

## 第 12.2 节 机械波

INCLUDEPICTURE,

## 要点一 波的形成与传播

(1)在波动中, 振动相位总是相同的两个相邻质点间的距离叫波长。

(2)波传到任意一点, 该点的起振方向都和波源的起振方向相同。

(3)介质中每个质点做的都是受迫振动, 所以任一质点的振动频率和周期都和波源相同。

因此可以断定: 波从一种介质进入另一种介质, 由于介质的情况不同, 它的波长和波速可以改变, 但频率和周期都不会改变。

(4)振源经过一个周期  $T$  完成一次全振动, 波恰好向前传播一个波长的距离, 所以有  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ 。

(5)质点振动  $nT$  (波传播  $n\lambda$ ) 时, 波形不变。

(6)相隔波长整数倍的两质点, 振动状态总相同, 相隔半波长奇数倍的两质点, 振动状态总相反。

**[典例]** 平衡位置处于坐标原点的波源  $S$  在  $y$  轴上振动, 产生频率为 50 Hz 的简谐横波向  $x$  轴正、负两个方向传播, 波速均为 100 m/s。平衡位置在  $x$  轴上的  $P$ 、 $Q$  两个质点随波源振动着,  $P$ 、 $Q$  的  $x$  轴坐标分别为  $x_P = 3.5$  m、 $x_Q = -3$  m。当  $S$  位移为负且向  $-y$  方向运动时,  $P$ 、 $Q$  两质点的( )

- A. 位移方向相同、速度方向相反    B. 位移方向相同、速度方向相同  
C. 位移方向相反、速度方向相反    D. 位移方向相反、速度方向相同

**[针对训练]**

1. (多选)如图 12-2-1 所示,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  是均匀媒质中  $x$  轴上的四个质点, 相邻两点的间距依次为 2 m、4 m 和 6 m。一列简谐横波以 2 m/s 的波速沿  $x$  轴正向传播, 在  $t=0$  时刻到达质点  $a$  处, 质点  $a$  由平衡位置开始竖直向下运动,  $t=3$  s 时  $a$  第一次到达最高点。下列说法正确的是( )

INCLUDEPICTURE

图 12-2-1

- A. 在  $t=6$  s 时刻波恰好传到质点  $d$  处  
B. 在  $t=5$  s 时刻质点  $c$  恰好到达最高点  
C. 质点  $b$  开始振动后, 其振动周期为 4 s  
D. 在  $4$  s  $< t < 6$  s 的时间间隔内质点  $c$  向上运动  
E. 当质点  $d$  向下运动时, 质点  $b$  一定向上运动

2. 用手握住较长软绳的一端连续上下抖动, 形成一列简谐横波。某时刻的波形如图 12-2-2 所示。绳上  $a$ 、 $b$  两质点均处于波峰位置。下列说法正确的是( )

INCLUDEPICTURE

图 12-2-2

- A.  $a$ 、 $b$  两点之间的距离为半个波长
- B.  $a$ 、 $b$  两点振动开始时刻相差半个周期
- C.  $b$  点完成全振动次数比  $a$  点多一次
- D.  $b$  点完成全振动次数比  $a$  点少一次

1. 波的图像反映了在某时刻介质中的各质点离开平衡位置的位移情况，图像的横轴表示各质点的平衡位置，纵轴表示该时刻各质点的位移，如图 12-2-3 所示。

INCLUDEPICTURE

图 12-2-3

图像的应用：

- (1)直接读取振幅  $A$  和波长  $\lambda$ ，以及该时刻各质点的位移。
  - (2)确定某时刻各质点加速度的方向，并能比较其大小。
  - (3)结合波的传播方向可确定各质点的振动方向或由各质点的振动方向确定波的传播方向。
2. 波速与波长、周期、频率的关系为： $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$ 。
3. 质点振动  $nT$  (波传播  $n\lambda$ ) 时，波形不变。
4. 在波的传播方向上，当两质点平衡位置间的距离为  $n\lambda$  时 ( $n=1,2,3\cdots$ )，它们的振动步调总相同；当两质点平衡位置间的距离为  $(2n+1)\frac{\lambda}{2}$  ( $n=0,1,2,3\cdots$ ) 时，它们的振动步调总相反。
5. 波源质点的起振方向决定了它后面的质点的起振方向，各质点的起振方向与波源的起振方向相同。

