

Muju Zhizao Gongyixue

# 模具制造工艺学

► 李成凯 主编



电子科技大学出版社

高等职业教育机电类模具专业规划教材

# 模具制造工艺学

主 编 李成凯

副主编 徐善状 胡建新 梁合意

主 审 于庆有

电子科技大学出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

模具制造工艺学 / 李成凯主编. —成都: 电子科技大学出版社, 2013.1

ISBN 978-7-5647-1413-0

I. ①模… II. ①李… III. ①模具—制造—生产工艺—高等教育—教材 IV. ①TG760.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 001779 号

## 内 容 提 要

本书主要介绍模具制造技术的各种方法、特点和加工工艺, 以及与模具制造相关的基本知识。其主要内容有: 模具制造工艺综述、模具零件基本表面的机械加工、模具零件的精密机械加工、模具零件的特种加工、模具零件的光整加工、模具零件加工工艺分析、模具装配工艺等。本书介绍的模具制造知识全面, 重点突出, 突出加工工艺的实用性和适度性, 通过模具典型零件的加工分析, 体现了“工学结合, 做中学, 学中做, 工学合一”的理念。

本书可作为高等职业技术学院、成人高校、职业技术学校模具设计与制造专业的教学用书, 也可作为机械类专业的选修课教材及相关工程技术人员参考书。

高等职业教育机电类模具专业规划教材

## 模具制造工艺学

主 编 李成凯

副主编 徐善状 胡建新 梁合意

主 审 于庆有

---

出 版: 电子科技大学出版社(成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦 邮编: 610051)

策划编辑: 张 鹏

责任编辑: 张 鹏 李燕琴

主 页: [www.uestcp.com.cn](http://www.uestcp.com.cn)

电子邮箱: [uestcp@uestcp.com.cn](mailto:uestcp@uestcp.com.cn)

发 行: 新华书店经销

印 刷: 河北永清县晔盛亚胶印有限公司

成品尺寸: 170mm×240mm 印张 20 字数 400 千字

版 次: 2013 年 3 月第一版

印 次: 2013 年 3 月第一次印刷

书 号: ISBN 978-7-5647-1413-0

定 价: 60.00 元

---

■ 版权所有 侵权必究 ■

- ◆ 本社发行部电话: 028-83202463; 邮购部电话: 028-83201495。
- ◆ 本书如有缺页、破损、装订错误, 请寄回印刷厂调换。
- ◆ 课件下载在我社主页“下载专区”。

# 前 言

本书是为了适应我国高等职业技术教育发展的需要，配合国家示范性高职院校建设计划的实施，加强模具专业核心课程建设，本着“工学结合，做中学，学中做，工学合一”的宗旨，在广泛调研、征求各方面意见的基础上编写的。本书是电子科技大学出版社组织编写的高等职业教育系列教材之一，是高等职业技术学院模具及相关专业的教学用书，也可供有关工程技术人员参考。

本书根据高等职业教育的特点以及模具设计与制造专业的培养目标和教学要求编写而成，以体现高等职业教育的特色和行业特点。本书以培养模具专业学生能尽快适应实际工作需要为出发点，本着专业知识够用为度，重点培养从事实际操作的基本能力和基本技能的指导思想，将模具制造的技术经济指标、模具制造工艺、特种加工、数控加工与编程等相关知识进行了科学的优化组合，力求突出实用性、系统性和知识的综合应用性。从企业对人才需求的角度出发，将课堂教学、现场教学及实训融为一体。

全书共分7章：第1章为模具制造工艺综述，介绍与模具制造工艺相关的基本知识；第2章介绍模具零件的机械加工方法；第3章介绍模具零件的精密加工；第4章介绍模具零件的电加工；第5章介绍模具的研磨与抛光加工；第6章介绍模具的主要零件加工；第7章为典型模具的装配。

本教材建议教学时数为56学时（不包括实训），各章节学时分配见下表（供参考）：

序号	课程内容	学时数				合计
		讲授	实验	复习考核	机动	
1	概论		1			1
2	模具制造技术综述		5			5
3	模具零件基本表面的机械加工		4	2		6
4	模具零件的精密加工		4			4
5	模具零件的特种加工		8	4		12
6	光整加工		4			4
7	模具零件加工工艺分析		8			8
8	模具的装配技术		6	4		10
	合计	2	40	10	4	56

