

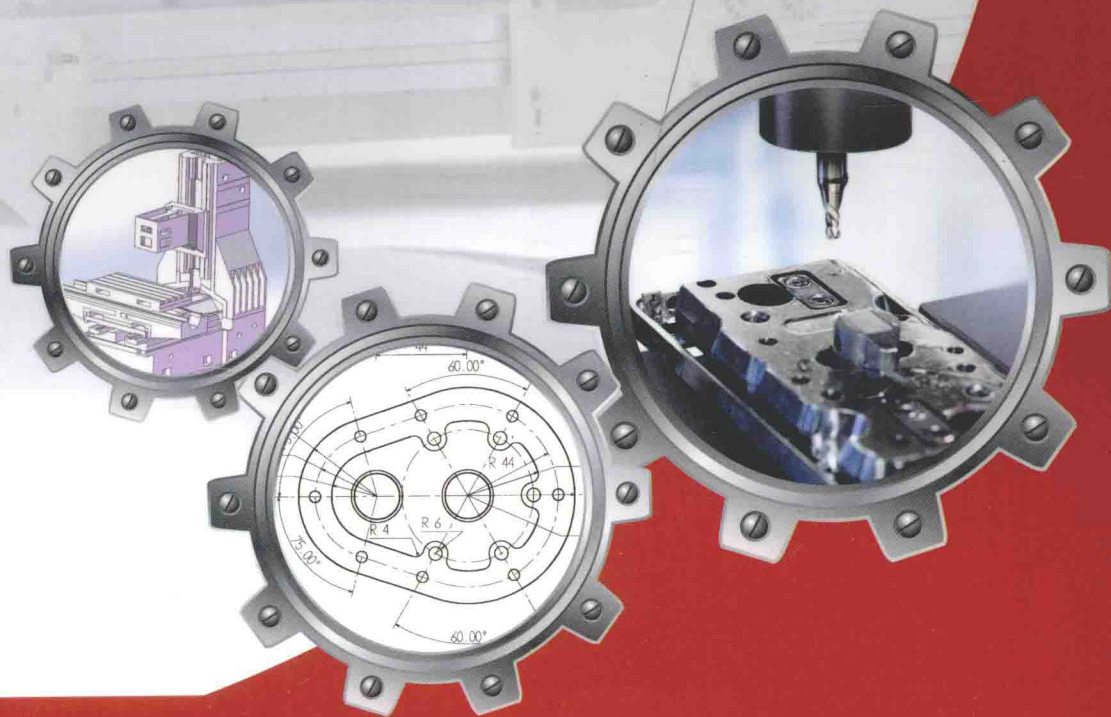
丛书主编

王爱玲

现代数控

加工工艺及操作技术

王彪 李清 蓝海根 刘中柱 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代数控技术(第4版)

现代数控加工 工艺及操作技术

王彪 李清 蓝海根 刘中柱 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书共9章。第1章总体概述了数控机床的组成、分类及特点;第2章系统介绍了数控加工工艺设计及所需工艺文件;第3章着重介绍了数控刀具的种类、特点、材料及选用、对刀方法,并对数控工具系统进行了介绍;第4章介绍工件的定位、装夹及夹具选用等内容;第5章至第8章以FANUC、SIEMENS、HNC等常见数控系统为例,详细介绍了数控车床、数控铣床、数控加工中心、数控电火花、线切割机床的基本操作与加工方法,考虑到各种版本的使用现状和未来发展,对多种版本进行了介绍,使本书具有较广泛的指导作用,对学习其他数控系统会具有一定普遍意义;第9章对数控机床的选用、调试、验收、维护以及故障处理等一些实际应用问题做了必要的说明。

全书兼顾数控加工技术的先进性与实用性,内容详简得当、层次分明,可作为高等院校机电类相关专业的教学教材,也可供从事数控加工技术与维修工作的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代数控加工工艺及操作技术/王彪编著. —北京:国防工业出版社,2016.4

(现代数控技术系列/王爱玲主编)

ISBN 978-7-118-10667-1

I. ①现... II. ①王... III. ①数控机床-加工
②数控机床-操作 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第030624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100048)

三河市鼎鑫印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 19 $\frac{3}{4}$ 字数 448 千字

2016年4月第4版第1次印刷 印数 1—5000册 定价 55.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

