为某避雷器试验数据异常后进行解体检查，发现下端盖板防爆膜有孔洞，可能为运输、安装过程中受到尖端物体碰撞导致，同时取出内部电阻片柱，发现内部金属件和电阻片已受潮。



图7 防爆膜破损示意图

3 金属氧化物避雷器状态检测方法

金属氧化物避雷器的状态检测方法主要包括

停电试验和带电检测等。

3.1 停电试验

金属氧化物避雷器的停电试验项目主要包括直流 1mA 参考电压 (U_{1mA}) 及 0.75 倍 U_{1mA} 下泄漏电流测量, 底座绝缘电阻等。 U_{1mA} 可反应避雷器从小电流工作区到大电流工作区的分界点, 可准确、可靠的评估避雷器状态。但受停电制约, 试验周期较长。在两次试验期间, 仅能通过带电检测技术开展状态检测, 掌握设备运行状态。

3.2 带电检测

金属氧化物避雷器的带电检测项目主要包括红外热像检测和持续运行电压下泄漏电流检测。

当避雷器内部存在缺陷时, 在运行中会发热加剧, 与相同运行环境下的其他避雷器比较, 其整体或局部温度偏高, 存在相间温差。红外热像检测具有不停电、不接触、易实施等优点, 但避雷器自身温升很小, 现场的背景辐射和散热条件存在差异, 对缺陷的检测和诊断也需要积累实践经验。

避雷器持续运行电压下泄漏电流检测主要是检测全电流和阻性电流, 通过其变化规律判断避雷器状态。

4 避雷器持续运行电压下泄漏电流试验分析

4.1 试验对象和方法

为了分析避雷器受潮与持续运行电压下泄漏电流之间的关系, 以氧化锌避雷器电阻片为试验对象, 分别检测不同受潮程度下的电阻片泄漏电流特性, 研究检测方法的适用性。

单个电阻片运行电压为 1.868kV, 试验的电阻片分为两种, 一种正常电阻片, 一种是经水浸泡受潮后的电阻片, 如图 8 所示。



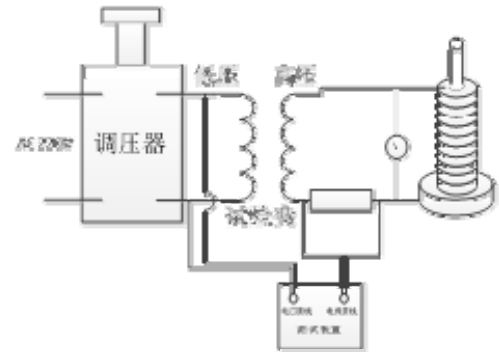
(a) 正常电阻片



(b) 受潮电阻片

图 8 试验电阻片

泄漏电流测试采用如图 9 所示的接线方式。



(a) 试验接线示意图



(b) 试验接线

图 9 试验回路

4.2 试验数据分析

4.2.1 单个电阻片泄漏电流

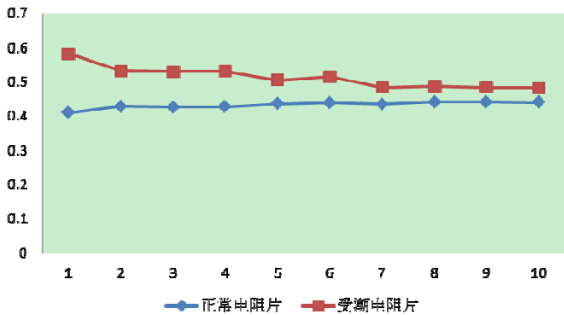
对正常电阻片和受潮电阻片两类电阻片施加 1.868kV 电压, 测试各电阻片全电流和阻性电流分量 (接入参考电压方式), 结果见表 1、表 2、图 10。

表1 正常电阻片泄漏电流
(温度 10.5℃, 湿度 54.4%)

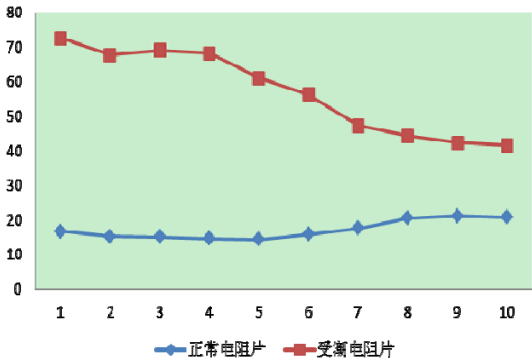
序号	全电流 Ix / mA	阻性电流 Irp / mA	Ix/Irp / %
1	0.410	0.068	16.59
2	0.428	0.065	15.19
3	0.426	0.064	15.02
4	0.427	0.062	14.52
5	0.436	0.062	14.22
6	0.439	0.069	15.72
7	0.434	0.076	17.51
8	0.441	0.090	20.41
9	0.441	0.093	21.09
10	0.440	0.091	20.68

表1 受潮电阻片泄漏电流
(温度 10.5℃, 湿度 54.4%)

序号	全电流 Ix / mA	阻性电流 Irp / mA	Ix/Irp / %
1	0.581	0.422	72.63
2	0.531	0.359	67.61
3	0.529	0.365	69.00
4	0.530	0.361	68.11
5	0.505	0.308	60.99
6	0.514	0.289	56.23
7	0.483	0.228	47.20
8	0.486	0.215	44.24
9	0.483	0.204	42.24
10	0.482	0.200	41.49



(a) 全电流 (mA)



