

班级 土木一班 学号 190410102 姓名 方尧 教师签字

实验日期 7.3 组号 C1 预习成绩 总成绩

实验(二) 液体黏度的测定

一. 实验目的

1. 学习液体黏度的定义与测量方法;
2. 学习斯托克斯定律和它的适用条件;
3. 学习读数显微镜的构造与原理。

二. 实验原理

液体的黏滞力 F 与面积 S 以及速度 v 成正比, 与距离成反比, 即 $F = \eta S \frac{v}{x}$

比例系数 η 即为黏度, 单位为 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 或 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

v 为小球下落的速度; r 为小球半径。可见, 黏滞力是随着小球下落速度增加而增加的, 如果小球从液面开始下落, 最初是加速运动, 当速度增大到一定程度时, 达到受力平衡, 开始匀速运动。

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = 6\pi \eta v_0 r + \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g$$

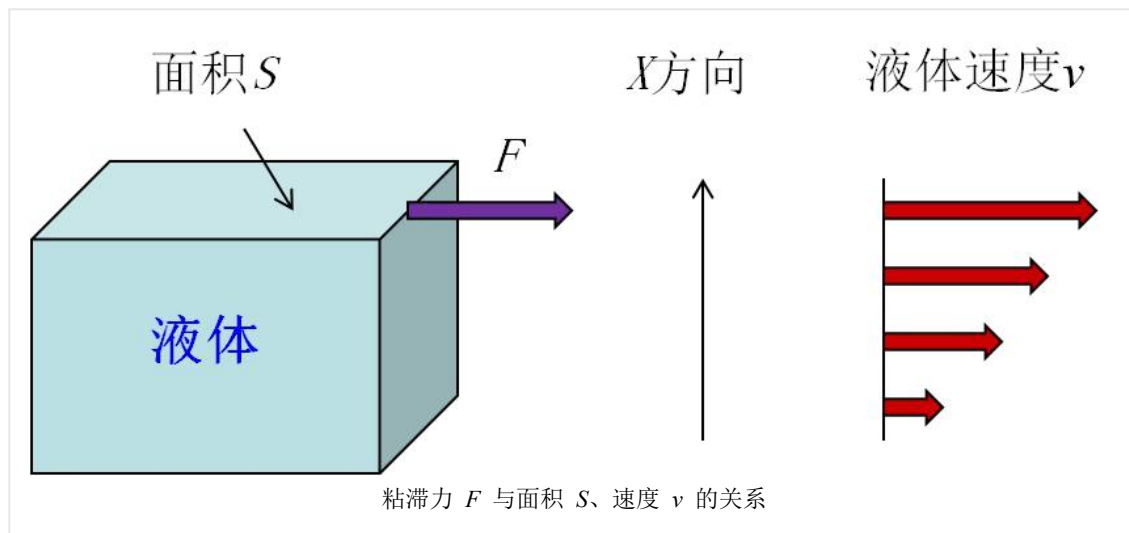
$$\text{可得 } \eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0) g r^2}{v_0} = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_0) g d^2}{v_0}$$

其中 ρ 为小球密度, ρ_0 为液体密度, d 为小球直径。

考虑液体容器不是无限宽广的, 考虑边界对小球运动带来的影响, 如果液体高度为 H , 圆筒内

$$\text{径为 } D, \eta \text{ 的计算公式应修正为: } \eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_0) g d^2}{v_0 \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right)} = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_0) g t d^2}{L \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right)}$$

L 为上下标线的距离; t 为小球经过两标线下落时间。



三. 数据处理

有关已知数据:

小球密度 $\rho = 7.80 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;

重力加速度 $g = 9.78 \text{ m/s}^2$;

蓖麻油密度 $\rho_0 = 0.95 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;

圆管内部的已固定直径 $D = 2.00 \times 10^{-2} \text{ m}$

测定时间的不确定度为 0.2 s 。

实验中 L 取 10cm ;

将数据输入 Excel 中, 计算各小球的平均直径 (mm) 分别为

球 1	球 2	球 3	球 4	球 5
1.06	0.77	0.95	0.96	1.01

$$\text{根据 } \eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)gd^2}{v_0 \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right)} = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)gt d^2}{L \left(1 + 2.4 \frac{d}{D}\right)} \text{ 可得}$$

粘度 $\eta / (\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	球 1	球 2	球 3	球 4	球 5
34°C	0.36	0.21	0.31	0.31	0.33
40°C	0.23	0.15	0.21	0.27	0.25
44°C	0.19	0.11	0.16	0.17	0.19
48°C	0.14	0.08	0.13	0.13	0.15
56°C	0.18	0.10	0.11	0.12	0.13

