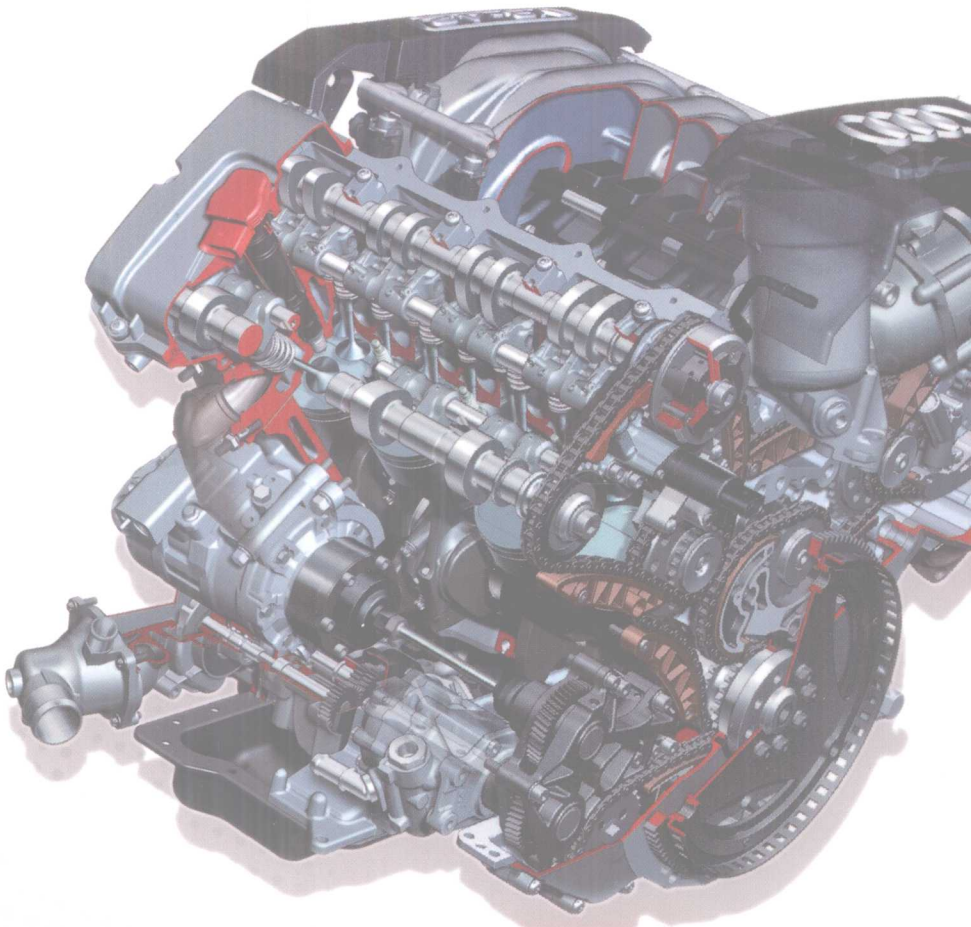
CAD/CAM/CAE基础与实践 ● 行业应用



Pro/ENGINEER 数控加工

云杰漫步科技CAX设计教研室 编著

CD-ROM

◆ 多媒体教学系统 ◆ 范例文件

清华大学出版社

CAD/CAM/CAE 基础与实践

Pro/ENGINEER 数控加工

云杰漫步多媒体科技 CAX 设计教研室　编　著

清华大学出版社
北　京

内 容 简 介

Pro/ENGINEER 是目前工程设计中被广泛使用的软件之一，Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 中文版专门设有数控加工设计模块，用于完成数控加工操作。为了使读者能够在最短的时间内掌握 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 数控加工的诀窍，笔者根据多年使用 Pro/ENGINEER 的经验，编写了这本教程。本书针对 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 中文版数控加工的特点，对书的内容作了周密的安排，由简单到复杂的过程进行编排，全书共分为 13 章，分别对数控加工功能进行了全面而深入的讲解，并且在每章中都附有范例，在最后两章还介绍了两个大型综合范例。另外，本书还配备了交互式多媒体教学光盘，将案例制作过程制作为多媒体进行讲解，讲解形式活泼，方便实用，便于读者学习使用。

本书结构严谨、内容翔实，知识全面，可读性强，范例实用性强，专业性强，多媒体教学光盘实用，主要针对使用 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 中文版进行数控加工的广大用户，适合多领域的工程设计人员使用，可以作为 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 数控加工的指导用书，同时也适合作为工科院校 Pro/ENGINEER 数控加工的教材和参考书。

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

Pro/ENGINEER 数控加工/云杰漫步科技 CAX 设计教研室编著. —北京：清华大学出版社，2009.9
(CAD/CAM/CAE 基础与实践)
ISBN 978-7-302-21027-6

Ⅰ.P　Ⅱ.云…　Ⅲ.数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件，Pro/ENGINEER Wildfire　Ⅳ.TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 156683 号

责任编辑：张彦青
装帧设计：杨玉兰
责任校对：周剑云
责任印制：孟凡玉
出版发行：清华大学出版社　　**地　　址**：北京清华大学学研大厦 A 座
http://www.tup.com.cn　　**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：北京市世界知识印刷厂
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：190×260　**印　张**：25.5　**字　数**：626 千字
附光盘 1 张
版　　次：2009 年 9 月第 1 版　　**印　　次**：2009 年 9 月第1 次印刷
印　　数：1～4000
定　　价：43.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题，请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话：(010)62770177 转 3103　　产品编号：033203-01

