

新世纪
高等职业教育规划教材

数控编程与加工技术

杨志勇 主编



机械工业出版社
China Machine Press

TG659-43
Y330

新世纪高等职业教育规划教材

数控编程与加工技术

主 编 杨志勇
参 编 荣 星 周 虹
主 审 阮 锋



机械工业出版社

本书力求将数控技术与机械制造技术相结合,广泛搜集已实践过的实例,实用性强。本书的主要内容包括:数控编程概述;数控编程的规则与格式;数控车床的编程与加工;数控铣床的编程与加工;加工中心的编程与加工;电火花机床的编程与加工;线切割机床的编程与加工。

本书可作为高等职业技术教育数控技术应用专业、模具专业、机电一体化、机制专业的教材,以及工科大专院校师生的参考教材;也可作为广大从事数控技术应用的工程技术人员的参考书和培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/杨志勇主编. —北京:机械工业出版社, 2002. 7

新世纪高等职业教育规划教材

ISBN 7-111-10474-9

I. 数… II. 杨… III. ①数控机床-程序设计-高等学校:技术学校-教材②数控机床-应用-金属加工-高等学校:技术学校-教材 N. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第041285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:贡克勤 版式设计:张世琴 责任校对:程俊巧

封面设计:姚毅 责任印制:闫焱

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002年8月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·8印张·195千字

0 001—5 000册

新世纪高等职业教育规划教材编审委员会

主任委员	李维东	广东白云职业技术学院	常务副院长
副主任委员	陈周钦	广东交通职业技术学院	院长
	石令明	广西柳州职业技术学院	院长
	蔡昌荣	广州民航职业技术学院	副院长
	覃洪斌	广西职业技术学院	副院长
	姚和芳	湖南铁道职业技术学院	副院长
	韩雪清	机械工业出版社教材编辑室	副主任
委	沈耀泉	深圳职业技术学院	副院长
员	郑伟光	广东机电职业技术学院	院长
	张尔利	广西交通职业技术学院	院长
	谈向群	无锡职业技术学院	副院长
	刘国生	番禺职业技术学院	副院长
	陈大路	温州职业技术学院理工学区	主任
	邹 宁	广西机电职业技术学院	副院长
	成王中	济源职业技术学院	副院长
	管 平	浙江机电职业技术学院	副院长
	韦荣敏	广西柳州市交通学校	校长
	田玉柯	遵义航天工业学校	校长
	黄秀猛	厦门市工业学校	校长
	张毓琴	广东白云职业技术学院	兼委员会秘书

编写说明

20世纪90年代以来,我国高等职业教育为社会主义现代化建设事业培养了大批急需的各类专门人才,提高了劳动者的素质,对建设社会主义精神文明,促进社会进步和经济发展起到了重要作用。中共中央、国务院《关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定》指出:“要大力发展高等职业教育。”教育部在《关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》中明确指出:“高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,培养拥护党的基本路线,适应生产、建设、服务第一线需要的,德、智、体、美等方面全面发展的高等技术应用性专门人才;学生应在具有必备的基础理论知识和专门知识的基础上,重点掌握从事本专业领域实际工作的基本能力和基本技能。”加入WTO以后,我国将面临人才资源的全球竞争,其中包括研究开发型人才的竞争,也包括专业技能型优秀人才的竞争。高等职业教育要适应我国现代化建设的需要,适应世界市场和国际竞争的需要,尽快为国家培养出大批符合市场需求的、有熟练技能的高等技术应用性人才。

教材建设工作是整个高等职业教育工作中的重要内容,在贯彻国家教改精神保证培养人才质量等方面起着重要作用。根据目前高等职业教育发展的趋势,机械工业出版社组织全国多所在高等职业教育办学有特色、在社会上有影响的高职院校成立了“新世纪高等职业教育规划教材编审委员会”,诚请教学经验丰富、实践能力强的专业骨干教师,组织、规划、编写了这套“新世纪高等职业教育规划教材”,首批教材含三个专业系列共21本书(书目附后)。系列教材凝聚了全体编审人员、编委会委员的大量心血,同时得到了各委员院校的大力支持,在此表示衷心感谢。

参加本套教材编写的作者均来自教学一线,他们对高职教育的专业设置、教学大纲、教改形势都有深刻的认识和体会。这为编写出具有创新性、适用性的高职教材奠定了良好基础。

本套教材的编写以保证基础、加强应用、体现先进、突出以能力为本位的职教特色为指导思想,在内容上遵循“宽、新、浅、用”的原则。所谓“宽”,即知识面宽,适用面广;所谓“新”,就是要体现新知识、新技术、新工艺、新方法;所谓“浅”,是指够用为度、通俗易懂;所谓“用”,就是要注重应用、面向实践。

本套教材的出版,将促进高等职业教育的教材建设,对我国高等职业教育的发展产生积极的影响。同时,我们也希望在今后的使用中不断改进、完善此套教材,更好地为高等职业教育服务,为经济建设服务。

新世纪高等职业教育规划教材编审委员会

前 言

当前我国高等职业教育正在迅速发展,高等职业教育的培养目标是理论知识以够用为度,有较强的动手能力,能尽快适应生产第一线工作的高级技术应用型人才。而发展高等职业教育需要与之相适应的教材。

