# 第 2 章 机械振动 第 2 节 振动的描述

说话或唱歌时，用手摸着喉部，能感觉到声带的振动（图 2-7）。声音大小发生变化，声带的振动也有变化。一般情况下，女生的音调比男生高。这些现象表明振动具有不同的特征。如何科学地描述振动呢？本节我们将学习描述振动特征的物理量，并用图像和公式描述简谐运动。

图 2-7 感受声带的振动

## 1．振动特征的描述

（1）振幅

既然振动是来回往复的运动，物体离开平衡位置的位移存在最大值。物理学中，把振动物体离开平衡位置的最大距离称为振幅（amplitude），用 *A* 表示。振幅是表示振动强弱的物理量。如图 2-8 所示，物体以点 O 为平衡位置在 B、 C 间做简谐运动，振子的振幅就等于线段 OB 或 OC 的长度。

C

*O*

B

*A*

*A*

图 2-8 弹簧振子的振幅示意图

声音大小由发声体振动的振幅决定，振幅越大，发出的声音就越大。当声音增大时，用手摸着喉部，就能感觉到声带振动增强。生产生活中，我们也常常利用增大振幅的方法来增大音量。例如，扬声器纸盆振动的振幅越大，音量越大（图 2-9）。

图 2-9 随扬声器纸盆振动而跳动的泡沫

（2）周期和频率

振动的另一特点是周期性。所谓周期性，就是振动物体经过一段时间之后又重新回到原来状态，而且这种情况有规律地出现。图 2-8 中，做简谐运动的物体由点 B 经过点 O 到达点 C，再由点 C 经过点 O 返回点 B，重新回到原来状态，我们就说物体完成了一次全振动。物体完成一次全振动所经历的时间称为周期（period）。周期是表示振动快慢的物理量。

振动的快慢还可用频率表示。在一段时间内，物体完成全振动的次数与这段时间之比称为频率（frequency）。频率的单位是赫兹，符号为 Hz。

我们常用 *T* 表示周期，用 *f* 表示频率。周期和频率之间的关系为

*f* =

物体振动周期越短，频率越高，表明物体振动越快；物体振动周期越长，频率越低，表明物体振动越慢。

振幅反映振动的强弱，周期、频率则反映振动的快慢。那么，物体振动的周期、频率与振幅有关吗？

大量研究表明，若物体仅在回复力作用下振动时，振动的周期、频率与振幅的大小无关，只由振动系统本身的性质决定。其振动的周期（或频率），称为固有周期（或固有频率）。固有周期和固有频率是振动系统本身的属性，与物体是否振动无关，如一面锣、一根绷紧的弦、一座桥梁、一幢楼宇都具有各自的固有周期和固有频率。

发声体的固有频率不同，发出声音的音调也不同。例如，一般情况下，女生声带振动的固有频率比男生大，因此女生的音调比男生高。钢琴能发出高低不同的声音，是每根琴弦的固有频率不同，弹奏时键槌击打不同的弦的缘故（图 2-10）。

图 2-10 钢琴的键槌击打琴弦

## 2．简谐运动的位移图像

用振幅、周期和频率来描述简谐运动，只能从整体上把握振动的强弱和快慢程度。然而，做简谐运动物体的运动情况每时每刻都在变化，我们可用位移—时间图像形象直观地描述位移随时间变化的情况。

以弹簧振子的简谐运动为例。表 2-2 是一个周期内某弹簧振子的位移随时间变化的数据。

**表 2-2 某弹簧振子的位移随时间变化的数据**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t/s | 0 | 0.08 | 0.16 | 0.24 | 0.32 | 0.40 | 0.48 | 0.56 | 0.64 | 0.72 | 0.80 | 0.88 | 0.96 |
| x/cm | 0 | 5.00 | 8.66 | 10.00 | 8.66 | 5.00 | 0 | -5.00 | -8.66 | -10.00 | -8.66 | -5.00 | 0 |

建立平面直角坐标系，横坐标表示时间 *t*，纵坐标表示弹簧振子相对于平衡位置的位移 *x*。根据数据所得的图像（图 2-11）为弹簧振子做简谐运动的位移—时间图像，也称为振动图像。

图 2-11 弹簧振子做简谐运动的位移—时间图像

*t*/s

*x*/cm

15.00

10.00

5.00

*O*

− 15.00

− 10.00

− 5.00

0.2

0.4

0.6

0.8

1.0

振动图像还可通过实验的方法直接描绘出来。

### 迷你实验室

**描绘简谐运动的振动图像**

如图 2-12 所示，弹簧和小球分别套在光滑横杆上，弹簧左端与小球相连，右端固定在支架上，形成一个弹簧振子。在球底部固定一毛笔头，笔头下放一纸板。使小球偏离平衡位置并释放，其振动可视为简谐运动。沿图示方向匀速拉动纸板，笔头会在纸板上画出一图像。请分析该图像。

