

赠视频教程



CAD/CAM技术系列案例教程
职业教育教学改革规划教材

Master CAM X³

数控编程案例教程

杨志义 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



CAD/CAM 技术系列案例教程

职业教育教学改革规划教材

MasterCAM X³ 数控编程案例教程

杨志义 编

MasterCAM X³

2009.8

CAD/CAM 技术

ISBN 978-7-111

2009.8

2009.8

CAD

2009.8

2009.8

CAD

ISBN

1.1

CAM X

中国



机械工业出版社

数控技术是一门实践性很强的技术,采用 CAM 软件进行数控编程是其中的一部分。编者在多年的实践与教学工作基础上编写了本书。本书主要内容有: MasterCAM X³ 新增功能及其编程技术;数控编程基础及编程注意事项; MasterCAM X³ 二维刀具路径的应用;曲面挖槽刀具路径、平行铣削刀具路径以及等高外形刀具路径的应用; MasterCAM X³ 数控编程中干涉曲面的应用;根据图形特点巧妙地建立辅助曲面以生成流畅的刀具路径;运用外形铣削刀具路径实现在窄小区域的加工;放射状刀具路径和投影刀具路径的应用,以提高读者工艺处理能力和三维曲面常规编程能力;环绕等距刀具路径与残料清角刀具路径的应用,以提高读者区域划分与刀具路径的控制能力;二维高速加工刀具路径的应用,以及关于双面加工的编程方法;通过手工修改适合华中数控系统的后处理程序。

考虑到数控技术的应用性,本书以突出实践应用为主。在 MasterCAM X³ 版本的基础上结合实例,主要介绍 MasterCAM 的 3 轴编程加工刀具路径的应用。所精选的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 数控编程中最常用的刀具路径,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,从而间接丰富读者的加工经验和提高读者独立编程的能力。

本书为职业院校和数控加工培训机构的教材,也可作为数控编程人员 CAM 技术的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

MasterCAM X³ 数控编程案例教程/杨志义编. —北京:机械工业出版社, 2009. 8

CAD/CAM 技术系列案例教程. 职业教育教学改革规划教材
ISBN 978-7-111-28242-6

I. M… II. 杨… III. 数控机床—程序设计—应用软件, Mastercam
CAM X3—职业教育—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 159178 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:崔占军 责任编辑:崔占军 版式设计:张世琴

责任校对:张媛 封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.25 印张·523 千字

0 001—3 000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-28242-6

ISBN 978-7-89451-201-7(光盘)

定价:39.00 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

社服务中心:(010) 88361066 门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649 教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

数控技术越来越普及,市场对数控技术人才的需求也在不断增加。数控技术是一门实践性很强的技术,采用 CAM 软件进行数控编程是其中的一部分。目前相关的图书很多,但真正结合实践加工进行编程讲解的书却不多。编者在多年的实践与教学工作经验基础上编写了本书。

考虑到数控技术的应用性,本书以突出实践应用为主。在 MasterCAM X³ 版本的基础上结合实例,主要介绍 MasterCAM 的 3 轴编程加工的应用。所精选的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 数控编程中最常用的刀具路径,在编程中重点突出数控加工的实用性和技巧性。

本书共分 12 章,各章主要内容如下:

第 1 章介绍 MasterCAM X³ 新增功能及其编程技术。

第 2 章介绍数控编程基础及编程注意事项。

第 3 章通过实例介绍 MasterCAM X³ 二维刀具路径的应用。

第 4 章通过实例介绍曲面挖槽刀具路径、平行铣削刀具路径以及等高外形刀具路径的应用。

第 5 章通过实例介绍 MasterCAM X³ 数控编程中干涉曲面的应用。

第 6 章通过实例介绍如何根据图形特点巧妙地建立辅助曲面以生成流畅的刀具路径。

第 7 章通过实例介绍如何运用外形铣削刀具路径实现在窄小区域的加工。

第 8 章通过实例介绍放射状刀具路径和投影刀具路径的应用,以提高读者工艺处理能力。

第 9 章通过实例介绍提高三维曲面常规编程能力。

第 10 章通过实例介绍环绕等距刀具路径与残料清角刀具路径的应用,以提高读者区域划分与刀具路径的控制能力。

第 11 章通过实例介绍二维高速加工刀具路径的应用,以及关于双面加工的编程方法。

第 12 章通过实例介绍如何通过手工修改适合华中数控系统的后处理程序。

本书编写的过程中得到了何时刚老师的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,书中难免出现错漏,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	2.7 小结	22
第1章 概述	第3章 过渡板编程实例	23
1.1 MasterCAM X ³ 新增功能简介	3.1 任务目标	24
1.2 MasterCAM 编程特点	3.2 任务导入	24
1.3 刀具路径说明及注意事项	3.3 任务分析	24
1.3.1 二维加工	3.3.1 图形分析	24
1.3.2 三维曲面粗加工	3.3.2 工艺分析	24
1.3.3 三维曲面精加工	3.3.2 刀具路径规划	24
1.4 编程策略	3.4 准备工作	25
1.4.1 分析加工对象和划分加工区域	3.4.1 确定编程坐标系	25
1.4.2 规划加工路线	3.4.2 机床选择	27
1.5 CAM 软件数控编程一般步骤	3.4.3 模拟设置	27
1.5.1 获得 CAD 模型	3.4.4 刀具设置	28
1.5.2 分析 CAD 模型和确定加工工艺	3.4.5 新建刀具路径群组	29
1.5.3 自动编程	3.5 刀具路径编制	30
1.5.4 程序检验	3.5.1 钻中心孔	30
1.5.5 后处理	3.5.2 钻通孔	32
1.6 小结	3.5.3 标准挖槽粗加工（两凸台）	34
第2章 数控编程基础及编程注意	3.5.4 标准挖槽精加工（两凸台）	37
事项	3.5.5 开放式挖槽粗加工（三角	
2.1 数控程序的结构	形凹槽）	39
2.2 常用数控指令介绍	3.5.6 开放式挖槽精加工（三角	
2.2.1 单位设定指令：G20、G21、	形凹槽）	42
G22	3.5.7 外形铣削粗加工（左侧）	45
2.2.2 坐标系指令	3.5.8 外形铣削精加工（左侧）	48
2.2.3 与运动相关指令	3.5.9 标准挖槽粗加工（半圆凹槽）	49
2.2.4 辅助功能 M 指令	3.5.10 标准挖槽精加工（半圆凹槽）	52
2.2.5 主轴功能 S 代码	3.5.11 外形铣削精加工（外形）	54
2.2.6 进给功能 F 代码	3.5.12 面铣削精加工	56
2.2.7 刀具功能 T 代码	3.5.13 实体模拟加工	58
2.3 数控手工编程实例	3.6 小结	58
2.4 常用刀具选择与参数设置	3.7 提高练习	59
2.4.1 数控加工中常采用的刀具种类	第4章 盒子下盖凸模编程实例	60
2.4.2 刀具材料的选用	4.1 任务目标	61
2.4.3 切削加工参数的选择	4.2 任务导入	61
2.5 走刀路线的选择	4.3 任务分析	61
2.6 数控编程中常见问题及解决方法	4.3.1 图形分析	61



