



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

Mastercam X5 数控编程案例教程

MASTERCAM X5 SHUKONG BIANCHENG ANLI JIAOCHENG

◎ 杨志义 主编



配教学资源

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

Mastercam X5数控 编程案例教程

主编 杨志义
参编 刘大维 李晓东



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准(试行)》,同时参考数控铣床操作工职业资格标准编写的。本书是在原有《Mastercam X3 数控编程案例教程》的基础上修订成书的,以 Mastercam X5 的版本展开介绍。

本书以突出实践应用为主,在 Mastercam X5 版本的基础上结合实例,主要介绍 Mastercam 3 轴编程加工刀具路径的应用。全书精选实例包括过渡板、盒子下盖凸模、三角凸台、烟灰缸、简管零件、装饰品、双心模型、座机盖、双面加工、凸凹模配合,所选实例都在机床上进行过验证加工,而且在对实例编程时很好地结合了 Mastercam 数控编程中常用的刀具路径,重点突出数控加工的实用性和技巧性,对关键点进行了技术指导与实践经验的讲解,可间接丰富读者的加工经验并提高读者独立编程的能力。

本书配有配套资源光盘,其中包含书中实例的源文件、实例完成过程的视频文件,及相应的练习文件,可方便读者学习。

本书可作为高等职业院校数控技术等专业的教材,也可作为数控加工等岗位的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

Mastercam X5 数控编程案例教程/杨志义主编. —北京:机械工业出版社, 2014. 8

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 48273 - 4

I. ①M… II. ①杨… III. ①数控机床 - 计算机辅助设计 - 应用软件 - 高等教育 - 教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 237541 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:王佳玮 责任编辑:王佳玮

责任校对:刘雅娜 封面设计:张 静

责任印制:刘 岚

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2015 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 18.5 印张 · 445 千字

0001—2000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 48273 - 4

ISBN 978 - 7 - 89405 - 453 - 1 (光盘)

定价: 38.00 元(含 1CD)

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

服务咨询热线: 010 - 88379833

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010 - 88379649

机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

前言

本书是按照教育部《关于开展“十二五”职业教育国家规划教材选题立项工作的通知》，由教育部专家组评审确定的“十二五”职业教育国家规划教材，是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准（试行）》，同时参考数控操作工职业资格标准编写而成。

本书是在《Mastercam X3 数控编程案例教程》一书的基础上修订而成的，以 Mastercam X5 版本展开介绍。本书主要介绍 Mastercam X5 数控编程技术，考虑到职业教育的特点，以及数控技术的应用性，本书以实践应用为主，所介绍的实例都在数控铣床上经过验证加工，并可取得理想的加工效果。本书编写过程中力求体现“以实际工作过程中岗位所需的职业技能和职业素养为导向”的工学结合教学改革思路。本书编写模式新颖，以任务驱动式模式进行介绍，内容详尽，通过适时增加“技术指导”和“实战经验”等，对技术参数进行深入浅出的说明与推断，极大地降低了学习难度，丰富了实践经验，能明显提高读者解决实际问题的能力。

本书在内容处理上主要有以下特点：

1) 在内容的编排设计上，本书力图体现“以就业为导向，以学生为本位”的教学理念，把能力的培养放在首位，将 Mastercam X5 常用的数控编程技术与实际应用相结合，注重实践技能的培养，反映了数控自动编程应掌握的最新技术；采用任务驱动式编写模式，案例选材上充分考虑了机械行业职业考核标准的相关要求；注重学生技能的培养，通过“任务”精心整合应学内容，合理安排知识点、技能点，注重实践应用，突出学生实际操作能力和解决问题能力的培养，强化岗前培训。

2) 在教学实施中，建议贯彻理论实践一体化的教学思想，通过将完成“任务”贯穿于教学的始终，培养学生观察、协作、思考和解决问题的能力。建议将本课程安排在实习教学环节或数控铣、加工中心操作工的考前培训，有条件的学校尽量在专业教室或实验室、实训室开设，将会收到更好的教学效果。

本书配有配套资源光盘，其中包含书中实例的源文件、实例完成的视频文件，及相应的练习文件，可方便读者学习。

本书由广东省云浮市高级技工学校的杨志义主编，参加编写的还有广东技术师范学院的刘大维，深圳旺深华塑胶模具有限公司的李晓东。

编写过程中，编者参阅了国内外出版的有关教材和资料，得到了广东技术师范学院李玉忠教授的有益指导；本书经全国职业教育教材审定委员会审定，教育部专家在评审过程中对本书提出了宝贵的意见，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一章 概述 1

- 1.1 Mastercam 简介 1
- 1.2 Mastercam 编程特点 1
- 1.3 刀具路径说明及注意事项 2
 - 1.3.1 二维加工 2
 - 1.3.2 三维曲面粗加工 2
 - 1.3.3 三维曲面精加工 3
- 1.4 编程策略 4
 - 1.4.1 分析加工对象和划分加工区域 4
 - 1.4.2 规划加工路线 4
- 1.5 CAM 软件数控编程的一般步骤 5
 - 1.5.1 获得 CAD 模型 5
 - 1.5.2 分析 CAD 模型和确定加工工艺 5
 - 1.5.3 自动编程 6
 - 1.5.4 程序检验 6
 - 1.5.5 后处理 6
- 1.6 小结 6

