



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控技术专业系列

数控加工工艺与编程

(第2版)

陈洪涛 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

数控加工工艺与编程

(第2版)

陈洪涛 主编

高等教育出版社

内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书主要内容包括：数控加工技术的现状与发展趋势；数控加工工艺的基本特点、工艺分析与工艺设计方法；数控编程基础知识；数控车床、数控镗铣床、加工中心、数控电火花线切割机床的加工工艺特点及程序编制中常用的编程指令和编程方法。

本书按照数控加工岗位职业标准和典型工作任务要求，基于数控加工工艺（含程序）编制与实施工作过程对知识和技能的要求组织教学内容。编程实例丰富，并配有大量走刀路线图和详细的程序说明，使读者能清晰地掌握编程的思路，便于灵活应用，学后可达到举一反三的效果。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人院校及本科院校举办的二级职业技术学院数控技术、机电一体化等专业的教材，也可供从事数控加工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工工艺与编程/陈洪涛主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2009.12(2010重印)

ISBN 978-7-04-027869-9

I. 数… II. 陈… III. ①数控机床-加工工艺-高等学校:技术学校-教材②数控机床-程序设计-高等学校:技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第183246号

策划编辑 徐进 责任编辑 王素霞 封面设计 张志奇
版式设计 王艳红 责任校对 王效珍 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 河北新华印刷一厂

开本 787×1092 1/16
印张 15.5
字数 370 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2003年9月第1版
2009年12月第2版
印次 2010年5月第2次印刷
定价 22.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 27869-00

第1版前言

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材（高职高专教育），是根据高职高专教育机电类专业人才培养目标及规格的要求编写的。

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各发达国家加速经济发展、提高综合国力的重要途径。数控技术也是关系我国制造业发展和综合国力提高的关键技术，尽快加速培养掌握数控技术的应用型人才已成为当务之急。

据有关调查显示，我国目前这类人才不仅表现在数量上的短缺，更在质量上存在明显缺陷，即他们的知识结构还不能完全适应、满足企业需求。现在处于生产一线的各类数控人员主要是来自大学本科及高等职业技术学院机电类专业的毕业生。他们具有一定的专业知识和动手能力，但一般缺乏工艺经验，难以满足企业对加工、编程和维修一体化复合型人才的要求。

为了适应高等职业教育对人才培养的需求，必须对课程体系进行整体优化，对传统的以学科为主线的教学内容进行必要的调整、合并，适当降低理论深度、难度，拓宽知识面，加强岗位能力需要的新技术、新知识。本教材按培养、提高工艺实践与编程人员的职业能力进行阐述，将必要的知识支撑点融于能力培养的过程中，注重实践性教学，注重知识的综合应用，将数控加工工艺和数控编程有机结合起来，以达到满意的教学效果。

在我国大力发展高等职业教育的今天，适合于高等职业教育的高职高专教材建设已提上重要的议事日程。本书是按高职高专教学要求，结合多年的教学经验，在查阅大量国内外资料的基础上编写的。全书严格依据“以应用为目的，以必需、够用为度”的原则，力求从实际应用的需要出发，尽量减少枯燥、实用性不强的理论概念，较好地反映了国内外有关数控加工工艺的新发展和新成果，详细介绍了数控编程的常用编程指令及其应用，是一本内容新颖、实例丰富、深入浅出、系统性强、有较高实用价值的教材。

本书由陈洪涛副教授担任主编，参加本书编写的有四川工程职业技术学院陈洪涛（第5、6、7章）、朱超（第1、3章、第2章2.3节），四川职业技术学院黄杰东（第2章2.1、2.2、2.4节），成都电子机械高等专科学校蒋勇敏（第4章）。

本书由重庆大学陶桂宝副教授审阅。在编写过程中，重庆大学陈国聪教授给予了具体指导，绵阳奥神科技有限公司沈犇工程师对本书的编写给予了大力帮助和支持，并提供了部分的参考资料。本书在编写过程中还参阅了大量国内外同行的教材、资料与文献。在此一并致谢。

限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者
2003年4月

第2版前言

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是根据高职高专教育机电类专业人才培养目标及规格的要求编写的。

本书第1版是普通高等教育“十五”国家级规划教材，此次修订再版，为体现内容的衔接性和教材的特点，调整了部分章节的内容，改正了第1版中存在的错误和不妥，增加了许多数控技术最新应用成果。

随着我国装备制造业的迅猛发展，数控技术及装备得到广泛应用，企业对数控技能人才提出了更高的要求。当前尤其缺乏“精操作、懂工艺、会编程、善维护、能管理”的数控高技能人才。本教材基于数控加工岗位的工作过程，针对数控机床操作、工艺（含程序）程序编制与实施人员所必需的数控加工工艺与编程知识和职业技能要求，突出实用性和针对性。特别是针对毕业生普遍工艺经验不足，缺乏生产现场经验的现状，本教材在数控工艺新技术、新知识的介绍方面注意与现代企业生产实际应用保持同步，力求使学生掌握实用的专业知识和技能，并通过大量的生产实例将工艺与编程有机结合起来。

