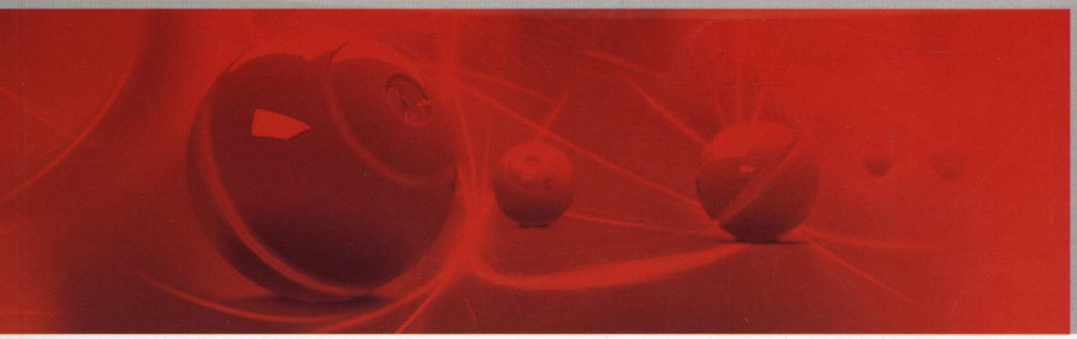
数控铣床操作图解

陈为国 陈为民 编著





机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

数控铣床操作图解

陈为国　陈为民　编著

机 械 工 业 出 版 社

本书以 FANUC 0i MC 数控铣削系统为对象，以数控铣床操作为目标，以图解形式为表现手法，兼顾了数控程序的手工编制与自动编制和数控加工工艺及刀具选择的相关知识。内容包括数控铣削程序编制基础、数控铣削加工工艺与刀具、数控加工的基本操作、数控铣削的自动编程以及数控铣削操作示例分析与实训指导等。

书中的操作画面与实际的数控系统画面完全接轨，读者按照书中的操作图解提示，结合数控铣床及其数控系统，可一步一步地进行练习，快速掌握数控铣床的操作。对于有一定基础的读者，可直接学习第 4 章和第 5 章的内容，迅速提高自己的数控铣削编程与操作水平。

本书适合于各类企业培训数控铣削操作与编程技术人员使用，也可作为数控技术人员进行数控编程与操作的参考工具书，并可作为本科、高等职业技术院校相关专业师生进行数控编程与操作实训的参考书。

图书在版编目（CIP）数据

数控铣床操作图解/陈为国，陈为民编著. —北京：机械工业出版社，2013.6

ISBN 978-7-111-42036-1

Ⅰ.①数… Ⅱ.①陈…②陈… Ⅲ.①数控机床－铣床－操作－图解 Ⅳ.①TG547－64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 066629 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：曾 红 责任编辑：曾 红
版式设计：霍永明 责任校对：刘志文
封面设计：陈 沛 责任印制：张 楠
北京宝昌彩色印刷有限公司印刷
2013 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
184mm×260mm · 18.5 印张 · 466 千字
0001— 4000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-42036-1
定价：48.00 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
社 服 务 中 心：(010)88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销 售 一 部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销 售 二 部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

前　言

FANUC（发那科）数控系统是目前国内应用广泛的数控系统之一。FANUC 0i 系列数控系统作为新一代的数控系统，正在实际生产中被广泛采用。该系统具有性价比高，人机界面较好，控制功能丰富，应用面广等特点。

数控加工技术较传统加工技术而言，其技术性要求较高。数控机床的操作离不开数控程序的编制。同样，数控程序的编制也必须要有数控机床操作的知识。因此，从事数控加工的操作人员以及数控编程的技术人员都必须明白这一点，学习时两者不可偏废。

在阅读本书之前，读者可先了解一下本书的编写思路。首先，要想学好数控铣削加工技术，必须要有必要的数控铣床与数控编程指令的基本知识，这是第 1 章的内容。而进行数控铣削加工离不开基本的加工工艺与刀具等知识，这是第 2 章编排的目的。第 3 章介绍的数控铣床操作的知识，采取图解形式的表现手法，突破了当前大部分同类书以文字叙述的方式，所有数控系统操作的画面与数控铣床的数控系统完全一致，当你接触数控铣床时，你会觉得是多么的亲切和熟悉，所有这些画面似曾相识，仔细阅读你又会发现其实战性是很强的。当你手捧此书站在数控铣床旁学习和操作时，你会觉得似乎有一位老师在你身旁手把手地教你一步一步地学习。学完这一章后，你会感到自己的数控铣床操作水平已经提高了一个层次。这时，你必然会产生一种全面提升自己数控加工技术水平的想法，第 4 章的自动编程和第 5 章的典型操作示例正是为你的这种想法而设计的。学习数控加工技术到一定水平的人都知道，手工编程是学习数控加工的基础，必须掌握；自动编程是数控加工实际应用的主要手段，学好自动编程是解决设计问题的可靠保证。典型操作示例的安排可作为全面检查自己掌握数控技术水平的试金石，也是全面深刻理解数控铣削加工的具体体现。当然，第 5 章数控铣削典型操作示例的内容，作为培训数控铣削加工的教学资料也是完整和实用的。写到这里我想说的是，拿到本书的读者，你可以根据自己的数控技术水平迅速地知道自己该阅读哪些内容。

