

模具制造技术培训读本

塑料模具设计与制造过程仿真

北京意达利技术开发有限责任公司 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书选取典型实例，详细阐明了塑料成型工艺及其模具设计、制造和操作的相关知识和要点。对其中实训性强而用文字难于直观表达的内容，辅以光盘，通过从制件到制件的实例演示，用动画形式整合塑料材料、制件、成型工艺、成型设备、模具设计的相关制造环节，形象地展现了塑料模具设计、安装、装配的全过程。

本书可供模具制造领域的工程技术人员和一线工人阅读，也可供职业院校模具专业的学生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料模具设计与制造过程仿真/北京意达利技术开发
有限责任公司编. —北京: 化学工业出版社, 2007. 1
(模具制造技术培训读本)
ISBN 978-7-5025-9961-4

I. 塑… II. 北… III. ①塑料模具-设计-技术培训-
教材②塑料模具-制造-技术培训-教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 011134 号

责任编辑: 张兴辉 刘丽宏
责任校对: 宋 玮

文字编辑: 项 激
装帧设计: 史利平

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: 北京市彩桥印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张 13 字数 244 千字 2007 年 5 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: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

进入 21 世纪, 科学技术以迅猛的速度向前发展, 从而推动了社会的进步和经济的繁荣。根据世界范围的社会科学经济发展趋势预计, 在新的世纪, 我国将成为全球最大的加工制造工厂或加工制造基地。模具工业是现代加工制造业一个重要的组成部分, 对今后国民经济和社会的发展将起到越来越重要的作用。有人说: “模具是一切工业之母, 其制造技术是工业生产的核心技术”。国际生产技术协会预测在 21 世纪, 机械零部件中 60% 的粗加工, 80% 的精加工要由模具来完成, 采用模具生产零件具有效率高、质量好、节能降耗、生产成本低等一系列优点。

目前我国模具技术人员短缺, 模具设计与制造技术人才已经成为“紧缺人才”。要解决这一问题, 模具技能型人才的培训是关键。《模具制造技术培训读本》(简称《读本》) 就是为满足模具领域工程技术人员和一线工人以及部分高职院校模具专业人员培训的需要, 邀请具有丰富教学和培训经验的专家编写的。《读本》按照模具行业从业人员的职业特点, 本着以综合素质为基础, 以能力为本的原则, 以企业需求为基本依据, 以就业为导向, 适应企业技术发展, 从生产实践角度精选内容, 系统介绍模具设计与制造的相关知识和技能, 帮助读者学习掌握模具加工的核心技术, 为模具行业培养综合型、复合型人才做贡献。《读本》共 7 册, 包括《模具制造基础》、《模具识图与制图》、《塑料成型工艺与注塑模具》、《冲压工艺及模具》、《模具加工与装配》、《塑料模具设计与制造过程仿真》、《冲压模具设计与制造过程仿真》。

本书是《塑料模具设计与制造过程仿真》分册, 全书具有如下特点。

1. 书中选取典型实例, 用简洁文字提炼出模具制造技术人员应该掌握的相关知识和模具设计、制造、操作注意要点, 内容包括塑料材料基础知识、塑料成型的基本原理和塑料制造的工艺设计、塑料模具的各种基本结构与设计过程。

2. 光盘将塑料材料、制件、成型工艺、成型设备、模具设计的全过程用动画形式整合, 直观、形象地展现了塑料模具设计、安装、装配的全过程。

3. 通过从制件到制件的实例演示, 简化难点, 突出重点, 便于读者学习掌握模具设计与制造的相关知识和要点。

本书由曾鸿达、李世革、梁珮瑄策划; 理论部分由付宏生主编; 多媒体动画制作与编程部分由李世革、刘栋、刘家颐、张淑娟等人完成; 全书由曾鸿达

统稿。

本书在编写过程中得到有关企业、科研院所、教学单位的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编者

目 录

第 1 章 塑料材料与塑料制品	1
1.1 认识塑料	1
1.1.1 塑料的一般特性	1
1.1.2 塑料的分类	4
1.1.3 塑料的特殊性质	5
1.1.4 常用塑料的特点、性能和应用	6
1.2 塑料制品造型设计	17
1.2.1 塑料制品设计原则和方法	17
1.2.2 塑料制品的细部设计	18
1.2.3 塑件的孔与凸凹设计	30
第 2 章 塑料注射成型工艺与设备	40
2.1 塑料注射成型机	40
2.1.1 注射成型机的结构	40
2.1.2 注射成型机的工作过程	41
2.1.3 注射成型机的分类	42
2.1.4 几种常用塑料注射成型机的技术规范	43
2.2 塑料注射成型工艺	44
2.2.1 塑料成型工艺过程	44
2.2.2 注射成型过程	46
2.2.3 制件的后处理	49
2.2.4 回料利用	49
2.2.5 注射成型工艺条件的选择与控制	50
2.2.6 塑料材料成型过程中应注意的问题	59
第 3 章 塑料成型模具	64
3.1 塑料成型模具的典型结构	64
3.1.1 塑料成型模具的分类	64
3.1.2 塑料注射成型模具的分类与结构	65
3.2 模具与注射机的关系	70
3.2.1 几种常用塑料注射成型机的技术规范	70
3.2.2 注射机有关工艺参数的校核	70
3.3 浇注系统的设计	80
3.3.1 浇注系统的设计要点	80

