

课题 2

数控铣床加工基础

- ◎第一节 数控机床的发展简况
- ◎第二节 数控铣床简介
- ◎第三节 数控铣削常用刀具种类
- ◎第四节 数控铣削加工的工艺知识

【本章知识点】

- (1) 了解数控机床的发展简况、数控铣床的特点、数控铣床的分类、数控铣削常用刀具种类。
- (2) 熟悉数控铣削加工的工艺知识。

第一节 数控机床的发展简况

2003 年开始，中国就成了全球最大的机床消费国，也是世界上最大的数控机床进口国。目前正在提高机械加工设备的数控化率，1999 年，我们国家机械加工设备数控化率是 5%~8%，目前预计是 15%~20%。

一、什么是数控机床

车、铣、刨、磨、镗、钻、电火花、剪板、折弯、激光切割等都是机械加工方法，所谓机械加工，就是把金属毛坯零件加工成所需要的形状，包含尺寸精度和几何精度两个方面。能完成以上功能的设备都称为机床，数控机床就是在普通机床上发展过来的，数控的意思就是数字控制。给机床装上数控系统后，机床就成了数控机床。当然，普通机床发展到数控机床不只是加装系统这么简单，例如：从普通铣床发展到数控铣床，机床结构发生变化，大幅度提高了精度。数控铣床最主要的功能是铣、镗、钻的功能。我们一般所说的数控设备，主要是指数控车床、数控铣床和加工中心。

二、数控机床的发展简况

机床数控技术是利用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种技术。它的发展是随着电子技术，计算技术，自控技术及精密测量技术的迅速发展而发展起来的。自 20 世纪中叶以来，已经历了五代数控系统。

第一代数控系统是由美国帕森斯公司与麻省理工学院伺服机构研究所研制成功，主要应用于航空工业，其数控装置全部采用电子管元件，插补器为数字脉冲乘法器原理。这种控制系统价格较高，万方数据应用范围也比较小，品种多为连续的控制系統。

第二代数控的形成是从 20 世纪 50 年代末开始，晶体管被应用于数控系统，提高了其可靠性，且价格有所下降，虽然其可靠性有所提高，体积大为缩小，但其可靠性还是低，得不到广大用户的认可，数控机床的产量和产品虽有所增加，但增加的不快。

第三代数控系统，从 1965 年开始采用中小规模集成电路的 NC 系统。它不仅大大缩小了数控机床的体积，可靠性也得到了实质性的提高，从而成为一般用户能够接受的装置，数控机床的产量和品种均得到较大的发展。

第四代数控系统（CNC 系统）产生于 20 世纪 70 年代，美国首次推出了使用小型计算机取代专用控制计算机的数控系统。它使许多功能靠编制专用程序存入计算机的存储器中，构成了所谓“控制软件”加以实现。

第五代数控系统是目前应用广泛的数控系统，1974 年美日等国厂家首先研制出了以微处理器为核心的数控系统（MNC 系统），形成第五代数控系统。

第四、五两代因为将计算机应用于数控装置，所以称之为计算机数字数控装置，简称 CNC 装置。由于计算机的应用，很多控制功能可以通过软件来实现，因而数控装置的功能大大提高，而价格却有较大的下降，可靠性和自动化程度得到进一步提高，数控机床得到了飞速的发展。

从 1975 年出现第五代数控装置以后，数控装置没有出现质的变化，只是随着集成电路规模的日益扩大，光缆通信技术应用于数控装置，使其体积日益缩小，价格逐年下降，可靠性进一步提高，数控装置的故障在数控机床总的故障中居于很次要的地位。

近年来，微电子和计算机技术日益成熟，它的成果正在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，柔性制造系统和计算机集成制造系统。所有这些高级的自动化生产系统均是以数控机床为基础，它们代表着数控机床今后的发展趋势。

三、数控机床发展趋势

1. 高速化

随着汽车、国防、航空、航天等工业的高速发展以及铝合金等新材料的应用，对数控机床加工的高速化要求越来越高。

2. 高精度化

数控机床精度的要求现在已经不局限于静态的几何精度，机床的运动精度、热变形以及对振动的监测和补偿越来越获得重视。

3. 功能复合化

复合机床的含义是指在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成

品的多种要素加工。根据其结构特点可分为工艺复合型和工序复合型两类。工艺复合型机床如镗铣钻复合——加工中心、车铣复合——车削中心、铣镗钻车复合——复合加工中心等；工序复合型机床如多面多轴联动加工的复合机床和双主轴车削中心等。采用复合机床进行加工，减少了工件装卸、更换和调整刀具的辅助时间以及中间过程中产生的误差，提高了零件加工精度，缩短了产品制造周期，提高了生产效率和制造商的市场反应能力，相对于传统的工序分散的生产方法具有明显的优势。

4. 控制智能化

随着人工智能技术的发展，为了满足制造业生产柔性化、制造自动化的发展需求，数控机床的智能化程度在不断提高。具体体现在以下几个方面：

(1) 加工过程自适应控制技术。通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电机的功率、电流、电压等信息，利用传统的或现代的算法进行识别，以辨识出刀具的受力、磨损、破损状态及机床加工的稳定性状态，并根据这些状态实时调整加工参数（主轴转速、进给速度）和加工指令，使设备处于最佳运行状态，以提高加工精度、降低加工表面粗糙度并提高设备运行的安全性。

(2) 加工参数的智能优化与选择。将工艺专家或技师的经验、零件加工的一般与特殊规律，用现代智能方法，构造基于专家系统或基于模型的“加工参数的智能优化与选择器”，利用它获得优化的加工参数，从而达到提高编程效率和加工工艺水平、缩短生产准备时间的目的。

(3) 智能故障自诊断与自修复技术。根据已有的故障信息，应用现代智能方法实现故障的快速准确定位。

(4) 智能故障回放和故障仿真技术。能够完整记录系统的各种信息，对数控机床发生的各种错误和事故进行回放和仿真，用以确定错误引起的原因，找出解决问题的办法，积累生产经验。

(5) 智能化交流伺服驱动装置。能自动识别负载,并自动调整参数的智能化伺服系统,包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。这种驱动装置能自动识别电机及负载的转动惯量,并自动对控制系统参数进行优化和调整,使驱动系统获得最佳运行。

(6) 智能 4M 数控系统。在制造过程中,加工、检测一体化是实现快速制造、快速检测和快速响应的有效途径,将测量、建模、加工、机器操作四者融合在一个系统中,实现信息共享,促进测量、建模、加工、装夹、操作的一体化。

5. 体系开放化

(1) 向未来技术开放。由于软硬件接口都遵循公认的标准协议,只需少量的重新设计和调整,新一代的通用软硬件资源就可能被现有系统所采纳、吸收和兼容,这就意味着系统的开发费用将大大降低而系统性能与可靠性将不断改善并处于长生命周期。

(2) 向用户特殊要求开放。更新产品、扩充功能、提供硬软件产品的各种组合以满足特殊应用要求。

(3) 数控标准的建立。国际上正在研究和制定一种新的 CNC 系统标准 ISO14649 (STEP-NC),以提供一种不依赖于具体系统的中性机制,能够描述产品整个生命周期内的统一数据模型,从而实现整个制造过程乃至各个工业领域产品信息的标准化。标准化的编程语言,既方便用户使用,又降低了和操作效率直接有关的劳动消耗。

