



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

• 发动机机械加工 •

航空工业出版社

技术编辑：海 涛
封面设计：霍振源

ISBN 7-80134-237-2



9 787801 342379 >

ISBN 7-80134-237-2

V • 016

定价：115.00 元

航空制造工程手册

发动机机械加工

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1997

内 容 提 要

本分册编写贯彻“打基础、上水平,为振兴我国航空事业服务”的方针,体现了“求实、求是、求新、求精”的原则,一切从实际情况出发,尽量反映国内、外先进水平和加工技术,力求做到概念准确、论述清楚、数据可靠、文字精炼。

本分册是我国第一部按典型零件加工为主线编写的发动机零件机械加工作具书,系统总结了我国航空发动机机械加工 40 年来的宝贵经验。该书突出航空发动机的机械制造特性,兼顾一般机械的制造共性,以实用性为主,继承与发展并重,引用国内、外先进经验和数据,并以图表和文字相结合的方式表述,便于查阅。

本分册含概述、4 篇 23 章正文及附录,内容有:第 1 篇航空发动机机械加工技术基础,介绍了机械加工工艺基础;机械加工工艺过程设计共 2 章。第 2 篇机械加工设备与工艺装备,介绍了加工设备;专用夹具;专用刀具;测量工具共 4 章。第 3 篇发动机典型零件的机械加工,内容包括盘类件、轴类件、环形机匣、箱体机匣、环形件、典型中、小构件、喷嘴、活门件和紧固件的加工及发动机部件组合加工共 9 章。第 4 篇钣金冲压构件及导管加工,内容包括钣金冲压加工技术基础;主要冲压工艺方法;燃烧室机匣零件;火焰筒零件;进气整流罩及加力稳定器零件;燃烧室火焰筒(钣焊)组件;加力燃烧室零件加工及导管加工工艺等共 8 章。

本分册对军、民用航空发动机生产、科研、教学都有实用价值。可供从事航空发动机机械加工、产品设计的工程技术人员使用或参考。亦可供机械加工专业工程技术人员、科研院、所的科研人员、技术工人和大专院校教师和学生使用和学习。

图书在版编目(CIP)数据

航空制造工程手册:发动机机械加工/《航空制造工程手册》总编委会主编;
徐秉铨分主编. —北京:航空工业出版社,1997.12
ISBN 7-80134-237-2

I. 航… I. ①航… ②徐… III. ①航空工程-制造-手册②航空发动机-零部件-金属切削-手册 IV. V 26-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 17352 号

责任编辑 程志远

航空工业出版社出版发行

(北京市安外小关东里 14 号 100029)

航空工业出版社印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:78.25 字数:2001.6 千字

印数:1—1000 定价:145.00 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,这套手册出版这后,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

总编委员会主任 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
冯 旭	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	王偲鹏	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		

《发动机机械加工》分编委会组成名单

主 编 徐秉铨

副主编(按姓氏笔划排列)

刘 湘 吴久诚 陈 进 芦丹忱 宋宝玉
柯明扬

编 委(按姓氏笔划排列)

王丽萍	邓修瑾	司克鑫	艾银生	刘 湘
李宝岐	庄铁肩	吴久诚	宋宝玉	吴诗惇
芦丹忱	陈兆民	陈 进	陈书云	杨万民
杨祥春	金宝纯	周丽珠	武荣天	姚发起
柯明扬	胡金根	张新成	徐秉铨	徐焕荣
曹志谷	曹祖安	崔铁林	顾芳润	顾惠连
赵冬梅	樊宪林	臧傅礼		

《发动机机械加工》其他编写和统稿人员名单

编写人员(按姓氏笔划排列)

于丕业	王志军	毛金海	史重英	冯桂红
宋 军	汪贞千	陈适先	陈树炎	任玺圭
张鹏云	杨鹤林	郑立贤	高惠清	阎 华
董茂松	焦英奎			

统稿人员(按姓氏笔划排列)

宋宝玉 杨祥春 顾芳润

《发动机机械加工》提供资料人员名单
(按姓氏笔划排列)

