



中国机械工程学会
中国模具工业协会
中国模具工程大典编委会
李志刚 主编

CHINA
DIE &
MOULD
ENGINEERING
CANON

中国

模具工程大典

第1卷 现代模具设计方法

<http://www.phei.com.cn>



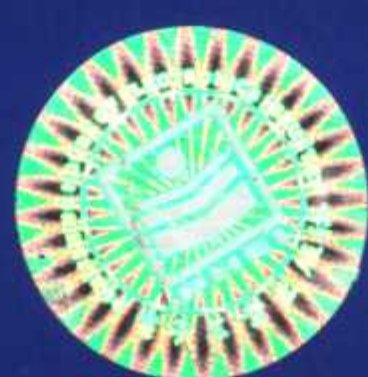
电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

CHINA DIE & MOULD ENGINEERING CANON

中国模具工程大典



- 第1卷 现代模具设计方法
- 第2卷 模具材料及热处理
- 第3卷 塑料与橡胶模具设计
- 第4卷 冲压模具设计
- 第5卷 锻造模具设计
- 第6卷 粉末冶金零件模具设计
- 第7卷 压力铸造与金属型铸造模具设计
- 第8卷 铸造工艺装备设计
- 第9卷 模具制造



责任编辑：李 洁 李骏带

装帧设计：雷 磊

ISBN 978-7-121-03840-2



9 787121 038402 >

本书贴有激光防伪标志，凡没有防伪标志者，属盗版图书。

定价：98.00 元



内容简介

《中国模具工程大典》共分10卷，由《中国模具工程大典》编委会组织编写，旨在全面反映我国模具工程领域的最新成就，为模具工程技术人员提供权威的参考资料。本卷《现代模具设计方法》主要介绍模具设计的基本理论、方法和最新技术，包括模具设计概论、模具设计基础、模具设计软件应用、模具设计案例等。本书可作为模具工程技术人员、模具设计人员、模具制造人员、模具销售人员的参考书，也可作为模具工程专业的教材。

中国机械工程学会
中国模具工业协会
中国模具工程大典编委会
李志刚 主编

中国 CHINA DIE & MOULD ENGINEERING CANON 模具工程大典

第1卷 现代模具设计方法

主编：李志刚
副主编：王德成、王德成、王德成
北京：机械工业出版社
地址：北京市西城区百万庄大街24号
邮编：100037
电话：(010) 68995100
网址：http://www.cmpbook.com.cn

<http://www.phei.com.cn>

 电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

内 容 简 介

《中国模具工程大典》共9卷，包括现代模具设计方法、模具材料及热处理、塑料与橡胶模具设计、冲压模具设计、锻造模具设计、粉末冶金零件模具设计、压力铸造与金属型铸造模具设计、铸造工艺装备设计、模具制造等。

本书为第1卷，现代模具设计方法。主要内容包括模具计算机辅助设计与制造、材料成形过程的数值模拟、金属塑性成形过程优化设计方法、快速成形与快速制模等。目的是为广大工程技术人员提供先进的现代模具设计与制造的理论和方法，增强工程技术人员对现代模具设计与制造的创意意识。

本书主要供具有中等技术水平以上的广大工程技术人员在综合研究和处理现代模具设计与制造的各类技术问题时，起备查、提示和启发的作用，也可供理工科院校的有关师生参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

现代模具设计方法/李志刚主编. —北京: 电子工业出版社, 2007.3

(中国模具工程大典. 第1卷)

ISBN 978-7-121-03840-2

I. 现… II. 李… III. 模具-设计 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 013858 号

责任编辑: 李 洁 李骏带

印 刷: 北京蓝海印刷有限公司

装 订: 北京蓝海印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 700×1000 1/16 印张: 50 字数: 1178 千字

印 次: 2007 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系电话：(010) 68279077；邮购电话：(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：(010) 88258888。

創新模
具技術
振興制
造業

路甬祥



中国科学院院长、中国机械工程学会理事长 路甬祥

中国模具工程大典编委会

名誉主任 何光远 杨 铿 路甬祥

主任 阮雪榆

总主编 夏巨谌 李志刚

副总主编 李德群 肖祥芷 黄乃瑜 王敏杰

总策划 宋天虎 黄远东

副总策划 李建军

总编辑 李骏带

委员 (按姓氏笔画为序)

于同敏 (大连理工大学, 教授)

于德弘 (西安交通大学, 教授)

万仁芳 (东风汽车公司, 教授级高工)

王仲仁 (哈尔滨工业大学, 教授)

王传臣 (电子工业出版社副社长, 编审)

王孝培 (重庆大学, 教授)

王敏杰 (大连理工大学, 教授)

王殿龙 (大连理工大学, 教授)

