

■ 面向 21 世纪高职高专规划教材 ■

数控加工程序编制

天津理工学院 王洪 主编



机械工业出版社
China Machine Press

面向 21 世纪高职高专规划教材

数 控 加 工 程 序 编 制

主 编	王 洪	
副主编	刘向红	
参 编	许 文	张秀国
	祁润田	王雪红
主 审	李 强	



机 械 工 业 出 版 社

前 言

随着数控技术的发展和数控机床的广泛应用以及为适应我国加入 WTO 后市场竞争的需要,社会上急需培养大批能熟练掌握数控机床编程、操作、修理和维护的复合型应用技术人才。为此,国家机械局教材编辑室、机械工业出版社教材编辑室于 2000 年 12 月在北京召开了高等职业技术教育“计算机辅助设计”专业教学研讨和教材编写工作会议,并确定了专业教材的编写计划。本书是根据这一计划而组织编写的规划教材。

全书共分六章。第一章为绪论,概述了数控加工的基本知识和数控编程的基本内容、方法和步骤;第二章为数控编程的基础知识,系统地介绍了数控编程的有关标准及规定,数控机床加工工艺分析及编程中的有关数值计算;第三、四、五章分别讲述了数控车床、数控铣床和加工中心的编程方法及应用;第六章较详细地介绍了自动编程的工作过程以及以 CAD/CAM 为基础的图形交互式自动编程系统 Master CAM 的使用方法和应用。在全书的整个内容中,体现了编程与数控加工工艺相结合的原则,并注重教材的系统性和实用性。

本书由王洪任主编,刘向红任副主编。其中第一章、第二章由天津理工学院王洪编写,第三章由陕西工业职业技术学院刘向红编写,第四章由新疆机电职业技术学院许文编写,第五章由张家口工业交通学校张秀国、祁润田编写,第六章由张家界航空工业职业技术学院王雪红编写。全书由王洪负责统稿和定稿。

本书由天津理工学院李强副教授主审,对原稿进行了详细审阅,并提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中欠妥和错误之处在所难免,恳请读者批评指正。

本书是面向 21 世纪高职高专规划教材“计算机辅助设计”专业规划教材之一,其他书籍请参见本书的封底和书末的简介。

编 者
于天津

目 录

前言		第二节 数控铣床编程基础	90
第一章 绪论	1	第三节 基本编程功能指令	93
第一节 数控加工技术概述	1	第四节 基本编程方法	95
第二节 数控编程基础知识	3	第五节 数控铣床的编程实例	124
思考题与习题	8	思考题与习题	127
第二章 数控机床加工程序编制基础	9	第五章 加工中心的编程	130
第一节 数控编程中的有关标准和代码	9	第一节 加工中心概述	130
第二节 数控编程的功能指令	16	第二节 加工中心的编程基础	134
第三节 数控机床加工工艺分析	20	第三节 准备功能	135
第四节 数控加工编程的数值计算	39	第四节 主轴、换刀和辅助功能	142
思考题与习题	56	第五节 圆弧加工程序的编制	144
第三章 数控车床的编程	57	第六节 刀具补偿和偏置功能	146
第一节 数控车床概述	57	第七节 固定循环功能	149
第二节 数控车床编程基础	59	第八节 子程序	158
第三节 基本编程方法	61	第九节 加工中心典型编程实例	160
第四节 圆头车刀的编程与补偿	81	思考题与习题	162
第五节 数控车削加工编程实例	83	第六章 自动编程	164
思考题与习题	85	第一节 自动编程概述	164
第四章 数控铣床的编程	87	第二节 图形交互式自动编程系统 Master CAM 简介	170
第一节 数控铣床概述	87	第三节 NC 加工程序自动生成综合 实例	193
		思考题与习题	204
		参考文献	206

第一章 绪 论

第一节 数控加工技术概述

随着科学技术的发展和数控技术的广泛应用，在机械制造业中，普通机床逐渐被高精度、高效率、高自动化的数控机床所代替。数控机床的普及使用以及计算机辅助设计和制造（CAD/CAM）技术的迅速发展，大幅度地缩短了产品的制造周期，提高了产品的加工质量，加速了产品的更新换代，提高了产品的市场竞争力，因而具有广泛的发展前景和显著的经济效益。

