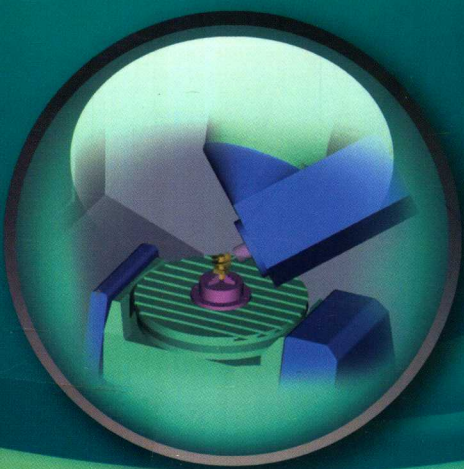


● 机械制造现场实用经验丛书

数控加工技术经验

SHUKONG JIAGONG JISHU JINGYAN

● 贾师强 陈文婷 刘双进 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

机械制造现场实用经验丛书

数控加工技术经验

贾师强 陈文婷 刘双进 编著

中国铁道出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本书以图文并茂的形式和简明的文字,紧密结合生产实际,系统地总结了数控车削、数控铣削和数控磨削等数控加工实用技术经验百余条。可供数控加工技术人员参考、借鉴和运用,也可供机械制造专业技术人员和师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术经验/贾师强,陈文婷,刘双进编著. —北京:
中国铁道出版社, 2015. 10
(机械制造现场实用经验丛书)
ISBN 978-7-113-20910-0

I. ①数… II. ①贾…②陈…③刘… III. ①数控机床—加工 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 206189 号

书 名: 机械制造现场实用经验丛书
 数控加工技术经验
作 者: 贾师强 陈文婷 刘双进

责任编辑:王 健 编辑部电话:010-51873065
封面设计:崔 欣
责任校对:王 杰
责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址:<http://www.tdpress.com>
印 刷:北京鑫正大印刷有限公司
版 次:2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷
开 本:850 mm×1168 mm 1/32 印张:13.875 字数:370千
书 号:ISBN 978-7-113-20910-0
定 价:37.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。

电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

数控加工技术是先进制造技术的基础和核心,它的普及将使现代制造技术产生巨大变革,它的产生也推动现代制造逐渐向自动化、柔性化、集成化发展。数控加工技术是提高制造业的产品质量和劳动生产率必不可少的手段,更是一个国家制造业现代化水平的重要标志,因此它的发展直接影响到国民经济各部门制造技术水平的提高。

“经验是实践得来的知识或技能”。技术经验是运用技术理论的结晶,技术经验是实践运用技术理论进行总结的才华,技术经验是解决生产技术难题的捷径。一个人要想为国家和企业做出更大的贡献,实现人生最大价值和理想,除努力学习和实践外,还要学习、借鉴和运用他人的技术经验,来提高在生产实践中的应变能力,促进技术进步和生产发展。

此书是编者在机械加工方面的技术经验和收集社会技术经验而成。内容包括数控车削工艺、数控铣削工艺和数控磨削工艺,共三章 24 节。具体编写情况如下:贾师强编写第一章第三节、第一章第四节、第一章第七节;陈文婷编写第二章第三节、第二章第四节、第二章第六节;刘双进编写第二章第七节、第二章第九节、第二章第十节;柳洋、李军编写第一章第一节、第一章第二节;胡志强、邵磊编写第一章第五节、第二章第五节;路春泽、刘争

编写第一章第六节、第二章第八节；落海伟、赵洪杰编写第二章第一节、第二章第二节；孙亮、陈金奇、王佐友编写第三章。

在编写的过程中，得到了郑文虎老师和宋重生老师的技术指导，也得到了曲振海、李红永、白彦津、李永健、赵珊珊、杨战捷、张金国、胡建新、刘涛、王维宣、胡学尧、刘萃伦、付文、何正洪、赵桂庆、张亮、杨洋、邵明堃、李佑杰、张嵩、李志新、张彦明、李磊、刘菲、靳立冬、解占平、李小霞、王立君、赵立国、陈建新、李迎春、袁鹰、王志坚、邵明堃、陈艳青、于亮、由文超等相关人员的大力支持，同时也参考了相关作者的资料，在此一并表示衷心地感谢！由于编者水平所限，书中难免有错误之处，恳请读者指正。

