



普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

CAD/CAM 技术

◎王宗彦 李文斌 闫献国 等编著

➤ 将产品全生命周期的设计制造理念贯穿全书始终，符合从概念设计到详细设计以及加工制造的基本流程

➤ 将概念、理论与应用有机结合，在建模、分析、工艺、编程及二次开发等章节分别增加了SolidWorks、开目CAPP、MasterCAM、ANSYS等软件的应用实例

➤ 本书配有PPT课件，可登录华信教育资源网 www.hxedu.com.cn 注册后免费获取



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

CAD/CAM 技术

王宗彦 李文斌 闫献国 编 著
陆春月 刘丽娟 杜娟 孙淑婷

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书全面系统地描述了产品全生命周期中 CAD/CAM 技术的基本概念、基本理论和基本方法。全书共分为 12 章, 主要内容包括 CAD/CAM 技术概述、CAD/CAM 系统、计算机图形处理技术、计算机辅助概念设计、CAD/CAM 建模技术、CAD/CAM 装配建模技术、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助制造技术、计算机辅助质量管理技术、CAD/CAM 系统集成及 CAD/CAM 应用软件开发技术等。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化、机械工程、飞行器制造工程、车辆工程、机械电子工程等专业的本科生和研究生教材, 也可作为从事 CAD/CAM 技术研究与应用的工程技术人员参考资料或培训教材。

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

CAD/CAM 技术 / 王宗彦等编著. —北京: 电子工业出版社, 2014.7

普通高等教育机械类应用型人才及卓越工程师培养规划教材

ISBN 978-7-121-23095-0

I. ①C… II. ①王… III. ①计算机辅助设计—高等学校—教材②计算机辅助制造—高等学校—教材
IV. ①TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 084799 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 李 洁

印 刷: 北京京师印务有限公司

装 订: 北京京师印务有限公司

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: 787×1 092 1/16 印张: 19.75 字数: 506 千字

版 次: 2014 年 7 月第 1 版

印 次: 2014 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 45.00 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, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

CAD/CAM (计算机辅助设计与制造) 是制造工程技术与计算机信息技术结合发展起来的一门先进制造技术, 它的应用使传统的产品设计、制造内容和工作方式等都发生了根本性的变化, 为制造业带来了巨大的经济和社会效益, 被视为工业化与信息化深度融合的重要支撑技术。目前 CAD/CAM 技术广泛应用于机械、电子、航空航天、汽车、船舶、纺织、轻工及建筑等各个领域, 它的研究与应用水平已成为衡量一个国家科技现代化和工业现代化水平的重要标志。

对制造业来说, 企业的核心竞争力主要体现在其产品的快速开发和制造能力上, CAD/CAM 技术是提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本的强有力手段, 是当前工程技术人员必须掌握的基本工具, 已经成为机械工程等学科领域相关专业本科生和研究生的必修课程。我国作为世界制造大国, 对掌握 CAD/CAM 技术的人才需求十分强烈。但由于 CAD/CAM 技术仍处于高速发展阶段, 其新技术层出不穷。因此, 系统地编写一本反映 CAD/CAM 技术基本原理与最新进展的教材, 满足当前 CAD/CAM 技术研究、教学和推广应用的需要, 是本书编写的初衷。

本书融入作者多年的相关教学与科研经验, 围绕产品全生命周期的设计与制造环节, 全面叙述了 CAD/CAM 技术所涉及的计算机辅助技术概念、理论和应用技术。在整体结构和内容安排上具有如下特点。

(1) 在整体结构上, 充分体现内容安排的系统性、条理性和完整性。将产品全生命周期的设计制造理念贯穿全书始终, 符合从概念设计到详细设计及加工制造的基本流程。本书从基本理论入手, 以概念设计→建模技术→装配技术→辅助分析→辅助工艺过程→辅助数控编程→辅助质量控制→系统集成→CAD/CAM 系统的二次开发技术为主线来安排章节。

(2) 在内容安排上, 着重介绍基本概念、原理、关键技术和实施方法, 加入了云平台、MBD 等新概念, 并对多种技术给出仿真实例, 在传统经典内容的基础上突出了新颖性与实用性。基本原理介绍做到清晰准确; 关键技术介绍突出各单元技术的掌握; 在介绍实施方法时, 突出思路和方法的多样性, 以开阔学生的思路, 培养他们分析问题和解决问题的能力。增加了一章计算机辅助概念设计的内容, 介绍计算机辅助概念设计的内涵、设计方法、建模与评价。在计算机辅助工艺规划(CAPP)一章, 增加了工艺数据库技术和计算机辅助工装设计的内容。基于企业对各通用系统的不同需求, 增加了一章 CAD/CAM 应用软件二次开发技术。考虑到 PDM 技术应用的日益广泛, 将 PDM 技术作为 CAD/CAM 集成技术一章的重点。

全书将概念、理论与应用有机结合, 在建模、分析、工艺、编程及二次开发等章节分别增加了 SolidWorks、开目 CAPP、MasterCAM、ANSYS 等软件的应用实例, 使学生对基本概念、原理及方法能进一步理解与掌握, 从而加强他们的 CAD/CAM 技术工程应用意识。本书配有 PPT 课件, 请登录华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 注册后免费下载。

写作分工如下: 第 1 章由中北大学王宗彦教授编写, 第 2、10 章由太原理工大学李文斌教授和中北大学王宗彦教授编写, 第 3 章由太原工业学院孙淑婷副教授编写, 第 4、5、7 章由中北大学刘丽娟讲师编写, 第 6、9、12 章由中北大学陆春月讲师编写, 第 8、11 章由太原科技大学闫献国教授和杜娟副教授编写, 武汉开目信息技术有限公司袁惠敏提供了开目 CAPP 软件简介。

