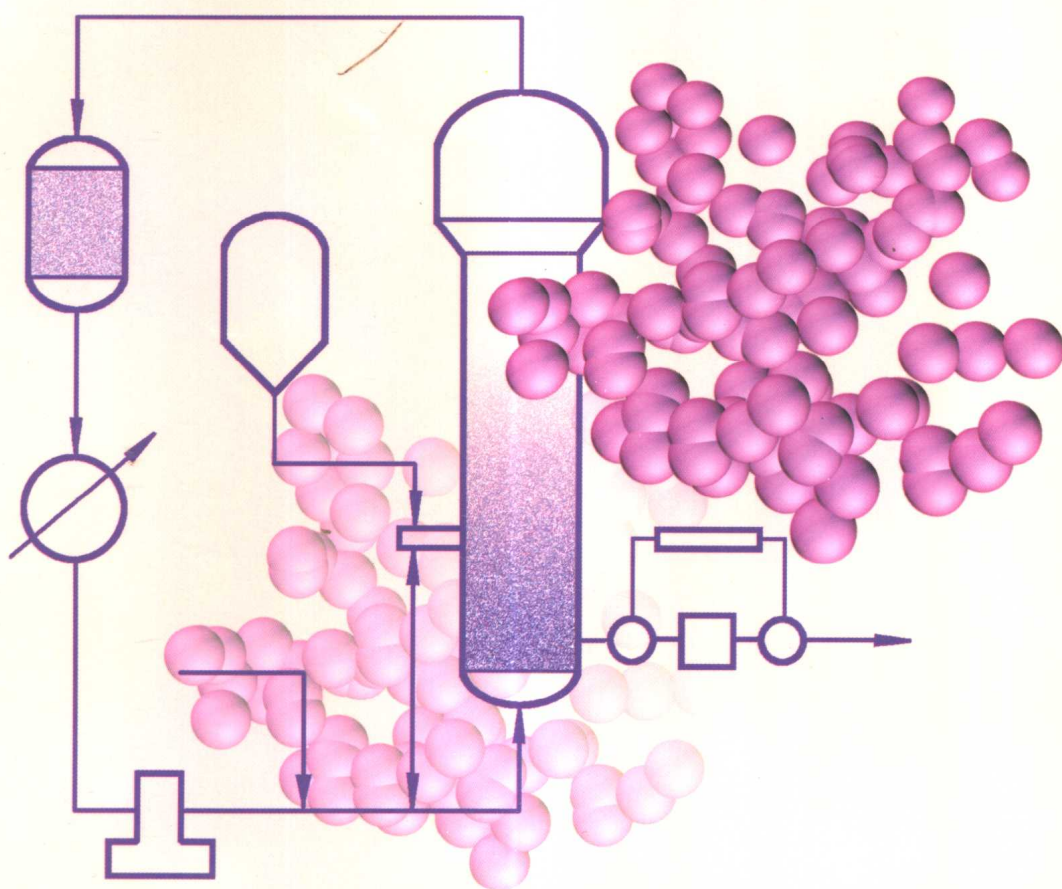


· 高等学校专业教材 ·

聚合物制备工程

高分子材料与工程专业系列教材

张洋 马榴强 合编



 中国轻工业出版社

高等学校专业教材
高分子材料与工程专业系列教材

聚合物制备工程

张 洋 马榴强 合编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

聚合物制备工程/张洋,马榴强合编. —北京:中国轻工业出版社,2001. 1

高等学校专业教材高分子材料与工程专业系列教材

ISBN 7-5019-2805-3

I. 聚… II. ①张… ②马… III. 高聚物-制备-高等学校-教材 IV. TQ31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 55522 号

责任编辑:赵红玉 责任终审:劳国强 封面设计:赵小云

版式设计:赵益东 责任校对:燕杰 责任监印:崔科

*

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

联系电话:010—65241695

印 刷:三河市宏达印刷厂

经 销:各地新华书店

版 次:2001年1月第1版 2001年1月第1次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:15

字 数:347千字 印数:1-3000

书 号:ISBN 7-5019-2805-3/TQ·209 定价:28.00元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

编写说明

本书为“高分子材料与工程”本科专业系列教材之一。作为 21 世纪人类创造的奇迹之一,有机高分子物质展现出奇特的化学、物理特性,开辟出一片崭新的科技天地。作为一类材料,高分子与金属、陶瓷并称为三大材料,应用在人类生产、生活的每一角落。而作为生物现象、生命现象以及信息的载体,有机高分子物质中更潜藏着新的突破。有关高分子的科学与技术,不是囿于材料一隅,而是一个以高分子为中心,向各个科学领域辐射的综合性学科。根据教育部拓宽专业、加强素质教育的办学指导思想,我们将现有的与聚合物有关的窄专业统起来,如“高分子材料”、“高分子化工”、“塑料成型加工”、“橡塑工程”以及“复合材料”专业中的一部分,成为一个全面覆盖高分子科学技术的“大高分子”宽专业。

通过对有机高分子物质的合成、结构与性能关系、加工应用及工程设计的内容进行系统的归纳,我们制订了这一宽专业的教学框架,并组织编写了本套系列教材:《材料导论》、《高分子化学》、《高分子物理》、《聚合物改性》、《聚合物制备工程》、《聚合物加工工程》、《聚合物复合材料》、《聚合物材料》、《聚合物研究方法》。由于时间紧、任务重,仓促之中可能会有谬误之处,望广大读者及教育界同行不吝指教,以便再版时修正。