数控机床是指装备了数控系统的机床。数控系统是一种控制系统，它能自动阅读输入载体（如穿孔纸带等）上按规定格式编写的数字化控制信息；能自动译解其中的指令进行计算，并由输出部分向所控制的执行机构（如伺服电动机）发出指令，从而使机床动作以加工零件。数控机床是一种高度机电一体化的产品。从数控机床的控制方式上，决定了其加工方式与普通机床加工方式不同。数控机床加工的特点是在对零件进行工艺分析后，把编制好的加工程序输入数控系统，由数控系统控制机床自动地完成加工。因此，必须合理地制订数控加工工艺和正确编制数控加工程序，以充分发挥数控机床的作用和效率。

一、数控加工技术的发展

随着市场竞争的日趋激烈，产品的更新换代越来越快，品种越来越多，对产品的质量要求也愈来愈高。与之相适应，数控机床的发展非常迅速，应用也日趋广泛。同时，为充分发挥数控机床的特点，数控加工技术的发展应与数控机床的发展相适应，实现数控加工中的优质、高产、低耗。

传统的加工工艺中，大批大量生产（如汽车、拖拉机发动机连杆等零件）多采用专用生产设备，其生产率及自动化程度高，产品质量稳定，但生产准备周期长，产品改型困难，不利于市场竞争。在单件小批量生产中多采用通用机床，其工艺适应性强，但自动化程度低，人工操作，加工质量和精度不稳定。机械产品中，单件小批量生产占很大比例。随着市场竞争的日趋激烈，加快了产品的更新速度，品种也越来越多，单件小批量产品的比例将更大，对产品的质量和生产率要求将更高。在这种情况下，通用机床已不能很好满足以上要求，特别是一些形状复杂的零件，传统的加工方法只能靠借助划线和样板手工操作或用仿形机床加工的方法加工，加工质量和生产率都受到很大的限制。柔性好、精度高、生产率

也高的数控机床, 就是为适应多品种、小批量生产的社会需求以及复杂形状零件的高精度高效率加工而产生和发展的。

数控机床最早产生于 20 世纪 50 年代初。1952 年, 美国麻省理工学院伺服机构研究室研制出第一台数控铣床, 该机床数控系统采用电子管元件和硬件联接电路。随着科学技术的不断发展和进步, 数控系统从电子管、晶体管、集成电路、专用数控装置已发展到采用通用计算机; 数控机床从车床、铣床到镗床、磨床、齿轮加工机床、电加工机床等几乎所有机床品种; 从单功能数控机床到加工中心、柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS) 直至当今自动化制造加工技术发展的最高阶段——计算机集成制造系统 (CIMS); 数控设备从切削加工设备到特种加工设备、测量机等多种加工及辅助设备。同时, 数控加工技术也得到迅速发展, 数控加工技术的应用也从军工产业扩展到汽车、家电产品等各个生产领域。

二、数控机床加工零件的过程和特点

在普通机床上加工零件时, 操作者是按照工艺设计人员事先制订好的工艺规程进行加工的。工艺规程中规定了零件加工的工艺路线、工序的内容、刀具的选择、切削用量等内容。实际操作时, 机床的起动和停止、主轴转速的改变、进给速度和进给方向的变化等, 都是由操作者手工操纵的。由于操作者的操作水平不同等因素的影响, 零件加工质量的稳定性很难保证。

在数控机床上加工零件则与在普通机床上的方式不同, 它是按照事先编好的程序自动地进行加工。编程人员必须把加工过程中的所有动作和信息 (如主轴的转速、进给速度和方向、各坐标轴的运动坐标等), 按照一定的顺序和格式编写在程序中, 操作者无法临时改变加工过程。因此, 编写数控加工程序比制订普通机床的加工工艺规程复杂和细致得多。同时, 由于数控机床是按编制好的程序自动加工的, 不受操作者操作水平的影响, 所以能够保证零件稳定的质量和很高的加工精度。

数控机床与普通机床加工过程比较, 如图 1-1 所示。

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加工程序自动加工零件, 而普通机床加工零件的过程由人来操作。数控加工中, 只要改变加工程序就能达到加工不同形状零件的目的。

数控机床加工零件与普通机床比较, 其特点归纳为以下几点:

(1) 加工精度高、质量稳定 这是因为数控机床比普通机床制造精度和传动精度高, 刚性好, 工序集中, 减少了多次装夹对加工精度的影响。

(2) 加工过程的适应性强、柔性好 特别适合于单件、多品种、小批量生产, 便于产品的开发研制和更新换代。

(3) 加工功能强 多数数控机床可以多坐标联动, 适应复杂型面 (如涡轮叶

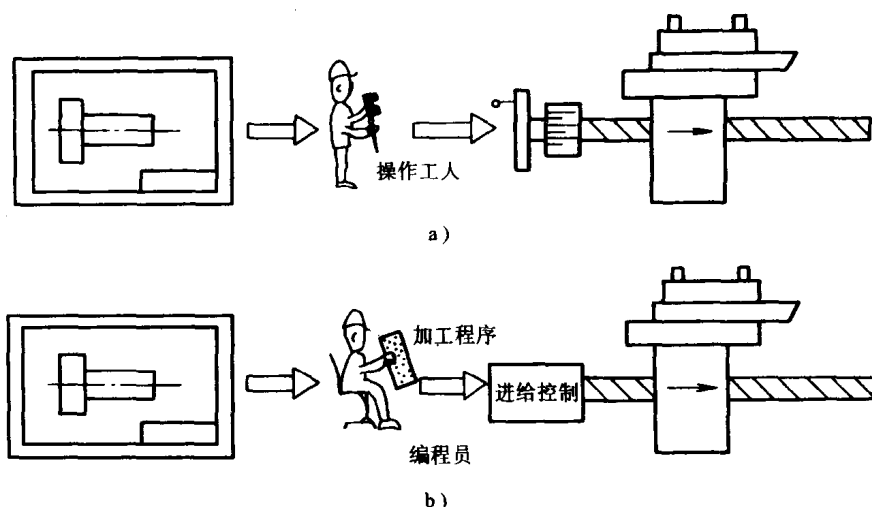


图 1-1 数控机床与普通机床加工过程比较
a) 普通机床加工过程 b) 数控机床加工过程

片等)的加工,这是许多普通机床所做不到的。

(4) 生产效率高 这是因为数控加工不需划线,尺寸一致性好,工序集中,可自动换刀,节省了辅助时间等原因。

此外,数控机床也存在其它一些特点和不足。数控机床成本高和投资大、对操作人员在使用维修等方面的技术水平要求较高、加工中调整困难等因素,制约着数控机床在我国的普及。如何解决这些缺点和不足,是我们今后所面临的主要任务。

第二节 数控编程基础知识

一、数控编程的基本概念

(一) 数控编程的内容和步骤

如前所述,在数控机床上加工零件时,是把事先编写好的加工程序输入到数控机床的数控系统,而后由数控机床自动地完成零件的加工过程。加工程序编制的过程,就是把零件加工所需的全部数据和信息(如零件的加工路线、切削用量、刀具参数、零件的尺寸数据等)按数控系统规定的格式和代码,编写成加工程序。然后将程序记录在控制介质上,如穿孔纸带、磁带、磁盘等,最后将控制介质的数据和信息输入数控系统,由数控系统控制数控机床进行加工。在现代数控机床上,还可以通过控制面板或计算机直接通信的方式将零件加工程序输入数控系统,这不仅免去了制作控制介质的繁琐工作,而且提高了程序信息传递的速

度和可靠性。理想的加工程序不仅应保证加工出符合图样要求的合格工件,同时应能使数控机床的功能得到合理的应用和充分的发挥,以使数控机床能安全可靠及高效地工作。在编制程序之前,程序编制人员应充分了解数控加工工艺的特点,熟悉数控机床的规格、性能及数控系统所具备的功能和编程指令代码等,在此基础上才能进行程序的编制。

数控编程的具体内容和步骤是:

1. 分析零件图样

通过对零件的材料、尺寸、形状、精度及毛坯形状和热处理的分析,确定零件在数控机床上进行加工的可行性。根据数控机床加工精度高、适应性强、效率高的特点,对于批量小、形状复杂、精度要求高的零件,选择在数控机床上加工,既可以满足零件加工精度的要求,又能充分发挥数控机床的功能。而有些零件,在普通机床上加工困难甚至无法加工,如自由曲面、列表曲面等形状的零件,只能选择在数控机床上加工。同时还要考虑具体零件选择在什么数控机床加工,如选择数控车、铣、镗床加工等。

2. 加工零件的工艺处理

工艺处理的内容包括:确定工件的进给路线,选择工件的定位基准,选用和设计夹具,选择刀具与确定对刀方式和对刀点,确定加工余量和选择合理的切削用量等。工艺处理涉及的问题很多,详细内容将在第二章中“数控机床加工工艺分析”一节里加以介绍。值得提醒的是,编程人员进行工艺处理和分析时应注意以下几个问题:

(1) 选择机床 应考虑数控机床使用的合理性和经济性,并充分发挥数控机床的功能。

(2) 夹具的设计和选择 应注意工件定位准确和夹紧迅速可靠,以减少辅助时间。因此,在数控机床上应尽量选择组合夹具。组合夹具的特点是生产准备周期短、夹具零件可以反复使用、经济性好和适应性强等。此外,所用夹具应便于安装、便于协调工件和机床坐标系的关系。

