



数控机床技术应用

Shukong Jichuang Jishu Yingyong

◎主 编 崔元刚 李 刚 张江波

数控机床技术应用

主 编 崔元刚 李 刚 张江波
副主编 李 科 李杰峰 赵艳平 彭亚娜

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统介绍了数控技术的发展动向及应用实例。全书以计算机数控为主,在介绍数控技术基本原理的同时重点介绍它的实际应用及应用方法,内容全面、系统,集理论与应用于一体。

本书可作为高等职业技术学院机电类专业教材,也可作为大中专院校有关专业的教材和参考书,还可供从事数控技术、数控机床设计和研究的工程技术人员、行业管理人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控机床技术应用 / 崔元刚, 李刚, 张江波主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2014. 6

ISBN 978 - 7 - 5640 - 9344 - 0

I. ①数… II. ①崔… ②李… ③张… III. ①数控机床 - 高等学校 - 教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 121422 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 26

字 数 / 523 千字

版 次 / 2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

责任校对 / 郑兴玉

定 价 / 54.00 元

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

数控加工技术是先进制造技术的基础与核心，数控加工设备——数控机床是工厂加工制造自动化的基础，它具有广阔的应用前景。在加工企业中，数控机床的使用越来越普及，已成为机械工业生产的关键设备，目前企业缺乏大量训练有素的数控机床专业应用型人才。数控机床的实践应用要求使用人员，需经过良好的专业培训，熟悉数控机床原理及机床规格、功能，熟悉数控系统功能及主要参数，熟练掌握数控编程技术，能熟练地操作数控机床（包括工件装夹调整、刀具测量调整、机床调整），能熟练地对机床进行日常维护保养，熟悉数控加工工艺设计、编程和生产管理，掌握数控设备常见故障的诊断与维修技术，能从事数控设备的管理工作等。

根据企业实践应用需求，从数控技术应用教育的角度，我们可以把数控机床应用基本知识分为三大部分：（1）数控机床和数控程序基本知识；（2）数控加工工艺基本知识；（3）具体类型数控机床编程和应用实践。

本书涵盖了上述的基本知识要求，形成了较为完整的数控机床技术应用的知识体系。本书第一部分包括：数控机床的概述、加工程序基础、进给运动及控制和主运动及控制，简要介绍数控技术的基本知识。第二部分包括：数控加工的装夹、数控加工的刀具和数控加工工艺概述，力求清楚地介绍数控加工工艺的基本知识。第三部分包括：数控车床应用、数控铣床应用和数控加工中心应用，考虑到学习者初学的特点，用较多的编程实践实例，详尽地讲述数控机床对典型结构加工工艺及编程，让学习者在学习过程中更能贴近实际，更容易做到理论联系实际，避免空洞。本书具有较强的理论性、实践性，对指导数控机床加工应用实践具有非常实用的价值。

本书作为学习数控专业的入门教材，注意到初学者的接受能力和知识结构特点，内容由已知到未知，由浅入深，力求能容易地被学习者理解，符合学习者的认知习惯；力求消除专业书籍普遍存在的枯燥乏味的感觉，让学习者产生专业兴趣；力求收集最新的数控技术成果，注意舍弃“繁难偏旧”的知识；力求知识较新，同时编进了编者多篇专业论文的精华内容，具有一定的独特见解。

在知识介绍时，注意运用典型，选择企业应用最广的数车、数铣、加工中心作为典型机床展开数控技术的基本知识介绍，选择比较先进的和应用广泛的 FANUC 系统展开数控编程基本知识的介绍，针对性强，容易把知识讲透，避免广而不精，避免出现学习者学习过后

什么都知道一点，但什么都不太清楚的情况；在章节内容安排时，注意条理清晰，具有模块化的特点。

本书由多年处在教学和实践一线的“双师型”教师编写，所有编者均具有高级技师资格和比较丰富的教学实践经验，熟悉学习者的认知特点。本书由崔元刚、李刚、张江波任主编，李科、李杰峰、赵艳平、彭亚娜任副主编，全书由崔元刚统稿。

