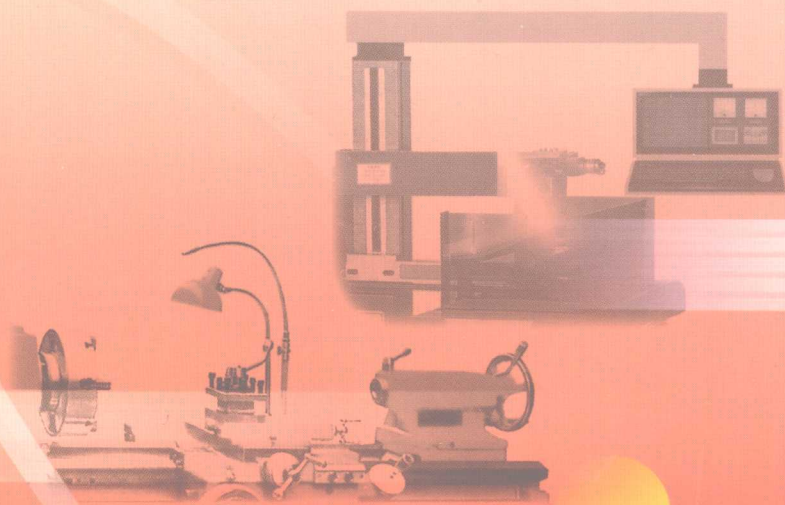




中等职业教育“十一五”规划教材
(机电技术应用专业)

普通机床与 数控机床

于万成 主编



赠电子教案



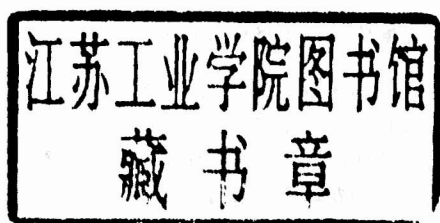
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



中等职业教育“十一五”规划教材
(机电技术应用专业)

普通机床与数控机床

主 编 于万成
副主编 王桂莲
参 编 王业端 赵 胤 李东风



机械工业出版社

本书以培养技能型人才为主线,从实际应用的角度出发介绍了普通机床与数控机床的结构特点及应用。全书共分为7章,包括普通机床与数控机床概述、普通机床的结构、数控机床的典型结构、数控机床的数控系统、数控特种加工机床、数控加工工艺与编程基础、数控机床维护与常见故障诊断。

本书可作为中等职业学校机电技术应用、机电一体化、数控技术应用和机械制造及控制等专业教学用书,也可作为专科院校教学参考书,以及技术工人的自学参考书。

本书配有免费电子教案,选用本书作为授课教材的学校可来电索取,咨询电话:010-88379195。

图书在版编目(CIP)数据

普通机床与数控机床/于万成主编. —北京:机械工业出版社,2008.5
中等职业教育“十一五”规划教材. 机电技术应用专业
ISBN 978-7-111-23940-6

I. 普… II. 于… III. ①机床-专业学校-教材②数控机床-专业学校-教材 IV. TG502 TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第054080号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:高倩 张值胜 责任编辑:章承林

责任校对:张媛 封面设计:姚毅 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(北京樱花印刷厂装订)

2008年6月第1版第1次印刷

184mm×260mm·11.25印张·262千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-23940-6

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着微电子技术、计算机技术、自动控制技术的发展,数控技术在传统机床的基础上得到了广泛应用。数控机床的使用给传统制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来深刻的变化,数控机床逐步取代普通机床已成为趋势,这也给传统的机电类专业人才的培养带来新的挑战。为了更好地适应职业学校机电专业教学及市场需要,编者总结多年的教学实践经验编写了此书。

本书以技能人才培养为主线,力求简单、实用,强调生产实际与技术应用的密切联系。在编写的过程中,重视培养和提高学生分析问题和解决问题的能力。

本书主要介绍了普通机床的结构、数控机床的典型结构、数控机床的数控系统、数控特种加工机床、数控加工工艺与编程基础、数控机床维护与常见故障诊断。

本书共7章,由于万成和王桂莲统稿。其中第2、7章由山东省轻工工程学校王桂莲编写,第1章由海南省工业学校王业端编写,第3、4、6章由山东省轻工工程学校于万成编写,第5章由安阳技师学院赵胤和李东风编写。