本书按“保证基础,加强应用,体现先进,能力本位,职教特色”的指导思想,并根据“新世纪高等职业教育教材编写大纲审定会议”审定的大纲组织编写,授课学时为40~50学时。

本书的主要内容包括:数控编程概述;数控编程的规则与格式;数控车床的编程与加工;数控铣床的编程与加工;加工中心的编程与加工;电火花机床的编程与加工;线切割机床的编程与加工。

本书编写的特点是:

1. 高职特色明显 本书按高等职业教育教材编写的指导思想组织编写,按照“实际、实用、实践”的原则,使读者达到“会用、能用、管用”的目的。

2. 数控与机械加工技术有机结合 将最新发展的数控技术与传统的机械制造技术有机结合,注重编程与加工要领的叙述,与实践紧密结合。

3. 应用性、实用性、操作性强 本书选用了大量已实践过的实例,与生产实践相符,实用性强,步骤清晰,便于读者学习与实践。在主要章节后都配有必要的思考练习题,以供读者复习。

全书由广东番禺职业技术学院杨志勇主编和统稿,并编写第一、六、七章;湖南铁道职业技术学院周虹编写第二、三章;厦门工业学校荣星编写第四、五章。

全书由华南理工大学阮锋教授主审。

在本书的编写过程中,得到了机械工业出版社、省内外兄弟院校和企业的大力支持与关心,在此特向他们致以衷心的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。您的建议和意见可发送到如下电子邮件地址:zy-py@163.com

编 者

目 录

编写说明

前言

第一章 绪论	1	第一节 加工中心基础	65
第一节 数控编程概述	1	第二节 加工中心加工编程及应用	67
第二节 数控机床的分类	4	第三节 数控编程应注意的问题	72
第三节 数控加工的工艺特点	9	思考练习题	75
第二章 数控编程的规则与格式	10	第六章 电火花机床的编程与加工	77
第一节 准备功能 G 和辅助功能 M 代码	10	第一节 电火花加工原理	77
第二节 G 代码程序的格式	12	第二节 电火花加工精度与电极	78
第三节 3B 格式编程	14	第三节 数控电火花机床的编程与操作	86
思考练习题	16	第四节 电火花加工实例	94
第三章 数控车床的编程与加工	17	思考练习题	100
第一节 车削零件的工艺分析与加工要领	17	第七章 线切割机床的编程与加工	101
第二节 切削用量的选择及要领	25	第一节 线切割加工原理、特点及应用范围	101
第三节 数控车床的编程	30	第二节 快走丝线切割的编程与加工要领	102
思考练习题	35	第三节 慢走丝线切割的加工要领与编程	112
第四章 数控铣床的编程与加工	37	第四节 线切割加工实例	116
第一节 数控铣床概述	37	思考练习题	121
第二节 数控铣床的加工基础	38	参考文献	121
第三节 数控铣床加工编程工艺过程	41		
第四节 手工编程及应用	46		
第五节 自动编程及应用	56		
思考练习题	63		
第五章 加工中心的编程与加工	65		

第一章 绪 论

第一节 数控编程概述

数控技术在 20 世纪 80 年代以后得到迅速发展,数控机床不仅在宇航、造船、军工等领域广泛使用,而且也进入了汽车、机床、模具等机械制造行业。目前,在机械行业中,单件、小批量的生产所占有的比例越来越大,机械产品的精度和质量也在不断地提高。所以,普通机床越来越难以满足加工精密零件的需要。同时,由于计算机技术的迅速发展,计算机软件的不断更新,使数控机床在机械行业中的使用已很普遍。

一、数控编程的概念

在普通机床上加工零件时,一般是由工艺人员按照设计图样事先制订好零件的加工工艺规程。在工艺规程中制订出零件的加工工序、切削用量、机床的规格及刀具、夹具等内容。操作人员按工艺规程的各个步骤操作机床,加工出图样给定的零件。也就是说零件的加工过程是由人来完成。例如开机、停机、改变主轴转速、改变进给速度和方向、切削液开、关等都是由工人手工操纵的。

在由凸轮控制的自动机床或由仿形机床加工零件时,虽然不需要人对它进行操作,但必须根据零件的特点及工艺要求,设计出凸轮的运动曲线或靠模,由凸轮、靠模控制机床运动,最后加工出零件。在这个加工过程中,虽然避免了操作者直接操纵机床,但每一个凸轮机构或靠模,只能加工一种零件。当改变被加工零件时,就要更换凸轮、靠模。因此,它只能用于大批量、专业化生产中。

数控机床和以上两种机床是不一样的。它是按照事先编制好的加工程序,自动地对被加工零件进行加工。我们把零件的加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数(主轴转数、进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀、主轴正转、反转、切削液开、关等),按照数控机床规定的指令代码及程序格式编写成加工程序单,再把这一程序单中的内容记录在控制介质上(如穿孔纸带、磁带、磁盘),然后输入到数控机床的数控装置中,从而指挥机床加工零件。这种从零件图的分析到制成控制介质的全部过程叫数控程序的编制。

从以上分析可以看出,数控机床与普通机床加工零件的区别在于数控机床是按照程序自动加工零件,而普通机床要由人来操作,我们只要改变控制机床动作的程序就可以达到加工不同零件的目的。因此,数控机床特别适用于加工小批量且形状复杂要求精度高的零件。