全书由王宗彦、陆春月和刘丽娟统稿。本书参考或引用了一些文献的部分内容，在此对文献的作者谨致由衷的谢意。

由于编著者水平有限，书中不足、不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2014 年 3 月于中北大学

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 CAD/CAM 技术概述.....	(1)	习题与思考题.....	(31)
1.1 CAD/CAM 技术的基本概念.....	(1)	第 3 章 计算机图形处理技术.....	(32)
1.2 CAD/CAM 技术的起源.....	(2)	3.1 图形的几何变换.....	(32)
1.2.1 CAD 技术.....	(2)	3.1.1 图形几何变换的基本原理.....	(32)
1.2.2 CAE 技术.....	(2)	3.1.2 二维图形的基本变换.....	(32)
1.2.3 CAPP 技术.....	(4)	3.1.3 二维图形的组合变换.....	(37)
1.2.4 CAM 技术.....	(4)	3.1.4 三维图形基本变换.....	(40)
1.2.5 CAQ 技术.....	(5)	3.1.5 三维图形组合变换.....	(42)
1.2.6 PDM 技术.....	(5)	3.1.6 工程图的生成.....	(43)
1.3 CAD/CAM 技术在产品设计制造 过程中的地位.....	(6)	3.2 图形的消隐技术.....	(44)
1.4 CAD/CAM 系统的功能与任务.....	(7)	3.2.1 消隐的概念与作用.....	(44)
1.4.1 CAD/CAM 系统的基本功能.....	(7)	3.2.2 消隐算法中的基本测试方法.....	(45)
1.4.2 CAD/CAM 系统的主要任务.....	(7)	3.2.3 常用消隐算法.....	(47)
1.5 CAD/CAM 技术的应用和发展.....	(9)	3.3 图形的光照处理技术.....	(50)
1.5.1 CAD/CAM 技术在工业中的 应用.....	(9)	3.3.1 光照处理的基本原理.....	(51)
1.5.2 CAD/CAM 技术的发展趋势.....	(10)	3.3.2 光照处理的基本算法.....	(53)
习题与思考题.....	(12)	3.4 图形裁剪技术.....	(54)
第 2 章 CAD/CAM 系统.....	(13)	3.4.1 窗口与视区.....	(54)
2.1 CAD/CAM 系统的组成与分类.....	(13)	3.4.2 二维图形裁剪.....	(56)
2.1.1 CAD/CAM 系统的组成.....	(13)	3.5 曲线设计.....	(61)
2.1.2 CAD/CAM 系统的分类.....	(15)	3.5.1 Bezier 曲线.....	(61)
2.2 CAD/CAM 系统的硬件与支撑软件.....	(15)	3.5.2 B 样条曲线.....	(62)
2.2.1 CAD/CAM 系统的硬件.....	(15)	3.6 曲面设计.....	(64)
2.2.2 CAD/CAM 系统的支撑软件.....	(18)	3.6.1 Bezier 曲面.....	(65)
2.3 CAD/CAM 系统的设计原则.....	(20)	3.6.2 B 样条曲面.....	(66)
2.3.1 系统设计的总体原则.....	(20)	3.6.3 孔斯曲面.....	(66)
2.3.2 系统中硬件设备的选用原则.....	(22)	习题与思考题.....	(68)
2.4 网络化 CAD/CAM 系统.....	(23)	第 4 章 计算机辅助概念设计.....	(69)
2.4.1 概述.....	(23)	4.1 基本概念.....	(69)
2.4.2 计算机网络的拓扑结构和 网络协议.....	(23)	4.1.1 概念设计的内涵.....	(69)
2.4.3 客户机/服务器工作模式.....	(24)	4.1.2 计算机辅助概念设计的内涵.....	(71)
2.4.4 CAD/CAM 系统和网络.....	(25)	4.1.3 CACD 的方法与支撑技术.....	(74)
2.5 基于云计算的 CAD/CAM 系统.....	(26)	4.2 CACD 的流程与模型.....	(74)
2.5.1 云计算的概念与组成.....	(26)	4.2.1 设计流程.....	(74)
2.5.2 CAD/CAM 云设计平台概念 和技术体系.....	(27)	4.2.2 设计概念的产生、定位与 决策.....	(76)
		4.2.3 计算机辅助概念设计体系 结构.....	(78)
		4.2.4 功能建模.....	(78)

