



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 齿轮工艺 ·

航空工业出版社

航空制造工程手册

齿轮工艺

《航空制造工程手册》总编委会 主编

航空工业出版社

1995

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本手册结合航空工业的特点, 主要介绍圆柱齿轮和锥齿轮加工工艺、特型刀具设计、齿轮机床以及典型航空齿轮的制造工艺, 内容力求新颖、翔实。重点是磨齿及磨齿机的调整、锥齿轮机床的调整计算和齿轮检验, 并介绍了国内外齿轮制造工艺的发展及某些新工艺新技术在齿轮制造上的应用, 如特种剃齿刀设计、计算机辅助设计齿轮刀具等。内容较全面、实用, 适用从事机械制造的工程技术人员、大专院校师生阅读, 也可供高级技工参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

航空制造工程手册: 齿轮工艺/《航空制造工程手册》

总编委会主编; 王敬唐分主编. -北京: 航空工业出版社, 1995. 1

ISBN 7-80046-656-6

I. 齿… II. 王… III. ①航空-制造-手册②齿轮加工-

手册 IV. ①V 26-62 ②261. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 15085 号

责任编辑 孔凡利

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)

煤炭工业出版社印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1995 年 1 月第 1 版

1995 年 1 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 52.25 字数: 1370 千字

印数: 1—2 000

定价: 80.00 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		

《齿轮工艺》分编委会组成名单

主 编 王敬唐
副主编 钱相云 王侗陶
委 员 (按姓氏笔划排列)
王侗陶 王敬唐 石范洪 刘小兰 江甫炎
吴平波 余模规 张 棱 张金荣 杨系先
袁保成 钱湘云 蔡锦青

《齿轮工艺》其他编写和统稿人员名单

编写人员 (按姓氏笔划排列)
王 刚 杨景秋 胡贤惠
统稿人员 (按姓氏笔划排列)
王侗陶 蔡锦青

《齿轮工艺》提供资料人员名单

孙冬生 陈诚斋 秦 铸 曹绳德

目 录

第 1 章 航空齿轮结构及工艺特点

- 1.1 齿轮制造技术的发展 1
- 1.2 航空齿轮的分类 6
 - 1.2.1 航空齿轮的类型 6
 - 1.2.2 航空齿轮的精度等级 6
 - 1.2.3 航空齿轮材料概况 7
- 1.3 航空齿轮的结构特点 7
- 1.4 航空齿轮的工艺特点 16

第 2 章 齿轮传动几何计算

- 2.1 外啮合圆柱齿轮传动 17
 - 2.1.1 各国常用齿形标准 17
 - 2.1.2 外啮合直齿圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 (中心距给定时) 18
 - 2.1.3 外啮合斜齿 (人字齿) 圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 20
 - 2.1.4 外啮合齿轮变位系数的限制条件 23
- 2.2 内啮合圆柱齿轮传动 24
 - 2.2.1 内啮合直齿圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 (中心距给定时) 24
 - 2.2.2 内啮合斜齿 (人字齿) 圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 26
 - 2.2.3 内啮合齿轮变位系数的限制条件 28
- 2.3 交错轴斜齿圆柱齿轮传动 30
 - 2.3.1 交错轴斜齿圆柱齿轮传动的啮合原理 30
 - 2.3.1.1 公共齿条与斜齿轮传动的啮合 30
 - 2.3.1.2 交错轴斜齿圆柱齿轮传动的特点 31
 - 2.3.1.3 正常啮合的条件 31
 - 2.3.2 交错轴斜齿圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 31
 - 2.3.2.1 非变位交错轴斜齿圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 (中心距给定时) 31

