



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Computer Aided **2nd Edition**

Manufacturing

计算机辅助制造

王先逵 主编 Wang Xiankui

(第2版)

清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

Computer Aided **2nd Edition**

Manufacturing

计算机辅助 **制造**

王先逵 主编 Wang Xiankui

(第 2 版)

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

计算机辅助制造中的“制造”在本书中是广义制造(大制造)的概念,它包含了计算机辅助设计和制造两大部分。书中系统综述了当前制造技术的概念、重要性、特点、内容和发展的,论述了计算机辅助设计与制造的支撑环境、计算机辅助图形处理技术、产品建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助成组技术、零件信息描述、计算机辅助加工和装配工艺过程设计、工艺设计的决策技术、计算机辅助数控加工、计算机辅助工艺装备设计、计算机辅助质量系统、机械制造系统等内容。

本书可作为高等院校机械工程专业本科生和研究生的教材或参考书,同时可供从事机械制造和工业工程等的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助制造/王先逵主编.—2版.—北京:清华大学出版社,2008.12
ISBN 978-7-302-18341-9

I. 计… II. 王… III. 计算机辅助制造 IV. TP391.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 146088 号

责任编辑:张秋玲

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:27 字 数:651 千字

版 次:2008 年 12 月第 2 版 印 次:2008 年 12 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:46.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系
调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:011352-01

制造技术是一个永恒的主题,它与社会发展密切相关,是设想、概念、科学技术物化的基础和手段,是国家经济与国防实力的体现,是所有工业的支柱和国家工业化的关键。制造业的发展随着国际国内形势的变化,有高潮期也有低潮期,有高速期也有低速期,有国际特色也有民族特色,但对制造业必须重视且要持续不断发展则是不变的。制造技术是当代科学技术发展中最为活跃的领域,是国际间产品革新、生产发展、经济竞争的重要举措。计算机辅助制造是制造技术的重要组成部分。

21 世纪的制造技术是一种广义制造技术,是在机械制造技术的基础上发展起来的。长期以来,由于设计和工艺的分家,制造被定位于制造工艺,这是一种狭义制造的概念。随着社会发展和科技进步,需要综合、融合和复合多种技术去研究和解决制造问题,提出了广义制造的概念,亦称为“大制造”的概念,它体现了制造概念的扩展。因此本书所述的计算机辅助制造是指广义制造,可称为广义计算机辅助制造,它包括了计算机辅助设计和计算机辅助制造两大部分。

按照广义制造的概念,计算机辅助制造包括计算机辅助设计(computer-aided design, CAD)、计算机辅助工艺过程设计(computer-aided process planning, CAPP)和计算机辅助加工(computer-aided machining)3 个方面的内容。从通常的概念来说,计算机辅助制造(computer-aided manufacturing, CAM)是指应用计算机来进行产品制造的统称,即利用计算机辅助完成从原材料到产品的全部制造过程,包括直接制造过程和间接制造过程,其主要内容有计算机辅助工艺过程设计和计算机辅助加工两部分。当前,计算机辅助加工大多是指机械加工,而且主要是数控加工(numerical control machining)。

本书在保持第 1 版原有特色的基础上进行了修订,内容有计算机辅助设计和计算机辅助制造两大部分,包括计算机辅助设计、计算机辅助工艺过程设计和计算机辅助加工 3 个方面,分为概述、计算机辅助设计与制造的支撑环境、计算机辅助图形处理技术、产品建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助成组技术、零件信息描述、计算机辅助加工和装配工艺过程设计、工艺设计的决策技术、计算机辅助数控加工、计算机辅助工艺装备设计、计算机辅助质量系统和机械制造系统等共 13 章进行论述。

本书在编写过程中,力求贯彻以下几个方面。

1. 体系结构科学、完整

在体系结构上,从广义制造论出发,增加了计算机辅助设计部分。从系统论、信息论、控制论、方法论、协同论和共生论所形成的系统科学和方法论的角度,以制造系统工程学为主线来论述计算机辅助制造的内容,使体系更加科学、完整。

考虑到在计算机辅助设计和计算机辅助制造中对零件描述的角度和要求不同,既增加了“产品建模技术”一章,同时也保留了“零件信息描述”一章。

2. 内容先进,系统充实

反映现代制造技术中有关计算机辅助制造的最新发展和内容,主要有以下几个方面:

增加了“计算机辅助图形处理技术”、“产品建模技术”、“计算机辅助工程分析”等内容。

将原“计算机辅助制造的支撑环境”一章扩充为“计算机辅助设计与制造的支撑环境”,并增加了“常用数据结构”一节,充实了“数据库系统”一节的内容。

将原“计算机辅助工艺过程设计”一章扩充为“计算机辅助加工和装配工艺过程设计”,增加了“计算机辅助装配工艺过程设计”一节。

考虑到决策技术在制造中的应用越来越广泛,具有重要的意义和地位,因此将原“计算机辅助工艺过程设计”一章中的工艺决策方式分出来单独成为一章,章名为“工艺设计的决策技术”,并对模糊逻辑、人工神经网络等智能思维决策的内容进行了充实,增加了遗传算法和蚁群算法等内容。

考虑到在数控加工技术中,涉及曲线、曲面的加工越来越多,而这方面的资料又较少,因此在“计算机辅助数控加工”一章中增加了“数值计算”一节。

对原“概述”和“机械制造系统”两章重新进行了编写,增加了许多新内容。在并行一程一节中增加了有关质量屋的内容。

3. 联系实际,培养能力

注意多介绍一些方法和实例,如阐述了零件三维实体造型、加工参数优化、进给伺服系统仿真、多种零件信息描述方法、零件成组分类方法、模糊逻辑决策方法等,以满足技术上的实用性,有利于培养学生的能力。

4. 层次多种,适应教学

为了适应教学的需要,一些章节中既有基础性内容又有深层次内容,供授课教师选择,同时每章均有习题和思考题,便于学生思考、掌握基本内容。同时在内容上可满足不同读者的需求。

5. 图文并重,形式多样

尽量多用图、表来表达叙述性内容,采用图文并重方式,便于读者理解。

6. 名词术语贯彻国标

贯彻名词术语、代(符)号、量和单位等现行国家标准,以满足行业和社会需求。

本书可作为高等院校机械工程专业本科生和研究生的教材或参考书,同时可供从事机械制造和工业工程等的工程技术人员参考。

参加本书编写的人员有:第1~10章以及第13章由王先逵教授编写,第11章由段广洪教授和王先逵教授编写,第12章由吴丹副教授编写,全书由王先逵教授担任主编。

在本书的编写过程中,得到了清华大学精密仪器与机械学系制造工程研究所多位老师的热情帮助,提出了不少宝贵意见,在此谨向他们表示衷心感谢。本书自第1版出版以来,被列为面向21世纪课程教材,又被选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,这是对所有编审和出版人员的鼓励和鞭策。由于水平有限,书中会有不少错误和不足之处,恳请广大读者不吝赐教。

编者

2008年6月于清华园

制造技术是当代科学技术发展最为活跃的领域,是产品更新、生产发展、国际间经济竞争的重要手段。制造业是各种产业的支柱工业,各种产业的发展有赖于制造业的支持。制造技术的水平对制造业的发展有着举足轻重的影响。

计算机辅助制造是制造技术的重要组成部分,从广义来说,它是指利用计算机辅助完成工程设计与分析、生产管理与控制、财务会计与供销等全盘工作,即从原材料到产品的全部制造过程,包括直接制造过程和间接制造过程。因此,本书的内容主要有:计算机辅助制造的支撑环境、计算机辅助成组技术、零件信息描述、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控加工、计算机辅助工装设计、计算机辅助质量控制等。

本书在编写过程中,力求贯彻以下几点:

(1) 尽量反映现代制造技术中有关计算机辅助制造的最新发展和内容,如模糊决策、人工神经网络等的应用,以反映内容的先进性。

(2) 从系统论、信息论、控制论所形成的系统科学和方法论的角度,以制造系统工程学为主线来论述计算机辅助制造的内容,使之在体系上有科学性。

(3) 理论联系实际,注意多介绍一些方法、实例,如阐述多种零件信息描述方法、零件成组分类方法等,以满足技术上的实用性。

(4) 贯彻名词术语、代(符)号、量和单位等现行国家标准,以满足行业和社会的需求。

(5) 尽量多用图、表,图文并茂,使读者便于理解。

本书可作为高等院校机械工程专业本科生和研究生的教材或参考书,同时也可供从事机械制造的工程技术人员参考。

本书第1章、第2章、第3章、第4章、第5章、第6章、第9章由王先逵编写,第7章由段广洪、王先逵编写,第8章由吴丹编写,全书由王先逵、吴丹统稿,王先逵担任主编。

在本书的编写中,得到了清华大学精密仪器与机械学系制造工程研究所领导和其他教师的热情帮助,提出了不少宝贵意见,在此谨向他们表示衷心感谢。由于时间紧迫,水平有限,书中会有不少错误和不足之处,恳请读者不吝赐教。

