

绪 论



【培养目标】

通过本章的学习,使学生能够了解加工技术的发展过程,了解加工技术在人类历史发展中的地位及其分类,从而更加重视加工技术,达到引发其浓厚学习兴趣的目的。

物质财富是人类社会赖以生存和发展的基础,而制造是人类创造物质财富最基本、最重要的手段。

从人类发展的历史来看,制造业可以当之无愧地成为工业的主体、现代化的动力源、科技进步的依托,而制造水平的进步和提高离不开加工技术。

随着科学技术的飞速发展,社会对产品多样化的要求日益强烈,产品更新换代的速度越来越快,多品种、中小批量生产的比重明显增加;同时,随着航空工业、汽车工业和轻工消费品生产的高速增长,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,传统的加工设备和技术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,为了满足制造业的需求,解决加工技术的难点,数控加工技术和各种现代加工技术应运而生,并得到了迅速发展和广泛的应用,使制造技术发生了根本性的变化。

1.1 加工技术的发展阶段

在人类发展的历史长河中,可以把加工技术分为几个阶段。

1. 启蒙阶段

旧石器时代和新石器时代,人们利用石头、骨头、木头等加工出了一些有利于狩猎生产及生活的工具,如石斧、石刀、石锛、石镰等。这一阶段,可以称为加工技术的启蒙阶段。

2. 初级阶段

从商代开始,出现了金属材料的加工工具、炼钢技术以及淬火等热处理技术,这些工具和技术出现,大大推动了加工技术的发展,也使制造业上了一个新的台阶。加工技术步入了初级阶段。

3. 中级阶段

从英国工业革命时期开始,制造业的大发展促进了加工技术的迅速发展。有据可查,从

18 世纪 50 年代到 19 世纪末这段时期加工技术领域取得的主要发明如下所述。

1750 年,法国人西奥在车床上安装一个刀架,用丝杠驱动纵向进给,替代人们以前用手握车刀进给的方式,提高了尺寸加工精度及其稳定性。

1770 年,英国人拉姆斯登在车床上实现了螺纹车削加工。

1775 年,英国人威尔金森制造出炮管钻孔机,可以加工直径达 72 mm 的内孔,误差不超过 1 mm,其刀杆有 5 m 长。炮管钻孔机经过改装后成为卧式镗床,可以加工蒸汽机的汽缸并满足精度要求,解决了瓦特蒸汽机研制中汽缸与活塞之间间隙过大的技术难题。

1776 年,英国人瓦特发明的蒸汽机成功地进入厂矿使用,汽缸加工难题被攻克。

1790 年,英国人罗姆福德研究了炮身加工时的切削热和切削功。

1818 年,美国人惠特奈发明了铣床,实现用单齿铣刀的铣削加工。

1829 年,苏格兰人内斯密斯研制出分度铣床,并于 1836 年发明了刨床。

1835 年,英国人惠特沃斯设计了由丝杠同时驱动纵向进给和横向进给的车床。

1847 年,英国在伯明翰成立了机械工程师协会。

1851 年,法国人考克夸尔哈特直接测量了钻削时切除单位体积金属所需的功。

1855 年,美国的罗宾斯和劳伦斯公司制造出转塔车床,可装 8 把刀具,轮流进行 8 道工序的加工。

1865 年,在巴黎举行的国际博览会上,展出了各种各样、品种齐全的金属切削加工机床,标志着金属切削加工技术发展到一个崭新的历史阶段。

1870 年,俄国人基麦解释了切削形成过程。

1873 年,德国人哈蒂格发表了切削功的表格。

1880 年,美国机械工程师协会成立。

1881 年,英国人马洛克指出,切削过程基本上是在刀具推挤下使工件材料发生剪切而成为切屑的过程,还强调刀具前刀面上摩擦作用的重要性。他曾对切屑试样进行抛光、腐蚀后进行观察,还研究过润滑剂、刀刃锋利性对切削过程的影响以及切削过程中引起颤振的原因等。

1887 年,美国人格兰特发明了滚齿机,标志着齿轮加工技术取得重要进展。

1892 年,美国人诺顿发明了用手柄换挡的变速箱。这是机床变速机构的一次重要变革。这种变速机构很快被应用到各种机床上,为加工参数优化技术的出现奠定了重要基础。

19 世纪末至 20 世纪初,美国人泰勒对金属切削加工的规律、理论和科学管理进行了深入的研究,并在生产实际中收到了显著的经济效益。泰勒对金属切削加工技术的研究和发展做出了如下突出贡献:

(1) 1906 年,他发表了一篇著名的科学论文《论金属切削的技艺》,这篇论文总结了 20 余年调查研究和实践的资料。

(2) 1911 年,他发表了《科学管理原理》一书,首创“时间研究”和“动作研究”,提倡对工厂的机械加工进行科学管理。泰勒把身体最健壮、技术最灵巧的生产工人进行操作的情景拍成影片,最精确地计算出该工人每一动作所花费的时间,从中剔除掉各种多余动作和浪费的时间,找出时间最省、效率最高的操作方法。这种制度后来被称为“泰勒制”。

(3) 泰勒研究了切削条件和刀具材料对刀具寿命的影响规律,确定出经验公式,据此优化切削条件。他进行了高标准的系统的刀具寿命试验,得出了著名的“泰勒公式”或“泰勒方

程”,即 $vT^m = A$ 。泰勒公式是金属切削科学中最重要的经验公式,至今还在应用。

(4) 泰勒通过研究发现,刀具的切削温度主导着刀具磨损的速率。

4. 高级阶段

进入 20 世纪以后,随着科学技术的进步,除了机械能之外,人们又把目光投向了电能、化学能、声能、光能、磁能等能源,并逐渐的将这些能源转化为加工技术——现代加工技术。现代加工技术的出现解决了传统加工技术无法解决的问题,满足了制造业对产品逐渐向高精度、高速度、高温、高压、大功率、小型化及材料的多样化、零件形状的复杂化、表面光洁化方向发展的要求。

随着现代加工技术的发展,尤其是电加工、光学刻蚀加工等技术的长足发展,诱发了硅加工技术的诞生,从而使得加工技术进入了一个新的纪元。

20 世纪 40 年代后期,随着计算机的发展及制造业的需求,人们又开始研究用信息来控制机床自动加工外形复杂的零件。首先提出这一设想是在 1947 年,美国的 Parsons 公司为了精确地制作直升机翼、桨叶和飞机中的框架,利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到了 0.0381 mm。

1949 年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与 Parsons 公司以及麻省理工学院伺服机构研究所合作,于 1952 年研制成功世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。

这一时期的加工技术成果如下:

1929 年,德国人萨洛蒙进行了高速切削模拟试验,并于 1931 年发表了著名的高速切削理论,为高速切削技术的发展奠定了基础。

1929 年,德国人发明了电解加工。

1931 年,法国人发明了电解磨削加工。

1941 年,美国人厄恩斯特和默钱特进行了大量的基础研究工作,发表了关于金属切削过程力学的重要论文,提出了著名的默钱特方程,即 $2\phi + \beta - \gamma_0 = \frac{\pi}{2}$ 。

