

塑料成形工艺 技术手册

SULIAO CHENGXING GONGYI JISHU SHOUCHE

吴生绪 主编

源于实践

注重应用

内容全新

读者面宽



塑料成形工艺技术手册

主编 吴生绪
参编 闫麦奎 马颖
主审 许发樾



机械工业出版社

本手册是作者 30 余年来理论知识与实践经验的总结。从实际应用出发,深入浅出地剖析塑料成形工艺技术中的各类问题。内容包括:塑料发展史、塑料的组成与分类、塑料的力学性能与非力学性能、塑料的热力学性能、部分常用塑料性能简述、各类塑料制品的设计、热塑性塑料和热固性塑料的成形性能、热塑性增强塑料的成形性能、热固性增强塑料的成形性能、塑料制品成形原理及工艺、部分常用塑料的注射成形、特种注射成形与其他注射成形等。

本手册适用于从事塑料制品设计、生产工艺制定、生产现场工艺技术管理以及各类塑料成形机械设备操作的工程技术人员和技术工人使用,也可供科研,大专院校师生和塑料成形设备与模具设计、制造人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成形工艺技术手册/吴生绪主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-111-21452-6

I. 塑… II. 吴… III. 塑料成形—工艺—技术手册 IV. TQ320.66-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 065200 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王英杰 版式设计:霍永明 责任校对:李 婷

封面设计:陈 沛 责任印制:李 妍

北京中兴印刷有限公司印刷

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

164mm×260mm · 35 印张 · 864 千字

0 001—4 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-21452-6

定价:58.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379083

封面无防伪标均为盗版

前 言

塑料，由于具有一系列优异的物理力学性能，化学性能和易成形加工工艺性能而在轻工、农业、国防、航空航天、机械制造、建筑材料、交通运输等部门及与人们的日常生活密切相关的诸多方面都得到了非常广泛的应用。如果离开了塑料，那么难以想象我们的生活、工作等环境会成为一个什么样子。也正是由于塑料具有许多特殊的性能，很快地从替代部分金属、木材、皮革等材料而发展成为国民经济中不可缺少的一类化工材料，并跻身于金属、纤维、硅酸盐三大传统材料之行列，成为现代工业四大基础材料之一，应用于人类活动与生产活动的各个领域。

塑料工业是一门新兴的工业，是随着石油化工的飞速发展而发展的。迄今为止，仅有近百年的发展史。我国的塑料工业由于历史原因起步较晚，自20世纪40年代仅能生产酚醛和赛璐珞两种塑料，而且产量很少（200t/年）。解放后至50年代末，我国建成并投产了万吨级聚氯乙烯装置。70年代中末期从国外引进了几套石油化工装置，使我国的塑料工业有了两次飞跃发展。特别是在改革开放后，随着我国国民经济的高速发展，我国的塑料工业，不论是原材料生产，还是成形设备（包括塑料成形模具）、加工工艺技术等方面也都有了很大的发展，建立健全了我国自己塑料制品的生产体系，并逐步接近于国际先进水平。

塑料作为三大合成材料（合成树脂、合成橡胶、合成纤维）之一，已经成为我国工业体系中的一个重要支柱。在塑料制品的生产中，高效的生产设备，先进的模具技术以及先进的生产成形工艺技术，是必不可缺的三大技术要素。本手册旨在系统地阐述塑料成形的工艺技术，提高我国从业者的工艺技术理论基础与实际操作水平，缩小与工业发达国家在这一领域内的差距，为建设具有社会主义特色的资源节约型国家作出应有的贡献。

本手册内容的构成有：塑料的组成、分类与性能；各类塑料制品的结构设计原则与方法；塑料制品的成形原理；塑料的成形工艺性能；塑料成形方法分类；塑料成形过程中模具温度的调控；常用各种塑料的成形工艺；特殊注射成形的工艺技术等。

本手册由高级工程师吴生绪主编，参编人员有中国石油集团测井有限公司测井仪器厂工艺研究中心工程师闫麦奎、马颖。其中吴生绪编写第1、2、3、6章和附录；闫麦奎编写第4章；马颖编写第5章。

本手册可供从事塑料制品设计、制造的工程技术人员与技术工人使用；也可供科研院所的研究人员和大专院校的教师与学生教学参考；亦可供从事塑料成形设备与成形模具的设计、制造人员使用与参考。

