

ZYTS-II

瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪

**使
用
手
册**

武汉智能星电气有限公司

目 录

一、研发背景	2
二、简介。	7
三、性能特点。	8
四、技术参数 。	9
五、现场测试。	9
六、图谱分析	13

ZYTS-II 瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪

一、研发背景

随着科学和工业技术的迅猛发展，高温、高压、高速度和高负荷已成为现代工业的重要标志，但它的实现是建立在材料或构件高质量的基础上的，为确保这种优异的质量，必须在不影响材料的性能和现状的同时，要有一种新型无损检测技术，以确保其可靠性和安全性。

在电力行业，由于电网的快速发展，瓷支柱绝缘子使用数量也在逐年加大，绝缘子断裂引发的事故时有发生，下面是国家电力公司发输电运营部高压支柱瓷绝缘子事故调查工作小组 2010 年 3 月的调查报告节选：

摘要：近年来，电网高压支柱瓷绝缘子折断、开裂事故接连发生，给社会和人民的生产生活造成不良影响，危及电网安全运行，给工作人员安全带来危害。为此，国家电力公司组织了事故情况调查小组进行了调查，提出了事故调查报告（即此文）。调查分析表明：66~220kV 高压电网隔离开关与母线的支柱绝缘子运行中发生断裂的现象较为普遍，6 年来断裂总数达 388 起。典型事故情况：

（1）1999 年 12 月，投产才一周的鄂州供电局 220 kV 华容变电站，管形母线接地器支柱绝缘子下法兰处瓷体断裂，造成母线短路。

（2）2000 年 6 月 15 日 18 时 6 分，焦作市电业局 220 kV 修武变电站 220 kV 东母线 C 相北端头支柱瓷瓶断裂，同时引发往南 4 个支柱瓷瓶从顶端断裂，母线向东侧脱落后砸在隔离开关和断路器引线上，造成东母线 B、C 相间短路，差动保护动作，跳开东母线所连全部断路器。约 4min 后，管形母线重力将 B、C 相断路器及 TA 瓷瓶拉断，母线进一步脱落后压在断路器引线上，造成西母线 B、C 相短路，差动保护动作，西母线所带断路器跳闸，全站失压。

（3）2000 年 7 月 17 日，青海电力公司 110 kV 乐都变电站在停电操作中，110 kV I 母线 817 号隔离开关 B 相支柱瓷瓶从底部断裂。

（4）2000 年 8 月 17 日，北京供电局昌平变电站 2203—5 隔离开关 C 相下节操作瓷瓶从上法兰根部处断裂，动触头下落约 1m。动触头掉落放弧，导致 220 kV 5 号乙母线 B、C 相短路，母线差动保护动作掉闸；同时造成 220kV 5 号乙母线与其上方（垂直距离约 3.3m）3 号变压器至

2203 断路器的跨越引线放电短路，3 号变压器保护动作掉闸，并发生人员伤亡的严重事故。

(5) 2001 年 3 月 13 日 12 时 30 分，沈阳供电公司 220 kV 文成变电站 2 号主变压器 220 kV 侧东隔离开关 C 相瓷柱出现裂纹并发生倾斜，在倒系统的过程中，C 相瓷柱最终于 12 时 58 分折断落地，造成 220 kV 东母线单相接地，由于 220 kV 母线差动保护未动作，使文成变电站全站停电。同日 12 时 44 分，张官变电站张河甲线旁路母线隔离开关 A 相瓷柱折断，张河甲线断路器跳闸，线路停电。

(6) 2001 年 4 月，鄂州供电局 110 kV 旭光变电站在操作隔离开关时，隔离开关支柱绝缘子下法兰处瓷体断裂。

(7) 2001 年 5 月 21 日，上海电力公司 220 kV 港口变电站进行 220 kV 母线差动保护带负荷试验时，当操作拉开 220 kV 旁路母联正母线隔离开关时，220 kV 旁路母联正母线隔离开关 A 相母线侧支持瓷瓶（下节瓷瓶中间法兰处）断裂，坠落至 220 kV 副母线 C 相，造成 220 kV 正副母线二相短路故障，220 kV 母线差动保护动作造成全站停电。

(8) 2001 年 7 月 2 日 20 时 38 分，济南供电局 220 kV 平阴变电站 220 kV I 母线南端第一级支柱绝缘子下节上法兰根部断裂，致使 I 母线 B 相搭落至架构上，母线差动保护动作跳闸。

(9) 2001 年 11 月 30 日，滇西电业局 220 kV 下关变电站 220 kV 下剑线进行复电操作过程中，当电动合上 2621 隔离开关时，A 相隔离开关支柱瓷瓶下节折断。引流线抛至 A 相支柱电杆上引起母线单相接地，造成母线差动保护动作，主变压器 201 断路器跳闸，220 kV 下剑线、220 kV 下谢线跳闸，220 kV 下关变电站与系统解列。