从外观看,数控机床都有 CRT 屏幕,我们可以从屏幕上看到加工程序、各种工艺参数等内容。从内部结构来看,数控机床没有变速箱,它的主运动和进给运动都是由直流或交流无级变速伺服电动机来完成的。另外,数控机床一般都有工件测量系统,在加工过程中,可以减少对工件进行人工测量的次数。所以数控机床在各行各业中的使用将会越来越普及。

数控加工,就是泛指在数控机床上进行零件加工的工艺过程。

机床的受控动作大致包括机床的起动、停止;主轴的起停、旋转方向和转速的变换;进

给运动的方向、速度、方式；刀具的选择、长度和半径的补偿；刀具的更换，冷却液的开起、关闭等。图 1-1 是数控机床加工过程框图。从框图中可看出在数控机床上加工零件所涉及的范围比较广，与相关的配套技术有密切的关系。合格的编程员首先应该是一个很好的工艺员，应熟练地掌握工艺分析、工艺设计和切削用量的选择，能正确地提出刀辅具和零件的装夹方案，懂得刀具的测量方法，了解数控机床的性能和特点，熟悉程序编制方法和程序的输入方式。

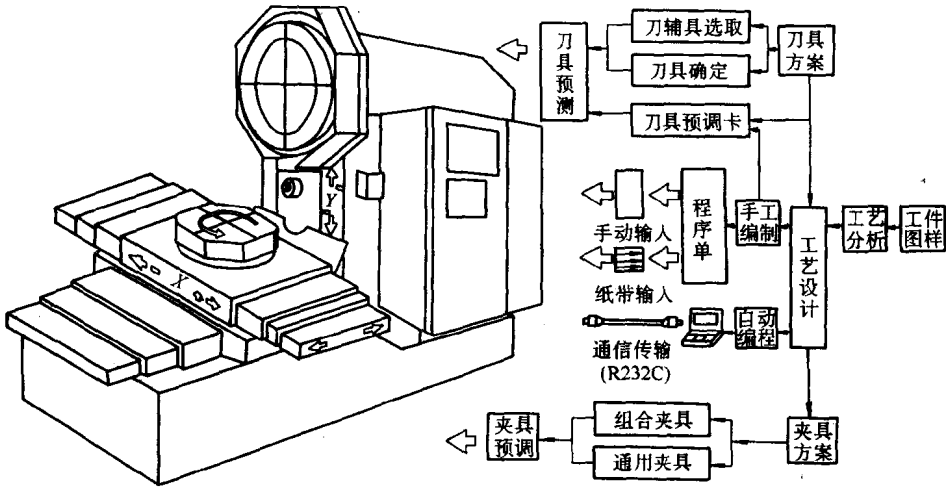


图 1-1 数控机床加工过程框图

使用数控机床，不能把它看成使用的仅是一台机床，而应该把它看成是在使用一套成套设备，作为一项综合的成套技术来处理。因此，要求数控编程人员所掌握的知识要新，面要广，远超过普通的工艺人员，否则就无法胜任程序的设计和编制工作。编程技巧对加工质量有一定的影响。好的加工程序可以适当提高工件的位置精度和表面加工质量。

数控加工程序编制方法有手工编程和自动编程之分。手工编程也称之为人工编程，程序的全部内容是由人工按数控系统所规定的指令格式编写的。自动编程也称为计算机编程。自动编程根据编程信息输入与计算机对信息的处理方式的不同，可以分为以语言和绘画为基础的自动编程方法。但是，无论是采用何种自动编程方法，都需要有相应配套的硬件和软件。

二、数控编程的内容

为了理解数控机床加工过程和加工程序之间的关系，首先讨论在立式数控铣床上加工一个简单工件的实例。图 1-2a 是工件图，要求在立式数控铣床上加工沟槽，沟槽的宽度是 10mm，深度是 5mm，故选用直径 $\phi 10\text{mm}$ 的键槽铣刀，刀具的位置和加工时刀具中心移动轨迹如图 1-2b 所示，采用增量值编程方式，Z 坐标轴方向同主轴一致，主轴向上移动为 Z 轴的正方向，加工程序如下：

O0001

N010 G91 G00 X18.0 Y15.0	；	由 O 点移至 P ₀ 点。
N020 S500 M03	；	主轴正转、转速 500r/min。
N030 M08	；	冷却泵起动。
N040 Z-27.0	；	由 P ₀ 快速下移 27mm。

N050	G01 Z-8.0 F50	; 以 50mm/min 的速度下移至槽底 P_1 点。
N060	X160.0 F100	; 以 100mm/min 速度移动, 由 P_1 加工至 P_2 。
N070	Y46.0	; 由 P_2 加工至 P_3 。
N080	G02 X-35.0 Y35.0 R35.0	; 加工顺时针圆弧 P_3 点至 P_4 点。
N090	G01 X-90.0	; 由 P_4 点加工至 P_5 点。
N100	G03 X-35.0 Y-35.0 R35.0	; 加工逆时针圆弧 P_5 点至 P_6 点。
N110	G01 Y-46.0	; 由 P_6 加工至 P_1 。
N120	G00 Z35.0	; 由 P_1 点快速上升至 P_0 点。
N130	M09	; 关冷却液。
N140	M05	; 主轴停止转动。
N150	X-18.0 Y-15.0	; 快速返回起始点。
N160	M02	; 程序结束。

