

# 模具的基本知识

在现代的工业生产中，模具作为一种工艺装备起着重要的作用。在铸造、冲压、粉末冶金工艺、塑料、橡胶、陶瓷制品等非金属材料制品成型加工过程中，模具与成型机械相配套加工产品。模具生产成为现代工业生产规模化、专业化的一个重要手段。

## 1.1 模具的定义

在工业生产中，用各种压力机和装在压力机上的专用工具，通过压力把金属或非金属材料制出所需形状的零件或制品，这种专用工具统称为模具。冷冲模具（简称冷冲模）与塑料模具是应用较为广泛的模具。冷冲模如图 1-1 所示。塑料模具如图 1-2 所示。

(1) 模具是一种专用的工业装备，属于精密机械产品，主要由机械零件和机构组成，包括零件、导向零件、支撑零件、定位零件、送料机构、抽芯机构、推（顶）料（件）。

(2) 模具在外力作用下能产生一定的运动关系，这种运动关系能使被加工零件形成弯曲变形、冲裁下料、机构检测与安全机构等。

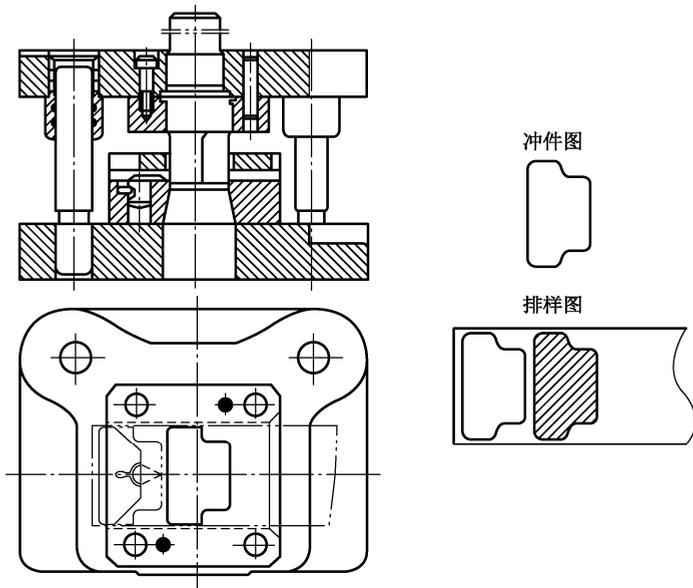
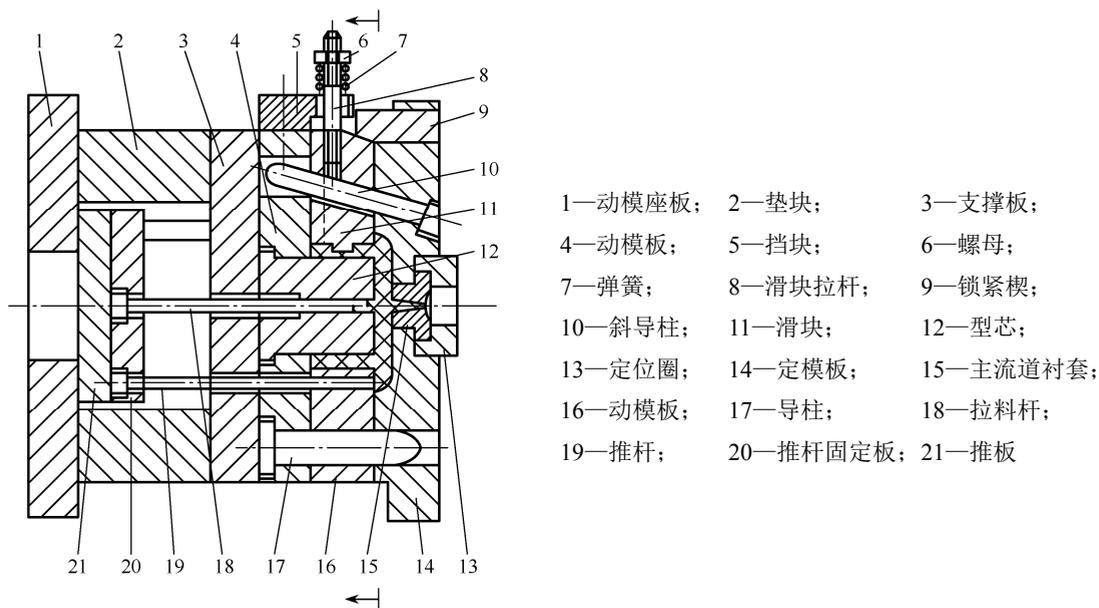


图 1-1 冷冲模



- 1—动模座板； 2—垫块； 3—支撑板；
- 4—动模板； 5—挡块； 6—螺母；
- 7—弹簧； 8—滑块拉杆； 9—锁紧楔；
- 10—斜导柱； 11—滑块； 12—型芯；
- 13—定位圈； 14—定模板； 15—主流道衬套；
- 16—动模板； 17—导柱； 18—拉料杆；
- 19—推杆； 20—推杆固定板； 21—推板

图 1-2 塑料模具

(3) 制造模具的材料一般要求比较高，硬度要大、耐磨，如 9CrSi、14Cr 等。但目前也有结构简单、生产周期短、成本低的简易冲模，如钢皮冲模、聚氨酯橡胶模、低熔点合金模具、铸合金模具、组合冲模、通用可调孔模等。

(4) 在现代工业生产中，由于模具的加工效率高、互换性好、节约材料，所以得到广泛的应用。例如，冲压成型、锻压、压铸成型、挤压成型、塑料注射或其他加工法和成型模具配合，经单工序或多道成型工序，将材料或坯料加工成符合产品要求的零件或半成品件。

