



基于“校企合作”人才培养模式
数控技术应用示范专业教改新教材

数控加工技术基础 学习指南

SHUKONG JIAGONG JISHU JICHU XUEXI ZHINAN

彭美武 饶小创 ○ 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

基于“校企合作”人才培养模式
数控技术应用示范专业教改新教材

数控加工技术基础学习指南

主 编 彭美武（学校）
饶小创（企业）
参 编 卢万强（学校）
吴绍富（企业）
主 审 武友德（学校）
黄 亮（企业）



机械工业出版社

本书是卢万强、饶小创主编的《数控加工技术基础》（书号 ISBN 978-7-111-27786-6）的配套学习指南。本书依据《数控加工岗位职业标准》和《数控技术专业人才培养质量标准》而编写，遵循学生职业能力培养的基本规律。

全书以真实工作任务及工作过程为依据，分别针对《数控加工技术基础》一书中的数控车削加工圆柱表面及端面、数控车削加工圆锥表面、数控车削加工圆弧表面、数控铣削加工零件平面和数控铣削加工零件轮廓面 5 个课题进行的专项训练，巩固加深教材所学内容。

本书可以作为高等职业院校数控专业教学用书，也可供数控技能大赛备赛人员及企业相关技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

数控加工技术基础学习指南/彭美武，饶小创主编. —北京：机械工业出版社，2011.2

基于“校企合作”人才培养模式，数控技术应用示范专业教改新教材
ISBN 978-7-111-33385-2

I. ①数… II. ①彭…②饶… III. ①数控机床—加工—高等学校：技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 020295 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：汪光灿 责任编辑：张云鹏 版式设计：霍永明

责任校对：李秋荣 封面设计：王伟光 责任印制：乔宇

北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）

2011 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·6.75 印张·165 千字

0 001—3 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-33385-2

定价：16.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页、由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：（010）88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：（010）68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：（010）88379649

读者购书热线：（010）88379203 封面无防伪标均为盗版

前言

“数控加工技术基础”课程是数控技术应用专业的一门主干课程，本书是该课程的配套用书。为做好该课程的建设，我们组建了由机械类专业学科带头人、课程带头人、骨干教师及知名企业人员组成的校企合作课程开发团队。本书的编写实行双主编制，由四川工程职业技术学院彭美武副教授和东方电气集团有限公司饶小创高级工程师联合担任主编；由武友德教授和黄亮教授级高工联合担任主审。

为了使“数控加工技术基础”课程符合中、高级技能人才培养目标和专业相关技术领域职业岗位的任职要求，本书编写组按照“行业引领、企业主导、学校参与”的思路，与行业企业有关专家一同制定了“数控加工岗位职业标准”，该标准已通过由中国机械工业联合会组织的，由有关行业、企业专家组成的鉴定组的评审鉴定。依据“数控加工岗位职业标准”，本书的编写明确了课程内容，并基于“校企合作”的人才培养模式对课程内容进行了组织和调整。

本书的编写始终以《数控加工岗位职业标准》所确定的该门课程所承担的典型工作任务为依托，基于工厂“典型设备”的控制过程为导向，结合企业生产实际“数控加工”的工作流程，分析完成每个流程所必需的知识和能力结构，归纳了“数控加工技术基础”课程的主要工作任务，选择合适的载体，构建主体学习单元；按照任务驱动、项目导向，以职业能力培养为重点，将真实生产过程和产品融入教学全过程。

通过与企业长期合作共建的桥梁，我们在两年前开发出了工学结合的《数控加工技术基础》活页教材，并在此基础上，经过专业教学指导委员会的多次论证和修改，最终编写了本书。

本书由卢万强副教授编写课题一、二、三，东方电气集团有限公司饶小创高级工程师提供相关资料，并协助编写；彭美武副教授编写课题四、五，中国第二重型机械集团公司吴绍富教授级高工提供相关资料，并协助编写。

由于编者水平有限，书中难免存在错误与疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者

目 录

前言	
课题一 数控车削加工圆柱表面及端面	1
课题二 数控车削加工圆锥表面	26
课题三 数控车削加工圆弧表面	46
课题四 数控铣削加工零件平面	65
课题五 数控铣削加工零件轮廓面	80
参考文献	104

课题一

数控车削加工圆柱表面及端面

授 课 计 划	
数控加工技术基础	总学时：48
数控车削加工圆柱表面及端面	学时：10
学习目标 1. 了解数控车床的结构。 2. 了解数控机床的组成和分类。 3. 能看懂零件图样并能进行工艺分析。 4. 能根据零件图样确定加工方案。 5. 能编制数控加工程序。 6. 能实现零件的加工仿真。 7. 能正确测量工件。	

