

中国材料 工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会

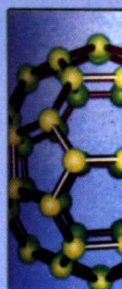



中国材料工程大典编委会

第**21**卷

材料塑性
成形工程 (下)

胡正寰 夏巨谔 主编



 化学工业出版社

CHINA MATERIALS ENGINEERING CANON

京 登 字 号 09 号

中国材料工程大典

中国机械工程学会 中国材料研究学会



中国材料工程大典编委会

第21卷

材料塑性成形工程(下)

胡正寰 夏巨谔 主编



化学工业出版社

北京

(京) 新登字 039 号

内 容 简 介

中国材料工程大典是中国机械工程学会和中国材料研究学会共同组织全国 39 位院士、百余位各学科带头人、千余位材料工程专家共同执笔编写；全面反映当今国内外材料工程领域发展的最新资料和最新成果，集实用性、先进性和权威性于一体的大型综合性工具书。中国材料工程大典包括材料工程基础、钢铁材料工程、有色金属材料工程、高分子材料工程、无机非金属材料工程、复合材料工程、信息功能材料工程、粉末冶金材料工程、材料热处理工程、材料表面工程、材料铸造成形工程、材料塑性成形工程、材料焊接工程、材料特种加工成形工程、材料表征与检测技术等内容，涵盖了材料工程的各个领域，将最新的实用数据（特别是与国际接轨的标准数据）、图表与先进实用的科研成果系统地集合起来，并附应用实例，充分展示了材料工程各领域的现状和未来。中国材料工程大典不仅可以满足现代企业正确选材，合理用材，应用先进的材料成形加工技术，提高产品质量和性能，降低产品成本，增强产品市场竞争力的需要，而且对推动中国材料科学与材料成形加工技术的不断创新，促进制造业的发展，提高我国制造业的竞争能力，具有重要的现实意义。

本书为第 21 卷，材料塑性成形工程（下）。主要内容包括零件轧制成形、特种锻造成形、板管特种成形、型材挤压成形、塑料成形 CAD/CAM、塑性成形质量控制与检测等。

本书主要供具有大专以上文化水平，从事材料工程研究的工程技术人员在综合研究和处理材料塑性成形工程各类技术问题时使用，起备查、提示和启发的作用，也可供研究人员、理工院校的有关师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国材料工程大典. 第 21 卷, 材料塑性成形工程. 下/胡正寰, 夏巨谌主编. —北京: 化学工业出版社, 2005.8
ISBN 7-5025-7323-2

I. 中… II. ①胡…②夏… III. ①材料科学②金属材料—塑性变形 IV. ①TB3②TG111.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 094421 号

中国材料工程大典 第 21 卷 材料塑性成形工程 (下)

中国机械工程学会

中国材料研究学会

中国材料工程大典编委会

胡正寰 夏巨谌 主编

责任编辑: 周国庆 陈志良 李骏带

责任校对: 陶燕华

封面设计: 雷嘉琦

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码: 100029)

购书咨询: (010) 64982530

(010) 64918013

购书传真: (010) 64982630

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

*

新华书店北京发行所经销

北京蓝海印刷有限公司印装

开本 880mm × 1230mm 1/16 印张 50 字数 2313 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7323-2