4.3.2	工艺分析	61	5.5.5	平行铣削精加工 (R135.43mm 凸圆弧曲面)	108
4.3.3	刀具路径规划	62	5.5.6	平行铣削精加工 (右侧曲面)	111
4.4	准备工作	62	5.5.7	镜像平行铣削精加工刀具 路径	114
4.4.1	机床选择	62	5.5.8	平行铣削精加工 (后侧曲面)	116
4.4.2	模拟设置	62	5.5.9	外形铣削精加工	119
4.4.3	刀具设置	62	5.5.10	实体模拟加工	121
4.4.4	新建刀具路径群组	62	5.6	小结	121
4.5	刀具路径编制	63	5.7	提高练习	121
4.5.1	平面铣削精加工	63	第6章 烟灰缸编程实例	122	
4.5.2	曲面挖槽粗加工	65	6.1	任务目标	123
4.5.3	外形铣削粗加工	70	6.2	任务导入	123
4.5.4	外形铣削精加工 (最大轮廓 线)	72	6.3	任务分析	123
4.5.5	曲面挖槽精加工 (中间凹槽 椭圆处)	74	6.3.1	图形分析	123
4.5.6	曲面挖槽精加工 (中间凹槽)	78	6.3.2	工艺分析	123
4.5.7	等高外形精加工	80	6.3.3	刀具路径规划	123
4.5.8	外形铣削精加工	85	6.4	准备工作	124
4.5.9	曲面等高外形精加工	87	6.4.1	机床选择	124
4.5.10	平行铣削精加工 (零件凸 圆柱上的圆弧曲面)	89	6.4.2	模拟设置	124
4.5.11	平行铣削精加工 (零件右 下角曲面)	91	6.4.3	刀具设置	124
4.5.12	实体模拟加工	93	6.4.4	新建刀具路径群组	124
4.6	小结	94	6.5	刀具路径编制	124
4.7	提高练习	94	6.5.1	曲面挖槽粗加工	124
第5章 三角凸台编程实例	95		6.5.2	标准挖槽精加工	129
5.1	任务目标	96	6.5.3	等高外形精加工 ($\phi 10\text{mm}$ 立铣刀)	131
5.2	任务导入	96	6.5.4	等高外形精加工 ($\phi 8\text{mm}$ 球刀)	138
5.3	任务分析	96	6.5.5	等高外形精加工 (凹槽 R2.5mm 圆角曲面)	141
5.3.1	图形分析	96	6.5.6	平行铣削精加工 (上、下方 R9mm 圆角曲面)	142
5.3.2	工艺分析	96	6.5.7	平行铣削精加工 (左、右方 R9mm 圆角曲面)	146
5.3.3	刀具路径规划	96	6.5.8	等高外形精加工 (凹槽 R3.6mm 圆角曲面)	148
5.4	准备工作	97	6.5.9	外形铣削精加工	152
5.4.1	机床选择	97	6.5.10	实体模拟加工	154
5.4.2	模拟设置	97	6.6	小结	155
5.4.3	刀具设置	97	6.7	提高练习	155
5.4.4	新建刀具路径群组	97	第7章 简管编程实例	156	
5.5	刀具路径编制	97	7.1	任务目标	157
5.5.1	曲面挖槽粗加工	97	7.2	任务导入	157
5.5.2	曲面挖槽精加工	100			
5.5.3	浅平面半精加工	103			
5.5.4	等高外形精加工	106			



