

FANUC系统 + SIEMENS系统

图解数控铣/加工中心 加工工艺与编程 从新手到高手

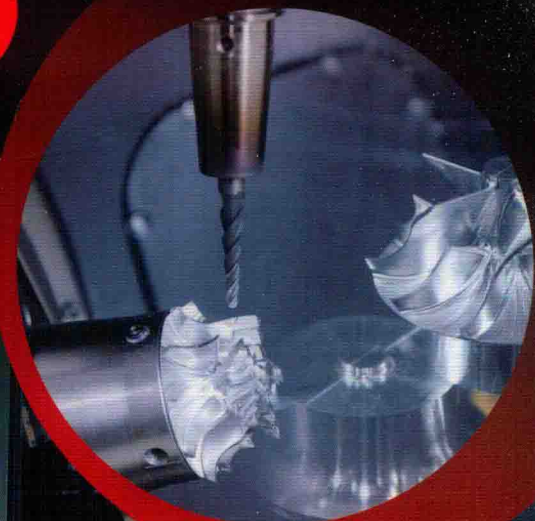
翟瑞波 编著

加工
工艺

数控
编程

零件
加工

机床
操作

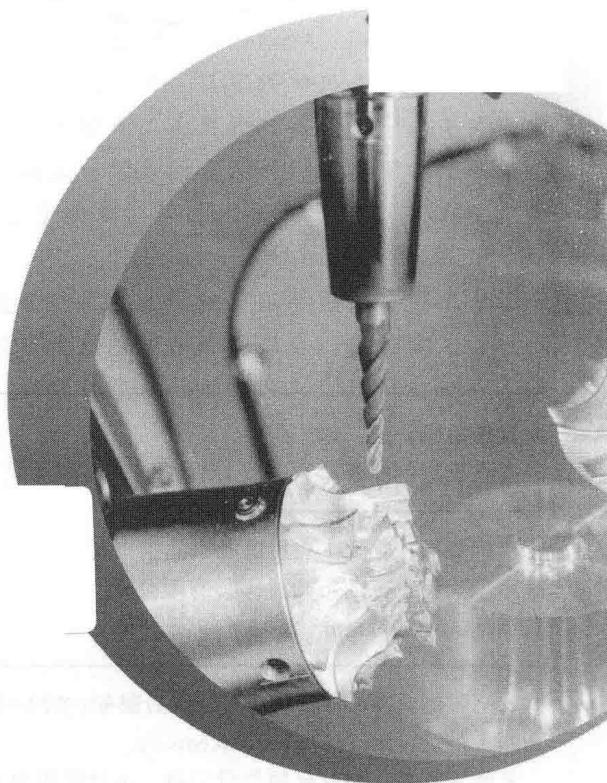


化学工业出版社

图解数控铣/加工中心 加工工艺与编程

从新手到高手

翟瑞波 编著



化学工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

图解数控铣/加工中心加工工艺与编程从新手到高手
/翟瑞波编著. —北京: 化学工业出版社, 2019. 5

ISBN 978-7-122-34003-0

I. ①图… II. ①翟… III. ①数控机床-铣床-加工工艺-图解②数控机床加工中心-加工工艺-图解③数控机床加工中心-加工工艺-图解④数控机床加工中心-程序设计-图解 IV. ①TG547-64②TG659-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 038178 号

责任编辑: 王 焯
责任校对: 杜杏然

文字编辑: 陈 喆
装帧设计: 刘丽华

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: 三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 606 千字 2019 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 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: 79.80 元

版权所有 违者必究



前言

PREFACE

随着制造业的高速发展,高精度、复杂零件的加工更多地采用数控机床完成,数控铣床、加工中心作为其重要的组成部分得到广泛的使用。为了提高数控加工人员从事数控加工工艺制订、数控铣床/加工中心加工程序编制的合理性、适用性,同时考虑到学习的循序渐进性,以及新手从零基础开始并逐渐成为高手的学习特点,特编写本书。

数控加工的关键,一是数控加工工艺制订,二是程序编制,三是机床操作。数控加工工艺是基础,也是从新手到高手的关键。数控程序的编制,首先要制订一个合理的数控加工工艺,这里要考虑数控机床(机床的性能、机床的操作系统)、数控刀具、夹具(工件的装夹);其次考虑编程零点的设置、编程时的数据处理、数据点的计算;然后编制程序,编程时还要考虑程序简单易行,机床便于操作。数控加工主要依据数控加工工艺和加工程序要求来完成零件加工,因而坐标系零点数据的获得、刀具数据的获得和机床操作是关键。只有将数控加工工艺制订、程序编制、机床操作这三点进行通盘考虑,融会贯通,才能编制出好的程序,获得好的零件加工精度和高的加工效率。

本书从数控铣床/加工中心加工工艺讲起,重点讲解了FANUC系统和SIEMENS系统的常用指令、指令的综合应用、典型零件加工以及这两种系统数控机床的操作。书中基本指令讲解更多采用图解方式,综合实例与生产实际贴合紧密、涵盖全面,从零件加工工艺安排到程序编制、机床操作都思路清晰、明了易懂。同时将大量的数控加工应用技巧贯穿其中,并将书中实例在机床上进行实际验证,使读者在掌握指令的基础上对指令的灵活应用有更深入的理解。

本书可作为从事数控加工工艺制订、数控机床程序编制、操作人员的自学、提高技能用书,也可作为数控应用专业学生的教材和参考书。

本书由翟瑞波编著。在编写过程中得到中国航发西安航空发动机有限公司纪委书记、工会主席晏水波的指导和大力支持,得到中国航发西安航空发动机有限公司工会、数控加工劳模创新工作室的管理、技术、技能专家苗云鹏、顾隶华、邵黎、张艳枝的指导和帮助,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,不足之处恳请批评指正。

