

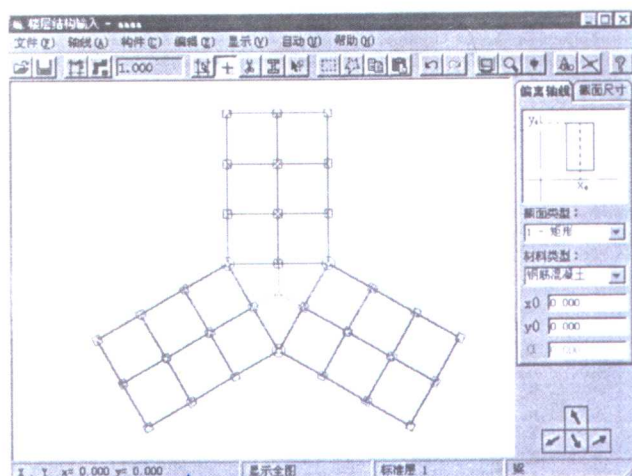
普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

土木工程CAD

(第2版)

T M G C C A D

主编 尚守平 吴炜煜
主审 陶全心



TU201.4/7=2

2006

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

土木工程 CAD

(第2版)

主 编 尚守平 吴炜煜

主 审 陶全心

武汉理工大学出版社

内 容 提 要

本书在介绍 AutoCAD 绘图的基础上,介绍了一些典型专业软件的使用,以房屋建筑工程和道路桥梁工程为例,介绍了 CAD 的特点和应用,并介绍了一些典型设计程序的编制,能使学生了解 CAD 软件的内涵,为学生创新能力的培养打下初步基础。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程 CAD(第 2 版)/尚守平,吴炜煜主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006. 11
ISBN 7-5629-1568-7

I. 土…

II. ①尚… ②吴…

III. ①建筑制图-计算机制图-高等学校-教材

IV. TU204

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 11134 号

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉理工大印刷厂

发行者:各地新华书店

开本:880×1230 1/16

印张:11.5

字数:381 千字

版次:2006 年 11 月第 2 版

印次:2006 年 11 月第 7 次印刷

印数:38001~43000 册

定价:18.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

出版说明

(第2版)

1998年教育部颁布了高等学校本科专业的专业目录后,1999年全国的高等学校都开始按照新专业目录招生。为解决土木工程专业教材缺乏的燃眉之急,武汉理工大学出版社(原武汉工业大学出版社)于2000年年初率先组织编写了这套“普通高等学校土木工程专业新编系列教材”。经中国土木工程学会教育工作委员会审订并向全国高校推荐,三年来,本套教材已为众多院校选用,并受到了普遍欢迎。其中多种教材荣获教育部全国高等学校优秀教材奖或优秀畅销书奖。截至2002年年底,系列教材中单本销量最高的已接近7万册。这充分说明了系列教材编审委员会关于教材的定位、特色和编写宗旨符合新专业的教学要求,满足了新专业的教学急需。

正如初版的出版说明中所说,本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,因此,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。首先是教材中涉及的各种国家规范问题。教材编写时正值各种规范全面修订,尚未定稿,新规范正式颁布的时间还不能确定,而专业教学对新教材需求的急迫又使编写、出版工作不能等待,因此系列教材中很多涉及到规范的地方只能按照当时基本定稿的新规范内容进行讲解或说明。当各种新的国家规范陆续正式颁布后,本套教材中相关的部分就已按照新规范及时编写了修订稿,准备作为第2版出版。其次,2002年10月,高等学校土木工程专业指导委员会编制的本科教育培养目标、培养方案及课程教学大纲正式公布,各门课程教材的修订有了更明确的方向。第三,初版教材在各院校使用过程中,师生们根据教学实践提出了很多中肯的意见,我们虽然在每本教材重印时进行了局部的修改,但仍感到存在一些问题,需要做较大的修订。因此,系列教材编审委员会决定全面修订、出版全套教材的第2版。根据土木工程专业的教学需求,本套系列教材还将增补13种,也与第2版教材同时推出。教材的编审委员会委员也相应地进行了增补和调整。

第2版教材的修订及增补教材的编写仍然秉承编审委员会一贯的宗旨,把教材的质量放在第一位,力求更好地满足课程教学的需要。我们更希望使用教材的师生一如既往,继续关心本套教材,及时反馈各校专业建设和教学改革的信息与要求,多提意见和建议,以便我们及时修订,不断完善和提高,把教材打造成名副其实的精品。

武汉理工大学出版社

2003.2

第一版前言

近 20 年来,计算机图形技术和 CAD 技术的飞速发展对土木工程领域传统的人工计算、手工绘图的设计方式产生了深刻的变革和影响。由于计算机应用领域的不断扩展,今天的 CAD 已不再局限于辅助设计工程的个别阶段和部分,而是将计算机技术有机地应用到设计的每个阶段和所有环节。工程界对高校毕业生的计算机应用能力有了比较高的要求。他们一般希望土木工程专业的大学生一参加工作就能熟练地应用计算机绘图,掌握流行图形软件的使用;同时也了解一些典型专业软件的使用;有些单位还希望土木工程专业的大学生能具备一些小型应用程序的编制能力。因此,本书在介绍 AutoCAD 绘图的基础上,重点介绍了一些典型专业软件的使用,并单辟一章专门介绍一些典型设计程序的编制,以使学生了解 CAD 软件的内涵,并对学生创新能力的培养打下初步基础。

