



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 计算机辅助制造工程 ·

航空工业出版社

航空制造工程手册

计算机辅助制造工程

《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

本手册编撰了有关实施计算机辅助制造工程(CAME)的理论和经验,反映了国内外计算机辅助制造工程的现状及发展趋势,介绍了 CAME 中的关键技术。本书内容涉及了与 CAME 有关的基础通用技术、单元技术、计算机辅助管理、工厂实践经验以及未来发展等方面,共分 14 章,第 1 章介绍了 CAME 的概况,其余 13 章各自论述了一个专题。

本书编撰按照求实、求是、求精、求新的原则,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、实用性强等特点。

本书不仅是航空制造工程技术人员和生产管理人员必备的工具书,也适于航天和其他机械行业工程技术人员和管理人员借鉴使用,高等院校师生可从中全面了解国内外 CAME 方面的信息和知识。此外,本书对各级领导制定发展战略亦有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

航空制造工程手册:计算机辅助制造工程/《航空制造工程手册》总编委会主编;戴世然分主编. —北京:航空工业出版社,1995. 1

ISBN 7-80046-876-3

I. 计… II. 戴… III. 航空工程—计算机辅助制造
IV. TP391. 73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 12220 号

责任编辑 韩 伟 李 燕

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)

国防科工委印刷厂印刷 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:47.5 字数:1200 千字

印数:1—2000

定价:90.00 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

目 录

第 1 章 计算机辅助制造工程概述

- 1.1 计算机辅助制造工程的概念 1
- 1.2 计算机辅助制造工程的技术内容 ... 1
- 1.3 计算机辅助制造工程的应用目标 ... 3
- 1.4 计算机辅助制造工程的学习和应用
..... 4
- 1.5 手册的内容和特点 5

第 2 章 计算机辅助制造工程的计算机环境

- 2.1 概述 7
 - 2.1.1 系统开放性 7
 - 2.1.2 软件工程 8
 - 2.1.3 计算机网络 8
 - 2.1.4 计算机的发展方向 8
- 2.2 硬件 9
 - 2.2.1 计算机类型 9
 - 2.2.1.1 大、中型计算机 9
 - 2.2.1.2 小型机、工作站及 RISC 技术 9
 - 2.2.1.3 微型计算机 9
 - 2.2.1.4 工业计算机 9
 - 2.2.2 外部设备 16
 - 2.2.2.1 输入设备 16
 - 2.2.2.2 输出设备 16
 - 2.2.3 外部存贮设备 17
 - 2.2.3.1 磁存贮器 17
 - 2.2.3.2 半导体集成电路存贮器 18
 - 2.2.3.3 光存贮器 19
 - 2.2.3.4 网络与通信设备 19
- 2.3 系统软件 20
 - 2.3.1 操作系统 20
 - 2.3.1.1 UNIX 操作系统 20
 - 2.3.1.2 DOS 操作系统 21
 - 2.3.2 支持软件 21
 - 2.3.2.1 编辑程序 21
 - 2.3.2.2 编译程序和解释程序 21
 - 2.3.2.3 基础图形软件系统与标准 22

- 2.3.2.4 数据库管理系统及其产品 25
- 2.3.2.5 窗口系统 28
- 2.3.2.6 计算机网络与通信 30
- 2.3.3 语言 41
 - 2.3.3.1 程序设计语言 41
 - 2.3.3.2 数据库语言 43
 - 2.3.3.3 仿真语言 43
 - 2.3.3.4 人工智能语言 44
- 2.4 软件工程 44
 - 2.4.1 软件工程规范与标准 44
 - 2.4.2 软件开发方法 46
 - 2.4.2.1 经典开发方法 46
 - 2.4.2.2 速成原型方法 46
 - 2.4.2.3 其他方法 48
 - 2.4.3 软件需求分析方法 48
 - 2.4.3.1 结构化分析方法 48
 - 2.4.3.2 结构化分析和设计技术(SADT) ... 48
 - 2.4.3.3 有限状态机方法 49
 - 2.4.3.4 Petri 网方法 49
 - 2.4.4 软件设计方法 50
 - 2.4.4.1 IDEF 方法 50
 - 2.4.4.2 结构化设计方法 50
 - 2.4.4.3 面向数据流的设计方法——
Yourdon 法 50
 - 2.4.4.4 面向数据结构的设计方法——
Jackson 设计方法 51
 - 2.4.4.5 面向对象的设计方法 51
 - 2.4.5 软件工具与软件工程环境 52
 - 2.4.5.1 软件工具 52
 - 2.4.5.2 软件工程环境 54
 - 2.4.6 软件开发的组织与管理 55
 - 2.4.6.1 开发人员 55
 - 2.4.6.2 组织机构 55
 - 2.4.6.3 控制 56
 - 2.4.6.4 文档 56
 - 2.4.6.5 与用户的关系 56

