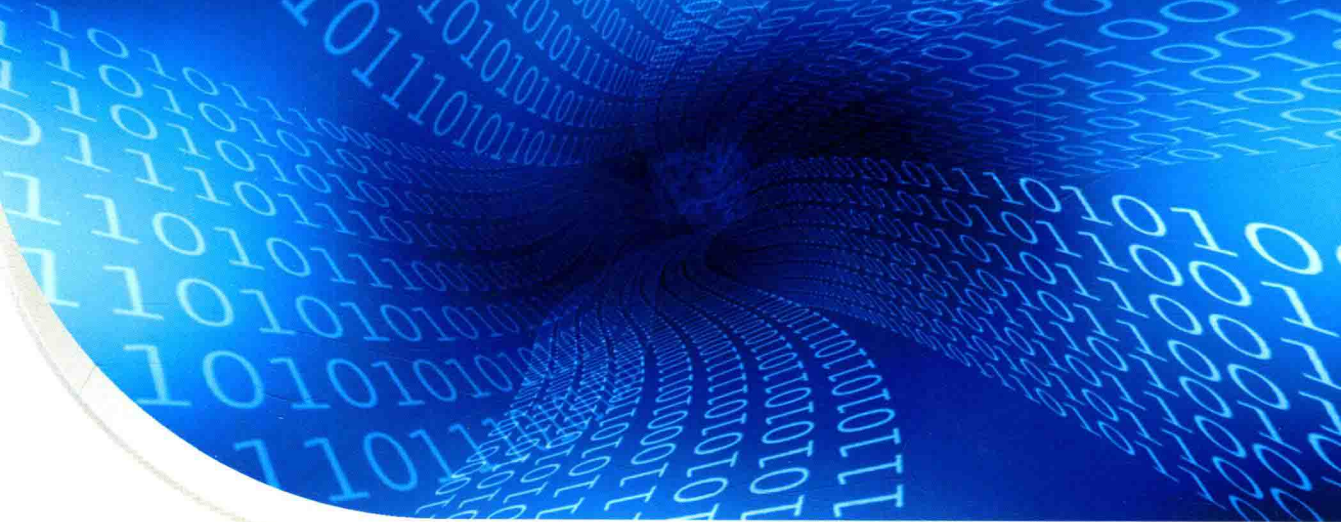




Shukong Shougong Biancheng



工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材
国家示范性高等职业教育机电类“十三五”规划教材

数控手工编程

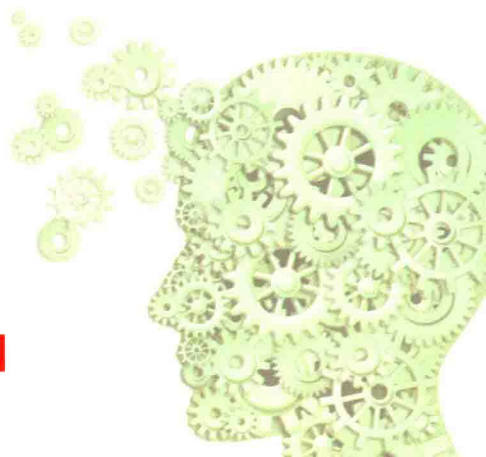
▲主 编 赵学清 欧阳海菲

▲主 审 田 力



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>





工学结合·基于工作过程导向的项目化创新系列教材
国家示范性高等职业教育机电类“十三五”规划教材

数控手工编程

Shukong Shougong
Biancheng

- ▲主 审 田 力
- ▲主 编 赵学清 欧阳海菲
- ▲副主编 李秀兰 刘让贤
熊 霞 陈 立



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉



内 容 简 介

本书内容在调查研究的基础上,反映了近几年来高等职业技术教育课程改革的经验,反映了生产实际中的新知识、新技术、新工艺和新方法,适应了经济发展、科技进步和生产实际对教学内容提出的新要求,突出了职业教育特色,紧密联系生产实际,具有广泛的实用性。

全书以项目式教学的方式组织内容,分基础篇、数控车床篇、数控铣床篇和加工中心篇4个部分,共12个学习项目,分别为阶梯轴类零件的编程与加工、带弧面轴类零件的编程与加工、螺纹轴零件的编程与加工、盘套类零件的编程与加工、较复杂套类零件的编程与加工、华中“世纪星”系统加工套类零件、平面凸轮廓零件的编程与加工、型腔类零件的编程与加工、孔系类零件的编程与加工、底座类零件的编程与加工、西门子 SINUMERIK 802D 系统加工底座类零件、加工中心编程实例。每个学习项目均由项目导入、相关知识和项目实施3个部分构成,形成“理论讲解—模拟仿真—实操加工”的一体化教学模式。每篇内容附有形式多样的例题和练习题,针对性和实用性强,方便教师教学,也方便学习者巩固相应的内容。

本书采用了新国标规定的名词术语,将数控加工工艺规程的制定和数控加工程序的编制有机地结合在一起。

本书可供高等职业技术学院、职工大学等相关专业选用,也可供大专院校和从事数控加工与编程工作的工程技术人员参考,或作为工厂数控加工设备操作工人的自学教材。

图书在版编目(CIP)数据

数控手工编程/赵学清,欧阳海菲主编. —武汉:华中科技大学出版社,2016.8
ISBN 978-7-5680-1777-0

I. ①数… II. ①赵… ②欧… III. ①数控机床-程序设计-高等学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 092271 号

数控手工编程

Shukong Shougong Biancheng

赵学清 欧阳海菲 主编

策划编辑:倪 非

责任编辑:倪 非

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321913

录 排:武汉正风天下文化发展有限公司

印 刷:仙桃市新华印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:14

字 数:358千字

版 次:2016年8月第1版第1次印刷

定 价:35.00元



华中出版

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

本书是高等职业技术教育数控技术专业的适用教材。除可供高等职业院校、职工大学等相关专业选用外,也可供大专院校和从事数控加工与编程工作的工程技术人员参考,或作为工厂数控加工设备操作工人的自学教材。

