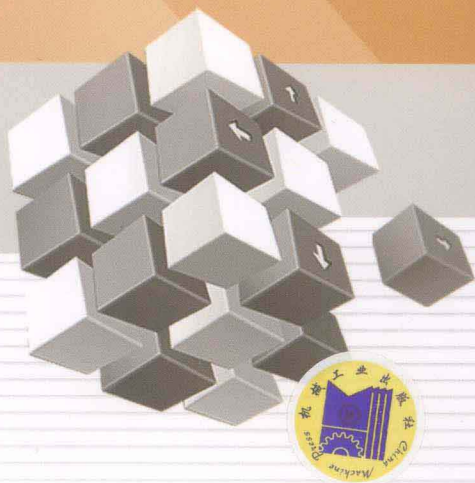


数 / 控 / 技 / 术 / 丛 / 书

# 数控编程

第3版

全国数控培训网络天津分中心 组编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

数控技术丛书

# 数控编程

第 3 版

全国数控培训网络天津分中心 组编  
天津机电职业技术学院 编



机械工业出版社

本书结合数控编程技术发展的新进展,在保持原有编写风格的基础上进行了修订,对 FANUC 系统的许多指令进行了详细讲解和增加了必要的例题,用较多实例扩充了用户宏程序的内容,增加了数控编程实验。本书共六章,各章内容为:数控编程基础知识;程序编制中的工艺分析与数值计算;数控车床编程;数控铣床及加工中心编程;用户宏程序编程。附录 A 为数控车床编程实验;附录 B 为数控铣床及加工中心编程实验。实验中对斯沃数控仿真软件的操作界面, FANUC 数控系统车、铣及加工中心的操作及模拟加工进行了详细讲解,对教学中大多数编程实例进行了验证性实验。

本书注重基础理论,并包括作者大量的教学经验和研究成果。书中绝大多数程序可通过仿真软件进行实验验证,非常适合在目前的机电类高职、中职和技校教学中采用;也可作为一般本科学生以及参加各种类型数控大赛学员的重要参考书,同时也是从事数控技术工作的工程技术人员必不可少的参考书和企事业数控技术培训用教材。

本书配有免费电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com) 注册下载。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控编程/全国数控培训网络天津分中心组编.—3 版.—北京:机械工业出版社,2012.3

(数控技术丛书)

ISBN 978-7-111-37345-2

I. ①数… II. ①全… III. ①数控机床-程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 015912 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:贡克勤 责任编辑:贡克勤 任正一

版式设计:刘 岚 责任校对:陈延翔

封面设计:赵颖喆 责任印制:杨 曦

北京中兴印刷有限公司印刷

2012 年 5 月第 3 版第 1 次印刷

184mm×260mm·19.75 印张·487 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-37345-2

定价:38.00 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

# 数控技术丛书编委会

主任委员 张维津

副主任委员 贡克勤 杭亦晨 郭士义

委 员 刘英杰 娄 锐 李占军

李秀梅 刘文芳 梁宇栋

王克圣 赵云霞

## 第3版前言

本书自1997年3月初版至2006年第2版，我国的职业技术教育进入了蓬勃发展时期。最近几年随着职业院校人才培养模式改革的探索，“任务驱动的项目教学”、“工作过程导向”等全新的教育理念，使数控机床编程与操作这类课程在教学方法上已完全不同于传统的教学模式。《数控编程》一书作为以掌握数控编程技术和编程方法为主的教材，要使学员在较少的课时内，获得更加有效的综合职业能力训练，“理论与实践一体化”必然成为教学改革的重要方向。

近年来，数控仿真软件已广泛应用于数控编程的实验教学中。本次教材修订，能够对FANUC系统更多指令的编程方法以及用户宏程序编程做得十分深入，南京斯沃软件技术有限公司开发的斯沃数控仿真软件。本次修订，除对原有的章节内容做了必要的压缩和调整之外，特别安排了数控编程实验，并由附录A和附录B两部分组成，利用斯沃数控仿真软件进行实验教学，不仅在数控编程理论知识的学习方面，达到事半功倍的效果，还可获得数控机床操作方面的基础知识。

本次修订在保证叙述严谨的基础上，尽量使语言表达简洁、流畅和通俗易懂，以满足一般读者自学的需要。

作者在本次修订过程中阅读了大量同类书籍并获益匪浅，书中引用了一些文献资料的文字或图片，在此以参考文献的形式列于书后，以表谢意。

由于长期以来广大工程技术人员、教师、学生和一般读者给予本书的热情支持与肯定，使本书自初版以来，重印次数已多达20余次，这无疑成为作者修订好本书的巨大动力。但限于作者水平，书中不妥之处仍在所难免，恳请读者和各位同仁不吝赐教，本书作者将感激不尽。

