

[技工实用手册丛书]

编著 张思弟 饶华球 贺曙新

数控车工

SHUKONG CHEGONG

简明实用手册

JIANMING SHIYONG SHOUCHE

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

技工实用手册丛书

数控车工简明实用手册

张思弟 饶华球 贺曙新 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

数控车工简明实用手册/张思弟等编著. —南京: 江苏科学技术出版社, 2008. 5

(技工实用手册丛书)

ISBN 978 - 7 - 5345 - 5962 - 4

I. 数… II. 张… III. 数控机床: 车床—车削—技术手册 IV. TG519.1 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 039060 号

技工实用手册丛书

数控车工简明实用手册

主 编 张思弟 饶华球 贺曙新
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 47 号, 邮编: 210009)
网 址 <http://www.pspress.cn>
集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 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 南京紫藤制版印务中心
印 刷 盐城印刷总厂有限责任公司

开 本	850 mm×1168 mm	1/64	印 张	6.75
插 页	4		字 数	290 000
版 次	2008 年 5 月第 1 版		印 次	2008 年 5 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978 - 7 - 5345 - 5962 - 4
定 价 20.00 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。数控车削加工技术则是应用最为普及的一种数控加工技术。

随着中国加入世界贸易组织,全球制造业出现向中国转移的倾向,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。

数控车床是在普通机床基础上发展起来的,所不同的是,数控车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,数控编程是数控车工必须掌握的关键技术之一。

数控车工是一个综合性很强的技术工种,本书在取材时充分考虑到这一点,以数控车床编程加工为主线,将必须具备和紧密相关的一些专业基础知识收入其中,并通过对各编程指令的剖析和应用示例将其贯穿联系起来,形成一个有机的整体。

本书以数控车床编程加工为主线组织素材,首先介绍与数控

车床编程加工紧密相关的一些基础知识,包括金属切削原理与刀具、数控车床结构、数控车削加工工艺、数控车床编程基础等。然后,选择目前较为普及的发那科 FANUC Oi 系统为典型,面向生产展开分析。在介绍系统指令过程中,注意从本质上进行分析解剖,使读者理解并掌握数控车床编程加工的实质。

本书取材新颖,求精务实,深入浅出,并注重相关知识间的联系与结合。

本书既可作为各类中、高职、高等院校、职大、电大等数控技术、模具和机电类专业的实践教学参考书,也可作为各类培训机构的培训教材和数控车工职业技能鉴定参考读本,还可作为机械加工及其自动化行业广大科研、工程技术人员和其他相关工种人员的工作手册。

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主编并统稿,饶华球、贺曙新共同参加了本书的编写工作,王令其任主审,并提出了许多宝贵意见。

数控加工技术是一项高速发展的现代先进制造技术,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

2008年3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 金属切削原理与刀具	13
第一节 切削运动与切削要素	13
一、切削所需要的运动	13
二、切削所产生的表面	14
三、切削用量、切削时间与材料切除率	15
第二节 刀具组成及几何角度	17
一、刀具组成	17
二、刀具角度参考系	19
三、刀具几何角度的基本定义	20
四、刀具的工作角度	23
第三节 切削层与切削方式	26
一、切削层参数	26
二、切削方式	28
第四节 刀具材料	30
一、刀具材料必须具备的基本性能	30

二、刀具材料类型	31
三、高速钢	33
四、硬质合金	38
五、硬质合金涂层刀具	42
六、陶瓷刀具	46
七、超硬材料刀具	50
第五节 金属切削过程及其基本规律	52
一、切削变形区	52
二、切屑类型	54
三、积屑瘤	56
四、鳞刺	57
五、已加工表面的变形与加工硬化	59
六、切削力	60
七、切削热与切削温度	65
第六节 刀具磨损与刀具寿命	66
一、刀具磨损形式	67
二、刀具磨损过程和磨钝标准	69
三、刀具磨损原因及改善途径	71
四、刀具寿命	74
五、合理刀具寿命确定原则	75
第七节 工件材料的切削加工性	77
一、切削加工性指标	77
二、难加工材料切削加工性特点	78
三、改善难加工材料切削加工性的途径	82

第八节 合理使用切削液	84
一、切削液的作用	84
二、切削液的种类与选择	85
三、切削液的使用方法	88
第九节 切屑控制与加工表面粗糙度	88
一、切屑形状的分类	88
二、切屑流向	90
三、切屑的折断	91
四、断屑措施	92
五、表面粗糙度的形成	96
第十节 刀具几何角度的合理选择	104
一、前角与前面型式选择	105
二、后角与后面型式选择	108
三、主偏角、副偏角选择	111
四、刀尖形状及参数选择	112
五、刃倾角功用及选择	113
第十一节 切削用量的合理选择	115
一、切削用量选择基本原则	116
二、粗车时切削用量的选择原则	116
三、精车时切削用量的选择原则	117
四、切削用量的选择方法	118
第二章 数控车床基础知识	126
第一节 数控机床的特点与应用范围	126
一、数控机床的优点	126

