

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2017.10.039

两起同型号复合外套金属氧化锌避雷器故障分析

司文荣¹, 施卫峰², 王昭夏³, 莫颖涛³, 王逊峰⁴, 杨希磊⁴

(1. 国网上海电科院, 上海 200437; 2. 国网上海崇明供电公司, 上海 202150;
3. 国网上海市北供电公司, 上海 200072; 4. 国网上海嘉定供电公司, 上海 201800)

摘要: 针对上海电网2起电缆出线同型号无间隙110 kV复合外套金属氧化锌避雷器(MOA)发生烧毁和爆炸故障进行了分析。通过外观检查、电气诊断性试验和解剖分析,并结合跳闸时刻天气及电网运行工况等因素,判定MOA故障由内部受潮引发。受潮原因主要为:①上下法兰端部抽气孔存在密封缺陷,导致运行期间潮气进入;②抽真空灌注硅凝胶工艺存在缺陷,易造成贯通性气隙,潮气进入后使内部电阻片芯组单元受潮。此外,还存在硅橡胶复合护套与环氧绝缘筒粘合不紧密现象。由于该型号6支MOA中2支发生烧毁和爆炸故障,剩余4支中仅1支符合运行要求,按照相关部门下发报送缺陷设备信息的要求,该型号MOA作为家族性缺陷报送。

关键词: 110 kV金属氧化锌避雷器; 内部受潮; 密封不良; 家族性缺陷

Fault Analysis on Two Composite Bushing MOAs with Same Type

SI Wenrong¹, SHI Weifeng², WANG Zhaoxia³, MO Yingtao³, WANG Xunfeng⁴, YANG Xilei⁴

(1. State Grid Shanghai Electric Power Research Institute, Shanghai 200437, China; 2. State Grid Shanghai Chongming Electric Power Supply Company, Shanghai 202150, China; 3. State Grid Shanghai Shibei Electric Power Supply Company, Shanghai 200072, China; 4. State Grid Shanghai Jiading Electric Power Supply Company, Shanghai 201800, China)

Abstract: In this paper, fault analysis is done for the explosion of two cable outlet 110 kV composite bushing metal oxide arresters(MOAs)with no gap and the same type occurred in Shanghai Power Grid. By visual inspection, electrical diagnostic test and anatomical analysis, and combined with the factors such as the weather at the fault time and under the operating conditions, the MOA faults are caused by internal damp. Internal damp during the operation causes are as follows: 1)the end air seals of the upper and lower flange exists defects; 2)the process of silicon gel by penetrating causes defects to form the air gap. In addition, there is a phenomenon that the silicone rubber composite sheath is not tightly bonded with the epoxy cylinder. For two of the six MOAs burned and exploded during the operation, only one meets the operational requirements under the electrical diagnostic tests of the remaining four MOAs, the familial defects of this type MOA are submitted in accordance with the relevant departments.

Key words: 110 kV MOA; internal damp; poor sealing; familial defects

0 引言

具有密封好、轻便、耐污和防爆性能强的 110 kV 复合外套金属氧化锌避雷器(MOA)^[1-3],以其优异的电气性能逐渐取代了其他类型的 MOA,已在电网中广泛使用。MOA 在运行中长期直接承受电网运行电压、工频过电压、各种操作过电压以及大气过电压,由于外部因素自或身质量,均有可能导致 MOA 发生故

障^[4-6],主要因素有:①内部受潮^[6-8];②内部放电^[9-10];③电阻片老化^[11-13];④外绝缘等问题^[14-16]。其中,内部受潮主要是由设计缺陷导致的密封不良、密封圈老化、电阻片烘干不彻底、绝缘件受潮、装配过程中潮气进入等,都会造成 MOA 内部由于水分的存在引发绝缘击穿故障。据统计,MOA 故障原因中内部受潮占比约达 60%。特别是密封失效,在外部环境冷热循环的变化下,内部空气膨胀或者收缩形成呼吸,致使潮气侵入 MOA 内部,进而引发放电故障导致设备本体爆炸或烧毁。为避免类似故障发生,可结合

定期巡视和带电检测等手段,对 MOA 运行状态进行评估^[17-23]。

文中对 2 起发生在上海电网用于电缆出线的同型号无间隙 110 kV 复合外套 MOA 烧毁和爆炸故障原因进行分析^[24],通过对 MOA 进行外观检查、电气诊断性试验和解剖分析,并结合故障时刻天气、电网运行工况等因素,判定该型号 MOA 故障由内部受潮引发,最终发展形成贯穿性绝缘击穿致使 MOA 在短路接地电流作用下发生烧毁和爆炸。

1 故障跳闸及避雷器概况

2016-08-06T12:30,上海电网 110 kV 庙三站姚庙 1K007 开关跳闸,C 相纵差保护动作,重合闸停用;13:50,相关人员巡视至姚庙 1K007 线 14 号杆塔发现 C 相 MOA 倾倒在电缆登杆平台上,线路其余部分无明显异常情况。2016-11-26T1:05,110 kV 庙三站姚庙 1K007 开关再次跳闸,C 相纵差保护动作,重合闸停用;16:30,巡视至姚庙 1K007 线 15 号时,发现 C 相 MOA 爆炸跌落在地面上,线路其余部分无明显异常情况。110 kV 庙三站部分电气接线、2 次故障录波以及故障照片分别见图 1-3。

