高等学校规划教材

高分子物理

过梅丽摇赵得禄摇主编

北京航空航天大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 简 介

本书系统地介绍高分子物理的基本理论，即高聚物的结构、分子运动与性能和行为之间的关系，突出高聚物区别于金属、陶瓷和其他低分子物质的特点。内容涉及力、热、电及光学等性能，但从航空航天材料科学与工程的需要出发，以力学性能为主，兼顾其他性能。本书由基础和提高（带＊号）两大部分构成，以适应不同层次专业对高分子物理的教学要求。基础部分重在基本概念、基本理论及基本研究方法；提高部分涉及一些理论推导。

本书可作材料科学和工程类专业的教材，也可供高分子材料科学与工程技术人员参考。

摇图书在版编目（悄郧孕）数据

摇高分子物理 辕过梅丽等主编援—北京 ：北京航空航天大学出版社，圆园园缘援园
摇陨杂叠 载园-园缘-圆源园圆-园
摇Ⅰ援高…摇Ⅱ援过…摇Ⅲ援高聚物物理学摇Ⅳ援园园

摇中国版本图书馆 悄郧孕数据核字（圆园园缘）第 园园缘园园号

高分子物理

过梅丽摇赵得禄摇主编
责任编辑摇王摇实

＊

北京航空航天大学出版社出版发行
北京市海淀区学院路 猿园号（邮编：员园园园猿缘）摇发行部电话：（园员园）园愿圆猿猿园员缘摇传真：（园员园）园愿圆猿猿园员猿
涌现：辕增增增遭赠则则辕增增增遭赠则则辕增增增遭赠则则

序摇

处于知识爆炸时代，信息如原子裂变一样快速增长；处于改革年代，人们有更多的选择与机会。

与 圆园世纪 缘园年代我国高分子物理专业初创时期缺乏教材的情况不同，目前仅国内出版的《高分子物理》教材就已有多个版本。不论深浅，全都包括高聚物结构、分子运动及性能三大部分。但作为专业基础课教材，各编者又自然而然地按所在专业后续课程的需要选择了具体内容，各具特色。

自我国改革开放以来，北京航空航天大学的高分子物理课程经历了较大的变更。员怨愿园年以前，与大多数工科院校一样，该课程定位为高分子材料专业的专业基础课，课堂教学约愿园学时。自 员怨愿园年起，该校材料科学工程系在拓宽专业面的思想指导下，率先开设了全系公共专业基础课程——材料科学与工程导论。它以金属物理和高分子物理的部分内容为主，综述了金属、陶瓷和高分子材料在结构和性能上的共性与特性。与此同时，相应削减了高分子材料专业中高分子物理的教学时数。此后，随着教改的深入，不断调整教学计划。在圆园园园年制定的教学计划中，高分子物理（缘园学时）与高分子化学、金属物理、电化学原理及近代测试技术等课程一起，被定位为材料科学与工程大类专业的公共基础课。

本教材就是在上述背景下，根据高分子物理在大类专业中的地位、作用和具体要求编写的。与国内大多数高分子物理教材相比，本教材的主要特点如下：

① 普及与提高相结合。全书由基础部分和提高部分（带 * 号）两大模块组成。在基础部分，主要通过与金属、陶瓷材料的对比，阐明高聚物在结构、分子运动和性能方面的基本特点、内在联系及基本研究方法；在提高部分，适度引进了理论推导、研究新方法与最新进展，为有兴趣深入高分子材料领域的学生提供必要的基础知识。

② 紧密结合高分子材料及成型加工的实践与应用，重点放在高聚物的凝聚态结构、力学状态、高弹性、粘弹性和熔体流变性方面；除结合热塑性高分子材料以外，较多地涉及热固性树脂体系与复合材料；除结合通用高分子材料以外，较多地涉及航空航天用高分子材料；此外，适当涉及功能材料的功能性。

③ 适当结合高分子科学发展史引入概念。

④ 简化已在其他课程中涉及的基础知识和基本研究方法，如晶体结构与研究方法、相图分析、波谱分析原理与方法及一般力学性能等。

摇摇本书所涉及量的名称和单位符合国标规定，但有下列例外：

摇摇① 聚合物的分子量 按照国标，应该用相对分子质量替换传统名称分子量。但由于聚合物的相对分子质量范围可以很宽，不像小分子物质那样有一个确定的值 对于一个具体的聚合物样品，其相对分子质量又具有多分散性，须用各种统计平均值表示，如数均相对分子质量、重均相对分子质量等 在聚合物-性能关系中，还涉及临界相对分子质量等。为简明起见，本书仍沿用分子量这一名称。