1943 年,苏联人发明了放电加工、电火花加工。

1950 年,德国人发明了电子束加工;美国人发明了超声加工和等离子加工。

1952 年,在美国麻省理工学院诞生了第一台数控立式铣床,开创了数控加工的新纪元。

1958 年,美国得州仪器公司和仙童公司各自研制发明了半导体集成电路,加工技术迈入超精密和微细时代。

1959 年,诺贝尔奖获得者、量子物理学家理查德·费曼倡导从原子加工零件产品的可能性,纳米加工技术的萌芽开始孕育。同年,美国卡耐·特雷公司开发成功带有刀具库和自动换刀装置的数控加工中心,实现了工件的一次性装卡多工序加工,为柔性加工技术的诞生创造了条件。

1960 年,美国休斯研究所的梅曼研制成功世界上第一台激光器——红宝石激光器。从此,人类掌握了一种全新的光源,并在 1970 年迎来了激光加工技术的诞生。

1965 年,等离子弧加工技术被发明。

1969 年,数控电火花线切割机床被研制成功,电火花线切割技术得到迅速发展。

20 世纪 70 年代,相继发明了离子束加工、等离子流加工、化学加工、液体喷射加工、磨料喷射加工以及挤压珩磨加工等新技术。

20 世纪 80 年代以来,随着计算机和数控技术的发展,电火花成形加工设备及工艺已实现了数控化。瑞士、日本等国的电火花机床生产商依靠其在精密机械制造领域的雄厚实力,通过两轴、三轴或多轴的数控系统,解决了工艺技术中的定位精度问题;通过高性能、多参数的适应控制、模糊控制,实现了电火花加工的全自动化。由于电火花成形加工技术的普遍采用,模具加工技术,尤其是用于电子产品的塑料模具加工技术获得了突飞猛进的发展。

1986 年,美国的一项专利提出用激光照射液态光敏树脂分层制作三维实体的快速成形方案,美国 3D SYSTEMS 公司据此于 1988 年研制出第一台激光快速成形机,为加工技术大家庭增添了新的成员。快速成形加工技术成为 CAD/CAM 一体化技术的应用典范,它与通常的“减材”(去除)加工技术相对应,成为“增材”加工技术的代表。

1988 年,美国政府投资开展大规模“21 世纪制造企业战略”研究,扭转了“制造业为夕阳产业”的错误观念,并提出以现代加工工艺技术为内核的“先进制造技术”发展目标,提出并实施了“先进制造技术计划”和“制造技术中心计划”。

1991 年,美国白宫科学技术政策办公室发表“美国国家关键技术”报告,重新确立了制造工业的地位。这些举措引发了美国和欧洲、日本在制造技术上的新一轮竞争。

1996 年,美国制造工程师学会(SME)发表了关于绿色制造的第一本蓝皮书《Green Manufacturing》,引发了绿色加工技术的研究热潮。

2000 年,美国政府将纳米技术列入国家发展战略,从此,纳米加工技术在全世界范围内成为热门研究主题。

1.2 现代加工技术的地位与分类

要想准确定位现代加工技术的地位,我们首先应该了解制造业在社会发展中的重要性。

纵观世界各国经济发展的进程,可以得出这样一个结论:几乎所有经济大国都是借助工业起步的。没有工业,特别是制造业的支撑,就不可能有经济大国和强国的崛起。

(1) 英国的兴起。1766 年英国的产业革命激起资本主义经济的强劲动力,改变了英国经济发展缓慢、以农业为主的状况,蒸汽机的生产逐步增加,使用范围逐步增大,推动了制造业的迅速发展。1760—1870 年的 100 年间,英国的工业生产增长了 23 倍,国民收入增加了 10 倍,占世界人口 20% 的英国人掌握着近一半的世界工业生产和近四分之一的世界贸易,成为当之无愧的世界经济霸主。

(2) 美国的崛起。1890 年以后,随着第二次科技革命的来临,美国政府非常重视制造业,美国的产品充斥全球。1895—1914 年间,美国制造业的产量已相当于英、德、法、日 4 国的总和,占全世界的三分之一以上。

(3) 日本的成长。第二次世界大战后,日本的制造业不仅实现了经济恢复,而且在许多行业,甚至是一些新兴行业迅速实现了规模化生产。1956 年日本的造船业跃居世界前列,松下电器在 1955—1960 年的几年中始终保持 30% 以上的增长速度。1960 年,日本的 GDP 超过德国,在钢铁、化工、机电、汽车等制造行业迅速建立了在全世界的优势地位。

由此可见,制造业是一个国家在经济上屹立世界之林的支柱,而制造业中的加工技术起着核心的作用,有着重要的地位。

所谓加工技术是指采用某种工具或能量流,通过变形、去除、连接、改性或增加材料等方式将工件材料制成满足一定设计要求的半成品或成品的过程技术的总称。现代加工技术则是指采用现代科学技术,满足高速、高效、精密、微细、自动化其中某项要求的加工技术。

现代加工技术的分类较复杂,众说纷纭,有按加工过程中所使用的能量来进行分类的,有按加工对象的最终几何形状来进行分类的,还有按照工件在被加工时是否加热来分类的,也有按照工件前后材料的增加变化与否进行分类。

笔者赞成按照加工工件前后材料的增加变化与否进行分类,即:去除加工、增材加工、变形加工和表面加工。这种分类方法涵盖目前所有的加工技术,任何一种具体的加工方法都可以归入一类。

(1) 去除加工又称为分离加工,是从工件上去除多余材料,工件体积减小,外形发生变化,如车削加工、磨削加工、电火花加工等。

(2) 增材加工,是采用一定的能量和手段,使工件逐渐增加材料,直至达到所要求的形状及尺寸,如电镀、气相沉积、焊接、粘接等。

(3) 变形加工又称为流动加工,是采用一定的能量和手段使工件产生变形,使工件体积不变,但外形发生变化。如锻造、铸造、液晶定向等。

(4) 表面加工是采用一定的能量和手段,改变工件表面,但工件的外形和体积都不发生变化。

制造业的发展是决定人类进步的重要因素之一,所以制造业必将以更迅猛的速度发展,从而促进现代加工技术的迅猛发展。

可以展望,现代加工技术在未来会追求更高的加工精度;更高的加工速度和质量;更加微细化、纳米化;更加智能化;更加环保、节能、低碳化。

复习思考题

1. 第一台激光器是哪年由谁发明的?
2. 20 世纪 70 年代发明了哪些新的加工技术?
3. 20 世纪 80 年代发明了哪些新的加工技术?
4. 现代加工技术可以分为哪几类?