前　言

Pro/ENGINEER 是美国 PTC 公司著名的 3D 产品开发软件，自 1988 年问世以来，由于其强大的功能，现已逐渐成为当今世界最为流行的 CAD/CAM/CAE 软件之一，广泛应用于电子、通讯、机械、模具、工业设计、汽车、自行车、航天、家电、玩具等各行业。Pro/ENGINEER 提供了数控加工模块，在实际数控加工中应用广泛。

为了尽快使用户了解和使用 Pro/ENGINEER 数控加工功能，真正把理论应用到实际的设计工作中去，笔者编写了本书。本书融合作者多年来利用该软件进行实际设计的经验，向广大读者介绍学习的捷径，全面、细致地讲解了 Pro/ENGINEER 数控加工模块的使用方法。本书针对 Pro/ENGINEER 的特点，以 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 中文版作为演示平台，对书的内容作了周密的安排，由浅入深地介绍了使用 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 中文版进行数控加工的各种相关操作步骤和方法。在每一章的讲解后还进行了有针对性的范例的制作讲解，并将其制作成多媒体光盘，方便读者的学习和理解。全书共分为 13 章，主要包括：数控加工基础、Pro/NC 加工基础、建立制造模型、设置操作数据、铣削加工基础、铣削加工进阶、其他铣削加工方式、车削加工、孔加工、线切割加工和后置处理，在每章中结合了操作范例进行讲解，并在最后两章还介绍了两个大型综合范例的制作方法，以此来说明 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 数控加工的实际应用。

本书的作者群——云杰漫步多媒体科技 CAX 设计教研室，长期从事 CAD/CAM 的专业设计和教学，对 Pro/ENGINEER 有很深入的了解，并积累了大量的实际工作经验，书中的每个范例都是作者应用于设计和教学中的真实作品，全书力求达到使读者“用得上，学得会，看得懂”的目的，并能够学以致用，举一反三，从而尽快掌握 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 数控加工中的诀窍。本书在讲解范例制作步骤的同时，还给读者一个“延伸思考”的过程，以便让读者了解 Pro/ENGINEER 的设计思路，而不是局限于本书介绍的范例操作，以便能使读者从本书的范例制作过程中培养实际的设计能力。

本书还配备了交互式多媒体教学光盘，将案例制作过程制作为多媒体进行讲解，讲解形式活泼，方便实用，便于读者学习使用。同时光盘中还提供了所有实例的源文件，按章节放置，以便读者练习使用。

另外，本书还提供了网络的免费技术支持，欢迎大家登录云杰漫步多媒体科技的网上技术论坛进行交流：http://www.yunjiework.com/bbs。论坛分为多个专业的设计版块，其中有 CAX 设计教研室最新书籍的出版和培训信息；还可以为读者提供实时的软件技术支持，解答读者在使用本书及相关软件时遇到的问题；同时论坛提供了强大的资料下载功能，大家需要的东西都可以在这里找到，相信广大读者在论坛免费学习的知识一定会更多。

本书主要针对使用 Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 中文版进行数控加工的广大用户，适合多领域的工程设计人员使用，可作为数控加工的指导用书。

本书由云杰漫步多媒体科技 CAX 设计教研室策划编著，参加编写工作的有张云杰、靳翔、

尚蕾、刘宏、王攀峰、张云静、郝利剑、雷明、刘海、田澍、金宏平、马松柏、赵罘、周益斌、杨婷、马永健、姜兆瑞、季小武、陈静、赵鹏等，书中的设计范例和光盘效果均由云杰漫步多媒体科技公司设计制作，同时感谢出版社的编辑和老师们的大力协助。

由于本书编写时间紧张，编写人员的水平有限，因此在编写过程中难免有不足之处，在此，编写人员对广大用户表示歉意，望广大用户不吝赐教，对书中的不足之处给予指正。

作　者

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

目　录

第 1 章　数控加工基础 1

1.1　数控加工基础知识 2
1.1.1　数控技术介绍 2
1.1.2　数控机床介绍 2
1.1.3　数控加工工艺介绍 3
1.2　数控加工编程介绍 9
1.2.1　数控编程技术的发展 10
1.2.2　数控程序编制方法 10
1.2.3　数控程序的特点 11
1.2.4　数控编程的主要工作程序 11
1.2.5　数控程序的结构和指令 14
1.3　数控加工术语 16
1.4　本章小结 18

第 2 章　Pro/NC 加工基础 19

2.1　Pro/NC 模块介绍 20
2.1.1　Pro/NC 模块简介 20
2.1.2　Pro/ENGINEER Wildfire 4.0 中 Pro/NC 模块新增功能 20
2.2　Pro/NC 模块基本操作 21
2.2.1　Pro/NC 模块的启动与操作界面 21
2.2.2　Pro/ENGINEER 的基本操作方法 24
2.3　Pro/NC 数控加工的流程和术语 27
2.3.1　Pro/NC 数控加工基本原理和流程 27
2.3.2　Pro/NC 数控加工的基本概念和术语 28
2.4　数控加工中的坐标系 28
2.4.1　机床坐标系 28
2.4.2　工件坐标系 31
2.4.3　Pro/NC 中工件坐标系的设置 31
2.5　设计范例 33
2.5.1　创建 NC 组件 33
2.5.2　装配参照模型 34
2.6　本章小结 36