7.3 任务分析	157	8.4.3 刀具设置	183
7.3.1 图形分析	157	8.4.4 新建刀具路径群组	183
7.3.2 工艺分析	157	8.5 刀具路径编制	183
7.3.3 刀具路径规划	157	8.5.1 曲面挖槽粗加工	183
7.4 准备工作	158	8.5.2 曲面挖槽精加工(六方体上表面)	186
7.4.1 机床选择	158	8.5.3 曲面挖槽精加工(椭圆体表面)	189
7.4.2 模拟设置	158	8.5.4 外形铣削精加工(椭圆体侧边)	192
7.4.3 刀具设置	158	8.5.5 放射状精加工(半凸球曲面与R2mm圆角曲面)	195
7.4.4 新建刀具路径群组	158	8.5.6 等高外形精加工	198
7.5 刀具路径编制	158	8.5.7 平行铣削精加工	199
7.5.1 外形铣削粗加工($\phi 100\text{mm}$ 凸圆柱)	158	8.5.8 旋转复制刀具路径	207
7.5.2 外形铣削粗加工(底座)	161	8.5.9 放射状精加工(左侧凹球曲面与圆角曲面)	208
7.5.3 外形铣削精加工($\phi 100\text{mm}$ 凸圆柱)	163	8.5.10 镜像放射状精加工刀具路径	210
7.5.4 外形铣削精加工(底座)	164	8.5.11 外形铣削精加工(半凸球倒R2mm圆角曲面)	211
7.5.5 外形铣削粗加工($\phi 20\text{mm}$ 凹圆柱)	165	8.5.12 标准挖槽精加工	214
7.5.6 外形铣削精加工($\phi 20\text{mm}$ 凹圆柱)	167	8.5.13 投影精加工	216
7.5.7 平行铣削粗加工(倾斜曲面)	169	8.5.14 实体模拟加工	217
7.5.8 外形铣削粗加工($\phi 50\text{mm}$ 和 $\phi 82\text{mm}$ 的内侧)	171	8.6 小结	219
7.5.9 外形铣削粗加工($\phi 34\text{mm}$ 和 $\phi 66\text{mm}$ 的外侧)	173	8.7 提高练习	219
7.5.10 外形铣削精加工($\phi 50\text{mm}$ 和 $\phi 82\text{mm}$ 的内侧)	174	第9章 双心模型编程实例	220
7.5.11 外形铣削精加工($\phi 34\text{mm}$ 和 $\phi 66\text{mm}$ 的外侧)	176	9.1 任务目标	221
7.5.12 平行铣削精加工(倾斜曲面)	177	9.2 任务导入	221
7.5.13 实体模拟加工	179	9.3 任务分析	221
7.6 小结	180	9.3.1 图形分析	221
7.7 提高练习	180	9.3.2 工艺分析	221
第8章 装饰品编程实例	181	9.3.3 刀具路径规划	221
8.1 任务目标	182	9.4 准备工作	222
8.2 任务导入	182	9.4.1 机床选择	222
8.3 任务分析	182	9.4.2 模拟设置	222
8.3.1 图形分析	182	9.4.3 刀具设置	222
8.3.2 工艺分析	182	9.4.4 新建刀具路径群组	222
8.3.3 刀具路径规划	182	9.5 刀具路径编制	222
8.4 准备工作	183	9.5.1 曲面挖槽粗加工	222
8.4.1 机床选择	183	9.5.2 标准挖槽半精加工	226
8.4.2 模拟设置	183	9.5.3 外形铣削半精加工	228
		9.5.4 平行铣削半精加工	230
		9.5.5 外形铣削精加工	233

9.5.6 平行铣削半精加工	235	11.4.1 机床选择	277
9.5.7 实体模拟加工	237	11.4.2 模拟设置	277
9.6 小结	237	11.4.3 刀具设置	278
9.7 提高练习	237	11.4.4 新建刀具路径群组	278
第 10 章 座机盖编程实例	239	11.5 刀具路径编制	278
10.1 任务目标	240	11.5.1 面铣削精加工（底面）	280
10.2 任务导入	240	11.5.2 外形铣削粗加工（底面轮廓）	282
10.3 任务分析	240	11.5.3 标准挖槽粗加工（底面最 大凹槽）	285
10.3.1 图形分析	240	11.5.4 标准挖槽精加工（底面精 圆凹槽）	287
10.3.2 工艺分析	240	11.5.5 标准挖槽精加工（底面最 大凹槽）	291
10.3.3 刀具路径规划	240	11.5.6 标准挖槽精加工（立铣刀 加工底面椭圆凹槽）	293
10.4 准备工作	241	11.5.7 外形铣削精加工（底面 轮廓）	294
10.4.1 机床选择	241	11.5.8 钻孔	296
10.4.2 模拟设置	241	11.5.9 二维高速粗加工（顶面 圆凸台）	298
10.4.3 刀具设置	241	11.5.10 二维高速粗加工（顶面 凸台）	303
10.4.4 新建刀具路径群组	241	11.5.11 面铣削精加工（中间圆 表面）	307
10.5 刀具路径编制	241	11.5.12 二维高速精加工（顶面 圆凸台）	309
10.5.1 外形铣削粗加工	241	11.5.13 二维高速精加工（顶面 凸台）	312
10.5.2 外形铣削精加工	244	11.5.14 曲面挖槽粗加工（中间 凹球）	314
10.5.3 平行铣削粗加工	246	11.5.15 二维轮廓粗加工	317
10.5.4 曲面挖槽粗加工（最大 凹槽）	249	11.5.16 环绕等距精加工	320
10.5.5 曲面挖槽粗加工（最小 凹槽）	253	11.5.17 实体模拟加工	322
10.5.6 环绕等距精加工（上表面）	257	11.6 小结	324
10.5.7 环绕等距精加工（最小 凹槽）	260	11.7 提高练习	324
10.5.8 等高外形精加工	264	第 12 章 刀具路径后处理方法	325
10.5.9 平行铣削精加工	267	12.1 后处理	326
10.5.10 残料清角精加工	270	12.2 后处理操作实例	326
10.5.11 实体模拟加工	274	12.3 小结	328
10.6 小结	274	12.4 提高练习	329
10.7 提高练习	274	参考文献	330
第 11 章 双面加工编程实例	275		
11.1 任务目标	276		
11.2 任务导入	276		
11.3 任务分析	276		
11.3.1 图形分析	276		
11.3.2 工艺分析	276		
11.3.3 刀具路径规划	277		
11.4 准备工作	277		