摇摇② 高分子溶液浓度 按照国标，应该用溶液中溶质的摩尔分数表示。但在未知聚合物样品确切的平均分子量之前，无法从溶质质量计算其摩尔分数，因此，通常多以溶液中溶质的质量百分数表示浓度。本书也采用这一习惯表示法。

摇摇③ 温度 按照国标，栽代表热力学温度，单位为 运 但在本书引用的插图中，有相当一部分都以摄氏度为坐标，如果改为热力学温度，可能会改变曲线形状，为读者参考原文带来不便 如果用 贼代表摄氏温度，则又有悖于高分子物理中以 栽表示各种特征温度的规则。为此，本书同时采用了 栽/℃和 栽/K这两种表示温度的方法。

摇摇本教材第 圆怨章由过梅丽和赵得禄 (中国科学院化学研究所高分子物理和化学国家重点实验室研究员) 合作编写。其他章由过梅丽编写。

在本教材编写过程中，还得到北京化工大学高分子材料系华幼卿教授的热情帮助，在此表示诚挚感谢。同时也非常感谢北京航空航天大学材料科学与工程学院高分子材料系杨继萍副教授在教材整理中的细致工作和良好建议。

摇摇编者希望本教材更适用于材料科学和工程大类专业。效果如何，尚待实践检验。诚请老前辈、同仁和学生们提出批评和建议。

编摇者

圆园园缘年 猿月 员园日

目 录摇

绪摇论

第一篇摇高聚物的结构摇摇

第 员章摇概摇述

摇员援员摇高聚物分子内和分子间的相互作用 …… 苑
摇员援圆摇化学键 …… 苑
摇员援猿摇范德华力和氢键 …… 愿
摇员援源摇内聚能 …… 怨
摇员援缘摇凝聚态的概念…… 员园
摇员援远摇高聚物结构的研究内容…… 员员
摇习摇题 …… 员猿

第 圆章摇高分子链结构

摇圆援员摇化学组成…… 员猿
摇圆援圆摇构型…… 员苑
摇圆援圆援员摇键接异构…… 员苑
摇圆援圆援圆摇旋光异构…… 员愿
摇圆援圆援猿摇几何异构…… 圆员
摇圆援猿摇线形、支化和交联 …… 圆员
摇圆援源摇共聚物的序列结构…… 圆猿
摇圆援缘摇高分子链近程结构研究方法概述…… 圆远
摇圆援远摇分子量及其分布…… 圆苑
摇圆援远援员摇平均分子量…… 圆愿
摇圆援远援圆摇分子量分布…… 猿园
摇圆援远援猿摇分子量和分子量分布测定方法概述…… 猿圆
摇圆援苑摇构型摇象…… 猿猿
摇圆援愿摇小分子的内旋转…… 猿猿

需要全本请访问 www.ertongbook.com

摇摇圆摇摇摇摇高分子链的构象与柔性…… 猿缘
摇摇圆摇摇摇摇影响高分子链柔性的因素…… 猿苑
摇摇圆摇摇摇摇高分子链柔性的表征…… 源园
摇圆摇摇高分子链构象统计简介…… 源园
摇摇圆摇摇摇摇高斯链统计线团…… 源园
摇摇圆摇摇摇摇高分子链均方末端距的几何计算…… 源源
摇摇圆摇摇摇摇高分子链柔性 辖剖性的表征 …… 源苑
摇摇圆摇摇摇摇高分子链形状与尺寸计算举例…… 源愿
摇习摇题 …… 缘园

