

DIS 实验验证机械能守恒定律的不同数据记录方式比较

陈玲敏 刘爱云

(上海师范大学数理学院 上海 200234)

(收稿日期:2021-05-17)

摘要:在同一个悬挂弹簧物理模型基础上,用不同的数据记录方式验证机械能守恒定律.传统的表格记录方式只能知道系统在光电门位置的机械能,若还想知道其他位置系统的机械能,需要多次调整光电门的位置.而通过位移传感器形成的图像记录方式,能够直接记录重物运动位移与时间之间的关系,通过对曲线拟合和一次求导,可以得到重物运动到任意位置时速度与时间之间的关系图像,从而能够计算得到重物运动到各个位置时系统的机械能.与传统的表格记录方式相比,图像记录方式不仅新颖直观,还更能充分验证机械能守恒定律.采用图像记录方式验证机械能守恒不仅是一种实验创新,也是对朗威 DISLab 软件和器材的创新使用.

关键词:机械能守恒 DIS 实验 数据记录 位移传感器 图像记录

1 引言

验证机械能守恒定律是高中物理中重要的实验内容.重力势能、弹性势能和动能统称为机械能.机械能守恒是指:在只有重力(或弹簧弹力)做功的情形下,物体的重力势能(或弹性势能)和动能发生相互转化,但总机械能不变.关于验证机械能守恒定律的实验数据记录方式都是表格记录法,即通过记录某固定点的速度从而验证某一位置系统的动能和势能之间的关系.

本文主要以弹簧悬挂法为例,用 DIS 实验比较验证机械能守恒定律的两种不同数据记录方式——表格记录法和图像记录法.

2 实验器材

朗威 DISLab(光电门,力传感器,位移传感器和数据采集器)1套,计算机1台,铁架台1套,砝码1只,轻质弹簧1个,细线1条.

3 实验原理

在只有重力(或弹簧弹力)做功的情形下,物体的重力势能(或弹性势能)和动能发生相互转化,但总机械能不变,机械能包括动能 E_k 和势能,势能又包括重力势能 E_p 和弹性势能 E_p' .重物与弹簧悬挂,在弹簧弹性限度内竖直方向上往复运动,在这个过程中只有重物重力和弹簧的弹力做功,故满足机械

能守恒定律的条件,弹簧为轻质弹簧,故忽略其动能和重力势能^[1].系统的机械能为 $E = E_k + E_p + E_p'$,机械能守恒定律的表达式为 $E_1 = E_2$,即系统的机械能守恒定律的表达式为

$$E_{k1} + E_{p1} + E_{p1}' = E_{k2} + E_{p2} + E_{p2}'$$

3.1 表格记录数据

如图1所示,将两个光电门固定在铁架台上,将弹簧的上端固定,下端连接砝码,调整两个光电门位置使弹簧自由伸长时砝码位于两者之间,当砝码在竖直方向上自由振动时,整个系统全过程只有弹簧弹力和砝码重力做功,因此系统机械能守恒.测量砝码质量 m 和厚度 d ,经过上下两个光电门的时间为 t_1, t_2 ,从而砝码经过上下两个光电门的速率分别为 $v_1 = \frac{d}{t_1}, v_2 = \frac{d}{t_2}$,于是砝码的动能就可计算出,分别

为 $E_{k1} = \frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_1}\right)^2, E_{k2} = \frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t_2}\right)^2$.取下方的光电门所在平面为零势能面,测量两个光电门之间的竖直距离 h ,则砝码经过下方光电门时的重力势能为 $E_{p2} = 0$,经过上方光电门时的重力势能为 $E_{p1} = mgh$.测量出弹簧未挂砝码时底端距离上方光电门激光孔的距离 x_1 ,即砝码经过上方光电门激光孔时弹簧的伸长量为 x_1 ,此时弹簧的弹性势能为 $E_{p1}' = \frac{1}{2}\kappa x_1^2$,两个光电门激光孔之间的竖直距离为 h ,即砝码经过下方光电门激光孔时弹簧伸长量为 $x_2 = x_1 + h$,此时弹簧的弹性势能为 $E_{p2}' = \frac{1}{2}\kappa x_2^2$,于是砝

