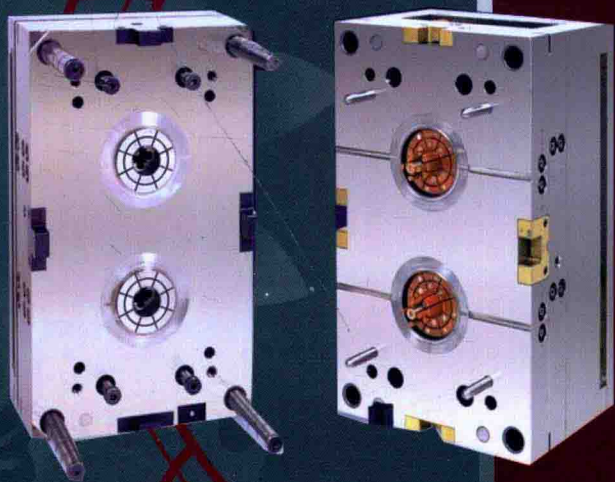




SULIAO CHILUN ZHUSHE  
MUJU SHEJI YU ZHIZAO

# 塑料齿轮注射模具 设计与制造

欧阳志喜 张海臣 编著



化学工业出版社



SULIAO CHILUN ZHUSHE  
MUJU SHEJI YU ZHIZAO

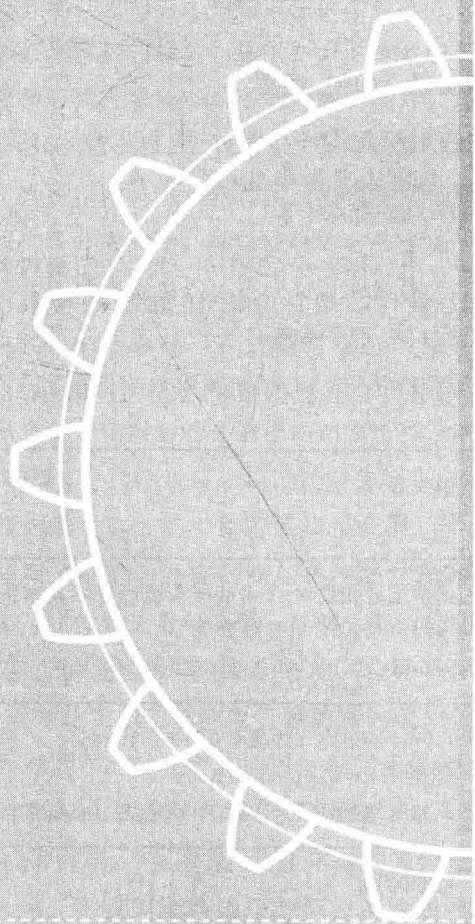
# 塑料齿轮注射模具 设计与制造

欧阳志喜 张海臣 编著



化学工业出版社

· 北京 ·



本书全面详细地介绍了塑料齿轮注射模具设计与制造的技术,是作者30多年从事塑料齿轮注射模具设计与制造的经验总结,融入了国内外塑料齿轮注射模具设计制造的科技成果、点滴经验,实用性、可操作性强。本书内容主要包括:塑料注射成型工艺、特性以及塑料齿轮常用材料等基础知识,塑料齿轮注射模具设计特点与步骤,注射模具六大系统和其他系统的设计,注射模齿轮型腔及其电极参数尺寸的设计,不同类型示例齿轮注射模具结构设计与工作过程,注射模具的制造工艺,EDM电火花加工齿轮型腔的典型工艺,注射模具的试模过程,以及常见各种质量问题的对策。本书重点介绍了各种齿轮注射模具的典型结构和工作过程及其制造工艺,以及注射模齿轮型腔和电极参数尺寸设计计算与多种特殊加工工艺。

本书可供我国汽车、仪器仪表、家用电器、钟表、玩具、办公文仪以及国防军工企业中,从事塑料齿轮注塑模具设计与制造,以及从事齿轮注塑工艺和齿轮检测的工程技术人员和技术工人使用,也可供大专院校有关专业的师生和科研院所有关的科技人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

塑料齿轮注射模具设计与制造/欧阳志喜,张海臣编  
著. —北京:化学工业出版社,2016.4  
ISBN 978-7-122-26434-3

I. ①塑… II. ①欧… ②张… III. ①塑料齿轮-注  
塑-塑料模具-设计②塑料齿轮-注塑-塑料模具-制造  
IV. ①TH132.41

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第043881号

---

责任编辑:张兴辉  
责任校对:吴静

文字编辑:张燕文  
装帧设计:王晓宇

---

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:三河市延风印装有限公司  
787mm×1092mm 1/16 印张25 字数554千字 2016年6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。

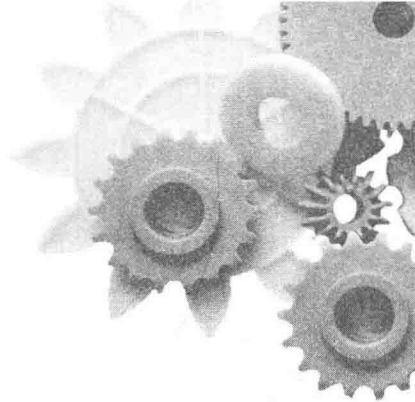
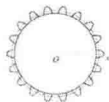
---

定 价:128.00元

版权所有 违者必究

# 前言

Foreword



《塑料齿轮注射模具设计与制造》是由张海臣与笔者合作，历时三年多的努力得以完成的专著。本书作为《塑料齿轮设计与制造》一书的姊妹篇，是国内第一本全面、实用地介绍塑料齿轮注射模具设计与制造的技术图书，是作者30多年从事塑料齿轮注射模具设计与制造的经验总结，实用性、可操作性强。本书系统、全面地介绍了作者及其团队与国内外塑料齿轮注射模具设计制造的科技成果、点滴经验，各种齿轮注射模具的典型结构与工作过程及其制造工艺，重点阐述了注射模具齿轮型腔和电极参数尺寸设计计算与多种特殊加工工艺。

