

高 等 学 校 教 材

高分子合成材料学(下)

廖明义 陈 平 主编



化学工业出版社
教材出版中心

高等学校教材

高分子合成材料学 (下)

廖明义 陈 平 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

高分子合成材料学. 下/廖明义, 陈平主编, —北京:
化学工业出版社, 2005.1
高等学校教材
ISBN 7-5025-6402-0

I. 高… II. ①廖…②陈… III. 高分子材料: 合
成材料-高等学校-教材 IV. TB324

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 127029 号

高等学校教材

高分子合成材料学 (下)

廖明义 陈 平 主编

责任编辑: 杨 菁

文字编辑: 李 玥

责任校对: 李 林 靳 荣

封面设计: 于剑凝

*

化学工业出版社

出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 520 千字

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6402-0/G · 1629

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

高分子材料主要由三大材料组成——合成树脂、合成橡胶和合成纤维，由于资源丰富，性能优异，加工容易，已发展成为世界上产量最大、品种最多的材料，是经济发展和社会进步的基础材料。作为高分子材料中产量最大的合成树脂，其生产工艺多样、技术复杂、结构独特、性能优异、应用广泛，经过几十年的发展，取得了日新月异的进步，成为当今世界范围内发展最快的材料。

合成树脂在我国国民经济中占有十分重要的地位，随着石油化工工业的发展，我国合成树脂工业也取得了飞速发展。目前我国的合成树脂和塑料制品的产量和消费量均居世界前列，成为合成树脂和塑料制品的生产大国与消费大国。与之相对应，社会对高分子材料专业人才的需求也十分旺盛，为了配合高等教育对人才培养的需要，满足学生获取知识的愿望，特组织编写了高分子合成材料这本书。

本书主要叙述热塑性树脂，内容包括五大通用树脂 PE、PP、PVC、PS 和 ABS，以及通用工程塑料 PA、PC 和 PET、PBT。比较系统地介绍了这些合成树脂的国内外发展历史、合成原理、生产工艺、结构和性能以及加工和应用。所涉及的树脂品种和牌号基本以已经工业化生产的品种为主，内容上注重成熟、先进的技术，注重反应原理、结构与性能之间的关系和基本理论运用的阐述，对于新的技术和原理的进展给予充分的反映，并适当地介绍有工业化前景的一些内容。期望能为高校高分子材料专业的学生或社会相关专业人员提供一本全面系统介绍通用合成树脂和工程塑料的专业书籍。

本书根据公开发表的文献资料编写，由于有关高分子材料的国内外科技文献浩如烟海，本书限于篇幅和作者精力，不可能面面俱到，加之作者水平有限，时间仓促，书中可能会存在一些缺点和错误，敬请专家学者和广大读者批评指正。

在本书编写过程中，硕士研究生张宜鹏、张伟清协助对一些方程式和图片进行了编辑，在此表示感谢！

最后感谢所有提供文献资料的作者和支持帮助本书编写的同仁们！

编者

2005 年 1 月

目 录

下册 热塑性高分子合成材料

第 1 章 绪论	1
1.1 合成树脂和塑料的定义	1
1.2 合成树脂和塑料的分类	2
1.3 国内外发展状况	2
1.4 热塑性树脂的结构和性能特点	4
1.5 展望	6
第 2 章 聚乙烯	7
2.1 发展简史	7
2.2 低密度聚乙烯 (LDPE)	9
2.2.1 反应机理	9
2.2.2 生产工艺	10
2.2.3 结构与性能	10
2.2.4 加工和应用	14
2.3 高密度聚乙烯 (HDPE)	15
2.3.1 反应机理	15
2.3.2 生产工艺	15
2.3.3 结构与性能	16
2.3.4 加工和应用	18
2.4 线形低密度聚乙烯 (LLDPE)	19
2.4.1 反应机理	19
2.4.2 生产工艺	19
2.4.3 结构与性能	20
2.4.4 加工和应用	22
2.5 超高分子量聚乙烯 (UHMWPE)	24
2.5.1 生产工艺	24
2.5.2 结构与性能	24
2.5.3 加工和应用	26
2.6 茂金属 PE (Metallocene Polyethylene, mPE)	28
2.6.1 发展简介	28

