

彩色版

BIANDIAN SHEBEI  
SHIYAN ZHENDUAN JI FENXI

# 变电设备 试验诊断及分析

主 编 陈 灵  
副主编 张孔林 黄 巍 张秀霞



- **分析**设备故障现象, **学习**变电检测技术
- **掌握**设备内部结构, **理解**试验数据意义
- **积累**异常诊断经验, **当好**变电设备医生



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



BIANDIAN SHEBEI  
SHIYAN ZHENDUAN JI FENXI

# 变电设备 试验诊断及分析

主 编 陈灵  
副主编 张孔林 黄 巍 张秀霞  
参 编 林忠立 张 衍 黄雄涛 张永记 李朝辉  
肖颂勇 李建英 黄 坤 沈 璟 郑云海  
吴奇宝 郭志斌 黄 鹏 魏登峰 李 冲  
林 滔 王海霞



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

本书精选了近年来电网公司变电设备检测和故障诊断的 57 个案例, 这些案例涵盖了变压器、互感器、避雷器、断路器、GIS、开关柜及其他设备。案例详细描述了电气试验、油化试验、带电检测技术在变电设备状态检测中的分析思路和诊断方法, 并对故障设备结构进行深入剖析。通过有针对性地讲解试验技术与设备结构之间的对应关系, 让读者通过故障现象学习试验诊断技术, 掌握设备结构, 积累试验异常诊断的经验。

本书可供电力系统变电设备生产管理及专业技术人员、生产一线员工、设备制造厂设计调试人员等使用, 并可作为在职技术人员的业务提高培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

变电设备试验诊断及分析 / 陈灵主编. —北京: 中国电力出版社, 2019.3  
ISBN 978-7-5198-2773-1

I. ①变… II. ①陈… III. ①变电所-电气设备-故障诊断 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 295178 号

---

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 崔素媛 (010-63412392)

责任校对: 黄 蓓 郝军燕

装帧设计: 张俊霞

责任印制: 杨晓东

---

印 刷: 北京博图彩色印刷有限公司

版 次: 2019 年 3 月第一版

印 次: 2019 年 3 月北京第一次印刷

开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本

印 张: 16

字 数: 393 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 75.00 元

---

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社营销中心负责退换

## 前 言

我国电网建设的快速发展对变电设备的性能和运行可靠性提出了更高的要求。从事变电检测工作的技术人员作为保障电网安全稳定运行的重要力量，在国家电网公司实现“三型两网、世界一流”战略目标的新时期，要以强烈的责任感和使命感，牢记初心、不忘使命，主动融入国家电网公司新时代发展大局，做高质量发展的参与者、推动者、见证者，在一流能源互联网企业建设的征途中守正创新，彰显新的担当作为。

本书收集近年来电网公司变电设备检测和故障诊断的 120 个真实案例，并从中精选出 57 个典型案例进行提炼总结。设备涵盖了变压器、互感器、避雷器、断路器、GIS、开关柜及其他设备等 7 大类。每个案例的介绍都分三部分，包括案例概况、检测过程、案例总结，其中，“案例总结”进一步对故障原因进行了分析，并且还介绍了与故障案例相关联的知识。

希望读者通过阅读本书，综合掌握高压试验、油化试验、热工仪表及带电检测技术，充分理解设备结构、故障表象与试验数据之间的关系，通过科学的试验诊断方法，准确的试验数据分析和可靠的设备状态评估，当好设备“医生”，确保变电设备安全可靠运行，为加快建设具有全球竞争力的世界一流能源互联网企业贡献力量。

书中不妥之处，敬请各位读者批评指正！

# 目 录

前言

## 第一部分 变 压 器 类

案例 1	变压器绕组直流电阻超标案例	3
案例 2	接地变压器兼站用变压器绕组断线诊断分析案例	6
案例 3	变压器高压套管介损测试异常案例	10
案例 4	变压器套管异常发热案例	13
案例 5	主变压器套管末屏放电缺陷案例	16
案例 6	变压器近区短路引起中压绕组损坏案例	18
案例 7	变压器有载分接开关引线接触不良案例	25
案例 8	变压器绝缘油硫腐蚀案例	29
案例 9	变压器轻瓦斯告警案例	32
案例 10	变压器油色谱在线监测案例	35
案例 11	变压器有载调压开关绝缘筒渗漏案例	37
案例 12	变压器绕组变形案例	40
案例 13	变压器有载调压开关机械故障案例	47