定价: 150.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换



中国材料工程大典编委会



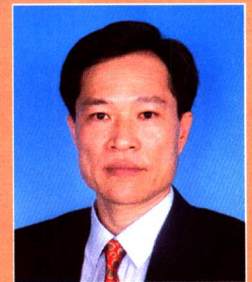
主任：路涌祥



常务副主任：李成功



总策划：宋天虎



总策划：黄远东



总编辑：李骏波



徐滨士 颜鸣春 宋天虎 白春礼 陆燕群 路涌祥 何光远 师昌绪 黄培云 李成功 干勇

2004.7.19-21于青岛



中国材料工程大典编委会

顾问：师昌绪 严东生 李恒德 何光远 陆燕荪 徐匡迪 李学勇
栾恩杰 王淀佐 朱道本 颜鸣皋 黄培云 周 廉 左铁镞

主任：路甬祥

常务副主任：李成功

副主任：钟群鹏 千 勇 黄伯云 江东亮 徐滨士 王占国 潘健生 杜善义 胡正寰 柳百成 徐祖耀 陈立泉

总策划：宋天虎 黄远东

总编辑：李骏带

秘书长：黄远东（兼）

委员：（按姓氏笔画排列）

丁 辛（东华大学教授）

丁传贤（中科院上海硅酸盐研究所研究员、院士）

千 勇（钢铁研究总院院长、院士）

于月光（北京矿冶研究总院副总工程师、教授）

才鸿年（国防科工委专家咨询委委员、院士）

马世宁（装甲兵工程学院教授）

马冲先（上海材料研究所教授）

马济民（北京航空材料研究院教授）

马眷荣（中国建筑材料科学研究院教授）

马福康（北京有色金属研究总院教授）

王占国（中科院半导体研究所研究员、院士）

王务同（上海材料研究所教授）

王尔德（哈尔滨工业大学教授）

王永岩（辽宁工程技术大学教授）

王亚军（中航一集团625所副所长、教授）

王至尧（中国航天科技集团502所研究员）

王克光（中国材料研究学会秘书长、教授）

王克俭（北京航空材料研究院高级工程师）

王高潮（南昌航空工业学院教授）

王淀佐（中国工程院常务副院长、院士）

王琦安（科学技术部高新司材料处处长）

王新林（钢铁研究总院教授）

王德志（中南大学教授）

方禹之（华东师范大学教授）

尹志民（中南大学教授）

邓 炬（西北有色金属研究院教授）

左铁钊（北京工业大学教授）

左铁镞（北京工业大学教授、院士）

石力开（北京有色金属研究总院教授）

石春山（中科院长春应用化学研究所研究员）

卢世刚（北京有色金属研究总院教授）

叶小玲（中科院半导体研究所教授）

叶光斗（四川大学教授）

田志凌（钢铁研究总院副院长、教授）

田荣璋（中南大学教授）

史耀武（北京工业大学教授）

冯 涤（钢铁研究总院教授）

冯 稷（中科院物理研究所教授）

冯春祥（国防科技大学教授）

宁远涛（昆明贵金属研究所教授）

邢建东（西安交通大学教授）

师昌绪（国家自然科学基金委员会顾问、院士）

吕 炎（哈尔滨工业大学教授）

吕反修（北京科技大学教授）

同继锋（中国建筑材料科学研究院教授）

曲文生（中科院金属研究所高级工程师）

朱万森（复旦大学教授）

朱如瑾（四川大学教授）

朱绍华（装甲兵工程学院教授）

朱道本（国家自然科学基金委员会副主任、院士）

仲维卓（中科院上海硅酸盐研究所教授）

任家烈（清华大学教授）

华 林（武汉理工大学教授）

刘 明（中科院微电子所研究员）

刘正才（钢铁研究总院教授）

刘世参（装甲兵工程学院教授）

刘占阳（哈尔滨玻璃钢研究所教授）

刘邦津（钢铁研究总院教授）

刘作信（北京冶金设备研究院教授）

刘其贤（哈尔滨玻璃钢研究所研究员）

刘郁丽（西北工业大学教授）

刘治国（南京大学教授）

刘建章（西北有色金属研究院教授）

刘晋春（哈尔滨工业大学教授）

刘清友（钢铁研究总院教授）

刘献明（中科院理化技术研究所教授）

齐从谦（同济大学教授）

闫 洪（南昌大学教授）

江东亮（中科院上海硅酸盐研究所教授、院士）

许祖泽（钢铁研究总院教授）

许祖彦（中科院物理研究所研究员、院士）

阳明书（中科院化学研究所研究员）

孙 坚（上海交通大学教授）

孙加林（昆明贵金属研究所所长、教授）

杜善义（哈尔滨工业大学教授、院士）

杨合 (西北工业大学教授)
杨武 (上海材料研究所教授)
杨乃宾 (北京航空航天大学教授)
杨才福 (钢铁研究总院教授)
杨鸣波 (四川大学教授)
杨忠民 (钢铁研究总院教授)
杨晓华 (福州大学教授)
杨海波 (北京科技大学教授)
杨焕文 (中国有色金属学会副秘书长、教授)
杨德仁 (浙江大学教授)
李强 (福州大学教授)
李晋 (上海材料研究所教授)
李楠 (武汉科技大学教授)
李长久 (西安交通大学教授)
李龙土 (清华大学教授、院士)
李成功 (中国材料研究学会荣誉理事、教授)
李光福 (上海材料研究所教授)
李志刚 (华中科技大学教授)
李明哲 (吉林大学教授)
李明辉 (上海交通大学教授)
李学勇 (科学技术部副部长)
李虹霞 (洛阳耐火材料研究院教授)
李恒德 (清华大学教授、院士)
李贺军 (西北工业大学教授)
李海军 (宁夏东方钨业股份有限公司高级工程师)
李骏带 (中国材料工程大典编委会高级工程师)
李鹤林 (石油天然气公司管材研究所教授、院士)
严东生 (中科院上海硅酸盐研究所教授、院士)
连克仁 (苏州特种加工研究所教授)
肖亚庆 (中国铝业公司总经理、教授)
吴行 (装甲兵工程学院教授)
吴昆 (哈尔滨工业大学教授)
吴诚 (上海材料研究所教授)
吴永声 (四川大学教授)
吴伟仁 (国防科工委科技与质量司司长、研究员)
吴性良 (复旦大学教授)
吴科如 (同济大学教授)
吴恩熙 (中南大学教授)
吴谊群 (中科院上海光学机械研究所研究员)
吴智华 (四川大学教授)
吴德馨 (中科院微电子所研究员、院士)
何光远 (原机械工业部部长、教授)
何季麟 (宁夏东方有色金属集团公司总裁、院士)
佟晓辉 (中国热处理行业协会研究员)
邱勇 (清华大学教授)
邱冠周 (中南大学副校长、教授)
邱德仁 (复旦大学教授)
余金中 (中科院半导体研究所研究员)
邹广田 (吉林大学教授、院士)

汪明朴 (中南大学教授)
沈真 (中航一集团623所研究员)
沈万慈 (清华大学教授)
沈德忠 (清华大学教授、院士)
宋天虎 (中国机械工程学会秘书长、教授)
张力 (国防科工委经济与协调司副司长、研究员)
张扬 (四川大学教授)
张华 (贵州安大航空锻造公司副总经理)
张杰 (北京科技大学教授)
张金 (中国锻压协会秘书长、教授)
张峥 (北京航空航天大学教授)
张子龙 (北京航空材料研究院高级工程师)
张用宾 (中国建筑材料科学研究院教授)
张立同 (西北工业大学教授、院士)
张永俐 (昆明贵金属研究所教授)
张吉龙 (中国铝业公司教授)
张旭初 (中国材料工程大典编委会教授)
张佐光 (北京航空航天大学教授)
张晋远 (钢铁研究总院教授)
张康侯 (昆明贵金属研究所教授)
张道中 (中科院物理研究所教授)
张新民 (中南大学教授)
陆燕荪 (原机械工业部副部长)
陈琦 (沈阳铸造研究所教授)
陈文哲 (福州大学教授)
陈世朴 (上海交通大学教授)
陈立泉 (中科院物理研究所教授、院士)
陈运远 (上海材料研究所教授)
陈志良 (化学工业出版社编审)
陈国钧 (钢铁研究总院教授)
陈治明 (西安理工大学校长、教授)
陈南宁 (北京钢铁设计研究总院教授)
陈祝年 (山东大学教授)
陈晓慈 (中国第二重型机械集团公司副总工程师)
陈涌海 (中科院半导体研究所研究员)
陈祥宝 (北京航空材料研究院研究员)
陈超志 (中国机械工程学会高级工程师)
林慧国 (钢铁研究总院教授)
欧阳世翕 (中国建筑材料科学研究院教授)
卓尚军 (中科院上海硅酸盐研究所研究员)
易建宏 (中南大学教授)
罗祥林 (四川大学教授)
罗豪魁 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
果世驹 (北京科技大学教授)
周廉 (西北有色金属研究院教授、院士)
周伟斌 (化学工业出版社副社长、编审)
周国庆 (化学工业出版社副总编辑、编审)
郑有焯 (南京大学教授、院士)
柳玉起 (华中科技大学教授)

柳百成 (清华大学教授、院士)
胡玉亭 (太原钢铁集团公司总工程师、教授)
胡正寰 (北京科技大学教授、院士)
南策文 (清华大学教授)
赵万生 (哈尔滨工业大学教授)
赵有文 (中科院半导体研究所研究员)
赵国群 (山东大学教授)
赵金榜 (上海市涂料研究所教授)
赵梓森 (武汉邮电科学研究院研究员、院士)
赵慕岳 (中南大学教授)
钟群鹏 (北京航空航天大学教授、院士)
施东成 (北京科技大学教授)
施剑林 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
姜不居 (清华大学教授)
姜晓霞 (中科院金属研究所研究员)
祖荣祥 (钢铁研究总院教授)
姚燕 (中国建筑材料科学研究院院长、教授)
贺守华 (国防科工委经济与协调司处长)
耿林 (哈尔滨工业大学教授)
聂大钧 (宁夏东方有色金属集团公司教授)
贾成厂 (北京科技大学教授)
顾冬红 (中科院上海光学机械研究所研究员)
夏巨谌 (华中科技大学教授)
夏志华 (北京有色金属研究总院教授)
俸培宗 (化学工业出版社社长、编审)
徐匡迪 (中国工程院院长、院士)
徐廷献 (天津大学教授)
徐建军 (四川大学教授)
徐祖耀 (上海交通大学教授、院士)
徐家文 (南京航空航天大学教授)
徐跃明 (中国机械工程学会热处理学会研究员)
徐滨士 (装甲兵工程学院教授、院士)
殷树言 (北京工业大学教授)
翁宇庆 (中国金属学会理事长、教授)
郭会光 (太原重机学院教授)
郭景杰 (哈尔滨工业大学教授)
高瑞萍 (国家自然科学基金委员会研究员)
栾恩杰 (国防科工委专家咨询委主任、研究员)
唐仁政 (中南大学教授)
唐汝钧 (上海材料研究所教授)
唐志玉 (四川大学教授)
唐昌世 (首都钢铁集团公司教授)
益小苏 (北京航空材料研究院教授)
涂善东 (南京工业大学教授)
黄勇 (清华大学教授)
黄天佑 (清华大学教授)
黄玉东 (哈尔滨工业大学教授)
黄本立 (厦门大学教授、院士)
黄远东 (中国材料工程大典编委会高级工程师)

