

◎ 职业技能培训教材

数控机床 编程与操作实例

SHUKONG JICHUANG
BIANCHENG YU CAOZUO SHILI

■ 翟瑞波 白一凡 主编

 中国劳动社会保障出版社

职业技能培训教材

数控机床编程与操作实例

翟瑞波 白一凡 主编

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作实例/翟瑞波主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2005
职业技能培训教材

ISBN 7-5045-5107-4

I. 数… II. 翟… III. 数控机床-程序设计-技术培训-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 094831 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

世界知识印刷厂印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 14 印张 345 千字

2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷

印数: 5000 册

定价: 25.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

《中华人民共和国劳动法》规定：“从事技术工种的劳动者，上岗前必须经过培训。”国家对相应的职业制定《职业技能标准》，实行职业技能培训。

职业技能培训是提高劳动者知识与技能水平、增强劳动者就业能力的有效措施。在社会主义市场经济条件下，劳动者竞争上岗、以贡献定报酬，这种新型的劳动、分配制度，正成为千千万万劳动者努力提高职业技能的动力。

实施职业技能培训，教材建设是重要的一环。为适应职业技能培训的迫切需要，推动职业培训教学改革，提高培训质量，中国劳动社会保障出版社会同劳动和社会保障部有关司局，组织有关专家、技术人员和职业培训教学人员编写了《职业技能培训教材》系列丛书。

《职业技能培训教材》以相应工种、专业的《职业技能标准》为依据，贯彻“求知重能”的原则，在保证知识连贯性的基础上，着眼于技能操作，力求内容浓缩、精练，突出教材的针对性、典型性、实用性。

《职业技能培训教材》供各级培训机构的学员参加培训、考核使用，亦可作为就业培训、再就业培训、劳动预备制培训用书，对于各类职业技术学校师生、相关行业技术人员也有较高的参考价值。

百年大计，质量第一。编写《职业技能培训教材》是一项艰巨的探索性工作，不足之处在所难免，恳切欢迎各使用单位和读者提出宝贵意见和建议。

劳动和社会保障部教材办公室

内 容 简 介

本书通过大量的数控编程与操作实例,使读者掌握数控机床的基本操作(FANUC、SIEMENS 两大系统),掌握常用数控编程指令以及运用常用指令完成综合零件的加工。内容包括:数控车床的编程与操作、数控铣床和加工中心的编程与操作、宏程序、数控机床的使用与常见故障。全书突出了数控加工实例,重点是加工中心的加工实例。

此书可作为中等职业技术学校数控机床编程与操作相关专业教学及数控机床编程与操作人员岗位培训教材的配套教材,也可作为从事数控机床工作的工程技术人员以及大中专院校机械制造、机电一体化等专业师生及具有一定数控机床使用基础人员学习数控编程、掌握数控操作的参考用书。

编 者 的 话

随着科学技术和社会生产的迅速发展,整个社会对机械产品的质量及其生产效率提出了越来越高的要求。相应于此,近年来数控机床、数控加工技术在机械制造业中得到广泛应用和迅猛发展,工程技术人员及数控机床编程与操作人员学习、掌握数控技术已成为一种趋势。

本书以劳动和社会保障部教材办公室组织制定的数控机床加工专业教学计划与教学大纲为依据,针对职业技术学校以及高等教育机械制造及设备、机电工程等专业学习数控技术及数控机床编程与操作技术的需求而编写。随着我国机械制造业的迅猛发展,数控机床得到更为广泛的使用。目前数控编程的方法可分为手工编程和自动编程。手工编程是数控编程的基础,自动编程多用于解决复杂零件的多坐标轴加工。手工编程具有使用方便、易于掌握的特点,而且对有些自动编程使用时存在程序多、加工麻烦的问题能够很好地解决。本书将数控编程指令综合运用大量实例中,同时将编程技巧用于其中并取得了好的效果。

本书是作者多年教学及生产实践的总结,书中实例已在机床上进行切削验证。本书在编写过程中得到西安航空技师学院谢龙爱、南逢玉、苏成、刘振福、刘惠、胡克明等同志以及西安航空发动机集团公司王茂林、张艳枝、李闰博等技术人员的大力支持,在此表示感谢。由于编者水平有限,书中难免存在错误,恳请大家批评指正。

