



# 航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 飞机钣金工艺 ·

航空工业出版社

# 航空制造工程手册

## 飞机钣金工艺

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1 9 9 2

(京)新登字 161 号

## 内 容 提 要

该手册是我国第一部系统总结近 40 年飞机制造钣金专业丰富经验,并广泛收集和消化吸收国外先进钣金制造技术的工具书。对军、民用飞机生产均有广泛的适用价值,具有指导生产的作用。

本手册在求实、求新、求精、求是的编写原则下,在整体上体现了实用性、综合性、系统性和科学性,具有概念准确、论述简洁、数据可靠、编排合理、图文并茂、查阅方便等特点。

全书共分 3 篇计 24 章,另有 5 个附录。第 1 篇着重介绍飞机钣金工艺技术的基本知识,包括零件用材、工艺方案选择及技术经济分析、质量控制和计算机技术在钣金成形中的应用等。第 2 篇为各种类型的零件工艺设计,共 14 章,全面阐述钣金工艺的各种成形方法(冲压、闸压、滚型、拉深、拉形、滚弯、拉弯、落压、旋压、橡皮囊液压成形、喷丸成形、爆炸成形、钛合金钣金成形、超塑性成形及超塑成形/扩散连接组合工艺、导管成形等)、工艺参数选择和典型工艺流程设计。第 3 篇讲述钣金车间设计、环境条件和技术安全。

本手册不仅是从事飞机制造钣金专业的工程技术人员的实用参考书,也可供其他制造行业钣金技术人员参考,中高等院校师生能借助本书全面了解国内外飞机钣金生产的实践知识。

**航空制造工程手册**  
**飞机钣金工艺**  
《航空制造工程手册》总编委会 主编  
责任编辑 周士林

---

©1992

航空工业出版社  
(北京市安外小关东里 14 号)  
—邮政编码:100029—  
全国各地新华书店经售  
北京地质印刷厂印刷

---

1992 年 12 月第 1 版                      1992 年 12 月第 1 次印刷  
开本:787×1092 毫米 14/16    印张:48  
印数:1—2000                              字数:1250 千字  
ISBN 7-80046-490-3/V·119(平装)  
ISBN 7-80046-491-1/V·120(精装)  
定价:49.00 元(平装)    61.00 元(精装)

# 序

我国航空工业已走过了四十余年的历程,从飞机的修理、仿制到自行研制,航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中,航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业,就其行业性来讲,属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况,是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平,对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础,要发展航空工业、并有效地占领市场,不仅要不断地更新设计,开发新产品,更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中,均优先发展航空制造工程,很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的,因此必须从战略高度予以重视,并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》,就是为实现航空制造工程现代化的战略目标,在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来,我国航空工业积累了大量经验,取得了丰硕的成果,特别是改革开放以来,开扩了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来,使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富,是一项具有重大实用价值和长远意义的任务,为此航空航天部决定组织全行业的力量,统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感,从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者,经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造

工程手册》。

编好这套手册是一项十分艰巨的工作。大家始终坚持求实、求新、求精、求是的原则,在确保鲜明航空特色的前提下,在总体内容上强调实用性、综合性、成套性;在表达形式上,以技术数据、图形表格、曲线公式为主;阐述扼要,结论严谨,力求使手册成为一部概念准确、数据可靠、文字简洁、编排合理、查阅方便,能为广大从事航空制造工程的科技人员提供有益指导和参考的工具书。

首次组织编纂大型手册,缺乏经验,还由于过去资料积累基础比较薄弱,新技术发展迅速和深度广度不断增加,使这项工作带有相当程度的探索性,因之错误与不足之处实为难免,恳切希望广大读者给予指正。对在这套手册编写过程中给予支持的单位和付出辛勤劳动,提供资料,参与编写,评审,出版的同志们表示衷心感谢。由于我国航空制造工程与世界水平尚存在较大差距,这套手册出版之后,还有不断求新、完善的必要,《航空制造工程手册》总编委会及其办公室是常设机构,将努力收集新的科技信息及这套工具书使用的情况和意见,为今后的修订提供依据,以求进一步完善和提高。

何文治

1992年8月28日

# 《航空制造工程手册》

## 各分册名称

- |             |               |
|-------------|---------------|
| 《通用基础》      | 《发动机机械加工》     |
| 《热处理》       | 《发动机装配与试车》    |
| 《特种加工》      | 《发动机叶片工艺》     |
| 《表面处理》      | 《燃油泵与调节器装配试验》 |
| 《焊接》        |               |
| 《特种铸造》      |               |
| 《金属材料切削加工》  | 《弹性元件工艺》      |
| 《齿轮工艺》      | 《电连接器工艺》      |
| 《工艺检测》      | 《机载设备精密加工》    |
| 《计算机辅助制造工程》 | 《光学元件工艺》      |
| 《飞机钣金工艺》    | 《框架壳体工艺》      |
| 《飞机机械加工》    | 《武器系统装配》      |
| 《飞机装配》      | 《电机电器工艺》      |
| 《飞机工艺装备》    | 《救生装备工艺》      |
| 《飞机模线样板》    | 《电子设备装配》      |
| 《金属结构件胶接》   | 《机载设备环境试验》    |
| 《非金属结构件工艺》  |               |
| 《飞机结构工艺性指南》 |               |

