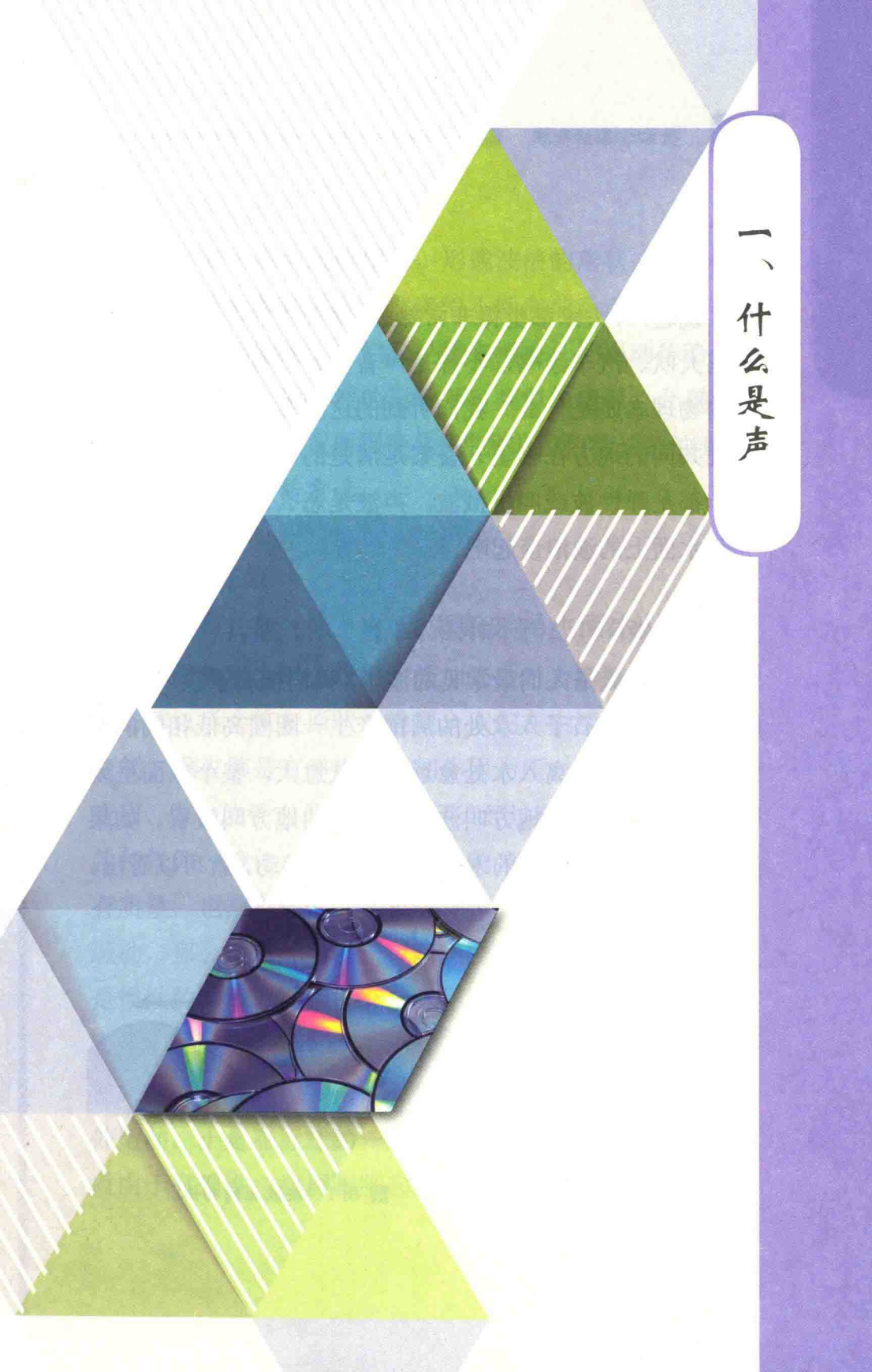


一、什么是声





说起声，大家都觉得非常熟悉。每天听的广播、人讲话、鸡鸣犬吠、汽车轰鸣，不都是声音吗？但有没有想过，声音的物理本质是什么？我们听到的这些多种多样的声音，它们共同的地方在哪里？答案是清楚的，就是它们都是声波，都是弹性波或叫机械波。声波是怎么回事呢？让我们先从水面上的波浪谈起吧。

