第二节

机械波的描述

无论探测水下潜艇位置的声呐，或是用于医疗诊断的 B 超；还是监测地震的设备，它们的工作原理都与波的特性有关。

波在介质中传播时，不同位置的质点都在振动。波是大量质点的集体运动，用振动图像分别描述每个质点的运动不仅繁琐，而且不能反映波的整体性质。波传播时，介质中不同位置质点的振动规律虽然相同，但彼此间的步调并不一致，某一时刻各质点相对平衡位置的位移在传播方向上具有空间周期性。是否可以用某一时刻介质中各质点在空间的分布规律描述波的特性呢？

## 波的图像

我们以横波为例。通过观察波在弹性绳中的传播，可以发现横波沿绳传播的过程中，绳的形状每时每刻都在变化，波峰与波谷互相间隔的波形由近及远地沿着绳传播。此时，若拍一张照片就能记录下该时刻的波形，如图 3–9（a）、（b）所示。波形描述了某一时刻介质中所有质点的位置，即所有质点相对其平衡位置的位移，是介质运动的整体表现。

0.6

0.9

*x*/m

*y*/m

0.3

0.1

−0.1

*O*

（a）

（b）

（c）

图 3–9 绳波的波形与波形图

用横坐标 *x* 表示波的传播方向上各个质点的平衡位置坐标，用纵坐标 *y* 表示某时刻各质点相对平衡位置的位移，由此可得介质中各质点的位置坐标，这些点的集合就是这个时刻波的图像，称为波形图。图 3–9（c）所示即为某时刻绳波的波形图。

当波沿某一方向传播时，后一时刻的波形可视为前一时刻的波形沿传播方向的平移，而平移的距离就是波在这两个时刻之间传播的距离。

## 描述波的物理量

当机械波在介质中沿某一确定方向传播时，由于介质中的质点都做与波源相同的振动，各质点具有与波源相同的振幅、周期或频率。波源的振幅、周期或频率就是该波的振幅、周期或频率。波的周期是介质中任意一个质点完成一次全振动所需要的时间，用符号*T* 表示，单位是秒（s）。波的频率是介质中任意一个质点完成全振动的次数与所用时间之比，用符号 *f* 表示，单位是赫兹（Hz）。周期和频率互为倒数，即 *T* = 。

如图 3–10 所示为一列横波在不同时刻的波形。1 ~ 19 为介质中间隔相等的质点。当质点 1 振动一个周期完成一次全振动时波刚好传到质点 13，质点 13 开始振动。此后两者的振动情况完全一致，它们在任意时刻相对平衡位置的位移和速度的大小和方向总是相同的。仔细观察还会发现，质点 2 与质点 14、质点 3 与质点 15 的振动完全相同，即每一个质点均能找到与其振动情况相同的质点。

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

波的传播方向

*t =* 0

*t = T*

*t = T*

*λ*

图 3–10 波形图中振动相同的质点

我们把振动在介质中经过一个周期 *T* 传播的距离称为**波长（wave length）**，用符号 *λ* 表示，单位为米（m）。

在一列波中，如果两个质点的平衡位置间的距离为一个波长，它们的振动情况总是相同的。对于横波，相邻波峰或者相邻波谷间的距离等于波长，如图 3-10 所示；对于纵波，相邻疏部或者相邻密部间的距离等于波长。

周期和波长分别描述了机械波在时间和空间上的周期性。

机械波在均匀介质中沿传播方向匀速传播，其传播速度称为**波速（wave speed）**，用

符号 *v* 表示。波速 *v* = ，Δ*x* 是波传播的距离，Δ*t* 是波传播距离 Δ*x* 所需要的时间。

由于每经过一个周期振动在介质中的传播距离为一个波长，波速也可以表示为 *v* = 或 *v* = *λf*。

机械波的频率由波源决定，波速由介质决定，波源和介质共同决定了机械波的波长。

示例 开始计时时，*x* = 0 处的波源由平衡位置开始沿 *y* 方向振动，产生的波沿着 *x* 轴正方向传播。*t*1 = 0.3 s 的波形如图 3–11 所示。求这列波的振幅 *A*、波长 *λ*、波速 *v*、周期 *T*，并画出 *t*2 = 0.5 s 时的波形。