6. 驱动并联化

并联运动机床克服了传统机床串联机构移动部件质量大、系统刚度低、刀具只能沿固定导轨进给、作业自由度偏低、设备加工灵活性和机动性不够等固有缺陷,在机床主轴(一般为动平台)与机座(一般为静平台)之间采用多杆并联连接机构驱动,通过控制杆系中杆的长度使杆系支撑的平台获得相应自由度的运动,可实现多坐标联动数控加工、装配和测量多种功能,更能满足复杂特种零件的加工,具有现代机器人的模块化程度高、质量轻和速度快等优点。

第二节 数控铣床简介

数控铣床是主要采用铣削方式加工工件的数控机床，能完成各种平面、沟槽、螺旋槽、成形表面、平面曲线和空间曲线等复杂型面的加工及钻孔、镗孔、攻螺纹等加工。数控铣床主轴安装铣削刀具，在加工程序控制下，数控铣床沿着 X、Y、Z 坐标轴的方向运动，通过不断改变铣削刀具工件之间的相对位置，加工出符合图样要求的工件。

一、数控铣床的特点

与普通铣床相比，数控铣床具有以下特点：

1. 半封闭或全封闭式防护

经济型数控铣床多采用半封闭式；全功能型数控铣床会采用全封闭式防护，防止切削液、切屑溅出，保证安全。

2. 主轴无级变速且变速范围宽

主传动系统采用伺服电动机（高速时采用无传动方式—电主轴）实现无级变速，且调速范围较宽，这既保证了良好的加工适应性，同时也为小直径铣刀工作形成了必要的切削速度。

3. 采用手动换刀，刀具装夹方便

数控铣床没有配备刀库，采用手动换刀，刀具安装方便。

4. 一般为三坐标联动

数控铣床多为三坐标（即 X、Y、Z 三个直线运动坐标）、三轴联动的机床，可以完成平面轮廓及曲面的加工。

5. 应用广泛

数控铣床种类很多，按其体积大小可分为小型、中型和大型数控铣床，其中规格较大的，其功能已向加工中心靠近，进而演变成柔性加工单元。

二、数控铣床的分类

数控铣床按主轴布置形式可分为三类，如图 2-1 示。

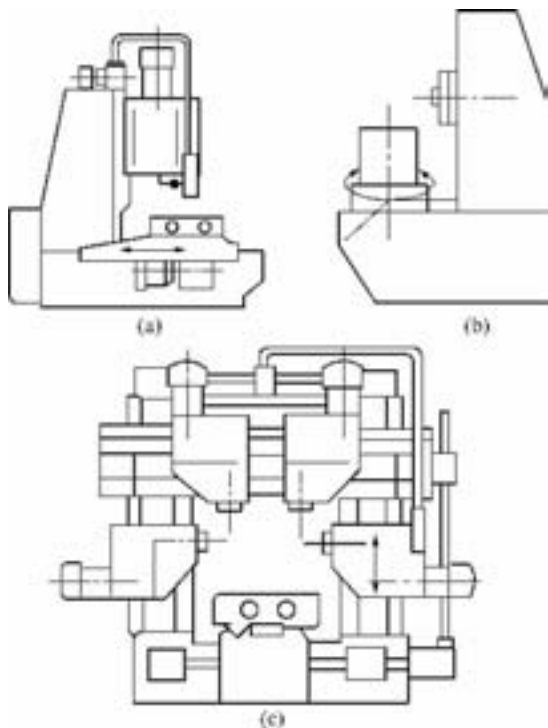


图 2-1 数控铣床的分类

(a) 立式数控铣床；(b) 卧式数控铣床；(c) 龙门式数控铣床

1. 立式数控铣床

立式数控铣床的主轴轴线与工作台面垂直，是数控铣床中数量最多的一种，应用范围最广。立式数控铣床一般为三坐标（X、Y、Z）联动，结构简单，工件安装方便，加工时便于观察，但不便于排屑，如图 2-2 示。



图 2-2 立式数控铣床

2. 卧式数控铣床

卧式数控铣床的主轴轴线与工作台面平行，主要用来加工箱体类零件。一般配有数控回转工作台以实现四轴或五轴加工，从而扩大功能和加工范围，很容易做到对工件进行“四面加工”，在许多方面胜过带数控转盘的立式数控铣床，所以目前已得到很多用户的重视。卧式数控铣床相比立式数控铣床，结构复杂，在加工时不便观察，但排屑顺畅。

3. 龙门式数控铣床

工作台宽度在 630 mm 以上的数控铣床，多采用龙门式布局，在结构上采用对称的双立柱结构，以保证机床整体刚性、强度，主轴可在龙门架的横梁与溜板上运动，而纵向运动则由龙门架沿床身移动或由工作台移动实现。龙门式数控铣床功能向加工中心靠近，用于大工件、大平面的加工，主要在汽车、航空航天、机床等行业使用。

对立式数控铣床而言，若按 Z 轴方向运动的实现形式又可有工作台升降式和刀具升降式（固定工作台）。立式升降台数控铣床由于受工作台本身重量的影响，使得采用不能自锁的滚珠丝杠导轨有一定的技术难度，故一般多用于垂直工作行程较大的场合。当垂直工作行程较小时，则常用刀具升降的固定工作台式数控铣床，刀具主轴在小范围内运动，其刚性较容易保证。

三、数控铣床的结构

数控铣床一般由机床本体、数控系统、进给伺服系统、冷却润滑系统等几大部分组成。机床本体是数控机床的主体，包括：床身、立柱等支承部件；主轴等运动部件；工作台、刀架以及进给运动执行部件、传动部件；此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。与传统机床相比，数控铣床的外部造型、整体布局、传动系统与刀具系统的部件结构以及操作机构等都发生了很大的变化，这种变化的目的是为了满足不同数控技术的要求和充分发挥数控机床的特点。图 2-3 所示是 XK5032 型立式数控铣床的外形结构图。

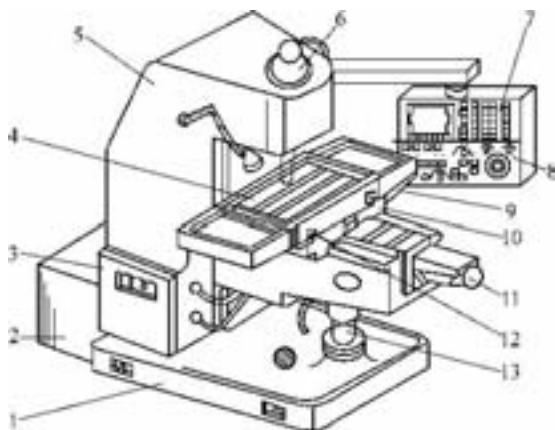


图 2-3 数控铣床的结构

- 1—底座；2—变压器箱；3—强电柜；4—纵向工作台；5—床身立柱；6—Z 轴伺服电动机；
7—数控操作面板；8—机械操作面板；9—纵向进给伺服电动机；10—横向溜板；
11—横向进给电动机；12—行程限位开关；13—工作台支配（可手动升降）