2.6.2 结构与性能	29
2.6.3 加工和应用	31
2.7 双峰 PE	31
2.7.1 双峰 PE 的制造方法	31
2.7.2 生产工艺	32
2.7.3 结构与性能	32
2.8 共聚 PE 树脂	33
2.8.1 乙烯/乙酸乙烯酯共聚物 (EVA)	33
2.8.2 乙烯/丙烯酸乙酯共聚物 (EEA)	36
2.8.3 乙烯/丙烯酸甲酯、乙烯/马来酸酐共聚物 (EMA)	38
2.8.4 乙烯/(甲基)丙烯酸共聚物 (EMAA 或 EAA)	39
2.8.5 乙烯/乙烯醇共聚物 (EVAL 或 EVOH)	40
2.8.6 乙烯/氯乙烯共聚物 (EVC)	41
2.8.7 离子型树脂 (Surlyn)	42
2.9 PE 改性	43
2.9.1 PE 化学改性	43
2.9.2 PE 共混改性	49
2.9.3 填充改性	51
参考文献	55
第 3 章 聚丙烯	56
3.1 发展简史	56
3.2 等规 PP	58
3.2.1 反应机理	58
3.2.2 生产工艺	60
3.2.3 结构与性能	62
3.2.4 加工和应用	69
3.3 间规 PP (sPP)	72
3.3.1 生产工艺	72
3.3.2 结构与性能	72
3.4 茂金属 PP (mPP)	73
3.5 无规 PP (APP)	73
3.5.1 生产工艺	73
3.5.2 结构与性能	74
3.6 共聚 PP 树脂	74
3.6.1 丙烯/乙烯无规共聚物 (PERC)	74
3.6.2 丙烯/乙烯嵌段共聚物 (PEBC)	75
3.7 PP 改性	76
3.7.1 化学改性	76
3.7.2 共混改性	80

3.7.3 填充改性	84
3.7.4 PP 纳米复合材料	85
3.7.5 透明改性	89
参考文献	91
第4章 聚氯乙烯	93
4.1 发展简史	93
4.2 反应机理	95
4.3 生产工艺	96
4.3.1 悬浮聚合生产工艺	97
4.3.2 乳液聚合生产工艺	104
4.3.3 微悬浮聚合法工艺	108
4.3.4 本体法生产工艺	111
4.3.5 其他聚合方法	113
4.4 结构和性能	113
4.4.1 化学结构	113
4.4.2 颗粒结构和形态	114
4.4.3 PVC 树脂聚集态结构	119
4.4.4 性能	119
4.4.5 加工和应用	123
4.5 共聚 PVC 树脂	126
4.5.1 氯乙烯/乙酸乙烯酯共聚物 (VC/VAC)	127
4.5.2 氯乙烯/偏二氯乙烯共聚物 (VC/VDC)	127
4.5.3 氯乙烯/丙烯酸酯共聚物 (VC/AC)	128
4.5.4 氯乙烯/烯烃共聚物	129
4.6 PVC 共混改性	130
4.6.1 增韧改性	130
4.6.2 耐热改性	136
4.6.3 加工改性	138
4.7 PVC 其他改性	138
4.7.1 PVC 交联	138
4.7.2 氯化 PVC (CPVC)	140
4.7.3 PVC 填充	142
4.8 PVC 热塑性弹性体	142
4.8.1 HP/PVC	143
4.8.2 离子交联型 TPVC	144
4.8.3 共混型 TPVC	144
4.8.4 TPVC 加工和应用	144
4.9 PVC 纳米复合材料 (NC)	145
4.9.1 PVC/无机氧化物纳米复合材料	145

