

CTS-9008 型

陶瓷绝缘子超声波探伤仪资料



目 录

资料 A	支柱绝缘子及瓷套超声波探伤工艺方法研究
资料 B	爬波探头
资料 C	CTS-9008 型陶瓷绝缘子超声探伤仪探伤流程

资料 A

支柱绝缘子及瓷套超声波探伤工艺方法研究

一、前言：

支柱绝缘子超声波探伤，是无损检测技术在电力行业的又一项新应用。这项工作开展起来的直接原因，就是支柱绝缘子因存在裂纹等缺陷而损坏造成安全事故，为避免支柱绝缘子损坏造成事故，必须在事故前检测出缺陷。

二、支柱绝缘子分类及组织结构特点

1、分类

目前在役运行的绝缘子，按材质分为陶瓷绝缘子、合成绝缘子和玻璃绝缘子等三种；按用途分为变电所绝缘子和线路绝缘子。

2、组织特点

成品绝缘子及瓷套是采用陶瓷、金具和水泥等多种材料组合而成的，瓷体主要由粘土长石石英等铝硅酸盐原件混合配制，加工成一定形状后，在高温下烧结成的无机绝缘材料，瓷表面复盖了一层玻璃平滑薄层釉。

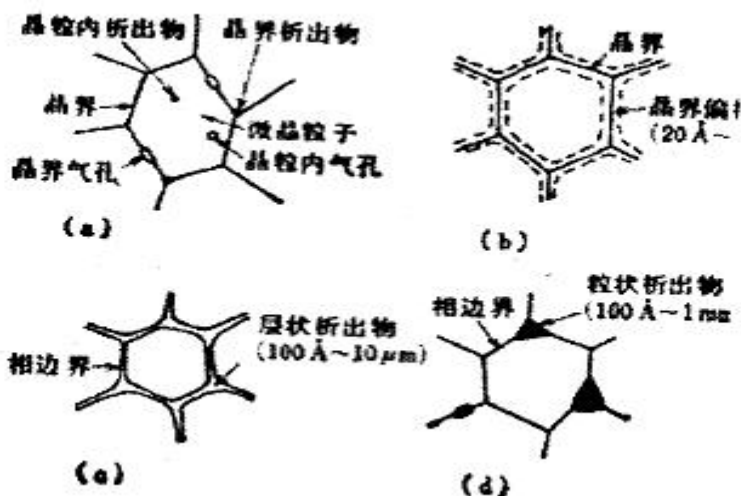
陶瓷一般是通过将粉末原料成型，烧结而成的。经过这些工艺所制得的陶瓷，是由于许多微晶聚集的多晶体构成，这就不可避免的存在着晶界。晶界不仅在陶瓷烧结过程中起着重要作用，而且还对烧结体物理、化学性能有很大影响。

陶瓷的微观结构如下图(a)所示，是由微晶、晶界、晶界析出物、晶界气孔、晶粒内析出物、晶粒内气孔等构成的。构成陶瓷主成分的微晶尺寸，一般由1微米至几十微米，结晶轴方是任意的，微晶直径与原料颗粒直径、杂质、烧结条件有关。陶瓷晶界有位错、空孔等晶格缺陷和晶格畸变存在。因而杂质容易集中，形成图2(b)、(c)、(d)所示的晶界偏析层、层状析出物等。

晶界偏析层一般将在晶界由偏析的杂质离子所形成的层称为晶界偏析层。晶界偏析层厚

度由 20 埃至 1 微米。在晶界，因为形成远远超过一般固溶界限的固溶。所以，可以发现与结晶内部晶相明显不同的物质。

层状析出物 在含有杂质特别多而超过固溶界限时，杂质作为另外的结晶相在晶界析出。这种析出物有层状和粒状之分。层状析出物通常由液相烧结所造成。晶界析出物的熔点比陶瓷的烧结时温度低，产生液相烧结。在液相的浸润性良好时，完全浸透微晶晶界，各个微晶被液相包围，形成层状偏析层。

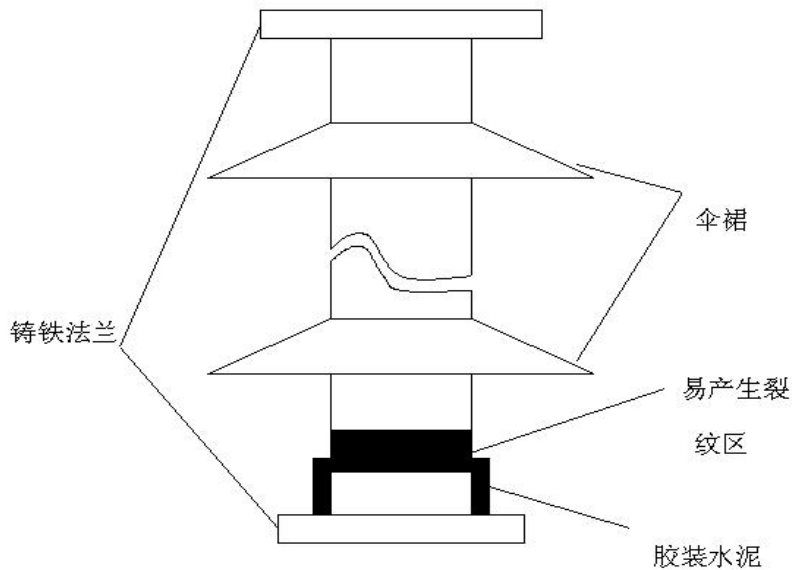


(a) 陶瓷的典型微观结构；(b) 晶界偏析层；(c) 层状析出物；(d) 粒状析出物

粒状析出物杂质的量超过结晶固溶量，其熔点比烧结温度高时，杂质呈粒状在晶界析出。MgO 作为添加剂可用于透明氧化铝陶瓷，但如添加量较多，则会在晶界析出 $MgAl_2O_4$ ，从而降低透光性。由此可以看出陶瓷材料的特点是显微组织复杂且不均匀。

3、结构特性

户外装置的支柱绝缘子大量采用棒形结构——带伞的实心圆瓷柱（见下图）。伞的作用是使雨天时绝缘子保持一部分干燥表面和增加电极间沿瓷件表面的泄露距离，以提高湿闪络电压。实心瓷柱沿外部空气间隙的闪络距离和内部贯穿击穿路径差不多相等，所以只会出现外部闪络而不会发生瓷介质的内部击穿，这对于绝缘子的安全运行十分重要。



4、结构应力

瓷绝缘子是白瓷、金具和水泥等多种材料组合而成的，其劣化受多方面因素的影响，既与制造厂家选用的材料、配方、工艺流程有关，也与运行环境以及运行中承受的抗电负荷甚至外力的作用有关。

如果瓷件在制作过程中，配方不当，工艺流程中原料混合不均匀，焙烧火力不足等，则瓷件易形成吸湿性气孔。而结构不合理，或者成型时失误、受力不均等，也会使瓷件内部存在内应力，而导致瓷件产生裂纹、气隙，以至劣化。

制作瓷绝缘子，一般用水泥作为胶合剂。水泥本身吸收水分和 CO_2 后，体积会变大，水泥吸收水分后，也会反复冻结和融解，促使瓷件劣化。而水泥干燥、凝结，不但会形成吸湿性气孔，而且会产生很多的裂缝。

瓷、水泥、金具紧密粘结在一起，组成绝缘子。而三种材料的线性膨胀系数和导热系数都是不同的。当环境温度发生骤变时，瓷绝缘子将面临着很大的考验。例如，夏季烈日，突然又降暴雨时，绝缘子的各部分来不及同时胀缩，绝缘子的局部位置（如头部）将承受很大的机械应力，甚至使瓷件开裂。此时，如果瓷件的体积较大，结构较复杂，则开裂的可能性和严重性愈大。长期的运行经验表明，质量不好的绝缘子，在夏季，特别是烈日曝晒后又突降大雨的天气下，绝缘子的劣化率往往比冬季高数倍。同样，直接受日照，且受到淋雨的多层针式绝缘子的上层瓷裙和头部以及绝缘子的胶装部位都是劣化率较高的部位。

三、支柱绝缘子断裂原因分析



支柱绝缘子断裂原因主要有以下几个方面：

1、支柱绝缘子制造质量问题造成断裂

1.1、瓷件烧制工艺不当

1.1.1、支柱绝缘子制作工艺不当导致瓷件内部产生较大缺陷，如制作过程中温度和时间控制不当，可导致绝缘子出现层状开裂、断裂面中心存在黄芯。

1.1.2、其次，某些瓷件致密度差，内部存在大量气空和微裂纹，机械强度低，在应力作用下极易断裂。

1.1.3、再有，制胚过程中瓷件产生夹层夹渣，这些夹层夹渣周围必存在微观裂纹，这些微观裂纹在外力作用下产生应力集中，使裂纹发展，最终导致绝缘子断裂。

1.2、胶装质量问题

1.2.1、出现胶装质量的支柱绝缘子，主要是70年代的产品。造成胶装质量问题，原因是当时管理水平和技术水平都较差，胶装的瓷柱有的加了缓冲层，有的未加；法兰口里边无胶装剂或胶装剂量不足，造成瓷柱和法兰之间无可靠连接，存在很大间隙。

1.2.2、另外一个问题，就是法兰口（法兰和瓷件胶装的外部）没有密封或密封不良，可造成运行中法兰内进水，由于瓷件、水泥胶装剂和铸铁法兰三种材料膨胀系数不同，使得法兰内瓷体承受的应力过大和集中，瓷体产生裂纹等缺陷，最终在外部环境作用下导致瓷件断裂。