作者曾于 2012 年 1 月在机械工业出版社出版过一本与本书堪称姐妹篇的《数控车床操作图解》，读者若想在数控车床方面也有所掌握的话，可阅读该书。掌握了数控车床与数控铣床的操作，其他的数控机床操作就可以融会贯通、迅速入门并掌握了。

本书在编写过程中得到了南昌航空大学科技处、教务处和航空制造工程学院等职能部门领导的关心和支持，得到了航空制造工程学院数控技术实验室和工程训练中心数控教学部等部门相关老师的指导和帮助，在此表示衷心的感谢！

感谢书后所列参考文献中作者资料的帮助，以及未能囊括进入参考文献的参考资料的作者。他们的资料为本书的编写提供了极大的帮助。

本书文稿表述虽经反复推敲与校对，但因时间仓促，加上编者水平所限，书中难免存在不足和疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

作者电子邮箱：wgchen0113@126.com

作　者

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

前言

第 1 章　数控铣床基础知识 …… 1

1.1　数控铣床的分类、结构、组成及工作原理 …… 1

1.1.1　数控铣床的分类 …… 1

1.1.2　数控铣床的结构与组成 …… 3

1.1.3　数控机床的工作原理 …… 4

1.2　数控铣削刀具工作部分结构分析 …… 5

1.2.1　铣削加工的基本概念 …… 5

1.2.2　典型铣刀几何角度分析 …… 7

1.2.3　数控铣床加工典型刀具工作部分分析 …… 8

1.3　数控铣床的坐标轴与坐标系 …… 10

1.3.1　标准坐标系 …… 11

1.3.2　坐标轴及方向 …… 11

1.3.3　机床坐标系与机床参考点 …… 12

1.3.4　工件坐标系 …… 13

1.4　FANUC 0i MC 数控系统指令表 …… 13

1.4.1　FANUC 0i MC 数控系统的 G 指令 …… 13

1.4.2　M 指令 …… 15

1.4.3　T 指令 …… 16

1.4.4　S 指令 …… 16

1.5　数控铣削加工程序的结构图解与构成分析 …… 17

1.5.1　数控铣削加工程序的格式分析 …… 17

1.5.2　数控铣削程序段的一般格式 …… 18

1.6　数控铣削基本编程指令图解与分析 …… 18

1.6.1　参考点指令 …… 18

1.6.2　坐标系指令 …… 20

1.6.3　坐标平面选择指令（G17/G18/G19） …… 21

1.6.4　坐标值与尺寸 …… 22

1.6.5　插补功能指令 …… 22

1.6.6　移动速度及其控制 …… 26

1.6.7　主轴速度功能指令 …… 27

1.6.8　刀具半径补偿 …… 27

1.6.9　刀具长度补偿 …… 30

1.6.10　子程序及子程序调用指令（M98/M99） …… 32

1.6.11　跳过任选程序段 …… 34

1.7　孔加工固定循环指令及其应用 …… 34

1.7.1　孔加工固定循环问题的引出 …… 34

1.7.2　孔加工循环指令详述 …… 38

第 2 章　数控铣削的加工工艺 …… 42

2.1　加工顺序的分析与确定 …… 42

2.1.1　数控铣削的加工地位及特点 …… 42

2.1.2　加工方案的分析与确定 …… 42

2.1.3　工序划分的原则与方法 …… 44

2.1.4　工序划分的注意事项 …… 44

2.2　加工路线的分析与确定 …… 44

2.2.1　几个特殊的点、线和面 …… 44

2.2.2　加工路径的划分原则 …… 46

2.2.3　典型加工路径分析 …… 46

2.3　工件的装夹方式分析与确定 …… 54

2.3.1　装夹方式分析 …… 54

2.3.2　工艺基准与装夹方案的选择与表达 …… 56

2.4　数控铣削刀具的结构分析与选择 …… 58

2.4.1　铣床刀具的结构型式 …… 58

2.4.2　机夹可转位铣刀刀片的夹固方式与应用 …… 59

2.4.3　可转位刀片型号表示规则 …… 62

2.5　数控铣削刀具的装夹——刀柄与刀具夹持 …… 63

2.5.1　刀柄——7:24 锥度部分的常见形式 …… 64

2.5.2　刀柄——刀具夹持部分的常见

形式 …… 65
2.5.3 数控铣床刀具工具系统 …… 66
2.6 数控铣削切削用量的选择 …… 67
第 3 章 数控铣床的基本操作 …… 70
3.1 机床数控系统操作面板的组成 …… 70
3.2 XKA714 型数控铣床操作面板介绍 … 75
3.3 数控铣床的基本操作 …… 81
3.3.1 开机与关机 …… 81
3.3.2 手动返回机床参考点 …… 82
3.3.3 手动进给与手轮操作 …… 83
3.3.4 机床的急停与超程处理 …… 87
3.3.5 数控铣床主轴的手动启动与主轴速度调整 …… 89
3.4 数控铣床的自动方式 …… 90
3.4.1 存储器运行 …… 90
3.4.2 MDI 运行 …… 93
3.4.3 DNC 运行 …… 94
3.4.4 存储卡（CF 卡）DNC 运行 …… 94
3.5 程序的试运行检查 …… 96
3.5.1 机床锁住试运行 …… 96
3.5.2 机床空运行 …… 97
3.5.3 程序单段运行 …… 98
3.5.4 自动方式下工作轴移动速度与主轴速度调整 …… 99
3.5.5 程序的跳选与选择停 …… 100