本书根据数控技术的迅速发展对人才素质的需要而确立课程的教学内容,体现了创新意识和实践能力为重点的教育教学指导思想。

本书总结近几年来高等职业技术教育课程改革的经验,以实际项目为基础构建本教材的教学内容,采用最新的国家标准,注重基本理论、基本知识和基本技能的讲述,紧密联系生产实际,突出高等职业教育特色。

全书分基础篇、数控车床篇、数控铣床篇和加工中心篇 4 个部分,共 12 个学习项目,分别为阶梯轴类零件的编程与加工、带弧面轴类零件的编程与加工、螺纹轴零件的编程与加工、盘套类零件的编程与加工、较复杂套类零件的编程与加工、华中“世纪星”系统加工套类零件、平面凸轮轮廓零件的编程与加工、型腔类零件的编程与加工、孔系类零件的编程与加工、底座类零件的编程与加工、西门子 SINUMERIK 802D 系统加工底座类零件、加工中心编程实例。每个学习项目均由项目导入、相关知识和项目实施 3 个部分构成,有理论知识学习,有数控仿真加工练习,在实训条件满足的情况下还可以将每个项目实际加工出成品,形成“理论讲解—模拟仿真—实操加工”的一体化教学模式。同时,本书每篇内容附有形式多样的例题和练习题,针对性和实用性强,方便教师教学,也方便学习者巩固相应的内容。

本书的基础篇由张家界航空工业职业技术学院陈立老师编写,数控车床篇由张家界航空工业职业技术学院赵学清老师和李秀兰老师编写,数控铣床篇由张家界航空工业职业技术学院欧阳海菲老师和湖南生物机电职业技术学院熊霞老师编写,加工中心篇由张家界航空工业职业技术学院刘让贤老师编写。赵学清老师和欧阳海菲老师为主编,负责全书的统稿和校稿工作。

本书由长沙汽电汽车零部件有限公司田力高级工程师主审。刘坚副教授、凡进军副教授、胡细东副教授、吴灿坤工程师、田正芳高级工程师、张迎春工程师对本书的组稿提出了许多宝贵的意见,在此谨向他们表示衷心的感谢。本书参照了国内许多学者的著作,在此也一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者给予批评指正。

编 者

2016 年 5 月于张家界

第 1 章 数控手工编程基础	1
1.1 数控技术的概念	1
1.2 数控编程的基本概念	5
1.3 数控机床坐标系	10
1.4 数控编程中的数值计算	15
练习题	17
第 2 章 数控车床编程	19
2.1 数控车床编程基础	19
2.2 项目 1:台阶类零件的编程与加工	36
2.3 项目 2:圆弧类零件的编程与加工	53
2.4 项目 3:螺纹轴类零件的编程与加工	65
2.5 项目 4:盘套类零件的编程与加工	78
2.6 项目 5:轴套类零件的编程与加工	87
2.7 项目 6:华中“世纪星”系统加工轴套类零件	91
练习题	102
第 3 章 数控铣床编程	109
3.1 数控铣床的编程基础	109
3.2 项目 7:平面凸轮廓类零件的编程与加工	124
3.3 项目 8:型腔类零件的编程与加工	141
3.4 项目 9:孔系零件的编程与加工	150
3.5 项目 10:底座类零件编程与加工	165
3.6 项目 11:SINUMERIK 802D 系统加工底座类零件	171
练习题	188
第 4 章 加工中心编程	193
4.1 加工中心概述	193
4.2 项目 12:加工中心编程实例	198
练习题	210
参考文献	215

1.1 数控技术的概念

【学习目标】

1. 掌握数控技术的基本概念
2. 了解数控机床的产生和发展趋势
3. 掌握数控机床加工的特点及应用

数控技术即数字控制(Numerical Control,简称 NC)技术,是用数字化信号发出指令并控制机械执行预定动作的技术。计算机数控(Computer Numerical Control,简称 CNC)是指按照存储在计算机读写存储器中的控制程序,去执行并实现数控装置的部分或全部数控功能。采用数控技术实现数字控制的一整套装置和设备,称为数控系统。

数控机床就是装备有数控系统,采用数字信息对机床运动及其加工过程进行自动控制的机床。数控机床可以通过输入专用或通用计算机中的数字信息来控制机床的运动,自动对零件进行加工。

数控加工是指在数控机床上根据设定的程序对零件切削加工的整个过程,这种控制零件加工过程的程序称为数控加工程序。数控加工程序由一系列的标准指令代码组成,每一个指令对应于工艺系统的一种动作状态。数控加工程序的编制称为数控编程。

1.1.1 数控加工在机械制造业中的地位和作用

随着科学技术的发展,机械产品的结构越来越合理,其性能、精度和效率日趋提高,更新换代更加频繁,生产类型由大批量生产向多品种、小批量生产转化,因此,对机械产品的加工相应地提出了高精度、高柔性 with 高度自动化的要求。

大批量生产的产品,如汽车、家用电器的零件,为了提高这些产品的质量和生产率,多采用专用自动化机床、专用的自动生产线或自动车间进行生产。尽管这类设备初次投资很大,生产准备周期长,产品改型不容易,致使产品的开发周期较长,但分摊在每个零件上的费用很少,所以经济效益仍很可观。

然而,在机械制造业中,单件及中、小批生产的零件约占机械加工总量的 80% 以上,尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防部门,加工批量小、改型频繁、零件形状复杂和精度要求高是其生产的主要特点,而加工这类产品需要经常改装或调整设备,但对专用化程度很高的自动化机床来说,这种改装和调整甚至是不可能实现的。

数控机床综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等方面的技术成果,具有高精度、高柔性 with 高度自动化的特点,采用数控加工手段解决了机械制造业中常规加

