

淮南师范学院实验报告

学院： 电子工程学院 专业： 物理学 班级： 请输入

学号： 请输入 姓名： 请输入 日期： 请输入

一、实验名称： 惯性秤的应用

二、实验目的：

- 了解惯性秤的结构和工作原理，掌握利用振动周期测量惯性质量的方法。
- 验证惯性秤周期平方 T^2 与附加质量 m 的线性关系。
- 利用标准质量片建立定标直线，测量圆柱体的惯性质量，并计算相对误差。

三、实验原理：

惯性秤由载物台和两片平行弹性悬臂组成。载物台沿水平方向作小振幅振动时，可近似视为简谐振动。若载物台上附加质量为 m ，振动体空载时的等效质量为 m_0 ，悬臂振动体的等效劲度系数为 $\tilde{k}$ ，则振动周期为

$$T=2\pi\sqrt{\frac{m+m_0}{\tilde{k}}}.$$

两边平方，得到

$$T^2=\frac{4\pi^2}{\tilde{k}}m+\frac{4\pi^2m_0}{\tilde{k}}.$$

令

$$T^2=Am+B,$$

则

$$A=\frac{4\pi^2}{\tilde{k}},\quad B=\frac{4\pi^2m_0}{\tilde{k}}.$$

因此，先用已知质量片测量周期并建立 T^2-m 定标直线，再由待测圆柱体的周期即可反求其惯性质量。同时有

$$\tilde{k}=\frac{4\pi^2}{A},\quad m_0=\frac{B}{A}.$$

四、主要仪器设备： 惯性秤、DHTC-1A 通用计数器、光电门、8 片标准质量片（每片 25 g）、待测圆柱体。

五、实验步骤：

- 调节惯性秤底座，使载物台保持水平；连接光电门与通用计数器，将周期数设置为 $n=20$ 。
- 依次加入 25~ 200 g 的标准质量片。质量片按“先中间、后两边、尽量对称”的原则放置。
- 每次待质量片放稳后，轻推载物台，使初始偏角不超过 5° ；待计数器完成 20 个周期测量后，记录单周期 T 。
- 取下标准质量片，将圆柱体放在载物台中心，按相同方法测量其周期。
- 计算各组 T^2 ，采用逐差法和最小二乘法处理定标数据，求圆柱体质量、相对误差、等效劲度系数和空载等效质量。

六、原始数据记录：

实验条件：周期数 $n=20$ ；单片标准质量 25 g；圆柱体标称质量 190.5 g。

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
样品	片状标准质量片								圆柱体
m/g	25	50	75	100	125	150	175	200	190.5 (标称)
T _i /s	0.372956	0.429540	0.477866	0.525413	0.573683	0.612982	0.652948	0.694534	0.681051
T _i ² /s ²	0.139096	0.184505	0.228356	0.276059	0.329112	0.375747	0.426341	0.482377	0.463831
ΔT _i ² /s ²	0.190016	0.191242	0.197985	0.206319	—	—	—	—	—
Δm/g	100	100	100	100	—	—	—	—	—

注：逐差量按 $\Delta T_i^2=T_{i+4}^2-T_i^2$ 、 $\Delta m_i=m_{i+4}-m_i$ 计算；第 9 组的 190.5 g 为圆柱体标称质量，不参与定标拟合。

七、数据处理：

（一）逐差法求斜率

取相隔四组的数据，质量增量均为

$$\Delta m=100\text{ g}=0.100\text{ kg}.$$

四个周期平方差为

$$\Delta T_1^2=T_5^2-T_1^2=0.190016\text{ s}^2,$$

$$\Delta T_2^2=T_6^2-T_2^2=0.191242\text{ s}^2,$$

$$\Delta T_3^2=T_7^2-T_3^2=0.197985\text{ s}^2,$$

$$\Delta T_4^2=T_8^2-T_4^2=0.206319\text{ s}^2.$$

平均周期平方差为

$$\overline{\Delta T^2}=\frac{0.190016+0.191242+0.197985+0.206319}{4}=0.196391\text{ s}^2.$$

故逐差法所得斜率为

$$A_{\text{逐差}}=\frac{\overline{\Delta T^2}}{\Delta m}=\frac{0.196391}{0.100}=1.96391\text{ s}^2\text{ kg}^{-1}.$$

