

变电设备状态 检测实例

国网宁夏电力公司电力科学研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

非
外
借

变电设备状态 检测实例

国网宁夏电力公司电力科学研究院 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书收集了近年来宁夏电网设备状态检测的案例,分为变压器状态检测典型案例、GIS 状态检测典型案例、开关柜状态检测典型案例、其他设备状态检测典型案例 4 章,共 34 例,通过对每个案例的案例经过、检测分析、处理及分析、经验体会等进行详尽的阐述,为变电设备状态检测提供了帮助。

本书适合变电设备状态检测相关工作人员阅读,也可作为高等院校相关专业师生的课外读物。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电设备状态检测实例/国网宁夏电力公司电力科学研究院编. —北京:中国电力出版社, 2017. 12
ISBN 978 - 7 - 5198 - 1358 - 1

I. ①变… II. ①国… III. ①变电所—电气设备—检测 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 275970 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: 肖 敏 (010-63412363) 贾丹丹
责任校对: 常燕昆
装帧设计: 张俊霞 左 铭
责任印制: 邹树群

印 刷: 北京九天众诚印刷有限公司
版 次: 2017 年 12 月第一版
印 次: 2017 年 12 月北京第一次印刷
开 本: 787 毫米×1092 毫米 16 开本
印 张: 8
字 数: 154 千字
印 数: 0001—1500 册
定 价: 45.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

编 委 会

主 编 宋永强

副 主 编 马飞越 黎 炜 郭文东 郭 飞

编写人员 马 奎 胡 伟 王 博 丁 培

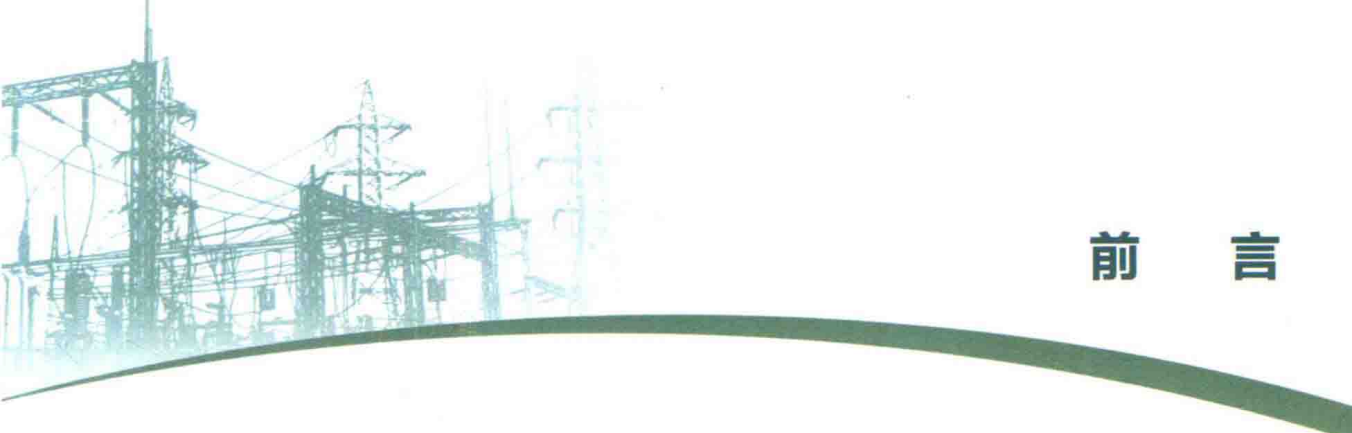
相中华 潘亮亮 张 灏 张远航

陈文龙 翟 亮 买 亮 王东方

马永奎 康宝英 刘世涛 赵冠楠

黄福敏 杨 强 李 斌 刘 博

柴 毅 刘威峰 田 禄



前言

近年来,随着特高压直流电网、超高压交流电网及智能电网的不断发展,对电网设备的性能和运行可靠性均提出了更好的要求,设备检修由定期检修逐步实现向状态检修的转变,状态检测得到越来越广泛的应用。电网设备状态检测的目的是采用有效的状态检测手段捕捉设备异常时“声、光、电、磁、热”等参数的变化,运用分析诊断技术,及时、准确地掌握设备运行状态,保证设备的安全可靠运行。

本书通过对近年来宁夏电网设备状态检测案例进行收集,筛选典型案例34例,按照设备类型分为四大部分,包括变压器类设备、GIS、开关柜及其他设备,检测技术涉及特高频局部放电、超声波局部放电、高频局部放电、暂态地电压检测、红外成像检测、X射线成像检测、SF₆气体检测等10余种带电检测技术,对每个案例的经过、检测分析及解体结果等方面进行详尽的阐述,有助于国网宁夏电力公司状态检测工作整体水平的提升。

本书是在国网宁夏电力公司运维检修部的主持下,由国网宁夏电力公司电力科学研究院、国网宁夏电力公司检修公司及各供电公司具体实施完成。由于编者水平和时间有限,疏漏之处在所难免,恳请各位读者批评指正。

