



陕西铁路工程职业技术学院
SHAANXI RAILWAY INSTITUTE

超声波基础知识

主讲教师：郑晓珣



目录

CONTENTS



4

超声场及其特征值

5

超声波的衰减

6

斜入射的反射、折射和波形
转换、临界角

1、声压 P

声压是超声场中某一点所具有的压强 P_1 与该点没有超声波存在时的静态压强 P_0 之差称为该点的声压。单位为帕斯卡 (Pa , $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$)。

通常把声压振幅简称为“声压”，A型脉冲反射式探伤仪示波屏上回波高度与其有一定的线性关系，通过比较不同反射体的回波高度比较其声压。

2、声强 I

单位时间内，垂直通过单位面积的声能量称为声强（ I ）。

对于平面余弦波，其平均声强（ I ）为：

$$I = \frac{1}{2} \rho C A^2 W^2 = \frac{1}{2} Z V^2 = \frac{P^2}{2Z}$$

■ 在实用上，贝尔这个单位太大，因而常取其 1/10，单位为分贝（ dB ）。即 $L = 10 \lg I / I_0$ 。由于声强与声压的平方成正比，所以有 $L = 10 \lg (I / I_0) = 20 \lg (P_1 / P_2)$ （ dB ）。

3、声阻抗 Z

介质中某一点的声压与该点的振动速度之比称为声阻抗

(Z)。数值上声阻抗等于介质密度 (ρ) 与声速 (c) 的乘积，

即：

$$Z = \frac{P}{V} = \rho \cdot c$$

■ 它表示超声场中介质对质点振动的阻碍作用。由于固体、液体和气体三者的声速和密度相差很大，因此，它们的声阻抗大不相同，即使在同一固体介质中，由于纵波、横波和表面波的声速

练习

1、示波屏上一波高 80mm ，另一波高 20mm ，问前者比后者高多少分贝？

$$\text{解： } \Delta = 20 \lg(H_1/H_2) = 20 \lg(80/20) = 12(\text{dB}) ;$$

2、一个垂直性好的探伤仪，荧光屏上波幅为 80 % ，衰减 24dB 后波幅为多少？

$$\text{解：由公式 } dB = 20 \lg \frac{P_1}{P_2} \quad \text{得} \quad 24 = 20 \lg \frac{80}{P_2}$$

$$P_2 = 5 \quad \text{答：衰减 24dB 后波幅有 5 \%}$$

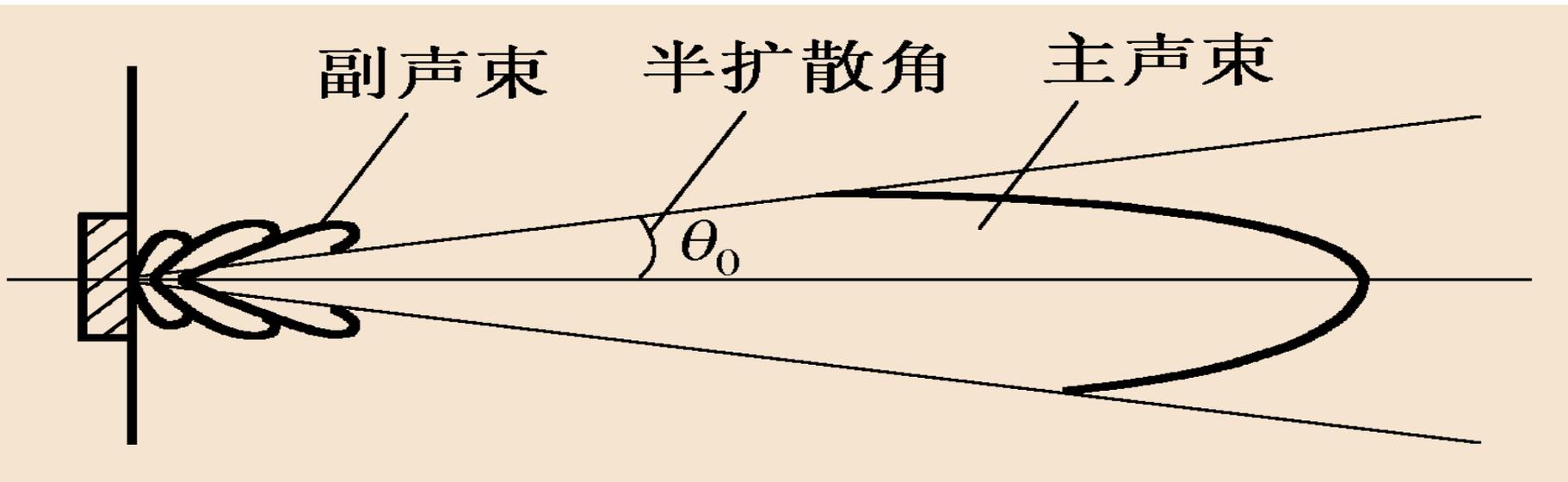
当超声波探伤仪具有较好的放大线性（垂线性）时，两个反射体的回波声压和与它们各自在示波屏上形成的回波高度成正比。常用声压比（波高比）对应的 dB 值见表。

