

全国重点名校系列

新版

# 全国硕士研究生招生考试 考研专业课精品资料

【电子书】2024年中原工学院

816高分子物理考研精品资料

策划：辅导资料编写组

真题汇编 直击考点  
考研笔记 突破难点  
核心题库 强化训练  
模拟试题 查漏补缺

高分子学长学姐推荐



## 【初试】2024 年中原工学院 816 高分子物理考研精品资料

说明：本套资料由高分研究生潜心整理编写，高清 PDF 电子版支持打印，考研首选资料。

### 一、重点名校考研真题汇编

#### 1. 附赠重点名校：高分子物理 2011-2013、2015-2022 年考研真题汇编（暂无答案）

说明：本科目没有收集到历年考研真题，赠送重点名校考研真题汇编，因不同院校真题相似性极高，甚至部分考题完全相同，建议考生备考过程中认真研究其他院校的考研真题。

### 二、2024 年中原工学院 816 高分子物理考研资料

#### 2. 《高分子物理》考研相关资料

##### （1）《高分子物理》[笔记+课件+提纲]

##### ①中原工学院 816 高分子物理之《高分子物理》考研复习笔记。

说明：本书重点复习笔记，条理清晰，重难点突出，提高复习效率，基础强化阶段首选资料。

##### ②中原工学院 816 高分子物理之《高分子物理》本科生课件。

说明：参考书配套授课 PPT 课件，条理清晰，内容详尽，版权归属制作教师，本项免费赠送。

##### ③中原工学院 816 高分子物理之《高分子物理》复习提纲。

说明：该科目复习重难点提纲，提炼出重难点，有的放矢，提高复习针对性。

##### （2）《高分子物理》考研核心题库（含答案）

##### ①中原工学院 816 高分子物理考研核心题库之问答题精编。

##### ②中原工学院 816 高分子物理考研核心题库之计算题精编。

说明：本题库涵盖了该考研科目常考题型及重点题型，根据历年考研大纲要求，结合考研真题进行的分类汇编并给出了详细答案，针对性强，是考研复习首选资料。

##### （3）《高分子物理》考研模拟题[仿真+强化+冲刺]

##### ①2024 年中原工学院 816 高分子物理考研专业课五套仿真模拟题。

说明：严格按照本科目最新专业课真题题型和难度出题，共五套全仿真模拟试题含答案解析。

##### ②2024 年中原工学院 816 高分子物理考研强化五套模拟题及详细答案解析。

说明：专业课强化检测使用。共五套强化模拟题，均含有详细答案解析，考研强化复习首选。

##### ③2024 年中原工学院 816 高分子物理考研冲刺五套模拟题及详细答案解析。

说明：专业课冲刺检测使用。共五套冲刺预测试题，均有详细答案解析，最后冲刺首选资料。

### 三、电子版资料全国统一零售价

#### 3. 本套考研资料包含以上一、二部分（高清 PDF 电子版，不含教材），全国统一零售价：[¥]

特别说明：

①本套资料由本机构编写组按照考试大纲、真题、指定参考书等公开信息整理收集编写，仅供考研复习参考，与目标学校及研究生院官方无关，如有侵权、请联系我们将立即处理。

②资料中若有真题及课件为免费赠送，仅供参考，版权归属学校及制作老师，在此对版权所有者表示感谢，如有异议及不妥，请联系我们，我们将无条件立即处理！

#### 四、2024 年研究生入学考试指定/推荐参考书目（资料不包括教材）

##### 4. 中原工学院 816 高分子物理考研初试参考书

《高分子物理》第三版，何曼君主编，复旦大学出版社

#### 五、本套考研资料适用学院和专业

材料与化工学院

#### 版权声明

编写组依法对本书享有专有著作权，同时我们尊重知识产权，对本电子书部分内容参考和引用的市面上已出版或发行图书及来自互联网等资料的文字、图片、表格数据等资料，均要求注明作者和来源。但由于各种原因，如资料引用时未能联系上作者或者无法确认内容来源等，因而有部分未注明作者或来源，在此对原作者或权利人表示感谢。若使用过程中对本书有任何异议请直接联系我们，我们会在第一时间与您沟通处理。

因编撰此电子书属于首次，加之作者水平和时间所限，书中错漏之处在所难免，恳切希望广大考生读者批评指正。

目录

封面.....	1
目录.....	4
2024 年中原工学院 816 高分子物理备考信息 .....	7
中原工学院 816 高分子物理考研初试参考书目 .....	7
中原工学院 816 高分子物理考研招生适用院系 .....	7
2024 年中原工学院 816 高分子物理考研核心笔记 .....	8
《高分子物理学》考研核心笔记.....	8
第 1 章 绪论 .....	8
考研提纲及考试要求 .....	8
考研核心笔记.....	8
第 2 章 高分子的链结构 .....	13
考研提纲及考试要求 .....	13
考研核心笔记.....	13
第 3 章 高分子的溶液性质 .....	18
考研提纲及考试要求 .....	18
考研核心笔记.....	18
第 4 章 高分子的多组分体系 .....	28
考研提纲及考试要求 .....	28
考研核心笔记.....	28
第 5 章 聚合物的非晶态 .....	30
考研提纲及考试要求 .....	30
考研核心笔记.....	30
第 6 章 聚合物的结晶态 .....	39
考研提纲及考试要求 .....	39
考研核心笔记.....	39
第 7 章 聚合物的屈服和断裂 .....	46
考研提纲及考试要求 .....	46
考研核心笔记.....	46
第 8 章 聚合物的高弹性和黏弹性 .....	51
考研提纲及考试要求 .....	51
考研核心笔记.....	51
第 9 章 聚合物的其他性质 .....	75
考研提纲及考试要求 .....	75
考研核心笔记.....	75
第 10 章 聚合物的分析与研究方法 .....	85
考研提纲及考试要求 .....	85

考研核心笔记.....	85
<b>2024 年中原工学院 816 高分子物理考研辅导课件.....</b>	<b>101</b>
《高分子物理学》考研辅导课件.....	101
<b>2024 年中原工学院 816 高分子物理考研复习提纲.....</b>	<b>206</b>
《高分子物理学》考研复习提纲.....	206
<b>2024 年中原工学院 816 高分子物理考研核心题库.....</b>	<b>213</b>
《高分子物理》考研核心题库之问答题精编.....	213
《高分子物理》考研核心题库之计算题精编.....	245
<b>2024 年中原工学院 816 高分子物理考研题库[仿真+强化+冲刺].....</b>	<b>276</b>
中原工学院 816 高分子物理考研仿真五套模拟题.....	276
2024 年高分子物理五套仿真模拟题及详细答案解析（一）.....	276
2024 年高分子物理五套仿真模拟题及详细答案解析（二）.....	284
2024 年高分子物理五套仿真模拟题及详细答案解析（三）.....	291
2024 年高分子物理五套仿真模拟题及详细答案解析（四）.....	298
2024 年高分子物理五套仿真模拟题及详细答案解析（五）.....	304
中原工学院 816 高分子物理考研强化五套模拟题.....	311
2024 年高分子物理五套强化模拟题及详细答案解析（一）.....	311
2024 年高分子物理五套强化模拟题及详细答案解析（二）.....	318
2024 年高分子物理五套强化模拟题及详细答案解析（三）.....	324
2024 年高分子物理五套强化模拟题及详细答案解析（四）.....	330
2024 年高分子物理五套强化模拟题及详细答案解析（五）.....	338
中原工学院 816 高分子物理考研冲刺五套模拟题.....	344
2024 年高分子物理五套冲刺模拟题及详细答案解析（一）.....	344
2024 年高分子物理五套冲刺模拟题及详细答案解析（二）.....	355
2024 年高分子物理五套冲刺模拟题及详细答案解析（三）.....	363
2024 年高分子物理五套冲刺模拟题及详细答案解析（四）.....	368
2024 年高分子物理五套冲刺模拟题及详细答案解析（五）.....	376
<b>附赠重点名校：高分子物理 2011-2013、2015-2022 年考研真题汇编（暂无答案）.....</b>	<b>381</b>
第一篇、2022 年高分子物理考研真题汇编.....	381
2022 年武汉工程大学 807 高分子物理考研专业课真题.....	381
2022 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	384
第二篇、2021 年高分子物理考研真题汇编.....	387
2021 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	387
2021 年宁波大学 882 高分子物理考研专业课真题.....	390
第三篇、2020 年高分子物理考研真题汇编.....	392
2020 年杭州师范大学 726 高分子物理考研专业课真题.....	392

2020 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	397
2020 年宁波大学 882 高分子物理考研专业课真题.....	400
第四篇、2019 年高分子物理考研真题汇编.....	403
2019 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	403
2019 年杭州师范大学 726 高分子物理考研专业课真题.....	404
2019 年广东工业大学 834 高分子物理考研专业课真题.....	408
2019 年宁波大学 882 高分子物理考研专业课真题.....	410
第五篇、2018 年高分子物理考研真题汇编.....	412
2018 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	412
2018 年宁波大学 882 高分子物理考研专业课真题.....	414
2018 年桂重庆理工大学 811 高分子物理考研专业课真题.....	417
第六篇、2017 年高分子物理考研真题汇编.....	421
2017 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	421
第七篇、2016 年高分子物理考研真题汇编.....	423
2016 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	423
第八篇、2015 年高分子物理考研真题汇编.....	425
2015 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题.....	425
第九篇、2013 年高分子物理考研真题汇编.....	427
2013 年北京科技大学 631 高分子物理考研专业课真题.....	427
2013 年华南理工大学 839 高分子物理考研专业课真题.....	430
2013 年青岛大学 833 高分子物理考研专业课真题.....	433
2013 年北浙江大学 925 高分子物理考研专业课真题.....	435
第十篇、2012 年高分子物理考研真题汇编.....	438
2012 年青岛大学 833 高分子物理考研专业课真题.....	438
第十一篇、2011 年高分子物理考研真题汇编.....	439
2011 年广东工业大学 834 高分子物理考研专业课真题.....	439