本次修订仍由李占军和赵云霞共同完成，并由李占军任主编并完成全书统稿工作。

编者

## 第 2 版前言

数控技术丛书自 1997 年 3 月出版发行以来,以其内容充实、图文并茂、实用性强、各册内容分工合理,而受到国内各数控技术培训机构及大中专、职校、技校广大师生的欢迎,至今重印多达十余次,仍畅销不衰。鉴于目前计算机技术、微电子技术、自动检测和精密加工等高新技术发展迅猛,数控编程也从原来的以手工编程为主,急速过渡到以 CAD/CAM 软件自动编程为主的时代。鉴于原丛书部分内容稍显陈旧,已不适应当前教学之需要,故急需对原书内容进行修订。

本次修订,除保持原书体裁风格未作大的变动外,许多内容则结合作者近年来在教学、生产、科研方面的最新成果,并结合数控技术发展的最新进展,对原书内容作了大量的删改与补充,使“为企业培养大批能熟练掌握现代数控机床编程、操作、维修的人员和工程技术人员”的目标更为明确。本书主要适合中、高级数控技术人员的技术培训。同时,在内容编排上,也适应高等职业技术教育的教学特点,可作为高职院校教学用书。

本书修订由全国数控培训网络天津分中心组编、天津机电职业技术学院编写。

天津大学张世昌教授、梅江平博士和天津第一机床总厂胡广曦教授级工程师审阅了丛书,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

修订版的《数控编程》全书分七章。其中,第一、三、五、六、七章由李占军编写,第二、四章由赵云霞编写。本书由李占军任主编并负责统稿。

本书在修订过程中,吸取了兄弟院校对原版教材的宝贵意见,也参阅了同行专家、学者的教材、资料和文献,一并列于书后,以表谢意。

由于作者水平有限,书中难免存在不足和错误之处,诚望读者批评指正。

编者

# 第 1 版前言

数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物，是典型的机电一体化产品。它的出现及所带来的巨大效益，引起世界各国科技界和工业界的普遍重视。发展数控机床是当前我国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。

随着数控机床的大量使用，急需培养大批能熟练掌握现代数控机床编程、操作、维修的人员和工程技术人员。为了适应初、中级数控技术人员培训和学习的需要，并供大中专、职校、技校学生学习现代加工技术之用，全国数控培训网络天津分中心组织编写了“数控技术丛书”，该丛书由《数控原理》、《数控编程》及《数控机床》三册组成。各册内容简明扼要、图文并茂、通俗易懂，所采用的实例详实可靠。

在组织编写过程中，得到天津市人事局、天津市机电一体化办公室、天津市机电工业总公司的大力支持和帮助，天津大学杜君文教授、赵忠堂教授、邓广敏教授及天津理工学院刘树琪教授、吴建华教授等为丛书提出了宝贵的意见并提供了资料，天津分中心陈卫平、刘淑丽、王丽、魏颖、徐士军、回健永等同志对丛书的文稿、图稿进行了打印和绘制，在此一并致以衷心的感谢。

由于我们水平有限，经验不足，加之资料不全，书中难免存在错误疏漏之处，望读者给予指正。

**数控技术丛书编委会**

# 目 录

## 第3版前言

## 第2版前言

## 第1版前言

第一章 绪论 .....	1
第一节 数控加工编程概述 .....	1
一、数控机床与数控加工 .....	1
二、数控编程技术的发展概况 .....	2
三、如何学习数控编程技术 .....	3
四、数控编程的分类 .....	3
五、数控编程的步骤 .....	4
第二节 数控编程的基础知识 .....	6
一、数控编程有关标准 .....	6
二、程序的结构与格式 .....	11
习题与思考题 .....	13
第二章 程序编制中的工艺分析 .....	14
第一节 数控加工工艺分析概述 .....	14
一、数控加工工艺的基本特点和主要内容 .....	14
二、数控机床的合理选用 .....	15
三、数控加工工艺分析的一般步骤与方法 .....	16
第二节 数控车削加工的工艺分析 .....	22
一、零件图样分析 .....	22
二、合理划分加工工序 .....	23
三、确定零件的装夹方式 .....	23
四、加工顺序的确定 .....	24
五、进给路线的确定 .....	24
六、刀具的选择 .....	26
七、切削用量的确定 .....	29
第三节 数控镗铣加工的工艺分析 .....	32
一、加工对象的分类 .....	32
二、零件图样的工艺性分析 .....	33
三、工件的安装与夹具的选择 .....	35
四、刀具和刀柄的选择 .....	36
五、加工方案与进给路线的确定 .....	41
六、切削用量的选择 .....	51
第四节 数控加工工艺文件 .....	52

