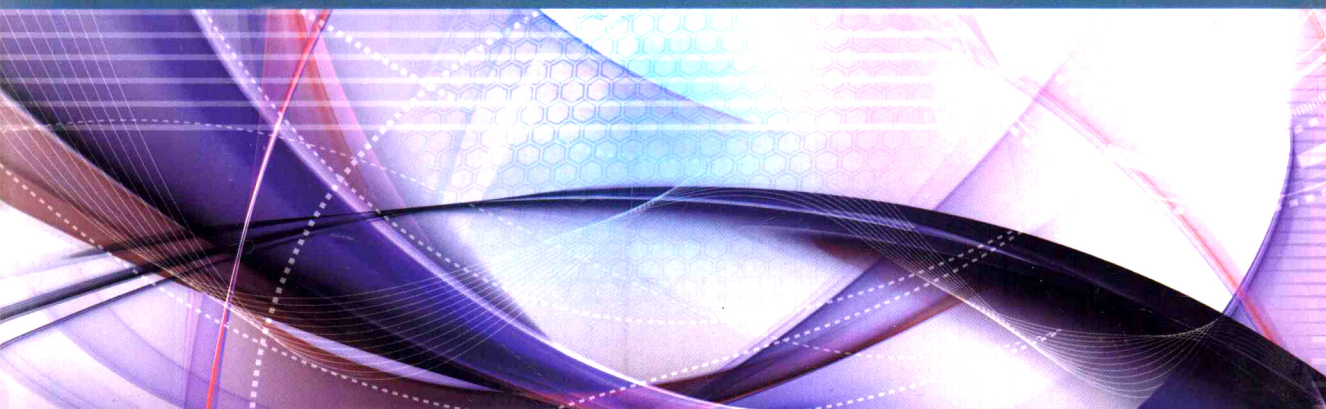


普通高等教育“十二五”规划教材

INTRODUCTION  
OF MODERN DESIGN  
METHODS (2ND EDITION)

现代设计方法概论  
(第2版)



INTRODUCTION OF MODERN DESIGN METHODS (2ND EDITION)

覃文洁 程颖 主编

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

本书第一版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 现代设计方法概论

第2版

覃文洁 程 颖 主编



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书概述了现代设计的特点和现代设计方法的概念,重点对其中应用广泛、发展比较成熟的 CAD 技术、有限元法、可靠性设计及优化设计等方法的基本原理进行了介绍。同时,为了加强对学生在技术应用及操作能力方面的培养,在介绍了每一种方法的基础理论知识之后,都紧接着给出了有关通用软件工具的操作、运用现代设计方法进行产品分析设计的实例以及实习指导,目的是将方法的学习与工程设计实践更紧密地结合起来。

本书可作为高等工科院校机械类专业以及汽车、内燃机等专业本科学生的教材和教学参考书,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

现代设计方法概论 / 覃文洁, 程颖主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2012. 11

ISBN 978 - 7 - 5640 - 6907 - 0

I. ①现… II. ①覃…②程… III. ①机械设计 - 高等学校 - 教材  
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 243448 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 367 千字

版 次 / 2012 年 11 月第 2 版 2012 年 11 月第 1 次印刷 责任编辑 / 陈 竑

印 数 / 1 ~ 3000 册 责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 34.00 元 责任印制 / 王美丽

---

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

# 前 言

高等工程教育是以培养能将科学技术转化为生产力的工程技术人才为基本任务的专业教育。在科学技术突飞猛进的今天，特别是电子计算机的出现及其相关技术的大量应用，使得现代工程的科学性、创新性和复杂性日益突出，工程设计也由过去相对经验的、感性的、以人工为主的传统设计发展成为更加科学、理性和计算机化的现代设计，这就对工程教育提出了通过现代设计方法培养学生具备现代设计能力的要求。

现代设计方法的核心，是数学、力学等基础科学和计算机技术在产品规划、分析、优化、模拟、评估等各个产品设计环节中的应用，是包含诸多学科的理论知识和多种设计技术的方法集合，其中每一种方法又都包含自成体系的理论或技术，要通过一门课程的学习掌握所有的方法是不现实也是没有必要的。考虑到本书是作为大学本科学生的学习用书，因此仅选取了现代设计方法中应用广泛、发展比较成熟的 CAD 技术、有限元法、可靠性设计及优化设计进行重点介绍。此外，在绪论中对现代设计的概念、特点和一些具体方法进行了简要介绍，目的是让学生对现代设计方法有个总体的认识。