数控加工技术基础

【培养目标】

通过本章学习,了解数控机床的产生与发展以及数控机床的概念、组成、种类与应用加工的特点,掌握数控机床坐标系建立的原则和数控编程方法。

数控机床是信息技术与机械制造技术相结合的产物,代表了现代基础机械的技术水平与发展趋势。数控机床具有以下明显特点:

- (1) 适合于复杂异形零件的加工。
- (2) 实现计算机控制,排除人为误差。
- (3) 通过计算机软件可以实现精度补偿和优化控制。
- (4) 加工中心、车削中心、磨削中心、电加工中心等具有刀库和换刀功能,减少了装夹次数,提高了加工精度。
- (5) 数控机床使机械加工设备增加了柔性化的特点。柔性加工不仅适合于多品种、中小批量生产,也适合于大批量生产,且能交替完成两种或更多种不同零件的加工,增加了自动变换工件的功能,可实现夜间无人看管的操作。由几台数控机床(加工中心)组成的柔性制造系统(flexible manufacturing system, FMS)具有更高柔性的自动化制造系统,包括加工、装配和检验等环节。

2.1 数控机床的产生与发展

随着社会生产和科学技术的不断进步,各类工业新产品层出不穷。机械制造产业作为工业的基础,其产品更是日趋精密复杂,特别是宇航、航海、军事等领域所需的机械零件,精度要求更高、形状更为复杂且往往批量较小,加工这类产品需要经常改装或调整设备,普通机床或专业化程度高的自动化机床显然无法适应这些要求。同时,随着市场竞争的日益加剧,生产企业也迫切需要进一步提高生产效率,提高产品质量及降低生产成本。在这种背景下,一种新型的生产设备——数控机床应运而生。它综合应用了计算机、自动控制、伺服驱动、精密测量及新型机械结构等多方面的技术成果,形成了现代机械工业的基础并指明了机械制造工业设备的发展方向。

1. 数控机床的产生

数控机床的研制最早是从美国开始的。1948年,美国帕森斯公司(Parsons Co.)在完

成研制加工直升机桨叶轮廓用检查样板的加工机床任务时,提出了研制数控机床的初步设想。1949年,在美国空军后勤部的支持下,帕森斯公司正式接受委托,与麻省理工学院伺服机构实验室合作,开始数控机床的研制工作。经过3年的研究,世界上第一台数控机床试验样机于1952年试制成功。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三坐标连续控制系统铣床,其数控系统全部采用电子管元件,其数控装置体积比机床本体还要大。后来经过3年的改进和自动编程研究,该机床于1955年进入试用阶段。此后,其他一些国家(如德国、英国、日本、前苏联和瑞典等)也相继开展数控机床的研制开发和生产。1959年,美国克耐·杜列克公司(Keaney & Trecker)首次成功开发了加工中心(machining center, MC),这是一种有自动换刀装置和回转工作台的数控机床,可以在一次装夹中对工件的多个平面进行多工序的加工。但是,直到20世纪50年代末,由于价格和其他因素的影响,数控机床仅限于航空、军事工业应用,品种也多为连续控制系统。直到20世纪60年代,由于晶体管的应用,数控系统进一步提高了可靠性且价格下降,一些民用工业开始发展数控机床,其中多数为钻床、冲床等点定位控制的机床。数控技术不仅在机床上得到实际应用,而且逐步推广到焊机、火焰切割机,使数控技术的应用范围不断得到扩展。

2. 数控机床的发展概况

自1952年美国研制成功第一台数控机床以来,随着电子技术、计算机技术、自动控制技术和精密测量技术等的发展,数控机床也在迅速地发展和不断地更新换代,先后经历了5个发展阶段。

第1代数控机床:1952—1959年采用电子管元件构成的专用数控装置(numerical controller, NC)。

第2代数控机床:从1959年开始采用晶体管电路的NC系统。

第3代数控机床:从1965年开始采用小、中规模集成电路的NC系统。

第4代数控机床:从1970年开始采用大规模集成电路的小型通用计算机控制系统。

第5代数控机床:从1974年开始采用微型计算机控制系统。

近年来,微电子和计算机技术日益成熟,其成果正不断渗透到机械制造的各个领域,先后出现了计算机直接数控(direct numerical control, DNC)系统、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system, CIMS)。这些高级的自动化生产系统均以数控机床为基础,代表着数控机床今后的发展趋势。

2.2 数控机床的概念及组成

1. 数控机床的概念

数控技术,简称数控(numerical control, NC),是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。由于现代数控都采用了计算机进行控制,因此,也可以称为计算机数控(computerized numerical control, CNC)。

为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制,必须具备相应的硬件和软件,用来实

现数字化信息控制的硬件和软件的整体称为数控系统(numerical control system, NCS)。数控系统的核心是数控装置。

采用数控技术进行控制的机床,称为数控机床(NC 机床)。它是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品,是现代制造技术的基础。控制机床也是数控技术应用最早、最广泛的领域,因此,数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向。

数控机床种类繁多,有钻铣镗床类、车削类、磨削类、电加工类、锻压类、激光加工类和其他特殊用途的专用数控机床等,凡是采用了数控技术进行控制的机床统称为 NC 机床。

带有自动换刀装置 ATC(automatic tool changer)的数控机床(带有回转刀架的数控车床除外)称为加工中心。它通过刀具的自动交换,可以使工件一次装、夹完成多工序的加工,实现了工序集中和工艺的复合,从而缩短了辅助加工时间,提高了机床的效率,减少了工件安装、定位次数,提高了加工精度。加工中心是目前产量最大、应用最广的数控机床。

在加工中心的基础上,通过增加多工作台(托盘)自动交换装置(auto pallet changer, APC)以及其他相关装置,组成的加工单元称为柔性加工单元(flexible manufacturing cell, FMC)。FMC 不仅实现了工序的集中和工艺的复合,而且通过工作台(托盘)的自动交换和较完善的自动监测、监控功能,可以进行一定时间的无人化加工,从而进一步提高了设备的加工效率。FMC 既是柔性制造系统(FMS)的基础,又可以作为独立的自动化加工设备使用,因此其发展速度较快。

在 FMC 和加工中心的基础上,通过增加物流系统、工业机器人以及相关设备,并由中央控制系统进行集中、统一控制和管理,这样的制造系统称为柔性制造系统(FMS)。FMS 不仅可以进行长时间的无人化加工,而且可以实现多品种零件的全部加工和部件装配,实现了车间制造过程的自动化,它是一种高度自动化的先进制造系统。

随着科技发展,为了适应市场需求多变的形势,对现代制造业来说,不仅需要发展车间制造过程的自动化,而且要实现从市场预测、生产决策、产品设计、产品制造直到产品销售的全面自动化。将这些要求综合,构成完整的生产制造系统,称为计算机集成制造系统(CIMS)。CIMS 将一个更长的生产、经营活动进行了有机的集成,实现了更高效益、更高柔性的智能化生产,是当今自动化制造技术发展的最高阶段。CIMS 不仅是生产设备的集成,更主要的是以信息为特征的技术集成和功能集成。计算机是集成的工具,计算机辅助的自动化单元技术是集成的基础,信息和数据的交换及共享是集成的桥梁,最终形成的产品,可以看成是信息和数据的物质体现。

2. 数控机床的组成

数控机床的种类很多,但任何一种数控机床都是由控制介质、数控系统、伺服系统、辅助控制系统和机床本体等若干基本部分组成的,如图 2.1 所示。

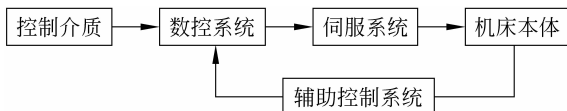


图 2.1 数控机床的组成

1) 控制介质

数控系统工作时,不需要操作工人直接操纵机床,但机床又必须执行人的意图,这就需要在人与机床之间建立某种联系,这种联系的中间媒介物即称为控制介质。在控制介质上存储着加工零件所需要的全部操作信息和刀具相对工件位移信息,因此,控制介质就是将零件加工信息传送到数控装置去的信息载体。控制介质有多种形式,它随着数控装置类型的不同而不同,常用的有穿孔纸带、穿孔卡、磁带、磁盘和 USB 接口介质等。控制介质上记载的加工信息要经过输入装置传送给数控装置,常用的输入装置有光电纸带输入机、磁带录音机、磁盘驱动器和 USB 接口等。