例如，汽车覆盖件须采用多副模具进行冲孔、拉深、翻边、弯曲、切边、修边、整形等多道工序成型加工成合格零件；发动机的曲轴、连杆是采用锻造成型模具，经滚锻或模锻成型加工为精密机械；还有加工前的半成品坯件等。

## 1.2 模具的分类及应用

模具的用途涉及各行各业及日常生活，应用非常广泛。科学地进行模具分类，对有计划地发展模具工业、系统地研究模具生产技术，促进模具设计、制造技术的现代化，对研究、制定模具技术标准，提高模具标准化水平和专业化协作生产水平，都有十分重要的意义。

### 1.2.1 模具的分类

模具可分为三大类。第一类：金属体积成型模，如锻（镦、挤压）模、压铸模等；第二类：金属板材成型模，如冲裁模等；第三类：非金属材料制品用成型模，如注射成型模和压缩模、橡胶制品、玻璃制品、陶瓷制品用成型模具等。

目前流行的分类方法很多，采用综合归纳法将模具分为十大类。各大类再根据其使用对象材料、功能和模具制造方法，以及工艺性质等再分成若干类和品种，如表 1-1 所示。

在种类繁多的模具中，目前应用较多的是冷冲模与塑料模具。

表 1-1 模具分类

第一类			
金属体积成型模	压铸模	热压室压铸机用压铸模	
		冷压室压铸机用压铸模	
		铝合金压铸模	
		铜合金压铸模	
		锌合金压铸模	
		黑色金属压铸模	
	锻造成型模具	压力机用锻模	
		摩擦压力机用锻模	
		平锻机用锻模	
		辊锻机用锻模	
		高速锤机用锻模	
		开（闭）式锻模	
		校正模	
		压印模	
		切边模	
		冲孔模	
		精锻模	
		多向锻模	
		胎模	
		闭塞锻模	
		冷锻模	
		挤压模	
	拉丝模		
		粉末冶金成型模	
		锻造金属成型模	
		通用模具与经济模	
	第二类		
	金属板材成型模	冲裁模	
		单工序模	
复合冲模			
级进冲模			
汽车覆盖件冲模			
硅钢片冲模			
硬质合金冲模			
微型冲件用精密冲模			

续表

第三类		
非金属材料制品成型模	塑料成型模	注射成型模
		压缩模
		挤塑模
		挤出模
		发泡模
		吹(吸)塑模
		封塑模
		滚塑模
	其他成型模	玻璃制品成型模
		橡胶制品成型模
		陶瓷模

### 1.2.2 模具的应用

模具的应用与模具的类别、品种存在密切的关系。每一类、每一种模具都有其特定的用途及使用方法，并且有专门相配套的成型加工机械设备。

在现代工业生产中，由于模具生产技术的现代化，模具已广泛用于电动机与电气产品、电子与计算机产品、仪表、家用电气产品与办公设备、汽车、军械、通用机械产品的生产中。模具的应用如表 1-2 所示。

表 1-2 模具的应用

模具类别	应用
冲裁模	使用金属板材，通过冲裁模成型加工为合格工件
塑料成型模	使用热固性和热塑性的塑料，通过注射、压缩、挤塑、挤出、发泡、吹塑和吸塑等成型加工为合格工件；塑件也有板材和体积成型两种成型工艺
玻璃制品成型模	用于玻璃瓶、缸、盒、桶及工业产品零件的成型加工
橡胶制品成型模	汽车轮胎、“O”形密封圈及其他杂件与硫化机配套成型加工为合格橡胶零件
压铸模	金属零件产品，如汽车、汽油机缸体、变速箱体等有色金属零件（锌、铝、铜等），通过注入模具型腔的液态金属加工成型
锻造成型模	采用有色、黑色金属的块料或棒材、丝材，经锻、镦、挤、拉等工艺成型加工成合格零件、毛坯和丝材
陶瓷模	用于建筑用陶瓷构件、陶瓷器皿、工业生产用陶瓷零件的成型加工
粉末冶金成型模	主要用于铜基、铁基粉末制品的压制成型。它包括机械零件、电气元件、工具材料、易热零件、核燃料制件的粉末压制成型
铸造金属型模	液态金属、石蜡等易熔材料经注入模具腔成型为金属零件毛坯、铸造用型芯、工艺品等
通用模具与经济模	适用于产品试制，多品种、小批量生产

## 1.3 模具的特点

模具应用广泛，具有适应性强、制件的互换性好、生产效率高、低耗及社会效益高等特点。

### 1.3.1 模具的适应性

针对产品零件的生产规模和生产形式，可采用不同结构和档次与之相适应。产品零件大批量生产，可采用高效率、高精度和高寿命、自动化程度高的模具；产品试制或多品种、小批量的产品零件生产，可采用通用模具，如组合冲模、快换模具（可用于柔性生产线），以及各种经济模具。

根据不同产品零件的结构、性质、精度和批量，以及零件材料和性质、供货形式，可采用不同类别和种类的模具与之相适应。例如，锻件则须采用锻模，冲件则须采用冲模，塑件则须采用塑料成型模，薄壳塑件则须采用吸塑或吹塑成型模具等。

### 1.3.2 制件的互换性

在模具一定使用寿命范围内，合格制件（冲件、塑件、锻件等）的相似性好，可完全互换。常用的模具寿命如表 1-3 所示。

表 1-3 常用的模具寿命

模具种类和名称		模具参考寿命/万件	说 明
冲裁模	一般钢冲裁模	100~300	平均寿命
	电动机定转子硬质合金冲裁模	4000~8000	
	E 形片硬质合金冲裁模	6000~10000	
注射成型模	钢注射成型模	40~60	中碳钢制模具 采用优质模具钢
	合金钢注射成型模	100 以上	
压铸模	中、小型铝合金件用压铸模	10~20	
	中、大型铝合金件用压铸模	5~7	
锻模	齿轮精锻模	1~1.5	
	一般锤锻模	1~2	