（二）最小二乘法拟合

以 m 为横坐标、 T^2 为纵坐标，对前 8 组标准质量片数据作线性拟合，得到

$$T^2=\left(1.95589\text{ s}^2\text{ kg}^{-1}\right)m+0.08516\text{ s}^2,$$

即

$$A=1.95589\text{ s}^2\text{ kg}^{-1},\quad B=0.08516\text{ s}^2,$$

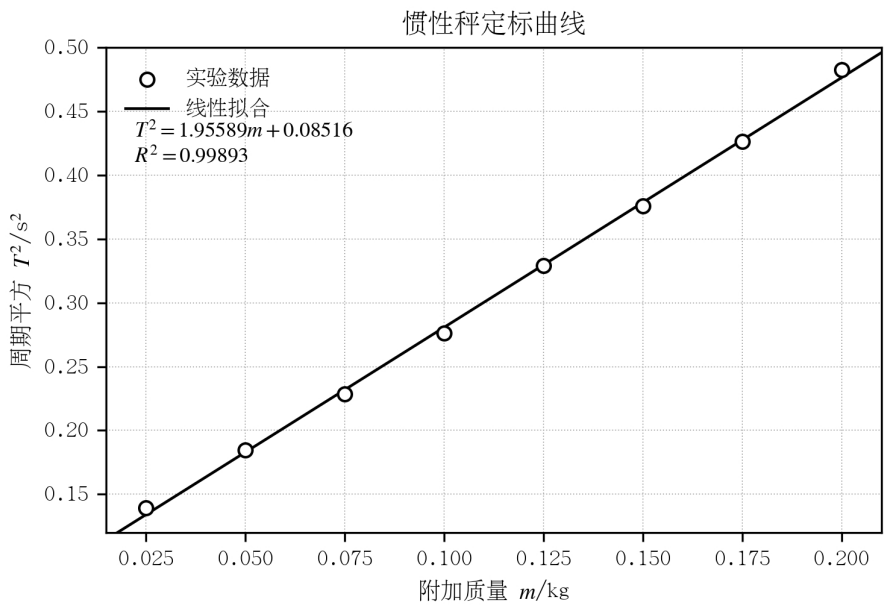
决定系数为

$$R^2=0.99893.$$

逐差法与最小二乘法所得斜率的相对差约为

$$\frac{|1.96391-1.95589|}{1.95589}\times100\%=0.41\%,$$

两种处理结果一致性较好。



（三）斜率不确定度

最小二乘直线斜率的标准不确定度为

$$u(A)=\sqrt{\frac{1}{n-2}\cdot\frac{\sum_{i=1}^n\left(T_i^2-Am_i-B\right)^2}{\sum_{i=1}^n\left(m_i-\overline{m}\right)^2}}=0.02616\text{ s}^2\text{ kg}^{-1}.$$

因此

$$A=(1.956\pm0.026)\text{ s}^2\text{ kg}^{-1},$$

相对标准不确定度为

$$u_r(A)=\frac{u(A)}{A}\times100\%=1.34\%.$$

（四）圆柱体惯性质量及相对误差

圆柱体周期为

$$T_{\text{x}}=0.681051\text{ s},\quad T_{\text{x}}^2=0.463831\text{ s}^2.$$

由定标直线反求质量：

$$m_{\text{x}}=\frac{T_{\text{x}}^2-B}{A},$$

$$m_{\text{x}}=\frac{0.463831-0.08516}{1.95589},$$

$$m_{\text{x}}=0.19360\text{ kg}=193.60\text{ g}.$$

圆柱体标称质量为 $m_{\text{真}}=190.5\text{ g}$ ，故相对误差为

$$E=\frac{\left|m_x-m_{\text{真}}\right|}{m_{\text{真}}}\times 100\%=\frac{\left|193.60-190.5\right|}{190.5}\times 100\%=1.63\%.$$

（五）等效劲度系数与空载等效质量

由拟合斜率可得

$$\tilde{k}=\frac{4\pi^2}{A}=\frac{4\pi^2}{1.95589}=20.18\text{ N m}^{-1}.$$

由于 $\tilde{k}$ 与 A 成反比，其相对标准不确定度与 A 相同，故

$$u\left(\tilde{k}\right)=20.18\times 1.34\%=0.27\text{ N m}^{-1},$$

所以

$$\tilde{k}=(20.18\pm 0.27)\text{ N m}^{-1}.$$

空载等效质量为

$$m_0=\frac{B}{A}=\frac{0.08516}{1.95589}=0.04354\text{ kg}=43.54\text{ g}.$$

八、实验结果与讨论：

1. 标准质量片的 T^2-m 定标关系为

$$T^2=1.95589m+0.08516,$$

其中 m 的单位为 kg ， T^2 的单位为 s^2 。决定系数 $R^2=0.99893$ ，说明周期平方与附加质量具有良好的线性关系，符合惯性秤的简谐振动模型。

2. 圆柱体的惯性质量测量值为

$$m_x=193.60\text{ g},$$

与标称质量 190.5 g 相比，相对误差为 1.63% ，实验结果较为可靠。

3. 悬臂振动体等效劲度系数和空载等效质量分别为

$$\tilde{k}=(20.18\pm 0.27)\text{ N m}^{-1},\quad m_0=43.54\text{ g}.$$

4. 主要误差来源：质量片未完全居中或对称放置会引入扭转振动；初始振幅过大会破坏小振幅近似；挡光片与光电门未完全对准会造成触发误差；悬臂内耗、空气阻力和台面振动也会影响周期。实验中应保持质量片位置一致、推动幅度小且每次操作方式相同，以减小系统误差。