1.2.3、其次是胶装采用滚花压槽工艺，尽管此工艺可提高瓷件的胶装强度，但会造成凹凸纹处和沟槽处应力集中，应力集中作用的最终结果，是导致瓷件内微裂纹逐渐扩展，造成瓷件断裂。

1.3、产品工厂质量检测不严

由于生产厂家对支柱绝缘子质量检查工作不够细致，导致存在缺陷的产品流入到电力系统。

2、管型母线配电装置设计不完善

管型母线早在工业发达的欧美等地区的高压和超高压配电装置中得到广泛应用。我国早期高压配电装置一直采用软母线，甚至目前仍在沿用，尽管目前我国管型母线配电装置应用越来越广泛，但设计基本没有什么改进，其结果最终可导致支柱绝缘子断裂。主要问题表现在以下几个方面：

2.1、管型母线两端接地器支柱绝缘子抗弯强度取值低于整条母线上其他支柱绝缘子。

2.2、有关设计规程管母支柱绝缘子受力计算中，绝缘子抗弯破坏负荷的安全系数取值1.67，



此安全系数取值过小。

2.3、支柱绝缘子风压计算中，忽略了管母托架所受风压的影响，现在采用的管母托架，由于顾虑到防止管母产生挠度过长和防止微风振动，托架增大很多。这样，在计算支柱绝缘子抗弯强度受力中，就不应忽略托架影响。如计及管母托架的影响，上述绝缘子抗弯破坏负荷的安全系数应为 2.1。

2.4、设计可造的托架管母和金具配套问题。由于管母刚度不够，在自然环境条件作用下，即使安装良好，仍可能造成管母绕度过大超过设计规定，导致管母和金具形成紧固定状态，管母不能伸缩，导致支柱绝缘子受到的弯曲负荷超过其能承受的强度而断裂。另外，从发生断裂事故的时间段看，支柱绝缘子断裂的时间均在入冬的 12 月到开春的 4 月之间，这段时间气温交替变化幅度较大，说明在管型母线和金具严重咬合卡死情况下，管型母线较大变形造成支柱绝缘子受到过大的横向里作用而断裂。

2.5、个别隔离开关结构设计不合理，部件抗锈蚀能力差，运动部位润滑脂填充不充分，造成操作时机卡，导致支柱绝缘子承受异常弯矩或扭矩而损坏。

3、安装调试不当

3.1、管型母线

3.1.1、管型母线起吊中外力作用造成管母变形。

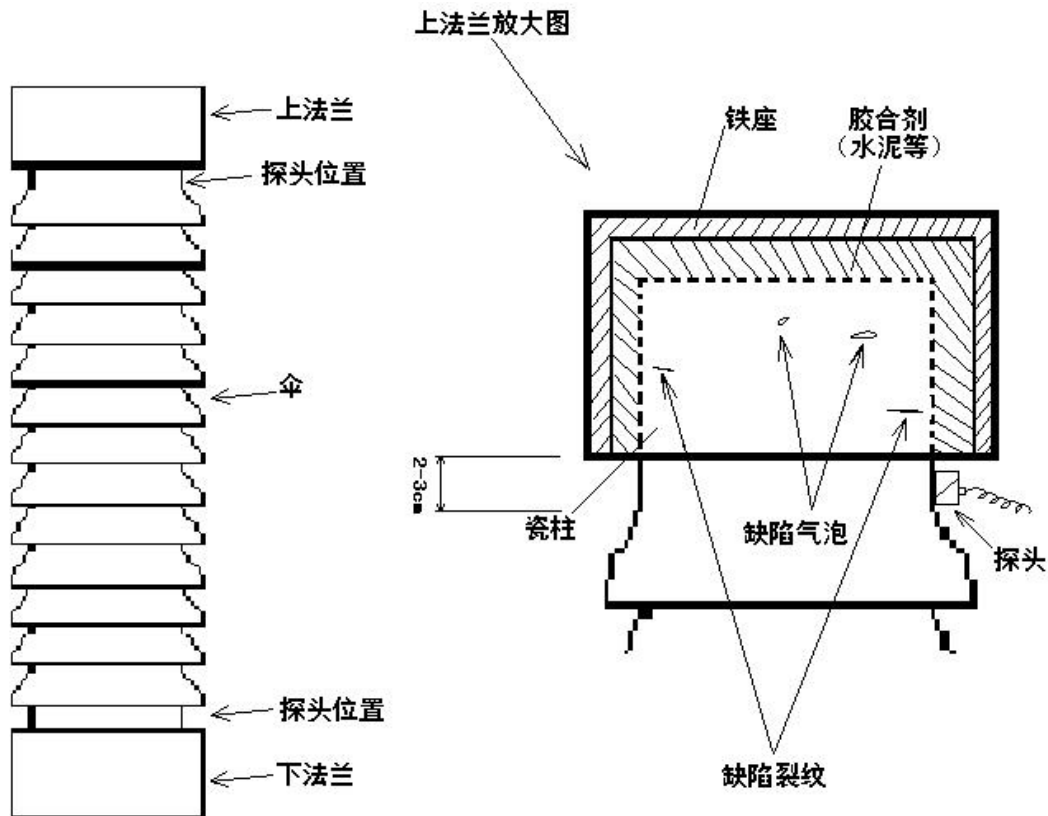
3.1.2、管母安装不合规范，造成支柱绝缘子受到较大附加弯矩和扭矩。

3.1.3、支柱绝缘子距其中心线存在较大偏移，从而使其受到较大弯曲应加作用。

3.1.4、地基下沉，造成设错位使支柱绝缘子受力。

3.2、隔离开关

隔离开关安装过程中，错位别劲，这样在温度变化时，由于热胀冷缩作用，产生机械压力，长时间作用导致支柱断裂。



4、自然环境因素影响

4.1、微地形微气象条件影响

变电站所处地方属不利的微地形条件，如风口处等。这样，在利风条件下，此局部地方风力明显高于一般地方，长此以往，势必造成支柱绝缘断裂破坏。

4.2、恶劣的气候条件

暴风骤雨，导致管型母线支柱绝缘子和构架构成的系统发生共振现象，使得支柱绝缘子异常受力超过其破坏负荷而断裂。

4.3、微风振动

管型母线在微风作用下，产生微风振动，导致本身存在缺陷支柱绝缘子的缺陷扩大而断裂。目前所有管型母线均采用了在母线内放置软导线的防止措施。

5、运行、检修、操作不当导致

5.1、由于检修维护不到位，造成设备失修，使管型母线和金具间的松固定变成紧固定，隔离开关出现锈蚀、卡涩等现象，由于温度变化作用，产生长时间的高变应力，最终导致支柱绝缘子疲劳断裂。

5.2、隔离开关进行操作时，操作不当，产生短时间的很大的机械负荷，导致支柱绝缘子断

裂。

四、目前的监督检测手段及存在的主要问题

1、支柱绝缘子超声波检测技术

目前的是采用横波法、小角度纵波直射法、爬波法对易损的支柱绝缘子法兰口附近瓷体进行检测，可以发现其表面及内部缺陷。但超声波检测支柱绝缘子会遇到以下问题：

爬波虽对近表面缺陷有检出能力，但对支柱绝缘子内部缺陷以及瓷套的内壁裂纹均无法检出，因此，不能依此对被检工件作全面评价。当采用爬波检查发现了缺陷信号，难于确定缺陷的性质。

横波的优点是其波长较小，检测灵敏度高，但在瓷件中衰减大，杂波多，而且必须有较大的移动距离。

小角度纵波直射法可以对支柱绝缘子内部缺陷进行检测，但受检测位置影响，仅可供部分瓷件的个别部位检查，无法做到全面有效检验。

2、支柱绝缘子其他检测技术

国内外亦有采用红外线诊断技术，紫外线成像技术，激光检测技术、无线电波检测技术、电晕摄像技术等对绝缘子进行带电巡查的介绍，它们对瓷绝缘子串和支柱绝缘子的上部高压带电部分是有效，上部的感应电压高。对于绝缘子与地相接的区域电压趋近于零这些方法不能完成检测。

目前主要是检测支柱绝缘子与瓷套埋藏在沿圆周铸铁法兰内侧或与瓷体相交的砂层下的裂纹，因此只能采用超声检测技术。

五、支柱绝缘子及瓷套超声波探伤工艺研究

1、支柱绝缘子及瓷套超声波探伤系列试块研制

支柱绝缘子的检验必须借助于试块来测定专用探头的入射点、折射角及校准灵敏度等。超声波探伤试块的合理与否，直接关系到测试结果的准确性。

支柱绝缘子系列试块。采用 $\Phi 100$ 、 $\Phi 120$ 、 $\Phi 140$ 、 $\Phi 160$ 、 $\Phi 200$ mm 五种规格的在役支柱绝缘子设计并加工出模拟裂纹试块群（切割裂纹）见图 1。由图 1 可以看出支柱绝缘子的需要检测的部位是靠近铸铁法兰的末裙下，与铸铁结合处。