模具具有所谓“一模一样”的特点，只要模具生产的第一个零件合乎要求，接下来成批生产的零件就会合乎要求。但必须是在模具使用寿命范围之内。一套模具生产出来的同一批零件，它的互换性好，具有“一模一样”的特点。

### 1.3.3 生产效率高、低耗

采用模具成型加工，产品零件的生产效率高。高速冲压可达 1800 次/min。由于模具寿命和产品产量等因素限制，常用冲模也在 200~600 次/min 范围内。塑件注射循环时间可缩

短在 1~2min 内成型，若采用热流道模具进行连续注射成型，生产效益则更高，可满足塑件大批量生产的要求。采用高效滚锻模进行连杆锻件连续滚锻成型。采用塑料异形材挤出模进行建筑用门窗异形材挤出成型，其挤出成型速度可达 4m/min。

采用模具生产，不仅生产效率高，而且生产消耗低，可大幅节约原材料和人力资源，是进行产品生产的一种优质、高效、低耗的生产技术。

### 1.3.4 社会效益高

模具是高技术含量的社会产品，其价值和价格主要取决于模具材料、加工、外购件的劳动与消耗三项直接发生的费用和模具设计与试模（验）等技术费用，而且是模具价值和市场价格的主要组成部分，其中一部分技术价值计入了市场的价格，而更大一部分价值则是模具用户和产品用户受惠变为社会效益。例如，电视机用模具，其模具费用仅为电视机的 1/3000~1/5000，尽管模具的一次投资较大，但在大批量生产的每台电视机的成本中仅占极小的部分，甚至可以忽略不计。而实际上，很高的模具价值为社会所拥有，变成了社会财富。

模具是现代化工业生产中广泛应用的优质、高效、低耗、适应性很强的专用成型工具产品。模具是技术含量高、使用广泛的新技术产品，是价值很高的社会财富。

## 1.4 模具标准化

模具行业在近几年得到了飞速的发展，它的标准化也有了相应的发展，主要体现在模具的技术标准及模具标准件两个方面。

### 1.4.1 模具标准化的意义

模具标准化是模具工业建设的基础，也是现代模具生产的基础，它的意义主要体现在：使用性能和质量、生产周期、生产技术及生产成本。

(1) 提高模具使用性能和质量。

实现模具零部件标准化，可使 90%左右的模具零部件实现大规模、高水平、高质量的生产。这为提高模具质量和使用性能及其可靠性提供了保证。

(2) 大幅度节约工时和原材料，缩短生产周期。

实现模具零部件标准化后，注射成型模的生产工时可节约 25%~45%，即相对单件生产来讲，可缩短 1/3~2/5 的生产周期。

目前，在工业化国家，中小型冲模、注射成型模、压铸模等模具标准化使用覆盖率已达 80%~90%；大型模具配件标准化程度也很高，除特殊模具外，其零部件基本上实现了标准化。

由于模具标准件需求量大，实现模具零部件的标准化、规模化、专业化生产，可大量节约原材料，大幅度提高原材料的利用率，原材料利用率可达 85%~95%。

(3) 是采用现代化生产技术的基础。

实行模具的 CAD/CAM, 实现无图生产, 实现计算机管理和控制, 是进行模具优化设计和制造的技术基础。

(4) 可有效地降低模具生产成本, 简化生产管理和减少企业库存, 是提高企业经济、技术效益的有力措施和保证。

## 1.4.2 模具技术标准

标准是一种社会规范。因此, 模具技术标准是模具企业都要遵守的行业或专业规范, 也是社会规范的一种。它的主要内容是技术规范内容, 人在生产过程中的行为规范, 具有科学性、先进性、实践性。其参数、指标、结构必须科学、合理、准确; 同时, 对实践和市场需求应是完全相适应的。

模具技术标准(的制定)依据如下。

(1) 符合国家基础标准及相关标准, 包括制图标准、形位公差及配合标准、标准尺寸、材料标准、制件(冲件、塑件等)产品标准。

(2) 为与国际贸易接轨, 模具技术标准还必须逐步靠拢国际标准和国际优秀企业标准, 我国注射成型模和冲模标准的制定参照了 ISOTC29/SC8 零件标准。

(3) 积极应用科学实验的科技成果及我国大型企业的生产实践和企业标准。

## 1.4.3 模具技术标准分类

模具技术标准共分为四类: 模具产品标准(含标准零部件标准等)、模具工艺质量标准(含技术条件标准等)、模具基础标准(含名词术语标准等), 以及相关标准。

### 1. 模具产品标准

模具产品标准主要是对模具零件及结构进行标准化。例如, 冷冲模、注射成型模、锻模、挤压模的零件标准, 模架标准和结构标准, 锻模模块结构标准等, 特别是其中的模架标准已得到了市场的广泛认同, 已有厂家专业化生产。

### 2. 模具工艺质量标准

模具工艺质量标准主要对模具的表面质量要求、材料的热处理工艺及产品质检等进行规范。例如, 冷冲模、注射成型模、拉丝模、橡胶模、玻璃模、锻模、挤压模等模具的技术要求标准, 模具材料热处理工艺标准, 模具表面粗糙度等级标准, 冷冲模、注射成型模零件和模架技术条件、产品精度检查和质量等级标准等。