本次调查的范围为 1996 年 1 月 1 日至 2001 年 12 月 31 日 66~500 kV（含直流）变电站母线、隔离开关等运行设备支柱瓷绝缘子发生的各类断裂事故。

事故调查结论：6 年来断裂总数为 388 起（实际可能更多），其中 2000 年、2001 年偏多，并有逐年上升趋势。高压支柱瓷绝缘子断裂事故主要集中在 220kV、110kV 及 66kV 电压等级，分别占 52.6%、26%和 20.1%。断裂事故中涉及隔离开关的占 81%，母线的占 13.9%。这二项占了整个事故的 94.9%，断裂事故中折断占 35.5%，开裂占 62%，发生断裂事故的地区，北方多于南方，尤其东北地区最多。但是，折断事故在全国各地都有发生，应当引起重视。

另外最近典型的事故还有：

2012 年 3 月 24 日，黄埔发电 A 厂#1 变高#2 母线刀 22012 刀闸在拉开过程中瓷瓶发生断裂，事件发生后，南方电网广东省电力调度中心会同有关部门的相关人员一起召开了讨论分析会，

由此广东省电网公司电力科学研究院建议采取以下相应的反事故措施：一．全面检查同类刀闸，特别注意底座金具和瓷瓶支柱的结合部位的水泥胶装剂以及其表面的防水胶。二．采用振动声学等探伤方法对刀闸瓷瓶进行检测，主要检测底座金具和瓷瓶支柱的结合部位法兰口内 3mm 到第一瓷沿之间；

2012 年 4 月 10 日，深圳遭遇十年来最大范围停电事故，包括福田、罗湖、龙岗三个区的部分区域遭遇最长达两个小时的大面积停电，受此影响，广深和谐号高铁停运近一个小时。后来的调查证明，是龙岗区横岗街道 500 千伏变电站内瓷支柱绝缘子断裂故障所致；

2012 年 11 月在短短的 20 天的时间内河北省的沧州、衡水、邯郸三局的变电站接连发生支柱断裂重大事故，导致了变电站整站停电的重大事故，对这三起事故国电公司在全国各电网做了通报；

这无数次的大面积停电事故，给大家敲响了警钟，我们的电力系统迫切的需要一款科学快捷的针对工作状态的瓷支柱绝缘子检测的仪器。

瓷支柱绝缘子的组成工艺：是由粘土、长石、石英等硅酸盐原件混合配置，加工成一定形状后，在高温下烧结成的无机绝缘材料，主要由分布在玻璃状基体里的石英粒子组成。制造绝缘子的过程中，这些粒子遭受着明显地拉伸应力的作用，这种应力出现在瓷制品煅烧后的冷却情况下，源于两种材料不同的线性膨胀系数。在这些应力的作用下，于石英粒子中、玻璃状基体中和它们的边界上滋生出微裂纹，这一过程，在某种程度上甚至也表现于优质的瓷绝缘子上。另外支柱绝缘子经常暴露在恶劣的环境下，日晒雨淋，热胀冷缩，对它们的使用寿命也构成巨大威胁。瓷绝缘子缺陷的主要原因：

1. 瓷绝缘子制造技术管理不到位，制造工艺存在缺陷，没有按规定要求进行检验，没有按规定要求进行入厂检验，产品选购验收程序过于简单。
2. 安装、调试、检修、维护不到位：如母线安装过程中，引线（软母线）支柱瓷绝缘子安装过紧或固定点多于 1 个，安装硬母线时两头都紧；隔离开关安装过程中，错位别劲，则当温度变化时，由于热胀冷缩的作用，会产生长时间的机械应力，将缩短瓷绝缘子的寿命，最终导致断裂；由于设备失修，使母线、隔离开关出现锈蚀、卡涩、抱死等现象，当温度变化时，由于热胀冷缩的作用，产生长时间的交变机械应力，导致高压支柱瓷绝缘子疲劳断裂。
3. 恶劣的气候条件、气温变化大也是主因：绝缘子在生产和安装过程中难免会产生一些微小缝隙或缺陷，这些缝隙或缺陷长期处于高电场和机械拉力的环境下，会发生局部放电，由于

绝缘子各部件的热膨胀率存在差异，绝缘子受到冷热变化后，各部件的热膨胀不同会使瓷件受到过大的局部应力，当法兰与瓷件胶装处进水，遇冷结冰、膨胀后，将产生很大的分子应力，经过长时间日晒雨淋、局部放电、机械负荷的作用，这些缺陷会逐渐扩大，致使绝缘子的绝缘性能随之下降；暴风骤雨引起共振，使高压支柱瓷绝缘子异常受力超过其破坏负荷所致导致断裂。

4. 胶合瓷件和金属附件的水泥会吸收水分，其体积和硬度将增加。在瓷件的内侧所使用的水泥，如果发生膨胀，也可能使瓷件开裂。

5. 正常绝缘子会因为遭受雷击或过电压而丧失绝缘性能。

6. 其他因素:主要包括因短路产生的强大电动力、因运行年限久远而导致的瓷绝缘子老化及有关的腐蚀等。

绝缘子裂纹具有以下特性:

1) 裂纹的尺寸很小(例如,表面裂纹深度才 0.1mm,分布在绝缘子的底法兰面上)就能够使绝缘子损坏;

2) 裂纹从其滋生到瓷制件破损发展时间的长短难以预测;

3) 不可能用肉眼去发现瓷制件的内部裂纹,包括位于绝缘子法兰面下边的裂纹,而且用肉眼去发现表面裂纹也很困难。

4) 对绝缘子受到外力作用时出现附加的应力,使新的粒子受到损伤,导致微裂纹跳跃式的增长。

许多电力企业和电站的工作实践表明,预防的关键是在绝缘子运行过程中,提前检出它们外部和内部各种裂纹及机械强度降低等缺陷,根据具体情况采取相应的补救措施,从而避免事故的发生。因此一台可带电检测支柱绝缘子的高效探伤仪是电力系统所必须的设备。

国内外研究无损检测瓷支柱绝缘子方法有如下几种:

1、红外测温法。它对金属类温升检测比较有效,对于查找瓷绝缘子裂纹而言相对困难,受环境影响较大。

2、紫外线检测法。主要原理是检测表面局部放电和电晕放电,成像后再去发现产品毛病,但只能发现开放式、可通向绝缘子上节上法兰附近的微观裂纹,对于法兰内部缺陷无能为力,且检测准确率只有 20%。

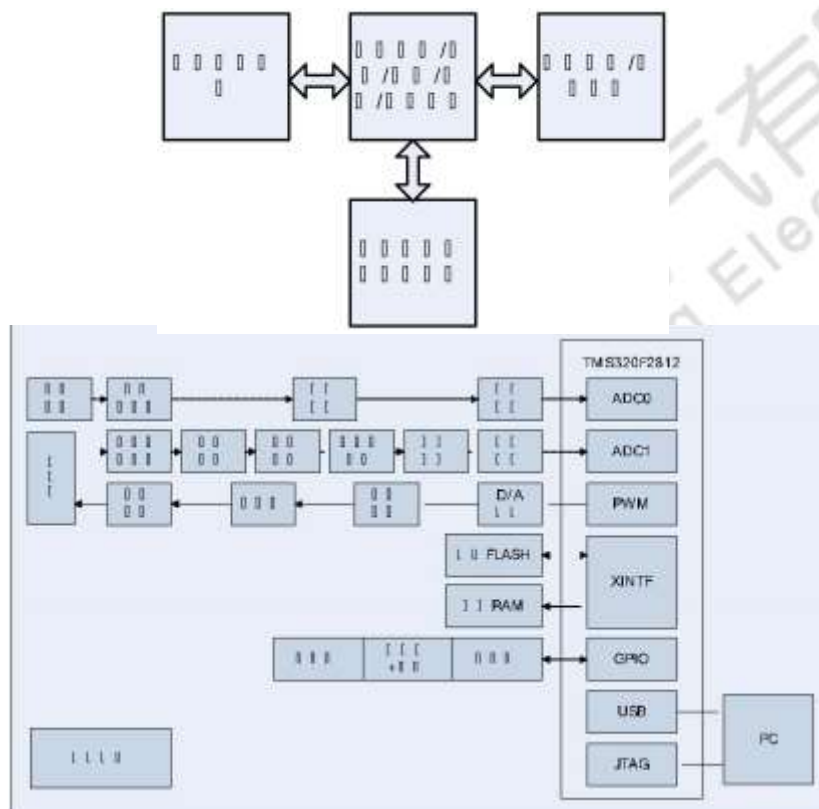
3、超声波检测法。是比较成熟的无损检测方法之一,在金属类器件的探测上得到广泛的应

用。但是，在检测瓷器绝缘子上，有诸多不便，因为绝缘子的伞裙是起伏不平的，而超声波的形成离不开超声探伤仪和探头，探伤仪和探头必须紧密的接触被检测物体的表面才能成像，而且只能检测表面平坦的物件，检测的时间长，携带也十分不便，检测准确率只有 30%左右，最大的缺陷是必须要线路断电才能进行检测，因此也不适用于绝缘子检测。

4、我公司研制的瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪，本产品所要解决的技术问题，就是要提供一种支柱瓷绝缘子带电检测装置，其具有自动识别功能，更适应现场操作。避免了进口和目前国内产品在实际操作过程中遇到不可解决的问题和本身存在的技术缺陷，把振动声学检测技术大大提升到一个更高的台阶，使振动声学检测瓷支柱绝缘子技术真正具有可靠性，实用性，快速性，解决了困扰电力行业多年来检测支柱瓷绝缘子的难题！

二、简介

经过不懈努力，我公司研发出具有国际先进水平的瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪。为了解决进口和目前国内产品在实操过程中遇到的问题和本身存在的技术缺陷问题，瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪采取的技术方案如下：信号控制、采集、处理、存储和通信系统，振动激励和拾取系统，人机交互系统，计算机端数据管理系统等 4 部分，并配备不同长度的高速工具钢螺旋钻头作为导声杆。电脑通过专用分析软件显示频谱波形。



（瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪构造图）

目前，国内电力系统逐步在应用该项技术相关的仪器，包括从国外引进的振动声学探伤仪，但是，无论是国产还是进口的，还只仅仅停留在初步的振动声学探伤阶段，在实际的操作当中，很多变电站的瓷支柱绝缘子的法兰与钢板连接处或法兰被挡住了，施力点（施加激励信号的点）不好找；仪器太重，检测人员托举容易疲劳；经常触碰绝缘子旁边其他构件导致检测数据不准确很繁琐（必须随时携带电脑，反复上传数据）；操作没有严格执行的标准；仪器储存数据库容量太小；储存的数据无法删除；等等问题都无法解决。

瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪避免了目前国内外产品在实操过程中遇到不可解决的问题

题和本身存在的技术缺陷，把振动声学检测技术大大提升到一个更高的台阶，使振动声学检测瓷支柱绝缘子技术真正具有准确性、实用性、安全性、快速性，解决了困扰电力行业多年来检测瓷支柱绝缘子的难题！

三、性能特点

1. 即测即报，具有语音提示；在不需停电检测现场，工作人员在完成对瓷绝缘子的正确检测步骤后，本产品会立即对该瓷绝缘子性能测试，并提示检测完成和数据保存信息。

2. 人机交互系统设计；仪器通过连接电脑就可以查看所测绝缘子的功率谱，输出处理结果以便电脑分析后再核对。而 ZYTS-II 直接出检测结果，无需笔记，不用重复操作。采集端存储的数据可以根据需要储存或删除，并可以直接连接打印机，打印需要的波谱图。

3、仪器质量更轻，检测时施加的力度更小；经过现场操作对比，目前其他瓷绝缘子探伤仪质量太重，以检测 110 kV 瓷绝缘子为例：仪器的主机、绝缘杆、检测时施加的力度相加，达到了十二千克左右，操作人员很容易因体力不支而疲劳，本产品在保证和增加仪器的探测灵敏度和准确率的同时，选择性能优越，质量更轻，达到军工产品要求的电子元器件和复合新型材料，从而大大减轻了仪器本身的重量和检测时施加力的强度，仪器的主机、绝缘杆、检测时施加的力度相加，只需要八千克左右，减轻了三分之一。

4、储存数据海量，内存不受限制；嵌入式存储系统设计，能不受限制存储大量检测数据，进行统一的分析处理以及存储管理。不需要的数据可以方便的删除，通过比较历史数据，可以及时发现支柱瓷绝缘子的异常情况，进行相应的跟踪检测。其他仪器储存能力有限，需不断删除和转移原有检测数据，有的仪器甚至连已有存储数据都无法删除，每次都重复把数据发送至计算机端，非常繁琐不便，这样也大大加重了检测人员的工作量，浪费了宝贵的时间。而我公司研制的 ZYTS-II 瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪完全避免了上述不足和缺陷，把无损检测技术在电力行业的应用跨越式的向前推进了一大步，堪称是瓷支柱绝缘子带电无损检测领域的里程碑！

四、技术参数

检测范围	35kv-500kv支柱瓷绝缘子，可不停电检测
检测速度	即测即报，检测和结果连接电脑即可得出结论
缺陷检测率	99%以上
检测方式	智能全自动检测（带电停电均可测量）
提示方式	中文语音播报
数据传输方式	RS232线传输
数据存储	嵌入式存储系统，无限量
分析方式	专用软件分析
激励信号类型	扫描信号
传感器频率	0.3-12000HZ（±5%）
激振器最大输出功率	≥10W
传感器分辨率	0.0002g
采样率	48k/s
采集振动测量信号准确度	0.1%
应用海拔高度	<5000米
湿度	<90%
工作温差	摄氏-30° — +60°
自身防护	抗高压电场辐射、抗强磁场干扰，符合GB/T 17626.2-1998电磁兼容实验和测量技术静电放电抗扰度试验
重量	1.5KG
外形尺寸	340mm*95mm*50mm(长*宽*厚)
工作电源	4节1.2v大容量充电锂电池（带一个充电器）