## 第二部分 互 感 器 类

案例 14	电流互感器在线监测发现内部故障案例	53
案例 15	油浸倒立式电流互感器介损及电容量试验案例	57
案例 16	电流互感器绝缘击穿事故案例	61
案例 17	电容式电压互感器电容量在线监测案例	68
案例 18	电容式电压互感器电磁单元发热案例	79
案例 19	电容式电压互感器分压器发热案例	82
案例 20	电容式电压互感器试验接线接触不良案例	88
案例 21	电容式电压互感器密封件老化进水导致油色谱异常案例	90
案例 22	电容式电压互感器电压异常案例	93
案例 23	电压互感器阻尼器故障导致电压异常案例	96

## 第三部分 避 雷 器 类

案例 24	避雷器运行电压下泄漏电流异常案例	101
案例 25	避雷器阻性电流在线监测案例	104
案例 26	避雷器红外热像检测案例	112
案例 27	1000kV 避雷器泄漏电流异常案例	115

## 第四部分 断路器类

案例 28	断路器回路电阻测试案例	121
案例 29	断路器断口间并联电容器高压介损试验案例	123
案例 30	断路器动静触头烧蚀回路电阻测试异常案例	128
案例 31	石墨触头断路器合闸同期不合格异常分析	130
案例 32	1000kV 断路器合闸电阻测试异常分析	132

## 第五部分 GIS 类

案例 33	GIS 电缆仓发热案例	139
案例 34	GIS 断路器工频耐压试验放电案例	142
案例 35	罐式避雷器带电检测案例	144
案例 36	罐式避雷器底座引线异常案例	148
案例 37	GIS 六氟化硫气体湿度不合格案例	151
案例 38	GIS 六氟化硫气体纯度不合格案例	154
案例 39	GIS 六氟化硫气体分解产物检测案例	156
案例 40	GIS 断路器内部异物放电案例	160
案例 41	GIS 断路器内部疑似颗粒放电案例	164
案例 42	GIS 内电缆终端绝缘气隙放电	171
案例 43	GIS 隔离开关绝缘拉杆局放案例	180

## 第六部分 开关柜类

案例 44	开关柜特高频局放案例	187
案例 45	开关柜超声波局放检测案例	193
案例 46	开关柜臭氧局放检测案例	197
案例 47	开关柜暂态地电压局放案例	200

## 第七部分 其他设备类

案例 48	电容器组电容量异常案例	207
案例 49	干式电抗器匝间绝缘击穿案例	212
案例 50	干式电抗器异常发热案例	218
案例 51	穿墙套管末屏绝缘击穿案例	224
案例 52	出线套管盐污异常案例	227
案例 53	穿墙套管放电故障超声波局放检测案例	233
案例 54	电力电缆绝缘受潮导致局部放电案例	240
案例 55	母线桥支撑绝缘子超声波局放案例	242
案例 56	低值瓷质绝缘子红外热像检测发热案例	244
案例 57	复合绝缘子红外热像检测发热案例	247

## 第一部分

# 变 压 器 类





## 变压器绕组直流电阻超标案例

### 一、案例概况

2015年6月3日,试验人员在进行110kV某变电站2号主变压器例行试验时,发现110kV侧绕组直流电阻1~17挡三相不平衡系数均超注意值,检查发现B相套管将军帽导电杆和一次引线接触面接触不良导致B相直流电阻偏大。

