

# UG NX 7.5

## 数控编程工艺师 基础与范例标准教程



李维  
王达斌  
张振亚  
飞思数字创意出版中心

主编  
副主编  
审校  
监制



### 权威专家编审

Siemens PLM Software 广州今明 NX  
培训中心组织编写, Siemens PLM-  
Software 技术专家审校

### 内容专业标准

NX 数控编程工艺资格认证考前辅导  
教材

### 结构易学易懂

全面讲解相关知识点, 案例贯穿全书,  
帮助读者融会贯通



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

CAD/CAM/CAE 教学基地

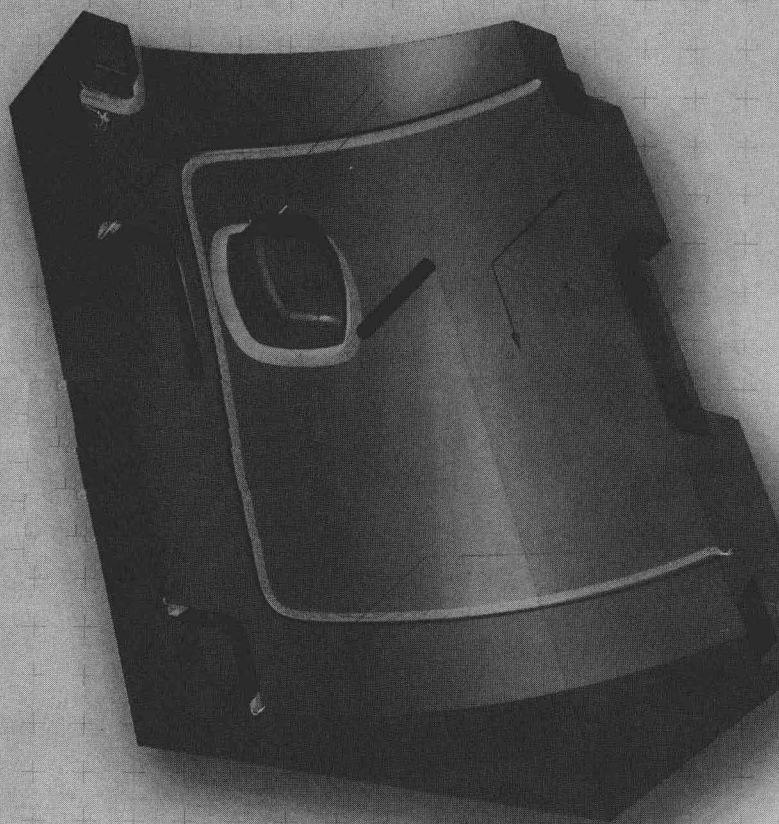
# UG NX 7.5

## 数控编程工艺师 基础与范例标准教程



李 维  
王达斌  
张振亚  
飞思数字创意出版中心

主编  
副主编  
审校  
监制



电子工业出版社  
Publishing House of Electronics Industry  
北京·BEIJING

# 内容简介

本书采用理论与案例相结合,由浅入深,系统地介绍了德国 Siemens PLM Software 公司最新版本 NX 7.5/Manufacturing 加工应用模块的三轴铣数控编程技术。主要内容包括 NX 7.5/Manufacturing 的数控加工编程基础、刀轨中非切削与切削移动的通用功能、点位加工、平面加工、穴型加工、固定轴轮廓加工、刀轨的可视化和加工后处理技术。在本书的第 1 章,介绍了数控加工的基础知识,而在重要章节,安排了 1~2 个实例,尤其是在最后一章,以一个注塑模型腔零件为例,按实际加工流程和工艺要求,综合应用 NX 7.5/Manufacturing 编写了数控加工的刀轨及其后处理。通过系统的理论和实际案例的学习,可帮助读者牢固地掌握 NX 7.5/Manufacturing 数控编程的技术及其实际应用,能够迅速具备作为一个数控程序员的知识 and 技能,承担零件的数控编程工作。

本书不仅可作为 NX 数控编程工艺师、国家 CNC 数控程序员等职业资格认证的考前辅导教材,同时也可作为高职院校的模具设计与制造、数控加工等专业的计算机辅助制造课程教材,还可作为相关技术人员自学 NX 7.5/Manufacturing 的指导书。本书所需源文件请到 [www.fecit.com.cn](http://www.fecit.com.cn) 的下载专区下载。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

## 图书在版编目(CIP)数据

UG NX 7.5 数控编程工艺师基础与范例标准教程 / 李维主编. --北京:电子工业出版社, 2011.5  
(CAD/CAM/CAE 教学基地)

ISBN 978-7-121-12626-0

I. ①U… II. ①李… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件, UG NX 7.5 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 250302 号

责任编辑:何郑燕

文字编辑:杨源

印刷:北京东光印刷厂

装订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编:100036

开本:787×1092 1/16 印张:28.5 字数:729.6 千字

印次:2011 年 5 月第 1 次印刷

印数:4 000 册 定价:55.00 元



凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010) 88258888。



NX 7.5 是德国 Siemens PLM Software 公司的高度集成、能够处理产品开发过程中从概念设计到制造的所有环节的 CAD/CAM/CAE 一体化解决方案。它广泛应用于机械、汽车、航空航天、家电、电子以及化工各个行业的产品设计和制造等领域，可为企业减少浪费、提高质量、缩短产品上市周期和提供更富创新性的产品。

