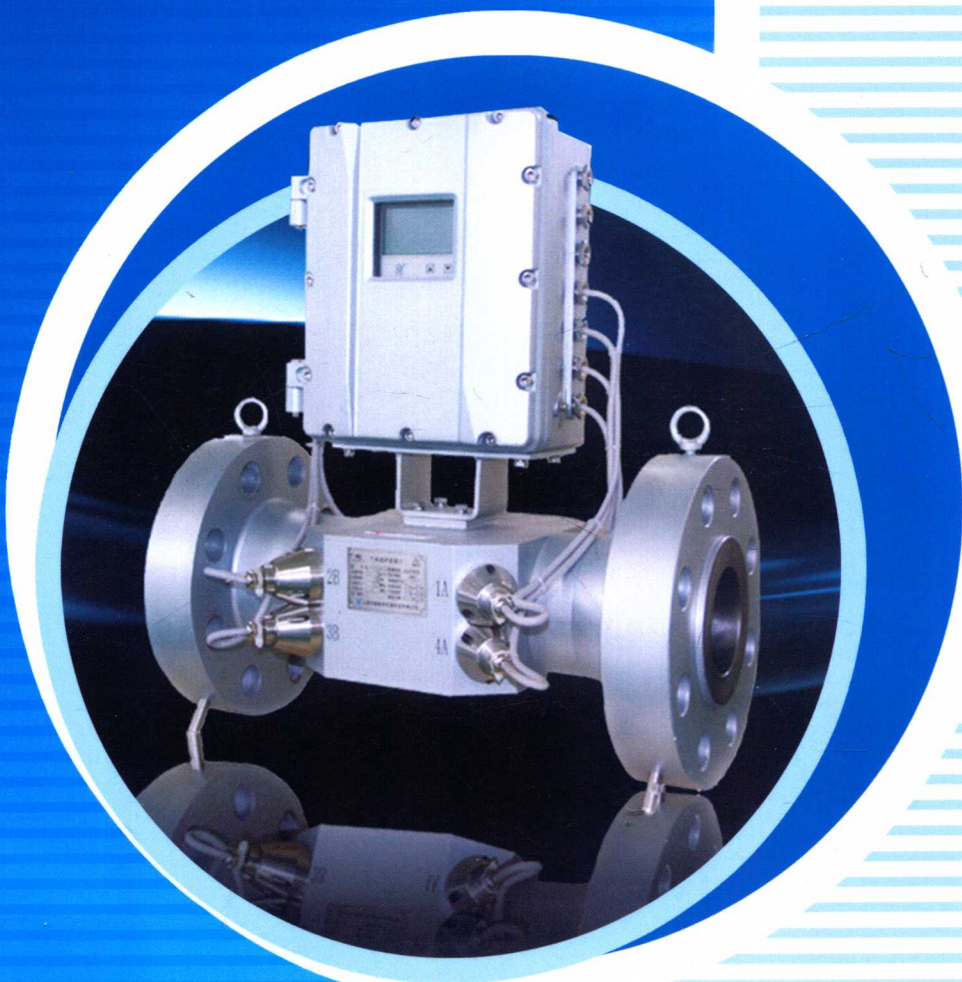


超声波流量计实务

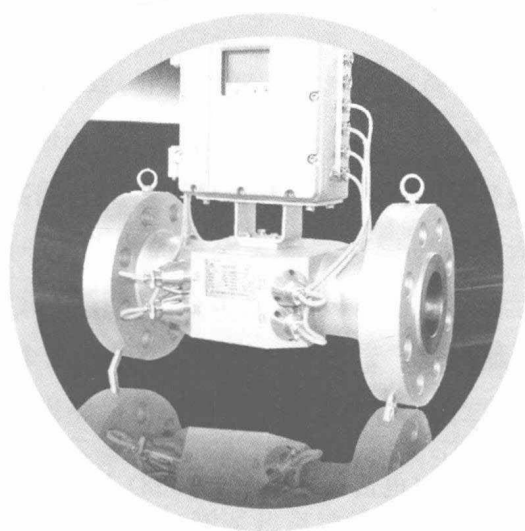
■ 杨敬杰 主编



 中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

超声波流量计实务

■ 杨敬杰 主编



 中国石油大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF PETROLEUM PRESS

图书在版编目(CIP)数据

超声波流量计实务 / 杨敬杰主编. — 东营 : 中国
石油大学出版社, 2014. 2

ISBN 978-7-5636-4238-0

I. ①超… II. ①杨… III. ①超声波流量计 IV.
①P335

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 033168 号

书 名: 超声波流量计实务
作 者: 杨敬杰

责任编辑: 阙青兵 刘 云(电话 0532—86981538)

封面设计: 九天设计

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营, 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

印 刷 者: 青岛星球印刷有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0532—86983437)

