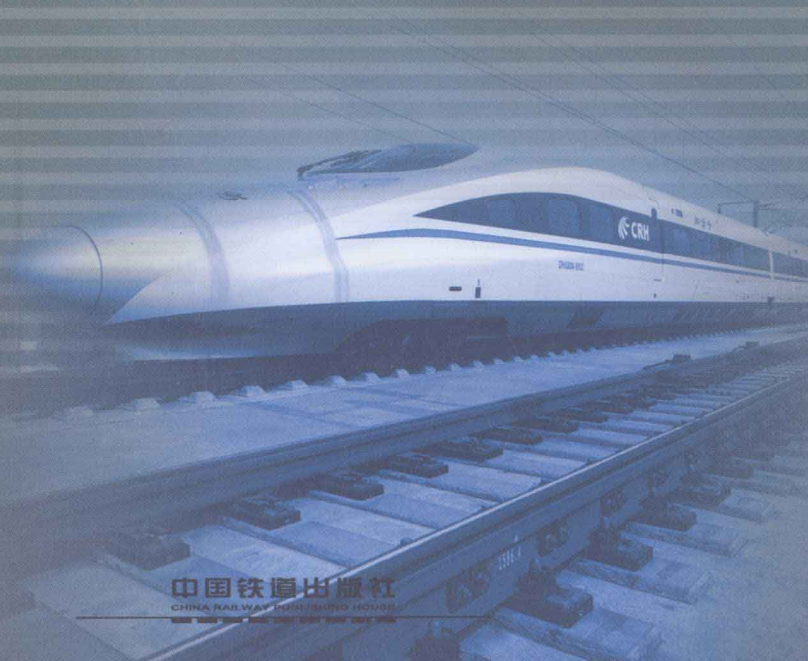


铁路工务适应性培训丛书

钢轨探伤工

● 广州铁路（集团）公司工务处 广州铁路（集团）公司劳卫处 编



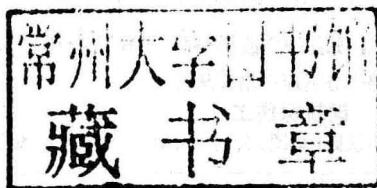
中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路工务适应性培训丛书

钢轨探伤工

广州铁路(集团)公司工务处 编
广州铁路(集团)公司劳卫处



中国铁道出版社

2012年·北京

内 容 简 介

本书主要从超声波探伤的基本原理、超声波探伤仪及探头、探伤方法的应用、钢轨探伤方法、钢轨探伤作业、钢轨探伤作业安全、探伤信息管理等七个方面,本着深入浅出、言简意赅、通俗易懂的编写原则,对钢轨探伤工相关知识及操作技能进行了详尽叙述。

本书适用于铁路钢轨探伤工岗位适应性培训,也可作为新职、转职、晋升的岗位资格性培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢轨探伤工/广州铁路(集团)公司工务处,广州铁路(集团)公司劳卫处编. —北京:中国铁道出版社, 2012. 3

铁路工务适应性培训丛书

ISBN 978-7-113-14216-2

I. ①钢… II. ①广… ②广… III. ①钢轨—探伤—技术培训—教材 IV. ①U213. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 022188 号

书 名: 铁路工务适应性培训丛书

钢轨探伤工

作 者: 广州铁路(集团)公司工务处 广州铁路(集团)公司劳卫处 编

责任编辑: 时 博

编辑部电话: 010-51873141

电子信箱: crph@163.com

封面设计: 冯龙彬

责任校对: 胡明锋

责任印制: 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中国铁道出版社印刷厂

版 次: 2012年3月第1版 2012年3月第1次印刷

开 本: 850 mm × 1 168 mm 1/32 印张 3.5 字数: 88 千

书 号: ISBN 978-7-113-14216-2

定 价: 13.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电话: (010) 51873170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010) 63549504, 路电(021) 73187

铁路工务适应性培训丛书

编 审 委 员 会

主 任 委 员	谭敦枝	刘保平		
副主任委员	薛双纲	唐新权		
委 员	张文仁	晔 元	王劲军	刘建平
	卿莉娜	樊一彬	黄北川	刘尚华
	易正红	文 彪	罗文广	付东兴
	李以湘	陈 勇	易图仁	张海龙
	郑国明			

前 言

党的十六大以来,我国铁路大规模的客运专线建设和运营使用,标志着我国铁路进入了高速发展时期,铁路现代化建设的进程得到跨越推进。按照中长期铁路网规划纲要,到2020年,我国将建成1.6万 km以上客运专线及城际铁路,届时,全国铁路网结构将更趋完善,铁路在经济社会发展中的基础性保障作用将得到极大提升。