图 2-12 弹簧振子的振动图像

毛笔所画图像可视为小球在振动过程中的位移—时间图像。

实验和理论都表明，简谐运动的振动图像是一条正弦（或余弦）曲线，它能直观地表示做简谐运动物体的位移随时间按正弦（或余弦）规律变化的情况。在振动图像上还可表示出振幅 *A* 和周期 *T*。曲线在纵轴方向上的最大值等于振幅 *A*，相邻两个相同状态间隔的时间等于周期 *T*（图 2-13）。

*T*

*t*

*x*

*A*

*O*

−*A*

*T*

图 2-13 简谐运动的振动图像

## 3．简谐运动的位移公式

如果以平衡位置为坐标原点，用 *x* 代表振动物体偏离平衡位置的位移，以物体沿 *x* 轴正方向运动至平衡位置的时刻作为计时零点，由简谐运动的图像可知物体的位移 *x* 与时间 *t* 之间的关系可表达为

*x* = *A*sin *ωt*

上式称为简谐运动的位移公式。

为了更好地理解简谐运动的位移公式，我们来观察下面的实验。

图 2-14 是演示匀速圆周运动与简谐运动关系的实验示意图。固定在竖直圆盘上的小球 P 随着圆盘以角速度 *ω* 做匀速圆周运动，一束平行光自上而下照射小球，在圆盘下方的屏上可观察到小球投影的运动。小球投影以圆盘圆心在屏上的投影为平衡位置，以小球做圆周运动的半径为振幅（用 *A* 表示），来回振动。

小球P

平行光

转盘

屏

小球的投影

A

O

图 2-14 实验示意图

若以圆盘圆心 *O* 的投影为坐标原点，建立如图 2-15 所示的坐标系，以小球 P 在圆盘最上端的时刻作为计时零点，则小球 P 在 *x* 轴上的投影偏离点 O 的位移随时间变化的关系为 *x* = *A*sin *ωt*。将此公式与简谐运动的位移公式对比，不难发现小球在屏上投影的运动为简谐运动。角速度 *ω* 常被称为简谐运动的圆频率，它与简谐运动周期之间的关系为

*ω* =

*O*

*A*

*t* = 0

*ωt*

*x*

图 2-15 小球顺时针做圆周运动时其投影运动示意图

### 例题

某弹簧振子做简谐运动，其位移随时间变化的关系式为 *x* = *A*sin *t*，单位为 cm，则弹簧振子

A．第 1 s 末与第 3 s 末的位移相同

B．第 1 s 末与第 3 s 末的速度相同

C．第 3 s 末至第 5 s 末的位移方向都相同

D．第 3 s 末至第 5 s 末的速度方向都相同

分析

（1）位移可通过位移公式求解

判断 *t* 时刻的位移，可将时间 *t* 代入关系式 *x* = Asin *t* 计算。将 *t* = 1 s 和 *t* = 3 s 代入关系式，可求得两时刻位移相同，A 正确。

（2）速度可通过位移图像求解

根据位移关系式画出 *x*-*t* 图像，将该图像与弹簧振子振动过程对比，可得如图 2-16 所示的对应图像。

*t*/s

*x*/cm

1

2

3

4

5

6

7

8

*O*

*A*

−*A*

（a）

（b）

1 s

3 s

4 s

5 s

6 s

2 s

0 s

图 2-16 *x*-*t* 图像与弹簧振子振动过程的对应

第 1 s 末弹簧振子向正方向运动，远离平衡位置，而第 3 s 末弹簧振子向负方向运动，靠近平衡位置，两个时刻的速度方向相反，B 错误。

第 3 s 末至第 5 s 末的速度方向一直为负，D 正确。

从图像还可看出，第 3 s 末至第 4 s 末的位移方向为正，第 4 s 末至第 5 s 末的位移方向为负，C 错误。

所以，答案为 AD。

讨论

做简谐运动物体的位移随时间变化情况，可通过将时间代入位移公式计算进行判断；还可通过 *x*-*t* 图像进行判断。速度随时间变化情况，可根据 *x*-*t* 图像判断出物体运动的方向，再结合振动过程速度的变化特征进行判断；还可由 *x*-*t* 图像的切线斜率进行判断。请列举并说明你运用上述判断方法的案例。

### 策略提炼

由公式和图像都可确定简谐运动的物体在 *t* 时刻对应的位移 *x*，反之也可确定位移为 *x* 时所对应的时刻 *t*。简谐运动的 *x*-*t* 图像与其他运动的 *x*-*t* 图像的分析方法相同。

