

冲压技术丛书

航空航天 钣金冲压件 制造技术

 中国锻压协会 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中国锻压协会成立于1986年7月,是全国一级社团法人单位,是锻造、冲压和钣金企业的行业组织。中国锻压协会服务于行业、服务于企业、服务于政府,是政府与企业间的桥梁纽带,旨在促进行业交流、进步与繁荣,为行业的共同利益服务。

为冲压行业出版一批适应行业发展、满足企业需求及教学参考的冲压专业书籍,是协会组织编撰“冲压技术丛书”的出发点和归宿点。在历时三年多的编撰过程中,共有110余位来自企业、高校和科研院所的专家、学者和工程技术人员参与其中。秉持博采众长、百花齐放的原则,从多层面、多角度阐述冲压技术涉及的产品、材料、工艺、模具、设备、生产实例,及其相互关系与各自发展。力求以综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性的风格与特点,为冲压业界各方面的读者都带来阅读价值。

希望本套丛书能够成为助力冲压企业取得更大进步和发展的良师益友,成为中国冲压行业迈向更大辉煌的阶梯。

中国锻压协会

北京市海淀区学清路16号学知轩大厦3层

邮政编码: 100083

电话: 010-68465045

传真: 010-68465044

网址: www.chinaforge.org.cn

冲压技术丛书

航空航天钣金冲压件 制造技术

中国锻压协会 编著

主 编 宋拥政

副主编 舒鑫源 李中守

参 编 (按姓氏笔画排序)

王 倩	王鼎泉	车剑昭	白 颖	刘德贵
李继贞	张 一	张 冶	张小平	党晓丽
高新生	桑金泉	曹 锋	章文亮	韩艳彬



机械工业出版社

本书介绍航空航天行业典型钣金冲压件的制造技术,内容涉及钣金冲压的材料、工艺、模具、设备、生产实例及其发展趋势。本书重点介绍了蒙皮类零件、框肋类零件、型材类零件、弯管类零件、旋压类零件及其他成形零件的冲压制造技术。

本书可供航空航天行业钣金冲压领域工程技术人员参考,也可作为理工科中高等院校的教学或培训教材,还适合作机械制造与材料工程方向的研究生拓展性学习材料。同时,本书也可作为政府部门、行业协会、科研院所和高等院校了解行业现状、制定发展规划、探究科研项目等的参考文献。

图书在版编目(CIP)数据

航空航天钣金冲压件制造技术/中国锻压协会编著. —北京:机械工业出版社, 2013.8 (2013.8重印)
(冲压技术丛书)
ISBN 978-7-111-43835-9

I. ①航… II. ①中… III. ①航空航天工业-钣金工-冷冲压-生产工艺
IV. ①V261.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第203681号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:孔劲 责任编辑:孔劲 武晋 杨璇 李超 章承林

版式设计:霍永明 责任校对:肖琳

封面设计:姚毅 责任印制:刘岚

北京云浩印刷有限责任公司印刷

2014年3月第一版第2次印刷

184mm×260mm·21.25印张·523千字

3001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-43835-9

定价:110.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑(010)88379772

网络服务

电话服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

教材网:<http://www.cmpedu.com>

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

封面无防伪标均为盗版

冲压技术丛书

出版委员会

主 任 张 金

委 员 齐俊河 韩木林 朱继美 高丽红

顾问委员会

名誉主任 何光远 李社钊

主 任 缪文民

副 主 任 王仲仁 周贤宾

委 员 (按姓氏笔画排序)

王红旗 卢险峰 阮雪榆 孙友松 李志刚 李硕本 宋玉泉
宋宝蕴 苑世剑 周开华 周永泰 荣惠康 俞新陆 涂光祺

编写委员会

主 编 宋拥政

编 委 (按姓氏笔画排序)

王野青 任运来 祁三中 许发樾 苏娟华 李光瀛
李继贞 宋拥政 张 一 张 琦 陈 军 赵 军
赵升吨 赵彦启 侯英玮 徐伟力 舒鑫源 管延锦

丛书序一

继“锻件生产技术丛书”出版之后，锻压行业另一套大型技术文献“冲压技术丛书”也与冲压业界的广大同仁见面了。编辑出版“冲压技术丛书”是中国冲压行业一项具有里程碑意义的重要工作！

锻压是人类发明的最古老的生产技术之一。人类发现和使用金属已有数千年，锻压生产技术随之不断发展。锻压技术对人类具有宝贵的实用价值。迄今人类生产的大部分金属材料，都是用锻压方法加工成成品零件。锻压产品无处不在。

锻压加工是指通过设备和模具，使材料受力变形获得要求的成品零件。锻压加工材料大部分为金属材料，金属材料受力变形在学术上称为塑性成形，可分为体积成形和板材成形，有冷、温、热多种成形方式。锻压加工分为锻造、冲压和钣金三大领域。