3.3.2	浇注系统的组成	81
3.4	成型零件的结构设计	100
3.4.1	注射成型分型面的选择	100
3.4.2	成型零件的结构形式及设计	103
3.5	注射成型模具合模导向机构	121
3.5.1	导向零件的作用	122
3.5.2	导向零件设计原则	122
3.5.3	导柱的结构、特点及用途	123
3.5.4	导套和导向孔的结构、特点及用途	127
3.5.5	锥面定位结构	128
3.6	支承零件	129
3.6.1	动模板、定模板	129
3.6.2	支承板	129
3.6.3	垫块	130
3.7	推出机构的分类及设计原则	131
3.7.1	推出机构的分类	131
3.7.2	推出机构的设计原则	131
3.7.3	推杆推出机构	132
3.7.4	推管与推板推出机构	134
3.7.5	推出机构的导向与复位	137
3.7.6	其他推出机构设计	139
3.8	侧向分型与抽芯机构	148
3.8.1	侧向分型与抽芯机构示例	148
3.8.2	侧向分型与抽芯机构的分类	149
3.8.3	抽芯距与抽芯力的计算	149
3.8.4	斜导柱分型与抽芯机构	152
3.8.5	斜滑块分型与抽芯机构	164
3.9	模具的加热与冷却装置	169
3.9.1	模具的加热与冷却装置概述	169
3.9.2	对模具温度控制系统设计的基本要求	170
第4章	塑料注射模具设计与制造全过程	172
4.1	生产塑料制品模具设计步骤	172
4.1.1	接受设计任务	172
4.1.2	收集、分析、消化原始资料	172
4.2	加工实例	176
4.2.1	注射模具设计与制造实例一	176
4.2.2	注射模具设计与制造实例二	176

第 1 章 塑料材料与塑料制品

1.1 认识塑料

最早的塑料可追溯到 1860 年，以后被美国称为“赛璐珞”，是由美国纽约印刷工人海厄特发明的。直至 1907 年贝克兰申请酚醛塑料专利时，纯粹人工合成塑料问世。到 20 世纪 30~40 年代，塑料工业终于发展成为现代工业的重要组成部分。合成树脂、合成橡胶、合成纤维这三大合成材料，成为当今材料工业的一个重要支柱，其中合成树脂的产量最大、应用最广。

1.1.1 塑料的一般特性

以树脂为主要成分，加入各种能够改善其加工及使用性能的添加剂，在特定温度、压力等条件作用下，能制成特定形状，并在常温、常压下形状不变的材料，通常称为塑料。塑料的共性如下。

- ① 主体是树脂。
- ② 在特定条件下可塑，且能连续形变。
- ③ 在常温、常压下具有一定强度和刚性。

树脂按其来源又可分为天然树脂和合成树脂。天然树脂如虫胶、琥珀等。合成树脂种类繁多，可达数千种，且随化学工业的发展不断地增加，但塑料工业中常用的树脂，主要有几十种。

塑料成分中除树脂外，为了改善其性能，常添加增塑剂、稳定剂、润滑剂、着色剂、阻燃剂、抗静电剂、填料或发泡剂等。

1. 增塑剂

增塑剂是为了改善聚合物成型时的流动性能和增进制件的柔顺性所添加的助剂。它能降低聚合物分子之间的作用力，这种作用就称为增塑作用。

增塑剂通常是一类对热和化学试剂都很稳定的有机物，大多数是挥发性低的液体，少数则是熔点较低的固体。从化学组分来看，有磷苯二甲酸酯、脂肪族二元酸酯、石油磺酸苯酯、磷酸酯、聚酯、环氧化合物等。对增塑剂的要求是与聚合物相溶性良好，挥发性低；此外还要兼顾色、臭、毒、可燃和吸水性能。

聚合物大分子链以次价力的形式形成的连接点在分子热运动中呈解而复结的动平衡，而聚合物整体具有刚性。加入增塑剂后，增塑剂分子“插入”聚合物分子之间，并与它们的活性中心形成解而复结的动平衡。相对地说，原来的“聚合物-聚合物”连接点由于“增塑剂-聚合物”连接点的介入而减少。因此分子间的作用力降低，导致聚合物性能发生变化。

2. 稳定剂

阻缓塑料变质的物质称为稳定剂。添加稳定剂的目的是制止或抑制聚合物因受外界因素（光、热、病菌等）影响所引起的破坏作用，因此有热稳定剂、光稳定剂、抗氧剂等种类，以满足工程应用的需要。但如果按稳定剂的作用原理来分类，则有紫外线抗御剂、抗氧剂、转变降解催化剂的物质和去活性中心的物质四类。这里简要说明紫外线抗御剂的使用，以便防止塑料光学元件的光降解。