《高分子材料与工程专业系列教材》编写组

2000 年 10 月

前 言

聚合物制备工程是高分子材料工程专业的系列教材之一,其理论依据是高分子材料科学与化学工程学。为适应宽专业设置的需要,使学生具有适应面宽、应变力强的特点,加强实践能力和创新能力的培养,在编写教材时,把重点放在高分子材料合成的工业化生产上。通过有代表性的高分子材料生产技术、生产过程及其发展完善实况的论述,了解工业化合成高分子材料的规律和实施办法;注重综合运用理论知识分析解决工业生产实际问题;从生产过程的现状出发,按照原料路线、生产过程组合、聚合物制备的常用方法及生产技术的完善与创新来编写。

高分子材料合成工业的综合性很强,其生产过程及生产装置是由多种学科理论做指导,由多种设备、机械、仪表组成的有机的整体。聚合物制备工程的主要内容是化学、化学工程与工艺,同时融汇了化工机械、自动化控制、计算机应用、环境保护、技术经济原理等学科。为了强调对工业化生产的理解和把握,采用了聚合物生产中通常使用的四种聚合实施方法,将工艺原理与高分子材料中有代表性的产品融合在一起阐述,通过每个章节的具体内容来说明聚合物制备工程的共同规律。由了解一个个产品生产与技术运用的实例,积累专业知识,提高分析能力,从而进一步认知更多的新产品,把握更多的新技术。

学习本课程需要对聚合物生产过程有一定的感性认识,明确高分子材料科学是核心,化学工程是基础,工业化生产是根本,经济效益是目标,环境保护与可持续发展是必需,注意理论思维与实际知识积累的有机结合。这对学习和掌握本书内容是有益的。

在本书编写过程中参考借鉴了国内许多位专家学者的著述与研究成果,得到有益的启发和帮助,对丰富本书内容,提高质量起了重要作用,北京化工大学化新教材建设基金亦给予资助,在此表示诚挚的感谢。

本书是在两次试讲的讲稿基础上修改补充而成,第1章、第4章、第5章、第8章由张洋编写,第2章、第3章、第6章、第7章由马榴强编写。全书由谈钟骏教授审稿。

本书是初次针对高分子材料宽专业编写的,错误及不足之处,恳请读者指正。

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 聚合物制备工程的发展过程	(1)
1.2 高分子材料在国民经济和社会发展中的作用	(1)
1.3 我国高分子材料合成工业现状及发展	(2)
1.3.1 现状分析与差距	(2)
1.3.2 面向 21 世纪的发展趋势	(3)
1.4 各种合成材料的现状及发展	(10)
1.4.1 合成树脂	(10)
1.4.2 合成纤维	(11)
1.4.3 合成橡胶	(12)
1.4.4 涂料和粘合剂	(12)
1.4.5 功能高分子材料	(13)
主要参考文献	(13)
第 2 章 国土资源与聚合物生产的原料	(15)
2.1 从天然气和石油中获得的化工产品	(16)
2.1.1 天然气及其精制	(16)
2.1.2 石油及其加工简介	(17)
2.1.3 由乙烯为原料生产的化工产品	(19)
2.1.4 由丙烯为原料生产的化工产品	(21)
2.1.5 以 C ₄ 馏分原料生产的化工产品	(23)
2.1.6 由芳烃为原料得到的化工产品	(24)
2.2 从煤炭中所获得的化工产品	(26)
2.2.1 煤的干馏	(27)
2.2.2 电石及乙炔	(27)
2.2.3 煤的汽化	(27)
2.2.4 合成氨及其衍生物	(28)
2.2.5 合成甲醇	(28)
2.2.6 正丁醇	(28)
2.2.7 水煤浆	(29)
2.3 从动、植物中获得的化工产品	(29)
2.3.1 脂肪酸	(30)
2.3.2 脂肪醇	(31)
2.3.3 碳水化合物	(31)
2.3.4 妥尔油(或松木油)	(35)

2.3.5 采用生物技术从可再生资源中合成化学品	(35)
2.4 海洋也是我们的原料基地	(36)
2.5 从废弃物中可以获得什么?	(37)
2.6 化工生产还需要什么?	(39)
主要参考文献	(40)
第3章 生产工艺过程组合	(42)
3.1 概述	(42)
3.2 聚合反应过程	(42)
3.2.1 聚合反应的特点及对聚合工艺设备的要求	(42)
3.2.2 聚合反应的不同实施方法及操作特征	(43)
3.2.3 聚合反应器	(44)
3.3 理想反应器简介	(45)
3.3.1 理想反应器的工艺计算	(45)
3.3.2 反应器形式及操作方式的评价	(50)
3.3.3 反应器内物料的流动与混合及其对反应的影响	(51)
3.4 各种反应器的结构特征	(57)
3.4.1 釜式反应器	(57)
3.4.2 管式反应器	(63)
3.5 高分子化工生产的辅助过程与设备	(63)
3.5.1 生产准备过程	(63)
3.5.2 分离过程	(65)
3.5.3 聚合物后处理过程	(67)
3.5.4 回收过程	(68)
3.5.5 公用工程	(69)
3.6 化工生产过程组合示例	(70)
主要参考文献	(72)
第4章 本体法聚合的工业化生产	(74)
4.1 概述	(74)
4.1.1 引言	(74)
4.1.2 本体聚合的特点及应用	(77)
4.2 苯乙烯系数树脂	(78)
4.2.1 性能及用途	(78)
4.2.2 影响苯乙烯聚合反应过程的主要控制条件	(79)
4.2.3 苯乙烯熔融本体聚合工艺	(80)
4.2.4 我国引进的苯乙烯系树脂生产技术	(82)
4.2.5 本体聚合反应器	(89)
4.2.6 本体聚合聚苯乙烯脱挥技术	(90)
4.3 两种聚丙烯生产工艺路线分析	(92)
4.3.1 工艺技术路线简介	(93)
4.3.2 两种工艺比较	(94)

