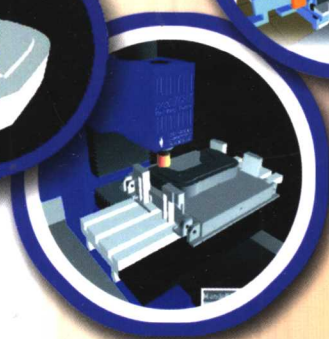
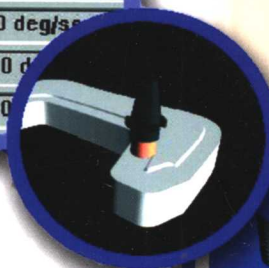
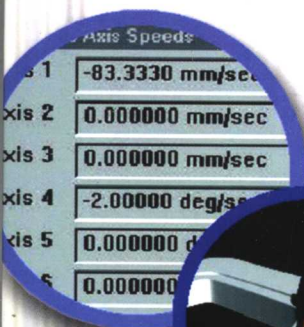


Pro/E Wildfire

数控加工及二次开发技术

张滢 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



附赠光盘

Pro/E Wildfire 数控加工 及二次开发技术

张 滢 编著



机 械 工 业 出 版 社

本书详细地介绍了 Pro/ENGINEER Wildfire 数控加工模块的各项功能与操作流程,涵盖了数控加工中所涉及到的铣削、车削、线切割、加工中心等加工方法,并针对各种加工方法列举了大量实例。读者借助此书能够轻松掌握 Pro/ENGINEER Wildfire 数控加工技术。二次开发部分介绍了基于 Pro/TOOLKIT 进行二次开发时,所涉及到的库文件连接、对话框的创建等基础知识,并运用 VC++ 语言实现数控加工应用程序的编制,从而使 Pro/ENGINEER Wildfire 数控加工操作和二次开发应用软件融为一体。

本书可作为广大工程技术人员学习 Pro/ENGINEER Wildfire 数控加工及二次开发的参考书,也可以作为大学 CAM 课程及数控原理与编程等课程的参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

Pro/E Wildfire 数控加工及二次开发技术/张滢编著.

北京:机械工业出版社,2005.9

ISBN 7-111-17450-X

I. P... II. 张... 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(2005)第 109607 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:李万字 责任编辑:赵晓峰 版式设计:冉晓华
责任校对:张晓蓉 封面设计:马精明 责任印制:陶湛

北京铭成印刷有限公司印刷

2006 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

1000mm×1400mm B5·8.125 印张·312 千字

0001—5000 册

定价:28.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

美国 PTC (Parametric Technology Corporation) 公司成立于 1985 年, 并于 1988 年正式推出第一版 Pro/ENGINEER 软件。经过十几年的发展, 2003 年推出的 Pro/ENGINEER Wildfire(野火版) 3D CAD/CAE/CAM 集成软件, 已经广泛应用于航天、汽车、模具、家电、工业设计、机械等行业, 特别是为机械设计、数控加工等提供了相当优异的解决方案。

我国是制造产业大国。以信息技术改造传统制造产业, 促进产业结构优化升级, 是今后一段时间发展的主题之一。数控技术是信息技术和传统产业的结合点, 面对激烈的国际市场竞争, 培养和造就大批数控技术专业人员的任务非常紧迫。本书以 Pro/ENGINEER Wildfire 为基础, 通过大量实例详细地介绍了它在铣削、车削、线切割、加工中心等各种数控加工方法中的使用, 可以帮助读者轻松掌握 Pro/ENGINEER Wildfire 数控加工操作流程, 使高速发展的 CAM 新技术在数控加工中得到实际应用。

虽然 Pro/ENGINEER Wildfire 软件的功能非常强大, 但是随着 Pro/ENGINEER Wildfire 使用的逐渐深入, 人们对数控加工过程中后端数据库的支持、工作流程的用户化等方面的要求越来越高。笔者这几年对 Pro/ENGINEER Wildfire 数控加工中二次开发技术进行了研究, 通过增加用户化菜单, 直接访问后端刀具库, 实现数控加工操作过程中刀具参数的自动输入, 从而提高了数控加工自动编程的工作效率, 使 Pro/ENGINEER Wildfire 数控加工操作和二次开发应用软件形成一个有机整体, 也使 Pro/ENGINEER Wildfire 软件在数控编程中得到有效应用。

在本书的编写过程中, 得到了甘清华同志的大力支持与帮助, 研究生巩煜琰、刘宝明、梁万勤、徐晗、刘冀伟、廖翠娇等参与了部分工作, 在此向他们表示衷心的感谢!