工技术难以解决的单件、小批量零件,特别是复杂型面零件的加工。应用数控加工技术是机械制造业的一次技术革命,此后机械制造业的发展进入了一个新的阶段,提高了机械制造业的制造水平,为社会提供了高质量、多品种及高可靠性的机械产品。

数控机床的出现以及它所带来的巨大效益,引起了世界各国科技界和工业界的普遍重视。几十年来,数控机床在品种、数量、加工范围和加工精度等方面有了惊人的发展,特别是使用了小型计算机和微处理器以来,数控机床的性价比日趋合理,可靠性日益提高。工业发达的国家中,数控机床在工业、国防等领域的应用已相当普遍,由开始阶段的解决单件、小批量复杂形状的零件加工,发展到为了减轻劳动强度、提高劳动生产率、保证质量、降低成本等,在中批量生产甚至大批量生产中得到应用。现在认为,即使是对批量在 500~5000 件之间的不复杂的零件,采用数控机床加工也是经济的。因此,发展数控机床是当前机械制造业技术改造的必由之路,是未来工厂自动化的基础。

1.1.2 数控技术的产生和发展

1.1.2.1 数控机床的产生和发展

自美国的帕森斯公司和麻省理工学院伺服机构实验室于 1952 年合作研制成功世界上第一台数控铣床以来,数控系统先后经历了第一代电子管 NC、第二代晶体管 NC、第三代小规模集成电路 NC、第四代小型计算机 CNC、第五代微型计算机 MNC 和第六代基于 PC 机 CNC 六个发展阶段。前三代系统是 20 世纪 70 年代以前的早期数控系统,都是采用专用电子电路实现的硬接线数控系统,因此称为硬件式数控系统,也称为普通数控系统或 NC 数控系统。后三代系统是 20 世纪 70 年代中期开始发展起来的软件式数控系统,称为现代数控系统,也称为计算机数控或 CNC 系统。软件式数控系统是采用微处理器及大规模或超大规模集成电路组成的数控系统,具有很强的程序存储能力和控制功能,而这些控制功能又是由一系列控制程序(驻留系统内)来实现的。软件式数控系统通用性很强,几乎只需要改变软件就可以适应不同类型机床的控制要求,具有很大的柔性。目前,微型计算机数控系统几乎完全取代了以往的普通数控系统。

我国早在 1958 年就开始研制数控机床,但没有取得实质性的成果。20 世纪 70 年代初期,我国掀起研制数控机床的热潮,但当时的控制系统主要是采用分立电子元器件,性能不稳定,可靠性差,因而不能在生产中稳定可靠地使用。从 1980 年开始,北京机床研究所从日本引进了 FANUC5、FANUC7、FANUC3、FANUC6 数控系统,上海机床研究所引进了美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统,辽宁精密仪器厂引进了美国 Bendix 公司的 Dynaph LTD10 数控系统。在引进、消化、吸收国外先进技术的基础上,北京机床研究所又开发出 BS03 经济型数控系统和 BS04 全功能数控系统,航天部七〇六所也研制出了 MNC864 数控系统。目前我国已能批量生产和供应各类数控系统,并掌握了 3~5 轴联动、螺距误差补偿、图形显示和高精度伺服系统等关键技术,基本上能满足全国各机床厂的生产需要。随着经济发展和科学的进步,我国在数控机床方面的开发、研制、生产等将得到迅速发展。

1.1.2.2 数控技术的发展趋势

1. 数控系统的发展趋势

1) 开放式数控系统

开放式体系结构可以大量采用通用微机的先进技术,实现声控自动编程、图形扫描自动编

程等。数控系统继续向高集成度方向发展,芯片上可以集成更多的晶体管,使系统更加小型化、微型化,可靠性得到大大提高。同时,开放式体系结构还可以利用多CPU的优势,实现故障自动排除,增强通信功能,提高进线、联网能力。

开放式体系结构的新一代数控系统,其硬件、软件和总线规范都是对外开放的,由于有充足的软、硬件资源可供利用,不仅使数控系统制造商和用户进行的系统集成得到有力的支持,而且也为用户的二次开发带来极大的便利,促进了数控系统多档次、多品种的开发和应用,既可通过升级或组合构成各种档次的数控系统,又可通过扩展构成不同类型数控机床的数控系统。

2) 智能化数控系统

数控系统在控制性能上向智能化方向发展。随着人工智能在计算机领域的应用,数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络等控制机理,使新一代数控系统具有自动编程、前馈控制、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统,使自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载并自动优化、调整参数。

2. 数控机床的发展趋势

1) 高速、高效化

数控机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,大幅度提高加工效率,降低加工成本,提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适用性。

2) 高精度化

随着高新技术的发展和对机电产品性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。新材料及新零件的出现、更高精度要求的提出等对超精密加工技术提出了新的要求,发展新型超精密加工机床、完善现代超精密加工技术,是适应现代科技发展的必由之路。

3) 高可靠性

数控机床要发挥其高性能、高精度、高效率并获得良好的效益,必然取决于其高可靠性。

4) 模块化、专门化与个性化

数控机床的结构模块化和数控功能专门化,可使数控机床性价比显著提高,适应数控机床多品种、小批量加工零件的特点。个性化也是近几年来数控机床特别明显的发展趋势。

5) 高柔性化

数控机床在提高单机柔性化的同时,正朝着单元柔性化和系统柔性化方向发展。

6) 复合化

复合化包含工序复合化和功能复合化。数控机床的发展已模糊了粗、精加工工序的概念,加工中心的出现,又把车、铣、镗等工序集中到一台机床来完成,打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。近年来又相继出现了许多跨度更大的、功能更集中的超复合化数控机床。

