

一线专家倾力奉献

帮你快速成长为CAD工程设计、CAM加工制造、模具设计高手

完全学习手册 

中文版

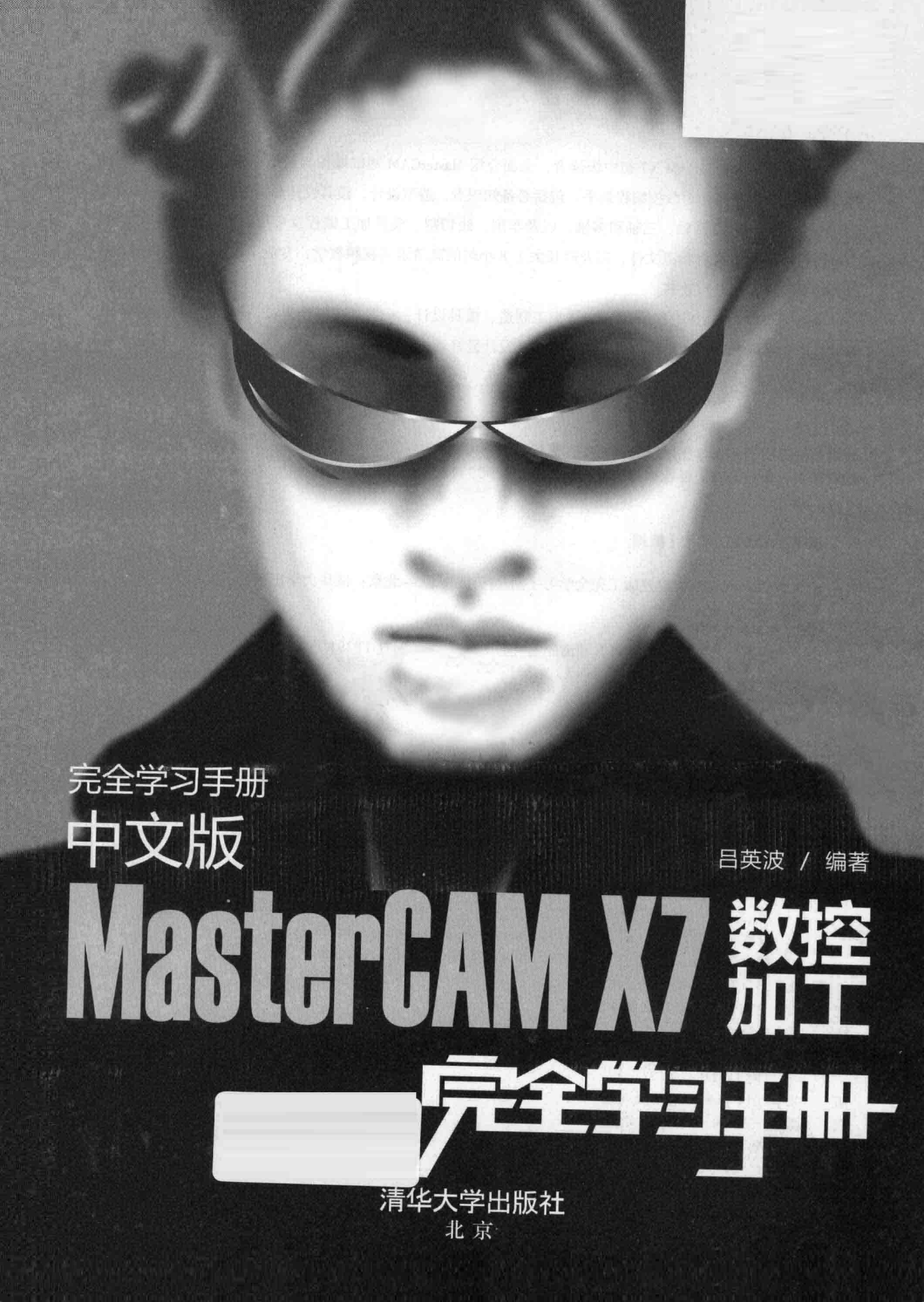
吕英波 / 编著

MasterCAM X7 数控加工

完全学习手册

清华大学出版社





完全学习手册
中文版

吕英波 / 编著

MasterCAM X7 数控加工

完全学习手册

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书定位于 MasterCAM X7 初中级读者, 全面介绍 MasterCAM 基础操作与造型、模具设计以及编程的技巧。第 1~3 章主要针对数控编程新手, 包括必备知识点、造型设计、模具设计和实战应用; 第 4~12 章主要介绍 Mastercam X7 两轴、三轴和多轴, 以及车削、线切割、模具加工编程及应用。本书配套 DVD 光盘中包含相关实例的素材和源文件, 以及时长大于 8 小时的高清语音视频教学, 专业工程师手把手讲解, 可以大幅提高学习兴趣和效率。

本书适合广大 CAD 工程设计、CAM 加工制造、模具设计、一线加工操作人员, 以及相关专业的中大中专院校学生学习和培训使用, 也可供加工制造及设计爱好者作为参考用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签, 无标签者不得销售。

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

中文版 MasterCAM X7 数控加工完全学习手册/吕英波编著. —北京: 清华大学出版社, 2014
(完全学习手册)

ISBN 978-7-302-34931-0

I. ①中… II. ①吕… III. ①计算机辅助制造-应用软件-手册 IV. ①TP391.73-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 321324 号

责任编辑: 陈绿春

封面设计: 潘国文

版式设计: 北京水木华旦数字文化发展有限责任公司

责任校对: 徐俊伟

责任印制: 李红英

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编: 100084

社总机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 北京富博印刷有限公司

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 188mm×260mm

印 张: 23.25

字 数: 613 千字

(附 DVD1 张)