## 2024 年中原工学院 816 高分子物理备考信息

### 中原工学院 816 高分子物理考研初试参考书目

《高分子物理》第三版，何曼君主编，复旦大学出版社

### 中原工学院 816 高分子物理考研招生适用院系

材料与化工学院

2024 年中原工学院 816 高分子物理考研核心笔记

《高分子物理学》考研核心笔记

第 1 章 绪论  
考研提纲及考试要求

- 考点：高分子及其应用
- 考点：高分子发展史
- 考点：高分子物理研究对象及其内容

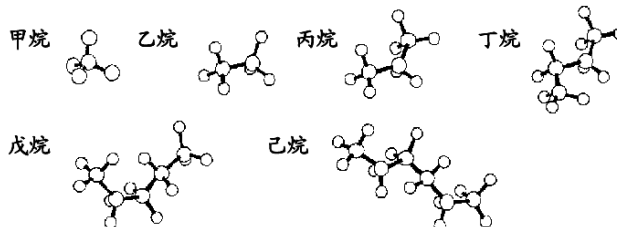
考研核心笔记

【核心笔记】人类的文明史材料的发展史

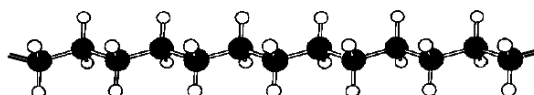


材料的发展与人类社会

□ 从小分子到高分子



最简单的高分子：线型聚乙烯



1. 高分子及其应用

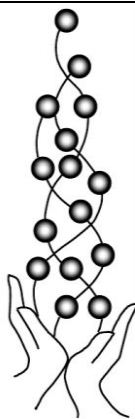
(1) 高分子 (macromolecule、polymer)

由许多结构相同的单元通过共价键重复连接而成的相对分子量很大的化合物  
天然高分子

① 合成高分子：塑料、橡胶、纤维、胶粘剂、涂料、功能高分子等

高分子材料具有基本性质：比重小，比强度高，韧性、可塑性，高弹性、耐磨性，绝缘性，耐腐蚀性，抗射线。





a.应用

农业用塑料：薄膜（透光性、强度、耐老化性）②灌溉用管

建筑业：给排水管 PVC、HDPE

塑料门窗：配方、制品设计、加工工艺（挤出温度，螺杆转速，剪切力）

涂料油漆：强度，溶解性。

复合地板：家具（人造木材），壁纸，地板革

PVC 天花板

包装工业：塑料薄膜：PE、PP、PS、PET、PA 等

中空容器：PET、PE、PP 等

泡沫塑料：PE、PU 等

汽车工业：塑料件、仪表盘、保险机、油箱内饰件、坐垫等

军工工业：固体燃料、低聚物、复合纤维等质轻（飞机和火箭）

电气工业：绝缘材料（导热性、电阻率）等、导电主分子

电子：通讯光纤、电缆、电线等，光盘、手机、电话

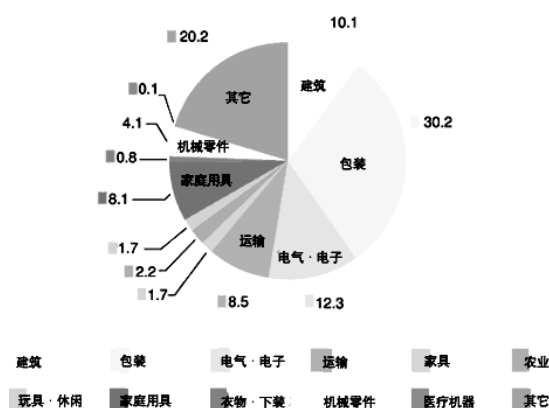
家用电器：外壳、内胆（电视、电脑、空调）等

医疗卫生中的应用：人工心脏、人工脏器、人工肾（PU）、人工肌肉、（智能型凝胶）输液管、血袋、注射器、可溶缝合剂药物释放。

防腐工程：耐腐蚀性，防腐结构材料。

（水管阀门）PTFE：230~260℃长期工作，适合温度高腐蚀严重的产品。

高分子材料的消耗率



②功能高分子 Functional Polymer

液晶高分子：降解高分子聚二氧化碳树脂、Kevlar 纤维

导电高分子：电致发光高分子聚苯胺、塑料电池

医用高分子：人工心脏、脏器、人工肾（PU）、人工肌肉高吸水性树脂

智能高分子：汽车的抗磨损涂层等

高分子在 IT 的应用：聚合物发光二极管(OLED)柔性显示器、塑料芯片等

高分子物理是高分子学科体系中最重要专业基础课程之一。它以物理学、有机化学、物理化学和高分子化学等课程为基础，又为后续课程聚合物合成工艺学、聚合物加工原理、高分子分子设计等打下理论基础。

## 2. 高分子的发展史

### (1) 蒙昧期

汉朝造纸术发明

15 世纪美洲玛雅人用天然橡胶做容器，雨具等生活用品

1839 年美国古德伊尔(Charles Goodyear)发现天然橡胶与硫磺共热后明显地改变了性能，使它从硬度较低、遇热发粘软化、遇冷发脆断裂的不实用的性质，变为富有弹性、可塑性的材料

1869 年美国的海厄特(John Wesley Hyatt, 1837-1920)把硝化纤维、樟脑和乙醇的混合物在高压下共热，制造出了第一种人工合成塑料“赛璐珞”(cellulose)

萌芽期

1887 年 Count Hilaire de Chardonnet 用硝化纤维素的溶液进行纺丝，制得了第一种人造丝。

1893 年 Fischer 将氨基酸逐个连接成多肽，制备了聚合度为 30 的单分散多肽

1909 年美国贝克兰德(Leo Baekeland)用苯酚与甲醛反应制造出第一种完全人工合成的塑料--酚醛树脂。

1920 年施陶丁格(Hermann Staudinger)发表了"关于聚合反应"(Uber Polymerization)的论文提出：高分子物质是由具有相同化学结构的单体经过化学反应(聚合)，通过化学键连接在一起的大分子化合物，高分子或聚合物一词即源于此。

### (2) 争鸣期

1926 年瑞典化学家斯维德贝格等人设计出一种超离心机，用它测量出蛋白质的分子量：证明高分子的分子量的确是从几万到几百万。

1926 年美国化学家 Waldo Semon 合成了聚氯乙烯，并于 1927 年实现了工业化生产

1930 年聚苯乙烯(PS)发明

1932 年施陶丁格(Hermann Staudinger)总结了自己的大分子理论，出版了划时代的巨著《高分子有机化合物》，成为高分子化学作为一门新兴学科建立的标志

### (3) 发展期

1935 年杜邦公司基础化学研究所有机化学部的卡罗瑟斯(Wallace H. Carothers, 1896-1937)合成出聚酰胺 66，即尼龙。尼龙在 1938 年实现工业化生产

1936 年德国人用金属钠作为催化剂，用丁二烯合成出丁钠橡胶和丁苯橡胶

1940 年英国人温费尔德(T.R. Whinfield, 1901-1966)合成出聚酯纤维(PET)

1940 年 Peter Debye 发明了通过光散射测定高分子物质分子量的方法

1948 年 Paul Flory 建立了高分子长链结构的数学理论

1950 年德国人齐格勒(Karl Ziegler)与意大利人纳塔(Giulio Natta)分别用金属络合催化剂合成了聚乙烯与聚丙烯。

1955 年美国利用齐格勒-纳塔催化剂聚合异戊二烯，首次用人工方法合成了结构与天然橡胶基本一样的合成天然橡胶。

1971 年 S. L. Wolek 发明可耐 300°C 高温的 Kevlar 纤维。

20 世纪 20 年代 Staudinger 首次提出高分子概念

40 年代形成高分子物理理论

50 年代出现高分子工程：聚合反应工程、成型加工

### (4) 60 年代高分子工业大发展时期：

通用塑料：PE、PP、PVC、PS(80%)、PFUF、PU、UP

工程塑料：ABS、PA、PC、PPO、POM、PBT

合成纤维：PET、PAN、PP、PVA、nylon

合成橡胶：SBR、NR、顺丁橡胶、丁基橡胶、丁腈橡胶

(5) 70 年代

(-SN-)-超导性发现；

铁电液晶的合成

聚乙炔膜合成方法及高导电性发现

感光材料 PVK-TNF 用于复印技术

塑料光纤应用

(6) 80 年代

液晶显示器商品化

压电高分子用于传感器

分离膜技术进步

人工器官临床应用

铁电液晶空间光调制器

近十年高分子的发展方向：

高性能化、高功能化、精细化、智能化、复合化

在分子科学的形成和发展的过程中，世界上许多科学家作出了巨大的贡献，我们不应忘记他们

1953Hermann Staudinger(1881-1965)

施陶丁格(Hermann Staudinger)是德国著名的化学家，1881年3月23日生于德国的沃尔姆斯(Worms)，1965年8月8日在弗赖堡(Freiburg)逝世，终年84岁。他是1953年诺贝尔化学奖的获得者。1947年，他编辑出版了《高分子化学》杂志，形象地描绘了高分子(Macromolecules)存在的形式。从此，他把“高分子”这个概念引进科学领域，并确立了高分子溶液的粘度与分子量之间的关系，创立了确定分子量的粘度的理论(后来被称为施陶丁格尔定律)。他的科研成就对当时的塑料、合成橡胶、合成纤维等工业的蓬勃发展起了积极作用。由于他对高分子科学的杰出贡献，1953年，他以72岁高龄，走上了诺贝尔奖金的领奖台

WallaceCarothers (1896 - 1937)

尼龙、氯丁橡胶的发明者

1930 发明氯丁橡胶

1934-1935 发明尼龙

1936member the National Academy of Sciences, USA (the first industrial scientist)

1940年、1946年尼龙丝袜革命(限购!一人一双!)