# 《航空制造工程手册》

## 总编委会、顾问及办公室组成名单

**总编委会主任** 何文治

**总编委会副主任**(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	王敬堂	方裕成	刘多朴
朱伯贤	任家耕	李成功	李哲浩	李章由
吴复兴	易志斌	郑作棣	周家骐	周砥中
周晓青	杨彭基	张钟林	张 彤	金德锷
张士元	姚克佩	顾元杰	徐秉铨	徐培麟
郭景山	程宝渠	屠德彰		

**总编委会常务副主任** 马业广

**总编委会顾问**(按姓氏笔划排列)

马世英	于 欣	于志耕	于剑辉	王英儒
冯 旭	枉云汉	罗时大	杨光中	杨 镛
荣 科	董德馨	邴少安	陆颂善	程华明
廖宗懋	颜鸣皋	戴世然		

**总编委会委员**(按姓氏笔划排列)

马业广	王广生	王云机	王国成	王喜力
王敬堂	方学龄	方裕成	刘多朴	刘树桓
刘盛东	刘瑞新	关 桥	朱伯贤	孙国壁
任家耕	严世能	何文治	何恽晋	李成功
李哲浩	李章由	李德澄	李秋娥	杜昌年
沈昌治	陈于乐	陈 进	陈积懋	陈德厚
余承业	吴志恩	吴复兴	周家骐	周砥中
周晓青	易志斌	郑作棣	张 彤	张幼楨
张灵雨	张钟林	张纯正	张 夏	张增模

张士元	林更元	林泽宽	林敦仪	杨彭基
金慧根	金德锷	赵仲英	国 岩	胡四新
胡建国	姜淑芳	姚克佩	姚永义	顾元杰
郭景山	晏海瑞	郝命麒	唐荣锡	唐瑞润
徐秉铨	徐培麟	常荣福	戚道纬	崔连信
程宝渠	屠德彰	熊敦礼	戴 鼎	

**总编委会常委**(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	何恂晋	李成功	李哲浩
吴复兴	郑作棣	周家骐	戚道纬	崔连信
屠德彰	戴 鼎			

**总编委会办公室主任**

戚道纬

**总编委会办公室副主任**(按姓氏笔划排列)

刘树桓 姜淑芳 崔连信

**总编委会办公室成员**(按姓氏笔划排列)

丁立铭	王偲鹏	刘树桓	刘瑞林	邵 箭
陈 刚	宋占意	林 森	张士霖	陈振荣
段文斌	贺开运	姜淑芳	莫龙生	徐晓风
戚道纬	崔正山	崔连信		



## 《飞机钣金工艺》分编委会组成名单

**主编** 顾元杰

**副主编**(按姓氏笔划排列)

王宝仁 刘树桓 李中守 张纯正 郭明  
常荣福

**委员**(按姓氏笔划排列)

马泽恩 王宝仁 王金荣 刘树桓 孙启龙  
吴英连 李中守 李育本 李福群 李德澄  
林兆荣 姜复义 赵洪桥 侯占山 陈铎  
陈海英 张士霖 张纯正 张德荣 郭明  
肖有为 常荣福 顾元杰 蒋骏 蒋钦元

## 《飞机钣金工艺》其他编写和统稿人员名单

**编写人员**(按姓氏笔划排列)

田继德 田嘉生 宁顺林 申学才 冯成礼  
李有泉 池大杰 许杰芳 刘永生 吴宏元  
吴瑞年 宋飞灵 陈春奎 邱国成 苗卫东  
林昌盛 胡建耀 张一 高新生 徐新强  
曹庚顺 贾文铎 宋玉朋

