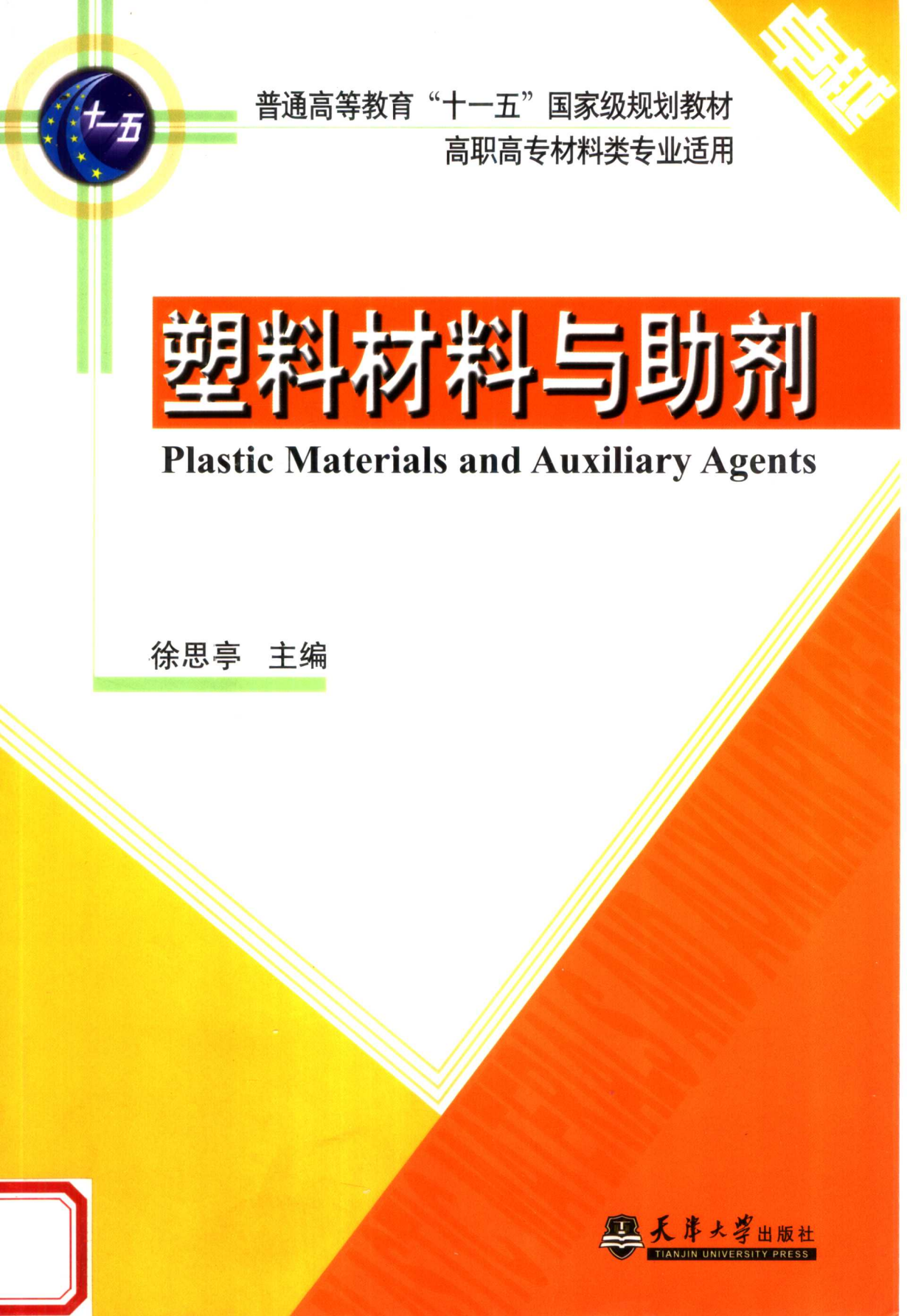




卓越



普通高等教育“十五”国家级规划教材  
高职高专材料类专业适用

# 塑料材料与助剂

Plastic Materials and Auxiliary Agents

徐思亭 主编



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

教育部“十一五”国家级规划教材  
教育部重点建设教材

# 塑料材料与助剂

Plastic Materials and Auxiliary Agents

曹德林 主编

© 2008 China Water & Power Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 塑料材料与助剂