1. 主轴箱

包括主轴箱体和主轴传动系统，用于装夹刀具并带动刀具旋转，主轴转速范围和输出扭矩对加工有直接的影响，要求动平衡性很高，刚性好，回转精度高，有良好的热稳定性，能传递足够的力矩和功率。

2. 进给伺服系统

由进给电动机和进给执行机构组成，按照程序设定的进给速度实

现刀具和工件之间的相对运动，包括直线进给运动和旋转运动。

3. 控制系统

数控铣床运动控制的中心，执行数控加工程序控制机床进行加工。

4. 辅助装置

如液压、气动、润滑、冷却系统和排屑、防护等装置。

5. 机床基础件

通常是指底座、立柱、横梁等，它是整个机床的基础和框架，应具有很好的动、静刚度，热刚度和最佳的阻尼特性。

把数控机床各种部件的基本单元作为基础，按不同功能、规格和价格设计成多种模块，用户按需要选择最合理的功能模块配置成整机。这不仅能降低数控机床的设计和制造成本，而且能缩短设计和制造周期，最终赢得市场。目前，模块化的概念已开始从功能模块向全模块化方向发展，它已不局限于功能的模块化，而是扩展到零件和原材料的模块化。

第三节 数控铣削常用刀具种类

在数控铣床上所能用到的刀具按切削工艺可分为三种。

一、钻削刀具

钻削刀具分小孔钻头、短孔钻头（深径比 ≤ 5 ）、深孔钻头（深径比 > 6 ，可高达 100 以上）和枪钻、丝锥、铰刀等。图 2-4 为常用钻削刀具。



图 2-4 为常用钻削刀具

(a) 铰刀；(b) 钻头

二、镗削刀具

镗削工具分镗孔刀（粗镗、精镗）和镗止口刀等。图 2-5 为常用镗杆。

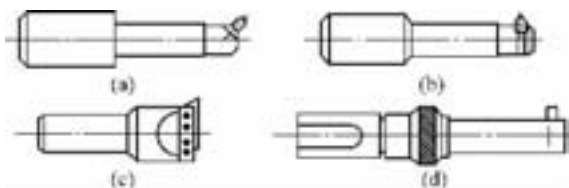


图 2-5 为常用钻削刀具

(a) 倾斜型镗刀杆；(b) 直角型镗刀杆；(c) 楔型镗刀杆；(d) 接柄镗杆

三、铣削刀具

铣削刀具具体分类如下：

1. 面铣刀

目前较常用的铣削平面的铣刀为硬质合金可转位式面铣刀。

硬质合金可转位式面铣刀是将硬质合金可转位刀片直接装夹在刀体槽中，切削刃用钝后，将刀片转位或更换新刀片即可继续使用。硬质合金可转位式面铣刀具有加工质量稳定，切削效率高，刀具寿命长，刀片调整、更换方便，刀片重复定位精度高等特点，适合于数控铣床或加工中心上使用。该铣刀是目前生产上应用最广泛的刀具之一，常用于端铣较大的平面。如图 2-6 示。

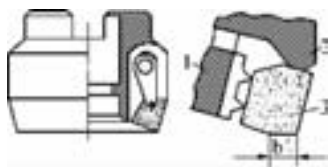


图 2-6 硬质合金可转位式面铣刀

1—刀垫；2—轴向支承块；3—可转位刀片

2. 立铣刀

主要用于立式铣床上加工凹槽、台阶面、成形面（利用靠模）等。

图 2-7 所示为高速钢立铣刀。该立铣刀的主切削刃分布在铣刀的圆柱面上，副切削刃分布在铣刀的端面上，且端面中心有顶尖孔，因此，铣削时一般不能沿铣刀轴向作进给运动，只能沿铣刀径向作进给运动。该立铣刀有粗齿和细齿之分，粗齿齿数 3~6 个，适用于粗加工；细齿齿数 5~10 个，适用于半精加工。该立铣刀的直径范围是 2~80 mm。柄部有直柄、莫氏锥柄、7:24 锥柄等多种形式。该立铣刀应用较广。

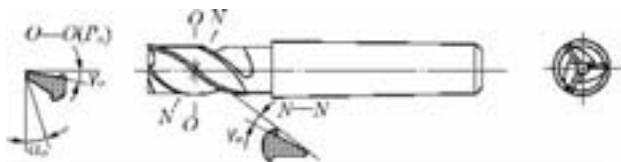


图 2-7 立铣刀

3. 键槽铣刀

键槽铣刀主要用于立式铣床上加工型腔及圆头封闭键槽等，如图 2-8 所示。

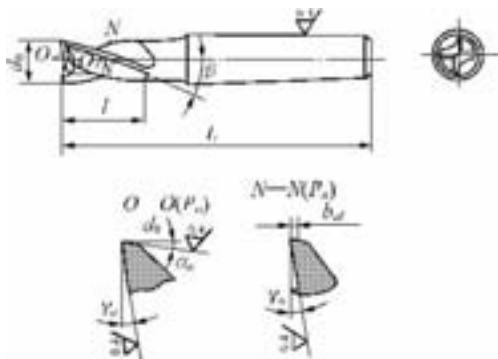


图 2-8 键槽铣刀

该铣刀外形似立铣刀，端面无顶尖孔，端面刀齿从外圆开至轴心，且螺旋角较小，增强了端面刀齿强度。端面刀齿上的切削刃为主切削刃，圆柱面上的切削刃为副切削刃。加工键槽时，每次先沿铣刀轴向进给较小的量，然后再沿径向进给，这样反复多次，就可完成键槽的

加工。由于该铣刀的磨损是在端面和靠近端面的外圆部分，所以修磨时只要修磨端面切削刃，这样，铣刀直径可保持不变，使加工键槽精度较高，铣刀寿命较长。

4. 成形铣刀

一般都是为特定的工件或加工内容专门设计制造的如图 2-9 所示，适用于加工平面类零件的特定形状，如角度、凹槽面等。



图 2-9 成形铣刀

5. 球头铣刀

适用于加工具有空间曲面的零件，有时也用于平面类零件较大的转角圆弧的补充加工，主要用于立式铣床上加工模具型腔、三维成形表面等。球头铣刀按工作部分形状不同，可分为圆柱形球头铣刀、圆锥形球头铣刀和两种形式。圆柱形球头铣刀如图 2-10 所示。

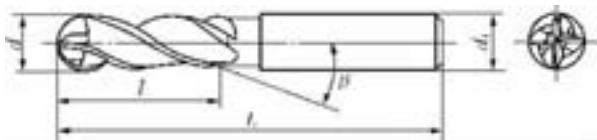


图 2-10 球头铣刀

常用金属切削刀具材料为高速钢和硬质合金，按国内标准硬质合金刀具材料种类又分为 YT、YG 和 YW 三种，相对应的国际 ISO 标准为 P、K、M，分别为加工钢、铸铁和合金钢以及不易加工的材料。常用非金属刀具材料有陶瓷、聚晶金刚体和立方氮化硼，其中聚晶金刚体主要用于对耐磨、高硬度的非金属和非铁合金材料进行精加工。立方氮化硼适用于加工淬火钢、硬铸铁、高温合金和硬质合金。为提高刀具材料的耐磨性和使用寿命，刀具材料的表面可用 TiN、TiCN、 Al_2O_3 等材料作镀层处理。