第二章 数控编程基础及编程 注意事项 7

- 2.1 数控程序的结构 7
- 2.2 常用数控指令介绍 7
 - 2.2.1 单位设定 (G20、G21、G22) 7
 - 2.2.2 坐标系指令 7
 - 2.2.3 与运动相关的指令 9
 - 2.2.4 辅助功能 M 指令 13
 - 2.2.5 主轴功能 S 指令 13
 - 2.2.6 进给功能 F 指令 13

- 2.2.7 刀具功能 T 指令 13
- 2.3 数控手工编程实例 14
- 2.4 常用刀具的选择与参数设置 15
 - 2.4.1 数控加工常用刀具 15
 - 2.4.2 刀具材料的选用 15
 - 2.4.3 切削用量的选择 15
- 2.5 刀路的选择 16
- 2.6 数控编程中常见问题及解决方法 18
- 2.7 小结 19

第三章 过渡板编程实例 20

- 3.1 任务目标 20
- 3.2 任务导入 20
- 3.3 任务分析 20
 - 3.3.1 图形分析 20
 - 3.3.2 工艺分析 20
 - 3.3.3 刀路规划 20
- 3.4 准备工作 21
 - 3.4.1 确定编程坐标系 21
 - 3.4.2 选择机床 23
 - 3.4.3 模拟设置 23
 - 3.4.4 刀具设置 24
 - 3.4.5 新建刀具路径群组 24
- 3.5 编制刀路 26
 - 3.5.1 钻中心孔 26
 - 3.5.2 钻通孔 28
 - 3.5.3 标准挖槽粗加工 (两凸台) 29
 - 3.5.4 标准挖槽精加工 (两凸台) 31
 - 3.5.5 开放式挖槽粗加工 (三角形凹槽) 34



3.5.6	开放式挖槽精加工（三角形 凹槽）	36
3.5.7	外形铣削粗加工（左侧）	37
3.5.8	外形铣削精加工（左侧）	40
3.5.9	标准挖槽粗加工（半圆 凹槽）	41
3.5.10	标准挖槽精加工（半圆 凹槽）	44
3.5.11	外形铣削精加工（外形）	46
3.5.12	平面铣削精加工	48
3.5.13	实体模拟加工	49
3.6	小结	50
3.7	提高练习	50

第四章 盒子下盖凸模编程实例

4.1	任务目标	51
4.2	任务导入	51
4.3	任务分析	51
4.3.1	图形分析	51
4.3.2	工艺分析	51
4.3.3	刀路规划	52
4.4	准备工作	52
4.4.1	选择机床	52
4.4.2	模拟设置	52
4.4.3	刀具设置	52
4.4.4	新建刀具路径群组	52
4.5	刀路编制	52
4.5.1	平面铣削精加工	52
4.5.2	曲面挖槽粗加工	54
4.5.3	外形铣削粗加工	59
4.5.4	外形铣削精加工（最大 轮廓线）	62
4.5.5	曲面挖槽精加工（中间凹槽 椭圆处）	65
4.5.6	曲面挖槽精加工（中间 凹槽）	68
4.5.7	曲面等高外形精加工（ $\phi 8\text{mm}$ 立铣刀）	71
4.5.8	外形铣削精加工	75
4.5.9	曲面等高外形精加工	76
4.5.10	平行铣削精加工（零件凸圆柱	

	上的圆弧曲面）	77
4.5.11	平行铣削精加工（零件右下角 曲面）	81
4.5.12	实体模拟加工	83
4.6	小结	83
4.7	提高练习	83

第五章 三角凸台编程实例

5.1	任务目标	84
5.2	任务导入	84
5.3	任务分析	84
5.3.1	图形分析	84
5.3.2	工艺分析	84
5.3.3	刀路规划	84
5.4	准备工作	85
5.4.1	选择机床	85
5.4.2	模拟设置	85
5.4.3	刀具设置	85
5.4.4	新建刀具路径群组	85
5.5	刀路编制	85
5.5.1	曲面挖槽粗加工	85
5.5.2	曲面挖槽精加工	88
5.5.3	浅平面半精加工	90
5.5.4	等高外形精加工	92
5.5.5	平行铣削精加工（凸圆弧 曲面）	95
5.5.6	平行铣削精加工（右侧 曲面）	97
5.5.7	镜像平行铣精加工刀具 路径	100
5.5.8	平行铣削精加工（后侧 曲面）	102
5.5.9	外形铣削精加工	104
5.5.10	实体模拟加工	106
5.6	小结	106
5.7	提高练习	106