补充阅读材料

一、数控技术的发展

1. 数控的定义

数字控制可以定义为通过机床控制系统用特定的编程代码对机床进行操作。

数控是数字控制的简称，英文为 Numerical Control，简称 NC。目前数控一般是采用通用或专用计算机来实现数字程序控制，因此数控也称为计算机数控（Computer Numerical Control），简称 CNC。数控技术是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。它所控制的通常是位移、角度、速度等机械量或与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制形式数据运算的出现，数控技术的发展与计算机技术的发展是紧密相连的。

采用数字控制的机床，即装备了数控系统的机床，称为数控机床。数控机床是机电一体化的典型产品，是集机床、计算机、电动机及拖动、自动控制、检测等技术为一体的自动化设备。数控机床可通过计算机软件来实现输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等控制功能。

2. 数控技术的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展，机械产品的结构越来越复杂，产品更新速度越来越快，这就对加工机械产品的生产设备提出了更高（高性能、高精度和高自动化）的要求。传统的普通机床、专用机床、仿形机床已经不能满足加工需要，为此，一种新型的数字程序控制机床应运而生。它极其有效地解决了上述一系列矛盾，为单件、小批量生产，特别是复杂型面零件的生产提供了自动化加工手段。数字控制技术（简称数控技术）诞生于 20 世纪中期，最早可以追溯到 1952 年。该技术的出现与美国空军以及美国麻省理工学院密不可分。直到 20 世纪 60 年代早期，数控技术才应用在产品制造领域。数控技术真正的繁荣时代是在 1972 年前后随着 CNC 技术的产生而到来的。

3. 数控加工技术的发展历程

1949 年美国 Parson 公司与麻省理工学院开始合作，历时三年研制出能进行三轴控制的数控铣床样机，取名“Numerical Control”。

1953 年麻省理工学院开发出只需确定零件轮廓、指定切削路线，即可生成 NC 程序的自动编程语言。

1959 年美国 Keaney & Trecker 公司开发成功了带刀库，能自动进行刀具交换，一次装夹中即能进行铣削、钻削、镗削、攻螺纹等多种加工功能的数控机床——加工中心。

1968 年英国首次将多台数控机床、无人化搬运小车和自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统，这就是柔性制造系统（FMS）。

1974 年微处理器开始运用于机床的数控系统中，从此 CNC（计算机数控）系统软线数控技术得以快速发展。

1976 年美国 Lockheed 公司开始使用图像编程。利用 CAD（计算机辅助设计）绘出加工零件的模型，在显示器上“指点”被加工的部位，输入所需的工艺参数，即可由计算机自动计算刀具路径，模拟加工状态，获得 NC 程序。

DNC（直接数控）技术始于 20 世纪 60 年代末期。它是使用一台通用计算机，直接控制和管理一群数控机床及加工中心，进行多品种、多工序的自动加工。

现代数控机床上的 DNC 接口就是机床数控装置与通用计算机之间进行数据传送及通信控制用的，也是数控机床之间实现通信的接口。随着 DNC 数控技术的发展，数控机床已成为无人控制工厂的基本组成单元。20 世纪 90 年代，出现了包括市场预测、生产决策、产品设计与制造和销售等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统 CIMS，其中，数控机床是其基本控制单元。

20 世纪 90 年代，基于 PC-NC 的智能数控系统开始得到发展，它打破了原数控厂家各自为政的封闭式专用系统结构模式，提供开放式基础，使升级换代变得非常容易。充分利用现有 PC 机的软硬件资源，使远程控制、远程检测诊断得以实现。我国早在 1958 年就开始研制数控机床。1980 年，北京机床研究所引进日本 FANUC5、7、3、6 数控系统，上海机床研究所引进美国 GE 公司的 MTC-1 数控系统，辽宁精密仪器厂引进美国 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，北京机床研究所开发出 BS03 经济型数控和 BS04 全功能数控系统，航天部 706 所研制出 MNC864 数控系统。“八五”期间国家又组织近百个单位进行以发展自主版权为目标的数控技术攻关，从而为数控技术产业化建立了基础。20 世纪 90 年代末，华中数控自主开发出基于 PC-NC 的 HNC 数控系统，达到了国际先进水平，加大了我国数控机床在国际上的竞争力度。