由于编写时间有限，难免有误，不足之处敬请批评指正。

编者

目 录

第一章 数控机床概述	(1)
第一节 数控机床与传统普通机床的比较	(1)
第二节 数控与数控机床	(5)
第三节 计算机数控系统的概述	(11)
第四节 数控机床的分类及典型数控机床简介	(18)
第五节 CNC 机床坐标系的规定及工件坐标系	(27)
第二章 加工程序基础	(35)
第一节 数控加工程序及指令字简介	(35)
第二节 程序段和加工程序的结构格式	(46)
第三节 有关进给运动的加工程序指令	(53)
第四节 刀具补偿指令及其他的 G 指令	(67)
第三章 进给运动及控制	(75)
第一节 插补原理	(75)
第二节 进给伺服系统简介及开环进给伺服系统	(84)
第三节 闭环进给伺服系统	(92)
第四节 进给系统的机械部分	(103)
第四章 主运动及控制	(117)
第一节 主传动系统要求及主轴支承	(117)
第二节 主轴驱动及主轴控制	(121)
第三节 主轴的分段无级变速控制	(125)
第四节 主轴准停、自动换刀机构、同步运行、恒线速度	(130)

第五章 工件的装夹	(138)
第一节 工件的定位原则和定位方式	(138)
第二节 工件的定位方法和定位基准的选择	(145)
第三节 工件的夹紧	(155)
第四节 数控车床常用夹具介绍	(159)
第五节 数控铣床、加工中心的工件装夹	(166)
第六章 数控刀具	(178)
第一节 数控加工对刀具的要求	(178)
第二节 刀具基本几何参数及选用	(182)
第三节 数控加工刀具的材料	(190)
第四节 可转位刀具	(202)
第五节 数控工具系统	(211)
第七章 数控加工工艺概述	(222)
第一节 数控加工工艺规划	(222)
第二节 数控加工工艺过程概述	(229)
第三节 零件图样的工艺分析	(235)
第四节 安全刀具路径的拟定	(240)
第五节 刀具切削用量的选用	(248)
第八章 数控车床应用	(257)
第一节 数控车床概述	(257)
第二节 数控车床的刀具选择	(263)
第三节 FANUC 0-TC 系统功能指令及应用	(272)
第四节 多重复合循环及其应用	(278)
第五节 数控车床加工实例	(289)
第九章 数控铣削应用	(297)
第一节 适合数控铣削的零件及机床选用	(297)
第二节 数控铣削刀具及铣削加工特点	(300)
第三节 平面铣削及其编程	(310)
第四节 立铣刀的铣削工艺及编程	(314)

第五节	型腔铣削	(323)
第六节	数控铣削系统简化编程的方法和指令	(329)
第七节	数控铣削加工综合加工实例	(338)
第十章	加工中心应用	(348)
第一节	加工中心的自动换刀及典型换刀程序	(348)
第二节	数控铣床、加工中心的孔加工刀具	(359)
第三节	孔加工固定循环	(367)
第四节	典型孔结构的加工工艺及编程	(379)
第五节	数控铣床、加工中心对刀及对刀方案合理性分析	(389)
参考文献		(403)

第一章

数控机床概述

第一节 数控机床与传统普通机床的比较

一、数控机床与传统普通机床的相似性

金属切削机床是机械制造业的主要加工设备，是制造机械零件的机器，它用刀具切削方法将金属毛坯加工成机械零件。

金属切削机床的加工，总是在机床上安装好刀具与工件，使机床、刀具、工件形成一个切削加工的工艺系统，由机床提供运动动力，让刀具与工件之间产生相对运动、相互作用，从而使刀具从工件表面上切去多余金属，最终符合零件图的要求。

刀具和工件间的相对运动包括主运动和进给运动。

(1) 主运动

使工件与刀具产生相对运动，是实行切削的最基本的运动——提供切削力的运动，称为主运动。如图 1-1-1 所示外圆车削时工件的旋转运动和图 1-1-2 所示铣削时刀具的旋转运动。