日光中的紫外线约占 5%，波长范围为 290~400nm。因光子能量与波长成反比例关系，其辐射能量足以引起一般有机物化学键的破坏。户外或照明用塑料之间常因此而变质、开裂、变色、起泡，乃至完全粉化。为此，需用紫外线抗御剂，但透明度略逊。

紫外线抗御剂的作用形式有两种：其一是比聚合物先吸收了入射的紫外线而放出光能或热能，减缓或免除聚合物的降解，这类物质称为紫外线吸收剂或蔽光剂；其二是移出聚合物吸收的光能量，使内储的光能量不足以引起光降解，这类物质称为能量转移剂。

3. 填料（填充剂）

填料一般都是对聚合物呈惰性的粉末状物质。它的加入是为了改善塑料的成型性能，提高制件的使用性能，赋予塑料新的特性和降低成本（含量可达近 40%）。常用的填料及其作用见表 1-1。

与聚合物相似，填料的颗粒大小和表面状况对塑料性能有一定影响，离子愈细对制件稳定性和外观等的改善作用就愈大。此外，还要求填料分散性良好，不吸油和水（潮气），稳定且不严重磨损设备等。填料的加入并不是单纯的混合，而是有次价力的存在，当聚合物分子量较大时则显得相当可观，从而改变了分子间的构造，降低结晶倾向，提高玻璃化温度和硬度。但是填料的使用常会使塑料的强度和耐低温性降低，量大时会使加工性能和表面光泽变差，所以需对品种和加入量进行严格控制。

4. 增强剂

加入聚合物中的纤维类材料，以使其力学性能得到补强，这些纤维类材料称为增强剂。实际上它也是一种填料，往往用于热固性塑料，近来也在热塑性塑料中广泛应用，但对成型性能影响较大，设备磨蚀也大。

表 1-1 常用的填料及其作用

序号	填 料 名 称	作 用
1	碳酸钙	用于聚氯乙烯、聚烯烃,提高制品耐热性、硬度;降低收缩率,降低成本;因遇酸易分解,不宜用于耐酸性制品
2	黏土、高岭土、滑石粉、石棉、云母	用于聚氯乙烯、氯烯烃等,改善加工性能,降低收缩率,提高制品的耐药物性、耐燃性、耐水性及降低成本;提高制件刚性、尺寸稳定性以及使物件具有某些特点(如滑石粉可降低摩擦因数,云母可提高介电性能)
3	炭黑	用于聚乙烯、聚烯烃等,提高制件导电、导热性能,也作着色剂、光屏蔽剂
4	二氧化硅(白炭黑)	用于聚氯乙烯、聚烯烃不饱和聚酯、环氧树脂等,提高制件介电、抗冲击性能;可调节树脂的流动性
5	硫酸钙(石膏)、亚硫酸钙	用于聚氯乙烯、丙烯酸类树脂等,降低成本,提高制件尺寸稳定性、耐磨性
6	金属粉	用于各种热塑性工程塑料、环氧树脂等,提高塑料导电、传热、耐热等性能
7	二氧化铂、石墨	用于尼龙浇注制件等,提高表面硬度,降低摩擦因数、线胀系数,提高耐磨性
8	聚四氟乙烯粉	用于聚氯乙烯、聚烯烃及各种热塑性工程塑料,提高制品的耐磨性、润滑性等

主要使用的增强剂是玻璃纤维及织物。由于玻璃纤维是由玻璃制成的,其许多物理、化学性能与玻璃完全相同,而强度要比玻璃高得多,这是因为玻璃拉成丝后,内部细微裂纹大为减少。玻璃纤维耐高温(高达 300°C),线胀系数为 $4.8\times 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$,热导率又小,因此能提高耐热、绝热性能;而且耐蚀性能(除氢氟酸和热的浓磷酸外)、电绝缘性能也都很好。

此外,木材、纸、石棉、棉麻和合成纤维也用作增强剂。为满足某些尖端技术的需要(如宇航、火箭、原子能方面),也使用耐高温、高强度的特种玻璃纤维和无机材料作增强剂。

5. 色料(着色剂)

色料赋予塑料以色彩或特殊的光学性能,不仅能使制件鲜艳、美观,有时也能改善制件的耐候性。

给予色彩的色料主要有颜料(无机、有机)和染料;给予特殊光学性能的有金属絮片,珠光、磷光、荧光色料等。一般要求色料性能稳定、不分解、易扩散,耐光和耐候性优良,不发生从制件内部向表层析出、移向与其接触的其他物质的迁移现象。

6. 润滑剂

为改善塑料熔体的流动性能,减少、避免对成型设备的摩擦、磨损和黏附,以及改进制品的表面粗糙度而加入的一类助剂称为润滑剂。

润滑剂分为内、外两类。前者在聚合物中具有有限的相溶性，主要作用是减少聚合物分子的内摩擦；后者与聚合物的相溶性很低，能保留在塑料熔体的表面以降低与成型设备间的摩擦。