黄伯云 (中南大学校长、院士)
黄校先 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
黄培云 (中南大学教授、院士)
曹勇家 (钢铁研究总院教授)
曹湘洪 (中国石油化工股份有限公司董事、院士)
龚七一 (中国化学学会秘书长、教授)
崔健 (上海宝钢集团公司副总经理、教授)
康喜范 (钢铁研究总院教授)
梁齐 (上海交通大学教授)
梁军 (哈尔滨工业大学教授)
梁志杰 (装甲兵工程学院高级工程师)
屠海令 (北京有色金属研究总院院长、教授)
隋同波 (中国建筑材料科学研究院教授)
韩凤麟 (中机协粉末冶金分会教授)
彭艳萍 (国防科工委科技与质量司高级工程师)
葛子干 (北京航空材料研究院院长、教授)
董瀚 (钢铁研究总院教授)
董汉山 (英国伯明翰大学教授)
董首山 (中科院金属研究所研究员)
董祖珏 (机械科学研究院教授)
董湘怀 (上海交通大学教授)
蒋力培 (北京石油化工学院教授)
蒋建平 (浙江大学教授)
傅绍云 (中科院理化技术研究所研究员)
储君浩 (上海技术物理研究所教授)
谢邦互 (四川大学教授)
谢里阳 (东北大学教授)
谢建新 (北京科技大学副校长、教授)
鄢国强 (上海材料研究所教授)
雷天民 (西安理工大学教授)
路甬祥 (中国机械工程学会理事长、院士)
解应龙 (哈尔滨焊接技术培训中心教授)
解思深 (中科院物理研究所教授、院士)
雍歧龙 (钢铁研究总院教授)
蔡中义 (吉林大学教授)
漆玄 (上海交通大学教授)
谭抚 (中国硅酸盐学会副秘书长、教授)
熊守美 (清华大学教授)
薪常青 (中科院物理研究所教授)
樊东黎 (中国热处理行业协会教授)
黎文献 (中南大学教授)
颜永年 (清华大学教授)
颜鸣皋 (北京航空材料研究院教授、院士)
潘正安 (化学工业出版社总编辑、编审)
潘叶金 (中南大学教授)
潘振魁 (中科院上海硅酸盐研究所教授)
潘健生 (上海交通大学教授、院士)
燕瑛 (中国复合材料学会秘书长、教授)
戴国强 (科学技术部高新司副司长)

鸣 谢

在编写过程中，得到以下部门和单位的支持和协作，使《中国材料工程大典》得以顺利编撰完成。在此，中国材料工程大典编委会代表全体作者表示衷心感谢！

支持部门：中华人民共和国科学技术部

国防科学技术工业委员会

国家自然科学基金委员会

中国科学技术协会

中国科学院

中国工程院

协 作 单 位

钢铁研究总院

北京有色金属研究总院

北京航空材料研究院

中国建筑材料科学研究院

中国科学院金属研究所

中国科学院上海硅酸盐研究所

上海宝钢集团公司

中国石油化工集团公司

中国铝业公司

清华大学

中南大学

太原钢铁集团公司

西北有色金属研究院

宁夏东方有色金属集团公司

华中科技大学

中国第二重型机械集团公司

北京科技大学

北京航空航天大学

中国航天集团第703研究所

中国特种设备检测研究中心

哈尔滨工业大学

贵州安大航空锻造公司

东北大学

西安重型机械研究所

中国科学院半导体研究所

四川大学

北京航空制造工程研究所

中国科学院物理研究所

西北工业大学

北京矿冶研究总院

沈阳铸造研究所

江苏法尔胜公司

序

材料是当代社会经济发展的物质基础，也是制造业发展的基础和重要保障。进入 21 世纪以来，随着经济全球化的发展和中国的崛起，现代制造业的重心正不断向中国转移。据统计，今天中国制造业直接创造国民生产总值的 1/3 以上，约占全国工业生产的 4/5，为国家财政提供 1/3 以上的收入，占出口总额的 90%。但是与发达国家相比，我国制造业的水平不高、自主创新能力不足、高端市场竞争力还不强。我国虽然已是世界制造业大国，但还不是世界制造业强国。在有关因素中，材料工程基础薄弱是制约我国制造业发展的关键因素。广义的材料工程包括材料制备、测试和加工成形过程。为了提高我国制造业的水平和竞争力，突破材料工程这个薄弱环节，中国机械工程学会和中国材料研究学会牵头，会同中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会共同组织编撰《中国材料工程大典》（简称《材料大典》），其目的是力图为我国制造业提供一部集科学性、先进性和实用性于一体的综合性专业工具书。以满足广大科技工作者的迫切需求，为科技自主创新和我国制造业的崛起加强技术基础。

经过 5 年多的艰苦努力，《材料大典》终将出版了。这部共 26 卷约 7000 万字的巨著，是 39 位两院院士和 1200 余位参编专家教授们辛勤劳动的智慧结晶。有的作者为此牺牲了健康，如一位退休了的总工程师，为了把他多年的研究成果和实践经验写成书稿，由于长时间写作，导致眼睛视网膜脱落……。这种敬业精神与坚强毅力是值得我们学习铭记的。借此机会，我们要感谢中国金属学会、中国化工学会、中国硅酸盐学会、中国有色金属学会、中国复合材料学会的支持。这些学会的众多专家教授积极参与了《材料大典》编写工作，与中国机械工程学会和中国材料研究学会的专家教授一起完成这项艰巨任务，从而使《材料大典》在完整性与先进性、科学性与实用性的结合上得到了加强；我们要感谢科学技术部、国防科学技术工业委员会、国家自然科学基金委员会、中国科学技术协会、中国科学院、中国工程院，以及各协作单位对编写工作的大力支持和积极帮助；我们也要感谢师昌绪院士等顾问的殷切指导，他们在编委会的两次工作会议上提出了许多重要的意见和建议，平时也给予了经常关心和指导，使我们少走了许多弯路；我们还要对关心和支持《材料大典》编写工作的科研院所、院校、企业以及有关人员表示感谢。没有大家的支持与协同，就不可能有《材料大典》的成功编写和顺利出版。

《材料大典》既总结了 10 多年来在材料工程方面的最新数据、图表及科研成果，还汇集了国内外在材料工程方面的成熟经验和先进理念，它体现了科学性、先进性和实用性的结合。可供具有大专以上文化水平的有关工程技术人员查阅使用，也可供理工院校的师生参考。

