

SU LIAO MU JU JI SHU

• 张孝民 主编

塑料模具技术

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



塑料模具技术

张孝民 主编



机械工业出版社

本书的主要内容有塑料的基本性能；注射、吹塑、挤塑、热压成型等各类塑料模具的设计基础；电火花加工、铣削、电铸工艺、研磨抛光、化学腐蚀、快速制模等各种制造工艺；模具材料的选用；模具制造的质量控制以及模具 CAD/CAM/CAE 基础。书中大量采集了实际生产中的先进经验，结合理论进行简明的叙述，通俗易懂。可供模具设计与制造工艺技术人员使用，也可作为模具专业大、中专师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料模具技术/张孝民主编. —北京: 机械工业出版社, 2003. 6
ISBN 7-111-12165-1

I. 塑... II. 张... III. 塑料模具—技术 IV. TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 037271 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 季顺利 陈保华 责任编辑: 陈保华

版式设计: 张世琴 责任校对: 李汝庚

封面设计: 张 静 责任印制: 闫 焱

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm × 1400mm B5 · 8.125 印张 · 312 千字

0 001—4 000 册

定价: 24.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

前 言

塑料模具近年来在我国有了很大的发展，大量的新技术、新工艺、新材料得到推广应用，国际先进技术的引进，尤其是计算机技术和数控加工的飞速发展和在传统制造业中的应用，更加快了模具行业的发展。模具设计已从过去的凭经验、手工绘图，发展到今天通过人机对话，能迅速设计出模具的总图，运用模具 CAE 可以模拟塑料在模具中的流动状态，确定浇口位置，克服塑料成型中可能出现的问题。而模具 CAM 的广泛应用，更促进了模具向大型、精密、复杂发展。模具制造周期也大大缩短。所有这些都要求我们的模具设计、制造技术人员要掌握大量涌现的新知识。本书的目的就是希望及时地、较为系统地将最新的生产实践中的知识介绍给读者。