在本书的编写过程中，力求理论知识部分“少而精”，坚持“必须”和“够用”的原则，同时将学理与致用结合起来，加强了技术应用实践环节的培训。因此在内容安排上除了基础理论知识的介绍以外，还包括有关通用软件的操作、运用现代设计方法进行产品分析设计的实例以及实习指导，满足基本知识和技能训练的需要。比如，在 CAD 技术中就包括运用几何造型软件进行产品三维设计技术的介绍，有限元法中包括采用商品化软件进行有限元分析的基本步骤及示例介绍，而可靠性设计、优化设计部分则包含了基于有限元分析进行零件可靠度计算、结构优化的示例，从而将这些方法的学习更紧密地与工程设计实践结合起来。

本书的内容包括：绪论、计算机辅助设计（第 1~5 章）、有限元法（第 6~10 章）、可靠性设计（第 11~15 章）、优化设计（第 16~20 章）五个部分，其中绪论、计算机辅助设计和优化设计部分由覃文洁执笔，有限元法和可靠性设计部分由程颖执笔。本书可作为高等工科院校机械专业以及汽车、内燃机等专业本科学生的教材和教学参考书。

本书由作者讲授的同名课程讲义整理成稿，在这个过程中得到了许多资深教师的指点和学生的帮助，在此向他们表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免有疏漏不足之处，恳请广大读者、专家不吝赐教。

编 者

# 目 录

|          |   |
|----------|---|
| 绪论 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第 I 部分 计算机辅助设计

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第 1 章 CAD 概述 .....     | 5  |
| 1.1 CAD 的概念 .....      | 5  |
| 1.2 CAD 系统的功能及特点 ..... | 5  |
| 1.3 CAD 的发展情况 .....    | 6  |
| 第 2 章 CAD 系统的组成 .....  | 8  |
| 2.1 CAD 系统的硬件 .....    | 8  |
| 2.2 CAD 系统的软件 .....    | 10 |
| 第 3 章 数据结构与数据管理 .....  | 15 |
| 3.1 数据与数据结构 .....      | 15 |
| 3.2 数 据 库 .....        | 18 |
| 3.3 数据交换标准 .....       | 20 |
| 3.4 产品数据管理 .....       | 23 |
| 第 4 章 计算机绘图 .....      | 26 |
| 4.1 图形软件 .....         | 26 |
| 4.2 计算机图形处理技术 .....    | 26 |
| 4.3 AutoCAD 绘图 .....   | 30 |
| 第 5 章 产品的三维设计 .....    | 34 |
| 5.1 几何造型 .....         | 34 |
| 5.2 特征造型 .....         | 37 |
| 5.3 Pro/E 零件设计 .....   | 39 |
| 习题 .....               | 46 |
| 上机实习 I .....           | 47 |

## 第 II 部分 有限元法

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 6 章 有限元法概述 .....    | 52 |
| 6.1 有限元法的基本思想 .....   | 52 |
| 6.2 有限元法在工程中的应用 ..... | 53 |
| 6.3 有限元法求解引例 .....    | 53 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 6.4 有限元法求解的基本步骤               | 58  |
| <b>第7章 弹性力学基本理论</b>           | 59  |
| 7.1 弹性力学的基本方程                 | 59  |
| 7.2 平面问题的基本理论                 | 61  |
| 7.3 虚位移原理及最小势能原理              | 64  |
| <b>第8章 有限元法基本原理</b>           | 65  |
| 8.1 连续体离散化                    | 65  |
| 8.2 单元分析                      | 67  |
| 8.3 单元刚度矩阵                    | 72  |
| 8.4 载荷移置                      | 74  |
| 8.5 总体平衡方程与总刚度矩阵              | 76  |
| 8.6 约束处理及求解                   | 81  |
| 8.7 动力问题的有限元分析                | 81  |
| <b>第9章 有限元分析软件</b>            | 85  |
| 9.1 有限元软件技术                   | 85  |
| 9.2 有限元分析软件举例——ANSYS          | 87  |
| <b>第10章 有限元分析软件 ANSYS 的应用</b> | 92  |
| 10.1 ANSYS 在机械结构静力分析中的应用      | 92  |
| 10.2 ANSYS 在机械结构动力分析中的应用      | 102 |
| 习题                            | 113 |
| 上机实习 II                       | 114 |

