



J 主编 孙全胜 王立峰
JIAOTONG TUJIAN CAD

交通土建 CAD

东北林业大学出版社

交通土建 CAD

主编 孙全胜 王立峰

东北林业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

交通土建 CAD/孙全胜, 王立峰主编. —哈尔滨: 东北林业大学出版社,
2007.5

ISBN 978-7-81076-983-9

I. 交… II. ①孙… ②王… III. 道路工程: 土木工程—计算机辅助
设计—应用软件, AutoCAD IV. U412

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 066791 号

责任编辑: 李学忠

封面设计: 彭 宇



交通土建 CAD

Jiaotong Tujian CAD

主编 孙全胜 王立峰

东北林业大学出版社出版发行

(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印装

开本 787×960 1/16 印张 14.75 字数 245 千字

2007 年 5 月第 1 版 2007 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—1 000 册

ISBN 978-7-81076-983-9

U·52 定价: 25.00 元

前 言

“土木工程”有着悠久的历史，我国古代劳动人民的经典之作，如赵州桥、长城、故宫等已成为全人类的珍贵文化遗产。近几十年来，伴随着中国经济的快速发展，现代建筑和桥梁工程的大型化、复杂化问题日渐增多和突出。以往手算方法在精度和效率上已远远不能满足要求。因此，当人们对这些复杂工程进行结构分析时，如何保证计算模型的合理性及计算结果的可靠性，就成为结构工程必须解决的首要问题。

有限元理论和计算机技术的应用和发展，从结构计算的精确性和高效性两方面为工程技术界提供了强有力的支持，现代结构师将会对拟建结构进行几千年来最精确的计算分析，甚至对其未来可能会承受到的地震等自然灾害进行仿真模拟。

鉴于国内关于有限元结构分析方面的入门型图书种类相对匮乏的现状，本教程在编写的过程中力求体现以下原则：

1. 注重基础。本教程首先向读者简要而系统地介绍了有限单元法方面的基础知识，使读者能在初步掌握理论的前提下，再通过软件的学习与应用，实现理论与实践的融会贯通。

2. 侧重应用。在介绍软件使用的章节中，大量使用图示，力求做到阐释详略得当。

3. 前沿性强。本教程着重介绍的 SAP2000、BSAS、桥梁博士有限元分析软件，使读者能够将本教程学到的知识直接运用到实践中去。

本教程主要作为高等学校土木工程专业（交通土建方向）计算机辅助设计的专业教材，同时也可作为缺少有限元理论知识和结构分析软件使用经验初学者的入门教材。力求使读者通过教材的学习，熟悉和建立起此类软件的操作方法、思维方式，为深入地学习研究更高层次的有限元理论和应用，奠定较坚实地基础。

本书由孙全胜、王立峰主编。全书共6章，其中第1章、第3章、第4章由孙全胜编写，第2章、第5章、第6章由王立峰编写。由于水平有限，难免有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年9月

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 CAD 技术简介	(1)
1.2 交通土建 CAD	(8)
1.3 交通土建 CAD 计算机硬件和软件环境	(11)
2 有限元分析基本理论	(18)
2.1 有限元概论	(18)
2.2 杆系结构有限元分析基本理论	(24)
3 桥梁结构有限元分析方法	(47)
3.1 概 述	(47)
3.2 结构简化及其数值模拟	(48)
3.3 梁式桥的结构分析	(51)
3.4 桥梁结构约束建模方法	(60)
3.5 桥梁结构施工分析程序编制原理	(62)
3.6 预应力效应分析	(67)
4 SAP2000 通用有限元分析程序	(86)
4.1 SAP2000 软件简介	(86)
4.2 SAP2000 快速入门——图形界面	(88)
4.3 SAP2000 桥梁模块各命令简介	(93)
5 BSAS 桥梁结构专用有限元分析程序	(123)
5.1 概 述	(123)
5.2 系统概况	(123)
5.3 系统安装及运行	(126)
5.4 系统的使用	(126)
5.5 输入数据	(133)
6 桥梁博士桥梁结构专用有限元分析程序	(153)
6.1 系统概况	(153)
6.2 系统功能	(154)
6.3 系统的基本操作	(157)
6.4 系统的基本约定	(158)