**[典例]** 一列沿  $x$  轴正方向传播的简谐机械横波，波速为  $4\text{ m/s}$ 。某时刻波形如图 12-2-4 所示，下列说法正确的是( )

INCLUDEPICTURE

图 12-2-4

- A. 这列波的振幅为  $4\text{ cm}$
- B. 这列波的周期为  $1\text{ s}$
- C. 此时  $x=4\text{ m}$  处质点沿  $y$  轴负方向运动
- D. 此时  $x=4\text{ m}$  处质点的加速度为  $0$

**[针对训练]**

1. 如图 12-2-5 所示为一列在均匀介质中沿  $x$  轴正方向传播的简谐横波在某时刻的波形图，波速为  $4\text{ m/s}$ ，则( )

INCLUDEPICTURE

图 12-2-5

- A. 质点  $P$  此时的振动方向沿  $y$  轴正方向
- B.  $P$  点振幅比  $Q$  点振幅小
- C. 经过  $\Delta t=3\text{ s}$ , 质点  $Q$  通过的路程是  $0.6\text{ m}$
- D. 经过  $\Delta t=3\text{ s}$ , 质点  $P$  将向右移动  $12\text{ m}$
2. 如图 12-2-6 为一沿  $x$  轴负方向传播的简谐横波在  $t=0$  时的波形图, 当  $Q$  点在  $t=0$  时的振动状态传到  $P$  点时, 则( )

INCLUDEPICTURE

图 12-2-6

- A.  $1\text{ cm}<x<3\text{ cm}$  范围内的质点正在向  $y$  轴的负方向运动
- B.  $Q$  处的质点此时的加速度沿  $y$  轴的正方向
- C.  $Q$  处的质点此时正在波峰位置
- D.  $Q$  处的质点此时运动到  $P$  处

### 要点三 波的多解问题

#### 1. 造成波动问题多解的主要因素

##### (1)周期性:

- ①时间周期性: 时间间隔  $\Delta t$  与周期  $T$  的关系不明确。
- ②空间周期性: 波传播距离  $\Delta x$  与波长  $\lambda$  的关系不明确。

##### (2)双向性:

- ①传播方向双向性: 波的传播方向不确定。
- ②振动方向双向性: 质点振动方向不确定。

如: a. 质点达到最大位移处, 则有正向和负向最大位移两种可能。

b. 质点由平衡位置开始振动, 则起振方向有向上、向下(或向左、向右)两种可能。

c. 只告诉波速不指明波的传播方向, 应考虑沿两个方向传播的可能, 即沿  $x$  轴正方向或沿  $x$  轴负方向传播。

d. 只给出两时刻的波形, 则有多次重复出现的可能。

##### (3)波形的隐含性形成多解:

在波动问题中, 往往只给出完整波形的一部分, 或给出几个特殊点, 而其余信息均处于隐含状态。这样, 波形就有多种情况, 形成波动问题的多解性。

#### 2. 解决波的多解问题的思路

一般采用从特殊到一般的思维方法, 即找出一个周期内满足条件的关系  $\Delta t$  或  $\Delta x$ , 若此关系为时间, 则  $t=nT+\Delta t(n=0, 1, 2, \dots)$ ; 若此关系为距离, 则  $x=n\lambda+\Delta x(n=0, 1, 2, \dots)$ 。

[典例] 如图 12-2-7 所示实线是一列简谐横波在  $t_1=0$  时刻的波形, 虚线是这列波在  $t_2=0.5\text{ s}$  时刻的波形, 这列波的周期  $T$  符合:  $3T<t_2-t_1<4T$ , 问:

INCLUDEPICTURE

图 12-2-7

- ### 「方法规律」

### 求解波的多解问题的一般解题步骤

- (3) 根据波速公式  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  或  $v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$  求波速。