铁路建设的不断深入推进,铁路技术装备现代化程度不断提高,既有线提速和高速铁路技术的发展,对铁路系统职工队伍素质提出了更高、更严的要求。可以说,人才是铁路事业可持续发展的基础,职工队伍的整体素质决定铁路现代化发展的高度与深度。因此,如何培养和造就一大批适应铁路现代化建设需要的高素质人才队伍,是当前摆在我们面前的一项重大而紧迫的战略任务。

工务系统必须积极适应铁路技术发展方向,主动适应铁路技术进步所带来的变化,快速提高技术人员和职工队伍素质,建立高效精干的工务养护队伍,才能更有效地管理好、维护好现代化铁路,这不仅是历史赋予的神圣使命,也是时代赋予工务人重要的责任。因此,广州铁路(集团)公司工务处、劳卫处组织编写了铁路工务适应性培训丛书,涵盖了工务系统的行车主要工种。本套丛书坚持继承与创新相结合,依据铁道部和广州铁路(集团)公司规章制度的基本要求和工作要求编写,重点突出实

际操作技能、应急处理技能和新技术、新设备、新规章、新工艺等四新知识,便于现场职工的培训与自学。

《钢轨探伤工》一书主要从超声波探伤的基本原理、超声波探伤仪及探头、探伤方法的应用、钢轨探伤方法、钢轨探伤作业、钢轨探伤作业安全、探伤信息管理等七个方面,本着深入浅出、言简意赅、通俗易懂的编写原则,对钢轨探伤工相关知识及操作技能进行了详尽叙述。本书适用于铁路钢轨探伤工岗位适应性培训,也可作为新职、转职、晋升的岗位资格性培训用书。

本书由谭敦枝主编,参加编写人员:薛双纲、张文仁、王劲军、易正红、殷建华、胡文新、黄华斌、贺先艳。本书在编写、审定过程中得到了广州铁路(集团)公司主要领导高度重视以及相关单位和部门的大力支持,在此一并表示感谢!由于时间和编者水平有限,疏漏与不足之处在所难免,敬请广大读者提出宝贵意见。

编 者

2011年11月

目 录

第一章 超声波探伤的基本原理	1
第一节 超 声 波	1
第二节 超 声 场	5
第三节 超声波的反射和折射定律及波形变换规律	9
第四节 超声波的散射、绕射和衰减	14
第五节 远声场中规则反射体反射规律	16
第二章 超声波探伤仪及探头	22
第一节 超声波探伤仪	22
第二节 超声波探头	27
第三节 超声波探伤试块	30
第四节 探伤仪器和探头性能指标的测试	36
第三章 探伤方法的应用	44
第一节 超声波探伤方法分类	44
第二节 超声波探伤前的准备	47
第三节 缺陷的定位、定量与定性	49
第四节 缺陷状况对缺陷波高的影响	56
第四章 钢轨探伤方法	59
第一节 钢轨探伤仪的校正	59
第二节 70°探头的探伤	61
第三节 37°探头的探伤	65
第四节 0°探头的探伤	68

第五章 钢轨探伤作业	71
第一节 技术要求	71
第二节 探伤灵敏度	72
第三节 探伤周期或次数	73
第四节 钢轨探伤作业程序	74
第五节 钢轨判伤作业程序	75
第六节 钢轨焊缝探伤	76
第七节 钢轨探伤手工检查	80
第八节 探伤仪检修、保养和考评	81
第九节 钢轨伤损及分级和处理	90
第六章 钢轨探伤作业安全	97
第七章 探伤信息管理	99

第一章 超声波探伤的基本原理

第一节 超 声 波

一、超声波的基本概念

1. 超声波的定义

超声波是声波的一种,是机械振动在弹性介质中传播而形成的声波。振动频率在 20 kHz 以上的机械波称为超声波,通常以其波动频率 f 和人的可闻频率加以区分超声波与其他声波种。

次声波	$f < 20 \text{ Hz}$	人耳不可闻
-----	---------------------	-------

声 波	$20 \text{ Hz} \leq f \leq 20 \text{ kHz}$	人耳可闻
-----	--	------

超声波	$20 \text{ kHz} \leq f \leq 10^3 \text{ MHz}$	人耳不可闻
-----	---	-------

特声波	$f > 10^3 \text{ MHz}$	人耳不可闻
-----	------------------------	-------

金属材料超声波探伤常用频率为 0.5 ~ 10 MHz。

2. 超声波的特性

(1) 方向特性

超声波频率高,波长短,有类似光的直线传播的性质,方向性好,易于确定缺陷位置。

(2) 穿透特性

超声波容易在物质内部传播,可以穿透厚达数米的金属部件,具有很强的穿透性。

(3) 反射特性

超声波在弹性介质中传播时,遇到异质界面会产生反射、透射或折射,如在钢中传播遇到缺陷,缺陷尺寸等于或大于超声波波长时,超声波在缺陷处将产生反射,但如果缺陷尺寸小于波长时,声波便绕射过去而不产生反射。