编撰《材料大典》涉及范围广，难度大，书中不可避免地会存在一些缺点和不足之处，恳请各位读者指正。

中国机械工程学会理事长
中国材料工程大典编委会主任

2005 年 9 月 23 日

前 言

《材料塑性成形工程》是《中国材料工程大典》中的卷目之一。

材料塑性成形加工行业是制造行业的主要组成部分,对国民经济的发展有重要作用。材料的锻造与冲压,是汽车、飞机、造船、军工、钢铁、电力工程、农机、家电、装备制造业等支柱产业,也是当代材料工程和先进制造技术的重要内容。中国已成为世界锻件和冲压件生产的第一大国,2004年锻件与冲压件产量已达到2000多万吨。但同时也面临着对锻件与冲压件生产的技术水平、质量、能耗、环保等方面的严峻挑战。中国的锻造与冲压工业要向世界先进水平看齐,变“锻造大国”为“锻造强国”,这也是我国广大从事塑性成形技术与生产的工作者所面临的紧迫而艰巨的任务。《中国材料工程大典》中的《材料塑性成形工程》卷的编写和出版,正好适应了这种形势发展的需要。

《材料塑性成形工程》卷(上下册)是我国迄今为止覆盖面最宽、内容最新的材料塑性成形专业工具书。内容包括概论、锻造成形、板料冲压成形、板型管轧制成形、零件轧制成形、特种锻造成形、板管特种成形、型材挤压成形、塑性成形CAD/CAM和塑性成形质量控制与检测等10篇约400万字。参加这部著作编写的胡正寰和夏巨谔统稿合成。参加的主要单位有北京科技大学、华中科技大学、长春一汽锻造有限公司、东风汽车公司锻造厂、湖北汽车集团公司、哈尔滨工业大学、吉林大学、西北工业大学、武汉理工大学、太原重机学院、南昌大学、南昌航空工业学院等。历时3年多完成编写工作。

各篇的主编如下:

第1篇 概论	夏巨谔	张 金		
第2篇 锻造成形	夏巨谔	郭会光		
第3篇 板料冲压成形	杨 合	华 林	刘郁丽	
第4篇 板型管轧制成形	张 杰	杨海波	施东成	陈南宁
第5篇 零件轧制成形	胡正寰	华 林		
第6篇 特种锻造	王高潮			
第7篇 板管特种成形	李明哲	蔡中义		
第8篇 型材挤压成形	夏巨谔	闫 洪		
第9篇 塑性成形CAD/CAM	李志刚			
第10篇 塑性成形质量控制与检测	吕 炎			

本书在整体设计上是“立足全局,反映共性,突出重点,实用便查”。在具体编写上是以材料的塑性成形工艺为主,以工模具设计及关键设备的应用为辅;以目前生产中普遍使用的锻造与冲压工艺及主要的模具设计方法为基础,向塑性成形新工艺新模具及新设备延伸。本书全面系统地反映了我国塑性成形技术的发展及取得的成就和经验,介绍了国内外的先进塑性成形技术,具有“科学性,先进性和实用性。”本书主要供从事制造业和材料工程的科学技术人员使用,也可以供研究人员,管理人员和高等院校师生参考。

感谢中国机械工程学会、中国材料研究学会和中国材料工程大典编委会对《材料塑性成形工程》卷编写工作的指导与大力支持。由于编写时间紧迫和编者水平所限,书中难免有疏漏与不当之处,敬请读者指正并提出宝贵意见。

胡正寰 夏巨谔

2005年9月9日

目 录

第5篇 零件轧制成形	1
第1章 辊锻	4
1 概述	4
2 辊锻变形的基本原理	4
2.1 辊锻变形区及其几何参数	4
2.2 咬入条件	5
2.3 辊锻时金属的延伸	5
2.4 辊锻时金属的纵向流动及前滑与后滑	6
2.5 辊锻过程中的宽展	7
2.6 辊锻力及辊锻力矩	9
3 辊锻工艺与模具设计	11
3.1 辊锻模结构与材料	11
3.2 制坯辊锻工艺	12
3.3 成形辊锻工艺	18
4 辊锻机	20
4.1 辊锻机的工作原理	20
4.2 辊锻机的类型	20
4.3 辊锻机的技术参数	21
4.4 辊锻机的选用	23
5 辊锻工艺应用实例	23
5.1 连杆辊锻	23
5.2 叶片成形辊锻	25
5.3 汽车前轴辊锻	26
5.4 汽车变截面板簧片精密辊锻	28
第2章 楔横轧	29
1 概述	29
1.1 工作原理	29
1.2 工艺特点	29
1.3 国内外发展与应用简况	29
1.4 工艺流程与车间布置	30
2 轧制理论	31
2.1 运动原理	31
2.2 轧件旋转条件	32
2.3 展宽角	34
2.4 轧齐理论	36
3 变形机理	37
3.1 有限元数值模拟	37
3.2 轧件上的应变场	38
3.3 轧件的变形	40
3.4 轧件上的应力场	43
3.5 轧件心部缺陷产生机理	44
4 轧制压力与力矩	48
4.1 模具与轧件接触面积	48
4.2 数值计算数据	49
4.3 轧制实测数据	51
4.4 影响因素综合	52
5 模具设计	52
5.1 模具设计的一般原则	52
5.2 工艺参数的确定	54
5.3 对称轴类件的模具设计	55
5.4 非对称轴类件的模具设计	56
6 机械设备	57
6.1 楔横轧机的基本类型	57
6.2 楔横轧机的总体配置	59
第3章 孔型斜轧	61
1 概述	61
1.1 工作原理	61
1.2 工艺特点	61
1.3 国内外发展与应用简况	61
1.4 工艺流程与车间布置	62
2 轧制原理	63
2.1 斜轧回转体运动原理	63
2.2 斜轧螺旋体运动原理	64
2.3 辊形曲面	65
3 变形机理	66
3.1 有限元数值模拟	66
3.2 轧件上的应变场	67
3.3 轧件上的应力场	68
3.4 轧件心部疏松机理	69
4 轧制压力与力矩	71
4.1 轧辊与轧件的接触面积	71
4.2 接触面上的单位压力	72
4.3 轧制力的方向	74
4.4 轧制压力与力矩的实验	74
5 模具设计	75
5.1 模具设计一般原则	75
5.2 孔型参数确定	76
5.3 孔型设计方法	77
5.4 模具设计实例	80
6 机械设备	81
6.1 斜轧机的基本类型	81
6.2 穿孔式斜轧机	82
第4章 环件轧制	89
1 环件轧制成形原理	90
1.1 环件轧制几何学	90
1.2 环件轧制静力学	90
1.3 环件轧制运动学	92
2 变形主要特征和工艺参数	95
2.1 矩形截面环件轧制变形规律	95
2.2 环件轧制工艺参数	96
3 环件轧制力能参数	98
3.1 环件闭式轧制力能计算	98
3.2 环件开式轧制力能计算	98
3.3 阶梯孔环件闭式轧制力能计算	98
3.4 力能计算举例	98
3.5 环件轧制力和力矩影响因素	99
4 环件轧制工艺与模具设计	100
4.1 下料	100
4.2 加热	100
4.3 环件锻件和毛坯设计	101
4.4 环件轧制模具设计和调试	104
4.5 环件轧制缺陷和工艺调试	106
5 环件轧制设备	108
5.1 立式轧环机	108
5.2 卧式轧环机	109
5.3 精密冷轧环机	110
6 环件轧制工艺实例	110

