

电力设备技术监督典型案例

BILEIQI JI KAIGUANLEI SHEBEI

避雷器 及开关类设备

丛书主编 戴庆华

主 编 雷红才 漆铭钧



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力设备技术监督典型案例

BILEIQI JI KAIGUANLEI SHEBEI

避雷器 及开关类设备

丛书主编 戴庆华

主 编 雷红才 漆铭钧



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《电力设备技术监督典型案例》丛书由 180 余篇电力设备典型案例构成,本分册为《避雷器及开关类设备》。本书系统收集了避雷器、断路器、隔离开关、组合电器、高压开关柜全过程技术监督典型案例,详细介绍了案例的监督依据、违反条款、案例简介和案例分析等情况,并提出了具体的监督意见和要求。

本书可供从事电力设备技术监督、质量监督、设计制造、安装调试及运维检修的技术和管理人员使用,也可供电力类高校、高职院校的教师和学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

避雷器及开关类设备/雷红才,漆铭钧主编. —北京:中国电力出版社,2016.8

(电力设备技术监督典型案例/戴庆华主编)

ISBN 978-7-5123-9525-1

I. ①避… II. ①雷… ②漆… III. ①电力设备—避雷器
②电力设备—开关 IV. ①TM862②TM56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 152328 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

三河市万龙印装有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2016 年 8 月第一版 2016 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.75 印张 319 千字

印数 0001—3000 册 定价 69.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

《电力设备技术监督典型案例 避雷器及开关类设备》

编 委 会

丛书主编 戴庆华

主 编 雷红才 漆铭钧

副 主 编 李喜桂 周卫华 徐玲玲 彭 江

编写组成员 黄海波 李 欣 陈志勇 毕建刚 金 焱

邵 进 胡 睿 范 敏 焦 飞 程 序

单周平 毛文奇 吴水锋 李 婷 杨 圆

何智强 艾 伟 张黎明 杨 堃 卢甜甜

黄福勇 毛柳明 张亮峰 叶会生 段肖力

帅 勇 彭 勇 陈润兰 高楠楠 黄国栋

陆新洁 马梦朝 章 彪 黄 颖 是艳杰

唐振宇 欧阳光 葛 强 彭 铖 韩忠晖

姜方财 刘海龙 李一哲 王 军 范 源

吴俊杰 雷 挺 齐 飞 谢 佳 袁 帅

吴立远 袁 培 涂 进 刘 贇 赵世华

谢耀恒 岳昌斌 洪 鹤 方 琼 刘 帆

孙 威 彭 平 万 勋 秦家远 徐 俊

孙利朋 刘味果



序

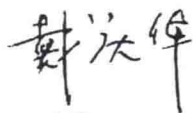
电力行业是资产密集型、知识密集型和技术密集型行业，是社会经济发展的基础行业，更是关系国家能源安全和国民经济发展大局的重要行业，对从业人员的专业水平和敬业精神均提出了较高要求。由于电网设备种类繁多，涉及专业众多，电网设备安全稳定运行保障难度大，所以设备全过程技术监督工作意义重大。部分电力设备技术监督从业人员，往往由于从业时间短、工作经历少等客观原因，在开展技术监督工作时不能充分履行监督职责，不能全面、准确地发现问题，从而影响技术监督工作的权威性和有效性，甚至出现监督失误。这种情况和局面并非不能改观，强化技术监督的知识和经验的培训、交流和协作，就是很好的途径与方式。

2015年起，国网湖南省电力公司按照“平等、互助、互惠、互利”的原则，根据地域特征及生产管理特点，将14个地市公司和省检修公司各分部，划分为4个协作片区，制定区域协作制度，明确职责分工，制订工作计划，开展常态技术监督区域协作工作，旨在通过单位间的相互协作，达到“以他山之石，攻本山之玉”的效果，实现技术监督工作的合作共赢，共同进步，并借此推动湖南公司系统技术监督和生产管理水平的整体提升。通过一年多的实践证明，区域技术监督协作机制的创新与实施，实现了单位间“互通技术监督信息、互补技术监督装备、共享技术监督人才、协同专业技术培训”的预期成效，有效地促进了技术监督支撑和保障安全生产的能力和水平提升。2016年3月，“区域技术监督协作机制创新与实践”项目获得第五届全国电力行业设备管理创新成果特等奖，更是给了我们莫大的鼓舞。

