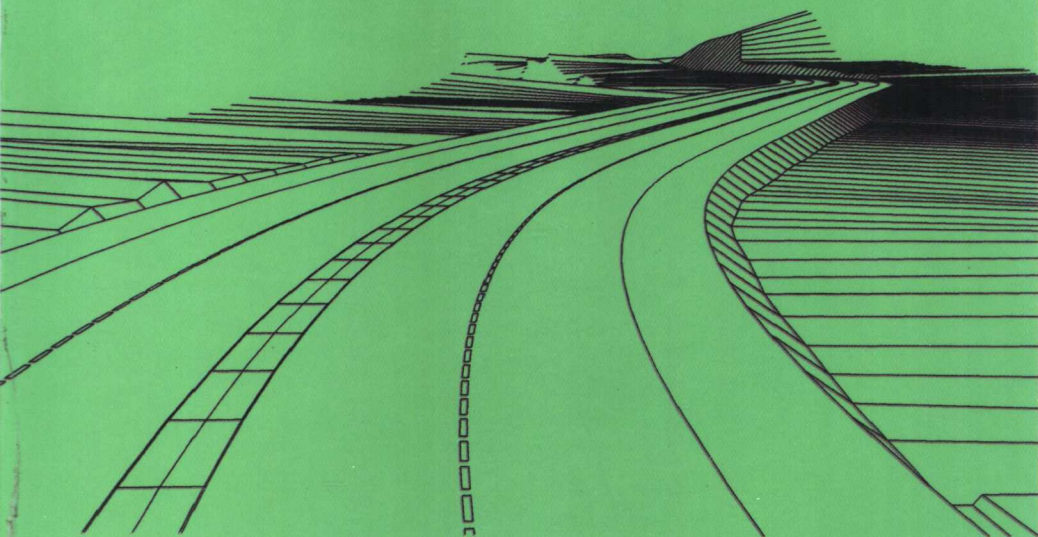


公路 CAD 技术

许金良 张雨化 编著



人民交通出版社

公路 CAD 技术

Gonglu CAD Jishu

许金良 张雨化 编著

人民交通出版社

图书在版编目(CIP)数据

公路 CAD 技术/许金良,张雨化编著.-北京:人民交通出版社,1998.3

ISBN 7-114-03120-3

I. 公… II. ①许… ②张… III. 道路工程-计算机辅助设计 IV. U412

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 22956 号

公路 CAD 技术

许金良 张雨化 编著

责任印制:杨柏力 版式设计:刘晓方 责任校对:尹 静

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷厂印刷

开本:850×1168 1/32 印张:7.125 字数:185 千

1999 年 1 月 第 1 版

2000 年 5 月 第 1 版 第 3 次印刷

印数:8501—12500 册 定价:14.60 元

ISBN 7-114-03120-3

U · 02235

内 容 提 要

本书是编者在公路 CAD 软件的开发研究和“公路 CAD 技术”教学实践的基础上编写而成的。该书系统地介绍了 CAD 技术的基础知识和公路计算机辅助设计的设计原理、思路和操作要点。其主要内容有:公路 CAD 的软、硬件组成,计算机图形学概要,CAD 系统中常用的数据处理方法,路线优化设计,路线 CAD 系统,路基、路面计算机辅助设计,交叉口计算机辅助设计,中小桥涵计算机辅助设计等。

本书可作为大专院校道路工程专业公路 CAD 技术教材,也可供从事道路 CAD 技术工作的工程技术人员参考。

前 言

计算机辅助设计(CAD)作为 20 世纪世界公认的重大技术成就之一,正深刻地影响着当今工业和各个工程领域,已为各行各业带来巨大的经济效益和社会效益。自 80 年代中期以来,原 CAD 的单元技术日趋成熟,正向集成化、智能化方向发展。建设部、国家科委等八部委根据我国计算机辅助设计技术的发展、应用情况以及在“六五”、“七五”期间取得的成就,决定于“八五”期间在工矿企业中全力推广 CAD 技术,其总体目标是到 2000 年,我国 CAD 科研开发及应用水平达到国外中等发达国家 90 年代中后期水平。工程勘察设计行业结合自身特点,制定了“到 2000 年完成勘察设计的技术手段从传统的手工方法向现代化 CAD 技术转变”的发展目标。根据这一发展趋势,国内各高等院校近几年相继开设了有关公路 CAD 技术的课程,以充实和提高道路工程专业学生的 CAD 技术基础知识和基本技能,使学生毕业后能尽快适应工作环境。

