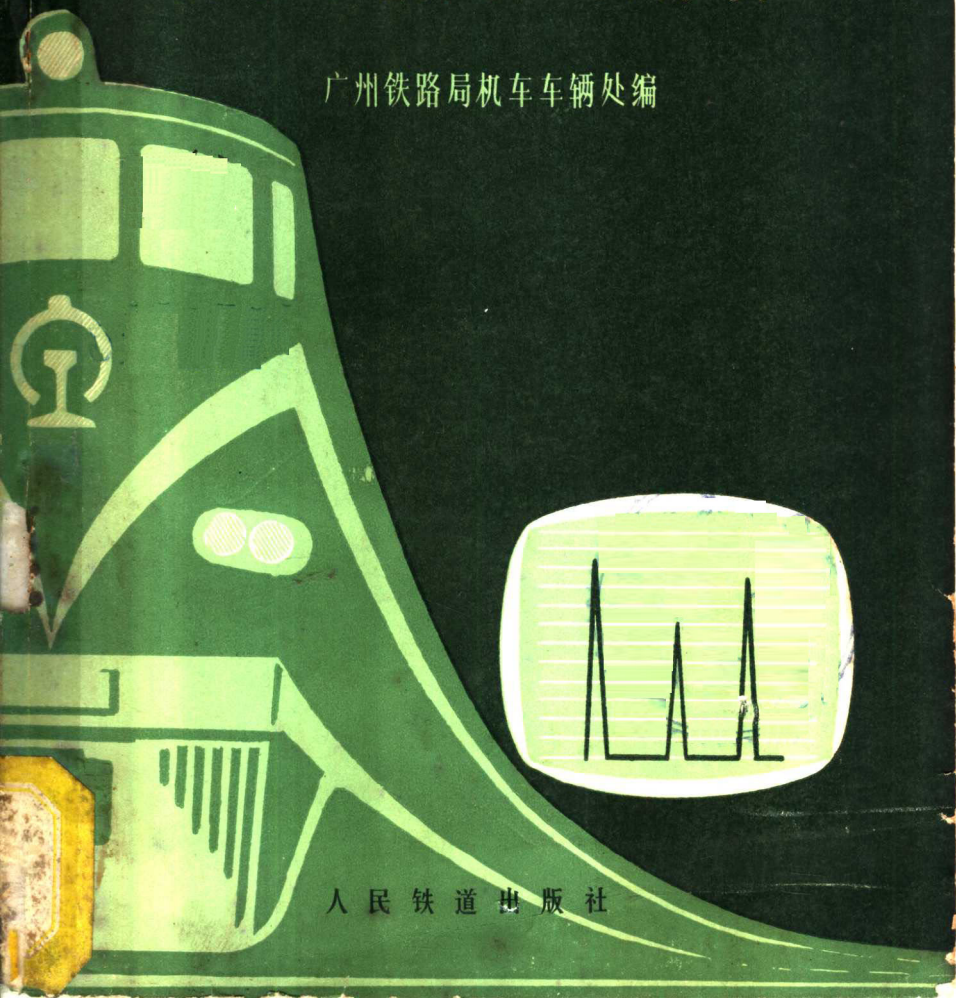


机车车辆超声波探伤

广州铁路局机车车辆处编



人民铁道出版社

机车车辆超声波探伤

广州铁路局机车车辆处编

人 民 铁 道 出 版 社

1975年·北京

机车车辆超声波探伤

广州铁路局机车车辆处编

人民铁道出版社出版

(北京市安定门外和平里)

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: 787×1092¹/₃₂ 印张: 7.625 插页: 3 字数: 164 千

1975年4月 第1版

1975年4月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—10,000册 定价(科二): 0.60 元