2.4.7	软件质量保证组织、方法与措施	56	3.3	信息建模与 EXPRESS	78
2.4.8	软件维护	57	3.3.1	基本概念	78
第3章 产品信息模型及其数据交换			3.3.1.1	信息	78
3.1	产品定义数据在工业条件下的交换	58	3.3.1.2	信息模型	79
3.1.1	问题提出	58	3.3.2	模型的组织及其表示方法	79
3.1.2	基本概念	59	3.3.2.1	组织方法	79
3.1.3	产品定义数据的构成	59	3.3.2.2	表示方法	80
3.1.4	产品定义数据的交换	60	3.3.2.3	图形和语言表示的比较	82
3.1.4.1	必要性	60	3.3.3	建模过程	82
3.1.4.2	交换方法	60	3.3.3.1	基本对象	83
3.1.5	接口方案	60	3.3.3.2	关系和属性	83
3.1.6	产品数据交换标准的产生与发展	61	3.3.3.3	完善约束	84
3.2	飞行器对产品定义数据的需求	63	3.3.3.4	模型集成方法	84
3.2.1	PDD 需求	63	3.3.4	建模原则	85
3.2.2	零件控制信息	63	3.3.5	EXPRESS 的特点	86
3.2.2.1	零件及其更改的标识信息	63	3.3.5.1	关系和基数	86
3.2.2.2	发布状态	64	3.3.5.2	约束函数	87
3.2.2.3	材料清单—BOM	64	3.3.5.3	超类和子类	87
3.2.2.4	坐标系	65	3.3.5.4	模式的连接	87
3.2.2.5	引用数据表	65	3.3.5.5	模型的子集及专用化	88
3.2.3	零件几何	65	3.3.6	举例	88
3.2.4	零件特征	66	3.3.6.1	定义对象	88
3.2.4.1	体特征	68	3.3.6.2	定义关系和属性	89
3.2.4.2	面特征	71	3.3.6.3	定义约束	89
3.2.4.3	车削零件特征	76	3.3.6.4	模型的集成	90
3.2.5	尺寸与公差	76	3.4	图形数据交换规范 IGES	91
3.2.5.1	两种尺寸标注与公差体系	76	3.4.1	文件结构	92
3.2.5.2	用相对尺寸及其公差体系标注曲面	76	3.4.1.1	ASCII 格式	92
3.2.5.3	尺寸公差与特征的关联	76	3.4.1.2	ASCII 的替代格式	96
3.2.5.4	双向等值尺寸公差	76	3.4.2	IGES 模型	96
3.2.5.5	尺寸公差与结构几何关联	76	3.4.2.1	实体	96
3.2.5.6	形位公差与特征关联	77	3.4.2.2	定义模型	98
3.2.6	材料信息	77	3.4.3	前/后置处理器的设计	101
3.2.7	表面处理/处理规范	77	3.4.3.1	设计步骤	101
3.2.7.1	表面处理	77	3.4.3.2	处理器的结构	101
3.2.7.2	处理规范	77	3.4.4	前/后置处理器的测试	102
3.2.8	说明	77	3.4.4.1	测试判据	102
3.2.9	PDD 需求——向制造延伸	78	3.4.4.2	测试方法	104
3.2.9.1	与工装部门的接口	78	3.4.4.3	测试数据	106
3.2.9.2	与质量保证部门的接口	78	3.4.4.4	测试分析工具	106
3.2.9.3	与加工部门的接口	78	3.4.5	前/后置处理器的验收	109
3.2.10	PDD 需求——向装配延伸	78	3.4.6	中性文件适配系统(NFAS)	111
			3.4.6.1	用途	111
			3.4.6.2	功能	112

3.4.6.3	工作原理及应用实例	112	4.2.2.1	相交	148
3.4.7	IGES的问题与前景	112	4.2.2.2	倒角	150
3.5	产品数据的表示与交换标准	113	4.2.2.3	倒圆	150
3.5.1	概述	113	4.2.2.4	等宽线	151
3.5.1.1	发展沿革	113	4.2.2.5	不等宽线	151
3.5.1.2	STEP的目标	114	4.2.2.6	曲线修整	151
3.5.1.3	STEP的方法学	115	4.2.2.7	曲线延伸	152
3.5.1.4	STEP的结构	116	4.2.3	非几何信息	153
3.5.2	描述方法	117	4.2.3.1	线型	153
3.5.2.1	形式化描述的必要性	117	4.2.3.2	尺寸与公差	153
3.5.2.2	EXPRESS语言	117	4.2.3.3	符号、西文和汉字	155
3.5.2.3	信息结构的图形表示	117	4.2.4	各类图形	157
3.5.3	集成资源	118	4.2.4.1	投影	157
3.5.3.1	通用资源	118	4.2.4.2	视图	159
3.5.3.2	应用资源	121	4.2.4.3	剖视图	160
3.5.4	应用协议	121	4.2.4.4	详图(装配图)	161
3.5.4.1	目的	121	4.2.5	参数绘图	161
3.5.4.2	内容	121	4.2.5.1	参数绘图的用途	161
3.5.4.3	应用协议中各模型的关系	121	4.2.5.2	参数化绘图的方法	163
3.5.5	实施方法	121	4.2.6	曲线光滑	164
3.5.5.1	STEP数据系统的四个层次	121	4.3	曲面造型	165
3.5.5.2	实施方法的选用	123	4.3.1	基本算法	165
3.5.5.3	STEP数据系统的实现技术	123	4.3.1.1	平面	165
3.5.5.4	STEP数据系统的实现	126	4.3.1.2	二次曲面	166
3.5.6	一致性测试方法与工具	126	4.3.1.3	扫描曲面	167
3.5.6.1	一致性含义	126	4.3.1.4	直纹曲面	168
3.5.6.2	一致性测试	128	4.3.1.5	Bezier曲面	169
3.5.6.3	一致性评估过程	129	4.3.1.6	B样条曲面	171
3.5.7	STEP的应用	130	4.3.1.7	NURBS曲面	171
3.5.7.1	实施STEP的策略	130	4.3.1.8	曲面特征	172
3.5.7.2	应用举例	130	4.3.1.9	曲面信息格式	172
3.5.8	STEP与IGES的差异	132	4.3.2	曲面造型及相关计算	174
第4章	几何造型		4.3.2.1	等距曲面	174
4.1	概述	133	4.3.2.2	曲面与直线求交	174
4.2	线架造型	134	4.3.2.3	曲面与平面求交	175
4.2.1	基本图形	134	4.3.2.4	曲面与曲面求交	176
4.2.1.1	直线	134	4.3.2.5	两等距曲面求交	177
4.2.1.2	圆、圆弧	135	4.3.2.6	曲面图形显示	177
4.2.1.3	二次曲线	136	4.3.2.7	曲面消隐	178
4.2.1.4	样条曲线(参数样条曲线)	137	4.3.2.8	曲面拼接	179
4.2.1.5	Bezier曲线	139	4.3.2.9	曲面过渡	180
4.2.1.6	B样条曲线	141	4.3.2.10	曲面修整	180
4.2.1.7	有理曲线	146	4.3.2.11	曲面延拓	181
4.2.2	相关计算	148	4.3.2.12	曲面光滑	182