4.3.3 结论·····	(96)
4.4 气相本体聚合生产低密度聚乙烯·····	(97)
4.4.1 乙烯气相本体聚合的特点·····	(97)
4.4.2 乙烯自由基聚合反应动力学·····	(98)
4.4.3 影响聚合反应的主要因素·····	(98)
4.4.4 低密度聚乙烯的生产工艺·····	(101)
4.4.5 乙烯的共聚改性及高压聚乙烯的技术进展·····	(104)
主要参考文献·····	(106)
第5章 溶液聚合的工业化生产·····	(107)
5.1 概述·····	(107)
5.1.1 应用范围·····	(107)
5.1.2 工业化中的问题·····	(107)
5.2 溶液聚合法生产顺丁橡胶·····	(108)
5.2.1 顺丁橡胶的性能及类别·····	(108)
5.2.2 顺丁橡胶生产准备·····	(109)
5.2.3 聚合反应和聚合操作·····	(119)
5.2.4 聚合物的后处理·····	(134)
5.2.5 我国顺丁橡胶生产技术的新进展·····	(135)
5.3 溶聚丁苯橡胶与聚烯烃·····	(138)
5.3.1 溶聚丁苯橡胶·····	(138)
5.3.2 聚烯烃·····	(139)
主要参考文献·····	(140)
第6章 悬浮聚合·····	(141)
6.1 概述·····	(141)
6.1.1 悬浮聚合工业进展·····	(141)
6.1.2 与悬浮聚合有关的多相聚合·····	(143)
6.1.3 悬浮聚合工艺和过程·····	(143)
6.2 悬浮聚合反应机理·····	(145)
6.2.1 树脂的颗粒特性·····	(145)
6.2.2 分散相的形成与稳定·····	(149)
6.2.3 悬浮聚合的成粒过程·····	(151)
6.3 悬浮聚合分散剂及其稳定作用·····	(155)
6.3.1 分散剂的稳定作用·····	(156)
6.3.2 无机固体粉末分散剂·····	(156)
6.3.3 水溶性高分子分散剂·····	(158)
6.3.4 助分散剂·····	(161)
6.4 悬浮聚合生产工艺与过程·····	(161)
6.4.1 氯乙烯的悬浮聚合·····	(162)
6.4.2 苯乙烯的悬浮聚合·····	(170)
6.5 与悬浮聚合有关的聚合方法·····	(174)

6.5.1 微悬浮聚合	(174)
6.5.2 非水分散聚合	(174)
主要参考文献	(175)
第7章 乳液法聚合的工业化生产	(176)
7.1 概述	(176)
7.2 乳液聚合反应机理及动力学	(179)
7.2.1 分散阶段(乳化阶段)	(179)
7.2.2 乳胶粒生成阶段(阶段Ⅰ)	(180)
7.2.3 乳胶粒长大阶段(阶段Ⅱ)	(181)
7.2.4 聚合反应完成阶段(阶段Ⅲ)	(183)
7.2.5 乳液聚合反应动力学	(183)
7.3 乳液聚合配方体系及其影响因素	(184)
7.3.1 单体	(184)
7.3.2 乳化剂	(185)
7.3.3 引发剂	(190)
7.3.4 分散介质	(191)
7.3.5 其他组分	(191)
7.4 乳液聚合工艺与工程	(192)
7.4.1 生产工艺评价	(192)
7.4.2 生产工艺实例	(193)
7.5 乳液聚合研究进展	(210)
7.5.1 无皂乳液聚合	(211)
7.5.2 微乳液聚合	(211)
7.5.3 反相乳液聚合	(212)
7.5.4 乳液互穿网络聚合物	(213)
主要参考文献	(213)
第8章 生产过程的完善与技术创新	(215)
8.1 生产过程的完善——企业的技术改造	(215)
8.1.1 消除“瓶颈”扩大生产能力	(215)
8.1.2 提高质量	(217)
8.1.3 安全生产	(218)
8.1.4 增加新品种,生产专用料	(220)
8.1.5 开展清洁生产	(221)
8.1.6 重视管理,增加效益	(222)
8.2 企业的技术创新	(224)
8.2.1 技术创新的涵义	(224)
8.2.2 技术创新要考虑什么	(225)
8.2.3 技术创新过程	(226)
主要参考文献	(227)

第 1 章 绪 论

聚合物制备工程是以高分子材料科学与化学工程学为理论基础的工程学科。其生产加工对象包括对天然高分子材料的改性及人工合成高分子材料的工业化生产。本教材以人工合成高分子材料为重点,主要内容有:高分子材料合成工业的发展历程、现状及发展方向,高分子材料在国民经济和生活中的地位与作用,生产工艺原理,物料选择,流程结构,技术分析,工程设备,生产过程的完善及技术创新等。

1.1 聚合物制备工程的发展过程

人类社会早期就开始了对天然高分子材料的利用,加工使用的材料有植物纤维(棉、麻、草木纤维),天然橡胶,天然树脂,动物的皮革、毛、丝等。这个时期都是手工操作的作坊,尚未形成工业化生产。

到 19 世纪中期,开始通过化学应对天然高分子材料进行改性。1839 年美国人发明了天然橡胶的硫化;1855 年英国人由硝酸处理纤维素制得塑料(赛璐珞),以后又相继制成人造纤维和汽车涂料;1883 年法国人发明了用乙酸酐与纤维素作用制得人造丝(粘胶纤维)。与此同时,随着大规模制造化学产品生产过程的发展而逐渐使化学与机械工程结合形成了化学工程学科,使化学工业生产从小型作坊的间歇操作向大型工业装置的连续操作过渡成为可能,具有工业化规模的聚合物制备工程也随着发展起来。