目前国内尚无《公路 CAD 技术》课程的正式教材,这方面的资料也很少。仅有的几本有关这方面内容的书籍,大多以介绍某一程序系统为主线,而全面系统地介绍公路 CAD 技术基本理论及系统设计方法的则很少。本书正是从这点出发,结合编者数年来对公路 CAD 技术教学实践经验和公路 CAD 软件开发体会,把诸多具体操作上升为一般概念,提供给读者的是一些有关公路 CAD 系统设计的基本原则、方法、步骤和编程技巧,以培养学生对 CAD 系统的使用、维护和设计能力。为此,要求学生在学本书时,须具备一些 CAD 技术的初步知识,如操作系统、程序设计语言等。

本书由西安公路交通大学许金良、张雨化编著。全书共九章，其中第三章由徐其福编写，第七章由赵永平编写，第一章、第五章由张雨化、徐其福编写，其余各章由许金良编写。由于 CAD 技术的发展日新月异，作者们水平有限，错误疏漏之处在所难免，恳请批评指正。

编著者
1998 年 8 月

目 录

第一章 概述	1
第一节 CAD 技术简介	1
第二节 公路 CAD 的发展	9
第二章 公路 CAD 的硬件与软件支撑环境	12
第一节 硬件支撑环境	12
第二节 软件支撑环境	20
第三节 图形支持软件 AutoCAD 简介	26
第三章 计算机图形学概要	46
第一节 概述	46
第二节 坐标变换	46
第三节 曲线、曲面的设计.....	56
第四节 几何造型技术简介	70
第四章 数据处理方法	73
第一节 原始数据的处理	73
第二节 成果数据处理	82
第三节 数据结构与数据库	83
第五章 路线优化设计	92
第一节 概述	92
第二节 路线优化设计数学模型的建立	93
第三节 最优化方法简介.....	104
第四节 公路纵断面优化设计.....	116
第五节 公路平面线形优化设计.....	122
第六章 路线 CAD 系统	125
第一节 CAD 软件的开发过程与步骤	125

第二节	数字地形模型·····	129
第三节	路线平面计算机辅助设计·····	140
第四节	路线纵断面计算机辅助设计·····	153
第五节	横断面计算机辅助设计·····	160
第六节	公路透视图·····	170
第七章	路基、路面计算机辅助设计 ·····	178
第一节	路基边坡稳定性验算·····	178
第二节	挡土墙计算机辅助设计·····	182
第三节	路面计算机辅助设计与计算·····	190
第八章	交叉口计算机辅助设计 ·····	193
第一节	平面交叉口计算机辅助设计·····	193
第二节	互通式立交方案评价系统·····	198
第三节	互通式立交 CAD 系统·····	204
第九章	中小桥涵计算机辅助设计 ·····	209
第一节	概述·····	209
第二节	中小桥涵 CAD 系统的总体设计·····	210
第三节	桥梁结构计算程序设计·····	212
第四节	绘图程序设计·····	213
主要参考文献 ·····		219

第一章 概 述

第一节 CAD 技术简介

一、CAD 的含义

CAD 是计算机辅助设计(Computer Aided Design)的简称。CAD 技术是近年来工程技术领域中发展最迅速、最引人注目的高新技术之一。它将计算机迅速、准确地处理信息的特点与人类的创造思维能力及推理判断能力巧妙地结合起来,为现代设计提供了理想的手段。这种技术在对设计过程认真分析后,按人与计算机各自的特点,去完成各自最适合的部分。如设计的经验和判断必须由人来完成,而存储和组织数据以及繁重的计算、绘图由计算机来完成,使设计的效果比人或计算机任何一方单独工作都要好而快,这也是 CAD 技术倍受各行业重视和欢迎的原因。它不仅提高了设计的速度和质量,而且能在设计阶段由计算机预先显示设计对象最终的外形结构及评价结果,使设计者在项目实施之前可进行评价并作出决策。

