



电力设备状态监测新技术

应用

案例精选

王风雷 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电力设备状态监测新技术

应用案例精选

王风雷 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

电力设备状态监测的目的是采用有效的检测手段和分析诊断技术,及时、准确地掌握设备运行状态,保证设备的安全、可靠和经济运行。

为推动电力设备状态监测工作更好的开展,北京市电力公司组织编制了《电力设备状态监测新技术应用案例精选》,将公司正式启动开展状态监测工作以来所发现的缺陷和问题进行梳理,并对典型案例进行了详细的分析和总结。全书包括4章,分别是GIS状态监测应用案例、变压器状态监测应用案例、输电电缆状态监测应用案例和配网设备状态监测应用案例,每章又从设备状态监测技术简介、应用案例简介、典型案例详解三个方面展开阐述。附录A中收录了《北京市电力公司开关类设备状态监测试验规程》(试行)。

本书可供供电企业相关专业的运行、维护人员和管理人员,电力设备的设计人员和制造厂商,以及高等院校相关专业的师生作为学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力设备状态监测新技术应用案例精选/王风雷主编.
北京:中国电力出版社,2009
ISBN 978-7-5083-8510-5

I. 电… II. 王… III. 电力装置-监测-新技术应用
IV. TM76

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第024741号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009年4月第一版 2009年4月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 9.75印张 180千字

印数0001—3000册 定价58.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

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

前言

电力设备状态监测的目的是采用有效的检测手段和分析诊断技术，及时、准确地掌握设备运行状态，保证设备的安全、可靠和经济运行。积极引进、深入学习和推广应用电力设备状态监测技术，有利于及时发现设备的潜在性运行隐患，采取有效防控措施降低事故发生的概率；有利于科学地进行检修需求决策，合理安排检修项目、检修时间和检修工期，有效降低检修成本，提高设备可用性；有利于形成符合状态检修要求的管理体制，提高电网检修、运行的基础管理水平；有利于在电力企业中营造科学决策、改革创新的气氛，为增强企业的综合竞争力提供保障。

北京市电力公司通过与新加坡新能源电网公司在电力设备状态监测领域全面、深入的对标工作，积极引进、学习和应用国际先进的状态监测技术，并结合本企业的实际情况，不断探索，积累了丰富的现场实践经验。为推动电力设备状态监测工作更好的开展，在各级领导的亲切关怀和指导下，北京市电力公司组织编制了《电力设备状态监测新技术应用案例精选》，将公司正式启动开展状态监测工作以来所发现的缺陷和问题进行梳理，并对典型案例进行了详细的分析和总结。

在2008年第29届北京奥运会和第13届残奥会的供电保障工作中，北京市电力公司全面、系统地应用了主、配网各类状态监测新技术，发现和排除了多起潜在性设备隐患，为确保奥运供电万无一失作出了积极的贡献。在北京市电力公司生产技术部的直接组织下，北京电力变电公司、试验研究院和电缆公司三个专业生产单位成立了状态监测班，明确了公司、生产单位、班组三层管理体系；生产技术部按照垂直化、扁平化的方式对状态监测新技术的推广应用过程进行管理，具有决策快、推进快、效率高的显著特点，收到了显著成效。截至2008年7月，北京市电力公司共检测128座奥运供电变电站的开关类设备、133座变电站的SF₆气体、98路“涉奥”用户外电源10kV电缆，状态监测累计发现潜在性设备隐患61项。同时受北京市奥运“08”办的委托，承担了对42个奥运会和残奥会特级用户开展内部配电设备状态监测的工作，累积发现隐患44项。所有发现的缺陷或问题均得到了有效的处置，避免了因隐患的进一步发展而导致设备事故发生。其中：动物园、平乐园、和义、青云店等站GIS内部缺陷的发现和开仓处理；国家体育馆等奥运重要用

户外电源 10kV 电缆处缺；北京航空航天大学、北京大学、顺义奥林匹克水上公园等奥运特级用户内部配电设备严重缺陷的发现和排除，均有效地消除了设备运行隐患、排除了事故风险、直接提高了奥运场馆的供电可靠性。本案例精选同时也是对奥运供电保障中状态监测工作的全面提炼和总结。

北京市电力公司目前采用的状态监测方法有：

(1) 输变电设备状态监测。

1) 变压器：油色谱分析、油质分析、油中腐蚀性硫分析、绕组变形、局部放电检测、红外热成像等。

2) GIS：SF₆ 气体分析、超高频局部放电检测、超声波检测、红外热成像等。

3) 输电电缆：局部放电检测、光纤测温、红外热成像等。

(2) 配网设备状态监测。

1) 配电电缆：振荡波局放测试等。

2) 开关柜：地电波局放检测、超声波检测、红外热成像等。

3) 配电变压器：地电波局放检测、超声波检测、红外热成像等。

本书由王风雷主编，参与编写的主要人员有王鹏、刘庆时、干银辉、董凤宇、牛进苍、郭建府、张国强、竺懋渝、周作春、涂明涛、李华春、刘音、冯义、叶宽、闫春江、赵颖、赵宇、张皓、王立等。