第 3 章　设置制造模型 37

3.1　创建制造模型 38
3.1.1　以装配方式创建制造模型 38
3.1.2　以创建方式创建制造模型 42
3.1.3　以创建自动工件方式创建工件 43
3.2　编辑制造模型 45
3.2.1　添加元件 45
3.2.2　编辑制造模型的属性 45
3.2.3　元件放置约束 49
3.3　设计范例 56
3.3.1　创建参照模型 56
3.3.2　创建工件 58
3.4　本章小结 60

第 4 章　设置操作数据 61

4.1　设置机床 62
4.1.1　定义机床数据 63
4.1.2　机床数据管理 70
4.2　设置刀具 71
4.2.1　刀具设定 71
4.2.2　草绘刀具 79
4.2.3　导入刀具整体模型 80
4.3　设置夹具 82
4.3.1　设置元件 83
4.3.2　设置注释 84
4.4　其他操作数据 84
4.4.1　设置一般数据 84
4.4.2　设置起始点和终止点 86
4.4.3　设置输出 87
4.5　NC 序列管理 88

4.5.1 【加工】菜单管理器 88
4.5.2 演示轨迹 94
4.6 设计范例 95
4.6.1 打开参照模型并添加工件 95
4.6.2 设置机床 96
4.6.3 刀具设置 98
4.6.4 夹具设置 99
4.6.5 其他数据设置 100
4.7 本章小结 100

第 5 章 铣削加工基础 101

5.1 铣削体积块 102
5.1.1 创建铣削体积块 102
5.1.2 编辑铣削体积块 105
5.2 铣削曲面 107
5.2.1 创建铣削曲面 107
5.2.2 编辑铣削曲面 107
5.3 铣削窗口 109
5.3.1 铣削窗口操控面板 109
5.3.2 编辑定义铣削窗口 111
5.3.3 删除铣削窗口 111
5.4 基准特征 111
5.4.1 基准平面 112
5.4.2 基准轴 113
5.4.3 基准曲线 113
5.4.4 基准点 113
5.4.5 基准坐标系 114
5.5 体积块铣削 NC 序列 115
5.5.1 菜单栏 117
5.5.2 工具栏 120
5.5.3 【参数列】选项区域 120
5.6 设计范例 121
5.6.1 创建 NC 组件 121
5.6.2 放置参照模型并创建工件 122
5.6.3 设置数据 124
5.7 本章小结 128

第 6 章 铣削加工进阶 129

6.1 局部铣削 130
6.1.1 使用 NC 序列方法创建 130
6.1.2 根据先前刀具方法创建 133
6.1.3 使用拐角边方法创建 134
6.1.4 铅笔描绘踪迹方法创建 136
6.2 曲面铣削 138
6.2.1 直线切削加工序列定义 138
6.2.2 自曲面等值线加工序列定义 144
6.2.3 切削线加工序列定义 146
6.2.4 投影切削加工序列定义 150
6.3 轮廓铣削 153
6.4 端面铣削 153
6.5 腔槽铣削 155
6.6 设计范例 157
6.6.1 创建制造模块 157
6.6.2 输入参照模型 159
6.6.3 输入工件模型 162
6.6.4 创建铣削体积块 163
6.6.5 制造加工参数设置 165
6.6.6 轮廓铣削 169
6.6.7 模型中间凹槽体积铣削 172
6.6.8 局部铣削 176
6.7 本章小结 178

第 7 章 其他铣削加工方式 179

7.1 螺纹铣削 180
7.1.1 【定义螺纹】选项卡 180
7.1.2 【放置螺纹】选项卡 181
7.1.3 【铣削螺纹】选项卡 182
7.1.4 【螺纹进刀与退刀】选项卡 182
7.2 刻模铣削 183
7.3 轨迹铣削 185
7.4 粗加工与精加工 188
7.4.1 粗加工铣削数控加工序列的定义 189
7.4.2 重新粗加工铣削数控加工序列的定义 190

7.4.3 精加工铣削数控加工序列的定义 192
7.5 设计范例 193
7.5.1 内螺纹铣削 194
7.5.2 外螺纹铣削 204
7.6 本章小结 207

第 8 章 车削加工 209

8.1 车削加工基础 210
8.1.1 机床设置 211
8.1.2 刀具设置 211
8.2 车削加工轮廓与说明 213
8.2.1 创建车削轮廓 213
8.2.2 编辑车削轮廓 214
8.3 车削加工序列定义 214
8.3.1 区域车削 214
8.3.2 轮廓车削 218
8.3.3 凹槽车削 220
8.3.4 螺纹车削 223
8.4 设计范例 228
8.4.1 导入车削模型 229
8.4.2 导入工件 233
8.4.3 创建车削加工 234
8.5 本章小结 241