3.6 数控程序的输入与输出 …… 101
3.6.1 数控程序的输入与输出方法 … 101
3.6.2 数控程序的检索、建立与删除 …… 102
3.6.3 数控程序的输入 …… 107
3.6.4 数控程序的编辑 …… 108
3.6.5 数控程序的编辑功能扩展 …… 116
3.6.6 程序的后台编辑 …… 128
3.6.7 RS232 通信传输程序输入 …… 130
3.6.8 存储卡程序传输输入 …… 132
3.7 功能键POS显示的画面 …… 134
3.7.1 绝对、相对、机床坐标系的概念 …… 135
3.7.2 绝对坐标系位置显示 …… 136
3.7.3 相对坐标系位置显示 …… 137
3.7.4 综合坐标显示 …… 140
3.7.5 功能键POS显示画面的其他功能 …… 141
3.8 功能键PROG显示的画面 …… 142
3.8.1 程序内容显示画面 …… 142
3.8.2 程序检查画面 …… 143
3.8.3 当前程序段显示画面 …… 145
3.8.4 下一步程序段显示画面 …… 145
3.8.5 MDI 操作的程序画面 …… 145
3.9 编辑方式下按功能键PROG显示的画面 …… 146
3.9.1 显示使用的内存和程序清单 … 146
3.9.2 显示指定组的程序清单 …… 148
3.10 功能键OFS/SET显示的画面 …… 149
3.10.1 刀具偏置值的显示与设定 …… 149
3.10.2 工件坐标系的显示与设定 …… 153
3.10.3 显示和输入设定数据 …… 158
3.10.4 顺序号的比较和停止 …… 162
3.11 功能键SYSTEM显示的画面 …… 163
3.11.1 系统参数的显示与设定 …… 163
3.11.2 显示和设定螺距误差补偿数据 …… 167
3.12 功能键MESSAGE显示的画面 …… 168
3.12.1 外部操作信息履历显示 …… 168
3.12.2 报警信息的显示 …… 169
3.12.3 报警履历的显示 …… 171
3.13 功能键CSTM/GR及图形显示功能 …… 172
3.13.1 图形显示参数 …… 172
3.13.2 图形显示的操作步骤 …… 174
3.14 帮助键HELP及其显示画面 …… 175
3.14.1 概述及帮助功能组织结构 …… 175
3.14.2 报警详细信息的查询 …… 175
3.14.3 操作方法的查询 …… 177
3.14.4 参数表查询 …… 180
3.15 清屏功能 …… 180
第 4 章 计算机辅助编程（CAM）基础 …… 182
4.1 Master CAM 功能简介 …… 182
4.1.1 Master CAM X6 软件基本构成与

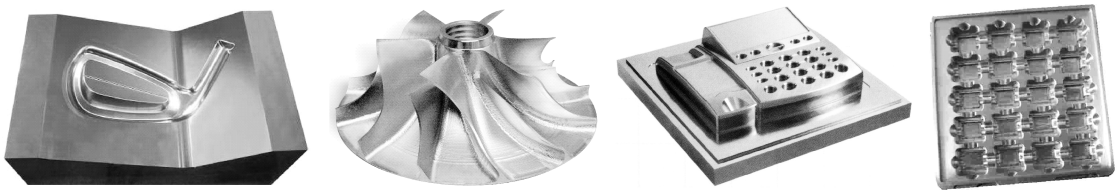
操作界面 …… 182
4.1.2 几何造型功能 …… 183
4.2 Master CAM 数控铣削编程 …… 190
4.2.1 编程的一般流程 …… 190
4.2.2 基本参数的设置与操作 …… 191
4.2.3 编程举例 …… 194
4.3 Master CAM 数控铣削的二维加工编程 …… 201
4.4 Master CAM 数控铣削的三维加工编程 …… 204
4.4.1 三维数控铣削加工编程示例 … 204
4.4.2 三维数控铣削加工编程讨论 … 209
第 5 章 数控铣床的典型操作示例分析 …… 221
5.1 数控铣削加工工件坐标系的设定 …… 221
5.1.1 工件坐标系设定方法回顾 …… 221
5.1.2 工件坐标系设定示例 …… 223
5.1.3 数控铣床的基本操作与工件坐标系设定综合实训 …… 230
5.2 刀具半径补偿与长度偏置的设定 …… 233
5.2.1 刀具半径补偿与长度偏置知识回顾 …… 233
5.2.2 刀具半径补偿应用示例与分析 …… 234
5.2.3 刀具长度偏置应用示例与分析 …… 237
5.2.4 刀具半径补偿和长度偏置使用时的注意事项 …… 240
5.2.5 刀具半径补偿与长度偏置加工实训 …… 244
5.3 固定循环指令与子程序调用 …… 254
5.3.1 固定循环指令的程序示例 …… 254
5.3.2 主、子程序即子程序调用示例 …… 258
5.3.3 固定循环与子程序调用实训 … 260
5.4 数控铣床的程序传输与 DNC 加工 … 262
5.4.1 程序传输与 DNC 知识回顾 …… 262
5.4.2 Master CAM 软件自动编程示例与分析 …… 266
5.4.3 程序传输与 DNC 加工实训 …… 282
参考文献 …… 286

第 1 章　数控铣床基础知识

数控机床是指采用数控技术进行控制的机床。NC 和 CNC 分别是英文 Numerical Control 和 Computer Numerical Control 的缩写，分别可直译为数控和计算机数控，延伸可以理解为数控技术和计算机数控技术。前者一般指早期以硬件逻辑电路构成数控系统时代的数控技术，后者则多指现代以软件程序替代硬件逻辑电路构成的数控系统的数控技术。如果粗略地理解，NC 和 CNC 均可表达数控的含义。延伸的有数控铣床（CNC Milling Machines）、立式数控铣床（CNC Vertical Milling Machines）和卧式数控铣床（CNC Horizontal Milling Machines）。