第四节 数控铣削加工的工艺知识

一、数控铣床的坐标系

(一) 坐标轴和运动方向

数控机床的坐标系采用直角笛卡儿坐标系。为编程方便，对坐标轴的名称和正负方向都有统一规定，如图 2-11 所示。

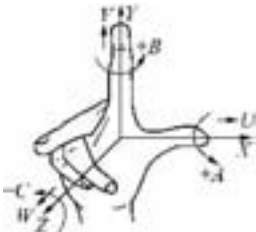


图 2-11 右手直角笛卡儿坐标系

假定刀具相对于静止的工件运动，当工件运动时，刀具远离工件运动的方向为坐标轴的正向。

旋转坐标轴的正向按右手螺旋法则确定。

右手螺旋法则用右手的四个手指握住直角坐标轴，大拇指的指向为直角坐标系的正向，那么剩下的四个手指所表示的方向就是旋转坐标轴的正向。X、Y、Z 三个直角坐标轴对应的旋转坐标分别是 A、B、C，如图 2-12 所示。

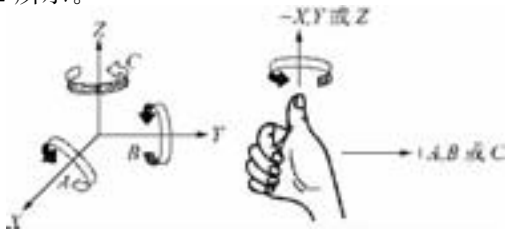


图 2-12 右手螺旋法则

（二）坐标轴的规定

1. Z 轴的规定

无论哪一种数控机床都规定 Z 轴作为平行于主轴中心线的坐标轴，如果一台机床有多根主轴，应选择垂直于工件装卡面的主要轴为 Z 轴。

没有主轴的机床，则规定 Z 轴垂直于工件的装夹方向。

2. X 轴的规定

一般规定 X 轴是水平的，平行于工件的装夹面；对于工件旋转的机床，X 轴的方向在工件的径向上（也就是直径的方向），并平行于横滑座。

3. Y 轴的确定

在确定出 Z 轴和 X 轴的基础上，用右手笛卡儿坐标系进行判断。其中立式数控机床的坐标系如图 2-13 所示。

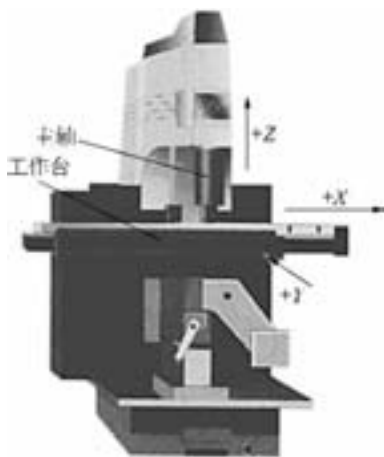


图 2-13 立式数控机床的坐标系

（三）坐标系

1. 机床坐标系

在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定数控机床上的成型运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的位移和运动的方向，这就需要通过坐标系来实现，这个坐标系被称之为机床坐标系。

2. 机床原点

机床坐标系的坐标原点在机床上是固定不变的, 机床出厂时已确定, 是机床上用作为加工基准的特定点, 是机床的基准点, 称为机床零点。机床制造厂对每台机床设置机床零点。一般设在机床移动部件沿其坐标轴正向的极限位置。用机床零点作为原点设置的坐标系称为机床坐标系。机床限位开关或挡块的位置也是机床上固有的点, 这些点在机床坐标系中都是固定点。

3. 工件坐标系

程序编制人员以工件上的某一点为坐标原点, 建立一个新坐标系, 是由编程人员设定的在编程和加工时使用的坐标系, 也叫做编程坐标系, 位置基本上不和机床坐标系重合, 为了便于编程可任意指定, 在这个坐标系内, 编程可以简化坐标计算, 减少错误, 缩短程序长度。在实际加工中, 操作者在机床上装好工件之后要测量该工件坐标系的原点和机床坐标系原点的距离, 并把测得的距离在数控系统中预先设定, 这个设定值叫工件零点偏置。在刀具移动时, 工件坐标系零点偏置便加到按工件坐标系编写的程序坐标值上。对于编程者来说, 只是按图样上的坐标来编程, 而不必事先去考虑该工件在机床坐标系中的具体位置。工件坐标系如图2-14所示。

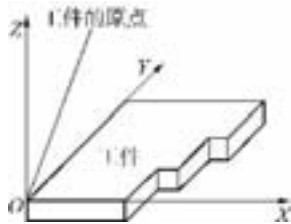


图 2-14 工件坐标系

机床坐标系与工件坐标系之间的关系可以参看图 2-15。

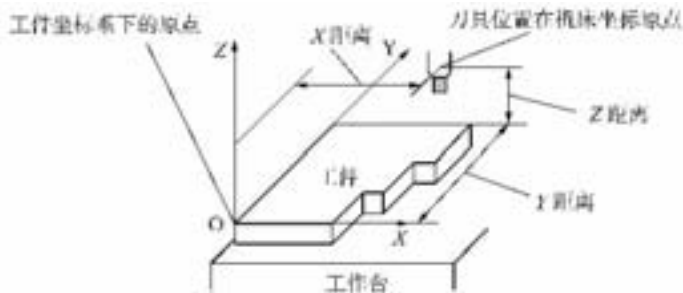


图 2-15 机床坐标系与工件坐标系之间的关系

4. 工件原点

工件原点也称程序原点，是人为设定的工件坐标系的原点。设定原则是尽量简化编程，如车削编程通常是设在工件右端面的中心，铣削编程通常是设在工件上表面的中心。

5. 参考点

参考点是厂家在机床上用行程开关设置的一个物理位置，与机床原点相对位置是固定的。一般来说，加工中心的参考点设在机床的自动换刀位置，与机床原点并不重合，而数控铣床的参考点与机床原点多数情况下都是重合的。

二、铣削用量

在铣削加工中，切削用量一般由切削速度 v_c 、进给量 F 、切削深度 a_p 和切削层宽度 a_e 四要素组成。这四个要素的选择是机加工中非常重要的一个环节，不恰当的切削用量不仅不能发挥数控机床的优势，而且有可能损坏刀具，缩短机床正常加工的寿命。

合理的切削用量选择的原则是：粗加工时，要以提高生产率为主，但同时又要考虑到经济性和加工成本；对于半精加工和精加工，应首先保证加工质量，同时兼顾切削效率、经济性和加工成本、具体应考虑以下几项。

