



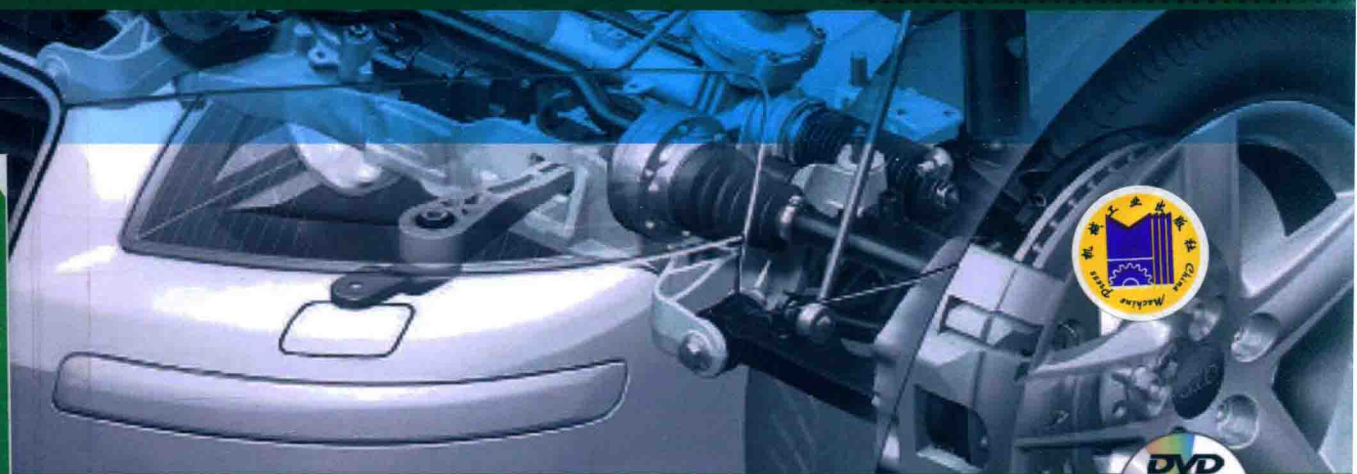
Pro/ENGINEER 中文野火版5.0工程应用精解丛书

Pro/ENGINEER

中文野火版5.0

数控加工教程 (增值版)

◎ 北京兆迪科技有限公司 编著



附1张DVD光盘
含语音视频讲解



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

Pro/ENGINEER

TC650 20/104D

应用精解丛书

Pro/ENGINEER 中文野火版 5.0 数控加工教程（增值版）

北京兆迪科技有限公司 编著

机械工业出版社

本书全面、系统地介绍了 Pro/ENGINEER 中文野火版 5.0 数控加工技术, 内容包括 Pro/ENGINEER 数控加工基础、数控加工入门、铣削加工、孔加工、车削加工、线切割加工、多轴联动加工、钣金件制造、后置处理和数控加工综合范例。

本书是根据北京兆迪科技有限公司给国内外众多行业的一些著名公司(含国外独资和合资公司)的培训教案整理而成的, 具有很强的实用性和广泛的适用性。在内容安排上, 本书紧密结合范例对 Pro/ENGINEER 数控加工的流程、方法与技巧进行讲解和说明, 这些实例都是实际生产一线中具有代表性的例子, 这样安排能够帮助读者较快地进入数控加工编程实战状态; 在写作方式上, 本书紧贴软件的实际操作界面进行讲解, 使初学者能够提高学习效率。本书内容全面, 条理清晰, 范例丰富, 讲解详细, 图文并茂, 可作为机械技术人员学习 Pro/ENGINEER 数控加工编程的自学教程和参考书, 也可作为大中专院校学生和各类培训学校学员的 CAD/CAM 课程上课及上机练习教材。

本书附带 1 张多媒体 DVD 学习光盘, 光盘包含了教学视频并有详细的语音讲解, 还包含本书所有的素材源文件、范例文件以及 Pro/ENGINEER 软件的配置文件。