4.2.5 形态学建模	(80)	5.7.5 应用同步建模技术的 CAD 数据交换	(114)
4.3 CACD 方案的评价	(81)	5.8 行为建模	(115)
4.3.1 方案评价的指标体系与 原理	(81)	5.8.1 基本概念与特点	(115)
4.3.2 方案评价识别模型	(82)	5.8.2 行为建模技术的核心	(116)
习题与思考题	(84)	5.9 SolidWorks 的参数化特征建模 技术	(117)
第 5 章 CAD/CAM 建模技术	(85)	5.9.1 SolidWorks 工作界面及特征 管理树	(117)
5.1 基本概念	(85)	5.9.2 SolidWorks 实体建模	(120)
5.1.1 概述	(85)	5.9.3 SolidWorks 曲面建模	(122)
5.1.2 建模基础知识	(85)	5.9.4 SolidWorks 的参数化特征 建模实例	(125)
5.1.3 常用建模方法	(89)	习题与思考题	(129)
5.2 线框建模	(90)	第 6 章 CAD/CAM 装配建模技术	(131)
5.2.1 线框建模的概念	(90)	6.1 装配建模概述	(131)
5.2.2 线框建模的特点	(91)	6.2 装配模型	(132)
5.3 表面建模	(92)	6.2.1 装配模型分类	(132)
5.3.1 表面建模的基本概念	(92)	6.2.2 装配模型的结构	(134)
5.3.2 表面描述方法的种类	(93)	6.2.3 装配模型的管理	(135)
5.3.3 曲面造型方法	(94)	6.3 装配约束技术	(136)
5.3.4 曲面建模的特点	(96)	6.3.1 装配约束分析	(136)
5.4 实体建模	(96)	6.3.2 装配约束规划	(138)
5.4.1 实体建模的基本原理	(96)	6.4 装配建模方法	(140)
5.4.2 实体建模的表示方法	(98)	6.4.1 自底向上的装配设计	(140)
5.5 特征建模	(103)	6.4.2 自顶向下的装配设计	(141)
5.5.1 特征建模的概念	(103)	6.4.3 混合装配建模方法	(142)
5.5.2 特征建模的形成体系	(104)	6.5 装配建模技术的应用	(142)
5.5.3 特征间的关系	(105)	6.5.1 基于 SolidWorks 的自底向上 的装配设计	(142)
5.5.4 特征的表达方法	(106)	6.5.2 基于 SolidWorks 的自顶向下 的装配设计	(144)
5.5.5 特征库的建立	(106)	习题与思考题	(146)
5.5.6 特征建模技术的实现和 发展	(107)	第 7 章 计算机辅助工程分析	(147)
5.6 参数化特征建模	(107)	7.1 概述	(147)
5.6.1 参数化特征建模的概念	(107)	7.2 有限元分析技术	(149)
5.6.2 参数化特征建模的表示 及其数据结构	(108)	7.2.1 有限元分析基本原理	(150)
5.6.3 参数化特征建模技术应用 范围	(110)	7.2.2 有限元法的分析步骤	(150)
5.7 同步建模	(110)	7.2.3 有限元法的前置处理与后置 处理	(155)
5.7.1 基本概念与特点	(110)	7.3 优化设计方法	(156)
5.7.2 同步建模软件的结构层次	(111)	7.3.1 优化设计数学模型	(156)
5.7.3 同步解析引擎	(112)		
5.7.4 同步建模中的特征技术	(112)		

7.3.2 优化设计过程	(158)	8.5.6 CAPP 专家系统推理策略	(194)
7.3.3 机械设计中常用优化设计方法	(159)	8.6 计算机辅助工装设计	(195)
7.4 工程分析中的动态仿真	(161)	8.6.1 夹具设计	(195)
7.4.1 仿真的基本概念	(162)	8.6.2 复杂刀具计算机辅助设计	(198)
7.4.2 计算机仿真的工作流程	(164)	8.7 CAPP 的工艺数据库技术	(202)
7.4.3 仿真技术的应用	(166)	8.7.1 工艺数据基本概念	(202)
习题与思考题	(168)	8.7.2 工艺数据类型及特点	(202)
第 8 章 计算机辅助工艺过程设计	(169)	8.7.3 工艺数据库建立	(205)
8.1 概述	(169)	8.7.4 工艺数据库管理系统	(208)
8.1.1 CAPP 的定义及作用	(169)	8.8 CAPP 系统开发与应用	(208)
8.1.2 CAPP 的应用意义	(169)	8.8.1 CAPP 系统开发目标	(208)
8.1.3 CAPP 的分类及基本原理	(170)	8.8.2 CAPP 系统开发原则	(208)
8.1.4 CAPP 的发展趋势	(171)	8.8.3 开发环境及工具的选择	(209)
8.2 零件信息描述与输入	(172)	8.8.4 CAPP 系统开发过程	(210)
8.2.1 图纸信息描述与人机交互式输入	(172)	8.8.5 CAPP 系统功能模块	(212)
8.2.2 从 CAD 系统获取零件信息	(173)	8.9 开目 CAPP 系统简介	(212)
8.3 派生式 CAPP 系统	(174)	8.9.1 开目 CAPP 的功能模块	(213)
8.3.1 成组技术	(174)	8.9.2 开目 CAPP 主要特点	(215)
8.3.2 零件分类编码系统	(176)	8.9.3 开目 CAPP 工艺规程编制实例	(216)
8.3.3 基于 GT 的派生式 CAPP 系统	(180)	习题与思考题	(223)
8.3.4 基于特征(实例)推理的派生式 CAPP 系统	(181)	第 9 章 计算机辅助制造技术	(224)
8.4 创成式 CAPP 系统	(185)	9.1 CAM 技术概述	(224)
8.4.1 创成式 CAPP 系统的设计方法	(185)	9.1.1 CAM 技术原理和基本概念	(224)
8.4.2 创成式 CAPP 系统的组成及工作过程	(186)	9.1.2 CAM 系统功能与体系结构	(224)
8.4.3 创成式 CAPP 系统的工艺决策	(187)	9.2 计算机辅助数控编程基础	(226)
8.4.4 一般创成式 CAPP 系统的工艺决策方法	(187)	9.2.1 计算机辅助数控加工编程的一般原理	(226)
8.5 CAPP 专家系统	(190)	9.2.2 数控编程的内容与步骤	(226)
8.5.1 专家系统概念	(190)	9.2.3 数控编程术语与标准	(228)
8.5.2 创成式 CAPP 专家系统概述	(190)	9.3 数控自动编程	(230)
8.5.3 CAPP 专家系统组成	(191)	9.3.1 APT 语言自动编程	(230)
8.5.4 知识的获取和表达	(191)	9.3.2 CAD/CAM 集成系统数控编程	(232)
8.5.5 工艺决策知识的组织与管理	(194)	9.4 图形交互式自动编程技术	(233)
		9.4.1 图形交互式自动编程的特点和基本步骤	(233)
		9.4.2 加工工艺决策	(235)
		9.5 MasterCAM 数控编程实例	(238)
		9.5.1 MasterCAM 的基本功能	(238)
		9.5.2 MasterCAM 的工作界面	(238)