### 二、检测过程

#### 1. 设备基本情况

该主变压器为110kV双绕组变压器,型号为SZ10-40000/110,调压范围(110±8×1.25%)/10.5kV,额定容量40000kVA,联结组标号YNd11,出厂日期2006年5月。有载调压开关型号:MR-VⅢ-350Y,额定电流350A,共17挡。运行工况良好,历次巡检及停电例行试验均未发现异常。

#### 2. 检测项目及数据

2015年6月3日,试验人员在进行2号主变压器例行试验时,发现110kV侧绕组直流电阻1~17挡三相不平衡系数均超过2%,具体数据见表1-1,超注意值,其中B相电阻较A、C相大。其余试验项目均正常。查上次试验报告,上次直流电阻测试数据合格。

表 1-1 2号主变压器 110kV 侧绕组直流电阻测试数据

挡位	A—O	B—O	C—O	三相不平衡系数 (%)
	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	
1	445.6	456.6	447.6	2.4448
2	436.8	447.8	438.7	2.4937
3	427.8	438.9	429.9	2.5682
4	419.8	430.6	421.5	2.5473
5	411	421.7	412.8	2.5772
6	402.1	412.9	403.9	2.6581
7	393.2	404	395.1	2.7174
8	384.3	395.2	386.1	2.8054
9 (b)	373.7	384.1	374.5	2.7554
10	384.1	395	386	2.8066
11	392.8	403.8	394.9	2.7696

续表

挡位	A—O	B—O	C—O	三相不平衡系数 (%)
	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	
12	401.7	412.7	403.7	2.709 1
13	410.6	421.7	412.7	2.674 6
14	419.4	430.6	421.6	2.642 3
15	428.4	439.5	430.5	2.564 6
16	437.2	448.4	439.3	2.536 0
17	446	457.3	448.4	2.507 9

### 三、案例总结

#### 1. 原因分析

检修人员对 2 号主变压器进行检查，重点检查 110kV 侧 B 相套管将军帽，分步检查 B 相套管将军帽及导电杆，发现 B 相套管将军帽螺牙式导电杆和一次引线螺纹接触面表面有氧化层，导致接触面接触不良，如图 1-1 所示。

检修人员对 B 相套管将军帽导电杆螺纹接触面进行清洗及打磨处理，去除螺纹接触面氧化层。处理后重新测试高压侧直流电阻，测试数据正常。处理后高压侧直流电阻测试数据如表 1-2 所示。



图 1-1 2 号主变压器 110kV-侧 B 相套管将军帽

表 1-2 2 号主变压器 110kV 侧绕组直流电阻处理后测试数据

挡位	A—O	B—O	C—O	三相不平衡系数 (%)
	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	
1	436.8	437.5	438.8	0.46
2	428.1	428.9	430.0	0.44
3	419.4	420.1	421.3	0.45
4	410.7	411.5	412.7	0.49
5	402.0	402.8	404.1	0.52
6	393.5	394.3	395.5	0.51
7	384.8	385.6	386.8	0.52
8	376.3	377.0	378.3	0.53
9 (b)	366.1	366.2	366.9	0.22

续表

挡位	A—O	B—O	C—O	三相不平衡系数 (%)
	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	实测电阻 (mΩ)	
10	376.1	376.8	378.1	0.53
11	384.6	385.4	386.6	0.52
12	393.5	394.1	395.4	0.48
13	402.2	402.8	403.9	0.42
14	410.8	411.5	412.7	0.46
15	419.5	420.2	421.3	0.43
16	428.3	428.9	430.0	0.40
17	436.9	437.6	438.6	0.39

## 2. 延伸知识

停电例检时应对照套管顶部引线的各个接触面进行检查处理，有氧化层时应立即进行处理，保证接触面接触可靠，避免因接触不良导致运行时发热，进而使缺陷进一步扩大，影响变压器的正常运行。

变压器绕组直流电阻测试是变压器试验的重要项目，对判断绕组是否正常提供重要依据。如果在测试时发现测试数据异常，应高度重视，认真分析数据特征，判断可能的原因，分析是绕组内部故障、有载调压开关异常，还是套管顶部导电杆各接触面接触不良造成的，找到原因后应尽快进行处理，保证变压器运行。

