

普通高等教育规划教材

土木工程 CAD

郑益民 主编 孙树贤 杨中 副主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育规划教材

土木工程 CAD

主 编 郑益民
副主编 孙树贤 杨 中
参 编 刘智儒 肖 永



机械工业出版社

本书根据最新专业制图规范要求、结合典型工程应用实例,系统地介绍了土木工程计算机辅助制图的方法和技巧,是一本全面介绍土木工程领域计算机辅助设计的教材。

本书共分为四个部分、12章:第一部分介绍土木工程CAD的概念和基础知识,包括土木工程CAD概述、土木工程CAD软硬件环境、AutoCAD基础知识;第二部分介绍国际通用绘图软件AutoCAD2010的二维图形的绘制和编辑、图块及其属性、文字和尺寸标注、三维建模技术、土木工程计算机绘图的基本规定和绘图环境设置;第三部分介绍道路CAD、桥梁CAD、天正建筑CAD的制图知识;第四部分介绍土木工程CAD二次开发技术。

本书应用性强,可作为高等院校土木工程专业的本、专科学生的教材,也可作为道路工程、市政工程、建筑工程等行业的从业人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程CAD/郑益民主编. —北京:机械工业出版社,2014.2
普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-111-45444-1

I. ①土… II. ①郑… III. ①土木工程—建筑制图—计算机制图—AutoCAD软件—高等学校—教材 IV. ①TU204-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第009331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:林辉 责任编辑:林辉 任正一 版式设计:常天培

责任校对:陈延翔 封面设计:马精明 责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014年4月第1版第1次印刷

184mm×260mm·22.5印张·613千字

标准书号:ISBN 978-7-111-45444-1

定价:44.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

随着计算机科学技术的快速发展和土木工程 CAD 新技术的不断出现, 土木工程设计技术进入到一个以计算机新技术和 CAD 新技术相结合的全新阶段。土木工程学科涵盖了道路、铁路、桥梁、建筑、水利、地下工程等多个学科, 本书主要介绍道路工程、桥梁工程和建筑工程三个学科的 CAD 知识和技术。CAD 技术是当今土木工程设计与施工的重要组成部分, 指导学生学习和掌握 CAD 知识与技术, 进而利用计算机进行土木工程设计是不可缺少的教学环节。通过学习本书可以较系统地掌握道路、桥梁和建筑工程 CAD 的基础知识和技能、土木工程 CAD 软件的二次开发技术及编程基础, 为将来从事道路、桥梁和建筑工程设计、施工和管理等工作打下一个良好的基础。

目前国内有关土木工程 CAD 的教材或书籍有多种, 或注重理论, 或强调操作。本书力求理论知识与实践操作并重, 能力培养与创新思维相结合, 内容上循序渐进, 紧贴土木工程行业所需。本书在简单介绍土木工程 CAD 理论知识的基础上, 讲解国际通用绘图软件 AutoCAD 2010 的操作方法和技能, 以增加实用性。在专业 CAD 方面本教材涵盖道路工程、桥梁工程和建筑工程三个方面的 CAD 理论知识和实际操作技术, 既有理论知识又侧重实际操作。本书介绍了目前国内在道路工程、桥梁工程和建筑工程三个方面的主流软件的使用功能及操作方法和技能, 使学生在校期间就学到将来就业和生产实践中的技能。本书还重视培养学生的创造能力, 较系统地介绍土木工程 CAD 二次开发技术和方法, 介绍目前 CAD 热点知识之一的参数化设计理论和技术。为便于学生学习, 书中加入了很多操作实例, 并在每一章后面附上了练习与思考题。

本书共分 12 章, 分别为土木工程 CAD 概述、土木工程 CAD 软硬件环境、AutoCAD 基础知识、二维图形的绘制和编辑、图块及其属性、文字和尺寸标注、三维建模技术、土木工程计算机绘图的基本规定和绘图环境设置、道路 CAD、桥梁 CAD、天正建筑 CAD 以及土木工程 CAD 二次开发技术。

本书适用于作为高等院校建筑工程、道路与桥梁工程、地下工程、铁道工程等专业方向的本、专科学生的教材, 也可供从事道路工程、市政工程、建筑工程等行业的设计、施工、科研及教学人员应用和参考。

本书由鲁东大学郑益民担任主编, 鲁东大学孙树贤、杨中担任副主编。郑益民编写第 1、2、3、5、6、8、12 章; 孙树贤编写第 7、9 章; 杨中编写第 11 章; 鲁东大学刘智儒编写第 10 章; 佳木斯大学肖永编写第 4 章。全书由郑益民统稿。由于编者水平所限, 书中错误和疏漏之处, 敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言	1	6.2 尺寸标注	101
第1章 土木工程 CAD 概述	1	练习与思考题	123
1.1 CAD 基本概念	1	第7章 三维建模技术	124
1.2 CAD 的发展及其在土木工程中的应用	2	7.1 三维建模基础	124
1.3 土木工程 CAD 的发展趋势	4	7.2 绘制三维面	129
练习与思考题	5	7.3 绘制三维形体表面	132
第2章 土木工程 CAD 软硬件环境	6	7.4 创建三维实体	135
2.1 土木工程 CAD 系统硬件环境	6	7.5 三维实体渲染	140
2.2 土木工程 CAD 系统软件环境	11	7.6 桥梁三维建模示例	141
练习与思考题	14	练习与思考题	148
第3章 AutoCAD 基础知识	15	第8章 土木工程计算机绘图的基本规定和绘图环境设置	149
3.1 AutoCAD 概述	15	8.1 土木工程计算机绘图的基本规定	149
3.2 AutoCAD 2010 工作界面	16	8.2 土木工程图的绘图环境设置	154
3.3 AutoCAD 的命令启动	19	练习与思考题	155
3.4 AutoCAD 的文件操作	21	第9章 道路 CAD	156
3.5 AutoCAD 的坐标系及坐标表示方法	22	9.1 道路工程图的绘制	156
3.6 设置 AutoCAD 的绘图环境	23	9.2 道路 CAD 软件应用	164
3.7 图层、线型、线宽及颜色控制	25	练习与思考题	183
练习与思考题	29	第10章 桥梁 CAD	185
第4章 二维图形的绘制和编辑	31	10.1 桥梁工程图的绘制	185
4.1 绘制二维图形	31	10.2 桥梁 CAD 软件应用	214
4.2 实体选择方法	55	练习与思考题	232
4.3 对象的捕捉和追踪	58	第11章 天正建筑 CAD	233
4.4 编辑二维图形	61	11.1 天正建筑 TArch 2013	233
练习与思考题	86	11.2 轴网和柱子	239
第5章 图块及其属性	88	11.3 墙体	245
5.1 定义图块与存盘	88	11.4 门和窗	250
5.2 插入图块	90	11.5 房间与屋顶	256
5.3 图块属性	91	11.6 楼梯与其他	261
练习与思考题	94	11.7 立面	268
第6章 文字和尺寸标注	95	11.8 剖面	270
6.1 文字标注	95	11.9 文字表格	275
		11.10 尺寸标注	278