### 3. 模具基础标准

模具基础标准主要是对模具名词术语、尺寸系列等进行规范。例如, 冷冲模、注射成型模、压铸模、锻模等模具的名词术语, 模具的尺寸系列, 模具体系表等。

### 4. 相关标准

相关标准主要是模具用材料标准，如塑料模具钢标准、冷件模具钢标准、热件模具钢标准等。

模具标准化有利于工业规模化生产。近两年模具标准化有了很大的发展，并逐步得到市场的认同，但由于起步较晚，许多方面的标准还要进一步完善。

### 1.4.4 模具标准件

模具标准件简称标准件。目前我国模具标准件的专业化生产规模不是很大，品种不多。在美国市场有 150 多种模具标准件供选购。模具标准件的专业生产，简化了模具的生产过程，缩短了模具的生产加工周期，大大提高了生产效益。一副精度高、复杂的电动机定转子片级进冷冲模，只 2.5 个月即可完工交货。

模具标准件生产加工须具备以下条件。

(1) 要有一定规模，能产生规模效益。例如，冷冲模模架的产量就要在保证精度、质量的条件下，达到经济产量，方能产生规模效益。

(2) 须保证标准件的互换性和可靠性，因此标准件生产工艺管理须规范，须采用保证高精度、高效的生产设备及工艺设备。

(3) 销售服务体系要配套完善，使用户实现无库存管理，保证用户定量、定期获得供应。

## 1.5 模具设计与制造现代化

模具设计与制造的手段在近两年得到了飞速发展。特别是随着计算机的应用，其设计、制造都达到了一个新的层次，它的特点主要体现在以下几方面。

### 1.5.1 模具工业体系的产业基础

模具的工业体系要拥有广大的模具企业与支持模具企业或为模具企业提供生产装备的企业，以形成强大的产业基础。

特别是我国目前汽车行业的高速度发展，带动了模具产业的发展。汽车的工业化规模生产，需要一大批专业模具企业为其提供模具。

模具工业体系的产业基础也是为适应社会产品工业化规模生产的重要条件和特点。

### 1.5.2 模具标准化是现代模具生产的技术基础

为适应各类模具的现代化生产，必须进行模具的标准化工作，即将模具中的通用零部件设计成通用的标准，组织规模生产，以提高模具设计和制造的效率，缩短模具生产周期，提高模具性能水平。这是现代化模具生产的必备条件。

由于现代化模具生产采用了先进的制造和设计技术，例如，采用 CAD/CAM/CAE、FMS 技术，则必须有标准化的支持，因此模具标准化是现代模具生产的技术基础和必备条件。

### 1.5.3 模具零件的互换性

模具的通用零部件都须标准化，并在此基础上实现互换，是现代模具生产的重要基础和特点。

冲裁模、凸模和凹模及拼块，以及精密塑料型腔拼块，由于高效、精密和超精加工技术的发展，加工精度已达到 0.000xmm 级，即所谓的“零误差”，从而使凸模、凹模及其拼块可进行完全互换。这对于高精密性、高寿命、高价值模具来说，是非常有利的。例如，安装的硅钢片冲模的冲头（凸模）和凹模拼块，当在冲压过程中拼块失效了，换上另一种拼块，无须检查，即可继续工作。

目前我国模具零部件标准化进展较快，除了凸模、凹模及拼块、精密塑料模具型腔拼块实现互换外，还有部分模具零件也实现了互换。

### 1.5.4 模具的设计技术

随着计算机技术的发展，模具的设计技术也有很大的飞跃。目前，模具的设计包括模具平面图、立体图、效果图、工艺规程、模具加工模拟全部可通过软件实现，常用的、效果较好的软件主要是以下几种。

#### 1. CAD/CAM

##### 1) CAD/CAM 的概念

计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）是人和计算机相结合，各尽所长的新型设计方法。在 CAD 运行过程中，人可以评价设计结果，控制设计过程；计算机可以发挥其计算和存储信息的能力，完成信息管理、绘图、模拟、优化和其他数值分析任务。

计算机辅助制造（Computer Aided Manufacturing, CAM）通过计算机进行数控加工自动编程，并对加工过程进行模拟。CAD 与 CAM 关系十分密切，形成计算机辅助设计与计算机辅助制造系统，简称 CAD/CAM 系统。

以 CAD/CAM 为基础，产生了一系列相关的概念与技术，如计算机辅助工程（CAE）、计算机辅助工艺设计（CAPP）、柔性制造系统（FMS）、快速还原技术（RP）、计算机集成制造系统（CIMS）、反向工程（RE）、并行工程（CE）、敏捷制造（AM）和虚拟制造（VM）等。