常用声压比（波高比）对应的 dB 值：

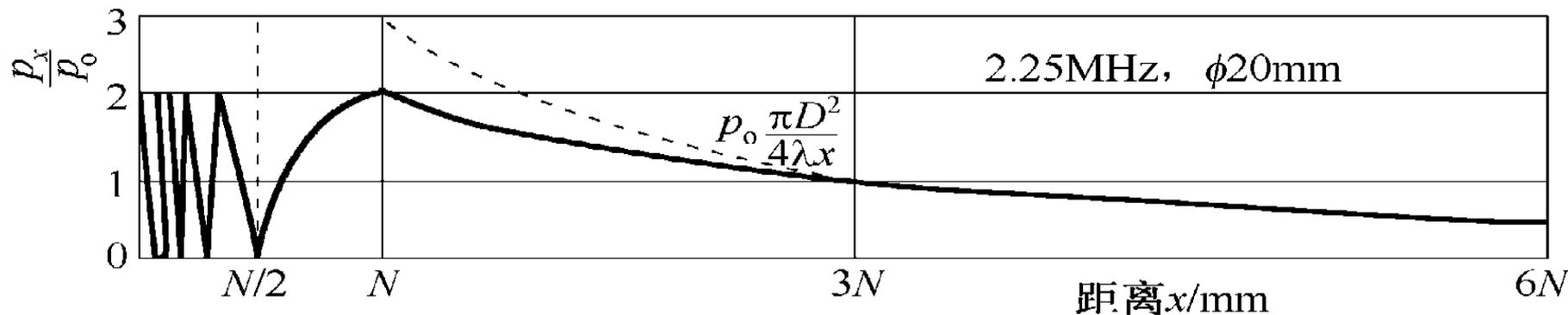
$P_1/P_2(H_1/H_2)$	10	5	4	3.2	2	1.1	1
dB	20	14	12	10	6	1	0

充满超声波的空间称为超声场。

特点：圆形平面晶片



1. 超声的近场区



在距声源较近处，瞬时声压存在着若干个周期性的极大值和极小值，这使得不同的点上的声压变化很大，由该区域的回波信号无法正确获取缺陷的有关信息。该区域被称为超声近场区。声源轴线上最后一个声压极大值至声源的距离就是近场区长度 N 。当 $D \gg 2\lambda$ ，有 $N = (D^2 - \lambda^2) / 4\lambda = D^2 / 4\lambda$

