

广州铁路职业技术学院资助出版
高等职业教育技能型人才培养实用教材
校企合作双元开发活页式新形态一体化教材

机械零件数控编程与加工

(活页式)

主 编 ◎ 李 华 刘怡飞
副主编 ◎ 徐嘉城

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

前言

PREFACE

党的二十大报告指出，坚持把发展经济的着力点放在实体经济上，推进新型工业化，加快建设制造强国、质量强国、航天强国、交通强国、网络强国、数字中国。实施产业基础再造工程和重大技术装备攻关工程，支持专精特新企业发展，推动制造业高端化、智能化、绿色化发展。推动战略性新兴产业融合集群发展，构建新一代信息技术、人工智能、生物技术、新能源、新材料、高端装备、绿色环保等一批新的增长引擎。构建优质高效的服务业新体系，推动现代服务业同先进制造业、现代农业深度融合。

数控技术是先进制造技术的核心，是制造业实现自动化、网络化、柔性化、集成化的基础。本书以职业岗位能力分析为依据、培养学生岗位能力为核心、职业实践为主线和数控机床加工典型零件任务作为教学载体，为突出学生职业能力，同时引入“1+X”数控车铣加工职业技能等级（中级）标准，融合了职业技能等级标准对知识和技能的要求，把专业课程内容与职业标准相衔接，知识点紧紧围绕项目任务进行选取。

本书采用项目导向、任务驱动的编写模式，根据学生的认知规律和职业成长规律，将任务按从易到难、从简单到复杂确定内容和顺序。项目任务参照企业的分工制，以企业生产加工零件为案例组织和实施教学，教学内容设有：知识目标、能力目标、学习任务、知识准备、任务实施等环节。以学生为主体、教师为主导的教学理念，通过课堂示范、虚拟仿真、应用实践+拓展、分组+项目合作等教学手段，引导学生自主探究、资料查阅、互相交流，凸显学生的主体地位。采取过程评价与阶段评价相结合的教学评价方式，将理论与实践相结合，重点评价学生的职业能力。

本书力求文字简明扼要，内容选取与深度把握能够突出知识重点、难点，又能培养学生的编程技术应用能力和机床操作技能。

本书由广州铁路职业技术学院李华、刘怡飞担任主编，广州诚创机械有限公司总经理徐嘉城担任副主编，广州铁路职业技术学院郭富钊、黄兆源参编。在编写过程中，参考了有关教材和资料，在此对材料作者一并表示衷心感谢！

由于时间紧迫和编者水平有限，书中难免存在疏漏或不足之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2023年3月

目录

CONTENTS

项目 1 数控机床基础知识	001
任务 1 认识数控机床	003
任务 2 数控机床编程基础知识	009
任务 3 认识数控编程指令体系	016
项目 2 车削类零件的数控加工	021
任务 1 数控车床基本操作	023
任务 2 简单阶梯轴加工	037
任务 3 圆弧阶梯轴加工	057
任务 4 带外螺纹的阶梯轴加工	075
任务 5 套筒零件的加工	092
任务 6 内螺纹零件加工	102
任务 7 拓展指令	110
项目 3 复杂轴类零件加工	123
任务 1 综合轴零件加工	125
任务 2 球头轴加工	132
任务 3 传动轴加工	143
项目 4 数控铣床的操作	155
任务 1 数控铣床面板操作	157
任务 2 数控铣床对刀操作	191
任务 3 数控铣床手动编程	197

附 录	223
附录 A 数控车床理论试题	223
附录 B 数控车床仿真加工训练题	233
附录 C 数控车床实操加工训练题	236
参考文献	249

项目 1

数控机床基础知识

数控机床是数字控制机床（Computer Numerical Control Machine Tools）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。



任务 1 认识数控机床



知识目标

- (1) 了解数控机床的产生和发展相关基本知识。
- (2) 了解数控机床的结构、种类及应用。
- (3) 熟悉数控机床的维护和保养。



能力目标

- (1) 能按要求对机床进行简单的维护和保养。
- (2) 能区分各类数控机床。



任务学习

1.1 基本概念

数控：数字控制（Numerical Control），简称数控（NC），它是采用数字化信息实现加工自动化的控制技术。

数控机床：用数字化信号对机床及其加工过程进行控制的机床。

数控装置：将零件程序转化为对机床的控制动作的设备。

零件程序：用数控装置专用编程语言书写的一系列指令组成的加工语句。

1.2 数控机床的产生和发展

1.2.1 数控机床产生的内在根源

数控技术产生的内在动力：市场竞争日趋激烈，产品更新换代加快，大批量产品越来越少，小批量产品生产的比重越来越大，迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备来满足上述需求。

数控技术产生的技术基础：电子技术和计算机技术的飞速发展则为数控机床的产生和发展奠定了坚实的技术基础。

数控机床的产生给生产自动化技术带来了全新的概念，推动了加工自动化技术的发展。

1.2.2 数控机床的产生

1952年，美国Parsons（派森斯）公司与MIT（麻省理工学院）合作研制了第一台三坐标数控铣床，它综合了应用电子计算机、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。

1955年，第一台工业数控铣床由美国 Bendix 公司研发生产。

1959年，第一台加工中心由美国 K&T 公司研发生产。

1.2.3 数控技术发展的几个主要阶段

数控技术经过了两个阶段和六代的发展。

第一阶段：硬件数控 NC 系统，包括第一代至第三代。

第一代：1952年，由电子管电路构成的专用数控（NC）。

第二代：1959年，由晶体管数字电路组成的专用数控（NC）。

第三代：1965年，由中、小规模集成数字电路组成的小型通用计算机数控（NC）。

第二阶段：软件数控 CNC 系统，包括第四代至第六代。

第四代：1970年，大规模集成数字电路组成的小型通用计算机数控（CNC）。

第五代：1974年，采用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控（MNC）。

第六代：1990年，基于工业 PC 的通用 CNC 系统。

1.3 数控机床的工作原理及组成

1.3.1 工作原理

数控机床加工零件时，首先应编制零件的数控加工程序，这是数控机床的工作指令。将数控加工程序输入到数控装置，再由数控装置控制数控机床主运动的变速、启停，进给运动的方向、速度和位移大小，以及其他诸如刀具选择交换、工件夹紧松开和冷却润滑启停等动作，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照数控程序规定的顺序、路程和参数进行工作，从而加工出形状、尺寸与精度符合要求的零件。