第 猿章摇高分子凝聚态结构

摇摇猿摇摇摇晶态结构…… 缘猿
摇摇猿摇摇摇晶体中的链构象…… 缘猿
摇摇猿摇摇摇晶胞结构…… 缘缘
摇摇猿摇摇摇结晶能力…… 缘远
摇摇猿摇摇摇结晶形态…… 缘愿
摇摇猿摇摇摇结晶度和晶片厚度…… 远源
摇摇猿摇摇摇结晶动力学…… 远苑
摇摇猿摇摇摇熔融热力学…… 苑远
摇猿摇摇非晶态结构…… 愿源
摇猿摇摇取向态结构…… 愿愿
摇摇猿摇摇摇取向单元…… 愿愿
摇摇猿摇摇摇取向方式…… 愿愿
摇摇猿摇摇摇取向度的概念和测定方法…… 怨员
摇猿摇摇液晶态结构…… 怨源
摇摇猿摇摇摇关于液晶的几个基本概念…… 怨源
摇摇猿摇摇摇液晶高分子链的结构及排列…… 怨愿
摇摇猿摇摇摇高分子液晶特点概述 …… 员园员
摇摇猿摇摇摇向列型高分子液晶的流动性 …… 员园员
摇摇猿摇摇摇研究高分子液晶常用方法概述 …… 员园缘
摇猿摇摇共混高聚物的结构 …… 员园缘
摇摇猿摇摇摇混溶性与相容性 …… 员园源
摇摇猿摇摇摇非均相共混高聚物的结构 …… 员园远
摇摇猿摇摇摇橡胶增韧塑料举例 …… 员园愿

第二篇 高聚物的分子运动及力学状态

第 章 高分子热运动特点及高聚物力学状态

第三篇摇高聚物的性能摇摇

第 缘章摇弹性和粘性的概念

摇缘摇摇弹摇性 …… 员缘
摇摇缘摇摇摇弹性模量与泊松比 …… 员缘
摇摇缘摇摇摇柔摇量 …… 员怨
摇缘摇摇粘摇性 …… 员怨
摇摇缘摇摇摇液体的流动方式 …… 员怨
摇摇缘摇摇摇粘度的概念 …… 员园
摇摇缘摇摇摇流动应变对应力响应的时间依赖性 …… 员员
摇习　题 …… 员圆

第 远章摇高聚物的高弹性

摇远摇摇高弹性的特点 …… 员猿
摇远摇摇平衡高弹形变的热力学分析 …… 员缘
摇远摇摇平衡高弹形变的统计理论 …… 员苑
摇远摇摇高弹形变的唯象理论 …… 员员
摇习摇题 …… 员圆

第 苑章摇高聚物的粘弹性

摇苑摇摇粘弹性的概念 …… 员源
摇苑摇摇静态粘弹性 …… 员缘
摇摇苑摇摇摇蠕摇变 …… 员缘
摇摇苑摇摇摇应力松弛 …… 员愿
摇摇苑摇摇摇影响蠕变和应力松弛的因素 …… 员员
摇苑摇摇动态粘弹性 …… 员愿
摇摇苑摇摇摇表征材料动态粘弹性的基本参数 …… 员愿
摇摇苑摇摇摇阅酝粤温度谱 …… 员圆
摇摇苑摇摇摇阅酝粤频率谱 …… 圆园
摇摇苑摇摇摇阅酝粤时间谱 …… 圆圆
摇苑摇摇玻耳兹曼叠加原理与时-温叠加原理 …… 圆源
摇摇苑摇摇摇玻耳兹曼叠加原理 …… 圆源
摇摇苑摇摇摇时-温叠加原理 …… 圆远

摇苑缓摇松弛时间谱和推迟时间谱 …… 圆怨
摇苑缓摇动态力学试验方法 …… 圆员
摇苑缓摇Δ宰和 宰泽计算公式的推导 …… 圆远
摇习摇题 …… 圆苑

第 愿章摇高聚物的屈服与断裂

摇愿缓摇应力-应变曲线 …… 圆园
摇愿缓摇屈摇服 …… 圆圆
摇摇愿缓缓摇高聚物屈服的特征 …… 圆圆
摇摇愿缓缓摇冷摇拉 …… 圆原
摇摇愿缓缓摇剪切带和银纹 …… 圆苑
摇愿缓摇断裂与强度 …… 圆员
摇摇愿缓缓摇断裂模式 …… 圆员
摇摇愿缓缓摇断裂过程和断面形貌 …… 圆员
摇摇愿缓缓摇理论强度与实际强度 …… 圆缘
摇摇愿缓缓摇格里菲思脆性断裂理论 …… 圆远
摇摇愿缓缓摇断裂的分子理论 …… 圆愿
摇摇愿缓缓摇冲击强度 …… 圆怨
摇愿缓摇影响高聚物强度和韧性的因素 …… 圆园
摇摇愿缓缓摇结构因素的影响 …… 圆园
摇摇愿缓缓摇外界条件的影响 …… 圆苑
摇愿缓摇高聚物其他断裂模式概述 …… 圆愿
摇习摇题 …… 圆圆

