



高职高专道路桥梁工程技术专业规划教材

公路工程 CAD 技术与应用

主 编 张家宇 张 辉
主 审 张亚军



東北大學出版社
Northeastern University Press

高职高专道路桥梁工程技术专业规划教材

公路工程 CAD 技术与应用

主编 张家宇 张 辉

主审 张亚军

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 张家宇等 2006

图书在版编目 (CIP) 数据

公路工程 CAD 技术与应用 / 张家宇, 张辉主编. — 沈阳: 东北大学出版社, 2006.8
(高职高专道路桥梁工程技术专业规划教材)

ISBN 7-81102-297-4

I. 公… II. ①张… ②张… III. 公路—计算机辅助设计—教材 IV. U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 091084 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳市第六印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 11

字 数: 289 千字

出版时间: 2006 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2006 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 潘佳宁 刘宗玉 张德喜

责任校对: 王 楠

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

丛书定价: 348.00 元 (本册定价: 26.00 元)

序 言

辽宁省交通高等专科学校道路桥梁工程技术专业，已有 55 年的办学历史，具有深厚的专业积淀，培养了大批道路桥梁工程技术专业人才。

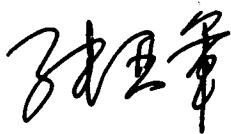
为了进一步适应公路交通行业发展的需求，我校在广泛深入调研的基础上，从 1999 年开始，进行了面向施工一线的教育教学改革，将道路桥梁工程技术专业特色定位为“精施工、懂设计、会管理”。2002 年，该专业被教育部确定为高等职业教育教学改革试点专业，同年，辽宁省交通厅以教学科研项目立项，资助该专业深入开展教育教学改革和建设研究，有力地推动了专业人才培养水平的提高。2005 年，该专业被辽宁省教育厅确定为示范专业。

高等职业教育专业教学改革和建设，核心是课程改革和建设。课程改革和建设的重点是教学内容的改革和建设，教材建设是最重要的方面，要充分体现应用性、先进性和实践性，兼顾现实应用能力与技术跟踪能力的培养，使教学内容与一线实际和今后发展接轨。正是出于上述考虑，我校道桥专业的教师及有关工程技术专家编写出这套专业规划教材。

这套规划教材的出版是这一课程改革和建设思想探索与实践的成果，是全体专业教师、工程技术专家、一线技术人员共同劳动的结晶，同时也为今后进行更深入的课程改革和建设，打下了很好的基础。

这套规划教材适用于道路桥梁工程技术专业，也可供相关专业选用，希望这套书能被多所院校所采用，供大家借鉴，并得以推广，使其发挥更大作用。

辽宁省交通高等专科学校校长



2006 年 5 月

前 言

随着科学技术的飞速发展, 计算机技术已经渗透到了生产和生活的各个方面。计算机技术也给公路工程领域带来了一场革命, 并且产生了巨大的效益。速度快、精度高、费用低、调整和修改方便, 这些优点都是传统的手工方法所无法媲美的。正因为如此, 计算机技术在公路工程技术领域的应用日益广泛, 任何公路工程的设计、施工、养护和管理都离不开电子计算机, 掌握公路 CAD 知识和技能已经成为公路工程人员知识结构的重要组成部分。

近几年来, 国内一些高等院校的交通土建类专业相继开设了公路 CAD 技术与应用方面的课程, 这些课程一部分是以讲授公路 CAD 软件的开发原理和开发过程为主, 培养的目标是使学生具有初步的公路 CAD 软件开发能力和维护能力; 另一部分是以讲授通用计算机辅助设计软件中的 AutoCAD 软件的具体用法为主, 培养的目标是使学生具有应用 AutoCAD 软件绘制工程图纸的能力。这些公路 CAD 技术与应用方面的课程比较适合研究生和本科生的“科研型”培养, 而这些“科研型”的教材无法满足高等职业教育“应用型”人才的培养要求。因此, 我们在校内自编讲义的基础上组织编写了符合高等职业教育特点的《公路工程 CAD 技术与应用》教材。这本教材将以工程应用为实例详细介绍路线 CAD 软件在公路勘测设计中的具体用法, 引导学生一步步掌握路线 CAD 软件的使用过程和使用技巧。在对路线 CAD 软件进行重点介绍的同时, 本书还将介绍桥梁与涵洞 CAD 设计软件、沥青路面结构设计软件、工程造价管理软件、施工组织软件及实验数据处理软件的具体用法。本书以软件的使用和操作过程训练为教学重点, 培养学生运用计算机手段综合解决公路工程实际问题的能力, 缩短毕业生毕业后到用人单位在计算机方面的适应期, 并力争在学校期间完成用人单位在计算机方面对毕业生的岗前培训, 使学生更加符合高等职业教育的特点, 增强毕业生就业的竞争力。

本书共分 11 章, 其中第 6 章和第 10 章由张辉编写, 第 4 章由温俊生、李海军编写, 第 7 章由于国锋编写, 第 8 章由王卓娅、刘伟编写, 其余各章由张家宇编写。全书由张家宇统稿。本书可以作为高等职业学校公路、桥梁及其相关专业的教材, 也可以作为广大公路设计、管理、养护技术人员的参考用书。

在本书编写过程中, 得到了相关公路 CAD 软件开发部门技术人员的大力帮助, 在此谨表谢意!