1.3.2 数控车床的组成

数控车床主要由机床主体、数控装置、伺服驱动系统和辅助装置四部分组成，如图 1-1-1 所示。

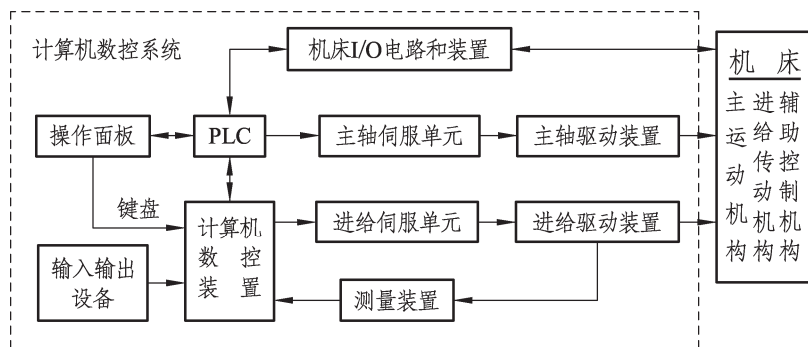


图 1-1-1 数控车床的组成

1. 机床主体

机床主体是数控系统控制的对象，主要由床身、主轴箱、刀架尾座和进给机构等组成。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。功能是接收输入的加工信息，经过数控装置的系统软件和逻辑电路进行译码、运算和逻辑处理，向伺服系统发出相应的脉冲，并通过伺服系统控制机床运动部件按加工程序指令运动。它是数控设备的控制指挥中心，通过读入数值、存储、坐标处理、产生控制信息控制机床运动，按确定的顺序和设定的条件规则实施程序控制。

数控装置主要分为硬件和软件两大部分。

硬件包括：I/O 接口、CPU、存储器（RAM：随机读写存储器、EEPROM：可电改写的读写存储器、EPROM：可擦写只读存储器）、PLC 及数字通信接口等。

软件包括：管理软件（管理零件程序的输入、输出、显示零件程序、刀具位置、系统参数及报警）和控制软件（完成译码、刀具补偿、插补坐标、位置控制等）。

3. 伺服驱动系统

伺服驱动系统由伺服电机和伺服驱动装置组成。通常所说的数控系统是指数控装置与伺服驱动系统的集成，伺服驱动系统是数控系统的执行系统。数控装置发出速度和位移指令，控制执行部件按进给速度和进给方向位移。每个进给运动的执行部件都配备一套伺服系统，有的伺服系统还有位置测量装置，直接或间接测量执行部件的实际位移量，并反馈给数控装置对加工的误差进行补偿，这是数控装置与受控设备之间的电传动联系环节。

4. 辅助装置

辅助装置是数控机床的配套部件，主要完成数控加工辅助动作，包括冷却系统、润滑系统、照明系统和自动排屑系统等。

1.4 数控机床的分类

1.4.1 按加工工艺方法分类

1. 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控镗铣床等。加工中心 MC 是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。

2. 特种加工类数控机床

数控特种加工机床有数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等。

3. 成型类数控机床

金属成型类数控机床有数控折弯机、数控弯管机和数控压力机等。

1.4.2 按机械加工的运动轨迹分类

1. 点位控制运动

点位控制运动指刀具相对工件的点定位，一般对刀具运动轨迹无特殊要求，为提高生产效率和保证定位精度，机床设定快速进给，临近终点时自动降速的程序，从而减小运动部件因惯性而引起的定位误差。

2. 直线控制运动

直线控制运动指刀具或工作台以给定的速度按直线运动。

3. 连续控制运动

连续控制运动也称为轮廓控制运动，指刀具或工作台按工件的轮廓轨迹运动，运动轨迹为任意方向的直线、圆弧、抛物线或其他函数关系的曲线。这种数控系统有一个轨迹插补器，根据运动轨迹和速度精确计算并控制各个伺服电机的运转，使刀具或工作台沿轨迹运动。

1.4.3 按控制方式分类（按伺服系统的控制原理分类）

1. 开环控制的数控机床

开环控制的数控机床系统采用步进电机，无位置测量元件，输入数据经过数控系统运算，输出指令脉冲控制步进电机工作，如图 1-1-2 所示。这种控制方式不检测执行机构，无反馈控制信号，因此称之为开环控制系统。

开环控制系统的设备成本低，调试方便，操作简单，但控制精度低，工作速度容易受步进电机的限制。

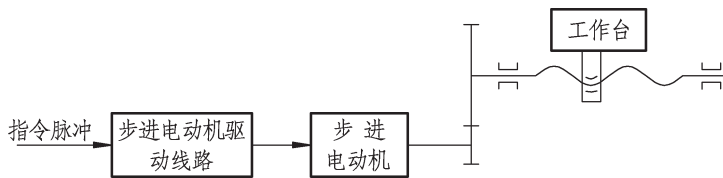


图 1-1-2 开环控制的数控机床工作原理

2. 闭环控制的数控机床

闭环控制的数控机床系统绝大多数采用伺服电机，有位置测量元件和位置比较电路，如图 1-1-3 所示。测量元件安装在工作台上，测出工作台的实际位移值并反馈给数控装置。位置比较电路将测量元件反馈的工作台实际位移值与指令的位移值相比较，用比较的误差值控制伺服电机工作，直至到达实际位置，消除误差值，称之为闭环控制系统。

闭环控制系统的控制精度高，但要求机床的刚性好，对机床的加工、装配要求高，调试较复杂，因此设备的成本高。

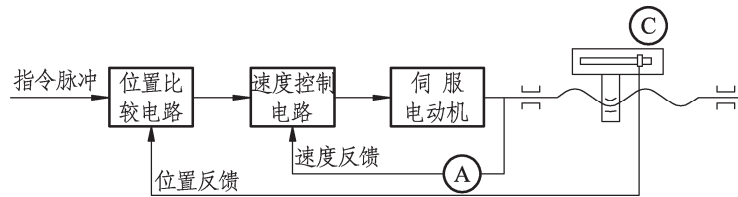


图 1-1-3 闭环控制的数控机床工作原理

3. 半闭环控制的数控机床

半闭环控制的数控机床系统的位置测量元件不是测量工作台的实际位置，而是测量伺服电机的转角，如图 1-1-4 所示。经过推算得出工作台位移值，反馈至位置比较电路，与指令中的位移值相比较，用比较的误差值控制伺服电机工作。这种用推算方法间接测量工作台位移，不能补偿数控机床传动链零件的误差，因此称之为半闭环控制系统。

