

CAD/CAM/CAE 教学基地

Wildfire 5.0 中文版

# Pro/ENGINEER

# 数控编程基础与 典型范例



翔宇工作室 姜洪奎 王臣业 编著  
飞思数字创意出版中心 监制

22 个视频讲解文件，讲解时间达 200 分钟

9 个数控编程案例，多个精心设计的课后习题与思考题，以供读者举一反三，固技巧掌握

功能、命令详解与范例操作紧密结合，并配以课后习题，使学习方式更加科学、高效



CD-ROM

包含实例源文件、完成文件及视频演示



电子工业出版社

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

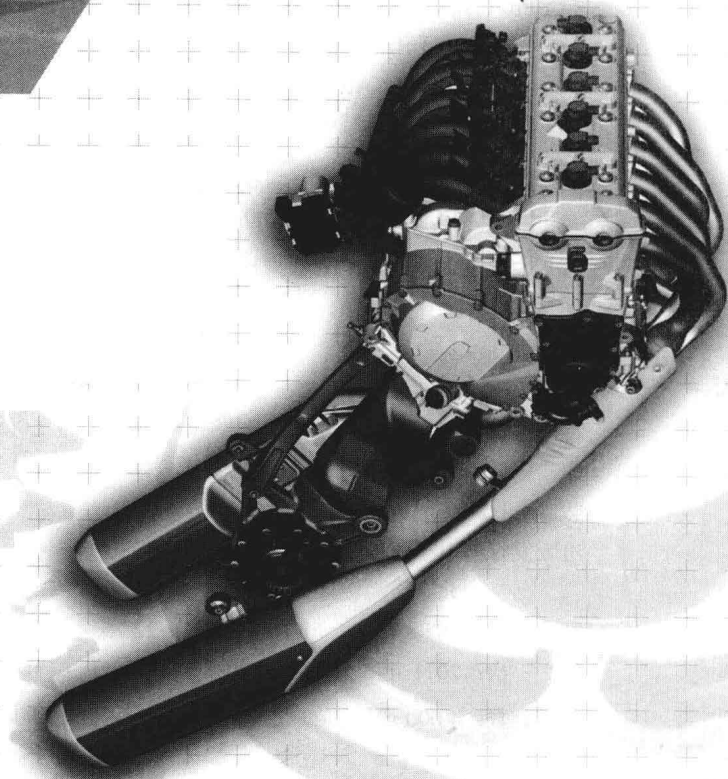
CAD/CAM/CAE 教学基地

Wildfire 5.0 中文版

# Pro/ENGINEER

# 数控编程基础与 典型范例

翔宇工作室 姜洪奎 王臣业 编著  
飞思数字创意出版中心 监制



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

# 内容简介

本书深入浅出地讲解了 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 的体积块铣削、轮廓铣削、端面铣削、曲面铣削、钻孔铣削、车削和线切割加工等数控加工功能。在每章的最后，以实例分析和实现为特点，进一步讲述所学知识的使用技巧，以及草图绘制的基本方法。本书最后通过一个典型实例讲解了在 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 中模具加工的编程过程，更有利于初级、中级学者对所学知识的巩固。

本书涵盖 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 的所有数控铣削加工知识，从数控基础到各铣削加工，讲述了 NC 加工模块中各工具的操作方法、使用步骤和基本功能。

本书既可以作为高等院校机械 CAD、模具设计等专业的教材，也可作为对制造行业有浓厚兴趣的读者自学的教程。

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

Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 中文版数控编程基础与典型范例 / 翔宇工作室, 姜洪奎, 王臣业编著.

北京: 电子工业出版社, 2011.5

(CAD/CAM/CAE 教学基地)

ISBN 978-7-121-12978-0

I. ①P… II. ①翔… ②姜… ③王… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件, Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 033829 号

责任编辑: 何郑燕

特约编辑: 李新承

印刷: 北京天宇星印刷厂

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: 22.75 字数: 588.8 千字 彩插: 2

印次: 2011 年 5 月第 1 次印刷

印数: 4 000 册 定价: 49.80 元 (含光盘 1 张)

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 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

1985年,PTC公司在美国波士顿成立,并开始参数化建模软件的研究。1988年,V1.0的Pro/ENGINEER诞生了。经过20余年的发展,Pro/ENGINEER已经成为三维建模软件的领头羊。目前已经发布了Pro/ENGINEER Wildfire 5.0。PTC的系列软件包括在工业设计和机械设计等方面的多项功能,还包括对大型装配体的管理、功能仿真、制造、产品数据管理等。Pro/ENGINEER还提供了目前所能达到的最全面、集成最紧密的产品开发环境。

## 本书内容

本书深入浅出地讲解了Pro/ENGINEER Wildfire 5.0的体积块铣削、轮廓铣削、端面铣削、曲面铣削、钻孔铣削、车削和线切割加工等数控加工功能。在每章的最后,以实例分析和实现为特点,进一步讲述所学知识的使用技巧,以及草图绘制的基本方法。本书最后通过一个典型实例讲解了在Pro/ENGINEER Wildfire 5.0中模具加工的编程过程,更有利于初级、中级学者对所学知识的巩固。

本书涵盖Pro/ENGINEER Wildfire 5.0的所有数控铣削加工知识,从数控基础到各铣削加工,讲述了NC加工模块中各工具的操作方法、使用步骤和基本功能。

本书的特点主要体现在以下几个方面:

