

Polymer Physics

“十三五”普通高等教育规划教材

高分子物理



姚金水 编著



化学工业出版社

“十三五”普通高等教育规划教材

高分子物理

姚金水 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材针对地方高校尤其是应用型地方高校的高分子材料与工程专业的本科生特点,主要针对高分子物理在材料生产及加工中的实际应用进行编写,注重实用特色,删除现有教材中比较深奥的理论假设的部分内容,在概论部分增加了高分子科技发展史上的典型历史事件及其与教材后续讲授内容的联系,旨在让学生带着问题去学习,提高学生的学习兴趣,并选取多个高分子材料实际应用中的专题讲座对各个章节中讲授的内容以及整个高分子物理中多个知识点的综合应用进行剖析,真正达到理论联系实际的目的,变抽象的概念和内容为实际的应用,以加深学生的印象。

本书可作为高等学校高分子材料与工程专业教材,同时适用于材料化学、复合材料与工程、包装工程、印刷工程、化学、应用化学等专业,也可供从事高分子科研、生产的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高分子物理/姚金水编著. —北京:化学工业出版社, 2016.2

“十三五”普通高等教育规划教材

ISBN 978-7-122-25668-3

I. ①高… II. ①姚… III. ①高聚物物理学-教材

IV. ①O631.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第270848号

责任编辑:王婧 杨菁

文字编辑:李锦侠

责任校对:王静

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张10¼ 字数239千字 2016年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

前言

高分子物理是高分子材料与工程专业的主干专业基础课程，也是联系高分子化学和高分子材料加工的承上启下的课程。笔者在齐鲁工业大学从事高分子物理教学十多年，与山东省的多所地方高校相关专业的教师进行了深入的交流，深切感到地方应用型高校的高分子材料与工程专业亟需一本偏重于实用特色的高分子物理教材。本教材就是主要针对地方应用型高校的高分子材料与工程专业而编写的，特别偏重于实用特色。

本教材中，在概论部分增加了高分子科技发展史上的典型历史事件及其与教材后续讲授内容的联系，意在让学生带着问题去学习，提高学生的学习兴趣，将高分子分子量的定义也补入该部分，使学生一开始就对高分子这一重要概念有所了解。

针对地方高校偏重于应用研究的特色，摒弃了大多数理论假设，缩短了篇幅，以专题讲座的形式引入了大量高分子材料实际应用中用到的高分子物理的专业知识，真正达到理论联系实际的目的，变抽象的概念和理论为实际的应用实例，而且，这些专题内容与我们的日常生活等密切相关。

本教材在编写过程中得到了兄弟院校很多从事高分子物理课程教学老师的支持，如聊城大学、烟台大学、泰山医学院等，在此深表感谢，也得到了笔者所在的齐鲁工业大学材料学院高分子材料系很多教师的支持，乔从德、何福岩、刘钦泽等老师在课程内容上给予了无私的帮助，杨志洲老师帮助进行了仔细认真的校对，在此表示由衷的感谢。

由于本人水平有限，书中疏漏及欠妥之处实属难免，恳请读者指正。

姚金水
于齐鲁工业大学
2015年8月

目录

第1章 概论	1
1.1 高分子科学的发展历史	1
1.1.1 高分子科学诞生以前的发展	1
1.1.2 高分子学说的建立	3
1.1.3 高分子科学诞生后的发展史上的重要事件	4
1.2 高分子科学的分支及高分子材料的重要性	7
1.2.1 高分子科学的分支及其研究内容	7
1.2.2 高分子材料的重要性	7
1.3 高分子物理课程的重要性	7
1.4 高分子的定义、基本概念、分类	8
1.4.1 高分子的定义	8
1.4.2 高分子的基本概念	8
1.4.3 高分子的分类	9
1.5 高分子的分子量及其分布	10
1.5.1 聚合物分子量的统计意义	11
1.5.2 平均分子量	12
1.5.3 聚合物分子量的分布	13
第2章 高分子的链结构	14
2.1 高分子链的近程结构	14
2.1.1 结构单元的化学组成	14
2.1.2 键接结构	16
2.1.3 支化与交联	16
2.1.4 共聚物的结构	17
2.1.5 高分子链的构型	17
2.2 高聚物的远程结构	18
2.2.1 高分子的大小(分子量)	18
2.2.2 高分子链的内旋转构象	19
2.2.3 高分子链的柔顺性	19
专题讲座之一 从聚乙烯和聚丙烯材料的发展看高聚物的构型和结构	21
第3章 聚合物的凝聚态结构	24
3.1 高聚物之间的相互作用力	24