在该书即将出版之际，感谢各级领导对状态监测工作的大力支持，感谢广大状态监测技术、技能人员的努力工作！

编 者

2009 年 1 月

目录

前言

1 GIS状态监测应用案例

1.1	GIS 设备状态监测技术简介	1
1.1.1	超高频局放检测技术	1
1.1.2	超声波检测技术	1
1.1.3	SF ₆ 气体检测技术	1
1.2	应用案例简介	2
1.2.1	超高频局放检测 GIS 设备时排除现场干扰	2
1.2.2	超高频局放检测 GIS 设备内部放电	2
1.2.3	超声波检测 GIS 设备内部缺陷	3
1.2.4	超高频和超声波共同检测 GIS 设备内部缺陷	3
1.2.5	红外成像仪检测 GIS 断路器操动机构箱内存在缺陷	3
1.2.6	气体分析仪检测 GIS 设备 SF ₆ 气体缺陷	4
1.2.7	激光检漏仪检测 GIS 设备 SF ₆ 气体泄露	4
1.3	典型案例详解	4
1.3.1	超高频局放检测 GIS 设备时排除现场干扰	4
1.3.1.1	频谱分析法	4
1.3.1.2	加装滤波器法	6
1.3.1.3	改变运行方式	7
1.3.2	超高频局放检测 GIS 设备内部放电	9
1.3.2.1	220kV GIS 设备内部局部放电	9
1.3.2.2	110kV GIS 设备内部电晕放电	13
1.3.2.3	110kV GIS 设备内部局部放电	19
1.3.2.4	110kV GIS 设备内部浮游电极放电	30
1.3.3	超声波检测 GIS 设备内部存在缺陷	33

1.3.3.1	110kV GIS 电压互感器间隔内部缺陷	33
1.3.3.2	110kV GIS 断路器仓电流互感器部位缺陷	37
1.3.4	超高频和超声波共同检测 GIS 设备内部缺陷	38
1.3.5	红外成像仪检测 GIS 断路器机构箱存在缺陷	40
1.3.6	气体分析仪检测 GIS 设备 SF ₆ 气体存在缺陷	42
1.3.6.1	110kV GIS SF ₆ 气体纯度不合格	42
1.3.6.2	220kV 断路器 SF ₆ 气体纯度不合格	42
1.3.6.3	110kV 断路器 SF ₆ 气体有害成分超标	43
1.3.7	激光检漏仪检测 GIS 设备气体泄漏	46

2 变压器状态监测应用案例

2.1	变压器状态监测技术简介	48
2.1.1	油色谱技术	48
2.1.2	绕组变形技术	48
2.2	应用案例简介	49
2.2.1	油色谱发现变压器内部电弧性放电缺陷	49
2.2.2	油色谱发现变压器内部过热缺陷	49
2.2.3	绕组变形发现变压器缺陷	49
2.3	典型案例详解	50
2.3.1	油色谱发现变压器内部电弧性放电缺陷	50
2.3.1.1	35kV 变压器内部电弧性放电	50
2.3.1.2	110kV 变压器内部电弧性放电	52
2.3.2	油色谱发现变压器内部过热缺陷	54
2.3.2.1	110kV 变压器内部过热 I	54
2.3.2.2	35kV 变压器内部过热	55
2.3.2.3	110kV 变压器内部过热 II	56
2.3.2.4	变压器内部过热缺陷案例小结	57
2.3.3	绕组变形发现设备缺陷	58

3 输电电缆状态监测应用案例

3.1	输电电缆状态监测技术简介	60
-----	--------------	----

3.1.1	局放检测技术	60
3.1.2	光纤测温技术	62
3.1.3	红外热成像技术	62
3.2	应用案例简介	62
3.2.1	PDCheck 局部放电检测	62
3.2.2	光纤测温检测电缆隧道局部过热	63
3.2.3	光纤测温检测高压电缆温度变化	63
3.2.4	红外热成像	63
3.3	典型案例详解	64
3.3.1	PDCheck 发现局放缺陷	64
3.3.2	光纤测温发现电缆隧道局部过热缺陷	69
3.3.3	光纤测温监测高压电缆温度变化	75
3.3.4	红外热成像发现缺陷	78