4.4	实体造型	183	5.2.1.2	零件的编码、特征码及代码	205
4.4.1	实体造型的定义和应用	183	5.2.1.3	零件代码的作用	205
4.4.2	基本算法	184	5.2.1.4	分类编码系统的基本要求	205
4.4.2.1	集合运算	184	5.2.1.5	零件分类编码系统的研制方法	205
4.4.2.2	欧拉运算	185	5.2.1.6	零件分类编码系统的评价标准	205
4.4.3	规范化造型准则	187	5.2.2	零件分类编码系统的结构	206
4.4.4	模型构造	188	5.2.2.1	总体结构	206
4.4.4.1	实体几何构造表示法(CSG法)	188	5.2.2.2	码位间结构	206
4.4.4.2	边界表示法(B-Rep)	188	5.2.2.3	系统的信息容量	207
4.4.4.3	单元分解和空间分割表示法	190	5.2.2.4	码位内信息排列方法	207
4.4.4.4	扫描表示法	191	5.2.2.5	增加信息容量的方法	207
4.4.4.5	引例和参数表示法	192	5.2.3	国内外零件分类编码系统概况	208
4.4.4.6	实体模型的建立	193	5.2.3.1	零件分类编码系统的一般情况	208
4.4.5	模型性质	195	5.2.3.2	零件分类编码系统的发展趋势	208
4.5	特征造型	197	5.2.3.3	国内外典型分类编码系统一览表	209
4.5.1	特征造型原理	197	5.2.3.4	OPITZ系统	213
4.5.1.1	特征模型	197	5.2.3.5	KK-3系统	214
4.5.1.2	特征描述树	197	5.2.3.6	BUCCS系统	214
4.5.1.3	特征模型生成	198	5.2.3.7	HFU系统	215
4.5.2	特征分类	198	5.2.3.8	CFJBM系统	216
4.5.2.1	分类	198	5.2.4	零件的编码方法	217
4.5.2.2	形素	199	5.2.4.1	人工编码	217
4.5.2.3	局部特征	199	5.2.4.2	计算机辅助编码	218
4.5.3	特征描述结构	199	5.2.4.3	零件代码的自动生成	218
4.5.3.1	特征库	199	5.3	零件的分组	218
4.5.3.2	面邻接超图(FAH)	199	5.3.1	代码分组法	218
4.5.3.3	局部特征的g#表示	200	5.3.1.1	特征位法	218
4.5.3.4	制造特征属性邻接图(MFAAG)	200	5.3.1.2	码域法	219
4.5.4	特征造型操作	200	5.3.1.3	特征位码域法	219
4.5.4.1	合成与分解操作	200	5.3.1.4	计算机辅助按代码分组	219
4.5.4.2	形素上的操作	200	5.3.2	生产流程分析法	221
4.6	几何造型发展趋势	202	5.3.2.1	关键机床法	221
第5章 成组技术与计算机辅助工艺 过程编制			5.3.2.2	单链聚类分析法	222
5.1	成组技术的基本原理	204	5.3.2.3	排序聚类分析法	223
5.1.1	成组技术的定义	204	5.3.2.4	键合法	226
5.1.1.1	广义定义	204	5.3.2.5	直接聚类分析法	226
5.1.1.2	机械制造成组技术的定义	204	5.3.3	零件分组方法的新发展	228
5.1.1.3	成组技术的实质	204	5.3.3.1	势函数法	228
5.1.2	零件的相似性	204	5.3.3.2	模糊聚类分析和模糊模式识别法	229
5.2	零件分类编码	205	5.4	成组技术的应用与效果	230
5.2.1	基本概念	205	5.4.1	成组技术的应用	230
5.2.1.1	分类编码系统的定义	205	5.4.1.1	产品设计方面	230

5.4.1.2	制造工艺方面	233	5.8.1.2	工序卡	263
5.4.1.3	生产组织与管理方面	238	5.8.2	工序图的生成与输出	263
5.4.2	成组技术的应用效果	242	5.8.2.1	工序图的生成	263
5.4.2.1	国外应用效果	242	5.8.2.2	工序图的绘制	264
5.4.2.2	国内应用效果	242	5.8.3	数控加工工序卡	264
5.5	计算机辅助工艺过程编制概述 ..	243	5.9	CAPP 数据库	265
5.5.1	发展计算机辅助工艺过程编制的 意义	243	5.9.1	数据库管理与数据结构	265
5.5.2	CAPP 系统的种类	243	5.9.2	加工余量库	265
5.5.3	CAPP 的效果	244	5.9.3	设备库	265
5.6	CAPP 系统零件信息的输入	244	5.9.4	刀具库	266
5.6.1	零件分类编码描述法	244	5.9.5	夹具库	266
5.6.2	图形要素描述法	244	5.9.6	模具库	267
5.6.3	面向零件特征描述法	244	5.9.7	装配工具库	267
5.6.4	从 CAD 系统直接输入	245	5.9.8	量具库	268
5.6.5	零件信息描述与输入方法实例 ..	245	5.9.9	切削用量库	268
5.7	CAPP 系统的工艺决策	246	5.9.10	工时定额库	269
5.7.1	派生式 CAPP 工艺决策	246	5.10	典型 CAPP 系统	269
5.7.1.1	派生式 CAPP 系统的建立过程 ..	246	5.10.1	回转体零件典型 CAPP 系统	269
5.7.1.2	派生式 CAPP 系统的结构与流程	246	5.10.1.1	2NHCAPP-RT 系统结构	269
5.7.1.3	CAPP(CAM-I)系统	246	5.10.1.2	零件信息的描述与输入	269
5.7.1.4	派生式 CAPP 的特点	250	5.10.1.3	系统的工艺决策	270
5.7.1.5	国内外典型派生式 CAPP 系统 ..	250	5.10.1.4	工艺文件的输出	272
5.7.2	创成式 CAPP 工艺决策	252	5.10.1.5	系统数据库	272
5.7.2.1	创成式 CAPP 工艺决策逻辑形式	252	5.10.2	飞机机加结构件 CAPP 系统 ..	273
5.7.2.2	创成式 CAPP 的特点	253	5.10.2.1	运行环境	273
5.7.2.3	国内外典型创成式 CAPP 系统 ..	253	5.10.2.2	系统结构	273
5.7.3	工艺决策专家系统	255	5.10.2.3	零件信息的输入与描述	273
5.7.3.1	专家系统的基本概念	255	5.10.2.4	系统的工艺决策	273
5.7.3.2	知识的获取	255	5.10.2.5	工艺文件的输出	273
5.7.3.3	知识的表达	256	5.10.2.6	系统的数据库	274
5.7.3.4	知识的存贮	257	5.10.3	钣金冲压件 CAPP 系统(PFCAPP)	275
5.7.3.5	知识的搜索	257	5.10.3.1	运行环境	275
5.7.3.6	基于知识的推理	259	5.10.3.2	系统结构	275
5.7.3.7	人工智能语言	260	5.10.3.3	零件信息的描述与输入	275
5.7.3.8	工艺决策专家系统方法实例	260	5.10.3.4	系统的工艺决策	276
5.7.3.9	国内外典型 CAPP 专家系统	262	5.10.3.5	工艺文件的输出	277
5.7.3.10	CAPP 工艺决策专家系统的特点	263	5.10.3.6	系统的数据库	277
5.8	CAPP 系统的工艺文件输出	263	5.10.4	飞机装配 CAPP 系统	277
5.8.1	文字输出	263	5.10.4.1	开发环境	278
5.8.1.1	工艺路线卡	263	5.10.4.2	系统结构	278
			5.10.4.3	系统的输入	278
			5.10.4.4	系统的工艺决策	279
			5.10.4.5	工艺文件的输出	279