编 者

1998年2月于清华园

目 录

CONTENTS

1 概述	1
1.1 计算机辅助制造的基本概念	1
1.2 计算机辅助制造技术的重要性	2
1.3 计算机辅助制造技术的特点	3
1.4 计算机辅助制造技术的内容和发展方向	5
习题和思考题	14
2 计算机辅助设计与制造的支撑环境	16
2.1 计算机硬件	16
2.2 计算机软件	19
2.3 常用数据结构	29
2.4 数据库系统	40
2.5 计算机网络与通信	48
习题和思考题	62
3 计算机辅助图形处理技术	64
3.1 图形变换	64
3.2 窗口与视区的变换技术	73
3.3 图形的裁剪技术	74
3.4 隐藏线和隐藏的消除	76
习题和思考题	78
4 产品建模技术	79
4.1 二维建模技术	79
4.2 三维建模技术	85
4.3 装配建模技术	97
4.4 数字化产品定义技术	99
4.5 产品建模技术与计算机辅助设计	102
习题和思考题	104
5 计算机辅助工程分析	105
5.1 有限元分析法	105

5.2	优化设计方法	112
5.3	仿真技术	132
	习题和思考题	137
6	计算机辅助成组技术	138
6.1	成组工艺的基本原理	138
6.2	成组工艺实施方法	139
6.3	零件的分类编码系统	140
6.4	零件的分类成组方法	155
6.5	成组工艺过程设计	169
	习题和思考题	172
7	零件信息描述	174
7.1	零件信息描述的要求和内容	174
7.2	零件信息描述方法	175
	习题和思考题	194
8	计算机辅助加工和装配工艺过程设计	196
8.1	计算机辅助加工工艺过程设计概述	196
8.2	计算机辅助工艺过程设计系统结构	200
8.3	计算机辅助工艺过程设计的原理和方法	206
8.4	计算机辅助装配工艺过程设计	216
	习题和思考题	222
9	工艺设计的决策技术	224
9.1	基本概念	224
9.2	数学模型决策	225
9.3	逻辑推理决策	229
9.4	智能思维决策	234
	习题和思考题	258
10	计算机辅助数控加工	259
10.1	数控加工系统	259
10.2	计算机辅助数控加工的范畴	268
10.3	计算机辅助数控加工程序编制	271
10.4	前置处理与后置处理	276
10.5	数值计算	277
10.6	加工仿真	314
	习题和思考题	317

11 计算机辅助工艺装备设计	319
11.1 概述.....	319
11.2 计算机辅助机床夹具设计.....	320
11.3 计算机辅助制造中的刀具系统.....	329
习题和思考题.....	338
12 计算机辅助质量系统	340
12.1 计算机集成质量系统.....	340
12.2 计算机辅助加工过程监控.....	344
12.3 计算机辅助质量检测.....	349
12.4 计算机辅助测试.....	356
习题和思考题.....	359
13 机械制造系统	361
13.1 机械制造系统自动化.....	361
13.2 自动生产线.....	369
13.3 柔性制造系统.....	377
13.4 计算机集成制造系统.....	383
13.5 并行工程.....	392
13.6 智能制造技术.....	402
13.7 制造模式.....	406
习题和思考题.....	417
参考文献	419

概 述

21 世纪的制造技术是一种广义制造技术,是在机械制造技术的基础上发展起来的。长期以来,由于设计和工艺的分家,制造被定位于制造工艺,这是一种狭义制造的概念,随着社会发展和科技进步,需要综合、融合和复合多种技术去研究和解决制造问题,特别是集成制造技术的问世,提出了广义制造的概念,亦称为“大制造”的概念,它体现了制造概念的扩展。因此本书所述的计算机辅助制造是指广义制造,可称为广义计算机辅助制造,它包括了计算机辅助设计和计算机辅助制造两大部分。

计算机辅助制造是先进制造技术的重要组成部分,是提高制造水平的重要举措。

1.1 计算机辅助制造的基本概念

1.1.1 计算机辅助制造的概念

1. 广义计算机辅助制造的概念

按照广义制造的概念,计算机辅助制造包括计算机辅助设计(computer-aided design, CAD)、计算机辅助工艺过程设计(computer-aided process planning, CAPP)和计算机辅助加工(computer-aided machining)3 个方面的内容。

2. 狭义计算机辅助制造的概念

从通常的概念来说,计算机辅助制造(computer-aided manufacturing, CAM)是指应用计算机来进行产品制造的统称,即利用计算机辅助完成从原材料到产品的全部制造过程,在制造过程中的某些环节应用计算机,包括直接制造过程和间接制造过程,其主要内容有计算机辅助工艺过程设计(CAPP)和计算机辅助加工两部分。