11.11 符号标注	281	12.4 VBA 开发环境与编程基础 ...	321
练习与思考题	285	12.5 AutoCAD ActiveX 技术	327
第 12 章 土木工程 CAD 二次开发		12.6 用 VBA 创建图形函数	334
技术	301	12.7 专用函数示例	343
12.1 工程 CAD 二次开发的主要		12.8 VBA 程序加密、加载和	
内容和工具	301	运行	351
12.2 定制工程 CAD 系统	302	练习与思考题	352
12.3 参数化设计	313	参考文献	354

第 1 章 土木工程 CAD 概述

本章提要

- CAD 基本概念
- CAD 的发展及其在土木工程中的应用
- 土木工程 CAD 的发展趋势

1.1 CAD 基本概念

CAD 是计算机辅助设计 (Computer Aided Design) 的简称, 它是以计算机为主要工具和手段进行产品或工程的设计、绘图、制表和编写技术文档等活动。它特别适用于完成设计过程中机械的、繁重的工作, 使设计人员将更多的精力用于设计方案的比选和决策上, 有利于提高设计质量和设计效率。

CAD 技术是研究计算机在设计领域中应用的综合技术, 它利用计算机的快速计算能力、大容量存储和强大数据处理能力等特性, 来完成图形实时显示、方案优化、交互设计、计算与分析、绘图和文档制作等设计和分析工作。它作为 20 世纪公认的重大技术成果之一, 正在深刻地影响着当今各个工程领域。它是一门涉及计算机科学、计算数学、计算几何、计算机图形学、数据结构、数据库、软件工程、仿真技术、人工智能等多学科、多领域的新兴学科。CAD 技术具有高智力、知识密集、更新速度快、综合性强、投入高和效益大等特点, 是当今国际科技领域的前沿课题。

与传统设计方法相比 CAD 技术具有如下优点:

- 1) 提高设计效率, 缩短设计周期。据有关资料显示 CAD 技术能提高设计效率 10 ~ 25 倍, 缩短设计周期 1/3 ~ 1/6。
- 2) 提高设计质量, 优化设计成果。
- 3) 减轻劳动强度, 充分发挥人的智慧。
- 4) 有利于设计工作规范化, 设计成果标准化。

由于 CAD 技术具有上述优点, 20 世纪 70 年代 (CAD 技术发展的初期) 便在产品设计和工程设计领域受到追捧, 并随着计算机技术的快速发展逐步向各个领域拓展。目前, CAD 技术已被广泛应用于机械、电子、航空、汽车、船舶和土木工程等各个领域, 成为改善产品质量与提高工程应用水平、降低成本、缩短工程建设周期和解放生产力的重要手段。迄今为止, CAD 技术已成为一个推动行业技术进步的、能够创造大量财富的、具有相当规模的新兴产业——软件产业, CAD 技术的开发与应用水平正逐步成为衡量一个国家科技现代化与工业现代化程度的重要标志之一。

CAD 的理论基础是计算机图形学和有限元方法。计算机图形学是研究利用计算机生成、处理和显示图形的原理、方法和技术的学科。有限元方法是进行工程和产品结构分析计算和结构优化的重要方法和工具。CAD 的技术基础主要涉及图形图像处理技术、人机交互技术、工程分析技术、数据管理与数据交换技术、文档处理技术和软件开发技术等。

CAD 系统由硬件系统和软件系统组成。CAD 硬件系统主要包括计算机主机和外围设备两大

部分。一个理想的 CAD 软件系统应包括科学计算、图形系统和数据库三个方面。

科学计算包括通用数学库、系统数学库以及设计过程中占有很大比例的常规设计、优化设计、有限元分析等，它是实现相应专业的工程设计、计算分析及绘图等具体专用功能的程序系统，是 CAD 技术应用于工程实践的技术保证。

图形系统包括几何建模、绘制工程设计图、绘制各种函数曲线、绘制各种数据表格、在图形显示器上进行图形变换以及分析和模拟与仿真等内容，是 CAD 系统进行图形操作的平台。

数据库是一个通用的、综合性的以及减少数据重复存储的“数据集合”。它按照信息的自然联系来构成数据，用各种方法来对数据进行各种组合和管理，以满足各种需要，使设计所需要的数据便于提取，新的数据易于补充。数据库的内容包括原始资料、设计标准及规范、中间结果、图表和文件等。

1.2 CAD 的发展及其在土木工程中的应用

1.1 CAD 的发展历史

CAD 的发展可追溯到 20 世纪中期，1949 年利用计算机处理物体外形，应用于飞机制造的数控加工领域；1950 年第一台图形显示器诞生；1958 年美国 GERBER 公司用光笔代替数控机床的刀具，发展成平板绘图仪，奠定了 CAD 发展的物质基础；这段时间被称为 CAD 的准备阶段。1962 年美国麻省理工学院林肯实验室的 I. E. Sutherland 发表题为《Sketchpad：人机通信图形系统》的博士论文，首次将光笔和图形显示器连接在计算机上，通过操作光笔在图形显示器上生成和识别图形。人们公认的第一个真正应用于设计工作中的 CAD 系统，是 1963 年 Sutherland 博士研制的 Sketchpad-A 系统。该系统由显示器和计算机组成，设计者用光笔操作，以人机对话方式输入设计草图，并可以随心所欲地对图形进行修改、追加和删除，实现了最初的人机交互系统。这一新技术的发展，促成了计算机图形学和交互技术的产生。