1. 切削速度 v_c

切削速度是切削过程中的主运动的线速度，与刀具的耐用度的关系比较密切。随着切削速度的增大，刀具耐用度急剧下降，故切削速度的选择主要取决于刀具耐用度。另外，切削速度与加工材料有很大关系。例如，用立铣刀铣削模具钢时， v_c 可采用 120 m/min 左右；而同样的立铣刀铣削铝合金时， v_c 选 800 m/min 以上。对于每一种具体的刀具材料与被切削材料，均有一个最佳的值。计算公式为

$$v_c = \frac{\pi D n}{1000} \quad (1-1)$$

式中， D 表示刀具的直径，单位 mm，我们常用它的推导式来确定机

床主轴的转速 n

$$n = \frac{1\,000v_c}{\pi D} \quad (1-2)$$

2. 进给量 F

进给量应根据零件的加工精度和表面粗糙度以及刀具和工件的材料来选择,进给量的增加也可以提高生产效率。加工表面粗糙度要求较低时,进给量可以选大一些。在加工过程中,进给速度也可以通过操作面板上的修调开关人工调整,但是最大进给速度要受到设备刚度和进给系统性能等的限制。进给量的计算公式为

$$F = f_z \times Z \times n$$

式中, F 为进给量, mm/min; f_z 为每齿进给量, mm/r; Z 为切削刀具刃数; n 为主轴转速, r/min。

3. 切削深度 a_p

在机床、工件和刀具刚度允许的情况下,切削深度就等于加工余量,这是提高生产率的一个有效措施。为了保证零件的加工精度和表面粗糙度,一般应留一定的余量进行精加工。

提高 v_c 是提高生产率的一个措施,但 v_c 的提高必须考虑到刀具的耐用度。当 v_c 的提高受到限制,而主轴功率还有较大富裕,同时刀具刚性较好的情况下,可以增大切深以提高生产率。

4. 切削宽度 a_e (步距)

一般的切削宽度与刀具直径 D 成正比,与切削深度成反比。一般切削宽度的取值范围为 $a_e = (0.1 \sim 0.75) D$ 。

三、顺铣和逆铣对加工的影响

在铣削加工中,采用顺铣还是逆铣方式是影响加工表面粗糙度的重要因素之一。逆铣时切削力 F 的水平分力 F_x 的方向与进给运动 v_f 方向相反,顺铣时切削力 F 的水平分力 F_x 的方向与进给运动的 v_f 方向相同,如图 2-16 示。铣削方式的选择应视零件图样的加工要求,工件材料的性质、特点以及机床、刀具等条件综合考虑。通常,由于

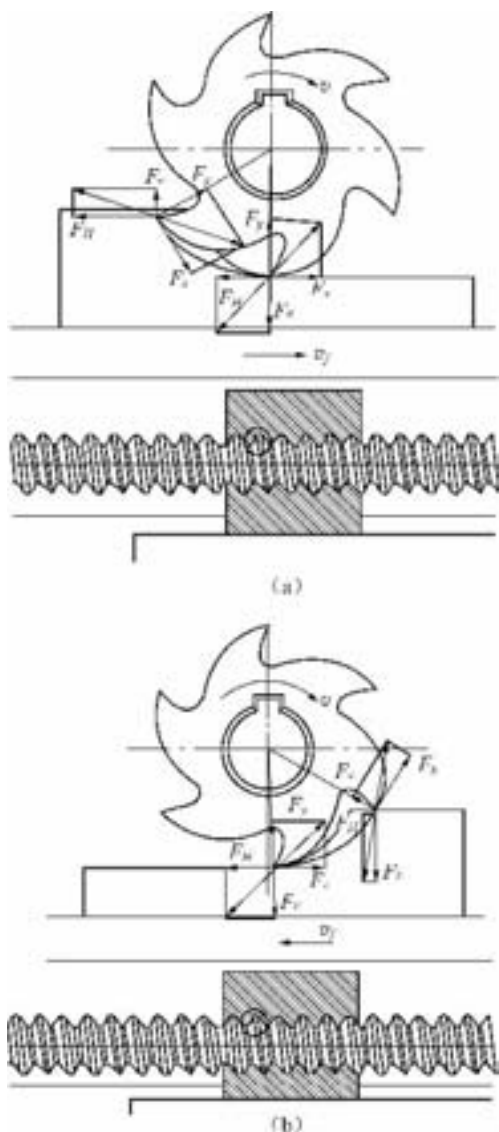


图 2-16 顺铣与逆铣

(a) 逆铣；(b) 顺铣

数控机床传动采用滚珠丝杠结构，其进给传动间隙很小，顺铣的工艺性就优于逆铣。



为了降低表面粗糙度值，提高刀具耐用度，对于铝镁合金、钛合金和耐热合金等材料，尽量采用顺铣加工。但如果零件毛坯为黑色金属锻件或铸件，表皮硬而且余量一般较大，这时采用逆铣较为合理。究竟采用顺铣还是逆铣，还应以实际加工效果为准。

课题 3

FANUC 0i Mate 数控铣床基本操作

- ◎第一节 数控机床的安全操作规程
- ◎第二节 FANUC 0i Mate 数控铣床操作面板
- ◎第三节 FANUC 0i Mate 数控铣床基本操作

【本章知识点】

- (1) 掌握数控机床的安全操作规程。
- (2) 熟悉数控铣床操作面板。
- (3) 熟悉数控铣床的基本操作。

第一节 数控机床的安全操作规程

数控机床的种类繁多，考虑到 FANUC 数控系统在我国应用较普遍，而 FANUC 系统中 0i 比 0 系统的功能更完善，所以本书中的编程和操作均以 FANUC 0i 系统为基础进行介绍。

一、文明生产和安全操作规程

1. 文明生产

文明生产是现代企业管理的一项十分重要的内容，而数控加工是

一种先进的加工方法，与通用机床加工相比较，在许多方面遵循的原则基本一致，使用方法上也大致相同。但数控机床自动化程度高，为了充分发挥机床的优越性，提高生产效率，管好、用好数控机床，操作者除了掌握数控机床的性能和精心操作以外，还必须养成良好的文明生产习惯和严谨的工作作风，具有较好的职业素质、责任心和良好的合作精神。操作时应做到以下几点：