在工业设计方面，NX 7.5 可使用参数化建模和自由曲面建模技术，随心所欲地进行产品的概念设计，进行表面和连续性分析、高级渲染以及产品评估。在数字仿真方面，NX 7.5 可应用同步建模技术，快速获得可分析的几何模型，进行强度、振动、热力学以及辐射热传输等高级仿真分析。在工装模具设计方面，NX 7.5 具有基于知识驱动并经过行业验证的注塑模设计、级进模设计和冲压模设计等向导。在数控加工方面，NX 7.5 提供了广泛的机床编程功能，以及机床运动仿真、后处理程序、车间工艺文档以及制造资源库等。

## 本书内容

NX 7.5/Manufacturing 提供了一个完整 NC 编程系统所需的一切组件，包括钻、车、3 轴和多轴铣、线切割、基于特征加工的刀具路径处理器、后处理器构造和全面的机床仿真，它的高速加工策略，可保持刀具平稳运动并使切削载荷均匀，获得出色的加工效果。NX 7.5/Manufacturing 为机床数控加工编程提供了一套经过验证的完整解决方案，它可以改善 NC 编程和加工过程，充分发挥机床的先进性能，从而极大地减少浪费和提高生产力。

广州市今明科技有限公司是德国 Siemens PLM Software 公司的金牌代理商和华南地区授权培训中心，提供产品包括 Teamcenter、NX、SolidEdge 和 Imageware 等软件及其解决方案。自 1997 年以来，我们一直提供基于这些软件的初、中、高级应用培训课程，以及 NX 二次开发等业务，帮助用户迅速提高软件的应用水平，快速实现投资的回报。

广州市今明科技有限公司是一个专业从事 NX 应用技术推广和服务的科研机构，已积累了近 15 年的 NX 培训经验，熟悉企业对 NX 应用人才的要求。随着 NX 用户数量在中国的日益增加，企业对优秀的 NX 技术人才的需求越来越强烈，越来越多的 NX 技术人员也希望对自己使用 NX 软件的水平得到一个合理的评估。基于这样的考虑，Siemens PLM Software 广州今明 NX 培训中心设计了一个 NX 应用工程师资格认证体系。

## 本书特色

NX 应用工程师资格包括 NX 产品设计师、NX 注塑模具设计师和 NX 数控编程工艺师三种资格，每种资格又分为中级和高级两个级别。有关 NX 应用工程师资格的认证，请登录网站 [www.gdcad.com](http://www.gdcad.com) 查看。本书专用于 NX 数控编程工艺师资格认证的考前辅导教材。

通过认证考试并对技术人员进行合理的定级，可以使企业发掘优秀的 NX 技术人才以提高企业的研发效率，并使之成为企业雇佣及提升技术人员的标准和用人依据。

通过参加认证考试并取得相应技术等级，也使专业技术人员获得行业对其应用 NX 的

## Foreword

知识和能力的认可，提高自己在企业中的自身价值，有助于事业的成功。

### 作者信息

本书第 1~3 章由王达斌编写、第 4~11 章由李维编写，在本书编写过程中，得到了孙文学、蔡开猛和叶九星的大力协助，在此表示感谢。全书由李维统稿，由 Siemens PLM Software 公司的工程师张振亚审查了全部书稿。

限于编著者的水平，本书可能有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

### 版权声明

本书所需源文件请到 [www.fecit.com.cn](http://www.fecit.com.cn) 的下载专区下载。

2010 年 10 月

## 目 录

|                            |    |                          |     |
|----------------------------|----|--------------------------|-----|
| 第 1 章 数控加工编程基础 .....       | 1  | 2.4 NX 7.5 加工对象的创建 ..... | 56  |
| 1.1 数控加工基本原理 .....         | 1  | 2.4.1 加工程序的创建 .....      | 56  |
| 1.1.1 数控加工组成 .....         | 1  | 2.4.2 加工刀具的创建 .....      | 57  |
| 1.1.2 数控加工原理概述 .....       | 2  | 2.4.3 加工几何体的创建 .....     | 64  |
| 1.2 数控机床 .....             | 4  | 2.4.4 加工方法的创建 .....      | 68  |
| 1.2.1 数控机床的特点 .....        | 4  | 2.4.5 加工操作的创建 .....      | 71  |
| 1.2.2 数控机床的分类 .....        | 5  | 2.5 实例一：创建加工对象 .....     | 72  |
| 1.2.3 数控机床的主要性能指标 .....    | 8  | 2.6 NX 7.5 加工对象的管理 ..... | 79  |
| 1.3 数控加工工艺 .....           | 9  | 2.6.1 操作与组的参数继承 .....    | 80  |
| 1.3.1 数控加工的特点 .....        | 10 | 2.6.2 加工对象的操纵工具 .....    | 80  |
| 1.3.2 数控加工工艺的内容 .....      | 10 | 2.6.3 加工对象的其他功能 .....    | 83  |
| 1.3.3 数控加工工艺的设计 .....      | 10 | 2.7 NX 7.5 加工环境的定制 ..... | 91  |
| 1.3.4 刀具和切削参数 .....        | 13 | 2.7.1 加工环境的定制 .....      | 91  |
| 1.4 数控编程技术 .....           | 21 | 2.7.2 对话框的定制 .....       | 92  |
| 1.4.1 数控程序 .....           | 21 | 2.7.3 模板的定制 .....        | 99  |
| 1.4.2 坐标系统 .....           | 25 | 2.7.4 加工数据库的定制 .....     | 101 |
| 1.4.3 手工编程 .....           | 26 | 第 3 章 NX 7.5 加工非切削通用     |     |
| 1.4.4 自动编程 .....           | 28 | 功能 .....                 | 103 |
| 第 2 章 NX 7.5 加工基础与定制 ..... | 31 | 3.1 刀轨的构成 .....          | 103 |
| 2.1 NX 7.5 加工的概述 .....     | 31 | 3.2 转速和进给率 .....         | 105 |
| 2.1.1 NX 7.5 加工的特点 .....   | 32 | 3.3 机床控制 .....           | 108 |
| 2.1.2 NX 7.5 加工的常用术语 ..... | 33 | 3.4 自动换刀 .....           | 111 |
| 2.1.3 NX 7.5 加工的编程流程 ..... | 35 | 3.5 刀轨的显示 .....          | 113 |
| 2.2 NX 7.5 加工环境的指定 .....   | 37 | 3.6 刀轨的操纵 .....          | 119 |
| 2.2.1 CAM 配置 .....         | 37 | 3.7 非切削移动 .....          | 121 |
| 2.2.2 CAM 设置 .....         | 38 | 3.7.1 避让选项卡 .....        | 123 |
| 2.2.3 加工环境的初始化 .....       | 40 | 3.7.2 进刀选项卡 .....        | 125 |
| 2.3 NX 7.5 加工应用的交互 .....   | 40 | 3.7.3 退刀选项卡 .....        | 135 |
| 2.3.1 加工应用的下拉菜单 .....      | 40 | 3.7.4 开始/钻点选项卡 .....     | 136 |
| 2.3.2 加工应用的工具条 .....       | 42 | 3.7.5 传递/快速选项卡 .....     | 139 |
| 2.3.3 加工应用的资源条 .....       | 43 | 3.7.6 更多选项卡 .....        | 144 |
| 2.3.4 操作导航器 .....          | 44 |                          |     |