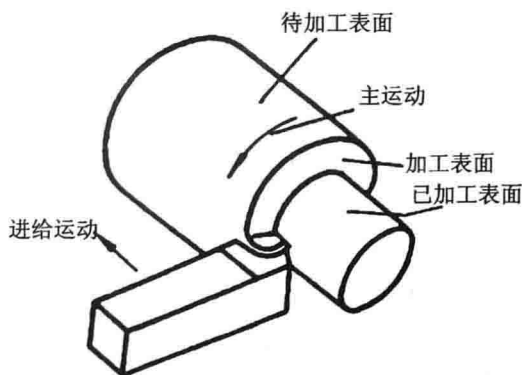


图 1-1-1 车削的主运动和进给运动

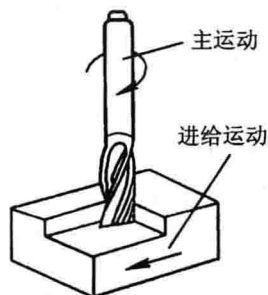


图 1-1-2 铣削的主运动和进给运动

(2) 进给运动

不断地把被切削层投入切削，以逐渐切削出整个工件表面的运动——形成工件形状轮廓的运动，称为进给运动。

用于金属切削的数控机床，属于金属切削机床，如数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床等，它们的金属切削加工同样运用了上述基本的金属切削原理，并与相应的普通车床、铣床、镗床、钻床等的加工工艺相似。

数控机床与同类的普通机床在机械结构上也十分相似。数控机床和普通机床一样，要有实现主运动的部件，为了适应各种不同的加工要求，主运动应能在一定的范围内进行变速，而且还要有足够的驱动功率；要有机床进给系统的进给驱动设备，机械传动结构，包括引导和支撑执行部件的导轨、丝杠螺母副、齿轮齿条副、蜗杆蜗轮副、齿轮或齿链副及其支撑部件等。

把 CNC 加工和传统加工的过程进行比较，它们的零件工艺分析和加工一般都包括如下步骤。

①分析研究零件图；②选择最适合的加工方法；③确定安装方法（工件夹紧）；④选择切削刀具；⑤确定主轴转速和进给速度；⑥加工工件。

可见，CNC 加工与传统加工的工艺分析及加工的一般步骤基本相同。

因此，我们首先应这样认识数控机床：它与普通机床在基本的金属切削原理上相同；与普通机床工艺可行性能相似；与同类的普通机床在机械结构上相似；它是在普通机床的基础上发展起来的机床；它在一定程度上沿袭了普通机床加工的工艺分析和加工方法。注意对数控机床与普通机床的相似性的认识，对理解数控机床和学好数控机床的技术应用将会有很大的帮助。

二、数控机床相对传统普通机床的区别和特点

为了说明数控机床相对传统普通机床的区别，这里先看一个简单的例子。

如图 1-1-3 所示的工件在普通立式铣床上加工，加工过程中参与者参与的工作如下。

①选择刀具；②将刀具装夹在机床主轴上；③夹紧刀具；④将工件置于夹具上；⑤夹紧工件；⑥根据 A 面建立基准面；⑦测量工作台要移动的距离；⑧选择工作台移动的方向；⑨移动工作台，使用刻度盘（如条件允许可使用数字显示器）监视工作台的移动，并考虑丝杠的间隙；⑩锁紧工作台；⑪根据 B 面建立第二基准面；⑫测量工作台要移动的距离；⑬选择工作台移动的方向；⑭移动工作台，使用刻度盘（如条件允许可使用数字显示器）监视工作台

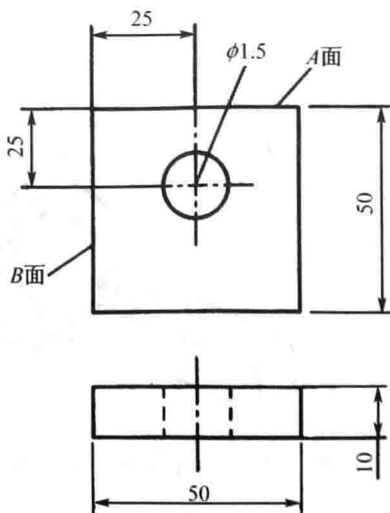


图 1-1-3 工件图样

的移动,并考虑丝杠的间隙;⑮锁紧工作台;⑯选择合适的主轴转速;⑰选择主轴旋转的方向;⑱选择合适的进给量;⑲启动主轴电机;⑳启动冷却液;㉑开始进给,加工圆孔;㉒停止进给,退刀;㉓关闭冷却液;㉔关闭主轴电机;㉕卸下工件;㉖测量工件的尺寸以检验加工精度。