第 怨章摇聚合物熔体的流变性

摇怨缓摇高聚物熔体的非牛顿性 …… 圆源
摇摇怨缓缓摇牛顿流体与非牛顿流体 …… 圆源
摇摇怨缓缓摇高聚物熔体粘性切流动的特点 …… 圆苑
摇怨缓摇聚合物熔体切粘度 …… 圆园
摇摇怨缓缓摇熔体切粘度的测定方法 …… 圆园
摇摇怨缓缓摇影响聚合物熔体切粘度的因素 …… 圆猿
摇怨缓摇高聚物熔体的弹性表现 …… 圆园
摇摇怨缓缓摇法向应力效应 …… 圆员
摇摇怨缓缓摇应力过冲和可回复切变 …… 圆圆

摇摇怨摇摇挤出胀大 …… 圆源
摇摇怨摇摇不稳定流动 …… 圆远
摇摇怨摇摇动态切粘度 …… 圆苑
摇怨摇拉伸粘度 …… 圆愿
摇怨摇宰纭方程的推导 …… 圆园
摇习摇题 …… 圆圆

第 园章摇高分子溶液

摇园摇高聚物的溶解 …… 圆源
摇摇园摇摇溶解过程 …… 圆源
摇摇园摇摇溶度参数 …… 圆缘
摇摇园摇摇溶剂选择原则 …… 圆怨
摇摇园摇摇高分子链在溶液中的形状 …… 圆园
摇园摇柔性链高分子溶液热力学 …… 圆圆
摇摇园摇摇理想与非理想溶液 …… 圆圆
摇摇园摇摇云[illegible]似晶格模型理论 …… 圆猿
摇摇园摇摇云[illegible]稀溶液理论 …… 圆缘
摇摇园摇摇高分子溶液理论的应用与实验检验 …… 圆远
摇摇园摇摇聚合物共混热力学 …… 圆愿
摇园摇高分子溶液的相分离 …… 圆愿
摇摇园摇摇高分子溶液相分离概述 …… 圆愿
摇摇园摇摇高聚物的分级 …… 猿园
摇摇园摇摇共混高聚物的相分离 …… 猿员
摇园摇交联高聚物的溶胀 …… 猿圆
摇摇园摇摇溶胀平衡热力学 …… 猿圆
摇摇园摇摇溶胀理论的应用 …… 猿源
摇园摇聚电解质溶液 …… 猿源
摇园摇聚合物分子量及其分布的测定 …… 猿远
摇摇园摇摇端基分析法 …… 猿远
摇摇园摇摇沸点升高和冰点降低法 …… 猿远
摇摇园摇摇渗透压法 …… 猿苑
摇摇园摇摇粘度法 …… 猿苑
摇摇园摇摇光散射法 …… 猿圆
摇摇园摇摇凝胶渗透色谱法 …… 猿源

摇[illegible]理论中 Δ杂$_{\text{酝}}$ 和 Δ匀$_{\text{酝}}$ 的推导 …… [illegible]
摇习　题 …… [illegible]

第[illegible]章　高聚物的电学和光学性质

摇[illegible]　介电性 …… [illegible]
摇摇[illegible]介电极化 …… [illegible]
摇摇[illegible]介电系数 …… [illegible]
摇摇[illegible]介电松弛 …… [illegible]
摇摇[illegible]影响介电系数和介电损耗的结构因素 …… [illegible]
摇摇[illegible]驻极体和热释电性 …… [illegible]
摇摇[illegible]压电性、焦电性和铁电性 …… [illegible]
摇摇[illegible]介电击穿 …… [illegible]
摇摇[illegible]静电现象 …… [illegible]
摇摇[illegible]介电性的应用 …… [illegible]
摇[illegible]导电性 …… [illegible]
摇摇[illegible]电导率和电阻率的测定方法 …… [illegible]
摇摇[illegible]导体、半导体和绝缘体的主要区别 …… [illegible]
摇摇[illegible]高聚物绝缘体 …… [illegible]
摇摇[illegible]高聚物半导体和导体 …… [illegible]
摇[illegible]光学性质 …… [illegible]
摇摇[illegible]透明性 …… [illegible]
摇摇[illegible]折射率 …… [illegible]
摇摇[illegible]球晶黑十字消光图的形成 …… [illegible]
摇[illegible]非线性光学的概念 …… [illegible]
摇习　题 …… [illegible]
摇综合性思考题 …… [illegible]