二、数控机床的不足	128
三、数控机床的应用范围	128
第二节 数控车床的组成与工作原理	130
一、数控车床的组成	130
二、数控车床的工作原理	134
三、插补	135
第三节 数控车床分类及主要技术参数	139
一、按驱动伺服系统类型分类	139
二、按功能技术水平分类	141
三、数控车床主要技术参数	147
第四节 数控车床机械结构	150
一、数控车床床身导轨	151
二、数控车床主传动系统与主轴结构	154
三、数控车床进给传动结构	159
四、数控车床刀架结构	167
五、数控车床液压尾架	172
第五节 数控车床控制系统及主要功能	173
第三章 数控车床加工工艺	180
第一节 概述	180
一、数控车床加工工艺概念	180
二、数控车床主要加工对象	181
第二节 数控车床加工工艺特点与内容	184
一、数控车床加工的工艺特点	184
二、数控车床加工工艺内容	185

三、数控车床加工艺内容确定原则	186
第三节 数控车床加工零件分析	187
一、零件轮廓几何要素分析	187
二、零件结构工艺性分析	193
三、精度及技术要求分析	199
第四节 工序划分与加工顺序安排	200
一、工序集中与分散	200
二、数控车床加工工序划分方法	200
三、数控车床加工顺序的安排	202
第五节 进给路线与切削用量的确定	203
一、进给路线的确定	203
二、切削用量确定原则	208
第六节 工件装夹与夹具	210
一、概述	210
二、工件装夹	211
三、工件定位原理	212
四、基准及其选择	217
五、工件夹紧	221
六、数控车床夹具	222
第七节 数控车床刀辅具	231
一、数控车床对刀具的要求	231
二、数控车床刀具类型与选配原则	234
三、数控车床刀具	236
四、数控车床工具系统	252

第八节 数控车床换刀与对刀	256
一、数控车床的换刀	256
二、数控车床的对刀	259
三、数控车床对刀装备	263
第四章 数控车床编程基础	264
第一节 数控编程与编程方法	264
一、手工编程	265
二、自动编程	266
三、CAD/CAM 系统自动编程基本过程	267
第二节 数控车床坐标系	270
一、标准坐标系的规定	270
二、工件坐标系及其设定	273
三、局部坐标系	275
四、坐标轴与联动轴	276
第三节 程序结构与程序段格式	277
一、程序段格式	277
二、程序段组成	278
三、程序结构	280
第四节 准备功能与辅助功能	282
一、准备功能	282
二、辅助功能	283
第五节 编程中的数值计算与处理	290
一、基点坐标的计算	290
二、节点坐标的计算	292

三、辅助计算	297
四、列表曲线的数学处理	300
第六节 数控编程中的特征点	300
第五章 数控车床编程	304
第一节 概述	304
第二节 设置指令功能	312
一、基本设置	312
二、坐标系设定和选择	314
第三节 坐标运动与进给设定指令	318
一、坐标运动指令	318
二、进给设定指令	328
第四节 主轴运动指令	329
一、主轴转速及旋转方向	329
二、恒线速度加工	329
第五节 刀具与刀具补偿	331
一、刀具补偿基本原理	331
二、刀具选择与刀编号	334
三、刀具长度补偿	336
四、刀具半径补偿	336
第六节 辅助功能指令	338
第七节 子程序	340
一、子程序结构	340
二、子程序调用	340
三、子程序嵌套	341

第八节 固定循环	343
一、单一固定循环	343
二、复合固定循环	350
三、钻孔固定循环	365
第六章 用户宏程序	377
第一节 概述	377
第二节 变量	378
第三节 变量的运算与控制指令	380
一、算术和逻辑运算	380
二、转移和循环	381
第四节 宏程序调用	385
第五节 综合应用示例	392
附 录	397
一、数控车床安全操作规程	397
二、数控车床日常维护与保养	399
三、数控技术名称与术语中英对照	403
四、数控车床相关技术标准目录	410
参考文献	412

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量生产,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,仅适用于标准件类大批量简单零件的加工。

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,而且具有一定的投资风险。

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,社会需求为动力,1954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)和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

前通常将现代数控系统仍然称为 CNC。

现代数控机床的发展趋向是高速化、高精度化、高可靠性、多功能、复合化、智能化和结构开放。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。其次,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 32 位微处理器,是提高 CNC 速度的有效手段。当今国内外主要的系统生产厂家都采用了 32 位微处理器技术,主频达到几十至几百兆。例如,日本 FANUC15/16/18/21 系列,在最小设定单位为 $1\ \mu\text{m}$ 下,最大快速进给速度达 $240\ \text{m}/\text{min}$ 。其一个程序段的处理时间可缩短到 $0.5\ \text{ms}$,在连续 $1\ \text{mm}$ 微小程序段的移动指令下,能实现的最大进给速度可达 $120\ \text{m}/\text{min}$ 。

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,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

丝杠为主流,有研究表明,滚珠丝杠在 $1g$ 加速度下,在卧式机床上可以可靠地工作,若再提高 $0.5g$ 则就可能出现问題。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 $37\ 500\sim 70\ 000\ \text{mm}/\text{min}$ 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,丝杠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