## 第Ⅲ部分 可靠性设计

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>第11章 可靠性设计概述</b>    | 124 |
| 11.1 可靠性的概念和特点         | 124 |
| 11.2 可靠性研究的发展          | 125 |
| 11.3 可靠性学科研究范畴         | 126 |
| 11.4 可靠性设计常用概率分布       | 127 |
| <b>第12章 可靠性设计的常用指标</b> | 129 |
| 12.1 故障密度函数            | 129 |
| 12.2 故障率函数             | 129 |
| 12.3 故障分布函数            | 129 |
| 12.4 可靠函数              | 130 |
| 12.5 四种基本函数间的关系        | 130 |
| 12.6 典型的故障率曲线          | 131 |
| 12.7 平均寿命              | 132 |

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 第 13 章 可靠性设计原理 .....          | 134 |
| 13.1 应力—强度模型 .....            | 134 |
| 13.2 应力—强度模型求可靠度的一般公式 .....   | 135 |
| 13.3 常用应力—强度分布的可靠度计算公式 .....  | 136 |
| 13.4 随机变量的统计特征值的近似计算 .....    | 138 |
| 第 14 章 零部件的可靠性设计 .....        | 141 |
| 14.1 可靠性与安全系数 .....           | 141 |
| 14.2 设计所需的部分数据和资料 .....       | 144 |
| 14.3 静强度的可靠性设计 .....          | 149 |
| 14.4 疲劳强度的可靠性设计 .....         | 151 |
| 14.5 基于 ANSYS 进行结构可靠性分析 ..... | 157 |
| 第 15 章 系统的可靠性设计 .....         | 161 |
| 15.1 常用的系统可靠性预计模型 .....       | 161 |
| 15.2 系统可靠性分配 .....            | 163 |
| 15.3 机械系统故障树分析 .....          | 166 |
| 习题 .....                      | 171 |
| 附表 .....                      | 172 |
| 上机实习 III .....                | 173 |

## 第 IV 部分 优化设计

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第 16 章 优化设计概述 .....       | 181 |
| 16.1 优化设计的概念 .....        | 181 |
| 16.2 优化设计的发展概况 .....      | 181 |
| 16.3 优化设计的基本过程 .....      | 182 |
| 第 17 章 优化设计的建模 .....      | 185 |
| 17.1 优化设计的数学模型 .....      | 185 |
| 17.2 优化设计建模的基本原则 .....    | 186 |
| 17.3 优化设计建模实例 .....       | 187 |
| 第 18 章 优化设计问题的基本解法 .....  | 190 |
| 18.1 解析方法 .....           | 190 |
| 18.2 数值计算方法 .....         | 193 |
| 第 19 章 优化设计的非线性规划方法 ..... | 195 |
| 19.1 无约束优化的一维搜索方法 .....   | 195 |
| 19.2 多维无约束优化方法 .....      | 202 |
| 19.3 约束优化方法 .....         | 213 |
| 第 20 章 结构优化设计 .....       | 221 |
| 20.1 结构优化的常用算法 .....      | 221 |

---

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 20.2 结构的尺寸优化、形状优化及拓扑优化 ..... | 223 |
| 20.3 基于有限元分析的结构优化示例 .....    | 225 |
| 习题 .....                     | 231 |
| 上机实习IV .....                 | 232 |
| 参考文献 .....                   | 244 |

# 绪 论

## 1. 关于设计

### 1) 设计的概念

设计是具有高级思维能力的人的本能。人类为了适应生存环境和发展自身,出现了各种精神和物质上的需求,为了满足这些需求,人们需要通过创造性的思维产生构思,并采取一定的技术途径实现这些构思,这个过程就是设计。因此,可以说从人类诞生之日,就孕育了设计的萌芽,设计活动就是人类文明的创造活动,它不论是在精神财富还是在物质财富的创造中都起到了重要作用。

设计的领域非常广阔,日本的川添登在其《什么是设计》一书中,按照人与社会、自然之间的关系,将设计分为三类——产品设计、传播设计和环境设计。

(1) 产品设计是指人与自然关系中为维持与发展自身、征服自然、改造自然过程中所需的工具、机器的设计,如发动机、汽车、机床的设计等。

(2) 传播设计是实现人与社会之间信息的传递表达的设计,如广告设计、路标设计、印刷设计等。

(3) 环境设计则是指处于自然界中的人类社会所必需的物质环境装备的设计,如城市规划,以及房屋、道路、桥梁的设计等。

上述三类设计的侧重点各不相同,但并不是完全分离的,而是有着密切的联系甚至重叠。比如服装设计是一种产品设计,但如果它着眼于文化、时尚等元素的话,则又是一种传播设计。许多建筑物的设计也同时是环境设计和传播设计。