版 次: 2014 年 8 月第 1 版

印 次: 2014 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 59.00 元



前言

MasterCAM X7 是由美国 CNCsoftware 公司推出的基于 PC 平台的 CAD / CAM 一体化软件, 1981 年推出第一代 Mastercam 产品, 20 年来功能不断更新与完善。MasterCAM 被工业界广泛采用, MasterCAM 的最新版本对三轴和多轴功能做了大幅度提升, 包括三轴曲面加工和多轴刀具路径。MasterCAM X7 是目前最新版本, 软件的核心重新设计, 采用全新技术并与微软公司 Windows 技术更加紧密地结合, 使程序运行更流畅, 工作更高效。由于其卓越的设计及加工功能, 在世界上拥有众多的忠实用户, 被广泛应用于机械、电子、航空等领域。目前在我国的制造业及教育业, MasterCAM 由于其出色的表现, 有着极为广阔的应用前景。

MasterCAM X7 对四轴、五轴和多轴功能做了大幅提升, 包括四轴、五轴曲面加工和多轴刀具路径, 相对之前的版本, 新版更具人性化, 操作更加灵活。

本书内容

本书以 MasterCAM X7 为基础, 详细讲解 MasterCAM X7 的产品造型设计、2.5 轴加工编程、三轴曲面粗加工和精加工、四轴和五轴加工等功能。

全书共 12 章, 分两大部分。第 1~3 章主要介绍针对初学者介绍造型设计、模具设计等功能和实战应用; 第 4~12 章主要介绍 MasterCAM X7 两轴、三轴和多轴, 以及车削、线切割、模具加工编程及应用。每一章内容均包含知识要点、案例解析、界面与命令详解、实例精讲、实例演练、知识回顾、思考与练习部分。

■ 知识要点: 知识要点中包括各章要介绍的重点和难点。

■ 案例解析: 主要介绍本章重点案例预览、使用的命令或用到的知识结构特点等。

■ 界面与菜单详解: 这主要详细讲解造型的思维方法、操作技巧, 或者刀具路径操作步骤及其方法技巧。

■ 实例精讲: 采用实例方式介绍本章部分重要的造型案例的设计方法, 或者刀具路径的详细操作步骤, 目的是让读者掌握此造型的设计思维和刀路的加工工艺操作。

■ 实例演练: 主要对本章造型或刀具路径中的重点和难点结合实际的运用技巧, 通过对实例的分析和操作步骤, 使读者掌握造型设计的思维习惯和加工工艺的分析能力。

■ 知识回顾: 是各章中知识的总结部分, 主要介绍学习的难点、学习和思维的方法, 以及技巧运用等内容。

■ 思考与练习: 练习题中列出了读者的课后思考和练习内容, 可参照完成的练习的成品文件来操作。

光盘说明

本书所有的案例操作需要的源文件、结果文件, 以及思考与练习的练习文件都在随书光盘的根目录下, 读者可以复制到计算机中参考和使用。其中源文件是读者操作需要的原始文件; 结果文件是操作完成的实例文件。

本书还随书配送了多媒体学习光盘, 光盘中包含相关实例的视频教学文件, 是作者多年工作的心血结晶。希望精心设计的案例和赏心悦目的多媒体界面, 能带给读者愉快的学习体验。

本书特色

本书从软件的基本应用及行业知识入手，以 MasterCAM X7 软件应用为主线，以实例为导向，由浅入深、举一反三地讲解造型技巧、刀具路径的操作步骤及分析方法，使读者能快速掌握 MasterCAM X7 的软件造型设计和编程加工的思维方法。

对于 MasterCAM X7 的软件造型设计和加工编程，本书讲解得非常详细。通过实例和思维的有机统一，既有战术上具体步骤演练操作，也有战略上的思维技巧分析，使读者不仅学会使用软件，还学会思维方法。本书图文并茂，讲解层次分明、思维简明、重点难点突出、技巧独特。把众多造型和编程知识点有机地融合到每章的具体内容中。本书的体例结构生动、实例丰富、内容新颖、编排张弛有度、技巧点拨精准，能够开拓读者思维，提高读者阅读兴趣，使其掌握方法和思维技巧，提高对造型设计和编程加工的综合运用能力及思维方法。通过对本书内容的学习、理解和练习，能使读者快速提高 MasterCAM X7 编程的水平和素质。

本书既可以作为大、中院校机械 CAD、模具设计与数控编程加工等专业的教材，也可作为对制造行业有浓厚兴趣的读者自学教程。

作者信息

本书由吕英波主笔，参与编写的人员还包括：黄成、孙占臣、罗凯、刘金刚、王俊新、董文洋、张学颖、鞠成伟、杨春兰、刘永玉、金大玮、陈旭、黄晓瑜、田婧、王全景、马萌、高长银、威彬、张庆余、赵光、刘纪宝、王岩、郝庆波、任军、秦琳晶等。

感谢你选择了本书，希望我们的努力对你的工作和学习有所帮助，也希望你把对本书的意见和建议告诉我们。邮箱：wcsj_21book@163.com

作者

第1章 数控编程新手必备知识 1

1.1 必须要学的数控理论.....	1
1.1.1 计算机数控的概念与发展.....	1
1.1.2 数控机床.....	2
1.1.3 数控加工原理.....	2
1.1.4 数控系统.....	3
1.2 熟悉和掌握数控加工工艺.....	5
1.2.1 数控加工工艺性分析.....	5
1.2.2 数控加工工艺路线的设计.....	5
1.2.3 工序的划分.....	6
1.3 CAM编程的一般性内容.....	6
1.3.1 数控编程内容.....	6
1.3.2 数控编程的方式.....	7
1.3.3 主要功能指令.....	8
1.4 产品设计、模具及数控加工.....	9
1.4.1 产品设计阶段.....	9
1.4.2 模具设计阶段.....	17
1.4.3 加工制造阶段.....	21
1.5 课后习题.....	27