特别说明的是, 本书随书光盘中增加了大量产品设计案例的讲解, 使本书的附加值大大提高。

图书在版编目(CIP)数据

Pro/ENGINEER 中文野火版 5.0 数控加工教程: 增值版/ 北京兆迪科技有限公司编著. —4 版. —北京: 机械工业出版社, 2017.1
(Pro/ENGINEER 中文野火版 5.0 工程应用精解丛书)
ISBN 978-7-111-55693-0

I. ①P… II. ①北… III. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件—教材 IV. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 311053 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: 丁 锋 责任编辑: 丁 锋

责任校对: 肖 琳 封面设计: 张 静

责任印制: 李 飞

北京铭成印刷有限公司印刷

2017 年 2 月第 4 版第 1 次印刷

184mm×260 mm·20 印张·370 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-55693-0

ISBN 978-7-89386-109-3 (光盘)

定价: 59.90 元(含 1DVD)

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

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

前 言

Pro/ENGINEER (简称 Pro/E) 是由美国 PTC 公司推出的一套博大精深的三维 CAD/CAM 参数化软件系统, 其内容涵盖了产品从概念设计、工业造型设计、三维模型设计、分析计算、动态模拟与仿真、工程图输出, 到生产加工成产品的全过程, 其中还包含了大量的电缆及管道布线、模具设计与分析等实用模块, 应用范围涉及航空航天、汽车、机械、数控 (NC) 加工和电子等诸多领域。

本次增值版优化了原来各章的结构, 使读者更方便、高效地学习本书。本书全面、系统地介绍了 Pro/ENGINEER 数控加工技术, 其特色如下:

- 内容全面, 与其他的同类书籍相比, 包括更多的 Pro/ENGINEER 数控加工内容。
- 范例丰富, 对软件中的主要命令和功能, 先结合简单的范例进行讲解, 然后安排一些较复杂的综合范例帮助读者深入理解、灵活运用。
- 讲解详细, 条理清晰, 保证自学的读者能独立学习。
- 写法独特, 采用 Pro/ENGINEER 软件中真实的对话框、操控板和按钮等进行讲解, 使初学者能够直观、准确地操作软件, 从而大大地提高学习效率。
- 附加值高, 本书附带 1 张多媒体 DVD 学习光盘, 光盘包含了教学视频并有详细的语音讲解, 可以帮助读者轻松、高效地学习。

本书由北京兆迪科技有限公司编著, 参加编写的人员有王焕田、刘静、雷保珍、刘海起、魏俊岭、任慧华、詹路、冯元超、刘江波、周涛、赵枫、邵为龙、侯俊飞、龙宇、施志杰、詹棋、高政、孙润、李倩倩、黄红霞、尹泉、李行、詹超、尹佩文、赵磊、王晓萍、陈淑童、周攀、吴伟、王海波、高策、冯华超、周思思、黄光辉、党辉、冯峰、詹聪、平迪、管璇、王平、李友荣。本书已经多次校对, 如有疏漏之处, 恳请广大读者予以指正。

电子邮箱: zhanygjames@163.com。

编 者

读者购书回馈活动

活动一: 本书“随书光盘”中含有“读者意见反馈卡”的电子文档, 请认真填写反馈卡, 并 E-mail 给我们。E-mail: 兆迪科技 zhanygjames@163.com, 丁锋 fengfener@qq.com。

活动二: 扫一扫右侧二维码, 关注兆迪科技官方公众微信 (或搜索公众账号 zhaodikeji), 参与互动, 可进行答疑。

凡参加以上活动, 即可获得兆迪科技免费奉送的价值 48 元的在线课程一门, 同时有机会获得价值 780 元的精品在线课程。在线课程网址见本书“随书光盘”中的“读者意见反馈卡”的电子文档。



本书导读

为了更好地学习本书的知识，请您先仔细阅读下面的内容。

写作环境

本书使用的操作系统为 Windows XP，对于 Windows 7、Windows 8、Windows 10 操作系统，本书内容和范例也同样适用。本书采用的写作蓝本是 Pro/ENGINEER 野火版 5.0。

光盘使用

为方便读者练习，特将本书所有素材文件、已完成的范例文件、配置文件和视频语音讲解文件等放入随书附带的光盘中，读者在学习过程中可以打开相应的素材文件进行操作和练习。

本书附赠多媒体 DVD 光盘，建议读者在学习本书前，先将 DVD 光盘中的所有文件复制到计算机硬盘的 D 盘中，在 D 盘上 proewf5.9 目录下共有 3 个子目录。