张 滢

2005 年 7 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 CAD 技术发展过程	1
1.2 Pro/ENGINEER 软件概况	7
1.3 Pro/ENGINEER Wildfire 新功能介绍	9
1.4 Pro/ENGINEER Wildfire 的工作流程	10
第 2 章 NC 加工基础知识	11
2.1 NC 加工模块介绍	11
2.1.1 NC 加工模块功能	11
2.1.2 NC 加工过程描述	12
2.1.3 NC 加工实例的基本操作步骤	13
2.2 规划制造模型	22
2.2.1 参考模型	22
2.2.2 工件	22
2.2.3 制造模型	23
2.2.4 参考模型、工件的创建过程	24
2.2.5 以创建方式规划制造模型	28
2.3 操作的定义与管理	31
2.3.1 操作数据	31
2.3.2 操作数据的管理	32
2.3.3 加工坐标系统的设定	34
2.4 数控加工工艺	36
2.4.1 数控加工工艺的主要内容	36
2.4.2 加工路线的确定	36
2.4.3 Pro/NC 中刀具参数的设置	37
2.5 加工工艺参数	39
2.5.1 主轴转速的确定	39
2.5.2 进给速度的确定	39
2.5.3 背吃刀量确定	39
2.5.4 Pro/NC 中加工工艺参数的定义	40

2.6 刀具路径模拟	42
2.6.1 计算 CL	42
2.6.2 屏幕演示	45
2.6.3 NC 检测	46
第3章 铣削加工	48
3.1 铣削加工基础知识	48
3.1.1 铣削加工的概念	48
3.1.2 铣削加工坐标系的设定	48
3.1.3 铣削加工刀具的种类与选择	50
3.2 体积加工	51
3.2.1 体积加工实例	51
3.2.2 体积加工总结	59
3.3 曲面铣削	60
3.3.1 曲面铣削加工实例	60
3.3.2 曲面铣削加工总结	63
3.4 局部铣削	64
3.4.1 参考前一工序类型的局部铣削加工实例	64
3.4.2 局部铣削加工总结	70
3.5 轮廓铣削	70
3.5.1 轮廓铣削加工实例	70
3.5.2 轮廓铣削加工总结	73
3.6 平面铣削	73
3.6.1 平面铣削加工实例	73
3.6.2 平面铣削加工总结	75
3.7 雕刻加工	75
3.7.1 雕刻加工实例	75
3.7.2 雕刻加工总结	77
3.8 铣槽加工	77
3.8.1 铣槽加工实例	77
3.8.2 铣槽加工总结	80
3.9 螺纹铣削	80
3.9.1 内螺纹加工实例	80
3.9.2 内螺纹加工总结	86
3.10 孔加工	86
3.10.1 孔加工固定循环的基本知识	86

3.10.2 孔加工实例	87
3.10.3 孔加工总结	91
第4章 车削加工	92
4.1 车削加工基础知识	92
4.1.1 车削加工的概念	92
4.1.2 车削加工坐标系的设定	92
4.1.3 车削加工刀具的种类与选择	94
4.2 面区域加工	94
4.2.1 面区域加工参数设置	94
4.2.2 面区域加工实例	96
4.3 外表区域加工	104
4.3.1 外表区域加工参数设置	104
4.3.2 外表区域加工实例	105
4.4 凹槽加工	109
4.4.1 凹槽加工参数设置	109
4.4.2 凹槽加工实例	110
4.5 螺纹加工	113
4.5.1 螺纹加工参数设置	113
4.5.2 螺纹加工实例	113
4.6 内部区域加工	116
4.6.1 内部区域加工参数设置	116
4.6.2 内部区域加工实例	116
4.7 轮廓加工	118
4.7.1 轮廓加工参数设置	118
4.7.2 轮廓加工实例	119
4.8 车削加工总结	123
第5章 线切割加工	124
5.1 线切割加工基础知识	124
5.1.1 线切割加工的概念	124
5.1.2 线切割加工的特点	124
5.1.3 穿丝孔、起切点及走丝路线的确定	125
5.1.4 线切割电参数的确定	126
5.1.5 编程中的补偿量	127
5.2 线切割加工实例	127
5.3 线切割加工总结	136