2015年6月开始，我们组织收集了湖南公司近十年的技术监督典型案例近200篇，并组织多次内部筛选、审查。2016年，我们再次组

织部分行业专家对收集的案例进行审核、修改和完善，优选了其中 140 余篇具有代表性的案例，并补充了中国电科院，以及国网北京电力公司、国网江苏电力公司、国网湖北电力公司和国网河南电力公司等国内同行推荐的 40 余篇典型案例，汇编成《电力设备技术监督典型案例》丛书。丛书分为《变压器类设备》、《避雷器及开关类设备》和《输电线路及保护通信设备》三册。望通过《电力设备技术监督典型案例》丛书的汇编出版，实现更大范围的技术监督经验交流与成果共享。

此丛书在编辑出版过程中，得到了国家电网公司运检部杜贵和副主任等领导和专家的大力支持与指导，在此一并致谢！

A handwritten signature in black ink, appearing to read '杜贵和' (Du Guihe), written in a cursive style.

2016 年 7 月



前 言

电力设备技术监督是电力企业的基础和核心工作之一，是电网设备安全运行的保障。为了强化技术监督的知识，方便开展技术监督经验的培训、交流和协作，特编写《电力设备技术监督典型案例》丛书，本分册为《避雷器及开关类设备》。

本书系统收集了避雷器、断路器、隔离开关、组合电器、高压开关柜全过程技术监督典型案例，以图文并茂的形式，介绍了案例发生的过程，剖析了故障及异常产生的原因，指出了案例违反的条款，并提出了技术监督工作的意见和要求。

本书在编辑出版过程中，得到公司领导和专家的大力支持与指导，在此一并致谢。

由于经验和能力所限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 7 月



目 录

序 前言

第 1 章 避雷器技术监督典型案例	1
1000kV 避雷器氧化锌阀片受潮导致阻性电流异常	2
±800kV 换流站避雷器氧化锌阀片劣化导致试验数据异常	6
500kV 避雷器排水孔设计不合理导致内部受潮	13
220kV 避雷器密封圈老化导致内部受潮	17
220kV 避雷器防水铝板密封不良导致氧化锌阀片严重受潮	19
35kV 避雷器底部密封不良导致内部受潮	24
35kV 避雷器氧化锌阀片老化导致阻性电流异常	28
第 2 章 断路器技术监督典型案例	33
500kV 断路器接触行程不足导致主回路电阻值超标	34
220kV 断路器液压操动机构压力表密封设计不合理导致液压油渗漏	39
220kV 断路器法兰瓷套连接处胶封不良导致设备异常发热	43
110kV 断路器密封件老化导致气体泄漏	45
110kV 断路器绝缘拉杆连接轴销工艺不良引发放电故障	48
110kV 断路器液压机构高压油管接头缺陷导致断路器拒动	51
110kV 断路器拉杆连板材质不良导致分合闸失败	54
110kV 断路器回路电阻超标导致灭弧室瓷套异常发热	57
110kV 断路器机构垂直连杆屈服性能不足导致断裂	61
35kV 断路器元件材质不良导致低电压动作值偏大及分闸线圈烧毁	64
35kV 断路器合闸机构缺陷导致合闸不到位	68
35kV 断路器引流板材质不良导致断裂	74
10kV 断路器真空泡密封不良导致绝缘降低	77
10kV 断路器小车隔离触头接触不良导致断路器烧毁	80
10kV 断路器投切电抗器过电压导致站用变绝缘击穿	83
第 3 章 隔离开关技术监督典型案例	89
500kV 隔离开关万向节选材问题导致机械小连杆断裂	90
500kV 隔离开关安装工艺不良导致旋转瓷瓶卡盘轴承断裂	93
500kV 接地隔离开关引下线线夹焊缝焊接工艺不良导致开裂	95