编著者



CONTENTS

第1章 数控铣床/加工中心加工工艺基础

1.1 数控铣床/加工中心概述	1	1.3.4 数控铣床/加工中心刀具系统	18
1.1.1 数控铣床概述	1	1.3.5 镗铣加工中心刀库	21
1.1.1.1 数控铣床分类	1	1.3.6 工作台自动交换装置 (APC)	21
1.1.1.2 数控铣床的特点	2	1.4 铣削方式的选择	22
1.1.1.3 数控铣床主要加工对象	3	1.4.1 顺铣、逆铣的判定	22
1.1.2 加工中心概述	4	1.4.1.1 圆周铣削时的顺、逆铣	22
1.1.2.1 加工中心分类	4	1.4.1.2 端面铣削时的顺铣和逆铣	22
1.1.2.2 加工中心特点	5	1.4.2 刀具选择	23
1.1.2.3 加工中心主要加工对象	5	1.4.3 刀具下刀、进退刀方式的确定	24
1.2 数控铣床/加工中心工具及辅助设备	8	1.4.4 平面铣削	25
1.2.1 数控铣床/加工中心夹具	8	1.4.5 窄槽和型腔铣削	25
1.2.2 数控回转工作台和数控分度工作台	9	1.4.5.1 开放和封闭边界	25
1.2.3 常用工具	9	1.4.5.2 窄槽铣削	26
1.3 数控铣床/加工中心刀具系统	11	1.4.5.3 矩形型腔	27
1.3.1 数控刀具的要求与特点	11	1.4.5.4 圆形型腔	27
1.3.2 数控刀具材料	12		
1.3.3 数控刀具	14		
1.3.3.1 数控铣刀	14		
1.3.3.2 孔加工刀具	16		

第2章 数控铣床/加工中心编程基础

2.1 数控铣床/加工中心的坐标系	29	2.3 程序编制的基本概念	32
2.1.1 数控机床的坐标系	29	2.3.1 程序代码	32
2.1.2 工作(件)坐标系	31	2.3.2 程序结构(以FANUC系统为例)	33
2.2 编程的一般步骤	31	2.3.3 编程规则	34
2.2.1 数控机床编程方法	31		
2.2.2 手工编程的一般步骤	32		

第3章 数控铣床/加工中心编程指令(FANUC系统)

3.1 FANUC系统编程指令	37	3.1.1 常用指令	37
-----------------------	----	------------------	----

3.1.1.1	工作坐标系的确定	37	3.1.4.2	镗孔循环	54
3.1.1.2	公制和英制单位指令 G21、G20	38	3.1.4.3	攻螺纹循环指令	55
3.1.1.3	绝对值坐标指令 G90 和 增量值坐标指令 G91	38	3.1.4.4	固定循环编程实例	56
3.1.1.4	平面选择指令 G17、 G18、G19	38	3.1.5	极坐标	60
3.1.1.5	进给率 F	39	3.1.5.1	极坐标系指令 G15、 G16	60
3.1.1.6	主轴转速/旋转方向 S	39	3.1.5.2	极坐标指令练习	61
3.1.1.7	快速点定位指令 G00	39	3.1.6	子程序	61
3.1.1.8	直线插补指令 G01	40	3.1.6.1	子程序的格式的调用	61
3.1.1.9	圆弧插补指令 G02、 G03	41	3.1.6.2	子程序实例	62
3.1.1.10	任意倒角 C 与拐角圆弧 过渡 R 指令	44	3.1.7	坐标变换指令	66
3.1.1.11	自动返回参考点指令 G28	44	3.1.7.1	比例缩放功能 (G50、 G51)	66
3.1.1.12	暂停指令 G04	44	3.1.7.2	可编程镜像 (G50.1、 G51.1)	68
3.1.1.13	辅助功能 (M 功能)	45	3.1.7.3	坐标系旋转功能 (G68、 G69)	71
3.1.2	刀具选择指令 T	45	3.2	宏程序	76
3.1.3	刀具补偿	45	3.2.1	变量	76
3.1.3.1	刀具半径补偿	45	3.2.2	用户宏程序的调用	78
3.1.3.2	刀具长度补偿	49	3.2.3	算术运算指令	79
3.1.4	循环指令	52	3.2.4	控制指令	80
3.1.4.1	钻孔循环指令	53	3.2.5	宏程序练习 (椭圆、球面、 型面、孔加工)	81

第4章 数控铣床/加工中心编程指令 (SIEMENS系统)

4.1	常用指令	109	4.1.10	轮廓倒角/倒斜边与倒圆指令 CHR/CHF 与 RND	117
4.1.1	平面选择指令 G17~G19	109	4.1.11	回参考点指令 G74	118
4.1.2	绝对坐标和相对坐标定义指令 G90 和 G91	109	4.1.12	暂停指令 G04	118
4.1.3	极坐标、极点定义指令 G110、G111、G112	109	4.1.13	进给率 F	119
4.1.4	可设定的零点偏置指令 G54~ G59/G500/G53/G153	110	4.1.14	主轴转速/旋转方向 S	119
4.1.5	可编程的工作区域限制指令 G25、G26、WALIMON、 WALIMOF	111	4.2	刀具补偿	120
4.1.6	快速点定位指令 G00	112	4.2.1	刀具选择指令 T	120
4.1.7	带进给率的直线插补指令 G01	112	4.2.2	刀具补偿号 D	120
4.1.8	圆弧插补指令 G02、G03	113	4.2.3	G41/G42/G40 刀具半径 补偿功能	121
4.1.9	螺旋插补指令 G2/G3、 TURN	116	4.3	辅助功能 M	124
			4.4	固定循环	124
			4.4.1	钻孔循环	124
			4.4.2	钻孔样式循环	134
			4.4.3	铣削循环	136
			4.5	子程序	138

4.5.1	子程序格式	138	ASCALE	142	
4.5.2	子程序实例	139	4.6.4	可编程的镜像指令 MIRROR、AMIRROR	143
4.6	坐标变换指令	141	4.6.5	加工实例	144
4.6.1	可编程的零点偏置指令 TRANS、ATrans	141	4.7	参数编程	149
4.6.2	可编程旋转指令 ROT、AROT	142	4.7.1	R 参数	149
4.6.3	可编程的比例缩放指令 SCALE、		4.7.2	程序跳转	150
			4.7.3	参数编程练习	151

第5章 数控铣床/加工中心典型型面编程应用

5.1	平面加工	163	5.2.1	凸台加工	167
5.1.1	矩形平面加工	163	5.2.2	沟槽加工	186
5.1.2	圆形平面加工	165	5.3	型面加工	210
5.2	轮廓加工	167			