第2章 领悟产品造型设计 28

2.1 产品设计概述.....	28
2.1.1 产品的含义.....	28
2.1.2 产品设计理念.....	29
2.1.3 产品设计方法.....	29
2.1.4 产品设计准则.....	30
2.2 MasterCAM X7工作界面.....	31
2.3 绘制二维草图.....	32
2.3.1 绘制点.....	32
2.3.2 绘制直线.....	34
2.3.3 绘制圆和圆弧.....	35
2.3.4 绘制其他形状.....	36
2.3.5 编辑二维草图.....	38
2.4 创建三维曲线.....	46
2.4.1 曲线转换命令.....	46
2.4.2 曲面曲线.....	52
2.4.3 空间线架.....	54
2.5 实体特征造型.....	56
2.5.1 基本实体命令.....	57
2.5.2 高级实体命令.....	59
2.5.3 布尔运算.....	62
2.5.4 实体编辑命令.....	65
2.6 曲面特征造型.....	70
2.6.1 基本三维曲面.....	70

2.6.2 高级曲面命令.....	70
2.6.3 曲面编辑命令.....	75

2.7 实例文件.....	78
2.7.1 灭蚊器外壳造型.....	78
2.7.2 水壶曲面造型.....	81
2.8 课后习题.....	83

第3章 必须要会的模具设计 84

3.1 浅谈模具.....	84
3.1.1 塑料模的含义.....	84
3.1.2 注塑模分类.....	84
3.2 分模特训一：圆形盖模具设计.....	85
3.2.1 产品预处理.....	85
3.2.2 拔模.....	86
3.2.3 创建毛坯.....	87
3.2.4 分割公母模.....	87
3.3 分模特训二：一模多腔模具设计.....	89
3.3.1 产品预处理.....	89
3.3.2 创建模仁入子.....	90
3.3.3 分割公母模.....	91
3.3.4 模具布局.....	91
3.3.5 创建模仁.....	92
3.3.6 创建流道.....	95
3.4 分模特训三：侧抽芯机构模具设计.....	97
3.4.1 产品预处理.....	98
3.4.2 创建毛坯.....	99
3.4.3 分割公母模.....	99
3.4.4 分割滑块.....	100
3.5 分模特训四：斜顶机构模具设计.....	105
3.5.1 产品预处理.....	105
3.5.2 创建毛坯.....	105
3.5.3 分割公母模.....	106
3.5.4 分割斜顶.....	107
3.6 课后习题.....	109

第4章 MasterCAM X7数控加工通用参数 110

4.1 数控加工刀具.....	110
4.1.1 数控刀具的种类.....	110
4.1.2 数控刀具的特点.....	111
4.1.3 数控刀具的选择注意事项.....	111
4.1.4 MasterCAM加工刀具的设置.....	112
4.2 设置加工工件.....	114

4.2.1 设置工件尺寸和原点	115
4.2.2 设置工件材料	115
4.3 加工模拟	116
4.4 通用加工参数设置	117
4.4.1 安全高度设置	118
4.4.2 补偿设置	119
4.4.3 转角设置	120
4.4.4 外形分层设置	121
4.4.5 深度分层设置	122
4.4.6 进退刀向量	122
4.4.7 过滤设置	124
4.5 曲面加工参数设置	124
4.5.1 刀具路径参数	125
4.5.2 曲面加工参数	125
4.5.3 进退刀向量	126
4.5.4 较刀长位置	127
4.5.5 加工面、干涉面和加工范围	127
4.5.6 预留量	127
4.5.7 切削范围	128
4.5.8 切削深度	128
4.5.9 间隙设定	130
4.5.10 进阶设定	132
4.5.11 限定深度	133
4.6 综合训练——心形加工	134
4.7 课后习题	134

第5章 二维铣削加工案例 135

5.1 二维铣削加工概述	135
5.2 平面铣加工	135
5.2.1 面铣加工参数	135
5.2.2 Z轴分层铣深	136
5.3 外形铣削加工	139
5.3.1 2D外形铣削加工	140
5.3.2 2D外形倒角加工	143
5.3.3 斜插下刀加工	146
5.3.4 残料加工	147
5.3.5 摆线式加工	148
5.4 挖槽加工	150
5.4.1 2D标准挖槽	151
5.4.2 挖槽面铣加工	156
5.4.3 使用岛屿深度	156
5.4.4 挖槽残料加工	156
5.4.5 开放式挖槽	157
5.5 雕刻加工	161
5.5.1 雕刻加工参数	161

5.6 综合训练——型腔面铣加工	165
5.6.1 标准挖槽加工区域一	165
5.6.2 标准挖槽加工区域二	168
5.6.3 开放式挖槽加工	170
5.6.4 模拟仿真	172
5.7 课后习题	172

第6章 三维曲面粗加工案例 173

6.1 平行粗加工	173
6.1.1 整体误差	173
6.1.2 切削方式	174
6.1.3 下刀方式	174
6.1.4 切削间距	175
6.2 放射状粗加工	177
6.3 投影粗加工	181
6.4 挖槽粗加工	184
6.5 残料粗加工	189
6.6 钻削式粗加工	194
6.7 曲面流线粗加工	197
6.8 等高外形粗加工	201
6.9 综合训练——型芯零件曲面粗加工	205
6.9.1 加工边框	205
6.9.2 加工基准角	207
6.9.3 开粗	209
6.9.4 二次开粗	210
6.9.5 模拟仿真	212
6.10 课后习题	212

第7章 三维曲面精加工案例 213

7.1 平行精加工	213
7.2 放射状精加工	216
7.3 投影精加工	218
7.4 曲面流线精加工	221
7.5 等高外形精加工	225
7.6 陡斜面精加工	230
7.7 浅平面精加工	234
7.8 交线清角精加工	237
7.9 残料清角精加工	240

