

普通高等教育“十二五”规划教材

# 工程CAD

## 基础与应用

杨松林 于奕峰 主编

GONGCHENG  
CAD  
JICHU YU YINGYONG



化学工业出版社

013069668

TB237-43

27

普通高等教育“十二五”规划教材

# 工程 CAD 基础与应用

杨松林 于奕峰 主 编

罗 晓 郝立军 高树峰 刘景利 副主编



TB237-43

27



化学工业出版社

· 北 京 ·



北航

C1677780

888880810

本书共分为 17 章内容。主要包括：工程 CAD 绪论；CAD 文件操作；简单图形绘制；图形环境设置；图形编辑；精确绘图；复杂绘图；尺寸标注及设置；图形输入输出与工程训练；工程 CAD 制图有关国家标准简介；二维参数化编程绘图；常用机械工程 CAD 图形绘制方法及实例；CAD 制图技术在建筑设计中的应用；CAD 制图技术在化学工程设计中的应用；环境工程 CAD 图形绘制方法及实例；CAD 制图技术在印染工程设计中的应用；CAD 制图技术在自动控制工程中的应用等内容。其中大部分章节都配有思考题、知识点、上机操作习题，从工程 CAD 基础理论介绍，到 CAD 软件基本操作、逐步提高、最后至结合专业的工程训练三个层次的上机操作训练，将理论与实际结合，注重操作实践，注重技能培养，在书后还配有客观题参考答案；工程 CAD 上机考试模拟试卷；中望 CAD+ 的实用新功能介绍等。

本书既可作为高等工科院校工程 CAD 课程相关教材，也可作为工矿企业、科研院所 CAD 二维操作技术的培训资料，同时还可作为工程技术人员的参考书。

主 编 于奕峰 林琳

副主编 王景成 刘树高 李立敏 魏 强

### 图书在版编目 (CIP) 数据

工程 CAD 基础与应用/杨松林，于奕峰主编. —北京：  
化学工业出版社，2013.8  
普通高等教育“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-122-18004-9

I. ①工… II. ①杨…②于… III. ①工程制图-  
AutoCAD 软件 IV. ①TB237

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 165051 号

责任编辑：廉 静 张双进  
责任校对：吴 静

装帧设计：王晓宇

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）  
印 装：大厂聚鑫印刷有限责任公司  
787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 458 千字 2013 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899

网 址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：39.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

ECAD (Engineering Computer Aided Design, 简称工程 CAD) 工程计算机辅助设计是将计算机 CAD 技术应用到工程设计领域中, 包括制图、计算、分析、优化、技术经济分析等, 工程 CAD 技术的开发与应用, 彻底改变了传统的设计方法, 无论在设计速度、精度、图面质量、出错率以及在社会效益和经济效益等方面都具有传统设计方法无法比拟的优点。

从 20 世纪 50 年代末 CAD 技术产生到现在, 其间已经历了 50 多年发展, 它在机械、建筑、电气自动化、化工、环保、纺织等工程建设各行各业的应用日益广泛和深入。作为高等工科院校, 如何大面积、标准化、规范化将二维工程 CAD 制图、设计技术普及、深入, 使得学生通过工程 CAD 课程的学习, 能够熟练地掌握 CAD 上机操作技能, 并将其应用于各行各业一直是我们探索的课题; 本书编者在工程 CAD 技术教学和培训的多年历程中, 运用与 AutoCAD 系统具有良好共融性的中望 CAD+ 软件平台, 结合工程设计实际问题, 运用单元化、模块化的方法, 采用课堂精讲、自学、上机模块化训练、结合专业工程训练、网络化标准化考试的工程 CAD 教学、培训模式, 该课程理论联系实际, 突出并重视上机实践, 形成了学生喜欢学、教师愿意教、社会承认并大量需要 CAD 操作应用型人才的良好格局。

本书共分 17 章及附录。第 1 章 工程 CAD 绪论; 第 2 章 CAD 文件操作; 第 3 章 简单图形绘制; 第 4 章 图形环境设置; 第 5 章 图形编辑; 第 6 章 精确绘图; 第 7 章 复杂绘图; 第 8 章 尺寸标注及设置; 第 9 章 图形输入输出与工程训练; 第 10 章 工程 CAD 制图有关国家标准简介; 第 11 章 二维参数化编程绘图; 第 12 章 常用机械工程 CAD 图形绘制方法及实例; 第 13 章 CAD 制图技术在建筑设计中的应用; 第 14 章 CAD 制图技术在化学工程设计中的应用; 第 15 章 环境工程 CAD 图形绘制方法及实例; 第 16 章 CAD 制图技术在印染工程设计中的应用; 第 17 章 CAD 制图技术在自动控制工程中的应用; 附录 A 客观题参考答案; 附录 B 工程 CAD 上机考试模拟试卷; 附录 C 中望 CAD+ 的实用新功能介绍。本书尽可能做到体现 CAD 技术的先进性、实用性、适用性、通用性, 尽量做到理论联系实际, 它既可作为工程设计及相关技术人员的参考书, 也可作为高等工科院校本专科学生的教学参考资料, 书中所有二维图形和源程序均已通过上机调试。