|                       |     |                           |     |
|-----------------------|-----|---------------------------|-----|
| 第 4 章 NX 7.5 加工切削通用功能 | 147 | 5.6 点位加工操作的应用             | 213 |
| 4.1 切削模式              | 147 | 5.6.1 实例二: 编写窝孔钻加工的<br>刀轨 | 213 |
| 4.2 切削步距              | 155 | 5.6.2 实例三: 编写深孔钻加工的<br>刀轨 | 220 |
| 4.3 通用切削参数            | 159 | 第 6 章 NX 7.5 平面加工         | 225 |
| 4.3.1 策略选项卡           | 160 | 6.1 平面加工的概述               | 225 |
| 4.3.2 余量选项卡           | 166 | 6.1.1 平面加工的特点             | 225 |
| 4.3.3 拐角选项卡           | 169 | 6.1.2 平面加工的子类型            | 226 |
| 4.3.4 空间范围选项卡         | 173 | 6.1.3 平面加工的操作界面           | 227 |
| 4.3.5 连接选项卡           | 174 | 6.1.4 平面加工的刀具             | 228 |
| 4.3.6 更多选项卡           | 178 | 6.2 平面铣的几何体               | 228 |
| 4.4 边界                | 179 | 6.2.1 边界几何体的指定            | 229 |
| 4.4.1 边界的用途           | 180 | 6.2.2 临时边界的编辑             | 234 |
| 4.4.2 边界的特性           | 181 | 6.2.3 底面的指定               | 238 |
| 4.4.3 边界的创建           | 185 | 6.3 面铣削的几何体               | 238 |
| 第 5 章 NX 7.5 点位加工     | 187 | 6.3.1 部件几何体的指定            | 240 |
| 5.1 点位加工的概述           | 187 | 6.3.2 切削区域的指定             | 241 |
| 5.1.1 点位加工的特点         | 187 | 6.3.3 壁几何体的指定             | 242 |
| 5.1.2 点位加工的子类型        | 187 | 6.3.4 检查体的指定              | 243 |
| 5.1.3 点位加工的操作界面       | 189 | 6.3.5 面边界的指定              | 243 |
| 5.1.4 点位加工的刀具         | 189 | 6.3.6 检查边界的指定             | 244 |
| 5.2 点位加工的循环类型         | 190 | 6.4 平面加工的切削参数             | 245 |
| 5.2.1 无循环类型           | 191 | 6.4.1 平面铣的未切削区域           | 245 |
| 5.2.2 GOTO 循环类型       | 191 | 6.4.2 面铣削的策略选项卡参数         | 245 |
| 5.2.3 CYCLE 循环类型      | 192 | 6.5 平面加工的分层切削             | 248 |
| 5.3 点位加工的参数           | 194 | 6.5.1 平面铣的分层切削            | 249 |
| 5.3.1 循环参数组           | 195 | 6.5.2 面铣削的分层切削            | 252 |
| 5.3.2 循环参数            | 195 | 6.6 平面加工操作的应用             | 253 |
| 5.3.3 通用参数            | 200 | 6.6.1 实例四: 编写平面铣加工的<br>刀轨 | 253 |
| 5.4 点位加工的几何体          | 201 | 6.6.2 实例五: 编写面铣削加工的<br>刀轨 | 261 |
| 5.4.1 孔的指定            | 201 | 第 7 章 NX 7.5 穴型加工         | 265 |
| 5.4.2 顶面的指定           | 206 | 7.1 穴型加工的概述               | 265 |
| 5.4.3 底面的指定           | 207 | 7.1.1 穴型加工的特点             | 266 |
| 5.5 点位加工的刀轨编辑         | 207 |                           |     |
| 5.5.1 刀轨的优化           | 207 |                           |     |
| 5.5.2 刀轨的避让           | 211 |                           |     |
| 5.5.3 刀轨的快速到偏置        | 212 |                           |     |