王仲章	田怀一	刘启华	李 明	刘新元
刘淑芳	刘漫风	陈 群	陈明春	张铁平
杨永珍	倪 伟	施 军	赵裕民	曹 阳
黄正富	翟 淳	蔡吉安		

符号说明

(文中另有说明的除外)

拉丁字母符号

a_k	冲击韧性	kJ/m^2
a_p	切削深度	mm
B, b	宽度	mm
C	光速	m/s
D, d	直径	mm
f, F	进给比, 面积	$\text{mm/r}, \text{mm}^2$
H, h	高度	mm
K	系数	
K_r	主偏角	(°)
K_r'	副偏角	(°)
L, l	长度	mm
$m (m = \frac{d}{D})$	拉伸系数	
N, n	力, 材料硬化指数	N
P	力, 载荷	N
p	单位压力	MPa
R, r	厚向异性指数, 半径	mm
$r_p, r_d, r_{\min}$	凸模圆角半径, 凹模圆角半径 最小弯曲半径	mm
s	切削进给量	mm/min
T, t	温度, 时间, 拉伸潜力 板材厚度	(°C), h, mm
V	体积, 切削速度, 电压	$\text{m}^3, \text{m/min}, \text{V}$
W	功, 重量	J, g
Z, z	间隙, 加工余量	mm

希腊字母符号

α	角度, 线膨胀系数	(°C ⁻¹)
β	角度	(°)
γ	角度	(°)
$\gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx}$	剪应力分量	MPa
δ	误差, 厚度	mm

δ_5	5 倍直径标距试样延伸率	%
Δt	偏离率	%
ε	真应变	%
ε_i	等效应变	%
ε_p	残余应变	%
θ	角度	(°)
λ	波长,刀倾角,扩孔率	mm,(°)
μ	波松比	
ν	角度	(°)
σ	真应力,偏差	MPa
σ_i	等效应力	MPa
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	正应力	MPa
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	主应力	MPa
σ_b	抗拉强度	MPa
σ_s	屈服极限	MPa
$\sigma_{0.2}$	0.2%的条件屈服强度	MPa
τ	条件切应力	MPa
$\tau_{0.3}$	扭转条件强度极限	MPa
τ_b	扭转屈服强度	MPa
$\tau_{\max}$	最大剪应力	MPa
$\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}, \tau_{zx}, \tau_{xz}$	剪应力	MPa
φ	角度	(°)
ψ	断面收缩率	%
ψ_i	减薄率	%
ω	转速	r/min

概 述

航空发动机机械加工是发动机制造过程及加工方法的一门应用技术,是制造技术的重要组成部分。

本分册总结了我国航空发动机机械加工 40 年来的宝贵经验,反映了国内、外一定的先进工艺技术水平,贯彻实用性为主、继承和发展并重的原则,选用了国内新标准,以图表、文字相结合的方式叙述表达。

我国航空发动机研制和生产与国外先进水平有较大差距,故本分册反映国外先进的机械加工技术方面尚有一定距离。

本分册包括航空发动机机械加工技术基础、具有航空特色的加工设备和工艺装备、发动机典型零件的机械加工、发动机钣金、冲压构件及导管加工。

机械加工技术是制造发动机的主要环节,直接关系到发动机制造质量,直接影响发动机的性能、可靠性和寿命。

制造技术是世界航空发动机行业在竞争中争夺市场的主要手段。机械加工技术在发动机行业的竞争中起着十分重要作用,谁在这方面取得领先地位,谁就能在竞争中处于优势。

航空发动机是由多种类型零、部、组件组成的复杂机器,处在高温、高压、高转速和不断变换工作状态恶劣的环境中工作,要求重量轻、推力大、耗油低、工作可靠、寿命长、成本低,发动机结构还要不断更新。

现代航空发动机设计采用了许多新技术,新材料、新型结构,故零件结构形状复杂;高温和承力构件采用整体结构;零件加工精度高;表面粗糙度 R_a 小;对零件表面质量有特殊要求等,为此需要采用先进的机械加工技术。

航空发动机研制、生产准备周期长,工艺装备品种多、数量大,发动机要不断更新换代,批量不大,机械加工技术要适应多品种小批量生产特征。

航空发动机机械加工特点:

1 零、组件种类多

发动机主要零件有:叶片、盘、轴、机匣、环件、钣金冲压件、齿轮、中小构件、紧固件、导管等 10 大类。本分册介绍 8 类,叶片、齿轮类分别在“发动机机叶片工艺”、“齿轮工艺”分册叙述。

2 难加工材料多

大量采用高温合金、钛合金及高强度钢。高性能发动机还将采用复合材料、工程陶瓷材料等。这些材料加工性差,需要特殊的切削刀具、设备以及特种加工工艺。

3 零、部、组件构形复杂

1) 整体薄壁结构多、复杂型面多,如风扇机匣、高压机匣、中介机匣等。需要大量工艺装备;精度高的多坐标数控机床加工;大型薄壁件旋压加工;钛合金薄壁构件的预变形工艺;机匣整体电解加工;压气机转子组合后叶片高速磨削等。

2) 先进的航空发动机主要承力构件采用了轻型焊接结构,如整体压气机盘鼓、整体焊接机匣、功率轴等,采用真空电子束焊、惯性摩擦焊及真空焊等先进的特种焊接技术。

3) 多种冷却小孔

航空发动机涡轮叶片、燃烧室、加力燃烧室等零、组件的冷却小孔数目每台达数 10 万,其中有精密小孔、型孔、深小孔、精密窄槽和群孔等,尺寸范围在 0.10~3.0mm,孔的位置呈空间多向分布。孔的形状和尺寸精度、孔壁表面质量要求高,常规的钻孔、冲孔方法已不能满足要求,需要采用激光、电子束、电火花和电解等特种加工技术。

4) 盘类零件辐板、周向榫齿、弧形榫齿的加工;轴的深孔加工;环型燃烧室机械加工等,由于形状复杂,须采用先进机械加工技术和新的工艺方法。

4 零件加工精度高,表面粗糙度 R_a 小

发动机零件在高温高转速恶劣条件下可靠地工作,零件要有良好的组合质量和互换性。故要求零件加工精度高,表面粗糙度 R_a 小,必须采用精密加工技术及高精度检测技术。如附件机匣壳体必须选用高精度数控坐标镗床或高精度多坐标数控加工中心机床加工,压气机前、中、后机匣必须选用高精度多坐标数控加工中心机床加工。盘件径向榫槽采用高速拉削、轴类零件选用数控车床、数控磨床加工等。机匣、盘、轴等零件还需要用高精度三坐标数控测量机及激光检测技术。

5 零件表面质量的特殊要求

发动机有些零件表面要求耐磨、防腐蚀、抗疲劳等,须采用表面强化、喷涂、喷丸、渗、镀等表面处理技术。

如发动机风扇叶片、压气机叶片中间阻尼台、转子轴颈、衬套表面的耐磨涂层;封严篦齿上封严涂层;燃烧室、加力燃烧室、涡轮导向叶片采用的陶瓷热障涂层;涡轮叶片表面高温防蚀涂层等。

涡轮叶片叶冠联锁部位应用激光重溶、喷涂技术喷涂耐磨涂层。

盘、轴、叶片等零件应用喷丸技术提高零件的疲劳强度和抗应力腐蚀能力。

现代航空发动机进一步提高性能不仅受设计水平的限制,还要受材料的限制。要提高推重比到 20,须依靠材料和由此产生的新型结构,如复合层板冷却、气膜冷却、轻型整体焊接、整体薄壁板、耐热合金蜂窝封严等结构;钛合金蜂窝夹层宽弦风扇叶片;复合材料压气机整体转子;陶瓷涡轮导向叶片等。制造技术发展趋势是应用新工艺,如以高能束流加工为代表的特种加工技术:激光加工、电子束加工、等离子束加工、电加工、磨粒流加工、高压水切割;特种焊接技术:电子束焊、摩擦焊、真空钎焊、扩散焊;表面技术和计算机集成技术。

