

## DTP 平台在大学物理教学中的应用\*

——以驻波为例

朱小飞 李庆容 彭玉平 刘向绯

(武昌首义学院 湖北 武汉 430064)

(收稿日期:2019-06-06)

**摘要:**驻波是波的干涉的一种特殊情况,也是教学中的一个难点.本文借助大学物理 DTP 平台设计了一个一维反射驻波,通过平台演示教学,先由波的图像入手建立模型,再借助平台的数值计算和图像处理功能模拟了驻波的形成过程,并对模拟结果进行了讨论.

**关键词:**波的干涉 驻波 大学物理 DTP 平台

两列角频率为  $\omega$ ,波数为  $k$ ,振幅相等的相干波在同一直线上相向传播,相遇之后叠加形成驻波.借助大学物理 DTP 平台,我们设计了一个一维余弦波入射,在介质交界处发生反射,反射波和入射波相遇叠加形成驻波.在教学中,我们先向学生展示了 DTP 平台程序运行的动态过程和结果,如图 1 所示,使学生从图像上对一维反射驻波的形成过程有初步的认识,再引导学生从一维简谐波入手,建立数学模型和方程描述,最后在 DTP 平台中编程实现驻波.

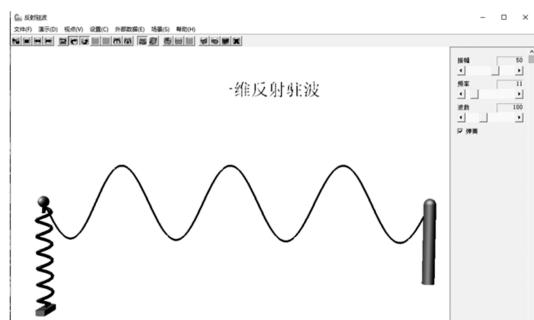


图 1 一维反射驻波

## 1 一维简谐波的产生

机械波的产生需要具备两个条件,一是波源,二是连续弹性介质.如图 1 所示,取一定长度的弹性细

绳,其一端与做简谐振动的振子连接,另一端固定.当弹簧振子振动时,即可带动弹性细绳起振,从而在绳中形成向右传播的波(入射波),记为  $y_{1x}$ ,入射波在固定端反射回来的波(反射波),记为  $y_{2x}$ .

取绳中点为原点,绳长方向为  $x$  轴,则振子(波源)位于  $x = -L$  处.设波源的振动方程为

$$y_{-L} = A \cos \omega t$$

$t = 0$  时刻波源的初相为零.由一维简谐波的波方程<sup>[1,2]</sup>可知,弹性细绳中的入射波方程为

$$y_{1x} = A \cos [\omega t - k(x + L)] = A \cos(\omega t - kx - kL) \quad (1)$$

当入射波传播到固定端  $x = +L$  处时

$$t = t' = \frac{2L}{u} = \frac{k}{\omega} 2L$$

式中波速  $u = \frac{\omega}{k}$ .此时固定端的振动为

$$y_{+L} = A \cos(\omega t' - kL - kL) \quad (2)$$

设反射波方程为

$$y_{2x} = A \cos(\omega t + kx + \varphi) \quad (3)$$

$t = t'$  时,固定端的振动为

$$y'_{+L} = A \cos(\omega t' + kL + \varphi) \quad (4)$$

考虑半波损失,比较式(2)和(4),则有

\* 武昌首义学院校级教研项目“大学物理信息化教学改革研究”,项目编号:2018Y05;武昌首义学院校级教研项目“基于信息化技术手段的大学物理演示实验教学研究与实践”,项目编号:2019Y21

作者简介:朱小飞(1978-),女,硕士,讲师,主要从事大学物理和物理实验教学研究工作,研究信息化技术手段在教学中的应用.