(7) 我国从50年代才开始研究高分子我们的先驱：

王葆仁(1907.1.20~1986.9.12)：中国最早从事高分子科学研究的化学家之一。50年代开始研究聚甲基丙烯酸甲酯、聚己内酰胺和有机硅高分子

冯新德——自由基聚合

徐僖——塑料加工

钱保功——橡胶合成(顺丁橡胶)

唐敖庆——高分子统计理论

钱人元——高分子溶液理论及粘度的测定

(我国与高分子领域的中科院院士：钱保功、何炳林、王佛松，沈之荃、程镕时、黄葆同、白春礼、周其凤、曹镛、吴奇、颜德岳、杨玉良、江明、张希、唐本忠等)

(8) 国内高分子强校

第一梯队：复旦大学、浙江大学、北京大学、四川大学、中科院长春应化所、中科院化学所

第二梯队：华南理工大学、上海交通大学、北京化工大学、吉林大学、清华大学、武汉大学、华东理工大学、中山大学、天津大学、南开大学、南京大学、北京师范大学、苏州大学、东华大学、宁波材料所等

第三梯队：其他学校

2024 年中原工学院 816 高分子物理考研辅导课件

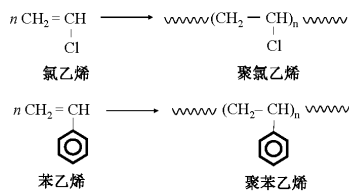
《高分子物理学》考研辅导课件

# 高分子物理

# 第一章 概论

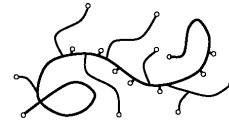
## 合成高分子的来源

小分子单体相互连接而成



## 聚合过程赋予高分子三个特征

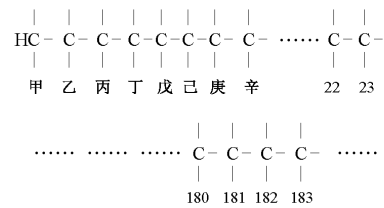
1. 由重复单元相互连接构成
2. 链状分子的基本形式
3. 足够长



## 足够长:

聚合物 (Polymer): 多到增加或减少几个单元不会影响本体性质 (玻璃化温度、热容、密度、热胀系数、模量、拉伸强度、导热系数、折光指数...)

## 烷烃性质随链长的变化



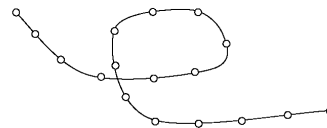
## 共性?

足够长的链状分子具有共同的运动规律



## 高分子物理的使命

揭示聚合物的结构及其共性分子运动规律



学习过普通物理还要学习高分子物理的原因

高分子 Macromolecule—分子量高  
 聚合物 Polymer—由小分子单元连接而成  
 大分子 Macromolecule—分子量高  
 高聚物 High polymer —分子量高的聚合物

若未达到足够的长度:

低聚物 (齐聚物): oligomer

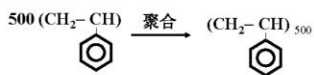
高分子的特征不在其分子量高, 而在其长链状结构

## 高聚物分子量及其分布的测定

### 分子量与聚合度

分子量: 分子的质量 g/mol

聚合度: 分子链中结构单元的个数



聚合度  $x=500$ , 分子量  $M=104 \times 500=52000\text{g/mol}$

聚合度与分子量的关系:

$$M = x \cdot M_u$$

$$x = M / M_u$$

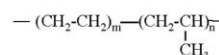
$M_u$  为单元分子量

聚合度的概念只适用于均聚物

均聚物



共聚物



对聚合物的分子量加以控制的意义:

- ◆ 聚合物分子量小, 性能达不到要求;
  - ◆ 当分子量大到某种程度时, 其熔融状态的流动性很差, 给加工成型造成困难。
  - ◆ 兼顾到使用性能和加工性能两方面的要求, 需对聚合物的分子量加以控制。
- 分子量分布研究的意义:
- ◆ 首先, 分子量分布对材料的物理性能影响很大;
  - ◆ 其次, 聚合物在材料加工前的分子量分布取决于聚合反应机理, 它在老化过程中分子量分布的变化取决于降解机理。这样, 测定分子量分布又是研究和验证聚合和解聚动力学的有力工具。

### 第一节 高聚物分子量的统计意义

- ◆ 高聚物分子量具有多分散性, 对于这种多分散性的描述, 最为直观的方法是利用某种形式的分子量分布曲线。多数情况下还是直接测定其平均分子量。
- ◆ 然而, 平均分子量又有各种不同的统计方法, 因而具有各种不同的数值。

### 一、平均分子量

- ◆ 假定在某一高分子试样中含有若干种分子量不等的分子, 该试样的总质量为  $w$ , 总摩尔数为  $n$ , 种类数用  $i$  表示, 第  $i$  种分子的相对分子质量为  $M_i$ , 摩尔数为  $n_i$ , 重量为  $w_i$ , 在整个试样中的重量分数为  $W_i$ , 摩尔分数为  $N_i$ , 则这些量之间存在下列关系:

$$\sum_i n_i = n; \quad \sum_i w_i = w; \quad \frac{n_i}{n} = N_i; \quad \frac{w_i}{w} = W_i$$

$$\sum_i W_i = 1; \quad \sum_i N_i = 1;$$

$$W_i = N_i M_i$$

- ◆ 以数量为统计权重的数均分子量, 定义为:

$$\bar{M}_n = \frac{w}{n} = \frac{\sum_i n_i M_i}{\sum_i n_i} = \sum_i N_i M_i$$

- ◆ 以重量为统计权重的重均分子量, 定义为:

$$\bar{M}_w = \frac{\sum_i n_i M_i^2}{\sum_i n_i M_i} = \frac{\sum_i w_i M_i}{\sum_i w_i} = \sum_i W_i M_i$$

- ◆ 以  $z$  值为统计权重的  $z$  均分子量,  $z_i$  定义为  $w_i M_i$ , 定义为:

$$\bar{M}_z = \frac{\sum_i z_i M_i}{\sum_i z_i} = \frac{\sum_i w_i M_i^2}{\sum_i w_i M_i} = \frac{\sum_i n_i M_i^3}{\sum_i n_i M_i^2}$$

◆ 对于一般的合成聚合物，可以看成是若干同系物的混合物，其分子量可看作是连续分布的。这些相对分子质量也都可以写成积分的形式：

$$\bar{M}_n = \frac{\sum_i n_i M_i}{\sum_i n_i} = \frac{\int_0^\infty N(M) M dM}{\int_0^\infty N(M) dM} = \frac{\sum_i w_i}{\sum_i \frac{w_i}{M_i}} = \frac{1}{\int_0^\infty \frac{W(M)}{M} dM}$$

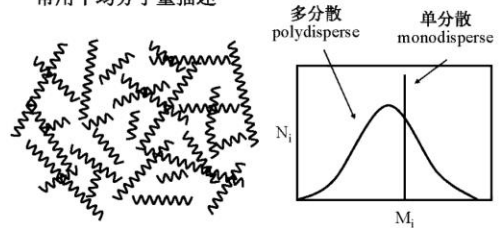
$$\bar{M}_w = \frac{\sum_i n_i M_i^2}{\sum_i n_i M_i} = \frac{\sum_i w_i M_i}{\sum_i w_i} = \frac{\int_0^\infty W(M) M dM}{\int_0^\infty W(M) dM}$$

$$\bar{M}_z = \frac{\int_0^\infty W(M) M^2 dM}{\int_0^\infty W(M) M dM} \quad \bar{M}_\alpha = \left( \int_0^\infty W(M) M^\alpha dM \right)^{1/\alpha}$$

$N(M)$ 称为分子量的数量微分布函数；  
 $W(M)$ 称为分子量的重量微分布函数。

合成高分子的分子量具有多分散性

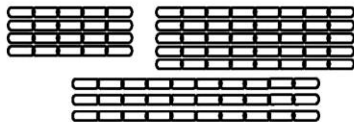
常用平均分子量描述



分子量相同的一组分子链称作一个级分

根据统计方法不同，有多种统计平均分子量

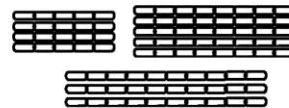
现有5g重的金链4根，8g重的金链条5根，10g重的金链3根，求金链的平均重量



按数量进行平均：数均分子量

$$\text{平均重量} = \frac{5g \times 4 + 8g \times 5 + 10g \times 3}{4 + 5 + 3} = \frac{90g}{12} = 7.5g$$

$$\text{用公式表示：} \quad \bar{M}_n = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2 + n_3 M_3}{n_1 + n_2 + n_3} = \frac{\sum_i n_i M_i}{\sum_i n_i}$$



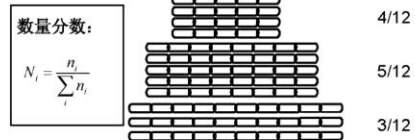
$$\bar{M}_n = \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2 + n_3 M_3}{n_1 + n_2 + n_3} = \frac{\sum_i n_i M_i}{\sum_i n_i}$$

用数量分数表示：

$$\begin{aligned} \bar{M}_n &= \frac{n_1 M_1 + n_2 M_2 + n_3 M_3 + \dots + n_i M_i + \dots}{\sum_i n_i} \\ &= \frac{n_1}{\sum_i n_i} M_1 + \frac{n_2}{\sum_i n_i} M_2 + \frac{n_3}{\sum_i n_i} M_3 + \dots \\ &= N_1 M_1 + N_2 M_2 + N_3 M_3 + \dots + N_i M_i + \dots \\ &= \sum_i N_i M_i \end{aligned}$$

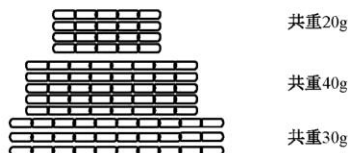
定义  
数量分数：

$$N_i = \frac{n_i}{\sum_i n_i}$$



$$\text{数均分子量} \quad \bar{M}_n = \sum_i N_i M_i \quad 7.5$$

按重量进行平均：重均分子量



$$\text{重量平均值} = \frac{5g \times 20g + 8g \times 40g + 10g \times 30g}{20g + 40g + 30g} = \frac{720g^2}{90g} = 8.0g$$

用公式表示：

$$\begin{aligned} \bar{M}_w &= \frac{w_1 M_1 + w_2 M_2 + w_3 M_3}{w_1 + w_2 + w_3} \\ &= \frac{(n_1 M_1) M_1 + (n_2 M_2) M_2 + (n_3 M_3) M_3}{(n_1 M_1) + (n_2 M_2) + (n_3 M_3)} \\ &= \frac{n_1 M_1^2 + n_2 M_2^2 + n_3 M_3^2}{n_1 M_1 + n_2 M_2 + n_3 M_3} = \frac{\sum_i n_i M_i^2}{\sum_i n_i M_i} \end{aligned}$$

$$\bar{M}_w = \frac{w_1M_1 + w_2M_2 + w_3M_3 + \dots + w_iM_i}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_i}$$