- 本书的编排采用循序渐进的方式,适合初级、中级学者逐步掌握Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 NC加工模块使用的基本操作方法,以及使用软件进行产品设计的精髓。
- 本书以知识点为介绍单元,通过概念、操作方法和经典实例透彻地剖解每个知识点,让读者对该软件的使用从零到精通。
- 本书讲解各知识点时,采用了浅显易懂的例子,且容易上手操作。每个例子讲解的步骤简单全面,易于理解便于操作。
- 本书对关键性的技巧,以“注意”提醒读者,使读者减少不必要的时间和精力去琢磨和研究它。
- 本书内容翔实,选例典型,针对性强,叙述言简意赅、清晰流畅、讲解透彻,能使读者快速掌握Pro/ENGINEER Wildfire 5.0数控编程的应用要领。

## 本书特色

本书从软件基本命令的操作入手,以软件的应用为主线,以实例为导向,根据由浅入深的原则、举一反三的方式,讲述了Pro/ENGINEER Wildfire 5.0数控加工编程的方法和操作步骤,使读者能够快速掌握编程思路和加工技巧。

本书图文并茂,讲解层次分明、思维清晰、重难点透彻、方法独到。把专业的软件知识点,有机地融合到每章的具体内容中。本书实例经典、易掌握,内容新颖,编排井然有序,技巧点拨精准,能够开拓读者思维,提高读者阅读兴趣,使其掌握具体的方法和技巧。

本书既可以作为大、中专院校模具、数控等专业的教材,也可作为对制造行业有浓厚兴趣的读者自学的教程。

## 作者信息

本书在编写过程中得到了翔宇工作室的大力帮助，在此诚表谢意。翔宇工作室是专门从事 CAD/CAM/CAE 技术的研究、开发、咨询及产品设计与制造服务的机构，并提供专业的 SolidWorks、Pro/ENGINEER、UG、CATIA 及 AutoCAD 等软件的培训及技术咨询。

本书由翔宇工作室、姜洪奎、王臣业编写，参与编写的还有黄成、张红霞、吕详波、黄海力、余成、赵福涛、杨思剑、腾召湖、赵斌、张忠荣、刘顺、张云杰、常夕、刘渝、王瑞东等，他们为本书提供了大量的实例和素材。

感谢您选择了本书，希望我们的努力对您的工作和学习有所帮助，也希望您把对本书的意见和建议告诉我们。

## 版权声明

本书所有权归属电子工业出版社。未经同意，任何单位或个人不得将本书内容及光盘作其他商业通途，否则依法必究！

翔宇工作室联系信箱：[huangcheng-100@163.com](mailto:huangcheng-100@163.com)

编 著 者

### 联系方式

咨询电话：(010) 88254160      88254161-67

电子邮件：[support@fecit.com.cn](mailto:support@fecit.com.cn)

服务网址：<http://www.fecit.com.cn>      <http://www.fecit.net>

# 目 录

第 1 章 数控加工基础知识..... 1	
1.1 数控加工概述..... 1	
1.1.1 数控加工的定义..... 1	
1.1.2 数控机床..... 3	
1.1.3 数控编程基础和 Pro/E NC 加工过程..... 7	
1.2 数控加工工艺基本概念..... 11	
1.2.1 加工术语..... 11	
1.2.2 数控加工工艺分析的一般 步骤与方法..... 20	
1.2.3 数控加工工艺的特点和 主要原则..... 21	
1.3 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 NC 加工概述..... 22	
1.3.1 Pro/E NC 加工设置..... 22	
1.3.2 Pro/E NC 数控加工分类..... 24	
1.4 Pro/ENGINEER NC 模块简介..... 25	
1.4.1 用户界面..... 25	
1.4.2 基本操作..... 26	
1.5 动手操练：凸台的数控加工..... 27	
1.5.1 设计要求..... 28	
1.5.2 设计方案..... 28	
1.5.3 实施步骤..... 29	
1.6 本章小结..... 35	
1.7 课后习题..... 36	
第 2 章 体积块铣削..... 37	
2.1 体积块铣削概述..... 37	
2.2 体积块铣削过程..... 38	
2.2.1 选择刀具和坐标系..... 38	
2.2.2 工件工艺路线分析..... 39	
2.3 体积块铣削操作..... 39	
2.3.1 体积块铣削操作步骤..... 40	
2.3.2 加工方法设置..... 40	
2.3.3 确定加工范围..... 42	
2.3.4 体积块铣削加工过程仿真..... 43	
2.4 动手操练：体积块铣削 的应用..... 44	
2.4.1 衬箱零件模具铣削加工..... 45	
2.4.2 减速器箱体内部腔的体积 加工..... 52	
2.5 本章小结..... 64	
2.6 课后习题..... 65	
第 3 章 轮廓铣削..... 67	
3.1 轮廓铣削概述..... 67	
3.2 轮廓铣削加工过程..... 68	
3.2.1 选择刀具和坐标系..... 68	
3.2.2 工件工艺路线分析..... 68	
3.3 轮廓铣削的软件知识..... 69	
3.3.1 加工方法设置..... 69	
3.3.2 确定加工范围..... 71	
3.4 动手操练：轮廓铣削的应用..... 72	
3.4.1 对称凹边底座零件铣削 加工实例..... 72	
3.4.2 观察孔盖凹槽的轮廓铣削..... 80	
3.5 本章小结..... 86	
3.6 课后习题..... 87	
第 4 章 端面铣削加工..... 89	
4.1 端面铣削加工概述..... 89	
4.1.1 端面铣削的功能和应用..... 89	
4.1.2 工艺分析..... 90	
4.1.3 加工参数设置..... 91	
4.2 端面铣削的软件知识..... 92	
4.2.1 端面铣削操作步骤..... 92	
4.2.2 设置端面铣削..... 93	