CAD 系统由软件系统和硬件系统组成。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、系统数学库以及在设计中占有很大比例的常规设计、优化设计等,即 CAD 的应用软件包,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、在图形显示装置上进行图形变换(即对图形进行平移、旋转、对称、删除和修改等)以及分析和模拟等系统。图形系统是实现人和计算机进行信息交换的桥梁,也是CAD技术的基础。

数据库是一个通用性的、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,即把数据本身和实体之间的描述都存入数据库,用各种方法来对数据进行各种组合,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。它的内容包括设计原始资料、设计标准、规范、中间结果、图表与文件等。在一个完整的CAD系统中,需要对大量的数据资源进行组织和管理,从某种意义上讲,数据库在CAD系统中是除人以外起核心作用的联络站。

CAD硬件系统的基本配置由计算机、显示器、打印机和绘图机四大件组成,如图1-1所示。计算机完成数据处理工作,其处理结果由显示器进行显示,供设计者判断、修改,最后由绘图机输出所需图形。打印机用于输出源程序清单和数据处理的结果,必要时也可输出图形。这种硬件配置仅能满足一般工程设计的需要。在绘图精度和效率都要求较高的场合,可以在基本配置的基础上,增加图形输入板或数字化仪,以改进输入手段,提高输入效率和精度。在图形输出方面可以增添图形硬拷贝机,以达到图形的快速输出并提高输出效果。

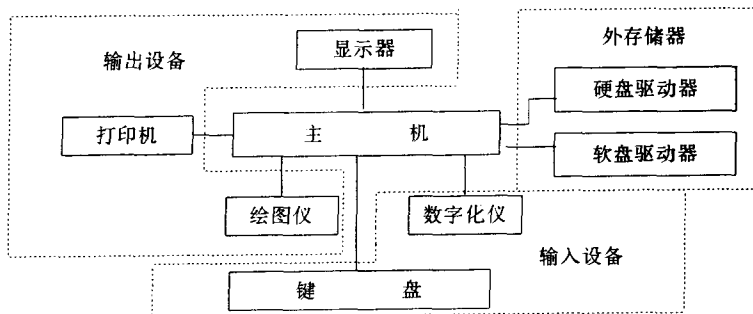


图1-1 CAD系统的硬件设备

二、CAD 的发展与应用

1. CAD 技术的发展

同任何先进的科学技术的发展一样,CAD 技术的出现,是与生产的发展,特别是与计算机的广泛应用分不开的。

50年代,随着使用计算机经验的逐渐增加,不仅扩大了计算机诸如数值计算和事务处理等能力,而且对“人工智能”的研究也逐步开展。例如,美国麻省理工学院(MIT)D. T. Ross 小组研制了数据控纸带装置并被成功地用于数控机床的研究中,1962年,由 MIT 的林肯研究所 Ivan Sutherland 博士完成了把 CRT 显示器和光笔技术应用于计算机图形输入/输出和命令指点上,为实现人机协同工作打下了基础。

人们公认的第一个真正应用于设计工作中的 CAD 系统,是 1963 年美国麻省理工学院的 Ivan Sutherland 博士研制的 SKETCHPAD—A 系统。该系统由一个阴极射线管显示装置(CRT)及林肯—TXZ 计算机组成,设计者可坐在 CRT 控制台前,用光笔操作,以人机对话方式,输入设计草图,设计者可以随心所欲地对计算机所显示的图形进行修改、追加和删除,能在 10~15min 内完成通常要花费几周时间的手工作业。这是最初的交互式图形系统,被认为是图形库的最初尝试,是最早实现人机之间信息交换的系统。这一新技术的发展,促成了计算机图形学的产生。