19 世纪后期,工业的发展推动了人工合成高分子材料的进展,20 世纪是高分子材料合成工业不断发展壮大的时期。1910 年美国正式工业化生产酚醛树脂,随后相继合成出丁苯橡胶、丁腈橡胶、氯丁橡胶、尼龙-66、聚酯纤维、高压聚乙烯和聚氯乙烯,其产量和品种在二次世界大战中得到快速发展。50 年代以后,高分子材料科学及石油化工的高速发展有力地促进了以三大合成材料(合成树脂、合成纤维、合成橡胶)为代表的高分子材料合成工业的迅猛发展,使它在世界经济发展中发挥了重要作用。回顾漫长的发展历程可以清晰地看出社会经济的发展与科学技术的进步有力地推动了高分子材料合成工业不断前进。

进入 21 世纪,材料科学的高速发展与高新技术的广泛采用使高分子材料合成工业进入一个崭新的时期,同世界其他国家一样,我国也具有很好的发展前景,尤其是近几十年内有可能成为全球在这个领域发展最好的国家,在规模、品种和技术水平上都进入世界先进行列。

1.2 高分子材料在国民经济和社会发展中的作用

材料工业是基础工业,是其他经济部门和科学技术进步的基础,它的发展关系到一个国家综合国力的增长,直接影响到人民生活水平的提高。现代工业及民用的所有产品几乎都是根据现有材料进行设计和制造的,新材料又往往是新技术的先导,量大面广的传统材料是

资源、能源消耗的主要渠道,也是重要污染源,所以材料工业是可持续发展必须考虑的主要因素之一。

随着石油化学工业的蓬勃发展而兴起的庞大的高分子材料工业已被列为重要的基础工业之一,石油化工七大基础原料(三烯,即乙烯、丙烯、丁二烯;三苯,即苯、甲苯、二甲苯;和甲醇)总量的一半用于合成树脂的生产;乙烯工程大量的初级产品和下游产品为烯烃类、芳香烃和它们的衍生物,其中大部分都用来生产高分子材料。因此,高分子材料合成是石油化工发展的最重要的领域,它也是材料工业中发展速度最快的领域。1974~1995年的20年间世界合成树脂的年产量已由4000多万t猛增至1.196亿t,增长近3倍。1995年按体积计,世界合成树脂产量1.139亿m³,已经连续第五年超过世界粗钢产量(9688万m³),塑钢体积比为1.18:1。开发塑料与其他高分子材料,周期短、投资少、能耗低(以单位体积计,聚苯乙烯为1时,钢为10,铝则为20),因此,以塑代钢已是当前一个重要发展方向,如玻璃钢便是其一。全世界聚合物的年产量已经在1.8亿t以上,在世界经济中占有重要地位,是中国国民经济的支柱产业之一,也是中国经济效益最好的产业之一。

以石油、天然气为原料生产的三大合成材料(合成树脂、合成纤维、合成橡胶)为代表的高分子合成材料工业已经发展成为现代工业,在国民经济和社会发展中占有重要地位,为农业、机械、交通、建筑、电子、信息等行业的发展提供了必需的材料。不仅三大合成材料,其他高分子材料也有十分重要的作用。涂料保护着世界上数以亿吨计的钢铁免遭腐蚀,并使建筑、机电产品、家具等变得丰富多彩、质量可靠。粘合材料在保证材料原有性能的前提下,几乎可以把各种性能各异的基材结合在一起。功能高分子材料结合了材料的结构性和功能性,可以由人工合成具有各种独特功能(耐热性、导电、感光、生物性)的高分子材料,用于各种各样特殊的使用场所。化工新型材料随着国防工业的现代化和军工技术的发展而不断发展壮大,提供了迫切需要的耐辐射、耐高低温、质量轻和强度高的材料,对国防建设起了重要的支持和保障作用。三大合成材料连同其他各种高分子材料对国民经济其他产业,包括高新技术产业具有不可替代的引导、带动、支撑和辐射作用,同时它早已深深地渗入了人们的日常生活,成为不可缺少的必需品。高分子材料所具有的多种多样的性能优势,使它不仅能代替金属、木材、陶瓷及许多无机材料,而且可以代替天然高分子材料如棉、毛、丝、麻、木等,并且其良好的物理化学性能是其他许多金属或非金属无法比拟的。总之,高分子材料对国计民生、国防建设、科技进步和社会发展都有不可替代的基础作用。

1.3 我国高分子材料合成工业现状及发展

1.3.1 现状分析与差距

高分子合成材料包括合成树脂、合成纤维、合成橡胶、涂料、粘合材料五大类,还有功能高分子材料和新型高分子材料等。我国的高分子材料合成工业从无到有、从小到大,发展至今已形成一个完整的工业体系。目前,各类材料生产配套、产品品种基本齐全,已广泛用于国民经济和人民生活的各个领域。我国大宗化工材料已在世界占有重要地位,2000年已有多种高分子材料重要品种的生产能力进入了世界前几名,生产总量达1500多万t,近期内还有大幅度增长。但是由于我国人口众多,到21世纪中期将达到16亿的高峰,新增人口的生存与发展,人们对生活质量要求的不断提高以及国民经济的持续增长,都促使高分子材料