土木工程 CAD 的内容很广泛,涉及房屋建筑工程、道路桥梁工程、港口工程、水工工程、地下工程、给水排水工程、采暖通风工程、建筑设备与电器工程、特种结构工程等诸多方面。限于篇幅,本教材不可能针对每一专业方向 CAD 的特点一一介绍,只能以最量大面广的房屋建筑工程和道路桥梁工程为例,介绍 CAD 的特点和应用。相信学生们通过这本教材的学习,定能掌握 CAD 的一般共性和特殊个性,达到举一反三的目的。

在土木工程专业的所有课程中,CAD 这门课的内容可能是发展更新最快的一门课程,因为它与计算机硬件和软件的发展密切相关。这本教材反映的仅仅是现阶段土木工程 CAD 的内容和水平。随着计算机硬件和软件的飞速发展,这本教材的内容也必将紧紧随之更新,以适应教学和学习的需要。

编 者

2000 年 7 月

第二版前言

随着计算机科学技术和应用研究的发展,特别是在多媒体和网络通信技术新型环境及平台的支持下,高性能计算、图形处理技术和 CAD 技术对土木工程领域传统的设计方式产生了巨大的变革和影响,几乎所有的设计院都已彻底甩掉了图板和丁字尺。今天的 CAD 已不再是只适用于工程设计的个别阶段和部分,而是应用于设计的各个专业、每个阶段和所有环节,也不仅是辅助计算和画图,而是包括仿真、虚拟现实、协同设计等更广阔范围的应用。工程界对高校毕业生的计算机辅助设计应用能力的要求越来越高,一般希望土木工程专业毕业的大学生具有较强的动手能力,一毕业就能熟练地运用计算机辅助设计,掌握常用 CAD 软件的使用;有的单位还希望土木工程专业毕业的大学生具备一些小型 CAD 应用程序的编制能力。因此,本书在介绍 AutoCAD 绘图的基础上,重点介绍了一些典型的专业 CAD 软件的使用和一些典型设计程序的编制,使学生了解 CAD 软件的内涵,为学生创新能力的培养打下初步的基础。

土木工程 CAD 的内容很广泛,涉及房屋建筑工程、道路桥梁工程、港口水工工程、地下结构工程、给水排水工程、设备与电气工程、特种结构工程等诸多方面。限于篇幅,本教材不可能对每一专业的 CAD 都一一介绍,只能对量大面广的建筑工程和道路桥梁工程进行典型的介绍,供同学们学习和应用。相信同学们通过对本教材的学习,能掌握 CAD 的一般共性和个性,达到举一反三的目的。

本教材的第一、四、六、七章由尚守平主编,第二、三、五、八章由吴炜煜主编。其中,陈浩对第一版的第五章按新近流行软件版进行了修改;曾裕林按新《混凝土结构设计规范(GB 50010—2002)》对第一版的第六章进行了修改;尚卿编写了第七章的第 5、6 节;蒲浩编写了第七章的第 8 节。

在土木工程专业的所有课程中,CAD 这门课程的内容可能是更新最快的一门课程,因为它与计算机硬件和软件的迅猛发展密切相关,还与该专业经常修订变更的国家设计规范、规程有关。本书的第二版就是根据该领域的新进展对第一版进行了较多的修订,考虑了相关的国家设计规范、规程的变更,补充介绍了目前较受欢迎的国产专业 CAD 软件的使用。但这本教材反映的仅仅是现阶段土木工程 CAD 的内容和水平,随着计算机科学及软、硬件技术的不断发展,这本教材的内容也将随之更新,以适应教学和学习的需要。

编 者

2006 年 5 月

目 录

1 绪论	(1)
1.1 土木工程 CAD 的历史与发展	(1)
1.1.1 计算机与计算机绘图的发展	(1)
1.1.2 CAD 在土木工程领域的应用和发展	(1)
1.2 CAD 的基本概念	(2)
1.2.1 CAD 的定义及功能	(2)
1.2.2 CAD 与计算机绘图的内涵	(2)
1.2.3 土木工程 CAD 涉及的知识领域	(3)
1.3 CAD 在土木工程中的应用	(4)
1.3.1 建筑与规划设计	(4)
1.3.2 结构设计	(4)
1.3.3 给排水设计	(4)
1.3.4 暖通设计	(4)
1.3.5 建筑电气设计	(4)
1.4 CAD 的学习方法	(5)
1.4.1 掌握 CAD 硬件设备的使用和软件环境配置要求	(5)
1.4.2 领会 CAD 系统的总体结构及操作流程	(5)
1.4.3 结合相关专业设计规范和理论进行学习	(6)
2 CAD 硬件系统	(7)
2.1 CAD 硬件系统概述	(7)
2.1.1 硬件系统的基本组成结构	(7)
2.1.2 硬件系统的高级配备组成结构	(7)
2.2 图形显示和输出系统设备	(8)
2.2.1 图形屏幕显示设备	(8)
2.2.2 图形打印输出设备	(10)
2.2.3 绘图机	(12)
2.2.4 3D 设备	(12)
2.3 图形输入设备与应用	(13)
2.3.1 笔式和类似笔式输入设备	(13)
2.3.2 图像扫描仪	(14)
2.3.3 触摸屏	(15)
2.3.4 数字相机	(16)
2.3.5 三维图形数字化输入设备	(16)
习题	(16)
3 CAD 软件系统	(17)
3.1 CAD 系统的软件平台和层次结构	(17)
3.2 CAD 通用软件	(18)
3.2.1 基本图形软件与国际标准	(18)
3.2.2 造型软件	(21)
3.2.3 工程分析计算软件	(22)