7. 其他主要助剂

防静电剂、阻燃剂、驱避剂等助剂也是塑料组成中不可缺少的成分。通常塑料在成型过程中与模具或设备表面间都有静电电荷积蓄（在后续的加工或传输中还有可能增强）。携带静电表面容易吸尘，过强时会危及人身，甚至引起火灾。于是，为使制品表面具有导电的分子层以消除带静电现象而采用防静电剂。而驱避剂的添加是为了抵御、避免和消灭制品在储运、使用过程中可能遭受的鼠、虫、菌等的侵蚀。

对热固性塑料而言，有时需要加交联剂（硬化剂），使树脂分子向三维发展并逐渐构成巨型网状结构。

8. 特殊助剂

在某些场合，为使塑料制品能够满足特殊需要而加入一些特殊用途助剂，最典型的一种是发泡塑料制品中的发泡剂。

1.1.2 塑料的分类

1. 根据塑料热行为分类

根据塑料热行为的不同，可将塑料分为热塑性塑料和热固性塑料。

（1）热塑性塑料 热塑性塑料在加热到一定温度时可软化甚至熔融流动，冷却后又能固化为一定形状，这个过程可反复进行。常见的热塑性塑料品种有：聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、聚酰胺（PA）、聚甲醛（POM）、饱和聚酯（SP）、聚四氟乙烯（PTFE）等，以上为结晶型塑料；聚氯乙烯（PVC）、聚苯乙烯（PS）、聚碳酸酯（PC）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）、聚砜（PSF）等，以上为非结晶型塑料。热塑性塑料中的合成树脂一般为线性高分子，成型时，在热作用下主要发生物理状态的变化，并且这种变化具有可逆性。热塑性塑料成型容易，成型效率高且经济性较好。

（2）热固性塑料 热固性塑料受热时，其中的合成树脂将发生化学变化，树脂（或称聚合物）分子由线性或支链结构通过交联反应变为体型结构，塑料也因此固化定性。固化后的热固性塑料预热不再熔融，也不溶入有机溶剂。常见的热固性塑料品种有：酚醛（PF）塑料、环氧（EP）塑料、脲醛塑料、不饱和聚酯（UP）塑料、氨基塑料等。

与热塑性塑料相比，热固性塑料有耐热性好、尺寸稳定性好、价廉等优点，但成型相对复杂，成型效率也较低。随着热固性塑料性能的改进及成型新方法的不断涌现，这一点也在不断得到改善。

2. 根据塑料的使用特点分类

(1) 通用塑料 指产量大、用途广、价格低廉的一类塑料。如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛塑料、氨基塑料等，它们约占塑料产量的 60%。

(2) 工程塑料 指力学性能好，可以替代金属用作工程材料的一类。如尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛、ABS 等。

(3) 特种塑料 环氧塑料、氟塑料等。

1.1.3 塑料的特殊性质

1. 质量小

一般塑料的密度与水相近，大约是钢的 $1/6$ 。虽然塑料的密度小，但是它的强度比木材、玻璃、陶瓷等要高得多。有些塑料在强度上甚至可以和钢铁媲美。这对于要求减轻质量的车辆、船舶和飞机有着特别重要的意义。由于质量小，塑料特别适合制造轻巧的日用品和家用电器零件。

2. 比强度高

如果按单位质量来计算材料的抗拉强度（称为比强度），则塑料并不逊于金属，有些塑料，如工程塑料、碳纤维增强塑料等，还远远超过金属，所以一般塑料除制造日常用品外，还可以用于工程机械中。纤维增强塑料可以用作负载较大的结构零件。塑料零件在运输工具中所占的比例越来越大。目前，在轿车中塑料的质量约占车质量的 $1/10$ ，而宇宙飞船中的塑料约占飞船总体积的 $1/2$ 。

3. 耐化学腐蚀能力强

塑料对酸、碱、盐等化学物质均有耐腐蚀能力，其中，聚四氟乙烯是化学性能最稳定的塑料，它的化学稳定性超过了所有的已知材料（包括金和铂）。最常用的耐腐蚀的材料为硬聚氯乙烯，它可以耐浓度达到 90% 的浓硫酸、各种浓度的盐酸及碱液，被广泛用来制造化工管道及容器。

4. 绝缘性能好

塑料对电、热、声都有良好的绝缘性能，被广泛用来制造电绝缘材料、绝热保温材料以及隔声吸声材料。塑料优越的电气绝缘性能和极低的介电损耗功能，可以与陶瓷和橡胶媲美。除用作绝缘材料外，现又制造出半导体塑料、导电导磁塑料等，它们对电子工业的发展具有特别重要的意义。