（一）从水面上的波浪说起

水波大概是人们最常见的波了。我们把石子投入水中，就可以看到在石子入水处的周围产生一圈圈高低相间的圆圈，逐渐扩展，离入水处愈远圆圈就愈大，整个水面呈现波纹形状，凸出的地方叫波峰，凹下的地方叫波谷。如果在水面上放一块小小的木片，观察它的运动，就可以看出，波动水面上的每一个质点，实际上都在围绕自己原来所在的位置在垂直面内做上下运动，并不向外漂浮，而波却向四周传播开来，如图 1。风吹过

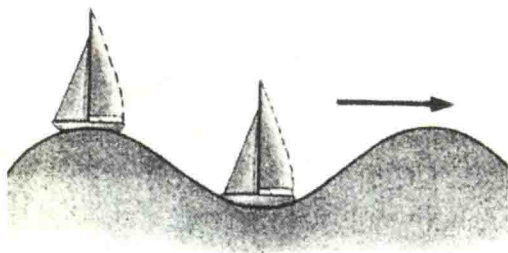


图 1 波浪上的物体



麦田时，麦子也会起伏摆动，形成波浪的形状，人们管它叫麦浪。我们都知道，虽然麦浪不断向前运动，但是麦子是不会向前运动的，它们只是摆来摆去，把振动传给邻近的麦子。实际上所有波的运动都有类似的情况，介质只是不断地在原来的位置周围变化，并把能量传给相邻的介质，但变化和能量愈传愈远。

（二）弹性波

空气和其他气体、液体、固体一样都具有弹性，也就是具有施加压力时会收缩、施加张力时会膨胀、压力和张力去掉以后会恢复原状的性质。人们在生活中都会感觉到空气、橡皮等是有弹性的，如你用力压一个皮球，它就会变扁，你一放手它又变成圆的了。经过科学测量可以知道，各种气体、液体、固体都有一定的弹性，并且这些物体都有质量，也都有惯性。如果对物体施加一定的外力使物体运动，那么，当外力停止以后，物体还会继续运动，这就是惯性的作用。在弹性介质中，不管是在气体、液体还是固体中，如果有一个球突然膨胀，它就会推动周围的介质，使之向外运动。但介质是有惯性的，受推之后不会立即向外运动，于是靠近球的一层介质就被压缩成密层。这层介质由于有弹性，会再膨胀起来，使相邻的外层介质压缩，



相邻的外层介质又会膨胀，使更外一层的介质压缩……这样，在介质中就会出现弹性波，密层和疏层相间，一层一层地传向远方，这就是声波。声音在空气中的传播速度是 330 米 / 秒，在水中的传播速度是 1500 米 / 秒，在钢块中的传播速度是 5000 米 / 秒。

物体每秒振动的次数叫频率，单位是赫兹，简称赫，这是为纪念证明电磁波存在的德国科学家赫兹而定的。古人说“耳听之而成声”，这说得不全。人耳可以听到的最低频率是 20 赫，20 赫以下的声波人耳是听不到的，人们把它叫作次声波。20 千赫（2 万赫）以上的声波人耳也听不到，人们把它叫作超声波。目前我们知道的最低的次声频率为 0.0001 赫，最高的超声频率为 10^{13} 赫，接近晶格振动的频率。所以我们都说知道声，许多人知道的只不过是人耳能听到的 20 赫到 20000 赫在空气中传播的声波，从频率上没有包括 0.0001 赫到 20 赫和 20000 赫到 10^{13} 赫的声波，而且只包括在空气中传播的声波，没有包括在其他气体、液体和固体中传播的声波。我们在本书后面就会看到，在某种意义上这些听不见的声波比在空气中人能听得见的声波还要重要。