主 编 徐思亭  
副主编 孙桂滨 李海玲 江水青  
袁 芳 孙丕新  
参 编 徐 明 杨宗泉  
主 审 段予忠

## 内 容 提 要

本书共 15 章,大体分为三部分:塑料材料、塑料助剂和塑料的选材与配方设计。塑料材料部分系统地介绍了主要塑料材料品种(如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚酰胺、聚碳酸酯、聚酯类塑料、热塑性聚酯、氟塑料、聚砒类塑料、热固性树脂)的合成、结构与性能、成型加工工艺及应用与改性等。塑料助剂部分主要介绍了助剂(如增塑剂、稳定剂、填料及其他助剂)的作用机理、主要性能、常用品种及应用等。塑料的选材与配方设计章节中介绍了塑料配方设计中的选材原则、设计原则、设计实例等。每一章后均有适当的思考题供读者思考与探讨。

本书在塑料教学理论研究与实际生产的基础上,从实用角度出发,理论联系实际,突出介绍了常用塑料的成型加工工艺及加工特性,具有较强的实用性。

本书可作为高等职业院校高分子材料与工程专业的本科生教材,也可供从事高分子材料加工与应用研究的工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

塑料材料与助剂/徐思亭主编. —天津:天津大学出版社,  
2007.7

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5618-2502-0

I. 塑... II. 徐... III. ①塑料 - 材料科学 - 高等学校:技术学校 - 教材②塑料助剂 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TQ32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 107621 号

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| 出版发行  | 天津大学出版社                           |
| 出 版 人 | 杨欢                                |
| 地 址   | 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)       |
| 电 话   | 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742 |
| 网 址   | www.tjup.com                      |
| 短信网址  | 发送“天大”至 916088                    |
| 印 刷   | 昌黎太阳红彩色印刷有限责任公司                   |
| 经 销   | 全国各地新华书店                          |
| 开 本   | 169mm × 239mm                     |
| 印 张   | 22.25                             |
| 字 数   | 412 千                             |
| 版 次   | 2007 年 7 月第 1 版                   |
| 印 次   | 2007 年 7 月第 1 次                   |
| 印 数   | 1 - 3 000                         |
| 定 价   | 35.00 元                           |

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

## 前 言

能源、信息、材料是现代科学技术发展的三大支柱,是国民经济发展的基础。虽然高分子材料相对于传统的材料而言起步较晚,但其发展速度和应用的广泛性却大大超过了传统材料,极大地推动了科学技术的发展。在现代的材料科学领域中,高分子材料占据很重要的地位,而塑料材料又是高分子材料中最重要的分支,其特点是性能优异,加工容易,产量最大,应用最广。目前,塑料材料的应用领域正逐步扩大,已经涉及国民经济的各个方面,乃至人们生活的各个领域。

“塑料材料与助剂”是高分子材料与工程专业的一门重要专业课程。随着塑料工业的迅速发展,新的塑料改性品种、功能性加工助剂不断涌现,人们越来越认识到运用各种方法对已有塑料品种进行改性,提高和改善其使用性能以拓宽应用领域是今后塑料材料发展的重要方向。

为了适应目前形势发展的需要,配合高等教育对人才的培养,满足学生获得知识的愿望,我们在塑料教学理论研究与实际生产的基础上,从实用角度出发,理论联系实际,组织编写了本书。

本书系统地阐述了塑料用树脂与助剂的结构、性能、特点以及加工与应用,并对塑料的选材与配方设计也作了简要论述。在内容安排上,力求体现少而精,由浅入深,便于学生自学。

本书共15章。第1~2章由徐思亭编写,第3~5章由孙桂滨编写,第6~9章由李海玲编写,第10~12、15章由江水青编写,第13章由袁芳编写,第14章的增塑剂部分、稳定剂部分、填料部分和其他助剂部分分别由徐思亭、袁芳、李海玲、江水青编写而成。书中的表格和附录部分由徐明、杨宗泉编写。全书由徐思亭主编,由孙丕新进行统稿和编辑。初稿写出后,青岛科技大学段予忠教授和青岛大学宋国军教授对全书进行审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