4.2.3	确定加工范围	96	6.2.3	确定加工范围	167
4.2.4	创建铣削窗口	100	6.2.4	钻孔铣削加工过程仿真	168
4.2.5	端面铣削加工过程仿真	101	6.3	动手操练：钻孔铣削的应用	169
4.2.6	刀具轨迹验证	102	6.3.1	轴承支座的定位孔加工	169
4.3	动手操练：端面铣削的应用	103	6.3.2	折流板的孔加工	177
4.3.1	模具分型面的端面铣削	103	6.3.3	轴承孔的孔加工	187
4.3.2	腔体零件表面的端面 铣削操作	109	6.4	本章小结	193
4.3.3	三角铣槽端面的精加工	119	6.5	课后习题	194
4.4	本章小结	125	<b>第7章</b>	<b>车削加工</b>	<b>195</b>
4.5	课后习题	125	7.1	车削加工功能概述	195
<b>第5章</b>	<b>曲面铣削加工</b>	<b>127</b>	7.2	车削加工过程	197
5.1	曲面铣削加工概述	127	7.2.1	刀具的选择	197
5.1.1	工艺分析	128	7.2.2	坐标系的选择	198
5.1.2	参数设置	129	7.2.3	工件车削工艺参数	198
5.2	曲面铣削的软件知识	130	7.3	数控车削的软件知识	200
5.2.1	曲面铣削操作步骤	130	7.3.1	加工方法设置	201
5.2.2	确定加工范围	131	7.3.2	确定加工范围	203
5.2.3	刀具路线设置	133	7.3.3	车削加工过程仿真	207
5.2.4	曲面铣削加工过程仿真	136	7.4	动手操练：车削加工的应用	208
5.2.5	刀具轨迹验证	136	7.4.1	手柄铣削加工实例	208
5.3	动手操练：曲面铣削的应用	137	7.4.2	阶梯轴零件铣削加工实例	217
5.3.1	鼠标模具外轮廓面的 精加工	137	7.5	应用拓展	228
5.3.2	四轴联动数控加工 外轮廓面	145	7.5.1	车削与应用	228
5.3.3	内腔曲面铣削加工	153	7.5.2	刀具切入、切出工件路径 的设计	230
5.4	本章小结	160	7.6	本章小结	230
5.5	课后习题	161	7.7	课后习题	231
<b>第6章</b>	<b>钻孔铣削加工</b>	<b>163</b>	<b>第8章</b>	<b>线切割加工</b>	<b>233</b>
6.1	钻孔铣削加工概述	163	8.1	数控线切割概述	233
6.1.1	工艺设计	164	8.1.1	数控电火花线切割加工 原理	234
6.1.2	参数设置	164	8.1.2	数控电火花线切割加工 特点	234
6.2	钻孔铣削的软件知识	164	8.1.3	线切割机床分类	234
6.2.1	钻孔铣削加工步骤	165	8.2	数控线切割工艺基础	235
6.2.2	加工方法设置	165			

8.2.1	工件的准备	236	9.2.3	创建后置处理器	304
8.2.2	工件的装夹	236	9.2.4	应用后置处理器	306
8.2.3	电极丝的选择	237	9.3	动手操练：车削加工后处理的应用	308
8.2.4	加工方式的选择	238	9.3.1	车削加工数控生成实例	308
8.2.5	加工路线的选择	239	9.3.2	铣削加工数控生成实例	315
8.2.6	线切割 ISO 格式编程	240	9.4	本章小结	321
8.3	线切割加工的软件知识	241	9.5	课后习题	322
8.3.1	线切割加工主要操作步骤	241	第 10 章	综合应用	323
8.3.2	线切割加工的环境	242	10.1	模具零件加工基础	323
8.3.3	线切割加工的 NC 序列	244	10.1.1	常见数控加工模具零件	323
8.3.4	创建线切割操作	246	10.1.2	模具数控加工的刀具选择	324
8.3.5	刀具路线组成	250	10.1.3	模具前后模编程注意事项	326
8.3.6	建立切削路线	251	10.1.4	模具加工过程中的常见问题	327
8.4	动手操练：线切割的应用	253	10.2	模具加工实例	332
8.4.1	仿形线切割实例	253	10.2.1	计算器模具的建模	332
8.4.2	4 轴锥角切割	264	10.2.2	底座的粗加工	334
8.4.3	4 轴 XY-UV 切割	274	10.2.3	底座的半精加工	338
8.5	本章小结	283	10.2.4	按键孔的粗加工	341
8.6	课后习题	284	10.2.5	底座的清角加工	346
第 9 章	NC 后处理与全仿真	285	10.2.6	按键孔的精加工	348
9.1	后置处理概述	285	10.2.7	后置处理加工仿真	353
9.1.1	机床后置处理的基本概念	286	10.3	本章小结	356
9.1.2	后置处理器的流程	287			
9.1.3	选配文件的制作过程	288			
9.2	后置处理器基本操作	289			
9.2.1	后置处理器的操作步骤	289			
9.2.2	后置处理器配置文件的主要参数	293			