第六章 烟灰缸编程实例

6.1	任务目标	107
6.2	任务导入	107
6.3	任务分析	107

6.3.1 图形分析	107	7.5 刀路编制	134
6.3.2 工艺分析	107	7.5.1 外形铣削粗加工 ($\phi 100\text{mm}$ 凸圆柱)	134
6.3.3 刀路规划	107	7.5.2 外形铣削粗加工 (底座)	136
6.4 准备工作	108	7.5.3 外形铣削精加工 ($\phi 100\text{mm}$ 凸圆柱)	137
6.4.1 选择机床	108	7.5.4 外形铣削精加工 (底座)	138
6.4.2 模拟设置	108	7.5.5 外形铣削粗加工 ($\phi 20\text{mm}$ 凹 圆柱)	138
6.4.3 刀具设置	108	7.5.6 外形铣削精加工 ($\phi 20\text{mm}$ 凹 圆柱)	140
6.4.4 新建刀具路径群组	108	7.5.7 平行铣削粗加工 (倾斜 曲面)	140
6.5 刀路编制	108	7.5.8 外形铣削粗加工 ($\phi 50\text{mm}$ 和 $\phi 82\text{mm}$ 内侧)	142
6.5.1 曲面挖槽粗加工	108	7.5.9 外形铣削粗加工 ($\phi 34\text{mm}$ 和 $\phi 66\text{mm}$ 外侧)	144
6.5.2 标准挖槽精加工	112	7.5.10 外形铣削精加工 ($\phi 54\text{mm}$ 和 $\phi 82\text{mm}$ 内侧)	144
6.5.3 等高外形精加工 ($\phi 10\text{mm}$ 立铣刀)	113	7.5.11 外形铣削精加工 ($\phi 34\text{mm}$ 和 $\phi 66\text{mm}$ 外侧)	145
6.5.4 等高外形精加工 ($\phi 8\text{mm}$ 球刀)	119	7.5.12 平行铣削精加工 (倾斜 曲面)	146
6.5.5 等高外形精加工 (凹槽 $R2.5\text{mm}$ 圆角曲面)	121	7.5.13 实体模拟加工	148
6.5.6 平行铣削精加工 (上、下方 $R9\text{mm}$ 圆弧)	123	7.6 小结	148
6.5.7 平行铣削精加工 (左、右 $R9\text{mm}$ 圆弧)	125	7.7 提高练习	149
6.5.8 等高外形精加工 (凹槽 $R3.6\text{mm}$ 圆弧曲面)	126		
6.5.9 外形铣削精加工	129		
6.5.10 实体模拟加工	130		
6.6 小结	131		
6.7 提高练习	131		
第七章 简管零件编程实例	133		
7.1 任务目标	133		
7.2 任务导入	133		
7.3 任务分析	133		
7.3.1 图形分析	133		
7.3.2 工艺分析	133		
7.3.3 刀路规划	133		
7.4 准备工作	134		
7.4.1 选择机床	134		
7.4.2 模拟设置	134		
7.4.3 刀具设置	134		
7.4.4 新建刀具路径群组	134		
		第八章 装饰品编程实例	150
		8.1 任务目标	150
		8.2 任务导入	150
		8.3 任务分析	150
		8.3.1 图形分析	150
		8.3.2 工艺分析	150
		8.3.3 刀路规划	150
		8.4 准备工作	151
		8.4.1 选择机床	151



8.4.2 模拟设置	151	9.4.4 新建刀具路径群组	180
8.4.3 刀具设置	151	9.5 刀路编制	180
8.4.4 新建刀具路径群组	151	9.5.1 曲面挖槽粗加工	180
8.5 刀路编制	151	9.5.2 标准挖槽半精加工	184
8.5.1 曲面挖槽粗加工	151	9.5.3 外形铣削半精加工	184
8.5.2 曲面挖槽精加工（六棱柱上 表面）	154	9.5.4 平行铣削半精加工（整体 曲面）	187
8.5.3 曲面挖槽精加工（椭圆体 表面）	156	9.5.5 外形铣削精加工	189
8.5.4 外形铣削精加工（椭圆体 侧边）	158	9.5.6 平行铣削精加工（整体 曲面）	191
8.5.5 放射状精加工（半凸球曲面 与 R2mm 圆角曲面）	160	9.5.7 实体模拟加工	193
8.5.6 等高外形精加工	162	9.6 小结	193
8.5.7 平行铣削精加工	163	9.7 提高练习	193
8.5.8 旋转复制刀具路径	169	第十章 座机盖编程实例	194
8.5.9 放射状精加工	171	10.1 任务目标	194
8.5.10 镜像放射状精加工刀具 路径	172	10.2 任务导入	194
8.5.11 外形铣削精加工（ $\phi 27.7\text{mm}$ 圆）	173	10.3 任务分析	194
8.5.12 标准挖槽精加工	175	10.3.1 图形分析	194
8.5.13 投影精加工	175	10.3.2 工艺分析	194
8.5.14 实体模拟加工	177	10.3.3 刀路规划	195
8.6 小结	178	10.4 准备工作	195
8.7 提高练习	178	10.4.1 选择机床	195
第九章 双心模型编程实例	179	10.4.2 模拟设置	195
9.1 任务目标	179	10.4.3 刀具设置	195
9.2 任务导入	179	10.4.4 新建刀具路径群组	195
9.3 任务分析	179	10.5 刀路编制	195
9.3.1 图形分析	179	10.5.1 外形铣削粗加工	195
9.3.2 工艺分析	179	10.5.2 外形铣削精加工	198
9.3.3 刀路规划	179	10.5.3 平行铣削粗加工	199
9.4 准备工作	180	10.5.4 曲面挖槽粗加工（大 凹槽）	201
9.4.1 选择机床	180	10.5.5 曲面挖槽粗加工（跑道 形槽）	205
9.4.2 模拟设置	180	10.5.6 环绕等距精加工（上表 面）	207
9.4.3 刀具设置	180	10.5.7 环绕等距精加工（小 凹槽）	210