半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统，调试比闭环控制系统容易，设备的成本介于开环与闭环控制系统之间。

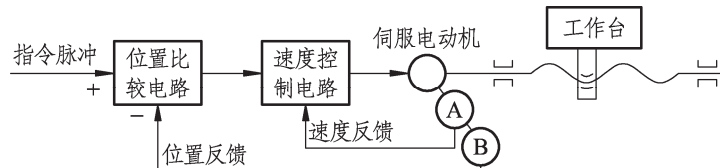


图 1-1-4 半闭环控制的数控机床工作原理

1.4.4 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平，通常把数控系统分为低、中、高档三类。低、中、高三档的界限是相对的，不同时期，划分标准也会不同。就目前的发展水平看，中、高档一般称为全功能数控或标准型数控。经济型数控属于低档数控，主要用于车床、线切割机床以及旧机床改造等。

1.5 数控机床的应用

数控机床是 20 世纪 50 年代发展起来的新型自动化机床，较好地解决了形状复杂、精密、小批量零件的加工问题，具有适应性强、加工精度和生产效率高的优点。数控机床适用于品种变换频繁、批量较小、加工方法差别大且复杂程度较高的零件加工。

1.6 数控机床的日常维护和保养

为了充分发挥数控机床的作用，减少机床故障的发生，延长机床的平均无故障时间，就必须对数控系统进行日常的维护和保养。

1.6.1 选择合适的使用环境

数控机床的使用环境（如温度、湿度、振动、电源电压、频率及干扰等）会影响机床的正常运转，所以在安装机床时应严格做到符合机床说明书规定的安装条件和要

求。在经济条件许可的情况下，应将数控机床与普通机械加工设备隔离安装，以便于维修与保养。

1.6.2 配备数控系统编程、操作和维修的专门人员

这些人员应熟悉所用机床的机械部分、数控系统、强电设备、液压、气压等部件及使用环境、加工条件等，并能按机床和系统使用说明书的要求正确使用数控车床。

1. 数控系统中硬件控制部分的维护与保养

每年让有经验的维修电工检测有关的参考电压是否在规定范围内，并清除设备灰尘。如电源模块的各路输出电压、数控单元参考电压等是否正常；检查系统内各电器元件连接是否松动；检查各功能模块使用风扇运转是否正常；检查伺服放大器和主轴放大器使用的外接式再生放电单元的连接是否可靠；检测各功能模块使用的存储器后备电池的电压是否正常，一般应根据厂家的要求定期更换。

2. 机床机械部分的维护与保养

操作者在工作时注意检查排屑器是否正常，以免造成切屑堆积，降低导轨精度，危及滚珠丝杠与导轨的寿命；在工作结束前，应将各伺服轴回归原点，再停机；在每班加工结束后，应清扫干净散落于拖板、导轨等处的切屑。

3. 机床主轴电机的维护与保养

维修电工应每年检查一次伺服电机和主轴电机。着重检查其运行噪声、温升，若噪声过大，应查明原因，是轴承等机械问题还是与其相配的放大器的参数设置问题，采取相应措施加以解决。对于直流电机，应对其电刷、换向器等进行检查、调整、维修或更换，使其工作状态良好。检查电机端部的冷却风扇运转是否正常并清扫灰尘；检查电机各连接插头是否松动。

4. 机床进给伺服电机的维护与保养

对于数控机床的伺服电动机，要在 10~12 个月进行一次维护保养，加速或者减速变化频繁的机床要在 2 个月进行一次维护保养。

1.6.3 长期不用数控机床的维护与保养

数控机床不宜长期封存不用，购买数控机床以后要充分利用，尤其是投入使用的第一年，使其容易出故障的薄弱环节尽早暴露，便于在保修期内排除故障。为提高数控系统的利用率和减少数控系统的故障，数控机床应满负荷使用，而不要长期闲置不用。由于某种原因，造成数控系统长期闲置不用时，为了避免数控系统损坏，需进行如下操作：经常给数控系统通电，特别是在环境湿度较大的梅雨季节，在机床锁住不动的情况下和没有加工任务时，数控机床也要定期通电，最好是每周通电 1~2 次，每次空运行 1 小时左右，以利用机床本身的发热驱走机内潮气来降低机内的湿度，使电子元件不致受潮，同时也能及时发现有无电池报警的情况发生，以防止系统软件、参数的丢失。



任务2 数控机床编程基础知识



知识目标

- (1) 掌握机床坐标系的判定方法。
- (2) 掌握工件坐标系设定方法及原理。
- (3) 掌握绝对坐标值和相对坐标值的计算方法。



能力目标

- (1) 会判别数控机床的坐标系。
- (2) 掌握零件程序的结构。



任务学习

2.1 基本概念

数控编程：从零件图样到制成控制介质的全部过程称为数控编程。

程序：使机床移动的 CNC 指令集合称为程序。

2.2 数控车床编程方法

数控车床编程根据问题复杂程度的不同，数控加工程序可以通过手工编程和自动编程两种方式实现。

手工编程是指从零件图样的分析、工艺处理、数值计算、加工方案、编制程序和程序检验等都是由人工来完成，它要求编程人员不仅要熟悉数控机床的性能、数控指令及编程规则，而且要具备数控车床加工工艺分析能力和计算能力。目前，手工编程是一种普遍的编程方法，也是学习数控编程的一个基本要求，它广泛用于零件轮廓不太复杂、工作量不是很大的情况。

自动编程是借助于计算机或数控系统提供的编程软件辅助编制完成数控程序的一种编程方法，编程人员只需借助软件提供的各种功能对加工零件的几何参数、工艺参数和加工过程进行描述后，由计算机自动完成程序编制的全过程，因此自动编程解决了手工编程难以解决的复杂零件的编程问题，减轻了编程人员的劳动强度，又提高了效率和准确性，在数控加工中应用日益广泛。自动编程辅助软件如 MasterCAM、UG、Pro/E、CAXA 等，这些软件对零件造型后，设置各项参数，通过软件后置处理生成数控加工程序，传输到数控车床后就可加工零件了。