一、数控加工工序卡片 .....	52
二、数控加工刀具卡片 .....	53
三、工件安装和零点设定卡片 .....	54
习题与思考题 .....	54
第三章 程序编制中的数值计算 .....	56
第一节 数值计算的内容 .....	56
一、基点和节点的计算 .....	56
二、刀位轨迹的坐标计算 .....	57
三、增量计算或其他计算 .....	57
第二节 简单轮廓零件的基点计算 .....	57
一、直接计算法 .....	58
二、由方程组导出标准计算式 .....	61
三、三角函数法 .....	63
第三节 非圆曲线节点坐标的计算 .....	67
一、概述 .....	67
二、非圆曲线数值计算的一般步骤 .....	68
三、直线逼近算法 .....	68
四、圆弧逼近算法 .....	71
第四节 列表曲线节点坐标的计算 .....	73
一、概述 .....	73
二、测量列表点的数学处理 .....	74
三、Mastercam 软件中的圆弧过滤 .....	78
四、利用 UG 软件对样条曲线进行调整 .....	79
第五节 刀位轨迹的坐标计算 .....	81
一、刀位点的选择及对刀 .....	81
二、铣削加工刀位轨迹计算 .....	81
三、车削加工刀位轨迹计算 .....	83
第六节 曲面加工中的数值计算 .....	85
一、曲面的类型 .....	85
二、曲面编程方法 .....	85
三、2.5 维行切法加工原理 .....	86
四、行距的计算 .....	86
五、计算举例 .....	89
习题与思考题 .....	90
第四章 数控车床编程 .....	92
第一节 数控车床编程基础 .....	92



一、数控车床的编程特点 .....	92	习题与思考题 .....	183
二、数控系统的基本功能 .....	92	<b>第六章 用户宏程序编程</b> .....	186
三、常用的准备功能 .....	96	第一节 用户宏程序编程基础 .....	186
四、工件零点偏置 .....	103	一、概述 .....	186
五、刀具偏置与刀尖半径补偿 .....	104	二、用户宏程序的概念 .....	186
第二节 车削固定循环 .....	108	三、变量 .....	187
一、单一形状固定循环 G90、G94 .....	108	四、算术和逻辑运算 .....	189
二、复合固定循环 G70~G75 .....	110	五、分支和循环 .....	192
第三节 螺纹车削加工 .....	119	六、用户宏程序的调用 .....	194
一、螺纹加工特点与螺纹切削参数 .....	119	七、宏语句处理有关问题 .....	198
二、常用螺纹切削指令 .....	122	八、系统变量简介 .....	200
三、多线螺纹车削加工 .....	126	第二节 数控镗铣加工应用实例 .....	205
第四节 典型数控车床编程实例 .....	127	一、矩形封闭槽的粗铣加工 .....	205
一、综合实例 1 .....	127	二、非圆曲线轮廓铣削加工 .....	207
二、综合实例 2 .....	130	三、圆柱内螺纹铣削加工 .....	209
习题与思考题 .....	133	四、内球面三维螺旋精铣加工 .....	211
<b>第五章 数控铣床及加工中心编程</b> .....	136	五、抛物线回转曲面等残高控制加工 .....	214
第一节 数控镗铣加工编程基础 .....	136	六、曲率圆法椭圆曲线轮廓加工 .....	218
一、数控镗铣加工的编程特点 .....	136	七、双圆弧法椭圆曲线轮廓加工 .....	220
二、FANUC Oi-MC 系统的准备功能 .....	136	第三节 数控车削加工应用实例 .....	223
三、常用辅助功能和其他功能 .....	138	一、椭圆回转面零件的车削加工 .....	223
四、程序中 X-Z 地址的含义及指令范围 .....	139	二、普通螺纹与梯形螺纹的车削加工 .....	224
五、机床坐标系 .....	140	第四节 华中系统用户宏程序编程 .....	227
六、刀具的选择与刀具交换 .....	141	一、宏指令编程基础知识 .....	227
第二节 常用准备功能的编程 .....	142	二、宏指令编程实例 .....	229
一、速度控制与暂停指令 .....	142	习题与思考题 .....	230
二、坐标系与平面选择指令 .....	143	<b>附录</b> .....	234
三、快速定位与插补功能指令 .....	149	附录 A 数控车床编程实验指导书 .....	234
四、自动返回参考点 .....	152	实验一 斯沃数控仿真软件功能及操作界面 .....	234
五、刀具长度偏置 .....	154	实验二 数控车床的基本操作 .....	240
六、刀具半径补偿 .....	156	实验三 基本指令编程及模拟加工 .....	252
七、坐标变换有关指令 .....	162	实验四 刀具偏置与刀尖半径补偿功能 .....	260
第三节 固定循环功能 .....	168	实验五 车削固定循环 (一) .....	267
一、固定循环的动作 .....	169	实验六 车削固定循环 (二) .....	270
二、固定循环的代码组成 .....	170	附录 B 数控铣床及加工中心编程实验指导书 .....	274
三、固定循环中数据的保持与取消 .....	171	实验七 数控铣床及加工中心基本操作 .....	274
四、固定循环指令 .....	172	实验八 基本指令编程及模拟加工 (一) .....	282
五、孔加工编程举例 .....	174		
第四节 子程序 .....	175		
一、子程序的概念 .....	175		
二、子程序的调用与执行 .....	176		
三、子程序的特殊使用方法 .....	177		
四、编程举例 .....	177		