4. 数控技术在国民经济中的地位

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化，使制造业成为工业化的象征，而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大，它在影响国计民生的一些重要行业（IT、汽车、轻工、医疗等）中起着越来越重要的作用。

装备制造业的技术水平和现代化程度决定着整个国民经济的水平和现代化程度，数控技术及装备是发展新兴高新技术产业和尖端工业的使能技术和最基本的装备。马克思曾说“各种经济时代的区别，不在于生产什么，而在于怎样生产，用什么劳动资料生产”。制造技术和装备就是人类生产活动最基本的生产资料，而数控技术又是当今先进制造技术和装备最核心的技术。因此，专家们预言：机械制造的竞争，其实质是数控技术的竞争。

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术，是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段，是国防现代化的重要战略物资，是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业。当今世界各国制造业广泛采用数控技术，以提高制造能力和水平，提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。大力发展以数控技术为核心的先进制造技术已成为世界各发达国家加速经济发展、提高综合国力和国家地位的重要途径。此外，世界上各工业发达国家还将数控技术及数控装备列为国家的战略物资，不仅采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业，而且在“高、精、尖”数控关键技术和装备方面对我国实行封锁和限制政策。

根据国民经济发展和国家重点建设工程的具体需求，设计制造“高、精、尖”重大数控装备，打破国外封锁，掌握数控装备关键技术，创出中国数控机床品牌，提高市场占有率是全面提升我国基础制造装备的核心竞争力的关键所在。

5. 数控技术的发展趋势

随着科学技术的不断发展, 数控技术的发展越来越快, 数控机床朝着高性能、高精度、高速度、高柔性化和模块化方向发展, 其主要的发展趋势是智能化、开放化、网络化。

(1) 智能化 智能化的内容包括在数控系统中的各个方面:

1) 加工效率和加工质量方面的智能化, 使加工过程的自适应控制, 工艺参数自动生成。

2) 提高驱动性能及使用连接方便的智能化, 使用前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等。

3) 简化编程、简化操作方面的智能化, 使用智能化的自动编程、智能化的人机界面等。

4) 智能诊断、智能监控方面的内容、方便系统的诊断及维修等。

(2) 开放化 采用“PC + 运动控制器”的开放式数控系统, 它不仅具有信息处理能力强、开放程度高、运动轨迹控制精确、通用性好等特点, 而且还在很大程度上提高了现有加工制造的精度、柔性和适应市场需求的能力。美国将其称为新一代的工业控制器, 日本称其将带来第三次工业革命。

近几年, 许多国家对开放式数控系统进行研究, 如美国的 NGC (The Next Generation Work-Station/Machine Control)、欧盟的 OSACA (Open System Architecture for Control within Automation Systems)、日本的 OSEC (Open System Environment for Controller), 中国的 ONC (Open Numerical Control) 等。数控系统开放化已经成为数控系统未来发展的必然趋势。所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上, 面向机床厂家和最终用户, 通过改变、增加或删减结构对象 (数控功能), 形成系列化, 并可方便地将用户的特殊使用需求集成到控制系统中, 快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统, 形成具有鲜明个性的名牌产品。目前开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

(3) 网络化 网络化数控装备是近几年国际著名机床博览会的一个新亮点。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求, 也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近几年推出了相关的新概念和样机, 如在 EMO2001 展中, 日本山崎马扎克 (Mazak) 公司展出的“CyberProduction Center” (智能生产控制中心, 简称 CPC); 日本大隈 (Okuma) 机床公司展出“IT plaza” (信息技术广场, 简称 IT 广场); 德国西门子 (Siemens) 公司展出的“Open Manufacturing Environment” (开放制造环境, 简称 OME) 等, 反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

