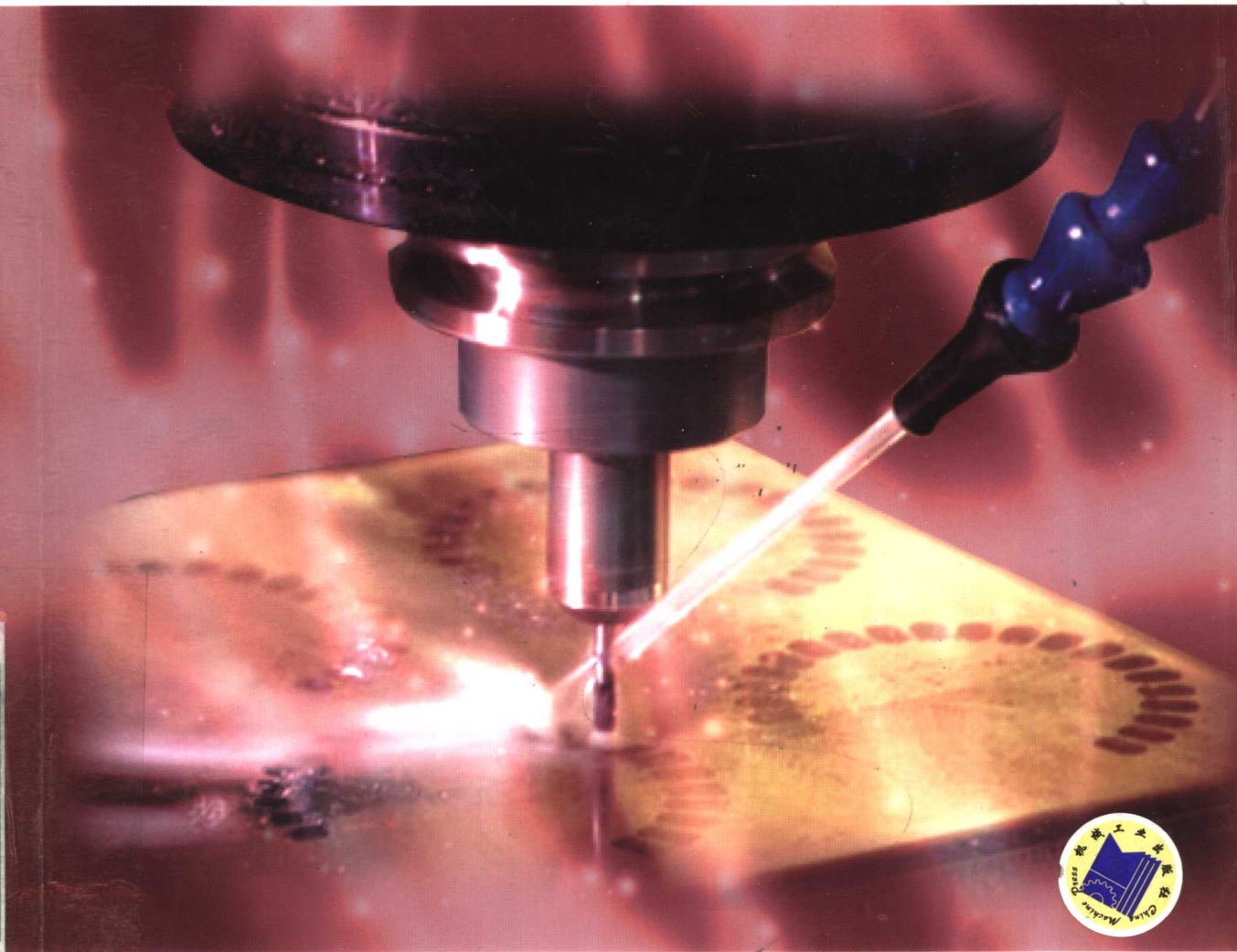


CAD/CAM/CAE 工程应用丛书 Mastercam 系列

# Mastercam X2

## 模具CNC编程完全实战

魏刻木 刘深新 编著



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



TG76-39/113D

2008

CAD/CAM/CAE 工程应用丛书 • Mastercam 系列

# Mastercam X2 模具 CNC 编程 完全实战

魏刻木 刘深新 编著

机械工业出版社

本书以实例的形式讲解了模具的模板、前模、后模、电极（铜公）、侧型芯（行位）和镶件的 CNC（数控）加工编程方法与技巧，并对模具 CNC 加工编程过程中所遇到的问题及相关行业知识进行了综合介绍。同时，对后处理文件的定制、输出与修改 NC 程序文件作了详细讲解。本书内容丰富，实例选择典型，实用性强。书中完全采用经过了实际上机加工的模具作为实例进行讲解，所有刀具路径（刀路）的安全性、可行性都在上机加工过程中经过验证，使初学者能有最真实的体验。读者通过对本书的学习，可做到举一反三，快速提升实际工作能力。随书光盘同时包含了可在 Mastercam X2/X/V9.x 多个版本下可用的数据文件，读者可充分利用现有的软件平台进行学习。