在传统加工中,机床操作员用手动操作机床,并移动切削刀具来加工所要的零件。手动机床的设计提供了许多手动装置,例如操纵杆、手柄、变速箱和刻度盘,操作人员也要针对批量零件中的每个零件重复进行同样的机床操作。可以看出,即使是最简单的加工过程也需要做出大量的选择,而这些选择的准确性会影响到实际操作。人们不可能总是完全相同地重复每个过程并始终以同样的业绩水平工作,反复的工作会让人精疲力竭,操作人员有状态良好和状态不佳的时候,这些人为因素在加工零件过程中引起的结果是很难预测的,较多的人为因素造成传统加工方法加工出的同批零件的一致性不好。

与传统手工加工相比,数控加工是由计算机控制的自动加工。自动加工时,它不需要任何操纵杆、刻度盘或手柄,不需要数控操作人员对每一个机床加工动作做选择,在编制程序时,就已经做出选择了。通过向机床控制器输入的指令来实现选择,一旦零件程序经证实无误,就可以反复使用多次,而且总是获得一致的结果。

以上可以看出数控加工与普通加工相比的最明显的好处是自动化控制可解放人力,以及批量生产时产品一致性好。当然这个特点在传统加工时也不是没有,如用凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备的自动专用机床也具备这个优点,但这样的自动化与数控加工的自动化有很大的区别(刚性与柔性的区别,下面将有叙述)。数控加工与普通加工或传统的自动加工相比的优势还不仅仅限于此,它还有更多的特点。

①柔性好。传统的通用机床,虽然有相当的适应性,但效率较低;传统的专机,虽然效率很高,当改变加工零件时,需更换凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备,而这种更换是很不方便的,需比较长的时间和很高的成本。传统的自动加工在改变加工零件时呈现很强的“刚性”,很难适应市场经济下的激烈竞争带来的产品频繁改型。对于数控机床,数控加工只需更换零件加工的数控程序,数控机床的适应性非常强,生产准备周期短,有利于机械产品的迅速更新换代,效率高,呈现很强的“柔性”。因此数控机床能很好地适应市场竞争。在数控机床上加工出的零件比在传统机床上加工的零件精度高,产品质量稳定,加工效率高。

②适合于复杂型面零件的加工。由于数控机床能实现多个坐标的联动(同时有多个方向的进给相互协调运动),数控加工能精确加工复杂型面的工件,而这些复杂型面在普通机床上很难加工。对于精度要求高、复杂型面的中小批量零件,采用数控加工能提高零件的加工质量,大大缩短加工周期。如20世纪70年代,工具和模具制造中的复杂型面的轮廓通常用数控铣削加工,进入20世纪80年代后,五轴联动的铣床在复杂型面加工中得到了广泛的应用,铣削后的工件轮廓已经十分接近工件的最终形状。目前,数控高速铣削在工具和模具

制造中得到了广泛的应用。模具复杂型面可以在淬火后铣削成形,从而可避免在铣削后再淬火而引起变形,这样既简化了加工过程,又可以提高工件精度。

③高速化、高精化、高效率。数控加工具有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能,可以采用较大的切削用量,而且无需工序间的检验与测量,因此,数控加工可有效地节省加工时间和辅助时间。数控机床的主轴转速及进给范围都比普通机床大,生产效率比普通机床可提高3~4倍,甚至更高。目前,数控机床的最高进给速度可达到100 m/min以上,最小分辨率达0.01 μm ,数控机床有较高的加工精度,一般在0.005~0.01 mm之间。数控机床的加工精度不受零件复杂程度的影响,机床传动链的反向齿轮间隙和丝杠的螺距误差等都可以通过数控装置自动进行补偿,定位精度高,同时还可以利用数控软件进行精度校正和补偿。数控加工已广泛应用于高速切削、精密和超精密加工等先进制造技术领域。