二、数控加工程序编制过程及方法

1. 数控加工程序编制过程

数控加工程序编制应该有如下几个过程, 如图 1-1 所示。

(1) 分析零件图样 分析零件的材料、形状、尺寸、精度及毛坯形状和热处理工艺要求等, 以便确定该零件是否适宜在数控机床上加工, 或适宜在哪类数控机床上加工。有时

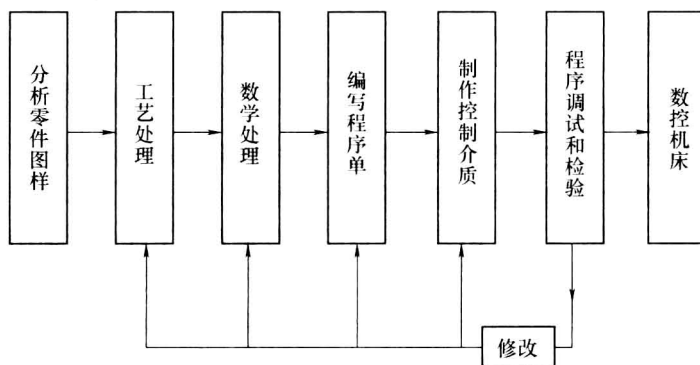


图 1-1 数控加工程序编制过程

还要确定在某台数控机床上加工该零件的哪些工序或哪几个表面。

(2) 工艺处理 确定零件的加工方法（如采用的工夹具、装夹定位方法等）和加工路线（如对刀点、走刀路线），并确定加工用量等工艺参数（如切削进给速度、主轴转速、背吃刀量和侧吃刀量等）。

(3) 数学处理 根据零件图样所确定的加工路线，算出数控机床所需输入的数据，如零件轮廓相邻几何元素的交点和切点，用直线或圆弧逼近零件轮廓时相邻几何元素的交点和切点等。

(4) 编写程序单 根据加工路线计算出的数据和已确定的加工用量，结合数控系统的程序段格式编写零件加工程序单。此外，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、工件安装和原点设定卡片等。

(5) 制作控制介质 按程序单将程序内容记录在控制介质（如穿孔纸带）上作为数控装置的输入信息。应根据所用机床能识别的控制介质类型制备相应的控制介质。

(6) 程序调试和检验 可通过模拟软件来模拟实际加工过程，或将程序送到机床数控装置后进行空运行，或通过首件加工等多种方式来检验所编制出的程序，发现错误则应及时修正，一直到程序能正确执行为止。

2. 数控加工程序编制方法

数控加工程序的编制方法有手工编程和自动编程两种。

(1) 手工编程 从零件图样分析、工艺处理、数学处理、书写程序单、制穿孔纸带直至程序的校验等各个步骤均由人工完成的程序编制方法称为手工编程。对于点位加工或几何形状不太复杂的零件来说，其编程计算较简单，程序量不大，手工编程即可实现。但对于形状复杂或轮廓不是由直线、圆弧组成的非圆曲线零件；或者是空间曲面零件即使由简单几何元素组成，但程序量很大，使得计算相当繁琐，手工编程困难且易出错，则必须采用自动编程的方法。

(2) 自动编程 编程工作的大部分或全部由计算机完成的程序编制方法称为自动编程。编程人员只要根据零件图样和工艺要求，用规定的语言编写一个源程序或者将图形信息输入到计算机中，由计算机自动处理，计算出刀具中心的轨迹，编写出加工程序单，并

自动制成所需控制介质。由于走刀轨迹可由计算机自动绘出，所以可方便地对编程错误作及时修正。

三、程序编制中的数学处理

根据被加工零件图样，按照已经确定的加工路线和允许的编程误差，计算刀具运动轨迹的位置数据，称为数学处理。这是编程前的主要准备工作之一，不但对手工编程来说是必不可少的工作步骤，即使采用自动编程，也经常需要先对工件的轮廓图形进行数学预处理，才能对有关几何元素进行定义。

对图形的数学处理一般包括两个方面：一方面是根据零件图样给出的形状、尺寸和公差等直接通过数学方法计算出编程时所需要的有关各点的坐标值；另一方面，当按照零件图样给出的条件还不能直接计算出编程时所需要的所有坐标值、也不能按零件图样给出的条件直接进行工件轮廓几何要素的定义进行自动编程时，就必须根据所采用的具体工艺方法、工艺装备等加工条件，对零件原图形及有关尺寸进行必要的数学处理或改动，才可以进行各点的坐标计算和编程工作。

1. 编程原点的选择及尺寸换算

这里的原点是指编制加工程序时所使用的编程原点。加工程序中的字大部分是尺寸字，这些尺寸字中的数据是程序的主要内容。同一个零件，同样的加工，由于原点的选取不同，尺寸字中的数据就不一样，所以，编程之前首先要选定原点。从理论上讲，原点选在任何位置都是可以的。但实际上，为了换算尽可能简便以及尺寸较为直观，应尽可能把原点的位置选得合理些。

车削工件的编程原点 X 向均应取在零件的中心线上，所以原点的位置只在 Z 向作选择，原点 Z 向位置一般在工件的左端面或右端面两者中作选择。如果是左右对称的零件， Z 向原点应选在对称平面内，这样同一个程序可用于调头前后的两道加工工序。对于轮廓中有椭圆之类非圆曲线的零件， Z 向原点取在椭圆的对称中心，这样便于数学计算。