**统稿人员**(按姓氏笔划排列)

王宝仁 张士霖 张德荣 蒋骏 郭明

## 符号说明

## 拉丁字母符号

<i>A</i>	截面、表面、面积	$m^2, mm^2$	<i>Q</i>	剪力;热量	$N; J$
<i>a</i>	线加速度	$m/s^2$	<i>q</i>	单位压力;流量	$N/mm^2;$ $m^3/s$
<i>a<sub>K</sub></i>	冲压韧性	$kJ/m^2$			
<i>B, b</i>	宽度	mm	<i>R, r</i>	半径	mm
<i>C</i>	热容	$J/^\circ C$	<i>r</i>	厚向异性指数	
<i>c</i>	比热容	$J/(kg \cdot ^\circ C)$		弯曲半径,圆角半径	mm
<i>C<sub>z</sub></i>	相对间隙( <i>z/t</i> )		<i>S</i>	面积(当 <i>A</i> 与 <i>F</i> 另有 用时)	$mm^2$
<i>D</i>	直径;应变刚模数	$mm; Pa$			
<i>d</i>	直径	mm	<i>s</i>	行程;距离	mm
<i>E</i>	弹性模量	$Pa, MPa$	<i>T</i>	切向力;周期;热力学 温度	$N; S; K$
<i>F</i>	力;面积(当 <i>A</i> 另有 用时)	$N; mm^2$	<i>t</i>	板料厚度	mm
<i>f</i>	频率	$H_z$		温度;时间	$^\circ C; h,$ $min, s$
<i>G</i>	切变模量	$Pa, MPa$			
<i>g</i>	重力加速度	$m/s^2$	<i>V</i>	体积	$m^3$
<i>H, h</i>	高度,深度	mm	<i>v</i>	速度	$m/s$
<i>I</i>	电流;截面惯性矩	$A; m^4$	<i>W</i>	功;重力;截面系数	$J; N; m^3$
<i>J</i>	转动惯量	$kg \cdot m^2$	<i>z</i>	单边间隙	mm
<i>K</i>	拉深比( $K = \frac{D}{d} = \frac{1}{m}$ )				
<i>K<sub>f</sub></i>	翻边系数				
<i>K<sub>L</sub></i>	拉形系数				
<i>L, l</i>	长度	mm			
<i>M</i>	力矩	$N \cdot m$			
<i>m</i>	拉深系数( $m = d/D$ )				
	质量	kg			
<i>N, n</i>	法向力	N			
<i>n</i>	转速;应变强化指数	$r/min$			
<i>P</i>	载荷;功率	$N; W$			
<i>p</i>	压力,压强	$Pa$			

## 希腊字母符号

$\alpha$	平面角;弯曲角度	(°)		曲阻率;密度	$\Omega \cdot \text{m};$
$\alpha_l$	线膨胀系数	$^{\circ}\text{C}^{-1}$			$\text{kg}/\text{m}^3$
$\alpha_v$	体膨胀系数	$^{\circ}\text{C}^{-1}$	$\sigma_b$	抗拉强度	$\text{Pa}, \text{MPa}$
$\Delta_a$	回弹角	(°)	$\sigma_s$	屈服点应力,屈服强度	$\text{Pa}, \text{MPa}$
$\beta$	平面角	(°)			
$\gamma$	平面角	(°)	$\sigma_{0.2}$	永久变形量 0.2% 的屈服强度	$\text{Pa}, \text{MPa}$
$\delta$	延伸率	%	$\tau$	切应力,剪切强度	$\text{Pa}, \text{MPa}$
$\delta_5$	5 倍直径标距试样延伸率	%		时间常数	s
$\delta_{10}$	10 倍直径标距试样延伸率	%	$\varphi$	平面角;相角	(°);Rad
$\varepsilon$	应变率	%	$\phi$	直径	mm
$\theta$	平面角	(°)	$\psi_l$	旋压厚度变薄率	%
$\lambda$	导热系数;波长	$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C});$ m	$\psi$	断面收缩率	%
$\mu$	摩擦系数;泊桑比		$\Omega$	空间角	sr
$\nu$	频率	Hz	$\omega$	角速度;转速	(°)/s; r/min
$\rho$	弯曲件中性层圆弧半径	mm		角频率	rad/s

## 目 录

## 符号说明

## 第 1 篇 飞机钣金工艺的一般性问题

## 第 1 章 飞机钣金工艺概述

- 1.1 飞机钣金工艺的重要性 ..... 1
- 1.2 飞机钣金工艺的特点 ..... 2

## 第 2 章 飞机钣金零件用材及热、表处理

- 2.1 飞机钣金零件常用材料 ..... 3
  - 2.1.1 飞机机体常用钣金材料的分类 ..... 3
  - 2.1.2 铝及铝合金 ..... 3
    - 2.1.2.1 板材 ..... 4
    - 2.1.2.2 型材与管材 ..... 14
  - 2.1.3 镁合金与钛及钛合金 ..... 17
    - 2.1.3.1 镁合金 ..... 17
    - 2.1.3.2 钛及钛合金 ..... 18
  - 2.1.4 优质碳素结构钢 ..... 21
    - 2.1.4.1 板材 ..... 21
    - 2.1.4.2 管材 ..... 23
  - 2.1.5 不锈钢 ..... 24
    - 2.1.5.1 板材 ..... 24
    - 2.1.5.2 管材 ..... 25
  - 2.1.6 合金钢 ..... 27
    - 2.1.6.1 板材 ..... 27
    - 2.1.6.2 管材 ..... 28
- 2.2 板材成形性和试验方法 ..... 28
  - 2.2.1 成形性指数的重要性 ..... 28
  - 2.2.2 成形性指数的分类 ..... 29
  - 2.2.3 基本成形性试验与指数 ..... 29
  - 2.2.4 成形性模拟试验与用途 ..... 31
  - 2.2.5 金属学的成形性能指数及其试验 ..... 33
  - 2.2.6 成形极限曲线 ..... 33
  - 2.2.7 特定成形试验与指数 ..... 34
    - 2.2.7.1 凸耳试验及其指数 ..... 34
    - 2.2.7.2 下陷成形试验及其指数 ..... 34
- 2.3 飞机钣金零件的热处理 ..... 35
  - 2.3.1 铝合金 ..... 35