本书适合已了解 Mastercam X2/X 版基本操作的读者阅读，也可作为培训机构、模具制造业的 CNC 编程员、CAM 工程师及各院校相关专业师生的参考用书。

#### 版权声明

本书所有正文及光盘内容的著作权归作者所有，未经作者书面许可，任何人不得以任何形式摘抄或复制本书的任何内容。

#### 图书在版编目（CIP）数据

Mastercam X2 模具 CNC 编程完全实战 / 魏刻木，刘深新编著. —北京：机械工业出版社，2008.1  
（CAD/CAM/CAE 工程应用丛书·Mastercam 系列）  
ISBN 978-7-111-22367-2

I. M… II. ①魏…②刘… III. 模具 - 计算机辅助设计 - 应用软件，Mastercam X2 IV. TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2007）第 144253 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：胡毓坚

责任编辑：吴鸣飞

责任印制：杨 曦

北京机工印刷厂印刷（北京双新装订有限公司装订）

2008 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm × 260mm · 30 印张 · 746 千字

0 001—5 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-22367-2

ISBN 978-7-89482-345-8（光盘）

定价：49.00 元（含 1CD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

销售服务热线电话：（010）68326294

购书热线电话：（010）88379639 88379641 88379643

编辑热线电话：（010）88379739

封面无防伪标均为盗版

## 出版说明

随着信息技术在各领域的迅速渗透，CAD/CAM/CAE 技术已经得到了广泛的应用，从根本上改变了传统的设计、生产、组织模式，对推动现有企业的技术改造、带动整个产业结构的变革、发展新兴技术、促进经济增长都具有十分重要的意义。

CAD 在机械制造行业的应用最早，使用也最为广泛。目前其最主要的应用涉及到机械、电子、建筑等工程领域。世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM/CAE 技术进行产品设计，而且投入大量的人力、物力及资金进行 CAD/CAM/CAE 软件的开发，以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。CAD 在建筑工程中的应用，不但可以提高设计质量，缩短工程周期，还可以节约大量建设投资。

各行各业的工程技术人员也逐步认识到 CAD/CAM/CAE 技术在现代工程中的重要性，掌握其中的一种或几种软件的使用方法和技巧，已成为他们在竞争日益激烈的市场经济形势下生存和发展的必备技能之一。然而仅仅知道简单的软件操作方法是远远不够的，只有将计算机技术和工程实际结合起来，才能真正达到通过现代的技术手段提高工程效益的目的。

基于这一考虑，机械工业出版社特别推出了这套主要面向相关行业工程技术人员的“CAD/CAM/CAE 工程应用丛书”。本丛书涉及 AutoCAD、Pro/ENGINEER、UG、SolidWorks、Mastercam、ANSYS 等软件在机械设计、性能分析、制造技术方面的应用；此外还包括 Autocad 和天正建筑 CAD 软件在建筑和室内配景图、建筑施工图、室内装潢图、水暖、空调布线图、电路布线图以及建筑总图等方面的应用。

本套丛书立足于基本概念和操作，配以大量具有代表性的实例，并融入了作者丰富的实践经验，使得本丛书内容具有专业性强、操作性强、指导性强的特点，是一套真正具有实用价值的书籍。

机械工业出版社

# 关于本书

## 本书内容和特点

Mastercam X2 是美国 CNC Software 公司推出的 Mastercam 软件的最新版本, 其与微软公司的 Windows 技术紧密结合, 使用户界面更为友好, 设计更加高效。Mastercam 软件集成了设计 (CAD) 和加工 (CAM) 模块。借助于 Mastercam 软件, 用户可以方便快捷地完成从产品二维/三维外形设计、CNC 编程直到自动生成 NC 代码的整个工作流程, 因此被广泛应用于模具制造及机械加工行业, 成为目前全球销量最大的 CAM 类软件。Mastercam 基于 PC 平台, 易学易用, 对运行环境要求较低, 具有较高性价比, 是广大中小企业的最佳选择, 也是 CNC 编程初学者在入门时的首选软件。

Mastercam X2 具有全新的 Windows 操作界面, 软件操作界面、快捷键、右键菜单可以按个人需求进行定制, 易于初学者学习, 熟悉老版本的用户也可以快速上手。

在加工方面, Mastercam X2 对三轴曲面加工和多轴加工的功能做了大幅提升, 使编程人员能以更高效率进行 CNC 编程。

模具加工 CNC 编程, 较为强调程序员的实际工作经验, 除了要熟练运用软件的各项功能外, 还要对模具结构、材料、刀具、机床、加工精度等诸多非软件因素进行综合考虑。刀具路径, 以下简称为刀路, 在电脑上的模拟加工无明显异常, 不能等同于实际加工完全可行。非软件因素造成的影响在电脑模拟过程中无法看出。缺乏实际加工经验情况下编制的刀路易出现加工尺寸误差、材料过切/报废、加工面粗糙、刀具磨损加速/损坏、空刀多、加工时间长、机床受损等各种问题。

