

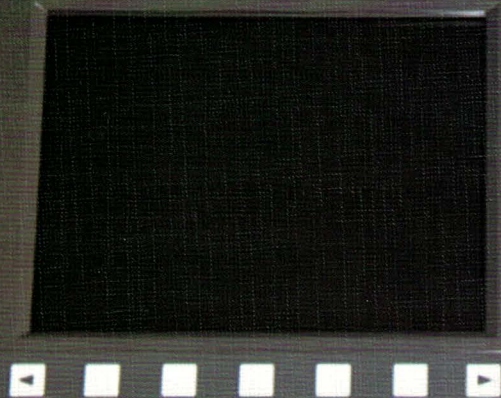
数控车床

编程与图解操作

卢孔宝 顾其俊 编著

SHUKONG CHECHUANG
BIANCHENG YU TUJIE CAOZUO

FANUC Series 0i Mate-TD



数控大赛
冠军教练、裁判员

倾情奉献

内容翔实 要点突出
轻松看懂 速成高手



练习题答案、配套资料可登录

<http://jxsjzx.shangjumob.com>

实验教学栏目中下载查看

本书读者交流可加QQ群：364222900



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数控车床编程与图解操作

卢孔宝 顾其俊 编著



机械工业出版社

本书以 FANUC Oi Mate-TD 数控车削系统为介绍对象，以图解形式为表现手法，主要详解手工编程，同时将数控车床的基本操作步骤、常见参数设置、报警处理及常用加工刀具以图解形式做了详细介绍。书中提供的练习题由易渐难，供读者练习。

本书中的操作画面与实际数控系统画面完全一致，读者按照书中的图解操作步骤结合机床数控系统，可快速掌握并能独立进行机床操作。

本书与《数控铣床（加工中心）编程与图解操作》一书形成配套，适合具有数控车床的各类企业中相关数控操作与编程技术人员培训、使用，也适合作为应用型本科院校、高职高专院校及各类技术学校数控编程与数控实训的教材或教学参考书。

图书在版编目（CIP）数据

数控车床编程与图解操作/卢孔宝，顾其俊编著. —北京：机械工业出版社，2018.4

ISBN 978-7-111-59439-0

I. ①数… II. ①卢… ②顾… III. ①数控机床-车床-程序设计
②数控机床-车床-操作 IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 051045 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：李万宇 责任编辑：李万宇 责任校对：刘雅娜

封面设计：马精明 责任印制：常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2018 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·10.25 印张·194 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-59439-0

定价：29.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066 机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294 机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203 金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

前 言

为了满足高素质、高技能人才培养的需要，本书着重介绍了数控加工的基础知识及 FANUC Oi Mate-TD 数控系统的编程与基本操作方法。本书选择了图文结合的方式编写，力求通俗易懂，更适合应用型本科院校学生、高职高专学生及刚接触数控机床的企业人员使用。在数控系统选型方面，本书以目前国内高等院校、职业院校及大多数生产企业中使用的较为先进的 FANUC Oi Mate-TD 系统为例进行讲解。本书与已出版的《数控铣床（加工中心）编程与图解操作》形成一套较完善的配套书籍，为高等院校、职业院校培养数控车床、数控铣床（加工中心）高技能人才提供服务，为企业技术人员操作数控机床提供技术支持。本书内容由浅入深，要点、难点突出，并附有典型案例，第 5 章还提供了典型的加工练习题图样，供广大读者参考。

本书第 1~第 4 章由浙江水利水电学院从事数控教学的卢孔宝老师编写，第 5 章由浙江机电职业技术学院从事数控教学的顾其俊老师编写。在本书编写过程中，浙江水利水电学院的雷响、陈佩雯、孟井煜枫、白睿铭和钟嘉琪等同学参与了部分文字编辑工作，杭州师范大学钱江学院的王婧老师、浙江经贸职业技术学院的陈银老师和中国计量学院的林萍老师对本书编写提出了宝贵的意见，在此一并表示感谢。