1.1　数控铣床的分类、结构、组成及工作原理

数控铣削加工是数控加工中最为常见的加工方法之一，广泛应用于航空航天、机械制造、模具加工等领域，不仅可完成平面铣削、二维轮廓铣削、曲线曲面铣削加工等，还可以进行钻、扩、铰、镗、锪及攻螺纹等孔特征加工，常用于普通铣床加工困难或无法加工零件的加工。数控铣削加工设备主要有数控铣床与加工中心。图 1-1 所示为数控铣削加工示例。



a)　b)　c)　d)

图 1-1　数控铣削加工示例

a）曲线铣削　b）复杂叶轮　c）电极　d）模具型腔

1.1.1　数控铣床的分类

数控铣床种类繁多，规格不一。其分类方法主要有以下几种。

1. 按铣床主轴布置形式及布局特点不同分类

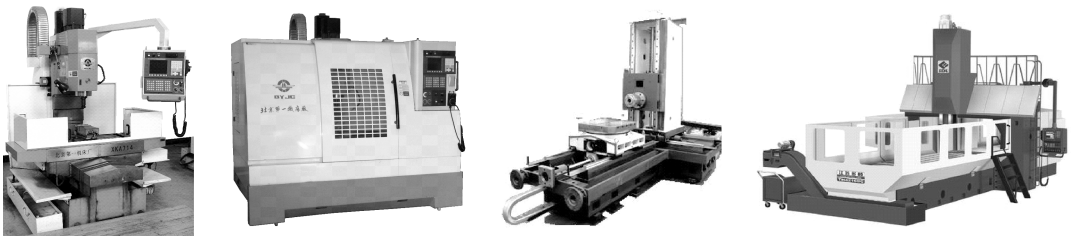
数控铣床可分为立式、卧式和龙门式，如图 1-2 所示。大部分的数控铣床一般设置有防护罩，如图 1-2b、d 所示。

2. 按数控铣床的功能不同分类

数控铣床可分为经济型、全功能型、高速型和雕刻型。近年来，经济型数控铣床已逐渐退出市场。

全功能型数控铣床的数控系统一般采用专业化厂家生产的功能丰富的数控系统，控制部分常采用半闭环或闭环控制，是实际生产中应用广泛的数控机床之一，其加工范围广，加工适应性强。这种数控机床还可配备数控回转工作台，使三轴数控铣床扩展至四轴功能。

高速铣削是数控加工的发展方向之一，其技术已基本成熟，并逐渐在生产中得到应用。



a)　　b)　　c)　　d)

图 1-2　数控铣床

a）无防护罩立式数控铣床　b）带防护罩立式数控铣床　c）卧式数控镗铣床　d）龙门式数控铣床



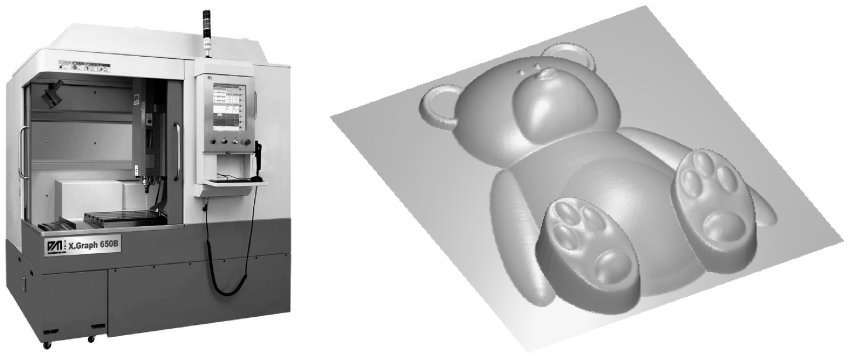
a)　　b)

图 1-3　高速五轴加工中心

a）全貌图　b）加工状况及局部放大图

这种数控铣床采用全新的机床结构、功能部件和功能强大的数控系统，并配以先进的刀具系统和刀具，主轴转速一般为 8000 ~ 40000r/min，进给速度可达 10 ~ 30m/min，可对复杂曲面进行高效、高质量的加工，其主要问题是机床的价格和维护保养费用高，使其应用受到一定限制。高速铣削数控铣床的设计方案常以加工中心的形式出现，且工作轴数多达五轴联动。图 1-3 所示是一种高速五轴加工中心。

雕刻型数控铣床又称雕铣机，如图 1-4 所示，是专为雕刻加工而设计的一种数控铣床，一般为三轴联动型控制方案，常用于加工浮雕、花纹、图案等艺术类制品。由于雕刻加工刀尖直径很小（小至 ϕ0.1mm），且一般采用小切深、快走刀的加工方式，其加工功率消耗并



a)　　b)