当前,计算机辅助加工大多是指机械加工,而且是数控加工(numerical control machining),它的输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是刀具加工时的运动轨迹(刀位文件)和数控程序,今后会逐步扩展到非机械加工。

1.1.2 计算机辅助制造系统

1. 计算机辅助制造系统的概念

从广义计算机辅助制造的概念考虑,计算机辅助制造系统包括工程设计与分析、生产管

理与控制、财务会计与供销等诸方面,是通过计算机分级结构控制和管理制造过程的多方面工作,它的目标在于开发一个集成的信息网络来监测一个广阔的相互关联的制造作业范围,并根据一个总体的管理策略控制每项作业。

从自动化的角度来看,数控机床加工是一个工序自动化的加工过程,加工中心是实现零件部分或全部机械加工过程自动化,计算机直接控制和柔性制造系统是完成一族零件或不同族零件的一段(局部)自动化制造过程,而计算机辅助制造是指计算机全面进入整个制造过程,它涉及一个车间或整个工厂。

2. 计算机辅助制造系统的结构

一个大规模的计算机辅助制造系统是一个计算机分级结构的网络,由2级或3级计算机组成,中央计算机控制全局,提供经过处理的信息;主计算机管理某一方面的工作,并对下属的计算机工作站或微型计算机发布指令和进行监控;计算机工作站或微型计算机承担单一的工艺过程控制或管理工作。

图1-1表示了计算机辅助制造系统的分级结构。可以看出,其功能是全面的、广泛的,涉及整个制造领域。

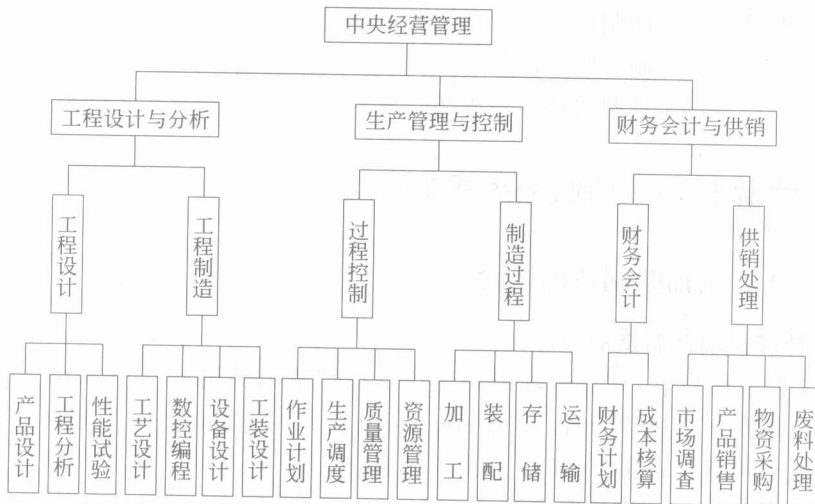


图 1-1 计算机辅助制造系统的分级结构

计算机辅助制造系统的组成可以分为硬件和软件两方面。硬件方面有数控机床、加工中心、输送装置、装卸装置、存储装置、检测装置、计算机等;软件方面有数据库、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控程序编制、计算机辅助工装设计、计算机辅助作业计划编制与调度、计算机辅助质量控制等。

1.2 计算机辅助制造技术的重要性

计算机辅助制造技术是制造技术的重要组成部分,而制造技术是当代科学技术发展最为活跃的领域,是国际间产品革新、生产发展、经济竞争的重要手段,各工业化国家纷纷把先进制造技术列为国家的高新关键技术和优先发展项目,给予了极大的重视和关注。美国,这个制造技术长期处于世界领先地位的国家,近来已感到巨大的威胁。根据日本科学技术厅

对日美尖端技术比较进行的调查,在生命科学、物质和材料科学、信息和电子科学、海洋和地球科学、能源科学、生产和机械科学 6 个尖端技术研究领域中,日本在生产和机械科学领域处于领先地位,而其余 5 个领域均落后于美国。美国在 1994 年底出版了《21 世纪制造企业战略》报告,它是美国国防部根据国会要求拟定的一个较长时期的制造技术规划并委托里海(Lehigh)大学编制的,报告中提出了制造企业战略,中心思想是在 2006 年以前夺回美国制造业在世界上的领先地位。