第 6 章 加工中心	137
6.1 加工中心基础知识	137
6.1.1 加工中心的应用	137
6.1.2 加工中心的工艺设计要求	138
6.2 加工中心编程实例	138
6.3 加工中心编程的总结	147
第 7 章 后置处理	148
7.1 数控编程基础	148
7.1.1 数控编程的概念	148
7.1.2 数控编程的分类	148
7.1.3 数控程序的格式及组成	149
7.1.4 数控系统基本功能	150
7.2 Pro/NC 后置处理简介	152
7.3 铣削加工数控程序的生成	153
7.4 车削加工数控程序的生成	160
7.5 线切割加工数控程序的生成	167
第 8 章 基于 Pro/TOOLKIT 二次开发的基础知识	174
8.1 开发工具介绍	174
8.2 Pro/TOOLKIT 开发工具概述	175
8.2.1 Pro/TOOLKIT 简介	175
8.2.2 Pro/TOOLKIT 安装	175
8.3 Pro/TOOLKIT 基础知识	176
8.3.1 对象和动作	176
8.3.2 对象句柄	177
8.3.3 Pro/TOOLKIT 函数原型及函数返回值	177
8.4 二次开发中所需的 VC++ 基础知识	178
8.4.1 创建对话框的一般过程	178
8.4.2 库文件概述	181
8.4.3 静态链接库文件及创建实例	182
8.4.4 动态链接库文件及创建实例	188
8.5 基于 Pro/TOOLKIT 的二次开发步骤	192
8.5.1 Pro/TOOLKIT 工作模式	192
8.5.2 程序结构	193
8.5.3 编写源文件	194
8.5.4 程序的编译和连接	202

8.5.5 应用程序注册	204
第9章 NC 加工二次开发实例	208
9.1 应用程序框架	208
9.2 建立切削刀具库	209
9.2.1 建立刀具库	209
9.2.2 设置数据源	211
9.3 访问刀具库	213
9.3.1 编写菜单文件	213
9.3.2 生成库文件	214
9.4 程序运行结果检测	231
附录	245
附录 A 本书所附光盘使用说明	245
附录 B 本书所附光盘资料目录	245
参考文献	249

第1章 绪 论

在现代制造业中, 数控(Numerical Control, 简称 NC)加工技术占有非常重要的地位。数控程序一般可通过计算机辅助编程来获得, 这种编程系统是计算机辅助设计(Computer Aided Design, 简称 CAD)与计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, 简称 CAM)高度结合的集成系统, 通常称为 CAD/CAM 系统。目前有很多优秀的 CAD/CAM 系统软件, 其中 Pro/ENGINEER Wildfire 就是具有代表性的 CAD/CAM 系统软件。本章通过介绍 CAD 技术的发展过程, 来说明以参数化、基于特征、单一数据库为主要技术特点的 Pro/ENGINEER(Pro/E)软件产生的背景, 并通过其基于特征的技术特点, 来说明 Pro/ENGINEER 如何使原来各自独立的设计和制造作为一个整体来规划和开发, 使 CAD、CAM 模块之间的制造信息进行自动传递和转换, 实现 CAD/CAM 集成系统, 最终达到 NC 编程自动化。

1.1 CAD 技术发展过程

CAD 技术在 20 世纪 50 年代后期起源于美国, 经历了一个由二维设计技术向三维实体设计技术发展的过程。在 CAD 软件发展初期, 主要是二维的计算机辅助绘图, CAD 的含义仅仅是图板的替代品, 意指 Computer Aided Drawing(或 Drafting), 而非现在经常讨论的 CAD(Computer Aided Design)所包含的全部内容, 只是起到了一个电子图板的作用。因为二维机械 CAD 技术不能很好地解决设计中最困难的几个问题, 包括复杂的投影线生成、尺寸漏标、漏画图线、设计的更新与修改、设计工程管理等问题, 所以二维机械 CAD 技术没有起到真正的计算机辅助设计的作用。CAD 技术以二维绘图为主要目标的算法一直持续到 20 世纪 70 年代末期, 之后作为 CAD 技术的一个分支而相对独立、平稳地发展。早期应用较为广泛的二维绘图软件是 CADAM 软件, 近十年来占据绘图市场主导地位的是 AutoDesk 公司的 AutoCAD 软件。在我国的 CAD 用户特别是初期 CAD 用户中, 二维绘图仍然占有相当大的比重。