(1) proewf5_system_file 子目录：包含一些系统配置文件。

(2) work 子目录：包含本书讲解中所用到的文件。

(3) video 子目录：包含本书讲解中所有的视频文件（含语音讲解），学习时，直接双击某个视频文件即可播放。

光盘中带有“ok”扩展名的文件或文件夹表示已完成的实例。

本书约定

- 本书中有关鼠标操作的简略表述说明如下。

- ☑ 单击：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的左键。
- ☑ 双击：将鼠标指针移至某位置处，然后连续快速地按两次鼠标的左键。
- ☑ 右击：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的右键。
- ☑ 单击中键：将鼠标指针移至某位置处，然后按一下鼠标的中键。
- ☑ 滚动中键：只是滚动鼠标的中键，而不能按中键。
- ☑ 选择（选取）某对象：将鼠标指针移至某对象上，单击以选取该对象。
- ☑ 拖动某对象：将鼠标指针移至某对象上，然后按下鼠标的左键不放，同时移动鼠标，将该对象移动到指定的位置后再松开鼠标的左键。

- 本书中的操作步骤分为 Task、Stage 和 Step 三个级别，说明如下。

- ☑ 对于一般的软件操作，每个操作步骤以 Step 字符开始。
- ☑ 每个 Step 操作步骤视其复杂程度，下面可含有多级子操作，例如 Step1 下可能包含 (1)、(2)、(3) 等子操作，(1) 子操作下可能包含①、②、③等子操作，①子操作下可能包含 a)、b)、c) 等子操作。

- ☑ 如果操作较复杂，需要几个大的操作步骤才能完成，则每个大的操作冠以 Stage1、Stage2、Stage3 等，Stage 级别的操作下再分 Step1、Step2、Step3 等操作。
- ☑ 对于多个任务的操作，则每个任务冠以 Task1、Task2、Task3 等，每个 Task 操作下则可包含 Stage 和 Step 级别的操作。
- 由于已经建议读者将随书光盘中的所有文件复制到计算机硬盘的 D 盘中，所以书中在要求设置工作目录或打开光盘文件时，所述的路径均以 D:开始。

技术支持

本书是根据北京兆迪科技有限公司给国内外一些著名公司（含国外独资和合资公司）的培训案例整理而成的，具有很强的实用性。该公司专门从事 CAD/CAM/CAE 技术的研究、开发、咨询及产品设计与制造服务，并提供 Pro/ENGINEER、Ansys、Adams 等软件的专业培训及技术咨询，读者在学习本书的过程中如果遇到问题，则可通过访问该公司的网站 <http://www.zalldy.com> 来获得技术支持。咨询电话：010-82176248，010-82176249。

读者意见反馈卡

书名:《Pro/ENGINEER 中文野火版 5.0 数控加工教程 (增值版)》

1. 读者个人资料:

姓名: _____ 性别: _____ 年龄: _____ 职业: _____ 职务: _____ 学历: _____

专业: _____ 单位名称: _____ 办公电话: _____ 手机: _____

QQ: _____ 微信: _____ E-mail: _____

2. 影响您购买本书的因素 (可以选择多项):

- | | | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ☐ 内容 | ☐ 作者 | ☐ 价格 |
| ☐ 朋友推荐 | ☐ 出版社品牌 | ☐ 书评广告 |
| ☐ 工作单位 (就读学校) 指定 | ☐ 内容提要、前言或目录 | ☐ 封面封底 |
| ☐ 购买了本书所属丛书中的其他图书 | | ☐ 其他 _____ |

3. 您对本书的总体感觉:

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ☐ 很好 | ☐ 一般 | ☐ 不好 |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|

4. 您认为本书的语言文字水平:

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ☐ 很好 | ☐ 一般 | ☐ 不好 |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|

5. 您认为本书的版式编排:

- | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| ☐ 很好 | ☐ 一般 | ☐ 不好 |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|

6. 您认为 Pro/E 其他哪些方面的内容是您所迫切需要的?

7. 其他哪些 CAD/CAM/CAE 方面的图书是您所需要的?