编者

2015年5月

目 录

第一章 数控车削工艺	1
第一节 常用数控车削设备及特点	1
第二节 常用数控车削系统特点	14
第三节 常用难车削材料特点及方法	22
第四节 各种类型工件的车削工艺方法	34
第五节 数控车削编程特点及方法	52
第六节 常用数控车削刀具	142
第七节 其 他	164
第二章 数控铣削工艺	170
第一节 常用数控铣削设备及特点	170
第二节 常用数控铣削系统特点	226
第三节 常用难加工材料铣削特点及方法	236
第四节 典型零件的铣削工艺方法	242
第五节 数控铣削编程特点及方法	265
第六节 典型零件的装夹方法	353
第七节 典型零件的原点设置及对刀方法	364
第八节 常用数控铣削刀具	369
第九节 典型产品的变形控制方法	381
第十节 其他	385
第三章 数控磨削工艺	406
第一节 常用数控磨削的系统及特点	406
第二节 常难加工材料磨削特点及方法	412

第三节	难加工零件的磨削工艺·····	417
第四节	各种类型工件的加工工艺方法·····	420
第五节	各种类型工件的装夹方法·····	423
第六节	涡轮泵转子的磨削加工技术·····	425
第七节	不等分间隙斜槽砂轮·····	432
参考文献	·····	437

第一章 数控车削工艺

第一节 常用数控车削设备及特点

1. 数控机床定义

数控机床是数字控制机床(Computer numerical control machinetools)的简称,是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序,并将其译码,用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图纸要求的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。

它有如下特点:

(1)对加工对象的适应性强,适应模具等产品单件生产的特点,为模具的制造提供了合适的加工方法;

(2)加工精度高,具有稳定的加工质量;

(3)可进行多坐标的联动,能加工形状复杂的零件;

(4)加工零件改变时,一般只需要更改数控程序,可节省生产准备时间;

(5)机床本身的精度高、刚性大,可选择有利的加工用量,生产率高(一般为普通机床的 3~5 倍);

(6)机床自动化程度高,可以减轻劳动强度;

(7)有利于生产管理的现代化。数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,使用了计算机控制方法,为计算机辅助设

计、制造及管理一体化奠定了基础；

(8)对操作人员的素质要求较高,对维修人员的技术要求更高；

(9)可靠性高。

数控机床与传统机床相比,具有以下一些特点:

(1)具有高度柔性

在数控机床上加工零件,主要取决于加工程序,它与普通机床不同,不必制造、更换许多模具、夹具,不需要经常重新调整机床。因此,数控机床适用于所加工的零件频繁更换的场合,亦即适合单件、小批量产品的生产及新产品的开发,从而缩短了生产准备周期,节省了大量工艺装备的费用。

(2)加工精度高

数控机床的加工精度一般可达 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$,数控机床是按数字信号形式控制的,数控装置每输出一脉冲信号,则机床移动部件移动一具脉冲当量(一般为 0.001 mm),而且机床进给传动链的反向间隙与丝杆螺距平均误差可由数控装置进行曲补偿,因此,数控机床定位精度比较高。

(3)加工质量稳定、可靠

加工同一批零件,在同一机床,在相同加工条件下,使用相同刀具和加工程序,刀具的走刀轨迹完全相同,零件的一致性,质量稳定。

(4)生产率高

数控机床可有效地减少零件的加工时间和辅助时间,数控机床的主轴声速和进给量的范围大,允许机床进行大切削量的强力切削。数控机床正进入高速加工时代,数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工,极大地提高了生产率。另外,与加工中心的刀库配合使用,可实现在一台机床上进行多道工序的连续加工,减少了半成品的工序间周转时间,提高了生产率。

(5)改善劳动条件

数控机床加工前是经调整好后,输入程序并启动,机床就能有

自动连续地进行加工,直至加工结束。操作者要做的只是程序的输入、编辑、零件装卸、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等工作,劳动强度大大降低,机床操作者的劳动趋于智力型工作。

(6)利用生产管理现代化

数控机床的加工,可预先精确估计加工时间,对所使用的刀具、夹具可进行规范化,现代化管理,易于实现加工信息的标准化,已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机地结合起来,是现代化集成制造技术的基础。