220kV 接地隔离开关手动操作机构齿轮材质不合格导致断裂	98
220kV 隔离开关传动拉杆下滚轮构件材质不良导致断裂	101
110kV 隔离开关镀银层不合格及运行环境恶劣导致普遍发热	103
10kV 隔离开关导体材质及接触面镀层不合格导致接触部位温度异常	108
第 4 章 组合电器技术监督典型案例	113
500kV GIS 断路器辅助断口导向环断裂脱落导致内部闪络	114
500kV HGIS 隔离开关触头屏蔽罩松动导致击穿放电	117
500kV HGIS 出线套管内屏蔽筒螺栓紧固不牢位导致悬浮放电	119
500kV HGIS 气室支撑结构设计不合理及绝缘垫片材质不佳导致漏气	127
500kV HGIS 断路器液压弹簧机构活塞缸体裂纹导致打压频繁	130
500kV GIS 出线插接深度不够导致击穿放电和母线跌落	133
330kV GIS 母线筒内残留异物导致尖端放电	136
220kV GIS 接地隔离开关绝缘子开裂导致气体泄漏	143
220kV GIS 伸缩节存在砂眼缺陷导致漏气	145
220kV GIS 接地隔离开关紧固螺栓松动造成静触头跌落	149
220kV GIS 隔离开关动触头屏蔽罩脱落导致电弧放电	154
220kV GIS 盆式绝缘子安装工艺不良导致漏气	157
220kV GIS 盆式绝缘子裂纹导致严重漏气	160
110kV GIS 电压互感器气室绝缘材料干燥不彻底导致湿度超标	162
110kV GIS 伸缩节固定螺栓安装方式不当导致伸缩节焊缝处漏气	166
110kV GIS 导电杆等电位压紧弹簧接触不良导致悬浮放电	170
110kV GIS 电流互感器内部螺栓松动引起异常放电	176
110kV GIS 电缆过渡气室密封工艺不良导致 SF ₆ 气体泄漏	182
110kV GIS 电缆终端内部空穴导致放电缺陷异常	186
第 5 章 高压开关柜技术监督典型案例	191
35kV 开关柜内部绝缘及防凝露设计不规范导致放电	192
35kV 开关柜结构设计不合理导致封闭母线桥放电	197
10kV 开关柜带电显示装置传感器二次端子悬空引起局部放电	201
10kV 开关柜电缆与接地扁铁空间距离不够导致局部放电	204
10kV 开关柜断路器绝缘薄弱导致局部放电异常	209
10kV 开关柜绝缘受潮导致设备异常放电	214
10kV 开关柜电缆头热缩工艺不良导致局部放电	218
10kV 开关柜电缆标识牌安装不规范导致局部放电	221

第 1 章

避雷器技术监督典型案例

1000kV 避雷器氧化锌阀片受潮导致阻性电流异常

监督专业：电气设备性能
发现环节：运维检修

监督手段：例行试验
问题来源：设备制造

1 监督依据

GB/Z 24846—2009《1000kV 交流电气设备预防性试验规程》

2 违反条款

GB/Z 24846—2009《1000kV 交流电气设备预防性试验规程》表 15 金属氧化物避雷器的试验项目、周期和要求：① U_{8mA} 实测值与初值比较，变化应不大于 $\pm 5\%$ ；② $0.75U_{8mA}$ 下的泄漏电流与初值比较，变化不应大于 30% 。

3 案例简介

2014 年 10 月，某 1000kV 特高压变电站在进行预防性试验时，技术监督人员发现某厂家两节 1000kV 避雷器的两节（编号为 1008-3 和 1011-5）在 $0.75U_{8mA}$ 下泄漏电流超过厂家规定值（ $100\mu A$ ）。经技术人员诊断分析，决定对两节避雷器进行返厂解体检查与分析，解体后确认主要原因为装配过程中水分处理不充分。

4 案例分析

4.1 试验分析

（1）密封性试验。对两只避雷器元件的密封性进行检查，压力为 $0.02MPa$ ，与出厂值一致。

元件 1008-3 和元件 1011-5 解体后内部未发现锈蚀等异常现象，确认设备主体密封无异常。

（2）电气性能试验。元件 1008-3 整体试验数据如表 1 所示， $0.75U_{8mA}$ 下泄漏电流 I_L 大于出厂规定值（ $100\mu A$ ）。

表 1 元件 1008-3 解体前测试数据

产品元件	U_{8mA} (kV)	I_L (μA)	U_{4mA} (kV)	I_L (μA)
1008-3	231.2	160	225.6	138

避雷器元件内部芯体结构为自上而下 5 个单元组成。为进一步查找原因，拆除元件 1008-3 的瓷套和隔弧筒，按照芯体单元进行分别测试，测试结果与拆除前数据基本一

致，如表 2 所示。

表 2 元件 1008-3 解体后测试数据

试验项目	元件	单元一	单元二	单元三	单元四	单元五
U_{8mA} (kV)	231.3	49.65	49.46	44.33	43.97	43.34
I_L (μA)	177	151	122	162	187	158