本书由张孝民同志主编，参与本书编写的人员有：钟兆灯、戴吉亮、梁继才、姚龙、林美玉、夏重如、孙锡红等同志。

在本书的编写过程中得到了周沈琪、陆殿武先生的大力帮助，在此表示感谢。

目 录

前言

绪论	1
----------	---

第 1 章 塑料及其成型	3
--------------------	---

1.1 塑料及其特性	3
------------------	---

1.1.1 塑料	3
----------------	---

1.1.2 塑料的基本特性	9
---------------------	---

1.2 塑料成型的主要方式	19
---------------------	----

1.2.1 注射成型	19
------------------	----

1.2.2 吹塑成型	23
------------------	----

1.2.3 塑料的热成型	28
--------------------	----

1.3 注塑模 CAE	32
-------------------	----

第 2 章 塑料注射模设计	35
---------------------	----

2.1 注射模设计	35
-----------------	----

2.1.1 注射模基本结构	35
---------------------	----

2.1.2 浇注系统设计	69
--------------------	----

2.1.3 型腔、型芯等成型零件尺寸计算	102
----------------------------	-----

2.1.4 型腔壁厚与底板厚的刚度计算	112
---------------------------	-----

2.1.5 模具与注射机的关系	118
-----------------------	-----

2.2 注射模 CAD 技术	122
----------------------	-----

2.2.1 概述	122
----------------	-----

2.2.2 塑件和模具的几何建模	123
------------------------	-----

2.2.3 塑件和模具建模中曲线曲面的拼接和追加造型	128
----------------------------------	-----

2.2.4 注塑模 CAE 分析的建模	130
---------------------------	-----

2.2.5 模架结构及其标准件的 CAD	133
----------------------------	-----

2.3 气体辅助注射成型	138
--------------------	-----

2.3.1 气体辅助注射成型技术简介	138
--------------------------	-----

2.3.2 气体辅助注射成型生产工艺设计	140
----------------------------	-----

2.3.3 气体辅助注射成型注气嘴结构设计	143
-----------------------------	-----

2.3.4 气体辅助注射成型制品的常见缺陷及防治	145
--------------------------------	-----

第 3 章 挤塑模设计	149
-------------------	-----

3.1 挤塑成型原理	149
------------------	-----

3.1.1 挤塑机	150
-----------------	-----

3.1.2 机头	150
3.2 挤塑模的典型结构	152
3.2.1 机头	152
3.2.2 口模	153
3.2.3 定型套	154
第4章 吹塑模设计	157
4.1 成型原理	157
4.1.1 中空吹塑制品的特殊要求	157
4.1.2 塑料的选用	157
4.1.3 成型方法	158
4.1.4 成型工艺控制	159
4.2 吹塑模的典型结构	159
4.2.1 挤吹法模具的设计	159
4.2.2 注吹法模具的设计	163
4.2.3 注拉吹模具的设计	166
第5章 热成型模设计	167
5.1 热成型模的原理	167
5.2 热成型方法及模具的基本结构	167
5.2.1 差压成型	168
5.2.2 压制成型	168
5.2.3 热成型模的设计	168
5.3 冰箱门胆真空吸塑模	170
5.3.1 模具设计应考虑的各项因素	170
5.3.2 模具小凸台的抽芯机构	171
5.3.3 密封槽翻转机构	171
5.4 修边模	172
第6章 塑料模具制造技术	173
6.1 模具零件的加工工艺	173
6.1.1 铣削加工的特点及其应用	173
6.1.2 钻加工	176
6.1.3 电火花线切割加工	179
6.2 铣削加工	181
6.2.1 影响铣削量的因素	181
6.2.2 铣削用量的合理选择	182
6.2.3 提高铣削用量的实践	185
6.3 电火花加工	185
6.3.1 电加工的原理	185
6.3.2 电加工机床的选用	188

6.3.3 电加工规准的选定	189
6.4 研磨与抛光	194
6.4.1 研磨与抛光工艺	194
6.4.2 影响研抛的主要因素	196
6.4.3 研抛器械	196
6.5 电铸	197
6.5.1 电铸的原理	197
6.5.2 电铸在模具制造中的应用	200
6.6 化学腐蚀加工	201
6.6.1 化学腐蚀加工的原理	201
6.6.2 化学腐蚀在模具制造中的应用	203
6.7 数控编程与加工	204
6.7.1 数控编程基础	204
6.7.2 数控加工中心编程基础	219
6.8 快速制模	227
6.8.1 直接法快速制模	227
6.8.2 间接法快速制膜	228
第7章 模具设计制作中的质量管理	232
7.1 健全有效的质量保证体系	232
7.2 合同评审	233
7.2.1 合同评审的程序	233
7.2.2 合同评审的内容	234
7.2.3 合同评审的时间	234
7.3 设计制作过程的质量控制	234
7.4 检验	235
7.4.1 质量检测系统	235
7.4.2 检测器具的选用及其精度保证	236
7.5 质量体系的内审	237
第8章 模具调试	238
8.1 试模的准备	238
8.1.1 模具的准备	238
8.1.2 试模材料的准备	238
8.1.3 试模机床的选定	239
8.2 试模工艺条件的选定	240
8.3 试模制品缺陷分析	241
第9章 塑料模具用材料的选用	243
9.1 塑料模具用材料的要求	243
9.2 塑料模具常用材料	245

