

数控编程与加工

SHUKONG BIANCHENG
YU JIAGONG

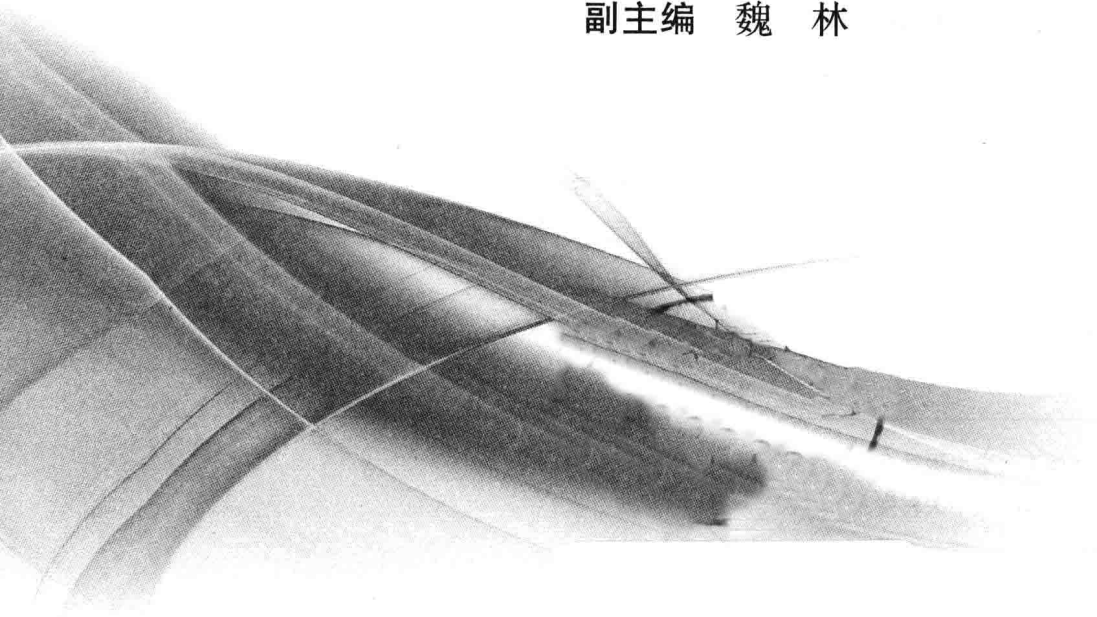
◎主编 张丽华



数控编程与加工

主 编 张丽华

副主编 魏 林



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材是配合国家骨干校建设数控技术专业教学改革的一系列教材之一,采用项目教学模式,内容主要包括:传动轴、轴套、三角螺纹轴、轴套配合件、盖板、凹模板、端盖和壳体8个项目。参照最新国家职业技能相关标准,使学生达到数控车工和数控铣工的中级工水平,实现培养学生专业技能和职业素质的目的。

本教材也适用于模具设计与制造专业、机械设计与制造专业、机电设备维护维修专业的学生学习,并可供机械加工及自动化专业工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工/张丽华主编. —北京:北京理工大学出版社,2014.2