五、现场测试

（一）、开机测试准备工作：

1、电池安装

检查主机的工作能力开始测试 绿灯亮

2、按“准备”按钮

黄灯点亮，语音播报文件名（上次测量保存文件的文件名）；

3、按“测试”按钮

语音播报开始测试，重复提示准备测试，1-2 秒后有嗤嗤声音，随机播报本次测试完成，播报保存的文件名

4、将设备的两个探头直接顶在支柱绝缘子的底部保持 6 秒左右，语音播报开始测试，重复提示准备测试，1-2 秒后有嗤嗤声音，随机播报本次测试完成，播报保存的文件名

（二）、安装作业杆

1. 缘操作杆通过螺栓头拧到主机上即可。

2. 检测不同电压等级（35-500kV）变电站内绝缘子时，需要更换相对应的绝缘操作杆。

3. 再次确认是否关闭设备电源

（三）、现场检测操作

1. 按“准备”测试按钮，点亮黄色灯，语音播报数据文件名。

2. 按“测试”按钮，语音播报准备测试

(1) 主机拿到靠近要检测绝缘子的底部法兰，让探针尖端顶到固定法兰的平板上。尽量让探针垂直与法兰底面。

(2) 使主机贴紧绝缘子支承板

(3) 并保持在这一位置（~6 秒），发出丝丝声，直到语音播报测试完成。

(4) 测试完成后通过 RS232 把数据无线传输给计算机。

绝缘子检测部位选择：

①针对不同变电站绝缘子安装位置、固定方式等因素的不同，其检测部位的选择也不同，具体要根据现场环境来判断。

②选择检测部位的优先顺序如下：

第一种位置选择：



与绝缘子底部法兰紧密固定的钢板外侧部位，针对这种位置检测出来的波形好，在没有人为操作失误的前提下出现的杂波少，易于判断。如果是空心槽钢，一定要顶在槽钢壁边缘。

第二种位置选择：



若第一种方案的位置无法采集，可以采取顶在与其相的下侧槽钢的外端测，这个位置对检测人员的现场操作要求较高，所以这个部位的检测需要用到 ZYTS-II 独具的可换高速工具钢螺旋钻头，采集的波形与第一种部位波形误差并不大。

第三种位置选择绝缘子法兰底部外侧：



针对这个位置的，现场检测的难度很大，大部分绝缘子直接与底部槽钢紧固。所以这个部位的检测需要用到 ZYTS-II 独具的三种激励信号的检测，以确保准确性。

操作注意事项：

1. 操作前一定要确认设备电源开关处于关闭位置，否则会损坏仪器。
2. 检测过程中不允许让探针的杯子接触断路器的结构或任何带电设备
3. 操作时不要有任何抖动，整个过程要一气呵成，否则影响检测结果
4. 本装置可检测两节或多节绝缘子，但检测的部位只能在最下侧绝缘子法兰处检测，严禁检测中部绝缘子底部法兰。
5. 请勿对绝缘子底部法兰中间部位进行检测。
6. 严禁雨天带电作业。
7. 本仪器若长期不用时，请取出电池，在启用时作全面检查。