图 1-4　雕铣机及其制品

a）雕铣机　b）雕铣制品

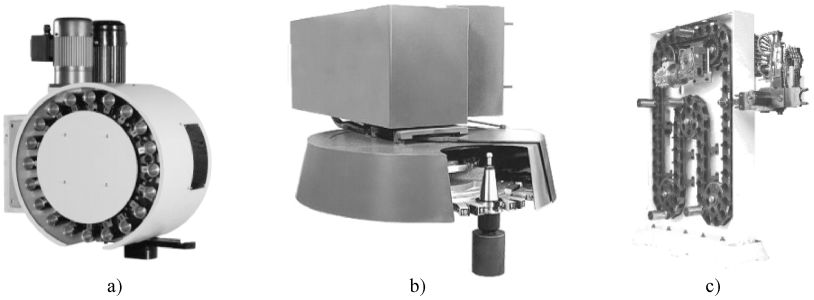
需要全本请访问 www.ertongbook.com

不大，故常常采用高速电主轴，最高主轴转速达24000r/min，最大适用的刀具直径一般不超过 ϕ12mm。雕铣机具有高速数控铣床的主轴转速高、进给速度快的特点，但其主轴功率、加工精度和装夹的刀具都不如高速数控铣床，主要优势是价格实惠。

3. 数控铣床与加工中心的关系

数控加工中心简称加工中心，是在数控铣床的基础上发展而来的一种新型、高效数控机床，其在普通数控铣床的基础上增加了刀库和自动换刀装置。加工中心在孔加工方面（钻、扩、铰、镗、锪及攻螺纹加工等）的功能得到了进一步提高。

加工中心的刀库主要有圆盘式、斗笠式和链式等形式，如图 1-5 所示。加工中心的换刀方式有机械手换刀与主轴换刀两种，其中机械手换刀应用广泛，圆盘式和链式刀库一般采用机械手换刀。

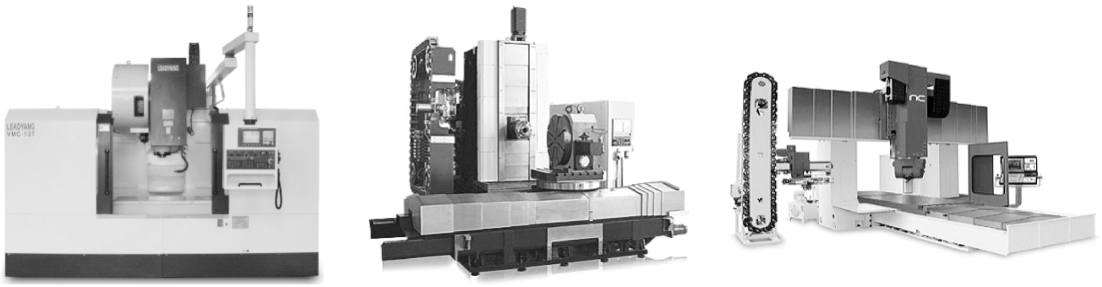


a)　　b)　　c)

图 1-5　刀库的形式

a）圆盘式刀库　b）斗笠式刀库　c）链式刀库

与数控铣床类似，加工中心同样具有立式、卧式、龙门式结构，如图 1-6 所示。



a)　　b)　　c)

图 1-6　数控加工中心

a）圆盘式刀库立式加工中心　b）链式刀库卧式加工中心　c）链式刀库龙门式加工中心

1.1.2　数控铣床的结构与组成

数控铣床与普通铣床相比，在结构上仍然是由主轴箱、刀架、进给传动系统、床身、冷却系统、润滑系统和液压系统等组成，但增加了数控系统。图 1-7 所示为 FANUC 0i 系列数控系统结构框图。

FANUC 0i 系列数控系统主控单元中内置了 PMC（可编程机床控制器），主要用于机床上开关量的控制。数控程序的输入方法有三种：手工输入、CF 卡输入和数据线传输输入。主轴驱动有伺服驱动与变频器驱动两种。进给轴的反馈有半闭环与闭环两种。反馈检测的旋转编码器有绝对位置检测与相对位置检测两种，后者机床开机后必须执行返回坐标参考点操作。