申长雨 (国家橡塑模具工程中心主任, 教授)

孙友松 (广东工业大学, 教授)

阮雪榆 (国家模具工程研究中心主任, 院士)

朱伟成 (中国第一汽车集团公司, 教授级高工)

华 林 (武汉理工大学, 教授)

李建军 (模具技术国家重点实验室主任, 教授)

李志刚 (中国模具工业协会副理事长)

李骏带 (中国模具工程大典编委会, 高工)

李培根 (华中科技大学校长, 院士)

李德群 (华中科技大学, 教授)

何光远 (中国机械工程学会荣誉理事长)

杜贵军 (模具制造杂志社总编辑)

杨 合 (西北工业大学, 教授)

杨 铿 (中国模具工业协会名誉理事长)

吴玉坚 (东风汽车公司, 教授级高工)

吴宏基 (大连理工大学, 教授)

宋天虎 (中国机械工程学会常务副理事长)

宋玉皋 (吉林大学, 院士)

宋满金 (大连理工大学, 教授)

陈超志 (中国机械工程学会副秘书长)

肖祥芷 (华中科技大学, 教授)

陆 辛 (北京机电研究所, 教授级高工)

周尧和 (上海交通大学, 院士)

周贤宾 (北京航空航天大学, 教授)

赵福令 (大连理工大学, 教授)

姜奎华 (武汉理工大学, 教授)

柳百成 (清华大学, 院士)

胡正寰 (北京科技大学, 院士)

钟 掘 (中南大学, 院士)

钟约先 (清华大学, 教授)

高 平 (电子工业出版社副总编辑, 编审)

夏巨谌 (华中科技大学, 教授)

郭东明 (大连理工大学, 教授)

贾振元 (大连理工大学, 教授)

唐志玉 (四川大学, 教授)

曹延安 (中国模具工业协会秘书长)

崔 崑 (模具技术国家重点实验室, 院士)

黄乃瑜 (华中科技大学, 教授)

黄远东 (中国模具工程大典编委会, 高工)

黄树槐 (模具技术国家重点实验室, 教授)

康仁科 (大连理工大学, 教授)

傅沛福 (吉林大学, 教授)

韩凤麟 (中国机协粉末冶金分会, 教授)

路甬祥 (中国科学院院长, 中国机械工程学会理事长, 院士)

谭超武 (模具制造杂志社社长)

熊有伦 (华中科技大学, 院士)

潘宪曾 (西安仪表厂, 教授)

前 言

模具在汽车、拖拉机、飞机、家用电器、工程机械、动力机械、冶金、机床、兵器、仪器仪表、轻工、日用五金等制造业中，起着极为重要的作用；模具是实现上述行业的钣金件、锻件、粉末冶金件、铸件、压铸件、注塑件、橡胶件等生产的重要工艺装备。采用模具生产毛坯或成品零件，是材料成形的重要方式之一，与切削加工相比，具有材料利用率高、能耗低、产品性能好、生产效率高和成本低等显著特点。

从20世纪80年代初开始，工业发达国家的模具工业，已从机床工业中分离出来，并发展成为一个独立的工业部门，而且其产值已超过机床工业的产值。改革开放以来，中国的模具工业发展十分迅速；近年来，一直以每年15%左右的增长速度快速发展。至2006年年底，中国约有60 000多个模具制造厂点，从业人数100多万；2005年中国模具工业总产值达470亿元人民币，中国模具工业的技术水平取得了长足的进步。目前，中国模具总量仅次于日本、美国，位居世界第三。国民经济的高速发展对模具工业提出了越来越多且越来越高的要求，巨大的市场需求推动着中国模具工业更快地发展。2005年中国大陆制造业对模具的市场总需求量约为570亿元人民币，并以每年10%以上的速度增长。对于大型、精密、复杂、长寿命模具需求的增长将远超过每年10%的增幅。

为全面提高我国模具技术水平，中国机械工程学会、中国模具工业协会、中国模具工程大典编委会聘请了国内数百位从事模具科研、设计、开发等工作的专家教授，经过近3年的共同努力，编撰了《中国模具工程大典》，简称《模具大典》。

《模具大典》是在认真总结我国有关模具设计、制造与材料成形技术手册编写经验，广泛吸收建国以来尤其是改革开放30多年来模具工业所取得的科技成果，以及国内外在模具设计与制造技术方面的成功经验的基础上编撰而成的。其特点是：以创新为主线，充分体现模具设计与制造的创新思维、理论和方法，集中反映当代模具设计与制造技术的最新成果与发展方向；以实用为主，兼顾模具技术的前瞻性与导向性；全书的内容与模具工业的生产实践紧密结合，全方位地总结各种模具专业生产技术，并吸收国内外模具工业的前沿技术和研究成果；在编写形式上，跳出资料汇编型的传统模具专业工具书的编写模式，采用了将工艺分析、计算方法、结构设计、制造与应用实例相结合，贯穿于模具设计和制造全过程的新的模式编写。因此《模具大典》实用性强，权威性高，前瞻性好，选用范围广。