由于作者掌握的资料有限, 书中内容不尽完善, 敬请读者批评指正。

辽宁省交通高等专科学校道桥系 邮编: 110122

E-mail: highway@lncc.edu.cn

编 者

2006 年 2 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 公路工程 CAD 技术的特点和发展	1
1.2 公路工程 CAD 技术在我国的应用	4
1.3 CAD 技术对公路工程师的要求	5
第2章 公路 CAD 系统的硬件与软件支撑环境	7
2.1 CAD 系统的硬件环境	7
2.2 CAD 系统的软件环境	10
2.3 公路 CAD 系统软、硬件选择原则	12
第3章 数据处理方法	14
3.1 数据结构与数据文件	14
3.2 工程数据库	18
第4章 计算机绘图	23
4.1 计算机绘图基础	23
4.2 AutoCAD 绘图软件	25
第5章 运用 HARD 2002 进行路线设计	34
5.1 项目管理	36
5.2 平面线形设计	38
5.3 纵断面设计	47
5.4 横断面设计	56
5.5 涵洞设计	70
5.6 测设放样	77
5.7 公路三维仿真系统 HARD 3D	80
第6章 运用 HARD BE 进行桥梁设计	83
6.1 绘制桥型总体布置图	85
6.2 桥梁上部设计	86
6.3 桥梁下部设计	93

第 7 章 运用 APDS 97 进行沥青路面设计	100
第 8 章 运用 WCOST 2000 编制公路概预算文件	105
8.1 WCOST 2000 基础知识	106
8.2 运用 WCOST 2000 编制公路概预算文件	108
第 9 章 运用 Project Star 5.0 进行施工组织计划管理	123
9.1 项目管理基本知识	123
9.2 运用 Project Star 5.0 进行施工组织计划管理	129
第 10 章 运用 Wide&Long 进行公路试验数据处理	138
第 11 章 公路软件开发基本原理	145
附 录	149
附录 A HARD 2000 数据文件详细说明	149
附录 B APDS 97 材料代码及交通参数说明	159

第1章 绪论

计算机辅助设计(Computer Aided Design, 简称 CAD)技术是研究计算机在工程设计领域中应用的综合技术, 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工业界的各个行业和各个工程领域。

CAD 技术的崛起和发展极大地提高了工程设计领域中的经济效益和社会效益, 使设计人员的智慧、经验与计算机的高速、准确得到了充分发挥。目前, CAD 技术已在公路工程设计领域的各个阶段得到广泛应用, 它显著提高了公路设计的质量, 加快了设计速度, 使公路建设项目达到了方案优、投资省、工期短、效益好的要求。国内外有关统计资料表明, 在工程设计中采用 CAD 技术, 一般可使工程投资节省 5%~10%。CAD 技术在公路测设中的应用, 使得传统的公路设计手段、设计方法产生重大变革, 极大地促进了公路交通行业的技术进步, 促进了公路学科水平的提高。

1.1 公路工程 CAD 技术的特点和发展

作为一个完整的计算机辅助设计系统, 公路 CAD 的主要内容包括设计方案的构思和形成, 方案的比较和选择, 工程的计算与优化, 设计图表的绘制与设计文件的输出等一系列工作。从这个过程来看, CAD 决不是单纯的工程计算分析, 也不是单纯的计算机自动绘图。

在计算机辅助设计工作中, 人的聪明才智、经验、创造性思维与计算机的高速、准确得到了完美结合。计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换, 也就是在设计人员初步构思、判断、决策以及提供的各种规范、约束、经验等的基础上, 由计算机对大量的设计资料进行检索、提取, 根据设计要求进行计算、分析及优化, 并将设计结果以图形或表格的形式显示出来, 供设计人员进行决策, 或采用人机交互手段反复加以修改, 最终完成工程设计。

在公路设计中采用 CAD 技术, 具有以下明显的特点。

① 提高设计工作效率, 缩短设计周期。采用 CAD 技术可以使设计效率提高 1~25 倍, 绘图效率提高 20 倍, 设计周期缩短为原来的 1/3~1/6。

② 提高设计质量, 在数据库、程序库、图形系统支撑下, 有利于继承原有的设计经验、设计成果, 计算机的高速、准确与人工交互设计相结合, 可以方便地进行设计方案比选, 得到优化的设计结果, 从而节省工程投资, 提高工程设计质量。