编者

2017年7月

目 录

前言

1	变压器状态检测典型案例	1
1.1	灵州±800kV 特高压换流变电站换流变压器悬浮放电缺陷	1
1.2	沙湖 750kV 变电站 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器悬浮电位放电缺陷	8
1.3	银川东±660kV 换流站 750kV 1 号主变压器悬浮放电缺陷	14
2	GIS 状态检测典型案例	18
2.1	黄岗 110kV 变电站 110kV GIS 100-1 气室颗粒放电缺陷	18
2.2	镇南变电站 110kV GIS 支撑绝缘子绝缘放电缺陷	23
2.3	李寨 110kV 变电站 110kV GIS 1111 间隔绝缘及悬浮放电缺陷	27
2.4	滨河变电站 110kV GIS 内部放电缺陷	31
2.5	高桥 220kV 变电站 220kV GIS 隔离开关合闸不到位	33
2.6	李寨 110kV 变电站 126kV GIS 隔离开关合闸不到位缺陷	35
2.7	城关 220kV 变电站 220kV GIS 隔离开关自由颗粒放电缺陷	37
2.8	凯歌 330kV 变电站 110kV GIS	41
2.9	凯歌变电站 126kV GIS 超声波局部放电检测发现自由颗粒缺陷	45
2.10	新桥 110kV 变电站 110kV GIS 红外成像检漏带电检测	49
2.11	望远 110kV 变电站 110kV GIS 电压互感器局部放电缺陷	52
2.12	柔远 110kV 变电站 110kV GISⅡ母电压互感器机械振动缺陷	57
3	开关柜状态检测典型案例	60
3.1	谢儿渠 35kV 变电站 35kV 303 开关柜穿柜套管绝缘放电缺陷	60
3.2	龙泉 110kV 变电站 10kV 开关柜多点悬浮及绝缘放电缺陷	64
3.3	隆湖 110kV 变电站 35kV 开关柜高压熔丝悬浮放电缺陷	68

3.4 长青 110kV 变电站 10kV 母联开关柜穿屏套管悬浮及绝缘放电缺陷 70

3.5 灵武 110kV 变电站 35kV 开关柜母线连接外绝缘及悬浮放电缺陷 73

3.6 芦花 220kV 变电站 35kV 开关柜电缆伞裙表面放电缺陷 77

3.7 兴庆 110kV 变电站 10kV 开关柜避雷器引线表面放电缺陷 79

3.8 李寨 110kV 变电站 35kV 开关柜穿屏套管等电位局部放电缺陷 84

3.9 贺兰山 750kV 变电站 35kV 开关柜穿柜套管局部放电缺陷 87

3.10 宁安 330kV 变电站 35kV 开关柜局部放电缺陷 90

3.11 汉渠 35kV 变电站 10kV 开关柜穿墙套管局部放电缺陷 93

3.12 贺兰山 35kV 变电站互感器柜熔断器局部放电缺陷 97

4 其他设备状态检测典型案例 103

4.1 靖安 220kV 变电站避雷器防爆片悬浮放电缺陷 103

4.2 镇朔 220kV 变电站避雷器防爆片及避雷器连接扁铁
螺栓悬浮放电缺陷 105

4.3 渝河 110kV 变电站主变压器 10kV 母排固定螺栓松脱
局部放电缺陷 108

4.4 中卫 330kV 变电站 330kV 电压互感器在线监测装置
安装错误缺陷 111

4.5 西吉 110kV 变电站 1 号主变压器低压侧墙套管发热缺陷 113

4.6 东山 220kV 变电站 220kV 电流互感器内部缺陷 114

4.7 固原 330kV 变电站 35kV 2 号电抗器红外发热缺陷 117

参考文献 120

变压器状态检测典型案例

1.1 灵州±800kV 特高压换流变电站换流变压器悬浮放电缺陷

- ▶▶ 设备类别：【换流变压器】
- ▶▶ 单位名称：【国网宁夏电力公司电力科学研究院】
- ▶▶ 技术类别：【油色谱检测，特高频、高频、超声波局部放电检测】

1.1.1 案例经过

2016年6月28日，灵州±800kV 特高压换流变电站极Ⅱ高端换流变压器进行试运行，试运行大约12h后油色谱在线监测装置检测出乙炔。6月30日，10:00左右开始试运行，空载状态运行大约10h后，20:10停止，在线监测及离线油色谱数据显示乙炔含量明显超出标准规定的注意值。为进一步分析缺陷性质及部位，7月1日，19:30~22:00极Ⅱ高端换流变压器再次进入试运行，国网宁夏电力公司电力科学研究院对YYC相换流变压器进行空载状态下局部放电定位，采用高频局部放电、特高频局部放电及超声波局部放电带电检测分析YYC相换流变压器内部存在悬浮电位放电现象，并定位分析局部放电信号源来源于换流变压器M型升高座柱2与柱3之间变压器铁轭部位，原因可能为换流变压器上部铁轭处存在导体接触不良或断线、金属接触不良（如螺帽接触不良）、金属异物等，局部放电测试结果与油色谱数据相吻合。7月3、4日，ABB厂家对YYC相换流变压器进行解体检查，采用内窥镜检查发现换流变压器铁芯柱的2AC侧拉板与上轭末级片导通，并且存在放电痕迹，与带电检测定位结果一致。

1.1.2 检测分析

1. 油色谱检测

2016年6月28日，灵州±800kV 特高压换流变电站极Ⅱ高端换流变压器在线监测及离线油色谱数据见表1-1。



表 1-1 6 月 30 日试运行后离线检测油色谱数据

取样日期	取样时间	油样位置	氢气(H ₂)	甲烷(CH ₄)	乙烷(C ₂ H ₆)	乙烯(C ₂ H ₄)	乙炔(C ₂ H ₂)	总烃(ΣC)	一氧化碳(CO)	二氧化碳(CO ₂)	备注
2016 年 6 月 30 日	21 : 00	本体顶部	8.12	2.34	0.06	0.36	5.66	8.42	23.7	159.8	2016 年 6 月 30 日 20 : 10 停止试运行, 运行大约 10h 后
		本体中部	7.78	5.08	0.07	0.36	5.33	10.84	22.46	186.92	
		本体底部	8.34	1.74	0.06	0.35	6.05	8.2	25.29	160.25	
		网侧 A 升高座	5.25	4.39	0.8	2.05	7.67	14.91	16.09	571.6	
		中性点升高座	5.37	6.19	0.18	0.68	4.92	11.97	22.64	340.28	
		阀侧升高座 a	6.64	3.56	0	0	0.81	4.37	23.6	567.1	
		阀侧升高座 b	5.75	4.93	0	0	0	4.93	13.11	445.89	
		1 号有载调压箱	7.12	5.87	0	0	1.61	7.48	14.44	360.07	
		2 号有载调压箱	6.74	6.08	0	0	1.88	7.96	19.74	277.73	
		3 号有载调压箱	6.53	3.47	0	0	1.63	5.1	20.1	287.45	

