

部分低强度超声检测技术的应用与研究

沈天廉

(上海超声波仪器厂)

本文概述了超声波在交通、检漏以及测厚等领域的检测方法和检测技术。

一、前言

超声技术是一门应用技术学科，二十多年来各国的工程师们根据各自不同的目的，充分研究和利用超声波之特点，解决了各个领域中的检测难题，他们不断地开拓超声检测新的应用领域，创造新的检测方法，使应用技术出现了新的突破。近几年来由于微电子技术的迅猛发展，又加速了超声检测技术的发展，各种产品技术更趋完善、成熟和实用。下面列举的由上海超声波仪器厂研制生产的CCJ—1型四通道超声波车辆检测仪、CJL—1型超声波检漏仪、CCH—14型袖珍式超声波测厚仪、CCH—32型高精度超声波测厚仪均已得到了相当广泛的应用，各种场合的现场使用证明了他们的实用价值，它们的优良性能使之成为各个应用领域中不可缺少的检测手段和检测工具。

二、超声检测车辆

利用超声波检测来往行驶的车辆，收集交通情报、统计交通流量、自动控制红绿灯，在国外已成为自动管理城市交通的主要手段。

超声波车辆检测仪如按发射形式来分通常有脉冲波和连续波两种，如按接收形式来分通常有反射式和遮断式两种。由于超声波车辆检测仪应用极广，需量很大，因此生产厂家遍及世界各地。国内目前最具代表性的典型产品有上海超声波仪器厂生产的

CCJ—1型四通道超声波车辆检测仪。综合这些国内外的产品来看，几乎全部都采用脉冲波发射工作方式，主要原因是这种检测方法抗干扰能力强，可靠性好，安装方便(每通道只需要一个探头)成本低，并能随时给出车辆的高度讯号，这对于要求分辨车辆种类的场合是必不可少的数据。下面以CCJ—1型车辆检测仪为例，简述它的工作原理和使用方法。

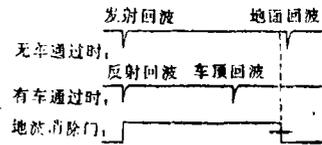


图1

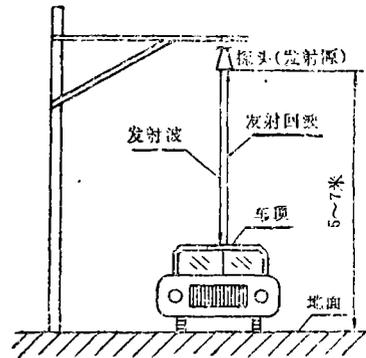


图2

超声波在同一均匀介质中传播时，声速为一常数，故从发射至出现反射回波的时间与超声发射源和反射物体间的距离成正比。由图1和图2可见，地面回波是离发射源最远的回波，出现时间也最晚。因此只要通过时差选择器就可鉴别出是车顶回波还是地面回波。所谓时差选择器实际上是一只宽度可

调的门,在车辆检测仪中专称为地波消除门。仪器在使用前应先调节地波消除门的宽度,使地面回波刚好在门以外,如图1所示。这样调妥后,除了地面回波无法通过该门外,其它高出地面的车顶回波均能通过该门,从而完成检测车辆的功能。

仪器使用时,探头应悬挂在离路口约几十米远的上空,架设高度为5~7米,如图2所示。当车辆从探头下面经过时,仪器就能在车辆开到路口之前就预先将车流情况输送给信号机和控制中心,以选择最佳流通方式,实现单路口或区域性多路口的同步自动控制,保证道路有最大的利用率。

CCJ—1型车辆检测仪还特别设置了定向检测功能;可按用户要求只输出顺向或逆向行驶车辆的讯号,这对于窄马路上的实际使用显得尤为重要。图3是该仪器的原理方框图。

在我国,应用超声波车辆检测仪进行自动管理交通虽然才刚刚起步,但由于它具有安装方便、不破坏路面、不受道路施工的影响,轻巧耐用、成本低等一系列优越性,已日益受到人们的青睐。