7.10 环绕等距精加工	243
7.11 熔接精加工	246
7.12 综合训练——凸模零件精加工	249
7.12.1 浅平面精加工过程	250
7.12.2 环绕等距精加工过程	251
7.12.3 残料清角精加工过程	253
7.12.4 模拟仿真	255
7.13 课后习题	255
第8章 多轴加工	256
8.1 曲线五轴加工	256
8.2 沿边五轴加工	259
8.3 沿面五轴加工	262
8.4 多曲面五轴加工	264
8.5 旋转四轴加工	267
8.6 管道五轴加工	270
8.7 介绍其他五轴加工类型	273
8.8 课后习题	278
第9章 钻削加工案例	279
9.1 钻削加工知识	279
9.1.1 钻削加工机床	279
9.1.2 钻削加工方法	279
9.1.3 铰削加工方法	280
9.1.4 镗削加工方法	280
9.1.5 孔加工固定循环指令	281
9.1.6 孔加工刀具	282
9.2 MasterCAM X7的钻孔参数设置	283
9.2.1 钻孔循环	283
9.2.2 钻孔加工参数	285
9.2.3 钻孔点的选择方式	286
9.2.4 钻孔点排序	287
9.3 综合训练——模具模板钻孔加工案例	288
9.4 课后习题	290
第10章 车削加工	291
10.1 数控车削基础知识讲解	291
10.1.1 数控车削系统的基本功能及常用代码	291
10.1.2 数控车削加工的主要内容	292
10.1.3 车削加工工艺分析	293

10.1.4 车削加工坐标系	294
10.1.5 车削用量的选择	296
10.1.6 车削刀具的种类与特点	299
10.1.7 车削刀具的选择	300
10.1.8 车削加工顺序的确定	300
10.2 MasterCAM X7车削加工设置	301
10.2.1 工件设置	301
10.2.2 刀具管理器	302
10.3 粗车削加工类型	304
10.3.1 粗车步进量和预留量	305
10.3.2 车削方式	305
10.3.3 补偿设置	306
10.3.4 转角设置	307
10.3.5 进刀参数	307
10.3.6 半精车	307
10.4 精车削加工	312
10.4.1 精车步进量和预留量	313
10.4.2 补偿设置	313
10.4.3 进刀参数	313
10.4.4 圆角和倒角设置	313
10.5 车槽加工	317
10.5.1 车槽选项	317
10.5.2 径向车削外形参数	318
10.5.3 车削粗加工参数	318
10.5.4 径向精车参数	318
10.6 车削端面加工	321
10.7 其他车削加工方式	325
10.8 课后习题	333
第11章 线切割加工案例	334
11.1 数控线切割概述	334
11.1.1 数控电火花线切割加工原理	334
11.1.2 数控电火花线切割加工特点	334
11.1.3 线切割机床的分类与组成	334
11.2 数控线切割工艺基础	335
11.2.1 工件（模坯）的准备	335
11.2.2 工件的装夹	336
11.2.3 电极丝的选择	336
11.2.4 加工方式的选择	337
11.2.5 加工路线的选择	337
11.2.6 线切割ISO格式编程	338
11.3 外形线切割加工类型	339
11.3.1 电极丝/电源设置	339
11.3.2 杂项参数	339
11.3.3 切削参数	340
11.3.4 补正	340

11.3.5 停止.....	340	12.2.2 “弹刀”现象.....	354
11.3.6 引导.....	341	12.2.3 “过切”现象.....	354
11.3.7 进刀距离.....	341	12.2.4 “漏加工”现象.....	355
11.3.8 锥度.....	341	12.2.5 “多余加工”现象.....	355
11.4 无屑线切割加工类型.....	346	12.2.6 “空刀过多”现象.....	355
11.5 四轴线切割类型.....	348	12.2.7 残料的计算.....	355
11.6 课后习题.....	351	12.3 模具加工基本技巧.....	356
第12章 模具加工案例解析 352		12.3.1 开粗阶段.....	356
12.1 模具加工注意事项.....	352	12.3.2 精光阶段.....	356
12.1.1 前模（定模或凹模）编程 注意事项.....	352	12.3.3 清角阶段.....	357
12.1.2 后模（动模或凸模）编程 注意事项.....	353	12.4 综合训练——玩具车外壳凹模加工.....	357
12.2 工厂里的编程常见问题.....	353	12.4.1 挖槽粗加工.....	357
12.2.1 “撞刀”现象.....	353	12.4.2 等高外形精加工.....	359
		12.4.3 平行精加工.....	361
		12.4.4 环绕等距精加工.....	362
		12.4.5 模拟仿真.....	364
		12.5 课后习题.....	364

第1章 数控编程新手必备知识

计算机辅助制造 (CAM) 是产品从“项目策划→做手板模型→建模→模具设计”整个环节的终端。因此要掌握加工制造技术,必须先了解整个流程前期的一些准备和设计工作。

本章主要介绍数控加工中的常见知识,包括数控基础知识、加工制造的流程、数控加工制造的一些技术要点等。

1.1 必须要学的数控理论

在机械制造过程中,数控加工可提高生产率、稳定加工质量、缩短加工周期、增加生产柔性、实现对各种复杂精密零件的自动化加工,如图 1-1 所示为数控加工中心。

数控加工中心易于在工厂或车间实行计算机管理,减少车间设备总数,节省人力,改善劳动条件,有利于加快产品的开发和更新换代,提高企业对市场的适应能力和企业的综合经济效益。

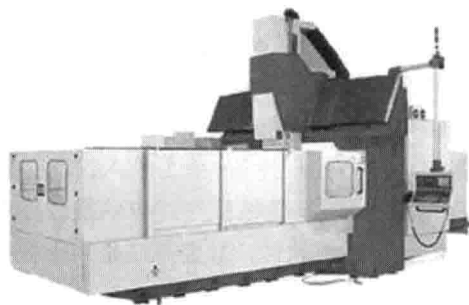


图1-1 数控加工中心

1.1.1 计算机数控的概念与发展

学习数控编程,首先要了解数控技术的相关概念。

1. 数控概念

这些概念包括数控、数控机床和数控系统。

□ 数控: GB8129—1997 中对 NC 的定义

为:用数值数据的控制装置,在运行过程中不断引入数值数据,从而对某一生产过程实现自动控制。

□ 数控机床:若机床的操作命令以数值数据的形式描述,工作按照规定的程序自动进行,则这种机床称为“数控机床”。

□ 数控系统:数控系统是指计算机数字控制装置、可编程序控制器、进给驱动与主轴驱动装置等相关设备的总称。为了区别,将其中的计算机数字控制

装置称为“数控装置”。

2. 计算机数控的发展

计算机数控的发展,先后经历了电子管(1952年)、晶体管(1959年)、小规模集成电路(1965年)、大规模集成电路、小型计算机(1970年)和微处理机或微型计算机(1974年)等五代数控系统。