(4) 波形转换特性

超声波在两个声速不同的异质界面上会发生波形转换,使得利用各种波形(纵波、横波、板波、表面波)探伤成为可能。

二、超声波探伤的优点和缺点

超声波探伤可检查金属材料、部分非金属材料的表面和内部缺陷,如检查锻件中的白点、裂纹、夹渣、分层;非金属材料中的气泡、分层和黏合层中的黏合不良;焊缝中裂纹,未焊透、夹渣、气孔以及管棒和锻件中与表面成一定角度的缺陷。因此,它被广泛地应用于无损探伤。

1. 优点

(1)可测厚度最大,一般可达数米,是所有无损探伤方法中可测厚度最大者。

(2)检测灵敏度高,一个存在于钢中的空气分层,当厚度为 1×10^{-6} mm 时,反射率为 21%,当厚度为 1×10^{-5} mm 时,反射率可达 94%,其检测灵敏度居所有无损检测方法之首。

(3)可检出各种取向的缺陷,能发现平行或垂直于工件内部或表面的各种取向的缺陷。

(4)指向性好,能准确对缺陷定位,是其他探伤方法不可比拟的。

(5)检测速度快,费用低,仪器小巧、轻便,需防护和固定场所。

2. 缺点

(1)探测结果易受人为因素的影响。因为一般对缺陷的发现和评价,仅凭仪器示波上显示的探伤图形而定,而图形中的回波信号高度、位置、数量等有限信息取决于探伤人员对仪器的掌握和对图形的判断,因此需要操作人员有较多的实践经验。

(2)探测面要求平整。因为探头与被检工件有较良好的耦合时,才能得到正确的检测效果。

(3)受工件形状、晶粒和组织不均匀性的限制,形状复杂的工件超声波探伤困难,形状回波的显现将干扰缺陷回波的识别和测

定。对粗晶工件,其晶粒尺寸与超声波长接近时,增加了探伤的难度。

(4) 定量精度差。检测结果往往与实际缺陷有一定的误差。

三、超声波的波形

声源在介质中的振动方向与波在介质中传播的方向可以相同也可以不同,这就会产生不同类型的声波,超声波的波形主要有以下几种。

1. 纵波(L 波)

声波在介质中传播时,介质质点的振动方向与波的传播方向一致的波称为纵波,见图 1—1。纵波在传播过程中会使传播介质的质点产生间隔的压缩或膨胀。纵波能在各种弹性介质(包括固体、液体、气体)中传播。在钢轨探伤中,使用的 0° 探头(直探头)、就是用纵波探伤的。

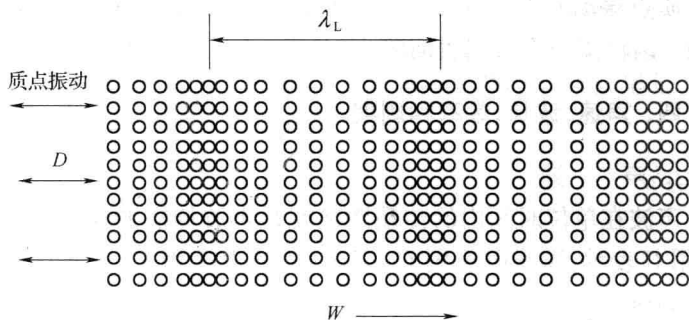


图 1—1 纵波

D —质点振动方向; W —波的传播方向; λ_L —纵波波长

2. 横波(S 波)

超声波在介质中传播时,介质质点的振动方向与波的传播方向垂直的波称为横波,见图 1—2。

超声横波只能在固体中传播,固体除具有体积弹性外,还具有剪切弹性,而液体和气体没有剪切弹性,不能传播横波。

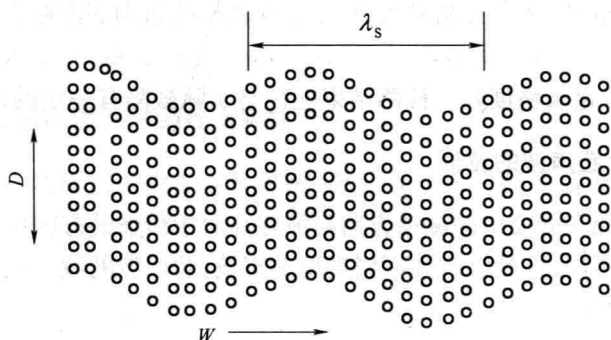


图 1—2 横波

D —质点振动方向; W —波的传播方向; λ_s —横波波长

钢轨探伤中使用的 37° 和 70° 探头 (斜探头) 就是用横波探伤的。

3. 表面波 (R 波)