其他检测方法：



危险的，效率低下的超声波检测方法

（准确率 30%）



必须停电，效率低下的检测方法

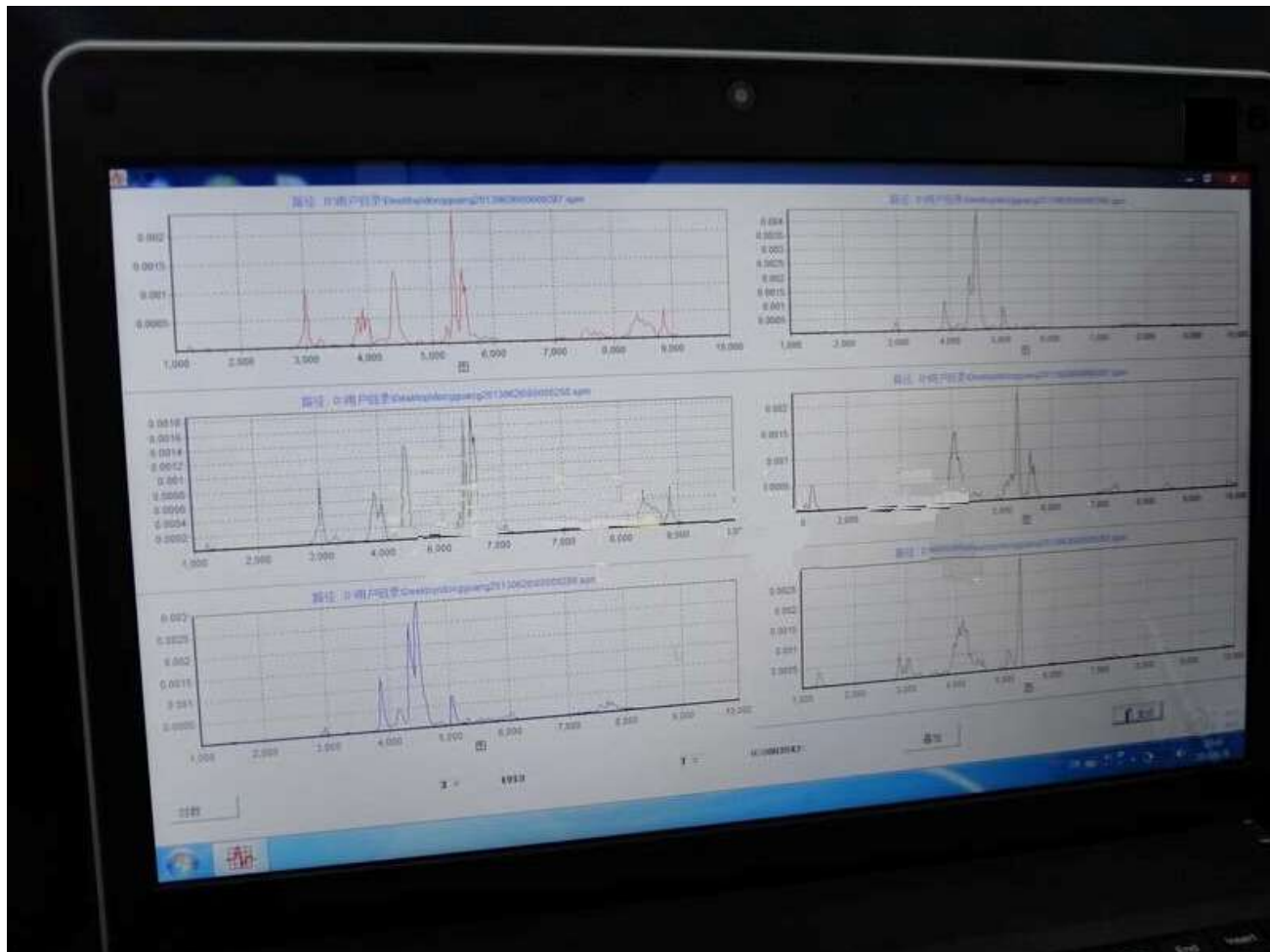


效率低下的紫外成像检测方法

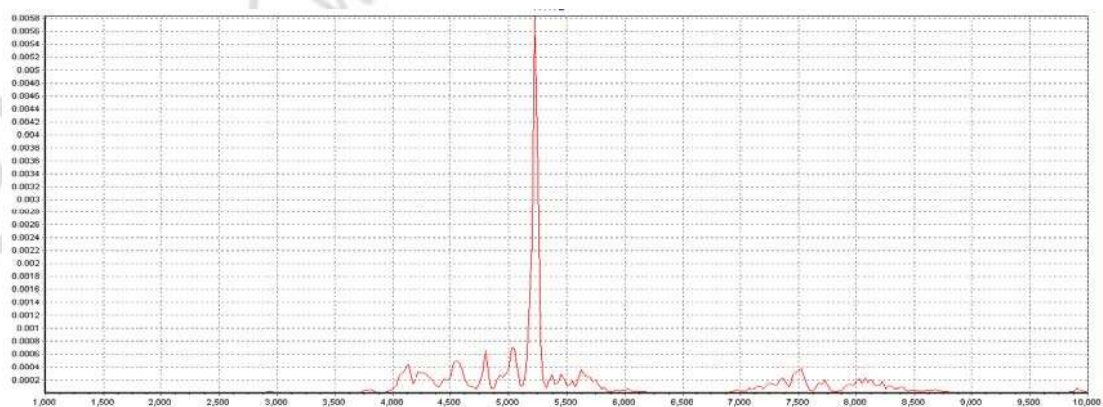
（准确率 20%）

六、图谱分析

检测频谱图：



工作状态正常的瓷支柱绝缘子频谱图

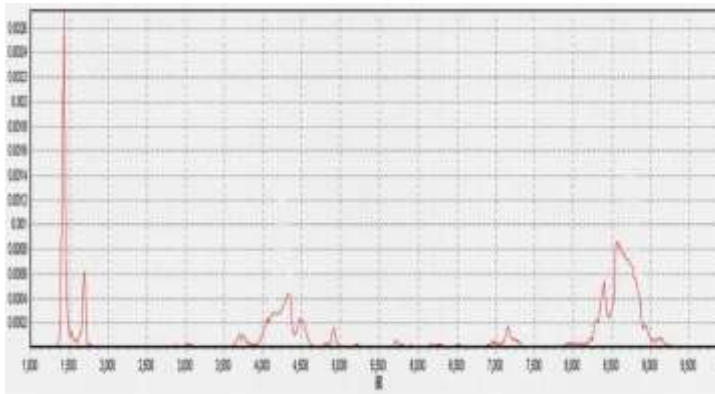


解读：

没有偏离工艺过程要求制造的那些绝缘子，不论是哪个工厂制造，也不管环境温度怎样，都有

在频率 4500HZ（国内绝缘子频率范围在 3KHZ-6KHZ 之间）区域的单峰值的振动功率谱密度评定图。

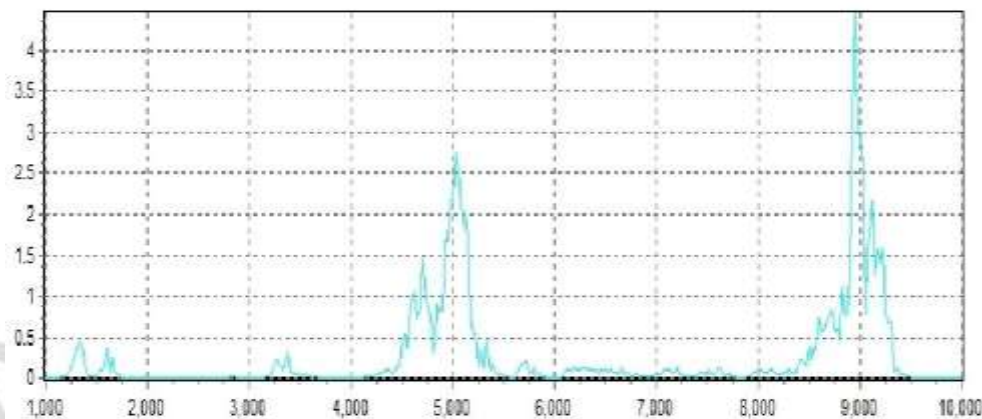
法兰底部有缺陷的瓷支柱绝缘子频谱图



解读：

底法兰有缺陷（损伤）和伞裙中间位置有缺陷（损伤）的绝缘子，在振动功率谱密度图上，除了频率 4500HZ（国内绝缘子频率范围在 3KHZ-6KHZ 之间）的基本（决定性的）峰外，还有在 1000-3000HZ 频率区域的峰值。