7) 出现新一代数控加工工艺与装备

为适应制造自动化的发展,向柔性制造单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)和现代集成制造系统(CIMS)提供基础设备,这就要求数字控制制造系统不仅能完成常规的加工功能,而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头(有时带坐标变换)、自动误差补偿、自动诊断、网络通信等功能,要能广泛地应用机器人、物流系统,还要围绕数控技术,确保制造过程技

术在快速成型、并联机构机床、机器人化机床、多功能机床等整机方面做出突破。近年来出现了所谓“六条腿”结构的并联加工中心。这种新颖的加工中心是采用可以伸缩的六条“腿”(伺服轴)支撑,并连接装有主轴头的上平台与装有工作台的下平台的构架结构形式,取代传统的床身、立柱等支撑结构,没有任何导轨与滑板的所谓“虚轴机床”。这种机床最显著的优点是机床基本性能高,精度、刚度和加工效率均可比传统加工中心高出许多倍。这种并联杆系结构的新型数控机床的出现,开拓了数控机床发展的新领域。

1.1.3 数控机床加工的特点及应用

1.1.3.1 数控机床的加工特点

1. 适应性强,可用于单件小批量和具有复杂型面的零件的加工

在数控机床上加工零件的形状主要取决于加工程序,因此,加工不同的零件只需要重新编制或修改加工程序就可以迅速达到加工要求,为复杂零件的单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大的便利。数控机床的加工随生产对象而变化,具有很强的适应性。

2. 加工精度高,加工零件质量稳定

数控机床的机械传动系统和结构都有较高的精度、刚度和热稳定性;数控机床是按数字形状给出的指令来控制机床进行加工的,在加工过程中消除了操作人员的人为误差;数控机床工作台的脉冲当量普遍达到了每个脉冲 $0.01 \sim 0.0001 \text{ mm}$,而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿;数控机床的加工精度由过去的 0.01 mm 提高到 $\pm 0.005 \text{ mm}$;又因为数控机床切削加工中采用工序集中方式,减少了多次装夹对加工精度的影响,提高了同一批次零件尺寸的一致性,使产品质量稳定性得到提高。

3. 生产效率高

数控机床加工可以有效地减少零件的加工时间和辅助时间。由于数控机床的主轴转速和进给速度的变化范围大,每一道工序加工时可以选用最佳切削速度和进给速度,使切削参数优化,减少了切削加工时间。此外,数控机床加工一般采用通用夹具或组合夹具,数控车床和加工中心在加工过程中能进行自动换刀,实现了多工序加工;数控系统的刀具补偿功能节省了刀具补偿的调整时间等,减少了辅助加工时间。综合上述各个方面可知,数控机床提高了生产效率,降低了加工成本。

4. 能实现复杂的运动

普通机床难以实现或无法实现的曲线和曲面的运动轨迹(如螺旋桨、汽轮机叶片等空间曲面)在数控机床上都可以实现。数控机床可以实现几乎是任意轨迹的运动,能加工任意形状的空间曲线和曲面,适用于复杂异形零件的加工。

5. 减轻劳动强度,改善劳动条件

数控机床加工时,除了装卸零件、操作键盘、观察机床运行外,其他的机床动作都是按照加工程序要求自动、连续地进行切削加工,操作者不需要进行频繁的重复手工操作,能减轻劳动强度,改善劳动条件。

6. 有利于生产管理

数控机床加工可预先准确估计零件的加工工时,所使用的刀具、夹具、量具可进行规范化管理。数控加工程序用数字信息的标准代码输入,易于实现加工信息的标准化。目前,加工程序已与计算机辅助制造(CAD/CAM)有机结合,是现代集成制造技术的基础。

1.1.3.2 数控加工内容的选择

1. 适合数控加工的内容

- (1) 通用机床无法加工的内容应作为优先选择内容。
- (2) 通用机床难加工、质量也难以保证的内容应作为重点选择内容。
- (3) 通用机床加工效率低、工人手工操作劳动强度大的内容,可在数控机床尚存在富余加工能力时选择。

2. 不适合数控加工的内容

- (1) 占机调整时间长。如以毛坯的粗基准定位加工第一个精基准,需用专用工装协调的内容。
 - (2) 加工部位分散,需要多次安装、设置原点。这时采用数控加工很麻烦,效率不明显,可安排通用机床补加工。
 - (3) 按某些特定的制造依据(如样板等)加工的型面轮廓。其主要原因是获取数据困难,易与检验依据发生矛盾,增加了程序编写的难度。
- 此外,在选择和决定加工内容时,也要考虑生产批量、生产周期、工序间周转情况等。总之,要尽量做到合理,达到多、快、好、省的目的,避免把数控机床降格为通用机床使用。

1.1.3.3 数控机床的适用范围

从数控机床的加工特点可以看出,适合数控机床加工的零件特点如下。

- (1) 批量小而又多次生产的零件。
- (2) 几何形状复杂的零件。
- (3) 在加工过程中必须多工步加工的零件。
- (4) 必须严格控制公差的零件。
- (5) 加工过程中如果发生错误将会造成严重浪费的贵重零件。
- (6) 需要全部检验的零件。
- (7) 工艺设计可能经常变化的零件。