尽管我们力求完善该书,但由于编写水平有限,加之时间仓促,存在一定的缺点和错误在所难免,敬请读者不吝批评指正。

编者

2007 年 1 月

## 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 1 概论 .....               | (1)  |
| 1.1 塑料材料的发展简史 .....      | (1)  |
| 1.2 塑料材料的分类 .....        | (3)  |
| 1.3 塑料材料的特性与应用 .....     | (6)  |
| 1.4 塑料辅助材料——助剂 .....     | (9)  |
| 1.5 塑料改性 with 配方设计 ..... | (10) |
| 2 聚乙烯 .....              | (12) |
| 2.1 聚乙烯的合成 .....         | (12) |
| 2.2 聚乙烯的结构与性能 .....      | (15) |
| 2.3 聚乙烯的成型加工性能 .....     | (22) |
| 2.4 聚乙烯的应用 .....         | (27) |
| 2.5 超高分子量和低分子量聚乙烯 .....  | (28) |
| 2.6 聚乙烯的改性 .....         | (30) |
| 3 聚丙烯 .....              | (35) |
| 3.1 聚丙烯的合成 .....         | (35) |
| 3.2 聚丙烯的结构与性能 .....      | (37) |
| 3.3 聚丙烯的应用 .....         | (43) |
| 3.4 聚丙烯的改性 .....         | (43) |
| 4 聚氯乙烯 .....             | (46) |
| 4.1 聚氯乙烯的合成 .....        | (46) |
| 4.2 聚氯乙烯的结构与性能 .....     | (48) |
| 4.3 聚氯乙烯的应用 .....        | (52) |
| 4.4 聚氯乙烯的改性 .....        | (52) |
| 5 聚苯乙烯 .....             | (55) |
| 5.1 聚苯乙烯的合成 .....        | (55) |
| 5.2 聚苯乙烯的结构与性能 .....     | (57) |
| 5.3 聚苯乙烯的应用 .....        | (60) |
| 5.4 聚苯乙烯的改性 .....        | (61) |
| 5.5 ABS 树脂 .....         | (64) |
| 6 聚甲基丙烯酸甲酯 .....         | (72) |
| 6.1 聚甲基丙烯酸甲酯的合成 .....    | (72) |
| 6.2 聚甲基丙烯酸甲酯的结构与性能 ..... | (75) |
| 6.3 聚甲基丙烯酸甲酯的选用 .....    | (80) |
| 6.4 定向有机玻璃 .....         | (81) |
| 6.5 甲基丙烯酸甲酯共聚物 .....     | (82) |
| 7 聚酰胺 .....              | (84) |

## 塑料材料与助剂

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 7.1 聚酰胺的合成 .....        | (85)  |
| 7.2 聚酰胺的结构与性能 .....     | (86)  |
| 7.3 增强聚酰胺与单体浇铸聚酰胺 ..... | (92)  |
| 7.4 芳香族聚酰胺 .....        | (94)  |
| 8 聚碳酸酯 .....            | (100) |
| 8.1 双酚 A 型聚碳酸酯的制备 ..... | (101) |
| 8.2 聚碳酸酯的结构和性能 .....    | (103) |
| 8.3 聚碳酸酯的应用 .....       | (107) |
| 8.4 双酚 A 型聚碳酸酯的改性 ..... | (107) |
| 9 聚醚类塑料 .....           | (111) |
| 9.1 聚甲醛 .....           | (111) |
| 9.2 聚苯醚 .....           | (121) |
| 10 热塑性聚酯 .....          | (129) |
| 10.1 聚对苯二甲酸乙二醇酯 .....   | (129) |
| 10.2 聚对苯二甲酸丁二醇酯 .....   | (134) |
| 10.3 热塑性聚酯的加工和应用 .....  | (138) |
| 11 氟塑料 .....            | (141) |
| 11.1 聚四氟乙烯 .....        | (141) |
| 11.2 聚三氟氯乙烯 .....       | (148) |
| 11.3 聚全氟乙丙烯 .....       | (152) |
| 11.4 可熔性聚四氟乙烯 .....     | (155) |
| 12 聚砒类塑料 .....          | (158) |
| 12.1 聚砒塑料的制备 .....      | (159) |
| 12.2 聚砒塑料的结构与性能 .....   | (161) |
| 12.3 聚砒塑料的成型加工与应用 ..... | (169) |
| 13 热固性树脂 .....          | (178) |
| 13.1 酚醛树脂 .....         | (179) |
| 13.2 不饱和聚酯树脂 .....      | (188) |
| 13.3 环氧树脂 .....         | (195) |
| 13.4 氨基树脂 .....         | (199) |
| 14 塑料助剂 .....           | (205) |
| 14.1 增塑剂 .....          | (205) |
| 14.2 稳定剂 .....          | (234) |
| 14.3 填料 .....           | (268) |
| 14.4 其他助剂 .....         | (279) |
| 15 塑料的选材与配方设计 .....     | (313) |
| 15.1 塑料配方设计中的选材原则 ..... | (314) |
| 15.2 配方设计的实例 .....      | (317) |
| 15.3 塑料配方的实验设计 .....    | (324) |
| 附录 常用聚合物及助剂英文缩写 .....   | (331) |
| 参考文献 .....              | (350) |

