

《 高分子物理 》

# 实 验 指 导 书

郭伟杰 编 写

适用专业：高分子材料与工程

江苏科技大学材料科学与工程学院

2006 年 4 月

## 目 录

实验 1	粘度法测定高聚物分子量.....	4
实验 2	聚合物温度-形变曲线的测定 .....	10
实验 3	熔融指数测定.....	15
实验 4	聚合物力学性能实验.....	20
实验 5	塑料弯曲强度试验.....	34
实验 6	塑料压缩强度试验.....	36
实验 7	聚合物溶液粘度的测定.....	37
实验 8	光学解偏振光法测定聚合物的结晶速率.....	41
实验 9	差示扫描量热法.....	45
附录	高分子物理常用数据.....	52

# 前 言

高分子物理主要是研究聚合物的结构与性能,进行高分子性能测试和结构表征,一方面为高分子合成控制目标,另一方面为高分子成型加工和材料选用提供依据,在分子科学和工程学科中起着承前启后的作用。高分子物理实验是高分子物理课程的重要组成部分,是高分子材料专业的一门综合性很强的基础实验课程。通过实验,可以使更好地理解 and 领会聚合物溶液的性质、聚合物形态结构、聚合物力学性质、聚合物热学性质、聚合物熔体流变性能等基础知识。实验目的除了进一步掌握高分子物理的课程内容和提高动手能力以外,另一个重要的目的是扩大学生的知识面,了解各项测试方法的测试原理以及仪器结构。

本指导书包括了 9 个实验,其中实验 1-4 为必做的实验项目,其它的实验可以供学生选做。实验 1“粘度法测定高聚物的分子量”可以使掌握粘度法的原理以及其测量方法,有利于学生理论知识和动手能力的提高;实验 2 和实验 4 是有关聚合物的形态结构和力学性能方面的实验,可以使学生对聚合物材料各种性能有直观的认识;实验 3 是有关聚物流变和加工性能方面的实验,可以使学生对聚合物材料加工性能有更深的了解和认识。通过这些实验,可以使掌握聚合物的研究方法和实验的操作技能,提高学生独立操作、分析、解决实际问题的能力。

# 实验 1 粘度法测定高聚物分子量

实验学时：3

实验类型：验证

实验要求：必修

## 一、实验目的

1. 掌握粘度法的基本原理。
2. 学习用粘度法测定高聚物分子量，牢固掌握测定聚合物稀溶液粘度的实验技术。
3. 学习粘度法测定高聚物分子量的数据处理。
4. 熟悉恒温水槽装置和贝克曼温度计的调节及使用方法。

## 二、实验原理

高聚物溶液的粘度与高聚物分子量之间有一定的关系，利用粘度来测定分子量的方法称为粘度法，它是目前最常用的测定高聚物分子量的方法之一。

高分子溶液粘度的大小与其分子量、分子形状、溶液浓度、溶液性质、温度等因素都有关系。由于影响因素较多，因此到目前为止粘度与分子量之间的关系还不能有理论式来计算，而是从经验式求得。

在一定温度下，高分子溶液的特性粘数 $[\eta]$ 与分子量之间的关系遵循下面的经验公式：

$$[\eta] = K \overline{M}_\eta^\alpha \quad (1)$$

在温度一定时，对某一高聚物溶液体系，公式中  $K$  和  $\alpha$  是常数，一般常见高聚物一溶液体系的  $K$ 、 $\alpha$  值都可以从相关手册中查到，如表 1-1，因此只要从实验中测得特性粘数 $[\eta]$ 就可以求出高聚物的分子量。

1-1 常用聚合物  $K$ 、 $\alpha$  值

高聚物	溶剂	T/K	$K \times 10^5 \text{m}^3/\text{kg}$	$\alpha$
聚乙烯醇	水	298.2	5.95	0.63
	水	303.2	6.66	0.64
聚苯乙烯	苯	298.2	1.23	0.72
	甲苯	298.2	3.70	0.62
聚甲基丙烯酸甲酯	苯	298.2	0.38	0.79

特性粘数的定义为溶液浓度无限稀释情况下的比浓粘度( $\eta_{sp}/C$ )或比浓对数粘度( $\ln\eta_r/C$ )

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{C} = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\ln \eta_r}{C} \quad (2)$$

式(2)中,  $\eta_r = \eta/\eta_0$  ( $\eta$ 、 $\eta_0$  分别为溶液和纯溶剂在同一温度下的粘度)。当用同一支粘度计来测定粘度时,  $\eta_r = t/t_0$  ( $t$ 、 $t_0$  分别为一定体积的稀溶液及纯溶剂用同一粘度计在同一温度下测得的流出时间)。

$$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta_r - 1 \quad \text{称为增比粘度。}$$

高聚物溶液的粘度和浓度之间依赖关系有下列二个经验公式:

$$\frac{\eta_{sp}}{C} = [\eta] + k' [\eta]^2 C \quad (3)$$

$$\frac{\ln \eta_r}{C} = [\eta] - \beta [\eta]^2 C \quad (4)$$

(3)式称为 Huggins(休金斯)经验公式, (4)式称之为 Kraemer(克罗米尔)公式。从(3)式和 (4)式可以看出比浓粘度  $\frac{\eta_{sp}}{C}$  和比浓对数粘度  $\frac{\ln \eta_r}{C}$  与浓度  $C$  成线性关系。因此以  $\frac{\eta_{sp}}{C}$  对  $C$  或  $\frac{\ln \eta_r}{C}$  对  $C$  作图, 可得两条直线, 按式(2)的定义使浓度  $C$  外推时, 两条直线在  $C=0$  处即纵轴上交于一点, 此点的截距即是特性粘数 $[\eta]$ , 然后根据式(1)即可求出高聚物的分子量。由上述公式求出的高聚物分子量是高聚物的粘均分子量  $\overline{M}_\eta$ 。

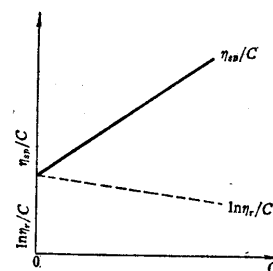


图 1-1

如图 1-1 测定聚合物稀溶液的相对粘度  $\eta_r$  一般采用乌氏粘度计(图 1-2), 经过滤的聚合物溶液从 A 管加入、关闭 C 管, 从 B 管将液体吸到 a 线以上后打开 C 管, 使液体流下, 记录液面经 a 至 b 线的时间, 若测得溶剂流经 a 线至 b 线的时间为  $t_0$ , 就可求得  $\eta_r$ :

$$\eta_r = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0}$$

从而就有：
$$\eta_{sp} = \eta_r - 1 = \frac{t - t_0}{t_0}$$

溶液浓度  $C$  是已知的， $t_0$  对于一个固定的溶剂是一种固定的数值。因此，每测定一种溶液的  $t$  值，就能算

出一组与溶液相应的  $\frac{\eta_{sp}}{C}$  和  $\frac{\ln \eta_r}{C}$ ，因此以  $\frac{\eta_{sp}}{C}$  对  $C$

或  $\frac{\ln \eta_r}{C}$  对  $C$  作图，就能算出特性粘数  $[\eta]$ ，由此就可算出粘均分子量。

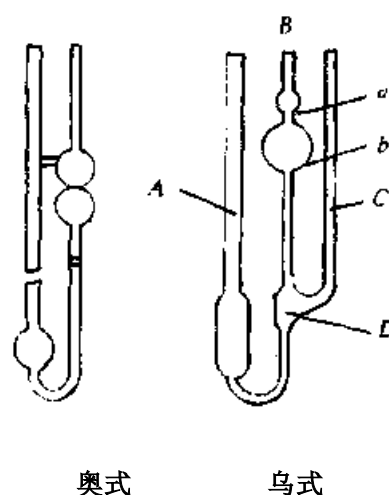


图 1-2

### 三、仪器、药品

乌氏粘度计，秒表，10mL、5mL 移液管，容量瓶，3#玻璃砂芯漏斗，恒温水槽一套，50℃ 1/10 刻度的温度计。

聚乙烯(PVA)试样 20g，蒸馏水 500mL。

### 四、实验步骤

#### 1. 恒温装置及温度调节

水在 20℃时的粘度为 1.0050 厘泊，而在 30℃时的粘度为 0.8007 厘泊，相差达 20%，所以测定溶液的粘度时，必须考虑环境温度的影响，因而必须在温度恒定的条件下测定。温度的控制对实验的准确性有很大影响，要准确到  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。为使恒温水槽能够有效地控制温度，应尽量将搅拌器、加热器放在一起，而粘度计要放在较远的地方，这样温度波动对粘度计的影响较小。把恒温水槽装好，把水槽的水温调到  $30 \pm 0.1^\circ\text{C}$ ，待温度恒定后，即可开始测定聚合物溶液的粘度。

#### 2. 聚合物溶液的配制

本实验采用聚乙烯醇—水体系，聚乙烯醇一般配成浓度为 0.5% 的溶液。称取 0.5g 左右的聚乙烯醇样品置于小烧杯内，加入 20mL 水，加热并轻轻搅拌，使之完全溶解。移至 100mL 容量瓶中，加入 0.25~0.3mL 正丁醇（消泡剂）。分别用 20mL 水洗涤烧杯 3 次，洗液并入容量瓶中，然后把容量瓶放在恒温水槽中，再用 30℃ 的蒸馏水补加至刻度。把配好的溶液用干燥的 3#玻璃砂芯漏斗滤至 150mL 的锥形瓶内，放入恒温水槽中恒温待用。

### 3. 溶剂流出时间 $t_0$ 的测定

用移液管取 10mL 已恒温的蒸馏水，由 A 注入粘度计中。待恒温 5 分钟后，利用吸球由 B 处将溶剂经毛细管吸入球 E 和球 G 中(注意: 不要过快, 以免溶剂吸入吸球!), 然后除去吸球使管 B 与大气相通并打开侧管 C 之夹子, 让溶剂依靠重力自由流下。记录液面从 a 到 b 标线所用的时间  $t_0$ , 重复三次 (任意两次时间差不得超过 0.2s), 取其平均值。

### 4. 测定聚物流出时间测定

在原 10mL 蒸馏水中加入已知浓度的高聚物溶液 10mL, 从 A 管注入乌氏粘度计中(注意尽量不要将溶液沾在管壁上)。封闭 C 管, 用吸耳球从 B 管吸几次, 溶液混合均匀后用  $t_0$  同样的方法测定, 取平均值记作  $t_1$ 。

按照上述方法, 依次加入纯溶剂(蒸馏水) 5ml、5ml、10ml、10ml, 分别测定其流出时间记作  $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$ 、 $t_5$ , 注意每次加入纯溶剂后一定混合均匀, 而且要等温度恒定后才能继续测定溶液流出时间。

## 五、数据处理

见附录

## 六、思考题

1. 用粘度法测定聚合物的分子量依据是什么?有何优点?
2.  $[\eta]$ 和 $\overline{M}_\eta$ 的关系中 K 和  $\alpha$  在什么条件下是常数? 从手册上查 K 和  $\alpha$  值时应注意什么?
3. 为什么要将粘度计的两个小球浸没在恒温水面以下?