- 2.3.1.1 退火 ..... 35
- 2.3.1.2 淬火(固溶处理) ..... 35
- 2.3.1.3 时效处理 ..... 37
- 2.3.1.4 回归处理 ..... 38
- 2.3.2 镁合金与钛及钛合金 ..... 38
  - 2.3.2.1 镁合金 ..... 38
  - 2.3.2.2 钛及钛合金 ..... 38
- 2.3.3 不锈钢 ..... 39
- 2.3.4 碳钢及合金钢热处理规范 ..... 41
- 2.4 表面处理与保护 ..... 42
  - 2.4.1 铝合金表面处理 ..... 42
    - 2.4.1.1 铝合金表面处理的分类 ..... 42
    - 2.4.1.2 铝合金表面处理的应用范围 ..... 43
  - 2.4.2 镁合金的表面处理 ..... 44
    - 2.4.2.1 镁合金表面处理的要求 ..... 44
    - 2.4.2.2 镁合金的化学氧化和阳极化 ..... 44
  - 2.4.3 钢的表面处理 ..... 44
  - 2.4.4 涂漆 ..... 45

## 第 3 章 飞机钣金零件分类及工艺方案技术经济分析

- 3.1 飞机钣金零件分类 ..... 47
  - 3.1.1 分类目的 ..... 47
  - 3.1.2 分类原则和方法 ..... 47
  - 3.1.3 分类图表 ..... 47
    - 3.1.3.1 板材零件分类 ..... 48
    - 3.1.3.2 挤压型材零件分类 ..... 54
    - 3.1.3.3 管材零件分类 ..... 55
- 3.2 典型零件工艺方案及技术经济分析 ..... 55
  - 3.2.1 工艺方案选择原则 ..... 55
  - 3.2.2 工艺方案技术经济评价方法 ..... 55
  - 3.2.3 年度工艺成本计算 ..... 56
  - 3.2.4 工艺方案技术经济评价 ..... 57

## 第 4 章 飞机钣金零件的协调

- 4.1 飞机钣金零件协调的一般概念 ..... 69
  - 4.1.1 互换与协调 ..... 69
  - 4.1.2 准确度与条件准确度 ..... 69

4.1.2.1 制造准确度与协调准确度 .....	69	5.3.3.2 常见挤压型材下陷类型和公差要求 .....	112
4.1.2.2 条件准确度 .....	69	5.3.4 弯边斜角公差 .....	113
4.1.3 协调路线与协调图表 .....	69	5.3.4.1 板弯零件的弯边斜角公差 .....	113
4.1.3.1 协调路线 .....	69	5.3.4.2 板弯型材零件斜角公差 .....	113
4.1.3.2 协调图表 .....	70	5.3.4.3 挤压型材零件斜角公差 .....	113
4.1.4 飞机钣金零件协调的部位 .....	72	5.3.5 型面畸变公差 .....	114
4.1.4.1 歼击机 .....	72	5.3.6 其他几何要求的公差 .....	116
4.1.4.2 大型客机 .....	72	5.3.6.1 翻边 .....	116
4.1.4.3 直升机 .....	72	5.3.6.2 零件弯边高度公差 .....	116
4.2 飞机钣金零件的协调依据 .....	72	5.3.6.3 加强槽和加强窝深度的公差 .....	116
4.2.1 定义 .....	72	5.3.6.4 封闭形和搭边类零件的公差 .....	117
4.2.2 协调依据内容 .....	74	5.3.7 外缘切割公差 .....	117
4.2.2.1 数据(尺寸) .....	74	5.3.8 平面度要求 .....	117
4.2.2.2 样板 .....	74	5.3.9 制孔的公差 .....	117
4.2.2.3 标准工艺装备 .....	75	5.3.10 厚度的公差 .....	118
4.2.2.4 移形工艺装备 .....	77	5.4 钣金零件边缘状态要求 .....	118
4.2.2.5 标准实样 .....	78	5.4.1 钣金零件边缘的一般要求 .....	118
4.3 飞机钣金零件协调的方法 .....	79	5.4.2 碳钢、结构钢和不锈钢钣金零件边缘要求 .....	118
4.3.1 协调方法分类 .....	79	5.4.3 噪音区钣金零件边缘要求 .....	119
4.3.2 基本协调方法 .....	79	5.5 钣金零件表面质量要求 .....	119
4.3.3 飞机钣金零件协调方法举例 .....	85	5.5.1 一般术语 .....	119
4.4 飞机钣金零件协调误差的计算 .....	101	5.5.2 对表面质量的一般要求 .....	120
4.4.1 计算公式 .....	101	5.5.3 表面擦、划伤验收要求 .....	120
4.4.2 钣金零件协调误差计算举例 .....	101	5.6 钣金零件加压检验 .....	121
4.4.2.1 编制协调路线 .....	101	5.7 钣金零件内在质量检验 .....	121
4.4.2.2 查组成环公差 .....	105	5.7.1 热处理状态的检验 .....	121
4.4.2.3 计算协调误差 .....	105	5.7.1.1 硬度检验 .....	121
4.4.2.4 计算超差危率 .....	105	5.7.1.2 导电率检验 .....	122
4.4.2.5 提高准确度措施 .....	106	5.7.2 无损检测的要求 .....	129
<b>第5章 飞机钣金零件通用检验技术要求及 检验方法</b>		5.7.2.1 渗透检验 .....	129
5.1 定义与适用范围 .....	107	5.7.2.2 磁力探伤 .....	130
5.1.1 定义 .....	107	5.7.3 变形量的检查 .....	131
5.1.2 适用范围 .....	107	<b>第6章 飞机钣金零件质量控制</b>	
5.2 平板零件和毛料的检验要求 .....	107	6.1 概述 .....	132
5.2.1 外形公差 .....	107	6.2 材料的控制 .....	132
5.2.2 平板零件的平面度要求 .....	108	6.2.1 原材料的性能指标 .....	132
5.2.3 平板零件角度的公差 .....	108	6.2.2 材料的入厂复验 .....	132
5.2.4 其他几何形状的公差 .....	108	6.2.3 材料的保管和发放 .....	132
5.3 成形零件检验要求 .....	109	6.3 工装的控制 .....	132
5.3.1 外形公差 .....	109	6.3.1 工装的验收 .....	132
5.3.2 弯曲半径公差 .....	112	6.3.1.1 无试压要求的工装验收 .....	132
5.3.3 下陷公差 .....	112	6.3.1.2 有模具试压的工装验收 .....	134
5.3.3.1 板制零件下陷尺寸公差 .....	112		

