# 第三章 4 波的干涉

## 问题？

在平静的水面上，下落的雨滴激起层层涟漪，形成了复杂而美丽的图案。这种图案是怎样产生的？



要研究上述问题，我们需要先了解一个现象——波的叠加。

## 波的叠加

在介质中常常有几列波同时传播。两列波相遇时，会不会像两个小球相碰时那样，改变各自的运动特征呢？

### 演示

**观察波的叠加现象**

在一根水平长绳的两端分别向上抖动一下，在绳上分别产生相向传播的两列波（图 3.4-1甲）。

观察两列波的传播情况（图 3.4-1）。

甲

1

2

2

1

2

1

1

2

2

乙

丙

丁

戊

1

图 3.4-1 波的叠加

可以发现，两列波在彼此相遇并穿过后，波的形状和相遇前一样，传播的情形也和相遇前一样（图 3.4-1 戊）。生活中常见的水波也是如此，两列水波相遇后彼此穿过，仍然保持各自的运动特征，继续传播，就像没有跟另一列水波相遇一样。

事实表明，几列波相遇时能够保持各自的运动特征，继续传播，在它们重叠的区域里，介质的质点同时参与这几列波引起的振动，质点的位移等于这几列波单独传播时引起的位移的矢量和（图 3.4-1 丙）。

“保持各自的运动特征”指的是各自的波长、频率等保持不变，不因其他波的存在而受影响。

## 波的干涉

两列周期相同的波相遇时，在它们重叠的区域里会发生什么现象？我们先观察，然后再作解释。

### 演示

**观察水波的干涉**

水槽中，波源是固定在同一个振动片上的两根细杆，当振动片振动时，两根细杆周期性地触动水面，形成两个波源。这两个波源发出的是频率相同的波。两列波的振动方向也相同，水面质点的振动都沿上下方向。由于两根细杆是同步振动的，所以它们振动的相位差保持不变（总是 0）。

这两列波相遇后，在它们重叠的区域形成如图 3.4-2 所示的图样：水面上出现了一条条相对平静的区域和激烈振动的区域，这两类区域在水面上的位置是稳定不变的。

图 3.4-2 水波的干涉图样



怎样解释上面观察到的现象呢？

如图 3.4-3，用两组同心圆表示从波源发出的两列波，蓝线圆表示波峰，黑线圆表示波谷。蓝线圆与黑线圆间的距离等于半个波长，蓝线与蓝线、黑线与黑线之间的距离等于一个波长。

S1

S2

M

N

弱

强

波峰

波谷

强

强

强

强

弱

弱

弱

*λ*

图 3.4-3 波的干涉的示意图

如果在某一时刻，一列波的波峰与另一列波的波峰在水面上的某点（例如图中的M点）相遇，也就是说，两列波在这里引起的振动的相位相同，那么经过半个周期，一定是波谷与波谷在这里相遇。波峰与波峰相遇时，质点向上的位移最大，等于两列波的振幅之和；波谷与波谷相遇时，质点的位移尽管是向下的，但也是最大，也等于两列波的振幅之和。又由于两列波在这点的相位差保持不变，因此，在这一点，两列波引起的振动总是相互加强的，质点的振幅最大。

如果在某一时刻，两列波的波峰与波谷在水面上的某点（例如图中的N点）相遇，也就是说，两列波在这里引起的振动的相位相反，相互削弱；经过半个周期，变成波谷与波峰在这里相遇，两列波在这一点引起的振动仍然相互削弱。又由于两列波在这点的相位差保持不变，所以它们在这点引起的振动总是相互削弱的。如果两列波的振幅相同，质点的位移之和就总等于 0。

在图 3.4-3 中，蓝线圆与蓝线圆的交点或者黑线圆与黑线圆的交点，是振动的加强区，它们连成的区域用红实线画出；蓝线圆与黑线圆的交点为振动的减弱区，它们连成的区域用红虚线画出。从图3.4-3中可以看出，情况与实验结果是一致的。

在上面的实验中，两个波源的频率是相同的。如果两列波的频率不同，在相互叠加时，波中相遇区域的各个质点的振幅会随时间变化，不会出现振动总是加强与总是减弱的区域。

同时，在上面的实验中，两个波源的相位差是保持不变的。如果两波源的相位差随时间变化，波中相遇区域的各个质点的相位差会随时间变化，同样不会出现振动总是加强与总是减弱的区域。

另外，在上面的实验中，两列波在相遇区域各质点引起的振动方向也应该总是相同的。否则也不会出现振动总是加强与总是减弱的区域。

可见，频率相同、相位差恒定、振动方向相同的两列波叠加时，某些区域的振动总是加强，某些区域的振动总是减弱，这种现象叫作波的**干涉**（interference）。形成的这种稳定图样叫作干涉图样。

不仅水波会发生干涉现象，声波、电磁波等一切波，只要满足上述条件都能发生干涉。跟衍射一样，干涉也是波特有的现象。

### 做一做

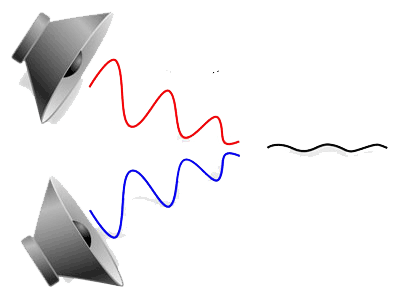
**声音的干涉**

安装两个相同的扬声器，并且使它们由同一个信号源带动，发出相同频率的声音。同学们分成两组，手持不同颜色的标志（如 A 组持白，B 组持黑），分散在两个扬声器之间，注意听扬声器发出的声音，并且小范围地移动。A 组同学移动到声音最大位置停住，B 组同学移动到声音最小（或听不到声音）位置停住。找到位置后都把标志举起，看看 A 组和 B 组同学所在位置的分布有什么规律。