前三代属于采用专用控制计算机的硬接线(硬件)数控装置,一般称为“NC 数控装置”;第四代数控系统出现了采用小型计算机代替专用硬件控制计算机,这种数控系统称为“计算机数控系统(Computerized Numerical Control, CNC)”。自1974年,以微处理机为核心的数控装置(Microcomputerized Numerical Control, MNC)得到迅速发展。

我国从1958年开始研制数控机床,20世纪60年代中期进入实用阶段。自20世纪80



年代,引进日本、美国、德国等国外著名数控系统和伺服系统制造商的技术,使我国数控系统在性能、可靠性等方面得到了迅速发展。经过“六五”、“七五”、“八五”及“九五”科技攻关,我国已掌握了现代数控技术的核心内容。目前我国已有数控系统(含主轴与进给驱动单元)生产企业 50 多家,数控机床生产企业百余家。

1.1.2 数控机床

采用数控技术进行控制的机床,称为“数控机床(NC 机床)”。

1. 组成与结构

数控机床是高效的自动化数字加工设备,严格按照加工程序,自动对被加工工件进行加工。数控系统外部输入的直接用于加工的程序称为“数控程序”(手工输入、网络传输、DNC 传输)。执行数控程序对应的是数控系统内部的数控系统软件,数控系统是用于数控机床工作的核心部分。

数控机床主要由机床本体、数控系统、驱动装置、辅助装置等几个部分组成。

机床本体:是数控机床加工的机械部分,主要包括支承部件(床身、立柱等)、主运动部分(主轴箱)、进给运动部件(工作台滑板、刀架)等。

数控系统(CNC 装置):是数控机床的控制核心,一般是一台专用的计算机。

驱动装置:是数控机床执行机构的驱动部分,包括主轴电动机、进给伺服电动机等。

辅助装置:指数控机床的一些配套部件,包括刀库、液压装置、启动装置、冷却系统、排屑装置、夹具、换刀机械手等。

如图 1-2 所示为常见的立式数控铣床。

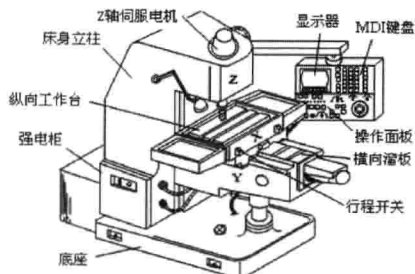


图1-2 立式数控铣床

2. 数控机床技术参数选择

数控机床的主要技术参数包括:工作台面积、各坐标轴行程、主轴转速范围、切削进给速度范围、刀库容量、换刀时间、定位精度、重复定位精度等。可分成尺寸参数、接口参数、运动参数、动力参数、精度参数、其他参数。

① 尺寸参数

包括工作台面积(长、宽)、承重;主轴端面到工作台的距离;交换工作台尺寸、数量及交换时间。它仍影响加工工件的尺寸、范围、大小、重量、编程范围,以及刀具、工件、机床之间的干涉。

② 接口参数

包括工作台T形槽数;槽宽槽间距;主轴孔锥度、直径;最大刀具尺寸及重量;刀具容量交换时间等。它仍影响工件、刀具安装及加工适应性和效率。

③ 运动参数

包括各坐标行程及摆角范围;主轴转速范围;各坐标快速进给速度、切削进给速度范围。它仍影响加工性能及编程参数。

④ 动力参数

包括主轴电机功率;伺服电机额定转矩。它仍影响切削负荷。

⑤ 精度参数

包括定位精度和重复定位精度;回转工作台的分度精度。它仍影响加工精度及其一致性,

⑥ 其他参数

包括外形尺寸、重量。它仍影响到使用环境。

1.1.3 数控加工原理

操作工人使用机床加工零件,通常都需要对机床的各种动作进行控制,一是控制动作的



先后次序，二是控制机床各运动部件的位移量。采用普通机床加工时，这种开车、停车、走刀、换向、主轴变速和开关切削液等操作都是由人工直接控制的。

1. 数控加工的一般工作原理

采用自动机床和仿形机床加工时，上述操作和运动参数则是通过设计好的凸轮、靠模和挡块等装置以模拟量的形式来控制的，它们虽能加工比较复杂的零件，且有一定的灵活性和通用性，但是零件的加工精度受凸轮、靠模制造精度的影响，且工序准备时间也很长。数控加工的一般工作原理如图 1-3 所示。

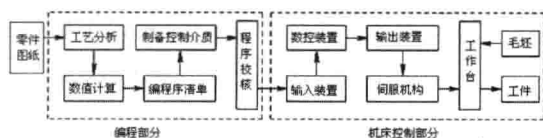


图1-3 数控加工的工作原理

机床上的刀具和工件间的相对运动，称为“表面成形运动”，简称为“成形运动”或“切削运动”。数控加工是指数控机床按照数控程序所确定的轨迹（称为“数控刀轨”）进行表面成形运动，从而加工出产品的表面形状。如图 1-4 所示为平面轮廓加工示意图。如图 1-5 所示为曲面加工的切削示意图。

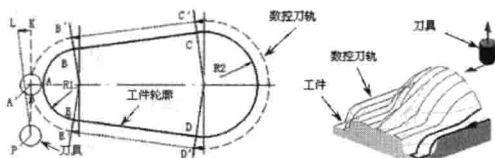


图1-4 平面轮廓加工

图1-5 曲面加工

2. 数控刀轨

数控刀轨是由一系列简单的线段连接而成的折线，折线上的结点称为“刀位点”。刀具的中心点沿着刀轨依次经过每一个刀位点，从

而切削出工件的形状。

刀具从一个刀位点移动到下一个刀位点的运动称为“数控机床的插补运动”。由于数控机床一般只能以直线或圆弧这两种简单的运动形式完成插补运动，因此数控刀轨只能是由许多直线段和圆弧段将刀位点连接而成的折线。