各章编者分别是: 杨松林 (第 1~9 章); 高树峰 (第 10、11 章); 于奕峰 (第 14 章); 郝立军 (第 17 章); 罗晓 (第 15 章); 刘景利 (第 5~7 章, 第 11~13 章及附录 A); 杨雪 (第 10~13 章、16 章及附录 B); 王桂香 (第 12 章); 智刚毅 (第 13 章); 张莉莎 (第 1~3、9 章); 李小龙 (第 4~6、8 章); 任玲 (第 10~13 章及附录 C)。

全书由杨松林、于奕峰负责统稿, 由于编者水平有限, 书中难免存在缺点和不足, 衷心希望广大读者给予批评和指正。

编者

2013 年 6 月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第1章 工程 CAD 绪论 .....         | 1  |
| 1.1 工程 CAD 技术及其发展 .....     | 1  |
| 1.1.1 概述 .....              | 1  |
| 1.1.2 CAD 的基本概念 .....       | 1  |
| 1.1.3 CAD 技术发展历程 .....      | 2  |
| 1.2 CAD 技术的现状 .....         | 3  |
| 1.2.1 易用性 .....             | 3  |
| 1.2.2 成熟性 .....             | 4  |
| 1.2.3 智能性 .....             | 4  |
| 1.2.4 集成性 .....             | 4  |
| 1.3 CAD 技术未来发展趋势 .....      | 4  |
| 1.4 CAD 技术的内涵 .....         | 6  |
| 1.5 CAD 的工作过程及特点 .....      | 6  |
| 1.5.1 传统产品的设计过程 .....       | 6  |
| 1.5.2 CAD 工作过程 .....        | 7  |
| 1.5.3 CAD 技术的优点 .....       | 8  |
| 1.6 CAD 系统组成 .....          | 8  |
| 1.6.1 CAD 硬件系统 .....        | 8  |
| 1.6.2 CAD 软件系统 .....        | 10 |
| 1.7 思考题 .....               | 14 |
| 第2章 CAD 文件操作 .....          | 19 |
| 2.1 中望 CAD+ 软件系统简介 .....    | 19 |
| 2.2 中望 CAD+ 软件启动及界面认识 ..... | 19 |
| 2.2.1 启动方法 .....            | 19 |
| 2.2.2 界面认识 .....            | 20 |
| 2.3 CAD 文件基本操作 .....        | 21 |
| 2.3.1 创建新图形 .....           | 21 |
| 2.3.2 常用输入命令方法 .....        | 21 |
| 2.3.3 图形文件操作 .....          | 21 |
| 2.3.4 子目录建立 .....           | 22 |
| 2.3.5 画直线 .....             | 22 |
| 2.3.6 存盘 .....              | 22 |
| 2.3.7 打开图形 .....            | 23 |
| 2.3.8 画中心点半径圆 .....         | 23 |
| 2.3.9 栅格及其捕捉 .....          | 23 |

|                     |                        |    |
|---------------------|------------------------|----|
| 2.3.10              | U 的含义                  | 23 |
| 2.3.11              | ESC 键的含义               | 23 |
| 2.3.12              | E 功能(简单擦除)             | 23 |
| 2.3.13              | 结束及重复命令                | 24 |
| 2.3.14              | 退出中望 CAD+ 系统           | 24 |
| 2.4                 | 思考题                    | 24 |
| 2.5                 | 图形文件操作上机习题             | 26 |
| <b>第 3 章 简单图形绘制</b> |                        | 27 |
| 3.1                 | 概述                     | 27 |
| 3.1.1               | 绘制水平和垂直线               | 27 |
| 3.1.2               | 线型安装                   | 27 |
| 3.1.3               | 画圆                     | 28 |
| 3.1.4               | 画椭圆                    | 28 |
| 3.1.5               | 画三点弧                   | 29 |
| 3.1.6               | 简单写字                   | 29 |
| 3.1.7               | 存盘                     | 29 |
| 3.1.8               | 修剪                     | 29 |
| 3.1.9               | 画多边形                   | 30 |
| 3.1.10              | 变线宽                    | 30 |
| 3.1.11              | 绘制精确的正方形、矩形、国标图幅及三角形举例 | 30 |
| 3.1.12              | 视觉缩放                   | 31 |
| 3.1.13              | 鼠标滚轮缩放                 | 31 |
| 3.1.14              | 不圆变圆                   | 31 |
| 3.1.15              | 图形窗口切换                 | 31 |
| 3.2                 | 思考题                    | 31 |
| 3.3                 | 简单图形绘制上机实验             | 32 |
| <b>第 4 章 图形环境设置</b> |                        | 37 |
| 4.1                 | 概述                     | 37 |
| 4.1.1               | 设置图形单位 Units 命令        | 37 |
| 4.1.2               | 电子图幅设置                 | 38 |
| 4.1.3               | 图层、颜色、线型、线宽的设置         | 38 |
| 4.1.4               | 线型比例设置                 | 39 |
| 4.1.5               | 字体设置                   | 39 |
| 4.1.6               | 多义线和矩形                 | 40 |
| 4.1.7               | 绝对、相对、极坐标              | 41 |
| 4.1.8               | 绘制国家标准图幅               | 41 |
| 4.1.9               | 实体切点的捕捉                | 41 |
| 4.1.10              | 上机实验操作要点               | 42 |
| 4.2                 | 思考题                    | 42 |
| 4.3                 | 图形环境设置上机习题             | 43 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| <b>第5章 图形编辑</b>          | 48 |
| 5.1 概述                   | 48 |
| 5.1.1 删除 Erase 命令        | 48 |
| 5.1.2 复制 copy 命令         | 48 |
| 5.1.3 移动 Move 命令         | 49 |
| 5.1.4 修剪 TRim 命令         | 49 |
| 5.1.5 拉伸 Stretch 命令      | 49 |
| 5.1.6 倒圆角 Fillet 命令      | 49 |
| 5.1.7 测距 dist 命令         | 49 |
| 5.1.8 倒斜角 chamfer 命令     | 49 |
| 5.1.9 实体缩放 Scale 命令      | 50 |
| 5.1.10 镜像 Mirror 命令      | 50 |
| 5.1.11 旋转 ROTate 命令      | 50 |
| 5.1.12 有边界延伸 EXtend 命令   | 50 |
| 5.1.13 无边界延伸 Lengthen 命令 | 50 |
| 5.1.14 分解 eXplode 命令     | 50 |
| 5.1.15 偏移 Offset 命令      | 50 |
| 5.1.16 打断 BReak 命令       | 51 |
| 5.1.17 测点坐标 ID 命令        | 51 |
| 5.1.18 列表显示 List 命令      | 51 |
| 5.1.19 面积显示 Area 命令      | 51 |
| 5.2 思考题                  | 51 |
| 5.3 图形编辑上机实验要点           | 52 |
| <b>第6章 精确绘图</b>          | 56 |
| 6.1 概述                   | 56 |
| 6.1.1 构造线 XLine 命令       | 56 |
| 6.1.2 多种实体捕捉             | 56 |
| 6.1.3 格式刷                | 57 |
| 6.1.4 实体特性对话框            | 57 |
| 6.1.5 冷点与热点              | 57 |
| 6.1.6 过滤点操作及应用           | 58 |
| 6.1.7 三钮联动               | 58 |
| 6.1.8 精确绘图方法技巧综合         | 59 |
| 6.2 思考题                  | 60 |
| 6.3 精确绘图上机实验             | 61 |
| <b>第7章 复杂绘图</b>          | 64 |
| 7.1 概述                   | 64 |
| 7.1.1 块的定义、特点及类型         | 64 |
| 7.1.2 定义本图块和文件块          | 64 |
| 7.1.3 插入块                | 65 |