本书第一章简要介绍了塑料注射成型工艺、特性以及塑料齿轮常用材料等基础知识，是从事塑料齿轮制造专业工程技术人员所必须熟悉的；第二章简述了塑料齿轮注射模具的设计特点与步骤；第三章详细介绍了齿轮注射模六大系统和其他系统的设计，其中不少是作者们多年积累的宝贵经验和科技成果；第四章深入讨论了注射模齿轮型腔及其电极参数尺寸的设计，介绍了目前国内外的学术研究成果，首次提出建立在“齿轮本体收缩率”基础上的齿轮型腔主要参数尺寸设计的新理念和计算方法；第五章详细介绍了多种不同类型示例齿轮注射模的结构设计与工作过程，其中不少示例齿轮注射模的结构设计是首次公开发表的，具有较高的参考借鉴价值；第六章深入讨论了塑料齿轮注射模的制造工艺，总结了两种典型结构齿轮注射模的最佳工艺流程，并通过示例特种双联斜齿轮注射模，对模具的主要加工工艺进行了详细讨论；第七章全面介绍了EDM电火花加工齿轮型腔的典型工艺，叙述了回转式电火花展成加工齿轮型腔工艺，还介绍了齿轮型腔及电极的多项特种加工工艺；第八章介绍了塑料齿轮注射模的试模过程，以及各种常见质量问题的对策。本书还包括三个附录，内容翔实，对齿轮注射模设计制造颇有参考价值。

张海臣先生是国内塑料齿轮及注射模设计制造业界知名专家与民营企业家，1988年在天津大型国企从事模具制造工作，1993年南下深圳，受聘于外资企业从事精密注塑模的维修与制造。1997年创办了深圳市海翔铭实业有限公司任董事长兼总经理，主要从事和推动高端塑料齿轮模具和塑料齿轮制品的国产化工作。经过自主研发和长期积累，在塑料齿轮模具设计制造以及注塑技术上有重大突破与创新。完成了汽车摇窗机、雨刮电机驱动器的国产化和电子驻车系统的齿轮箱的设计、开发、验证和大批量生产工作，以上产品均已达到国际先进水平。塑料齿轮产品除了满足国内用户外，已在多个著名国际汽车品牌的车型上获得使用。与此同时，该公司还培养了一批塑料齿轮及注射模制造的技术精英。张海臣1991年获得天津市高级模具技术大赛第一名，1994年获得深圳市青年创业奖，为我国塑料齿轮制造业的发展作出了重要贡

献。张海臣负责组织本书第二章、第三章（大部分）、第五章、第六章（大部分）以及第八章的撰写、审稿工作。

笔者于1980年承担重庆市经委下达的限期解决本市生产台式电风扇摇头噪声严重超标指令性任务，在自制电火花加工内螺纹机床上，按展成原理电火花加工注射模齿轮型腔获得成功，塑料斜齿轮的合格率从原来的40%提升到100%，完成了攻克电风扇摇头噪声难关任务。1983年参与石油部下达重庆市的我国20世纪70年代从美国引进油井钻机用柴油机少齿差行星计时器的研发，笔者主要负责其中塑料少齿差行星轮系研制攻关，获得圆满成功。1992~1997年任重庆光华精密模具研究所技术所长，专门从事石英钟齿轮轮系设计、注射模齿轮型腔及电极参数尺寸设计与加工工艺研究攻关。1997~2002年受聘于成都华川电装品公司，在100天内攻克了该公司长达7年未解决的长安汽车雨刮器的噪声不达标等质量难题；负责指导塑料齿轮注射模具的设计制造与多种汽车、摩托车启动电机、刮水电机、车窗电机等产品的塑料齿轮传动轮系设计与制造及技术攻关。2002年以来受聘于宁波双林汽车配件股份有限公司，主要从事汽车座椅水平驱动器和记忆器等产品的塑料齿轮传动轮系开发，负责产品大批量生产中的疑难技术攻关等，该系列产品已经持续生产十多年，目前仍是国内唯一出口欧美的大宗创汇产品。笔者负责本书第一章、第四章、第七章以及三个附录等的撰写，还承担本书的审稿、修稿与全书的整理任务。

本书作者在长期的科技攻关的实践中，倍感我国塑料齿轮注射模的设计制造水平已有长足进步，但与发达国家相比，还存在较大的差距，深刻认识到高精度塑料齿轮注射模的设计制造基础还比较薄弱。目前仍基本上是由企业根据用户的要求自行攻关、开发和生产；这种体制上的缺陷，势必制约我国中高档塑料齿轮设计制造水平的进一步提高，从而造成目前我国仍需从国外进口部分中高档塑料齿轮的局面。要彻底实现塑料齿轮国产化生产，还需要有齿轮产品设计、塑性材料研发、注塑模具设计制造、新型注塑设备与注塑工艺研究和齿轮检测与试验等多学科的专家团队进行联合攻关。

本书可供我国汽车、仪器仪表、家用电器、钟表、玩具、办公文仪以及国防军工企业中，从事塑料齿轮注塑模具的设计与制造，以及从事齿轮注塑工艺和齿轮检测的工程技术人员和技术工人使用，也可供大专院校有关专业师生和科研院所有关科技人员参考。

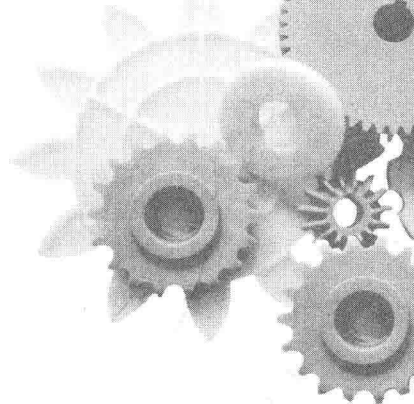
在本书撰写和修稿过程中，周庆胜、欧阳海黎付出了大量心血，做出了重要贡献；还有胥树志、肖祥华、周普亮、郑尚碌、李清、顾来法、应超越等也参与了本书部分章节文稿的编写或提供了重要参考资料和意见；在此一并致以最衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中疏漏之处在所难免，恳请批评指正！