## 七、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习, 并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求, 需要用到的仪器、物品及简要的实验步骤, 形成一个操作提纲。对实验中可能出现的现象及安全注意事项做到心中有数。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录), 实验记录必须有指导教师签名, 否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的特殊现象、操作的成败等进行分析总结，回答思考题，提出实验结论及自己的看法。



附录

粘度法测定高聚物分子量

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

一、实验数据记录

样品：\_\_\_\_\_ 溶剂：\_\_\_\_\_ 实验温度：\_\_\_\_\_

K：\_\_\_\_\_  $\alpha$  : \_\_\_\_\_ 溶液起始浓度：\_\_\_\_\_

溶液浓度	流出时间(s)			
	第一次	第二次	第三次	平均值
纯溶剂				$t_0=$
$1/2C_0$				$t_1=$
$2/5C_0$				$t_2=$
$1/3C_0$				$t_3=$
$1/4C_0$				$t_4=$
$1/5C_0$				$t_5=$

二、数据处理(包括计算、制表、绘图)

样品	纯溶剂	$1/5 C_0$	$1/4 C_0$	$1/3 C_0$	$2/5 C_0$	$1/2 C_0$	$C_0$
溶液浓度							
流出时间(s)							
$\eta_r$							
$\ln\eta_r$							
$\frac{\ln\eta_r}{C}$							
$\eta_{sp}$							
$\frac{\eta_{sp}}{C}$							

## 实验2 聚合物温度-形变曲线的测定

实验学时：3

实验类型：验证

实验要求：必修

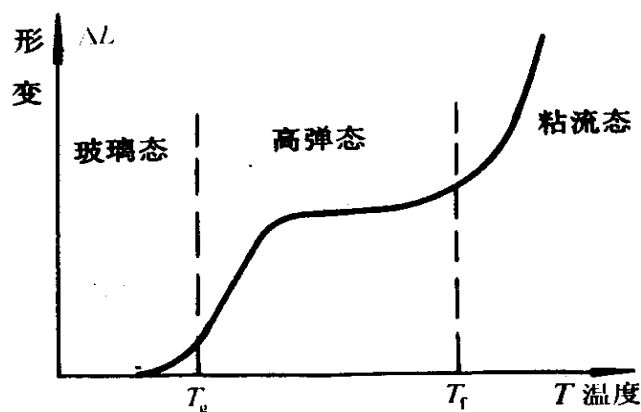
### 一、实验目的

1. 掌握测定聚合物温度-形变曲线的方法。
2. 验证线性非晶聚合物的三种力学状态。
3. 测定聚甲基丙烯酸甲酯的玻璃化温度  $T_g$  和流动温度  $T_f$  以及聚乙烯的熔点。

### 二、实验原理

由于高分子运动单元的多重性，它们的运动具有温度依赖性，当作用的外力一定时，聚合物在不同温度范围内可以呈现完全不同的力学特征。

线性非晶聚合物有三种不同的力学状态，即玻璃态、高弹态、粘流态。在温度足够低时，由于高分子链和链段的运动均被“冻结”，外力的作用只能引起高分子键长和键角的改变，因此聚合物的弹性模量大、形变和很小，表现出硬而脆的物理机械性质，这时聚合物处于玻璃态，在相当宽的玻璃态温度区间内，聚合物的这种力学性质变化不大。随着温度的升高分子热运动能量的逐渐增加，到达一定值后，链段运动首先“解冻”，开始运动而参加到形变机制中去，使聚合物的弹性模量骤降而形变量大增，表现为柔软而富于弹性的高弹体，这时聚合物处于高弹态，玻璃态与高弹态之间的转变温度就是玻璃化温度  $T_g$ 。随着温度继续升高，聚合物进入粘流态，成为可以流动的粘液，形变又急剧增加，高弹态与粘流态之间的转变温度就是粘流温度  $T_f$ 。它们都是聚合物的主要指标，对于线性非晶聚合物来说， $T_g$  是塑料的使用上限、橡胶类材料的使用下限， $T_f$  是成型加工温度的下限。试样的这两个温度值都可以由温度-形变曲线按直线外推法给出，温度-形变曲线是研究高聚物力学性能的重要方法(也称热机械曲线方法)。



必须指出，除了结晶熔融过程之外，上述力学状态之间的转变都不是一个骤变过程而是在一定的温度范围内完成的。因而玻璃化温度  $T_g$  和粘流温度  $T_f$  都不是很固定的数值而是一个温度范围，它们的数值除了决定于结构因素之外，还往往随着测定方法和测定条件而改变。例如测定同一种试样的温度-形变曲线时，所用荷重的大小和升温速度快慢不同，测得的  $T_g$  和  $T_f$  也不一样。一般地说，随着荷重的增加  $T_g$  和  $T_f$  将降低，其中荷重变化对  $T_f$  的影响更为显著；随着升温速率增大， $T_g$  和  $T_f$  都向高温方向移动。因此为了比较多次测量所得结果，必须采用相同的措施条件。

### 三、实验仪器、药品

#### 1. 仪器

XWJ-500B 热机械分析仪，仪器包括由五个部分组成：主机（包括主体架、高温炉、低温炉、试样装置等）、供电单元、控制单元、计算机、打印机。

#### 2. 聚甲基丙烯酸甲酯试样

### 四、实验步骤

#### 1. 准备工作

(1) 正确连接好全部测量线路，经检查后，接通形变仪和记录仪电源，预热至仪器稳定。

(2) 细心清理样品台和压杆触头，彻底清除上次测量留下的残渣。

#### 2. 实验步骤

(1) 截取厚度约 6mm、直径为 4.5mm 聚甲基丙烯酸甲酯试样一块，用游标卡尺测量试样高度。

(2) 将试样放入吊筒内的试样架上，锁紧试样架。

(3) 摇动升降手柄，将吊筒放入炉体内。

(4) 把测量压杆头穿入升降试样架上方孔内，同时将传感器托片对正传感器压头，紧固在测量杆压头上，放上所需砝码。

(5) 打开计算机，进入测试系统，在窗口中设定升温速率、载荷、上限温度、最大形变量。

(6) 试验架位移传感器调零，一般在 $\pm 0.5\text{mm}$ ，设定完毕后，单击“开始试验”按钮即可开始试验。

(7) 试验完毕后，蜂鸣器报警，在菜单栏中选择消音按钮解除警报，根据需要打印报告。

(8) 将吊筒从炉体内升起，清理样品台和压杆触头，试验结束后切断所有电源。

## 五、数据处理

### 1. 求试样的 $T_g$ 、 $T_f$

从打印报告曲线上相应转折区两侧的直线部分外推后得到一个交点作为转变点，找出转变点对应的温度，求得  $T_g$ 、 $T_f$ 。

### 2. 将各数据列表

试样	压力 Pa	升温速度 ( $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ )	$T_g$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	$T_f$ ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 六、思考题

1. 如何理解线型非晶态聚合物的玻璃态、高弹态、粘流态三种力学状态的温度-形变曲线?

2. 影响聚合物温度-形变曲线的主要因素有哪些?

## 七、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习，并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求，需要用到的仪器、物品及简要的实验步骤，形成一个操作提纲。对实验中可能出现的现象及安全注意事项做到心中有数。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录), 实验记录必须有指导教师签名, 否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的特殊现象、操作的成败等进行分析总结, 回答思考题, 提出实验结论及自己的看法。

## 附录

### 聚合物温度-形变曲线的测定

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_ 实验日期：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_ 评分：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

#### 一、实验数据记录

试样厚度：\_\_\_\_\_ 压杆质量：\_\_\_\_\_

载荷：\_\_\_\_\_ 压杆触头的直径：\_\_\_\_\_

升温速率：\_\_\_\_\_ 上限温度：\_\_\_\_\_

最大形变量：\_\_\_\_\_

#### 二、数据处理

求试样的  $T_g$ 、 $T_f$ ：从形变曲线上求出  $T_g$ 、 $T_f$ 。

贴图：

## 实验3 熔融指数测定

实验学时：2

实验类型：验证

实验要求：必修

### 一、实验目的

1. 了解熔融指数仪的基本构造、原理熟悉并学会使用熔融指数仪。
2. 了解热塑性塑料熔体流动速率即融熔指数的实质及其测定意义。
3. 测定聚烯烃树脂的融熔指数。

### 二、实验原理

熔融指数是热塑性聚合物在一定的温度与压力下熔体在 10min 内通过标准毛细管的重量值，以克/10min 表示。

熔融指数仪是一种简易的毛细管式的在低切变速率下工作的仪器。由主体和加热控制仪两个部分组成，主要由砝码、炉体、活塞头、压料杆、毛细管、料筒、直角温度计和加热系统组成，见图 3-1。熔融指数用以区别各种热塑性材料在熔融状态下的流动性。对同一种高聚物可用熔融指数来比较其分子量的大小。一般说来对同一种类型的高聚物，其熔融指数愈小，分子量就越高，断裂强度、硬度、韧性、耐老化性能均有所提高，反之熔融指数越大，其分子量就越小，上述性能有所降低，但加工性能相对好一些。

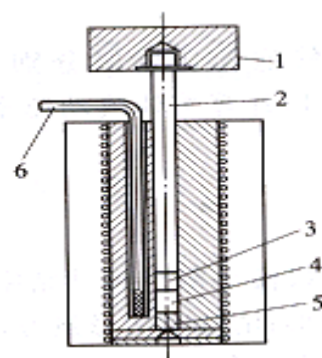


图 3-1

1.砝码 2.活塞杆 3.活塞 4.

