



教育部高职高专规划教材

技能型 **紧缺** 人才培养培训系列教材

FANUC系统数控铣床(加工中心) 编程与操作实用教程

(理论教学与实习实训一体化教材)

▶ 徐建高 编著
▶ 尹玉珍 主审



化学工业出版社

教育部高职高专规划教材

技能型紧缺人才培养培训系列教材

FANUC 系统数控铣床(加工中心) 编程与操作实用教程

(理论教学与实习实训一体化教材)

徐建高 编著
尹玉珍 主审



化学工业出版社

·北京·

本书着重讲解 FANUC-0i Mate-MB 系统数控铣床（加工中心）编程与操作数控指令及其应用，其中将编程指令的讲解融入实例之中，便于理解和应用；零件举例从简单到复杂，循序渐进，便于实践操作。

本书主要讲述了数控铣床的基本知识、编程知识，其中将编程指令的讲解融入简单实例中，使读者易于理解与应用；数控铣床的操作；数控铣床实操练习课题，此部分精选例题，讲解仔细，各具特色。

本书可作为高等、中等职业院校数控培训专门教材，也可作为机械工人培训教材和自学用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

FANUC 系统数控铣床（加工中心）编程与操作实用教程/徐建高编著. —北京：化学工业出版社，2007.7
教育部高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-00427-7

I. F… II. 徐… III. 数控机床：车床-程序设计-高等学校：技术学院-教材 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 068066 号

责任编辑：高 钰
责任校对：周梦华

文字编辑：云 雷
装帧设计：于 兵

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

印 装：化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 12 $\frac{1}{4}$ 字数 302 千字 2007 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：20.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是根据国家教育部数控技术专业紧缺人才培养方案和劳动与社会保障部制定的有关国家职业标准及相关的职业技能鉴定规范,结合编者多年的教学和实践经验编写而成的。

随着中国工业的发展,许多世界级先进企业做出面向全球化和信息化的新一轮战略调整,纷纷加快向中国转移的速度和力度,中国将成为“世界工厂”、“制造中心”。这些外资企业的设备大多是融机械制造技术、微电子技术和信息技术于一体的数控设备,同时中国工业为提升竞争力,也纷纷购置性能优越的数控设备。因此,各行各业迫切需要大批懂得数控技术的高级技能型人才。

本书着重讲解 FANUC-0i Mate-MB 系统数控铣床(加工中心)编程与操作数控指令及其应用。其中将编程指令的讲解融入实例之中,便于理解和应用;零件举例从简单到复杂,循序渐进,便于实践操作。

本书主要由四部分组成:第一部分为数控铣床的基本知识、编程知识,其中将编程指令的讲解融入简单实例中,使读者易于理解与应用;第二部分为数控铣床的操作;第三部分为数控铣床实操练习课题,此部分精选例题,讲解仔细,各具特色;第四部分为附录。

本书由徐建高编著,尹玉珍主审。姚健、赫英歧、王耀、边魏等参加了本书中例题程序的调试工作并给予大力支持和协助,在此谨表感谢。

本书作为高等、中等职业教育数控培训专门教材,也可作技工、中专机械类教材以及机械工人培训教材和自学用书。

由于编者水平有限,书中的不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2007.4

目 录

第一部分 基本知识

第一章 数控铣床概述	1
第一节 数控机床的基本知识.....	1
第二节 数控机床分类及特点.....	3
第三节 数控铣床的基本知识.....	7
第二章 数控铣床编程基本知识	9
第一节 数控机床坐标系.....	9
第二节 数控编程概述.....	11
第三节 数控铣床程序的结构组成.....	13
第三章 数控铣床编程基本方法	19
第一节 数控铣床程序编制的基本方法课题一.....	19
第二节 数控铣床程序编制的基本方法课题二.....	21
第三节 数控铣床程序编制的基本方法课题三.....	25
第四节 数控铣床程序编制的基本方法课题四.....	29
第五节 数控铣床程序编制的基本方法课题五.....	33
第六节 数控铣床程序编制的基本方法课题六.....	38
第七节 数控铣床程序编制的基本方法课题七.....	41
第八节 数控铣床程序编制的基本方法课题八.....	50

第二部分 数控铣床的操作

第四章 FANUC Oi 系统数控铣床操作	54
第一节 FANUC Oi 数控铣床操作面板.....	54
第二节 FANUC Oi 数控系统操作及机床的基本操作.....	59
第三节 数控铣床的对刀.....	64
第四节 数控铣床加工工艺基础.....	64

第三部分 数控铣床实操练习课题

第五章 数控铣床实操基础练习课题	73
第一节 数控铣床实操基础练习课题一.....	73
第二节 数控铣床实操基础练习课题二.....	77
第三节 数控铣床实操基础练习课题三.....	80
第四节 数控铣床实操基础练习课题四.....	83
第五节 数控铣床实操基础练习课题五.....	87