ISBN 978-7-5640-8486-8

I. ①数… II. ①张… III. ①数控机床-程序设计-高等职业教育-教材 ②数控机床-加工-高等职业教育-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第259042号



出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/12.25

字 数/280千字

版 次/2014年2月第1版 2014年2月第1次印刷

定 价/39.80元

责任编辑/陈莉华

文案编辑/张梦玲

责任校对/周瑞红

责任印制/李志强

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换



前言

Qianyan

随着现代科学技术的发展,数控加工在机械制造领域迅速普及。为了培养数控专业人才,使学生获得“工作过程知识”,就必须更新观念,重组课程体系,改革教学模式。

本书编写和教学实施注重学生“产品生产现场”的岗位训练,完善质量考核与评价办法,增强学生质量、责任、成本和效率意识,有效地培养学生职业素质与数控加工的能力。

本书以企业岗位需求和国家职业标准为主要依据,在借鉴国内外数控技术先进资料和经验的基础上,邀请具有丰富数控编程和加工经验的企业一线技术人员和行业专家参与本教材的编写,使教材内容密切结合企业数控加工的生产实际,有利于实现工学结合的人才培养。教材内容主要是针对工艺与程序编制、数控加工等职业岗位或岗位群而编写的,选择了传动轴、轴套、三角螺纹轴、轴套配合件、盖板、凹模板、端盖和壳体8个项目作为教学载体,基于工作过程进行了教学内容的组织与安排,充分体现了教材内容的实用性、针对性、及时性和新颖性。

本教材体现了以下编写特色:

(1) 采用基于工作过程的教学思路。本教材每个项目都具有工艺分析、数控编程、仿真操作、实际加工、质量检测和考核评价的教学实施过程。

(2) 理论知识与实践技能相结合。本教材主要介绍了 FANUC 0i 数控系统和 SIEMENS 802D 数控系统的编程与加工,注重专业技能的系统性和教学实施的可操作性。

(3) 实施“课证融通”的教学改革。在教材编写上融入数控车工和数控铣工中级工国家职业资格标准,学生在该课程学完之后可考取相应职业资格证书,实现岗位职业标准和技能鉴定与教学内容的有机融合,以保证学生专业技能和职业素质的培养。

(4) 所选项目典型、难度较大。本教材所选项目涉及的理论知识和加工技能不仅全面而且具有一定的难度,由浅入深,循序渐进。训练学生运用已学知识在一定范围内学习新技能,提高解决实际问题的能力。

(5) 在培养专业能力的同时,增强学生质量、责任、成本和效率意识,有效地培养学生的职业素质和团结协作的能力。

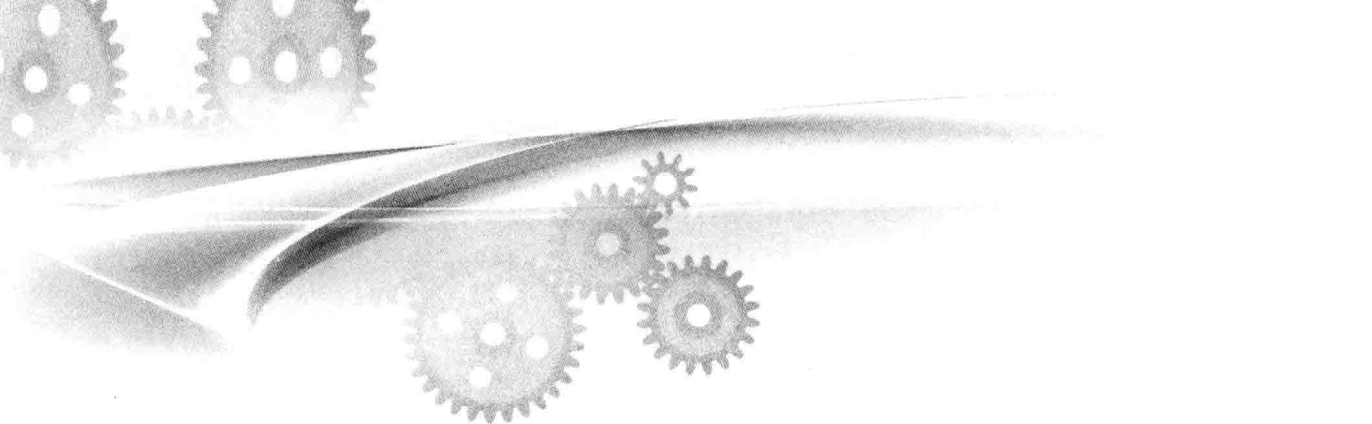
本教材适用于数控技术应用、机械设计与制造、机电设备维护维修等专业的学生,也可作为机械设计制造及自动化专业技术人员参考教材。