### 三、测定方法

1. 试样要求：试样取可放进圆筒中的粉料或粒料，在测定前应根据塑料的种类，按相应的规定对试样加以去湿处理(常用红外灯烘照)。加料量是根据其熔融指数的大小而定，具体如下表：

表 3-1 部分树脂测量 MI 的标准实验条件

树脂名称	标准口模内径(mm)	实验温度(°C)	压力(MPa)	负荷(kg)
PE	2.095	190	0.304	2.160
PP	2.095	230	0.304	2.160
PS	2.095	190	0.703	5.000
PC	2.095	300	0.169	1.200
POM	2.095	190	0.304	2.160
ABS	2.095	200	0.703	5.000
PA	2.095	230, 275	0.304, 0.046	2.160, 0.325

表 3-2 熔融指数与试样用量、取样时间的关系

熔融指数 MI(g /10min)	试样重 (g)	毛细管孔径 (mm)	截取试条的间隔 时间 (min)
0.1-1.0	2.5-3	2.095	6.00
1.0-3.5	3-5	2.095	3.00
3.5-10	5-8	2.095	1.00
10-25	4-8	2.095	0.5

## 2. 测试条件

温度与负荷：以材料的流动温度为依据，测试温度必须高于其流动温度，但温度过高材料会因受热分解。

负荷的选择应根据粘度而定，粘度大的试样，应取较大的负荷，反之，粘度较小就取较小的负荷。

适当的选择温度、荷重，即能保证测试的顺利进行又能得到比较可靠的结果。根据经验，熔融指数小于 10 的，温度、荷重均要求高些，一般取 190°C/2160g；熔融指数在 10~80 之间，一般取 190°C/325g；熔融指数大于 80 的，取 125°C/325g。



## 四、仪器、样品

仪器：熔体流动速率仪 上海思尔达科学仪器有限公司 RL-Z1B

样品：PE

## 五、操作步骤

1. 检查仪器是否水平，若不水平调节仪器底部螺栓至水平仪水平。
2. 将口模与压料杆装入料筒。
3. 接通电源，，开启电源开关，在控制面板上设定温度为 190℃，约 30min 后温度稳定。
4. 在天平上称取 5g 试样。取出压料杆，用漏斗将试样细心地加入料筒并用压料杆压实，随后加上导套
5. 按计时按钮预热 4 min，再加上实验所需的砝码，本试验选用 2.160kg 负载砝码。当砝码装上后熔化的试样即从出料口挤出。
6. 若采用自动切割，则需选择切割时间，本实验选择切割时间为 16 秒。
7. 在料杆下降至标记线时，按下自动切割电源即可逐个切取样条。弃去含有气泡的样断。样品平行测定二次，每次截取 5 段，当压料杆下降至上环行记号和料口相平时，停止取样。
8. 切取样条应在料杆的上下标记线之间进行。如果发现在规定预热时间时切割取样，而料的上下标记线不再此位置，就应调整下一次实验的加料量，或在加料后待试样熔化再加外力使料杆快些达到预定位置，撤去外力。（以手压作外力时，注意料杆切忌歪斜，以免导致料杆损坏。）此操作不应超过试料加入后预热的 4 分钟。
9. 实验结束后切断电源，趁热将余料挤出，清理压料杆、料筒、出料模孔。（均用软纱布蘸石蜡油擦拭，以防损伤仪器的精度）。
10. 切样冷却后，至分析天平上称重。

数据处理：取 5 个无气泡的切割段分别称重，并按下式计算其熔融指数

$$MI = \frac{W \times 600}{t} (\text{g}/10\text{min})$$

式中，W：五个切割段的平均重量(g)； t：每个切割段所需时间(s)。

11. 每个试样平行测定两次，分别求其 MI 值，计算平均值作为该试样的熔融指数。两次之间或各段之间重量差别较大（各切割段质量的最大值与最小值之差不得超过平均值的 10%）时，应找出原因。

12. 清洗：测定结束后预料应趁热挤出。挤出后取出料筒，推出毛细管和压料杆并用纱布擦干净，清料杆缠上清洗纱布，边推边旋转，更换几次纱布直到料筒内清洁光亮为止。

### 注意事项：

1. 料筒、压料活塞杆和毛细管口模等部件尺寸精密，光洁度高，故实验时始终要小心谨慎，严禁落地及碰撞等导致弯曲变形；清洗时切忌强力，以防擦伤。

2. 实验和清洗时要带手套，防止烫伤。

3. 实验结束，挤出余料时，动作要轻，切忌以强力施加砝码之上，防止仪器的损坏。

## 六、数据处理

根据实验结果按下式计算 MI 值：

$$MI = \frac{W \times 600}{t} \text{ [克/10 分钟]}$$

式中，W—切割段重量平均值（g）；

t—每个切割段间隔时间（s）。

## 七、思考题

1. 本实验温度为什么要稳定？

2. 熔融指数为什么不能用来比较结构不同的聚合物分子量的相对大小？

3. 为什么要取 5 个段？是否可以取 10 分钟流出的重量为熔融指数？

## 八、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习，并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求，需要用到的仪器、物品及简要的实验步骤，形成一个操作提纲。对实验中可能出现的现象及安全注意事项做到心中有数。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录)，实验记录必须有指导教师签名，否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的特殊现象、操作的成败等进行分析总结，回答思考题，提出实验结论及自己的看法。

附录

熔融指数测定实验记录

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

一、实验数据记录

1. 树脂名称及牌号：\_\_\_\_\_
2. 试样质量：\_\_\_\_\_ 载荷：\_\_\_\_\_
3. 实验温度：\_\_\_\_\_
4. 实验现象：\_\_\_\_\_

二、数据处理

项目 \ 试样	第一次					第二次				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
时间 (s)										
质量 (g)										
MI (g/10min)										
MI 平均值 (g/10min)										
MI 平均值 (g/10min)										

## 实验 4 聚合物力学性能实验

实验学时：4

实验类型：综合

实验要求：必修

### 4-1 塑料的拉伸强度及断裂伸长率的测定

#### 一、实验目的

1. 熟悉高分子材料拉伸性能测试标准条件、测试原理及操作。
2. 绘制聚合物的应力-应变曲线，测定其屈服强度、拉伸强度、断裂强度和断裂伸长率。
3. 熟悉电子拉力机原理以及使用方法。
4. 掌握实验结果处理方法，了解测试条件对测定结果的影响。

#### 二、实验原理

塑料的拉伸性能是塑料力学性能中最重要、最基本的性能之一。几乎所有的塑料都要考核拉伸性能的各项指标，这些指标的高低很大程度地决定该种塑料的使用场合。

拉伸性能的好坏可以通过拉伸试验进行检测。如拉伸强度、拉伸断裂应力、拉伸屈服应力、拉伸弹性模量、断裂伸长率等。从这些测试值的高低可对塑料的拉伸性能作出评价。拉伸试验测出的应力、应变对应值，可绘制出应力-应变曲线，从曲线上可得到材料的各项拉伸指标。曲线下方面积代表材料的拉伸破坏能，它与材料的强度和韧性有关。强而韧的材料拉伸破坏能大、使用性能也佳。

应力-应变曲线一般分两个部分：弹性变形区和塑性变形区。在弹性变形区域，材料发生可完全恢复的弹性变形，应力与应变呈线性关系，符合虎克定律。在塑性变形区，形变是不可逆的塑性形变，应力和应变增加不再呈正比关系，最后出现断裂。

不同的高聚物材料、不同的测定条件，分别呈现不同的应力-应变行为。根据应力-应变曲线的形状，目前大致可归纳成五种类型，如图 4-1 所示。

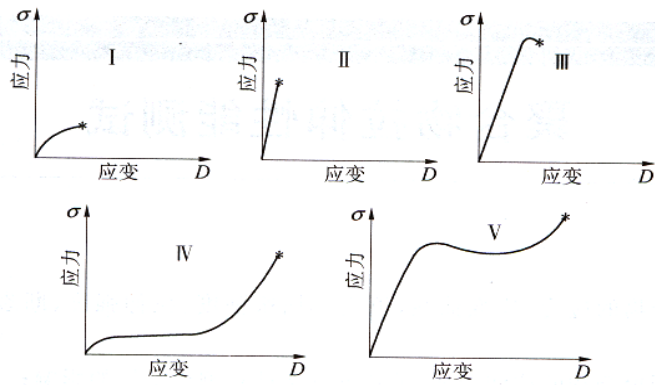


图 4-1

- (I) 软而弱 拉伸强度低，弹性模量小，且伸长率也不大，如溶胀的凝胶等。
- (II) 硬而脆 拉伸强度和弹性模量较大，断裂伸长率小，如聚苯乙烯等。
- (III) 硬而强 拉伸强度和弹性模量较大，且有适当的伸长率，如硬聚氯乙烯等。
- (IV) 软而韧 断裂伸长率大，拉伸强度也较高。但弹性模量低，如天然橡胶、顺丁橡胶等。
- (V) 硬而韧 弹性模量大、拉伸强度和断裂伸长率也大，如聚对苯二甲酸乙二醇酯、尼龙等。

由以上 5 种类型的应力应变曲线，可以看出不同聚合物的断裂过程。一些重要聚合物材料的拉伸强度和断裂伸长率如表 4-1 所示。

表 4-1 聚合物拉伸强度和断裂伸长率

聚合物	性质	拉伸强度 ( $\times 10^5 \text{N/m}^2$ )	断裂伸长率 (%)
PVC	硬制	420—530	40—80
PS	一般用	350—840	1.0—2.5
	耐冲击	110—490	2.0—90
ABS	耐冲击	320—530	5.0—60
	耐燃性	350—420	5.0—25
	玻璃纤维填充(20%~40%)	600—1340	2.5—3.0
PE	高密度	220—390	20—1300
	中密度	80—250	500—600
	低密度	40—160	90—800
	超高相对分子量	180—250	300—500
EVA		100—200	550—900
PP	非增强	300—390	200—700
	玻璃纤维填充(30—35%)	420—1020	2.0—3.6
PA-6	非增强	700—840	200—300
	玻璃纤维填充(33%)	910—1760	3
PA-66	非增强	770—840	60—300
	玻璃纤维填充(33%)	160—200	4—5
PC	非增强	560—670	100—130
	玻璃纤维填充(10~40%)	840—1760	0.9—5.0
尿素树脂	纤维素填充	390—920	0.5—1.0
环氧树脂	玻璃纤维填充	700—140	4