本书在编写时参考了北京发那科机电有限公司的数控系统操作和编程说明书，同时也参照了部分同类书，在此对相关作者表示衷心的感谢。

本书可以作为从事数控加工技术人员的学习和提高用书，也可以作为应用型本科院校和高职高专院校数控编程与数控实训的教材。

本书在编写时虽然力求完善并经过反复校对，书中所有程序均通过机床验证，但因编者水平有限，书中难免存在不足和疏忽之处，敬请广大读者批评指正，以便进一步修改。欢迎大家加强交流，共同进步。

技术交流 qq 群：364222900

作者邮箱：hzlukb029@163.com。

编 者

目 录

前 言

第 1 章 数控车床基础知识

1.1 数控车床的结构、组成与工作原理	1	1.3.6 进给速率功能 (F 功能)	13
1.1.1 数控车床的组成	1	1.4 数控车床基本编程指令图解与分析	13
1.1.2 数控车床的分类	3	1.4.1 英制、米制转换指令 (G21、G20)	13
1.2 数控车床的坐标轴与坐标系	7	1.4.2 绝对式编程 (X、Z)、增量式编程 (U、W)	14
1.2.1 数控车床的坐标轴及其相互关系	7	1.4.3 基本移动指令编程	14
1.2.2 数控车床坐标轴的确定	7	1.4.4 其他常用 G 功能指令	21
1.2.3 机床坐标系与工件坐标系	8	1.4.5 固定循环功能	22
1.3 FANUC Oi Mate-TD 数控系统指令表	9	1.4.6 综合编程题	37
1.3.1 准备功能 (G 功能)	9	1.5 宏程序编程图解与分析	39
1.3.2 辅助功能 (M 功能)	11	1.5.1 宏程序基础知识	39
1.3.3 主轴转速功能 (S 功能)	12	1.5.2 宏程序常见跳转、循环指令	40
1.3.4 其他 M 功能	12	1.5.3 宏程序常见曲线方程	41
1.3.5 刀具功能 (T 功能)	13	1.5.4 宏程序流程图编制分析	42
		1.5.5 宏程序编程实例	42

第 2 章 数控车床刀具的选择与结构分析

2.1 刀具的结构类型	47	2.2.1 数控车刀的选择原则	58
2.1.1 刀具的分类	48	2.2.2 数控车刀材料	59
2.1.2 常用刀具在刀架中的装夹方法	52	2.2.3 可转位车刀型号表示规则	61
2.1.3 常用钻头在尾座上的安装	57	2.2.4 常见数控车床刀杆编号规则介绍	65
2.2 常见数控车刀介绍	58		

第 3 章 数控车床的基本操作

3.1 数控车床安全操作规程	73	3.2 CK6136S 数控车床操作	75
----------------------	----	--------------------------	----



3.2.1 主要技术参数	75	3.3.1 对刀点的选择与确定	114
3.2.2 数控系统面板 (FANUC Oi Mate-TD)	76	3.3.2 数控机床常见量具的识别 与规范使用	115
3.2.3 机床控制面板介绍	97	3.3.3 数控机床的常见对刀方法	117
3.3 数控机床对刀	114		

第 4 章 数控机床编程与操作实例

4.1 零件分析	121	4.3.4 加工工艺卡的制订	126
4.2 加工准备	121	4.4 加工程序的编制	127
4.2.1 毛坯选择	121	4.5 数控程序的录入及对刀 操作	129
4.2.2 加工设备的选择	121	4.5.1 数控程序的录入及仿真	129
4.2.3 精度检测量具的选择	121	4.5.2 数控机床对刀操作	132
4.2.4 辅具的选择	124	4.6 程序调试与精度测量	135
4.3 加工工艺分析	125	4.6.1 数控机床程序调试	135
4.3.1 拟定加工工艺方案	125	4.6.2 零件尺寸精度测量	138
4.3.2 切削刀具的选择	125		
4.3.3 拟定切削用量	126		