5. 光学性能好

塑料的折射率较高，并且具有很好的光泽。不加填充剂的塑料大都可以制成透光性良好的制品，如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等都可以制成晶莹透明的制件。目前这些塑料已广泛用于制造玻璃窗、罩壳、透明薄膜以及光导纤维材料。

6. 多种防护性能

上述塑料的耐腐蚀性、绝燃性等，皆体现出塑料对其他物质的防护性，塑料还具有防水、防潮、防辐射、防振等多种防护性能，被广泛用来制造食品、化工、航天、原子能工业的包装材料和防护材料。

应该指出的是，塑料也存在着一些缺点，在应用中受到一定的限制。一般塑料的刚性差，如尼龙的弹性模量约为钢铁的 $1/100$ 。塑料的耐热性差，在长时间工作的条件下一般使用温度在 100°C 以下，在低温下易开裂。塑料的热导率只有金属的 $1/600\sim 1/200$ ，这对散热而言是个缺点。若长期受载荷工作，即使温度不高，塑料也会渐渐产生塑性流动，即产生“蠕变”现象。塑料易燃烧，在光和热的作用下性能容易变坏，发生老化现象。所以，在选择塑料时要注意扬长避短。

1.1.4 常用塑料的特点、性能和应用

1. 聚乙烯 (PE)

(1) 聚乙烯的性能 纯净的聚乙烯外观是乳白色蜡状固体粉末，微显角质状，无味、无臭、无毒。除薄膜外，其他制品皆不透明，这是由于制品具有较高结晶度的缘故。

聚乙烯可以分为低密度聚乙烯 (LDPE)，密度范围 $0.91\sim 0.925\text{g}/\text{cm}^3$ ；中密度聚乙烯 (MDPE)，密度范围 $0.926\sim 0.94\text{g}/\text{cm}^3$ ；高密度聚乙烯 (HDPE)，密度范围 $0.941\sim 0.97\text{g}/\text{cm}^3$ 。用高压法制得的一般都是低密度聚乙烯，少数情况下可得到中密度聚乙烯；由低压法和中压法制得的都是高密度聚乙烯。

① 聚乙烯的力学性能。其各项指标中，除冲击强度较高外，其他力学性能绝对值在塑料材料中都是较低的。LDPE 柔韧耐冲击，而 HDPE 的拉伸强度、刚度和硬度则优于 LDPE，有利于制品的薄壁化和轻量化。

常温下，HDPE 的伸长率小，延展性差，但在适当的温度条件下，具有较大的拉伸倍数，利用这一点可获得高度取向的制品。

PE 的力学性能随温度升高呈下降趋势，即使承受很小的载荷其变形温度也很低。

PE 的耐蠕变性较差，在负荷作用下，随着时间的延长而连续变形，产生蠕变，并随着负载增大，温度升高，密度降低而加剧。

环境应力开裂是指在某种环境条件下，长时间或反复施加低于塑料力学性能的应力而引起塑料外部或内部产生裂纹的现象。应力开裂的速度除与成型加工中产生的内应力和使用过程中受到的应力大小有关外，环境介质的作用是应力开裂的重要因素，如热、氧、溶剂的作用。

② 聚乙烯的热性能。聚乙烯受热后，随着温度的升高，结晶部分逐渐减少

而无定形部分逐渐增多，结晶部分完全消失时，聚乙烯即熔化。结晶完全消失时的温度称为“熔点”。聚乙烯的相对分子质量超过 1500 后，相对分子质量变化对其熔点就不再发生影响。不同密度的聚乙烯其熔点也不同。低密度聚乙烯的熔点为 $110\sim 115^{\circ}\text{C}$ ，高密度聚乙烯的熔点为 $125\sim 131^{\circ}\text{C}$ 。

随着温度的升高，聚乙烯的密度显著降低。相反，当聚乙烯熔融后，再进行冷却并降低温度，其密度将显著增加。如聚乙烯自熔点温度降至 25°C 时，其密度增加约 15%。所以熔融聚乙烯进行冷却时，容易产生内应力，处理不当会使其耐环境应力开裂性能下降。

聚乙烯的脆折温度较低，且与其相对分子质量有关。聚乙烯相对分子质量增高时，其脆折温度降低，极限值为 -140°C 。相对分子质量相同时，聚乙烯结晶度增加，脆折温度也提高。

③ 聚乙烯的电性能。聚乙烯本身无极性，决定了它有优异的介电及电绝缘性。它的吸湿性很小，小于 0.01%，使得它的电性能不受环境湿度改变的影响。聚乙烯介电常数小，约在 2.25~2.35 之间；介质损耗因数（介电损耗角正切值 $\tan\delta$ ）也很小，约为 $(2\sim 5)\times 10^{-4}$ ；体积电阻率高，大于 $10^{14}\sim 10^{15}\Omega\cdot\text{m}$ ；低密度聚乙烯介电强度约为 $181\sim 276\text{kV/mm}$ ，高密度聚乙烯可达 35kV/mm 。由于是非极性材料，其介电性能不受电场频率的影响。