1.2 数控编程的基本概念

【学习目标】

1. 掌握数控编程的步骤和方法
2. 掌握数控加工程序的结构与格式

数控机床是按照事先编制好的数控程序自动地对零件进行加工的高效自动化设备,因此,在加工零件之前,首先要进行加工程序的编制。

1.2.1 数控编程的步骤与方法

1.2.1.1 数控编程的步骤

一般来说,数控编程的内容和步骤主要包括:分析零件图样、确定加工工艺、图形的数学处理、编写零件加工程序、制备控制介质、程序校验及首件试切,如图 1-1 所示。

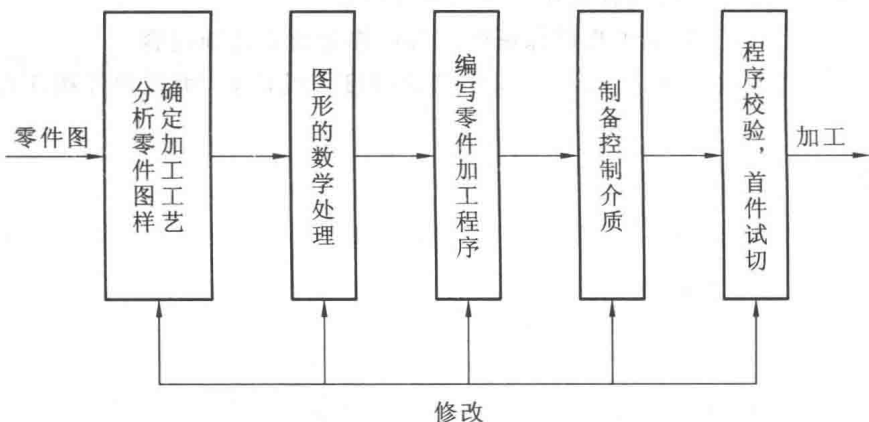


图 1-1 数控编程的内容和步骤

1. 分析零件图样,确定加工工艺

分析零件图样,即分析零件的材料、轮廓形状、有关尺寸和形状精度、表面粗糙度以及毛坯的形状和热处理要求等。通过分析,确定该零件是否适合在数控机床上加工,同时明确加工的内容及要求,以便确定零件的加工工艺。

确定加工工艺过程包括确定加工方案、选择合适的夹具及装夹定位方法、选择合理的走刀路线、选择加工刀具及切削用量等。加工工艺分析的基本原则是:充分发挥数控机床的效能,走刀路线尽量短,对刀点、换刀点选择合理,以减少换刀次数。

2. 图形的数学处理

工艺方案确定后,还需根据零件图样的几何尺寸和所确定的走刀路线及设定的坐标系,计算出数控机床所需输入的数据,包括零件轮廓线上各几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标、几何元素的交点或切点等坐标尺寸。数值计算的复杂程度取决于零件的复杂程度和数控系统的功能。对于形状比较简单(由直线或圆弧组成)的平面零件来说,仅需要算出零件轮廓相邻几何元素的交点或切点的坐标值。当零件形状比较复杂,并与数控系统的插补功能不一致时,就需要进行较复杂的数值计算。这一过程大多借助计算机完成。

3. 编写零件加工程序

编程人员根据数值计算得到的加工数据和已确定的工艺参数、刀位数据,结合数控系统对输入信息的要求,并根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式,编写零件加工程序单。此外,编程人员还应填写有关的工艺文件,如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、零件安装和零

点设定卡片等。

4. 程序录入

程序录入有手动数据输入、介质输入和通信输入等方式。

对于不太复杂的零件而言,通常采用手动数据输入(MDI),即按所编程序清单内容,通过操作数控系统键盘上各数字、字母、符号键进行逐段程序输入,并利用 CRT 或 LCD 显示器对显示内容进行逐段检查。MDI 方式输入简单,程序的修检验与校核方便,适用于形状简单、程序不长的零件。

介质输入方式是将加工程序记录在磁盘、磁带等介质上,用输入装置一次性输入。

随着计算机行业的迅速发展,越来越多的编程人员使用计算机软磁盘作为程序输入控制介质。编程人员可以在计算机上使用自动编程软件进行编程,然后把计算机与数控机床上的 RS-232 标准串行接口连接起来,实现计算机与机床之间的通信(或使用数控机床上配备的软盘驱动器)。这样就可以通过通信的方式,把加工指令直接送入数控系统,指挥机床进行加工,从而提高机床系统的可靠性和信息的传递效率。

现代 CNC 系统的存储量大,能储存多个零件加工程序,可在不占用加工时间的情况下进行通信输入。

5. 程序校验,首件试切

在对零件进行加工之前,需要对程序进行校验。一般是通过数控机床的空运行或图形模拟功能来校验程序,校验内容包括程序的语法是否有误、加工轨迹是否正确等。在图形模拟工作状态下运行程序时,只要程序存在语法或计算错误,数控机床的运行界面会自动显示编程出错而提示报警。根据报警号内容,编程人员可对相应的出错程序段进行调整。同时,还要对照零件图样,检查模拟出的刀具轨迹是否符合要求,以便对程序进行修改。

程序校验结束后,必须在机床上进行首件试切,以便确定零件的加工精度是否符合要求。如果加工出来的零件不合格,则需要对程序及加工参数进行调整,直到加工出满足零件图样要求的零件为止。

1.2.1.2 数控编程的方法

数控编程的方法有手工编程和自动编程两种。尺寸较小的简单零件的加工,一般采用手工编程。加工内容比较多、加工型面比较复杂的零件需要采用自动编程。

1. 手工编程

从零件图样分析、工艺处理、数值计算、编写程序单、键盘输入程序到程序校验等步骤,各步骤主要由人工完成,这种编程方式称为手工编程。手工编程适用于点位加工或几何形状不太复杂的零件及二维加工或不太复杂的三维加工,程序编制时,坐标计算较为简单,编程工作量小,程序段不多。

2. 自动编程

自动编程是指利用计算机及其外围设备组成的自动编程系统完成程序编制工作的编程方法,也称为计算机辅助编程。对于复杂的零件而言,如一些非圆曲线、曲面的加工,或零件的几何形状并不复杂但是程序编制的工作量很大,或需要进行复杂的工艺及工序处理的零件,因其在加工编程过程中的数值计算非常烦琐,如果采用手工编程,耗时多而效率低,甚至无法完成,

因此必须采用自动编程的方法。

自动编程除了分析零件图样和制订工艺方案由人工进行外,数学处理、编写程序、检验程序等工作都是由计算机自动完成的。由于计算机可自动绘制出刀具中心的运动轨迹,编程人员可及时对程序进行检查或修改。