码经过上方光电门时,系统机械能为 $E_1 = E_{k1} + E_{p1} + E'_{p1}$,砝码经过下方光电门时,系统机械能为 $E_2 = E_{k2} + E_{p2} + E'_{p2}$ 由于系统机械能守恒,即有 $E_1 = E_2$.

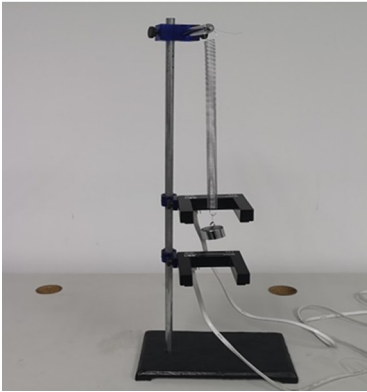


图 1 实验装置示意图

3.1.1 实验过程

(1)利用胡克定律 $F = \kappa x$ 测量弹簧的劲度系数 κ .如图 1 所示实验装置,在弹簧的弹性限度内,依次增加弹簧伸长量,弹簧产生的弹力依次增加,计算出相应的劲度系数 κ 值,连续做 15 次,取平均值作为测量结果,数据如表 1 所示.

表 1 弹簧劲度系数实验数据

计算表格	F_1/N	x/m	$\kappa/(\text{N} \cdot \text{m}^{-1})$
1	0	0	0
2	0.16	0.005	32.00
3	0.18	0.010	18.00
4	0.19	0.015	12.67
5	0.20	0.020	10.00
6	0.21	0.025	8.40
7	0.23	0.030	7.67
8	0.24	0.035	6.86
9	0.25	0.040	6.25
10	0.27	0.045	6.00
11	0.29	0.050	5.80
12	0.30	0.055	5.45
13	0.31	0.060	5.17
14	0.32	0.065	4.92
15	0.34	0.070	4.86
平均值			8.94

(2)称出砝码的质量 $m = 50.4\text{ g}$ 和厚度 $d = 1.35\text{ cm}$,按照图 1 连接好实验装置,打开朗威 DISLab 通用软件,将上方光电门接入通道 1,将下方光电门接入通道 2.

(3)将砝码悬挂在弹簧下端使弹簧自由伸长,调整两个光电门的高度,使砝码所在位置位于两个光电门之间.将砝码取下,使弹簧恢复原长.下方光电门激光孔所在平面为零势能面,测量两个光电门激光孔之间的竖直距离 $h = 8.8\text{ cm}$,测量上方光电门激光孔与弹簧底端之间的竖直距离 $x_1 = 26\text{ cm}$,则下方光电门激光孔与弹簧底端之间的竖直距离为 $x_2 = 34.8\text{ cm}$.

(4)将与弹簧连接的砝码从适当位置由静止释放,使砝码能在两个光电门之间竖直方向上往复振动,且要满足振动过程中最低位置低于下方光电门,最高位置高于上方光电门.打开“计算表格”,点击“自动记录”中的“开始”.