计算机辅助制造技术的重要性主要体现在以下几个方面。

1. 提高了制造技术的水平

信息技术的引入使制造技术产生了革命性的变化。计算机技术的发展影响着各行各业技术水平的提高,对制造技术的影响尤为明显,产生了计算机辅助制造技术,许多过去不能实现的制造技术有了计算机的参与后变成了现实,计算机可以代替人工进行一些繁杂的计算工作和大量的数据处理工作。制造业是各种产业的支柱工业,各种产业的发展有赖于制造业的支持,因此计算机辅助制造技术的发展具有重要意义。

2. 提高了产品对市场需求的响应能力

在国际国内经济竞争中,根据市场需求做出快速响应和决策的能力是十分重要的,它取决于制造技术的水平。强有力的计算机辅助制造技术可以快速处理相关数据,大大缩短了产品的开发周期,提高了产品的水平和质量以及关键装备能够自己提供的能力,并能推出具有世界水平的全新产品,提供给世界各地。

3. 形成了集成制造体系

从计算机辅助制造的广义内容来看,计算机辅助制造技术应包括计算机辅助设计、计算机辅助加工、计算机辅助装配与拆卸、计算机辅助夹具设计、计算机辅助刀具设计、计算机辅助模具设计、计算机辅助质量控制与管理、计算机辅助检测、计算机辅助工艺管理等。计算机辅助制造技术的发展使产品全生命周期的各个阶段得以集成起来,形成一个综合体,包括产品的市场需求调研、开发研制、设计、生产制造、销售维修、报废处理回收等,提高了产品开发的成功率、质量、生产率,节约了资源,降低了成本。对于复杂产品,如飞机、火箭、宇宙飞船等,还可以形成多学科的集成制造体系。

4. 有利于制造技术的总结

制造工作是十分复杂的,许多丰富的实际经验是十分宝贵的,过去只能以纸质形式进行整理、总结并保存,而计算机辅助制造技术可以将多年来广大工程技术人员和工人的经验全面、形象、方便地进行记录和保存,形成数学模型、算法等资料,构建庞大的数据库文件,方便在新的制造工作中运用。

1.3 计算机辅助制造技术的特点

先进制造技术即现代制造技术,前者强调先进(advanced),后者强调现代(modern),它的特点主要表现在传统制造技术与信息技术的结合上,具体来说主要是计算机技术的应用上。

计算机辅助制造技术的特点有以下几个方面。

1. 计算机辅助制造技术是一个系统工程

制造科学是由机械、计算机、信息、材料、自动化等学科有机结合而发展起来的一门跨学

科的综合科学。机械制造系统是一种离散的系统,是由系统论、信息论和控制论形成的系统科学和方法论,它从系统各组成部分之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系来分析对象,用系统论的观点来分析和研究制造过程。计算机辅助制造系统是由物质流、能量流和信息流 3 个基本要素构成的,而信息流的引入是形成系统最关键的要素。计算机技术、数控技术、控制工程技术等的发展促使了计算机辅助制造系统的形成和发展。

2. 工艺技术是核心

工艺是制造技术的灵魂、核心和关键。产品从设计变为现实是必须通过加工才能完成的,工艺是设计和制造的桥梁,设计的可行性往往会受到工艺的制约,即受到制造可行性的限制,如果在加工精度、表面粗糙度、尺寸等方面不能满足设计要求,就会出现工艺手段主宰产品的局面,工艺(包括检测)往往会成为“瓶颈”,因此,工艺方法和水平是十分重要的。不是所有设计的产品都能加工出来,也不是所有设计的产品通过加工都能达到预定的技术性能要求。工艺是生产中最活跃的、最革命的因素,同样的设计可以通过不同的工艺方法来实现,工艺不同,所用的加工设备、工艺装备就会不同,其质量和生产率也会有差别。通常,有了某种工艺方法才有相应的工具和设备出现,反过来,这些工具和设备的发展又提高了该工艺方法的技术性能和水平,扩大了其应用范围。

3. 设计与工艺一体化

从广义制造技术的含义来看,其主要工作内容可分为设计和工艺两大部分。大生产的出现,产生了分工,设计和工艺分开了,甚至分属于不同部门,造成了工艺与设计脱离、工艺从属于设计等现象,严重影响了制造技术的发展。因此,设计与工艺必须密切结合,要以工艺为突破口,形成设计与工艺的一体化。广义计算机辅助制造技术包含了全部制造过程,其中包括产品设计、工艺设计、加工制造等阶段,将设计和工艺结合在一起。计算机技术的介入使信息能够很方便地集成,从而为设计与工艺的结合创造了良好条件,而并行工程(concurrent engineering, CE)更是强调了设计和工艺的结合。