3.1.1	范德华力与氢键	24
3.1.2	内聚能密度	25
3.2	聚合物的晶态结构	25
3.2.1	高聚物结晶的形态学	25
3.2.2	高分子在结晶中的构象和晶胞	30
3.3	高聚物的结晶过程	31
3.3.1	高聚物结构与结晶能力	31
3.3.2	结晶速度及其测定方法	32
3.3.3	结晶速度与温度的关系	33
3.3.4	影响结晶速度的其他因素	34
3.4	结晶对高聚物力学性能的影响	35
3.4.1	结晶度概念及其测定方法	35
3.4.2	结晶度大小对高聚物性能的影响	36
3.4.3	结晶高聚物的加工条件-结构-性质的关系	37
3.4.4	分子量等因素对结晶高聚物的凝聚态结构的影响	38
3.5	结晶热力学	38
3.5.1	结晶高聚物的熔融与熔点	38
3.5.2	成型加工条件对熔点的影响	39
3.5.3	高分子链结构对熔点的影响	39
3.5.4	共聚物的熔点	42
3.5.5	杂质对高聚物熔点的影响	43
3.6	高聚物的取向态结构	45
3.6.1	高聚物的取向现象	45
3.6.2	高聚物的取向机理	46
3.6.3	取向研究的应用	47
3.7	高聚物的液晶态结构	47
3.7.1	液晶态结构	47
3.7.2	高分子液晶的结构、性能和应用	49
3.8	共混高聚物的织态结构	50
3.8.1	高分子混合物	50
3.8.2	高分子的相容性	51
3.8.3	共混高聚物凝聚态的主要特点	52
3.8.4	共混高聚物的织态结构及其对材料性能的影响	52
专题讲座之二	从乙烯-丙烯共聚物材料看共聚物的结晶与性能	53
专题讲座之三	从蒸馒头这一日常生活实例看高分子的相容性	53
专题讲座之四	不粘锅涂料	54

第4章 高分子的溶液性质 56

4.1	高聚物的溶解	56
------------	---------------------	-----------

4.1.1	高聚物溶解过程的特点	56
4.1.2	高聚物溶解过程的热力学解释	56
4.1.3	溶剂选择的原则	59
4.2	高分子溶液的热力学性质	60
4.2.1	Flory-Huggins 高分子溶液理论	60
4.2.2	Flory 温度 (θ 温度)	61
4.3	高分子浓溶液	62
4.3.1	增塑高分子	62
4.3.2	纺丝液	63
4.3.3	凝胶和冻胶	63
4.3.4	聚电解质溶液	64
4.4	聚合物分子量及其分布的测定	65
4.4.1	端基分析	65
4.4.2	沸点升高和冰点降低	66
4.4.3	膜渗透压	66
4.4.4	气相渗透 (VPO)	67
4.4.5	光散射	67
4.4.6	超速离心沉降	68
4.4.7	黏度法	69
4.4.8	飞行时间质谱	70
4.4.9	凝胶渗透色谱法	71
专题讲座之五	塑化剂风波和塑料的毒性问题	73