(5)记录结束后,点击“公式”,输入 $v_1 = \frac{0.0135}{t_1}$,表示砝码经过上方光电门时的速度,输入 $v_2 = \frac{0.0135}{t_2}$,表示砝码经过下方光电门时的速度,输入 $E_{k1} = \frac{1}{2} * 0.0504 * v_1^2$,表示砝码经过上方光电门时的动能,输入 $E_{k2} = \frac{1}{2} * 0.0504 * v_2^2$,表示砝码经过下方光电门时的动能,输入 $E_{p1} = 0.0504 * 9.8 * 0.088$,表示砝码经过上方光电门时的重力势能,输入 $E_{p2} = 0$,表示砝码经过下方光电门时的重力势能,添加变量 $E'_{p1} = \frac{1}{2} * 8.94 * 0.26^2$,表示砝码经过上方光电门时弹簧的弹性势能, $E'_{p2} = \frac{1}{2} * 8.94 * 0.348^2$,表示砝码经过下方光电门时弹簧的弹性势能, $E_1 = E_{k1} + E_{p1} + E'_{p1}$,表示砝码经过上方光电门时系统的机械能, $E_2 = E_{k2} + E_{p2} + E'_{p2}$ 表示砝码经过下方光电门时系统的机械能.添加变量 $n = \frac{2(E_{k1} - E_{k2})}{E_{k1} + E_{k2}}$,表示相对误差.

(6)将数据导出 Excel 文件,计算结果如表 2 所示.

表 2 数据计算结果

计算表格	t_1/s	t_2/s	$v_1/(m \cdot s^{-1})$	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	E_{k1}/J	E_{k2}/J
1	0.001 496	0.001 582	9.024 064	8.533 502	2.052 130	1.835 080
2	0.001 561	0.001 598	8.648 302	8.448 060	1.884 787	1.798 517
3	0.001 578	0.001 630	8.555 133	8.282 209	1.844 396	1.728 593
4	0.001 601	0.001 655	8.432 230	8.157 100	1.791 783	1.676 765
5	0.001 624	0.001 698	8.312 808	7.950 530	1.741 390	1.592 915
6	0.001 642	0.001 688	8.221 681	7.997 630	1.703 420	1.611 845
7	0.001 614	0.001 669	8.364 312	8.088 676	1.763 035	1.648 752
8	0.001 623	0.001 676	8.317 930	8.054 893	1.743 536	1.635 009
9	0.001 631	0.001 692	8.277 131	7.978 723	1.726 474	1.604 233
E_{p1}/J	E_{p2}/J	E'_{p1}/J	E'_{p2}/J	E_1/J	E_2/J	n
0.043 465	0	0.302	0.541	2.397 595	2.376 080	0.009 014
0.043 465	0	0.302	0.541	2.230 252	2.339 517	-0.047 820
0.043 465	0	0.302	0.541	2.189 861	2.269 593	-0.035 760
0.043 465	0	0.302	0.541	2.137 248	2.217 765	-0.036 980
0.043 465	0	0.302	0.541	2.086 855	2.133 915	-0.022 300
0.043 465	0	0.302	0.541	2.048 885	2.152 845	-0.049 480
0.043 465	0	0.302	0.541	2.108 500	2.189 752	-0.037 810
0.043 465	0	0.302	0.541	2.089 001	2.176 009	-0.040 800
0.043 465	0	0.302	0.541	2.071 939	2.145 233	-0.034 760

3.1.2 实验分析

守恒.

实验中,用 $E=E_k+E_p+E'_p$ 来表示系统的总机械能本就不准确,因为弹簧虽然为轻弹簧,但也有动能和重力势能,忽略会对实验结果产生误差^[2].

其次,在进行相应的计算之前,需要测量一些数值,比如砝码的质量、弹簧的原长等,而在这些数值的测量过程中都会有测量误差.

最后,实际操作中,其实很难保证砝码在竖直方向上振动,运动过程总是会发生偏折,导致数据记录不准确.所以,需要进行多次测量取平均值,尽量减小实验误差.