质点振动所引起的振动传播只在固体介质表面进行, 故称表面波。钢轨探伤不采用表面波。

四、声速、波长、频率和周期

1. 声 速

声波在单位时间内的传播距离就是声波传播的速度, 称为声速, 用 C 表示, 纵波声速用 C_L 表示, 横波声速用 C_s 表示, 常用单位为 m/s 。

2. 波 长

相邻两波同相位点之间的距离称为波长, 用 λ 表示。常用波长单位为 mm 。

3. 频 率

单位时间内 (每秒钟) 质点完成全振动的次数称为频率, 用 f 表示, 频率的基本单位为 Hz 。

$$1 \text{ MHz} = 1 \times 10^3 \text{ kHz} = 1 \times 10^6 \text{ Hz}$$

波长 λ 、频率 f 、声速 C 三者的关系为

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1-1)$$

声速是一个重要的物理量,不同的材料声速不同。在同一种固体介质中,纵波比横波的声速快,如在钢中纵波声速为 5 850 m/s,横波声速为 3 280 m/s。因声速不同,两种波在相同距离的伤损反射回波的时间上有较大差异,见表 1—1。

表 1—1 几种常用材料的超声波声速(m/s)

介 质	纵波声速 C_L	横波声速 C_S
钢	5 850	3 280
聚苯乙烯	2 350	1 120
有机玻璃	2 700	1 300
变压器油	1 390	—
火	1 450	—
空 气	340	—

4. 周 期

周期是指振动质点完成一次全振动所需的时间,单位为秒(s)。周期与频率的关系式见式(1—2)。

$$T = \frac{1}{f} \quad (1-2)$$

第二节 超 声 场

一、声压、声强、声阻抗和分贝值的概念

1. 声 压

声压是指超声波在介质中传播时,介质各质点所受到的交变振动的压力。声压的单位为 N/m^2 (牛/米²),也称为帕斯卡(Pa),声压用 P 表示。

2. 声 强

声强是单位时间内超声波通过介质单位截面的能量。声强单

位为 W/cm^2 (瓦/平方厘米), 声强用 I 表示。

声强 I 与声压 P 之间有如下关系:

$$I = \frac{1}{2} \cdot \frac{P^2}{Z} \quad (1-3)$$

式中 Z ——声阻抗。

3. 声阻抗(Z)

介质中任何一点的声压和该质点的振速之比称为声阻抗。对平面波而言, 声压与振动速度同相位, 声阻抗为一恒定值, 通常用介质的密度 ρ 和声速 c 的乘积表示, 即 $Z = \rho c$ 。

4. 分贝值

在实际中所遇到的声强及声压大小相差极大, 如人耳能听到的最微弱的声音和火车鸣笛声的声强相差数十亿倍。为了避免过大的数字, 在声学上采用了对数比较单位。设某点声强为 I_1 , 另一点声强为 I_2 , 那么这两点间的相对声强用 $\lg \frac{I_1}{I_2}$ 表示, 单位为 B, 称为贝尔。在实用中贝尔单位还显得大, 所以取其值的 1/10 作单位, 这个单位叫分贝 (dB)。如果用 I_L 代表两点间的声强差别, 即声强级的分贝数为

$$I_L = 10 \lg \frac{I_1}{I_2} = 20 \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (1-4)$$

在探伤中, 回波脉冲的大小可用来代表声压。缺陷越大, 反射回波声压越大, 回波脉冲也越大。设 h 为某一缺陷回波脉冲的大小, h_0 用来参照的标准回波脉冲的大小, 这里相当于 h 等于 P , 则

$$I_L = 20 \lg \frac{h}{h_0} \quad (1-5)$$

二、超声场的结构和声压分布规律

充满超声波的空间称作超声场。在实际探伤中, 超声场是一个复杂的分布。超声场的形状随波源和传播介质形状、尺寸等不同而各异, 一般以圆晶片辐射声波来描述超声场结构。

当晶片在高频电场作用下产生振动,经耦合向受检工件辐射时,该波源可看作由无数子波组成,子波在空间相互叠加形成超声场的特殊结构。如图 1—3 所示,声源正前方声能集中锥形区称为主声束,主声束周围的区域为副声束,副声束能量弱,且声压无变化规律。