8. 您认为我们的图书在叙述方式、内容选择等方面还有哪些需要改进的?

读者购书回馈活动:

活动一: 本书“随书光盘”中含有该“读者意见反馈卡”的电子文档, 请认真填写本反馈卡, 并 E-mail 给我们。E-mail: 兆迪科技 zhanygjames@163.com, 丁锋 fengfener@qq.com。

活动二: 扫一扫右侧二维码, 关注兆迪科技官方公众微信 (或搜索公众号 zhaodikeji), 参与互动, 也可进行答疑。

凡参加以上活动, 即可获得兆迪科技免费奉送的价值 48 元的在线课程一门, 同时有机会获得价值 780 元的精品在线课程。



目 录

前言

本书导读

第 1 章 Pro/ENGINEER 数控加工基础	1
1.1 数控加工概论.....	1
1.2 数控编程简述.....	1
1.3 数控机床	3
1.3.1 数控机床的组成.....	3
1.3.2 数控机床的特点.....	4
1.3.3 数控机床的分类.....	5
1.3.4 数控机床的坐标系.....	8
1.4 数控加工程序.....	9
1.4.1 数控加工程序结构.....	9
1.4.2 数控指令	10
1.5 数控加工工艺概述.....	14
1.5.1 数控加工工艺的特点.....	14
1.5.2 数控加工工艺的主要内容.....	15
1.5.3 数控工序的安排.....	16
1.5.4 加工精度	18
1.6 Pro/ENGINEER 数控部分的安装说明	19
1.6.1 设置 Windows 操作系统的环境变量.....	19
1.6.2 安装数控子组件.....	19
第 2 章 Pro/ENGINEER 数控加工入门.....	21
2.1 Pro/ENGINEER 数控加工流程	21
2.2 Pro/ENGINEER 数控加工操作界面	22
2.3 新建一个数控制造模型文件.....	25
2.4 建立制造模型.....	26
2.5 制造设置	29
2.6 设置加工方法.....	38
2.7 演示刀具轨迹.....	44
2.8 加工仿真	46
2.9 切减材料	47
2.10 遮蔽体积块.....	48
第 3 章 铣削加工.....	49
3.1 体积块铣削.....	49
3.2 轮廓铣削	56

3.2.1	直轮廓铣削.....	56
3.2.2	斜轮廓铣削.....	62
3.3	局部铣削	68
3.3.1	前一步骤	68
3.3.2	拐角	72
3.3.3	前一刀具	76
3.3.4	铅笔追踪	79
3.4	平面铣削	82
3.5	曲面铣削	88
3.6	轨迹铣削	97
3.7	雕刻铣削	102
3.8	腔槽加工	107
3.9	钻销式粗加工.....	112
3.10	粗加工铣削.....	116
3.11	重新粗加工铣削.....	122
3.12	精加工铣削.....	125
3.13	拐角精加工铣削.....	128
第 4 章	孔加工	133
4.1	孔系加工	133
4.1.1	单一孔系加工.....	133
4.1.2	多种孔系加工.....	139
4.2	螺纹铣削	157
4.2.1	内螺纹铣削.....	158
4.2.2	外螺纹铣削.....	167
第 5 章	车削加工.....	174
5.1	区域车削	174
5.2	轮廓车削	181
5.3	凹槽车削	184
5.4	外螺纹车削.....	188
5.5	内螺纹车削.....	191
第 6 章	线切割加工	197
6.1	线切割加工概述.....	197
6.2	两轴线切割加工.....	198
6.3	四轴线切割加工.....	206
第 7 章	多轴联动加工	214
7.1	四轴联动铣削加工.....	214
7.2	五轴联动孔加工.....	221