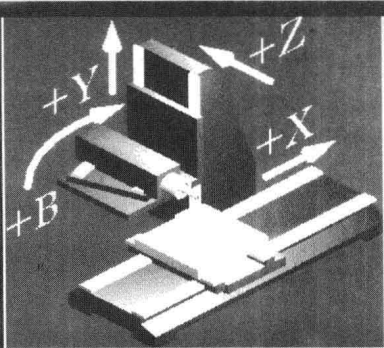
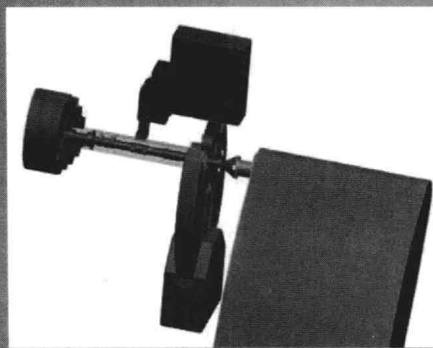


# 第 1 章 数控加工基础知识

## 主要内容

- 掌握数控加工的基本概念
- 掌握数控加工的主要参数和基本步骤
- 初步了解 Pro/E NC 的主要操作方法

数控加工相对于传统的加工方式,有着不可比拟的优点,特别是对于现代工业高速发展所需要的柔性化制造的需要。Pro/E NC 为用户提供了大量的数控加工方式,可以极为方便地对需要加工的零件进行自动编程。



本章力求从工艺实践出发,介绍数控加工工艺所涉及的基础知识和 Pro/E NC 软件的基本操作方法,以便为后面的实例操作打好基础。

## 1.1 数控加工概述

### 1.1.1 数控加工的定义



数控加工 (numerical control machining) 是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法。数控机床加工与传统机床加工的工艺规程从总体上说是一致的,但也有明显的区别。数控机床是用数字信息控制零件和刀具位移的机械加工方法。它是解决零件品种多变、批量小、形状复杂、精度高等问题和实现高效化与自动化加工的有效途径。



## 概 况

数控技术源于航空工业的需要，20 世纪 40 年代后期，美国一家直升机公司提出了数控机床的初始设想，1952 年，美国麻省理工学院研制出三坐标数控铣床。20 世纪 50 年代中期，这种数控铣床已用于加工飞机零件。20 世纪 60 年代，数控系统和程序编制工作日益成熟和完善，数控机床已被用于各个工业部门，但航空航天工业始终是数控机床的最大用户。一些大的航空工厂配有数百台数控机床，其中以切削机床为主。数控加工的零件有飞机和火箭的整体壁板、大梁、蒙皮、隔框、螺旋桨，以及航空发动机的机匣、轴、盘、叶片的模具型腔和液体火箭发动机燃烧室的特型腔面等。数控机床发展初期是以连续轨迹控制的数控机床为主，连续轨迹控制又称轮廓控制，它要求刀具相对于零件按规定轨迹运动。以后又大力发展点位控制数控机床。点位控制是指刀具从某一点向另一点移动，只要求最后能准确地到达目标，而不管移动路线如何。



## 主要特点

数控机床最初就选定具有复杂型面的飞机零件作为加工对象，解决普通加工方法难以解决的关键。数控加工的最大特点是用穿孔带（或磁带）控制机床进行自动加工。由于飞机、火箭和发动机零件各有不同的特点——飞机和火箭的零、构件尺寸大、型面复杂；发动机零、构件尺寸小、精度高。因此飞机、火箭制造部门和发动机制造部门所选用的数控机床有所不同。制造飞机和火箭以采用连续控制的大型数控铣床为主；而制造发动机既采用连续控制的数控机床，也采用点位控制的数控机床（如数控钻床、数控镗床和加工中心等）。

### 1. 工序集中

数控机床一般带有可以自动换刀的刀架、刀库，换刀过程由程序控制自动进行，因此，工序比较集中。工序集中可以带来巨大的经济效益：

- 减少机床占地面积，节约厂房。
- 减少或没有中间环节（如半成品的中间检测、暂存搬运等），既省时间又省人力。

### 2. 加工自动化

数控机床加工时，无需人工控制刀具，自动化程度高，有以下几点好处：

- 对操作工人的要求降低。一个普通机床的高级工，不是短时间内可以培养的，而一个不需要编程的数控工培养时间极短（如数控车工需要一周即可，还会编写简单的加工程序）。另外，数控工在数控机床上加出的零件比普通工在传统机床上加工的零件精度要高，并节省了时间。
- 降低了工人的劳动强度。数控工人在加工过程中，大部分时间被排斥在加工过程之外，非常省力。
- 产品质量稳定。数控机床的加工自动化，免除了普通机床上工人因疲劳、粗心、估计等原因造成的人为误差，提高了产品的一致性。
- 加工效率高。数控机床的自动换刀等功能使加工过程紧凑，提高了劳动生产率。

### 3. 柔性化高

传统的通用机床，虽然柔性好，但效率低下；而传统的专机，虽然效率很高，但对零件的适应性很差，刚性大，柔性差，很难适应市场经济下激烈竞争带来的产品频繁改型。只要改变程序，就可以在数控机床上加工新的零件，且又能自动化操作，柔性好，效率高，因此数控机床能很好地适应市场竞争。