6.1 环件轧制生产线	110	6.5 径向锻造锻件常见工艺缺陷 及其预防措施	150
6.2 典型环件轧制工艺流程	110	第7章 旋压	151
第5章 摆动辗压	112	1 概述	151
1 摆辗工艺的特点、分类及应用	112	1.1 分类和特点	151
1.1 摆辗成形的原理	112	1.2 用途	155
1.2 摆辗工艺的基本特点	112	2 成形原理(变薄旋压)	156
1.3 圆柱形件摆辗变形的规律	112	2.1 主体运动	156
1.4 摆辗工艺的分类	113	2.2 变形规律	156
1.5 摆辗工艺的适用范围	114	3 坯料	158
2 摆辗工艺主要的工艺参数	114	3.1 可旋材料	158
2.1 摆角 γ	114	3.2 普旋坯料	158
2.2 每转进给量 S	114	3.3 剪切旋压坯料	159
2.3 摆头转速 n	115	3.4 流动旋压坯料	160
2.4 摆头轨迹	115	4 工艺参数	160
3 摆辗工艺的力能参数	116	4.1 剪切旋压	160
3.1 摆辗接触面积率 λ	116	4.2 流动旋压	161
3.2 摆辗力	116	5 力能参数	162
3.3 摆头电动机功率	116	5.1 力学分析	162
4 摆辗工艺的模具设计	117	5.2 旋压力计算	162
4.1 摆辗模具工况	117	6 工艺装备	163
4.2 摆辗成形件图的设计	117	6.1 芯模	164
4.3 摆辗模模具设计	117	6.2 旋轮	165
5 摆动辗压设备	120	6.3 尾顶	166
5.1 摆动辗压设备的工作原理	120	6.4 靠模	166
5.2 摆动辗压设备的分类	120	6.5 加热装置	166
5.3 摆动辗压设备的主要参数	121	6.6 冷却与润滑	167
5.4 摆动辗压设备的结构	121	7 旋压机	167
6 摆辗模具材料	123	7.1 特点	167
6.1 热摆辗模具材料	123	7.2 结构组成	167
6.2 冷摆辗模具材料	125	7.3 设备类别	167
7 典型零件的摆辗工艺	126	7.4 设备能力	170
7.1 冷摆辗成形件	126	8 旋压件的质量控制	170
7.2 温、热摆辗成形件	128	8.1 组织结构	170
第6章 径向锻造	130	8.2 力学性能	170
1 径向锻造的工艺原理、用途和优缺点	130	8.3 尺寸精度	170
1.1 径向锻造的工艺原理	130	8.4 缺陷及消除措施	171
1.2 径向锻造工艺的用途	130	9 旋压实例	172
1.3 径向锻造工艺的优缺点	130	9.1 $\phi 356$ mm 封头普旋	172
2 径向锻造设备	131	9.2 筒形件变薄旋压实例	172
2.1 径向锻造机的分类	131	9.3 锥形件变薄旋压实例	174
2.2 径向锻造机的构造	131	参考文献	176
3 径向锻造的力能参数	137	第6篇 特种锻造	177
3.1 径向锻造机锻造变形力的计算	137	第1章 挤压	179
3.2 锤头行程、运动速度和加速度	138	1 挤压理论	180
3.3 径向锻造的变形功	139	1.1 挤压时金属流动	180
3.4 径向锻造机电机功率计算	139	1.2 挤压时的附加应力	181
4 径向锻造的主要工艺参数	139	1.3 挤压时的外摩擦	181
4.1 径向锻造的主要工艺参数	139	1.4 挤压力的计算	181
4.2 径向锻造的其他工艺参数	140	2 挤压工艺	189
4.3 工艺卡片的编制	140	2.1 冷挤压工艺	189
5 径向锻造的锤头、夹爪和芯棒的设计	140	2.2 温挤压工艺	193
5.1 锤头	140	2.3 热挤压工艺	194
5.2 夹爪	143	3 挤压模具	195
5.3 芯棒	143	3.1 挤压模具的要求及特点	195
6 径向锻造工艺的设计及其实例	144	3.2 挤压模具的典型模具结构	196
6.1 径向锻造工艺的设计	144	3.3 挤压模具工作部分设计	196
6.2 坯料	146	4 挤压实例	199
6.3 变形过程	147		
6.4 工艺实例	147		

4.1 汽车活塞销冷挤压	199	2.4 超塑性模锻的锻件图设计	250
4.2 轴承套圈的温挤压	200	2.5 超塑性模锻的模具结构及材料	250
第2章 冷锻	202	2.6 润滑	252
1 冷锻工艺	202	3 等温模锻	252
1.1 冷锻工艺过程和力的计算	202	3.1 等温锻造的基本特点和发展动向	252
1.2 典型零件冷锻工艺	204	3.2 等温模锻的工艺装备	252
2 自动冷锻机模具	205	3.3 等温模锻对润滑防护剂的特殊要求	255
2.1 冷锻模具的分类	205	3.4 典型件的等温模锻工艺	255
2.2 自动冷锻机模具结构	207	第5章 液态模锻	256
2.3 自动冷锻机模膛尺寸	208	1 液态模锻的工艺原理	256
3 杆状零件冷锻模具设计	209	1.1 工艺原理	256
3.1 冲头设计	209	1.2 液态模锻的工艺流程	256
3.2 凹模设计	211	2 液态模锻成形与凝固特点	256
3.3 切边模具设计	216	3 液态模锻工艺对设备的要求	257
4 螺母类零件冷锻模具设计	217	3.1 液锻工艺对设备的要求	257
4.1 锻球模具设计	217	3.2 液锻设备的选择依据	257
4.2 锻六角模具设计	218	3.3 液锻用成形设备	257
4.3 冲孔模具设计	220	3.4 液态模锻辅助设备	259
5 通用模具设计	221	4 液态模锻工艺方法分类	260
5.1 切料模具设计	221	4.1 直接加压法(直接液态模锻)	260
5.2 滚压工具设计	222	4.2 间接加压法	261
第3章 温锻	224	4.3 间接挤注法	261
1 温锻成形材料及其加热	224	5 液态模锻锻件分类与设计要点	261
1.1 温锻的特点	224	5.1 液锻件分类	261
1.2 温锻成形材料	224	5.2 成形方案与分模位置	262
1.3 温锻温度的选择	224	5.3 加工余量与锻件公差	262
1.4 加热方式的选择	227	5.4 脱模斜度	264
2 温锻的准备	228	5.5 圆角半径	265
2.1 毛坯的准备	228	5.6 液锻件的收缩率	265
2.2 坯料加热、模具预热和坯料润滑	228	5.7 液锻件图设计	265
2.3 温锻变形力的确定	229	6 液态模锻模具结构设计	266
3 温锻模具的设计与模具材料	230	6.1 液锻模具设计的基本要求	266
3.1 温锻模具的要求	230	6.2 液锻模具设计步骤	266
3.2 温锻模具结构	230	6.3 模具结构分类	266
3.3 凸凹模工作部分的设计	231	6.4 凹模与凹模套设计	267
3.4 温锻模具工作部分材料的选择	231	6.5 凸模与挤压头设计	269
3.5 温锻模具的冷却方法	232	6.6 型芯与镶块设计	270
4 温锻产品质量控制	232	6.7 卸件装置设计	270
4.1 温锻产品的尺寸精度	232	6.8 顶件装置设计	270
4.2 宏观尺寸变化规律	232	6.9 导向装置设计	270
4.3 温锻产品的实用公差	233	6.10 排气槽与溢料槽设计	270
4.4 温锻产品的表面粗糙度	233	6.11 模板与凸模固定板设计	271
4.5 温锻产品的显微组织变化	233	6.12 侧分型机构设计	271
4.6 温锻产品的力学性能	233	6.13 模具预热与冷却	272
5 温锻的应用实例	235	7 液锻模具材料与热处理	273
5.1 碳素结构钢的温锻	235	7.1 液锻模具的性能要求	273
5.2 合金结构钢的温锻	235	7.2 液锻模工作零件的常用材料及热处理要求	273
5.3 轴承钢的温锻	236	7.3 液锻模其他零件材料及热处理要求	273
5.4 不锈钢的温锻	237	7.4 液锻用模具材料的选用原则	273
第4章 超塑性模锻与等温模锻	238	8 液锻模具技术要求	274
1 金属超塑性理论基础	238	9 液态模锻主要工艺因素及控制	275
1.1 金属的塑性、超塑性	238	9.1 金属液的质量	275
1.2 超塑性变形的力学特征	239	9.2 浇注温度	275
1.3 超塑性变形的机理	242	9.3 模具预热温度	276
1.4 超塑性变形时的组织结构及性能	244	9.4 成形压力(比压)	276
2 超塑性模锻	245	9.5 保压时间	276
2.1 超塑性体积成形的特点	245	10 液锻模具用(润滑剂)涂料	276
2.2 常用超塑性材料	245	10.1 液态模锻模具用涂料的作用	276
2.3 典型件的超塑性模锻工艺	248		