声波还有一个重要的参数，那就是波长。水面波浪的两个波峰或两个波谷之间的距离就是波浪的波长。而在声



波中，两个相邻密层或疏层之间的距离就是声波的波长。

（见图 2）波长与声速成正比，与频率成反比。

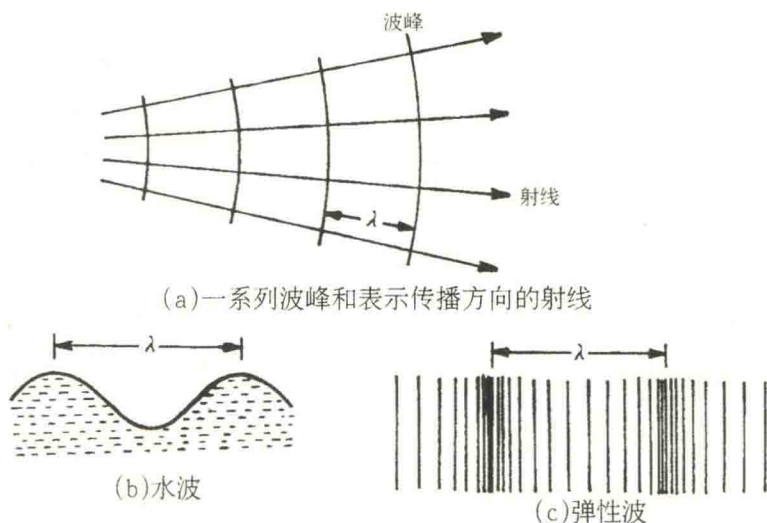


图 2 弹性波和水波

（三）声强和声压

声波的强弱是由它所携带的能量大小决定的。在与波传播方向垂直的面上，画一个 1 厘米大的小框框，每一秒钟通过小框框的能量就是声波的声强。声波在传播的时候，介质中的压力有扰动，有变化，这个交变的压力就是声压。声压的单位是帕斯卡，简称帕，也就是一个大气压的十万分之一。实际上我们遇到的声波的交变压力，在绝大多数



情况下，和一个大气压相比要小得多。

我们周围的声音是怎样产生的

在日常生活中，我们看惯了许多现象。比如说敲钟，钟会响；敲锣，锣会响；吹笛子，笛子也会响；风吹树叶，哗啦啦响；风吹电线，也会呜呜地响。这些现象都有一个共同点，就是物体的振动。不管是什么原因，只要物体振动，就会发出声音。固体振动会发声。钟、锣被敲击之后发生振动，振动推动周围的空气，产生声波。人吹笛子或管乐器，使空气柱振动，推动周围的空气，产生声波。在气体或液体高速运动时，流体内部是混乱的，不单向一个方向流动，也有向各方向的混乱运动，这叫湍流。湍流也会发声。巨大的喷气式飞机、火箭发出的声音，就是由强大的湍流产生的。（图3）风扇的螺旋桨发出声音，是因

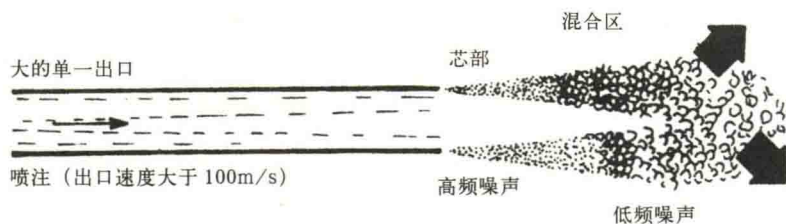


图3 喷注噪声



为叶片周期性地推挤空气或水，发出周期性的脉动声音。流水叮咚响，是因为水流过石头，产生气泡，气泡在水中振动发出声音。电视机、收音机里的喇叭之所以发声，是因为喇叭有一个音圈，电流通过在磁场中的音圈时，音圈推动纸盆振动，纸盆推动空气发声。变压器之所以嗡嗡地响，是因为变压器的线包里通过的交变电流产生的交变磁场使变压器铁芯发生振动，进而推动空气发声。这种由于磁场变化使某些金属发生伸缩振动的现象叫作磁致伸缩现象。总之，使物体振动的原因可能是多种多样的，但是只要物体振动，不管是固体、液体还是气体，振动就会发声，只不过有些声的频率在人们的听觉范围内，我们听得见，有些声的频率在人们的听觉范围之外，我们听不见罢了。