本教材由张丽华（教授）任主编，魏林（副教授）任副主编，陈佶（助讲）、于涛（助工）、王春艳（高级工程师）、张朋辉（高级工程师）参加了部分内容的编写。其中，项目一和项目五由张丽华编写；项目二由陈佶编写；项目三由于涛编写；项目四和项目七由魏林编写；项目六由王春艳编写；项目八由张朋辉编写。张丽华老师负责全书的组织和审定。

尽管我们在探索《数控编程与加工》教材特色建设的突破方面做出了许多努力，但是，由于作者水平有限，数控技术发展迅速，教材编写中难免存在疏漏，恳请各相关教学单位和读者在使用本书的过程中给予关注，提出宝贵意见，在此深表感谢！

编 者

项目一 传动轴的数控编程与加工	001
1.1 数控车削编程基础	001
1.1.1 坐标系及坐标原点	001
1.1.2 数控车床的编程特点	003
1.1.3 几个重要概念	004
1.2 车削基本指令的应用	005
1.2.1 F、M、S、T 功能	005
1.2.2 常用准备功能指令应用	007
1.3 刀具补偿功能应用	009
1.3.1 刀具位置补偿	009
1.3.2 刀具半径补偿	010
1.3.3 刀尖半径和位置的输入	011
1.4 传动轴工艺分析及数控编程	012
1.4.1 传动轴工艺分析	012
1.4.2 传动轴数控编程	013
1.5 车削仿真加工	014
1.5.1 操作面板介绍	014
1.5.2 仿真操作	017
1.6 车削数控加工	020
1.6.1 加工前的准备	020
1.6.2 输入与编辑程序	020
1.6.3 对刀	021
1.6.4 自动加工	022
1.7 传动轴数控加工	023
1.7.1 实训准备	023



目 录

Contents

1.7.2 传动轴质检	024
项目二 轴套的数控编程与加工	030
2.1 车削循环指令应用	030
2.1.1 单一形状固定循环指令	030
2.1.2 复合形状固定循环指令	033
2.1.3 其他循环指令	037
2.2 轴套工艺分析及数控编程	040
2.2.1 轴套工艺分析	040
2.2.2 轴套数控编程	041
2.3 轴套件数控加工	042
2.3.1 实训准备	042
2.3.2 轴套件质检	042
项目三 三角螺纹轴的数控编程与加工	056
3.1 螺纹加工指令应用	056
3.1.1 螺纹加工方法	056
3.1.2 螺纹编程指令	058
3.2 三角螺纹轴工艺分析及数控编程	061
3.2.1 三角螺纹轴工艺分析	061
3.2.2 三角螺纹轴数控编程	062
3.3 三角螺纹轴数控加工	063
3.3.1 实训准备	063
3.3.2 三角螺纹轴质检	064
项目四 轴套配合件的数控编程与加工	074
4.1 轴套配合件的加工方案制定	074

4.2	轴套配合件工艺分析及数控编程	079
4.2.1	配合件工艺分析	079
4.2.2	配合件数控编程	081
4.3	轴套配合件数控加工	082
4.3.1	工作要求及工作条件	082
4.3.2	实训内容及注意事项	083
4.3.3	轴套配合件质检	083
项目五	盖板的数控编程与加工	097
5.1	数控铣削编程基础	097
5.1.1	铣削编程基础	097
5.1.2	切削用量的选择	099
5.2	铣削基本指令应用	101
5.2.1	常用准备功能指令应用	101
5.2.2	刀具半径补偿指令应用	102
5.3	盖板工艺分析及数控编程	105
5.3.1	盖板工艺分析	105
5.3.2	盖板数控编程	106
5.4	铣削仿真加工	107
5.4.1	操作面板介绍	107
5.4.2	仿真操作	110
5.5	铣削数控加工	112
5.5.1	加工前的准备	112
5.5.2	对刀确定工件坐标系	113
5.5.3	空运行和试切削	115