- 2.3.2.2 变位交错轴斜齿圆柱齿轮传动的几何尺寸计算 32
- 2.3.3 交错轴斜齿圆柱齿轮传动的干涉 35
- 2.4 齿轮与齿条传动 35
 - 2.4.1 齿轮与齿条传动的几何尺寸计算 35
 - 2.4.2 齿轮与齿条传动的限制条件 36
- 2.5 直齿锥齿轮传动 38
 - 2.5.1 直齿锥齿轮传动的几何尺寸计算 38
 - 2.5.2 直齿锥齿轮的变位 41
 - 2.5.2.1 切向变位 41
 - 2.5.2.2 高变位 43
 - 2.5.2.3 角变位 45
- 2.6 圆柱蜗杆传动 45
 - 2.6.1 圆柱蜗杆传动的类型 45
 - 2.6.2 蜗杆传动参数的选择 46
 - 2.6.2.1 模数 46
 - 2.6.2.2 导程角 47
 - 2.6.2.3 蜗杆头数 z_1 和蜗轮齿数 z_2 47
 - 2.6.3 圆柱蜗杆传动的几何尺寸计算 47
- 2.7 齿轮传动几何计算的计算机程序 49
 - 2.7.1 外啮合直齿及斜齿 (人字齿) 圆柱齿轮几何尺寸计算的计算机程序 49
 - 2.7.1.1 数学模型 49
 - 2.7.1.2 程序使用范围 49
 - 2.7.1.3 程序框图 49
 - 2.7.1.4 源程序 50
 - 2.7.1.5 符号说明 54
 - 2.7.1.6 程序运行及结果 55
 - 2.7.2 直齿锥齿轮几何计算的计算机程序 57
 - 2.7.2.1 数学模型 57
 - 2.7.2.2 程序使用范围 57
 - 2.7.2.3 程序框图 57

2.7.2.4 源程序	58	3.5.4.3 非碳氮共渗(氰化)表面的 防护	94
2.7.2.5 符号说明	61	3.6 航空仪表齿轮的热处理	94
2.7.2.6 程序运行及结果	61	3.6.1 不锈钢的热处理	95
第3章 航空齿轮常用材料及热处理		3.6.1.1 奥氏体不锈钢的热处理	95
3.1 常用航空齿轮材料	64	3.6.1.2 马氏体不锈钢的热处理	95
3.1.1 国内常用航空齿轮钢	64	3.6.2 有色金属的热处理	95
3.1.2 国内常用航空齿轮有色金属	68	3.6.2.1 铝合金的热处理	95
3.1.3 国外常用齿轮钢	70	3.6.2.2 铜合金的热处理	96
3.1.3.1 美国(AISI SAE)	70	3.7 热处理工序在工艺规程中的 位置	97
3.1.3.2 前苏联(ГОСТ)	73	3.8 齿轮热处理的检验及质量 控制	98
3.1.3.3 日本(JIS)	74	3.8.1 齿轮热处理的检验	98
3.1.3.4 英国(BS)	76	3.8.1.1 热处理零件检验类别	98
3.1.3.5 德国(DIN)	76	3.8.1.2 硬度检验	99
3.1.3.6 法国(NF)	78	3.8.2 齿轮热处理常见缺陷及预防补救 措施	102
3.1.4 国内外常用齿轮钢号对照	78	3.9 航空齿轮新材料及热处理	105
3.2 航空齿轮的热处理要求	79	3.9.1 新材料的特点及技术要求	105
3.2.1 钢的热处理方式代号表示方法	79	3.9.1.1 新材料的特点	105
3.2.2 渗碳齿轮的热处理要求	80	3.9.1.2 新材料的技术要求	105
3.2.3 氮化齿轮的热处理要求	81	3.9.2 热处理新技术	108
3.2.4 氰化齿轮的热处理要求	81	3.9.2.1 国外热处理新技术发展概况	108
3.2.5 航空仪表齿轮钢的热处理要求	81	3.9.2.2 我国齿轮热处理近况	109
3.2.6 航空仪表齿轮用有色金属的热处理 要求	82	3.9.2.3 国外热处理近况	109
3.3 常用齿轮钢的预备热处理	83	3.9.2.4 国外齿轮热处理工序在工艺规 程中位置的安排	110
3.3.1 齿轮钢材与热处理的关系	83	3.9.2.5 近代热处理控制	111
3.3.1.1 合金元素在钢中的作用	83	第4章 圆柱齿轮加工工艺及设备	
3.3.1.2 齿轮钢材的热处理特性	84	4.1 滚齿	113
3.3.2 预备热处理的目的、方法及应用	85	4.1.1 滚齿工艺	113
3.3.2.1 退火和正火的目的	85	4.1.1.1 滚齿前的准备	113
3.3.2.2 退火和正火的方法及应用	85	4.1.1.2 切削用量的选用	118
3.3.2.3 退火和正火的选择	86	4.1.1.3 切齿高度差 Δh 的确定	119
3.4 常用齿轮钢的最终热处理	86	4.1.1.4 短齿齿轮的滚切	119
3.4.1 淬火	86	4.1.1.5 精滚齿轮	120
3.4.2 回火	88	4.1.1.6 磨齿前滚齿	120
3.4.3 冷处理	88	4.1.2 滚齿机床	121
3.4.4 人工时效	89	4.1.2.1 各类滚齿机的特点与适用 范围	121
3.5 常用齿轮钢的化学热处理	89	4.1.2.2 国产中型滚齿机型号及技术 规格	121
3.5.1 渗碳	89		
3.5.2 渗氮(氮化)	90		
3.5.3 碳氮共渗(氰化)	91		
3.5.4 非化学热处理表面的防护措施	92		
3.5.4.1 非渗碳表面的防护	92		
3.5.4.2 非渗氮(氮化)表面的防护	94		