## 接地变压器兼站用变压器绕组断线诊断分析案例

### 一、案例概况

2016年8月29日,110kV某变电站10kV 1号接地变压器兼站用变压器保护动作。当天检修、试验人员及厂家工作人员到现场进行检查及试验,检查发现接地变B相线圈高压侧线圈底部出现开裂,附近的铁心及夹件有发黑痕迹;试验发现高压侧A相直流电阻正常,B、C相直流电阻严重超标。

### 二、检测过程

#### 1. 设备基本情况

10kV接地变压器兼站用变压器为干式变压器,型号为DKSC-700/10.5-100/0.4,联结组别为ZYNyn11,运行挡为3挡(额定挡),出厂日期为2015年5月,投运日期为2016年2月。

#### 2. 检测项目及数据

##### (1) 绕组绝缘电阻测试。

2016年8月29日,试验人员对10kV 1号接地变压器兼站用变压器进行绝缘电阻测试,高低压侧绕组绝缘电阻及铁心绝缘电阻均符合规程要求,试验数据见表2-1。

表 2-1 绝缘电阻试验数据

接线方式	I/II、E	II/I、E	铁心/I、II、E
绝缘电阻(MΩ)	10 000	10 000	6000

##### (2) 绕组直流电阻测试。

试验人员进行绕组直流电阻测试,试验数据(额定挡)见表2-2。低压侧三相电阻、高压侧绕组A相电阻对比交接值均正常,B、C相无法测量,可能存在绕组断线。

表 2-2 绕组直流电阻测试

相别	测试时间	高压侧				低压侧			
		AO	BO	CO	不平衡率	ao	bo	co	不平衡率
绕组直流电阻(mΩ)	2016年8月29日	1279	无法测量	无法测量	—	10.42	10.41	10.44	0.16%
	2015年8月28日(交接)	1264	1267	1255	0.55%	10.38	10.38	10.42	0.26%



10kV 1号接地变压器兼站用变压器如图 2-1 所示,可看成三个独立的单相变压器通过连接杆联结而成,每个单相变压器内均有铁心及高低压绕组。该变压器联结组别为 ZNyn11,三相绕组的联结组别如图 2-2 所示。



图 2-1 10kV 1号接地变压器兼站用变压器外观

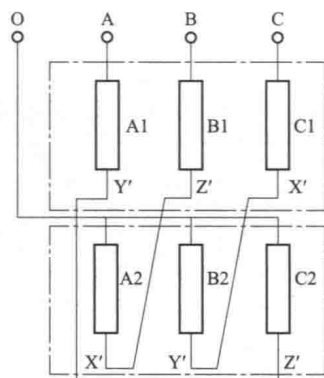


图 2-2 ZNyn11 绕组联结组别

为了进一步确定内部故障的位置,试验人员拆除三相之间的连接杆,将  $AY'$ 、 $BZ'$ 、 $CX'$  分别记为 A1、B1、C1 绕组,  $OX'$ 、 $OY'$ 、 $OZ'$  分别记为 A2、B2、C2 绕组,三相的低压侧绕组分别记为 aⅡ、bⅡ、cⅡ 绕组。试验人员单独测试以上绕组的直阻,试验数据见表 2-3。由于 B1、B2 绕组测量仪器无法正常通流,试验人员怀疑 B1、B2 绕组可能断线。

表 2-3 单独测试绕组的试验数据

相别	绕组	绕组直流电阻 (mΩ)
A	A1	798.6
	A2	779.7
B	B1	无法测量(无法通流)
	B2	无法测量(无法通流)
C	C1	794.5
	C2	788.3

### (3) 绕组各分接位置电压比测试。

试验人员拆除三相之间的连接杆后,单独测量各绕组变比,试验数据见表 2-4。电压比测试时仪器对低压侧加压,对高压侧进行电压测量,而 B1、B2 的测试变比为零,试验人员确认 B1、B2 绕组断线。