实验九 基本指令编程及模拟	
加工(二) .....	290
实验十 基本指令编程及模拟	
加工(三) .....	295
实验十一 加工中心的基本操作与	

编程 .....	297
实验十二 数控镗铣加工综合训练 .....	301
部分习题参考答案 .....	304
<b>参考文献</b> .....	305

# 第一章 绪 论

## 第一节 数控加工编程概述

近年来,随着社会需求向个性化、多样化的发展,机械制造业正经历着由大批量的生产方式向多品种、变批量的生产方式发展。精密化、柔性化、网络化、虚拟化、智能化、清洁化、集成化、全球化正在成为当今先进制造技术发展的主流。以计算机为代表的高新技术与现代化管理技术的应用,使得数控机床、数控加工、数控编程技术成为机械制造业由传统产业跨入先进制造技术领域的要径。当前,计算机辅助设计/计算机辅助制造(Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, CAD/CAM)软件在制造业企业的广泛应用,又使传统的手工编程方式逐步过渡到以 CAD/CAM 软件编程为主的自动编程方式。而随着数控系统功能的日益强大,一些更为优秀的编程人员,则着手利用数控系统的变量编程功能,手工编写出长度不过几十个语句,通过参数修改即可完成同类型零件加工的通用程序,其程序长度仅为 CAM 软件编写程序长度的 1/1000,大大节省了控制系统的存储空间。因此,数控加工工艺理论的研究,数控编程指令代码、CAD/CAM 软件的熟练运用、程序结构及变量编程方法更为深入的研究,已成为数控机床操作及编程人员的基本要求。

### 一、数控机床与数控加工

国家标准 GB8129—1987《机床数字控制术语》将数控(Numerical Control, NC)定义为:用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing)将数控机床定义为:数控机床是一种装有程序控制系统的机床,机床的运动和动作按照这种程序控制系统发出的由特定代码和符号编组组成的指令进行。这种程序控制系统称之为机床的数控系统。

数控加工是指在数控机床上根据事先编制的程序对零件进行切削加工的过程,数控加工过程中使用的程序就称为数控程序。数控程序依据控制系统的不同,目前大多仍以 ISO(国际标准化组织)制订的标准 G 代码和 M 代码为基础进行程序的编写。这种格式中,数控程序由一系列指令代码组成,这些代码根据加工顺序被安排在不同的程序段中。每一条数控指令对应于工艺系统的一种动作状态,数控加工程序制作的过程可以通过面对数控机床的直接编程完成,也可以利用 CAD/CAM 软件编程实现。

图 1-1 所示为数控机床加工过程框图,由图可大致了解数控编程人员和机床操作人员在整个零件加工过程中所处的地位以

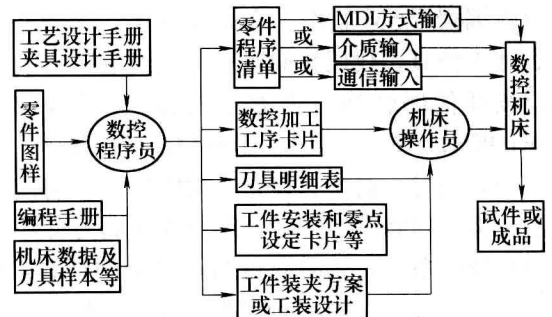


图 1-1 数控机床加工过程框图

及各自主要的工作任务。

## 二、数控编程技术的发展概况

自 1952 年世界上第一台数控机床在美国诞生以来，数控编程技术经历了若干发展阶段。最早采用手工编程，据国外报导，当时数控编程的时间与机械加工的时间之比平均为 30 : 1。由于手工编程工作量大而效率又极低，甚至无法解决复杂型面零件加工的数值计算问题，早在 1955 年，一种可以在电子计算机上实现自动编程的称为 APT (Automatically Programmed Tool) 语言的自动编程工具就已经研制成功。采用 APT 语言编制程序，可以将数控编程中绝大部分数值计算问题交由计算机处理，编程人员只需用几何定义语句对加工零件进行“几何造型”，用刀具运动语句控制刀具运动，使数控编程过程由面向数控机床指令代码的程序编制过程变为用 APT 语言编程，编制的程序简洁直观，在相当长的时间内是实现自动编程的主要方法。这被认为是自动编程技术发展的第一个主要阶段，其后便进入了以 CAD/CAM 集成为特征的计算机辅助设计、绘图和数控编程一体化时代。

20 世纪 80 年代后期，CAD/CAM 集成数控编程系统获得了飞速的发展，大量优秀的 CAD/CAM 集成数控编程系统相继问世。

20 世纪 90 年代中期以后，CAD/CAM 集成数控编程系统开始向集成 (Integration) 化、智能 (Intelligence) 化、网络 (Network) 化、并行 (Concurrent) 化和虚拟 (Virtual) 化方向迅速发展。