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。

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。

人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

内 容 提 要

本书根据广州铁路局多年来在机车车辆上，使用超声波电子仪器探伤的经验，并通过各次超声波探伤学习班、经验交流会，进一步总结提高，写成的这本较为通俗实用的资料。内容包括：超声波的基本原理、机车主要部件（包括车辆轮轴）超声波探伤法及超声波探伤仪的构造原理，养护维修方法等部分，可供现场探伤人员工作、学习参考之用。

负责执笔整理：衡阳机务段王志雄同志等。

前 言

据历年来在机车车辆上所发生的冷切轴、断曲拐销、轮箍崩裂、鞣鞣杆折损等破损故障事故，分析其原因多由于车轴、曲拐销镶入部和轮箍、鞣鞣杆、锅炉焊缝等内部所发生的裂纹或存在的缺陷发展而成的。因此，就需要有一种新型的探伤方法去发现金属内部的缺陷。

铁路多年来使用的电磁探伤，在探测金属表面裂纹和缺陷，防止破损故障方面，作出了较大的贡献。在无损探伤法中， α 射线探伤法、 γ 射线探伤法及超声波探伤法都能发现金属材料的内部缺陷，但前两种设备成本较高，探测深度不够大。超声波探伤则能探测较厚工件的内部缺陷，操作方便，成本较低。

本书是根据广州铁路局多年来在机车车辆上，使用超声波探伤的经验，并通过各次超声波探伤学习班、经验交流会，又作了进一步总结提高编写而成。主要内容包括：超声波的基本原理、机车主要部件（包括车辆轮轴）超声波探伤法及探伤仪养护维修方法等部分。通过我局各机务、车辆段、厂等有关单位多年来实践证明，这些方法，对于提高检修质量，防止机车车辆破损事故，保证安全运输是起到了很大作用。

由于我们水平所限，本书难免存在着不少缺点和错误，热望广大读者随时提出批评指正。

本书在编写过程中，得到交通部机辆局领导的大力支持，在此一并感谢。

广州铁路局机车车辆处

目 录

第一章 超声波的基本原理	1
一、什么是声音和超声波.....	1
二、声波的传播方式、波长、频率、周期和波速...	1
三、超声波的性质.....	3
四、超声波产生的方法.....	25
五、超声波探伤的物理基础.....	34
第二章 超声波探伤的基本方法	36
一、各种探伤方法简介.....	36
二、探头.....	44
三、一般的探伤方式.....	58
四、标准参考试块的制作.....	65
第三章 主要机车车辆部件超声波探伤	93
一、机车动轮轴超声波探伤.....	93
二、车辆轴超声波探伤.....	101
三、动轮轮箍超声波探伤.....	111
四、汽缸鞴杆超声波探伤.....	119
五、机车“月牙板耳轴”不割套超声波探伤.....	122
六、锅板超声波探伤.....	125
七、内燃机车曲轴超声波探伤.....	129
八、内燃机车车轴超声波探伤.....	134
九、焊缝超声波探伤.....	136
十、粗糙表面的工件和铸件的探伤.....	147

第四章 超声波探伤仪的构造原理及维修	150
一、超声波探伤仪的种类.....	150
二、超声波探伤仪的电路分析.....	153
三、超声波探伤仪的维护检修.....	217
四、几种常用超声波探伤仪简介.....	228

第一章 超声波的基本原理

一、什么是声音和超声波

声音是我们时时刻刻听得到的。声音是怎样产生的呢？拨动琴弦，打击物品，都会发出声音。声音是由物体振动产生声源，推动周围空气引起波动，传到人的耳膜，再由神经传到大脑，于是就听到了声音。

声音的高低是由物体振动的快慢决定的。振动越快声音越高，反之则低。声源每秒钟振动的次数，称作“频率”。

频率的高低对人耳的影响是不同的，太低和太高的频率，都不能使人耳引起感觉。人耳听到声音范围是 $16\sim 20,000$ 次/秒，超过 $20,000$ 次/秒振动所产生的声波叫超声波，低于 16 次/秒的声波叫次声波（又称亚声波）。