CAD 技术的发展与计算机软硬件技术的发展紧密相连。20 世纪 60 年代为大型机 CAD 发展阶段，其典型的硬件设备为大型计算机、刷新式随机扫描图形显示器和光笔。典型的 CAD 系统有美国通用汽车公司的 DAC-I 系统和美国洛克希德公司的 CADAM 系统。前者能最终输出工程图的硬拷贝，主要用于汽车玻璃线形设计，后者用于飞机制造设计。这一阶段的硬件设备价格昂贵，软件研究不完善，CAD 处于试验阶段。

20 世纪 60 年代末至 70 年代末，为小型机 CAD 发展阶段，其典型的硬件设备为小型计算机、存储管式图形显示器和图形输入板。典型的 CAD 系统有美国 Applicon 公司的 AGS 系统和 Computer Vision 公司的 CADDS 系统，主要用于集成电路设计和印刷电路板的设计。这一时期硬件设备和 CAD 技术都得到较快发展，CAD 进入到应用阶段。

20 世纪 70 年代末至 90 年代，为微机和工作站 CAD 发展阶段，其典型的硬件设备为微机（工作站）、光栅扫描图形显示器、绘图仪、图形输入设备，图形支撑软件由二维升级到为三维图形系统。典型的 CAD 系统有美国 Autodesk 公司的 AutoCAD 系统和 Bentley 公司的 MicroStation 系统。这两个系统由于具有良好的操作界面、强大的二维和三维图形功能、几乎完全开放的二次开发功能，而被广泛应用于各个工业设计和制造领域。这一时期硬件设备性能不断提高，价格大幅下降，使越来越多的用户能够采用 CAD 系统进行工程和产品的设计，是 CAD 高速发展和普及应用阶段。

20 世纪 90 年代至今，CAD 技术与可视化技术、集成技术、数据库技术、网络技术、人工智能技术紧密结合，使 CAD 技术向着可视化、集成化、网络化和智能化方向发展。

2. CAD 技术在土木工程中的应用

土木工程是 CAD 技术应用最早、发展最快的领域。早在 20 世纪 60 年代 CAD 技术就被应用于道路工程、铁道工程进行工程土石方数量计算和纵断面设计。随后在土木工程的其他方面如建筑工程、桥梁工程、隧道和地下工程、机场工程、港口工程、水利水电工程等也引入了 CAD 技术,到了 20 世纪 90 年代 CAD 技术在土木工程的各个专业方向都得到了快速发展。目前,我国工程设计已普遍采用计算机绘图和设计,CAD 技术已经成为土木工程设计不可缺少的重要手段和工具,并贯穿于工程规划、设计和施工管理的全过程。CAD 技术已成为提高设计质量、缩短设计工期、节省设计成本的重要途径。CAD 技术的应用和开发水平已成为衡量设计单位现代化程度的一个重要标志。

目前 CAD 技术不仅应用于设计,还被广泛应用于设计前的规划方面,以及设计后工程施工和管理方面。

工程规划主要包括项目可行性研究、方案比选等内容。规划过程中要考虑很多因素,如土地应用、经济、交通、法律、景观等社会因素,还要考虑资源、气象、地质、地形、水文等自然因素。将 CAD 技术与人工智能、GIS 技术结合起来,可以辅助支持决策过程,从而避免过分依赖人的主观经验,提高决策水平,使规划结果更加科学合理。规划阶段的 CAD 系统主要有三大类:

1) 规划信息管理系统:用于规划信息的存储、查询和管理,包括地理信息管理系统、资源信息管理系统、规划政策信息系统等。

2) 规划决策支持系统:用于提供城市、地域乃至工程项目建设规划的方案制订和决策支持,包括规划信息分析系统、规划方案评估系统等。

3) 规划设计系统:用于展示规划的表现和效果,包括规划总图设计系统、景观表现系统、交通规划系统等。

对于一般的土木工程设计项目而言,需要经过包括初步设计、技术设计和施工图设计等阶段。由于土木工程的各个专业方向不同,其设计内容和设计方法相差很大,所以对应于各设计过程的不同专业、不同结构应采用不同 CAD 系统。早期的 CAD 系统都是针对某一设计环节或结构的,具有功能齐全、操作方便等特点。但为了完成整个工程设计项目往往需要使用多个 CAD 系统,由于各 CAD 系统之间没有统一的数据库管理系统,导致输入大量的重复数据,不仅降低了设计效率,还会增加数据错误。随着 CAD 技术的发展,面向设计全过程的集成化 CAD 系统日趋成熟,并得到了应用和推广。集成化 CAD 系统实现各设计阶段的信息共享,减少数据的冗余,极大地提高了 CAD 系统的效率和水平。

CAD 技术在土木工程设计中的应用主要包括下面几个方面:

1) 建筑工程设计:包括建筑设计、结构设计和水、电、暖等设备设计。

2) 城市规划和市政工程设计:包括城市道路、立交桥、高架桥、轻轨、地铁等设计。

3) 市政管网设计:包括自来水、污水排放、煤气、天然气、电力、暖气、通信等各类市政管道线路设计。

4) 交通工程设计:包括公路、桥梁、铁道、机场、港口、码头等工程设计。

5) 水利水电工程设计:包括大坝、水渠、水利枢纽、河海工程等。

最近十几年 CAD 技术还应用于施工过程,具体包括下面几个方面:

1) 工程施工技术:包括基坑支护设计、模板设计、脚手架设计、结构混凝土设计、工程材料设计等。

2) 工程施工管理:包括施工组织设计、项目管理、工程项目造价管理、工程质量管理、施工安全管理、工程施工设备管理、工程材料管理、人力资源管理系统等。

3) 施工企业管理: 包括项目投标、合同管理、工程概预算、施工网络计划、工资及资金管理等方面。

1.3 土木工程 CAD 的发展趋势

当今计算机技术及相应支撑软件系统的发展日新月异、更新迅速, 大大促进了 CAD 技术的发展。土木工程 CAD 技术在软件、系统方面的发展集中在可视化技术、集成化技术、智能化技术、网络化技术、虚拟现实技术和 3S (GIS、GPS、RS) 技术等方面。

(1) 可视化技术 随着 CAD 系统的深入发展其功能越来越多, 而 CAD 系统的操作过程就越复杂, 成果也越丰富, 如何将工程设计和结果清晰直观地表现出来是 CAD 系统能否实用化的关键所在。科学计算可视化 (Visualization In Scientific Computing, VISIC) 技术正是在基于上述需求, 于 20 世纪 80 年代末期提出并发展起来的一门新技术, 它是运用人的视觉对颜色、动作和几何关系等直观模式的识别能力, 将科学计算过程、算法及计算结果通过图形、图表、动画等手段直观地表现出来的一门技术。可视化技术作为实现操作过程与功能对接的工具, 不仅可以改进传统设计手段, 还可以改变设计环境, 如 CAD 虚拟环境, 使设计者处于虚拟的三维空间进行工程设计, 提高设计质量。可视化技术应包括良好的数据输入输出界面、中间数据的实时查询、人机交互的设计过程、可引导可控制的设计流程、设计结果自动处理等内容。

(2) 集成化技术 集成化技术主要是实现对系统中各应用程序所需要的信息及所产生的信息进行统一的管理, 达到软件资源和信息的高度共享和交换, 避免不必要的重复和冗余, 充分提高计算机资源的利用率。国外发达国家在工程设计领域集成化技术的研究与应用已日趋成熟, 能够构成从市场分析、招标投标、工程规划、工程设计到计划进度、质量成本控制、施工与管理等一体的计算机辅助系统。发展集成化技术是当今 CAD 技术的主要趋势之一, 与国外发达国家相比, 我国工程设计领域在这一方面还存在很大差距, 应加快研究、开发、建设和应用集成系统的步伐。

(3) 智能化技术 智能化 CAD 系统是把人工智能的思想、方法和技术引进到 CAD 领域而产生的, 它是 CAD 发展的必然方向。传统 CAD 系统基本上都是采用基于算法的技术, 这种方法比较简单, 处理的费用比较低, 但处理能力局限性较大, 特别是缺乏综合和选择、判断的能力, 系统在使用时常常需要具有较高的专业知识和较丰富的实践经验的设计人员, 通过人机交互手段才能完成设计。智能化 CAD 系统是具有某种程度人工智能的 CAD 系统, 它是基于知识的技术, 目前主要通过 CAD 系统中运用专家系统、知识库系统和人工神经网络等人工智能技术来实现。知识库系统包括知识库的建立和知识库的管理。人工神经网络是以一种简单的方式从结构上来模拟人脑神经元, 从而实现模拟人脑思维活动的功能。目前智能化技术已经在光谱分析与解释、疾病诊断、石油探测、市场分析、仪器故障分析、产品分级、图像识别、运动员训练优化、质量控制、语言教学、计算机辅助翻译、金属试验等方面得到了应用, 在土木工程领域地基处理中布桩方案的确定也得到了应用。

(4) 网络化技术 网络化技术利用计算机网络资源共享的特点, 可实现网络中的硬件、软件和数据共享, 优化资源配置。利用网络信息快速传输、远程通信的特点, 它可以将一个复杂的大型工程划分为若干个较小的子工程, 分散在几个不同地点的终端上进行协同设计, 通过网络将各子工程数据和设计结果进行传输、交换、更新和汇总, 最后完成全部设计任务, 从而可以加快设计速度, 提高设计效率。计算机网络可分为局域网、城域网和广域网。局域网的地理范围一般在 10km 之内, 如一个学校的校园网。广域网的地理范围可以很大, 从几十千米到几万千米, 即采

用远程通信技术把局域网连接起来,如一个城市、国家或洲际网络。城域网介于局域网和广域网之间,一般覆盖一个城市或地区。

(5) 虚拟现实技术 虚拟现实技术是一种逼真地模拟人在自然环境中视觉、听觉、运动等行为的人机界面技术,它将真实世界的各种媒体信息有机地融合进虚拟世界,构造用户能与之进行各个层次的交互处理的虚拟信息空间。一个虚拟现实系统主要由实时计算机图像生成系统、立体图形显示系统、三维交互式跟踪系统、三维数据库及相应的软件组成。虚拟技术的第一个特征是沉浸,让参与者有身临其境的真实感觉;第二个特征是交互,它主要通过使用虚拟交互接口设备实现人类利用自然技能对虚拟环境对象的交互考察与操作;第三个特征是构想,它强调的是三维图形的立体显示。运用虚拟现实技术,可以用狭小的空间代替广阔的空间,可以体验到由于危险、经济代价高昂等原因而达不到的地方,还可以体验到因大小关系而无法体验的事情。利用虚拟现实技术还可以检验设计的合理性,如建筑物的外观、道路线形等。虚拟现实技术在土木工程领域也有广阔的应用前景,如景观表现系统、交通规划系统等。