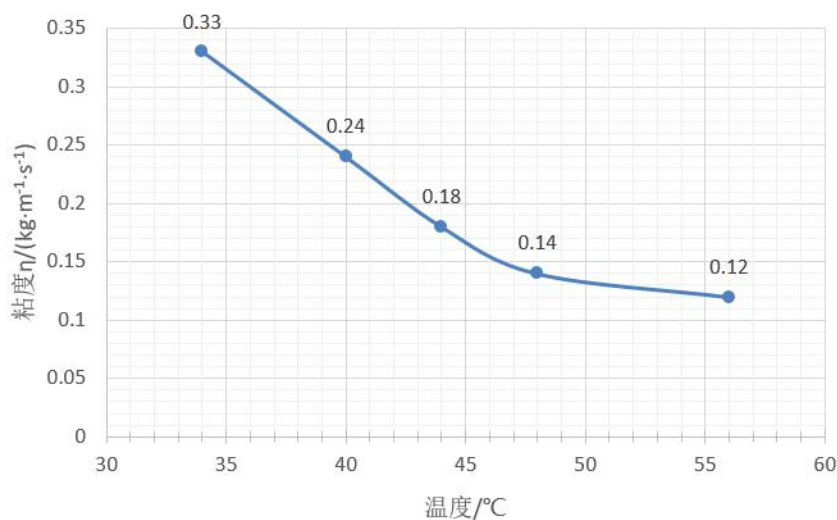
由于球 2 在 34, 40, 44, 48 温度下偏差过大, 球 1 在 56 摄氏度也偏差较大, 故舍弃这些数据;

$$\bar{\eta}_{34^\circ\text{C}} = \frac{0.36 + 0.31 + 0.31 + 0.33}{4} = 0.33; \quad \bar{\eta}_{40^\circ\text{C}} = \frac{0.23 + 0.21 + 0.27 + 0.25}{4} = 0.24;$$

$$\bar{\eta}_{44^\circ\text{C}} = \frac{0.19 + 0.16 + 0.17 + 0.19}{4} = 0.18; \quad \bar{\eta}_{48^\circ\text{C}} = \frac{0.14 + 0.13 + 0.13 + 0.15}{4} = 0.14;$$

$$\bar{\eta}_{56^\circ\text{C}} = \frac{0.10 + 0.11 + 0.12 + 0.13}{4} = 0.12;$$

粘度-温度曲线



$$\text{由 } \eta = \frac{1}{18} \cdot \frac{(\rho - \rho_0) g t d^2}{L \left(1 + 2.4 \frac{d}{D} \right)} = \frac{(\rho - \rho_0) g}{18 L} \cdot \frac{t d^2}{\left(1 + 2.4 \frac{d}{D} \right)}$$

$$\ln \eta = \ln \frac{(\rho - \rho_0) g D}{18 L} + \ln t + 2 \ln d - \ln (D + 2.4 d)$$

$$E = \frac{U}{\bar{\eta}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \eta}{\partial t} \right)^2 \cdot U_t^2 + \left(\frac{\partial \ln \eta}{\partial d} \right)^2 \cdot U_d^2}$$

现计算温度为34℃下球1的不确定度：即 $t = 9.6 \text{ s}$; $\bar{d} = 1.060 \text{ mm}$;

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (d_i - \bar{d})^2}{5 \times (5-1)}} = 0.017 \text{ mm}; d \text{ 符合均匀分布 } u_d = \frac{\Delta_{\text{仪}}}{\sqrt{3}} = \frac{0.007 \text{ mm}}{\sqrt{3}};$$

$$U_d = \sqrt{S_d^2 + u_d^2} = 1.8 \times 10^{-5} \text{ m}; U_t = 0.2 \text{ s}; \left. \frac{\partial \ln \eta}{\partial t} \right|_{t=9.6 \text{ s}} = \left[\frac{1}{t} \right]_{t=9.6 \text{ s}} = \frac{1}{9.6};$$

$$\left. \frac{\partial \ln \eta}{\partial d} \right|_{\bar{d}=1.060 \text{ mm}; D=0.02 \text{ m}} = \left[\frac{2}{d} - \frac{2.4}{D + 2.4d} \right]_{\bar{d}=1.060 \text{ mm}; D=0.02 \text{ m}} = \frac{2}{\bar{d}} - \frac{2.4}{D + 2.4\bar{d}}$$