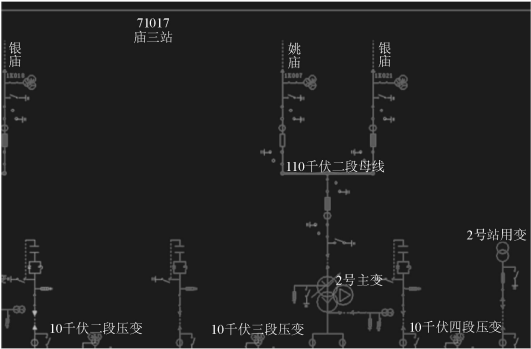
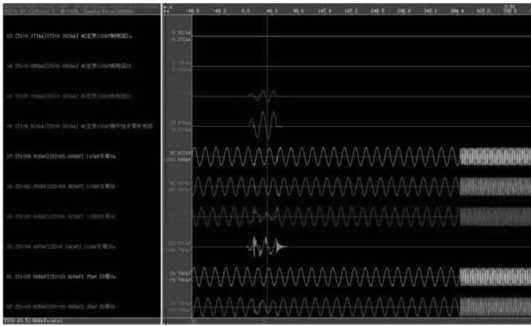


图 1 110 kV 庙三站部分电气接线图
Fig. 1 Electrical wiring diagram of 110 kV Miaosan substation

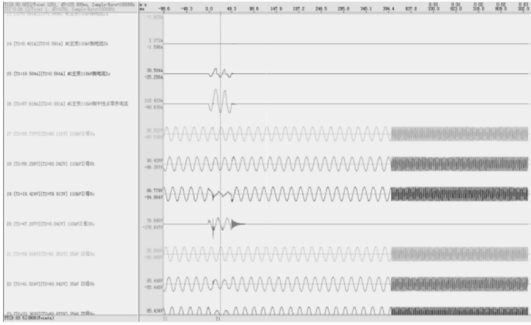
图 2(a)、(b)所示系统故障录波图表明,短路接地持续时间约为 50 ms,即 2 个半周波后故障被切除。14 号 C 相 MOA 在短路接地形成的大电流作用下烧毁,图 2(a)中电流波形平稳,无畸变或突变,即没有发生爆炸,与图 3(a)所示故障照片一致;15 号 C 相 MOA 在短路接地形成的大电流作用下发生爆炸,图 2(b)所示电流波形不平稳,有畸变或突变(可对比图 2(a)),与图 3(b)所示故障照片一致。

调查发现,2 起故障 MOA 均为同一厂家生产的 YH10W-108/281W 型复合绝缘 MOA,生产日期 2014 年 1 月,投运日期 2014 月 8 月。1K007 线 14 号 C 相 MOA 的产品合格证参数见表 1。1K007 线 15 号

C 相 MOA 的类似,这里不再给出。

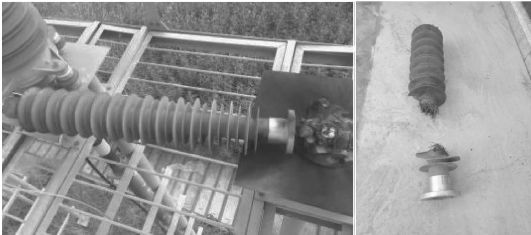


(a) 1K007 线 14 号 C 相 MOA 故障



(b) 1K007 线 15 号 C 相 MOA 故障

图 2 上海电网 110 kV 庙三站姚庙 1K007 线故障录波图
Fig. 2 Fault recording of the 110 kV line Yaomiao 1K007 of Miaosan substation in Shanghai Power Grid



(a) 14 号 C 相 (b) 15 号 C 相
图 3 2 起同型号故障 MOA 照片

Fig. 3 Two fault MOAs with the same type

表 1 14 号 C 相 MOA 产品合格证书
Table 1 Product qualification certificate of the No.14 C MOA

检测项目	标准值	实测值
直流 1 mA 参考电压 /kV	≥ 157	161.4
1 mA 工频参考电压 /kV	≥ 108	114.2
10 kA 标称放电电流下残压 /kV	≤ 281	合格
0.75 倍直流 1 mA 参考电压下泄漏电流 /μA	≤ 50	15
84 kV 持续运行电 压下持续电流 /μA	$I \leq 650$ $I_{tp} \leq 170$	450 70
2 ms 长持续时间电流冲击耐受 /A	600	合格
4/10 μs 大电流冲击耐受 /kV	100	合格
局部放电 /pC	≤ 10	合格
密封性能、外观	—	合格

表 1 中参数表明,该型号 MOA 符合相关标准的技术要求。但发生故障至今仅运行 2 年多,图 3(a)

所示该 MOA 外绝缘完好, 因此该产品质量本身即内部原因引起的故障概率较大。运维单位按上级单位要求, 将故障及停电拆除的另 4 相非故障同型号 MOA 一起送往国网上海电科院设备状态评价中心开展故障原因分析。在阐述诊断分析内容前, 先对该型号 MOA 的构造进行简单说明, 见图 4。该型号 MOA 主要由复合外套、绝缘筒和电阻片芯组构成。图 4(a) 为 MOA 结构尺寸图, 图中标号 1-15 依次为: 密封堵头、O 型圈、密封球、端盖、上定位套、弹簧、导电带、垫圈、复合外套、芯组、带孔铝垫片、下定位套、铝垫片、法兰和开槽平端紧定螺钉; 图 4(b) 为芯组结构尺寸图, 图中标号 1-7 依次为: 上定位轴、浸胶玻璃布缠绕层、调整垫块、调整垫块、电阻片、铝垫片、下定位轴; 图 4(c) 为外套结构尺寸图, 图中标号 1 为硅橡胶外套, 2 为环氧绝缘筒。