目 录

Contents

5.6	盖板数控加工	115
5.6.1	实训准备	115
5.6.2	盖板质检	116
项目六	凹模板的数控编程与加工	122
6.1	刀具长度补偿应用	122
6.1.1	刀具长度补偿指令	122
6.1.2	刀具长度补偿的设置	124
6.2	凹模板工艺分析及数控编程	126
6.2.1	凹模板工艺分析	126
6.2.2	凹模板数控编程	127
6.3	凹模板数控加工	128
6.3.1	实训准备	128
6.3.2	凹模板质检	129
项目七	端盖的数控编程与加工	136
7.1	孔加工循环指令应用	136
7.1.1	钻孔指令	136
7.1.2	攻丝指令	139
7.1.3	镗孔指令	141
7.2	端盖工艺分析及数控编程	145
7.2.1	端盖工艺分析	145
7.2.2	端盖数控编程	146
7.3	端盖数控加工	148
7.3.1	实训准备	148
7.3.2	端盖质检	148

项目八 壳体的数控编程与加工	162
8.1 台湾丽伟 V-60 型加工中心	162
8.1.1 机床介绍	162
8.1.2 机床操作	163
8.2 壳体工艺分析及数控编程	167
8.2.1 壳体工艺分析	167
8.2.2 壳体数控编程	169
8.3 壳体数控加工	171
8.3.1 实训准备	171
8.3.2 壳体质检	171
附表1 FANUC Series 0i Mate - TC 指令	173
附表2 FANUC Series 0i Mate - MC 指令	175
附表3 SIEMENS 802D 数控车削指令	178
附表4 SIEMENS 802D 数控铣削指令	181
参考文献	184

项目一 传动轴的数控编程与加工

【项目目标】

1. 学习简单零件的加工工艺设计。
2. 能够对圆柱面、台阶面、锥面、圆弧面、切槽、端面进行数控车削程序的编制。
3. 熟悉 FANUC Oi Mate - TC 数控车床的基本操作。

【教学任务】

1. 制订轴类零件外圆加工工艺，设计走刀路线。
2. 选择、安装和使用外圆车刀、切槽刀。
3. 刃磨外圆车刀和切槽刀。
4. 刀具位置补偿的应用。
5. 合理安排数控车削加工准备工作。
6. 传动轴的数控编程。
7. FANUC Oi Mate - TC 数控车床的基本操作。
8. 使用游标卡尺检测零件。

【背景知识】

1.1 数控车削编程基础

1.1.1 坐标系及坐标原点

1. 右手笛卡儿坐标系

机床坐标系是机床上固有的，用来确定工件坐标系的基本坐标系。国际标准和我国颁布的标准中，规定了数控机床的坐标系采用笛卡儿右手直角坐标系，如图 1-1 所示。基本坐标轴为 X 、 Y 、 Z 轴，它们与机床的主要导轨相平行，相对于每个坐标轴的旋转运动，坐标分别为 A 、 B 、 C 。基本坐标轴 X 、 Y 、 Z 的关系及其正方向用右手直角定则判定。