第 1 章

第1章

概述

1.1 MasterCAM X³ 新增功能简介

相比之前的旧版本，新版 MasterCAM X³ 最大的亮点就是增加了基于特征加工技术 (FBM) 和 Solidworks 完全集成的版本功能，在高速加工方面也有了新的改进，同时新增了一些编辑功能。现简单介绍如下：

基于特征加工 (FBM Feature Based Machining)：MasterCAM X³ 提供了一种强大的加工方法，根据 3D 实体模型特征自动进行工艺规划和铣削及钻孔的编程加工。该功能简单易学，只须提供 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 自动根据零件的特征信息给出最适合的加工策略。它可以轻松地帮你完成以下工作：

- 根据用户的标准，检测实体加工特征并选择 FBM 类型。
- 自动使用 2D 加工策略进行挖槽的粗精加工和残料加工。
- 自动支持闭合、开放、排料以及穿透挖槽，自动设置正确刀具路径。
- 可以随意为 Floor 和 Wall 产生精加工刀具路径。
- 需要时自动识别曲面。
- 自动产生钻孔、螺纹孔、埋头孔和沉孔。
- 自动选择深钻、点钻的刀具。
- 提供先进的加工通孔、不通孔的管理方法。
- 自动从刀具库或者自定义库中选择刀具。

使用 MasterCAM FBM 功能可缩短编程时间是显而易见的，生成的所有刀具路径是完全关联的，并且创建后用户可根据需要进行编辑修改。

Solidworks 完全集成功能：MasterCAM in Solidworks 是完全与 Solidworks 无缝连接的 CAM 系统。通过该功能用户可以在 Solidworks 环境下进行零件的编程，一样使用 MsaterCAM 业内领先的加工策略和刀具路径，真正地享受到 MsaterCAM 强大的兼容能力所带来的便利。

2D 高速加工：由原来只在 3D 加工中使用的高速加工扩大到 2D，使用崭新的 2D 高速加工刀具路径产生高效而且刀具负载小的刀具路径，让用户即使不使用高速加工机床也可以在 2D 加工中体验高速加工所带来的优点。2D 剥离铣削刀具路径从毛坯一层一层剥离材料，可以产生高效的顺铣摆线加工刀具路径，而且在退刀时可以产生更快的退刀速度；2D 残料加工可以计算所有刀具路径的残料进行高速铣加工编程；2D 融合加工可以用高速铣加工两个外形。

编辑方面：在原来 MasterCAM X² 版本的基础上主要增加了【拖动】、【转变实体数据】和【移动到原点】编辑功能，使有关编辑和编程操作更加方便、快捷。

1.2 MasterCAM 编程特点

(1) 简单易学 MasterCAM 编程界面简练，操作上随着新版本的升级显得越来越人性化，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。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，通过其自带的刀具路径与实体模拟功能使初学者