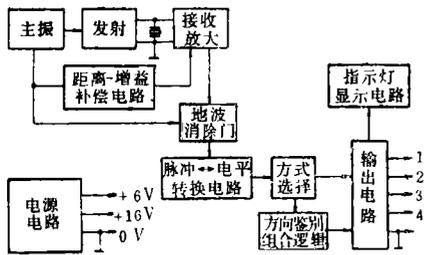


图3

三、超声检漏

当受压气体由微孔或狭缝逸出时,便会产生超声级噪声,其频率主要分布在36~44 KHz范围内,其强度与压力成正比。由此可见,该微孔或狭缝处实际形成了一个超声波源。同样道理;真空系统的泄漏处也会产生超声波。使用超声波检漏仪并配上锐指向性

接收探头,就能快捷地搜寻到那些因泄漏而形成的超声波源,达到检漏之目的。

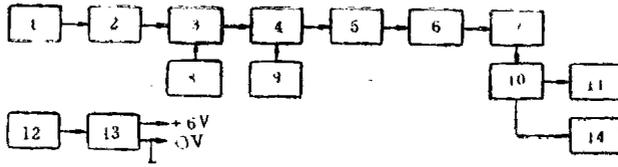
利用与仪器配套的超声波发生器还可以检测一个非受压空间(如容器、船舱、集装箱、车厢、油罐、冰箱、冰库门等)的密封度。检测时将发生器置于非受压空间内,发生器发生的超声波就会充满该空间,象气体一样从缝隙或微孔中泄漏出来,从而被检漏仪检出,找到封闭不严处。其他场合下的检漏原理也与上述相同,如滚珠轴承、齿轮结构在运行时发生异常情况;电器、配电板、输电系统等有放电现象时,都会产生超声级的故障声源,使用检漏仪就能方便地予以检出。

超声检漏的另一特点是具有遥测功能,尤其适宜于对一些难以靠近的物体进行检测。例如:为了探测架空电缆的漏电,检测人员只要在地上持探头朝上扫描电缆就能进行检测,十分方便。

由此可见,超声波检漏仪实际上是一只高灵敏度的超声波接收器。因此,使用它还能清晰地监听到蝙蝠和海豚所发出的超声讯号,为研究这些动物相互间的信息传递和行行为提供数据。

综上所述,超声波检漏仪的用途十分广泛,但现场的实际使用对仪器的接收灵敏度和抑制20KHz以下的音频噪声能力提出了很高的要求,否则就无法将混杂在嘈杂的环境噪声中的微弱的泄漏超声检出。就目前国内外较具代表性的产品——瑞典spm公司生产的LDE—10型和上海超声波仪器厂生产的CJL—1型而言,它们均有高达1毫微巴的接收灵敏度,而且具有极强的抑制环境噪声能力。那么它们是如何来实现这两个高指标的呢?为此我们剖析CJL—1型超声波检漏仪的工作原理如下:

图4是CJL—1型的方框原理图。由图可见仪器中利用一只本机振荡器产生40KHz的等幅波,与外来讯号进行混频,仪器取其



1—探头2—高通滤波器3—超声放大器4—混频器5—选频放大器6—调解电路7—低通滤波器8—消阻电路
9—本机振荡器10—音频放大器11—耳机12—电源电路13—欠压指示14—泄漏指示

图4

差频讯号进行放大。设差频讯号频率为 $f_{\text{差频}}$ ，本振频率为 $f_{\text{本振}}$ ，外来讯号频率为 $f_{\text{外讯}}$ ，那么：

$$f_{\text{差频}} = f_{\text{本振}} - f_{\text{外讯}}$$

因为 $f_{\text{本振}} = 40\text{KHz}$ ，所以

$$f_{\text{差频}} = 40\text{KHz} - f_{\text{外讯}}$$

由此可见，差频的结果使外来讯号中的音频频率被倒置了，即 20KHz 以下的音频干扰经差频后变成了人耳所听不到的 20KHz 以上的超声波，而外来讯号中 $20\text{KHz} \sim 60\text{KHz}$ 的泄漏超声经差频后则成为人耳能够听到的音频叫声。举例讲：某瞬时仪器收到 5KHz 的噪声干扰，那么由差频的结果： $f_{\text{差频}} = 40\text{KHz} - 5\text{KHz} = 35\text{KHz}$