6.5 项目的意义与内容	(161)
6.6 直线桥计算输入原始数据约定	(162)
6.7 数据准备	(162)
6.8 项目的建立	(163)
6.9 输入总体信息	(165)
6.10 输入单元信息	(170)
6.11 输入钢束信息	(186)
6.12 输入施工信息	(192)
6.13 输入使用阶段信息	(201)
6.14 输入优化阶段信息	(209)
6.15 脚本文件的装载	(211)
6.16 输入数据诊断	(211)
6.17 总体信息输出	(212)
6.18 单元信息输出	(213)
6.19 钢束信息输出	(217)
6.20 施工阶段信息输出	(219)
6.21 使用阶段信息输出	(222)
6.22 优化阶段信息输出	(225)
6.23 输出文本数据结果	(226)
6.24 输出图形数据结果	(228)
6.25 输出报表数据结果	(228)
参考文献	(229)

1 绪 论

1.1 CAD 技术简介

1.1.1 CAD 概述

从广义上讲, CAD 是指工程技术人员以计算机为工具, 用各自的专业知识对产品进行总体设计、绘图、分析和编写技术文档等设计活动的总称。即人们通称的计算机辅助设计系统 (Computer Aided Design)。从狭义上讲, 人们一般把计算机辅助绘图系统称为 CAD (Computer Aided Drawin)。CAD 技术, 是近年来工程技术领域中发展最迅速、最引人注目的高技术之一。它将计算机迅速准确处理信息的特点与人类的创造思维能力以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, 去承担各自最适合的部分。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 技术备受各行业重视和欢迎的原因。CAD 技术, 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预测和评价并做出决策。

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, 包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等, 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。其中, 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 (对图形进行平移、旋转、对称、删除与修改等) 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纽带, 也是 CAD 技术的基础。数据库, 是一个通用的、综合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不同组合, 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后,其处理结果由显示器进行显示,供设计者判断、修改,然后由绘图机输出正式图形;打印机则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。这种硬件的基本配置虽能满足一般工程设计的需要,但在绘图精度和效率都要求较高的场合,就需要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;同时在图形输出方面也需增添图形硬拷贝机,以达到图形清晰、高效的输出效果。

如今, CAD 技术已广泛应用于交通、机械、电子、航空、航天、汽车、船舶、轻工、纺织、土木建筑以及环境工程等领域。CAD 的应用水平和技术水平,已经是衡量一个国家科技现代化的重要标志。了解 CAD 的发展历史,可以更好地了解它的现状与发展趋势,有助于我们今后更有效地应用这门新兴技术。

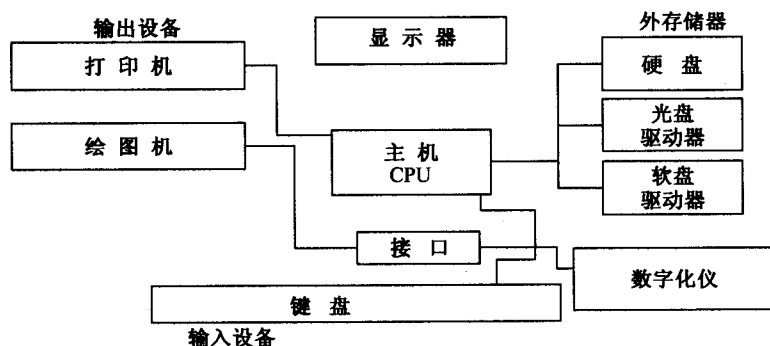


图 1-1 微型计算机的硬件系统

1.1.2 CAD 的发展与应用

1.1.2.1 CAD 技术的发展

第二次世界大战后,生产机械化、自动化程度日益提高,但设计工作却一直是手工操作,效率低、周期长、精度差。因此,设计工作成为整个生产体系的薄弱环节,远远不能适应市场急剧变化和工程建设的需要,迫切要求实现设计自动化。20 世纪 50 年代计算机开始用于设计计算。1956 年发明了

CRT (阴极射线管) 显示装置, 1958 年又发明了数控绘图仪, 这就为设计自动化提供了可能。CAD 的研究, 就是在这个时期为谋求电力变压等的设计自动化而开展起来的。1959 年美国麻省理工学院 (MIT) 将 CAD 正式列为研究项目进行研究。1963 年春, 在美国计算机联合会的年会上, MIT 的研究小组发表了有关 CAD 项目的 5 篇论文, 给工程界以很大的震动。其中, 在 24 岁研究生萨泽兰德 (L.E.Sutherland) 发表的《SKETCH—PAD (素描板) ——一种人机对话系统》论文中, 介绍了这个系统能在 10~15 min 内完成通常需要几周时间才能完成的工作。当时 MIT 研究小组的报告, 对 CAD 做了这样的设想: 设计者坐在 CRT 控制台前, 通过光笔操作进行人机对话, 实现从概念设计到生产设计以至制造的全过程, 这是一种有人工智能的设想。从此, CAD 开始发展起来。