2. ISO 标准的有关规定

(1) 不论数控机床的具体结构是工件静止、刀具运动，还是刀具静止、工件运动，都假定刀具相对于静止的工件运动。

(2) 机床坐标系 X 、 Y 、 Z 轴的判定顺序为：先 Z 轴，再 X 轴，最后按右手定则判定 Y 轴。

(3) 增大刀具与工件之间距离的方向为坐标轴运动的正方向。

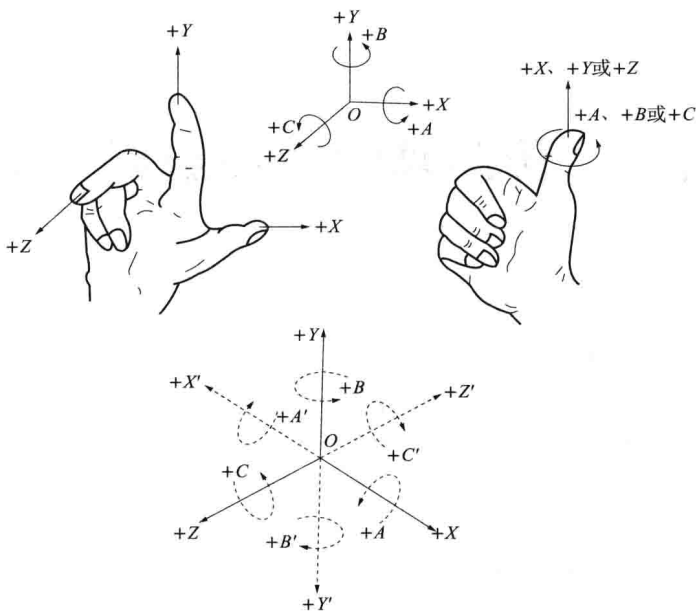
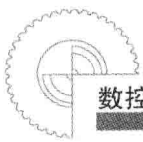


图 1-1 笛卡儿右手直角坐标系

3. 数控车床坐标系

Z 轴：平行于主轴轴线的坐标轴为 Z 轴，刀具远离工件的方向为 Z 轴的正方向。

X 轴：X 轴为工件的径向，指向刀具的方向为正方向，如图 1-2 所示。

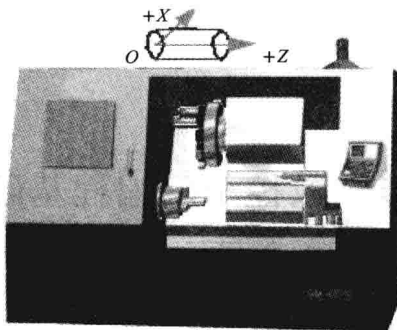


图 1-2 数控车床坐标系

4. 工件坐标系的建立

工件坐标系是编程时使用的坐标系，又称为编程坐标系。工件坐标系的坐标轴，要根据工件在机床上的安装位置和加工方法来确定，并与机床坐标系的坐标轴平行，正方向一致。工件坐标系建立以编程方便为原则。工件原点一般选择在零件的设计基准上或对称中心上。

机床坐标系是机床运动控制的参考基准，建立在机床上，是固定的物理点，使用者不能改变。工件坐标系是编程时的参考基准，建立在工件上，因编程习惯位置可变。加工时通过对刀确定工件原点与机床原点的位置关系，将工件坐标系与机床坐标系建立固联关系。

5. 坐标原点

(1) 机床原点。

机床原点也称机械原点或零点，用“M”表示，它是机床制造商设置在机床上的一个物



理位置,是机床坐标系中固有的点,也是其他坐标系和参考点的基准点。机床原点的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位置。

(2) 机床参考点。

机床参考点也称基准点,用“ R ”表示,是大多数具有增量位置测量系统的数控机床所必须具有的,它是数控机床工作区确定的一个固定点,与机床原点有确定的尺寸联系。参考点在机床坐标系中,以硬件方式用固定挡块或限位开关限定各坐标轴的位置来实现,并通过精确测量来指定参考点到机床原点的距离。因此,这样的参考点称为硬参考点。具有相对位置检测系统的机床每次通电后,要进行回参考点操作,数控装置通过参考点确认出机床原点的位置,建立机床坐标系。