4.9.2 PVC/黏土纳米复合材料	146
参考文献	146
第5章 苯乙烯类	148
5.1 发展简史	148
5.2 通用聚苯乙烯 (GPPS)	149
5.2.1 反应机理	149
5.2.2 生产工艺	151
5.2.3 结构与性能	153
5.2.4 加工和应用	154
5.3 可发性聚苯乙烯 (EPS)	154
5.3.1 生产原理和工艺	154
5.3.2 结构与性能	157
5.3.3 加工和应用	159
5.4 高抗冲聚苯乙烯 (HIPS)	160
5.4.1 生产工艺	160
5.4.2 结构与性能	162
5.4.3 加工和应用	166
5.5 间规聚苯乙烯 (sPS)	166
5.5.1 生产工艺	167
5.5.2 结构与性能	167
5.5.3 加工和应用	169
5.6 共聚 PS 树脂	170
5.6.1 苯乙烯/丙烯腈共聚物 (AS 或 SAN)	170
5.6.2 丙烯酸酯/丙烯腈/苯乙烯共聚物 (AAS)	173
5.6.3 丙烯腈/乙烯-丙烯-二烯烃三元乙丙橡胶/苯乙烯共聚物 (AES)	174
5.6.4 丙烯腈/氯化聚乙烯/苯乙烯共聚物 (ACS)	174
5.6.5 甲基丙烯酸甲酯/苯乙烯共聚物 (MS)	176
5.6.6 甲基丙烯酸甲酯/丁二烯/苯乙烯共聚物 (MBS)	176
5.6.7 苯乙烯/马来酸酐共聚物 (SMA)	177
5.6.8 苯乙烯/马来酰亚胺共聚物 (SMI)	178
5.6.9 K 树脂	179
5.7 PS 树脂共混改性	180
5.7.1 PS 与 PPO 共混	180
5.7.2 PS 与 PO (PE、PP)	181
5.7.3 其他共混改性	182
参考文献	183
第6章 ABS 树脂	184
6.1 发展简史	184
6.2 反应机理	185

6.3	生产工艺	187
6.3.1	ABS 生产工艺分类	187
6.3.2	乳液接枝-掺混生产工艺	189
6.3.3	连续本体法	192
6.3.4	其他 ABS 树脂生产工艺	193
6.4	结构与性能	194
6.4.1	结构	194
6.4.2	增韧机理	194
6.4.3	性能	195
6.4.4	加工和应用	201
6.5	ABS 改性	202
6.5.1	化学改性	202
6.5.2	共混改性	203
6.5.3	ABS 填充改性	212
	参考文献	213
第 7 章	聚酰胺	215
7.1	聚酰胺 6	215
7.1.1	发展简史	215
7.1.2	反应机理	218
7.1.3	生产工艺	219
7.2	聚酰胺 66	221
7.2.1	发展简史	221
7.2.2	PA66 聚合反应机理	223
7.2.3	PA66 生产工艺	223
7.3	结构与性能	224
7.3.1	结构	224
7.3.2	性能	226
7.4	加工和应用	230
7.4.1	加工	230
7.4.2	应用	230
7.5	改性	231
7.5.1	共聚改性	232
7.5.2	共混改性	233
7.5.3	增强改性	241
7.5.4	填充改性	245
7.5.5	阻燃改性	246
7.5.6	分子复合	246
7.5.7	PA 纳米复合材料	247
7.6	其他聚酰胺	250

7.6.1	聚酰胺 1010	250
7.6.2	聚酰胺 11	253
7.6.3	聚酰胺 12	256
7.6.4	聚酰胺 46	259
7.6.5	聚酰胺 610、聚酰胺 612	260
7.6.6	透明聚酰胺	262
7.6.7	单体浇铸聚酰胺 6	262
参考文献		263
第 8 章 聚碳酸酯		266
8.1	发展简史	266
8.2	反应原理	267
8.2.1	光气界面缩聚法	267
8.2.2	熔融酯交换法	267
8.2.3	非光气酯交换法	267
8.3	生产工艺	268
8.3.1	溶液光气工艺	268
8.3.2	熔融酯交换法工艺	268
8.3.3	界面缩聚光气工艺	269
8.3.4	非光气酯交换法工艺	270
8.3.5	其他非光气酯交换法工艺	271
8.4	结构和性能	271
8.4.1	PC 结构	271
8.4.2	性能	272
8.5	加工和应用	274
8.5.1	加工	274
8.5.2	应用	275
8.6	PC 树脂改性	277
8.6.1	共聚改性	277
8.6.2	共混改性	277
参考文献		283
第 9 章 热塑性聚酯		285
9.1	聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)	285
9.1.1	发展简史	285
9.1.2	反应机理	288
9.1.3	生产工艺	288
9.1.4	结构和性能	291
9.1.5	加工和应用	295
9.1.6	PET 改性	296
9.2	聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT)	309