（四）振动

既然声是由振动产生的，我们就要先弄清振动是怎样发生的。一般来说，常见的振动有自由振动、强迫振动和自持振动。

一个摆，用手推一下，它就会离开垂直的平衡位置，来回地摆动，摆动的幅度愈来愈小，最

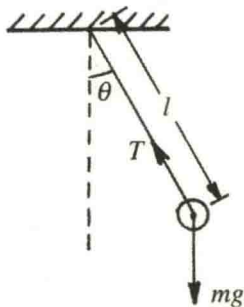


图4 摆的振动



后又回到平衡位置。(如图4)一根弹簧下面挂一个重锤,用手向下拉一下重锤,放开手,重锤就会上下振动。(如图5)

这种振动系统的特点是受到力后它们往复一次的时间是固定的。反过来说,每个单位时间振动的次数,也就是频率,是固定的。另一个特点,就是它们振动的幅度,总是愈来愈小。这种振动叫作自由振动。自由振动的频率是系统的固有频率。

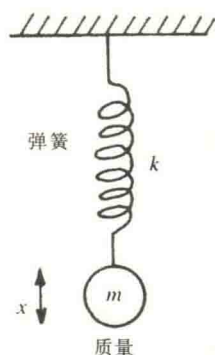


图5 重锤的振动

上面说的自由振动是最简单的振动系统,我们平时遇到的振动系统要复杂得多。比如一根弦,拨一下它就会振

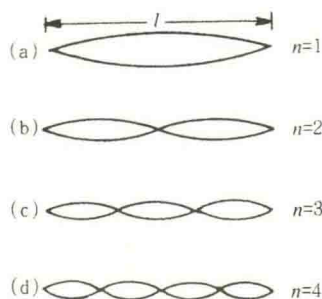
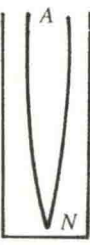
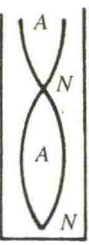
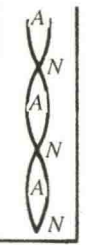
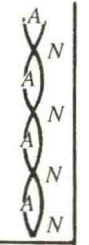


图6 张紧弦的振动方式

动,但它的固有频率不止一个,而是很多个。(图6)最低的固有频率叫基频,较高的叫二次泛音、三次泛音、四次泛音……管乐器是靠空气柱振动发声的,它们也同样有基频、二次泛音、三次泛音……这些泛音和基频之



表1 闭管中空气振动的模式

振动速度模式 A——波腹 N——波节	 基频	 第一泛音	 第二泛音	 第三泛音
波长 λ	$4l$	$\frac{4l}{3}$	$\frac{4l}{5}$	$\frac{4l}{7}$
频率 f	n	$3n$	$5n$	$7n$

间都是整倍数关系，见表1。如果是板，就像锣，振动起来更为复杂。

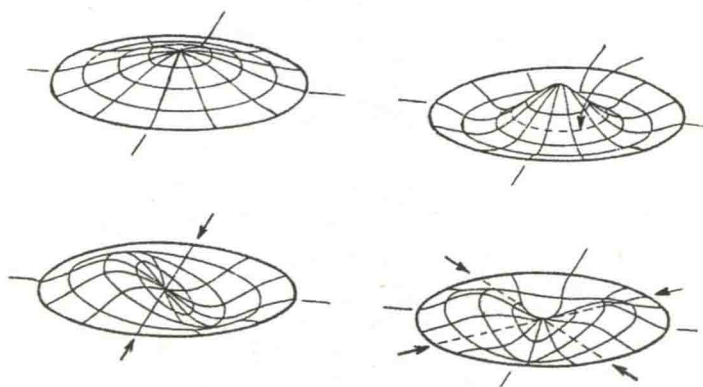


图7 圆板的振动



敲一下圆板，它的振动方式有好多种，也相应有好多种固有频率，这些频率之间并不是整倍数关系。图7是圆板的振动情况。

要使振动持续不断，就要周期性地不断加上推动力。在周期作用力的作用下，物体就按推动力的频率振动，这叫强迫振动。推动力可以是机械力，可以是电磁力，也可以是压电效应的力。下面要讲的压电晶体振子、磁致伸缩振子都是这样振动的。如果外加力的频率和系统的固有频率一致，振动的幅度就会很大，好像人在荡秋千一样，秋千每荡过来就跟着推一下，秋千就会愈荡愈高，这种状态叫谐振状态。如果推动力的频率与系统固有频率不一样，荡的幅度就小。各种振动系统在这方面的特性是不一样的，