6.3.2 工装的合理使用 .....	134	7.6.2 注意事项 .....	144
6.3.2.1 使用要求 .....	134	7.6.3 工艺装备系数选择 .....	144
6.3.2.2 保管要求 .....	134	7.6.3.1 不同批次工艺装备系数 .....	144
6.3.3 工装的二次合格及定期检修 .....	135	7.6.3.2 钣金零件工艺装备系数 .....	144
6.3.3.1 工装二次鉴定合格 .....	135	7.7 技术攻关和技术改造 .....	144
6.3.3.2 工装的定期检修 .....	135	7.7.1 技术攻关 .....	144
6.4 设备的控制 .....	135	7.7.2 技术改造 .....	145
6.4.1 设备的合理选用 .....	135	7.8 工艺鉴定 .....	145
6.4.2 设备的使用和保养 .....	135	7.8.1 民用飞机工艺鉴定 .....	145
6.5 制造过程的控制 .....	136	7.8.2 军用飞机工艺鉴定 .....	146
6.5.1 对操作者的要求及开工前的“三对照” .....	136	<b>第 8 章 计算机技术在钣金成形中的应用</b>	
6.5.1.1 对操作者的要求 .....	136	8.1 成形过程的计算机模拟 .....	117
6.5.1.2 开工前的“三对照” .....	136	8.1.1 模拟的意义 .....	147
6.5.2 首件三检 .....	136	8.1.2 模拟的主要方法 .....	147
6.5.3 工艺文件的控制 .....	136	8.1.3 模拟软件系统的基本结构 .....	147
6.5.4 关键件、重要件及其工序的控制 .....	137	8.1.4 现有的分析模拟软件系统 .....	149
6.5.5 钣金零件制造质量控制要求 .....	137	8.1.5 示例 .....	150
6.5.5.1 概述 .....	137	8.2 模具的计算机辅助设计与制造 .....	151
6.5.5.2 外在质量的控制 .....	137	8.2.1 模具 CAD/CAM 系统的配置 .....	151
6.5.5.3 内在质量的控制 .....	139	8.2.2 模具 CAD/CAM 的功能与效果 .....	151
6.6 零件存放和周转过程的质量控制 .....	140	8.2.3 典型模具 CAD/CAM .....	151
6.6.1 零件存放的要求 .....	140	8.2.3.1 冲裁模 .....	151
6.6.2 周转、运输过程的要求 .....	140	8.2.3.2 成形模 .....	154
<b>第 7 章 飞机钣金工艺技术准备工作</b>		8.3 成形设备的数控 .....	157
7.1 概述 .....	141	8.3.1 数控成形设备概况 .....	157
7.2 工艺性审查 .....	141	8.3.1.1 数控成形设备的意义 .....	157
7.2.1 工艺性审查重点 .....	141	8.3.1.2 成形设备数控的特点 .....	158
7.2.1.1 零件的成形性 .....	141	8.3.2 数控成形设备的控制方式 .....	159
7.2.1.2 零件的可生产性 .....	141	8.3.3 数控成形设备的品种 .....	159
7.2.1.3 零件的协调性 .....	142	8.3.4 典型录返式系统 .....	159
7.2.1.4 新工艺新技术的工程化 .....	142	8.3.4.1 普通旋压机 .....	159
7.2.2 工艺性审查内容 .....	142	8.3.4.2 拉形机 .....	160
7.3 原始资料汇集 .....	142	8.3.5 典型模型式系统 .....	161
7.3.1 原始资料的主要内容 .....	142	8.3.5.1 数控闸压机 .....	161
7.3.2 整理记录的重点问题 .....	143	8.3.5.2 数控弯管机 .....	161
7.4 零件工艺分析 .....	143	8.3.6 典型自适应数控系统 .....	161
7.5 工艺文件编制 .....	143	8.4 工艺过程计算机辅助设计 .....	163
7.5.1 文件种类 .....	143	8.4.1 工艺过程计算机辅助设计的作用与意义 .....	163
7.5.2 文件编制程序 .....	144	8.4.2 CAPP 系统的基本类型 .....	164
7.5.3 文件编制要求 .....	144	8.4.3 成组技术及其在 CAPP 中的应用 .....	164
7.5.4 文件更改规定 .....	144	8.4.3.1 编码系统的作用与意义 .....	164
7.6 工艺装备选择 .....	144	8.4.3.2 编码系统的结构形式 .....	165
7.6.1 选择原则 .....	144	8.4.3.3 钣金成形件分类编码系统示例 .....	165

