# 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

# 第 2 节 波的描述 教学建议

## 1．教学目标

（1）能用描点法作横波的图像，理解波的图像的物理意义。

（2）理解波长、频率和波速的意义及其关系。

（3）能判断波的传播方向和质点的振动方向。

## 2．教材分析与教学建议

波的描述是本章的教学重点和难点。教材首先介绍了图像法，然后再介绍波长、频率和波速等物理量，为用解析法描述波打好基础。教学中应根据实际情况，采用多种教学手段，如通过波动演示箱或者利用多媒体动画课件模拟演示各个时刻的波形，帮助学生在头脑中形成正确的物理图景。以横波为例说明波的图像的物理意义，通过这一过程提高学生的抽象思维能力。

教材重点说明波的图像表现的是各个质点在某一时刻偏离平衡位置的位移。对此，学生在初学时并不容易理解，波的图像与某时刻横波的形状相似，但波的图像的意义究竟是什么？首先要让学生弄清波的图像中横、纵坐标各表示什么物理量，理解波形图中各点所表示的是质点相对平衡位置处的位移，最高（低）位置表示质点位移达到最大。在学习用图像法描述波以后，要让学生切实理解波长、频率和波速是描述波的特性的物理量，能用这些物理量描述机械波。在学生认识波长、频率和波速三者的关系后，应进一步加深对波的图像的认识。在本节课后，学生应能从波的图像中获取相关信息，对有关问题进行分析和推理，并能解释生产生活中的有关现象。

### （1）问题引入

学生在上一节内容中已经学习了绳波、水波等机械波的形成，对这些波有了直观的感受。但对于如何描述这些波，学生尚缺乏具体的方法。教材在节前“问题”中提出：“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？”帮助学生在脑海中形成对波形的构思，再进一步提问：“如果能，横、纵坐标轴表示的是什么物理量？”引导学生将实际问题的对象和过程转换成横波模型。

### （2）波的图像

**教学片段**

**波的图像**

机械波是机械振动在介质里的传播，从波源开始，随着波的传播，介质中的大量质点先后振动起来。虽然这些质点都在平衡位置附近重复波源的振动，但由于它们振动步调不一致，所以，在某一时刻介质中各点对平衡位置的位移各不相同。为了从整体上形象地描绘出波的运动情况，可以应用波的图像来刻画。

教师播放横波形成的模拟动画。

问题 1．在平面直角坐标系中，要描述传播机械波的介质中各质点的空间位置，横、纵坐标应分别表示什么物理量？怎样得到波的图像？

分析：横坐标表示在波的传播方向上各质点的平衡位置与参考点（常常取波源处）的距离，纵坐标表示某一时刻各质点偏离平衡位置的位移。也就是说，横坐标和纵坐标都是空间坐标，而且是同一时刻的空间坐标。连接各位移矢量的末端所得到的曲线就是波的图像，如教材图 3.2–2 所示。

问题 2．横波的图像与波的形状有何区别？

分析：横波的图像又叫波形图，从教材图 3.2–1 与图 3.2–2 的比较中可以看出，横波的图像与波的形状相似，但二者实质上是不同的。波的图像是一种数学函数图像，它的长短、高低完全取决于坐标尺度的选取；而波的形状不会因坐标尺度的选取不同而改变。纵波的图像和纵波的形状则毫无形似。所以，波形图并不反映实际的波的形状。

如果波的图像是一条正弦或余弦曲线，那么这样的横波称为简谐波。简谐波是最简单的一种波，各个质点振动的最大位移值都相等，介质中的质点做简谐运动。

问题 3．波的图像具有怎样的物理意义？

分析：波的图像表示介质中各质点在某一时刻偏离平衡位置的位移的空间分布情况。不同时刻，质点振动的位移不同，因此，对应的波的图像也是不同的。

在上一章中学生学过振动图像，本节学习了波的图像后，学生对两种图像难免会产生混淆，教师需要引导学生对这两种图像进行区别。学生已经接触过 *x*–*t* 图像、*v*–*t* 图像等，它们与振动图像一样，反映的都是物理量随时间的变化，然而波的图像描述的是某一时刻在空间不同位萱的介质各个质点偏离平衡位置的位移。