目前，以计算机作为平台的自动编程技术仍在发展中，在此仅对世界范围内具有影响力的一些公司及产品给予简要介绍，以便企业在选择编程方法时有所参考。这些公司和相应软件主要有：法国达索公司的 CAD/CAE/CAM 一体化软件 CATIA (Computer Aided Tri-Dimensional Interface Application)；美国 UGS (Unigraphics Solutions) 公司的 UG NX；英国 Delcam 公司的 PowerMILL、FeatureCAM；德国 OPEN MIND 公司开发的集成化 NC 编程 CAM 软件 HyperMILL；以色列 Cimatron 公司的 Cimatron E9.0；日本 Hitachi 公司的 Spaca-E；美国 CNC Software 公司的基于 PC 平台的 Mastercam X<sup>4</sup> 等。此外还有一些专业性较强的软件如 PartMaker、ArtCAM、DentMILL 等。上述公司及软件的功能特性均可通过网络进一步查询，此处不再一一详述。

我国在 CAM 的研发方面近年来也取得了长足的进步，以北航海尔为代表的“CAXA 制造工程师 2008”可以提供多种四轴及五轴的刀具轨迹，“CAXA 制造工程师”也成为历次全国数控技能大赛国内 CAM 软件的唯一指定软件。“CAXA 制造工程师”是具有卓越工艺性的数控编程 CAM 软件，它高效易学，为数控加工行业提供了从造型、设计到加工代码生成、加工仿真、代码校验等一体化的解决方案，成为数控机床真正的“大脑”。另外它在代码反读和代码转换方面有非常强的优势，如 FANUC 代码转换为西门子代码、海德汉 (HEIDENHAIN) 代码、华中数控代码等。

与此同时，由于数控系统功能的不断加强和完善，数控系统的编程功能也得到了极大的加强。指令功能更加丰富，用户界面更为友好。大多数二维平面加工的简单零件，对于功能较强的数控系统，无需进行基点坐标的计算，即可完成轮廓编程及多种复杂的循环加工功能。对于可由方程表示的空间曲线或具有一定数学规律的曲面，则可通过宏程序编程、参数编程等功能，快速完成程序的制作，并提供了刀具路径模拟和实体切削验证功能，及时发现

程序编制中可能存在的问题。

### 三、如何学习数控编程技术

数控编程技术涉及较多的知识领域，同时又具有极强的实践性。学习者除应注重加强理论知识的学习，还应利用各种实践机会提高自己的实际编程能力。为使初学者能在较短时间内，成为一名优秀的 NC 程序员，建议学习者注意在以下各方面提高理论素养和锻炼能力：

- 1) 数控机床及数控加工原理方面的基础知识。
- 2) 数控编程的指令代码及其格式。
- 3) 金属切削原理及刀具的基础知识。
- 4) 数控加工工艺分析及刀具轨迹合理性分析能力。
- 5) 机械制图特别是较复杂零件的读图能力。
- 6) 通过一种高级程序语言的学习获得程序结构、程序设计必要的基础知识。
- 7) 掌握至少一种 CAD/CAM 软件的数控编程方法。
- 8) 具有一定的数学基础知识，特别是解析几何与三角函数方面的基础知识，具有一定的数学计算能力。
- 9) 不断提高与数控加工相关的英语阅读能力。

需要说明的是，近年来各种数控仿真软件已被广泛应用于数控编程的课程教学中，如南京斯沃软件技术有限公司开发的斯沃数控仿真软件、北京斐克科技有限责任公司开发的 VNUC 数控加工仿真软件、上海宇龙数控加工仿真软件、南京宇航数控加工仿真软件等。此外，还有一类软件，如美国 CGTECH 公司开发的数控加工仿真系统 VERICUT，主要应用于航空、航天、汽车、模具制造等行业，可进行 NC 程序验证和机床运动仿真，避免零件在加工过程中出现碰撞、干涉等现象，还可以对程序进行优化。目前，这类软件在数控技术培训中也有应用。利用仿真软件学习数控编程，可使学生快速掌握各种常用数控系统的指令格式、操作面板及对刀的基本操作方法等。为适应这种变化，本书将结合相关章节的内容，增加 12 个数控编程实验并将它们放到本书附录 A、B 中。教师可根据教学进度将这些内容灵活穿插到教学过程中。

### 四、数控编程的分类

数控编程的分类方法有多种，例如：①按编程地点进行分类：办公室或车间；②按编程计算机进行分类：CNC 内部计算机，个人计算机 (PC) 或工作站 (Workstation)；③按编程软件进行分类：CNC 内部编程软件，APT 语言或 CAD/CAM 集成数控编程系统等。

通过 CNC 内部编程软件进行编程，实际上是利用数控系统所提供的数控编程功能进行直接编程的一种方法。APT 语言自动编程和 CAD/CAM 集成系统数控编程则主要通过个人计算机或工作站实现。

#### (一) 手工直接编程

手工直接编程是指用数控机床提供的指令直接编写出零件加工程序的过程，简称手工编程，主要用于几何造型比较简单或有某种规律的曲线、曲面零件的数控编程，是目前数控机床操作人员和车间级编程人员较多使用的方法。编程人员在编程时，通常要运用数控系统提供的各种简化编程方法，如各种固定循环和子程序功能、倒角和倒圆指令、极坐标编程、坐