编 者

2005年6月

目 录

第一章 数控车床的编程与操作.....	(1)
§ 1—1 数控车床概述.....	(1)
§ 1—2 FANUC 系统数控车床编程.....	(4)
§ 1—3 SIEMENS 系统数控车床编程.....	(42)
§ 1—4 FANUC 系统数控车床操作.....	(69)
第二章 数控铣床和加工中心的编程与操作.....	(75)
§ 2—1 数控加工中心概述.....	(75)
§ 2—2 FANUC 系统加工中心编程.....	(82)
§ 2—3 SIEMENS 系统数控铣床编程.....	(133)
§ 2—4 FANUC 系统加工中心操作.....	(179)
§ 2—5 SIEMENS 系统数控机床操作.....	(184)
第三章 宏程序.....	(196)
§ 3—1 宏程序编制.....	(196)
§ 3—2 宏程序编制实例.....	(202)
第四章 数控机床的使用与常见故障.....	(211)
§ 4—1 数控机床的使用.....	(211)
§ 4—2 数控机床的常见故障.....	(212)
参考文献.....	(215)

第一章 数控车床的编程与操作

数控车床应用广泛,主要用于轴类、盘套类等回转体类零件的加工,能完成内外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工,并能进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔等加工。数控车削中心还可在一次装夹中完成更多的加工内容,适用于复杂形状回转体类零件的加工。

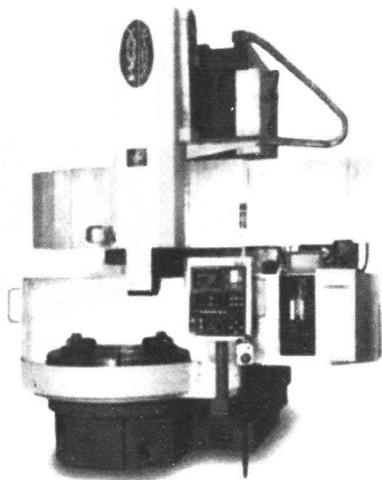
§ 1—1 数控车床概述

一、数控车床种类

1. 按主轴配置形式分类

(1) 立式数控车床。车床主轴处于垂直状态,并有一个直径很大的圆形工作台供装夹工件使用,适用于回转直径较大的盘类零件的加工,如图 1—1a 所示。

(2) 卧式数控车床。卧式数控车床有水平床身、倾斜床身以及水平床身斜滑板等形式。卧式数控车床按刀架相对于主轴位置的不同,有刀架前置和刀架后置两种。卧式数控车床用于轴向尺寸较大或小型盘类零件的车削加工,如图 1—1b 所示。



a)



b)

图 1—1 数控车床

a) 立式数控车床 b) 卧式数控车床

2. 按刀架数量分类

(1) 单刀架数控车床。单刀架数控车床多采用水平床身,两坐标控制。

(2) 双刀架数控车床。双刀架数控车床多采用倾斜床身,四坐标控制。

3. 按数控车床控制系统和机械结构的不同分类

可分为经济型数控车床、全功能数控车床和数控车削中心。

数控车床一般具有两轴联动功能，Z 轴是与主轴方向平行的运动轴，X 轴是在水平面内与主轴方向垂直的运动轴。另外，在最新的数控车削中心中，增加了 C 轴（绕 Z 轴旋转）和动力头，从而可控制 X、Z 和 C 三个坐标轴，联动控制轴可以是 (X, Z)、(X, C) 或 (Z, C)。数控车削中心除可进行一般车削外，还可进行径向铣削、轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削等加工。图 1—2 所示为数控车削中心。