第 5 章 数控车床编程练习题

5.1 数控机床中级工试件 练习题	141	5.1.6 半球内孔轴类零件	144
5.1.1 螺纹短轴零件	141	5.1.7 台阶盲孔轴类零件	144
5.1.2 内凹弧面轴零件	142	5.1.8 长通孔轴类零件	145
5.1.3 宽槽螺纹轴零件	142	5.2 数控机床高级工练习题	146
5.1.4 多台阶轴零件	143	5.2.1 短锥面配合零件	146
5.1.5 带斜度球面轴零件	143	5.2.2 螺纹配合零件	147

附 录

附录 A 数控加工技术的常用 术语	149	附录 E 数控螺纹车刀磨损现象 与对策	156
附录 B 螺纹底孔直径参考表	152	附录 F FANUC Oi Mate-TD 数控 编程操作常见机床 参数表	156
附录 C 数控机床 G 代码表 (FANUC 系统)	153	参考文献	158
附录 D 数控外圆车刀磨损现象 与对策	155		

第 1 章

数控车床基础知识

数控车床是机械加工的主要技术装备，其应用范围非常广泛，主要用于加工零件的旋转表面，如轴类和盘类工件的内外表面，任意角度的内外圆锥面，复杂的内外曲面（如椭圆和双曲线），以及圆锥、圆柱、端面螺纹等，并能进行切槽、钻孔、铰孔和镗孔等加工。数控车床和普通车床的工件装夹方式基本相同，但为了提升加工效率、提高加工稳定性和减轻劳动者的劳动强度，部分数控车床采用液压卡盘装夹工件。

1.1 数控车床的结构、组成与工作原理

1.1.1 数控车床的组成

数控车床一般由输入/输出设备、CNC 装置（计算机数控装置，或称 CNC 单元）、伺服单元、驱动装置（或称执行机构）、PLC（可编程控制器）、电气控制装置、辅助装置、机床本体及测量反馈装置组成，如图 1-1 所示。

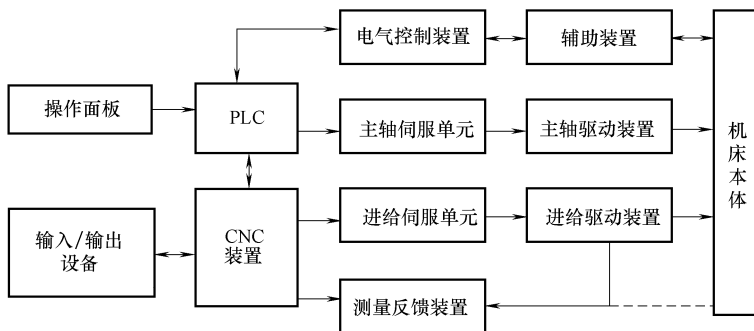


图 1-1 数控机床的组成框图

1. 输入/输出设备

输入设备是将各种加工信息传递给计算机的外部设备。根据各阶段不同，其



输入设备也在变化。输入设备主要经历了穿孔纸带、成盒式磁带、键盘、磁盘、CF（紧凑型内存）卡、DNC（分布式数控）网络通信、串行通信等阶段，随着计算机技术的普及，输入设备也更加快捷、便利和高效。

输出设备是指将机床内部数据（含机床原始参数、故障诊断参数、数控程序、PLC 梯形图等）向计算机输出的设备。通常情况下由显示屏、数据线等组成。

2. CNC 装置（CNC 单元）

CNC 装置由数据的输入、处理和输出等部分组成，是数控机床的核心装置。CNC 装置的工作流程：接收数据信息，经译码、插补、逻辑处理后再将各种指令信息输出给伺服系统，再由伺服系统驱动执行部件实现机床的进给运动。

3. 伺服单元

伺服单元主要由驱动器和驱动电机组成，它能与机床的执行部件或机床传动部件组成数控机床的进给系统，经过脉冲信号转换，实现移动部件按一定运动轨迹运动。对于步进电动机来说，每一个脉冲信号使电动机转过一个角度，进而带动机床的移动部件移动一个微小距离。对于伺服电动机而言，其每个进给运动的执行部件都有相应的伺服驱动系统，整个机床的性能主要取决于伺服系统。