4 配网设备状态监测应用案例

4.1	配电电缆状态监测	80
4.1.1	配电电缆状态监测技术简介	80
4.1.2	典型案例详解	81
4.1.2.1	安装工艺粗糙产生缺陷	81
4.1.2.2	安装工艺不良、受潮严重产生缺陷	84
4.1.2.3	安装中材料使用错误产生缺陷	87
4.1.2.4	安装错位造成应力锥未起到作用	93
4.1.2.5	硅脂干涸结晶、冷缩头收缩力小形成气隙	95
4.1.2.6	其他测试案例	97
4.2	配电开关柜状态监测	117
4.2.1	开关柜状态监测技术简介	117
4.2.1.1	地电波局放测试技术	117
4.2.1.2	超声波检测技术	118
4.2.1.3	红外热成像技术	118
4.2.2	应用案例简介	118
4.2.2.1	地电波局放检测	118
4.2.2.2	超声波检测	118

4.2.2.3	红外热成像检测	119
4.2.3	典型案例详解	119
4.2.3.1	地电波局放监测发现开关柜内存在缺陷	119
4.2.3.2	超声波检测发现开关柜内存在缺陷	125
4.2.3.3	红外热成像发现开关柜内存在缺陷	129
4.3	配电变压器状态监测	131
4.3.1	配电变压器状态监测技术简介	131
4.3.2	应用案例	131
4.3.2.1	超声波及红外成像检测发现缺陷	131
4.3.2.2	地电波局放检测发现缺陷	131
附录 A	《北京市电力公司开关类设备状态监测试验规程》（试行）	132

GIS 状态监测应用案例

1.1 GIS 设备状态监测技术简介

1.1.1 超高频局放检测技术

超高频局放检测技术是目前国际上对 GIS 类设备普遍采用的状态监测技术。便携式检测仪器主要由超高频传感器、高速数据采集单元、分析诊断软件三部分组成。其中，超高频传感器用来收集由局部放电脉冲激发并能透过绝缘介质向外传播的超高频电磁波信号，同时将该信号转换成可以通过高速数据采集单元进行采集的电信号；高速数据采集单元将传感器收集并转换后的电信号变成数字信号存储到计算机中；分析诊断软件利用自带的且能够不断学习扩充的谱图库对存储的数字信号进行分析诊断，评价局放类型和严重程度。

通过采用便携式超高频局放检测仪器对 GIS 设备进行检测，可以有效发现设备内部存在的局部放电缺陷，为避免突发事故、合理安排检修计划提供决策依据。

1.1.2 超声波检测技术

超声波检测技术主要适用于空气中的放电检测。声的干扰主要是机械振动和电磁振动，其频率一般小于 10kHz，而空气中的放电频率非常丰富，一般高于 10kHz。超声波检测主要采用 20kHz 以上频带，可不受外部噪声的干扰。通常认为，当在被测设备外壳的接缝处进行测量时，由于探头完全置于设备体外，放电信号通过绝缘介质衰减很严重，灵敏度较差、定量分析比较困难，仅对局放初测及比较严重的空气中的放电才比较有效。但是，现场检测实践表明当处于某一发展阶段的缺陷主要反应为振动信号时，超声波检测方法发现缺陷是具有优势的。

1.1.3 SF₆ 气体检测技术

SF₆ 气体检测技术是利用各种检测仪器，对气体纯度、湿度、有害成分和泄露等进行检测。目前北京市电力公司主要采用的 SF₆ 气体检测仪器有：

(1) SF₆ 气体试剂检测仪——通过试剂抽取气体样品，对二氧化硫和硫化氢的

含量进行分析。

(2) SF₆ 纯度仪——用于检测 SF₆ 气体纯度。

(3) 微水含量测试仪——检测设备内部 SF₆ 气体的微水含量。

(4) 激光检漏仪——利用 SF₆ 气体对特定波长激光吸收特性制成的专业 SF₆ 气体成像检漏装置，能对漏点精确定位。

(5) SF₆ 气体检漏仪——采用对 SF₆ 设备包扎、静置 24 小时，进行气体浓度检测的专业仪器，并以定量的方式确定漏气量。

(6) SF₆ 电气设备故障检测仪——专用于检测 SF₆ 气体的二氧化硫和硫化氢的含量等。

(7) 密度继电器校验仪——对 SF₆ 设备的密度继电器进行校验，保证其报警、闭锁的压力值在厂家规定的允许范围内。

利用上述仪器进行 SF₆ 气体检测和分析，已发现多起气体组分或气体泄漏缺陷，对于及时安排检修处理、避免事故发生起到了重要作用。

1.2 应用案例简介

1.2.1 超高频局放检测 GIS 设备时排除现场干扰

2008 年 3 月 2 日、1 月 25 日、1 月 28 日，在对 220kV 变电站 A1 以及 110kV 变电站 B1、110kV 变电站 B2 的 GIS 设备进行超高频局部放电检测时，发现 GIS 个别间隔或整体出现幅值较大的疑似放电图谱，与内部典型放电图谱极为相似。但通过采用频谱分析、加装滤波器、改变运行方式等方法对信号进行分析处理后，判断检出信号为外部干扰信号。通过成功地排除干扰，避免了无谓的停电检修工作，积累了宝贵的经验。