### 「针对训练」

2. 一列横波在  $x$  轴上传播,  $a$ 、 $b$  是  $x$  轴上相距  $s_{ab}=6\text{ m}$  的两质点,  $t=0$  时,  $b$  点正好到达最高点, 且  $b$  点到  $x$  轴的距离为  $4\text{ cm}$ , 而此时  $a$  点恰好经过平衡位置向上运动。已知这列波的频率为  $25\text{ Hz}$ 。

- ## 1. 两种图像的比较

图像类型	振动图像	波的图像
研究对象	一振动质点	沿波传播方向 上所有质点
研究内容	一质点的位移随时间变化规律	某时刻所有质点的空间分布规律
图像	INCLUDEPICTURE	INCLUDEPICTURE
物理意义	表示某质点各个时刻的位移	表示某时刻各质点的位移
图像信息	(1)质点振动周期 (2)质点振幅 (3)各时刻质点位移 (4)各时刻速度、加速度方向	(1)波长、振幅 (2)任意一质点在该时刻的位移 (3)任意一质点在该时刻加速度方向 (4)传播方向、振动方向的互判
形象比喻	记录着一个人一段时间内活动的录像带	记录着许多人某时刻动作、表情的集体照片
图像变化	随时间推移, 图像延续, 但已有形	随时间推移, 图像沿传播方向平移

	状不变	
一完整曲线占 横坐标距离	表示一个周期	表示一个波长

2. 波的传播方向与质点振动方向的互判方法

已知质点振动方向可判断波的传播方向，或已知波的传播方向和某时刻的图像可判断介质质点的振动方向，常用的方法如下：

图像	方法
INCLUDEPICTURE	(1)微平移法：沿波的传播方向将波的图像进行一微小平移，然后由两条波形曲线来判断  例如：波沿 $x$ 轴正方向传播， $t$ 时刻波形曲线如图中实线所示。将其沿 $v$ 的方向移动一微小距离 $\Delta x$ ，获得如图中虚线所示的图线  可以判定： $t$ 时刻质点 $A$ 振动方向向下，质点 $B$ 振动方向向上，质点 $C$ 振动方向向下
INCLUDEPICTURE	(2)“上、下坡”法：沿着波的传播方向看，上坡的点向下振动，下坡的点向上振动。即“上坡下、下坡上”  例如：图中 $A$ 点向上振动， $B$ 点向下振动， $C$ 点向上振动

[典例 1] (多选)图 12-2-8(a)为一列简谐横波在  $t=2\text{ s}$  时的波形图，图(b)为媒质中平衡位置在  $x=1.5\text{ m}$  处的质点的振动图像， $P$  是平衡位置为  $x=2\text{ m}$  的质点。下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

INCLUDEPICTURE

图 12-2-8

- A. 波速为  $0.5\text{ m/s}$
- B. 波的传播方向向右
- C.  $0\sim 2\text{ s}$  时间内， $P$  运动的路程为  $8\text{ cm}$
- D.  $0\sim 2\text{ s}$  时间内， $P$  向  $y$  轴正方向运动
- E. 当  $t=7\text{ s}$  时， $P$  恰好回到平衡位置

[典例 2] (多选)图 12-2-9(a)为一列简谐横波在  $t=0.10\text{ s}$  时刻的波形图， $P$  是平衡位置在  $x=1.0\text{ m}$  处的质点， $Q$  是平衡位置在  $x=4.0\text{ m}$  处的质点；图(b)为质点  $Q$  的振动图像。下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

INCLUDEPICTURE

图 12-2-9

- A. 在  $t=0.10\text{ s}$  时，质点  $Q$  向  $y$  轴正方向运动



INCLUDEPICTURE

图 12-2-12

INCLUDEPICTURE

图 12-2-13

1. (多选)两列振动方向相同、振幅分别为  $A_1$  和  $A_2$  的相干简谐横波相遇。下列说法正确的是( )

- A. 波峰与波谷相遇处质点的振幅为  $|A_1 - A_2|$
- B. 波峰与波峰相遇处质点离开平衡位置的位移始终为  $A_1 + A_2$
- C. 波峰与波谷相遇处质点的位移总是小于波峰与波峰相遇处质点的位移
- D. 波峰与波峰相遇处质点的振幅一定大于波峰与波谷相遇处质点的振幅