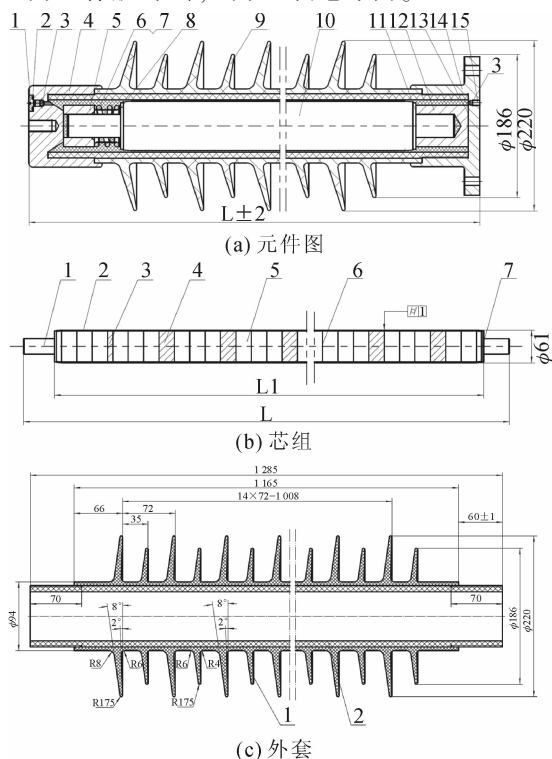


图 4 故障 MOA 主要结构尺寸图

Fig. 4 Main structure size chart of the fault MOA

2 诊断分析

2.1 故障相观察

14 号 C 相故障 MOA 多个部位观察见图 5。图 5(a)、(b) 是对 14 号 C 相故障 MOA 上端部和底座几个主要部件交界面上的密封胶进行了检查, 发生凝固的密封胶(硅凝胶)有部分残缺, 该种结构可能容易发生密封失效或密封不严, 导致潮气或水汽进入环氧管筒内, 使阀片受潮。图 5(c)、(d) 对 MOA 使用的环氧筒尺寸进行了校核检查, 由于现场没有发现有阀

片, 根据环氧筒尺寸约 58 mm, 判断该产品结构尺寸与图 4 所示一致, 使用阀片为饼式, 无绝缘杆固定。图 5(e)、(f) 对 MOA 内部烧蚀情况进行了查看, 发现环氧筒内为贯穿性电弧烧蚀, 整个筒内部均有黑色附着物。运行单位现场故障查询人员巡视周围没有发现有掉落的氧化锌电阻片或其他碎块, 由于氧化锌电阻片本身为高温烧结而成的氧化物, 在短路故障电流下不可能完全汽化, 该现象引起了运行单位以及上级主管部门注意。

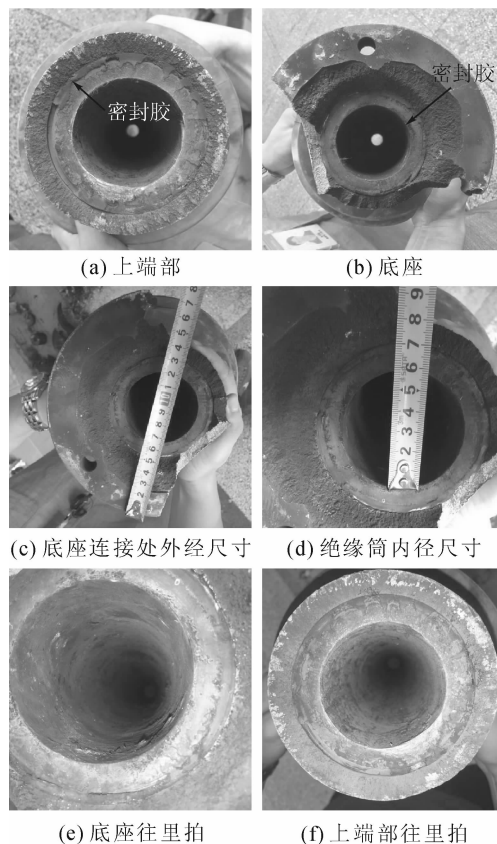


图 5 14#C 相故障 MOA 多个部位观察

Fig. 5 Inspection of the 14#C fault MOA

此外, 对 15 号 C 相故障 MOA 爆炸后残留部分进行了观察见图 6。该 MOA 在短路接地电流下发生爆炸为 2 段, 依据图 3(b) 所示照片, 该故障 MOA 从约 1/3 处发生爆炸, MOA 上部金具和底部金具联接处均完好, 推断该 MOA 金具联接部分密封良好无潮气进入, 可排除由 MOA 上部金具和底部金具联接处潮气进入, 引发高电压作用下放电故障导致设备本体爆炸的可能, 但不能排除其它部位的密封完好。图 6 所示照片由于为 MOA 故障爆炸后观察, 可以提供判别的信息较少。

2.2 非故障相电气试验

运维单位按照上级管理部门要求将 14 号 C 相故障 MOA 对应非故障 14 号 A、B 相 MOA 以及 15 号 C 相故障 MOA 对应非故障 15 号 A、B 相 MOA (其中

