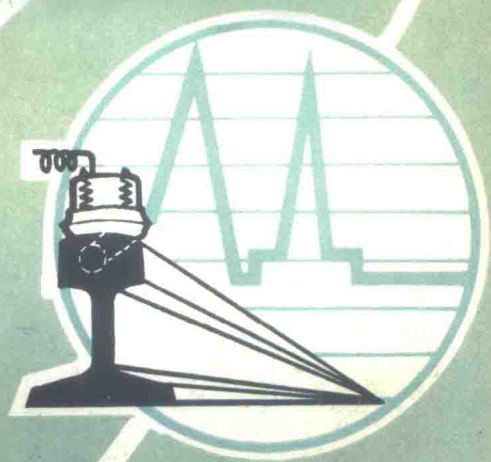


养路机械化丛书

超声波钢轨探伤



人民铁道出版社

养路机械化丛书

超声波钢轨探伤

齐齐哈尔铁路局甘河工务段钢轨探伤组 编

人 民 铁 道 出 版 社

1976年·北京

内 容 简 介

本书除附录外共分四章。第一章介绍超声波的基本知识；第二章叙述超声波钢轨探伤仪的构造和工作原理，并以 JGT-2 型仪器为叙述重点；第三章介绍仪器的使用，包括各种探头的使用；第四章介绍仪器的维修和故障排除。

本书可供钢轨探伤工人和养路技术人员学习参考。

养路机械化丛书
超声波钢轨探伤

齐齐哈尔铁路局甘河工务段钢轨探伤组编

人民铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{2}$ 印张：5.875 插页：3 字数：128 千

1976年4月 第1版

1976年4月 第1版第1次印刷

印数：0001-8,000 册 定价(科二)：0.50 元

毛主席语录

列宁为什么说对资产阶级专政，这个问题要搞清楚。这个问题不搞清楚，就会变修正主义。要使全国知道。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

要认真总结经验。

前 言

铺设在铁路线上的两股钢轨是机车车辆运行的基础。因此，钢轨状态的好坏直接关系到铁路运输安全。解放初期，超声波钢轨探伤这门新技术在铁路工务部门便得到了应用。目前全路各工务段都成立了钢轨探伤组，配备了钢轨探伤仪等设备，并积累了丰富的经验。一支战斗在铁路沿线的钢轨探伤队伍已成为保证铁路安全运输的哨兵。

为了满足钢轨探伤新工人学习需要和进一步提高现有钢轨探伤工人的技术理论水平，我们编写了这本小册子。

本书在编写和修改过程中，得到上海超声波仪器厂和上海工务段等单位的大力支持和帮助，在此，谨向他们表示衷心的感谢。由于我们的水平所限，难免有不少缺点，诚恳地希望读者批评指正。

齐齐哈尔铁路局甘河工务段钢轨探伤组

目 录

第一章 超声波

第一节	声波·····	1
第二节	波的传递形式——波型·····	3
第三节	声速、频率和波长·····	6
第四节	指向性·····	11
第五节	绕射·····	15
第六节	反射和折射·····	15
第七节	超声波的发生、接收和衰减·····	20

第二章 超声波钢轨探伤仪的构造和工作原理

第一节	超声波钢轨探伤仪的构造·····	23
第二节	主控振荡器·····	32
第三节	超声波的发送和接收·····	38
第四节	闸门与报警电路·····	44
第五节	显示·····	55
第六节	电源、探头及附属装置·····	68
第七节	几种国产仪器的性能简介·····	76

第三章 超声波钢轨探伤仪的使用

第一节	超声波钢轨探伤仪的使用·····	81
第二节	50°探头的使用·····	87
第三节	30° (35°) 探头的使用·····	101
第四节	双35°探头的使用·····	109
第五节	垂直探头的使用·····	119

第四章 超声波钢轨探伤仪的维修

第一节	仪器的一般检修方法	128
第二节	仪器零配件的测试与检修	136
第三节	仪器各部分电路的检查和测试	147
第四节	蓄电池的保养及充电	165

附 录

附录一、超声波钢轨探伤常用名词术语

附录二、钢轨伤损的分类（节录）

附录三、超声波钢轨探伤仪的电路图和波形图

1. JGT-1 型钢轨探伤仪线路图
2. JGT-2 型钢轨探伤仪线路图、波形图
3. CTS-8 型钢轨探伤仪线路图
4. KT-72A 型钢轨探伤仪线路图

第一章 超 声 波

第一节 声 波

在生产斗争和科学实验中，我们经常要遇到各种各样的波，如电波、光波、声波等。声波则是和我们日常生活联系最密切的一种波。譬如，人们说话的声音是声波。又如，汽笛、喇叭、电铃等发出的声音也是声波。总之，我们是一时一刻也离不开声波的。