图8 玻璃杯产生谐振而碎



谐振状态下振动幅度很大，效率很高，有时还有破坏性，能使振动系统毁坏。比如说一个高脚玻璃杯，有它自己的固有频率，拿一个喇叭按照这个频率对它用力吹，玻璃杯的振动幅度会愈来愈大，最后就振碎了。（图8）1940年美国建成的塔科马海峡吊桥（Tacoma Narrows Bridge），由于风吹，产生自持振动，自持振动的频率正好和桥的固有频率一致，振动幅度就愈来愈大，最终这座大桥在建成4个月后振塌了，这就是谐振的作用。

发声系统的大部分工作在谐振状态，目的是取得高效率。有的系统要求不同，比如扬声器，人们要求它对各个频率的发声能力一样，就不希望它谐振，从而把振动系统做得频率很宽，使固有频率在使用范围以外。这当然也不是件简单的事。

还有一种办法可产生持续的振动，就是不加周期性的力，而是加一个单方向的力，振动系统可以自动地把单方向的力转化为振动所需的力。比如说用弓拉弦，弓是朝一个方向借助摩擦力拉弦，拉到一定程度，摩擦力维持不住了，弦和弓就会脱离。这样弦在被拉的地方就会发生锯齿性振动，这种振动叫自持振动。管风琴的发声也是自持振动，固定的气流从风琴口出来，产生旋涡，旋涡引起空气柱的振动，空气柱谐振时控制旋涡的脱落。（图9）风吹电

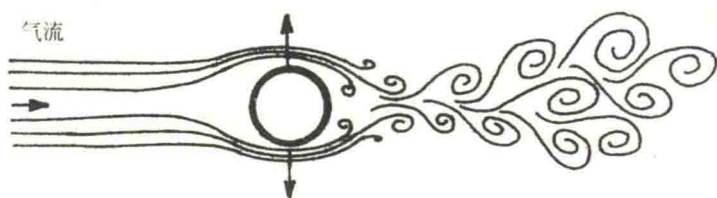


图9 交互发生的旋涡

线时，在电线两边不断有小旋涡脱落，由于力量不平衡，电线在与风吹方向垂直的方向来回振动，电线就变成了一根弦，发出呜呜的声音。大家如果有兴趣，在流水中垂直插下一根木棒，就可以看到水中有旋涡一左一右地脱落，手上也会感到一左一右的推力。

（五）运动物体发出的声音

声音在空气中传播的速度是 330 米/秒。普通的火车如果时速是 100 千米/时，那就接近 30 米/秒，是声速的 $1/10$ 。超音速飞机的速度可以达到声速的几倍，子弹就更快了。这些运动的物体发出的声音有什么不同呢？我们在火车站如果遇到一列火车迎面开来，而且鸣笛，就可以听到车开过来时笛声的声调高，经过我们身边时声调会突然降低。这种现象叫多普勒现象。为什么会有多普勒现象呢？道理很简单，我们来看一下图 10，如果物体不动，声音

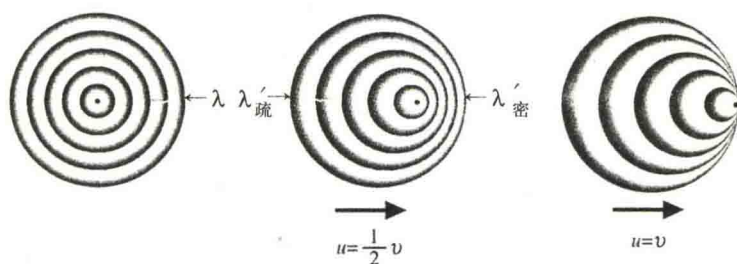


图 10 运动物体的发声

向各方向传播的速度是一样的，如果向右方运动，可以看出，在某一时刻，它在原始位置发出的声音传到的位置与不动时没有区别，物体向右移动了一些，声波到这个时刻就比不移动时更接近右侧，更远离左侧。再向右一些，也有同样的现象，结果是右侧的声波波峰、波谷就更密，而