## 1

## 概 论

## 1.1 塑料材料的发展简史

19 世纪以前,人们只能依靠木材、金属、水泥、玻璃等作为工程材料,直到 1856 年人类用合成方法生成了第一种塑料——硝化纤维。但是硝化纤维素难于加工成型,因此人们又在其中加入樟脑,使其易于加工成型,从而做成了用樟脑增塑的硝化纤维,一种被称为“赛璐珞”的塑料材料,并在 1872 年实现了工业化生产。“赛璐珞”得到了极为普遍的应用,可以用来制作台球、乒乓球、梳子、电影胶片、照相底片、人造纺丝织物等。

进入 20 世纪,新的塑料品种相继出现。在 20 世纪初期,科学家们研究了苯酚与甲醛的反应,发现在不同的条件下可得到两类不同的树脂结构:一种是在酸催化下生成线型结构的酚醛树脂,另一种是在碱催化下生成体型结构的酚醛树脂。酚醛塑料是人类历史上第一种完全靠化学合成方法生产出来的合成树脂,从此以后,合成高分子材料迅速扩展并进入了工业化生产。1918 年出现了脲醛塑料。20 世纪 30 年代,第一家生产聚苯乙烯的工厂投产,随后聚氯乙烯和聚甲

基丙烯酸甲酯也实现了工业化生产。1939年合成的尼龙66也实现了工业化生产,同年用高压法生产的低密度聚乙烯问世。20世纪40年代,塑料工业有了更快的发展,出现了更多的新品种,相继产生了聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、抗冲击性聚苯乙烯、ABS、尼龙6、尼龙610等品种。20世纪50年代至60年代,高分子合成工业的发展日新月异,新的产品和新的生产工艺层出不穷,多种合成材料和性能优异的特种塑料不断出现,如尼龙11,三聚氰胺甲醛塑料,高、中密度聚乙烯,聚甲醛,聚碳酸酯,氯化聚醚,聚苯硫醚(1963年),聚苯醚(1964年),聚砜,聚对苯二甲酸乙二醇酯(1965年),聚酰亚胺(1965~1967年)和聚对苯二甲酸丁二醇酯(1967~1970年)等。我国于1958年成功地研制出尼龙1010。随着科学技术的迅猛发展,对高分子材料的性能要求也越来越高,工程塑料和功能塑料的需求量越来越大。20世纪70年代,工程塑料中的新品种聚醚醚酮、聚芳酯、聚苯酯投入市场。后来还出现了某些新品种。但塑料材料的发展更多的是通过共聚、填充、增强、合金化等途径,改进已有塑料材料的性能,从而满足日益拓宽的应用要求。

我国的塑料工业几乎是从无到有并不断取得迅速发展的。特别是在20世纪80年代以后,发展速度极快,平均年产量以每年15%的速度递增,到2005年,我国五大合成树脂的总产量为2142万吨,进口树脂为1879万吨,出口为186万吨。全国的表观消费量为3835万吨,世界排名第二,仅次于美国。

高分子材料是新兴材料学科,也是当今优先发展的重要技术。进入21世纪,随着科学技术的进步和经济发展的需要,高性能的高分子材料迅猛发展,如具有高强度、高模量、高冲击性能以及耐高温性能等的高分子材料为航天航空、交通运输、汽车、电子等工业的发展提供了有利的条件。现在,高分子材料正向功能化、智能化、精细化方向发展。在所有高分子材料(如塑料、橡胶、纤维)中,塑料材料的应用最广,品种最多,生产量最大,与人们的生活和技术的发展关系最密切,发展潜力也最大。随着对高分子合金、复合材料、特殊功能材料以及纳米材料的深入研究和技术开发,塑料材料的未来发展前景将是其他材料无法比拟的。

塑料材料学是以高分子化学、高分子物理、高分子成型工艺等学科为基础,研究高分子材料的合成与改性、结构与性能、加工技术及开发应用的一门科学。对于从事高分子材料科学的研究、技术开发与应用的科技人员,应深入了解塑料材料的制备方法、组成、结构与性能及其加工方法,利用现有的塑料材料,不断研究开发出性能更优异的塑料材料新品种,以满足人们生活的需要和科学技术发展的需要。