可知这 5KHz 的干扰噪声经差频后变成 35KHz 的超声波，耳机响应不到，当然人耳也听不到，所以就被自动滤去了。如果仪器收到的是 38KHz 的泄漏超声，则情况就完全不同了。同样从差频之结果：

$$f_{\text{差频}} = 40\text{KHz} - 38\text{KHz} = 2\text{KHz}$$

可知该泄漏超声经差频后已成为 2KHz 的音频，就能通过耳机发声，同时驱动LED发光指示，达到抑制音频噪声，检出泄漏之效能。

四、超声测厚

超声测厚的方法主要有脉冲反射法、穿透法、共振法、干涉法和兰姆波法等等，其中脉冲反射法是工业上最常用的测厚方法。目前国内外生产的各种超声波测厚仪，绝大部分都是采用脉冲反射法。典型的袖珍式超

声波测厚仪(指使用双晶片探头的)的测厚原理如图5和图6所示。当探头接触被测物表面时，探头内发射晶片发出的超声脉冲波从接触面向被测件传播，当到达被测件的另一面时，因遇到不同介质的界面(即被测物与空气的接触面)而反射回来，被探头内接收晶片所接收，如图5所示。通过仪器测出从发射一脉冲到第一只反射回波的时间宽度，减去延迟块的固定延迟时间后，乘上被测件的声速常数，就是超声脉冲所经历的来回距离，它代表了厚度值。再由数字集成电路将它转换成相应厚度值进行显示。这就是脉冲反射法超声测厚的整个过程，其主要波形图如图6

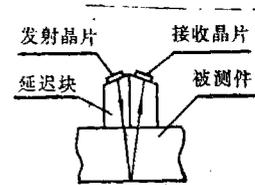


图5

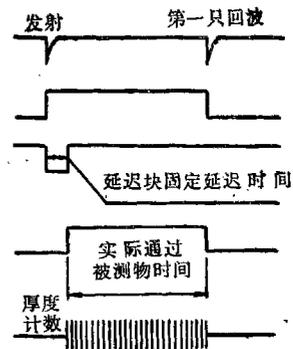


图6

所示。由此可见使用超声波测厚仪可以单面无损地测定厚度，因而特别适用于检测各种油气管道、锅炉、高压容器的壁与底、大型平板的中间和一些无法同时触及两面进行测量的工件等等，是化工、造船、冶金、航天、电子等行业中的必备量具和检测仪器。也是超声领域中应用最广、使用最多的超声波仪器。

在国外，超声波测厚仪的生产和使用也极其广泛，而且品种繁多。如高温专用测厚仪、铸件和玻璃钢专用测厚仪、小口径薄壁管专用测厚仪和水中专用的全封闭测厚仪以及各类高精度测厚仪。至于袖珍式普通型测厚仪就更多了。社会的大量需求，促进了超声测厚技术的发展，加快了产品更新换代的速度。如何开拓超声测厚的新技术，一直成为各国的工程师们竞相探研的热门课题。为此有必要对各种常用的超声测厚技术作一综合的评述，限于篇幅，在此仅作一般的介绍，不作深入的定量分析。

1. 从探头结构来分，主要有直探头，加延迟块的直探头和双晶片探头。

(1) 直探头的结构如图7所示。量程宽、线性好、回波强、灵敏度高是其主要优点，可是近场区的杂波却限制了它的测薄能力，由于这些发射波附近的杂波淹没了测薄时的近距离回波，使这些近距离回波无法进行分离，从而决定了直探头的测薄极限，一般5MHz的直探头的测薄极限在1mm以上。

(2) 加延迟块的直探头虽然避开了发射波附近的杂波干扰，解决了测量薄板的难题，但延迟块的增加又出现了二个新问题：(a) 发射脉冲和反射回波均受到了衰减，回波强度减弱，灵敏度降低。(b) 由于第二界面波的出现(见图8)，限制了测厚范围。即被测件的厚度回波时间最大不能超过延迟块的第二界面波，否则就无法分辨出该回波。由上述可知，延迟块材料的选择原则一般是：声速低且声衰减小。采用低声速的材料就可使