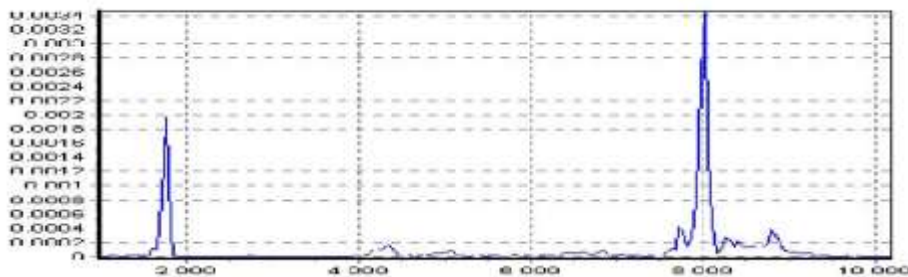
法兰顶部有缺陷的瓷支柱绝缘子频谱图



解读：

顶部法兰有缺陷（损伤）的绝缘子，在振动功率谱密度图上，除了频率 4500HZ（国内绝缘子频率范围在 3KHZ-6KHZ 之间）的基本（决定性的）峰外，还有在 8000-10000HZ 频率区域的峰值。

检测两节或多节绝缘子相叠有缺陷的频谱图

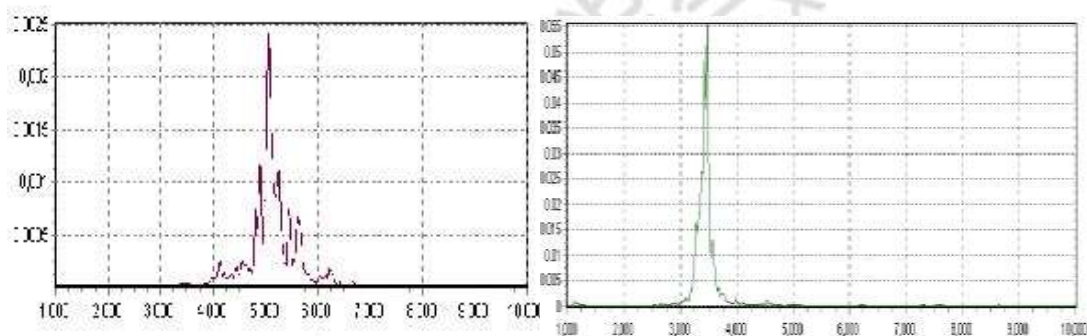


解读：

检测两节绝缘子时的频谱图，可以判定这一串绝缘子中，其中一个绝缘子有损坏，在大多数情况下，要确定绝缘柱的哪一个具体绝缘子的损伤（缺陷）是很困难的，需要将一串绝缘子拆下来单个检测。

同一绝缘子在常温和低温下重复检测的频谱对比图

第一种情况：



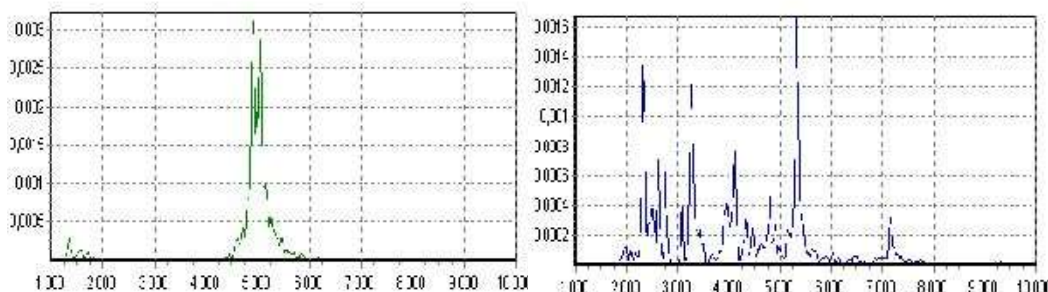
常温+26° 的频谱图

零下负-10° 的频谱图

解读：

两图分别为在温度零上 26 摄氏度及零下 10 摄氏度时的频谱图。可以发现，当昼夜平均温度从正过渡到负时绝缘子振动的频率组分没有变化，但振动频率波已向左偏移，机械强度仍保持在原有的水平上，故此绝缘子正常。