“现代数控技术系列”(第4版)编委会

主 编 王爱玲

副主编 张吉堂 王 彪 王俊元

李梦群 沈兴全 武文革

编 委 (按姓氏笔画排序)

马维金 马清艳 王 彪 王俊元 王爱玲

刘丽娟 刘中柱 刘永姜 成云平 李 清

李梦群 杨福合 辛志杰 沈兴全 张吉堂

张纪平 陆春月 武文革 周进节 赵丽琴

段能全 梅林玉 梁晶晶 彭彬彬 曾志强

蓝海根

“现代数控技术系列”(第4版)总序

中北大学数控团队近期完成了“现代数控技术系列”(第4版)的修订工作,分六个分册:《现代数控原理及控制系统》《现代数控编程技术及应用》《现代数控机床》《现代数控机床伺服及检测技术》《现代数控机床故障诊断及维修》《现代数控加工工艺及操作技术》。该系列书2001年1月初版,2005年1月再版,2009年3月第3版,系列累计发行超过15万册,是国防工业出版社的品牌图书(其中,《现代数控机床伺服及检测技术》被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,《现代数控原理及控制系统》还被指定为博士生入学考试参考用书)。国内四五十所高等院校将系列作为相关专业本科生或研究生教材,企业从事数控技术的科技人员也将该系列作为常备的参考书,广大读者给予很高的评价。同时本系列也取得了较好的经济效益和社会效益,为我国飞速发展的数控事业做出了相当大的贡献。

根据读者的反馈及收集到的大量宝贵意见,在第4版的修订过程中,对本系列书籍(教材)进行了较大幅度的增、删和修改,主要体现在以下几个方面:

(1) 传承数控团队打造“机床数控技术”国家精品课程和国家精品网上资源共享课程时一贯坚持的“新”“精”“系”“用”要求(及时更新知识点、精选内容及参考资料、保持现代数控技术系列完整性、体现教材的科学性和实用价值)。

(2) 通过修订,重新确定各分册具体内容,对重复部分进行了协调删减。对必须有的内容,以一个分册为主,详细叙述;其他分册为保持全书内容完整性,可简略介绍或指明参考书名。

(3) 本次修订比例各分册不太一样,大致在30%~60%之间。

变更最大的是以前系列版本中《现代数控机床实用操作技术》,由于其与系列其他各本内容不够配套,第4版修订时重新编写成为《现代数控加工工艺及操作技术》。

《现代数控原理及控制系统》除对各章内容进行不同程度的更新外,特别增加了一章目前广泛应用的“工业机器人控制”。

《现代数控编程技术及应用》整合了与《现代数控机床》重复的内容,删除了陈旧的知识,增添了数控编程实例,还特别增加一章“数控宏程序编制”。

《现代数控机床》对各章节内容进行更新和优化,特别新增加了数控机床的人机工程设计、数控机床总体设计方案的评价与选择等内容。

《现代数控机床伺服及检测技术》更新了伺服系统发展趋势的内容,增加了智能功率模块、伺服系统的动态特性、无刷直流电动机、全数字式交流伺服系统、电液伺服系统等内容,并对全书的内容进行了优化。

《现代数控机床故障诊断及维修》对原有内容进行了充实、精炼,对原有的体系结构进行了更新,增加了大量新颖的实例,修订比例达到60%以上。第9章及第11章5、6节全部内容是新增加的。

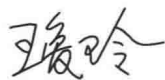
(4) 为进一步提升系列书的质量、有利于团队的发展,对参加编著的人员进行了调整。给学者们提供了一个新的平台,让他们有机会将自己在本学科的创新成果推广和应用到实践中去。具体内容见各分册详述及引言部分的介绍。

(5) 为满足广大读者,特别是高校教师需要,本次修订时,各分册将配套推出相关内容的多媒体课件供大家参考、与大家交流,以达到共同提高的目的。

中北大学数控团队老、中、青成员均为第一线教师及实训人员,部分有企业工作经历,这是一支精诚团结、奋发向上、注重实践、甘愿奉献的队伍。一直以来坚守着信念:热爱我们的教育事业,为实现我国成为制造强国的梦想,为我国飞速发展的数控技术多培养合格的人才。