由于编者的水平和经验有限,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2008.3

目 录

前言


第 1 章 普通机床与数控机床概述	1
1.1 金属切削机床与数控机床的特点与发展	1
1.1.1 金属切削机床的特点与发展	1
1.1.2 数控机床的特点	2
1.1.3 数控机床的发展趋势	3
1.2 普通机床与数控机床的组成与原理	6
1.2.1 普通机床的组成与原理	6
1.2.2 数控机床的组成与工作过程	7
1.3 普通机床与数控机床的分类	10
1.3.1 普通机床的分类	10
1.3.2 数控机床的分类	20
1.3.3 数控机床的主要性能指标	25
第 2 章 普通机床的结构	27
2.1 卧式车床	27
2.1.1 卧式车床的组成及附件	27
2.1.2 卧式车床的传动系统	31
2.1.3 卧式车床的电气图	35
2.1.4 车床的润滑与保养	38
2.2 普通铣床	38
2.2.1 铣床的分类	38
2.2.2 X6132 型卧式万能升降台铣床	39
2.2.3 立式铣床	41
2.2.4 铣床的一级保养和调整	41
2.3 钻床与镗床	47
2.3.1 钻床	47
2.3.2 镗床	48
2.3.3 镗床的润滑和维护保养	51
2.4 磨床	53
2.4.1 MG1432 型万能外圆磨床	53
2.4.2 M7120B 型平面磨床	55
2.4.3 M2120B 型内圆磨床	55
2.4.4 M6020 型工具磨床	56
2.4.5 磨床的维护保养	56
2.4.6 磨床常见的故障与排除	58
2.5 齿轮加工机床	59
2.5.1 齿轮加工机床的工作原理	60


2.5.2 齿轮加工机床的类型	60
2.5.3 Y3150E 型滚齿机	60
2.5.4 Y5132 型插齿机	61
2.5.5 圆柱齿轮磨齿机	62
第3章 数控机床的典型结构	63
3.1 数控机床的主传动系统及主轴部分	63
3.1.1 主传动系统	63
3.1.2 主轴部件	65
3.2 数控机床的进给传动系统	70
3.2.1 数控机床对进给传动系统的基本要求	70
3.2.2 数控机床进给传动系统	71
3.2.3 齿轮传动副	75
3.2.4 导轨副	77
3.3 自动换刀装置	81
3.3.1 转塔式自动换刀装置	81
3.3.2 刀库	83
3.3.3 刀具交换装置	84
3.4 数控机床的伺服系统	84
3.4.1 伺服系统的组成	84
3.4.2 伺服系统的执行元件	85
3.5 数控机床的检测装置	89
3.5.1 概述	89
3.5.2 编码器	90
3.5.3 光栅	92
第4章 数控机床的数控系统	95
4.1 计算机数控装置	95
4.1.1 数控装置的组成	95
4.1.2 数控装置的功能	96
4.2 数控系统的硬件结构	97
4.2.1 数控系统硬件结构的分类	97
4.2.2 单微处理器结构	98
4.2.3 多微处理器结构	98
4.2.4 PC 数控系统	100
4.3 数控系统的软件结构	100
4.3.1 数控系统的软件特点	100
4.3.2 数控系统的软件结构模式	102
4.4 可编程序控制器	104
4.4.1 PLC 的特点	104
4.4.2 PLC 的主要功能	105
4.4.3 PLC 的组成和工作原理	105
4.4.4 PLC 在数控系统中的应用	106
4.5 典型的数控系统	108
4.5.1 FANUC 数控系统	108

4.5.2	SIEMENS 系统	109
4.5.3	HNC-21/22M	111
第5章 数控特种加工机床		113
5.1	特种加工概述	113
5.1.1	特种加工的特点	113
5.1.2	特种加工的分类	114
5.1.3	几种常用特种加工方法的比较	114
5.2	数控电火花加工机床	116
5.2.1	数控电火花成形加工的基本原理	116
5.2.2	数控电火花成形加工过程	117
5.2.3	数控电火花成形加工特点	118
5.2.4	数控电火花成形加工的用途	119
5.2.5	数控电火花成形加工机床的组成	119
5.2.6	数控电火花成形加工机床的使用与维护保养	122
5.3	数控电火花线切割加工机床	123
5.3.1	数控电火花线切割机床加工的基本原理	124
5.3.2	数控电火花线切割机床加工特点与分类	124
5.3.3	数控电火花线切割机床加工的用途	125
5.3.4	数控电火花线切割机床的组成	126
5.3.5	数控电火花线切割机床的维护保养与故障排除	128
第6章 数控加工工艺与编程基础		130
6.1	数控加工工艺概述	130
6.1.1	数控加工工艺的特点	130
6.1.2	数控加工工艺的主要内容	130
6.1.3	数控加工工艺	131
6.1.4	切削用量	131
6.1.5	节点的计算	132
6.2	数控编程概述	133
6.2.1	数控编程的方法	133
6.2.2	数控程序的结构与格式	134
6.3	数控车床编程指令	135
6.3.1	数控车床编程基础知识	135
6.3.2	辅助编程指令	135
6.3.3	G 指令	136
6.4	数控铣床、加工中心编程指令	138
6.5	编程综合实例	139
6.5.1	数控车削加工项目实例	139
6.5.2	数控铣削加工项目实例	140
第7章 数控机床维护与常见故障诊断		143
7.1	数控机床的安装调试与验收	143
7.1.1	数控机床的安装	143
7.1.2	数控机床的调试	144

