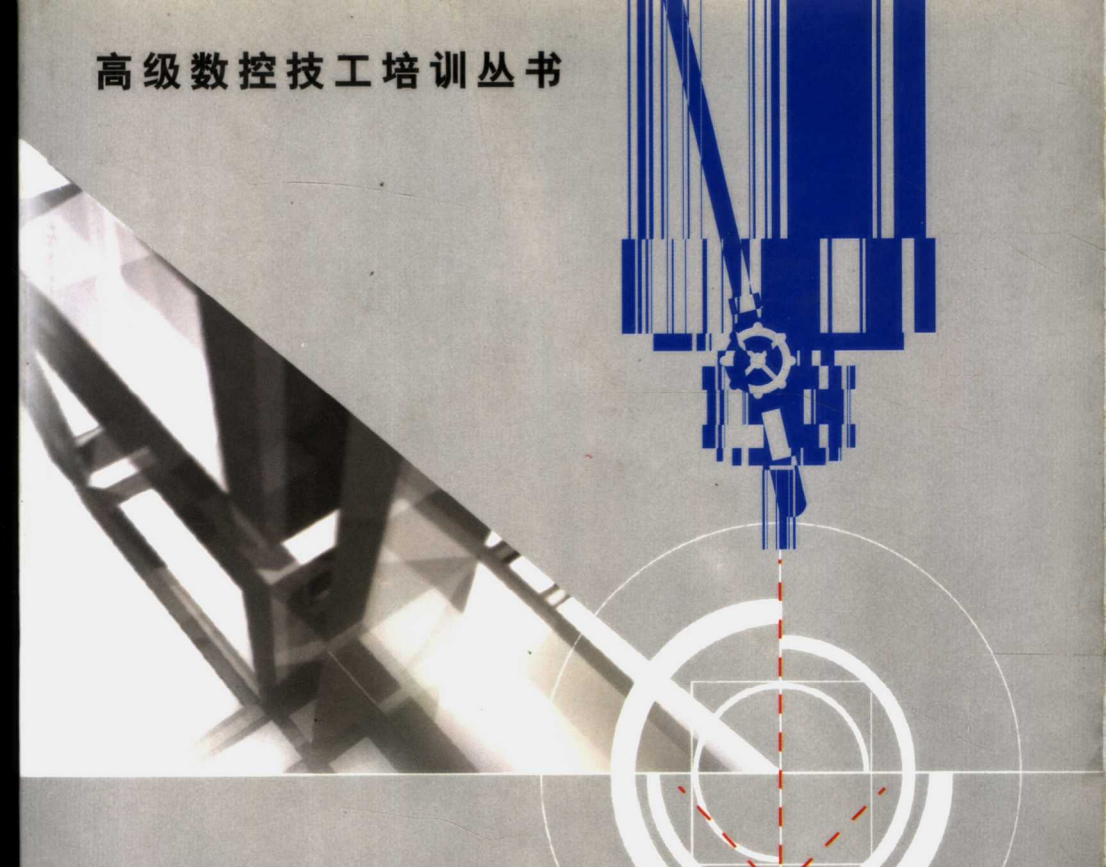


高级数控技工培训丛书



数控铣加工

SUNNYTECH 浙大旭日-卫兵工作室
单岩 夏天 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控铣床加工技术问答

数控铣加工

数控铣床加工技术问答
作者：张三 编著

中国工业出版社

高级数控技工培训丛书

数 控 铣 加 工

SUNNYTECH 浙大旭日-卫兵工作室

单 岩 夏 天 编 著



机 械 工 业 出 版 社

本书主要围绕当前应用较为广泛的数控铣床、加工中心操作和 NC 编程进行组织,内容包括数控铣加工的基础知识,含数控铣加工基本原理、数控机床结构;常用数控铣床,加工中心的加工操作、工艺处理等;数控铣床的手工编程步骤、技术要点和工艺处理;数控编程实例;数控机床的维护与保养知识。本书以典型的应用实例为背景,重点突出数控机床加工和 NC 编程的基本思路 and 关键问题,使读者把握学习的要点,迅速达到独立进行一般复杂程度的数控加工操作及编程的水平。