##### 2) 模具 CAD/CAM 技术的应用

(1) 利用 CAD/CAM 的几何造型技术获得几何模型，可供后续的设计分析和数控编程等方面使用。

(2) 可以缩短新产品的试制周期。

(3) 满足产品的技术需要，如汽车车身表面需要利用计算机准备数据和完成随后的制造工作。

(4) 模具加工设备通过 CAD/CAM 处理数据，大大提高效率。

(5) 通过磁盘进行数据传送、交流信息，方便制造商及用户。

## 3) 传统的模具设计制造流程与现代流程比较

(1) 传统的模具设计制造过程包括工艺设计、模具结构设计、工艺模型制造、零件加工、试模与调试、检测等。传统的模具设计制造流程如图 1-3 所示。

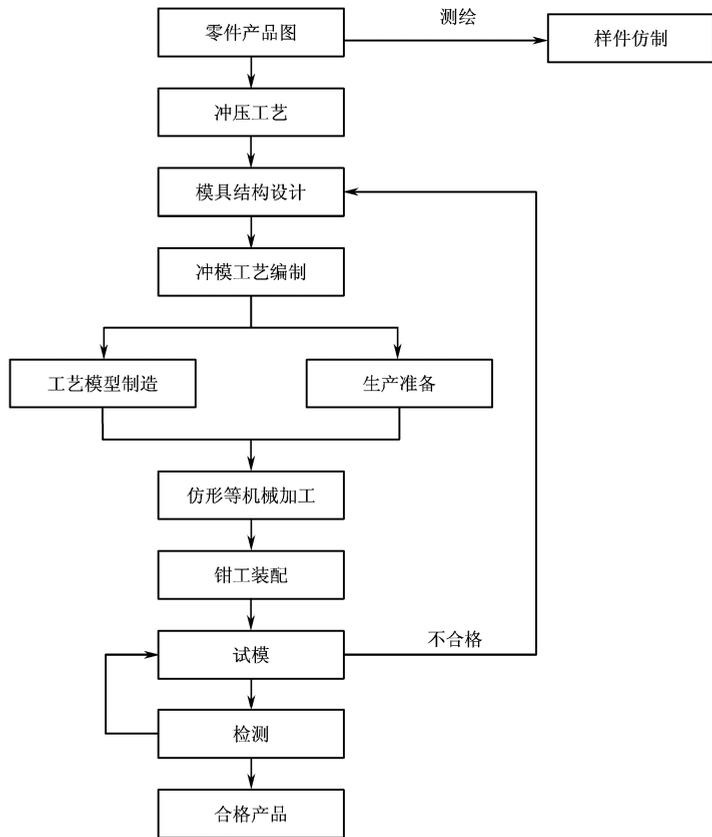


图 1-3 传统的模具设计制造流程

其特点如下。

- ① 产品设计信息以二维图样为主，对于复杂零件要辅以样件或模型表示零件的形状。
- ② 进行工作零件设计时，要对产品图进行再设计。
- ③ 模具设计凭经验进行，结果难以预测。
- ④ 模具设计效率低，信息共享程度差。
- ⑤ 工艺模型的制造质量决定整套模具的加工质量。
- ⑥ 仿形加工是大型型腔模具的主要方式，模具的研配和调试工作量很大。

(2) 现代的模具设计与制造主要体现在集成方面，如集成的汽车覆盖模设计制造流程。其过程首先是在三维坐标测量机上进行三维扫描，通过 CAM 进行三维几何造型 NC 编程，生成 NC 加工程序和工艺文件，通过网络传到加工现场，验证模型 NC 程序或试切，最后完成覆盖件模具的 NC 加工，形成合格的模具成品，如图 1-4 所示。

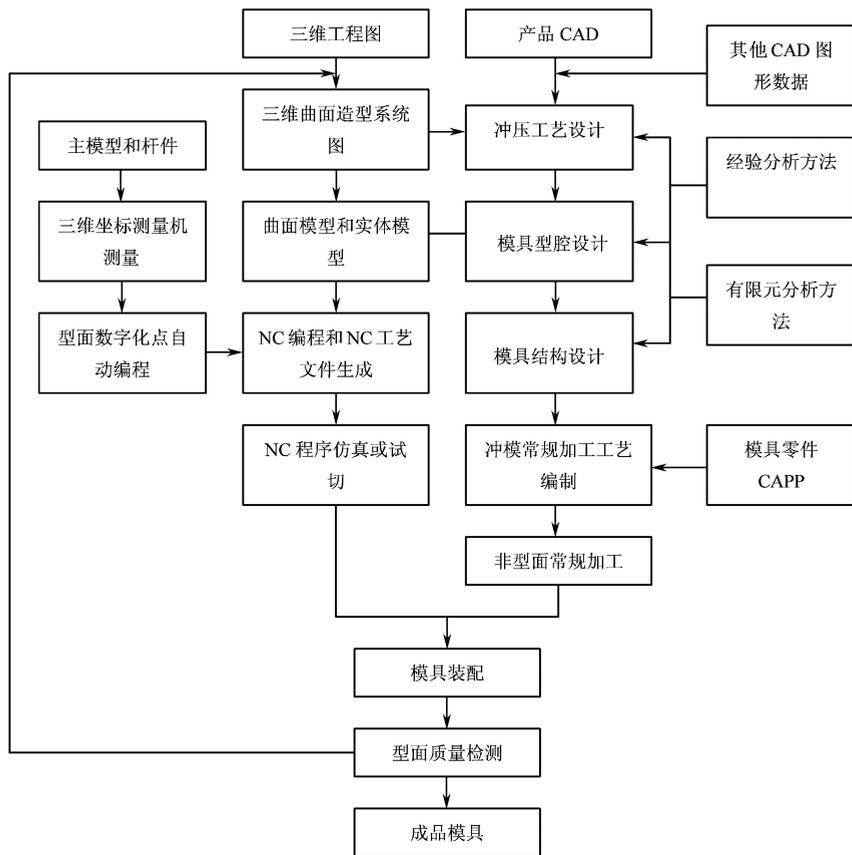


图 1-4 集成的汽车覆盖件模具 CAD/CAM 流程图

## 2. Pro/Engineer

### 1) 3D 实体模型 (3D Solid model)

将使用者的设计概念以最真实的模型在计算机上呈现出来，随时计算出产品的体积、面积、质心、重量、惯性矩等，用以了解产品的真实性，并补足传统面架构、线架构的不足。

### 2) 单一数据库 (Single data base)

随时由 3D 实体模型产生 2D 工程图，而且自动标注工程图尺寸，不论在 3D 还是 2D 图形上做尺寸修正时，其相关 2D 图形或 3D 实体模型均自动修改，同时组合、制造等相关设计也会自动修改，可确保资料的正确性，并避免反复修正的耗时性。