### 三、仪器与试样

#### 1. 仪器

(1) 拉力试验机 任何能满足实验要求的、具有多种拉伸速率的拉力试验机均可使用。本次实验采用 CMT5205 电子拉力试验机。如图 4-2。

(2) 游标卡尺。

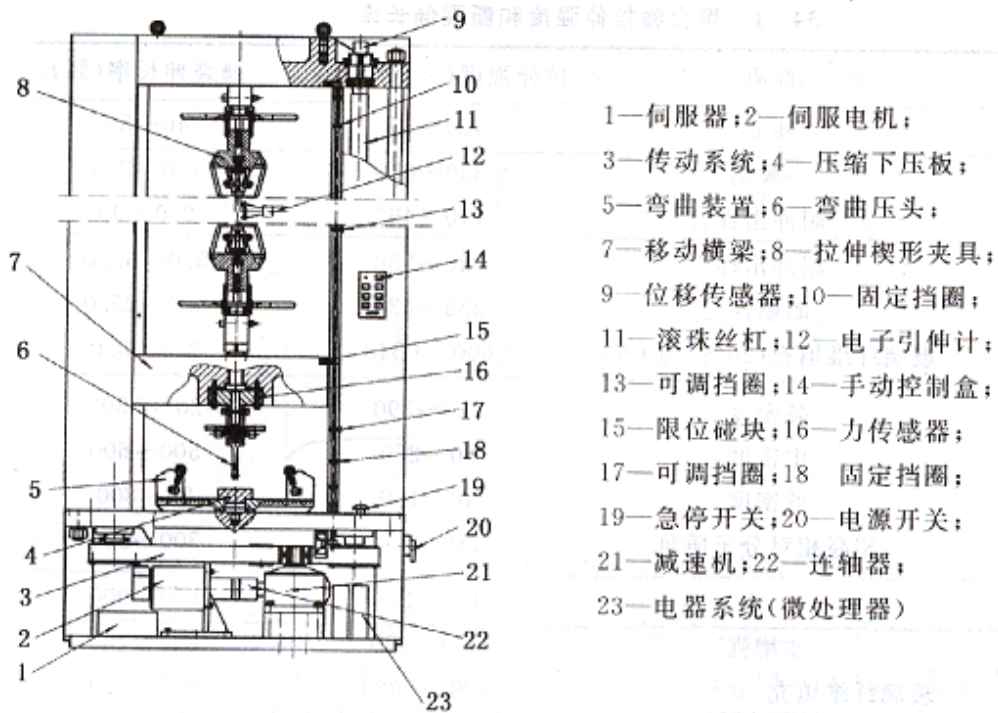


图 4-2 CMT5205 电子拉力试验机

## 2. 试样

拉伸实验共有 4 种类型的试样：I 型试样(双铲型)；II 型试样(哑铃型)；8 字型试样；长条型试样。不同的材料优选的试样类型及相关条件及试样的类型和尺寸参照 GB/T1040-1992 执行。

本实验材料为聚丙烯(PP)，试样采用 I 型试样(如图 4-3 所示)，每组试样不少于 5 个，尺寸及公差参考表 4-2，是由多型腔模具注射成型获得的。试样要求表面平整，无气泡、裂纹、分层、伤痕等缺陷。

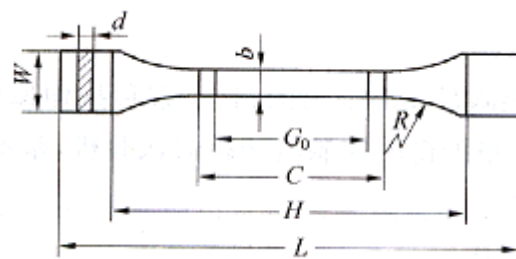


图 4-3 I 型试样

表 4-2

I 型试样尺寸及公差

符号	名称	尺寸	公差	符号	名称	尺寸	公差
L	总长（最小）	150	—	W	端部宽度	20	±1
H	夹具间距离	115	±5.0	d	厚度	4	—
C	中间平行部分长度	60	±2	b	中间平行部分宽度	10	±0.2
G <sub>0</sub>	标距（或有效部分）	50	±1	R	半径（最小）	60	—

## 四、实验步骤

### 1. 准备工作

(1) 试样的制备和外观检查，按 GB/1039-1992 规定进行；试样的状态调节和实验环境按 GB/2918 规定执行。

(2) 试样编号，测最试样工作部分的宽度和厚度，精确至 0.01mm。每个试样测量三点，取算术平均值。

(3) 在试样中间平行部分做标线，标明标距 G。此标线对测试结果不应有影响。

(4) 熟悉电子拉力实验机的结构，操作规程和注意事项。

### 2. 实验步骤

(1) 开机：试验机、打印机、计算机。

(2) 进入试验软件，选择好联机方向，选择正确的通讯口，选择对应的传感器及引伸仪后联机；

(3) 检查夹具，根据实际情况(主要是试样的长度及夹具的间距)设置好限位装置；在试验软件内选择相应的试验方案，进入试验窗口，输入“用户参数”；

(4) 夹持试样，夹具夹持试样时，要使试样纵轴与上、下夹具中心线相重合，并且要松紧适宜，以防止试样滑脱或断在夹具内；

(5) 点击“运行”，开始自动试验；

(6) 试片拉断后，打开夹具取出试片；

(7) 重复 3~6 步骤，进行其余样条的测试。若试样断裂在中间平行部分之外时，此试样作废，另取试样补做；

(8) 试验自动结束后，软件显示试验结果；点击“用户报告”，打印试验报告。



## 五、数据处理

### 1. 拉伸强度或拉伸断裂应力或拉伸屈服应力(MPa)

$$\delta_t = \frac{P}{b \times d}$$

式中，P—破坏时的载荷，N；

b—试样工作部分宽度，mm；

d—试样工作部分厚度，mm。

各应力值在拉伸应力-应变曲线上的位置如图 4-4 所示。

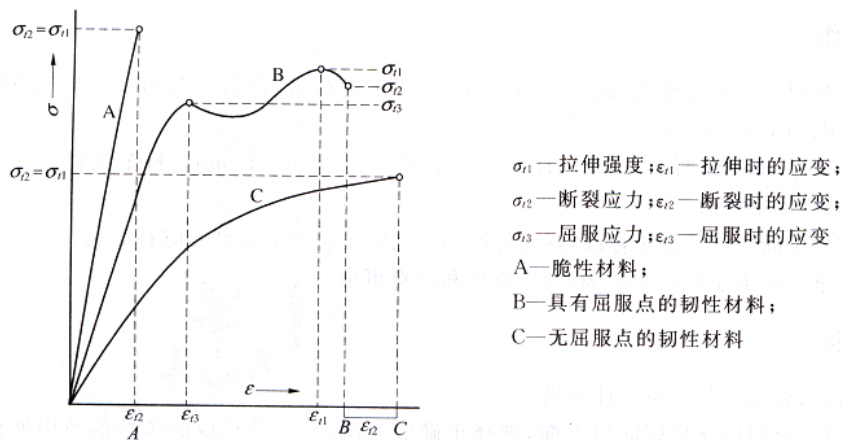


图 4-4 拉伸应力-应变曲线图

### 2. 断裂伸长率 ε<sub>t</sub>(%):

$$\epsilon_t = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中，L—试样原始标距，mm；

L<sub>0</sub>—试样断裂时标线间距离，mm。

计算结果以算术平均值表示，δ<sub>t</sub>取三位有效数值，ε<sub>t</sub>取二位有效数值。

## 六、思考题

1. 对于拉伸试样，如何使拉伸实验断裂在有效部分？
2. 改变实验的拉伸速度会对测试结果产生什么影响？
3. 同样的 PP 材料，为什么测定的拉伸性能(强度、断裂伸长率、模量)有差异？

## 七、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习，并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求，需要用到的仪器、物品及简要的实验步骤，形成一个操作提纲。对实验中可能出现的现象及安全注意事项做到心中有数。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录)，实验记录必须有指导教师签名，否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的特殊现象、操作的成败等进行分析总结，回答思考题，提出实验结论及自己的看法。

## 附录

### 附录聚合物拉伸性能测试实验记录

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写本实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

#### 一、 验数据记录

(1) 试样原材料名称 \_\_\_\_\_ (2) 试样类型： \_\_\_\_\_

(3) 试样制备方法： \_\_\_\_\_ (4) 实验温度： \_\_\_\_\_

(6) 实验湿度： \_\_\_\_\_ (7) 仪器型号： \_\_\_\_\_

(8) 实验拉伸速度： \_\_\_\_\_

#### 二、 数据处理

试样编号	1	2	3	4	5
工作部分宽度 b(mm)					
工作部分厚度 d(mm)					
截面积 $A=b \times d(\text{mm}^2)$					
最大负荷 $p_{\max}$ (N)					
拉伸强度 $\delta_{t1}$ (MPa)					
拉伸强度 $\delta_{t1}$ 平均值(MPa)					
断裂负荷 p(N)					
断裂应力 $\delta_{t2}$ (MPa)					
断裂应力 $\delta_{t2}$ 平均值(MPa)					
试样原始标距 $L_0$ (mm)					
试样断裂时标线间距离 L(mm)					
断裂伸长率 $\varepsilon_t$ (%)					

## 4-2 塑料冲击强度试验

### 一、实验目的

1. 测定聚合物的冲击强度，了解其对制品使用的重要性；
2. 熟悉聚合物的冲击性能测试的原理，掌握组合式冲击试验机操作方法
3. 掌握实验结果处理方法，了解测试条件对测定结果的影响。

### 二、实验原理

冲击性能实验是在冲击负荷的作用下测定材料的冲击强度。在工程应用上，冲击强度是一项重要的性能指标，通过抗冲击试验，可以评价聚合物在高速冲击状态下抵抗冲击的能力或判断聚合物的脆性和韧性程度。冲击试验的方法很多，根据实验温度可分为常温冲击、低温冲击和高温冲击三种，依据试样的受力状态，可分为摆锤式弯曲冲击(包括简支梁冲击 GB1043 和悬臂梁冲击 GB1843)、拉伸冲击、扭转冲击和剪切冲击；依据采用的能量和冲击次数，可分为大能量的一次冲击(简称一次冲击试验或落锤冲击实验 GB11548)和小能量的多次冲击实验(简称多次冲击实验)。不同材料或不同用途可选择不同的冲击试验方法，由于各种试验方法中试样受力形式和冲击物的几何形状不一样，不同的试验方法所测得的冲击强度结果不能相互比较。摆锤式弯曲冲击实验方法由于比较简单易行，在控制产品质量和比较制品韧性时是一种经常使用的测试方法。