(3) 选择合理的进给路线 应考虑尽量缩短进给路线,减少空进给行程,提高生产效率,保证加工过程的安全性,避免刀具与非加工表面的干涉。

(4) 选择合理的刀具和切削用量 应根据工件材料、机床的加工能力、加工工序的类型、切削用量等综合因素来选择刀具,同时应确定合理的切削参数。

3. 数值计算

根据零件图及确定的进给路线和切削用量,计算出数控机床所需的输入数据。数值计算主要包括计算零件轮廓的基点和节点坐标以及刀具中心轨迹。所谓基点,是指零件轮廓几何元素间的连接点,如两直线的交点、直线与圆弧的交点或切点、圆弧与圆弧之间的交点或切点等;而节点则指对于零件轮廓为非圆曲线

时,用直线段或圆弧段逼近非圆曲线,从而取代非圆曲线。逼近直线或圆弧与曲线的交点或切点就称为节点。基点和节点计算以及刀具中心轨迹计算的详细内容将在第二章的有关章节中介绍。

4. 编写加工程序单

根据计算出的刀具轨迹数据和确定的运动顺序、切削参数以及辅助动作,按照数控系统规定使用的功能指令代码和程序段格式,逐段编写加工程序单。

5. 制作控制介质

加工程序单是制作控制介质的依据,而控制介质是程序的载体。通常将编写好的加工程序单记录在控制介质上,以便将加工信息输入数控系统。也就是说,程序员按规定的格式和代码编写的加工程序单,数控系统是不能识别的,只有把它转化在能被数控系统识别的控制介质上才能进行数据的读取,从而进行数控加工。目前常用的控制介质有穿孔纸带、磁带、磁盘等,尤以穿孔纸带出现最早和应用最广。穿孔纸带是按照国际标准化组织(ISO)或美国电子工业协会(EIA)标准代码制成。穿孔纸带上的程序代码,通过纸带阅读装置送入数控系统。穿孔纸带的特点是不受环境因素的影响(如磁场等),不易损坏。因此,调试好的准确无误的穿孔纸带可以永久保存。

6. 校验穿孔纸带

制作好的穿孔纸带必须经过校验才能用于实际加工。校验的方法是将穿孔纸带的内容输入到数控系统中,让机床空运转,以笔代刀,以纸代替工件,模拟实际加工画出加工轨迹;或在显示屏幕(CRT)上模拟显示加工轨迹,找出人工或穿孔机造成的错误,有问题及时修正。

7. 首件试切

穿孔纸带校验合格,只能证明轨迹运动的正确性,不能检查出被加工零件的精度。因此,需要对工件进行首件试切,当发现有加工误差时,应分析加工误差产生的原因,予以修正。

从以上程序编制的内容和步骤来看,要求编程人员应具备较高的业务素质,对数控机床的性能、特点、切削规范、标准工夹具等应都很熟悉。只有经过对零件的加工过程进行全面的分析研究,才能正确合理地编制出加工程序。

(二) 数控编程的方法

1. 手工编程

手工编程是指上述几个步骤都是由手工来完成,即从零件的图样分析、工艺过程的制订、数值计算到编写加工程序单、制作穿孔纸带等,都是由人手工完成的一种编程方法。

手工编程的过程实质上是将加工零件图样、数控加工工艺和数控机床指令综合应用的过程。对于一些形状简单的零件,特别是刀具在一次切削加工过程中始

终在某一坐标平面内运动（即二维运动轨迹），如箱体类零件表面上孔系加工或轮廓加工，由于轨迹坐标不需经过复杂的计算，编写的程序段也不是很长，这种情况下适于采用手工编程来完成，用手工编程既经济又及时。但对于一些形状复杂的零件，如非圆曲线、三维空间曲面、列表曲面等，编程时需经过复杂的坐标计算，采用手工编程非常繁琐，甚至无法编出程序。即使能用手工编程完成，其花费的时间长、效率低，而且容易出错。在这种情况下，需采用自动编程来完成。

2. APT 语言自动编程

APT 语言是一种对工件、刀具的几何形状及刀具相对于工件的运动等进行定义时所用的一种接近于英语的符号语言。把用 APT 语言书写的零件加工程序（称作源程序）输入计算机，经计算机的 APT 语言编程系统编译产生刀位文件，然后进行数控后置处理，生成能被数控系统接受的零件数控加工程序的过程，称为 APT 语言自动编程。

采用 APT 语言自动编程，由于计算机（或编程机）自动编程代替程序编制人员完成了繁琐的数值计算工作，并省去了编写程序单的工作量，因而可将编程效率提高数倍到数十倍，同时解决了手工编程中无法解决的许多复杂零件的编程难题。