人们在设计零件时的思维活动是三维的, 如图 1-1 所示, 是与颜色、材料、硬度、形状、尺寸、位置、相关零件、制造工艺等概念相关联的, 甚至带有相当复杂的运动关系, 只是由于表达手段有限, 人们不得不共同约定了正交投影的二维视图表达规则, 用有限个相关联的二维投影图来表达自己的三维设想, 如图

1-2 所示。

二维视图的表达是极不完整的,而且需要经过专门训练的人来进行绘图、读图。在计算机上用二维视图来表达三维图形极不方便,并且工作效率较低。三维 CAD 技术的发展经历了 4 次技术革命。

1. CAD 技术的第一次技术革命——曲面造型技术

CAD 技术发展到 20 世纪 60 年代初期,出现了用线框模型来简单表达图形的三维 CAD 系统,但仅能表达零件的基本几何信息,不能有效地表达零件几何数据间的拓扑关系,并且由于线框模型缺乏形体的表面信息,无法实现 CAM 和 CAE (Computer Aided Engineering) 等功能。进入 20 世纪 70 年代,发达国家的汽车及航空工业得到了飞速发展。在飞机和汽车制造过程中遇到了大量的自由曲面问题,由于当时设计师只能采用多截面视图和特

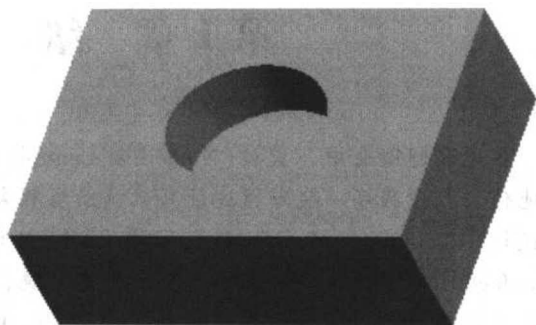


图 1-1 零件模型

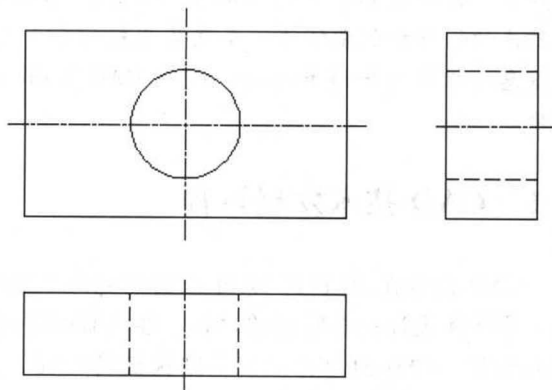


图 1-2 零件的三视图

征纬线的方式来近似地表达所设计的自由曲面,制作出来的样品往往与设计者想象的形状有很大差异,设计者对所设计的曲面形状能否满足要求没有确切的把握;按比例制作油泥模型作为设计评审或方案比较的依据,这种既慢且繁的制作过程大大拖延了产品的研发时间,因此要求更新设计手段的呼声越来越高。此时法国人提出了贝赛尔算法,使得人们在用计算机处理曲线及曲面问题时变得可以操作,同时也使得法国达索飞机制造公司的开发者们,能在二维绘图系统 CAD-AM 的基础上,开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法,推出了三维曲面造型系统 CATIA。这标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图样的三视图模式中解放出来,实现了以计算机来完整描述产品零件的几何信息,同时也使得 CAM 技术的开发有了现实的基础。曲面造型系统 CATIA 带来了第一次 CAD 技术