第 9 章 孔加工 243

9.1 钻孔组加工 244
9.1.1 创建钻孔组 244
9.1.2 修改钻孔组 247
9.2 孔加工序列 248
9.2.1 基本参数设置 248
9.2.2 钻孔加工 252
9.2.3 镗孔加工 257
9.2.4 埋头孔加工 259
9.2.5 攻丝加工 260
9.2.6 铰孔加工 262
9.3 操作范例 263
9.3.1 导入模型 264
9.3.2 导入工件 265
9.3.3 创建孔加工 266
9.3.4 演示孔加工 272
9.4 本章小结 273

第 10 章 线切割加工 275

10.1 线切割基础 276
10.1.1 线切割加工原理 276
10.1.2 线切割加工的特点 276
10.1.3 线切割加工的应用 277
10.2 线切割参数设置 277
10.2.1 进入线切割加工的方法 277
10.2.2 【切削运动】参数设置 278
10.2.3 【切削深度和余量】参数设置 279
10.3 两轴线切割序列操作 281
10.4 四轴线切割序列操作 284
10.4.1 以锥角方式 285
10.4.2 以头 1/头 2 方式 288
10.5 操作范例 291
10.5.1 导入线切割加工模型 291
10.5.2 导入工件 293
10.5.3 创建线切割加工 293
10.5.4 演示线切割加工 298
10.6 本章小结 300

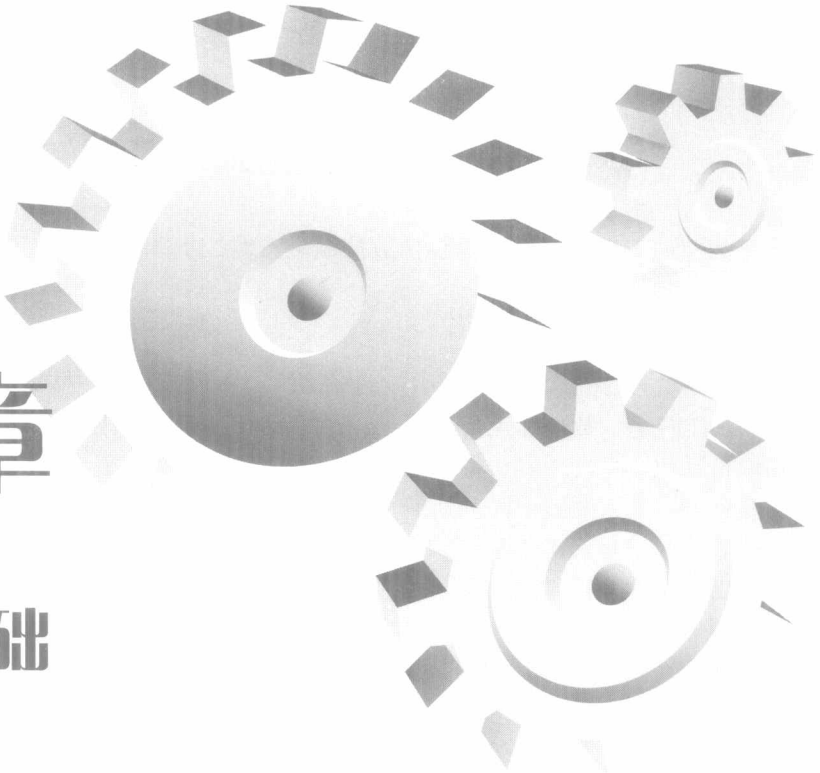
第 11 章 后置处理 301

11.1 后置处理和后处理器 302
11.1.1 后置处理概述 302
11.1.2 后处理器模式 302
11.1.3 打开后处理器 307
11.2 创建和编辑后处理器 315
11.2.1 创建后处理器 315
11.2.2 编辑后处理器 317
11.3 后置处理操作 339
11.4 操作范例 339
11.5 本章小结 341

第 12 章 综合范例(1)——铣削范例 343

12.1 范例介绍 344
12.2 范例制作 344

12.2.1 导入铣削加工模型 344
12.2.2 导入工件 348
12.2.3 创建铣削体积块 349
12.2.4 设置铣削加工参数 351
12.2.5 创建曲面铣削 355
12.2.6 演示曲面铣削加工 358
12.2.7 创建雕刻加工 360
12.2.8 创建孔加工 362
12.2.9 演示孔加工 367
12.3 本章小结 368
第 13 章 综合范例(2)——轴的车削 369
13.1 范例介绍 370
13.2 范例制作 370
13.2.1 导入车削模型 370
13.2.2 导入工件 374
13.2.3 车削端面加工 375
13.2.4 粗车外圆 381
13.2.5 精车外圆 384
13.2.6 凹槽加工 385
13.2.7 车削外螺纹 389
13.2.8 钻孔 391
13.2.9 攻丝 394
13.3 本章小结 396