第6章 数控铣床/加工中心典型零件加工

【例 1】~【例 18】

第7章 数控铣床/加工中心机床操作

7.1	FANUC 系统机床操作	302	7.2	SIEMENS 系统机床操作	313
7.1.1	机床操作方式	302	7.2.1	机床操作	313
7.1.1.1	控制面板	302	7.2.1.1	机床操作面板	313
7.1.1.2	手动操作方式	304	7.2.1.2	系统控制面板	314
7.1.1.3	MDI 方式 (手动数据输入方式)	305	7.2.1.3	机床回零 (回参考点) 操作方式	315
7.1.1.4	编辑方式	306	7.2.1.4	手动操作方式	316
7.1.1.5	自动方式	307	7.2.1.5	MDA (手动数据输入) 操作方式	316
7.1.2	零点偏置数据的获得及输入	308	7.2.1.6	编辑方式 (数控程序处理)	317
7.1.2.1	对刀	308	7.2.1.7	自动加工操作方式	319
7.1.2.2	常用的对刀工具	309	7.2.2	程序的输入和输出及轨迹查看	320
7.1.2.3	数据获得	310	7.2.2.1	查看轨迹	320
7.1.2.4	输入零件零点偏置参数 (G54~G59) 值	311	7.2.2.2	程序导入、导出	321
7.1.3	刀具补偿参数的获得及输入	312	7.2.3	参数设置	321
7.1.3.1	对刀仪	312	7.2.3.1	零偏参数设置	321
7.1.3.2	设置刀具补偿参数	312	7.2.3.2	刀具参数设置	322

参考文献

数控铣床/加工中心加工 工艺基础

1.1 数控铣床/加工中心概述

1.1.1 数控铣床概述

数控铣床在机床设备中应用非常广泛，它能够进行平面铣削、平面型腔铣削、外形轮廓铣削、变斜角类零件、三维空间复杂型面铣削，配上相应的刀具后还可进行钻削、镗削、螺纹切削等孔加工。加工中心、柔性制造单元等都是数控铣床的基础上产生和发展起来的。

1.1.1.1 数控铣床分类

(1) 按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类

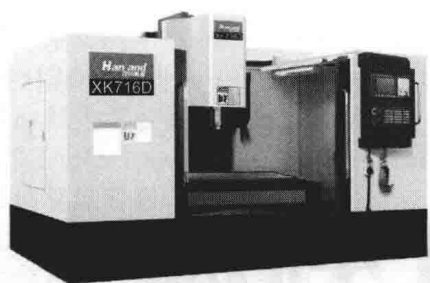
① 立式数控铣床 立式数控铣床的主轴轴线垂直于水平面，是数控铣床中最常见的一种布局形式，应用范围也最广泛。从机床数控系统控制的坐标数量来看，目前3坐标数控立铣仍占大多数，一般可进行3坐标联动加工。此外，还有机床主轴可以绕X、Y坐标轴中的其中一个或两个轴作数控摆角（旋转）运动的4坐标和5坐标数控立铣。

如图1-1(a)所示为典型的立式数控铣床，中型数控铣床一般采用纵向和横向工作台移动方式，且主轴沿垂向溜板上下运动；图1-1(b)所示为龙门数控铣床，大型数控铣床多采用此种结构，其主轴可以在龙门架的横向和垂向溜板上运动，龙门架则沿床身做纵向运动。

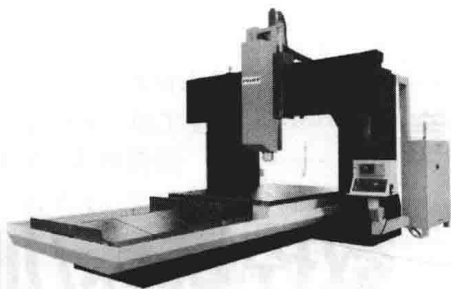
为了扩大数控立铣的功能、加工范围及扩大加工对象，常采用附加数控转台，当转台垂直放置时，可增加一个C轴；水平放置时可增加一个A轴。如果是万能数控转台，则一次可增加两个转动轴。附加转盘后，能实现几个坐标联动加工，则由机床配置的数控系统的控制功能来决定。

② 卧式数控（镗）铣床 卧式数控（镗）铣床（如图1-2所示）与通用卧式铣床相同，其主轴轴线平行于水平面。为了扩大加工范围和扩充功能，卧式数控铣床通常采用增加数控转台或万能数控转台来实现4、5坐标加工。这样，不但工件侧面上的连续回转轮廓可以加工出来，而且可以实现在一次安装中通过转台改变工位进行“四面加工”。

③ 立卧两用数控铣床 由于这类铣床的主轴方向可以更换，能达到在一台机床上既可以进行立式加工，又可以进行卧式加工，因而同时具备上述两类机床的功能，其使用范围更广，



(a) 典型的立式数控铣床



(b) 龙门数控铣床

图 1-1 立式数控铣床

功能更全，选择加工对象的余地更大，且给用户带来不少方便。特别是生产批量小，品种较多，又需要立、卧两种方式加工时，用户只需买一台这样的机床就行了。

立卧两用数控铣床增加了数控转台以后可实现对工件的“五面加工”，即除了零件与转台贴合的定位面外，其他表面都可以在一次装夹中完成加工，加工效率极高。

(2) 数控铣床按系统功能不同分类

① 经济型数控铣床。经济型数控铣床是在普通铣床基础上改造而来的，采用经济性数控系统，成本低，

机床功能较少，主轴转速和进给速度不高，主要用于精度要求不高的简单平面或曲面类零件的加工。

② 全功能数控铣床。全功能数控铣床一般采用半闭环或闭环控制，控制系统功能较强，一般可实现四坐标或以上的联动，加工适应性强，应用最为广泛。

③ 高速数控铣床。高速数控铣床主轴转速为 $8000 \sim 40000 \text{r/min}$ 、进给速度可达 $10 \sim 30 \text{m/min}$ ，采用全新的机床结构（主体结构及材料变化）、功能部件（电主轴、直线电动机驱动进给）和功能强大的数控系统，并配以加工性能优越的刀具系统，可对大面积的曲面进行高效率的、高质量的加工。