④工艺复合,一机多用。普通机床加工结构复杂的零件时,一般需用多套工装夹具,经过多道工序、多次定位装夹才能完成加工任务,这导致加工零件的一致性差,加工效率低,所需工装数量多,生产准备工作量大,生产周期长。数控加工中心一般带有可以自动换刀的刀架、刀库,换刀过程由程序控制自动进行,因此,工序比较集中。对于带自动换刀的数控加工中心,有时在一次装夹的情况下,几乎可以完成零件的全部加工工序,如在一次装夹下能完成镗、铣、钻、铰、攻螺纹等多种加工,一台数控机床可以代替数台普通机床。因此,数控加工具有复合性特点。传统加工工艺下的一道工序在数控加工中已转变为一个或几个工步,可以说数控加工把传统工艺中的工序“集成”了。这使得零件加工所需的专用夹具数量大为减少,零件装夹次数大大减少,节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间,还可以减少机床占地面积,节约厂房,既省时间又省人力。

⑤对工装(刀具、夹具、量具、辅具等)提出了更高的要求。在数控加工中,工件往往只需几道工序就能完成加工任务,因此,传统加工因工序多、流转时间长而可以分批准备的刀具、夹具、量具、辅具等工装,在数控加工时要一次备齐。另外,数控加工对刀具材料及其合理选择也提出了较高要求,实践表明,如果数控加工中心的刀具质量不高或选用不当,往往会造成刀具破损或磨损过快,需经常更换刀具,降低加工质量和加工效率。

⑥工艺准备增加新内容。数控加工的工艺准备工作不仅包含了传统加工工艺准备工作的全部内容,还增加了编制零件数控加工程序、对刀、试切、调试程序等许多新内容。

⑦需计量的尺寸、精度要求增多。在传统加工工艺下,工件的许多位置尺寸、精度是靠专用夹具保证,而专用夹具是通过定期检测来反复确认它们能否满足工艺要求。因此,在加工过程中,工件的这些位置尺寸、精度是不需计量检测的。但在数控加工工艺中,绝大多数位置尺寸、精度要求都是靠机床的功能和定位精度来保证的,需通过检测计量来确认,以决定加工程序乃至工艺方案的修改,所以,数控加工工艺规程中增加了较多需计量、检测的尺寸和形位公差。

⑧对数控加工技术人员的业务素质要求高。在传统工艺中,对于每道工序需分几步来加

工,用哪几种刀具、采用多大的切削用量等问题,一般由操作人员来确定,无需工艺人员在工艺规程中写明,零件的加工质量除靠工装保证外,主要靠操作人员的责任心和技术水平。而数控加工时,除了依靠机床功能外,还依靠工艺规程、加工程序编制的正确与合理。对于零件中曲面部分加工程序的编制还必须借助专门的软件在微机或工作站上完成,因此工艺人员不仅要掌握机械制造专业知识,还要掌握计算机的使用和数控编程知识与技能,并有较丰富的加工经验。

数控技术的产生并不意味着所有手动机床就会消失,有时传统加工方式比数控加工方式更适当。例如简单的单件生产在手动机床上加工要比在 CNC 机床上加工更高效,某些类型的加工操作用手动或半自动加工要比用数控加工有利。因此 CNC 机床并不能够完全代替手动机床。在许多实例中,某种加工是否在 CNC 机床上完成,取决于所加工的零件数量、复杂程度、质量要求等因素。有时在一些零件加工的工艺路线安排时,把普通机床加工和数控机床加工有效地组合起来,发挥各自的特点,能达到更好的加工效果。

现在,通过上面的论述,我们不仅注意到数控机床与普通机床具有相似性,而且认识到数控机床优越的加工性能,以及计算机数控技术相对传统生产工艺的巨大突破。这些由数字控制的机床甚至可以在无人监控的情况下长时间工作,它们适应能力很强,可迅速适应各种类型零件的生产加工,在普通机床上操作人员可以实现的加工功能一般均可由数控程序在数控机床上实现。现在又产生了新的疑问:什么是数控?什么是数控技术?数控机床如何进行加工?这些将在下一节进行讨论。