工业必须有更大的发展。目前我国进口的主要高分子材料总量几乎与国内生产总量相当。这就使我国高分子材料合成工业面临严峻的挑战,同时也为发展提供了极好的机遇。

我国的高分子材料正逐步与国际市场接轨,虽然多数产品的品种牌号和生产技术是从国外引进的,但是相比之下仍然暴露出品种牌号太少,尤其是高档产品和许多专用的、高附加值的功能高分子材料在国内尚缺少工业产品,就是五大通用合成树脂产品中的高档牌号在国内也有很大空缺。合成纤维的产品结构也存在差别化率低等问题。从目前状况看,工业生产主体装置的大部分工艺技术和关键设备是成套引进的,使我国的工业技术水平有了明显提高,但是还没有很好的消化吸收,继续创新能力不足。由于化学工程基础研究和相关工程技术薄弱,科研开发与工程设计结合不够紧密,反应工程研究基础弱,影响了技术开发和成套设计的能力,至今自主开发的成套技术仍然较少。生产出的产品质量档次低,批次间质量有波动,且成本高,缺乏竞争力。信息技术的应用差距大,国外生产装置都采用先进的DCS(集散控制系统)控制系统,大面积推广使用先进控制技术,并且向全厂集中控制发展,我国还没有全面普及DCS控制系统。国内集约化程度低直接导致劳动生产率低,1995年我国有涂料生产企业4544家,是美国的9倍,而人均涂料年产量仅有美国的九分之一。我国合成纤维企业平均年产量为8000t,与经济规模相差一个数量级。企业管理成本过高导致部分企业生产成本已明显高于国外同类产品的到岸价,严重影响了产品在国际国内市场的竞争力。此外,由于长期计划经济体制的束缚、科技经费严重不足、缺乏重大创新课题、科研人员力量分散等原因,使得我国自主开发能力薄弱,难以有重大作为。技术储备不足、技术创新力度小已经成为缩短同国外差距的重要障碍之一。保护生态环境已经越来越受到各个方面的重视,治理三废也取得进展,但是对我国来说,包括高分子材料合成工业在内的各行各业仍然要继续努力消除环境污染,发展清洁生产,坚持推行可持续发展战略。

为了更好地解决这些问题,国家机关制定了许多相关政策,并给予财政上和政策上的扶持;社会各界,特别是企业界积极推进各项改革,大力开展技术创新,已经取得明显效果,到21世纪中叶我国必将实现从化工材料大国到化工材料强国的跨越。

1.3.2 面向 21 世纪的发展趋势

1.3.2.1 扩大产能及装置大型化

20世纪下半叶全球高分子材料合成工业得到迅速发展,这期间经历了三次大的产业结构调整,这三次产业结构调整一次比一次规模更大,一次比一次更加深刻,国际市场的竞争也一次比一次更加激烈。日本、韩国、东南亚等周边国家和地区的石油化学工业在第三次产业结构调整中,尤其是亚洲金融危机前后进行了大规模的重组,重新走上了稳步发展的道路,他们实施的“出口导向战略”对我国市场造成很大的竞争压力;欧美大跨国石化公司实施的亚洲投资发展战略,在我国周边国家和地区新建扩建收购了一批石化项目,新增产量将明显投放亚洲市场,尤其是中国;中东产油国家在第三次产业结构调整中,积极发展石化工业,充分利用其资源优势,凭借其石化工业装置规模大、成本低、产量高等优势在世界石化市场上占据竞争优势,中国加入WTO后,中东国家具有价格竞争优势的大宗石化产品如聚烯烃更会大量进入中国市场;我国面对的是全球经济一体化的大形势,全世界都在争夺中国这个极富发展潜力的大市场。所有这些都对我国实施的“拉动扩大内需,走出国门”的发展战略带来不利影响。同时,还必须抓紧解决我国目前存在的企业数量多、规模小、布局分散、结构

趋同、缺乏专业化分工、企业集中度低,因而影响竞争力的问题。我国还存在一大批技术水平低、物耗能耗高、成本高、效益低下的小石化厂,这也是亟待解决的问题。

进入 21 世纪高分子材料仍将保持高于传统材料和天然材料的增长速度发展,预测年增长率有望超过 5%。我国的高分子材料合成工业虽然有许多不利的因素,但同样有许多有利于迅速发展的条件和机遇。国民经济的持续稳步发展和人民生活的不断提高为我国的高分子材料发展提供了极为广阔的空间,即使将现有的高分子材料产量增长一倍,仍然有发展余地,巨大的内需是持续发展不可多得的优越条件。

经过近年来的勘探开发,我国的资源和能源储备都有显著的增长,海洋与西部油气田的勘探储量和开采量都在迅速增长,“西气东输”为 4000km 沿线各省市地区的经济发展带来机遇;新能源(水能源、风能、地热、太阳能、生物能等)储量巨大,水能源为 3.78 亿 kW,目前仅开发利用了 11%,可供开发利用的风能资源总量为 2.54 亿 kW,每年我国陆地接收的太阳辐射能总量相当 24000 亿 t 标准煤,此外还有尚未开发利用的地热、潮汐能和丰富的生物资源,充沛的资源和能源为工业发展提供了有力支撑。同时,我国在参与全球经济一体化的进程中已经开始积极利用国内、国外两个资源、两个市场,极大地扩展了我国的发展空间。到 1999 年年底,我国已有 16 个乙烯生产企业,18 套生产装置,总生产能力达到 440 万 t 以上,预计到 2005 年国内乙烯产量将超过 800 万 t,届时国内乙烯的供需情况将得到根本改观,高分子材料合成工业也将随着得到良性发展。以乙烯原料为基础的五大通用树脂以及其他高分子材料的产量必然有飞跃式的增长。