$$\omega t' + kL + \varphi = \omega t' - kL - kL + \pi$$

可得

$$\varphi = \pi - k \cdot 3L$$

代入式(3)得反射波方程为

$$y_{2x} = A \cos(\omega t + kx - k \cdot 3L + \pi) \quad (5)$$

在DTP平台中,通过实物模块的创建语句和函数调用语句实现一维简谐波的仿真和模拟,主要程序为:

```

if (GetCheck(1))
{
    glt::EnableLight();
    draw::Spring(p[0], s[1], 0, 4, 4, 200, 6,
0.8, color, 60, 10); // 弹簧
    draw::Balls(1, p + 0, 3, 32, 32, color1); // 振子
    glt::BeginTransform();
    glt::Translate(s[1].x, s[1].y, s[1].z);
    draw::Cuboid(15, 5, 3, color2); // 弹簧固定端
    glt::EndTransform();
}
for(i=0; i <= 100; i++)
{
    p[i].z=0; p[i].x=20;
    p[i].y=-20 + A * sin(w * i); // 振动位移
    draw::Line(p[i], p[i+1], color); // 画波形曲线
    glt::DisableLight();
    glt::SetLineWidth(4);
}

```

## 2 反射波和入射波的叠加分析

入射波从波源  $x = -L$  传到固定端  $x = +L$  所需时间  $t' = \frac{k}{\omega} 2L$ , 设当前时刻  $t$  入射波传到  $x$  处, 以绳上  $x$  处为观察点, 反射波和入射波的相遇叠加需要考虑以下3个阶段。

(1) 第一阶段  $t < t'$  时, 如图2所示, 反射波未产

生,  $y_{2x} = 0$ , 绳上  $x$  处的振动表示为

$$\begin{cases} y_x = y_{1x} = A \cos(\omega t - kx - kL), & x \leq (-L) + ut \\ y_x = 0, & x > (-L) + ut \end{cases}$$

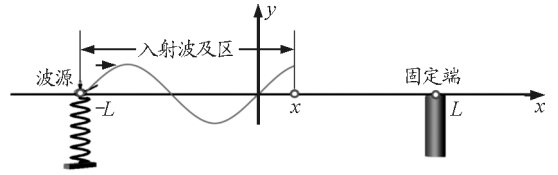


图2 反射波未产生

(2) 第二阶段  $t' < t < 2t'$  时, 如图3所示, 叠加结果表示为

$$y_x = y_{1x} + y_{2x}$$

其中

$$\begin{cases} y_{1x} = A \cos(\omega t - kx - kL) \\ y_{2x} = \begin{cases} A \cos(\omega t + kx - k \cdot 3L + \pi), & x > (-L) + u(t - t') \\ 0, & x < (-L) + u(t - t') \end{cases} \end{cases}$$

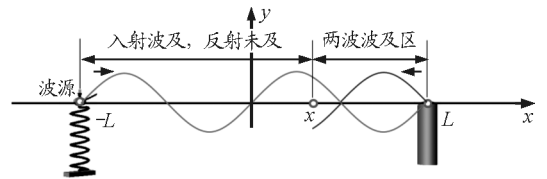


图3 反射波已产生

(3) 第三阶段  $t > 2t'$  时, 如图4所示, 相遇区叠加形成驻波, 表示为

$$y_x = y_{1x} + y_{2x}$$

$$y_{1x} = A \cos(\omega t - kx - kL)$$

$$y_{2x} = A \cos(\omega t + kx - k \cdot 3L + \pi)$$

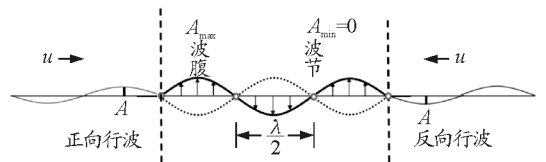


图4 驻波

在DTP平台中,借助条件语句和循环语句实现入射波和反射波的叠加,主要程序为:

```

for(i=0; i <= 200; i++)
{
    p[i].z=0;    p[i].x=-100 + 1 * i;
}