第六节	数控铣床实操基础练习课题六	91
第七节	数控铣床实操基础练习课题七	95
第八节	数控铣床实操基础练习课题八	99
第六章	数控铣床实操 (中级工) 练习课题	103
第一节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题一	103
第二节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题二	108
第三节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题三	113
第四节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题四	117
第五节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题五	121
第六节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题六	125
第七节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题七	131
第八节	数控铣床操作工 (中级) 考核练习题八	138

第四部分 附 录

附录 1	理论复习题	144
附录 2	数控铣工国家职业标准	168
附录 3	加工中心操作工国家职业标准	178
参考文献	189

第一部分 基本知识

第一章 数控铣床概述

第一节 数控机床的基本知识

数字控制 (Numerical Control, 简称数控或 NC) 技术, 国家标准 (GB 8129—87) 定义为: “用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。” 装备了数控系统的机床称为数控机床。随着科学技术的发展, 数控系统也采用专用或通用计算机及控制软件与相关的电器元部件一起来实现数字控制功能, 称为计算机数控 (CNC) 系统。

数控机床的组成及工作原理如下。

1. 数控机床的组成

数控机床由输入输出设备、数控系统、伺服系统、反馈系统、机床本体等组成 (见图 1-1)。现代数控机床的数控系统都采用模块化结构, 伺服系统中的伺服单元和驱动装置为数控系统中的一个子系统, 输入输出装置也为数控系统中的一个功能模块, 所以现在的观点认为数控机床主要由计算机数控系统和机床本体组成。

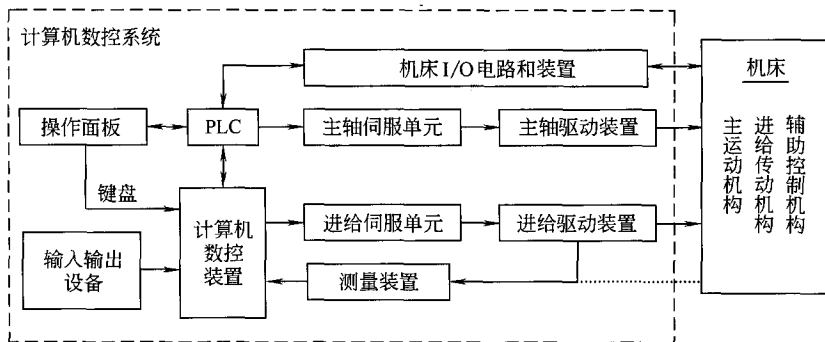


图 1-1 数控机床的组成

(1) 程序载体 数控机床是按照编程人员编制的工件加工程序运行的。在工件加工程序中, 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) 和辅助动作等信息。通常编程人员将工件加工程序以一定的格式和代码存储在一种载体上, 如穿孔纸带、录音磁带、软磁盘或硬盘等, 通过数控机床的输入装置将程序信息输入到数控装置内。

(2) 输入装置 输入装置的作用是将程序载体内有关加工的信息读入数控装置。根据程序载体的不同, 输入装置可以是光电阅读机、录音机或软盘驱动器等。

数控机床还可以不用任何程序载体, 通过数控机床操作面板上的键盘, 用手工方法将工件加工程序输入数控装置; 或者将存储在计算机硬盘上的工件加工程序传送到数控装置。

(3) 数控装置 数控装置是数控机床的核心。它根据输入的数据，完成数值计算、逻辑判断、输入输出控制等。数控装置一般由专用（或通用）计算机、输入输出接口板及可编程序控制器等组成。可编程序控制器主要用于对数控机床辅助功能、主轴转速功能和刀具功能的控制。

(4) 伺服系统 伺服系统包括伺服控制线路、功率放大线路、伺服电动机等执行装置，它接受数控装置发来的各种动作命令，驱动数控机床进给传动系统的运动。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

(5) 位置反馈系统 位置反馈系统的作用是通过位置传感器将伺服电动机的角位移或数控机床执行机构的直线位移转换成电信号，输送给数控装置，使之与指令信号进行比较，并由数控装置发出指令，纠正所产生的误差，使数控机床按工件加工程序要求的进给位置和速度完成加工。

(6) 机床本体 机床本体包括主传动系统、进给系统以及辅助装置等。对于数控加工中心，还有存放刀具的刀库、自动换刀装置（ATC）和自动托盘交换装置等。与传统的机床相比，数控机床的结构强度、刚度和抗振性、传动系统和刀具系统的部件结构、操作机构等方面都发生了很大的变化，其目的是为了满足不同数控加工的要求和充分发挥数控机床的效能。

2. 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理见图 1-2。根据零件图样进行工艺分析，确定工艺方案，依据数控系统的规定指令编制零件的加工程序。视零件结构的复杂程度，可以采用手工或计算机自动编程。程序较小时，可以直接在数控机床的操作面板的输入区域操作；程序较大时，也可在装有编程软件的普通计算机上进行。经过相应的后置处理，生成加工程序。再通过机床控制系统上的通信接口或其他存储介质（软盘、光盘等），把生成的加工程序输入到数控机床的控制系统中。进入数控装置的信息，经过一系列处理和运算转变成脉冲信号。有的信号输送到机床的伺服系统，通过伺服机构处理传到驱动装置（主轴电机、步进或交、直流伺服电