铣削工件的编程原点， X 、 Y 向原点一般选择在设计基准或工艺基准的端面上或孔中心线上。若工件有对称部分，则应选择在对称面上，以便于利用数控系统功能简化编程。 Z 向原点习惯于取在工件的上表面，这样当刀具切入工件后的 Z 向尺寸字均为负值，离开工件表面后的 Z 向尺寸字均为正值，以便于检查程序。原点选定后，就应对零件图样中各点的尺寸进行换算，即把各点的尺寸换算成从编程原点开始的坐标值，并重新标注。在标注中，一般可按尺寸公差中值标注，这样在加工过程中比较容易控制尺寸公差。

2. 基点与节点

(1) 基点 一个零件的轮廓曲线可能由许多不同的几何要素所组成，如直线、圆弧、二次曲线等。各几何要素之间的连接点称为基点。如两条直线的交点，直线与圆弧的交点或切点，圆弧与二次曲线的交点或切点等。显然，基点坐标是编程中需要的重要数据。

现以图 1-2 所示的零件为例介绍各点的计算方法。该零件轮廓由四段直线和一段圆弧组成，其中点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 为基点。基点 A 、 B 、 D 、 E 的坐标值从图样尺寸可以很容易找出。点 C 是过点 B 的直线与中心为 O_2 、半径为 30mm 的圆弧的切点。这个尺寸，图样上并未标注，所以要用解联立方程的方法来找出切点 C 的坐标。

求点 C 的坐标可以用下述方法：求出直线 BC 的方程，然后与以 O_2 为圆心的圆的方

3. 程序编制中的误差

程序编制中的程编误差是由逼近误差、插补误差和圆整误差三部分组成的。

采用近似计算方法逼近零件轮廓曲线时产生的误差，称为逼近误差。这种误差只出现在零件轮廓形状用列表曲线表示的情况下。采用插补段逼近零件轮廓曲线时产生的误差，称为插补误差。数据处理时，将小数脉冲圆整成整数脉冲时产生的误差，称为圆整误差。

当用数控机床加工零件时，根据数控装置所具有的插补功能的不同，可用直线或去逼近零件轮廓。当用直线或圆弧逼近零件轮廓曲线时，逼近曲线与零件实际原始轮廓曲线之间的最大差值，称为插补误差。

圆整误差是将脉冲值中小于一个脉冲当量的数值，用四舍五入法圆整成整数脉冲值时所产生的误差。圆整误差的值不超过脉冲当量的一半。

零件的数控加工，除程编误差外，还有其他的误差，如控制系统误差、进给误差、零件定位误差、对刀误差等，可见零件数控加工误差应为上述各项误差的总和。

由于数控加工中，进给误差和定位误差是不可避免的误差，且占数控加工误差中的比例很大，所以程编误差允许占有的比例很小，程编误差一般是加工误差的 $1/5 \sim 1/10$ 。

要想缩小程编误差，就要增加插补段，这将增加数据计算工作量。所以，合理选择程编误差是程序编制的重要问题之一。

四、数控加工与传统切削加工的区别

数控加工和传统切削加工的基本加工方式是类似的。在传统切削加工中，机床操作员用手操作机床来完成零件的加工，需要依赖各种手柄和刻度，加工的精度和工件的一致性在很大程度上取决于操作者的技术水平、身体状况和工作态度，因而对操作者的操作技能要求较高。

数控加工是一种现代化的自动控制过程，主要依赖各种先进的控制系统和自动检测元件来代替手工操作，加工的精度和工件的一致性在很大程度上取决于机床的精度和程序的正确度。加工程序必须完整而正确地描述整个加工过程，对操作者的机床调整能力和程序编制能力要求较高，而加工过程中，人的参与程度较低。利用数控加工技术可以完成很多以前不能完成的曲面零件的加工，而且加工的准确性和精度都可以得到很好的保证。总体上说，和传统的切削加工手段相比，数控加工技术具有以下特点：

1) 加工效率高。传统机床的切削时间主要根据加工操作人员的技能、经验以及身体状况等，易于变化；CNC 机床加工则受计算机控制的影响，少量的手工工作仅限于工件的安装和装卸，相对于大批量的运行加工，这种非生产性的时间就显得微不足道了。CNC 机床的主要优点体现在重复性工作上，这样，生产进度和分配到每个机床上的工作就可以计算得很精确，既便于管理又能提高生产效率。