|              |                       |            |              |                               |            |
|--------------|-----------------------|------------|--------------|-------------------------------|------------|
| 7.1.2        | 穴型加工的子类型              | 266        | 8.2.5        | 曲面驱动方法                        | 311        |
| 7.1.3        | 穴型加工的操作界面             | 267        | 8.2.6        | 流线驱动方法                        | 313        |
| 7.1.4        | 穴型加工的刀具               | 267        | 8.2.7        | 刀轨驱动方法                        | 318        |
| 7.2          | 穴型加工的几何体              | 268        | 8.2.8        | 径向切削驱动方法                      | 319        |
| 7.2.1        | 几何体的类型                | 268        | 8.2.9        | 清跟驱动方法                        | 320        |
| 7.2.2        | 几何体的指定                | 269        | 8.2.10       | 文本驱动方法                        | 326        |
| 7.3          | 穴型加工的分层切削             | 273        | 8.3          | 固定轴轮廓加工的投影矢量                  | 326        |
| 7.3.1        | 切削层的范围类型              | 275        | 8.3.1        | 投影矢量的方法                       | 327        |
| 7.3.2        | 切削范围的定义               | 275        | 8.3.2        | 投影矢量的使用                       | 331        |
| 7.3.3        | 切削层的设定                | 278        | 8.4          | 固定轴轮廓加工的非切削<br>参数             | 331        |
| 7.3.4        | 切削层的显示与查询             | 279        | 8.4.1        | 进刀与退刀选项卡                      | 332        |
| 7.4          | 穴型加工的切削参数             | 280        | 8.4.2        | 传递/快速选项卡                      | 335        |
| 7.4.1        | 余量                    | 280        | 8.5          | 固定轴轮廓加工的切削参数                  | 337        |
| 7.4.2        | 毛坯                    | 281        | 8.5.1        | 策略选项卡                         | 337        |
| 7.4.3        | 小面积避让                 | 283        | 8.5.2        | 多刀路选项卡                        | 339        |
| 7.4.4        | 参考刀具                  | 283        | 8.5.3        | 安全设置选项卡                       | 340        |
| 7.4.5        | 容错加工                  | 284        | 8.5.4        | 更多选项卡                         | 341        |
| 7.4.6        | 层之间                   | 285        | 8.6          | 固定轴轮廓加工操作的应用                  | 343        |
| 7.4.7        | 陡峭加工                  | 287        | 8.6.1        | 实例八: 编写曲面精加工的<br>刀轨           | 343        |
| 7.5          | 穴型加工操作的应用             | 288        | 8.6.2        | 实例九: 编写曲面清根的<br>刀轨            | 345        |
| 7.5.1        | 实例六: 编写型腔铣加工的<br>刀轨   | 288        |              |                               |            |
| 7.5.2        | 实例七: 编写深度加工轮廓的<br>刀轨  | 295        |              |                               |            |
| <b>第 8 章</b> | <b>NX 7.5 固定轴轮廓加工</b> | <b>299</b> | <b>第 9 章</b> | <b>NX 7.5 加工刀轨可视化<br/>与操纵</b> | <b>349</b> |
| 8.1          | 固定轴轮廓加工的概述            | 299        | 9.1          | 刀轨的可视化                        | 349        |
| 8.1.1        | 固定轴轮廓加工的特点            | 300        | 9.1.1        | 刀轨可视化的概述                      | 349        |
| 8.1.2        | 固定轴轮廓加工的子类型           | 300        | 9.1.2        | 刀轨可视化的对话框                     | 351        |
| 8.1.3        | 固定轴轮廓加工的操作界面          | 301        | 9.1.3        | 重播显示模式                        | 353        |
| 8.1.4        | 固定轴轮廓加工的刀具            | 302        | 9.1.4        | 3D 动态显示模式                     | 355        |
| 8.1.5        | 固定轴轮廓加工的几何体           | 302        | 9.1.5        | 2D 动态显示模式                     | 359        |
| 8.2          | 固定轴轮廓加工的驱动方法          | 303        | 9.2          | 刀轨的操纵功能                       | 360        |
| 8.2.1        | 曲线/点驱动方法              | 305        | 9.2.1        | 刀轨的编辑                         | 361        |
| 8.2.2        | 螺旋式驱动方法               | 306        | 9.2.2        | 刀轨的过切检查                       | 369        |
| 8.2.3        | 边界驱动方法                | 307        | 9.2.3        | 刀轨的其他操纵                       | 370        |
| 8.2.4        | 区域铣削驱动方法              | 309        |              |                               |            |