那么，声波究竟是什么？它是怎样产生的呢？为了弄清这个问题，我们可以做这样一个简单的试验：取一根钢锯条，把它的一端塞在桌子缝里，用手指去弹一下它的另一端，锯条就会产生振动，并发出“嗡……”的声音。这说明，声音是由振动产生的。当锯条离开它原来的位置向上运动时，它将锯条上面的空气推向上方并加以压缩。同时，在锯条下面的空气立即去填充锯条遗留下來的空隙，因而变得稀疏一些。在锯条向下振动时，锯条下面的空气则反过来被推向下方向和压缩紧密，锯条上面的空气疏散和扩张。然后，锯条又弹向上方，压缩上方空气，……这样锯条就把它振动时产生的能量传给空气，使空气也产生一系列疏密的振动。我们知道，空气是一种弹性介质，所以在空气中某一点或某一部分的振动就会象一块石头在水面激起的水波一样，向四面八方传播开来，形成声波。我们之所以能够听到锯条在振动时发出的“嗡”声，就是因为锯条本身的振动激起了邻近空气的振动，使空气质点不断离开它的平衡位置并以与锯条相同的频率振动所产生的声波传到我们耳朵内的鼓膜上，使鼓膜产生振动，因而使我们听到声音。

由此可知，声波是由振动引起的，它是指某种弹性介质（例如空气或水等）中的压力、质点位移、或质点速度变化的传递，以及这些变化的叠加。

假如我们把锯条往桌子缝里再塞进去一点，这时候我们用手指去弹一下这根锯条，锯条每秒钟振动的次数就会多一些，我们听到的振动声频率也高一些。反之，我们把锯条从桌子缝里拉出来一些，那么锯条每秒钟振动的次数就会降低，我们听到它的振动声频率就低一些。这个现象说明，介质中传播的声波频率是由声源决定的。所谓声音频率，也就是声源的振动频率，即每秒钟内声源振动的次数。频率以赫兹为单位，每秒钟振动一次即为一赫兹。譬如：锯条每秒钟振动200次，那么我们听到它产生的声音频率就是200赫兹。频率一般用字母 f 来表示。

现在我们所知道的声波频率范围是很宽的，从 10^{-4} 赫兹一直到 10^{14} 赫兹都是我们研究的对象。但是，人的耳朵所能听到的声波频率范围要相对窄得多，只是在16赫兹~20千赫之间。

频率是表征声波特点的一个重要的物理量。我们常常根据声音频率的高低来区分音的性质。例如，敲大鼓的声音频率比较低，我们称它为低音。吹小号的声音频率比较高，我们就称它为高音。频率低于16赫兹的声波，和频率超过20千赫的声波，人的耳朵都不能听到，我们分别称它们为次声波和超声波（图1—1）。

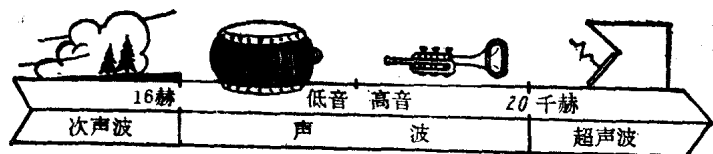


图1—1 次声、声和超声

次声波也称亚声波，它的频率在 10^{-4} 赫兹到16赫兹之间。次声波已被应用于气象探测、海啸预测以及火箭发射的监督等许多方面。

超声波在现代科学技术上有着比次声波更为广泛的用途。虽然它的发展到今天只不过三十多年，但它在无损检验、金属加工、医疗、化工以及信息处理等方面都得到了广泛的应用。

第二节 波的传递形式——波型

同一个声源在介质中产生的声波可以以几种不同的方式进行传播。声波在介质中传播的方式称为波型。例如：JGT-2型仪器的 50° 和 30° 斜探头向钢轨中发射的是超声横波，而垂直探头发射的是纵波。那么，什么叫纵波？什么叫横波呢？下面我们举两个例子来说明这个问题。