1.2.2 超高频局放检测 GIS 设备内部放电

2008 年 3 月 31 日、1 月 26 日、3 月 19 日、3 月 24 日，在对 220kV 变电站 A2 以及 110kV 变电站 B3、110kV 变电站 B4、110kV 变电站 B5 进行超高频局部放电状态监测时，发现变电站 A2 的 220kV 电压互感器间隔 224-9A 相、变电站 B3 的 113 间隔线路侧至 113-2 隔离开关间、变电站 B4 的 111 间隔母线侧至 111-4 隔离开关间、变电站 B5 的多个间隔内部均存在局部放电。通过倒运行方式、加滤波器、放大器、停电后分相加压检测等方法排除干扰并进行放电源定位，成功地找到了放电部位，消除了 GIS 设备内部缺陷，为进一步应用超高频局放检测开展状态监测工作打下了良好的基础。

1.2.3 超声波检测 GIS 设备内部缺陷

2008年4月2日、3月20日、3月21日,在对110kV变电站B6、变电站B7、变电站B8进行超声波状态监测时,发现变电站B6的15-9电压互感器间隔以及变电站B7的102间隔和变电站B8的102间隔断路器仓电流互感器部位超声异常,通过对同厂家、同类型GIS运行设备进行对比测试,又发现部分设备存在类似问题。

经对缺陷部位进行解体分析后发现:

(1) 由于某GIS配套厂家生产的电压互感器内部铁芯固定螺栓紧固力矩不够,造成铁芯振动,是引起变电站B6的15-9电压互感器间隔超声异常的原因。该类缺陷仅能由超声波检测方法探测到,其他检测手段无效。同厂家生产的变电站B9、变电站B10、变电站B11、变电站B12、变电站B13、变电站B14等的部分110kV GIS电压互感器也存在超声波异常信号现象。

(2) 某厂家生产的GIS断路器仓内静触头侧屏蔽罩铆点固定结构铆点深度不够,是引起变电站B7、变电站B8断路器仓电流互感器超声信号异常的原因。该类缺陷仅能由超声波检测方法探测到,其他检测手段无效。存在类似该问题还有同厂家生产的变电站B15和变电站B16的110kV GIS。

上述发现的问题均与厂家进行协商,并确定了改进、处理方案。

1.2.4 超高频和超声波共同检测 GIS 设备内部缺陷

2008年5月16日,在对110kV变电站B17进行状态监测时,使用超声波检测仪发现15-7及15-97间隔处存在超声异常信号,使用DMS超高频检测仪发现环境中量值极大的局放信号,在15-9间隔处信号最大。通过改变运行方式的方法准确地找到了缺陷部位,检查发现该缺陷是由于产品结构、材质等原因,造成接地隔离开关动触头与导向固定金属座等电位簧片接触不良,簧片产生悬浮电位,导致接地隔离开关动触头与导向固定座的簧片间产生放电。经现场处理,缺陷已排除。

1.2.5 红外成像仪检测 GIS 断路器操动机构箱内存在缺陷

红外成像仪检测方法在北京电网已应用多年,积累了较多的典型缺陷案例,本书仅收集整理了部分近期发现的案例。

2008年3月27日、4月7日,在对110kV变电站B18进行状态监测时,使用红外成像仪发现111断路器及机构温度异常,经过仔细查找和分析,确定在断路器机构箱内存在缺陷。对机构箱内温控器进行检查、处理后,进行复测,111断路器

及机构红外缺陷消除。

1.2.6 气体分析仪检测 GIS 设备 SF₆ 气体缺陷

2008 年 4 月 7 日、4 月 9 日，在对 110kV 变电站 B19、变电站 B20 进行状态监测时，使用 SF₆ 气体有害成分分析仪检测到两座变电站的个别断路器仓纯度远低于 97% 的标准。3 月 11 日，检测到 220kV 变电站 A3 某厂型号为 LW25-126 的断路器共 13 台 SF₆ 气体纯度均低于 97% 的标准。2007 年 8 月 23 日，检测到 220kV 变电站 A4 某厂型号为 LW25-126 的已退运断路器有害气体成分超标，SF₆ 管道内有白色衍生物产生。