3. CAD/CAM 图形自动编程系统

这是一种以通过计算机辅助设计（简称 CAD）建立的几何模型为基础，再以计算机辅助制造（简称 CAM）为手段，以图形交互方式生成数控加工程序的自动编程方法。零件 CAD 模型的描述方法多种多样，其中以表面模型在数控编程中应用较为广泛。以表面模型为基础的 CAD/CAM 集成数控编程系统，习惯上称为图形自动编程系统。

CAD/CAM 图形自动编程系统的主要特点是：零件的几何形状可在零件设计阶段采用系统的 CAD 功能，在图形交互方式进行定义、显示和编辑，最终得到零件的几何模型；采用 CAM 功能，定义刀具，确定刀具相对于零件表面的运动方式，确定加工参数，生成进给轨迹，经过后置处理，生成数控加工程序。整个过程一般都是在屏幕菜单及命令驱动等图形交互下完成的，具有形象、直观和高效等优点。

以表面模型为基础的数控编程方法，其零件的设计功能（或几何造型功能）是专为数控编程服务的，针对性很强，也容易使用，典型的软件系统有 MasterCAM、CAXA-ME 等数控编程系统。有关 CAD/CAM 软件的内容将在第六章进行深入讨论。

二、数控编程技术的发展

（一）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,从数控机床诞生不久,便产生了用计算机进行辅助数控编程。综观数控编程技术的发展历程,大致经历了以下几个阶段:

第一阶段,自20世纪50年代初期至20世纪70年代初期,开发并发展了以语言编程为基础的APT自动编程语言。APT语言于20世纪50年代初期由美国麻省理工学院开发研制,到20世纪60年代美国麻省理工学院组织各大飞机公司在APT的基础上又共同开发研制了APT-Ⅱ、APT-Ⅲ,20世纪70年代在APT-Ⅲ的基础上进一步发展成APT-Ⅳ、APT-AC。随后,欧洲及日本等国在APT语言的设计思想基础上,开发出如ADAPT、EXAPT、HAPT、MODAPT、HZAPT等适合不同数控机床不同坐标数量的多种自动编程语言。

第二阶段,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、绘图和数控编程一体化功能的自动编程系统CADAM,由此标志着一种新型的计算机自动编程方法的诞生。1978年由法国达索飞机公司开发研制出具有三维设计、分析和数控编程一体化功能的CATIA自动编程系统;1983年美国UnigraphicsSolutions公司开发研制出UGⅡCAD/CAM系统,这也是目前应用最广泛的CAD/CAM软件之一。从20世纪80年代以后,各种不同的CAD/CAM自动编程系统如雨后春笋般地发展起来,如MasterCAM、SurfCAM、Pro/Engineer等。

自20世纪90年代中期以后,数控自动编程系统更是向着集成化、智能化、网络化、并行化和虚拟化方向迅速发展,标志着更新的自动编程系统的发展潮流和方向。

(二) 数控编程技术的发展趋势

综观国内外数控自动编程系统的发展过程及现代化机械制造产业对自动编程技术不断提出新的要求,今后的发展趋势可能向着如下几个方面发展:

1. 发展模块化的多功能编程系统

这种编程系统不仅能对任意平面零件及复杂曲面进行编程,而且具有图形处理、工艺处理(自动确定工艺参数)能力,同时还可利用图形模拟,并提供与CAD接口以及与数控系统直接通信的功能。这种系统的显著特点是它由许多功能模块组成,用户可根据自己的实际情况选择其中需要的模块组成系统,满足具体的要求。这些模块包括车削、铣削、多坐标联动加工、激光及线切割加工等,同时还有图形输入、人机对话、故障诊断等模块。增加模块即可扩展功能。

2. 发展具有完善的工艺处理功能的自动编程系统

目前的自动编程系统主要解决了几何参数计算问题,从而代替了大量而繁琐的手工计算,绝大多数不具备工艺处理能力。实际上加工中有大量的工艺问题需要解决,如选择毛坯、确定工艺路线和工艺参数、选择刀具等,这些工作现在多由操作者的经验确定,结果往往不是最佳切削状态,这直接影响加工效率和加工

质量。因此,发展具有完善的工艺处理功能的自动编程系统是十分必要的。

3. 图形自动编程系统

这种系统的主要特点是以图形要素以及对话为输入方式,而不需要使用数控语言编制源程序。从加工零件的图形再现,进给轨迹的生成,加工过程的动态模拟直到生成加工程序都是通过屏幕菜单驱动的,如前面提到的 MasterCAM、Surf-CAM、Pro/Engineer 软件等。这种系统具有形象、直观、高效及容易掌握等优点,甚至有些数控系统都可以具备这样的功能,缺点是处理复杂零件比较困难。

思考题与习题

- 1-1 数控加工零件的特点是什么?与普通机床加工有何区别?
- 1-2 简述数控编程的内容和步骤。
- 1-3 手工编程和自动编程各自的特点是什么?
- 1-4 常用的自动编程方法有几种?各有何特点?
- 1-5 数控编程技术的发展趋势是什么?