3.2.4	工程数据库管理软件	(23)
3.3	CAD 常用工具软件	(24)
3.3.1	AutoCAD 概述	(24)
3.3.2	标准图形软件 OpenGL	(25)
3.3.3	三维建模与动画软件 3D Studio MAX	(28)
3.3.4	平面图形设计软件 Photoshop	(31)
3.4	CAD 网络系统软件	(33)
3.4.1	网络系统基础知识	(33)
3.4.2	网上 CAD 信息获取与传输	(37)
3.4.3	建立网上交互式三维场景	(39)
3.5	CAD 软件工程方法的基本知识	(43)
3.5.1	生命周期法的特点与应用	(43)
3.5.2	快速原型法	(44)
3.5.3	面向对象分析与设计方法	(45)
	习题	(46)
4	土木工程 CAD 系统结构	(47)
4.1	非交互式 CAD 系统的结构及特点	(47)
4.2	交互式 CAD 系统的结构及特点	(48)
4.3	半交互式 CAD 系统的结构及特点	(48)
4.4	综合化 CAD 系统	(49)
4.5	集成化 CAD 系统	(49)
4.6	智能化 CAD 系统	(51)
	习题	(52)
5	AutoCAD 应用基础	(53)
5.1	初识 AutoCAD 2002	(53)
5.1.1	安装 AutoCAD 2002	(53)
5.1.2	启动 AutoCAD 2002	(56)
5.2	二维绘图基础	(57)
5.2.1	绘图环境属性设置	(57)
5.2.2	基本绘图	(60)
5.2.3	实体填充	(62)
5.2.4	图形的显示	(63)
5.3	图形编辑处理	(64)
5.3.1	图形对象的选择设置	(64)
5.3.2	图形对象的捕捉设置	(65)
5.3.3	基本图形编辑命令	(65)
5.3.4	线型和颜色控制	(66)
5.3.5	块的使用	(67)
5.3.6	使用属性	(67)
5.3.7	图形的查询操作	(70)
5.4	图形标注	(75)
5.4.1	尺寸标注	(75)
5.4.2	文本标注与编辑	(78)
5.5	三维绘图	(83)
5.5.1	三维绘图环境设置	(83)

5.5.2	绘制三维表面模型	(84)
5.5.3	绘制三维实体模型	(87)
5.5.4	三维图形编辑	(87)
5.5.5	观察和渲染	(88)
5.6	AutoCAD 的二次开发简介	(93)
5.6.1	AutoLisp 与 Visual Lisp	(93)
5.6.2	VBA(Visual Basic for Application programming environment)	(94)
5.6.3	ObjectARX 简介	(96)
5.7	AutoCAD 与外部图形的接口	(97)
5.7.1	数据交换	(98)
5.7.2	格式转换	(102)
	习题	(104)
6	工程结构设计与计算	(106)
6.1	工程结构设计的计算机方法	(106)
6.2	钢筋混凝土梁的正截面强度计算	(106)
6.2.1	计算公式	(106)
6.2.2	适应条件(非抗震设计)	(107)
6.2.3	抗震设计时应满足的条件	(107)
6.2.4	程序框图	(108)
6.2.5	钢筋混凝土单筋矩形截面梁配筋计算程序	(108)
6.3	钢筋混凝土梁的斜截面强度计算	(111)
6.3.1	斜截面计算基本公式	(112)
6.3.2	适用条件	(112)
6.3.3	程序框图	(113)
6.4	钢筋混凝土柱的截面强度计算	(114)
6.4.1	轴心受压构件	(114)
6.4.2	偏心受压构件的基本公式	(114)
6.4.3	矩形截面对称配筋偏心受压构件的配筋计算	(115)
6.4.4	偏心受压构件正截面强度计算的适用条件	(115)
6.4.5	程序框图	(116)
6.4.6	框架柱的抗剪强度计算	(117)
6.4.7	钢筋混凝土矩形截面偏心受压柱对称配筋计算程序	(117)
6.5	钢筋混凝土受弯构件裂缝宽度计算	(119)
6.5.1	裂缝宽度计算公式	(120)
6.5.2	最大裂缝宽度允许值	(120)
6.5.3	程序框图	(120)
6.5.4	钢筋混凝土受弯构件最大裂缝宽度计算程序	(121)
6.6	钢筋混凝土受弯构件变形计算	(122)
6.6.1	计算公式	(122)
6.6.2	受弯构件挠度允许值	(123)
6.6.3	计算构件挠度的程序框图	(123)
6.6.4	计算受弯构件挠度程序	(123)
	习题	(125)
7	典型 CAD 软件的使用与课程实践	(126)
7.1	PKPM 结构设计 CAD 软件	(126)