用重量分数表示:

$$\bar{M}_w = \frac{w_1M_1 + w_2M_2 + w_3M_3 + \dots + w_iM_i}{\sum_i w_i}$$

$$= \frac{\frac{w_1}{\sum_i w_i} M_1 + \frac{w_2}{\sum_i w_i} M_2 + \frac{w_3}{\sum_i w_i} M_3 + \dots}{1}$$

$$= W_1M_1 + W_2M_2 + W_3M_3 + \dots + W_iM_i = \sum_i W_iM_i$$

定义  
重量分数:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i}$$

重量分数:

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_i w_i}$$

4·5/90  
5·8/90  
3·10/90

重均分子量  $\bar{M}_w = \sum_i W_iM_i = 8.0$

数均分子量亦可用重量分数表示

$$\bar{M}_n = \frac{\sum_i n_iM_i}{\sum_i n_i} = \frac{\sum_i w_i}{\sum_i (w_i/M_i)}$$

$$= \frac{1}{\sum_i \left( \frac{w_i}{\sum_i w_i} \cdot \frac{1}{M_i} \right)}$$

$$= \frac{1}{\sum_i (W_i/M_i)}$$

平均聚合度的定义与平均分子量相同:

数均聚合度  $\begin{cases} \bar{x}_n = \sum_i N_i x_i \\ \bar{x}_n = \frac{1}{\sum_i (W_i/x_i)} \end{cases}$

重均聚合度  $\bar{x}_w = \sum_i W_i x_i$

计算关于  $M_n$  的数均方差值

$$\sigma_n^2 = \overline{(M - \bar{M}_n)^2} = (\overline{M^2})_n - 2\bar{M}_n \cdot \bar{M}_n + (\bar{M}_n)^2$$

$$= \frac{\sum_i n_i M_i^2}{\sum_i n_i} - (\bar{M}_n)^2 = \frac{\sum_i n_i M_i^2}{\sum_i n_i} - \frac{(\sum_i n_i M_i)^2}{(\sum_i n_i)^2}$$

$$= \bar{M}_w \cdot \bar{M}_n - (\bar{M}_n)^2 = (\bar{M}_n)^2 \left( \frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n} - 1 \right)$$

可知  $M_w$  一定大于  $M_n$

分布宽度指数 (方差)  $\sigma_n^2 = (\bar{M}_n)^2 \left( \frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n} - 1 \right)$

同一个样品偏差值可以不同, 取决于  $\bar{M}_w/\bar{M}_n$

$\bar{M}_w/\bar{M}_n = 1$  无偏差, 即为单分布

$\bar{M}_w/\bar{M}_n$  越大, 分布越宽

定义  $\bar{M}_w/\bar{M}_n$  为多分散系数, 用以表示分布的宽度 (多分散度)

数均  $\bar{M}_n = 7.5$

重均  $\bar{M}_w = 8.0$

$$\frac{\bar{M}_w}{\bar{M}_n} = \frac{8.0}{7.5} = 1.067$$

例1-1: 已知试样A和B的数均分子量分别为  $2 \times 10^5 \text{g/mol}$  和  $5 \times 10^5 \text{g/mol}$ ,  $M_w/M_n$  均为 2.0。现将两种试样按 3/7 (w/w) 比例混合, 计算混合物的  $M_w/M_n$ 。

解:

$$\bar{M}_w = 0.3 \times (4 \times 10^5) + 0.7 \times (10 \times 10^5) = 820000$$

$$\bar{M}_n = \frac{1}{0.3/(2 \times 10^5) + 0.7/(5 \times 10^5)} = 344800$$

$$\bar{M}_w / \bar{M}_n = 2.38$$

## 2024 年中原工学院 816 高分子物理考研复习提纲

### 《高分子物理学》考研复习提纲

# 《高分子物理》复习提纲

## 一、复习内容

### 第一章 概论

#### 1. 复习内容

- 1.1 高分子的科学发展史
- 1.2 从小分子到大分子
- 1.3 高分子的和分子量分布
- 1.4 分子量和分子量分布的测定方法
- 1.5 高分子物质的类型
- 1.6 聚合物的玻璃化转变

#### 2. 复习重点

- 2.1 高分子的和分子量分布
- 2.2 分子量和分子量分布的测定方法
- 2.3 聚合物的玻璃化转变

#### 3. 复习难点

- 3.1 高分子的和分子量分布
- 3.2 聚合物的玻璃化转变

### 第二章 高分子的链结构

#### 1. 复习内容

- 1.1 高分子链的构型
- 1.2 高分子链的构象

#### 2. 复习重点

- 2.1 高分子链的构型

#### 3. 复习难点

- 3.1 高分子链的构型
- 3.2 高分子链的构象

### 第三章 高分子的溶液性质

#### 1. 复习内容

- 1.1 聚合物的溶解过程和溶剂选择
- 1.2 Flory-Huggins 高分子溶液理论



- 1.3 高分子的“理想溶液”—— $\Theta$  状态
- 1.4 Flory-Krigbaum 稀溶液理论
- 1.5 分子溶液的相平衡和相分离
- 1.6 高分子的标度概念和标度定律
- 1.7 高分子的亚浓溶液
- 1.8 温度和浓度对溶液中高分子尺寸的影响
- 1.9 高分子冻胶和凝胶
- 1.10 聚电解质溶液
- 1.11 高分子在溶液中的扩散
- 1.12 高分子在稀溶液中的粘性流动
2. 复习重点
  - 2.1 聚合物的溶解过程和溶剂选择
  - 2.2 Flory-Huggins 高分子溶液理论
  - 2.3 高分子的“理想溶液”—— $\Theta$  状态
  - 2.4 分子溶液的相平衡和相分离
  - 2.5 高分子的亚浓溶液
  - 2.6 温度和浓度对溶液中高分子尺寸的影响
  - 2.7 高分子冻胶和凝胶
3. 复习难点
  - 3.1 Flory-Huggins 高分子溶液理论
  - 3.2 高分子的“理想溶液”—— $\Theta$  状态
  - 3.3 温度和浓度对溶液中高分子尺寸的影响

#### 第四章 高分子的多组分体系

1. 复习内容
  - 1.1 高分子共混物的相容性
  - 1.2 多组分高分子的界面性质
  - 1.3 高分子嵌段共聚物熔体与嵌段共聚物溶液
2. 复习重点
  - 2.1 高分子共混物的相容性
  - 2.2 多组分高分子的界面性质
3. 复习难点

- 3.1 多组分高分子的界面性质
- 3.2 高分子嵌段共聚物熔体与嵌段共聚物溶液

## 第五章 聚合物的非晶态

- 1. 复习内容
  - 1.1 非晶聚合物的结构模型
  - 1.2 非晶聚合物的力学状态和热转变
  - 1.3 非晶聚合物的玻璃化转变
  - 1.4 非晶聚合物的黏性流动
  - 1.5 聚合物的取向态
- 2. 复习重点
  - 2.1 非晶聚合物的结构模型
  - 2.2 非晶聚合物的力学状态和热转变
  - 2.3 非晶聚合物的玻璃化转变
  - 2.4 非晶聚合物的黏性流动
  - 2.5 聚合物的取向态
- 3. 复习难点
  - 3.1 非晶聚合物的力学状态和热转变
  - 3.2 非晶聚合物的玻璃化转变

## 第六章 聚合物的结晶态

- 1. 复习内容
  - 1.1 常见结晶性聚合物中晶体的晶包
  - 1.2 结晶性聚合物的球晶和单晶
  - 1.3 结晶聚合物的结构模型
  - 1.4 聚合物的结晶过程
  - 1.5 结晶聚合物的熔融和熔点
  - 1.6 结晶度对聚合物物理和机械性能的影响
  - 1.7 聚合物的液晶态
- 2. 复习重点
  - 2.1 结晶性聚合物的球晶和单晶
  - 2.2 结晶聚合物的结构模型
  - 2.3 聚合物的结晶过程

- 2.4 结晶聚合物的熔融和熔点
- 2.5 结晶度对聚合物物理和机械性能的影响

### 3.复习难点

- 3.1 结晶聚合物的结构模型
- 3.2 聚合物的结晶过程
- 3.3 结晶聚合物的熔融和熔点

## 第七章 聚合物的屈服和断裂

### 1. 复习内容

- 1.1 聚合物的拉伸行为
- 1.2 聚合物的屈服行为
- 1.3 聚合物的断裂理论和理论强度
- 1.4 影响聚合物实际强度的因数

### 2.复习重点

- 2.1 聚合物的拉伸行为
- 2.2 聚合物的屈服行为
- 2.3 聚合物的断裂理论和理论强度
- 2.4 影响聚合物实际强度的因数

### 3.复习难点

- 3.1 聚合物的屈服行为
- 3.2 聚合物的断裂理论和理论强度

## 第八章 聚合物的高弹性和黏弹性

### 1. 复习内容

- 1.1 高弹性的热力学分析
- 1.2 高弹性的分子理论
- 1.3 交联网络的溶胀
- 1.4 聚合物的力学松弛——黏弹性
- 1.5 黏弹性的力学模型
- 1.6 黏弹性与时间、温度的关系——时温等效原理
- 1.7 聚合物的黏弹性的实验方法
- 1.8 聚合物的松弛转变及其分子机理