### 3) 以设计特征作为数据库存取的单位 (Feature-based design)

以最自然的思考方式从事设计工作，如钻孔、挖槽、圆角等。充分掌握设计概念之外，设计过程中导入实际的制造观念，以特征作为资料存取的单元可随时对特征做合理、不违反几何顺序的调整、插入、删除、重新定义等修正动作。

### 4) 参数式设计 (Parametric design)

设计者只须更改尺寸参数，几何图形立即依照尺寸变更，可以实现设计工作的一致性，避免发生人为改图的疏漏情形，减少许多人为改图的工作时间与人力消耗。

### 3. CAD/CAM 软件

目前,应用较多的 CAD/CAM 软件有 Pro/Engineer、I-Deas 和 Unigraphics 等。Mastercam 是目前国内应用较为广泛、经济实惠的 CAM 软件。

Mastercam 是美国从事计算机数控程序设计的专业化公司 CNCSoftwareINC 研制出来的计算机辅助软件。它将 CAD 和 CAM 这两大功能综合在一起,具有较好的实用性。

Mastercam 除了可以产生 NC 程序外,本身也具有 CAD 功能,可直接在系统上设计图形并转换成 NC 加工程序,也可以进行一些常用的图形文件格式的转换。它能提供适合目前国际上通用的各种数控系统的后置处理程序文件,如 FANUC、NE/ADS、AGIE、HIJACHI 等数控系统。Mastercam 系统没有刀具库及材料库,能根据被加工制件材料及刀具规格尺寸自动确定进给率、转速等加工参数,具有较强的数控编程功能。

### 4. CNC

CNC (Computer Numerical Control) 是指计算机数控,指用计算机作为一般数控系统中的控制装置。

### 5. CAPP

CAPP (Computer Aided Process Planning) 是指计算机辅助工艺规程设计。

### 6. Mastercam CAD/CAM 的集成软件

Mastercam CAD/CAM 的集成软件包含 CAPP,利用这个软件可以辅助使用者完成产品的“设计—工艺规划—制造”,它包含四个模块:Design——设计模块、Mill——铣削模块、Lathe——车削模块、Wire——线切割模块。

## 1.5.5 模具的制造技术

由于工业产品规模化生产的要求,模具须具备高精密、高寿命的使用性能。因此,模具零件须采用高性能、高硬度或超硬材料制造。例如,冲裁模使用的 Cr12MoLV1 硬质合金 YG15 等材料,硬度都在 62HRC 以上。这是一般机械加工方法难以进行的,因此须采用特种加工工艺和装备。

模具的普通机加工一般是模具零件的粗加工,结构不是很复杂,或模具零件的硬度不是很大。它的加工方法主要包括车、铣、刨、磨、钻、插、镗等,还包括钳工方法的锉、刮、锯、研磨等。

模具零件的特种加工方法主要有电火花、电火花线切割、超声加工、化学与电化学加工等。对高硬或超硬材料的加工效果很好,同时适用于一些薄壁小零件、结构复杂的模具零件。一般机械设备不便于加工,可以采用特种加工工艺。

模具的先进设备加工,是采用计算机控制的自动化程度较高的一些先进设备。目前这方面的技术主要如下。

#### 1) NC、CNC 成型磨削精密加工技术

采用 NC (Numerical Control, 简称数控,指用离散的数字信息控制机械等装置的运行 NC)、CNC 曲线磨床、连续轨迹坐标磨床,对冲模的凸模与凹模型面及塑料模具、压

铸模等成型模具型面拼块，进行成型加工。

### 2) NC、CNC 成型铣削

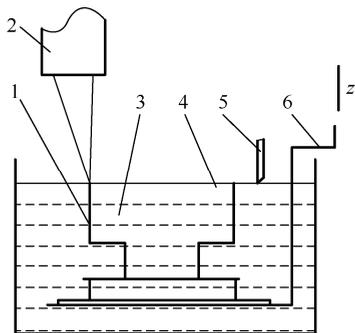
NC、CNC 成型铣削主要用于成型模具的凸模（含型芯）、凹模（含型腔）型面的半精或精密成型加工。目前，NC、CNC 铣镗床加工中心已成为普遍采用的模具生产设备。

## 1.6 快速成型及快速模具制造技术

快速成型（Rapid Prototyping, RP）原理为分层叠加制造，以液态光敏聚合物选择性固化（简称 SLA）为例说明快速成型原理及原型零件的制造过程。如图 1-5 所示，液槽中盛满液态光敏树脂，激光束在偏转镜作用下，在液态表面扫描，扫描的轨迹及光线均由计算机控制，光点打到的地方，液体就固化。成型开始时，工作平台在液面下一确定的深度，聚焦后的光斑在液面上按计算机的指令逐点扫描，即逐点固化。当一层扫描完成后，未被照射的地方仍是液态树脂。然后升降台带动平台下降一层高度，已成型的层面上又布满一层树脂，刮平器将黏度较大的树脂液面刮平，再进行下一层的扫描，新固化的一层牢固地粘在前一层上。如此重复直到整个零件制造完毕，便可从液槽中取出一个分层制造的三维实体零件，也就是原型零件。

快速成型技术具有以下特点。

- (1) 成型速度快，从 CAD 设计到原型零件制成，一般只需几个小时至几十个小时。
- (2) 设计制造一体化，CAD 和 CAM 能够很好地结合。
- (3) 自由成型制造，自由的含义：一是指可以根据零件的形状，无须专用工具的限制而自由地成型，二是指不受零件形状复杂程度限制。
- (4) 高度柔性，仅须改变 CAD 模型，重新调整和设置参数即可生产出不同形状的零件模型。
- (5) 技术高度集成，带有鲜明的时代特征。
- (6) 制造成本与零件的复杂程度基本无关。