由于以上原因, 读者在学习模具 CNC 编程过程中, 迫切需要参考实际上机加工过的模具及刀路进行学习。针对读者的此类需求, 本书所有实例完全取材于实际工作, 而不是为了演示模具 CNC 编程原理进行的简单模仿、虚构。本书所有刀路皆经过了上机加工过程的验证, 与实例相关的模具均已用于产品的批量生产中。读者通过对本书的学习, 能够将所学知识运用到实际工作中。

本书实例部分按不同的加工类型划分章节, 详细讲解了使用 Mastercam X2 版进行模具三轴铣削加工的 CNC 编程方法。除了常见的前模、后模类型, 还增加了模板、电极 (铜公)、侧型芯 (行位) 和镶件类型的加工实例。本书在讲解 CNC 编程方法时, 结合实例对产品结构及相关的行业知识进行了必要讲解, 实际编程工作中积累的经验和技巧在实例中逐一体现。

书中最后一章详细讲述了如何根据实际需要对外处理文件 (PST) 进行定制, 使读者在面对不同的工作环境时能灵活处理输出时的 NC 文件格式。输出及修改 NC 程序文件章节讲述了如何输出与修改用于最终加工的 NC 文件, 可在加工中断的情况下减少不必要的时间消耗。

## 读者对象

本书适合已了解 Mastercam X2/X 的基本操作并需要提升实际工作能力的读者阅读, 也可作

为培训机构、模具制造业的 CNC 程序员、CAM 工程师及各院校相关专业师生的参考用书。

## 学习建议

本书所给出的加工思路只是所有可行方案中的一种，并不意味着是最佳和惟一的选择。在实际工作中，应依据具体情况，得出相应的加工方案。不同的编程者，也会有不同的编程习惯。读者对此不能盲目迷信，不应被实例所给出的方案束缚了思路。当读者在初学编程阶段，面对实际工作任务，处于无从下手之际，本书则给出了其中的一种切实可行的参考方案。

进入工作岗位后，读者碰到的加工对象将会千差万别。为提高独立工作能力，读者在学习本书内容之前，可根据已掌握的知识，先利用没有刀路的源文件进行独立分析、编程。最后再与书中的内容进行对比，以深入理解每个刀路参数的实际意义，及时发现与自己的想法不同之处和容易疏忽之处。

Mastercam X2 版的 CAD 模块操作界面与 V9.x 等老版本区别较大，但建模方法的整体架构并未完全改变。从当前的软件应用实际情况来看，在产品设计方面，Mastercam 已经被其他功能更强大的 CAD 软件所取代。本书举例中所采用的加工模型，主要是由其他 CAD 软件完成设计的。为顺应软件应用的发展趋势，缩短学习时间，增强自身优势，建议初学者如此安排 Mastercam 软件的学习目标：CAD 模块的熟练度能满足简单规则外形的产品造型、分模、电极设计（拆铜公）方面的需求即可，无需在产品建模技巧上花费过多的时间，应将主要精力和侧重点放在对 CAM 模块的学习和熟练的编程上。如读者需要提高自己的建模水平，可选择目前市场上主流的 CAD 软件，如：Pro/ENGINEER、UG、SolidWorks、CATIA 等。强强联手，必将给工作带来更多便利。

## 本书光盘内容

本书内容需配合相关的模型文件进行学习，随书光盘请妥善保管。主要内容如下：

“mcamx2”、“mcamx”、“mcam9”文件夹分别对应不同版本下可调用的文件。“model”文件夹中包含了本书实例的源文件。“nc”文件夹中包含了有刀路数据的实例结果文件。

感谢您选择了本书，也请将您的意见和建议告诉我们。

编者

# 目 录

出版说明

关于本书

<b>第 1 章 模具加工 CNC 编程基础知识</b> .....	1
1.1 CNC 刀具 .....	1
1.2 Mastercam X2 刀路 .....	3
1.2.1 刀路类型 .....	3
1.2.2 加工参数 .....	5
<b>第 2 章 模板加工</b> .....	7
2.1 模板加工（一） .....	7
2.1.1 结构特点 .....	7
2.1.2 编程方案 .....	7
2.1.3 刀路分析 .....	8
2.1.4 刀路参数设置 .....	8
2.2 模板加工（二） .....	29
2.2.1 结构特点 .....	30
2.2.2 编程方案 .....	30
2.2.3 刀路分析 .....	31
2.2.4 刀路参数设置 .....	31
<b>第 3 章 前模加工</b> .....	74
3.1 前模加工（一） .....	74
3.1.1 结构特点 .....	74
3.1.2 编程方案 .....	75
3.1.3 刀路分析 .....	75
3.1.4 刀路参数设置 .....	75
3.2 前模加工（二） .....	94
3.2.1 结构特点 .....	94
3.2.2 编程方案 .....	95
3.2.3 刀路分析 .....	95
3.2.4 刀路参数设置 .....	96
3.3 前模加工（三） .....	122
3.3.1 结构特点 .....	122
3.3.2 编程方案 .....	123
3.3.3 刀路分析 .....	124
3.3.4 刀路参数设置 .....	124
<b>第 4 章 后模加工</b> .....	163