## STSE

**主动降噪技术**

噪声会影响我们的日常生活，人们通常在声源处、传播过程中以及人耳处采取措施，以控制噪声。声音是一种波，通过波的干涉能够起到消音的作用。这一原理使我们可以主动出击，通过发出与噪声振幅、频率相同，相位相反的声波来消灭噪声（图 3.4-4）。



噪声源

反噪声

合成后的声音

图 3.4-4 消声原理

具有主动降噪功能的耳机就是根据这一原理制成的。简单来说，在耳机内设有麦克风，用来收集周围环境中的噪声信号，在此基础上，耳机的处理器能够预测下一时刻噪声的情况，并产生相应的抵消声波。为了保证降噪质量，耳机内还设有另一个麦克风来检测合成后的噪声是否变小。这时，处理器会根据这个麦克风的测量结果，对处理过程不断优化，进一步降低合成后的噪声音量，达到最佳的降噪效果，使人们更好地欣赏音乐或是进行通信等活动。

主动降噪技术使我们摆脱噪声的困扰，它不仅能够营造安静的生活氛围，而且能够在机场等强噪声场景下保护人们的健康（图 3.4-5）。



图 3.4-5 佩戴耳机保护听力

## 练习与应用

本节共 4 道习题，分别从不同角度强化了学生对波的干涉的认识。第 1 题与第 2 题分别从时间与空间两个维度考查学生对干涉图样的认识。第 3 题理论联系实际，考查学生对消声原理的认识。第 4 题更进一步考查波的干涉的定量计算。

1．图 3.4-6 表示两列频率相同的横波相遇时某一时刻的情况，实线表示波峰，虚线表示波谷。

M

N

图 3.4-6

（1）描述一个周期内 M、N 两个质点的运动情况。

（2）用空心小圆圈把半个周期后图中具有最大正位移的点标出来，用实心小圆点把半个周期后图中具有最大负位移的点标出来。

（3）把图中比较“平静”的地方用虚线标出来。

**参考解答**：1．（1）M 质点此刻处于波峰，以后一个周期内上下振动，N 质点一直处于静止状态（假定两列波的振幅相同）。如果两列波的振幅不相同，N 质点还是会有小幅振动。

（2）如图 3-7 所示。

M

N

P

K

Q

（3）如图 3-7 所示。

2．在图 3.4-6 所描述的时刻， M 是波峰与波峰相遇的点，是凸起最高的位置之一。

（1）随着时间的推移，这个凸起最高的位置在向哪个方向移动？是不是 M 质点在向那个方向迁移？ M 质点在哪个方向上运动？

（2）指出图中哪个位置是凹下最低的位置（只需指出一个）。随着时间的推移，这个凹下最低的位置在向哪个方向移动？

（3）由图中时刻经过 时，M 质点的位移有什么特点？

**参考解答**：（1）如图 3-7 所示，凸起的最高点在图中由 M 向 P 移动。M 点并不随波迁移，而只在垂直于纸面的方向上运动。

M

N

P

K

Q

（2）图中 K 点是凹下最低的位置；凹下最低的位置由 K 向 Q 移动。

（3）位移为 0。

3．消除噪声污染是当前环境保护的一个重要课题，内燃机、通风机等在排放各种高速气流的过程中都会发出噪声，图 3.4-7 所示的消声器可以用来削弱高速气流产生的噪声。波长为 *λ* 的声波沿水平管道自左向右传播，在声波到达 a 处时，分成上下两束波，这两束声波在b 处相遇时可削弱噪声。试说明该消声器的工作原理及要达到良好的消声效果必须满足的条件。

图 3.4-7

a

b

**参考解答**：在声波到达 a 处时，分成上下两束波，这两束声波频率相同，假设它们分别通过 *r*1和 *r*2 的路程后再在 b 处相遇，只要保证 *r*2 – *r*1 等于半波长 的奇数倍，在 b 处声波干涉就会出现振动减弱，即可削弱噪声。

4．波源 S1 和 S2 振动方向相同，频率均为 4 Hz，分别置于均匀介质中的 A、B 两点处，AB = 1.2 m，如图 3.4-8 所示。两波源产生的简谐横波沿直线 AB 相向传播，波速为 4 m/s。已知两波源振动的初始相位相同，求 A、B 间合振动振幅最小的点的位置。

图 3.4-8

A

B

S1

S2

**参考解答**：距 A 点分别为 0.35 m、0.85 m 的两处位置。

提示：根据公式 *v* = *λf* 可求出波长 *λ* = 1 m，假设振幅最小的点 P 到 A 点距离为 *x*，则 P 到两波源的波程差 Δ*x* = | *x* − （1.2 − *x*）| = （2*n* + 1），其中 *n* 为整数且 0 < *x* < 1.2 m，可得 *x* = 0.35 m 或 0.85 m。