### 4. 加工能力强

机床能精确加工各种轮廓，而有些轮廓在普通机床上无法加工。数控机床特别适合以下场合：

- 不许报废的零件。
- 新产品研制。
- 急需件的加工。



## CAM

用 CAM 软件编程实现数控加工的过程：

- (1) 首先，对要加工的零件进行工艺分析；
- (2) 配置机床和加工参数，这是正确输出代码的关键；
- (3) 根据工件图纸和工件形状，选择合适的加工方式；
- (4) 进行 CAM 软件操作，确定刀位轨迹；
- (5) 最后，生成 G 代码，传给机床。

### 1.1.2 数控机床

数控机床是指采用数控的方式进行零件加工的工艺。数控机床是一种用计算机来控制的机床，用来控制机床的计算机（专用计算机和通用计算机）都统称为数控系统。数控机床的运动和辅助动作均受控于数控系统发出的指令。而数控系统的指令是由程序员根据工件的材质、加工要求、机床的特性和系统所规定的指令格式（数控语言或符号）编制的。数控系统根据程序指令向伺服装置和其他功能部件发出运行或终止信息来控制机床的各种运动。当零件的加工程序结束时，机床便会自动停止。任何一种数控机床，在其数控系统中若没有输入程序指令，数控机床就不能工作。

机床的受控动作大致包括机床的起动、停止；主轴的启停、旋转方向和转速的变换；进给运动的方向、速度和方式；刀具的选择、长度和半径的补偿；刀具的更换，冷却液的开启、关闭等。因此用户首先要了解数控机床的基础知识。



## 机床分类

数控机床的分类有多种方式。

### 1. 按机床数控运动轨迹划分

- 点位控制数控机床：指在刀具运动时，只控制刀具相对于工件位移的准确性，不考虑两点间的路径，如数控钻床。

- 点位直线控制数控机床：在点位控制的基础上，还要保证运动一条直线，且刀具在运动过程中还要进行切削加工。
- 轮廓控制数控机床：能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。在模具行业中这类机床的应用最多，如三坐标以上的数控铣或加工中心。

## 2. 按伺服系统控制方式划分

- 开环控制机床：价格低廉，精度及稳定性差。
- 半闭环控制数控机床：精度及稳定性较高，价格适中，应用最普及。
- 闭环控制数控机床：精度高，稳定性难以控制，价格高。

## 3. 按联动坐标轴数划分

(1) 两轴联动数控机床：X、Y、Z 三轴中任意两轴做插补联动，第三轴做单独的周期进刀，常称 2.5 轴联动。如图 1-1 所示，将 X 向分成若干段，圆头铣刀沿 YZ 面所截的曲线进行铣削，每一段加工完后进给  $\Delta X$ ，再加工另一相邻曲线，如此依次切削即可加工出整个曲面，故称为行切法。根据“表面光洁度及刀头不干涉相邻表面”原则选取  $\Delta X$ 。行切法加工所用的刀具通常是球刀铣头（即指状铣刀）。用这种刀具加工曲面，不易干涉相邻表面，计算比较简单。球状铣刀的刀头半径应选得大一些，有利于提高加工光洁度、增加刀具刚度、散热等。但刀头半径应小于曲面的最小曲率半径。

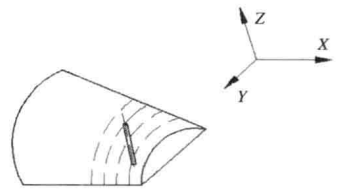


图 1-1 两轴半联动数控机床

用球头铣刀加工曲面时，总是用刀心轨迹的数据进行编程。如图 1-2 所示为二轴联动 3 坐标行切法加工的刀心轨迹与切削点轨迹示意图。 $ABCD$  为被加工曲面， $P$  平面为平行于  $YZ$  表面的一个平行面，其刀心轨迹  $O_1O_2$  为曲面  $ABCD$  的等距面  $IJKL$  与行切面  $P_{yz}$  的交线，显然， $O_1O_2$  是一条平面曲线。在这种情况下，曲面的曲率变化时会导致球头刀与曲面切削点的位置亦随之改变，而切削点的连线  $ab$  是一条空间曲线，从而在曲面上形成扭曲的残留沟纹。由于 2.5 轴坐标加工的刀心轨迹为平面曲线，故编程计算较为简单，数控逻辑装置也不复杂，常用于曲率变化不大及对精度要求不高的粗加工。

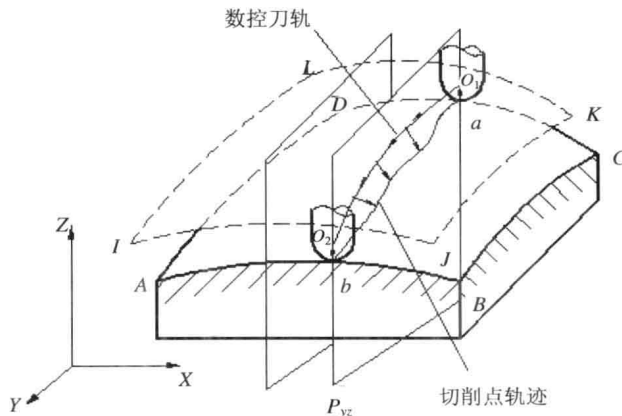


图 1-2 两轴联动数控机床

(2) 3轴联动数控机床:  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三轴可同时插补联动。用3坐标联动加工曲面时,通常亦用行切方法。如图1-3所示,3轴联动的数控刀轨可以是平面曲线或者空间曲线。3坐标联动加工常用于复杂曲面的精确加工(如精密锻模)。但编程计算较为复杂,所用的数控装置还必须具备3轴联动功能。