取一根弹簧，把一端固定在墙上，另一端用手强迫它在纵向振动（图1—2）。这时我们可以看到弹簧中波的传递使弹簧形成了一段疏，一段密的周期变化。如果我们用粉笔在弹簧中某一点打个记号，设它为质点A。那么我们可以发现质点A的振动频率和手的振动频率是相同的，振动方向和波的传递方向也是平行的，以这种方式传递的波，我们就叫

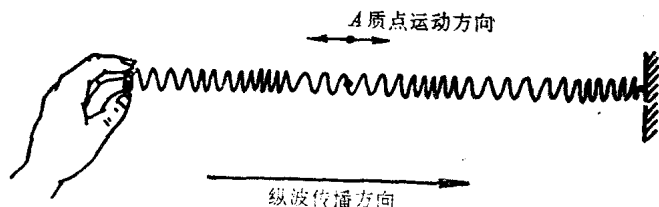


图1—2

它纵波。纵波一般用 L 来表示。

固体、液体和气体在压缩和伸张时都能产生弹性力，因此它们都能传播纵波。在上述三种介质中传播纵波的情况和弹簧的实验是一样的，表现为质点的疏密变化(图 1—3)，质点振动方向和波的传递方向相平行，频率也是和声源一致的。用直探头探测钢轨伤损时，向钢轨中发射的就是超声纵波。

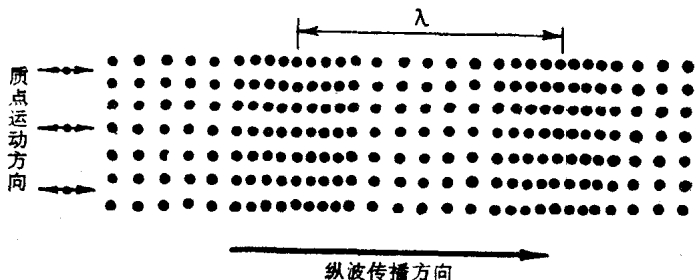


图 1—3

取一根细绳，一端固定在墙上，另一端用手去强迫它在垂直方向振动(图 1—4)。在绳上作一记号 A 点代表质点。那么我们可以看到质点 A 的振动方向和波的传播方向是互相垂直的。这种质点振动方向垂直于传播方向的波就叫横波，用 S 来表示。固体中传播的横波虽然和上述的绳有些差别，但质点的振动方向和波的传播方向相垂直这一点是完全相同的。在固体介质中，横波是依靠固体能够在机械外力下力图恢复本身的体积和状态，因而具有切变弹性的特点而传播的。气体和液体没有切变弹性，所以不能传播横波。在气体和液体中只能传播纵波。我们平时所听到的声音，无论在岸上或是在水中，都是纵波。声波横波在钢中传播时，钢的质点振动情况如图 1—5 所示。

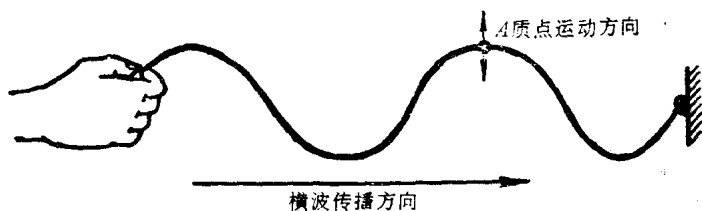


图 1—4

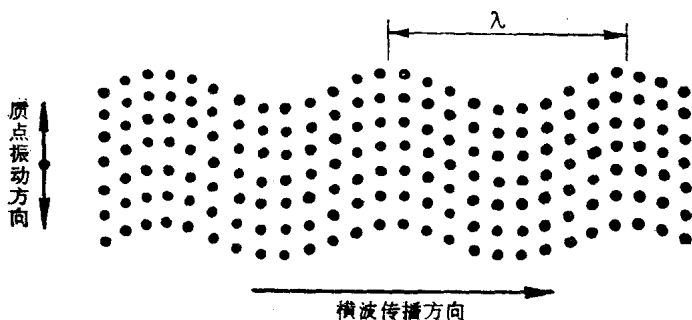


图 1—5

近几年来，由于JGT-1型仪器投入了现场的钢轨检查，超声横波探伤已在钢轨检查上显示出了极大的优越性。尤其是对于核伤和较小的孔裂，目前用 50° 和 30° 斜探头去探查的效率已远远超过了直探头（纵波）的探查。横波探伤具有灵敏度高，分辨力强和方向性好等特点，因此横波在近代无损检验中得到了广泛的重视。