注 从上往下分别为单元一、单元二、单元三、单元四、单元五。

拆除电容后，再次对各芯体单元进行分别测试，测试结果与各氧化锌阀片单元数值基本一致，各氧化锌阀片泄漏电流较出厂值均有增长，如表 3 和表 4 所示。

表 3 元件 1008-3 芯体各单元拆除均压电容后各单元测试数据

试验项目	单元一	单元二	单元三	单元四	单元五
U_{8mA} (kV)	49.64	49.45	44.33	43.96	43.34
I_L (μA)	155	125	165	188	159

表 4 元件 1008-3 每单元各氧化锌阀片柱测试数据

编号	1-1	1-2	1-3	1-4
U_{2mA} (kV)	49.73	49.71	49.71	49.91
I_L (μA)	48	57	39	21
编号	2-1	2-2	2-3	2-4
U_{2mA} (kV)	49.67	49.43	49.60	49.68
I_L (μA)	31	44	33	26
编号	3-1	3-2	3-3	3-4
U_{2mA} (kV)	44.52	44.31	44.53	44.44
I_L (μA)	30	64	29	41
编号	4-1	4-2	4-3	4-4
U_{2mA} (kV)	44.06	44.04	44.05	44.13
I_L (μA)	57	47	51	41
编号	5-1	5-2	5-3	5-4
U_{2mA} (kV)	43.40	43.41	43.46	43.44
I_L (μA)	59	41	40	43

注：1-2 为单元号-柱号。如 5-1 为第五单元第一柱。

根据上述检查测试情况，初步判断避雷器泄漏电流异常的原因由氧化锌阀片引起。

抽取元件 1008-3 芯体中泄漏电流较大的第 3 单元第 2 柱（3-2）和第 5 单元第 1 柱（5-1），对氧化锌阀片逐片进行测试，发现部分氧化锌阀片泄漏电流超标；对泄漏电流超标的氧化锌阀片进行干燥处理（180℃，4h），并降至室温后进行试验，泄漏电流明显下降，恢复至正常水平，如表 5 和表 6 所示。

表 5 元件 1008-3 第 3 单元第 2 柱、第 5 单元第 1 柱处理前逐片测试数据

编号	3-2-1	3-2-2	3-2-3	3-2-4	3-2-5	3-2-6	3-2-7	3-2-8	3-2-9
U_{2mA} (kV)	4.88	4.93	4.94	4.92	4.92	4.88	4.85	4.92	4.87
I_L (μA)	166	74	48	64	68	126	163	45	142
编号	5-1-1	5-1-2	5-1-3	5-1-4	5-1-5	5-1-6	5-1-7	5-1-8	5-1-9
U_{2mA} (kV)	4.88	4.83	4.82	4.86	4.82	4.82	4.77	4.81	4.71
I_L (μA)	45	119	144	45	95	73	150	47	48

注：3-2-1 为单元号-柱号-氧化锌阀片从上往下位置号，如 3-2-4 为第三单元第二柱从上往下数第四片。

表 6 元件 1008-3 第 3 单元第 2 柱、第 5 单元第 1 柱处理后逐片测试数据

编号	3-2-1	3-2-2	3-2-3	3-2-4	3-2-5	3-2-6	3-2-7	3-2-8	3-2-9
U_{2mA} (kV)	4.90	4.89	4.90	4.88	4.88	4.88	4.88	4.87	4.88
I_L (μA)	25	18	13	19	17	21	25	14	24
编号	5-1-1	5-1-2	5-1-3	5-1-4	5-1-5	5-1-6	5-1-7	5-1-8	5-1-9
U_{2mA} (kV)	4.85	4.83	4.84	4.81	4.81	4.80	4.80	4.78	4.66
I_L (μA)	14	22	23	18	21	15	20	21	13

元件 1011-5 整体直流试验数据和现场试验数据一致，75% U_{8mA} 下泄漏电流大于出厂规定值 (100 μA)；进行抽真空，注入氮气，然后再进行 75% U_{8mA} 下泄漏电流测试，避雷器整节泄漏电流恢复至正常水平，如表 7 和表 8 所示。