|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第 10 章 NX 7.5 加工后处理技术      | 371 |
| 10.1 后处理的概述                | 371 |
| 10.1.1 后处理器的构成             | 372 |
| 10.1.2 加工输出管理器             | 374 |
| 10.1.3 后处理的工作原理            | 374 |
| 10.2 用于 NX 后处理的 Tcl 语言     | 374 |
| 10.2.1 Tcl 语言概述            | 375 |
| 10.2.2 Tcl 命令              | 375 |
| 10.2.3 Tcl 语句              | 375 |
| 10.2.4 Tcl 变量              | 377 |
| 10.2.5 数学表达式               | 377 |
| 10.2.6 变量取值                | 377 |
| 10.2.7 Tcl 子程序和函数          | 378 |
| 10.2.8 Tcl I/O 输入/输出       | 379 |
| 10.2.9 Tcl 流程控制            | 379 |
| 10.3 Postbuilder 后处理构造器    | 382 |
| 10.3.1 NX/Post Builder 的概述 | 382 |
| 10.3.2 机床                  | 387 |
| 10.3.3 程序与刀轨               | 388 |
| 10.3.4 N/C 数据定义            | 394 |
| 10.3.5 输出设置                | 396 |
| 10.4 实例：应用后处理构造器           |     |
| 创建一个 3 轴铣后处理器              | 398 |
| 10.4.1 后处理器的要求             | 398 |
| 10.4.2 后处理器的创建步骤           | 400 |
| 10.5 NX 7.5 后处理器的注册        | 408 |
| 10.5.1 注册格式                | 408 |
| 10.5.2 手工注册                | 409 |
| 10.5.3 自动注册                | 409 |
| 10.6 NX 7.5 加工刀轨的后处理       | 411 |
| 第 11 章 NX 7.5 加工综合应用       | 413 |
| 11.1 型腔零件的数控编程             | 413 |
| 11.1.1 模型准备与分析             | 414 |
| 11.1.2 加工工艺的制定             | 414 |
| 11.1.3 父级组的创建与参数设定         | 415 |
| 11.1.4 型腔粗加工刀轨的编写          | 418 |
| 11.1.5 型腔半精加工刀轨的编写         | 419 |
| 11.1.6 型腔精加工刀轨的编写          | 423 |
| 11.1.7 刀轨的虚拟切削仿真           | 433 |
| 11.1.8 刀轨的后处理              | 434 |
| 11.1.9 加工工艺卡的制作            | 435 |
| 11.2 电极零件的数控编程             | 436 |
| 11.2.1 电极的结构与设计            | 436 |
| 11.2.2 电极加工刀轨的编写           | 439 |

# 第 1 章 数控加工编程基础

## 主要内容

- 数控加工基本原理
- 数控机床
- 数控加工工艺
- 数控编程技术

数控是用数字指令方式对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法。数控加工就是用数控机床加工零件，它是在传统加工基础上发展起来的，是伴随数控机床的产生而逐步发展起来的一种应用技术。数控加工与通用机床加工在方法和内容上有许多相似之处，而不同点主要表现在控制方式上。用数控机床加工时，编程人员要把加工过程的一切内容，按规定的代码形式编排程序，经输入装置传输到数控系统，进行运算和控制，实现机床的各种动作，自动加工出所需要的零件形状。

数控加工技术集传统的机械制造、计算机、信息处理、现代控制、传感检测等光机电技术于一体，是现代机械制造技术的基础。它的广泛应用给机械制造业的生产方式及产品结构带来了深刻的变化。近年来，由于计算机技术的迅速发展，数控技术的发展相当迅速。数控技术的水平和普及程度，已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。

本章以数控铣削加工和自动编程为基础，从数控加工基本原理、数控机床、数控加工工艺和数控编程技术等方面介绍数控加工的基础知识，为读者学习 NX 软件的数控编程打下基础。

## 1.1 数控加工基本原理

下面将讲解数控加工的基本原理。

### 1.1.1 数控加工组成

要进行数控加工，从软硬件来看，必须具有两部分：一是数控加工设备；二是使数控加工设备产生切削运动的数控程序。数控程序的编制有手工编程和自动编程（CAM）两种方法。无论是运用哪种方法，要编制出合理的数控加工程序，就必须需要数控加工的工艺知识作为支撑。数控加工的构成元素如图 1-1 所示。

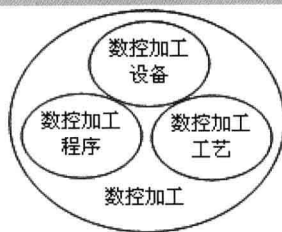


图 1-1 数控加工的组成元素

### 1.1.2 数控加工原理概述

数控加工机床上的刀具与工件之间的相对运动称为切削运动或成形运动。数控加工是指数控机床按照数控程序所确定的轨迹（常称为刀轨）进行表面成形运动，从而加工出产品的表面形状。如图 1-2 所示为空间曲面成形的切削示意图。

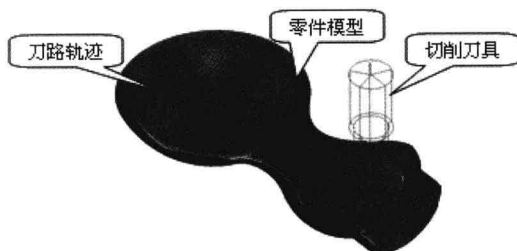


图 1-2 切削示意图

刀轨是由很多微小的直线段连接而成，微小直线段之间的交点称为刀位点。刀具的中心点沿着刀轨依次经过每一个刀位点，从而切削加工出工件的形状。

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两种简单的运动形式完成插补运动，所以刀轨是由许许多多的直线段或圆弧段将刀位点连接而成的折线。

数控程序的编制就是根据零件的表面轮廓，计算出刀轨，转化成数控机床能识别的数控加工程序，控制和协调好数控机床的切削运动，保证加工出合格的几何形状。因此计算出刀位点是数控编程的核心内容。刀位点的计算过程主要分为以下三个阶段：

#### 1. 加工面的偏置与刀具半径补偿

加工曲面零件时，如采用球头铣刀进行加工，一般只要使球头铣刀的球头中心位于所加工曲面的等距面上，不论刀轨形状如何，均能加工出所要求的几何形状，如图 1-3 所示。当铣削工件外形轮廓时，刀具中心的运动轨迹并不是在加工工件的实际轮廓上，而是与轮廓偏置一定的距离，偏置的距离由刀具形状、大小与加工的要求决定，当偏离的距离为刀具半径时，即为刀具半径补偿。因此刀位点的计算前提是首先根据刀具的类型和尺寸计算出加工表面的偏置面并进行补偿计算，如图 1-4 所示。