2.3 数控手工编程的内容和步骤

2.3.1 数控编程的步骤

数控编程的步骤包括分析图样、确定加工工艺过程，数值计算，编写零件加工程序，制作控制介质，程序校验和试切削。

2.3.2 零件程序的结构

零件程序的构成如图 1-2-1 所示。

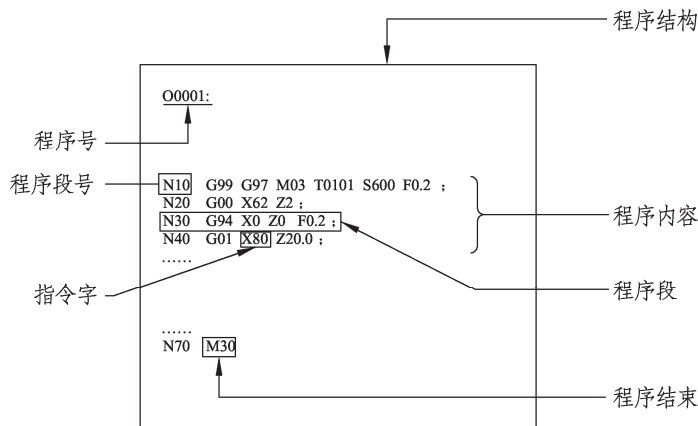


图 1-2-1 程序结构示意图

零件加工程序由程序号和若干个程序段组成。为识别每个程序而编的号叫程序号，每个程序号由程序号地址码和程序的编号组成。

程序段是为了实现一种加工操作的一组指令。“;”为程序段结束符。每个程序段又由程序段号和若干个指令字组成。每个指令字由字母、符号和数字组成，见表 1-2-1。

表 1-2-1 指令字符一览表

机能	地址	意义
零件程序号	O 或 %	程序编号
程序段号	N	程序段编号
准备机能	G	指令动作方式（直线、圆弧等）G00-G99
尺寸字	X, Y, Z A, B, C U, V, W	坐标轴的移动命令±99999.999
	R	圆弧的半径，固定循环的参数
	I, J, K	圆心相对于起点的坐标，固定循环的参数
进给速度	F	进给速度的指定 F0 ~ 24000
主轴机能	S	主轴旋转速度的指定 S0 ~ 9999

续表

机 能	地 址	意 义
刀具机能	T	刀具编号的指定 T0~99
辅助机能	M	机床侧开/关控制的指定 M0~99
补偿号	D	刀具半径补偿号的指定 00~99
暂停	P, X	暂停时间的指定 秒
程序号的指定	P	子程序号的指定 P
重复次数	L	子程序的重复次数, 固定循环的重复次数
参数	P, Q, R, U, W, I, K, C, A	车削复合循环参数
倒角控制	C, R	

2.3.3 数值输入

FANUC 数控系统小数点输入数值有两种类型：计算器型小数点输入和标准型小数点输入。具体表现形式见表 1-2-2。本书如无特殊情况，均用计算器型小数点输入数值。

表 1-2-2 小数点输入数值类型示例

程序指令	计算器型小数点输入	标准型小数点输入
X1000 不带小数点的指令值	1000 mm 单位：mm	1 μm 单位：μm（最小设定单位）
X1000.0 带小数点的指令值	1000 mm 单位：mm	1000 mm 单位：mm

2.4 机床坐标系统

数控机床加工时的横向、纵向等进给量都是以坐标数据来进行控制的。数控车床、数控线切割机床等是属于两坐标控制的，数控铣床则是三坐标控制的，还有四坐标轴、五坐标轴甚至更多的坐标轴控制的加工中心机床等。

坐标联动加工是指数控机床的几个坐标轴能够同时进行移动，从而获得平面直线、平面圆弧、空间直线、空间螺旋线等复杂加工轨迹的能力。当然也有一些早期的数控机床尽管具有三个坐标轴，但能够同时进行联动控制的可能只是其中两个坐标轴，那就属于两坐标联动的三坐标机床。像这类机床就不能获得空间直线、空间螺旋线等复杂加工轨迹，要想加工复杂的曲面，只能采用在某平面内进行联动控制，第三轴是单独周期性进给的“两维半”加工方式。

机床坐标系是机床固有的坐标系，如图 1-2-2 所示，机床坐标系的原点称为机床原点或机床零点，是由厂家确定的。在机床经过设计、制造和调整，这个原点便被确定下来。它是固定的点，由回参考点操作建立起来的，用户一般不可更改。

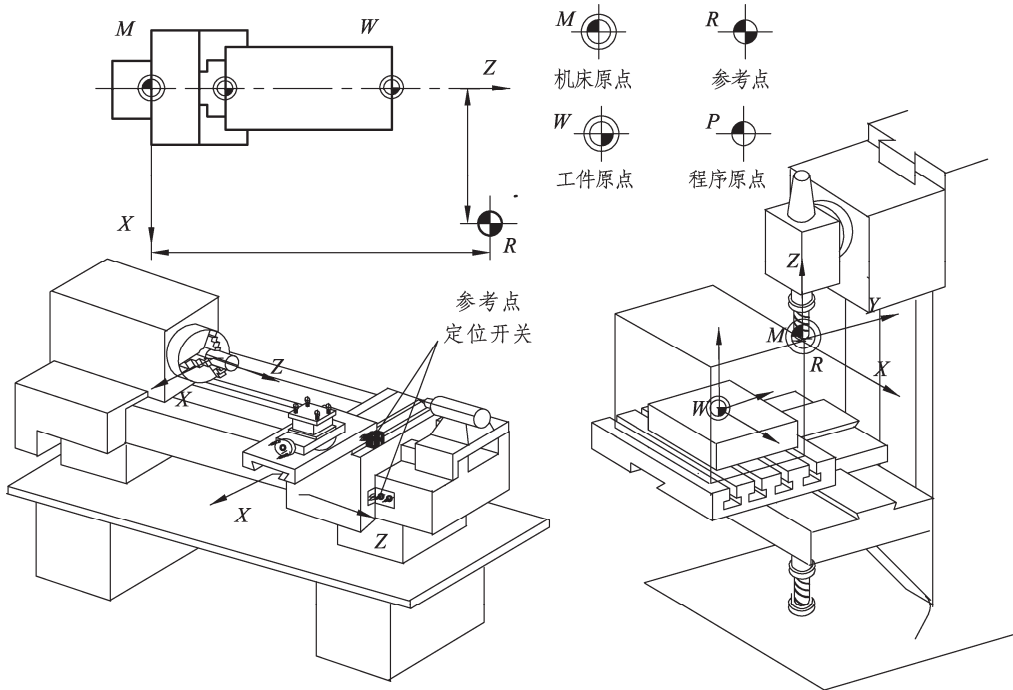


图 1-2-2 机床坐标原点与参考点

机床参考点为机床上一固定点，参考点的位置通常都设在各轴的正向行程极限附近，也有厂家将个别轴设在负向极限附近。很多机床都将参考点和机床原点设为同一点，所以回参考点也叫“回零”。