|               |                          |            |
|---------------|--------------------------|------------|
| 7.1.4         | 阵列 Array                 | 65         |
| 7.1.5         | 剖面线 Hatch                | 66         |
| 7.1.6         | 样条曲线 SpLine              | 67         |
| 7.1.7         | 多义线连接 PEdit              | 67         |
| 7.2           | 思考题                      | 68         |
| 7.3           | 绘制复杂图形上机实验               | 69         |
| <b>第 8 章</b>  | <b>尺寸标注及设置</b>           | <b>73</b>  |
| 8.1           | 概述                       | 73         |
| 8.1.1         | 尺寸构造                     | 73         |
| 8.1.2         | 尺寸种类及标注方法                | 73         |
| 8.1.3         | 尺寸标注前的设置                 | 74         |
| 8.2           | 思考题                      | 80         |
| 8.3           | 尺寸标注上机实验                 | 82         |
| <b>第 9 章</b>  | <b>图形输入输出与工程训练</b>       | <b>88</b>  |
| 9.1           | 概述                       | 88         |
| 9.1.1         | 电子图形输入                   | 88         |
| 9.1.2         | 电子图形输出                   | 88         |
| 9.1.3         | 图形打印输出                   | 88         |
| 9.2           | CAD 工程训练                 | 89         |
| 9.2.1         | 工程训练的目的意义                | 89         |
| 9.2.2         | 工程训练的安排及要求               | 90         |
| 9.2.3         | 工程训练总步骤及其内容              | 90         |
| 9.2.4         | 工程训练技巧方法综合提示             | 92         |
| 9.2.5         | 工程训练绘图举例                 | 93         |
| 9.3           | 思考题                      | 99         |
| <b>第 10 章</b> | <b>工程 CAD 制图有关国家标准简介</b> | <b>101</b> |
| 10.1          | 概述                       | 101        |
| 10.1.1        | CAD 制图软件分类               | 101        |
| 10.1.2        | CAD 工程制图的方向与任务           | 101        |
| 10.1.3        | CAD 工程制图术语及图样的种类         | 102        |
| 10.1.4        | CAD 工程制图的基本要求            | 102        |
| 10.1.5        | CAD 工程图的基本画法             | 108        |
| 10.1.6        | CAD 工程图的尺寸标注             | 109        |
| 10.1.7        | CAD 工程图管理                | 109        |
| 10.1.8        | 设置符合工程制图国家标准的绘图模板        | 110        |
| 10.1.9        | 图形符号的绘制                  | 112        |
| 10.2          | 思考题                      | 113        |
| <b>第 11 章</b> | <b>二维参数化编程绘图</b>         | <b>115</b> |
| 11.1          | 概述                       | 115        |
| 11.2          | Autolisp 来源              | 115        |