1964年,美国通用汽车公司(GM)提交了 DAC—I 系统,它的硬件是 IBM 公司根据通用电机研究所的技术规范生产的。该系统能最终输出工程图的硬拷贝,主要用于汽车玻璃线形设计,也是有代表性的一个实用系统。

1965年,贝尔电话实验室公布了 GRAPHIC—1 远程显示系统,它用于印制电路版的设计、文本编辑以及交互式布线设计,最早实现了局部交互工作站与中央主机联网的构想。

60年代初,计算机进入了以集成电路为基本元件的第三代电

子计算机时期,以汽车、飞机工业为中心,CAD 技术迅速发展起来。具有历史意义的是以微机为主机的高档台式 CAD 系统的问世,其具有代表性的是 APPLE 公司的 AGS 系统和 Computervision 公司的 CADDs 系统。另外,与以往的使用大型计算机的集中型不同,出现了可置于设计人员身边的,能方便使用的分散型的“成套系统”。从此,CAD 迅速地与设计人员接近起来。

2. CAD 技术的应用

60年代初,CAD 技术只在欧美国家少数几个大公司中应用,如美国通用汽车公司、洛克希德公司及 IBM 公司,当时,首先被应用于机械制造行业,如汽车制造、飞机制造、船舶制造等。70年代后期,微型计算机、大容量存储技术及计算机图形学的飞速发展,使 CAD 技术在工程上的应用从单纯的分析计算变为大量信息存储、检索、绘图、计算溶为一体的独立系统,并贯穿到设计、制造和管理的全过程中。目前,CAD 技术已几乎应用于社会的各个领域,乃至家庭。

分类来说,CAD 技术有以下几个主要应用方面:

1)在航空和汽车工业中的应用

飞机和汽车工业是最早应用 CAD 技术的两个行业。美国波音飞机制造公司在60年代初已有 CAD 程序,主要用于计算分析及绘图输出方面。到80年代初已发展成为 CAD/CAM 的集成化系统。美国通用汽车公司应用 CAD 技术设计汽车外形及车身结构。其后 CAD 技术在英、日、意等国的汽车和飞机公司也都获得了广泛的实际应用。到目前为止,在发达国家中,汽车的发动机、底盘、车轮、燃料系统、排气系统、转向器及方向盘等70%以上的汽车部件的设计制造均已采用了 CAD 技术。

在我国,随着改革开放政策的实施,在飞机及汽车制造中也已引入许多 CAD 系统,有的厂家也正向集成化系统发展。

2)在建筑领域中的应用

在建筑行业中,CAD 技术的应用是发展速度最快的技术之一。据美国统计,在1979年~1983年的短短几年中,CAD 系统的投

资占其总投资的18%。它首先建立了房屋设计的 CAD 图形网络,实现分布式 CAD 技术的应用,共享图形资源,减少工程费用,加快设计过程。现在,使用 CAD 技术的水平已成为工程公司技术水平的象征,是对外竞争投标的重要手段和标志。目前,许多 CAD 软件公司已有成套的建筑工程软件商品,如 Intergraph 公司在 VAX-11 系列机上有以数据库和图形处理为核心,并配有测绘应用的一套建筑工程设计软件系统,CV 公司的 CADDS4 系统是由多道操作系统和二维/三维图形数据库组成的多任务软件。目前建筑领域中,勘测、设计、建筑结构、管道及电气五大类工作都有应用软件产品,CAD 技术已渗透到建筑工程各专业内部的主要环节中。

3) 在电子工业中的应用

CAD 技术在电子工业方面的应用最早始于印制电路版的制造设计,1966 年 IBM 公司元件分公司研制了一个 CAD 系统,在 IBM/360 机上运行,1977 年又推出 IWS/370 系统,在 IBM 公司内部使用。现在,据美国有关资料统计,75% 的 CAD 设备是应用于电子工业的设计与生产。