4.1	后模加工（一）	163
4.1.1	结构特点	163
4.1.2	编程方案	164
4.1.3	刀路分析	164
4.1.4	刀路参数设置	165
4.2	后模加工（二）	187
4.2.1	结构特点	187
4.2.2	编程方案	188
4.2.3	刀路分析	188
4.2.4	刀路参数设置	188
4.3	后模加工（三）	202
4.3.1	结构特点	202
4.3.2	编程方案	203
4.3.3	刀路分析	203
4.3.4	刀路参数设置	204
<b>第5章</b>	<b>电极（铜公）加工</b>	<b>238</b>
5.1	电极加工（一）	238
5.1.1	结构特点	238
5.1.2	编程方案	239
5.1.3	刀路分析	239
5.1.4	刀路参数设置	240
5.2	电极加工（二）	259
5.2.1	结构特点	259
5.2.2	编程方案	260
5.2.3	刀路分析	260
5.2.4	刀路参数设置	261
5.3	电极加工（三）	280
5.3.1	结构特点	281
5.3.2	编程方案	281
5.3.3	刀路分析	281
5.3.4	刀路参数设置	282
5.4	电极加工（四）	312
5.4.1	结构特点	312
5.4.2	编程方案	313
5.4.3	刀路分析	313
5.4.4	刀路参数设置	314
5.5	电极加工（五）	329
5.5.1	结构特点	329
5.5.2	编程方案	330



5.5.3	刀路分析 .....	331
5.5.4	刀路参数设置 .....	331
<b>第 6 章</b>	<b>侧型芯（行位）加工 .....</b>	<b>363</b>
6.1	侧型芯加工（一） .....	363
6.1.1	结构特点 .....	363
6.1.2	编程方案 .....	364
6.1.3	刀路分析 .....	364
6.1.4	刀路参数设置 .....	364
6.2	侧型芯加工（二） .....	381
6.2.1	结构特点 .....	381
6.2.2	编程方案 .....	382
6.2.3	刀路分析 .....	382
6.2.4	刀路参数设置 .....	382
6.3	侧型芯加工（三） .....	403
6.3.1	结构特点 .....	403
6.3.2	编程方案 .....	403
6.3.3	刀路分析 .....	403
6.3.4	刀路参数设置 .....	404
<b>第 7 章</b>	<b>镶件加工 .....</b>	<b>416</b>
7.1	镶件加工（一） .....	416
7.1.1	结构特点 .....	416
7.1.2	编程方案 .....	417
7.1.3	刀路分析 .....	417
7.1.4	刀路参数设置 .....	417
7.2	镶件加工（二） .....	437
7.2.1	结构特点 .....	437
7.2.2	编程方案 .....	437
7.2.3	刀路分析 .....	437
7.2.4	刀路参数设置 .....	438
7.3	镶件加工（三） .....	450
7.3.1	结构特点 .....	450
7.3.2	编程方案 .....	450
7.3.3	刀路分析 .....	451
7.3.4	刀路参数设置 .....	451
<b>第 8 章</b>	<b>刀具路径后处理 .....</b>	<b>461</b>
8.1	输出 NC 程序文件 .....	461
8.2	定制后处理文件 .....	463
8.3	修改 NC 程序文件 .....	469



## 第 1 章

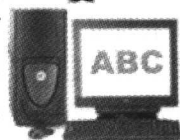
# 模具加工 CNC 编程基础知识



### 内 容

程序员在进行模具加工 CNC (数控) 编程时, 不但要熟练运用 CAM 软件提供的各项功能, 而且需要对刀具、机床、加工精度、模具材料、模具结构等诸多非软件因素进行综合考虑。合理选择加工工艺中所涉及的各项参数才能达到预期的加工效果。本章对塑胶模具加工 CNC 编程所需了解的相关知识进行介绍, 以配合后续章节的讲解。

### 提 要



## 1.1 CNC 刀具

模具 CNC 加工中使用的刀具种类很多, 以下对数控铣床及加工中心常用刀具的性能及选用进行讲解。

### 1. 刀具形状

模具 CNC 加工常用刀具的形状有平刀、圆鼻刀、球刀、斜度刀等。

#### 1) 平刀 (平底刀、端铣刀、平头镗刀)

平刀端部刀刃分布在同一平面, 在加工平面时, 刀具端部刀刃可同时参与切削, 因此在加工平面时效率高。平刀在加工直身位的外形及凹槽时沿外形曲线走刀, 刀体圆柱面分布的切削刃可高效地进行加工。主要用于粗加工 (开粗)、外形及平面精加工 (光刀)、清角 (清根)。

#### 2) 圆鼻刀 (飞刀、牛鼻刀)

圆鼻刀在平刀的基础增加了刀尖圆角, 刀尖圆角使刀具不易出现崩刃, 延长了刀具使用寿命。与平刀相比, 刀尖圆角使刀具的切削效率得到改善, 曲面粗加工时材料的残留高度相应减少。主要用于模坯粗加工、平面精加工, 适合于加工硬度较高的材料, 常用圆鼻刀圆角半径  $R0.2 \sim R6$ 。  $R0.2 \sim R0.5$ 、 $\phi 3 \sim \phi 12$  圆鼻刀主要用于外形精加工。