9.5.3 MasterCAM 数控编程的一般 工作流程	(239)	11.2.3 基于数据库的 CAD/CAM 集成	(276)
9.5.4 MasterCAM 数控编程实例	(239)	11.3 基于产品数据库管理的 CAD/CAM 系统集成	(276)
习题与思考题	(250)	11.3.1 产品数据表达	(277)
第 10 章 计算机辅助质量系统技术	(251)	11.3.2 产品数据管理	(278)
10.1 概述	(251)	11.3.3 基于 PDM 的 CAD/CAM 内部集成	(279)
10.1.1 与质量有关的基本概念	(251)	11.3.4 基于 PDM 的 CAD/CAM 外部集成	(280)
10.1.2 传统的质量系统存在的 问题	(252)	习题与思考题	(280)
10.1.3 计算机辅助质量系统及其 作用	(252)	第 12 章 CAD/CAM 应用软件开发技术	(281)
10.2 计算机辅助质量系统设计	(254)	12.1 应用软件开发技术概述	(281)
10.2.1 CAQ 系统的基本组成	(254)	12.1.1 CAD/CAM 系统的开发 要求	(281)
10.2.2 CAQ 系统的信息流程	(254)	12.1.2 CAD/CAM 软件开发方式	(282)
10.2.3 CAQ 系统功能设计与 分析	(255)	12.1.3 CAD/CAM 软件二次开发 的概念、目的和一般原则	(282)
10.3 加工系统质量监测技术	(256)	12.1.4 CAD/CAM 系统开发的 步骤	(283)
10.3.1 加工系统的检测技术	(256)	12.2 基于通用平台的系统开发技术 基础	(283)
10.3.2 加工系统工件尺寸的自动 测量	(259)	12.2.1 CAD/CAM 系统二次开发 平台的体系结构	(283)
10.3.3 加工系统刀具的自动识别 和监测	(264)	12.2.2 二次开发模式及开发接口	(284)
10.3.4 加工系统加工设备的自动 监测	(268)	12.2.3 CAD/CAM 软件参数化 技术	(285)
习题与思考题	(271)	12.3 基于 SolidWorks 的应用软件开发 方法	(286)
第 11 章 CAD/CAM 系统集成	(272)	12.3.1 程序开发环境	(286)
11.1 CAD/CAM 集成的概念	(272)	12.3.2 开发方式	(288)
11.1.1 CAD/CAM 的概念与作用	(272)	12.3.3 基于 SolidWorks 的软件 开发技术	(295)
11.1.2 CAD/CAM 集成系统的基本 组成	(272)	12.4 零件参数化程序开发实例	(300)
11.1.3 CAD/CAM 集成系统的体系 结构	(273)	12.4.1 创建零件	(300)
11.2 CAD/CAM 集成方法	(274)	12.4.2 尺寸驱动	(302)
11.2.1 基于专用接口的 CAD/CAM 集成	(274)	习题与思考题	(304)
11.2.2 基于 STEP 的 CAD/CAM 集成	(275)	参考文献	(305)

第 1 章 CAD/CAM 技术概述

教学提示与要求

本章介绍了 CAD/CAM 技术的基本概念与起源、CAD/CAM 技术在产品设计制造过程中的地位、CAD/CAM 系统的功能与任务、CAD/CAM 技术的应用和发展等内容。要求重点掌握 CAD/CAM 技术的基本概念和 CAD/CAM 系统的功能与任务。

1.1 CAD/CAM 技术的基本概念

CAD (Computer Aided Design) 即计算机辅助设计, 是指工程技术人员在人和计算机组成的系统中以计算机为工具, 辅助人类完成产品的建模、分析、绘图等工作, 并达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品成本的目的。一般认为 CAD 系统的功能包括: ①概念设计; ②结构设计; ③工程分析; ④施工设计等。

CAE (Computer Aided Engineering) 即计算机辅助工程分析, 泛指包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、优化设计及产品的常规分析计算等内容。是用计算机辅助求解复杂工程和产品结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应、热传导、三维多体接触、弹塑性等力学性能的分析计算以及结构性能的优化设计等问题的一种近似数值分析方法。广义上讲, CAE 技术是 CAD 技术的一部分, 强调 CAD/CAE 一体化即设计分析一体化。

CAPP (Computer Aided Process Planning) 即计算机辅助工艺过程设计, 是指在人和计算机组成的系统中, 根据产品设计阶段给出的信息, 人机交互地或自动地完成产品加工方法的选择和工艺过程的设计。一般认为 CAPP 的功能包括: ①毛坯设计; ②加工方法选择; ③工艺路线制定; ④工序设计; ⑤刀夹量具设计等。其中工序设计又包含: 机床、刀具的选择, 切削用量的选择, 加工余量分配以及工时定额计算等。

CAM (Computer Aided Manufacturing) 即计算机辅助制造, 有广义和狭义两种定义, 广义 CAM 一般是指利用计算机辅助完成从生产准备到产品制造整个活动的过程, 包括工艺过程设计、工装设计、NC 自动编程、生产作业计划、生产控制、质量控制等。本书采用狭义定义方法, 并适当扩展了有关集成质量管理的内容。