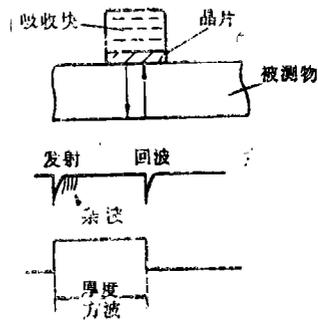


图7

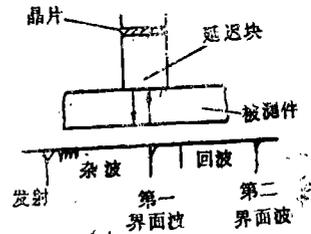


图8

延迟块较薄而测量范围较宽。举例讲：如延迟块材料的声速是钢的声速的0.5倍，那么采用10mm厚的延迟块，就可测出20mm以下的钢材厚度。也就是说20mm以下的钢材回波时间均小于延迟块的第二界面波。

上述二种单晶片探头的最大特点是线性好、精度高，但也存在很多弱点。首先因发射、接收合用一块晶片，强大的发射脉冲及余波必然要窜扰接收回路，造成阻塞等现象，限制了仪器的整机灵敏度的提高。其次是使用这二种探头的测厚仪，对于毛面、漆面、凹面件的测量常常显得十分困难，要把这些被测件的测量点经过去漆、磨平等加工后才能测出厚度，工作量和劳动强度都增大。这一弱点使该类仪器的使用范围受到了限制。

(3) 双晶片探头的结构如图7所示，因收发分开，故无发射波直接串扰接收回路之虑，仪器的灵敏度相对可做得较高，同时由于晶片与延迟块端面(指与被测件表面接触的那

面)之间不是相互平行的,而存在一定的倾角,这种结构使得双晶片探头的界面波很小甚至无界面波,所以其测量范围可不受延迟块厚度的限制。其次,晶片的倾斜结构组合还使探头对极近物产生绕射作用,即对漆层、镀层等会自动地避开,不产生回波。因此,配用双晶片探头的超声波测厚仪,对漆面、镀层、毛面、凹面件都可以直接进行测量而无须进行打磨。上述特点使双晶片探头得到了广泛的应用,目前国内外通用型袖珍式测厚仪几乎全部都配用双晶片探头。但事物总是具有二重性的,也正是由于晶片的倾斜结构,使双晶片探头的线性较差,测量精度较低,全量程的测量灵敏度很不均匀,有时为了要满足一定的线性 and 精度要求,常常需要在全量程范围内反复分段地进行校正起点和声速,给实际使用带来很大不便。解决的办

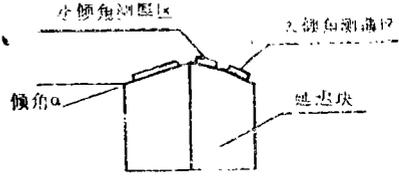


图9

法除了在仪器中增加线性修正电路和高要求的距离—增益补偿电路外,改进探头的晶片结构也是行之有效的方法之一,如采用图9所示的分段组合的晶片结构方式。

2.从厚度方波的形成方法来分,通常有一间隔测厚和二间隔测厚两种。见图10。

(1)取发射至第一次回波的时间间隔为厚度方波,即为一间隔测厚法。其优点是测量灵敏度高,但精度受手势和耦合层厚薄的影响较大,通常只限于在测量精度要求不高的场合下采用。

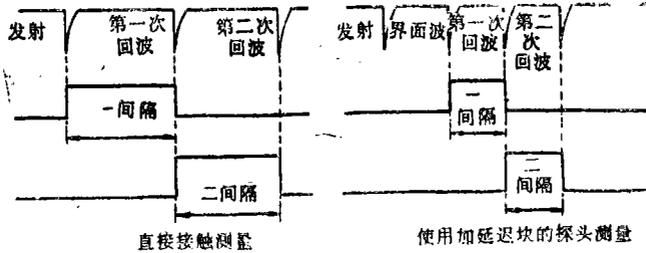


图10

(2)取第一次回波至第二次回波的时间间隔为厚度方波,即为二间隔测厚法。特点是:消除了由手势造成对探头的压力大小和耦合层厚薄变化所造成的误差。因而在需要进行高精度超声测量的场合可采用这种二间隔测厚法。如上海超声波仪器厂最新推出的CCH—32型便携式(电池供电)高精度超声波测厚仪和西德KRAUTKRAMER工厂生产的CL—204型高精度测厚仪都采用了二间隔测厚技术,以提高仪器的测量精度。