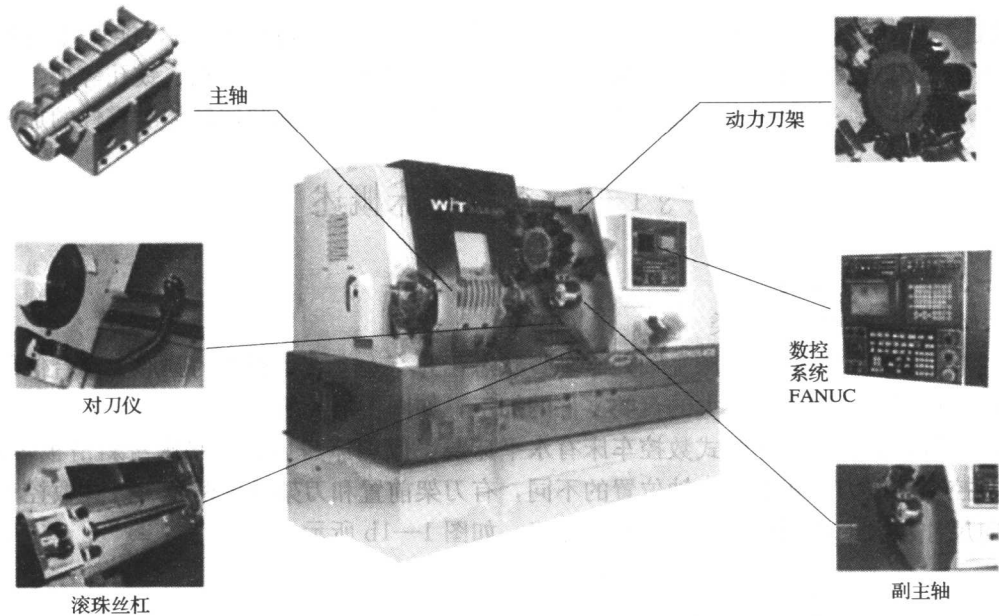


图 1—2 数控车削中心

二、数控车床典型结构

1. 液压夹盘和液压尾架

液压夹盘和液压尾架用来夹紧工件，具有稳定可靠的特点。图 1—3 所示为液压夹盘。

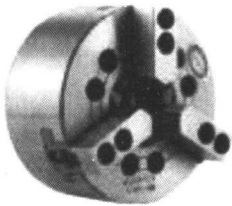


图 1—3 液压夹盘

2. 数控车床的刀架系统（卧式）

(1) 刀架形式。刀架形式如图 1—4 所示。其中，图 1—4a 所示为四位方刀架；图 1—4b 所示为回转刀架，刀具沿圆周方向安装在刀架上，可以安装径向车刀、轴向车刀。

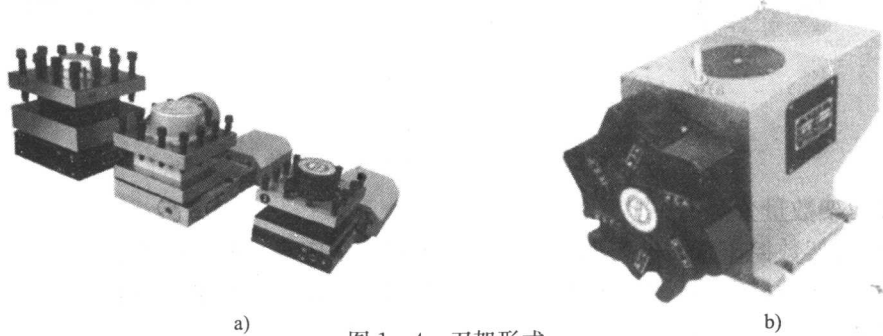


图 1—4 刀架形式
a) 四位方刀架 b) 回转刀架

(2) 铣削动力头。数控车床刀架安装铣削动力头后,可扩展数控车床的加工能力。图 1—5 所示为铣削动力头以及加工零件切削状态。

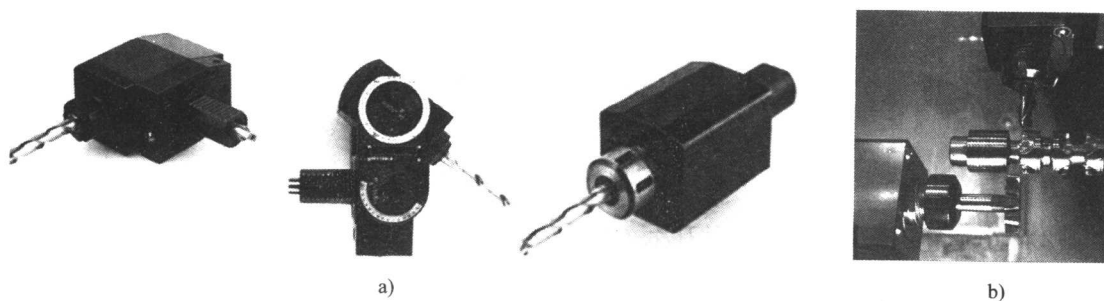


图 1—5 铣削动力头及加工零件切削状态
a) 铣削动力头 b) 加工零件切削状态

三、车削刀具

数控车床一般选用硬质合金可转位车刀。这种车刀就是使用可转位刀片的机夹车刀,即把经过研磨的可转位刀片用夹紧组件夹紧在刀杆上,车刀在使用过程中,一旦切削刃磨钝后,通过刀片的转位,就可用新的切削刃继续切削。数控车床使用的转位车刀具有定位准确、夹紧可靠、换刀迅速的特点。