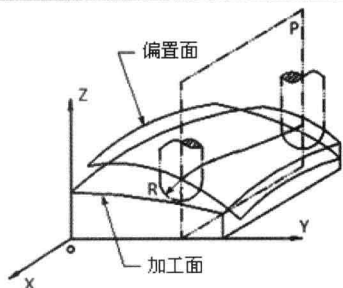


图 1-3 加工面的偏置

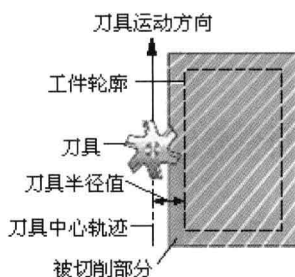


图 1-4 刀具半径补偿

## 2. 刀轨类型的确定

刀位点在偏置面上有多种形式，最常见的两种形式是行切刀轨和等高线刀轨，如图 1-5(a)和图 1-5(b)所示。

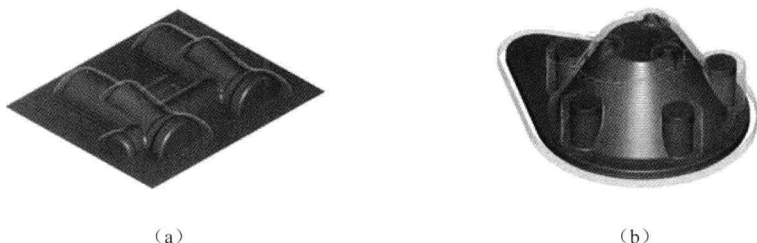


图 1-5 刀轨形式

这两种刀轨的刀位点均分布在加工表面的偏置面与一组平行平面的交线上，这组交线就是理想的刀轨轨迹，平行平面之间的距离称为刀轨的步距。当刀轨的形式确定后，就能够在加工表面的偏置面上以一定的步距计算出理想刀轨。

## 3. 刀位点的计算

当刀具中心能够完全按照理想刀轨运动时，其加工精度是最理想的。但是由于多数数控机床只能做直线和圆弧插补运动，因此只能在理想刀轨上一定间距计算出刀位点，在刀位点之间做直线或圆弧运动。相邻两刀位点之间的间距称为刀轨的步长，其大小取决于数控系统伺服控制的分辨率和编程允许误差，编程允许误差越大，刀位点的间距越大，反之越小。如图 1-6 所示是刀轨的计算示意图。

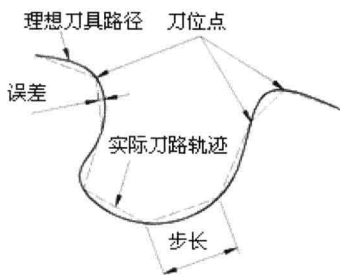


图 1-6 刀轨计算示意图

以上所描述的仅仅是刀位点计算的基本思路，而在实际应用中采用的计算方法要复杂得多，不同的 CAD/CAM 软件会有许多具体的变化和计算方法。然而，不管刀位点的计算

有多么的复杂，都脱离不了以一定的形式和密度在被加工面的偏置面上计算出刀位点。刀位点的密度包括刀轨的步距和步长，它们是影响数控加工质量和效率的主要因素。

## 1.2 数控机床

美国麻省理工学院于 20 世纪 50 年代成功地研制出了第一台数控铣床。1970 年首次展出了第一台用计算机控制的数控机床（Computer Numerical Control, CNC）。图 1-7 所示是数控铣床，而图 1-8 所示是数控加工中心。



图 1-7 数控铣床

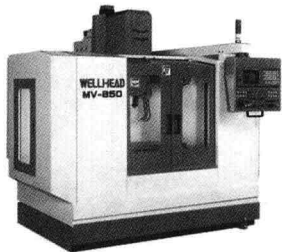


图 1-8 加工中心

### 1.2.1 数控机床的特点

数控机床自问世以来得到了高速发展，数控机床具有以下主要特点：

#### 1. 高柔性

数控机床的最大特点是高柔性，即灵活、通用和万能，可以适应加工不同形状的工件。如数控铣床一般能完成钻孔、镗孔、铰孔、攻螺纹、铣平面、铣斜面、铣槽、铣削曲面和铣削螺纹等加工，而且一般情况下，可以在一次装夹中完成所需的加工工序。加工对象改变，除更换刀具和解决工件装夹方式外，只需改变相应的加工程序即可。特别适应于目前多品种、小批量和变化快的生产特征。

#### 2. 高精度，加工重复性高。

目前，普通数控加工的尺寸精度通常可达到 $\pm 0.005\text{mm}$ 。数控装置的脉冲当量（即机床移动部件的移动量）一般为 $0.001\text{mm}$ ，高精度的数控系统可达 $0.0001\text{mm}$ 。数控加工过程中，机床始终都在指定的控制指令下工作，消除了人工操作所引起的误差，不仅提高了同一批加工零件尺寸的统一性，而且产品质量能得到保证，废品率也大为降低。