10.5.8 等高外形精加工	212
10.5.9 平行铣削精加工	215
10.5.10 残料清角精加工	217
10.5.11 实体模拟加工	221
10.6 小结	221
10.7 提高练习	221

第十一章 双面加工编程实例

11.1 任务目标	222
11.2 任务导入	222
11.3 任务分析	222
11.3.1 图形分析	222
11.3.2 工艺分析	222
11.3.3 刀路规划	223
11.4 准备工作	223
11.4.1 选择机床	223
11.4.2 模拟设置	223
11.4.3 刀具设置	224
11.4.4 新建刀具路径群组	224
11.5 刀路编制	224
11.5.1 面铣削精加工（底面）	226
11.5.2 外形铣削粗加工（底面轮廓）	228
11.5.3 标准挖槽粗加工（底面最大凹槽）	230
11.5.4 标准挖槽粗加工（底面椭圆凹槽）	232
11.5.5 标准挖槽精加工（底面最大凹槽）	235
11.5.6 标准挖槽精加工（立铣刀加工底面椭圆凹槽）	237
11.5.7 外形铣削精加工（底面轮廓）	238
11.5.8 钻孔	239
11.5.9 二维高速粗加工（顶面圆凸台）	241
11.5.10 二维高速粗加工（顶面凸台）	245
11.5.11 面铣削精加工（中间圆	

表面）

11.5.12 二维高速精加工（顶面圆凸台）	251
11.5.13 二维高速精加工（顶面凸台）	253
11.5.14 曲面挖槽粗加工（中间凹球）	254
11.5.15 二维轮廓粗加工	257
11.5.16 环绕等距精加工	258
11.5.17 实体模拟加工	260
11.6 小结	261
11.7 提高练习	261

第十二章 凸凹模配合编程实例

12.1 任务目标	262
12.2 任务导入	262
12.3 任务分析	262
12.3.1 图形分析	262
12.3.2 工艺分析	262
12.3.3 刀路规划	262
12.4 准备工作	264
12.4.1 选择机床	264
12.4.2 模拟设置	264
12.4.3 刀具设置	264
12.4.4 新建刀具路径群组	264
12.5 刀路编制	264
12.5.1 平面加工（凸模上表面）	264
12.5.2 外形铣削粗加工（凸模最大轮廓）	265
12.5.3 外形铣削精加工（凸模最大轮廓）	268
12.5.4 外形铣削粗加工（凸模长方形轮廓）	270
12.5.5 外形铣削精加工（凸模长方形轮廓）	271
12.5.6 钻通孔（凸模通孔）	272
12.5.7 平面加工（凹模上表面）	274
12.5.8 外形铣削粗加工（凹模最大	



轮廓)	274
12.5.9 外形铣削精加工(凹模最大轮廓)	274
12.5.10 标准挖槽粗加工(凹模最大轮廓)	274
12.5.11 标准挖槽精加工(凹模最大轮廓)	277
12.5.12 钻通孔(凹模通孔)	279
12.5.13 实体模拟加工	279
12.6 小结	280

12.7 提高练习	280
-----------------	-----

第十三章 刀具路径后处理方法

13.1 后处理	281
13.2 后处理操作实例	281
13.3 小结	283
13.4 提高练习	284

参考文献

Mastercam 是美国的 CNC Software 公司开发的集 CAD/CAM 于一体的软件。它具有二维绘图、三维实体造型、曲面设计、数控编程和刀具路径生成等功能。其方便直观的操作界面为用户提供了设计零件所需的所有功能环境。其强大的建模功能能够设计出复杂的零件。Mastercam 具有强大的二维绘图和三维造型、精加工功能,提供了多种先进的加工技术和丰富的曲线拟合加工技术,可为用户提供最佳的加工方法,以加工复杂零件。另外,Mastercam 的半精加工功能为零件加工提供了更多的灵活性。Mastercam 相比其他同类软件具有非常高的性价比,广泛应用于工业界及学校。

1.2 Mastercam 编程特点

1) 操作简单。Mastercam 编程界面简洁,操作简单。对于初学者来说,只要掌握基本的操作方法,基本上就能掌握其所有的功能操作。其互易的操作生成方法操作简便。特别是二维刀具路径的生成方法,其简单方便,即使没有实体模型也能操作。二维刀具路径的生成方法,其简单方便,即使没有实体模型也能操作。二维刀具路径的生成方法,其简单方便,即使没有实体模型也能操作。

2) 方便、快捷。这是 Mastercam 软件编程的最大特点。跟很多同类软件相比,Mastercam 在 2D 方面的编程是不如 Mastercam。Mastercam 中,它采用拖拽的方式,非常方便。除了直接生成曲线外,还可以用曲线。而且,Mastercam 的曲线生成方法,其简单方便,即使没有实体模型也能操作。除了直接生成曲线外,还可以用曲线。而且,Mastercam 的曲线生成方法,其简单方便,即使没有实体模型也能操作。