3.将厚度方波转换成数字显示被测件厚度通常由下述三种方法实现。

(1)A/D转换法。原理是根据厚度方波的宽度,即被测件的厚度与它们的直流电

平成正比。方法是先将厚度方波转变为直流电压讯号,然后再把这直流电压讯号转换成数字显示厚度值。采用这种方法的产品有日本川铁公司生产的TI—5型和英国德富利公司生产的NDT—123型测厚仪。A/D转换法的主要缺点是响应时间长,显示的厚度值要跳跃几次才会稳定下来,令使用者感到读数很费力。

(2)直接计数法。计数脉冲直接对厚度方波进行计数显示。其特点是计数频率很高。以测钢为例,钢的声速是5900米/秒=5.9毫米/微秒,因是脉冲反射式单面测厚,声程经过的是来回距离,所以实际显示的被测件厚度读数与厚度方波的宽度时间关系

是：5.9毫米/微秒 $\div 2 \approx 3$ 毫米/微秒。因此在测量一块3毫米厚的钢板时，如果要求显示3.0毫米，就必须在1微秒宽度的厚度方波内放进30只计数脉冲，由此可得该计数脉冲的周期为1/30微秒，即频率为30MHz。如果要求显示3.00毫米时，不难算出计数频率竟要高达300MHz，所以在高精度测厚中，通常这种方法是难以实现的。目前这种直接计数法常被声速预置型的低精度的袖珍式测厚仪所采用。

(3) 时间放大法。利用不同的时间常数进行充、放电，就可将厚度方波在时间上加以放大，从而达到用较低频率的计数脉冲完成计数显示之目的，解决了高精度测厚仪中的计数难题。采用时间放大器后，线性问题比较突出，解决的关键是采用恒流充放电。实践证明，一些经过精心设计的时间放大器，其线性是足以满足测量要求的。国内采用时间放大器的典型产品有上海超声波仪器厂生产的CCH—14型袖珍式测厚仪和CCH—32型高精度便携式测厚仪。

4. 从最终的显示器件来看，目前主要有荧光数码管，发光二极管(LED)和液晶显示屏(LCD)三种。

(1) 荧光数码管的特点是暗处测量时视感好，但由于耗电、装配麻烦且防振性能差，目前已属逐步淘汰之列。

(2) 发光二极管显示是目前采用较多的显示方式，但也因耗电过大的原因，不宜在袖珍式测厚仪上使用。

(3) 液晶显示器。这是现代袖珍式测厚仪中应用最多、最广的显示器件，不仅耗电省，安装更换方便，更兼有可任意做符号的优点(加工符号较方便)，特别受到欢迎。唯一缺点是暗处看不清。但有了数据保留的功能，这个问题就显得不那么重要了。

5. 如果按测量时探头与被测件的接触状态来区分，有接触式与非接触式两大类。上面所谈及的都是接触式，下面简单介绍一些非接触式的测厚技术。

(1) 电磁—超声法。这种方法是利用磁场与涡流的相互作用而产生超声波进行非接触式测厚的，由于它只能检测高导电率、高导磁率或者有明显磁致伸缩特性的材料，并且探头与被测物的间隙也仅限于在几个毫米之内，从而使它的应用范围受到局限。

(2) 激光—超声法。这是一项新的测厚技术。它利用脉冲激光束辐射在被测物体的表面而激发产生超声波，使用激光干涉仪来检测响应。这种非接触式的测厚方法可进行远距离操作并快速扫描被测物体，其检测距离最远可达十米之遥。这对于测量高温、有毒或具有放射性的物体十分有利。因而激光—超声法的发展，应用前景是无可估量的，但这种测厚方法也只能用于测量光学不透性的材料。

(3) 用脉冲式加速电子流激发超声波是又一种新的非接触式测厚技术：它的具体方法是使高速的带电粒子通过固态物体，由于热弹性效应，就能激发产生超声而进行测厚。这种技术的适用性最强，它不受被测材料的限制。

五、结 语

当今世界上各行各业正在突飞猛进地发展，随之产生的许多检测难题急待解决，他们对应用超声检测新技术寄予厚望。大量涌现的“苛刻”的新要求促进和刺激了超声检测新技术的开发和研究，使超声检测这门学科更趋完善，它将越来越深入到各个领域为人类造福。