8.4.3.4 开发或选用编码系统的注意事 项 .....	166	9.5.7.2 分类 .....	194
8.4.4 派生式 CAPP 系统 .....	167	9.5.7.3 间隙值确定 .....	195
8.4.5 创成式 CAPP 系统 .....	167	9.5.8 冲裁模形式及适用范围 .....	195
8.4.6 钣金成形 CAPP 系统示例 .....	169	9.6 其他下料方法 .....	200
8.5 柔性制造系统 .....	171	9.6.1 激光切割 .....	200
8.5.1 柔性制造系统的目的与构成 .....	171	9.6.2 电火花线切割 .....	200
8.5.2 工作地 .....	172	9.6.3 高压水切割 .....	201
8.5.3 材料运输系统 .....	173	9.7 平板件工艺设计 .....	202
8.5.4 模具(包括其他工装)系统 .....	173	9.7.1 工艺设计内容 .....	202
8.5.5 国外系统示例 .....	175	9.7.2 工艺孔的加工 .....	202
8.6 软件评估 .....	176	9.7.3 去毛刺方法 .....	203
<b>第 2 篇 飞机钣金零件工艺设计</b>		9.7.4 校平 .....	203
<b>第 9 章 平板零件制造</b>		9.7.5 除油和表面保护 .....	203
9.1 零件分类及结构工艺性 .....	181	9.7.6 典型零件工艺流程 .....	204
9.1.1 定义和典型零件分类 .....	181	9.7.7 超薄蒙皮零件加工注意事项 .....	205
9.1.1.1 定义 .....	181	9.8 平板零件加工先进方法示例 .....	205
9.1.1.2 典型零件分类 .....	181	<b>第 10 章 板弯型材零件工艺设计</b>	
9.1.2 结构工艺性 .....	181	10.1 典型零件分类及结构工艺性要求 .....	208
9.2 材料消耗定额及排样下料 .....	182	10.1.1 典型零件分类 .....	208
9.2.1 材料消耗定额 .....	182	10.1.2 零件结构工艺性要求 .....	208
9.2.1.1 分类 .....	182	10.1.2.1 最小弯曲半径 .....	208
9.2.1.2 构成 .....	182	10.1.2.2 孔边缘距弯曲处的位置尺寸 .....	212
9.2.1.3 编制依据 .....	182	10.1.2.3 最小弯边高度 .....	212
9.2.1.4 材料利用率 .....	183	10.1.2.4 板材纤维方向与弯曲线的夹 角 .....	213
9.2.2 节约原材料途径和排样下料 .....	184	10.1.2.5 止裂孔、止裂槽的大小及位置 .....	213
9.2.2.1 节约原材料途径 .....	184	10.1.2.6 板弯型材在闸压成形时的开敞 性 .....	213
9.2.2.2 排样下料 .....	184	10.2 压弯和折弯成型 .....	214
9.3 剪切 .....	186	10.2.1 定义及范围 .....	214
9.3.1 剪切形式及适用范围 .....	186	10.2.2 板弯型材展开尺寸计算及下料要 求 .....	214
9.3.2 剪切力计算 .....	187	10.2.2.1 展开尺寸计算 .....	214
9.4 铣切 .....	188	10.2.2.2 下料要求 .....	225
9.4.1 铣切形式及适用范围 .....	188	10.2.3 弯曲回弹 .....	226
9.4.2 铣刀、靠柱与靠套 .....	189	10.2.3.1 刚性模弯曲件的回弹 .....	226
9.4.3 铣切样板 .....	189	10.2.3.2 弹性凹模弯曲件的回弹 .....	233
9.5 冲裁 .....	190	10.2.3.3 修正回弹的基本方法 .....	236
9.5.1 定义与适用范围 .....	190	10.2.4 弯曲模设计要求 .....	237
9.5.2 典型零件冲裁方法 .....	190	10.2.4.1 冲压弯曲模 .....	237
9.5.3 冲裁条料排样 .....	191	10.2.4.2 聚胺酯橡胶弯曲模 .....	238
9.5.4 搭边数值的确定 .....	192	10.2.4.3 闸压弯曲模 .....	241
9.5.5 冲裁力计算 .....	192	10.2.4.4 弯曲件的工序分步及模具典型 结构 .....	242
9.5.6 卸料力、推料力和顶件力计算 .....	194		
9.5.7 冲裁间隙 .....	194		
9.5.7.1 含义 .....	194		