2024 年中原工学院 816 高分子物理考研核心题库

《高分子物理》考研核心题库之问答题精编

1. 列举三个理由说明为什么我们的黏弹模型不能用来说明结晶聚合物的行为。

【答案】因为结晶型聚合物的黏弹性是很复杂的，因三点理由不服从理论解释。

a. 无定形聚合物是各向同性的，也就是意味着为描述剪切应力而建立的模型也正好能用于描述拉伸应力。然而，结晶聚合物不是各向同性的，所以任何模型的应用都受到严格的限制。

b. 无定形聚合物是均相的，因此所加的应力能均匀分布到整个体系。在结晶聚合物中，大量的结晶束缚在一起，这种束缚使得出现较大的应力集中。

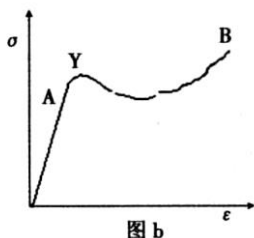
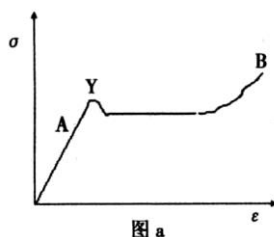
c. 结晶聚合物是不同结晶度的区域的混合物，当施加应力到结晶聚合物时，这些不同的区域的大小及分布随结晶的熔化和生长会发生连续变化。也就是说，任何力学模型都必须考虑在结晶聚合物中这些连续的变化。

2. 下面分别是 PMMA 和 PE 单轴拉伸得到的应力-应变曲线。

(1) 请判断哪一条属于 PMMA，哪一条属于 PE？

(2) 请说明图 a 或图 b 中 A, Y, B 各点分别是什么点，它们的意义是什么。

(3) 说明图 a 和图 b 两曲线的异同点。



【答案】(1) 图 a 为 PE, 图 b 为 PMMA, 因为 PE 为结晶聚合物, PMMA 为非晶态高聚物。

(2) A 点为聚合物的弹性极限, Y 为屈服点, B 为断裂点。

在 A 点之前去除外力后, 试样将立刻完全恢复原状, 表现胡克弹性体行为; Y 点为材料由脆性断裂向韧性断裂的转变点, 材料屈服后出现了较大的应变; B 点为材料断裂时所能承受的最大应力值, 可判定材料的强弱。

(3) 图 a 和图 b 为典型的晶态和非晶态高聚物的应力-应变曲线。

相同点: 都经历弹性形变、屈服成颈、强迫高弹形变、应变硬化等阶段, 断裂前的形变在室温时都不能自发回复, 加热后都能回复原状。

不同点: 它们被冷拉的范围不同, PE 为  $T_g \sim T_m$ , PMMA 为  $T_b \sim T_g$ 。PMMA 拉伸过程中只发生分子链的取向, 不发生相变; PE 拉伸过程中包含结晶的破坏、取向和再结晶等过程。

3. 解释下图中的两种共混高聚物的动态力学性能。

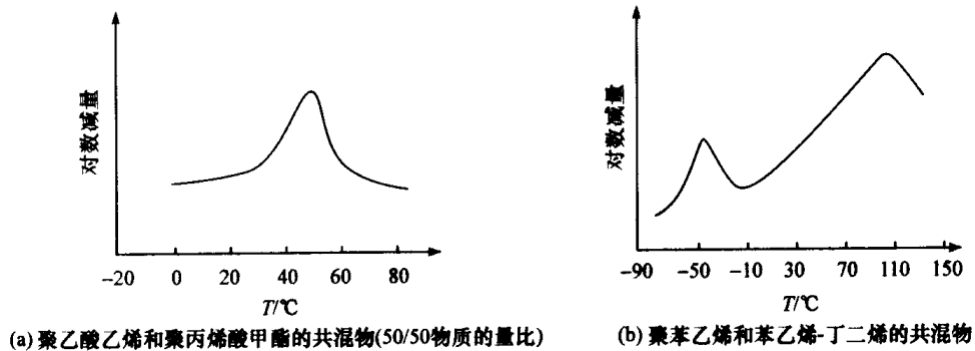


图 高聚物的动态力学性能

【答案】有很好的相容性。由于形成均相体系所以只有一个 $T_g$ 。产生这一现象的原因是：（1）两者的结构相似（2）PVC  $\delta=9.4$ ，PMA  $\delta=9.7$ 。B. 不完全相容。由于发生亚微观相分离，形成两相体系，两相有相对的独立性，各自有一个 $T_g$ 。该共聚物是高抗冲PS。

4. 下图为含硫量不同的几种硫化橡胶的介电损耗曲线，试解释：（1）含硫量不同( $w_s, \%$ )，则介电损耗峰值( $\tan\delta_{max}$ )不同；（2）含硫量不同，所出现 $\tan\delta_{max}$ 的温度( $T_{max}$ )也不同。

【答案】（1）不同 $w_s$ 时，聚合物的偶极基团浓度不同，因而电极化产生的介电损耗 $\tau$ 耗也不同；（2）不同 $w_s$ 时，聚合物的本体黏度不同，故松弛时间( $\tau$ )也不同。

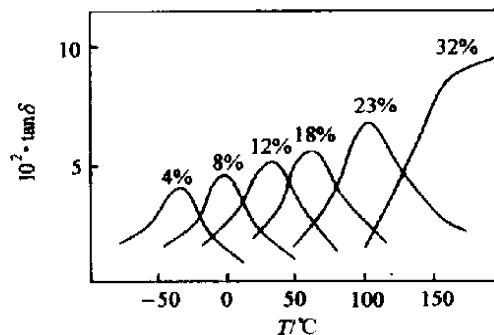


图 不同含硫量的硫化橡胶的介电损耗

5. 写出五种聚合物表面改性技术的原理及应用。

【答案】聚合物表面由于表面能低、表面被污染以及存在弱边界层等，常常难以湿润和粘结。表面改性就是为了改变其表面化学组成，增加表面能，改变晶态及表面形貌，除去污物，增强弱边界层，从而提高表面的湿润性和粘结等性能。聚合物表面改性的方法有多种，这些方法一般只引起 $0.01\sim 100\mu\text{m}$ 表面层的物理或化学变化，不影响其整体的性质。

（1）化学改性

①含氟聚合物：此类聚合物如聚四氟乙烯（PTFE）等具有优良的耐热性、化学稳定性、电性能以及抗水气的穿透性，所以在化学、电子工业和某些医用方面得到了广泛的应用。但是，其缺点为湿润性低和难粘性。为了提高其表面能，可以对表面进行化学改性。通常是用钠茶四氢呋喃溶液来处理。例如，处理后的Teflon与环氧粘结剂粘接，拉剪强度可达 $7.7\sim 14\text{MPa}$ 。该法的缺点是：处理件表面发黑，影响有色导线的着色；处理件表面电阻在高湿条件下略有下降；处理过的黑色表面在阳光下长时间照射，粘结性能降低。

②聚烷烯烃：聚乙烯和聚丙烯等表面能低，化学改性方法是用铬酸液氧化处理或用过硫酸铵的氧化处理液。

③ 聚酯和聚醚：这类聚合物的表面能低，吸湿性差，常常需要进行表面处理。例如，用胺和碱来处理对苯二甲酸乙二酯和聚碳酸酯；用铬酸处理聚苯醚等。

④ 橡胶：丁苯橡胶和丁腈橡胶通常不好粘结，化学改性的方法如下：先将橡胶表面用甲醇擦洗，然后用细的金刚砂布打磨，再放在浓硫酸中浸泡 4~8min（室温）；取出用水洗之，再放入 20% 的氢氧化钠水溶液中浸泡 5~10min；取出用水冲洗，烘干，在橡胶柔软的表面上可出现一层坚硬的环化表皮。

#### (2) 光化学改性

紫外光照射聚合物表面，能引起化学变化改善其湿润性和粘结性。例如，用 1840Å 的紫外线在大气中照射聚乙烯能使其表面发生交联，粘结的搭接剪切强度由原来的 1.75MPa 提高到 15.4MPa。

#### (3) 表面接枝改性

聚合物表面上的接枝点可由等离子体、紫外光或化学试剂等方法来产生。具体方法是预先照射聚合物表面，然后把它放在单体中让它接枝；也可同时照射聚合物和单体。另一种方法是用化学方法产生接枝点。例如，用 K-NH<sub>3</sub> 溶液处理聚四氟乙烯，产生 C=C 双键，在其上面可接枝乙烯基单体，使其变成非凝血的。

#### (4) 辐射改性

通过辐照使材料表面发生交联，可提高其使用温度，改善力学性能。例如 F-30 熔点较低（200~250°C），在 200°C 使用时力学性能很差。可以通过在玻璃化转变温度以上进行辐照，使辐照裂解为主导的效应变成以辐照交联为主导的效应。即在 150°C 用 <sup>60</sup>Coγ 射线辐照 3.0 × 10<sup>-7</sup> rad，则 F-30 在 200°C 时的断裂强度由 3.0MPa 提高到 7.9MPa，延伸率由 50% 提高到 162%，使用温度达到了 200°C。

#### (5) 等离子体表面改性

低温等离子体改性是近些年来发展得较快的方法。因为该法操作简单安全又不造成环境污染，而且，被处理的表面只在 50~100Å（1Å = 0.1nm）范围内的薄层起物理或化学变化，不影响材料的本体性能。

低温等离子体是非热力学平衡等离子体。通常含有六种类型的“基本粒子”：电子、正离子（原子或分子的）、负离子（原子或分子的）、激发态原子或分子、基态能级的原子或分子、光子。

等离子体表面处理是在等离子状态下，非聚合性气体对聚合物材料表面作用的物理过程和化学过程。非聚合性气体包括反应性气体和非反应性气体，它们对聚合物材料表面作用的机理也不相同。

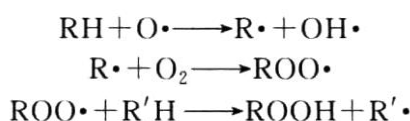
① 反应性气体：氧、氮是等离子体中最常用的反应性气体。聚合物材料在反应性气体的等离子体作用下，材料表面结构发生变化，而且由于 O<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 的化学活性，可直接结合到大分子链上，从而改变了聚合物材料表面的化学组成。

例如，聚合物材料在含氧等离子体作用下发生氧化反应（包括与原子氧反应、与分子氧反应以及与过氧化自由基反应）。等离子体表面氧化是在反应过程中生成大量的自由基，并借助于自由基进行连锁反应。这样的连锁反应不仅引入了大量的含氧基团，如羧基、羰基及羟基，而且由于氧对材料表面的氧化分解起到了刻蚀的作用。对于不同的材料，引入的基团数目和形式也不同。此外，CO<sub>2</sub>、CO、H<sub>2</sub>O 及其他含氧的气体在等离子状态下也可以分解为原子氧，同样具有氧等离子体的作用。