第二章 数控机床加工程序编制基础

第一节 数控编程中的有关标准和代码

在机床数字控制技术的应用和发展过程中，开发出了各种性能不同的数控系统。而各系统根据自身的需要和特点，在信息输入代码、程序段格式、坐标系统及加工指令等方面，各自均有自己的标准和规定。为了满足设计、制造、维修和普及的需要，有必要对各独立标准进行统一规定。目前已逐步形成两种国际通用标准，即国际标准化组织 ISO (International Standard Organization) 标准和美国电子工业协会 EIA (Electronic Industries Association) 标准。为适应我国的国情，机械工业部根据 ISO 标准制订了 JB3050—82《数字控制机床用七单位编码字符》、JB3051—82《数字控制机床坐标和运动方向的命名》、JB3208—83《数字控制机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 代码》。但是，需要说明的是，由于各个数控机床生产厂家使用的数控系统不同，其采用的代码、指令、程序段格式目前尚未完全统一。因此，在编制程序时必须严格按所使用的数控机床说明书中规定的格式、代码进行。

一、穿孔纸带及代码

数控机床的信息读入方式有两种：手动输入和自动输入。因此作为数控机床信息载体的控制介质也有两种：一类是手动输入时的键盘、波段开关、插销板等；另一类是自动输入时的穿孔纸带、磁带、磁盘等。目前使用最普遍的控制介质是穿孔纸带。因为数控系统多以二进制进行运算，而穿孔纸带上的穿孔与不穿孔正好代表着二进制的“1”和“0”两种状态。通过纸带上每行不同位置孔的组合，可以获得不同的信息。同时，因为穿孔纸带具有不易受磁场等因素的影响，便于长期保存和重复使用等优点。

尽管控制介质的种类很多，但它们的加工信息和代码是一样的。为便于理解和说明，下面以穿孔纸带为例说明加工信息的格式和代码。穿孔纸带形式如图 2-1 所示。

穿孔纸带在宽度方向有 8 个孔位，即信息孔位。在信息孔位的第 3 位和第 4 位之间有一个小孔，称为同步孔或中导孔。根据 8 个信息孔位上有孔和无孔就可以产生不同的信息，用来记录数字、字母或符号。沿着读带方向每一排孔表示一个信息代码，同步孔是用来产生读带的同步控制信息符号。