对刀具路径功能理解起来更加容易、生动、深刻。现在 CAD/CAM 软件功能已经相当成熟,使编程工作也得到了大大的简化,降低了学习的难度,降低了编程人员的技术要求,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,是很多同类软件中无法比拟的。例如,UG 在 2D 刀具路径的生成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进刀点确定下来。当下一步刀具路径的生成方式和前面已生成的刀具路径方式相同时,只要在原来生成刀具路径的基础上进行复制和粘贴加工刀具路径后,再作一些加工参数的修改,即可轻松完成下一步刀具路径的生成。

(3) 相关性好 图素和加工路径的相关联性使对图素或加工参数进行修改时立即能获得一个精确的更新过的加工路径,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甚至是复杂的 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,极大地提高了编程者的工作效率。

(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、实体或两者混合加工,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,以获得一个高质量的表面。

(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 X³ 支持 2 轴、3 轴和多轴加工,所提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、多轴加工等五大类加工模块。在加工模块中,MasterCAM 通过对所提供加工对象(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

(1) 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钻铣削的编程加工。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。

(2) 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。可实现在料外进刀,下刀点应避开曲线的拐角处。该刀具路径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。

(3) 钻孔加工 其主要用于加工钻孔、攻螺纹等,以点确定加工位置。

(4) 挖槽加工 将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, 下刀时选用螺旋或斜线下刀, 其走刀方式首先选择双向铣削。

(5) 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效果。

(6) 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。

(7) 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

(1) 平行粗加工 生成分层平行铣削的粗加工刀具路径, 加工后工件表面刀具路径呈平行条纹状。刀具路径生成时间长, 提刀较多, 粗加工效率低, 比较少采用。

(2) 放射状粗加工 生成以定点为径向中心的放射状粗加工刀具路径, 加工后工件表面呈放射状。生成的刀具路径在靠近中心位置的地方重叠多, 但是离中心位置越远的地方刀具路径间的间距就会越大, 往往造成余量过多, 而且提刀次数多, 刀具路径生成时间长, 效率低, 较少采用。

(3) 投影粗加工 将几何图素或已有的刀具路径数据投影到曲面上形成新的加工刀具路径。

(4) 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。

(5) 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。

(6) 残料清除粗加工 对已加工或因刀具较大所残留的材料作进一步修整加工, 达到清除残料的目的, 刀具路径生成时间长, 较少采用。

(7) 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。设置操作简单, 刀具路径生成时间短, 刀具切削负荷均匀, 几乎能将曲面所需加工的材料都能清除完毕, 相比于其他粗加工, 刀具路径的加工效率是最高的。常作为粗加工第一首选方案, 其走刀方式首先选择双向铣削。

(8) 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

(1) 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, 但对有陡斜面的地方时效果较不明显, 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。

(2) 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, 和其他加工方法配合使用, 可达到良好效果。

(3) 放射状精加工 与粗加工类型相似, 适用于如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。

(4) 投影精加工 与粗加工类型相似, 将几何图素或已有的刀具路径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。

(5) 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。

(6) 等高外形精加工 与粗加工类型相似, 广泛应用于直壁或是陡峭面精加工, 应用广泛。

(7) 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。

(8) 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。

(9) 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。刀具路径生成时间长。

(10) 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, 适用范围比较广。

以上主要介绍了一些刀具路径的特点和适用范围, 在真正编程时并不能生搬硬套用一种方法就能达到全部加工的效果。实践中往往是针对零件不同的特征信息采用不同的刀具路径, 并对零件进行分区域, 有时甚至分了区域后仍需再次进行细分区域加工。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 软件所提供的刀具路径进行刀具路径建模。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, 甚至可以说和零件的建模是一个逆过程, 这就好像是凸模与凹模的关系。实际工作中一般应掌握的刀具路径有: 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 种刀具路径足可完成 90% 以上的加工任务, 其他曲面加工刀具路径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: 一是分析加工对象和划分加工区域; 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具路径的适用特点, 做好刀具路径分工 (即针对不同的形状特点需采用不同的刀具路径) 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。

(1) 尺寸差异较大 例如, 工件一处转角半径为 $R10\text{mm}$, 而另一处却为 $R3\text{mm}$ 的拐角; 或有的地方比较宽阔, 而有的地方却很狭窄, 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刀进行粗加工, 对于小的区域再采用小刀进行加工, 使加工具有完整性。