9.2.1 发展简史	309
9.2.2 反应机理	310
9.2.3 生产工艺	312
9.2.4 结构和性能	313
9.2.5 加工和应用	315
9.2.6 改性	316
参考文献.....	322

第 1 章 绪 论

人类发展的历史就是一部使用材料的历史。人类自古以来就开始使用天然高分子材料发展生产,创建新生活,如使用棉、麻、毛、丝、皮革缝制衣服,用木材制作工具,用漆装饰房屋、家具,用橡胶制作生产和生活用品,这一切所使用材料的均是天然高分子材料。直到 20 世纪初(1909 年),人类历史上第一个合成树脂——酚醛树脂在美国诞生(由 General Bakelite 公司生产),并实现工业化生产,从此拉开了人造合成树脂和塑料工业发展的序幕,开辟了人类大规模生产和使用高分子材料的新时代。

合成树脂发展的短短一百年的历史,是体现人类智慧和创造的历史。20 世纪是合成树脂出现并快速发展的一个世纪,在 20 世纪 30 年代相继实现了聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)、聚酰胺(PA)和聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)等树脂的工业生产。1939 年,英国 ICI 公司采用高压法工业化生产低密度聚乙烯(LDPE),标志着人类采用石油化工产品为原料生产合成树脂新时代的到来。20 世纪 50 年代,德国化学家 Ziegler 发明了新的催化剂,使乙烯在低温低压下聚合,采用这一新型催化剂,在 1954 年实现高密度聚乙烯(HDPE)的工业化生产;采用同类催化剂在 1957 年也实现了聚丙烯(PP)的工业化生产。20 世纪 50 年代后期,美国杜邦(Du Pont)公司和德国拜尔(Bayer)公司分别开发出聚甲醛(POM)和聚碳酸酯(PC)工程塑料,从而实现了塑料代替金属成为结构材料的愿望。1964 年,美国杜邦公司又开发成功具有优异性能的聚酰亚胺,开辟了特种工程塑料生产的先河,促进了其他一系列特种工程塑料——聚砜(PSF)、聚醚砜(PES)、聚醚酮(PEK)、聚醚醚酮(PEEL)、聚苯硫醚(PPS)等开发和生产。随着石油工业的发展,特别是 20 世纪 50 年代中期到 60 年代末,世界石油炼制和石油化工工业的高速发展,为合成树脂工业提供了优质价廉的原料,加之新型 Ziegler-Natta 催化剂的出现和广泛使用,高分子科学理论的发展,这一切为合成树脂和塑料的大力发展提供了理论和实践的保证,终于带来了合成树脂和塑料工业的全面发展时期,由此将人类社会带入全新的人造合成高分子材料时代,这一说法毫不为过。因为合成树脂真正快速发展的时期(20 世纪 60 年代)到目前,也只有短短几十年的发展历史,但是作为材料来讲,其发展速度之快、应用之广、品种之多、性能之高,远远超过人类历史上其他任何材料。塑料制品的体积和产量早已超过金属钢铁,也超过所用金属材料的总和。在三大合成材料——合成树脂、合成纤维、合成橡胶中,合成树脂名列前茅。

1.1 合成树脂和塑料的定义

合成树脂和塑料两个名称,人们均已普遍使用,特别是“塑料”名称得到更加广泛地使用,一般人对此并无区分,要给出准确的定义也是比较困难的,虽然合成树脂和塑料是同宗

同族，但实际上还是有区别的。“合成树脂”是人们采用化学方法，人工合成出来的一种与天然树脂类似的有机高分子材料。而“塑料”是以树脂为主要成分，再添加多种添加剂，如无机填料、颜料、各种助剂并进行混合，经过一定成型加工方法，制备的具有特定性能的可塑性材料，统称为“塑料”。当然，树脂和塑料之间定义很难有严格的区分界限，树脂合成过程中也要加入一些添加剂，这与塑料加工过程中类似。某些树脂成型加工过程中没有加入任何添加剂，直接加工成型，也称为塑料制品。因此，基本上是约定俗成，以后也可能进行修改或补充。

