



# 航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 机载设备精密加工 ·

航空工业出版社

# 航空制造工程手册

## 机载设备精密加工

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1996

## 内 容 提 要

精密加工是机械制造行业的重要基础,航空机载设备精密加工具有精度高、难度大、工艺复杂的特点。本手册汇集了我国四十多年来机载设备精密加工的先进经验与成果,详细介绍了精密车削、精密磨削、珩磨、研磨、抛光和精冲等加工方法,同时还重点介绍了航空机载设备中典型精密元件,如液压控制元件、伺服阀、惯性器件、仪表精密零件、传感器等近五十类精密零件的加工方法、工艺参数、生产过程和操作技术。这是一本非常实用的手册。

本书不仅对从事航空工业精密加工的工程技术人员有指导作用,而且对其他行业从事机械加工、设计、检验、生产管理的人员以及大、专院校的师生都有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

航空制造工程手册:机载设备精密加工/《航空制造工程手册》总编委会主编;刘盛东分册主编. —北京:航空工业出版社,1996.1

ISBN 7-80046-952-2

I. 航… I. ①航… ②刘… III. ①航空工业-制造-手册②机载设备-金属切削 IV. V261-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 13561 号

责任编辑 徐庆仁

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

1996年1月第1版

1996年1月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:51.25 字数:1298千字

印数:1—1000

定价:105.00元

# 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。但是如何将这些容量浩繁、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》      | 《非金属结构件工艺》    |
| 《热处理》       | 《飞机结构工艺性指南》   |
| 《特种加工》      | 《发动机机械加工》     |
| 《表面处理》      | 《发动机装配与试车》    |
| 《焊接》        | 《发动机叶片工艺》     |
| 《特种铸造》      | 《燃油泵与调节器装配试验》 |
| 《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》    |

# 《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	杨彭基	张 彤
张士元	张钟林	周家骐	周砥中	周晓青
金德琨	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
<span style="border: 1px solid black;">冯 旭</span>	杨 墉	杨光中	陆颂善	枉云汉
罗时大	荣 科	邴少安	董德馨	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
李秋娥	李哲浩	李章由	李德澄	杜昌年
沈昌治	陈于乐	陈 进	陈积懋	陈德厚
余承业	杨彭基	吴志恩	吴复兴	张 彤
张 夏	张士元	张幼桢	张灵雨	张纯正
张钟林	张增模	周家骐	周砥中	周晓青

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

**总编委会常委**(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	何恽晋	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	王偌鹏	刘树桓	刘瑞麟	邵 箭
陈 刚	陈振荣	宋占意	张士霖	林 森
段文斌	贺开运	姜淑芳	莫龙生	徐晓风
戚道纬	崔正山	崔连信		



## 《机载设备精密加工》分编委会组成名单

**主 编** 刘盛东

**副主编** (按姓氏笔划排列)

陈文礼 吴明根 杜 裴

**委 员** (按姓氏笔划排列)

王玉池 邓小兰 许根贵 张康新 李 进

李燕生 陈振荣 宋国珍 庞淑云 赵玉英

周志华 康不依 贺江明 翁金钟

## 《机载设备精密加工》分册其他编写和统稿人员名单

**编写人员** (按姓氏笔划排列)

丁殿明 马春如 韦统班 王 纓 王曰元

王月娥 王善道 邓 胜 牛连刚 尹岐纲

左文刚 卢西敏 叶嘉新 叶维刚 叶德成

刘纪民 刘根全 刘传英 刘秉中 吕丽云

华树桃 汪晓林 孙宏伟 何雅全 李 梅

苏月笑 陈宽郡 陈绍德 吴国桢 杨美云

杨 坚 郑进璋 郑隆炆 郑银岐 陆光明

罗友和 周以杰 赵梦荣 施福树 侯大钧

战洪德 俞作民 高德福 商 健 龚达平

崔存英 靳庆方 蔡天佑 樊随安

**统稿人员** 王玉池 李进

**提供资料人员名单** (按姓氏笔划排列)

王晓玲 王德贵 孙 珍 刘桂满 陈水生

宋汝江 朱其敏 李先寿 李时发 何石泉

杨 浩 杨子谋 杨少华 杨荣娟 张玉林

罗麟光 祝 捷 胡兴琪 郝殿荣 浦永祥

崔瑞志 曹守桂

## 绪 言

航空机载设备是指飞机除机体和发动机以外的其他装机产品。其品种繁多、专业面广。本手册只介绍机械产品的精密加工。这些产品结构紧凑、体积小、重量轻、自动化程度高,能在高速、高低温、振动、大加速度和易腐蚀的环境下正常工作,并要有极高的稳定性和可靠性。产品的零部件一般都具有以下特点:

- 1 原材料要求严格,如强度高、耐高温、抗腐蚀等,这些材料加工性差,不利于精密加工;
- 2 尺寸小,精度高,粗糙度值小,壁薄,长径比大,易变形,加工困难;
- 3 特殊要求多,如加工面不允许有烧伤、裂纹等缺陷,工作边要保持光洁锐边,一些液压控制元件在尺寸精度、形状误差达到设计要求后,还要满足性能曲线的要求,等等,因此在精密加工中就要采取某些特殊方法,否则就不能保证整个产品的质量;
- 4 品种多、批量小、加工中设备多变,不易采用主动测量(在线测量)。因此加工精度的一致性和稳定性也比较差。

由于这些特点的存在,产品从坯料投入到制成成品都必须严格按照工艺规范和规定的工艺参数进行加工。本手册介绍了适合于航空机载设备精密加工的一些方法和工艺参数。

就精密加工而言,很难用一个确切的、不变的数值来下定义,因为某一数值不仅与加工零件的大小、形状和刚度有关,还与时代的加工技术水平有关。五六十年代的精密加工现在大部已视为普通加工;随着加工技术的不断发展,现在视为精密加工的,将来就可能视为普通加工。本手册中所说的精密加工,是指精度在数微米到亚微米之间的加工。

本手册在内容上大致分为两大部分,第一部分是机载设备制造中通常采用的精密加工方法,第二部分是机载设备中典型精密零、部件的制造过程,其重点是关键部位的精密加工技术。

## 机载设备精密加工的种类及方法

机载设备除降落伞、航空服、光学器件和微电子产品以外,其他产品均属于机械产品。其精密加工的种类和方法与一般机械产品基本相同,但由于机载设备的特点,对一般精密加工的工艺参数和工具都有所改进,根据机载行业的实际情况,在本手册中撰写了以下几种加工方法:

- 1 精密车削 包括仿形车削、数控车削、超精密车削,加工的形状有外圆、内孔、端面、球面、槽及螺纹;
- 2 精密磨削 包括内、外圆磨削,平面磨削,螺纹磨削,沟槽磨削,缓进磨削和超精密磨削;
- 3 珩磨 包括内孔、平面珩磨,重点介绍了珩磨工具的设计与制造及工艺参数的选择;
- 4 研磨 包括内、外圆研磨,平面研磨,球面研磨,异型孔研磨和超精研磨,重点介绍研磨方法、工艺参数、研磨剂的配制等;
- 5 抛光 包括柔性抛光、刚性抛光、振动抛光、磨粒流抛光、超声波抛光等,重点介绍所用的设备、抛光方法及工艺参数;
- 6 精冲 机载设备中,有很多零件的冲切表面就是工作表面,要求精度高、粗糙度值低;

又是曲面,由于零件很小,采用精冲工艺具有独特的优点。本手册对所用设备、模具及工艺参数作了介绍。

## 机载设备典型精密零、部件的加工

机载设备中精密零、部件很多,我们仅撰写了液压泵、液压马达精密偶件的加工,电液伺服阀、舵机、助力器、惯性器件、雷达天线、仪表上的精密零件及其他一些特殊零件的加工。重点介绍这些零、部件中关键部位的精密加工。众所周知,对于某一零件的具体部位而言,采用任何一种精密加工方法都不是唯一的方法,它和企业的技术储备、加工手段有着密切的关系。同样使用同一种加工方法在不同企业就不一定能取得相同的效果,因为各企业所用机床的精度、工具的质量、操作者的技术水平不可能完全一样,因此在使用本手册时应结合实际条件进行具体分析和选用。

## 提高机载设备精密加工水平的途径

当今世界上精密加工技术发展很快,新的加工方法和设备层出不穷,计算机的广泛应用使精密加工技术更为普及和多样。对于机载设备行业,除加强工艺研究和引进国内外先进的加工技术外,应从以下几方面加快技术改造,促进精密加工的普及和发展:

### 1 采用和研制高精度加工设备

在研究精密加工方法时,应从加工精度和生产效率两个方面同时加以考虑,偏废其一都会失去实际意义,而采用先进的高精度加工设备则能使这二者很好的结合起来,因此应首先从这方面采取措施:

1) 从国内外市场上选购精密加工设备,目前市场上机床可以达到的加工精度是:车床  $0.5\mu\text{m}$ ,磨床  $0.25\mu\text{m}$ ,珩磨机  $0.2\mu\text{m}$ ,电火花机床  $5\mu\text{m}$ ,线切割机床  $0.5\mu\text{m}$ 。应多方筹集资金,加快设备更新,改善精密加工条件。

2) 研制模块化的精密加工机床,针对机载设备的零件特点,充分利用高精度基准元件研制各种模块,按照不同零件组合成不同的高精度加工机床。目前高精度基准元件可达到的水平如下:

a. 圆度基础元件,其性能如表 1 所示。

表 1 圆度基准元件性能

轴承类别	一般精度 $\mu\text{m}$	特殊精度 $\mu\text{m}$	刚 度	速 度	摩 擦	价 格
滚动轴承	1~3	0.5	高	高	小	低
液体动压轴承	1~2	0.5~1	中	中	大	中
液体静压轴承	1	0.1~0.025	高	中	大	高
气体静压轴承	0.5	0.05~0.01	低	高	很小	高
磁力轴承	2~3	0.5~0.1	中	极高	极小	高

b. 平直度基准元件,其性能如表 2 所示。

表 2 平直度基准元件性能

导轨类别	一般精度 $\mu\text{m}/\text{mm}$	特殊精度 $\mu\text{m}/\text{mm}$	刚 度	速 度	摩 擦	价 格
滑动导轨	1~2/100	0.1/100	高	中	大	低
滚动导轨	1~2/100	0.5/100	中	大	小	中
液体静压导轨	1~2/100	0.1/100	中	中	大	高
气体静压导轨	0.5/100	0.05~0.03/100	低	大	极小	高

c. 角度基准元件,其性能如表 3 所示。

## 绪 言

**表 3 角度基准元件的性能**

角度基准元件	一般精度 s	特殊精度 s	分辨率 s	稳定性	价 格
蜗 轮	±10	±2	1	高	低
端齿盘	±5	±0.1	15	高	中
圆光栅	±1	±0.2	0.1	中	高
感应同步器	±1	±0.5	0.5	中	中

d. 长度基准元件,其性能如表 4 所示。

**表 4 长度基准元件的性能**

长度基准元件	一般精度 $\mu\text{m}$	特殊精度 $\mu\text{m}$	分辨率 $\mu\text{m}$	稳定性	价 格
丝杆	3~5	1	0.1	高	低—中
长光栅	5	1	0.1~0.01	中	高
长感应同步器	5	2	0.5	中	中
磁栅	5~10	2	0.5	中	中
容栅	5~10	2	0.5	高	低—中
激光干涉仪	0.3	0.02~0.1	0.01~0.001	低	高

### 3) 对现有机床进行精化

精化现有机床,实现精密加工是一种投资少、见效快的途径,充分利用高精度基准元件和计算机改造现有设备,使其达到精密加工的要求,这种方法已在工厂逐渐推广。本手册中提供了部分机床精化的方法和应达到的精度指标,可供使用者参考。

#### 2 应用加工、计量一体化技术

精密加工中,刀具、砂轮、珩磨条的磨损对加工精度有直接影响,因此在加工过程中进行计量并对各种磨损量直接进行补偿,不仅可提高加工精度,而且可以使加工精度保持稳定,这种一体化技术对偶件精密加工尤其重要。

3 积极采用新的切削工具材料,在精密加工中,切削工具的材料和高精度机床都起着非常重要的作用。在机载设备行业采用新的切削工具材料有金刚石刀具、陶瓷刀具、金刚石磨轮、金刚石珩磨条、立方氮化硼磨轮、立方氮化硼珩磨条等。本手册中对它们的几何参数和工艺参数都作了介绍。