(2) 形状差异较大 工件同时出现平整面与自由曲面时, 有的地方很平坦, 有的地方形状变化大, 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，以获得好的加工质量。

(3) 精度和表面质量要求差异较大 因工件的使用特点，工件不同的部位会有不同的精度要求和表面粗糙度的要求。采用球刀精加工自由曲面时，对表面质量要求高的地方，需采用较小的步距进行加工；对表面质量要求不高的地方，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。

(1) 粗加工 粗加工的目的就是以最快的速度去除加工余量，其效率取决于机床、刀具切削速度（进给速度和背吃刀量）以及所采用的刀具路径。曲面粗加工以“傻瓜式”的曲面挖槽加工刀具路径为主，基本上能够实现 80% 以上的粗加工任务，而且效果显著。对于一些陡斜曲面的残留部分采用小刀进行等高外形刀具路径加工或环绕等距刀具路径加工。结合工件形状特点适当采用一些二维刀具路径会更简便、快捷。粗加工时尽可能采用大刀，再用小刀进行清除残料，保证余量一致才进行精加工，以取得好的加工质量。结合实际情况要仔细分析残料的多少，特别是采用小刀加工时，如果对残料的估算不准确和对余量把握不好，都会造成刀具损坏和过切、弹刀乃至精加工余量大和加工不到的情况。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状态下，解除装夹后再进行下一工序的加工。

(2) 精加工 精加工的目的就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具路径，平行精加工刀具路径适用范围广，使用率最高，但是有陡峭的一边会铣得不好，需要控制好加工角度和高度。凸台顶部的窄平面走外形加工刀具路径沿直线进刀，刀具路径简单快捷。完全平整的曲面采用挖槽加工刀具路径比二维刀具路径的效率要高，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刀走等高外形刀具路径，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具路径，限制加工高度，只对平面所在高度进行加工。当控制加工深度已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。加工大型零件或曲面造型复杂的零件时，需要合理分布刀具路径，做到按区域或按类型分开加工。

(3) 清角加工 清角加工的目的就是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具路径。平面与曲面交线处的清角一般用平刀走等高外形刀具路径较为合适，需控制加工高度。对于一些垂直面的加工采用平刀走外形铣刀具路径，其计算速度快，同时可进行分层铣削。曲面造型复杂时，可用交线清角加工。残料清除加工刀具路径可用于计算清角刀具路径，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具路径或利用曲面边界生成曲线；或者通过曲面修整以辅助刀具路径的生成，不但起到美化刀具路径的效果，而且还可以获得好的加工质量。

最后，所有加工过程中都要避免刀具路径走直角和尖角轨迹，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，因此尽量走圆弧，这也是高速加工中的刀具路径都是自动转圆角的原因。

1.5 CAM 软件数控编程一般步骤

熟练掌握 CAM 软件数控编程的流程是每个使用 CAM 软件编程人员的基本要求，可以有效减少在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。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 软件都集有这两种功能，如 MasterCAM、UG、Catia、Cinmatron、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，要细致地分析模型的几何特点、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。其中，进行几何特点分析时应根据方便编程和加工的原则确定工件坐标系。为使生成的刀具路径规范化，对一些特殊的曲面部分确定是否要进行曲面修补或其他编辑，是否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

(1) 选择加工设备 根据模型几何特点，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。

(2) 选择夹具 确定采用的装夹工具与方法。装夹时应考虑在加工过程中防止工件与夹具发生干涉。

(3) 划分加工区域 针对不同的区域进行规划加工可以起到事半功倍的效果。

(4) 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，确定采用顺铣或逆铣的时机。

(5) 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，同时采用合理的冷却方式，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，该表将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，以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的干涉。可通过刀具路径重绘查看刀具路径有无明显的异常现象，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看切削效果。

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，通过对 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 X3 版本新增的功能、MasterCAM 编程特点、刀具路径说明、编程策略以及 CAM 软件数控编程的一般步骤，让读者对 MasterCAM X3 的数控编程模块有一定的认识。

第 2 章

数控编程基础及编程注意事项