带入得 $E = 3.82\%$, 得 $U = E \cdot \bar{\eta} = 3.82\% \times 0.36 = 0.014$

$$\eta = \bar{\eta} \pm U = (0.36 \pm 0.014) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$E = \frac{U}{\bar{\eta}} = 3.82\%$$

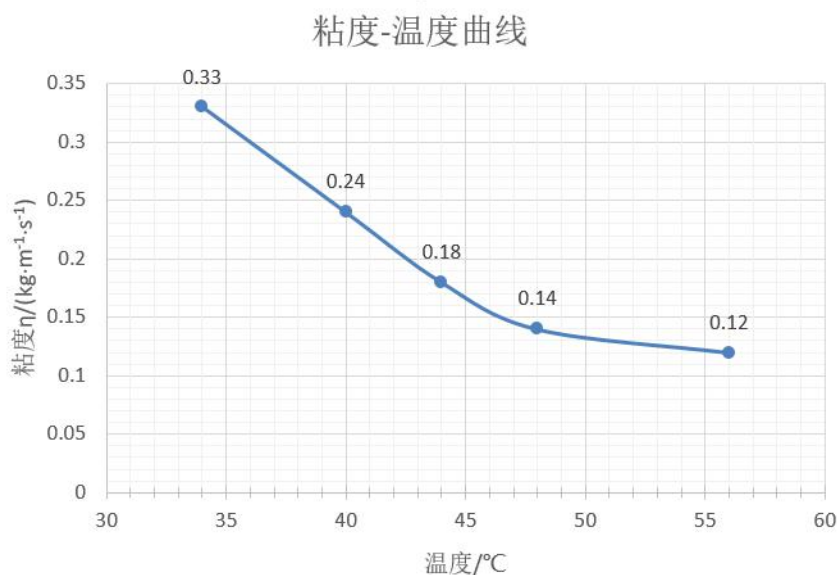
$$P = 68.3\%$$

四. 实验结论及现象分析

$$\bar{\eta}_{34^{\circ}\text{C}} = \frac{0.36 + 0.31 + 0.31 + 0.33}{4} = 0.33; \quad \bar{\eta}_{40^{\circ}\text{C}} = \frac{0.23 + 0.21 + 0.27 + 0.25}{4} = 0.24;$$

$$\bar{\eta}_{44^{\circ}\text{C}} = \frac{0.19 + 0.16 + 0.17 + 0.19}{4} = 0.18; \quad \bar{\eta}_{48^{\circ}\text{C}} = \frac{0.14 + 0.13 + 0.13 + 0.15}{4} = 0.14;$$

$$\bar{\eta}_{54^{\circ}\text{C}} = \frac{0.10 + 0.11 + 0.12 + 0.13}{4} = 0.12;$$



$$\eta = \bar{\eta} \pm U = (0.36 \pm 0.014) \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$E = \frac{U}{\bar{\eta}} = 3.82\%$$

$$P = 68.3\%$$

五. 讨论问题

问题一：

是否沿着管中心下落；测量时间的准确性；小球直径的测量准确度；等

问题二：

液体升温间距变大，分子间吸引力变小，对外界介质（这里指小球）束缚力变小，即黏力，故黏度变小。

问题三：

管壁下落会导致黏度偏大。（实验中有几个数据因此被舍弃）

问题四：

意味着越往下，就越靠近管壁，根据问题二知，管壁黏度较大，故测得时间会较正确值偏大，故黏度测得偏大。

实验现象观察与原始数据记录

球

1

X1

25.680

26.820

32.688

34.472

42.342

2

X2

26.712

27.880

33.710

35.592

43.418

X1

22.522

24.048

26.615

28.302

29.450

X2

23.480

24.040

27.578

29.265

30.440

X1

31.892

33.638

34.942

36.769

37.905

X2

32.832

34.590

35.920

37.695

38.869

X1

39.605

40.695

41.775

43.115

44.144

X2

40.598

41.649

42.722

44.048

45.103

X1

24.542

26.250

29.576

31.052

32.622

X2

25.570

27.240

30.580

32.050

33.658

34℃

球1

球2

球3

球4

球5

9'60

10'35

10'18

10'00

9'69

56℃

4'90

4'87

3'59

3'88

3'85

40℃

6'25

7'44

7'10

8.69

7'37

44℃

5'00

5'47

5'28

5.63

5'47

48℃

3.66

4'09

4'16

4'09

4.29

190410102

方尧

7.3

10cm-20cm

李金成

学生	姓名	学号	日期
签字	方尧	190410102	7.3

教师	姓名
签字	