9.3 其他模具材料	247
9.4 塑料模具钢的成型工艺	247
参考文献	250

绪 论

塑料模具作为塑料工业的基础,随着市场经济的飞速发展受到了极大的挑战。汽车的内饰件、灯具反光镜等塑料制品复杂的外形,而钟表、DVD 光驱用传动齿轮等塑制件又有很高的精度要求。很短的制模周期、相当的寿命是模具制造的又一项重要指标,例如有的仅需几十、几百模次(可用简易快速制模法),有的如制瓶用吹塑模却需要上千万模次,制模周期要求越来越短。各种特殊的成型方式的出现等等,都要求塑料模具技术有相应的提高。而计算机技术的飞速发展,适时地给模具技术配上了腾飞的翅膀,彻底改变了手工作坊式的模具设计和制作。在模具设计中广泛地运用 CAD(计算机辅助设计),不但抛弃了沿用上百年的图板,而且由于计算机的快速运算和大容量的内存,使得复杂的曲面生成、快速的作图以及丰富制模技术经验的综合、推广成为可能,不少 CAD 软件已具有某些智能化的功能。例如,有些 CAD 软件可以运用人机对话的形式,输入塑料制品的某些外形特征(外形主要尺寸、分型面位置、抽芯位置、脱模方向等)即可画出模具总图。各种模具零件的标准化及其数据图库的运用更缩短了模具设计周期和制造时间。而对某些无法用数学方式描述的形状,则可以运用计算机反向(求)工程的方法获得,即首先将一些需要复制的样件进行仿形三坐标测量,计算机在获得有关数据之后,通过相应的软件运算得到与原型相同的三维曲面图形及其数据,而后运用这些获得的图形和数据进行模具设计和制作,从而大大提高模具制作水平。在模具设计中为了更加准确,缩短试模、调正、修模的周期和降低费用,常常运用计算机 CAE 技术(计算机辅助分析),进行模内塑料流动、压力场、温度场的分析,对模具设计中的流道、浇口等浇注系统设计、冷却系统设计以及模具强度校验提供了十分有力的参考意见。在模具制作过程中更是离不开计算机技术,模具的计算机辅助制造(CAM)的推广使用已经有数十年的历史,近年来已经趋于普及,而其技术也日益完善,复杂型面的加工,编程和加工周期的大幅度降低,加工精度的提高等等可以用日新月异来形容也不为过,不少 CAM 软件,不但有快速、复杂造型的功能,而且可提供大量切削经验数据,以便编程和操作人员参考使用。加工过程中的测量、计划编制、生产准备、工具管理、生产调度等等也都有计算机技术参与其中。模具设计、制作过程中的经验、教训的记录、统计、分析及其智能软件的编制也同样离不开计算机技术。当然这丝毫不能替代机械加工、电加工等传统加工工艺的重要性,这些工艺也有很大的发展,例如高速切削工艺及机床、低损耗高效电加工工艺及机床以及一些全新观

念的机械成型工艺，如三维等离子堆积成型、三维激光成型等等。因此可以这样说，当今的模具技术是不断发展的传统技术和现代计算机技术的完美结合。因此只有将二者融合在一起，运用自如，尽力发挥，才能不断将塑模技术推向新的高度。

塑料模自身的成型技术也在不断得到发展。例如高速高精度挤塑工艺及模具、高速吹塑成型工艺及模具、注压成型工艺及模具、模内反应成型工艺和模具、多色注塑成型模、气体辅助注塑成型工艺和模具等等。为了获得满意的外形，一是要求加工精良的型腔、型芯，二要有合适的浇注系统和冷却系统的设计，例如大型平板状塑制件模具的进料浇口位置考虑到塑料流纵横收缩的不一致性，就应采用侧面薄膜式，而冷却亦必须均匀。一些带有筋的塑制件，由于收缩的不一致，就应采用气体辅助注塑成型工艺，这类模具又有其特殊的设计。精密塑件注塑模，则无论是模具零件的加工精度，还是浇注系统、型腔型芯尺寸的计算等等都要有特殊的处理。冷却系统的计算和设计也显得尤为重要，冷却的速率必然影响到塑制品的生产率，而冷却的均匀性则影响到塑制件的精度，尤其是型芯的冷却已有多种形式出现，热管冷却也已在模具冷却系统中得到应用。排气系统的设计也是十分重要的一环，可以防止塑件的缺陷和烧焦，有些特殊场合已使用多孔金属排气，其通气孔直径为 $3 \sim 10\mu\text{m}$ ，厚度为 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 。注压成型模具已被广泛用于激光唱片、激光打印机等光学塑性零件的压制，其工作过程是注射前模具先行闭合且留有适当的距离，然后注射熔融料进入密封的型腔（型腔设计成阶梯形），而后进一步推进动模达到完全闭合，塑件成型、冷却后开模，塑件脱模取出，塑制件在成型过程中，由于减小了模腔内压力，即降低了注射压力，减小了塑件的残余应力，且之后的压制又减小了塑件的分子取向，从而达到了光学零件对复映的要求。