机床坐标轴是为了简化编程和保证程序的通用性。对机床的坐标轴和方向命名制订了统一的标准，规定直线进给坐标轴用 X 、 Y 、 Z 表示，称为基本坐标轴。 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手定则（右手笛卡儿直角坐标系）确定，如图 1-2-3（a）所示，图中大拇指的指向为 X 轴的正方向，食指指向为 Y 轴的正方向，中指指向为 Z 轴的正方向。

机床坐标轴的机械行程是由最大和最小限位开关来限定的。机床坐标轴的有效行程范围是由软件限位来界定的，其值由制造商定义。

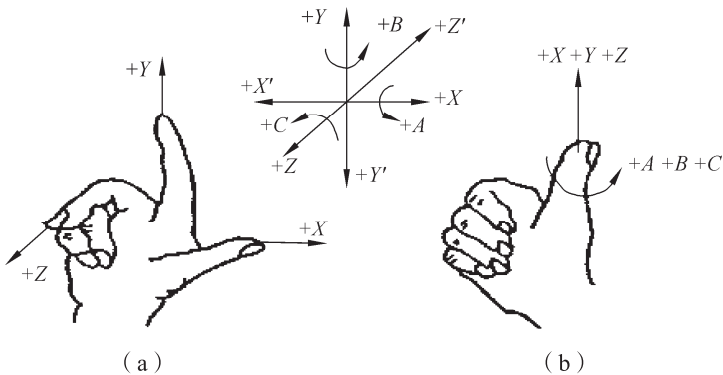


图 1-2-3 右手笛卡儿直角坐标系

围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示, 根据右手螺旋定则如图 1-2-3 (b) 所示, 大拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向, 则其他四指的旋握指向是圆周进给运动的 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 方向。

数控机床的进给运动, 有的由主轴带动刀具运动来实现, 有的由工作台带着工件运动来实现。上述坐标轴正方向, 是假定工件不动, 刀具相对于工件做进给运动的方向。如果是工件移动则用加“'”的字母表示, 按相对运动的关系, 工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反, 即有:

$$+X = -X'; \quad +Y = -Y'; \quad +Z = -Z';$$

$$+A = -A'; \quad +B = -B'; \quad +C = -C';$$

同样两者运动的负方向也彼此相反。

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局, 如图 1-2-4 所示。数控机床各坐标轴及其正方向的确定原则是:

(1) 先确定 Z 轴。以平行于机床主轴的刀具运动坐标为 Z 轴, Z 轴正方向是使刀具远离工件的方向。如立式铣床, 主轴箱的上、下或主轴本身的上、下即可定为 Z 轴, 且是向上为正; 若主轴不能上下动作, 则工作台的上、下便为 Z 轴, 此时工作台向下运动的方向定为正向。

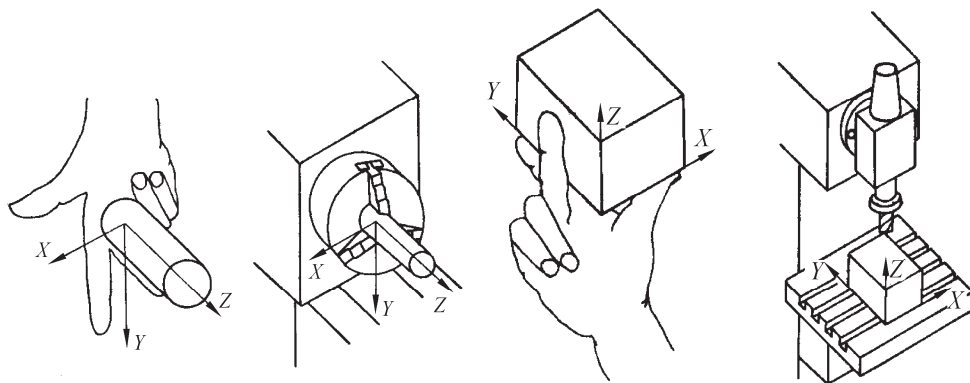


图 1-2-4 机床坐标系示意图

(2) 再确定 X 轴。 X 轴在水平方向且垂直于 Z 轴, 平行于工件的装夹面。对于立铣或立式加工中心, 工作台往左 (刀具相对向右) 移动为 X 正向。对于卧铣或卧式加工中心, 工作台往右 (刀具相对向左) 移动为 X 正向。对于数控车床, 视刀架前后放置方式不同, 其 X 正向亦不相同, 但都是由轴心沿径向朝外的, 如图 1-2-5 所示。

(3) 最后确定 Y 轴。在确定了 X 、 Z 轴的正方向后, 即可按右手笛卡儿直角坐标系定出 Y 轴正方向。

对于立铣或立式加工中心, 工作台往前 (刀具相对向后) 为 Y 正向。

对于卧铣或卧式加工中心, 工作台往前 (刀具相对向后) 为 Y 正向。

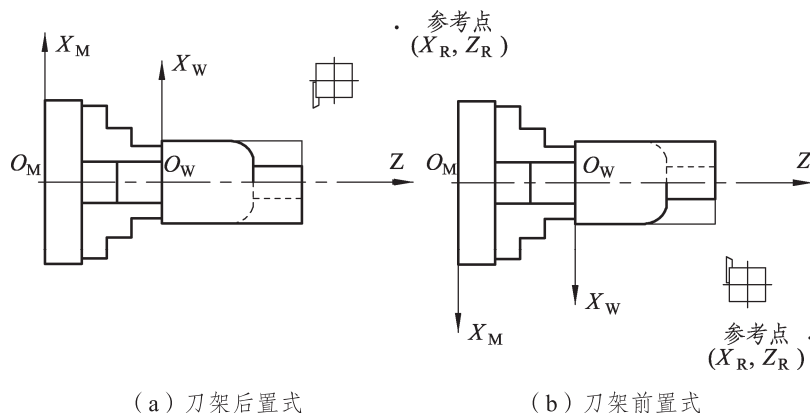


图 1-2-5 车床坐标系

2.5 工件坐标系（编程坐标系）

编程坐标系是人为设定的坐标系，通过分析既要便于图样尺寸计算，又要便于编程。一般先找出图样上加工基准的要求，在满足工艺和精度要求下，确定编程原点。编程人员选择工件图样上的某一已知点作为原点（也称程序原点），建立一个新的坐标系，称为编程坐标系。