③ 使设计人员从烦琐的、重复性的设计工作中解放出来, 以便将其聪明才智投入到创造性的设计工作中, 集中精力于决策。

④ 有利于设计工作的规范化及设计成果的标准化。

公路计算机辅助设计是工业发达国家计算机技术应用的重要领域之一, 公路 CAD 技术是伴随着计算机技术的发展而逐步成熟、完善的。公路工程 CAD 技术的发展大致经历了以下几个阶段。

1.1.1 单纯数值计算阶段

20 世纪 60 年代至 70 年代, 由于计算机还不具备实用的图形处理功能, 计算机在公路工程中的应用仅仅局限在解决单纯的数值计算问题上, 如公路平曲线要素计算、桩号推导、纵断面高程计算、挡土墙的土压力计算等。计算机的高速运行, 使得设计时间大为缩短, 从而为公路设计的多方案比选以及路线优化设计创造了有利条件。这个时期各个国家先后开发出较为成熟的路线纵断面优化设计程序系统, 如英国的 HOPS 程序系统和德国的 EPOS 程序系统。联合国经济合作开发组织于 1973 年在意大利西西里岛对英国、法国、丹麦等国家的路线纵断面优化设计程序采用 14km 路线进行联合试验对比, 该联合实验表明公路纵断面优化设计程序处理的结果可以使土石方量节省 8%~17%, 平均 10% 左右, 充分验证了计算机优化设计在公路设计中的重要作用。

与此同时, 计算机的发展也促使结构分析软件迅速发展, 特别是 20 世纪 60 年代末 70 年代初, 大型通用有限元程序系统的出现, 使长期困扰固体力学、结构力学的大量问题得以解决。它除了可求解各种线性边值问题之外, 其重大突破在于有了解决各类非线性结构问题的能力, 使各类非线性结构问题相继得到满意的解决并达到实用化、工程化的水平, 并以其功能强大、使用方便、计算可靠、效率高而逐渐成为商品, 成为结构工程不可缺少的有力分析工具。

由于早期计算机的运算能力较弱, 算法语言的功能差, 没有友好的操作界面, 开发的程序功能单一, 因此, 这个时期开发的电算程序主要是用于数值处理和分析计算, 计算机辅助设计技术仅在设计和研究工作的某些环节上孤立地发挥作用。

1.1.2 计算、制表、绘图一体化阶段

进入 20 世纪 80 年代, 由于工作站和个人计算机的出现, 算法语言功能的增强和汉字操作系统的不断完善, 以及各类打印机、绘图机、数字化仪等计算机外部设备的不断改进, 公路工程 CAD 技术从简单的数值计算发展到代替设计人员绘制工程设计图、编制和打印表格等。当数字地面模型系统开始进入实用阶段, 地形图数字化以及航测精密光学立体测图仪从航摄像片采集地形资料成为数字地面模型地形原始资料的主要来源。数字地面模型在公路设计中的应用, 使公路优化设计技术从纵断面优化拓宽到平面优化和空间(三维)线形优化。这一阶段的应用, 包括从野外测设获取地形数据到公路路线内业的平面、纵断面和横断面设计计算, 最后形成路线设计的全套成果。应用的重点是路线设计程序系统, 开发的语言主要是 FORTRAN 和 BASIC。

1.1.3 计算机辅助设计阶段

从 20 世纪 80 年代末至今, 个人计算机不断更新换代, 功能进一步增强, 其水平已超过早期的小型机或中型机。数据库技术、图形支持软件、人机交互技术、图形终端等的发展, 促进了计算机辅助设计技术的推广应用。公路工程设计方面的 CAD 研究、开发和应用也是在这一时期出现的, BASIC 语言、C 语言、FORTRAN 语言以及可视化编程语言 Delphi、VC++ 等开始应用于公路 CAD 系统的开发。

计算机辅助设计的主要标志是: 在选择设计参数、拟订初始设计方案阶段, 计算机可以帮助设计人员进行分析、判断和决策; 在设计过程中, 人机交互技术使设计人员和计算机紧