2. 声束指向性

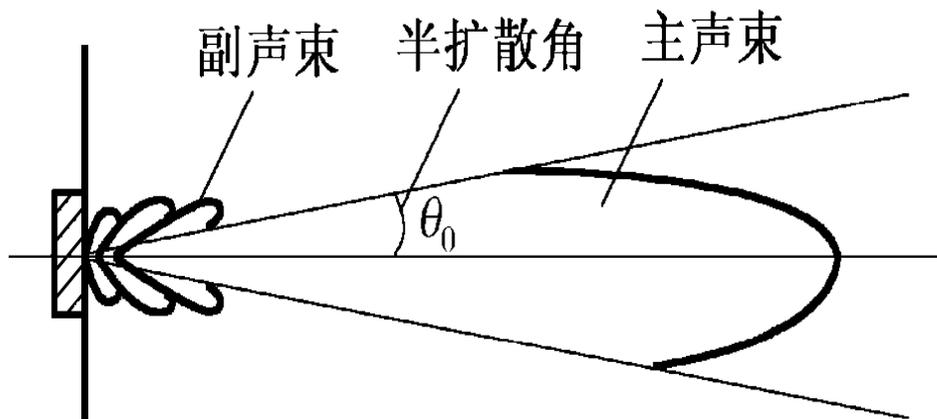
表征声源辐射场特征的另一个重要特性是声束的指向性。

像探头发出的超声能量集中在一定区域并向一个方向辐射的现象称为波束指向性。

主声束的边界与声源轴线

夹角就称为半扩散角，通常

用 θ 表示。



3. 半扩散角

- 直径为 D 的圆形晶片激发波长为 λ 的超声波时的半扩散角表示为 $\theta = 70 \lambda / D$ (度)
- 边长为 a 的正方晶片激发波长为 λ 超声波时的半扩散角表示为 $\theta = 57 \lambda / a$ (度)

若声束半扩散角越小，则超声波的辐射能量越集中，声束指向性就越好，对缺陷的定位精度越高，对不同缺陷分辨力及检测的灵敏度也越高。

例题：

用 2.5MHz 直径 20mm 的纵波探头探伤，求在钢和水中近场长度、半扩散角和未扩散区长度多小？

解：已知声速，钢中 5900m/s，水中 1480m/s，则 $\lambda_{\text{钢}} = 5.9/2.5 = 2.36\text{mm}$ ；

$$\lambda_{\text{水}} = 1.48/2.5 = 0.6\text{mm}$$

近场长度 钢中 $N = (20 \times 20) / (4 \times 2.36) = 42.4\text{mm}$ ；水 $N = 400 / (4 \times 0.6) = 167\text{mm}$

半扩散角 钢中 $\theta = (70 \times 2.36) / 20 = 8.26^\circ$ 水中 $\theta = (70 \times 0.6) / 20 = 2.1^\circ$

未扩散区长度 钢中 $b = 1.67N = 1.67 \times 42.4 = 70\text{mm}$ ；水中 $b = 1.67N = 279\text{mm}$

- 在介质传播中，随着传播距离的增加，能量逐渐减弱的现象称为超声波的衰减。
- **1、衰减原因**：超声波在均匀介质中的衰减主要有以下三个原因：
（1）声束扩散；（2）介质颗粒引起的散射；（3）介质对波动能量的吸收。
- **扩散衰减**与传播介质无关，衰减程度由波形和传播距离确定。