欧阳志喜

# 目录

## CONTENTS



<b>第一章 齿轮注射成型工艺及其常用塑料</b> .....	1
第一节 塑料注射成型工艺特性 .....	1
一、收缩性 .....	1
二、流动性 .....	2
三、吸湿性 .....	3
四、相容性 .....	3
五、热敏性 .....	4
第二节 注射成型原理及其过程 .....	4
一、塑料注射成型原理 .....	4
二、注射生产前的准备 .....	4
三、注射成型过程 .....	6
四、注射成型过程中塑料熔体流程的特征 .....	7
第三节 注塑机的类型与基本参数 .....	8
一、注塑机的类型 .....	8
二、注塑机的基本参数 .....	10
第四节 注射成型主要工艺参数 .....	13
一、温度 .....	13
二、压力 .....	14
三、生产周期 .....	15
第五节 塑料齿轮常用材料 .....	16
一、聚甲醛 (POM) .....	16
二、尼龙 (PA66 与 PA46) .....	18
三、聚碳酸酯 (PC) .....	20
四、聚苯硫醚 (PPS) .....	21
五、聚醚醚酮 (PEEK 450G) .....	22
六、聚对苯二甲酸丁二(醇)酯 (PBT) .....	24
七、齿轮常用塑料有关性能的比较 .....	25
<b>第二章 塑料齿轮注射模的设计特点与步骤</b> .....	27
第一节 塑料齿轮注射模的分类 .....	27
第二节 塑料齿轮注射模的设计特点 .....	28
第三节 塑料齿轮注射模的设计步骤 .....	31
<b>第三章 塑料齿轮注射模的设计</b> .....	35
第一节 注射模模架的选用 .....	35
一、标准模架的种类及用途 .....	35
二、标准模架的选用方法 .....	36
三、非标准模架主要零件的精度要求 .....	37
第二节 浇注系统的设计 .....	38
一、浇注系统设计原则 .....	38
二、流道设计 .....	38
三、浇口设计 .....	44
四、热流道系统应用 .....	52
第三节 齿轮型腔典型结构设计 .....	56
一、圆柱直齿轮型腔结构设计 .....	56
二、圆柱斜齿轮型腔结构设计 .....	57
三、蜗杆型腔结构设计 .....	62
四、滑块式蜗杆型腔结构设计 .....	65
五、圆柱双联齿轮型腔结构设计 .....	66
六、直齿锥齿轮型腔结构设计 .....	68
第四节 排气系统的设计 .....	69
一、注塑过程产生气体的原因及其影响 .....	69
二、排气系统设计的要点及其对注射聚甲醛齿轮的影响 .....	70
三、排气系统设计 .....	70
第五节 脱模机构的设计 .....	74
一、浇注系统凝料脱模机构设计 .....	74
二、齿轮注射模脱模机构设计 .....	76
第六节 模温调节系统的设计 .....	79
一、齿轮注射模冷却系统设计 .....	79
二、齿轮注射模加热系统设计 .....	83
三、模温调节系统密封圈的规格及使用 .....	84

第七节 注射模导向及精定位组件的设置	85	一、成型零部件尺寸及精度设计	90
一、齿轮注射模开合模导向组件的设置	85	二、齿轮型腔材料选择	92
二、齿轮注射模精定位组件的设置	86	三、模具标准零部件的技术要求	97
三、导向组件设计精度的确定	88	四、定、动模板尺寸及精度设计	106
第八节 齿轮注射模重要零部件的设计	90		
<b>第四章 齿轮型腔参数尺寸设计计算</b>	<b>109</b>		
第一节 塑料齿轮收缩率机理分析与验证	109	二、斜齿轮型腔参数尺寸设计计算	121
一、齿轮型腔齿形角修正的早期计算公式	109	三、薄壳型斜齿轮型腔参数尺寸设计计算	124
二、塑料齿轮各向同性向心胀缩机理的研究与验证	110	四、带嵌件斜齿轮型腔参数尺寸设计计算	127
三、塑料齿轮收缩率及其成型工艺的影响	112	第四节 其他齿轮型腔参数尺寸设计计算	134
第二节 齿轮型腔参数及尺寸设计计算	116	一、渐开线蜗杆型腔参数尺寸设计计算	134
一、齿轮材料收缩率的选择	116	二、渐开线蜗轮型腔参数尺寸设计计算	136
二、圆柱渐开线齿轮型腔参数及尺寸设计计算方法	118	三、直齿锥齿轮型腔参数尺寸设计计算	139
第三节 渐开线齿轮型腔参数尺寸设计计算	119	四、钟表齿轮型腔参数尺寸设计计算	150
一、直齿轮型腔参数尺寸设计计算	119		
<b>第五章 塑料齿轮注射模结构设计和工作过程</b>	<b>156</b>		
第一节 圆柱齿轮注射模结构设计与工作过程	156	第四节 蜗轮注射模结构设计与工作过程	184
一、圆柱直齿轮注射模	156	第五节 双联齿轮注射模结构设计与工作过程	186
二、圆柱斜齿轮注射模	160	一、双联直齿轮注射模	186
三、圆柱内齿轮注射模	165	二、双联直齿-斜齿轮注射模	188
四、钟表齿轮注射模	168	三、双联斜齿轮注射模	189
第二节 直齿锥齿轮注射模结构设计与工作过程	171	四、双联蜗杆-斜齿轮注射模	191
一、锥齿轮整体式型腔注射模	171	第六节 特种塑料齿轮注射模结构设计与工作过程	194
二、锥齿轮组合式型腔注射模	173	一、带金属嵌件塑料齿轮注射模	194
第三节 圆柱蜗杆注射模结构设计与工作过程	175	二、塑料直齿轮二次挤压注射模	196
一、上旋式脱模注射模	176	三、圆柱人字齿轮注射模	200
二、下旋式脱模注射模	178	四、特种双联斜齿轮注射模	203
三、滑块式蜗杆型腔注射模	181		
<b>第六章 塑料齿轮注射模制造</b>	<b>206</b>		
第一节 齿轮注射模标准模架工艺安排	206	二、注射模标准模架的检查	210
一、内模贯通镶嵌式注射模的工艺安排	207	第三节 双联斜齿轮注射模的加工流程	212
二、开框镶嵌式注射模的工艺安排	208	一、模具制造工艺难点分析	212
第二节 注射模标准模架检查	209	二、双联斜齿轮注射模加工流程的设计	213
一、注射模标准模架的技术条件	210	第四节 齿轮注射模模板的加工	214