塑料成形技术在飞速发展，手册中一定会有挂一漏万之处，恳请业内有识之士不吝赐教，我们将深表感谢。

吴生绪

目 录

前言

第1章 塑料综述 1

1.1 塑料的发展 1

1.1.1 塑料的发展简史 1

1.1.2 塑料成形技术在工业生产中的重要性 2

1.1.3 塑料成形技术的发展趋势 2

1.2 塑料的组成及分类 7

1.2.1 塑料的分子结构 7

1.2.2 塑料的组成 9

1.2.3 塑料的分类 11

1.3 塑料的力学特性 13

1.3.1 塑料在静载荷下的形变特性 13

1.3.2 塑料动载荷分析 24

1.4 塑料的非力学性能 38

1.4.1 热性能 38

1.4.2 化学阻抗 42

1.4.3 渗透性能 43

1.4.4 燃烧性能 44

1.4.5 塑料的电性能 46

1.4.6 耐候性能 48

1.4.7 光学性能 49

1.4.8 硬度 51

1.5 塑料的热力学性能 53

1.5.1 塑料的热力学性能与加工工艺性 53

1.5.2 塑料的流变学性质 55

1.5.3 聚合物熔体在模腔内的流动行为 78

1.5.4 成形过程中聚合物的物理变化 86

1.5.5 成形过程中聚合物的化学变化 95

1.6 部分常用塑料特性简介 98

1.6.1 热塑性塑料 98

1.6.2 热固性塑料 105

1.6.3 部分常用塑料的主要技术指标 106

第2章 塑料件的设计 113

2.1 塑料件结构设计的原则与方法 113

2.1.1 概述 118

2.1.2 塑料的选择 116

2.1.3 塑料件的失效分析 118

2.2 注射成形塑料件的设计 120

2.2.1 注射成形塑料件的设计工艺性 120

2.2.2 螺纹设计 153

2.2.3 塑料齿轮的设计 169

2.2.4 塑料轴承的设计 183

2.2.5 活动铰链的设计 197

2.2.6 弹性连接的设计 205

2.2.7 压力装配的设计 219

2.3 中空吹塑件的设计 231

2.3.1 吹塑件的特征 231

2.3.2 容器的强度和刚度设计 233

2.3.3 瓶口的连接 238

2.4 热成形塑料件的设计 238

2.4.1 热成形塑料件的特征 239

2.4.2 热成形的工艺要素 242

2.5 泡沫塑料件的设计 243

2.5.1 分类与性能 243

2.5.2 泡沫塑料件的结构 250

2.6 双色塑料件的设计 255

2.7 增强塑料件的设计 256

第3章 塑料的成形性能 257

3.1 热塑性塑料的成形性能 257

3.1.1 流动性 257

3.1.2 热敏性 259

3.1.3 相容性 259

3.1.4 应力开裂和熔融破裂 259

3.1.5 结晶性与非结晶性 260

3.1.6 吸湿性 261

3.1.7 热性能及冷却速度 261

3.1.8 收缩性 268

3.1.9 注射工艺性能 269

3.2 热固性塑料的成形性能 271

3.2.1 流动性 271

3.2.2 收缩性	277	4.5.1 压注成形的原理及其特点	413
3.2.3 比体积和压缩率	279	4.5.2 压注成形的工艺过程	414
3.2.4 硬化速度	279	4.5.3 压注成形的工艺参数	414
3.2.5 水分及挥发物含量	280	4.6 挤出成形原理及其工艺特性	416
3.2.6 成形特性	280	4.6.1 挤出成形原理及特性	416
3.3 热塑性增强塑料的成形性能	282	4.6.2 挤出成形的工艺过程	416
3.3.1 玻纤增强热塑性塑料的制造	282	4.6.3 挤出成形的工艺参数	418
3.3.2 影响 GFRTP 性能的因素	282	4.7 中空吹塑成形原理及工艺	420
3.3.3 工艺特性	283	4.7.1 中空吹塑成形法	420
3.3.4 成形条件	284	4.7.2 吹塑件的工艺要素	423
3.3.5 GFRTP 塑料件及模具设计	285	4.8 泡沫塑料件的成形原理	424
3.3.6 注射成形中的常见问题	287	4.8.1 结构泡沫塑料件的注射成型 成形原理	424
3.4 热固性增强塑料的成形性能	289	4.8.2 硬质泡沫塑料件的模塑成形 原理	425
3.4.1 工艺特性	289	4.9 热成形原理与方法	426
3.4.2 成形条件	291	第 5 章 部分常用热塑性塑料的模型 注射成形	429
3.4.3 塑料件及模具的设计要点	294	5.1 ABS 塑料的注射成形	429
3.5 常用塑料的牌号、性能指标和 技术指标	295	5.1.1 ABS 塑料的成形加工特性	429
第 4 章 塑料件成形原理及工艺	333	5.1.2 成形设备的选择	429
4.1 塑料件的分类和生产方式	333	5.1.3 模具设计的特点	429
4.1.1 塑料件的分类	333	5.1.4 ABS 塑料的成形工艺	431
4.1.2 塑料件的生产方法	334	5.2 聚酰胺的注射成形	432
4.2 塑料件的成形原理	334	5.2.1 聚酰胺的成形加工特性	432
4.2.1 塑料成形原理	334	5.2.2 成形设备的选择	432
4.2.2 塑料成形方法分类	334	5.2.3 模具设计的特点	433
4.3 注射成形原理及其工艺特性	336	5.2.4 聚酰胺塑料的成形工艺	434
4.3.1 热塑性塑料注射成形原理及 操作过程	336	5.2.5 提高塑料件质量的措施	437
4.3.2 注射成形过程分析	338	5.3 聚丙烯的注射成形	436
4.3.3 塑料件的后处理	345	5.3.1 聚丙烯的注射成形加工特性	438
4.3.4 注射成形生产前的技术准备	347	5.3.2 聚丙烯塑料件及其成形模具的 设计	438
4.3.5 注射成形三大工艺要素的选择 与控制	350	5.3.3 成形设备的选择	439
4.3.6 部分注射成形塑料件的注射工艺 与部分塑料的注射工艺参数	355	5.3.4 聚丙烯塑料的成形工艺	440
4.3.7 热固性塑料注射成形原理及 工艺特性	370	5.3.5 聚丙烯塑料件的缺陷及其 对策	441
4.3.8 模具的温度与调控	380	5.4 聚碳酸酯的注射成形	442
4.4 压缩成形原理及其工艺特性	406	5.4.1 聚碳酸酯的成形特性	442
4.4.1 压缩成形原理、特点与应用	406	5.4.2 聚碳酸酯塑料件及其成形模具 的设计	443
4.4.2 压缩成形的工艺过程	407	5.4.3 成形设备的选择	443
4.4.3 压缩成形的工艺参数	409	5.4.4 成形工艺特性	444
4.5 压注成形的原理及其工艺特性	413		

