

声速测量实验中界面反射问题的探讨

张宝峰 刘裕光 张涛华

(天津大学理学院应用物理学系 天津 300072)

摘要:探讨在声速测量实验中,声波在发射器和接收器两个端面之间反射形成极大值的位置和条件,以及声波强度随距离变化的规律. 这有利于学生正确实验和理解声波特性.

关键词:声速;声波反射;驻波

Discussion on the interface reflection in experiment of measuring sound velocity

ZHANG Bao-feng LIU Yu-guang ZHANG Tao-hua

(Department of Applied Physics, School of Science, Tianjin University, Tianjin, 300072)

Abstract: In the experiment of measuring sound velocity, the positions and condition of formed maximum intensity, which is resulted from the sound wave reflected between the ends of the emitter and the receiver, are discussed. The regular pattern of sound intensity, as a function of the distance from the emitter, is researched. It is useful for students to test and understand the properties of sound wave.

Key words: sound velocity; reflection of sound wave; standing wave

1 前言

学生所做的声速测量实验^[1,2]装置如图 1 所示,由信号发生器发出的交变电讯号驱动发射器端面 A 发出声波,经空间传播到接收器端面 B,通过接收器把声波转换成交变电讯号输入示波器(即测量). 发射器与接收器置于同一导轨上,可移动接收器来改变 A 与 B 间距离. 当间距在某些值时,声波在 A 与 B 端面间反射形成稳定的驻波. 移动接收器可测出一系列强度(波幅)极大(或极小)值,相邻极大值间的距离为声波半波长 $\lambda/2$,读出频率 f 可计算得到波速 $v=f\lambda$.

在实际测量中发现,并非只有在半波长的整数倍的位置出现极大值. 在应该出现极大值

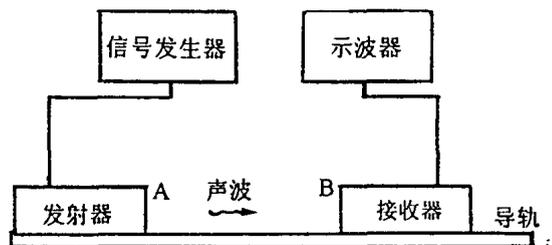


图 1 声波测量装置示意图

的位置之间还出现一些极大值,尤其是在 A 与 B 端面距离较小时更为明显. 这主要是由于声波在两端面间多次反射造成的,学生在实验时常把这些极大值测量进去,因此我们对其起因和特征进行了探讨. 我们测量了接收器在不同位置时的强度(波幅)值,如图 2 所示,由于测点

较稀(0.5mm 一个点,个别地方较密),有些小峰丢掉了,结果较粗糙,但上述现象已很明显。

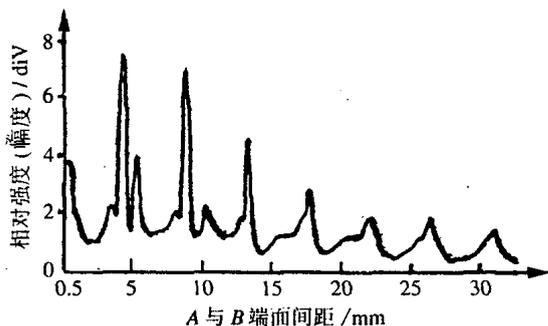


图2 接收器在不同位置时所测到的强度(波幅)值

2 分析与讨论

为了说明上述现象,首先来看声波在发射器和接收器间反射的情况,可用图3的波形图来说明。从接收器端面B反射回来的波(用虚线表示)到达发射器端面A,被反射后,将与由发射器发出的波(用实线表示)叠加,如果两者的相位相同,这会使测量点处(接收器端面B)的强度增强,形成极大值。反之,相位相反时,形成极小值。但由于反射波总小于发射波,故迭加后的极小值不可能为零。当两者相位既不相同又不相反时,上面所说的反射波和发射波迭加后,使得测得的强度值在极大值和极小值之间。显然反射波的相位与接收器的位置有关。图3中画出接收器位于 B_1 和 B_2 两个特定位置时的情况,可以看出,这时被发射器端面反射的反射波的相位都和发射波的相位相同,都会形成极大值。由于波的周期性,在类似这两点的位置上变化相同。这使得极大(或极小)值的变化周期与原波的半波长相同。

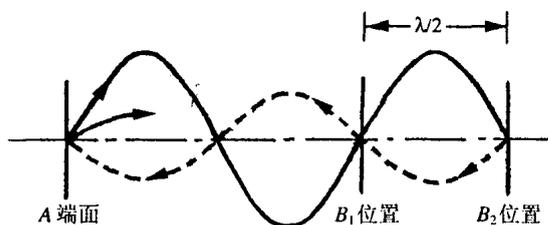


图3 端面反射波与端面透射波的叠加

万方数据

按上述说明只是考虑到B面反射到A面,又从A面反射(我们称其为1次反射,继续进行的反射依次为2,3次…或高次反射)并与此时发射波叠加的情况。没有考虑在这里声波是在两个端面之间反射,而且可有2次、3次…等高次反射,直到其强度衰减为零。考虑到高次反射,可有以下几种情形:

1)在间距为 $n\lambda/2$ 处,即1次反射波与发射波相位一致,则后面的2,3次…反射的所有反射波都一致,这是因为所说每次反射波实质上它经A和B面各反射一次,以至于相位变化只考虑间距,这里各反射波都走过波长整倍数的路程,所以在这些位置上是所有反射波与发射波的叠加,故其强度最大,称其为主峰。

2)在间距 $\frac{n\lambda}{2} \pm \frac{\lambda}{4}$ 处,发射波与2次反射波相位一致,也就是与1次反射波相位相反。这样,偶次反射波都与发射波相位相同,奇次反射波都与发射波相位相反。由于反射波总小于发射波,后次反射波强度总比前次反射小。所以此时合成波的强度最小,但不会为零。

3)在间距为 $\frac{n\lambda}{2} \pm \frac{\lambda}{6}$ 处,如果发射波与3次反射波相位相同,则发射波1,2和3次反射波相位依次相差 $\lambda/3$ 。4,5,6,7…等高次反射波会依次相应叠加在1,2,3次反射波上,然后有相位差地合成,也会出现局部的峰值(称为次峰)。显然,依次类推,发射波有与4,5次…等反射波相位相同的情况,还会分别出现强度加强的情况(称为再次峰),但其强度会越来越小。

如果只考虑上述因素,测量时改变A与B面间距应该出现许多强度加强的峰。但实际测到的只有距离近时才出现次峰和再次峰,而且有的再次峰根本就不出现。参见图2所示的实际测量结果。考虑到声波在反射中的损耗,则很容易理解只有一部分次峰出现的原因,因为有些形成次峰的反射或因反射次数太多或因反射走过的路程太长,损耗太大,其强度太小对合成峰的贡献可忽略。在这里造成损耗的原因主要有:

a. 在空气中传播,受空气分子的阻尼影

响,声波走过的距离越长损耗越大;

b. 与声波发射和反射的方向性即集束性有关.接收器接受的只是其中一部分,发射器与接收器距离越远,不能到达接收器而散失掉的波越多即损耗越大;

c. 反射面的损失.与形成界面的两种物质及表面光洁度有关,反射的次数越多,损耗越大.

由于存在上述损耗,对主峰来讲,峰值随着端面间距离的增大逐渐减小.对次峰及再次峰来讲也相应减小,因其本身就比较主峰小,所以主峰还能测到时,它们就已测不到了.况且形成次峰的反射波反射次数较多且反复反射走过的路程也 longer,两者同时损耗,使得次峰很快就测不到了,再次峰更是如此.因此只有在 A 与 B 面较近时才能测到次峰,更近时才能测到再次峰.这是由于距离小时,发射端面和接收端面很近,使得散到外面的波很少,形成次峰的反射波走过的距离较短,故次峰能观测到.后面随着两个端面间距离的增大,波散失掉的愈来愈多,反射波走过的路程越来越远,损耗增大,则次峰不再出现,只剩下主峰.

许多峰的出现就产生了如何鉴别的问题.可以从强度上来分析.主峰是所有反射波与发射波同相相加,而次峰是 $3n$ 次反射波与发射波同相相加,然后与 n 次、 $2n$ 次反射波有相位差的叠加,显然对同级(n 一定)来讲次峰强度明显低于主峰.那么次峰的强度比后一级的主峰又如何呢?后级主峰和前级次峰相比,发射波最大多走 $2\lambda/3$,前级次峰虽少走这个距离,但形成次峰的 1 级和 2 级反射波都与发射波成 120° ,即其作用是降低这个峰的,这个反相抵消

的作用比主峰多走这个距离衰减是大得多的,实际测量也可证明这个问题.

按照上述分析与讨论,声波强度随空间距离减小,主峰高度随距离增大而变低;在距离很小时,有次峰和再次峰出现在主峰之间,它们的峰高度都比左右近邻的主峰小;在距离较小时,再次峰消失,仍有次峰出现,其峰高度比左右近邻的主峰仍小;在距离较远时,只有主峰,其峰高度逐渐变小,更远时主峰也不出现.在我们的设备上详细测量也证实了上述分析,参见图 2.在 2cm 间距范围内,主峰之间存在次峰,但峰值的大小比相邻的峰值小,因此很好鉴别.随间距增大主峰越来越小,到 20cm 间距时主峰也不易测到了.

因此在用驻波法测波长时,不但要测量极大值的位置,也要看一下极大值的幅度.当由近及远测量时,如果测到一个极大值的幅度比前一个极大值小时,不一定是主峰;如果测到的极大值比后一个极大值小时,则肯定此峰不是主峰.只有比前面峰小,而比后面所有峰都大的峰才是主峰.这样就可以鉴别测量是否正确了.

通过以上的分析和讨论可看出,声速测量实验中的声波在两端面间多次反射会造成各种极大值现象,弄清它们出现的条件,可使同学更深刻认识和理解声波的波动特性和传播特性.

3 参考文献

- 1 王惠棣,任隆良等.物理实验.天津:天津大学出版社,1997.159
- 2 郑伯玮.大学物理实验.北京:高等教育出版社,1989.143

(2001-03-12 收稿)