在实用上，横波可以利用超声波的折射现象，让纵波通过楔状波型转换块取得。

除了纵波和横波以外，超声波还能以表面波（瑞利波）、板波（弯曲波）等多种形式传播，但是这些波型在钢轨检查中还很少应用。

第三节 声速、频率和波长

站在高山对面敲一下锣，过一段时间以后我们能听到锣的回音（图1—6）。这就是声源（锣）发生振动后，激起邻近介质（空气）中的质点不断离开其平衡位置，依照声源的频率而振动，并依靠空气介质传递声波，一直到山，然后又返回来的过程。假如我们站的地方离山的距离是255米，1.5秒后才听到回音，那么我们就可以算出这时空气中的声速是：

$$C_{\text{声速}} = \frac{255\text{米} \times 2}{1.5\text{秒}} = 340\text{米/秒}$$

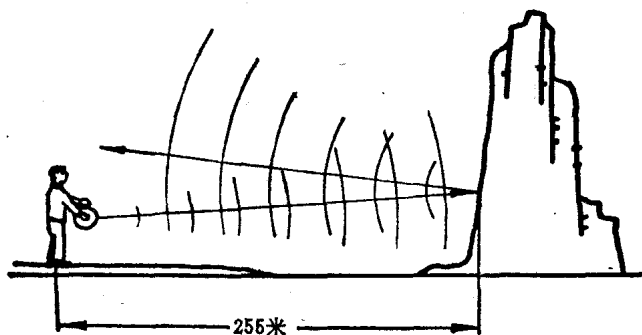


图1—6 回声测距示意图

由于不同的传声介质质点惯性和弹性力的不同，声波在不同介质中的传播速度也是不同的。在水中，声波的传播速度约为1450米/秒，比在空气中要快得多。在钢中，声的传播速度比在水中还要快一些。

在同一种介质中，随着介质温度的不同，质点的惯性和弹性力也是不同的。并且在同一种介质中波的传递形式也是多种多样的。所以，在一种介质中声波的传播还会随其波型及介质温度的不同而具有不同的声速。

声速一般用字母 C 来表示。

超声波和声波一样，要依靠一定的介质才能传播。但是，除掉频率较低的以外，超声波在空气中几乎是不能传播的，主要的是在固体和液体中传播。由于波的传递形式不同，超声波在同一种介质中的传播速度也是不同的。在钢中，超声纵波的速度为5850米/秒，而横波则为3280米/秒。因为波速的不同，所以这两种波在射入钢轨时，虽然探头和伤损反射面的距离是一样的，但回波返回的时间却会产生很大的差异。这一点我们在探伤工作中必须注意。

钢轨断面一般是不太大的，在检查钢轨时，仪器发送的超声波和接收到的回波相隔时间很短。我们经常用“微秒”这个单位来描述这段时间。1微秒等于百万分之一秒，也就是：

$$1\mu\text{s}(\text{微秒}) = \frac{1}{10^6} \text{s}(\text{秒})$$

纵波在钢轨中垂直往返一次约需40~60微秒。横波在轨头内以与纵向成20°角入射时，二次波往返时间约为120微秒左右。如果我们知道了回波从伤损返回所需要的时间，那么，我们就可以根据波速算出伤损和探头间的距离。伤波返回所需要的时间和荧光屏上伤波与始发波的距离是互相对应的。国产JGT-2型仪器荧光屏刻度在扫描线处于标准位置时，约为每厘米25微秒左右。利用预先打好小孔的钢轨，我们可以确定它们具体的对应关系（图1—7），通过不断的实践，把荧光屏刻度直接与伤的深度对应起来。这样，我们只要看一看荧光屏上面波的位置，就可以知道伤损离探头有多远了。在实验和计测的时候，要注意超声波经过探头内有机玻璃和尼龙保护膜往返所需的时间，超声波在这两种介质中的波速较慢，所以虽然这两种介质较薄，但超声通过它