革命，改变了以往只能借助油泥模型来近似地表达曲面的落后工作方式，使人们可以用计算机进行曲线、曲面的设计。

2. CAD 技术的第二次技术革命——实体造型技术

曲面造型技术只能描述零件形体的表面信息，难以准确表达零件的其他特性，如质量、重心、转动惯量等，不利于 CAE 功能的实现。基于对 CAD/CAE 功能一体化技术发展的探索，SDRC 公司于 1979 年发布了世界上第 1 个基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件——I-DEAS。实体造型技术是 CAD 技术的第二次技术革命。由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性，在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达，因而给设计带来了很大的方便。实体造型技术代表着未来 CAD 的发展方向，基于这样的认识，各 CAD 软件厂商积极效仿。然而实体造型技术既带来了算法的改进和未来发展的希望，也带来了数据计算量的极度膨胀。在当时的硬件条件下，实体造型的计算及显示速度很慢，在实际应用中进行设计显得比较勉强，因此没有能够迅速在整个行业中全面推广。在以后的近十年间，随着硬件性能的提高，实体造型技术又逐渐为众多 CAD 系统所采用。美国的 CV 公司最先在曲面算法上取得突破，计算速度得以较大幅度提高。由于提出了研制集成软件，为企业提供全方位解决方案的思路，并采取了将软件向价格较低的小型机运行平台转移等有利措施，CV 公司一跃成为 CAD 领域的领导者。

这两次 CAD 技术革命主要实现了产品几何模型的构建。一个完整的几何模型，既包括形体各部分的几何形状及空间布置(即几何信息)，又包括各部分之间的连接关系(即拓扑结构)。构造几何模型的理论、方法和技术称为几何造型技术。对于机械 CAD 系统而言，几何模型是实现 CAM 的基础，几何造型功能的强弱在很大程度上反映了 CAM 系统功能的强弱，因此，几何造型技术是 CAD/CAM 系统的核心，可以分为线框造型、曲面造型和实体造型 3 类。

(1) 线框造型 线框造型是用顶点与边的有限集合来表示和建立物体的几何模型。例如要定义一个长方体，先要定义它的 12 条棱线，如图 1-3 所示，它在计算机内存储的数据结构见表 1-1 和表 1-2。

表 1-1 顶点表

点号	x	y	z
1	x_1	y_1	z_1
2	x_2	y_2	z_2
3	x_3	y_3	z_3
...	...	...	...

表 1-2 边表

线号	线上端点号	
①	1	2
②	2	3
③	3	4
...	...	...

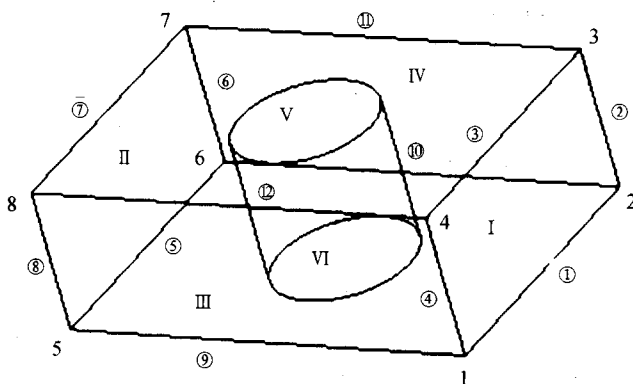


图 1-3 线框模型

用线框建立的物体模型，只有离散的空间线段，没有实在的面。线框模型在计算机内部以边表和顶点表来表达和存储，实际显示的模型是边表和顶点表相应的三维映像，计算机可自动实现视图变换和空间尺寸协调。线框模型虽然具有数据结构简单、易实现等优点，但在实际应用中存在着严重的缺陷。在这种造型方法中，几何意义存在二义性，其物体的空间定义缺少严密性，拓扑关系缺乏有效性，它所定义的物体不可能用于制造，也不能用于数控程序的设计。

(2) 曲面造型 曲面造型可以看作是在线框模型基础上覆盖一层薄膜形成的，可以看作是在线框模型上通过定义曲面来建立。在计算机内部，表面模型的数据结构仍是表结构，除了顶点表、边表之外还有面表信息，见表 1-3。曲面造型技术可以用来对具有复杂的自由曲面和雕塑曲面的形体进行建模，目前采用较多的建模方法有双三次样条曲面、贝赛尔曲面、B 样条曲面和非均匀有理曲面等。由于曲面模型可以精确地定义零件的几何形状，避免了线框模型的二义性，且具有完整的零件表面和边界定义，所以非常适于自动生成数控加工指令。但曲面造型方法也存在着诸如无法定义曲面的厚度等问题，因此曲面模型不宜用作机械零件的一般表示方法。

表 1-3 面表

面表	面上线号	面表	面上线号
I	①, ②, ③, ④	III	④, ⑫, ⑧, ⑨
II	⑤, ⑥, ⑦, ⑧	...	...