#### 1. 悬臂梁法

本方法是用悬臂梁冲击试验机对试样施加一次冲击弯曲负荷，以试样破断时的单位宽度所消耗的能量来衡量材料的冲击韧性。

#### 2. 简支梁法

简支梁法适用于测定玻璃纤维织物增强塑料板材和短切玻璃纤维增强塑料的冲击韧性。简支梁冲击试验是使用已知能量的摆锤一次性冲击支承成水平梁的试样并使之破坏，冲击线应位于两支座(试样)的正中间，被测试样若为缺口试样，则冲击线应正对缺口。

### 三、仪器与样品

#### 1. 实验仪器

- (1) 组合式冲击试验机 XJC-25D 承德精密试验机有限公司
- (2) 冲击缺口制样机 承德精密试验机有限公司

(3) 游标卡尺。

## 2. 试样

试样材料可采用 PP、PE、PS、硬质 PVC 等；悬臂梁冲击试样类型及尺寸和缺口类型与尺寸参照 GB/T1843-1996 执行。试样尺寸规格见表 4-1、4-2。简支梁冲击试样类型及尺寸和缺口类型与尺寸参照 GB/T1043-93 执行。试样类型及尺寸见表 4-3、4-4。

表 4-1 悬臂梁试样类型及尺寸

试样类型	长度/mm	宽度/mm	厚度/mm
I	80.0±2	10.0±0.2	4.0±0.2
II	63.5±2	12.7±0.2	12.7±0.2
III			6.4±0.2
IV			3.2±0.2

表 4-2 I 型试样的缺口类型及尺寸

缺口类型	缺口底部半径 r/mm	缺口底部剩余宽度 b <sub>N</sub> /mm
无缺口		
A	0.25±0.05	8.0±0.2
B	1.0±0.05	8.0±0.2

表 4-3 简支梁试样类型及尺寸

试样类型	长度 L/mm	宽度 b/mm	厚度 d/mm
1	80±2	10±0.5	4±0.2
2	50±1	6±0.2	4±0.2
3	120±2	15±0.5	10±0.5
4	120±2	13±0.5	13±0.5

表 4-4 简支梁试样的缺口类型及尺寸

试样类型	缺口类型	缺口剩余厚度 d <sub>k</sub> /mm	缺口底部半径 r/mm	缺口宽度 n/mm
1-4	A	0.8d	0.25±0.05	
	B	0.8d	1.0±0.05	
1.3	C	2d/3	≤0.1	2±0.2
2	C	2d/3	≤0.1	0.8±0.1

本次实验采用多型腔模具注射成型的 PP 长条试样作为无缺口试样, 在 PP 长条试样厚度方向上用机械加工方法铣出缺口作为缺口冲击试样。每组试样不少于 5 个。试样要求表面平整, 无气泡、裂纹、分层、伤痕等缺陷。

#### 四、实验步骤

1. 试样的制备和外观检查, 按 GB1043-93 规定进行; 试样的状态调节和实验环境按 GB2918 规定执行。

2. 试样编号, 对于无缺口试样, 分别测量试样中部边缘和试样端部中心位置的宽度和厚度, 并取其平均值为试样的宽度和厚度, 准确至 0.02mm; 缺口试样应测量缺口处的剩余厚度, 测量时应在缺口两端各测一次, 取其算术平均值。

3. 熟悉冲击试验机, 检查机座是否水平。

4. 检查冲击试验机是否有规定的冲击速度, 并根据试样破坏时所需的能量选择试验机摆锤, 使消耗的能量在摆锤总能量的 10%~85%内。若符合这一能量范围的不止一个摆锤时, 应该用最大能量的摆锤。

5. 进行空击, 保证总摩擦损失不超过摆锤冲击试验机特性参数的规定, 否则进行冲击试验机的校准。

6. 把试样放在虎钳中, 缺口应在摆锤冲击刃的一边。

7. 释放摆锤, 记录试样所吸收的能量。

8. 试样可能会有四种破坏类型, 完全破坏(试样断裂成两段或多段)、铰链破坏(断裂的试样由没有刚性的很薄表皮连接在一起的一种不完全破坏)、部分破坏(除铰链破坏以外的不完全破坏)、无破坏(指试样未破坏, 只产生弯曲变形并有应力发白现象产生)。测得的完全破坏和铰链破坏的值用以计算平均值。

9. 在同一样品中, 如果有部分破坏和完全破坏或铰链破坏时, 应报告每种破坏类型的算术平均值。

#### 五、数据处理

1. 无缺口试样简支梁冲击强度

$$\alpha = \frac{A}{b \times d} \times 10^3 \text{ (kJ/m}^2\text{)}$$

式中 A 一试样吸收的冲击能量, J;

b 一试样宽度, mm;

d 一试样厚度, mm。

## 2. 缺口试样悬臂梁冲击强度 $\alpha_{iN}$

$$\alpha_{iN} = \frac{W_{iN}}{b_N \times h} \times 10^3$$

$W_{iN}$ —破坏试样所吸收并经过修正后的能量, J;

$b$ —试样缺口处剩余宽度, mm;

$h$ —试样厚度, mm。

## 六、思考题

1. 在实验中哪些因素会影响测定结果
2. 在悬臂梁和简支梁冲击实验时, 试样受到的作用力有何区别?

## 七、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习, 并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求, 需要用到的仪器、物品及简要的实验步骤, 形成一个操作提纲。对实验中可能出现的现象及安全注意事项做到心中有数。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录), 实验记录必须有指导教师签名, 否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的特殊现象、操作的成败等进行分析总结, 回答思考题, 提出实验结论及自己的看法。

## 附录

### 聚合物冲击性能测试实验记录

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写本实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

#### 一、实验数据记录

(1) 试样原材料名称：\_\_\_\_\_ (2) 试样类型：\_\_\_\_\_

(3) 试样制备方法：\_\_\_\_\_ (4) 缺口类型：\_\_\_\_\_

(7) 试样缺口加工方法：\_\_\_\_\_ (8) 摆锤公称能量：\_\_\_\_\_

(10) 实验温度：\_\_\_\_\_ (11) 仪器型号：\_\_\_\_\_

#### 二、数据处理

##### 1. 悬臂梁冲击实验

项 目 \ 试 样	缺口试样				
	1	2	3	4	5
试样厚度 $h$ (mm)					
试样缺口处剩余宽度 $b_N$ (mm)					
试样吸收的冲击能量 $W_{iN}$ (J)					
悬臂梁冲击强度 $\alpha_{iN}$ (kJ/m <sup>2</sup> )					
悬臂梁冲击强度 $\alpha_{iN}$ 平均值 (kJ/m <sup>2</sup> )					



## 2. 简支梁冲击实验

试 样 项 目	无缺口试样				
	1	2	3	4	5
试样宽度 $b$ (mm)					
试样厚度 $d$ (mm)					
试样吸收冲击能量 $A$ (J)					
冲击强度 $\alpha$ (kJ/m <sup>2</sup> )					
冲击强度 $\alpha$ 平均 (kJ/m <sup>2</sup> )					
冲击强度 $\alpha_k$ 平均值 (kJ/m <sup>2</sup> )					

## 实验5 塑料弯曲强度试验

实验学时：2

实验类型：验证

实验要求：选修

### 一、实验目的

了解塑料静弯曲强度测定意义及实验方法。

### 二、实验原理

在静态情况下对试样施加静态弯曲力距，以测定弯曲强度。

弯曲强度是采用简支梁法将试样放在两支点上，在两支点间的试样上施加集中载荷，使试样变形至破裂时的强度。

### 三、静弯曲强度测定

(一) 设备：万能材料试验机 0~6000kg。

(二) 试验步骤

#### 1. 试样处理

试样为 120×15×10mm 长方形试条。当试样制成后，必须在测试条件下存放 24h，试样在测定前必须作精密测量，要求测准 0.02mm，测三点取平均值，每组试样不少于 5 个。

#### 2. 仪器测量范围选择

万能材料试验机的量程范围是：0~1200kg, 0~3000kg, 0~6000kg，测量范围选好后，将重锤挂在仪器背面的档板上。试验速度为 1~3mm/min，支点跨度为 10±0.5mm。

3. 接通电源，在仪器背面右下方有一转换开关，拨向开的位置，指示灯显示，打开仪器正面右下方操作台上的按钮开关，油泵开始工作，关闭右侧面的回油阀，这时活塞上升，正面的进油阀调至 1 以下，此时观察指针是否在零点，如不在可以调节右上方的丝杆使指针归零。调节进油阀使活塞上升速度达到所需的速度，按下“停”按钮，打开回油阀，活塞下降。

将已测量好的试样放至试样支架上，关闭回油阀，按下“开”按钮，是活塞上升，使试样与压头接触，直到试样断裂为止，按下“停”按钮，读取载荷，打开回油阀。

**注意：**在使用该设备时活塞上升高度不宜过高，严禁上下压头接触。

弯曲强度计算公式如下：

$$\delta_f = \frac{15PL}{bd^2}$$

式中，P：最大载荷，kg； L：试样跨度，cm；

b：试样宽度，cm； d：试样厚度，cm。

弯曲弹性模量计算公式如下：

$$E_f = \frac{PL^3}{4b\delta d^3} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$E_f = \frac{L^3 Y}{4bd^3} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$\delta$ ：由施加载荷时所对应的形变(挠度)，cm；

Y：载荷-挠度曲线图上，在此极限内的线段上的斜率。

## 实验 6 塑料压缩强度试验

实验学时：2

实验类型：验证

实验要求：选修

### 一、试验目的

了解塑料压缩强度测试方法。

### 二、实验原理

本方法是对试样施加静态压缩载荷，以测定压缩强度。

### 三、实验设备

万能材料试验机：0~6000kg。

### 四、实验步骤

1. 试样必须经过 24h 存放，直圆柱体标准试样为： $\Phi=10\pm 0.2\text{mm}$ ，高为  $20\pm 0.2\text{mm}$ 。正方柱形标准试样边长为  $10\pm 0.2\text{mm}$ ，测量准确度为  $0.05\text{mm}$ ，测量三点，取其平均值。
2. 试验机活塞上升速度为  $5\pm 2\text{mm/min}$ ，定压缩应变为 25%。
3. 对万能材料试验机的操作方法与硬塑料拉伸试验操作相同，不同的是夹具改成压缩专用平台，以破坏时的指示为准读取载荷(在压缩应变达 25%之前)。
4. 压缩应变达 25%时，仍不屈服也不破坏的试样，记录压缩应变为 25%时的压缩负荷。