4. 产品生命周期的全过程

现代制造系统是一个从产品概念形成开始到产品制造、使用直至报废处理的集成活动和系统,是一个功能和信息系统,它包括了产品生命周期的全过程,其中有市场需求调研、设计开发、制造生产、销售经营、使用维修、报废处理。在产品的设计中,不仅要进行结构设计、零件设计、装配设计,而且特别强调拆卸设计,使产品报废处理时能够进行材料的再循环,节约材料和能源,保护环境。因此,计算机辅助制造技术中,从产品制造的角度来分析,就包含了产品技术、生产技术、拆卸技术和再循环技术 4 个方面。

5. 人、组织、技术三结合

制造技术经过数百年漫长的发展,在人的作用和机器功能、技术支撑和经营管理、技术推动和市场驱动等方面的关系一直未能理清。近几十年来,制造技术有了长足的进步和急速的发展,提出了人机协同的观点,强调了即使在高度自动化的今天,人的创造性和作用的永恒性;在制造科学技术的发展中,提出了由技术支撑转变为人、组织、技术的集成,强调了经营管理、战略决策的作用;在制造工业战略决策中,提出了市场驱动、需求牵引的概念,强调用户是核心,用户的需求是企业成功的关键,并且强调快速响应市场需求的重要性。在计算机辅助制造中计算机只能起辅助作用,不能代替人的全部劳动。

1.4 计算机辅助制造技术的内容和发展方向

计算机辅助制造技术的内容可以归纳为现代设计技术、现代成形和改性技术、现代加工技术、制造系统和管理技术 4 个方面。

1.4.1 现代设计技术

现代设计技术主要包含设计方法学、模块化设计、创新设计、反求工程设计、全生命周期设计、虚拟设计、并行设计、绿色设计、协同设计和微型产品设计等。创新设计是一切设计之源,是理论和实践结合的产物,其水平与所处物质基础密切相关,是当务之急同时又要科学对待的大事。由于当前工程技术的复杂性和多学科性,因此提出了协同设计。随着市场需求不断向个性化和快速性发展,并行设计和虚拟设计应运而生。

1. 反求工程

现代加工制造可以通过对现有零件进行检测和计算机数据处理,得出形状、尺寸和精度、表面粗糙度、公差配合等质量要求,再经过与计算机辅助工艺过程设计和数控加工的集成,即可获得数控加工程序而直接进行数控加工。

2. 超精密加工机床

美国、日本、英国等国家很重视新型超精密加工机床的研制。最先发展起来的是金刚石刀具超精密车床和铣床,以后又出现了车削球面等曲面成形机床,大多用于加工各种光学镜头。此后又出现了金刚石微粉砂轮超精密磨床和精密抛光机床,用于加工半导体材料。

立式大型光学金刚石超精密车床(large optical diamond turning machine, LODTM)是由美国国防部高等研究计划局(DARPA)投资,通过加利福尼亚大学 Lawrence Livemore 实验室和空军 Wright 航空研究所等单位合作研制而成的,如图 1-2 所示。

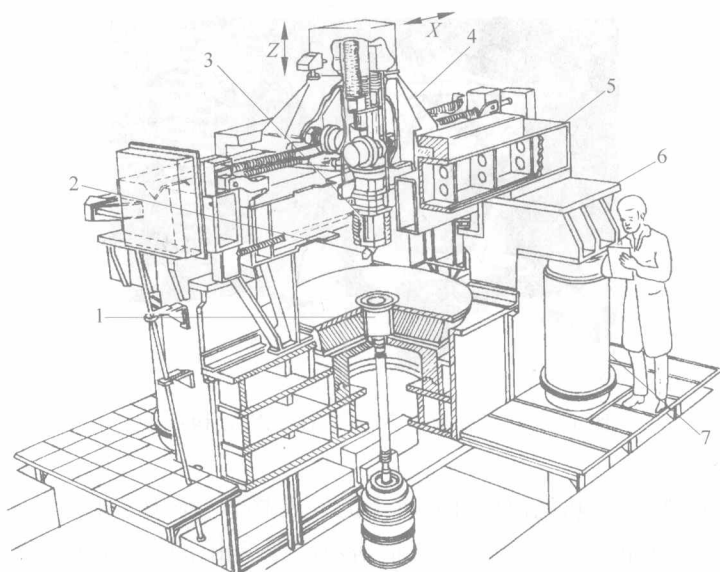


图 1-2 立式大型光学金刚石超精密车床(LODTM)