7.1.1	PMCAD	(126)
7.1.2	SATWE	(127)
7.1.3	PKPM 钢结构 CAD 系统	(127)
7.1.4	PKPM 高层设计演示例题	(128)
7.1.5	PKPM 单层钢框架设计演示例题	(130)
7.2	地基-箱形基础-上部结构共同作用分析软件 SBSIA	(132)
7.2.1	SBSIA 功能及适用范围	(132)
7.2.2	图形交互式结构建模	(132)
7.2.3	图形交互式荷载输入	(135)
7.2.4	地质资料输入	(136)
7.2.5	结构计算	(137)
7.2.6	图示输出	(137)
7.3	桥型设计软件 QXCAD	(139)
7.3.1	QXCAD 系统运行环境	(140)
7.3.2	QXCAD 系统安装和启动	(140)
7.3.3	QXCAD 系统基本功能	(140)
7.3.4	QXCAD 系统基本操作	(142)
7.3.5	QXCAD 系统分项操作	(144)
7.4	探索者结构 CAD	(159)
7.5	VizRail 铁路线路 CAD 软件	(160)
	习题	(163)
8	土木工程 CAD 技术发展趋势与展望	(164)
8.1	多媒体和通信技术在土木工程中的应用	(164)
8.1.1	虚拟现实(VR)技术派生的工程应用系列	(164)
8.1.2	分布式多媒体通信技术派生的工程应用系列	(164)
8.1.3	多媒体仿真技术派生的工程应用系列	(165)
8.1.4	工程信息管理技术派生的应用系列	(165)
8.1.5	数字地球系统技术派生的应用系列	(166)
8.2	CSCW 在土木工程中的应用	(166)
8.2.1	建筑设计中的协同工作机制	(166)
8.2.2	建筑设计 workflow 模型与协同设计 workflow 引擎	(167)
8.2.3	TH-CSCDP 系统的实现	(168)
8.3	CAD 技术和概念的发展	(169)
8.3.1	工程 CAD 技术的跨学科发展特点	(169)
8.3.2	CAD 技术的发展趋势	(170)
8.3.3	CAD 的建模技术的研究和发展	(170)
	习题	(171)
	参考文献	(172)

1 绪 论

1.1 土木工程 CAD 的历史与发展

CAD 技术是把计算机的快速、准确、直观与设计者的逻辑思维、综合分析能力及设计经验结合起来融为一体的高科技产物,可以起到加快工程或产品设计过程,缩短设计周期,提高设计质量和效率,降低工程造价等作用。在我国,CAD 技术已经广泛地应用于建筑、机械、电子、航空及轻工等各个行业,获得了良好的社会效益和经济效益。

1.1.1 计算机与计算机绘图的发展

1946 年世界上研制出了第一台电子计算机 ENIAC,它的主要任务是用来进行高速度的数值计算。其后,随着基本元件的不断换代,其性能也以惊人的速度发展。到 20 世纪 50 年代,计算机的应用范围便扩展到了诸如辅助事务处理、数学定理证明、语言翻译等领域。与此同时,在美国麻省理工学院(MIT)的林肯研究所,由萨瑟兰(I. E. Sutherland)完成了把 CRT 显示和光笔技术应用于计算机图形输入/输出和命令指示上,为人机交互工作提供了极大可能。

计算机绘图技术的发展是与计算机及其外围设备的发展密切相关的。早期的图形显示器是基于阴极射线管的示波器而产生的。如美国 MIT 于 1950 年研制的旋风 1 号计算机,就配置了这种用示波器改造的图形显示器,而笔式绘图仪是在 $x-y$ 函数记录仪的基础上发展而成的,较早的有美国 CALCOMP 公司 1958 年研制的滚筒式绘图仪和 CERBER 公司研制的平板式绘图仪。在硬件设备的基础上,计算机绘图的软件技术也得到长足的发展。1962 年,Ivan E. Sutherland 首次提出了交互式计算机绘图的概念,并发表了博士论文《Sketchpad:一个人机通信的图形系统》。1963 年,在美国的计算机联合大会(NCC)上,MIT 小组推出了 CAD 的项目并发表了 5 篇论文,给工程技术界以很大震动。

1963 年,Doug Engelbart 在斯坦福研究所制造出了第一个木制鼠标器,他的思想极大地影响了以后交互式绘图技术的发展。20 世纪 70 年代初,Xerox 公司发明了第一个数字化鼠标器,并在 1975 年宣布了鼠标器的规范。

1983 年,Microsoft 公司生产出了鼠标器的新一代产品——总线型鼠标器,它连接在一块装有 Intel 8255 芯片的插件板上。1984 年,Microsoft 设计出了串行口鼠标器,它不需要独立的电源,CMOS 处理器可以从 RS-232 接口中获得足够的动力。在随后的 3 年中,Microsoft 公司陆续推出了它的第二代、第三代鼠标器,分辨率大大提高,可以连接在串行口上或 PS/II 机器的接口上。今天的鼠标器不但有机械式的,还有光电式的,它的重要性已不亚于键盘。

20 世纪 70 年代中期出现的光栅扫描图形显示器,能以更高的频率对屏幕图形刷新,分辨率不断得以提高,使得计算机交互式绘图技术得以更快的发展。

同时,高速高精度的绘图仪也相继问世,平板式、滚筒式、笔式、喷墨式、单色和彩色绘图仪相继出现,性能不断提高,价格不断下降。

1.1.2 CAD 在土木工程领域的应用和发展

计算机的出现到现在不过 50 多年的历史,但随着计算机硬件和软件技术的飞速发展,它本身及它所影响的 CAD 领域产生了迅猛的变化。这体现在从 20 世纪 60 年代简单的人机交互式绘图技术发展到了如今大规模集成化 CAD 系统。计算机图形技术和 CAD 对土木工程领域传统的人工计算、手工绘图的设计方式产生了深刻的变革和影响。

由于电子计算机技术的不断发展,其对单凭铅笔、图板、计算器等工具做结构设计的传统手段,正在进行

重大的改革。尤其是高速、高精度绘图仪的出现,以及相应系统软件的发展,计算机已不再只是一种单纯的高效率计算工具,而是越来越成为人们进行创造性活动的得力助手。因此,自 20 世纪 60 年代以来,逐渐形成了一门新兴学科——计算机辅助设计(Computer Aided Design),简称 CAD。计算机辅助设计(CAD),就是利用计算机系统来辅助完成工程设计领域中的各项工作。它包括了工程或产品设计中采用计算机技术辅助分析、计算和绘制图形的全过程。