一、定、动模板及其组件加工 .....	214	二、流道加工 .....	231
二、其他模板加工 .....	220	第七节 齿轮注射模的装配与验收 .....	232
第五节 双联斜齿轮注射模内模组件		一、装配前的准备工作 .....	232
加工 .....	222	二、动、定模内模组件的装配与调整 .....	234
一、定、动模斜齿轮型腔加工 .....	222	三、动、定模型腔复位杆的装配与	
二、大斜齿轮电极及其型腔轮齿电火花		调整 .....	236
成型加工 .....	225	四、定距拉杆及拉板的装配与调整 .....	237
三、定、动模型腔座及动模型芯加工 .....	227	五、顶出与复位系统的装配与调整 .....	238
第六节 注射模其他零件及其流道加工 .....	229	六、齿轮注射模的验收 .....	239
一、其他零件的加工 .....	229		
<b>第七章 齿轮型腔成型加工技术</b> .....	<b>240</b>		
第一节 齿轮型腔电火花成型加工 .....	240	一、电铸的基本原理和特点 .....	279
一、电火花加工基本原理及其工艺		二、电铸工艺流程及其设备 .....	280
准备 .....	240	三、齿轮型腔电铸方式的改进 .....	281
二、回转式电火花展成加工 .....	243	四、电铸成型的特殊用途 .....	284
三、齿轮电极参数尺寸设计与制造 .....	250	第四节 齿轮型腔冷挤压成型工艺 .....	285
四、电火花成型加工的质量问题及其		一、齿轮型腔冷挤压成型的主要方式 .....	285
预防措施 .....	260	二、齿轮型腔冷挤压成型工艺要点 .....	286
第二节 齿轮型腔电火花线切割加工 .....	263	三、齿轮型腔冷挤压成型工艺的优	
一、电火花线切割加工原理与机床 .....	263	缺点 .....	287
二、渐开线圆柱齿轮型腔齿廓的构成与		第五节 齿轮型腔及电极特种加工工艺 .....	288
设计计算 .....	270	一、直齿锥齿轮型腔成型加工工艺 .....	288
三、齿轮型腔齿形线切割编程 .....	276	二、齿轮型腔挤压珩磨工艺的应用 .....	294
四、齿轮型腔和型芯慢走丝线切割加工		三、齿轮型腔表面软氮化处理 .....	296
工艺 .....	276	四、四轴联动加工中心及 CNC 滚齿机的	
五、电火花线切割加工的特殊用途 .....	278	应用 .....	300
第三节 齿轮型腔电铸成型工艺 .....	279		
<b>第八章 齿轮注射模试模与维护保养</b> .....	<b>305</b>	六、PA（聚酰胺）齿轮的试模 .....	314
第一节 齿轮注射模试模 .....	305	第三节 齿轮注射模试模的首件检测 .....	316
一、试模前的准备工作 .....	305	一、试模样件的准备 .....	316
二、注塑机及周边设备规格与型号		二、试模齿轮样件的检测 .....	319
选择 .....	306	三、齿轮强度测试及寿命试验 .....	323
三、试模操作流程及注意事项 .....	307	第四节 齿轮注射模修模方案的确定与	
第二节 齿轮注射模试模中的常见问题及		实施 .....	325
其对策 .....	309	一、齿轮注射成型制品的不良缺陷 .....	325
一、注射模试运行检查与注射工艺参数		二、齿轮注射成型的精度不良分析 .....	331
调整 .....	309	第五节 齿轮注射模维护与保养 .....	336
二、常见问题及排除 .....	310	一、齿轮注射模的维护保养 .....	336
三、注射成型生产的基本条件 .....	311	二、齿轮型腔及内模组件的维护保养 .....	337
四、注射模的热平衡问题 .....	312		
五、PEEK（聚醚醚酮）齿轮的试模 .....	313		
<b>附录</b> .....	<b>340</b>		
附录一 齿轮注射模排气系统与温度调节		附录二 塑料注射模零件的标准及应用 .....	357
系统 .....	340	附录三 塑料注射模验收细则 .....	379
<b>参考文献</b> .....	<b>391</b>		



# 第一章

# 齿轮注射成型工艺及其常用塑料

塑料的注射成型工艺特性，是在成型过程中表现出来的一种特有性质。在塑料齿轮注射模的设计过程中应该对所选用塑料的成型工艺特性及其理化、力学性能有必要的了解和认识。本章简要介绍热塑性塑料的注射成型工艺特性及注塑机基本参数和齿轮常用塑料物理性质等。

## 第一节 塑料注射成型工艺特性

### 一、收缩性

塑料从温度较高的模具型腔中取出冷却到室温后，其塑件（又称制品）尺寸或体积都会发生收缩变化，这种性质称为收缩性。收缩性的大小以单位长度塑件收缩的百分数来表示，称为收缩率。由于注射模型腔（或型芯）与塑件的线胀系数的不同，收缩率可分为实际收缩率  $S_s$  和计算收缩率  $S_j$  两种，其计算公式如下：

$$S_s = \frac{a-b}{b} \times 100\% \quad (1-1)$$

$$S_j = \frac{c-b}{b} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $a$ ——模具型腔或塑件在注射成型状态下的尺寸；

$b$ ——塑件在室温下的尺寸；

$c$ ——模具型腔在室温下的尺寸。

实际收缩率  $S_s$  表示塑件实际发生的收缩，因注射成型温度下的塑件尺寸无法测量，以及实际收缩率  $S_s$  和计算收缩率  $S_j$  相差很小，所以生产中常采用计算收缩率  $S_j$ ，但在大型精密塑件注射成型尺寸计算时则应采用实际收缩率  $S_s$ 。由于塑料齿轮的模数和尺寸一般都比较小，所以在注射模型腔尺寸的计算时，可采用计算收缩率  $S_j$  设计。

影响塑件注射成型收缩的主要因素如下。

#### 1. 塑料品种

塑料品种不同，其收缩率各不相同。同品种塑料由于其中组分的比例和分子量的大小不同，其收缩率也不相同。

## 2. 塑件结构

塑件的形状、尺寸、壁厚、有无嵌件和嵌件数量及其分布、有无孔洞和孔洞数量及其分布等对收缩率的大小都有很大的影响。一般来说，塑件的形状复杂、尺寸较小、壁厚较薄、有加强筋、有嵌件和嵌件的数量较多且对称分布，其收缩率较小。

## 3. 模具结构

注射模分型面的选择、浇口的形式及其尺寸大小等因素，都会直接影响熔融塑胶的流动方向、密度分布、保压补缩作用及成型时间长短。

① 采用直接浇口或大截面浇口，可减少塑件收缩。但各向异性大，沿熔融塑胶（又称熔体）流动方向的收缩小，沿垂直熔体流动方向的收缩大。

② 采用小截面浇口时，浇口部分会过早凝结硬化，齿轮型腔内的塑料熔体收缩后得不到及时的补充，塑件收缩率较大。

③ 采用点浇口时，浇口凝结封堵较快，在塑件条件允许的情况下，可设置多个点浇口，可有效地延长保压时间和增大型腔内压力，致使塑件收缩率减小。

## 4. 成型工艺条件

在注射成型时，通过调整模具温度、注射压力、注射速度及冷却时间等因素，可适当地改变塑件的收缩率大小。

① 模具温度调高时，塑件收缩率增大，反之减小。

② 注射压力调大时，塑件收缩率减小，反之增大。

③ 注射速度调高时，塑件收缩率减小，反之增大。

④ 冷却时间延长时，塑件收缩率增大，反之减小。

⑤ 背压调大时，塑件收缩率减小，反之增大。

以上所述为单一因素的影响，其实影响塑件注射成型收缩率的是复合因素，而且相当复杂，所以塑件收缩率是在一定范围内变化的。因此，在注射模设计时，应根据以上因素和塑件结构及其尺寸大小等综合考虑选取塑料的收缩率。在许多情况下，可根据类似塑件和材料凭实践经验来选择收缩率。如果塑件形状、结构复杂，又缺少类似制品这方面的经验或选用新型材料注射成型时，则可通过工艺试验来摸索和确定塑件的收缩率。