2. 如图 12-2-14 所示, 在某一均匀介质中,  $A$ 、 $B$  是振动情况完全相同的两个波源, 其简谐运动表达式均为  $x = 0.1 \sin(20\pi t) \text{ m}$ , 介质中  $P$  点与  $A$ 、 $B$  两波源间的距离分别为 4 m 和 5 m, 两波源形成的简谐横波分别沿  $AP$ 、 $BP$  方向传播, 波速都是 10 m/s。

INCLUDEPICTURE

图 12-2-14

(1)求简谐横波的波长。

(2) $P$  点的振动\_\_\_\_\_ (填“加强”或“减弱”)。

1. (多选)一振动周期为  $T$ 、振幅为  $A$ 、位于  $x=0$  点的波源从平衡位置沿  $y$  轴正向开始做简谐振动。该波源产生的一维简谐横波沿  $x$  轴正向传播, 波速为  $v$ , 传播过程中无能量损失。一段时间后, 该振动传播至某质点  $P$ , 关于质点  $P$  振动的说法正确的是( )

- A. 振幅一定为  $A$
- B. 周期一定为  $T$
- C. 速度的最大值一定为  $v$
- D. 开始振动的方向沿  $y$  轴向上或向下取决于它离波源的距离
- E. 若  $P$  点与波源距离  $s = vT$ , 则质点  $P$  的位移与波源的相同

2. 介质中有一列简谐机械波传播, 对于其中某个振动质点( )

- A. 它的振动速度等于波的传播速度
- B. 它的振动方向一定垂直于波的传播方向
- C. 它在一个周期内走过的路程等于一个波长
- D. 它的振动频率等于波源的振动频率

3. 如图 1 所示, 是一列沿着  $x$  轴正方向传播的横波在  $t=0$  时刻的波形图, 已知这列波的周期  $T=2.0 \text{ s}$ 。下列说法正确的是( )

INCLUDEPICTURE

图 1

- A. 这列波的波速  $v=2.0\text{ m/s}$
- B. 在  $t=0$  时,  $x=0.5\text{ m}$  处的质点速度为零
- C. 经过  $2.0\text{ s}$ , 这列波沿  $x$  轴正方向传播  $0.8\text{ m}$
- D. 在  $t=0.3\text{ s}$  时,  $x=0.5\text{ m}$  处的质点的运动方向为  $y$  轴正方向

4. 如图 2 所示, 在  $x$  轴上传播的一列简谐横波, 实线表示  $t=0$  时刻的波形图, 虚线表示在  $t=0.2\text{ s}$  时刻的波形图。已知该波的波速是  $80\text{ m/s}$ , 则下列说法正确的是( )

INCLUDEPICTURE

图 2

- A. 波长是  $10\text{ m}$
- B. 周期是  $0.1\text{ s}$
- C. 波可能沿  $x$  轴正方向传播
- D.  $t=0$  时,  $x=4\text{ m}$  处的质点速度沿  $y$  轴负方向

5.  $A$ 、 $B$  两列简谐横波均沿  $x$  轴正向传播, 在某时刻的波形分别如图 3 甲、乙所示, 经过时间  $t$  ( $t$  小于  $A$  波的周期  $T_A$ ), 这两列简谐横波的波形分别变为图丙、丁所示, 则  $A$ 、 $B$  两列波的波速  $v_A$ 、 $v_B$  之比不可能的是( )

INCLUDEPICTURE

图 3

- A.  $1:1$
- B.  $1:2$
- C.  $1:3$
- D.  $3:1$

6. (多选)如图 4(a)所示, 一根水平张紧的弹性长绳上有等间距的  $Q'$ 、 $P'$ 、 $O$ 、 $P$ 、 $Q$  质点, 相邻两质点间距离为  $1\text{ m}$ 。  $t=0$  时刻  $O$  质点从平衡位置开始沿  $y$  轴正方向振动, 并产生分别向左、向右传播的波,  $O$  质点振动图像如图(b)所示, 当  $O$  点第一次达到正方向最大位移的时刻,  $P$  点刚开始振动, 则( )