- | | | | |
|--------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 5.4.5 嵌件的预热 | 445 | 5.12 聚苯醚的注射成形 | 466 |
| 5.4.6 塑料件的热处理 | 446 | 5.12.1 聚苯醚的成形加工特性 | 466 |
| 5.5 聚乙烯的注射成形 | 447 | 5.12.2 聚苯醚塑料件的设计 | 466 |
| 5.5.1 聚乙烯的注射成形加工特性 | 447 | 5.12.3 成形设备的选择 | 467 |
| 5.5.2 注射机的选择 | 447 | 5.12.4 聚苯醚的成形工艺 | 467 |
| 5.5.3 聚乙烯的成形工艺特性 | 447 | 第6章 特种注射成形与其他注射 | |
| 5.5.4 减少塑料件内应力的措施 | 448 | 成形 | 469 |
| 5.6 聚氯乙烯的注射成形 | 448 | 6.1 精密注射成形 | 469 |
| 5.6.1 聚氯乙烯塑料 | 448 | 6.1.1 精密注射成形的概念 | 469 |
| 5.6.2 硬质聚氯乙烯的成形工艺 | | 6.1.2 精密注射成形用塑料 | 471 |
| 特性 | 449 | 6.1.3 精密注射成形的工艺特点 | 472 |
| 5.6.3 成形工艺要求 | 449 | 6.1.4 精密注射成形工艺对注射机 | |
| 5.6.4 成形工艺要点 | 449 | 的要求 | 474 |
| 5.7 聚苯乙烯的注射成形 | 450 | 6.1.5 精密注射模具的设计要点 | 475 |
| 5.7.1 聚苯乙烯的成形加工特性 | 450 | 6.2 特种工程塑料的注射成形 | 476 |
| 5.7.2 聚苯乙烯塑料件及其成形模具 | | 6.2.1 特种工程塑料简介 | 478 |
| 的设计 | 450 | 6.2.2 干燥处理与注射工艺 | 479 |
| 5.7.3 聚苯乙烯成形工艺要求 | 450 | 6.2.3 模具的特点 | 479 |
| 5.8 聚甲醛的注射成形 | 451 | 6.2.4 成形中不正常现象的分析 | |
| 5.8.1 聚甲醛的成形加工特性 | 451 | 与处理 | 479 |
| 5.8.2 聚甲醛塑料件及其成形模具 | | 6.3 结构泡沫塑料的注射成形 | 480 |
| 的设计 | 451 | 6.3.1 结构泡沫塑料简介 | 480 |
| 5.8.3 成形设备的选择 | 452 | 6.3.2 单组分结构泡沫塑料的注射 | |
| 5.8.4 聚甲醛的成形工艺 | 452 | 成形 | 481 |
| 5.9 聚对苯二甲酸丁二酯的注射 | | 6.3.3 双组分结构泡沫塑料的注射 | |
| 成形 | 454 | 成形 | 482 |
| 5.9.1 PBTP的成形加工特性 | 454 | 6.3.4 常见质量问题与对策 | 486 |
| 5.9.2 PBTP塑料件的设计 | 455 | 6.4 反应注射成形 | 487 |
| 5.9.3 PBTP成形模具的设计 | 455 | 6.4.1 反应注射成形的发展与特点 | 487 |
| 5.9.4 PBTP成形设备的选择 | 457 | 6.4.2 反应注射成形工艺 | 489 |
| 5.9.5 PBTP的成形工艺 | 457 | 6.4.3 聚氨酯反应注射成形 | 490 |
| 5.10 聚对苯二甲酸乙二醇酯的注射 | | 6.4.4 环氧树脂反应注射成形 | 491 |
| 成形 | 459 | 6.4.5 聚酰胺(尼龙)反应注射 | |
| 5.10.1 PETP的成形加工特性 | 459 | 成形 | 491 |
| 5.10.2 PETP塑料件的设计 | 460 | 6.4.6 双环戊二烯反应注射成形 | 492 |
| 5.10.3 PETP成形模具的设计 | 460 | 6.5 增强热固性塑料的注射成形 | 493 |
| 5.10.4 成形设备的选择 | 461 | 6.5.1 增强热固性塑料注射成形的 | |
| 5.10.5 PETP的注射成形工艺 | 461 | 特点 | 493 |
| 5.11 聚砜的注射成形 | 463 | 6.5.2 注射成形方法 | 494 |
| 5.11.1 聚砜的成形加工特性 | 463 | 6.5.3 团块模塑料的注射成形 | 494 |
| 5.11.2 成形设备的选择 | 463 | 6.5.4 塑料件强度下降的原因及补救 | |
| 5.11.3 聚砜的成形模具 | 464 | 对策 | 496 |
| 5.11.4 聚砜的成形工艺 | 464 | 6.6 热塑性弹性体的注射成形 | 497 |

6.6.1 热塑性弹性体的成形特点	497	和特点	520
6.6.2 热塑性弹性体注射成形的工艺 条件	497	6.13.2 气体辅助注射成形的工艺 方法	521
6.6.3 热塑性聚酯弹性体的注射 成形	498	6.13.3 气体辅助注射成形的设备 配置	523
6.7 金属粉末的注射成形	502	6.13.4 气体辅助注射成形的工艺 特性	523
6.7.1 金属粉末注射成形概述	502	6.13.5 气体辅助注射成形塑料件及 其模具的设计要点	524
6.7.2 金属粉末注射成形的工艺 过程	503	6.13.6 气体辅助注射成形塑料的 选择	526
6.7.3 金属粉末注射成形的工艺 特点	504	6.14 其他类型吹塑成形	527
6.7.4 金属粉末注射成形制品的性能与 成本	504	附录	529
6.8 热塑性塑料的双色注射成形	504	附录 A 树脂及塑料的缩写代号, 英文与 中文名称对照	529
6.8.1 双色注射的原理与分类	504	附录 B 塑料的蠕变性能	534
6.8.2 双色注射的设备	504	附录 C 聚酰胺和聚甲醛的 S-N 疲劳 曲线	541
6.8.3 双色注射模具的特点	506	附录 D 部分常用热塑性塑料的某些 性能	545
6.8.4 双色注射成形的工艺特点	506	附录 E 部分常用塑料的连续耐热温度 和热变形温度	546
6.8.5 双层注射成形	509	附录 F 维卡软化点试验	547
6.8.6 双色注射成形模具的设计	510	附录 G 马丁耐热试验	548
6.9 流动注射成形	512	参考文献	549
6.10 旋转注射成形	513		
6.11 排气注射成形	514		
6.12 注射吹塑成形	515		
6.13 气体辅助注射成形	519		
6.13.1 气体辅助注射成形的原理			

第1章 塑料综述

1.1 塑料的发展

1.1.1 塑料的发展简史

塑料件（亦称塑件）在轻工、农业、国防、航天航空、交通运输、机械制造、仪器仪表、包装、装潢、建筑材料、文体用品及日常生活等各方面之所以应用得非常广泛，这是因为塑料具有各种特殊的性能所决定的。