冲压加工主要针对金属板材的冷态成形，所以被称之为冷冲压或板料冲压，简称冲压。冲压生产与冲压行业在制造业中占有重要地位，冲压制造技术是现代制造技术的重要组成部分。

我国的冲压生产几乎遍布制造业的各个领域，涉及方面广泛，工艺内容繁杂，生产布局分散，且企业群体众多，同时受“工艺性”行业观念的影响，一直没有受到制造业界的应有重视。虽然改革开放以来，尤其是随着汽车制造业的发展，我国冲压行业整体水平明显提高，但与先进工业国家相比，仍有很大差距。从总体上看，冲压行业内的相互交流与合作明显不够，发展不平衡且较为缓慢，这不但影响了冲压行业自身的发展，也影响到与之紧密相关产业的发展与进步。

中国锻压协会本着服务行业、推动进步与发展的宗旨，历时3年多，组织了110余位行业专家、学者和工程技术人员编撰了这套共6个分册的“冲压技术丛书”，它对我国冲压行业的生产技术状况进行了系统的梳理、归纳和总结，内容涉及冲压件的材料、工艺、模具、装备、生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势，有基础应用理论，更有实践经验总结，还有对沿革的概述和对未来的展望，是从事冲压技术研究、教学和生产实践者的必不可少的学习资料，也是培养年轻冲压技术人员的重要教材，将有助于冲压行业企业取得更大的进步和发展。

在这套丛书出版之际，请允许我代表中国锻压协会，代表冲压行业的同仁们，向所有参加编撰辛勤工作的专家、学者和工作人员，致以衷心的祝贺和感谢！

中国锻压协会秘书长  于北京

丛书序二

冲压成形是应用广泛、历史悠久的产品制造工艺，是汽车、飞机、农机、机车、电子产品等的基本制造方法，几乎没有一种现代工业装备上不采用冲压成形零件。全世界约70%以上的金属材料要通过变形加工制成产品，其中大部分零件又要以板材、管材或型材作为原材料或半成品进行冲压加工成形。所以，发展冲压制造技术对于发展制造业具有十分重要的意义，冲压行业在国民经济中占有重要的地位。

我国的冲压行业和冲压制造技术经历了六十余年的发展历程。尤其是改革开放三十多年来，冲压行业从小到大、从旧到新、由内向外不断发展壮大，为我国制造业和各行各业的快速发展起到了重要的支撑作用。冲压制造技术随着发展制造业和先进制造技术而不断发展，尤其在汽车工业迅猛发展的推动下，冲压制造技术在深度和广度上取得了前所未有的进展，正在朝着与高新技术结合，用信息技术、计算机技术、现代测控技术和先进适用技术与装备，改造提升传统冲压技术的方向迅速迈进。同时，也为我国冲压行业逐步走上专业化道路，与汽车工业、航空航天工业、装备制造业和材料工业的协调发展，与国际冲压行业和市场接轨奠定了基础。

面对我国冲压行业和冲压制造技术的巨大进步，中国锻压协会秉持服务行业、推动进步和发展的宗旨，历时3年多，组织110余位行业专家、学者和工程技术人员，编撰大型技术文献“冲压技术丛书”，旨在对国内代表性行业的冲压制造技术现状进行系统的梳理、归纳和总结及展望，以满足冲压行业发展的需要，为冲压业界各方面的读者都带来阅读价值。

“冲压技术丛书”共分六册，包括《冲压技术基础》《汽车冲压件制造技术》《航空航天钣金冲压件制造技术》《农业机械工程机械冲压件制造技术》《轨道机车车辆冲压件制造技术》和《电机电器电子高速精密冲压件制造技术》。

《冲压技术基础》分册，介绍冲压制造技术中新的综合性的共性基础内容。重点介绍冲压变形基础理论、冲压用金属板材、冲压工艺、冲压模具、冲压数值模拟与模具数字化制造、省力与近均匀冲压技术、冲压设备和冲压生产设施。

《汽车冲压件制造技术》分册，重点介绍汽车的冲压技术概况、中小件冲压技术、精冲件制造技术、覆盖件成形技术、冲压同步工程与质保体系、车架件冲压技术、车轮冲压技术、桥壳冲压成形技术、拉弯件成形技术、车身轻量化新工艺新技术。