将该图像结合振动过程，还可定性判断物体运动的速度、加速度、回复力等物理量的变化情况。

### 迁移

简谐运动的 *x*-*t* 图像还包含了加速度和回复力等信息。请分析上述例题第 3 s 末与第 5 s 末弹簧振子的加速度、受到的回复力、动能和系统的弹性势能是否相同。

**解答**：因为第 3 秒末和第 5 秒末的位移方向不同，所以根据做简谐运动的物体的加速度 *a* = 可得第 3 秒末和第 5 秒末的加速度不同；同时根据回复力 *F* = − *kx* 可得在这两个时刻物体所受的回复力不同；因为这点在第 3 秒末和第 5 秒末的位移大小相同所以弹性势能相同。又因为整个系统满足机械能守恒所以质点的动能也相同。

### 拓展一步

**简谐运动的相位**

将两个相同的弹簧振子拉离平衡位置，然后同时释放。两个振子总是同时到达平衡位置和位移最大处，即总是步调一致（同步）。

将一个振子拉伸，另一个振子推压，然后同时释放，两个弹簧振子运动的步调正好相反（图 2-17）。

*O*

*x*1

*t*

*t*

*x*2

*O*

*T*

图 2-17 两个振动步调相反的简谐运动图像对比

*T*

因此，要详细地描述简谐运动，除了振幅和周期外，还需要引入“相位”的概念。一般情况下，位移与时间的关系式可写成

*x* = *A*sin （*ωt* + *φ*0）

式中，*ωt* + *φ*0 是简谐运动的相位，*φ*0 是简谐运动的初相位。

我们常通过计算两个简谐运动的相位差来比较两个振动的先后顺序。当两个振动的相位差是 2π 的整数倍时，两个振动的步调一致；当两个振动的相位差为 π 的奇数倍时，两个振动的步调正好相反。

## 节练习

1．如图所示，将三根粗细不同的橡皮筋绕到杯子上，做成一个“弦乐器”。橡皮筋不要相互接触。分别拨动每根橡皮筋，找出哪根发出的声音音调最低，哪根发出的声音音调最高。橡皮筋振动的频率可能与哪些因素有关？与振幅有关吗？

**参考解答**：在松紧程度相同的前提下。粗的橡皮筋音调低，细的橡皮筋音调高。橡皮筋振动的频率可能与橡皮筋的粗细程度和松紧程度有关，与振幅无关。

2．一质点做简谐运动的 *x*-*t* 图像如图所示。下列说法正确的是

*x*

*t*

*t*1

*t*2

*t*3

*A*

*O*

*−A*

A．该图像是从平衡位置开始计时画出的

B．*t*1 时刻振子正通过平衡位置向正方向运动

C．*t*2 时刻振子的位移最大

D．*t*3 时刻振子正通过平衡位置向正方向运动

**参考解答**：CD

3．心电图仪通过一系列的传感手段，可将与人心跳对应的生物电流情况记录在匀速运动的坐标纸上。医生通过心电图，测量相邻两波峰间隔的时间，便可计算出 1 min 内人心脏跳动的次数（即心率）。同一台心电图仪正常工作时测得被检者甲、乙的心电图分别如图（a）（b）所示。若医生测量时记下被检者甲每分钟心跳 60 次，则可推知乙每分钟心跳的次数和这台心电图仪输出坐标纸的走纸速度大小分别为

（a）

（b）

25 mm

25 mm

20 mm

20 mm

A．48 次，25 mm/s B．48 次，36 mm/s C．75 次，45 mm/s D．75 次，25 mm/s

**参考解答**：D

4．关于固有频率，下列说法正确的是

A．振幅越大，固有频率越小

B．所有物体的固有频率都相同

C．物体不振动时，固有频率为 0

D．固有频率是由振动系统本身决定的

**参考解答**：D

5．小王在湖边欲乘游船，当日风浪较大，游船上下浮动。若把游船浮动简化成竖直方向的简谐运动，则其振幅为 20 cm，周期为 3.0 s。当船上升到最高点时，甲板刚好与码头地面平齐。在地面与甲板的高度差不超过 10 cm 时，游客能舒服地登船。求在一个周期内，小王能舒服地登船的时间有多少。

**参考解答**：Δ*t* = 1 s

\*6．一质点在平衡位置 O 附近做简谐运动。从它经过平衡位置起开始计时，经 0.13 s，质点第一次通过点 M；再经 0.1 s，质点第二次通过点 M。质点振动周期的可能值为多大？

**参考解答**：0.72 s 或 0.24 s