(6) 3S 技术 3S 技术是地理信息系统 (GIS)、全球定位系统 (GPS) 和遥感 (RS) 技术的一种简称。GIS、GPS、RS 三者紧密结合,共同构成一个对地观测、处理、分析、制图和工程应用的系统。GIS 是用于采集、模拟、处理、检索、分析和表达地理空间数据的计算机系统。它将现实世界表达成一系列的地理要素和地理现象等地理信息,通过对信息的处理、分析来提供多种空间和动态地理信息,为地理研究和地理决策服务。目前 GIS 技术在城市规划和管理、农作物规划与管理、地下管网规划与管理以及灾害风险预测等方面得到了广泛的应用。GPS 是通过卫星通信、测距和导航来获取地面上静止点和动态点的三维空间坐标。它是一种全新的测量手段,具有测量精度高、速度快、全天候作业、不受通视条件和点位限制等优点。如今 GPS 技术在测绘方面的应用范围越来越广阔,它被用于大地测量、海洋测绘、监测地球板块运动、工程测量等。此外,在军事、交通、通信、地矿、石油、建筑、气象、土地管理等部门也开展了 GPS 技术的研究和应用。RS 技术是综合了空间技术、无线电技术、光学技术和计算机技术在 20 世纪 60 年代发展起来的一门新技术。它利用光学、电子学、电子光学传感器,不经与被测物体直接接触,远距离接收物体辐射或反射的电磁波信息,经过处理分析,从中提取对研究目标有用的信息。RS 技术促使摄影测量发生了革命性的变化,目前已经发展到比较成熟的阶段,在地理学和环境学方面有着广泛的应用。利用 RS 技术可以对灾害范围进行实时跟踪和监控。利用卫星照片或航片上含有的丰富信息,通过立体观察和照片判读来获取道路沿线的各种地质、地貌、水文、建材等资料。

练习与思考题

- 1-1 CAD 技术有哪些优点? 试举例说明。
- 1-2 CAD 技术的发展经历了哪几个阶段?
- 1-3 CAD 技术在土木工程领域中有哪些应用? 试举例说明。
- 1-4 智能化 CAD 系统包括哪些内容?

第 2 章 土木工程 CAD 软硬件环境

本章提要

■ 土木工程 CAD 系统硬件环境

■ 土木工程 CAD 系统软件环境

CAD 技术是以计算机硬件、软件为基础,并随之改进而快速发展起来的一门新技术。随着计算机各种新技术的开发和应用,土木工程 CAD 系统经历了几十年的发展历史,从最初的仅能满足单一功能的简单系统已发展成为能够完成多种设计任务、兼有各种功能的综合设计系统。目前 CAD 技术已逐步成为一种先进的、成熟的实用技术。土木工程 CAD 系统由硬件、软件两大部分组成。一个完整的 CAD 系统的硬件部分包括主机、图形输入设备、图形显示及输出等设备,软件部分通常由系统软件、支撑软件和应用软件三个层次组成。

2.1 土木工程 CAD 系统硬件环境

CAD 系统的硬件设备与计算机技术和性能的发展密切相关,其功能要求也是逐步提高的。目前认为 CAD 系统的硬件环境应能满足图形显示、交互设计、计算分析、自动绘图制表、数据处理与存储、网络通信功能等多方面要求。按硬件设备配置的不同,CAD 系统的硬件环境可分为大型机系统、小型机系统、工作站系统、微机 CAD 系统等。由于微型计算机技术的快速发展,性能迅速提高,使得微型计算机 CAD 系统几乎可以满足土木工程设计领域内的所有任务。本节将着重介绍微机 CAD 系统硬件环境。

所谓硬件是指计算机系统实际存在的物理设备,包括计算机本身及其外围设备。CAD 硬件系统根据工作需要可以是单机系统,也可以是由多台计算机组成的网络系统,目前常用的类型有普通 PC 系统、工作站系统和网络工作站系统等。普通 PC 系统应用最为广泛,其硬件系统的配置由主机、外存储器、输出设备和输入设备四部分组成,如图 2-1 所示。而大型 CAD 系统则可以采用工作站网络系统。

2.1.1 主机

主机主要由中央处理器及内存储器两部分组成。中央处理器简称 CPU,它是计算机系统的核心,其主要功能是控制程序的执行,完成数据的处理和对输入输出设备的控制。CPU 主要由运算器和控制器组成。运算器负责对数据的加工处理,包括对数据的算术和逻辑的运算。控制器是指挥与控制计算机各功能部件协同动作、自动执行计算机程序的部件。它把运算器、存储器以及输入输出设备组成一个有机的整体,其基本功能是解释指令的执行。内存储器是 CPU 可以直接访问的存储器,它用来容纳当前正在使用

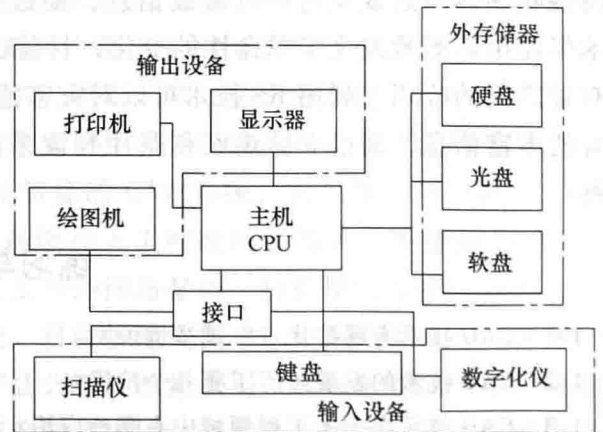


图 2-1 普通 PC 系统的硬件配置

的或者经常要使用的程序和数据。衡量主机的指标主要有三项：运算速度、字长和内存容量。

(1) 运算速度 以 CPU 每秒钟可执行的指令数目或可进行浮点运算次数表示，常以 MIPS 为单位，即每秒可执行一百万条指令，或用时钟频率（主频）来表示运算速度。目前由美国英特尔公司生产的 Inter Core 2 双核处理器的主频已达到 2.0 ~ 4.0GB。

(2) 字长 CPU 在一个指令周期内能从内存提取并进行处理的数据位数称为字长。字长越多，则计算机速度越快，计算精度也越高。字长取决于计算机芯片的类型，目前一般微机的 CPU 为 32 位，最近美国英特尔公司推出了 64 位的处理器，用于服务器和 workstation。

(3) 内存容量 是指能够存放信息的总数量，通常以字节（Byte）为单位，内存容量的大小要受 CPU 地址总线位数的限制。目前生产的台式微机内存容量可达 4.0GB。