(3) 4轴联动数控机床: 除了 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三轴平动之外,还有工作台或者刀具的转动。如图1-4所示,侧面为直纹扭曲面。若在3坐标联动的机床上用圆头铣刀按行切法加工时,不但生产率低,而且光洁度差。为此,采用圆柱铣刀周边切削,并用4坐标铣床加工,即除3个直角坐标运动外,为保证刀具与工件型面在全长始终贴合,刀具还应绕 $O_1$ (或 $O_2$ )做摆角联动。由于摆角运动导致直角坐标系(图中 $Y$ )须做附加运动,其编程计算较为复杂。

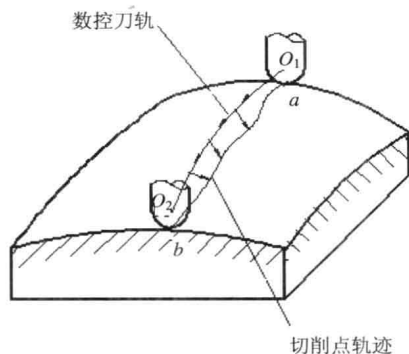


图 1-3 3 坐标联动数控机床

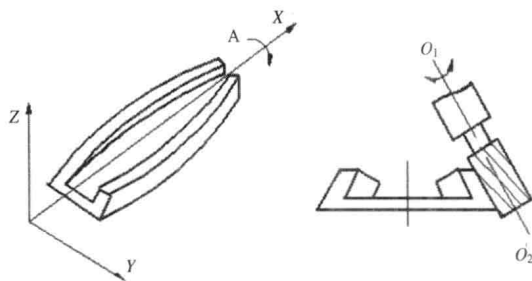


图 1-4 4 轴联动数控机床

(4) 5轴联动数控机床: 除了 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴的平动外还有刀具旋转、工作台的旋转。螺旋桨是5坐标加工的典型零件之一,其叶片形状及加工原理如图1-5所示。在半径为 $R_i$ 的圆柱面上与叶面的交线 $AB$ 为螺旋线的一部分,螺旋角为 $\phi_i$ ,叶片的径向叶型线(轴向剖面) $EF$ 的倾角 $\alpha$ 为后倾角。螺旋线 $AB$ 用极坐标加工方法并以折线段逼近。逼近线段 $mn$ 是由 $C$ 坐标旋转 $\Delta\theta$ 与 $Z$ 坐标位移 $\Delta Z$ 的合成。当 $AB$ 加工完后,刀具径向位移 $\Delta X$ (改变 $R_i$ ),再加工相邻的另一条叶型线,依次逐一加工,即可形成整个叶面。由于叶面的曲率半径较大,所以常用端面铣刀加工,以提高生产率并简化程序。因此,为保证铣刀端面始终与曲面贴合,铣刀还应做坐标 $A$ 和坐标 $B$ 形成 $\theta_i$ 和 $\alpha_i$ 的摆角运动,在摆角的同时,还应做直角坐标的附加运动,以保证铣刀端面中心始终处于编程值位置上,所以需要 $Z$ 、 $C$ 、 $X$ 、 $A$ 、 $B$ 五坐标加工。这种加工的编程计算相当复杂。

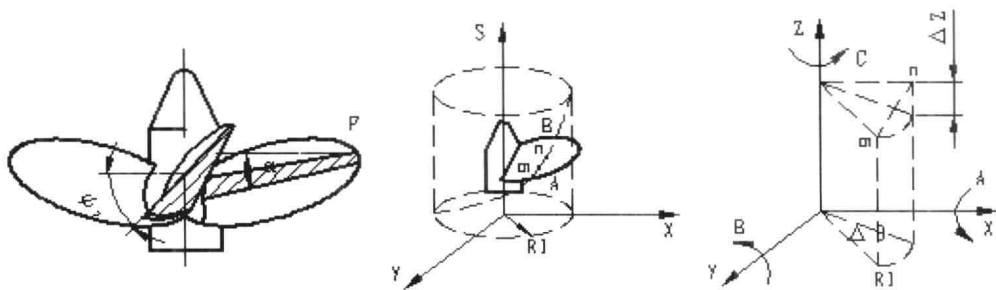


图 1-5 5 轴联动数控机床



(5) 加工中心：是在数控铣床上配置刀库，其中存放着不同数量的各种刀具或检具，在加工过程中由程序自动选用和更换，从而将铣削、镗削、钻削和攻螺纹等功能集中在一台设备上完成，使其具有多种工艺手段。

## 机床坐标系

机床坐标系是机床上固有的坐标系，是机床加工运动的基本坐标系。它是考察刀具在机床上实际运动位置的基准坐标系。

对于具体机床来说，有的是刀具和移动工作台（工件）均不动，有的则是刀具不动而工作台（工件）移动。不管是刀具移动还是工件移动，机床坐标系永远假定刀具相对于静止的工件运动。同时，运动的正方向是增大工件和刀具之间距离的方向。