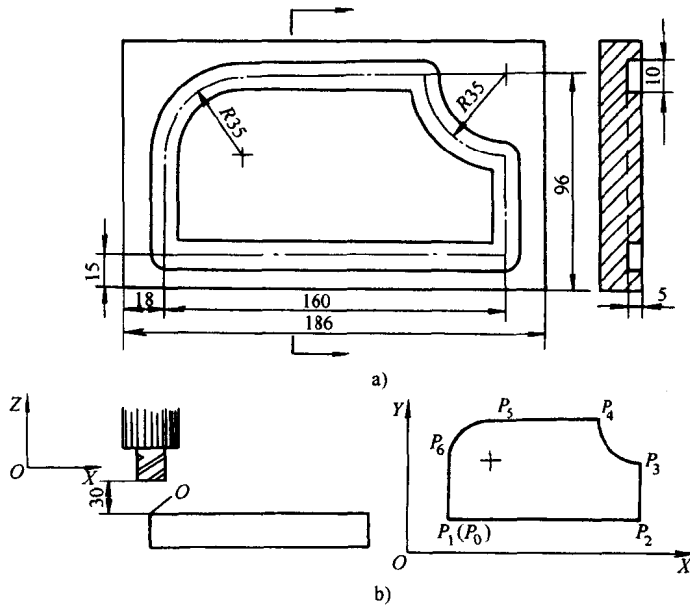


图 1-2 沟槽加工实例

根据以上实例, 可以归纳出程序编制的一般内容和过程如下 (参考图 1-3):

1) 首先分析加工工件图。根据工件图, 对工件的形状、尺寸、精度、表面质量、材料、毛坯种类、热处理和工艺方案等进行详细分析, 从而确定加工方法、定位夹紧以及加工工步顺序、使用刀具和切削用量等, 即制定加工工艺。在制定加工工艺时, 除考虑一般的工艺原则外, 还应考虑充分发挥数控机床所有功能, 做到加工路线要短, 走刀次数要少, 换刀次数要少, 加工安全可靠。同时, 对毛坯的基准面和加工余量要有一定要求, 以便毛坯的装夹和加工能顺利进行。

2) 在编制程序前还要进行运动轨迹坐标值计算, 这些坐标值就是编制程序时所需要的输入数据。例如图 1-2 中加工实例, 为了确定每一段运动轨迹的起点和终点, 必须先计算出点 P_1 、 P_2 、 \dots 、 P_6 的坐标值, 通常把这些点称为基点。所谓基点就是运动轨迹相邻几何要素间的交点。除了计算基点外, 圆弧线段的圆心坐标值也要计算。

3) 根据计算出的运动轨迹坐标值和已确定的运动顺序、刀具号、切削参数以及辅助动作等,按照数控机床规定使用的功能代码及程序格式,逐段编写加工程序清单。

4) 程序清单只是程序设计的文字记录,还必须将程序清单的内容记录在输入介质上,再输入至数控装置。通常制作成穿孔纸带或存放在软磁盘内。简单程序可以直接使用键盘输入至数控装置。

5) 程序清单所制作的输入介质必须经过调试和实际切削运行后,才可以使用或保存。在数控机床上运行调试加工程序的一般方法,是在不装夹工件情况下起动数控机床,进行空运行,观察运动轨迹是否正确。在数控铣床上还可用笔代替刀具,用坐标纸代替工件,进行空运行绘图,检查运动轨迹是否正确。然后进行首件试切,进一步考察程序清单或控制介质的正确性,并检查是否满足加工精度要求。只有首件试切通过检查,方可制作供加工使用和存档的控制介质。

三、数控编程的方法

程序编制方法可以分为手工编程和自动编程两大类。

1. 手工编程

手工编程是指编制工件加工程序的各个步骤,即从工件图样分析、工艺处理、确定加工路线和工艺参数、计算程序中所需的数据、编写加工程序清单直到程序的检验,均由人工来完成。对几何形状较为简单的工件,所需程序不多,坐标计算也比较简单,程序又不长,使用手工编程既经济又及时。因此,手工编程在点位直线加工及直线圆弧组成的轮廓加工中仍被广泛应用。

但是,工件轮廓复杂,特别是加工非圆弧曲线、曲面等表面,或工件加工程序较长时,使用手工编程既繁琐又费时,而且容易出错,常会出现手工编程工作跟不上数控机床加工的情况,影响数控机床的开动率。此时,必须解决程序编制的自动化问题。

2. 自动编程

自动编程又称计算机辅助编程。自动编程在自动编程系统上进行,它是由一台通用计算机配上打印机、自动穿孔机和自动绘图机等组成,可以完成手工编程的大部分工作。自动编程系统使用数控语言描述切削加工时的刀具和工件的相对运动、轨迹和一些加工工艺过程,程序员只需使用规定的数控语言编一个简短的工件源程序,然后输入计算机,自动编程系统自动完成运动轨迹的计算、加工程序编制和穿孔带制作等工作,所编程序还可以通过屏幕显示或绘图仪进行模拟加工演示。有错误时可以在屏幕上进行编辑、修改,直至程序正确为止。自动编程与手工编程相比,编程工作量减轻,编程时间缩短,编程的准确性提高,特别是复杂工件的编程,其技术经济效益显著。