《模具大典》由现代模具设计方法、模具材料及热处理、塑料与橡胶模具设计、冲压模具设计、锻造模具设计、粉末冶金零件模具设计、压力铸造与金属型铸造模具设计、铸造工艺装备设计、模具制造等9卷组成。它的出版，对于加快我国模具技术的发展、产品的创新，对于我国模具企业走向世界、全面参与国际合作与竞争，都具有深远的战略意义与现实意义。

《模具大典》的编写工作，受到有关领导人的亲切关怀，并得到了众多高等学校、科

研究所和企业的热情支持与帮助，在此一并表示衷心的感谢。对于书中存在的不妥和疏漏错误之处，我们诚恳地期待着广大读者予以批评指正。

中国机械工程学会
中国模具工业协会
中国模具工程大典编委会
2007年2月

目 录

第 1 篇 模具计算机辅助设计与制造

第 1 章 概论	3	2.1 以数组的形式存放数表	28
1 计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 的基本概念	3	2.2 以数据文件形式存放数表	29
1.1 概念	3	2.3 函数插值方法	30
1.2 计算机在设计和制造中的辅 助作用	4	2.4 交互处理方法	31
1.3 CAD 与 CAM 的集成	5	3 线图的程序化	31
2 模具 CAD/CAM 技术的应用	6	4 建立经验公式的方法	32
2.1 CAD/CAM 在模具行业的应 用状况	6	4.1 处理数表的回归分析方法	32
2.2 模具 CAD/CAM 的优越性	6	4.2 多项式拟合	33
2.3 模具 CAD/CAM 的特点	7	4.3 线性拟合与可化为线性拟合 的问题	33
3 传统的模具设计制造与模具 CAD/CAM 的比较	7	第 4 章 CAD/CAM 的图形学基础	35
3.1 传统的模具设计与制造	8	1 图形的变换	35
3.2 集成的模具设计制造流程	8	1.1 二维图形的变换	35
4 建立 CAD/CAM 系统的过程 与方法	9	1.2 三维图形的变换	37
第 2 章 模具 CAD/CAM 系统的 组成	13	1.3 透视变换	40
1 模具 CAD/CAM 系统的硬件	13	2 交互技术	41
1.1 主机	13	2.1 交互输入技术	42
1.2 外部存储器	13	2.2 用户界面设计	42
1.3 输入设备	14	第 5 章 CAD/CAM 中的建模与集 成技术	45
1.4 输出设备	15	1 几何造型的基本概念	45
2 计算机网络	18	1.1 概念	45
3 模具 CAD/CAM 系统的软件	20	1.2 几何造型的方法	46
3.1 系统软件	20	1.3 欧拉公式	46
3.2 支撑软件	20	2 形体的表示模式	47
3.3 应用软件	22	2.1 体素调用表示	47
第 3 章 数据处理方法	24	2.2 空间点列表示	47
1 常见的数据结构	24	2.3 单元分解表示	47
1.1 数据结构	24	2.4 扫描变换表示	47
1.2 常用的数据结构	25	2.5 构造体素表示 (CSG)	48
2 数表的处理方法	28	2.6 边界表示 (B-Reps)	48
		2.7 混合模式	49
		3 参数化特征建模	50
		3.1 特征建模技术	50
		3.2 参数化技术	56
		3.3 参数化特征造型的基本方法	58