设计有难有易,有的不需要特殊的知识或技能,只要受过普通技术训练的设计者就能完成,比如设计一个搁置物品的简易支架,利用已有材料做简单的拼装就能实现;有的需要设计者受过更多的科技培训或具备专门的理论、知识和经验,比如设计一台新的发动机,它的原理、功能与已有发动机相同,但从总体到零部件都需要重新计算分析,设计师如果没有受过专门的训练是无法胜任的;有的设计需要采用全新的原理创造出具有全新功能的产品,比如第一台蒸汽机的出现、计算机的诞生等。从这个角度来看,可以把设计分为三个层次——适应性设计、改型设计和开发性设计。

(1) 适应性设计是对现有设计的局部改造,通常是对产品尺寸的修改。

(2) 改型设计是从现有设计的工作原理和功能结构出发,改变产品的结构配置和尺寸,或改进材料工艺。

(3) 开发性设计则是采用新技术,创造新构思,设计出具有新的工作原理和功能结构的产品。

工程中大部分设计都属于前两个层次,只有很少的部分属于全新设计。

### 2) 设计的过程

设计是一个设计—评价—再设计的反复实验过程,一般包含以下几个步骤:

(1) 需求分析 进行调查研究、搜集资料,分析客户的要求或企业自身的发展,提出对

现有产品的改进或开发新产品的需要。

(2) 方案设计 设计者首先根据需求分析,选择合适的科学原理和构造原理,研究满足产品功能要求的总体结构、几何尺寸和材料,制定出初步的设计方案。

(3) 分析预测 建立产品的初步设计模型,进行性能预测、机构分析、强度分析及优化设计,对初步方案进行修改。

(4) 详细设计 进一步确定产品各部分的详细几何形状和尺寸,完成产品的详细设计。

(5) 试制加工 进行产品样机的试制加工,对样机进行性能试验和用户测试,如果设计不满足要求,则需要修改方案或详细设计。

(6) 产品定型 如果设计满足产品的各项要求,就可以最终定型。

### 3) 从传统设计到现代设计

早期,人们是从自然现象中获得启示,或凭直观感觉来进行设计的。到了17世纪,人们除了依靠个人的才能和经验外,开始运用数学、力学等方面的知识来解决设计中的一些问题,进行一些基本的设计计算。随着工业革命的到来,生产方式发生了巨大变化,促使人们加强了设计基础理论和各种专业产品设计的研究,以提高设计水平;同时还加强了零件的标准化、部件的通用化以及产品的系列化研究,以进一步提高设计的速度、质量,降低设计成本。在计算机出现以前,人们就已经把各种产品设计的经验总结成有关的设计理论、设计步骤和设计手册等,这种设计通常称之为传统设计。

随着科学技术的发展和人们需求的不断提高,促使设计的内涵和外延不断深化和扩展。从20世纪60年代末开始,设计领域相继出现了一系列新的设计思想、理论与方法,使设计变得更加科学、理性和高效,为了与之前相对经验的、感性的、以人工为主的传统设计相区别,人们称之为“现代设计”。

## 2. 现代设计

现代设计是为了满足现代人类的各种需求,以现代化大工业手段所生产的产品为对象,综合了功能、技术、材料、经济、安全、社会、审美等因素所做的设计,以使产品与使用者之间取得最佳匹配的创造性活动。与传统设计相比,它具有以下一些特点:

从设计的手段来看,传统设计是以人工方式为主的,而现代设计则充分利用电子计算机,集分析、计算、绘图、数据管理于一体,功能强大的软件使得设计工作不断更新,自动化程度不断提高,大大提高了设计的精度和效率。

从设计的范畴来看,传统设计仅限于从方案设计到出产品图这个阶段,现代设计则贯穿产品的全生命周期——从市场预测、需求分析到制造加工,再到使用维护直至报废。

从设计的内容来看,传统设计往往强调产品的物质功能,忽视精神功能。而现代设计则是在强调产品的实用性之外,也注重其艺术性,同时还研究人的生理和心理特征,考虑人一机一环境之间的协调关系。

从设计的方式来看,传统设计是经验的、类比的设计,对于许多问题都无法做出定量的回答。而现代设计则充分利用数学和其他科学的发展成果,建立各种问题的数学模型,并运用电子计算机来求解从前难以处理的复杂方程,从而获得定量的结论,同时也大大提高了设计计算的精度。