密联系,不断优化设计,设计成果在计算机屏幕上反复修改、逐步求精,并按照有关技术规范的要求自动形成设计文件。

目前,公路 CAD 技术正在逐步走向系统化、集成化和商品化。很多国家已建立了由航测设备、计算机(包括主机、绘图仪、数字化仪等硬件)和专用公路设计软件包形成的集成系统,并作为商品化软件推向市场,在公路工程设计中发挥了极大的作用。这些系统包含数据采集、建立数字地面模型、优化比选以及进行公路设计的全套数值计算、图纸绘制和表格编制的完整过程,并且都有成熟的图形环境作为支撑。国际上比较典型的公路 CAD 系统有:突出公路几何设计与排水设计的德国 CARD/1 系统,该系统实用性强、对硬件要求低、界面友好、操作简易;集数据采集、处理和图像输出于一体的芬兰 ROADCAD 道路系统,它具有先进的图像处理、交互设计技术;体现了计算机硬件与公路设计软件的完美结合的美国 Intergraph 公司的 INROADS 系统;英国的 MOSS 系统更是国际商品化的能用于铁路、公路、矿山、排水、机场、港口及其他土木工程设计的著名软件,它采用了不同于以往的基于横断面进行设计的方法,用一种全新的“串”的概念来表达构筑物以及地形表面,对几何形体的表述具有充分的灵活性,适用于各种复杂的土木工程设计。国外这些软件的共同特点是:系统建立在功能强大的三维数字地面模型及结构物模型的基础上,基础牢固;此外,都注重可视化技术、用户界面技术(交互技术),并寻求一定的智能化功能以及系统的集成和设计的一体化。这样的系统既有相当程度的自动化,又能充分发挥工程师的聪明才智,真正成为工程设计人员强有力的辅助设计工具。这些系统的推广应用,正在逐步改变传统的测设方法,对促进公路测设自动化的进程具有重要的意义。

我国公路 CAD 的研究始于 20 世纪 70 年代后期,虽然起步较晚,但是发展非常迅速。自 1979 年起,同济大学、西安公路交通大学、重庆交通学院与重庆公路研究所、交通部第二公路勘察设计院等单位先后对公路的纵断面优化技术、平面及空间线形优化技术等进行了研究,开发了各自的优化设计程序。这些程序经试算,证明其优化效果是令人满意的。20 世纪 80 年代以来,随着我国公路建设的高速发展,对公路 CAD 技术的需求也不断扩大,许多高等院校、交通设计部门相继开发了公路路线辅助设计系统、小桥涵辅助设计系统、立交辅助设计系统等公路设计软件,并且不同程度地在实际工程设计中得到应用,并在推广和使用过程中不断完善。从 1989 年开始,由交通部组织实施的国家“七五”重点科技攻关项目“高等级公路路线综合优化和计算机辅助设计系统”(简称路线 CAD 系统 HICAD)和“高等级公路桥梁计算机辅助设计系统”(简称桥梁 CAD 系统 JT-HBCADS)的开发成功与推广应用,为我国公路行业大规模使用 CAD 技术作出了重大的贡献。

计算机技术已渗透到公路工程科研、设计、施工各个领域,在公路规划、路线外业勘测和内业设计、公路构造物、工程概预算、施工组织管理以及实验数据处理、公路养护管理以及交通工程等方面都有非常成功的应用。但是,公路的规划与设计要综合考虑自然、环境、经济、技术和美学等多种因素,而这些因素很难用精确的数学模型和数学公式来表达,因此,试图寻找一种将整个设计工作都交给计算机来完成的做法是很不现实的。公路工程 CAD 技术的发展,对传统的公路设计方法是一个严峻的挑战,在计算、设计、绘图和制表等方面都发生了革命性的变化,但在确定设计参数、生成设计方案、构造物的结构形式等关键问题上,人的作用始终是主导性的,这一点是必须明确的。

1.2 公路工程 CAD 技术在我国的应用

公路工程 CAD 技术已经在我国的公路工程领域得到了广泛的应用,主要表现在以下几个方面。

1.2.1 外业勘测

外业勘测的主要任务是通过试算初步确定曲线半径和缓和曲线长度等参数,进行平曲线的圆曲线和缓和曲线的详细测设数据计算(切线支距法、偏角法等),这些都需要烦琐的数值计算,采用传统方法进行计算不但计算时间长、容易出错,而且计算量大、效率低。20 世纪 80 年代初,可编程计算器、PC-1500 机、PC-E500 机以其体积小、便于携带等特点在公路外业勘测中发挥了重要的作用,各公路设计部门都有自己编写的专用外业程序,但这些程序在使用过程中暴露出编程复杂、计算功能单一、界面不友好等缺陷。近一段时期,笔记本电脑也应用在外业勘测的全过程中,配合专用的外业程序可以完成绝大部分外业计算工作,但价格昂贵、可持续工作时间有限等不足限制了其在外业现场的应用。

计算机技术的飞速发展使得掌上电脑已经在一些工程领域得到应用,目前,国内的一些单位已经开发出了公路外业现场应用的掌上电脑软件环境,相信在不久的将来,一定会出现适合于外业勘测实际情况的、软硬件相结合的全面解决方案。

1.2.2 内业设计

CAD 技术应用于公路工程领域最早就是应用在内业设计方面,在我国公路工程技术人员和计算机技术人员坚持不懈的努力下,公路工程 CAD 技术在公路设计内业方面的应用已经比较成熟,大部分内业设计方面的 CAD 软件都可以完成对外业采集数据的处理、人机交互的设计过程和各種设计图表的生成。一大批内业设计软件正在全国各个公路工程设计部门使用,路线设计方面有西安海地计算机软件开发有限公司的 HARD 2002 系统,辽宁省交通勘察设计院的路线 CAD 系统,德国的 CARD/1 汉化版等;小桥涵设计方面有重庆公路勘察设计院的 PCV 软件,辽宁省交通勘察设计院的小桥涵设计成图系列软件等;沥青路面结构设计方面有哈尔滨建筑科技大学的 APDS97 软件等;桥梁设计计算软件有同济大学桥梁工程系的“桥梁博士”,北京新世纪软件的“桥梁大师”等;桥涵水文计算软件有西安海地计算机软件开发有限公司的 HARD BF2002 等,以上这些软件都在公路内业设计过程中发挥了重要的作用。

