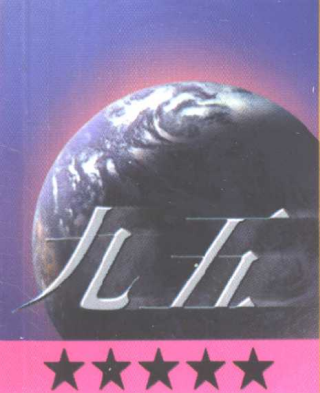




普通高等教育“九五”国家级重点教材
PUTONGGAODENGJIAOYUJIUWUGUOJIAJZHONGDIANJIAOCAI

公路计算机辅助工程

〔交通土建和土木工程专业用〕

朱照宏 / 主编
张雨化 / 主审



人民交通出版社

普通高等教育“九五”国家级重点教材

Gonglu Jisuanji Fuzhu Gongcheng

公路计算机辅助工程

(交通土建和土木工程专业用)

朱照宏 主编
张雨化 主审

人民交通出版社

内 容 提 要

本书以计算机辅助工程软件的系统分析以及公路规划、设计和管理中的各环节为主线,介绍公路计算机辅助工程软件的组成及其开发战略,较详细地论述其中的数据采集、处理以及开发这些软件的理论、方法和计算机建模。

本书适用于交通土建专业和土木工程专业的本科生,其中大部分可选用为课堂教材,其余部分可作为要求提高的学生的补充读物。本书也可作为研究生的教材或参考读物。本书也可供相应专业工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路计算机辅助工程/朱照宏主编. —北京:人民交通出版社,2000
ISBN 7-114-03648-5

I.公... II.朱... III.道路工程—计算机辅助设计—应用程序
IV.U412.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 09009 号

普通高等教育“九五”国家级重点教材

公路计算机辅助工程

(交通土建和土木工程专业用)

朱照宏 主编

张雨化 主审

责任印制:张 凯 版式设计:刘晓方 责任校对:刘高彤

人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街 10 号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经销

北京凯通印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:15 字数:384 千

2000 年 8 月 第 1 版

2000 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—5000 册 定价:24.00 元

ISBN 7-114-03648-5

U·02638

前 言

计算机辅助工程(Computer Aided Engineering, 简写 CAE)作为一种高科技以其巨大的经济和社会效益在工程实际中占据越来越重要的地位。公路交通建设,包括规划、勘测设计、施工和管理,在我国国民经济建设中起着先行的作用。为克服我国现行交通的滞后现象,十几年来,全国各地交通部门大力加快公路和城市道路建设。公路计算机辅助工程这一课程是适应我国经济建设的这种形势而设立的,它对本科生中的交通土建工程专业,研究生中的公路、城市道路与机场工程专业、交通工程专业等,成为必修或选修的一门热门课程。它内容新颖,反映了使用计算机软件高科技改革公路规划、设计、施工的传统做法,在学术上是多种学科交叉的产物。它为公路建设这种基础产业服务,为提高建设质量,加快设计施工进度,发挥很大的作用。

同济大学从 80 年代初期起在培养研究生中开设此课程,1985 年后又在本科高年级中开设该选修课,全国有交通土建工程专业的高校 20 余所,也先后开设类似课程。我校自 1990 年开始,编写了《电算在公路建设中的应用》讲义,内部刊印,作为该课程的试用教材,至今已沿用了多年。

同济大学为开设该课程,具有自己较长期开展这方面科学研究的基础,具备开发公路计算机辅助工程软件的能力。1990 年开发完成的道路计算机辅助设计软件已在全国 40 余个设计单位使用;近期开发完成的公路规划软件、机场设计软件、更新版的道路计算机辅助设计软件、路面管理系统软件等都在一定范围内推广使用;这些都获得了很大的经济和社会效益。

在以上教学、科研和软件开发的基础上,根据高等学校交通系统专业教学指导委员会在教材建设方面的要求,作者将原有讲义更新和增补,编写了《公路计算机辅助工程》这一教材。

本书将以 CAE 软件的系统分析、公路规划和设计的各个阶段以及公路施工和管理中的各环节为主线,介绍公路 CAE 软件的组成及其开发战略;较详细论述公路规划和设计中的数据采集、处理、通讯以及公路交通地理信息系统的建立;介绍国内外为公路规划、方案设计、初步设计和施工图各阶段服务的计算机软件,包括开发这些软件的理论、方法和计算机建模;也介绍在公路管理系统和交通规划中计算机技术的应用。

《公路计算机辅助工程》一书必将对进一步提高我国公路 CAD 和 CAE 软件的水平,推动道路规划、设计及管理中的高科技应用发挥较大作用;特别在培养较高层次的复合型人才方面起着独特的作用。