编程坐标系只是在图样上建立，数控车床系统并不认识编程者设定的坐标系，操作者通过对刀等方式将编程坐标系的原点移至数控车床上，此时在数控车床上建立的坐标系称为工件坐标系，其原点一般选择在轴线与工件右端面、左端面或其他位置的交点上，工件坐标系的 Z 轴一般与主轴轴线重合。工件坐标系一旦建立便一直有效，直到被新的工件坐标系所取代。

对刀的目的是确定程序原点在机床坐标系中的位置，将编程坐标系原点转换成机床坐标系的已知点并成为工件坐标系的原点，这个点就称为对刀点。对刀点可与程序原点重合，也可在其他任何便于对刀之处。

起刀点是零件程序加工的起始点，其位置的设定通常以换刀时刀架不受干涉和最接近工件的距离的位置为依据。在零件车削过程中需要自动换刀，为此必须设置一个换刀点，该点应离工件有一定距离，以防止刀架回转换刀时刀具与工件发生碰撞。换刀点通常分为两种类型，即固定换刀点和自定义换刀点。

选择起刀点、换刀点的位置通常要注意：方便数学计算和简化编程；容易找正对刀点；便于加工检查；引起的加工误差小；不能与机床、工件发生碰撞；方便拆卸工件；空行程不要太长。

2.6 绝对坐标与增量坐标（相对坐标）

2.6.1 绝对坐标

绝对坐标指的是所有坐标值均以坐标原点为起点开始计量。绝对坐标常用 X 、 Y 、 Z 代码表示。

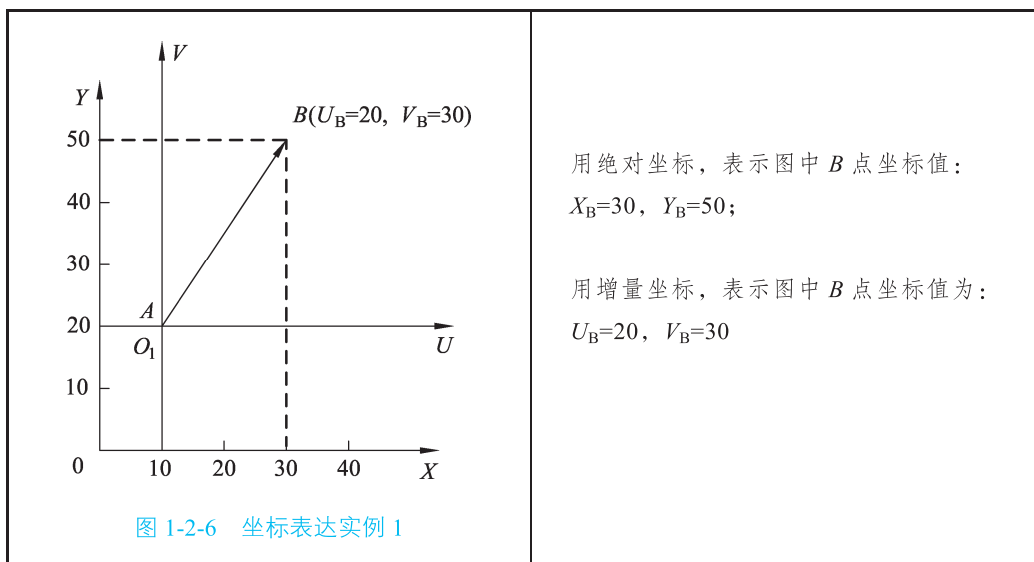


视频：绝对坐标与相对坐标

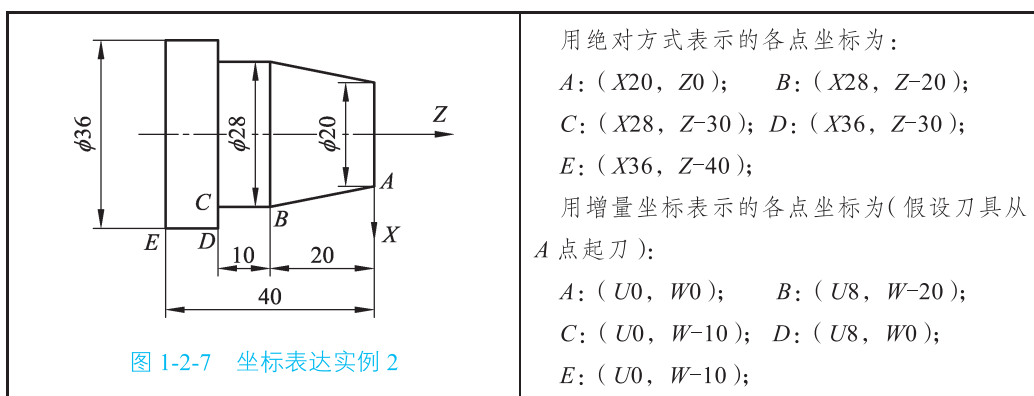
2.6.2 增量坐标

增量坐标指的是坐标值的计算以刀具运动上的一点为起点。增量坐标常用 U 、 V 、 W 代码表示。

【实例 1-1】坐标表达实例 1，如图 1-2-6 所示，求 B 点坐标。



【实例 1-2】坐标表达实例 2 的零件，如图 1-2-7 所示，假设刀具按 $ABCDE$ 的顺序走刀，求各点的坐标。



2.6.3 选择绝对坐标与增量坐标的应用特点

(1) 采用绝对坐标计算时，各计算坐标点位置间不会产生累积误差，但有些数控系统需进行两种坐标尺寸方式之间的数值换算。

(2) 增量坐标运算简便且直接，并与数控装置以增量值进行数字控制的方式相一致，当采用平面解析几何算法以外的各种常用算法解得的各基点坐标，可以不经换算而直接用于加工程序段。



任务 3 认识数控编程指令体系



知识目标

- (1) 掌握数控编程辅助功能指令体系。
- (2) 了解数控编程准备功能指令体系。
- (3) 掌握主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T 功能字的含义。



能力目标

- (1) 能正确运用辅助功能字。
- (2) 能熟练运用 S、F、T 功能字。



任务学习



视频：辅助功能 M 指令

3.1 辅助功能 M 代码

辅助功能由地址字 M 和其后的一位或两位数字组成，主要用于控制零件程序的走向，以及用于控制机床各种功能的接通/关断，靠继电器的通断来实现其控制过程。每个代码用于哪种功能，由机床厂决定。M 代码在一个程序段中只能指令一次。