20 世纪 60 年代, 计算机硬件从晶体管计算机发展为集成电路计算机, 计算机运行速度和存储容量有了很大的提高。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 (Lock Heed) 飞机制造公司和 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 CGADAM (Computer Graphics Augmented Design and Manufacturing), 即“计算机图形增强设计与制造软件包”。它具有强度分析、绘图和数控编程等功能, 可用于设计及绘图, 并具有三维结构分析能力。美国通用汽车公司为汽车车身和外形设计开发了 DAC-1 (Design Aument Computer) 系统, 这是一个用来分析三维曲面的多终端分时系统。1965 年贝尔电话实验室研制出远地显示系统 Graphics, 该系统可用于印制电路元件与接线的布局、电路或框图的方案设计、文本的组织和编辑以及交互式布线等。在此期间, 有关 CAD 的理论研究也有了较大的发展, 为以后 CAD 技术的发展奠定了基础。故这一时期, 被认为是 CAD 技术的开发应用期。

20 世纪 70 年代, 计算机硬件从集成电路发展到大规模集成电路, 相继出现了 32 位小型计算机和微型计算机。基于小型机的 CAD 成套系统 (Turnkey System) 也研制成功。它包括图形输入及输出设备和相应的应用软件, 实现了软硬件配套使用。在此期间, 还为 CAD 开发了大量的图形软件包和以有限元为基础的特种强度计算软件包; 专业 CAD 系统公司和专门开发 CAD 软件的软件公司相继出现, 并有一系列的 CAD 产品投入市场。因此这一时期, 应是 CAD 技术的实用化期。

20 世纪 80 年代, 是 CAD 技术迅速发展的时期。特别是小型计算机及微型计算机的性能不断提高、价格不断下降, 计算机外围设备如高分辨率图形

显示器、大型数字化仪、自动绘图仪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 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、开发出大量图形软件以及与现代设计方法相适应的各种软件(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出现,促进了 CAD 技术的应用和发展。

20 世纪 90 年代,是 CAD 技术的快速发展与繁荣期。随着计算机硬件设备和外围设备性能更新换代的加速,各行业领域实用化的 CAD 应用软件层出不穷,丰富和发展了 CAD 技术产业。CAD 已成为产品开发、设计、制造等所必需的关键技术。

进入 21 世纪的近 10 年里,CAD 已呈现出向集成化(Integrated)、智能化(Intelligent)、网络化(Internetworking)和人机交互化(Interactive)的发展趋势。

1.1.2.2 CAD 技术的应用

20 世纪 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 公司等。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。20 世纪 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,通过 CAD 技术在工程上的应用,使其成为从单纯的分析计算变为大量信息存储、检索、绘图、计算融为一体的独立系统,并贯穿到设计、制造和管理的全过程中。目前,CAD 技术已应用于社会的各个领域,乃至家庭。它的主要应用主要表现在以下几个方面。

(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 20 世纪 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 20 世纪 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了许多 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 技术是发展速度最快的新技术之一。据美国统计,

在 1979~1983 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 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 Inergraph 公司在 VAX-11 系列机上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/三维图形数据所组成的多任务软件。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, 并开发了集成化的 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。

(5) 在交通土建行业中的应用

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。

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 20 世纪 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 倍, 公路设计效率提高 5~10 倍, 工程造价降低 2%~3%。随着 CAD 技术的进

一步发展, CAD 技术产生的效益还会迅速提高。

1.1.3 CAD 系统的类型与构成

1.1.3.1 CAD 系统的类型

CAD 系统,按其是否具有人—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—机对话功能。它的工作过程要在人的直接干预下,采用人—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—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 20 世纪 60 年代初期就已经建立起来,并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,有了更加明确的含义,即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。

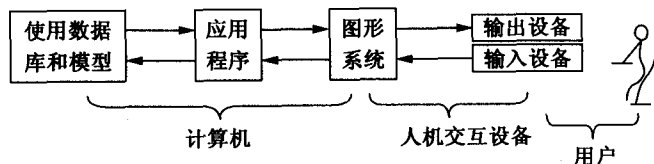


图 1-2 交互式 CAD 系统

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,它能按用户要求,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。这种系统主要是利用图形显示终端装置,把设计者修改图纸的构思通过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,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,具有一定的修改功能,而且是通过程序的修改实现的;图形处理语言的能力也相对较弱,故其应用受到一定的限制。