塑料密度小、质量轻，大多数塑料的密度在 $1.0 \sim 1.4 \text{g/cm}^3$ 之间，相当于钢材密度的 0.15 和铝材密度的 0.3 左右，即在相同的体积下，塑料构件比金属构件轻得多。而且，塑料易于成形，生产效率高，制造能耗小。所以，以塑代钢越来越普遍。根据美国 20 世纪 80 年代的统计，在汽车制造中采用塑料零部件后，每辆汽车的重量平均减轻了 180kg 左右。这样，每升汽油可使汽车多行驶 0.4km，美国每年可节约 1400 余万桶汽油。另据统计专家估计，现在西欧有各类汽车 1 亿辆，如果将汽车上的塑料零件重量从目前的 3% 提高到 11%，每年可节省汽油 3000 万 t。

塑料的比强度高，钢的拉伸比强度约为 160MPa，而玻璃纤维增强的塑料，其拉伸比强度可高达 170~400MPa。除此之外，塑料的绝缘性能好，介电损耗低，是电子工业重要的原材料；塑料的化学稳定性高，对酸、碱及许多化学药品都有良好的耐腐蚀能力，最典型的是聚四氟乙烯塑料，其化学稳定性目前是最好的，三酸配制的“王水”对它也无可奈何，故被誉为“塑料王”之称。不仅如此，塑料在减摩、耐磨，减振及隔声等方面的性能也是很好的。所以，塑料已从替代部分金属、木材、皮革及其他无机材料而发展成为国民经济中各个部门不可缺少的一类化学材料，并跻身于金属、纤维和硅酸盐三大传统材料之列，在制造业中占有越来越重要的地位。

塑料工业是一门新兴工业，是随着石油工业的发展而发展的。1909 年世界上首次工业化生产酚醛树脂开始，至今已有 90 余年的历史，但是，有很多品种是在近期发展起来的。塑料工业的发展过程大致可分为以下几个阶段。

第一阶段 20 世纪 30 年代之前，科学家研制成了酚醛、硝酸纤维素和醋酸纤维素等塑料，其工业化的特征仅仅是间歇式的小批量生产，这也是塑料工业的初创阶段。

第二阶段 20 世纪 30 年代前后，出现了聚氯乙烯、丙烯酸酯、聚苯乙烯和聚酯胺、低密度聚乙烯等塑料并相继进入工业化生产，为塑料工业奠定了基础和进一步发展开辟了道路。这是塑料工业的发展阶段。

第三阶段 在前两个阶段，制造合成树脂的原料是以农副产品为主，进而发展到以煤为主要原料。20 世纪 50 年代到 60 年代，石油化工的高速发展为塑料工业提供了丰富而价廉的原料。随着有机金属络合物定向催化体系聚合工艺的创立以及高分子学科的发展和聚合技

术的进步,使高密度聚乙烯和聚丙烯也进入工业化生产。同时,工程塑料也因聚碳酸酯和聚甲醛、聚酰亚胺等品种的相继出现而实现了工业化生产,使塑料材料的性能向着耐高温的领域发展。在这个阶段,增强及复合材料的出现,也使塑料进入高强度、耐高温等高性能的发展领域。

在第三阶段,塑料的品种、产量都得到了大幅度的发展,同时,成形加工的设备、模具技术和工艺也都进一步完善。

第四阶段 20世纪70年代以后,塑料工业是在通过共聚、缩聚、交联、共混、复合、填充、增强及发泡等工艺技术中,进一步改进塑料的性能,提高产品的质量,扩大使用的范围,生产工艺技术更趋完善和合理。于是,塑料工业向着生产工艺自动化、连续化、产品品种系列化以及不断开发功能性塑料的方向和领域发展。

由于历史原因,我国的塑料工业起步较晚,20世纪40年代仅能生产酚醛和赛璐珞(CN)两种塑料,年产量也只有200t。解放后,20世纪50年代末,建成并投产了万吨级聚氯乙烯装置,20世纪70年代中期引进了几套石油化工装置,使我国的塑料工业有了两次飞跃性的发展。同时,塑料成形加工机械、模具技术及生产工艺都得到了迅速的发展。目前,国外各类常用塑料品种我国基本上都能生产。在原料生产、成形设备、加工工艺等方面,都已建立健全了我国自行的生产体系,并逐渐接近于国际先进水平。

塑料作为三大合成材料(合成树脂、合成橡胶、合成纤维)之一,已成为我国材料工业中的一个重要支柱。随着对工业塑料件和日用塑料件的品种、需求量以及质量的不断提高,产品的更新换代周期也越来越短,对塑料的产量、质量及成形工艺技术也提出了越来越高的要求。

1.1.2 塑料成形技术在工业生产中的重要性

模具是塑料成形生产中的重要工艺装备,模具工业也是衡量一个国家工艺水平高低的重要标志。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”,日本经济界则称“模具是促进社会繁荣富裕的动力”,我国模具界认为“模具是改变落后工业状况的实用技术之一”。的确是这样的,在仪器仪表、家用电器、交通运输、通信器材及轻工产品等各个行业中,产品的零件有70%以上是各类模制品。在先进发达的工业国,其模具工业年产值超过了其机床制造业的年产值。据1991年统计,日本的模具工业实现了高度的专业化、标准化和商品化,其全国一万多家企业中,生产塑料模具和生产冷冲压模具的企业各占40%左右,在日本的一些商店里便可买到各种模具的标准件和半成品零件。韩国模具工业最新统计表明,韩国模具专业厂中,生产塑料模具的约占44%,生产冷冲压模具的约占44.8%。新加坡约有460多家模具制造企业,生产塑料模具的占60%,生产冷冲压模具及夹具的约占85%左右。由此可见,模具工业在国民经济发展中的特殊地位和作用。

1989年国务院颁布了《当前产业政策要点的决定》,在重点支持技术改造的产业、产品中,把模具制造列为机械工业技术改造序列的第一位,确定了模具工业在国民经济中的主要地位,同时也提出了发展我国模具工业的战略任务。

1.1.3 塑料成形技术的发展趋势

在塑料件的生产中,高效的生产设备、先进的模具技术以及先进合理的生产工艺是必不

可缺的三大要素。其中塑料模具技术对于实现塑料加工工艺要求,满足塑料件的形状结构和尺寸精度,降低塑料件的生产成本等方面,都起着非常重要的作用。一副优秀的塑料注射模具,其使用寿命可以达到数百万次,一副优良的塑料压缩模具,使用寿命大约为25~30万次。模具的使用寿命与其设计、使用材料以及模具制造技术都有着很大的关系。从塑料模具的设计、材料的选用及制造工艺等方面来看,塑料的成形技术,其发展趋势可分为以下几个方面。