10.2 液态模具用涂料的性能要求	276	3.2 模具设计	355
10.3 液锻模具常用涂料及喷涂工艺	276	4 超塑性成形设备	357
参考文献	278	4.1 基本要求	357
第7篇 板管特种成形	279	4.2 基本组成	357
第1章 板管的介质成形	281	4.3 国外超塑性成形设备	357
1 薄板件的介质成形	281	5 超塑成形/扩散连接技术	358
1.1 薄板件的弹性介质成形工艺	281	5.1 钣金的扩散连接	358
1.2 薄板件的液体介质成形工艺	283	5.2 组合工艺 (SPF/DB) 的工艺方法与典型 结构	361
2 管件的介质成形	288	5.3 超塑成形/扩散连接工艺的应用	362
2.1 管件的弹性介质成形工艺	288	第5章 爆炸成形	366
2.2 管件的液体介质成形工艺及工装设计	293	1 工艺参数选择	366
第2章 板料无模成形	300	1.1 炸药种类	366
1 多点成形技术基础	301	1.2 药包形状	366
1.1 基本原理	301	1.3 药位	367
1.2 基本成形方式	301	1.4 药量	367
1.3 成形缺陷的产生与控制	302	1.5 传压介质	368
2 多点成形工艺	305	1.6 水深	368
2.1 一次成形	306	2 爆炸成形装置与模具设计	368
2.2 分段成形	306	2.1 传压介质的盛装装置	368
2.3 多道次成形	307	2.2 爆炸成形用模具	368
2.4 反复成形	308	3 工艺分析与实例	370
2.5 闭环成形	309	3.1 爆炸拉深	370
2.6 薄板多点成形	309	3.2 爆炸胀形	375
3 多点成形设备	309	3.3 其他形式的爆炸成形	377
3.1 基本体单元及调形	310	4 爆炸成形安全守则	380
3.2 多点成形主机	311	第6章 电磁成形	381
3.3 CAD/CAM 软件	311	1 工艺基础	381
3.4 设备规格与应用	314	1.1 基本原理	381
4 增量成形技术	315	1.2 电磁成形材料	381
4.1 基本原理	315	1.3 电磁成形的坯料	383
4.2 成形分析与实验	316	1.4 线圈	383
4.3 成形设备	317	1.5 集磁器	385
第3章 旋压成形	320	1.6 模具及驱动片	385
1 普通旋压	320	2 连接工艺	386
1.1 普通旋压的应用	320	2.1 连接方式	386
1.2 普通旋压的工艺参数	320	2.2 管-杆连接的影响因素	387
1.3 普通旋压工装设计	325	2.3 管-管连接的影响因素	388
1.4 旋压力的计算	327	2.4 连接方式及应用	388
1.5 特殊旋压方式	328	3 管坯成形	389
2 变薄旋压	329	3.1 管坯的变形	389
2.1 变薄旋压的应用	329	3.2 胀径成形	390
2.2 变薄旋压的工艺参数	331	3.3 缩径成形	393
2.3 变薄旋压的工装设计	335	3.4 管状坯料的分离工序	396
2.4 变形力	336	4 板坯成形	396
2.5 特殊旋压方式	337	4.1 平板坯料成形	397
第4章 超塑成形	344	4.2 冲裁	400
1 超塑性成形技术基础	344	4.3 框架零件成形实例	401
1.1 定义、特征及特点	344	5 电磁成形设备	402
1.2 超塑性机理及变形的影响因素	345	5.1 设备组成及分类	402
1.3 超塑性金属和合金	347	5.2 国内外的电磁成形设备	403
2 薄板的超塑性成形工艺	348	参考文献	405
2.1 超塑性成形方法	348	第8篇 型材挤压成形	407
2.2 超塑性成形的工艺参数	350	第1章 铝合金型材	409
2.3 超塑性成形的结构工艺性	352	1 铝合金型材的分类	409
2.4 零件壁厚不均匀的控制方法	353	1.1 分类原则	409
2.5 超塑性成形工艺过程	354	1.2 分类方法	409
3 超塑性成形模具	355	2 铝合金型材断面的设计方法	415
3.1 模具材料	355		