第二节 数控与数控机床

一、数控机床的产生和发展

随着科学技术的发展,机械产品的结构越来越合理,性能、精度和效率日益提高,因此对加工机械产品零部件的生产设备——机床也相应地提出了高性能、高精度与高自动化的要求。大批量零件的加工,如汽车、拖拉机与家用电器的零件的加工,为了解决高产优质的问题,大多采用专用的工艺装备、专用自动化机床或专用的自动生产线和自动化车间进行生产。但是应用这些专用生产设备,生产准备周期长,产品改型困难,因而使新产品的开发周期加长。在机械产品中,单件与小批量产品占到 70% ~ 80%,这类产品如果采用通用机床加工,当产品改变时,机床与工艺装备均需作相应的变换和调整,而且通用机床的自动化程度不高,基本上由人工操作,难于提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面轮廓组成的复杂零件,只能借助靠模和仿形机床,或者借助画线和样板用手工操作的方法来加工,加工精度和生产效率受到很大的限制。

为了满足单件、小批量、特别是复杂型面零件加工的自动化并保证质量的生产要求,人

们一直在寻找新的加工工具。

采用数字控制技术进行机械加工的思想,最早在 20 世纪 40 年代初提出。1952 年美国 PARSONS 公司与麻省理工学院 (MIT) 合作研制了第一台三坐标数控铣床,它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的技术成果,是一种新型的机床,可用于加工复杂曲面零件。该铣床的研制成功是机械制造行业中的一次技术革命,使机械制造业的发展进入了一个新的阶段——数字控制机床制造阶段。

从第一台数控机床问世至今,数控技术的发展非常迅速,几乎所有品种的机床都实现了数控化。数控机床的应用领域也从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等民用机械制造行业。此外,数控技术也在绘图机械、坐标测量机、特种加工等机械设备中得到了广泛的应用。特别是相继出现的自动换刀数控机床(即加工中心, Machining Center)、直接数字控制系统(即计算机直接控制系统, Direct Numerical Control, DNC)、自适应控制系统(Adaptive Control, AC)、柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)、计算机集成(综合)制造系统(Computer Intergrated Manufacturing System, CIMS)等,进一步说明,数控机床已经成为现代机械制造生产系统实现设计(CAD)、制造(CAM)、检验(CAT)与生产管理等全部生产过程自动化的基本设备。

二、数控、数控机床及加工程序的概念

1. 数控和数控机床概念

通过以上的介绍,了解到:数控机床是一种具有高质、高效、高度自动化、高度灵活性的、适合精度要求高的、形状复杂的零件加工的工具;它将电子、计算机等技术与传统机床技术相融合,将精密机械技术、计算机技术、微电子技术、检测传感技术、自动控制技术、接口技术等,在系统工程的基础上有机地综合应用、优化并赋予零件加工功能和性能的新型的机电一体化产品。总之数控机床可初步理解为:传统机床的机械加工运动由数字控制技术自动控制实现,要对数控机床有进一步的理解。

数字控制(Numerical Control, NC)是一种自动控制技术,国家标准(GB 8129-87)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”,简称数控(NC)。用计算机控制加工功能,实现数字控制,称计算机数控(Computerized Numerical Control, CNC)。

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是采用了数控技术的机床。国际信息处理联盟第五技术委员会对数控机床作了如下定义:“数控机床是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用代码,或其他符号编码指令规定的程序”。这是两个重要的概念,应有清楚的理解,否则将影响到后面的学习。上述的概念可能一下子难以接受,但应该注意到这几个词汇:数字化信号;计算机;程序控制系统;使用代码、编码指令规定的程序。下面一个一个地介绍。

计算机是数控机床的最高“领导”或“大脑”,它负责指挥机床的一切加工动作。

计算机之所以能有序地指挥机床的一切加工动作是因为它具有“专业的领导经验”——存储于它“大脑”中的程序控制系统，数控机床的程序控制系统是一种专门用于处理机床加工运动信息和有序控制机床加工运动的软件。

由计算机自动控制的数控机床加工运动应符合人的加工意图，加工前，人的加工意图应以计算机能够接受的形式——数字化电信号输入到计算机（数字化信号通常是一种二进制数，之所以用二进制数的形式，是因为它能容易而又准确地转变为数字化电脉冲信号，计算机内部的电路是典型的数字脉冲电路）。可以这样简单地认为：人把加工意图告诉计算机，委托计算机指挥控制机床加工。