附录 粤摇部分 杂[illegible]单位 …… [illegible]
附录 月　符号意义 …… [illegible]
参考文献 …… [illegible]

需要全本请访问 www.ertongbook.com

绪摇论

虽然在很早以前，天然高分子材料，如棉、麻、丝、毛、橡胶、树脂及木材等，已在人们的生活和生产中得到了广泛应用，但人们并不知道它们的化学组成和结构。

到 员怨世纪中期，人们开始使用半合成聚合物——以某种方法改性的天然聚合物产品。其中，代表性实例是硝酸纤维素，俗称赛璐珞。这种材料，曾以清漆形式用来涂布木质楼梯、家具等，但易引起火灾。到 员怨愿怨年，普遍用赛璐珞制造硬领，后来著名的托马斯·爱迪生用它制作了活动电影胶片。

员怨园怨年，基于改性纤维素的第二个聚合物——乙酸纤维素问世。在第一次世界大战中主要用它作飞机机翼的防火涂料，战后人们又用它制造人造丝。员怨猿园年，它被制成优质塑料片材，也是二次大战期间最重要的塑料之一。直到今天，它仍是制造香烟过滤嘴和包装材料的重要原材料。

另一个重要的改性天然聚合物是人造丝，俗称嫘萦，由再生纤维素制成。员怨园园－员怨园愿年怀特获得人造丝的第一项专利。员怨圆园年 月蕉蕾和 月蕉蕾蕾发明了生产人造丝的粘胶法。

员怨世纪后期，一些化学家有意无意地合成了一些高分子物质，并把粘稠的、用普通化学无法理解的树脂状物质称为“烧瓶底上的油腻”，“分子量测不准、不可表征的反应产物”，或者认为是胶体，因为产物的颗粒尺寸达 员园[-远]～员园[-源]皂皂，在高倍显微镜下能看到其跳跃的闪光（布朗运动）。

员怨园园年，去爱爱蕉蕾指出，绝大多数与生命直接联系在一起的天然有机物可以由长链组成。员怨园远年，耗爱蕾蕉蕾成功地将氨基酸一个个连接起来合成了接近于天然蛋白质的多肽。

第一个真正堪称合成聚合物的是 蕴蕉月蕉蕉蕾用苯酚与甲醛缩聚得到的热固性酚醛塑料，用于制造电气零件和唱片。发明者于 员怨园年获得了酚醛塑料的第一项专利。其实，早在 猿园年前就已知苯酚与甲醛在各种条件下能形成树脂。月蕉蕉蕾的功绩在于，通过仔细控制反应，获得了均匀的可模塑材料。几乎同时，电气工程师 杂蕾蕉蕾杂蕉蕾遭蕉蕾也获得了制造电缆用酚醛树脂的专利。为此，月蕉蕉蕾获得了美国化学会的奖励，杂蕾遭蕉蕾获得了英国材料研究所的奖励。

员怨员园年，孕蕾蕉蕾提出了“橡胶由长链分子组成”的观点，但与当时公认的理论（橡胶由环状小分子的聚集体组成）相悖。员怨圆园年，德国科学家 匀爱蕾蕉蕾蕾在划时代的文献《论聚合》中，明确提出“链状分子理论”，并首创了“大分子”一词。他用实验证明聚合过程是大量小分子结合起来的过程，并预言具有某些官能团的物质能通过官能团之间的反应而聚合。但即使如此，“大分子”学说仍遭到强烈反对：“把大分子搁到一边去吧，世界上根本不可能有大分子

这回事。”直到 [illegible]年成功地测定了聚合物的分子量之后，高分子这个概念才终于得到公认。在链状大分子概念的指导下，合成聚合物以更科学的方法得到发展。[illegible]年，[illegible]获诺贝尔奖。