## 目 录

**第 1 章 精密车削**

1.1 精密车削设备及设备改造 .....	2	1.4 外圆和端面精密车削 .....	29
1.1.1 精密及高精度车床的工作精度 .....	2	1.4.1 车削的加工特点 .....	29
1.1.2 车床精度对加工质量的影响 .....	3	1.4.2 工件的装夹 .....	30
1.1.3 普通车床的精化及改装 .....	4	1.4.2.1 工件装夹的主要方式 .....	30
1.1.3.1 普通车床的精化 .....	4	1.4.2.2 装夹方式对加工精度的影响 .....	31
1.1.3.2 普通车床的改装 .....	4	1.4.3 外圆及端面精密车削的切削方式 .....	31
1.2 精密车削刀具材料及刃磨 .....	5	1.4.3.1 高速及低速精密车削 .....	32
1.2.1 精密车削刀具材料的应用 .....	5	1.4.3.2 采用滚压和挤压降低表面粗糙度 .....	33
1.2.1.1 精密车削刀具的切削性能要求 .....	5	1.4.3.3 大刃倾角车刀的切削加工 .....	33
1.2.1.2 刀具材料的主要机械、物理性能 .....	6	1.4.4 外圆及端面车削刀具和几何角度 .....	33
1.2.1.3 刀具材料的使用性能及推荐用途 .....	6	1.4.4.1 车刀的结构 .....	33
1.2.2 刀具材料的刃磨 .....	12	1.4.4.2 刀杆形状及尺寸 .....	34
1.2.2.1 高速钢刀具的刃磨 .....	12	1.4.4.3 硬质合金焊接车刀刀片及刀杆槽形 .....	35
1.2.2.2 硬质合金刀具的刃磨 .....	14	1.4.4.4 硬质合金焊接车刀的镶焊 .....	38
1.2.2.3 陶瓷材料刀具的刃磨 .....	15	1.4.4.5 硬质合金机夹重磨车刀的夹固形式 .....	40
1.2.2.4 超硬材料刀具的刃磨或研磨 .....	16	1.4.4.6 硬质合金可转位车刀 .....	41
1.3 工件材料的切削加工性 .....	19	1.4.4.7 硬质合金可转位车刀刀片 .....	44
1.3.1 切削加工性概念及影响因素 .....	19	1.4.4.8 陶瓷车刀刀片 .....	51
1.3.1.1 切削加工性的主要衡量方法 .....	19	1.4.4.9 复合聚晶立方氮化硼刀片 .....	51
1.3.1.2 刀具耐用度作加工性衡量指标 .....	20	1.4.4.10 外圆及端面车削用车刀的几何角度 .....	53
1.3.1.3 材料性能作加工性衡量指标 .....	20	1.4.5 切削用量选择 .....	58
1.3.2 难切材料的切削加工性 .....	21	1.4.5.1 切削用量的选择原则和影响因素 .....	58
1.3.2.1 常用的难切材料 .....	21	1.4.5.2 高速钢刀具的切削用量 .....	59
1.3.2.2 难切材料的加工特点 .....	22	1.4.5.3 硬质合金刀具的切削用量 .....	59
1.3.2.3 难切材料的切削加工性指标 .....	23	1.4.5.4 其他材料刀具的切削用量 .....	60
1.3.2.4 切削加工性的主要改善途径 .....	23	1.4.6 加工中容易产生的问题及改善措施 .....	61
1.3.3 难切材料加工用的刀具材料选择 .....	24	1.4.6.1 加工精度误差及改善措施 .....	61
1.3.3.1 高速钢刀具材料的选用 .....	24	1.4.6.2 加工表面质量缺陷及改善措施 .....	61
1.3.3.2 硬质合金刀具材料的选用 .....	25	1.4.7 加工实例 .....	62
1.3.3.3 其他刀具材料的选用 .....	25	1.4.7.1 分油盘端面的精密车削 .....	62
1.3.4 切削液的应用 .....	25	1.4.7.2 弹簧管外圆的精密车削 .....	63
1.3.4.1 切削液的作用 .....	25	1.5 孔的精密车削 .....	64
1.3.4.2 切削液的润滑作用及添加剂 .....	26		
1.3.4.3 切削液中的其他添加剂 .....	26		
1.3.4.4 切削液的分类 .....	27		
1.3.4.5 常用切削液配方及选用 .....	27		