1.1.3.1 模具的标准化

模具的标准化是一项十分重要的技术性工作,它可以大规模批量化地生产模具的零部件,充分利用设备资源,缩短模具制造周期,降低模具制造成本。目前,我国的模具标准化程度大约为20%左右,而且模具材料市场上材料质量还不能完全得到保障。现在,塑料注射模具方面关于模具零部件、模具技术条件及标准模架等有以下25个国家标准。

GB/T 4169.1—2006	塑料注射模零件	第1部分:推杆
GB/T 4169.2—2006	塑料注射模零件	第2部分:直导套
GB/T 4169.3—2006	塑料注射模零件	第3部分:带头导套
GB/T 4169.4—2006	塑料注射模零件	第4部分:带头导柱
GB/T 4169.5—2006	塑料注射模零件	第5部分:带肩导柱
GB/T 4169.6—2006	塑料注射模零件	第6部分:垫块
GB/T 4169.7—2006	塑料注射模零件	第7部分:推板
GB/T 4169.8—2006	塑料注射模零件	第8部分:模板
GB/T 4169.9—2006	塑料注射模零件	第9部分:限位钉
GB/T 4169.10—2006	塑料注射模零件	第10部分:支承柱
GB/T 4169.11—2006	塑料注射模零件	第11部分:圆形定位元件
GB/T 4169.12—2006	塑料注射模零件	第12部分:推板导套
GB/T 4169.13—2006	塑料注射模零件	第13部分:复位杆
GB/T 4169.14—2006	塑料注射模零件	第14部分:推板导柱
GB/T 4169.15—2006	塑料注射模零件	第15部分:扁推杆
GB/T 4169.16—2006	塑料注射模零件	第16部分:带肩推杆
GB/T 4169.17—2006	塑料注射模零件	第17部分:推管
GB/T 4169.18—2006	塑料注射模零件	第18部分:定位圈
GB/T 4169.19—2006	塑料注射模零件	第19部分:浇口套
GB/T 4169.20—2006	塑料注射模零件	第20部分:拉杆导柱
GB/T 4169.21—2006	塑料注射模零件	第21部分:矩形定位元件
GB/T 4169.22—2006	塑料注射模零件	第22部分:圆形拉模扣
GB/T 4169.23—2006	塑料注射模零件	第23部分:矩形拉模扣
GB/T 12555—2006	塑料注射模模架	
GB/T 12556—2006	塑料注射模模架技术条件	

当前的任务,其重点是研究开发热浇道标准元件及模具工作温度控制标准装置;精密标准模架,精密导向件系列;标准模板及模具标准件的先进技术和等向性标准化模块等。

1.1.3.2 理论研究方面

随着塑料件的大型化和复杂化,模具的重量也越来越大,有的塑料模具竟有十余吨之重。这样大的模具,若按照平常的经验进行设计是远远不够的。所以,模具的设计开始向理论化设计方向发展,理论设计包括模具的结构、模板及其他零件的材料选择,模板的刚度与强度计算,塑料熔体充型流动理论,模具各部分工作温度的测量与控制等。

目前,有关挤出成形的熔体流动理论和数学模型已初步建立,并在生产实践中得到应用。但是,关于注射成形的熔体流动理论还处于研究之中。注射成形的塑料熔体二维及简单型腔中的充型流动理论和数学模型基本解决,但还需通过生产实践对其实用性进行广泛的验证。在理论上应进一步对塑料熔体在三维及较复杂的型腔中充模流动行为进行研究,以便更好地解决模具结构设计问题和生产工艺问题。

1.1.3.3 塑料件的精密化、微型化和超大型化

为了满足科研和技术进步的要求,以及某些塑料件的形状与尺寸的特殊要求,塑料成形技术(包括注塑设备、模具、生产工艺和检测手段等)正在朝着精密化、微型化及超大型化方向发展。

精密注射成形是将塑料件的尺寸精度能够有效地控制在 $0.001\sim 0.01\text{mm}$ 之内的成形方法,其制品主要应用在电子、仪器仪表及进行精密控制的机械结构中。

微型化的塑料件,自然是要通过微型的设备及模具,并在非常严格的工艺条件下才可能进行生产。目前,德国已经研究出注射量仅为 0.1g 的微型塑料注射机,可以生产出重量只有 0.05g 的微型注射成形的塑料模塑制品。这种微型化生产技术涉及到了许多学科和技术领域,也是一个国家科学技术水平和生产工艺水平的反映。现在,我国已研制成功 0.5g 的注射设备,可以生产 0.1g 左右的微型塑料件。

超大型化的塑料件,其生产必须要有相应的超大型注射成形设备和相应的模具。同样,塑料件的超大型化生产技术也是涉及到了许多学科的理论研究和工艺技术领域。到目前为止,法国已经拥有注射量为 170kg 的超大型注射机,美国有 100kg 的注射机,日本有 96kg 的注射机。我国注射机的最大注射量为 35kg 。

1.1.3.4 新材料、新技术、新工艺的研制、开发和应用

随着塑料成形技术的不断发展,模具新材料、模具制造新技术(包括加工工艺)等方面的开发已经成为当前模具工业生产和科研的主要任务之一。

1. 新材料的研制与应用 模具材料的选用,在模具的设计和制造中是一个非常重要的问题。模具的材料不仅影响着模具的使用寿命,而且还影响着模具的加工制造过程及其成本,同时也直接影响着塑料件成形的质量等各个方面。国内外的(模具)材料科学家对模具的工作条件、失效形式以及提高模具使用寿命等问题作了大量的研究,开发出了使用性能和加工性能都很优良,而且热处理变形小的新型塑料模具用钢。如预硬型塑料模具用钢($3\text{Cr}2\text{Mn}$ 、 $3\text{Cr}2\text{NiMo}$)、时效硬化型塑料模具用钢($25\text{CrNi}3\text{MoAl}$)、易切削塑料模具用钢($8\text{Cr}2\text{S}$ 、 5NiSCu)、马氏体时效钢($06\text{Ni}6\text{CrMoVTiAl}$)、镜面塑料模具用钢(PMS)、调质时效型塑料模具用钢(SM1、SM2)及耐腐蚀塑料模具用钢(PCR)等。