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 12.5 字数: 290 千字

版 次: 2014 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 68.00 元

前言

Preface

超声波流量计是测量天然气流量最新型、最理想的流量计量仪表。由于它具有无可动部件、测量范围宽、准确度高、内部无阻碍、可双向测量及高节能性等优点,深受用户欢迎。为了方便同行选用、使用和维护气体超声波流量计,确保它准确、可靠、稳定地工作,充分掌握超声波流量计的运行规律和参数设置,编写了本书,供天然气计量同行参考。

本书共分八章,分别介绍了上海维思国产超声波流量计及 Daniel、Elster Instromet、Sick Maihak 等进口超声波流量计,并根据工作经验,结合实际介绍了流量计现场遇到的问题及解决办法。

本书由中石化青岛液化天然气有限责任公司杨敬杰主编,山东省天然气管道有限责任公司张书丽、宋玉红参与了部分内容的编写。其中,第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第八章由杨敬杰编写,第六章由张书丽编写,第七章由宋玉红编写。全书由杨敬杰整理定稿,宋玉红进行了文字校对工作。

由于编者水平有限,同时超声波流量计技术日新月异,书中缺点和错误在所难免,敬请各位同行批评指正。

编者
2014 年 4 月

contents 目 录

第一章 超声波流量计原理	1
第一节 流量测量方法	1
第二节 超声波物理基础	4
第三节 工作原理	12
第四节 结构与信号处理	18
第五节 安装与应用	26
第六节 性能测试与校准	29
第二章 国产气体超声波流量计	35
第一节 CL 系列气体超声波流量计的结构及特点	35
第二节 影响气体超声波流量计精度的因素及解决办法	39
第三节 CL 系列气体超声波流量计的使用、维护与管理	50
第四节 FCL 系列流量计算机的组成、功能及维护	71
第三章 Daniel 气体超声波流量计	76
第一节 超声波流量计的结构	76
第二节 超声波流量计的维护与管理	80
第三节 S600 型流量计算机的安装	86
第四节 S600 型流量计算机的操作	92
第五节 S600 型流量计算机的维护	103
第四章 Elster Q. sonic IV 系列超声波流量计	123
第一节 结构及组成	123
第二节 UNIFORM 软件及操作	125
第三节 安装和试运行	129
第四节 维护及故障处理	131
第五节 FC 2000 型流量计算机的结构及功能	136
第六节 FC 2000 型流量计算机的安装及维护	141
第五章 FLOWSIC 600 气体超声波流量计	144
第一节 结构及原理	144

第二节 系统安装	148
第三节 组态软件	152
第四节 日常维护	157
第六章 外夹式超声波流量计	161
第一节 测量原理	161
第二节 现场应用	164
第七章 其他气体超声波流量计	172
第一节 AS 系列气体超声波流量计	172
第二节 RMG 超声波流量计	178
第八章 超声波流量计现场实践	185
参考文献	193

第一章 超声波流量计原理

超声波测量涉及微电子技术、计算机技术、信息处理技术、声学技术及材料科学,是多学科边缘交叉综合的结果。气体超声波流量计的应用始于 20 世纪 90 年代,超声波流量计已发展为目的在天然气计量中最有应用前景的速度式流量计。由于它在气体流量测量中有许多独到的特点,例如具有准确度高、量程比宽、无压损、无可动部件等优点,加上气体流态对其测量的结果影响较小,在天然气大流量贸易计量中已得到广泛的应用。

第一节 流量测量方法

国际上天然气贸易结算方式主要有体积计量方式和能量计量方式两种,我国主要以体积计量方式为主,能量计量方式在我国仍处于探索发展之中。

一、流量的定义与分类

流量是指流体在单位时间内流过管道或设备某横截面积的数量。流量的概念可以追溯到古代水利工程,古代罗马恺撒时代已采用孔板测量方法测量居民饮用水的水量,古埃及在公元前 1000 年左右用堰法测量尼罗河的流量,而我国著名的都江堰水利工程应用宝瓶口的水位观测水量的大小。工业上所有的流量测量概念与目前的流行词“网络流量”、“手机流量”有很大的不同,流量测量需要一定的硬件设施和相关的溯源标准。应用于工业的流量测量最早由瑞士人开始,1738 年,瑞士著名的物理学家丹尼尔·伯努利发现伯努利方程,制作出差压法测量水流量。后来意大利物理学家文丘里使用以他名字命名的“文丘里管”测量流量。

在工业生产中,流量是一个很重要的参数,一方面流量测量结果可用来作为贸易交接的依据;另一方面流量测量用于过程控制、检测 and 操作的依据。流量测量仪表是企业管管理、能源管管理、经济核算、生产运行调控和管理效能提升的重要工具。

流量测量的对象有气体、液体和多种介质的混合流体。流量按统计时间不同分为瞬时流量和累计流量,瞬时流量是指单位时间内的流量,累计流量是指一段时间内的流体总量。流量按测量对象分为以下三类:

(1) 体积流量:是指单位时间内流过管道或设备某横截面积的流体体积。设流体通过某一微小面积为 dA ,在时间 t 内通过的微小距离为 L ,该段体积为 dV ,通过该微小面积的流体流速为 u ,则通过微小面积的体积流量为:

$$dq_v = \frac{dV}{t} = \frac{LdA}{t} = u dA \quad (1-1)$$

累计流量可表述为:

$$Q = \int q_v dt \quad (1-2)$$

体积流量的单位为 m^3/s , m^3/h , m^3/d ; 累积体积流量的单位为 m^3 。

(2) 质量流量:是指单位时间内流过管道或设备某横截面积的流体质量,单位为 kg/s 。累计质量流量单位为 kg 。若流体的密度为 ρ ,则有公式:

$$q_m = \frac{m}{t} = \rho q_v = \rho u A \quad (1-3)$$

(3) 能量流量:是指单位时间内流过管道或设备某横截面积的流体能量,单位为 J/s 或 MJ/s 。累计能量的流量单位为 J 或 MJ ,若流体的高位发热量为 H_s ,则有公式:

$$q_E = H_s \cdot q_v = H_s u A \quad (1-4)$$

流量测量是一个非常复杂的过程,流体的各个参数对测量结果的准确性都有影响。例如:流体的密度是随工况参数的变化而变化的,而压力、温度、流体组成成分等都需要准确地测量。对于气体,由于温度、压力对密度的影响都很大,所以在测量气体体积流量时必须同时测量气体的温度和压力,以便将不同工作状态下的体积流量换算成参比条件 ($20\text{ }^\circ\text{C}$, 101.325 kPa) 下的流量。

二、流量测量方法

流量计是测量密闭管道或明渠中的流体流量或累计流量的仪表。流量计有的用于油、气、水、蒸汽等介质的流量测量,也有的用于实验室、工业、贸易等计量场合。按测量原理,流量计可分为差压式流量计、容积式流量计、速度式流量计、质量流量计和其他流量计五大类。

(1) 差压式流量计:是根据伯努利能量方程,在流体中安装节流件产生差压,通过测量差压来间接确定流体流量的流量计,如孔板流量计、文丘里流量计、转子流量计等。其中孔板流量计用途最为广泛;由于孔板流量计通过检测几何尺寸以及压力差、温度等参数,就可以运用计算公式计算出天然气的流量,因而它成了天然气计量的主导流量计。

差压式流量计由节流装置、导压管、阀组和差压计等几部分组成,如图 1-1 所示。

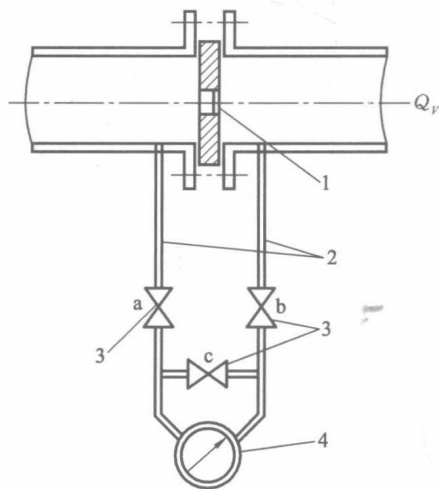


图 1-1 差压式流量计组成示意图

1—节流装置;2—导压管;3—阀组;4—差压计

(2) 容积式流量计:是利用一个标准小容积连续地定排量测量,根据标准容积的容积值和连续测量的累计次数求得累计流量的流量计。常见的有腰轮流量计(图 1-2)、刮板流量计、椭圆齿轮流量计、旋转活塞流量计等。容积式流量计特别适用于高黏度液体的流量测量。

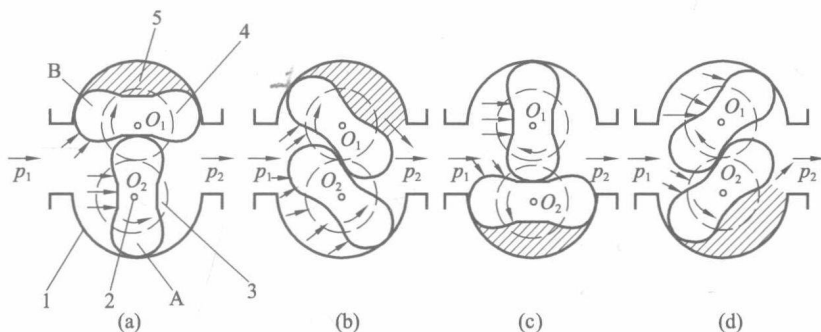


图 1-2 腰轮流量计工作过程

1—壳体;2—转动轴;3—驱动齿轮;4—腰轮;5—计量室

(3) 速度式流量计:利用测量管道内部流体速度的大小来测量流量的流量计统称为速度式流量计。如涡轮流量计、旋进旋涡流量计(又称涡街流量计,图 1-3 所示为涡街形成原理示意图)、超声波流量计等。其特点是直接测量流体的流速,计算公式比较简单,输出为脉冲频率信号,便于总量计量和与计算机连接,测量范围较宽,结构简单,维护方便。

