



中国机械工程学科教程配套系列教材  
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

# CAD/CAE/CAM 方法与技术

杜平安 范树迁 编著  
葛 森 刘建涛

中国机械工程学科教程研究组

China Mechanical Engineering Curricula  
中国机械工程学科教程

清华大学出版社

清华大学出版社



中国机械工程学科教程配套系列教材  
教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

杜平安 范树迁 编著  
葛 森 刘建涛

# CAD/CAE/CAM

## 方法与amp;技术

清华大学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书系统阐述了机械 CAD/CAE/CAM 的基础理论、基本方法、关键技术及其集成方法。全书共 3 篇 14 章,第 1 篇为 CAD 技术,第 2 篇为 CAE 技术,第 3 篇为 CAM 技术,书中以目前广泛应用的 Pro/E、ANSYS、Mastercam 为例,介绍了三种技术的一体化应用方法。

本书强调理论与应用相结合,既重视方法与理论体系的建立,同时结合 CAD/CAE/CAM 技术的最新发展动态,注重知识的先进性、新颖性和可操作性。本书可作为高等院校机械类各专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAE/CAM 方法与技术/杜平安等编著.--北京:清华大学出版社,2010.3

(中国机械工程学科教程配套系列教材)

ISBN 978-7-302-21709-1

I. ①C… II. ①杜… III. ①机械设计:计算机辅助设计—高等学校—教材 ②机械制造—计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 243293 号

责任编辑:庄红权 洪 英

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:21 字 数:508 千字

版 次:2010 年 3 月第 1 版 印 次:2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:35.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:033482-01

中国机械工程学科教程配套系列教材暨教育部高等学校  
机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会推荐教材

# 编 委 会

顾 问  
李培根院士

主 任 委 员  
陈关龙 吴昌林

副主任委员  
许明恒 于晓红 李郝林 李 旦 郭钟宁

编 委(按姓氏首字母排列)  
韩建海 李理光 李尚平 潘柏松 芮执元  
许映秋 袁军堂 张 慧 张有枕 左健民

秘 书  
庄红权

我曾提出过高等工程教育边界再设计的想法,这个想法源于社会的反应。常听到工业界人士提出这样的话题:大学能否为他们进行人才的订单式培养。这种要求看似简单、直白,却反映了当前学校人才培养工作的一种尴尬:大学培养的人才还不是很适应企业的需求,或者说毕业生的知识结构还难以很快适应企业的工作。

当今世界,科技发展日新月异,业界需求千变万化。为了适应工业界和人才市场的这种需求,也即是适应科技发展的需求,工程教学应该适时地进行某些调整或变化。一个专业的知识体系、一门课程的教学内容都需要不断变化,此乃客观规律。我所主张的边界再设计即是这种调整或变化的体现。边界再设计的内涵之一即是课程体系及课程内容边界的再设计。

技术的快速进步,使得企业的工作内容有了很大变化。如从 20 世纪 90 年代以来,信息技术相继成为很多企业进一步发展的瓶颈,因此不少企业纷纷把信息化作为一项具有战略意义的工作。但是业界人士很快发现,在毕业生中很难找到这样的专门人才。计算机专业的学生并不熟悉企业信息化的内容、流程等,管理专业的学生不熟悉信息技术,工程专业的学生可能既不熟悉管理、也不熟悉信息技术。我们不难发现,制造业信息化其实就处在某些专业的边缘地带。那么对那些专业而言,其课程体系的边界是否要变?某些课程内容的边界是否有可能变?目前不少课程的内容不仅未跟上科学研究的发展,也未跟上技术的实际应用。极端情况甚至存在有些地方个别课程还在讲授已多年弃之不用的技术。若课程内容滞后于新技术的实际应用好多年,则是高等工程教育的落后甚至是悲哀。