第5章 聚合物的分子运动和转变 76

5.1	聚合物分子热运动的特点	76
5.1.1	运动单元的多重性	76
5.1.2	分子运动的时间依赖性	77
5.1.3	分子运动的温度依赖性	77
5.2	聚合物的力学状态和热转变	78
5.2.1	玻璃态区	78
5.2.2	玻璃化转变	79
5.2.3	高弹态	79
5.2.4	黏弹转变区	79
5.2.5	黏流态	79
5.2.6	其他聚合物材料的热机械行为	79
5.2.7	形变-温度曲线的其他表现形式	81
5.3	聚合物的玻璃化转变	81
5.3.1	T_g 的测定	81
5.3.2	玻璃化转变理论	82

5.3.3	影响 T_g 的因素	83
5.3.4	高聚物的次级松弛	88
5.4	聚合物的黏性流动	88
5.4.1	高聚物黏性流动的特点	89
5.4.2	影响黏流温度的因素	90
5.4.3	高聚物的流动性表征	91
5.4.4	高聚物熔体的流动曲线	92
5.4.5	加工条件对高聚物熔体剪切黏度的影响	93
5.4.6	高聚物分子结构因素对剪切黏度的影响	95
5.4.7	高聚物熔体的弹性效应	98
专题讲座之六	玻璃化转变现象和意义	100
第6章	高聚物的力学性质	103
6.1	玻璃态和结晶态高聚物的力学性质	103
6.1.1	描述力学性质的基本物理量	103
6.1.2	描述材料力学性能的指标	106
6.1.3	高聚物的拉伸行为	109
6.1.4	高聚物的破坏和理论强度	114
6.1.5	影响高聚物实际强度的因素	115
6.2	高弹态高聚物的力学性质	118
6.2.1	橡胶使用的温度范围	118
6.2.2	高弹性的特点	120
专题讲座之七	结晶高聚物冲击性能的提高	121
专题讲座之八	高分子材料的增强	123
第7章	高聚物的力学松弛——黏弹性	124
7.1	高聚物的力学松弛现象	124
7.1.1	蠕变	125
7.1.2	应力松弛	127
7.1.3	滞后现象	128
7.1.4	力学损耗	128
7.1.5	静态力学松弛和动态力学松弛	130
7.2	黏弹性与时间、温度的关系——时温等效原理	130
7.2.1	时温等效原理	130
7.2.2	WLF 方程	131
7.3	Boltzmann 叠加原理	132
7.4	聚合物的次级松弛及其分子机理	133
7.4.1	聚合物的主转变和次级转变	133

7.4.2 非晶态聚合物的次级转变及其分子机理	134
7.4.3 结晶聚合物的次级转变及其分子机理	135
专题讲座之九 由被踩瘪的乒乓球和打乒乓球看高分子材料的变形与松弛	136

第8章 高聚物的其他性能

8.1 聚合物的电性能	138
8.1.1 聚合物的介电性质	138
8.1.2 聚合物的介电松弛和介电损耗	140
8.1.3 聚合物的导电性	143
8.1.4 聚合物的介电击穿	147
8.1.5 聚合物的静电现象	148
8.2 聚合物的热性能	149
8.2.1 耐热性	150
8.2.2 热稳定性	150
8.2.3 导热性	150
8.2.4 热膨胀	151
8.3 聚合物的透气性	151
8.3.1 渗透物质(气体)的分子尺寸对渗透系数的影响	152
8.3.2 共混物的透气性	152
专题讲座之十 解放军淘汰涤纶和涤卡制服	152
专题讲座之十一 聚合物的特征温度及其意义	153
专题讲座之十二 由乳胶漆用聚合物乳液的发展看高分子物理知识的综合利用	154
参考文献	156

1.1 高分子科学的发展历史

在很久以前，木材、棉、麻、丝绸、毛、纸、漆、皮革、橡胶和各种树脂等天然高分子材料都已经在人类的生活、生产中得到了广泛的应用，但是人们并不知道其化学结构，也并不知道它们都是高分子材料。