本书由四川工程职业技术学院陈洪涛担任主编，参加修订的还有卢万强（第1、2章）、沈轶（第3、4章）、韩俊峰（第5章）、梅刚（第6章）、唐静（第7章）。东方汽轮机有限公司吴伟高级工程师审阅了全书。本书在编写过程中还参阅了大量国内外同行的教材、资料与文献，在此一并致谢。

限于编者水平，书中错误和不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

2009年6月

目录

第 1 章 概论	1	2.4.4 数控加工程序单	42
1.1 数控加工技术概况	1	复习思考题	43
1.2 数控加工的特点	2	第 3 章 数控编程基础	44
1.3 数控机床的加工原理	4	3.1 程序的格式	45
1.4 数控加工技术的主要应用对象	6	3.1.1 程序段的格式和组成	45
1.5 数控编程技术	7	3.1.2 程序号和顺序号	46
1.5.1 数控编程的内容	7	3.1.3 选择性程序段删除“/”	47
1.5.2 数控编程的方法	8	3.1.4 程序数据输入格式	47
1.5.3 数控编程技术的发展概况	9	3.1.5 小数点编程	48
1.5.4 数控技术的现状	10	3.2 数控机床的坐标系统	48
1.6 数控技术的发展趋势	11	3.2.1 坐标轴及其运动方向	48
1.6.1 数控系统的发展趋势	11	3.2.2 机床原点、机床参考点	51
1.6.2 数控机床的发展趋势	12	3.2.3 工件坐标系	52
复习思考题	14	3.2.4 绝对坐标编程及增量坐标编程	53
第 2 章 数控加工工艺基础	15	3.2.5 极坐标编程	54
2.1 数控加工工艺概述	15	3.3 数控程序的指令代码	54
2.1.1 数控加工工艺的基本特点	15	3.3.1 准备功能	54
2.1.2 数控加工工艺的主要内容	16	3.3.2 辅助功能	54
2.1.3 数控机床的合理选用	16	3.3.3 进给功能	54
2.2 数控加工工艺分析与工艺设计	17	3.3.4 主轴转速功能	55
2.2.1 数控加工工艺分析	17	3.3.5 刀具功能	55
2.2.2 数控加工工艺设计	19	复习思考题	55
2.2.3 数控编程中的数学处理	32	第 4 章 数控车床加工及其程序	
2.2.4 数控加工工艺守则	35	编制	56
2.3 数控机床的工具系统	36	4.1 数控车削加工工艺	56
2.3.1 数控镗铣加工用工具系统	36	4.1.1 数控车床加工的主要特点	56
2.3.2 数控车削加工用工具系统	40	4.1.2 数控车床的类型	57
2.4 数控加工工艺文件的编制	40	4.1.3 车削刀具及其主要特点	57
2.4.1 数控加工工序卡	41	4.1.4 数控车削加工工艺路线制订	67
2.4.2 数控加工刀具卡	41	4.1.5 切削条件变化对数控车削加工	
2.4.3 数控加工走刀路线图	42		

的影响	68	5.2.8 返回参考点检查(G27)	153
4.2 数控车床程序编制	68	5.2.9 自动返回参考点(G28)	154
4.2.1 G 功能	68	5.2.10 从参考点返回(G29)	155
4.2.2 M 功能	70	5.2.11 第2、3、4 参考点返回(G30)	155
4.2.3 F、S、T 功能	71	5.2.12 固定循环功能	155
4.2.4 工件坐标系设定(G50)	74	5.2.13 等导程螺纹切削(G33)	165
4.2.5 快速定位和直线插补	75	5.2.14 转角的速度控制	166
4.2.6 圆弧插补(G02、G03)	77	5.2.15 子程序	168
4.2.7 自动倒角及倒圆	79	5.2.16 极坐标编程	172
4.2.8 程序暂停(G04)	81	5.3 加工中心综合编程实例	173
4.2.9 刀尖圆弧自动补偿功能	82	复习思考题	185
4.2.10 返回参考点检查(G27)	85	第6章 数控电火花线切割	
4.2.11 自动返回参考点(G28)	85	加工	188
4.2.12 从参考点返回(G29)	86	6.1 数控电火花线切割加工原理与特点	188
4.2.13 螺纹切削指令(G32)	86	6.1.1 数控电火花线切割加工	
4.2.14 单一固定循环(G90、G92、G94)	89	原理	188
4.2.15 复合固定循环	94	6.1.2 数控电火花线切割加工	
4.2.16 子程序	103	特点	189
4.3 数控车床编程实例	104	6.1.3 数控电火花线切割的应用	190
复习思考题	110	6.2 数控电火花线切割机床	190
第5章 数控镗铣床和加工中心		6.2.1 电火花线切割机床分类	190
加工及其程序编制	114	6.2.2 电火花线切割机床型号	191
5.1 加工工艺基础	114	6.3 数控电火花线切割工艺基础	191
5.1.1 数控镗铣床与加工中心的工艺		6.3.1 线切割加工的主要工艺指标	191
特点	114	6.3.2 影响线切割工艺指标的若干	
5.1.2 数控镗铣床和加工中心刀具及其		因素	191
工艺特点	117	6.3.3 电火花线切割典型夹具、附件及	
5.1.3 加工工艺分析	128	工件装夹	197
5.2 数控镗铣床和加工中心编程	132	6.3.4 低速走丝线切割常用切割方法	
5.2.1 G 功能	132	和技巧	201
5.2.2 M 功能	133	6.4 线切割编程	205
5.2.3 F、S、T 功能	134	6.4.1 3B 格式程序编制	205
5.2.4 编程应注意的几个问题	136	6.4.2 低速走丝线切割机床编程	210
5.2.5 基本移动指令	139	6.4.3 数控线切割自动编程	219
5.2.6 程序暂停(G04)	144	复习思考题	224
5.2.7 刀具补偿指令	144	第7章 用户宏程序在数控编程中	