[illegible]世纪 [illegible]年代，英国皇家学会主席 [illegible]被问及“当代化学对社会最大的贡献是什么？”“是聚合物的发展！”他肯定地回答，“如果没有塑料、橡胶和纤维，这世界将完全不同。即使在电子工业领域内，没有绝缘体，你又能做什么？”

[illegible]世纪是高分子时代的说法毫不夸张。

从高分子科学的发展历史可以看到，它最初始于有机化学。从有机化学知识出发，探讨高分子化合物的合成，便形成了高分子化学。随着合成高分子品种的增多，结构和性能（包括功能）的理论与实验研究被迅速提到日程上来。物理学知识与高分子化学知识的结合，形成了高分子物理；而高分子材料应用中必须经历的工业规模合成和成型加工又推动了高分子工程的兴起和发展。可以说，高分子化学、高分子物理和高分子工程是高分子科学的三大支柱。这三者相辅相成，缺一不可。实际上，从高分子科学一开始，这三者就紧密联系在一起了。

在高分子科学的发展中，最杰出的科学家，除前面已提到的 [illegible]以外，还有[illegible]和 [illegible]等。

[illegible]年，杜邦公司的 [illegible]开始研究缩聚反应。他根据大分子假设，设想将一种带 [illegible]个羟端基的分子与另一种带 [illegible]个羧端基的分子按 [illegible]化学当量混合起来进行反应，应该得到线形长链分子。他成功了！他发明的第一个合成聚合物是脂肪族聚酯，但熔点较低，不能用来制造衣用纤维，因为衣服要用热水洗涤和熨烫。后来，他用酰胺基取代酯基，便诞生了尼龙系列产品。[illegible]年，他又成功地合成了高分子量聚酯，并纺成了纤维。[illegible]年，杜邦公司推出第一批尼龙丝袜，风靡世界；与此同时，还生产了尼龙模塑粉，成为生产工程部件的重要原料，因为它兼具高强度、低密度、耐化学、耐磨和低摩擦因数等优良的综合性能，长盛不衰，至今仍是合成纤维和工程塑料中的佼佼者。[illegible]发明的另一个合成聚合物产品是氯丁橡胶。[illegible]年，美国生产了第一批由氯丁橡胶制成的轮胎。

[illegible]世纪 [illegible]年代，合成聚合物在各国都得到了迅速发展。[illegible]年，德国率先生产了聚苯乙烯产品。[illegible]年，原苏联首先合成了聚丁二烯橡胶。[illegible]年，[illegible]发明了聚氯乙烯。[illegible]年，[illegible]先制成了聚甲基丙烯酸酯片材（[illegible]）。[illegible]年，基于聚异丁烯的丁基橡胶在美国问世。二次大战开始后不久，第一个聚乙烯工厂投产。

[illegible]年，[illegible]开发了聚对苯二甲酸乙二醇酯。它成为重要的纺纤和包装材料（薄膜与瓶子），于 [illegible]年大规模生产，至今仍广泛应用。[illegible]年，德国开始工业化生产聚氨酯产品，致使聚氨酯泡沫制件产量迅速增长。

上述合成聚合物，也是目前使用最多的聚合物，都是基于主链上主要含碳原子的高分子。[illegible]世纪 [illegible]年代，发展了一类高分子主链上主要含硅原子的聚合物——聚硅氧烷。[illegible]年，硅

橡胶问世,其耐热性和耐寒性都超过其他橡胶,但因价格相对昂贵仅限于特殊用途。

圆园世纪 缘园年代是开发聚烯烃的重要年代。员怨缘缘年,[illegible](德国)用催化剂发明了生产聚乙烯的低压法。与高压聚乙烯相比,低压聚乙烯具有更好的刚度和耐热性。员怨缘怨年,[illegible](意大利)用[illegible]催化剂成功地合成了高分子量聚丙烯。不久,[illegible]发明了定向聚合法,使许多原以为"注定"是无定形的高分子物质结晶,由此涌现出一大批结晶性塑料。员怨远员年[illegible]荣获诺贝尔奖。

其间,还开发了使用温度范围很宽的韧性工程塑料——聚碳酸酯。第一个聚碳酸酯是交联聚合物,早在员怨园员年就已合成。员怨缘缘年出现了第一个热塑性聚碳酸酯,员怨缘苑年正式投入工业化生产。