1.2.7 激光检漏仪检测 GIS 设备 SF₆ 气体泄露

2008 年 2 月 27 日、3 月 20 日，在对 110kV 变电站 B21、220kV 变电站 A5 进行状态监测时，使用激光检漏仪观察到变电站 B21 的 113-5 隔离开关仓与母线仓连接焊口处、变电站 A5 的 117-4 仓隔离开关拐臂处有大量“黑色烟雾”涌出，确定为气体泄漏缺陷。经现场处理，缺陷得到消除。

1.3 典型案例详解

1.3.1 超高频局放检测 GIS 设备时排除现场干扰

1.3.1.1 频谱分析法

(1) 检测情况。2008 年 3 月 2 日，在对 220kV 变电站 A1 的 GIS 设备进行状态监测时，发现 2203-2 隔离开关仓变压器侧的绝缘盆子 A、B、C 三相在 0~360° 区间均存在幅值近似的放电信号，但 A 相放电幅值比 B、C 两相大很多，通过 DMS 检测仪器软件自带的 Data Detect 功能进行数据处理后，判断为颗粒放电，置信度 98%，如图 1-1 所示。

(2) 处理和分析。对 A 相信号进行频谱分析，发现该信号频率主要出现在 0~1GHz 内（1.8GHz 左右的信号频率与手机信号频率相同，判断为手机信号频谱），由多个窄带频率组成，不同于局放信号具备的连续宽带频谱特性，可判断为干扰信号，如图 1-2 所示。使用 1GHz 高通滤波器之后，A、B、C 三相信号一致且幅值明显减弱，干扰信号谱图如图 1-3 所示。

(3) 结论。

1) 通过频谱分析，对检测到的超高频信号频谱和典型局放信号频谱进行对比，可以有效识别窄带干扰信号。

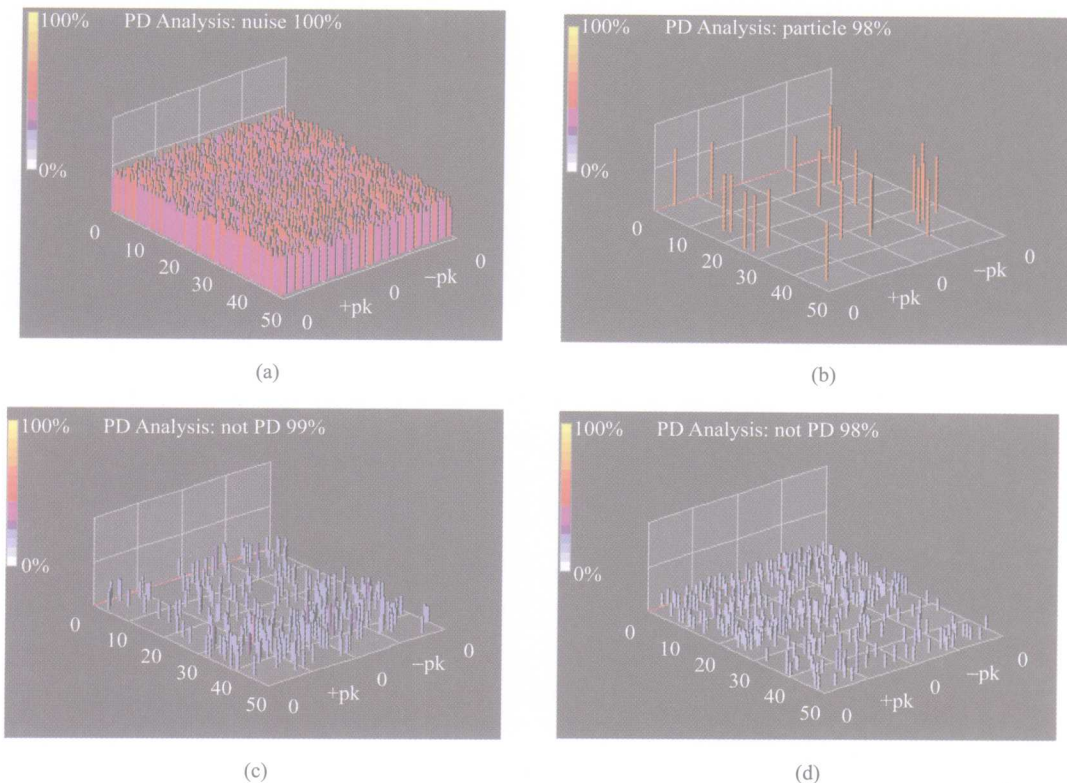


图 1-1 2203-2 隔离开关仓变压器侧绝缘盆子上检测到的放电谱图

- (a) A 相, 未使用 Data Detect 功能;
- (b) A 相, 使用 Data Detect 功能;
- (c) B 相, 未使用 Data Detect 功能;
- (d) C 相, 未使用 Data Detect 功能