4 装配建模技术	58	过程	96
4.1 装配建模的基本概念	59	2.1 数控加工程序的编制内容	96
4.2 装配建模的一般方法	61	2.2 数控加工程序的编制过程	97
4.3 基于功能组件的模具装配设计方法	61	3 数控自动编程技术的发展	99
5 曲线与曲面	63	4 数控编程中的工艺处理	100
5.1 曲线	63	4.1 工序、工步的划分和顺序安排	101
5.2 曲面	70	4.2 零件装夹方法的确定与夹具选择	101
6 计算机辅助技术的集成	73	4.3 对刀点与换刀点的确定	101
6.1 产品建模技术的发展	73	4.4 进给路径的规划	101
6.2 CAD/CAM 系统中的产品数据交换	74	4.5 刀具选择	104
6.3 CAD/CAM 的集成方法	76	4.6 切削用量的确定	104
第 6 章 产品数据管理 (PDM) 技术	79	4.7 程编误差及其控制	105
1 PDM 技术概述	79	5 数控加工程序的编制方法	106
1.1 PDM 技术产生的背景	79	5.1 零件编程的通用标准	106
1.2 PDM 的定义	79	5.2 点位、直线控制系统的程序编制	110
1.3 PDM 系统的体系结构	79	5.3 轮廓控制系统的程序编制	111
2 PDM 系统的功能	80	6 APT 语言	114
2.1 数据与文档管理	80	6.1 几何定义语句	114
2.2 过程与工作流程管理	82	6.2 刀具运动语句	115
2.3 产品结构与配置管理	82	6.3 后置处理程序语句	118
2.4 零部件分类库管理	82	6.4 辅助语句	119
2.5 项目管理	83	6.5 APT 语言应用实例	120
2.6 其他功能	83	7 数控线切割加工程序的编制	122
3 PDM 系统的实施	83	7.1 数控线切割编程中的工艺处理	122
3.1 PDM 实施的内容	83	7.2 数控线切割机床的程序编制	124
3.2 PDM 实施的基本步骤	84	8 冲裁模数控线切割自动编程	126
3.3 PDM 的信息建模	84	8.1 生成钼丝运动轨迹	126
3.4 成功实施 PDM 应注意的几个问题	87	8.2 穿丝孔和起割点的自动选取	126
4 基于 PDM 的系统集成	87	8.3 自动编程过程	127
4.1 基于 PDM 实现应用集成的三个层次	87	9 Mastercam 系统	126
4.2 模具 CAD/CAPP/CAM 与 PDM 的集成	88	9.1 系统特点概述	128
第 7 章 数控加工编程技术	90	9.2 系统的运行环境和流程	129
1 概念	90	9.3 系统界面及功能	129
1.1 数控加工的基本概念	90	9.4 用 Mastercam 编制 NC 加工程序的实例	131
1.2 数控机床的组成、分类及发展	93	9.5 注塑模具 CAM 示例	133
2 数控加工程序的编制内容与		第 8 章 冲压模具 CAD	137
		1 冲裁模 CAD/CAM 系统的结构与功能	137

1.1	冲裁模 CAD/CAM 系统的结构	137	11	覆盖件模具结构设计	179
1.2	系统的功能与流程	137	11.1	基于典型结构的覆盖件模具 结构二维设计	179
2	冲裁件工艺性判断	138	11.2	基于特征的覆盖件模具结构 三维设计	180
2.1	判别模型的建立	138	第 9 章 注塑模 CAD	183	
2.2	处理图形的几种算法	140	1	注塑模 CAD/CAE/CAM 概述	183
2.3	工艺性的自动判别过程	141	1.1	注塑模 CAD/CAE/CAM 的 发展	183
3	毛坯优化排样	142	1.2	注塑模 CAD/CAE/CAM 系统的工 作流程	184
3.1	毛坯排样问题的数学描述	142	2	注塑模 CAD 的内容及特点	186
3.2	多边形法	143	2.1	注塑模 CAD 的内容	186
3.3	高度函数法	143	2.2	注塑模 CAD 的特点	186
3.4	平行线分割纵横平移法	145	3	注塑模总体结构的设计	187
4	冲裁工艺方案的设计	147	3.1	柔性化的模具总体结构 设计	188
4.1	模具类型的选择	147	3.2	基于知识的模具总体结构 设计	189
4.2	连续冲裁模的工步设计	149	4	标准模架选用及编码	189
5	冲裁模结构设计	151	5	镶拼式模具结构设计	191
5.1	冲裁模结构设计子系统的功 能结构	151	6	成型零部件设计	193
5.2	总装图设计	152	6.1	成型零部件尺寸计算	193
5.3	凹模与凸模设计	152	6.2	分型面的确定	194
5.4	顶杆的优化布置	154	6.3	成型腔壁厚计算	195
6	级进模 CAD 的内容与系统结构	157	6.4	凸、凹模模型的生成	196
6.1	级进模的设计内容与过程	157	7	注塑模流道系统的设计	197
6.2	级进模 CAD 系统的结构	158	7.1	流道系统的结构	197
6.3	系统的功能模块	159	7.2	流道系统的设计计算	197
7	基于特征的冲压工艺设计	160	8	冷却系统设计	201
7.1	钣金零件的单元特征模型	160	第 10 章 锻模 CAD	203	
7.2	基于特征的冲压工艺设 计方法	162	1	利用成组技术建立锻模 CAD 系统的 方法	203
8	级进模结构与零件 CAD	165	2	锻件与毛坯形状复杂性的定量 计算	206
8.1	级进模结构的装配模型	165	3	锻造载荷和应力的计算	207
8.2	总体结构及零件设计	166	3.1	轴对称横向流动	208
9	覆盖件模具 CAD 系统结构	168	3.2	轴对称轴向流动	209
9.1	冲压工艺设计	168	3.3	平面应变、横向流动	210
9.2	模具结构设计	169	3.4	平面应变、纵向流动形成筋	210
10	覆盖件冲压工艺 CAPP	169	4	轴对称件锻模 CAD 系统	212
10.1	冲压工艺 CAPP 系统的总 体结构	169	4.1	轴对称件锻模 CAD/CAM 系统的 组成	212
10.2	覆盖件冲压工艺的数据库管 理系统	170			
10.3	基于成组技术的检索式工 艺设计	174			
10.4	基于特征的冲压工序详细 设计	175			