1.2.3 工程管理

公路工程管理工作涉及到大量的数据计算和文字、图表处理,将计算机辅助管理技术应用到公路工程管理可以克服人工管理的局限性,优化资源配置,提高管理水平。在国内的公路工程管理软件领域,占有相当重要地位的是珠海同望集团,该集团开发出了工程概预算软件、工程项目管理软件、标书制作与管理软件以及计量与支付软件等。其中公路工程概预算软件 WCOST 2000,大大减轻了工程概预算人员的劳动强度,提高了工程概预算的精度,在公路工程设计和施工部门得到广泛的应用。

除以上 3 方面的应用外,计算机在工程检测、路面管理、材料实验、理论研究、交通控

制等方面都有广泛的应用。

1.3 CAD 技术对公路工程师的要求

CAD 技术的推广应用,已经在公路工程领域产生了巨大的效益,其速度快、精度高、费用省、调整和修改十分方便等优点都是传统方法不可比拟的。正因如此,CAD 技术的应用日益广泛,可以说,现在任何工程的设计和施工都离不开计算机。掌握 CAD 知识和技能已经成为公路工程技术知识的重要组成部分,一个合格的公路工程师应当掌握以下基本知识。

1.3.1 计算机基本知识和技能

公路工程技术人员为了采用计算机作为一种工具来帮助自己的工作,应当具备一些基本的计算机知识,主要包括以下几个方面。

① 计算机的组成结构和工作原理。计算机主要由输入设备(键盘、鼠标等)、输出设备(显示器等)、存储器(内存存储器和外存储器)以及运算器和控制器(CPU)组成,要求了解各部分的工作原理和基本用途。

② 程序设计语言与数据库语言。掌握一门高级语言的程序结构、语句、函数、变量等的格式、功能和用法,了解数据结构、数据库的基本概念,了解数据库语言的基本功能和用法。

③ 计算机操作系统知识。掌握和熟悉计算机操作系统的基本知识,主要包括 DOS 系统和 DOS 系统下的汉字平台,Windows 系统等。

④ 常用工具软件。掌握一种字处理软件(如 Word 或 WPS)的用法,掌握一种文本编辑软件(如 Notepad)的用法,掌握 DOS 和 Windows 系统下常用工具软件的用法。

⑤ CAD 基础知识。了解计算机绘图的基本原理,交互式绘图软件 AutoCAD 的基本功能和用法。掌握高级语言与 AutoCAD 的接口方法。

⑥ 微机系统及其外设的使用。严格按正确的顺序开机、关机,掌握软、硬盘的使用方法,熟悉键盘、显示器、打印机、绘图机、扫描仪、数字化仪等设备的使用与维护。

1.3.2 工程技术软件的使用与维护

当前,国内已经开发或引进了若干比较成熟的公路 CAD 软件,对于具备基本计算机知识和操作技能的公路工程技术人员,只要按照使用说明进行操作,都可以掌握和使用这些软件。随着公路科学技术和计算机科学技术的不断发展,例如新材料、新技术的出现,工程设计标准、施工规范的修改、计算机功能的增强等,都将导致现有软件的功能落后于现实的科技水平,这就不可避免地要对现有软件进行不同程度的修改、调整和扩充,这就是所谓的软件维护。进行软件维护,首先要能读懂源程序,其次要有一定的编程经验,同时还必须对软件涉及的实际工程技术问题有较深入的了解。因此,软件维护对公路工程师的计算机知识和公路专业知识提出了较高的要求。

1.3.3 公路专业软件的开发

软件开发,包括一般计算程序设计和大型软件系统设计两个层次。一般计算程序设计就

是通常所说的计算机编程,即针对某一工程设计的计算问题,用计算机语言编制的能解决该问题的独立程序,如平曲线要素计算程序,可以编制程序,要求用户输入平曲线半径、缓和曲线长度、交点桩号、交点偏角 4 个已知条件,由计算机进行计算并输出切线长、外矢距、内移值等数据。大型软件系统设计,就是将单个的独立应用程序有机地组合起来,形成一个能完成整个工程设计任务的综合性程序系统的过程。在大型软件系统设计过程中,必须要严格按照软件工程的观点和方法进行设计,同时考虑用户的工作习惯和使用方便。