当代机械加工技术发展的新趋势是柔性加工。航空发动机机械加工发展的途径是建立盘、机匣、叶片、轴类零件的柔性加工生产线 FMS。柔性加工系统 FMS(Flexible Manufacturing System),是由中心计算机控制,通过自动物料运送系统连接的一组数控机床和加工中心,按成组技术随机加工一族零件或组件的加工系统。FMS 是以中心计算机、数控机床、加工中心、机器人和成组技术为基础,应用系统工程的原理,将先进技术与科学管理方法相结合,实现生产柔性化同制造成本的高度统一,先进技术同科学管理的高度统一,以适应多品种、小批量生产模式,促进产品和企业的发展。

目 录

符号说明

概述

第 1 篇 航空发动机机械加工技术基础

第 1 章 机械加工工艺基础

- 1.1 发动机机械加工工艺技术准备 (1)
 - 1.1.1 工艺技术准备工作原则与依据 (1)
 - 1.1.2 工艺技术准备工作内容 (1)
 - 1.1.3 设计工艺性 (2)
 - 1.1.3.1 改善设计工艺性的基本方向 (2)
 - 1.1.3.2 机械加工工艺性 (2)
- 1.2 机械加工工艺过程质量控制 (6)
 - 1.2.1 零件制造质量 (6)
 - 1.2.2 工艺过程设计的质量控制 (6)
 - 1.2.2.1 工艺过程设计质量的控制因素 (6)
 - 1.2.2.2 提高加工精度的工艺措施 (7)
 - 1.2.2.3 表面质量的影响因素及控制 (7)
 - 1.2.3 机械加工过程的质量控制 (9)
 - 1.2.3.1 操作过程控制 (9)
 - 1.2.3.2 设备和工艺装备(简称工装)的控制 (9)
 - 1.2.3.3 材料的控制 (10)
 - 1.2.3.4 工艺文件的控制 (10)
 - 1.2.3.5 环境条件的控制 (10)
- 1.3 提高劳动生产率 (10)
 - 1.3.1 时间定额 (10)
 - 1.3.2 提高生产率的工艺措施 (11)
 - 1.3.3 提高生产率的组织措施 (11)
 - 1.3.4 采用高效及自动化加工,提高生产率 (11)
- 1.4 工艺技术、质量管理 (12)
 - 1.4.1 技术经济分析 (12)
 - 1.4.1.1 工艺成本 (12)
 - 1.4.1.2 工艺方案的技术经济分析 (13)
 - 1.4.2 正交设计法 (13)
 - 1.4.2.1 正交设计表 (13)
 - 1.4.2.2 试验设计与分析 (14)

- 1.4.2.3 多因素的试验 (15)
- 1.4.2.4 多指标试验 (158)
- 1.4.3 统计工艺控制技术 (15)
 - 1.4.3.1 工艺过程数据处理与分析 (15)
 - 1.4.3.2 统计工艺控制 (18)
 - 1.4.3.3 工艺过程能力与机械能力 (20)
 - 1.4.3.4 稳定过程的持续监控 (23)
- 1.5 计算机技术的应用 (23)
 - 1.5.1 计算机辅助机床控制 (23)
 - 1.5.2 计算机辅助制造系统 (24)
 - 1.5.3 成组技术 (24)
 - 1.5.4 计算机辅助工艺过程设计(CAPP) (25)

第 2 章 机械加工工艺过程设计

- 2.1 机械加工工艺过程 (27)
 - 2.1.1 机械加工工艺过程的组成 (27)
 - 2.1.2 工艺过程的设计 (28)
 - 2.1.2.1 编制工艺文件 (28)
 - 2.1.3 航空发动机零件机械加工的工艺措施 (31)
- 2.2 工艺过程设计的基本要求及技术依据 (32)
 - 2.2.1 基本要求 (32)
 - 2.2.2 技术依据 (32)
 - 2.2.2.1 零件图样及技术文件 (32)
 - 2.2.2.2 生产纲领和产量 (32)
 - 2.2.2.3 生产条件 (33)
- 2.3 工艺路线设计 (33)
 - 2.3.1 零件设计图样工艺分析 (34)
 - 2.3.2 毛坯 (34)
 - 2.3.2.1 毛坯的选择 (34)
 - 2.3.2.2 毛坯的制造方法及特点 (34)
 - 2.3.2.3 发动机主要零件材料及毛坯 (35)
 - 2.3.3 加工方法选择 (36)
 - 2.3.3.1 加工方法选择的影响因素 (36)
 - 2.3.3.2 加工路线 (36)