除了上述几种控制介质外,还有一部分数控机床采用数码拨盘、数码插销或利用键盘直接输入程序和数据。另外,随着 CAD/CAM 技术的发展,有些数控设备利用 CAD/CAM 软件在其他计算机上编程,然后通过计算机与数控系统通信(如局域网),将程序和数据直接传送给数控装置。

2) 数控系统

数控装置是一种控制系统,是数控机床的中心环节。它能自动阅读输入载体上事先给定的数字,并将其译码,从而使机床进给并加工零件。数控系统通常由输入装置、控制器、运算器和输出装置 4 部分组成,如图 2.2 所示。

输入装置接受由穿孔带、阅读机输出的代码,经识别与译码之后分别输入到各个相应的寄存器,这些指令与数据将作为控制与运算的原始数据。控制器接受输入装置的指令,根据指令控制运算器与输入装置,以实现对机床的各种操作(如控制工作台沿某一坐标轴的运动、主轴变速和冷却液的开关等)以及控制整机的工作循环(如控制阅读机的启动或停止、控制运算器的运算和控制输出信号等)。

运算器接受控制器的指令,将输入装置送来的数据进行某种运算,并不断向输出装置送出运算结果,使伺服系统执行所要求的运动。对于加工复杂零件的轮廓控制系统,运算器的重要功能是进行插补运算。所谓插补运算就是将每个程序段输入的工件轮廓上的某起始点和终点的坐标数据送入运算器,经过运算之后在起点和终点之间进行“数据密化”,并按控制器的指令向输出装置送出计算结果。如图 2.3 所示是一个直线插补示意图。从图中可以看出插补是一个用曲线逼近理想轮廓线的过程。

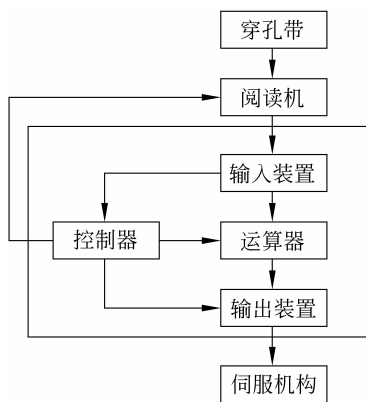


图 2.2 数控系统结构

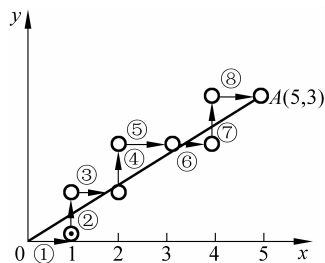


图 2.3 直线插补示意图

输出装置根据控制器的指令将运算器送来的计算结果输送到伺服系统,经过功率放大驱动相应的坐标轴,使机床完成刀具相对工件的运动。

目前均采用微型计算机作为数控装置。微型计算机的中央处理单元(CPU)又称微处理器,是一种大规模集成电路。它将运算器、控制器集成在一块集成电路芯片中。在微型计算机中,输入与输出电路采用大规模集成电路,即所谓的 I/O 接口。微型计算机拥有较大容量的寄存器,并采用高密度的存储介质,如半导体存储器和磁盘存储器等。存储器可分为只读存储器(ROM)和随机存取存储器(RAM)两种类型,前者用于存放系统的控制程序,后者存放系统运行时的工作参数或用户的零件加工程序。微型计算机数控装置的工作原理与上述硬件数控装置的工作原理相同,只是前者采用通用的硬件,不同的功能通过改变软件来实现,因此更为灵活与经济。

3) 伺服系统

伺服系统由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成,它是数控系统的执行部分。伺服系统接受数控系统的指令信息,并按照指令信息的要求带动机床本体的移动部件运动或使执行部分动作,以加工出符合要求的工件。指令信息是脉冲信息的体现,每个脉冲使机床移动部件产生的位移量叫做脉冲当量。机械加工中一般常用的脉冲当量为 0.01 mm/脉冲、0.005 mm/脉冲、0.001 mm/脉冲,目前所使用的数控系统脉冲当量一般为 0.001 mm/脉冲。

伺服系统是数控机床的关键部件,它的好坏直接影响着数控加工的速度、位置、精度等。伺服机构中常用的驱动装置,随数控系统的不同而不同。开环系统的伺服机构常用步进电动机和电液脉冲马达;闭环系统常用宽调速直流电动机和电液伺服驱动装置等。

4) 辅助控制系统

辅助控制系统是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的强电控制装置。它接受数控装置输出的主运动变速、刀具选择交换、辅助装置动作等指令信号,经过必要的编译、逻辑判断、功率放大后直接驱动相应的电器、液压、气动和机械部件,以完成各种规定的动作。此外,有些开关信号经过辅助控制系统传输给数控装置进行处理。

5) 机床本体

机床本体是数控机床的主体,由机床的基础大件(如床身、底座)和各种运动部件(如工作台、床鞍、主轴等)所组成。它是完成各种切削加工的机械部分,是在普通机床的基础上改进而成的。其具有以下特点:

(1) 数控机床采用了高性能的主轴与伺服传动系统、机械传动装置。

(2) 数控机床机械结构具有较高的刚度、阻尼精度和耐磨性。

(3) 更多采用了高效传动部件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨。

(4) 与传统的手动机床相比,数控机床的外部造型、整体布局,传动系统与刀具系统的部件结构及操作机构等方面都发生了很多变化。这些变化的目的是为了满足不同数控机床的要求和充分发挥数控机床的特点,因此,必须建立数控机床设计的新概念。

2.3 数控机床的分类

当前数控机床的品种很多,结构、功能各不相同,通常按下述方法进行分类。

1. 按机床运动轨迹进行分类

按机床运动轨迹不同,可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

1) 点位控制数控机床

点位控制(positioning control)又称为点到点控制(point to point control)。刀具从某一位置向另一位置移动时,不管中间的移动轨迹如何,只要刀具最后能正确到达目标位置,就称为点位控制。

点位控制机床的特点是只控制移动部件由一个位置到另一个位置的精确定位,而对它们的运动过程中的轨迹没有严格要求,在移动和定位过程中不进行任何加工。因此,为了尽可能地减少移动部件的运动时间和定位时间,移动部件先快速移动到接近新点位的位置,然后进行连续降速或分级降速,使之慢速趋近定位点,以保证其定位精度。点位控制加工如图 2.4 所示。

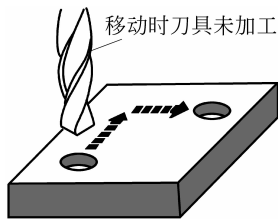


图 2.4 点位控制加工示意图

点位控制数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控点焊机和数控折弯机等,其相应的数控装置称为点位控制数控装置。

2) 直线控制数控机床

直线控制(straight cut control)又称为平行切削控制(parallel cut control),这类控制除了控制点到点的准确位置之外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线,而且对移动的速度也有控制,因为这一类机床在两点之间移动时要进行切削加工。