的应用	225	7.3.2 自变量赋值	228
7.1 概述	225	7.4 变量的运算和控制指令	230
7.2 变量	226	7.4.1 算术和逻辑运算	230
7.2.1 变量及变量的引用	226	7.4.2 控制指令	231
7.2.2 变量的类型	227	7.5 用户宏程序应用实例	232
7.3 宏程序调用	228	复习思考题	236
7.3.1 宏程序调用指令(G65)	228	参考文献	237

第 1 章 概论

1.1 数控加工技术概况

数字控制(numerical control)简称数控(NC),是近代发展起来的一种自动控制技术,是用数字化信息实现机械设备控制的一种方法,在数控加工技术方面得到了广泛的应用。

随着科学技术的不断发展,社会对产品多样化的要求日益强烈,产品更新换代越来越快,多品种、中小批量生产的比重明显增加,复杂形状的零件越来越多,精度要求也越来越高。此外,激烈的市场竞争要求产品研制生产周期越来越短,传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高效、高质量的加工要求。因此,近几十年来,能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工问题的数控加工技术得到了迅速发展和广泛应用,使制造技术发生了根本性的变化。

数控加工是根据被加工零件的图样和工艺要求,编制成以数码表示的程序输入到机床的数控装置或控制计算机中,以控制工件和工具的相对运动,使之加工出合格零件的方法。该项技术是 20 世纪 40 年代后期为适应加工复杂外形零件而发展起来的一种自动化加工技术。1948 年,美国帕森斯公司接受美国空军委托,研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样,精度要求高,一般加工设备难以适应,于是提出计算机控制机床的设想。1949 年,该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下,开始数控机床的研究,并于 1952 年试制成功第一台三坐标数控铣床(如图 1-1 所示),揭开了数控加工技术研究的序幕。

当时的数控系统由电子管、继电器和模拟电路组成,体积庞大,价格昂贵,一般称之为第一代数控系统。1959 年,制成了由晶体管和印刷电路组成的第二代数控系统,体积缩小,成本有所下降。1965 年,出现了第三代的集成电路数控系统,不仅体积小,功率消耗少,且可靠性提高,价格进一步下降,促进了数控机床品种和产量的发展。20 世纪 60 年代末,先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控(简称 DNC)系统(又称群控系统),及采用小型计算机控制的计算机数控(简称 CNC)系统,使数控系统进入了以小型计算机化为特征的第四代。1974 年,以微处理器为基础的 CNC 系统问世,标志着数控系统进入了第五代。

