

实用数控与编程技术

王爱玲 俞士谦 王晓春 编著

國防工業出版社

实用数控与编程技术

王爱玲 俞士谦 王晓春 编著

国防工业出版社

(京)新登字 106 号

内 容 简 介

数控技术是现代化工业生产中发展十分迅速的高技术,在我国正在迅速普及和应用。

本书为满足生产和教学急需,综合介绍了数控加工和编程基础知识、数控加工和编程中的数学模式、自动编程系统软件设计、图形处理、工程数据库建立、故障诊断及可编程控制器知识,并推荐和收集了生产中的大量实例供应用时参考。

本书最大特点是适应大中型企业生产和工业生产自动化发展的需要,以及高等院校培养机电一体化复合型人才的需要,既可供工程技术人员和生产第一线人员使用,又可作为大专院校机械、计算机应用专业本科生教材和研究生参考用书。

实用数控与编程技术

王爱玲 俞士谦 王晓存 编著

责任编辑 彭华良

国际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)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京昌平长城印刷厂印装

*

787×1092毫米 16开本 印张18 插页1 415千字

1993年10月第一版 1993年10月第一次印刷 印数: 0001—1700册

ISBN 7-118-01126-6/TP·144 定价: 8.50元

出版说明

遵照国务院国发〔1978〕23号文件精神，中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵总教材编审室成立以来，在广大教师的积极支持和努力下，在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下，已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务。共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革、提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要，特别是国防现代化培养人才的需要，反映国防科技的先进水平，达到打好基础、精选内容、逐步更新、利于提高教学质量的要求，我们以提高教材质量为主线，完善编审制度、建立质量标准、明确岗位职责，建立了由主审审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业特点，成立了九个专业教学指导委员会和两个教材编审小组。以加强对兵工类专业教材建设的规划、评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材，全面提高质量，适当发展品种，力争系统配套，完善管理制度，加强组织领导”的“八五”教材建设方针。兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上，于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划。共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的。专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查，认为符合兵工专业培养人才要求，符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套，为教学质量的提高、培养国防现代化人才，为促进兵工类专业科学技术的发展，都将起到积极的作用。

本教材由任雨田主审，兵总教材编审室审定。

限于水平和经验，这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处，希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1992年8月

前 言

数控技术是现代化工业生产中发展十分迅速的高技术,它集中体现了机械制造技术,自动控制技术,计算机软、硬件技术,检测监控等多种学科技术的最新成就;在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善劳动条件等方面均体现出优越性。特别是在适应市场激烈竞争、产品迅速更新换代、小批量和多品种生产方面,采用各类数控设备、加工中心、柔性制造单元、柔性制造系统乃至计算机集成制造系统,是必然的趋势。

改革开放以来,通过引进、消化、吸收国外先进技术、先进设备及国家组织重点科技攻关、开发,使我国数控技术方面有了很大发展。但从部分大中型企业调查了解情况来看,尚存在一些急待解决的问题:比如对数控设备特别是引进技术的继续开发问题;计算机软、硬件的配套研制问题;很快面临的电子元器件的老化问题及随之而来的维修高峰期配件国产化问题等。对生产第一线操作者、维修人员和编程人员,他们的知识急需迅速更新和提高。高等学校更应注意培养高层次的计算机应用、机电一体化技术人才才能适应生产及科学技术发展的需要。

本书正是为解决以上急需,力求为读者提供这方面的实用知识。全书共分九章,包括了数控加工基础知识,数控加工和编程中用到的数学模式,数控编程基础知识,数控编程系统设计,后处理程序设计,数控编程中的图形处理,CAD/CAM一体化系统工程数据库知识,数控设备故障诊断知识,可编程控制器等知识。在绪论中还介绍了未来工艺新技术CIMS的内容。在最后一章将我们在1989年研制的与德国8MC数控系统配套的实用型数控自动编程系统加以介绍,这个系统虽然是一个 $2\frac{1}{2}$ D系统,但已能满足在引进设备上开发软硬件功能的基本要求。

本书最大的特色就是突出一个“实用”,既考虑基础知识,又介绍高技术、高科技最新动态;既考虑机械工程形体的解析特点,又考虑自由型曲线、曲面造型的需要。在数控机床方面介绍了主要部件、伺服元件、换刀装置、检测元件等;在软件研制时严格遵照软件工程的理论进行指导,并注意拓宽知识面,尽量满足数控加工及编程工作的实际需要,为此我们曾对不少大中型企业进行过实地调查。

本书适合于从事计算机数控的编程人员、工程技术人员、生产第一线工人使用,可作为机械及计算机应用专业的教材。本书是在作者所编同名讲义作为研究生及本科生教材使用四次再版两次的基础上重新编写而成。建议学时数60学时。