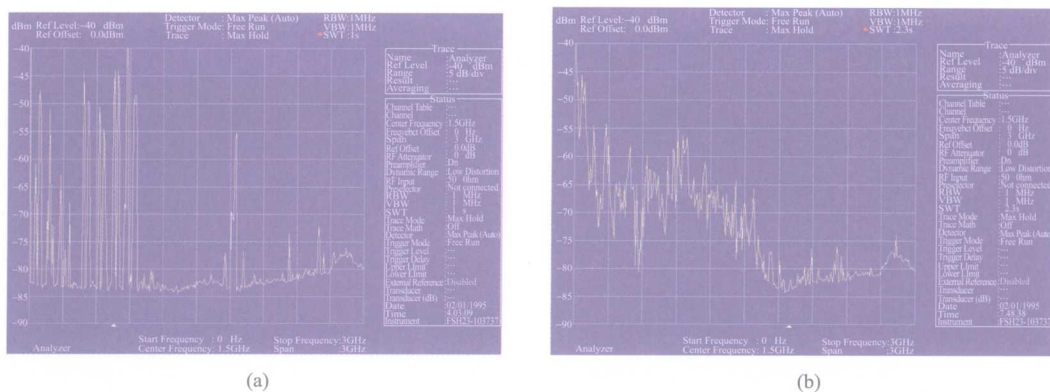


图 1-2 干扰与局放信号频谱图

- (a) 2203-2A 相信号频谱;
- (b) 典型局放信号频谱

2) 通过加装滤波器, 可以有效抑制干扰信号。

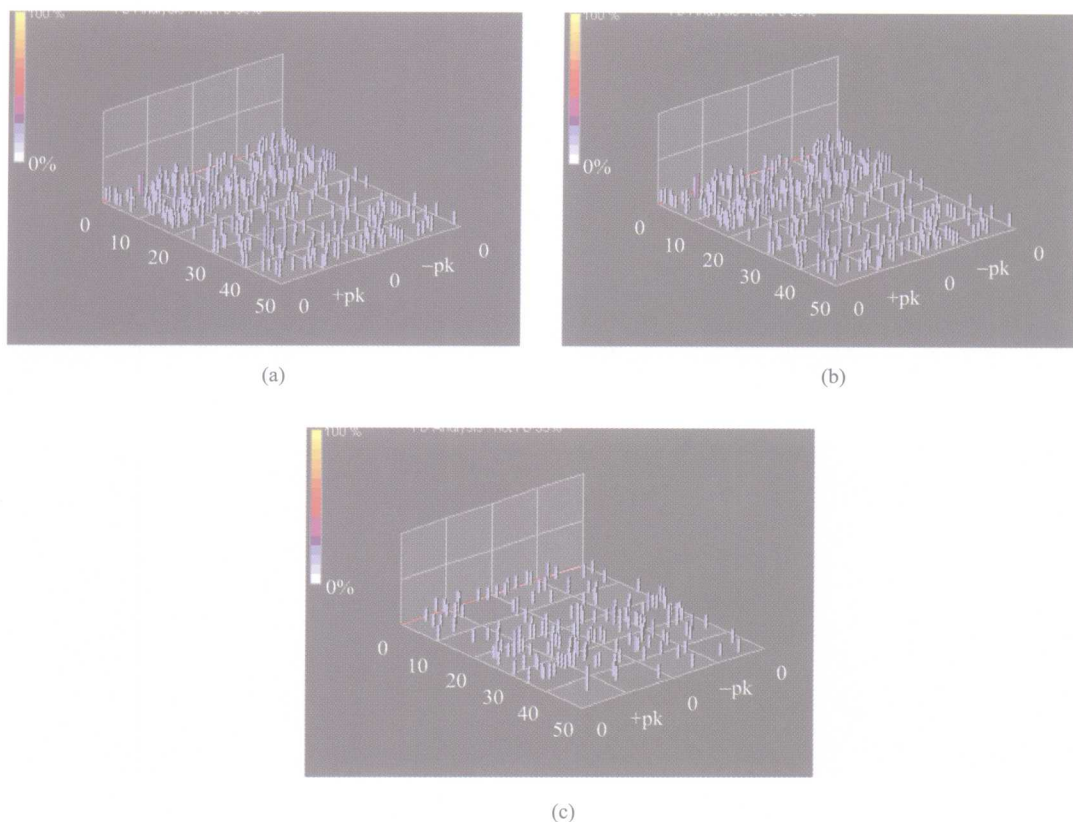


图 1-3 2203-2 隔离开关仓变压器侧绝缘盆子上检测到的放电谱图（经过 1GHz 高通滤波）
 (a) A 相；(b) B 相；(c) C 相

6

1.3.1.2 加装滤波器法

(1) 检测情况。2008 年 1 月 25 日，在对 110kV 变电站 B1 的 GIS 进行超高频检测时，发现各绝缘盆子均有较大的信号，如图 1-4 所示。