注 加粗字表示乙炔含量超出标准规定的注意值, 红字表示油色谱检测位置及乙炔含量最高值。

7 月 1 日 19 : 30~22 : 00, 极Ⅱ 高端换流变压器再次进入试运行, 试运行后, 7 月 2 日取样进行油色谱分析, 数据见表 1-2。

表 1-2 7 月 2 日离线检测油色谱数据

取样日期	取样时间	油样位置	氢气(H ₂)	甲烷(CH ₄)	乙烷(C ₂ H ₆)	乙烯(C ₂ H ₄)	乙炔(C ₂ H ₂)	总烃(ΣC)	一氧化碳(CO)	二氧化碳(CO ₂)	备注
2016 年 7 月 2 日	10 : 00	本体顶部	15.34	10.23	6.74	2.79	13.1	32.84	28.78	180.48	2016 年 7 月 1 日, 19 : 30 加压进行局部放电定位, 22 : 00 停止
		本体中部	12.67	3.59	0.38	0.59	8.54	13.1	27.16	176.15	
		本体底部	12.51	1.66	0.09	0.67	9.71	12.13	25.12	167.21	
		网侧 A 升高座	17.33	11.45	0.07	0.85	17.9	30.26	24.01	551.26	
		中性点升高座	16.15	4.52	0.11	0.74	13.8	19.18	32.68	371.28	
		阀侧升高座 a	16.81	3.7	0	1.19	12.8	17.65	28.44	576.12	

注 加粗字表示乙炔含量超出标准规定的注意值, 红字表示油色谱检测位置及乙炔含量最高值。

由表 1-2 中色谱数据分析可以看出, 三次空载试运行后, YYC 相换流变压器内部乙炔含量逐渐上升, 并且网侧 A 升高座取样位置乙炔含量最高, 达 17.9μL/L, 分析变压器内部存在电弧放电故障。

2. 局部放电检测

(1) 局部放电巡检测试。

1) 异常高频信号分析。采用高频检测方式进行测试, 将高频电流传感器分别卡与 YYC 相换流变压器铁芯接地及 YYB 相换流变压器铁芯接地处进行测试, 现场测试照片测试数据如图 1-1 所示。

高频测试结果可以看出, 换流变压器 YYC 相高频局部放电异常, 幅值为 74dB, 具有悬浮特征, 并且与 YYB 相相比, YYC 相高频幅值明显较高。

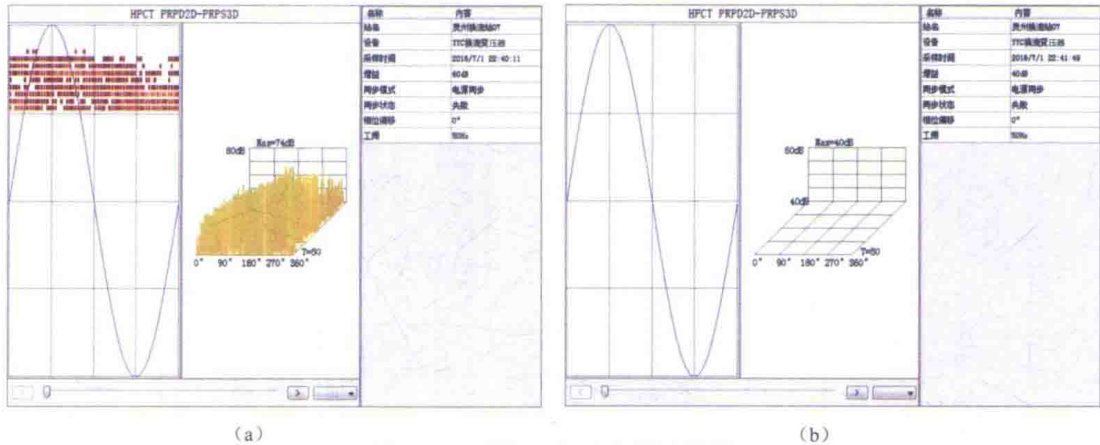


图 1-1 高频局部放电测试结果

(a) YYC 相换流变压器高频测试数据；(b) YYB 相换流变压器高频测试数据

2) 异常超声波信号分析。采用超声波局部放电检测方式进行测试，分别在变压器壳体、M 型升高座部位进行超声检测，检测发现变压器顶部位于柱 2 及柱 3 中间略偏向于柱 2 的部位（见图 1-2 中红圈）超声局部放电异常，检测图谱如图 1-2~图 1-5 所示。