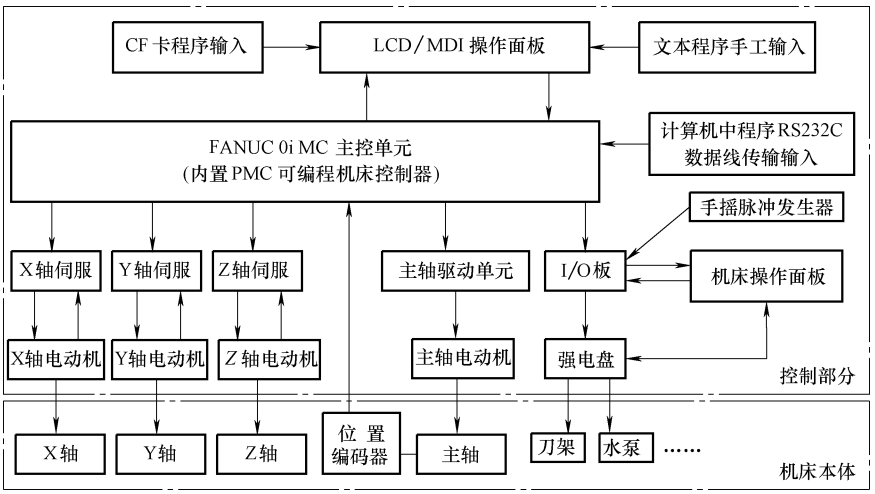


图 1-7　FANUC 0i 系列数控系统结构框图

1.1.3　数控机床的工作原理

数控机床通过对数控程序的读入与处理来驱动主轴旋转、进给轴移动以及切削液的开、关等动作，对零件进行预定的加工。数控机床加工的工作流程如图 1-8 所示。

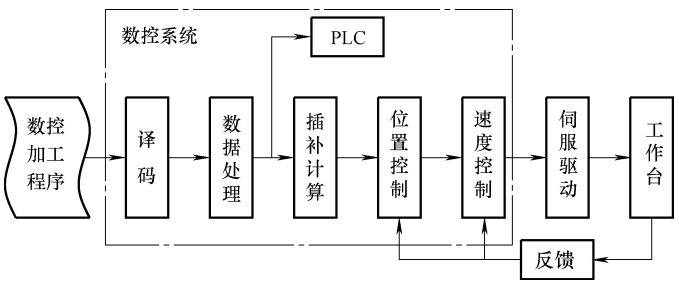


图 1-8　数控机床加工的工作流程

（1）加工程序等输入　可通过键盘输入、通信传输和在线加工等方式输入机床的数控系统中。

（2）译码　数控系统通过译码程序来识别输入的内容，将加工程序翻译成计算机内部能够识别的信息。

（3）数据处理　包括刀补处理、速度预处理、控制机床顺序逻辑动作的开关量信号等。

（4）PLC 控制　FANUC 0i 系统中称之为 PMC（可编程机床控制器），用于接收经数据处理后控制机床顺序逻辑动作的开关量信号，并用于控制各种辅助功能（M 功能）、主轴速度（S 功能）、选刀功能（T 功能）等。

（5）插补计算　依据插补原理，以给定的刀具轨迹类型（如直线、圆弧）及其特征参数（如直线的起点和终点，圆弧的起点、终点及半径），在起点和终点之间进行数据点的密化处理，并给相应坐标轴的伺服系统进行脉冲分配。

（6）位置控制　用位置控制处理程序来计算理论指令坐标位置与工作台实际坐标位置的偏差，通过偏差信号来对伺服驱动系统进行控制。

（7）速度控制　同位置控制，通过速度控制来控制工作台实际的移动速度。

（8）伺服驱动　由伺服驱动电动机和伺服驱动装置组成，对数控系统输出的位置和控制信号进行放大处理，并驱动工作台运动，它是数控机床的执行部分。

（9）反馈装置　这是闭环或半闭环控制所必需的一部分装置，对工作台的位置误差和移动速度误差进行修正，实现高精度的控制。

1.2　数控铣削刀具工作部分结构分析

铣刀一般分为工作部分与夹持部分，工作部分是指参与切削的部分，该部分一般具有切削刃及其支撑部分，而夹持部分一般指的是铣刀与机床相连接的刀柄部分。铣刀一般是多刃刀具，按刀齿结构可分为尖齿与铲齿铣刀两类。数控铣刀一般采用尖齿铣刀，包括面铣刀、立铣刀、键槽铣刀、模具铣刀等。

1.2.1　铣削加工的基本概念

1. 铣削运动与铣削用量要素

（1）主运动与进给运动　铣削加工的主运动为消耗功率最大的刀具旋转运动。进给运动为保证连续去除材料的运动，可以通过刀具移动或工件移动来实现。

（2）铣削速度 v_c（m/min）　指铣刀旋转时切削刃上某点的线速度，一般指直径最大点处的线速度，其计算式如下：

$$v_c = \frac{\pi dn}{1000}$$

式中，d——铣刀外径（mm）；

n——铣刀转速（r/min）。

（3）进给量　铣削加工进给量有三种表示方法，即每齿进给量 f_z（mm/z）、每转进给量 f（mm/r）、进给速度 v_f（mm/min），分别表示刀具每转过一个齿、转过一圈、转过一分钟后铣刀与工件在进给运动方向移过的距离。数控铣削加工进给量常用进给速度 v_f（mm/min）表示：

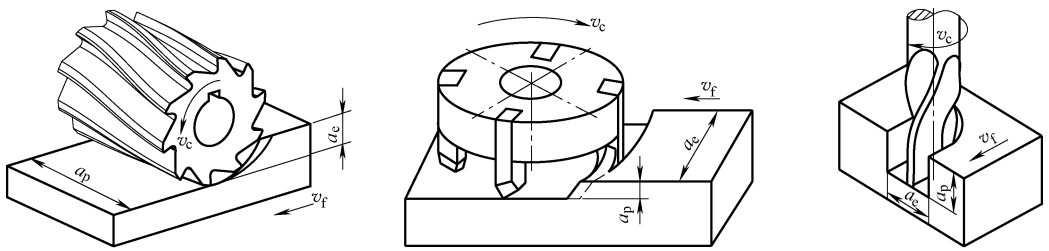
$$v_f = nf = nzf_z$$

式中，z——铣刀齿数。

（4）背吃刀量 a_p　平行于铣刀轴线度量的切削层尺寸（mm）。

（5）铣削宽度 a_e　垂直于铣刀轴线和进给运动方向度量的切削层尺寸（mm）。

以上运动与参数的图形表述如图 1-9 所示。



a)　　b)　　c)