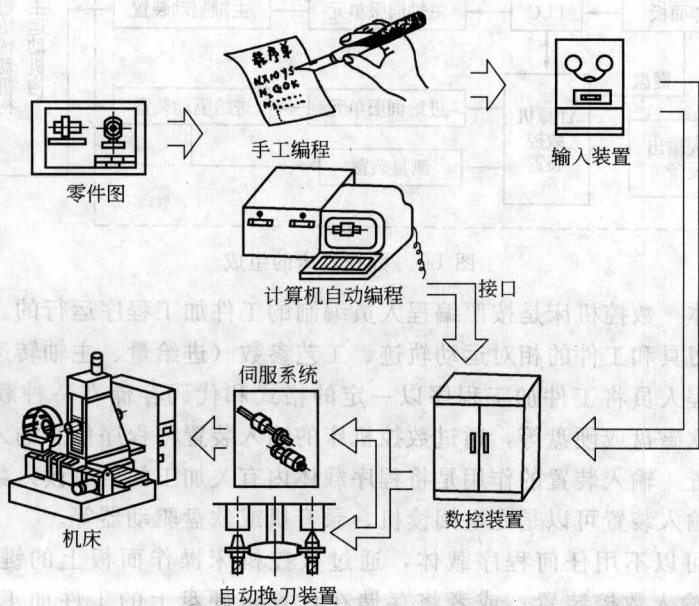


图 1-2 数控机床的工作原理

机),使刀具和工件严格执行零件加工程序所规定的运动;有的信号送到可编程控制器,用以控制机床的其他辅助运动,如主轴和进给运动的变速、液压或气动装夹工件、冷却液开关等。

第二节 数控机床分类及特点

一、数控机床分类

在金属切削机床常用的车床、铣床、刨床、磨床、钻床、镗床、插床、拉床、切断机床、齿轮加工机床中,据调查除插床外国内外都开发了数控机床,并且品种越来越细。加之数控机床生产厂家为了宣传和竞争的需要,在其产品名称上又加上反映机床本身特点或控制性能方面特点的词语,使得数控机床名称繁多。这里介绍几种常用的分类方法。

(一) 根据机床加工特性和主要工艺用途分类

与普通机床一样,数控机床根据机床加工特性和主要工艺用途可分成数控车床(含车削中心)、数控铣床(含铣削中心)、数控镗床、以铣镗削为主带刀库的加工中心(型号用TH)、数控磨床、数控钻床、数控拉床、数控刨床、数控切断机床、数控齿轮加工机床、数控特种加工机床(如数控电火花加工机床)、数控板材成形加工机床、柔性加工单元(FMC)、柔性制造系统(FMS)等。

(二) 按数控机床运动方式分类

1. 点位控制数控机床

这类数控机床的数控装置只控制刀具从一点到另一点的准确定位,在移动过程中不进行加工,对两点间的移动速度及运动轨迹没有严格的要求。如图1-3所示,起点到终点的运动轨迹可以是1轨迹或2轨迹中的任意一种。这类数控机床主要有数控钻床、数控冲剪床和数控测量机等。

2. 直线控制数控机床

这类数控机床的数控装置除了控制点与点之间的准确位置以外,还要保证两点之间移动轨迹是一条直线,而且对移动的速度也要进行控制,以便适应随工艺因素变化的不同需要。这类数控机床主要有简易数控车床、数控镗铣床等。如图1-4所示。

3. 轮廓控制数控机床

这类数控机床的数控装置能同时对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控制,它不仅要控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且要控制整个加工过程每一点的速度、方向和位移量,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足加工的要求,如图1-5所示。由于需要精确地同时控制两个或更多的坐标运动,数据处理的速度比点位控制要高,因此,

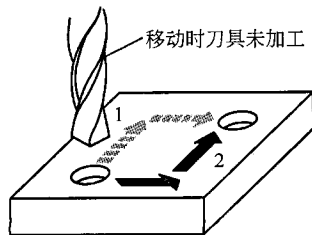


图 1-3 点位控制数控机床

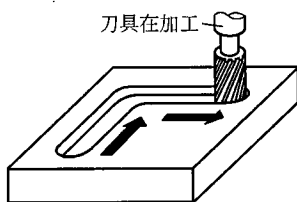


图 1-4 直线控制数控机床

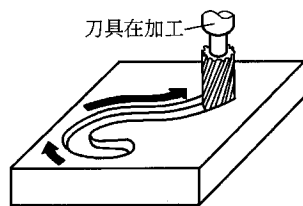


图 1-5 轮廓控制数控机床

机床计算机一般要求具有较高速度的运算和信息处理能力。这类数控机床主要有数控铣床、数控车床等。

随着数控装置的发展，要增加轮廓控制功能，只需增加插补运算软件即可，这几乎不带来成本的提高。因此，除少数专用的数控机床（如数控钻床、数控冲床等）以外，现代的数控机床都具有轮廓控制功能。

