



技工系列工具书

编 著 / 张思弟 杨清林

数控铣床与加工中心操作工 实用技术手册

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

技工系列工具书

数控铣床与加工中心 操作工实用技术手册

张思弟 杨清林 编著

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床与加工中心操作工实用技术手册 / 张思弟等
编著. —南京: 江苏科学技术出版社, 2010. 3

(技工系列工具书)

ISBN 978 - 7 - 5345 - 7045 - 2

I. 数… II. 张… III. ①数控机床: 铣床—技术手册
②数控机床加工中心—技术手册 IV. TG659 - 62 TG547 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 222377 号

技工系列工具书

数控铣床与加工中心操作工实用技术手册

编 著 张思弟 杨清林

责任编辑 宋 平

责任校对 郝慧华

责任监制 曹叶平

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市湖南路 1 号 A 楼, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 南通印刷总厂有限公司

开 本 850 mm×1168 mm 1/32

印 张 18

字 数 430 000

版 次 2010 年 3 月第 1 版

印 次 2010 年 3 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978 - 7 - 5345 - 7045 - 2

定 价 43.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

前 言

数控加工技术是现代制造技术的典型代表,在制造业的各个领域,包括军工、汽车、摩托车、模具、家电等行业应用日益广泛,已经成为这些行业不可缺少的加工手段。

随着中国加入世界贸易组织,全球制造业向中国的转移以及自身的发展,制造业装备水平的数字化升级换代进程不断加快,国内对数控加工的需求也呈现出高速持续增长的趋势,人才市场急需大量既熟悉工艺又懂得编程的数控加工专业技术应用人才。为此,国家教育部启动了“实施制造业和服务业技能型紧缺人才培养工程”,国家劳动和社会保障部也正在实施“国家高技能人才培养工程”,其共同目的就是为了满足制造业高速发展对紧缺人才的需求。

数控机床是在普通机床基础上发展起来的,所不同的是,数控机床是按预先编制好的程序,在数控系统的控制下自动进行加工的。因此,数控编程是数控机床操作工必须掌握的关键技术之一。数控铣床与加工中心是铣、镗、钻削类加工工艺广泛应用的一种装备,从硬件配套上讲,加工中心配备了自动换刀装置,可以实现程序控制自动换刀,因此较数控铣床具有更强的工艺能力,从这个意义上讲,加工中心操作工涵盖了数控铣床操作工。

数控铣床与加工中心操作工属于综合性很强的技术工种,本书在取材时充分考虑到这一点,以编程加工为主线,将必须具备和紧密相关的一些专业基础知识收入其中,并通过对各种指令的应用剖析将其贯穿联系起来,形成一个有机的整体。

本书由南京工程学院——全国数控培训网络南京数控培训中

心、先进数控技术江苏省高校重点建设实验室张思弟、杨清林编著,王令其担任本书的主审,并提出了许多宝贵意见。

数控技术是一项高速发展的现代先进技术,限于编者水平学识和经验,加之时间仓促,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2010年1月

目 录

绪论	1
一、数控机床的产生	1
二、数控机床的发展	2
三、数控加工的任务与特点	8
四、数控编程与数控系统	9
第一章 数控铣床与加工中心基础知识	12
第一节 数控铣床与加工中心概述	12
第二节 数控铣床与加工中心的特点及应用范围	13
一、数控机床的优点	14
二、数控机床的不足	16
三、数控机床的应用范围	16
第三节 数控铣床与加工中心的组成及工作原理	18
一、数控铣床与加工中心的组成	18
二、数控铣床与加工中心的工作原理	20
三、插补	22
第四节 数控铣床与加工中心分类及主要技术参数	25
一、按伺服系统类型分类	25
二、按控制坐标和联动轴数分类	27
三、按主轴位置和结构布局分类	30
四、数控铣床与加工中心主要技术参数	33
第五节 数控铣床与加工中心机械结构	36
一、数控铣床与加工中心主传动系统与主轴结构	36
二、数控铣床与加工中心进给传动系统结构	48
三、数控铣床与加工中心其他主要部件	58