5.10.4.6	系统的数据库	279	6.3.3.1	数控系统的控制功能	304
5.10.5	麦道飞机生产中计算机辅助“AO” 和“FO”管理	279	6.3.3.2	控制系统的维护	305
5.10.5.1	“AO”简介	279	6.3.3.3	数控系统的选择	305
5.10.5.2	“FO”简介	281	6.3.4	常用航空数控设备的特点和分类	306
5.10.5.3	“AO”和“FO”在飞机生产中的 应用	282	6.3.4.1	数控金属切削机床的组成及分类	306
5.10.5.4	计算机辅助“AO”和“FO”管理	282	6.3.4.2	数控钣金设备	307
第6章 数控技术			6.3.4.3	数控装配设备	308
6.1	概述	284	6.3.4.4	数控测量设备	308
6.1.1	数控技术发展过程	284	6.3.4.5	数控特种加工设备	308
6.1.1.1	数控加工基本原理	284	6.4	数控编程技术	310
6.1.1.2	数控加工发展过程	284	6.4.1	基本概念	310
6.1.2	数控编程软件	285	6.4.1.1	数控编程方式	310
6.1.3	各类数控加工系统	285	6.4.1.2	数控编程中的基本概念与术语	313
6.1.3.1	计算机数控(CNC)机床	285	6.4.1.3	数控编程语言	319
6.1.3.2	直接数控(DNC)系统	286	6.4.2	数控自动编程	322
6.1.3.3	柔性制造系统	286	6.4.2.1	数控自动编程系统的分类	322
6.2	数控绘图	287	6.4.2.2	平面型零件的数控编程	323
6.2.1	绘图机类型与性能	287	6.4.2.3	组合曲面零件的数控编程	335
6.2.2	绘图机结构与功能	288	6.4.2.4	数控自动编程系统一览表	348
6.2.3	绘图机指令	290	6.4.3	数控自动编程系统的结构	350
6.2.3.1	绘图机指令表	290	6.4.3.1	数控自动编程系统的基本要求	350
6.2.3.2	绘图机指令代码及依附介质	291	6.4.3.2	数控自动编程系统的结构	353
6.2.4	绘图编程	291	6.4.3.3	数控自动编程系统的基本技术与 算法	355
6.2.4.1	用绘图机绘图指令编程	291	6.4.4	后置处理程序的开发	364
6.2.4.2	用绘图语言编程	291	6.4.4.1	刀位文件的标准结构	364
6.2.5	交互式绘图	293	6.4.4.2	机床有关指令	366
6.2.6	交互式图形系统与绘图机软件接口 的工业标准	294	6.4.4.3	后置处理程序的结构	368
6.2.7	数控绘图在我国航空工业中的应用	295	6.4.4.4	模块式通用后置处理	369
6.3	数控系统与数控设备	296	第7章 工业机器人		
6.3.1	数控系统的组成	296	7.1	概述	372
6.3.1.1	控制系统	296	7.1.1	工业机器人的发展史	372
6.3.1.2	检测系统	297	7.1.2	工业机器人的定义、组成和分类	372
6.3.1.3	伺服驱动系统	298	7.1.3	主要术语定义	373
6.3.1.4	机械传动系统	299	7.2	工业机器人的基本结构形式	377
6.3.1.5	辅助系统	299	7.2.1	基本结构类型	377
6.3.2	数控系统的类型	300	7.2.2	工业机器人的传动机构	379
6.3.2.1	数控系统分类	300	7.3	工业机器人的基本原理	380
6.3.2.2	常用数控系统一览表	302	7.3.1	坐标系及变换关系	380
6.3.2.3	可编程序控制器	303	7.3.2	工业机器人的齐次微分变换关系	
6.3.3	数控系统的控制功能、维修及选择				