7.1.3 数控机床的验收	146
7.2 数控机床维护	150
7.2.1 机械部件的维护	150
7.2.2 伺服电动机的维护	152
7.2.3 位置检测元件的维护	153
7.2.4 数控系统日常维护	153
7.2.5 日常点检	154
7.2.6 月检查要点	155
7.2.7 半年检查要点	155
7.3 数控机床故障诊断方法	156
7.3.1 目测	156
7.3.2 手摸	157
7.3.3 通电	157
7.3.4 仪器测量法	157
7.3.5 用可编程控制器进行 PLC 中断状态分析	157
7.3.6 接口信号检查	157
7.3.7 诊断备件替换法	157
7.3.8 利用系统的自诊断功能判断	158
7.3.9 数控机床故障诊断与维修的其他方法	158
7.4 数控机床机械故障诊断与排除	159
7.4.1 主传动系统的故障诊断	159
7.4.2 进给系统的故障诊断	160
7.5 数控系统故障诊断与排除	162
7.5.1 电源类故障诊断与排除	162
7.5.2 数控系统软件故障诊断与排除	163
7.6 数控机床进给驱动系统的故障诊断与排除	164
7.6.1 进给伺服系统常见报警及排除	164
7.6.2 进给伺服系统常见故障诊断与排除	165
7.6.3 进给伺服电动机故障诊断与排除	165
7.7 主轴驱动系统的故障诊断与排除	166
7.7.1 数控机床对主轴驱动系统的要求	166
7.7.2 不同类型的主轴系统的特点和使用范围	167
7.7.3 主轴驱动系统的故障诊断与排除	167
7.8 典型故障排除实例	169
7.8.1 机械系统故障的排除	169
7.8.2 数控系统故障的排除	170
7.8.3 进给伺服系统故障的排除	170
7.8.4 主轴系统故障的排除	170
参考文献	172

第 1 章 普通机床与数控机床概述

 知识目标：了解普通机床和数控机床的特点和发展趋势；熟悉普通机床和数控机床的组成、原理及分类编号。

 技能目标：能正确区分普通机床和数控机床，并指出各自的结构特点；能根据零件的形状和特点合理选择加工机床。

1.1 金属切削机床与数控机床的特点与发展

1.1.1 金属切削机床的特点与发展

1. 金属切削机床的特点

材料的切削加工是用一种硬度高于工件材料的单刃刀具或多刃刀具，在工件表层切去一部分预留量，使工件达到预定的几何形状、尺寸、表面质量以及低加工成本的要求。

金属切削机床就是用切削的方法将金属毛坯（或半成品）加工成机器零件的机器。它是制造机器的机器，故又称为“工作母机”或“工具机”，习惯上简称为机床。

2. 金属切削机床的发展

金属切削机床是人类在改造自然的长期生产实践中，不断改进生产工具的基础上产生和发展起来的。最原始的机床是依靠双手的往复运动在工件上钻孔，最初的加工对象是木料，后来发展到加工其他材料，出现了依靠人力使工件往复回转的原始车床。在原始加工阶段，人既要提供机床的动力，又是操纵者。

当加工对象由木材逐步过渡到金属时，车圆、钻孔等都要求增大动力，于是就逐渐出现了水力、风力和畜力等驱动的机床。随着生产发展的需要，15~16世纪出现了铣床和磨床。我国明代宋应星所著《天工开物》中就已有对天文仪器进行铣削和磨削加工的记载，到18世纪出现了刨床。

18世纪末，蒸汽机的出现提供了新型巨大的能源，使生产技术发生了革命性变化。在加工过程中逐渐产生了专业分工，随之出现了各种类型的机床。到19世纪末，机床已扩大到多种类型。这些机床多采用天轴—传送带集中拖动，性能很低。20世纪以来，齿轮变速器的出现，使机床的结构和性能发生了根本性变化。随着电气、液压等科学技术的出现并在机床上得到普遍应用，机床技术有了迅速的发展，除通用机床外，又出现了许多变形品种和各式各样的专用机床。在机床发展的这个阶段，机床的动力已由自然力代替了人力。特别是工业革命以来，人只需操纵机床，生产力已不受人体力的限制。

近些年来，随着电子技术、计算机技术、信息技术以及激光技术等的发展并应用于机床领域，机床的发展进入了一个新时代。人不仅无需提供动力，连操纵都交给机器了。人只需编制电脑的工作程序，由电脑去操作机床。紧张的、重复性的操作都可由计算机完

成,而且不会出错。自动化、精密化、高效化和多样化成为这一时代机床发展的特征,用以满足社会生产多种多样、越来越高的要求,推动社会生产力的发展。

新技术的迅猛发展和客观需求的多样化,决定了机床必须多品种,技术的加速更新和产品更新换代的加快,使机床主要面对多品种的中小批生产。因此,现代机床不仅要保证加工精度、效率和高度自动化,还必须有一定的柔性,即灵活性,使之能够很方便地适应加工任务的改变。

提高机床的精密度不只是现代机床技术发展的基础,也是当前发展某些高新技术产品的迫切需要。1950~1980年的30年间,普通机床加工的精度达到了 $5\mu\text{m}$,精密加工精度提高了近两个数量级,而超精密加工则已进入纳米($1\text{nm}=0.001\mu\text{m}$)时代。一些工业发达国家把发展精密和超精密加工当作一项战略任务。不断提高劳动生产率和自动化程度是机床发展的基本方向。