本书由李成凯担任主编，徐善状、胡建新、梁合意担任副主编，哈尔滨理工大学于庆有教授担任主审；绪论、第1、2、3、5章由李成凯编写，第4章由胡建新编写，第6、7章由王海平编写。本书在编写及出版过程中，得到编者所在单位以及电子科技大学出版社的大力支持，在此表示致谢。

虽然我们尽了最大努力，限于编者的水平和经验有限，书中的缺点和错误在所难免，敬请广大读者和专家批评、指正和帮助，以便改进。

# 目 录

绪 论.....	1
第 1 章 模具制造技术概述.....	3
1.1 模具的生产过程.....	3
1.1.1 模具生产过程的概念.....	3
1.1.2 模具生产和工艺特点.....	5
1.2 模具的技术经济指标.....	5
1.2.1 模具的精度.....	5
1.2.2 模具的生产周期.....	17
1.2.3 模具生产成本.....	18
1.2.4 模具寿命.....	18
1.3 模具工艺工作.....	19
1.4 模具制造的工艺流程.....	21
1.4.1 模具制造的工艺过程及组成.....	21
1.4.2 模具制造工艺路线.....	23
1.4.3 模具设计.....	27
1.4.4 毛坯加工.....	27
1.4.5 零件加工.....	39
1.4.6 装配、试模与调试、维修.....	41
【本章小结】.....	45
【习题与思考题】.....	47
第 2 章 模具零件基本表面 的机械加工方法.....	48
2.1 机械加工方法及选用.....	48
2.1.1 模具零件的常用机械加工方法.....	48
2.1.2 选用模具零件表面加工方法的原则.....	50
2.2 外圆柱面的加工.....	50
2.3 平面的加工.....	54
2.4 孔的加工.....	57
2.4.1 一般孔的加工方法.....	58
2.4.2 深孔加工.....	62
2.4.3 精密孔加工.....	64
2.5 孔系的加工.....	65
2.5.1 单件孔系的加工.....	65

2.5.2	相关孔系的加工	67
2.6	数控加工技术介绍	68
2.6.1	数控加工的优点	68
2.6.2	加工程序编制的内容和步骤	69
2.6.3	程序编制的方法	70
2.6.4	数控机床的坐标系统及运动方向	71
2.6.5	常用数控标准	74
	<b>【本章小结】</b>	77
	<b>【习题与思考题】</b>	78
<b>第3章</b>	<b>精密机械加工</b>	<b>79</b>
3.1	成型磨削	79
3.1.1	概述	79
3.1.2	成型磨削方法	80
3.1.3	成型磨削常用机床	89
3.1.4	成型磨削对模具结构的要求	92
3.2	坐标镗削加工	93
3.2.1	坐标镗床	93
3.2.2	坐标镗削加工	96
3.3	坐标磨削加工	96
3.3.1	坐标磨床	96
3.3.2	坐标磨削的种类	98
3.3.3	坐标磨床的工艺范围	99
	<b>【本章小结】</b>	102
	<b>【习题与思考题】</b>	103
<b>第4章</b>	<b>模具零件的特种加工</b>	<b>104</b>
4.1	电火花成型加工	105
4.1.1	电火花成型加工的基本原理	105
4.1.2	电火花加工的特点	110
4.1.3	电火花加工的工艺范围	111
4.1.4	电火花穿孔加工的工艺过程	112
4.1.5	电火花加工设备	113
4.1.6	型孔的电火花加工	117
4.1.7	型腔的电火花加工	132
4.2	电火花线切割加工	141
4.2.1	电火花线切割加工的原理和特点	141