4. 驱动装置

驱动装置的作用是将经放大器处理后放大的指令信号转变成机械运动信号，通过机械连接部件驱动机床按规定的轨迹做严格的相对运动，并使工作台精确定位，满足零件精度要求。驱动装置和伺服单元相对应，主要有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机等。

由伺服单元和驱动装置构成的伺服驱动系统是数控机床的重要组成部分，为机床工作台运动提供动力，完成 CNC 指令的运动轨迹。

5. 可编程序控制器

可编程序控制器（PC，Programmable Controller）是一种在工业环境下以微处理器为基础的通用型自动控制装置。这种装置应用在机床上较好地解决了加工设备的逻辑控制及开关控制，并且可修改性灵活，可靠性较强。工程技术人员通常把它定义为可编程序逻辑控制器 PLC（Programmable Logic Controller），也可称其为可编程序机床控制器 PMC（Programmable Machine Controller）。CNC 和 PLC 相互协调配合，完美地完成了对数控机床的控制，如今 PLC 已成为数控机床不可缺少的控制装置。

6. 机床本体

数控机床的机床本体与传统机床相似，包括主轴传动装置、进给传动装置、

床身、工作台、辅助运动装置、液压气动系统，润滑系统，以及冷却装置等。为了满足数控机床的要求，充分发挥数控机床的特点，数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面都已发生了很大的变化。

7. 测量反馈装置

测量装置也称反馈元件，包括光栅、旋转编码器、激光测距仪和磁栅等。测量反馈装置通常安装在机床的工作台或丝杠上，它把机床工作台的实际位移转换成电信号反馈给 CNC 装置，供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号，以控制机床向消除该误差的方向移动。

1.1.2 数控车床的分类

1. 按数控车床主轴位置分类

(1) 立式数控车床

简称数控立车，其主轴垂直于水平面，有一个直径很大的圆形工作台用来装夹工件，如图 1-2 所示。



图 1-2 立式数控车床

立式数控车床适合加工中、大型盘、盖类零件。它具有高强度铸铁底座、立柱，有良好的稳定性和抗振性能。采用立式结构，装夹工件更方便，占地面积更小。采用油水分离结构，使冷却水清洁保持久，并且分离式冷却水箱也便于清洗。

立式数控车床具有以下特点：具有大型正规立式车床的精度和功能；无级调速，主电动机变频调换转速；价格经济，结构更科学；可增加动力万能铣头。

(2) 卧式数控车床

卧式数控车床又分为水平导轨卧式数控车床和倾斜导轨卧式数控车床，倾斜

导轨卧式数控车床的倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排出切屑，如图 1-3 所示。



图 1-3 卧式数控车床

卧式数控车床是常见的数控车床之一，对加工对象的适应性强，既适用于模具等产品的单件生产，又适用于中、大批产品的批量生产，适合加工中、小型轴、盖类零件。卧式数控车床的床身、床脚、油盘等采用整体铸造结构，刚性好，抗振性好，符合高速切削机床的特点。其润滑系统设计合理可靠，设有液压泵对特殊部位进行自动强制润滑。

卧式数控车床具有以下特点：机床本身的精度高、刚性大，可选择有利的加工用量，生产率高（一般为普通机床的 3~5 倍）；机床自动化程度高，可以减轻劳动强度，有利于实现生产管理的现代化；使用数字信息与标准代码处理、传递信息，为计算机辅助设计、制造及管理一体化奠定了基础。

2. 按数控系统功能分

(1) 经济型数控车床

经济型数控车床一般采用开环控制，具有 CRT（阴极射线管）显示、程序存储、程序编辑等功能，缺点是没有恒线速度控制功能，刀尖圆弧半径补偿属于选择功能，加工精度不高，属于中档数控车床，主要用于加工精度要求不高、有一定复杂性的零件，如图 1-4 所示。

(2) 全功能型数控车床

全功能型数控车床是一种高档次的数控车床，一般具有刀尖圆弧半径补偿、恒线速度切削、自动倒角、固定循环、螺纹切削、用户宏程序等功能，加工能力强，适合加工精度高、形状复杂、