人的加工意图的描述形式，最好既能容易地转变成二进制数，通过转换，方便地为计算机所接受，又方便人表达加工意图，同时为了方便交流，应用国际或国家标准统一规定的数字和文字编码方式——程序指令。如，程序指令“G01 X100 Y50 F200 LF”，其中“G01”表示刀具从当前起点到终点的进给轨迹是直线，“X100 Y50”表示进给轨迹的终点，“F200”表示进给速度是200 mm/min，LF表示这一段指令动作的结束。用这样的形式指令可以清楚地表达机床一系列的加工动作，形成表达人的加工意图的加工程序。

综上所述，机床数控的过程可以浅显易懂地说成：用加工程序的形式表达人的加工意图，通过某种方法又把加工程序转变成数字化信号（记录在控制介质上），再转变为数字电信号形式输入计算机，计算机根据它内存的数控系统软件明确人的加工意图并进行逻辑处理与计算，发出各种控制指令，协调机床的各功能部件有序地按人的加工意图进行加工运动。更为准确的说法如下。

按照国际或国家标准规定的数字和文字编码方式，把各种机械位移量、工艺参数（如主轴转速、切削速度）、辅助功能（如刀具变换、选择刀具、松夹工件、切削液开停等），用数字、文字符号（如加工程序）表示出来，经过程序控制系统，即数控系统的逻辑处理与计算，发出各种指令来控制机床的伺服系统或其他执行元件，实现规定要求的机械动作，使机床自动加工出所需的零件，自动完成加工任务。

2. 加工程序的概念

从上述可以发现：在被加工零件变换时，人只需改变控制的指令程序并输入计算机就可以实现新的控制，所以数控机床是一种灵活性很强，具有柔性的机床加工工具，它的加工运动规律随加工程序的改变而改变。

从上述内容还可以看出：数控机床的加工大致可分为两个阶段，一是加工程序的编制，实质是描述指令机床加工运动的规律；二是机床执行加工程序按指定的规律进行自动的加工。

运用数控机床加工，人的主要工作是编制加工程序。

在普通机床上加工零件时，应由工艺人员制订零件的加工工艺规程，在工艺规程中规定所使用的机床和刀具，工件和刀具的装夹方法，加工顺序和尺寸，切削参数等内容，然后由

操作人员按工艺规程进行加工。

在数控机床上加工零件前,除了上述工艺的准备性工作,还要进行加工程序的填写,将加工零件的加工顺序,工件与刀具相对运动轨迹的尺寸数据,工艺参数(主运动和进给运动速度,切削深度等)以及辅助操作(变速、换刀、冷却液开停、工件夹紧或松开等)等加工信息,用规定的文字、数字、符号组成的代码,按一定的格式编写成加工程序单,并将程序单的信息通过控制介质输入到数控装置,由数控装置(计算机)控制机床进行自动加工。从分析零件图纸到编制零件加工程序和制作控制介质的全部过程,称为程序编制。

程序编制可分为手工编程和自动编程两类。

手工编程时,整个程序的编制过程是由人工完成的。这就要求编程人员不仅要熟悉数控代码及编程规则,而且还必须具备机械加工工艺知识和数值计算能力。手工编程对于编制形状结构不太复杂或计算工作量不大的零件程序时,简便,易行。但是,对于许多复杂的冲模、凸轮、非圆齿轮等零件,则编程周期长,精度差,易出错。

据统计,一般手工编程所需时间与机床加工时间之比约为 30:1。因此,快速、准确地编制程序就成为数控机床发展和应用中的一个重要环节,计算机自动编程正是针对这个问题而产生和发展起来的。目前,CAD/CAM 一体化自动编程技术已广泛应用于现代企业中。

所谓自动编程,即计算机辅助编程(Computer Aided Programming),就是用计算机代替手工编程。首先,编程人员根据零件图和工艺要求,运用数控语言,把加工零件的有关信息,如零件的几何形状、尺寸、材料、加工要求、走刀路线、切削参数及刀具选择等因素编制成零件加工的源程序或用人机交互的方式把加工零件的有关工艺信息输入到通用计算机中,由预先存在计算机中的自动编程软件(编译程序)对其进行编译、计算和后置处理,自动生成加工程序单,通过计算机通信接口将加工程序直接传输给数控机床,予以调用。