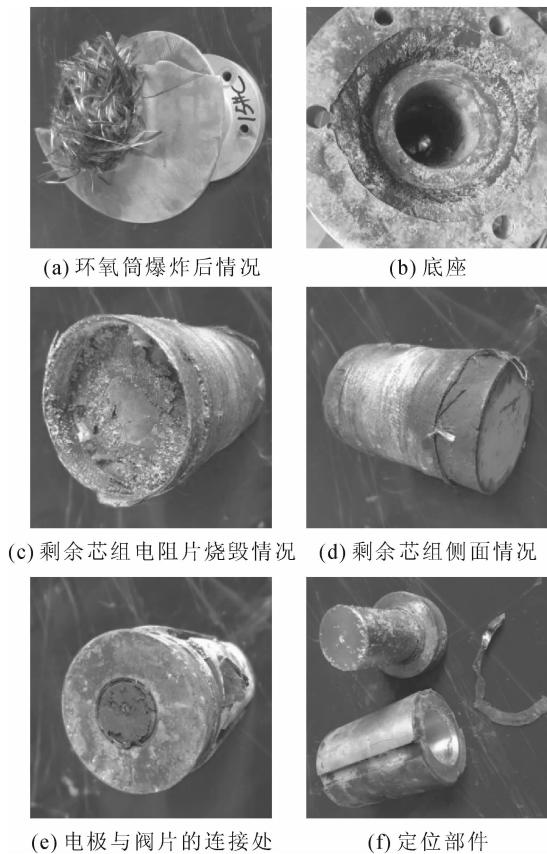


图 6 15#C 相故障 MOA 多个部位观察

Fig. 6 Inspection of the 15#C fault MOA

2支示例见图 7(a))送至国网上海电科院设备状态评价中心,在高压大厅内进行了直流 1 mA 参考电压 U_{dc1mA} 、0.75 倍 U_{dc1mA} 下泄漏电流 I 、持续运行电压下泄漏全电流和阻性电流、交流 1 mA 参考电压诊断试验,同时该 MOA 生产厂家派技术人员对试验方法和结果进行了确认。现场试验图见图 7(b)、(c),试验结果见表 2-3。根据 GB 11032—2010《交流无间隙金属氧化物避雷器》中表 J.10 典型的线路避雷器参数以及制造厂选定参数,MOA 额定电压(有效值)108 kV、持续运行电压(有效值)84 kV 的参数要求:直流 1 mA 参考电压 ≥ 157 kV、0.75 倍直流 1 mA 参考电压下泄漏电流 $\leq 50 \mu A$ 、持续运行电压下泄漏全电流和阻性电流应不超过规定值(该值由制造厂规定和提供)、1 mA 工频参考电压 >108 kV。试验结果表明:14 号 A 相 MOA 参数严重超标、不符合运行要求;14 号 B 相 MOA 符合运行要求;15 号 A 相、B 相 MOA 均不符合运行要求。结合运行情况,可以得出如下结论:YH10W-108/281W 型 6 支 MOA,运行中 2 支发生烧毁和爆炸故障,其余 4 支仅 1 支状态符合运行要求。

2.3 非故障相解剖

对参数严重超标的 14 号 A 相 MOA 进行了解

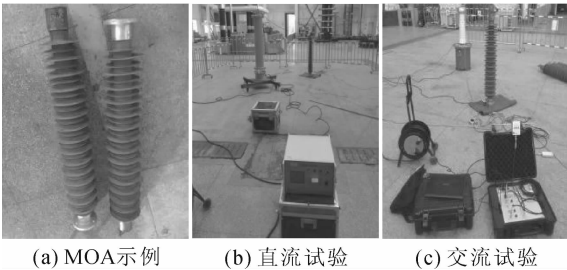


图 7 非故障同型号 MOA 及电气诊断试验

Fig. 7 Examples of the regular MOAs with the same type and diagnosis electrical tests under DC/AC

表 2 14 号 A、B 相非故障 MOA 电气诊断性试验结果

Table 2 Test results of diagnosis for MOA No.14A and No.14B

试验项目	14号相 A	14号相 B
U_{dc1mA}/kV	97.8	160.5
75% U_{dc1mA} 下 $I/\mu A$	381	13
运行电压下 I_p, I_x	83.97 kV	83.60 kV
和 I_q/mA	2.567 1.740 3.095	0.113 0.413 0.613
1 mA 交流参考电压 /kV	1.108 mA	0.955 mA
	63.0	115.4

表 3 15 号 A、B 相非 MOA 电气诊断性试验结果

Table 3 Test results of diagnosis for MOA No.15A and No.15B

试验项目	15号相 A	15号相 B
U_{dc1mA}/kV	146.9	145.5
75% U_{dc1mA} 下 $I/\mu A$	180	160
运行电压下 I_p, I_x	84.24 kV	83.95 kV
和 I_q/mA	0.402 0.513 0.684	0.384 0.510 0.692
1 mA 交流参考电压 /kV	1.033mA	1.015 mA
	101.5	100.5