1.5.1 精密孔的车削加工特点	65	1.7.2.5 多头螺纹加工	101
1.5.1.1 精密孔车削用的刀具特点	65	1.7.2.6 螺纹的旋风切削法	102
1.5.1.2 精密孔车削的工艺特点	66	1.7.2.7 内螺纹的拉削加工	103
1.5.2 钻孔及钻孔刀具	66	1.7.3 螺纹车削刀具	103
1.5.2.1 钻孔工艺及应用范围	66	1.7.3.1 螺纹车刀和螺纹梳刀	103
1.5.2.2 钻孔刀具	68	1.7.3.2 圆板牙	106
1.5.2.3 钻孔切削用量	73	1.7.3.3 丝锥	107
1.5.2.4 常见缺陷及改进措施	74	1.7.4 螺纹加工的切削用量	111
1.5.3 车孔及车孔刀具	75	1.7.4.1 螺纹车刀车削螺纹的切削用量	111
1.5.3.1 车孔工艺及应用范围	75	1.7.4.2 旋风切削螺纹的切削用量	112
1.5.3.2 内孔车刀结构	76	1.7.4.3 丝锥加工的切削速度	112
1.5.3.3 内孔车削的切削用量	77	1.7.4.4 圆板牙加工的切削速度	113
1.5.4 铰孔及铰孔刀具	77	1.7.5 螺纹加工容易产生的缺陷和改进措施	113
1.5.4.1 铰孔工艺及应用范围	77	1.7.5.1 螺纹车削	113
1.5.4.2 铰孔切削刀具及几何角度	78	1.7.5.2 丝锥及圆板牙加工螺纹	114
1.5.4.3 铰孔切削用量	84	1.7.6 拉削丝锥的加工实例	115
1.5.4.4 提高铰削质量的措施	85	1.8 内、外槽的精密车削	117
1.5.5 加工实例	86	1.8.1 加工特点	117
1.5.5.1 外筒衬套孔的精密车削	86	1.8.2 内、外槽车削的加工工艺	118
1.5.5.2 线圈架孔的精密车削	87	1.8.3 精密车削内、外槽的刀具及几何角度	119
1.5.5.3 转子柱塞孔的精密车削	88	1.8.3.1 车削外槽用的刀具	119
1.6 球面的精密车削	89	1.8.3.2 车削内槽用的刀具	120
1.6.1 球面精密车削的加工特点	89	1.8.3.3 车削端面槽用的刀具	120
1.6.2 球面车削的切削方法	91	1.8.4 内、外槽加工的切削用量	121
1.6.2.1 外球面的加工方法	91	1.8.5 加工中容易产生的缺陷及改进措施	121
1.6.2.2 内球面的加工方法	92	1.8.6 加工实例	122
1.6.3 容易产生的缺陷及改善措施	92	1.8.6.1 外筒衬套内、外槽的精车	122
1.6.3.1 筒形刀加工外球面	92	1.8.6.2 线圈架端面密封槽的加工	123
1.6.3.2 飞刀铣削外球面	93	1.9 回转曲面的精密车削	124
1.6.3.3 回转刀架加工外球面	94	1.9.1 回转曲面车削的切削方法	124
1.6.3.4 成形车刀加工内、外球面	94	1.9.2 成形车削	124
1.6.3.5 球面铰刀加工内球面	94	1.9.2.1 成形车削的切削方法及应用范围	124
1.6.3.6 单片铰刀加工内球面	95	1.9.2.2 径向进给成形车削用的刀具	125
1.6.4 加工实例	96	1.9.3 仿形车削	127
1.6.4.1 电液伺服阀反馈杆小球面加工	96	1.9.3.1 仿形车床	127
1.6.4.2 柱塞泵柱塞体外球面车削	97	1.9.3.2 车床的仿形附件	128
1.6.4.3 柱塞座内球面精密车削	97	1.9.3.3 仿形靠模的设计及要求	131
1.7 螺纹车削	98	1.9.4 回转曲面的数控车削	135
1.7.1 螺纹车削的加工特点	98	1.9.4.1 数控车削的特点	135
1.7.2 螺纹车削的切削方法	99	1.9.4.2 数控车削的编程步骤	135
1.7.2.1 螺纹车削的分类	99		
1.7.2.2 普通螺纹车削进刀方法	100		
1.7.2.3 梯形及蜗杆螺纹的切削方法	100		
1.7.2.4 圆锥螺纹的切削方法	101		