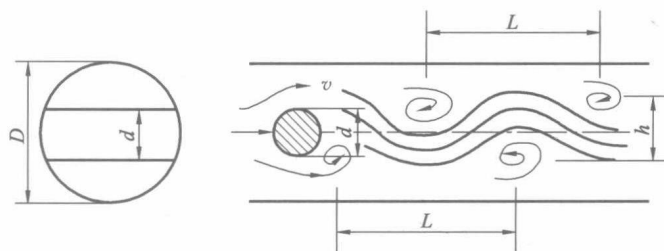


图 1-3 涡街形成原理示意图

(4) 质量流量计:是直接或单一测量读出质量流量的流量计。它分为直接式、间接式、补偿式三类。直接式质量流量计有热式、双孔板、双涡轮、科里奥利等;间接式质量流量计是通过测量流体的流速和密度,由运算器得到质量流量;补偿式质量流量计是利用流体与温度、压力的关系,用补偿方式消除流体密度变化的影响,进而得到质量流量。图 1-4 所示为科里奥利质量流量计原理图。

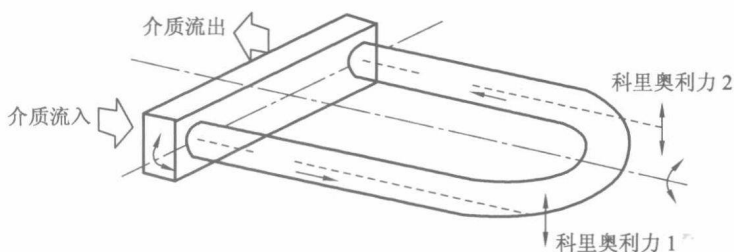


图 1-4 科里奥利质量流量计原理图

(5) 其他流量计:如弯管流量计、威力巴流量计、热风速流量计、激光流量计等。

随着时代的发展,流量计日趋成熟和准确,种类不断推陈出新,但流量计都有其使用范围和局限性,在设计选用流量计时,必须要从仪表本身和测量对象两个方面综合考虑。

天然气计量的准确度与流量计量的各个环节密切相关,仅仅从测量装置和测量仪表来谈准确计量是片面的,保证准确测量也是很困难的。因此,必须从计量系统的设计、建设、运行、验收、操作、维护、校准及检定等一系列工作中统筹考虑。欧共体标准化组织 1998 年发布了 EN 1776《供气系统天然气计量站功能要求》;国际法制计量组织气体计量分委员会 OIML TC8/SC7 制定了《气体燃料计量系统》国际建议;我国也于 2001 年 12 月 30 日颁布了国家标准 GB/T 18603—2001《天然气计量系统技术要求》,具体规定了新建的天然气贸易计量站计量系统的设计、建设、投产运行、维护方面的技术要求,该标准适用于设计通过能力大于等于 $500 \text{ m}^3/\text{h}$ (标准参比条件下)、工作压力不低于 0.1 MPa 的天然气计量站贸易计量系统。超声波流量计的应用标准 GB/T 18604—2001《用气体超声波流量计测量天然气流量》也在修订与完善之中。在选用流量测量方法时,必须遵循“适用、够用”的原则,在计量准确度满足需要的前提下,需要考虑成本、管理和维护等多方面因素。

第二节 超声波物理基础

一、超声波概述

1. 超声波源于自然

人能听到声音是因为空气的机械振动。介质的一切质点是以弹性力互相联系着的,某质点在介质内振动,能激起周围的质点振动。振动是一种很普遍的运动形式,物体在一定位置附近做周期性的往复运动叫作机械振动。例如:钟摆的来回摆动、活塞的往复运动都是机械振动。物体的机械振动是产生波的源泉,波的频率取决于物体的振动频率。频率范围在 $20 \sim 20\,000 \text{ Hz}$ 内的波称为可听声波,整个声波频谱是比较宽的,其中只有可听声波才能为人耳所听到,而次声、超声、特超声虽然属于声波,却不能为人耳所察觉。

在自然界存在着多种多样的超声波,如某些昆虫和哺乳动物就能发出超声波,又如风声、海浪声、喷气式飞机的噪声中都含有超声波成分。在超声测量中所使用的超声波是由压电晶体一类的材料制成的超声探头产生的。虽然人类听不到超声波,但不少动物却有此本领。它们可以利用超声波“导航”、追捕食物或避开危险物。夏天的夜晚有许多蝙蝠在庭院里来回飞翔,在没有光亮的情况下飞翔而不会迷失方向,究其原因,就是蝙蝠能发出 $2 \sim 10 \text{ 万 Hz}$ 的超声波,它们利用这种类似“雷达”的功能判断飞行前方是否有障碍物。

2. 振动与机械波

振动是声学的基础,只有声源的振动才能发射出声波。超声波与普通声波一样,是振动在弹性介质中的传播,因此机械振动源和弹性介质是超声波产生的物理基础。

机械振动中最简单的形式是一个自由的振动系统,如图 1-5 所示的一个弹簧振子,质量为 m 的元件置于光滑表面上,弹簧的弹性系数为 k 。如果系统具有一个初始位移,则必然有一个弹性力使系统产生振动。根据胡克定律,弹性力 $F_k = -k\xi$ 。也就是说,在弹簧的弹性限度内,弹性力 F_k 的变化与位移的变化成正比,弹性力的方向与位移方向相反。