从设计考虑的工况来看,传统设计仅考虑确定工况,并且以静态分析为主。现代设计不仅可以对产品进行动力学建模,计算产品的动态特性,进行动态设计和结构改进;还可以通

过建立数值样机,模拟产品的工作过程,研究更接近于实际的动态工况。

从设计的结果来看,传统设计属于自然优化,它获得的结果是在有限的设计方案中选出较好的方案。这种“优选”的方法,在很大程度上受到时间、条件和设计人员经验的限制,所得结果往往只是一个认可的方案,并不是一个最优方案。现代设计方法可以借助于电子计算机的高速计算能力和逻辑判断能力,从大量的可行设计方案中寻找出一种最优的设计方案,从而用优化设计代替一般安全寿命的可行性设计。

从设计的评价来看,传统设计采用确定性的设计准则,没有考虑事物的不确定性,因而不能反映客观实际情况。现代设计则把产品的各种参数以及载荷、负载等均视为随机变量,根据概率论和统计学理论,进行可靠性设计,定量地回答产品在使用过程中的可靠程度,预测产品的寿命。对某些设计目标如美观、安全性、舒适度等采用“模糊概念”,进行科学的模糊综合评判。

### 3. 现代设计方法

方法是为达到规定目的所采用的途径,现代设计方法就是进行现代设计所采用的途径,包括一些通用的方法和专业领域的专门方法。下面是在工程设计的一般进程中用到的一些通用方法:

(1) 创新设计 设计过程是使产品由初始状态通过单步或多步变换实现或接近理想状态的过程。如果实现变换的所有步骤都已知,则称为常规问题;如果至少有一步未知,则称为发明问题。解决发明问题的设计就是创新设计。

创新设计离不开创新性思维和创造技法。创新性思维是创造的基础,创造技法则是通过对广泛的创造活动概括总结而得到的创造发明的技巧和手段,它有助于人们在设计过程中提出新问题,形成新概念,产生新设想。

(2) 智能设计 将知识系统的处理能力与常规计算机辅助设计系统的计算分析能力、数据库管理能力、图形处理能力等有机地结合起来,协助设计者进行设计。

智能设计是以智能工程为基础的,而智能工程就是研究如何用知识模型代表人类社会的决策活动,如何用计算机系统来处理这些知识模型,从而实现决策的自动化。一个完善的智能设计系统一般包含知识处理、计算分析、数据管理以及图形处理等基本功能。

(3) 反求设计 以先进产品的实物、软件(图样、程序、技术文件等)或影像(图片、照片等)作为研究对象,应用相关专业知识和设计方法,进行系统地分析研究,探索掌握其关键技术,进而开发出同类产品。

(4) 系统化设计 把设计对象看作是一个系统,用系统工程的概念进行分析和综合,并按系统开发的进程进行设计,以求获得最佳的设计方案。

系统工程将事物当作整体系统进行研究,分析系统各组成部分的有机联系以及系统与外界环境的关系。系统的主要特征是整体性和可分解性。将系统分解成元素来进行分析,可以使复杂问题得以简化;另一方面,通过一些元素的组合又可以形成具有特定功能的系统,从而为解决问题提供了更广阔的空间。比如进行产品的原理方案设计,采用系统化设计就可以从功能分析入手,通过总功能分解、功能元求解和功能元解的组合形成多种原理方案,经评价筛选后得到最佳方案。

(5) 价值工程 以功能分析为核心,以科学分析为工具,寻求功能与成本的最佳比例,以获得最优价值的一种设计方法或管理科学。

价值工程设计的基本步骤是：了解设计对象，明确要求功能，分析成本的组成，进行价值初评，制定改进方案，获得价值最高的产品。

（6）模块化设计 模块是具有一定功能和特定结合要素的零件、组件或部件。模块化设计一是设计模块——根据设计要求进行功能分析并创建模块，二是根据设计要求将一组模块合理地组合成产品。

（7）相似性设计 人们在长期探索自然规律的过程中，逐渐形成了针对各种相似现象的相似方法和相似理论，可以把个别现象的研究结果推广到相似的现象上去。目前在大型复杂设备和结构的设计过程中，一般都要在相似理论的指导下，通过模化方法和模型试验，使方案取得合理参数，预测设备性能。

（8）优化设计 将工程设计问题转化为最优化问题，利用数学规划等方法，借助于计算机的高速运算和逻辑判断能力，从满足设计要求的一切可行性方案中，按照预定的目标自动寻找最优设计的一种设计方法。