(3) 工件原点。

工件原点也称程序原点或编程原点,用“ W ”表示,是编程时定义在工件上的几何基准点。工件原点要根据编程计算方便、机床调整方便、对刀方便以及零件的特点来确定。

机床原点与工件原点的关系如图 1-3 所示。

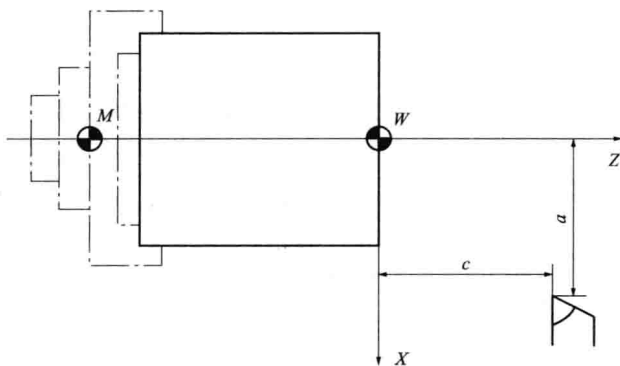


图 1-3 机床原点与工件原点的关系

1.1.2 数控车床的编程特点

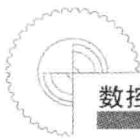
1. 程序的结构

一个完整的程序由程序号、程序内容和程序结束指令三部分组成。为了区别数控系统中存储的程序,每个程序都要进行编号。由程序号地址符“ O ”和 4 位有效数字组成,如: $O0001$ 。程序内容是整个程序的核心,它由若干程序段组成,每个程序段由一个或多个字构成,表示机床要完成的指定动作,并以 $M02$ 或 $M30$ 作为整个程序的结束指令。

程序字通常由地址符和数字组成,地址符的含义见表 1-1。

表 1-1 FANUC 0i Mate-TC 系统常用地址符

功能	地址符	解释
程序号	$O, P, \%$	程序编号、子程序号的指定
程序段号	N	程序段顺序号
准备功能	G	机床动作方式指令



续表

功能	地址符	解释
坐标字	X, Y, Z; U, V, W	坐标轴的移动地址
	A, B, C; U, V, W	附加轴的运动地址
	I, J, K	圆心坐标地址
圆弧半径	R	圆弧半径地址
进给速度	F	进给速度的指令和螺纹导程
主轴功能	S	主轴转速指令
刀具功能	T	刀具编号指令
辅助功能	M	机床开/关指令
补偿功能	H, D	补偿号指令
暂停功能	P, X	暂停时间指令
重复次数	L	子程序及固定循环的重复次数指令

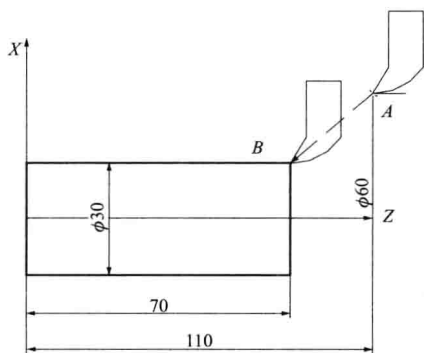


图 1-4 绝对值/增量值编程

2. 绝对值编程/增量值编程

各轴移动量的指令方法，有绝对值指令和增量值指令两种。绝对值坐标用 (X, Z) 表示，增量值坐标用 (U, W) 表示。

3. 直径编程

数控车削中 X 轴方向坐标无论是绝对值编程还是增量值编程均采用直径编程。

在图 1-4 中，刀具从 A 点移动到 B 点的绝对值坐标指令为 $X30 Z70$ ，而增量值坐标指令为 $U-30 W-40$ 。另外，在数控车床上也可用二者混合编程，即坐标值也可写为 $X30 W-40$ 或 $U-30 Z70$ ，具体用哪种坐标值指令编程

可根据零件所给的尺寸关系来确定。

1.1.3 几个重要概念

1. 脉冲当量

相对于每一脉冲信号的机床运动部件的位移量称为脉冲当量，又称为最小设定单位。

脉冲增量插补是行程标量插补，每次插补结束都产生一个行程增量，以脉冲的方式输出。这种插补算法主要应用在开环数控系统中，在插补计算过程中不断向各坐标轴发出互相协调的进给脉冲，驱动电动机运动。一个脉冲所产生的坐标轴移动量叫作脉冲当量，脉冲当量是脉冲分配的基本单位，按机床设计的加工精度选定，普通精度的机床一般取脉冲当量为 0.01 mm ，较精密的机床取 0.001 mm 或 0.005 mm 。脉冲当量影响数控机床的加工精度，它的值取得越小，加工精度越高。



2. 插补

在数控机床中,刀具不能严格按照要求加工的曲线运动,只能用折线轨迹逼近所要加工的曲线。插补就是根据给定的数学函数,在理想轨迹轮廓上的已知点之间,确定一些中间点的方法。