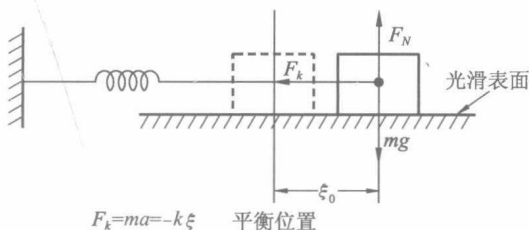


图 1-5 弹性质点振动系统

在物体振动过程中,只是系统自身在做能量的转换,由势能转化为动能。在平衡位置处,动能最大,势能为零;在最大振幅处,势能最大,动能为零。对于无阻尼的自由振动来说,振子的势能和动能的和保持恒定值,所以孤立质点的振动不会发生能量的传递。

但是,在连续的弹性介质中,当某一质点受到外界作用而在其平衡位置做机械振动时,通过质点间的弹性力作用,就会把这个振动传给与它相邻的质点,使后者也在自己的平衡位置附近振动。如此继续下去,机械振动就在整个媒质中传播开来,其能量在弹性介质中传播开来,从而形成机械波。

产生机械波必须有两个条件:产生振动的波源和能传播振动的弹性介质。固体、液体、气体都是弹性介质,都可以传播超声波,真空中没有介质存在,所以不能传播机械波,包括超声波。振动与波动是有区别的,振动是波动的根源,波动是振动状态和能量的传播。波动中,介质各质点并不随波前进,只是以交变的振动速度在各自的平衡位置附近往复运动。

3. 超声波的特点

与普通声波相比,超声波具有许多特性,其中最突出的有:

(1) 由于超声波的频率高,因而波长很短,它可以像光线那样沿直线传播,使我们有可能只向某一确定的方向发射超声波。

(2) 由超声波所引起的媒质微粒的振动,即使振幅很小,加速度也非常大,因此可以产生很大的力量。

(3) 我们可以利用超声波的特性来测量海底深度和探索鱼群、暗礁、潜水艇等。在工业上,则可以用超声波来检测金属内部的气泡、伤痕、裂隙等缺陷。在医学领域则可以用超声波来灭菌、清洗,更重要的用途是做成各种超声波治疗和检测诊断仪器等等。

二、超声波的定义

1. 概念

(1) 声波:是指振动在弹性介质中(固体、液体或空气等)的传播过程,其传播遵循波的反射和折射定律,并在一定条件下发生波的干涉和衍射现象。

(2) 周期(T):声波每往复一次的时间间隔,单位为 s。

(3) 频率(f):每秒钟振动的次数,单位为 Hz。

(4) 波长(λ):两个振动位相相同点之间的最小距离,单位为 m。

(5) 声速(c):声波在介质中的传播速度,单位为 m/s。

2. 声谱

声波按频率高低分为次声、可听声、超声和特超声,其范围如图 1-6 所示。

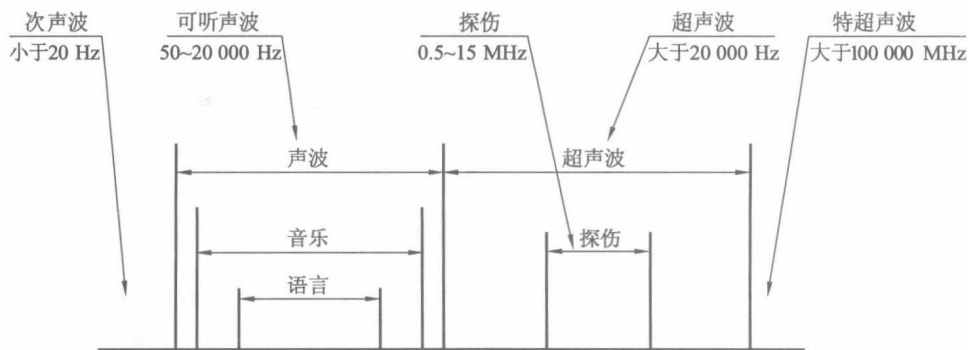


图 1-6 声谱简图

(1) 次声:是指低于人们听觉范围的声波,由于次声的波长很长,大气对次声波的吸收很小。次声可把自然信息(如火山爆发、地震等)传播到几千千米外,可用于气象探测、地震预报等。

(2) 可听声:是指人们用耳朵可以听见的声波,用于语言交流和文化传播。

(3) 超声:声波频率超过人耳听觉范围的频率极限,人们无法感觉到声波的存在。它可用于测量、加工、清洗、探伤、生物工程等方面。

(4) 特超声:是指高于超声频率上限的超高频波,可用于探索物质的微观结构。

三、超声波的分类

1. 质点振动方向和波传播方向的关系分类

根据波的传播方向与质点振动方向的关系不同,可分为纵波和横波。

(1) 纵波

质点振动的方向和波传播的方向一致的波叫作纵波(图 1-7)。它能在固体、液体和气体中传播。纵波会使质点之间产生压缩和膨胀,于是纵波又叫作压缩波。例如音叉在空气介质中振动所产生的声波[图 1-9(a)]。