.....	383	系统	440
7.3.3 工业机器人的动力学方程	386	8.2.7 FMS 的单元控制器及工作站	
7.4 工业机器人的控制系统和传感器		控制器	440
.....	389	8.2.7.1 单元控制器	440
7.4.1 工业机器人的控制系统	389	8.2.7.2 工作站控制器	441
7.4.2 工业机器人的驱动系统	390	8.3 FMS 设计技术及用户规划	442
7.4.3 工业机器人的传感器	391	8.3.1 加工对象及生产规模的需求分析	
7.5 工业机器人的编程语言	391	442
7.5.1 工业机器人编程语言分类	391	8.3.2 FMS 的总体设计	442
7.5.2 微机指令级编程语言	392	8.3.3 FMS 的仿真优化	445
7.5.3 初始动作级编程语言	394	8.3.4 FMS 的技术经济效益核算	445
7.5.4 结构化编程语言	400	8.3.4.1 示例的系统目标	445
7.5.5 面向作业级编程语言	403	8.3.4.2 直接劳动工时费	449
7.6 工业机器人的应用及发展趋势 ..	404	8.3.4.3 调整工时费	449
7.6.1 工业机器人的应用综述	404	8.3.4.4 间接劳动费用	450
7.6.2 国外工业机器人主要制造厂商和		8.3.4.5 生产准备费	451
产品	405	8.3.4.6 场地费用	452
7.6.3 工业机器人在航空工业中的应用		8.3.4.7 生产维持费	452
.....	413	8.3.4.8 库存费	452
7.6.4 工业机器人应用的安全措施	413	8.3.4.9 工装夹具费用	452
7.6.5 工业机器人的性能测试及验收规范		8.3.4.10 废品损失减少	452
.....	414	8.3.4.11 FMS 的总投资	453
7.6.6 工业机器人的发展趋势	416	8.3.4.12 FMS 的总经济效益	453
第 8 章 柔性制造系统		8.3.4.13 投资回收率 ROR	453
8.1 概述	417	8.3.4.14 综合评价结论	454
8.1.1 FMS 的定义	417	8.4 FMS 实施步骤	454
8.1.2 FMS 的发展及现状	417	8.4.1 实施队伍的组织	454
8.1.2.1 FMS 的产生和发展	417	8.4.2 设计评审	455
8.1.2.2 FMS 产业	418	8.4.3 控制设备采购及软硬件开发项目的	
8.1.2.3 世界主要 FMS 供应厂家	421	质量规范	455
8.1.3 FMS 的系统结构	423	8.4.4 厂房设计及施工	455
8.1.4 FMS 的组成	424	8.4.5 各分系统的安装调试及系统的验收	
8.2 FMS 的构成单元	425	试验	455
8.2.1 FMS 的工件运送及管理系统 ..	425	8.5 FMS 在世界航空工业中的应用 ..	455
8.2.1.1 物料仓库	428	8.5.1 FMS 在飞机工业中的应用	455
8.2.1.2 夹具系统	431	8.5.2 FMS 在航空发动机工业中的应用	
8.2.1.3 装卸工作站	431	460
8.2.1.4 缓冲工作站	431	8.5.3 FMS 在机载设备制造中的应用 ..	462
8.2.1.5 物料运输小车	431	8.6 FMS 在国内机械制造工业中的	
8.2.2 FMS 的工具交换及管理系统 ..	434	应用	462
8.2.3 FMS 的加工单元	435	8.7 FMS 应用的技术经济效益	465
8.2.4 FMS 的清洗工作站	438	8.8 FMS 的发展趋势	465
8.2.5 FMS 的测量站	439	8.8.1 系统配置小型化	465
8.2.6 FMS 的切屑清除及冷却液处理		8.8.2 系统结构模块化	466

8.8.3	控制管理软件结构典型化	468	9.4.1.3	质量综合管理与质量审核信息组成	483
第9章	计算机辅助质量管理		9.4.2	计算机辅助质量指标统计与分析	483
9.1	概述	470	9.4.2.1	质量指标统计与分析功能模块	483
9.1.1	计算机辅助质量管理的发展趋势	470	9.4.2.2	质量指标统计与分析主要功能	484
9.1.2	有关质量管理的几个基本概念	470	9.4.2.3	质量指标统计与分析信息组成	484
9.1.3	航空产品质量管理的特点	471	9.4.3	计算机辅助标准化信息管理	484
9.1.4	产品质量管理组织系统的基本职能	472	9.4.3.1	标准化信息管理功能模块	484
9.1.5	产品质量管理信息流程	473	9.4.3.2	标准化信息管理模块的主要功能	485
9.2	计算机辅助质量管理软件系统结构	473	9.4.3.3	标准化信息管理信息组成	485
9.2.1	航空产品计算机辅助管理系统功能结构	473	9.4.4	计算机辅助质量档案管理	485
9.2.1.1	计算机辅助质量计划编制	473	9.4.4.1	质量档案管理功能模块	485
9.2.1.2	计算机辅助质量信息管理	473	9.4.4.2	质量档案管理主要功能	485
9.2.1.3	计算机辅助在线质量控制	473	9.4.4.3	质量档案管理的信息组成	485
9.2.2	航空产品计算机辅助质量管理系统组织结构的特点	475	9.5	计算机辅助工程设计质量管理	486
9.2.2.1	层次性	475	9.5.1	设计质量管理	486
9.2.2.2	分布性	476	9.5.2	软件质量控制	486
9.2.2.3	可追溯性	476	9.5.2.1	软件质量	486
9.2.2.4	正确性	476	9.5.2.2	软件质量管理	488
9.2.2.5	依附性	476	9.5.3	计算机软硬件的质量控制	489
9.2.3	航空产品计算机辅助质量管理系统程序结构	476	9.6	计算机辅助计量器具质量管理	489
9.3	计算机辅助质量计划编制	477	9.6.1	计量器具管理功能模块	489
9.3.1	计算机辅助产品质量计划编制	477	9.6.2	计量器具管理模块主要功能	489
9.3.1.1	产品质量计划功能模块	477	9.6.3	计量器具管理的信息组成	490
9.3.1.2	产品质量计划主要功能	477	9.7	计算机辅助产品质量信息管理	490
9.3.1.3	产品质量计划信息组成	478	9.7.1	计算机辅助无损检测管理	490
9.3.2	计算机辅助产品检测计划编制	478	9.7.1.1	计算机辅助无损检测管理功能模块	490
9.3.2.1	计算机辅助外购器材检测计划	478	9.7.1.2	无损检测管理主要功能	491
9.3.2.2	计算机辅助加工过程检测计划编制	479	9.7.1.3	无损检测管理信息组成	491
9.3.3	装配检测计划编制	481	9.7.2	计算机辅助工具、工装和设备质量管理	491
9.3.4	试机过程检测计划编制	482	9.7.2.1	工具、工装和设备质量管理功能模块	491
9.4	计算机辅助质量综合信息管理	482	9.7.2.2	工具、工装和设备质量管理主要功能	491
9.4.1	计算机辅助质量综合管理与质量审核	482	9.7.2.3	工具、工装和设备质量管理信息组成	492
9.4.1.1	计算机辅助质量综合管理与质量审核功能模块	482	9.7.3	计算机辅助检验人员资格印章管理	492
9.4.1.2	质量综合管理与质量审核模块的主要功能	482	9.7.3.1	人员资格印章管理功能模块	492
			9.7.3.2	人员资格印章管理主要功能	492