7.3	五轴联动铣削加工.....	227
7.4	侧刃铣削加工.....	234
第 8 章	钣金件制造.....	241
8.1	钣金件设计模块.....	241
8.1.1	钣金件概述.....	241
8.1.2	钣金件设计模块.....	242
8.1.3	钣金件设计方法.....	243
8.2	钣金件制造模块.....	244
8.2.1	钣金件制造模块的启动.....	244
8.2.2	钣金件制造方法和流程.....	245
8.3	钣金件制造设置.....	246
8.3.1	设置工作环境及各项参数.....	246
8.3.2	钣金零件处理.....	248
8.3.3	工作机床和操作.....	251
8.3.4	钣金制造后置处理.....	253
8.4	操作范例	255
第 9 章	后置处理.....	263
9.1	后置处理概述.....	263
9.2	后置处理器.....	263
9.2.1	后置处理器模式.....	263
9.2.2	设置后置处理器.....	267
9.3	创建新的后置处理器.....	281
9.3.1	创建方法介绍.....	281
9.3.2	操作范例	285
9.4	数控代码的生成.....	286
9.4.1	菜单命令介绍.....	286
9.4.2	操作范例	287
第 10 章	综合范例.....	290
10.1	圆盘加工	290
10.2	箱体加工	308
10.3	轴加工	310
10.4	凸模加工	311

第1章 Pro/ENGINEER 数控加工基础

本章提要

本章主要介绍 Pro/ENGINEER 数控加工的基础知识,内容包括数控编程以及加工工艺基础、Pro/ENGINEER 数控部分的安装说明等。

1.1 数控加工概论

数控技术即数字控制技术 (Numerical Control Technology), 指用计算机以数字指令方式控制机床动作的技术。

数控加工具有产品精度高、自动化程度高、生产率高以及生产成本低等特点, 在制造业, 数控加工是所有生产技术中相当重要的一环。尤其是汽车或航天工业的零部件, 其几何外形复杂且精度要求较高, 更突出了数控 (NC) 加工技术的优点。

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。

1.2 数控编程简述

数控编程一般可以分为手工编程和自动编程两种。手工编程是指从零件图样分析、工艺处理、数值计算、编写程序单直到程序校核等各步骤, 均由人工完成的全过程。该方法适用于零件形状不太复杂、加工程序较短的情况, 而对于复杂形状的零件, 如具有非圆曲线、列表曲面和组合曲面的零件, 或者零件形状虽不复杂但是程序很长, 则比较适合于自动编程。

自动编程是从零件的设计模型 (即参考模型) 获得数控加工程序的全部过程。其主要任务是计算加工走刀过程中的刀位点 (Cutter Location Point, 简称 CL 点), 从而生成 CL 数据文件。采用自动编程技术可以帮助人们解决复杂零件的数控加工编程问题, 其大部分工作由计算机来完成, 编程效率大大提高, 还能解决手工编程无法解决的许多复杂形状零件的加工编程问题。

Pro/ENGINEER 数控模块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。

数控编程的主要内容有: 分析零件图样、工艺处理、数值处理、编写加工程序单、输入数控系统、程序检验及试切。

(1) 分析零件图样及工艺处理。在确定加工工艺过程时, 编程人员首先应根据零件图样对工件的形状、尺寸和技术要求等进行分析, 然后选择合适的加工方案, 确定加工顺序和路线、装夹方式、刀具以及切削参数, 为了充分发挥机床的功用, 还应该考虑所用机床的指令功能, 选择最短的加工路线, 选择合适的对刀点和换刀点, 以减少换刀次数。

(2) 数值处理。根据图样的几何尺寸、确定的工艺路线及设定的坐标系, 计算工件粗、精加工的运动轨迹, 得到刀位数据。零件图样坐标系与编程坐标系不一致时, 需要对坐标进行换算。形状比较简单的零件的轮廓加工, 需要计算出几何元素的起点、终点及圆弧的圆心, 以及两几何元素的交点或切点的坐标值; 有的还需要计算刀具中心运动轨迹的坐标值。对于形状比较复杂的零件, 需要用直线段或圆弧段逼近, 根据要求的精度计算出各个节点的坐标值。

(3) 编写加工程序单。确定加工路线、工艺参数及刀位数据后, 编程人员可以根据数控系统规定的指令代码及程序段格式, 逐段编写加工程序单。此外, 还应填写有关的工艺文件, 如数控刀具卡片、数控刀具明细表和数控加工工序卡片等。随着数控编程技术的发展, 现在大部分的机床已经直接采用自动编程。