本书可作为大中专数控技术、模具、机械制造、机电一体化等专业的课程教材,以及数控技术培训教材,也可作为数控铣床或加工中心操作与编程人员的自学教材和参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣加工/单岩,夏天编著. —北京:机械工业出版社, 2004.9

(高级数控技工培训丛书)

ISBN 7-111-15205-0

I. 数... II. ①单... ②夏... III. 数控机床: 铣床—加工—技术培训—教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 090237 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:周国萍 版式设计:霍永明 责任校对:唐海燕

封面设计:解辰 责任印制:李妍

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版 第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·5.625 印张·163 千字

0 001—4 000 册

定价:15.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面防伪标均为盗版

丛书序言

近年来,国内人才市场供需结构发生了深刻的变化。一方面,本科以上的高学历人才呈现相对饱和的状态,高校毕业生已不再是“天之骄子”;而另一方面,面向制造企业的技能型人才呈现供不应求的局面,甚至出现十几万年薪“抢”人才的现象。

全球制造业正向中国转移,且这种趋势已呈现出加速的势头。与此同时,传统的重高等教育、轻技能教育的观念也发生了变化。在国务院新闻办公室举办的2004年第一次新闻发布会上,发布了“以就业为导向,大力培养技能人才”的变革措施。政府计划在今后的若干年中加速培训数百万的技能型人才,以满足市场的需求。

然而,与这一趋势不相适应的是,面向制造的技能培训教材却相对较少。而一些相近的教材则普遍存在两个问题:一是理论部分比重偏大,实际操作、工艺、经验的比重偏小,与技能型人才的培训需求不相适应。二是知识结构往往比较陈旧,与当前的主流制造方式不相适应。如有的数控培训教材中还在讲授APT语言、纸带穿孔记录数据等过时的内容。

针对这一现状,我们推出了这套技能型人才系列培训教程,它围绕机械制造,特别是模具制造行业中的几种主流加工方式,即数控电火花加工、数控线切割加工、数控车加工、数控铣加工和模具数控加工,讲授数控设备的操作和应用技能,培养模具数控加工领域的技能型人才。

针对技能型人才的培养特点,本套丛书打破以往将内容单纯按类别进行分割的板块式讲授方式,而是以相关技能的实际操作过程为主线进行讲解,即采用流程化的讲授方式,以便读者对相关技能的操作过程有更直观、更清晰的认识。此外,在内容的选取上尽可能减少理论,增加实际操作、工艺经验等方面的比重,以达到良好的实用性。

丛书作者既有多从事数控技术研究和教学工作的高校教师,也

IV

有来自生产第一线、具有丰富实际经验的工程师，从而保证了丛书理论与实际应用的协调统一。

我们热切地期待广大读者对本套丛书提出宝贵意见，并通过网站：www.cad-lab.com 或电子信箱：book@sunnytech.cn 与我们进行交流。

浙大旭日-卫兵科技图书高级数控技工培训丛书编委会

2004年8月

前 言

随着科技的进步与发展,尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使制造技术的内涵和外延发生了革命性的变化。数控加工技术使机械制造过程发生了显著的变化,是最具代表性的先进制造技术,目前在模具、汽配等行业已广泛应用。

在我国工业技术发展的新形势下,模具加工技术发展迅猛,数控铣加工技术正视模具加工工艺领域中的一项关键技术。此项技术跨越机械、电子、控制、数学以及计算机应用等多个领域,是当代机械专业学生和工程技术人员应该了解的新技术。目前,在很多行业的新产品研制和开发过程中,常采用数控铣加工技术直接加工零件,从而使研制和开发周期大大缩短,生产效率得以大幅度提高。

近年来,国内机械制造行业对数控加工的需求高速增长,但数控技术人才,包括数控铣加工人才严重短缺。因此,该方向已逐渐成为就业市场上的热点,对此项技术的培训需求也不断增长。