#### 3) 球刀 (R 刀)

球刀端部刀刃分布在半球面上, 用球刀加工曲面时, 余料的残留高度低, 因此适合于对曲面加工。主要用于曲面精加工及清角。对于弧形底沟槽粗加工, 用球刀可减少粗加工

时留下的残料。

#### 4) 斜度刀 (锥角刀)

斜度刀侧面刀刃带有角度, 用于加工具有特定斜度的部位, 如电极 (铜公) 等。用斜度刀可提高加工效率, 其表面加工效果欠佳。常用斜度值  $0.5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 。

以上为模具 CNC 加工中常用刀具, 对于其他使用相对较少的刀具类型, 本书不作详细说明。

### 2. 常用刀具材料

#### 1) 高速钢刀具

高速钢为含碳、钨、铬、钒、锰、铁等元素的合金钢, 常温硬度大于 HRC62, 能承受  $550 \sim 600^{\circ}\text{C}$  的切削温度。高速钢刀具有较好的韧性, 不易断刀, 可磨出锋利的切削刃。高速钢刀具易磨损, 常用于加工硬度较低的材料, 如 45 号钢、紫铜。

#### 2) 硬质合金刀具

硬质合金为碳化钨、碳化钛、碳化钽、碳化铌等碳化物以金属钴或镍作粘结金属, 用粉末冶金方法制造的合金制品, 有较好的化学稳定性、热稳定性、耐磨性。其常温硬度 HRA89~93, 能承受  $800 \sim 1000^{\circ}\text{C}$  的高温, 允许的切削速度比高速钢刀具高 5~10 倍。硬质合金刀具主要用于加工硬度较高的工件, 如前模、后模等。其加工效率和质量比高速钢刀具好。通常硬质合金刀具的切削刃表面涂覆有碳化钛、氮化钛、氮化铝钛等硬质层, 提高了刀具的硬度、韧性、耐磨性和寿命。

非金属材料如: 陶瓷、立方氮化硼、金刚石等刀具材料, 本书不作详细说明。

### 3. 常用硬质合金刀具结构

#### 1) 整体式

整体式铣刀的刀杆及切削刃部位由相同材料制成, 直接在刀体上加工出切削刃。其加工效果好、精度高, 多用在精加工阶段。此结构常用于平刀及球刀。

#### 2) 可转位式

可转位式铣刀前端采用可更换的可转位刀片 (舍弃式刀粒), 刀片用螺钉等机械方式固定。刀片材质为硬质合金及非金属材料, 表面涂覆有硬质涂层, 刀杆采用其他材料。刀片用钝后不用重磨, 有多个切削刃的刀片在改变安装角度后可多次使用。可转位式铣刀的刀杆可重复使用。刀片有三角形、方形、菱形、八角形、圆形等多边形结构。圆鼻刀多采用此类型, 球刀也有此类型。

### 4. 刀具规格

#### 1) 大直径刀具

尺寸大的工件尽可能使用大直径的刀具, 以提高刀具的加工效率和刚性。粗加工第一步采用大直径刀具, 以提高效率。曲面精加工和清角时, 参考曲面凹陷和拐角处的最小半径值选择刀具。刀具直径有英制及公制两类。通常圆鼻刀及球刀以公制为主, 英制刀具以平刀较常用。

#### 2) 小直径刀具

小直径刀具整体长度较小, 刚性差, 其加工深度受到限制。切削刃长度依据加工现场可提供的刀具规格及实际加工需求进行合理选择。对于较深部位的加工, 应考虑使用加长杆, 避免刀夹头与工件之间的干涉。

## 1.2 Mastercam X2 刀路

刀路及参数的选择直接影响加工效率和加工质量。如何保证较高的加工效率和加工质量，是 CNC 编程过程中不可回避的问题。

### 1.2.1 刀路类型

Mastercam X2 提供了种类丰富的铣加工刀具路径（以下简称为刀路），但并不意味着每种刀路在加工时都有同等高的使用率，需依据具体的加工条件进行取舍。下面介绍各刀路的特点。

#### 1. 二维曲线加工

##### 1) 外形加工 (Contour)

刀具沿所选曲线移动，用于外形粗加工、精加工，操作简单、计算速度快。通常采用平刀、圆鼻刀、斜度刀加工。外形铣加工可在料外进刀，下刀点避开曲线拐角处。如选择三维曲线，则自动转为三维曲线外形铣削。

##### 2) 挖槽加工 (Pocket)

选择串连曲线确定加工范围，常用于对凹槽特征的粗加工，限制加工深度时可用于对平面精加工。挖槽加工在坯料上下刀时，选用螺旋或斜向下刀。串连曲线常见为封闭型，如为开放型，可选开放型挖槽选项。