课程体系的边界在哪里?某一门课程内容的边界又在哪里?这些实际上是业界或人才市场对高等工程教育提出的我们必须面对的问题。因此可以说,真正驱动工程教育边界再设计的是业界或人才市场,当然更重要的是大学如何主动响应业界的驱动。

当然,教育理想和社会需求是有矛盾的,对通才和专才的需求是有矛盾的。高等学校既不能丧失教育理想、丧失自己应有的价值观,又不能无视社会需求。明智的学校或教师都应该而且能够通过合适的边界再设计找到适合自己的平衡点。

我认为,长期以来,我们的高等教育其实是“以教师为中心”的。几乎所有的教育活动都是由教师设计或制定的。然而,更好的教育应该是“以学生

为中心”的,即充分挖掘、启发学生的潜能。尽管教材的编写完全是由教师完成的,但是真正好的教材需要教师在编写时常怀“以学生为中心”的教育理念。如此,方得以产生真正的“精品教材”。

教育部高等学校机械设计制造及其自动化专业教学指导分委员会、中国机械工程学会与清华大学出版社合作编写、出版了《中国机械工程学科教程》,规划机械专业乃至相关课程的内容。但是“教程”绝不应该成为教师们编写教材的束缚。从适应科技和教育发展的需求而言,这项工作应该不是一时的,而是长期的,不是静止的,而是动态的。《中国机械工程学科教程》只是提供一个平台。我很高兴地看到,已经有多位教授努力地进行了探索,推出了新的、有创新思维的教材。希望有志于此的人们更多地利用这个平台,持续、有效地展开专业的、课程的边界再设计,使得我们的教学内容总能跟上技术的发展,使得我们培养的人才更能为社会所认可,为业界所欢迎。

是以为序。



2009年7月

# 前言

## FOREWORD

随着计算机科学技术的发展,CAD/CAE/CAM 技术在产品研发过程中得到了广泛应用,使产品从设计、分析到制造的整个过程发生了深刻变化,极大地提高了产品质量和研发效率,已成为企业技术创新和开拓市场的重要技术手段。

本书系统介绍 CAD/CAE/CAM 的基础理论、基本方法、关键技术及其集成方法,强调三种技术的集成和综合应用。培养学生掌握 CAD/CAE/CAM 的方法体系和基本理论,掌握最新的 CAD/CAE/CAM 软件系统,使学生具备产品研发的基本能力和技能。本书基础理论与应用技术并重,可操作性强,强调方法与技术的结合。本书既注重学生知识体系的建立,更重视应用技能的培养。

本书共 3 篇 14 章。第 1 篇介绍 CAD 技术,包括第 2~6 章,分别介绍 CAD 的基本概念和方法以及参数化建模技术、特征建模技术和装配建模技术,并介绍了 Pro/E 软件的基本功能和使用方法。第 2 篇介绍 CAE 技术,包括第 7~10 章,分别介绍有限元法的基本概念、原理和有限元建模方法,并介绍了 ANSYS 软件的基本功能和使用方法。第 3 篇介绍 CAM 技术,包括第 11~13 章,分别介绍数控技术基础和数控编程方法,并介绍了 Mastercam 软件的基本功能和使用方法。第 1 章是对 CAD/CAE/CAM 的总体介绍,第 14 章介绍了 CAD/CAE/CAM 的集成方法。

本书第 1 章由 4 位作者共同编写,第 2~6 章和第 14 章由范树迁编写,第 7~9 章由杜平安编写,第 10 章由刘建涛编写,第 11~13 章由葛森编写。杜平安负责全书的统稿。

电子科技大学王启美教授认真审阅了全书的内容,并提出了许多宝贵的修改意见,在此表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,恳请读者批评指正!