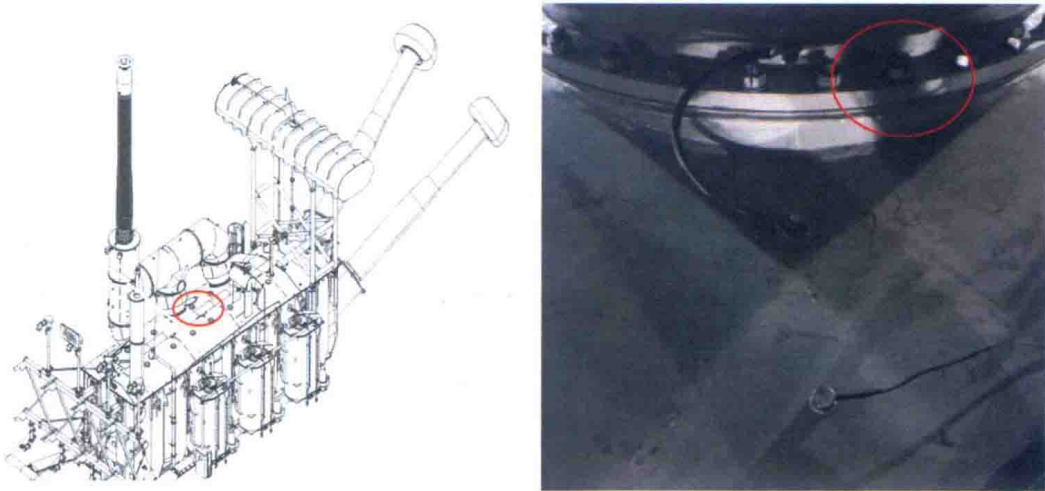


图 1-2 超声波测试位置示意图

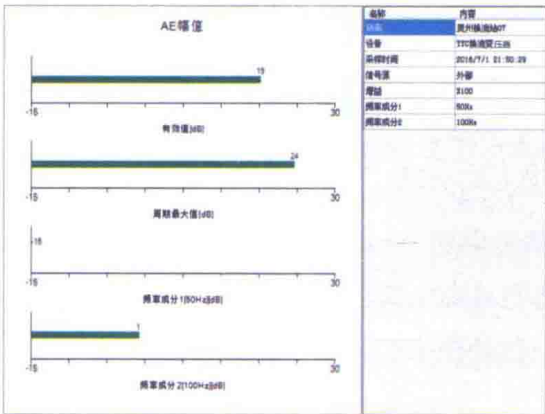


图 1-3 超声波测试连续图谱

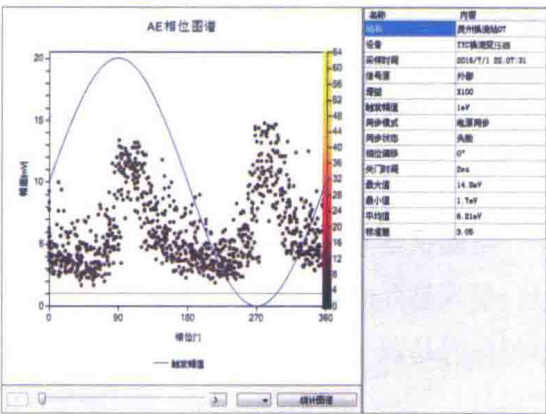


图 1-4 超声波测试相位图谱

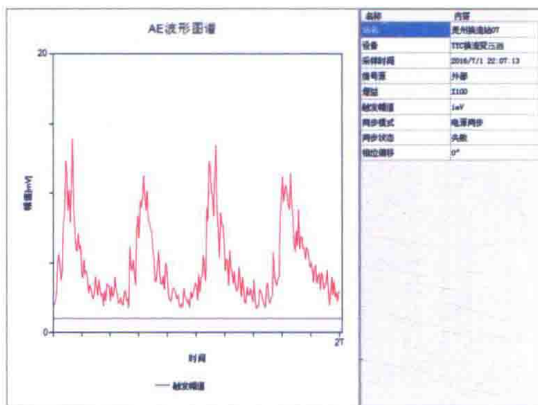


图 1-5 超声波测试时域图谱

由图 1-3~图 1-5 可以看出，超声波连续图谱幅值较大，频率成分 2 明显高于频率成分 1，相位呈现两簇聚集，时域每周期呈现两个波峰，具有悬浮电位放电特征。

(2) 高频、特高频、超声波联合定位分析。将特高频传感器放置于变压器各升高座部位法兰缝隙、高频局部放电传感器分别布置于铁芯引出线及换流变压器外部接地扁铁，超声波传感器分别布置于变压器升高座壳体及顶部壳体，进行联合定位分析。

1) 步骤一。将高频传感器分别布置于铁芯引出线及换流变压器外部接地扁铁，测试结果如图 1-6 所示，其中绿色为铁芯引出线、黄色为外部接地信号。

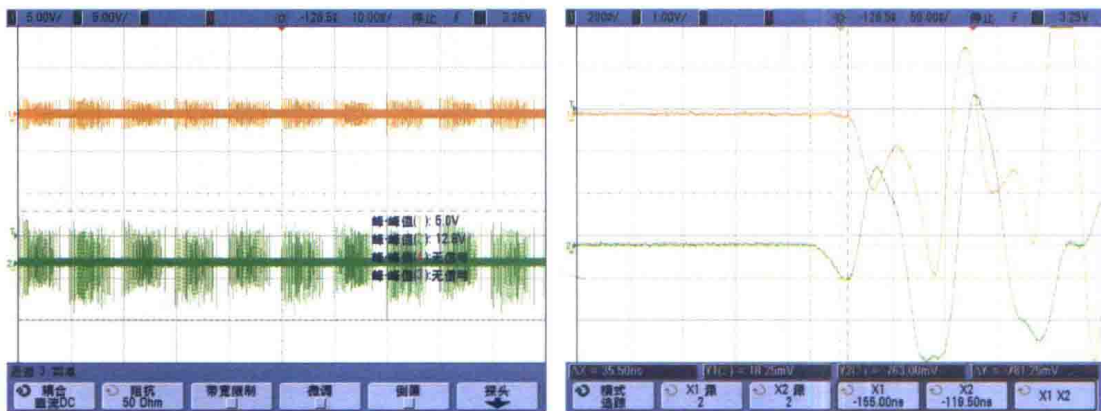


图 1-6 高频局部放电测试信号

由测试结果可以看出，高频局部放电测试每周期 20ms 呈现出多根组成的两簇信号，呈现悬浮电位特征，绿色传感器信号幅值明显高于黄色传感器信号，并且绿色传感器信号超前于黄色传感器信号，表明悬浮电位缺陷来自于变压器非外部干扰传入高频信号。