```

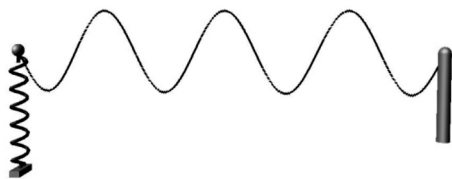
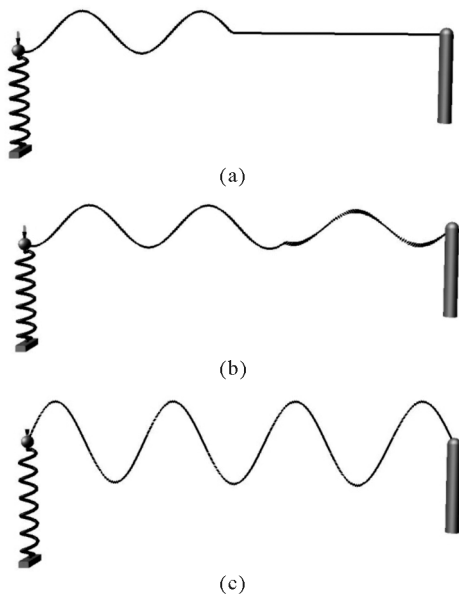
```

if((i < w * step/k) && (step < 200 * k/w))
p[i].y = A * sin(w * step - k * (p[i].x +
100)); // 入射波传到, 反射波未产生
else p[i].z = 0;
if((p[i].x > 100 - w * (step - 200 * k/w)/k)
&& (step > 200 * k/w))
p[i].y = A * sin(w * step - k * (p[i].x +
100)) + A * sin(w * step + k * (p[i].x) - 300 * k +
3.14); // 反射波产生, 两波均传到
if((p[i].x < 100 - w * (step - 200 * k/w)/k)
&& (step > 200 * k/w))
p[i].y = A * sin(w * step - k * (p[i].x +
100)); // 反射波产生, 但未传到
glt::DisableLight();
glt::SetLineWidth(4);
if(i < 200)
draw::Line(p[i], p[i + 1], color); // 画波形
}

```

### 3 DTP 模拟结果和讨论

在大学物理 DTP 平台中, 对波方程中的振幅  $A$ , 角频率  $\omega$ , 波数  $k$  和绳长参数  $L$  赋适当的值, 即可运行程序模拟出一维简谐波和一维驻波的形成过程, 如图 5 所示。



(d)

图 5 编程模拟动态图像

(1) 入射波和反射波在传播过程中, 绳中质元依次参与振动状态的传播, 形成不同  $t$  时刻的波形, 如图 5(a) 和 5(b) 所示。

(2) 由图 5(c) 和 5(d) 可知, 有些质点的位移始终为零, 质点在波节上; 有些质点的位移有时为零, 但振幅最大, 质点在波腹处。此结果和解析计算的结论一致。

(3) 两相邻波节之间的各点振动步调一致(相位相同), 同一波节两侧的各点相位相反, 如图 5(c) 和 5(d) 所示。这种波没有相位和波形的定向传播, 因此称为驻波<sup>[3]</sup>。而有相位和波形定向传播的波称为行波。

(4) 模拟时, 还可以调节参数控件实现振幅、频率和波数的改变, 方便观察所调参数对驻波形成的影响。

### 4 结束语

通过编程模拟, 帮助学生建立了清晰的物理图像, 既加深了学生对抽象的波方程和驻波现象的理解, 也使学生获得了一定的计算机模拟能力, 继而借助 DTP 平台继续探讨波动问题, 如相干波的振幅不等能否合成驻波、平面水波的干涉情况、多波干涉、多普勒效应、激波现象等, 起到抛砖引玉的作用。

### 参考文献

- 1 李元杰, 陆果. 大学物理学(第 2 版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008. 1
- 2 郭凤岐, 姜大华, 张琳. 大学物理(第 3 版)[M]. 北京: 科学出版社, 2017. 11
- 3 周群益, 侯兆阳, 刘让苏. MATLAB 可视化大学物理学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011. 3