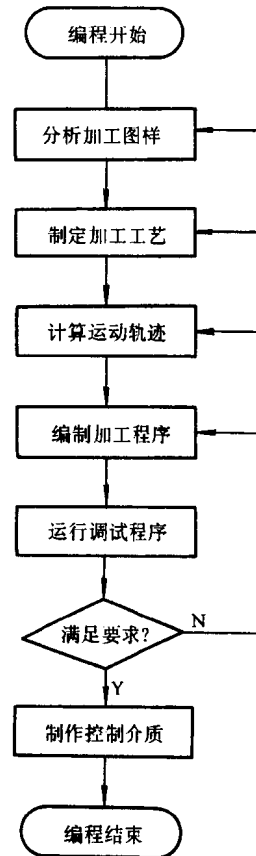


图 1-3 程序编制的一般内容和过程

第二节 数控机床的分类

目前数控机床的品种很多,通常按下面四种方法进行分类。

一、按工艺用途分类

1. 一般数控机床

最普通的数控机床有钻床、车床、铣床、镗床、磨床和齿轮加工机床。图 1-4 是 CK 7815 数控车床，图 1-5 是 XK5040A 数控铣床。它们和传统的通用机床工艺用途相似，但是它们的生产率和自动化程度比传统机床高，适合加工单件、小批量和复杂形状的工件。

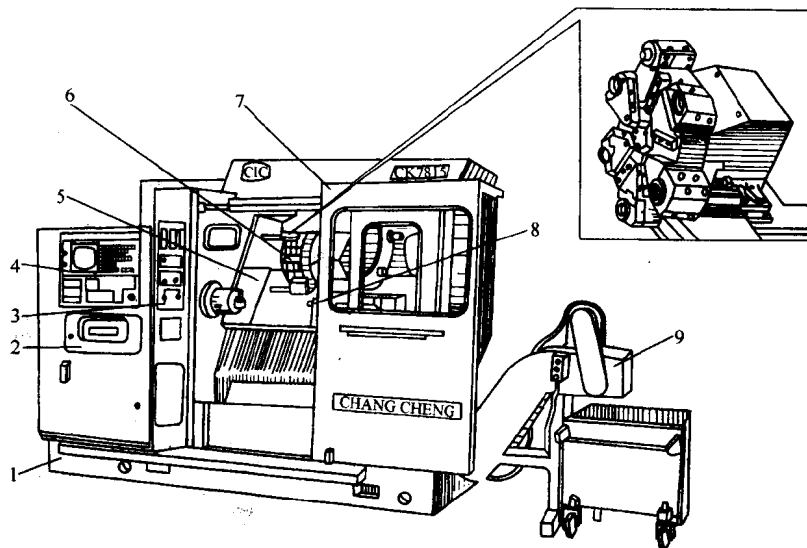


图 1-4 CK7815 数控车床

- 1—床体 2—光电读带机 3—机床操作台 4—数控系统操作面板 5—倾斜导轨
6—刀盘 7—防护门 8—尾架 9—排屑装置

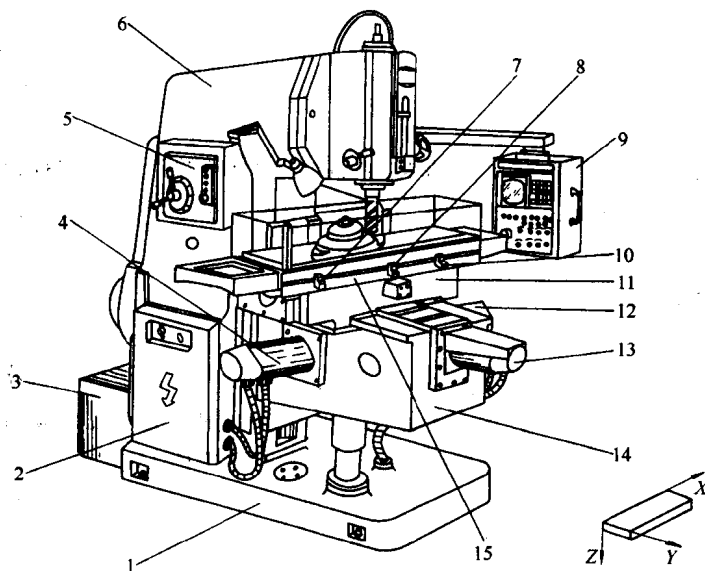


图 1-5 XK5040A 型数控铣床

- 1—底座 2—强电柜 3—变压器箱 4—升降进给伺服电动机 5—主轴变速手柄和按钮板
6—床身立柱 7、10—纵向行程限位保护开关 8—纵向参考点设定挡铁 9—操纵台 11—纵向溜板 12—纵向进给伺服电动机 13—横向进给伺服电动机 14—升降台 15—纵向工作台