编者  
2009 年 12 月

# 目 录

## CONTENTS

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>第 1 章 绪论</b> .....           | 1 |
| 1.1 产品开发过程 .....                | 1 |
| 1.2 CAD/CAE/CAM 技术 .....        | 1 |
| 1.3 CAD/CAE/CAM 的集成与一体化应用 ..... | 2 |
| 1.4 CAD/CAE/CAM 的集成方法 .....     | 3 |
| 1.5 常见 CAD/CAE/CAM 系统 .....     | 4 |

### 第 1 篇 CAD 技术

|                           |    |
|---------------------------|----|
| <b>第 2 章 CAD 概论</b> ..... | 9  |
| 2.1 CAD 概述 .....          | 9  |
| 2.1.1 CAD 定义 .....        | 9  |
| 2.1.2 CAD 技术的发展历程 .....   | 10 |
| 2.1.3 CAD 系统的组成 .....     | 12 |
| 2.2 现代 CAD 的技术特征 .....    | 14 |
| 2.2.1 参数化建模技术 .....       | 14 |
| 2.2.2 基于特征的建模技术 .....     | 14 |
| 2.2.3 全数据相关技术 .....       | 15 |
| 2.2.4 智能导航技术 .....        | 17 |
| 2.3 三维造型基础 .....          | 18 |
| 2.3.1 几何造型方法 .....        | 18 |
| 2.3.2 实体表示方法 .....        | 20 |
| 思考题 .....                 | 24 |