1.1.1.2 数控铣床的特点

数控铣削加工除了具有普通铣床加工的特点外，还有如下特点。

① 零件加工的适应性强、灵活性好，能加工轮廓形状特别复杂或精度要求高的零件，如模具类零件、壳体类零件等。

② 能加工普通机床无法加工或很难加工的零件，如用数学模型描述的复杂曲面零件以及三维空间曲面类零件。

③ 能加工一次装夹后需进行多道工序加工的零件。

④ 加工精度高、加工质量稳定可靠。

⑤ 生产自动化程度高，可以减轻操作者的劳动强度；有利于生产管理自动化；生产效率高。

⑥ 从切削原理上讲，无论是端铣还是周铣都属于断续切削方式，而不像车削那样连续切削，因此，对刀具的要求较高，具有良好的抗冲击性、韧性和耐磨性。在干式切削状况下，还要求有良好的红硬性。

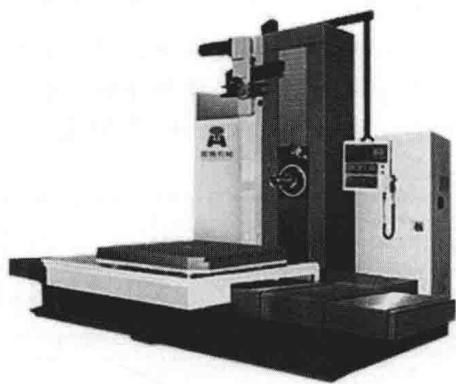


图 1-2 卧式数控（镗）铣床

1.1.1.3 数控铣床主要加工对象

数控铣床用来加工精密、复杂的平面类、曲面类零件。

(1) 平面类零件

加工面平行、垂直于水平面或其加工面与水平面的夹角为定角的零件称为平面类零件。这类加工面可展开为平面，如图 1-3 所示的三个零件均为平面类零件。其中，曲线轮廓面 M 垂直于水平面，可采用圆柱立铣刀加工。凸台侧面 N 与水平面成一定角度，这类加工面可以采用专用的角度成形铣刀来加工。对于斜面 P ，当工件尺寸不大时，可用斜板垫平后加工；当工件尺寸很大，斜面坡度又较小时，也常用行切加工法加工，这时会在加工面上留下进刀时的刀锋残留痕迹，要用钳修方法加以清除。图 1-4 所示为典型平面类零件。

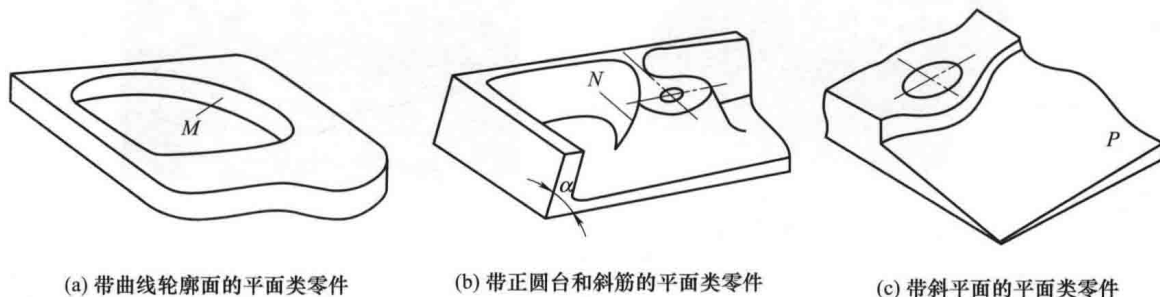


图 1-3 平面类零件

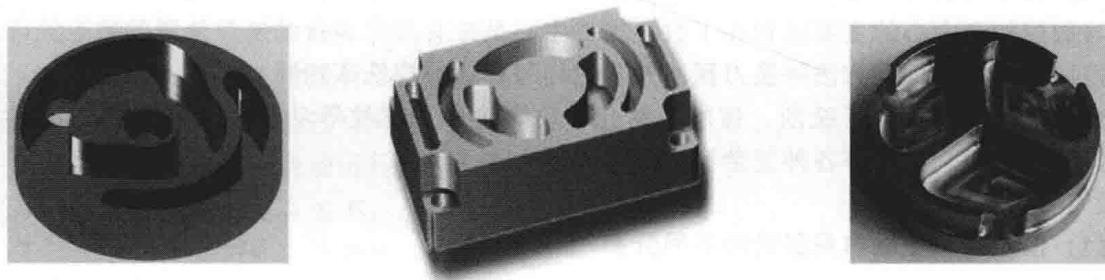


图 1-4 典型平面类零件

(2) 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件。这类零件多为飞机零件，如飞机上的整体梁、框、缘条与肋等；此外还有检验夹具与装配型架等也属于变斜角类零件。图 1-5 所示是飞机上的一种变斜角梁缘条，该零件的上表面在第 2 肋至第 5 肋的斜角 α 从 $3^{\circ}10'$ 均匀变化为 $2^{\circ}32'$ ，从第 5 肋至第 9 肋再均匀变化为 $1^{\circ}20'$ ，从第 9 肋至第 12 肋又均匀变化为 0° 。

变斜角类零件的变斜角加工面不能展开为平面，但在加工中，加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条直线。最好采用 4 坐标和 5 坐标数控铣床摆角加工，在没有上述机床时，也可在 3 坐标数控铣床上采用行切加工法实现 2.5 坐标近似加工。

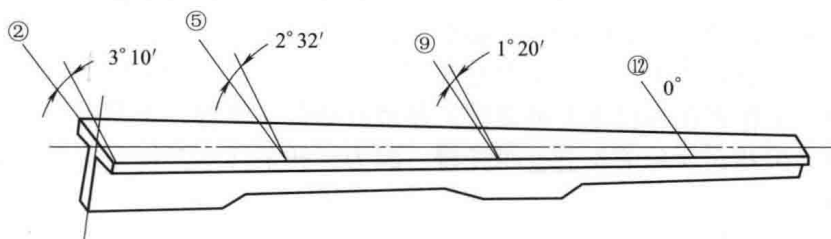


图 1-5 变斜角类零件

(3) 曲面类（立体类）零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件，如模具、叶片、螺旋桨等。曲面类零件的加工面不能展开为平面，加工时，加工面与铣刀始终为点接触。加工曲面类零件一般采用3坐标数控铣床。当曲面较复杂、通道较狭窄、会伤及毗邻表面及需刀具摆动时，要采用4坐标或5坐标数控铣床。图1-6所示为曲面类（立体类）零件。