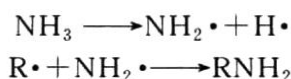
氮等离子体中有 N、N<sup>+</sup>、N<sup>-</sup>、N<sup>M</sup>（亚稳态）、N<sup>\*</sup>、N<sub>2</sub><sup>\*</sup> 等活性粒子参与反应，一部分则与材料表面形成自由基或与不饱和基反应而结合到大分子链上。同样，NH<sub>3</sub> 也有类似的作用。NH<sub>3</sub> 在等离子体状态下分解成自由基，进而与大分子的自由基发生反应。

除 O<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub> 以外，F 等离子体也具有较高的反应性，能很迅速地使聚烯烃表面氟化，降低了表面自由能。

上述反应式举例如下：



又如：



② 非反应性气体：Ar、He 和 H<sub>2</sub> 等是非反应性气体。这些气体的原子不直接进入到大分子链表面的

大分子链中，但由于非反应性气体等离子体中高能粒子轰击材料表面时传递能量，使材料表面产生大量自由基，在材料表面形成交联结构即形成一层薄薄的致密的交联层。这样，不仅改变了材料的表面自由能，增强了弱边界层强度，而且还可以减少聚合物内部低分子物质（如增塑剂、抗氧剂等）的渗出。此技术通常称为 CASING (cross-linked by activated species of inert gasses) 技术。

当聚合物材料表面用惰性气体的等离子体进行处理时，如果被处理的聚合物材料本身含有氧，则由大分子断裂分解而形成大分子碎片进入等离子体内，进而形成活性的氧，其效果与等离子氧处理效果相当。如果材料本身不含氧，用惰性等离子体处理后新生的自由基（半衰期可达 2~3d）能与空气中氧发生作用，导致氧结合到大分子链上。所以，非反应性气体等离子体处理含氧的聚合物材料表面时，将出现交联、刻蚀、引入极性基团三者的竞争反应；对于不含氧的聚合物材料，只是处理后与空气中的氧作用而引进极性基团。

6. 什么是溶度参数  $\delta$ ？聚合物的  $\delta$  怎样测定？根据热力学原理解释非极性聚合物为什么能够溶解在与其  $\delta$  相近的溶剂中。

**【答案】** (1) 溶度参数是内聚能密度的开方，它反映聚合物分子间作用力的大小。(2) 由于聚合物不能汽化，不能通过测汽化热来计算  $\delta$ 。聚合物的  $\delta$  常用溶胀度法、浊度法和黏度法测定。(3) 溶解自发进行的条件是：混合自由能  $\Delta F_M < 0$ ,  $\Delta F_M = \Delta H_M - T\Delta S_M < 0$ 。对于非极性聚合物，一般  $\Delta H_M > 0$  (吸热)，所以只有当  $|\Delta H_M| < T|\Delta S_M|$  时才能使  $\Delta F_M < 0$ 。

因为  $\Delta S_M > 0$ ，所以  $\Delta H_M$  越小越好。 $\Delta H_M = V\phi_1\phi_2(\delta_1 - \delta_2)^2$ ，所以  $|\delta_1 - \delta_2|$  越小越好，即  $\delta_1$  与  $\delta_2$  越接近越好。

7. 现有一超高分子量的聚乙烯试样，欲采用 SEC 方法测定其分子量和分子量分布，试问：

- (1) 能否选用 SEC 法的常用溶剂 THF? 如果不行，应该选择何种溶剂？
- (2) 常温下能进行测定吗？为什么？
- (3) 如何计算该试样的数均分子量、重均分子量和黏均分子量。

**【答案】** (1) 不能选择 SEC 法的常用溶剂 THF，应该选择邻二氯苯作溶剂。

(2) 不能在常温下进行测定，因为 PE 试样为晶态聚合物，熔点高，晶体部分熔融后才能溶于溶剂中，故必须在高温条件下测定，即需选用高温 SEC 仪。

(3) 先测出 SEC 谱图。如果检测器为示差折光仪，则谱图纵坐标为洗提液和纯溶剂的折光指数差  $\Delta n$ ，横坐标为淋洗体积  $V_e$ ，再借助于 PS 标样得到的普适校正曲线  $\lg[\eta]M - V_e$ ，将谱图中淋洗体积换算成分子量，最后按以下公式计算试样的  $\overline{M}_n$ 、 $\overline{M}_w$  和  $\overline{M}_\eta$ 。

在谱图上每隔相等的淋洗体积读出谱线与基线的高度  $H$ ，此高度正比于聚合物溶液淋出级分的浓度，在这区间内淋出聚合物的质量分数为

$$w_i(V_e) = \frac{H_i}{\sum_i H_i} \quad (1)$$

再从普适校正曲线上读出淋洗体积  $V_e$  对应的流体力学体积  $[\eta]M$ ，利用  $\lg[\eta]_1 M_1 = \lg[\eta]_2 M_2$ ， $\lg M_2 = \frac{1+\alpha_1}{1+\alpha_2} \lg M_1 + \frac{1}{1+\alpha_2} \lg \frac{K_1}{K_2}$ ，即可由标定试样的  $M_1$  计算被测试样的  $M_2$ 。

计算相对分子量的公式如下：

$$\overline{M}_w = \sum_i w_i M_i = \sum_i \frac{H_i}{\sum_i H_i} M_i \quad (2)$$

2024 年中原工学院 816 高分子物理考研题库[仿真+强化+冲刺]

中原工学院 816 高分子物理考研仿真五套模拟题

2024 年高分子物理五套仿真模拟题及详细答案解析（一）

一、问答题

1. 提出测量两种聚乙烯样品球晶结构的合适方法。已知一个样品具有较大的球晶结构，另一个样品则有非常小的球晶结构。

**【答案】**通过溶液铸膜法或熔融热压法制备样品薄膜（厚度 $<5\mu\text{m}$ ）。尽量制取较大样品，直径大约为 $5\sim 10\text{mm}$ 。含有较大球晶的聚合物可以通过偏光显微镜观察，插入滤光片，可以获得球晶的光学信息。

小尺寸球晶的样品不用偏光显微镜来评价，最好用小角激光光散射法来评价。前一种测试方法中，样品膜放置在偏光显微镜的正交偏振片之间，通过使用 Bertrand 镜头集中在物体的后焦面上。球晶直径可通过显现的四叶瓣散射图形进行计算。

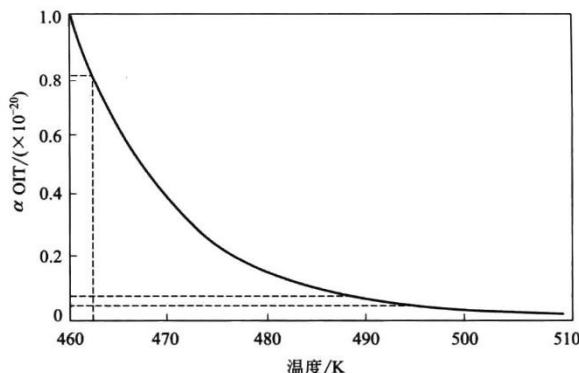


表----OIT 与温度的函数关系（可以从活化能数据计算）

2. 已知聚苯乙烯-环己烷体系(I)的 $\theta$ 温度为 $34\text{X}3$ ，聚苯乙烯-甲苯体系(II)的 $\theta$ 温度低于 $34\text{C}$ ，假定于 $40\text{I}$ 在此两种溶剂中分别测定同一聚苯乙烯试样的渗透压与黏度，问两种体系的 $(\pi/c)_{c\rightarrow 0}$ ， $A_2$ ， $\chi_1$ 和 $[\eta]$ ， $\overline{h^2}$ ， $a$ ， $\alpha$ 的大小顺序如何？问两种体系、两种方法所得试样的相对分子质量之间又有什么关系？

**【答案】**由于 PS-甲苯体系的 $\theta$ 温度更低，可见甲苯是较良的溶剂。根据以下原理：

(1) 良溶剂中，高分子链由于溶剂化作用而扩张，高分子线团伸展， $A_2$ 是正值， $\chi_1 < 0.5$ ，随着温度的降低或不良溶剂的加入， $\chi_1$ 值逐渐增大。

(2) 在良溶剂中，线团较为伸展，自然，均方末端距比 $\theta$ 状态下的数值要大一些。

(3) 在良溶剂中，线团发生溶胀，而且溶胀程度随 $M$ 增大而增大。

$$\alpha^2 = M^\epsilon a = \frac{1 + 3\epsilon}{2} [\eta] = KM^\epsilon$$

所以在良溶剂中 $\alpha$ ， $\epsilon$ ， $a$ 和 $[\eta]$ 均增大。（豆丁华研 10 电 1 子书）

(4) 由于线团在不良溶剂中较紧缩，体积较小，从而小相对分子质量部分较多地渗透过膜，使 $\pi$ 减小， $(\pi/c)_{c\rightarrow 0}$ 偏低。

归纳起来有如下表所示关系。

表 聚合物的相对分子质量



体系	$\theta$ 温度/℃	溶剂性能	$A_2$	$\chi_1$	$[\eta]$	$\bar{h}^2$	$a$	$a$	$(\pi/c)_{c \rightarrow 0}$
PS-环己烷	34	较差	小	大	小	小	小	小	偏低
PS-甲苯	<34	较良	大	小	大	大	大	大	正常