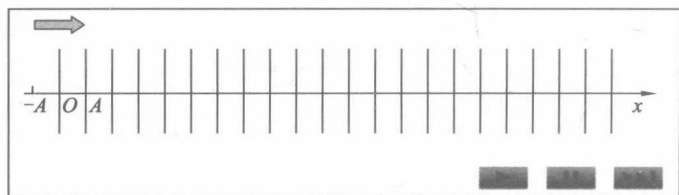


图 1-7 纵波

(2) 横波

如图 1-8 所示,质点振动方向与波的传播方向垂直的波叫作横波。它只能在固体和切变模数高的黏滞液体中传播,不能在其他液体及气体介质中传播,这是因为液体和气体无切变弹性。横波又叫切变波。一个典型的例子便是图 1-9(b)所示的软绳上的波,我们把软绳看成密集质点的集合,如果不断地摆动软绳的一头,则一系列的横向振动的波就由绳子的左端向右端移动,而绳上各质点并不随波的传播方向移动,只是在各自的平衡位置附近做横向(剪切形式)的振动。

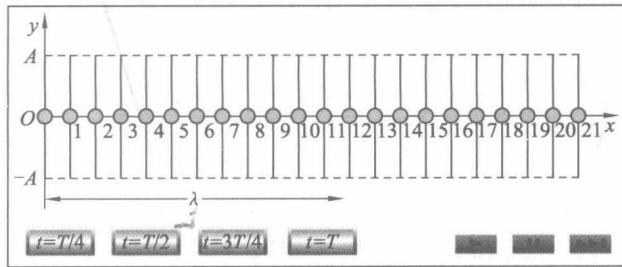


图 1-8 横波

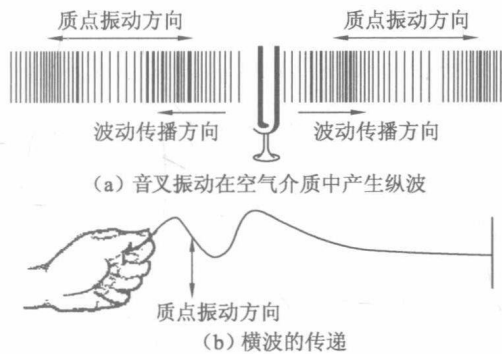


图 1-9 纵波与横波的传递

2. 按波阵面的形状分类

波从波源出发,在介质中向各个方向传播。在某一时刻,介质中周相相同的各点组成的面为波面。显然波面有无数个,最前面的一个波面,也就是波源最初振动状态传播的各点组成的面,通常又叫波阵面。波面有各种形状,分平面波、球面波和柱面波,如图 1-10 所示。

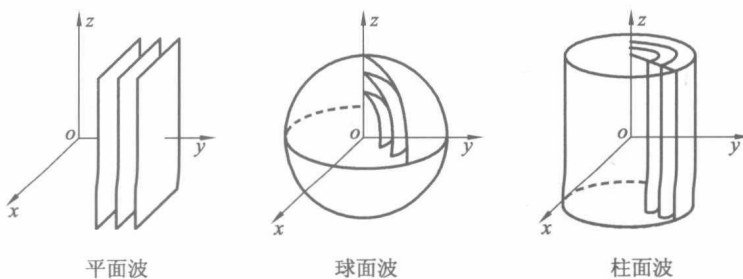


图 1-10 波面的类型

(1) 平面波

波阵面为互相平行的平面的波称为平面波。平面波的波源为一个平面。尺寸远大于波长的刚性平面波源在各向同性的均匀介质中辐射的波可视为平面波。平面波波束不扩散,平面波各质点振幅是一个常数,不随距离而变化。

平面波对于研究问题来说是最为简单的,超声诊断中,探头发射的超声波在近场可视为平面波,在远场可视为球面波(或球面的一部分)。但为了方便起见,我们把它都视为平面波。波动公式为:

$$y=A\cos \omega \left(t-\frac{x}{c}\right) \tag{1-5}$$

(2) 柱面波

波阵面为同轴圆柱面的波称为柱面波。柱面波的波源为一条线。长度远大于波长的线状波源在各向同性的介质中辐射的波可视为柱面波。柱面波波束向四周扩散,柱面波各质点的振幅与距离平方根成反比。波动公式为:

$$y=\frac{A}{\sqrt{x}}\cos \omega \left(t-\frac{x}{c}\right) \tag{1-6}$$

(3) 球面波

波阵面为同心圆的波称为球面波。球面波的波源为一点。尺寸远小于波长的点波源在各向同性的介质中辐射的波可视为球面波。球面波波束向四面八方扩散,球面波各质点的振幅与距离成反比。实际应用的超声波探头中的波源近似活塞振动,在各向同性的介质中辐射的波称为活塞波。当距离波源的距离足够大时,活塞波类似于球面波。

$$y=\frac{A}{x}\cos \omega \left(t-\frac{x}{c}\right) \tag{1-7}$$

3. 按振动的持续时间分类

根据波源振动的持续时间长短,将波动分为连续波和脉冲波。波源持续不断地振动所辐射的波称为连续波[图 1-11(a)]。超声波穿透法检测常采用连续波。波源振动持续时间很短(通常是 μs 数量级),间歇辐射的波称为脉冲波。目前超声波检测中广泛采用的就是脉冲波。