CAD 技术首先应用于汽车工业,通用汽车公司将其用于设计汽车外形及车身结构,随后逐渐扩展到其他国家和其他部门。20 世纪 70 年代,CAD 技术在生产实际中的应用有了飞速的发展。我国到 20 世纪 70 年代,计算机在结构计算中的应用已有了一定规模。但由于国产机的数量有限,加上价格昂贵、操作繁琐、不易维护等多种原因,计算机的应用基本上还是处于少数专门人员用以解决手算所不能解决的大题、难题的状况。对一般工程师来说,尽管他们学习过算法语言,也曾经将电算应用于结构设计,但计算机对他们来说依然是神秘和陌生的;每天所完成的设计任务仍然是依赖于图表、手册和计算器等,而在计算机绘图方面,当时国内还是一片空白。

我国 CAD 的应用基本上始于 20 世纪 80 年代。在开始阶段,主要依靠外国引进的通用或专用图形软件包在屏幕上作交互式图形设计,与结构计算和构件设计没有结合,参与者主要是长期与计算机打交道的专门人员。可以说,一直到 20 世纪 80 年代末,土木工程 CAD 才有了真正的发展和较广泛的应用,而这一时期各单位大量购进国产和进口的廉价高性能微机,又在很大程度上促进了 CAD 软件的开发和应用。

1.2 CAD 的基本概念

1.2.1 CAD 的定义及功能

CAD(Computer Aided Design)是计算机辅助设计的简称。计算机辅助设计(CAD),就是利用计算机系统来辅助完成工程设计领域中的各项工作。

由于计算机应用领域的不断扩展,今天人们常说的 CAD 已不再局限于辅助设计工程的个别阶段和部分,而是将计算机技术有机地应用到设计的每个阶段和所有环节,尽可能地应用计算机去完成那些重复性高、劳动量大以及某些单纯靠人难以完成的工作,使工程师有更多的时间和精力去从事更高一层的创造性劳动。

CAD 目前应用的领域非常广泛,其中主要有航天航空工业、汽车工业、机械设计、建筑设计、工程结构设计、集成电路设计等等。一般认为 CAD 所应具备的主要功能有:

- (1) 几何造型和图形处理;
- (2) 工程计算和对设计对象的模拟、检验以及优化等;
- (3) 计算机绘图与文档编辑;
- (4) 工程信息的合理输出与存储;
- (5) 人工智能。

交互式图形编辑和自动绘图是 CAD 的主要特点,也是现今大多数 CAD 系统的主要功能。工程设计中通常都要处理大量的图形信息,而且绘图工作量也很大。利用计算机的图形显示功能以及彩色、浓淡、阴影、动画等特殊技巧常可收到手工难以达到的效果。例如辅助建筑型体设计,飞机、汽车等复杂模型设计等。利用计算机绘图,不但可以减轻劳动强度和加快出图速度,而且还能提高图面质量和减少工程图纸的常见差错。

1.2.2 CAD 与计算机绘图的内涵

有人以为 CAD 就是计算机绘图,其实计算机绘图只是 CAD 的一个组成部分。但计算机绘图是 CAD 的重要组成部分,它包括图形信息的输入、输出,图形的生成、变换,图形之间的运算,人机交互式作图等方面。

计算机绘图技术除了在 CAD 领域应用最为活跃和广泛外,还在其他领域得到了广泛应用。这是因为

现代的“绘图”一词其含义已不再是传统意义上的“在纸上画图”，已扩展为在显示屏上显示图形、在打印机上打印图形、人机交互式绘图或用程序自动生成图形文件等等。除了在二维空间绘图外，甚至还在三维空间“绘图”，例如控制刀具按既定程序切削出三维型体。

其典型的应用领域有：

- (1) 自动化办公系统中的图形图表制作。
- (2) 管理工作中的图形，如工作规划图、生产进度图、统计图（扇形图、直方图）、分布图等等。直观明了的图形能使管理人员或决策人员对所涉及的事物一目了然。
- (3) 勘测图形，如气象卫星云图、矿物分布图、人口密度分布图、航测地形图、水文资料图、环境污染监测图等等。
- (4) 数值信息图形可视化。如应力场分布、电场分布、应变分布、温度场分布等，常用“彩云图”通过颜色的深浅反映场中不同位置处量值的大小，将数值可视化。
- (5) 商业广告及影视动画制作，甚至包括数字摄影中画面配景、编辑等后期制作的应用。
- (6) 过程控制中的图像辅助功能以及三维型体的全自动加工切削。
- (7) 计算机辅助教学和仿真模拟。例如，可以在屏幕上模拟一根钢筋混凝土梁从加载到开裂直至破坏的全过程，而无需学生亲临试验室去做试验。学生可以在计算机上自由设置梁的尺寸、配筋的多少和加荷的大小。
- (8) 计算机辅助设计中的图形生成和图形输出。主要可分为交互式绘图和非交互式绘图。前者通过人机对话，输入绘图的基本信息生成图形，例如工程师通过人机交互输入建筑平面图，然后由计算机程序自动生成剖面图和立面图；后者主要是对于那些量大面广、又具有规律性和重复性的图形，程序根据少量的控制参数，自动生成图形。例如钢筋混凝土连续梁的结构施工图，就可以仅根据少量原始信息，由程序进行力学计算、自动配筋构造设计直至自动生成全部施工图。

可见，计算机绘图不仅是 CAD 的重要组成部分，也是其他应用领域的重要组成部分。土木工程 CAD 的内容很多，同时又与许多环节紧密配合。在计算机应用高速发展的今天，每个环节、每个阶段的部分或全部工作都可借助计算机来完成。例如工程结构 CAD，它主要内容包括结构计算、构件设计和绘制结构施工图三部分：