## 实验 7 聚合物溶液粘度的测定

实验学时：2

实验类型：验证

实验要求：选修

### 一、实验目的

- 1、了解旋转粘度计的构造；
- 2、了解流体粘度的测定原理；
- 3、掌握流体粘度的测定方法。

### 二、实验原理

旋转粘度计其原理示意图如图 7-1 所示。

仪器的主要部分由一个圆筒形的容器(外筒)液体装入圆筒形的容器

内，半径为  $R_1$  的内筒由弹簧钢丝悬挂，并以角速度  $\omega$  匀速旋转，如果内筒浸入待测液体部分的深度为  $L$ ，则待测液体的粘度可用下式计算：

$$\eta = \frac{M}{4\pi L \omega} \left( \frac{1}{R_1^2} - \frac{1}{R_2^2} \right)$$

其中， $R_1$  和  $R_2$  分别为内筒的外径及外筒的内径。 $M$  为内筒受到液体的粘滞阻力而产生的扭矩。这样，通过内筒角速度和扭矩的测定，就可以通过粘度计的几何尺寸计算出液体的粘度。

### 三、仪器和试剂

1. NDJ-1 旋转式粘度计(上海精密科学仪器有限公司)

旋转粘度计结构图如图 7-2 所示。

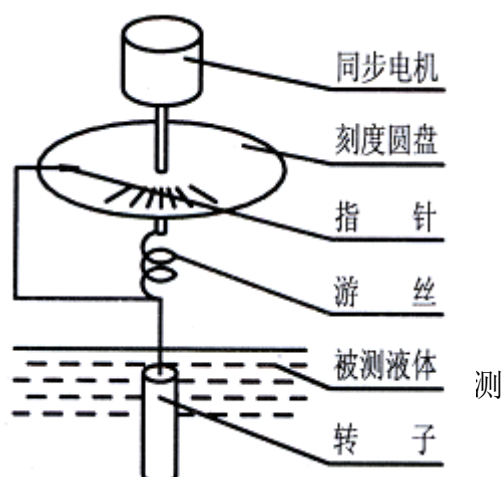


图 7-1 旋转粘度计原理

测

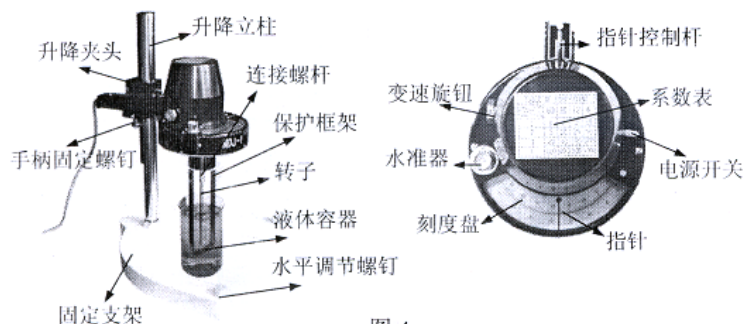


图 7-2 旋转粘度计结构图

其有关数据见表 7-1。测定时指针在刻度盘上指示的度数必须乘上系数表上的特定系数才为测得动力粘度，单位为  $\text{mPa}\cdot\text{s}$ 。

$$\eta = K \cdot \alpha$$

式中， $\eta$  为待测液体的粘度； $K$  为系数； $\alpha$  为指针指示的读数(偏转角度)。

表 7-1 系数表

转/分 转 子	60	30	12	6
0	0.1	0.2	0.5	1
1	1	2	5	10
2	5	10	25	50
3	20	40	100	200
4	100	200	500	1000

#### 四、实验步骤

1. 零点调整。
2. 将保护套卸下。
3. 蒸馏水粘度的测定：将蒸馏水倒入直径不小于 70mm 的容器中，使液面与转子杆上的凹槽齐平。开启开关，转子在液体中旋转。经多次旋转。一般为 20~30 秒，或按规定时间待指针趋于稳定即可进行度数待指针稳定即可读数。
4. 按下指针控制杆，使读数固定下来，待指针转至读数窗口时关闭电机（注意：不得用力过猛，若转速慢时可不利用控制杆，直接读数），此时指针停在读数窗口内，可得测量值。若电机关停后指针不在读数窗口内，可继续按住指针控制杆，反复开启和关闭电机。
5. 当指针所指的数值过高或过低时，可变换转子和转速，使读数在 30~90 之间。
6. 1%、5%聚乙烯醇溶液粘度的测定：将 1%、5%的聚乙烯醇放入待测试容器中，按

上述步骤读出指针读数。

7. 10%聚乙烯醇溶液粘度的测定 选择 2 号转子，按上述步骤读出指针读数。

## 五、数据处理

根据记录的指针读数，乘以相应的转子系数，计算蒸馏水和聚乙烯醇溶液的粘度。

$$\eta = K \cdot \alpha$$

## 六、思考题

1. 为什么聚合物溶液的粘度要远远大于相应溶剂的粘度？
2. 溶液的浓度如何影响溶液的粘度？

## 七、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习，并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求，需要用到的仪器、物品及简要的实验步骤，形成一个操作提纲。对实验中可能出现的现象及安全注意事项做到心中有数。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录)，实验记录必须有指导教师签名，否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的现象等进行分析总结，回答思考题。

附录

聚合物溶液粘度测定实验记录

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写本实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

一、实验数据记录

样品：\_\_\_\_\_ 溶剂：\_\_\_\_\_ 实验室温度：\_\_\_\_\_

样品	读数			系数 (K)	粘度(mPa·s)
	最大值	最小值	平均值		
蒸馏水					
1%PVA 溶液					
5%PVA 溶液					
10%PVA 溶液					



## 实验 8 光学解偏振光法测定聚合物的结晶速率

实验学时：2

实验类型：验证

实验要求：选修

### 一、实验目的

1. 了解光学解偏振光法测定聚合物结晶速率的原理；
2. 掌握用 GJY-III型结晶速率仪测定聚合物等温结晶速率的方法。

### 二、实验原理

处在熔融状态下的聚合物，其分子链是无序排列的，在光学上表现出各向同性，将其置于两个正交的偏振片之间，透射光强度为零；而聚合物晶区中的分子链是有序排列的，其在光学上是各向异性的，具有双折射性质，将其置于两个正交的偏振片之间时，透射光强度不为零，而且透射光的强度与结晶度成正比，透过的这一部分光称为解偏振光。因此，当置于两正交偏振片之间的聚合物样品，从熔融状态开始结晶时，随着结晶的进行解偏振光(透射光)强度会逐渐增大。这样通过测定透射光强度的变化，就可以跟踪聚合物的结晶过程，从而研究聚合物的结晶动力学，并测定其结晶速率。

如果在时刻 0、t 和结晶完成时的解偏振光强

度分别为  $I_0$ 、 $I_t$  和  $I_\infty$ ，则以  $\frac{I_\infty - I_t}{I_\infty - I_0}$  对结晶曲线

作图，可得到如图 8-1 所示的等温结晶曲线。

由曲线可见，解偏振光强度在结晶初期没有变化，这一段时期为诱导期，随后解偏振光强度迅速增加，之后解偏振光强度缓慢增加，最后解偏振光强度变化极为缓慢。

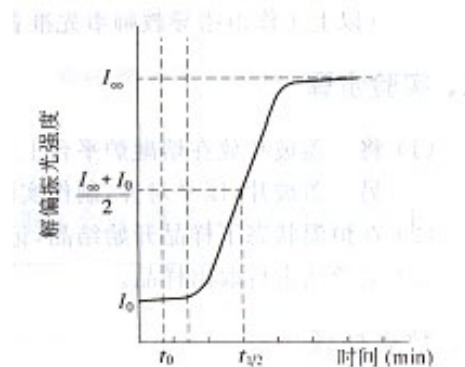


图 8-1 光学解偏振法等温结晶曲线

由于结晶终了的时间难以确定，因此不能用结晶所需的全部时间来衡量结晶速率。而结晶完成一半时所需的时间能较准确测定，因为在此点附近，解偏振光强度的变化速率较大，时间测量的误差就较小。以解偏振光强度增大到基本不变时的值( $I_\infty$ )作为一个伪平衡值，采用结晶完成一半的时间( $t_{1/2}$ )的倒数作为聚合物的结晶速率。 $t_{1/2}$  称为半结晶时间。(  $t_0$  为热平衡时间；  $I_0$ 、  $I_\infty$  分别为结晶开始和结晶终了时的解偏振光强度)。聚合

物的等温结晶过程可用 Avrami 方程来描述:

$$1-C = \exp(-Kt^n) \quad (8-1)$$

式中 C 为时刻 t 时的结晶转化率, K 为结晶速率常数, n 为 Avrami 指数。

在 t 时刻, 已结晶部分引起的解偏振光强度变化为( $I_t - I_0$ ), 结晶完成时, 全部结晶引起的解偏振光强度变化为( $I_\infty - I_0$ )。则 t 时刻的结晶转化率可用下式进行计算:

$$C = \frac{I_t - I_0}{I_\infty - I_0} \quad (8-2)$$

整理可得:

$$\lg[-\ln(\frac{I_\infty - I_t}{I_\infty - I_0})] = \lg K + n \lg t$$

以上式左边对  $\lg t$  作图可得一直线, 由直线截距  $\lg K$  可求得结晶速率常数 K, 由直线斜率可求得 Avrami 指数 n。

### 三、仪器和试剂

GJY-III型结晶速率仪, 聚丙烯粒料。

### 四、实验步骤

#### 1. 准备工作

- (1) 接通整机电源, 并接通熔融炉和结晶炉的加热电源。
- (2) 调节偏振光使之正交, 此时输出光强信号最弱。
- (3) 接通光电倍增管负高压电源开关(900V, 再接通直流光源开关(1.5V)。
- (4) 调节结晶速率仪的结晶温度为 120℃, 熔融温度为 280℃, 使两炉加热, 并恒温至所需的温度值。
- (5) 接通电子记录仪电源, 并选择好适当的量程范围和走纸速度(走纸速度是每分钟 60mm)。

(以上工作由指导教师事先准备。)

#### 2. 实验步骤

- (1) 将一盖玻片放在熔融炉平台上, 然后将聚丙烯样品粒子置于盖玻片上熔融, 并盖上另一盖玻片, 压平对齐, 制作实验样品, 并将制作好的样品迅速放入结晶炉内。
- (2) 在恒温状态下样品开始结晶, 记录仪记录结晶曲线。

(3) 实验结束后取出样品。

## 五、数据处理

1. 从记录仪给出的等温结晶曲线上，计算并标出此温度下的半结晶时间  $t_{1/2}$ 。
2. 求出此结晶温度下的半结晶时间的倒数  $1/t_{1/2}$  作为聚合物的等温结晶速率。
3. 取不同结晶时间的实验数据进行计算，以  $\lg[-\ln(\frac{I_\infty - I_t}{I_\infty - I_0})]$  对  $\lg t$  作图，由直线的

