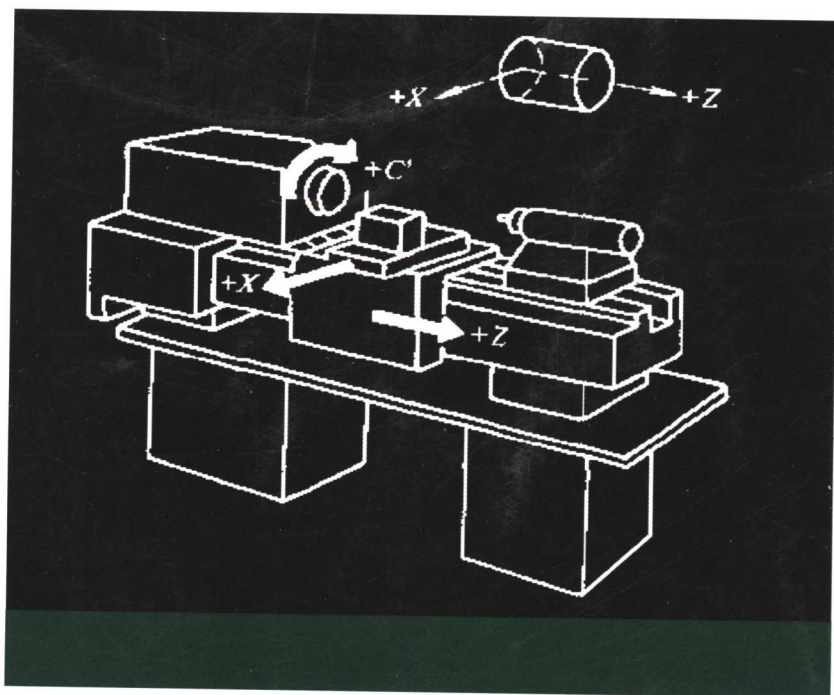


方建军 编著

附光盘

数控加工自动编程技术

—— Pro/ENGINEER Wildfire 在机械制造中的应用



Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

数控加工自动编程技术

——Pro/ENGINEER Wildfire 在机械制造中的应用

方建军 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

数控加工自动编程技术: Pro/ENGINEER Wildfire 在机械制造中的应用/方建军编著. —北京: 化学工业出版社, 2004.10

ISBN 7-5025-6198-6

I.数… II.方… 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 (2004) 第 108141 号

数控加工自动编程技术

——Pro/ENGINEER Wildfire 在机械制造中的应用

方建军 编著

责任编辑: 任文斗 闫 敏

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京红光印刷厂印刷

北京红光印刷厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 17 字数 421 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6198-6/TH·245

定 价: 42.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着科学技术的发展和人民生活水平的提高,对个性化产品的追求成为一种时尚。产品的更新以一种前所未有的速度进行着,产品的外观和结构也日趋复杂。传统的机床很难加工形状复杂的零件。数控机床为复杂零件的加工提供了硬件基础。但在软件方面,需要一种高效的自动编程工具。美国 PTC 公司推出的 Pro/ENGINEER,是集 CAD/CAM/CAE/CAPP 于一体的高度集成的大型软件,其全参数化思想关联了产品开发的每一个环节。Pro/ENGINEER 的 NC 加工模块能够实现数控车床、数控铣床和电火花加工的自动编程。

随着世界制造业中心向中国转移,掌握先进 CAD/CAM 软件的数控专业人才成为一种稀缺资源。目前,国家正在大力培养这方面的人才。作者作为高校教师,有义务和责任将自己从事 Pro/ENGINEER 应用与教学方面的经验总结出来,著成此书以奉献给广大 Pro/ENGINEER 用户,为国家培养数控人才贡献绵薄之力。

本书针对 Pro/ENGINEER Wildfire 中文版来编写,为外文基础不太好的读者提供了极大的方便。全书共分 6 章,主要内容涉及数控车床、数控铣床和电火花加工的自动编程技术。

本书可以作为高校数控加工与编程课程的参考教材或实习教材。在职的数控加工工程师可以通过学习本书,掌握自动编程方法。

本书由北方工业大学机电工程学院方建军编著,高淑芬、刘仕良、张虎参加编写,王会彩、赖锡煌、张新宇、雷元斌、杨泽勇、肖琦、王思越、邢志敏、王俊冬、吕艳娜、侯彦丽、韩秀梅、李余江、齐晶、阎红娟、胡春江、曹默、白传栋、李凯、李功一、高佳慧、任利伟、裴伦鹏、范春晖、张乐、史永凌、张震、冯东锋、韩志华、张燕敏、宫香山、陈勇钢、王强等参加了资料收集和整理工作。

在本书的撰写过程中,还得到了北方工业大学机电中心各位老师的帮助。在此对所有关心和支持本书的人表示感谢。

由于作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请同仁批评指教。

编 者
2004. 7.