本书适用于本科生,其中三分之二可选用为课堂教材,三分之一为要求提高的学生作为补充读物。本书可作为研究生的教材或参考读物使用,也可作为相应专业工程技术人员的参考书。

全书内容共 19 章。朱照宏编写第一、三、四、五、七、十三、十五、十九章;杨东援编写第十六章;孙立军编写第十七章;方守恩编写第八、九、十、十一章以及十二章之部分;陈雨人编写第二、十四、十八章以及十二章之部分;王国强编写第六章。由朱照宏负责全书的整编和统稿工作。全书由西安公路交通大学张雨化主审。在编写本教材中,参考和使用了本研究方向由本

书作者指导下的博士和硕士研究生的论文和研究成果,其中有孟晓林、曹东国、史义、姚连壁、吕晓明、申红平、童小华等博士,袁胜强、张晓春等硕士。

考虑到近年来高等学校中已加强了计算机软件和编程的基础课程教学,本书在编写中着重于介绍公路 CAE 软件的基本原理、开发战略和研究方法,而不再包括具体的语言编程和源程序举例等内容。教师在教学中如果发现学生尚缺乏计算机语言和编程方面的基础知识,可以在讲授第九、十、十一章时补充一些编程实例和布置一些作业。在教学时数紧张的时候,可以选读第一、二、三、五、六、九、十、十一等章,也可以再增加规划和管理软件方面的知识,即第十六和十七章。其余的可留作为学生的补充读物,或作为研究生的教材和参考读物。在每章的最后都附有参考文献,教师和学生都可从中获得参考知识。希望在本课程教学中着重于开拓思路,扩大视野,发挥创造性,让学生自己在科学研究和软件开发中根据自己的特长和爱好,在动手实践中学到更多的本领。为补充和扩大这方面的知识,也可参阅前已出版的有关参考书^[1,2,3,4,5]。

由于编写这方面的教材还是初次尝试,书中内容不尽完善,热忱希望同行专家及使用本书的读者提出宝贵意见,函告上海同济大学道路与交通工程系(邮政编码 200092),以便修订时参考。

主编:朱照宏

2000 年 2 月

参考和补充读物

[1]交通部第二公路勘察设计院编:微机公路路线设计系统,北京:人民交通出版社,1989 年 1 月。

[2]廖正环、唐勇、凌天清、高建平编著:公路工程实用电算,北京:人民交通出版社,1998 年 8 月。

[3]符铎砂编著:公路计算机辅助设计,北京:人民交通出版社,1998 年 3 月。

[4]许金良、张雨化编著:公路 CAD 技术,北京:人民交通出版社,1999 年 1 月。

[5]朱照宏、陈雨人等编著:道路路线 CAD,上海:同济大学出版社,1998 年 3 月。

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 计算机辅助工程基础	1
§ 1-2 公路计算机辅助工程的发展概况	3
§ 1-3 国内开发和推广公路计算机应用软件概况及其前景	4
第二章 计算机辅助工程的基础理论	7
§ 2-1 软件工程学概要	7
§ 2-2 计算机图形学概要	10
§ 2-3 工程数据库原理	15
§ 2-4 优化技术	17
§ 2-5 人工智能和专家系统	19
参考文献	19
第三章 公路计算机辅助工程的组成	21
§ 3-1 公路计算机辅助工程的业务范畴	21
§ 3-2 公路路线计算机辅助设计系统的组成	22
§ 3-3 系统的硬件配置	25
§ 3-4 运行的软件环境	27
第四章 地理信息系统和公路数据库	29
§ 4-1 地理信息系统概述	29
§ 4-2 适用于公路建设的地理信息系统	30
§ 4-3 公路数据库的开发和应用	32
参考文献	33
第五章 数据采集	34
§ 5-1 现代化地面速测	34
§ 5-2 地形图数字化	36
§ 5-3 航测技术	37
§ 5-4 全球定位系统技术及其应用	41
参考文献	43
第六章 数字几何模型	44
§ 6-1 数字几何模型原理	44
§ 6-2 数字地表面模型	47
§ 6-3 道路中线的几何模型	51
§ 6-4 数字设计面模型	52
参考文献	58
第七章 公路路线设计优化技术	59