|                            |    |
|----------------------------|----|
| <b>第 3 章 参数化建模技术</b> ..... | 25 |
| 3.1 参数化建模概述 .....          | 25 |
| 3.1.1 参数化设计的约束 .....       | 26 |
| 3.1.2 参数化设计中的约束分类 .....    | 26 |
| 3.2 约束驱动的草图绘制 .....        | 27 |
| 3.2.1 草图的概述 .....          | 27 |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| 3.2.2 草图中的约束驱动与约束类型 ..... | 29        |
| 3.2.3 草图的绘制 .....         | 34        |
| 3.3 三维参数化设计 .....         | 37        |
| 3.3.1 参数化设计中的形状控制 .....   | 37        |
| 3.3.2 参数化设计方法 .....       | 39        |
| 思考题 .....                 | 41        |
| <b>第4章 特征建模技术 .....</b>   | <b>43</b> |
| 4.1 特征概述 .....            | 43        |
| 4.1.1 广义特征 .....          | 43        |
| 4.1.2 特征的分类与表达 .....      | 45        |
| 4.2 特征建模 .....            | 46        |
| 4.2.1 参数化设计软件中的特征 .....   | 46        |
| 4.2.2 特征建模方法 .....        | 50        |
| 4.3 特征建模技术的应用 .....       | 56        |
| 思考题 .....                 | 62        |
| <b>第5章 装配建模 .....</b>     | <b>64</b> |
| 5.1 装配建模概述 .....          | 64        |
| 5.1.1 装配建模原理 .....        | 64        |
| 5.1.2 装配建模方法 .....        | 64        |
| 5.1.3 装配建模的特点 .....       | 66        |
| 5.1.4 装配模型的表达 .....       | 67        |
| 5.2 装配约束分类 .....          | 68        |
| 5.2.1 匹配 .....            | 68        |
| 5.2.2 对齐 .....            | 70        |
| 5.2.3 插入 .....            | 72        |
| 5.2.4 相切 .....            | 72        |
| 5.2.5 坐标系 .....           | 73        |
| 5.2.6 线上点 .....           | 73        |
| 5.2.7 曲面上的点 .....         | 73        |
| 5.2.8 曲面上的边 .....         | 74        |
| 5.2.9 自动 .....            | 74        |
| 5.2.10 创建约束的注意事项 .....    | 74        |
| 5.3 零件的装配过程 .....         | 75        |
| 5.3.1 设置工作目录 .....        | 75        |
| 5.3.2 创建装配文件 .....        | 76        |
| 5.3.3 上板与下板的装配 .....      | 77        |
| 5.3.4 下板与螺栓的装配 .....      | 78        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 5.3.5 垫圈与螺栓、上板的装配 .....   | 79         |
| 5.3.6 螺母与螺栓、垫圈的装配 .....   | 79         |
| 思考题 .....                 | 80         |
| <b>第6章 CAD 的应用 .....</b>  | <b>81</b>  |
| 6.1 Pro/E 软件简介 .....      | 81         |
| 6.1.1 Pro/E 的特点 .....     | 81         |
| 6.1.2 Pro/E 的模块 .....     | 83         |
| 6.1.3 Pro/E 的界面组成 .....   | 84         |
| 6.2 应用实例 .....            | 87         |
| 思考题 .....                 | 94         |
| <b>第2篇 CAE 技术</b>         |            |
| <b>第7章 有限元法概论 .....</b>   | <b>97</b>  |
| 7.1 概述 .....              | 97         |
| 7.2 有限元法的基本概念 .....       | 98         |
| 7.3 有限元分析的基本过程 .....      | 99         |
| 7.4 有限元法的应用特点 .....       | 100        |
| 7.5 有限元法的应用 .....         | 101        |
| 思考题 .....                 | 105        |
| <b>第8章 平面问题有限元法 .....</b> | <b>106</b> |
| 8.1 弹性力学有关知识 .....        | 106        |
| 8.1.1 弹性力学中的物理量 .....     | 106        |
| 8.1.2 弹性力学基本方程 .....      | 108        |
| 8.1.3 平面问题 .....          | 111        |
| 8.2 平面问题的有限元法 .....       | 112        |
| 8.2.1 结构离散 .....          | 112        |
| 8.2.2 单元分析 .....          | 112        |
| 8.2.3 单元集成 .....          | 119        |
| 8.2.4 载荷移置 .....          | 122        |
| 8.2.5 约束处理 .....          | 123        |
| 8.2.6 求解线性方程组 .....       | 125        |
| 8.2.7 计算其他物理量 .....       | 125        |
| 8.2.8 计算结果处理 .....        | 125        |
| 8.2.9 结果显示、打印、分析 .....    | 126        |
| 8.2.10 小结 .....           | 126        |
| 思考题 .....                 | 127        |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>第9章 有限元建模方法</b>                 | 128 |
| 9.1 有限元建模概述                        | 128 |
| 9.1.1 有限元分析三个阶段                    | 128 |
| 9.1.2 有限元建模的重要性                    | 129 |
| 9.1.3 有限元模型的定义                     | 130 |
| 9.1.4 有限元建模的基本原则                   | 132 |
| 9.1.5 有限元建模的一般步骤                   | 134 |
| 9.2 几何模型的建立                        | 134 |
| 9.2.1 几何模型的定义                      | 134 |
| 9.2.2 形状处理方法                       | 135 |
| 9.3 单元类型及单元特性                      | 140 |
| 9.3.1 单元类型                         | 140 |
| 9.3.2 单元形状                         | 142 |
| 9.3.3 单元特性                         | 143 |
| 9.4 网格划分方法                         | 145 |
| 9.4.1 网格划分原则                       | 145 |
| 9.4.2 网格划分方法                       | 148 |
| 9.5 边界条件定义                         | 149 |
| 9.5.1 位移约束                         | 149 |
| 9.5.2 载荷                           | 151 |
| 思考题                                | 153 |
| <b>第10章 有限元法的应用</b>                | 154 |
| 10.1 有限元分析系统的发展与主要功能               | 154 |
| 10.1.1 有限元分析软件的发展                  | 154 |
| 10.1.2 有限元分析系统的主要功能                | 155 |
| 10.2 ANSYS 简介                      | 158 |
| 10.2.1 ANSYS 的技术特点                 | 159 |
| 10.2.2 ANSYS 用户界面                  | 160 |
| 10.2.3 ANSYS 文件概述                  | 161 |
| 10.3 ANSYS 的主要功能                   | 162 |
| 10.3.1 ANSYS 前处理模块(PREP7)          | 163 |
| 10.3.2 ANSYS 求解模块(Solution)        | 165 |
| 10.3.3 ANSYS 后处理模块(POST1 和 POST26) | 166 |
| 10.4 应用实例                          | 167 |
| 10.4.1 CAD 系统的接口                   | 168 |
| 10.4.2 有限元网格划分                     | 184 |
| 10.4.3 边界条件定义                      | 190 |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 10.4.4 有限元计算 ..... | 191 |
| 10.4.5 结果显示 .....  | 192 |