根据输入方式的不同,自动编程可分为图形数控自动编程、语言数控自动编程和语音数控自动编程等。图形数控自动编程是将零件的图形信息直接输入计算机,通过自动编程软件的处理得到数控加工程序。目前,图形数控自动编程是使用最为广泛的自动编程方式。语言数控自动编程是指将加工零件的几何尺寸、工艺要求、切削参数及辅助信息等用数控语言编写成源程序后输入计算机中,再由计算机进一步处理得到零件加工程序。语音数控自动编程是指采用语音识别器,将编程人员发出的加工指令声音转变为加工程序。

与手工编程相比,自动编程具有可降低编程劳动强度、缩短编程时间和提高编程质量等优点。自动编程在数控铣床、加工中心上应用比较普遍,但其硬件与软件配置费用较高。

1.2.2 数控编程格式

数控加工程序是根据数控机床规定的语言规则及程序格式来编制的。为便于数控机床的设计、制造、使用和维修,在程序输入代码、指令及格式等方面,国际上已形成了两种通用标准,即国际标准化组织(以下简称 ISO)的 ISO 标准和美国电子工业协会的 EIA 标准。我国根据 ISO 标准制定了 JB3208-83、JB3112-82 等标准 G 代码,这些标准是数控编程的基本准则。

1. 程序的构成

一个完整的程序包括程序号、程序主体和程序结束三部分。

O0001	程序号
N010 G90 G98;	
N020 M03 S600 T0101;	
N030 G00 X40 Z0;	
N040 G01 Z-20 F50;	程序主体
N050 G00 X60 Z50;	
N060 M05;	
N070 M30;	程序结束

上述加工程序由七个程序段构成。

(1) 程序号。O0001 是程序号。程序号为程序的开始部分,一个完整的程序必须有一个程序号,以便在数控装置的存储器中进行检索。程序号的第一位字符为程序编号的地址,不同的数控系统,程序编号地址有所不同。例如:FANUC 系统用英文字母“O”做程序编号地址,华中“世纪星”数控系采用的是“%”,还有的系统采用“P”,等等。

(2) 程序主体。N010~N060 为程序主体,是整个程序的核心部分,由若干个程序段组成,表示数控机床要完成的全部动作。

(3) 程序结束。N070 为程序结束部分,程序结束指令为 M30 或 M02。

2. 程序段结构

程序段由功能字组成,功能字由地址符(用英文字母表示)、正负号和数字(或代码)组成。

程序段格式是程序段的书写规则，目前使用最多的是字地址可变程序段格式。

字地址可变程序段格式由程序段号、功能字和程序段结束符组成。

通常情况下，字地址可变程序段中功能字的顺序及形式为：

N _ G _ X _ Y _ Z _ F _ S _ T _ M _ ；

式中：N 为程序段号，G 为准备功能字，X、Y、Z 为坐标尺寸字，F 为进给速度字，S 为主轴转速字，T 为刀具功能字，M 为辅助功能字，“；”为程序段结束符。各功能字的含义如表 1-1 所示。

表 1-1 程序字及地址符的意义及说明

功 能	地 址	意 义	说 明
程序号	O、P、%	用于指定程序的编号	主程序编号，子程序编号
程序段号	N	又称顺序号，是程序段的名称	由地址符 N 和后面的若干位数字组成
准备功能字	G	指令动作方式（快进、直线、圆弧等）	用地址符 G 和两位数字表示，从 G00 到 G99 共 100 种。G 功能是使数控机床做好某种操作准备的指令
坐标尺寸字	X、Y、Z	用于确定加工时刀具运动的坐标位置	X、Y、Z 用于确定终点的直线坐标尺寸，A、B、C 用于确定附加轴终点的角度坐标尺寸，U、V、W 为第二坐标轴的坐标尺寸，I、J、K 用于确定圆弧的圆心坐标，R 用于确定圆弧半径
	A、B、C		
	U、V、W		
	I、J、K、R		
进给功能字	F	用于指定切削的进给速度	表示刀具中心运动时的进给速度，由地址符 F 和后面数字构成，单位为 mm/min 或 mm/r
主轴功能字	S	用于指定主轴转速	由地址符 S 和其后的数字组成，单位为 r/min 或 m/min（数控车床恒线速度切削时用）
刀具功能字	T	用于指定加工时所用刀具的编号	刀具功能的数字是指定的刀号，数字的位数由所用的系统决定。对于数控车床而言，其后的数字还兼有指定刀具补偿的作用
辅助功能字	M	用于控制机床或系统辅助装置的开关动作	由地址符 M 和两位数字组成，从 M00 到 M99 共 100 种。各种机床的 M 代码规定有差异，必须根据说明书的规定进行编程

（1）程序段号。用于识别程序段的编号，位于程序段之首，由地址符 N 和后面的若干位数字组成，例如，N020 表示该程序段的编号为 020。

数控机床加工时，数控系统是按照程序段的先后顺序执行的，与程序段号的大小无关，程序段号只起一个标记的作用，便于程序的检索、校对和修改。程序段号一般按升序间隔排列。

（2）功能字。功能字通常由地址符、数字和符号组成，字的功能类别由地址决定，每个功能字根据地址来确定其含义，不需要的功能字或与上一程序段相同的功能字可以省略；各功能字的排列顺序也不严格限定，不需要的功能字以及与上一程序段相同的功能字可以省略不写。

（3）程序段结束符。程序段结束符写在每一程序段之后，表示该程序段的结束。不同数控系统的程序段结束符可以用“NL”“LF”“CR”“；”“*”等表示，也有数控系统不设结束符，直接按回车键即可。