1.9.4.3 直线和圆弧组成旋转母线的编程 .....	136	1.11.6 超精密车削的发展 .....	185
1.9.4.4 可描述非圆曲线旋转母线的编程 .....	137	1.11.6.1 超精密车削的发展趋势 .....	185
1.9.4.5 列表曲线旋转母线的编程 .....	137	1.11.6.2 超精密车削的新课题 .....	185
1.9.4.6 提高加工质量的途径 .....	139	<b>第2章 精密磨削</b>	
1.10 精密单轴纵切自动车床加工 .....	139	2.1 外圆精密磨削 .....	186
1.10.1 航空仪表轴类零件及加工设备简介 .....	139	2.1.1 精密磨削表面的形成 .....	186
1.10.2 凸轮纵切自动车床加工 .....	142	2.1.1.1 精密磨削表面形成的特点 .....	186
1.10.2.1 加工工艺过程优化设计原则 .....	142	2.1.1.2 影响磨削质量的主要因素 .....	186
1.10.2.2 凸轮的设计 .....	152	2.1.2 砂轮的选择 .....	187
1.10.2.3 凸轮制造 .....	163	2.1.2.1 砂轮特性及一般选择原则 .....	187
1.10.2.4 凸轮纵切自动车床的加工精度 .....	164	2.1.2.2 精密磨削砂轮的选择 .....	190
1.10.3 数控纵切自动车床 .....	170	2.1.2.3 超硬磨料砂轮及其应用 .....	191
1.10.3.1 简介及加工原理 .....	170	2.1.3 砂轮的平衡 .....	191
1.10.3.2 加工特点及加工精度分析 .....	173	2.1.3.1 砂轮静平衡的方法及注意事项 .....	191
1.11 超精密车削 .....	175	2.1.3.2 砂轮的动态平衡原理及装置 .....	191
1.11.1 超精密车削的特点与应用 .....	175	2.1.4 砂轮的修整 .....	193
1.11.2 超精密车削用的刀具 .....	176	2.1.4.1 修整工具 .....	193
1.11.2.1 超精密车削对刀具的要求 .....	176	2.1.4.2 修整用量的选择 .....	194
1.11.2.2 天然金刚石刀具的特性 .....	176	2.1.5 磨削用量的选择 .....	194
1.11.2.3 天然金刚石刀具的设计和制造 .....	177	2.1.6 外圆精密磨削的工艺参数 .....	195
1.11.2.4 金刚石刀具适用的被加工材料 .....	178	2.1.7 切削液选择及净化 .....	195
1.11.2.5 超精密车削用的其他刀具材料 .....	178	2.1.7.1 切削液的选择及使用注意事项 .....	195
1.11.3 超精密车床 .....	178	2.1.7.2 切削液的净化 .....	197
1.11.3.1 对超精密车床的主要要求 .....	179	2.1.8 对机床的要求 .....	197
1.11.3.2 超精密车床的关键部件 .....	179	2.1.8.1 磨床的精度要求 .....	197
1.11.3.3 超精密车床的驱动 .....	180	2.1.8.2 工作台低速运动的平稳性 .....	197
1.11.4 超精密车削的环境要求 .....	181	2.1.8.3 减少机床振动 .....	197
1.11.4.1 环境的空气净化 .....	181	2.1.9 外圆精密磨削的中心孔要求 .....	198
1.11.4.2 环境的温、湿度控制 .....	181	2.1.10 表面缺陷和防止措施 .....	198
1.11.4.3 环境的隔振与减振 .....	182	2.1.11 加工实例 .....	200
1.11.4.4 环境的其他条件要求 .....	182	2.2 内圆精密磨削 .....	201
1.11.5 超精密车削的工艺特点 .....	182	2.2.1 内圆磨头 .....	202
1.11.5.1 车削时刀具磨损与工件表面质量 .....	182	2.2.1.1 内圆磨头的主要类型 .....	202
1.11.5.2 车削时的积屑瘤 .....	183	2.2.1.2 机械传动及电动磨头的调整和润滑 .....	203
1.11.5.3 其他切削参数对表面质量的影响 .....	183	2.2.1.3 内圆磨头的使用注意事项 .....	204
		2.2.1.4 内圆磨头的技术改造 .....	204
		2.2.2 砂轮杆 .....	205
		2.2.2.1 砂轮杆的形式及增强措施 .....	205
		2.2.2.2 磨削小孔时砂轮杆部直径的选择 .....	207
		2.2.2.3 精密内磨深孔用砂轮杆 .....	207
		2.2.3 精密内磨用的砂轮 .....	208
		2.2.3.1 砂轮特性的选择 .....	208

