

# 落球法测液体的粘滞系数实验数据记录与分析

袁子强 2025533009

2025 年 11 月 14 日

## 1 小球直径 $d$

次数	1	2	3	4	5
$d (10^{-3}m)$	0.990	0.980	0.980	0.990	0.980

求  $\bar{d}$ 、 $\sigma_{\bar{d}}$ 。

平均值  $\bar{d}$ 、标准偏差  $\sigma_{\bar{d}}$

$$\bar{d} = 0.984 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\sigma_{\bar{d}} = 0.002449 \times 10^{-3} \text{ m}$$

不确定度  $U$

取不确定度为平均值的标准偏差：

$$U = \sigma_{\bar{d}} = 0.002449 \times 10^{-3} \text{ m} \approx 0.0025 \times 10^{-3} \text{ m}$$

最终结果： $\bar{d} = (0.984 \pm 0.0025) \times 10^{-3} \text{ m}$ 。

### 1.1 误差分析

测量的不确定度主要来源于测量过程中的随机误差。

系统误差

- 螺旋测微器在使用前可能未正确校准零点，或引入了一个固定的偏差；
- 螺旋测微器本身的制造精度会带来系统误差，通常为  $\pm 0.004 \text{ mm}$ 。

## 随机误差

1. 虽然螺旋测微器可估读到 0.001 mm，但在判断刻度线是否对齐时存在主观性，导致多次测量结果在末位数字上波动；
2. 尽管使用了棘轮机构以保证恒定的测量力，但每次操作的微小差异仍可能导致测杆对小球施加的压力略有不同，从而引起读数变化；
3. 小球并非理想的完美球体，可能存在微小的椭圆度或表面瑕疵——在不同方位测量时，得到的直径值会有微小差异。

## 2 $v_0$ 的测定

$$L = 5 \times 10^{-2} \text{ m}, (\text{1 个刻度为 } 1 \text{ cm}); v_0 = \frac{L}{t}.$$

$T$ (°C)	$t$ (s)							$v_0$ (m/s)
	1	2	3	4	5	$\bar{t}$	$\sigma_{\bar{t}}$	
26	9.43	9.44	9.22	9.18	9.07	9.27	0.0725	$5.39 \times 10^{-3}$
28	7.91	7.90	7.71	7.78	7.86	7.83	0.0381	$6.39 \times 10^{-3}$
30	7.22	7.17	7.23	7.13	6.93	7.14	0.0546	$7.00 \times 10^{-3}$
32	6.23	6.03	6.14	6.15	6.04	6.12	0.0373	$8.17 \times 10^{-3}$
34	5.34	5.31	5.45	5.23	5.24	5.31	0.0398	$9.42 \times 10^{-3}$
36	4.76	4.76	4.64	4.64	4.71	4.70	0.0269	$10.64 \times 10^{-3}$

根据理论公式求  $\eta$ 。

$$(\rho = 7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3, \rho_0 = 0.95 \times 10^3 \text{ kg/m}^3, D = 2.0 \times 10^{-2} \text{ m})$$

## 粘度 $\eta$ 计算

### 已知参数

$$\rho = 7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_0 = 0.95 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.794 \text{ m/s}^2$$

$$d = 0.984 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$D = 2.0 \times 10^{-2} \text{ m}$$

## 修正系数

$$(1 + 2.4 \times \frac{d}{D}) = 1 + 2.4 \times \frac{0.984 \times 10^{-3}}{2.0 \times 10^{-2}} = 1.1181$$

## 计算 $\eta$

以  $26^{\circ}\text{C}$  为例:

$$\eta = \frac{(7800 - 950) \times 9.794 \times (0.984 \times 10^{-3})^2}{18 \times 5.393 \times 10^{-3} \times 1.1181}$$

$$= \frac{6850 \times 9.794 \times 9.682 \times 10^{-7}}{1.085 \times 10^{-1}} = 0.599 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \eta - \frac{3}{16}v_0 d \rho_0 = 0.599 - \frac{3}{16} \times 5.393 \times 10^{-3} \times 0.984 \times 10^{-3} \times 950 \\ &= 0.599 - 9.45 \times 10^{-4} = 0.598 \text{ Pa} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