1. 刀片的紧固方式

在国家标准中,一般紧固方式有销孔夹紧、上压式夹紧、上压与销孔夹紧和螺钉夹紧 4 种,如图 1—6 所示。

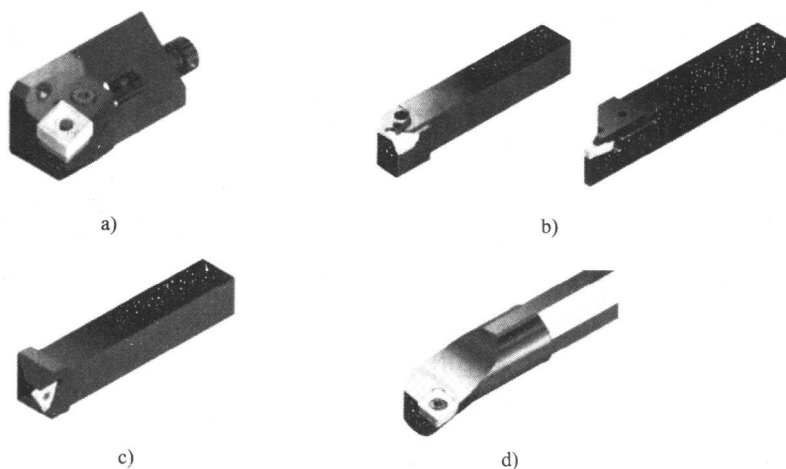


图 1—6 可转位刀片的紧固方式
a) 销孔夹紧 b) 上压式夹紧 c) 上压与销孔夹紧 d) 螺钉夹紧

2. 刀片及刀杆形式

(1) 刀片形式。

1) 外圆、内孔及型面切削用刀片 (见图 1—7)。

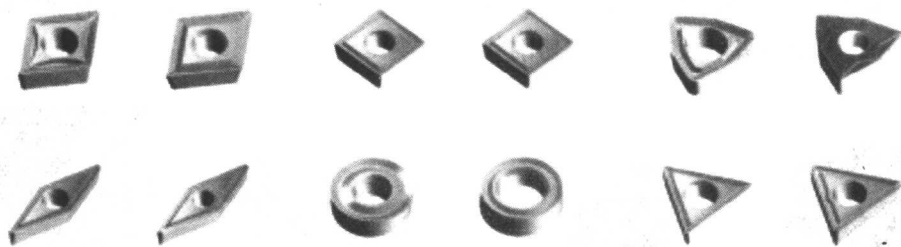


图 1—7 外圆、内孔及型面切削用刀片

2) 切断、切槽及螺纹切削用刀片 (见图 1—8)。



图 1—8 切断、切槽及螺纹切削用刀片

(2) 常用刀杆形式。常用刀杆形式, 如图 1—9 所示。

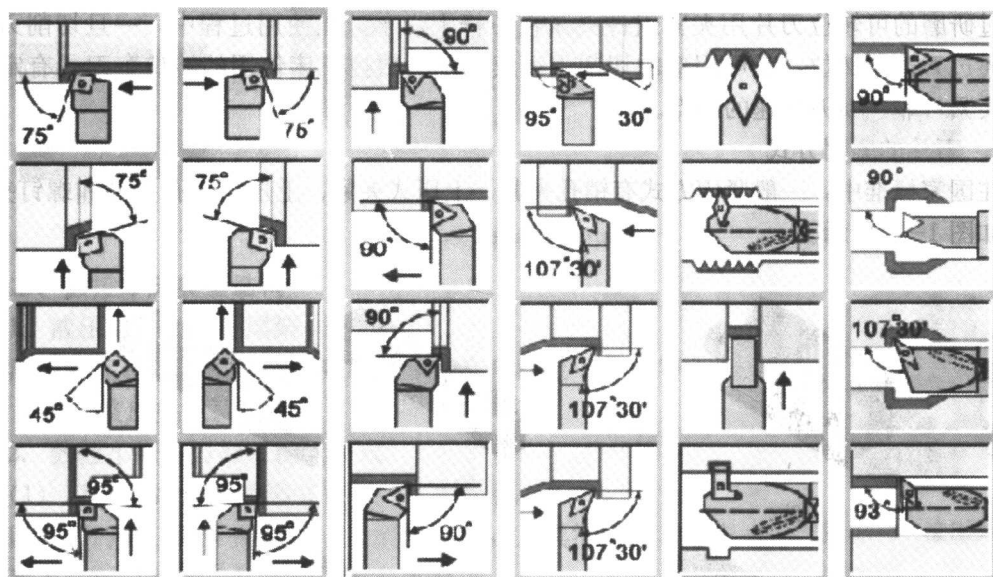


图 1—9 常用刀杆形式

§ 1—2 FANUC 系统数控车床编程

一、数控车床的坐标系

1. 坐标系的确定

数控车床的坐标系是以径向为 X 轴方向, 轴向为 Z 轴方向, 以刀具远离工件的方向为坐标轴正向, 图 1—10 所示为卧式数控车床坐标系。刀架前置时 $+X$ 向前, 刀架后置时 $+X$ 向后, 图 1—10 中所示为刀架前置。