变压器与电流电压互感器、耦合电容器等瓷套的直径与壁厚如图 2 所示，由于它的开裂范围是位于瓷套的下部内壁或外壁，因此检查瓷套时要考虑内外壁均应检测。

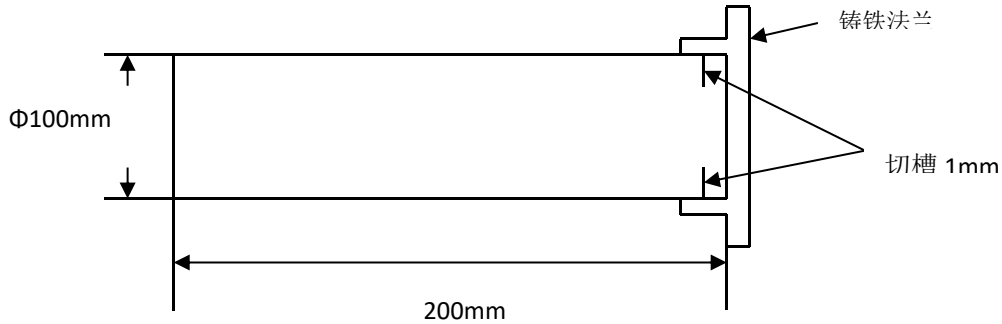


图 1：支柱绝缘子试块

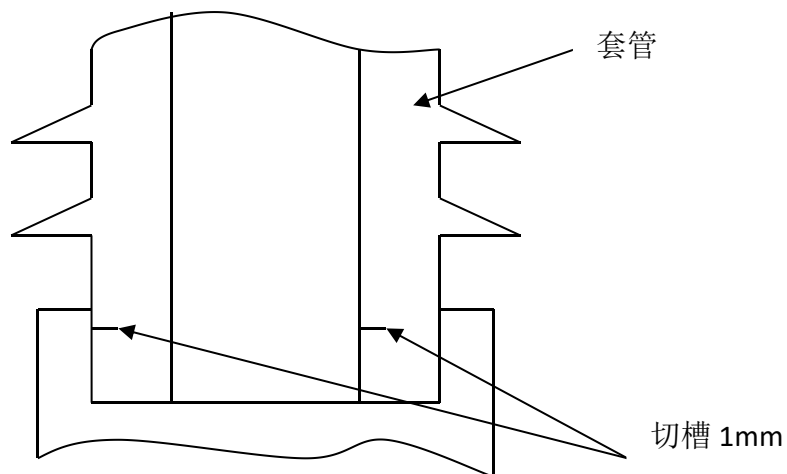


图 2 瓷套管试块

2、支柱绝缘子及瓷套超声波探伤爬波探头研制

虽然爬波仅仅对表面和近表面缺陷有效，但对工程量较大的普查检验说来，仍不失为是一种快速的检验方法，为此，我们研制出微型并联式爬波探头解决了体积偏大这一难题。

微型并联式爬波专用探头的型貌及设计数据见图，频率：2.5MHz。

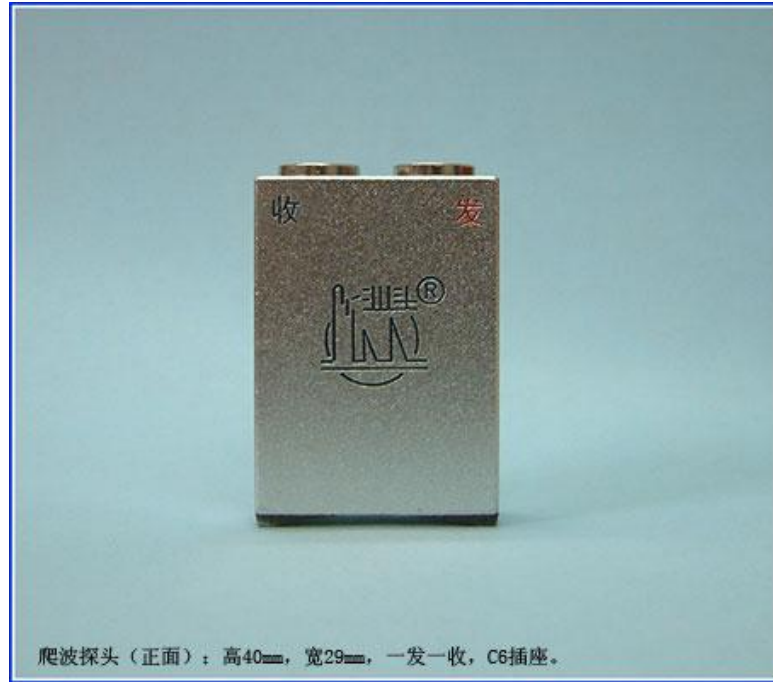


图 7 探头示意图

3. 仪器的研制

功能及特点要求：

- 考虑到现场探伤半高空或者高空作业的要求，仪器应该体积小、重量轻、电池工作时间长。
- 鉴于模拟型仪器的重量体积过大，应选用数字化仪器。
- 数字仪器的信号采样频率应尽可能大些，如采样率 $>150\text{MHz}$ 。
- 衰减值可调范围 $\geq 110\text{dB}$
- 因爬波随着传播距离的增加衰减非常厉害，所以仪器应该具有高的发射强度、高的灵敏度。
- 可以制作 DAC 曲线。
- 检测的数据可以存储、打印，可以传输到计算机。
- 操作简单、使用方便

4、关于耦合剂几个相关问题的说明

4.1 为何要发展羟甲基纤维类耦合剂？

通常的锅炉压力容器无损检测中，耦合剂一般使用机油、甘油或工业浆糊，以这些



材料作为耦合剂完全可以满足无损探伤的要求且来源广泛、经济实用。但也存在以下问题：

- ①大量使用机油、甘油等不可回收，造成石油资源的浪费；
- ②探伤后机油等不易清除，造成工件的污染，影响后面工序（如焊接、胶接等）的进行，机油浸入绝缘子连接部位后溶解过渡层沥青，使绝缘子连接恶化；
- ③对人体皮肤有刺激损伤作用；
- ④用甘油和工业浆糊对工件有腐蚀作用；
- ⑤声阻抗、声速匹配效果不是有序可控；

鉴于以上原因，纤维素耦合剂有广泛的应用前景。目前美国等发达国家均有专业的耦合剂生产厂商，常温下探伤的主力耦合剂即是甲基纤维类耦合剂。且有如下优点：

- ①为水溶性物质，易于配制，经济方便；
- ②浓度易于控制，便于阻抗匹配；
- ③具有良好的流动性；
- ④具有良好的粘附性，不会很快流溢；
- ⑤无任何毒副作用；
- ⑥无腐蚀性；
- ⑦易于擦除。

4.2 超声耦合剂的用途和基本要求

在检测工程中，存在着超声波换能器（探头）与检测工件之间有效传输问题。由于空气的声阻抗远远低于固体，而衰减系数又很高，因而空气成为超声波传播的严重障碍。因此检测中必须用适当媒质代替空气形成超声波的传播信道，即使用耦合剂。耦合剂作为透声媒介，当然应该符合声阻抗匹配和低衰减的要求，还必须具有不损伤探头和工件的特点。因此耦合剂应满足下列要求：

- ①能提供可靠的声耦合；
- ②使被检物表面与探头之间润湿，消除两者之间的空气；
- ③耦合剂不会很快地从工件表面流溢；
- ④提供合适的润滑，使探头在工件表面易于移动（滑动）；
- ⑤耦合剂应是均匀的，且不含有固体粒子或气泡；



- ⑥避免污染（如铅、硫等），并且没有腐蚀、毒性或损伤，也不易燃烧或污染；
- ⑦在检测环境中，不易冻结或汽化；
- ⑧检测结束后易于擦除或干燥。

4.3 耦合剂的性能

- ①声阻抗：应能达到 $2.5 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m}$ (25°C)；
- ②声衰减： $\leq 0.05 \text{dB/cm/MHz}$ ；
- ③粘度： $\geq 15 \text{Pa} \cdot \text{s}$ ；
- ④pH值：7~8 微显碱性；
- ⑤外观：应无色或浅色透明胶状，无或少量气泡，无不溶性固体颗粒；
- ⑥稳定性：在正常存放条件下，一年内不应出现沉淀、分层、霉变和异味。

爬波探头

1、爬波 (Creeping Wave)

爬波可认为是表面下纵波。当探头斜块的倾斜角等于第一临界角时，在工件中产生爬波，同时伴随大角度主束纵波等。

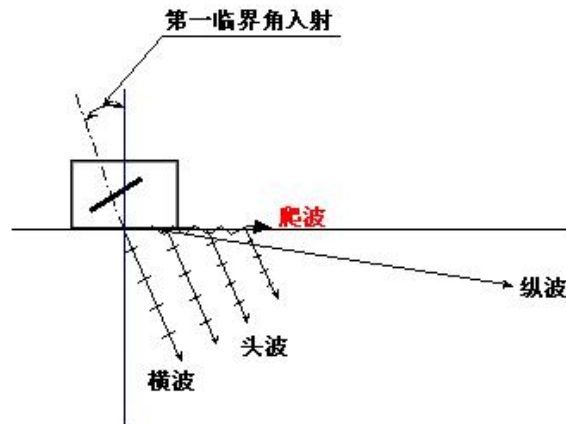


图 1：爬波产生原理图

根据 Snell 定律可知，当入射角等于第一临界角时，工件中有复杂的波型存在：

- A) 直接入射的横波
- B) 直接入射的纵波，折射角取决于晶片面积与波长的比例
- C) 爬波
- D) 另一种横波，一般称为头波。其入射点往前漂移。

爬波在表面下传播，速度等于纵波的声速，且对工件的表面粗糙度不敏感。爬波探头的-一个关键点是对 d/λ 的控制 (d : 晶片大小; λ : 波长)。合理的控制，可以产生最强信号的爬波，同时伴随折射角约 85 度的主束纵波。