#### 3. 高效率

机床自动化程度高，工序和刀具可自行更换和检测。例如加工中心在一次装夹后，除定位表面不能加工外，其余表面均可加工；生产准备周期短，加工对象变化时，一般不需要专门的工艺装备设计制造时间；切削加工中可采用最佳切削参数和走刀路线。数控铣床一般不需要使用专用夹具和工艺装备。在更换工件时，只需调用存储于计算机中的加工程序、装夹工件和调整刀具数据即可，可大大缩短生产周期。更主要的是数控铣床的万能性带来高效率，如一般的数控铣床都具有铣床、镗床和钻床的功能，工序高度集中，提高了劳动生产率，并减少了工件的装夹误差。



#### 4. 有效减轻劳动强度

数控铣床对零件加工是根据加工前编好的程序自动完成的。操作者除了操作键盘、装卸工件、中间测量及观察机床运行外，不需要进行繁重的重复性手工操作，可大大减轻劳动强度。

#### 5. 易于建立计算机通信网络

数控机床使用数字信息作为控制信息，易于与 CAD (Computer Aided Design) 系统连接，从而形成 CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing) 一体化系统，它是 FMS (Flexible Manufacturing System)、CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 等现代制造技术的基础。

#### 6. 初期投资大，加工成本高

数控机床的价格一般是普通机床的若干倍；且机床备件的价格也高；另外，加工首件工件需要进行编程、程序调试和试加工，时间较长，因此使零件的加工成本也大大高于普通机床。

### 1.2.2 数控机床的分类

数控机床的种类很多，目前尚没有统一的划分标准，通常按以下几种分类方法进行划分。

#### 1. 按工艺用途分类

##### (1) 切削加工类

这类机床是指具有切削加工功能的数控机床，如数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床、数控刨床、数控钻床、数控镗床和数控齿轮加工机床等。

##### (2) 成形加工类

这类机床是指具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床，如数控折弯机、数控冲床和数控弯管机等。

##### (3) 特种加工类

这类机床是指具有特种加工功能的数控机床，如数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床和数控激光切割机床等。

##### (4) 其他类型

这类机床是指一些广义上的数控设备，如数控装配机、数控测量机和机器人等。

#### 2. 按控制功能分类

##### (1) 点位控制数控机床

这类数控机床仅能控制两个坐标轴带动刀具或工作台，从一个点位准确地移动到下一个点位，然后控制第三个坐标轴进行钻、镗等切削加工。它具有较高的位置定位精度，在移动过程中不进行切削加工，因此对运动轨迹没有要求。点位控制的数控机床主要用于加工平面内的孔系，主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床和三坐标测量机等。

##### (2) 直线控制数控机床

这类数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度，从一个点以一条直线准确地移

动到下一个点，在移动过程中进行切削加工。采用这种控制的机床有数控车床、数控铣床和数控磨床等。

### (3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制（亦称连续控制）是对两个或更多的坐标运动进行控制（多坐标联动），刀具运动轨迹可为空间曲线。这类机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机和加工中心等。在模具行业中，对于一些复杂曲面的加工，使用这类机床较多，如三个坐标以上的数控铣或加工中心。

## 3. 按联运坐标轴数分类

### (1) 两轴联动数控机床

任意两轴做插补联动，第三轴做单独的周期进给，常称为 2.5 轴联动，一般只能完成平面轮廓的加工。

### (2) 三轴联动数控机床

$X$ 、 $Y$  和  $Z$  轴可同时进行插补联动，三轴联动的刀轨轨迹可以是平面曲线或空间曲线。三坐标联动加工常用于复杂曲面的精确加工，在机械装备制造和模具制造中广泛应用。

### (3) 四轴联动数控机床

除了同时控制  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  三个直线坐标轴联动之外，还有工作台或者刀具的转动。如图 1-9 所示的工件，采用四坐标铣床加工，除了三个直角坐标运动外，为保证刀具与工件型面在加工过程中始终贴合，刀具还可以绕  $O_1$ （或  $O_2$ ）做摆角联动。

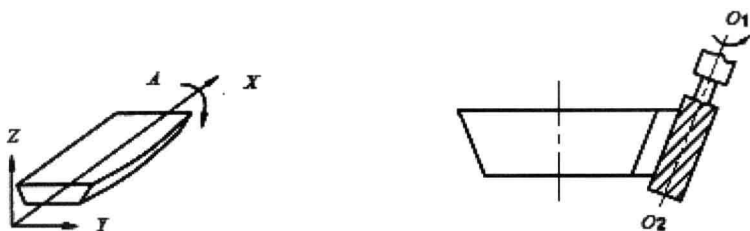


图 1-9 四轴联动加工

### (4) 五轴联动数控机床

如图 1-10 所示，机床除了能同时控制  $X$ 、 $Y$  和  $Z$  三个直线坐标轴联动以外，还同时控制围绕这些直线坐标轴旋转的  $A$ 、 $B$  和  $C$  坐标轴中的两个坐标，即同时控制 5 个坐标轴联动，刀具可以被定位在空间的任何位置。

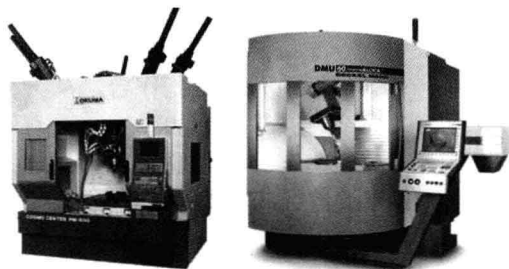


图 1-10 五轴联动机床

#### 4. 按进给伺服系统控制方式分类

由数控装置发出脉冲或电压信号，通过伺服系统控制机床各运动部件运动。数控机床按进给伺服系统控制方式分类有三种形式：开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统。