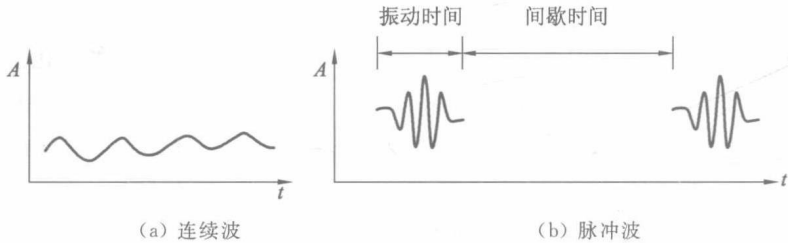


图 1-11 连续波与脉冲波

四、超声波的基本物理量

1. 声速

声波单位时间内在介质中传播的距离称为声速,用符号 c 表示,单位为 m/s 。声波的传播过程实质上是能量的传递过程,它不仅需要一定的时间,而且其传递速度的快慢还与介质的密度、弹性以及波动的类型有关,声速还受温度的影响。例如,气温为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,声速为 332 m/s ,气温每升高 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,则声速增加 0.6 m/s ,至 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,则为 341 m/s 。表 1-1 给出了与超声测量和诊断有关的介质中的声速。

表 1-1 在有关介质中的超声速度

介质	空气($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	石蜡油($33.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)	海水($30\text{ }^{\circ}\text{C}$)	生理盐水	血液	脑组织	脂肪	肌肉
传播速度/ $(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	332	1 420	1 545	1 534	1 570	1 540	1 476	1 568

2. 周期和频率

介质中的质点在平衡位置往返振动 1 次所需要的时间叫周期,用 T 表示,单位是秒(s);在 1 s 的时间内完成振动的次数称为频率,用 f 表示,单位为 Hz。周期与频率互为倒数关系,用公式表示为:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1-8)$$

超声测量常用的频率范围为 0.8~15 MHz,而最常用的为 2.5~10 MHz。

3. 波长

在一个周期内,声波所传播的距离就是一个波长,用 λ 表示。对于纵波,等于两相邻密集点(或稀疏点)间的距离,如图 1-12(a)所示。对于横波,则是从一个波峰(或波谷)到相邻波峰(波谷)的距离,如图 1-12(b)所示。

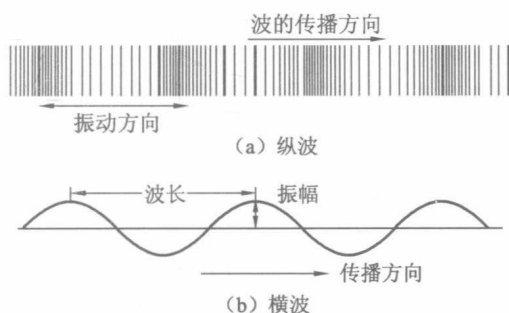


图 1-12 波长的定义

波长 λ 、声速 c 与频率 f 之间满足以下关系:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \quad (1-9)$$

五、超声的特性参数

由于超声波的波长短,超声波射线可以和光线一样,能够反射、折射,也能聚焦,而且遵守几何光学上的定律。即超声波射线从一种物质表面反射时,入射角等于反射角,当射线透过一种物质进入另一种密度不同的物质时就会产生折射,两种物质的密度差别愈大,则折射角也愈大。其特性参数有:

(1) 声压:由于声波振动引起附加压力的现象叫声压作用。纵波在弹性媒质内传播过程中,媒质质点的压强是随时间变化的,媒质质点的密度时密时疏,从而使平衡区的压力时强时弱,结果导致有波动时压强与无波动时压强之间有一定额压强差,这一波动压强称为声压。对于无衰减的平面余弦波,其声压计算公式为:

$$p = \rho c u \quad (1-10)$$

式中: p ——声压,Pa;

ρ ——介质密度,kg/m³;

u ——质点振动的速度,m/s。

(2) 声强:声强是表示声的客观强弱的物理量,在垂直于声波传播方向上,单位时间内单位面积上所通过的声能量称为声强,其计算公式为:

$$I = \frac{p^2}{2\rho c} \quad (1-11)$$

式中: I ——声强, W/m^2 。

声强与声源的振幅有关, 振幅越大, 声强也越大; 振幅越小, 声强也越小。由于声强的数量级相差悬殊, 常采用与标准声强之比的对数来表示, 称为声强级。

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (1-12)$$

式中: I_0 ——标准声强, $I_0 = 10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$;