近几十年来,石化工业不断向大型化、超大型化方向发展,乙烯装置的经济规模已从 11 万吨/年,持续增长为 30 万 t/年、60 万 t/年,在 21 世纪将达到 80 万~90 万吨/年,甚至 100 万 t/年以上,全球最大的单系列聚丙烯装置规模为 95 万 t/年。规模与成本成反比关系,在一定条件范围内,装置的规模越大,单位产能所花费的投资就越少,产品的成本就越低,也就越经济。因此,世界各国都把追求规模经济,实现装置大型化作为产业结构调整的主要目标之一。由于工程技术的进步,大型装置的使用寿命可长达 15~20 年,对原料的适应性和转换产品的灵活性大大增强,加上计算机控制水平的提高,从而有效地降低了物耗能耗和成本,明显增强了竞争力。为了更好地满足国内市场巨大需求,进一步增强国产高分子材料的市场竞争力,我国在近十年来已经大力进行生产装置技术改造和扩建,使生产能力得到提高,目前正在积极向大型化发展,国内多家企业正在将乙烯产能扩大到 60 万~70 万 t/年,高分子材料合成装置同时扩大了产能,在建的聚烯烃装置的规模大都在 20 万~40 万 t/年的水平,进入世界同类生产装置的先进行列。

1.3.2.2 产品结构调整

我国目前的产品尚存在结构不合理、品种牌号单一、档次低、附加值低等问题。与国外相比,同样是聚乙烯和聚丙烯我国仅有 200 多个牌号,而国外则超过数千种;低密度聚乙烯国内有 143 个牌号的生产技术,经常生产的只有 30 个,而且主要是通用膜、农膜、重包装膜及注塑牌号,其中占产量 60%的薄膜牌号基本上是大路货,这种通用的大路货使用范围比较广,价格比较低,因此效益也就差。而高档次、高附加值的专用料是专为生产各种不同用途制品提供的原料,技术含量高,自然价格也就高,获取的利润则明显高于大路货。目前我国进口量达数百万吨的高分子材料大半是质优价高的专用料。国内企业已经认识到开发生产专用料的重要意义,经过连续多年的技术开发工作,1999 年合成树脂的专用料比例已经

达到 33.3%,比 1998 年提高了 10.4 个百分点,聚丙烯共聚专用料等新产品已被国内外大用户认可并大量进入市场。合成纤维、合成橡胶等其他高分子材料领域也在强化科研,大力开发专用料新产品,并取得显著成绩。国内最大的仪征化纤公司在 2000 年的上半年的切片专用料比例达到 41.5%,纤维差别化率达到 25.6%,专用切片和差别化纤维产量分别比 1999 年同期增长 26.2% 和 118.6%,差别化产品的销售收入占公司总销售收入的三分之一,由此可见研究开发差别化产品并迅速投入生产是十分重要的,而且发展余地很大。在产品结构中我国还需要努力解决产品成本高、质量波动的问题。由于我国的企业规模小、技术水平和劳动生产率低、管理成本高等原因,导致缺乏市场竞争力。近年来我国大力进行企业重组扩大规模,组建了一批大型和超大型的集团公司,其中几个已进入世界 500 强,与国外大公司相比虽然还有很大差距,但已大大增强了在国际国内市场上的竞争力。采用高新技术改造传统企业,减员增效的实施都对降低成本起到积极作用。当前的市场竞争不仅靠价格竞争,而且正更多地转向依靠质量竞争。为此,我国企业必须强化质量管理、提高生产技术水平、更积极地采用新工艺、新设备和先进的控制系统,使质量稳定提高。

1.3.2.3 高分子材料科学与化学工程学的理论基础作用

新兴的高分子材料科学的进展十分迅速,在基础科学和技术科学研究方面已经进入了宏观与微观、定性与定量、静态与动态密切结合的阶段。通过对材料结构、性能和形成过程认识的不断深化,在一定程度上已能为最大限度地使用现有材料和发展新材料提供科学依据,为逐步实现按预定性能设计和制备材料创造了条件。高分子化学的研究正在向深度、广度飞速发展,现在已经普遍采用数学、计算机方法解决大量理论和实际应用问题,为高分子材料的发展奠定了坚实的基础。新的高性能高分子化合物的分子设计及合成,新的聚合反应和方法的不断出现,可控制反应物的空间立构及其相对分子质量、相对分子质量分布,活性聚合,生物酶催化聚合,新功能高分子化合物的分子设计及合成,耐高温、高模量、高强度、高性能聚合物的分子设计及合成,各种有机-无机分子内杂化材料的合成,聚合物的化学改性,加工成型过程中的化学等方面的研究成果令人目不暇接。

高分子物理是支撑高分子材料科学发展的另一重要学科。有关链构型、构象、支化度、序列结构、交联结构、浓溶液、液晶态、晶态、非晶态、多相体系、熔体等的新观点、新现象、新的研究方法发展很快。和高分子的“静态”结构相比,高分子的“动态”结构研究,如分子链运动及动力学行为、聚集态的亚稳态结构现象及变化规律、聚合物流体的非线性粘弹行为等,也都得到重视。这些研究的成果产生了许多新概念、新方法和新理论,为高性能材料的分子设计创造了条件。

聚合物成型加工过程中的工程问题正受到越来越多的重视。像振动剪切塑化成型、气辅成型、反应加工成型、新的成纤技术、特种纤维纺织技术等方面的研究很可能为高分子材料的应用开拓新的领域。

化学工程学是对物质与能量进行加工与转化的过程科学,它是化学加工技术的基础,其理论研究与技术方法对于利用现代科学技术改造传统的化学工业发挥着重要作用。化学工程作为学科,化学工艺作为技术,化学工业作为产业,互相促进,共同繁荣与提高。在全球经济一体化的大趋势下,特别是加入 WTO 以后,只有依靠先进的化学工程理论和化学加工技术,提高传统产业的产品质量和附加值,降低消耗,走内涵式和集约化发展的道路,才能保证我国的高分子材料合成工业在国际上占据应有的地位。今天,随着科学

