

先进制造技术丛书

数控加工技术 Technology of NC Machining

周济 周艳红 编著

国防工业出版社

先进制造技术丛书

数控加工技术

Technology of NC Machining

周 济 周艳红 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/周济,周艳红编著. —北京:国防工业出版社,2002.1

(先进制造技术丛书)

ISBN 7-118-02587-9

I. 数... II. ①周...②周... III. 数控机床-加工 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 041287 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

三河市腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 10 250 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1 - 3000 册 定价:25.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于 1988 年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员	怀国模			
主任委员	黄 宁			
副主任委员	殷鹤龄	高景德	陈芳允	曾 铎
秘 书 长	崔士义			
委 员	于景元	王小漠	尤子平	冯允成
(以姓氏笔划为序)	刘 仁	朱森元	朵英贤	宋家树
	杨星豪	吴有生	何庆芝	何国伟
	何新贵	张立同	张汝果	张均武
	张涵信	陈火旺	范学虹	柯有安
	侯正明	莫梧生	崔尔杰	

《先进制造技术丛书》编委会名单

顾问	师昌绪	中国工程院院士,中国科学院院士、主席团顾问
主任	胡壮麒	中国科学院金属研究所学术委员会主任,工程院院士
副主任	张立同	西北工业大学教授,工程院院士
	徐滨士	装甲兵工程学院教授,工程院院士
	雷廷权	哈尔滨工业大学教授,工程院院士
	艾 兴	山东大学教授,工程院院士
	周 济	华中科技大学教授,工程院院士
委 员	赵连城	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	曾松岩	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	黄树槐	华中科技大学教授,博士生导师
	李庆春	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	田锡唐	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	王仲仁	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	董 申	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	吴复兴	北京 625 所科学技术委员会主任,研究员
	方洪渊	哈尔滨工业大学材料学院副院长,博士生导师
秘 书	王桂伟	哈尔滨工业大学材料学院教学秘书

序

制造业是我国国民经济的支柱产业,其增加值约占我国国内生产总值(GDP)的 40% 以上,振兴制造业是启动我国经济新高潮的杠杆,日本和美国的经验均可资借鉴,而先进制造技术是振兴制造业的系统工程中的重要组成部分之一。

先进制造技术(AMT—Advanced Manufacturing Technology)作为一个专有名词提出始于 20 世纪 80 年代末期,当时美国根据本国制造业面临的挑战与机遇,以及存在的问题进行了深刻反省,同时为了加强制造业的竞争能力和促进国民经济增长而提出先进制造技术新概念。从技术进步角度看,以计算机为中心的新一代信息技术的发展,全面推进了制造技术的飞跃发展,在不断汲取其他相关领域新技术的基础上,使创新贯穿于制造全过程,并使技术与管理相结合,不断推出新的制造模式,推动人类生产活动不断进步。

先进制造技术这一名词一经提出,立即获得世界各国的积极响应,将制造技术的发展推向新的高潮,经过 20 多年的努力,先进制造技术由于专业和学科间不断渗透、交叉、融合,技术日趋系统化、集成化,已发展成为集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新兴交叉学科,可以称之为“制造工程”。

先进制造技术的核心和基础是优质、高效、低耗、清洁、无污染工艺,它是由传统的制造工艺发展起来的,并与计算机、信息、自动化、新材料及现代管理技术实现了局部或系统集成,以实现优质、高效、低耗、无污染和灵活生产,实现可持续发展。

未来先进制造技术的发展趋势是精密化、柔性化、智能化与集成化。首先设计技术不断现代化,突出反映在数值模拟与仿真以及虚拟现实技术和产品建模理论等方面。成形制造技术向精密成

形或近净成形方向发展,包括精密铸造、精密塑性成形和精密连接技术等。加工制造技术向超精密、超高速及发展新一代制造装备的方向发展。随着激光、电子束、离子束、分子束等新能源或其载体的引入,新型的高密度特种加工方法以及复合工艺不断发展,以至设计、材料应用、加工制造等专业学科界限日渐淡化,逐步趋向一体化。由于工艺模拟技术的迅速发展,也使工艺逐渐发展为工程科学。虚拟现实技术在制造业中获得日益广泛的应用。

为了适应世界知识经济时代的来临,促进先进制造技术在我国的发展,并为这一领域的科技人员提供必要的参考书,我们特地组织编写了本套《先进制造技术丛书》,希望它的出版有助于推动先进制造技术的快速进步,为我国的经济发展和国防现代化服务。