§ 7-1 计划任务书阶段的方案选择	59
§ 7-2 初步设计阶段的优化技术	62
§ 7-3 技术设计阶段的优化技术	66
参考文献	69
第八章 公路路线 CAD 系统设计原理	70
§ 8-1 软件系统的需求分析	70
§ 8-2 软件系统设计的目的和任务	71
§ 8-3 软件的系统分析与设计方法	75
§ 8-4 面向对象的系统分析和设计技术	81
§ 8-5 数据结构设计和数据管理	85
§ 8-6 人机界面设计	89
参考文献	93
第九章 道路平面设计	94
§ 9-1 平面设计系统的总体设计	94
§ 9-2 道路中线的布设	96
§ 9-3 平面法线方向的图形展开	106
参考文献	107
第十章 道路纵断面设计	108
§ 10-1 纵断面设计系统的总体设计	108
§ 10-2 纵断面设计系统的模块设计	110
第十一章 道路横断面设计	114
§ 11-1 横断面设计系统的总体设计	114
§ 11-2 横断面定义模型	117
§ 11-3 横断面边坡设计模型	119
§ 11-4 横断面自动设计	123
参考文献	129
第十二章 道路交叉口的计算机辅助设计	130
§ 12-1 平面交叉口的平面设计模型	130
§ 12-2 平面交叉口的立面设计模型	137
§ 12-3 互通式立交方案的生成	140
§ 12-4 互通式立交的平面设计模型	143
§ 12-5 互通式立交的三维造型	145
参考文献	146
第十三章 公路附属结构物设计	147
§ 13-1 涵洞设计	147
§ 13-2 挡土墙设计	149
参考文献	152
第十四章 公路透视图及渲染图	154
§ 14-1 道路透视图原理	154
§ 14-2 透视图消隐技术	158

§ 14-3 全景透视图渲染	161
§ 14-4 透视图的运行设计	163
参考文献	163
第十五章 路面结构的辅助设计系统	164
§ 15-1 层状体系力学计算软件	164
§ 15-2 柔性路面计算机辅助设计	169
§ 15-3 刚性路面计算机辅助设计	172
参考文献	173
第十六章 交通规划与公路网规划的决策支持系统	174
§ 16-1 决策支持系统的基本概念	174
§ 16-2 DSS 系统结构的研究	175
§ 16-3 交通规划 DSS 软件中的系统分析模型	178
§ 16-4 分析模型的求解算法	184
§ 16-5 交通规划 DSS 的实现技术	189
参考文献	193
第十七章 公路管理系统软件	194
§ 17-1 公路管理系统中的计算机软件	194
§ 17-2 公路管理系统软件的总体设计和模型	196
§ 17-3 公路设施数据的采集、处理和分析	199
§ 17-4 管理、养护和维修中的决策支持系统	203
参考文献	206
第十八章 道路工程设计图纸输出技术	207
§ 18-1 设计图纸参数化描述	207
§ 18-2 设计单元参数定义方法的可视化	210
§ 18-3 设计图纸输出接口	214
第十九章 国外优秀道路 CAD 软件简介	220
§ 19-1 德国 CARD/1 软件	220
§ 19-2 英国 MXRoad 软件	223
§ 19-3 美国 Intergraph 公司的 InRoads 等软件	228
§ 19-4 其他一些外国软件简介	229

第一章 绪 论

计算机辅助工程(Computer Aided Engineering)简称 CAE,它是把计算机应用于工程规划、设计、管理等的统称,它以其巨大的社会和经济效益在工程实际中占据越来越重要的地位。在我国,公路 CAE 的研究和实践已有 20 年的历史,取得了长足的进步,但开发的软件与国外同类软件相比还有很大差距,原因之一就是缺乏针对公路 CAE 软件的设计理论、方法和实践的指导。为此,本书将以 CAE 软件的系统分析和公路工程的各个阶段为主线,介绍公路 CAE 软件的组成及其开发战略;详细论述公路工程中的测设数据采集、规划和方案设计、初步设计和施工图设计等各个阶段的计算机优化和辅助设计的理论和方法;结合作者的多年研究和开发经验,较系统地介绍建立包括公路网规划、公路线形的平纵横设计、公路路面设计、公路的营运管理等在内的完整的公路 CAE 的方法;另外还介绍国外有代表性的优秀道路 CAE 软件和国内的最新研究成果。

§ 1-1 计算机辅助工程基础

计算机辅助工程,包括计算机辅助设计 CAD(Computer-aided Design),是近 40 年发展起来的一门新兴技术。随着计算机硬件和软件技术的巨大进步,CAE 技术已成为工程实施及科学研究不可缺少的组成部分。CAE 技术充分利用了计算机的高速运算、数据处理和绘图模拟等能力,不仅可以缩短工程规划、设计和施工的周期,减少工程技术人员的繁杂劳动,而且能够提高工程质量,降低成本。同时,CAE 技术也为科学研究的发展和教育的现代化提供了方便的工具。