第二种情况：



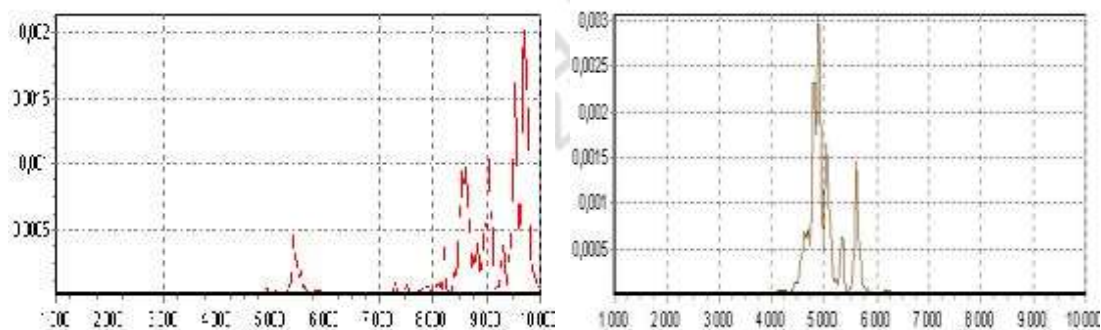
常温+26° 的频谱图

零下负-10° 的频谱图

解读：

两图分别为在温度零上 26 摄氏度及零下 10 摄氏度时的频谱图。当昼夜平均温度从正过渡到负时，在底部法兰区域出现了显著的损伤，故可以确认此绝缘子底部法兰已存在缺陷。

第三种情况：



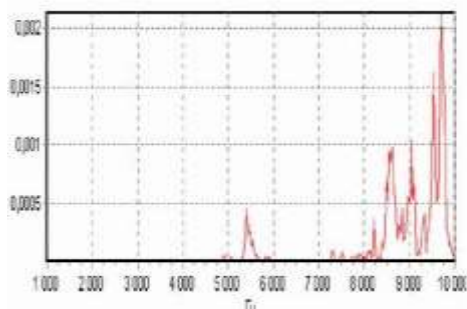
常温+26° 的频谱图

零下负-10° 的频谱图

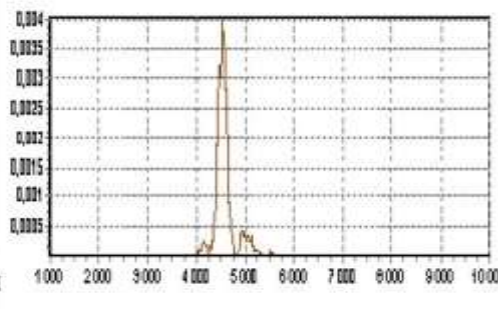
解读：

两图分别为在温度零上 26 摄氏度及零下 10 摄氏度时的频谱图。当昼夜平均温度从正过渡到负时，在上部法兰区域出现了显著的损伤，故可以确认此绝缘子顶部法兰已存在缺陷。

第四种情况：



常温+26° 的频谱图



零下负-10° 的频谱图

解读：

两图分别为在温度零上 26 摄氏度及零下 10 摄氏度时的频谱图。当昼夜平均温度从正过渡到负时，绝缘子的机械刚度增加了，

这种情况的原因：绝缘子里存在着某些不致使其破损的水分，而且由于这些水分冻结导致了绝缘子刚度的增加。加固缝隙的不均匀性（疏松性），由于温度降低时铁和陶瓷有不同的线性膨胀系数使这些缝隙密实了，也就提高了绝缘子的刚度。但仍判断此绝缘子的顶部法兰是有缺陷的。

由以上现场操作的数据说明：传统对支柱绝缘子的检测需要在停电情况下进行，不仅在检测效率低，而且很多时候缺乏实施条件。而振动声学检测支柱瓷绝缘子可以带电检测，且检测速度快，相比于超声与红外检测有独特的优势

瓷支柱绝缘子带电智能探伤仪所要解决的问题，就是提供一种支柱瓷绝缘子带电检测装置，其具有自动识别功能，更适合现场操作。避免了目前国内外产品在实际操作过程中遇到不可解决的问题和本身存在的技术缺陷，把振动声学检测技术大大提升到一个更高的台阶，使振动声学检测瓷支柱绝缘子技术真正具有准确性、实用性、安全性、快速性，解决了困扰电力行业多年来检测瓷支柱绝缘子的难题！