标系平移、镜像、旋转、图形缩放以及宏指令编程等功能。

目前，还有一类数控机床的控制系统，在设计时就尽可能考虑了车间的应用。如德国的海德汉控制系统 iTNC 530，以对话式操作方法，可以在机床的控制面板上利用清晰的提问和提示，引导用户一步步完成程序的输入，生成一种非 ISO 代码表示的便于阅读的语言式数控加工程序。其操作界面非常适合有实际经验的技术工人，而丰富的循环调用功能足以解决产品加工中绝大多数简单零件的编程问题。这种系统目前在我国的应用有增大的趋势。

## (二) CAD/CAM 集成系统数控编程

CAD/CAM 集成系统数控编程的一种情况是在产品设计阶段，就已完成零件几何模型的构建，如 Pro/E、UG 等，创建的模型主要用于产品的设计和零件的装配等，采用参数化造型方法是这类软件的共同特点。NC 程序实际上是在完成零件的几何模型建模后，再进入到加工模块，通过创建刀具、创建几何体、创建操作等一系列的操作，并生成刀具位置源文件 (CLSF)，然后再通过执行后处理即可生成某一特定数控系统所需的 NC 代码。

另一种情况是针对以数控编程为主要目的而开发的 CAD/CAM 软件，如 Mastercam 等，其在复杂曲面几何造型方面的能力虽不及前者强大，但在 NC 加工程序的制作方面，仍有其独特的优势。其 NC 代码的生成过程，首先要通过软件的 CAD 功能，完成线架造型、曲面造型或实体造型，当然也可将其他软件创建的实体模型或曲面模型转换到系统中，通过刀具路径规划，刀位文件生成、刀具路径模拟以及实体切削验证，确认刀具路径合理，无过切及碰撞等情况，即可通过执行后处理程序，得到零件加工所需的 NC 代码。

企业在对 CAD/CAM 软件进行选择时，一般应根据企业规模大小、软件的适用领域以及车间所加工零件的类型特点等因素进行综合考虑。对于航空、航天、汽车、船舶等需进行大型零件或模具制造的企业，一般会选择价格昂贵而功能强大的软件。以英国 Delcam 公司的 PowerMILL 为例，这是一种可以提供完善的加工策略的支持高速加工和多轴加工的功能十分强大的 CAM 系统，其 CAM 系统与 CAD 分离，在网络下实现一体化集成，采用实体模型的全自动处理，可以实现粗、精、清根加工的全自动化。据称，编程操作的难易程度与零件的复杂程度无关，CAM 编程人员只要具备加工工艺知识，只需几天时间的专业技术培训，就可以对非常复杂的模具进行数控编程，不仅大大提高了数控编程的效率，而且优化的刀具路径也可提高加工中心的切削效率。而一些中、小型企业，由于受到财力的限制，往往从性价比考虑，会选择一些针对性较强的软件，如 Mastercam、Cimatron 等。

## 五、数控编程的步骤

就手工编程而言，其编程过程主要包括：分析零件图样、工艺处理、数值计算、编写程序、程序输入、程序校验及首件试切。数控编程的步骤如图 1-2 所示。

### 1. 分析零件图样和工艺处理

首先要根据零件图样，对零件的尺寸、形状、材料、精度和热处理等技术要求进行工艺分析，制定出合理的加工方案与工艺路线，确定加工工序和工步，选择机床、夹具、刀具以及确定切削用量等工艺参数，设置工件坐标系及确定合理的进给路线，同时还要考虑刀具的

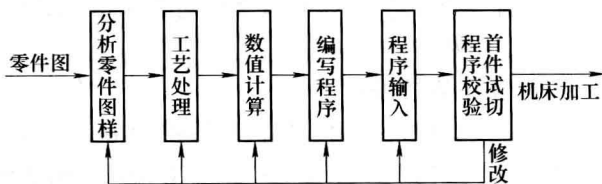


图 1-2 数控编程的步骤

及确定切削用量等工艺参数，设置工件坐标系及确定合理的进给路线，同时还要考虑刀具的

切入、切出位置及对刀点、换刀点位置的安排等。

工艺分析是编程人员一项十分重要的工作内容，它基本上决定了数控机床的性能是否能得到最大程度的发挥，加工出的零件能否一次合格，加工过程是否安全高效，数值计算是否简便以及程序是否简短实用等。

## 2. 数值计算

根据零件上标注的几何尺寸、设定的工件坐标系以及加工的进给路线，计算出刀位数据是手工编程时数值计算的主要内容。计算过程主要是计算直线段的起点、终点坐标；圆弧段的起点、终点坐标及圆弧圆心点的坐标。由于刀具的运动是连续的，前段运动的终点即下一段运动的起点，而刀具运动的起始点可由坐标系设定指令以及对刀操作来完成，因此在每个程序段中指定的只是运动段的终点坐标。