CAQ (Computer Aided Quality) 即计算机辅助质量管理, 是指企业采用计算机支持的各种质量保证和管理活动, 也可称为计算机辅助质量保证 (Computer Aided Quality Assurance)。在实际应用中, 可以分为质量保证、质量控制和质量检验等几个方面。其中, 质量保证贯穿了整个产品形成的过程, 是企业质量管理中最为重要的部分。包括以下功能: 质量数据采集、整理、存储和传输, 质量预测、决策与控制, 质量评价等。

PDM (Product Data Management) 即产品数据管理, 是一门管理所有与产品相关的信息 (包括电子文档、数字化文件、数据库记录等) 和所有与产品相关的过程 (包括审批/发放、工程更

改、一般流程、配置管理等)的技术。它提供产品全生命周期的信息管理,并可在企业范围内为产品设计和制造建立一个并行化的协作环境。

CAD/CAM 技术即计算机辅助设计与制造技术,早期强调的是 CAD、CAM 两种技术的集成,现在已经发展为 CAD、CAE、CAPP、CAM、CAQ 五种技术依托 PDM 技术的集成技术,即 C5P 技术。曾经有人称为 C4P 技术,即 CAD/CAE/CAPP/CAM/ PDM 集成技术。本书的 CAD/CAM 系统是指由 CAD/CAM 技术与相应的计算机硬件与外围输入输出设备组成的系统。

1.2 CAD/CAM 技术的起源

1.2.1 CAD 技术

CAD 技术诞生于 20 世纪 60 年代,是美国麻省理工学院提出的交互式图形学的研究计划,由于当时硬件设施昂贵,只有美国通用汽车公司和美国波音航空公司使用自行开发的交互式绘图系统。

20 世纪 70 年代,小型计算机费用下降,美国工业界才开始广泛使用交互式绘图系统。

20 世纪 80 年代,由于 PC 机的应用,CAD 得以迅速发展,出现了专门从事 CAD 系统开发的公司。当时 VersaCAD 是专业的 CAD 制作公司,所开发的 CAD 软件功能强大,但由于其价格昂贵,没有得到普遍应用。而当时的 Autodesk (美国计算机软件公司)公司是一个仅有数员工的小公司,其开发的 CAD 系统虽然功能有限,但因其可免费复制,故在社会得以广泛应用。同时,由于该系统的开放性,该 CAD 软件升级迅速。

有人认为 Ivan Sutherland (伊凡·萨瑟兰)在 1963 年在麻省理工学院开发的 Sketchpad (画板)是一个转折点。Sketchpad 的突出特性是它允许设计者用图形方式和计算机交互:设计可以用一枝光笔在阴极射线管屏幕上绘制到计算机里。实际上,这就是图形化用户界面的原型,而这种界面是现代 CAD 不可或缺的特性。

CAD 最早的应用是在汽车制造、航空航天以及电子工业的大公司中。随着计算机成本变得更低,应用范围也逐渐变广。

计算机技术的发展使得计算机在设计活动中得到技巧性更强的应用。如今,CAD 已经不仅用于绘图和显示,而且开始进入设计者的专业知识中更“智能”的部分。

随着计算机科技的日益发展,性能的提升和更便宜的价格,许多公司已采用立体的绘图设计。以往,碍于计算机性能的限制,绘图软件只能停留在平面设计,欠缺真实感,而立体绘图则打破了这一限制,令设计蓝图更实体化。

国产 CAD 技术起源于国外 CAD 平台技术基础上的二次开发,随着中国企业对 CAD 应用需求的提升,国内众多 CAD 技术开发商纷纷通过开发基于国外平台软件的二次开发产品让国内企业真正普及了 CAD。到 2000 年后,逐渐涌现出一批优秀的自主知识产权的 CAD 开发商,如浩辰 CAD、中望 CAD、CAXA、开目 CAD、山大华天等。

1.2.2 CAE 技术

国际上早在 20 世纪 50 年代末、60 年代初就投入大量的人力和物力开发具有强大功能的有

限元分析程序。其中最为著名的是由美国国家宇航局(NASA)在1965年委托美国计算科学公司和贝尔航空系统公司开发的 NASTRAN 有限元分析系统。此后有德国的 ASKA、英国的 PAFEC、法国的 SYSTUS、美国的 ABQUS、ADINA、ANSYS、BERSAFE、BOSOR、COSMOS、ELAS、MARC 和 STARDYNE 等公司的产品。

1979年美国的 SAP5 线性结构静、动力分析程序向国内引进移植成功,掀起了应用通用有限元程序来分析计算工程问题的高潮。在国内开发比较成功并拥有较多用户(100家以上)的有限元分析系统有大连理工大学工程力学系的 FIFEX95、北京大学力学与科学工程系的 SAP84、中国农机科学研究所的 MAS5.0 和杭州自动化技术研究所的 MFEP4.0 等。

衡量 CAE 技术水平的重要标志之一是分析软件的开发和应用。ABAQUS、ANSYS、NASTRAN 等大型通用有限元分析软件已经引进中国,并在汽车、航空、机械、材料等许多行业得到了应用。中国的计算机分析软件开发是一个薄弱环节,严重地制约了 CAE 技术的发展。仅以有限元计算分析软件为例,世界年市场份额达 5 亿美元,并且以每年 15% 的速度递增。相比之下,中国自己的 CAE 软件工业还非常弱小,仅占有很少量的市场份额。