1—工件主轴; 2—高速刀具伺服机构; 3—刀具主轴; 4—X 向拖板; 5—上部机架; 6—主机架; 7—气动支架

该机床是为加工大直径光学镜头而开发的,可加工直径为 1625mm、长为 508mm、质量为 1360kg 的工件,采用双立柱立式车床结构,六角刀盘驱动,精度高、刚度强、功能强。

机床主轴采用液体静压轴承,精度高,结构上采用径向轴承和轴向轴承分离形式,可以选取面积较大的推力轴承,保证有较高的轴向刚度。

为了减少热变形的影响,采用热膨胀系数小的钢材材料制作关键零件;并应用了材料组合技术;用热变换器控制温度,用大量恒温冷却水进行冷却,水温控制在 $(20 \pm 0.0005)^\circ\text{C}$ 。

采用分辨率为 0.625nm 的 7 路双频激光测量系统检测位置精度并反馈,通过计算机运算出刀尖精确位置,定位误差可达 $0.0025\mu\text{m}$;并能在线检测滑板和刀架的倾斜,给出误差补偿。

整台机床安装在 4 个大型空气隔振垫上,其中两个空气隔振垫是相通的,受力时自动平衡,达到三点支承效果。

工件的精度测量采用自制的静电电容式测位仪,可进行在线测量和误差补偿,加工的形状误差为 $0.025\mu\text{m}$,圆度和平面度为 $0.013\mu\text{m}$,表面粗糙度为 $Ra0.0042\mu\text{m}$ 。

3. 并联机床

并联机床打破了传统机床的布局和格式,采用并联机构形成 Steward 平台,是一种类似机器人的结构。图 1-3 是美国 Giddings & Lewis 公司生产的变异式加工中心,是一台典型的并联机床,称为 VARIAX 机床。该机床采用三角形构架结构,用 6 个伸缩柱支承并连接上、下平台(即 Steward 平台),上平台装有主轴头,下平台装有工作台。各个伸缩柱由各自的伺服电机与滚珠丝杠驱动,伸缩这 6 个伸缩柱就可以改变主轴与工件之间的相对空间位置,满足刀位轨迹要求。在 6 个伸缩柱的平台外,有 3 根“气体弹簧”支承,承受重力负载,以减轻 6 个伸缩柱的负担。该机床有刚性好、运动速度快、精度高三大特点,结构新颖,但运动计算复杂,需要进行大量的计算机辅助编程工作。该类机床从理论上分析比较理想,但在实用上存在不少问题,因此现在向混联方向发展,即将并联机床与传统机床在结构上相结合形成混联机床。图 1-4 所示为一台混联龙门铣床。

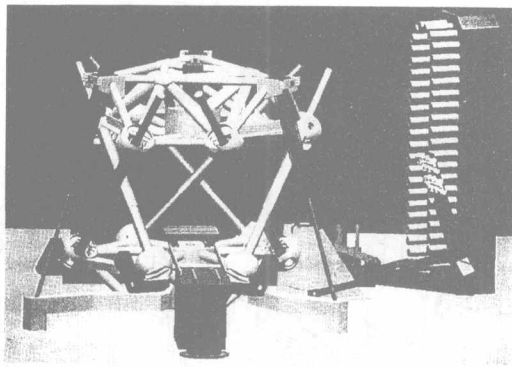


图 1-3 变异式加工中心(VARIAX)结构示意图

4. 功能部件

从当前设计趋势来看,功能部件具有较大的发展趋势。例如,机床可分解为主轴单元、直线驱动单元、基础件单元等,一台机床可根据功能需求由不同的单元组成,从而提高机床的性能和质量,缩短制造周期。近年来出现的直线电机伺服单元对机械结构设计具有重要影响。图 1-5 所示为一种交流永磁同步直线伺服电动机,称为零传动直线位移装置,它由静



图 1-4 混联龙门铣床

子和动子两大部分组成。静子 1 又称为初级,由磁铁、纯铁和底座等构成;动子 2 又称为次级,由硅钢叠片、绕组和盖板等构成。静子和动子之间通过两个直线滚动导轨 4 连接在一起,位置由直线光栅检测装置 6 检测,进行闭环控制。工作台 5 可安装在动子的盖板上。永磁同步直线伺服电动机结构简单,运动速度范围广,速度高,加速度高,无反向间隙,采用闭环反馈控制系统,定位精度和重复定位精度高,行程不受限制,应用广泛。