表 2-4 各绕组电压比测试试验数据

相别	绕组	测试变比
A	A1/aⅡ	15.187
	A2/aⅡ	15.148
B	B1/bⅡ	0
	B2/bⅡ	0

续表

相别	绕组	测试变比
C	C1/c II	15.188
	C2/c II	15.148

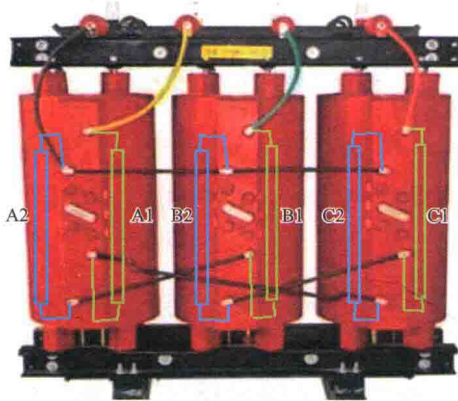


图 2-3 变压器绕组布置方式

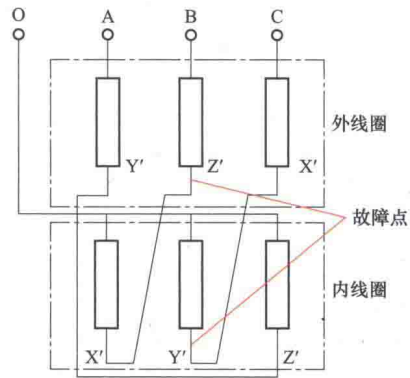


图 2-4 绕组线圈绝缘击穿部位

#### (4) 解体分析。

试验人员将故障的变压器运回制造厂进行解体分析，厂家介绍该型号变压器每相的两个一次绕组不是上下布置的，而是内外分层布置，如图 2-3 所示。解体发现线圈故障为 B 相绕组内线圈引出线与外线圈绝缘击穿，如图 2-4 所示。经测量，内线圈引出线与外线圈距离约 10mm，小于工艺要求的 15mm。

## 三、案例总结

### 1. 原因分析

综合故障现象、解剖情况，确定内部线圈引出线与外线圈距离（工艺要求大于 15mm）过近，是故障的直接原因。内线圈引出线与外线圈之间电压差为 6.062kV 的相电压，两者距离偏小造成此处电场强度偏大。遭遇过电压时绝缘薄弱点加速绝缘老化，长时间运行后导致内外线圈绝缘故障。

为了避免该类故障再次发生，厂家通过在内外线圈引出线之间增加真空浸胶板固定等措施来保证其绝缘距离，同时增加了绝缘距离余量，将原有的绝缘距离控制要求由  $\geq 15\text{mm}$  改为  $\geq 20\text{mm}$ ，具体如图 2-5 所示。



图 2-5 生产工艺调整示意图

## 2. 延伸知识

接地变压器的作用是为中心点不接地系统提供一个中性点，便于采用消弧线圈或小电阻的接地方式，以减小配电网发生接地短路故障时的对地电容电流。

接地变压器常用的联结组别为  $ZNyn11$ ，其每相绕组是由内外布置的两个半绕组组成，两个半绕组内的零序磁动势正好大小相等、方向相反而相互抵消，其零序漏磁通可以减到很小，从而得到很小的零序电抗值。

接地变压器常见的故障有绕组对地绝缘击穿、绕组断线、绕组匝间短路等。由于接地变压器绕组的特殊连接方式，当怀疑其内部存在绝缘故障时，可以拆除三相之间的连接杆，分相进行试验，试验项目一般采用绕组绝缘电阻、直流电阻及各分接位置电压比测试等。



## 案例 3

# 变压器高压套管介损测试异常案例

## 一、案例概况

2010年2月2日, 试验人员对110kV某变电站3号主变压器进行首检时发现, 主变压器110kV侧A、B两相套管的介损出现较大幅度增长, 但油气试验合格, 综合分析确认COT550-800型套管存在定位销与将军帽接触不良的常见缺陷, 导致介损数据异常, 经处理后试验数据恢复正常。