2. 数控加工中心

这类数控机床是在一般数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置，构成一种带自动换刀装置的数控机床。图 1-6 是 XH754 型卧式加工中心，图 1-7 是 TH5632 型立式加工中心。这类数控机床的出现打破了一台机床只能进行单工种加工的传统概念，实行一次安装定位，完成多工序加工方式。例如 TH5632 型立式加工中心，它的刀库容量是 16 把刀具，在刀具和主轴之间有一换刀机械手，工件一次装夹后，可自动连续进行铣、钻、镗、铰、扩、攻螺纹等多种工序加工。数控加工中心因一次安装定位完成多工序加工，避免了因多次安装造成的误差，减少机床台数，提高了生产效率和加工自动化程度。

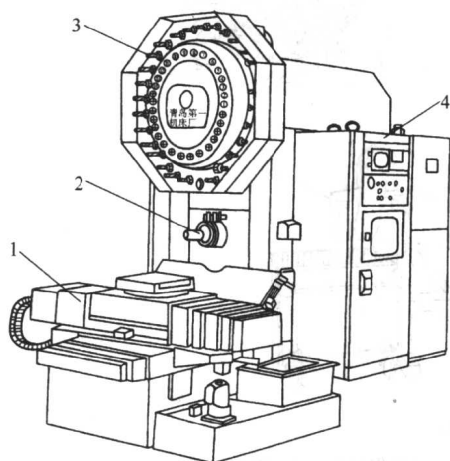


图 1-6 XH754 型卧式加工中心

1—工作台 2—主轴 3—刀库 4—数控柜

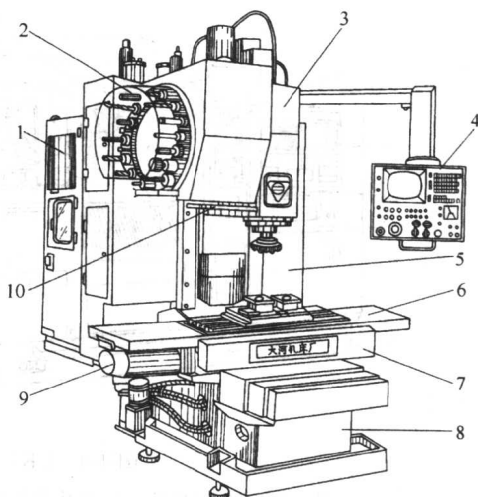


图 1-7 TH5632 型立式加工中心

1—数控柜 2—刀库 3—主轴箱 4—操纵台 5—驱动电源柜
6—纵向工作台 7—滑座 8—床身 9—X 轴进给伺服电动机 10—换刀机械手

3. 多坐标轴数控机床

有些复杂的工件，例如螺旋桨、飞机发动机叶片曲面等用三坐标数控机床无法加工，于是出现了多坐标轴的数控机床，其特点是控制轴数较多，机床结构比较复杂。坐标轴的轴数取决于加工工件的工艺要求。

二、按控制的运动轨迹分类

1. 点位控制

点位控制数控机床只要求获得准确的加工坐标点的位置。由于数控机床只是在刀具或工件到达指定位置后才开始加工，刀具在工件固定时执行切削任务，在运动过程中并不进行加工，所以从一个位置移动到另一个位置的运动轨迹不需要严格控制。数控钻床、数控坐标镗床和数控冲床等均采用点位控制。图 1-8 是点位控制加工示意图。因为这类机床最重要的性能指标是要保证孔的相对位置，并要求快速点定位，以便减少空行程时间，经常采用的控制方式是当刀具或工件接近定位点时，分两步完成，首先降低移动速度，然后实现准确停止。

2. 点位直线控制

点位直线控制数控机床，除了要求控制位移终点位置外，还能实现平行坐标轴的直线切

削加工，并且可以设定直线切削加工的进给速度。例如在车床上车削阶梯轴，铣床上铣削台阶面等。图 1-9 是直线控制切削加工示意图。

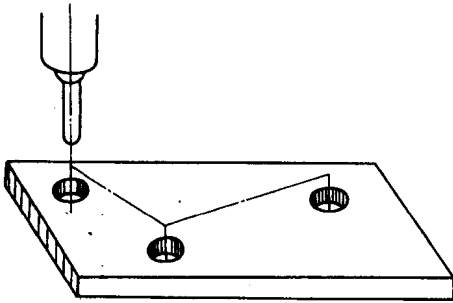


图 1-8 点位控制加工示意图

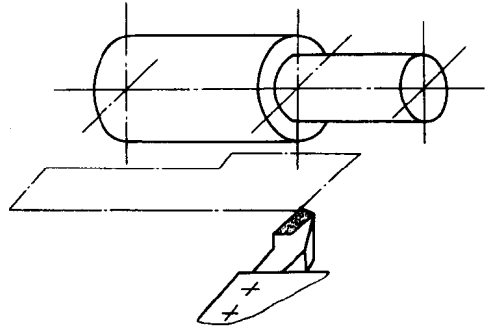


图 1-9 直线控制加工示意图

3. 轮廓控制

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行控制，不仅能够控制机床移动部件的起点与终点坐标值，而且能控制整个加工过程中每一点的速度与位移量。

用插补器能控制两坐标轴完成平面内任意线段加工的数控机床，称两轴联动数控机床；用插补器能控制三坐标轴完成三坐标空间内任意线段加工的数控机床，称三轴联动数控机床。例如三轴两联动数控铣床，在任一时刻只能控制任意两轴联动，任意两轴联动可以通过指令设定，有时称两轴半联动。