（三）按数控机床伺服系统的控制方式分类

1. 开环控制系统的数控机床

开环控制系统的数控机床通常不带位置检测元件，使用步进电动机作为执行元件。数控装置每发出一个指令脉冲，经驱动电路功率放大后，就驱动步进电动机旋转一个角度，再由传动机构带动工作台移动。图 1-6 是一个典型的开环控制系统。

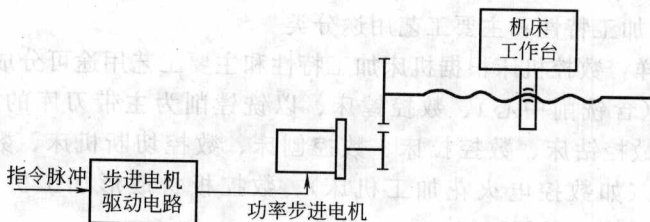


图 1-6 开环控制系统

开环控制系统的数控机床受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度的影响，难于实现高精度加工。但由于系统结构简单、成本较低、技术容易掌握，所以目前仍有应用。普通机床的数控化改造大多采用开环控制系统。

2. 闭环控制系统的数控机床

闭环控制系统的数控机床的数控装置将位移指令信号与位置元件检测测得的工作台实际位置反馈信号随时进行比较，根据其差值及指令进给速度的要求，按一定的规律进行转换后，得到进给伺服系统的速度指令信号。此外还利用与伺服驱动电动机同轴刚性连接的测速元器件随时实测驱动电动机的转速，得到速度反馈信号，将它与速度指令信号相比较，得到速度误差信号，对驱动电动机的转速随时进行校正。利用上述的位置控制和速度控制的两个回路，可以获得比开环伺服系统精度更高、速度更快、驱动功率更大的特性指标。从图 1-7 中可以看到，闭环系统的位置检测元件安装在执行部件上，用以实测执行部件的位置或位移量。

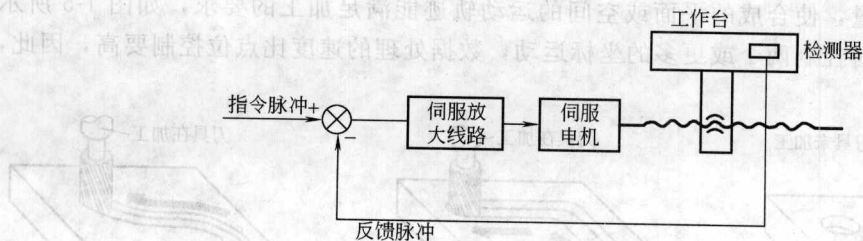


图 1-7 闭环控制系统

3. 半闭环控制系统的数控机床

如果将位置检测元件安装在驱动电动机的端部，或安装在传动丝杠端部，间接测量执行

部件的实际位置或位移，就是半闭环控制系统，如图 1-8 所示。它可以获得比开环系统更高的精度，但它的位移精度比闭环系统要低。由于位置检测元件安装方便、调试容易，现在大多数数控机床多采用半闭环控制系统。

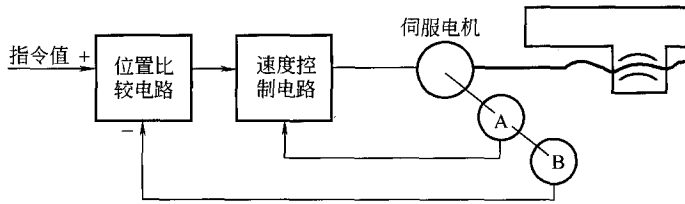


图 1-8 半闭环控制系统

（四）按功能水平分类

1. 经济型数控机床

经济型数控机床大多指采用开环控制系统的数控机床，功能简单，价格便宜，适用于加工精度要求不高的场合。

2. 标准型数控机床

这类数控机床的功能较为齐全，价格适中，应用较为广泛。

3. 多功能型数控机床

这类数控机床功能齐全，价格较高。加工复杂零件的大中型数控机床及柔性制造系统（FMS）、计算机集成制造系统（CIMS）使用的数控机床一般为多功能型数控机床。

4. 加工中心

它是在数控机床上配置刀库，其中存放着不同数量的各种刀具或检具，在加工过程中由程序自动选用和更换，从而将铣削、镗削、钻削、攻螺纹等功能集中在一台设备上完成，使其具有多种工艺手段。