## 二、流动性

塑料在一定的温度、压力作用下熔体填充模具型腔的能力称为塑料的流动性。塑料的流动性差，熔体不容易充满整个型腔，易产生塑件缺料等缺陷，因此需要有较高的注射成型压力才能保证塑件的成型质量。如果塑料流动性好，则可采用较小的注射成型压力填充型腔。但是塑料的流动性太好，又会在注射成型时产生严重的溢料等缺陷，这种缺陷对于塑料齿轮的质量是极为有害的。

熔体流动性的大小与塑料分子结构有关。具有线型分子而没有或很少有交联结构的聚合物流动性大。塑料中加入填充物会降低流动性，而加入增塑剂或润滑剂则可增加流动性。在常用齿轮塑料中，尼龙的流动性较好，聚甲醛中等，聚碳酸酯较差。在尼龙类中又以 PA46 的流动性最好，据荷兰 DSM 供应商介绍，由于 PA46 的流动性好，同一种塑件的注射成型生产周期要比 PA66 缩短 30%。

影响熔体流动性的主要因素如下。

(1) 温度 料温高则熔体流动性大，但不同类型塑料之间也有差异。例如，尼龙、聚碳酸酯等的流动性受温度变化的影响较大；聚甲醛的流动性受温度变化的影响较小。

(2) 压力 注射压力增大，则熔体受剪切的作用大，流动性也会增大，尤其是聚甲醛等

较为敏感。

(3) 模温 注射模温度较高时,则熔体流动性增大。反之,模具温度较低时,则熔体流动性较小。

(4) 模具结构 注射模浇注系统流道的形式、尺寸、截面形状、表面粗糙度及排气系统和冷却系统设计的合理性、熔体的流动阻力等因素都会直接影响到熔体的流动性。

对于热塑性材料,常采用熔融指数和螺旋线长度来表示塑料流动性的大小。熔融指数采用如图 1-1 所示的标准装置测定。将被测塑料装入加热筒中进行加热,在一定的温度和压力作用下,测定塑料熔体在 10min 内从出料孔被挤出的质量(单位为 g),该值称为熔融指数,简称为 MI。被测塑料的熔融指数越大,则流动性越好。

螺旋线长度的试验方法是将被测塑料在一定的温度与压力作用下注射入如图 1-2 所示的标准阿基米德螺旋线模具流道中,用熔体在流道内所能达到的长度(图中所示数字单位为 cm)来表示该塑料的流动性。熔料流动长度越长,说明塑料的流动性越好。反之,塑料的流动性越差。

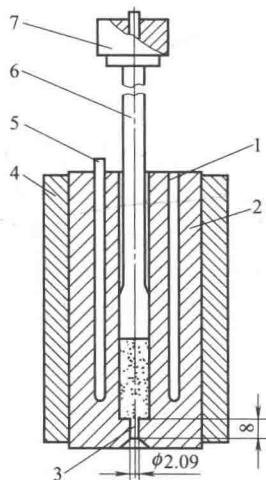


图 1-1 熔融指数测定仪示意

- 1—热电偶测温管; 2—料筒; 3—出料孔;  
4—保温层; 5—加热棒; 6—柱塞; 7—重锤  
(重锤加柱塞共重 2160g)

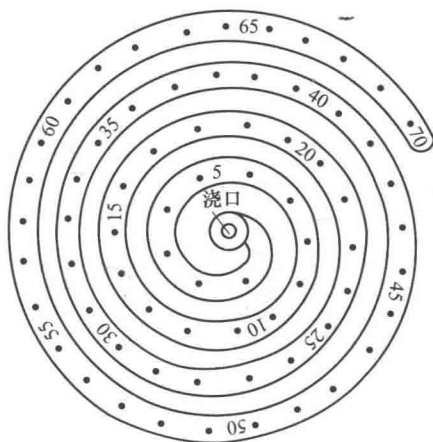
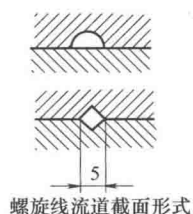


图 1-2 螺旋线长度试验模具流道示意



### 三、吸湿性

吸湿性是指塑料对水分的亲疏程度。按吸湿或黏附水分能力的大小,可将塑料分为吸湿性塑料和非吸湿性塑料。吸湿性塑料在注射成型过程中比较容易发生水降解,注射成型后塑件表面会出现气泡、银丝与斑纹等缺陷。因此,在注射前必须对吸湿性塑料进行干燥或干燥除湿处理。必要时还应在注射机料斗内设置红外线加热装置,以免干燥除湿后的塑料进入料筒前,在料斗中再次吸湿或黏附水分。吸湿性塑料有尼龙、聚碳酸酯、聚苯醚等,聚甲醛的吸湿性较弱。

### 四、相容性

相容性是指两种或两种以上不同品种的塑料在熔融状态下,不产生分离现象的能力。如果两种塑料不相容,则混合熔融后注射成型的塑件会出现分层、脱皮等表面缺陷。不同塑料的相容性与其各自的分子结构有一定的关系,分子结构相似的塑料比较容易相容,分子结构不同的塑料则较难相容。塑料的相容性又称为共混性。通过塑料的共混性,可得到类似共聚

物的综合性能，这是塑料改性的重要途径之一，如聚碳酸酯（PC）与 ABS 塑料相容，则能有效改善 PC 的注射成型工艺性和制品的综合力学性能。

## 五、热敏性

热敏性是指塑料的化学性能对热量作用的敏感程度。热敏性很强的塑料称为热敏性塑料。塑料齿轮最常用材料聚甲醛就是热敏性塑料之一。

热敏性塑料在注射成型过程中很容易在不太高的温度条件下就发生热分解、热降解，并释放出一些挥发性气体，从而会影响塑件的性能、色泽和表面质量，对模具型腔和注射机的料筒组件产生腐蚀作用，对人体器官有刺激性并具有一定的毒性，为了避免以上缺陷出现，可采取在塑料中添加热稳定剂等措施。在 20 世纪 90 年代以前，美国杜邦公司生产的均聚甲醛在注射成型过程中所挥发出的气体的刺激性大，后该公司通过对材料进行改性才得以解决。