所以，可闻声与超声其物理性质是一样的，但是，由于频率提高后，弹性振动的一些性质及其对物质的作用，都会有相应的改变，因而在声波与超声波之间还存在一些差别。

二、声波的传播方式、波长、频率、周期和波速

1. 声波的传播方式

下面我们以空气为例，简单说明一下声波的传播情况。我们做这样一个试验，如图 1—1 所示。

用钳子夹住一簧片，当簧片静止时，周围的空气分子是均匀分布的，如果我们用手指将簧片拨动一下，簧片就马上

振动起来。簧片一振动，就扰乱了原来均匀分布着的空气分子，随着簧片来回振动，使空气分子发生压缩和稀疏的交替现象，图 1—1 中，当簧片从位置 1 运动到位置 3 时，空气分子从均匀分布状态，变到有些地方的分子被压紧，有些地方变得稀疏；当簧片从 3 回到位置 1 时，空气分子又趋向恢复到原来的状态。当簧片向另一方向运动至 2 时，空气分子又再次产生压缩和稀疏现象，但是，情形与上一次相反，原来压缩的地方现在变得稀疏了，本来是稀疏的地方现在压缩了。如果簧片来回不断地振动，空气分子就这样交替地压缩、稀疏，从簧片周围开始，逐渐将这种空气的波动向周围的空间传播。

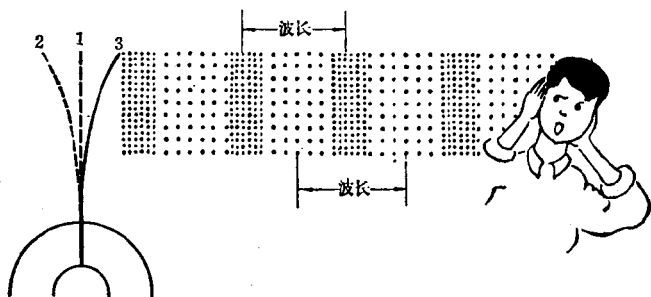


图 1—1 簧片振动及空气波的传播

2. 波长、频率和波速

波长：从上面声波传播方式的例子中可知道，当簧片不断来回振动，空气的波动就不断从簧片的中央位置向外传播，簧片从静止的位置 1 开始到位置 2，又从 2 摆动到 3 位置，然后由 3 回到原来位置 1，这叫簧片完成一个全振动。波长是指一个完整的振动中声波所经过的距离。在图 1—1 中，波长表现为相邻两个稀疏或压缩中心的距离。频率就是物体在单位时间内（一秒钟内）完成全振动的次数称为振动

的频率，它的单位叫“赫兹”，波速就是每秒钟声波在物体中所传播的距离。波长、频率与波速三者的关系是：

$$\text{波长} = \frac{\text{波速}}{\text{频率}}$$

$$\text{波速} = \text{波长} \times \text{频率}$$

$$\text{频率} = \frac{\text{波速}}{\text{波长}}$$

完成一次全振动所需要的时间叫周期。

三、超声波的性质

超声波的特性是很多的，这里我们所讲的只是与探伤有关的一些性质，其它如超声波的空化现象，超声对生物有机体的作用等等，这里就不再叙述了。

1. 超声波传播的方向性

我们在讲话时，站在我们前后左右的人都能听到讲话的声音，所以，声音是没有什么方向性的。但是声波传播的方向性和声波的波长是有极大关系的。试验证明，当通过小孔的声波波长比小孔的直径小或小得多，那么声波经过小孔后，就可能集中成一束射线，向一定方向前进，而不四面散开，所以波长越短的声波，其传播的方向性就越强。从波长与频率关系的公式中可知，波长与频率是成反比例，就是说，频率越高波长就越短。超声波的频率既然比声波的频率高，波长当然比声波短，并且短得多，所以超声波传播的方向性是较强的。