4.1.2.3 几种国外滚齿机型号及技术 规格	123	措施	171
4.1.3 滚齿缺陷产生原因及消除方法	123	4.5 梳齿	173
4.1.4 提高滚齿生产率的途径	126	4.5.1 梳齿工艺	173
4.2 插齿	129	4.5.1.1 梳齿的工作原理与特点	173
4.2.1 插齿工艺	129	4.5.1.2 梳齿机的调整(马格型梳齿 机)	175
4.2.1.1 插齿前的准备	129	4.5.1.3 梳齿的切削用量	179
4.2.1.2 剃前插齿	131	4.5.2 梳齿机床	185
4.2.1.3 插制斜齿轮	132	4.6 研齿	186
4.2.1.4 内齿轮插齿加工	133	4.7 磨齿	187
4.2.2 插齿机床	133	4.7.1 磨齿工艺	187
4.2.2.1 国内外主要插齿机型号及部分性 能数据	134	4.7.1.1 磨齿法的分类及特点	187
4.2.2.2 德国 LORENZ 公司 MCS40 和 MCS60 型插齿机	137	4.7.1.2 磨齿砂轮的选择	188
4.2.3 插齿缺陷产生的原因及消除 方法	138	4.7.1.3 磨齿的切削用量	198
4.2.4 提高插齿生产率的途径	139	4.7.1.4 磨齿机床的调整	200
4.3 剃齿	139	4.7.2 齿面修形齿的磨齿	204
4.3.1 剃齿工艺	140	4.7.2.1 齿面修形齿的分类	204
4.3.1.1 剃齿的工作原理	140	4.7.2.2 马格型磨齿机的修形机构	205
4.3.1.2 剃齿的分类	142	4.7.2.3 雷斯豪尔型磨齿机的修形 磨齿	210
4.3.1.3 剃齿工艺的加工精度与表面粗糙 度的分析	144	4.7.2.4 红环磨齿机的修形磨齿	212
4.3.1.4 内齿轮的剃齿	146	4.7.2.5 S10 型和 GG24 型磨齿机的修形 磨齿	212
4.3.1.5 双联齿轮或带凸台齿轮的 剃齿	146	4.7.3 磨齿机床	213
4.3.1.6 径向切入剃齿法	148	4.7.3.1 马格型磨齿机	213
4.3.1.7 鼓形齿齿轮的剃齿	150	4.7.3.2 雷斯豪尔磨齿机	216
4.3.1.8 小锥度齿齿轮的剃齿	151	4.7.3.3 红环磨齿机	224
4.3.1.9 剃齿机的调整	152	4.7.3.4 S10 型磨齿机	227
4.3.1.10 剃齿的切削用量	154	4.7.3.5 GG24 型成形磨齿机	228
4.3.2 剃齿机床	157	4.7.4 砂轮修整器	228
4.3.3 保证剃齿精度的措施	159	4.7.4.1 砂轮的修整	228
4.4 珩齿	161	4.7.4.2 砂轮修整方法的分类	229
4.4.1 珩齿工艺	161	4.7.4.3 砂轮修整工具	229
4.4.1.1 珩齿的工作原理	161	4.7.4.4 砂轮的修整用量	232
4.4.1.2 珩齿方法的分类	162	4.7.4.5 马格磨齿机砂轮修整器	233
4.4.1.3 珩齿的切削用量及条件	163	4.7.4.6 雷斯豪尔磨齿机的砂轮 修整器	235
4.4.1.4 珩齿的精度分析	165	4.7.4.7 红环磨齿机的砂轮修整器	244
4.4.1.5 珩磨轮的制造	166	4.7.4.8 S10 成形磨齿机砂轮修整器	258
4.4.1.6 珩磨轮的修整	170	4.7.4.9 GG24 型磨齿机砂轮修整器	262
4.4.2 珩齿机床	170	4.7.5 磨削烧伤的检查与防止	270
4.4.3 珩齿误差的原因及克服误差的 措施	171	4.7.5.1 磨削烧伤的检验程序	270
		4.7.5.2 磨削烧伤的技术标准	270
		4.7.5.3 磨削烧伤的原因与防止	271