CAE 技术较早出现于投资大成本高的大工业,如航空工业和汽车制造工业,随后运用于电气电子工业方面。70 年代以后,在土木建筑领域内获得迅速发展。由于在运用计算机进行设计过程中都是以图形信息作为主要传递数据,它需要较大容量和快速运算,所以早期 CAE 技术一般宜于在中小型计算机及其工作站上运行。随着 16 位、32 位微处理机的出现,使得微机也具备了较强的图形处理功能,从而使 CAE 技术的应用遍及各个工程领域,先进国家已经达到相当普及的程度。

目前,广泛的应用和需求促使 CAE 技术不断的发展和完善,概括起来,其内容主要包含有如下一些技术。

1. 计算机图形和几何造型技术

计算机图形技术是运用解析数据描述工程实体的点、线和面在空间的位置,然后运用几何造型技术构造工程实体的解析模型。由于计算机具备对大量数据进行快速处理并进行图形表达的能力,这种模拟的解析模型可以在计算机屏幕上方便而经济地用来代替工程实体进行设计和处理,因此,运用几何造型技术构造解析模型往往成为 CAE 系统中的核心技术。近年来,计算机几何造型技术得到越来越广泛的应用,工程实体在屏幕上的可视化和彩色渲染图,可以表达工程师头脑中多种方案的想像,有利于优化方案、提高质量、增强工程投标的竞争能力。

在解决图形和几何造型,建立解析模型中,往往涉及到解析几何、微分几何、矢量代数、拓扑等多门学科。

2. 工程数据库技术

描述工程实体的解析模型需要大量的数字、符号和各种其他信息,统称为数据。这些数据需要按一定的规则组织起来,形成有效的组合体,即所谓数据库。设计数据库的关键是建立一个好的数据库结构,便于数据的存储、检索、增减和修改。在 CAE 系统中需要建立独立的工程数据库,就可数据共享,避免数据的重复配置,这对于系统中的多个模块和多个用户,都是至关重要的。建立工程数据库,它主要是用来存放 CAE 系统中各应用子模块生成的模型、图形和其他有关数据,除此之外,也用来存放成套的典型设计和标准设计图。当需要检验、修改或设计一项新工程时,就可以把这些有关的设计图数据调出来使用。掌握工程数据库技术,它涉及到数据结构、图论、矢量代数等学科。

3. 数据采集和输入技术

公路、铁道、机场等土木工程构筑物建设在大面积的土地上,为此必须对地面进行测量获得规划和设计的底图。传统的测量方法采用经纬仪、平板仪、水准仪等进行导线、平面和纵横断面的测量,费时费力,与快速高效的 CAE 难于配套,已成为测设工作的瓶颈。配合 CAE 采用的现代化数据采集方法可以直接建立三维数字地形模型,传输入计算机作为规划和设计的底图数据。数据采集的方法有地形图的数字化、全站仪地面速测、地面摄影测量、航空摄影测量等,依靠电子手簿可以直接自动录入地形变化点的三维坐标建立数字地形模型,不必通过绘制等高线地形图而直接提供 CAE 系统使用。近年来,更有由测绘部门建立大面积的地理信息系统(GIS),以软件的形式直接与 CAE 或 CAD 系统接口;还有运用卫星全球定位系统(GPS)和 GPS 全站仪采集数据为 GIS 服务。为此,必须对现代化的工程测量方法和 GIS、GPS 技术有所掌握。

4. 设计方案优化技术

计算机的快速运算使我们有可能在短时间内形成多个甚至几十个设计方案,通过评价和优化可以选取最优方案,达到降低造价提高工程质量的目的。运筹学中的最优化技术、数学规划、层次分析、多目标决策等内容使我们可以建立用于方案优化的计算机子模块纳入 CAE 系统中。

5. 集成化技术

集成化系统的发展是当今 CAE 技术的主要趋向之一。在机械和电气行业中,已将设计和制造集成起来,把产品设计、分析、绘图、工艺流程、数控、仿真、检测、成本核算、进度计划等组合在一起,统一成为数据和信息的处理和加工过程,形成计算机集成制造系统(CIMS)。在土木、交通建设方面也是一样,从工程规划、设计、施工到管理,可以统一享用地理信息系统和工程数据库,在评价、决策、分析、计算、管理等各方面构成一体化的计算机辅助系统,即 CAE 系统。为适应 CAE 集成化一体化的需要,向网络化、分布式 CAE 系统发展也是今后的一个趋向。利用网络技术,使多个用户能共享网络中的软硬件资源。