瓷支柱绝缘子与瓷套的检测正是由上述的爬波来进行的。

2、瓷件检测对爬波探头的要求

2.1 探头安放的位置

下图示意探头可以安放的位置，在法兰到第一伞裙之间的位置通常非常狭小。所以要求探头的纵向尺寸尽可能的小。

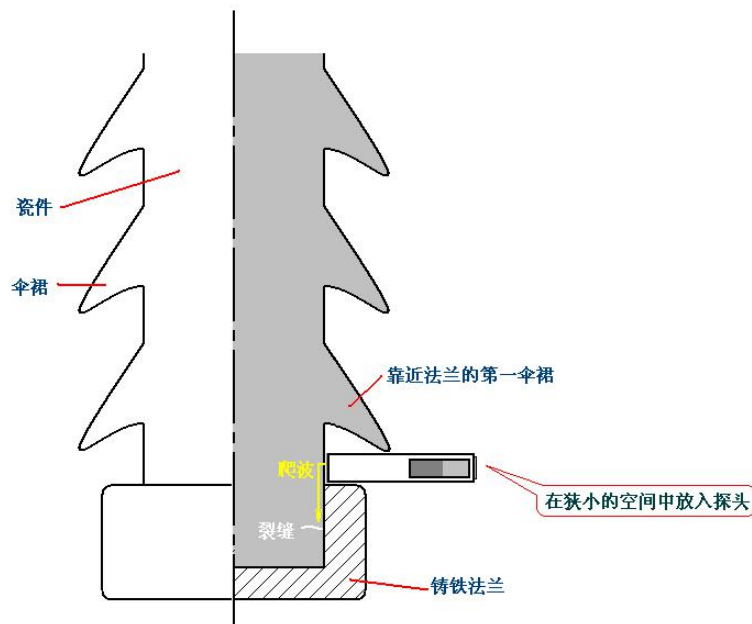


图 2：探头安放位置示意图

爬波探头主要有两晶片串列式和并列式两种结构。由于晶片串列式在一定程度上限制了大尺寸晶片的应用，不适合于放置较长晶片，这里主要考虑并列式结构。

2.2 探头接触面的弧度

为获得良好的声耦合状态，如图 3B 中所示，需要将探头的接触面加工出一定的弧度：

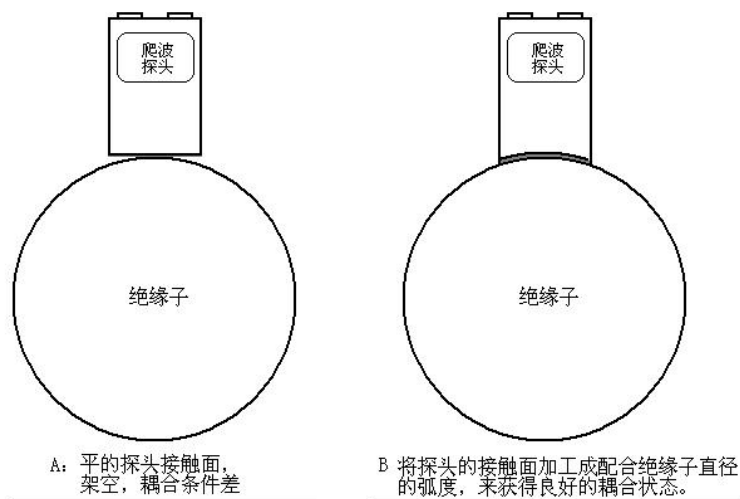


图 3：探头接触面的弧度

2.3 电瓷材料的分类

电瓷材料的种类，包括普通瓷、高强瓷，两者之间的声速存在较大的差异。普通瓷的声速通常在 $5300\text{m/s} \sim 6000\text{m/s}$ 左右，而高强瓷的声速通常在 $6000\text{m/s} \sim 6800\text{m/s}$ 。不同厂家、或者同一厂家不同批次的瓷件，均存在差异。

爬波是以第一临界角入射的表面下纵波。根据 SNELL 公式，不同声速的瓷件要求探头斜块的入射角不同。根据实际的检测效果，将探头分为 P 型、G 型两种，P 型（拼音：Pu）用于检测普通瓷，而 G 型（拼音：Gao）用于检测高强瓷。

2.4 探头的晶片大小、频率

在高压支柱瓷绝缘子第一瓷沿距法兰口距离允许的情况下，尽量选用晶片尺寸大的探头。提高灵敏度和检测速度。通常的晶片大小如：7mm×10mm ~ 8mm×12mm。

在保证系统灵敏度的情况下，探头频率一般在 2MHz~5 MHz 范围内选择，宜选用 2.5 MHz 探头。

3、 爬波探头

3.1 探头的外观



图 4：探头外观图

3.2 探头标牌

探头的信息标注于标牌上，包括型号（如 PR50）、类型（如爬波探头）、探头序列号。
例如：

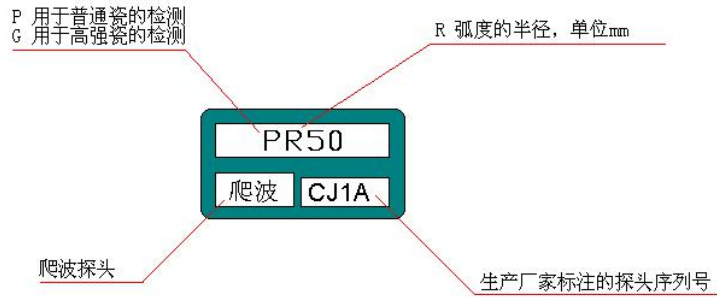


图 5: 探头标牌意义

3.3 型号列表

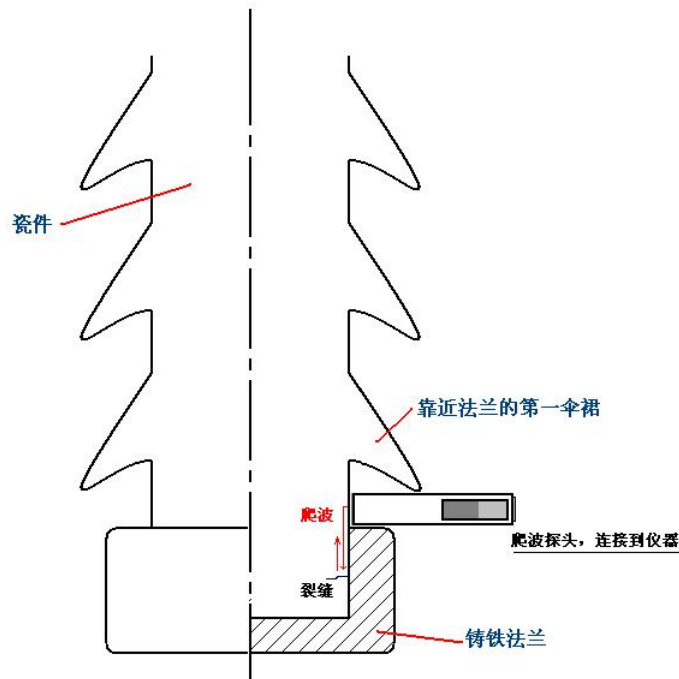
型号	适用瓷件	接触面弧度半径 (mm)	频率 (MHz)	纵向尺寸 (mm)
PR50	普通瓷	R50	2.5	11
PR60		R60		
PR70		R70		
PR80		R80		
PR100		R100		
GR50	高强瓷	R50	2.5	11
GR60		R60		
GR70		R70		
GR80		R80		
GR100		R100		

CTS-9008 型陶瓷绝缘子超声探伤仪探伤流程

一、爬波探伤流程：

1、爬波检测瓷绝缘子的原理

探头发射的超声波，以爬波的形式，沿瓷件的外壁传播。当遇到裂缝等等类型的缺陷时，反射回来，被探头接收到。反射回来的信号送到仪器中，以脉冲波形的方式显示在屏幕上。探伤人员根据屏幕上显示的波形，判断缺陷的情况。如下图：





2、实测绝缘子声速

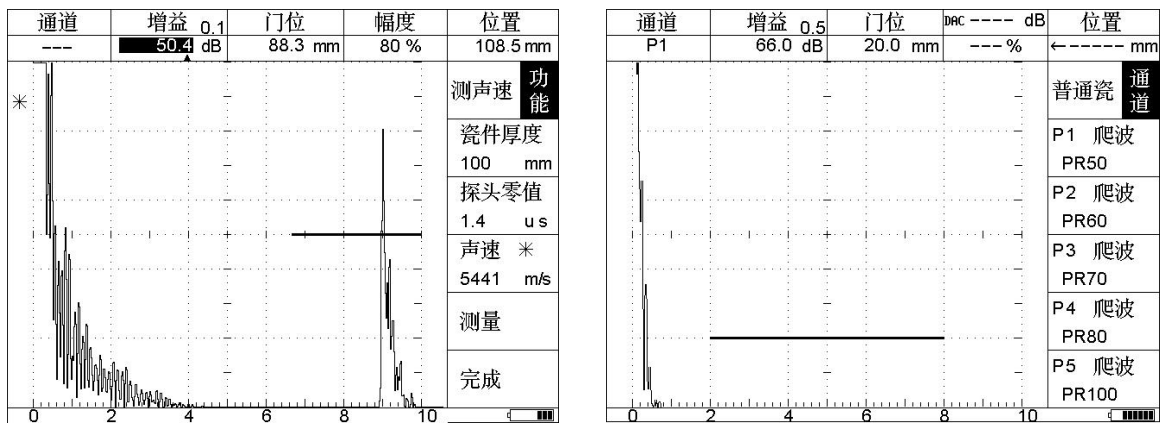
操作如下：

(1) 进入【功能】，按【1】键，进入测声速界面，调节瓷件厚度为所测陶瓷绝缘子的直径。

(2) 接上专用测声速探头，涂上耦合剂，将探头放置在被测陶瓷绝缘子的周面上。

(3) 按【4】键，进入测量状态，仪器将自动测量出瓷件声速及探头零值。

(4) 按【5】键，完成声速测量，根据所测声速值仪器将自动跳转到普通瓷（对应声速 6000m/s 以下）或高强瓷（对应声速 6000m/s 以上）快捷通道界面。如下图：所测声速为 5441m/s，自动跳转到普通瓷快捷通道界面。