应当看到,我国的合成树脂工业虽然取得了巨大成就,但与世界发达国家相比,还有较大差距,人均产量远低于世界发达国家水平,合成树脂仍需大量进口。但从目前的发展速度来看,我国的塑料工业在新的世纪里将会取得更大的发展。

## 1.2 塑料材料的分类

塑料的制备一般以树脂为基材,按需要加入适当助剂组成配料,然后借助成型工具,在一定温度和压力下模塑制成一定的形状和尺寸,最后经冷却变硬或在成型的温度下交联固化变硬,从而获得能保持某种形状和尺寸的塑料制品。塑料制品的性能虽然与其他组分的加入有重要关系,但主要取决于树脂的特性。

树脂是一种高分子材料,可以天然生成,也可以人工合成。现今用于制备塑料的树脂,几乎都是由人工合成的。树脂是这样一种聚合物:受热时通常有软化或熔融范围;软化时,在外力的作用下有流动倾向;常温下是固态、半固态或假固态聚合物,有时也可以是液态聚合物。广义地讲,树脂是作为塑料基体材料的任何聚合物。

广泛用于国民经济中的塑料大约有 40 多种,彼此性能互有差异。其分类方式很多,主要有以下几种。

### 1.2.1 按基体树脂分子链受热反应特性分类

#### 1.2.1.1 热塑性塑料

热塑性塑料是指成型后经再加热可重新软化、熔融和冷却硬化并能反复成型加工的一类塑料。其树脂在加工前后都为线型结构,可反复受热软化,成型加工中几乎不发生化学变化,在软化、熔融状态下可进行各种成型加工,熔体冷却至软化点以下能够保持一定的形状。这是由于在热塑性塑料的配料中,树脂的分子链是线型或仅带有支链,不含有可以产生链间化学反应的基团,所以在加热过程中不会因为发生交联反应而形成链间化学键,即在加热和冷却变硬的过程中,只发生了物理变化。本书中介绍的热塑性塑料具体是聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、聚砜、热塑性聚酯等。热塑性塑料生产量大,是应用最为广泛的一类塑料材料。

#### 1.2.1.2 热固性塑料

热固性塑料是指成型后不能再加热软化、熔融而反复成型加工的一类塑料。其树脂在加工前为线型预聚体,在第一次加热时可以软化流动,加热到一定温度

时因发生分子链间化学反应而形成化学键,使不同的分子链之间交联,形成网状或三维体型结构从而变硬,这一过程称为固化。树脂固化是不可逆的化学变化,以后再加热塑料时,由于分子链交联的化学键束缚,原有的单分子间不能再产生滑移,具有不溶不熔的特点,使材料不能再软化流动,如果温度再升高,只能炭化。本书中介绍的热固性塑料具体包括酚醛塑料、不饱和聚酯、环氧塑料、氨基塑料等。

## 1.2.2 按树脂大分子的有序状态分类

### 1.2.2.1 无定型塑料

无定型塑料是指聚合物中大分子的分子链排列是无序的,大分子链以无规线团的方式相互穿插,混乱地堆砌缠结在一起。无定型塑料无明显熔点,它的熔化有一个较宽的温度范围。常用的无定型塑料有聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚砜、丙烯酸酯类、聚苯醚等。

### 1.2.2.2 结晶型塑料

结晶型塑料是指聚合物中大分子的分子链排列是远程有序的,分子链之间相互有规律地折叠,整齐而紧密地堆砌。结晶型塑料有比较明确的熔点,它的熔化温度范围较窄。对于同一种塑料如果处于结晶态,其密度总是大于处于无定型时的密度,随着结晶度的提高,其硬度、强度、刚度也增大,但透明性下降。典型的结晶型塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛、聚四氟乙烯等。

塑料材料晶体结构的特点之一是结晶不完善,既有结晶区域也有无定型区域,很少有完善的百分之百的结晶状态。因此,通常所谓的结晶型塑料,实际上都是半结晶型塑料。结晶型塑料的结晶度与结晶条件有关,可以在较大范围内变化。对于热固性塑料来说,由于树脂分子链间相互交联,各分子链间不可能互相折叠并整齐而紧密地堆砌成很有序的状态,因此,热固性塑料不可能处于结晶状态。只有热塑性材料才能有结晶状态。