截距和斜率求出  $K$  和  $n$ 。

## 六、注意事项

1. 手不要接触到熔融炉和结晶炉，以免被灼伤。
2. 被熔融的样品必须完全熔化，否则会影响样品的结晶速率及其曲线
3. 应迅速地将熔融样品放入结晶炉内结晶。

## 七、思考题

1. 结晶温度对聚合物的结晶速度有什么样的影响？
2. 根据计算的  $n$  值，讨论聚丙烯的结晶过程。

## 八、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习，并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求，需要用到的仪器、物品及简要的实验步骤，形成一个操作提纲。对实验中可能出现的现象及安全注意事项做到心中有数。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录)，实验记录必须有指导教师签名，否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的特殊现象、操作的成败等进行分析总结，回答思考题，提出实验结论及自己的看法。

附录

光学解偏振光法测定案什物的结晶速率

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

一、实验数据记录

样品	熔融温度 (°C)	结晶温度 (°C)

二、数据处理

1. 计算半结晶时间  $t_{1/2}$

根据记录纸上的数据，计算并标出半结晶时间  $t_{1/2}$  (附记录字纸)。

2. 取点计算

在结晶曲线上从时刻 0 开始到结晶基本完成取 8 个点，将计算结果填入下表中。

时间 t(s)	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lg[-\ln(\frac{I_\infty - I_t}{I_\infty - I_0})]$								
lgt								

3. 计算结晶速率常数 K 和 Avrami 指数 n

根据上面计算的结果，用  $\lg[-\ln(\frac{I_\infty - I_t}{I_\infty - I_0})]$  对 lgt 作图，由直线的斜率和截距计算出

结晶速率常数 K 和 Avrami 指数 n。

截距 (lgK)	斜率 (n)	结晶速率常数 (K)

## 实验 9 差示扫描量热法

实验学时：2

实验类型：综合

实验要求：选修

### 一、实验目的

1. 了解 DSC 的基本原理，通过 DSC 测定聚合物的加热及冷却谱图；
2. 通过 DSC、测定聚合物的  $T_g$ ,  $T_m$ ,  $T_c$ 。

### 二、实验原理差

差热分析(Differential Thermal Analysis)是在温度程序控制下测量试样与参比物之间的温度差随温度变化的一种技术，简称 DTA。在 DTA 基础上发展起来的是差示扫描量热法(Differential Scanning Calorimetry)，简称 DSC。差示扫描量热法是在温度程序控制下，测量试样与参比物在单位时间内能量差随温度变化的一种技术。

DTA, DSC 在分子方面的应用特别广泛，试样在受热或冷却过程中，由于发生物理变化或化学变化而产生热效应，在差热曲线上就会现吸热或放热峰。试样发生力学状态变化时(例如由玻璃态转变为高弹态),虽无吸热或放热现象，但比热有突变，表现在差热曲线上是基线的突然变动。试样内部这些热效应均可用 DTA, DSC 进行检测，发生的热效应大致可归纳为：

- (1) 吸热反应。如结晶、蒸发、升华、化学吸附、脱结晶水、二次相变(如高聚物的玻璃化转变)、气态还原等。
- (2) 放热反应。如气体吸附、氧化降解、气态氧化(燃烧)、爆炸、再结晶等。
- (3) 可能发生的放热或吸热反应。结晶形态的转变、化学分解、氧化还原反应、固态反应等。

DTA、DSC 在分子方面的主要用途是：一是研究聚合物的相转变过程，测定结晶温度  $T_c$ 、熔点  $T_m$ 、结晶度  $X_c$ 、等温结晶动力学参数；二是测定玻璃化转变温度  $T_g$ ；三是研究聚合、固化、交联、氧化、分解等反应,测定反应温度或反应温区、反应热、反应动力学参数等。

#### 1. DTA

DTA 通常由温度程序控制、变换放大、气氛控制、显示记录等部分组成，此外还有数据处理部分。参比物应选择那些在实验温度范围内不发生热效应的物质，如  $Al_2O_3$ 、

石英、硅油等。把参比物和试样同置于加热炉中的托架上等速升温时，若试样不发生热效应，在理想情况下，试样温度和参比物温度相等， $\Delta T=0$ ，差示热电偶无信号输出，记录仪上记录温差的笔仅划一条直线，称为基线。另一支笔记录参比物温度变化。而当试样温度上升到某温度发生热效应时，试样温度与参比物温度不再相等， $\Delta T \neq 0$ ，差示热电偶有信号输出，这时就偏

离基线而划出曲线。由记录仪记录的 $\Delta T$ 随温度变化的曲线称为差热曲线。在 DTA 曲线上，由峰的位置可确定发生热效应的温度，由峰的面积可确定热效应的大小，峰的形状可了解有关过程的动力学特性。

## 2. DSC

DSC 又分为功率补偿式 DSC 和热流式 DSC、热通量式 DSC。后两种在原理上和 DTA 相同，只是在仪器结构上作了很大改进。图 19-1 是功率补偿式 DSC 示意图。差示扫描量热法(DSC)与差热分析(DTA)在仪器结构上的主要不同是仪器中增加了一个差动补偿放大器，以及在盛放样品和参比物的坩埚下面装置了补偿加热丝，其他部分均和 DTA 相同。

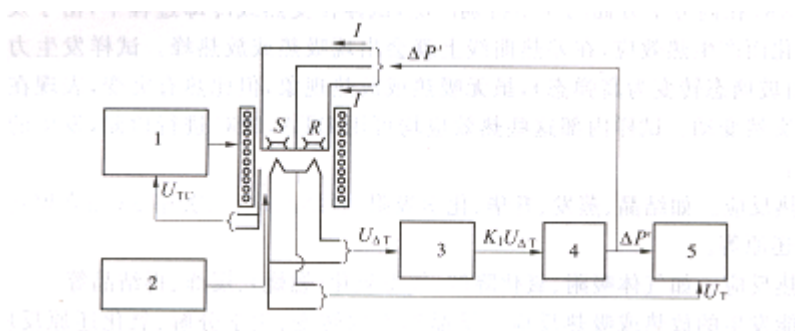


图 9-1 功率补偿式 DSC 示意图

1. 温度程序控制器；2. 气氛控制；3. 差热放大器；
4. 功率补偿放大器；5. 记录仪

当试样发生热效应时，如放热，试样温度高于参比物温度，放置在它们下面的一组差示热电偶产生温差电势，经差热放大器放大后送入功率补偿放大器，功率补偿放大器自动调节补偿加热丝的电流，使试样下面的电流减小，参比物下面的电流增大。降低试样的温度，增高参比物的温度，使试样与参比物之间的温差 $\Delta T$ 趋与零。上述热量补偿能及时、迅速完成，使试样和参比物的温度始终维持相同。

设两边的补偿加热丝的电阻值相同，即  $R_s = R_R = R$ ，补偿电热丝上的电功率为  $P_s = I_s^2 R$  和  $P_R = I_R^2 R$ 。当样品无热效应时， $R_s = R_R$ 。当样品有热效应时， $P_s$  和  $P_R$  之差 $\Delta P$ 能反映样品放(吸)热的功率：

$$\begin{aligned}\Delta P &= R_s - R_R = I_s^2 R - I_R^2 R = (I_s^2 - I_R^2) R = (I_s + I_R)(I_s - I_R) R \\ &= (I_s + I_R) \Delta V\end{aligned}\quad (9-1)$$

由于总电流( $I_s + I_R$ )为恒定值, 所以样品放(吸)热的功率 $\Delta P$  只与 $\Delta V$  成正比。记录 $\Delta P$  随温度  $T$ (或时间  $t$ )的变化就是试样放热速度(或吸热速度)随  $T$ (或  $t$ )的变化, 这就是 DSC 曲线。在 DSC 中, 峰的面积是维持试样与参比物温度相等所需要输入的电能的实际量度, 它与仪器的热学常数或试样热性能的各种变化无关, 可进行定量分析。

DSC 曲线的纵坐标代表试样放热或吸热的速度, 即热流速度, 单位是  $\text{mJ/s}$ , 试样放热或吸热的热量为

$$\Delta Q = \int_{t_2}^{t_1} \Delta P dt \quad (9-2)$$

式(9-2)右边的积分就是峰的面积  $A$ , 是 DSC 直接测量的热效应热量。但试样和参比物与补偿加热丝之间总存在热阻, 补偿的热量有些漏失, 因此热效应的热量应修正为  $\Delta Q = KA$ 。  $K$  称为仪器常数, 可由标准物质实验确定。这里的  $K$  不随温度、操作条件而变, 这就是 DSC 比 DTA 定量性能好的原因。同时试样和参比物与热电偶之间的热阻可做得尽可能的小, 这就使 DSC 对热效应的响应快、灵敏, 峰的分辨率好。

### 3. DSC 曲线

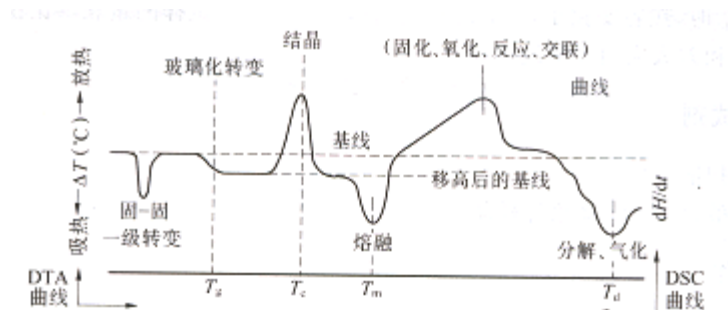


图 9-2 高聚物的 DTA 或 DSC 曲线示意图

图 9-2 是聚合物 DTA 曲线或 DSC 曲线的模式图。当温度升高, 达到玻璃化转变温度  $t$  时, 试样的热容由于局部链节移动而发生变化, 一般为增大, 所以相对于参比物, 试样要维持与参比物相同温度就需要加大试样的加热电流。由于玻璃化温度不是相变化, 曲线只产生阶梯状位移, 温度继续升高, 试样发生结晶则会释放大量结晶热而出现吸热峰。再进一步升温, 试样可能发生氧化、交联反应而放热, 出现放热峰, 最后试样则发生分解、吸热、出现吸热峰。并不是所有的聚合物试样都存在上述全部物理变化和化学变化。