20 世纪 60~70 年代,有限元技术主要针对结构分析进行发展,以解决航空航天技术中的结构强度、刚度以及模态实验和分析问题。世界上 CAE 的三大公司先后成立,致力于大型商用 CAE 软件的研究与开发。

1963 年 MSC 公司成立,开发称之为 SADSAM (Structural Analysis by Digital Simulation of Analog Methods) 结构分析软件。1965 年 MSC 参与美国国家航空及宇航局(NASA)发起的计算结构分析方法研究,其程序 SADSAM 更名为 MSC/Nastran。

1967 年 Structural Dynamics Research Corporation (SDRC) 公司成立,并于 1968 年发布世界上第一个动力学测试及模态分析软件包,1971 年推出商用有限元分析软件 Supertab (后并入 I-DEAS)。

1970 年 Swanson Analysis System, Inc. (SASI) 公司成立,后来重组后改称为 ANSYS 公司,开发了 ANSYS 软件。

20 世纪 70~80 年代是 CAE 技术的蓬勃发展时期,这期间许多 CAE 软件公司相继成立。如致力于发展用于高级工程分析通用有限元程序的 MARC 公司;致力于机械系统仿真软件开发的 MDI 公司;针对大结构、流固耦合、热及噪声分析的 CSAR 公司;致力于结构、流体及流固耦合分析的 ADIND 公司;等等。

在这个时期,有限元分析技术在结构分析和场分析领域获得了很大的成功。从力学模型开始拓展到各类物理场(如温度场、电磁场、声波场等)的分析,从线性分析向非线性分析(如材料为非线性、几何大变形导致的非线性、接触行为引起的边界条件非线性等)发展,从单一场的分析向几个场的耦合分析发展。出现了许多著名的分析软件如 Nastran、I-DEAS、ANSYS、ADIND、SAP 系列、DYNA3D、ABAQUS 等。软件的开发主要集中在计算精度、速度及硬件平台的匹配,使用者多数为专家且集中在航空、航天、军事等领域。从软件结构和技术来说,这些 CAE 软件基本上是用结构化软件设计方法,采用 FORTRAN 语言开发的结构化软件,其数据管理技术尚存在一定的缺陷,运行环境仅限于当时的大型计算机和高档工作站。

进入 20 世纪 90 年代以来,CAE 开发商为满足市场需求和适应计算机硬件、软件技术的迅速发展,对软件的功能、性能,特别是用户界面和前后处理能力进行了大幅扩充,对软件的内部结构和部分模块,特别是数据管理和图形处理部分,进行了重大改造,使得 CAE 软件在功能、性能、可用性和可靠性以及对运行环境的适应性方面基本满足了用户的需要,它们可以在超级并行机、分布式微机群,在大、中、小、微各类计算机和各种操作系统平台上运行。

1.2.3 CAPP 技术

自 1965 年 Niebel 首次提出 CAPP 思想, 迄今 30 多年, CAPP 领域的研究得到了极大的发展, 期间经历了检索式、派生式、创成式、混合式、专家系统、工具系统等不同的发展阶段, 并涌现了一大批 CAPP 原型系统和商品化的 CAPP 系统。

在 CAPP 工具系统出现以前, CAPP 的目标一直是开发代替工艺人员的自动化系统, 而不是辅助系统, 即强调工艺设计的自动化和智能化。但由于工艺设计领域的个性化、复杂性, 工艺设计理论多是一些指导性原则、经验和技巧, 因此让计算机完全替代工艺人员进行工艺设计的愿望是良好的, 但研究和实践证明非常困难, 能够部分得到应用的至多是一些针对特定行业、特定企业甚至是特定零件的专用 CAPP 系统, 还没有能够真正大规模推广应用的实用的 CAPP 系统。

在总结以往经验教训的基础上, 国内软件公司提出了 CAPP 工具化的思想: CAPP 是将工艺人员从许多工艺设计工作中解脱出来的一种工具; 自动化不是 CAPP 唯一的目标; 实现 CAPP 系统的以人为本的宜人化的操作, 高效的工艺编制手段, 工艺信息自动统计汇总, 与 CAD/ERP/PDM 系统的信息集成, 具有良好的开放性与集成性是工具化 CAPP 系统研究和推广应用的主要目标。

工具化 CAPP 的思想在商业上获得了极大的成功, 使得 CAPP 真正从实验室走向了市场和企业。借助于工具化的 CAPP 系统, 上千家的企业实现了工艺设计效率的提升, 促进了工艺标准化建设, 实现了与企业其他应用系统 CAD/PDM/ERP 等的集成, 有力地促进了企业信息化建设。

1.2.4 CAM 技术

1952 年美国麻省理工学院首先研制成功数控铣床。数控的特征是由编码在穿孔纸带上的程序指令来控制机床。此后发展了一系列的数控机床, 包括称为“加工中心”的多功能机床, 能从刀库中自动换刀和自动转换工作位置, 能连续完成铣、钻、铰、攻丝等多道工序, 这些都是通过程序指令控制运作的, 只要改变程序指令就可改变加工过程, 数控的这种加工灵活性称之为“柔性”。加工程序的编制不但需要相当多的人工, 而且容易出错, 最早的 CAM 便是计算机辅助加工零件编程工作。