2.1 断面形状的复杂性	415	3.2 模具的外形尺寸及其标准化	445
2.2 挤压系数	416	4 型材挤压模具的设计方法及技术要求	446
2.3 断面大小	416	4.1 模具设计方法	446
2.4 型材壁厚	416	4.2 模具设计的技术要求	447
2.5 包围空间面积的设计	416	5 模具结构设计	447
2.6 直角间的圆角半径	417	5.1 实心型材挤压模具设计	447
2.7 断面尺寸公差	417	5.2 空心型材挤压模具设计	449
3 挤压型材常用铝合金及特性	417	5.3 空心型材平面分流组合挤压模设计	452
3.1 常用铝合金化学成分	417	5.4 阶段变断面型材挤压模设计	456
3.2 常用铝合金分类	418	5.5 渐变断面型材挤压模设计	458
3.3 常用铝合金及其特性	418	5.6 扁宽带筋壁板型材挤压模设计	460
4 变形铝合金的挤压性能	420	5.7 民用建筑型材挤压模设计	462
第2章 铝合金型材挤压工艺基础及成形过程		第5章 型材挤压凹模优化设计	466
数值模拟	422	1 基于传统方法的优化设计	466
1 铝合金型材挤压时的金属变形规律	422	1.1 改变模孔工作带的几何形状与尺寸	466
1.1 正挤压时金属变形的基本阶段	422	1.2 阻碍角的辅助作用	468
1.2 正挤压实心件的金属流动情况	422	1.3 采用促流角来均衡金属流速	469
1.3 正挤压空心件的金属流动情况	422	1.4 使型材各部分流动速度均匀的其他方法	470
2 影响型材挤压变形的主要因素分析	423	2 现代优化设计方法中的两个关键问题	470
2.1 接触摩擦与润滑	423	2.1 目标参数的确定	470
2.2 凹模角度及形状	423	2.2 约束条件的确定	470
2.3 模孔的排列	423	3 型材挤压模工作带长度设计计算的数学建模	470
2.4 表面状态	424	3.1 型材挤压时金属流动规律研究	471
2.5 加热温度	424	3.2 挤压模工作带长度设计计算的数学建模	471
2.6 合金性能	424	3.3 实验验证	472
3 型材挤压力的计算	424	4 U形铝型材挤压模具结构工艺参数优化设计	472
3.1 别尔林公式	424	4.1 U形型材挤压模具结构优化设计数学模型的建立	472
3.2 古布金公式	425	4.2 U形型材挤压过程的有限元模拟	472
3.3 经验公式	425	4.3 神经网络模型的建立与训练	473
4 铝合金型材挤压过程有限元数值模拟	425	4.4 采用RPGA为优化算法的优化步骤	474
4.1 塑性成形有限元基本理论	425	4.5 优化结果的有限元仿真	474
4.2 三维有限元模拟中关键技术的处理	425	5 三维铝型材挤压模多参数优化	475
4.3 铝合金型材非等温挤压过程模拟实例	426	5.1 人工神经网络建模	476
4.4 工艺参数对铝型材挤压变形规律的影响	429	5.2 遗传算法优化	477
5 型材挤压过程工艺参数优化模型	432	第6章 镁合金型材挤压成形工艺	478
5.1 集数值仿真、人工神经网络和遗传算法为一体的参数优化模型	433	1 镁合金的性能特点	478
5.2 非对称角铝型材挤压成形工艺参数优化实例	433	2 镁合金锻造与挤压工艺特点	478
5.3 非对称角铝型材挤压成形过程的数值仿真	434	2.1 坯料准备	478
第3章 铝合金型材挤压工艺	436	2.2 锻造与挤压前加热	478
1 挤压坯料的选择	436	2.3 锻造与挤压	479
2 挤压温度与速度的确定	436	2.4 清理和热处理	480
2.1 挤压温度范围的确定	436	3 镁合金型材挤压成形工艺	480
2.2 挤压时的速度条件	437	3.1 实验材料及设备	480
3 挤压方法的选择	438	3.2 挤压工艺参数确定	480
3.1 等截面实心型材的挤压方法	438	3.3 实验研究结果与应用	481
3.2 等截面空心型材的挤压方法	438	参考文献	482
3.3 阶段变断面实心型材的挤压方法	439	第9篇 塑性成形 CAD/CAM	483
3.4 渐变断面实心型材的挤压方法	440	第1章 概论	485
4 润滑剂的选用	440	1 CAD/CAM的基本概念	485
5 铝合金型材的生产工艺流程	441	1.1 概念	485
第4章 铝合金型材挤压模具设计	442	1.2 计算机在设计和制造中的辅助作用	485
1 铝型材挤压工模具的工作条件	442	1.3 CAD与CAM的集成	486
2 型材挤压模具的分类及组装方式	443	2 模具CAD/CAM技术的应用	486
2.1 型材挤压模具的分类	443	2.1 CAD/CAM技术在模具行业的应用状况	486
2.2 型材挤压模具的组装方式	443	2.2 模具CAD/CAM的优越性	487
3 型材模具的典型结构参数及外形标准化	444	2.3 模具CAD/CAM的特点	487
3.1 挤压模结构参数的设计	445		

3 传统的模具设计制造与模具 CAD/CAM 的比较	488	5.2 曲面	528
3.1 传统的模具设计与制造	488	第 6 章 产品数据管理技术	531
3.2 集成的模具设计制造过程	488	1 产品数据管理技术概述	531
4 建立 CAD/CAM 系统的过程与方法	488	1.1 PDM 技术的产生	531
第 2 章 模具 CAD/CAM 系统的组成	491	1.2 PDM 的定义	531
1 模具 CAD/CAM 系统的硬件	491	1.3 PDM 系统的体系结构	531
1.1 主机	491	2 PDM 系统的功能	531
1.2 外部存储器	491	2.1 数据与文档管理	532
1.3 输入设备	492	2.2 过程与工作流程管理	532
1.4 输出设备	492	2.3 产品结构与管理	533
2 计算机网络	494	2.4 零部件分类库管理	533
3 模具 CAD/CAM 系统的软件	495	2.5 项目管理	533
3.1 系统软件	495	2.6 其他功能	533
3.2 支撑软件	495	3 PDM 系统的实施	533
3.3 应用软件	497	3.1 PDM 实施的内容	533
第 3 章 数据处理方法	498	3.2 PDM 实施的基本步骤	534
1 常见的数据结构	498	3.3 PDM 的信息建模	534
1.1 数据结构分类	498	3.4 成功实施 PDM 应注意的几个问题	535
1.2 常用数据结构的分析	499	4 基于 PDM 的系统集成	536
2 数表的处理方法	500	4.1 基于 PDM 实现应用集成的三个层次	536
2.1 以数组的形式存放数表	501	4.2 模具 CAD/CAPP/CAM 与 PDM 的集成	536
2.2 以数据文件形式存放数表	501	第 7 章 优化设计方法	538
2.3 函数插值方法	502	1 概论	538
2.4 交互处理方法	502	1.1 设计变量	538
3 线图的程序化	503	1.2 目标函数	538
4 建立经验公式的方法	503	1.3 约束条件	538
4.1 处理数表的回归分析方法	503	1.4 优化设计的数学模型	539
4.2 多项式拟合	504	2 常用优化设计方法	540
4.3 线性拟合与可化为线性拟合的问题	504	3 多维无约束优化方法	541
第 4 章 CAD/CAM 的图形学基础	505	3.1 多维无约束优化问题的直接解法	541
1 图形的变换	505	3.2 多维无约束优化问题的间接解法	543
1.1 二维图形的变换	505	4 有约束优化方法	545
1.2 三维图形的变换	506	4.1 有约束优化问题的直接解法	545
1.3 透视变换	508	4.2 有约束优化问题的间接解法	547
2 交互技术	509	5 组合挤压凹模的优化设计	549
2.1 交互输入技术	509	5.1 组合凹模的类型和受力特点	549
2.2 用户界面设计	510	5.2 组合凹模的有限元优化方法	550
第 5 章 CAD/CAM 中的几何建模技术	512	6 预成形模具形状的优化设计	551
1 几何造型的基本概念	512	6.1 刚(黏)塑性有限元基本方程	552
1.1 概念	512	6.2 设计变量与目标函数	552
1.2 几何造型的方法	512	6.3 灵敏度分析	553
2 形体的表示模式	513	6.4 预成形模具的优化设计过程	553
2.1 体素调用表示	513	6.5 少无鼓形圆柱体镗粗过程优化实例	554
2.2 空间点列表示	513	第 8 章 数控加工编程技术	556
2.3 单元分解表示	513	1 概述	556
2.4 扫描变换表示	514	1.1 数控加工的基本概念	556
2.5 构造体素表示 (CSG)	514	1.2 数控机床的组成、分类及发展	558
2.6 边界表示 (B- Reprs)	514	2 数控加工程序的编制内容与过程	559
2.7 混合模式	515	2.1 数控加工程序编制的内容	559
3 参数化特征建模	515	2.2 数控加工程序的编制过程	560
3.1 特征建模技术	515	3 数控自动编程技术的发展	561
3.2 参数化技术	518	4 数控编程中的工艺处理	562
3.3 参数化特征造型的基本方法	520	4.1 工序、工步的划分和顺序安排	562
4 装配建模技术	520	4.2 零件装夹方法的确定与夹具选择	562
4.1 装配建模的基本概念	520	4.3 对刀点和换刀点的确定	562
4.2 装配建模的一般方法	522	4.4 进给路径的规划	563
4.3 基于功能组件的模具装配设计方法	522	4.5 刀具选择	564
5 曲线与曲面	523	4.6 切削用量的确定	565
5.1 曲线	523	4.7 程编误差及其控制	565