本书在内容安排上注重实用技术与必要的基础知识的统一、应用思路和技巧的统一,文字简练,图文并茂,确保了扎实的培训效果。通过对数控铣加工专题的讲解及大量的实例练习,使读者迅速掌握数控加工中最实用的技术内容,具备进行数控铣床操作、编程的能力。本书采用通俗直观的方式,重点讨论了数控铣床的机床结构、数控铣加工工艺、数控铣床/加工中心操作、数控铣床手工编程、数控机床维护与保养等内容,使具有中专以上文化程序的读者能在较短的时间内理解和掌握基本实用技术,为以后进一步提高技术水平打下良好基础。

本书可作为具有中专以上文化程度的机械技术人员或在校学生的教材,或中等专科学校机电及模具专业以及相关培训机构的培训教材,也可作为相关技术人员的参考资料。

本书由浙大旭日科技全体同仁共同编写。在编写的过程中参阅了

VI

国内外同行的文献、资料和教材，得到了许多专家和同行的支持和帮助，在此表示衷心感谢。

限于作者的知识水平和经验，书中难免有欠妥和错误之处，恳请广大专家和读者批评指正。读者可通过网站 www.cad-lab.com/train/book 与我们交流。

编者
2004 年 8 月

目 录

丛书序言

前言

第 1 章 数控铣加工基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数控机床的发展简况	1
1.1.2 我国数控机床的发展简介	2
1.1.3 数控机床发展趋势	3
1.2 数控加工原理	6
1.3 数控铣床的特点	7
1.4 数控铣加工的主要应用	9
1.4.1 平面轮廓加工	9
1.4.2 曲面轮廓加工	10
1.4.3 孔加工	14
第 2 章 数控铣床机床结构	15
2.1 数控铣床分类	15
2.2 数控铣床机械结构	17
2.2.1 基础件	18
2.2.2 主传动系统	18
2.2.3 进给传动系统	19
2.2.4 回转工作台	23
2.2.5 其他机械功能附件	25
2.3 数控系统	25
2.3.1 数控及计算机数控	25
2.3.2 计算机数控系统的内部工作过程	26

2.3.3 CNC系统的主要功能	28
2.3.4 常用数控系统的种类与特点	33
2.4 伺服系统	35
2.4.1 伺服系统的概念	35
2.4.2 伺服系统的分类	36
2.4.3 数控机床对伺服系统的要求	38
2.5 XK714 数控立式铣床的结构特点和主要技术参数	39
2.5.1 结构特点	39
2.5.2 主要技术参数	40
第3章 数控铣加工工艺	42
3.1 数控加工的工艺特点	42
3.2 数控加工工艺设计内容	43
3.3 数控铣加工工艺分析	44
3.3.1 选择并确定数控铣加工部位及工序内容	44
3.3.2 零件图的工艺性分析	45
3.3.3 零件毛坯的工艺性分析	47
3.4 数控铣加工工艺设计	48
3.4.1 工序的划分	49
3.4.2 加工顺序的安排	49
3.4.3 加工对象的加工方案	50
3.4.4 工件的装夹与定位	50
3.4.5 加工刀具的选择	54
3.4.6 走刀路线的选择	67
3.4.7 切削用量的确定	71
3.4.8 对刀点和换刀点的选择	73
3.4.9 顺铣与逆铣	74
3.4.10 切削液开关	75
3.5 数控编程的误差控制	75
3.5.1 刀轨计算误差	76
3.5.2 残余高度的控制	76
第4章 数控铣床及加工中心操作	82
4.1 数控铣床及加工中心操作流程	82

4.2 机床面板及功能	83
4.2.1 CNC系统控制面板	83
4.2.2 机械操作面板	84
4.2.3 ATC操作面板	87
4.3 数控加工中心操作具体步骤	89
4.3.1 数控加工中心操作步骤	89
4.3.2 数控加工中心基本操作	89
4.3.3 工件坐标系的建立以及对刀	95
4.3.4 数控程序的传输及自动加工	98
4.3.5 加工监控及安全操作	103
4.3.6 试运转	107
第5章 数控铣床手工编程	108
5.1 数控程序基础	108
5.1.1 概述	108
5.1.2 数控机床的坐标系	109
5.1.3 数控程序结构及程序段格式	111
5.1.4 主程序与子程序	115
5.2 数控手工编程的一般步骤	116
5.3 G指令应用	118
5.3.1 关有坐标系的指令	118
5.3.2 快速定位指令	119
5.3.3 直线插补指令	120
5.3.4 圆弧插补指令	120
5.3.5 刀具半径补偿指令	122
5.3.6 刀具长度补偿指令	125
5.3.7 孔加工固定循环指令	127
5.4 M指令应用	134
5.4.1 程序停止指令 M00	134
5.4.2 选择停止指令 M01	135
5.4.3 程序结束指令 M02	135
5.4.4 主轴正转、反转、停止指令	135
5.5 数控铣手工编程实例	136