4.2 轴对称锻件几何形状的输入	212	6 CBR 技术及其在塑料注射模设计中	
4.3 锻件设计	212	的应用	240
4.4 锻模设计	213	6.1 CBR 的含义	240
5 长杆类锻模 CAD 系统	214	6.2 实例的表示	241
5.1 长杆类锻模 CAD/CAM 系统的总		6.3 实例的检索、改写与存储	241
体结构	214	6.4 基于 CBR 的智能化冰箱注塑模设	
5.2 模锻工艺设计	214	计系统	242
5.3 拔长型槽的设计	216	7 人工神经网络技术及其在模具设计中	
5.4 滚挤型槽的设计	218	的应用	247
5.5 型槽的布置	219	7.1 人工神经网络的理论基础	247
6 飞边槽尺寸和飞边金属消耗的		7.2 BP 神经网络	249
计算	220	7.3 BP 神经网络在模具设计中的	
6.1 计算飞边槽桥部尺寸的算法	220	应用	251
6.2 计算飞边金属消耗的算法	221	8 KBE 技术及其在冲压工艺设计中	
7 预锻型槽的设计	222	的应用	252
7.1 预锻型槽的设计规则	222	8.1 KBE 技术概述	252
7.2 预锻型槽截面的设计方法	222	8.2 面向 KBE 的冲压件产品/工艺知	
第 11 章 智能化模具设计	225	识模型	254
1 人工智能概述	225	8.3 基于 KBE 的智能化冲压工艺方案	
1.1 人工智能的含义	225	的设计	256
1.2 人工智能的发展历程	225	第 12 章 协同设计	258
1.3 人工智能的研究及应用领域	226	1 协同设计的概念	258
1.4 人工智能技术与智能化设计	227	2 协同设计的关键技术	259
2 知识的表示	228	3 系统的结构与管理	260
2.1 谓词逻辑	228	4 模具协同设计系统	261
2.2 产生式规则	229	4.1 协同设计系统的结构	261
2.3 语义网络	230	4.2 协同过程的任务关联和	
2.4 框架	231	分解	262
2.5 面向对象的方法	232	4.3 协同设计中的约束求解	262
3 知识的获取	233	4.4 冲突消解	263
3.1 人工知识获取	234	第 13 章 并行工程	265
3.2 自动知识获取 (机器学习)	235	1 并行工程的背景与概念	265
4 知识的应用——基于搜索的问		2 并行工程的支持系统	266
题求解	236	2.1 过程管理	267
4.1 宽度优先搜索	237	2.2 组织管理	268
4.2 深度优先搜索	237	2.3 产品数据管理 (PDM)	268
4.3 启发式搜索	237	2.4 通信支持	268
5 知识的应用——基于知识的		2.5 可共享的产品数据模型	268
推理	238	2.6 约束管理与决策支持	268
5.1 基于产生式规则的推理	238	3 并行工程的过程建模	269
5.2 基于语义网络的推理	238	4 并行开发过程的分析	271
5.3 基于框架的推理	239	4.1 过程分析方法	271
5.4 基于面向对象方法的推理	240	4.2 过程并行度的分析	272

5 并行工程的组织管理	274	2 虚拟现实及其实现	279
5.1 IPT的组建	274	3 虚拟制造的体系结构	281
5.2 IPT的管理	275	3.1 通用体系结构	281
6 模具制造并行工程	275	3.2 专用体系结构	281
第14章 虚拟制造	278	3.3 虚拟制造的总体框架	282
1 虚拟制造的概念	278	4 虚拟制造的关键技术	282
1.1 虚拟制造的定义	278	5 虚拟制造的应用	283
1.2 虚拟制造的分类	278	参考文献	286