2. 机床原点 (机械原点)

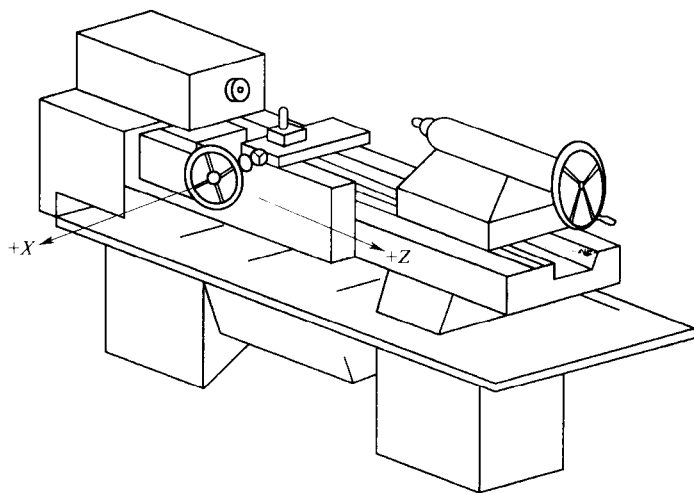


图 1-10 卧式数控车床坐标系

机床原点（机械原点）是机床坐标系的原点，是机床制造商设置在机床上的一个物理位置。其作用是使机床与控制系统同步，建立测量机床运动坐标的起始点。机床原点一般设置在机床移动部件沿其坐标轴正向的极限位置，如图 1-11 所示。机床原点也可设置在卡盘端面与主轴轴线的交点处。

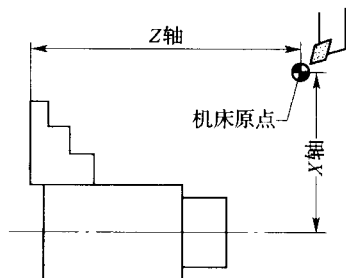


图 1-11 机床原点（车床）

3. 机床参考点

与机床原点相对应的还有一个机床参考点，它是机床制造商在机床上用行程开关设置的一个物理位置，与机床的相对位置是固定的。机床参考点一般不同于机床原点。

二、工作坐标系

工作坐标系是编程人员在编程和加工时使用的坐标系，是程序的参考坐标系，工作坐标系的原点设置以机床坐标系为参考点，一般在一个机床中可以设定 6 个工作坐标系，同时还可以在程序中多次设置原点。设置时一般用 G54~G59 和 G92 等指令（指令 G50 用于数控车床）。

编程人员以工件图样上某点为工作坐标系的原点，称为工作原点。工作原点一般设在工件的设计工艺基准处，便于尺寸计算，也称为工件原（零）点，如图 1-12 所示。

编程时的刀具轨迹坐标是按工件轮廓在工作坐标系中的坐标来确定。

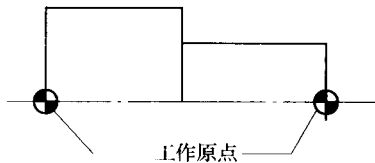


图 1-12 工作原点

在加工时，工件随夹具安装在机床上，这时测量工作原点与机床原点间的距离，称为工作原点偏置，该偏置预存到数控系统中。在加工时，工作原点偏置能自动加到工作坐标系上，使数控系统可按机床坐标系确定加工时的绝对坐标值。

三、数控车床编程特点

1. 绝对值编程和增量值编程

绝对值编程时，用 X 、 Z 表示 X 轴与 Z 轴的坐标值；增量值编程时，用 U 、 W 表示 X 轴与 Z 轴的移动量。数控车床编程时，也可以将绝对值编程和增量值编程混合起来进行编

程,称为混合编程,如 G01 X50.0 W-10.0。编程时常采用绝对值编程。

2. 直径编程和半径编程

在数控车床编程中有直径编程和半径编程两种方法,采用哪种方法要由系统的参数决定。车床出厂时均设定为直径编程,所以编程时与 X 轴有关的各项一定要用直径编程。如果需用半径编程,则要改变系统中的几项参数,使系统处于半径编程状态。

3. 车削固定循环功能

数控车床具备各种不同形式的固定切削循环功能,如内(外)圆柱面、圆锥面固定切削循环,端面固定切削循环,切槽循环,螺纹固定切削循环及复合切削循环等,这些循环指令可简化编程。