数控编程的任务是计算数控刀轨，并以程序的形式输出到数控机床，其核心内容就是计算数控刀轨上的刀位点。

在数控加工误差中，与数控编程直接相关的有两个主要部分。

□ 刀轨的插补误差：由于数控刀轨只能由直线和圆弧组成，因此只能近似地拟合理想的加工轨迹，如图 1-6 所示。

□ 残余高度：在曲面加工中，相邻两条数控刀轨之间会留下未切削区域，如图 1-7 所示，由此造成的加工误差称为“残余高度”，它主要影响加工表面的粗糙度。

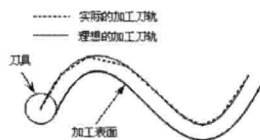


图1-6 刀轨的插补误差

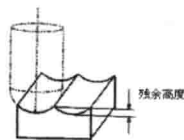


图1-7 残余高度

1.1.4 数控系统

在数控编程时，为了描述机床的运动、简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性，数控机床的坐标系和运动方向均已标准化，ISO 和我国都拟定了命名的标准。通过这一部分的学习，能够掌握机床坐标系、编程坐标系、加工坐标系的概念，具备实际动手设置机床加工坐标系的能力。

1. 机床坐标系

在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定数控机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的位移和方

向，这就需要通过坐标系来实现，这个坐标系称为“机床坐标系”。在数控加工中就应该用机床坐标系来描述。

例如，在铣床上，有机床的纵向运动、横向运动及垂向运动，如图 1-8 所示。

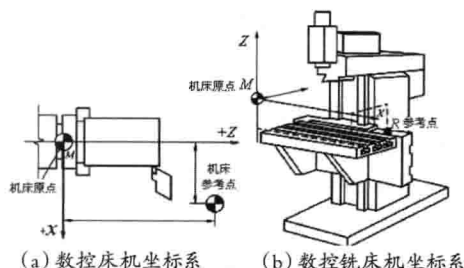


图 1-8 数控机床坐标系

2. 坐标轴及运动方向

数控机床上的坐标系是采用右手直角笛卡尔坐标系。如图 1-9 所示，X、Y、Z 直线进给坐标系按右手定则规定，而围绕 X、Y、Z 轴旋转的圆周进给坐标轴 A、B、C，则按右手螺旋定则判定。

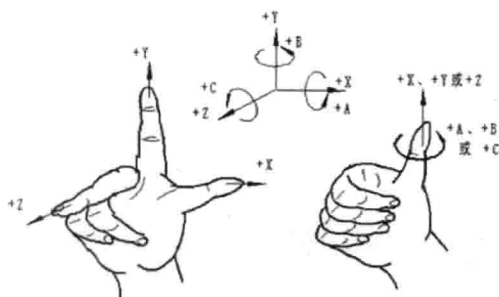


图 1-9 笛卡尔直角坐标系

3. 机床原点、机床参考点和工件原点

机床原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标系的原点。它在机床装配、调试时就已确定下来，是数控机床进行加工运动的基准参考点。机床原点、机床参考点和工件原点在机床中的对应位置关系如图 1-10 所示。

机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。机床参考点的位置是由机床制造厂家在每个进给轴上用限位开关精确调整好的，坐标值已输入数控系统中。因此参考

点对机床原点的坐标是一个已知数。

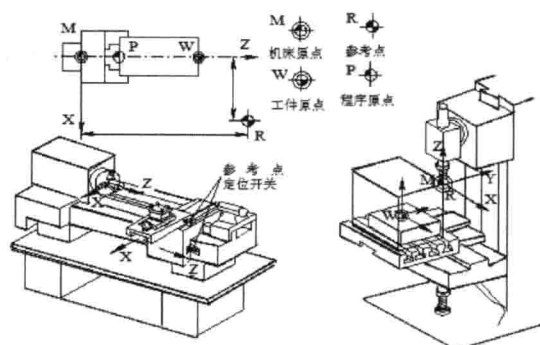


图 1-10 机床原点、参考点和工件原点的对应位置关系

编程坐标系在机床上表现为工件坐标系，其坐标原点称为“工件原点”。工件原点一般按如下原则选取。

- ☐ 工件原点应选在工件图样的尺寸基准上。
- ☐ 能使工件方便地装夹、测量和检验。
- ☐ 尽量选在尺寸精度、光洁度比较高的工件表面上，这样可以提高工件的加工精度和同一批零件的一致性。
- ☐ 对于有对称几何形状的零件，工件原点最好选在对称中心点上。

4. 加工坐标系

加工坐标系是指以确定的加工原点为基准所建立的坐标系（有时也称“工件坐标系”）。加工原点也称为“程序原点”，是指零件被装夹好后，相应的编程原点在机床坐标系中的位置。

在加工过程中，数控机床是按照工件装夹好后所确定的加工原点位置和程序要求进行加工的。编程人员在编制程序时，只要根据零件图样即可选定编程原点、建立编程坐标系、计算坐标数值，而不必考虑工件毛坯装夹的实际位置。对于加工人员，则应在装夹工件、调试程序时，将编程原点转换为加工原点，并确定加工原点的位置，在数控系统中给予设定（即给出原点设定值）。设定加工坐标系后就可根据刀具当前位置，确定刀具起始点的坐标值。在加工时，工件各尺寸的坐标值都是相对于加



工原点的, 这样数控机床才能按照准确的加工坐标系位置进行加工。

1.2 熟悉和掌握数控加工工艺

数控机床的加工工艺与通用机床的加工工艺有许多相同之处, 但在数控机床上加工零件比通用机床加工零件的工艺规程要复杂得多。在数控加工前, 要将机床的运动过程、零件的工艺过程、刀具的形状、切削用量和走刀路线等都编入程序, 这就要求程序设计人员具有多方面的知识。合格的程序员首先是一个合格的工艺人员, 否则就无法做到全面、周到地考虑零件加工的全过程, 以及正确、合理地编制零件的加工程序。