（五）按联动坐标轴数分类

1. 单轴移动数控机床

X、Y、Z 三轴中任意一根轴作插补移动。

2. 两轴联动数控机床

X、Y、Z 三轴中任意两轴作插补联动。如第三轴作单独的周期进刀，常称 2.5 轴联动。由于 2.5 轴坐标加工的刀具中心轨迹为平面曲线，故编程计算较为简单。

3. 三轴联动数控机床

X、Y、Z 三轴可同时插补联动。三轴联动的数控刀具轨迹可以是平面曲线或者空间曲线。三坐标联动加工常用于复杂曲面的精确加工，但编程计算较为复杂。

4. 多轴（多坐标）联动数控机床

除了 X、Y、Z 三轴平动之外，还有工作台或者刀具的转动。有些精度高形状复杂的零件如螺旋桨、飞机发动机叶片，在三坐标联动的机床上无法加工，加工这些形状复杂的零件都需要三坐标以上的数控机床。多轴（多坐标）联动数控机床的特点是数控轴多、机床结构复杂、编程较为复杂。

二、数控机床的特点

（一）自动化程度高

数控加工过程是按输入的程序自动完成的，操作者只需起始对刀、装卸工件、更换刀具，加工过程中主要是观察和监督机床运行，因此可以减轻操作者的体力劳动强度。但是由于数控加工的技术含量高，操作者的脑力劳动强度相应提高。

（二）加工的零件质量高且稳定

数控机床的定位精度和重复定位精度都很高，较容易保证一批零件尺寸的一致性，只要工艺设计和程序正确合理，加之精心操作，就可以保证零件获得较高的加工精度，也便于对加工过程进行质量控制。

（三）生产效率高

数控机床加工时能在一次装夹中加工多个加工表面，一般只检测首件，所以可以省去普通机床加工时的不少中间工序，如划线、尺寸检测等，减少了辅助时间，而且由于数控加工的质量稳定，为后续工序带来方便，其综合效率明显提高。

（四）适于产品改型和新产品研制

数控加工一般不需要很多复杂的工艺装备，通过编制加工程序就可把形状复杂和精度要求较高的零件加工出来，当产品改型更改设计时，只要改变程序，而不需要重新设计工装。所以，数控加工能大大缩短产品研制周期，为新产品的研制开发、产品的改进改型提供了捷径。

（五）可向更高级的制造系统发展

数控机床及其加工技术是以计算机控制为基础的，因此可向更高级的制造系统发展。

（六）加工成本较高

这是由于数控机床设备价格高，首次加工准备周期较长，维修成本高等因素造成的。

（七）维修要求高

数控机床是技术密集型的机电一体化的典型产品，需要维修人员既懂机械，又要懂微电子维修方面的知识，同时还要配备较好的维修设备。

三、适合数控机床加工的零件

（一）多品种中小批量零件

数控机床特别适合加工多品种中小批量的零件。随着数控机床制造成本的逐步下降，现在不管是国内还是国外，数控机床加工大批量零件的情况也已经出现。加工很小批量和单件生产时，如能缩短程序的调试时间（离线编程与调试）和工装（刀、量、夹具）的准备时间也是可以选用的。

（二）精度要求高的零件

由于数控机床的刚性好、精度高、对刀精确、能方便地进行尺寸补偿，所以能加工精度要求高的工件。

（三）表面粗糙度值小的零件

在工件和刀具的材料、精加工余量及刀具角度一定的情况下，表面粗糙度取决于切削速度和进给速度。由于数控机床的刚性好、精度高，而且切削速度和进给速度可以根据零件的工艺要求进行实时的变化，因此数控机床可以加工表面粗糙度值小的零件。

（四）轮廓形状复杂的零件

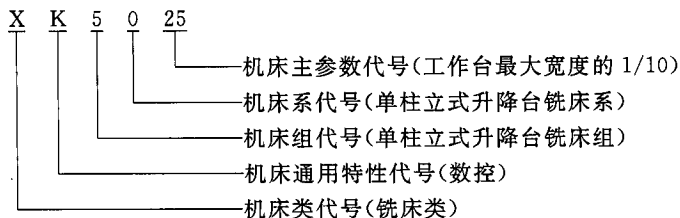
由于数控机床可以实现多轴联动，数控机床具有直线插补和圆弧插补功能，而且平面曲线和三维空间曲线都可用直线或圆弧来逼近，因此数控机床可以加工轮廓形状复杂的零件。

第三节 数控铣床的基本知识

一、数控铣床的型号和组成

(一) 数控铣床的型号

根据《金属切削机床型号编制的方法》(GB 8129—87) 中规定, 机床均用汉语拼音字母和数字按一定规律组合进行编号, 以表示机床的类型和主要规格。如数控铣床编号 XK5025 中, 字母与数字含义如下。