### 第 3 篇 CAM 技术

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第 11 章 数控技术基础 ..... | 199 |
|---------------------|-----|

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 11.1 绪论 .....             | 199 |
| 11.1.1 发展历史 .....         | 199 |
| 11.1.2 数控机床的工作原理和组成 ..... | 201 |
| 11.1.3 数控机床分类 .....       | 203 |
| 11.1.4 数控机床特点与适用范围 .....  | 206 |
| 11.2 插补原理 .....           | 207 |
| 11.2.1 插补的基本知识 .....      | 207 |
| 11.2.2 逐点比较插补法 .....      | 208 |
| 11.2.3 数字积分插补法 .....      | 215 |
| 思考题 .....                 | 221 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| 第 12 章 数控编程 ..... | 222 |
|-------------------|-----|

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 12.1 数控加工工艺分析 .....        | 222 |
| 12.1.1 数控机床坐标系 .....       | 222 |
| 12.1.2 刀具和切削用量的选择 .....    | 224 |
| 12.1.3 对刀点与换刀点的确定 .....    | 226 |
| 12.1.4 工序的划分及走刀路线的确定 ..... | 227 |
| 12.1.5 工艺文件的编制方法 .....     | 231 |
| 12.2 数控编程基础 .....          | 234 |
| 12.2.1 常用编程指令的应用 .....     | 234 |
| 12.2.2 数控加工编程的数值计算 .....   | 246 |
| 12.2.3 数控语言自动编程技术 .....    | 251 |
| 12.2.4 APT 语言 .....        | 252 |
| 12.2.5 图形交互自动编程技术 .....    | 263 |
| 12.2.6 数控加工过程仿真与验证 .....   | 265 |
| 12.2.7 后置处理与 DNC .....     | 268 |
| 思考题 .....                  | 273 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第 13 章 数控自动编程系统 ..... | 274 |
|-----------------------|-----|

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 13.1 Mastercam 系统简介 .....        | 274 |
| 13.1.1 Mastercam X 的主要功能模块 ..... | 274 |
| 13.1.2 Mastercam X 工作界面 .....    | 276 |
| 13.1.3 Mastercam 数控编程的步骤 .....   | 278 |

|               |                                |            |
|---------------|--------------------------------|------------|
| 13.2          | Mastercam 的共同参数 .....          | 279        |
| 13.2.1        | 设置加工工件毛坯 .....                 | 279        |
| 13.2.2        | 设置加工刀具 .....                   | 280        |
| 13.2.3        | 加工路径操作管理器 .....                | 284        |
| 13.3          | 二维铣削加工 .....                   | 287        |
| 13.4          | 三维曲面加工 .....                   | 292        |
| 13.5          | 综合加工实例 .....                   | 299        |
|               | 思考题 .....                      | 312        |
| <b>第 14 章</b> | <b>CAD/CAE/CAM 集成技术 .....</b>  | <b>313</b> |
| 14.1          | CAD/CAE/CAM 集成 .....           | 313        |
| 14.1.1        | CAD/CAE/CAM 集成技术背景 .....       | 313        |
| 14.1.2        | CAD/CAE/CAM 集成的方式 .....        | 313        |
| 14.1.3        | CAD/CAE/CAM 集成中的产品数据交换标准 ..... | 315        |
| 14.2          | CAD/CAE/CAM 单元系统集成方法的应用 .....  | 318        |
| 14.2.1        | Pro/E 的集成方法 .....              | 318        |
| 14.2.2        | ANSYS 的集成方法 .....              | 319        |
| 14.2.3        | Mastercam 的集成方法 .....          | 320        |
|               | 思考题 .....                      | 321        |
|               | <b>参考文献 .....</b>              | <b>322</b> |