本书由王爱玲同志主编。第四章、五章、八章、九章由王晓春同志编写;第二章由王爱玲同志编写;其余章节由俞士谦同志编写。本书编写过程中收到太原重型机器厂、第二重型机器厂、晋西机器厂、太原矿山机器厂、北京北方车辆制造厂等许多企业数控编程人员提供的资料,在此特表示衷心感谢。

本书由北京理工大学任雨田先生审阅全书并提出宝贵的指导性意见,在此一并致谢。

由于作者水平和时间所限,书中错误之处,请读者批评指正。

目 录

绪 论

0.1 数控技术的发展动态	1
0.1.1 高速化的一些新动向	1
0.1.2 高精度化	2
0.1.3 复合化	2
0.1.4 智能化	3
0.1.5 系统化	4
0.2 国内数控技术现状	4
0.3 未来工艺技术的展望	7
0.3.1 CIMS的前奏	7
0.3.2 CIMS结构简述	8
0.3.3 我国的CIMS规划	10
第一章 数控加工基础知识	13
1.1 金属切削机床型号编制	13
1.1.1 机床的类代号表示法	13
1.1.2 机床的特性代号表示法	13
1.1.3 机床的组、系代号表示法	14
1.1.4 主参数的表示法	14
1.1.5 其他代号表示法	15
1.1.6 标注示例	15
1.2 数控机床概述	16
1.2.1 数控机床的构成	16
1.2.2 数控机床的分类	18
1.3 数控机床的坐标设置	19
1.3.1 $Z(z)$ 轴	20
1.3.2 $X(x)$ 轴	20
1.3.3 $Y(y)$ 轴	20
1.3.4 旋转或摆动轴	20
1.3.5 其他附加轴	20
1.4 数控机床主要部件简介	22
1.4.1 伺服驱动元件	22
1.4.2 传动元件	27
1.4.3 自动换刀装置	31
1.4.4 检测元件	36
1.4.5 数控车床的C轴功能	40
1.5 数控机床的正确使用和维修	41

1.6 数控设备的故障诊断简介	43
1.6.1 介绍几个术语 ^[16]	43
1.6.2 数控设备的故障诊断	44
第二章 数控加工中的数学模式	48
2.1 圆弧样条	48
2.1.1 圆弧样条构造方法	48
2.1.2 圆弧样条的光顺处理	53
2.2 局部坐标系下的分段三次样条	54
2.3 B样条简介	57
2.3.1 B样条的定义	57
2.3.2 B样条的几个重要性质	64
2.3.3 三阶、四阶均匀B样条曲线的几何特性	65
2.3.4 B样条曲线的反算问题	70
2.4 抛物线拟合	71
2.5 曲线的二次逼近问题	72
2.5.1 直线逼近	72
2.5.2 双圆弧逼近	74
第三章 数控编程基本概念	76
3.1 数控系统插补	76
3.1.1 插补原理	76
3.1.2 逐点比较法	76
3.1.3 数字积分法	82
3.1.4 其他插补方法简介	87
3.2 手工编程简介	90
3.2.1 数控代码及格式	90
3.2.2 刀具补偿	99
3.2.3 程序编制的内容及结构	103
3.2.4 手工编程举例	112
3.3 自动编程概述	124
3.4 数控探头编程介绍	128
第四章 数控自动编程系统设计	132
4.1 数控自动编程系统	132
4.2 自动编程语言的定义	133
4.3 自动编程语言词法扫描器的设计	138
4.3.1 词法扫描器	138
4.3.2 词法扫描器的设计	139
4.3.3 词法扫描器的错误处理	144
4.4 自动编程语言的语法分析	145
4.4.1 基本概念	145
4.4.2 算符优先法	147
4.4.3 递归下降分析法	153