目 录

第 1 章 数控编程与 Pro/NC 模块	1
1.1 数控编程技术	1
1.1.1 手工编程	1
1.1.2 自动编程	2
1.2 Pro/NC 的工艺过程	2
1.3 Pro/NC 的基本概念	3
1.3.1 设计模型	3
1.3.2 工件	3
1.3.3 制造模型	4
1.3.4 机床坐标系与运动方向	4
1.3.5 NC 序列坐标系	6
1.4 NC 工序的通用加工工艺参数	7
1.4.1 名称	7
1.4.2 切削参数	7
1.4.3 机床参数	8
1.4.4 与进刀/退刀有关的参数	9
1.5 Pro/NC 模块的组成	9
1.6 NC 加工的后置处理技术	10
1.7 文件的命名约定	10
1.8 Pro/NC 的基本操作	11
1.8.1 NC 加工的基本步骤	11
1.8.2 Pro/NC 操作实例	11
第 2 章 铣削加工	24
2.1 体积块铣削	24
2.1.1 用于粗加工的体积块铣削	24
2.1.2 用于精加工的体积块铣削	30
2.2 轮廓加工	39
2.2.1 垂直轮廓的铣削加工	39
2.2.2 斜面轮廓的铣削加工	43
2.3 腔槽加工	45
2.3.1 型腔加工	45
2.3.2 凹槽加工	52
2.4 平面铣削加工	56
2.4.1 平面铣削概述	56
2.4.2 平面铣削加工	57

2.4.3 平面铣削加工实例	60
2.5 局部铣削	62
2.5.1 局部铣削的工艺类型	63
2.5.2 按照上一 NC 序列进行局部铣削	64
2.5.3 按照拐角边进行局部铣削	67
2.5.4 按照铅笔跟踪进行局部铣削	70
2.6 曲面铣削	73
2.6.1 曲面铣削加工方法	73
2.6.2 自曲面等值线曲面铣削实例	78
2.6.3 投影切削曲面铣削实例	83
2.7 螺纹铣削	93
2.7.1 螺纹铣削概述	93
2.7.2 螺纹铣削对话框	93
2.7.3 内螺纹铣削	99
2.7.4 外螺纹铣削	108
2.8 雕刻	112
2.8.1 3 轴雕刻	113
2.8.2 5 轴雕刻	117
2.9 轨迹加工	122
第 3 章 车削加工	131
3.1 车削加工概述	131
3.1.1 数控车削对象	131
3.1.2 车刀主要角度的选择	132
3.1.3 参考点和坐标系	137
3.2 车削参数	138
3.2.1 切削选项	138
3.2.2 切削参数	143
3.2.3 螺纹	146
3.3 车削轮廓	147
3.4 区域车削	148
3.4.1 区域车削的基本步骤	148
3.4.2 外表区域车削实例	148
3.4.3 端面车削实例	155
3.4.4 4 轴区域车削实例	157
3.5 凹槽车削	165
3.5.1 凹槽车削的基本步骤	165
3.5.2 凹槽车削实例	165
3.6 轮廓车削	169
3.6.1 轮廓车削步骤	169
3.6.2 轮廓车削实例	169

3.7 螺纹车削	173
3.7.1 建立螺纹车削 NC 序列的基本步骤	173
3.7.2 螺纹车削实例	174
第 4 章 线切割加工	178
4.1 线切割加工概述	178
4.1.1 线切割加工的原理和应用	178
4.1.2 线切割加工参数	179
4.2 两轴线切割加工	184
4.2.1 两轴线切割加工的基本方法	184
4.2.2 轮廓切割	184
4.2.3 无芯切割	192
4.3 4 轴线切割加工	194
4.3.1 4 轴线切割加工的基本步骤	194
4.3.2 4 轴线切割加工实例	196
第 5 章 孔加工	202
5.1 孔加工概述	202
5.2 3 轴孔加工	204
5.2.1 钻孔加工	204
5.2.2 钻孔组	209
5.2.3 沉头孔加工	218
5.2.4 盲孔加工	223
5.3 5 轴孔加工	232
第 6 章 后置处理与数控代码的生成	237
6.1 后置处理	237
6.2 初始化后置处理文件	238
6.3 后置处理文件的参数设置	242
6.3.1 机床类型设置	242
6.3.2 数控文件格式定义	244
6.3.3 数控程序开始与结束格式定义	249
6.3.4 机床运动指令设置	252
6.3.5 数控代码描述	256
6.3.6 操作提示信息设置	260

第1章 数控编程与 Pro/NC 模块

1.1 数控编程技术

CAD/CAM 技术是现代制造技术领域中的重要组成部分。经历半个多世纪的发展,至今已形成了比较完整的科学技术体系,并在高新技术领域占有很重要的位置。

1952 年,美国 Parson 公司与麻省理工学院(MIT)研制成了世界上第一台数控三坐标铣床,实现了利用不同数控程序对不同零件的加工。为了适应数控铣床加工各种复杂形状零件的需要,麻省理工学院又开始研制数控自动编程系统。1954 年,MIT 研制成功了批处理语言系统的数控自动编程系统 APT(Automatically Programming Tool)。APT 程序语言系统主要包括主程序、工件程序和后处理程序 3 个部分。相应地,数控编程的计算机处理器分主处理器和后处理器。主处理器用专用语言描述加工零件的几何形状及进刀和走刀方法,并添加大量的辅助语句用于描述加工过程的各种工艺参数,如进给率,加工余量等。用 APT 语言描述零件的几何形状及加工过程的程序称为零件源程序。这种源程序经过批处理运行后可以输出刀位点数据。后处理器将刀位数据转换为可供数控机床执行的控制代码。用 APT 语言来编写数控程序,不直观,并且很烦琐。随着 CAD 技术的发展,CAD/CAM 一体化成为可能。从 20 世纪 90 年代起,CAD / CAM 技术向标准化、集成化、智能化的方向发展。为了实现系统集成、资源共享和产品生产与组织管理的高度自动化,提高产品的竞争力,CAD / CAM 系统之间和各个子系统之间要进行统一的数据交换。