19 世纪中叶以后，西方开始对一些天然高分子材料进行研究，主要是一些天然高分子材料的改性，典型的例子是橡胶硫化技术和硝酸纤维素的发明。真正从小分子出发合成高分子是 20 世纪以后的事情了，高分子科学的诞生经历了曲折的过程，可以说是一个难产儿，而高分子科学的发展则是突飞猛进的。

在 高分子科学的创立和发展过程中有几个里程碑式的事件和人物是不应被我们忘记的。

1.1.1 高分子科学诞生以前的发展

1.1.1.1 天然橡胶及其硫化工艺

英国人把原产于巴西的橡胶树引种到了东南亚，使橡胶树得以推广，当时的橡胶主要用于制造防雨布、防雨鞋等，但是无法克服夏天发黏、冬天变脆的问题，难以真正推广应用。

1839 年，美国人 Goodyear（见图 1-1）受当时钢铁工业发展的启示，开始尝试用各种化学品对橡胶进行改性，但是始终不太成功，包括用硫黄。后来一次偶然性的事故给他带来了成功，他在研究保存橡胶的方法时，不小心把橡胶和硫黄的混合物洒在了热火炉上，他把它刮起来，冷却后发现这东西再没有了黏性，而且还具有弹性，并且不再溶解。他沿着这条路线走下去，终于发明了橡胶的硫化技术

但是他本人并没有获得好处，为了获得专利权他打了好几年的官司，身背 20 多万美元的债务，穷困交加，死于 1860 年。



图 1-1 Goodyear

他死后，官司胜诉，1898年，美国建立了第一家汽车轮胎公司，为了纪念“Goodyear”，该公司就以其名字作为商标，至今仍然是世界上最大的轮胎生产企业，中文一般翻译为“固特异”轮胎。也正是由于他的贡献，所有橡胶的交联技术统称为“硫化”，不管用不用硫黄。

橡胶的硫化到底是怎么回事呢？为什么硫化的橡胶才具有高弹性呢？在后续课程中将会找到答案。

1.1.1.2 赛璐珞和赛璐玢

瑞士科学家舍拜恩是一个实验迷，他除了在实验室进行实验以外，还把实验室搬到了自己的厨房。一次实验时，他不小心将盛有浓硝酸和浓硫酸混酸的烧瓶打破，酸液流到了地上，他顺手拿起夫人的围裙擦掉了酸液，并用水冲洗后，开始在火炉上烘烤，结果围裙在没有很干的情况下突然着了火，这令舍拜恩非常震惊。他开始设计实验让纤维素和硝酸/硫酸反应，他通过实验发现是硝酸与纤维素发生了反应，而硫酸只是催化剂，由此他发明了硝酸纤维素。它极易燃烧，剧烈燃烧可以发生爆炸，而且基本没有烟，逐渐代替了黑火药成为炸药，被称为火棉炸药。当时，欧洲很多国家建立了火棉炸药的生产企业，但是硝酸纤维素太容易燃烧了，引发了很多爆炸事故，损失惨重，它在炸药方面的应用逐渐被遗弃。

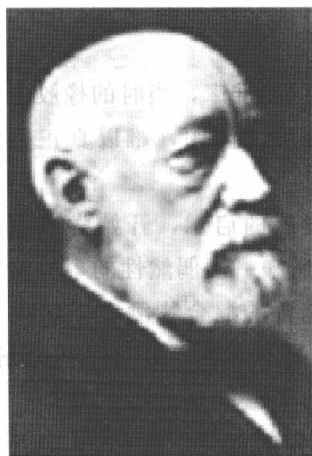


图 1-2 Hyatt

当时美国的贵族们流行打台球，台球最初由象牙制造，价格昂贵，同时来源受到极大限制，有一家公司出资1万美元悬赏寻找制造台球的原料。Hyatt（见图1-2）将樟脑等掺入硝酸纤维素发明了赛璐珞，樟脑作为增塑剂加入硝酸纤维素用于代替了象牙制造台球，获得了1万美元的奖金，电影胶片、玩具等很多制品都开始由赛璐珞制造，但是由于它