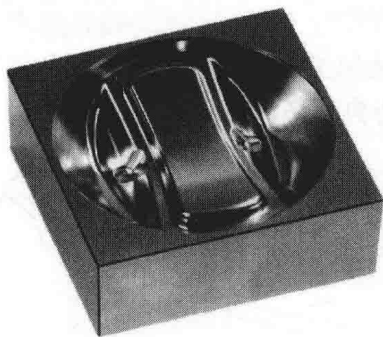


图 1-6 曲面类（立体类）零件

1.1.2 加工中心概述

数控铣床与数控（镗铣）加工中心在数控机床中所占的比重较大，应用也最为广泛。数控铣床与数控加工中心的主要区别在于数控加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控铣床。因此数控加工中心的编程方法除换刀程序外其他均与普通数控铣床相同。

数控加工中心集中了铣削、镗削、钻孔、攻螺纹和切螺纹等功能，适用于加工凸轮、箱体、支架、盖板、模具等各种复杂型面的零件。

1.1.2.1 加工中心分类

(1) 按照机床主轴布局形式的不同分类

① 立式加工中心 立式加工中心装夹工件方便，便于操作，找正容易，易于观察切削情况，占地面积小，应用广泛。但它受立柱高度及自动换刀系统的限制，不能加工太高的工件，也不适于加工箱体，如图1-7（a）所示。

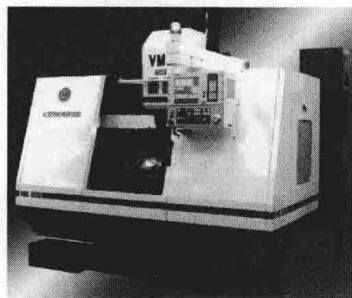
② 卧式加工中心 一般情况下，卧式加工中心比立式加工中心复杂，占地面积大，有能精确分度的数控回转工作台，可实现对零件的一次装夹多工位加工，适于加工箱体类零件及小型模具型腔；但调试程序及试切时不易观察，生产时不易监视，装夹不便，测量不便，加工深孔时切削液不易到位（若没有内冷却钻孔装置）。由于诸多不便，卧式加工中心的准备时间比立式加工中心的准备时间更长。但加工数量越多，其多工位加工、主轴转速高、机床精度高的优势就表现得越明显，所以卧式加工中心适于批量加工，如图1-7（b）所示。

③ 立卧式加工中心（五面加工中心）立卧式加工中心是利用铣头的立卧转换机构实现从立式加工方式转换为卧式加工方式或从卧式加工方式转换为立式加工方式。立卧式加工中心兼有立式加工中心和卧式加工中心的特点，如图1-7（c）所示。

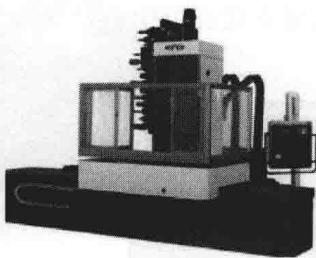
立式加工中心、卧式加工中心可带有交换工作台（APC），交换工作台有两个或多个。在有的制造系统中，工作台在各机床上都通用，通过自动运送装置，工作台带着装夹好的工件在车间内形成物流，因此，这种工作台也叫托盘。因为装卸工件不占机时，所以其自动化程度更高，效率也更高。

(2) 按换刀形式分类

① 带刀库、机械手的加工中心 加工中心的换刀装置（ATC）是由刀库和机械手组成的，



(a) 立式加工中心



(b) 卧式加工中心



(c) 立卧式加工中心

图 1-7 加工中心

用换刀机械手完成换刀工作。这是加工中心普遍采用的形式。

② 无机械手的加工中心 这种加工中心的换刀是通过刀库和主轴箱的配合动作来完成的。一般是把刀库放在主轴可以运动到的位置，或整个刀库或某一刀位能移动到主轴箱可以达到的位置。刀库中刀的存放位置方向与主轴装刀方向一致。换刀时，主轴运动到刀位上的换刀位置，由主轴直接取走或放回刀具。这种换刀方式多用于采用 40 号以下刀柄的小型加工中心。

③ 刀库转塔式加工中心 一般小型立式加工中心上采用转塔刀库形式，主要以孔加工为主。

1.1.2.2 加工中心特点

- ① 加工中心具有全封闭防护功能；
- ② 工序集中，加工连续进行；
- ③ 使用多把刀具，自动进行刀具交换；
- ④ 使用多个工作台，自动进行工作台交换；
- ⑤ 功能强大，趋向复合加工；
- ⑥ 高自动化、高精度、高效率、高投入；
- ⑦ 有利于生产管理。

1.1.2.3 加工中心主要加工对象

加工中心适于加工形状复杂、加工内容多、要求较高、需用多种类型的普通机床和众多的工艺装备，且经多次装夹和调整才能完成加工的零件。主要的加工对象有下列几种。

(1) 既有平面又有孔系的零件

加工中心具有自动换刀装置，在一次安装中，可以完成零件上平面的铣削，孔系的钻削、镗削、铰削、铣削及攻螺纹等多工步加工。加工的部位可以在一个平面上，也可以在不同的平面上。五面体加工中心一次安装可以完成除装夹面以外的五个面的加工。因此，既有平面又有孔系的零件是加工中心的首选加工对象，这类零件常见的有箱体类零件和盘、套、板类零件。

① 箱体类零件 箱体类零件一般是指具有多个孔系，内部有型腔或空腔，在长、宽、高方向有一定比例的零件（如图 1-8 所示）。这类零件在机床、汽车、飞机等行业用得较多，如汽车的发动机缸体、变速箱体、机床的床头箱、主轴箱、柴油机缸体以及齿轮泵壳体等。

箱体类零件一般都要进行孔系、轮廓、平面的多工位加工，精度要求较高，特别是形状精度和位置精度要求较严格，通常要经过铣、钻、扩、镗、铰、铤、攻螺纹等工步，需要刀具较多，在普通机床上加工难度大，工装套数多，需多次装夹找正，手工测量次数多，精度不易保证。在加工中心上一次安装可完成普通机床的 60%~95% 的工序内容，零件各项精度一致性好，质量稳定，生产周期短。