1.1.2 数控机床的特点

近年来,数控机床已成为机床发展的主流,数控机床无需人工操作,而是靠数控程序完成加工循环。调整方便,适应灵活多变的产品,使得中小批生产自动化成为可能。同时,数控机床在防护罩封闭的条件下自动加工,不用担心切屑飞出伤人,也不用担心切削液飞溅在操作者身上。可用大流量切削液喷射冷却,从而实现高速切削,充分发挥刀具的切削性能。快移速度大大提高(已达到 $20\text{m}/\text{min}$ 以上),不用担心人工操作过度紧张的问题,从而缩短了加工辅助时间。工序集中,一次装夹完成尽可能多的工序,这对重型零件加工特别有利。屏幕模拟,即在加工前先输入加工程序,在荧光屏上模拟每一道工序,检查合格后再加工。这样可避免编程错误,只要程序不出错,就不会出现加工错误,避免了人工操作的偶然差错,从而使废品率大大下降。这就是说,数控机床不仅实现了柔性自动化,而且提高了生产率,降低了废品率,它已由中小批量生产领域进入了大量生产(如汽车制造)领域。当然,改型方便、易于实现产品的更新换代,也是数控机床进入大量生产领域的重要原因。

数控机床以其适应性强、加工质量稳定、精度高等特点在机械加工中得到广泛应用。其主要特点如下:

1. 对零件加工的适应性强、灵活性好

所谓适应性和灵活性即我们通常所说的柔性,是指数控机床随加工零件变化而变化的适应能力。数控机床的工作是按照信息载体上所记载的“命令”来加工零件的,所以,改变加工零件时只需要改变信息载体上所记载的“命令”即可。也就是说更换程序即可,而不需改变机械部分和控制部分的硬件结构。适应性强是数控机床最突出的优点,这一优点较好地解决了单件、小批量、多变型产品的自动化生产问题,尤其适应当前产品更新快的市场竞争需要。

2. 能加工形状复杂的零件

数控机床能够实现两坐标或两坐标以上的多轴联动控制,因而可以加工出以母线为曲线的旋转体、凸轮等各种复杂空间曲面的零件,能完成普通机床难以完成的加工。

3. 避免人为误差

数控机床对零件的加工过程完全是自动进行的,不需要人工干预,所以可避免人为误

差。数控机床的机械传动系统和结构都具有很高的精度和刚度，且数控系统亦能对其加工精度进行校正和补偿。因此，数控机床具有很高的加工精度，且同一批生产的零件一致性好、加工质量稳定可靠。

4. 加工生产率高

数控机床可以使产品加工过程中减少许多工艺装备（如工夹具、样板、靠模等），缩短了加工准备时间。尤其是在使用带有自动换刀装置的数控加工中心机床时，工件往往只需进行一次装夹就能完成所有的加工工序，减少了半成品的周转时间。又因为数控机床定位精度高，可省去加工过程中的中间检测，减少了检测时间，所以数控机床的生产效率高。

5. 减轻工人劳动强度、改善劳动条件

数控机床的动作是由信息载体上的“命令”直接控制的。操作工人一般只需装卸零件和更换刀具并监督机床的运动。因而大大减轻了工人的劳动强度，改善了劳动条件。

6. 有利于机械加工综合自动化发展

数控机床是机械加工自动化的基本设备，DNC、FMC、FMS、CIMS等综合自动化系统必须由数控机床作基本单元。由于数控机床控制系统具有通信接口，适于计算机连接，可组成工业局部网络，实现生产过程的计算机管理与控制。

尽管数控机床具有上述诸多优点，但其毕竟是一种自动化程度很高的机床，技术难度大、价格也较高，要求操作、编程以及维修人员具有较高的技术水平。因此在我国现阶段仍然多用于精度高、形状复杂的中小批量零件加工。当然，随着微电子技术、计算机技术的发展，数控系统功能不断增加、体积不断缩小、价格不断下降，数控机床种类越来越多，数控机床比例将不断上升，应用范围必将越来越广泛。

项目训练：

1. 简述金属切削机床和数控机床的发展方向。
2. 金属切削机床和数控机床的特点是什么？
3. 简述我国数控机床的特点。

1.1.3 数控机床的发展趋势

随着科学技术的发展和制造技术的进步，中、小批量生产的比例明显增加，要求现代数控机床成为一种精密、高效、复合、集成功能和低成本的自动化加工设备。同时，为满足制造业向更高层次发展，为柔性制造单元、柔性制造系统，以及计算机集成制造系统提供基础设备，也要求数控机床向更高水平发展。当前，数控机床技术呈现如下发展趋势：

1. 高精度化

现代科学技术与生产的发展，对机械加工与测量提出了越来越高的精度要求。加工精密化不只是由于发展高新技术的需要，也是为了提高普通机电产品的性能质量、寿命和可靠性的需要，同时还是为了减少机械产品装配时的修配工作，提高装配效率的需要。故提高机床的加工精度是现代数控机床的发展方向之一。