# 第二节 注射成型原理及其过程

## 一、塑料注射成型原理

塑料注射成型是根据金属压铸成型原理引申而来的，其基本原理就是利用塑料的可注射、挤压和可模塑性。首先将松散的固态粒状塑料从注射机的料斗中送入已预热的料筒内进行加热、熔融、塑化，使之成为黏流熔体。然后在螺杆或柱塞的高压推动下，以很大的流通过料筒前端的喷嘴注射进入温度较低的闭合注射模的型腔中，经过一段时间保压、冷却定型后，即可使塑件保持模具型腔所赋予的形状和尺寸。随后，注射机通过开、合模机构运动将模具打开，并在机床推出机构和模具顶出装置的作用下，顶出已注射成型的塑料制品。塑件注射成型原理如图 1-3 所示。

模具合模阶段 [图 1-3 (a)]：塑料在料筒内进行塑化。

注射保压阶段 [图 1-3 (b)]：进行注射充模、保压补缩、冷却定型。

模具开启阶段 [图 1-3 (c)]：塑件脱模、料斗加料、料筒进行预塑。

注射成型的主要特点如下。

- ① 能一次注射成型出外形复杂、尺寸精确或带有嵌件的塑料制品。
- ② 适应性强，模具可一模多腔，生产效率高。
- ③ 所注射成型制品容易满足使用要求。
- ④ 可生产经过加填料改性的制品。
- ⑤ 易于实现自动化，适应大批量生产要求。

注射成型工艺是热塑性塑料制品最重要的模塑成型方法之一，到目前为止，绝大多数塑料齿轮所采用的热塑性塑料都是通过注射成型工艺生产的。注射成型工艺的优点是能一次注射成型一件或多件形状复杂、尺寸稳定、带有金属或非金属嵌件的塑料制品。注射成型的生产效率高，产品质量稳定，容易实现自动化生产。注射成型工艺的缺点是所采用的注射机及其周边设备价格较高，注射模具的结构复杂，生产成本较高，制造周期较长，不适合单件或小批量塑件生产要求。除热塑性塑料外，一些流动性较好的热固性塑料也可采用注射成型工艺，这种注射成型工艺的生产效率高、产品质量好。

## 二、注射生产前的准备

### 1. 干燥除湿

对于吸湿性或粘水性弱的聚甲醛（POM）等塑料，如果包装储存条件好，可以不进

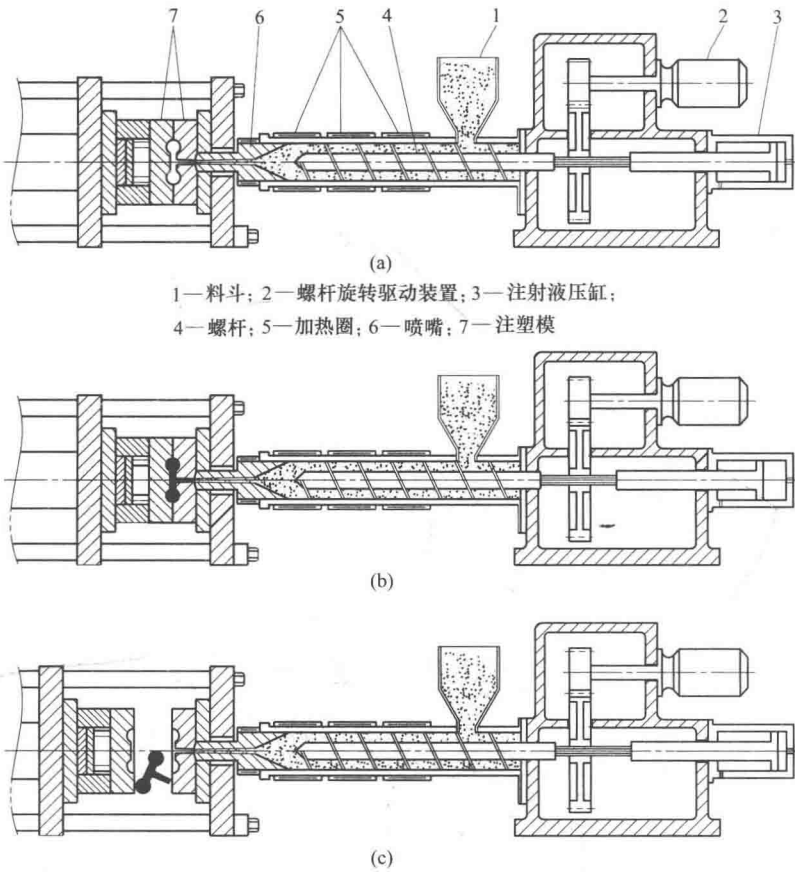


图 1-3 塑件注射成型原理

行预热干燥。对于吸湿性或粘水性强的尼龙（PA）、聚碳酸酯（PC）等塑料，注射成型前应进行预热干燥。其目的是除去塑料中过多的水分和挥发物，以防止注射成型后塑件中出现气泡和银丝等缺陷，同时也可以避免注射时发生水降解。对于吸湿性或粘水性特别敏感的聚醚醚酮（PEEK 450G）等高端材料，在注射前必须按物性要求进行严格的干燥除湿处理。

## 2. 清洗料筒

在生产过程中需要改变塑料品种、更换塑料类型、调换颜色、或发现成型过程中出现了热分解、降解反应等时，就应对注射机料筒进行清洗。通常注射机柱塞式料筒内的熔体存量多，应尽可能将料筒内熔体注射完，而后将料筒拆卸进行清洗。如果是螺杆式料筒，同样应尽可能将料筒内熔体注射完，若欲更换塑料的成型温度高于料筒内残料的成型温度时，应将料筒和喷嘴温度升高到欲换塑料的最高成型温度，切断料筒电源，加入欲换塑料的回头料，并连续对空注射，直到将料筒内全部残料排除干净为止。若两种塑料的成型温度相差不大时，就不必升高温度，先用回头料，然后用欲更换的塑料对空注射即可。如果残料是聚甲醛等热敏性塑料时，就应从流动性好、热稳定性好的聚乙烯、聚苯乙烯等塑料中，选择黏度较高品级塑料作为过渡料对空注射清洗料筒。