## 1.2.3 按塑料的特点和应用角度分类

按塑料的特点和应用可大致分为通用塑料、工程塑料和特种塑料三大类。

### 1.2.3.1 通用塑料

通用塑料指生产量大、应用范围广、成型加工性能好、成本相对低廉的一类塑料,其产量占整个树脂总产量的90%以上。常见的通用塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、丙烯酸酯类、氨基树脂、酚醛树脂等,其中聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯和酚醛树脂是当今应用范围最广、产量最大的塑料品种,

被称为五大通用塑料。

通用塑料容易成型加工,对于热塑性树脂可采用注射、挤出、吹塑、压延等多种成型工艺方法获得塑料制品,对热固性树脂可采用压制、传递模塑成型工艺获得塑料制品。一般来说,通用塑料的强度、硬度、抗冲击、耐热性能较低,而且收缩率大,制品的尺寸稳定性差,不适合制作承受较大载荷的塑料结构件和在较高温度下工作的工程用制品,也不能制作尺寸精度要求较高的塑料制品。

### 1.2.3.2 工程塑料

工程塑料除具有通用塑料的一般性能外,还具有某些特殊性能,其收缩率小,制品尺寸稳定性好,尺寸精度高。工程塑料具有优异的耐热性和耐化学性,在苛刻的化学环境中可以长时间工作,并保持固有的优异性能。与通用塑料相比,力学性能较为突出,如拉伸强度、弯曲强度、冲击强度、刚度、硬度、抗摩擦磨损、抗疲劳、抗蠕变等性能,一般都超过了通用塑料。某些工程塑料还具有综合的力学性能。

工程塑料的主要品种有 ABS、聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、热塑性聚酯、聚苯醚等。工程塑料生产批量较小,其用量仅占整个树脂总产量的 5% 左右。大部分工程塑料的成型加工性能不如通用塑料,甚至成型难度很大,而且造价较高,因而应用范围受到限制。

### 1.2.3.3 特种塑料

特种塑料具有独特性能,其产量少,价格较高,应用范围较窄。主要包括耐热塑料、阻隔塑料及导电塑料等,主要品种有聚砜、聚酰亚胺、聚苯硫醚、有机硅、氟塑料等。

应该指出,对通用塑料、工程塑料和特种塑料的分类并不是绝对的。某些通用塑料经过改性,可以提高许多性能,亦可当作工程塑料应用。如 ABS 是通用塑料聚苯乙烯经过改性的产品,由于 ABS 具有综合的力学性能,被列为工程塑料。ABS 价廉易得,生产批量大,价格比其他工程塑料便宜,用量大,用途又广,而且 ABS 熔体黏度适宜,流动性较好,便于成型加工,在某种意义上,又可以把它视为通用塑料。又如聚乙烯是经典的通用塑料,但超高分子量聚乙烯因其具有优异的耐磨性被视为工程塑料。随着合成技术的不断进步,塑料材料应用领域的拓宽及新型材料的不断出现,人们将会不断地研制新材料,而且更多的是在现有材料的基础上对其进行改性,以满足塑料制品的使用性能。所以,某些工程塑料作为通用塑料应用,而某些通用塑料由于改性使性能改善,也可作为工程塑料应用。



#### 1.2.4 按树脂的化学组成分类

该分类方法是按树脂大分子链上官能团特性而分类,一般可分成如下几类。

(1)聚烯烃塑料。聚烯烃塑料是指大分子主、侧链上都为烃类结构的一类塑料,主要包括聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚1-丁烯、聚异戊二烯等。

(2)乙烯基塑料。乙烯基塑料是指大分子主链为烃类结构,而侧链为非烷烃取代基的一类塑料,主要包括聚氯乙烯、聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯及聚全氟乙烯等。

(3)聚酰胺塑料。聚酰胺塑料是指大分子链中含有酰氨基团的一类塑料,主要包括 PA66、PA6、PA11、PA12、PA610、PA1010 等。

(4)聚酯类塑料。聚酯类塑料是指大分子链中含有酯基结构的一类塑料,主要包括 PET、PBT、PMMA、PC、PAR 等。

(5)聚醚类塑料。聚醚类塑料是指大分子主链上含有醚键的一类塑料,主要包括 POM、PPS、PPO、PES、PEEK 等。

以上的几种分类方法都在某种程度上说明了塑料的某些特性或属性,但也存在种种不足,在实际应用中也有将几种分类方法结合起来使用的。

### 1.3 塑料材料的特性与应用

塑料材料尽管品种繁多,性能也差别很大,但是,与其他材料相比,仍具有共同特性,表现为以下几个方面。

#### 1.3.1 质轻

塑料材料的密度比金属材料 and 无机材料低很多,普通塑料材料的密度一般为  $0.9 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$ 。无定型塑料的密度低,结晶型塑料的密度要高一些,但大多数通用塑料的密度都在  $1.0 \text{ g/cm}^3$  左右。在要求减轻自重的用途中,如航天航空及运输行业,塑料材料有着特殊重要的意义,得到广泛应用。例如,飞机上大量采用聚碳酸酯这种塑料材料就是为了减轻自重。