机械波在传播时，介质中每个质点都发生了振动，质点的位移随时间发生变化，并且具有时间上的周期性。同时，质点的位移随空间发生变化，并且具有空间上的周期性。经过一个周期后，各个质点的振动状态会重复出现。

教材特别指出波的图像表示介质“各个质点”在“某一时刻”的位移，振动图像则是介质中“某个质点”在“各个时刻”的位移。教材指出“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。”两种图像的详细对比如表 3–2 所示。

表 3–2 振动图像与波的图像的比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 比较项目 | 振动图像 | 波的图像 |
| 研究对象 | 一个质点 | 波的传播方向上的所有质点 |
| 研究内容 | 某质点位移随时间变化的规律 | 某一时刻各个质点的位移分布规律 |
| 坐标 | 位移、时间 | 位移、空间位置 |
| 图像变化 | 随时间推移图像延续，但已经画出的形状不变。 | 不同时刻的波的图像一般不同，随时间推移，图像沿传播方向平移。 |
| 周期性 | 曲线的一个完整变化在横坐标上的距离表示振动的一个周期，即 *T*。 | 曲线的一个完整变化在横坐标上的距离表示振动在一个振动周期中传播的距离，即波长。 |

### （3）波长、频率和波速

除了图像法外，还可以用解析法描述波。在学生学习了波的图像的基础上，教师可通过波动演示箱模拟演示波源振动一个周期形成的波形，并结合动画或课件来帮助学生认识波长、频率和波速，让学生对用解析法描述渡所需要的物理量有一个初步的认识。对于波长的定义，教材提出在波的传播方向上，振动相位总是相同的两个相邻质点间的距离叫作波长。关于波长还有如下几种说法。

①在横波中，两个相邻波峰（或波谷）之间的距离等于波长。

②在纵波中，两个相邻密部（或疏部）之间的距离等于波长。

③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*。

教学中应引导学生进行分析比较，加深对波长这一概念的认识。

关于周期和频率，教师可以从波的成因引导学生思考波源的振动周期（频率）与波的周期（频率）的关系，要让学生清楚地认识到波源以某一频率振动后，在波的形成过程中，介质中的质点也依次以这个频率振动，说明介质中的质点的振动频率也叫波的频率，波的频率与介质无关。

波速概念的学习可以进一步深化学生的运动观念。经过一个周期 *T*，即波源每做一次全振动，振动在介质中向前传播的距离等于一个波长 *λ*，从而让学生在波动问题中应用熟悉的匀速运动模型，得出波传播的重要公式 *v* = = *λf*。公式中 *v*、*λ*、*f* 三个量相互关联，学生容易错误地认为只要改变其中一个量就会影响其他两个量，教师应结合教材给出的“0 ℃ 时几种介质中的声速”列表，举例说明波速是由介质本身决定的，与 *T*，*λ* 无直接关系。波在不同介质中的波速不同，波长由波速和频率共同决定。

教师应充分利用教材“思考与讨论”和“例题”栏目，引导学生对不同方向传播的波进行科学推理，还可将不同时刻、不同方向传播的波的波形在同一个画面中展现给学生，让学生认识波的时间和空间周期性，认识波的传播方向、某时刻的波形与该时刻各质点的振动方向之间的关系。

**教学片段**

**对波传播方向与质点振动方向的判断**

一、已知波的传播方向，判断质点的振动方向

如图 3–4 所示，横波向右传播，此时 A、B、C、D 四点的振动方向分别指向哪里？

分析：已知该列横波向右传播，将波形向右平移极小一段距离（如图中虚线所示）。以 B 点为例，下一时刻 B 点运动到了 B′ 点，故 B 点此时向上运动。同理，可以判断 A、D 点向下运动，C 点向上运动。

二、已知质点的振动方向，判断波的传播方向

图 3–5 为一横波在某一时刻的波形图，A 是波上的一点，在该时刻 A 正向上振动，则这列波朝哪个方向传播？

 

分析：因为 A 点向上运动，下一时刻的波形图应如图中虚线所示，由此可以判断波源在 A 点的右边，即此列波是从右向左传播的。

## 3．“练习与应用”参考答案与提示

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．波形图如图 3–6 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。

B

*O*

*x*

*y*

B′

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。

2．（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．（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．（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．频率为 332 Hz，波长约为 4.4 m。

6．4.4 m/s