2) 加工精度高。同传统的加工设备相比，数控系统优化了传动装置，提高了分辨率，减少了人为误差，因此加工的效率可以得到很大的提高。现在数控机床的精确性和重复性已成为数控技术的主要优势之一，零件程序一旦调试完成，可以存储在各种介质上，需要时调用即可，而且程序对机床的控制不会因操作人员的改变而变化，能极大地提高加工零件的精确性和一致性。

3) 劳动强度低。由于采用了自动控制方式，也就是说加工的全部过程是由数控系统

完成，不像传统切削加工手段那样烦琐，操作者在数控机床工作时，只需要监视设备的运行状态，所以劳动强度很低。

4) 适应能力强。数控加工系统可以通过调整部分参数来修改或改变其运作方式，因此，其加工的范围得到了很大的扩展。零件在设计上如作局部修改，加工时只需对程序做相应的修改即可。

5) 准备时间缩短。安装时间是非生产性时间，但它是必要的，是实际加工成本的一部分。任何机床车间的主管、编程人员、操作员都应把缩短安装时间作为考虑的因素之一。由于数控机床所用的是模块化夹具、标准刀具、固定的定位器、自动换刀装置、托盘以及其他辅助工具，使得数控机床的安装比普通机床更高效，从而大大缩短准备时间。

6) 适合复杂零件的加工。数控机床能加工各种复杂的轮廓。在传统的切削加工中，对复杂的零件轮廓，通常采用仿形加工或专用机床加工，因此加工周期和加工成本都很高，而且适用的零件很有限。如果采用数控机床加工则不同，只要机床的控制系统具备曲线加工功能，即可完成外形复杂的轮廓加工，大大缩短加工周期和降低加工成本，适用范围很广。在数控技术应用的早期，大多数的数控机床都是为复杂轮廓的加工而产生的。

7) 易于建立计算机通信网络，有利于生产管理。

8) 设备初期投资大。

9) 由于系统本身的复杂性，增加了维修的技术难度和维修费用。

五、典型数控系统

1. 日本 FANUC 系列数控系统

FANUC 公司生产的 CNC 产品主要有 FS3、FS6、FS0、FS10/11/12、FS15、FS16、FS18 和 FS21/210 等系列。目前，我国用户主要使用的有 FS0、FS15、FS16、FS18 和 FS21/210 等系列。

2. 德国西门子的 SINUMERIK 系列数控系统

SINUMERIK 系列数控系统主要有 SINUMERIK 3、SINUMERIK 8、SINUMERIK 810/820、SINUMERIK 850/880 和 SINUMERIK 840 等产品。

1) SINUMERIK 8 系列。该系列产品生产于 20 世纪 70 年代末。Sinumerik 8M/8ME/8ME-C、Sprint 8M/8ME/8ME-C 主要用于钻床、镗床和加工中心等机床。Sinumerik 8MC/8MCE/8MCE-C 主要用于大型镗铣床。Sinumerik 8T/Sprint 8T 主要用于车床。其中，Sprint 系列具有蓝图编程功能。

2) SINUMERIK 810/820 系列。该系列诞生于 20 世纪 80 年代中期。810/820 在体系结构和功能上相近。

3) SINUMERIK 840D 系列。该系列诞生于 1994 年，是新设计的全数字化数控系统，具有高度模块化及规范化的结构。它将 CNC 和驱动控制集成在一块电路板上，将闭环控制的全部硬件和软件集成在 1cm^2 的空间中，便于操作、编程和监控。

4) SINUMERIK 810D 系列。该系列诞生于 1996 年，810D 是在 840D 基础上开发的新 CNC 系统。它第一次将 CNC 和驱动控制集成在一块电路板上，其 CNC 与驱动之间没有接口。810D 配备了功能强大的软件，提供了很多新的使用功能，如提前预测功能、坐标变换功能、固定点停止功能、刀具管理功能、样条插补功能、压缩功能和温度补偿功能等，

极大地提高了其应用范围。

1998 年, 在 810D 的基础上, 西门子公司又推出了基于 810D 系统的现场编程软件 ManulTurn 和 ShopMill。前者适用于数控车床的现场编程, 后者适用于数控铣床的现场编程。操作者无需专门的编程培训, 使用传统操作机床的模式即可对数控机床进行操作和编程。

近几年来, 西门子公司又推出了 SINUMERIK 802 系列 CNC 系统, 有 802S、802C、802D 等型号。

3. 华中数控系统 HNC

HNC 是武汉华中数控研制开发的国产数控系统。它是我国 863 计划的科研成果在实践中的应用的成功项目, 已开发和应用的产品有 HNC-1 和 HNC-2000 两个系列, 共计 16 种型号。