模具技术是一种综合型技术，要求从事模具技术工作者，密切注意和学习相关知识，并运用到实际工作中为模具行业的发展而努力。

第 1 章 塑料及其成型

1.1 塑料及其特性

1.1.1 塑料

塑料是 20 世纪发展起来的一类新型的高分子材料，它是以人工合成的高分子量的有机化合物（即高聚物）为主体的物料。它具有良好的成型加工可塑性，在一定的温度下，通过模具可以成型为具有一定形状的制品，并在常温下能保持既定的形状。由于塑料通常都具有质轻、比强度高、耐化学腐蚀和电绝缘等优良性能，又具有价廉和成型加工方便等特点，在国民经济各个领域得到广泛的应用，获得飞跃的发展，成为现代世界上不可缺少的材料。

1.1.1.1 塑料的分类

塑料的主要成分高聚物，即合成树脂，种类繁多。不同的树脂和塑料其使用性能和加工性能不同，分类如下。

一、按树脂的热效应分类

按树脂的热效应分为热塑性树脂和热固性树脂两大类。

1. 热塑性树脂。由热塑性树脂所成的塑料叫热塑性塑料，它占塑料总产量的大多数。这类树脂是高分子（分子量 1 万以上）的线型或支链线型的聚合物，通常是无色、白色或淡棕色等粉状或块状的固体；它具有可熔可溶的特点，既可以在一定的温度下熔化为熔融体，也可以溶解于适宜的溶剂而成为溶液，当温度下降或溶剂析出后仍为固体；这样的过程可以反复进行多次，其制品仍具可塑性，成型过程仅发生物理变化。

2. 热固性树脂。由热固性树脂所成的塑料叫热固性塑料。这类树脂通常是分子量小于 1 万的线型的含有化学活性基团的低聚物，可以是无色或淡棕色的粘稠液体或脆性固体；它也具有可熔可溶的特点，通过流动而成型，是一个物理和化学变化过程，它是在成型的同时因热和固化剂的作用固化为制品的。这类塑料只能进行一次成型，其制品不再可塑，是坚硬的热固性塑料制品。

二、按树脂的大分子物理结构分类

按树脂的大分子物理结构分为无定型树脂和结晶型树脂，这里主要是指热塑性的树脂，因为热固性树脂都是无定型的。

1. 无定型树脂。即非晶型树脂。这类树脂的大分子结构规整性差，分子与分子之间的聚集堆砌杂乱无章。其性能总的来说是力学强度较低、脆性较大、耐

热和耐介质性能偏低；但其透明度好、光学性和物理力学性能没有方向性的缺点，成型加工相对容易些。

2. 结晶型树脂。这类树脂的大分子排列整齐而有规律，能形成结晶体；通常其性能较好，如力学强度、刚性和韧性都较好，耐热及耐介质性好；但透明性要差些，制品的光学性和力学性能往往存在各向异性，成型加工性能较差。

但是，结晶型或无定型树脂都不是绝对的，即结晶型树脂中并非 100% 都是结晶结构，而无定型树脂中也可能有少部分晶区结构，实际上各种树脂在常温下都可能有两种结构并存；通常把结晶度小于 15% 左右的称非晶型树脂，而结晶度大于 30% 的是结晶型树脂。塑料成型工艺与树脂的结晶度关系很大，而工艺条件的变化，又影响制品的结晶情况，进而影响到制品的使用性能。

三、按树脂的应用分类

按树脂的应用通常可分为通用树脂和工程树脂，个别热性能突出的，近年来出现少数耐高温树脂，如聚酰亚胺树脂（PI）。

1. 通用树脂（塑料）。在目前世界年产量 1 亿多吨的塑料中，有 80% 以上是通用塑料。由于其产量大、价格较低，广泛应用在民用及一般工农业技术上。这些树脂总体性能都较好，但不具备突出的性能。通用塑料包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲基丙烯酸甲酯、酚醛树脂和脲醛树脂等 7 种，其中以前 4 种产量最大，占塑料总产量 70% 以上。

2. 工程树脂（塑料）。产量约占总量 10% 左右，价格比通用塑料高，它不但可以用于通用塑料的应用范围，更为主要的是用作工程上的结构材料，常用来代替金属作机器和仪器的零部件，广泛应用到机电、仪表、汽车、电子、化工、医用与纺织等工业上，而且又是现代国防科技、宇航尖端技术领域不可缺少的材料。