(二) 数控铣床的组成

数控铣床的组成如图 1-9 所示。

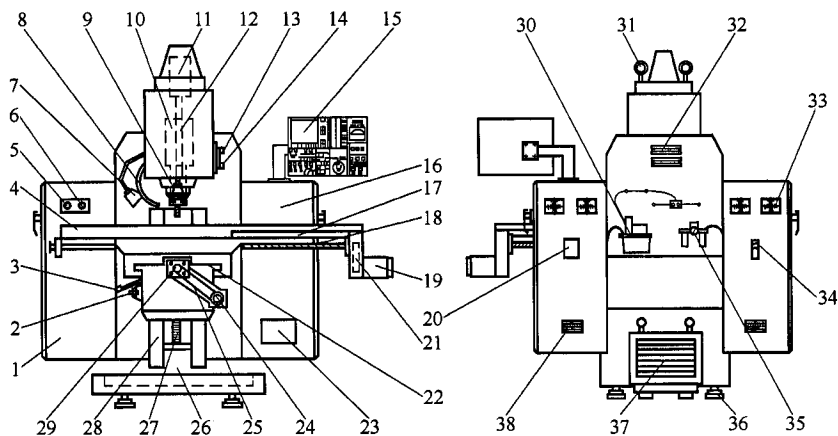


图 1-9 数控铣床的组成

- 1—电控制柜; 2—升降工作台手摇轴; 3—升降工作台锁紧手柄; 4—升降工作台; 5—总电源保护锁;
- 6—总电源指示灯; 7—照明灯; 8—切削液喷管; 9—刀具组(刀柄、刀具及夹头); 10—主轴电动机;
- 11—Z轴伺服电动机; 12—Z轴滚珠丝杠; 13—主轴锁紧旋钮; 14—刀柄松开、夹紧旋钮; 15—数控系统操作面板;
- 16—驱动控制柜; 17—X轴移动导轨; 18—X轴滚珠丝杠; 19—X轴伺服电动机;
- 20—I/O接口; 21—同步齿行带; 22—Y轴移动导轨; 23—伺服电动机、行程开关接线盒; 24—Y轴伺服电动机;
- 25—同步齿行带; 26—传动丝杠螺母座; 27—升降工作台传动丝杠; 28—升降工作台导轨;
- 29—Y轴滚珠丝杠; 30—中央自动润滑系统; 31—吊环; 32, 38—通风口; 33—轴流风扇; 34—总电源空气开关;
- 35—气动三元件; 36—防震垫脚; 37—机床稳压器