超声波的方向性的好坏，一般用扩散角的大小来衡量（习惯上用半扩散角 θ 表示）。其与声源的直径（即指探头晶片的直径）成反比，与波长成正比的，其计算公式如下：

$$\theta = \arcsin 1.22 \frac{\lambda}{D},$$

式中:

D ——声源直径;

θ ——半扩散角;

λ ——超声波波长;

$\sin$ ——正弦符号;

$\arcsin$ ——反三角函数符号。

图 1—2 b 是不同的 $\frac{\lambda}{D}$ 比值的理想化声场形状。

在声源附近的 L_0 区内, 有很多杂乱的副瓣波束, 这个区域叫干扰区, 也有叫近场区或付里奈氏区, 对探伤不利, 会影响主波的灵敏度。但因这区副瓣波的能量较小, 可忽略不计。如图 1—2a 所示。

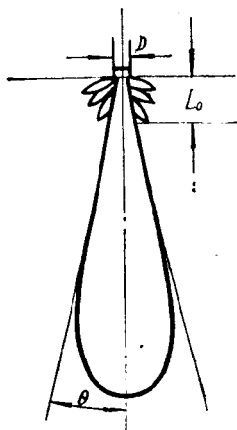


图 1—2 a

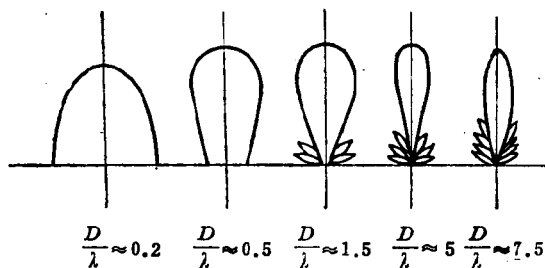


图 1—2 b

当 $\frac{\lambda}{4} \ll \frac{D^2}{4\lambda}$, L_0 的大小由下式求出:

$$L_0 = \frac{D^2 - \lambda^2}{4\lambda} \approx \frac{D^2}{4\lambda}$$

表 1—1 是超声波波长、频率、声源直径与 θ 及 L_0 的关系。

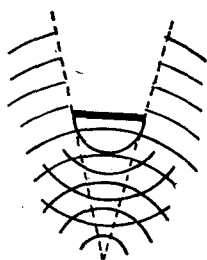
表 1—1

f (兆赫)	λ (毫米)	D (毫米)	θ (度)	L_0 (毫米)
0.8	7.26	12	47.6°	4.96
0.8	7.26	20	26.3°	13.77
0.8	7.26	24	21.7°	20
0.8	7.26	48	10.6°	79.7
1.25	4.65	24	13.7°	31
1.25	4.65	12	28.2°	7.7
2.5	2.32	12	13.6°	15.5
2.5	2.32	20	8.1°	43
2.5	2.32	24	6.8°	62
5	1.16	12	6.8°	31
5	1.16	24	3.4°	124

表中的数值是指纵波垂直入射的半扩散角及近场区。

2. 超声波的绕射

如果在超声波传播的方向存在障碍物，当障碍物的尺寸比波长大得多时，在障碍物上面的超声波不能通过障碍物，而在障碍物的背后形成声影区。但当障碍物很小，其尺寸与超声波的波长相比小得多时，则超声波能够绕过障碍物的边缘而继续往前传播，这种现象称为超声波的绕射。超声波的绕射情况如图 1—3 所示。这个现象告诉我们，为了能发现工件中较小的缺陷，避免超声波在缺陷上产生绕射，就必须选择波长较短的超声波。