2. 数控加工设备的基本组成

数控加工设备的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

加工程序载体:

数控机床工作时,不需要工人直接去操作机床,要对数控机床进行控制,必须编制加工程序。零件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码,存储在一种程序载体上,如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到 CNC 单元。

数控装置:

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC (Computer Numerical Control)形式,这种 CNC 装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(Software NC)。CNC 系统是一种位置控制系统,它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理地组织,使整个系统协调地进行工作。

(1)输入装置:将数控指令输入给数控装置,根据程序载体的

不同,相应有不同的输入装置。主要有键盘输入、磁盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC(直接数控)输入,现仍有不少系统还保留有光电阅读机的纸带输入形式。

1)纸带输入方式。可用纸带光电阅读机读入零件程序,直接控制机床运动,也可以将纸带内容读入存储器,用存储器中储存的零件程序控制机床运动。

2)MDI 手动数据输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令,它适用于比较短的程序。

在控制装置编辑状态(EDIT)下,用软件输入加工程序,并存入控制装置的存储器中,这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

在具有会话编程功能的数控装置上,可按照显示器上提示的问题,选择不同的菜单,用人机对话的方法,输入有关的尺寸数字,就可自动生成加工程序。

3)采用 DNC 直接数控输入方式。把零件程序保存在上级计算机中,CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

(2)信息处理:输入装置将加工信息传给 CNC 单元,编译成计算机能识别的信息,由信息处理部分按照控制程序的规定,逐步存储并进行处理后,通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 系统的输入数据包括:零件的轮廓信息(起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度及其他辅助加工信息(如换刀、变速、冷却液开关等),数据处理的目的是完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

(3)输出装置:输出装置与伺服机构相联。输出装置根据控制器的命令接受运算器的输出脉冲,并把它送到各坐标的伺服控制系统,经过功率放大,驱动伺服系统,从而控制机床按规定要求

运动。

伺服与测量反馈系统：

伺服系统是数控机床的重要组成部分，用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是把接受来自数控装置的指令信息，经功率放大、整形处理后，转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节，其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标，因此，对数控机床的伺服驱动装置，要求具有良好的快速反应性能，准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号，并能忠实地执行来自数控装置的指令，提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中，数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较，并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

机床主体：

机床主机是数控机床的主体。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比，数控机床主体具有如下结构特点：

(1)采用具有高刚度、高抗振性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主机的刚度和抗振性，使机床主体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施，可减少热变形对机床主机的影响。

(2)广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置，使

数控机床的传动链缩短,简化了机床机械传动系统的结构。

(3)采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件,如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

数控机床辅助装置:

辅助装置是保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置,常用的辅助装置包括:气动、液压装置,排屑装置,冷却、润滑装置,回转工作台和数控分度头,防护,照明等各种辅助装置。

数控加工设备主要包括数控车床和数控铣床,下面主要介绍数控车床和数控铣床。

3. 数控车削设备结构类型

数控车床又称为 CNC 车床,即计算机数字控制车床,是目前国内使用量最大、覆盖面最广的一种数控机床,约占数控机床总数的 25%。数控机床是集机械、电气、液压、气动、微电子和信息等多项技术为一体的机电一体化产品,是机械制造设备中具有高精度、高效率、高自动化和高柔性化等优点的工作母机。自从 1952 年美国麻省理工学院研制出世界上第一台数控机床以来,数控机床在制造业,特别是在汽车、航空航天以及军事工业中被广泛地应用,数控技术无论在硬件和软件方面,都有飞速发展。

数控机床的技术水平高低及其在金属切削加工机床产量和总拥有量的百分比是衡量一个国家国民经济发展和工业制造整体水平的重要标志之一。数控车床是数控机床的主要品种之一,它在数控机床中占有非常重要的位置,几十年来一直受到世界各国的普遍重视并得到了迅速的发展。

数控车床、车削中心,是一种高精度、高效率的自动化机床。它具有广泛的加工性能,可加工直线圆柱、斜线圆柱、圆弧和各种螺纹。具有直线插补、圆弧插补各种补偿功能,并在复杂零件的批量生产中发挥了良好的经济效果。