4.2.2	电火花线切割加工设备	143
4.2.3	数字程序控制的基本原理	152
4.2.4	电火花线切割加工程序的编制	155
4.2.5	电火花线切割加工模具的工艺特点	174
4.3	电化学加工	183
4.3.1	电铸加工	183
4.3.2	电解加工	188
	【本章小结】	190
	【习题与思考题】	192
第5章	模具零件的光整加工	194
5.1	研磨与抛光	194
5.1.1	研磨的机理	194
5.1.2	研磨抛光的分类	195
5.1.3	手工研磨及抛光	196
5.2	超声波抛光	202
5.2.1	超声波抛光的基本原理及设备	202
5.2.2	超声波抛光工艺及特点	205
5.2.3	超声波抛光效率	208
5.3	电解修磨抛光	208
5.3.1	电解修磨抛光的原理及特点	209
5.3.2	电解修磨抛光的设备	210
5.3.3	电解液	212
5.3.4	电解修磨抛光的工艺过程	212
5.4	挤压研磨	213
5.4.1	挤压研磨的基本原理	213
5.4.2	挤压研磨的工艺特点	214
5.4.3	黏性磨料介质	214
5.4.4	挤压研磨的夹具	215
5.4.5	挤压研磨的加工后处理	215
5.4.6	挤压研磨工艺参数	215
	【本章小结】	217
	【习题与思考题】	218
第6章	模具零件加工工艺分析	219
6.1	冷冲模主要零件加工工艺分析	219
6.1.1	冲裁模的加工工艺	219

6.1.2	冲裁模的加工特点	221
6.1.3	凸、凹模的结构形式	222
6.1.4	凸、凹模的加工与凸、凹模的加工实例	224
6.2	锤锻模主要零件加工工艺分析	240
6.2.1	锤锻模技术要求	240
6.2.2	锻模加工工序安排	240
6.2.3	锻模加工实例	241
6.3	压铸模主要零件加工工艺分析	242
6.3.1	压铸模制造技术要求	242
6.3.2	压铸模型腔零件的制造	242
6.3.3	压铸模制造的特点	243
6.4	注塑模主要零件加工工艺分析	243
6.4.1	注塑模零件加工技术要求	243
6.4.2	注塑模零件的加工制造方法	244
6.4.3	实例	246
	<b>【本章小节】</b>	248
	<b>【习题与思考题】</b>	250
<b>第7章</b>	<b>模具装配工艺</b>	<b>252</b>
7.1	概述	252
7.1.1	装配的目的和内容	252
7.1.2	装配精度要求	253
7.1.3	模具验收的技术条件	253
7.2	模具装配尺寸链	254
7.2.1	装配尺寸链	254
7.2.2	计算装配尺寸链示例(极值法)	255
7.3	装配方法及应用	256
7.4	模具零件的固定方法	260
7.5	间隙控制方法	268
7.6	模架装配	270
7.6.1	模架技术条件	270
7.6.2	模架的装配方法	271
7.7	冷冲模的装配、试模	275
7.7.1	冲模装配的工艺流程	275
7.7.2	凸模、凹模与固定板的装配	276
7.7.3	单工序冲裁模装配	278
7.7.4	复合模的装配	281

7.7.5 级进模(连续模)的装配.....	283
7.7.6 其他冲模装配的特点.....	286
7.8 注塑模的装配、试模.....	287
7.8.1 准备工作.....	287
7.8.2 零部件的组装.....	288
7.8.3 总装配程序.....	300
7.8.4 试模.....	301
7.9 压铸模的装配、试模.....	303
【本章小节】.....	304
【习题与思考题】.....	306
参考文献.....	307

# 绪 论

## 1. 模具制造技术的现状与发展方向

近年来,随着我国国民经济的发展,模具工业的发展相当快,2007年我国模具行业销售额达910亿元,比上年增长25%,排在世界第三位。目前,我国模具行业制造技术水平参差不齐,高的已与国际接轨,低的仍停留在仅拥有一两台普通加工机床的模具小作坊;模具生产厂家90%以上为中小企业。模具制造技术从过去只能制造简单模具发展到可以制造大型、精密、复杂、长寿命模具。多工位级进模和长寿命硬质合金模具的生产与制造有了进一步的扩大。数控铣床、数控电火花加工机床、加工中心等现代化模具加工机床被广泛使用。电火花加工已成为冲模制造的主要手段。电解加工、电铸加工、陶瓷型精密铸造、冷挤压、超塑成型等制模技术也得到广泛应用。模具CAD/CAM发展很快。