## 二、检测过程

### 1. 设备基本情况

110kV某变电站3号主变压器, 型号为SSZ10-40000/110, 出厂日期为2008年12月, 投运日期为2009年5月4日; 110kV套管为COT550-800型, 出厂日期为2008年12月。

### 2. 检测项目及数据

#### (1) 介损试验情况。

2010年2月2日, 试验人员进行3号主变压器首检时发现110kV侧A、B两相套管的介损出现较大幅度增长, 具体数据见表3-1和表3-2。因3号主变压器110kV套管的电容量数据正常, 且进行套管油色谱试验数据正常, 初步判断上述110kV套管正常, 决定先行送电。

表 3-1 2010年2月主变压器高压套管试验数据

2010年2月2日 温度: 9℃ 相对湿度: 62% 天气: 晴							
相位	出厂序号	接线方式	电压	$\tan\delta$ (%)	$C_x$ (pF)	$C_N$ (pF)	$\Delta C$ (%)
A	8011375	正接	10kV	0.671	283.2	284	-0.28
B	8011372	正接	10kV	0.408	283.5	287	-1.22
C	8011352	正接	10kV	0.106	288.5	291	-0.86
D	8011852	正接	10kV	0.226	374.7	376	-0.35

表 3-2 2009年4月主变压器高压套管试验数据

2009年4月21日 温度: 20℃ 相对湿度: 68% 天气: 晴							
相位	出厂序号	接线方式	电压	$\tan\delta$ (%)	$C_x$ (pF)	$C_N$ (pF)	$\Delta C$ (%)
A	8011375	正接	10kV	0.242	282.1	284	-0.67
B	8011372	正接	10kV	0.248	282.7	287	-1.50
C	8011352	正接	10kV	0.265	289.2	291	-0.62
D	8011852	正接	10kV	0.230	377.2	376	0.32



(2) 后续处理分析。

2010年3月27日, 试验人员会同套管厂家对上述套管进行停电复查, 发现套管介损已恢复正常, 具体数据见表3-3。

表3-3

2010年3月主变压器高压套管试验数据

2010年3月27日 温度: 11℃ 相对湿度: 58% 天气: 晴							
相位	出厂序号	接线方式	电压	$\tan\delta$ (%)	$C_x$ (pF)	$C_N$ (pF)	$\Delta C$ (%)
A	8011375	正接	10kV	0.337	283.3	284	-0.25
B	8011372	正接	10kV	0.339	282.6	287	-1.53
C	8011352	正接	10kV	0.348	288.5	291	-0.86

### 三、案例总结

#### 1. 原因分析

该互感器公司生产的油浸纸电容式穿缆型套管, 其主要部件如图3-1所示。该套管将军帽帽盖与高压引线接头  $\Phi 60$  紧固螺母之间有一纸质垫片, 高压引线接头与将军帽帽盖底部之间有一橡胶密封垫相隔, 即纸质垫片和橡胶密封垫造成了将军帽帽盖与高压引线接头存在绝缘间隙。



图3-1 套管头部主要部件

运行中的套管将军帽与高压引线接头存在绝缘间隙, 将产生悬浮电位, 因此厂家在高压引线接头与将军帽帽盖之间增加一根定位销(也可起到固定引线位置的作用), 来防止悬浮放电。

根据厂家对该型号套管同类型缺陷的返厂处理经验, 及现场对套管将军帽解体检查情况, 分析认为造成3号主变压器110kV套管介损偏大的原因为: 由于定位销没有通过螺钉等手段可靠地与将军帽帽盖、高压引线接头相连。高压引线的定位销与将军帽接触不良, 此时用万用表测量高压引线与将军帽不连通, 套管介损试验也因存在绝缘间隙而产生异常, 影响试验数据的准确性, 引起介损偏大或超标。具体如图3-2~图3-4所示。



图3-2 A相套管将军帽



图3-3 定位销与将军帽不接触



图3-4 定位销与将军帽接触良好