9.7.3.3	人员资格印章管理信息组成	492	10.1.2.2	MIS 的功能	511
9.7.4	计算机辅助器材质量管理	493	10.1.2.3	MIS 的结构	511
9.7.4.1	器材质量管理功能模块	493	10.1.2.4	MIS 的分类	512
9.7.4.2	器材质量管理主要功能	493	10.1.2.5	MIS 的特点	512
9.7.4.3	器材质量管理信息组成	494	10.1.3	生产管理信息系统	512
9.7.5	计算机辅助生产过程质量管理	494	10.1.3.1	生产过程管理	512
9.7.5.1	零件生产过程质量管理	494	10.1.3.2	生产技术准备过程管理	513
9.7.5.2	装配过程质量管理	496	10.1.3.3	基本生产过程管理	513
9.7.5.3	试飞过程质量管理	497	10.1.3.4	辅助生产过程管理	514
9.8	计算机辅助产品使用过程质量 信息管理	498	10.1.3.5	生产服务过程管理	515
9.8.1	产品使用过程质量信息管理功能 模块	498	10.1.3.6	生产作业计划管理	515
9.8.2	产品使用过程质量信息管理主要 功能	498	10.1.4	财务管理信息系统	516
9.8.3	产品使用过程质量管理信息组成	499	10.1.4.1	概述	516
9.9	计算机辅助在线质量控制	499	10.1.4.2	功能和范围	516
9.9.1	在线质量控制的特点和功能设计 方法	499	10.1.5	人力资源管理信息系统	518
9.9.2	在线质量控制的功能模块	500	10.1.5.1	概念	518
9.9.3	在线质量控制系统信息组成	501	10.1.5.2	功能和范围	518
9.10	航空产品计算机辅助质量管理 信息流与运行模式	501	10.1.6	经营计划与决策支持系统	519
9.10.1	计算机辅助质量管理体系信息 运行程序和信流组成	501	10.1.6.1	经营计划系统	519
9.10.2	CAQ 与 MIS、CAD/CAM、FMS 的接口	503	10.1.6.2	经营决策支持系统	519
9.11	航空产品计算机辅助质量管理 系统计算机配置	505	10.2	制造资源计划系统	522
9.12	麦道飞机公司质量保证系统	506	10.2.1	MRP- I 发展过程和逻辑结构	522
9.12.1	质量保证系统建立的原则	506	10.2.1.1	概念	522
9.12.2	质量保证系统的组织机构和功能	507	10.2.1.2	发展过程	522
9.12.3	质量保证系统文件	507	10.2.1.3	逻辑结构	523
9.12.4	自动化系统	507	10.2.2	主生产计划(MPS)	524
9.12.5	质量控制与管理系统	509	10.2.2.1	企业计划系统	524
第 10 章	管理信息系统		10.2.2.2	MPS 功能和算法	525
10.1	概述	510	10.2.3	物料清单	525
10.1.1	制造过程的物流和信息流	510	10.2.3.1	概念	525
10.1.1.1	物流	510	10.2.3.2	BOM 的建立与维护	527
10.1.1.2	信息流	510	10.2.4	物料需求计划(MRP)	528
10.1.2	管理信息系统	511	10.2.4.1	概念	528
10.1.2.1	MIS 的意义	511	10.2.4.2	功能与算法	528
			10.2.5	能力需求计划	530
			10.2.5.1	概念	530
			10.2.5.2	功能	530
			10.2.6	库存管理	531
			10.2.6.1	仓库种类和特点	531
			10.2.6.2	库存量的定义	531
			10.2.6.3	库存管理方法	532
			10.2.7	车间作业管理	533
			10.2.7.1	概念	533
			10.2.7.2	功能	534