|               |                             |            |
|---------------|-----------------------------|------------|
| 11.3          | Autolisp 语言特点               | 115        |
| 11.4          | 编写 Autolisp 程序原因            | 116        |
| 11.5          | Autolisp 语言学习方法             | 116        |
| 11.6          | Autolisp 语言的基本结构和语法         | 116        |
| 11.7          | 常用函数简介                      | 117        |
| 11.8          | 二维图形参数化编程步骤与技巧              | 119        |
| 11.9          | 编程举例                        | 120        |
| 11.10         | 思考题                         | 123        |
| 11.11         | 上机习题                        | 125        |
| <b>第 12 章</b> | <b>常用机械工程 CAD 图形绘制方法及实例</b> | <b>128</b> |
| 12.1          | 概述                          | 128        |
| 12.2          | 常用标准件绘制方法                   | 128        |
| 12.2.1        | 螺纹紧固件                       | 128        |
| 12.2.2        | 键、销联接                       | 131        |
| 12.2.3        | 滚动轴承                        | 132        |
| 12.3          | 常用传动件绘制方法                   | 133        |
| 12.3.1        | 齿轮                          | 133        |
| 12.3.2        | 带轮                          | 136        |
| 12.3.3        | 蜗杆与蜗轮                       | 137        |
| 12.3.4        | 弹簧                          | 139        |
| 12.4          | 常用零件的绘制方法                   | 139        |
| 12.4.1        | 轴类零件                        | 140        |
| 12.4.2        | 盘盖类零件                       | 143        |
| 12.4.3        | 叉架类零件                       | 145        |
| 12.4.4        | 箱体类零件                       | 147        |
| 12.5          | 装配图的绘制方法                    | 149        |
| 12.5.1        | 装配图的尺寸标注及技术要求的注写            | 149        |
| 12.5.2        | 装配图中零件的编号、标题栏和明细栏           | 150        |
| 12.5.3        | 画装配图的方法                     | 152        |
| 12.5.4        | 装配图的绘制                      | 153        |
| <b>第 13 章</b> | <b>CAD 制图技术在建筑设计中的应用</b>    | <b>160</b> |
| 13.1          | 建筑总平面图绘制方法                  | 160        |
| 13.1.1        | 建筑总平面图特点                    | 160        |
| 13.1.2        | 绘制总平面图的一般步骤                 | 160        |
| 13.1.3        | 实例分析                        | 160        |
| 13.2          | 建筑平面图绘制方法                   | 164        |
| 13.2.1        | 建筑平面图的特点                    | 164        |
| 13.2.2        | 建筑平面图类型                     | 164        |
| 13.2.3        | 绘制建筑平面图的一般步骤                | 165        |
| 13.2.4        | 实例分析                        | 165        |

|        |                     |     |
|--------|---------------------|-----|
| 13.3   | 建筑立面图绘制方法           | 170 |
| 13.3.1 | 建筑立面图的图示内容          | 170 |
| 13.3.2 | 建筑立面图的命名方式          | 170 |
| 13.3.3 | 绘制建筑立面图的一般步骤        | 170 |
| 13.3.4 | 实例分析                | 171 |
| 13.4   | 建筑剖面图绘制方法           | 173 |
| 13.4.1 | 建筑剖面图的图示内容          | 173 |
| 13.4.2 | 绘制建筑剖面图的一般步骤        | 173 |
| 13.4.3 | 实例分析                | 174 |
| 13.5   | 建筑详图绘制方法            | 176 |
| 13.5.1 | 建筑详图特点              | 176 |
| 13.5.2 | 建筑详图分类              | 177 |
| 13.5.3 | 绘制建筑详图的一般步骤         | 177 |
| 13.5.4 | 实例分析                | 177 |
| 第14章   | CAD 制图技术在化学工程设计中的应用 | 186 |
| 14.1   | 概述                  | 186 |
| 14.2   | 化工工艺图绘制方法           | 186 |
| 14.2.1 | 物料流程图               | 188 |
| 14.2.2 | 物料平衡图               | 189 |
| 14.2.3 | 带控制点的工艺流程图          | 190 |
| 14.2.4 | 管道仪表流程图             | 192 |
| 14.3   | 化工设备图绘制方法           | 194 |
| 14.3.1 | 管口方位图               | 194 |
| 14.3.2 | 设备布置图               | 195 |
| 14.3.3 | 设备平面布置图             | 197 |
| 14.3.4 | 管道布置图               | 198 |
| 14.3.5 | 设备支架图               | 201 |
| 第15章   | 环境工程 CAD 图形绘制方法及实例  | 203 |
| 15.1   | 水处理工程图形绘制方法         | 203 |
| 15.1.1 | 水处理工程流程图            | 203 |
| 15.1.2 | 水处理工程平面布置图          | 206 |
| 15.1.3 | 水处理构筑物及设备工艺图        | 210 |
| 15.2   | 大气污染控制工程图绘制方法       | 215 |
| 15.2.1 | 碱洗塔总图               | 215 |
| 15.2.2 | 旋风除尘器设备装配图          | 218 |
| 15.2.3 | 花岗岩水浴脱硫除尘器图         | 220 |
| 15.3   | 噪声控制工程图绘制方法         | 221 |
| 15.4   | 固体废弃物治理工程图绘制方法      | 222 |
| 第16章   | CAD 制图技术在印染工程设计中的应用 | 225 |
| 16.1   | 概述                  | 225 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| 16.2 印花图案图形绘制 .....                     | 225 |
| 16.2.1 一种印花图案 .....                     | 225 |
| 16.2.2 风之翼图案 .....                      | 226 |
| 16.3 某印染厂平面图 .....                      | 226 |
| 16.4 车间机器平面排列图的 CAD 绘制方法与技巧 .....       | 229 |
| <b>第 17 章 CAD 制图技术在自动控制工程中的应用</b> ..... | 237 |
| 17.1 概述 .....                           | 237 |
| 17.2 自动控制 CAD 工程图形分类 .....              | 237 |
| 17.2.1 过程控制工程设计图形 .....                 | 237 |
| 17.2.2 电气工程图形 .....                     | 237 |
| 17.3 过程控制工程 CAD 图形绘制 .....              | 238 |
| 17.3.1 管道及仪表流程图 .....                   | 238 |
| 17.3.2 仪表连接图 .....                      | 241 |
| 17.4 电气控制工程 CAD 图形绘制 .....              | 248 |
| 17.4.1 电气符号图 .....                      | 248 |
| 17.4.2 连接线图 .....                       | 249 |
| 17.4.3 单元围框图 .....                      | 250 |
| 17.4.4 图形符号标识图 .....                    | 250 |
| 17.4.5 电气原理图 .....                      | 250 |
| 17.4.6 电气装配图绘制 .....                    | 255 |
| 17.4.7 电气控制系统图 .....                    | 258 |
| <b>附录 A 客观题参考答案</b> .....               | 261 |
| <b>附录 B 工程 CAD 上机考试模拟试卷</b> .....       | 263 |
| 上机模拟试卷一 .....                           | 263 |
| 上机模拟试卷二 .....                           | 269 |
| 上机模拟试卷三 .....                           | 274 |
| <b>附录 C 中望 CAD+ 的实用新功能介绍</b> .....      | 281 |
| C.1 概述 .....                            | 281 |
| C.2 实用新功能 .....                         | 281 |
| C.2.1 中望 CAD+ ribbon 界面 .....           | 281 |
| C.2.2 手势精灵 .....                        | 282 |
| C.2.3 文件比较功能 .....                      | 282 |
| C.2.4 角平分线命令 .....                      | 282 |
| C.2.5 弧形文字 .....                        | 284 |
| <b>参考文献</b> .....                       | 285 |