极易燃烧，慢慢被淘汰，后来醋酸纤维素赛璐玢代替了赛璐珞，其燃烧性和脆性大大下降，可以制造薄膜和纤维。两种改性纤维素性质上的差别以及其不同的用途在本教材中也可以找到答案。

1.1.1.3 酚醛树脂的发明

20 世纪初，随着电器工业的发展，需要大量的绝缘材料，当时的绝缘材料是虫胶，一种产于东南亚的紫胶虫的树脂分泌物，但是其产量远远不能满足需求，仅美国年需虫胶量就需要 150 亿只紫胶虫，因此寻找虫胶的替代物成为了科学家研究的热点。

1907 年，德国科学家 Baekeland（见图 1-3）为了寻找虫胶的替代物，在查阅科技文献时注意到，诺贝尔奖获得者，“染料化学”之父 Bayer 曾经报道，苯酚和甲醛反应容易生成一种黏稠的液体，可以固化，牢牢粘于瓶底，其原意是提醒人们如何避免这种现象的出现，以免造成反应瓶报废，但是 Baekeland 反其道而行之，开始设计实验来进行苯酚和甲醛的反应，最终发明了酚醛树脂，可以完全代替虫胶作绝缘材料，这是第一个真正的人工合成高分子材料。



图 1-3 Baekeland

Baekeland 发明酚醛树脂后，又通过加入木粉而发明了电木，解决了酚醛树脂的增强问题，从而使得酚醛树脂至今仍在广泛应用。而高分子材料的增强也是以后要讲授的内容。

1.1.2 高分子学说的建立

1920 年，39 岁的 Staudinger（见图 1-4）开始致力于当时称为“大分子”的化合物的

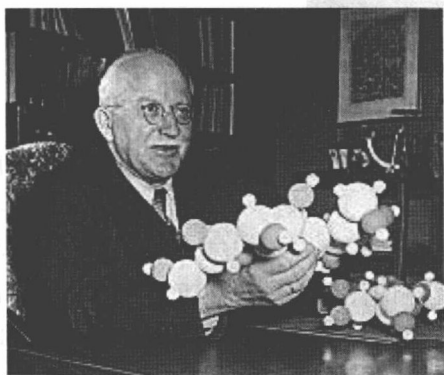


图 1-4 Staudinger

研究，发表了其划时代的文献“论聚合”，标志着高分子科学的建立。当时他在苏黎世联邦理工学院工作，许多著名的化学家和科学家对他的学说嗤之以鼻，当时盛行的学说是“胶体说”，也就是认为所谓的高分子实际上是一些难以用化学方法和物理方法分离的结构非常相似的化合物的混合物。在 1925 年的胶体会议上，Staudinger 与其他科学家展开了大论战，站在他对面的有好几位诺贝尔化学奖得主，最后，他不得不引用了马丁路德金的演说名言：我站在这里，我别无选择。经过多年的不懈努力，在 1930 年法兰克福的胶体

化学年会上，长链分子概念获得了决定性的胜利，被绝大多数科学家所接受，标志着高分子科学被科学家所承认，但是直到 20 世纪 30 年代末期，才被大众所接受。由于 Staudinger 卓越的贡献，他获得了 1953 年的诺贝尔化学奖。

坚持真理，不为权威所动，不懈努力是科学家必备的精神。正是 Staudinger 解决了

高分子结构的问题，才有了高分子学说的建立，也才有了高分子材料蓬勃发展的今天。

可见从 Goodyear 到 Staudinger，高分子学说的创立是一个多么曲折、艰难、充满传奇甚至带有悲剧色彩的过程啊。

1.1.3 高分子科学诞生后的发展史上的重要事件

1.1.3.1 缩聚反应和 Carothers

合成纤维的发明是有其历史背景的，当时的美国对蚕丝的需求量很大，蚕丝的主要供应商是日本和中国，但是当时的中国受列强的侵略，百业萧条，因此，日本成为最主要的蚕丝供应商，当时美日关系紧张，虽然当时的黏胶纤维很像蚕丝，但是仅光泽与蚕丝相像，其弹性、纤细度等都不如蚕丝，因此，美国致力于蚕丝代替物的开发研究。