④ 聚乙烯化学性能

a. 透气性。聚合物材料的透气性是由溶解和扩散两个过程引起的。气体先溶解于塑料材料中，随后扩散到气态物质浓度较低的一面，并蒸发出去。材料的分子结构、厚度、扩散介质的化学性质、浓度及环境温度等因素都会影响所透过的气体量。

各种介质对于聚乙烯的透气性与其在聚乙烯中的溶解度关系很大。通常，非极性介质的透过率大于极性介质的透过率。

b. 耐化学药品性。聚乙烯是非极性结晶聚合物，因而具有优良的化学稳定性。室温下它能耐酸、碱和盐类的水溶液，如盐酸、氢氟酸、磷酸、甲酸、乙酸、氨、氢氧化钠、氢氧化钾以及各类盐溶液，即使在较高的浓度下对聚乙烯也无显著作用。但浓硫酸和浓硝酸及其他氧化剂会缓慢侵蚀聚乙烯。温度升高后，氧化作用更为显著。

c. 耐溶剂性能。聚乙烯内聚能密度在塑料材料中属于较低的，它的溶解度参数（ δ 值）约为 $16.5(\text{J}/\text{cm}^3)^{1/2}$ 。由于它的结晶结构和非极性，在室温下没有任何溶剂可使它溶解，仅可以在 δ 值与之接近的溶剂中溶胀；随着温度的升高，可以在 δ 值与之接近的溶剂中溶解。

d. 耐老化性。在大气、阳光和氧的作用下也发生老化，具体表现为伸长率和耐寒性降低，力学性能和电性能下降，并逐渐变脆、产生裂纹，最终丧失其使

用性能。

为了防止聚乙烯的氧化降解，便于储存、加工和应用，一般使用的聚乙烯原料在合成过程中已加入了稳定化助剂，可满足一般的使用要求。在聚乙烯中添加抗氧化剂和光稳定剂等助剂，可提高耐热老化性。

(2) 聚乙烯的应用 聚乙烯是通用塑料之中产量最大且应用最广的塑料品种。聚乙烯专用于高频绝缘，还可注射成各种工业用品及日常用品，如生活用品中的水桶、各种大小的盆、碗、灯罩、瓶壳、茶盘、梳子、玩具、文具、娱乐用品等，也可制作自行车、汽车、拖拉机、仪器仪表中的某些零件。

聚乙烯树脂的鉴别方法有许多，最常用的是燃烧鉴别法和溶液鉴别法。

2. 聚丙烯 (PP)

聚丙烯在常温下为白色蜡状固体，外观与高密度聚乙烯相似，但比高密度聚乙烯轻和透明，无臭、无味、无毒，密度为 $0.90 \sim 0.91 \text{ g/cm}^3$ ，是现有塑料中最轻的一种。

(1) 聚丙烯的性能

① 聚丙烯的力学性能。聚丙烯在室温以上有较好的冲击性能，但由于它本身分子结构的规整度很高，其低温冲击强度较聚乙烯低。除环境温度外，聚丙烯的冲击强度还与等规度、相对分子质量、成型加工条件有关。

聚丙烯的刚性和硬度比聚乙烯高，两者均随等规度和熔体指数的增加而增大，在同一等规度时，熔体指数大的聚丙烯表现出高的刚性和硬度。显然，这是由于相对分子质量降低、结晶度增加。

优良的耐弯曲疲劳性是聚丙烯的一个特殊力学性能，把聚丙烯薄片直接弯曲成铰链或注射成型的铰链，能经受几十万次的折叠弯曲而不损坏。

聚丙烯有良好的耐环境应力开裂性，它的相对分子质量越大，耐环境应力开裂性越好。

聚丙烯摩擦因数小于聚乙烯，自身对磨时摩擦因数为 0.12，对钢的摩擦因数是 0.33。

聚丙烯力学方面的缺点是韧性不够好，特别是温度较低时脆性明显。

② 聚丙烯的热性能。聚丙烯的熔融温度比聚乙烯约提高 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ ，一般约为 $164 \sim 170^\circ\text{C}$ ，100% 等规度聚丙烯熔点为 176°C 。

聚丙烯的耐热性稍高于聚乙烯，无载情况下最高连续使用温度可超过 120°C ，轻载下可达 120°C ，低载下可达 110°C ，较重载荷下可达 100°C 。聚丙烯耐沸水、耐蒸汽性良好，在 135°C 的高压锅内可蒸煮 1000h 不破坏，特别适宜于制作医用高压消毒用品。聚丙烯的相对分子质量对耐热性也有影响，相对分子质量提高，热变形温度下降，但耐寒性改善。