3.2 图像记录数据

如图 2 连接实验装置,将位移传感器的接收端固定在铁架台底端,将弹簧的上端固定,弹簧下端连接位移传感器的发射端,当位移传感器发射端在竖直方向上自由振动时,整个系统全过程只有弹簧弹力和位移传感器发射端的重力做功,因此机械能

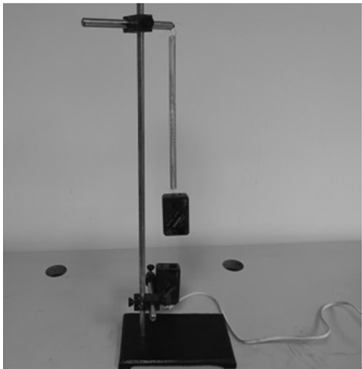


图 2 实验装置示意图

测量位移传感器发射端的质量,测量弹簧原长 l ,测量弹簧悬挂位移传感器发射端静止时的长度 l_1 ,则伸长量为 $d=l_1-l$,此时将位移采集器调零,以此时位移传感器发射端静止时所在平面为零势能面,此时的弹性势能为 $\frac{1}{2}\kappa(l_1-l)^2$,将位移传感器发射端由某一位置静止释放,使之能在竖直方向上自

由振动,计算机屏幕上可以直接得到有关弹簧振子振动的位移与时间关系的图像,即位移传感器发射端的 $x-t$ 图像,开始几次振动不够稳定,之后的图像较为完美,能看到一个正弦函数图像,拟合正弦函数,对其一次求导,得到位移传感器发射端的 $v-t$ 图像^[3],则任一时刻弹簧的形变量可通过 $d=l_1-l-x$ 求出,位移传感器发射端的速度为 v ,高度为 x .

3.2.1 实验过程

- (1)弹簧劲度系数已测出,为 8.94 N/m,弹簧原长为 9.8 cm,称取位移传感器发射端的质量为 52.6 g.
- (2)按图 2 连接实验装置图,打开朗威 DISLab

通用软件,将位移传感器接收端接入通道 1,待弹簧悬挂位移传感器发射端处于静止时,量取此时弹簧长为 24.5 cm,即弹簧伸长量为 $24.5\text{ cm}-9.8\text{ cm}=14.7\text{ cm}$,此时将位移采集器调零. 点击组合图线 1 中的“添加”,设置 x 轴为时间 t , y 轴为位移 s_1 .

(3)将位移传感器发射端拉至适当位置由静止释放,点击采集控制中的“开始”,采集器开始采集位移传感器发射端的 $x-t$ 图像,设置图像颜色为红色,选取较平稳的一段图像,点击图像分析中的“拟合”,选择“正弦拟合”,得到正弦拟合图像,设置图像颜色为“蓝色”,对拟合后的正弦图像进行一次求导,得到 $v-t$ 图像,设置图像为“黑色”,3 条图像如图 3 所示.