1928 年，32 岁才华横溢的 Carothers（见图 1-5）被任命为杜邦公司研发的总负责人，他们不注重眼前的利益，而是开始进行新的长时期的研究，人们将他们的实验室称为纯科学楼。



图 1-5 Carothers

他们首先研究的是脂肪族二醇和二酸的缩聚反应，由于熔点太低，1934 年其改用脂肪族二胺代替二醇合成出了尼龙-66，但是工业化实验并不太成功，极度痛苦的 Carothers 承受了巨大的精神负担和心理压力，又由于其姐姐去世的双重打击，Carothers 于 1937 年春天自杀，未能享受到成功的快乐。很多人认为这是一次代价高昂的赌注，因为杜邦公司在先后将近十年的时间里投入了 300 多人进行研究，耗资 2700 多万美元，也有一些人断言，合成纤维如果不与天然纤维混合，不可能有什么用途。但是 1937 年底，杜邦公司就成功开发出了工业化的尼龙-66，1940 年 5 月上市，抢购一空。每年可以为该公司带来近 5 亿美元的销售收入。尤其是在第二次世界大战期间，其产品全部被美国军方收购用于制造降落伞。而后英国帝国化学公司改用芳香族二酸（如对苯二甲酸）代替己二酸成功开发出了涤纶纤维。尼龙-66 和涤纶树脂可以作为纤维材料，而 Carothers 一开始合成的脂肪族聚酯却无法作为纤维材料使用，这是为什么呢？这是由后续高分子柔顺性等结构方面的

问题决定的。

如果才华横溢的 Carothers 再坚持半年，他就会看到他的成果给世人带来了巨大的利益，他也必将是诺贝尔奖的获得者。

1.1.3.2 缩聚反应理论的完善、高分子溶液理论的创立和分子量的测定

Flory (见图 1-6) 是 Carothers 的助手和学生，他在老师自杀身亡后，离开了杜邦公司到大学去工作，继续其老师未完成的事业，他继承和发展了 Carothers 的理论，将物理、数学和量子化学的方法引入到高分子科学的研究中，完善了其缩聚反应的理论，这成为高分子化学最主要的内容之一。尤其是高分子溶液理论方面的研究工作，取得了巨大的成功，并于 1974 年获得了诺贝尔化学奖，如果 Carothers 地下有知，他也该瞑目了。而 Flory 的高分子溶液理论是高分子物理的主要研究内容，可以说他奠定了高分子物理的理论基础。



图 1-6 Flory

1.1.3.3 配位聚合和 Ziegler-Natta 催化剂

Ziegler (见图 1-7) 和 Natta (见图 1-8) 是完全不同性格的两个人，Ziegler 是德国人，最先开始配位聚合研究，并成功合成了高密度聚乙烯，但是他喜欢纯基础研究，不想与工厂合作，害怕被迫改变自己的研究方向，而 Natta 则不同，他与蒙特卡蒂尼公司合作，获得了充足的研究资金，他听了 Ziegler 的相关报告后开始致力于这方面的研究，并派人到其研究机构学习过很难进行操作的易燃易爆的烷基铝的操作工艺，并促成了 Ziegler 与其所在公司的合作。他利用 Ziegler 发明的催化剂从事聚丙烯的研究，本意是合成橡胶，而 Ziegler 也在进行这方面的研究，当 Ziegler 研究出来以后打算转让给蒙特卡蒂尼公司，才被告知，Natta 早已经成功申请了专利，为此二人产生了矛盾。直到二人共同获得了诺贝尔化学奖，做到同一张桌子旁，他们才化干戈为玉帛，重新言归于好。