(3) 实体造型 实体造型系统对物体的几何和拓扑信息的表达克服了线框模型和曲面模型所存在的缺陷。实体造型生成的形体具有完整的几何信息，是真

实而惟一的三维物体,因此产品设计、分析和制造工序所需要的关于物体几何描述方面的数据,可以从实体模型中获得,例如有限元分析、毛坯重量计算、工装夹具干涉检查等。

最常见的实体造型技术有“边界表示”(B-rep)法和“构造实体几何”(CSG)法。B-rep 法用边界表面表示一个几何形体,边界表面再进一步分解为边和点等底层的几何元素。CSG 法将任何几何形体都看作是由简单的“体素”(如长方体、圆柱体、球体、圆锥体、环状体等)组成,系统通过布尔运算将这些体素组合成所需的几何体。图 1-4 表示的是带孔的长方体的 CSG 结构。在高端的 CAD 软件中通常还允许用户自建一些几何体素。

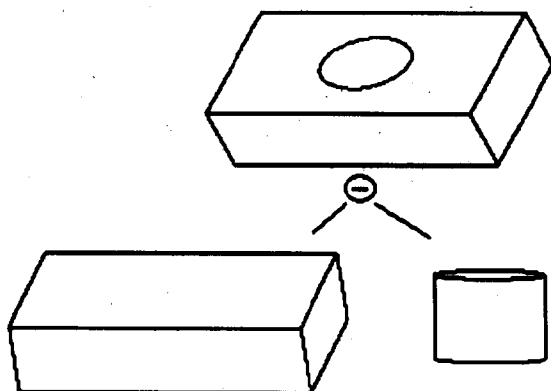


图 1-4 CSG 结构

上述 3 种造型方法所描述的信息,都难于提取加工时所需要的工艺信息。现代制造系统的发展趋势是集成化、智能化,在 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)环境下如何集成 CAD/CAPP(Computer Aided Process Planning)/CAM,是 CAD 技术发展的重要动力。而以几何造型为基础的三维几何建模,其数据结构主要适应了图形显示的要求,却没有考虑生产过程等其他环节的要求,因此很难满足产品生命周期各个环节集成的需要。这主要表现在以下两个方面:

(1) 低层次的几何信息 通常 CAD 系统只产生层次较低的几何信息,而集成 CAD/CAPP/CAM 则需求较高层次的信息,主要包括形状特征、尺寸、公差、材料特性、表面粗糙度和装配要求等,所以 CAD 系统所提供的几何模型不能满足 CAPP/CAM 集成系统的需要。

(2) 低层次的设计环境 一般实体建模系统利用基本形体单元和平面轮廓扫描法等造型,这些方法容易限制设计者创造性思维的发挥。另外,实体模型一旦建立,修改不方便,难以满足工程中重复设计、反复修改的需要,给 CAD/CAPP/CAM 的集成造成了困难。

3. CAD 技术的第三次技术革命——参数化特征造型技术

由于以点、线、面、体为基础的三维几何建模，只较详细地描述了物体的几何信息和相互之间的拓扑关系，而这些信息缺乏明显的工程语义，所以从中提取和识别工程信息，虽然可以通过辅助识别和自动识别等方法来实现，但还是相当困难的。工程技术人员在产品的设计、制造过程中，不仅关心产品的结构形状，而且还关心其尺寸公差、形位公差、表面粗糙度、材料性能和技术要求等一系列，以实现产品功能为目标的非几何信息，这些非几何信息也是加工零件所需要的有机组成部分。然而在实体建模的数据结构中，难于像几何信息、拓扑信息那样，有效而充分地描述这些非几何信息，这样就会影响 CAM 系统直接利用 CAD 系统生成的产品信息，造成这些后续系统需重新输入产品设计信息，无法实现 CAD/CAM 系统的集成。