《航空航天钣金冲压件制造技术》分册，重点介绍飞机的蒙皮类零件、框肋类零件、型材类零件、弯管类零件、旋压类零件及其他成形零件的冲压制造技术。

《农业机械工程机械冲压件制造技术》分册，重点介绍农业机械工程机械的中小件

冲压技术、覆盖件成形技术、管材件成形技术、钣金件制作技术。

《轨道机车车辆冲压件制造技术》分册，重点介绍机车、客车、货车和城际机车的分离件、弯曲件、拉深件、胀形件、翻边件和校平件的冲压制造技术。

《电机电器电子高速精密冲压件制造技术》分册，重点介绍电机铁心件、换热器翅片、电子引线框架、电连接器和精密微薄件的冲压制造技术，高效精密压力机及其自动化周边设备。

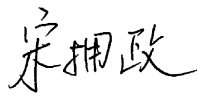
在“冲压技术丛书”编撰过程中，中国锻压协会与丛书主编始终坚持从企业中来，到企业中去“的企业路线”，从丛书的分册与架构，到章节设置与内容安排等，一切遵循从冲压生产实际出发，满足行业发展需要的原则，尤其重视来自冲压生产一线技术专家的参与和意见；始终贯穿以代表性冲压制造业的典型冲压件制造技术为主线，内容涉及冲压成形的材料、工艺、模具、设备和生产实例，及其相互关系与各自的发展趋势，并注重综合性、典型性、纲目化、实用性和新颖性。这些理念、做法、要求和目标，得到了冲压行业参编单位及其专家、学者、工程技术人员的大力支持和一致赞同，丛书的编辑出版工作也受到机械工业出版社的高度重视并列入重点出版项目。大家为了这个共同的目标，积极努力，不畏艰辛，甘于奉献，终成正果。

应该说，这套凝结着我国冲压行业的专家、学者和工程技术人员心血与智慧的丛书，是国内外冲压业界首套基于冲压生产现状，跨行业、多学科、综合性的技术文献。它的问世，是在我国当今市场经济下，唯有行业协会才能运作完成的具有里程碑意义的大事，它凝聚了我国冲压行业冲压制造技术的精华，体现了我国冲压行业的技术软实力，将为我国冲压行业薪火相传、永续发展做出贡献！

在此，我谨代表丛书编写委员会向所有参与丛书编撰出版的专家、学者、工程技术人员和工作人员表示衷心感谢！在丛书编写过程中，得到了哈尔滨工业大学王仲仁先生、北京航空航天大学周贤宾先生、南昌大学卢险峰先生、华中科技大学李志刚先生、广东工业大学孙友松先生、中国模具协会周永泰先生等老一辈学者、专家的热情帮助，在此深表谢意！

这套丛书由于涉及的业务面广，专业类多，内容浩繁，加上时间仓促，经验有限，错误与不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。丛书出版后，随着时间的推移和技术的发展，未来还要再进行修订，以求进一步更新、完善和提高。

中国锻压协会“冲压技术丛书”主编



于北京

前言

本书根据中国锻压协会“冲压技术丛书”主编提出的丛书编撰规划和《航空航天钣金冲压件制造技术》编写大纲，由丛书主编组织国内航空航天行业代表性企业中航工业西安飞机工业（集团）有限责任公司（简称西飞公司）、科研院所中航工业北京航空制造工程研究所的专家和工程技术人员进行编撰。

本书介绍航空航天行业典型钣金冲压件的现实制造技术，内容涉及钣金冲压的材料、工艺、模具、设备和生产实例及其相互关系与各自的发展趋势。

本书共分10章，重点论述航空航天钣金冲压技术概况（第1章）、钣金冲压件材料（第2章）、蒙皮类零件成形技术（第3章）、框肋类零件成形技术（第4章）、型材类零件成形技术（第5章）、弯管类零件成形技术（第6章）、旋压类零件成形技术（第7章）、航空航天钣金冲压件的其他成形技术（第8章）、钣金冲压件工艺装备的设计与制造（第9章）、航空航天钣金冲压设备（第10章）。

第1章、第10章由西飞公司曹锋撰写，第2章、第3章由西飞公司张一撰写，第4章由西飞公司白颖、张小平、王倩、张一撰写，第5章由西飞公司高新生、韩艳彬、白颖撰写，第6章由西飞公司张冶撰写，第7章由北京航空制造工程研究所李继贞、刘德贵撰写，第8章由西飞公司张一、章文亮撰写，第9章由西飞公司舒鑫源、王鼎泉、车剑昭、党晓丽、桑金泉撰写。西飞公司舒鑫源负责除第7章外其余各章的组织编撰和初校，李中守负责除第7、9章外其余各章的校对和初统稿。全书由中国锻压协会宋拥政审定和统稿。