2. 运动高速化

高速是高效的基础，要提高生产率，首先就得提高切削速度。这正是机床技术发展追

求的基本目标之一。而实现这个目标的最主要、最直接的方法就是提高切削速度、进给速度、减少辅助时间。

3. 高柔性化

实践证明,采用柔性自动化设备或系统,是提高加工精度和效率、缩短生产和供货周期、并能对市场变化需求做出快速响应和提高竞争能力的有效手段。

柔性是指机床适应加工对象变化的能力。传统的自动化设备,由于采用机械或刚性连接和控制,当被加工对象变换时,调整很困难,甚至是不可能的,有时只得全部更新或更换。数控机床的出现,开创了柔性自动化加工的新纪元,对满足加工对象变换有很强的适应能力。而且,在提高单机柔性化的同时,正努力向单元柔性化和系统柔性化方向发展。

4. 高自动化

高自动化是指在全部加工过程中尽量减少人的介入而自动完成规定的任务,包括物料流和信息流的自动化。20世纪80年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点”的自动化(单台数控机床)、“线”的自动化(FMC、FMS、FTL、FML)发展到“面”的自动化(柔性制造车间)。结合信息管理系统的自动化,逐步形成整个工厂“体”的自动化。在国外已出现FA(自动化工厂)和CIMS(计算机集成制造)工厂的实体。尽管由于这种高自动化的技术还不够完备,投资过大,回收期较长,但数控机床的高自动化以及向FMC、FMS的系统集成方向发展的总趋势仍是机械制造业发展的主流。

5. 高可靠性

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率,并获得良好的效益,还要取决于可靠性。

数控系统将采用更高集成度的电路芯片,利用大规模或超大规模的专用及混合式集成电路,以减少元器件的数量,提高可靠性。通过硬件功能软件化,以适应各种控制功能的要求,同时采用硬件结构机床本体的模块化、标准化、通用化和系列化,使得既提高硬件生产批量,又便于组织生产和质量把关。还通过自动运行启动诊断、在线诊断、离线诊断等多种诊断程序,实现对系统内硬件、软件和各种外部设备进行故障诊断和报警。利用报警提示,及时排除故障。利用容错技术,对重要部件采用“冗余”设计,以实现故障自恢复。利用各种测试、监控技术,自动进行相应的保护。

6. 智能化

随着人工智能在计算机领域的不断渗透与发展,为适应制造业生产的柔性化、自动化发展的需要,智能化正成为数控设备包括数控机床研究及发展的热点,目前采取的主要技术手段有以下几个方面:

(1) 自适应控制技术 自适应控制可根据切削条件的变化,自动调节工作参数,使加工过程中能保持最佳工作状态,从而得到较高的加工精度和较小的表面粗糙度,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率,达到改进系统运行状态的目的。可通过监控切削过程中的刀具磨损、破损、切屑形态、切削力及零件的加工质量等,向制造系统反馈信息,通过将过程控制、过程监控、过程优化结合在一起,实现自适应调节。

(2) 专家系统技术 将专家的经验 and 切削加工一般规律与特殊规律存入计算机中,以加工工艺参数数据库为支撑,建立具有人工智能的专家系统,提供经过优化的切削参数,

使加工系统始终处于最优和最经济的工作状态，从而提高编程效率和降低对操作人员的技术要求，缩短生产准备时间。

(3) 故障诊断技术 系统随时对 CNC 系统本身以及与其相连的各种设备进行自诊断和检查。出现故障立即采取停机等措施，进行故障报警，提示发生故障的部位、原因等。并利用“冗余”技术，自动使故障模块脱机，而接通备用模块，以确保无人化工厂工作环境的要求。

(4) 模式识别技术 应用图像识别和声控技术，使机器自己辨认图样，按照自然语音命令进行加工。

7. 复合化

复合化包含工序复合化和功能复合化。数控机床的发展已模糊了粗、精加工工序的概念。加工中心的出现，又把车、铣、镗等工序集中到一台机床来完成，打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程，可最大限度地提高设备利用率。为了进一步提高工效，数控机床又采用了多主轴、多面体切削，即同时对一个零件的不同部位进行不同方式的切削加工，如各类五面体加工中心。另外，数控系统的控制轴数也在不断增加，有的多达 15 轴，其同时联动的轴数已达 6 轴。

8. 网络化

为了适应 FMC、FMS 以及进一步联网组成 CIMS 的要求，先进的 CNC 系统为用户提供了强大的联网能力，除有 RS-232 串行接口、RS-422 等接口外，还带有远程缓冲功能的 DNC 接口，可以实现几台数控机床之间的数据通信和直接对几台数控机床进行控制。数控机床为了适应自动化技术的进一步发展和工厂自动化规模越来越大的要求，满足不同厂家、不同类型数控机床联网的需要，已配备与工业局域网（LAN）通信的功能及 MAP（制造自动化协议）接口，为数控机床进入 FMS 及 CIMS 创造了条件，促进了系统集成化和信息综合化，使远程操作和监控、遥控及远程故障诊断成为可能。不仅利于数控系统生产厂对其产品的监控和维修，也适用于大规模现代化生产的无人化车间，实行网络管理，还适用于在操作人员不宜到现场的环境（如对环境要求很高的超精密加工和对人体有害的环境）中工作。