《先进制造技术丛书》编委会

2000年2月23日

前 言

数控加工是一种高效率、高精度与高柔性特点的自动化加工方法,数控加工技术可有效解决复杂、精密、小批多变零件的加工问题,充分适应现代化生产的需要。它是 CAD/CAM 的加工执行单元,是现代自动化、柔性化及数字化生产加工技术的基础与关键技术。

数控加工技术涉及的范围很广,但从加工的角度看,其技术重点在于复杂形状零件的加工,它不仅促使了数控加工技术的产生,而且也一直是数控加工和 CAD/CAM 技术的主要研究与应用对象。随着航空工业、汽车工业和轻工消费品需求的高速增长,复杂形状零件加工技术的应用将越来越广泛深入。为此,作者结合多年从事数控加工技术研究与实践方面的经验,编写了这本系统介绍复杂形状零件数控加工的有关理论、方法、实现技术与发展动态的专题著作,力图在整体上对数控加工技术进行系统介绍,以促进我国数控加工和 CAD/CAM 技术的研究、开发、应用与教学水平。

本书内容涉及复杂形状零件数控加工的各主要方面,包括复杂形状零件的几何建模、数控加工工艺、刀具轨迹计算、数控加工仿真、后置处理、数字化仿型加工、计算机数控系统,其中有很多内容在同类专业书籍中尚不多见,如:复杂形状零件加工工艺方案与切削条件的确定与优化、复杂形状零件的多坐标加工轨迹计算、三维实体图形仿真、切削负荷校核与进给速度优化、机床运动学建模与机床结构误差补偿、运动非线性误差校核修正、运动平稳性与进给速度校核修正、复杂形状零件的接触与非接触式数字化测量、开放体系数控系统、任意曲线曲面的直接插补、多坐标微程序段的高速插补等。

本书适用于从事 CAD/CAM 技术、机床数控技术和数控加工技术的研究、教学与生产等方面的专业人员,以及高等工科院校研究生使用。

在本书的编写过程中,得到了华中科技大学数控技术研究所的大力支持,王平江、彭芳瑜和王沉培参加了部分编写工作;詹泳、刘磊、廖洪峰完成了部分绘图与打字工作。

中国工程院顾国彪院士、中国科学院熊有伦院士、华中科技大学周云飞教授审阅了书稿,提出了许多宝贵意见,谨此表示衷心感谢。

数控加工技术中仍有很多理论与技术问题有待进一步研究与完善。此外,由于作者水平有限,书中难免出现疏漏和错误,恳请广大读者批评指正。

作 者

2001 年 5 月于华中科技大学

责任编辑 邢海鹰

ISBN 7-118-02587-9



9 787118 025873 >

ISBN 7-118-02587-9/TG·121

定价:25.00 元

绪 论

随着科学技术的飞速发展,社会对产品多样化的要求日益强烈,产品更新越来越快,多品种、中小批量生产的比重明显增加;同时,随着航空工业、汽车工业和轻工消费品生产的高速增长,复杂形状的零件越来越多,精度要求也越来越高;此外,激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难于适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效高质量加工要求。因此,近几十年来,能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工问题的数控(NC)加工技术得到了迅速发展和广泛应用,使制造技术发生了根本性的变化。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前机械制造业发展的方向。

1. 数控加工技术起源

数控加工技术是 20 世纪 40 年代后期为适应加工复杂外形零件而发展起来的一种自动化加工技术,其研究起源于飞机制造业。1947 年,美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想,他们利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到 ± 0.0015 英寸(0.0381mm),这在当时的水平来看是相当高的。1949 年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作,于 1952 年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。

2. 数控加工及其特点

数控加工是采用数字信息对零件加工过程进行定义,并控制机床进行自动运行的一种自动化加工方法,它具有以下几个方面的特点:

1)具有复杂形状加工能力。复杂形状零件在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防军工等制造部门具有重要地位,其加工质量直接影响整机产品的性能。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面加工。

2)高质量。数控加工是用数字程序控制实现自动加工,排除了人为误差因素,且加工误差还可以由数控系统通过软件技术进行补偿校正。因此,采用数控加工可以提高零件加工精度和产品质量。

3)高效率。与采用普通机床加工相比,采用数控加工一般可提高生产率2~3倍,在加工复杂零件时生产率可提高十几倍甚至几十倍。特别是五面体加工中心和柔性单元等设备,零件一次装夹后能完成几乎所有部位的加工,不仅可消除多次装夹引起的定位误差,且可大大减少加工辅助操作,使加工效率进一步提高。

4)高柔性。只需改变零件程序即可适应不同品种的零件加工,且几乎不需要制造专用工装夹具,因此加工柔性好,有利于缩短产品的研制与生产周期,适应多品种、中小批量的现代生产需要。