（9）可靠性设计 为保证所设计产品的可靠性而采用的一系列分析与设计技术，在预测和预防产品所有可能发生的故障的基础上，使所设计的产品达到规定的可靠性目标值。

（10）有限元法 其基本思想是将连续的求解区域离散为一组有限个、按一定方式相互连接在一起的单元的组合物体，利用每个单元内假设的近似函数来分片地表示全求解域上待求的未知场函数。这样就使一个连续的无限自由度问题变成离散的有限自由度问题，而且由于单元能按不同的连接方式进行组合，单元本身又可以有不同形状，所以可以模型化几何形状复杂的求解域。又由于单元形状简单，易于建立结点量之间的方程式——单元方程，然后组集各个单元方程形成总体方程，计入边界条件后进行求解，整个过程易于采用计算机进行规范化的操作得以实现。

（11）产品造型设计 用艺术手段按照美学法则对产品进行造型工作，使产品在保证使用功能的前提下，具有美观、富于表现力的审美特性。

产品的造型设计包含三个要素，其中使用功能是产品造型的出发点和产品赖以生存的主要因素，艺术形象是产品造型的主要成果，物质技术条件是产品功能和外观质量的物质基础。

（12）人机工程 从系统论的观点出发，研究人一机系统（操作者及其工作对象和环境）中人、机之间的交互作用，研究人的生理和心理特征，合理分配人与机器的功能，正确设计人、机界面，使人、机相互协调，发挥最大潜能。

# 第 I 部分 计算机辅助设计

## 第 1 章 CAD 概述

### 1.1 CAD 的概念

计算机辅助设计简称 CAD (Computer Aided Design), 是一种运用计算机软硬件系统辅助人们进行设计的方法与技术, 包括几何造型、绘图、工程分析与文档制作等设计活动, 是一门多学科综合应用的技术。

从设计方法学的角度来看, 设计过程可分为若干个阶段, 各阶段又可划分为若干个步骤。CAD 采用计算机为工具可以帮助设计人员完成设计过程中的大部分活动, 比如利用数据库来查阅已有的设计资料和数据, 利用专家系统等人工智能手段来帮助建立设计方案, 利用计算机强大的计算能力进行性能预测、强度分析和优化设计, 利用计算机的图形处理功能帮助设计者进行产品几何形状的修改、确定以及输出图纸。在上述这些活动中, CAD 的目的是追求设计的自动化, 但并不排除人的主观能动作用, 而是将人的抽象思维能力、经验和计算机的高速运算能力、存储能力、图形显示与处理能力有机地结合起来, 各尽所长, 最大限度地发挥设计人员的创造力。

从技术角度来看, CAD 是把产品的物理模型转化为存储在计算机中的数字化模型, 然后进行计算、分析和处理。20 世纪 60 年代初出现的 CAD 主要解决自动绘图问题, 随着计算机软硬件及其相关技术的发展, 设计过程中越来越多的活动都可以采用 CAD 技术加以实现, CAD 的覆盖面也越来越广, 目前已成为一门综合性的应用技术, 它涉及图形处理、工程分析、数据管理与交换、文档处理、软件设计等多种技术与学科。

### 1.2 CAD 系统的功能及特点

#### 1. CAD 系统的功能

目前, CAD 技术不仅仅用于自动绘图或三维建模, 而且已发展成为一种综合性的技术。对于一个典型的产品设计过程, CAD 系统可以发挥的功能包括:

(1) 图形处理 如计算机绘图、几何造型(把物体的几何形状转变为计算机能够接受的数学描述, 这种数学描述可以将物体的图像在图形终端上进行显示和变换)、图形仿真及其他图形输入、输出技术。

(2) 工程计算分析 通过工程分析软件, 进行产品性能的分析与计算、刚度计算、优化分析等。

(3) 数据管理与数据交换 如数据库管理、产品数据交换规范及接口技术等。

- (4) 文档处理 如文档制作、编辑及文字处理等。
- (5) 软件设计 如窗口界面设计、软件工具、软件工程规范等。

## 2. CAD 系统的特点

计算机辅助设计能利用计算机运算速度快、计算精度高、存储信息量大等优点,代替人工进行计算和文档处理工作,其主要特点有:

- (1) 强交互性 计算机在设计过程中需要不断与设计者交流,反馈设计信息,输入设计决策,直至完成产品设计,因此人机信息交流及交互工作方式是 CAD 系统最显著的特点。
- (2) 高效率 CAD 技术的应用大大减少了设计计算、制图的时间,提高了设计工作效率,缩短了设计周期,加快了产品的更新换代。
- (3) 设计规范、质量高 除保证设计技术文档的高质量外,通过建立合理的 CAD 应用规范,可以规范设计流程、统一技术文档格式,提高设计质量。
- (4) 设计可视化 产品设计结果出来以后,可以在计算机上获得其几何形状、物理场分布、运动仿真等,提高了设计的直观性。
- (5) 资源共享 CAD 系统可以有效地集成企业各种技术资料、生产资源,并为协同设计、异地设计创造条件。

## 1.3 CAD 的发展情况

20 世纪 50 年代,第一台电子计算机问世, CAD 处于准备、酝酿阶段。

60 年代初,麻省理工学院的研究生 I. E. Sutherland 发表了《人机对话图形通讯系统》论文,首次提出了计算机图形学、交互技术及图形符号的分层存储数据结构等思想,为 CAD 技术提供了理论基础。他开发的图形操作系统 SKETCHPAD,利用光笔和简单的指令,就能方便地画出直线、圆、圆弧等图形,这些图形信息还可存储起来,用于其他图形中,这些研究成果开创了 CAD 技术的先河。此后在这一阶段出现的 CAD 系统主要是用于二维绘图,并首先在电气工业中得到了成功应用,然后推广到了其他工业领域。

到了 70 年代, CAD 技术趋于成熟,以小型机、超小型机为主机的 CAD 系统进入市场,针对某个特定问题的 CAD 成套系统蓬勃发展。这个阶段的 CAD 系统主要是二维交互绘图系统及三维几何造型系统。

80 年代是 CAD 技术迅速发展的时期,出现了特征建模和参数化、变量化的建模方法。这时超大规模集成电路的出现,使计算机硬件成本大幅度下降,同时相关的应用技术如数据库技术、有限元分析、优化设计也得到迅速发展。这些技术及相应商品化软件的出现,促进了 CAD 技术的推广及应用。

90 年代以后, CAD 技术已不再停留于过去单一模式、单一功能、单一领域的水平,而是向着智能化、集成化、网络化和标准化方向发展。

(1) 智能化 将人工智能与专家系统技术同传统的 CAD 技术结合起来,使 CAD 的应用领域进一步延伸到概念设计与方案设计阶段,使 CAD 系统更灵活、高效并富有创造力。

(2) 集成化 在信息集成的基础上,还包括过程集成和企业集成。它涉及的技术包括产品数字化建模、产品数据管理、产品数据交换、CAx、DFx 技术等。

(3) 网络化 协同设计和异地设计技术正成为研究的热点,并逐步改变企业技术与组织

管理模式，它使得个人 CAD 系统的局限性得到有效改善，信息共享方便快捷。

（4）标准化 随着 CAD 技术的发展，其标准化问题越来越显示出它的重要性。迄今已制定了面向图形设备的标准 CGI、面向用户的图形标准 GKS 和 PHIGS、面向数据交换的标准 IGES 和 STEP 等，并且新的标准还会出现，这些标准对产品建模、数据管理和接口技术都会产生深刻的影响。

# 第 2 章 CAD 系统的组成

CAD 系统要完成其功能，必须具备两个方面的保证：一个是硬件系统，一个是软件系统。硬件系统由计算机及其外围设备组成，软件系统通常是指程序及相关的文档。硬件系统是 CAD 系统的物质基础，软件系统则提供了开发、利用硬件资源的钥匙。一个典型的 CAD 系统的组成可用图 2-1 表示：