6. 智能化技术

智能化是新一代 CAE 系统发展的一个重要方向,也是目前正在研究中的热门课题。其基本目的是通过分析人类的智能活动,力图由计算机实现类似的功能。例如,在公路规划和设计过程中,有很多属于经验性和推理性的复杂问题,它的处理一般需由有经验的专家分析解决。在 CAE 系统中引入人工智能和专家系统,就能扩展计算机处理这些复杂问题的能力。智能化

的道路 CAE 系统更能在总结各方面专家的宝贵设计经验,继承已有优秀设计成果的基础上推陈出新,提高工程师的设计水平。另外,采用人工智能改进公路 CAE 系统,着手建立一种知识处理机构控制下的模块集成系统,从而可以达到增强系统的柔软性,便于适应不断变化的新环境。

本书以下各章节将就以上各项技术的基础知识结合公路 CAE 系统的开发研究分别给予叙述。

§ 1-2 公路计算机辅助工程的发展概况

公路路线优化和辅助设计技术、公路网规划软件、公路管理系统(包括路面管理系统)中的计算机辅助技术等研究在国外已有 40 年的历史。

60 年代初期,电子计算机运用到公路设计中,首先对繁冗重复的大量计算工作,如平面和纵面几何线形的计算、横断面和土石方的计算以及输出数表等,编写成单独分开的程序。随着计算时间的节省,创造了可以进行多个方案比较的条件。为获得经济效益,英、美、法、德和丹麦等国家首先把注意力集中在公路路线纵断面优化技术方面,经过一段时间的探索,各国都研制成功了比较成熟的纵断面优化程序系统。例如,英国运输与道路研究所 HOPS 的程序;法国 Appolon 的程序;德国的 EPOS 程序;丹麦哥本哈根工业大学的程序等。1971 年在布拉格召开的 14 届国际道路会议上就有不少报导,并编就了《电算应用论文集》。1971 至 1972 年就“计算机进行路线最优化设计”召开了几次专门性的国际会议,由联合国经济合作与开发组织写了专题总结报告。报告中曾就意大利西西里岛上一条公路为例,采用以上四个纵断面优化程序进行了实例计算。试算结果表明:各国程序的优化效果是令人满意的。英、法等国的经验表明:纵断面优化程序的应用可以带来节省 15% 的土石方量以及 5% 的经济效益。

70 年代,道路路线设计优化技术拓宽到平面和空间(三维)选线;数字地形模型(DTM)开始应用;计算机绘图技术可直接提供设计和施工图纸。例如,在平面选线优化方面,有英国的 NOAN 程序,美国普度大学的 GCARS 程序,德国的 EPOS-1 程序。美国麻省理工大学把公路路线按三维空间优化开发了 OPTLOG 程序。由于平面线形或空间线形的优化涉及到更多复杂因素,需要大量的计算数据,给研究工作带来较大困难,同时也削弱了程序的实用性。数字地形模型就是把三维的地形资料经过数字化存储于计算机中,可用于等高线地形图绘制,土地填挖体积计算,支持平面和空间优化选线等。数字地形模型是伴随着电子计算机的高速运算和大存储量而产生的。为加快输入速度,可运用数字化仪按等高线地形图直接输入,也可利用航摄立体测图仪直接以数据方式输入。随着各种型式绘图机的应用,作为电子计算机的外部设备,可以绘制等高线地形图,公路设计中的纵、横断面图以及路线透视图等。1971 年,利用计算机手段做好道路路面的养护管理工作,首次出现了“路面管理系统”的术语,美国和加拿大的许多州和省相继建立和实施了网级路面管理系统。

到了 80 年代,很多国家已建立了由航测设备、计算机(包括绘图机、数字化仪等外部设备)和专用软件包形成的公路 CAD 组合系统。软件包往往包含从数据采集、建立数字地形模型、优化技术以至进行全套计算机计算、绘图和报表的完整系统。例如,美国路易斯·伯杰公司的 CANDID 系统以阿波罗超级小型机为主机,可用于公路、涵洞、桥梁、房屋建筑等方面的设计和绘图工作;德国西门子公司的 SICAD 土地信息和图形处理系统,配备有道路 CAD 专用软件,可在超小型机工作站上接受速测信息,建立数字地形模型,进行道路路线设计和交互式地设计、

修改和绘图;芬兰的 ROADCAD 程序系统,以 32 位小型机为主机,应用 Wild 解析立体测图仪直接从航测像片获取地面信息,建立地面信息数据库和数字地形模型,以此进行公路路线的初步设计和施工图设计,最终以施工图纸、屏幕显示或数据打印的方式输出设计成果。