2.3.4 阶段划分	(38)	3.1.1 设备选用的原则	(82)
2.3.4.1 阶段划分的工艺特点	(38)	3.1.2 设备选择的依据	(82)
2.3.4.2 阶段划分后的优缺点	(38)	3.2 发动机零件机械加工选用的机床	(83)
2.3.5 工序的集中与分散	(39)	3.2.1 金属切削机床分类	(83)
2.3.5.1 影响工序集中与分散的因素	(39)	3.2.2 专用机床型号表示方法	(86)
2.3.5.2 工序集中或分散的特点及优缺点	(39)	3.2.3 机床自动线表示方法	(87)
2.3.6 基准选择	(39)	3.2.4 机床型号示例	(87)
2.3.6.1 基准	(39)	3.3 高精度的先进机床设备	(87)
2.3.6.2 原始基准选择	(40)	3.3.1 数控车床示例	(87)
2.3.6.3 定位基准选择	(41)	3.3.2 数控立式车床示例	(89)
2.3.6.4 定位基准转换时位置精度的保证方法	(42)	3.3.3 仿型车床示例	(90)
2.3.7 热处理工序的安排	(42)	3.3.4 钻、镗床示例	(92)
2.3.7.1 热处理工序在加工过程的位置	(43)	3.3.5 拉床示例	(96)
2.3.7.2 发动机典型零件热处理工序位置	(43)	3.3.6 磨床示例	(99)
2.3.8 辅助工序的安排	(45)	3.3.7 铣床示例	(102)
2.3.8.1 辅助工序在工艺路线中的位置	(45)	3.3.8 加工中心示例	(105)
2.3.8.2 典型零件常用的无损探伤法	(45)	3.4 国产通用机床	(111)
2.3.8.3 典型零件常用的表面处理方法	(46)	3.4.1 车床	(111)
2.4 工序尺寸设计	(46)	3.4.2 镗床	(112)
2.4.1 尺寸链	(46)	3.4.3 铣床	(114)
2.4.1.1 尺寸链及其组成	(46)	第4章 专用夹具	
2.4.1.2 极值法解尺寸链	(48)	4.1 夹具的基本概念	(116)
2.4.1.3 概率法解尺寸链	(52)	4.1.1 机床夹具	(116)
2.4.2 加工余量	(53)	4.1.2 专用夹具组成及其元件	(118)
2.4.2.1 加工余量及影响因素	(53)	4.1.3 专用夹具的作用及其基本要求	(120)
2.4.2.2 各种加工方法的加工余量	(55)	4.1.3.1 专用夹具的作用	(121)
2.4.3 工序尺寸的确定	(70)	4.1.3.2 对夹具的基本要求及采用的措施	(121)
2.4.3.1 工序尺寸及公差的确定	(70)	4.1.4 定位、夹紧和装夹的概念	(121)
2.4.3.2 余量校核及调整方法	(73)	4.2 夹具的选择	(121)
2.4.4 工艺尺寸链换算	(74)	4.2.1 使用夹具的合理工艺方案	(121)
2.4.5 尺寸图表法	(77)	4.2.2 确定专用工艺装备总数的原则与依据	(122)
2.4.5.1 偏差法尺寸图表	(77)	4.2.3 专用夹具的选择原则	(122)
2.4.5.2 对称偏差法尺寸图表	(81)	4.2.3.1 “0”批夹具选择原则	(122)
第2篇 机械加工设备与工艺装备		4.2.3.2 “1”批、“2”批夹具的选择	(123)
第3章 加工设备		4.2.4 使用夹具的经济性分析	(123)
3.1 机械加工设备的选择	(82)	4.3 工件的定位	(124)
		4.3.1 工件定位的基本原理	(124)
		4.3.1.1 设计夹具常用基准及其相互关系	(124)
		4.3.1.2 6点定位原则	(125)