3) 强大的 3D 功能。Mastercam 的 3D 功能非常强大。它不仅可以生成 3D 模型,还可以生成 3D 模型。Mastercam 的 3D 功能非常强大。它不仅可以生成 3D 模型,还可以生成 3D 模型。Mastercam 的 3D 功能非常强大。它不仅可以生成 3D 模型,还可以生成 3D 模型。

4) 强大的 2D 功能。Mastercam 的 2D 功能非常强大。它不仅可以生成 2D 模型,还可以生成 2D 模型。Mastercam 的 2D 功能非常强大。它不仅可以生成 2D 模型,还可以生成 2D 模型。Mastercam 的 2D 功能非常强大。它不仅可以生成 2D 模型,还可以生成 2D 模型。

5) 强大的 3D 功能。Mastercam 的 3D 功能非常强大。它不仅可以生成 3D 模型,还可以生成 3D 模型。Mastercam 的 3D 功能非常强大。它不仅可以生成 3D 模型,还可以生成 3D 模型。Mastercam 的 3D 功能非常强大。它不仅可以生成 3D 模型,还可以生成 3D 模型。

第一章 概 述

1.1 Mastercam 简介

Mastercam 是美国 CNC Software 公司开发的集 CAD/CAM 技术于一体的软件。它具有二维绘图、三维实体造型、曲面设计、数控编程和刀具路径模拟等功能。其方便直观的几何造型功能为用户提供了设计零件外形所需的理想环境,其强大而稳定的造型功能可设计出复杂的零件。Mastercam 具有强大的二维造型和三维造型粗、精加工功能,提供了多种先进的粗加工技术和丰富的曲面精加工技术,可为用户提供最好的加工方法,以加工复杂零件。另外,Mastercam 的多轴加工功能为零件加工提供了更多的灵活性。Mastercam 相比其他同类软件具有非常高的性价比,广泛应用于工业界及学校。

1.2 Mastercam 编程特点

1) 简单易学。Mastercam 编程界面简练,随着版本的升级,操作显得越来越人性化,只要有使用软件经验的人,基本上都能根据其提示完成全部操作。其刀具路径的生成方法操作简便,特别是二维刀具路径的生成方法,其自带的刀具路径与实体模拟功能使初学者理解刀路功能时更加容易、生动、深刻。而且,CAD/CAM 软件功能已经相当成熟,使编程工作得到了大大的简化,降低了学习的难度,降低了对编程人员的要求,使其普及率大为提高。

2) 方便、快捷。这是 Mastercam 软件编程的最大特点,是很多同类软件无法比拟的,如 2D 刀路的生成。UG 在这方面的编程就不如 Mastercam。Mastercam 中,轮廓线的选取是非常方便的,除了直接串连选取外,还可以采用窗选,而且串连选取时只要注意一下选取的起始点就很容易将刀具的切入点确定下来。当下一步刀路的生成方式和前面的相同时,只要在前面的基础上进行复制并粘贴加工刀路后再作一些加工参数的修改,即可轻松完成下一步刀路的生成。

3) 相关性好。图素和刀具路径的相关联性使得对图素或加工参数进行修改时,可立即获得一个精确的更新过的刀具路径,极大地提高了效率。Mastercam 系统储存了一个常用的操作数据库,可用于自动加工。用户只要把常用的加工方法和加工参数存储于数据库中,使用时将其调出来并作适当的修改即可完成当前任务。

4) 不可小看的 2D 功能。通过 2D 刀具路径方法可以加工很简单的 2D、2.5D 零件,也可以加工很复杂的 2D、2.5D 零件。它提供了数控加工中所需的工具,可迅速编制出优质可靠的数控加工程序,极大地提高编程者的工作效率。

5) 强大的曲面加工功能。曲面加工功能非常灵活,而且加工方法丰富。粗加工功能强

大,能对曲面、实体或两者的混合进行加工,能识别需用小刀加工的残料区域,能自动调整所有粗加工的切入点。精加工方法多样,能加工复杂零件。清角加工时,Mastercam 系统自动对剩余材质进行识别,并清除零件表面的剩余材料进行加工,以获得好的表面质量。

6) 高效的高速加工和多轴加工功能。高速加工和多轴加工提升了零件加工的灵活性,结合高速加工和多轴加工的特点,可方便、快速地编制出高质量的加工程序。

1.3 刀具路径说明及注意事项

在铣床编程中,Mastercam X5 支持 2 轴、3 轴和多轴加工,所提供的供选择的生成刀具路径有二维加工、曲面粗加工、曲面精加工、线框加工和多轴加工五大类加工模组。在加工模块中,Mastercam 通过对所提供的加工对象(零件造型)设置刀具参数和加工方法(即刀具路径加工模组)来生成刀具路径文件(即 NCI 文件)。这里只介绍目前数控铣床常用的刀具路径功能及注意事项。

1.3.1 二维加工

基于特征的铣削加工:根据 3D 实体模型特征自动进行工艺规划和铣削的编程加工。该功能简单易学,只需提供 3D 实体模型特征。使用时,操作者可以根据需要进行相关参数的设置或直接由 Mastercam 根据零件的特征信息自动给出最适合的加工策略。