## 3. 预热嵌件

对于有金属嵌件的塑料制品，由于金属与塑料的收缩率相差很大，嵌件周围的塑料容易出现收缩残余应力和裂纹。因此，注射成型前可对嵌件进行预热，减小塑件在成型时与塑料

熔体的温差, 尽量避免和抑制嵌件周围的塑料容易出现的收缩残余应力和裂纹。当嵌件尺寸较小时, 也可以不进行预热处理。

#### 4. 选择脱模剂

塑件在注射成型生产中, 为了便于塑件从模具型腔内脱离出来, 有的模具型腔或型芯还需要按一定的时段喷上脱模剂。常用的脱模剂有硬脂酸锌、液体石蜡和硅油等。对于熔融温度特高的 PEEK 450G 等塑料, 必须选用高温脱模剂。

### 三、注射成型过程

注射成型过程可以分为加料、塑化计量、注射填充和冷却定型 (或称定型) 等阶段, 如图 1-4 所示。各个阶段的工作原理简述如下。

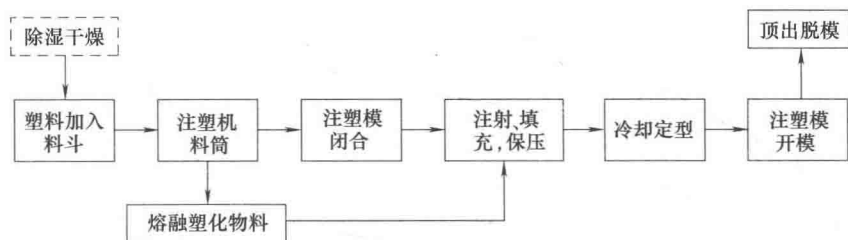


图 1-4 注射成型过程

#### 1. 加料

将塑料加入注射机料斗, 通过注塑机螺杆或柱塞将塑料推入料筒 (又称机筒) 中进行加热。

#### 2. 塑化计量

塑料进入注射机料筒内经过加热、压实、混合等步骤的动作后, 由原松散的固态粒状 (或粉末) 转变成连续的均匀塑化熔体的过程称之塑化。均匀塑化即塑料经过塑化之后, 其熔体内组分必须达到混合、密度、黏度和温度均匀。计量是指能够保证注射机通过螺杆或柱塞将塑化好的熔体定温、定压、定量地输出料筒所进行的准备动作。这些动作均需经过注射机控制系统, 通过螺杆或柱塞在塑化过程中完成。

#### 3. 注射充模

螺杆或柱塞从注射机料筒内的计量开始, 注射油缸通过活塞施加高压, 将塑化好的塑料熔体经过料筒前端的喷嘴和注射模中的浇注系统, 快速射入封闭型腔的过程, 称为注射充模。注射充模又可细分为以下三个阶段。

(1) 流动充模阶段 塑化好的塑料熔体在注射机螺杆或柱塞的推动作用下, 以一定的压力和速度经过喷嘴和模具的浇注系统射入并充满模具封闭型腔, 这一过程称为充模。在熔体注射充模过程中会遇到流动阻力, 这些阻力一部分来源于料筒、喷嘴、模具浇注系统和型腔表面对熔体的摩擦阻力, 另一部分则来源于熔体自身内部产生的黏弹性内摩擦。为了克服流动阻力, 注射机必须通过螺杆或柱塞对熔体施加很大的注射压力。

(2) 保压补缩阶段 是指从熔体充满型腔至螺杆或柱塞在料筒中开始后退为止的阶段。保压是指注射压力对型腔内的熔体继续进行压实的过程, 而补缩则是指保压过程中, 注射机对型腔内逐渐开始冷却凝固的熔体因成型收缩而出现的空隙进行补料的作用。保压补缩的时间应当适当, 时间过长容易使塑件产生内应力, 过短又会出现补缩不够的情况。对于一种具体塑件的保压补缩时间的长短, 可以通过试验来确定。

(3) 凝料回退阶段 是指螺杆或柱塞在料筒中向后回退时, 型腔内的半固态的凝

料朝着浇口和流道所出现的反向倒流。整个倒流过程是从注射压力撤退开始，直至浇口处凝料冻结时为止。引起凝料回退的原因主要是注射压力撤退后，型腔内的压力大于倒流压力，且凝料与大气相通所致。由此可见，凝料回退是否发生或回退的程度如何，均与保压有关。一般来说，保压时间较长时，保压力对型腔内的逐渐固化的凝料压缩的时间也越长，回退量较小，塑件的收缩率也会有所减小。而保压时间不够，情况则刚好相反。

#### 4. 冷却定型

冷却定型从浇口冻结凝固开始，到塑件脱模为止，是注射成型工艺过程的最后一个阶段。在此阶段，补缩或凝料回退均不会再出现，型腔内的塑件继续冷却、硬化和定型。当顶出脱模时塑件已具有足够的刚性，不致受外力顶出而产生翘曲和变形。

#### 5. 顶出脱模

塑件在冷却定型后，注射机即可开模，在机床推出机构的作用下，通过注射模的顶出装置将塑件顶出型腔外，完成塑件的整个注射成型工艺过程。

### 四、注射成型过程中塑料熔体流程的特征

注射模齿轮型腔与一般塑件型腔不同，齿轮型腔为非标准的内齿轮，这种多齿的成型表面将对塑料熔体流线行程取向产生重要影响。

塑料熔体在注射成型过程中，在齿轮齿根圆角处，会形成应力集中区，这类应力会导致齿轮齿根圆角的弯曲强度降低。齿轮齿根圆角半径越小，轮齿根部的弯曲强度越低。现将这种情况的出现和所造成的影响，通过图 1-5 中的熔体流程路径分别描述如下。

当熔体注入型腔齿槽时，熔体流程方向主要取决于流动过程中所产生的剪切应力。绕过型腔小凸圆角的流程或流速骤变这一类突变过程，会在型腔齿槽表面附近造成不规则的流动现象（与湍流现象类似但不等同），如图 1-5（a）左图所示。此处的熔体就地迅速凝固，后果是成型塑料齿轮齿根小圆角处，因内应力过分集中而降低了轮齿弯曲强度。此后，由于时间、温度、潮湿或在化学环境下使用等影响，使这种应力逐渐释放出来，从而造成齿轮几何尺寸和精度发生变化。