在此谨向参与本书编撰的全体专家、工程技术人员和出版工作人员表示衷心感谢！

编者

目 录

丛书序一

丛书序二

前言

第 1 章 概论	1
1.1 航空航天产品结构的类型与沿革	1
1.1.1 飞机结构	1
1.1.2 导弹结构	1
1.2 航空航天钣金冲压件的分类与演进	2
1.2.1 分类原则与方法	2
1.2.2 蒙皮类零件	11
1.2.3 骨架类零件	14
1.2.4 框肋零件	15
1.3 航空航天钣金冲压件的材料及其 发展	16
1.3.1 飞行器结构采用的主要材料	16
1.4 航空航天钣金冲压件的坯料准备	18
1.4.1 平板件的定义	18
1.4.2 下料	18
1.4.3 排样	19
1.4.4 剪切	20
1.4.5 铣切	22
1.4.6 冲裁	24
1.4.7 激光切割	34
1.4.8 电火花线切割	35
1.4.9 冷折下料	35
1.4.10 变频振动精密下料	35
1.4.11 典型零件工艺流程	36
1.5 航空航天钣金冲压工艺准备	37
1.5.1 概述	37
1.5.2 航空航天钣金冲压件工艺性 评估	37
1.5.3 钣金生产车间工艺布置	41
1.5.4 技术改造及技术攻关	42

1.5.5 制订工艺装备选择原则及钣金 零件互换协调方案	42
1.5.6 工艺评审	44
1.6 航空航天钣金冲压工艺设计	45
1.6.1 零件制造工艺设计	45
1.7 航空航天钣金冲压生产技术发展 趋势	46
第 2 章 钣金冲压件材料	47
2.1 概述	47
2.2 铝及铝合金	47
2.2.1 常用铝及铝合金的主要特性及 用途	47
2.2.2 铝及铝合金基础状态代号	49
2.2.3 铝及铝合金材料标记示例	51
2.3 铝锂合金	52
2.3.1 常用铝锂合金的主要特性及 用途	52
2.3.2 铝锂合金成形性能	52
2.4 钛及钛合金	53
2.4.1 常用钛及钛合金的主要特性及 用途	53
2.4.2 钛及钛合金基础状态代号	54
2.4.3 钛及钛合金材料标记示例	54
2.5 耐热不锈钢	54
2.5.1 国产常用不锈钢板材的主要特性 及用途	54
2.5.2 美国常用不锈钢板材的主要特性 及用途	55
2.6 合金钢	55

2.7 航空航天钣金冲压材料的发展趋势	56	4.2.5 压型模设计	92
2.7.1 铝合金	56	4.2.6 一步成形法简介	95
2.7.2 钛合金	57	4.2.7 典型工艺	97
2.8 金属板材的成形性能及其试验方法	59	4.2.8 成形设备及概述	98
2.8.1 成形性能指数	59	4.2.9 橡皮液压成形技术的发展	101
2.8.2 成形性能指数的分类	59	4.3 落压成形技术	104
2.8.3 基本成形性能指数的定义及 应用	59	4.3.1 落压成形分类	104
2.8.4 液压胀形性能指数的定义及 应用	60	4.3.2 落压成形工艺	104
2.8.5 硬度试验的定义及应用	60	4.3.3 落压零件类型	106
2.8.6 成形性能模拟试验及用途	61	4.3.4 落压成形常用材料	107
2.8.7 特定成形试验与指数	63	4.3.5 落压模	107
第3章 蒙皮类零件成形技术	64	4.3.6 气动落锤及辅助设备	108
3.1 概述	64	4.3.7 落压零件典型工艺流程	109
3.2 拉形成形技术	64	4.4 拉深成形技术	110
3.2.1 拉形工艺方法综述	64	4.4.1 定义	110
3.2.2 拉形零件的类型	69	4.4.2 拉深方法分类及特点	110
3.2.3 拉形蒙皮常用材料	71	4.4.3 拉深成形的工艺设计	113
3.2.4 拉形工艺装备	72	4.4.4 典型工艺设计流程	123
3.2.5 拉形机床设备	73	4.4.5 成形设备概述	124
3.2.6 典型零件工艺流程	74	4.5 闸压成形技术	125
3.2.7 钣金精准成形技术	74	4.5.1 板材闸压成形技术	125
3.3 滚弯成形技术	75	4.5.2 闸压成形分类	126
3.3.1 概述	75	4.5.3 平板闸压成形	128
3.3.2 典型板材滚弯成形零件	75	4.5.4 平板闸压零件闸压模设计及 应用	130
3.3.3 滚弯成形过程	75	4.5.5 蒙皮闸压工艺方法	132
3.3.4 滚弯成形工艺要点及对策	77	4.5.6 蒙皮闸压模设计	133
3.3.5 滚弯成形常用材料	78	4.5.7 闸压设备概述	133
3.3.6 滚弯成形的工艺装备	78	4.5.8 闸压成形的发展与展望	136
3.3.7 滚弯机床设备	78	第5章 型材类零件成形技术	138
3.3.8 典型零件工艺流程	78	5.1 概述	138
3.3.9 金属挤压型材、板弯型材滚弯 成形	78	5.2 型材件的分类与演进	138
第4章 框肋类零件成形技术	81	5.2.1 型材件的分类	138
4.1 概述	81	5.2.2 型材件的演进	140
4.2 橡皮液压成形技术	81	5.3 型材件成形工艺	141
4.2.1 定义	81	5.3.1 型材压弯成形技术	141
4.2.2 橡皮液压成形零件分类	82	5.3.2 拉弯成形	146
4.2.3 橡皮液压成形方法	83	5.3.3 型材滚弯成形技术	150
4.2.4 橡皮液压成形工艺参数	84	5.3.4 型辊成形技术	152
		5.3.5 型材零件制下陷	160
		5.3.6 型材件制斜角	161
		5.4 型材件成形模具及设备	161