随着合成聚合物品种的日益增多,科学家们越来越重视聚合物结构与性能间关系的理论研究。代表性科学家是[illegible](美国)。他以毕生的努力创立了高分子化学与物理理论,指导聚合物的合成、表征和性能测试,取得了卓越的成果。仅举一例,圆园世纪 缘园年代,[illegible]预言,棒状高分子可呈现液晶性能,远园年代这个预言得到证明,苑园年代用液晶纺丝法成功地研制出了耐热性优良的刚性芳族聚酰胺纤维。员怨苑园年[illegible]荣获诺贝尔奖。

新型高性能聚合物的开发和投产都面临成本高的问题。圆园世纪 苑园年代以来,人们一直致力于降低成本。为此发展了一大批聚合物-聚合物共混物,它们或者价格较低廉,或者具有良好的综合性能,或者具有组元聚合物所不具备的新性能。共混迅速成为开发新材料的重要途径。到目前为止,远园豫~苑园豫的聚烯烃和 圆园豫的其他聚合物都以共混物的形式存在。

在高分子科学领域内,早期的高分子物理学家大多是学化学"出身"。但近 猿园年来,许多物理学家被吸引进高分子领域。其中以[illegible]为代表,把物理学中的许多新概念、新理论嫁接进了高分子物理学,大大促进了该学科的发展。员怨怨员年[illegible]荣获诺贝尔奖。

长期以来,高聚物一直作为绝缘体或电容器介质材料使用。但近 猿园年来,陆续合成出不少优良的高分子导体和半导体。特别是[illegible]和[illegible]的合作,在通过掺杂获得具有金属般导电性的高聚物中做出了突出贡献。为此,他们在 圆园园员年荣获了诺贝尔奖。

现在,高分子材料不仅渗透到衣、食、住、行各个方面,而且新材料和新工艺正在被不断地开发出来,在新兴的信息工业中前景一片光明。

在高分子科学的三大支柱中,高分子物理属于物理学的一个分支,专门研究高分子物质的基本结构及其运动的普遍规律。具体地说,高分子物理包括三大部分:① 结构,包括单个高分子的结构和许多分子聚集在一起的凝聚态结构;② 分子运动;③ 性能和功能,包括高分子固体、熔体或溶液的热学、力学、电学和光学性能。其主要任务是研究高聚物在这三方面区别于低分子物质的特点及三者之间的内在联系。因此,本教材由结构篇、分子运动篇和性能篇构成。

在材料科学与工程领域,要认识高聚物,就必须认识它们不同于金属和陶瓷的特点。也只

有在对比中把握高聚物的特点,才能更深刻地认识和合理地利用高分子材料。高聚物的结构-分子运动-性能的关系,是高分子材料的分子设计、材料设计、性能表征、成型加工和应用的基础。如果说,在高分子材料的开发初期,主要的研究路线是合成各种高聚物,然后一一表征它们的性能,最后从众多的高聚物中遴选出具有应用价值的材料。那么,在对高聚物结构-分子运动-性能关系有了一定了解后,研究路线便转变为从应用所需的性能出发,设计可能具有这类性能的高分子结构和材料结构,然后采用可行的合成与工艺路线来获得所需的高分子材料,从而大大提高了材料开发的效率;同时,在加工和应用中遇到了问题,也容易从本质上分析,发现产生问题的原因,并采取有效措施加以克服。有关实例遍及本教材各章节。

虽然高分子材料明显不同于金属和陶瓷材料,但在结构、性能和研究方法上仍具有许多共性。例如,晶态与非晶态的有序性、相转变及相分离;X射线衍射、光学显微镜及电子显微镜等物质结构研究方法;力学、电学和热学性能的表征方法等。因此,在与金属、陶瓷材料的对比中学习高分子物理,将有利于更好地掌握材料科学与工程中的普遍规律和高分子材料的特点。

第 员章摇概摇述

摇摇本章扼要阐述高聚物分子内原子之间的相互作用和分子之间的相互作用，给出凝聚态的概念，并概括高聚物结构的研究内容。

员援员摇高聚物分子内和分子间的相互作用

摇摇物质中化学键合原子之间的结合力称为主价力或键合力，而非键合原子之间、基团之间或分子之间的结合力称为次价力，包括范德华力和氢键。

员援员援员摇化学键

化学键包括共价键、离子键和金属键。绝大多数的高分子是原子之间通过共价键结合起来的长链分子，但在少数高分子之间也存在离子键和金属键。

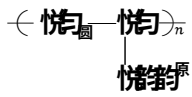
共价键包括单键、双键和三键等。共价键的特点是具有方向性和饱和性。共价键的键长为 园援员~园援缘灶皂，键能为数百 噪遭辕皂燥造，如表 员-员所列。