4.7.6 磨齿余量	272	5.1.1 加工原理	300
4.7.6.1 磨齿余量的形式	272	5.1.1.1 平面产形轮原理	300
4.7.6.2 磨齿余量的选择	273	5.1.1.2 平顶产形轮原理	301
4.7.7 磨齿误差的原因及排除措施	273	5.1.2 锥齿轮切齿工艺特点	302
4.7.7.1 马格磨齿机的误差原因及排除措施	273	5.2 直齿锥齿轮加工工艺及设备	302
4.7.7.2 NZA 型磨齿机的误差原因及排除措施	276	5.2.1 直齿锥齿轮加工工艺	302
4.7.7.3 红环 SGK24 型成形磨齿机的误差原因及排除措施	277	5.2.2 直齿锥齿轮切齿机床	304
4.8 圆柱蜗杆副加工	278	5.3 弧齿锥齿轮铣齿加工工艺及设备	304
4.8.1 圆柱蜗杆加工	279	5.3.1 弧齿锥齿轮铣齿加工工艺	304
4.8.1.1 圆柱蜗杆分类及其齿形成形方法	279	5.3.1.1 铣齿方法及其适用范围	304
4.8.1.2 圆柱蜗杆轮齿的加工	282	5.3.2 弧齿锥齿轮切齿加工设备	305
4.8.2 蜗轮加工	283	5.3.2.1 常见弧齿锥齿轮铣齿机床规格范围	305
4.8.2.1 蜗轮加工的特点	283	5.3.2.2 铣齿机的基本结构和调整环节	306
4.8.2.2 蜗轮滚刀和蜗轮毛坯的安装	284	5.3.2.3 常见铣齿机的传动系统	307
4.8.2.3 蜗轮的滚齿	284	5.3.2.4 变性机构	307
4.8.2.4 飞刀加工蜗轮	285	5.3.2.5 刀倾机构	307
4.8.3 蜗杆副接触斑点分析	285	5.3.2.6 螺旋运动机构	310
4.9 轮齿的光整加工	288	5.3.2.7 铣齿机具有的特性机构一览表	313
4.9.1 振动光饰	288	5.4 弧齿锥齿轮磨齿加工工艺及设备	313
4.9.2 毡轮抛光	289	5.4.1 弧齿锥齿轮磨齿加工工艺	313
4.9.2.1 抛光的工作过程	289	5.4.2 弧齿锥齿轮磨齿加工设备	314
4.9.2.2 抛光剂	290	5.4.2.1 常见弧齿锥齿轮磨齿机床规格范围	314
4.9.3 机械刷去毛刺	290	5.4.2.2 常见磨齿机的传动系统	314
4.9.4 刀具去毛刺	290	5.4.2.3 磨齿机上的展成凸轮	315
4.9.4.1 车刀去毛刺	290	5.4.2.4 砂轮修整器	316
4.9.4.2 圆片铣刀去毛刺	290	5.5 弧齿锥齿轮切齿计算	320
4.9.4.3 蜗杆形刀具去毛刺	291	5.5.1 已知条件	320
4.9.5 蜗杆形导电磨轮去毛刺	291	5.5.1.1 轮齿参数及几何尺寸	320
4.9.6 砂轮磨削法去毛刺	292	5.5.1.2 刀盘直径及刀号的选择	324
4.9.6.1 手工操作法	292	5.5.1.3 切齿方法及机床的选择	330
4.9.6.2 齿轮倒角机去毛刺	293	5.5.2 弧齿锥齿轮切齿计算	331
4.9.7 化学法去毛刺	293	5.5.2.1 SB 计算卡	331
4.9.8 热能法去毛刺	295	5.5.2.2 SGM 计算卡	339
4.9.9 电解加工去毛刺	295	5.5.2.3 LCD 计算卡	355
4.9.10 阿布哈勒 (Abral) 抛光	296	5.5.2.4 ZGDS 计算卡	357
4.9.10.1 工作原理与设备	296	5.5.3 小轮控制参数的选取	361
4.9.10.2 零件的抛光工艺	298	5.5.4 齿面接触分析 (TCA)	362
第 5 章 锥齿轮加工工艺及设备			
5.1 锥齿轮加工原理及工艺特点	300		