从狭义上讲,NC 编程就是 CAM 的同义词。利用 NC 加工技术,可以快速应对市场的变化、提高产品的竞争力。同传统的机械加工相比,NC 加工具有如下优势。

① 缩短了产品加工时的辅助时间,提高了加工效率。利用数控机床,特别是数控加工中心进行 NC 加工,基本上一次装夹,减少了夹具设计与制造以及工件定位与装夹时间。

② 加工精度高、安全可靠。利用数控机床和 NC 加工技术,可以在制造前进行加工路径的模拟和仿真,减少加工过程中的误差,并能进行干涉检查。能够及早发现加工过程中的问题并加以改正。

③ 可以加工复杂的零件。一般机床不能加工的零件,都可以在数控机床上进行加工,并且加工的精度高,可重复性好。

从 NC 编程的发展过程看,NC 编程有两种基本的方式,即手工编程和自动编程。

1.1.1 手工编程

手工编程是指由人工编制零件数控加工程序的各个步骤,即零件图纸分析,工艺分析,确定工艺路线和工艺参数,计算机数控机床所需要输入的数据,编写零件的数控加工程序直至程序的检验,均由人工来完成。对于点位加工或者零件的几何形状不太复杂的零件加工,数控编程较为简单,程序段少,可以用人工编程。对于复杂形状的零件,如具有空间复杂曲

面的零件或者轮廓简单但程序量很大的零件，计算数值则相当烦琐，工作量大，容易出错，且很难校对，因此，为了缩短生产周期，提高生产效率，有效地解决复杂零件的加工问题，可以采用自动编程技术。

1.1.2 自动编程

自动编程是用计算机来帮助人们解决复杂零件的数控加工编程问题。计算机完成大量烦琐的数值计算工作，并省去了编写程序单的工作量，因而能大大提高编程效率。自动编程关键在于能够解决手工编程无法解决的许多复杂形状零件的编程问题。

自动编程按照编程方式的不同划分为 APT 语言和图形编程两种方式。APT 语言编程在前面介绍过，这里只讲图形编程。图形编程方式的主要特点是以图形要素作为输入方式，不需要使用数控语言。在图形交互方式下，用户输入加工零件的几何形状、选择刀具参数、定义机床、确定走刀轨迹等，计算机自动计算刀位数据，并能进行加工过程的模拟和仿真，最后生成数控程序。图形编程方式形象、直观、效率高。

随着 CAD/CAM 一体化技术的发展，很多著名的软件都具有很强的 NC 功能。在中国使用较为广泛的集成软件有 Pro/ENGINEER、UGII、MasterCAM 和 CATIA 等。Pro / ENGINEER 是集 CAD/CAM/CAPP/PDM 于一体的，能够完成制造业所需要的各方面功能设计的软件包。Pro / ENGINEER 具有铣削、车削、电火花线切割等加工编程能力。本书将力求比较全面地介绍 Pro / ENGINEER 在数控加工中的应用。

1.2 Pro/NC 的工艺过程

Pro/NC 模块能够生成数控加工的全过程。其工作过程是首先利用制造模块的图形编辑功能，将设计零件的几何图形绘制到计算机上，形成零件的图形文件，然后利用数控编辑模块，进行刀具轨迹处理，由计算机自动对零件加工轨迹的每个节点进行计算和数学处理，从而在生成刀位数据文件后，经过相应的后处理，自动生成数控加工程序，并且同时可以在计算机上动态地演示刀具的加工轨迹。图 1-1 表示 Pro/NC 的加工流程。

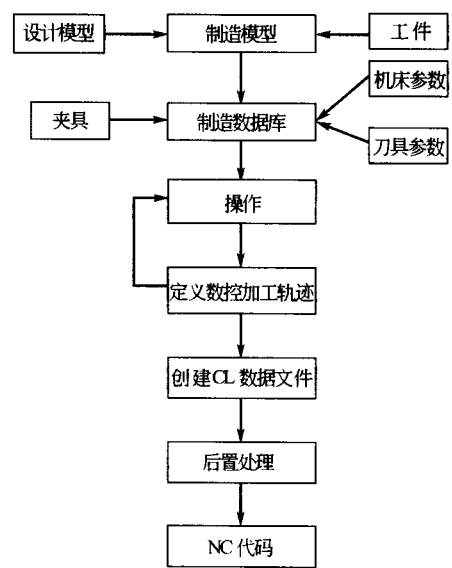


图 1-1 Pro/NC 加工流程

首先要建立制造模型。常规的制造模型由一个设计模型（参照模型）和一个装配在一起的工件组成。制造模型中可以包含工件，也可以不要。如果包含工件，则在制造过程中可以对工件执行材料去除模拟。

其次建立制造数据库。此数据库包含诸如可用的机床、刀具、夹具配置、地址参数或刀具表等项目。此步骤为可选步骤。如果不想预先建立全部数据库，可以直接进入加工过程，然后在真正需要时定义上述任何项目。