## 绪 论

## 1.1 产品开发过程

产品开发过程大体分为设计、分析和制造三个主要环节,如图 1-1 所示。

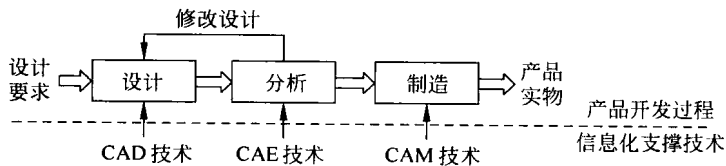


图 1-1 产品开发过程

设计是对产品的功能、性能、材料等内容进行定义,其主要结果是对产品形状和大小的几何描述。传统设计的几何描述方式是工程视图,载体为图纸。现代设计的几何描述方式主要采用三维几何模型,载体为计算机。

分析是对产品的功能和性能进行预测和验证,以保证产品在制造以后能够实现预期功能和满足各种性能指标。分析是保证产品质量的重要环节,是评估设计方案、优化产品结构的重要手段。

制造是利用生产系统将设计结果转化为产品实物的过程,主要包括工艺设计、生产调度、加工、装配、检测等环节。

## 1.2 CAD/CAE/CAM 技术

计算机技术的发展推动了各个行业的信息化,制造业也不例外。CAD、CAE、CAM 技术是分别支撑设计、分析和制造环节的信息化方法和手段,见图 1-1。

## 1. CAD 技术

CAD 是计算机辅助设计(computer aided design)的简称,是利用计算机协助人进行设计的一种方法和技术。它用计算机代替传统的图板,充分借助计算机的高速计算、大容量存储和强大的图像处理功能分担人的部分劳动,以使设计者将主要精力集中于设计的创造性

工作,从而大大提高设计效率。

早期 CAD 的概念比较广泛,主要包括图形表示、工程计算和设计管理等工作。图形表示描述产品的结构(形状和尺寸),是 CAD 的基础和核心。工程计算是对产品性能进行分析,以保证产品质量。设计管理是对设计数据和过程进行信息化管理,以提高设计效率。随着计算机技术的深入研究和应用范围的不断拓宽,人们又将工程分析内容纳入 CAE、把设计数据和过程管理纳入 PDM(product data management)进行专门研究,所以 CAD 的内容主要集中在产品结构的图形表示方面。因此 CAD 系统的主要任务是建立产品的几何模型,内容包括模型的表示、建立、存储、变换、运算、显示等。

## 2. CAE 技术

CAE 是计算机辅助工程(computer aided engineering)的简称,是利用计算机从事工程分析的方法和技术。CAE 实质上是一种数值计算方法,是在计算机上完成的“分析”,因此又称为数值仿真技术,其作用是预测产品性能,为产品结构优化提供依据和手段。

工程分析的内容很多,如产品的运动与动力学特性分析、强度与刚度分析、振动特性分析、热特性分析、电磁屏蔽特性分析等,而不同的内容基于不同的原理和数值方法,因此广义的 CAE 技术可能包括种类繁多的分析方法。有限元法作为一种有效的数值方法,可用于结构、流体、温度、电磁等物理场的分析,已在航空航天、汽车、机械、电子等行业得到广泛应用,成为目前应用最广的一种数值计算方法。因此,在软件业内 CAE 软件被很多人直接认为是有限元分析软件,或将有限元分析软件称为 CAE 软件。为此本书将介绍有限元法的基本原理和应用。