5.4.1 模具分类	161	7.7.2 卷边	196
5.4.2 型材件成形设备	161	7.8 旋压成形设备——旋压机	196
5.5 型材件成形生产案例分析	161	7.8.1 旋压机的组成与分类	196
5.5.1 零件材料和长度	162	7.8.2 机械系统	198
5.5.2 零件结构特点	162	7.8.3 驱动系统	198
5.5.3 主要工艺流程	162	7.8.4 控制系统	198
5.5.4 成形难点及采取措施	163	7.8.5 加热系统	198
5.6 型材件成形工艺发展趋势	163	7.8.6 冷却与润滑	198
第6章 弯管类零件成形技术	164	7.9 典型航空航天零件的旋压成形实例	199
6.1 概述	164	7.9.1 锥形件及曲母线旋压件	199
6.2 弯管成形技术	164	7.9.2 筒形件	208
6.2.1 数控弯管成形技术	164	7.9.3 复合型件	216
6.2.2 常规机械弯管	169	第8章 航空航天钣金冲压件的其他成形技术	220
6.2.3 异形半管的成形	170	8.1 概述	220
6.3 导管端头加工技术	172	8.2 局部成形	220
6.3.1 导管端头滚波纹	172	8.2.1 胀形	220
6.3.2 导管端头扩口	172	8.2.2 起伏成形	222
6.3.3 导管端头无扩口挤压成形	173	8.2.3 翻边成形	224
6.3.4 导管端头柔性接头挤压成形	174	8.2.4 压印	226
第7章 旋压类零件成形技术	176	8.2.5 下陷	227
7.1 概述	176	8.3 热成形（超塑成形和热蠕变）	230
7.2 旋压成形的分类	176	8.3.1 铝合金零件的热成形	230
7.2.1 普通旋压	177	8.3.2 镁合金零件的热成形	231
7.2.2 强力旋压	179	8.3.3 钛合金零件的热成形工艺设计	233
7.2.3 旋压件的质量控制	185	8.3.4 钛合金零件的热校形	236
7.3 旋压成形的工艺参数	187	8.3.5 钛合金热流体的半模成形和校形	236
7.3.1 异形件的旋压成形工艺参数	187	8.3.6 钣金件的超塑性成形（简称 SPF）	237
7.3.2 筒形件的旋压成形工艺参数	189	8.3.7 钣金件的扩散连接（简称 SPF/DB）	241
7.4 航空航天旋压件的特征	190	8.3.8 超塑性成形和扩散连接组合工艺（简称 SPF/DB）	242
7.4.1 材料特征	190	8.4 爆炸成形（高能率成形）	243
7.4.2 外形特征	191	8.5 充液成形	252
7.5 航空航天常见的旋压材料及难变形材料的旋压	191	8.5.1 充液成形原理	252
7.5.1 常见旋压材料	191	8.5.2 充液成形的特点	252
7.5.2 难变形材料的旋压	191	8.5.3 充液成形对钣金件的适应性	252
7.6 航空航天旋压件的工艺设计规范	192	8.5.4 国内外充液成形技术的发展趋势	253
7.6.1 旋压坯料的设计	192	8.5.5 充液成形零件的典型工艺流程	253
7.6.2 旋压成形的工艺装备设计	193		
7.7 特种旋压成形	195		
7.7.1 收口	195		