4.4.4 语法分析器的错误处理·····	154
4.5 自动编程语言的语义分析·····	154
4.5.1 语法制导翻译·····	154
4.5.2 符号表·····	155
第五章 后置处理程序设计 ·····	159
5.1 后置处理程序的结构和特点·····	159
5.2 镗铣类机床的后置处理程序·····	160
5.2.1 工艺指令的处理·····	160
5.2.2 特殊指令的处理·····	166
5.3 车床的后置处理程序·····	169
5.3.1 工艺语句处理·····	169
5.3.2 特殊功能语句处理·····	171
5.4 线切割机的后置处理程序·····	172
5.4.1 3B语言·····	172
5.4.2 后置处理程序·····	174
5.5 后置处理程序中的校验功能·····	175
第六章 数控编程中的图形处理 ·····	178
6.1 数控编程软硬件环境·····	178
6.2 图形变换·····	182
6.2.1 点的变换·····	182
6.2.2 齐次坐标·····	184
6.2.3 平面图形变换·····	186
6.2.4 三维变换·····	189
6.2.5 物体轴测变换·····	193
6.2.6 物体透视变换·····	194
6.2.7 物体综合变换示例·····	195
6.3 图形的求交与过渡·····	197
6.3.1 平面与解析体求交·····	197
6.3.2 两二次曲面体求交·····	202
6.3.3 复杂零件过渡面·····	205
第七章 工程数据库及加工过程优化 ·····	207
7.1 工程数据库·····	207
7.1.1 数据(库)管理系统的功能及类型·····	209
7.1.2 支持CAD/CAM一体化系统的数据库设计方法介绍·····	210
7.2 数控加工过程优化·····	211
7.2.1 概述·····	211
7.2.2 切削参数的最优化·····	212
第八章 数控机床用可编程控制器 ·····	224
8.1 可编程控制器·····	224
8.1.1 可编程控制器简介·····	224
8.1.2 可编程控制器的发展背景及现状·····	225

8.2 可编程控制器的硬件组成	226
8.2.1 可编程控制器的基本功能	226
8.2.2 可编程控制器的基本组成和原理	226
8.2.3 PLC 的编程	229
8.3 三菱F1系列可编程控制器	230
8.3.1 三菱可编程控制器介绍	230
8.3.2 F1系列可编程控制器	232
8.4 可编程控制器的选用	240
第九章 8MC系统数控自动编程软件简介	243
9.1 系统结构及功能	243
9.1.1 主控程序	243
9.1.2 帮助程序	244
9.1.3 编辑程序	244
9.1.4 几何处理程序	244
9.1.5 运动处理程序	245
9.1.6 后置处理程序	245
9.1.7 绘图校验	245
9.2 系统配置	245
9.3 应用实例	246
附录 应用实例和外文缩写	247
附录1 铣削加工齿盘	247
附录2 铣削加工半球	255
附录3 线切割加工顶板	258
附录4 铣削加工侧挂板	261
附录5 铣削加工瓶盖	264
附录6 线切割加工椭圆垫	268
附录7 线切割加工专用垫片	271
附录8 外文缩写	279
参考文献	280

绪 论

0.1 数控技术的发展动态

数控技术是现代化工业生产中的一门新型的发展十分迅速的高技术,它是机械加工技术、微电子技术、监控检测技术等多种学科新技术的集成。在提高生产率、降低成本、保证加工质量及改善工人劳动条件等方面都具有突出的优点,特别是在适应机械产品迅速更新换代、小批量、多品种生产方面、各类数控设备、加工中心、柔性制造单元(FMC——Flexible Manufacturing Cell)、柔性制造系统(FMS——Flexible Manufacturing System)乃至计算机集成制造系统(CIMS——Computer Integrated Manufacturing System)是发展的必然趋势。

随着计算机技术的迅速发展,数控技术同样也经历了五代更新:电子管、晶体管、集成电路、小型计算机、微机(MNC)。自1986年以来,32位CPU已进入数控系统,其运算速度比16位CPU快4~5倍,为今后数控机床向高速化、高精度化、复合化、智能化、系统化等方向发展创造了条件。

0.1.1 高速化的一些新动向

从1990年9月芝加哥国际机床展览会上展出的最新数控系统来看:如奇异-发那科(GE—FANUC)公司的16系列数控系统、西门子(Siemens)公司的840系统、AB公司的8600系统、西班牙法格尔(Fager)公司的8030系统、美国舍姆伍特(Thermwood)公司的Supercontrol9100系统等,不少已采用32位机,有的系统自带小型数据库,增强了加工功能。在GE—FANUC16系统中还装有精减指令集计算机(RISC——Reduced Instruction Set Computer),RISC限制了频繁使用各种类型与访问存储器的指令,它的CPU处理器结构较为简单,能进行高速数据处理,其执行速度可达20~30MIPS(注:1MIPS=100万条指令/秒),而一贯通用的复杂指令集计算机(CISC——Complex Instruction Set Computer)执行速度为5~6MIPS。RISC可计算系统参数产生的预期误差,并根据实际需要进行修正,消除了跟踪误差。RISC还具有控制加、减速,优化执行程序等功能。

数控机床的“高速化”主要体现在主轴转速和进给速度。如德国IBAG公司、普利赛斯(Preeise)公司、CMN公司的磁浮轴承的高速主轴最高转速达 $15 \times 10^4 \text{ r/min}$,一般主轴转速达 $7 \times 10^3 \sim 25 \times 10^3 \text{ r/min}$;加工中心换刀速度快达1.5s,两次相邻切削的间隔辅助时间为4.5s;在切削速度方面,目前硬质合金刀具和超硬材料涂层刀具车削和铣削低碳钢的速度达500m/min以上,而陶瓷刀具可达800~1000m/min,比高速钢刀具30~40m/min的速度提高了数十倍;精车速度甚至达1400m/min。这种高速主轴的轴承速度因数 d_n 。(轴承内径 d (mm)与转速 n (r/min)的乘积)值高达表0-1所示的范围。