1.2 合成树脂和塑料的分类

合成树脂到目前为止，形成了庞大的家庭，品种繁多。其分类多种多样，可按组成、结构、性能、用途、生产工艺、成型方法等分类。若按加工性质分，可分为两大类：热固性树脂和热塑性树脂。具体分类见图 1-1。

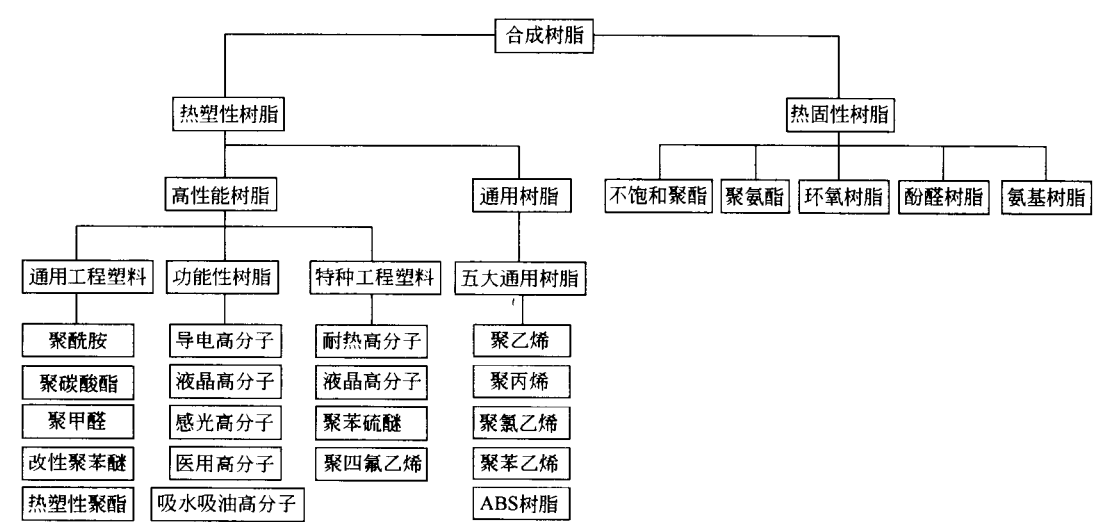


图 1-1 合成树脂的分类

热固性树脂有五大品种：不饱和树脂、聚氨酯、环氧树脂、酚醛树脂和氨基树脂。热塑性树脂分为两大类：通用树脂和高性能树脂。通用树脂也有五大树脂品种：聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯和 ABS 树脂。高性能树脂包括通用工程塑料、特种工程塑料和功能性树脂。通用工程塑料又包括五大工程塑料：聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、改性聚苯醚、热塑性聚酯。特种工程塑料种类较多，功能树脂涵盖的内容较多，在其他类中的树脂也可具有某种功能而成为功能树脂，因此，图 1-1 中也只是大致的划分。

1.3 国内外发展状况

合成树脂经过近百年的发展，已成为目前所有材料产量最大的一类材料。其发展经历以下几个阶段。

(1) 发展初期 这一时期从 20 世纪初至 20 世纪 30 年代。第一个合成树脂——酚醛树

脂就是在此阶段诞生的，同时期工业化生产的还有脲醛、硝酸纤维素（即赛璐珞）及醋酸纤维。这一时期生产的树脂品种较少，生产工艺和技术还不十分成熟，有关高分子材料的完整的科学理论还未形成，处在探索阶段。

（2）奠定基础时期 这一时期从 20 世纪 30 年代至 50 年代初期。在这一阶段工业化产生了线形低密度聚乙烯（LLDPE）、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、聚甲基丙烯酸甲酯等树脂。生产的树脂品种、生产工艺和技术都比上一时期有了明显进步，高分子材料的特点和优势被展现出来，开始与长久以来人类使用的金属、木材、玻璃、皮革等传统材料相竞争。在科学理论上，有关高分子材料的合成方法、高分子材料的结构与性能的关系也有了比较全面系统的阐述，高分子学科两大门类：高分子化学和高分子物理体系已经基本形成。这些为下一时期合成树脂的全面发展奠定了理论和生产实践基础。