第 9 章 飞机钣金冲压件工艺装备的**设计与制造 254****9.1 概述 254**

9.1.1 钣金冲压工艺装备的特点 254

9.1.2 钣金冲压工艺装备的分类 254

9.1.3 钣金冲压工艺装备制造技术的发展 255

9.2 压型模的分类与设计 256

9.2.1 概述 256

9.2.2 压型模的分类 256

9.2.3 压型模的设计 257

9.2.4 提高零件成形质量的方法 262

9.2.5 压型模材料的选择 264

9.2.6 压型模设计的注意事项 264

9.3 模胎、拉形模的设计与制造 264

9.3.1 概述 264

9.3.2 模胎与拉深模的设计和制造条件 265

9.3.3 拉形模的设计 265

9.4 钛合金热成形模的分类与设计 270

9.4.1 概述 270

9.4.2 影响钛合金材料成形的因素 271

9.4.3 钛合金热成形模的分类 271

9.4.4 钛合金热成形模的设计 271

9.5 型材类成形模具的设计与制造 277

9.5.1 型材拉弯模 277

9.5.2 型材冲切模 280

9.5.3 型材下陷模 282

9.5.4 滚轮的设计 284

9.6 可加工塑料模具的设计 286

9.6.1 概述 286

9.6.2 可加工塑料模具的特点 286

9.6.3 可加工塑料模具的优点 286

9.6.4 可加工塑料模具的结构 286

9.6.5 可加工塑料模具的典型结构 287

9.7 复合材料及复合材料模具 289

9.7.1 复合材料 289

9.7.2 飞机制造中常用的复合材料 289

9.7.3 复合材料零件的成形工艺 291

9.7.4 复合材料模具的设计与制造 292

9.7.5 典型的复合材料模具 296

9.8 其他模具的设计与制造 298

9.8.1 落压模的设计与制造 298

9.8.2 爆炸成形模的设计与制造 301

9.8.3 局部成形模 303

9.9 模具 CAD/CAM/CAE 技术 307

9.9.1 概述 307

9.9.2 模具 CAD/CAM/CAE 技术的应用特点 307

9.9.3 模具 CAD/CAM/CAE 软硬件系统 307

9.9.4 数控机床 308

9.9.5 数控测量机 308

9.9.6 CATIA 应用软件的功能 309

9.9.7 数控加工程序的编制 309

9.9.8 数控加工刀具运动轨迹点的计算 312

9.9.9 数控加工程序单的编写 313

9.9.10 控制介质的制备 313

9.9.11 空间曲面的加工 313

9.9.12 航空模具数控加工编程示例 314

9.9.13 数控加工的误差分析 315

第 10 章 航空航天钣金冲压设备 317

10.1 概述 317

10.2 航空航天常用钣金冲压设备 317

10.2.1 蒙皮拉形设备 317

10.2.2 型材拉弯设备 317

10.2.3 橡皮液压设备 318

10.2.4 滚弯设备 319

10.3 常用设备的技术参数及其加工能力 319

10.3.1 常用板材下料设备 319

10.3.2 常用蒙皮成形设备 320

10.3.3 常用型材拉弯设备 321

10.3.4 常用橡皮液压设备 321

10.3.5 常用滚弯设备 322

10.3.6 常用数控弯管设备 322

10.3.7 常用折弯设备 323

10.3.8 常用冲压设备 323

10.3.9 常用气动落压设备 324

10.3.10 常用旋压设备 324

10.3.11 常用型辊成形机 325

参考文献 326

第1章 概论

1.1 航空航天产品结构的类型与沿革

航空航天技术是高度综合的科学技术，它综合运用了基础科学和应用科学的最新成就，应用了工程技术的最新成果。航空航天技术既指进行航空航天活动所涉及的科学技术，又指研制航空航天飞行器所涉及的科学技术。

通常飞行器可分为三大类：航空器、航天器、火箭和导弹。

飞行器的结构是飞行器受力部件和支撑构件的总称，对于飞机来说，包括机身、机翼、尾翼等，对导弹来说包括弹身、弹翼、舵面等。

1.1.1 飞机结构

1. 飞机机身

机身结构形式随着飞机的飞行性能要求不断变化，早期的飞机机身一般都是采用构架式，像桥梁结构由桁梁、横柱、支柱、斜柱（或张线）组成，外部蒙皮只起整形作用，不参与结构受力。

现代飞机要求重量轻，结构材料必须充分利用，为此将机身蒙皮与骨架牢固地连接在一起，成为像一个薄壁梁似的整体“梁式”机身，又由于它采用了薄壁金属蒙皮，所以又称“薄壁式”机身。

2. 飞机机翼

传统的机翼受力构件包括内部的骨架和外部的蒙皮，还有与机身连接的接头。

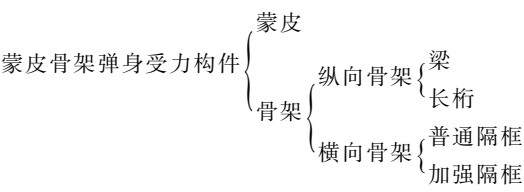
随着飞机速度的提高，机翼结构形式的不断发展，机翼蒙皮也从布质蒙皮、层板蒙皮、金属铆接蒙皮、整体壁板蒙皮发展到了复合材料蒙皮等。