9. 开放式体系结构

20 世纪 90 年代以后，计算机技术的飞速发展推动数控机床技术更快地更新换代，世界上许多数控系统生产厂家利用 PC 机丰富的软、硬件资源开发开放式体系结构的新一代数控系统。开放式体系结构可以大量采用通用微机的先进技术，如多媒体技术，实现声控自动编程、图形扫描自动编程等。其新一代数控系统的硬件、软件和总线规范都是对外开放的，由于有充足的软、硬件资源可供利用，不仅使数控系统制造商和用户进行系统集成得到有力的支持，而且也为用户的二次开发带来极大方便，促进了数控系统多档次、多品种的开发和广泛应用。既可通过升档或剪裁构成各种档次的数控系统，又可通过扩展构成不同类型数控机床的数控系统，开发生产周期大大缩短。这种数控系统可随 CPU 升级而升级，结构上不必变动。使数控系统有更好的通用性、柔性、适应性、扩展性，并向智能化、网络化方向发展。

项目训练：

数控机床的发展趋势是什么？

1.2 普通机床与数控机床的组成与原理

1.2.1 普通机床的组成与原理

1. 普通机床的组成

机床的传动装置一般有机械、液压、电气传动等形式。现代机床形式各异、种类繁多。但从原理上分析,机床加工过程中所需的各种运动,是通过运动源、传动装置和执行件以一定的规律所组成的传动链来实现的。各部分的组成为:

(1) 运动源 是提供运动和动力的装置。一般机床常用三相异步交流电动机;数控机床常用直流或交流调速电动机或伺服电动机。

(2) 传动装置 是传递运动和动力的装置。通过该装置,把运动源的动力和运动传递给执行件或把一个执行件的运动传递给另一执行件。传动装置需要完成变速、变向和改变运动形式等任务,以使执行件获得所需要的运动速度、运动方向和运动形式。

(3) 执行件 是执行运动的部件,如主轴、刀架、工作台等。执行件用于安装刀具或工件,并直接带动其完成一定形式的运动和保证准确的运动轨迹。

2. 普通机床的工作原理

普通机床的工作是由动力源→传动装置→执行件或甲执行件→传动装置→乙执行件→构成传动链。

在切削加工过程中,被加工表面是通过装在机床上的刀具和工件按一定规律相对运动而获得的。通过刀具的切削刃对工件毛坯的切削,把毛坯上多余的金属切掉,从而得到所要求的表面形状。组成零件的加工表面主要有平面、圆柱面、圆锥面和各种成形表面,工件常见的表面有平面、回转表面、螺纹、齿轮轮齿成形面等,这些都是线性表面,即都可以通过一条母线沿另一条导线运动后而获得。

【提示】机床加工机械零件的过程,其实质就是形成零件上各个工作表面的过程,也就是借助于一定形状的切削刃以及切削刃与被加工表面之间按一定规律的相对运动,形成所需的母线和导线。由于加工方法、刀具结构及切削刃的形状不同,形成母线和导线的方法及所需运动也不相同。概括起来有以下四种方法:

(1) 轨迹法 用尖头车刀、刨刀等刀具切削时,切削刃与被加工表面为点接触,如图 1-1a 所示。刨刀沿箭头 A_1 方向所作直线运动,形成直线形母线。沿箭头 A_2 方向所指的曲线,即曲线形的导线。通过母线沿导线的运动,形成被加工表面。

(2) 成形法 将切削刀具的切削刃制成与所需形成的母线完全吻合。加工时,无需任何运动来形成这一母线,如图 1-1b 所示。刀具只需作箭头 A_1 方向的直线运动就能形成被加工表面。

(3) 相切法 是利用刀具边旋转边作轨迹运动来对工件进行加工的方法。如图 1-1c 所示,刀具作旋转运动 B_1 。刀具圆柱面与被加工表面相切的直线就是母线。刀具沿 A_2 作曲线运动,形成导线。两个运动的叠加,形成加工表面。相切法亦称包络线法。

(4) 展成法 用插齿刀、齿轮滚刀等加工工件时,切削刃是一条与需要形成的发生线共轭的切削线。如图 1-1d、e 所示,用齿条插齿刀加工圆柱齿轮。插齿刀沿箭头 A_1 方向的

直线运动，形成了直线形母线，而工件的旋转运动 B_{21} 和直线运动 A_{22} 使插齿刀能不断地对工件进行切削。其直线形切削刃的一系列瞬时位置的包络线，便是所需的渐开线形导线，必须指出的是，形成渐开线形的导线是由 A_{22} 和 B_{21} 组合而成，这两个运动必须保持严格的运动关系，彼此不能独立，它们复合形成的运动称为展成运动。