3. 数控加工的主要应用对象分析

数控加工是一种可编程的柔性加工方法,但其设备费用相对较高,故目前数控加工多应用于加工零件形状比较复杂、精度要求较高,以及产品更换频繁、生产周期要求短的场所。具体地说,下面这些类型的零件最适宜于数控加工:

1)形状复杂、加工精度要求高或用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓。

2)公差带小、互换性高、要求精确复制的零件。

3)用通用机床加工时,要求设计制造复杂的专用工装夹具或需很长调整时间的零件。

4)价值高的零件。

5)小批量生产的零件。

6)钻、镗、铰、攻螺纹及铣削加工联合进行的零件。

由于现代工业生产的需要,目前应用数控设备进行加工的部分典型行业及典型复杂零件如下:

1)电器、塑料制造业和汽车制造业等——模具型面。

2)航空航天工业——高压泵体、导弹仓、喷气叶片、框架、机翼、大梁等。

3)造船业——螺旋桨。

4)动力工业——叶片、叶轮、机座、壳体等。

5)机床工具业——箱体、盘轴类零件,凸轮、非圆齿轮、复杂形状刀具与工具。

6)兵器工业——炮架件体、瞄准陀螺仪壳体、恒速器壳件。

可见,目前的数控加工主要应用于以下两个方面:

第一个方面的应用是常规零件加工,如二维车削、箱体类镗铣等,其目的在于:提高加工效率,避免人为误差,保证产品质量;以柔性加工方式取代高成本的工装设备,缩短产品制造周期,适应市场需求。这类零件一般形状较简单,实现上述目的的关键一方面在于提高机床的柔性自动化程度、高速高精加工能力、加工过程的可靠性与设备的操作性能;另一方面在于合理的生产组织、计划调度和工艺过程安排。

另一方面的应用是复杂形状零件加工,如模具型腔、涡轮叶片等,该类零件在众多的制造行业中具有重要的地位,其加工质量直接影响以至决定着整机产品的质量。这类零件型面复杂,常规加工方法难以实现,它不仅促使了数控加工技术的产生,而且也一直是数控加工技术的主要研究及应用对象。由于零件型面复杂,在加工技术方面,除要求数控机床具有较强的运动控制能力(如多轴

联动)外,更重要的是如何有效地获得高效优质的数控加工程序,并从加工过程整体上提高生产效率。

4. 数控加工技术的重要性

数控技术是机械加工现代化的重要基础与关键技术。应用数控加工可大大提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期、增加生产柔性、实现对各种复杂精密零件的自动化加工,易于在工厂或车间实行计算机管理,还使车间设备总数减少、节省人力、改善劳动条件,有利于加快产品的开发和更新换代,提高企业对市场的适应能力并提高企业综合经济效益。数控加工技术的应用,使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程联为一体,使零件的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)和计算机辅助制造(CAM)的一体化成为现实,使机械加工的柔性自动化水平不断提高。

数控加工技术也是发展军事工业的重要战略技术。美国与西方各国在高档数控机床与加工技术方面,一直对我国进行封锁限制。因为许多先进武器装备的制造,如飞机、导弹、坦克等的关键零件,都离不开高性能数控机床的加工。如著名的“东芝事件”,即是由于苏联利用从日本获得的大型五坐标数控铣床,用其制造出低噪声潜艇螺旋桨,使得西方的反潜设施顿时失效,对西方构成了重大威胁。我国的航空、能源、交通等行业也从西方引进了一些五坐标机床等高档数控设备,但其使用受到国外的监控和限制,不准用于军事用途的零件加工。特别是1999年美国的考克斯报告,其中一项主要内容就是指责我国将其购买的二手数控机床用于军事工业。这一切均说明数控加工技术在国防现代化方面所起的重要作用。

5. 关于本书的内容与结构

数控加工技术的涉及内容很广,但从加工的应用对象看,其技术重点在于复杂形状零件加工,其中又以铣削加工最具有典型代表性。有鉴于此,本书结合作者及所在单位的研究成果,重点介绍复杂形状零件加工的有关理论和方法。具体安排如下:

第一章对数控加工技术的发展历程、技术现状与趋势进行了介绍,并对其所包含的关键技术内容进行了分析。第二章至第八章分别介绍了复杂形状零件加工中的主要技术:复杂形状零件的几何建模(第二章)、复杂形状零件的数控加工工艺(第三章)、复杂形状零件数控加工的刀具轨迹计算(第四章)、数控加工仿真(第五章)、后置处理(第六章)、数字化测量与数控仿形技术(第七章)以及计算机数控系统(第八章)。