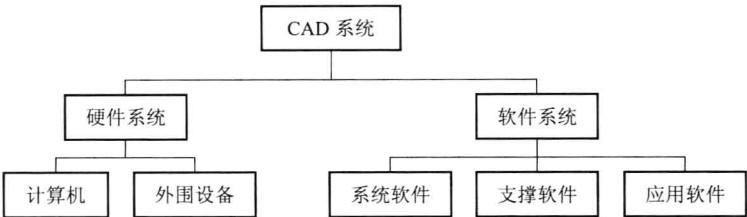


图 2-1 CAD 系统的组成

## 2.1 CAD 系统的硬件

CAD 系统的硬件主要是由主机、外存储器、输入设备、输出设备和通讯设备组成，如图 2-2 所示。

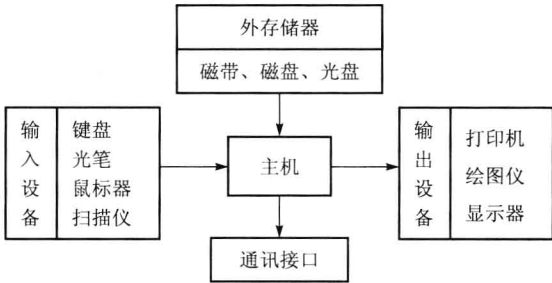


图 2-2 CAD 系统的硬件

### 1. 主机

主机是计算机硬件的核心，用于指挥整个计算机系统完成运算工作，由中央处理器（CPU）、内存储器和总线组成。

中央处理器包括控制器、运算器和寄存器，人们采用超大规模集成电路工艺将它们制成芯片，其主要任务是读取指令、分析指令和执行指令。当调入了用户程序之后，控制器负责从存储器中取出指令，确定指令类型，并对指令进行译码，按时间顺序向其他元件发出控制信号，保证各元件协调一致地工作。运算器负责对数据进行算术运算和逻辑运算。寄存器是处理器内部的临时存储单元，用于存储指令及指令的地址、运算的数据及结果。

内存储器，简称内存，是主机内部直接与 CPU 相连的存储设备，由一系列可编址的存储

单元组成,每个单元有8个二进制位(Bit),称为一个字节(Byte)。通常,用户的程序、数据和软件都是放在外存储器中的,当运行某一程序时,首先要将其从外存调入内存,而系统运行的信息、输入的原始数据、加工产生的中间数据,以及最后处理完成的结果,都是先放在内存中,通过相应的命令,从内存送入外存,以便长期保存。

总线用来传递各模块之间的信息。

主机的类型和性能在很大程度上决定了CAD系统的使用性能。表示主机性能的重要指标是速度,最常用的是时钟频率(主频),它是计算机通过电子钟高速发出的有规律脉冲的频率,单位为兆赫兹(MHz)。该频率越高,指令周期就越短,计算机执行指令所花的时间就越少。CAD系统按其规模和功能的不同,常用的主机类型有微机、工作站等。

## 2. 外存储器

为了长期保存程序和数据,计算机系统都配置了外存储器,其特点是存储量大、价格低,但存取速度较内存低。常用的外存储器有磁带、磁盘和光盘等。其中磁带是典型的顺序存储设备,其存储容量比较大,常用来为大型软件及需要长期保留的程序或数据作备份用。磁盘分为软盘和硬盘两种,其中软盘可用来进行快速随机存取,但其存储量较小;硬盘是使用较为普遍的大容量外存储器,其可靠性高,存取速度较快。光盘的存储容量可达600 MB以上,具有可靠性高、存储成本低和可进行快速随机存取的优点。

## 3. 输入设备

输入设备是用于将各种外部数据转换成计算机能够识别的电子脉冲信号的装置。CAD系统常用的输入设备包括:

(1) 键盘 这是一种最常用的输入设备,可用于输入数字、字符及功能命令。

(2) 鼠标 是一种屏幕指示装置,通过移动光标在屏幕上的位置,可在该位置上输入图形、字符,或从屏幕上选择所需的信息。

(3) 扫描仪 通过对图样进行扫描,经过二值化处理,可得到点阵的图像文件。再经过有关处理,可将点阵图像转换成矢量化图形。用扫描仪进行数据输入,速度快、成像准确、输入工作量小,但存储数据量大。

## 4. 输出设备

(1) 显示器 是计算机系统的基本配置,也是人机交互必不可少的工具。目前大量使用的显示器是阴极射线管(CRT)显示器,其体积大、功耗大。此外还有用液晶材料制成的液晶显示器(LCD),具有轻、薄、小的优点,但价格较为昂贵。

显示器的一个主要技术指标是分辨率。所谓分辨率是指屏幕上可识别的最大光点数,这些光点称之为像素。屏幕上可分辨的像素越多,分辨率就越高,显示的图形也就越精确。通常用水平方向的光点数和垂直方向的光点数来表示显示器的分辨率,如 $1024 \times 768$ ,就是指该显示器屏幕上水平方向可识别的最多光点数为1024,垂直方向可识别的最多光点数为768。

显示器所显示图像的色彩或浓淡是由位面决定的,位面越多,显示器所能显示的色彩或灰度种类也越多。

显示器与主机之间的联系是通过显示适配器也就是显示卡来实现的。微机中常用的显示卡有CGA、EGA、VGA、SVGA、TVGA等多种类型。

(2) 打印机 主要用来打印文字和数据组成的文件,也可打印图形,但图幅较小,打印机按其工作方式,可分为击打式打印机和非击打式打印机。其中非击打式打印机有喷墨打印