(1) 严格遵守《数控机床的安全操作规程》操作机床。

(2) 严格遵守劳动纪律，不迟到，不早退，工作中不打闹，坚守岗位；上班前和工作中不饮酒。

(3) 保持数控机床周围的环境整洁。

(4) 操作人员应穿戴好工作服、工作鞋，进入作业现场不准穿高跟鞋、拖鞋、凉鞋、短裤，不准戴头巾和围巾，不准赤脚、赤膊，不准敞衣工作，不穿、戴有危险性的服饰品。

(5) 认真执行岗位责任制，严格遵守操作规程，集中精力做好本职工作，不做与本职工作无关的事。

(6) 非本岗操作者、维护使用人员，未经批准不得进入工作现场和触动机床及辅助设备。

(7) 严格执行交接班制度，交接班记录完整。

(8) 下班前必须清理现场，切断电源，关闭门窗。

(9) 实行定期维护和保养制度，保证机床安全运行。

(10) 一旦发生事故，应立即采取措施防止事故扩大，保护现场，同时报告有关部门。

2. 安全操作规程

(1) 阅读机床操作手册，熟悉数控机床的性能、结构、传动原理、操作顺序及紧急停车方法。

(2) 检查润滑油和齿轮箱内的油量情况，有手动润滑的部位要先进行润滑。

(3) 机床通电后，检查电压、气压、油压是否正常，检查各开关、按钮和按键是否正常、灵活，机床有无异常现象。

(4) 进行返回机床参考点的操作，建立机床坐标系。

(5) 开机后让机床空运行 15 min 以上，以使机床达到热平衡状态。

(6) 手动操作沿 X、Y 轴方向移动工作台时, 必须使 Z 轴处于安全高度位置, 防止刀具发生碰撞。移动时应注意观察刀具的移动是否正常。

(7) 正确对刀, 确定工件坐标系, 并认真核对数据。

(8) 输入程序并认真仔细检查。

(9) 进行模拟加工, 验证程序的正确性。

(10) 程序调试好后, 在正式切削加工前, 应检查一次程序、刀具、夹具、工件、参数等是否正确。

(11) 刀具补偿值输入后, 要对刀补号、补偿值、正负号、小数点进行认真核对。

(12) 检查运行程序与加工工件是否一致。

(13) 确定机床状态及各开关位置 (进给倍率开关应为 0)。

(14) 当工件坐标、刀具位置、剩余量三者相符后才能逐渐加大进给倍率开关。

(15) 刃磨刀具和更换刀具后, 要重新测量刀长并修改刀补值和刀补号。

(16) 程序修改后, 对修改部分要仔细计算和认真核对。

(17) 机床运转时, 不得调整刀具和测量工件的尺寸, 手不得靠近旋转的刀具和工件。

(18) 加工完毕后, 将 X、Y、Z 轴移动到行程的中间位置, 并将主轴速度和进给速度倍率开关都拨至低挡位, 防止因误操作而使机床产生错误的动作。

(19) 卸刀时应先用手握住刀柄, 再按换刀开关: 装刀时应在确认刀柄完全到位后再松手。

(20) 加工完毕, 及时清理现场, 做好工作记录。

二、异常情况处理

(1) 当机床因报警而停止时, 应先清除报警信息, 将主轴安全移出加工位置, 确定排除警报故障后, 再恢复加工。

(2) 当正常加工时需要暂停程序前, 应先将倍率开关缓慢关至 0 位。

(3) 当发生紧急情况时, 应迅速停止程序, 必要时可使用紧急停止按钮。

第二节 FANUC 0i Mate 数控铣床操作面板

关于数控机床的加工操作都是在操作面板上完成的，FANUC Oi 系统操作面板由 CRT 显示器（如图 3-1 所示）、MDI 键盘（如图 3-2 所示）和机床操作面板（如图 3-3 所示）组成。其中 FANUC 数控系统由 FANUC 公司统一提供，但不同的机床厂家生产的机床操作面板不尽相同。

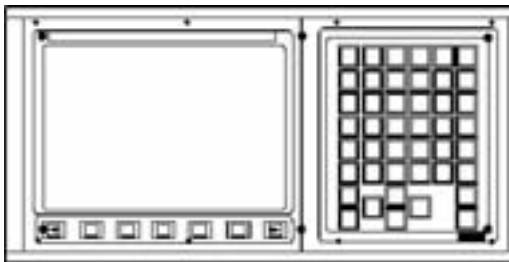


图 3-1 CRT 显示器



图 3-2 FANUC 0i 数控系统的 MDI 键盘

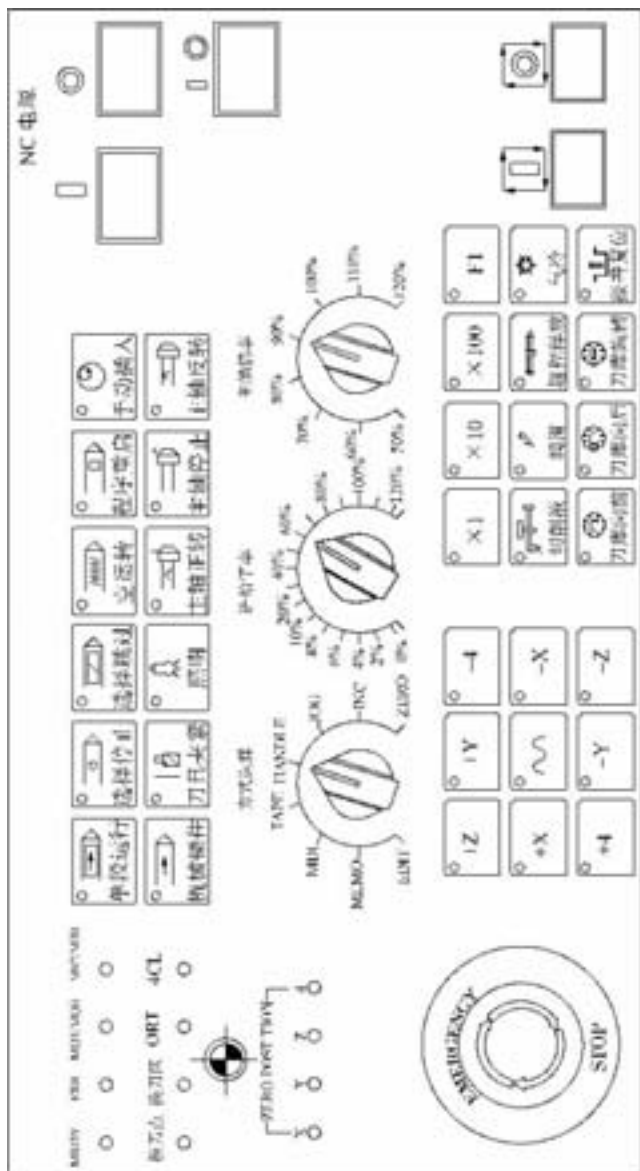


图 3-3 FANUC 0i 系统操作面板

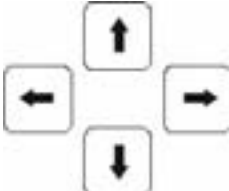
一、MDI 面板上的按键说明

MDI 面板上的建有功能键、编辑键、换挡键、取消键、输入键、地址/数据键、光标移动键、换页键、复位键、帮助键。MDI 面板上的按键说明见表 3-1 示。

表 3-1 MDI 面板上的按键说明

代码	功能	说明
1		按下此键以显示位置屏幕
2		按下此键以显示程序屏幕
3		按下此键以显示偏置/设置屏幕
4		按下此键以显示系统屏幕
5		按下此键以显示信息屏幕
6		按下此键以显示用户宏屏幕和图形显示屏幕
7	复位键 	按下此键可以使 CNC 复位或者取消报警等
8	帮助键 	对 MDI 键的操作不明白时, 按下这个键可以获得帮助 (帮助功能)
9	换挡键 	在该键盘上, 有些键具有两个功能。按下 <shift> 键可以在这两个功能之间进行切换, 当一个键右下方的字母可被输入时, 就会在屏幕上显示一个特殊的字符 E

续表

代码	功能	说明
10	输入键 	当按下下一个字母键或者数字键时，再按该键，数据被输入到缓存区，并且显示在屏幕上。要将输入缓存区的数据拷贝到偏置寄存器中，请按下该键。这个键与软键上的 [INPUT] 键是等效的
11	取消键 	按下这个键删除最后一个进入输入缓存区的字符或符号
12	程序编辑键 	 插入  替换  删除
13	换页键 	 将屏幕显示的页面向前翻页  将屏幕显示的页面向后翻页
14	地址和数字键 	按下这些键可以输入字母，数字或者其他字符
15	光标移动键 	用于将光标向上下左右移动