图 1-4 经济型数控车床

工序多、循环周期长、品种多变的单件或中小批量零件，如图 1-5 所示。

(3) 车削中心

车削中心的主体是高档数控车床，配有动力铣头和机械手，可以实现车铣复合加工，如图 1-6 所示。有的车削中心有双主轴，副主轴可以移动，接过主轴加工过的工件，再加工另一端；主轴有 C 轴回转功能，使主轴按进给脉冲做任意低速的回转，可以铣削零件端面、螺旋槽和凸轮槽，一机多能，效率提高。若和加工中心、卧式数控车床或立式数控车床一起，三台或多台机床配上一台工业机器人，构成车铣加工单元，可以用于中小批量的柔性加工。

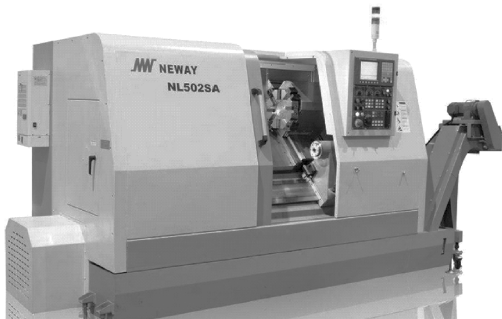


图 1-5 全功能型数控车床

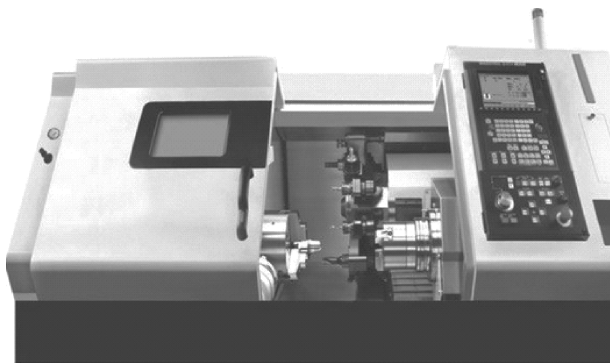


图 1-6 车削中心

3. 按特殊工艺或专门工艺性能分类

数控车床按特殊工艺性能或专门工艺性能可分为螺纹数控车床、活塞数控车床、曲轴数控车床、数控卡盘车床、数控管子车床等，如图 1-7 所示。

4. 按主轴变速形式分类

(1) 无级变速数控车床

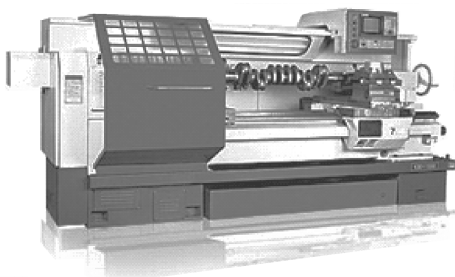
无级变速数控车床的主轴采用无级变速，不仅能在一定的变速范围内选择合理的切削速度，而且还能在切削过程中进行自动换速，如图 1-8 所示。数控车床一般都采用直流或交流伺服电动机或交流异步电动机加变频器来实现无级变速。

(2) 分段无级变速数控车床

数控车床在实际生产中，并不需要在整个变速范围内均为恒功率。一般要求在中、高速段为恒功率传动，在低速段为恒转矩传动，确保数控车床主轴低速工



a)



b)