工程树脂都有较高的力学强度，能耐 100℃ 以上的温度，有较好的耐热性能，此外还具有耐燃、耐腐蚀、耐磨损、蠕变小且刚而韧等优良性能。常见品种有尼龙、涤纶、聚碳酸酯、聚甲醛、氟塑料、ABS 塑料、聚砜、聚苯醚、氯化聚醚和聚酰亚胺等。

1.1.1.2 常用树脂（塑料）

1. 聚乙烯（PE）。聚乙烯是目前国内外产量最大的树脂，为结晶型、热塑性树脂。由于大分子结构上的差异，结晶度差别较大；通常可分 3 类，它们的性能、加工与应用也有所不同。

低密度聚乙烯（LDPE），又称高压聚乙烯，其加工容易，性能一般，常用作包装材料、日用和农用塑料制品。

高密度聚乙烯（HDPE），又称低压聚乙烯，其强度和耐热性比前者好，在日用塑料和工农业方面应用广泛。

线性低密度聚乙烯 (LLDPE)，性能和应用介于上述二者之间，其密度较低而性能较好。

聚乙烯突出的优点是质轻、价廉和电绝缘性能好，纯聚乙烯加工很方便；若在其中加入各种配合剂所成改性塑料，能大大提高其机械强度，目前已得到很大的发展。

2. 聚丙烯 (PP)。作塑料用的聚丙烯是等规度高的一类，是结晶型热塑性树脂。聚丙烯除了具有聚乙烯同样的质轻、价廉、介电性能好之外，其力学强度和耐热性比聚乙烯好得多；缺点主要是耐寒、耐氧化性差些。纯聚丙烯主要用于日用制品及作包装材料，此外，它又通过共聚、共混成塑料合金材料，或通过填充与交联等手段改性，大大提高了使用性能；在汽车、电器、机械和化工等各方面都得到广泛的应用。

3. 聚氯乙烯 (PVC)。结晶度仅 5% 左右，是无定型热塑性树脂，具热敏性，其分解温度低于熔化温度，加工较困难；必须加入热稳定剂和增塑剂才能成为塑料，具有可加工性。

聚氯乙烯塑料中按其所含增塑剂的多少，通常可分为软聚氯乙烯及硬聚氯乙烯两大类，前者广泛用于民用制品，农用及包装薄膜，以及电线电缆等方面；后者则广泛用于建筑材料及化工耐腐蚀方面。

聚氯乙烯的机械性良好，耐化学腐蚀和耐候性较突出，最大缺点是耐热性不大好。聚氯乙烯适用多种成型工艺，产量大且价廉，是重要的塑料品种之一。

4. 聚苯乙烯 (PS)。非晶型热塑性塑料，通常是作单组分塑料进行加工和应用的，它最主要的优点是质轻、透明、易染色，成型加工性能良好；广泛应用于日用塑料、电器零件、光学仪器及文教用品。最大缺点是性脆、不耐寒也不耐热，为了改进缺点，通常以少量橡胶或其他树脂共混改性，所得合金材料大大开拓了使用范围，如高抗冲聚苯乙烯 (HIPS) 等。

5. 聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)。俗称有机玻璃，是具有像普通玻璃那样刚性透明的非晶型热塑性塑料。它有良好的综合性能，尤其是优越的光学性能，机械强度在塑料中属于中等，主要缺点是硬度低、耐磨性和耐热性差，吸湿性大，质轻脆易开裂。常用模型浇铸或注射成型制品，广泛用于航空、仪器仪表、光学和医用器材、无线电工以及建筑的装饰与指示等方面。

6. 聚碳酸酯 (PC)。透明的无定型热塑性树脂，其透光率与有机玻璃相近，但机械强度要好得多。它的抗冲性能是热塑性塑料中最为突出的品种之一，抗蠕变性能也很好，且机械强度受温度影响变化小。其最大的缺点是制品易开裂，一般是应力开裂和溶剂开裂，为此，通常是以其他树脂改性，或用玻璃纤维增强，得以改善。