3. 基点和节点

(1) 基点:各个几何元素间的连接点称为基点。如直线与圆弧的交点、直线与直线的交点等。

(2) 节点:用若干直线段或圆弧段来逼近给定的曲线,逼近线段的交点或切点称为节点。

(3) 非圆曲线:数控加工中把除直线与圆弧之外可以用数学方程式表达的平面廓形曲线,称为非圆曲线。如椭圆曲线、双曲线、抛物线等。

由于一般数控系统中只具有直线、圆弧插补功能,所以对于非圆曲线的加工必须将其曲线分割为若干直线段或圆弧段,求出节点坐标,才能实现曲线的加工。因此,节点坐标的计算是曲线加工的关键。

4. 刀位点、对刀点和换刀点

(1) 刀位点是刀具的定位基准点,是刀具上代表刀具位置的参照点。进行数控加工编程时,刀具在机床上的位置由刀位点的位置来表示。常用刀具的刀位点规定:立铣刀、端铣刀的刀位点是刀具轴线与刀具底面的交点;球头铣刀刀位点为球心;镗刀、车刀刀位点为刀尖或刀尖圆弧中心;钻头是钻尖或钻头底面中心。

(2) 对刀点是在数控机床上加工工件时,刀具相对工件运动的起点。由于程序也从该点开始执行,所以对刀点又称为起刀点或程序起点。对刀点可以设置在零件、夹具或机床上,但为了提高工件的加工精度,应尽可能设在零件的设计基准或工艺基准上。

保证对刀点和刀位点重合的过程称为对刀。对刀是为了确定机床坐标系与工件坐标系之间的相互位置关系。

(3) 换刀点是指加工过程中需要换刀时刀具的相对位置点。换刀点往往设在工件的外部,以能顺利换刀、不碰撞工件及其他部件为准。

对刀点与换刀点的确定是数控加工工艺分析的重要内容之一。

1.2 车削基本指令的应用

1.2.1 F、M、S、T 功能

1. 进给功能 (F 功能)

(1) 快速进给。

当给出快速定位指令时,刀具以快速进给速度定位,此速度由机床参数设定,并不由指令中的 F 来指定,但其快慢仍可用机床操作面板上的倍率开关(如 F0、25%、50%、100%)实现调节。



(2) 切削进给。

刀具的切削进给速度由 F 后面的数值指定。F 的值指切削进给的切线方向速度。

切削进给的速度倍率可由操作面板上的倍率开关 0 ~ 150% 来调节，但螺纹切削时无效。

在 FANUC 数控机床的编程指令中，用 G98 指令每分钟进给方式，F 后面的数值单位为 mm/min。用 G99 指令每转进给方式，F 后面的数值单位为 mm/r。G98、G99 均为模态指令，可互相被替代。

模态指令又称续效指令，一经程序段中指定，便一直有效，直到后面出现同组另一指令或被其他指令取消。编写程序时，与上段相同的模态指令可以省略不写。不同组模态指令编在同一程序段内，不影响其续效，如 G00、G41、M03 及 F、S 等。非模态指令又称非续效指令，其功能仅在出现的程序段有效，比如 G04、M00 等。

2. 辅助功能 (M 功能)

辅助功能又称 M 功能，主要用来表示机床操作时各种辅助动作及状态。它由 M 及其后的两位数字组成。常用 M 功能如表 1-2 所示。在编程时，一个程序段中通常只使用一个 M 代码，以免机床执行程序时产生误操作。

表 1-2 FANUC 0i Mate-TC 数控系统常用的 M 代码

代码	功能	代码	功能
M00	程序停止	M07	切削液开 (喷雾)
M01	选择停止	M08	切削液开
M02	程序结束	M09	切削液关
M03	主轴正转	M30	程序结束并返回
M04	主轴反转	M98	调用子程序
M05	主轴停止	M99	子程序结束并返回主程序