1—原型零件；2—紫外激光；3—光敏树脂；4—液面；5—刮平器；6—升降台

图 1-5 SLA 快速成型系统原理图

### 1. 快速模具制造技术

#### 1) 金属树脂模具材料的配方

环氧树脂应用相当广泛，其特点是固化反应过程中不释放低分子产物，固化物收缩率

小, 成型压力低, 而且固化强度高, 尺寸稳定, 较耐高温, 较适合转化快速原型零件为金属树脂模具。以金属粉末和环氧树脂为基料, 作者研究了不同添加剂对金属树脂材料性能的影响, 各种金属树脂模具材料的配方如表 1-4 所示。

表 1-4 金属树脂模具材料的配方

配方号	环氧树脂/g		固化剂/g		金属粉末/g			
	E-44	F-51	脂肪胺类 (A1)	芳香胺类 (A2)	铝粉	铜粉	稀释剂/mL	其他添加剂
1	100		10		200		85	少许
2	100		10		120		35	
3	100		10			200	30	少许
4	100			11	120		89	若干
5		100		15	120		100	若干
6		100	12		120		100	

按表 1-4 配方将称量好的环氧树脂倒入容器, 加入稀释剂和金属粉末, 充分搅拌均匀, 加入适量固化剂和其他添加剂 (有的不加)。不断搅拌, 待充分混合均匀后倒入成型模具中成型, 脱模后置于恒温箱中充分固化。制得各种标准试样, 然后进行性能测试, 配方试样的性能测试值如表 1-5、表 1-6 所示。

表 1-5 6 种金属树脂试样的性能测试值

性能参数	试样号					
	1	2	3	4	5	6
硬度 (HR)	30.2	42.8	58.5	51.5	112.0	106.3
磨损体积/mm <sup>3</sup>	7.352	5.810	5.569	1.441	6.398	2.772
抗拉强度/MPa	1.18	14.53	32.21	10.18	7.63	12.05

表 1-6 部分试样金属树脂材料的 MA 曲线特征数据

试样号	不同温度区间最大线胀系数 $\alpha_1/K^{-1}$	25~200℃的线胀系数 $\alpha_2/K^{-1}$	其他温度区的线胀系数 $\alpha_3/K^{-1}$	
2	$1.848 \times 10^{-4}$ (55.3~82.5℃)	$6.310 \times 10^{-5}$	$4.112 \times 10^{-5}$ (82.5~200℃)	$5.975 \times 10^{-5}$ (25~55.3℃)
4	$4.855 \times 10^{-3}$ (151.8~157.5℃)	$3.810 \times 10^{-4}$	$2.149 \times 10^{-4}$ (25~151.8℃)	$8.286 \times 10^{-4}$ (157.5~200℃)
5	$2.428 \times 10^{-4}$ (25~75.5℃)	$1.885 \times 10^{-4}$	$4.275 \times 10^{-5}$ (92.8~200℃)	0 (75.5~92.8℃)

## 2) 性能测试结果分析

(1) 硬度。从表 1-5 可以看出试样 5、6 的硬度最大, 而其他几种试样的硬度相差不大, 这可能是因为试样 5、6 所用环氧树脂不同, 其固化物的分子链刚性较大的缘故。同时, 环氧树脂的相对含量也是影响硬度的主要因素, 从试样 1、2、3 的硬度大小可看出这一点。

(2) 磨损性能。从表 1-5 可以看出, 试样 1 磨损体积最大, 耐磨性最差。而试样 4 磨

损体积最小, 仅为  $1.1441 \text{ mm}^3$ , 试样 3 耐磨性最好, 用作模具材料较为适宜。

(3) 抗拉强度。由表 1-5 可以看出, 试样 1 的抗拉强度最小, 这可能与试样 1 所用铝粉较多、环氧树脂相对用量减小有关。而试样 3 则因用的是铜粉, 其密度大, 在金属树脂中占有体积小, 环氧树脂相对用量较多, 故其结合紧密, 抗拉强度最高。试样 2、4、5、6 的拉伸强度相差不是很大。由此表明, 金属粉末的品种和含量是影响抗拉强度的主要因素。

(4) 线胀系数。在相同条件下, 对 3 种金属树脂试样 2、4、5 进行了热膨胀性能分析, 在  $25 \sim 200^\circ\text{C}$  范围内, 得到它们的 MA 曲线的特征数据, 如表 1-6 所示, 从中可以看出, 3 种试样的线胀系数在  $25 \sim 200^\circ\text{C}$  相差不是很大。但在不同的温度范围内, 它们的线胀系数相差悬殊, 试样 2 在  $55.3 \sim 82.5^\circ\text{C}$  膨胀最快, 而在  $82.5 \sim 200^\circ\text{C}$  膨胀速度明显减缓。由此表明试样 2 适于在此温度范围内使用, 其膨胀幅度不会很大。试样 4 在  $151.8 \sim 157.5^\circ\text{C}$  膨胀极为迅速, 线胀系数高达  $4.855 \times 10^{-3}/\text{K}$ , 而在  $25 \sim 151.8^\circ\text{C}$  时, 其膨胀却较为缓慢, 当温度升高至  $157.5^\circ\text{C}$  时突然收缩, 这可能是因为试样 4 固化不完全, 当温度升高时发生固化收缩所致。试样 5 在  $25 \sim 200^\circ\text{C}$  膨胀速度相差不大, 开始较为迅速, 在  $25 \sim 75.5^\circ\text{C}$  时线胀系数为  $2.428 \times 10^{-4}/\text{K}$ , 升至  $75.5^\circ\text{C}$  时出现一段水平线, 达到  $92.8^\circ\text{C}$  时重新开始膨胀, 到  $200^\circ\text{C}$  时线胀系数为  $4.275 \times 10^{-5}/\text{K}$ 。由此表明, 在  $25 \sim 200^\circ\text{C}$  温度范围内用试样 5 作为模具材料, 膨胀幅度不大。