对于较复杂的直线与圆弧或圆弧与圆弧的交点或切点的坐标计算，通常利用勾股定理、三角函数、代数方程可以完成这类计算工作，也可以利用绘图软件的查询功能来帮助完成这一步工作。而对于形状比较复杂的零件，如非圆曲线或曲面组成的零件，利用宏程序编程功能或采用 CAD/CAM 软件编程，则数值计算过程可由数控系统内部或由计算机自动完成。

## 3. 编写零件加工程序

进给路线、工艺参数以及刀位数据确定后，编程人员可以根据数控系统提供的指令功能及程序书写格式，逐段编写加工程序。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、数控刀具明细表、工件安装和零点设定卡片等。

## 4. 程序输入

数控加工程序的输入有手动数据输入、介质输入、通信输入等方式。

(1) 手动数据输入 手动数据输入方式即 MDI 方式。它是指利用数控机床操作面板上的键盘，将编好的程序直接输入到数控系统中，并可以通过显示器显示有关内容。现代 CNC 系统存储容量较大，可储存多个零件加工程序，且可在不占用加工时间的情况下进行输入。因此，对于不太复杂的零件常采用手工编程并用 MDI 方式进行程序的输入，其特点是输入简单，检验与校核、修改方便。

(2) 介质输入 介质输入是指将加工程序记录在软磁盘 (Floppy Disk)、存储卡 (M-CARD)、U 盘 (USB flash Disk) 等存储介质上，通过数控系统相对应的插槽或端口将程序一次性输入。介质输入非常适合利用自动编程软件编程的方式，完成的 NC 程序可迅速传输至机床的数控系统。介质输入常用于程序量较大的情况，其输入的特点是输入速度快、便于程序的长期保存和重复使用。

(3) 通信输入 通信输入要求数控系统配备相应的通信接口，如 RS-232、RS-422 串行数据接口或专用的网络通信接口等。数据传输的方式有串口通信方式与并口通信方式。串口通信方式是指通过电缆线将计算机与数控机床上的标准串行接口连接起来，一次性将零件加工程序输入到数控机床的存储器，加工时再从存储器一段一段地读出；并口通信方式常称为 DNC 方式，是一种边传送边加工的工作方式。对于具有复杂曲面形状的模具加工，采用 CAD/CAM 软件编程时的程序长度常常会超过数控机床内存存储器的存储容量，此时，DNC 工作方式是程序输入的主要方式。

利用网络传输是指通过以太网 (Ethernet) 或因特网 (Internet) 实现程序或数据的传输。就如同计算机与计算机之间的网络通信一样，利用网络传输协议，在计算机与机床之间

通过电缆线连接后，就可以在计算机上打开数控机床的存储目录以进行各种数据的操作，也可以在数控机床上打开计算机的存储目录，对 NC 程序或其他数据进行读入或写出。

### 5. 程序检验

程序检验包括程序格式错误检查，MDI 方式下输入时的键盘输入差错检查，加工过程中的安全性检查以及零件加工后最终的零件合格性检查。对于以通信方式为主的数据传输，也要经常检查数据传输的可靠性和稳定性。

加工过程中的安全性检查，主要通过调整工件坐标系的位置，先使刀具在比较接近工件但又安全的区域进行模拟性运动，检查加工中是否存在碰撞或过切。加工完成后还应对加工时间及零件质量进行分析，对程序做进一步的优化调整，这样才能不断提高编程水平。

目前，不仅数控机床本身可提供动态的刀具路径验证功能，而且各种 CAD/CAM 软件以及数控加工仿真软件都提供了功能强大的实体切削验证功能，使加工过程更为安全可靠。以美国 CGTECH 公司开发的 VERICUT 软件为例，该软件可仿真各种 CNC 系统，既能仿真刀位文件，又能仿真 CAD/CAM 后处理的 NC 程序，其整个仿真过程包含程序验证、分析、机床仿真、优化和模型输出等。因而对延长刀具寿命、改进加工表面质量、检查过切、欠切，防止机床碰撞、超行程等错误提供了可靠的保障。从这个意义上讲，程序检验已超出了传统的概念。

## 第二节 数控编程的基础知识

### 一、数控编程有关标准

数控机床经过多年的不断实践与发展，与数控程序有关的孔带代码、机床坐标轴与运动方向、准备功能与辅助功能代码以及程序格式等方面，正逐步趋于统一或基本一致。为此，国际标准化组织已在这方面制订了一系列 ISO 标准供各成员国采用或参照。我国根据 ISO 数控标准已制定了相应的国家标准，并规定新设计的数控机床必须采用。

#### (一) 数控机床用字符与编码

字符是构成数控程序的最小单元，是数控程序输给数控装置的一种符号化标记。ISO（国际标准化组织）及 EIA（美国电子工业协会）制订了用于数控机床的字符及其意义，所有字符包括数字 0~9、字母 A~Z 以及符号三个类别。其中，数字可以组成一个十进制数或与字母组成一个代码；26 个字母称为地址符，用做程序功能指令识别的地址；符号主要用于数学运算及穿孔带程序格式的要求。我国在 ISO 标准的基础上制定了 JB3050—1999《数控机床用七单位编码字符集》部颁标准。