数控车床分为立式数控车床和卧式数控车床两种类型。立式数控车床用于回转直径较大的盘类零件车削加工。卧式数控车床

用于轴向尺寸较长或小型盘类零件的车削加工。卧式数控车床按功能可进一步分为经济型数控车床、普通数控车床和车削加工中心。

(1)经济型数控车床:采用步进电动机和单片机对普通车床的车削进给系统进行改造后形成的简易型数控车床。成本较低,自动化程度和功能都比较差,车削加工精度也不高,适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

(2)普通数控车床:根据车削加工要求在结构上进行专门设计,配备通用数控系统而形成的数控车床。数控系统功能强,自动化程度和加工精度也比较高,适用于一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴,即 X 轴和 Z 轴。

(3)车削加工中心:在普通数控车床的基础上,增加了 C 轴和动力头,更高级的机床还带有刀库,可控制 X 、 Z 和 C 三个坐标轴,联动控制轴可以是 $(X、Z)$ 、 $(X、C)$ 或 $(Z、C)$ 。由于增加了 C 轴和铣削动力头,这种数控车床的加工功能大大增强,除可以进行一般车削外,还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削等加工。

下面具体介绍一下数控车床的主要组成部分,如主机、数控装置、驱动装置、辅助装置等。

(1)主机

数控机床的主体,包括机床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。他是用于完成各种切削加工的机械部件。

(2)数控装置

数控机床的核心,包括硬件(印刷电路板、CRT显示器、键盒、纸带阅读机等)以及相应的软件,用于输入数字化的零件程序,并完成输入信息的存储、数据的变换、插补运算以及实现各种控制功能。

(3)驱动装置

数控机床执行机构的驱动部件,包括主轴驱动单元、进给单元、主轴电机及进给电机等。他在数控装置的控制下通过电气或

电液伺服系统实现主轴和进给驱动。当几个进给联动时,可以完成定位、直线、平面曲线和空间曲线的加工。

(4)辅助装置

指数控机床的一些必要的配套部件,用以保证数控机床的运行,如冷却、排屑、润滑、照明、监测等。它包括液压和气动装置、排屑装置、交换工作台、数控转台和数控分度头,还包括刀具及监控检测装置等。

(5)液压卡盘和液压尾架

液压卡盘是数控车削加工时夹紧工件的重要附件,对一般回转类零件可采用普通液压卡盘;对零件被夹持部位不是圆柱形的零件,则需要采用专用卡盘;用棒料直接加工零件时需要采用弹簧卡盘。

对轴向尺寸和径向尺寸的比值较大的零件,需要采用安装在液压尾架上的活顶尖对零件尾端进行支撑,才能保证对零件进行正确的加工。尾架有普通液压尾架和可编程液压尾架。

(6)数控车床的刀架

数控车床可以配备两种刀架:

1)专用刀架由车床生产厂商自己开发,所使用的刀柄也是专用的。这种刀架的优点是制造成本低,但缺乏通用性。

2)通用刀架根据一定的通用标准(如 VDI,德国工程师协会)而生产的刀架,数控车床生产厂商可以根据数控车床的功能要求进行选择配置。

(7)铣削动力头

数控车床刀架上安装铣削动力头后可以大大扩展数控车床的加工能力。如:利用铣削动力头进行轴向钻孔和铣削轴向槽。

(8)数控车床的刀具

在数控车床或车削加工中心上车削零件时,应根据车床的刀架结构和可以安装刀具的数量,合理、科学地安排刀具在刀架上的位置,并注意避免刀具在静止和工作时,刀具与机床、刀具与工件以及刀具相互之间的干涉现象。

(9)编程及其他附属设备

可用在机外进行零件的程序编制、存储等。

常见车床包括:卧式车床,立式车床,数控车床。

1)立式车床(图 1-1)

立式车床的主轴立式布置,工件装夹在水平的回转工作台上,刀架在横梁或立柱上移动。分单柱和双柱两大类。通常用于加工较大、较重、难于在普通车床上安装的工件。国内主要生产厂家有齐齐哈尔第一机床厂、武汉重型机床厂。