当加工工位较多、工作台需多次旋转角度才能完成的零件时，一般选用卧式加工中心。当加工的工位较少且跨度不大时，可选用立式加工中心，从一端进行加工。

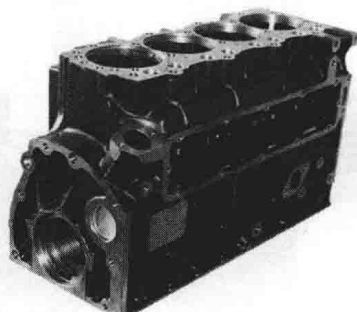
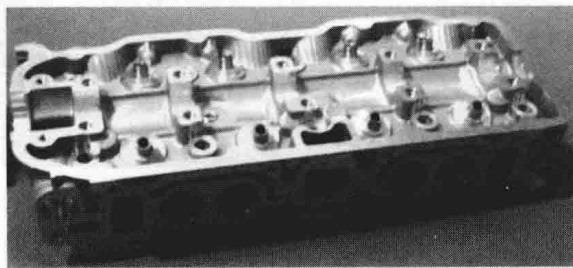


图 1-8 箱体类零件

② 盘、套、板类零件 这类零件端面上有平面、曲面和孔系，侧面也常分布一些径向孔，如图 1-9 所示。加工部位集中在单一端面上的盘、套、板类零件宜选择立式加工中心，加工部位不是位于同一方向表面上的零件宜选择卧式加工中心。

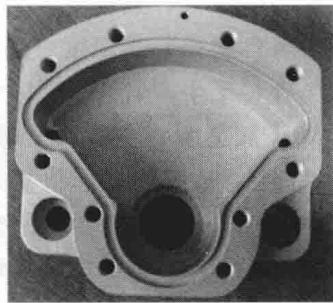
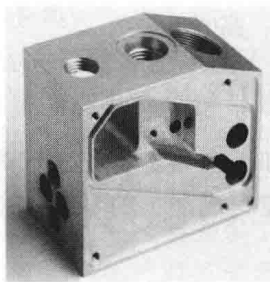
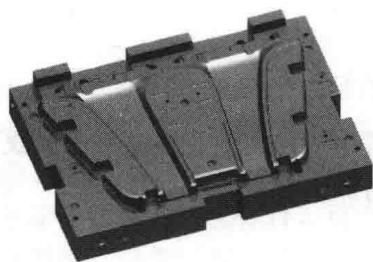
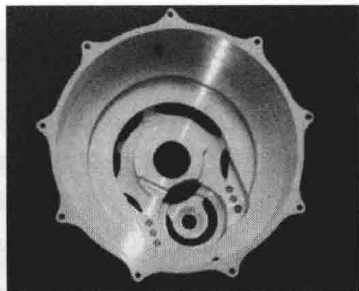
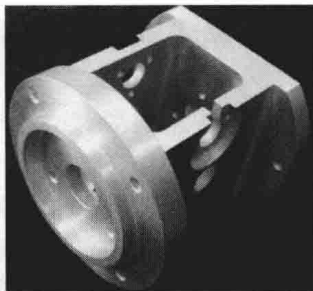


图 1-9 盘、套、板类零件

(2) 复杂曲面类零件

主要表面是由复杂曲线、曲面组成的零件，加工时常采用加工中心多坐标联动加工。常见的典型零件有以下几类。

① 凸轮类零件 这类零件有各种曲线的盘形凸轮（如图 1-10 所示）、圆柱凸轮、圆锥凸轮和端面凸轮等，加工时，可根据凸轮表面的复杂程度，选用三轴、四轴或五轴联动的加工中心。

② 整体叶轮类零件 整体叶轮常见于航空发动机的压气机、空气压缩机、船舶水下推进器等，它除具有一般曲面加工的特点外，还存在许多特殊的加工难点，如通道狭窄、刀具很容易与加工表面和邻近曲面产生干涉。图 1-11 所示的叶轮，它的叶面是一个典型的三维空间曲面，加工这样的型面可采用四轴以上联动的加工中心。

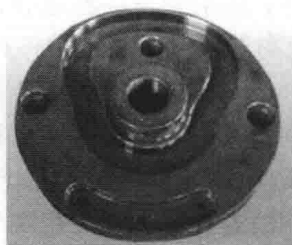


图 1-10 凸轮

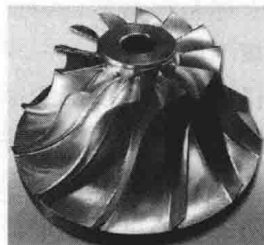
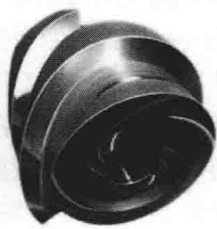


图 1-11 叶轮

③ 模具类零件 常见的模具有锻压模具、铸造模具、注塑模具及橡胶模具等。采用加工中心加工模具，由于工序高度集中，动模、静模等关键件的精加工基本上是在一次安装中完成全部机加工内容，尺寸累积误差及修配工作量小，模具的可复制性强，互换性好。图 1-12 所示为模具类零件。