定义一个操作。操作设置可以包含下列元素：操作名、机床、CL 输出的坐标系、操作注释、操作参数、FROM 点与 HOME 点。在这些元素中，机床和坐标系是必须先定义的，其他设置元素可选。

创建 NC 序列。每个 NC 序列是由一系列刀具运动与特定的后处理器命令组成的，这些命令与运动无关，但却是获得正确 NC 输出所必需的。系统根据 NC 序列类型、切削几何与制造参数自动生成刀具路径。

Pro/NC 生成的文件有刀位数据文件、刀具清单、操作报告、中间模型和机床控制文件。用户可以通过 NC-Check 对生成的刀具轨迹进行检查，如果不符合要求，则可以对 NC 数控工序及时进行修改；如果刀具轨迹符合要求，则可以使用 NC-Post 对其进行后处理，生成 NC 代码，为数控机床提供加工数据。

1.3 Pro/NC 的基本概念

1.3.1 设计模型

在进行数控加工之前，需要用 Pro/ENGINEER 绘图模块绘制成品的设计模型，它是所有制造操作的基础。在设计模型上，可以选取特征、曲面和边作为每一刀具轨迹的参照。零件、组件和钣金件都可以用做设计模型。图 1-2 表示阀壳的设计模型。需要进行加工的几何元素有待钻的孔和两个要铣削的平面。

1.3.2 工件

在制造过程中，根据设计零件的几何形状来选择由制造操作进行加工的原料。工件可以代表任何形式的原料，如棒料或铸件。通过复制图 1-2 所示的阀壳设计模型，经过修改尺寸或删除/隐含特征来创建工件，如图 1-3 所示。工件用铸造工艺加工，有两个面需要加工，因

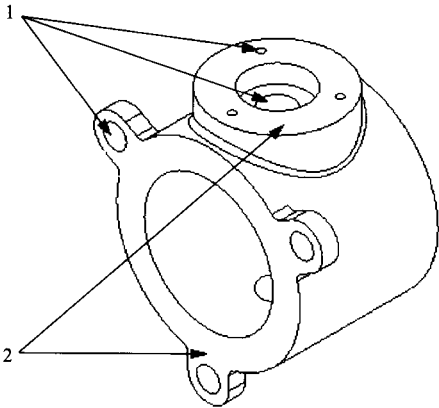


图 1-2 阀壳的设计模型

1—待钻的孔；2—待铣削的平面

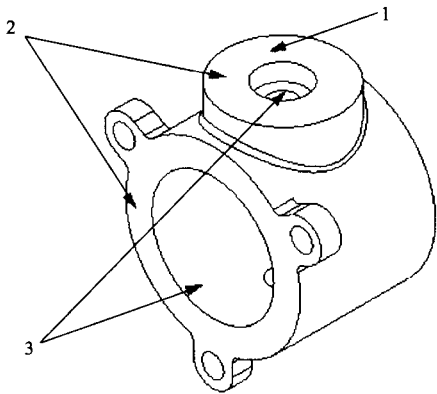


图 1-3 工件模型

1—去除的孔；2—增大的尺寸；3—减小的尺寸

此工件上应留有一定的加工余量；有两个孔需要经过扩孔或镗孔，因此铸件上的孔径应小于设计模型中的孔径。工件在 Pro/NC 中是可选的。使用工件的优点如下。

- ① 在创建 NC 序列时，自动定义加工的范围。
- ② 动态的材料去除模拟和过切检测。
- ③ 通过捕获去除的材料来管理进程中文档。

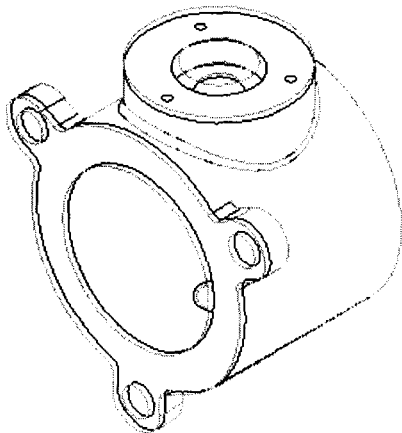


图 1-4 制造模型

同设计模型一样，工件也是 Pro/ENGINEER 的零件，可以像其他任何零件一样对其进行操作。它可以作为零件族表的一个实例而存在，也可被修改和重定义。

1.3.3 制造模型

图 1-4 表示一个工件中装配有设计模型的制造模型。一般情况下，制造模型由一个设计模型和一个装配在一起的工件组成。随着加工过程的进展，可对工件执行材料去除模拟。一般地，在加工过程结束时，工件几何应与设计模型的几何一致。如果不涉及材料的去除，则不必定义工件几何。因此，加工组件的最低配置为一个设计模型。根据加工需要，制造模型可以是任何复杂级别的组件，并可包含任意数目独立的参照模型和工件。它

还可以包含其他可能属于制造组件一部分、但对实际材料去除过程没有直接影响的元件（例如转台或夹具）。

创建制造模型时，它一般由以下四个单独的文件组成：

- ① 制造工艺文件 (*.mfg)；
- ② 制造组件 (*.asm)；
- ③ 设计模型 (*.prt)；
- ④ 工件 (*.prt)。

1.3.4 机床坐标系与运动方向

为了准确描述数控机床运动，使数控编程简化、具有可互换性，需要对数控机床的坐标轴和运动方向进行统一的规定。目前，国际标准化组织已经统一了标准坐标系。我国原机械工业部标准 JB 3051—82 也对数控机床的坐标系和运动方向进行了规定。