2.2.3.2 砂轮直径及宽度的选择 .....	208	2.5.2 砂轮的选择 .....	233
2.2.4 工件的装夹 .....	209	2.5.3 精密无心外圆磨削的调整 .....	233
2.2.5 精密内磨削工艺参数的选择 .....	210	2.5.3.1 调整参数的选择 .....	233
2.2.6 常见的磨削缺陷及防止措施 .....	210	2.5.3.2 机床的调整 .....	234
2.2.7 精密内磨削实例 .....	211	2.5.4 精密无心外圆磨削工艺参数的选择 .....	235
2.2.7.1 阀套超深孔的精密磨削 .....	211	2.5.4.1 通磨工艺参数的选择 .....	235
2.2.7.2 轴承外圈孔的精密磨削 .....	212	2.5.4.2 切入磨削工艺参数的选择 .....	237
2.3 平面精密磨削 .....	215	2.5.4.3 其他工艺参数选择 .....	238
2.3.1 平面精密磨削的特点 .....	215	2.5.5 磨削容易出现的缺陷及防止措施 .....	238
2.3.2 磨削用量的选择 .....	216	2.6 坐标磨削 .....	239
2.3.2.1 磨削用量的选择原则 .....	216	2.6.1 坐标磨削的加工方式及加工要点 .....	240
2.3.2.2 工艺参数的选择 .....	216	2.6.1.1 坐标磨削的加工方式 .....	240
2.3.3 工件的装夹 .....	216	2.6.1.2 坐标磨削的加工要点 .....	241
2.3.3.1 采用电磁吸盘装夹工件 .....	216	2.6.2 数控坐标磨床的磨削方式 .....	242
2.3.3.2 采用其他方法装夹工件 .....	217	2.6.3 砂轮规格及磨料与转速的关系 .....	243
2.3.4 平面精密磨削对机床的要求 .....	218	2.6.3.1 普通直径砂轮转速的选择 .....	243
2.3.5 容易产生的缺陷和防止措施 .....	218	2.6.3.2 小直径砂轮转速的选择 .....	243
2.3.5.1 一般工件易产生的缺陷和防止措施 .....	218	2.6.4 数控坐标磨床磨削实例 .....	244
2.3.5.2 精密磨削薄片工件产生的变形和挠曲 .....	219	2.7 光学曲线磨削 .....	245
2.3.6 加工实例 .....	219	2.7.1 光学曲线磨削的加工工艺 .....	245
2.4 精密螺纹磨削 .....	220	2.7.1.1 光学曲线磨削的加工方式 .....	245
2.4.1 精密螺纹磨削的加工方式、加工特点及其应用 .....	221	2.7.1.2 光学曲线磨削的磨削运动 .....	246
2.4.2 砂轮的使用 .....	222	2.7.1.3 内角与圆弧型面的磨削方法 .....	246
2.4.2.1 砂轮特性的选择 .....	222	2.7.2 砂轮形状及磨削用量的选择 .....	248
2.4.2.2 砂轮的平衡及安装 .....	223	2.7.2.1 常用砂轮形状及修整 .....	248
2.4.2.3 砂轮的修整 .....	223	2.7.2.2 磨削用量的选择 .....	249
2.4.3 磨削用量的选择 .....	224	2.7.3 数控光学曲线磨削 .....	249
2.4.4 精密螺纹磨削时切削液的选择 .....	225	2.7.4 光学曲线磨削的放大图 .....	250
2.4.5 滚珠丝杠圆弧形螺纹磨削 .....	225	2.7.5 数控光学曲线磨床的磨削实例 .....	251
2.4.5.1 滚珠丝杠的主要要求 .....	225	2.8 环形沟槽的磨削 .....	253
2.4.5.2 砂轮圆弧的修整及修整夹具 .....	226	2.8.1 环形沟槽的磨削特点 .....	253
2.4.6 精密螺纹磨削的加工注意事项 .....	228	2.8.2 环形沟槽磨削用砂轮的修整 .....	254
2.4.6.1 螺纹磨床的使用要求 .....	228	2.8.2.1 砂轮的修整方法 .....	254
2.4.6.2 螺纹磨削时机床的调整要求 .....	228	2.8.2.2 金属滚轮滚压修整成形砂轮 .....	255
2.4.6.3 磨削加工时的注意事项 .....	229	2.8.2.3 金刚石滚轮修整成形砂轮 .....	256
2.4.7 螺纹磨削时的常见缺陷及防止措施 .....	229	2.9 缓进磨削 .....	257
2.4.8 加工举例 .....	230	2.9.1 缓进磨削的工艺特征及使用特点 .....	257
2.5 精密无心外圆磨削 .....	230	2.9.1.1 缓进磨削的工艺特征 .....	257
2.5.1 精密无心外圆磨削的加工方式 .....	231	2.9.1.2 缓进磨削的使用特点 .....	257
		2.9.2 缓进磨削对机床的要求 .....	258
		2.9.3 缓进磨削砂轮的选择及修整 .....	259
		2.9.3.1 缓进磨削对砂轮的要求 .....	259
		2.9.3.2 缓进磨削砂轮的选择要点 .....	259