我国电子工业中,CAD 技术主要应用在集成电路的版图设计及逻辑模拟分析方面,但也已开发了集成化系统——PANDA 系统,该系统是国家“七五”攻关成果,是以数据库为核心,将电路逻辑模拟、时序模拟、电路模拟、版图设计、版图验证、掩膜生成集成为一体的系统。

4) 在机械制造行业中的应用

CAD 技术最初应用于机械制造业是数控(NC)系统,它由专用计算机的指令程序控制机床加工。随着微机的迅速发展,CAD 技术正从 NC 向 CNC、DNC(直接数控)及自适应数控(ACNC)发展,使机器可在无人操纵下自动运转。可以说,CAD 技术的应用是 18 世纪工业革命以来,机械制造业技术发展上的又一次飞跃。

另外,CAD 技术在教育、艺术、服装工业等方面也都有广泛的应用。

CAD 技术的应用给社会带来了巨大的经济效益。据美国80年代统计,设计生产引入CAD技术后,超大规模集成电路的效率提高18倍,机械工业效率提高5倍,建筑行业效率提高3倍,出版行业效率提高4.4倍,公路设计效率提高5~10倍,工程造价降低2%~3%。随着CAD技术的飞速发展,效益还会迅速提高。

三、CAD 系统的类型与构成

1. CAD 系统的类型

CAD 系统按其是否具有人一机对话功能而分成交互型和非交互型两大类。

交互型CAD系统具有人一机对话在功能,它的工作过程要在人的直接干预下,采用人一机对话的交互作业方式,以人为中心来进行。这种系统多用于设计对象难以用目标函数来定量描述的设计问题。

非交互型CAD系统不具有人一机对话功能,在它工作过程中,设计人员不需要或只是很少地参与,由计算机根据用户编制的程序自动地完成各个设计步骤,直至获得最优解为止。所以这种系统是以机器为中心的,亦称为“自动设计”系统,多用于设计对象能用明确的目标函数来定量描述的问题。

1) 交互型 CAD 系统

交互型CAD是CAD系统中比较先进和比较完善的一种系统形式。如图1-2所示,它主要是以CRT显示终端和交互式计算机图形学为基础,通过各种输入装置,设计人员在屏幕上能完成类似于纸面上用铅笔、橡皮、绘图仪器完成的设计工作。

交互型设计系统在60年代初期就已经建立起来了,随着交互硬件和软件技术的发展,已日趋成熟和完善。现在对交互型CAD系统有了更加明确的定义:由设计者定义并描述出设计模型,通过交互设备输入到计算机中,计算机对输入的信息进行处理后,及时地反馈给设计人员;设计人员对反馈的信息进行实时观察、分析和

判断,对错误的信息或不合理的部分进行修改、补充,并把修改和补充后的信息再送入计算机,计算机对这些信息进行再处理、再分析、再判断、再输出。如此以人一机对话的方式反复作业,直到设计人员满意为止。

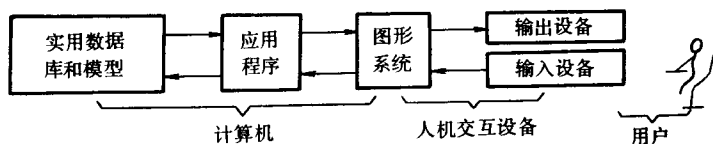


图1-2 交互型CAD系统流程图

交互型CAD系统可以充分发挥设计者的主观能动性,给设计者充分的决策机会,但若人的参与过于频繁,CAD系统的自动化程度就会大大降低,而且误判的可能性也较大。尤其是这种系统对缺乏经验的设计者来说,在提高设计水平和决策的有效性上,计算机没有给予更多的帮助。

目前,世界上一些著名的CAD系统,几乎都具有交互设计功能。我国公路部门、有关院校和设计单位也开展了交互型公路CAD系统的研究并取得了一定的成果。

2) 非交互型CAD系统

非交互型又分为检索型和试行型两种。

检索型CAD系统是将某种定型产品的标准化图纸,变成几何图形信息和附属信息(如尺寸、材料等)一起存入计算机的存储装置,并建立能提供选择最佳标准图形的检索系统,一旦需要时,按用户要求,从中检索并选择出最佳的标准图形。这种系统主要以检索、选择、组装的方式进行工作,适合于设计标准化的专用产品,例如中小桥标准化的墩、柱、梁等,还有机械零件、电动机等。不言而喻,这种系统不适用于新产品设计。