第1章

数控加工基础

数控编程是数控技术中很重要的部分，本章介绍数控编程的基础知识，为后面 Pro/NC 的学习奠定基础。

本章讲解的内容主要包括：

- 数控加工基础知识
- 数控加工编程介绍
- 数控加工术语

1.1 数控加工基础知识

数控加工基础知识主要包括数控技术、数控机床和数控加工工艺。

1.1.1 数控技术介绍

所谓数控加工，主要是指用记录在媒体上的数字信息对机床实施控制，使它自动地执行规定的加工任务。数控加工可以保证产品达到较高的加工精度和稳定的加工质量；操作过程容易实现自动化，生产率高；生产准备周期短，可以大量节省专用工艺装备，适应产品快速更新换代的需要，大大缩短产品的研制周期；数控加工与计算机辅助设计紧密结合在一起，可以直接从产品的数字定义产生加工指令，保证零件具有精确的尺寸及准确的相互位置精度，保证产品具有高质量的互换性；产品最后用三坐标测量机检验，可以严格控制零件的形状和尺寸精度。在零件形状越复杂时，加工精度要求越高，设计更改越频繁，生产批量越小的情况下，数控加工的优越性越容易得到发挥。数控加工系统在现代机械产品中占有举足轻重的地位，得到了广泛的应用。

数控技术是发展数控机床和先进制造技术的最关键技术，是制造业实现自动化、柔性化、集成化的基础，应用数控技术是提高制造业的产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段。数控机床作为数控技术实施的重要装备，成为提高加工产品质量，提高加工效率的有效保证和关键。

1.1.2 数控机床介绍

数控加工就是数控机床在加工程序的驱动下将毛坯加工成合格零件的加工过程。数控机床控制系统具有普通机床所没有的计算机数据处理功能、智能识别功能以及自动控制能力。如图 1-1 所示为几种典型的数控机床。

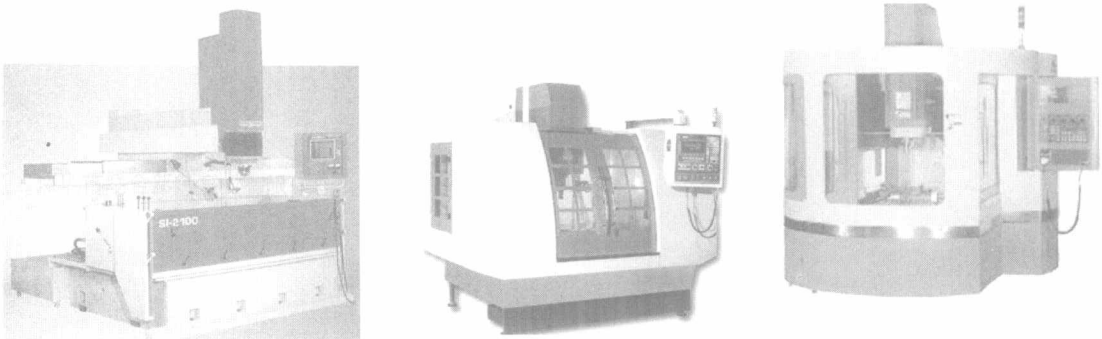


图 1-1 典型的数控机床

数控加工与常规加工相比有着明显的区别，其特点如下。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

1. 自动化程度高，易实现计算机控制

除了装夹工件还需要手工外，全部加工过程都在数控程序的控制下，由数控机床自动完成，不需要人工干预。因此加工质量主要由数控程序的编制质量来决定。

2. 数控加工的连续性高

工件在数控机床上只需装夹一次，就可以完成多个部位的加工，甚至可以完成工件的全部加工内容。配有刀具库的加工中心能装有几把甚至几十把备用刀具，具有自动换刀功能，可以实现数控程序控制的全自动换刀，不需要中断加工过程，生产效率高。

3. 数控加工的一致性好

数控加工基本消除了操作者的主观误差，精度高、产品质量稳定、互换性好。

4. 适合于复杂零件的加工

数控加工不受工件形状复杂程度的影响，应用范围广。它很容易实现涡轮叶片、成型模具等带有复杂曲面、高精度零件的加工，并解决一些如装配要求较高，常规加工中难以解决的难题。

5. 便于建立网络化系统

实现数控加工后，可以建立直接数控系统(DNC)，把编程、加工、生产管理连成一体，建立自动化车间，走向集成化制造。甚至可以进行 CAD 系统集成，形成企业的数字化制造体系。数控程序由 CAM 软件编制，采用数字化和可视化技术，在计算机上用人机交互方式，能够迅速完成复杂零件的编程，从而缩短了产品的研制周期。

近年来，数控机床的模块化发展使数控加工设备增加了柔性化的特点。先进的柔性加工不仅适合于多品种、小批量生产的需要，而且增加了自动变换工件的功能，能交替完成两种或更多种不同零件的加工，可实现夜间无人看管的生产操作。有数台数控机床(加工中心)组成的柔性制造系统(FMS)是一种具有更高柔性的自动化制造系统，具有将加工、装配和检验等制造过程的关键环节高度集成的自动化制造系统。

数控技术已经成为制造业自动化的核心技术和基础技术。其中，数控机床的精确性和重复性已成为用户考虑最多的重要因素。

1.1.3 数控加工工艺介绍

数控加工工艺是伴随着数控机床的产生，不断发展和完善起来的一门应用技术，研究的对象是数控设备完成数控加工全过程相关的集成化技术，最直接的研究对象是与数控设备有着紧密关系的数控装置、控制系统、数控程序与编制方法。数控加工工艺源于传统的加工工艺，并将传统的加工工艺、计算机数控技术、计算机辅助设计和辅助制造技术有机地结合在一起。