第六节 数控铣床与加工中心控制系统及主要功能	64
第二章 数控铣床与加工中心刀辅具	70
第一节 数控铣床与加工中心刀具特点要求及类型	70
一、数控铣床与加工中心刀具特点要求	70
二、数控铣床与加工中心刀具类型	72
三、数控铣床与加工中心刀具选择影响因素	73
第二节 数控铣床与加工中心刀具材料	73
一、高速钢	75
二、硬质合金	79
三、硬质合金涂层刀具	84
四、陶瓷刀具	88
五、超硬材料刀具	91
第三节 刀具种类及其选择	93
一、铣加工刀具种类与选择	93
二、孔加工刀具种类与选择	104
第四节 刀片及其型号表示规则	109
一、铣削用刀片型号表示规则	110
二、钻削用刀片型号表示规则	115
第五节 数控铣床与加工中心工具系统	117
一、工具系统类型	117
二、工具柄部结构	120
第三章 数控铣床与加工中心加工工艺	123
第一节 数控铣床与加工中心加工工艺特点及内容	123
一、数控铣床与加工中心加工工艺特点	123
二、数控铣床与加工中心加工工艺内容	125
三、数控铣床与加工中心加工对象	125
四、数控铣床与加工中心加工工艺内容确定原则	129
第二节 数控铣床与加工中心加工零件工艺分析	129
一、零件图形分析	129

二、零件技术要求分析	131
三、零件结构工艺性分析	131
四、零件毛坯工艺性分析	133
五、零件加工内容的选择确定	133
第三节 数控铣床与加工中心加工方案的确定	134
一、机床的选择	134
二、加工工序划分方法	135
三、加工顺序的安排	136
第四节 工件装夹与夹具	137
一、工件定位与夹紧	137
二、工件定位原理	138
三、基准选择	141
四、对夹具的基本要求	144
五、夹具种类与选择	145
第五节 走刀路线与切削工艺参数的确定	151
一、走刀路线的确定	151
二、切削工艺参数的确定	161
第六节 数控铣床与加工中心换刀及对刀	171
一、数控铣床与加工中心换刀	171
二、数控铣床与加工中心对刀	172
第七节 数控加工工艺文件	187
一、数控加工工序卡	187
二、数控加工程序说明卡	187
三、数控加工走刀路线图	191
四、数控加工程序单	192
五、数控加工刀具调整卡	192
第四章 数控铣床与加工中心编程基础	196
第一节 数控编程与编程方法	196
一、直接编程	197

二、计算机辅助编程	198
第二节 坐标系	199
一、标准坐标系及其规定	200
二、工件坐标系及其设定	203
三、局部坐标系	205
四、坐标轴与联动轴	205
第三节 程序结构与程序段格式	206
一、程序段格式	206
二、程序段组成	207
三、程序结构	209
第四节 准备功能与辅助功能	211
一、准备功能	211
二、辅助功能	215
第五节 数控编程中的数值计算与处理	218
一、基点坐标的计算	219
二、节点坐标的计算	221
三、辅助计算	225
四、列表曲线的数学处理	226
五、曲面的数学处理	228
第六节 数控编程中的特征点	228
第五章 数控铣床与加工中心编程	232
第一节 概述	232
第二节 坐标系指令	235
一、机床坐标系选择 G53	235
二、工件坐标系设定与选择 G92、G54~G59	235
三、局部坐标系设定 G52	238
四、坐标系旋转 G68、G69	239
五、坐标平面选择 G17、G18、G19	241
第三节 坐标尺寸指令	242

一、绝对值、增量值数据输入 G90、G91	242
二、英制、公制数据输入 G20、G21	243
三、编程数据小数点输入	243
四、极坐标系指令 G15、G16	244
第四节 插补功能指令	246
一、快速定位 G00	246
二、单方向定位 G60	247
三、直线插补 G01	247
四、圆弧插补 G02、G03	248
五、螺旋线插补 G02、G03	252
六、等螺距螺纹插补 G33	253
第五节 进给功能指令	254
一、进给量 F 及其单位设定 G94、G95	254
二、进给暂停 G04	255
三、程序段过渡 G09、G61、G62、G63、G64	256
第六节 自动参考点功能	258
一、自动返回参考点 G28	259
二、从参考点返回 G29	260
三、返回参考点检测 G27	261
四、返回第 2、3、4 参考点 G30	261
第七节 比例缩放与镜像加工	262
一、比例缩放功能	262
二、镜像加工	264
第八节 主轴运动指令	265
第九节 刀具与刀具补偿	266
一、概述	266
二、刀具选择与换刀指令 T、M6	267
三、刀具补偿存储器及其内容	269
四、刀具补偿指令	270

第十节 辅助功能指令	285
第十一节 程序结构	287
一、程序组成	287
二、主程序与子程序	288
第十二节 固定循环	291
一、概述	291
二、钻孔加工循环	296
三、攻丝加工循环	298
四、镗孔加工循环	300
五、循环应用示例	304
第六章 用户宏程序	308
第一节 概述	308
第二节 变量	309
一、变量及变量的引用	309
二、变量的类型	310
第三节 变量的运算与控制指令	312
一、变量的运算	312
二、控制指令	313
第四节 宏程序调用	316
一、宏程序调用 G65、G66	317
二、自变量赋值	319
三、自定义 G 代码调用	320
第五节 宏程序应用	321
一、圆周分布孔加工	321
二、平面非圆曲线轮廓加工	322
三、解析曲面加工	325
四、方形内腔加工	327
第七章 计算机辅助编程加工(UG NX CAM 三轴加工编程)	
.....	331