第2篇 材料成形过程的数值模拟

第1章 材料成形分析的理论基础 ...	293	2.2 实施步骤	337
1 连续介质的运动与变形	293	2.3 收敛准则和解的性质	337
1.1 连续介质力学的基本概念	293	3 单元模型	338
1.2 张量分析基础	293	3.1 二维问题	338
1.3 变形几何学	297	3.2 轴对称问题	342
1.4 运动学	300	3.3 三维问题	343
2 应力	302	3.4 等参单元	346
2.1 体力和面力	302	3.5 结构单元	350
2.2 柯西应力张量	302	3.6 单元模型小结	358
2.3 其他应力张量	302	4 有限元方程的求解	368
2.4 应力速率	303	4.1 线性方程组的求解	368
3 基本方程和原理	304	4.2 非线性方程组的求解	370
3.1 基本方程	304	5 有限元前后置处理	371
3.2 边值问题与初值问题	306	5.1 有限元法模型化和前置处理	371
3.3 虚功原理与虚功率原理	306	5.2 后置处理	375
4 本构关系	308	5.3 利用CAD/CAM的交互式图形 界面	376
4.1 概述	308	第3章 刚塑性有限元法	377
4.2 弹性本构方程	309	1 刚塑性变分原理	377
4.3 弹塑性本构方程	311	1.1 刚塑性材料的边值问题	377
4.4 黏塑性本构方程	317	1.2 理想刚塑性材料的变分原理	378
4.5 塑性细观力学本构关系	319	1.3 刚塑性材料不完全广义变分 原理	378
4.6 流体的本构方程	323	2 刚塑性有限元公式	380
4.7 热传导问题	325	2.1 离散化	380
4.8 状态方程	326	2.2 有限元求解公式	383
第2章 有限元法基础	327	2.3 刚塑性有限元模拟分析步骤	384
1 加权余量法与变分法	328	3 刚黏塑性有限元法	385
1.1 加权余量法	328	3.1 黏塑性材料的变分原理	385
1.2 变分原理和里兹法	329	3.2 刚黏塑性有限元公式	386
1.3 弹性力学中的变分原理	329	4 计算中的几个问题	387
1.4 约束变分原理	331	4.1 刚性区的处理	387
2 有限元法的实施步骤	332		
2.1 单元分析	332		

4.2	初始速度场的生成	387	3.1	热传导问题的基本方程	423
4.3	迭代收敛判据	389	3.2	稳态温度场的有限元法	424
4.4	摩擦边界条件	389	3.3	瞬态温度场的有限元法	425
4.5	动态接触边界条件的处理	391	3.4	变形与传热过程的耦合分析	426
4.6	网格重新划分	394	3.5	热力耦合分析的基本方程	427
第4章	弹塑性有限元静力分析	396	3.6	热力耦合分析的有限元法	428
1	小变形弹塑性有限元法	396	4	组织性能的变化和成形缺陷预测	429
1.1	应力应变矩阵	396	4.1	塑性成形过程中材料组织性能的变化	429
1.2	增量形式的虚功方程	397	4.2	成形缺陷预测	429
1.3	有限元方程	397	第7章	塑性成形数值模拟的应用	
1.4	求解步骤	398		实例	433
2	有限应变弹塑性有限元分析	399	1	锻造过程的数值模拟	433
2.1	应力应变矩阵	400	1.1	尾轮锻造	433
2.2	虚功率方程	400	1.2	曲轴 RR 弯曲锻	434
2.3	有限元方程	401	2	挤压过程的数值模拟	436
3	有限元逆算法	403	3	冲压过程的数值模拟	437
3.1	理想形变理论	403	3.1	逆算法的应用	437
3.2	有限元逆算法	403	3.2	增量法的应用	437
3.3	有限元逆算法应用实例	404	第8章	有限差分法	442
第5章	有限元动力分析	407	1	差分的基本原理及逼近误差	442
1	动力分析的有限元方程	407	1.1	差分原理	442
1.1	一维动力系统	407	1.2	逼近误差	443
1.2	虚功率方程和有限元方程	408	2	差分方程、截断误差和相容性	445
2	显式时间积分方法	410	2.1	差分方程	445
2.1	中心差分法	410	2.2	截断误差	446
2.2	时间步长的确定	410	2.3	相容性	447
2.3	动力显式算法的进一步讨论	411	3	收敛性与稳定性	447
3	隐式时间积分方法	412	3.1	收敛性	447
3.1	Newmark 法	412	3.2	稳定性	449
3.2	显式与隐式算法的比较和显隐结合的方法	413	4	Lax 等价定理	451
第6章	塑性成形模拟的实施	415	第9章	温度场分析	453
1	塑性成形模拟的一般步骤	415	1	数学模型	453
1.1	建立几何模型	415	1.1	傅里叶定律	453
1.2	建立有限元分析模型	415	1.2	三维热传导微分方程	453
1.3	定义工具和边界条件	417	2	数值求解方法	454
1.4	求解	417	2.1	有限差分法 (FDM)	454
1.5	后处理	417	2.2	直接差分法 (DFDM)	455
1.6	CAE 与 CAD 的集成	417	2.3	改值的直接差分方程	457
2	工具加载的模型化	418	2.4	直接差分法 (DFDM) 与有限差分法 (FDM) 比较	458
2.1	工具与制件之间的接触	418	3	初始条件	458
2.2	拖延肋阻力模型	422			
3	热分析与热力耦合分析	423			