直线控制数控机床的特点是刀具相对于工件的运动不仅要控制两相关点的准确位置(距离),还要控制两相关点之间移动的速度和轨迹,其轨迹一般由与各轴线平行的直线段组成。它和点位控制数控机床的区别在于当机床移动部件移动时,可以沿一个坐标轴的方向进行切削加工,而且其辅助功能比点位控制的数控机床多。直线控制加工如图 2.5 所示。

直线控制数控机床主要有数控坐标车床、数控磨床和数控镗铣床等,其相应的数控装置称为直线控制数控装置。

3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称为连续控制,大多数数控机床具有轮廓控制功能。轮廓控制数控机床的特点是能同时控制两个以上的轴联动,具有插补功能。它不仅要控制加工过程中的每一点的位置和刀具移动速度,还要加工出任意形状的曲线或曲面。轮廓控制加工如图 2.6 所示。

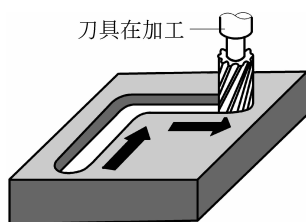


图 2.5 直线控制加工示意图

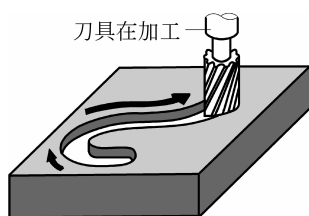


图 2.6 轮廓控制加工示意图

属于轮廓控制机床的有数控坐标车床、数控铣床、加工中心等,其相应的数控装置称为轮廓控制装置。轮廓控制装置比点位、直线控制装置结构复杂得多,功能齐全得多。

2. 按伺服系统类型进行分类

按伺服系统类型不同,可分为开环控制数控机床、闭环控制数控机床和半闭环控制数控机床。

1) 开环控制数控机床

开环控制(open loop control)数控机床通常不带位置检测元件,伺服驱动元件一般为步进电动机。数控装置每发出一个进给脉冲后,脉冲便经过放大,并驱动步进电动机转动一个固定角度,再通过机械传动驱动工作台运动。开环伺服系统如图 2.7 所示。这种系统没有被控对象的反馈值,系统的精度完全取决于步进电动机的步距精度和机械传动的精度,其控制线路简单,调节方便,精度较低(一般可达 $\pm 0.02\text{ mm}$),通常应用于小型或经济型数控机床。

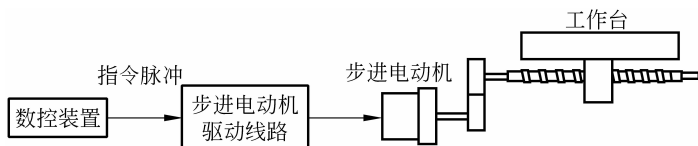


图 2.7 开环伺服系统

2) 闭环控制数控机床

闭环控制(closed loop control)数控机床通常带位置检测元件,随时可以检测出工作台的实际位移并反馈给数控装置,与设定的指令值进行比较后,利用其差值控制伺服电动机,直至差值为零。这类机床一般采用直流伺服电动机或交流伺服电动机驱动。位置检测元件常有直线光栅、磁栅、同步感应器等。闭环伺服系统如图 2.8 所示。

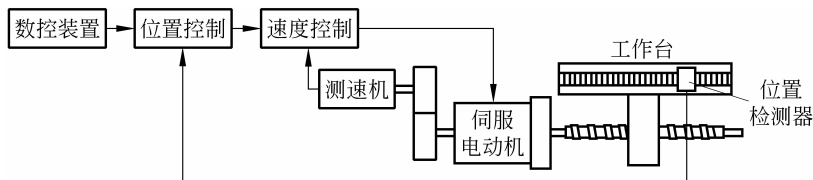


图 2.8 闭环伺服系统

由闭环伺服系统的工作原理可以看出,系统精度主要取决于位置检测装置的精度,从理论上讲,它完全可以消除由于传动部件制造中存在的误差给工件加工带来的影响,所以这种

系统可以得到很高的加工精度。闭环伺服系统的设计和调整都有很大的难度,直线位移检测元件的价格比较昂贵,主要用于一些精度要求较高的镗铣床、超精车床和加工中心。

3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制(semi-closed loop control)数控机床通常将位置检测元件安装在伺服电动机的轴上或滚珠丝杠的端部,不直接反馈机床的位移量,而是检测伺服系统的转角,将此信号反馈给数控装置进行指令比较,用差值控制伺服电动机。半闭环伺服系统如图 2.9 所示。

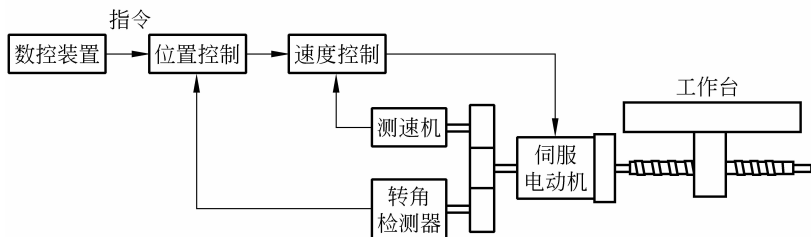


图 2.9 半闭环伺服系统

因为半闭环伺服系统的反馈信号取自电动机轴的回转,因此系统中的机械传动装置处于反馈回路之外,其刚度、间隙等非线性因素对系统稳定性没有影响,调试方便。同样,机床的定位精度主要取决于机械传动装置的精度,但是现在的数控装置均有螺距误差补偿和间隙补偿功能,不需要将传动装置各种零件的精度提得很高,通过补偿就能将精度提高到绝大多数用户都能接受的程度。再加上直线位移检测装置比角位移检测装置昂贵得多,因此,除了对定位精度要求特别高或行程特别长,不能采用滚珠丝杠的大型机床外,绝大多数数控机床均采用半闭环伺服系统。

3. 按工艺用途进行分类

按工艺用途不同,可分为金属切削类数控机床、金属成形类数控机床、数控特种加工机床和其他类型的数控机床。

1) 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床包括数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床、数控镗床以及加工中心。切削类机床发展最早,目前种类繁多,功能差异也较大,加工中心能实现自动换刀。这类机床都有一个刀库,可容纳 10~100 把刀具。其特点是:工件一次装夹可完成多道工序。为了进一步提高生产效率,有的加工中心使用双工作台,一面加工,一面装卸,工作台可以自动交换。

2) 金属成形类数控机床

金属成形类数控机床包括数控折弯机、数控组合冲床和数控回转头压力机等。这类机床起步晚,但目前发展很快。

3) 数控特种加工机床

数控特种加工机床有线切割机床、数控电火花加工机床、火焰切割机 and 数控激光机切割机床等。

4) 其他类型的数控机床

其他类型的数控机床有数控三坐标测量机床等。

2.4 数控机床加工的特点及应用

1. 数控机床加工的特点

与普通机床相比,数控机床是一种机电一体化的高效自动机床,它具有以下加工特点。

1) 具有高度的柔性,适应性强

所谓柔性即“灵活”、“可变”,是相对“刚性”而言的。许多企业采用的组合机床、专用机床是针对某种零件而设计的,适用于产品稳定的大批量生产,能大幅提高生产效率和产品质量,并降低成本。但这类“刚性”设备无法适应多品种、小批量生产。数控机床更换加工对象,只需要重新编制和输入加工程序即可实现加工;在某些情况下,甚至只要修改程序中部分程序段或利用某些特殊指令就可实现加工(例如利用缩放功能指令就可实现加工形状相同、尺寸不同的零件)。这为单件、小批量、多品种生产,产品改型和新产品试制提供了极大的方便,大大缩短了生产准备及试制周期。