第一节 概述	331
一、UG NX CAM 加工类型	332
二、UG NX CAM 加工入门案例	333
第二节 UG NX CAM 界面	353
一、初始化加工环境	353
二、加工界面	353
第三节 创建组	361
一、程序组的创建	361
二、创建刀具	361
三、创建加工几何体	369
四、创建方法	374
五、创建操作	381
第四节 平面铣削	382
一、平面铣削子类型及对话框	382
二、平面铣削几何体	384
三、刀具	396
四、刀轴	397
五、刀轨设置	398
六、机床控制	440
七、程序	442
八、选项	443
九、操作	444
第五节 型腔铣削	445
一、型腔铣加工子类型及对话框	445
二、型腔铣削几何体	446
三、刀轨设置	448
第六节 固定轴轮廓铣削	458
一、固定轴铣加工子类型及对话框	458
二、固定轴铣几何体	460

三、驱动方法	461
四、投影矢量	474
五、刀轨设置	474
第七节 仿真加工	479
第八节 后置处理	484
一、程序生成	484
二、车间文档生成	485
第八章 高速切削加工技术	486
第一节 概述	486
一、高速切削加工历史回顾与现状	486
二、高速切削加工定义与优越性	490
三、高速切削加工关键技术	494
四、高速切削加工技术发展展望	495
第二节 高速切削加工机床	497
一、高速切削加工机床的要求	498
二、高速切削加工机床的构造特征	500
三、高速切削加工机床夹具的要求	508
四、高速切削加工机床的合理选择	510
第三节 高速切削加工刀具系统	512
一、高速切削加工刀具系统的要求	512
二、高速切削加工刀具	515
三、高速切削加工刀具装夹技术	519
第四节 高速切削加工工艺与编程策略	524
一、各种材料的高速切削技术	524
二、高速硬切削技术	539
三、高速干切削技术	542
四、高速切削编程策略	548
第五节 高速切削加工安全与监测技术	554
主要参考文献	559

绪 论

一、数控机床的产生

随着科学技术的发展,机械产品日趋复杂、精密,更新换代越来越频繁,个性化的需求使得生产类型由大批大量向多品种小批量生产转化。相应地,对机械产品加工的精度、效率、柔性及自动化等提出了越来越高的要求。

机械行业传统典型的加工方式主要有三种:

其一为采用普通通用机床的单件小批生产,由技术工人手工操作控制机床,工艺参数基本上由操作工人确定,生产效率低,产品质量不稳定。特别是一些较复杂的零件,需依赖靠模或借助划线和样板等用手工操作的方法进行加工,加工效率与精度受到很大的限制。

其二为采用通用的机械自动化机床(如仿形铣床、凸轮纵切自动车床等)的大批大量生产,以专用凸轮、靠模等实体零件作为加工工艺、控制信息的载体,控制机床的自动运行,产品更新必须设计更换或调整相应的信息载体零件,需要较长的准备周期,仅适用于标准件类及批量大、形体简单零件的加工。

其三为采用组合专用机床及其自动线的大批大量生产,一般以系列化的通用部件与专用化夹具、多轴箱等组成主机本体,采用PLC实现自动或半自动控制,其加工工艺内容及参数在设备设计时就严格规定,使用中一般很难也很少更改。这种自动化高效设备需要较大的初期投资和较长的生产准备周期,只有在大批量生产条件下才会产生显著的经济效益,而且有一定的投资风险。

显然,上述三种加工方式对于当前机械制造业中占机械加工总量 70%~80%的单件小批量生产的零件很难适应。

为了解决上述问题,满足多品种、小批量、复杂、高精度零件的高效自动化生产,迫切需要一种通用、灵活、能够适应于产品频繁变化的柔性自动化机床。

以计算机技术为依托,以社会需求为动力,1952 年,美国帕森斯公司(Parsons)和麻省理工学院(MIT)合作,研制成功了世界上第一台以数字计算机为基础的数字控制三坐标直线插补铣床,从而使得机械制造业进入了一个崭新阶段。

二、数控机床的发展

从第一台数控机床问世以来的 50 多年中,随着微电子技术、自动控制技术和精密测量技术等的发展,数控技术得到了迅速的发展,先后经历了电子管(1952 年)、晶体管(1959 年)、小规模集成电路(1965 年)、大规模集成电路及小型计算机(1970 年)、微处理机或微型计算机(1974 年)等五代数控系统。