1) 华中 1 型数控系统。该数控系统有 HNC-1M 铣床、加工中心数控系统, HNC-1T 车床数控系统, HNC-1Y 齿轮加工数控系统, HNC-1P 数字化仿形加工数控系统, HNC-1L 激光加工数控系统, HNC-1G 五轴联动工具磨床数控系统和 HNC-1FP 锻压、冲压加工数控系统, HNC-1ME 多功能小型数控铣系统, HNC-1TE 多功能小型数控车系统和 HNC-1S 高速珩缝机数控系统等。

2) 华中 2000 型数控系统。HNC-2000 型是在 HNC-1 型数控系统的基础上开发的高档数控系统。该系统采用通用工业 PC, TFT 真彩液晶显示, 具有多轴多通道控制功能和内装式 PC, 可与多种伺服驱动单元配套使用, 具有开放性好, 结构紧凑, 集成度高, 性价比高和操作维护方便等优点。同样, 它也有系列派生的数控系统 HNC-2000M、HNC-2000T、HNC-2000Y、HNC-2000L、HNC-2000G 等。

六、对刀点的作用与确定

对刀点是在数控机床上加工零件时, 刀具相对于工件运动的起点。程序一般从该点开始执行, 所以对刀点也称为程序起点或起刀点。

对于数控机床来说, 在加工开始前, 必须确定工件在机床上的位置, 即确定工件坐标系与机床坐标系的相互位置关系。它可以理解为通过找正刀具与一个在工件坐标系中有确定位置的点(对刀点)来实现, 即通过确认对刀点来实现。

对刀点可以设置在被加工零件上, 也可以设置在夹具或机床上, 但必须与工件的定位基准(相当于工件坐标系)有明确的关系, 而当对刀精度要求较高时, 对刀点应尽量选在零件的设计基准或工艺基准上, 对于以孔定位的工件, 常取孔的中心作为对刀点。

对刀点的选择原则如下:

- 1) 对刀点应使程序编制简单。
- 2) 对刀点应选择在容易找正、便于确定零件加工原点的位置。
- 3) 对刀点应选在加工时检验方便、可靠的位置。
- 4) 对刀点的选择应有利于提高加工精度。

对刀时直接或间接地使对刀点和刀位点重合。所谓刀位点, 是指编制数控加工程序时用于确定刀具位置的基准点。一般来说, 立铣刀、面铣刀的刀位点是刀具轴线与刀具底面的交点; 球头铣刀的刀位点为球心; 镗刀、车刀的刀位点为刀尖或刀尖圆弧中心; 钻头是

钻尖或钻头底面中心；线切割的刀位点则是线电极的轴线与零件面的交点。

对刀操作就是要测定程序起点处刀具刀位点（即对刀点，也称起刀点）相对于机床原点以及工件原点的坐标位置。数控机床对刀时常采用千分表、对刀测头或对刀瞄准仪进行找正对刀，具有很高的对刀精度。对有原点预置功能的 CNC 系统，设定好后，数控系统即将原点坐标存储起来。即使不小心移动了刀具的位置，也可很方便地令其返回到对刀点。有的还可分别对刀后，一次预置多个原点，调用相应部位的零件加工程序时，其原点自动变换。在编程时，应正确地选择对刀点的位置。

七、换刀点的作用与确定

换刀点是指刀架转位换刀时的位置。换刀点是为加工中心、数控车床等采用多种刀具进行加工的机床而设置的，这些机床在加工过程中可能因为加工内容的变化需要更换刀具，应设置合理的换刀点。换刀点往往设在工件的外部，并留有一定的安全量，以防换刀时碰伤零件、刀具、夹具或其他部件。例如，在铣床上，常以机床参考点为换刀点；在加工中心上，以换刀机械手的固定位置点为换刀点；在车床上，则以刀架远离工件的行程极限点为换刀点。选取的这些点，都是安全、便于计算的相对固定点。

八、切削用量的选择

数控机床加工的切削用量包括背吃刀量、进给量和切削速度（或主轴转速），其选用原则与普通机床基本相似，合理选择切削用量的原则是：粗加工时，以提高劳动生产率为主，选用较大的切削用量；半精加工和精加工时，选用较小的切削用量，保证工件的加工质量。