5 数控加工程序的编制方法	566	10.2 覆盖件冲压工艺的数据库管理系统	607
5.1 零件编程的通用标准	566	10.3 基于成组技术的检索式工艺设计	609
5.2 点位、直线控制系统的程序编制	570	10.4 基于特征的冲压工序详细设计	610
5.3 轮廓控制系统的程序编制	570	11 覆盖件模具结构设计	613
6 APT 语言	572	11.1 基于典型结构的覆盖件模具结构 二维设计	613
6.1 几何定义语句	572	11.2 基于特征的覆盖件模具结构三维设计	614
6.2 刀具运动语句	573	第 10 章 注射模 CAD	615
6.3 后置处理程序语句	575	1 注射模 CAD/CAE/CAM 概述	615
6.4 辅助语句	576	1.1 注射模 CAD/CAE/CAM 的发展	615
6.5 APT 语言应用实例	576	1.2 注射模 CAD/CAM 系统的工作流程	615
7 数控线切割加工程序的编制	577	2 注射模 CAD 的内容及特点	616
7.1 数控线切割编程中的工艺处理	577	2.1 注射模 CAD 的内容	616
7.2 数控线切割加工的程序编制	579	2.2 注射模 CAD 的特点	617
8 冲裁模线切割的自动编程	580	2.3 注射模 CAD 系统的结构	617
8.1 生成金属丝运动轨迹	580	3 注射模总体结构的设计	618
8.2 穿丝孔和起割点的自动选取	580	3.1 柔性化的模具总体结构设计	618
8.3 自动编程过程	581	3.2 基于知识的模具总体结构设计	618
9 Mastercam 软件	581	4 标准模架选用及编码	619
9.1 系统特点概述	581	5 镶拼式模具结构设计	620
9.2 系统的运行环境和流程	582	6 成型零部件设计	621
9.3 系统界面及功能	582	6.1 成型零部件尺寸计算	621
9.4 用 Mastercam 编制 NC 加工程序的示例	583	6.2 分型面的确定	621
9.5 注塑模具 CAM 示例	585	6.3 成型腔壁厚计算	622
第 9 章 冲压模具 CAD	587	6.4 凸、凹模模型的生成	622
1 冲裁模系统的结构与功能	587	7 流道系统的设计	623
1.1 冲裁模 CAD/CAM 系统的结构	587	7.1 流道系统的结构	623
1.2 系统的功能与流程	587	7.2 流道系统的设计计算	624
2 冲裁件工艺性判断	588	8 冷却系统设计	626
2.1 判别模型的建立	588	9 注射流动模拟	626
2.2 处理图形的几种算法	589	9.1 一维流动模拟	627
2.3 工艺性的自动判别过程	589	9.2 二维流动模拟	628
3 毛坯优化排样	590	9.3 三维流动模拟	628
3.1 毛坯排样问题的数学描述	590	10 冷却过程分析	629
3.2 多边形法	590	10.1 冷却分析的数学模型	630
3.3 高度函数法	591	10.2 一维冷却分析	630
3.4 平行线分割纵横平移法	592	10.3 二维冷却分析	630
4 冲裁工艺方案的设计	594	10.4 三维冷却分析	631
4.1 模具类型的选择	594	第 11 章 锻模 CAD	632
4.2 连续模的工步设计	595	1 利用成组技术建立锻模 CAD 系统的方法	632
5 冲裁模结构设计	596	2 锻件与毛坯形状复杂性的定量计算	634
5.1 冲裁模结构设计子系统的功能结构	596	3 锻件毛坯形状优化设计方法	634
5.2 总装图设计	596	3.1 目标函数与优化方法	634
5.3 凹模和凸模设计	597	3.2 优化设计实例	636
5.4 顶杆的优化布置	598	4 锻造载荷和应力的计算	638
6 级进模 CAD 的内容与系统结构	600	4.1 轴对称横向流动	638
6.1 级进模的设计内容与过程	600	4.2 轴对称轴向流动	639
6.2 级进模 CAD 系统的结构	600	4.3 平面应变、横向流动	639
6.3 系统的功能模块	601	4.4 平面应变、纵向流动形成筋	640
7 基于特征的连续冲压工艺设计	601	5 轴对称件锻模 CAD 系统	641
7.1 钣金零件的单元特征模型	601	5.1 轴对称件锻模 CAD/CAM 系统的组成	641
7.2 基于特征的冲压工艺设计方法	603	5.2 轴对称锻件几何形状的输入	641
8 级进模结构与零件 CAD	604	5.3 锻件设计	641
8.1 级进模结构的装配模型	604	5.4 锻模设计	642
8.2 总体结构及零件设计	605	6 长杆类锻模 CAD 系统	642
9 覆盖件模具 CAD 系统的结构	606	6.1 长杆类锻模 CAD/CAM 系统的总体结构	642
9.1 冲压工艺设计	606	6.2 模锻工艺设计	642
9.2 模具结构设计	606	6.3 拔长型槽的设计	643
10 覆盖件冲压工艺 CAPP	607	6.4 滚挤型槽的设计	645
10.1 冲压工艺 CAPP 系统的总体结构	607		