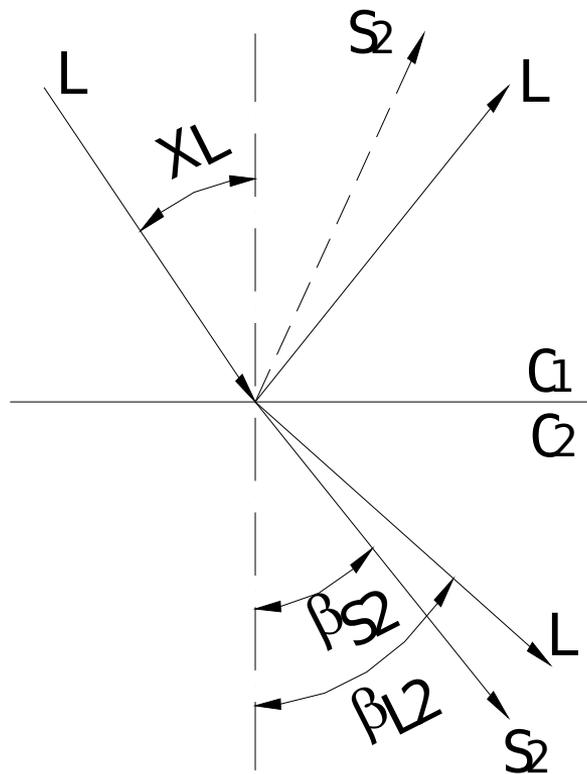
2、衰减系数（在不同介质中的衰减程度）

设 P_x 为距声源 x 处的声压； P_0 为声源的辐射声压； α 为衰减系数，包括散射和吸收衰减，表示单位厚度介质对超声波的衰减，单位为 **dB/mm**。 $P_x = P_0 \exp(-\alpha x)$

- 衰减系数的测定
- 材料衰减的测定方法有**多次脉冲反射法**，用第 n 次回波的分贝差来表示

$$\alpha = \frac{\Delta_{m-n} - \delta}{2(n-m)d} = \frac{\Delta_{m-n} - 20 \lg \frac{n}{m}}{2(n-m)d}$$

- 1、纵波、横波的斜入射
- 超声平面波以一定的倾斜角入射到异质界面上产生反射和折射，**遵循反射和折射定律**。同时，超声波在一定条件下界面上还会产生**波型转换现象**。如图



纵波斜入射，反射纵波和横波的反射角 γ_L 和 γ_S 、折射纵波和横波的折射角 β_L 和 β_S 与纵波和横波分别在第一、第二介质中的声速 $C_{L1}C_{S1}C_{L2}$ 和 C_{S2} 之间满足如下反射、折射定律：

$$\sin \alpha_L / C_{L1} = \sin \gamma_L / C_{L1} = \sin \beta_L / C_{L2} = \sin \beta_S / C_{S2}$$

同样，超声波横波以入射角倾斜入射到分界面时，有

$$\sin \alpha_L / C_{S1} = \sin \gamma_L / C_{L1} = \sin \beta_L / C_{L2} = \sin \beta_S / C_{S2}$$

- 如果是纵波入射，反射波中的纵波的反射角等于入射角，反射横波的反射角小于入射角；如果是横波入射，反射波中的纵波的反射角大于入射角，横波的反射角等于入射角。

即横波反射声束总是位于纵波反射声束与法线之间。

另横波折射声束也总是位于纵波折声束与法线之间。

2、波型转换

在反射波和折射波中，除了有和入射超声波同类型的超声波外，还有不同类型的超声波，即入射的纵波会产生反射和折射的纵波和横波，入射的横波也会产生反射和折射的纵波和横波。这称为波型转换现象。

纵波第一临界角定义：

纵角波斜入射使固体中 $\beta_L = 90^\circ$ 的纵波入射 α_L 称为纵波第一临界角

$$\alpha_{LK1} = \arcsin[CL1/CL2]$$

如果入射角大于第一临界角，纵波在界面全反射，第二介质中就没有纵波传播，只存在折射横波。

纵波第二临界角定义：

纵波倾斜入射时使得折射横波折射角 $\beta_s=90^\circ$ 的入射角为
纵波第二临界角。

$$\alpha_{LK2} = \arcsin[CL1/Cs2]$$

入射角大于纵波第二临界角时，第二介质中既无折射纵波，又无折射横波，在第二介质的表面形成表面波。

横波第三临界角：

- 超声波横波倾斜入射时，产生的反射超声波中既有横波也有纵波。
- 将横波斜入射至固 / 气界面并产生纵波全反射 $\gamma_L = 90^\circ$ 的横波入射角称为第三临界角。



陕西铁路工程职业技术学院
SHAANXI RAILWAY INSTITUTE

谢谢!