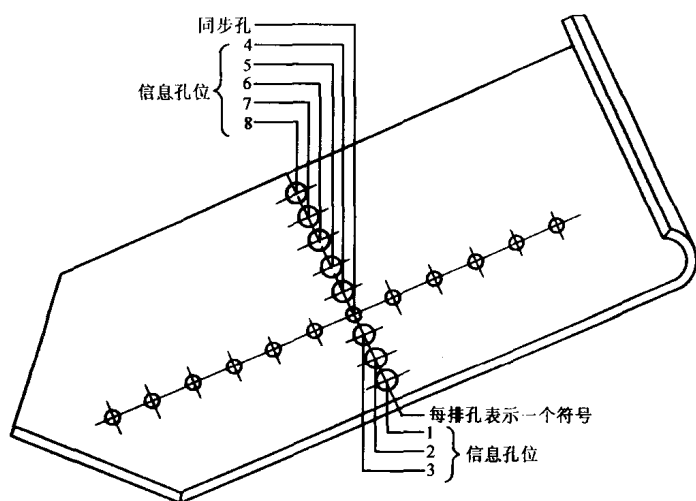


图 2-1 穿孔纸带

穿孔纸带的格式和代码已标准化，常用的有两种：ISO 代码和 EIA 代码，如表 2-1 所示。

表 2-1 数控机床用 ISO 和 EIA 编码表

ISO 代码 8 7 6 5 4 3 2 1	EIA 代码 8 7 6 5 4 3 2 1	代 码 符 号	意 义
○ ○ ○	○ ○	0	数字 0
○ ○ ○ ○	○ ○	1	数字 1
○ ○ ○ ○	○ ○	2	数字 2
○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	3	数字 3
○ ○ ○ ○	○ ○	4	数字 4
○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	5	数字 5
○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	6	数字 6
○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	7	数字 7
○ ○ ○ ○ ○	○ ○	8	数字 8
○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	9	数字 9
○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	A	绕着 X 坐标的角度
○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	B	绕着 Y 坐标的角度
○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	C	绕着 Z 坐标的角度
○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	D	第三进给速度功能
○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	E	第二进给速度功能
○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	F	进给速度功能
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	G	准备功能
○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○	H	ISO 永不指定 (可作特殊用途): EIA 输入 (或引入)
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	I	ISO 沿 X 坐标圆弧起点对圆心值, EIA 不用
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	J	ISO 沿 Y 坐标圆弧起点对圆心值, EIA 未指定
○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	K	ISO 沿 Z 坐标圆弧起点对圆心值, EIA 未指定

(续)

ISO 代码							EIA 代码							代 码	意 义		
8	7	6	5	4	3	2	1	8	7	6	5	4	3	2		1	符 号
○	○				○	○		○			○		○	○		L	ISO 永不指定, EIA 不用
	○		○	○	○			○	○		○	○				M	辅助功能
	○		○	○	○	○		○			○	○	○			N	序号
○	○		○	○	○	○		○			○	○	○			O	不用
	○	○		○				○	○		○	○	○	○		P	平行于 X 坐标的第三坐标
○	○		○		○			○	○	○	○					Q	平行于 Y 坐标的第三坐标
○	○		○		○			○		○			○			R	平行于 Z 坐标的第三坐标
	○	○		○		○	○	○	○		○	○		○		S	主轴转速功能
○	○		○	○	○			○		○		○	○			T	刀具功能
	○	○		○	○	○		○	○		○	○				U	平行于 X 坐标的第二坐标
	○	○		○	○	○		○		○	○		○			V	平行于 Y 坐标的第二坐标
○	○		○	○	○	○		○		○	○	○				W	平行于 Z 坐标的第二坐标
○	○		○	○	○			○	○		○	○	○	○		X	X 坐标方向的主运动
	○	○	○	○		○		○	○	○	○					Y	Y 坐标方向的主运动
	○	○	○	○		○		○	○	○		○				Z	Z 坐标方向的主运动
		○	○	○	○			○	○		○	○	○	○		.	小数点
		○	○	○		○	○	○	○		○					+	加、正
		○	○	○	○			○		○						-	减、负
○	○		○	○		○		○		○	○	○				*	乘/星号
○	○		○	○	○	○	○	○		○	○		○			/	省略/除
○	○		○	○	○			○	○	○	○		○	○		,	逗号
○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○			=	等号
		○	○	○				○	○	○	○					(	左圆括号/控制暂停
○	○		○	○		○		○	○	○	○	○	○			)	右圆括号/控制恢复
		○		○	○			○	○	○		○	○			\$	单元符号
		○	○	○	○			○	○	○		○				:	选择(或计划)倒带停止/对准功能
			○	○		○		○		○						LF 或 CR	程序段结束
			○	○		○		○	○	○	○	○	○			Tab 或 HT	制表(或分隔符号)
○	○			○	○		○			○	○	○	○			%/stop	ISO 程序开始/EIA 纸带倒带停止
○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		Delete	注销
○	○			○						○	○					Space	空格
				○												NUL	空白纸带
				○		○										BS	反绕(退格)
				○	○	○										EM	载体终了

ISO 代码由 7 位二进制数和 1 位偶校验位组成。7 位二进制数中有孔表示二进制数的“1”，无孔表示二进制数的“0”。ISO 代码的特点是每一排孔的孔数必须是偶数，即当 7 位二进制数的孔数为偶数时，则第 8 列的偶校验位不穿孔。如数字代码“0”在第 5 列和第 6 列穿孔，孔数是偶数，所以偶校验位上不穿孔。而数字代码“1”在第 1 列、第 5 列和第 6 列穿孔，孔数是奇数，所以在第 8 列

偶校验位上穿孔补偶。由表 2-1 可以看出, ISO 代码孔有一定的规律性, 如所有的数字 0~9 的代码需在第 5 列和第 6 列上穿孔; 字母 A~Z 的代码需在第 7 列上穿孔; 符号代码需在第 6 列上穿孔等。这些规律为输入数据及数控装置的逻辑设计均带来了方便。

EIA 代码由 7 位二进制数和 1 位奇校验位组成。与 ISO 代码不同的是每排孔均为奇数, 第 5 列为奇校验孔位。即当其它孔位上的孔数为偶数时, 第 5 列的奇数校验位穿孔补奇。