4. 刀具位置补偿

数控车床具有刀具位置补偿功能,可以完成刀具磨损和刀尖圆弧半径补偿以及安装刀具时产生的误差补偿。

四、常用指令

1. G 代码命令

G 代码组及其功能见表 1—1。

表 1—1 G 代码组及其功能

G 代码	组别	功能	G 代码	组别	功能
G00*	01	定位(快速移动)	G57	14	选择工件坐标系 4
G01		直线切削	G58		选择工件坐标系 5
G02		圆弧插补(CW, 顺时针)	G59		选择工件坐标系 6
G03		圆弧插补(CCW, 逆时针)	G70	00	精加工循环
G04	00	暂停	G71		内外径粗切循环
G09		停止精确的位置	G72		端面车削固定循环
G20	06	英制输入	G73		成形加工复式循环
G21		公制输入	G74		端面啄式钻孔循环
G22	04	内部行程限位有效	G75		外径/内径啄式钻孔循环
G23		内部行程限位无效	G76		复式螺纹切削循环
G27	00	检查参考点返回	G80*	10	固定循环取消
G28		参考点返回	G83		钻孔循环
G29		从参考点返回	G84		攻螺纹循环
G30		回到第二参考点	G85		正面镗循环
G32	01	切螺纹	G87		侧钻循环
G40*	07	取消刀尖半径偏置	G88		侧攻螺纹循环
G41		刀尖半径偏置(左侧)	G89	01	侧镗循环
G42		刀尖半径偏置(右侧)	G90		(内外直径)切削循环
G50	00	主轴最高转速设置(坐标系设定)	G92		切螺纹循环
G52		设置局部坐标系	G94	12	(台阶)切削循环
G53		选择机床坐标系	G96		恒线速度控制
G54*	14	选择工件坐标系 1	G97*	05	恒线速度控制取消
G55		选择工件坐标系 2	G98		指定每分钟移动量
G56		选择工件坐标系 3	G99*		指定每转移动量

注:带*者表示为开机时会初始化的代码。

(1) 快速点定位指令 G00。

格式: G00 X (U) __ Z (W) __;

这个指令把刀具从当前位置移动到指令指定的位置 (在绝对坐标方式下取 X、Z 值), 或者移动到某个距离处 (在增量坐标方式下取 U、W 值)。

X、Z 取值为要求移动到的位置的绝对坐标值, U、W 取值为要求移动到的位置的增量坐标值。G00 中第一个零可省略, 记为 G0, 其他指令亦同。

(2) 直线插补指令 G01。

格式: G01 X (U) __ Z (W) __ F __;

直线插补以直线方式和指令给定的移动速率, 从当前位置移动到指令位置。F 取值为进给速率 (也称进给率或进给速度)。

(3) 圆弧插补指令 G02、G03。

格式: G02 (G03) X (U) __ Z (W) __ I __ K __ F __;

G02 (G03) X (U) __ Z (W) __ R __ F __;

其中, X (U) __ Z (W) __ 为指定的终点 (或起点与终点之间的距离), I __ K __ 为从起点到中心点的矢量, R __ 为圆弧半径 (圆弧最大为 180°), F __ 为进给速率。

刀具进行圆弧插补时, 必须规定所在的平面, 然后再确定回转方向。顺时针为 G02, 逆时针为 G03。圆弧插补指令的判定见表 1—2。

表 1—2 圆弧插补指令的判定

前置刀架	后置刀架
顺圆 G03 (CW)	顺圆 G02 (CW)
逆圆 G02 (CCW)	逆圆 G03 (CCW)

(4) 参考点返回指令 G28。

格式: G28 X (U) __ Z (W) __ T00;

其中, X (U) __ Z (W) __ 为中间点的坐标, T00 为取消刀补。该指令使刀具自动返回参考点 (一般设置为机床原点) 或经过某一中间位置, 再回到参考点。

(5) 螺纹车削加工指令 G32、G92、G76。在数控车床上用车削的方法可加工直螺纹和锥螺纹。车螺纹的进刀方式有直进式和斜进式, 如图 1—13 所示。斜进式时刀具单侧刃加工, 可减轻负荷。切深可分为数次进给, 每次进给背吃刀量用螺纹深度减去精加工背吃刀量所得的差按递减分配。常用的螺纹切削进给次数与背吃刀量见表 1—3。