# 第 1 章 工程 CAD 绪论

## 1.1 工程 CAD 技术及其发展

### 1.1.1 概述

工程计算机辅助设计 (Engineering Computer Aided Design, 简称工程 CAD) 是用计算机硬件、软件系统辅助工程技术人员进行产品或工程设计、修改、显示、输出的一门多学科的综合应用新技术。它是随着计算机、外围设备及其软件的发展而逐步形成的高技术领域。经过 40 多年的发展, CAD 技术在国内外已被广泛应用于机械、电子、航空、建筑、纺织、化工、环保及工程建设等各个领域。

从 20 世纪 80 年代开始, CAD 技术应用工作在我国逐步得到开展, 经过“七五”的努力, 取得了明显的经济效益。采用 CAD 技术后, 工程设计行业提高工效 3~10 倍, 机械行业的科研和产品设计周期缩短了  $1/3 \sim 1/2$ , 提高工效 5 倍以上; 特别是近些年, 我国在 CAD 应用和开发方面, 取得了相当大的进展, 二维 CAD 技术已经趋于成熟, 三维 CAD 技术正处于蓬勃发展时期。当然, 从总体水平上讲, 我国 CAD 技术水平与国外工业发达国家相比还有很大的差距; 各地、各行业在 CAD 技术的应用、发展上不尽一致, 特别是在 CAD 技术应用的广度和深度上, 以及对 CAD 普及发展作用的认识方面, 仍然存在着需要解决的问题。

众所周知, 人才培养是开展 CAD 应用工程的重要环节之一, 只有广大的工程技术人员掌握了 CAD 技术, 才有可能使之转化为生产力, 促进 CAD 技术向纵深方向发展。从上个世纪 90 年代初期国家科委、国家教委等八部委就开始联合推广“CAD 应用工程”, 先后建立了九大 CAD 培训基地、几百个培训网点, 开展 CAD 技术的普及推广工作。

推广 CAD 技术的重要意义于: 它是加快经济发展和现代化的一项关键性技术, 是提高产品和工程设计的技术水平, 降低消耗, 缩短科研和新产品开发以及工程建设周期, 大幅度提高劳动生产率的重要手段; 是科研单位提高自主研究开发能力, 企业提高应变能力和管理水平, 参与国际合作和竞争的重要条件; 也是进一步向计算机辅助制造 (CAM)、计算机集成制造系统 (CIMS) 发展的重要基础。CAD 技术及其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之一。了解 CAD 的发展历史, 有助于我们更好地、更有效地应用这门新兴技术。

### 1.1.2 CAD 的基本概念

1973 年, 当 CAD 处于发展初期的时候, 国际信息联合会就给 CAD 一个广义的定义: “CAD 是将人和计算机混编在解题专业组中的一种技术, 从而将人和计算机的最佳特性结合起来。”人具有图形识别的能力, 具有学习、联想、思维、决策和创造能力, 而计算机具有巨大的信息存储和记忆能力, 有丰富灵活的图形和文字处理功能和高速精确的运算能力, 上述人和计算机最佳特性的结合是 CAD 的目的。

CAD 有广义和狭义之分, 广义 CAD 即指国际信息联合会给 CAD 定义的一切设计活动; 而狭义的 CAD 是指工程 CAD, 是在产品及工程设计领域应用计算机系统, 协助工程技术人员完成产品及工程设计的整个过程。