由于具有比较全面的优良性能，聚碳酸酯常用来代替铜、锌和不锈钢等金属

材料, 广泛应用于机械工业的齿轮、轴承, 电器、电子工业零部件, 航空、宇航, 光学照明, 汽车零件及建筑装璜等方面。

7. 聚酰胺 (PA)。又称尼龙或锦纶, 大多为乳白色的结晶型热塑性塑料; 有很多品种, 常见的有尼龙 6、尼龙 66、尼龙 610 及尼龙 1010 等。

尼龙具有优良的力学性能, 其弹性模量比金属低得多, 能吸收冲击能, 它振动时发出噪声小, 用它作机械零部件有良好的消声效果。尼龙又有很好的抗冲击性能, 且其强度不会因温度和湿度的增加而下降, 反而有所提高。尼龙的耐磨性很突出、摩擦系数小, 是一种自润滑材料。

尼龙吸湿性大, 耐热和电性能不大好, 它对多种化学药品能耐受, 但不耐强碱。

为了改善尼龙的热变形温度低、吸湿性大和蠕变性大等缺点, 常用减摩剂和填料改性, 以玻璃纤维增强尼龙在机械工业、纺织器材等方面得到了广泛应用。

尼龙的成型加工最常用是注塑, 部分品种可采用单体模型浇注成型, 即所谓 MC 尼龙。

8. 聚甲醛 (POM)。白色结晶型热塑性塑料, 有均聚和共聚型, 二者性能差异较大。均聚型密度大, 结晶度高、热稳定性差且加工困难; 共聚型则与此相反, 故常见的多为共聚型。

聚甲醛有良好的力学性能, 其强度和刚性均比聚碳酸酯和尼龙好, 耐冲击性与耐磨性突出, 与尼龙相仿。

其主要缺点是耐热差、易脆、收缩大, 耐大气老化性差, 其成型加工较难。为改善这些缺点, 主要是填充配合或与其他树脂共混改性。

聚甲醛在机电、汽车、精密仪器、仪表等方面常常用来代替有色金属和合金。

9. 氯化聚醚 (CPT)。又称盼通, 是结晶型热塑性塑料。其特点是综合性能均衡, 强度中等; 较突出的特点是化学稳定性好, 仅次于氟塑料; 其次是尺寸稳定性较好, 且在干湿状态下变化不大。最大缺点是低温脆性大、刚性差。通常是以玻璃纤维增强, 或与其他树脂共混成塑料合金, 其缺点得到很大的改善。

氯化聚醚常用注塑和挤出成型, 是优良的化工耐腐蚀材料, 也常用来代替有色金属和合金钢作机械、仪器仪表的零部件。

10. 聚苯醚 (PPO)。无定型塑料。力学性能良好, 其突出特点是抗拉强度高, 抗冲击性能好, 特别是缺口抗冲击要比聚碳酸酯好, 在很低的温度下抗冲击强度变化不大; 硬度大, 刚性和抗蠕变性好, 热变形温度高, 即使是反复多次成型加工, 制品性能下降不多。电性能优良, 在较宽的频率、温度和湿度变化范围内其介电常数及介电损耗值低而且变化不大, 在高温下有较高而且稳定的体积和表面电阻。吸水性极小, 耐水、耐蒸汽, 尺寸稳定性好。因此, 被称为很多方面

具有热固性塑料特点的热塑性工程塑料。

聚苯醚主要是通过注射和挤出成型，制品广泛用于机械、化工、医药、电器电子及国防科学等尖端技术上。

11. 聚砜 (PSF)。无定型热塑性塑料。有很高的机械强度和抗蠕变性，有良好的电性能，耐寒和耐热性能均好，即使在高温下也能保持常温时所具有的多项力学性能，这是一般的工程塑料所不及的。此外，它耐辐射、吸水性小、尺寸稳定性好。常用注射或挤出成型，制品广泛用于汽车、电器、电子和机械工业等方面。