为了在设计阶段能捕捉除产品几何、拓扑信息以外的设计和制造意图的高层描述，20 世纪 80 年代开始发展特征造型技术。特征作为一种专业术语，含有丰富的工程语义信息，包括几何、拓扑、尺寸、公差、加工、装配、材料等与产品设计和制造活动相关的各类信息。

进入 20 世纪 80 年代中期，以 CV 公司高级副总裁为首，提出了参数化特征造型方法，这是一种很好的设想，主要特点是：基于特征、参数化设计、全数据相关。由于各种原因，CV 公司内部否决了此技术方案。于是策划参数化技术的这些人员集体离开了 CV 公司，于 1985 年在美国西部名城波士顿成立了一个参数技术公司 PTC (Parametric Technology Corp)，开始研制名为 Pro/ENGINEER 的参数化软件。早期的 Pro/ENGINEER 软件性能很低，只能完成简单的工作，但由于第一次实现了基于特征的参数化零件设计，使人们看到了它今后将给设计者带来的方便性，以及 CAD/CAM 系统集成可能性，这就是 CAD 技术的第三次技术革命。

4. CAD 技术的第四次技术革命——变量化特征造型技术

参数化技术的成功应用，在 1990 年前后几乎成为 CAD 业界的标准，许多软件厂商纷纷追赶。但是技术理论上的认可并非意味着实践上的可行性，由于 CATIA、CV、UG、SDRC 都在原来的非参数化模型基础上开发或集成了许多其他应用，包括 CAM、CAE 接口等，在 CAD 方面也做了许多应用模块开发，重新开发一套完全基于参数化的造型系统困难很大，也需要很长时间，更何况参数化技术并没有完全解决好 CAD/CAM 系统中的所有问题，因此此时的参数化系统，基本上都是在原有几何建模技术的基础上进行局部、小块的修补。这种“参数化”具有不完整性，需要很长的过渡时期。

1990 年之前 SDRC 公司已经摸索了几年参数化技术，当时也面临同样的抉择：要么同样采用逐步修补方式，继续将其 I-DEAS 软件“参数化”下去，这样

做风险小,但必然导致产品的综合竞争力不高;要么就全部重新改写。根据多年对参数化技术的研究经验以及对工程设计过程的深刻理解,SDRC 公司的开发人员发现了参数化技术的不足之处。“全尺寸约束”这一硬性规定干扰和制约着设计者创造力及想象力的发挥。全尺寸约束,即设计者在设计初期及全过程中,必须将形状和尺寸联合起来考虑,并且通过尺寸约束来控制形状,通过尺寸的改变来驱动形状的改变,一切以尺寸(即所谓的“参数”)为出发点。一旦所设计的零部件形状过于复杂,面对满屏的尺寸,如何改变这些尺寸以达到所需的形状就很不直观。此外,如果在设计中关键形状的拓扑关系发生改变,失去了某些约束特征,也会造成系统数据混乱。事实上,全约束是参数化系统对设计者的一种硬性规定。

在对现有各种造型技术进行了充分的分析和比较以后,SDRC 公司以参数化技术为蓝本,提出了一种比参数化技术更为先进的实体造型技术即变量化造型技术。从 1990 年起历经 3 年时间,投资一亿多美元,SDRC 公司将其原有软件全部重新改写,于 1993 年推出全新体系结构的变量化造型技术软件——I-DEAS。变量化造型技术既保持了参数化造型技术的优点,同时又克服了它的许多不足之处,实现欠约束造型。变量化造型技术的成功应用,为 CAD 技术的发展提供更多机遇,被称之为 CAD 技术的第四次技术革命。