随着公路 CAD 技术在我国日益普及,传统的公路设计方法和步骤正在被日新月异的 CAD 技术所取代,一个合格的公路工程师,应该尽快学会使用商品化的软件,并具备一定的软件维护能力和初步的软件开发能力,这样才能跟上时代前进的步伐,使我国的公路 CAD 技术整体水平不断提高。

第2章 公路CAD系统的硬件与软件支撑环境

公路CAD是指一种计算机应用系统,它能协助公路工程技术人员完成设计过程中的各阶段的工作。公路CAD系统则是指进行上述CAD工作时,所需的硬件系统与软件系统的集合。所谓硬件系统,是指计算机、图形输出外部设备等;所谓软件系统,是指计算机在工作过程中所执行的程序。CAD的所有功能都是在一定的硬件和软件支撑下实现的,硬件和软件系统的配置水平也在一定程度上决定了CAD系统的开发水平和应用水平。

2.1 CAD系统的硬件环境

各类计算机是公路CAD系统硬件的核心,主要有普及型的微型计算机系统和专用的CAD工作站。目前,适合于常规公路CAD设计的主要是由以IBM-PC机及其兼容机为主机再配以数字化仪、绘图机等外部设备组成的廉价CAD系统,适合于中、小设计单位使用。为解决公路CAD设计中比较复杂的技术问题,也可以选择较高档的专用CAD工作站,比如SUN系列和HP系列等。

2.1.1 主机

主机由中央处理器(CPU)和内存储器(内存)组成。中央处理器包括运算器和控制器两部分,运算器负责执行指令所规定的算术运算和逻辑运算,控制器负责解释指令,并控制指令的执行顺序,访问(查找)存储器等操作。内存储器主要用来存储指令和数据。

主机是整个公路CAD系统的核心,衡量主机的指标主要有3项。

① CPU运算速度:以CPU每秒钟可以执行的指令数目或可以进行的浮点运算数目来表征,还可以取决于芯片类型的时钟频率表示运算速度,显然,时钟频率越高则运算速度越快。例如,早期的80286芯片时钟频率仅为8~16MHz, Pentium芯片时钟频率在100MHz以上,而现在美国Intel公司生产的最新Pentium 4芯片时钟频率已经高达3000MHz以上。

② 字长:中央处理器在一个指令周期内可以从内存中提取并进行处理的数据位数称为字长。显然,字长越多,则计算机的计算速度就越快,计算的精度也越高。目前,一般微机的字长为16位或32位,大型机的字长为64位。

③ 内存容量:内存的单位为Byte(字节)、KB(1千字节)和MB(1兆字节)。内存的容量越大,主机能容纳和处理的信息量就越大,运算速度就越快。早期的286计算机内存容量一般为2MB或4MB,而现在的Pentium 4系列计算机内存容量普遍在256MB以上。

2.1.2 外存储器

在公路CAD作业中,包含了大量的科学计算和图形处理,计算机需要处理的信息量非常巨大,对内存容量的要求也比较大,但计算机内存容量总是有一定限度的,因此,为弥补内存的不足,一般计算机系统均以外存作为内存的后援,将CAD处理过程中暂时不用的部分数据存放在外存中,待使用时再调入内存。通过这种内存与外存的信息交换方式,可以实

现以较小的内存完成信息量很大的设计工作。

目前经常应用的外存储器主要有磁带、磁盘和光盘 3 种。其中磁带存储量较大,工作可靠,价格低廉,通常是大、中、小型机及工作站经常采用的外围设备,但它在微型计算机中较少应用。

磁盘分为硬盘和软盘两种。硬盘采用磁盘和磁头一体化的密封结构,以直接存取方式进行存取,存取速度较快,是目前各型计算机中不可缺少的主要设备。早期的 80286 系列计算机配备的硬盘容量一般为 10~40MB,现在流行的 Pentium 4 系列计算机配备的硬盘容量在 60GB 以上。软盘的规格主要有 5.25in 和 3.5in 两种,双面高密度的 5.25in 和 3.5in 软盘的容量分别为 1.2MB 和 1.44MB。目前,5.25in 软盘已经被淘汰,3.5in 软盘以其价格低廉、使用携带方便等特点而受到了广大计算机用户的青睐。软盘的容量和存取速度虽不如硬盘,但其上述优点使它在公路 CAD 领域的保存原始数据、计算结果等方面都得到广泛应用。

近几年出现的光盘是采用激光技术实现的一种海量存储器,一张普通 5.25in 光盘可以存储多达 650MB 的数据。光盘除具有容量大、工作可靠、价格低廉等特点外,还具有软盘一样的可替换性,并且存储速度与硬盘的存储速度基本相当。随着计算机技术的飞速发展,软件的功能越来越强,规模也越来越大,几十兆甚至几百兆的软件已经非常常见,这些软件如果采用软盘作为发行载体,其中任何一张软盘发生读盘错误都将导致整个软件无法正常安装,所以这些软件无一例外都是采用光盘作为发行载体。CD-ROM 驱动器目前已经成为微型计算机的标准配置,DVD-ROM 驱动器和 CD-RW 驱动器也开始广泛应用在微型计算机系统中,随着 DVD-R 和 DVD-RW 盘片价格的进一步下降,DVD-RW 驱动器也将应用于微型计算机系统中。光盘已经成为公路 CAD 系统中广泛应用的最理想的外存储器。