(1) 结构计算。结构计算要求计算机完成的工作是：对结构计算简图进行静力、动力、线性、非线性等力学分析；按规范要求对内力和荷载组合，找出截面的最不利内力值；截面和构件的强度设计，即计算截面所需钢筋面积；依据规范对各分析阶段作可行性判断及优化处理等。随着 CAD 软件技术的发展和硬件设备的提高，结构计算的前后处理程序的开发和应用也有较大的进展。

(2) 构造设计。构造设计是整个 CAD 系统中技术难度较大的一部分，主要任务是根据结构计算的结果，完成构件和截面的选配筋等构造设计。如框架结构中的梁、柱选配筋和楼板钢筋布置等。构件选配筋设计不但要使各截面满足内力包络图的强度要求，而且整个构件中的主筋、箍筋和其他构造筋都必须符合有关的规范规定和设计习惯作法。

(3) 绘制施工图。结构施工图的绘制可以分成成图（几何图形构成）和绘图（图形输出）两部分。尽管 CAD 的成图过程有多种形式，但通常都需经过将几何图形转换成点的坐标和图形符号的步骤。绘图则是将成图后的信息经绘图机（或其他图形输出设备）处理后，以线条和符号的形式表示在图纸上，构成一张完整的施工图。

1.2.3 土木工程 CAD 涉及的知识领域

土木工程 CAD 的开发和研究是一个多学科知识综合应用领域，涉及数学、力学、计算机图形学、软件工程以及各专业设计理论（如房屋桥梁结构工程、岩土工程、给排水工程、暖通工程等等），还与工程经济、工程管理、工程决策等知识有关。

对于集成化 CAD 系统和智能化 CAD 系统，还涉及数据库理论和人工智能理论，以及专家系统、人工神经网络等技术。

因此，土木工程 CAD 软件的开发是一件技术难度大、工程浩繁的工作，需要科技人员付出极大的劳动

和代价。特别是开发土木工程 CAD 系列软件,牵涉的面更大,需要大量的人力、财力和物力。

本教材只侧重应用,主要指导学生学会使用现成的 CAD 软件,只在第六章结合工程结构 CAD 实习一下典型构件的计算编程。

1.3 CAD 在土木工程中的应用

CAD 在土木工程中的应用非常广泛,主要有以下几个方面:

1.3.1 建筑与规划设计

国内的建筑与规划设计 CAD 软件大多是以 AutoCAD 为图形支撑平台作二次开发的系统。这些软件一般能进行建筑和桥梁的造型设计,从二维的平、立、剖面图到三维的透视图甚至渲染效果图都能生成。

目前国内流行的建筑设计软件主要有:

天正 TARCH、House、德克赛诺 ARCH-T、中国建筑研究院的 APM、ABD、匈牙利 GRAHPISOFT 公司的 ARCHICAD 等等。

1.3.2 结构设计

在结构设计方面,若干在微机上研制开发的较成熟的 CAD 软件,目前正在各设计单位发挥着积极的作用。这些软件的特点是:以微机为主要开发机型;符合我国现行规范要求 and 设计习惯;能与人们所熟悉的计算机程序有机结合;自动化程度高,操作简便;有一定的人机交互功能,可适应不同层次的人员使用。就其功能来说,它们基本上能完成从结构计算到绘制结构施工图的全部或大部分工作,从而使传统的结构设计方式发生了根本的变化。另一方面,由于计算能力和图形功能的加强等原因,过去人们所熟悉的结构计算方法,即有限单元法分析程序部分,在 CAD 系统中也大为改观。在系统中由于具备功能齐全而又灵活方便的前后处理功能,大大提高了使用者的工作效率,减少了出错机会和查错时间。更为重要的是,灵活多样的菜单、图形等交互式工作方式使现代 CAD 系统的操作既简单又方便,使其真正成为每个工程师自己的有力工具。

目前国内流行的结构 CAD 软件主要有:

中国建筑研究院的 PK、PM、TBSA、TAT、SATWE、TBSA-F、TBFL、LT、PLATE、BOX、EF、JCCAD、ZJ 等等;

湖南大学的 HBCAD、FBCAD、BSAD、BENTCAD、FDCAD、NDCAD、SBSIA、BRCAD、BGCAD、SLAB-CAD 等等;

交通部公路科学研究所的桥梁设计软件 QXCAD、GQJS、SBCC、STR 等等;

清华大学的 TUS,北京市建筑设计院的 BICAD;

德克赛诺的 AUTO-FLOOR、AUTO-LINK。

1.3.3 给排水设计

目前国内流行的给排水设计软件主要有:WPM、PLUMBING、GPS 等等。

1.3.4 暖通设计

目前国内流行的暖通设计软件主要有:HPM、CPM、HAVC、THAVC、SPRING、[美]AEDOT、[欧]COMBINE 等等。

1.3.5 建筑电气设计

目前国内流行的建筑电气设计软件主要有:TELEC、ELECTRIC、EPM、EES、INTER-DQ 等等。

总之,CAD 是一门应用非常广泛的技术,在土木工程的各个领域都占有很重要的地位,因此,它是一门很重要的技术基础课,同学们应认真地学习,努力掌握 CAD 的基本原理和应用技巧,为今后的工作和学习打下扎实的基础。