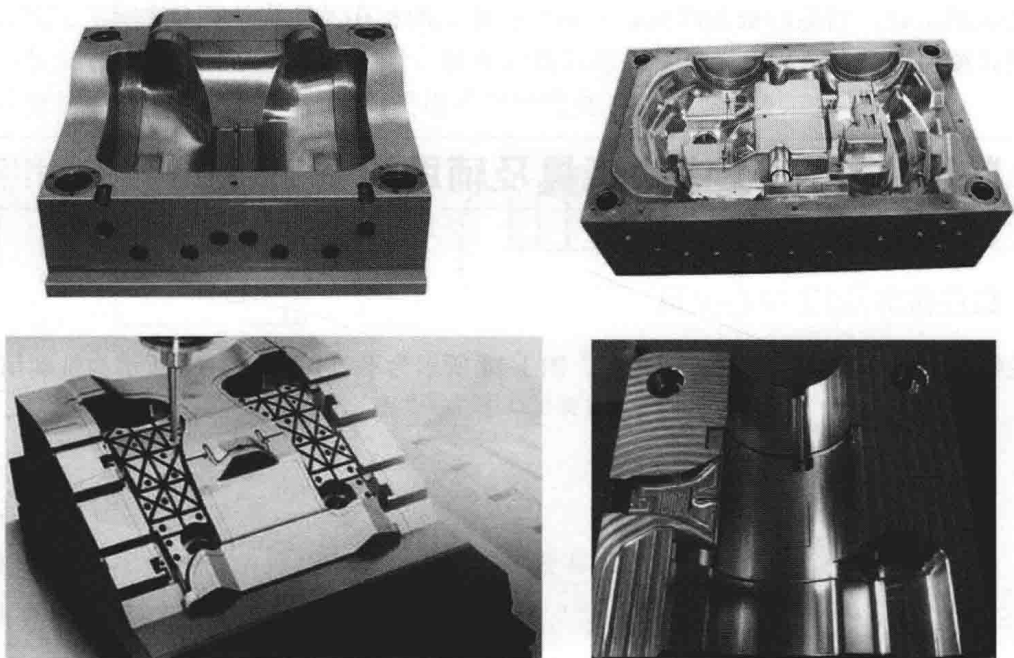


图 1-12 模具类零件

(3) 异形零件

异形零件（如图 1-13 所示）是外形不规则零件，如支架、拨叉这一类外形不规则的零件，大多要点、线、面多工位混合加工。由于外形不规则，其在普通机床上只能采取工序分散的原则加工，需用工装较多，周期较长。利用加工中心多工位点、线、面混合加工的特点，可以完成大部分甚至全部工序内容。

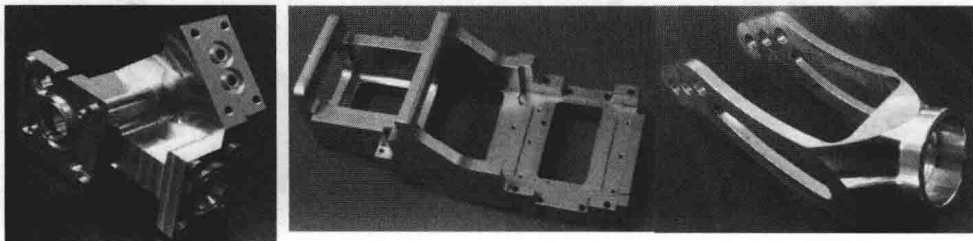


图 1-13 异形零件

上述是根据零件特征选择的适合加工中心加工的几种零件,此外,还有以下一些适合加工中心加工的零件。

(1) 周期性投产的零件

用加工中心加工零件时,所需工时主要包括基本时间和准备时间,其中,准备时间占很大比例。例如工艺准备、程序编制、零件首件试切等,这些时间往往是单件基本时间的几十倍。采用加工中心可以将这些准备时间的内容储存起来,供以后反复使用。这样,周期性投产的零件的生产周期就可以大大缩短。

(2) 加工精度要求较高的中小批量零件

针对加工中心加工精度高、尺寸稳定的特点,对加工精度要求较高的中小批量零件,选择加工中心进行加工,容易获得所要求的尺寸精度和形状位置精度,并可得到很好的互换性。

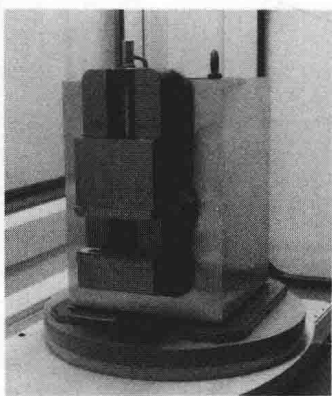
(3) 新产品试制中的零件

在新产品定型之前,需经反复试验和改进。选择加工中心试制,可省去许多用通用机床加工所需的试制工装。当零件被修改时,只需修改相应的程序及适当地调整夹具、刀具即可,节省了费用,缩短了试制周期。

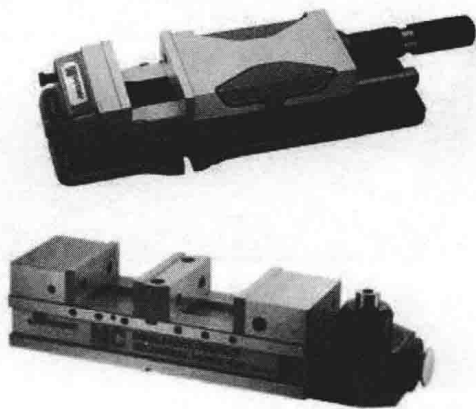
1.2 数控铣床/加工中心工具及辅助设备

1.2.1 数控铣床/加工中心夹具

数控铣床常用夹具是平口钳、卡盘等。图 1-14 所示为平口钳;图 1-15 所示为铣削用卡盘。

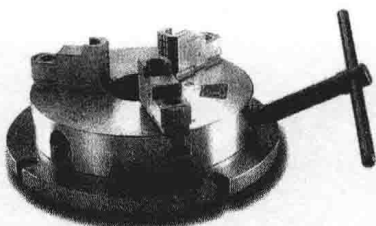


(a) 平口虎钳

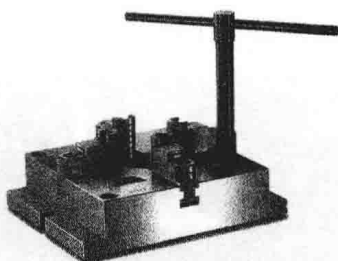


(b) 液压虎钳

图 1-14 平口钳



(a) 铣削用三爪卡盘



(b) 铣削用四爪卡盘

图 1-15 铣削用卡盘

平口钳可固定在工作台上，利用百分表校正钳口，使钳口与纵向或横向工作台进给方向平行，以保证铣削的加工精度，如图 1-16 所示。使用时把工件装夹在平口钳上，这种方式装夹方便，应用广泛，适于装夹形状规则的小型工件。