螺纹切削时应注意在两端设置足够的升速进刀段 δ_1 和降速退刀段 δ_2 。在这两段螺纹导程小于实际的螺纹导程, 如图 1—14 所示。

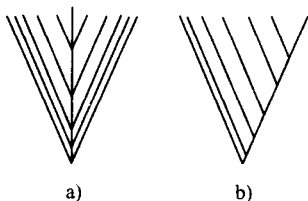


图 1—13 车螺纹进刀方式

a) 直进式 b) 斜进式

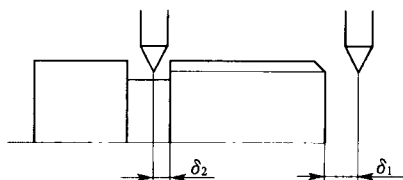


图 1—14 螺纹切削指令

表 1—3

常用的螺纹加工进给次数与背吃刀量

mm

米制螺纹								
螺距	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	
牙深	0.649	0.947	1.299	1.624	1.949	2.273	2.598	
吃刀量及 切削次数	1 次	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	1.5
	2 次	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
	3 次	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
	4 次		0.16	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
	5 次			0.1	0.4	0.4	0.4	0.4
	6 次				0.15	0.4	0.4	0.4
	7 次					0.2	0.2	0.4
	8 次						0.15	0.3
	9 次							0.2
英制螺纹								
牙 (in)	24 牙	18 牙	16 牙	14 牙	12 牙	10 牙	8 牙	
牙深	0.678	0.904	1.016	1.162	1.355	1.626	2.033	
吃刀量及 切削次数	1 次	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	1.0	1.2
	2 次	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
	3 次	0.16	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
	4 次		0.11	0.14	0.3	0.4	0.4	0.5
	5 次				0.13	0.21	0.4	0.5
	6 次						0.16	0.4
	7 次							0.17

经验公式

$$\delta_1 = 3.605\delta_2 \quad \delta_2 = \frac{NL}{1800}$$

式中 N ——主轴转速, r/min; L ——螺纹导程, mm;

1800——常数, 是基于伺服系统时间常数 0.033 s 时得出的。

1) 螺纹切削指令 G32。

①格式。

G32 X (U) __ Z (W) __ F __;

其中, X (U) __ Z (W) __ 为螺纹终点坐标, F __ 为螺距。

②功能。G32 指令可车削直螺纹、锥螺纹和端面螺纹 (涡形螺纹)。G32 进刀方式为直进式。G32 指令在编写螺纹加工程序时, 车刀的切入、切出和返回均要写入程序中。注意: 螺纹切削时不可用主轴速度恒定指令 G96。

2) 螺纹加工循环指令 G92。

①格式。

直螺纹: G92 X (U) __ Z (W) __ F __;

锥螺纹: G92 X (U) __ Z (W) __ R __ F __;

其中, X (U) __ Z (W) __ 为螺纹终点坐标, R __ 为锥螺纹始点与终点的半径差, F __ 为螺距。

②功能。螺纹加工须多次进刀, 使用 G32 编写程序较长, 且易发生错误。为此, 数控车床一般均在数控系统中设置了螺纹加工循环指令 G92。

G92 用于螺纹加工, 其循环路线与单一形状固定循环基本相同。如图 1—15 所示, 循环路径中, 除螺纹车削为进给运动外, 其余均为快速运动, 图中①、②、③、④表示进给顺序。

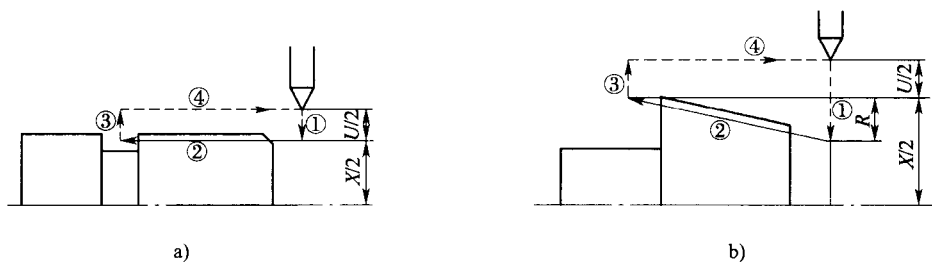


图 1—15 螺纹加工循环指令 G92

a) 直螺纹 b) 锥螺纹

3) 复式螺纹切削循环指令 G76。

①格式。

G76 P (m) (r) (a) Q ($\Delta d_{\min}$) R (d);

G76 X (U) __ Z (W) __ R (i) P (k) Q (Δd) F (f);