2.9.3.3 缓进磨削砂轮的修整 .....	260	3.2.2.2 内孔珩磨机的进给方式 .....	278
2.9.4 缓进磨削的切削液及使用要求 .....	261	3.2.3 珩磨机的选择 .....	280
2.9.4.1 切削液的选用 .....	261	3.2.3.1 珩磨机的选择原则 .....	280
2.9.4.2 切削液的供给方式 .....	261	3.2.3.2 国产小型珩磨机简介 .....	281
2.9.5 缓进磨削的应用范围和生产率 .....	262	3.3 珩磨工具 .....	281
2.9.5.1 缓进磨削的应用范围 .....	262	3.3.1 珩磨头 .....	281
2.9.5.2 缓进磨削的生产效率 .....	262	3.3.1.1 珩磨头的种类及结构形式 .....	281
2.9.6 缓进磨削的工艺设计 .....	262	3.3.1.2 通孔珩磨头的设计 .....	285
2.9.6.1 缓进磨削工艺的选择要点 .....	262	3.3.2 主轴接头及珩磨夹具 .....	287
2.9.6.2 连续修整的缓进磨削 .....	263	3.3.2.1 主轴接头的结构 .....	287
2.10 径向和轴向配磨技术 .....	263	3.3.2.2 珩磨夹具的结构 .....	289
2.10.1 径向和轴向配磨的应用及精度 .....	264	3.3.3 珩磨头与珩磨工具的配置 .....	289
2.10.1.1 径向和轴向配磨的应用范围 .....	264	3.4 珩磨油石 .....	290
2.10.1.2 径向和轴向精密配磨的加工精度 .....	264	3.4.1 珩磨油石的特性及选择 .....	290
2.10.2 径向和轴向配磨用的配磨磨床 .....	265	3.4.1.1 磨料的选择 .....	290
2.10.3 径向配磨的工作原理和配磨装置 .....	266	3.4.1.2 磨料粒度的选择 .....	291
2.10.3.1 普通径向配磨的工作步骤 .....	266	3.4.1.3 珩磨油石硬度的选择 .....	292
2.10.3.2 径向自动配磨的工作原理 .....	267	3.4.1.4 珩磨油石结合剂的选择 .....	292
2.10.3.3 径向自动配磨装置 .....	268	3.4.1.5 珩磨油石的组织和浓度选择 .....	293
2.10.4 轴向配磨的工作原理和配磨装置 .....	268	3.4.2 珩磨油石的结构及制备 .....	293
2.10.4.1 轴向配磨的工作要求 .....	268	3.4.2.1 珩磨油石的构造 .....	293
2.10.4.2 轴向配磨的测试 .....	269	3.4.2.2 分体式珩磨油石的连接 .....	294
2.10.4.3 轴向配磨的加工原理 .....	271	3.4.2.3 珩磨油石的修正 .....	294
2.10.4.4 轴向配磨装置 .....	273	3.4.3 超硬磨料珩磨油石的应用 .....	295
2.10.5 径向和轴向配磨的工艺要求 .....	274	3.4.3.1 人造金刚石珩磨油石的应用 .....	295
<b>第3章 精密珩磨</b>		3.4.3.2 立方氮化硼珩磨油石的应用 .....	296
3.1 珩磨加工的特点和原理 .....	275	3.5 通孔珩磨工艺 .....	296
3.1.1 珩磨加工的特点 .....	275	3.5.1 珩磨余量及尺寸分组 .....	297
3.1.2 珩磨加工的基本原理 .....	275	3.5.1.1 珩磨余量的确定 .....	297
3.1.2.1 强制式珩磨 .....	276	3.5.1.2 珩磨前尺寸的分组 .....	297
3.1.2.2 自由式珩磨 .....	276	3.5.2 珩磨切削参数的选择 .....	297
3.1.3 珩磨的切削过程 .....	277	3.5.2.1 珩磨的切削速度与交叉角 .....	297
3.1.3.1 定压进给的珩磨过程 .....	277	3.5.2.2 珩磨切削参数对加工的影响 .....	298
3.1.3.2 定量进给的珩磨过程 .....	277	3.5.2.3 珩磨压力的选择 .....	299
3.1.3.3 定压-定量进给的珩磨过程 .....	278	3.5.3 珩磨行程和越程量的调整 .....	299
3.2 珩磨机的类型及其应用 .....	278	3.5.4 特殊工件的珩磨 .....	300
3.2.1 珩磨机的类型 .....	278	3.5.5 通孔珩磨加工的注意事项 .....	301
3.2.2 内孔珩磨机的运动形式及进给方式 .....	278	3.5.6 珩磨切削液 .....	301
3.2.2.1 内孔珩磨机的运动形式 .....	278	3.5.6.1 珩磨切削液的功用及使用要求 .....	301
		3.5.6.2 珩磨切削液的选择及应用 .....	302
		3.5.7 珩磨的尺寸控制 .....	302
		3.5.8 通孔珩磨常见缺陷和消除措施 .....	303
		3.6 盲孔珩磨工艺 .....	304
		3.6.1 盲孔珩磨存在的主要技术关键 .....	304