③ 聚丙烯的电性能。聚丙烯属于非极性聚合物，具有优良的电绝缘性，并

因其吸水率小于 0.01%，它的电绝缘性不受环境湿度的影响。它的介电常数和介电损耗角正切值很小，几乎不受温度和频率的影响，因此可在较高温度和频率下使用。

④ 聚丙烯的化学性能

a. 氧化与老化。聚丙烯易受空气中氧气的氧化。尽管在氮气等惰性气体环境中具有较高的热稳定性，但当暴露在大氣中，特别是受到光和热的作用时，其性质就会逐渐变坏。试验表明：未加稳定剂的聚丙烯粉末在空气中放置 4 个月就会变质，在 150℃ 经 0.5~3.5h 就会发脆。因此，未加稳定剂的聚丙烯没有使用价值。

b. 耐化学药品性。聚丙烯具有优良的化学稳定性，除强氧化剂、浓硫酸、浓硝酸、混酸（王水）等对它有侵蚀作用外，其他试剂对聚丙烯无作用。

(2) 聚丙烯的应用 聚丙烯的注射制品表面光洁，具有高的表面硬度和刚性，耐应力开裂，耐热。聚丙烯可用于制造下列用途的制品：医疗器械具中的注射器、盒、输液袋、输血工具、病人用具；一般用途机械零件中的轻载结构件，如壳、罩、手柄、手轮，特别适用于制造反复受力的铰链、活页、法兰、接头、阀门、泵叶轮、风扇轮等；汽车零部件，如汽车方向盘、蓄电池壳、空气过滤壳、启动脚踏板、发动机等。

聚丙烯树脂的鉴别方法有许多，最常用的是燃烧鉴别法和溶液鉴别法。

3. 聚氯乙烯 (PVC)

(1) 聚氯乙烯的性能 聚氯乙烯塑料是白色或淡黄色的坚硬粉末，密度约 1.40g/cm³，纯聚合物吸湿性不大于 0.05%，增塑后吸湿性增大，可达到 0.5%，纯聚合物的透气性和透湿率都较低。

聚氯乙烯一般都加有多种助剂。不含增塑剂或含增塑剂不超过 5% 的聚氯乙烯称为硬聚氯乙烯，含增塑剂的聚氯乙烯中增塑剂的加入量一般都很小，使材料变软，故称为软聚氯乙烯。助剂的品种和用量对材料物理力学性能影响很大。

① 聚氯乙烯的力学性能。由于聚氯乙烯是极性聚合物，其固体表现出良好的力学性能，但力学性能的数值主要取决于相对分子质量的大小和所添加塑料助剂的种类及数量，尤其是增塑剂的加入，它不但能提高聚氯乙烯的流动性，降低塑化温度，而且使其变软。通常，在 100 份聚氯乙烯中增塑剂量大于 25 份即变成软质塑料，伸长率增加，而拉伸强度、刚度、硬度等力学性能均降低；增塑剂加入量小于 25 份时为硬质或半硬质塑料，有较高的力学强度。

② 聚氯乙烯的热性能。聚氯乙烯是无定形聚合物，它的玻璃化转变温度一般为 80℃，80~85℃ 开始软化，完全流动时的温度约为 140℃，这时的聚合物开始明显分解。在现有的塑料材料中，聚氯乙烯是热稳定性较差的一种，在适宜的熔融加工温度（170~180℃）下会加速分解释出氯化氢，在富氧气氛中会加剧分

解。工业上生产的各品级和牌号的聚氯乙烯都加有热稳定剂。聚氯乙烯的最高连续使用温度在 $65\sim 80^{\circ}\text{C}$ 之间。

③ 聚氯乙烯的电性能。聚氯乙烯具有较好的电性能，是体积电阻率和击穿电压较高、介电损耗较小的电绝缘材料之一，其电绝缘性可与硬橡胶媲美。随着环境温度的升高，其电绝缘性能降低；随着频率的增大，电性能变坏，特别是体积电阻率下降，介电损耗增大。聚氯乙烯的电性能还与配方中加入的增塑剂、稳定剂等品种和数量有关，与树脂的受热情况也有关。当聚氯乙烯产生热分解时，产生的氯离子会使其电绝缘性降低，如果大量的氯离子不能被稳定剂所中和，会使电绝缘性能明显下降。另外，树脂的电性能还与聚合时留在树脂中的残留物的数量有关。一般，悬浮法树脂较乳液法树脂的电性能好。

④ 聚氯乙烯的耐化学腐蚀性及耐溶剂性。聚氯乙烯的耐化学腐蚀性比较优异，除浓硫酸、浓硝酸对它有损害外，其他大多数无机酸、碱类、无机盐类、过氧化物等对聚氯乙烯无侵蚀作用，可以作为防腐材料。

增塑后的聚氯乙烯耐化学腐蚀性有所降低，降低程度与增塑剂品种和用量有关。

(2) 聚氯乙烯的应用 聚氯乙烯注射加工可用来生产凉鞋、壳体、管件、阀门、泵等制品。聚氯乙烯注射时必须使用螺杆注射机，改变不同的模具，即可生产不同制品。在注射硬质聚氯乙烯时，应选用聚合度较低的树脂，设计较好的热稳定体系和润滑体系，成型温度范围为 $160\sim 190^{\circ}\text{C}$ ，喷嘴温度一般比料筒最高温度低 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