2) 步骤二。将超声传感器布置于 M 型升高座，未见异常超声波信号。特高频传

传感器分别布置于 M 型升高座法兰缝隙，如图 1-7、图 1-8 所示。

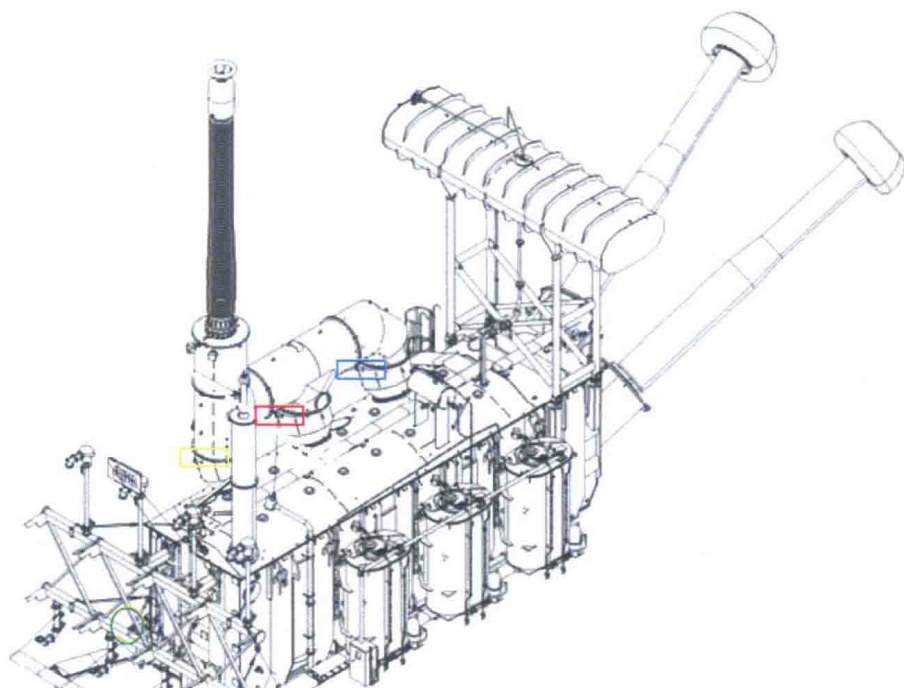


图 1-7 特高频及高频传感器定位布置形式 (一)

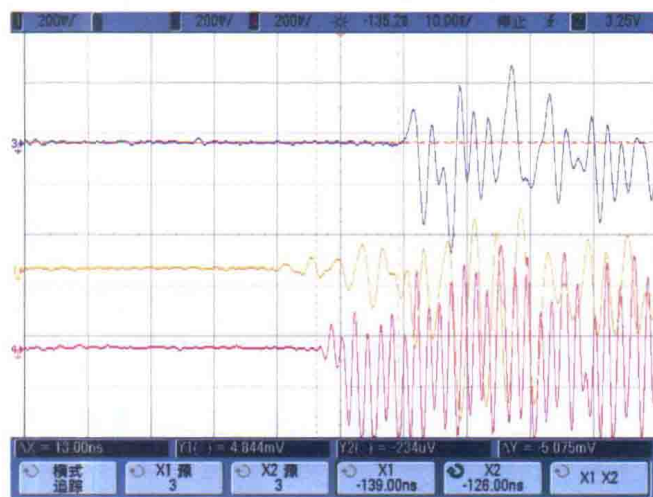


图 1-8 时差定位分析

测试结果可以看出，以高频局部放电信号为触发源，定位分析黄色、红色传感器均超前于蓝色传感器，并且黄色传感器信号与红色传感器信号较接近，确定信号源位于柱 2 与柱 3 之间，并且位于红色传感器高度以下。

3) 步骤三。将特高频传感器、超声波传感器按图 1-9 布置，高频传感器（见图 1-9 中绿色圆圈）夹在变压器铁芯引出线，超声波传感器（见图 1-9 中黄色圆圈）位于变压器柱 2 与柱 3 之间变压器顶部、特高频传感器（见图 1-9 中红色方框）位于柱 2 升高座法兰缝隙处，测试结果如图 1-10 所示。