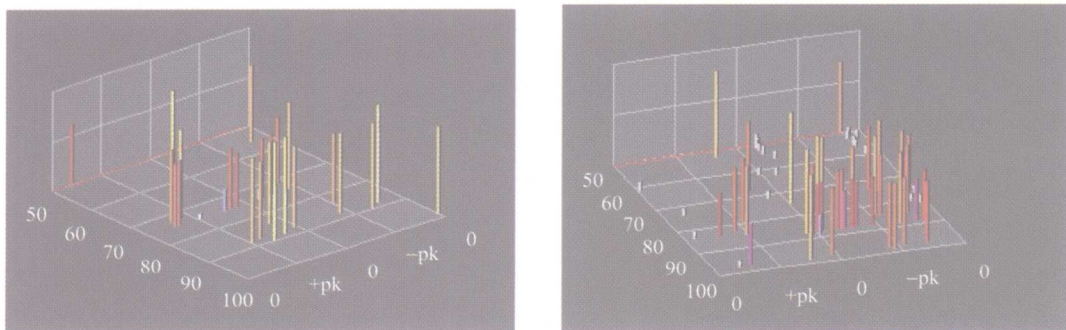


图 1-4 110kV 变电站 B1 的 110kV GIS 绝缘盆子上检测到的信号谱图

(2) 处理和分析。由于在所有的绝缘盆子上均检测到了类似的信号，因此怀疑为外部干扰。通过加装高通滤波器的方法排除干扰，效果如图 1-5 所示。

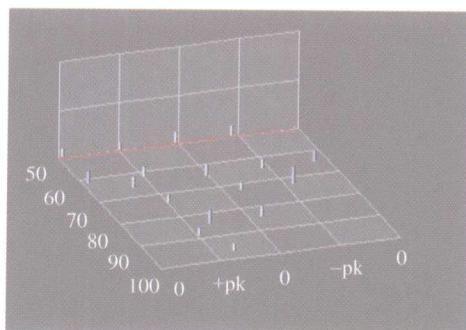


图 1-5 加装高通滤波器后信号谱图

(3) 结论。通过加装滤波器，可以有效抑制干扰信号。

1.3.1.3 改变运行方式

(1) 检测情况。2008 年 1 月 28 日，在对 110kV 变电站 B2 的 GIS 进行超高频检测时发现，111 间隔每个绝缘盆子均能测到局放信号，如图 1-6 所示。