第 6 章 数控机床的维护与保养	141
6.1 数控机床的日常维护与保养	141
6.2 数控机床常见故障及诊断方法	144
6.2.1 机械故障	144
6.2.2 CNC 数控系统故障诊断	145
6.2.3 伺服系统故障	149
6.3 数控机床常见故障诊断实例	155
6.3.1 机床故障实例	155
6.3.2 CNC 系统故障实例	157
6.3.3 伺服系统故障实例	158
附录	162
附录 A 数控铣加工操作流程索引表	162
附录 B 数控技术常用术语	162
参考文献	167

第 1 章 数控铣加工基础

1.1 概述

随着社会生产和科学技术的迅速发展,机械产品日趋精密复杂,且需频繁改型,精度要求高,形状复杂,批量小。加工这类产品需要经常改装或调整设备,普通机床或专用化程度高的自动化机床已不能适应这些要求。为了解决上述问题,一种新型机床——数控机床应运而生。这种新型机床具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高等优点。它综合了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量和新型机械结构多方面的技术成果,是今后机床控制的发展方向。

1.1.1 数控机床的发展简况

1952 年,美国研制成功第一台数控机床。随着电子技术、计算机技术、自动控制和精密测量等相关技术的发展,数控机床也在不断地更新换代,先后经历了 5 个发展阶段。

第一代数控:1952~1959 年采用电子管元件构成的专用数控装置(NC)。由于其体积大、可靠性低、价格高,因此主要用于军工部门,没有得到推广应用,产量比较小。

第二代数控:从 1959 年开始采用晶体管电路的 NC 系统。虽然其可靠性有所提高,体积大为缩小,但其可靠性还是低,得不到广大用户的认可,数控机床的产量和产品虽有所增加,但增加得不快。

第三代数控:从 1965 年开始采用中小规模集成电路的 NC 系统。它不仅大大缩小了数控机床的体积,可靠性也得到了实质性的提高,从而成为一般用户能够接受的装置,数控机床的产量和品种均得到较大的发展。

第四代数控:从 1970 年开始采用大规模集成电路的小型通用电

子计算机控制的系统 (Computer Numerical Control, CNC)。

第五代数控: 从 1974 年开始采用微型电子计算机控制的系统 (Microcomputer Numerical Control, MNC)。

第四、五两代因为将计算机应用于数控装置, 所以称之为计算机数字数控装置, 简称 CNC 装置。由于计算机的应用, 很多控制功能可以通过软件来实现, 因而数控装置的功能大大提高, 而价格却有较大的下降, 可靠性和自动化程度得到进一步提高, 数控机床得到了飞速的发展。

从 1975 年出现第五代数控装置以后, 数控装置没有出现质的变化, 只是随着集成电路规模的日益扩大, 光缆通信技术应用于数控装置, 使其体积日益缩小, 价格逐年下降, 可靠性进一步提高, 数控装置的故障在数控机床总的故障中居于很次要的地位。

近年来, 微电子和计算机技术日益成熟, 它的成果正在不断渗透到机械制造的各个领域, 先后出现了计算机直接数控 (Direct Numerical Control, DNC), 柔性制造系统 (Flexible Manufacturing System, FMS) 和计算机集成制造系统 (Computer-Integrated Manufacturing System, CIMS)。所有这些高级的自动化生产系统均是以数控机床为基础, 它们代表着数控机床今后的发展趋势。

