# 第三章 2 波的描述

## 问题？

观察水波，可以看出波在空间、时间上具有周期性，我们能否用图像的方法来描述一列波呢？如果能，坐标轴表示的是什么物理量？



过去我们研究的是单个质点的运动情况，用 *x*-*t* 图像可以很方便地描述质点在任意时刻的位移。而波却是很多质点的运动，在同一时刻各个质点的位移都不尽相同，不方便用 *x*-*t* 图像来描述。能否用其他的图像来描述波呢？我们以横波为例研究波的图像。

## 波的图像

图 3.2-1 是根据一张绳上横波的照片画出的图，记录了绳上各质点在该时刻的具体位置。如果建立直角坐标系，把该时刻绳上各质点的具体位置反映在坐标系中，就可以得到这一时刻绳子上波的图像。

图 3.2-1 绳上的横波

在图 3.2-2 中，用横坐标 *x* 表示在波的传播方向上绳中各质点的平衡位置，纵坐标 *y* 表示某一时刻绳中各质点偏离平衡位置的位移。我们规定，位移向上时 *y* 取正值，向下时 *y* 取负值。

图 3.2-2 横波的图像

*y*

*O*

*x*

把平衡时位于 *x*1 ， *x*2 ， *x*3 ，… 的质点的位移 *y*1 ， *y*2 ， *y*3 ，… 画在*Oxy* 坐标平面内，得到一系列坐标为（*x*1，*y*1），（*x*2，*y*2），（*x*3，*y*3），… 的点，这些点的集合就是这一时刻波的图像。波的图像有时也称波形图。

如果波的图像是正弦曲线，这样的波叫作正弦波，也叫**简谐波**（simple harmonic wave）。可以证明，介质中有正弦波传播时，介质的质点在做简谐运动。

简谐波的波形图与质点的振动图像都是正弦曲线，但它们的意义是不同的。波形图表示介质中的“各个质点”在“某一时刻”的位移，振动图像则表示介质中“某一质点”在“各个时刻”的位移。

我们可以形象地说：波的图像是“照相式”的，而振动图像是“录像式”的。

## 波长、频率和波速

在上节图 3.1-2 中，从 *t* = 0 到 *t* = *T* 这段时间里，由质点 P0 发出的振动传到质点 P8 ，使质点 P8 开始振动。这时质点 P0 恰好结束了一次全振动而开始下一次全振动，此后质点 P0 和质点 P8 的振动步调完全一致。也就是说，这两个质点振动的相位相同，它们在任何时刻对平衡位置的位移的大小和方向总是相同的。同样，质点 P1 和 P9 、P2 和P 10 ……它们每一对在振动中的相位也总是相同的。

在波的传播方向上，振动相位总是相同的两个相邻质点间的距离，叫作**波长**（wave length），通常用 *λ* 表示（图3.2-3）。

*y*

*λ*

*λ*

*λ*

图 3.2-3 波长

*O*

*x*

在横波中，两个相邻波峰或两个相邻波谷之间的距离等于波长。在纵波中，两个相邻密部或两个相邻疏部之间的距离等于波长。

在波动中，各个质点的振动周期或频率是相同的，它们都等于波源的振动周期或频率，这个周期或频率也叫作波的周期或频率。在图 3.1-2 中，由质点 P0 发出的振动，经过一个周期传到质点 P8 ，也就是说，经过一个周期 *T*，振动在介质中传播的距离等于一个波长 *λ*，所以机械波在介质中传播的速度为

*v* =

而 *f* = ，所以上式也可以写成

*v* = *f λ*

机械波在介质中的传播速度由介质本身的性质决定，在不同的介质中，波速是不同的。声速还与温度有关，表中列出了 0 ℃ 时声波在几种介质中的传播速度。

|  |  |
| --- | --- |
| 0 ℃ 时几种介质中的声速 *v*/（m·s-1） | |
| 空气 | 332 |
| 水 | 1 450 |
| 铜 | 3 800 |
| 铁 | 4 900 |
| 玻璃 | 5 000 ～ 6 000 |
| 松木 | 约 3 320 |
| 软木 | 430 ～ 530 |
| 橡胶 | 30 ～ 50 |

### 思考与讨论

图 3.2- 4 中实线为 *t* = 0 时刻的波形图，虚线为 *t* = 0.1 s 时刻的波形图。据此能否判定波的传播方向？

*y*

*O*

*x*

图 3.2-4 不同时刻的波形图

### 【例题】

图 3.2-5 中的实线是一列正弦波在某一时刻的波形图。经过 0.5 s 后，其波形如图中虚线所示。设该波的周期 *T* 大于 0.5 s。

图 3.2-5 一列正弦波的波形图

*x*/cm

60

12

0

48

24

36

*y*

波

峰

2

波

峰

3

波

峰

1

（1）如果波是向左传播的，波的速度是多大？波的周期是多大？

（2）如果波是向右传播的，波的速度是多大？波的周期是多大？

**分析** 这列波的周期大于 0.5 s，所以经过 0.5 s 的时间，这列波传播的距离不可能大于一个波长 *λ*。当波向左传播时，图中的波峰 1 只能到达波峰 2，而不可能向左到达更远的波峰。当波向右传播时，图中的波峰 1 只能到达波峰 3，而不可能向右到达更远的波峰。