10.2.8	产品成本管理	534	11.1	概述	556
10.2.8.1	概念	534	11.1.1	CAD/CAM 软件系统的概念	556
10.2.8.2	功能	534	11.1.2	CAD/CAM 软件系统的运行环境	556
10.2.9	MRP-Ⅱ软件的引进和二次开发	534	11.1.3	CAD/CAM 软件系统的二次开发	556
10.2.9.1	引进	534	11.1.4	CAD/CAM 软件系统的配置原则	556
10.2.9.2	二次开发	535	11.1.5	若干新技术	557
10.3	管理信息系统的开发方法	536	11.2	国外主要 CAD/CAM 软件系统	558
10.3.1	按系统工程要求指导 MIS 开发	536	11.2.1	CATIA	558
10.3.2	MIS 开发常用的几种方法	536	11.2.1.1	软件概况	558
10.3.2.1	生命周期法	536	11.2.1.2	产品功能模块	558
10.3.2.2	SADT 方法和 IDEF 方法	537	11.2.1.3	二次开发接口	560
10.3.2.3	原型法	538	11.2.1.4	系统运行环境	560
10.3.2.4	选择不同方法的原则	538	11.2.2	UG I	561
10.4	管理信息系统的开发规范	538	11.2.2.1	软件概况	561
10.4.1	可行性研究与总体规划阶段	539	11.2.2.2	产品功能模块	561
10.4.2	需求分析与概要设计阶段	540	11.2.2.3	二次开发接口	564
10.4.3	详细设计阶段	542	11.2.2.4	系统运行环境	565
10.4.4	实现与测试阶段	544	11.2.3	I-DEAS Master Series	566
10.4.5	系统运行、维护与评价阶段	544	11.2.3.1	软件概况	566
10.4.6	信息分类编码标准体系表	545	11.2.3.2	产品功能模块	566
10.4.7	信息分类的基本原则和方法	545	11.2.3.3	二次开发接口	572
10.4.7.1	分类的基本原则	545	11.2.3.4	系统运行环境	573
10.4.7.2	分类的基本方法	545	11.2.4	EUCLID	573
10.4.7.3	方法选择	545	11.2.4.1	软件概况	573
10.4.8	编码的基本原则和方法	546	11.2.4.2	产品功能模块	574
10.4.8.1	编码的基本原则	546	11.2.4.3	二次开发接口	576
10.4.8.2	编码的基本方法	546	11.2.4.4	系统运行环境	576
10.4.9	编码系统设计说明书的编写规范	546	11.2.5	CADDS 5	576
10.4.10	信息交换的代码保证形式	547	11.2.5.1	软件概况	576
10.4.11	编码标准注册程序的规定	547	11.2.5.2	产品功能模块	577
10.4.12	项目管理规范化	547	11.2.5.3	二次开发接口	579
10.5	管理信息系统的支持环境	548	11.2.5.4	系统运行环境	580
10.5.1	硬件和网络配置	548	11.2.6	Pro/ENGINEER	580
10.5.1.1	配置原则	548	11.2.6.1	软件概况	580
10.5.1.2	参考配置方案	548	11.2.6.2	产品功能模块	580
10.5.1.3	实施步骤	552	11.2.6.3	二次开发接口	583
10.5.2	数据库选型	553	11.2.6.4	系统运行环境	583
10.5.2.1	选型原则	553	11.3	其他 CAD/CAM 软件系统	583
10.5.2.2	参考方案	553			
10.5.2.3	开放性评价	555			

第 11 章 CAD/CAM 软件系统

第 12 章 CAD/CAM 技术在飞机制造中的应用

12.1	概述	586	12.3.3.1	机加零件数控加工的工作流程...	612
12.1.1	飞机研制对应用 CAD/CAM 技术的需求	586	12.3.3.2	选择数控机床加零件的原则	612
12.1.2	应用 CAD/CAM 技术对设计的要求	587	12.3.3.3	CAD/CAM 技术对整体机加零件结构设计和毛坯状态的要求	614
12.1.3	CAD/CAM 中工程(设计)数据的定义和组成	588	12.3.3.4	数控机床加零件模型生成	615
12.1.4	飞机全机外形几何数据	590	12.3.3.5	数控自动编程系统的选择	615
12.1.5	飞机结构数据	592	12.3.3.6	机加零件的数控编程	615
12.1.5.1	飞机结构数据的构成	592	12.3.3.7	数控加工零件变形的校正及处理	617
12.1.5.2	飞机结构几何数据的表示	592	12.3.3.8	数控加工与常规加工的协调	617
12.2	飞机研制中的 CAD/CAM 技术方案及协调路线	593	12.3.3.9	机加零件的数控测量	617
12.2.1	飞机研制应用 CAD/CAM 技术的总原则	593	12.3.4	钣金零件的 CAM	618
12.2.2	飞机研制中的 CAD/CAM 技术方案	595	12.3.4.1	钣金展开件的数据采集	618
12.2.2.1	CAD/CAM 技术方案的制订	595	12.3.4.2	展开件计算机辅助排样	620
12.2.2.2	CAD/CAM 方案在型号研制总方案中的地位 and 作用	596	12.3.4.3	钣金展开件数控下料	620
12.2.3	采用 CAD/CAM 技术的飞机制造协调路线	596	12.3.5	飞机导管的 CAM	621
12.2.4	采用 CAD/CAM 技术的协调路线框图	597	12.3.6	复合材料铺层展开及下料	621
12.3	CAD/CAM 技术应用范围	599	12.3.7	飞机装配的 CAM	622
12.3.1	结构模线设计与绘制	599	12.3.8	CAD/CAM 数据传递及信息流程	622
12.3.1.1	应用 CAD 技术设计结构模线	600	12.3.8.1	CAD/CAM 数据传递	622
12.3.1.2	数控绘制结构模线	602	12.3.8.2	CAD/CAM 信息流程	622
12.3.1.3	图模合一设计	604	12.3.8.3	工程数据的管理	622
12.3.1.4	钣金零件的展开设计	605	12.3.9	质量检测和控制	624
12.3.1.5	结构模线的补充设计	606	12.3.9.1	质量检测的目标	624
12.3.2	CAD/CAM 技术应用于工艺装备	607	12.3.9.2	质量检测及控制原则	624
12.3.2.1	选用数控加工工艺装备的原则	607	12.3.9.3	数控检测工具和手段的配置	624
12.3.2.2	采用 CAD/CAM 技术的工艺装备的范围	607	12.3.10	转包生产中 CAD/CAM 技术的特点和内容	625
12.3.2.3	采用 CAD/CAM 技术对工装图纸设计的要求	607	12.3.10.1	转包生产中 CAD/CAM 技术的特点	625
12.3.2.4	计算机辅助设计工艺装备	607	12.3.10.2	飞机工程数据传递形式	625
12.3.2.5	工艺装备数控编程模型的生成和数据传递	611	12.3.10.3	对 PCM 图补充工艺标记	626
12.3.2.6	数控编程和加工	611	12.3.10.4	工艺装备采用 CAD/CAM 技术	626
12.3.3	机加零件的数控加工与测量	612	12.3.10.5	整体结构件采用 CAD/CAM 技术	626
			12.3.10.6	CAD/CAM 质量保证计划	626
			12.4	CAD/CAM 的管理	628
			12.4.1	组织管理机构	628
			12.4.2	职责范围和分工	629
			12.4.3	技术文件管理及制度	629
			12.4.3.1	CAD/CAM 信息的保密与安全制度	629