尽管我国模具工业发展较快,模具制造技术有了明显提高,但与工业发达国家相比仍有较大差距,差距估计在十年左右。主要表现在模具品种少、精度差、寿命短、生产周期长等方面。模具行业面临着诸如工艺装备水平低,技术人才严重不足,专业化、标准化、商品化的程度低等问题。

随着社会的不断进步,工业产品的品种增多,产品更新换代加快,对模具质量、精度和制造周期要求越来越高。根据“十一五”模具行业发展规划,我国模具要向大型、精密、复杂、高效、长寿命和多功能方向发展。模具制造技术的发展方向可归纳为以下几点:

(1) 模具粗加工向高速加工发展。以高速铣削为代表的高速切削加工技术代表了模具零件外形表面粗加工的发展方向。高速铣削可以大大改善模具表面的质量状况,并大大提高了加工效率和降低成本。例如,INGERSOLL公司生产的VFM型超高速加工中心的切削进给速度为76m/min,主轴转速为45 000r/min,瑞士SIP公司生产的AFX立式精密坐标镗床主轴转速为30 000r/min,日本森铁工厂生产的MV-40型立式加工中心,其转速为40 000r/min。另外,毛坯下料设备出现高速锯床、阳极切割和激光切割等高速高效加工设备,还出现了高速磨削设备和强力磨削设备。

(2) 成型表面加工向精密、自动化发展。成型表面的精加工向数控、数显和计算机控制等方向发展,使模具加工设备的CNC(计算机数字控制)水平不断提高。推广应用数控电火花成型、数控电火花线切割加工设备、连续轨迹计算机控制坐标磨床、配有CNC修整装备和精密测量装置的成型磨削加工设备等先进设备,是提高模具制造技术水平的关键。

(3) 光整加工技术向自动化发展。当前,模具成型表面的研磨、抛光等光整加

工仍然以手工操作为主，不仅花费工时多，而且劳动强度大和表面质量低。工业发达国家正在研制由计算机控制、带有磨料磨损自动补偿装置的光整加工设备，可以对复杂型面的三维曲面进行光整加工，并开始在模具加工上使用，大大提高了光整加工的质量和效率。

(4) 更多地使用快速成型加工模具技术。快速成型制造技术是20世纪80年代以来，制造技术上的又一次重大发展，它对模具制造具有重要的影响。特别适用于多品种、小批量模具的生产。由于多品种、小批量的生产方式占工业生产的75%左右。因此，快速成型制模技术必将有极大的发展前途。

(5) 模具CAD/CAM技术将得到进一步普及与提高。模具CAD/CAM技术在模具设计上的优势越来越明显，它是模具技术的又一次革命，普及和提高模具CAD/CAM技术的应用是历史的必然趋势。

## 2. 本课程的性质、任务和要求

《模具制造工艺》是高等职业技术学院模具专业的一门专业课程。在学习本课程之前，学生应该修完“机械制造基础”、“冷冲压与塑料成型机械”、“冲压工艺与模具设计”、“塑料成型工艺与模具设计”等有关课程，对模具有足够的了解。由于模具设计与模具制造技术之间密不可分，作为模具设计人员，不熟悉模具制造工艺知识，甚至连自己设计出来的模具都不知道应该用什么方法制造，那么不管其设计的模具功能多全，精度定得多高，我们仍不能认为这是一副好的模具，因为所设计的模具未必是合理的，可能不仅工艺性和经济性很差，甚至无法制造。因此，作为模具设计人员，在掌握模具设计知识后，还必须熟悉模具制造方面的工艺知识，只有这样才能避免理论脱离实际，才能成为一名合格的模具设计师。作为模具制造工艺人员，更应该全面掌握模具制造工艺知识，同时也要了解模具设计的基本知识，才能制造出符合要求的模具，才能更好地参与模具制造管理。