在进行数控加工工艺设计时, 一般应进行以下几方面的工作: 数控加工工艺内容的选择、数控加工工艺性分析、数控加工工艺路线的设计。

1.2.1 数控加工工艺性分析

被加工零件的数控加工工艺性问题涉及面很广, 下面结合编程的可能性和方便性提出一些必须分析和审查的主要内容。

1. 尺寸标注应符合数控加工的特点

在数控编程中, 所有点、线、面的尺寸和位置都是以编程原点为基准的, 因此零件图样上最好直接给出坐标尺寸, 或以同一基准引注尺寸。

2. 几何要素的条件应完整、准确

在程序编制中, 编程人员必须充分掌握构成零件轮廓的几何要素参数及各几何要素间的关系。因为在自动编程时要对零件轮廓的所有几何元素进行定义, 手工编程时要计算出每个节点的坐标, 无论哪一点不明确或不确定, 程序都无法进行。但由于零件设计人员在设计过程中考虑不周或被忽略, 常常出现参数不全或

不清楚, 如圆弧与直线、圆弧与圆弧是相切还是相交或相离。所以在审查与分析图纸时, 一定要仔细核算, 发现问题及时与设计人员联系。

3. 定位基准、可靠

在数控加工中, 加工工序往往较集中, 以同一基准定位十分重要。因此需要设置一些辅助基准, 或在毛坯上增加一些工艺凸台。如图 1-11 (a) 所示的零件, 为增加定位的稳定性, 可在底面增加一工艺凸台, 如图 1-11 (b) 所示。在完成定位加工后再除去。

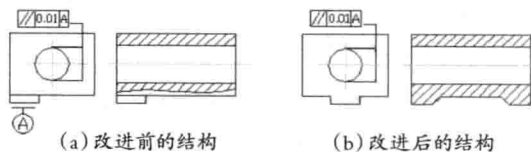


图1-11 工艺凸台的应用

4. 统一几何类型及尺寸

零件的外形、内腔最好采用统一的几何类型及尺寸, 这样可以减少换刀次数, 还可能应用控制程序或专用程序以缩短程序长度。零件的形状尽可能对称, 便于利用数控机床的镜向加工功能来编程, 以节省编程时间。

1.2.2 数控加工工艺路线的设计

数控加工工艺路线设计与通用机床加工工艺路线设计的主要区别在于, 它往往不是指从毛坯到成品的整个工艺过程, 而仅是几道数控加工工序工艺过程的具体描述。因此在工艺路线设计中一定要注意, 由于数控加工工序一般都穿插于零件加工的整个工艺过程中, 因而要与其他加工工艺衔接好。常见数控加工工艺一般流程, 如图 1-12 所示。

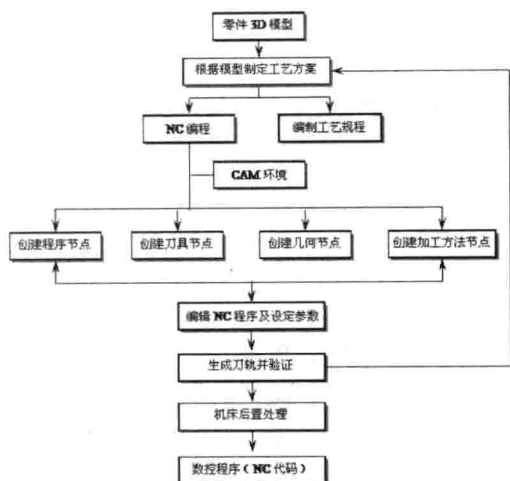


图1-12 数控加工工艺的一般流程

1.2.3 工序的划分

根据数控加工的特点，加工工序的划分一般可按下列方法进行。

1. 以同一把刀具加工的内容划分工序

有些零件虽然能一次安装加工出很多待加工面，但考虑到程序太长，会受到某些限制，如控制系统的限制（主要是内存容量）、机床连续工作时间的限制（如一道工序在一个班内不能结束）等。此外，程序太长会增加出错率，查错与检索困难。因此程序不能太长，一道工序的内容不能太多。

2. 以加工部分划分工序

对于加工内容很多的零件，可按其结构

特点将加工部位分成几个部分，如内形、外形、曲面或平面等。

3. 以粗、精加工划分工序

对于易发生加工变形的零件，由于粗加工后可能发生较大的变形而需要进行校形，因此一般凡要进行粗、精加工的工件都要将工序分开。

综上所述，在划分工序时，一定要视零件的结构与工艺性、机床的功能、零件数控加工内容的多少、安装次数及本单位生产组织状况灵活掌握。

零件采用工序集中的原则还是采用工序分散的原则，也要根据实际需要和生产条件确定，要力求合理。

加工顺序的安排应根据零件的结构和毛坯状况，以及定位安装与夹进的需要来考虑，重点是工件的刚性不被破坏。顺序安排一般应按下列原则进行。

- ☐ 上道工序的加工不能影响下道工序的定位与夹紧，中间穿插有通用机床加工工序的也要综合考虑。
- ☐ 先进行内型腔加工工序，后进行外型腔加工工序。
- ☐ 在同一次安装中进行的多道工序，应先安排对工件刚性破坏小的工序。
- ☐ 以相同定位、夹紧方式或同一把刀具加工的工序，最好连接进行，以减少重复定位次数、换刀次数与挪动压板次数。

1.3 CAM编程的一般性内容

数控机床程序编制（又称“数控编程”）指编程者（程序员或数控机床操作者）根据零件图样和工艺文件的要求，编制出可在数控机床上运行，以完成规定加工任务的一系列指令的过程。具体来说，数控编程是由分析零件图样和工艺要求开始到程序检验合格为止的全过程。

1.3.1 数控编程内容

数控编程是实施数控加工前的必需工作，数控机床没有加工程序将无法实现加工。编程的质量对加工质量和加工效率有着直接的影响。因为，程序是一切加工信息的载体，操作者对



机床的一切控制都是通过程序实现的。只有高质量的加工程序才能最大限度地发挥数控机床的潜能,达到数控加工应有的技术效果与经济效益。一般数控加工程序的编制分三个阶段完成,即工艺处理、数学处理和编程调试,如图1-13所示。