图 1-7 特殊工艺数控车床

a) 螺纹数控车床 b) 曲轴数控车床



图 1-8 无级变速数控车床

作时有较大的转矩。有的数控车床在交流或直流电动机无级变速的基础上加配齿轮变速，使之成为分段无级变速数控车床，如图 1-9 所示。当带有变速齿轮的主

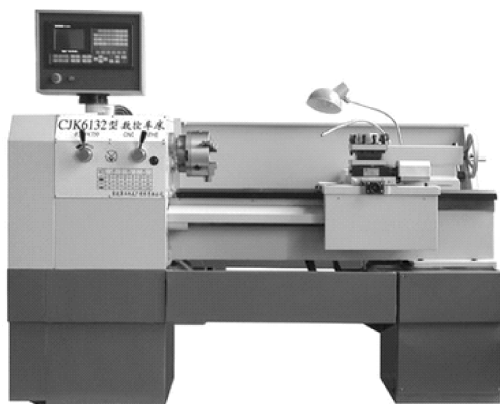


图 1-9 分段无级变速数控车床

传动采用滑移齿轮移位实现变速操作时，多采用液压拨叉推动变速机构。

1.2 数控车床的坐标轴与坐标系

1.2.1 数控车床的坐标轴及其相互关系

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，规定直线进给坐标轴用 X、Y、Z 表示，常称基本坐标轴。X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手定则决定，如图 1-10 所示，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。

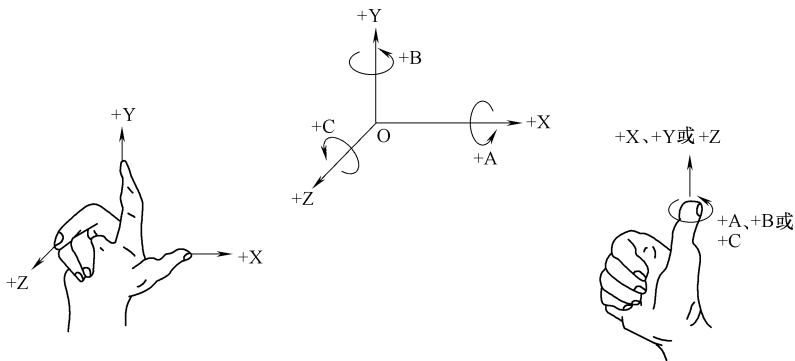


图 1-10 右手直角笛卡儿坐标系

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 1-10 所示，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 方向。

对于车床而言，Y 轴为虚拟轴，只需确定出 X 轴、Z 轴即可。

1.2.2 数控车床坐标轴的确定

1. Z 轴

通常把传递切削力的主轴定为 Z 轴。对于数控车床而言，工件的转动轴为 Z 轴，其中远离工件的装夹部件方向为 Z 轴的正方向，接近工件的装夹部件方向为 Z 轴的负方向，如图 1-11 所示。

2. X 轴

X 轴一般平行于工件装夹面且垂直于 Z 轴。对于数控车而言，X 轴在工件的径向上，且平行于横向滑座，刀具远离工件旋转中心的方向为 X 轴的正方向，

刀具接近工件旋转中心的方向为 X 轴的负方向, 如图 1-11 所示。

1.2.3 机床坐标系与工件坐标系

1. 机床坐标系

为了确定数控车床的运动方向和距离, 首先要在数控车床上建立一个坐标系, 该坐标系称为机床坐标系, 也称机械坐标系。机床坐标系确定后就确定了刀架位置和车床运动的基本坐标。机床坐标系是数控车床的固有坐标系, 一般该坐标系的值在出厂设置后即为固定值, 不轻易变更。

2. 工件坐标系

工件坐标系是编程时使用的坐标系。又称编程坐标系。该坐标系是人为设定的。建立工件坐标系是数控车床加工前必不可少的一步。编程人员在编写程序时根据零件图样、加工工艺, 以工件上某一固定点为原点建立笛卡儿坐标系, 其原点即为工件原点。对于数控车床而言, 一般把工件原点设置在旋转轴与端面的交界点处。