已知波传播的时间 *t* = 0.5 s，由图可以知道波的传播距离，由公式 *v* = 就能够求出波的传播速度 *v*。

由图又可以知道波长 *λ*，由公式 *v* = 就能够求出周期 *T*。

**解** （1）如果波是向左传播的，从图 3.2-5 看出，虚线所示的波形相当于实线所示的波形向左移动了 6 cm（个波长），由此可求出波速的大小

*v* = = m/s = 0.12 m/s

波的周期为

*T*= = s = 2.0 s

（2）如果波是向右传播的，从图 3.2-5 看出，虚线所示的波形相当于实线所示的波形向右移动了 18 cm（个波长），由此可以求出波速的大小

*v* = = m/s = 0.36 m/s

波的周期为

*T*= = s = 0.67 s

## 练习与应用

本节共 6 道习题。第 1 题通过作图让学生掌握判断波动中质点速度方向的基本方法，第 2 题考查学生对波动中质点振动的理解，第 3 题引导学生进一步认识波传播方问与质点振动方向的联系，第 4 题重点考查振动图像与波的图像的区别与联系，第 5 题考查波速、波长、频率三者间的关系，让学生掌握波由一种介质进入另一种介质时频率不变的特点，第 6 题训练学生解决实际问题的能力。

1．图 3.2-6 为一列沿 *x* 轴正方向传播的简谐波在初始时刻的波形，试画出该简谐波经过极短一段时间后的波形图，并确定初始时刻图中 A、B、C、D 四个质点的振动方向及这段时间内质点速度大小的变化情况。

A

B

C

D

*O*

*x*

*y*

图 3.2-6

**参考解答**：波形图如图中虚线所示，A 质点振动方向沿 *y* 轴负向，振动速度变大；B 质点振动方向沿 *y* 轴正向，振动速度变小；C 质点振动方向沿 *y* 轴正向，振动速度变大；D 质点振动方向沿 *y* 轴 负向，振动速度变小。

提示：把实线波形沿波的传播方向向右平移极小一段距离，如图中虚线所示。以 B 点为例，因 B 点运动到了 B′ 点，故 B 点在 *t* = 0 时刻沿 *y* 轴正方向运动，该质点这段时间内速度变小。

B

*O*

*x*

*y*

B′

2．简谐横波某时刻的波形如图 3.2-7 所示，P 为介质中的一个质点，波沿 *x* 轴的正方向传播。

P

*x*

*y*

*O*

*A*0

*−A*0

图 3.2-7

（1）此时刻与 *T* 时刻，质点 P 的速度与加速度的方向各是怎样的？

（2）经过一个周期，质点 P 通过的路程为多少？

（3）有同学说由此时刻起经过 *T* 后，质点 P 通过的路程为 *A*0 ，你认为这种说法对吗？

**参考解答**：（1）质点 P 此时刻的速度沿 *y* 轴的正方向，加速度沿 *y* 轴的负方向；时刻质点 P 的速度与加速度都沿 *y* 轴的负方向。

（2）4*A*

（3）不对

3．图 3.2-8 是一列波的图像。

*x*

K

L

M

*y*

*O*

图 3.2-8

（1）如果波沿着 *x* 轴的正方向传播，K、L、M 三个质点，哪一个最先回到平衡位置？

（2）如果波沿着 *x* 轴的负方向传播，K、L、M 三个质点，哪一个最先回到平衡位置？

**参考解答**：（1）如果波沿着 *x* 轴的正方向传播，K 点最先回到平衡位置。

（2）如果波沿着 *x* 轴的负方向传播，M 点最先回到平衡位置。

4．一列横波某时刻的波形如图 3.2-9 甲所示，图 3.2-9 乙表示介质中某质点此后一段时间内的振动图像。

*x*

K

L

M

N

*O*

*y*

*x*

*O*

*y*

甲

乙

图 3.2-9

（1）若波沿 *x* 轴的正方向传播，图乙为 K、L、M、N 四点中哪点的振动图像？

（2）若波沿 *x* 轴的负方向传播，图乙为 K、L、M、N 四点中哪点的振动图像？

**参考解答**：（1）若波沿 *x* 轴的正方向传播，图乙为 L 点的振动图像。

（2）若波沿 *x* 轴的负方向传播，图乙为 N 点的振动图像。

5．在空气中波长为 1 m 的声波，由空气传入水中，声波在水中的频率和波长各是多少？（此时温度为 0 ℃）

**参考解答**：频率为 332 Hz，波长约为 4.4 m。

6．湖面上停着 A、B 两条小船，它们相距 20 m。一列水波正在湖面上沿 AB 连线的方向传播，每条小船每分钟上下浮动 20 次。当 A 船位于波峰时，B 船在波谷，两船之间还有一个波峰。求水波的波速。

**参考解答**：4.4 m/s