M 功能有非模态 M 功能和模态 M 功能两种形式。

非模态 M 功能（当段有效代码）：只在书写了该代码的程序段中有效。

模态 M 功能（持续有效代码）：一组可相互注销的 M 功能，这些功能在被同一组的另一个功能注销前一直有效。模态 M 功能组中包含一个缺省功能，系统上电时将被初始化为该功能。

M 功能还可分为前作用 M 功能和后作用 M 功能两类。

前作用 M 功能：在程序段编制的轴运动之前执行。

后作用 M 功能：在程序段编制的轴运动之后执行。

数控装置常用 M 功能指令见表 1-3-1（▶ 标记者为缺省值）。

表 1-3-1 常用 M 功能指令

代码	模态	功能说明	代码	模态	功能说明
M00	非模态	程序暂停	M06	非模态	换刀
M01	非模态	条件暂停	M08	模态	切削液打开
M02	非模态	程序结束	M09	模态	▶ 切削液停止
M03	模态	主轴正转起动	M98	非模态	调用子程序
M04	模态	主轴反转起动	M99	非模态	子程序结束
M05	模态	▶ 主轴停止转动	M30	非模态	程序结束并返回程序起点

M00、M01、M02、M30、M98、M99 用于控制零件程序的走向，是 CNC 内定的辅助功能，不由机床制造商设计决定，也就是说，与 PLC 控制程序无关。

M03、M04、M05、M06、M08、M09 用于机床各种辅助功能的开关动作，其功能不由 CNC 内定，而是由 PLC 控制程序指定，所以有可能因机床制造厂不同而有差异（表内为标准 PLC 指定的功能），请使用者参考机床说明书。

3.1.1 CNC 内定的辅助功能

1. M00 程序暂停（非模态后作用 M 功能）

当 CNC 执行到 M00 指令时，将暂停执行当前程序，以方便操作者进行刀具和工件的尺寸测量、工件调头、手动变速等操作。暂停时，机床的进给停止，而全部现存的模态信息保持不变，若要继续执行后续程序，重按操作面板上的“循环启动”键。

2. M01 条件暂停（非模态后作用 M 功能）

M01 是选择性停止指令，指令功效与 M00 类似。不同的是，M01 只有在预先按下控制面板上“选择结束开关”按钮的情形下，指令才能有效。若不按下“选择结束开关”按钮，程序执行到 M01 时不会暂停，而是继续执行下面的程序。M01 结束之后，重按操作面板上的“循环启动”键可以持续执行后面的程序。该指令主要用于加工工件抽样检查、清理切屑等。

3. M02 程序结束（非模态后作用 M 功能）

M02 一般放在主程序的最后一个程序段中。当 CNC 执行到 M02 指令时，机床的主轴、进给、冷却液全部停止，加工结束。使用 M02 的程序结束后，若要重新执行该程序，就得重新调用该程序。

4. M30 程序结束并返回到零件程序起点

M30 和 M02 功能基本相同，只是 M30 指令还兼有控制返回到零件程序头的作用。使用 M30 的程序结束后，若要重新执行该程序，只需再次按操作面板上的“循环启动”键。

5. M98 子程序调用及 M99 从子程序返回

M98 用来调用子程序。

M99 表示子程序结束，执行 M99 使控制返回到主程序。

3.1.2 PLC 设定的辅助功能

1. 主轴控制指令 M03、M04、M05

M03 启动主轴以程序中编制的主轴速度顺时针方向旋转。

M04 启动主轴以程序中编制的主轴速度逆时针方向旋转。

M05（缺省值）使主轴停止旋转。

M03、M04 为模态前作用 M 功能；M05 为模态后作用 M 功能。

M03、M04、M05 可相互注销。

2. 冷却液打开、停止指令 M08、M09

M08 将打开冷却液管道；M09（缺省值）将关闭冷却液管道。

M08 为模态前作用 M 功能；M09 为模态后作用 M 功能。

3.2 主轴功能 S（模态指令）

主轴功能 S 用于控制带动工件旋转的主轴的转速。其后的数值表示主轴速度，单位为转/每分钟（r/min）。实际加工时的转速，还受到机床面板上的主轴速度修调倍率开关的控制。

公式： $N=1000v_c/\pi D$ ，可根据某材料查得切削速度 v_c ，然后即可求得 N 。

【实例 1-3】若要求车直径为 60 mm 的外圆时，切削速度控制到 48 m/min，则换算得： $N=250$ r/min（转/分钟），则在程序中指令为 S250。

恒线速度功能 S 指定切削线速度时，其后的数值单位为米/分钟（m/min）（G96 恒线速度有效、G97 取消恒线速度）。

3.3 进给速度 F

进给速度 F 表示工件被加工时刀具相对于工件的合成进给速度，F 的单位取决于指令 G98 或 G99。

G98—设定进给方式为每分钟进给，指刀具切削时切削速度的单位为毫米/分钟（mm/min），开机后默认的状态（初态、模态）。

G99—设定进给方式为每转进给，指刀具切削时切削速度的单位为毫米/转（mm/r）。

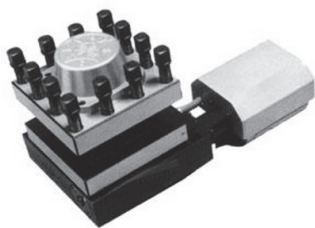
G98 和 G99 的转化：每分钟进给量=每转进给量×转速

在 G01，G02 或 G03 指令控制下，编程的 F 一直有效，直到被新的 F 值取代，而在 G00 指令控制下，快速定位的速度是各轴的最高速度，与 F 值无关。

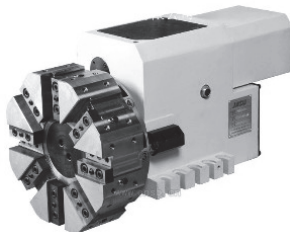
借助机床控制面板上的倍率开关，F 值可在一定范围内进行倍率修调。当执行攻丝循环，螺纹切削时，倍率开关失效，进给倍率固定在 100%。

3.4 刀具功能 T

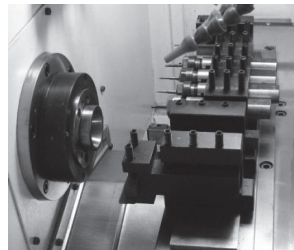
T 代码用于选刀，其后的 4 位数字分别表示选择的刀具号和刀具补偿号。执行 T 指令，转动或移动刀架选用指定的刀具，如图 1-3-1 所示。