*在已知被测陶瓷绝缘子的声速时，可直接进入第三步选择爬波探头

3、选择爬波探头

探头的型号列表如下：

型号	适用瓷件	接触面弧度半径 (mm)
PR50	普通瓷 (对应声速 6000m/s 以下)	R50
PR60		R60
PR70		R70
PR80		R80
PR100		R100
GR50	高强瓷 (对应声速 6000m/s 以上)	R50
GR60		R60
GR70		R70
GR80		R80
GR100		R100

根据瓷件的材质（普通瓷、高强瓷）、瓷件的直径选择相关的探头。以第二步所测瓷件

为例：声速为 5441m/s，属于普通瓷质的绝缘子，直径 120mm，则选用 PR60 型爬波探头。P 表示该探头适用普通瓷，R60 表示探头的弧面半径 60mm（直径 120mm）对应绝缘子的直径。

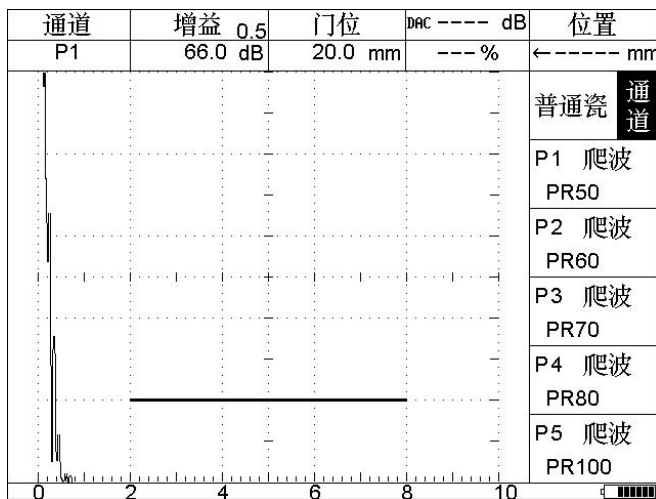
4、调用探伤参数

CTS-9008 型陶瓷绝缘子超声探伤仪设置有 20 个快捷通道，出厂预置支柱瓷绝缘子及瓷套内外壁超声波探伤所需的各项参数、曲线，用户无需自己设置探伤参数及制作曲线，现场无需携带试棒，可直接调用进行探伤。

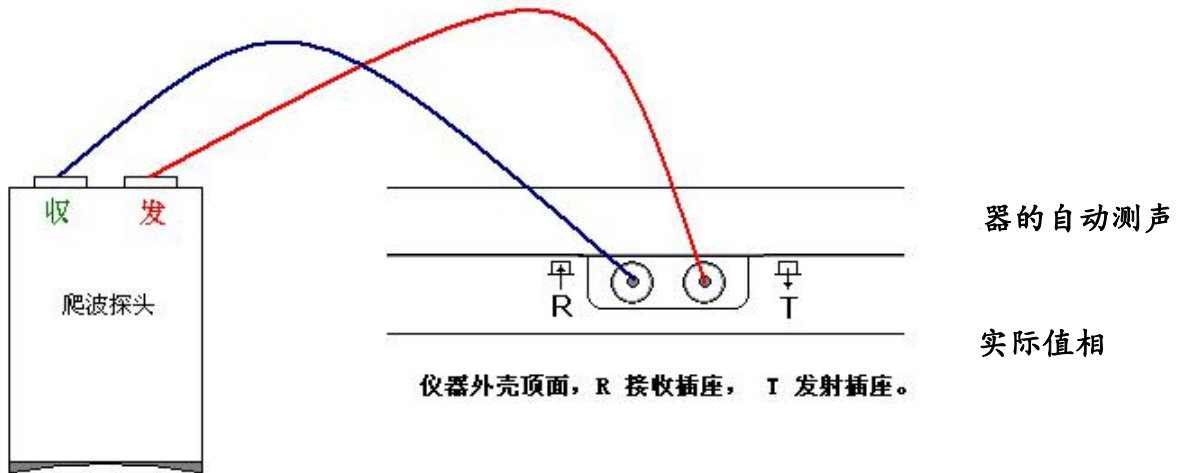
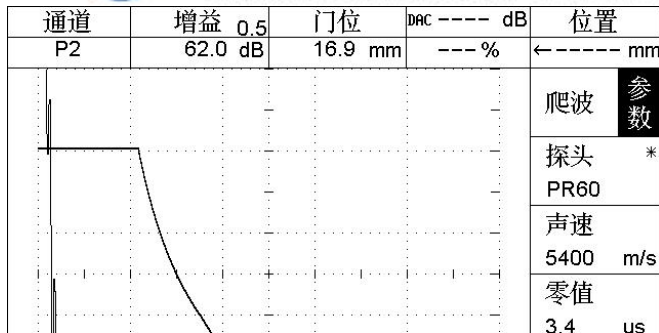
根据所选择的爬波探头种类进入 普通瓷 主菜单或 高强瓷 主菜单
以第三步所选择爬波探头 PR60 为例：

(1) 进入 普通瓷 主菜单：

两种方式：测声速后自动跳转或按面板 普通瓷 键进入，如下图：



选择 PR60 爬波项，按【2】键进入检测界面，如下图：



在检测界面上，已自动设置扫查补偿值为 6dB，用于补偿现场探伤与标准曲线的灵敏度

误差，也可根据现场实际情况手工调节。

5、探伤

连接探头到仪器

使用配件箱中的探头线（两条），连接探头到仪器上。其中一条探头线为发射，连接仪器上的“T”（发射端口）和探头上的“发”（发射端口），另外一条探头线为接收，连接仪器上的“R”（接收端口）和探头上的“收”（接收端口）。如下图所示：

在探头的接触面上涂上耦合剂。在法兰与第一伞裙之间，靠法兰部位，径向旋转扫查一周。探头上有厂家徽标的一侧为前面。



图 1：爬波发射的方向

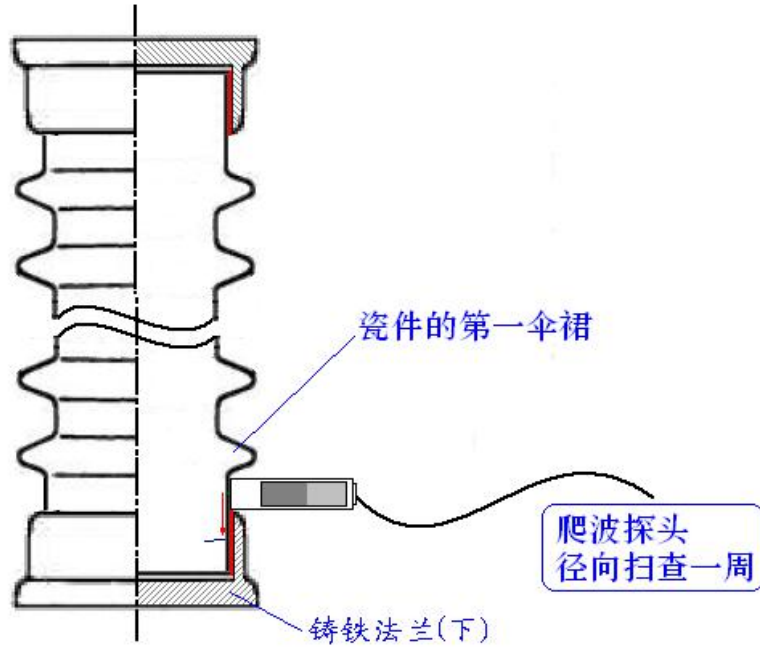
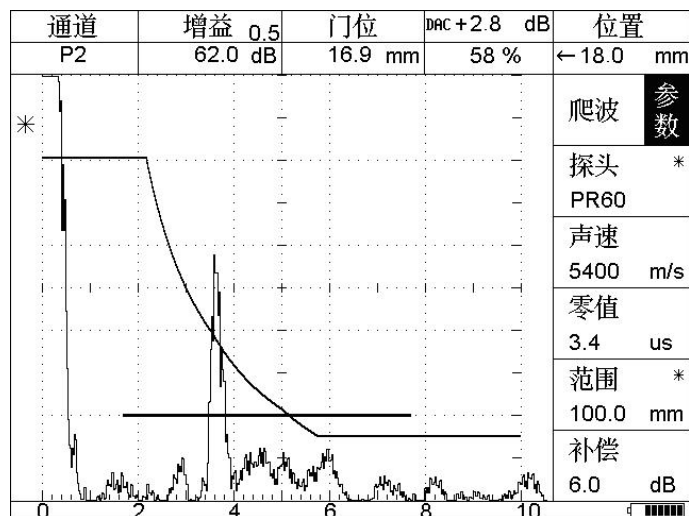


图 2: 扫查

当发现伤波信号时，仪器自动显示探伤结果：幅度、位置（探头端面到伤损的水平距离）
 如果仪器屏幕上缺陷波的幅度，超过 1mmDAC 曲线，可认为瓷件中存在裂缝等缺陷，且该缺陷的大小超过 1mm 深度的人工割口。