1987 年在布鲁塞尔召开的第 18 届国际道路会议上,有 12 个国家在报告中提到已具备为公路设计绘图用的相当成熟的计算机软件。在正常的生产实践中,一般都已采用数字地形模型表征现场测量成果,然后从计算机中产生完整的图纸。在会议前五年期间的软件开发中,较大的进展为:改变批处理(采用规定格式成批输入数据和输出成果)为交互式对话处理;以数字地形模型为基础进行设计;以及使用更完善的设备如高分辨率显示器和高速绘图仪等进行道路的计算机辅助设计。有的国家建立了具有全国性综合网络的终端和微机系统,使边远地区都能获得极为完善的计算机硬、软件系统,使很多数据采集、道路规划和设计工作能分散地在各地进行。实践证明计算机辅助设计的效率和可靠性确信无疑,新一代的计算机还会更易于运用,各种新的应用软件还会不断的开发,各个国家各种不相同的程序不断出现。

公路设施管理的现代化在 80 年代也逐步实现,路面管理系统在发达国家已普遍实现,在我国也开始研制。路面管理系统的功能和结构也比较完善,除具备路面数据库外,还有路面使用性能评价、使用性能预测和决策子系统等。此后,连同桥梁和其他道路设施管理的计算机辅助技术的研究,形成了“公路计算机辅助管理系统”。

进入 90 年代以来,通过市场竞争,国外逐步出现了若干个较为优秀的道路 CAD 软件,它们试图走向国际化,满足多元化的设计标准,提高柔软性(适应性)。它们克服各国在文字、测设方法、设计标准、技术规范等方面的差别,满足多种不同要求,开发适应于不同国家的版本。目前正在进行汉化试图进入中国市场的有德国 CARD/1 系统、英国 MOSS(现为 MXRoad)系统、美国 Intergraph 系统等。

1995 年在蒙特利尔召开的第 20 届国际道路会议的软件展出中,可以看出除了上述独立完整开发的道路专用的 CAD 软件外;另一种途径是基于通用的 CAD 软件基础上开发道路专业化的子系统,例如基于 Windows 95 和 AutoCAD 或 MicroStation 上开发的有美国的 Eagle Point 软件、挪威的 NovaCAD 软件等。

其他高新技术的发展进一步推动了 CAD 技术的现代化。在数据采集上,全站仪、电子手簿、现场绘图屏幕(PENMAP for Windows)的新发展,以及 GPS 全站仪的出现,都为通过 GIS、GPS 和 CAD 使数据采集、设计绘图、方案优化等一体化创造了条件。

进入 90 年代以来,由于高性能个人计算机的迅速发展,计算机体系结构向分布式小型化发展。在软件开发技术方面,面向对象的程序设计方法,软件重用技术,可视化快速应用程序开发环境以及计算机辅助软件工程(Computer Aided Software Engineering,简称 CASE)开发环境的出现,标志着软件工程进入了崭新的阶段。利用软件构件系统集成方法开发公路网规划决策支持系统以及公路设施管理系统等都在进行之中。在研究领域中,开发智能化的道路 CAE,完善共享的道路交通专用的 GIS 和工程数据库等,也都在进行中。

§ 1-3 国内开发和推广公路计算机应用软件概况及其前景

在我国,道路 CAE 的研究和实践已有 20 多年的历史,取得了长足的进步。

从 1977 年起,同济大学在全国率先收集和翻译国外关于道路路线优化技术和计算机辅助设计方面的资料,举办培训和讨论班。自 1979 年起,先后有同济大学、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、西安公路学院、上海铁道学院、西南交通大学、北方交通大学、铁道部铁路专业设计院等单位先后为公路和铁路的纵断面优化技术、公路及铁路的平面和空间线形优化技术等进行了研究,编制了各自的优化程序。例如,同济大学采用随机搜索—动态规划法编制的纵断面优化、空间线形优化和山区地形的平面优化程序;重庆交通学院、上海铁道学院等采用动态规划法编制的纵断面优化程序;西安公路学院考虑了目标函数中包括道路建造费用和营运费用的纵断面优化程序等。这些程序经过试算,证明其优化效果是令人满意的,但至今还没有广泛地应用到实际的工程设计中,有待于进一步的完善和应用开发。

80年代中,国内各高等院校和生产单位在计算机辅助公路路线设计方面也开展了研究,开发和引进了一些辅助设计系统,其中有些投入到实际的工程设计中,取得了显著的经济效益。例如,1985年底鉴定的交通部第二公路勘察设计院所研制的公路航测和电算技术;同济大学早期制作的微机道路初步设计程序也曾在好几个省使用;西安公路学院开发的公路微机辅助设计系统也在一定的范围内使用。1984年,交通部公路规划设计院以中美合营的方式成立“华杰工程咨询公司”,引进了美国路易斯·伯杰公司以 CANDID 为图形平台的 ESPADD 软件系统,从事道路 CAD 的二次开发工作,并进行实际的工程设计,取得了良好的效果。