外形铣削:生成沿二维或三维曲线移动的刀具路径,通常用于工件的外形加工,可实现料外进刀,切入点应避开曲线的拐角处。该刀路可以加工简单的工件,也可以加工很复杂的工件,可实现粗/精加工。

钻孔加工:主要用于钻孔和攻螺纹等,以点确定加工位置。

挖槽加工:对开放或封闭曲线边界所包围的材料进行加工,从而获得所需的形状,可实现粗/精加工,操作方便简单。对封闭凹槽粗加工时,要注意设置好刀具在坯料上进刀,切入时选用螺旋或斜线切入,其进给方式首先选择双向铣削。

面铣削:在同一深度内生成铣削加工的刀具路径,常用于平面精加工。用外形铣削和二维挖槽加工可达到相同的效果。

二维高速加工:生成二维高速加工刀具路径,相比外形轮廓铣,具有高速、高效的特点。

雕刻加工:用于生成文字雕刻加工的刀具路径,可以说是挖槽加工的一种特殊形式。

1.3.2 三维曲面粗加工

平行粗加工:生成分层平行铣削的粗加工刀具路径,加工后工件表面纹路呈平行条状。由于其刀路生成时间长,提刀较多,粗加工效率低,故较少采用。

放射状粗加工:生成以定点为中心的放射状粗加工刀具路径,加工后工件表面纹路呈放射状。生成的刀具路径在靠近中心位置重叠多,但是离中心位置越远,刀路间的间距越大,往往使余量过多,而且提刀次数多,刀路生成时间长,效率低,较少采用。

投影粗加工:将几何图素或已有的刀路数据投影到曲面上,形成新的加工刀具路径。

曲面流线粗加工:刀具依据构成曲面的横向或纵向结构线方向进行加工。

等高外形粗加工:刀具沿曲面进行等高曲线加工,对复杂曲面的加工效果显著,加工后的工件表面呈梯田状。



残料清除粗加工：对已加工或用较大刀具加工所残留的材料作进一步修整加工，达到清除残料的目的，但其刀路生成时间长，故较少采用。

曲面挖槽粗加工：根据曲面形态在 Z 方向分层，生成位于曲面与加工边界之间的所有材料，加工后的工件表面呈梯田状。其设置操作简单，刀路生成时间短，刀具切削负荷均匀，几乎能将曲面需要去除的材料都清除完毕。相比于其他粗加工刀路，其加工效率是最高的，常作为粗加工第一首选方案，其进给方式首先选择双向铣削。

插削式粗加工：在曲面与凹槽边界材料之间生成类似于钻孔方式的刀具路径，加工效率高，但是对机床和刀具的性能要求高，加工成本高。

1.3.3 三维曲面精加工

平行精加工：与粗加工类型相似，无深度方向的分层控制。加工较平坦的曲面时能取得较好的效果，但加工有陡斜面的零件时效果较不明显，此时需注意加工角度的控制。精加工时应用广泛，粗加工时也可使用。

平行陡斜面精加工：生成清除曲面斜坡上残留材料的精加工刀具路径。一般作为加工陡斜面效果不佳时的补充方案，与其他加工方法配合使用，可达到良好的效果。

放射状精加工：与粗加工类型相似，适用于球类特征的曲面精加工。当加工范围不大时，能取得较好的加工效果。

投影精加工：与粗加工类型相似，将几何图素或已有的刀路数据投影到曲面上形成新的加工刀具路径，一般作为补充加工方案用。

曲面流线精加工：与粗加工类型相似，刀具依据构成曲面的横向或纵向结构线方向进行加工。

等高外形精加工：与粗加工类型相似，广泛应用于直壁或陡峭面的精加工，应用广泛。

浅平面精加工：与等高外形加工相似，适合于加工小坡度的曲面，加工范围由角度限制，加工效果好，可作为等高外形加工效果不佳时的补充方案。

交线清角精加工：在曲面相交处生成刀具路径以清除残料，是比较实用的清角方法，作为补加工用。

残料清除精加工：用于生成因使用较大直径刀具加工所残留的材料的精加工刀具路径，刀路生成时间长。

环绕等距精加工：生成以等步距环绕工件曲面加工的刀具路径，加工坡度不大的曲面时可取得良好效果，适用范围较广。

以上介绍了一些刀具路径的特点和适用范围，在真正编程时，并不是生搬硬套一种方法就能达到全部加工效果的。在实践中，往往要针对零件不同的特征信息采用不同的刀路，并对零件进行分区域，有时甚至需要二次细分区域加工。从生成刀具路径的角度来说，对零件进行自动编程，其实就是使用 CAM 软件提供的刀具路径进行刀路建模。建模结果就是所生成的刀具路径，以及刀具回转体本身所占有的空间共同构成的空间集合，也就是所要加工的零件外形，甚至可以说它是零件建模的一个逆过程，这就好像是凸模与凹模的关系。在实际工作中，一般应掌握的刀路有：外形铣削、钻孔加工、挖槽加工、曲面挖槽粗加工、曲面平行精加工、曲面等高外形精加工和环绕等距精加工。这 7 种刀路足可完成 90% 以上的加工任务，其他曲面加工刀路一般作为补充加工用。