(1) 坐标和运动方向的命名规则

为了便于编程人员在不知道刀具移向工件还是工件接近刀具的情况下确定机床的加工工艺，总是假定刀具相对于静止的工件的坐标系而运动。

(2) 坐标系的规定

为了确定机床的运动方向、移动的距离，需要在机床上建立一个坐标系，称之为机床坐标系，即标准坐标系。在编制数控程序时，用该坐标系来确定运动的方向。

机床坐标系采用右手笛卡儿坐标系，如图 1-5 所示。大拇指的方向为 X 轴的正方向，食指指向 Y 轴正方向，中指指向 Z 轴正方向。图 1-6～图 1-10 表示卧式车床、双转塔车床、铣床、加工中心的机床坐标系。

(3) 运动方向的规定

Z 坐标运动是由传递切削动力的主轴所规定。对于铣床、钻床、镗床等，主轴带动刀具

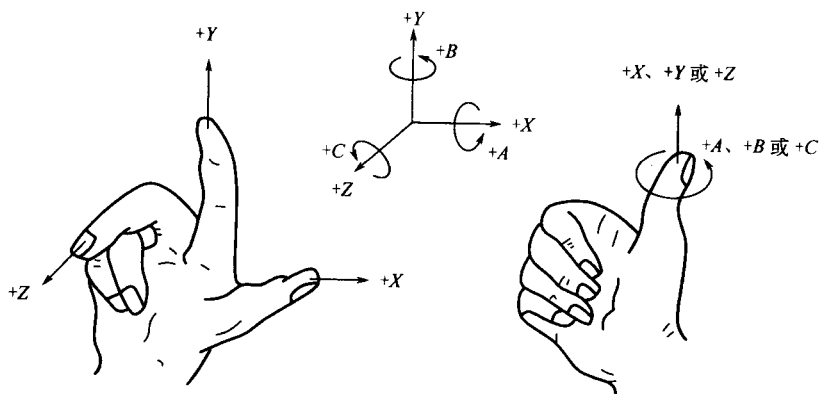


图 1-5 右手笛卡儿坐标系

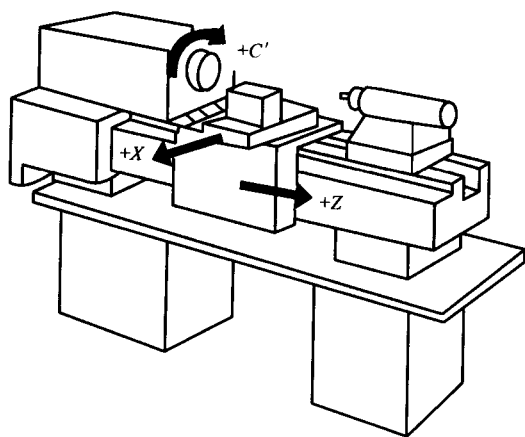
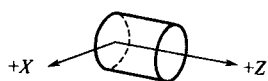


图 1-6 卧式车床坐标系

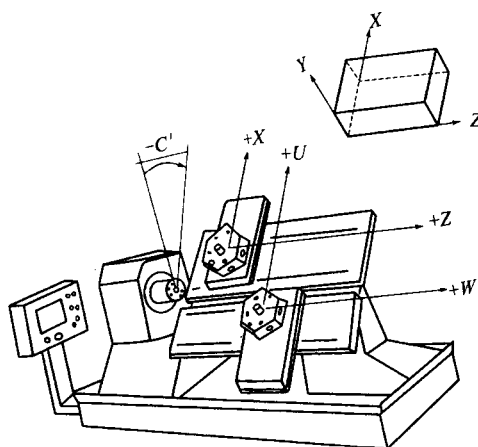


图 1-7 双转塔斜床身车床坐标系

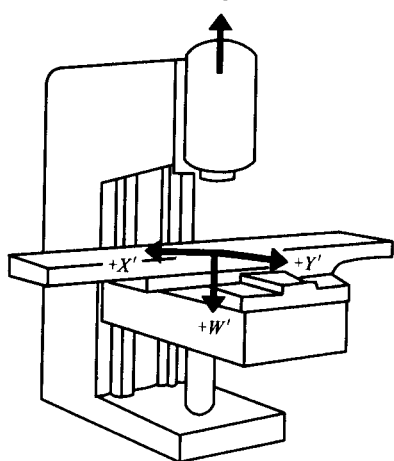
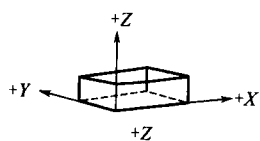


图 1-8 立式升降台铣床坐标系

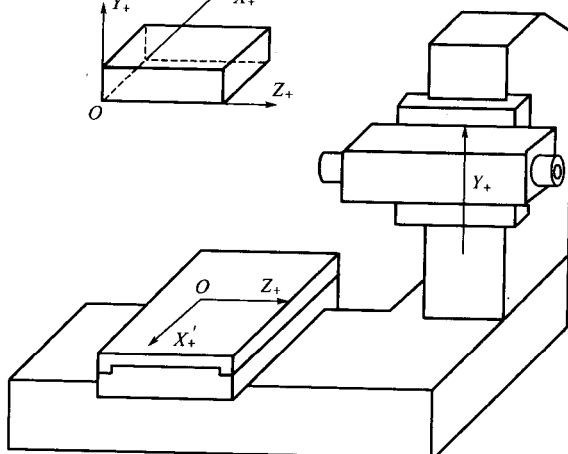
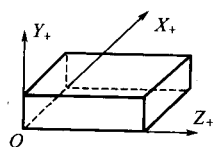