1.4 CAD 的学习方法

1.4.1 掌握 CAD 硬件设备的使用和软件环境配置要求

一台计算机主要由运算器、存储器、控制器、输入设备和输出设备五部分组成。运算器和控制器组成计算机的核心部件,称为中央处理器(Central Processing Unit),简称 CPU。通常把 CPU 和内存储器一起称为计算机主机,把输入、输出设备和外存储器统称为计算机的外部设备。

运算器是对数据进行加工处理的部件。它在控制器的作用下进行各类基本的算术运算、逻辑运算和其他操作,与内存交换数据。运算器中含有暂时存放数据或结果的寄存器。控制器的功能是根据指令控制计算机各部分进行各种操作,以确保计算机系统能协调地自动运行。

存储器是计算机的记忆装置,用来存放计算机程序和各種数据、信息。存储器又分为主存储器(即内存)和辅助存储器(即外存)。内存又分为随机存储器 RAM(Random Access Memory)和只读存储器 ROM(Read Only Memory)。RAM 可随机存取信息,关机后信息随之丢失,无法保存。ROM 用专用设备写入信息,用户只可读取使用,其内容不因关机而丢失。

输入设备是指向计算机输入原始数据和程序的外部设备。常用的输入设备有键盘、磁盘驱动器、光笔、鼠标器等。

输出设备是把计算机内的信息以人们熟悉、方便的形式输出,或变为其他设备能够接受、识别的信息。常用的输出设备有显示器、打印机、绘图仪等。

上述计算机的五部分构成了计算机的硬件。但是,光有硬件计算机还不能工作,要计算机正确地运行以解决各种问题,必须给它编制各种程序,这些程序统称为软件。软件的种类很多,可分为系统软件和应用软件两大类。为了区别,有时把包括系统软件在内的计算机叫做“计算机系统”,不含系统软件时才叫“计算机”。但日常生活中人们对二者并不严加区分。

从国内外 CAD 硬件技术发展来看,大致有以下四种形式的 CAD 系统:主机分时 CAD 系统、高档工程工作站 CAD 系统、微机工作站 CAD 系统和个人计算机 CAD 系统。主机分时 CAD 系统是由小型机以上的机器作为主机,以工程工作站作为图形终端进行工作的一种集中分时的 CAD 系统,这种系统投资大,环境要求严格,不适应于一般设计部门。进入 20 世纪 80 年代末期,工程工作站和微型计算机在 CAD 领域迅速崛起,到了 20 世纪 90 年代,具有高性能、低价格的微机工作站和个人计算机系统已成为 CAD 系统的主要机型。近年发展起来的网络系统又可将上述几种形式连成一体。

我国现有 CAD 软件一般选用普通的高分辨率彩色显示器(VGA 卡)就可以了。一些交互式前后处理程序有时也要求配备大屏幕图形终端和数字化仪等。计算结果的文字输出需要有一台打印机。打印机的种类很多,点阵式、喷墨式和激光打印机均能适应 CAD 软件的输出要求。尽管也可以从打印机输出图形,但作为工程设计的正式施工图纸,通常需要从专门的绘图设备输出,这类绘图设备中常见的是滚筒式绘图仪,如美国惠普公司生产的 HP 系列和休斯公司生产的 DMP 系列绘图仪。

CAD 软件通常要求计算机具有 16MB 以上内存容量、4GB 以上硬盘和至少一个软盘驱动器。这是一般 586 微机的基本配置。较大的内、外存容量和较快的运算速度是 CAD 软件所希望的硬件运行环境。

系统软件包括控制计算机中所有资源,并充分发挥各种资源的最大效能的操作系统(Operation System),如微机上普遍采用的 MS-DOS 操作系统和 Windows 窗口系统;开发 CAD 软件的工具软件(高级程序语言),如 Quick Basic 语言 QB 和 FORTRAN 语言 Power-Station 等。

1.4.2 领会 CAD 系统的总体结构及操作流程

在学习使用一个 CAD 软件之前,认真地领会该 CAD 系统的总体结构及操作流程是非常必要的,它对于快速顺利地使用软件有很大的帮助。因此应该首先仔细阅读软件使用说明书,着重弄清它的结构流程和来龙去脉。

CAD 系统的形式主要以系统是否具有人机交互功能而分成交互式和非交互式两大类。

交互式系统是指它的全部或大部分作业过程要在人的直接参与下,以人机对话的交互作业方式进行工作。所以这种系统仍然是以人为中心的。这种系统适应于设计目标难以用目标函数和其他数学过程来定量描述的设计问题。例如建筑型体设计、产品造型设计等。

非交互式系统是指不以人机对话方式为主的系统。它的作业过程无须人的直接参与或只要很少的人工参与,机器便能根据已编制好的程序自动完成各个设计步骤。这种以机器为中心的设计系统常称为自动设计(Automated Design)系统,简称 AD。它适应于设计目标能用明确的目标函数来定量描述的问题,如本书将要介绍的结构 CAD 系统便可设计成 AD 系统。

应该指出的是,随着 CAD 软件的不断更新和提高,加上计算机内部处理能力和图形交互能力的增强,使得过去某些必须通过许多人机对话操作步骤才能完成的工作现在已可交由计算机去自动完成。近年来,国内外一些有影响的 CAD 软件系统都已将交互式和非交互式两者有机地结合起来,使各自的优点都得以充分发挥,从而进一步方便了用户的使用和提高了软件的适应能力。而且这已成为 CAD 软件开发的一种新趋势。

1.4.3 结合相关专业设计规范和理论进行学习

CAD 是一个与工程实际结合十分紧密的科技领域,与各专业设计理论和设计规范密切相关。因此,应结合本专业教科书和国家规范进行学习。

本书第六章结合钢筋混凝土构件的设计计算给出了一些编程实例,目的在于使同学们通过亲自动手编制一些小型程序,了解 CAD 软件的内部结构,掌握一些 CAD 软件开发的基本概念和方法。