1.4 编程策略

在进行数控编程时，有两项工作是必须做好的：其一是分析加工对象和划分加工区域，其二是规划加工路线。

1.4.1 分析加工对象和划分加工区域

只有结合工件特点去考虑刀路的适用特点，做好刀路分工（即针对不同的形状特点需采用不同的刀路）才能获得好的加工效果。需要进行分区域加工的情况有如下几种。

尺寸差异较大：如出现一处转角半径为 $R10\text{mm}$ ，而另一处却为 $R3\text{mm}$ 的拐角；或有的加工表面比较宽，而有的加工表面却很狭窄，特别是拐角处或较小的型腔等。这些区域的尺寸变化大，需针对不同的地方采用不同的刀具进行加工。为了提高加工效率，一般先尽可能采用大尺寸刀具进行粗加工，对于小的加工表面再采用小尺寸刀具进行加工，使加工具有完整性。

形状差异较大：特别是同时出现平整面与自由曲面时，有的加工表面很平坦，有的加工表面形状变化大，如陡然变化的凸、凹曲面等。平整面尽可能采用二维加工，一些较平坦的自由曲面可采用平行铣，陡然变化的曲面一般采用等高外形加工，这些都需要针对不同的形状特点采用不同的加工方式，以获得好的加工品质。

精度和表面质量要求差异较大：因工件的使用特点，不同的地方会有不同的精度和表面粗糙度的要求。采用球头立铣刀精加工自由曲面时，表面质量要求高的加工表面，需采用较小的步距进行加工，表面质量要求不高的加工表面，可采用较大的步距进行加工，真正做到有的放矢，提高加工效率。

1.4.2 规划加工路线

一般的加工过程都是由粗加工、半精加工、精加工和清角加工构成的。

粗加工：粗加工的目的是以最快的速度去除加工余量，其效率取决于切削速度（进给量和吃刀量），以及所采用的刀具路径。曲面粗加工以“傻瓜式”的曲面挖槽加工刀路为主，基本上能实现 80% 以上的加工任务，而且效果显著。对于一些陡斜曲面的残留部分，采用小尺寸刀具进行等高外形刀路加工或环绕等距刀路加工。结合工件形状特点适当采用一些二维刀路会更简便、快捷。粗加工时，尽可能采用大尺寸刀具，再用小尺寸刀具清除残料，保证余量一致之后再行精加工，以取得好的加工品质。要结合实际情况仔细分析好残料的多少，特别是采用小尺寸刀具加工时，如果对残料的估算不准确或对余量把握不好，都会造成刀具损坏和过切、弹刀乃至精加工余量大和切削不到的情况。在采用大的切削速度加工大型零件时，要合理安排好工序。粗加工后，为防止变形，应在保证零件已冷却的情况下，再进行下一工序的加工。

精加工：精加工的目的是达到所要求的加工精度和表面质量，根据曲面形状特点选用相应的刀路。平行精加工刀路适用范围广，使用率最高，但是较陡峭的一边会不好铣削，需要控制好加工角度和高度。凸台顶部的窄平面可用外形加工刀路沿直线铣削，刀路简单快捷。完全平整的曲面采用挖槽加工刀路比二维刀路效率高，且表面质量好，如模具分型面的加工。陡斜曲面与平整曲面连接优先选用小尺寸刀具和等高外形刀路，需同时控制加工高度。平面中间有较多凸起部位时，可用曲面挖槽加工刀路，限制加工高度，只对平面所在高度进



行加工。当控制加工深度不便于确定出单纯适合于平行精加工或等高外形加工的曲面时,可用平行陡斜面加工或浅平面加工。加工大型零件或零件曲面造型复杂时,需要合理分布刀路,做到成区域或成类型分开加工。

清角加工:清角加工的目的在于去除精加工时剩余的残料,根据曲面交线处的特性选择不同的刀路。平面与曲面交线处的清角一般用立铣刀按等高外形刀路进给较为合适,需控制加工高度。对于一些垂直面的加工,采用立铣刀按外形铣刀路,不但计算速度快,而且可进行分层铣削。曲面造型复杂时,可用交线清角加工。残料清除加工刀路可用于计算清角刀路,但其计算时间较长,较少采用。针对曲面特点适当地加工一些简单的二维刀路或利用曲面边界生成曲线,又或者通过曲面修整以辅助刀路的生成,往往在起到优化刀路效果的同时还可以获得好的加工品质。

最后,所有加工过程中都要避免刀路中有直角或尖角,突然拐角和急刹容易引起过切和弹刀,对机床的损坏也很大。刀路尽量走圆弧,这也是高速加工中的刀路都是自动转圆角的原因。

1.5 CAM 软件数控编程的一般步骤

熟练掌握 CAM 软件数控编程的流程是对每个使用 CAM 软件编程人员的基本要求,可以有效减少加工过程中的出错率,提高加工效率。一般 CAM 软件的数控编程流程如下:

1.5.1 获得 CAD 模型

CAD 模型是 CAM 进行 NC 编程的前提和基础,任何 CAM 的程序编制必须有 CAD 模型作为加工对象才能进行编程。CAD 模型可以由 CAM 软件自带的 CAD 功能直接造型获得,或是通过与其他软件进行数控转换获得。目前,很多 CAM 软件都集中有这两种功能,如 Mastercam、UG、Catia、Cinmatron 和 Pro/E 等。Mastercam 可以直接读取其他 CAD 软件所做的造型,如 PRT、DWG 等文件。通过 Mastercam 的标准转换接口可以转换并读取如 IGES、STEP 等文件。