1.1.3.2 CAD 系统的构成

CAD 系统的构成,取决于应用的领域与使用者的环境条件。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,也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。

(3) 独立使用型

这种系统,又称为“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,我国现有的交通土建 CAD 系统,多为这种形式。

1.2 交通土建 CAD

1.2.1 交通土建 CAD 的发展现状

交通土建设计领域应用电子计算机始于 20 世纪 60 年代初,至今已经有 40 多年的历史。计算机最初用于交通土建设计,主要是为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。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 20 世纪 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 20 世纪 70 年代初在意大利西西里岛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%~17%,平均约为 10%。这使得整个道路的建设费用大幅度降低。

在西西里岛的联合试验之后的 10 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,路线优化设计虽在理论和应用上已初步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 20 世纪 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生了根本性的变化。

目前,许多国家建立了由航测设备、计算机和专用软件包形成的组合系统,可以完成从数据采集、建立数字地形模型(DTM)、方案选择和全部设计文件的编制与设计图纸的绘制等工作,从而大幅度提高了公路工程设计的速度和质量,如美国 Louis Bereger 公司的 ESPADD 系统、英国的 MOSS 系统等。ESPADD 系统用于公路、涵洞、桥梁及建筑工程的设计与绘图,MOSS 系统广泛地应用于地形的三维显示、土石方填挖体积和运距计算、测量资料的处理、公路工程设计和一些土建设计。

公路 CAD,在国外已经历了 30 多年的研究和实践。除平面与空间优化技术尚待进一步研究与完善外,CAD 的其余部分已进入了实用阶段。使得公路设计,无论是在提高工效、质量或降低成本方面都已达到了新的水平。

我国公路部门应用计算机起步较晚。20 世纪 70 年代中期到 80 年代中期,计算机辅助路线优化设计是当时计算机在公路方面应用的主角。为了适应我国桥梁建设事业的发展、加速桥梁设计的现代化,1978 年交通部公路局组织了由交通部第一与第二公路勘察设计院、北京市政设计院、北京计算中心、同济大学、北京建筑工程学院、北京工业大学、上海市政设计院、上海市政设计研究所、重庆建筑工程学院等单位组成的“公路桥梁电算程序会战组”,编制了桥梁上部构造、墩台等共 12 项大型电算程序。这些程序,具有功能多、通用性强、自动化程度较高以及采用了比较先进的理论和方法等特点。

1984 年底,中美合营华杰公司引进美国 Louis Bereger 公司的 ESPADD 软件系统,并装备了美国 Apollo DN300 计算机和大型绘图仪,根据我国的有关标准和规范,进行了大量的二次开发工作,现已投入了实际工程设计。

1986 年,道路和桥梁 CAD 被列入国家“七五”攻关项目,在交通部公路规划设计院、东南大学、西安公路交通大学等单位的通力协作下,共同开发的“高等级公路路线综合优化及 CAD 系统”于 1990 年 10 月通过了国家级鉴定。该系统,包括以下六个子系统:

- ①数字地面模型子系统;
- ②路线设计子系统;
- ③中小桥涵设计与绘图子系统;
- ④互通式立交设计子系统;
- ⑤路线优化设计子系统;
- ⑥工程造价分析子系统。

该系统功能强大、内容翔实,可以接收航测设备、数字化仪、带有自动化记录装置的速测仪或常规测量仪器采集的地形数据。系统以数字地形模型

为基础,在给定路线方案后,可以进行平面线形与纵面线形的优化,完成路线平、纵、横向设计计算并绘制公路线形和全景透视图,同时完成立交、挡墙、中小桥和涵洞等人工构造物的设计和绘图等工作。在这一阶段,随着大量高档次微机 and 外围设备不断涌入市场,为微机专门配备的图形软件也更趋完善,给公路微机 CAD 软件的开发提供了良好的软、硬件环境。有关大专院校和设计单位,也纷纷推出了更加完善、各具特色的微机 CAD 软件系统。微机系统,由于其人机会话性能良好、使用灵活以及价格低廉而得到广泛的应用,标志着我国公路 CAD 技术已进入成熟与推广应用阶段。