二、CRT 显示器上的软件

软键包括章节选择软键、操作选择软键（如图 3-4 所示）、菜单返回键、菜单继续键（如图 3-5 所示）。

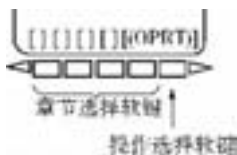


图 3-4 软键 1



图 3-5 软键 2

三、机床控制面板说明

1. 方式选择旋钮

AUTO: 进入自动加工模式。

EDIT: 用于直接通过操作面板输入数控程序和编辑程序。

MDI: 手动数据输入, 可以用来运行较短的程序段。

JOG: 手动方式, 连续快速移动工作台或者刀具。

DNC: 可用于在线加工。

ZERO: 回参考点。

INC: 手动脉冲, 增量进给, 可用于步进或者微调。

HANDLE: 手轮方式移动工作台或刀具。

2. 数控程序运行开关



称为循环启动, 即程序运行开始按钮, 该模式选择旋钮

在“**AUTO**”和“**MDI**”位置时按下有效, 其余时间按下无效。



称为循环暂停, 为程序运行暂停 (也叫进给保持) 按钮,

在数控程序运行中, 按下此按钮停止运行, 刀具不再进给, 但是主轴仍然在转动, 经常在操作者发现加工出现问题时使用。

3. 主轴运行开关



手动开机床, 主轴正转;

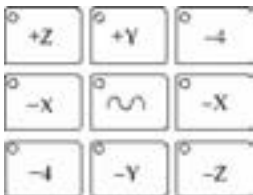


手动开机床，主轴反转；

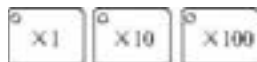


手动关机床，主轴停转。

4. 手动移动机床按钮



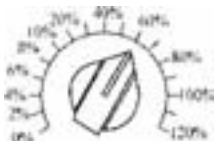
5. 单步进给量控制按钮



单步进给量控制按钮可选择手动移动台面

时每一步的距离。 $\times 1$ 为 0.001 mm， $\times 10$ 为 0.01 mm， $\times 100$ 为 0.1 mm。

6. 进给速度调节旋钮



调节数控程序运行中的进给速度与手动移动机床

的速度，调节范围为 0~120%。

7. 主轴速度调节旋钮



调节主轴速度，调节范围为 0~120%。

8. 单步运行开关



当单步运行开关被按下（灯亮），这时数控程序运行，每

按一次循环启动按钮，执行一条数控指令。

9. 程序段跳读



自动运行方式按下此键，跳过程序段开头带有“/”的程序。

10. 程序停



自动运行方式下，遇有 M00 程序停止。要注意和程序选择性停止键（M01 有效指令）的区别。

11. 机械锁住开关



按下此键，机床各轴被锁住。

12. 机床空运行



自动运行方式下，按下此键，机床以快速移动的速度来

运行程序，通常与



按键一起按下，用于模拟运行程序。

13. 紧急停止按钮



自动运行方式下，由于程序有错，或者对刀错误，刀具马上有可能与工件发生撞击，这是按下紧急停止按钮，停止加工。

第三节 FANUC 0i Mate 数控铣床基本操作

一、机床的手动操作

1. 机床回零

(1) 将〈方式选择〉旋钮转动到 ZERO 方式。

(2) 按住机床操作面板上 X 轴方向移动按钮 （此时 X 轴将回原点），至 X 轴回零指示灯亮。同样，再分别按住 Y 轴、Z 轴方向移动按钮  和  至 Y 轴，Z 轴回零指示灯亮。

2. 手轮方式移动台面或刀具

- (1) 将〈方式选择〉旋钮转动到 HANDLE 方式。
- (2) 选择手轮脉冲发生器一格的单位。
- (3) 选择手轮进给轴。
- (4) 顺时针/逆时针旋转手摇脉冲发生器。

3. 手动连续进给

- (1) 将〈方式选择〉旋钮转动到 JOG 方式。

- (2) 分别按下移动键 、、、、、 移动机床。释放开关，移动停止。

- (3) JOG 进给速度可以通过 JOG 进给倍率旋钮进行调整。

- (4) 按下移动键的同时，按下快速移动  按键，刀具会快速移动。在快速移动过程中，进给移动倍率有效。

4. 增量进给

- (1) 将〈方式选择〉旋钮转动到 INC 方式。
- (2) 选择每一步将要移动的增量值。

增量进给的增量值由    三个增量倍率按键控制。增量倍率按键与增量值的对应关系见表 3-2

表 3-2 增量倍率按键与增量值的对应关系

增量倍率按键	×1	×10	×100
增量值/mm	0.001	0.01	0.1

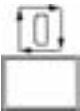
- (3) 每按一下移动键 、、、、、，机床移动一个增量值。

5. MDI 方式

- (1) 将〈方式选择〉旋钮转动到 MDI 方式。

(2) 按功能键 。

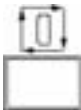
(3) 输入数据 S300M03, 按  和  键, 按机床操作面板

的循环启动按键 , 这时主轴正转。

6. 主轴控制

(1) 主轴正转

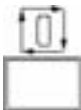
①在上述“MDI”, 已输入主轴转速、M03, 按  和  键,

按机床操作面板的循环启动按键 , 使主轴正转。

②将〈方式选择〉旋钮转动到 JOG 方式, 按一下  按键, 主电动机以在“MDI”方式设定的转速正转。

(2) 主轴反转

①在上述“MDI”, 已输入主轴转速、M04, 按  和  键,

按机床操作面板的循环启动按键 , 使主轴反转。

②将〈方式选择〉旋钮转动到 JOG 方式, 按一下  按键, 主电动机以在“MDI”方式设定的转速反转。

二、程序输入与调用

1. 输入程序

(1) 将〈方式选择〉旋钮置于 EDIT 状态;

(2) 按  键出现 PROGRAM 画面；

(3) 在操作面板上依次输入程序语句，每个字输完按  键，
每个程序段连续输完按  键，再按  键。

(4) 按  键，光标返回程序的起始位置。

2. 调用程序

例：调用已有的程序 O1001

(1) 将〈方式选择〉旋钮置于 EDIT 状态；

(2) 按  键出现 PROGRAM 画面；

(3) 输入程序号 O1001，按光标下移键 ，即可出现 O1001 程序。

3. 字的修改

例：将 Z10 改为 Z15

(1) 将光标移到 Z10 位置；

(2) 输入改变后的字 Z15；

(3) 按  键，即可替换。

4. 删除字

例：将 Z10 删除

(1) 将光标移到 Z10 位置；

(2) 按  键，即可删除 Z10 字。

5. 插入字

例：在“G17G90G40G49”语句中加入 G54 改为“G17G90G54 G40G49”

(1) 将光标移到要插入字的前一个字的位置 (G90);

(2) 输入要插入的字 (G54);

(3) 按  键, 出现 G17G90G54G40G49

6. 删除程序

例: 要删除程序 O1001

(1) 将〈方式选择〉旋钮置于 EDIT 状态;

(2) 按  键;

(3) 输入要删除的程序号 (O1001);

(4) 确认是不是要删除的程序;

(5) 按  键, 该程序即被删除。

7. 删除一个程序段

例: O1000;

N10 G17 G90 G54 G40 G49;

N20 G55;

N30 G00 X - 50 Y - 80; (要删除这个程序段)

N40 S300 M03;

(1) 将光标移到要删除的程序段的第一个字 N30 位置;

(2) 按  键;