三、按控制方式分类

数控机床按照对被控量有无检测反馈装置可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环系统中，根据测量装置安放的位置又分为全闭环控制和半闭环控制两种。

1. 开环控制数控机床

图 1-10 是典型的开环数控系统。开环控制系统中没有检测反馈装置。数控装置将工件加工程序处理后，输出数字指令信号给伺服驱动系统，驱动机床运动，但不检测运动的实际位置，即没有位置反馈信号。开环控制的伺服系统主要使用步进电动机。插补器进行插补运算后，发出指令脉冲（又称进给脉冲），经驱动电路放大后，驱动步进电动机转动。一个进给脉冲使步进电动机转动一个角度，通过齿轮丝杠传动使工作台移动一定距离，因此，工作台的位移量与步进电动机转动角位移成正比，即与进给脉冲的数目成正比。改变进给脉冲的数目和频率，就

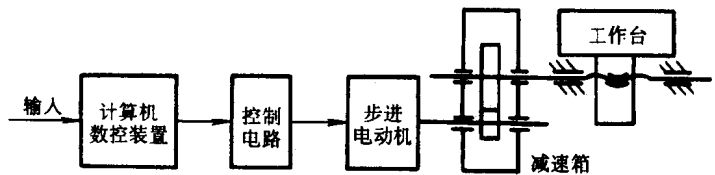


图 1-10 开环控制系统框图

可以控制工作台的位移量和速度。由图 1-10 可见，指令信息单方向传送，并且指令发出后，不再反馈回来，故称开环控制。

受步进电动机的步距精度和工作频率以及传动机构的传动精度影响，开环系统的速度和精度都较低。但由于开环控制结构简单，调试方便，容易维修，成本较低，故仍被广泛应用于经济型数控机床上。

2. 闭环控制数控机床

开环控制系统的控制精度不高，主要是没有检测工作台移动的实际位置，也就没有纠正偏差的能力。图 1-11 是闭环控制系统框图，安装在工作台上的检测元件将工作台实际位移量反馈到计算机中，与所要求的位置指令进行比较，用比较的差值进行控制，直到差值消除为止。可见，闭环控制系统可以消除机械传动部件的各种误差和工件加工过程中产生的干扰的影响，从而使加工精度大大提高。速度检测元件作用是将伺服电动机的实际转速转换成电信号送到速度控制电路中，进行反馈校正，保证电动机转速保持恒定不变。常用速度检测元件是测速发电机。

闭环控制的特点是加工精度高，移动速度快。这类数控机床采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件，电动机的控制电路比较复杂，检测元件价格昂贵。因而调试和维修比较复杂，成本高。

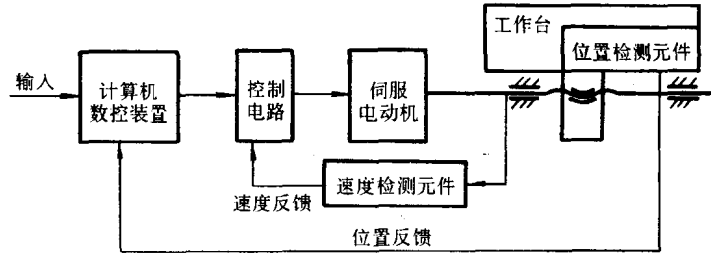


图 1-11 闭环控制系统框图

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统框图如图 1-12 所示，它不是直接检测工作台的位移量，而是采用转角位移检测元件，如光电编码器，测出伺服电动机或丝杠的转角，推算出工作台的实际位移量，反馈到计算机中进行位置比较，用比较的差值进行控制。由于反馈环内没有包含工作台，故称半闭环控制。

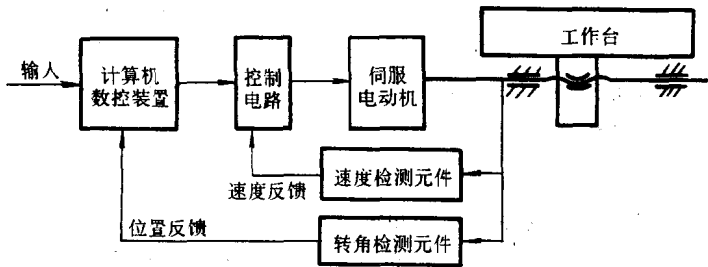


图 1-12 半闭环控制系统框图

半闭环控制精度较闭环控制差，但稳定性好，成本较低，调试维修也较容易，兼顾了开环控制和闭环控制两者的特点，因此应用比较普遍。

四、按功能分类

1. 经济型数控机床

在计算机中一般用一个微处理器作为主控单元，伺服系统大多使用步进电动机驱动，采用开环控制方式，脉冲当量为 $0.01 \sim 0.005 \text{ mm/P}$ ，机床快速移动速度为 $5 \sim 8 \text{ m/min}$ ，精度较低，功能较简单，用数码管或简单的 CRT 字符显示，基本具备了计算机控制数控机床的主要功能。

2. 全功能型数控机床

在计算机中采用 $2 \sim 4$ 个微处理器进行控制，其中一个是主控微处理器，其余为从属微处理器。主控微处理器完成用户程序的数据处理、粗插补运算、文本和图形显示等，从属微处理器在主控微处理器管理下，完成对外围设备，主要是伺服控制系统的控制和管理，从而实现同时对各坐标轴的连续控制。