辅助设计技术在铁道设计部门也得到了一定程度的应用。例如,铁道部铁路专业设计院制成了一套从航测、设计到形成各种文件的辅助设计系统,并与长沙铁道学院合作,使用了纵断面优化技术。铁道部铁路第三设计院也引进了各种先进的辅助设计用硬件设备,包括小型计算机、大型高级绘图机、数字化仪、高分辨率的图形显示终端等,同时开发了相应的铁路辅助设计软件,并应用于实际的工程设计中。

1986年,交通部组织多次“公路 CAD 系统开发工程”目标和技术论证,决定把道路和桥梁 CAD 列入了国家“七五”重点科技项目,投入开发工作。该项目以 Apollo 小型机作为硬件平台,完成后由于缺乏维护组织,推广中尚存在一定的困难。但是,它的开发研究使我国道路 CAD 技术的水平向前推进了一大步,并培养造就了一大批既懂专业又懂计算机知识的复合型人才,为我国计算机高新技术的开发和应用奠定了较好的基础。

进入 90 年代以来,计算机硬件的快速更新和降价,微机功能的快速提高,使得在微机平台上开发的道路 CAD 软件占有一定的优势。同济大学从 1986 年起,在 10 余个省、市级设计院的支持下,于 1986 至 1990 年期间开发完成了微机道路计算机辅助设计 TJRD 软件系统,通过了较长时期的完善和维护,已在 40 多个设计单位使用,完成了包括若干条高速公路在内的大量设计任务,取得了很大的经济和社会效益。

目前,在国内生产中使用的国产软件尚有东南大学开发的道路与互通式立交 ICAD 及 DI-CAD 系统,交通部第二公路勘察设计院开发的微机公路路线设计,海德公司开发的 HEAD 软件系统以及各设计单位自行开发或基于 AutoCAD 支承软件作二次开发的各种软件等。总之,近 10 年来,我国道路设计单位大多在不同程度上已使用了 CAD 技术,把 CAD 作为做好工程设计的重要手段。

国内对路面管理系统的研究始于 80 年代中叶,最早的是交通部公路研究所与英国合作在辽宁营口移植的地区级路面管理系统,后同济大学会同北京、广东公路管理局合作进行了路面管理系统的研究开发工作,建立了沥青路面使用性能评价指标、评价方法和评价标准,确定了路面大中修对策的选择方法。“七五”期间,交通部公路研究所和同济大学承接了国家攻关项目“干线公路沥青路面评价养护技术的开发”的研究工作,进一步对路面管理系统进行了研究和开发。迄今为止,路面管理系统的基础理论趋于成熟。目前,北京、广东、上海、山东、浙江等

省市或地区相继建成了各自的公路或城市道路路面管理系统,交通部也指定在 11 个省市推广路面管理系统。

公路网规划过程中,作为分析手段的决策支持系统发挥着极为重要的作用。为增强应用单位的能力,90 年代初同济大学与交通部公路规划设计院联合研制了用于支持区域公路网规划的决策支持系统 CTPS。该系统基于 Windows 平台,采用 C++ 语言为主体进行开发,对规划过程中的数据处理、路网流量分析预测以及方案评价等提供了基于视觉界面操作方式的运算、绘图、制表等支持功能。

在今后相当长一段时间内,我国的道路交通建设事业仍将处于高速发展阶段,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较,仍属于较低水平、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 CAE 软件系统替代。

针对目前这种情况,国家计委、交通部领导都甚为重视,多方设法组织开发和维护软件的专职队伍,把有关研究课题列入国家攻关项目。

建议在国内对道路 CAE 开发的方针方面,应继续贯彻自力更生为主,努力吸取国外先进经验,提高开发软件的水平和能力,落实开发软件的政策,认真地把开发和维护软件的队伍建立起来;加速对用户的培训工作,在实践中积累经验,提高工程技术人员运用 CAE 的水平;同时也要强化高等学校在 CAE 技术方面的科研和教学能力。

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,建议在自主开发的同时,也需要在国内推广使用国外优秀软件。为此,需努力做好以下几点工作:

1. 协助把国外软件汉化,使它符合国内使用要求。为此,除将国外软件菜单汉化和文字翻译外,更重要的是使设计成果能符合我国设计标准和规范的要求,在图纸格式、图例标注和设计文件用表等符合中国习惯并采用汉字。