1. 数控加工工艺的特点

普通加工工艺是数控加工工艺的基础和技术保障，由于数控加工采用计算机对机械加工过程进行自动化控制，因此数控加工工艺具有如下特点。

1) 数控加工工艺远比普通机械加工工艺复杂

数控加工工艺要考虑加工零件的工艺性、加工零件的定位基准和装夹方式，也要选择刀具、制定工艺路线、切削方法及设定工艺参数等，而这些在常规工艺中均可以简化处理。因此，数控加工工艺比普通加工工艺要复杂得多，影响因素也多，因而有必要对数控编程的全过程进行综合分析、合理安排，然后再整体完善。相同的数控加工任务，可以有多个数控工艺方案，既可以选择以加工部位作为主线安排工艺，也可以选择以加工刀具作为主线来安排工艺。数控加工工艺的多样化是数控加工工艺的一个特色，也是与传统加工工艺的显著区别。

2) 数控加工工艺设计要有严密的条理性

由于数控加工的自动化程度较高，相对而言，数控加工的自适应能力就较差。而且数控加工的影响因素较多，比较复杂，需要对数控加工的全过程深思熟虑，数控加工工艺设计必须具有很好的条理性，也就是说，数控加工工艺的设计过程必须周密、严谨，没有错误。

3) 数控加工工艺具有较好的继承性

凡经过调试、校验和试切削过程验证的，并在数控加工实践中证明是好的数控加工工艺，都可以作为模板供后续加工相类似零件调用，这样不仅节约时间，而且可以保证质量。作为模板本身在调用中也是一个不断修改完善的过程，可以达到逐步标准化、系列化的效果。因此，数控加工工艺具有非常好的继承性。

4) 数控加工工艺必须经过实际验证才能指导生产

由于数控加工的自动化程度高，安全和质量是至关重要的。数控加工工艺必须经过验证后才能用于指导生产。在普通机械加工中，工艺员编写的工艺文件可以直接下到生产线用于指导生产，一般不需要上述的复杂过程。

2. 数控加工工艺方案设计

数控加工工艺方案设计是数控编程的核心部分。数控加工工艺方案设计的质量完全取决于编程员的技术水平和加工经验，这里包含对数控技术等相关技术的了解程度和熟练应用能力，同时也需要一些具体的应用技巧和操作技能。数控加工工艺方案设计的水平原则上决定了数控程序的质量，这是因为编程员在进行数控编程的过程中，相当多的工作内容集中在加工工艺分析和方案设计，以及数控编程参数设置这两个阶段，因而数控加工工艺方案设计水平在一定程度上决定了数控编程的质量。

数控加工工艺方案设计的主要内容包括确定加工方法，确定零件的定位和装夹方案，安排加工顺序以及安排热处理、检验及其辅助工序等。设计者应从生产实践中总结出来一些综合性的工艺原则，结合实际的生产条件提出几个方案，并进行分析对比，选择经济合理的最佳方案。合理的工艺方案能保证零件的加工精度、表面质量的要求。影响数控加工方案的主要因素如图 1-2 所示。

1) 数控加工工艺方案设计的主要内容

数控加工工艺方案设计的主要内容如下。

- 零件加工工艺性分析：对零件的设计图和技术要求进行综合分析。
- 加工方法的选择：选择零件具体的加工方法和切削方式。
- 机床的选择：选择合适的机床既能满足零件加工的外廓尺寸，又能满足零件的加工精度。
- 工装的选择：数控设备尽管减少了对于夹具的依赖程度，但还不能完全取消，在满足零件加工精度和技术要求的前提下，工装越简单越好。

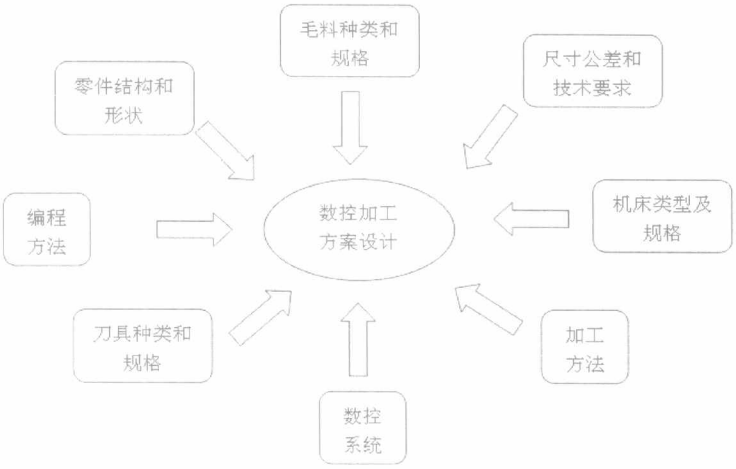


图 1-2　影响数控加工方案的主要因素

- 加工区域规划：对加工对象进行分析，按其形状特征、功能特征及精度、粗糙度要求将加工对象划分成数个加工区域。对加工区域进行规划可以达到提高加工效率和加工质量的目的。
- 加工工艺路线规划：合理安排零件从粗加工到精加工的数控加工工艺路线，进行加工余量分配。
- 刀具的选择：根据加工零件的特点和精度要求，选择合适的刀具以满足零件加工的要求。
- 切削参数的确定：确定合理的切削用量。
- 数控编程方法的选择：根据零件的难易程度，采用手工或自动编程的方式，按照确定的加工规划内容进行数控加工程序编制。