INCLUDEPICTURE

图 4

- A.  $P'$ 、 $P$  两点距离为半个波长, 因此它们的振动步调始终相反
- B. 当  $Q'$  点振动第一次达到负向最大位移时,  $O$  质点已经通过  $25\text{ cm}$  路程
- C. 当波在绳中传播时, 波速  $1\text{ m/s}$
- D. 若  $O$  质点振动加快, 波的传播速度变大

7. (多选)图 5 甲为一列简谐横波在  $t=0.10\text{ s}$  时刻的波形图,  $P$  是平衡位置为  $x=1\text{ m}$  处的质点,  $Q$  是平衡位置为  $x=4\text{ m}$  处的质点, 图乙为质点  $Q$  的振动图像, 则( )

INCLUDEPICTURE

图 5

- A.  $t=0.10\text{ s}$  时, 质点  $Q$  的速度方向向上



- B. 该波沿  $x$  轴的负方向传播  
 C. 该波的传播速度为 40 m/s  
 D. 从  $t=0.10$  s 到  $t=0.25$  s, 质点  $P$  通过的路程为 30 cm

8. (多选)如图 6, 甲为一列沿  $x$  轴传播的简谐波在  $t=0.1$  s 时刻的波形。图乙表示该波传播的介质中  $x=2$  m 处的质点  $a$  从  $t=0$  时起的振动图像。则( )

INCLUDEPICTURE

图 6

- A. 波传播的速度为 20 m/s  
 B. 波沿  $x$  轴正方向传播  
 C.  $t=0.25$  s, 质点  $a$  的位移沿  $y$  轴负方向  
 D.  $t=0.25$  s,  $x=4$  m 处的质点  $b$  的加速度沿  $y$  轴负方向

9. 一列简谐横波在  $t=0$  时刻的波形如图 7 中的实线所示,  $t=0.02$  s 时刻的波形如图中虚线所示。若该波的周期  $T$  大于 0.02 s, 则该波的传播速度可能是( )

INCLUDEPICTURE

图 7

- A. 2 m/s  
 B. 3 m/s  
 C. 4 m/s  
 D. 5 m/s

10. 一列简谐横波在  $x$  轴上传播, 在  $t_1=0$  和  $t_2=0.05$  s 时刻, 其波形图分别如图 8 中的实线和虚线所示, 求:

INCLUDEPICTURE

图 8

- (1)该波的振幅和波长;  
 (2)若这列波向右传播, 波速是多少? 若这列波向左传播, 波速是多少?

11. 如图 9 所示是一列简谐横波上  $A$ 、 $B$  两点的振动图像,  $A$ 、 $B$  两点相距 8 m。求:

INCLUDEPICTURE

图 9

- (1)这列波可能的波长;  
 (2)这列波可能的波速。

12. (多选)如图 10 为甲、乙两列简谐横波在同一绳上传播时某时刻的波形图, 甲波向右传播, 乙波向左传播。质点  $M$  位于  $x=0.2$  m 处, 则( )

INCLUDEPICTURE

图 10

- A. 这两列波不会发生干涉现象  
 B.  $M$  点的振动总是加强  
 C.  $M$  点将做振幅为 30 cm 的简谐振动

D. 由图示时刻开始, 再经过  $1/4$  甲波周期,  $M$  点将位于波峰

13. 一列简谐横波正在沿  $x$  轴的正方向传播, 波速为  $0.5 \text{ m/s}$ ,  $t=0$  时刻的波形如图 11 甲所示。

INCLUDEPICTURE

图 11

(1)求横波中质点振动的周期  $T$ ;

(2)在图乙中画出  $t=1 \text{ s}$  时刻的波形图(至少画出一个波长);

(3)在图丙中画出平衡位置为  $x=0.5 \text{ m}$  处质点的振动图像( $t=0$  时刻开始计时, 在图中标出横轴的标度, 至少画出一个周期)。