表0-1 速度因数 d_n

滚珠材料	轴 承 钢		陶 瓷	
润滑方式	脂 润 滑	油 雾	脂 润 滑	油 雾
d_n 值	80×10^4	120×10^4	120×10^4	200×10^4

进给系统高速化是指提高切削进给和快速进给速度。切削进给速度受到刀具、被加工材料、加工精度及表面粗糙度等因素影响,通常以其调速范围及其所能达到的最小进给量衡量。如铣削进给量为5 m/min左右,国外有的达10 m/min;快速进给一般为16 m/min,较快者20~24 m/min,有的加工中心高达30 m/min。

0.1.2 高精度化

现代科学技术与生产的发展,对机械加工与测量提出了越来越高的精度要求。比如,大规模集成电路的线宽已降至亚微米级,磁盘与拾磁头之间的气隙已减少到0.3 μm 。航天、核聚变使用的一些光学镜片尺寸及粗糙度以纳米级衡量,人类已进入了纳米技术时代。这就要求一般机械加工设备加工精度达0.1~1 μm ;电子及航空工业要求达0.005~0.1 μm ,加工表面粗糙度达 R_a 0.001 μm 。

随着数控系统及伺服系统性能的提高,数控机床的加工精度也在不断提高。例如,车削中心的尺寸精度一般可达IT6,加工表面粗糙度为 R_a 0.8~0.4 μm 。“高精度化”的另一含意是超精密加工。80年代研制的数控超精密车床,主轴系统采用空气静压轴承,主轴回转精度达0.025 μm 、进给系统采用静压导轨及配有激光干涉仪的微进给机构,最小进给增量为0.01 μm ,加工精度0.1 μm (形状精度),表面粗糙度为 R_a 0.01 μm 。在其他超精加工领域,日本已研制出用电泳淀积的方法制成10~20 nm超细砂粒小砂盘,用这样的砂盘磨削,得到了表面粗糙度小于10 nm、无磨削痕迹的硅晶片。日本学者加西(T. Kasai)利用平滑含碳氟化合物泡沫的研磨器与 CeO_2 粉末可获得 $R_{a\max} < 1 \text{ nm}$ 的超光表面,在严格的防尘条件下,利用含碳氟化合物泡沫的抛光器与 SiO_2 细粉末,可获得 $R_{a\max} < 0.5 \text{ nm}$ 的超光表面。

0.1.3 复合化

以减少工序数,减少辅助时间为主要目的的复合加工正在朝着多轴、多系列控制功能方向发展。比如:复合加工车床,一般被称为车削中心,可完成车、铣加工;车内外表面,钻横孔、横螺纹孔、端面孔、端面螺纹孔、端面及侧面偏心孔、背面加工、铣槽、铣扁等,一次装卡可加工出成品零件。利用这种车削中心加工横孔及进行铣削时,要求主轴必须有分度功能、定位停车功能和圆周进给功能,通常称这种主轴为C轴,必须实现 $X(x)$ 、 $Z(z)$ 、C轴联动控制才能加工外圆或端面沟槽,如圆柱凸轮、端面凸轮等。车削中心的刀盘上应有动力刀位,才能安装钻头、铣刀。目前已开发出24刀位转塔刀架,可设6~8个动力刀位,相当于一个小型刀库。对于多轴多系统混合控制的双转塔数控车削中心,两个刀架运动可各自独立,功能更强。如果增设第二主轴,则可夹持工件加工好的面,转位后利用对置刀架加工工件背面及原先被夹持的面。

再如:美国1990年推出的机械—激光复合机及机械—等离子复合机为主机的板材柔

性单元,配以滚道式料架、吸盘式上料机构、自动更换模具装置,可同时完成冲压和切割的任务。

0.1.4 智能化

人工智能是一门新兴的边缘学科,属于计算机科学中涉及设计智能计算机系统的一个分支,这些系统呈现出与人类的智能行为(如理解语言、学习、推理和解决问题等)有关的特性。

近年来,人工智能技术成功而有效地用在专家系统或“知识工程”的研究中。这些系统是在某个领域的专家与系统设计者之间经过艰苦的反复交换意见之后建立起来的,可以对要解决的问题进行解释、预测、诊断、设计、规划、监视、修理、指导和控制等。