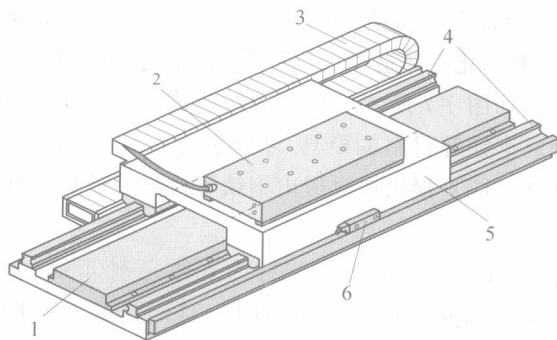


图 1-5 交流永磁同步直线伺服电动机

1—静子; 2—动子; 3—电缆通道; 4—滚动导轨; 5—工作台; 6—位置检测装置

1.4.2 现代成形和改性技术

现代成形和改性技术包括现代成形技术、材料成形仿真技术、现代表面改性技术、机械失效和可靠性工程、质量监控与无损检测技术等。表面工程是 20 世纪制造技术的重要成果之一,它不仅扩展了制造领域,同时使零件的内在特性发生了变化,改进了机械设计的结构。

1. 分离、结合、变形加工

零件的成形方法从不同角度来分类有成百上千种,但从机理上可归为分离(去除)加工、结合(堆积、分层)加工、变形(流动)加工 3 大类。

在加工成形机理上已经从分离加工扩展到结合加工,形成了分层加工方法。分层加工和分离加工的原理正好相反,它是将零件在某一方向按一定层厚分为若干薄层,逐一加工这些薄层,并在加工的同时将这些薄层依次堆积起来,即可成形。分层加工中需要用计算机来处理大量的层面分解和堆积的数据工作。按分层的形式又可分为平面分层和曲面分层,如图 1-6(a),(b)所示。另一方面,它也可以将零件沿某方向按一定层厚展开成一条成形带子(通常为带材),将其加工(通常用数控剪切机)出来后,再卷绕成形,如图 1-6(c)所示。

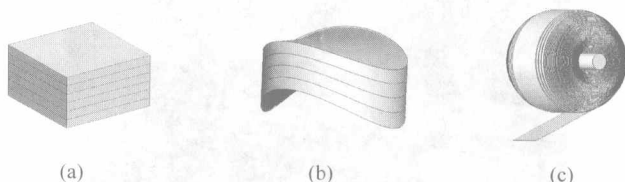


图 1-6 分层加工

(a) 平面分层; (b) 曲面分层; (c) 卷绕分层

变形加工是指铸、锻、冲压和分子流动等加工。汽车大型覆盖件的冲压成形在计算机技术的支持下,有了很大的发展。利用计算机仿真技术对铸、锻加工过程的材料成形及温度场分布等进行研究已进入实际应用阶段。

2. 快速成形制造

零件是一个三维空间实体,它可由在某个坐标方向上的若干个“面”叠加而成,因此,利用离散/堆集成形概念,可以将一个三维实体分解为若干二维实体制造出来,再经堆积而构成三维实体,这就是快速成形(零件)制造(rapid prototype(part)manufacturing, RPM)的基本原理,其具体制造方法很多,有固化立体造型、分层实体制造、选择性烧结、熔融沉积成形、喷射印刷成形和滴粒印刷成形等,如图 1-7 所示。早期的快速成形制造由于所制成的零件材料多为塑料、纸、蜡等,必须翻制成钢铁等材料的模具,才能进行生产,因此称为快速原型制造。由于制造技术的不断发展,现在已能直接快速成形出钢铁等材料的模具,故称为快速成形制造。

1) 固化立体造型

固化立体造型(stereo lithography, SL)又称为立体光刻(laser photolithography, LP)、立体印刷(stereo lithography apparatus, SLA),图 1-7(a)是其示意图。液槽中盛有紫外固化液态树脂,开始成形时,工作台台面在液面下一层厚高度,聚焦的紫外激光束在液面上按该层图形进行扫描,被照射的地方就被固化,未被照射的地方仍然是液态树脂。然后升降台带动工作台下落一个层厚高度,第二层上布满了液态树脂,再按第二层图形进行扫描,新固化的一层被牢固地粘在前一层上。如此重复,直至零件成形完毕。

2) 分层实体制造

图 1-7(b)是分层实体制造(laminated object manufacturing, LOM)示意图。根据零件分层几何信息,用数控扫描在铺上的一层箔材上切出本层轮廓,将该层非零件图样部分切成小块,以便以后去除,再铺上一层箔材,用热压辊碾压,以固化黏结剂,使新铺上的一层箔材