本课程的任务是使学生具备高素质劳动者和中初级专门人才所必需的模具制造基本知识和基本技能。

通过本课程的学习，要求学生掌握各种现代模具加工方法的基本原理、特点和加工工艺，掌握模具制造所需要的主要工艺方法，能够安排一般模具零件的制造工艺，处理一般的工艺问题，制定模具的装配工艺。

# 第 1 章 模具制造技术概述

## 【学习目标】

- (1) 了解模具制造过程和特点、模具的经济技术指标。
- (2) 熟悉模具零件毛坯的选用，锻件毛坯的下料、锻造、热处理等。
- (3) 掌握模具制造的工艺流程。

本章介绍了模具制造的全过程，即模具合同的签订—模具设计—零件加工—模具装配—试模—模具管理。

## 1.1 模具的生产过程

### 1.1.1 模具生产过程的概念

模具生产过程和其他机械产品的生产过程一样，都是指由原材料经过机械加工转变为成品或半成品的过程。

现代工业产品的生产过程包括原材料的运输、保存过程，生产技术准备过程、基本生产过程、辅助生产过程和生产服务过程。以上这些过程又主要体现在技术准备工作；生产准备工作；原材料的采购、运输、保管；毛坯的再加工和改型，零件、组件、部件的加工和检验；产品的装配、调试检验；产品的装饰、防锈、包装、运输等工作。

现代工业产品的生产过程也是企业的人力、物力、财力、信息的转化过程。任何一个产品的形成，都是许多企业共同劳动的成果。在今天，随着生产组织的专业化和产品标准化程度的提高，各个企业间相互协作和共同依存的关系比以往都显得突出和重要。同样，在企业内部也是如此，某一个车间生产的“成品”往往是其他车间组织生产的“原材料”。

在非模具专业生产企业中（如电子产品专业厂），模具作为工艺装备的一部分，在基本产品生产系统中属于辅助生产过程，是保证基本产品生产不可缺少的组成部分。在模具专业生产企业中，模具作为企业的基本产品，模具的生产过程始终贯穿于企业的全部生产过程之中。

模具的种类很多，按照 GB7635—87 规定，包括冲压模、塑料模、锻造模、铸造模、粉末冶金模、橡胶模、无机材料成型模（玻璃成型模、陶瓷成型模）、拉丝模等。每种模具的结构、要求和用途各不相同，有各自特定的生产过程，但是因为它们同属模具类，所以生产过程具有共同的特点，因此模具的生产过程又可划分为五个主要阶段：生产技术准备；材料准备；模具零件、组件的加工；装配试模和试

用鉴定五个阶段。它们的关系和内容如图 1-1 所示。

在上述生产过程中，生产技术准备阶段是整个生产的基础，对于模具的质量、成本、交货期和管理都有重大的影响。这个阶段的工作包括模具图样的设计、工艺技术文件的编制、材料定额和加工工时定额的制定以及模具成本的估价等。根据用户提供的产品信息、制件的技术信息、价格信息，通过结构分析、工艺分析，设计成模具。