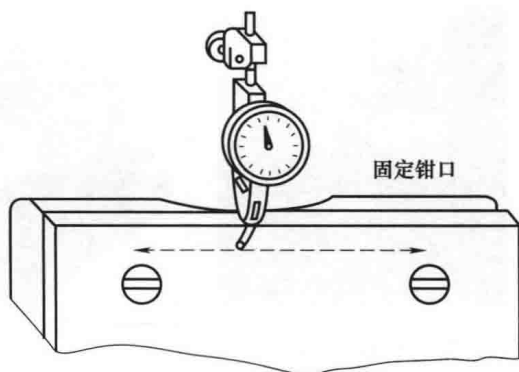


图 1-16 平口钳的校正

数控铣床上加工的零件多数为半成品，利用平口钳装夹的工件尺寸一般不超过钳口的宽度，所加工的部位不得与钳口发生干涉。平口钳安装好后，把工件放入钳口内，并在工件的下面垫上比工件窄、厚度适当且要求较高的等高垫块，然后把工件夹紧。为了使工件紧密地靠在垫块上，应用铜锤木锤轻轻地敲击工件，直到用手不能轻易推动等高垫块时，再将工件夹紧在平口钳内。工件应当紧固在钳口比较中间的位置，装夹高度以铣削部位高出钳口平面 3~5mm 为宜。用平口钳装夹表面粗糙度较大的工件时，应在两钳口与工件表面之间垫一层铜皮，以免损坏钳口，并能增加接触面。图 1-17 所示为使用平口钳装夹工件。

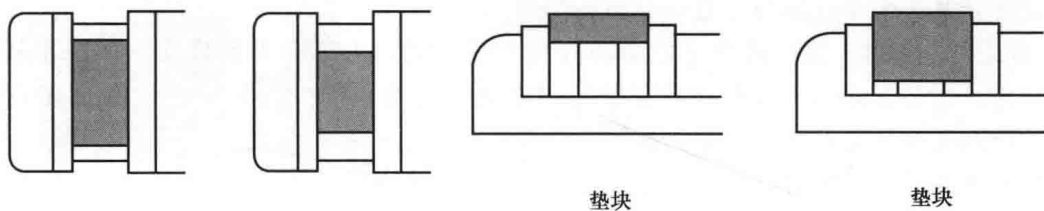


图 1-17 平口钳装夹工件

1.2.2 数控回转工作台和数控分度工作台

数控铣床的工作台有多种形式，最常用的主要有矩形工作台、回转工作台两种。

(1) 矩形工作台

矩形工作台用于直线坐标进给。

(2) 数控回转工作台和数控分度工作台

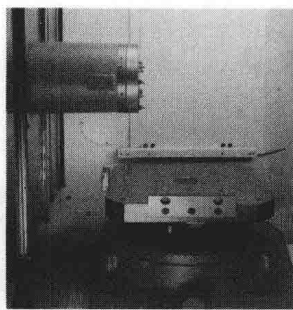
这两种工作台用于回转坐标进给。

① 数控回转工作台 它同直线进给工作台一样，是在数控系统的控制下，完成工作台的圆周进给运动，并能同其他坐标轴实现联动，以完成复杂零件的加工，还可以做任意角度转位和分度。数控回转工作台适用于数控铣床和加工中心，使机床增加一个或两个回转坐标，从而使三坐标机床实现四轴、五轴加工功能。图 1-18 所示为方形回转工作台、圆形回转工作台和万能倾斜式回转工作台三种数控回转工作台的典型结构。

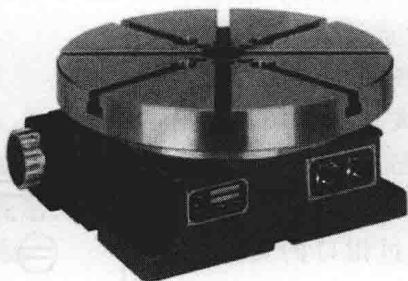
② 数控分度工作台 数控分度工作台与数控回转工作台不同，它只能完成分度运动。由于结构上的原因，分度工作台的分度运动只限于某些规定角度，如在 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 范围内每 5° 分一次或每 1° 分一次。

1.2.3 常用工具

对刀的目的是通过刀具或对刀工具确定工件坐标系与机床坐标系之间的空间位置关系，并将对刀数据输入到相应的存储位置，是数控加工中最重要的操作内容，其准确性将直接影响零



(a) 方形回转工作台



(b) 圆形回转工作台



(c) 万能倾斜式回转工作台

图 1-18 数控回转工作台

件的加工精度。对刀根据现有条件和加工精度要求选择对刀方法，可采用试切法、寻边器对刀、对刀仪对刀、自动对刀等。其中试切法对刀精度较低，加工中常用寻边器和 Z 轴设定器对刀，效率高，能保证对刀精度。

常用的对刀工具有寻边器、Z 轴设定器、对刀仪等。

(1) 寻边器

寻边器有偏心式寻边器和光电式寻边器两种。

① 偏心式寻边器。偏心式寻边器由两段圆柱销组成，内部靠弹簧连接，如图 1-19 所示。使用时，其一端与主轴同心装夹，并以较低的转速（大约 $600\text{r}/\text{min}$ ）旋转。由于离心力的作用，另一端的销子首先做偏心运动。在销子接触工件的过程中，会出现短时间的同心运动，这时记下系统显示器显示数据（机床坐标），结合考虑接触处销子的实际半径，即可确定工件接触面的位置。

② 光电式寻边器。光电式寻边器如图 1-20 所示。光电式寻边器一般由柄部和触头组成，光电式寻边器需要内置电池，当其找正球接触工件时，发光二极管亮，其重复找正精度在 $2\mu\text{m}$ 以内。

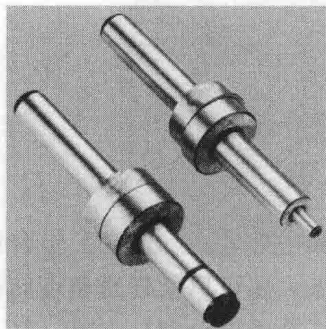


图 1-19 偏心式寻边器



图 1-20 光电式寻边器

(2) Z 轴设定器

Z 轴设定器用以确定主轴方向的坐标数据。其形式多样，有机械式对刀器、电子式对刀器等，如图 1-21 所示。对刀时将刀具的端刃与工件表面或 Z 轴设定器的侧头接触，利用机床坐标的显示来确定对刀值。当使用 Z 轴设定器对刀时，要将 Z 轴设定器的高度考虑进去。图 1-22 所示为 Z 轴设定器与刀具和工件的关系。

(3) 对刀仪

对刀仪如图 1-23 所示。使用对刀仪，可测量刀具的半径和长度，并进行记录，然后将刀具的测量数据输入机床的刀具补偿表中，供加工中进行刀具补偿时调用。