1.1.2 我国数控机床的发展简介

从 20 世纪 50 年代末期, 我国就开始研究数控技术, 开发数控产品, 经过多年来不断的调整、优化、重组和开拓, 我国数控产业通过自行研究、引进合作、独立开发和推进产业化进程, 我国数控系统已经取得重大突破, 基本上掌握了关键技术, 建立了数控开发、生产基地, 培养了一批数控人才, 初步形成了自己的数控产业。“八五”攻关开发的成果华中 I 号、中华 I 号、航天 I 号和蓝天 I 号 4 种基本系统建立了具有中国自主知识产权的数控技术平台。具有中国特色的经济型数控系统经过这些年的发展, 有了较大的改观, 产品的性能和可靠性有了较大的提高, 逐渐被用户认可, 在市场上站住了脚。

20 世纪 80 年代以来, 我国对数控机床的发展十分重视, 经历了“六五”、“七五”期间的消化吸收引进技术和“八五”期间科技攻关开发自主知识产权数控系统两个阶段, 已为数控机床的产业化奠定了良好

的基础,并取得了长足的进步。“九五”期间数控机床发展已进入实现产业化阶段。数控机床新开发品种 300 个,已有一定的覆盖面。新开发的国产数控机床产品提供了一批高水平数控机床,在技术上也取得了突破,如高速主轴制造技术 ($12000 \sim 18000\text{r/min}$)、快速进给 (60m/min)、快速换刀 (1.5s)、柔性制造、快速成型制造技术等为下一步国产数控机床的发展奠定了基础。曾长期困扰我国、并受到西方国家封锁的多坐标联动技术对我国已不再是难题, $0.1\mu\text{m}$ 当量的超精密数控系统、数控仿形系统、非圆齿轮加工系统、高速进给数控系统、实时多任务操作系统都已研制成功,尤其是基于 PC 机的开放式智能化数控系统,可实现多轴控制,具备联网进线等功能,既可作为独立产品,又是一代开放式的开发平台,为机床厂和软件开发商二次开发创造了条件。特别重要的是,我国数控系统的可靠性已有很大提高,MPBF 值可以在 15000h 以上。同时,大部分数控机床配套产品已能国内生产,自我配套率超过 60%。这些成果为我国数控系统的自行开发和生产奠定了基础。

1.1.3 数控机床发展趋势

为了进一步提高劳动生产率,降低生产成本,缩短产品的研制和生产周期,加速产品更新换代,以适应社会对产品多样化的需求,近年来,人们把自动化生产技术的发展重点转移到中、小批量生产领域。这就要求加速数控机床的发展速度,使其成为一种高效率、高柔性和低成本的制造设备,以满足市场的需求。

数控机床是柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统以及计算机集成制造系统和敏捷制造 (Agile Mpg) 的基础,是国民经济的重要基础装备。随着微电子技术和计算机技术的发展,现代数控机床的应用领域日益扩大。当前数控设备正在不断地采用最新技术成果,向着高速度化、高精度化、智能化、多功能化以及高可靠性的方向发展。

1. 高速度化、高精度化

现代数控系统正朝着高度集成、高分辨率、小型化方向发展。数控机床由于装备有新型的数控系统和伺服系统,使机床的分辨率和进给速度达到 $0.1\mu\text{m}$ (24m/min)、 $1\mu\text{m}$ ($100 \sim 240\text{m/min}$)。现代数控系统已经逐步由 16 位 CPU 过渡到 32 位 CPU。日本产的 FANUC15

系统开发出 64 位 CPU 系统, 能达到最小移动单位 $0.1\mu\text{m}$ 时, 最小移动速度为 $100\text{m}/\text{min}$ 。FANUC16 和 FANUC18 采用简化与减少控制基本指令的 RISC (Reduced Instruction Set Computer) 精简指令计算机, 能进行更高速度的数据处理, 使一个程序段的处理时间缩短到 0.5ms , 连续 1mm 移动指令的最大进给速度可达到 $120\text{m}/\text{min}$ 。现代数控机床主轴的最高转速可达到 $10000 \sim 20000\text{r}/\text{min}$, 采用高速内装式主轴电动机后, 使主轴直接与电动机连接成一体, 可将主轴转速提高到 $40000 \sim 50000\text{r}/\text{min}$ 。