2)　影响数控加工工艺方案设计的主要因素

数控加工工艺设计的内容非常具体、详细。在确定数控加工的工艺方案时，要考虑的因素较多，如零件的结构特点、表面形状、精度等级和技术要求、表面粗糙度要求等，毛料的状态，切削用量以及所需的工艺装备，刀具等。以下是设计工艺方案必须考虑的几个重要环节。

(1)　加工方法的选择。零件的结构形状是多种多样的，但它们都是由平面、外圆柱面、内圆柱面或曲面、成型面等基本表面所组成的。每一种表面都有多种加工方法，具体选择时应根据零件的加工精度、表面粗糙度、材料、结构形状、尺寸及生产类型等选用相应的加工方法和加工方案。例如，外圆表面的加工方法主要是车削和磨削。当表面粗糙度要求较小时，还要进行光整加工。

(2)　工艺基准的选择。工艺基准是保证零件加工精度和形位公差的一个关键步骤，工艺基准的选择应与设计基准一致。基于零件的加工性考虑，选择的工艺基准也可能与设计基准不一致，但无论如何，在加工过程中，选择的工艺基准必须保证零件的定位准确和稳定，加工测量方便以及装夹次数最少。

(3)　确定加工步骤。工序安排的一般原则是先加工基准面后加工其他面，先粗加工后精加工，粗精分开。具体操作还应考虑两个重要的影响因素，一是尽量减少装夹次数，既提高效率，

又保证精度；二是尽量让有位置公差要求的型面在一次装夹中完成加工，充分利用设备的精度来保证产品的精度。

(4) 工艺保证措施。关键尺寸和技术要求的工艺保证措施对设计工艺方案非常重要。由于加工零件是由不同的型面组成的，一个普通型面通常包括三个方面的要求——尺寸精度、形位公差和表面粗糙度，必须在这些关键特征上有可靠的技术保障，避免如装夹变形、热变形，工件震动导致加工波纹等因素影响到零件的加工质量，进行工艺方案设计时必须考虑以上因素的影响，采取相应的工艺方法和工艺措施来保证，如预留工艺装夹止口，精加工前先让工件冷却，精加工用较小的切削用量，以及在零件上加或缠减震带等方法。

如图 1-3 所示简要地概括了数控加工工艺制定的全过程。

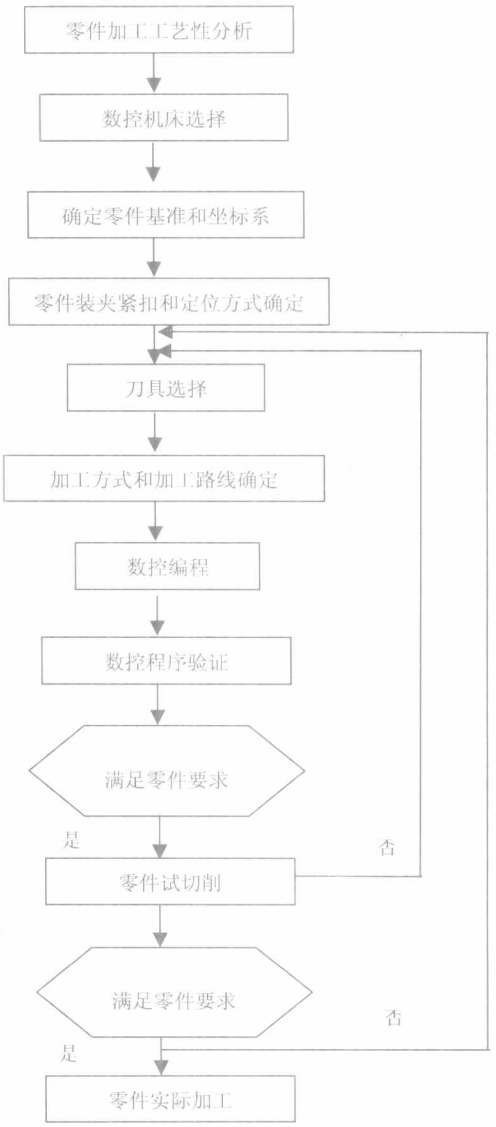


图 1-3 数控加工工艺流程图

3. 零件数控加工工艺分析

零件的数控加工工艺分析是编制数控程序中最重要而又极其复杂的环节，也是数控加工工艺方案设计的核心工作，必须在数控加工方案制订前完成。一个合格的编程人员对数控机床及其控制系统的功能及特点，以及影响数控加工的每个环节都要有一个清晰、全面的了解，这样才能避免由于工艺方案考虑不周而可能出现的产品质量问题，造成无谓的人力、物力等资源的浪费。全面而合理的数控加工工艺分析是提高数控编程质量的重要保障。

在数控加工中，从零件的设计图纸到零件成品合格交付，不仅要考虑到数控程序的编制，还要考虑到诸如零件加工工艺路线的安排、加工机床的选择、切削刀具的选择、零件加工中的定位装夹等一系列因素的影响，在开始编程前，必须要对零件设计图纸和技术要求进行详细的数控加工工艺分析，以最终确定哪些是零件的技术关键，哪些是数控加工的难点，以及数控程序编制的难易程度。