EIA 代码中除“CR”字符外, 在第 8 列上均不穿孔, 并且由于 EIA 代码每排孔的孔数必须为奇数, 因此, EIA 代码的容量为 $2^6 = 64$; 而 ISO 代码为偶数孔, 所以 ISO 代码的容量为 $2^7 = 128$ 。由此可见, 与 EIA 代码比较, ISO 代码具有信息量大、可靠性高、与数据输入系统一致等优点。

补偶和补奇的目的是为了穿孔纸带读入时进行校验, 当 ISO 代码出现奇数孔或 EIA 代码出现偶数孔时, 控制系统就会报警。正是由于补偶和补奇是当作校验穿孔纸带用的, 它并不是代码的组成部分, 故 JB3050—82 标准称为《数字控制机床用七单位编码字符》。

二、程序结构和程序段格式

(一) 程序结构

一个完整的加工程序由程序号、程序的内容和程序结束三部分组成。为便于理解加工程序的构成, 下面以图 2-2 所示零件在数控机床上进行加工所编制的加工程序为例说明程序的构成。

图 2-2 中所示零件的加工过程和走刀路线为: ①刀具由起始点快速进给至距工件坐标系的坐标 $X = 21\text{mm}$ (直径值)、 $Z = 0$ 处; ②刀具以工作速度 $F = 100\text{mm/min}$ 车右端面; ③刀具退回车外圆 $\phi 20$; ④车 $\phi 30$ 端面; ⑤车 $\phi 30$ 外圆; ⑥车 $\phi 40$ 端面; ⑦刀具返回刀具起始点加工结束。

加工程序:

O0001

N01 G90 ;

N02 G92 X40 Z20;

N03 G00 X21 Z0;

N04 G01 X0 F100;

N05 G00 Z1;

N06 X20;

图 2-2 数控机床上加工阶梯轴

N07 G01 Z - 30 F200;

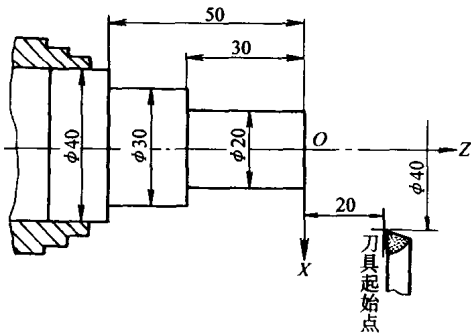
N08 X30;

N09 Z - 50;

N10 X40;

N11 G00 X40 Z20;

N12 M02



该程序由 12 个程序段组成。程序的开头 00001 为程序编号，便于从数控装置的存储器中检索。程序编号由地址符 O 或 P 和跟随地址符后面的 4 位数字组成。程序内容由程序段号 N01 ~ N11 中的内容组成。程序结束是以程序结束指令 M02 或 M30 作为整个程序结束的符号，来结束程序。程序结束指令应位于最后一个程序段。

(二) 程序段格式

数控加工程序是由若干程序段组成的，而程序段是由若干程序字组成的。程序字包括由英文字母表示的地址符和跟随其后的数字、字符组成。程序段格式是程序段的书写规则。常用的程序段格式有三种：

1. 字地址程序段格式

这是目前最常用的程序段格式。这种格式是以地址符开头后面跟随数字或符号组成程序字，每个程序字根据地址来确定其含义，因此不需要的程序字或与上一程序段相同的程序字都可以省略。各程序字也可以不按顺序。一个程序段由若干程序字组成。

例如下面表示两个不同含义的程序字：

X	—	30	G	01
地址符	符号(减号)	数字	地址符	数字

这种格式虽然增加了地址译码电路，但程序直观，便于检查，可缩短穿孔纸带，广泛用于车、铣等数控机床。

通常，字地址程序段中程序字的顺序及形式为：

N_G_X_Y_Z_F_S_T_M_

表示地址符的英文字母含义，如表 2-2 所示。

表 2-2 地址符

功 能	地 址	意 义
程序号	O、P	程序号、子程序号的指令
顺 序 号	N	程序段号
准备功能	G	指令动作方式（快进、直线、圆弧等）
坐标字	X、Y、Z	坐标轴的移动指令
	A、B、C	附加轴的移动指令
	U、V、W	
进给速度	F	进给速度指令
主轴功能	S	主轴转速指令
刀具功能	T	刀具编号
辅助功能	M、B	主轴、切削液的开/关、工作台分度等

2. 固定顺序程序段格式

例如：

007	01	+03500	-12600	15	30	02	LF
N	G	X	Y	F	S	M	