机床坐标系与工件坐标系的关系如图 1-12 所示。

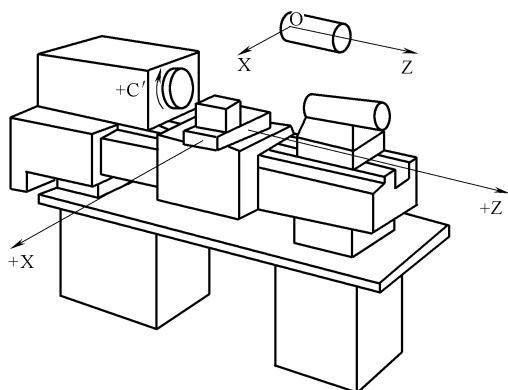


图 1-11 数控车床 X 轴、Z 轴定义

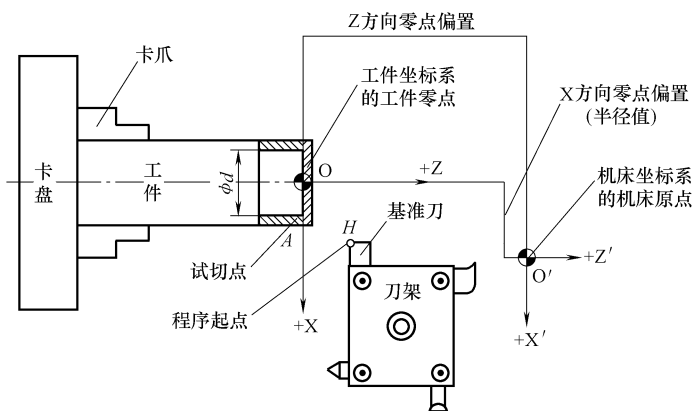


图 1-12 机床坐标系与工件坐标系关系

1.3 FANUC 0i Mate-TD 数控系统指令表

1.3.1 准备功能 (G 功能)

G 功能习惯上称为数控机床的“准备功能”，它是数控编程中内容最多、用途最广的编程指令，主要功能是数控系统向机床执行元件发送以何种方式切削和以何种进给速度进行切削加工或者位移的指令。通常以位址 G 加上两位数字组成，其范围为 G00~G99，不同的 G 功能代表不同的切削方式或不同的运动动作。

G 代码分为模态代码和非模态代码。所谓模态代码指的是在某一程序段中执行指令之后，指令可以一直保持有效状态，直到撤销这些指令；所谓非模态代码指的是仅在编入的程序段中生效的代码指令。

利用模态代码可以大大简化加工程序，但由于它的连续有效性，使得其撤销必须由相应的指令进行。数控系统规定将不能同时执行的代码指令归为一组，以 G 代码后两位数字进行区别。同一组的代码有相互取代的作用，由此来达到撤销模态代码的目的。

此外，为了避免编程人员在程序中出现指令代码遗漏的情况，数控系统规定在每一组的代码指令中取其中的一个代码作为开机默认代码。

FANUC 0i Mate-TD 数控车床的 G 代码见表 1-1。

表 1-1 FANUC 0i Mate-TD 数控车床的 G 代码

G 代码	组别	功 能
G00*	01	定位(快速)
G01		直线插补(切削进给)
G02		顺时针圆弧插补
G03		逆时针圆弧插补
G04	00	暂停
G07.1(G107)		圆柱插补
G10		可编程数据输入
G11		可编程数据输入方式取消
G12.1(G112)	21	极坐标插补方式
G13.1(G113)		极坐标插补方式取消
G18	16	Z _p X _p 平面选择
G20	06	英寸(in)输入
G21		毫米(mm)输入

(续)

G 代码	组别	功 能
G22	09	存储行程检测功能有效
G23		存储行程检测功能无效
G27	00	返回参考点检测
G28		返回参考点
G30		返回第 2、3、4 参考点
G31		跳转功能
G32	01	螺纹切削
G40*	07	刀尖半径补偿取消
G41		刀尖半径补偿左
G42		刀尖半径补偿右
G50	00	坐标系设定或最大主轴转速钳制
G50.3		工件坐标系预设
G52		局部坐标系设定
G53		机床坐标系选择
G54*	14	选择工件坐标系 1
G55		选择工件坐标系 2
G56		选择工件坐标系 3
G57		选择工件坐标系 4
G58		选择工件坐标系 5
G59		选择工件坐标系 6
G65	00	宏程序调用
G66	12	宏程序模式调用
G67		宏程序模式调用取消
G70	00	精加工循环
G71		粗车循环
G72		平端面粗车循环
G73		型车复循环
G74		端面深孔钻削
G75		外径/内径钻孔
G76		螺纹切削复循环