1.2.2 交通土建 CAD 的发展趋势

我国的道路交通建设事业仍处于高速发展阶段,道路规划、设计和修建部门所面临的任务仍将十分艰巨。目前国内已有软件与国外优秀软件相比,仍属于低水平、不完整和不稳定状态,与当前的任务多、时间紧的发展形势不相适应,迫切需要有快速高效、系统完整的 CAD 软件系统去替代。针对这种情况,国家发改委、交通部领导都很重视,多方设法组织软件开发和维护的专职队伍,把有关研究课题列入国家攻关项目。因此,国内交通土建 CAD 软件开发在继续贯彻自力更生的同时,要努力吸收国外先进经验,提高开发软件的水平 and 能力。考虑到自主开发与适应生产需要之间存在着时间差距,在目前状态下,建议在继续开展自主开发的同时,根据需要在国内推广使用国外优秀软件。

对未来要作出科学精确的预测是很困难的。这里只根据前面对公路 CAD 发展现状的分析,概述公路 CAD 的发展趋势。

①目前的公路 CAD 已能完成设计中的数值计算和全部设计文件的编制与工程图的绘制等任务。而设计前沿的核心问题,如路线方案设计、设计中的综合评价等经验性工作,现在开发的 CAD 软件还远不能胜任。因此,研究如何利用计算机来实现行业专家凭借直觉和经验作出设计的能力,开发具有智能化的 CAD 系统,是当今和未来几年交通土建 CAD 技术理论研究的主要方向之一。

②随着计算机硬件的迅猛发展,工程数据库技术和人工智能技术的引入,交通土建 CAD 的应用面越来越广,对其要求也越来越高,单凭某项技术很难有效地支持设计的全过程。因此,研制开发集成化交通土建 CAD 系统,将为明天的交通土建 CAD 开辟更广阔的前景。

③到目前为止,人们使用计算机要受到很多约束,程序设计要花费相当多的时间和费用。随着图形编程语言的发展和电子语言识别系统的出现,将

从根本上改变这种状况。现在已经可直接利用存储在计算机存储器内的词汇, 直接对计算机“讲话”, 可以用语言的声音向计算机输入数据和程序, 命令计算机执行所希望的操作, 从而使编程工作变得十分简单, 大大节省了编程时间和费用。随着这项研究的深入, 预计不久的将来, 图形编程语言将会在交通土建 CAD 上得到广泛应用。

1.3 交通土建 CAD 计算机硬件和软件环境

CAD 系统, 是由硬件系统和软件系统两大部分组成的。所谓硬件, 是指计算机及图形输入、输出等外围设备; 而软件, 则泛指命令计算机执行任务的程序。CAD 的功能, 是在一定的硬件和软件的支撑下实现的, 硬件与软件系统的配置水平在一定程度上决定了 CAD 系统的开发水平, 并影响以后的推广应用。所以, 开发 CAD 软件, 应充分重视其硬件和软件的支撑环境。交通土建 CAD 的硬件配置, 应包含数据采集和输入设备, 数据处理、分析和计算设备, 图形显示设备以及成果输出设备。计算机及其外围设备, 是 CAD 运行环境中的主体, 它主要负责数据的输入和输出、处理分析、计算和设计等工作。交通土建勘察设计, 具有密切结合地形地物的特点, 必须快速正确地采集大量的现场数据, 因此需要有配套采集数据的现代化辅助设备。采用航空摄影测量, 是一种快速的现代化数据采集方法, 需要成套的航测数据处理和成图设备; 也可采用现代化的地面测量仪器, 如全站仪、红外测距仪、GPS 仪、电子测绘平板等进行现场测量。

为实现数据和程序的共享以及大型设施的共用, 很多公路和城市建设部门都已开始运用计算机网络设施, 把计算机技术与信息传输技术结合起来, 并与国际互联网络相通, 进行更大范围内的信息传递和地理信息系统 (GIS) 的共用等。

1.3.1 计算机选型

计算机经过 50 多年的发展, 其应用已经遍及各个领域, 可以完成多种多样的工作。所以, 计算机又有如下的特点。

①高速自动的操作功能。计算机的操作, 包括运算、比较、数据储存和传送、逻辑判断等, 其运算速度可达每秒亿次以上, 而且这些操作运算都是自动控制进行的, 即用户采用某种软件或输入程序后, 计算机在程序控制下, 自动完成一系列的运算和输出结果等操作。

②海量的记忆能力。它可以把原始数据 (包括图形)、中间结果、操作