4 边界条件	458	7.2 数学模型与数值求解	470
4.1 热传导边界条件	459	8 流动场模拟软件流程	472
4.2 热辐射边界条件	459	第 11 章 塑料注射成形过程模拟	473
4.3 接触热阻边界条件	460	1 充模过程的数学描述	473
4.4 液体金属和凝固层、铸锭和 铸型之间的边界条件	460	1.1 充模过程的基本方程	473
4.5 其他边界条件	460	1.2 基本方程的简化	474
5 潜热处理	460	1.3 数学模型及边界条件	474
5.1 定义	460	1.4 塑料熔体的黏度模型	476
5.2 考虑析出潜热的热能守恒式	460	2 一维流动分析	476
5.3 固相率和温度的关系	461	3 二维流动分析	477
5.4 潜热放出的实际处理方法	461	4 三维流动分析	478
6 温度场数值模拟系统流程	463	4.1 压力场有限元方程	479
第 10 章 流动场分析	464	4.2 熔体流动前沿位置的确定	480
1 数学模型	464	4.3 温度场计算	480
2 数学模型的离散化	464	4.4 数值计算过程	482
2.1 离散格式的选择	464	5 保压过程分析	482
2.2 动量方程 (Navier-Stoks 方程) 的离散	465	6 冷却过程分析	485
2.3 连续性方程的离散	466	6.1 一维冷却分析	485
2.4 体积函数的求值	467	6.2 二维冷却分析	487
3 SOLA-VOF 计算方法	467	6.3 三维冷却分析	489
4 初始条件	468	第 12 章 材料成形过程模拟商业 软件简介	492
5 边界条件	468	1 塑性成形模拟软件	492
5.1 自由表面速度边界条件	468	1.1 体积成形模拟软件	492
5.2 自由表面压力边界条件	469	1.2 冲压成形模拟软件	494
5.3 型壁速度边界条件	469	2 铸造成形模拟软件	496
6 数值稳定性条件	470	3 塑料注射成形模拟软件	500
7 流动与传热耦合计算	470	3.1 充模流动模拟软件	500
7.1 前言	470	3.2 冷却模拟软件	503
		参考文献	505

第 3 篇 金属塑性成形过程优化设计方法

第 1 章 概论	509	3.3 拟合优化法	512
1 金属塑性成形理论分析方法概述	509	3.4 微观遗传算法	512
2 基于数值模拟技术的预成形设计 方法	510	4 金属塑性成形过程的其他优化 设计方法	512
3 基于灵敏度分析的模具优化设计 方法	511	4.1 一致变换方法及理论流动模型 ...	512
3.1 基于灵敏度分析的正向模拟 优化法	511	4.2 神经网络形状内插值法	513
3.2 直接微分法	511	4.3 改进的约束变尺度法	513
		5 金属板料冲压成形优化设计方法	513
		6 金属塑性成形过程优化设计方	