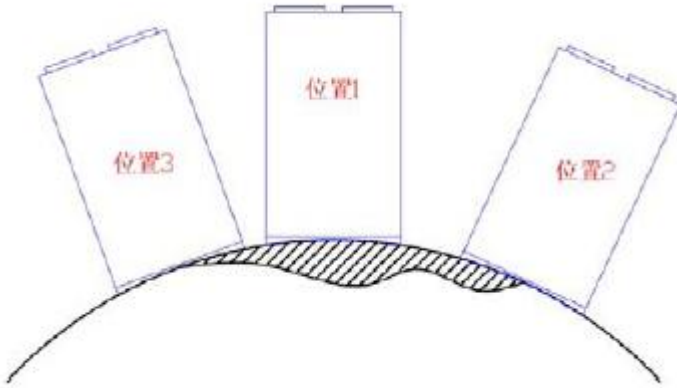
测量缺陷的指示长度，可用半波高度法测定。

此时，可根据《高压支柱瓷绝缘子超声波检测导则》，进行判伤，并决定该绝缘子是否可以继续使用。



爬波检测支柱绝缘子裂纹时的长度测量方法：半波高度法

探头位置与裂缝示意图：



首先移动探头，找到裂缝反射回波的最高幅度，此时的探头位于“位置1”；

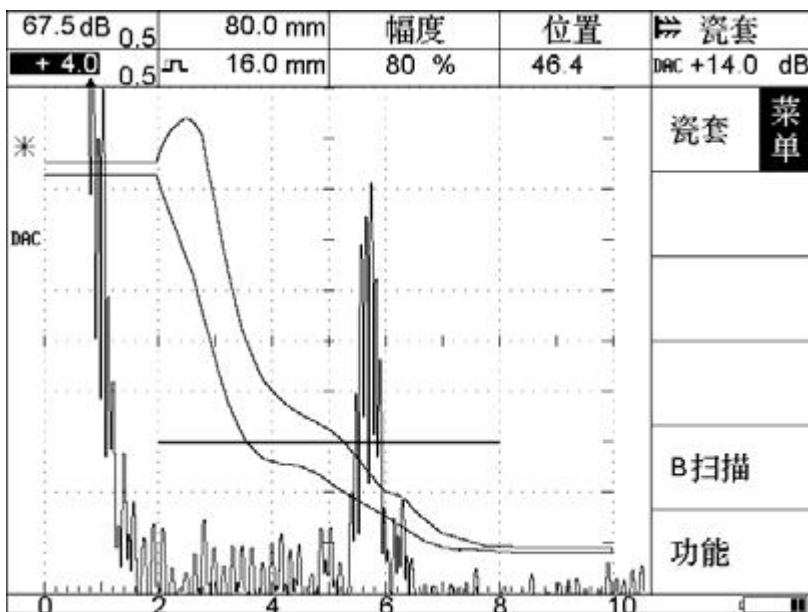
顺时针移动探头，当反射回波的幅度下降到最高幅度的一半，此时探头位于“位置2”；

逆时针移动探头，当反射回波的幅度下降到最高幅度的一半，此时探头位于“位置3”。

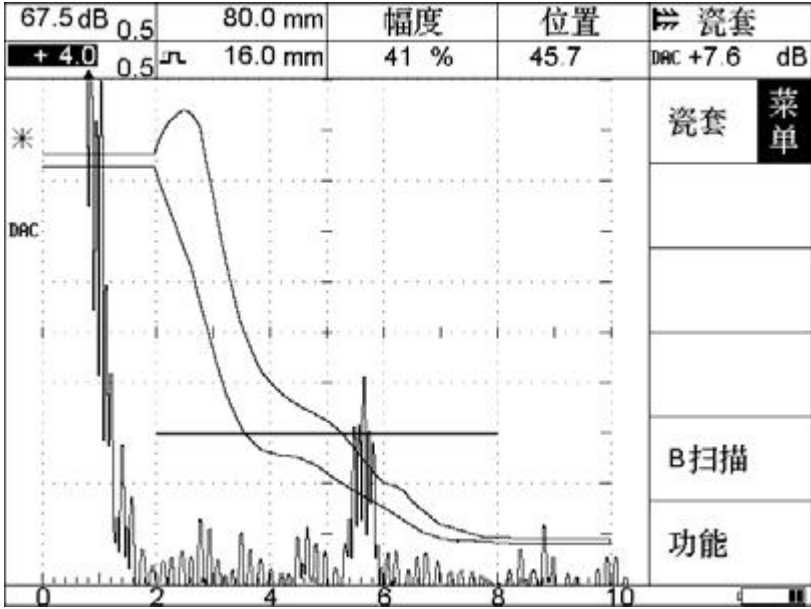
位置2 与位置3 之间的弧面长度，即裂缝的指示长度（使用软尺量两个位置探头中点之间的弧面距离，单位mm）。

示例波形如下：

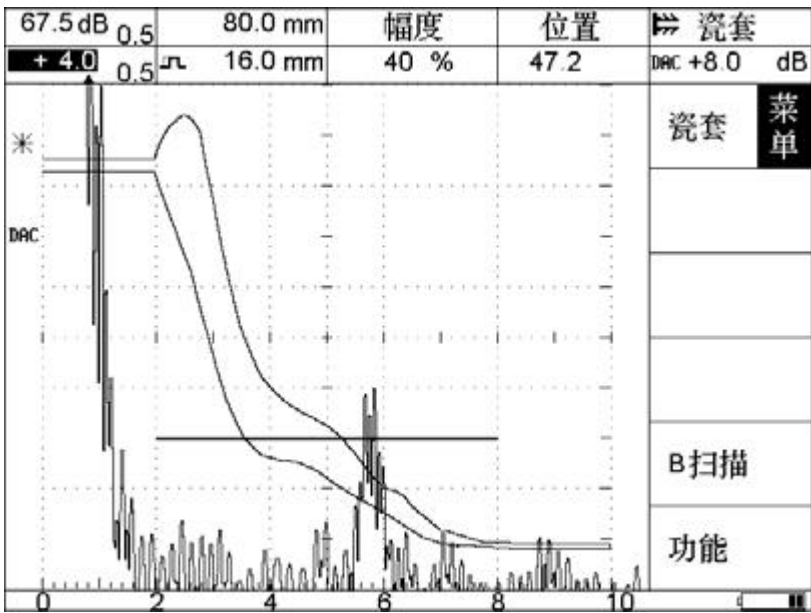
位置 1（波高 80%）



位置 3 (波高 41%)



位置 2 (波高 40%)