技术的迅猛发展,化学工程的研究重点转向新材料、新能源及新的清洁高效工艺过程。化学工程的新进展为开发新材料领域、实现各种工艺变革提供了技术基础,特别是反应工程、反应器和分离工程的进展对新材料的发展起到了重要的支撑作用。例如,在气-固、液-固两相流化床和气-液-固三相流态化理论、机理和模型方面的研究对开发新材料产生了深刻的影响,为许多重大新工艺的突破奠定了基础,许多大型高效的聚烯烃生产装置的开发、设计、投产都与之密切相关。聚合过程往往放出大量反应热,反应系统多数为非牛顿型流体,反应过程中流变特性及气相体积流速变化很大,影响反应过程的因素多,建立数学模型难度大等,近 20 年,已经在解决这些重大课题方面取得新进展。在聚合反应器内部的研究方面已有许多突破,利用计算机对反应器内伴随化学反应的传质、传热等理论研究已有许多新进展,为成功解决大到几百立方米的聚合釜设计、加工、运行等一系列问题奠定了基础。分离技术的不断改进,解决了一些特殊材料的热敏、提纯、输送等大量难题,得到了符合各种苛刻场合要求的高级材料。

最新高科技的进展必将有力地推动材料科学与材料工业的更大发展,例如,纳米材料的发展可能引起催化材料和许多高分子材料的突破。 1nm 是 10^{-9}m ,纳米级材料具有特殊的表面效应、量子尺寸效应和隧道效应,化学性质十分活泼,用它制成纳米分子筛具有极大的催化效率,用它对高分子材料进行化学或物理改性也取得非常好的效果,使其力学性能、化学性能等都得到显著改善。可以预见纳米材料的工业化应用必将对高分子材料的新突破产生深远影响。

聚合物制备工程的理论基础是高分子材料科学与化学工程学(聚合反应工程、高分子传递过程、粘性物流体力学等),材料科学与化学工程学的迅速发展及相互融合,有力地推动了聚合物制备工程的进展,使其整体水平不断提高。

1.3.2.4 催化剂的重大作用

催化剂的研究改进方向主要是提高催化效率以增加生产能力和生产效率并降低成本;控制聚合物相对分子质量及相对分子质量分布、控制分子的结构以完善聚合物性能,扩展其用途,增强市场竞争力。

追求更高的催化效率仍然是合成材料技术进步的重要目标,例如,合成树脂的聚合物收率已由每克催化剂组分能得到几千克聚合物提高到几百万克聚合物,随着催化剂的进步,聚合工艺也发生了显著的变化。聚丙烯生产的洗涤单元被淘汰了,后处理单元也被精简,有效降低了投资和成本。高效催化剂开发成功使气相合成乙丙橡胶成为可能,也是气相法合成聚烯烃工艺的关键。这些新成果为 21 世纪合成材料的新发展创造了条件。

通过改进催化剂来提高聚合物性能是另一个研究方向。催化剂的性能改进可以是聚合物在很宽范围内控制平均相对分子质量,也可以在相当宽的范围内调节相对分子质量分布;可以调节共聚单体的加入方式,控制聚合物的支化度,改变聚合物的密度,改变聚丙烯的立体等规度等,这就为大量增加新牌号奠定了基础。

1980 年,茂金属催化剂/甲基铝氧烷高效催化剂体系问世,成为聚烯烃技术进步的重要事件。茂金属催化剂的重要特性,一是单活性中心,有极高的选择性;二是反应活性比普通 Ziegler-Natta 催化剂高得多,达到每克铬组分可得到聚合物 $4 \times 10^8\text{g}$ 。通过茂金属负载化,制备出的单点负载性催化剂,在生产特种聚合物方面已开辟了一个崭新的领域。

在茂金属催化剂取得成就的同时,非茂金属催化剂的开发也有巨大的进展。Nova 公司

用不同方法开发了 6 个系列的单中心催化剂,成本与 Ziegler - Natta 催化剂相当,却兼有 Ziegler - Natta 催化剂和茂金属催化剂的优点。他们结合高强度混合以及反应器技术,正在建设 38.5 万吨/年的聚乙烯生产装置。另外,英国石油公司(BP)、杜邦(Du Pont)公司等还在研究铁系催化剂,已经得到了相对分子质量 260~611000 的线形聚乙烯,铁系催化剂的这一重要研究成果启发人们考虑那些以前认为是不可能的目标。

1.3.2.5 合成、加工 - 应用的一体化

合成是高分子材料创新的主要源泉,是新技术和现有技术改进中的关键因素。新材料的开发、现有材料的改进不仅要靠合成,现在测试、加工应用也已成为开发新牌号的重要途径,引起高度重视。高分子材料和其他材料一样,不是最终消费品,必须借助测试、加工和应用研究才可以进入终端消费品市场。目前,国内外普遍施行了以生产企业为主体,材料科学与材料工程、生产与研究、教学与科研的密切结合,形成一个产、学、研统一体,用来指导材料的生产,提供技术服务,开发新牌号并开拓新的市场。这些年来,国内外许多大企业投入巨额资金,在汽车、建筑、包装、机械制造、信息、计算机等各个合成材料应用领域开展加工应用研究,建立各种“加工应用研究中心”,其投资力度、研究深度和广度甚至超过了下游工业本身。

实际上,测试、加工应用研究已变成了开发新产品最直接、最重要的途径之一。随着装置大型化,依靠合成开发新牌号产品的成本越来越高,而依据测试、加工应用研究成果可以很方便地利用二次加工手段开发新产品,特别是那些批量有限、用途专一的“专用料”。目前世界上有 2040 个合成树脂掺混厂,有的厂利用自己开发的软件可为 300 位用户生产 1700 个牌号,且不需要库存。我国也有一些合成树脂掺混厂在生产“专用料”,但是数量远远不能满足需求。高分子材料生产企业对自己生产的大品种尽量依据测试、加工应用研究成果,通过更完善的售前、售后服务,包括介绍加工性能、加工参数,指导改进加工工艺来满足加工厂的要求;下游加工尽可能通过增加新功能,改进外形设计来满足市场的需要;掺混厂作为重要的中间环节,利用现成的大宗高分子材料,采用“共混”等方法开发大量新牌号,改进加工性能,提供“专用料”,及时满足下游用户的不同需求,开拓并占领市场。