5.5.4.1 已知条件	362	5.7.2 铣刀盘的结构	394
5.5.4.2 TCA 数学模型	364	5.7.2.1 小直径铣刀盘的结构	394
5.5.4.3 TCA 的输出结果	366	5.7.2.2 双面铣刀盘的结构	394
5.5.4.4 TCA 结果的判断	366	5.7.2.3 单面铣刀盘的结构	396
5.5.5 小轮齿面的根切检查 (UC)	369	5.7.2.4 新型结构铣刀盘	396
5.5.6 常用的辅助计算	369	5.7.2.5 铣刀盘的构成要素	401
5.5.6.1 机床变换	369	5.7.3 圆拉刀盘	406
5.5.6.2 螺旋角旋向变换	369	5.7.4 铣刀盘的刃磨及检验	407
5.5.6.3 刀倾刀转角的修正计算	369	5.7.4.1 铣刀盘的刃磨	407
5.5.6.4 按铣齿卡计算磨齿卡	371	5.7.4.2 铣刀盘的检验	409
5.5.7 格里森电算程序简介	372	5.7.4.3 铣刀盘的技术条件	409
5.5.7.1 常用的程序情况	372	5.8 弧齿锥齿轮轮齿加工精度及误	
5.5.7.2 程序结构	373	差分析	409
5.5.8 格里森切齿计算卡项目名词		5.8.1 弧齿锥齿轮加工精度	409
解释	373	5.8.2 切齿时常见的误差分析	409
5.5.8.1 刀具部分	373	5.8.2.1 齿圈跳动	409
5.5.8.2 机床部分	374	5.8.2.2 齿距误差	410
5.5.8.3 轮齿接触部分	376	5.8.2.3 齿面粗糙度	410
5.5.8.4 啮合理论计算部分	377	5.8.2.4 接触硬棱	410
5.5.8.5 切齿计算部分	378	5.8.3 磨齿可能产生的各种误差及消除	
5.6 弧齿锥齿轮机床调整及夹具		方法	410
安装	380	5.8.3.1 影响齿面粗糙度的因素	410
5.6.1 铣齿机调整	380	5.8.3.2 产生齿距误差的原因	411
5.6.1.1 机床调整数据	380	5.8.3.3 齿圈跳动	412
5.6.1.2 床鞍的调整	380	5.8.3.4 轮齿尺寸不稳定	412
5.6.1.3 机床安装角的调整	381	5.8.3.5 磨齿产生的金相缺陷	412
5.6.1.4 偏心角、摇台角的调整	381	第 6 章 特种齿轮刀具	
5.6.1.5 水平轮位调整	381	6.1 特种滚齿刀具	414
5.6.1.6 垂直轮位调整	381	6.1.1 摆线油泵齿轮滚刀	414
5.6.1.7 滚比挂轮调整	381	6.1.1.1 摆线油泵转子齿形的形成及其	
5.6.1.8 分齿挂轮调整	381	数学模型	414
5.6.1.9 刀倾、刀转角调整	381	6.1.1.2 摆线的等效形成关系	415
5.6.1.10 变性机构的调整	381	6.1.1.3 转子滚刀的形面设计	416
5.6.1.11 螺旋运动机构的调整	382	6.1.2 全切式小模数齿轮滚刀	420
5.6.2 磨齿机床的调整	382	6.1.2.1 全切式小模数齿轮滚刀的类型和	
5.6.2.1 展成凸轮的调整	382	尺寸	421
5.6.2.2 侧面修正器的调整	383	6.1.2.2 全切式小模数齿轮滚刀的	
5.6.2.3 端面修正器的调整	383	材料	422
5.6.2.4 分齿挂轮的调整	383	6.1.2.3 全切式小模数齿轮滚刀的技术	
5.6.3 切齿夹具及其安装	388	要求	422
5.7 弧齿锥齿轮的切齿刀具	393	6.1.3 小模数直齿端面齿轮滚刀	425
5.7.1 铣刀盘的规格和种类	393	6.1.3.1 端面齿轮滚刀工作原理	425
5.7.1.1 铣刀盘的规格	393	6.1.3.2 端面齿轮滚刀的设计	425
5.7.1.2 铣刀盘的种类	394		