确定  $T_g$  的方法是由玻璃化转变前后的直线部分取切线, 再在实验曲线上取一点,

如图 9-3(a), 使其平分两切线间的距离  $A$ , 这一点所对应的温度即为  $T_g$ 。  $T_m$  的确定, 对低分子纯物质来说, 像苯甲酸, 如图 9-3(b), 由峰的前部斜率最大处作切线与基线延长线相交, 此点所对应的温度取作为  $T_m$ 。 对聚合物来说, 如图 9-3(c)所示, 由峰的两边斜率最大处引切线, 相交点所对应的温度取作为  $T_m$ , 或取峰顶温度作为  $T_m$ 。  $T_c$  通常也是取峰顶温度。 峰面积的取法如图 9-3 中(d)、(e)所示。 可用求积仪或数格法、剪纸称重法量出面积。 如果峰前峰后基线基本水平, 峰对称, 其面积以峰高乘半宽度, 即  $A=h \times \Delta t$ , 如图 19-3(f)所示。 如果 100%结晶试样的熔融热  $\Delta H_f^*$  已知, 则试样的结晶度可以用下式计算:

$$\text{结晶度 } X_D = \Delta H_f / \Delta H_f^* \times 100\% \quad (19-3)$$

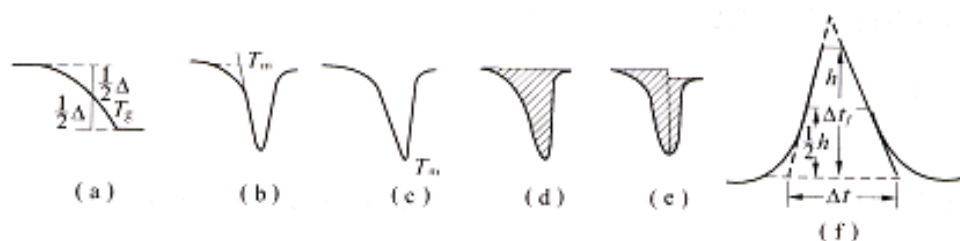


图 9-3  $T_g$ ,  $T_m$  和峰面积的确定

#### 4. 影响实验结果的因素

DSC 的原理和操作都比较简单, 但取得精确的结果却很不容易, 因为影响因素太多, 这些因素有仪器因素、试样因素。 仪器因素主要包括炉子大小和形状、热电偶的粗细和位置、加热速度、记录纸速度、测试时的气氛、盛放样品的坩埚材料和形状等。 试样因素主要包括颗粒大小、热导性、比热、填充密度、数量等。 在固定一台仪器时, 仪器因素中的主要影响因素是加热速度, 样品因素中主要是样品的数量, 在仪器灵敏度许可的情况下, 试样应尽可能的少。 在测  $t$  时, 热容变化小, 样品的量应当适当多一些。 试样的量和参比物的量要匹配, 以免两者热容相差太大引起基线飘移。

### 三、仪器和试剂

1. 差示扫描量热仪。
2. 苯甲酸、聚乙烯、涤纶等样品。

### 四、实验步骤

#### 1. 准备工作

- (1) 开机: 开启电脑和 DSC 测试仪, 同时打开氮气阀, 转动减压阀使其读数为



0.05MPa。

(2) 制样：取适量样品并称量，将称好的样品用镊子放入坩埚中，用压片机压制。一般测量玻璃化转变样品可取多些，可在 15mg 左右；测试熔融温度时样品量应少，5mg 左右足够。用镊子夹取坩埚时要小心，防止坩埚的损坏，如在测试过程中有气体跑出，可在坩埚上盖扎一个小孔。

(3) 打开测试软件，建立新的测试窗口和测试文件。

(4) 设定测量参数：测量类型：样品；操作者：xxx；材料：xxx；样品编号：xxx；样品名称：xxx；样品质量：xxx。

(5) 打开温度校正文件和灵敏度校正文件。

(6) 设定程序温度：

程序：初始设定—动态设定—结束设定。设定程序温度时，初始温度要比测试过程中出现的第一个特征温度至少低 50℃~60℃，一般选择升温速率为 10℃/min 或者 20℃/min。程序条件：选定 STC，吹扫气 2 和保护气。

(6) 定义测试文件名。

(7) 初始化工作条件：当温度高于室温时可以打开控制开关。选用压缩机冷却；若需从低温测起可开启液氮装置，但不宜开得太大，而且可以在高于设定温度时即可关闭，等其降至最低然后升至设定温度时开始进行测试。

## 2. 实验步骤

(1) 将样品坩埚和参比坩埚放入样品池。

(2) 在计算机中选择“开始”测试，仪器自动开始运行，运行结束后可以打印所得到的谱图。

(3) 用随机软件处理谱图，确定样品的玻璃化温度、结晶温度及熔融温度。

(4) 测试完毕关仪器时，顺序没有特别要求，退出程序即可。

## 五、数据处理

由 DSC 曲线确定样品的玻璃化温度、结晶温度及熔融温度，并求其熔融热  $\Delta H_f$ 。

## 六、思考题

差动热分析（DSC）的基本原理是什么？在聚合物的研究中有那些用途？

## 七、实验报告要求

### 1. 实验预习报告

在实验前每位同学都要对本次实验进行认真预习，并写好预习报告。在预习报告中要写出实验目的、要求，查阅相关资料了解 DSC 基本原理及操作步骤。

### 2. 实验记录

认真填写好本次实验记录(见附录)，实验记录必须有指导教师签名，否则无效。

### 3. 实验报告

主要内容包括对实验数据处理、实验中的特殊现象、操作的成败等进行分析总结，回答思考题。

## 附录

### 差示扫描量热法实验记录

班级：\_\_\_\_\_ 姓名：\_\_\_\_\_ 学号：\_\_\_\_\_

同组实验者：\_\_\_\_\_

指导教师签字：\_\_\_\_\_

(实验过程中，认真记录并填写本实验数据，实验结束后，送交指导教师签字)

#### 一、实验数据记录

1. 试样质量：
2. 升温速率：

#### 二、数据处理

由 DSC 图确定样品的玻璃化温度、结晶温度及熔融温度。

## 附录 高分子物理常用数据

### 一、常用混合液体密度范围

附表 1

混 合 体 系	密 度 范 围 ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )
甲醇-苯甲醇	0.80~0.92
异丙醇-水	0.79~1.00
乙醇-水	0.79~1.00
异丙醇-一缩乙二醇	0.79~1.11
乙醇-四氯化碳	0.79~1.59
甲苯-四氯化碳	0.87~1.59
水-溴化钠	1.00~1.41
水-硝酸钙	1.00~1.60
四氯化碳-二溴丙烷	1.60~1.99
二溴丙烷-二溴乙烷	1.99~2.18
1, 2-二溴乙烷-溴仿	2.18~2.29

### 二、某些高聚物的晶态与非晶态的密度

附表 2

聚 合 物	密 度( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	
	$\rho_c$	$\rho_a$
高密度聚乙烯	1.10	0.85
全同聚丙烯	0.94	0.85
等规聚苯乙烯	1.12	1.05
聚氯乙烯	1.52	1.39
聚甲醛	1.51	1.22
尼龙-6	1.23	1.08
尼龙-66	1.22	1.07
聚对苯二甲酸乙二酯	1.46	1.34
聚三氟氯乙烯	2.19	1.92
聚四氟乙烯	2.40	2.00
聚碳酸酯	1.31	1.20
聚乙烯醇	1.35	1.25
聚甲基丙烯酸甲酯	1.23	1.17
全同聚丁烯-1	0.95	0.87
天然橡胶	1.00	0.91
聚异丁烯	0.94	0.86
顺-聚丁二烯	1.02	0.89
反-聚丁二烯	1.01	0.89
顺-聚异戊二烯	1.00	0.91
反-聚异戊二烯	1.05	0.90

### 三、常用聚合物玻璃化转变温度和熔点

附表 3

聚 合 物	T <sub>g</sub> (°C)	T <sub>m</sub> (°C)
聚乙烯	-120	137
聚丙烯(全同立构)	-10	176
(无规立构)	-20	-
聚氯乙烯	87	212
聚乙烯醇	85	245
聚四氟乙烯	126	327
聚甲基丙烯酸甲酯(无规立构)	105	-
(间同立构)	115	>200
(全同立构)	45	160
聚碳酸酯	150	267
聚醋酸乙烯酯	29	-
聚对苯二甲酸乙二酯	69	267
聚苯乙烯(全同立构)	100	240
(无规立构)	90	-
尼龙-6	50	215
尼龙-66	50	265
聚丙烯腈	104	317(<T <sub>m</sub> 时分解)
聚异丁烯	-60	128
顺-聚丁二烯	-72	92
顺-聚异戊二烯	-73	36

### 四、常用溶剂的溶解度参数

附表 4

溶 剂	$\delta$ (kJ/m <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	溶 剂	$\delta$ (kJ/m <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>
甲醇	29.6	苯	13.7
乙醇	26.0	氯甲烷	19.8
甲酸	27.6	二氯甲烷	19.8
乙酸	25.7	三氯甲烷	19.0
甲酚	27.1	1,2-二氯乙烷	20.0
苯酚	29.6	三氯乙烯	19.0
丙酮	20.4	四氯乙烯	19.2
正丙醇	24.2	四氯化碳	17.6
异丙醇	23.0	乙酸乙酯	18.6
正丁醇	23.2	环己烷	16.7
甲苯	18.2	环己酮	20.2
二甲苯	18.0	环己醇	23.2
乙醚	15.1	四氢呋喃	20.2
二甲醚	18.0	吡啶	22.2
甘油	33.6	水	47.7

## 五、常用聚合物的溶解度参数

附表 5

聚 合 物	$\delta$ (kJ/m <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>	聚 合 物	$\delta$ (kJ/m <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup>
聚乙烯	16.3	聚醋酸乙烯酯	19.2
聚丙烯	16.3	尼龙-66	27.8
聚氯乙烯	19.4	乙丙橡胶	16.1
聚苯乙烯	18.7	聚异丁烯	16.1
聚甲基丙烯酸甲酯	18.7	天然橡胶	16.5
聚碳酸酯	19.4	顺-聚丁二烯	17.1
聚四氟乙烯	12.6	丁苯橡胶	17.1
聚三氟氯乙烯	14.7	氯丁橡胶	19.2
酚醛树脂	22.6	聚硫橡胶	19.2
聚对苯二甲酸乙二酯	21.8	聚二甲基硅氧烷	14.9
聚丙烯腈	28.7	醋酸纤维素	23.2