图 1-9 卧式铣床坐标系

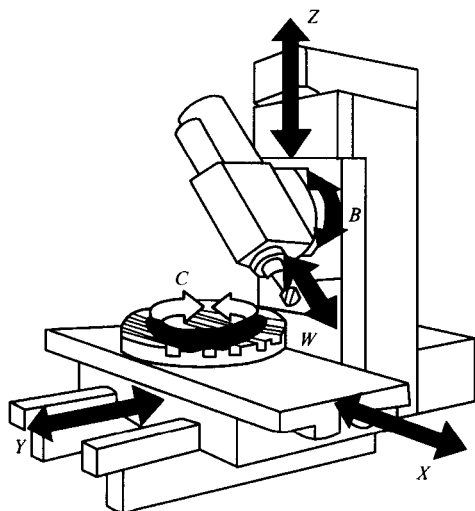


图 1-10 加工中心坐标系

旋转；对于车床、磨床和其他成形旋转表面的机床，主轴带动工件旋转。与主轴平行的坐标系即为 Z 坐标，如图 1-6 和图 1-8 所示。如果机床有几个主轴，则选择一个垂直于工件装夹面的主轴作为主要主轴。对于没有主轴的机床，选择垂直于工件装夹面方向为 Z 轴。如果主轴能摆动，在摆动范围内主轴只平行于直角坐标系中的一个坐标时，则该坐标为 Z 坐标。在摆动范围内主轴平行于直角坐标系中的两个或三个坐标时，取垂直于机床工作台装夹面的坐标为 Z 坐标。 Z 坐标的正方向是增大工件和刀具间距离的方向，如在钻床中，钻入工件的方向为 Z 轴的负方向，退出时的方向为正方向。

X 坐标是平行于工件的装夹面的，是水平的。

这是在刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。在刀具旋转的机床上，如钻床、镗床、铣床，如果 Z 坐标是水平的，则由主轴向工件看时，正 X 运动方向指向右方；如果 Z 坐标是垂直的，则由主要主轴向立柱看时，正 X 运动方向指向右方。在工件旋转的机床上，如车床、磨床等， X 运动方向是径向的，而且平行于横向滑座。安装在横向滑座上的主要刀架上的刀具，离开工件旋转中心的方向是 X 坐标的正方向。在没有旋转的刀具或者旋转的工件的机床上， X 坐标平行于主要切削方向的正向。

Y 坐标的正方向由 X 轴和 Z 轴，按照右手笛卡儿坐标系确定。

旋转坐标 A 、 B 和 C 相应地表示其轴线平行于 X 、 Y 和 Z 的旋转运动。 A 、 B 和 C 的正方向，相应地表示在正 X 、 Y 和 Z 方向上按右旋螺纹前进的方向，如图 1-5 所示。

1.3.5 NC 序列坐标系

在 Pro/NC 中，坐标系是操作与数控加工轨迹设置中的一个元素，用来定义工件在机床上的方位，并作为生成 CL(Cutter Location)数据的原点(0,0,0)。Pro/NC 中可以定义两种坐标系，一种是机床坐标系，另外一种为 NC 序列坐标系。

机床坐标系是用做所有 CL 数据的缺省原点。此坐标系是在操作设置时用【操作设置】对话框中的【加工零点】选项指定的。在某一操作中创建的所有 NC 序列都使用同一个机床坐标系。

NC 序列坐标系影响所有 NC 序列数据，例如退刀曲面和切削进给方向。此坐标系是在设置 NC 序列时用【序列设置】菜单中的【坐标系】选项指定的。必须按下面部分所述，以一定方式将【NC 序列】坐标系定位。

【NC 序列】坐标系设置是模态的。对于第一个 NC 序列，为操作所指定的【机床】坐标系也隐式用做 NC 序列坐标系。如果【机床】坐标系与【NC 序列】坐标系不同，那么在创建 NC 序列时，所有 CL 数据将进行转换，并以【机床】坐标系的坐标输出。如果【NC 序列】和【机床】坐标系的 Z 轴不平行，则提供刀具方向向量 (i,j,k) 或工作台旋转。此功能允许对在 5 轴机器上执行的 3 轴操作进行后处理。在车削中，如果后置处理器要求 X - Y 输入，则可以使用此功能。

说明如下。

- ① 使用 CL_DATA_MODE 参数，可以指定将【NC 序列】和【机床】坐标系之间的线

性和旋转转换输出在 CL 文件中，而不是转换所有 CL 坐标。

② 要输出相对于【NC 序列】坐标系的 CL 数据，可使用 COORDINATE_OUTPUT 参数。

1.4 NC 工序的通用加工工艺参数

Pro/NC 提供了很丰富的零件加工方法以及对应的加工工艺参数。有些参数是通用的，如机床名称等，而有些加工工艺参数则是针对某些特定的加工工艺方法的。在创建、修改和重新定义 NC 序列时，可以对加工工艺参数进行定义和修改。本节主要介绍一些通用的加工工艺参数。对于铣削加工、车削加工和线切割加工，其专有的工艺参数将在相关的章节进行介绍。