(a) 四方刀架



(b) 转塔式刀架



(c) 排刀架

图 1-3-1 刀架

【实例 1-4】T0303 表示选择第 3 号刀位上的刀具，调用 3 号刀补。

T0105 表示选择第 1 号刀位上的刀具，调用 5 号刀补。

当一个程序段同时包含 T 代码与刀具移动指令时，先执行 T 代码指令，而后执行刀具移动指令。执行 T 指令的同时调入刀补寄存器中的补偿值。

一般以 1 号刀为基准刀，刀补里的数值以基准刀为偏置，刀具磨损后可以补偿。2 号刀旋转 90°后，其刀尖不与 1 号刀尖重合，存在位置差，位置差即为刀补。

3.5 准备功能 G 代码

准备功能 G 指令由 G 和其后的一位或两位数字组成，它用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作。

G 功能根据功能的不同分成若干组，其中 00 组的 G 功能称为非模态 G 功能，其余组的 G 功能称为模态 G 功能。

非模态 G 功能：只在所规定的程序段中有效，程序段结束时被注销。

模态 G 功能：一组可相互注销的 G 功能，这些功能一旦被执行，则一直有效，直到被同一组的 G 功能注销为止。

模态 G 功能组中包含一个缺省 G 功能，上电时将被初始化为该功能。没有共同地址符的不同组 G 代码可以放在同一程序段中，且与顺序无关。

数控装置常用 G 功能指令见表 1-3-2、1-3-3。

表 1-3-2 车削常用 G 功能指令

G 代码	组别	解释	G 代码	组别	解释	
G00	01	快速定位	G50	00	修改工件坐标	
G01		直线插补	G52		设置局部坐标系	
G02		顺时针切圆弧	G53		选择机床坐标系	
G03		逆时针切圆弧	G70	00	精加工循环	
G04	00	暂停	G71		内外径粗切循环	
G09		停于精确的位置	G72		台阶粗切循环	
G20	06	英制输入	G73		成形重复循环	
G21		公制输入	G74		Z 向步进钻削	
G22	04	内部行程限位有效	G75		X 向切槽	
G23		内部行程限位无效	G76		切螺纹循环	
G27	00	检查参考点返回	G90		01	(内外直径)切削循环
G28		参考点返回	G92			切螺纹循环
G29		从参考点返回	G94		(台阶)切削循环	
G30		回到第二参考点	G96	12	恒线速度控制	
G32	01	切螺纹	G97		恒线速度控制取消	

G 代码	组别	解释	G 代码	组别	解释
G40	07	取消刀尖半径偏置	G98	10	固定循环返回起始点
G41		刀尖半径偏置（左侧）			
G42		刀尖半径偏置（右侧）			

表 1-3-3 铣削常用 G 功能指令

G 代码	组别	解释	G 代码	组别	解释
*G00	01	快速点定位	G43	10	刀长正补偿
G01		直线插补	G44		刀长负补偿
G02		顺圆插补	*G49		刀长补偿取消
G03		逆圆插补	*G50	缩放关	
G33		螺纹切削	G51	缩放开	
G04	00	暂停延时	G24		镜象开
G07	00	虚轴指定	*G25		镜象关
*G11		单段允许	G68		旋转变换
G12		单段禁止	*G69		旋转取消
*G17	02	XY 加工平面	G52		局部坐标系设定
G18		ZX 加工平面	G53		机床坐标系编程
G19		YZ 加工平面	*G54	11	工件坐标系 1
G20	英制单位	~ G59	~ 6 选择		
*G21	公制单位	G92	工件坐标系设定		
G28		回参考点	G73		钻、镗
G29		参考点返回	~ G89		循环
*G40	09	刀径补偿取消	G98		回初始平面
G41		刀径左补偿	*G99		回参考平面
G42		刀径右补偿			

项目 2

车削类零件的 数控加工

数控车床是数控机床中结构较为简单，用途十分广泛的机床之一。主要用于轴类零件或盘类零件的内外圆柱面、任意锥角的内外圆锥面、复杂回转内外曲面和圆柱、圆锥螺纹等切削加工。



任务 1 数控车床基本操作



知识目标

- (1) 了解数控车床的结构及主要部件功能。
- (2) 了解数控车床的加工特点。
- (3) 能安全文明生产。



能力目标

- (1) 掌握数控车床的面板操作。
- (2) 掌握数控机床面板按键功能。
- (3) 能操作数控车床。



任务学习

1.1 机床操作面板的功能

机床操作面板主要用于控制机床的运动和选择机床运行状态，由模式选择旋钮、数控程序运行控制开关等多个部分组成。

1.1.1 各按钮、旋钮的功能

各按钮、旋钮的功能如图 2-1-1 所示，因机床而异。

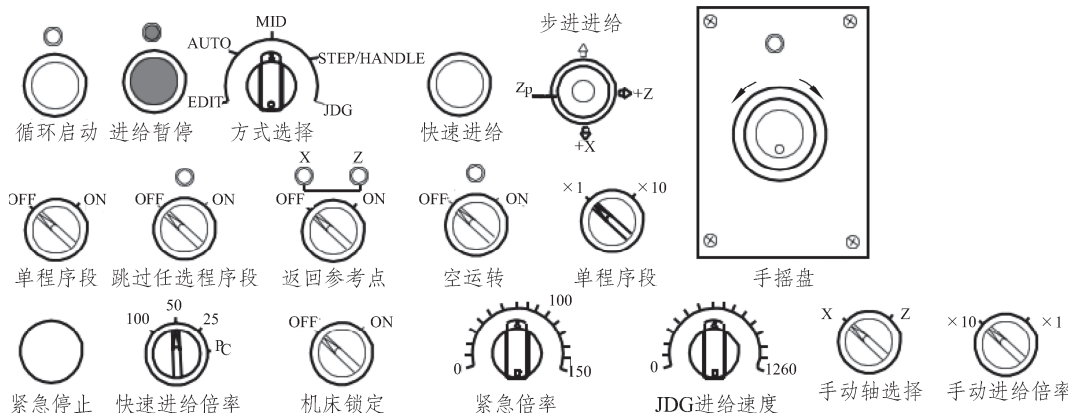


图 2-1-1 数控车床操作面板按钮、旋钮的功能

1.1.2 辅助功能键区快捷图标功能

辅助功能键区快捷图标功能见表 2-1-1。