从20世纪80年代王爱玲为本科生讲授“机床数控技术”开始,团队成员在制造自动化相关的科技攻关及数控专业教学方面获得了20多项国家级、省部级奖项。为适应培养数控人才的需求,团队特别重视教材建设,至今已编著出版了50多部数控技术相关教材、著作,内容涵盖了数控理论、数控技术、数控职业教育、数控操作实训及数控概论介绍等各个层面,逐步完善了数控技术教材系列化建设。

希望本次修订的“现代数控技术系列”(第4版)带给大家更多实用的知识,同时也希望得到更多读者的批评指正。



2015年8月

引 言

本书在“现代数控技术系列”中的《现代数控机床实用操作技术》(第3版)一书的基础上修订。

《现代数控机床实用操作技术》于2002年1月正式出版,全书共分5章,侧重于几种常见数控系统的实际操作技术,并对编程操作进行了简要叙述。为适应数控技术发展变化,该书于2005年1月进行了第2版修订,2009年3月又进行了第3版修订。本次修订对数控操作技术所必需的基础知识,如数控机床的坐标系统、与操作相关的编程基础和工艺知识及对刀方法等做了大量补充,并增加或更换了几种常见数控系统的基本操作方法和加工实例;对数控机床的选用与安装调试等一些实际操作问题也做了必要的补充说明。另外为了与系列中其他书籍在内容上的协调,本次修订删除了“数控机床的编程操作”一章。

追踪前三版的发行和使用情况发现:本书对读者的定位不够清晰和明确,本科中缺乏使用该书的相应课程;研究生阶段使用该书,理论的系统性不强,深度不够;对于高职高专学生,由于侧重点不同,也只能作为提升和拓展知识的参考书。

针对上述问题,本次修订时,决定将书名改为《现代数控加工工艺及操作技术》,新书保留原书实用操作技术的主要内容,重点增加数控加工工艺的相应内容,弥补原书注重操作技术,而缺少系统的工艺理论基础的缺陷。在操作技术中,按照最新数控系统,修改原书中陈旧和过时的内容,并增加了五轴数控机床的相关操作内容,使新书从工艺理论基础和实用操作两个层面都得到全面的提升,从而与系列中的其他分册更加协调与统一。

修订后本书共分9章。第1~4章,为数控加工概述、数控加工工艺设计、刀具及使用、装卡定位等内容,突出与操作技术相关的数控加工工艺的特点;第5~8章,为精选车、铣、加工中心与特种加工设备的操作技术,特别是线切割加工一章体现了作者团队在具体开发应用方面原创性成果;第9章为机床的选用与维护,删减数控机床故障分析与处理的部分内容,避免与丛书中其他分册的内容重复。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化相关专业本科生教材;对从事数控设备使用、维修人员,工程设计技术人员有较大的参考价值,也可作为各种层次的继续工程教育用数控培训教材。

程教育用数控培训教材。

本书第1、9章由王彪编写;第2、3章由李清编写;第4章由赵丽琴编写;第5、6、7、8章由蓝海根编写;第7章由刘中柱编写。系列总主编王爱玲教授对全书进行了主审。对上述同志为本书修订再版所做的工作一并致谢。

数控技术发展日新月异,由于编著者水平有限,书中的不妥之处恳请读者批评指正。

作者

2015年8月

目 录

第 1 章 数控加工概述	1
1.1 数控机床的组成及性能指标	1
1.1.1 数控机床的组成与结构	1
1.1.2 数控机床的工作过程	4
1.1.3 数控机床的性能指标	4
1.2 数控机床的分类	5
1.2.1 按工艺用途分类	5
1.2.2 按数控机床的功能水平分类	6
1.2.3 按所用数控装置的构成方式分类	6
1.3 数控机床的特点和应用范围	7
1.3.1 数控机床与普通机床的区别	7
1.3.2 数控机床的特点	7
1.3.3 数控机床的应用范围	8
1.4 数控加工工艺特点和设计的基本原则	9
1.4.1 数控加工工艺特点	9
1.4.2 数控加工工艺设计基本原则	9
第 2 章 数控加工工艺设计	12
2.1 数控加工工艺规程	12
2.1.1 机械加工工艺过程的组成	12
2.1.2 数控加工工艺规程	16
2.1.3 数控加工工艺的主要内容和设计步骤	17
2.2 数控加工工艺分析	19
2.2.1 分析零件图	19
2.2.2 零件的结构工艺性分析	20
2.3 数控加工工艺路线的制订	23
2.3.1 选择定位基准	23
2.3.2 选择加工方法	26
2.3.3 划分加工阶段	31