机床坐标系通常采用如图 1-6 所示的右手直角笛卡儿坐标系。一般情况下主轴的方向为 Z 坐标，而工作台的两个运动方向分别为 X、Y 坐标。

如图 1-7 所示是典型的单立柱立式数控铣床加工运动坐标系示意图。刀具沿与地面垂直的方向上下运动，工作台带动工件在与刀具垂直的平面（即与地面平行的平面）内运动。机床坐标系的 Z 坐标是刀具运动方向，并且刀具向上运动为正方向。当面对机床进行操作时，刀具相对工件的左右运动方向为 X 坐标，并且刀具相对工件向右运动（即工作台带动工件向左运动）时为 X 坐标的正方向。Y 坐标的方向可用右手法则确定。若以  $X'$ 、 $Y'$ 、 $Z'$  表示工作台相对于刀具的运动坐标，而以 X、Y、Z 表示刀具相对于工件的运动坐标，则显然有  $X'=-X$ 、 $Y'=-Y$ 、 $Z'=Z$ 。

机床坐标系的原点也称机床原点或零点，其位置在机床上是固定不变的。

关于数控机床坐标和运动方向命名的详细内容，可参阅 JB3052-82 部颁标准。

为了方便起见，在数控编程时往往采用工件上的局部坐标系（称为工件坐标系），即以工件上的某一点（工件原点）为坐标系原点进行编程。数控编程采用的坐标系称为编程坐标系，数控程序中的加工刀位点坐标均以编程坐标系为参照进行计算。

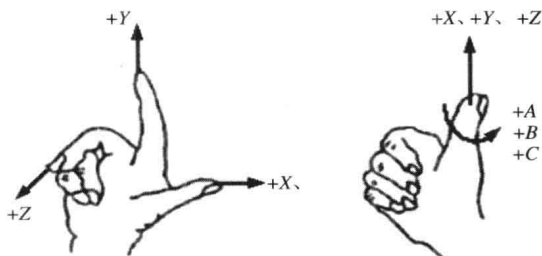


图 1-6 右手法则确定机床坐标

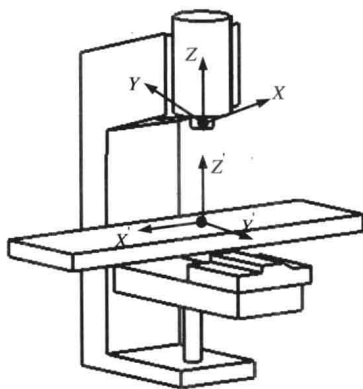


图 1-7 单立柱立式数控铣床加工运动坐标系

在加工时，工件安装在机床上，这时只要测量工件原点相对机床原点的位置坐标（称为原点偏置），并将该坐标值输入数控系统中，数控系统则会自动将原点偏置加入到刀位点

坐标中,使刀位点在编程坐标系下的坐标值转化为机床坐标系下的坐标值,从而使刀具运动到正确的位置。测量原点偏置即在数控机床操作中通常所说的“对刀”操作。

### 1.1.3 数控编程基础和 Pro/E NC 加工过程

数控加工的最终目的是根据零件的设计工艺要求,采用手工或自动编程软件编制控制刀具走刀的路径文件,然后将文件传输到如数控铣床、加工中心等数控加工设备,生产出质量合格的产品。整个工艺加工过程中,数控编程是数控加工过程最重要也是最复杂的工艺过程。数控编程最终结果是计算加工过程中刀具走刀的刀位文件(Cutter Location, CL点)。编程方法主要有两种形式:手工编程和软件编程。下面首先了解数控编程的基础知识。

#### 程序结构

程序段是可以作为一个单位来处理的连续字组,它实际是数控加工程序中的一段程序。零件加工程序的主体由若干个程序段组成。多数程序段用来指令机床完成或执行某一动作。程序段是由尺寸字、非尺寸字和程序段结束指令构成的。在书写和打印时,每个程序段一般占一行,在屏幕显示程序时也是如此。

#### 程序格式

常规加工程序由开始符(单列一段)、程序名(单列一段)、程序主体和程序结束指令(一般单列一段)组成。程序的最后还有一个程序结束符。程序开始符与程序结束符是同一个字符——在 ISO 代码中是%,在 EIA 代码中是 ER。程序结束指令可用 M02(程序结束)或 M30(纸带结束)。现在的数控机床一般都使用存储式的程序运行,此时 M02 与 M30 的共同点是:在完成了所在程序段其他所有指令之后,用以停止主轴、冷却液和进给,并使控制系统复位。M02 与 M30 在有些机床(系统)上使用时是完全等效的,而在另一些机床(系统)上使用有如下不同:用 M02 结束程序场合,自动运行结束后光标停在程序结束处;而用 M30 结束程序运行场合,自动运行结束后光标和屏幕显示能自动返回到程序开头处,一按启动钮就可以再次运行程序。虽然 M02 与 M30 允许与其他程序字合用一个程序段,但最好还是将其单列一段,或者只与顺序号共用一个程序段。

程序名位于程序主体之前、程序开始符之后,它一般独占一行。程序名有两种形式:一种是以规定的英文字(多用 O)打头、后面紧跟若干位数字。数字的最多允许位数由说明书规定,常见的是两位和 4 位。这种形式的程序名也可称为程序号。另一种形式是,程序名由英文字、数字或英文与数字混合组成,中间还可以加入“—”号。这种形式使用户命名程序比较灵活,例如在 LC30 型数控车床上加工零件图号为 215 的法兰第三道工序的程序,可命名为 LC30-FIANGE-215-3,这就给使用、存储和检索等带来很大方便。程序名用哪种形式是由数控系统决定的。

%

O1001

N0 G92 X0 Y0 Z0

```

N5 G91 G00 X50 Y35 S500 M03
N10 G43 Z-25 T01.01
N15 G01 G007 Z-12
N20 G00 Z12
N25 X40
N30 G01 Z-17
N35 G00 G44 Z42 M05
N40 G90 X0 Y0
N45 M30
%
```