(3) 按  键, 该程序段即被删除。

三、超程解除

在伺服轴行程的两端各有一个极限开关, 作用是防止伺服机构碰撞而损坏。当伺服机构碰到行程极限开关时, 就会出现超程。当某轴出现超程时, 系统会发出报警, 必须使用超程解除, 机床才能正常工作。

例如“+X”方向超程，超程解除的方法是：

(1) 松开“急停”按钮，置工作方式为“JOG”方式。

(2) 一直按压着  按键，同时按移动键 ，使超程轴向相反方向移动。在手动方式下，使该轴向相反方向退出超程状态。

(3) 松开超程解除按键 。

注意：在操作机床退出超程状态时请务必注意移动方向及移动速率，以免发生撞机。

(4) 置工作方式为“ZERO”方式，分别按 、、 至原点灯亮，重新回机床原点。

机床的模拟运行与自动加工在课题 4 和课题 5 中结合具体零件加工程序来讲授。

四、FANUC 0i Mate-MC 数控铣床程序错误报警代码一览表

FANUC 0i Mate-MC 数控铣床程序错误报警代码见表 3-3。

表 3-3 FANUC 0i Mate-MC 数控铣床程序错误报警代码

序号	信息	内 容
000	请关闭电源	设置了需要关闭电源的参数后必须关闭电源
003	数字位太多	输入了超过允许位数的数据
004	地址没找到	在程序段的开始无地址而输入了数字或字符“—”
005	地址后无数据	地址后面无适当数据而是另一地址后或 EOB 代码
006	非法使用负号	符号“—”输入错误（在不能使用负号的地址后输入了“—”符号，或输入了两个或三个“—”符号）
007	非法使用小数点	小数点“.”输入错误（在不允许使用的地址中输入了“.”符号，输入了两个或三个或多个“.”符号）
009	输入非法地址	在有效信息区输入了不能使用的字符
010	不正确的 G 代码	使用了不能使用的 G 代码或指令了无此功能的 G 代码
011	无进给速度指令	在切削进给中未指令进给速度或进给速度不当

续表

序号	信息	内容
014	不能指令 G95	没有螺纹切削/同步进给功能时, 指令了同步进给
015	指令了太多的轴	超过了允许的同时控制轴数
020	超出半径公差	在圆弧插补中 (G02 或 G03) 中, 起始点与圆弧中心的距离不同于终点与圆弧中心的距离
021	指令了非法平面轴	在圆弧插补中, 指定了不在所选平面内 (用 G17, G18, G19) 的轴
022	没有圆弧半径	在圆弧插补中, 不管是 R (指定圆弧半径), 还是 I, J 和 K (指定从起始点到中心距离) 都没有被指令
025	在 G02/G03 中不能指令 F0	在圆弧插补中, 指令了 F1 位数 F0
027	在 G43/G44 中没有轴指令	在刀具长度补偿 C 的程序段 G43 和 G44 中, 没有指定轴地址。补偿未被取消, 但另一轴加了刀具长度补偿 C
028	非法的平面选择	在平面选择指令中, 同一方向上指令了两个或更多的轴
029	非法的偏置值	由 H 代码指定的补偿值太大
030	非法补偿号	由 D/H 代码指定的刀具长度补偿号或刀具半径补偿号太大。另外, 由 P 代码指定的工件坐标系号也太大
033	在 CRC 中无结果	刀具补偿 C 方式中的交点不能确定
034	圆弧指令时不能起刀或取消刀补	刀具补偿 C 方式中 G02 或 G03 指令时企图起刀或取消刀补
037	在 CRC 中不能改变平面	由 G17, G18 或 G19 选择的平面在刀具补偿 C 中被改变
038	在圆弧程序段中的干涉	在刀具补偿 C 方式中, 将出现过切, 因为圆弧起点或终止点与圆弧中心相同
041	在 CRC 中有干涉	在刀具补偿 C 方式中, 将出现过切。刀具补偿方式下连续指令了两个没有移动指令只有停刀指令的程序段
042	在 CRC 中不允许指令 G45/G48	在刀具半径补偿中, 指令了刀具偏置 (G45—G48)

续表

序号	信息	内容
044	在固定循环中不允许指令 G27/G30	在固定循环方式中, 指令了 G27 - G30 中的一个
045	地址 Q 未发现 (G73/G83)	在固定循环 G73/G83 中, 没有每次切深 (Q) 指定
046	非法的参考点返回指令	在第 2、第 3 和第 4 参考点返回指令中, 指令了 P2、P3、P4 之外的指令
053	太多的地址指令	在没有 CHF/CNR 功能的系统中, 指令了逗号。在有 CHF/CNR 功能的系统中, 逗号之后指令了 R 或 C 之外的符号
059	未发现程序号	在外部程序号检索或外部工件号检索中, 未发现指定程序号。或者指定的程序在背景中被编辑。或者内存中没有非模态宏程序调用的程序。请检查程序号和外部信号。或中止背景编辑
060	未发现顺序号	在顺序号搜寻中未发现指令的顺序号
070	存储器容量不足	内存不足。删除不必要的程序
071	未发现数据	未发现要搜索的地址。或在程序检索中未发现指定程序号的程序
072	太多的程序数量	存储的程序数量超过 63 (基本) 或 200 (选择) 个
073	程序号已经使用	被指令的程序号已经使用
074	非法程序号	程序号为 1~9999 之外的数
075	保护	企图存储一个被保护的程序号
076	没有定义地址 P	在 M98、G65 或 G66 的程序段中未指令地址 P (程序号)
077	子程序嵌套错误	子程序调用超过 5 重
078	未发现序号	在 M98、M99、M65 或 G66 的程序段中未发现由地址 P 指定的程序号或顺序号。没有发现由 GOTO 语句指定的顺序号。或者, 调用的程序在背景程序中被编辑
079	程序校验错误	在存储器或程序校对中, 存储器中的程序与从外部输入/输出设备读到的程序不一致
085	通信错误	当使用阅读机/穿孔机接口向存储器输入数据时, 出现溢出、奇偶或帧格式的误差。输入数据位数或波特率的设置或输入/输出设备不正确

续表

序号	信息	内容
090	参考点返回未完成	参考点返回的起点太接近于参考点或速度太慢使得不能执行参考点返回
091	参考点返回未完成	在自动运行中止状态，不能进行手动参考点返回
092	不在参考点的轴	G27（参考点返回检查）指令不能返回到参考点
098	在顺序返回中发现 G28	通点后、急停后或程序中有 G28，但未回参考点即执行程序再启动执行返回参考点操作
110	数据溢出	固定小数点显示数据的绝对值超出了允许范围
113	不正确指令	在用户宏程序中指定了不能用的功能指令
131	太多的外部报警信息	出现 5 个或 5 个以上的外部报警信息。检查 PMC 梯形图
150	非法刀具组号	刀具组号超出最大允许值
151	未发现刀具组号	机床程序中指令的刀具组号未设置
153	未发现 T 代码	程序中指定的刀号 T 未在刀具寿命数据中存储。或者换刀方式 D 中只指令了 M06，未指定刀号
201	刚性攻丝中未发现进给速度	刚性攻丝中未发现 F 值
203	刚性攻丝中程序不对	刚性攻丝中，程序中的 M 代码（M29）或 S 指令的位置不正确
206	不能改变平面	在刚性方式指令了平面的切换
207	攻丝数据不对	在刚性攻丝中指定的距离太短或太长