比较两种体系： $M_{\text{良}} > M_{\theta}$ ，比较两种方法： $\bar{M}_v > \bar{M}_{\text{Os}}$ 。

### 3. 测定聚合物结晶速度有哪些方法？简述其原理和主要步骤。

**【答案】** 研究聚合物结晶速率的方法有两类：①一定温度下观察试样总体的结晶速率。如膨胀计法、光学解偏振法、DSC 法等。②在一定温度下观察球晶半径随时间的变化。如热台偏光显微镜法、小角激光光散射法等。

(1) 膨胀计法 聚合物结晶过程，密度变大，会发生体积收缩，观察体积收缩即可研究结晶速度。其方法是将试样与跟踪液装入膨胀计中，加热至试样熔融，再将膨胀计移入恒温槽中，观察毛细管内液柱高度随时间的变化。根据 Avrami 方程

$$\frac{h_t - h_{\infty}}{h_0 - h_{\infty}} = \exp(-Kt^n) \quad (1)$$

由上式可求得 K 和 n。

$$\text{当 } \frac{h_t - h_{\infty}}{h_0 - h_{\infty}} = \frac{1}{2} \text{ 时}$$

$$t_{1/2} = \left( \frac{\ln 2}{K} \right)^{1/n} \quad (2)$$

通常将  $t_{1/2}$  作为实验温度下结晶速率的量度。

(2) DSC 法 由于聚合物试样结晶时要放出结晶潜热，DSC 曲线出现放热峰，由此可测定结晶速度。

具体方法是将试样以一定升温速度加热到熔点以上，恒温一定时间，再迅速降温至测试温度进行等温结晶，获得结晶放热峰。由计算机软件可计算出相对结晶度  $X_t$

$$X_t = \frac{A_t}{A_{\infty}} \quad (3)$$

(3) 偏光显微镜法其原理为利用热台偏光显微镜直接观察球晶半径随时间的增长变化。

主要步骤为试样熔融后立即进行等温结晶，记录不同时间 t 的球晶半径 r，以 r 对 t 作图，可得一直线。用单位时间里球晶半径增加的长度作为观察温度下球晶的径向生长速度 ( $\mu\text{m/s}$ )。

### 4. 试简述高分子结晶的特点。

**【答案】** 高分子结晶的特点如下。

(1) 高分子晶体属于分子晶体。已知小分子有分子晶体、原子晶体和离子晶体，而高分子仅有分子晶体，且仅是分子链的一部分形成的晶体。（豆丁华研 电 子 书）

(2) 高分子晶体的熔点  $T_m$  定义为晶体全部熔化的温度。 $T_m$  虽是一级相转变点，但却是一个范围称为熔限，一般为  $T_m \pm (3 \sim 5^\circ\text{C})$ ，而小分子的  $T_m$  是一个确定的值，一般在  $T_m \pm 0.1^\circ\text{C}$  范围内。高分子的  $T_m$  与结晶温度  $T_c$  有关。

(3) 高分子链细而长（长径比=500~2000），如此严重的几何尺寸的不对称性，使得高分子链结晶得到的晶体只能属于较低级晶系（对称性较差的晶系），如单斜与正交晶系（大约各占 30%）。至今还没有得到最高级的立方晶系（立方晶系是七大晶系中对称性最好的晶系）。

(4) 高分子的结晶是通过链段的协同运动排入晶格的。由于链段运动有强烈的温度、时间依赖性，所以高分子结晶也具有强烈的对温度、时间的依赖性。如把结晶性高分子熔体骤冷可得到非晶或结晶度很低的晶体；慢冷却，甚至进行热处理（即在最适宜的结晶温度上保温一段时间），得到的则是高结晶度的大晶粒聚集体。高分子结晶对温度的依赖性表现为结晶有一定的温度范围 ( $T_g \sim T_m$ )，且在这个温度范围

内, 存在一个结晶速度最快的温度  $T_{max}$ 。同时, 高分子结晶速率常数  $K$  对温度特别敏感, 温度变化  $11C$ ,  $K$  相差  $2\sim 3$  个数量级。

(5) 有结晶度的概念。当结晶性高聚物达到结晶温度时, 即处于  $T_g \sim T_m$  时, 开始结晶。由于高分子结构的复杂性, 使得聚合物的结晶要比小分子晶体有更多的缺陷(如非晶区空间、交联、支化、杂质……), 所以结晶总是很不完善, 是一种晶区与非晶区共存的体系, 结晶聚合物实际上是“部分结晶聚合物”。按照折叠链的结晶理论, 我们如果假设结晶聚合物中只包括完全结晶区和无定形区两个部分, 则可定义为晶区部分所占的百分数为聚合物的结晶度, 常用质量分数  $f_w$  来表示

$$f_w = \frac{\text{晶区质量}}{\text{试样质量}} \times 100\% = \frac{\text{晶区质量}}{\text{晶区质量} + \text{无定形区质量}} \times 100\%$$

(6) 高聚物的结晶过程分一次结晶(主结晶)和二次结晶(次级结晶)。

由于高分子的相对分子质量大, 体系黏度大, 分子运动迟缓, 因此由完全无序到三维有序必定要经过很长时间, 一些暂时没有结晶的分子链在聚合物储存或使用的过程中还会结晶。有人以球晶为例, 在球晶相互间没碰撞截顶之前为一次结晶(主结晶), 之后的再结晶是二次结晶(次结晶), 二次结晶的微观机制是由结晶缺陷所致。Avrami 方程在结晶后期与实验的偏离及等温结晶曲线上出现两个台阶, 都表明二次结晶的客观存在, 如图 1 和图 2。在日常生活中, 尼龙袜子越穿越小也与二次结晶有关。

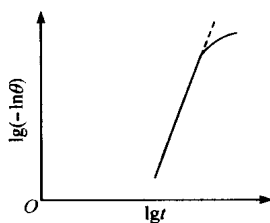


图 1 等温结晶的  $\lg(-\ln)\text{-}lgt$

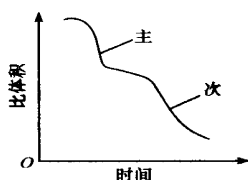


图 2 结晶过程中比体积的变化图

#### 5. 说明产生下列现象的原因:

- (1) 低压聚乙烯的密度、熔点、抗拉强度比高压聚乙烯高;
- (2) 聚合物通常都有一个相对固定的玻璃化温度, 但没有一个确定的黏流温度。

**【答案】** (1) 低压聚乙烯为线型聚合物, 高压聚乙烯为支链聚合物, 支化破坏了分子规整性, 使其结晶能力下降, 导致密度、结晶度、熔点、强度等降低。

(2) 聚合物的黏流温度随着相对分子质量的增加而明显提高, 所以它的  $T_f$  与相对分子质量和相对分子质量分布有关, 没有明确的数值; 而相对分子质量对玻璃化温度的影响不同, 当相对分子质量达到其临界值时, 相对分子质量对  $T_g$  几乎没有影响, 因而有一个相对固定的玻璃化温度。

#### 6. 试指出下列结构的聚合物, 其溶解过程各有何特征? (1) 非晶态聚合物; (2) 非极性晶态聚合物; (3) 极性晶态聚合物; (4) 低交联度的聚合物。

**【答案】** (1) 非极性非晶态聚合物易溶于溶度参数相近的溶剂; 极性非晶态聚合物要考虑溶剂化原则, 即易溶于亲核(或亲电)性相反的溶剂; (2) 非极性晶态聚合物难溶, 选择溶度参数相近的溶剂, 且升温至熔点附近才可溶解; (3) 极性晶态聚合物, 易溶, 考虑溶剂化原则; (4) 低交联度聚合物只能溶

胀而不能溶解。

7. 解释为什么结晶性分子的热塑区（即可加工成型区）一般比非晶高分子狭窄。从  $T_m$  和  $T_g$  的特性出发讨论。

【答案】同一种高分子物质的  $T_m$  和  $T_g$  之间关系存在 Boyer-Beaman 经验规律，即对称性高分子（如聚乙烯） $T_g/T_m = 0.5$ ，非对称性高分子（如聚苯乙烯） $T_g/T_m = 0.67$ 。也就是说， $T_m$  通常比  $T_g$  高  $100 \sim 200^\circ\text{C}$ ，所以结晶性高分子的可加工区较窄。

8. 今有 B-S-B 型 S-B-S 型及 S-I-S 型、I-S-I 型四种嵌段共聚物，问其中哪两种可用作热塑性橡胶？为什么？（I 代表异戊二烯）

【答案】只有 S-B-S 和 S-I-S 两种嵌段共聚物可作热塑性橡胶，其余两种不行。因为这两种的软段在中间，软段的两端固定在玻璃态的聚苯乙烯中，相当于用化学键交联的橡胶，形成了对弹性有贡献的有效链——网链。余下两种软段在两端，硬段在中间。软段的一端被固定玻璃态的聚苯乙烯中，相当于橡胶链的一端被固定在交联点上，另一端是自由活动的端链，而不是一个交联网。由于端链对弹性没有贡献，所以这样的嵌段共聚物不能作橡胶使用。

## 二、计算题

9. 已知聚乙烯（PE）和聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）的黏流活化能  $\Delta E_\eta$  分别为  $41.8\text{kJ/mol}$  和  $192.3\text{kJ/mol}$

· PE 在  $473\text{K}$  时的黏度  $\eta(473) = 91\text{Pa} \cdot \text{s}$ ，PMMA 在  $513\text{K}$  时的黏度  $\eta(513) = 200\text{Pa} \cdot \text{s}$ 。试求：

- (1) PE 在  $483\text{K}$  和  $463\text{K}$  时的黏度，PMMA 在  $523\text{K}$  和  $503\text{K}$  时的黏度；
- (2) 说明链结构对聚合物黏度的影响；
- (3) 说明温度对不同结构聚合物黏度的影响。

【答案】(1) 文献查知  $T_g(\text{PE}) = 193\text{K}$ ， $T_g(\text{PMMA}) = 378\text{K}$ 。本题需求的黏度对应的温度均在  $(T_g + 273)\text{K}$  以上，故可用 Arrhenius 公式计算。

因为

$$\eta = A e^{\Delta E_\eta / RT}$$

所以

$$2.303 \lg \frac{\eta(T_1)}{\eta(T_2)} = \frac{\Delta E_\eta}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

对于 PE：

$$2.303 \lg \frac{\eta(483)}{91} = \frac{41.8 \times 10^3}{8.314} \left( \frac{1}{483} - \frac{1}{473} \right)$$

$$\eta(483) = 71 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

又因为

$$2.303 \lg \frac{\eta(463)}{91} = \frac{41.8 \times 10^3}{8.314} \left( \frac{1}{463} - \frac{1}{473} \right)$$