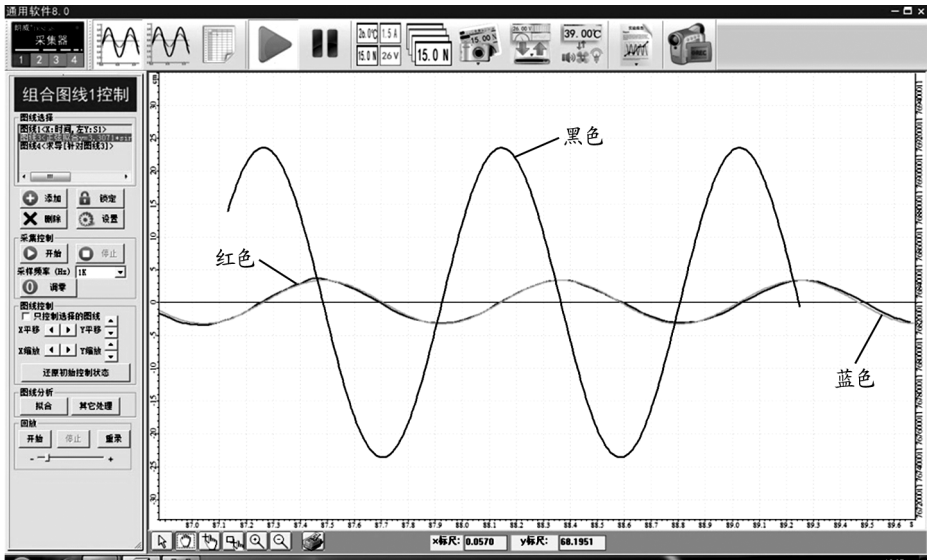


图 3 实验记录结果图像

- (4)选取适当区间,点击图像分析中的“其他处理”,选择“最大值”或“最小值”,读取任意时刻对应的 x 值和 v 值.
- (5)读取 15 组数据,在 Excel 文件中添加变量 $d=14.7-x$, $E_k=\frac{1}{2}\times 0.052\ 6\times v^2$,表示任意时刻的动能, $E_p=0.052\ 6\times 9.8\times x$,表示任意时刻的重力势能,动能和重力势能都呈现正弦变化,而且两者按相反方向变化^[4], $E_p'=\frac{1}{2}\times 8.94\times d^2$,表示任意时刻弹簧的弹性势能, $E=E_R+E_p+E_p'$,表示任意时刻系统的机械能. 计算 E 的平均值 $\overline{E}$,添加变量 $n=\frac{2(E-\overline{E})}{E+\overline{E}}$,表示相对误差,数据处理结果如表 3 所示.

3.2.2 实验分析

误差处于 4.46%~26.76%之间.

与 3.1.2 相同,用 $E=E_k+E_p+E_p'$ 来表示系统的总机械能本就不准确,因为弹簧虽然为轻弹簧,但也有动能和重力势能,忽略会对实验结果产生误差.

其次作为重物的位移传感器发射端的密度小,体积大,在振动过程中受到的空气阻力较大,对实验结果造成误差.

另外,误差的主要来源是位移传感器发射端在运动过程中,不能保证时刻与接收端正对着,造成实验数据 x 测量不准确,进而影响整个实验的结果.

最后,因为对 $x-t$ 曲线进行了正弦拟合,所以笔者在处理数据时其实处理的是实验数据的近似值,这也是误差来源之一.

表 3 数据处理结果

计算表格	x/m	$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	d/m
1	-0.005 38	0.002 327	0.152 38
2	0.008 18	0.002 306	0.138 82
3	0.026 91	0.001 470	0.120 09
4	0.017 96	0.001 977	0.129 04
5	0.031 37	0.000 813	0.115 63
6	0.033 16	-0.000 464	0.113 84
7	0.010 17	-0.002 239	0.136 83
8	-0.004 85	-0.002 315	0.151 85
9	-0.029 30	-0.000 957	0.176 30
10	-0.031 80	0.000 418	0.178 80
11	-0.016 49	0.002 045	0.163 49
12	0.032 41	0.000 697	0.114 59
13	0.009 85	0.002 277	0.137 15
14	-0.009 40	0.002 262	0.156 40
15	-0.029 97	0.000 948	0.176 97

E_k/J	E_p/J	E'_p/J	E/J	n
1.424 49E-07	-0.002 770	0.103 328	0.100 554	0.044 677
1.398 54E-07	0.004 217	0.085 756	0.089 973	-0.066 480
5.688 58E-08	0.013 872	0.064 176	0.078 048	-0.207 940
1.028 05E-07	0.009 258	0.074 098	0.083 357	-0.142 650
1.741 34E-08	0.016 171	0.059 498	0.075 668	-0.238 510
5.676 94E-09	0.017 093	0.057 670	0.074 763	-0.250 370
1.319 51E-07	0.005 242	0.083 315	0.088 557	-0.082 320
1.409 72E-07	-0.002 500	0.102 610	0.100 110	0.040 250
2.410 70E-08	-0.015 100	0.138 314	0.123 210	0.246 614
4.606 24E-09	-0.016 390	0.142 264	0.125 872	0.267 634
1.100 30E-07	-0.008 500	0.118 944	0.110 444	0.138 271
1.279 88E-08	0.016 707	0.058 432	0.075 139	-0.245 430
1.364 18E-07	0.005 077	0.083 705	0.088 783	-0.079 780
1.346 03E-07	-0.004 850	0.108 851	0.104 006	0.078 393
2.366 09E-08	-0.015 450	0.139 367	0.123 918	0.252 254

3.3 两种数据记录方式比较

可见,在 DIS 实验中为验证机械能守恒定律,获取的数据不仅可以用表格法记录,还可以用图像法记录,两者各有优缺点.