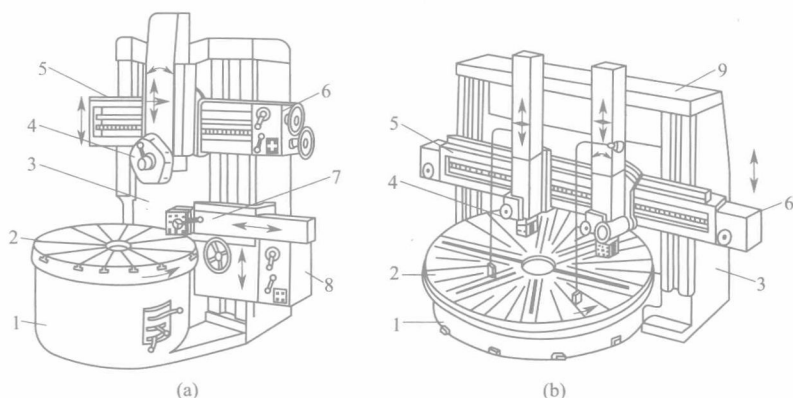


图 1-1 立式车床

1—底座;2—工件台;3—立柱;4—垂直刀架;5—横梁;6—垂直刀架进给箱;
7—侧刀架;8—侧刀架进给箱;9—顶梁

主要用途:用于加工各种轴、套和盘类零件上的回转表面。此外还可以车削端面、沟槽、切断及车削各种回转的成形表面如螺纹等,适用于单件、小批生产和修配车间。

2)数控卧车(图 1-2)

卧式车床主轴的旋转为主运动,刀架的直线或曲线移动为进给运动。

数控卧车具有实现自动控制的数控系统;适应性强,加工对象改变时只需改变输入的程序指令即可;可精确加工复杂的回转成

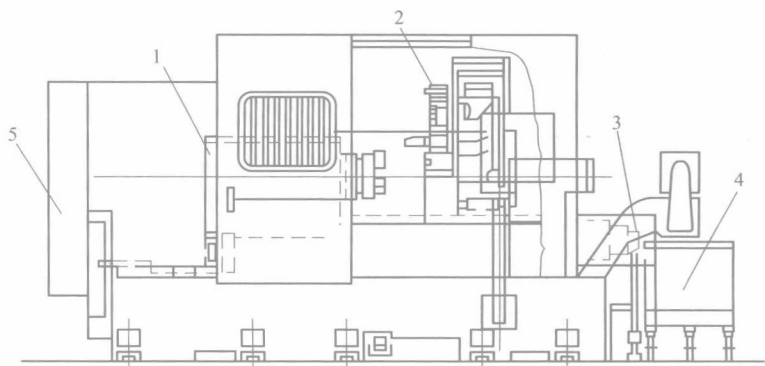


图 1-2 卧式数控车床

1—床头箱;2—回转刀架;3—排屑器;4—运屑小车;5—读带箱

形面,且质量高而稳定。与普通车床大体一样,主要用于加工各种回转表面,特别适宜加工特殊螺纹和复杂的回转成形面。目前在中小批生产中广泛应用。

带有刀库能实现自动换刀的数控卧车称为卧式车削中心,如图 1-3 所示。

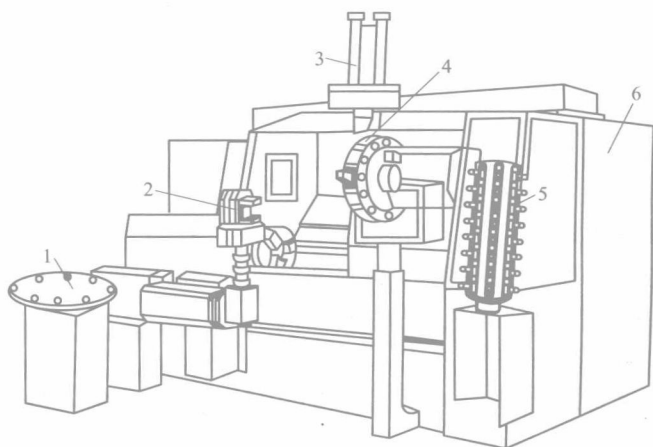


图 1-3 卧式车削中心

1—载料器;2—装卸机械手;3—自动换刀装置;4—刀架;5—刀库;6—主机