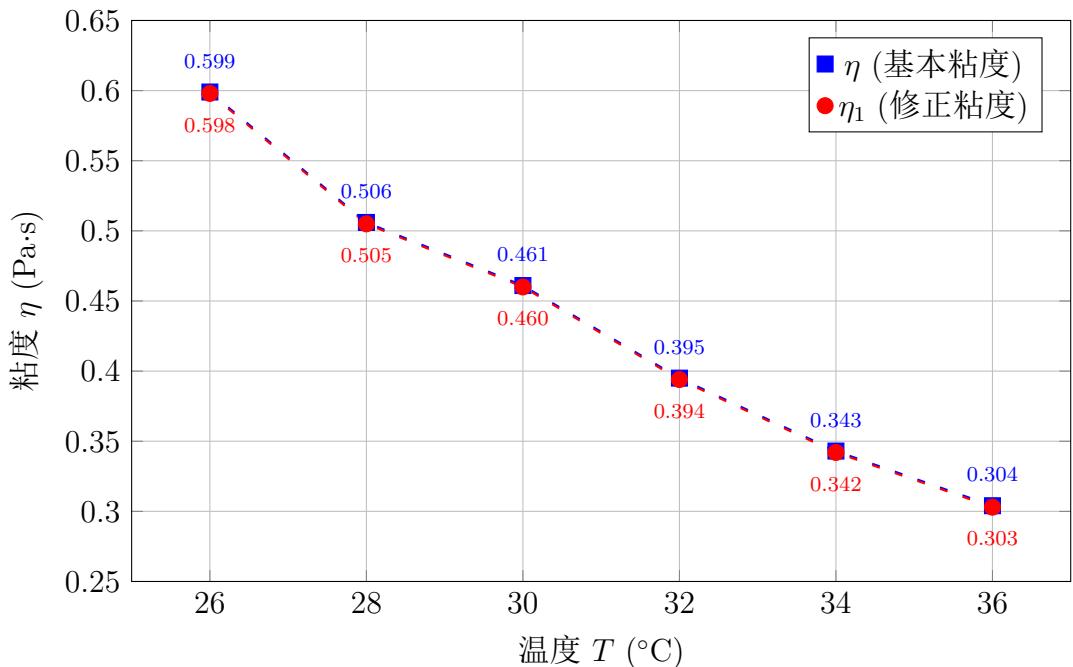
...

## 最终结果

$T (\text{ }^{\circ}\text{C})$	26	28	30	32	34	36
$\eta (\text{Pa} \cdot \text{s})$	0.599	0.506	0.461	0.395	0.343	0.304
$\eta_1 (\text{Pa} \cdot \text{s})$	0.598	0.505	0.460	0.395	0.342	0.303

## $\eta$ -T 图

蓖麻油粘度  $\eta$  与温度  $T$  关系



## 粘度随温度变化关系

- 粘度随温度升高而显著降低，温度每升高  $1^{\circ}\text{C}$ ，粘度约减少 5.2%；
- 从  $26^{\circ}\text{C}$  到  $36^{\circ}\text{C}$ ，粘度从  $0.599 \text{ Pa}\cdot\text{s}$  降至  $0.304 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ，下降约 49%；
- 在实验温度范围内，粘度变化符合指数衰减规律；
- 修正项  $\eta_1$  与  $\eta$  差异很小（约 0.1%），说明雷诺数修正影响较小。

### 2.1 误差分析

测量的误差主要来源于速度测量和粘度计算过程。

#### 系统误差

1. 理论模型可能存在管壁边界修正不足、温度速度增大时公式适用性降低、忽略雷诺数高阶修正等近似误差；
2. 实验装置可能存在玻璃管微小倾斜、液体内部温度微小梯度和波动等误差；
3. 计算过程中存在参数传递放大误差、忽略蓖麻油密度随温度变化等误差。

#### 随机误差

1. 手动操作电子停表的反应时间存在约  $0.1 - 0.2 \text{ s}$  的随机波动，特别是在判断小球通过刻度线的瞬间，导致计时起点和终点的不一致；
2. 释放小球时可能产生微小扰动，影响小球达到终端速度的过程；
3. 小球可能未严格沿管轴下落，产生轻微摆动或靠近管壁，影响下落速度。