二、数控铣削的加工范围

数控铣床的加工范围如图 1-10 所示。

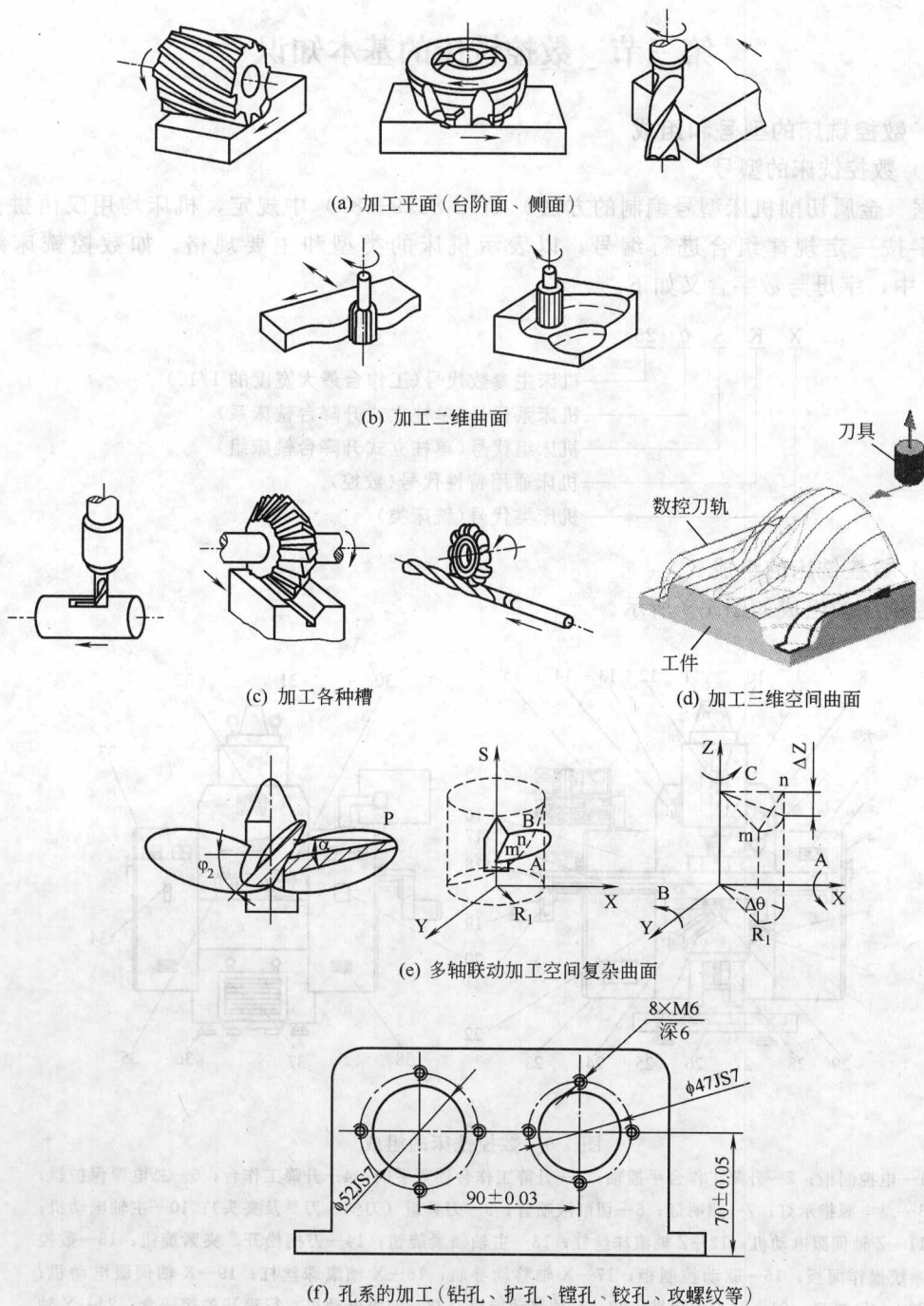


图 1-10 数控铣削的加工范围

第二章 数控铣床编程基本知识

第一节 数控机床坐标系

一、坐标和运动方向命名的原则

为简化编程和保证程序的通用性，对数控机床的坐标轴和方向命名制定了统一的标准，国际标准化组织以及一些工业发达国家都先后制定了数控机床坐标和运动命名的标准，我国机械工业部在 1982 年颁布了 JB 3052—82 部颁标准，本书在此作简单介绍。

坐标和运动方向命名的原则如下。

① 在数控机床中统一规定采用右手直角（笛卡尔）坐标系，如图 2-1 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。

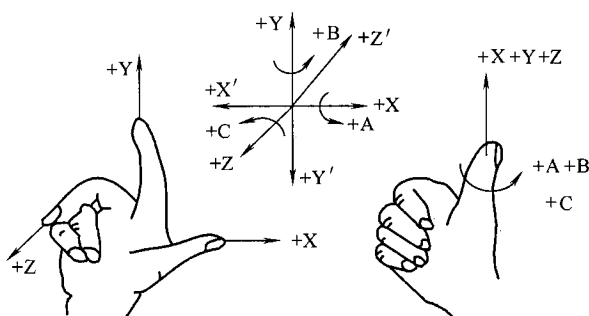


图 2-1 右手直角（笛卡尔）坐标系

② 坐标系中的各个坐标轴与机床的主要导轨相平行。

③ 机床在加工过程中不论是刀具移动还是被加工工件移动，都一律假定被加工工件相对静止不动而刀具在移动，并规定刀具远离工件的运动方向为坐标轴的正方向。

二、坐标运动的规定

（一）Z 坐标的运动

① 与主轴轴线平行的标准坐标轴即为 Z 坐标。如数控车床、数控立式镗铣床等。

② 若机床没有主轴（如数控刨床等），则 Z 坐标垂直于工件主要装夹面。

③ 若机床有几个主轴，可选择一垂直于工件装夹面的主要轴作为主轴，并以它确定 Z 坐标，如数控龙门铣床。

④ Z 坐标的正方向是增加刀具和工件之间距离的方向，如在钻镗加工中钻入或镗入工件的方向是 Z 的负方向。

（二）X 坐标的运动

X 坐标的运动是水平的，它平行于工件装夹面，是刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。

① 在有回转工件的机床上，如车床、外圆磨床等，X 坐标方向是在工件径向，而且平

行于横向滑座，对于安装在横向滑座的主要刀架上的刀具远离工件回转中心的方向是 X 的正方向。

② 在有刀具回转的机床上（如铣床），若 Z 坐标是水平的（主轴是卧式的），当由主要刀具主轴向工件看时，X 运动的正方向指向右方。如 Z 坐标是垂直的（主轴是立式的），当由主要刀具主轴向立柱看时，X 运动的正方向指向右方。

③ 在没有回转刀具和回转工件的机床上（如牛头刨床），X 坐标平行于主要切削方向，并且以该方向为正方向。

（三）Y 坐标的运动

正向 Y 坐标的运动，根据 X 和 Z 的运动，按照右手笛卡尔坐标系来确定。

（四）旋转运动

在图 2-1 中，围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A、B、C 表示，其正方向用右手螺旋法则确定，以大拇指指向 +X、+Y、+Z 方向，则食指、中指等的指向是圆周进给运动的 +A、+B、+C。

（五）附加坐标

如果在 X、Y、Z 主要直线运动之外另有第二组平行于它们的坐标运动，就称为附加坐标。它们分别被规定为 U、V 和 W。

如果在第一组回转运动 A、B、C 之外，还有平行或不平行于 A、B、C 的第二组回转运动，可指定为 P、Q、R。

（六）工件的运动

对于移动部分是工件而不是刀具的机床，必须将前面所介绍的移动部分是刀具的各项规定在理论上作相反的安排。若用 +X、+Y、+Z 表示刀具相对于工件正向运动的指令，则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，如图 2-1 所示。即有：

$$\begin{aligned} +X &= -X', +Y = -Y', +Z = -Z' \\ +A &= -A', +B = -B', +C = -C' \end{aligned}$$