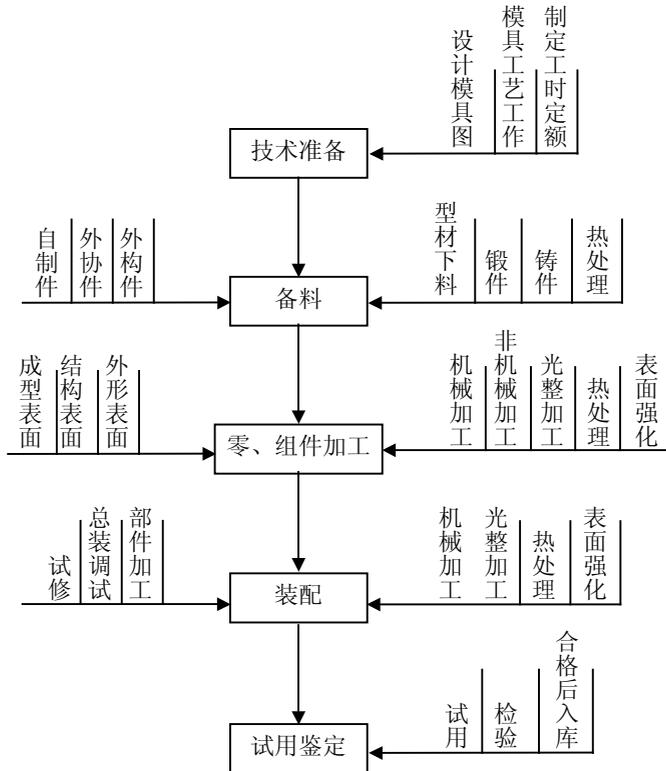


图 1-1 模具的生产过程示意图

在模具加工过程中，毛坯、零件和组件的质量保证和检验是必不可少的环节，在模具生产中通过“三检制”的实施，保证合格制件在生产线上流转。在模具加工过程中，相关工序和车间之间的转接是生产连续进行所必需的，在转接中间和加工不均衡所造成的等待和停歇是模具生产中的突出问题，作为模具生产组织者应该将这部分时间降低到最小程度，同时在确定生产周期上要充分的考虑。

由上述生产过程可知，模具的标准零、部件是从市场采购的，模具厂只是按模具设计要求，按一定顺序，将非标准件加工成符合设计要求的零件，然后，将标准和非标准件装配成模具产品，这个过程的总和，可定义为模具的生产过程。

### 1.1.2 模具生产和工艺特点

模具生产既具有一般机械产品的共性，又有其特殊性。模具生产的特点决定模具制造工艺的特点。模具是一种高寿命的专用工艺装备，其生产和工艺有如下特点：

#### 1. 单件、多品种生产

模具是高寿命专用工艺装备，每副模具只能生产某一特定形状、尺寸和精度的制件，这就决定了模具生产属于单件、多品种生产。在制造工艺上尽量采用万能通用机床、通用刀具、通用量具和仪器，尽量减少专用二类工具的数量。在制造工艺安排上要求工序相对集中，以保证模具加工的质量和进度，简化管理和减少工序周转时间。

#### 2. 生产周期短

由于新产品更新换代的加快和市场竞争的日趋激烈，要求模具生产周期越来越短。模具制造周期的长短主要决定于制模技术和生产管理水平的高低。为了满足生产的需要，提高产品的竞争能力，必须在保证质量的前提下尽量缩短模具制造周期。

#### 3. 制造精度高

产品零件对模具的精度和表面粗糙度的要求越来越高，加工精度主要取决于机床精度、工艺条件、测量手段和方法。因此，模具生产中精密数控设备的使用越来越多，如平面和成型磨床、镗铣和加工中心、电火花和线切割、连续轨迹坐标磨床、三坐标测量仪等，使模具加工向高技术密集型发展。同时在生产中较多地采用“实配法”、“同镗法”等，虽然降低了模具零件的互换性，但便于保证加工精度，减小加工难度。

#### 4. 使用寿命长

模具是比较昂贵的工艺装备，从使用角度出发，模具的使用寿命越长越好，这不仅涌现了大量的模具新材料，也给模具生产带来了新的要求。在实际生产中，热加工工艺的安排对保证模具质量、缩短制造周期影响很大。

#### 5. 要求进行试模和修理

根据模具设计经验性的特点，模具在加工、装配后，必须通过试冲或试压，才能确定模具是否合格。同时模具的有些部位需要通过修理才能最后定型。因此，在生产进度安排上应留有一定的试模周期。

## 1.2 模具的技术经济指标

### 1.2.1 模具的精度

为满足用户对模具精度、质量与使用性能的要求，在整个模具设计与制造过程中必须建立“精度”的概念，而且应当是全员性的，这一点非常重要，其理由有以

下两方面：①模具是精密成型工具，必须满足制件（冲件、塑料件、压铸件、锻件等）的尺寸精度、形状精度的要求；保证制件大批量成型加工中的互换性；保证其长期使用（允许寿命范围内）的可靠性的要求。因此，模具精度等级通常高于制件2级或以上。②模具精度还受模具成型件（如凸、凹模）相互配合间隙及其均匀性的影响。这样，构成模具导向副、结构和支撑之间的配合精度、相连接零件之间的定位精度、位置精度等则要进一步提高。这就是说，为保证成型件之间的配合间隙及其均匀性，将涉及构成模具的每一个零部件的精度与表面质量，如图1-2所示。