法发展展望 514

第2章 工程优化设计方法 516

1 工程优化设计的数学模型 516

1.1 设计变量 517

1.2 目标函数 517

1.3 约束条件 517

2 工程优化问题的迭代算法 518

2.1 数值迭代算法的迭代格式 518

2.2 数值迭代算法的评价准则 518

2.3 数值迭代算法的终止准则 519

3 无约束优化方法 519

3.1 一维搜索方法 520

3.2 梯度法 521

3.3 牛顿法 522

3.4 变尺度法 523

4 约束优化方法 523

4.1 Lagrange 乘子法 524

4.2 外部惩罚函数法 (外点法) 525

4.3 内部惩罚函数法 (内点法) 527

5 多目标优化问题的解法 527

5.1 主要目标法 528

5.2 加权函数法 528

第3章 基于有限元模拟技术的反向模拟优化设计 529

1 有限元反向模拟技术的原理 529

2 反向模拟关键应用技术 531

2.1 反向模拟与预成形设计的步骤 531

2.2 加工硬化现象的处理 532

2.3 预锻模模腔形状设计 532

2.4 预锻件形状的选择及工序数目的确定 532

2.5 反向模拟过程中动态边界条件的确定 532

2.6 有限元反向模拟系统的构造 533

3 缩口过程的反向模拟及预成形设计 535

3.1 室温缩口过程的预成形设计 535

3.2 热缩口成形过程的预成形设计 536

4 反向模具接触跟踪方法 538

4.1 边界条件的确定 538

4.2 工序数目的确定 539

4.3 通用透平圆盘锻造过程的预成形设计 539

5 基于锻件形状复杂程度的控制准则 543

5.1 工件形状复杂系数及边界条件控制准则 544

5.2 预成形设计应用举例 544

第4章 刚(黏)塑性有限元灵敏度分析与模具优化设计方法 549

1 刚(黏)塑性有限元基本方程 549

2 目标函数与设计变量 550

3 灵敏度分析 551

3.1 节点速度灵敏度 552

3.2 其他灵敏度的确定 552

4 速度灵敏度边界条件 553

5 温度场灵敏度分析 555

6 模具优化设计方法的应用技术 556

6.1 模具优化设计步骤 556

6.2 体积损失的调整 558

6.3 有限元网格再划分 560

6.4 提高程序运算速度的方法 561

7 少无鼓形圆柱体锻造过程的优化设计 561

8 有型腔模具的锻造过程优化设计 563

8.1 H形截面轴对称锻件锻造过程 (型腔高径比 $h/b=1$) 563

8.2 H形截面轴对称锻件锻造过程 (型腔高径比 $h/b=2$) 563

8.3 齿轮坯锻造过程的优化设计 566

9 锻件毛坯形状优化设计方法 567

9.1 目标函数 568

9.2 优化设计实例 570

10 锻件变形均匀性优化控制 573

10.1 目标函数 573

10.2 灵敏度分析 573

10.3 应用实例 575

第5章 金属塑性成形过程的微观组织优化 576

1 微观组织演变模型 576

1.1 动态再结晶 576

1.2 静态再结晶 577

1.3 晶粒生长 577

2 金属塑性成形过程微观组织模拟与优化基本算法 577

2.1 遗传算法 577

2.2 灵敏度分析方法 579

3 微观组织模拟与优化实例	579	优化技术	617
3.1 H形锻件成形过程组织模拟 与优化	579	6.1 基于增量有限元数值模拟的毛坯 下料形状的优化	617
3.2 热挤压成形过程的微观组织模拟 与优化	580	6.2 板料拉深成形中的拉深肋设 计优化	618
3.3 基于灵敏度分析方法的微观组织 模拟与优化	584	6.3 板料拉深成形压边力优化	619
3.4 基于遗传算法的微观组织模拟与 优化	586	6.4 基于正交试验和增量有限元数值 模拟的工艺方案优化	619
第6章 稳态金属成形过程 优化设计	597	7 板料成形多目标优化设计	620
1 稳态成形过程优化设计问题	597	7.1 板料成形多目标优化设计 模型	620
2 设计灵敏度分析	598	7.2 优化设计策略和优化设计过程 集成	624
3 二维挤压模具形状优化设计	599	7.3 拉深成形工艺参数优化设计 实例	624
4 三维挤压模具形状优化设计	601	8 激光板料成形过程模拟与优 化设计	627
4.1 设计模型	601	8.1 激光板料成形过程的数值模拟 ..	627
4.2 优化实例	602	8.2 基于遗传算法的激光板料成形 优化	633
第7章 板料冲压工艺优化设计	607	9 多点成形技术工艺优化	635
1 板料冲压工艺及其质量要求	607	9.1 多点成形技术	635
2 板料冲压工艺优化的意义	608	9.2 分段成形过渡区最优化问题 描述	636
3 板料成形常用数学优化方法	608	9.3 算法描述	637
3.1 正交实验法	608	9.4 应用实例	637
3.2 人工神经网络	609	第8章 热处理过程的优化设计 方法	639
3.3 拉丁方设计	610	1 热处理工艺参数优化	639
3.4 响应面法	611	1.1 曲面响应方法	639
4 冲裁工艺中的毛坯排样优化技 术应用	611	1.2 回归模型的方差分析	640
4.1 冲裁工艺中的排样技术及排 样方法	611	1.3 逐步回归分析	641
4.2 提高材料利用率的途径	612	1.4 气体淬火工艺参数评估	641
4.3 毛坯排样的优化技术应用	612	1.5 阶段性换热系数模型	644
5 弯曲工艺中回弹和下料尺寸控制 的优化技术	614	2 淬火介质换热系数的求解	651
5.1 弯曲工艺中下料尺寸控制的优 化技术	614	2.1 计算模型与计算方法	651
5.2 弯曲工艺中回弹控制的优化 方法	615	2.2 换热系数的求解	655
6 板料拉深成形中的缺陷控制与工艺		参考文献	658

第4篇 快速成形与快速制模

第1章 概论	667	2 快速成形技术的发展	668
1 快速成形技术发展史的简述	667	2.1 光固化成形	668