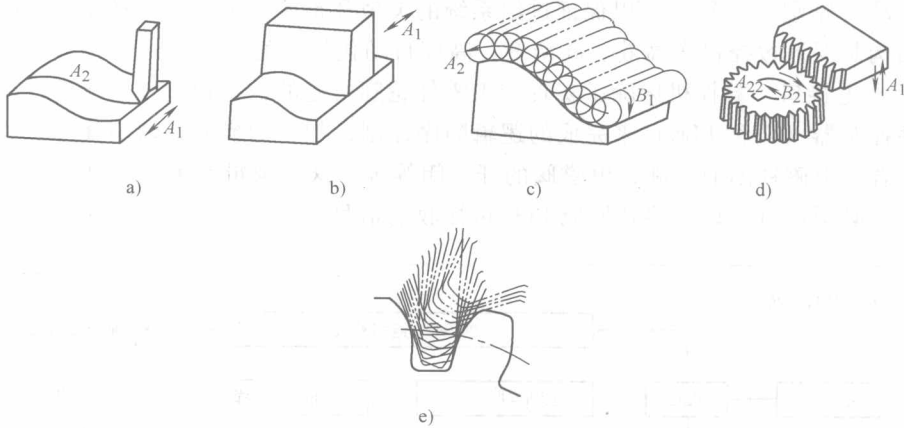


图 1-1 形成发生线的方法

1.2.2 数控机床的组成与工作过程

1. 数控机床的组成

现代数控机床，即 CNC 机床，是由普通机床、NC 数控机床发展演变而来的，它采用计算机数字控制方式，用单独的伺服电动机驱动实现各个坐标方向的运动。如图 1-2 所示，CNC 机床由信息输入装置、数控装置、伺服驱动及检测装置、机床本体、机电接口五大部分组成。

(1) 输入输出装置 输入装置的作用是将记录在信息载体（如磁盘）上的数控加工程序和参数、数据通过输入设备送到数控装置，输入方式有磁盘、键盘（MDI）、手摇脉冲发生器等。目前较多采用磁盘输入，纸带是一种比较传统的输入方式。也可以通过上位机通信接口输入。

(2) 数控装置 数控装置是一种专用计算机，一般由中央处理器（CPU）、存储器、总线和输入输出接口等构成。为了完成各种形状的零件加工，该部分必须具备多种主要功能，如多轴联动、多坐标控制功能、多种函数插补功能、刀具补偿功能、故障诊断功能、通信和联网功能等等。数控装置是整个数控机床数控系统的核心，决定了机床数控系统功能的强弱。

(3) 伺服驱动及检测装置 伺服驱动及检测反馈是数控机床的关键部分，它影响数控机床的动态特性和轮廓加工精度。伺服驱动部分接收计算机运算处理后分配来的信号，经过调节、转换、放大以后去驱动伺服电动机，带动机床的执行部件运动，并且随时检测伺服电动机或工作台的实际运动情况，进行严格的速度和位置反馈控制。在伺服系统中包括安装在伺服电动机上的速度、位置检测元件及相应电路，该部分能及时将信息反馈回来，构成闭环控制。

(4) 机床本体 机床本体包括机床的主运动部件、进给运动部件、执行部件和底座、立柱、刀架、工作台等基础部件。数控机床是一种高精度、高效率 and 高度自动化机床，要求机床的机械结构应具有较高的精度和刚度，精度保持性要好，主运动、进给运动部件运动精度要高。机床的进给传动系统一般采用精密滚珠丝杠、精密滚动导轨副、摩擦特性良好的滑动（贴塑）导轨副，以保证进给系统的灵敏和精确。可以说高精度、高刚度的机床本体结构是保证数控机床高效、高精度、高度自动化加工的基础。

(5) 机电接口 数控机床除了实现加工零件轮廓轨迹的数字控制外，还有许多功能由可编程序控制器（简称 PLC）来完成的逻辑顺序控制，如自动换刀，切削液开、关，离合器的开、合，电磁铁的通、断，电磁阀的开、闭等等。这些逻辑开关量的动力是由强电线路提供的，必须经过接口电路转换成 PLC 可接收的信号。

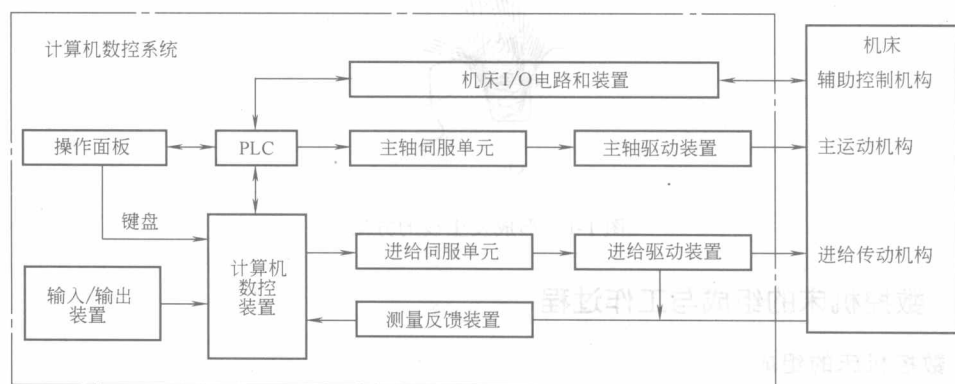


图 1-2 数控机床的组成

2. 数控机床的工作过程

CNC 装置的工作过程是在硬件的支持下，执行软件的过程。CNC 装置的工作原理是通过输入设备输入机床加工零件所需的各种数据信息，经过译码、计算机的处理、运算，将每个坐标轴的移动分量送到其相应的驱动电路，经过转换、放大，驱动伺服电动机，带动坐标轴运动，同时进行实时位置反馈控制，使每个坐标轴都能精确移动到指令所要求的位置。下面从输入、译码、刀具补偿、进给速度处理、插补、位置控制、I/O 接口、显示和诊断等方面来简述 CNC 装置的工作过程。