在方案设计及技术设计阶段, CAD 应用尤为广泛。计算机辅助设计系统则是指进行 CAD 作业时, 所需的硬件及软件两大部分集合。一个完整 CAD 系统的硬件部分应包括主机、图形输入设备、图形显示器及绘图设备。它区别于一般事务处理计算机系统之处, 主要在于 CAD 系统具有较强的图形处理能力。在计算机辅助设计工作中, 计算机的任务实质上是进行大量的信息和图形的加工、管理和交换。也就是在设计人员初步构思、判断、决策的基础上, 由计算机对数据库中大量设计资料进行检索, 根据设计要求进行计算、分析及优化, 将初步设计结果显示在图形显示器上, 以人机交互方式反复加以修改, 经设计人员确认后, 在绘图机或打印机上输出设计结果。

### 1.1.3 CAD 技术发展历程

在科学研究工作中运用计算机进行大量计算, 以及在管理工作中应用计算机进行数据处理, 在上个世纪 50 年代已早见成效。相比之下, 在工程技术中, 特别是在具体设计工作中运用计算机则显得较晚。这主要是由于在设计工作中, 传统的信息传递方式是工程图纸, 在计算机上需用大量数据才能描述各种几何图形, 并要求能将图形输入计算机中, 以及输出到图纸上。如果没有相应的硬件及软件, 这是难以实现的。

关于 CAD 的历史要追溯到 20 世纪 50 年代。值得一提的是, 美国麻省理工学院 (MIT) 在这方面作了开拓性的研究工作。1950 年第一台图形显示器作为 MIT 旋风工号 (Whirlwind 1) 计算机的附件诞生了。该显示器用一个类似于示波器的 CRT 来显示一些简单的图形。1958 年美国 Calcomp 公司把联机的数字记录仪发展成滚筒式绘图仪, GerBer 公司把数控机床发展成为平板式绘图仪。1963 年, MIT 在美国计算机联合会的年会上, 集中发表了五篇有关 CAD 的论文。当时他们这样来描述 CAD: 设计师坐在荧光屏的控制台前, 用光笔操作, 从概念设计到生产设计, 都可以实现人机交互, 设计师可随心所欲地对计算机所显示的图形进行增、删、改, 利用这种计算机系统, 人们可以在十几分钟内完成通常需要几个星期才能完成的设计工作。这在当时看来, 多少带有一些神奇色彩, 然而却极大地震动了讲求实效的工程技术界。不久, 美国通用汽车公司和 IBM 公司率先设计了 DAC-1 (Design Augmented by Computer) 系统, 利用计算机来设计汽车外形与结构, 这可以说是 CAD 技术用于工程设计的最早例子。这一阶段 CAD 技术处于被动式的图形处理阶段, 我们称其为准备和酝酿时期。

20 世纪 60 年代, 计算机硬件从晶体管计算机发展到集成电路计算机, 计算机运行速度及内存容量有了很大提高, 为在更广阔的范围内应用计算机创造了条件。以大型计算机为基础的 CAD 技术, 开始在少数大型企业, 特别是在汽车与飞机制造业中得到发展。美国洛克希德 (Lockheed) 飞机制造公司与 IBM 通用机器制造公司联合开发了基于大型计算机的 CAD/CAM 计算机辅助设计与制造系统 CADAM, 即“计算机图形增强设计与制造软件包”, 它用于设计及绘图, 并具有三维结构分析能力。此时有关 CAD 的理论研究也有了较大进展, 提出了计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想, 从而为后来的 CAD 技术发展奠定了理论基础。60 年代中期出现了许多商品化的 CAD 设备, 60 年代末期, 美国安装的 CAD 工作站达到 200 多台, 可供几百人使用, 此时 CAD 技术处于蓬勃发展和应用时期。

20 世纪 70 年代, CAD 技术进入广泛使用时期。计算机硬件从集成电路发展到大规模集成电路, 使小型计算机性能价格比有了大幅度提高。开始出现了基于小型机的 CAD 成套系统 (Tumkey System), 即交钥匙系统, 1970 年美国 Applicon 公司第一个推出完整的 CAD 系统。出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化系统, 它包括图形输入及输出设备和相应的应用软件, 软硬件配套使用。70 年代末, 美国 CAD 工作站安装数量超过 12000 台, 使用人数超过 2.5 万人, 此时中、小企业也开始关注并采用 CAD 技术。

20 世纪 80 年代 CAD 技术进入突飞猛进发展时期, 特别是小型机及微型机的性能不断提高, 价格不断下调。计算机外围设备如彩色高分辨率图形显示器、大型数字化仪、自动绘图机等品种齐全的图形处理装置已逐步形成质量可靠的系列产品, 并已成为 CAD 系统的一般配置, 为推动 CAD 技术向更高水平发展提供了必要条件。在这个时期, 图形系统和 CAD/CAM 工作站的销售数量与日俱增, 美国实际安装的 CAD 系统达到 63000 套, CAD/CAM 技术从大中企业向中小企业扩展, 从产品设计发展到用于工程设计和工艺设计。

在此期间, 适用于小型机及微型机的软件技术也迅速提高, 发展了数据库技术, 开发了大量图形软件, 以及与现代设计方法相适应的各种应用软件 (如有限元结构分析软件、优化设计软件等)。大量成熟的商品化软件不断涌现, 又促进了 CAD 技术的应用与发展。由于国际上商品市场竞争日益加剧, 要求加快产品更新换代, 产品由原来单一品种、大批量生产模式转向多品种、高质量、小批量生产模式。因而, 传统的人工设计方法已不能适应这种市场变化的要求, 广大中、小企业纷纷求助于 CAD 技术。广泛的社会需求及应用, 又促使 CAD 技术得到进一步的发展与提高。