其中, 各参数定义如下:

m: 精车重复次数, 从 1~99。该参数为模态量。

r: 螺纹尾端倒角量, 该值的大小可设定在 $0.0L \sim 9.9L$ 之间, 系数应为 0.1 的整数倍, 用 00~99 之间的两位整数来表示, 其中 L 为螺距。该参数为模态量。

a: 刀尖角度, 可从 80° 、 60° 、 55° 、 30° 、 29° 和 0° 六个角度中选择, 用两位整数来表示。该参数为模态量。

m、r 和 a 用地址 P 同时指定, 例如: $m=2$, $r=1.2L$, $a=60^\circ$, 表示为 P021260。

$\Delta d_{\min}$: 最小车削深度, 用半径编程指定。车削过程中, 每次的车削深度为 $(\Delta d \sqrt{n} - \Delta d \sqrt{n-1})$, 当计算深度小于这个极限值时, 车削深度锁定在这个值。该参数为模态量。

d: 精车余量, 用半径编程指定。该参数为模态量。

X (U) __ Z (W) __: 螺纹终点坐标。

i: 螺纹部分的半径差, $i=0$, 则为直螺纹。

k: 螺纹高度, 用半径值指定。

Δd : 第一次车削深度, 用半径值指定。

f: 螺距。

在 R、P、Q 地址后的数值应以无小数点形式表示。

②功能。G76 用于多次自动循环切削螺纹。图 1—16 所示为螺纹复合加工循环路径及进刀方法。

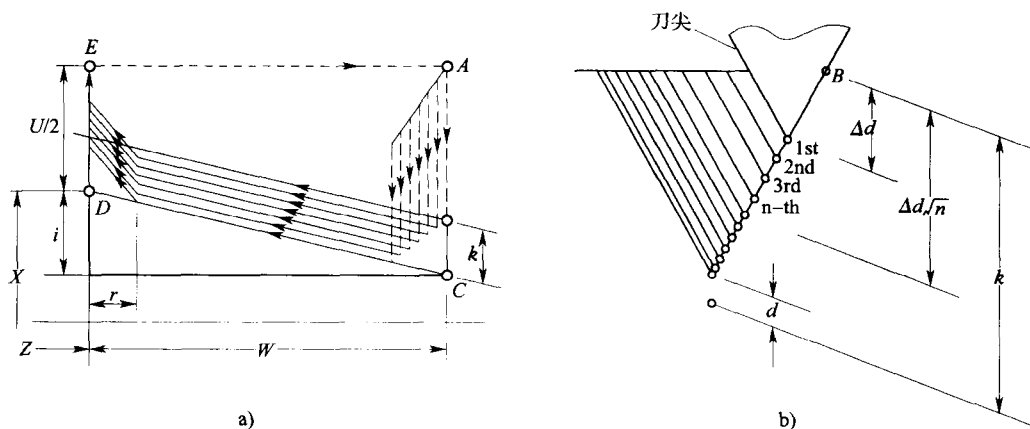


图 1—16 螺纹复合加工循环路径及进刀方法 (G76)

a) 循环路径 b) 进刀方法

(6) 刀具半径补偿功能指令 G40、G41、G42。

格式: G41 X (U) __ Z (W) __;

G42 X (U) __ Z (W) __;

G40 X (U) __ Z (W) __;

当刀刃是假想刀尖 (即车外圆、车端面时, 刀刃上起切削作用的点沿坐标轴方向延伸的交汇点为假想刀尖点, 形成的刀尖为假想刀尖) 时, 切削进程按照程序指定的路径执行不会发生问题。不过, 真实的刀刃是由圆弧构成的 (刀尖半径), 如图 1—17 所示, 在车锥面、倒角或圆弧时, 刀尖路径会造成欠切削或过切削, 因此需要采用刀具半径补偿功能。

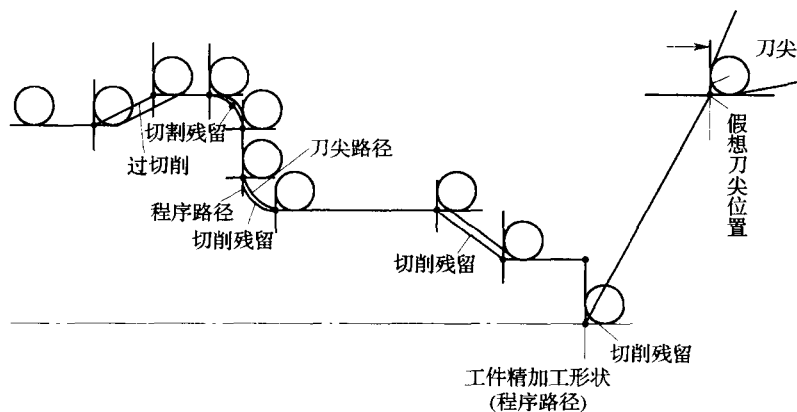


图 1—17* 过切削及欠切削现象

刀具半径补偿的方法是通过键盘输入刀具参数, 并在程序中采用刀具半径补偿指令。刀具参数包括刀尖半径、车刀形状、刀尖圆弧位置, 这些都与刀具的形状有关, 必须用参数输入刀具数据库 (详见机床操作)。假想刀尖圆弧位置序号共有 10 个 (0~9), 如图 1—18 所示。