通过减少数控系统误差和采用补偿技术可提高数控机床的加工精度。在减少数控系统控制误差方面, 可通过提高数控系统分辨率, 提高位置检测精度 (日本交流伺服电动机已装上每转可产生 100 万个脉冲的内藏位置检测器, 其位置检测精度可达到 $0.1\mu\text{m}/\text{脉冲}$) 及在位置伺服系统中采用前馈控制与非线性控制等方法。补偿技术方面, 除采用齿隙补偿、丝杆螺距误差补偿、刀具补偿等技术外, 还开发了热补偿技术, 减少由热变形引起的加工误差。

2. 智能化

(1) 在数控系统中引进适应控制技术。数控机床中因工件毛坯余量不均、材料硬度不一致、刀具磨损、工件变形、润滑或切削液等因素的变化将直接或间接地影响加工效果。自适应控制是在加工过程中不断检查某些能代表加工状态的参数, 如切削力、切削温度等, 通过评价函数计算和最佳化处理, 对主轴转速、刀具 (或工作台) 进给速度等切削用量参数进行校正, 使数控机床能够始终在最佳的切削状态下工作, 从而提高了加工表面的质量和生产率, 提高刀具的使用寿命, 取得了良好的经济效果。

(2) 设置故障自诊断功能。数控机床工作过程中出现故障时, 控制系统能自动诊断, 并立即采取措施排除故障, 以适应长时间在无人环境下的正常运行要求。

(3) 具有人机对话自动编程功能。可以把自动编程机具有的功能装入数控系统, 使零件的程序编制工作可以在数控系统上在线进行。用人机对话方式, 通过 CRT 彩色显示和手动操作键盘的配合, 实现程序的输入、编辑和修改, 并在数控系统中建立切削用量专家系统,

从而达到提高编程效率和降低操作人员技术水平要求。

(4) 应用图像识别和声控技术。由机床自己辨别图样,并自动地进行数控加工的智能化技术和根据人的声音对数控机床进行自动控制的智能化技术。

3. 多功能化

用一台机床实现全部加工来代替多机床和多装夹的加工,既能减少加工时间,省去工序间搬运时间,又能保证和提高加工精度。加工中心便能把许多工序和许多工艺过程集中在一台设备上完成,实现自动更换刀具和自动更换工件,将工件在一次装夹下完成全部加工工序,可减少装卸刀具、装卸工件、调整机床的辅助时间,实现一机多能,最大限度地提高机床的开机率和利用率。目前,加工中心的刀库容量可多达 120 把左右,自动换刀装置的换刀时间为 1~2s。加工中心中除了镗铣类加工中心和车削类车削中心外,还发展了可自动更换电极的电火花加工中心,带有自动更换砂轮装置的内圆加工中心等。

采用多系统混合控制方式,用车、铣、钻、攻螺纹等不同切削方式,同时加工工件的不同部位。现代控制系统的控制轴数可多达 16 轴,同时联动轴数已达 6 轴。

4. 高可靠性

高可靠性的数控系统是提高数控机床可靠性的关键。选用高质量的印制电路和元器件,对元器件进行严格的筛选,建立稳定的制造工艺及产品性能测试等一整套质量保证体系。在新型的数控系统中采用大规模、超大规模集成电路实现三维高密度插装技术,进一步把典型的硬件结构集成化,做成专用芯片,提高了系统的可靠性。

现代数控机床均采用 CNC 系统,数控机床的硬件由多种功能模块组成,对于不同功能的模块可根据机床数控功能的需要选用,并可自行扩展,组成满意的数控系统。在 CNC 系统中,只要改变一下软件或控制程序,就能制成适应各类机床不同要求的数控系统。数控系统向模块化、标准化、智能化“三化”方向发展,便于组织批量生产,有利于质量和可靠性的提高。

现代数控机床都装备有各种类型的监控、检测装置,以及具有故障自动诊断与保护功能,能够对工件和刀具进行监测,发现工件超