图 1-7 Ziegler



图 1-8 Natta

在诺贝尔奖获得者中，他们二人应该是典型代表，因为他们既从理论上发展了配位聚合理论，又通过工业化产生了巨额的经济效益，他们所开发的聚乙烯和聚丙烯是世界上产量占第一位和第三位的高分子材料，可以说他们一个口袋里装满了财富，另一个口袋里赚满了荣誉。等规聚丙烯的开发的本意是合成一种橡胶，但是它却是性能优良的塑料，这是

为什么呢，我们将在后续的课程中找到答案。

1.1.3.4 高分子的化学反应——功能高分子的发展

1959年5月，美国生物学家 Merrifield（见图 1-9）开始致力于固相肽合成方面的研究工作，他以聚苯乙烯为原料，通过氯甲基化反应合成出氯甲基化聚苯乙烯，将第一个氨基酸固定在该不溶性固体上，其他氨基酸随后便可一个接一个地连于固定端，顺序完成后所形成的链即可轻易地与固体分离。这一过程可利用机器操作，经证明效率很高。他对高分子化学中高分子的反应部分以及功能高分子的发展做出了突出贡献，也大大简化了多肽合成的步骤，至今，氯甲基化聚苯乙烯树脂被称为 Merrifield 树脂，他于 1984 年获得了诺贝尔化学奖。



图 1-9 Merrifield

1.1.3.5 液晶高分子

Pierre-Gilles de Gennes（见图 1-10）是从事高分子化学研究的化学家，由于其在液晶高分子方面做出的贡献获得了 1991 年的诺贝尔物理学奖，并提出了“软物质”的概念，成为近年来科学研究的热点问题。目前液晶显示技术和液晶纺丝技术已经广泛应用，这是物理学与化学学科交叉所获得的突破之一。液晶高分子的结构特点及其独特的性质决定了其用途，这也可以在后续的课程中找到答案。



图 1-10 Pierre-Gilles de Gennes

1.1.3.6 导电高分子的发展

大家知道，第一次人工合成的高分子材料就是为了绝缘，而且，人们一般认为高分子材料就是绝缘材料，但是 Heeger（见图 1-11）、Macdiarmid（见图 1-12）和 Shirakawa（见图 1-13）却致力于导电高分子的研究，20 世纪 70 年代，Shirakawa（白川英树）在日

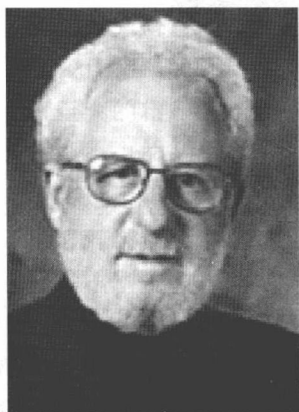


图 1-11 Heeger



图 1-12 Macdiarmid



图 1-13 Shirakawa

本筑波大学开始从事聚乙炔的合成研究，可是一直不太成功，后来他的一个研究生在做实验时加错了料，结果合成出了聚乙炔，而且其导电性很好。后来，他到了美国，继续从事导电高分子研究，并与 Macdiarmid 和 Heeger 进行精诚合作，获得了巨大的成功，合成了聚乙炔、聚苯胺、聚苯等，于 2000 年获得了诺贝尔化学奖。困扰导电高分子应用的最大问题是其加工问题，这是为什么呢，这同样可以在教材中找到答案。

1.2 高分子科学的分支及高分子材料的重要性

1.2.1 高分子科学的分支及其研究内容

高分子科学作为一门独立的学科，包括高分子化学、高分子物理和高分子工程三个相对独立又相互联系的基础学科，其中高分子化学研究高分子的合成及高分子的反应；高分子物理研究高分子的结构与性能；高分子工程研究高分子材料的加工和聚合物反应工程。