三、机床坐标系、机床原点和机床参考点

（一）机床坐标系

如图 2-2 所示，机床坐标系是机床上固有的坐标系，并设有固定的坐标原点，因此机床原点又称机械原点。对某一具体机床来说，在经过设计、制造和调整后的，这个原点便被确定下来，它是机床上固定的点。

（二）机床参考点

为了正确地建立机床坐标系，通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个参考点作为测量起点，它是机床坐标系中一个固定不变的极限点，其固定位置由各轴向的机械挡块来确定。一般数控机床开机后，通常要进行手动或自动（用 MDI 方式）回参考点，以建立机床坐标系。

机床参考点可以与机床零点重合，也可以不重合，通过参数指定机床参考点到机床

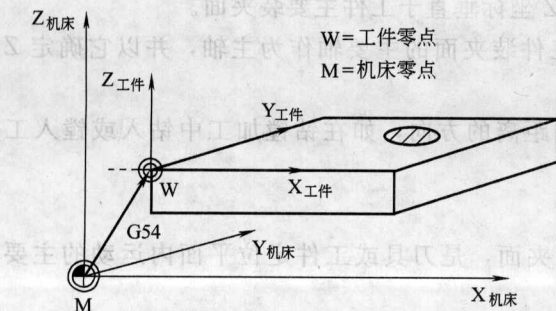


图 2-2 机床坐标系、工件坐标系

零点的距离。

机床回到了参考点位置，也就知道了该坐标轴的零点位置，找到所有坐标轴的参考点，机床坐标系就建立起来了。

机床参考点在数控机床制造厂产品出厂时就已经调好，并记录在机床使用说明书中，供用户编程使用，一般情况下不允许随意变动。

四、工件坐标系与工件原点

如图 2-2 所示，工件坐标系是编程人员在编程时使用的，编程人员选择工件上的某一已知点为原点（也称工件原点、程序原点），建立一个新的坐标系，称为工件坐标系。工件坐标系一旦建立便一直有效，直到被新的工件坐标系取代。

工件坐标系的原点是人为设定的，设定的依据是要尽量满足编程简单、尺寸换算少、引起的加工误差小等条件。一般情况下，程序原点应选在设计基准或定位基准上。如对称零件或以同心圆为主的零件，编程原点应选在对称中心线或圆心上；Z 轴的工件原点通常选在工件的表面。

五、数控铣床坐标系

图 2-3 是典型的单柱立式数控铣床坐标系示意图。刀具沿与地面垂直的方向上下运动，工作台带动工件在与刀具垂直的平面（即水平面）内运动。机床坐标系的 Z 坐标是刀具运动方向，并且刀具向上运动为正方向。当面对机床进行操作时，刀具相对工件的左右运动方向为 X 坐标，并且刀具相对工件向右运动（即工作台带动工件向左运动）时为 X 坐标的正方向。Y 坐标的方向可用右手法则确定。若以 X' 、 Y' 、 Z' 表示工作台相对于刀具的运动坐标，而以 X、Y、Z 表示刀具相对于工件的运动坐标，则显然有 $X' = -X$ 、 $Y' = -Y$ 、 $Z' = -Z$ 。

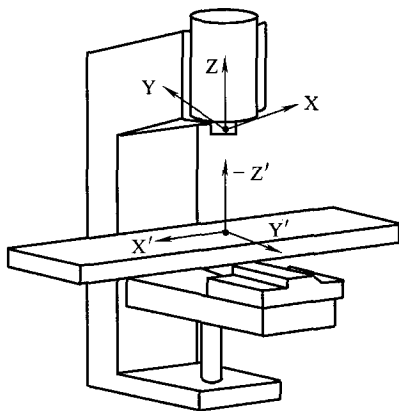


图 2-3 单柱立式数控铣床坐标系

六、起刀点和换刀点的确定

起刀点是指在数控机床上加工工件时刀具相对于工件运动的起始点。起刀点应选择在不妨碍工件装夹、不会与夹具相碰及编程简单的地方。

换刀点是指在数控机床上加工工件时更换刀具的点。换刀点应选择在与工件、夹具相碰及编程简单的地方。对于数控铣床，一般选在靠近 Z 轴参考点附近。

第二节 数控编程概述

用数控机床来加工零件，加工前必须按要求编写零件加工程序，加工过程中机床按零件加工程序自动完成加工任务。数控机床编程是数控加工的基础。数控编程就是用特定的符号和规定的语法规则书写的机床数控系统能够识别的计算机程序，该程序指挥机床的不同部分按一定的动作顺序、运动轨迹（包括速度、加速度）、主轴转速等进行工件的切削加工工作。数控机床编程前要对所加工零件进行工艺分析并作必要的数值计算，然后按所使用的数控系统和机床厂家提供的编程手册要求编写零件加工程序。编写好的复杂的零件加工程序还要进行仿真、试切等调试工作，才能用于零件的加工。