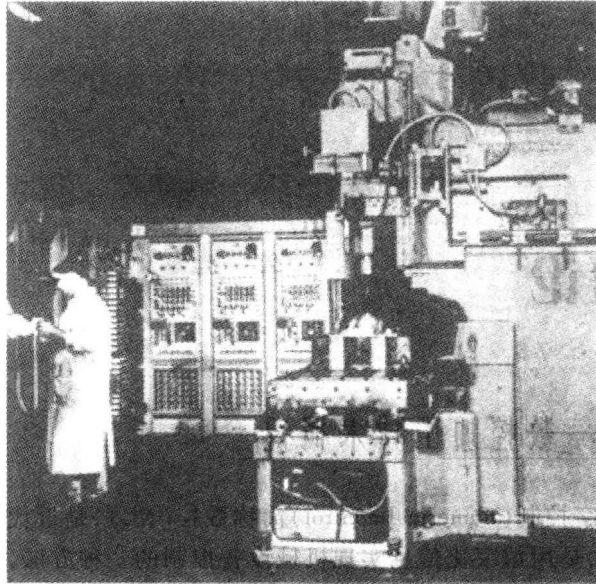


图 1-1 世界上第一台数控铣床

前三代数控系统主要由电路的硬件和连线组成,称为硬件数控系统。它的特点是具有很多硬件电路和连接结点,电路复杂,可靠性不好。第四、五代数控系统主要由计算机硬件和软件组成,称为计算机数控系统。它最突出的特点是利用存储在存储器里的软件控制系统工作,因此也称软件数控系统。这种系统容易扩大功能,柔性好,可靠性高。经过 50 多年的不断发展,目前数控系统的数控性能大大提高。以 FANUC 公司为例,1991 年开发成功的 FS15 系统与 1971 年开发的 FS220 系统相比,体积只有后者的十分之一,而加工精度提高了 10 倍,加工速度提高了 20 倍,可靠性提高了 30 倍以上。

一般来说,数控加工技术涉及数控机床加工工艺和数控编程技术两个方面。数控机床是数控加工的硬件基础,其性能对加工效率、精度等方面具有决定性的影响。高速、高效和高精度是数控机床技术发展的目标。零件加工工艺及程序的编制是实现数控加工的重要环节,对于产品质量的控制有着重要的作用。特别是对于复杂零件的加工,其工艺及编程工作的重要性甚至超过数控机床本身。数控加工所追求的目标是如何更有效地获得满足各种零件加工要求的高质量数控加工程序,以便充分发挥数控机床的性能,获得更高的加工效率和质量。

当今的数控机床已经在装备制造企业占有非常重要的地位,是柔性制造系统 (flexible manufacturing system, FMS)、计算机集成制造系统 (computer integrated manufacturing system, CIMS)、自动化工厂 (factory automation, FA) 的基本构成单位。努力发展数控加工技术,并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进,是当前装备制造业发展的方向。

1.2 数控加工的特点

与普通机床加工相比,数控加工具有如下特点:

1. 自动化程度高

在数控机床上加工零件时,除了手工装卸工件外,全部加工过程都可由机床自动完成。在柔性制造系统上,上下料、检测、诊断、对刀、传输、调度、管理等也都可由机床自动完成,这样大大减轻了操作者的劳动强度,改善了劳动条件。

2. 具有加工复杂形状零件的能力

复杂形状零件在飞机、汽车、造船、模具、动力设备和国防工业等制造部门的产品中具有十分重要地位,其加工质量直接影响整机产品的性能。数控加工运动的任意可控性使其能完成普通加工方法难以完成或者无法进行的复杂型面的加工。

3. 生产准备周期短

在数控机床上加工新的零件,大部分准备工作是根据零件图样编制数控程序,而不是去准备靠模、专用夹具等工艺装备,而且编程工作可以离线进行,这样大大缩短了生产的准备时间。因此,应用数控机床十分有利于产品的升级换代和新产品的开发。

4. 加工精度高,质量稳定

目前,普通数控加工的尺寸精度通常可达 $\pm 0.005\text{ mm}$,最高的尺寸精度可达 $\pm 0.01\ \mu\text{m}$ 。数控机床是按预先编制好的加工程序进行工作的,加工过程中无需人的参与或调整,因此不受操作工人技术水平和情绪的影响,加工精度稳定。另外,数控机床可以通过采用在线自动补偿(实时补偿)技术来消除或减少热变形、力变形、重量变形和刀具磨损的影响,使加工精度的一致性得到保证,这在传统机床上则是无法做到的。因此,采用数控加工技术可以提高零件的加工精度和产品质量。

5. 生产效率高

数控机床的加工效率一般比普通机床高2~3倍,尤其是在加工复杂零件时,生产率可提高十几倍甚至几十倍。一方面是因为其自动化程度高,具有自动换刀和其他自动化辅助操作等功能,而且工序集中,在一次装夹中能完成较多表面的加工,省去了画线、多次装夹、检测等工序;另一方面是加工中可采用较大的切削用量,有效地减少了加工中的切削工时。数控机床在配有适当的刀库、工件毛坯库、上下料装置和多种传感器的条件下,不仅具有全自动的加工功能,而且具有对加工过程进行自动监控、检测、报警及修正误差等功能。因此,数控机床可以实现白班有人看管和做好各种准备工作后,二、三班则可以在“无人看管”的条件下进行24小时乃至72小时的连续加工,国外称为“熄灯生产”(lights out manufacturing)。这不仅改善了劳动条件,解决了晚上和节假日(含周六、周日)连续工作的问题,也大大提高了劳动生产率、设备利用率,缩短了生产周期,增加了企业的经济效益。