1.3.2.6 计算机、信息技术迅速推广应用

计算机和信息技术在高分子材料领域应用范围很广,贯穿渗透到科研开发、工程设计、生产过程控制、企业管理、市场营销等各个方面,发挥了重大作用。信息技术与化学工业的结合和渗透,正成为产业升级的主要内容和推动力之一,生产过程和经营过程的集成化与科学化,是当前高分子材料工业计算机化和信息化的主要特征。

应用计算机计算技术使采用更复杂、更精确的数学模型成为可能,近年来已经能进行理论化学、分子科学、分子模型、分子动力学等计算,能辅助进行分子设计,推动新的高分子材料研究开发,通过高可靠的计算分子科学去模拟原子体系的能力,能很快设计出可以保护人类健康、安全和与环境友好的新材料和化工新过程。同时,计算流体力学、过程模型、模拟、操作优化和控制等各种计算化学工程方法在新产品技术开发中得到越来越广泛的应用,可以保证新产品从研制到生产乃至回收利用全过程进行快速的开发、放大、设计、控制和优化。

化工过程的模拟与工艺放大是计算机在化工应用中最为基础、发展最为成熟的技术,其中最常用的是流程模拟和单元过程模拟。通过化工过程模拟可以用计算机求解并描述生产过程的数学模型,得到有关该过程性能的信息,进行工艺过程的分析、综合与优化。目前计

计算机模拟已成为化工过程工艺开发、工艺设计、生产操作控制与优化、操作培训和老装置技术改造的重要手段。随着计算机软硬件的发展,求解复杂数学问题的能力已大大增强,因此可以采用更严格、更精确的数学模型来进行模拟,使可靠性大大提高,将有可能从小实验跳过中间试验而实现工艺模拟放大的目标,不再依靠传统的耗时、耗物的试验放大方法。

利用计算机和信息技术建立柔性生产系统,就是通过多级计算机系统,把生产工艺中若干独立生产单元组的物料流(原料、中间体、成品、废物)和信息流(反映生产状态的工艺参数、设备状态、处理指令和信息)、能源流(能源、动力)结合起来,集中进行调度,分散进行控制,达到多品种、多用途生产的目的。建立企业内部网络交换内部信息,并充分利用因特网(Internet)查询公共信息,形成计算机集成信息系统(CIIS),对于提高产品质量、生产率、设备利用率,缩短生产周期,减少工程费和人工费,提高工作效率都有极其显著的作用,从而增加企业的经济效益。我国在计算机的推广普及和信息技术充分利用方面越来越重视,研究开发、生产应用的力度也越来越大。在石油化工行业中已有 200 多套集散控制系统(DCS)在运行,取得了很好的经济效益。在分子设计、过程模拟与开发放大、过程仿真、设计与生产的优化、控制系统的升级、网络的建立与迅速扩展等,都取得令人瞩目的成绩。我国一企业自主开发的物资管理系统把全公司几十个仓库组成为逻辑仓库,统一审批,统一采购,优化管理,一年内即压缩库存 1 亿元,取得了可观的经济效益。刚刚由我国自主开发的 TCS 柔性控制系统经过评审和实际使用,确认此控制系统性能可靠,达到了国际先进水平。

1.3.2.7 发展清洁生产、注重可持续发展

世界环境污染的加剧以及温室效应和臭氧层破坏等全球问题的日益突出,促使人类意识到只有可持续发展才是解决人类自身危机的根本途径。清洁生产是可持续发展的重要技术手段,并在 1992 年 6 月联合国环境与发展大会上被正式承认为可持续发展的先决条件,视为工业界达到环境改善同时保持竞争性及可赢利的核心手段之一,并列入《21 世纪议程》。我国也积极参与了清洁生产的行动计划。1997 年 4 月国家环保局正式行文“关于推行清洁生产的若干意见”。近年来,清洁生产已逐渐深入人心,但与发达国家相比仍有很大差距。我国环境污染的主要来源是工业生产,而化工生产是排污的大户,开发和完善清洁生产技术的任务很重。清洁生产是个发展的概念,普遍认为:清洁生产是一种连续性的一体化预防策略,它通过改变产品、过程和服务以提高效率,从而达到改善环境性能和降低成本的目的。可以看出,清洁生产的目的是以可持续发展的方式在满足人类对产品需求的同时又在保持生态多样性的前提下提高资源和能源的利用率。

可持续发展是把生态、经济、社会统一为不可分割的整体,能动地调控自然-经济-社会复合系统,是人类在不超过资源与环境承载能力的条件下,促使经济发展,同时保持资源持续和提高生活质量。可持续发展是一个庞大的系统工程,由三个子系统组成:一,经济发展是任务,必须保证经济不断增长;二,自然持续发展是基础;三,社会持续发展是目标。最终目的是提高人类生活的质量。

清洁生产的技术关键是从生产的源头控制污染物的产生并全程控制污染,其控制可分为四个等级:一是减少污染来源,研究开发“原子经济”反应,力求原料分子中的原子百分之百地转变成产物,不产生副产物或废物,实现废物的“零排放”,避免在生产工艺过程中生成污染物,这是减少三废的根本;二是再循环,将不可避免产生的废料作为原料替代物或其它工业过程的添加剂,加以循环利用;三是后处理,如果生成的废物无法循环再利用,则销毁、