剖分析,见图 8。图 8(a)、(b)所示为上桩头及密封堵头,结合图 4(a)所示,MOA 上下法兰存在 2 个抽气孔,使用密封堵头、O 型圈和密封球进行封堵设计。整个 MOA 封装后,采用抽真空灌注硅凝胶工艺进行填充芯体与环氧绝缘筒之间的空气间隙(空隙)。硅凝胶从下桩头抽气孔流入,直至上桩头抽气孔流出硅凝胶后,表明整体空隙已被填满。但该设计存成原理性缺陷:当图 8(b)所示密封堵头密封上桩头抽气孔后,硅凝胶冷却固化,不能形成完好的密封面即密封可能会失效,长期运行中,在外部环境冷热循环的变化下,内部空气膨胀或者收缩形成呼吸,潮气侵入 MOA 内部,会引发高电压作用下的放电故障导致设备本体爆炸或烧毁;内部空气的存在主要是该工艺不能确保硅凝胶能够将电阻片芯体与环氧绝缘筒之间的空气完全排出,图 8(c)所示上定位轴与环氧筒安装偏心,存在不对称的间隙,图 8

(e)所示环氧筒内壁固化硅胶以及图 8(f)所示电阻片芯体表面绝缘布表面严重不平滑,这些因素都会影响抽真空灌注硅凝胶对空隙整体的填充。根据上述分析以及图 8 所示照片,确定内部受潮原因主要为:①上下法兰端部抽气孔存在密封缺陷,导致运行期间潮气进入;②抽真空灌注硅凝胶工艺存在缺陷,易造成贯通性气隙,潮气进入后使内部电阻片芯组单元受潮。此外,图 8(i)和(j)所示表面该 MOA 还存在硅橡胶复合护套与环氧筒粘合不紧密现象。图 8(d)所示电阻片表面颜色有较大差异,为了检验该 MOA 芯体是否已受潮,将解剖得到的电阻片芯体编号 6 个单元进行烘干前后的电气诊断试验。见图 9,试验结果见表 4。

图 9 所示芯体单元在烘箱 120 ℃烘 3 h,在 40% 湿度区冷却至常温后复测,见表 4。6 个芯体单元在烘前和烘后的电气参数均发生变化,再次证实了该 MOA 上下法兰端部抽气孔存在密封缺陷,导致运行期间潮气进入,此外,也证实了抽真空灌注硅凝胶工艺也存在缺陷,易造成贯通性气隙,潮气进入后使 MOA 所有内部单元受潮。

2.4 其它因素考虑

根据气象部门资料,2 次 MOA 爆炸故障发生时上海地区天气均为晴天,因而该变电站和相连的变电站以及该线路上空不存在雷击的情况。基于上海电网雷电定位系统查询,见图 10^[29]。设置条件:时间浮动 1 800 s(前后 0.5 h)、距离浮动 500 m(线路走廊宽度半径 500 m),系统没有查询到落雷点。图 9 中黄色圆点所示为 2016 年度(截至 12 月 30 日)姚庙 1K007 线附近的落雷点分布情况,表明该 MOA 在运行过程中可能承受过一定次数的大气过电压,但由于没有安装计数器,无法统计次数。

此外,根据图 2 所示故障录波图,可以判定故障前系统没有进行操作,处于无操作的平稳状态,因此故障初因也不是由操作过电压引发,而仅是在运行电压下的绝缘击穿。

3 结论与探讨

根据投运时间至今仅 2 年,在排除外绝缘、大气过电压和操作过电压等因素,结合故障相 MOA 外检查、非故障相电气试验、解体拆卸以及芯体单元烘干电气试验结果,可判定该 MOA 故障均由内部受潮引发。内部受潮原因主要为:①上下法兰端部抽气孔存在密封缺陷,导致运行期间潮气进入;②抽真空灌注硅凝胶工艺存在缺陷,易造成贯通性气隙,潮气进入后使内部电阻片芯组单元受潮。