(4) 输入数控系统。即把编制好的加工程序, 通过某种介质传输到数控系统。过去我国数控机床的程序输入一般使用穿孔纸带, 穿孔纸带的程序代码通过纸带阅读器输入到数控系统。随着计算机技术的发展, 现代数控机床主要利用键盘将程序输入到计算机中。随着网络技术进入工业领域, 通过 CAM 生成的数控加工程序可以通过数据接口直接传输到数控系统中。

(5) 程序检验及试切。程序单必须经过检验和试切才能正式使用。检验的方法是直接将加工程序输入到数控系统中, 让机床空运转, 即以笔代刀, 以坐标纸代替工件, 画出加工路线, 以检查机床的运动轨迹是否正确。若数控机床有图形显示功能, 则可以采用模拟刀具切削过程的方法进行检验。但这些过程只能检验出运动是否正确, 不能检查被加工零件的精度, 因此必须进行零件的首件试切。首件试切时, 应该以单程序段的运行方式进行加工, 监视加工状况, 调整切削参数和状态。

从以上内容看来, 作为一名数控编程人员, 不但要熟悉数控机床的结构、功能及标准, 而且必须熟悉零件的加工工艺、装夹方法、刀具以及切削参数的选择等方面的知识。

1.3 数 控 机 床

1.3.1 数控机床的组成

数控机床的种类很多，但是任何一种数控机床都主要由数控系统、伺服系统和机床主体三大部分以及辅助控制系统等组成。

1. 数控系统

数控系统是数控机床的核心，是数控机床的“指挥系统”，其主要作用是对输入的零件加工程序进行数字运算和逻辑运算，然后向伺服系统发出控制信号。现代数控系统通常是一台带有专门系统软件的计算机系统，开放式数控系统就是将计算机配以数控系统软件而构成的。

2. 伺服系统

伺服系统（也称驱动系统）是数控机床的执行机构，由驱动和执行两大部分组成。它包括位置控制单元、速度控制单元、执行电动机和测量反馈单元等部分，主要用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。它接受数控系统发出的各种指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求控制机床运动部件的进给速度、方向和位移。目前数控机床的伺服系统中，常用的位移执行机构有步进电动机、液压马达、直流伺服电动机和交流伺服电动机，后两者均带有光电编码器等位置测量元件。一般来说，数控机床的伺服系统要求有好的快速响应和灵敏而准确的跟踪指令功能。

3. 机床主体

机床主体是加工运动的实际部件，除了机床基础件以外，还包括主轴部件，进给部件，实现工件回转、定位的装置和附件，辅助系统和装置（如液压、气压、防护等装置），刀库和自动换刀装置（Automatic Tools Changer，简称 ATC），自动托盘交换装置（Automatic Pallet Changer，简称 APC）。机床基础件通常是指床身或底座、立柱、横梁和工作台等，它是整合机床的基础和框架。加工中心则还应具有 ATC，有的还有双工位 APC 等。数控机床的本体结构与传统机床相比，发生了很大变化，普遍采用了滚珠丝杠、滚动导轨，传动效率更高；现代数控机床减少了齿轮的使用数量，使得传动系统更加简单。数控机床可根据自动化程度、可靠性要求和特殊功能需要，选用各种类型的刀具破损监控系统、机床与工件精度检测系统、补偿装置和其他附件等。

1.3.2 数控机床的特点

随着科学技术和市场经济的不断发展,对机械产品的质量、生产率和新产品的开发周期提出了越来越高的要求。为了满足上述要求,适应科学技术和经济的不断发展,数控机床应运而生。20 世纪 50 年代,美国麻省理工学院成功研制出第一台数控铣床。1970 年首次展出了第一台用计算机控制的数控机床(CNC)。图 1.3.1 所示就是数控铣床,图 1.3.2 所示是加工中心。