1. 背吃刀量

背吃刀量应根据加工余量确定。

在粗加工时，在机床功率和工艺系统刚度允许的条件下，背吃刀量尽可能取大些，一次进给切除全部加工余量。

下列情况可分几次进给：

- 1) 加工余量太大，一次进给切削力太大，会产生机床功率不足或工艺系统刚度不足时。
- 2) 工艺系统刚性不足或加工余量极不均匀，引起很大振动时，如加工细长轴或薄壁工件。
- 3) 断续切削，刀具受到很大的冲击而造成打刀时。

在上述情况下，如分多次进给，第一次进给的也应较大。一般情况是根据最后的加工要求，先留出半精加工和精加工的余量后，视情况确定进给次数和背吃刀量。通常在半精加工时为 0.5 ~ 2mm，在精加工时为 0.1 ~ 0.4mm。

切削表层有硬皮的铸锻件或切削不锈钢等冷硬较严重的材料时，应尽量使背吃刀量超过硬皮或冷硬层厚度，以防切削刃过早磨损或破损。

2. 进给量

粗加工时，对工件表面质量没有太高要求，这时切削力往往很大，合理的进给量应是工艺系统所能承受的最大进给量。这一进给量要受机床进给机构的强度、车刀刀杆的强度和刚度、刀片的强度及工件的装夹刚度等条件的限制。表 1-1 是硬质合金及高速钢车刀粗

车外圆和端面时的进给量，表 1-2 是按表面粗糙度选择进给量的参考。

精加工时，最大进给量主要受加工精度和表面粗糙度的限制。

表 1-1 硬质合金及高速钢车刀粗车外圆和端面时的进给量

加工材料	车刀刀杆尺寸 $B \times H$ / (mm × mm)	工件直径 /mm	背吃刀量 a_p /mm				
			≤3	>3 ~ 5	>5 ~ 8	>8 ~ 12	>12
			进给量 f / (mm/r)				
碳素结构钢 和合金 结构钢	16 × 25	20	0.3 ~ 0.4	—	—	—	—
		40	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	—	—	—
		60	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	0.3 ~ 0.5	—	—
		100	0.6 ~ 0.9	0.5 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.5	—
		400	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.6	—
	20 × 30 25 × 25	20	0.3 ~ 0.4	—	—	—	—
		40	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	—	—	—
		60	0.6 ~ 0.7	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.6	—	—
		100	0.8 ~ 1.0	0.7 ~ 0.9	0.5 ~ 0.7	0.4 ~ 0.7	—
		600	1.2 ~ 1.4	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.9	0.4 ~ 0.6
铸铁及 铜合金	16 × 25	40	0.4 ~ 0.5	—	—	—	—
		60	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	—	—
		100	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.5 ~ 0.7	—
		400	1.0 ~ 1.4	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	—
	20 × 30 25 × 25	40	0.4 ~ 0.5	—	—	—	—
		60	0.6 ~ 0.9	0.5 ~ 0.8	0.4 ~ 0.7	—	—
		100	0.9 ~ 1.3	0.8 ~ 1.2	0.7 ~ 1.0	0.5 ~ 0.8	—
		600	1.2 ~ 1.8	1.2 ~ 1.6	1.0 ~ 1.3	0.9 ~ 1.1	0.7 ~ 0.9

表 1-2 按表面粗糙度选择进给量

工件材料	表面粗糙度 /μm	切削速度范围 / (m/min)	刀尖圆弧半径 r_a /mm		
			0.5	1.0	2.0
			进给量 f / (mm/r)		
铸铁、青铜、 铝合金	$Ra5 \sim 10$	不限	0.25 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	0.50 ~ 0.60
	$Ra2.5 \sim 5$		0.15 ~ 0.20	0.25 ~ 0.40	0.40 ~ 0.60
	$Ra1.25 \sim 2.5$		0.10 ~ 0.15	0.15 ~ 0.20	0.20 ~ 0.35
碳钢及合金钢	$Ra5 \sim 10$	> 50	0.30 ~ 0.50	0.45 ~ 0.60	0.55 ~ 0.70
		> 50	0.40 ~ 0.55	0.55 ~ 0.65	0.65 ~ 0.70
	$Ra2.5 \sim 5$	< 50	0.18 ~ 0.25	0.25 ~ 0.30	0.30 ~ 0.40
		< 50	0.25 ~ 0.30	0.30 ~ 0.35	0.35 ~ 0.50
	$Ra1.25 \sim 2.5$	< 50	0.10	0.11 ~ 0.15	0.15 ~ 0.22
		50 ~ 100	0.11 ~ 0.16	0.16 ~ 0.25	0.25 ~ 0.35
		> 100	0.16 ~ 0.20	0.20 ~ 0.25	0.25 ~ 0.35