##### (1) 开环控制系统

这种控制系统采用步进电机，无位置测量元件，输入数据经过数控系统运算，输出指令脉冲控制步进电机工作，如图 1-11 所示，这种控制方式对执行机构不检测，无反馈控制信号，因此称之为开环控制系统。开环控制系统的设备成本低，调试方便，操作简单，但控制精度低，工作速度受到步进电机的限制。

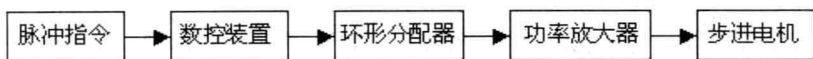


图 1-11 开环控制系统

##### (2) 闭环控制系统

这种控制系统绝大多数采用伺服电机，有位置测量元件和位置比较电路。如图 1-12 所示，测量元件安装在工作台上，测出工作台的实际位移值反馈给数控装置。位置比较电路将测量元件反馈的工作台实际位移值与指令的位移值相比较，用比较的误差值控制伺服电机工作，直至到达实际位置，误差值消除，此称之为闭环控制。闭环控制系统的控制精度高，但要求机床的刚性好，对机床的加工、装配要求高，调试比较复杂，而且设备的成本高。

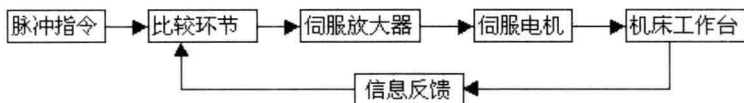


图 1-12 闭环控制系统

##### (3) 半闭环控制系统

如图 1-13 所示，这种控制系统的位置测量元件不是测量工作台的实际位置，而是测量伺服电机的转角，经过推算得出工作台位移值，反馈至位置比较电路，与指令中的位移值相比较，用比较的误差值控制伺服电机工作。这种用推算方法间接测量工作台位移，不能补偿数控机床传动链零件的误差，因此称之为半闭环控制系统。半闭环控制系统的控制精度高于开环控制系统，调试比闭环控制系统容易，设备的成本介于开环与闭环控制系统之间。

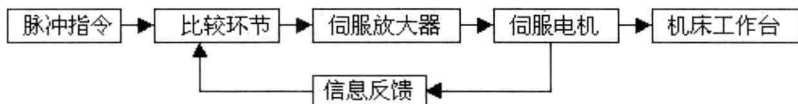


图 1-13 半闭环控制系统

此外还可以按数控机床所用的数控系统档次来划分，把数控机床分为高、中、低档机床。数控机床（数控系统）水平的高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来确定，不同的时期划分的标准有所不同。

## 1.2.3 数控机床的主要性能指标

### 1. 数控机床的精度

数控机床的精度主要是指加工精度、定位精度和重复定位精度。精度是数控机床的重要技术指标之一。

#### (1) 定位精度和重复定位精度

定位精度是指实际位置与数控指令位置的一致程度。定位误差包括伺服系统、进给系统和检测系统的误差，还包括移动部件导轨的几何误差等。

重复定位精度是指在同一台数控机床上，应用相同程序和相同代码加工一批零件，所得到的连续结果的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙、刚度以及摩擦特性等因素的影响。一般情况下，重复定位误差是呈正态分布的偶然性误差，它影响一批零件加工的一致性，是一项非常重要的性能指标。表 1-1 是几种加工中心的精度指标。

表 1-1 几种加工中心的精度指标

| 机床型号名称             | 定位精度 (mm)       | 重复定位精度 (mm)  | 回转轴定位精度 (")                  | 回转轴重复定位精度 (")                |
|--------------------|-----------------|--------------|------------------------------|------------------------------|
| JCS-018 立式加工中心     | $\pm 0.012/300$ | $\pm 0.006$  |                              |                              |
| PMC600 高速立式加工中心    | $\pm 0.003$     | $\pm 0.001$  |                              |                              |
| BW60HS/1 卧式加工中心    | $\pm 0.004$     | $\pm 0.003$  | B 轴 $\pm 3.6$                | B 轴 $\pm 2$                  |
| NJ-5HMC40 五轴联动加工中心 | $\pm 0.002$     | $\pm 0.001$  | B 轴 $\pm 5$<br>C 轴 $\pm 2.5$ | B 轴 $\pm 3$<br>C 轴 $\pm 1.5$ |
| HAAS EC-400 卧式加工中心 | $\pm 0.0051$    | $\pm 0.0025$ | B 轴 $\pm 5$                  | B 轴 $\pm 3$                  |

#### (2) 分度精度

分度精度是指分度工作台在分度时，指令要求回转的角度值和实际回转的角度值的差值。分度精度既影响零件加工部位在空间的角度位置，也影响孔系加工的同轴度等。

#### (3) 分辨率与脉冲当量

分辨率是指两个相邻的分散细节之间可以分辨的最小间隔。对检测系统而言，分辨率是可以测量的最小增量；对控制系统而言，分辨率是可以控制的最小位移增量或角位移增量，即数控装置每发出一个脉冲信号，反映到数控机床各运动部件的位移量或角位移量，一般又称为脉冲当量。脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一，其数值的大小决定数控机床的加工精度和表面质量。目前经济型数控机床的脉冲当量一般采用 0.01mm；普通数控机床的脉冲当量一般采用 0.001mm；精密型数控机床的脉冲当量一般小于 0.0001mm；最精密的数控系统的分辨率已达到 0.001 $\mu$ m。一般情况下，脉冲当量越小，数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

#### (4) 加工精度

近年来，伴随着数控机床的发展和机床结构特性的提高，数控机床的性能与质量都有