2) 加工精度高,质量稳定

由于数控机床采用了数字伺服系统,数控装置每输出一个脉冲,通过伺服执行机构使机床产生相应的位移量(称为脉冲当量),可达 $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$;机床传动丝杠采用间歇补偿,螺距误差及其传动误差可由闭环系统加以控制,因此数控机床能达到较高的加工精度。例如普通精度加工中心,定位精度一般可达到每 300 mm 长度误差不超过 $\pm(0.005 \sim 0.008) \text{ mm}$,重复精度可达到 0.001 mm 。另外,数控机床结构刚性和热稳定性都较好,制造精度能保证;其自动加工方式避免了操作者的人为操作误差,加工质量稳定,合格率高,同批加工的零件几何尺寸一致性好。数控机床能实现多轴联动,可以加工普通机床很难加工甚至不可能加工的复杂曲面。

3) 加工生产效率高

在数控机床上可选择最有利的加工参数,实现多道工序连续加工;也可实现多机看管。由于采用了加速、减速措施,使机床移动部件能快速移动和定位,大大节省可加工过程中的空程时间。

4) 可获得良好的经济效率

虽然数控机床分摊到每个零件上的设备费(包括折旧费、维修费、动力消耗费等)较高,但生产效率高,单件、小批量生产时节省辅助时间(如划线、机床调整、加工检验等),节省直接生产费用。数控机床加工精度稳定,减少废品率,使生产成本进一步降低。

5) 有利于现代化的生产与管理

采用数控加工,能方便、精确地计算零件的加工工时或进行自动加工统计,能精确计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理。数控机床是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、直接数字控制或分布数字控制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造系统的基础。

2. 数控机床的应用

数控机床的性能特点决定了它的应用范围。对于数控加工,可按适应程度将加工对象

大致分为 3 类。

1) 最适应类

最适应数控机床加工的是：加工精度要求高，形状、结构复杂，尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件，或具有封闭内腔的零件，这类零件用通用机床很难加工，很难检测，质量也难以保证；必须在一次装夹中完成铣、钻、铰、镗或攻螺纹等多道工序的零件。

2) 较适应类

(1) 价格昂贵，毛坯获得困难，不允许报废的零件。这类零件在普通机床上加工时，有一定难度，受机床的调整、操作人员工作状态等多种因素影响，容易产生次品或废品。为可靠起见，可选择在数控机床上进行加工。

(2) 在通用机床上加工生产效率低、劳动强度大、质量难稳定控制的零件。

(3) 用于改型比较、供性能测试的零件(它们要求尺寸一致性好)。

(4) 多品种、多规格、单件小批量生产的零件。

3) 不适应类

(1) 利用毛坯作为粗基准定位进行加工或定位完全需要人工找正的零件。

(2) 数控机床无在线检测系统可自动检测调整零件位置坐标的情况下，加工余量很不稳定的零件。

(3) 必须用特定的工艺装备，或依据样板、样件加工的零件或加工内容。

(4) 需大批量生产的零件。

随着数控机床性能的提高、功能的完善和成本的降低，数控加工用的刀具、辅助用具的性能不断改善提高和数控加工工艺的不断改进，利用数控机床高自动化、高精度、工艺集中的特性，将数控机床用于大批量生产的情况逐渐多起来。因此，适应性是相对的，会随着科技的发展而发生变化。

2.5 机床坐标系的建立原则

机床的运动形式是多种多样的，为了描述刀具与零件的相对运动及简化编程，我国已根据 ISO 标准统一规定了数控机床坐标轴的代码及其运动方向。

1. 机床坐标系建立的原则

(1) 刀具相对于静止的工件而运动的原则。由于机床的结构不同，有的是刀具运动，工件固定；有的是刀具固定，工件运动等。为了编程方便，一律规定编程坐标系为工件固定，刀具运动。

(2) 标准坐标系采用右手直角笛卡儿坐标系 X, Y, Z 表示，常称基本坐标系。 X, Y, Z 坐标轴的相互关系用右手定则决定。如图 2.10 所示，图中大拇指的指向为 X 轴的正方向，食指指向为 Y

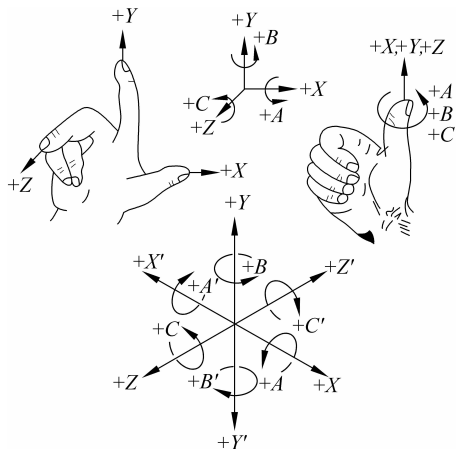


图 2.10 右手直角笛卡儿坐标系

轴的正方向,中指指向为 Z 轴的正方向。相应地用 A, B, C 表示回转轴线与 X, Y, Z 轴重合或平行的回转运动,并用右手螺旋法则判断,其正方向用 $+A, +B, +C$ 表示。用 $+X', +Y', +Z', +A', +B', +C'$ 表示工件相对于刀具运动的正方向,与 $+X, +Y, +Z, +A, +B, +C$ 相反。

如果数控机床的运动多于 X, Y, Z 三个坐标,则用附加坐标轴 U, V, W 分别表示平行于 X, Y, Z 轴的第二组直线运动;如果还有平行于 X, Y, Z 轴的第三组直线运动,则附加的坐标轴可分别指定为 P, Q 及 R 轴。如果在 X, Y, Z 三个坐标轴主要直线运动之外存在不平行或可以不平行 X, Y, Z 轴的直线运动,也可相应地指定附加坐标轴 U, V, W 或 P, Q 及 R 表示。如果在第一组回转运动 A, B, C 之外还有平行或可以不平行 A, B, C 的第二组回转运动,可以分别指定 D, E 及 F 。然而,就大部分数控机床的加工动作而言,只需3个基本坐标轴及一个旋转轴便可完成大部分零件的数控加工。一些数控机床的坐标系如图2.11所示。