##### 3) 面加工 (Face)

以所选封闭曲线为参考，对平面区域进行加工。

#### 2. 孔加工循环 (Drill)

孔加工有钻孔、攻螺纹、镗孔等多种循环加工方式，以点确定加工位置。

#### 3. 曲面粗加工

##### 1) 曲面挖槽加工 (Pocket)

深度方向分层清除曲面与加工边界（加工范围）之间的所有材料。刀路计算时间短，刀具切削负荷均匀，加工效率高，常作为粗加工第一步首选方案。

##### 2) 等高外形加工 (Contour)

刀具沿曲面 Z 向等高曲线分层移动加工。适用于陡斜面加工，曲面平坦时刀路间距变大，效果不佳。曲面粗加工和精加工类型中都有此选项，对话框设置及加工效果相同。

##### 3) 平行加工 (Parallel)

分层平行行切加工。刀路计算时间长，提刀次数多，粗加工时加工效率低，较少采用。

##### 4) 径向加工 (Radial)

刀具以指定点为径向中心，放射状分层切削加工。刀路在径向中心密集，工件四周刀路间距大，提刀次数多，加工效率低，较少采用。

##### 5) 投影加工 (Project)

将已有的刀路数据投影到曲面上进行加工。

#### 6) 曲面流线加工 (Flowline)

刀具依据所选曲面结构线方向进行加工。

#### 7) 粗加工残料清除 (Restmill)

依据已加工刀路数据计算所剩残料, 进一步加工以清除。

#### 8) 插入式加工 (Plunge)

刀具以 Z 方向持续进给的插入式进刀, 类似于钻削加工。

### 4. 曲面精加工

#### 1) 平行加工 (Parallel)

其对话框选项与粗加工类型中的平行加工方式相似, 但无深度方向的分层铣削, 刀具以水平方向指定的角度做行切移动。对坡度小的曲面加工效果较好, 遇有陡斜面时需控制加工角度。平行加工为精加工阶段首选刀路。对于特定材料、外形及加工对象, 在粗加工时也可使用此刀路。

#### 2) 等高外形加工 (Contour)

与粗加工类型参数项相同, 适用于陡斜面加工。粗加工阶段常作为第二步刀路, 以小直径刀具去除残料, 使精加工前残料均匀。精加工阶段常用于侧壁外形曲面精加工及清角。具体使用时, 选用粗 / 精加工类型中的一种即可, 如精加工类型中的等高外形加工。

#### 3) 径向加工 (Radial)

刀具以指定点为径向中心, 放射状切削加工, 与粗加工类型中的同名加工方式相比, 深度方向不分层铣削。刀路在径向中心密集, 工件四周刀路间距大。

#### 4) 投影加工 (Project)

将已有的刀路数据投影到曲面上进行加工。

#### 5) 曲面流线加工 (Flowline)

刀具依据构成曲面的横向或纵向结构线方向进行加工, 对规则曲面的加工效果较好。

#### 6) 平行陡斜面加工 (Par.steep)

采用平行方式加工, 同时用曲面斜度参数对加工范围进行限制。

#### 7) 浅平面加工 (Shallow)

采用等高及 3D 环绕方式 (3D Scallop) 加工, 同时用曲面斜度参数对加工范围进行限制, 以改善小坡度平缓曲面的加工效果。

#### 8) 交线清角加工 (Pencil)

对曲面相交位置进行加工, 以清除残料。

#### 9) 残料加工 (Leftover)

对粗加工时的刀路进行计算, 用小直径刀具清除粗加工时留下的残料。

#### 10) 环绕等距加工 (Scallop)

产生的刀路以等距离环绕加工曲面, 刀路均匀, 计算时间长。曲面复杂时, 注意加工的走刀方向, 防止出现刀具与未加工区域间的干涉。

#### 11) 混合加工 (Blend)

对曲面加工时, 由两条曲线控制刀具的移动轨迹。

### 5. 线框刀路 (Wireframe)

线框刀路与 Mastercam 的各种曲面造型方法相对应, 其计算时间短, 产生的 NC 文件小。

使用此类刀路时，需对其刀路特性较为熟悉，否则容易出现过切。

## 6. 其他刀路

### 1) 圆孔加工 (Circle Paths)

以点或曲线为参照，进行圆孔、螺纹、起始孔、自动钻孔加工。

### 2) 实体钻孔 (Solid Drill)

以实体表面的孔特征为参照进行钻孔加工。

### 3) 雕刻加工 (Engraving)

对文字、图案等复杂特征进行雕刻加工。

### 4) 点刀路 (Point)

以点特征为参照，控制刀具作直线的快进或进给运动。

### 5) 多轴加工 (Multiaxis)

在三轴加工的基础上增加了轴向旋转或摆动，适合加工复杂工件。

### 6) 曲面高速加工 (Surface High Speed)

用于高速加工的刀路。包括粗加工、精加工类型。

## 7. 刀路编辑

### 1) 刀路转换 (Transform Toolpath)

有平移、旋转、镜像等多种方式，可依据现有刀路快速生成对另一工件加工的刀路。常用于相同零件及镜像对称工件加工。

### 2) 刀路复制及排列 (Toolpath Nesting)

对所选刀路进行复制及自动排列。

### 3) 刀路裁剪 (Trim Toolpath)

对已生成的刀路进行编辑，调整刀路的加工区域。

### 4) 手工输入 (Manual Entry)

手工输入所需指令代码，插入到最后生成的 NC 文件中。

实际工作中使用频率较高的刀路是外形加工、挖槽加工、曲面挖槽加工、曲面平行精加工和曲面等高外形加工等刀路。选择何种刀路，要从产品结构、计算时间、加工效率、加工设备以及加工质量等方面综合考虑。具体情况下的加工方案，可参照本书实例中的应用进行选择。