## 3. CAM 技术

CAM 是计算机辅助制造(computer aided manufacturing)的简称,是利用计算机协助人进行制造活动的一种方法和技术。广义的 CAM 是指利用计算机所完成的一切与制造过程相关的方法和技术,涵盖工艺设计、生产规划、制造执行等过程。由于这些环节又有专门的技术和方法,如计算机辅助工艺规划(CAPP)、企业资源规划(ERP)、制造执行系统(MES)等,因此目前广泛采用狭义的 CAM 概念。狭义的 CAM 是指利用计算机辅助完成零件数控加工程序的编制,主要内容包括工艺参数设置、加工方法选择、加工路径定义、加工过程仿真与碰撞检验、加工代码生成与后处理等。

# 1.3 CAD/CAE/CAM 的集成与一体化应用

CAD、CAE、CAM 是分别支撑设计、分析和制造环节的单元信息化技术,它们具有各自独特的功能,同时具有内在的联系。将 CAD、CAE、CAM 技术有机集成,实现三种技术的一体化应用,是进一步提高产品开发效率的有效途径。

在三种技术中,CAD 系统提供产品的几何模型(包括零件模型和产品装配模型),CAE 系统基于几何模型定义分析模型(如有限元网格的自动划分),CAM 系统则利用几何模型

定义刀具轨迹,因此几何模型是三者联系的纽带,如图 1-2 所示。

由图 1-2 可见,产品的几何模型是 CAE、CAM 系统工作的基础。如果三种系统彼此孤立(称为自动化孤岛),CAE、CAM 系统在工作之前势必重新建立几何模型,这就会造成大量重复劳动,从而降低产品开发效率。因此人们自然希望 CAD 系统产生的几何模型能为 CAE、CAM 系统所重用,即 CAD 模型能够完整地自动传送到 CAE、CAM 系统,这种自动传送的机制就是 CAD/CAE/CAM 的集成方法。

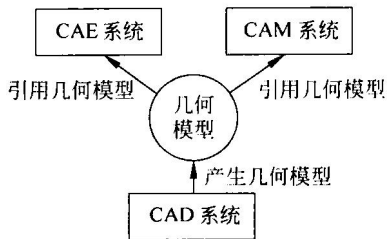


图 1-2 CAD、CAE、CAM 系统的关系

对于集成的 CAD/CAE/CAM 系统,几何模型能在三种系统之间自动传送和共享,因此设计、分析、制造过程能够有机联系在一起。设计结果很快能得到分析和制造工艺的验证,分析结果也能及时指导设计方案的修改,因此形成了以几何模型为中心的 CAD/CAE/CAM 一体化应用。

对于 Pro/E、I-DEAS、UG、CATIA 等集成化应用软件,其内部本身包括设计、分析和制造功能,三种活动可以在统一的平台下同时运行,且内部统一的数据结构保证了设计数据、分析数据和制造数据的一致性和相关性,因此保证了三种过程的联动。即设计数据的更改会自动影响分析模型和制造数据,同时分析、制造环节对设计数据的修改也会自动反映到设计模型,这种产品数据的全相关性是实现网络环境下并行设计的基础。

## 1.4 CAD/CAE/CAM 的集成方法

CAD/CAE/CAM 集成的关键是 CAD、CAM、CAE 各系统之间的信息自动交换与共享。集成化的 CAD/CAE/CAM 系统借助于工程数据库技术、网络通信技术以及标准格式的产品数据接口技术,把分散于不同机型的各个 CAD、CAE、CAM 子系统高效、快捷地集成起来,实现软、硬件资源共享,保证整个系统内信息的流动畅通无阻。

CAD/CAE/CAM 系统的数据交换和集成方法通常有松散集成方法、中性文件集成方法以及共享数据库集成方法,每种方法在系统集成技术的应用和发展过程中都具有重要的作用。