2.1.2 外存储器

计算机的外存储器是区别于内存储器由操作系统控制的存储设备，它可以弥补内存储器容量小的不足。在 CAD 作业中，将那些暂时不用的应用程序、数据和图像存储在外存储器中，待需要时再调入内存。

微机系统常用的外存储器主要有软盘、可移动盘、硬盘和光盘等 4 种。

(1) 软盘 软盘曾是计算机广泛配置的外设之一，其特点是容量小、价格便宜。常用的软盘有 5.25in、3.5in 和 2.5in 等几种类型。由于软盘存在容量小，读盘速度慢，数据保存时间短等缺点，目前已被 U 盘和活动硬盘所替代。

(2) 可移动盘 包括 U 盘和活动硬盘，是一种可移动的外存储器，它与主机的 USB 插口连接，在 Windows 2000 以上系统中使用，无需驱动程序可即插即用。U 盘也称闪存盘，其常用的容量有 1.0GB、2.0 GB、4.0GB、8.0 GB、16GB、32GB。活动硬盘也是一种即插即用的可移动外存储器，存储量可达到 500GB。

(3) 硬盘 硬盘是计算机系统中重要的外存储器，固定安装在计算机主机机箱内，其特点是存储数据量大，读盘速度快，使用频率高。硬盘的容量和性能是影响计算机系统的两个重要因素，目前硬盘容量发展迅速，从几十 GB 至 2TB，硬盘的旋转速度已经超过 10000r/min。目前市面上流行的硬盘种类繁多，主要有希捷、迈拓、钻石、鲲鹏、西部数据、三星、日立等硬盘。

(4) 光盘 光盘是一种采用激光技术制作的存储器，其特点是存储数据量大，价格便宜，携带方便。现在流行的光盘存储器主要有三类：CD（Compact Dist）、DVD（Digital Versatile Dist）和蓝光光盘。CD 光盘大致可分成只读光盘、只写一次光盘和可读写光盘 3 种，其容量一般可达 800MB。DVD 光盘也称数字视频光碟，是利用 MPEG2 的压缩技术来存储影像，具有高密度、高兼容性和高可靠性等特点，其容量可达 4.7GB。蓝光光盘的容量可达到 25GB。目前，微机中已经普遍配置了光盘刻录器，可读写光盘已经普及，光盘的旋转速度已达 10000r/min 的惊人速度。

2.1.3 输入设备

用于 CAD 系统的输入设备主要有：键盘、鼠标器、扫描仪、数字化仪、光笔等。

(1) 键盘 键盘是计算机中不可缺少的输入设备，其使用频率最高。通常微机键盘有 83、84、101、102、104 个按键，分为功能键、符号数字键、控制键和编辑键等。微机键盘与主机机箱分离，通过 PS/2 插头或 USB 插头与主机主板相连，二者之间实行半双工串行通信。

(2) 鼠标器 鼠标器是计算机中重要的输入设备之一，分为光电式和机电式两种。其控制光标移动的原理是把鼠标器的移动距离和方向变位脉冲信号送给计算机，再由计算机把信号转换成显示器光标的坐标，从而达到指示位置的目的。鼠标器按计算机通信方式又可分为有线鼠标和

无线鼠标两种。无线鼠标包括红外线型和无线电型。

(3) 扫描仪 扫描仪有手持式扫描仪、平板式扫描仪和滚筒式扫描仪三种。用于 CAD 系统的扫描仪多为滚筒式扫描仪,也称图形扫描仪。扫描仪有三个主要指标:

1) 扫描幅面: A0、A1、A2、A3、A4 等。

2) 扫描速度: 约 1min 输入 1 张 A0 图样。

3) 扫描分辨率: 用每英寸生成的像素数目 DPI (Dots Per Inch) 来表示。普通扫描仪的分辨率为 300 ~ 1200DPI; 适用于图像扫描的小型扫描仪其分辨率可达 5347DPI, 如日本生产的 SMART 720 扫描仪。由于扫描仪分辨率高, 扫描图幅大, 每个彩色像素需用 3 个字节表示, 一幅 A0 图样扫描后生成的数字信息高达 800MB。因此, 在扫描仪输出信号之前总要先进行压缩, 通常的压缩比为 20, 然后再输入计算机。信息还要经过矢量化处理后才能输入到计算机系统内; 输入计算机内后, 还要经由专门软件对其进行各种校正和平滑处理, 以提高图形图像的质量。

(4) 数字化仪 数字化仪是读取图形信息的输入设备, 其主要功能是将图形转换成坐标数据并输入到计算机中。数字化仪按操作方式可分为自动式和非自动式(手扶跟踪式)两大类, 人们通常所指的是手扶跟踪式数字化仪。

1) 数字化仪主要由数字化平面板(也称感应板)和定点设备(也称定标器、游标、鼠标)两大部分组成。图形数字化的工作原理是: 在感应板内印制了正交两个方向格网阵列的等距平行线路, 当定标器在感应板上移动时, 定标器线圈发射正弦交流信号, 它被格网阵列接收进而产生电磁耦合, 据此可以检测出定标器的相位变化, 计算出定标器的相对位置, 并将这种位置信息以数字信号的形式通过计算机接口送入计算机, 从而实现了对图形的数字化。

2) 数字化仪的种类繁多, 一般有点方式、开关流方式、步进方式、连续式、增量式等几种。数字化幅面有 A0 ~ A4 几种。对地形图进行数字化时, 主要采用点方式和开关流方式。点方式每次数字化一个点, 其精度高但速度慢。开关流方式是一种动态数据采样方法, 适用于对等高线的数字化, 其数据采样是连续的、动态的, 数据量大, 但数据采集精度偏低。

(5) 光笔 其外形像钢笔, 一般用电缆与主机相连, 与显示器配合使用, 可以在屏幕上进行绘图等操作。在工程设计中光笔的主要功能是进行图形的绘制、修改、旋转、移动和放大等。此外, 光笔也可以选择菜单, 实现人机交互接口。