从以上的分析可以得到以下结论。

① 对于以环氧树脂和金属粉末为基料的金属树脂材料, 材料中的环氧树脂、固化剂、金属粉末等是影响材料性能的直接因素。

② 在试样配方中, 试样 5 硬度高, 强度适中, 且在  $25 \sim 200^\circ\text{C}$  时线胀系数不大, 较适合作为金属树脂模具的材料, 也可作为低熔点塑料模具材料; 试样 4、6 比较适合作为拉深模的材料。

## 2. 制模过程

基于 RP 技术的金属树脂模具快速制造工艺, 制模过程分析如下。

(1) 设计制作原型。首先按照前述 RP 原型的设计制作原则, 利用快速成型技术设计制作模具原型零件。

(2) 原型表面处理。原型表面必须进行光整处理, 采用刮腻子、打磨等方法, 尽可能提高原型粗糙度, 然后涂刷聚氨酯漆 2~3 遍, 使其表面达到一定的粗糙度。

(3) 设计制作金属模框。根据原型的大小和模具结构设计制作模框。模框的作用: 一是在浇注树脂混合料时防止混合料外溢; 二是在树脂固化后, 模框与树脂黏结在一起形成模具, 金属模框对树脂固化体起强化和支撑的作用。模框的长和宽应比原型尺寸放大一些, 一般原型放到模框内, 模框内腔与原型的间隔应在  $40 \sim 60 \text{ mm}$ , 如图 1-6 所示。高度也应适当考虑。浇注时模框表面要用四氯化碳清洗, 去除油污、铁锈、杂物, 以使环氧树脂固化体能与模框结合牢固。

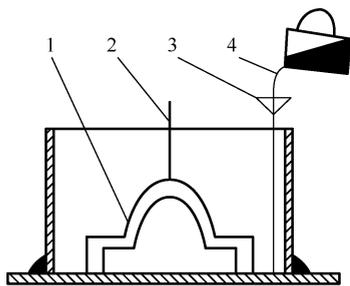
(4) 选择和完善分型面。无论是浇注金属环氧树脂模具还是考虑用模具生产产品, 都要合理选择模具的分型面。这不仅为脱模提供方便, 而且是提高产品质量、尽可能减少重复修整工作等必须考虑的技术措施。另外, 严禁出现倒拔模斜度, 以免出现无法脱模等现象。

(5) 上脱模剂。选用适当的脱模剂, 在原型的外表面(包括分型面)、平板上均匀、细致地喷涂脱模剂。

(6) 涂刷模具胶衣树脂。把原型和模框放置在平板上，原型和模框之间的间隙要调整一致。将模具胶衣树脂按一定的配方比例，先后与促进剂、催化剂、固化剂混合搅拌均匀，即可用硬细毛刷等工具将胶衣树脂刷于原型表面，一般刷 0.2~0.5mm 厚即可。

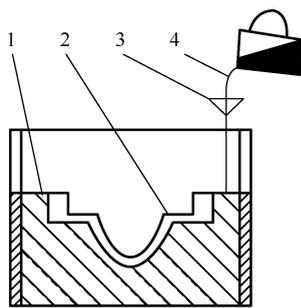
(7) 浇注凹模。如图 1-6 所示，当表面胶衣树脂开始固化但还有黏性时（一般 30min），将配制好的金属环氧树脂混合物沿模框内壁（不可直接浇到型面上）缓慢浇入其中的空间。浇注时可将平板支起一角，然后从最低处浇入，这样有利于模框内气泡逸出。

(8) 浇注凸模。待凹模制成后，去掉平板，如图 1-7 所示放置，在分型面及原型内表面均匀涂上脱模剂，然后在原型内表面及分型面涂刷胶衣树脂。待胶衣树脂开始固化时，将配制好的混合物沿模框内壁缓慢浇入。



1—胶衣树脂层；2—顶模杆；3—漏斗；  
4—金属树脂混合物

图 1-6 浇注凹模简图



1—凹模；2—胶衣树脂层；3—漏斗；  
4—金属树脂混合物

图 1-7 浇注凸模简图

(9) 分模。在常温下浇注的模具，一般 1~2 天就可基本固化定型，即能分模。

(10) 取出原型及修模。由于金属树脂混合物固化时具有一定的收缩量，分模后，原型一般留在凹模内。取原型时，可用简单的起模工具，如硬木、铜或高密度塑料制成的楔形件，轻轻地楔入凹模与原型之间，也可同时吹入高压气流或注射高压水，使原型与凹模逐步分离，取原型时，应尽量避免用力过猛、重力敲击，以防止损伤原型和凹模。



## 思考与练习



- 1-1 模具的定义是什么？
- 1-2 模具是怎样分类的？目前应用最广泛的是哪两类？
- 1-3 模具有哪些主要特点？
- 1-4 什么是模具标准化？它的意义是什么？
- 1-5 什么是模具零件的互换性？
- 1-6 现代模具设计与制造的主要特点是什么？
- 1-7 试说明集成的汽车覆盖模设计制造流程。
- 1-8 Mastercam 的主要作用是什么？