对 CAD 软件开发有兴趣的同学还可以在课余学习一些更深的程序设计理论和编程技术。程序设计要使用专门的程序语言,土木工程 CAD 程序设计主要采用 C、Quick-BASIC 和 FORTRAN 语言。

要编制一个好的程序系统并没有一种绝对的规则,就像工程设计也没有一种绝对的规则一样。但对于程序设计的好坏现在已逐渐形成了一套评价的客观标准,这些标准大致分为以下几个主要方面:

- (1) 易于调试与维护;
- (2) 正确性与可靠性;
- (3) 使用方便且效率高;
- (4) 软件的可移植性;
- (5) 程序的可读性。

像开发任何其他专业软件一样,要开发一个优秀的土木工程 CAD 软件,除采用科学的软件工程方法外,还需要有科学工作者的优良组合和他们长期不懈的努力。

程序设计强调程序结构化和整体功能的优化。关于程序的设计编写与调试的一套方法论,其要点可归纳为以下几方面:

(1) 编程结构化。结构化程序由三种结构单元(或称为块)所构成,它们是顺序结构、分支选择结构和循环结构。编程结构化又称结构化程序设计,它可使编写的程序层次分明,逻辑清楚,容易阅读。

(2) 分层处理技术。为了解决现实世界中的许多复杂问题,人们往往需要根据问题的内在联系将其分割成有层次的一系列问题来分别求解。对于一个大型程序系统设计来说也需采用分层的办法来处理,在每一层里集中解决一个问题,并为下一层的执行做好准备。分层处理技术的主要内容是将程序划分为多个层次的若干模块。

(3) 为了保证模块的独立性,各模块之间只能通过接口与其他模块连接。另外,对于一个较大的软件系统要由多人合作才能完成,模块化也为此提供了较好的合作条件。

(4) 避免过多使用 GOTO 语句,特别是逆转的 GOTO 语句。这是结构化程序设计的标志之一。

应当指出,程序设计方法论仍在发展探索之中,千万不能把上述有关内容当作绝对正确的教条套用,而应当通过实践来发展和丰富其内容。然而程序设计发展到今天,已经打下了很多必要的理论基础。我们正在达到一个可以谈论程序设计是一门科学而不仅仅是一种技巧的阶段。同学们可以通过学习 CAD 程序设计,综合运用所学的基础知识和专业知识,使自己对这门科学的掌握达到更高的层次。

2 CAD 硬件系统

本章讲述 CAD 硬件系统的有关基本知识,目的是帮助学生了解 CAD 硬件的基本配置和性能,能够熟悉常用 CAD 设备的使用方法,具有一定的按照实际需要选择和配置 CAD 硬件设备的能力。

2.1 CAD 硬件系统概述

CAD 硬件系统是一个能进行图形操作的具有高计算性能和交互设计能力的计算机系统。它的具体配置将因系统设计目标和服务功能的范围而不同,并且随着计算机技术和性能的发展,在不断地提高。但是,从根本上看,其典型的配置是两大基础部分,即通用计算机部分和专用图形设备部分。

关于 CAD 系统的硬件组成结构,下面从两个层次来进行介绍。一是必备的基本结构层次,二是理想的高级系统结构层次。

2.1.1 硬件系统的基本组成结构

CAD 硬件的必须配置是:一个适用的 PC 机,高分辨率的显示器,外存储器,图形输入/输出设备。目前流行的 CAD 典型配置如图 2.1 所示。

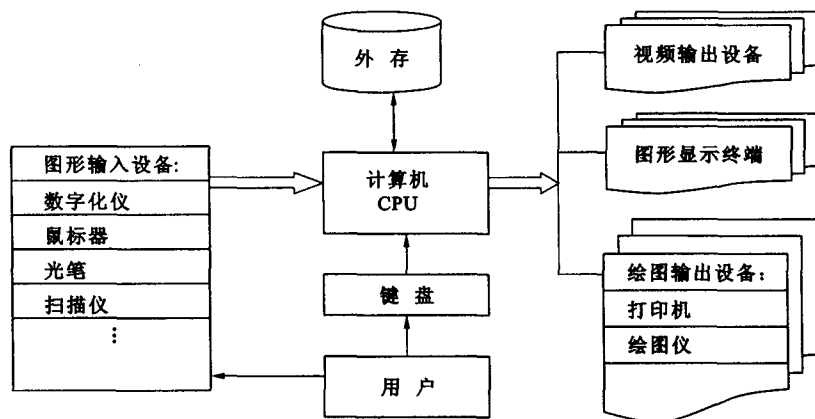


图 2.1 CAD 典型配置

以 PC 微机为基础的 CAD 硬件常常由下列设备组成:

CPU:80486,Pentium-Ⅱ,即要求具有浮点处理器和图形计算的基本能力。

内存:4MB 以上。

硬盘:500MB 以上。

图形显示:EGA 640×350×4(64 色)

VGA 640×480×8(262144 色)

TVGA 1024×768×4/800×600×8(262144 色)

ARTIST 1024×1024×8

VG32 1024×1024×32(16M 色,真彩色)

图形输入:鼠标,数字化仪,扫描仪。

图形输出:打印机,绘图仪。

2.1.2 硬件系统的高级配备组成结构

大型企业 CAD 系统和高性能 CAD 系统,在硬件系统方面采用高级的配置结构,并综合运用了网络通