6.1.4 小模数直齿锥齿轮滚刀	425	8.1.2.2 齿圈径向跳动 (ΔF_r) 的测量	500
6.1.4.1 锥齿轮滚刀加工原理	426	8.1.2.3 齿形误差 (Δf_f) 的测量	502
6.1.4.2 锥齿轮滚刀的设计计算	426	8.1.2.4 基节偏差 (Δf_{pb}) 的测量	508
6.1.5 成形定装滚刀	431	8.1.2.5 齿向误差 (ΔF_β) 的测量	510
6.1.5.1 成形定装滚刀工作原理	432	8.1.2.6 齿厚测量	512
6.1.5.2 成形定装滚刀的设计计算	432	8.2 锥齿轮检验	517
6.2 特种剃齿刀	435	8.2.1 齿坯检验	517
6.2.1 内齿轮用剃齿刀	435	8.2.1.1 齿坯精度要求	517
6.2.2 径向剃齿刀	437	8.2.1.2 齿坯尺寸和公差表示方法	518
6.2.2.1 径向剃齿刀齿面分析	438	8.2.1.3 齿坯检测方法	519
6.2.2.2 径向剃齿刀设计计算的框图	445	8.2.2 单项轮齿要素的检验	520
6.2.2.3 径向剃齿刀设计计算举例	445	8.2.2.1 齿距偏差的测量	520
6.2.2.4 径向剃齿刀的容屑槽排列	450	8.2.2.2 齿圈跳动的测量	520
6.2.2.5 径向剃齿刀的齿面磨削	451	8.2.2.3 齿厚与侧隙的测量	521
6.2.3 平衡剃齿法剃齿刀	451	8.2.3 综合检验	522
6.2.3.1 平衡剃齿法的原理和条件	451	8.2.3.1 测量方法	522
6.2.3.2 平衡剃齿啮合角的计算	452	8.2.3.2 数据处理	522
6.2.3.3 平衡剃齿法剃齿刀设计	453	8.2.4 接触区检验	522
6.3 摆线油泵齿轮插齿刀	456	8.2.4.1 齿轮副对接触区的一般要求	523
第7章 齿轮夹具		8.2.4.2 不理想的接触区	524
7.1 滚插齿夹具	461	8.2.4.3 接触区检验设备	525
7.1.1 滚插齿夹具的类型	461	8.2.4.4 接触区检验方法	526
7.1.2 滚插齿夹具中的弹性筒夹定位 元件	472	8.2.5 $V-H$ 检验法	528
7.1.3 滚插齿夹具中的胀开式薄壁 衬套	473	8.2.6 测量齿轮	529
7.2 剃齿夹具	474	8.2.6.1 测量齿轮的作用	529
7.3 磨齿夹具	476	8.2.6.2 测量齿轮的种类与传递关系	530
7.4 以工件齿形定位精磨基准孔的 夹具	479	8.2.6.3 测量齿轮的设计与制造	530
7.4.1 锁紧环式夹具	479	8.2.6.4 测量齿轮的标印与定检	531
7.4.1.1 夹具的结构	479	8.2.7 锥齿轮标印	531
7.4.1.2 夹具主要元件的设计	479	8.3 三坐标机用于齿轮检验	532
7.4.2 以滚珠或滚柱定心的夹具	481	8.3.1 三坐标测量机的工作原理	532
第8章 齿轮测量		8.3.2 用三坐标机测量齿轮	533
8.1 圆柱齿轮的测量	482	8.3.2.1 柱形齿轮的测量	534
8.1.1 齿轮综合误差的测量	482	8.3.2.2 锥齿轮的测量	538
8.1.1.1 单面啮合综合测量	482	8.4 蜗杆副检验	540
8.1.1.2 双面啮合综合测量	490	8.4.1 蜗杆的检验	540
8.1.1.3 接触区检验	494	8.4.1.1 蜗杆螺旋线误差 Δf_{AL} 的检验	540
8.1.2 单项测量	496	8.4.1.2 蜗杆轴向齿距偏差 Δf_{pz} 的 检验	541
8.1.2.1 齿距偏差 (Δf_{pt}) 及齿距累积 误差 (ΔF_p) 的测量	496	8.4.1.3 蜗杆齿形误差 Δf_{f1} 的检验	541
		8.4.1.4 蜗杆量柱测量距 M 的测量	542
		8.4.2 蜗轮的检验	551
		8.4.2.1 蜗轮切向综合误差的检验	551
		8.4.2.2 蜗轮径向综合误差的检验	551