全功能型数控机床允许最大速度一般为 $8 \sim 24 \text{ m/min}$ ，脉冲当量为 $0.01 \sim 0.001 \text{ mm/P}$ ，采用交、直流伺服电动机，广泛用于加工形状复杂或精度要求较高的工件。

3. 精密型数控机床

精密型数控机床采用闭环控制，它不仅具有全功能型数控机床的全部功能，而且机械系统的动态响应较快。其脉冲当量一般小于 0.001mm/P ，适用于精密和超精密加工。

第三节 数控加工的工艺特点

一、数控加工工艺的基本特点

工艺规程是工人在加工时的指导性文件。由于普通机床受控于操作工人，因此，在普通机床上用的工艺规程实际上只是一个工艺过程卡，机床的切削用量、走刀路线、工序的工步等往往都是由操作工人自行选定。数控加工的程序是数控机床的指令性文件。数控机床受控于程序指令，加工的全过程都是按程序指令自动进行的。因此，数控加工程序与普通机床工艺规程有较大差别，涉及的内容也较广。数控机床加工程序不仅要包括零件的工艺过程，而且还要包括切削用量，走刀路线，刀具尺寸以及机床的运动过程。因此，要求编程人员对数控机床的性能、特点、运动方式、刀具系统、切削规范以及工件的装夹方法都要非常熟悉。工艺方案的好坏不仅会影响机床效率的发挥，而且将直接影响到零件的加工质量。

二、数控加工工艺的主要内容

概括起来数控加工工艺主要包括如下内容：

- 1) 选择适合在数控机床上加工的零件，确定工序内容。
- 2) 分析被加工零件的图样，明确加工内容及技术要求。
- 3) 确定零件的加工方案，制定数控加工工艺路线。如划分工序、安排加工顺序，处理与非数控加工工序的衔接等。
- 4) 加工工序的设计。如选取零件的定位基准，夹具方案的确定、划分工步、选取刀辅具、确定切削用量等。
- 5) 数控加工程序的调整。选取对刀点和换刀点，确定刀具补偿，确定加工路线。
- 6) 分配数控加工中的容差。
- 7) 处理数控机床上的部分工艺指令。

第二章 数控编程的规则与格式

在数控机床上加工零件时，首先要将被加工零件的全部工艺过程及其他辅助动作按照运动的先后次序，用规定的指令代码、程序格式记录在控制介质上，然后以此为依据自动控制数控机床完成零件的全部加工过程。从零件图到获得数控机床所需控制介质的全部过程称为数控编程。本章主要介绍数控编程常用的 G、M 代码及数控编程的规则与格式。

第一节 准备功能 G 和辅助功能 M 代码

在数控加工程序中，用 G、M 指令来描述工艺过程的各种操作和运动特征。国际上广泛采用 ISO 标准的 G、M 指令，我国机械工业部制订的标准 JB3208—1983，与国际标准等效。

G、M 指令分别由地址符 G、M 及 2 位数字组成，共有 100 种 G 指令和 100 种 M 指令。

一、G 指令

G 指令是用来规定刀具和工件的相对运动轨迹（即插补功能）、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作。

表 2-1 是我国 JB3208—1983 标准 G 指令的功能定义表。

表 2-1 G 代码表

G 代码 (1)	模态 (2)	功 能 (3)	G 代码 (1)	模态 (2)	功 能 (3)
G00	a	点定位	G45	# (d)	刀具偏置 +/+
G01	a	直线插补	G46	# (d)	刀具偏置 +/-
G02	a	顺圆弧插补	G47	# (d)	刀具偏置 -/-
G03	a	逆圆弧插补	G48	# (d)	刀具偏置 -/+
G04	—	暂停 (延时)	G49	# (d)	刀具偏置 0/+
G05	#	不指定	#G50	(d)	刀具偏置 0/-
G06	a	抛物线插补	#G51	(d)	刀具偏置 +/0
G07	#	不指定	#G52	(d)	刀具偏置 -/0
G08	—	加速	G53	f	直线偏移注销
G09	—	减速	G54	f	直线偏移 X
G10~G16	#	不指定	G55	f	直线偏移 Y
G17	c	XY 平面选择	G56	f	直线偏移 Z
G18	c	XZ 平面选择	G57	f	直线偏移 XY
G19	c	YZ 平面选择	G58	f	直线偏移 XZ
G20~G32	#	不指定	G59	f	直线偏移 YZ
G33	a	螺纹切削，等螺距	G60	h	准确定位 1 (精)
G34	a	螺纹切削，增螺距	G61	h	准确定位 2 (中)
G35	a	螺纹切削，减螺距	G62	h	快速定位 (粗)
G36~G39	#	永不指定	G63	—	攻螺纹
G40	d	半径补偿取消	G64~G67	#	不指定
G41	d	刀具左补偿	G68	(d)	刀具偏置，内角
G42	d	刀具右补偿	G69	(d)	刀具偏置，外角
G43	# (d)	刀具正偏置	G70~G79	#	不指定
G44	# (d)	刀具负偏置	G80	e	固定循环注销