1.3 数控机床坐标系

【学习目标】

1. 掌握数控加工中机床坐标系和编程坐标系的概念
2. 掌握机床原点和机床参考点的概念
3. 掌握绝对坐标编程指令 G90 和增量坐标编程 G91 指令

在数控机床上加工零件,刀具与零件的相对运动是以数字的形式体现的。为了明确刀具与零件的相对位置,必须建立相应的坐标系。数控机床的坐标系包括坐标原点、坐标轴和运动方向。为了简化数控编程和规范数控系统,ISO 规定了数控机床的标准坐标系。

1.3.1 机床坐标系

1. 坐标系的规定

机床坐标系是机床上固有的基本坐标系。ISO 和我国原机械工业部颁布的标准中规定,数控机床的坐标系采用右手笛卡儿直角坐标系,如图 1-2 所示。基本坐标轴为 X、Y、Z 三个直线坐标轴,与机床的主要导轨平行。坐标轴 X、Y、Z 之间的关系及其正方向用右手直角定则判定:大拇指为 X 轴,食指为 Y 轴,中指为 Z 轴,指尖的指向为其正方向,并分别用 +X、+Y、+Z 表示。

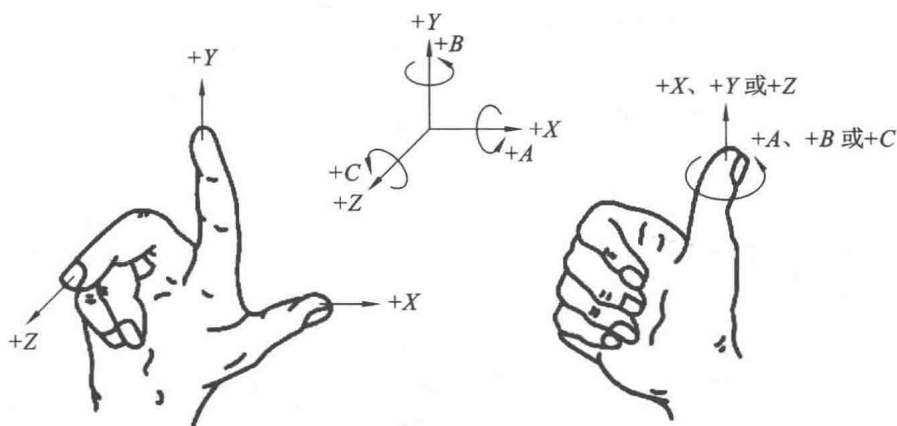


图 1-2 右手笛卡儿直角坐标系

绕 X、Y、Z 轴旋转的坐标轴分别用 A、B、C 表示,其正方向用右手螺旋定则判定,即:大拇指的指向分别为 X、Y、Z 轴的正方向,四指弯曲的方向为对应各轴的旋转正方向,分别表示为 +A、+B、+C。

2. 坐标轴及其运动正方向

1) 运动正方向的规定

不论数控机床的具体结构如何,编程时一律假定零件不动,刀具相对于静止的零件运动。

增大刀具与零件之间距离的方向(即刀具远离零件的方向)为运动的正方向。

2) 坐标轴的判定方法

机床坐标系 X 、 Y 、 Z 直线坐标轴的判定顺序为:先确定 Z 轴,再确定 X 轴,最后按右手直角定则判定 Y 轴。

(1) Z 轴。平行于主轴轴线的坐标轴为 Z 轴,刀具远离零件的方向为其正方向,如图 1-3、图 1-4、图 1-5 所示。对于有多个主轴或没有主轴的机床(如刨床)来说,垂直于零件装夹面的轴为 Z 轴,如图 1-6、图 1-7 所示。