流行的 CAD 技术基础理论,主要有以 Pro/ENGINEER 为代表的参数化造型理论和以 I-DEAS 为代表的变量化造型理论两大流派,它们都属于基于约束的实体造型技术。近十多年来,只产生了参数化造型理论和变量化造型理论,但这两种理论赢得了广泛的认同。目前在国际市场上最有影响的机械 CAD/CAM 参数化造型软件是 Pro/ENGINEER Wildfire,变量化造型软件有 CATIA、I-DEAS、UG、CADDSS 等,这两类软件都属于高端三维 CAD/CAM 软件,而 AutoCAD 只属于低端 CAD 软件。PTC 公司在兼并了 CV 公司后,已成为当今世界上最大的机械 CAD/CAM 软件供应商,拥有庞大的用户群。

1.2 Pro/ENGINEER 软件概况

1. Pro/ENGINEER 软件的发展

Pro/ENGINEER 软件是 PTC 公司的拳头产品。1985 年,PTC 公司成立于美国波士顿,开始参数化建模软件的研究。1988 年,第一版本的 Pro/ENGINEER 软件诞生。它代表着 CAD 软件继曲面造型技术和实体造型技术之后,进入全新的特征造型技术时代。软件最初采用参数化的设计思想,运用下拉菜单式工作流程,操作起来比较繁杂。其后软件每半年版本升级一次,分别用 R1 ~ R19 表示。到了 2000 年,PTC 公司将主要精力放在 PDM 软件开发推广方面,力图在企业级

解决方案上与 IBM、EDS、HP 等大公司竞争,这一阶段虽然不断推出 2000i、2000i²,但这些版本用户界面变化不大,每一版本主要是拓展一些辅助功能。2001 年 6 月 2001 版本推出,该版本提供了改进的面向对象的“窗口化”操作界面,大大减少了用户操作的步骤与时间。2003 年 1 月 PTC 公司又推出了更高的野火(Wildfire)版,该版本在 2001 版本的基础上进一步简化了用户操作步骤,更加方便人机交流,整个界面紧凑合理,并将当今领先的设计思想融入其中。经过十几年的发展,Pro/ENGINEER 已经成为三维建模软件的领头羊,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。PTC 公司提出的参数化、单一数据库、基于特征的概念,改变了机械 CAD/CAE/CAM 的传统观念,这种全新的概念已成为当今世界机械 CAD/CAE/CAM 领域的新标准。利用该概念开发出来的第三代机械 CAD/CAE/CAM 产品 Pro/ENGINEER Wildfire 软件,能将设计至生产全过程集成到一起,让所有的用户能够同时进行同一产品的设计、制造工作,即实现所谓的并行工程。

2. Pro/ENGINEER 的技术特点

(1) 参数化设计 参数化设计是指在工程设计中,用可变参数而不是固定尺寸表达零件形状或部件关系,即通过设置参数就可以表达零件形状或部件装配关系,同时也允许通过修改参数,实现零件形状或部件装配关系的修改,这样工程设计人员可建立任意形体的尺寸。改变任何一个参数,其相关的特征也会随之自动修改。模型参数不仅可以改变零件的形状,而且具有实际的物理意义,通过引用模型的参数,设计人员可以方便地得出模型的体积、面积、质量、惯性矩等。

(2) 单一数据库 Pro/ENGINEER 可随时由 3D 模型产生 2D 工程图,而且自动标注工程图尺寸。由于采用单一数据库,提供了所谓双向关联的功能,因此不论是在 3D 还是 2D 图形上作尺寸修改,相关的 2D 图形或 3D 实体模型均自动修改。这样可确保数据的一致性,并节省了反复修改所耗费的时间,这种功能符合现代产业中同步工程的思想。Pro/ENGINEER 的所有模块都是全相关的,这就意味着在产品开发过程中某一处进行的修改,能够扩展到整个设计中,同时自动更新所有的工程文档,包括装配体、设计图样、制造数据。全相关性鼓励在开发周期的任一节点上进行修改,却没有任何损失,并使并行工程成为可能,所以能够使开发后期的一些功能提前发挥作用。

(3) 基于特征的造型 Pro/ENGINEER 把用户熟悉的特征作为产品几何模型的构造要素。任何复杂的机械零件都可以看成由一些简单的特征所组成,这些特征有孔、槽、腔、平面等。把特征作为最小的模型元素,一个完整的模型是由数个或数百个以上的特征所组成。每个零件的功能是由其结构形状实现的,将一种形状定义为一个特征,同时每个特征又对应着一定的加工工艺,最后由相应的加