1.1.2 导弹结构

1. 弹身结构

弹身通常是一个细长体，由头部、圆柱段中部及尾部三部分组成。常见的弹身结构有蒙皮骨架式和整体式两种。

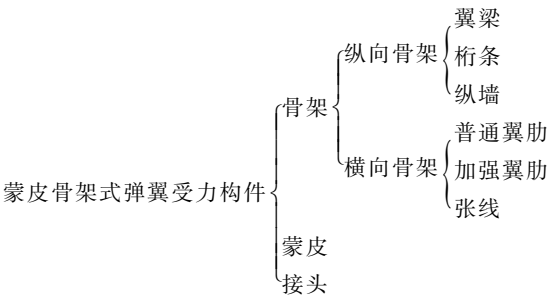
（1）蒙皮骨架式弹身 是由蒙皮与骨架组成的，就蒙皮受力情况而论，蒙皮骨架式弹身又可分为桁条式（半硬式）和无桁条式（硬式）两种。



(2) 整体式弹身 通常由几块整体板件连接而成。

2. 弹翼的结构形式

(1) 蒙皮骨架式



(2) 整体弹翼 指由上、下两块整体壁板连接在一起的弹翼，壁板上辐射式加强筋代替了桁条、翼梁、翼肋等构件的作用，这种形式的弹翼零件少、结构简单、装配协调容易、工艺性好、生产率高。

(3) 夹层弹翼 采用夹层壁板做蒙皮，具有重量轻、强度刚度大、构造简单的特点。

1.2 航空航天钣金冲压件的分类与演进

冲压加工源自于金属手工艺制作。在我国河北省怀来县北辛堡出土的战国时期（公元前475年～公元前221年）生产的红铜槌胎薄铜缶（小口大腹，盛酒器），被学者认为是至今为止发现的世界上第一个冲压件。

冲压加工经过长期的发展，现在已经形成大规模生产方式，生产过程逐步实现机械化、自动化，并且正向智能化、集成化的方向发展。在现代大型冲压企业中，已经很难找到当初冲压加工的原始痕迹。

1.2.1 分类原则与方法

钣金冲压件根据零件的相似性原则分为材料相似性零件、工艺相似性零件和结构相似性零件。材料相似性指材料品种、状态的相似性；工艺相似性指零件的加工方法、工艺装备和使用设备的相似性；结构相似性指零件的尺寸、形状、使用部位及零件上具有的结构要素的相似性。

根据相似性分类原则，飞机钣金零件常用分类方法见表1-1。

表 1-1 飞机钣金零件常用分类方法

序号	分类方法	内 容
1	按材料品种	板材零件、管材零件、挤压型材零件

(续)

序号	分类方法	内 容
2	按材质种类	铝合金、镁合金、铜合金、钛合金、不锈钢、合金钢和普通钢板等零件
3	按零件结构特征	蒙皮、隔框、翼肋、梁、整流罩、带板和角材等零件
4	按工艺方法	下料、压弯、滚弯、拉弯、绕弯、拉深、拉形、落压、旋压、闸压、橡皮成形、喷丸成形、爆炸成形、局部成形、超塑性成形 (SPF) 及超塑性成形与扩散连接 (SPF/DB) 等零件
5	按零件成形温度	冷成形零件、温热成形零件、热成形零件

由于飞机钣金零件品种多、数量大、结构和成形方法复杂，所以，首先按材料相似性分为板材零件、管材零件和挤压型材三大类，在每种材料中，再根据结构相似性和工艺相似性，分为若干零件相似族，从中选出几个典型零件为代表，这就构成了图 1-1 所示的分类图表。