（3）全面发展时期 这一时期从 20 世纪 50 年代中期到 60 年代末。这一时期是合成树脂工业全面发展和重要的转折时期，是数量和品种快速增长的时期。首先，1954 年以后，Ziegler-Natta 催化剂被广泛应用到聚合物的生产中，他们所开创的定向聚合理论在生产中得到实践，并由此对合成树脂工业的发展带来了革命性的贡献，使得大量结构可控、性能良好的热塑性树脂问世，其中尤其是聚乙烯和聚丙烯最为著名，成为重要的高分子材料，至今这两种合成树脂的产量仍然居所有合成树脂产量的前列。其次，石油炼制和石油化工生产技术的发展保证了合成树脂的原料来源，并为合成树脂工业提供数量巨大、纯净度高、价格低廉的单体，合成树脂原料开始从煤转向石油。再次，合成树脂无论从品种，还是从数量上都得到迅速增加，加工成型技术也日渐成熟。1930 年世界塑料总产量仅为 100kt，1939 年十年间也仅达到 300kt，而 1950 年则已达到 1.5Mt，1960 年为 6.77Mt，1970 年已高达 30Mt，数量增长十分惊人。品种上，高密度聚乙烯、聚丙烯实现工业化生产，聚甲醛、聚碳酸酯、聚砜、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚酯等工程塑料也相继问世，这一切带动了合成树脂工业的全面发展，使合成树脂真正进入到社会经济生活的各个领域，全方位地影响我们的生活，并给我们的生活带来高质量的享受，人类社会也从此开始逐渐步入了高分子时代。

（4）稳定发展时期 这一时期是从 20 世纪 70 年代以来，合成树脂制造工艺和技术得到全面发展，新技术不断涌现，这一时期合成树脂的数量持续增长，1980 年达到 60Mt，1993 年突破 1 亿吨，2003 年超过 1.5 亿吨。但这一时期已不仅仅是合成树脂产量的增长，而是合成技术、生产工艺、设备的全面发展。新的技术革新和应用，使得生产朝向自动化、连续化；生产设备朝向大型化；聚合反应催化剂朝向高活性、清洁化；合成树脂产品朝向系列化方向发展。合成树脂出现了新的品种，如聚酰亚胺、聚醚砜、聚芳酯、热致液晶聚合物等聚合物不断出现，但大规模工业化的品种的出现已不是主要看点，而是更加重视对现有聚合物的改性研究，通过共聚、共混、交联、接枝、填充、增强、增韧、发泡等一系列新技术、新方法的采用，不断开发新的功能和新的牌号的树脂产品，满足实际需要。这已成为过去、现在和将长期合成树脂发展的方向。

我国合成树脂工业初期起源于上海，在 20 世纪 30 年代末，在上海、广州、天津、汉口、重庆等沿海和沿江城市开始生产酚醛树脂（俗称电木粉）和硝酸纤维素塑料（俗称赛璐珞）。但生产规模很小，品种也少，解放前夕我国合成树脂产量仅 200 余吨。从 20 世纪 50 年代中期开始，我国合成树脂开始真正意义上的起步。1958 年，以乙炔为原料，实现了 PVC 的工业化生产，标志着我国塑料工业的兴起，使得我国在相当长的时期里，PVC 树脂产量一直居首位。1952 年，我国合成树脂产量为 2kt，1965 年 112kt，1975 年 332kt。从数

据可见,我国合成树脂产量增长率十分迅速,但由于基数少,总产量在20世纪70年代以前仍然相对较少,生产技术和水平也比较落后,20世纪70年代初,合成树脂的重要原料在我国基本上还是空白。20世纪70年代以后,特别是改革开放以来,我国合成树脂工业进入到一个新的快速发展的时期。通过大规模引进国外大型乙烯生产石油化工装置及成套的聚合物先进的生产技术和设备,使我国合成树脂的生产能力成倍增加,生产技术和水平一步跨越几十年,达到基本与世界同时代的水平。1978年,合成树脂产量达到680kt,1982年突破1Mt,1989年突破2Mt,进入20世纪90年代,合成树脂的产量仍然高速增长,1996年,合成树脂产量5.35Mt,2000年突破10Mt,2003年达到15.94Mt,使我国成为世界合成树脂生产大国,居世界第五位,形成了大量品种比较齐全、技术比较先进、产量巨大的合成树脂工业。与此同时,伴随着合成树脂工业的高速发展,对树脂进行各种各样的改性工作也基本与世界合成树脂工业的步伐同步,相关的塑料加工企业众多,塑料制品加工能力远大于合成树脂的产量,我国塑料制品的生产也已步入世界生产大国行列。