12. 氟塑料。氟塑料是高度结晶型的热塑性塑料，最主要的是聚四氟乙烯，其次是聚三氟氯乙烯、聚全氟乙丙烯等。

聚四氟乙烯 (PTFE) 的机械强度，尤其是硬度、刚性等均比其他工程塑料甚至比某些通用塑料都差，但它最突出的特点是既耐热又耐寒，可以在 $-200 \sim 250^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内长期使用；它的化学稳定性优于其他塑料，它几乎能耐任何浓度的酸、碱及其他化学药品，其稳定性甚至超过堪称稳定性之最佳的白金，故有塑料王之称；它又有非常好的介电性能，且不受环境、温度和频率的影响；此外，它又是摩擦系数最低的最好的自润滑材料。

PTFE 的成型加工与大多数塑料不同，通常不适用直接进行挤出或注塑，最常用的是以室温下模压成锭而后烧结成型，并且往往须进行机械加工等后序加工才能得到最终制品。若经填充或与个别其他树脂共混改性，可改善其加工性能。

主要应用在电工电器、土建、医疗、食品等工业，化工耐腐蚀材料以及国防科学尖端技术等方面。

13. 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)。通常称为涤纶或叫聚酯，是结晶型热塑性塑料。纯 PET 的抗冲击及耐热性能都不大理想，但经玻璃纤维增强的聚酯玻璃钢，其各项性能都大大提高，增强效果远胜过增强尼龙和聚碳酸酯。增强聚酯的抗拉、抗弯强度是热塑性塑料最高的，抗拉强度比不增强前提高 50%，抗冲击强度提高 1 倍，抗弯强度达到轻金属水平；此外，它还有很好的抗疲劳性能。

纯 PET 大量用于包装材料，最主要的是以注射—拉伸—吹塑的中空容器，此外，大量用做薄膜，广泛用于文教、医用片基及机电绝缘材料等。

聚酯玻璃钢常用作耐高温、高强度绝缘材料，耐腐蚀化工材料及机械、纺织机器零部件。

PET 的成型技术要求较高，常用的是挤出和注射成型等。

14. 聚氨酯 (PU)。最常见的是聚氨基甲酸酯，线形大分子结构的聚氨基甲酸酯是热塑性塑料。聚氨酯有较高的机械强度，耐油、耐磨和耐寒性能都很好。

聚氨酯最主要的制品是软、硬泡沫塑料；其他制品是耐油电线电缆护层、胶

辊、密封圈、运输带、联轴器及齿轮等。成型加工常用模压与浇注等。

15. 丙烯腈—丁二烯—苯乙烯 (ABS)。这是一种具有良好加工性能的非晶型热塑性塑料, 是包含 3 种组分的共聚物。ABS 有良好的综合性能, 特别是抗冲击性能、电性能和耐寒性能, 其注射和挤出的制品, 广泛用于机电工业的轴承、齿轮和叶轮, 把手; 仪器仪表及家用电器的外壳和零部件; 纺织器材、汽车和飞机零部件等。

ABS 是第一种塑料合金, 可以由苯乙烯、丁二烯和丙烯腈 3 种组分按一定的比例和排列规律进行共聚合而得; 也可以由 3 种组分各自的聚合物以一定的比例进行机械共混合而成。3 组分的共聚或共混合所成的新材料包含了原来各组分的特点, 而且按组分的含量大小, 某一些性能有所侧重, 这样的 3 组分性能得到了互补, 取长补短, 使 ABS 具有原来 3 组分所没有的某些新的性能, 成为应用十分广泛的重要的工程塑料。

16. 酚醛树脂 (PF)。酚醛树脂是非晶型热固性的低聚树脂, 有热固性, 成型后的最终状态是体型高聚物。单纯酚醛树脂直接成型是很少的, 因其制品很脆且强度低; 通常都是加入大量的填料, 经过配制成热固性塑料, 如压塑粉即电木粉, 酚醛玻璃钢等。常以注塑、模压和浇注等工艺成型制品。

酚醛树脂是第一种人工合成的树脂, 其塑料制品有良好的机械强度和尺寸稳定性, 耐热、耐酸碱及耐磨性也很好; 由于电性能好, 在电工、电器方面应用广泛, 通常称为电木, 如灯头、开关、插座、继电器及仪器仪表的外壳等。酚醛玻璃钢在机械工业上广泛用作齿轮、轴瓦等。此外酚醛树脂在电子工业上作紧固封装材料以及航天技术的烧蚀材料等。