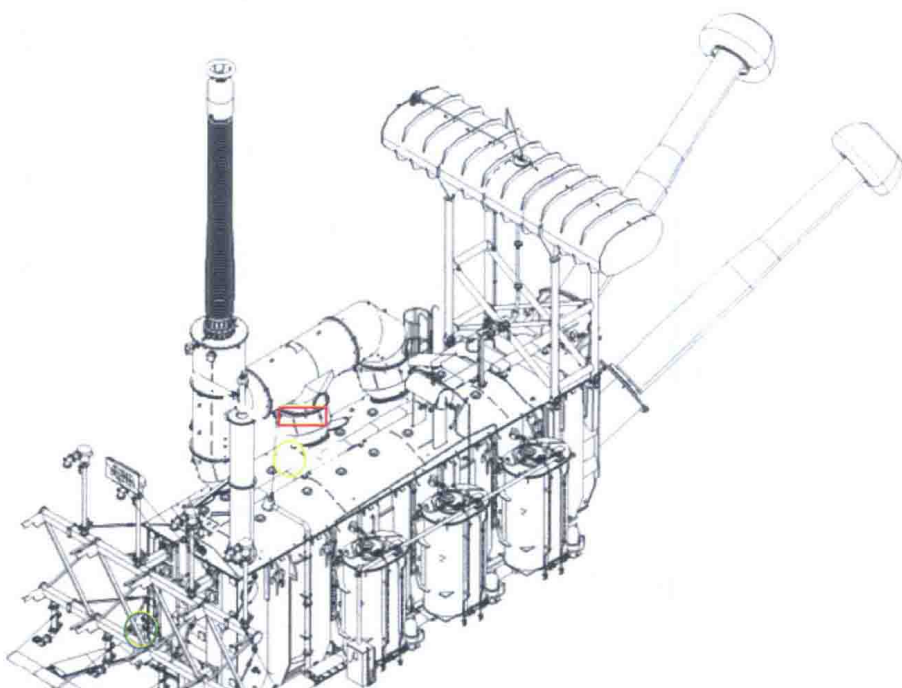


图 1-9 特高频及高频传感器定位布置形式（二）

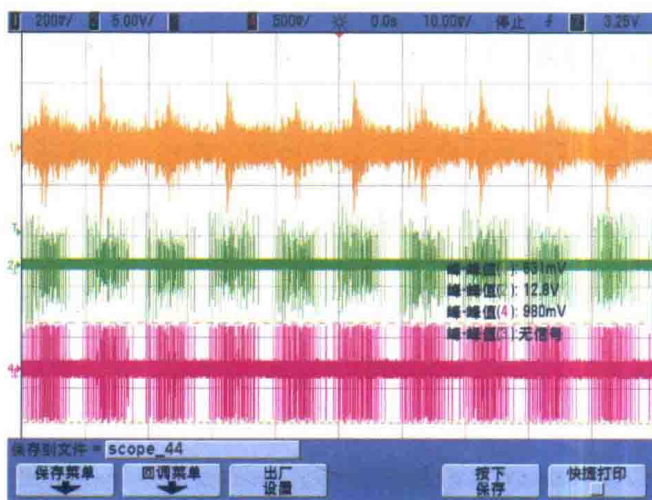


图 1-10 特高频、高频、超声波综合分析

由测试结果可以看出，以高频局部放电信号为触发源，高频信号、特高频信号及超声波信号具有对应性，即每周期产生两簇高频局部放电信号时对应产生两簇特高局部放电信号及超声波信号，结合超声波信号衰减特点，进一步定位确定悬浮缺陷部位接近超声波传感器部位。

根据灵州±800kV 特高压换流变电站极Ⅱ高端 YYC 相换流变压器特高频局部放电、高频局部放电及超声波局部放电测试结果可以看出，极Ⅱ高端 YYC 相换流变压器内部存在悬浮电位放电现象，综合分析判断异常信号来源于换流变压器内部，并且位

于换流变压器柱 2 与柱 3 之间靠近变压器顶部，具体部位见图 1-11 中红色标记部位。

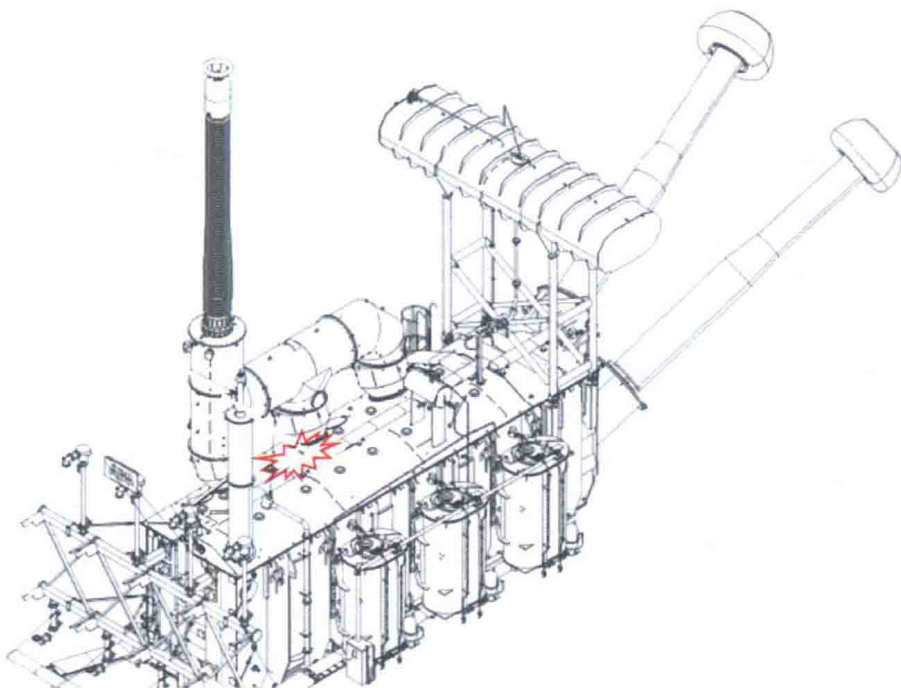


图 1-11 局部放电定位确定疑似悬浮电位部位

1.1.3 处理及分析

2016 年 7 月 2 日，国网直流建设部在灵州±800kV 特高压换流变电站组织 YYC 相换流变压器缺陷分析会，国网宁夏电力公司运维检修部、国网宁夏电力科学研究院、ABB 厂家等单位参与。7 月 3、4 日，ABB 厂家在现场对换流变压器采取拆除网侧套管及升高座方式进行检查，采用内窥镜检查发现换流变压器铁芯的柱 2AC 侧拉板与上轭末级片导通，并且存在放电痕迹，检查结果如图 1-12、图 1-13 所示，缺陷部位与带电检测定位结果一致。