人工智能研究日益受到重视的另一个分支是机器人学。智能机器人通过视觉、触觉和听觉等各类传感器检测工作状态,根据实际的变化过程反馈信息并作出判断和决定。比如:机器人视觉系统可用电视摄像机、强光源通过计算机处理图像信息探测和纠正物体的位置和方向。而装配和检测机器人则通过力传感器及光感、磁感应传感器测定物体的形状、大小及两物体间距离等。

智能检索系统的发展则是适应当前迅速发展的数据库系统的信息存取、检索以及如何表示和应用常识等发展起来的新分支。

用智能化思路确定最佳调度或组合问题,是自动化生产管理的新途径。

数控机床的智能化体现在用各种测量传感器对切削加工前后和加工过程中各种参数进行监测,并通过计算机控制系统作出判断,自动对异常现象加以补偿和调整,以保证加工过程顺利进行并加工出合格产品。目前国外的数控加工中心多具有以下智能化功能:

1. 对刀具长度、直径和刀具破损的监测

加工前测出刀具长度、直径数值,自动与程序中规定数值进行比较,若超差则进行自动补偿或换刀;加工过程中可监测出刀具破损,自动停车,换刀后重新启动加工。

2. 对切削过程监控

切削过程中对主轴功率和扭矩进行监控,自动调节进给速度值,使其达到规定的功率和扭矩值范围,从而做到最大限度提高生产率而不导致破坏性的超功率切削。

3. 工件自动检测和补偿

加工前测量毛坯尺寸及装卡位置,自动确定程序起点位置,加工后测量零件是否合格,自动进行误差校正以补偿下一个加工件。

智能系统目前正向知识型、生成形的智能系统发展。美国MIT舒(N.P.Sun)教授在“思维设计机的设计”一文中提出了对思维设计机基本结构的设想。他将思维设计分成4步:①确定功能要求;②建立设计参数;③分析设计方案;④确定最终设计。并提出判定思维设计优劣标准的两条公理:独立性公理——各功能要求应相互独立;最小信息公理——所需信息量最小的方案为最佳方案。对思维设计机所需的数据库和知识库也提出了要求。

总之,智能系统的发展是机械加工柔性化和集成化深入发展的重要标志。

0.1.5 系统化

在FMC、FMS、CIMS中使用CNC装置必须能经受长期运转的高可靠性，应具有高速通信功能，能适应MAP (Manufacturing Automation Protocol) 网等容易纳入系统的性能要求。目前数控装置使用的RS232接口，最高传输速度不超过19200bps (bps—每秒位数)。以前一般采用以DNC (Direct Numerical Control) 为基础的星形点到点通讯方式，速度太低，根本满足不了CIMS的要求。从长远看，CIMS的主干网还应采用符合总线方式的MAP网。

0.2 国内数控技术现状

数控技术包括的范围很广，这里只介绍数控机床方面的一些有关情况。

我国从1958年开始研制数控机床，30多年来在数量、品种、功能及技术方面均具备了一定基础，并形成了一支初具规模的技术队伍。特别是改革开放以来，通过引进、消化、吸收以及国家组织重点科技攻关、开发，使我国数控技术有了很大发展，取得了一定的成绩。特别重要的是在攻关、开发项目的带动下，初步建成了跨行业、跨部门的数控技术配套体系。从1990年第二届中国机床工具博览会上展出的“七·五”期间部分数控技术攻关、开发成果可以看出，国产的数控设备有：立式、卧式加工中心，镗铣加工中心，车削柔性加工单元，组合机床数控加工单元，仿形及龙门加工单元等；有无人运输车，机器人、机械手；有各种型号的数控车床，数控高速铣、仿形铣、万能工具铣，数控钻床，数控线切割机，数控内、外圆、端面磨床，数控光学曲线磨床、螺母磨床、滚刀刀磨床；有各类数控特种加工机床，如数控激光切割机，数控电火花成型机床，数控高速小深孔电加工机床等；有数控组合机床及数控组合机床通用件；有各种规格型号的数控三坐标测量机；还有各类型经济型数控设备。从数控系统来看有复杂的、简易的、功能齐全的、专用的各类系统及配套用电子元器件，基本上形成系列产品。从数控编程系统来看有工作站及微机上分别开发的三维、多轴全功能自动编程系统，也有针对不同类型的设备开发的专用编程系统及排料系统等。总之，博览会展示了我国数控技术的现状，前景是可喜的；但总体上来说，我国的机械制造技术水平与国外先进的工业发达国家相比，差距还是很大的。笔者认为在数控加工方面尚存在以下急待解决的问题。