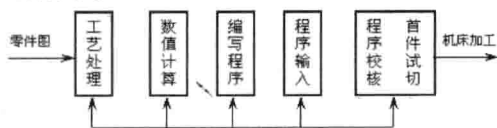


图1-13 数控编程内容

1. 工艺处理阶段

工艺处理阶段的主要工作内容如下。

- 分析被加工零件图纸,明确加工内容及技术要求,在此基础上确定零件的加工方式、走刀路线,以及切削用量等工艺参数。
- 制定零件的数控加工工艺过程。在已经确定工艺参数的前提下,考虑零件如何安装,对刀点位置如何确定,零件如何分步加工,如何使图样上的精度等技术要求得以实现。
- 选择或设计刀具、夹具。

2. 数学处理阶段

工艺处理阶段完成后,编程人员便可结合所使用的数控系统的输入要求,通过数学处理计算出应输入给控制系统的输入数据。这种计算工作量的大小,随被加工零件的形状、加工内容及控制系统的功能等有所不同。

3. 编程调试阶段

编程调试阶段主要有下述三项工作内容。

- 编制程序单。在工艺处理和数学处理的基础上,还要考虑某些辅助工艺处理,如确定准备功能、主轴的正转与反转、停车及变换速度等。然后便可按数控装置的输入格式要求编写程序单。

- 程序单经过严格检查确认无误后,方可交付生产部门使用。
- 首件试切削。生产部门拿到纸带后,通常不立即加工零件,还要进行进一步检查。方法是用划针或圆珠笔在机床上画线检查,即用划针在涂有颜料的玻璃板(或纸)上画出零件的轮廓形状来检查。然后试切一个零件,经检验合格,该程序编制工作方可认为结束。

1.3.2 数控编程的方式

数控编程方式是数控技术的重要组成部分,数控编程方式有手工编程和自动编程。数控自动编程代表编程方法的先进水平,而手工编程是学习自动编程的基础。目前,手工编程还有广泛的应用。

1. 手工编程

手工编程就是从分析零件图样、确定工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、程序输入到程序检验等各步骤均由人工完成。

对于加工形状简单的零件,计算比较简单,程序不多,采用手工编程较容易完成,因此在点定位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中,手工编程较为常用。但对于形状复杂的零件,特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面的零件,用手工编程就有一定的困难,出错的机率增大,有的甚至无法编出程序,必须采用自动编程的方法编制程序。

2. 自动编程

自动编程是利用计算机及其专用编程软件进行数控加工程序编程。编程人员根据加工零件图纸的要求或零件CAD模型,进行参数选择和设置,由计算机自动进行刀具轨迹计算、后置处理、生成加工程序单,直至将加工程序通过直接通信的方式输入数控机床,控制机床进行加工。自动编程既可减轻劳动强度,缩短



编程时间,又可减少差错,使编程工作简便。

3. 数控程序格式

数控加工程序由若干程序段构成。程序段则是按照一定顺序排列,使数控机床完成某特定动作的一组指令。每个指令都是由地址字符和数字所组成,如 G01 表示直线插补指令, M03 表示主轴顺时针旋转指令, X30.0 表示 X 向的位移, F200 表示刀具进给速度等。若干程序组成完整的零件加工程序。

4. 程序段格式

程序段的格式是指一个程序段中指令字的排列顺序和书写规则,不同的数控系统往往有不同的程序段格式,格式不符合规定,数控系统就不能接受。目前广泛采用的是地址符可变程序段格式(或者称“字地址程序段格式”),其编排格式如下:

```
N_G_   X_Y_Z_   I_J_K_   T_H_
S_M_F_ ;
U_V_W_   R_   D_   LF (或*、或$或回车符)
```

在程序段中,必须明确组成程序段的各要素。

- ☐ 程序段顺序号: N 表示程序段顺序号,范围 N0000 ~ N9999。有的数控系统可以省略顺序号。
- ☐ 沿怎样的轨迹移动: 准备功能字 G, 范围为 G00 ~ G99。
- ☐ 移动目标: 终点坐标值 X、Y、Z。
- ☐ 进给速度: 进给功能字 F。
- ☐ 切削速度: 主轴转速功能字 S。
- ☐ 使用刀具: 刀具功能字 T。
- ☐ 机床辅助动作: 辅助功能字 M。

、*、\$ 或 LF 等是程序结束的标志,控制系统不同,结束标志也不尽相同。

5. 加工程序的一般格式

加工程序的一般格式包括程序开始符与结

束符、程序名、程序主体,以及程序结束指令等。

- ☐ 程序开始符、结束符: 为同一个字符,ISO 代码中是 %, EIA 代码中是 EP,书写时要单列一段。
- ☐ 程序名: 程序名有两种形式,一种是英文字母 O 和 1 ~ 4 位正整数组成;另一种是由英文字母开头,字母数字混合组成。一般要求单列一段。
- ☐ 程序主体: 程序主体是由若干个程序段组成的,每个程序段一般占一行。
- ☐ 程序结束指令: 程序结束指令可以用 M02 或 M30,一般要求单列一段。

加工程序的一般格式举例如下:

```
%                               // 开始符
O 0029                           // 程序名
N10 G00 Z100 ;                   // 程序段
N20 G17 T02 ;                   // 程序段
N30 G00 X70 Y65 Z2 S800 ;       // 程序段
N40 G01 Z-3 F50 ;               // 程序段
N50 G03 X20 Y15 I-10 J-40 ;    // 程序段
N60 G00 Z100 ;                 // 程序段
N70 M30 ;                       // 程序段
%                               // 结束符
```

★ 技术支持 ★

M02和M03不能同时出现在一组程序中。

1.3.3 主要功能指令

数控机床的运动是由程序控制的,而准备功能和辅助功能是程序段的基本组成部分。目前国际上广泛应用的是 ISO 标准,我国根据 ISO 标准制订了 JB3208-83《数控机床的准备功能 G 和辅助功能的代码》。

1. 准备功能 (G 功能)