图 1-9　铣削运动与铣削用量参数

a）圆周铣　b）端铣（又称面铣）　c）立铣

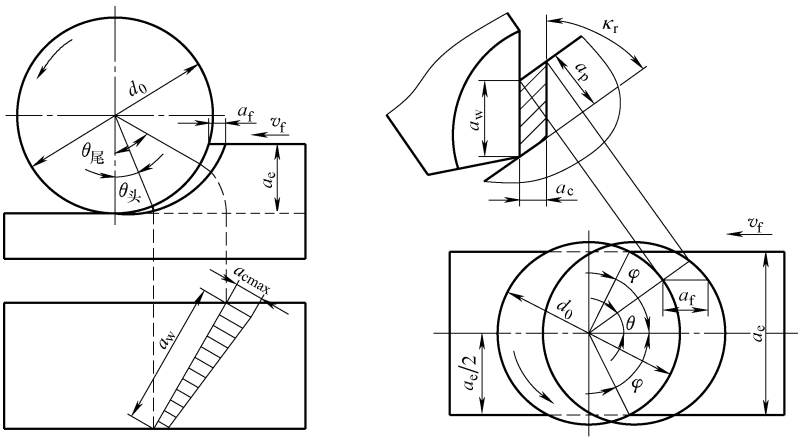
2. 铣削加工切削层参数

（1）切削宽度 a_w　指铣刀主切削刃参加切削的长度（mm）。

（2）切削厚度 a_c　指铣刀相邻两齿主切削刃运动轨迹（即切削表面）间的垂直距离（mm）。

（3）切削面积 A_c　指铣刀每齿的切削面积（mm^2）。其值等于切削宽度与切削厚度的乘积。

图 1-10 为切削宽度与切削厚度等的图解表示。注意：铣削过程中切削宽度与切削厚度均是变化的，所以切削面积是变化的。



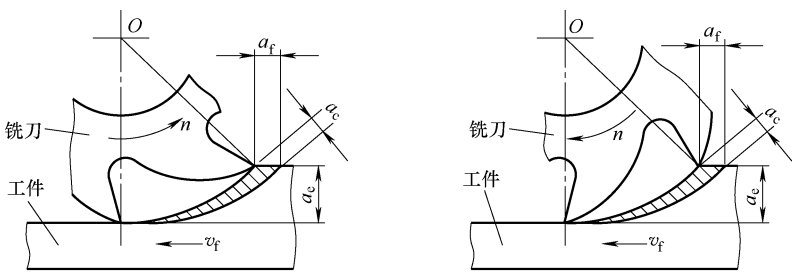
a)　　b)

图 1-10　切削层参数

a）圆周铣　b）端铣

3. 铣削方式

（1）逆铣与顺铣　圆周铣削时，铣削的旋转方向与工件的进给方向相反时，称为逆铣，相同时称为顺铣，如图 1-11 所示。



a)　　b)

图 1-11　顺铣与逆铣

a）逆铣　b）顺铣

逆铣时，切削厚度逐渐增加，由于刀齿刃口存在钝圆半径 r_n，刀齿切入的过程实质上是挤压、滑擦，然后再切入，造成表面加工硬化严重、表面粗糙，周期性振动加大，刀具磨损剧烈。

顺铣时，刀齿从最大的切削厚度开始，避免了粗铣时的挤压、滑擦，改善了加工表面质量，同时，刀齿对工件产生有压紧方向的分力，有助于减小工件的上下振动。但顺铣时水平方向的分力与进给方向相同，若丝杠存在间隙，则可能出现工件窜动，表面质量下降，甚至引起打刀现象。另外，若工件表面存在硬皮等对刀具也是不利的。

一般情况下，逆铣用于粗铣加工，精铣加工一般选择顺铣方式。由于数控机床的进给丝杠一般为滚珠丝杠，且进行了预紧处理，顺铣时的工件窜动现象不易出现，故顺铣方式也可用于粗铣加工。

（2）对称与不对称铣削　端面铣削时，若铣刀的中心线通过铣削宽度 a_e 的对称线时为对称铣削，如图 1-12a 所示，否则为不对称铣削。结合圆周铣削方式，又可分为不对称逆铣（图 1-12b）和不对称顺铣（图 1-12c）。

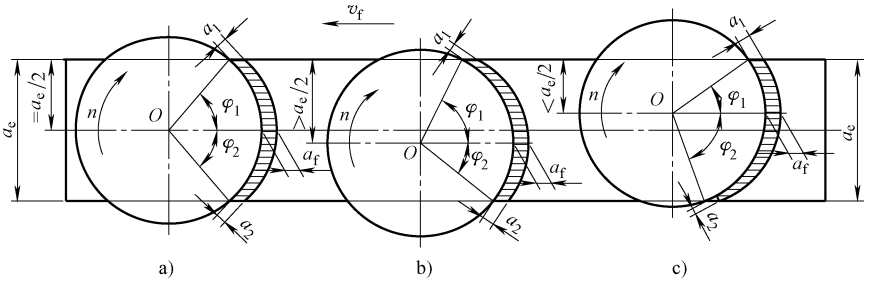


图 1-12　对称与不对称铣削

a）对称铣削　b）不对称逆铣　c）不对称顺铣

端铣加工中，对称铣削切削厚度 a_c 始终在变化，顺铣与逆铣比例相同，切削力水平分力与进给方向垂直，易引起颤振，对加工质量不利，尽量避免使用；不对称逆铣切入的切削厚度小于切出时的切削厚度，切入冲击小，适用于普通碳钢和高强度低合金钢加工。不对称顺铣切入厚度大于切出厚度，顺铣所占比例大于逆铣部分，加工表面变形小，适用于不锈钢和耐热合金加工。

1.2.2　典型铣刀几何角度分析

1. 圆柱铣刀几何角度

如图 1-13 所示，主要包括前角 γ_0、后角 α_0 和螺旋角 β 以及法前角 γ_n 和法后角 α_n 等。其中，法前角 γ_n 和法后角 α_n 为制造时必需的角度，螺旋角 β 相当于刃倾角，可减小切削力，增强切削平稳性。