10.2.5 弯曲力与弯曲力矩 .....	244	11.3.2.1 拉深件变形程度——拉深系数 的确定 .....	291
10.2.5.1 弯曲力 .....	244	11.3.2.2 拉深件的成形次数与成形高度的 估算 .....	300
10.2.5.2 弯曲力矩 .....	248	11.3.3 模具的压边方式及压边力的确 定 .....	305
10.2.6 板弯型材质量控制 .....	248	11.3.3.1 采用压边圈的条件 .....	305
10.2.7 典型零件工艺流程 .....	249	11.3.3.2 压边力的计算 .....	306
10.3 型辊成形 .....	250	11.3.3.3 压边圈的结构形式 .....	307
10.3.1 定义及应用范围 .....	250	11.3.4 拉深力及拉深功的计算 .....	309
10.3.2 型辊成形过程与成形力 .....	250	11.3.4.1 拉深力的计算 .....	309
10.3.2.1 成形过程 .....	250	11.3.4.2 拉深功与拉深功率的计算 .....	311
10.3.2.2 成形力 .....	251	11.3.5 拉深件的工序设计 .....	312
10.3.3 型辊成形机 .....	251	11.3.5.1 无凸缘的旋转体筒形件 .....	312
10.3.3.1 型辊成形机的类型 .....	251	11.3.5.2 有凸缘的旋转体筒形件 .....	313
10.3.3.2 机床的选择 .....	252	11.3.5.3 阶梯筒形件 .....	315
10.3.3.3 辅助设备 .....	253	11.3.5.4 锥形件 .....	317
10.3.4 辊轮设计 .....	253	11.3.5.5 球形件 .....	321
10.3.4.1 辊轮组数和花型展开图设计 .....	253	11.3.5.6 抛物线形件 .....	322
10.3.4.2 导向线的确定 .....	255	11.3.5.7 双曲线形件 .....	323
10.3.4.3 辊压方向 .....	255	11.3.5.8 盒形件 .....	323
10.3.4.4 辊轮的节圆直径 .....	255	11.3.5.9 方锥台件 .....	329
10.3.4.5 型辊成形顺序 .....	256	11.3.6 筒形件的变薄拉深 .....	330
10.3.4.6 辊轮间隙 .....	256	11.3.6.1 筒形件变薄拉深工艺参数的确 定 .....	330
10.3.4.7 回弹修正 .....	256	11.3.6.2 变薄拉深模的设计要点 .....	332
10.3.4.8 辊轮 .....	256	11.3.7 大型覆盖件的拉深成形 .....	332
10.3.5 钛合金板料的热辊成形 .....	257	11.3.7.1 大型覆盖件成形的工艺特点 .....	333
10.3.5.1 加热装置 .....	257	11.3.7.2 压边面及拉深埂的设置 .....	333
10.3.5.2 热成形辊轮 .....	257	11.3.8 拉深件成形过程中的热处理及其 润滑 .....	334
10.3.5.3 Ti-6Al-4V 钛合金的热型辊工 艺 .....	258	11.3.8.1 热处理工序及其安排 .....	334
10.3.6 典型零件工艺流程 .....	258	11.3.8.2 润滑、润滑剂及其使用方法 .....	334
<b>第 11 章 拉深零件成形</b>		11.4 拉深零件的质量分析 .....	336
11.1 典型零件分类及结构工艺性要求 .....	263	11.4.1 拉深成形的准确度 .....	336
11.1.1 拉深零件的分类 .....	263	11.4.2 拉深零件的质量分析 .....	336
11.1.2 拉深零件结构工艺性要求 .....	264	11.4.3 运用成形极限图(FLD)确保零件 的成形质量 .....	341
11.2 拉深成形法的分类及特点 .....	267	<b>第 12 章 蒙皮零件成形</b>	
11.3 拉深成形的工艺设计 .....	272	12.1 蒙皮零件分类与结构工艺性 .....	343
11.3.1 拉深件毛料形状及尺寸的确定 .....	272	12.1.1 分类 .....	343
11.3.1.1 确定形状、尺寸的原则 .....	272	12.1.2 特点 .....	344
11.3.1.2 旋转体拉深件毛料形状与尺寸的 确定 .....	273	12.1.3 结构工艺性 .....	344
11.3.1.3 盒形件毛料形状及尺寸的确 定 .....	284	12.2 蒙皮闸压成形 .....	344
11.3.1.4 不规则拉深件展开毛料的确 定 .....	289		
11.3.2 拉深成形工艺参数的确定 .....	291		