表 7 元件 1011-5 抽真空干燥处理前测试数据

产品元件编号	U_{8mA} (kV)	I_L (μA)	U_{4mA} (kV)	I_L (μA)
1011-5	224.8	116	219.9	97

表 8 元件 1011-5 进行抽真空干燥处理，放置 4h 后测试数据为

产品元件编号	U_{8mA} (kV)	I_L (μA)	U_{4mA} (kV)	I_L (μA)
1011-5	225.3	52	220.1	43

4.2 缺陷分析

经过现场解体分析，设备主体密封无异常，说明避雷器内部腔体无外部潮气渗入；避雷器内部各氧化锌阀片泄漏电流均有增长且干燥后下降明显，说明受避雷器腔体内部固有潮气的同步影响，整体氧化锌阀片泄漏电流增长；避雷器整节进行抽真空并重新注入氮气后泄漏电流恢复至正常水平，说明避雷器腔体内存在影响泄漏电流增大的潮气并且可以被置换出来。

分析认为避雷器元件 1008-3 和 1011-5 试验数据异常增大的原因为：在避雷器组装过程中，由于其内部部件干燥处理不充分，水分析出后导致氧化锌阀片受潮，泄漏电

流增大。

5 监督意见及要求

(1) 改善工厂装配环境。改善厂内装配工艺技术条件，同时对装配工装、器具进行系列优化改进。

(2) 完善装配工艺过程控制体系。对原有特高压装配工艺流程进行梳理，细化零部件准备和处理的要求；执行专人负责，强化对装配关键点及过程监督检查的落实。注重对过程数据的记录和追溯，如零部件干燥时间及温度、芯组单元高度、漏率数值及水分数值的记录等。参照高压开关设备控制标准对避雷器内部水分含量进行控制，对每台避雷器进行微水检测，确保水分含量控制在 $50\mu\text{L/L}$ 以下。

(3) 严格出厂设备质量检验。参照 GIS 产品要求，对避雷器出厂前逐台进行微水检测，防止问题产品投入运行。

报送人员：焦飞。

报送单位：中国电科院。

±800kV 换流站避雷器氧化锌阀片劣化导致试验数据异常

监督专业：电气设备性能
发现环节：运维检修

监督手段：例行试验
问题来源：设备制造

1 监督依据

DL/T 273—2012《±800kV 特高压直流设备预防性试验规程》

2 违反条款

DL/T 273—2012《±800kV 特高压直流设备预防性试验规程》表 12 直流氧化锌避雷器的试验项目、周期和要求：①直流参考电压与初始值或制造厂规定值比较，变化不大于±5%；②0.75 倍直流参考电压下的泄漏电流与历次试验比较无明显增长。直流参考电流取出厂试验时的施加值或取每柱阀片 1mA。

3 案例简介

2015 年 2 月，某±800kV 换流站开展年度检修直流场设备，在对 4 台同型号极母线避雷器 P1.WP.F3，P1.WP.F4，P2.WP.F3，P2.WP.F4 进行预防性试验时，发现共有 18 节避雷器单元预试结果超出规程要求。每台避雷器由六节串联组成，每节有三支并联，悬挂式安装。经试验分析，避雷器氧化锌阀片存在劣化情况，已经不能满足运行要求，需要尽快更换相关避雷器。

4 案例分析

4.1 诊断分析

(1) 整体直流参考电压试验。为排除现场测量因素影响、测试方法不当等影响，对送检的 2 只避雷器分别进行了直流 1mA 参考电压试验。同时，考虑到现场测量反映的正负极性测量数据差异问题，也进行了复测。试验结果与现场测试结果基本一致，排除了现场测量因素影响。见表 1。

表 1 烘干前直流 1mA 参考电压测量数据

电流	极性	1 号避雷器 (kV)	2 号避雷器 (kV)
1mA	+	40.0	35.6
	-	41.6	39.0
	偏差	4.0%	9.6%

为排除避雷器受潮因素，对两只避雷器进行了烘干处理，并在烘干后进行直流参考电压测量。烘干前后直流 1mA 参考电压基本保持一致，可排除避雷器受潮问题。见表 2。

表 2 烘干后直流 1mA 参考电压测量数据

单柱电流	极性	1 号避雷器 (kV)	2 号避雷器 (kV)
1mA	+	40.4	35.9
	-	41.2	38.4
	偏差	2.0%	7.0%

(2) 整体残压试验。在排除现场测量因素和受潮因素影响后，为检查避雷器氧化锌阀片性能，开展了 5kA、10kA，8/20 μ s 雷电冲击残压试验和 200A、500A，30/60 μ s 操作冲击残压试验。试验数据表明，两只避雷器保护性能一致性较好，仅残压试验无法判定氧化锌阀片性能问题。见图 1 和表 3。