6. 易于建立计算机通信网络

由于数控机床使用数字信息,易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统连接,形成计算机辅助设计和制造与数控机床紧密结合的一体化系统。另外,现在的数控机床通过因特网(Internet)、内联网(Intranet)、外联网(Extranet)已可实现远程故障诊断及维修,已初步具备远程控制和调度,进行异地分散网络化生产的可能。从而为今后进一步实现制造过程网络化、智能化提供必备的基础条件。

当然,数控加工在某些方面也有不足之处:数控机床价格昂贵,加工成本高,技术复杂,对工艺和编程要求较高,加工中难以调整,维修困难等。

1.3 数控机床的加工原理

数控机床的加工原理如图 1-2 所示。在数控机床上加工零件时,要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具参数,再按规定编写零件数控加工程序,然后通过手动数据输入(manual data input,MDI)方式或与计算机通信等方式将数控加工程序送到数控系统,在数控系统控制软件的支持下,经过分析处理与计算后发出相应的指令,通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动,从而控制机床进行零件的自动加工。

1. 工艺与程序编制

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令。在对加工零件进行工艺分析的基础上,确定零件坐标系在机床坐标系上的相对位置,即零件在机床上的装夹位置、刀具与零件相对运动的尺寸参数、零件加工的工艺路线或加工顺序、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。这样得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息,然后按数控机床规定采用的代码和程序格式,将工件的尺寸、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数(切削速度、进给量、背吃刀量等)以及辅助功能(换刀、主轴的正转与反转、切削液的开与关等)编制成数控加工程序。编制程序的工作可人工进行,或者在数控机床以外用自动编程计算机系统来完成,比较先进的数控机床可以在其数控装置上直接编程。

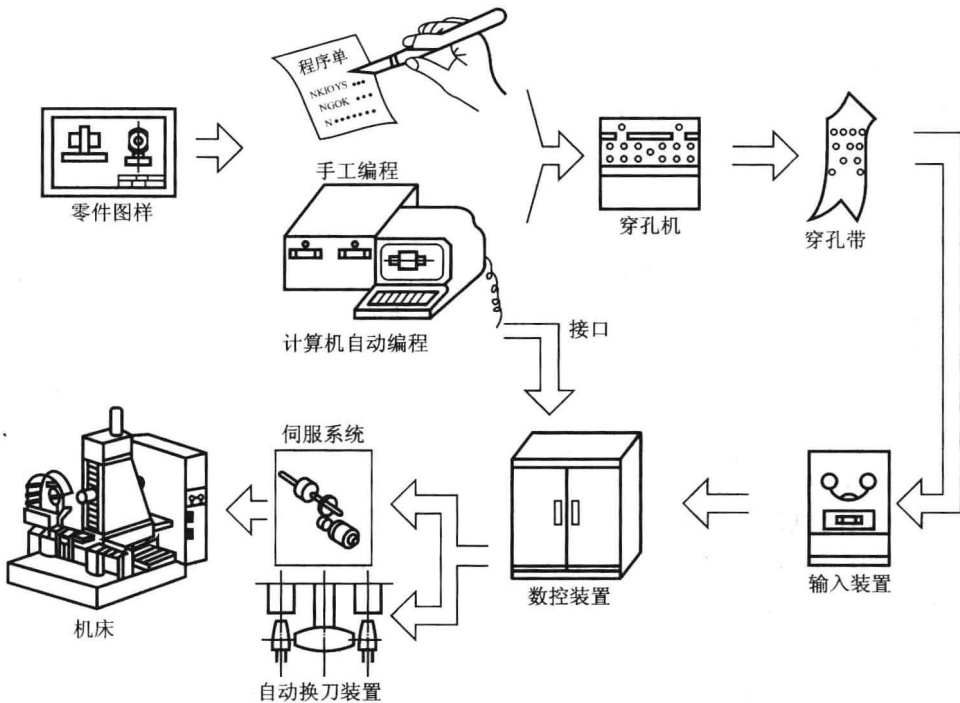


图 1-2 数控机床的加工原理

2. 输入/输出装置

数控机床在进行加工前,必须接收由操作人员输入的零件加工程序,然后才能根据输入的程序进行加工。在加工过程中,操作人员要向机床数控装置输入操作命令,数控装置要为操作人员显示必要的信息,如坐标值、报警信号等。此外,输入的程序并非全部正确,有时需要编辑、修改和调试。以上工作都是机床数控系统和操作人员进行信息交流的过程,要进行信息交流必须具备输入/输出装置。

将数控程序输入数控装置,可采用以下几种方式:

(1) 控制介质输入

控制介质输入方法主要有两种。一种方法是通过纸带输入,即在特制的纸带上穿孔,用孔的不同位置的组合构成不同的数控代码,通过纸带阅读机将指令输入。穿孔纸带使用 ISO(国际标准化组织)标准和 EIA(美国电子工业协会)制定的标准两种标准信息代码,现在的数控系统两种代码都可以识别应用。另一种方法是对于配置有计算机软驱动器的数控机床,可以将存储在磁盘上的程序通过软驱输入系统。尽管穿孔纸带已被淘汰,但是规定的标准信息代码仍然是数控程序编制、制备控制介质所遵守的标准。

(2) 手动输入

操作者可以利用机床上的显示屏及键盘输入加工程序指令,控制机床的运动。一种是手动数据输入(MDI),它适用于一些比较短的程序,只能使用一次,机床动作后程序就消失。另一种是在控制装置的编辑(EDIT)状态下,用按键输入加工程序,存入控制装置的内存中。用这种方式可以对程序进行编辑,程序可重复使用。除此之外,在具有会话编程功能的数控装置上,可以按照显示屏上提示的问题,选择不同的菜单,将图样上指定的有关尺寸数字等输入,就可自动生成加工程序。

(3) 直接输入存储器

利用这种方式可以使用数控装置的串行口,通过对有关参数的设定和相关软件,直接读入在自动编程机上或其他计算机上编制好的程序。

3. 数控装置及辅助控制装置

数控装置是数控机床的核心,它接收输入装置送来的脉冲信号,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、插补运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令控制机床的各个部分,进行规定的、有序的动作。其中最基本的控制信号是:由插补运算决定的各坐标轴的进给位移量、进给方向和速度的指令,经伺服驱动系统驱动执行部件作进给运动。其他还有主运动部件的变速、换向和启/停信号,刀具选择和交换的指令信号,冷却液、润滑液的启停,工件和机床部件松开、夹紧,分度工作台转位等辅助指令信号等。

辅助控制装置是连接数控装置和机床机械、液压部件的控制系统,其主要作用是接收数控装置输出的主运动变速、换刀、辅助装置动作等指令信号,经过编译、逻辑判断、功率放大后驱动相应的电气、液压、气动和机械部件,以完成指令所规定的动作。此外,行程开关和监控检测等开关信号也要经过辅助控制装置送到数控装置进行处理。

4. 伺服驱动系统及位置检测装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动电动机组成,并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速

度、方向和位移。每个作进给运动的执行部件,都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中,还有位置检测装置,间接或直接地测量执行部件的实际位移和速度并发送反馈信号与指令信号进行比较,按闭环原理,将其误差转换放大后控制执行部件的运动,以提高系统精度。

5. 机械部件

数控机床的机械部件包括主运动部件、进给运动执行部件(如工作台、拖板)、传动部件和床身立柱等支承部件,此外还有冷却、润滑、排屑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床,还有自动刀具交换装置、自动交换工作台装置等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似,但传动结构要求更为简单,在精度、刚度、抗振性、耐磨性、耐热性等方面要求更高,而且其传动和变速系统要便于实现自动化控制。

1.4 数控加工技术的主要应用对象

数控加工是一种可编程的柔性加工方法,但其设备费用相对较高,故目前数控加工主要应用于加工零件形状比较复杂、精度要求较高,以及产品更换频繁、生产周期要求短的场所。具体地说,下面这些类型的零件最适宜于数控加工:

- 1) 形状复杂、加工精度要求高或用数学方法定义的复杂曲线、曲面轮廓。
- 2) 公差带小、互换性高、要求精确复制的零件。
- 3) 用通用机床加工时,要求设计制造复杂的专用工装或需很长调整时间的零件。
- 4) 价值高的零件。
- 5) 小批量生产的零件。
- 6) 钻、镗、铰、攻螺纹及铣削联合进行加工的零件。

由于现代工业生产的需要,目前应用数控机床进行加工的部分典型行业及典型复杂零件如下:

- 1) 电器、塑料制造业和汽车制造业等——模具型面。
- 2) 航空航天工业——高压泵体、导弹仓、喷气叶片、框架、机翼、大梁等。
- 3) 造船业——螺旋桨。
- 4) 动力工业——叶片、叶轮、机座、壳体等。
- 5) 机床工具业——箱体、盘轴类零件、凸轮、非圆齿轮、复杂形状刀具与工具。
- 6) 兵器工业——炮架件体、瞄准陀螺仪壳体、恒速器壳体。

另外,20世纪60—80年代,以数控机床应用为基础的柔性制造技术在汽车、飞机及一些行业中得到发展,其应用结果表明:柔性制造适于多品种、变化批量产品的生产。当前,柔性制造技术发展了以数控加工中心、数控加工模块及多轴加工模块组成的柔性自动线,使自动线柔性化,给单一品种的大量生产方式带来了转机,例如其现已广泛应用于汽车制造业发动机零件的制造中。目前,世界上许多汽车厂,包括我国的上海通用汽车公司,已经采用以高速加工中心组成的生产线部分替代组合机床。