20 世纪 50 年代末 60 年代初, CAM 系统是由美国麻省理工学院的 D. T. Ross 教授在 APT 程序系统的发展基础上形成的。APT (Automatically Programmed Tools) 语言是通过刀具位轨迹的描述来实现计算机辅助自动数控编程的系统。它是类似 FORTRAN 的高级语言。增强了几何定义、刀具运动等语句, 应用 APT 使编写程序变得简单。这种计算机辅助编程是批处理的。在发展这一程序系统的同时, 人们就提出了一种设想: 能否不描述刀具位轨迹, 而是直接描述被加工工件的尺寸和形状, 由此产生了人机协同设计、加工的设想, 并开始了 CAM 技术的研究。

早期的 CAM 系统具有数据转换和过程自动化两方面的功能, 所涉及的范围包括计算机数控和计算机辅助过程设计。现在市面上的成熟的 CAM 软件有: UG NX、Pro/NC、CATIA、MasterCAM、SurfCAM、SPACE-E、CAMWORKS、WorkNC、TEBIS、HyperMILL、Powermill、GibbsCAM、FEATURECAM、Topsolid、SolidCAM、Cimatron、VX、Esprit、EdgeCAM 等。

1.2.5 CAQ 技术

1924 年提出休哈特理论, 质量控制从检验阶段发展到统计过程控制阶段, 利用休哈特工序质量控制图进行质量控制。休哈特认为, 产品质量不是检验出来的, 而是生产制造出来的, 质量控制的重点应放在制造阶段, 从而将质量控制从事后把关提前到制造阶段。

1961 年美国的菲根堡姆提出全面质量管理理论 (TQM), 将质量控制扩展到产品寿命循环的全过程, 强调全体员工都参与质量控制。后来在西欧与日本逐渐得到推广与发展。

20 世纪 70 年代, 田口玄一博士提出田口质量理论, 它包括离线质量工程学 (主要利用三次设计技术) 和在线质量工程学 (在线工况检测和反馈控制)。田口博士认为, 产品质量首先是设计出来的, 其次才是制造出来的。因此, 好的质量是设计、制造出来的, 不是检验出来的。因此, 质量控制的重点应放在设计阶段, 从而将质量控制从制造阶段进一步提前到设计阶段。

20 世纪 80 年代, 利用计算机进行质量管理 (CAQ), 出现了在 CIMS 环境下的质量信息系统 (QIS)。借助于先进的信息技术, 质量控制与管理又上了一个新台阶, 因为信息技术可以实现以往所无法实现的很多质量控制与管理功能。

1.2.6 PDM 技术

在 20 世纪的六七十年代, 企业在其设计和生产过程中开始使用 CAD、CAM 等技术, 各单元的计算机辅助技术已经日益成熟, 但都自成体系, 彼此之间缺少有效的信息共享和利用, 形成所谓的“信息孤岛”。其特点是数据种类繁多, 数据急剧膨胀, 数据重复冗余, 数据检索困难, 数据的安全性及共享管理困难, 对企业管理形成巨大的压力。在这一背景下产生一项新的管理思想和技术 PDM, 即以软件技术为基础, 以产品为核心, 实现对产品相关的数据、过程、资源一体化集成管理的技术。

PDM 产品诞生于 20 世纪 80 年代初, 各 CAD 厂家配合自己 CAD 软件推出了第一代 PDM 产品, 这些产品的目标主要是解决大量电子数据的存储和管理问题, 提供了维护“电子绘图仓库”的功能。第一代 PDM 产品仅在一定程度上缓解了“信息孤岛”问题, 但仍然普遍存在系统功能较弱、集成能力和开放程度较低等问题。

20 世纪 90 年代初, 专业 PDM 系统通过对早期 PDM 产品功能的不断扩展, 出现了专业化的 PDM 产品, 如 SDRC 公司的 Metaphase 和 UGS 的 iMAN 等就是第二代 PDM 产品的代表。与第一代 PDM 产品相比, 在第二代 PDM 产品中出现了许多新功能, 如对产品生命周期内各种形式的产品数据的管理能力、对产品结构与配置的管理、对电子数据的发布和更改的控制以及基于成组技术的零件分类管理与查询等, 同时软件的集成能力和开放程度也有较大的提高, 少数优秀的 PDM 产品可以真正实现企业级的信息集成和过程集成。第二代 PDM 产品在技术上取得巨大进步的同时, 在商业上也获得了很大的成功。PDM 开始成为一个产业, 出现了许多专业开发、销售和实施 PDM 的公司。

为了实现各单元的计算机辅助技术系统之间数据更加有效的集成, 20 世纪 90 年代初诞生了许多数据交换标准, 第一批是由欧美国家组织的, 把重点放在几何图形的数据交换上, 包括法国的 SET 格式、德国的 VDAFS 格式和美国的 IGES 格式 (Initial Graphics Exchange Specification)。之后在国际标准组织 (ISO) 的领导下, 为了产生一个技术产品数据全方面的国际标准, 人们作出了大量的努力, 诞生了产品模型数据标准: STEP (Standard for The Exchange of Product model

data) 即产品模型数据交换标准。

1997 年 2 月 PDM 进入标准化阶段,OMG 组织公布了其 PDMLink 标准草案。作为 PDM 领域的第一个国际标准,本草案由许多 PDM 领域的主导厂商参与制定,如 IBM、SDRC、PTC 等。PDMLink 标准的公布标志着 PDM 技术在标准化方面迈出了崭新的一步。PDMLink 基于 CORBA 技术,就 PDM 的系统功能、逻辑模型和多个 PDM 系统间的互操作提出了一个标准。这一标准的制定为新一代标准化 PDM 产品的发展奠定了基础。PDM 新技术的背景为 20 世纪 90 年代末期,PDM 技术的发展出现了一些新动向,在企业需求和技术发展的推动下,产生了新一代 PDM 产品。如果说第二代 PDM 产品配合了“自顶向下”企业信息分析方法的话,第三代 PDM 产品就应当支持以“标准企业职能”和“动态企业”思想为中心的新的企业信息分析方法。新技术的发展是产生新一代 PDM 产品的推动力。