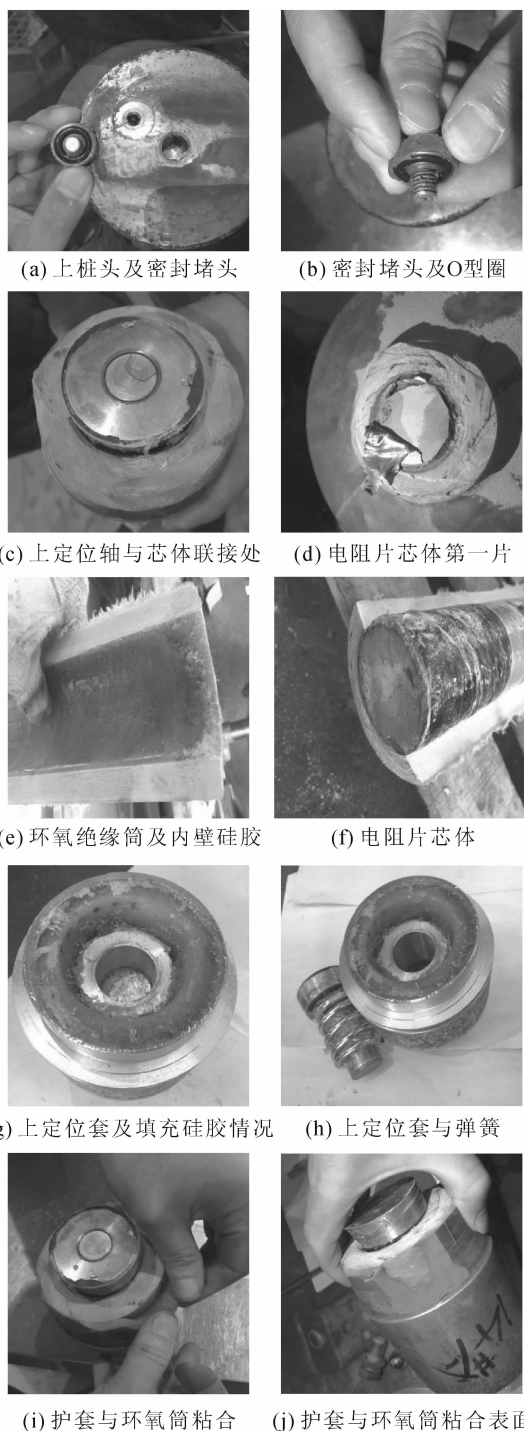


图 8 14#A 相非故障 MOA 解剖

Fig. 8 Disassembly of the MOA 14#A

目前,上海电网运行中 110 kV 复合外套 MOA 发生爆炸故障的另一种结构(至今仅 1 起)见图 11。该 MOA 采用环氧玻璃纤维缠绕布和环氧玻璃纤维引拔棒,将穿心式 ZnO 电阻片定位于上下金具电极间,构成一完整无空腔环氧玻璃纤维缠绕芯体;并在其外采用注射成型工艺制成一体化硫化成型硅橡胶伞裙外套;即将带有 ZnO 电阻片的环氧玻璃纤维缠绕芯体用硅橡胶伞裙外套整体包裹成一密封整体,用于杜绝外部潮气的侵入。并在环氧玻璃纤

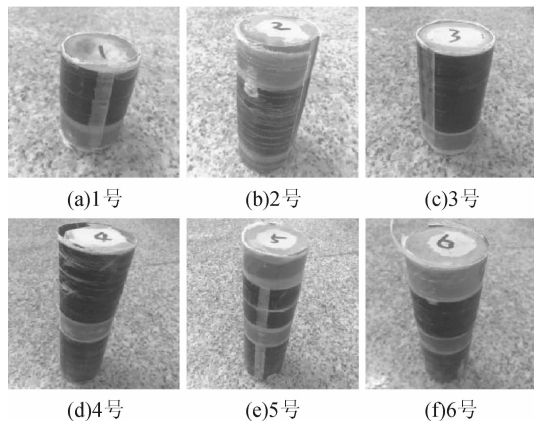


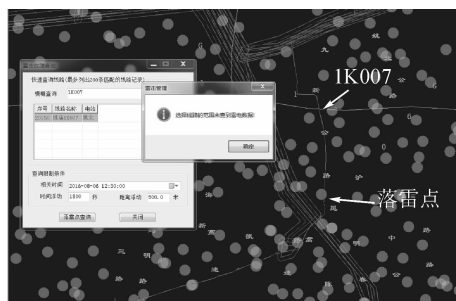
图9 烘干电气试验用14号A相MOA芯体

Fig. 9 Diagnosis electrical tests for the valve plates of MOA No.14A

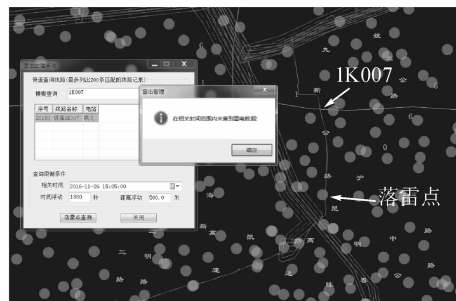
表4 14号A相MOA芯体电气诊断性试验结果

Table 4 Diagnosis electrical tests for the valve plates of MOA No.14A

编号	1 mA 参考电压 U_{dclmA}/kV			75% U_{dclmA} 下泄漏电流 $/\mu A$		
	烘前	烘后	变化	烘前	烘后	变化
1号	6.5	8.5	+2.0	107	99	-8
2号	13.1	16.4	+3.3	291	159	-132
3号	6.8	11.6	+4.8	447	296	-151
4号	22.7	29.3	+6.6	295	217	-78
5号	22.7	25.1	+2.4	627	175	-452
6号	18.9	22.5	+3.6	388	196	-192



(a) 2016-8-6T12:30情况



(b) 2016-11-26T15:05情况

图10 故障MOA线路走廊落雷情况

Fig. 10 Lightning distribution of the line corridor with the fault MOA

维缠绕芯体外表面涂有偶离剂,保证环氧玻璃纤维缠绕芯体与硅橡胶伞裙外套间粘结牢靠,用于防止介面存在气泡或微小缝隙。根据该MOA爆炸部位

以及环氧玻璃纤维缠绕布和环氧玻璃纤维引拔棒的烧毁情况,判断其是自身制造缺陷存在内部放电,最终发展形成贯穿性绝缘击穿致使MOA在短路接地电流作用下发生爆炸故障。内部放电原因可能是MOA成型过程中工艺质量控制不良,环氧玻璃纤维缠绕电阻片柱时或硅橡胶伞裙外套浇注时内部存在气泡、杂质或水分,运行电压下电场分布不均产生局部放电现象,逐步扩大并绝缘击穿形成贯穿性放电通道,致使MOA在短路接地电流下发生爆炸故障;也有可能该是MOA使用的环氧玻璃纤维引拔棒有制造缺陷,运行电压下与穿心电阻片组内表面发生沿面放电,最终发展成沿环氧玻璃纤维引拔棒及电阻片组内表面的贯穿性沿面闪络。

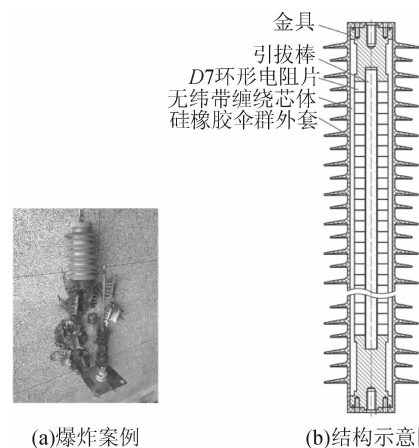


图1 穿心式典型复合外套金属氧化物MOA结构

Fig. 1 Diagrammatic cross-section of another type MOA used in Shanghai Power Grid.