2. 加工与测量技术 为了提高模具的加工精度,降低型腔的表面粗糙度值,缩短制造周期,塑料模具的制造加工广泛地应用了加工中心、数控铣床、精雕机、仿形加工设备、电加工、坐标镗、坐标磨、抄数机及三坐标测量仪等精密加工设备与测量设备。

3. CAD/CAM/CAE 技术的应用 塑料制品应用的日益广泛以及大型塑料件和微型塑料件的不断开发 and 市场需求,对塑料成形模具的设计与制造也提出了越来越高的要求。为此,技术界也越来越广泛地采用 CAD/CAM/CAE 技术进行塑料模具及其他模具的设计与制造。

在塑料模具的计算机辅助设计中,目前较好的软件是 UG 软件,UG Mold Wizard 模块支持典型塑料模具设计的全程。该软件从读取产品设计图样(或模型)开始,到注射成形模具结构的确定以及脱模方向与分型面的选择,收缩率的自动计算,型腔个数的确定与布局,浇注系统与冷却系统的设计,模架及其标准零部件的选择,模具零部件清单(BOM)等全部由计算机来完成。

该软件还可以使设计者知道如何运用 UG-WAVE 技术来编辑塑料注射模具的装配关系,建立几何连接,进行零件间的相关设计。

UG Mold Wizard 是 EDS 公司所提供的,Unigraphics 系列软件最先向模具行业用户推出的、基本知识驱动自动化理念的应用系统,其特点是抛弃了传统的 CAD 软件重在功能而轻于过程的思维模式,跳出了特征与功能的狭隘空间,从而使 UG Mold Wizard 在注射成形模具设计自动化方面取得了极为显著的技术效果,为塑料注射成形模具的设计提供了新的软件技术。

除此之外,Cimatron 软件和 Pro/E 等软件也较为广泛地应用在塑料模具的设计与制造之中。

1.1.3.5 塑料注射技术的发展趋势

除了 1.1.3.3 中所述塑料件微型化和超大型化所需要的注射技术之外,目前主要是围绕塑料注射机的技术参数开发功能性的注射技术,特别是在采用或开发更先进的液压比例技术、数字控制技术 & 检测技术作了大量的工作,使注射机达到高效、高速、精密、节能、低噪声和高自动化水平。

注射机技术的发展动态可以归纳为以下几点:一是计算机控制技术的应用日益普及;二是功能性注射机和专用注射机有了较大发展;三是超高速、超精密注射机研制开发成功并逐步进入实用化;四是注射机的辅助设备不断推陈出新并形成了系列产品,进一步完善了注射机的使用功能。

1. 高自动化注射机 采用微型计算机和新型液压系统对注射机进行控制,是近年来注射机自动控制技术的重大进展。目前,越来越多的注射机配置了微机控制系统,增加了液压比例阀或伺服阀。也有的注射机配置了电视监控器,成形工艺参数采用指示器显示。

为了更好地发挥注射机性能,已广泛地采用了微电子智能控制技术,注射成形的工艺参数可随塑料原材料品质的变化而自动调整,同时还能监测、诊断和检修注射机的故障,从而使注射生产实现了无人化操作。

2. 功能性及专用性注射机 为了满足市场的不同需求,功能性注射机和专用性注射机相继研发成功并投入实用。如增强反应注射机、共注射机、双色及多色注射机、排气式注射机、多组分注射机、专用注射机、串联注射机、无拉杆注射机、PU 弹性体注射机和液体注射机等。特别是供成形陶瓷所用的陶瓷粉末专用注射机和触变注射机的研制成功,是注射机

技术的重大突破，这预示着注射机将有着更为广阔的应用前景。

3. 超高速、超精密注射机是当前注射机技术开发的最新成果。例如日本开发成功了一种采用数字伺服控制技术的超高速、高精度稳定型的注射机，其最高注射速度为1000mm/s，注射速度的可调范围也很大，为1~1000mm/s。该注射机还具有良好的工艺稳定性和再现性。这种注射机所具有的先进的技术特性，解决了高性能树脂和超薄壁厚塑料件成形困难的技术问题。

4. 注射机辅助设备 注射机辅助设备的迅速发展进一步提高了主机整体的技术水平和生产能力。例如近年来开发的混合注射装置、积木式注射装置、蓄能式注射装置、高速合模装置、热浇道保温装置、模具温度调节控制系统、自动换模装置、干燥机、送料机、混合着色装置、凝料粉碎机、电加热失灵报警装置、脱模剂吹雾装置以及各种设计精巧的塑料件取出装置等。注射机辅助设备的使用与配置也不尽相同，其形式如图1-1所示。