2.1.3 图形显示器

在公路 CAD 领域应用的图形显示器主要有阴极射线管显示器(CRT)和液晶面板显示器(LCD)两种,目前在大多数公路 CAD 设计部门应用的是阴极射线管显示器,它具有显示效果稳定、响应时间短等优点,随着液晶面板显示器的大幅度降价、响应时间的进一步减短以及无辐射的绿色环保概念进一步被计算机用户所接受,液晶面板显示器必将成为公路 CAD 领域图形显示器的主流。

衡量图形显示器显示图形清晰程度的重要指标是分辨率。同样尺寸的显示器屏幕,在屏幕水平方向分辨线的数目和每条分辨线上的扫描点数的多少,决定了图形显示器分辨率的高低。例如,分辨率为 800×600 表示屏幕上沿水平方向有 800 条分辨线,每条分辨线上有 600 个扫描点,在计算机屏幕上构成 $800 \times 600 = 480\,000$ 个像素,通过有规律地激发这些像素,使它们产生不同的颜色和不同的亮度,就形成在计算机上所看到的图形或字符。显然,像素越多,分辨率越高,显示的图形也越清晰、准确。但是,分辨率越高,则存储每个像素的图形信息所需的随机存储器(RAM)的容量也会随之增大。例如, 1024×1024 的分辨率,以一个字节表示一个像素的图形信息,就需要 1MB 的存储容量。在计算机图形系统中,均采用图形适配器(即显卡)来支持图形的显示工作,以免过度占用计算机的内存。目前计算机显卡的显存容量已经都达到了 64MB 以上,完全可以满足公路 CAD 的工作需求。

选择公路 CAD 系统的图形显示设备时,分辨率越高,图形显示效果越好,但价格也随之上升。由于显示器分辨率并不影响图形输出到图纸上的绘图精度,因此,不必盲目追求图形显示器的高分辨率,以致设备成本过高。一般图形显示系统的支撑软件(如 AutoCAD 软

件)都具有在显示图形中截取部分图形进行放大、缩小、平移等功能,用以改善图形的显示效果。

2.1.4 图形输入设备

在公路 CAD 作业工程中,经常需要输入图形资料,如公路平面设计中所需的平面地形图、横断面设计中所需的横断面地面形态以及一些标准跨径的桥梁、涵洞设计的标准图等。用户不仅要求能够快速输入图形,而且还要求将输入的图形以人机对话的方式进行交互修改,并且可以对输入图形进行缩放、平移、旋转等图形变换,仅仅以键盘方式输入图形是不能满足公路 CAD 作业快速图形输入要求的。理想的公路 CAD 系统中还应包含使用方便、质量可靠的图形输入设备,目前在公路 CAD 系统中常用的图形输入设备主要有鼠标、数字化仪和图形扫描仪等。

鼠标主要用来控制屏幕上的光标位置。当鼠标在平面上移动时,显示器上的光标也随之移动,光标的位移与鼠标在平面上的相对移动距离有关,而与鼠标的绝对位置无关。鼠标一般用于在显示器上指示图形输入位置和交互式绘图,在各种弹出式和下拉式菜单及对话框形式的操作界面下,鼠标通过移动光标的位置来点击“菜单”,直接进行菜单操作,执行程序。鼠标分为机械式鼠标与光电式鼠标两种,机械式鼠标在底部带有滚轮,可在平板上自由滚动,与滚轮耦合的电位器测知两个相互垂直方向上的相对运动,可随时控制、提供光标位置的坐标值;光电式鼠标利用一种光学传感机构去确定光标位置,它有一个专用窥视板,鼠标在上面可以自由移动,跟踪光标,目前新型的光电鼠标已经取消了窥视板,使用起来更加灵活。鼠标的结构简单,并且价格低廉,是公路 CAD 作业及一般微机系统中最经常使用的一种设备。

数字化仪是一种把图形转化成计算机能接收的数字形式的专用设备,由矩形平板和游标组成。矩形平板是一个坚固的、内部布有金属栅格阵列的图板,在它上面进行图形的数字化。游标相当于一个定位器,由它提供图形的位置信息。工作时,将游标对准图纸上的某一点,按下游标上的按钮,则可以把该点的坐标输入,如果连续移动游标,可以将游标移动轨迹上一连串点的坐标输入。数字化仪使用方便,但它在使用过程中由于人为的因素容易产生游标放置误差,而影响数据的采集效果。目前,公路 CAD 领域多采用美国 Summagraphics 公司生产的 MicroGrid II 型及 HI 公司生产的 TG 系列数字化仪。