这2种结构110 kV复合外套MOA可归纳为:复合外套、电阻片固定部件和电阻片这3个主要部分。而每个部分的工艺和质量都将对MOA质量及寿命造成影响。MOA的复合外套一般由硫化硅橡胶材料一次成型,制作过程采用了芯体与硅橡胶的粘结工艺。根据目前上海电网运行实际经验表明,无外套电性能和老化性能降低的情况或问题发生。电阻片固定部件即芯体,其密封性能决定了MOA是否会受潮,两种结构都采用密封结构阻止水分进入,但在生产过程中如果工艺质量控制不良,使得内部存在气泡、杂质或水分,或者芯体与绝缘筒安装时偏心导致填充硅胶分布不均存在空气间隙,以及设计存在缺陷导致长期运行后密封失效,都影响整个MOA的质量。此外,电阻片制作对生产环境、原料选用和工艺等均有较高的要求,很多MOA厂家采用外包方式采购电阻片,如果选用的电阻片老化特性不良或均一性较差,均会引发运行电位分布不均导致局部发热等故障,影响MOA使用寿命。

总之,文中所述 110 kV 复合外套 MOA 故障事件在上海电网连续发生 2 起,即 6 支该型号 MOA 2 支运行中发生烧毁和爆炸,剩余 4 支中仅 1 支符合运行要求,且其中 1 支的 1 mA 参考电压 U_{dc1mA} 和 75% U_{dc1mA} 下泄漏电流值 I 严重超标,按照相关部门下发报送缺陷设备信息的要求,该型号 MOA 作为家族性缺陷报送。各电网运维单位需对该型号 MOA 在今后运维检修中重点关注,利用不停电检测手段或停电例行试验评估其运行状态,或根据最终发布的家族性缺陷信息进行调整等,从而避免故障跳闸影响电网可靠性的事件发生。

参考文献:

- [1] 马勇,刘洋,陈大兵,等.一起氧化锌避雷器故障原因分析与思考[J].高压电器,2014,50(11):139-144.
MA Yong,LIU Yang,CHEN Dabing,et al. Analysis on a fault of metal oxide surge arrester[J]. High Voltage Apparatus, 2014,50(11):139-144.
- [2] 祝初.110 kV 避雷器烧毁的故障分析[J].水电站机电技术,2015,38(9):47-48.
ZHU Chudeng. Analysis on a fault of 110 kV metal oxide surge arrester[J]. Mechanical & Electrical Technique of Hydropower Station, 2015,38(9):47-48.
- [3] 庞丹,王志强.66 kV 电缆线路避雷器爆炸原因分析[J].吉林电力,2012,40(2):55-56.
PANG Dan,WANG Zhiqiang. Cause analysis on arrester explosion in 66 kV cable line[J]. Jinlin Electric Power, 2012,40(2):55-56.
- [4] 雷红才,叶会生,刘卫东.一起 500 kV 避雷器的家族缺陷分析及处理[J].电瓷避雷器,2015(4):133-136.
LEI Hongcai,YE huisheng,LIU Weidong. Analysis and treatment of a 500 kV arrester family defects[J]. Insulators and Surge Arresters, 2015(4):133-136.
- [5] 张召涛,李剑,邹平,等.一起氧化锌避雷器爆炸事故分析[J].高压电器,2015,51(8):192-196.
ZHANG zhaotao,LI Jian,ZOU Ping,et al. Analysis on an explosion accident of metal oxide arrester[J]. High Voltage Apparatus, 2015,51(8):192-196.
- [6] 司增彦.一起 110 kV 氧化锌避雷器 MOA 事故的原因分析及对策[J].高压电器,2005,41(5):399-400.
SI Zengyan. Analysis of an accident of 110 kV arrester and precautions[J]. High Voltage Apparatus, 2005,41(5):399-400.
- [7] 李山,公多虎,金铭.一起 110 kV 金属氧化物避雷器事故分析[J].电瓷避雷器,2012(6):67-70.
LI San,GONG Duohu, JIN Ming. Analysis on an accident of 110 kV MOA arrester[J]. Insulators and Surge Arresters, 2012(6):67-70.
- [8] 段建家,何智强,范敏.一起 500 kV 金属氧化物避雷器事故分析[J].电瓷避雷器,2014(3):79-83.
LEI Hongcai,YE huisheng,LIU Weidong. Analysis on a 500 kV metal oxide arrester accident[J]. Insulators and Surge Arresters, 2014,259(3):79-83.
- [9] 张重午.金属氧化物避雷器电阻片在局部放电下的性能劣化[J].电瓷避雷器,1990(4):62-64.
ZHANG Zhongwu. Analysis on performance deterioration of MOA under partial discharge[J]. Insulators and Surge Arresters, 1990(4):62-64.
- [10] 刘彦文.一起 66 kV 避雷器故障解体分析[J].电子技术与软件工程,2015,23(1):238-238.
LIU Yanwen. Analysis on a 66 kV metal oxide arrester accident[J]. Electronic Technology & Software Engineering, 2015,23(1):238-238.
- [11] 葛猛,韩学坤,陶安培.金属氧化物避雷器电阻片老化缺陷的诊断及原因分析[J].高压电器,2009,45(3):145-147.
GE Meng,HAN Xuekun,TAO Anpei. Diagnosing and analysing the age flaw of MOA valve piece[J]. High Voltage Apparatus, 2009,45(3):145-147.
- [12] 彭向杨,钟定珠,李谦.清远电网母线氧化锌避雷器爆炸事故分析[J].高电压技术,2001,27(4):72-73.
PENG Xiangyang,ZHONG Dingzhu,LI Qiang. Accident analysis of explosion of bus MOA in qinyuan power network[J]. High Voltage Engineering, 2001,27(4):72-73.
- [13] 郭秉义,徐霞.变电站 500 kV 避雷器故障原因分析及预防措施[J].内蒙古电力技术,2015,33(1):26-29.
GUO Bingyi,XU Xia. Cause analysis and preventive measures of substation 500 kV surge arrester failure[J]. Inner Mongolia Electric Power, 2015,33(1):26-29.
- [14] 朱时阳,张磊.一起避雷器爆炸引发主变压器损毁故障分析[J].广西电力,2013,36(5):45-49.
ZHU Shiyang,ZHANG Lei. Analysis of main transformer damage fault caused by arrester explosion[J]. Guangxi Electric Power, 2013,36(5):45-49.
- [15] 王彤,李怡,陈林,等.金属氧化物避雷器故障类型比较研究及事故分析[J].绝缘材料,2015,48(9):47-52.
WANG Dan,LI Yi,CHEN li,et al. Fault types of MOA and its fault analysis[J]. Insulation Material, 2015,48(9):47-52.
- [16] 李庆玲.氧化锌避雷器应用一些问题探讨[J].高压电器,2009,45(2):130-134.
LI Qingling. Discussion about application of MOA[J]. High Voltage Apparatus, 2009,45(2):130-134.
- [17] 罗容波,李国伟,李慧.局放检测技术在避雷器状态诊断中的应用[J].高压电器,2012,48(5):84-88.
LOU Rongbo,LI Guowei,LI Hui. Application of partial discharge detection technology in surge arrester state diagnosis[J]. High Voltage Apparatus, 2012,48(5):84-88.
- [18] 张金岗.红外测温技术在氧化锌避雷器带电检测中的应用[J].高压电器,2015,51(6):200-204.