1. 开发引进设备功能的任务艰巨

近年来，我国一些大中型企业先后引进不少数控设备、FMC、FMS，每年以上百亿美元计。不少厂家引进设备是针对某类较复杂的产品或某种特殊用途。引进这类设备时，往往考虑软、硬件功能不甚全面。有的设备软、硬件不是同一厂家产品，常常发现软件有的功能硬件不配套，甚至有的动作无法执行；或硬件有的功能指令系统软件又缺资料或未配驱动软件、接口软件等，影响了先进设备的开发工作。再者，引进设备时，有关技术人员或操作者培训期短，缺乏必要的数控技术基础知识，多用国外编好的现成程序进行加工，对其它不同类型的零件无法进行加工，经过几年实践也只能用手工编程解决一定范围内的零件加工问题。这种情况下，迫切需要配置适合这种设备的专用或通用的数控自动编程系统。这一问题若得不到解决则导致某些厂家把功能齐全的数控设备只能当专用设备使用，造成极大浪费和资金积压。

2. 数控加工中的工艺理论问题

数控加工中对数学的应用从初等数学到运算微积乃至计算几何等涉及范围很广。比如手工编程时,计算刀具偏移位置需用几何、三角知识,若用计算机描述零件的轮廓和刀具运动情况,则需建立相应的数学模式。对大多数由规则曲面构成的三维轮廓,可用解析式表示,这种情况在普通机械制造领域中是常见的;对于复杂的几何外形即自由形曲面,如飞机、船舶、汽车等外形,很难用一般函数精确描述,往往只是给出若干型值点(给定数据点)的离散数据,通常称之为列表曲线、曲面。建立这些型值点的数学模式通常称之为拟合法。常用的拟合法有:牛顿(Newton)插值法,埃尔米特(Hermite)插值法,最小二乘逼近,圆弧样条,双圆弧逼近,局部坐标系下的三次样条、参数样条,孔斯(Coons)曲面法,贝齐尔(Bézier)曲线、曲面法,B样条曲线、曲面法等。直接与加工精度有关的问题还有根据数控设备所具备的直线或圆弧插补功能、抛物线及其他二次曲线插补功能,对被拟合的曲线、曲面再进行二次逼近误差计算,以决定机床走刀的最小步距,将误差控制在允许的公差范围内。

上述理论在数控自动编程系统设计时,成为主处理程序的几何语句和运动语句的一部分。此外,自动编程系统还涉及到广泛的工艺理论问题,如容差的计算,刀具运动轨迹的计算,轮廓加工中转折点处尖角过渡的超程和欠程处理、加工圆弧时跨不同象限的刀具运动轨迹计算等。这一系列的工艺理论问题,许多专家、学者做了不少工作,总结出了许多简化合理的计算方法,并在实际中得到进一步完善和发展。笔者认为在解决三维加工的理论方面,在发展样条理论的同时,还应在满足加工精度要求的条件下力求简化数学模式,在简化计算上下一些功夫。

3. 数控加工工艺系统的问题

数控加工时首先要编制零件加工程序,根据对零件的工艺分析编排工艺,确定加工路线,选择加工方法、设置基准,选择刀具,按照容差允许值选择切削参数(包括切削速度: m/min ,进给量: mm/min ,进给率: mm/r ,主轴转速: r/min 等参数)及设置其他辅助功能。

数控加工时,对刀点的设置是很重要的,因为它是刀具相对工件运动的起点,也是程序的起点,它必须与零件的定位基准有一定的坐标尺寸联系。数控机床的坐标设置有绝对坐标系统和相对坐标系统。为提高零件的加工精度,对刀点尽量选在零件的设计基准或工艺基准上,这一基准重合的原则同一般机床加工要求是一致的。

数控加工中切削用量的正确选取是国内外都感到困难的课题,因为切削用量选择涉及到的因素太多,比如:加工方式有铣、镗、钻、车、磨、攻丝等;工件材质有普通碳钢、合金钢、铸钢、铸铁、铝合金、铜合金及其它有色金属或非金属等;刀具材质有高速钢、硬质合金、涂层刀具、陶瓷刀具、碳化硅砂轮、树脂砂轮、金刚砂轮等;刀具型式有端铣刀、圆柱铣刀、三面刃铣刀、成形铣刀、单刃和双刃镗刀、中心钻、普通麻花钻、枪钻、划钻、铰刀、螺纹刀具、齿轮刀具、各种形式的车刀、切断和切槽刀、成形车刀等;再加上零件精度和表面粗糙度的要求,任何一个因素的改变都将影响到切削用量。国外有些自动编程系统编制了功能齐全的切削参数库,并能根据工件要求自动优选切削用量,国内也研制了一部分切削参数专用软件,并有专门的归口单位通过大量的切削试验制定数控加工切削参数。在数控加工中大多数厂家根据经验选取切削参数,而且