图 1-12 缺陷定位部位内窥镜检查结果



图 1-13 换流变压器拉板与上轭末级片导通



1.1.4 经验体会

(1) 带电检测可有效发现电气设备内部的潜伏性故障或缺陷,各种不同的带电检测手段对缺陷的灵敏度不同,测试时应结合各种测试手段综合判断。

(2) 变压器类设备局部放电带电检测应结合高频局部放电、特高频局部放电、超声波局部放电进行综合分析,需根据三种不同信号之间的关联性确定缺陷性质及部位。

(3) 对于带电检测过程中发现的缺陷,应采取闭环管理措施,采取“谁检测,谁负责,谁跟踪”原则,对缺陷验证提供有效帮助。

1.2 沙湖 750kV 变电站 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器悬浮电位放电缺陷

▶▶ 设备类别:【并联电抗器】

▶▶ 单位名称:【国网宁夏电力公司电力科学研究院】

▶▶ 技术类别:【油色谱检测,特高频、高频局部放电检测】

1.2.1 案例经过

2015 年 8 月,沙湖 750kV 变电站川湖Ⅱ线电抗器油色谱在线监测捕捉到 C 相电抗器有乙炔出现,出现频次逐渐加密且超过 $1\mu\text{L/L}$ 的报警值,9 月 1~8 日离线检测跟踪分析,乙炔最大值达 $7.76\mu\text{L/L}$ 。结合三比值法及绝对产气率判断设备内部电弧放电故障一直持续存在,并有进一步劣化趋势。采用高频局部放电、特高频局部放电及超声波局部放电带电检测分析川湖Ⅱ线 C 相电抗器内部存在间歇性的悬浮电位放电现象,并定位分析原因可能为电抗器上部铁轭处存在导体接触不良或断线、金属接触不良(如螺帽接触不良)、金属异物等。9 月 9 日以后数据分析判断故障发展变缓,电抗器运行过程中严密监视跟踪油色谱指标发展趋势。2016 年 1 月 6~23 日,更换川湖Ⅱ线 C 相电抗器,并对被更换的原川湖Ⅱ线电抗器返厂进行吊芯检查。解体检查发现电抗器夹件引出线与夹件连接部位压接螺栓松动,并且夹件引出线线鼻子与压接螺栓垫片之间存在电腐蚀痕迹,与带电检测定位结果相吻合。为进一步验证缺陷性质,在实验室采用模拟试验方式对螺栓松动情况进行验证,验证情况与解体检查缺陷部位特征一致。

1.2.2 检测分析

1. 油色谱检测

2015 年 7 月 31 日,沙湖 750kV 变电站 750kV 川湖Ⅱ线电抗器投入运行。新投运

变压器（电抗器）油色谱监测装置采样周期设置为每 4h 一次，每天采集 6 组数据。8 月 15、18、28、29、30 日，在线监测捕捉到 C 相电抗器有乙炔偶尔出现，出现频次逐渐加密且超过 $1\mu\text{L/L}$ 的报警值，达到 $1.468\mu\text{L/L}$ 。油色谱在线装置发现乙炔含量持续增长，国网宁夏电力公司检修公司及电力科学研究院进一步进行离线检测跟踪分析，截至 2015 年 9 月 19 日，乙炔含量值为 $7.31\mu\text{L/L}$ ，其中最大值为 $7.76\mu\text{L/L}$ （9 月 16 日），乙炔增长趋势如图 1-14 所示。

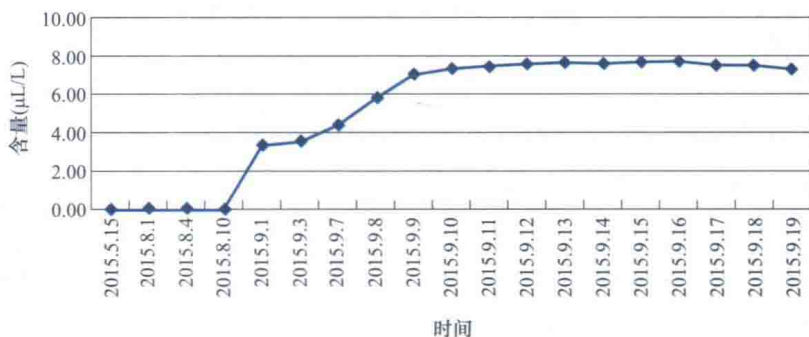


图 1-14 沙湖变电站 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器乙炔含量变化趋势

根据绝缘油色谱跟踪数据可以看出，乙炔、氢气、甲烷、乙烯、乙烷、总烃均呈快速增长趋势，甲烷和乙炔在总烃含量中占据近 80%，氢气含量也较大。

2. 局部放电检测

2015 年 9 月 11 日，对 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器异常信号进行复测和定位分析，高频信号有间歇性并相对较连续，对应高频信号有特高频信号出现，经定位分析判定信号来自设备内部，确定设备内部有放电现象。超声波测试，检测到机械振动信号，并伴有非振动信号的间歇性异常超声波信号，与高频信号无必然联系。