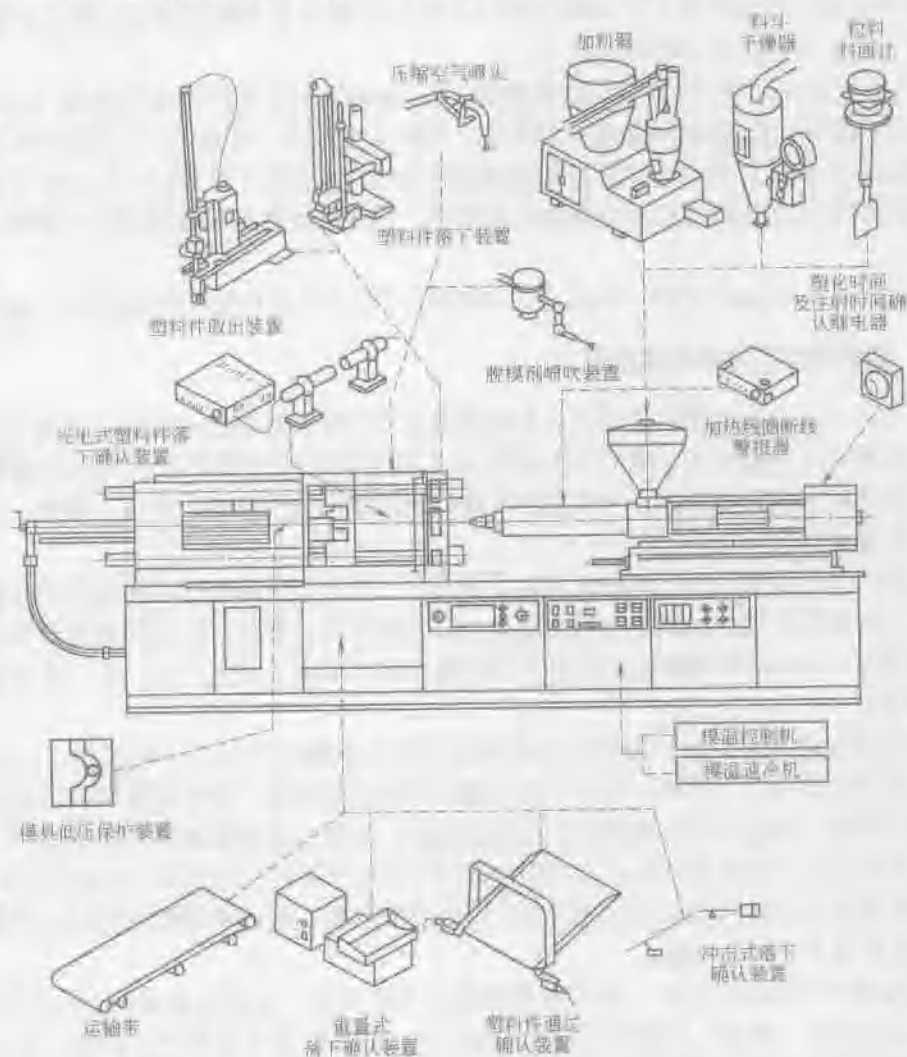


图1-1 注射机辅助设备的配置示意图

1.2 塑料的组成及分类

1.2.1 塑料的分子结构

塑料是以合成树脂为主要成分的有机高分子材料，从生产工艺方面界定，常称其为聚合物。为了改善性能，通常在聚合物中加入各种添加剂（如填料、固化剂、增塑剂、稳定剂、抗氧化剂、阻燃剂、抗静电剂、抗紫外线剂、发泡剂、着色剂及润滑剂等），从而使聚合物成为具有各种优良性能的塑料。

根据塑料对热反应特性的不同，塑料可分为热塑性塑料和热固性塑料两大类（这是从热力学角度来区分的）。热塑性塑料的特点是将其加热到某一温度时，就会软化或熔化，再降低到一定温度时，它又会固化，而且是可逆的，这类塑料在热条件下具有可塑性。热固性塑料的特性是将其加热到某个温度后，自身进行化学反应而固化成形，成形之后不能再加热方法使其软化，过度加热则会使其分解破坏。

1.2.1.1 高分子与低分子

无论是天然树脂还是合成树脂，它们都是高分子聚合物，简称高聚物。塑料的性能与其聚合物的分子结构是密切相关的，在了解聚合物分子结构之前，有必要先了解一下高分子与低分子的区别。

物质是由分子组成的，而分子又是由原子组成的。无论是有机物还是无机物，它们的分子中所含的原子数一般都不多。例如水分子 H_2O 是 3 个原子组成，石灰石分子 $CaCO_3$ 由 5 个原子所构成，酒精分子 C_2H_5OH 由 9 个分子构成，蔗糖分子 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 中只不过含有 45 个原子。三硬脂酸甘油酯是一种较为复杂的有机物，其分子 $C_{57}H_{110}O_2$ 中也只有 173 个原子。再复杂一些的化合物，其分子中所含的原子数最多也不过是几百个而已。但是，聚合物则不同，一个聚合物分子中会有成千上万、甚至几十万个原子。例如，尼龙分子中约有 4000 个原子，天然橡胶分子中约有 5~6 万个原子，纤维素分子中含有大约 10 万~20 万个原子。

从相对分子质量来看，水的相对分子质量为 18，石灰石为 100，酒精为 46，蔗糖为 342，三硬脂酸甘油酯为 890，这些统称为低分子化合物，其相对分子质量只有几十或者几百；而高分子化合物的相对分子质量比低分子化合物的要高得多，一般是几万到上千万。例如，尼龙分子的相对分子质量为 2.3 万左右，天然橡胶为 40 万左右。若从分子的长度来看，低分子乙烯的长度约为 $0.0005\mu m$ ，而高分子聚乙烯分子的长度为 $5.8\mu m$ ，是乙烯分子长度的 13600 余倍。由此可见，高分子是含有原子数很多、相对分子质量很大、分子很长的巨型分子。正是由于高分子与低分子之间存在着如此悬殊的差别，所以两者之间也就具有很不相同的特性。

1.2.1.2 聚合物的分子结构

单就分子中所含原子数目的多少、相对分子质量的大小及分子的长与短，还不足以描述高分子的结构特点。每个高分子中都含有一种或数种原子或原子团，这些原子或原子团按照一定的方式排列，首先是排列成许多结构重复的小单元，称之为结构单元。再由化学键连接

成为一个高分子。例如，聚乙烯分子中的小单元为 C_2H_4 ，每个聚乙烯分子中含有 n 个像下面这样连接起来的大一点的结构单元。



这些结构单元称为“链节”， n 称为“链节数”，也就是聚合度。由许许多多的链节构成了一个很长的聚合物分子，称为“分子链”。例如，聚乙烯的相对分子质量若为 36000，那么，一个聚乙烯分子中就含有两千多个乙烯单体分子（单体分子是指用来合成聚合物的小分子）。

如果聚合物的分子链呈现不规则的线状或团状，那么，聚合物则是由一条条的分子链所组成，这种聚合物则称其为线型聚合物，如图 1-2a 所示。如果在大分子链之间，还有一些短链把它们相互交联搭接起来，形成了立体网状结构，称其为立体网状类聚合物，如图 1-2c 所示。另外，还有一类聚合物大分子，其主链上带有一些或长或短的小支链，整个分子仍然呈现为线型结构，如图 1-2b 所示，这种类型称为带有支链的线型聚合物，简称支链型。