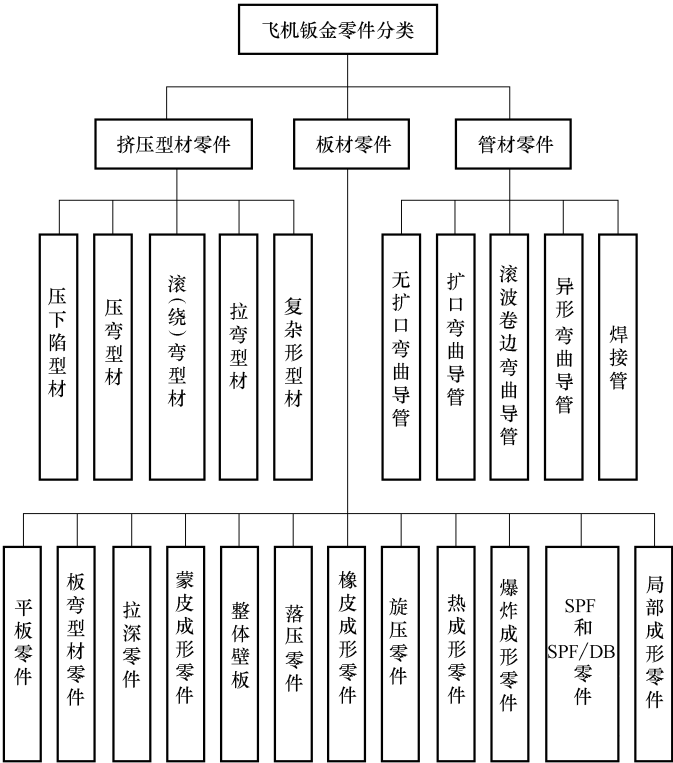


图 1-1 飞机钣金零件分类图表

1. 板材零件分类

1) 平板零件分类如图 1-2 所示。

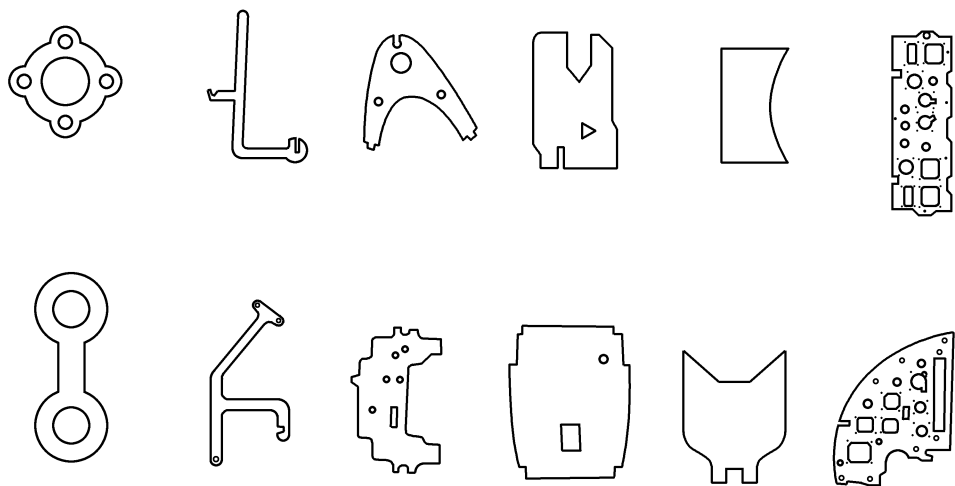


图 1-2 平板零件分类

2) 板弯型材零件分类如图 1-3 所示。

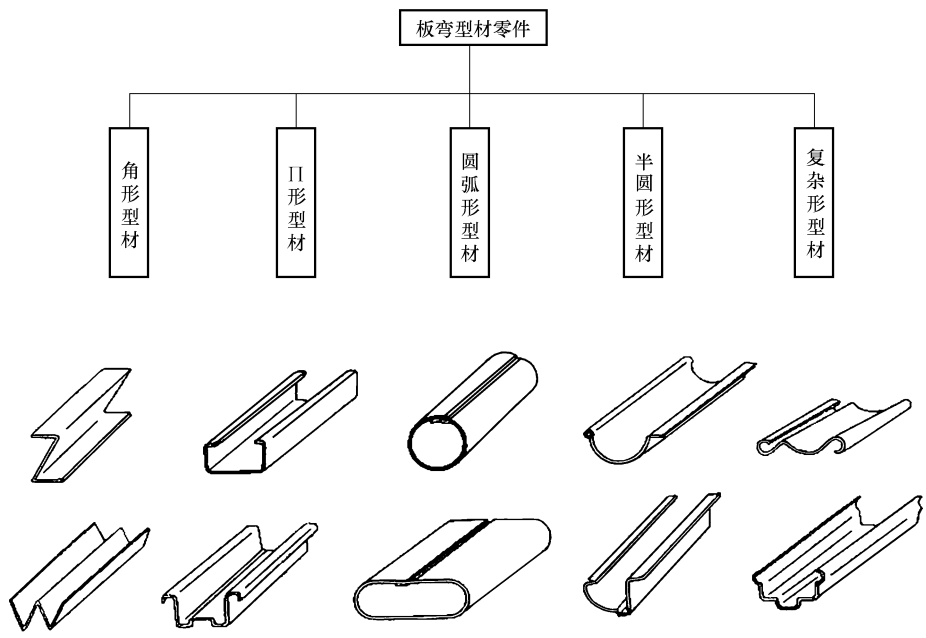


图 1-3 板弯型材零件分类

3) 拉深零件分类如图 1-4 所示。

4) 蒙皮成形零件分类如图 1-5 所示。

5) 整体壁板分类如图 1-6 所示。