(3) 阀片直流参考电压试验。为进一步分析避雷器氧化锌阀片问题，对两只避雷器进行了解体。两只送样的避雷器内部均有 6 只氧化锌阀片，其直径均为 75mm，高度有 42mm 和 32mm 两种。如图 2 所示。



图 1 整只避雷器残压试验照片

表 3 整只避雷器残压试验数据

波形 (μ s)	试品	极性	电流 (kA)	残压 (kV)
8/20	1 号	+	5.04	57.0
	1 号	-	5.04	57.0
	2 号	+	5.04	57.0
	2 号	-	5.04	57.0
	1 号	+	10.1	60.6
	1 号	-	10.1	60.6
	2 号	+	10.2	61.0
	2 号	-	10.1	61.0
30/60	1 号	+	0.206	52.3
	1 号	-	0.204	52.3
	2 号	+	0.210	52.7
	2 号	-	0.210	52.7
	1 号	+	0.504	56.0
	1 号	-	0.504	56.0
	2 号	+	0.502	55.6
	2 号	-	0.506	55.6

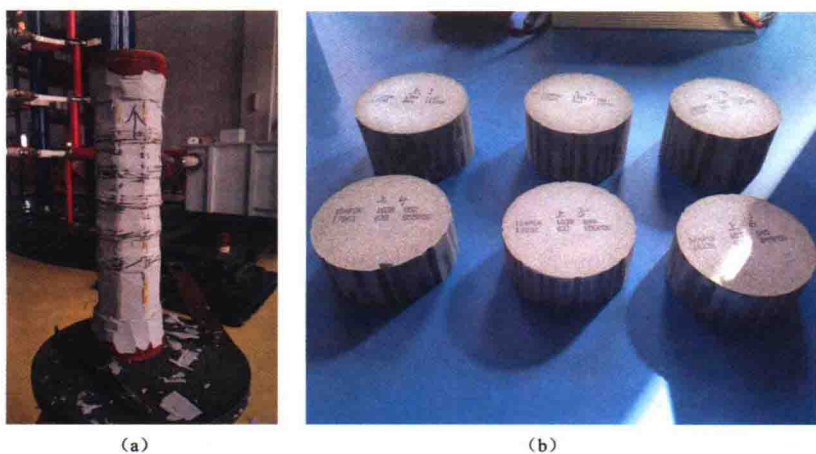


图2 避雷器解体图片
(a) 外观；(b) 氧化锌阀片

对 12 只氧化锌阀片进行烘干处理，然后进行 10kA 雷电冲击和直流 1mA 参考电压试验。其中一只避雷器氧化锌阀片存在较明显异常，详见图 3。

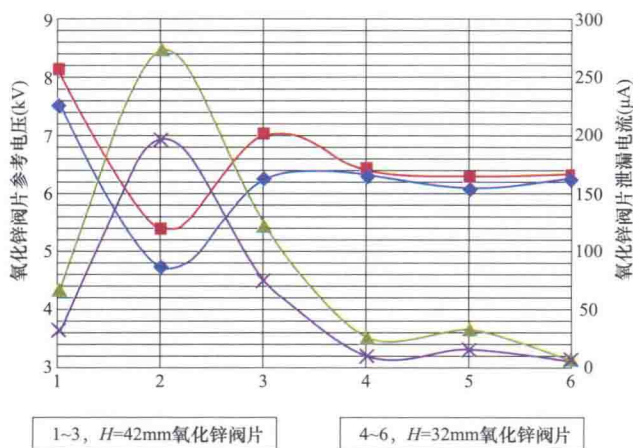


图3 试验结果

◆ $U_{1mA} (+)$ ■ $U_{1mA} (-)$ ▲ $I_d (+)$ × $I_d (-)$

可以看出，2 号氧化锌阀片直流参考电压明显偏低且泄漏电流明显偏高，劣化明显，可能存在劣化情况。

(4) 阀片加速老化试验。为验证直流参考电压试验推测，对 11 只氧化锌阀片（受试验能力影响，试验设备最多容纳 11 只氧化锌阀片试验）进行了 1000h（约 42 天）加速老化试验，考核氧化锌阀片劣化情况。各氧化锌阀片的直流参考电压和老化试验结果详见表 4。