#### 1.3.2 力学性能

塑料材料的力学强度和模量一般都比金属低很多,但由于密度比金属材料低得多,所以比强度较高。有些塑料的比强度甚至超过了金属材料的比强度,像

聚酰胺类塑料、纤维增强塑料等。

塑料材料是已知材料中力学强度数值可变化范围最宽的材料。不同塑料材料的力学强度差别很大,拉伸强度从 10 MPa 至 50 MPa 甚至更大的都有。大多数塑料的模塑制品的刚度与木材相近。从柔顺到坚韧甚至到刚脆都有。这就是树脂性能的多样化,为实际应用提供了刚柔程度各不相同的树脂品种。

塑料材料的力学性能与其加工条件密切相关,这也是塑料材料的性能区别于其他材料的最突出特点。即使是同样的树脂,在不同的成型加工条件下,其聚集态结构(结晶、非晶态、取向等)也完全不同,从而导致了力学性能的差别。

### 1.3.3 电性能

在电性能方面,绝大多数塑料是优良的电绝缘材料,具有很高的电阻率,体积电阻率高达  $10^{14} \sim 10^{18} \Omega \cdot m$ ,而且相对介电常数(简称为介电常数,下同)和介电损耗都非常低。因此塑料是电子电气和电线电缆上广泛使用的绝缘材料。大多数塑料在低频、低压条件下具有良好的电气绝缘性,还有不少塑料即使在高频、高压条件下也能作为电气绝缘材料和电容器介质材料。但由于新型导电合成树脂的出现,具有特殊结构的树脂可以达到金属良导体铜、铝的导电水平,这成为近年来研究开发的热点。

### 1.3.4 隔热、减震、消音性能

塑料是热的不良导体或绝热体,其热导率极小,是金属热导率的 1/100 甚至 1/1 000。一般塑料的热导率为  $0.14 \sim 0.44 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,泡沫塑料的热导率更低,只有同种塑料的 1/10。因此,塑料材料是优良的保温隔热材料,广泛用于冷藏、建筑、节能装置和其他绝热工程。许多塑料受到外界机械冲击震动或频繁的机振、声振等机械波作用时,塑料内部产生黏弹内耗,将机械能转变为热能而散发。因此,工程上常利用塑料材料(泡沫塑料)作为减震和消音材料。

### 1.3.5 成型加工性能

绝大多数塑料熔点比较低,一般在  $300 \text{ }^{\circ}\text{C}$  以下即可熔化,受热熔化后,具有较好的流动性,可以利用成型设备和模具,将其加工成形状很复杂的塑料制品,而且成型效率很高,只要一次成型即可。塑料的成型加工方法主要有注射、挤出、中空吹塑、压延、浇注、滚塑、发泡、热成型等,也可以进行焊接、机械加工(钻、铣、刨、车削)等。

### 1.3.6 耐磨性能

大多数塑料摩擦因数很小,有些塑料还具有优良的减磨、耐磨和自润滑特性。用工程塑料制作的制品可以在各种液体摩擦、边界摩擦和干摩擦等条件下有效地工作。有些塑料的耐磨性为许多金属材料所不及。例如,各种氟塑料以及用氟塑料增强的聚甲醛、聚酰胺塑料就是良好的耐磨材料,超高分子量聚乙烯也具突出的耐磨损性能。

### 1.3.7 化学性能

塑料的耐酸碱能力远高于金属。通用树脂中,聚乙烯、聚丙烯等结晶型聚合物能耐强酸(强氧化性酸除外)、强碱,在室温下也不溶于大多数有机溶剂。号称“塑料王”的聚四氟乙烯更是具有突出的耐溶性和耐腐蚀性,甚至在“王水”中也不会被溶解,这对于金属材料是无法想象的。一般塑料都有较好的化学稳定性,对酸、碱、盐溶液,蒸汽,水,有机溶剂等具有不同程度的稳定性,因此,塑料被广泛地用作防腐材料。