由图1-2可见，成型件之间的配合间隙及其均匀性，是组成模具装配尺寸链的“封闭环”。为了保证封闭环的精度要求，必须提高零、部件的加工精度和表面质量。

### 1. 模具的精度要求

#### (1) 冲模制造精度

1) 冲压件尺寸精度。它是进行冲压模设计、成型件制造、标准零件和部件采购、模具装配与试模的主要依据，见表1-1~表1-5。

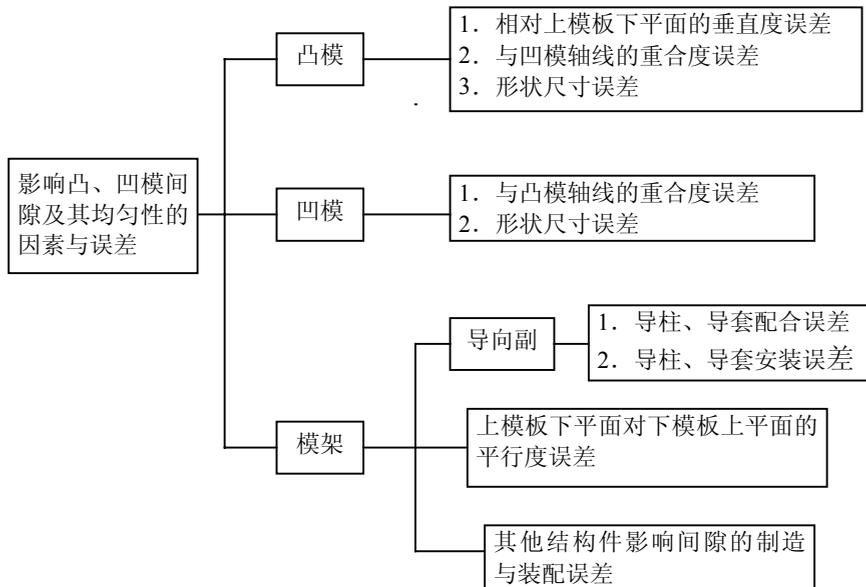


图1-2 影响间隙均匀性的因素

表 1-1 冲件外形与内孔尺寸公差

单位: mm

精度等级	零件尺寸	材料厚度			
		<1	1~2	>2~4	>4~6
经济级	<10	$\frac{0.12}{0.08}$	$\frac{0.18}{0.10}$	$\frac{0.24}{0.12}$	$\frac{0.30}{0.15}$
	10~50	$\frac{0.16}{0.10}$	$\frac{0.22}{0.12}$	$\frac{0.28}{0.15}$	$\frac{0.35}{0.20}$
	>50~150	$\frac{0.22}{0.12}$	$\frac{0.30}{0.16}$	$\frac{0.40}{0.20}$	$\frac{0.50}{0.20}$
	>150~300	0.30	0.50	0.70	1.00
精密级	<10	$\frac{0.03}{0.25}$	$\frac{0.04}{0.03}$	$\frac{0.06}{0.04}$	$\frac{0.10}{0.06}$
	10~50	$\frac{0.04}{0.04}$	$\frac{0.06}{0.05}$	$\frac{0.08}{0.06}$	$\frac{0.12}{0.10}$
	>50~150	$\frac{0.06}{0.05}$	$\frac{0.08}{0.06}$	$\frac{0.10}{0.08}$	$\frac{0.15}{0.12}$
	>150~300	0.10	0.12	0.15	0.20

注: 表中分子为外形公差值, 分母为内孔公差值。

表 1-2 孔距公差

单位: mm

精度等级	零件尺寸	材料厚度			
		<1	1~2	>2~4	>4~6
经济级	<50	±0.10	±0.12	±0.16	±0.20
	50~150	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30
	>150~300	±0.20	±0.30	±0.35	±0.40
精密级	<50	±0.01	±0.02	±0.03	±0.04
	50~150	±0.02	±0.03	±0.04	±0.05
	>150~300	±0.04	±0.05	±0.06	±0.08