2.1.4 输出设备

CAD 系统的输出设备主要有: 显示器、打印机、绘图机。

1. 显示器

显示器分 3 种类型: 阴极射线管 (CRT)、液晶显示器 (LCD) 和 OLED 显示器。CRT 主要用于台式计算机, 后两种可用于台式计算机, 也可用于便携式计算机。显示器的主要性能指标有屏幕尺寸、点间距、彩色数量(灰度等级)、对比度、行频、帧频、扫描方式和分辨率等。

1) 屏幕尺寸用显示器的对角线长度表示, 单位是英寸 (in)[⊖]。

2) 点间距是指显示器屏幕上像素间的距离, 常用的有 0.28mm、0.25mm 和 0.22mm。

3) 彩色数量是指每个像素可以显示出的颜色总数, 颜色数越多, 显示色彩越真实。对于单色显示器, 用灰度等级表示, 即像素的亮暗程度。

4) 对比度又称反差, 是指图像和背景的颜色差, 对比度越大则清晰度越高。

5) 行频单位时间内电子束从屏幕左边扫到右边的扫描次数, 即扫描频率。

[⊖] 1in = 0.0254m。

6) 帧频也称刷新频率,是指字符或图像每秒钟在屏幕上出现的次数,即画面更新次数。频率越高,屏幕闪烁越少。一般在75Hz以上。

7) 扫描方式分为逐行扫描和隔行扫描。采用逐行扫描方式图像比较稳定。

8) 分辨率是指显示器上光栅的行数和列数。例如,分辨率为 640×480 就是指横向可分辨640个光点,纵向可分辨480个光点。光点也称像素。

2. 打印机

从打印方式上将打印机分为击打式和非击打式。非击打式打印机主要有激光打印机和喷墨打印机两种。

(1) 激光打印机 由激光机头和打印控制器组成。激光机头由激光光源、旋转反射镜、聚焦透镜、感光鼓等几部分组成。打印控制器的主要功能是接受主机传来的数据与控制码,经过处理后交给激光机头输出。激光打印机是输出设备,以每分钟输出的页数来确定印刷速度(ppm),一般每分钟能印刷8~12页。

(2) 喷墨打印机 喷墨打印机是墨水通过精细的喷头喷到纸面而产生图像。由于各著名生产厂所掌握的喷墨专利技术各不相同,喷墨打印机可分为三类产品:

1) HP 喷墨打印机。采用喷嘴后方加热设计,使在喷嘴管内的墨水能经由加热过程的体积变化所产生的推力而自喷嘴喷出。

2) CANON 喷墨打印机。采取气泡喷墨原理,经由在喷嘴管壁上的加热器加热产生气泡,气泡膨胀使其前端的墨水被挤出喷嘴。

3) EPSON 喷墨打印机。采取电压式喷嘴技术,它以薄膜压电振荡器产生高频振荡,激发墨水自喷嘴喷出。

以HP喷墨打印机为例,它采用热敏喷墨技术,墨水与打印头集成为一体。喷头底部有50个细微的小孔,分成两列,每个小孔的直径仅为头发丝直径的一半。墨水从这些小孔中以每秒近万次的高频喷射,它具有300DPI的输出效果,对打印纸没有特殊要求。

喷墨打印机的不足是耗材成本约为激光打印机的一倍以上。近年来国内外开始使用填充式墨水,用户将用完的墨盒重灌墨水即可再次使用。

3. 绘图机

(1) 绘图机的分类 绘图机可分为两大类:笔式绘图机和无笔绘图机。

1) 笔式绘图机,也称为向量绘图机,由控制器和插补器组成。控制器主要承担与主机交换信息、解释绘图命令、处理加工绘图数据等功能。插补器则完成直线插补、速度和加速的控制。控制器与插补器之间的信息交换,采用内存共享方法实现。

2) 无笔绘图机,也称为点阵绘图机,包括静电绘图机、喷墨绘图机、热敏绘图机、激光绘图机等多种。

(2) 绘图机的主要性能参数 绘图机的主要性能参数有:

1) 最大绘图幅面:国内标号一般用A0~A4表示,欧洲标号则采用A、B、C、D、E。

2) 最大绘图速度:指绘图机的最大轴向速度,通常在1.5m/s以下。

3) 绘图分辨率:绘图机驱动的最小步长,其选择范围为0.01~0.1mm。选用的分辨率越高,绘出的曲线越平滑,但绘图速度越慢。

4) 适用的绘图纸类型:指能实现最大绘图速度和最高分辨率时所要求的绘图用纸。静电式、热敏式绘图机均要求使用特殊的专用绘图纸。喷墨式绘图机对用纸也有一定的要求,否则不能保证图形质量。

5) 接口标准:指与计算机进行连接时的接口选择类型。一般绘图机都有RS-232C、DB-25P

等多种接口，可以方便地与计算机连接。

2.1.5 网络设备

计算机网络是利用通信线路和通信设备将多台计算机通过特定的通信模式连接起来的计算机群，一般由计算机系统、数据通信系统、网络软件及网络协议组成。计算机系统和数据通信系统组成了网络硬件系统，网络软件和网络协议组成了网络软件系统。CAD 系统通常采用局域网，其网络硬件系统由网络服务器、工作站、网络适配器（俗称网卡）、传输介质、网络互联设备（中继器、集线器、网桥、路由器、网关和交换机）等组成。

(1) 网络服务器 (Server) 它是整个网络系统的核心，负责数据处理和网络控制，为网络用户提供服务并管理整个网络，在网络 CAD 系统中主要是小型机或高档计算机。根据其负责的网络功能不同可以分为文件服务器、通信服务器、应用程序服务器和打印服务器等类型。

(2) 工作站 (Workstation) 工作站又称客户机，它是网络中数量多、分布广的终端设备，是用户进行网络操作、实现人机对话的工具。工作站的性能一般低于服务器，在局域网中，以 PC 替代终端为主，其优点是它既能作为终端使用又能作为独立的计算机使用。