0.8

2.0

*x*/m

*y*/m

0.4

0.3

−0.3

*O*

0.2

1.0

1.2

1.4

1.6

1.8

0.6

*v*

图 3–11 *t*1 = 0.3 s 时刻的波形图

**分析**：从波形图获得振幅与波长的大小，利用波长、波速、周期间的关系可以得到其他所求的量。根据波的传播特点确定某时刻的波形。

**解**：由图 3–11 可知，这列波的振幅

*A* = 0.3 m

由于波经过 0.3 s 沿 *x* 轴正方向传播了 *λ*，历时 *T*，

则 *λ* = 1.2 m

得 *λ* = 1.6 m

由 *T* = 0.3 s

得 *T* = 0.4 s

由 *v* = 可知

*v* = = m/s = 4 m/s

由上述计算可知，波传播的过程中，波形以 4 m/s 的速度沿着传播方向匀速平移。经过Δ*t* =

 *t*2 − *t*1 = 0.5 s − 0.3 s = 0.2 s，波向右传播的距离 Δ*x* = *v*Δ*t* = 4×0.2 m = 0.8 m = *λ*。

所以，波形向右传播了 *λ*，由此可得 *t*2 = 0.5 s 时的波形如图 3–12 所示。

0.8

2.0

*x*/m

*y*/m

0.4

0.3

−0.3

*O*

0.2

1.0

1.2

1.4

1.6

1.8

0.6

*v*

图 3–12 *t*2 = 0.5 s 时刻的波形图

大家谈

你能根据图 3–11 中的波形图确定波源的起振方向吗？在 0.3 s 和 0.5 s 两个时刻，0.8~1.2 m 间各个质点是远离平衡位置还是向着平衡位置方向运动？

**问题 思考**

**与**

1. 用手握住水平长绳一端以周期 *T* 连续上下抖动，形成沿绳传播的一列横波。如图 3–13 所示为某一时刻的波形。质点 *a* 处于波谷位置，质点 *b* 恰好位于平衡位置。若质点 *a*、*b* 开始振动的时刻分别为 *t*1、*t*2，则 *t*1 − *t*2 为多少？

*a*

*b*

图 3–13

1. 空气中的声速小于水中的声速，声波由空气进入水中时波长如何变化？并说明理由。
2. 甲、乙两同学在讨论机械波的波长时，甲认为波源振动的振幅越大，形成的机械波波长越长；乙认为波源振动的频率越高，形成的机械波的波长越短。这两种观点对吗？为什么？
3. 如图 3–14 所示为一列波速为 2.0 m/s 的横波在某一时刻的波形图，该波的振幅、频率分别是多少？

3.0

*x*/m

*y*/cm

1.0

0.2

−0.2

*O*

0.5

4.5

1.5

2.0

4.0

3.5

2.5

图 3–14

1. 如图 3–15 所示为一列周期为 0.4 s 的横波在 *t* = 0 时刻的波形图。此时质点 *M* 正经过平衡位置沿 *y* 轴负方向运动，画出 *t* = 0.5 s 时的波形图。

15

25

*x*/cm

*y*/cm

45

0.1

−0.1

*O*

5

20

40

35

10

30

55

50

*M*

图 3–15

1. 如图 3–16 所示，图（a）和图（b）中图线的形状相同，一个是某一时刻的波形图，另一个是该波传播过程中波源的振动图像。你能分辨出哪一个是波形图，哪一个是波源的振动图像吗？根据图像中的信息你能找出这列波的波长、周期和波速吗？

*x*/m

*y*/m

0.1

−0.1

*O*

2.0

0.2

−0.2

4.0

6.0

8.0

10.0

（a）

（b）

图 3–16

*t*/s

*y*/m

0.1

−0.1

*O*

2.0

0.2

−0.2

4.0

6.0

8.0

10.0

### 本节编写思路

本节以绳波为例，形成波的图像。通过图像分析和演绎推理相结合的方法，深化对机械波传播规律的认识。本节内容按以下思路展开：

1．观察绳波在不同时刻的波形，建立波的图像，了解其物理意义。

2．用周期（频率）、波长、波速来描述波动现象，推导这些量之间的定量关系。

3．利用波的图像及波速与波长、周期（频率）的关系，分析解决与波的传播和质点振动相关的问题。

学习本节内容，将根据绳波的波形与质点振动的关系建立波的图像，利用波的图像和相关物理量描述波动现象，用示例示范问题的解决方法。在此过程中，深化对机械波的认识，强化时空观念和发展科学推理能力。