可见,目前的数控加工主要应用于以下两个方面:

- 1) 常规零件加工 如二维车削、箱体类镗铣等,其目的在于:①提高加工效率,避免人为误

差,保证产品质量。②以柔性加工方式取代高成本的工装设备,缩短产品制造周期,适应市场需求。这类零件一般形状较简单。实现上述目的的关键:一方面在于提高机床的柔性自动化程度、高速高精加工能力、加工过程的可靠性与设备的操作性能;另一方面在于合理的生产组织、计划调度、工艺过程安排。

2) 复杂形状零件加工 复杂形状零件如涡轮叶片、叶轮、手机模具等(如图 1-3 所示)在众多的制造行业中具有重要的地位,其加工质量直接影响以至决定着整机产品的质量。这类零件型面复杂,常规加工方法难以实现,它不仅促使了数控加工技术的产生,而且也一直是数控加工技术的主要研究及应用对象。由于零件型面复杂,在加工技术方面,除要求数控机床具有较强的运动控制能力(如多轴联动)外,更重要的是如何有效地获得高效、优质的数控加工程序,并从加工过程整体上提高生产效率。

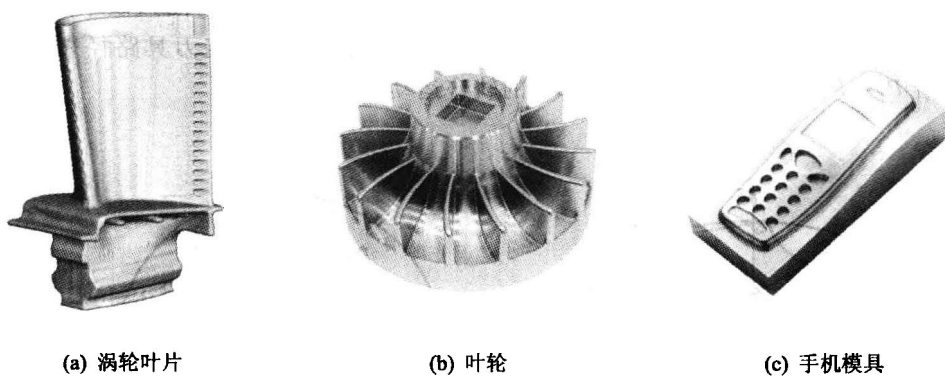


图 1-3 数控机床加工的复杂形状零件

1.5 数控编程技术

1.5.1 数控编程的内容

数控编程的主要内容包括:

1. 分析零件图样,确定工艺过程

该项内容包括确定加工方案,选择合适的机床、刀具及夹具,确定合理的走刀路线及切削用量等。

2. 数学处理

数学处理包括建立工件的几何模型、计算加工过程中刀具相对工件的运动轨迹等。数学处理的最终目的是为了获得编程所需要的所有相关位置坐标数据。

3. 编写程序单

按照数控装置规定的指令和程序格式,编写零件的加工程序单。

4. 制作程序介质并输入程序信息

加工程序可以存储在控制介质(如穿孔纸带、磁盘、CF卡、U盘等)上,作为控制数控装置的

输入信息。通常,若加工程序简单,可直接通过机床操作面板上的键盘输入。

5. 程序校验和试切削

编制的加工程序必须通过空运行、图形动态模拟或试切削等方法检验程序的正确性。当发现错误时,通过分析产生错误的性质来修改程序或调整刀具补偿参数,直到加工出合格的零件。

1.5.2 数控编程的方法

根据问题复杂程度的不同,数控加工程序可通过手工编程或自动编程来获得。

1. 手工编程

手工编程是指零件图样分析、工艺处理、数值计算、书写程序单、纸带制作和检验等均由人工来完成。它要求编程人员不仅要熟悉数控指令及编程规则,而且还要具备数控加工工艺知识和数值计算能力。如在加工中心上用立铣刀加工如图 1-4 所示形状的工件,因该零件轮廓由直线和简单的圆弧轮廓组成,可以手工计算坐标值(如表 1-1 所示)并确定刀具路径来完成数控编程,使刀具沿 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5 \rightarrow P_6 \rightarrow P_1$ 的轨迹运动加工。