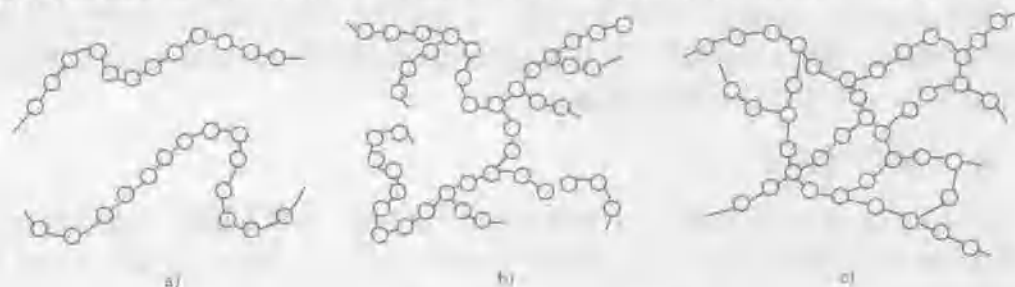


图 1-2 聚合物分子链结构类型

a) 线型 b) 支链型 c) 立体网状型

聚合物分子结构不同，其性质也不相同。线型聚合物的物理特性是具有弹性和塑性，在一些溶剂中可以溶胀或被溶解，对其加热则可使其软化，继续加热可达到熔化状态而流动，而且这种特性在其成形前后都存在，即可以反复多次进行成形。这种聚合物就是前面所讲的热塑性塑料。

立体网状结构型聚合物，其物理特性是脆性大，弹性和塑性都很低，在成形之前是可溶的与可熔的，一旦成形硬化之后，就变成既不能溶解也不能熔化的固体形态，不能再次进行加热成形。这种聚合物就是前面所讲的热固性塑料。

上述分类是从分子形态与性质方面来区别的。

1.2.1.3 聚合物的聚集态结构及其性能

由于聚合物的分子特别大而且分子间的力也比较大，所以易于聚集成为液态或固态。固态聚合物的结构按照分子排列的几何特点，可以分为结晶型结构和非结晶型结构（即无定形结构）两种。

结晶型结构的聚合物由“晶区”（即分子作有规律则紧密排列的区域）和“非晶区”（即分子为无序状态分布的区域）所组成，如图 1-3 所示。晶区所占的重量百分数称为结晶度。例如，低压聚乙烯在室温时的结晶度为 85%~90%。聚合物的分子结构比较简单，主链上带有的侧基体积小，对称性高，分子间作用力较大时有利于结晶。相反，分子间作用力较小时，对结晶不利，或者就不能形成结晶。一般来说，聚合物的结晶只发生在线型聚合物和含

交联键不多的立体网状型聚合物中。

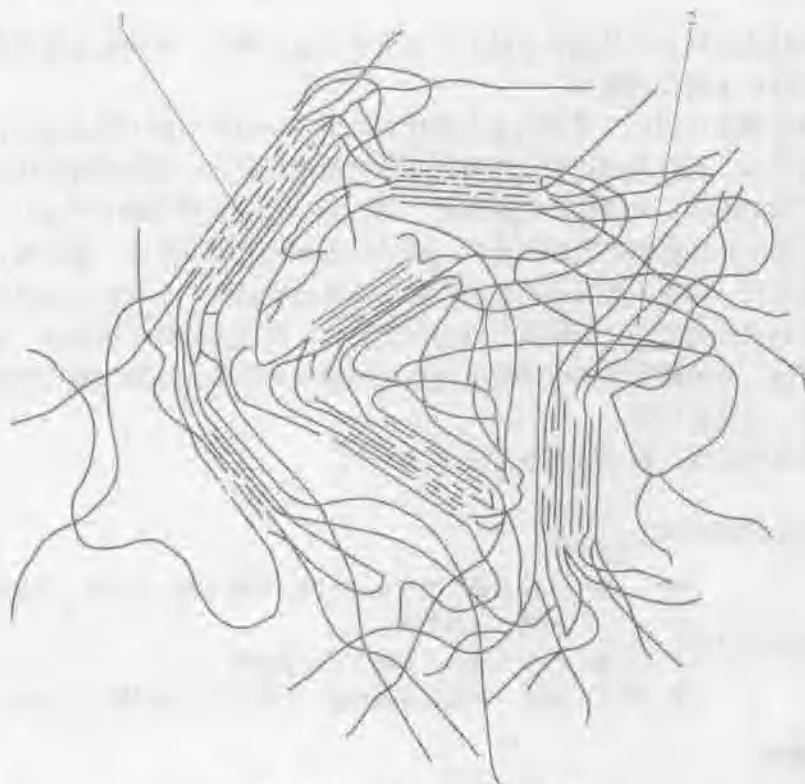


图 1-3 结晶型聚合物分子结构示意图
1—晶区 2—非晶区

结晶度对聚合物的性能影响较大，这是因为结晶造成了分子的紧密集结状态，从而增强了分子间的作用力，所以使聚合物的强度、硬度、刚度及熔点、耐热性和耐化学性等性能都有所提高，而与链运动有关的性能（如弹性、伸长率和抗冲击强度等）则有所降低。

对于非结晶型聚合物的分子结构，以前认为分子的排列是杂乱的，相互间是交错缠绕的，后来通过电子显微镜的观察，发现非结晶型聚合物分子的排列并不是完全无序而杂乱的，而是在大范围内无序，小范围内有序，也就是所说的“远程无序，近程有序”。立体网状结构聚合物由于分子链间存在着大量的交联搭接结构，其分子链难以进行有序的排列，所以，这类聚合物都呈现为无定形结构。

1.2.2 塑料的组成

塑料的成分虽然非常复杂，但是，几乎所有的塑料都是以各种各样的树脂为基体，根据需要加入用以改善其性能的各种辅料（添加剂）而制成的。

1.2.2.1 树脂

合成树脂是塑料的主要成分，它胶粘着其他一切组成的添加剂，并决定着塑料的类型和性能。塑料之所以具有可塑性或流动性，就是树脂所赋予的。