1.2.2 高分子材料的重要性

高分子材料作为地球上最年轻的材料，已经渗透到了人们日常生活的各个领域，发挥着不可替代的作用。

高分子材料约占飞机总重的 65%，汽车总重的 18%，论体积已经远远超过金属，而且这一比例还在不断增加，高分子材料为这些运输工具的轻量化从而为节约能源做出了卓越贡献。在信息产业领域，正是由于感光树脂这一功能高分子材料的发展才有了大规模集成电路的制造，从而使得计算机体积越来越小的同时，计算速度和存储量却越来越大。在人类日常的衣食住行等方面，高分子材料也在不断改变着人们的生活。正是由于塑料大棚的出现，才使得我们一年四季都能吃到新鲜的蔬菜，完全改变了过去北方冬天只能吃白菜萝卜的历史；过去人们常用“三天打鱼，两天晒网”来比喻做事不认真，可这也正是当时渔民生活的写照，正是由于尼龙这种轻质而又高强材料做的渔网代替了棉质渔网以后，才彻底改变了渔民的生活；合成纤维织物的出现改变了人们的穿着习惯，各种橡胶轮胎的出现使运输工具跑得越来越快；聚氨酯发泡材料代替了笨重、不透气的石膏成为骨固定材料，实现了“轻如纸、硬如铁、透气、透汗”的目的，大大减轻了骨折病人的痛苦；水性丙烯酸酯涂料美化了我们的家居生活，等等。

1.3 高分子物理课程的重要性

我们日常见到的高分子材料，有的非常硬，有的非常软；有的透明性可比玻璃，有的呈乳白色；有的很脆，有的比钢铁还要强；虽然绝大多数是绝缘材料，但是有的却导电；

有的材料夏天很软，冬天则很硬，甚至会割破手；有的很容易溶解于溶剂，有的很难找到溶剂；有的可以制作涂料、黏结剂，有的则根本无法黏结；有的一拉就断，有的则伸长几十倍都没问题，等等，这些我们日常生活中经常遇到的问题，用高分子物理的知识都能得到合理的解释，结构决定了性能。

1.4 高分子的定义、基本概念、分类

1.4.1 高分子的定义

高分子是由许多结构单元相同的小分子化合物通过化学键连接而成的相对分子质量很高的化合物，其相对分子质量一般要大于 10000。而小分子的相对分子质量一般小于 1000，处于二者之间的化合物有可能是小分子，也有可能是高分子，称为低聚物或者齐聚物。绝大多数的合成高分子和天然高分子是通过共价键结合的，通过离子键和配位键等结合的高分子较少，但是配位高分子是一类新兴的高分子，对它的研究方兴未艾。

英文中，高分子有两个词，即 polymer 和 macromolecule。前者又叫做高聚物或者聚合物，后者又可翻译为大分子。

1.4.2 高分子的基本概念

(1) 单体 (monomer)

合成高分子所用的小分子原料，如聚乙烯的单体是乙烯，尼龙-66 的单体是己二酸和己二胺。

(2) 重复单元 (constitutional repeating unit)

高分子链上化学组成和结构均可重复的最小单位。

(3) 结构单元 (structural unit)

由一种单体通过聚合反应进入聚合物重复单元的部分。

(4) 单体单元 (monomer unit)

与单体化学组成相同，只是化学结构不同的结构单元。

(5) 聚合度 (degree of polymerization)

聚合物分子中，结构单元的数目。

(6) 主链 (main chain)

构成高分子的骨架结构

(7) 侧链或者侧基 (side chain or side group)

连接在主链原子上的原子或者原子团，较小时叫做侧基，较长时叫侧链。

下面分别以聚氯乙烯和聚对苯二甲酸乙二酯为例加以说明。

聚氯乙烯由一种单体氯乙烯聚合而成，其结构单元、重复单元和单体单元是相同的，聚合度为 n ，主链为碳链，氯原子则是侧基。