开放式、标准化、集成化和智能化成为 90 年代 CAD 技术发展的鲜明特色。由于微机、工作站及其操作系统在 Internet 环境下构成了 CAD 系统的主流工作平台, 因此现在的 CAD 技术及其系统都具有良好的开放性、图形接口, 图形功能日趋标准化。在 CAD 系统中综合应用正文、图形、图像、语音等多媒体技术和人工智能、专家系统等技术大大提高了自动化设计程度, 出现了智能 CAD 学科。智能 CAD 技术把工程数据库及其管理系统、知识库及其专家系统、拟人化的用户管理系统集于一身, 为 CAD 技术发展提供了更广阔的空间。

## 1.2 CAD 技术的现状

CAD 技术经历了二维绘图、三维线框造型、曲面造型、实体建模、变量化设计、参数化造型、特征建模、复合建模、装配及参数化、智能化设计等阶段。随着计算机硬件的不断发展, 目前 CAD 软件技术的发展具有如下几个方面特点。

### 1.2.1 易用性

#### (1) 硬件平台

微机性能大大提高, 价格大幅下降, 使得原来只能在 UNIX 操作系统上运行的高档 CAD 软件纷纷转移到微机平台上, 从而大大降低了 CAD 系统的总投资。

#### (2) 软件环境

大量的计算机用户非常熟悉微机的操作系统, 它几乎成为无需培训便可使用的软件环境。由于大量的 CAD 软件采用微机操作系统作为平台, 因此提高了 CAD 系统的易用性。

#### (3) 网络环境

并行工程和协同工作已经成为 CAD 行业无可争议的发展方向, 因此 CAD 软件还需要

解决不同人员、不同地点之间的数据共享问题。Web 技术是解决这个问题的理想手段,是 CAD 软件广泛采用的重要技术。

### 1.2.2 成熟性

经过 30 多年的发展,CAD 的核心技术——几何拓扑学已经趋于成熟,并且逐步形成公认的图形标准。目前使用最为广泛的有 Parasolid 和 ACIS 等图形核心软件。CAD 软件供应商把主要精力集中在如何给用户提供更加方便、有效、快速的设计与分析的使用工具。软件的成熟性还表现在通用 CAD 系统的功能几乎大同小异,用户无需在软件功能的比较和选型方面下很大的工夫,而应该把更多的精力放在该软件的发展策略和技术服务能力的考察上面。

### 1.2.3 智能性

随着 CAD 技术不断发展,设计知识从一个零件的关键尺寸参数化逐渐发展到零件特征的参数化和装配件关键尺寸的参数化等几何知识。近两年设计知识进一步扩充到整体几何设计知识,如零件的体积、表面积、转动惯量等参数控制,甚至于控制非几何的设计知识,如规定装配件中零件的联接方式、运动部分的活动范围,从而大大提高了设计水平和设计效率。

### 1.2.4 集成性

为了实现并行工程和协同工作,作为设计的龙头 CAD 软件必须尽早与下游的各项工作进行快速有效地通信,因此 CAD 和 CAM、CAPP、CAE 的集成一直是 CAD 供应商追求的目标。随着产品数据管理要求的日益高涨,CAD 集成到 PDM 系统(产品数据管理系统)也成为当前的重要课题之一。人们普遍认识到各个软件孤岛将会给整个企业的管理带来没完没了的麻烦。

在实际 CAD 应用系统中用户通常采用混合应用模式,即一般高档的 CAD 软件负责复杂的零件设计、分析与加工编程;中档软件负责对一般零件的设计;低档软件负责绘制工程图纸;最后在高档或中档 CAD 软件中实现装配、虚拟样机和干涉检查。这种混合型的应用是比较经济的,但是必须解决好这三档 CAD 软件之间的数据交换,最好选用同一个供应商推出的无缝联接的 CAD 系列软件。

## 1.3 CAD 技术未来发展趋势

根据当今计算机硬件及软件发展状况,预计 CAD 技术今后将在以下几个方面进行重点研究,并将取得进展。

### (1) CAD 系统的智能化

用于设计的 CAD 系统近十年有了迅速的发展,很多著名的 CAD 系统软件,在产品的设计、分析、计算与绘图等方面发挥了重要的作用。但设计工作并不仅限于此,在设计过程中,尤其是方案设计阶段,还必须根据专家丰富的经验与知识,做出合理的判断与决策,才能获得优良的设计成果。

将领域专家的知识与经验,运用人工智能技术,归纳成一些规则,形成知识库。再利用推理机制,进行推理及判断,最终应用计算机处理后,获得具有专家水平的设计结果。这种将人工智能技术与 CAD 技术相结合,使 CAD 系统智能化的计算机程序,又称为专家系统。

20 世纪 90 年代初,应用于工程设计的专家系统已取得令人瞩目的成绩,预计在未来发展过程中它将充分展示其应用潜力和广泛的应用前景。

## (2) 实体造型与仿真

三维几何造型是近年来为适应 CAD 发展而不断完善的一种绘制三维形体的软件系统。表达一个三维形体的建模方法基本上有三种:线框建模、表面建模、实体造型。前两种建模方法的缺点是不能唯一地表达空间三维物体,而且无法对物体进行剖切,以表达物体的内部结构。因而近年来又发展了实体造型 (SolidModeling)。实体造型是用基本体素的组合,并通过集合运算和变形操作来建立三维形体的建模方法。它不仅可静态造型,还可进行动态造型;不仅能准确地表达三维物体的形状,还可以通过色彩、光照、浓淡处理来增强显示物体的真实感;不仅能对所建立的模型提供几何信息,还能提供物体的体积、重量、加工要求等非几何信息。目前市场上已推出有多种实体造型功能的商品化软件。整个 90 年代,实体建模发展近乎成熟,并达到高水平实用化程度。