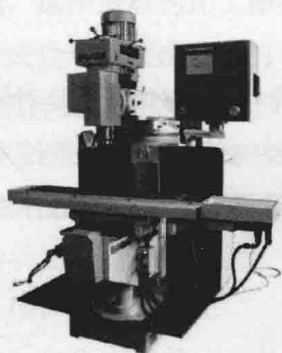


图 1.3.1 数控铣床



图 1.3.2 加工中心

数控机床自问世以来得到了高速发展,并逐渐为各国生产组织和管理者接受,这与它在加工中表现出来的特点是分不开的。数控机床具有以下主要特点。

- 高柔性。数控机床的最大特点是高柔性,即灵活、通用、万能,可以适应加工不同形状工件。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,除相应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要求。
- 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 0.001mm ,高精度的数控系统可达 0.0001mm 。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。
- 高效率。数控机床自动化程度高,工序、刀具可自行更换、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。再如数控铣床,一般不需要使用专用夹具和工艺装备;在更换工件时,只需调用储存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了高效率,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。

- 大大减轻了操作者的劳动强度。数控机床的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。
- 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 系统连接,从而形成 CAD/CAM 一体化系统,它是 FMS、CIMS 等现代制造技术的基础。
- 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,加工首件需要进行编程、程序调试和试加工,时间较长,因此零件的加工成本也大大高于普通机床。

1.3.3 数控机床的分类

数控机床的分类有多种方式。

1. 按工艺用途分类

按工艺用途分类,数控机床可分为数控钻床、车床、铣床、磨床和齿轮加工机床等,压床、冲床、电火花切割机、火焰切割机和点焊机等也都采用数字控制。加工中心是带有刀库及自动换刀装置的数控机床,它可以在一台机床上实现多种加工。在加工中心上工件只需一次装夹,就可以完成多种加工,这样既节省了工时,又提高了加工精度。加工中心特别适用于箱体类和壳类零件的加工。车削加工中心可以完成所有回转体零件的加工。

2. 按机床数控运动轨迹分类

点位控制数控机床(PTP):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。这种控制方法用于数控钻床、数控冲床和数控点焊设备,还可以用在数控坐标镗铣床上。

点位直线控制数控机床:就是要求在点位准确控制的基础上,还要保证刀具运动是一条直线,且刀具在运动过程中还要进行切削加工。采用这种控制的机床有数控车床、数控铣床和数控磨床等,一般用于加工矩形和台阶形零件。

轮廓控制数控机床(CP):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。它不仅能保证各点的位置,而且还要控制加工过程中的位移速度,也就是刀具的轨迹。它既要保证尺寸的精度,还要保证形状的精度。在运动过程中,同时要向两个坐标轴分配脉冲,使它们能走出所要求的形状来,这就叫插补运算。它是一种软仿形加工,而不是硬(靠模)仿形,并且这种软仿形加工的精

度比硬仿形加工的精度高很多。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,较多使用这类机床,如三坐标以上的数控铣床或加工中心。

3. 按伺服系统控制方式分类

开环控制是无位置反馈的一种控制方法,它采用的控制对象、执行机构多半是步进式电动机或液压转矩放大器。因为没有位置反馈,所以其加工精度及稳定性差,但其结构简单、价格低廉、控制方法简单,对于精度要求不高且功率需求不大的地方,还是比较适用的。

半闭环控制是在丝杠上装有角度测量装置作为间接的位置反馈。因为这种系统未将丝杠螺母副和齿轮传动副等传动装置包含在闭环反馈系统中,因而称之为半闭环控制系统,它不能补偿传动装置的传动误差,但却得以获得稳定的控制特性。这类系统介于开环与闭环之间,精度没有闭环高,调试比闭环方便。

闭环控制系统是对机床移动部件的位置直接用直线位置检测装置进行检测,再把实际测量出的位置反馈到数控装置中去,与输入指令比较是否有差值,然后把这个差值经过放大和变换,最后去驱动工作台向减少误差的方向移动,直到差值符合精度要求为止。这类控制系统,因为把机床工作台纳入了位置控制环,故称为闭环控制系统。该系统可以消除包括工作台传动链在内的运动误差,因而定位精度高、调节速度快。但由于该系统受到进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响,给调试工作造成较大的困难。如果各种参数匹配不当,将会引起系统振荡,造成系统不稳定,影响定位精度。由于闭环伺服系统复杂且成本高,适用于精度要求很高的数控机床,如超精密数控车床和精密数控镗铣床等。