发现国产刀具和进口刀具适用的切削用量差别很大。一般在引进数控设备时,随设备引进一批刀具,随着加工件的更换和刀具的自然损耗,刀具需及时补充,但又不能花大量外汇去购买进口刀具,当选用国产刀具时往往受到刀具质量和耐用度的限制,切削参数选择偏低,下表的例子是镗削精度为 IT7 的孔时选用切削用量的对比数值(数控设备为某厂引进镗铣加工中心)。

表0-2 切削速度对比示例 v (m/min)

产 地	刀具材质	被 加 工 件 材 质		
		合 金 钢	铸 铁	铝及铜合金
国 产	硬质合金	100~150	70~90	150~200
进 口	硬质合金	120~180	80~130	200~300
	涂层刀具	200~450	100~250	250~400

选择切削参数,从发挥机床效益和功能考虑应尽量选大些,但国产刀具在材质和制造工艺上还不过关,故切削性能比不上国外同类产品。近年来,国内刀具行业发展较快,出现了不少新材料、高性能刀具,对数控机床用刀具也指定了专业配套生产厂家,但远不能适应生产需要,不少用户仍得花外汇购买进口刀具,这是值得注意的问题。

针对目前状况也谈几点对策。

(1) 跟踪世界高科技、高技术最新前沿信息,结合我国国情,调整机床工具产品结构,加速“母机”工业的发展,大力发展机电一体化产品,扩展品种规格,提高机电设备的数控化率,创造条件发展 FMC、FMS,为实现 CIMS 试点工程提供成套技术装备。缩短与世界先进水平的差距。

(2) 立足于国产化,充分消化吸收 80 年代引进国外的先进技术和装备,一方面要进行继续开发其功能的工作,另一方面根据电子元器件过七八年要老化的这一规律,解决好计算机控制系统软硬件配套研制、新产品开发、引进设备易损件的更新问题及故障诊断和设备维修问题。

(3) 加速企业的技术改造,充分吸收和采用国外 80 年代推出的新技术、新工艺、新材料和新装备,通过技术改造逐步淘汰老工艺、老设备。由于我国资金短缺,建议采取高新技术现代化改造及经济型数控改造同时并重的方法,对一些重点骨干企业有计划地投资进行 CIMS 单元技术改造和总体集成的基础建设;另一方面对一些役龄较长的既不能满足生产的要求,而淘汰又觉得可惜的旧设备,拟进行经济型数控改造,使它们焕发“青春”。简易数控化的另一意义在于对中小型企业技术改造可收到立竿见影的效果。这样在总体上使我国的机械制造业既上了水平又节省了大量设备投资。

(4) 在加强基础科学研究的同时,充分重视应用科学,应用技术的研究,把高新技术科研成果尽快转化为生产力。高等院校、科研院所应直接参加大中型企业的技术改造,充分利用现有的先进的检测、试验、分析手段解决生产中急需解决的问题。另外现代化的生产必须配备适应现代化生产的管理人员和技术人员,高等院校既担负着培养人才的重任,还要重视对现职人员的知识更新教育。

总之,现代机械制造技术的进步和水平的提高,要靠先进的工艺装备、先进的生产组织管理机制,而前提是提高人员的素质,全社会都应应为振兴中华作出贡献。

0.3 未来工艺技术的展望

科学技术的发展,特别是电子计算机技术的迅速发展以及市场激烈竞争的需要,使以机械工业为代表的离散型生产方式正在经历着一场新技术革命——从局部自动化走向全面自动化,即由原来局限于产品制造过程的自动化扩展到产品设计和经营管理自动化。使机械工业进而带动整个工业企业生产运营的全过程实现自动化,这就是计算机集成制造系统。

可以预见,在21世纪,CIMS必将成为工业企业占主导地位的生产方式。

0.3.1 CIMS的前奏

自1873年第一台凸轮控制的自动车床问世,开始了机械加工自动化的历史。19世纪40年代,在各种机械式、电气式、液压式自动化专用机床的基础上连成了自动生产线,使以适应单一品种、大量生产为特征的“刚性自动化”生产日趋成熟。1946年世界上第一台电子计算机“ENIAC”的问世,为产品制造由刚性自动化向柔性自动化方向发展奠定了基础,并为CIMS的产生作了准备,具体表现在以下三方面。

0.3.1.1 产品制造方面

1952年美国帕森斯(Parsons)公司和麻省理工学院(MIT)合作研制成功世界上第一台三坐标数控铣床,为计算机在产品制造中的应用开创了一条崭新的道路,成为计算机辅助制造(CAM——Computer Aided Manufacturing)的开端。随着刀库的发明,于1958年出现了数控加工中心,能在一次装夹中通过自动换刀实现铣、镗、钻、铰、攻丝等多道工序加工,使数控(NC——Numerically Control)自动化加工由工序分散方式向集中方向发展。与此同时,自动编程系统的研制也迅速发展,1956年以APT(Automatically Programmed Tools)自动编程工具为基础,开始研究数控编程语言,之后逐渐扩充、完善,到70年代推出APT-IV及各国各种版本的APT自动编程系统软件至今广为使用。