### 1.3.8 光学性能

从色彩上来看,大多数塑料材料在可见光区域内没有特别的吸收,所以基本上是无色的。不少塑料如聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚碳酸酯和丙烯酸酯类等是无定型(或很少结晶)的。有些塑料(如聚酯、尼龙等)虽然结晶度较高,但其晶粒可以控制得很小,所以许多塑料制品可以做成透明或半透明材料。高透明的塑料透光率与玻璃相当,如聚苯乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯的透光率高达 92% ~ 93%,可透过可见光的 99%,而其密度仅为玻璃的 1/2 左右,常用作特殊环境下玻璃的替代品。利用聚丙烯、聚乙烯、聚酰胺等材料制作的塑料薄膜,既透光又保暖,大量用于保护农作物。

由于塑料材料具有优良的综合性能,所以在工农业生产、日常生活、国防以及科技领域中获得相当广泛的应用。但是,塑料也有许多缺陷,主要存在的不足有五个方面:①热塑性塑料的耐热性一般都较低,通用塑料的长期使用温度在 50 ~ 90 ℃,工程塑料能高于 100 ℃,但一般也不能高于 200 ℃,远低于金属材料;②塑料的许多性能对温度的依赖性十分显著,即使是不太高的温度,也足以改变大分子的热运动方式和聚集态结构,从而影响到塑料几乎所有的性能;③塑料的强度、刚度、硬度低,用作机械零件使用受到限制;④由于塑料的收缩率较大,耐老化性较差,导热性不良和热膨胀系数大,而且塑料制品在长期使用过程中易产

生蠕变、冷流、疲劳和后结晶等现象,所以不易成型尺寸精密的制品;⑤许多塑料还存在易燃问题等。所以,必须通过各种手段对塑料材料进行改性,改善塑料不足的方面,以满足对塑料材料的各种使用要求。

## 1.4 塑料辅助材料——助剂

塑料助剂是指塑料在生产或成型过程中,为改善成型加工工艺、提高塑料制品的使用性能所添加的各种辅助化学药品。塑料助剂常被称为“辅助材料”、“添加剂”或“配合剂”,所以,简称“助剂”。大部分助剂是在塑料成型过程中添加于树脂中的,是塑料加工过程中必不可少的添加剂,它可以改善塑料原料的工艺性能和加工条件,提高生产效率,改进制品性能,延长其寿命,从而在很大程度上弥补塑料本身存在的缺陷。

通常使用的塑料助剂有十几类。随着塑料品种的增多、用途的扩大和加工技术的不断进步,助剂的品种越来越多,成为种类十分繁杂而颇具规模的精细化工行业。助剂中既有无机物又有有机物,既有单一物,又有混合物,既有低分子化合物,又有高分子化合物,因此助剂的分类比较复杂。根据助剂的功能可分为九类:①稳定化助剂,其中包括热稳定剂、光稳定剂、抗氧剂和防霉剂;②提高力学强度的助剂,其中包括增强剂、偶联剂、抗冲改性剂、填充剂和交联剂;③提高加工性能的助剂,其中包括润滑剂、加工改性剂、脱膜剂、滑爽剂和防粘连剂;④提高柔质化和轻质化的助剂,其中包括增塑剂和发泡剂;⑤改进制品表面和外观的助剂,其中包括抗静电剂、防雾滴剂和着色剂;⑥难燃化助剂;⑦阻燃剂;⑧驱避剂;⑨金属钝化剂;等等。本书主要介绍常用的塑料助剂,如增塑剂、热稳定剂、光稳定剂、抗氧剂、润滑剂、阻燃剂、偶联剂、发泡剂、着色剂、抗静电剂和填料等。

有些塑料在成型加工前必须添加助剂,否则将无法成型,例如聚氯乙烯塑料的分解温度比熔融温度低很多,为防止成型加工过程中的热降解,成型时要加入热稳定剂和相应的其他助剂。聚氯乙烯塑料也是塑料中使用助剂最多的塑料品种,除了施加热稳定剂外,为使聚氯乙烯塑料具有柔韧性及弹性而加入增塑剂,为防其老化而加入抗氧剂和光稳定剂,为提高其物理学性能而加入改性助剂,为使其获得一定的色彩而加入着色剂,为使其易于成型而加入内、外润滑剂等等。聚丙烯是一种极其易氧老化的聚合物。用纯聚丙烯压制的薄片在 150 ℃ 的条件下只要半个小时便全部脆化;然而在聚丙烯树脂中加入少量的抗氧剂,在同样温