2.3.4	划分加工工序	31
2.3.5	确定加工顺序	32
2.4	数控加工工序设计	33
2.4.1	机床的选择	33
2.4.2	工件的定位与夹紧	34
2.4.3	夹具的选择	34
2.4.4	刀具的选择	34
2.4.5	确定走刀路线和工步顺序	35
2.4.6	加工余量与工序尺寸及公差的确定	37
2.4.7	切削参数的选择与优化	39
2.5	数控加工工艺文件	44
第3章	数控刀具及使用	48
3.1	数控刀具的种类及特点	48
3.1.1	数控刀具的种类	48
3.1.2	数控刀具的特点	49
3.2	数控刀具的材料	50
3.2.1	数控刀具材料的性能	50
3.2.2	各种数控刀具材料	51
3.3	数控工具系统	55
3.3.1	数控工具系统	55
3.3.2	刀柄的分类及选择	58
3.4	数控刀具的选择	61
3.4.1	选择数控刀具应考虑的因素	61
3.4.2	数控车削刀具的选择	62
3.4.3	数控铣削刀具的选择	68
3.5	数控机床的对刀	71
3.5.1	数控加工中与对刀有关的概念	71
3.5.2	对刀的基本原则	72
3.5.3	对刀方法	72
第4章	数控机床上工件的装夹	75
4.1	工件的装夹方式	75
4.1.1	直接找正装夹	75
4.1.2	划线找正装夹	75
4.1.3	采用夹具装夹	76
4.2	工件的定位	76

4.2.1	六点定位原理	76
4.2.2	六点定位原理的应用	76
4.2.3	定位与夹紧的关系	79
4.3	定位基准的选择	79
4.3.1	基准及其分类	79
4.3.2	定位基准的选择	81
4.4	常见定位元件及定位方式	84
4.4.1	工件以平面定位	86
4.4.2	工件以圆孔定位	88
4.4.3	工件以外圆柱面定位	90
4.4.4	工件以一面两孔定位	91
4.5	定位误差	92
4.6	工件的夹紧	93
4.6.1	夹紧装置的组成及基本要求	93
4.6.2	夹紧力的确定	94
4.6.3	机床夹具的类型及特点	96
4.6.4	机床夹具的组成	97
4.6.5	典型夹紧机构简介	98
4.6.6	组合夹具简介	101
4.6.7	夹具的选择	104
第5章	数控车床的操作与加工	108
5.1	数控车床概述	108
5.1.1	数控车床的组成	108
5.1.2	数控车床的分类	109
5.1.3	数控车床的加工对象	110
5.2	FANUC -0i 系统数控车床的操作	111
5.2.1	操作面板	111
5.2.2	基本操作	116
5.3	SINUMERIK 802S 系统数控车床的操作	121
5.3.1	操作面板	121
5.3.2	软件功能	125
5.3.3	基本操作	130
5.4	数控车床的对刀操作	141
5.4.1	相对刀偏法	142
5.4.2	绝对刀偏法	144
5.5	零件加工实例	144

第 6 章 数控铣床的操作与加工	149
6.1 数控铣床概述	149
6.1.1 数控铣床的组成	149
6.1.2 数控铣床的分类	149
6.1.3 数控铣床的加工对象	151
6.2 HNC-21M 系统数控铣床的操作	152
6.2.1 操作面板	152
6.2.2 软件功能	154
6.2.3 基本操作	156
6.3 FANUC-0i 系统数控铣床的操作	167
6.3.1 操作面板	168
6.3.2 基本操作	173
6.4 数控铣床的对刀操作	177
6.4.1 G92 设定工件坐标系对刀	178
6.4.2 G54~G59 设定工件坐标系对刀	179
6.5 零件加工实例	180
第 7 章 加工中心的操作与加工	184
7.1 加工中心概述	184
7.1.1 加工中心的组成	184
7.1.2 加工中心的分类	184
7.1.3 加工中心的加工对象	186
7.2 加工中心的换刀系统	186
7.2.1 自动换刀装置	186
7.2.2 加工中心的自动换刀	188
7.3 SINUMERIK 802D 系统加工中心的操作	190
7.3.1 操作面板	191
7.3.2 软件功能	192
7.3.3 基本操作	193
7.4 SINUMERIK 840D 系统操作面板简介	201
7.5 HEIDENHAIN iTNC 530 系统五轴加工中心的操作	207
7.5.1 操作面板	208
7.5.2 显示单元和屏幕布局	213
7.5.3 基本操作	215
7.5.4 HEIDENHAIN 数控编程基础	231
7.6 零件加工实例	239