计算机仿真就是在计算机上建立一个工程设计的实际系统(如机构、机器、机械手、机器人等)的计算机模型,并通过运行仿真软件代替实际系统的运行,以便对设计结果进行试验和考核。仿真的内容十分广泛,设计阶段的仿真有应力分析、振动分析、机构、动态分析等;制造阶段的仿真有数控仿真、机器人仿真、搬运仿真、测试仿真、加工刀具轨迹仿真等。仿真与三维实体造型关系十分密切,它的发展将依赖于实体造型与计算机图形学的发展。

## (3) CAD 系统的集成化

CAD 系统的集成化是当前 CAD 技术发展的另一个重要方面。集成化形式之一是将 CAD 与 CAM 集成为一个 CAD/CAM 系统。在这样的系统中,设计师可利用计算机,经过运动分析、动力分析、应力分析,确定零部件的合理结构形状,自动生成工程图纸文件,存放在数据库中。再由 CAD/CAM 系统,对数据库中的图纸数据文件,转换后记录在磁盘上,直接用它控制计算机数控机床 (CNC) 去加工制造,形成所谓的“无图纸生产”。CAD/CAM 的优点是技术先进、降低成本、提高产品竞争力。目前在印刷电路板和集成电路设计制造中已取得明显的经济效益。

CAD/CAM 进一步集成是将 CAD/CAM (计算机辅助制造)、CAPP (计算机辅助工艺规程)、CAT (计算机辅助试验)、PDM (产品数据管理) 集成为 CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程系统),使设计、制造、工艺、数据管理、测试工作一体化。

设计与制造更高层次的集成,即当今所谓的计算机集成生产系统 (Computer Integrated Manufacturing System, 简称 CIMS)。CIMS 是把产品规划、设计、制造、检验、包装、运输、销售等各个生产环节均包含在内的计算机优化和控制系统,以期实现产品生产的高度自动化。为提高产品在国际市场的竞争力,目前不少大型跨国公司都在致力于 CIMS 系统的开发与研究,我国在这方面的研究也取得了可喜的成就。

随着 CAD 技术的发展和日趋完善,以及 CAD 系统的普及应用,可以预料,计算机辅助设计系统必将成为设计工作中不可缺少的手段,计算机辅助设计方法也将成为从事设计工作的工程技术人员必须掌握的基本技能。因此,对一位跨世纪的工程技术人员来说,尽早掌握 CAD 技术是十分必要的。

## 1.4 CAD 技术的内涵

CAD 是一种用计算机硬件、软件系统辅助工程技术人员对产品或工程进行设计的方法与技术,包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动,它是一种新的设计方法,也是一门多学科综合应用的新技术。

基础的 CAD 工作涉及以下一些技术。

- ① 图形处理技术,如自动绘图、几何建模、图形仿真及其图形输入、输出技术;
- ② 工程分析技术,如有限元分析、优化设计及面向各种专业的工程分析等;
- ③ 数据管理与数据交换技术,如数据库管理、产品数据管理、产品数据交换规范及接口技术等;
- ④ 文档处理技术,如文档制作、编辑及文字处理等;
- ⑤ 软件设计技术,如窗口界面设计、软件工具、软件工程规范等。

近十多年来,由于先进制造技术的快速发展,带动了先进设计技术的同步发展,使传统 CAD 技术有了很大的扩展,将这些扩展的 CAD 技术统称为“现代 CAD 技术”。

任何设计都表现为一种过程,每个过程都由一系列设计活动组成。这些活动既有串行的设计活动,也有并行的设计活动。目前,设计中的大多数活动都可以用 CAD 技术来实现,但也有一些活动尚难用 CAD 技术来实现,如设计的需求分析、设计的可行性研究等。将设计过程中能用 CAD 技术实现的活动集合在一起就构成了 CAD 过程,随着现代 CAD 技术的发展,设计过程中越来越多的活动都能用 CAD 工具加以实现,因此 CAD 技术的覆盖面将越来越宽,以至整个设计过程就是 CAD 过程。

## 1.5 CAD 的工作过程及特点

### 1.5.1 传统产品的设计过程

讨论 CAD 的工作过程以前应对传统产品设计过程有所了解。传统产品设计过程可概括为以下几个阶段。

#### (1) 提出设计任务

通常人们是根据市场或社会需求提出任务的。产品设计的目的是将提供的资料(如原材料、能源等)设法转化为具有某种功能的技术装置,以满足社会需求。因而,产品设计任务的提出应以社会需求为前提和目标。

#### (2) 明确设计要求

根据设计任务,通过对现有同类产品资料的检索及调查研究,对所设计产品的功能、生产率、可靠性、使用寿命、生产成本等方面,提出明确而详细的量化指标,形成具体的设计任务书。

#### (3) 方案设计

在满足设计要求的条件下,由设计人员构思多种可行的方案,并用方案图和原理图表达出来。经过对各种方案的比较和筛选,从几个可行方案中优选出一个功能满足要求、工作原理可靠、结构设计可行、成本低廉的方案。