所以

$$\eta(463) = 114 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

对于 PMMA：

附赠重点名校：高分子物理 2011-2013、2015-2022 年考研真题汇编（暂无答案）

第一篇、2022 年高分子物理考研真题汇编

2022 年武汉工程大学 807 高分子物理考研专业课真题

武汉工程大学 2022 年全国硕士研究生招生考试

考试科目代码及名称：807 高分子物理

一、名词解释（本大题共 5 小题，每小题 3 分，共 15 分）

1. 特性黏数
2.  $\theta$  温度
3. 内聚能密度
4. 时温等效原理
5. 银纹

二、单项选择题（本大题共 10 小题，每小题 2 分，共 20 分）

1. 比较聚丙烯（PP）、聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）、聚丙烯腈（PAN）分子链的柔性，顺序正确的是\_\_\_\_\_。
  - A. PE > PP > PVC > PAN
  - B. PE > PP > PAN > PVC
  - C. PP > PE > PVC > PAN
  - D. PE > PVC > PP > PAN
2. 高分子链中能独立运动的单元是\_\_\_\_\_。
  - A. 链节
  - B. 链段
  - C. 重复单元
  - D. 结构单元
3. 结晶聚合物的熔点和熔限与结晶形成的温度有关，下列说法正确的是\_\_\_\_\_。
  - A. 结晶温度越低，熔点越低，熔限越窄
  - B. 结晶温度越低，熔点越高，熔限越宽
  - C. 结晶温度越高，熔点越高，熔限越窄
  - D. 结晶温度越高，熔点越低，熔限越窄
4. 下列分子量的测定方法中，可以同时测量高分子的均方旋转半径的是\_\_\_\_\_。
  - A. 端基分析法
  - B. 稀溶液粘度法
  - C. 膜渗透压法
  - D. 光散射法
5.  $T_g$  是塑料使用的\_\_\_\_\_，常用来表征橡胶的\_\_\_\_\_。
  - A. 最低温度 耐热性
  - B. 最高温度 耐寒性
  - C. 最低温度 耐寒性
  - D. 最高温度 耐热性
6. 高分子溶液与小分子理想溶液比较，说法正确的是\_\_\_\_\_。
  - A. 高分子溶液在浓度很小时，是理想溶液
  - B. 高分子溶液在  $\theta$  温度时， $\Delta \mu_1^E = 0$ ，说明高分子溶液是一种真的理想溶液
  - C. 高分子溶液在  $\theta$  条件时， $\Delta H_m$  和  $\Delta S_m$  都不等于 0，不是理想溶液

- D. 高分子溶液在  $\theta$  条件时, 链段间由于溶剂化作用所表现出的相互排斥力与链段间的相互吸引力并没有抵消
7. 聚合物的熔融指数随聚合物分子量的增大而\_\_\_\_\_。
- A. 不变                      B. 增大  
C. 减小                      D. 先增大后减小
8. \_\_\_\_\_可以用来描述线形聚合物的应力松弛现象。
- A. 粘壶与弹簧串连的 kelvin 模型  
B. 粘壶与弹簧串连的 maxwell 模型  
C. 粘壶与弹簧并连的 kelvin 模型  
D. 粘壶与弹簧并连的 maxwell 模型
9. 在 高分子材料的拉伸试验中, 提高拉伸速率时, 断裂强度和断裂伸长率变化规律为\_\_\_\_\_。
- A.  $\sigma_b$  升高、 $\epsilon_b$  降低      B.  $\sigma_b$  降低、 $\epsilon_b$  升高  
C.  $\sigma_b$  升高、 $\epsilon_b$  升高      D.  $\sigma_b$  降低、 $\epsilon_b$  降低
10. 橡胶在拉伸过程中会\_\_\_\_\_。
- A. 吸热                      B. 放热  
C. 先放热后吸热          D. 无热量变化

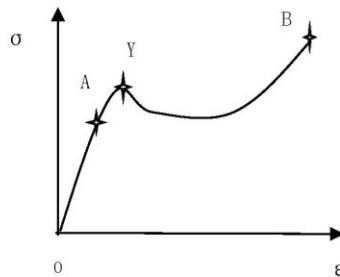
### 三、填空题 (本大题共 5 小题, 每空 1 分, 共 15 分)

1. 晶区中, 聚乙烯、等规聚丙烯的链构象分别为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_构象; 而柔性高分子链在溶液中的链构象为\_\_\_\_\_。
2. 凝胶渗透色谱可以用来测定聚合物的平均分子量和\_\_\_\_\_, 溶质分子的\_\_\_\_\_体积越小, 其淋出体积\_\_\_\_\_。
3. SBS 是一种\_\_\_\_\_共聚物, 它存在\_\_\_\_\_个玻璃化温度; 它可以和塑料一样, 采用熔体加工, 室温下又具有橡胶的弹性, 因此被称作\_\_\_\_\_弹性体。
4. 1, 3-丁二烯经过 1, 4 加成聚合后, 可以形成\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两种构型的聚丁二烯, 它们互为\_\_\_\_\_异构体。
5. 当高分子的“链段”和溶剂分子相互作用大于高分子“链段”间的相互作用时, 高分子线团呈现\_\_\_\_\_状态, 此时溶剂为高分子的\_\_\_\_\_溶剂, 此时的哈金斯参数小于\_\_\_\_\_。

### 四、问答题 (本大题共 9 小题, 共 100 分)

1. 根据聚合物的结构, 简要解释下列事实: (每题 3 分, 共 18 分)
- (1) HDPE 常温下不溶于任何有机溶剂;
- (2) 全同立构 PP 加热熔融后, 不能变成无规立构 PP;

- (3) 重复单元中碳原子数相同时，聚脲比聚酰胺的熔点高；
- (4) 聚丙烯腈只能用溶液纺丝，不能用熔融纺丝，而涤纶树脂可以用熔融纺丝；
- (5) 热固性塑料制品，通常既没有玻璃化转变，也没有黏流转变；
- (6) 一些塑料薄膜，在某一个方向上很容易撕裂，而在该方向的垂直方向上强度很高。
2. 聚合物纤维熔融纺丝时，在拉伸和冷却工序之后，通常还有一道热定形工序，从高分子物理的角度谈谈该工序的作用。(8分)
3. 测定结晶度的方法有哪些？请写出三种，并简述其基本原理。(9分)
4. PE、PET 和 PS 从熔融态淬冷到室温，试回答：(8分)
- (1) PE 是不透明的，而 PET 和 PS 是透明的，为什么？(6分)
- (2) 上述的 PET 试样，在温度接近其玻璃化温度下进行拉伸，发现试样的外观由透明变浑浊，试解释该现象。(2分)
5. 将两种多分散样品A和B等物质的量混合，样品A的 $\overline{M}_n=1.0 \times 10^4$ ， $\overline{M}_w=2.0 \times 10^4$ ，样品B的 $\overline{M}_n=2.0 \times 10^4$ ， $\overline{M}_w=4.0 \times 10^4$ ，求该混合样品的 $\overline{M}_n$ 、 $\overline{M}_w$ 和多分散系数 $\alpha$ 。(10分)
6. 举例说明聚合物的蠕变和应力松弛现象，并解释其产生的原因。(10分)
7. 下图是某一聚合物在某温度下单轴拉伸得到的应力-应变曲线：(12分)



- (1) 请问此曲线是什么温度下测得的， $T_g$ 以下，还是 $T_g-T_f$ 之间？(4分)
- (2) 图中Y点、B点分别称作什么点？从Y点、B点可以得到哪些物理量？(4分)
- (3) OA段发生的是什么形变？从OA段可以得到什么物理量，用于表征材料的何种力学性质？撤除外力后，OA段发生的形变在该温度下能否恢复？(4分)
8. 现有两个聚乙烯样品，分别为高密度聚乙烯和低密度聚乙烯，请设计三种实验方法，鉴别这两个样品，并阐述选择实验方法的依据。(10分)
9. 以苯乙烯和丁二烯为单体，设计制备具有如下性能的五种高分子材料，(1) 韧性较好的塑料、(2) 强度较大的橡胶、(3) 热塑性弹性体、(4) 透明性好的塑料、(5) 低温弹性良好的橡胶，并简要阐述理由。(15分)

2022 年桂林理工大学 858 高分子物理考研专业课真题

桂林理工大学 2022 年硕士研究生入学考试试题

考试科目代码：858

考试科目名称：高分子物理（A 卷）

（总分 150 分，三小时答完）

考生注意：1. 请将答案写在答卷纸上，写在试卷上视为无效。

2. 考试需带 无存储功能的科学计算器 用具

一、选择题（每小题 3 分，共 60 分）

1. 下列哪种方法可以测定聚合物的结晶度？（ ）  
(A).x 射线衍射法；(B).黏度法；(C).凝胶色谱法；
2. 下列几类高分子玻璃化温度最低的是哪个？（ ）  
(A).塑料；(B).橡胶；(C).纤维；
3. 下列哪位科学家属于高分子科学领域？（ ）  
(A).杨振宁；(B).屠呦呦；(C).徐僖；
4. 下列哪类高分子的形态可以用均方末端距表征？（ ）  
(A).线形高分子；(B).支化高分子；(C).交联高分子；
5.  $M_w/M_n$  表示高分子的什么物理量？（ ）  
(A).平均分子量；(B).分子量分散系数；(C).最大分子量；
6. 下列可以作为弹性体使用的是（ ）。  
(A).PVC；(B).PS；(C).SBS；
7. 下列可以作为工程塑料使用的是（ ）。  
(A).低密度 PE；(B).PP；(C).PPS；
8. 通常低密度 PE 不易结晶是因为（ ）。  
(A).主链刚性大；(B).支化结构；(C).主链柔性大；
9. 用于制造高透光材料是下列哪个？（ ）  
(A).PMMA；(B).PE；(C).PS；
10. 聚合物在高温和高压（通常需几千大气压以上）结晶时容易形成（ ）。  
(A).球晶；(B).片晶；(C).串晶；
11. 丙烯熔体冷却后最易形成（ ）。  
(A).球晶；(B).伸直链晶；(C).纤维状晶；
12. 对于相同分子量的线形聚合物链，末端距反映分子的柔顺性，末端距较小，说明链较（ ）。  
(A).卷曲；(B).伸展；(C).完全伸直；
13. 高分子链有五种基本构象，（ ）是线形高分子在溶液和熔体中的主要形态。

以上为本书摘选部分页面仅供预览，如需购买全文请联系卖家。

全国统一零售价： **¥268.00元**

卖家联系方式：

微信扫码加卖家好友：