12.4.3.2	软件的使用、维护及管理制度	629	13.2.1	国外计算机辅助技术的发展	665
12.4.4	生产管理制度	630	13.2.2	国内机载设备厂、所计算机辅助技术的现状和发展	667
12.4.4.1	结构模线设计和绘制的管理	630	13.2.3	实施计算机辅助技术的策略与要点	668
12.4.4.2	数控编程质量保证与检测	631	13.2.3.1	实施策略	668
12.4.4.3	数控测量检验制度	631	13.2.3.2	发展计算机辅助技术的要点	668
12.4.5	CAD/CAM 方案投资和效益分析	631	13.2.4	机载设备计算机集成制造系统 (ABE-CIMS)	669
12.4.5.1	投资预算	631	13.2.4.1	ABE-CIMS 系统结构	669
12.4.5.2	CAD/CAM 效益分析	632	13.2.4.2	ABE-CIMS 运行环境	669
12.5	国内飞机行业 CAD/CAM 应用实例	632	13.2.4.3	计算机软硬件系统	669
			13.2.4.4	ABE-CIMS 示范工程	670
第 13 章 计算机辅助技术在机载设备制造中的应用			第 14 章 计算机集成制造		
13.1	主要应用领域与要求	636	14.1	计算机集成制造(CIM)的概念与 CIMS 的组成	676
13.1.1	机载设备制造中计算机辅助技术的特点	637	14.1.1	CIM 概念	676
13.1.1.1	制造流程	637	14.1.2	CIMS 的基本组成	677
13.1.1.2	机载产品研制特点	641	14.1.3	实施 CIM 中的人的集成问题	677
13.1.2	CAGD 的应用和要求	642	14.1.4	集成系统的效益评价	679
13.1.2.1	对几何造型功能的要求	642	14.2	CIMS 开发与设计	679
13.1.2.2	CAD 系统配置及计算机选型要求	642	14.2.1	初步提出用户需求	680
13.1.2.3	JZ-3D 系统结构及二次开发方法	643	14.2.2	可行性论证	680
13.1.3	壳体零件 GT 和 CAPP 的应用与要求	643	14.2.2.1	可行性论证的目的	680
13.1.3.1	壳体零件成组技术(GT)的应用与要求	643	14.2.2.2	可行性论证的工作内容	680
13.1.3.2	机载设备制造对 CAPP 的要求	645	14.2.3	初步设计	682
13.1.3.3	特征造型技术	646	14.2.3.1	初步设计的任务	682
13.1.3.4	组合特征加工单元	648	14.2.3.2	初步设计内容	683
13.1.4	NC 技术的应用与要求	650	14.2.3.3	初步设计工作步骤	685
13.1.4.1	复杂壳体的 NC 加工特点	650	14.2.4	详细设计	686
13.1.4.2	数控编程	650	14.2.4.1	详细设计的任务	686
13.1.4.3	数控机床的选择	652	14.2.4.2	详细设计内容	686
13.1.4.4	刀具管理	655	14.2.4.3	详细设计的工作流程	688
13.1.4.5	刀具监控	658	14.2.5	工程实施	689
13.1.5	CAQ 的应用与要求	659	14.2.5.1	工程实施的主要任务	689
13.1.5.1	测头测量	659	14.2.5.2	工程实施的内容	689
13.1.5.2	柔性测量单元——测量机与加工中心的集成	660	14.2.5.3	系统测试及其准则	690
13.2	计算机辅助技术在机载设备制造中的应用和发展	665	14.2.6	系统运行与维护	691
			14.2.6.1	系统运行与维护的任务	691
			14.2.6.2	系统运行与维护的工作内容	691
			14.2.6.3	定义运行和生产需求的评价准则	691
			14.3	国外航空工业应用 CIM 概况	692
			14.3.1	航空制造环境的演变	692

14.3.1.1	制造依据的演变	692	附录 A	系统功能模型建模方法	715
14.3.1.2	信息传递方式的演变	693	A1	图形表示	715
14.3.1.3	机械加工方式的演变	694	A1.1	基本图形	715
14.3.1.4	管理信息系统的演变	694	A1.2	箭头的不同画法及含义	716
14.3.1.5	航空制造系统的演变	695	A1.3	ICOM 码	717
14.3.2	美国空军 ICAM 计划	696	A1.4	图表的定义	717
14.3.2.1	ICAM 计划的宗旨	697	A2	分解步骤	717
14.3.2.2	ICAM 计划的内容	697	A3	作者—读者循环	717
14.3.2.3	ICAM 计划的进展	698	附录 B	系统信息模型建模方法	720
14.3.3	国外航空企业应用 CIM 案例	698	B1	IDEF _{1X} 的基本要素和画法规定	720
14.3.3.1	波音公司	698			
14.3.3.2	通用动力公司	703	B1.1	基本要素	720
14.3.3.3	以色列飞机工业公司	707	B1.2	画法规定	720
14.4	国内 CIM 开发应用举例	708	B2	建模步骤	722
14.4.1	863/CIMS 主题	708	B2.1	零阶段——设计开始	722
14.4.2	成都飞机工业公司 CIMS 应用	710	B2.2	一阶段——定义实体	723
	工程的开发和实施	710	B2.3	二阶段——定义联系	723
14.4.2.1	CAC CIMS 工程目标	710	B2.4	三阶段——定义键	724
14.4.2.2	CAC CIMS 工程体系结构	710	B2.5	四阶段——定义属性	730
14.4.2.3	CAC CIMS 工程实施	713	B2.6	遍历步骤	731
14.5	未来集成制造的展望	714	参考文献	732

附录