4. 按联动坐标轴数分类

(1) 两轴联动数控机床。主要用于三轴以上控制的机床,其中任意两轴做插补联动,第三轴做单独的周期进给,常称 2.5 轴联动。如图 1.3.3 所示,在数控铣床上用球头铣刀采用行切法加工三维空间曲面。行切法加工所用的刀具通常是球头铣刀。用这种刀具加工曲面,不易干涉相邻表面,计算比较简单。球头铣刀的刀头半径应选得大一些,有利于降低加工表面粗糙度、增加刀具刚度以及散热等,但刀头半径应小于曲面的最小曲率半径。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以及精度要求不高的粗加工。

(2) 三轴联动数控机床。 X 、 Y 、 Z 三轴可同时进行插补联动,在加工曲面时,通常也用行切方法。如图 1.3.4 所示,三轴联动的刀具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,但编程计算较为复杂,所用的数控装置还必须具备三轴联动功能。

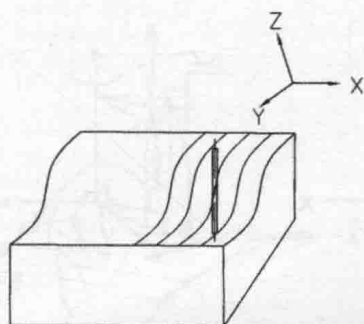


图 1.3.3 两轴联动

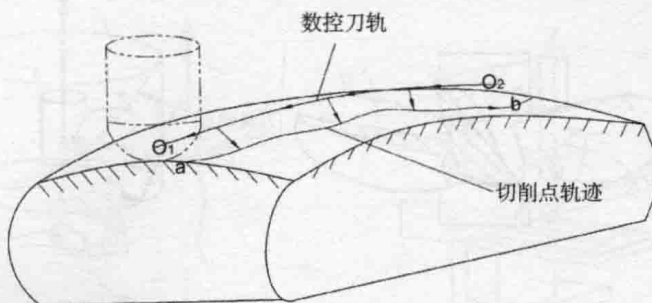


图 1.3.4 三轴联动

(3) 四轴联动数控机床。除了同时控制 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动之外，还有工作台或者刀具的转动。图 1.3.5 所示的工件，若在三坐标联动的机床上用球头铣刀按行切法加工时，不但生产率低，而且表面粗糙度值高。若采用圆柱铣刀周边切削，并用四坐标机床加工，即除三个直角坐标运动外，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 ）做附加运动，其编程计算较为复杂。

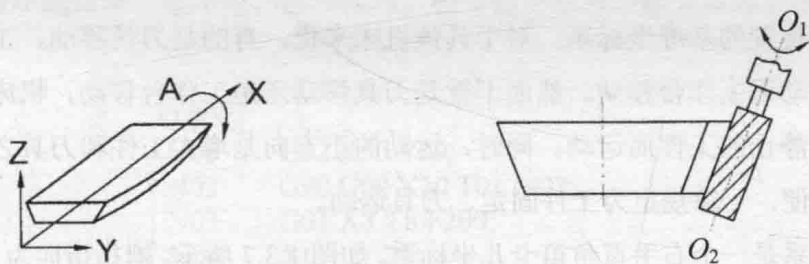


图 1.3.5 四轴联动

(4) 五轴联动数控机床。除了同时控制 X 、 Y 、 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 、 C 坐标轴中的两个坐标，即同时控制五个坐标轴联动。这时刀具可以被定位在空间的任何位置。

螺旋桨是五轴联动加工的典型零件之一，其叶片形状及加工原理如图 1.3.6 所示。在半径为 R_i 的圆柱面上与叶面的交线 MN 为螺旋线的一部分，螺旋角为 φ_i ，叶片的径向叶形线（轴向断面）的倾角 α 为后倾角。螺旋线联动 MN 用极坐标加工方法并以折线段逼近。逼近线段 ab 是由 C 坐标旋转 $\Delta\theta$ 与 Z 坐标位移 ΔZ 的合成。当 MN 加工完后，刀具径向位移 ΔX （改变 R_i ），再加工相邻的另一条叶形线，依次加工，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，可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，铣刀还应当相对于 A 坐标和 B 坐标做摆角运动，在摆角运动的同时，还应做直角坐标的附加直线运动，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 五坐标轴加工。这种加工的编程计算很复杂，程序量较大。