8.4.2.3 蜗轮齿距偏差、齿距累积误差、齿形误差和齿圈径向跳动的检验	552	9.4.2 内齿圈典型零件的工艺路线	575
8.4.2.4 蜗轮齿厚偏差的测量	552	9.4.3 内齿圈典型零件的工艺分析	577
8.5 花键检验	552	9.5 带轴齿轮	577
8.5.1 渐开线直齿花键检验	552	9.5.1 带轴齿轮典型零件图样及技术要求	580
8.5.1.1 单项检验	553	9.5.2 带轴齿轮典型零件的工艺路线	580
8.5.1.2 综合检验	553	9.5.3 带轴齿轮典型零件的工艺分析	583
8.5.2 矩形花键	553	9.6 双联齿轮(整体式和焊接式)	583
8.6 齿轮常见缺陷的分析与预防	553	9.6.1 整体式双联齿轮	583
8.7 齿轮的硬度检验	559	9.6.1.1 整体式双联齿轮典型零件图样及技术要求(例一)	583
8.7.1 时代里氏硬度测试仪 HL-D	559	9.6.1.2 整体式双联齿轮典型零件的工艺路线	585
8.7.1.1 里氏硬度测试原理与方法	559	9.6.1.3 整体式双联齿轮典型零件的工艺分析	587
8.7.1.2 HL-D 里氏硬度测试仪的主要参数和功能	560	9.6.2 焊接式双联齿轮	587
8.7.1.3 测试范围	560	9.6.2.1 对接焊双联齿轮典型零件图样及技术要求(例二)	587
8.7.1.4 测试前的准备	560	9.6.2.2 对接焊双联齿轮典型零件的工艺路线	587
8.7.2 HRC-8 型洛氏硬度计	560	9.6.2.3 对接焊双联齿轮典型零件的工艺分析	594
8.7.2.1 齿面洛氏硬度测试原理与方法	561	9.6.2.4 轴向套焊式双联齿轮典型零件图样及技术要求(例三)	594
8.7.2.2 HRC-8 型洛氏硬度计的主要技术参数	561	9.6.2.5 轴向套焊式双联齿轮典型零件的工艺路线	595
8.7.2.3 HRC-8 型洛氏硬度计的结构与操作	561	9.6.2.6 轴向套焊式双联齿轮典型零件的工艺分析	596
8.8 齿轮的表面粗糙度检验	563	9.7 弧齿锥齿轮	596
第9章 航空主机齿轮典型零件加工		9.7.1 结构与工艺特点	596
9.1 航空主机齿轮工艺特点及工艺过程	565	9.7.1.1 结构功能特点	596
9.1.1 航空主机齿轮工艺特点	565	9.7.1.2 零件精度特点	596
9.1.2 航空主机齿轮加工工艺过程	566	9.7.1.3 工艺流程概述	596
9.2 行星齿轮	567	9.7.2 盘类齿轮	593
9.2.1 行星齿轮典型零件图样及技术要求	567	9.7.2.1 盘类齿轮典型零件图样及技术要求	598
9.2.2 行星齿轮典型零件的工艺路线	567	9.7.2.2 主要工艺路线及工艺分析	598
9.2.3 行星齿轮典型零件的工艺分析	570	9.7.3 轴类锥齿轮	601
9.3 主动齿轮	570	9.7.3.1 轴类锥齿轮典型零件图样及技术要求	601
9.3.1 主动齿轮典型零件图样及技术要求	570	9.7.3.2 主要工艺路线及工艺分析	601
9.3.2 主动齿轮典型零件的工艺路线	572	9.7.4 双联锥齿轮	603
9.3.3 主动齿轮典型零件的工艺分析	574		
9.4 内齿圈	575		
9.4.1 内齿圈典型零件图样及技术要求	575		