应当看到,我国合成树脂工业尽管在几十年中取得了令人瞩目的进步,但与世界发达国家相比,仍然存在较大差距。虽然合成树脂总产量巨大,人均产量和消费量远低于世界发达国家水平(发达国家消费水平约100kg,世界平均消费水平27kg)。合成树脂生产技术和装置基本为进口,自有技术很少,特别是合成树脂的原料乙烯的生产技术仍然不断引进国外技术,有些品种(如PC)还基本上靠进口。相信经过我们的不懈努力,我国的合成树脂在新的世纪里必将会取得更大的发展。

1.4 热塑性树脂的结构和性能特点

合成树脂(指热塑性合成树脂)之所以得到如此快速发展,是由于独特的结构,与其他传统材料相比,存在一系列优异的性能。

(1) 结构特点 合成树脂,或者说聚合物之所以具有一系列优异的性能,根本之处在于其与众不同的结构。聚合物的结构十分复杂,其结构特点主要体现在以下几个方面。

① 合成树脂的分子是由许多数量巨大($10^3 \sim 10^5$)的结构单元组成,这些结构单元可以是一种,也可以是几种,经聚合反应生成具有线形、支化、交联等分子形态。生成的聚合物可以是均聚物,也可以是共聚物。

② 大分子链由共价键相连接,形成的长链大分子具有一定的自由度,使大分子链在某种程度上可相对自由地运动(视分子结构不同而不同),因而大分子链具有一定的柔软性。

③ 高分子结构普遍存在不均一性。目前的合成技术还无法做到树脂中,每个分子链的长度(即分子量)都一样长,更无法做到每个分子链的单体单元连接次序、空间构型、共聚物组成、序列排列、支化度、交联度等结构参数都一样。

④ 由这些大分子组成的凝态结构是更复杂的结构。分子排列状态的不同,可形成无定形和结晶形态。结晶度不同,可以是低结晶、半结晶和高度结晶的树脂。

⑤ 合成树脂在加工过程中,需要加入各种填料、颜料、助剂等;两种或两种以上树脂共混制备合金也是常用的方法,这些添加剂与树脂之间以及不同树脂之间的如何相互作用,如何堆砌形成了形态各异、结构更为复杂的织态结构。

上述这些结构因素都会影响最终生成的树脂和塑料制品的性能,使树脂和塑料的性能千差万别。

(2) 性能特点 正是由于上述结构特点,造成了树脂性能的多姿多彩,具体表现在以下几个方面。

① 合成树脂具有比金属材料、无机材料低得多的密度。一般无定形树脂的密度为 $0.56 \sim 1.05 \text{g/cm}^3$, 结晶树脂要高一些,如聚四氟乙烯为 2.2g/cm^3 ,但大多数通用树脂的密度都在 1g/cm^3 左右。质轻是合成树脂的第一个特点。

② 力学性能。树脂的力学强度和模量一般都低于金属材料。其模量比金属低得多,即使硬质树脂比金属低 100 倍(如 PS 的模量为 20MPa ,钢为 $20000 \sim 22000 \text{MPa}$),也比普通玻璃低 10 倍,这也是树脂材料应用受到限制的主要原因之一,但由于密度小,所以比强度(单位质量强度)高。有些树脂,特别是通过增强(如纤维材料、无机填料),可使树脂的强度和模量大幅度增加,比强度甚至超过金属(如玻璃纤维增强环氧树脂的比强度达到 2800,超过高级合金钢 1600)。

树脂的力学性能的第二个特点是数值变化范围宽,是已知材料中可变形范围最宽的材料。对于不同的树脂,或同样树脂处在不同的形态(结晶、非晶态、取向等),力学强度存在很大差别,模量可以相差几个数量级;断裂伸长率可以从百分之几到几百;材料宏观上从柔软到坚韧、硬脆很宽的范围内变化,这就是树脂性能的多样化,这为人们应用提供了刚柔程度各不相同的树脂品种。