对于纤维增强塑料，这种类型的注塑流动还会增添其他隐患。如果塑料齿轮的齿根为全圆弧，塑料熔体注入型腔齿槽时，熔体流程的形式呈平滑连续流动过程，型腔齿根大凸圆角表面附近材料中的纤维会顺应流程方向呈流线式排列。但是，如果熔体流过的型腔齿根是较尖的小凸圆角，则纤维将会呈小凸圆角径向排列，如图 1-5（b）左图所示。这样的纤维排列状况不但不能对齿轮齿根小圆角起到增强作用，反而降低了轮齿的弯曲强度，甚至给轮齿埋下断裂失效的隐患。其次，纤维排列定向不良，还会造成塑件收缩不均和几何尺寸不良等后果。

有利于熔体在型腔内冷却均匀的设计，对注塑尺寸稳定和低应力的塑件是十分重要的。型腔齿槽小凸圆角处，对熔体的流动如同“尖角”，在其型腔表面会形成一片沿导热路径很狭窄的区域，如图 1-5（c）左图所示。其后果是在邻近的熔体凝固时，会形成过热区域。如果齿轮型腔齿槽小凸圆角如同“尖角”，也会出现类似的导热不良问题，从而引发此区域内的温度升高，使上述情况进一步加剧。塑件体内冷却速率不均所产生的收缩力，会使齿轮齿根附近形成空隙或局部应力高度集中。此外，这类不受控、不稳定应力，会使齿轮齿廓产生不可预测的尺寸和几何变形。齿根圆角如果是全圆弧半径，便可大大降低齿轮齿根圆角处熔体的温差和由此产生的收缩应力，大大减轻齿廓变形及对轮齿弯曲强度所造成的损失。

为此，美国《塑料齿轮齿形尺寸》ANSI/AGMA 1106-A97 中所定义的标准基本齿条和推荐的三种试验型基本齿条齿根都采用了全圆弧齿形。



(a) 齿根圆角形状对型腔内塑胶熔体流动的影响



(b) 齿根圆角形状对齿轮齿根表层内塑胶纤维排列定向的影响



(c) 齿根圆角形状对冷却凝固时塑胶齿根圆角表层温度的影响

图 1-5 齿轮齿根圆角形状对模塑齿轮轮齿成型的影响

## 第三节 注塑机的类型与基本参数

### 一、注塑机的类型

注塑机的类型很多，按机器的外形特征分类有立式、卧式、角式和立式多工位旋转式注塑机等。

#### (一) 立式注塑机

##### 1. 立式注塑机分类

(1) 直立式注塑机系列 锁模力 15~45t，双柱柱塞式注塑机如图 1-6 (a) 所示，四柱螺杆式注塑机如图 1-6 (b) 所示。

(2) 立卧式注塑机、C 形注塑机系列 该类机床可分立式锁模，卧式注射，因无导柱和锁模部位且成英文字母“C”形而得名。

(3) 立式单滑板式、双滑板式注塑机系列 该类机型主要针对工程类塑料，塑件有较严格的尺寸精度要求，或有嵌件插入型腔后进行注射成型，选用该类注塑机是带嵌件塑件的优化注射成型方案之一。

(4) 立式多工位圆盘旋转式系列注塑机 选用这类注塑机是带精密嵌件塑件注塑最优化的方案，因该机可设置一套上模、两套下模或多套下模生产，具有适合复杂嵌件塑件和节省人工等优点。

双柱或四柱直立式注塑机系列，主要用于生产玩具、石英钟等小型塑料齿轮。注塑带金属嵌件的雨刮电机斜齿轮，可选用双滑板式、转盘式注塑机，能够较大幅度地提高生产效率。



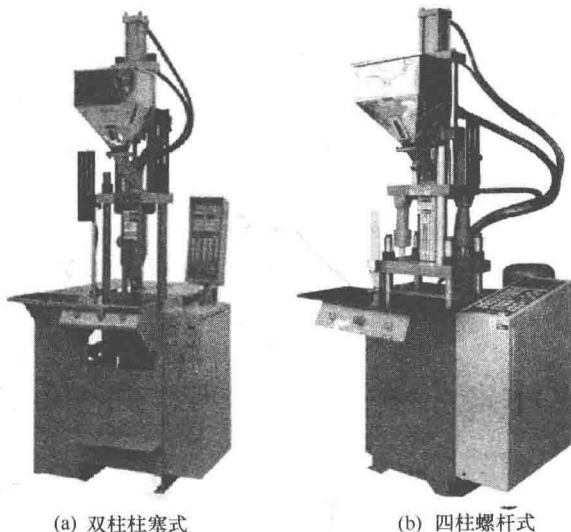


图 1-6 立式注塑机

## 2. 立式注塑机主要特点

① 注射装置和锁模装置处于同一垂直中心线上，且模具是沿上下方向开、合模。占地面积约为同规格卧式注塑机的 50%，但对厂房高度有一定要求。

② 模具下模板分型面朝上，嵌件容易安插到位。采用下模板固定、上模板可动的机种，拉带输送装置与机械手相组合，可实现自动安装嵌件和模塑成型自动化生产。

③ 模具的重量由水平模板支承作上下开、合模动作，不会发生类似卧式机的由于模具重力引起的向前倾斜，出现模板无法严密开、闭的现象。有利于持久保持机床和模具运动件的精度。

④ 锁模装置周围一般为开放式，容易配置各类自动化装置，适应于复杂、精巧产品的自动模塑成型。

⑤ 小批量试生产时，模具构造简单，制造成本低，卸装方便。

### (二) 卧式注塑机

随着塑料制品多样化的市场需求越来越大，注塑机设备的升级换代也越来越快。目前国内注塑机主要是全液压式，由于环保和节能的要求，以及伺服电机的成熟应用和价格的大幅度下降，近十几年来全电动式的精密注塑机越来越多。只有比较以上两大类不同动力源注塑机的优缺点，才有可能弄清注塑机的技术发展方向和选型。

全液压式注塑机在成型精密、形状复杂的制品方面有许多独特优势，它从传统的单缸充液式、多缸充液式发展到现在的两台板直压式。其中以两台板直压式最具代表性，但其控制技术难度大，机械加工精度要求高，液压技术也比较难掌握。

全液压卧式注塑机的主要特点如下。

① 即使是大型机，由于机身低，对安置厂房无高度要求。

② 塑件一般可自动落下，不需使用机械手即可实现自动生产。

③ 由于机身低，送料和检修方便，模具可通过吊车进行装卸。

④ 制造成本低，多台并列排列下，成型品可由输送带收集包装。

⑤ 液压油的环境污染和机械噪声大，能耗和使用费用较高。

⑥ 全液压式注塑机要保证精度，就必须使用带闭环控制的伺服阀，而伺服阀价格昂贵，