松散集成方式也称接口集成方式,是指各系统建立的产品模型各不相同,相互间的数据交换需要在每两个系统间建立专用的一对一接口进行数据格式转换。

中性文件集成方式是指存在一个与各系统无关的中性文件格式(如 IGES、STEP 等规范文件格式),各系统的数据均转变成标准格式的中性文件,每个系统只与标准格式文件有关,而与其他系统的细节无关。

共享数据库方式是指各个系统在一个统一的产品数据模型指导下,通过数据库存取接口在集成的产品数据库内存取各种产品数据,同一对象的数据在数据库中只存在一份,各系统对它操作的一致性由数据库保证。

详细的集成方法介绍请见第 14 章。

## 1.5 常见的 CAD/CAE/CAM 系统

CAD/CAE/CAM 技术已诞生了半个多世纪,随着计算机技术的飞速发展,CAD/CAE/CAM 技术也得到了快速发展。特别是进入 20 世纪 90 年代以来,三维 CAD 技术、具有自动分网功能的有限元分析技术、图形化 NC 编程技术得到广泛应用,涌现了一批功能强大的 CAD/CAE/CAM 系统,推动了 CAD/CAE/CAM 技术进入了一个新的技术水平和应用阶段。

目前全球有很多商业化的 CAD/CAE/CAM 系统,它们具有各自的技术特点和优势,并在不同行业都得到应用。从功能角度来看,这些系统可以分为两类。

一类是以单一功能为主的 CAD、CAE 或 CAM 系统,如 AutoCAD、SolidEdge、SolidWorks 等主要以设计为主,ANSYS、MSC/Nastran、ABAQUS 等为专业有限元分析软件,Mastercam 则主要面向制造。这类系统的特点是专业化强、功能突出,特别是专业有限元分析软件的分网和计算能力很强。

另一类为集成的 CAD/CAE/CAM 软件系统,如 Pro/E、I-DEAS、UG、CATIA 等,这类软件以设计功能为主,集成了部分分析和制造功能。其特点是几种功能统一在同一软件平台下,各类数据传输方便,功能无缝集成,易于实现设计、分析和制造的并行,但分析和制造功能不及专业软件强。

表 1-1 列出了目前世界上常见的 CAD/CAE/CAM 系统。

表 1-1 常见的 CAD/CAE/CAM 系统

| 系统名称       | 开发公司                                             | 类 别     | 特 点                                                                           |
|------------|--------------------------------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Pro/E      | 美国 PTC 公司                                        | 集成化应用软件 | 率先推出参数化设计技术,设计以参数化为特点,基于特征的参数化设计功能,大大提高了产品建模效率。兼有有限元分析和 NC 编程功能,但分析能力一般       |
| UG         | 美国 UGS 公司<br>(现被西门子公司收购)                         | 集成化应用软件 | 采用将参数化和变量化技术与实体、线框和表面功能融为一体的复合建模技术,有限元分析功能需借助专业分析软件的求解器,CAM 专用模块的功能强大         |
| CATIA      | 法国 DS 公司与<br>美国 IBM 公司                           | 集成化应用软件 | 率先采用自由曲面建模方法用于三维复杂曲面建模,其加工编程方面极具优势,有限元分析功能需借助专业分析软件的求解器                       |
| I-DEAS     | 美国 SDRC 公司<br>(被 UGS 公司收购,<br>UGS 现被西<br>门子公司收购) | 集成化应用软件 | 采用业界最具革命性的 VGX 超变量化技术,率先推出主模型技术实现设计、分析与制造环节的无缝集成,在 CAD/CAE/CAM 一体化技术方面一直居世界首位 |
| SolidWorks | 美国 SolidWorks<br>公司                              | 集成化应用软件 | 具有特征建模功能,自上而下和自下而上的多种设计方式;可动态模拟装配过程,在装配环境中设计新零件;兼有有限元分析和 NC 编程功能,但分析和数控加工能力一般 |