(3) 网络适配器 (Network Interface Card, NIC) 网络适配器又称网卡或网络接口卡，它是局域网中最基本和最重要的设备之一。网卡在网络中有双重功能，一方面负责接收网络中的数据包包，并解包将其数据传输给本地计算机，另一方面它又将本地计算机的数据打包后送入网络。在局域网中网卡一般分为服务器网卡、工作站网卡、便携式计算机网卡和新型无线卡等。

(4) 传输介质 传输介质是传输数据信号的物理通道，将网络中各种设备连接起来。常用的有线传输介质有双绞线、同轴电缆、光纤线；无线传输介质有无线电微波信号、激光等。

(5) 中继器 (Repeater) 中继器用于连接同类型的两个局域网或延伸一个局域网。当安装一个局域网但物理距离又超过了线路规定长度时，就可以用它来延伸，中继器也可以收到一个网络信号后将其放大发送到另一个网络，从而起到连接两个局域网的作用。中继器不能连接两个不同类型的网络，不能将网络中的通信分段。

(6) 集线器 (Hub) 集线器是将网络中多台设备连接在仪器进行集中管理的重要设备。它的主要功能是对接收到的信号进行再生放大，以扩大网络的传输距离。除此之外，它还具有对信号的检错能力。在小型局域网中，按集线器传输信号速度的不同可分为 10MB、100MB 和 10/100MB 自适应型三类；在规模较大的局域网中使用 1000MB 和 100/1000MB 自适应型两类。

(7) 网桥 (Bridge) 网桥是一种数据链路层上的网络互联设备，负责在数据链路层将信息帧进行存储和转发。可用于连接同构局域网，也可用于异构网。

(8) 路由器 (Router) 它是网络层的互联设备，能实现局域网之间、局域网和广域网之间的互联，在不同的网络之间存储转发分组。它能从多条路径中选择最佳路由路径转发数据，能够识别多种网络协议，此外还可以利用它来监视网络的数据流动、网络设备的工作情况。

(9) 网关 (Gateway) 网关用来互联完全不同的网络，其主要功能是把一种协议变成另一种协议，把一种数据格式变成另一种数据格式，把一种速率变成另一种速率，以求得两者统一。

(10) 交换机 (Switch) 交换机是一种先进的网络互联设备，目前正在迅速代替集线器，成为组建和升级局域网的首选设备。集线器只是一个多端口的转发器，所有端口争用一个共享信道带宽。而交换机是一个多端口的网桥，它为用户提供独占的、点对点的连接、所有端口均有独享的信道宽度，能同时进行多端口的数据传输，提高效率，减少错误和共享冲突。

2.2 土木工程 CAD 系统软件环境

计算机软件是指计算机程序、方法、规则和相关的文档资料以及在计算机上运行时所必需的数据。在 CAD 系统中,硬件是系统的物质基础,而软件则是 CAD 系统的核心。一个完整的 CAD 系统软件应包括:系统软件、支撑软件和应用软件等三个部分。

2.2.1 系统软件

系统软件通常是与计算机硬件密切相关的那些比较底层的支持软件,起着扩充计算机功能、合理调度与正常运行计算机的作用。它包括操作系统、各种设备驱动程序、高级语言编译系统、网络协议等。系统软件具有两个明显的特点:一是公用性,在任何应用中都是不可缺少的;二是基础性,系统软件是一些底层支持软件,支撑软件和应用软件都需要在系统软件的支持下才能运行。

1. 操作系统

操作系统负责协调、统一管理和分配计算机资源,并控制用户在各个阶段对计算机硬件的使用。操作系统主要由进程管理、存储管理、作业管理、文件管理和设备管理 5 个部分组成。操作系统种类很多,目前在微机上常用的操作系统有 DOS 系统和 Windows 系统。DOS 系统是早期的磁盘操作系统,现已被 Windows 操作系统淘汰。Windows 操作系统由 Microsoft 公司于 1985 年发布以来(Ver1.0),迅速在整个计算机领域内扩展,1992 年发布了 16 位的 Windows (Ver3.1),现已发展到 32 位的 Windows XP 系统、Windows 8 系统,其性能更加优越、运算速度更快。为保证开发出的 CAD 系统能够在尽可能长的时间内维持其先进性和通用性,土木工程 CAD 系统可以采用微软公司的 Windows2000 以上作为操作系统。它是在 WindowsNT4.0 的基础上加以创新的 32 位操作系统,其操作简便,运行更加稳定、快速、可靠。Windows2000 主要有以下特点:

1) 符合 SAA 规范的一致性的用户界面 Win2000 与以前的 Win9X、WinNT 等版本相比,具有简单易用、相同的用户界面元素。

2) 多任务处理。支持多任务、多进程、多线程操作,这是发挥高性能计算机潜力的重要手段。

3) 硬件独立性。在 Windows 环境下,利用应用程序编程接口(API),可使用应用程序而不受任何硬件设备型号的约束。API 是动态链接库(DLL)和静态链接库(Lib)中各种函数的集合,它在应用程序和硬件之间提供接口程序,使程序员不必理会应用程序将运行在何种硬件环境下,也就不必编写各种硬件驱动程序,从而提高了工作效率。

4) 事件驱动性。事件驱动思想符合人们的日常习惯,并与硬件设计思想一致,使在 Windows 平台上开发的系统具有开放式结构,为系统的功能扩充和升级换代提供了极大的便利。在 Windows 操作系统下,不同的应用程序之间可以相互通信,交换数据。应用程序之间的数据交换可通过系统消息、动态数据交换、动态链接等方式实现。

5) 可视化集成开发工具 Windows 平台提供了可视化集成开发工具,使用户能够快速开发出功能强大的标准 Windows 应用程序。

2. 编译系统和程序设计语言

简单地说编译系统是把用高级语言编写的程序翻译成机器指令,并由计算机执行这些指令,而程序设计语言是用于编写计算机程序的计算机语言。随着计算机硬件的发展,计算机语言经历了机器语言、汇编语言、高级程序设计语言 3 个过程。机器语言是用二进制代码指令(0, 1)