加工参数赋值的通用规则如下。

① 对于默认值为“-1”的参数，必须指定一个确定的参数值。因为系统没有为这样的参数提供默认的参数值。

② 对于默认值为“—”的参数，可以忽略，表示系统不使用此参数，一般情况下是因为系统会使用一个默认值或者其他功能相同的参数取代此参数。

③ NC 工序参数的长度单位与工件的单位相同。如果使用 Same Size 选项改变工件的单位(使尺寸的数值发生变化)，那么系统将相应地按比例改变现有的 NC 工序参数值。

1.4.1 名称

(1) MACH_NAME

在加工后处理模块中需要的加工设备名称。对于车削加工，默认的设备名称为 TURN，其他 NC 工序默认的设备名称为 MILL。

(2) MACH_ID

NC 后处理使用的机床 ID 号，默认 ID 号是 01。

(3) NCL_FILE

指定默认的 NC 工序刀位数据文件名，系统的默认值为“—”，表示系统将使用工序名称产生一个 NCL 文件。

(4) PRE_MACHINING_FILE

指定预加工文件名，该文件名将包括在 CL 文件的开头。该文件必须位于当前工作目录中且扩展名为“.ncl”。缺省值为“—”，表示没有。

(5) POST_MACHINING_FILE

指定后续加工文件名，该文件名将包含在 CL 文件的末端。该文件必须位于当前工作目录中且扩展名为“.ncl”。缺省值为“—”，表示没有。

1.4.2 切削参数

(1) TOLERANCE

加工的轮廓误差。刀具在切削曲线轮廓时，用微小的直线段来逼近实际的曲线轮廓，如图 1-11 所示。从弯曲几何到直线路径的最大偏离距离通过 TOLERANCE 设置。缺省的 TOLERANCE 为 0.025 mm。

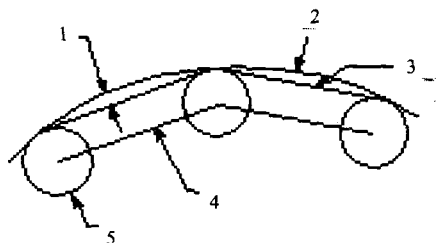


图 1-11 加工误差示意

1—加工误差；2—设计曲面；3—加工后的曲面；
4—刀具路径中心线；5—刀具

(2) CUT_FEED

切削运动所使用的进给速度。没有设置缺省值，用户必须指定。

(3) CUT_UNITS

切削速度单位，常用的单位有 IPM（英寸每分钟——缺省值），FPM（英尺每分钟），MMPM（毫米每分钟），FPR（英尺每转），IPR（英寸每转），MMPR（毫米每转）。

(4) RETRACT_FEED

刀具退离工件的速度。缺省的 RETRACT_FEED 为 “—”，在此情况下，将使用 CUT_FEED。

(5) RETRACT_UNITS

退刀速度的单位，常用的单位有 IPM（缺省值）、FPM、MMPM、FPR、IPR、MMPR。

(6) FREE_FEED

指定快速运动的速度，其单位同快速进给速度单位（RETRACT_UNITS）。缺省的 FREE_FEED 为 “—”，在此情况下，RAPID 命令将被输出到 CL 文件。如果 FREE_FEED 设置为 0，则会发生同样的情况。

(7) PLUNGE_FEED

在铣削和车削加工中，刀具接近并切入工件的速度。缺省的 PLUNGE_FEED 为 “—”，在此情况下，将使用 CUT_FEED。

(8) PLUNGE_UNITS

常用的单位有 IPM（缺省值）、FPM、MMPM、FPR、IPR、MMPR。

1.4.3 机床参数

(1) LINTOL

允许为多轴铣削和铣削/车削旋转线性化指定后处理器所使用的线性公差插值。在 CL 文件开头输出 “LINTOL/r” 语句。缺省的 LINTOL 为 “—”，在此情况下，将不输出 LINTOL 语句。

(2) CIRC_INTERPOLATION

指定以何种格式将沿弧或圆的刀具运动输出到 CL 文件。该参数的选项如下。

① POINTS_ONLY 对没有圆弧插补功能的机器使用此格式。弧由一系列受公差影响的直线运动来逼近。

② ARC_ONLY（缺省值）对具有完全圆弧插补的机器使用此格式。系统将向 CL 文件输出 CIRCLE 语句以及所需的最少量的点，以便后处理能够完成圆弧插补。点数由 NUMBER_OF_ARC_PTS 参数定义。