- ZHANG Jingang. Application of infrared temperature measurement technology to live detection of zinc oxide arrester[J]. High Voltage Apparatus, 2015, 51(6):200-204.
- [19] 陈丽勤,伍千红,戴凌越. 一起 110 kV 避雷器故障分析[J]. 江西电力, 2013, 6(1):59-62.
- CHEN Liqing, WU Qianhong, DAI Lingyue. Analysis on a 110 kV metal oxide arrester accident[J]. Jiangxi Electric Power, 2013, 6(1):59-62.
- [20] 王志强,李贵山. 66 kV 电缆线路避雷器爆炸原因分析[J]. 吉林电力, 2012, 40(2):55-56.
- WANG Zhiqiang, LI Guishan. Cause analysis on arrester explosion in 66 kV cable line[J]. Jilin Electric Power, 2012, 40(2):55-56.
- [21] 李 婷,黄海波. 基于不停电检测的避雷器状态检修优化研究[J]. 湖南电力, 2016, 36(3):19-22.
- LI Ting, HUANG Haibo. Research on arrester condition-based maintenance optimization based on non power-off detection [J]. Hunan Electric Power, 2016, 36(3):19-22.
- [22] 刘海龙,李海兵,丁子健,等. 基于阻性电流检测与红外热像技术的避雷器故障诊断[J]. 电瓷避雷器, 2016(3):75-77.
- LIU Hailong, LI Haibing, DING Zijian, et al. Arrester fault diagnosis based on resistive current detection and infrared thermal imaging technology[J]. Insulators and Surge Arresters, 2016(3):75-77.
- [23] 陈贤熙,王俊波,谭 笑. 基于宽带脉冲电流法的避雷器局部放电图谱分析及应用[J]. 电瓷避雷器, 2015(3): 132-137.
- CHEN Xianxi, WANG Junbo, TANG Xiao. Arrester fault diagnosis based on resistive current detection and infrared thermal imaging technology[J]. Insulators and Surge Arresters, 2015(3):132-137.
- [24] 雷红才,叶会生,刘卫东. 一起 500 kV 避雷器的家族性缺陷分析及处理[J]. 电瓷避雷器, 2015(4):133-136.
- LEI Hongcai, YE Huisheng, LIU Weidong. Analysis and treatment of a 500 kV arrester family defects[J]. Insulators and Surge Arresters, 2015(4):133-136.
- [25] 顾承昱. 雷电定位技术在华东电网中的应用[J]. 华东电力, 2009, 37(6):978-981.
- GU Chengyu. Application of lightning positioning technique in east china[J]. East China Electric Power, 2009, 37(6): 978-981.
- 司文荣(1981—),男,博士,高级工程师,从事电力设备故障诊断及研究工作。
- 施卫峰(1976—),男,本科,工程师,从事输配电线路运维管理工作。
- 莫颖涛(1981—),男,硕士,工程师,从事输配电线路运维工作。
- 王逊峰(1983—),男,本科,工程师,从事输配电线路运维管理工作。
- 杨希磊(1986—),男,硕士,工程师,从事输配电线路运维管理工作。