因聚氯乙烯熔体黏度大，流动性差，宜采用较高的注射压力，通常在 90MPa 以上，保压压力为 $60\sim 80\text{MPa}$ ，模具温度一般在 40°C 以下，螺杆转速一般控制在 $20\sim 50\text{r/min}$ 之间，成型周期除大型制品或超厚制品外，一般为 $40\sim 80\text{s}$ 。

聚氯乙烯树脂的鉴别方法有许多，最常用的是燃烧鉴别法和溶液鉴别法。

4. 聚苯乙烯 (PS)

聚苯乙烯是无色、无臭、无味的透明性刚硬固体，制品掷地时有金属般响声。聚苯乙烯的透光率不低于 88% ，雾度约 3% ，折射率较大，在 $1.59\sim 1.60$ 之间，具有特殊的光亮性，在储存时易泛黄。泛黄的原因：其一是单体纯度不够，特别是含有微量硫元素时；其二是聚合物在空气中缓慢老化引起发黄。聚苯乙烯较轻，密度在 $1.04\sim 1.065\text{g/cm}^3$ 之间。

(1) 聚苯乙烯的性能

① 聚苯乙烯的力学性能。聚苯乙烯属于硬而脆的材料，拉伸、弯曲等常规力学性能皆高于聚烯烃，但韧性却明显低于聚烯烃，拉伸时无屈服现象。

聚苯乙烯的力学性能还与温度有关。聚苯乙烯在常温下质硬且脆，无延伸

性，其拉伸性能表现出拉伸至屈服点附近即断裂。但温度升高使分子热运动加剧，分子间距离增大，强度下降。聚苯乙烯的弯曲强度、压缩强度和冲击强度也都是随着温度的升高而降低。

② 聚苯乙烯的热性能。聚苯乙烯属于弱极性聚合物，分子间作用力较小，耐热性较差，其负荷变形温度为 $70\sim 90^{\circ}\text{C}$ ，制品的最高连续使用温度与承载的大小和时间有关，一般为 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ ，聚苯乙烯的脆化温度为 -30°C 。

聚苯乙烯的耐热性受分子量大小的影响较小，但受苯乙烯单体含量的影响较大。若使残留单体含量上升到 5% 时，流动性明显提高。以这种方式改进材料的流动性是不可取的，因为在加工时，单体将会挥发，致使产品产生银纹等缺陷。

聚苯乙烯的热导率很低，且不随温度发生变化，因此能作为良好的冷冻绝热材料。其比热容也较低，但随温度升高而有所增大。由于聚苯乙烯的线胀系数与金属相差较大，故制品不宜带有金属嵌件，否则当环境温度变化时，制品极易产生应力开裂现象。

聚苯乙烯制品经退火处理可减少内应力，提高力学强度、负荷变形温度，降低受溶剂侵蚀而引起的开裂。

③ 聚苯乙烯的电性能。聚苯乙烯的体积电阻率和表面电阻率高，分别为 $10^{16}\sim 10^{18}\Omega\cdot\text{cm}$ 与 $10^{15}\sim 10^{18}\Omega$ ，介电损耗角正切值极低，在 60Hz 时约为 $(1\sim 6)\times 10^{-4}$ ，并且不受频率和环境温度影响，是优异的电绝缘材料。此外，由于聚苯乙烯在 300°C 以上开始解聚，挥发出的单体能防止其表面炭化，因而还具有良好的耐电弧性。但是，聚苯乙烯的耐热性差限制了它在电气方面的某些应用。

④ 聚苯乙烯的化学性能。聚苯乙烯可耐某些矿物油、有机酸、碱、盐、低级醇及其水溶液，但易受许多烃类、酮类、高级脂肪酸酯等侵蚀而软化，可溶于芳烃如苯、甲苯、乙苯、苯乙烯单体，氯化烃如四氯化碳、氯仿、二氯甲烷、氯苯，酮类，酯类如乙酸甲酯、乙酸乙酯、乙酸丁酯和某些植物油中。

聚苯乙烯的耐溶剂性一般随相对分子质量的增加而增加，而且还与聚苯乙烯的类型、制品中内应力的大小、与化学试剂接触时间的长短、温度高低、浓度的大小以及所受外加应力的因素有关。

(2) 聚苯乙烯的应用 聚苯乙烯的应用主要有四个方面：一是电气用品，如电视机、录音机以及各种电器仪表零件、壳体、高频电容器等；二是用于公共建筑透明部件、光学仪器 and 透明模型的生产，如灯罩、仪器壳罩、包装容器等；三是日用杂品方面，如梳、盒、牙刷柄、学习用具、儿童玩具等；四是聚苯乙烯泡沫塑料在建筑工业上可用作防震、保温、夹芯结构材料，电冰箱、火车、船、飞机等也用其作隔声、隔热材料或制作救生圈等。

聚苯乙烯树脂的鉴别方法有许多，最常用的是燃烧鉴别法和溶液鉴别法。