障碍物大时



障碍物小时

图 1—3 超声波的绕射

3. 超声波的反射和折射

由于超声波的频率高、波长短，其束射特性和光线相似，能够反射、折射、聚焦，并遵守几何光学定律。

(1) 超声波的反射

当超声波从第一介质（能传播声波的媒介物质）进入到第二介质时，在两介质的分界面上，除一部分能量入射到第二介质外，其余能量将反射回来，这叫超声波的反射。

其反射定律是：当超声波以某一角度入射到两介质的分界面时，入射线、反射线和分界面上的法线均在同一平面内，入射角 α 等于反射角 α' ，入射角的正弦与反射角的正弦之比等于两介质声速之比。

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \alpha'} = \frac{V_1}{V_2}$$

式中：

$\sin$ ——正弦符号；

α ——入射角；

α' ——反射角；

V_1 ——第一介质声速；

V_2 ——第二介质声速。

超声波的反射如图 1—4 所示。

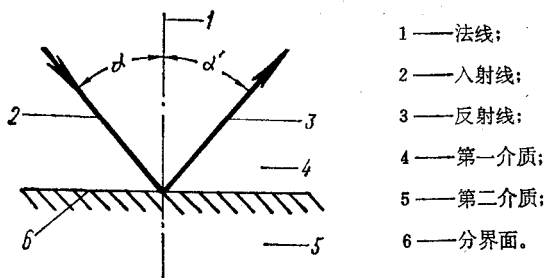


图 1—4 声波在二介质界面上的反射

能量的反射及反射率：超声波入射到两介质的分界面上时，有一部分能量能穿过两介质的分界面，进入到第二介质内继续传播，其余能量将反射回来，反射能量的大小取决于二介质的声阻抗之比，声阻抗的代表符号是 R 。

$$R = PV$$

式中： P ——介质的密度，克/厘米³；

V ——介质的声速，厘米/秒。

反射波的声强度 J_1 的计算公式如下：

$$J_1 = J_0 \frac{1 - m \left(\frac{\cos \beta}{\cos \alpha} \right)^2}{1 + m \left(\frac{\cos \beta}{\cos \alpha} \right)^2}$$

$$= J_0 \left[\frac{P_2 V_2 \cos \alpha - P_1 V_1 \cos \beta}{P_2 V_2 \cos \alpha + P_1 V_1 \cos \beta} \right]^2$$

式中：

J_0 ——入射波的声强度，瓦/厘米²；

m ——两种介质声阻抗之比；

$$m = \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} ;$$

P_1 ——第一种介质的密度；

V_1 ——第一种介质的声速；

P_2 ——第二种介质的密度；

V_2 ——第二种介质的声速；

$\cos \alpha$ ——入射角的余弦；

$\cos \beta$ ——折射角的余弦。

反射系数：反射波的声强度 J_1 和入射波的声强度 J_0 之比称反射系数，以 K 表示。

$$K = \frac{J_1}{J_0} = \left[\frac{P_2 V_2 \cos \alpha - P_1 V_1 \cos \beta}{P_2 V_2 \cos \alpha + P_1 V_1 \cos \beta} \right]^2$$

如果超声波是垂直入射的话，则 $\cos \alpha$ 及 $\cos \beta$ 为 1，反射系数可写成如下式：

$$K = \left[\frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{P_2 V_2 + P_1 V_1} \right]^2 = \left[\frac{R_2 - R_1}{R_2 + R_1} \right]^2$$

式中：

R_1 ——第一种介质的声阻抗；

R_2 ——第二种介质的声阻抗。

透过率（又叫透射系数）用 b 表示。

$$b = 1 - K$$

为了使超声波能更好向工件内部发射，要在探头和工件之间涂上一层结合剂，结合剂可以用水和各种油类。如工件是一般的钢铁，我们用反射系数及透过率去计算进入钢材的超声波能量占全部超声能量的百分之几，其具体计算如下：

钢板的介质密度 $P = 7.8$ 克/厘米³，声速 $V = 5810$ 米/秒；水的介质密度 $P_1 = 1$ 克/厘米³，声速 $V_1 = 1450$ 米/秒；这样用水做结合剂，超声波透过水射入钢板，其能