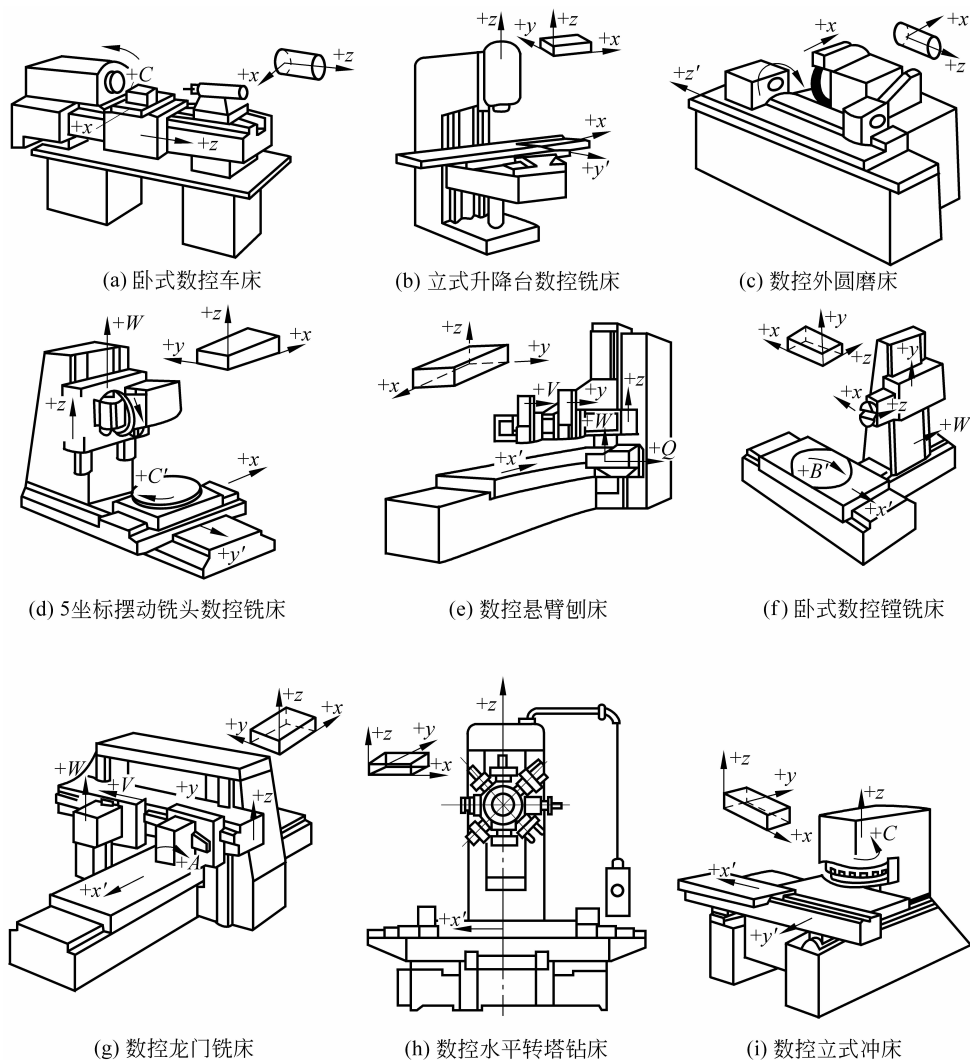


图 2.11 数控机床的坐标系

(3) 增大零件和刀具之间的距离的运动方向为坐标轴的正方向。

2. 数控机床坐标系的建立

1) Z 轴的确定

机床主轴是传递主要切削动力的轴,可以表现为带动刀具旋转,也可以表现为带动工件旋转。例如卧式或立式数控车床、数控外圆磨床是主轴带动工件旋转,而数控铣床、数控钻床等则是主轴带动刀具旋转。统一规定与机床主轴重合或平行的刀具运动坐标为 Z 轴,远离工件的刀具运动方向为 Z 轴正方向($+Z$)。当机床有几个主轴时,则选一个垂直于工件装夹面的主轴为主要的主轴,与该轴重合或平行的刀具运动坐标轴为 Z 轴。如果机床没有主轴,例如数控悬臂刨床,则 Z 轴垂直于机床工作台上的定位表面,如图 2.11(e)所示;数控立式冲床虽然可以旋转冲头盘更换冲头,但在冲载过程中则是做冲头往复运动, Z 轴方向如图 2.11(i)所示。

2) X 轴的确定

X 轴是水平方向,且垂直 Z 轴、平行于工件的装夹面。对于加工过程中不产生刀具旋转或工件旋转的机床, X 轴平行于主切削方向,坐标轴正方向与切削方向一致,例如前面提到的数控悬臂刨床。对于加工过程主轴带动工件旋转的机床,例如数控车床、数控磨床等, X 坐标轴沿工件的径向,平行于横向滑座或其导轨刀架上刀具或砂轮离开工件旋转中心的方向为坐标轴正方向。对于刀具旋转的机床,如果 Z 轴是水平的,例如数控卧式镗铣床,则从与 Z 轴平行的主轴向工件看, X 轴的正向($+X$)指向右方。如果 Z 轴是垂直的,对单立柱机床,例如立式数控铣床和数控水平转塔头立式钻床,则与 Z 轴平行的主轴向立柱看时, X 轴正向指向右方。对于龙门式机床,例如数控龙门铣床,则从于 Z 轴平行的主轴向左侧立柱看时, X 轴正向指向右方,如图 2.11(g)所示。

3) 其他坐标的确定

根据 X, Z 轴及其方向,利用右手定则即可确定 Y 轴方向;根据 X, Z, Y 轴及其方向,利用右手螺旋定则即可确定轴线平行于 X, Y, Z 轴的旋转运动 A, B, C 的方向。

机床坐标可在机床使用说明书或机床标牌上找到。

3. 机床原点、机床参考点和工件坐标系

1) 机床原点

机床的原点又称机械原点,它是机床坐标系的原点。该点是机床上的一个固定的点,其位置是由机床设计和制造单位确定的,通常不允许用户改变。数控车床的机床原点一般设在卡盘前端面或后端面的中心,如图 2.12(a)所示。数控铣床的机床原点,各个生产厂不一致,有的设在机床工作台的中心,有的设在进给行程的中心,有的设在进给行程的终点,如图 2.12(b)所示。

2) 机床参考点

机床参考点是机床坐标系中一个固定不变的位置点,是在机床工作台中,对刀具相对运动的测量系统进行标定和控制的点。机床参考点通常设置在机床各轴靠近正向极限的位置,如图 2.12 所示,通过减速行程开关粗定位而由零件点脉冲精确定位。机床参考点对机

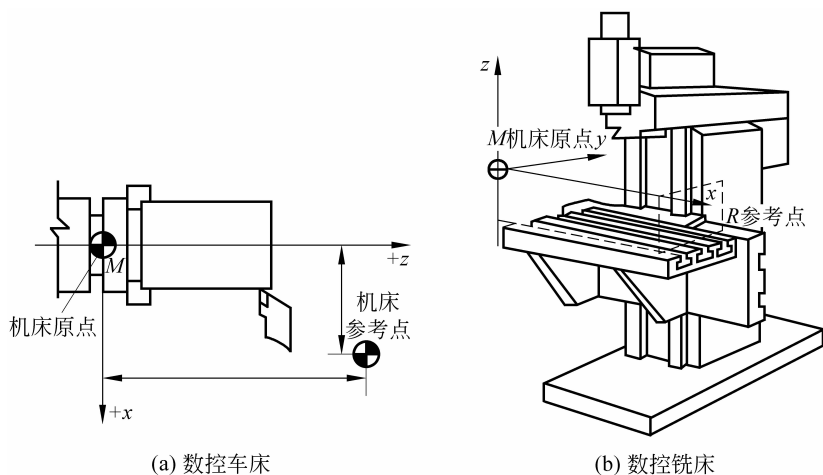


图 2.12 数控机床的机床原点与机床参考点

床原点的坐标是一个已知定值,也就是说,可以根据机床参考点在机床坐标系中的坐标值间接确定机床原点的位置。在接通电源后,通常都要做回零操作,即利用 CRT/MDI 控制面板上的功能键和机床操作面板上的有关按钮,使刀具或工作台退离到机床的参考点在坐标系中的坐标值的位置,表明机床坐标系已自动建立。可以说回零操作是对基准的重新核定,可消除由于种种原因产生的基准偏差。