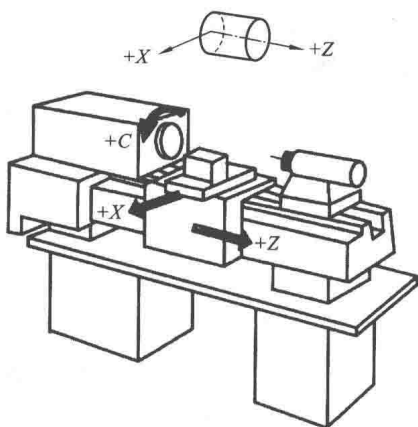


图 1-3 数控车床

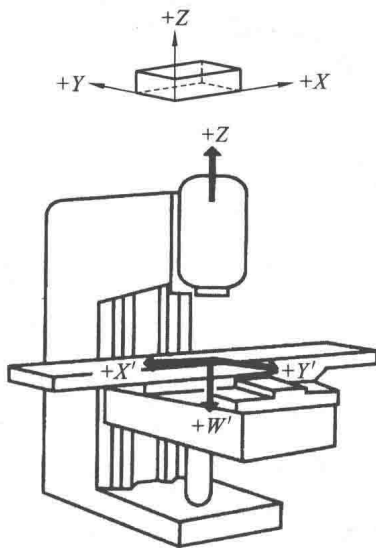


图 1-4 数控立式升降台铣床

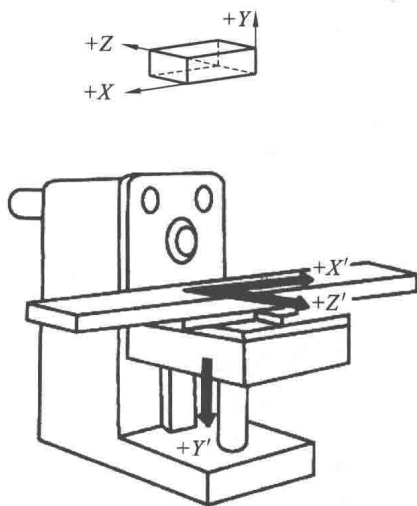


图 1-5 数控卧式升降台铣床

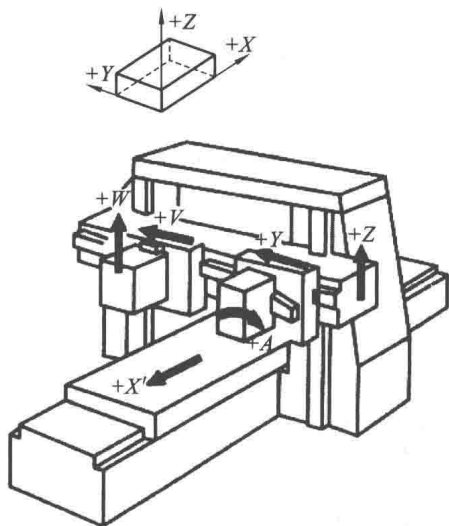


图 1-6 数控龙门铣床

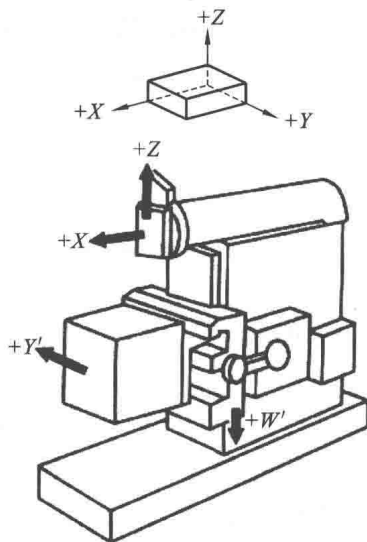


图 1-7 数控牛头刨床

(2) X 轴。X 轴平行于零件的装夹面,一般是水平的。零件旋转的机床(如车床、磨床等),X 轴为零件的径向方向,刀具远离零件的方向为其正方向,如图 1-3 所示。刀具旋转的机床(如铣床、镗床、钻床等),操作者站在操作位,面向机床看,若是立式机床,右手指向为 X 轴的正方向,如图 1-4 所示;若是卧式机床,左手指向为 X 轴的正方向,如图 1-5 所示。

(3) Y 轴。当 Z 轴和 X 轴确定之后,根据笛卡儿坐标系右手直角定则判定 Y 轴及其正方向。

注:坐标轴名称当中(+X、+Y、+Z 或 +A、+B、+C),不带“'”的表示刀具相对于零件运动的正方向,带“'”的表示刀具相对于零件运动的负方向。

(4) 旋转轴 A、B、C 轴。旋转运动轴 A、B 和 C 轴的轴线平行于 X、Y 和 Z 轴,其旋转运动的正方向按右手螺旋定则判定(见图 1-2),判定实例如图 1-8、图 1-9 所示。

(5) 附加坐标轴。如果除基本坐标轴 X、Y、Z 轴以外,还有平行于它们的第二或第三坐标系,则各轴分别用 U、V、W 或 P、Q、R 表示。

(6) 主轴旋转方向。从主轴后端向前端(装刀具或零件端)看,顺时针方向旋转为主轴正旋转方向。主轴旋转的正方向与 C 轴的正方向不一定相同,例如卧式车床的主轴正旋转方向与 C 轴正方向相同,钻床、铣床、镗床的主轴正旋转方向与 C 轴方向相反,如图 1-3、图 1-8、图 1-9 所示。

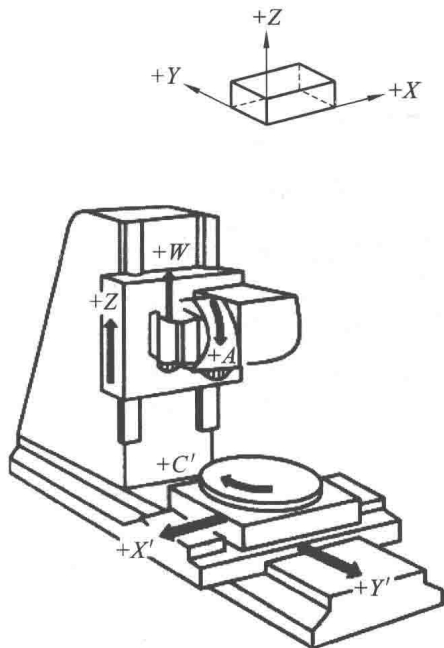


图 1-8 五坐标数控铣床

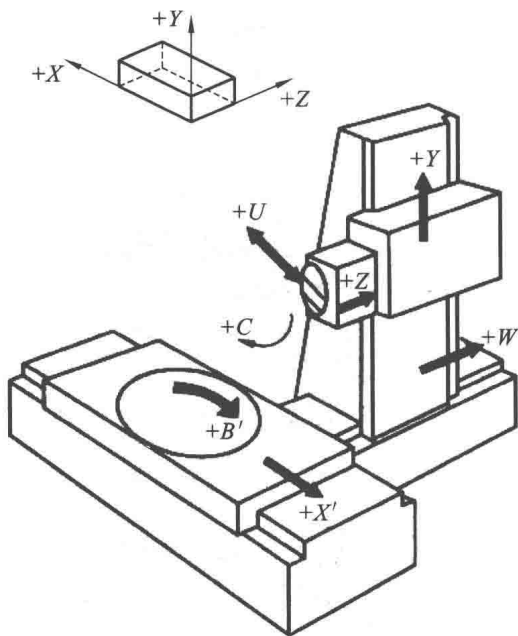


图 1-9 数控卧式镗床

1.3.2 机床原点与机床参考点

1. 机床原点

机床原点也称为机械原点或零点,是机床坐标系原点,是机床制造厂商设置在机床上一个不能随意改变的固定点。它在机床装配、调试时就已经确定下来,是数控机床进行加工运动的基准参考点,也是建立其他坐标系和设定参考点的基准。

数控机床的机床原点位置,各制造厂商设置不一致。数控车床的机床原点,有的设置在卡盘端面与主轴轴线的交点处,如图 1-10(a)所示;同时,也可以通过设置参数的方法,将机床原点设定在 X、Z 坐标的正方向极限位置上。数控铣床一般设置在进给行程范围的终点,即 X、Y、