们还是需用一定时间的，不可忽略。

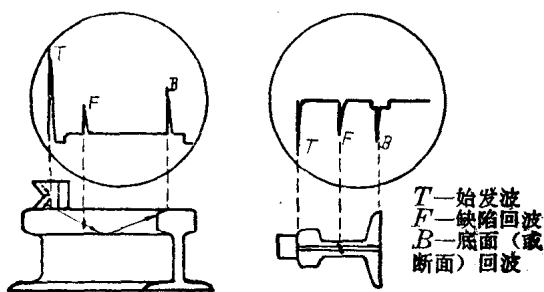


图 1—7 回波在荧光屏上的位置与伤损在钢轨中的位置相对应

几种常用介质的声速、密度、声抗阻等有关数据见表 1—1。

表 1—1

介 质	纵波声速 C_L 米/秒	横波声速 C_S 米/秒	密 度 克/厘米 ³	声 阻 抗 ρc
钢	5850	3280	7.8	4.56×10^4
生铁	4500	2400	7.7	2.96×10^4
铜	4700	2260	8.9	4.18×10^4
铝	6260	3080	2.7	1.68×10^4
聚苯乙烯	2350	1120	1.06	2300
有机玻璃	2700	1300	1.18	3200
变压器油	1390	—	0.92	1300
水	1450	—	1.00	1450
空气	344	—	0.0012	0.413

在使用仪器的时候，我们经常要用到“工作频率”这个词。它是指晶体在发射超声时每秒钟平均振动的次数，也就

是晶体发出的超声波的频率。

超声波工作频率的概念和声波频率的概念是一样的。在第一节例子中，我们已经知道每秒钟振动 200 次的锯条所发出的声波频率就是 200 赫兹。如果锯条只振动了半秒钟，即 100 次就停止了，那么它发出的声波频率仍然是 200 赫兹，即：

$$f = \frac{100}{0.5 \text{秒}} = 200 \text{赫兹}$$

因此，如果一台超声波探伤仪的发射晶体在发射一束超声波时，晶体只在 5 微秒内振动了 10 次，那么我们很快就可以算出这束超声波的频率是：

$$f = \frac{10}{5 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^6 \text{赫兹} = 2 \text{兆赫}$$

这个频率，也就是这台仪器的工作频率。

声源（例如上述的锯条或晶体）每振动一次，我们称为一周。振动一周所需要的时间，称为周期。

周期一般以 T 来表示，单位是秒。显然，周期是频率的倒数，即：

$$T = \frac{1}{f} (\text{秒})$$

例如上述每秒振动 2×10^6 次的晶体片，它发出的超声波频率我们也可称它是 2 兆赫的，它的振动周期为：

$$T = \frac{1}{2 \times 10^6} = 0.5 \times 10^{-6} \text{秒} = 0.5 \text{微秒}$$

目前，钢材超声波探伤使用的工作频率一般在 0.4~10 兆赫之间。晶粒越粗、衰减越大的材料，象铸钢，合金钢等应用频率低一些的超声波来探伤。锻钢、晶粒较细、衰减较小的钢轨等使用的工作频率则宜高一些。工作频率愈高、超声发射出去的扩散角愈小，能量愈集中，同时能够发现的伤

也愈小，对提高探伤灵敏度及确定伤损位置有利。但工作频率如果提得太高，材料中超声的衰减和散射也将跟着增强，使回波难以收到，或产生许多杂波，同样对探测不利。工作频率的选择是对立而统一的，根据钢轨的探测条件，一般选择 2 ~ 5 兆赫的工作频率较为适宜。国产 JGT-2 型钢轨探伤仪的工作频率为 2 兆赫。

重复频率是指一秒钟内探头向钢轨内射入超声脉冲的次数。所谓超声脉冲，就是指极短时间内发生的一次超声。为了提高对伤损的分辨能力和发现近表面的伤损，我们应使发射超声脉冲越窄越好，最好在几个微秒以下。重复频率越高，两次发射的超声间间隔就越短，仪器就越不容易漏伤，检查速度可以高一些。但是，假如重复频率太高，往往会使上一次发送超声的回波进入下一次接收的验测时间内去，造成干扰。这样仪器就会产生误报，检查人员也就无法判断伤损了。因此，重复频率应根据所检查的材料大小，一次声程所需的时间长短，仪器接收和发送超声的能力以及检查速度等多方面因素来决定。一般在检查钢轨时，直探头重复频率以不大于 4 千赫，斜探头不大于 2 千赫为宜。国产 JGT-2 型仪器的重复频率为 320 赫兹，适合于一般步行的检查速度。

声波完成一次完整的振动（即一周的时间内）传播出去的距离称之为波长。波长也就是相邻两个波密或波疏间（纵波）或相邻两个波峰或波谷间（横波）的最短距离（参见图 1-3 及 1-5）。

波长一般用字母 λ 来表示，单位是米或厘米。波长和频率、声速间的关系是：

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

式中：C —— 声速，它是随传声介质及波型、温度的不同而