字符通过编码后，成为由 0 或 1 组成的二进制代码，就可以被数控机床的数控装置所接收。对于数控编程人员，无需考虑每个字符与二进制数的对应关系，但对每个字符的意义应有所了解。例如，标准中字符 0~9 分别表示数字 0~9；字符 A、B、C 分别表示绕 X 轴、Y 轴、Z 轴的旋转角度；F 表示进给功能；G 表示准备功能；M 表示辅助功能；N 表示顺序号；S 表示主轴转速功能；T 表示刀具功能；X、Y、Z 分别表示 X、Y、Z 轴方向的位置移动等。有些字母的含义在使用时有可能与标准不一致，如 F 还可指定螺纹导程；D、H 常指定偏置号；P、Q、R 可用做特殊计算参数；R 还可指定圆弧半径。具体的使用方法应按所



用数控机床的编程手册确定。

## (二) 数控机床坐标轴和运动方向的规定

统一规定数控机床的坐标轴及运动的正、负方向可使编程简便，并使所编程序对于同类型机床具有互换性。目前国际标准化组织已经统一了标准坐标系。我国也制定了 JB3051—1999《数控机床坐标 运动方向的命名》的标准，对数控机床的坐标轴和运动方向做出了明确规定。

### 1. 坐标和运动方向命名的原则

为了便于编程人员编写程序，编程人员可不考虑实际机床在加工零件时是刀具移向工件，还是工件移向刀具，而一律假定工件固定，刀具相对于静止的工件而运动。

### 2. 标准坐标系的规定

在数控机床上加工零件，机床的动作是由数控机床发出的指令来控制的。为了确定机床的运动方向和移动的距离，就要在机床上建立一个坐标系，这个坐标系就叫标准坐标系，也叫机床坐标系。在编制程序时，就可以以该坐标系来规定运动的方向和距离。

数控机床的坐标系是采用右手直角笛卡儿坐标系。如图 1-3 所示，对于基本的直线运动坐标轴，分别用  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  表示；围绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴旋转的圆周进给坐标轴分别用  $A$ 、 $B$ 、 $C$  表示。 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三者之间的关系及其方向按右手定则判定，即伸出右手时，大拇指的方向为  $X$  轴的正方向；食指为  $Y$  轴正方向；中指为  $Z$  轴正方向。 $A$ 、 $B$ 、 $C$  的正方向按右手螺旋法则判定，即当右手 4 指并拢后，拇指分别指向  $X$ 、 $Y$  或  $Z$  轴正方向时，4 指握拳的方向即表示  $A$ 、 $B$  或  $C$  的正方向。

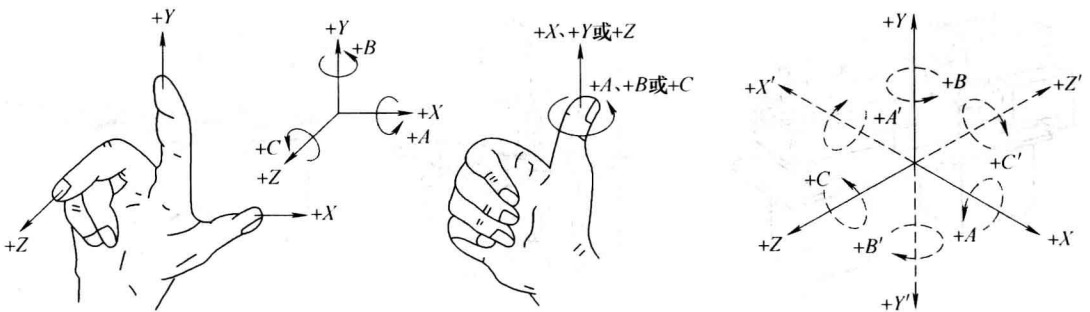


图 1-3 右手直角笛卡儿坐标系

在表示具体机床的坐标系时，如果在某坐标轴方向上是工件固定而刀具移动，就采用上述法则；如果工件移动而刀具固定，则正方向要反向并在相应字母上加“'”表示，即直线坐标分别用  $+X'$ 、 $+Y'$ 、 $+Z'$ ；回转坐标分别用  $+A'$ 、 $+B'$ 、 $+C'$ 。这种表示方法的好处是，既可使操作者按运动部件判断坐标轴的正负方向，又可使编程人员编程时，不必考虑机床的实际运动状况。

### 3. 运动方向的确定

JB3051—1999 中规定：机床某一部件运动的正方向，是增大工件和刀具之间距离的方向。

(1)  $Z$  坐标的运动  $Z$  坐标的运动由传递切削力的主轴所决定，与主轴轴线平行的坐标轴即为  $Z$  轴，刀具退离工件的方向为  $Z$  轴正方向。对于车床、磨床等是主轴带动工件旋转；