合成树脂力学性能的第三个特点是性能除了与结构有关外,也与加工条件密切相关。这也是树脂材料性能区别于其他材料的最突出的特点。这是由于即使同样的树脂,在不同的成型加工条件下,其凝聚态结构也完全不同,从而导致了性能的差别。

③ 热学性能。热塑性树脂的耐热性一般较低。通用树脂的长期作用温度在 $50 \sim 90^\circ\text{C}$ 之间,工程塑料高于 100°C ,但一般也不能高于 200°C ,远低于金属材料。这也是由于树脂分子中分子内和分子间的相互作用力比较低的缘故。树脂中的相互作用,一种是主价力化学键能(共价键的键能一般为 350kJ/mol),一种是次价力氢键(一般为 20kJ/mol)和范德华力(8kJ/mol),这些相互作用力的能量与金属晶格能相比低许多。

合成树脂的导热能力相比金属材料低得多,一般树脂的热导率为 $0.14 \sim 0.44 \text{W/(m} \cdot \text{K)}$,泡沫塑料的热导率更低,只有树脂的 $1/10$ 。因此,树脂材料是优良的保温隔热材料。

④ 电性能。绝大多数合成树脂是优良的电绝缘材料,具有很高的电阻率、低的介电常数和很小的损耗常数。因此,是电子电器、电线电缆上广泛使用的绝缘体。但是科学发现永无止境,新型导电合成树脂的出现,为人们一直以来认为聚合物是绝缘体画上了句号。具有特殊结构的树脂可以达到金属良导体铜、铝的水平,成为近年来研究开发的热点。

⑤ 化学性能。合成树脂的耐化学性能与其结构有关,不同结构的树脂耐化学品的种类不同,但总体上,树脂的耐酸碱的能力远高于金属。通用树脂中,PE、PP 等结晶性聚合物能耐强酸(除强氧化性酸)、强碱,在室温下也不溶于大多数有机溶剂,聚四氟乙烯更是具有突出的耐溶剂和耐腐蚀性,甚至在王水中也不会被溶解,这对于金属材料是无法想像的。

⑥ 光学性能。合成树脂的光学性能如力学性能一样,可在宽广的范围内变化。从色彩上来看,大多数合成树脂在可见光区域内没有特别的吸收,所以基本上是无色的。从透明性来看,树脂可以从完全不透明到半透明,一直到完全透明进行变化。高透明的树脂的透光率与玻璃相当,如聚甲基丙烯酸甲酯的透光率高达 $92\% \sim 93\%$,可透过可见光的 99% ,而其密度仅为硅玻璃的 $1/2$ 。

⑦ 其他性能。合成树脂加工性能优良。由于树脂的熔点比较低,一般在 300°C 以下即达

到熔融状态，因此，可以比金属和无机材料低得多的温度下进行成型加工，而且加工方法比金属材料多得多。此外，合成树脂通过与其他材料混合，可赋予光、电、磁、声、生物等许多功能。因此，合成树脂相比其他材料的性能是全方位的、极其多样和丰富的，这已从渗透到人类社会各个领域中的合成树脂，就可窥见一斑，在此不再一一列举。

1.5 展望

合成树脂作为材料家庭中的重要一员，是世界范围内大力发展的一类有机高分子材料。经过几十年的发展，无论是品种，还是产量，都已经达到了相当高的水平，成为全世界第一大材料，但人类的追求是没有止境的，科学发现也是没有终点的。人类社会从诞生之日起就开始使用高分子材料，但只有现在我们才能真正体会到合成高分子材料给人类社会带来的巨变，才能真正体会高分子材料给人们带来的高质量的生活享受，才能真正体会到人类社会目前一刻也不能离开高分子材料。因此，可以预见，尽管合成树脂还存在不少缺点，但相信在不久的将来就可以克服，因为合成树脂的发展就证明了这一点，有理由相信，新的技术的运用，新的理论的创建，都将给我们的社会带来新的希望和新的巨变，纳米科学和技术的运用就是我们看到的希望之一。