(1) 程序停止和任选停止：M00/M01。

执行完 M00 指令的程序段之后，自动运行停止，模态信息被保存。按下“循环启动”按钮，自动运行重新开始，如进行尺寸检验、排屑或插入必要的手工动作时，用此功能很方便。

与 M00 一样，执行完 M01 指令后，自动运行停止，但是，只有当机床操作面板上的“任选停止开关”有效时，数控机床 (CNC) 才执行该功能，否则该功能在程序中无效。

(2) 程序结束：M02/M30。

使用 M30，自动运行停止，变为复位状态，光标返回到程序的开头。使用 M02，程序结束，光标不返回到程序开头，重新运行程序需按“复位”按钮。

(3) 主轴正转、主轴反转、主轴停止：M03/M04/M05。

此代码启动主轴正转、反转和停止。

(4) 切削液开、切削液关：M08/M09。

切削液开关可由程序指定，也可以手动设置。



3. 主轴功能 (S 功能)

指定主轴转速或速度, 用地址 S 和其后的数字组成。

① 恒线速度控制 (G96): 系统执行 G96 指令后, S 后面的数值表示切削速度。例如: G96 S100 表示切削速度是 100 m/min。

② 主轴转速控制 (G97): 系统执行 G97 指令后, S 后面的数值表示主轴每分钟的转数。例如: G97 S800 表示主轴转速为 800 r/min, 系统开机时为 G97 状态。

③ 主轴最高速度限定 (G50): G50 除有坐标系设定功能外, 还有主轴最高转速设定功能, 即用 S 指定的数值设定主轴每分钟的最高转速。例如: G50 S2000 表示主轴转速最高为 2 000 r/min。

用恒线速度控制加工端面、锥度和圆弧时, 由于 X 坐标值不断变化, 当刀具逐渐接近工件的旋转中心时, 主轴转速会越来越高, 工件有从卡盘飞出的危险, 所以为防止事故的发生, 有时必须限定主轴的最高转速。

主轴最高转速计算方法如下:

① 光车时的主轴转速。主轴转速要根据机床和刀具允许的切削速度来确定, 可以用算法或查表法来选取。切削速度确定之后, 用下式计算主轴转速:

$$n = \frac{1\,000V_c}{\pi d} \quad (1-1)$$

式中, n 为主轴转速 (r/min); V_c 为切削速度 (m/min); d 为工件直径 (mm)。

② 车螺纹时的主轴转速。在切削螺纹时, 车床主轴的转速将受螺纹的螺距、电机调速和螺纹插补运算等因素的影响, 转速不能过高。通常按下式计算主轴转速:

$$n \leq \frac{1\,200 - K}{P} \quad (1-2)$$

式中, n 为主轴转速 (r/min); P 为螺纹的导程 (mm); K 为安全系数, 一般取 80。

4. 刀具功能 (T 功能)

T 功能的表示方法如图 1-5 所示。

例: T0303 表示选择 3 号刀具, 使用 3 号偏置量。

F 功能、M 功能、S 功能、T 功能均为模态代码。

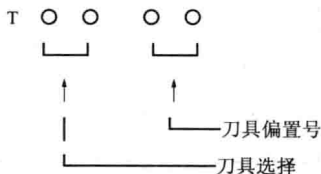


图 1-5 T 功能的表示方法

1.2.2 常用准备功能指令应用

1. 快速点定位: G00

该指令使刀具以快速进给速度移动到工件坐标系的某一点。G00 指令为模态代码。

格式: G00 X(U)_Z(W)_

说明: X(U)_Z(W)_ 是目标点坐标。

用 G00 移动时, 刀具轨迹并非直线。各轴以最快速度移动, 所以使用 G00 指令时要注意刀具是否会和工件或夹具发生干涉, 忽略这一点就容易发生碰撞, 而在快速状态下的碰撞就更加危险。

2. 直线插补: G01

该指令使刀具以插补联动方式按指定的 F 进给速度做任意斜率的直线运动。G01 指令是