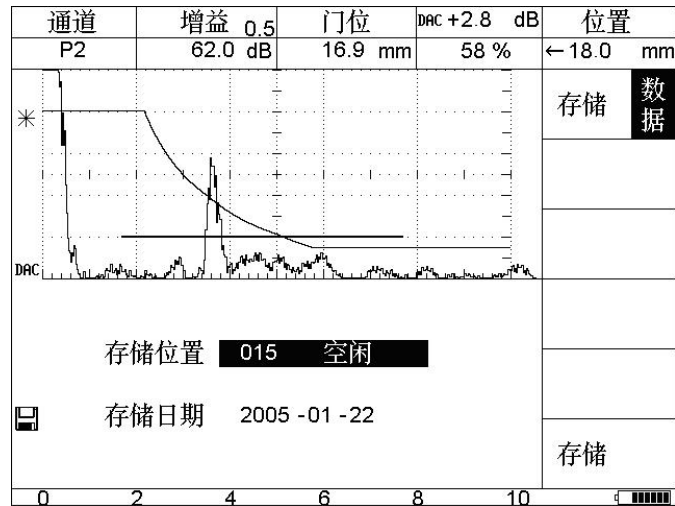


6、将探伤结果存储，操作方式如下：

(1) 按面板快捷键【保存】

(2) 按【调节键】，选择存储位置，已有存储内容的序号会提示已用，无存储内容的序号会提示空闲。再按一次按面板【保存】键或【5】键即完成数据保存。

(3) 仪器自动记录存储日期。



附录：探头标识与绝缘子的对应关系

R50 对应直径值 $\Phi 100\text{mm}$ 以下的绝缘子

R60 对应直径值 $\Phi 101\text{—}120\text{mm}$ 的绝缘子

R70 对应直径值 $\Phi 121\text{—}140\text{mm}$ 的绝缘子

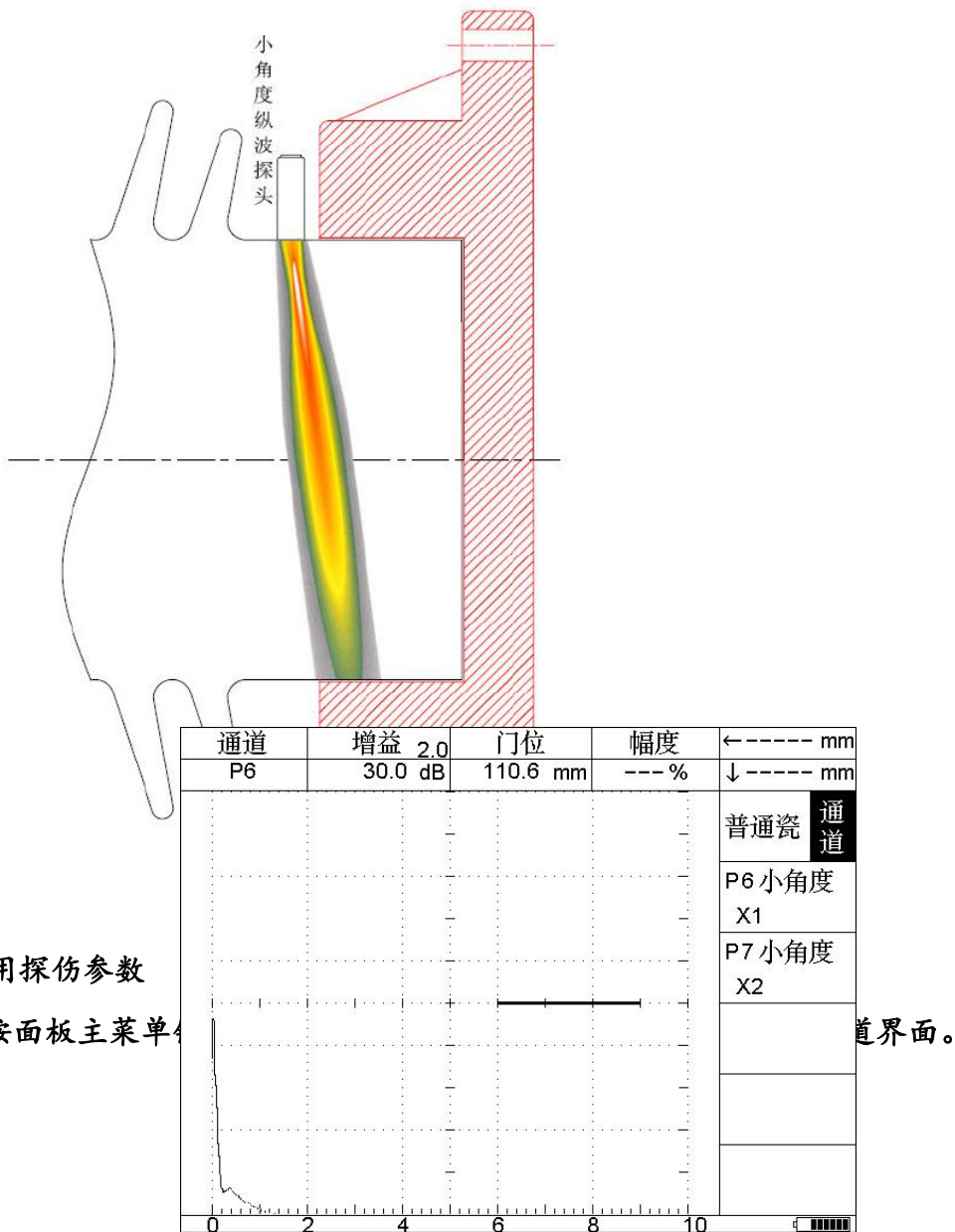
R80 对应直径值 $\Phi 141\text{—}160\text{mm}$ 以下的绝缘子

R100 对应直径值 $\Phi 161\text{mm}$ 以上的绝缘子

二、小角度探伤流程：

1、小角度纵波检测瓷绝缘子的原理

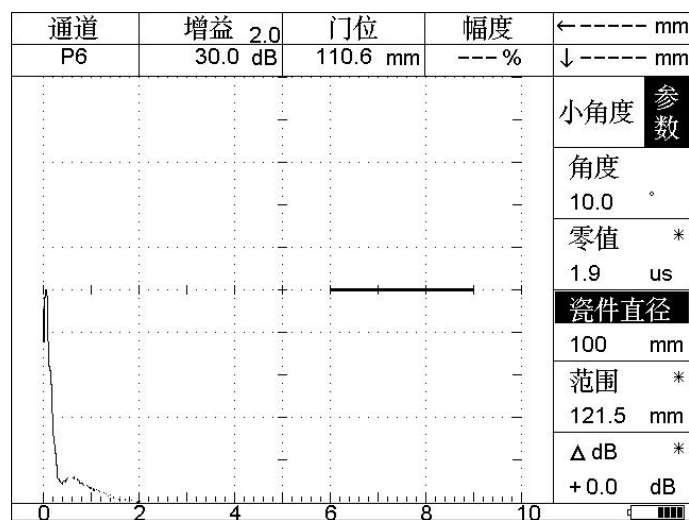
支柱绝缘子的小角度纵波检测，是将探头耦合在法兰与第一伞裙之间，入射一束小角度的纵波到绝缘子中去，检测支柱绝缘子内部、对面的结合部是否存在裂缝等缺陷。如果有缺陷的存在，探头会收到缺陷的反射回波。



2、调用探伤参数

按面板主菜单

按【1】或【2】键进入小角度探伤检测界面，即可进行小角度探伤。如下图：



在检测界面中，角度为实际值，输入采用小角度探头的角度值。

在检测界面中，零值为实测值，调节零值，使探伤结果伤波位置的数据与实际值相符，出厂已设置好零值，不需重新调节。

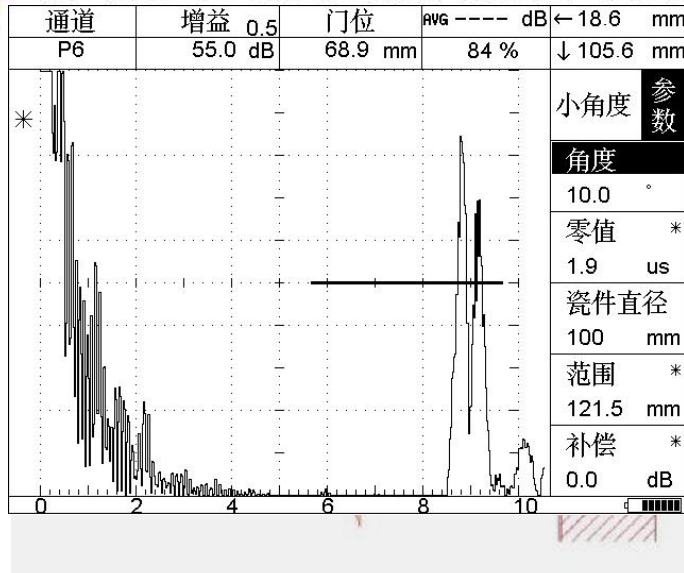
在检测界面中，瓷件直径为实测值，输入现场所检测瓷件的直径值。

在检测界面中，范围为自动变化值，随瓷件直径的改变而变化，保证底面反射波总在屏幕第九格出波。

在检测界面中， Δ dB 为自动变化值，随瓷件直径的改变而变化，用于补偿因瓷件直径改变而引起的灵敏度变化。

3、探伤

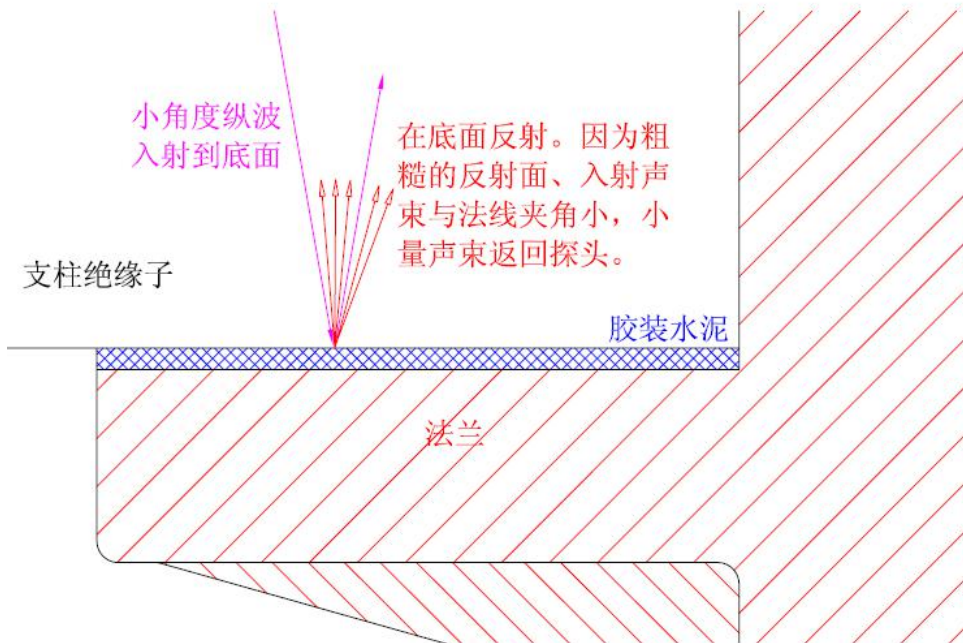
在第一伞裙和法兰之间的检测面上涂上耦合剂，放上小角度纵波探头，（探头上有公司商标的一面为探头的前面），探头的前面朝向法兰，绕支柱绝缘子扫查一周，如有间距，可略作前后移动。