各类 CAM 软件都会提供最常用的刀路，在一种加工软件中积累的加工经验可以套用到其他 CAM 软件的相似刀路中，其具体的刀路命名、参数设置等会有细节上的区别。

## 1.2.2 加工参数

### 1. 进刀量

粗加工时，刀具水平进刀量为刀具直径的 75% 以下，垂直进刀量为 0.5~2mm。粗加工公差为 0.005~0.02mm，加工余量为 0.1~0.3mm。粗加工阶段垂直进刀量与刀具直径成正比，材料硬度越低，其进刀量可相应加大。

圆鼻刀中间部位无刀刃，直接从坯料上垂直下刀时，其每层垂直下刀量不能超过其刀具端部中心无刀刃区域的最低高度，以免刀具烧毁。螺旋下刀时，其最小螺旋下刀半径也受

此因素影响。完全从材料外围下刀，其情况有所不同。

精加工时，球刀平行铣步距值为  $0.1\sim 0.5\text{mm}$ 。精加工公差为  $0.005\sim 0.02\text{mm}$ 。用球刀加工曲面时，其精加工步距取值较小，以此取得光顺的加工效果。

平刀用于对平面特征进行加工时，精加工步距常以刀具直径的百分比计算。

## 2. 主轴转速、刀具进给率

主轴转速和刀具进给率受加工材料硬度、刀具材料硬度、进刀量、加工类型、设备性能等多种因素影响。在同等加工条件下，主轴转速与刀具直径成反比，刀具进给速度与主轴转速成正比。实际所选加工参数可依据刀具生产商提供的相关资料做调整。

如果编程时参数选择不当，可由机床操作人员在加工过程中通过机床控制器上的转速及进给倍率旋钮做  $0\sim 150\%$  的实时调整。超出倍率旋钮调节范围的情况下，可直接编辑 NC 文件，通过查找替换进给值 / 转速值进行修改。机床的最高转速、最高进给速度、主轴功率和床身刚性等具体的性能会对加工参数的选择造成制约。本书实例虽反映的是实际加工的刀具参数，但其依赖于特定的加工条件，仅供读者参考，在实际工作中不可生搬硬套。

## 3. 铣削方向

数控铣床及加工中心加工中常用顺铣，对外形和凹槽加工都是左补偿。外形铣刀路选择串连曲线时，需注意选择正确的串连方向和加工起点。

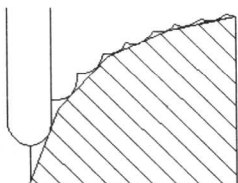
对于左右对称的形状，常用刀路镜像功能快速计算对称部分的刀路。镜像得到的刀路走刀方向相反，顺铣变成逆铣。以直身为加工对象的外形铣刀路不适用于此方法，因为刀具在顺 / 逆铣两种状态下受力不同，导致外形铣的镜像刀路加工出的表面效果与原刀路不一致，此类情况下可将对称的一边单独生成刀路。

## 4. 加工区域

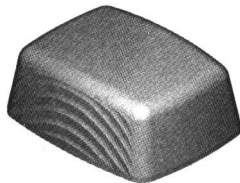
曲面加工类型刀路参数中的加工边界 (Tool Containment) 参数用于限制刀路的加工区域 (加工范围)。系统提供了三种不同的边界参数，默认参数为“Center”，即以刀具中心轴的移动轨迹作参照，其实际加工区域比所选边界线单边大一个刀半径值。合理设置此参数，可避免加工范围超出实际加工需要。

## 5. 平行铣加工角度

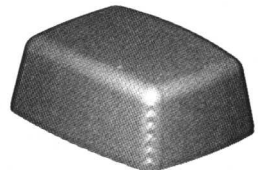
平行铣刀路的步距值是指刀具在水平方向的间距。在曲面上加工时，且刀路水平步距不变的情况下，刀路的垂直方向步距会随着坡度的增加而变大。例如加工矩形工件，采用系统默认角度  $0^\circ$  加工，两侧的曲面较陡，因此侧面区域内的刀路其垂直间距大，加工表面粗糙，如图 1-1 所示。为避免此现象，精加工时平行铣加工角度设置为  $45^\circ$ ，此时垂直步距较大的位置集中在两角。如有较高要求，改变加工角度 (如  $135^\circ$ )，限制加工范围后再次精加工。