17. 脲醛树脂 (UF)。脲醛树脂是氨基树脂类最重要的热固性树脂, 其塑料成型时固化为体型高聚物。以纸浆填充所得的粉状物俗称电玉粉, 制品色彩鲜艳、电性能良好, 常用作电工电器和日用制品。脲醛塑料的性能、应用及加工等大致同酚醛塑料, 但其耐水性和电性能均比酚醛差些。

三聚氰胺甲醛塑料是另一类氨基塑料, 也称密胺塑料, 其电性能、耐水性及机械强度比脲醛树脂好得多, 但价格贵。

18. 环氧树脂 (EP)。环氧树脂是粘稠液体或脆性固体, 线形环氧树脂是热塑性的, 若不加入固化剂可长期保存。大多数情况下都是加入填充剂等制成粉状塑料或玻璃纤维等增强塑料, 并且要在固化剂作用下成型为热固性制品。其制品强度大、抗水性和电性能等均优于酚醛。液态环氧树脂常用于浇注制品, 也用于浸渍片状填料后作层压塑料, 广泛用于汽车、建筑、造船和航空工业等领域。

19. 不饱和聚酯 (UP)。热固性塑料, 常用苯乙烯交联, 固化后制品硬度大, 电性能、耐水性和耐候性都很好, 除去强酸、强碱、酮类及氯化烃外能耐其他所有的化学药品。该树脂成型时没有低分子物质放出, 可常温常压下成型。约

80%的不饱和聚酯用于制造玻璃钢制品，成型方法常用浇注法、喷射成型以及其片状模塑料（SMC）模塑成型。模具材料可以使用金属或其他材质。不饱和聚酯应用广泛，如飞机部件、汽车外壳、火车车箱、船艇外壳、建筑用瓦楞板、人造大理石、化工设备和管道，以及电器绝缘材料等。

1.1.2 塑料的基本特性

1.1.2.1 塑料的流动

塑料的成型技术和方法很多，其中最主要的是塑料的熔体通过流动和形变而实现的。

塑料的主体是聚合物，它成型时在外力作用下，必然会产生与外力相平衡的力，称之为应力。塑料成型技术中归纳起来主要产生的是三种应力：即剪切应力，如熔体在圆形管道或狭缝间隙间的流动，是因为流体质点所处的位置不同，流速不同形成速度梯度所产生的；其次是拉伸应力，即塑料成型时受到拉伸作用而产生的，拉伸应力有时与剪切应力同时出现，如熔体在挤出吹塑时被拉伸、熔体在锥形流道上的流动等；再次是压缩应力，是熔体受到压缩作用而产生的，在模压成型时压缩应力是较为主要的应力。

塑料熔体在应力作用下是要发生与外力相适应的形变的，称之为应变，以 γ 表示。应变是随时间而变化的，单位时间内的应变称应变速度，以 $\dot{\gamma}$ 表示。

$$\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt} \quad (1-1)$$

如果是剪切作用力，以 τ 表示剪切应力单位是帕（Pa）， $\dot{\gamma}$ 为剪切速率，单位是 s^{-1} 。

应力和应变存在一定的关系，即应变的方式和速度与应力的性质和作用的位置有关。

一、聚合物熔体的流动行为

熔体的流动性能即可塑性，主要表现为熔体粘度的变化，即粘度大小代表熔体的流变行为，这是塑料熔体成型的重要参数。剪切应力对熔体的流动和形变的影响是最重要的，根据熔体在流动过程粘度与应力的关系，通常将聚合物熔体的流动分为两大类，即牛顿型流体及牛顿流动、非牛顿型流体及非牛顿流动。

1. 牛顿流体的流动。牛顿在研究低分子流体的流动行为时，发现了流体受到剪切应力与剪切速度之间存在如下的关系：

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1-2)$$

式中 τ ——流体层单位表面所加的剪切应力（Pa）；

$\dot{\gamma}$ ——剪切速度（ s^{-1} ）；

η ——比例常数（ $Pa \cdot s$ ）。