但不管是自动编程还是手工编程,人对零件加工工艺的思考总是很难替代的,加工工艺的思考体现了人的智慧和灵活性,数控工艺的恰当决断应是编程的关键所在。

数控工艺决断,如数控切削加工过程中的工艺规程,工序、工步及走刀路线的安排,刀具及切削用量的确定,机床辅助动作的控制等,则是在加工之前,经过十分具体的预先设计并经优化处理后,安排在规范化的加工程序中。因此用加工程序控制的加工,其加工质量一般不会因操作者不同而受到影响。

加工工艺制定是否严密和加工工艺制定是否先进、合理,将在很大程度上关系到加工质量的优劣。由于数控加工过程是自动连续进行的,不能像传统加工(如车削中的切断)时,操作者可以适时地随意进行调整,因此,在编制加工程序时,必须认真分析加工过程中的每一个细小环节(如钻孔时,孔内是否塞进了切屑),稍有疏忽或经验不足就会导致错误,甚至酿成重大机损、人伤及质量事故。编程人员除了必须具备扎实的工艺基础知识和较丰富的实践经验外,还应具有细致、严谨的工作作风。

三、数控机床加工的基本原理

通过上面的学习我们知道：数控机床是一种通过加工程序编制，正确描述人的加工意图，然后把加工程序处理成数字信息输入到计算机，通过计算机控制机床运动，并使机床按给定的加工顺序和运动规律自动将零件加工出来的机床。那么数控机床是如何按程序指令进行加工的呢？

为了能通俗易懂地介绍数控机床的加工原理，先介绍人是如何实现一个动作的（图 1-2-1 为人对运动控制和计算机对运动控制的相似性比较）。

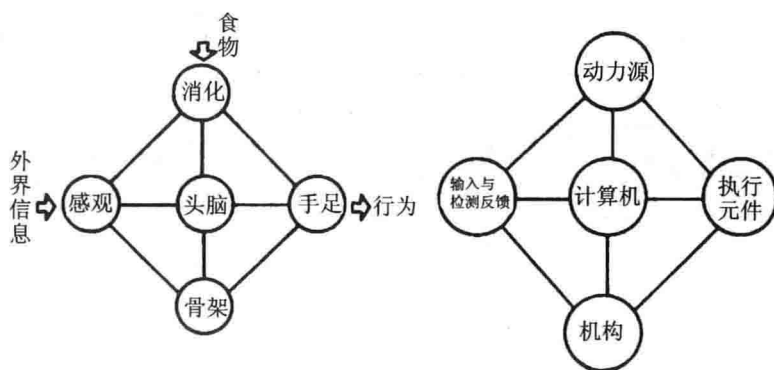


图 1-2-1 人对运动控制和计算机对运动控制的相似性比较

人的动作必须是大脑思维控制的动作，并不断受感官监视后反馈大脑处理，通过神经传输指挥控制并不断修正以达到正确动作，动作是由有肌肉伸缩牵动的手、腿等来驱动完成。指挥和实现动作的一切机构是由骨干、关节等支撑起来，完成动作的一切能量是由消化系统、血液循环系统提供。

像人一样，数控机床实现加工动作首先必须要有正确的加工意图，加工意图是由规定格式的加工程序经输入装置处理成数字化电脉冲信息，方可被计算机接受，把加工程序信息通过逻辑计算、判断处理成指挥运动命令信息的是相当于人的大脑的是计算机，又称数控装置；指令信息通过相当于人的神经的输出线路输出，由相当于人的手、腿的伺服系统或其他执行机构严格执行，由相当于人的感官的检测反馈装置向数控装置反馈执行情况以便随时获得当前运动与目标运动的误差，并据此修正指令控制直到保证加工运动过程准确。支撑一切运动机构的是相当于人骨架的机床主体，提供运动能源的是电源电路。

可见，数控机床之所以能自动控制加工并具备优良的加工性能，是与其组成的各部分有组织的协调工作分不开的。

数控机床基本组成如图 1-2-2 所示。

①控制介质——人与数控机床之间建立联系的媒介物，又称为信息载体，如手持移动硬盘、磁盘、磁带、穿孔纸带等。

②人机交互设备——数控机床应具有人机联系的功能，键盘和显示器是数控不可缺少的