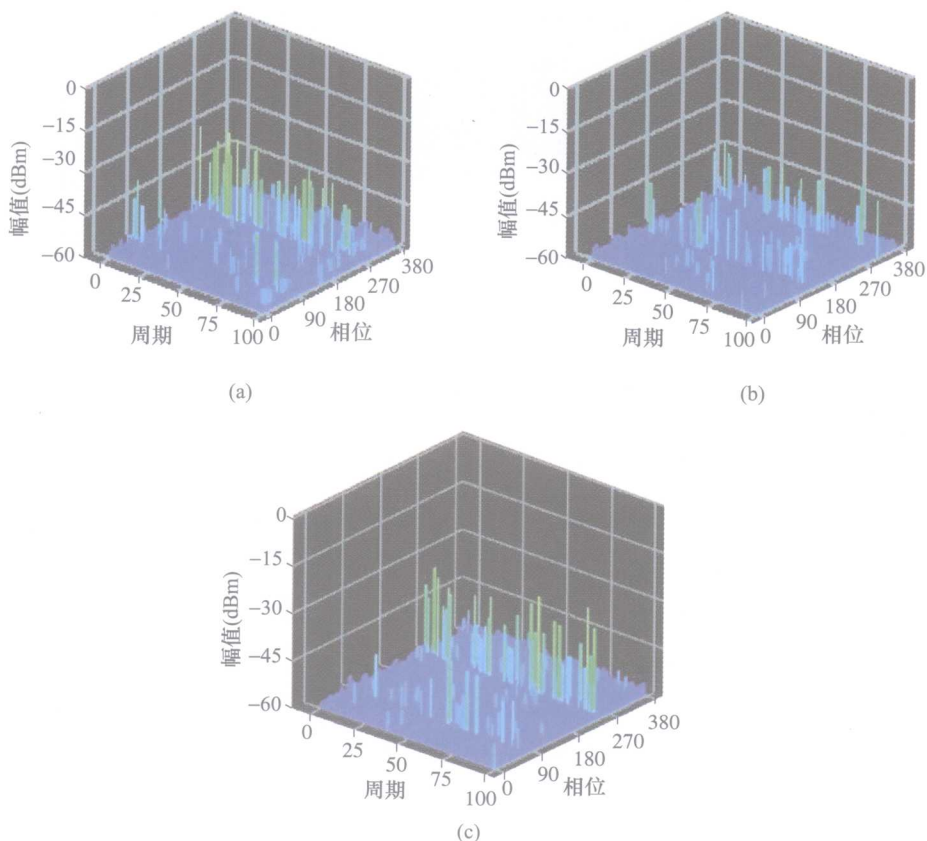


图 1-6 PAMOS 局部放电检测仪检测到的 111 间隔超高频信号谱图

(a) A 相；(b) B 相；(c) C 相

采用 DMS 局部放电检测仪在相同位置监测到的信号如图 1-7 所示。

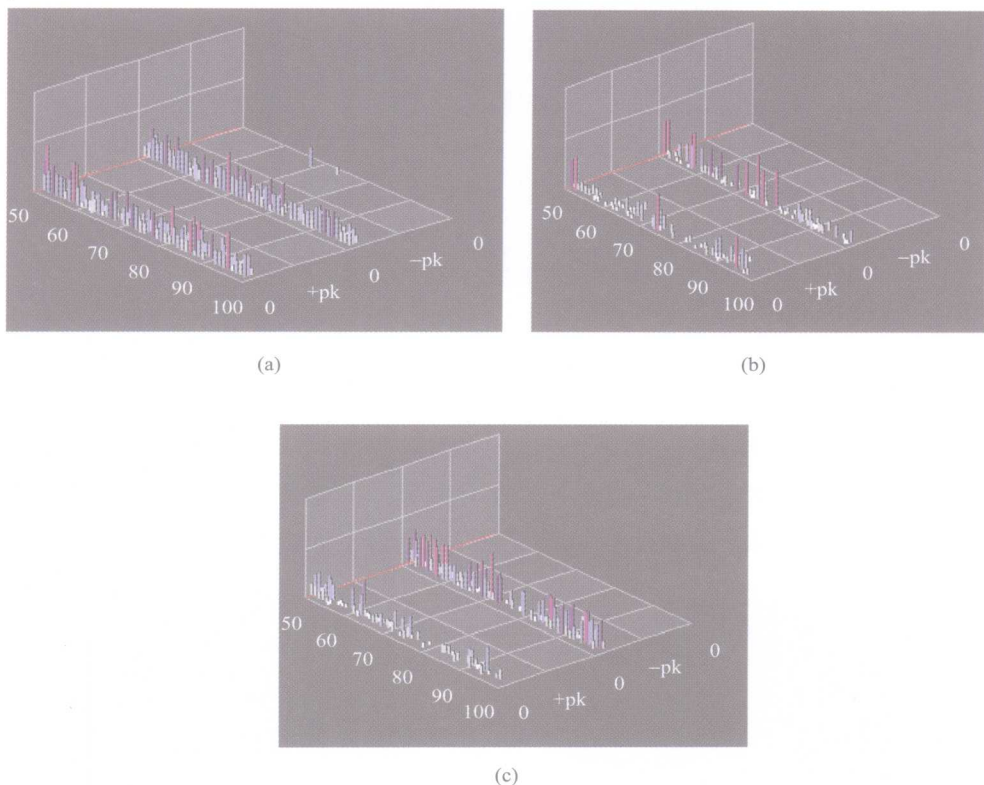


图 1-7 DMS 局部放电检测仪检测到的 111 间隔超高频信号谱图

(a) A 相; (b) B 相; (c) C 相

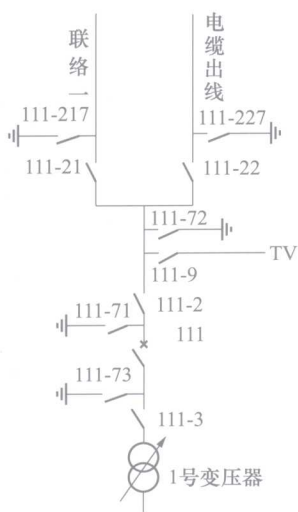


图 1-8 111 间隔一次接线图

(2) 处理和分析。该站 GIS 设备与 110kV 变压器及连接导线在同一室内设备间内，且在 111 间隔所有绝缘盆子上均检测到类似的信号，因此怀疑为外部干扰，并通过改变运行方式的方法进行了干扰识别。111 间隔一次接线如图 1-8 所示。

改变运行方式识别干扰的具体方案如下：

步骤一：拉开 111 断路器，检测 111 间隔各绝缘盆子局放信号（若检测有局放信号转步骤三，若检测无局放信号执行步骤二）。

步骤二：拉开 111-3 隔离开关，合上 111 断路器，检测 111 间隔各绝缘盆子局放信号（若检测有局放信号则转步骤一，若检测无局放信号则局放定位工作结束）。