零件工艺性分析也是数控规划的第一步，在此基础上，方可确定零件数控加工所需的数控机床、加工刀具、工艺装备、切削用量、数控加工工艺路线，从而获得最佳的加工工艺方案，并最终满足零件工程图纸和有关技术文件的要求。

(1) 数控加工工艺路线制定所需的原始资料如下。

- 零件设计图纸、技术资料，以及产品的装配图纸。
- 零件的生产批量。
- 零件数控加工所需的相关技术标准，如企业标准和工艺文件。
- 产品验收的质量标准。
- 现有的生产条件和资料。工艺装备及专用设备的制造能力、加工设备和工艺装备的规格及性能、工人的技术水平。

(2) 毛坯状态分析。大多数零件设计图纸只定义了零件加工时的形状和大小，而没有指定原始毛坯材料的数据，包括毛料的类型、规格、形状、热处理状态以及硬度等。编程时，对毛料的深入了解是一个重要的开始，利用这些原始信息，有利于数控程序的规划。

① 产品的装配图和零件图分析。对于装配图的分析和研究，主要是熟悉产品的性能、用途和工作条件，明确零件在产品中的相互装配位置及作用，了解零件图上各项技术条件制定的依据，找出其主要技术的关键问题，为制定正确的加工方案奠定基础。当然对普通零件进行工艺分析时，可以不进行装配图的分析和研究。

② 零件图的工艺性分析。对零件图的分析和研究主要是对零件进行工艺审查，如检查设计图纸的视图、尺寸标注、技术要求是否有错误、遗漏之处，尤其对结构工艺性较差的零件，如果可能应和设计人员进行沟通或提出修改意见，由设计人员决定是否进行必要的修改和完善。

4. 加工阶段的划分

当零件的加工质量要求较高时，应把整个数控加工过程划分为几个阶段，通常划分为粗加工、半精加工和精加工三个阶段。如果零件的精度要求很高，还需要安排专门的光整加工阶段。必要时，如果毛坯表面比较粗糙，余量也较大，还需要安排先进行粗加工和初始基准加工。

1) 粗加工阶段

粗加工阶段是为了去除毛料或毛坯上大部分的余量，使毛料或毛坯在形状和尺寸上基本接

近零件的成品状态，这个阶段最主要的问题是如何获得较高的生产效率。

2) 半精加工阶段

半精加工阶段是使零件的主要表面达到工艺规定的加工精度，并保留一定的精加工余量，为精加工做好准备。半精加工阶段一般安排在热处理之前进行，在这个阶段，可以将不影响零件使用性能和设计精度的零件次要表面加工完毕。

3) 精加工阶段

精加工阶段的目的是保证加工零件达到设计图纸所规定的尺寸精度、技术要求和表面重量要求。零件精加工的余量都较小，主要考虑的问题是如何达到最高的加工精度和表面质量。

4) 光整加工阶段

当零件的加工精度要求较高，如尺寸精度要求为 IT6 级以上，以及表面粗糙度要求较小($R_a \leqslant 0.2\mu m$)时，在精加工阶段之后就必须安排光整加工，以达到最终的设计要求。

5. 数控加工工序规划

数控加工工序规划是对整个工艺过程而言的，不能以某一工序的性质和某一表面的加工来判断。例如，有些定位基准面在半精加工阶段甚至在粗加工阶段中就需加工得很准确。有时为了避免尺寸链换算，在精加工阶段中，也可以安排某些次要表面的半精加工。

当确定了零件表面的加工方法和加工阶段后，就可以将同一加工阶段中各表面的加工组合成若干个工步。

1) 加工工序划分的方法

在数控机床上加工的零件，一般按工序集中的原则来划分工序，划分的方法有以下几种。

(1) 按所使用刀具划分。以同一把刀具完成的工艺过程作为一道工序，这种划分方法适用于工件的待加工表面较多的情形。加工中心常采用这种方法完成。

(2) 按工件安装次数划分。以零件一次装夹能够完成的工艺过程作为一道工序。这种方法适合于加工内容不多的零件，在保证零件加工质量的前提下，一次装夹完成全部的加工内容。

(3) 按粗精加工划分。将粗加工中完成的那一部分工艺过程作为一道工序，将精加工中完成的那一部分工艺过程作为另一道工序。这种划分方法适用于零件有强度和硬度要求，需要进行热处理或零件精度要求较高，需要有效去除内应力，以及零件加工后变形较大，需要按粗、精加工阶段进行划分的零件加工。

(4) 按加工部位划分。将完成相同型面的那一部分工艺过程作为一道工序。对于加工表面多而且比较复杂的零件，应合理安排数控加工、热处理和辅助工序的顺序，并解决好工序间的衔接问题。

2) 加工工序划分的原则

零件是由多个表面构成的，这些表面有自己的精度要求，各表面之间也有相应的精度要求。为了达到零件的设计精度要求，加工工序安排应遵循一定的原则。

(1) 先粗后精的原则。

各表面的加工顺序按照粗加工、半精加工、精加工和光整加工的顺序进行，目的是逐步提高零件加工表面的精度和表面质量。

如果零件的全部表面均由数控机床加工，工序安排一般按粗加工、半精加工、精加工的顺序进行，即粗加工全部完成后再进行半精加工和精加工。粗加工时可快速去除大部分加工余量，

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com