9.7.4.1 双联锥齿轮典型零件图样及技术 要求	603	10.2.1 带轴齿轮概述	631
9.7.4.2 主要工艺路线及分析	603	10.2.2 带轴齿轮典型零件图样及技术 要求	632
9.8 圆弧端齿联轴器	605	10.2.3 带轴齿轮主要工艺路线及工艺 分析	632
9.8.1 圆弧端齿联轴器的结构特点	605	10.3 带孔齿轮	635
9.8.2 圆弧端齿联轴器加工工艺和工艺 分析	606	10.3.1 带孔齿轮概述	635
9.8.2.1 加工机床和加工过程	606	10.3.2 带孔齿轮典型零件图样及技术 要求	635
9.8.2.2 夹具设计的特点	607	10.3.3 带孔齿轮主要工艺路线及工艺 分析	635
9.8.2.3 加工圆弧端齿的砂轮	607	10.4 行星齿轮	637
9.8.2.4 砂轮修形用的金刚石笔	608	10.4.1 行星齿轮概述	637
9.8.2.5 齿形设计和机床调整卡的 编制	609	10.4.2 行星齿轮典型零件图样及技术 要求	637
9.8.2.6 编制机床调整卡实例	616	10.4.3 行星齿轮主要工艺路线及工艺 分析	638
9.8.3 圆弧端齿联轴器的检验	620	10.5 内齿轮	640
9.8.3.1 工作面的着色检验	620	10.5.1 内齿轮概述	640
9.8.3.2 圆弧端齿中心对某个基准面的同 轴度检验	620	10.5.2 内齿轮典型零件(之一)图样及技 术要求	641
9.8.3.3 圆弧端齿的节径平面对某个基准 端面的平行度检验	621	10.5.3 本内齿轮主要工艺路线及工艺 分析	642
9.8.3.4 尺寸检验	621	10.5.4 内齿圈典型零件(之二)图样及 技术要求	645
9.8.3.5 端面弧齿对某个基准孔的角向 位置	621	10.5.5 炮塔内齿圈主要工艺路线及工艺 分析	646
9.8.4 检验用标准件的制造	621	10.6 双联齿轮	650
9.8.4.1 制造标准件的质量控制	621	10.6.1 双联齿轮概述	650
9.8.4.2 标准件的材料	623	10.6.2 双联齿轮典型零件图样及技术 要求	650
9.8.4.3 标准件制造的工艺路线与技术 要求	623	10.6.3 双联齿轮主要工艺路线及工艺 分析	651
9.8.4.4 标准件的数量和使用规定	623	10.7 花键联结偶件	652
9.9 粉末冶金齿轮	623	10.7.1 花键联结偶件概述	652
9.9.1 粉末冶金工艺	623	10.7.2 花键联结偶件典型零件图样及技 术要求	653
9.9.1.1 粉末的准备	623	10.7.3 花键联结偶件主要工艺路线及工 艺分析	653
9.9.1.2 成形	624	10.8 行星架齿轮	654
9.9.1.3 烧结	624	10.8.1 行星架齿轮概述	654
9.9.2 粉末冶金齿轮的后处理	624	10.8.2 三轴行星架齿轮典型零件图样及 技术要求	655
9.9.3 质量检验	625		
9.9.4 典型零件示例	625		
9.10 花键联结偶件	626		
9.10.1 花键轴的加工	626		
9.10.2 内花键加工	626		
第10章 航空辅机齿轮典型零件加工			
10.1 航空辅机齿轮工艺特点	631		
10.2 带轴齿轮	631		