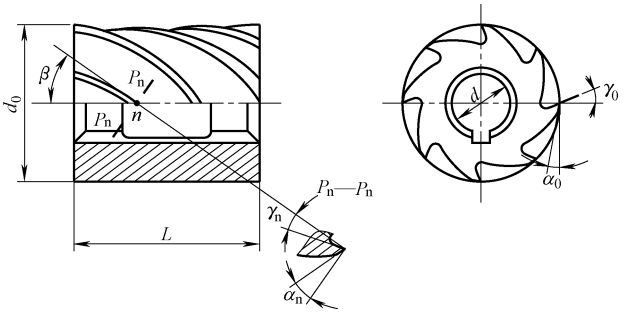


图 1-13　圆柱铣刀几何角度

2. 面铣刀几何角度

如图 1-14 所示，面铣刀的每个刀齿相当于一把小车刀，其几何角度与普通外圆车刀类似，包括前角 γ_0、后角 α_0、主偏角 κ_r、副偏角 κ'_r、刃倾角 λ_s 等。为提高平面铣削质量，刀尖部分常常刃磨出

一段过渡刃，因此，有的铣刀有过渡刃偏角 $\kappa_{r\varepsilon}$。另外，与制造有关的法前角 γ_n 和法后角 α_n 也是经常需要的。

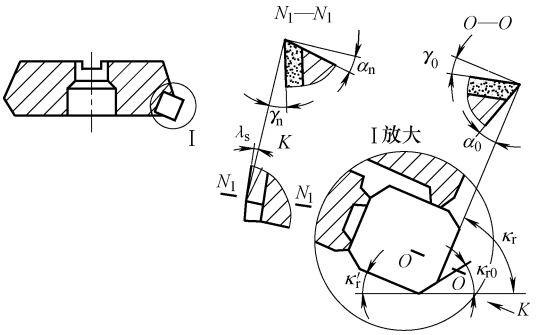


图 1-14　面铣刀几何角度

1.2.3　数控铣床加工典型刀具工作部分分析

1. 圆柱立铣刀

圆柱立铣刀是数控铣削加工中应用广泛的刀具之一，其工作部分几何角度如图 1-15 所示。圆柱面和端面均有切削刃，圆柱部分的切削刃是主切削刃，其几何角度参数与图 1-13 的圆柱铣刀相同；端面切削刃为副切削刃，几何角度主要有前角 γ'_0、后角 α'_0 和前刀面宽度 b'_r 等。圆柱立铣刀由于制造等原因，端面切削刃没有延伸至中部，因此其不能轴向进给加工。根据加工容屑槽的需要，其齿数有所不同，粗齿 $z=3\sim6$，中齿 $z=4\sim8$，细齿 $z=5\sim10$。螺旋角 β 一般为 30°～50°，甚至更大。

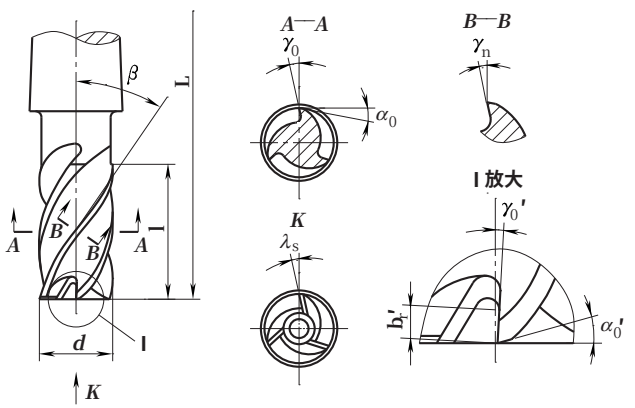


图 1-15　圆柱立铣刀几何参数

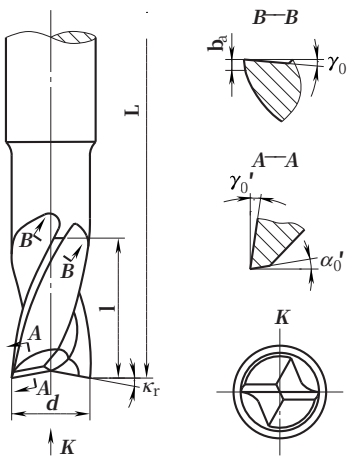


图 1-16　键槽铣刀几何参数

2. 键槽铣刀

键槽铣刀顾名思义是专门用于加工键槽的刀具，如图 1-16 所示。其一般为两刃结构，端面切削刃一直延伸至中心，可进行轴向进给加工，且容屑槽较大，故在数控铣削加工中常用于粗铣加工。键槽铣刀加工端面和圆柱面的切削刃中端面的切削刃切削比例稍大，故可认为端面切削刃为主切削刃。键槽铣刀的螺旋角约为 20°。

3. 曲面铣削刀具

曲面铣削刀具包括圆柱球头立铣刀、圆锥立铣刀、圆锥球头立铣刀等，这些刀具又称模具铣刀。此外，还有一种介于圆柱与球头立铣刀之间的圆角立铣刀（又称圆鼻立铣刀）。曲面类铣刀是在圆柱立铣刀的基础上发展出来的刀具，图 1-17 所示为曲面铣刀几何参数，供选择时参考。

需要全本请访问 www.ertongbook.com