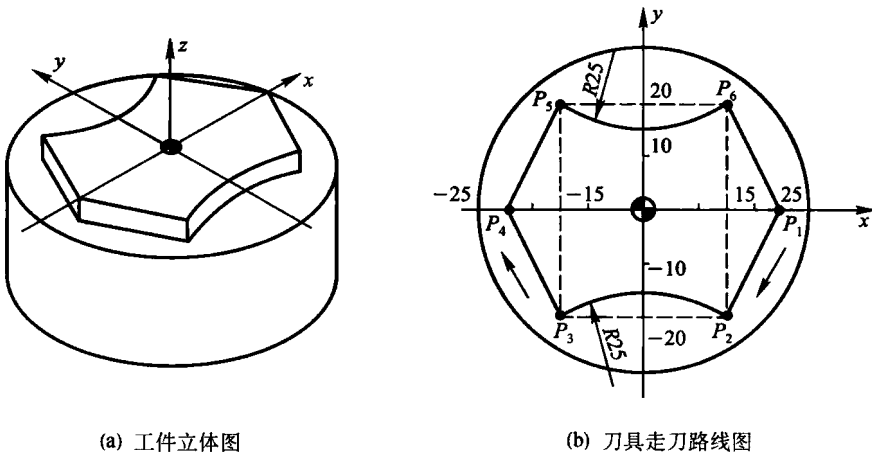


图 1-4 手工编程零件实例

表 1-1 计算坐标值

mm

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6
x	25	15	-15	-25	-15	15
y	0	-20	-20	0	20	20

手工编制的加工程序如下(为简化,此处没有考虑铣刀半径):

O1001; (程序号)
 G90 G00 G54 X25 Y0; (建立工件坐标系,刀具快速运动到 P_1 点)
 G43 Z100 H01; (建立刀具长度补偿,快速移动到 $z100$ 位置)
 S1000 M03; (主轴以 $1\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 的转速正转)
 G00 Z3 (刀具快速移动到 $z=3$ 位置)

G01 Z - 2 F150;	(刀具以 $150 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 的进给速度切入到 $z = -2$ 位置)
X15 Y - 20;	(刀具沿直线运动到 P_2 点)
G03 X - 15 R25;	(刀具沿逆时针圆弧运动到 P_3 点)
G01 X - 25 Y0;	(刀具沿直线运动到 P_4 点)
X - 15 Y20;	(刀具沿直线运动到 P_5 点)
G03 X15 R25;	(刀具沿逆时针圆弧运动到 P_6 点)
G01 X25 Y0;	(刀具沿直线运动到 P_1 点)
G00 Z10 M05;	(刀具沿 z 轴方向快速退刀至 $z = 10$ 位置, 主轴停止)
G91 G28 Z0;	(z 轴回机床参考点)
G28 X0 Y0;	(x, y 轴回机床参考点)
M30;	(程序结束)

在机械制造行业中,均有大量仅由直线、圆弧等几何元素构成的形状并不复杂的零件需要加工。这些零件的数值计算较为简单,程序段数不多,程序检验也容易实现,因而可采用手工编程方式完成编程工作。由于手工编程不需要特别配置专门的编程软硬件,易于掌握和运用,因此在国内外手工编程仍然是一种运用十分普遍的编程方法。然而,目前在航空、船舶、兵器、汽车、模具等制造业中,经常会有一些具有复杂型面的零件需要加工,有的零件形状虽不复杂,但加工程序很长。这些零件的数值计算、程序编写、程序校验相当复杂烦琐,工作量很大,采用手工编程是难以完成的。

2. 自动编程

自动编程是借助数控自动编程系统由计算机来辅助生成加工程序。此时,编程人员一般只需借助数控编程系统提供的各种功能对加工零件的几何参数、工艺参数及加工过程进行较简单的描述后,即可由计算机自动完成程序编制的全过程。自动编程解决了手工编程难以解决的复杂零件的编程问题,既减轻了编程的劳动强度,又提高了效率和准确性,在数控加工中的应用日益广泛。

1.5.3 数控编程技术的发展概况

为解决复杂型面零件在数控机床上加工的编程问题,20世纪50年代,麻省理工学院(MIT)设计了一种专门用于机械零件数控加工程序编制的语言APT(automatically programmed tool)。其后MIT组织美国各大飞机公司共同开发了APTII。到了20世纪60年代,在APTII的基础上研制的APTIII已经到了应用阶段。以后几经修改和充实,发展成为APTIV、APTAC和APTIV/SS等。APT语言用专用语句书写源程序,将其输入计算机,由APT处理程序经过编辑和运算,输出刀具中心轨迹,然后再经过后置处理,把通用的刀位数据转换成数控机床所要求NC程序段格式。

采用APT语言编制数控程序具有程序简练、走刀控制灵活等优点,使数控加工编程从面向机床指令的“汇编语言”级上升到面向零件几何元素和加工方式的“高级语言”级直接描述,表1-2给出了用APT语言来描述定义语句的例子。但APT仍有许多不足之处:采用语言定义零件几何形状,难以描述复杂的几何形状,缺乏几何直观性;缺少对零件形状、刀具运动轨迹的直观图形显示和刀具轨迹的验证手段;难以和CAD数据库和CAPP系统有效连接;不容易做到高度的自动化、集成化。

针对APT语言的缺点,1972年由美国洛克希德飞机公司开发出具有计算机辅助设计、绘图