在机床数控技术和工业机械手基础上,1962年,美国研制出第一台工业机器人,为完善加工过程中物料搬运自动化、装配自动化及改善劳动条件,代替人承担一些危险、笨重及有毒害的工作创造了条件。

1963年美国制造了世界上第一条加工多种柴油机零件的数控自动线。1967年由英国设计美国建成的柔性制造系统,适应中小批复杂零件的生产和产品迅速更新换代,并大大提高了机械加工的劳动生产率。在60年代末开始研究的计算机辅助工艺规程设计(CAPP——Computer Aided Process Planning),包括工艺路线设计,每道工序的详细设计、切削用量的选择、工时定额的制定等具体内容,成为计算机辅助制造的关键技术。

0.3.1.2 产品设计方面

50年代中期开始研究的计算机辅助设计(CAD——Computer Aided Design),包括了计算机制图、设计计算和建立数据库等内容,CAD迅速进入各种制造应用领域,

不仅出现了可绘制 2、 $2\frac{1}{2}$ 、3 维图形的交互式绘图系统,而且还产生了用于 3 维设计和工程分析的 CAD 系统,可以完成产品设计、材料选择、制造要求分析、优化产品性能及完成各类通用或专用零、部件设计、工装、夹具、模具设计等工作。

随着 CAD、CAM 的迅速发展,70 年代中期开始研制 CAD/CAM 集成化系统,即把计算机设计的零件信息直接转化为加工信息传递给加工设备,使一种产品从设计到制造在一个系统内完成。

0.3.1.3 经营管理方面

1954 年美国通用电气公司第一次实现了在电子计算机上计算职工工资,使计算机首次进入管理领域,并由初期的单项数据处理阶段迅速进入综合处理阶段,进而发展到数据系统处理阶段,建立了管理信息系统 (MIS—Management Information System)。

随着计算机在企业产品设计、制造、经营管理领域的深入、广泛应用,使生产过程中各环节:从市场分析、产品设计、加工制造、经营管理到售后服务成为不可分割的统一体,整个生产过程变成为一个数据采集、传递和加工处理的过程,产品成为数据的物质表现。基于这一基本观点,美国的约瑟夫·哈林顿 (Joseph Harrington) 博士于 1974 年提出了计算机集成制造 (CIM) 的新概念,1981 年以后这一概念被广泛接受,并把 CIMS 作为制造工业的新一代生产方式。

0.3.2 CIMS 结构简述

CIMS 是在自动化技术、信息技术及制造技术的基础上,通过计算机及其软件,将制造工厂全部生产活动所需的各种分散的自动化系统有机地集成起来,而不是简单地叠加起来。随着科学技术的进步和生产的发展,市场竞争越来越激烈,产品种类和中、小批量产品比重日益增加,产品交货日期和更新换代周期越来越短,据国际生产工程研究协会 (CIRP) 对美、日等国调查,目前中小批零件品种占整个机加零件品种的 50% 以上。CIMS 就是适应这种中、小批复杂零件生产的计算机辅助设计、辅助制造、生产管理一体化系统。具体来说,CIMS 是指利用计算机技术将制造过程中复杂多变的物料流和信息流组成一个协调平衡的运动系统,并实现实时全局优化,是未来自动化的发展趋势。这里还应指出,人是 CIM 技术成败的关键,是整个系统的一项重要资源。

目前世界上 CIMS 尚处于初级发展阶段,但许多国家和企业已认识到它的战略意义。例如美国把 CIMS 看作今后 60 年科技方向之一,欧共体将 CIMS 列为信息技术研究发展战略计划的三个重大项目之一,原苏联把 CIMS 提高到与开发宇宙具有同样重大意义的位置,日本为了与美国争夺市场,在 80 年代初就提出了技术立国与面向 21 世纪的科技发展战略,对开发与 CIM 有关的各种新技术都作了巨额投资。

国外一些大型甚至中型公司和企业都十分重视发展 CIMS 的战略规划,但由于各自经营方式和技术优势不同、自动化基础不同,对 CIMS 的理解也不同,所以 CIMS 的发展没有固定模式。例如英格索尔 (Ingersoll) 公司,先建立了经营信息系统 (CIM—Computer Information Management),后安装了柔性制造系统 (FMS),因此采用 CIM+FMS=CIFM 的发展模式;约翰迪尔 (John Deer) 拖拉机公司在成组技术 (GT—Group Technology) 方面具有优势,因此采用以 GT 作为开发应用 CIMS 的核心