（1）异常高频信号分析。采用高频检测方式进行测试，将高频电流传感器卡于铁芯接地及夹件接地，现场测试照片测试数据如图 1-15 所示。

从图 1-15 测试数据分析，此放电有一定的间歇性，放电类型为悬浮电位放电；从单个脉冲信号分析，信号可能来自设备内部。

将绿色高频传感器卡于 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器周围较近的其他接地铜排处（如 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器出线避雷器接地线、750kV 川湖Ⅱ线 B 相电抗器夹件接地等）均检测到此信号，但相对 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器夹件接地处的高频信号幅值弱很多、脉冲频率低很多、时延滞后较多，并且铁芯接地信号比夹件接地幅值较弱，时延滞后，具体典型现场测试照片及数据如图 1-16 所示。

从图 1-16 测试数据分析高频信号来自于 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器夹件。

（2）高频、特高频联合定位分析。将特高频传感器放于非缝隙处或远离 750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器，信号幅值明显变小，信号明显滞后，起始沿模糊，确定信号来自

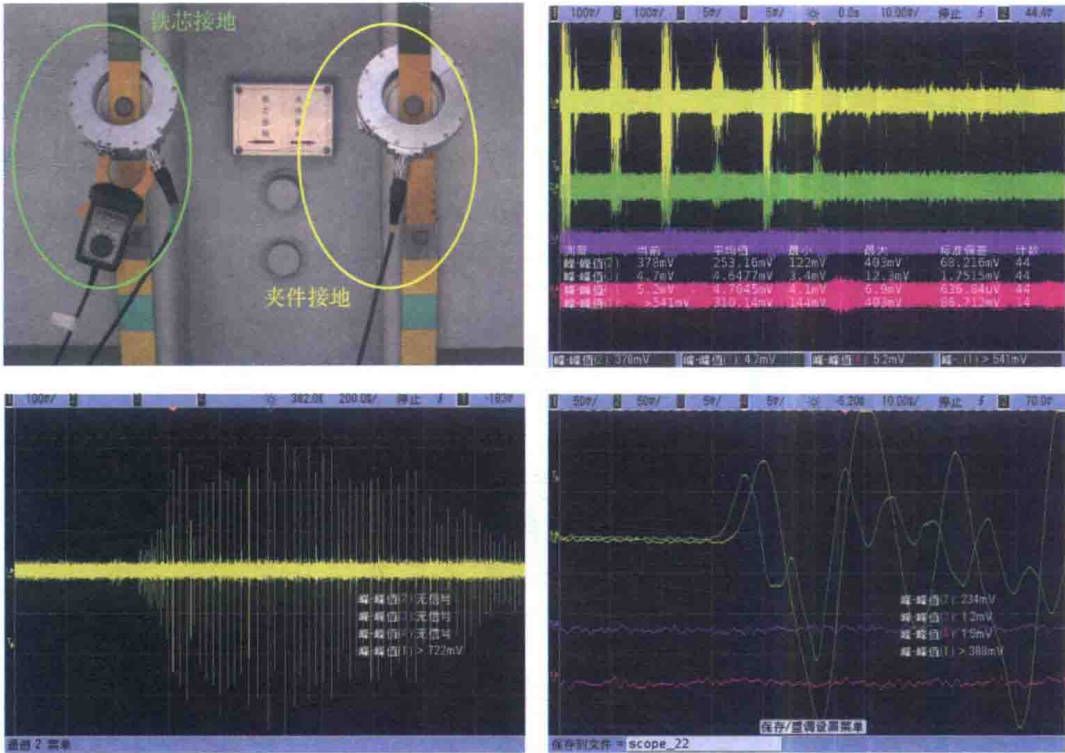


图 1-15 高频现场测试照片及数据

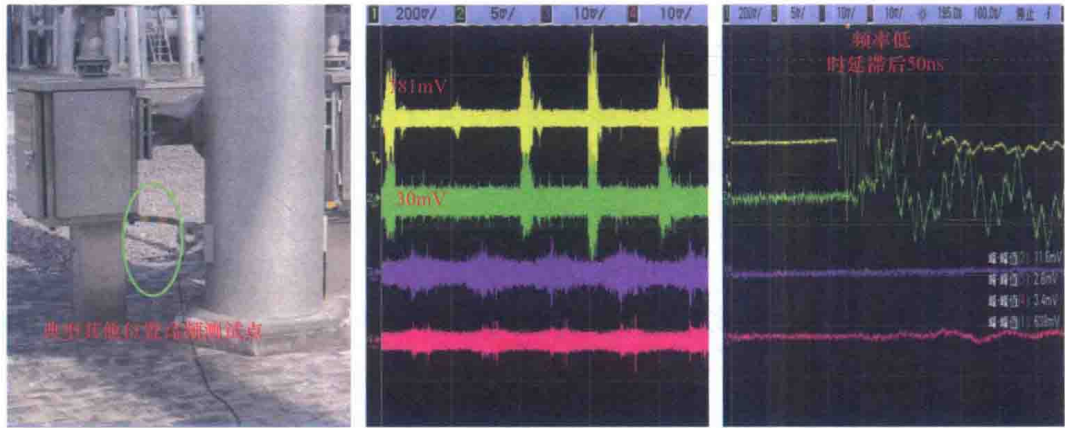


图 1-16 典型高频现场对比测试照片及数据

750kV 川湖Ⅱ线 C 相电抗器内部。以高频信号为触发进行高频、特高频联合测试。测试步骤如下：

1) 步骤一。定位步骤一的传感器布点现场图片如图 1-17 所示，典型的多周期高频、特高频联合测试数据如图 1-18 所示，图 1-17 布点对应的测试数据如图 1-19 所示。

以上测试数据分析高频局部放电、特高频局部放电信号具有明显相关性，并且红色、绿色传感器特高频信号明显超前于紫色传感器信号，分析信号靠近于电抗器高压