(1) 输入 CNC 装置开始工作时，首先要通过输入设备完成加工零件各种数据信息的输入工作。输入给 CNC 装置的各种数据信息包括零件程序、控制参数和补偿数据。输入的方式有光电阅读机纸带输入、键盘输入、磁盘输入、通信接口输入和连接上级计算机的 DNC 接口输入。在输入过程中 CNC 装置还要完成输入代码校验和代码转换。输入的全部数据信息都存放在 CNC 装置的内存存储器中。

(2) 译码 在输入过程完成之后，CNC 装置就要对输入的信息进行译码，即将零件程序以程序段为单位进行处理，把其中的零件轮廓信息、加工速度信息及其他辅助信息，按照一定的语法规则解释成计算机能识别的数据形式，并以一定的数据格式存放在指定的内存专用区内。在译码过程中还要完成对程序段的语法检查等工作。若发现语法错误便立即报警显示。

(3) 刀具补偿 通常情况下, CNC 机床是以零件加工轮廓轨迹来编程的, 但是 CNC 装置实际控制的是刀具中心轨迹 (刀架中心点和刀具中心点), 而不是刀尖轨迹。刀具补偿的作用是把零件轮廓轨迹转换为刀具中心轨迹。刀具补偿是 CNC 装置在实时插补前要完成的一项插补准备工作。刀具补偿包括刀具半径补偿和刀具长度补偿 (刀具偏置)。目前, 在较先进的 CNC 装置中, 刀具补偿的功能还包括程序段之间的自动转接和切削判别, 即所谓的 C 功能刀具补偿。

(4) 进给速度处理 CNC 装置在实时插补前要完成的另一项插补准备工作是进给速度处理。因为编程指令给出的刀具移动速度是在各坐标合成方向上的速度, 进给速度处理要根据合成速度计算出各坐标方向的分速度。此外, 还要对机床允许的最低速度和最高速度的限制进行判别处理, 以及用软件对进给速度进行自动加减速处理。

(5) 插补 插补就是通过插补程序在一条已知曲线的起点和终点之间进行“数据点的密化”工作。CNC 装置中有一个采样周期, 即插补周期, 一个插补周期形成一个微小的数据段。若干个插补周期后实现从曲线的起点到终点的加工。插补程序在一个插补周期内运行一次, 程序执行的时间直接决定了进给速度的大小。因此, 插补计算的实时性很强, 只有尽量缩短每一次插补运算的时间, 才能提高最大进给速度和留有一定的空闲时间, 以便更好地处理其他工作。

(6) 位置控制 一般位置控制是在伺服系统的位置环上。位置控制可以由软件完成, 也可以由硬件完成。它的主要任务是在每个采样周期内, 将插补计算出的指令位置与实际位置反馈相比较, 获得差值去控制进给伺服电动机。在位置控制中, 通常还要完成位置回路的增益调整、各坐标方向的螺距误差补偿和反向间隙补偿, 以提高机床的定位精度。

(7) I/O 接口 I/O 接口主要是处理 CNC 装置与机床之间强电信号的输入、输出和控制, 例如换刀、换挡、冷却等。

(8) 显示 CNC 装置显示的主要作用是便于操作者对机床进行各种操作, 通常有零件程序显示、参数显示、刀具位置显示、机床状态显示、报警显示等。有些 CNC 装置中还有刀具加工轨迹的静态和动态图形显示。

(9) 诊断 现代 CNC 机床都具有联机 and 脱机诊断功能。联机诊断是指 CNC 装置中的自诊断程序随时检查不正常的事件。脱机诊断是指系统空运转条件下的诊断。一般 CNC 装置都配备脱机诊断程序, 用以检查存储器、外围设备和 I/O 接口等。脱机诊断还可以采用远程通信方式进行诊断。把用户的 CNC 装置通过电话线与远程通信诊断中心的计算机相连, 由诊断中心计算机对 CNC 机床进行诊断、故障定位和修复。

3. 数控机床加工的工作原理

数控机床加工的工作原理是应用了“微分”原理, 其工作原理与过程, 如图 1-3 所示。

1) 数控装置根据加工程序要求的刀具轨迹, 将轨迹按机床对应的坐标轴, 以最小移动量 (脉冲当量) 为单位进行微分, 如图 1-3 中所示的 ΔX 、 ΔY , 并计算出各坐标轴需要移动的脉冲数。

2) 通过数控装置的“插补”软件或“插补”运算器, 将要求的轨迹用以“最小移动量”为单位的等效折线进行拟合, 并找出最接近理论轨迹的拟合折线。

3) 数控装置根据拟合折线的轨迹, 给相应的坐标轴连续不断地分配进给脉冲, 并通