在数控加工程序中可用相关指令使刀具经过一个中间点自动返回参考点。机床参考点已由机床制造厂家测定后输入数控系统,并且记录在机床说明书中,用户不得更改。

一般数控车床、数控铣床的机床原点和机床参考点位置如图 2.12 所示。有些数控机床的原点和参考点重合。

3) 工件坐标系

工件坐标系是在数控编程时用来定义工件形状和刀具相对工件运动的坐标系,为保证编程与机床加工的一致性,工件坐标系也应是右手笛卡儿坐标系。工件装夹到机床上时,应使工件坐标系与机床坐标系的坐标轴方向保持一致。工件坐标系的原点称为工件原点或编程原点,工件原点在工件上的位置虽可任意选择,但应遵循以下原则:

- (1) 工件原点选在工件图样的基准上,以利于编程。
- (2) 工件原点尽量选在尺寸精度高、粗糙度值低的工件表面上。
- (3) 工件原点最好选在工件的对称中心上。
- (4) 要便于测量和检验。

数控车床加工工件时,工件的原点一般设在主轴中心线与工件右端面(或左端面)的交点处,如图 2.13(a)所示。数控铣床加工时,工件原点一般设在进刀方向的一侧工件外轮廓面的某个角上或对称中心上,如图 2.13(b)所示。

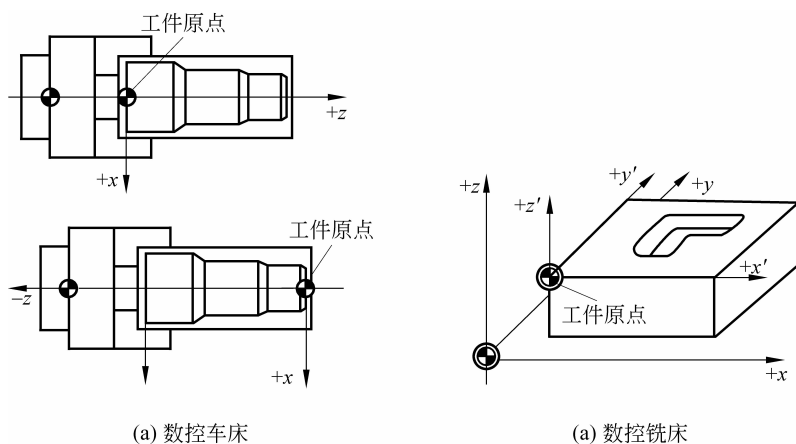


图 2.13 工件原点设置

2.6 数控编程方法

数控编程分为手动编程和自动编程两大类。

1. 手动编程

从分析零件图、确定零件加工工艺过程,到数字计算、编写零件加工程序、校对程序,整个过程主要由人工完成,这种编程方法称为手动编程。手动编程经济、便捷,适于几何形状简单的零件,如直线与圆弧组成的轮廓零件。掌握手动编程是学习计算机辅助编程的基础。

2. 自动编程

自动编程是利用计算机及专用的自动编程软件,以人机对话方式确定加工对象和加工条件,自动进行运算和生成指令。对于形状复杂,具有非圆曲线及曲面的零件,如汽轮机叶片、复杂的型腔模具等,数值计算很繁琐,程序量很大,手工编程难以胜任,此时需采用自动编程。人们运用相关软件(CAD/CAM)进行数控程序编制工作,通过零件造型、特征识别与提取等工作,使计算机自动计算出刀具轨迹,再经过后置处理,生成零件的数控加工程序,即由计算机自动对零件进行数值计算,编写零件加工程序。数控机床程序编制工作的大部分或全部由计算机来完成,所以自动编程也称为计算机辅助编程。

与手动编程相比,自动编程可以减轻编程者的劳动强度、缩短了编程时间,编程质量高。对于某些复杂型面的零件,必须采用自动编程方法。

3. 常用 CAD/CAM 软件简介

1) CAXA 制造工程师

CAXA 制造工程师是由北京北航海尔软件有限公司研制开发的全中文、面向数控铣床和加工中心的三维 CAD/CAM 软件。它基于微机平台,采用原创 Windows 菜单和交互方

式,便于轻松学习和操作。它全面支持图标菜单、工具条、快捷键,用户还可以自由创建符合自己习惯的操作环境。它既具有线框造型、曲面造型和实体造型的设计功能,又具有能生成二至五轴加工代码的数控加工功能,可用于加工具有复杂三维曲面的零件。此外 CAXA 还有数控车削、数控线切割等其他 CAM 产品。CAXA 系列产品的特点是易学易用、价格较低,已在国内众多企业、院校及研究院中得到广泛使用。

2) Pro/Engineer

Pro/Engineer 是美国 PTC 公司研制开发的软件,它开创了三维 CAD/CAM 参数化的先河。该软件具有基于特征、全参数、全相关和单一数据库的特点,可用于设计和加工复杂的零件。另外,还具有零件装配、机构仿真、有限元分析、逆向工程、同步工程等功能。该软件也具有较好的二次开发环境。

3) UG

UG 是美国 UGS 公司开发的,其不仅具有复杂造型和数控加工的功能,还具有管理复杂产品装配、进行多种设计方案对比分析和优化等功能。该软件具有良好的二次开发环境和数据交换能力,其庞大的模块群为企业提供了从产品设计、产品分析、加工、装配、检验到过程管理、虚拟运作等全系列的技术支持。目前该软件在国际 CAD/CAM/CAE 市场占有率有较大份额。

4) MasterCam

MasterCam 是美国 CNC Software 公司推出的基于 PC 平台上的 CAD/CAM 软件,它具有很强的加工功能,尤其在复杂曲面自动生成加工代码方面,具有独到的优势。而且该软件操作灵活、易学易用、价格较低,受到众多企业的欢迎。

5) CATIA

CATIA 是最早实现曲面造型的软件,它开创了三维设计的新时代,它的出现,首次实现了计算机完整描述产品零件的主要信息,使 CAM 开发有了现实的基础。目前 CATIA 系统已发展成具有产品设计、产品分析、加工、装配、检验、过程管理、虚拟运作等众多功能的大型 CAD/CAM/CAE 软件。

6) CIMATRON

CIMATRON 是以色列 Cimatron 公司提供的 CAD/CAM/CAE 软件,是较早能在微机平台上实现三维 CAD/CAM 的全功能系统。它具有三维造型、生成工程图纸、数控加工等功能,具有各种通用和专用的数据接口及产品数据管理等功能。

复习思考题

1. 数控机床由哪些部分组成? 各组成部分有什么作用?
2. 什么叫点位控制、直线控制和轮廓控制? 它们的主要特点与区别是什么?
3. 什么叫开环、闭环和半闭环系统? 它们之间有什么区别?
4. 简述数控机床的工作原理。
5. 和普通机床相比较,数控机床加工有何特点?
6. X 轴、Y 轴和 Z 轴在机床上分布的原则是什么?