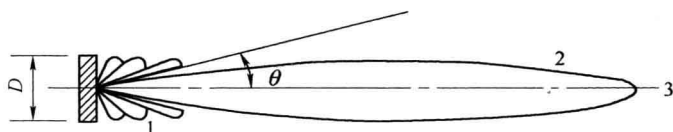


图 1—3 晶片辐射声场示意图

D —晶片直径;1—副瓣声束;2—主声束;3—声轴

1. 扩散角

探头的声场近似圆锥形,以一定的角度扩散出去,在探头中心轴线上声压最大,偏离中心轴线角度增大,声压逐渐减小,当偏离角度为 θ 时,声压降为零, θ 角就称为半扩散角,见图 1—3。

对于圆晶片,半扩散角 θ 有如下公式:

$$\sin\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D} \quad (1-6)$$

式中 θ ——半扩散角;

λ ——超声波波长;

D ——晶片直径。

对长方形晶片有:

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda}{a} \quad (1-7)$$

$$\sin\theta_2 = \frac{\lambda}{b} \quad (1-8)$$

式中 a, b ——长方形两边长;

θ_1, θ_2 ——所对应 a 边和 b 边方向的半扩散角。

由公式可知,扩散角的大小取决于晶片大小与波长的比值。晶片直径越大,波长越短,扩散角也越小。扩散角越小,指向性越好。

2. 近 场 区

邻近换能器并具有复杂声束能量的区域称为近场区,近场内声轴上声源高低起伏变化剧烈。由于近场区声压分布的复杂性,检测和定量波形复杂,难以准确判断,应尽量避免在近场区探伤定量。

如图1—4所示,近场区长度用符号 N 表示, N 值以内的区域为近场区, N 值的大小与晶片直径 D 和波长 λ 有关,一般 $D \gg \lambda$, 则直探头近场区长度的计算可简化为

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (1-9)$$

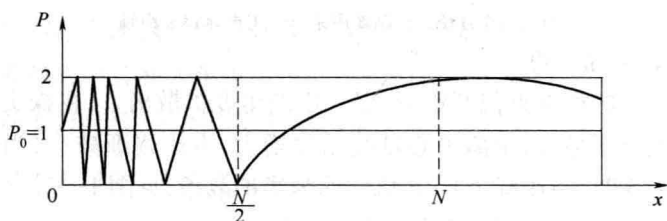


图1—4 探头声场示意图

由式(1—9)可知,探头晶片直径越大,指向性越好,近场区也越长;晶片直径越小,指向性相对变差,近场区变短。因此,在实际探伤中,不能一味追求提高指向性而加大晶片和提高超声波频率,必须全面考虑,做到二者兼顾,即在保证良好指向性的情况下,尽量减少近场区的长度。

以上都是就单晶片探头而言的,对于双晶片探头,由于探测区域为两晶片声场的重合部分,故情况有所不同,还需加以区分。

3. 远 场 区

近场区以远的声场即 N 值以外的区域称为远场区,在远场区中,超声波传播方向一定,且声压随着距离的增加单调下降。

第三节 超声波的反射和折射定律 及波形变换规律

超声波以一定倾斜角度入射到异质界面时,将在两固体界面上发生反射和折射现象,这时,除产生反射纵波(L_1)和折射纵波(L_2)外,还同时产生反射横波(S_1)和折射横波(S_2),见图 1—5。

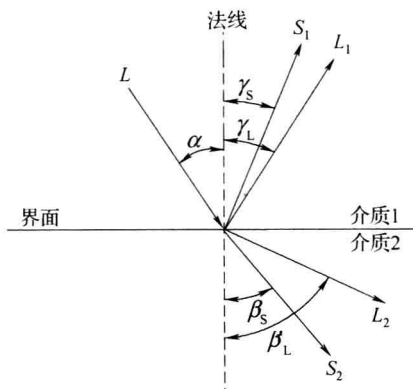


图 1—5 斜入射时的反射和折射

一、反射定律

当超声波以某一角度入射到两介质的分界面法线均都在同一平面内时,入射角的正弦与反射角的正弦之比等于入射波和反射波的声速之比,即

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{c}{c_1}$$

也可写成

$$\frac{c}{\sin \alpha} = \frac{c_1}{\sin \gamma} \quad (1-10)$$

式中 α ——入射角;

γ ——反射角;

c ——入射波声速;