第8章 数控电火花线切割机床操作与加工	243
8.1 数控电火花线切割机床概述	243
8.1.1 数控电火花线切割机床的加工原理与特点	243
8.1.2 数控电火花线切割机床的组成	244
8.1.3 数控电火花线切割机床的分类与加工对象	248
8.2 数控电火花线切割加工工艺	249
8.2.1 模坯准备	249
8.2.2 加工路线的选择	250
8.2.3 穿丝孔位置的确定	251
8.2.4 切入点位置的确定	251
8.2.5 工件的装夹与找正	251
8.2.6 电极丝的选择与对刀	253
8.2.7 脉冲参数的选择	254
8.2.8 补偿量的确定	255
8.2.9 工作液的选配	256
8.3 数控电火花线切割编程指令	256
8.3.1 ISO 代码	256
8.3.2 3B、4B 代码	259
8.4 数控电火花线切割机床的操作	261
8.4.1 操作面板	262
8.4.2 软件功能	263
8.4.3 基本操作	265
8.4.4 加工步骤及故障预防	268
8.5 零件加工实例	269
第9章 数控机床的选用与维护	273
9.1 数控机床的选用	273
9.2 数控机床的安装调试与验收	280
9.2.1 数控机床的安装调试	280
9.2.2 数控机床的验收	284
9.3 数控机床的故障分析与处理	290
9.3.1 数控机床常见故障分类	290
9.3.2 数控机床故障的常规检测方法	293
9.3.3 数控机床常见故障处理	294
9.4 数控机床的维护与保养	299
参考文献	302

第 1 章 数控加工概述

数控机床(Numerically Controlled Machine Tool, NC)是采用数控技术控制的机床,即装备了数控系统的机床。由于现代数控机床都用计算机来进行控制,所以一般称为计算机数控(CNC)机床。数控机床具有适应性强、加工精度高、加工质量稳定和生产效率高的优点。随着机床数控技术的迅速发展,数控机床在机械制造业中的地位越来越重要,已成为现代制造技术的基础。

1.1 数控机床的组成及性能指标

1.1.1 数控机床的组成与结构

1. 数控机床的组成

数控机床主要由控制介质、数控装置、伺服系统和机床本体四部分组成,对于闭环系统还要有测量反馈装置。数控机床的组成框图如图 1-1 所示。

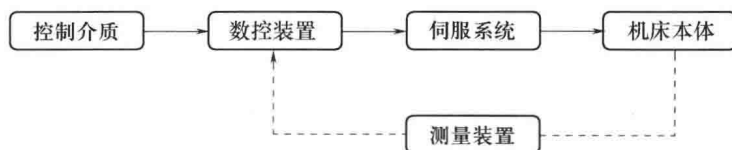


图 1-1 数控机床的组成

1) 控制介质

在数控机床上加工时,控制介质是存储数控加工所需要的全部动作和刀具相对于工件位置等信息的信息载体,它记载着零件的加工工序。

数控机床中,控制介质更新很快,至于采用哪一种,则取决于数控装置的类型。此外,还可以利用键盘手工输入程序及数据(MDI 方式)。随着 CAD/CAM 技术的发展,有些系统还可利用 CAD/CAM 软件在其他计算机上编程,然后通过计算机与数控系统通信,将程序和直接传送给数控装置。

2) 数控装置

数控装置是数控机床的核心,其功能是接受输入装置输入的数控程序中的加工信息,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理后,发出相应的脉冲送给伺服系统,使伺服系统带动机床的各个运动部件按数控程序预定要求动作。一般由输入/输出装置、控制器、运算器、各种接口电路、CRT 显示器等硬件以及相应的软件组成。数控装置能完成信息的输入、存储、变换、插补运算以及实现各种控制功能,其主要功能如下:

- (1) 多轴联动控制;
- (2) 直线、圆弧、抛物线等多种函数的插补;
- (3) 输入、编辑和修改数控程序功能;
- (4) 数控加工信息的转换功能:ISO/EIA 代码转换、公英制转换、坐标转换、绝对值和相对值的转换、计数制转换等;
- (5) 刀具半径、长度补偿,传动间隙补偿,螺距误差补偿等补偿功能;
- (6) 实现固定循环、重复加工、镜像加工等多种加工方式的选择;
- (7) 在 CRT 上显示字符、轨迹、图形和动态演示等功能。

3) 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求带动机床的移动部件运动或使执行部分动作,以加工出符合要求的零件。

伺服系统是数控机床的关键部件,它直接影响数控加工的速度、位置、精度等。一般来说,数控机床的伺服驱动系统,要求有较高的刚度、好的快速响应性能,以及能灵敏而准确地跟踪指令功能。

伺服机构中常用的驱动装置,随控制系统的不同而不同。开环系统的伺服系统常用步进电机;闭环系统常用的是直流伺服电机和交流伺服电机,都带有感应同步器、编码器等位置检测元件,而交流伺服电机正在取代直流伺服电机。

4) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,主要由机床的基础大件(如床身、底座)和各运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)所组成。它是完成各种切削加工的机械部分,是在原普通机床的基础上改进而得到的,与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局、传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都已发生了很大的变化。这种变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点。数控机床的主体结构有下面几个特点:

- (1) 数控机床采用了高性能的主轴及伺服传动系统,机械传动结构简化,传动链较短;
- (2) 数控机床的机械结构具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能,适应连续地自动化加工;
- (3) 更多地采用高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

除上述四个主要部件外,数控机床还有一些辅助装置和附属设备,如电器、液压、气动系统与冷却、排屑、润滑、照明、储运等装置以及编程机、对刀仪等。

2. 数控机床的结构布局

1) 数控车床的典型布局

数控车床在刀架和床身导轨的布局形式上与传统车床相比发生了根本的变化,这是因为刀架和床身导轨的布局形式不仅影响车床的结构和外观,还直接影响数控车床的使用性能,如刀具和工件的装夹、切屑的清理以及车床的防护维修等。数控车床床身导轨与水平面的相对位置有四种布局形式。

- (1) 水平床身。如图 1-2(a)所示,水平床身的工艺性好,便于导轨面的加工。水平床身上配水平放置的刀架可提高刀架的运动精度,但水平刀架增加了机床宽度方向的结

构尺寸,且床身下部排屑空间小,排屑困难。

(2) 水平床身斜刀架。如图 1-2(b) 所示,水平床身配上倾斜放置的刀架滑板,这种布局形式的床身工艺性好,车床宽度方向的尺寸也较水平配置滑板的要小且排屑方便。

(3) 斜床身。如图 1-2(c) 所示,斜床身的导轨倾斜角度多采用 30° 、 45° 、 60° 、 75° 等角度。它和水平床身斜刀架滑板都因具有排屑容易、操作方便、机床占地面积小、外形美观等优点而被中小型数控车床普遍采用。

(4) 立床身。如图 1-2(d) 所示,从排屑的角度来看,立床身布局最好,切屑可以自由落下,不易损伤导轨面,导轨的维护与防护也较简单,但机床的精度不如其他三种布局形式高,故运用较少。

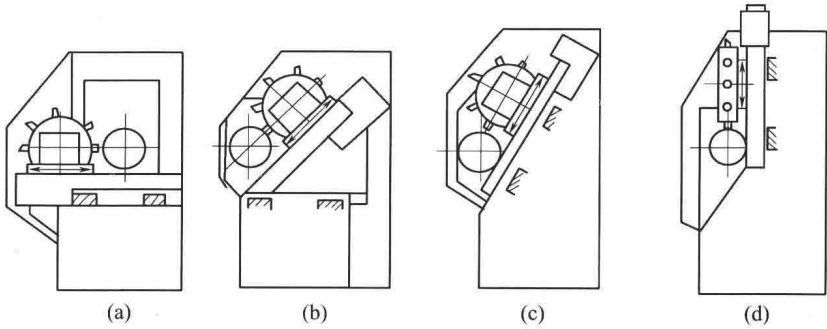


图 1-2 数控车床的布局形式

2) 数控铣床的典型布局

数控铣床一般分为立式和卧式两种,其典型布局有四种,如图 1-3 所示,不同的布局形式可以适应不同的工件形状、尺寸及重量。如图(a)适应较轻工件,图(b)适应较大尺