随着信息技术的不断发展,为使企业产生更大效益,又有人提出要把企业内所有的分散系统集成。这一设想不仅包括生产信息,也包括生产管理过程所需全部信息,从而构成一个 CIMS (Computer Integrated Manufacturing System) 即计算机集成制造系统,CIMS 的重要概念是集成(Integration),通过企业生产经营全过程中的信息流和物流的集成,达到产品功能强、上市快、质量好、成本低、服务好,提高企业的经济效益和市场竞争能力的目的。实现 CIMS 集成的核心技术是 CAD/CAM 技术。

1.3 CAD/CAM 技术在产品设计制造过程中的地位

产品是市场竞争的核心。产品设计与制造过程是从需求分析开始的,经过设计过程、制造过程最后变成可供用户使用的成品,这一总过程也称为产品生产过程。产品设计制造过程具体包括:产品设计、工艺设计、加工检测和装配调试过程。每一过程又划分为若干个阶段,例如产品设计过程可分为任务规划、概念设计、结构设计、施工设计四个阶段;工艺设计过程可划分为毛坯及定位形式确定、工艺路线设计、工序设计、刀、夹、量具设计等阶段;加工、装配过程可划分为 NC 编程、加工过程仿真、NC 加工、检测、装配、调试等阶段(见图 1-1)。

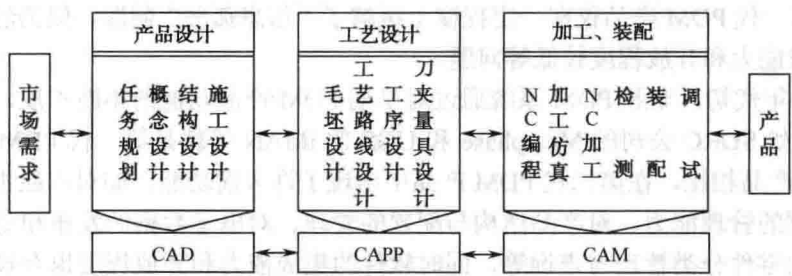


图 1-1 产品设计制造过程及 CAD/CAPP/CAM 过程链

在上述各过程、阶段内,随着信息技术的发展,计算机获得不同程度应用,并形成了相应的 CAD/CAPP/CAM 过程链。按顺序生产观点,这是一个串行的过程链,但按并行工程的观点考虑到信息反馈,这也是一个交叉、并行的过程。

另外,从市场变化的观点来看,产品又可以分为投入期、生长期、成熟期、饱和期和淘汰期,这是产品生命周期的概念。同时从产品全生命周期整体考虑,还应包括有关产品的研究阶段及市场超前的研究,所以产品的生命周期可分为产品研究、产品规划、产品设计、产品试制、

产品制造、产品销售、产品使用及产品报废、回收等阶段。随着计算机应用领域的日益扩大,当前不仅从事生产过程建模技术的研究,而且还面对产品的整个生命周期,从事产品生命周期建模技术研究,以便从根本上解决产品在设计、生产、组织管理、销售、服务等各个环节内产品数据的交换和共享问题。

1.4 CAD/CAM 系统的功能与任务

1.4.1 CAD/CAM 系统的基本功能

(1) 人机交互功能

在 CAD/CAM 系统中,人机接口是用户与系统连接的桥梁。采用友好的用户界面,是保证用户直接、有效地完成复杂设计任务的基本和必要条件,除此以外,还需有交互设备,以实现人与计算机之间的联络与通信过程。

(2) 图形显示功能

如上所述,CAD/CAM 是一个人机交互的过程。在这个过程中,用户的每一次操作都能从显示器上及时得到反馈,直到取得最佳的设计结果。

从产品的造型、构思、方案的确定,从结构分析到加工过程的仿真,系统应保证用户能够随时观察、修改中间结果,实时进行编辑处理。图形显示功能不仅能够对二维平面图形进行显示控制,还具有对三维实体进行处理等功能。

(3) 存储功能

CAD/CAM 系统运行时具有很大的数据量,且伴随着很多算法,将生成大量的中间数据,尤其是对图形的操作、交互式的设计、结构分析中的网格划分等。为保证系统能够正常的运行,CAD/CAM 系统必须配置容量较大的存储设备,以支持数据在各模块运行时的正确流通。工程数据库系统更要求具有储存较大空间的能力。

(4) 输入/输出功能

CAD/CAM 系统运行过程中,一方面用户需不断地将有关设计要求、计算步骤的具体数据等输入计算机内;另一方面通过计算机的处理,能够将系统处理的结果及时输出。这个输入/输出功能也是系统的基本功能。输入/输出的信息可以是数值,也可以是非数值,如图形数据、文本、字符等。

1.4.2 CAD/CAM 系统的主要任务

CAD/CAM 系统的主要任务是对产品设计以及制造全过程的信息进行处理。这些信息主要包括设计、制造中的数值计算,设计分析,工程绘图,几何建模,机构分析,计算分析,有限元分析,优化分析,系统动态分析,测试分析,CAPP,工程数据库的管理,数控编程,加工仿真等各个方面。

(1) 几何建模

产品设计构思阶段,系统能描述基本几何实体及实体间的关系;提供基本体素、构造实体的多种造型方法,以便为用户提供所设计产品的几何形状、大小,进行零件的结构设计以及零