(1)通过位移传感器形成的图像记录方式,能够得到重物运动到各个位置时系统的机械能,而传统的表格记录方式却只能得到光电门位置系统的机械能,与传统的表格记录方式相比,图像记录方式不仅

新颖直观,还更能充分验证机械能守恒定律。

(2)分别采用两种记录方式时,在进行相应的计算之前都需要测量一些数值.与表格记录法相比,采用图像记录法时进行实验需要测量的量更少,从而使得实验更简便。

(3)从实验装置示意图来看,图2相比图1更简便,即采用表格记录法进行实验时,所需实验器材更多,安装过程较繁琐,而采用图像记录法进行实验时,所需实验器材少,所以安装过程相对也更简易。

(4)从实验结果来看,采用图像记录法所得到的结果的误差相对大一些,这主要是因为被充当重物的位移传感器发射端的密度小和体积大这两个自身局限性导致,使得其在振动过程中容易发生偏折.除此之外,计算机直接得到的是位移传感器的 $x-t$ 图像,而最后参与实验数据处理也包括对其拟合再一次求导后的结果,这也是造成实验误差的原因之一。

总体而言,与传统表格记录方式相比,采用图像记录方式验证机械能守恒不仅是一种实验设计创

新,也是对朗威 DISLab 软件和器材的创新使用。

4 结束语

从本实验中可以看出,不仅可以用表格法记录处理机械能守恒定律的相关数据,还可以用图像法记录反映.利用位移传感器形成的图像记录方式,不仅是对朗威 DISLab 软件和器材的创新使用,也为验证机械能守恒定律这一实验设计上提供了一种新的思路。

参考文献

- 1 曹政,倪敏,张悦,等. DIS 实验探究弹簧振子系统中的机械能守恒定律[J]. 物理通报, 2016(10):71~73,78
- 2 曹政,张悦,倪敏,徐文,等. 用弹簧振子的振动法验证机械能守恒定律的 DIS 实验及其改进[J]. 中学物理教学参考, 2016,45(10):90~92,2
- 3 王佳,郭长江. DIS 实验用于弹簧振子简谐运动的教学研究[J]. 物理通报, 2014(10):75~79
- 4 蒋超,谢波,吴俊杰,等. 验证单摆运动机械能守恒的教学探讨[J]. 物理教学探讨, 2010,28(11):51~52

The Comparison of Different Data Recording Methods of Verifying the Law of Mechanical Energy Conservation by DIS Experiment

Chen Lingmin Liu Aiyun

(Mathematics and Physics Department of Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Abstract: Testing and verify the law of mechanical energy conservation on the basis of physical analog of hanging spring. We can only know the mechanical energy at photoelectric doors by traditional form record method, and we have to adjust the position of the photoelectric doors many times if we also want to know mechanical energy in other place. However, we can record directly the relationship image between the movement displacement of weight and time through image formed by displacement pickup, then we can know the relationship image between the velocity of weight and time when weight moves to any place through curve fitting and derivation, and we can calculate the mechanical energy of weight every place. Compared to traditional form record method, image record method is not only new and intuitive, but also testing and verify the law of mechanical energy conservation fully. Testing and verify the law of mechanical energy conservation by image record method is not only a kind of experimental innovation, but also a kind of innovation use of DISLab and experimental equipment.

Key words: the law of mechanical energy conservation; DIS experiment; data record; displacement pickup; image record