1.5.2 分析 CAD 模型和确定加工工艺

1. 分析 CAD 模型

对 CAD 模型进行分析是确定加工工艺的首要工作,要细致地做好模型的几何特点、形状与位置的公差要求、表面粗糙度要求、毛坯形状、材料性能要求、生产批量大小等分析。其中,进行几何分析时应根据方便编程加工的原则确定好工件坐标系,为使生成的刀具路径规范化,应考虑对一些特殊的曲面部分是不是要进行曲面修补或其他编辑,要不要作一些辅助线作为加工轨迹用或限定加工边界等。

2. 确定加工工艺

选择加工设备:根据模型的几何特点,选择并确定好数控加工的部位及各工序内容,以充分发挥数控设备的功用。因为并不是所有的部位都可以采用数控铣床或加工中心去完成加工任务的,如有些方的或细小尖角部位应使用线切割或电火花才能完成加工。

选择夹具:采用什么样的装夹工具与方法。装夹时,应考虑在加工过程中防止工件与夹具发生干涉。

划分加工区域:针对不同的区域进行规划加工,往往可以起到事半功倍的效果。

加工顺序和走刀方式：根据粗、精加工的顺序及加工余量的分配确定加工顺序和走刀方式，缩短加工路线，减少空走刀，分清什么时候采用顺铣、什么时候采用逆铣。

确定刀具参数：选好刀具的种类和大小，设置合理的进给速度、主轴转速和背吃刀量，同时考虑采用什么样的冷却方式，以充分发挥刀具的性能。

根据以上内容编写好数控加工工序单，将其作为数控编程的技术指导文件。

1.5.3 自动编程

结合加工工艺确定的内容，设置相关参数后，CAM 系统将根据设置结果进行刀具路径的生成。

1.5.4 程序检验

编制好的刀具路径必须进行检验，避免因个别程序出错影响加工效果或造成事故，主要检查是否过切、欠切或夹具与工件之间是否干涉。可通过刀具路径重绘查看刀路有无明显的不正常现象，如有些圆弧或直线形状不正常，显得杂乱等，也可利用实体模拟加工观察切削效果。

1.5.5 后处理

将生成的刀具路径文件转化为 NC 程序代码并导出，对 NC 文件进行一定的编辑后传输到数控机床进行实际加工。

其中，分析 CAD 模型和确定加工工艺是关键，也是编程的难点，它决定了加工程序的编制、刀具路径的质量和加工效益。

1.6 小结

本章介绍了 Mastercam 的基本知识、Mastercam 编程特点、刀具路径说明和编程策略，以及 CAM 软件数控编程的一般步骤，可使读者对 Mastercam X5 的数控编程模块有一定的认识。

第二章 数控编程基础及编程注意事项

数控编程人员必须掌握一定的数控加工基础知识，如编程指令的使用、刀具的选用、加工参数的设置、走刀方式的选择，以及加工时应注意的事项等。只有真正掌握了数控指令，才能更好地深入理解数控自动编程，同时使用好 CAM 软件进行自动编程，控制刀路时才能做到游刃有余。刀具的选用、加工参数的设置，以及走刀方式的选择等作为数控加工工艺的内容将直接影响数控加工的质量和效率，因此作为一名合格的编程人员，应熟悉数控加工工艺。

2.1 数控程序的结构

数控程序的结构如图 2-1 所示。

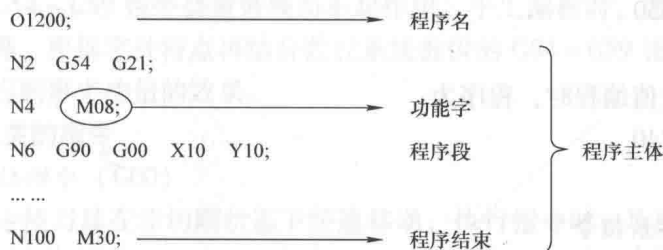


图 2-1 数控程序的结构

其中，程序结构中的程序段顺序号由地址 N 表示，该顺序号可省略，特别是采用手工编程时，可提高编程效率。N 只表示程序段标号，主要用于查找或修改程序（如对加工过程中的某一段错误程序提供查找信息），在加工过程中不起任何作用。顺序号可递增或递减，且不要求数值具有连续性，但在使用某些循环指令、宏指令、调用子程序及镜像指令时不可省略。

2.2 常用数控指令介绍

数控编程指令有模态指令与非模态指令之分。模态指令具有延续性，在同组的其他指令出现之前一直有效，不受程序段多少的限制，而非模态指令只在当前程序段有效，不具有延续性。

下面简单介绍常用的 G、M 指令。

2.2.1 单位设定（G20、G21、G22）

G20 指令用于指定英制输入制式，G21 指令用于指定米制输入制式，G22 指令用于指定脉冲当量输入制式。

2.2.2 坐标系指令

1. 绝对坐标和增量坐标指令（G90、G91）

数控编程中可以采用绝对值编程也可以采用增量值编程，或者采用绝对值与增量值混合