试行型CAD系统是在信息检索的基础上发展起来的一种设计系统。这种系统主要利用了图形显示终端装置,把设计者修改图纸的构思利用相应的软件输入计算机,经过计算机处理后又将修

改结果以图形的形式在屏幕上显示出来,然后经过设计者分析、判断以后,修改相应的程序,再次输入计算机进行处理。经过这样几个反复,直到获得满意结果为止。

试行型系统有一定的修改功能,且是通过程序的修改实现的,图形处理语言的能力较薄弱,使其应用受到一定的限制。

2. CAD 系统的构成

CAD 系统的构成,取决于应用的领域和使用者的环境条件,可分为以下三种形态。

1) 大型直接连接型

这种系统以大型计算机为主机,直接与 CAD 终端连接;或者用通讯回路的分时处理,与远程工作站连接。

由于使用大型计算机,可以灵活地应用 CAD 软件以及工程数据库,因此这种大型的 CAD 系统主要应用在复杂且需要处理大量信息的设计中。

2) 智能终端型

这种系统亦是以大型计算机为主机,不同的是终端用小型或微型计算机来实现部分程序功能,以减少主机的负担。它具有基本图形的图面控制(放大、缩小、画面划分等)以及图形控制(回转、平移、显示、消隐、删除)等智能。

以上两种形态虽属理想,然而需要引进大型计算机,费用较大。

3) 独立使用型

这种系统亦称作“转钥匙”的成套系统,它以小型或微型机作为主机,将图形输入装置、图形显示装置以及绘图机全部连接起来,人机会话性能好,其软件是专门配置的。这种系统不需要配备专用计算机房,可放在设计室里,供设计人员随时使用。

这种分散处理型的系统不需要购置大型计算机,设备费用低,同时,微机上为不同行业准备有相应的软件包,用户的软件负担亦小。目前,我国现有的公路 CAD 系统,多为这种形式。

第二节 公路 CAD 的发展

一、公路 CAD 的发展现状

公路设计领域应用电子计算机始于60年代初,至今已有近40年的历史了。

计算机最初用于公路设计主要是完成繁重的计算任务,如多层路面结构计算、路基稳定性分析与计算、桥梁结构计算以及特殊工程结构物的分析计算等等。由于受到当时计算机软、硬件环境的限制,所编制的程序也是针对某一单项工作,以替代手工计算为目的,功能单一,缺乏系统性,因此应用面较窄。

从70年代开始,西方国家相继进行了公路纵断面优化方面的研究与软件研制工作,英国、前联邦德国、日本、法国、丹麦等国先后推出了纵断面优化设计的研究成果。较有代表性的有:英国的 HOPS 纵断面选线最优化系统、法国的 AHOLON 系统、前联邦德国的 EPOS 系统等。纵断面优化程序的应用,在一定程度上提高了设计质量并相应降低了工程费用。根据联合国经济合作与开发组织于70年代初在意大利西西里岛的某高速公路上进行的联合试验表明:使用纵断面优化程序可以节省土方工程量8%到17%,平均约为10%。这使得整个道路的建设费用大大降低。

在西西里岛的联合试验之后的十多年时间内,许多国家在纵断面优化设计技术的基础上,又对一定宽度范围内的公路平面线形和空间立体线形的优化技术进行了研究,并获得初步成果。到目前为止,路线优化设计在理论和应用上已基本形成了一门独立的学科,但就整体而言,仍处在研究探索阶段。

随着计算机绘图技术的发展,从70年代末开始,在公路工程设计中引入了计算机辅助设计系统,并得到广泛应用。使用 CAD 系统,可以使设计人员从繁琐、重复且易于出错的工作中解放出来,集中精力从事有创造性的工作,使得公路设计方法与设计手段发