表 员-员摇共价键的键长与键能

共价键	键长 辕灶皂	键能 辕(噪遭 皂燥造)	共价键	键长 辕灶皂	键能 辕(噪遭 皂燥造)
悦原悦	园援缘源	猿愿园	悦原韵	园援源远	猿园园
悦越悦	园援缘源	远员园	悦越韵	园援缘员	苑园缘
悦原匀	园援员园	源缘园	悦原云	园援缘园~园援缘愿	源员园~缘缘园
悦=悦	园援缘园	愿园园	悦原灶	园援源苑	猿愿园
悦原晕	园援源苑	猿员远	晕原匀	园援员员	猿愿园
悦=晕	园援员缘	愿园园	韵原匀	园援源远	源缘园
悦越晕	园援园苑	远缘园	匀匀原韵	园援源源	猿愿园
韵原韵	园援缘园	员源远	—	—	—

* 当几个 云原子结合在一个碳原子上时，键长缩短，键能增加。

摇摇离子键是正负离子之间静电相互作用所形成的键。在高聚物中，聚电解质含有由离子键形成的取代基，可以离解为聚离子和带相反电荷的对应离子，再以离子键相互结合。例如，聚丙烯酸可以形成聚阴离子和 匀[垣]离子，聚乙烯胺可形成聚阳离子和 韵匀[原]：



摇摇摇摇摇摇匀垣

摇摇摇摇聚丙烯酸

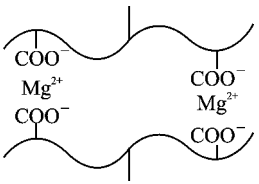


摇摇摇韵匀原

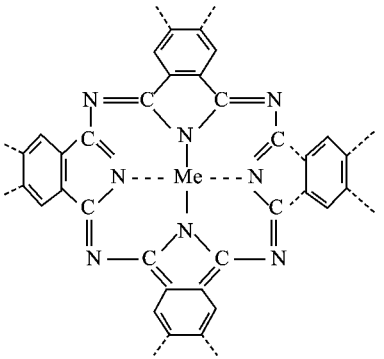
摇摇聚乙烯胺

摇摇在离子型高聚物（聚烯酸）中，也有离子键存在。例如，乙烯与约员圆像丙烯酸的共聚物主链，能通过与酝平圆垣的离子键彼此交联起来，如图员-员所示。

此外，在一类金属螯合高聚物（宅藏螯藻藻责螯合剂）中，可以说存在金属键，如图员-圆所示。



图员-员摇一种丙烯酸共聚物内的金属键



注：Me=Cu,Ge,Sn,Ni等。

图员-圆摇金属螯合高聚物

员员圆摇范德华力和氢键

次价力包括范德华力和氢键。

范德华力包括静电力（极性分子永久偶极矩之间的相互作用力）、诱导力（极性分子的永久偶极矩与其他分子的诱导偶极矩之间的相互作用力）及色散力（分子瞬间偶极矩之间的相互作用力），没有方向性和饱和性。对于低分子物质，静电力的作用能为员圆~圆圆噪镜螯与热力学温度成反比；诱导力的作用能为远~员圆噪镜螯与温度无关；色散力的作用能为圆愿~愿噪镜螯与温度无关。所有这三类范德华作用能，都与分子间距离的六次方成反比，即随分子间距离的增大而迅速衰减。

摇摇氢键由极性很强的载原匀键上的氢原子与另一个键上电负性很大的再原子间的相互吸引而形成（载原匀…再）。氢键的键长为圆圆原~圆圆灶。氢键具有饱和性和方向性。氢键的作用能比范德华作用能大一些，但比化学键的作用能小得多，见表员-圆。氢键可以在分子之间形成，也可以在分子内形成。后者称为内氢键。

在高聚物中，聚乙烯醇、聚酰胺、纤维素和蛋白质等分子之间都有氢键作用。纤维素分子

需要全本请访问 www.ertongbook.com