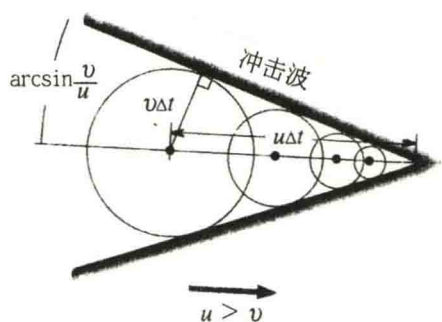


图 11 冲击波

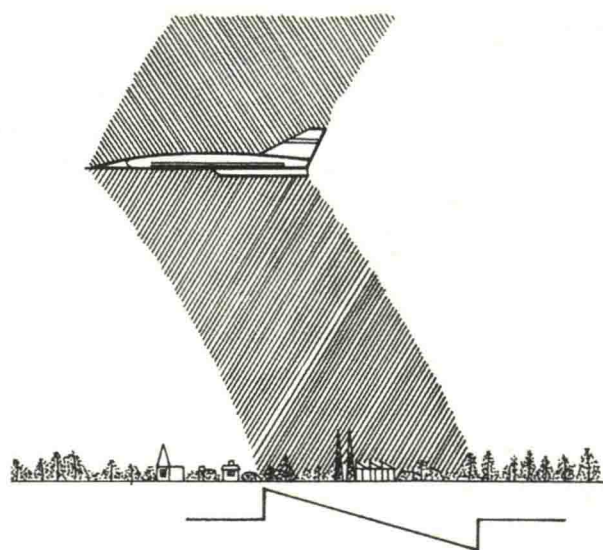


图 12 超音速飞机发出的轰声

左侧的波峰、波谷就更稀。右侧的人听起来声音就高，而左侧的人听起来声音就低。

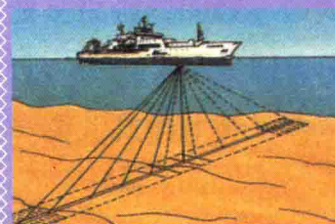
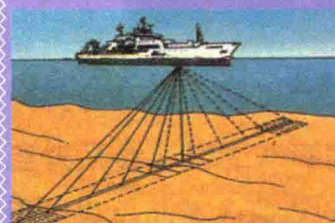
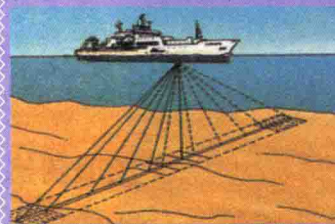
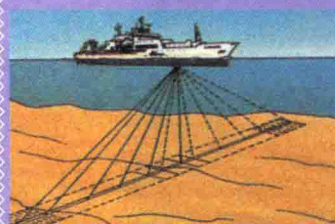
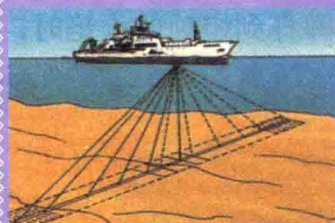
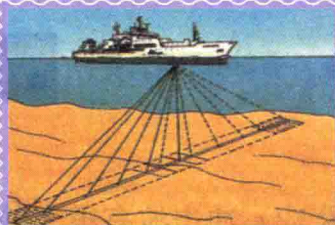
如果物体运动的速度和声速一样，那么右侧的声音音调就会高得不得了。我们要问，如果物体运动的速度比声速快又会怎样呢？可以看一下图 11，如果声波始终不能跑出以运动体为顶点的锥体，这样的声波叫冲击波。冲击波是很强烈的波。假如有一架超音速飞机从我们头顶上飞过，飞机飞在我们头顶上时我们还听不到声音，飞机飞过一会儿我们才听见两声巨响，震耳欲聋，以后就再也听不



到声音了，这种声音叫作轰声。（图 12）冲击波有很大的力量，从图 13 中可以看见当一颗子弹打到蜡烛的火焰时，冲击波把火焰都推歪了。



■ 图 13 子弹的冲击波



01 故事开始音画播放，背景音乐

响起，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

开始，画面开始同步灯光变化，幕式

二、声是怎样传播的