## 程序段

程序段中字、字符和数据的安排形式的规则称为程序段格式 (block format)。数控历史上曾经用过固定顺序格式和分隔符 (HT 或 TAB) 程序段格式。这两种程序段格式已经过时, 目前国内外都广泛采用字地址可变程序段格式, 又称为字地址格式。在这种格式中, 程序字长是不固定的, 程序字的个数也是可变的, 绝大多数数控系统允许程序字的顺序是任意排列的, 故属于可变程序段格式。但是, 在大多数场合, 为了书写、输入、检查和校对的方便, 程序字在程序段中习惯按一定的顺序排列。

数控机床的编程说明书中用详细格式来分类规定程序编制的细节: 程序编制所用字符、程序段中程序字的顺序及字长等。例如:

```
/ NO3 G02 X+053 Y+053 I0 J+053 F031 S04 T04 M03 LF
```

上例详细格式分类说明如下: N03 为程序段序号; G02 表示加工的轨迹为顺时针圆弧; X+053、Y+053 表示所加工圆弧的终点坐标; I0、J+053 表示所加工圆弧的圆心坐标; F031 为加工进给速度; S04 为主轴转速; T04 为所使用刀具的刀号; M03 为辅助功能指令; LF 程序段结束指令; / 为跳步选择指令。跳步选择指令的作用是: 在程序不变的前提下, 操作者可以对程序中的有跳步选择指令的程序段做出执行或不执行的选择。选择的方法通常是通过操作面板上的跳步选择开关扳向 ON 或 OFF, 来实现不执行或执行有 “/” 的程序段。

## 主程序

编制加工程序有时会遇到这种情况: 一组程序段在一个程序中多次出现, 或者在几个程序中出现。此时可以把这组程序段摘出来, 命名后单独存储, 这组程序段就是子程序。子程序是可由适当的机床控制指令调用的一段加工程序, 它在加工中一般具有独立意义。调用第一层子程序的指令所在的加工程序称为主程序。调用子程序的指令也是一个程序段, 它一般由子程序调用指令、子程序名称和调用次数等组成, 具体规则和格式随系统不同而有所区别。例如, 同样是“调用 55 号子程序一次”, FANUC 系统使用 M98 P55, 而美国 A-B 公司系统使用 P55x。



子程序可以嵌套，即一层套一层。上一层与下一层的关系，跟主程序与第一层子程序的关系相同。最多可以套多少层由具体的数控系统决定。子程序的形式和组成与主程序大体相同：第一行是子程序号（名），最后一行则是“子程序结束”指令，它们之间是子程序主体。不过，主程序结束指令的作用是结束主程序、让数控系统复位，其指令已经标准化，各系统都用 M02 或 M30；而子程序结束指令的作用是结束子程序、返回主程序或上一层子程序，各系统指令不统一，如 FANUC 系统使用 M99、西门子系统使用 M17，美国 A—B 公司的系统使用 M02 等。

在数控加工程序中可以使用用户宏（程序）。所谓宏程序就是含有变量的子程序，在程序中调用宏程序的指令称为用户宏指令，系统可以使用用户宏程序的功能称为用户宏功能。执行时只需写出用户宏命令，就可以执行其用户宏功能。

用户宏的最大特征是：

- 可以在用户宏中使用变量。
- 可以使用演算式、转向语句及多种函数。
- 可以用用户宏命令对变量进行赋值。

Pro/E NC 提供了多种加工类型用于各种复杂零件的粗精加工，用户可以根据零件结构、加工表面形状和加工精度要求选择合适的加工类型。

## NC 编程

对于不同的加工类型，Pro/E NC 的数控编程过程都需经过获取零件模型、加工工艺分析及规划、完善零件模型、设置加工参数、生成数控刀路、检验数控刀路和生成数控程序 7 个步骤。具体流程如图 1-8 所示。

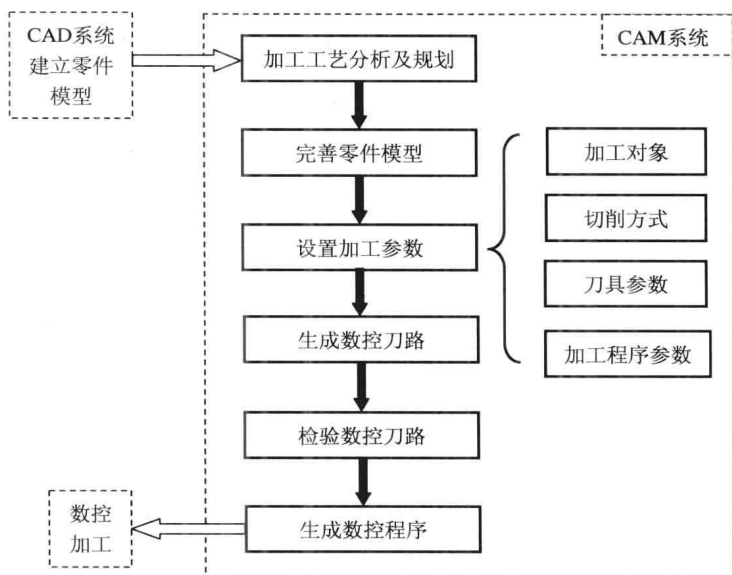


图 1-8 Pro/E NC 数控编程过程