### 正文解读

在波传播过程中，介质中每个质点的运动和大量质点集体运动之间有联系也有区别，引入本节关于机械波描述的内容。

通过两个时刻波形的对比，引导学生认识同一时刻的波形反映了介质质点集体的运动状态，不同时刻波形的差异反映了波形随时间平移的结果，由此建立横波的图像。

对纵波来说，虽然介质中各质点的振动方向与波的传播方向在同一直线方向上，同样可以用模坐标 *x* 表示各质点平衡位置的空间分布，用纵坐标 *y* 表示同一时刻各质点偏离各自平衡位置的位移，就得到与横波类似的波的图像。

这里说介质中的质点具有与波源相同的振幅，其前提是不计介质中的能量损耗。

本段体现了每个质点振动的时间周期性和大量质点在某一时刻空间位置分布的周期性之间的关系，即个体与整体的关系。

通过本示例可知，利用波的图像解决问趣的关键是明确介质中质点的振动与机械波传播之间的关系。解题时需要关注：（1）从图像中获取信息；（2）波动的空间周期性；（3）波形随时间变化的规律。

此处设置“大家谈”的目的，是在“示例”的基础上，了解在波形图上根据机械波的传播方向判断质点振动方向的方法，巩固对介质中质点的振动与机械波传播之间关系的认识。

### 问题与思考解读

1．参考解答：由图 3 – 13 可知，质点a、b 平衡位置之间的距离为 *λ*，质点a、b 开始振动的时刻之差 *t*1 – *t*2 = − *T*，负号表示质点 a 先于质点 b 开始振动。

命题意图：知道波长 *λ*，能知道两质点平衡位置之间的距离与波长的关系；知道波长、波速及传播距离的关系。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅱ）；科学推理（Ⅰ）。

2．参考解答：波的频率由波源决定，可知声波由空气进入水中，频率不变。根据波速与频率、波长的关系：*v* = *λf*。声波由空气进入水中，波速变大，所以波长变大。

命题意图：知道波传播的频率由波源决定，波速由介质决定；能根据 *v* = *λf* 的关系做出判断。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

3．参考解答：甲、乙两人的观点均不正确。波速由介质决定，频率由波源决定。波长由波速和频率共同决定，即与波源和介质都有关，与振幅无关，所以甲的观点不对。若在同种介质中，波速一定，频率越高则波长越矩。乙同学没有说明在同种介质中，所以乙同学的观点也不正确。

命题意图：知道波传播的频率由波源决定，波速由介质决定；并能用简洁的语言表述。

主要素养与水平：科学论证（Ⅱ）；质疑创新（Ⅲ）。

4．参考解答：由教材图 3 – 14 可知，振幅 *A* = 0.2 cm，波长 *λ* = 2.0 m。根据 *v* = *λf*，代入数据可得频率 *f* = 1 Hz。

命题意图：在图像中提取合理的信息，知道 *v* = *λf*，并做出简单的推理。

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）。

5．参考解答：如图 2 所示，根据 M 点此时的运动方向，可知波由左向右传播。由图3 – 15 可知波长 *λ* = 20 cm，由题意知周期 *T* = 0.4 s，波速 *v* = = m/s = 0.5 m/s。则 *t* = 0.5 s 时的波形为将原波形向右平移 25 cm。也可根据 0.5 s = 1*T*，则 0.5 s 时的波形为将原波形向平移 1*λ*。

15

25

*x*/cm

*y*/cm

45

0.1

−0.1

*O*

5

20

40

35

10

30

55

50

图 2

命题意图：根据恰当的证据，结合波与振动之间的关系，做出推理。

主要素养与水平：运动与相互作用观念（Ⅲ）；科学推理（Ⅲ）。

6．参考解答：图 3 – 16 （a）为波形图，图 3 – 16 （b）为振动图像。由图（a）可知，波长 *λ* 为 4 m；由图（b）可知，周期 *T* 为 4 s，波速 *v* = = m/s = 1 m/s。

命题意图：通过比较相似图像，了解图像表达的意义

主要素养与水平：科学推理（Ⅱ）；证据（Ⅰ）。