球刀平行铣垂直步距变化

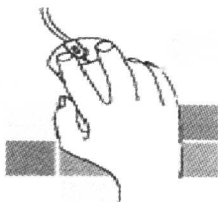


$0^\circ$  平行铣

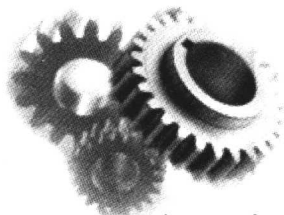


$45^\circ$  平行铣

图 1-1 平行铣刀路加工角度



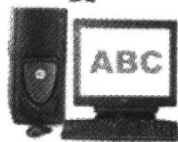
## 第2章 模板加工



内  
容

模板是塑胶模具的模架（模胚、模座）结构中的主要组成部件，模板上有各类用于安装零件的孔、槽，采用数控铣床（电脑锣）或加工中心对此类特征进行加工，可提高定位精度及加工效率。本章将以模架中的模板为例，详细介绍其加工过程。通过本章的学习，读者可以掌握模板的孔及槽类特征加工的编程方法。

提  
要



### 2.1 模板加工（一）

本例中的 A 板（定模板）为模架零件，其中心位置有圆孔，用于浇口套（唧嘴）的安装。本节以 A 板为例，介绍浇口套安装孔加工的编程思路。

#### 2.1.1 结构特点

本例模板为模胚厂定制，浇口套安装孔位于 A 板的中心位置。三圆孔同心，直径分别为  $\phi 90$ 、 $\phi 51$ 、 $\phi 21$ ，无斜度，总加工深度 113.5（本书未注明单位均为 mm），如图 2-1 所示。

#### 2.1.2 编程方案

模板加工的编程方案如表 2-1 所示。

表 2-1 编程方案

序号	分组	刀具类型	刀具规格	加工方法	余量	说 明
1	1	中心钻	$\phi 1.5$	Simple drill	—	中心孔
2	2	钻头	$\phi 13$	Peck drill	—	钻孔



(续)

序号	分组	刀具类型	刀具规格	加工方法	余量	说明
3	3	圆鼻刀	$\phi 30R5$	Pocket	xy0.15,z0.1	圆孔粗加工
4				Contour	xy0.15,z0.1	圆孔粗加工
5	4	圆鼻刀	$\phi 20R0.8$	Contour	xy0.15,z0.05	圆孔粗加工
6	5	平刀	$\phi 20$	Contour	xy0,z0	圆孔精加工
7				Contour	xy0,z0.5	圆孔精加工
8				Contour	xy0.3,z0	圆孔精加工
9	6	圆鼻刀	$\phi 30R5$	Pocket	xy0,z0	圆孔精加工
10	7	圆鼻刀	$\phi 16R0.8$	Surface Finish Flowline	0	倒角

### 2.1.3 刀路分析

第 1 步使用中心钻加工中心定位孔，为后继钻孔做准备。安排在粗加工刀路之前。

第 2 步用  $\phi 13$  钻头钻孔，利用第 1 步产生的中心孔自动定中心，加工深度为 z-80，对应  $\phi 21$  的圆孔，未到孔底，后继由普通机床加工到指定深度及直径。

第 3、4 步用圆鼻刀对  $\phi 90$ 、 $\phi 51$  孔粗加工，在孔径较大的情况下，无相应直径的刀具钻孔，可用铣刀加工。

第 4 步已对  $\phi 51$  孔粗加工，在第 5 步用  $\phi 20R0.8$  的圆鼻刀二次粗加工，粗加工起始深度为 z-64，使余量均匀。

第 6、7、8 步对圆孔精加工，此处对圆孔侧壁及底平面分开加工。

$\phi 90$  的圆孔底有 R5 的倒圆角，第 6 步侧壁精加工时仅加工到 z-55，第 9 步对  $\phi 90$  圆孔的底平面用  $\phi 30R5$  的圆鼻刀精加工。

$\phi 21$  的圆孔有一倒角，第 10 步采用曲面流线刀路进行加工。

本例刀路共分为 7 组，刀路总数为 10。中心钻、平刀、钻头为高速钢材质，圆鼻刀采用硬质合金刀粒。用普通机床（此处的普通机床是相对于高速机而言，其主轴最高转速低于 8000r/min）加工。模板材料为 S55C。

### 2.1.4 刀路参数设置

#### 1. $\phi 1.5$ 中心钻用普通钻孔刀路加工中心孔

(1) 打开配套光盘的文件“2SPRUE.MCX”，结果如图 2-1 所示。浇口套腔的 CAD 截面图如图 2-2 所示。模板的左下角（TOP VIEW 视角）坐标为 x0、y0，最高点为 z0。模型绘制了局部特征所需曲面。模型详细绘图过程在此省略。

(2) 在刀路管理器的“Toolpath Group1”（刀具路径组名称）标题上单击鼠标右键，如图 2-3 所示，在弹出的菜单中选择“Groups”（组）→“Rename”（重命名）选项，修改当前刀路组名称为“2sprue01”。