(b) 阻性电流百分比 (%)

图10 电阻片泄漏电流

由测试数据可知:

1) 正常电阻片的全电流在 0.410~0.441mA 范

围内,受潮电阻片全电流在 0.482~0.581mA 范围内,受潮电阻片全电流略大于正常电阻片。

2) 正常电阻片阻性电流占全电流的 14.22%~21.09% (规程要求不超过 25%),受潮电阻片阻性电流占全电流的 41.49%~72.63%,两者之间可明显区分。

4.2.2 不同受潮程度下电阻片柱泄漏电流

选取 10 片电阻片,改变其中受潮电阻片的数量,分别采用接入参考电压和不接入参考电压的方式,测量整组电阻片的全电流和阻性电流,结果见表 3、图 11。

表2 不同受潮比例的电阻片泄漏电流
(温度 12.5℃, 湿度 44.6%)

电阻片数量		全电流 Ix / mA	接入参考电压		不接入参考电压	
正常	受潮		阻性电流 Irp / mA	Ix/Irp / %	阻性电流 Irp / mA	Ix/Irp / %
10	0	0.441	0.077	17.46	0.078	17.69
9	1	0.440	0.077	17.50	0.076	17.27
8	2	0.437	0.080	18.31	0.076	17.39
7	3	0.438	0.079	18.04	0.075	17.12
6	4	0.448	0.120	26.79	0.075	16.74
5	5	0.464	0.117	25.22	0.077	16.59
4	6	0.456	0.139	30.48	0.073	16.01
3	7	0.461	0.132	28.63	0.077	16.70
2	8	0.458	0.136	29.69	0.075	16.38
1	9	0.460	0.144	31.30	0.074	16.09
0	10	0.465	0.153	32.90	0.079	16.99

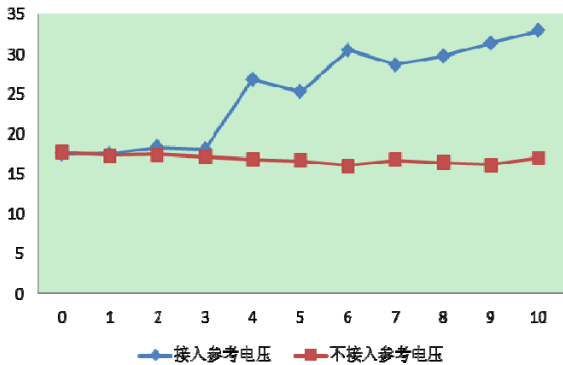


图11 不同受潮程度下阻性电流占全电流比例 (%)

由以上试验结果可知:

1) 当改变受潮电阻片所占比例时,整组电阻片的全电流变化不大,逐渐增加受潮电阻片数量,整组电阻片全电流变化最大为 5.44%。

2) 采用不接入参考电压的方式测量,随着受潮电阻片所占比例变化,所测的阻性电流变化很小,通过试验数据无法判别电阻片是否受潮。

3) 采用接入参考电压的方式测量,当受潮电

阻片所占比例不超过 30% 时, 阻性电流几乎没有变化, 当受潮电阻片所占比例为 40% 时, 阻性电流占全电流比例超过 25%, 继续增加时阻性电流有明显变化, 通过试验数据可明显判断电阻片存在受潮现象。

5 结论

(1) 金属氧化物避雷器受潮大多是由于在设计、组装、安装等阶段对操作工艺管控不严, 设备密封存在缺陷, 导致投入运行后内部逐渐受潮。

(2) 避雷器受潮后, 阻性电流变化趋势远大于全电流变化情况, 开展带电检测时, 应以阻性电流作为主要判断依据。开展泄漏电流带电检测时, 对于正常避雷器, 参考电压接入与否对阻性电流测量结果影响不大; 对于受潮避雷器, 不接入参考电压的方式下, 阻性电流几乎无法反映受潮状况。因此, 开展持续运行电压下泄漏电流检测时, 应接入参考电压信号。

(3) 受潮比例较小 (本文中低于 30%) 的避雷器, 阻性电流变化不明显, 开展 220kV 及以上电压等级的避雷器 (多节构成的避雷器) 泄漏电流带电测试时, 若只有单节避雷器内部部分受潮时, 通过阻性电流无法准确判断设备状态, 应结合红外热

像检测等综合判断, 发现异常时应及时停电开展直流参数测试。

参考文献:

- [1] 刘海峰, 王鹤许. 金属氧化物避雷器的裂化机理与状态评估研究[J]. 河北电力技术, 2012, 31(6):1-4.
- [2] 万四维. 金属氧化物避雷器缺陷与阻性电流关系的分析探讨[J]. 电瓷避雷器, 2007, 219(5):31-34.
- [3] 王鹤许, 刘海峰, 李俊卿. 金属氧化物避雷器典型缺陷分析[J]. 河北电力技术, 2012, 31(6):20-22.
- [4] 李顺尧. 金属氧化锌避雷器测试方法对比与分析[J]. 高压电器, 2010, 46(3):94-97.
- [5] 王静君, 李文书, 杜积贵. 氧化锌避雷器带电测试方法应用分析[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(2):57-59.

作者简介:

马 勇 (1986—), 男, 湖北保康人, 工程师, 从事输变电工程启动调试, 过电压检测分析, 避雷器、电容器设备专业管理工作, E-mail: ma.y@foxmail.com。

注: (作者联系方式: 马勇, 15105168833, 025-68686846, 江苏南京江宁帕威尔路 1 号, 211103)