图形扫描仪是直接把图形和图像扫描输入到计算机中,以像素信息进行存储的设备。按其所支持的颜色不同,可分为单色扫描仪和彩色扫描仪;按所采用的固态器件不同又分为电荷耦合器件(CCD)扫描仪、MOS 电路扫描仪、紧贴型扫描仪等。在公路 CAD 领域采用的扫描仪主要是工程领域专用的大幅面图形扫描仪,它能把大幅面图纸进行高精度扫描并形成点阵图像信息,通过专用的图形矢量化软件(如 Scan2CAD 等)进行处理,输入到计算机系统或存储在光盘、磁盘等介质中。通过矢量化处理过后的图形信息,可以采用 AutoCAD 等交互式绘图软件进行编辑和修改。

2.1.5 图形打印设备

图形打印设备包括绘图机与打印机,它们能将已经在交互式绘图系统中生成的公路 CAD 图形绘制到图纸上,从而实现图形的硬拷贝,以达到长期保存的目的。

绘图机按其工作方式可以分为平板式和滚筒式两种,平板式绘图机是在一块平板上进行

绘图, 绘图笔分别在 x 、 y 两个方向上进行驱动; 滚筒式绘图机是在一个滚筒上绘图, 滚筒的转动带动图纸来回转动从而形成 x 方向的运动, 而 y 方向的运动是由笔架的运动来完成的。平板式绘图机图形分辨率高, 图形绘制速度慢, 比较占空间, 而滚筒式绘图机绘图速度快, 占空间比平板式少。滚筒式绘图机的绘图精度比平板式绘图机低, 但作为工程图纸的绘制, 两种绘图机的绘图精度都可以满足要求。

绘图机的性能指标主要有绘图面积、绘图速度、重复精度、步距和笔型等, 绘图机的绘图速度一般为 $15 \sim 60\text{m/min}$, 重复精度为 0.02mm 。近几年来, 随着计算机应用技术的发展, 绘图机的性能不断提高, 而且价格不断下降, 各种新型号的绘图机也不断出现, 为开展公路 CAD 工作创造了良好的硬件环境。

打印机按其工作方式可以分为针式、喷墨式和激光式 3 种。针式打印机由于打印精度低、打印速度慢、噪声大等缺点已经在公路 CAD 领域逐渐被淘汰。喷墨打印机和激光打印机不但支持字符、表格的输出, 也支持图形的输出, 且打印速度、打印质量比绘图机输出的更快、更好, 已经在公路 CAD 系统的图形输出领域得到了广泛的应用。

2.2 CAD 系统的软件环境

计算机软件是指控制计算机的运行, 并使计算机发挥最大能力的各种程序、数据及各种文档。具备了公路 CAD 系统的硬件后, 软件配置水平将决定整个公路 CAD 系统性能的优劣。公路 CAD 系统的软件可以分为系统软件(一级软件)、支撑软件(二级软件)和应用软件(三级软件)3 个层次。系统软件是与计算机硬件直接关联的软件, 一般由专业软件开发人员编制, 它起着扩充计算机的功能和合理调度与运用计算机的作用。支撑软件是在系统软件的基础上开发的, 它包括进行公路 CAD 作业时所需的各种通用软件。应用软件则是在系统软件及支撑软件的支持下, 为实现某个应用领域内特定的工作任务而编制开发的软件, 它与计算机硬件系统和软件系统相对独立, 具有较强的可移植性。比如, Windows 98、Windows 2000、Windows XP 操作系统软件属于系统软件, AutoCAD 14、AutoCAD 2000 软件属于支撑软件, 借助于 Windows 98 操作系统和 AutoCAD 14 软件开发的专门用于公路内业设计的公路专业软件 HARD 2002 则是应用软件。下面来分别介绍这 3 类软件。

2.2.1 系统软件

系统软件主要用于计算机的管理、维护、控制及运行, 以及计算机程序的翻译、装入和运行, 它包括操作系统和编译系统两大类。

操作系统又称为 OS(Operating System), 是系统软件中紧贴硬件的一层, 它控制所有在该计算机上运行的程序并管理计算机的所有资源。在操作系统运行和实现其功能的过程中, 需要硬件强有力的支持, 而且操作系统的一部分功能是由硬件直接完成的, 从这个意义上说, 操作系统又不完全是软件, 它是一个软、硬件相结合的有机体, 它在软、硬件的相互配合下共同完成任务。目前在公路 CAD 领域常用的操作系统是美国 Microsoft 公司先后推出的 DOS、Windows 等系统。DOS(Disk Operating System)磁盘操作系统于 1981 年推出第一版, 二十多年来, 产品不断升级, 现在常用的 DOS 版本为 6.22。Windows 是一种图形化界面的操作系统, 它具有 DOS 系统所有的功能, 并且界面一致、操作简单、使用方便, 同时还具有外设与内存管理系统化、支持多任务、资源共享及数据动态交换与传输方便等优点。自