L_I ——声强级, dB。

(3) 声特性阻抗: 表示声波在介质中传播时受到的阻滞作用, 在同一声压下, 特性阻抗越小, 质点振动的速度越大。单位面积的声特性阻抗计算公式为:

$$Z_s = \rho c \quad (1-13)$$

式中: Z_s ——声特性阻抗, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

声阻抗和电学中一个无限长、无损耗传输线的特性阻抗相似, 其中声压相当于电压, 振速相当于电流强度, 声阻抗相当于电阻。

六、超声波的传播特性

1. 超声波的指向性

超声波在介质内传播的过程中, 明显受到超声振动影响的区域称超声场(图 1-13)。超声场具有以下特点: 如果超声换能器的直径明显大于超声波波长, 则所发射的超声波能量集中成束状向前传播, 此现象称为超声的束射性(或称指向性)。换能器近侧的超声波束宽度与声源直径相近似, 平行而不扩散, 近似平面波, 该区域称近场区。近场区内声强分布不均匀。近场区以外的声波以某一角度扩散称远场区。该区声波近似球面向外扩散, 声强分布均匀, 但逐渐减弱。换能器的频率愈高, 直径愈大, 则超声束的指向性越好, 其能量越集中。

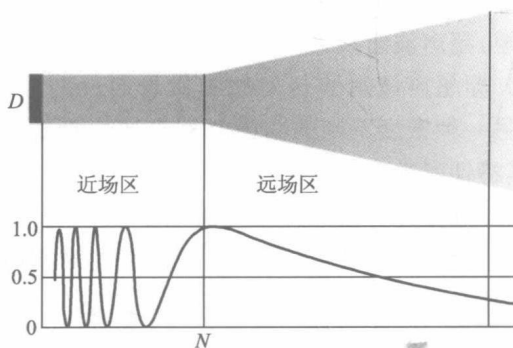


图 1-13 超声场

2. 声衰减

超声在介质中传播, 其能量将随着距离的增加而减小, 这种现象称为超声波的衰减。在声波的传播过程中, 随着传播距离的增大、杂质散射以及介质对声波的吸收等造成单位面积上的声压随距离的增大而减弱。这是因为声源在单位时间内发出的能量是一定的, 离开声源的距离越远, 能量的分布面也越大, 因此通过单位面积的能量就越小。对于

平面余弦波来说,声强衰减规律可用式(1-14)来表示:

$$I_x = I_0 e^{\alpha x} \quad (1-14)$$

式中: I_0 —— $x=0$ 处的声强, W/m^2 ;

I_x —— x 处的声强, W/m^2 ;

x ——声波传播的距离, m ;

α ——衰减系数。

3. 超声反射与折射

超声波在介质内传播不仅有衰减,同时还存在着反射、折射与透射现象,如图 1-14 所示。超声传播遵从反射和折射定律。

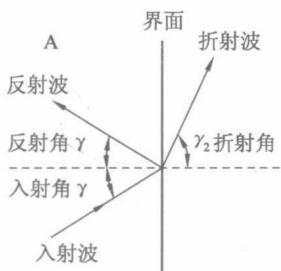


图 1-14 超声波的反射、折射

原介质中的超声波称为入射波,在分界面处入射波的能量一部分将产生反射,另一部分能量将通过界面后继续传播,这就是透射。透射的超声波传播方向与入射波的传播方向不同,因而这部分透射过的超声波又称折射波。入射波与界面法线的夹角叫入射角,反射波与界面法线的夹角叫反射角,入射角与反射角是相等的。这被称作超声波的反射定律。若入射波与界面是垂直的,则反射波即按入射波方向反射,故可以在超声波测量仪器中用一个探头,既发射超声波又接收反射波(回波)。折射波与界面法线的夹角称为折射角,入射角的正弦与折射角的正弦之比,等于入射波在介质中的声速与折射波在另一介质中的声速之比,这被称作超声波的折射定律。若入射波与界面垂直,透过界面的超声波的传播方向与入射波方向一致,即不产生折射。

4. 散射与绕射

超声波在传播时,遇到与超声波波长近似或小于波长(小界面)的介质时,产生散射与绕射。散射为小介质向四周发散超声,又成为新的声源。绕射是超声绕过障碍物的边缘,继续向前传播。散射回声强度与超声入射角无关。

七、超声波的应用

(1) 无损检测:利用固体材料的缺陷对超声信号反射的幅度和形状进行无损检测,例如对型钢、压力容器、机械部件和金属焊缝等内部的裂缝和杂质的检测,从而提高产品质量。

(2) 超声波清洗:超声波通过液体时,由于超声波的机械作用,液体受到交变声压的作用。各处压强交替变化,当声压为正压时,液体受到压缩;声压为负压时,液体受到牵拉。液体处于负压的足够拉力时,拉力超过其内聚力,液体就会被撕裂形成细微的空腔,称为“空化”。利用超声波在液体中的空化效应,在液体中局部产生高温、高压、电离和发