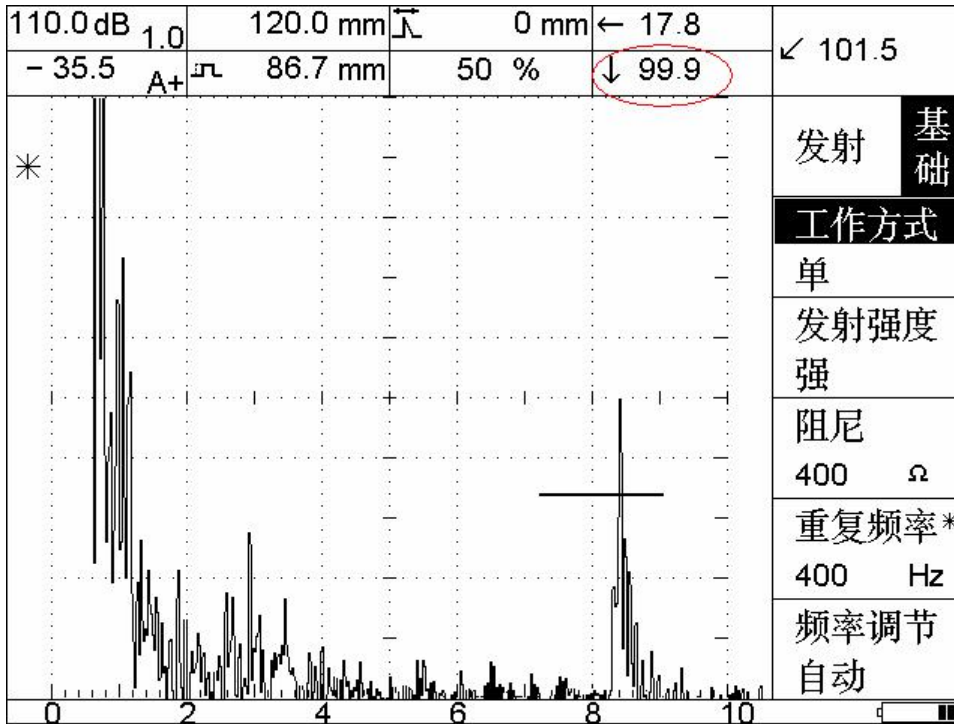
4、将探伤结果存储，操作方式同上。

小角度探头检测对面支柱绝缘子时内壁裂缝高度的测量

当声束入射到对侧的检测区域时候，如果没有裂缝等缺陷的存在，声波会发生反射：



这时候在仪器上会收到反射回波（底波）

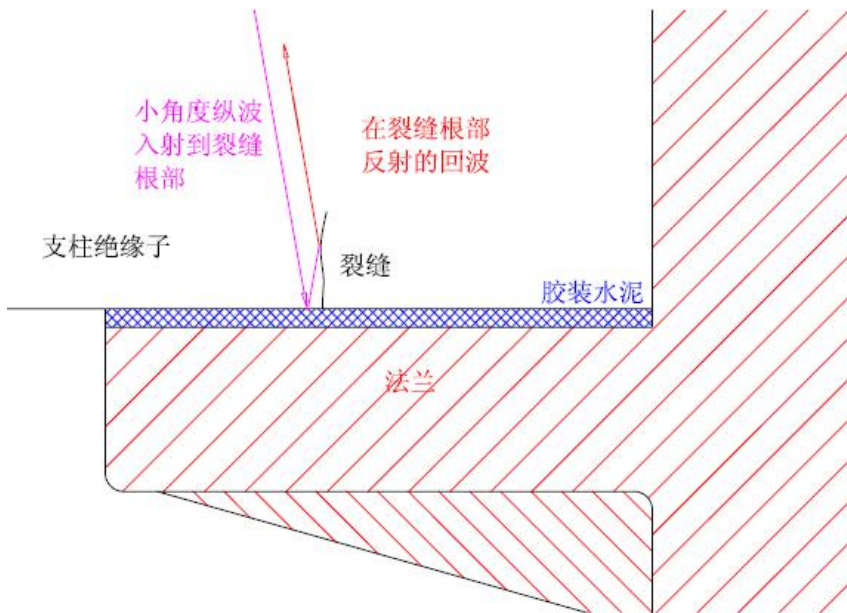


上图中闸门锁定的波形为底面的回波。被检测的支柱绝缘子直径为100mm，可以看到底波的深度为99.9mm。

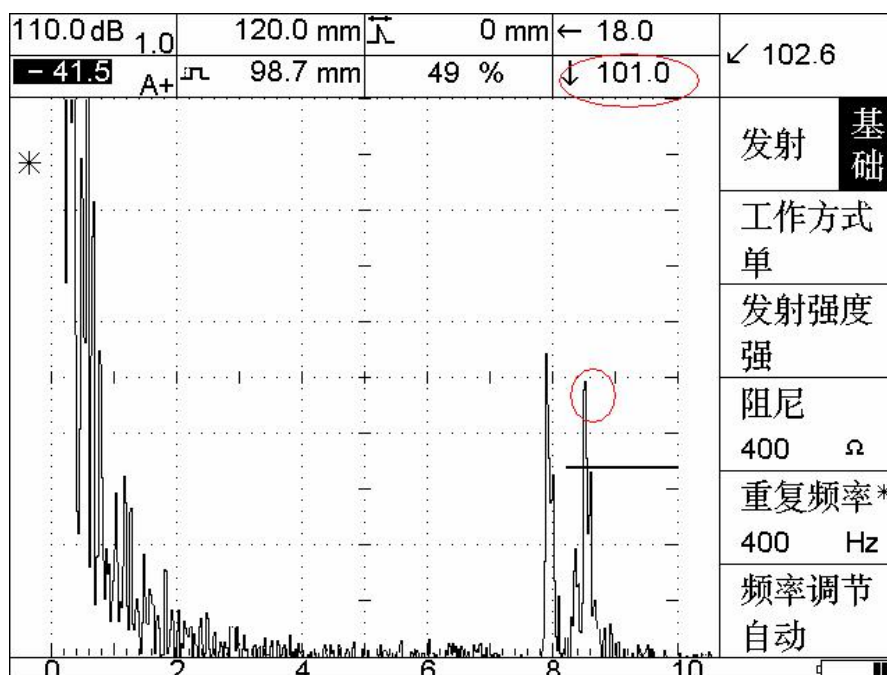
当声束入射到对侧的检测区域时候，如果有裂缝等缺陷的存在，声波会发生两种现象：

- a. 裂缝根部的直角反射
- b. 裂缝顶端（尖端）的衍射

首先看根部的直角反射示意图：

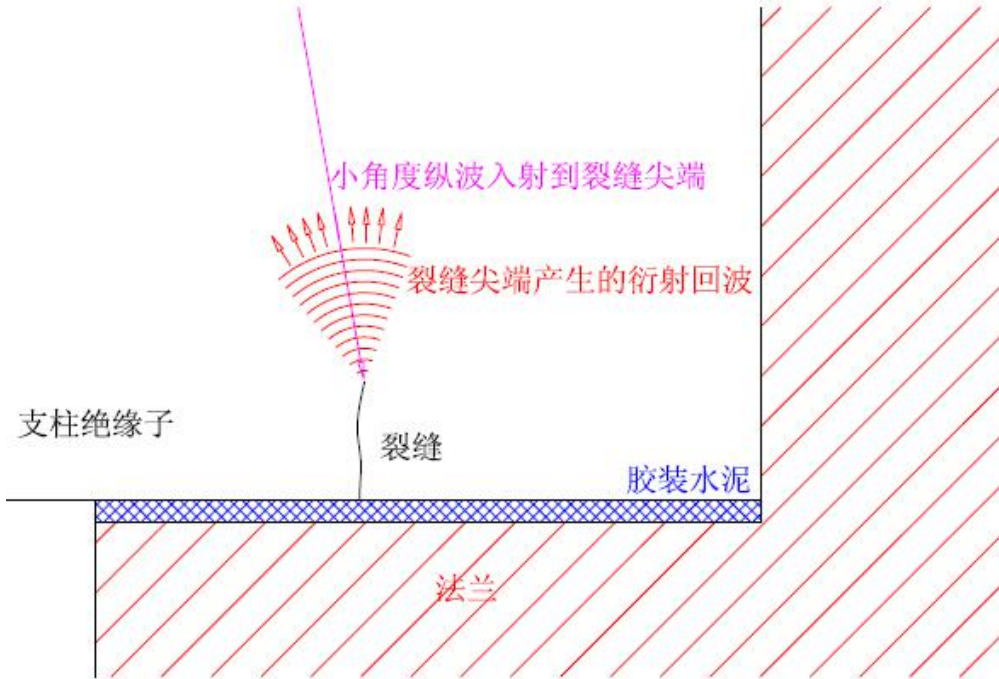


这时候在仪器上会收到裂缝根部的直角反射回波：

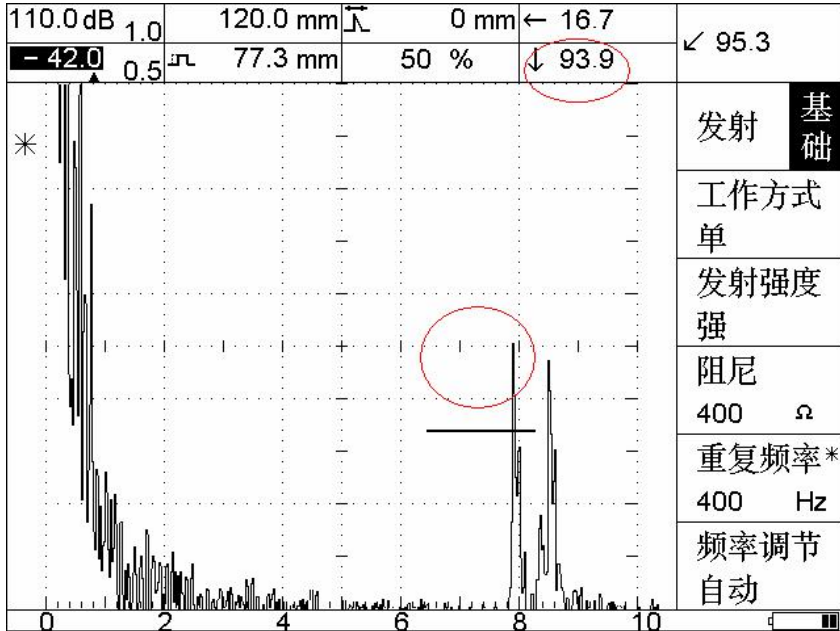


上图中闸门锁定的波形为裂缝根部的反射波。被检测的支柱绝缘子直径为100mm，可以看到根部反射波的深度为101.0mm。比底波深度99.9mm 略大，原因是直角反射导致的声程稍稍增加。

然后看看裂缝顶端的衍射示意图：



这时候在仪器上会收到裂缝尖端的衍射回波，因为裂缝深度（高度）的存在，该回波在绝缘子中的声程小于底波、也小于裂缝根部的直角反射波。如下图所示：



上图中闸门锁定的波形为裂缝尖端的衍射波。被检测的支柱绝缘子直径为100mm，尖端衍射波的深度为93.9mm，位于直角反射波的前面。