前三代数控系统属于采用专用控制计算机的硬接线(硬件)系统,一般称为 NC(Numerical Control)数控。20 世纪 70 年代初期,计算机技术的迅速发展使得小型计算机的价格急剧下降,从而出现了以小型计算机代替专用硬件控制计算机的第四代数控系统。这种系统不仅具有更好的经济性,而且许多功能可用编制的专用程序实现,并可将专用程序存储在小型计算机的存储器中,构成控制软件。这种数控系统称为 CNC(Computerized Numerical Control)即计算机数控系统。70 年代中期,以微处理机为核心的数控系统 MNC(Microcomputerized Numerical Control)得到了迅速发展。CNC 与 MNC 称为软接线(软件)数控系统。目前,NC 数控系统早已经淘汰,现代数控系统均采用 MNC,目前通常仍然将现代数控系统称为 CNC。

现代数控机床的发展趋向是高速化、高精度化、复合化、智能化、高可靠性、多功能和结构开放。主要发展动向是研制开发软、硬件都具有开放式结构的智能化全功能通用数控装置。近几年推出的以 32 位微处理器为核心的 CNC 系统是实现上述目标的产品,如德国 SIEMENS 推出的 SINUMERIK 840D 系统、美国 CINCINNATI 的 A2100 系统、HP 公司的 OAC500 系统以及日本 FANUC 的 180/210 系统等。

1. 高速化

要实现数控设备高速化,首先要求计算机系统读入加工指令数据后,能高速处理并计算出伺服系统的移动量,并要求伺服系统能高速作出响应。为使在极短的行程内达到高速度并在此高速度情况下保持高定位精度,必须具有高加(减)速度和高精度的位置检测系统和伺服系统。此外,必须使主轴转速、进给率、刀具交换等各种关键部分实现高速化。

采用高位数和高速 CPU 是提高数控系统速度最有效的手段。当今国内外主要的系统生产厂家普遍采用了 32 位微处理器,并向 64 位 CPU 发展,主频达到几十兆至几百兆,有些系统采用多微处理器结构,减轻主 CPU 负担,提高控制速度,采用专用插补芯片以硬件插补方式提高插补速度。例如,日本 FANUC15/16/18/21 系列,在最小设定单位为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 下,最大快速进给速度达 240 m/min 。其一个程序段的处理时间可缩短到 0.5 ms ,在连续 1 mm 微小程序段的移动指令下,能实现的最大进给速度可达 120 m/min 。

在数控设备高速化中,提高主轴转速占有重要地位。高速加工的趋势和因此产生的对高速主轴的需求增长将继续下去。主轴高速化的手段是采用内装式主轴电机(电主轴),使主轴驱动不必通过变速箱,而是直接把电机与主轴连接成一体后装入主轴部件,从而可将主轴转速大大提高。目前机械进给传动的方法仍然以滚

珠丝杆为主流,有研究表明,滚珠丝杆在 $1g$ 加速度下,在卧式机床上可以可靠地工作,若再提高 $0.5g$ 就可能出现問題。一种替代的技术是采用直线电机技术。北美 GE FANUC Automation 与多家公司一起开发出一种机床,用直线电机作为主要传动装置来控制机床运动,采用全数字 CNC 硬件和软件,能在保持 $3\sim 5\mu\text{m}$ 的轮廓加工精度的同时,达到 $37\,500\sim 70\,000\text{ mm/min}$ 的轮廓加工速度,以及 $1.5g$ 的加速度。

2. 高精度化

提高数控设备的加工精度,一般通过减少数控系统的控制误差和采用补偿技术来达到。在减少数控系统控制误差方面,通常采用提高数控系统的分辨率,以微小程序段实现连续进给,使 CNC 控制单位精细化,提高位置检测精度(日本的交流伺服电机中已有每转可产生 100 万个脉冲的内藏式脉冲编码器,其位置检测精度能达到 $0.01\mu\text{m}/\text{脉冲}$)以及位置伺服系统采用前馈控制与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,除采用齿隙补偿、丝杆螺距误差补偿和刀具补偿等技术外,近年来设备的热变形误差补偿和空间误差的综合补偿技术已成为研究的热点课题。目前,有的 CNC 已具有补偿主轴回转误差和运动部件(如工作台)颠摆角误差的功能。研究表明,综合误差补偿技术的应用可将加工误差减少 $60\%\sim 80\%$ 。由于计算机运算速度和主轴转速的大幅提高,已开发出具有真正的零跟踪误差的现代数控装置,能满足现代数控机床工作的要求,使机床可以同时进行高进给速度和高精度的加工。

3. 复合化

复合化包含工序复合化和功能复合化。工件在一台设备上一次装夹后,通过自动换刀等各种措施,来完成多种工序和表面的加工。在一台数控设备上能完成多工序切削加工(如车、铣、镗、钻等)的加工中心,可以替代多台机床的多次装夹加工,既能减少装