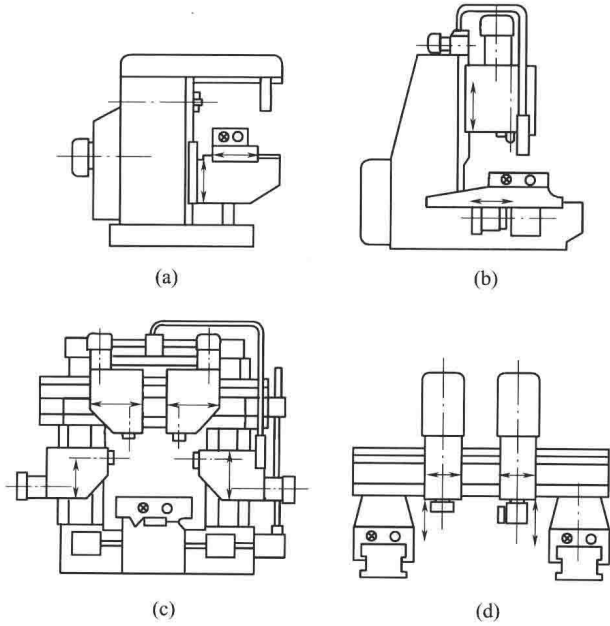


图 1-3 数控铣床的四种典型布局

寸工件,图(c)适应较重工件,图(d)适应更重、更大工件。

1.1.2 数控机床的工作过程

数控机床的所有运动包括主运动、进给运动及各种辅助运动,都是用输入数控装置的数字信号来控制的。具体而言,数控机床的工作过程如图 1-4 所示,其主要步骤是:

- (1) 根据被加工零件图中所规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等,制定工件加工的工艺过程,刀具相对工件的运动轨迹、切削参数以及辅助动作顺序等,进行零件加工程序设计;
- (2) 用规定的代码和程序格式编写零件加工程序单;
- (3) 按照程序单上的代码制作穿孔带(控制介质);
- (4) 通过输入装置(如光电阅读器或磁盘驱动器)把控制介质上的加工程序输入给数控装置;
- (5) 启动机床后,数控装置根据输入的信息进行一系列的运算和控制处理,将结果以脉冲形式送往机床的伺服机构(如步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机等);
- (6) 伺服机构驱动机床的运动部件,使机床按程序预定的轨迹运动,从而加工出合格的零件。

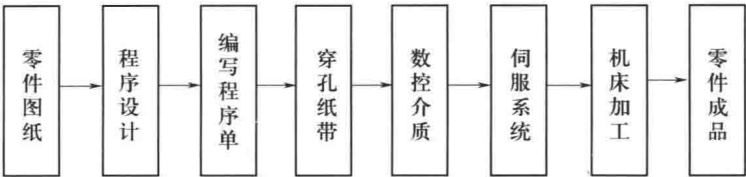


图 1-4 数控机床的工作过程

1.1.3 数控机床的性能指标

数控机床的性能指标一般有精度指标、坐标轴指标、运动性能指标及加工能力指标等,其内容及含义与影响可参见表 1-1。

表 1-1 数控机床的性能指标

种类	项目	含 义	影响
精度指标	定位精度	数控机床工作台等移动部件在确定的终点所达到的实际位置的水平	直接影响加工零件的位置精度
	重复定位精度	同一数控机床上,应用相同程序加工一批零件所得连续质量的一致程度	影响一批零件的加工一致性、质量稳定性
	分度精度	分度工作台在分度时,理论要求回转的角度值和实际回转角度值的差值	影响零件加工部位的空间位置及孔系加工的同轴度等
	分辨力	指数控机床对两个相邻的分散细节间可分辨的最小间隔,即可识别的最小单位的能力	决定机床的加工精度和表面质量
	脉冲当量	执行运动部件的最小移动量	