③ POINTS_&_ARC 将 CIRCLE 语句和取决于公差值的最大点数输出到 CL 文件。

④ APT_FORMAT 如果后处理器要求圆周运动的格式为 APT 格式，则使用此项。

(3) NUMBER_OF_ARC_PTS

如果 CIRC_INTERPOLATION 设置为 ARC_ONLY，系统将向 CL 文件输出指定的点数。缺省值为 3。

(4) COOLANT_OPTION

冷却液的状态选项。其取值为 ON、OFF（缺省值）、FLOOD、MIST、TAP、THRU。

(5) COOLANT_PRESSURE

冷却液压力选项。其取值为 NONE（缺省值）、LOW、MEDIUM、HIGH。

(6) COORDINATE_OUTPUT

指定机床坐标系 MACHINE_CSYS 或 NC 序列坐标系 SEQUENCE_CSYS 作为 CL 数据原点。缺省值为 MACHINE_CSYS。

(7) FIXT_OFFSET_REG

指定加工机床所用到的夹具变换偏移寄存器。缺省值为“—”，表示不使用此参数。

(8) END_STOP_CONDITION

指定是否在 NC 序列的 CL 数据输出结束时，发出停止指令。NONE 为缺省值，表示不使用停止指令。如果该参数取值为 OPSTOP，将在 CL 数据文件的末尾添加选择性停止指令，相当于数控指令 M1。

(9) PROGRAM_STOP

添加程序结束指令。其中，GOHOME 为添加返回初始点指令。如果为操作指定 Home 点，则刀具将出现在 Home 位置。如果不指定 Home 点，系统仍将输出 GOHOME 指令，但不移动刀具，并发出报警信息。

1.4.4 与进刀/退刀有关的参数

(1) START_MOTION

定义刀具如何从 NC 序列的起始点移动到切削运动的开始处。如果不指定起始点，此参数将被忽略。该参数的取值如下。

① DIRECT 进刀运动将沿着从 NC 序列起始点到切削起点的直线进行。系统的默认值为 DIRECT。

② Z_FIRST 刀具先在平行于 NC 序列坐标系 Z 轴的方向上移动，然后在垂直于 Z 轴的方向上移动并开始切削。

③ Z_LAST 刀具首先沿垂直于 NC 序列坐标系的 Z 轴移动，然后沿着 Z 轴移动并开始切削。

该参数对线切割加工无效。

(2) END_MOTION

定义刀具如何从切削的末端移动到 NC 序列的终止点。如果不指定终止点，此参数将被忽略。该参数的取值如下。

① DIRECT 退刀运动将沿着从切削终点到 NC 序列终止点的直线进行。系统默认值为 DIRECT。

② Z_FIRST 刀具先在平行于 NC 序列坐标系 Z 轴的方向上移动，直至到达终止点的 Z 坐标处，然后沿垂直于 Z 轴的方向运动到终止点。

③ Z_LAST 刀具先在垂直于 Z 轴的方向上运动，直至到达终止点的 X、Y 坐标处，然后沿 Z 轴运动到终止点。

④ 该参数对线切割不适用。

1.5 Pro/NC 模块的组成

Pro/NC 是由一系列可选的子模块组成。用户根据自己的需要，可以任意组合订购。表 1-1 表示每个模块的可用功能。

表 1-1 Pro/NC 模块的组成

模块名称	执行的功能
Pro/NC-MILL	通过定位执行 2.5 轴铣削 通过定位执行 3 轴铣削和孔加工
Pro/NC-TURN	执行 2 轴车削和中心线钻孔 执行 4 轴车削和中心线钻孔
Pro/NC-ADVANCED	执行 2.5 轴到 5 轴铣削和孔加工 执行 2 轴和 4 轴车削及孔加工 在铣削 / 车削中心执行铣削、车削和孔加工的 NC 序列 执行 2 轴和 4 轴的线切割 NC 序列
Pro/NC-WEDM	执行 2 轴和 4 轴的线切割 NC 序列

1.6 NC 加工的后置处理技术

利用 CAD / CAM 软件，根据加工对象的结构特征、加工环境的实际要求和工艺设计的具体特点生成描述加工过程的刀具路径文件之后，并不能直接驱动数控机床加工零件。刀具路径文件只是一个中间产物，要生成数控机床能够识别的 NC 代码，需要用到后置处理器模块。该模块读取刀具路径文件并从中提取相关的加工信息，根据用户指定的机床数控系统特点以及 NC 程序格式要求进行相应的分析、判断和处理，从而生成数控机床所能直接识别的 NC 程序。

后置处理是 CAD / CAM 软件的重要组成部分。其性能的好坏，直接影响 CAD / CAM 软件的使用效果、零件的加工质量。一个完善的后置处理器应该具备以下功能。

① 接口功能 后置处理器自动识别并读取不同 CAD / CAM 软件所生成的刀具路径文件。

② NC 程序生成功能 数控机床通过一系列代码的组合来实现直线插补、圆弧插补、自动换刀、夹具偏置、固定循环及冷却等功能。数控代码的结构、顺序及数据格式必须满足数控系统的要求。

③ 仿真功能 在进行实际加工之前，应该能进行加工路径的模拟和仿真，以便能够及早发现 NC 代码的错误，防止出现事故。目前大多数 CAM 软件的仿真过程主要是针对刀具运动轨迹的模拟。

④ 智能化 后置处理器不仅能够对路径文件进行处理和转换，还要加入一定的工艺要求。比如对于高速加工，后置处理器会自动确定圆弧走刀的方式以及合理的切入/切出方法和参数。

Pro / ENGINEER 的后置处理器 NC-POST 为 Pro/NC 模块提供了一种非常简单的机床选配文件生成器。它把不同加工机床的代码定义、格式要求制作成一个数据文件，这个文件可以作为后置处理器的部分输入参数的选项，配合用户定义的加工对象和加工参数，从而生成符合指定机床要求的加工代码。

1.7 文件的命名约定

Pro/NC 中的文件命名，见表 1-2。