12.2.1 定义 .....	344	12.4.5 质量控制 .....	360
12.2.2 工艺参数 .....	344	12.4.5.1 外形准确度 .....	360
12.2.2.1 最小弯曲半径 .....	344	12.4.5.2 表面质量 .....	361
12.2.2.2 最小结构高度 .....	344	12.4.6 切割和开孔 .....	361
12.2.2.3 回弹量 .....	345	12.4.6.1 切割 .....	361
12.2.2.4 闸压力 .....	345	12.4.6.2 开孔 .....	361
12.2.2.5 展开件的确定 .....	345	12.4.7 拉形模 .....	361
12.2.3 蒙皮闸压的工艺方法 .....	345	12.4.7.1 制造依据 .....	361
12.2.3.1 刚性模闸压 .....	345	12.4.7.2 结构形式 .....	362
12.2.3.2 弹性模闸压 .....	345	12.4.7.3 模具材料 .....	362
12.2.3.3 拉伸闸压 .....	346	12.4.8 设备选择 .....	363
12.2.4 专用闸压模设计 .....	347	12.4.9 典型零件工艺流程 .....	363
12.2.4.1 模具结构 .....	347	12.5 蒙皮的组合成形 .....	364
12.2.4.2 闸压模材料 .....	347	12.6 镜面蒙皮成形 .....	364
12.2.5 设备选择 .....	348	12.6.1 镜面蒙皮拉形成形 .....	364
12.2.6 典型零件工艺流程 .....	348	12.6.2 蒙皮保护 .....	364
12.3 蒙皮滚弯成形 .....	349	12.6.3 损伤修复 .....	365
12.3.1 定义 .....	349	<b>第 13 章 整体壁板成形</b>	
12.3.2 蒙皮滚弯方式 .....	349	13.1 概述 .....	367
12.3.3 工艺参数 .....	349	13.1.1 定义 .....	367
12.3.3.1 辊轴压下量 .....	349	13.1.2 特点 .....	367
12.3.3.2 辊轴距离 .....	350	13.1.3 结构工艺性 .....	367
12.3.3.3 成形力计算 .....	350	13.2 板坯制备和型面加工 .....	367
12.3.3.4 毛料展开 .....	350	13.2.1 板坯的种类 .....	367
12.3.4 典型零件的工艺方法 .....	351	13.2.2 提高板坯平面度的方法 .....	368
12.3.4.1 圆筒形零件滚弯 .....	351	13.2.2.1 各种方法简介 .....	368
12.3.4.2 圆锥形零件滚弯 .....	352	13.2.2.2 拉伸处理 .....	368
12.3.4.3 变厚度蒙皮的滚弯 .....	352	13.2.3 板坯制造方案 .....	371
12.3.5 设备选择 .....	353	13.2.3.1 轧制—拉伸—机加 .....	372
12.3.6 典型零件工艺流程 .....	353	13.2.3.2 轧制—拉伸—化铣 .....	373
12.4 蒙皮拉形 .....	353	13.2.3.3 轧制特形板坯加工 .....	374
12.4.1 定义 .....	353	13.2.3.4 挤压板坯加工 .....	376
12.4.2 蒙皮拉形方式 .....	353	13.2.3.5 模锻板坯加工 .....	376
12.4.3 工艺参数 .....	353	13.2.3.6 铸造板坯加工 .....	377
12.4.3.1 拉形系数 .....	353	13.3 整体壁板成形 .....	377
12.4.3.2 极限拉形系数 .....	354	13.3.1 成形方法简介 .....	377
12.4.3.3 拉形力与拉形速度 .....	355	13.3.2 滚弯成形 .....	378
12.4.3.4 热处理状态选择 .....	355	13.3.2.1 单曲度壁板成形 .....	378
12.4.3.5 毛料尺寸的确定 .....	356	13.3.2.2 垫板和垫块 .....	378
12.4.4 拉形工艺 .....	357	13.3.3 压弯成形 .....	379
12.4.4.1 拉形方法 .....	357	13.3.4 拉形成形 .....	379
12.4.4.2 拉形的成形过程 .....	358	13.3.5 机、尾翼前缘整体厚蒙皮成形 .....	380
12.4.4.3 拉形中的皱褶 .....	359	13.3.6 喷丸成形 .....	380
12.4.4.4 拉形成形的影响因素 .....	359	13.3.6.1 定义 .....	380