2. 改革国内传统的测设方法,逐步使用先进的测量和采集数据的工具,如全站仪地面速测、航测建模等,以适应国际性的通用软件。

3. 试探运用部分国外软件,统一数据格式,与国内某些使用成熟的部分国产软件嫁接,组合使用。

在有条件的情况下,也应探索与国外合作,共同开发适用于我国的较高水平的公路 CAE 软件系统。其中,需要努力去做的有:提高与完善公路 CAE 开发的理论基础和核心模型;建立与国际统一的数据格式,开发适用于公路规划和设计的我国 GIS 系统;提高软件系统的柔性,使它能适用于多种情况,便于修改、维护和嫁接等。

第二章 计算机辅助工程的基础理论

计算机辅助工程的开发和研究涉及到计算机应用学科和其他有关学科的很多基础理论,为使学生易于深入和胜任该领域的工作,本章就软件工程学、计算机图形学、工程数据库、优化技术以及人工智能和专家系统等五个方面的知识作概略的叙述。进一步的学习尚需参阅其他书籍^[1,2,4,5,9]。

§ 2-1 软件工程学概要

计算机专家把软件开发和维护过程中遇到的一系列严重问题和困难称为“软件危机”。它主要表现在所开发的软件如何满足日益增长的需求以及如何维护好现有软件两个方面。具体存在以下一系列的问题:不能正确估计软件开发成本和开发进度;用户不满意已完成的软件系统;软件质量往往靠不住;软件很难维护;缺少适当的文档资料;软件成本逐年上升;应用软件开发的速度跟不上计算机硬件和支撑软件平台的迅速发展。产生软件危机的原因,除了软件系统本身确实给开发和维护带来的客观困难外,对用户的要求没有完整准确的认识就匆忙着手进行编程是一个主要的原因。为克服上述一系列问题,通过较长时期的研究、实践和总结经验,逐步形成了软件工程学^[1]。

软件工程学是指导计算机软件开发和维护的学科。它采用工程的概念、原理、技术和方法来开发和维护软件,把经过时间考验而证明正确的管理技术和当前能够得到的最好的技术和方法结合起来。软件工程强调使用周期方法学和各种结构分析和结构设计技术。所谓周期方法学就是从时间角度对软件开发和维护的复杂问题进行分解,把软件生存的漫长周期依次划分为几段时期,每段时期又划分为若干个阶段,每一个阶段相对独立。在完成各个阶段工作时,采用适合该阶段任务特点的系统化的技术方法,即结构分析和结构设计技术。为软件定义各段时期和各个阶段并明确其任务,是确定软件开发工程必须完成的总目标。一般可把软件的整个生命周期划分为三段时期,即:准备与立项时期,开发时期,以及运行和维护时期。在准备和立项时期,其主要任务是确定工程的可行性,明确出现工程问题时应采取的策略以及系统必须完成的功能,这段时期一般又可分成三个阶段,即问题提出、可行性研究和需求分析。第二段为开发时期,它通常有四个阶段,即总体设计、详细设计、编码和测试。最后段为运行和维护时期,则要使软件持久地满足用户的要求,一般在这一时期不再划分阶段,但在这段时期中却有很大的工作量,一般公认它占有软件整个生命周期总工作量的三分之二。

在软件整个生命周期中各个阶段所需解决的关键问题以及必须完成的主要任务见表 2-1。

以下对各个主要阶段以及在工作中须使用的工具作进一步的说明。

1. 可行性研究

可行性研究的目的是用最小的代价在尽可能短的时间内确定问题是否能够解决,并确定如何去解决,而不是去解决问题。必须分析几种主要的可能解决方法并论述其利弊,从而判定软件系统是否可以实现,它实质上是一次大大简化了的系统分析过程,也就是在较高层次上以

抽象的方式进行系统分析和设计的过程。其主要内容包含技术可行性、经济可行性、操作可行性等三个方面。

软件生命周期中各阶段的任务

表 2-1

阶 段	关 键 问 题	结 束 标 准
问题定义	问题是什么	关于规模和目标的报告书
可行性研究	是否有可行解	系统高层逻辑模型数据流程图,成本效益分析
需求分析	系统必须做什么	逻辑模型,数据流程图,数据字典,算法描述
总体设计	如何解决问题	系统流程图,成本效益分析,层次图,结构图
详细设计	具体实现本系统	编码规则说明,HIPO图和PAD图(详见第八章)
编码和测试	正确的程序模块	源程序清单,单元测试方案和结果
综合测试	符合要求的软件	综合测试和结果,一致的软件配置
运行和维护	持久满足用户要求	完整准确的维护记录

在可行性研究中往往使用系统流程图、数据流程图、数据字典等工具。

系统流程图是描述物理系统的传统工具,它的基本思想是用图形符号描述系统里面信息在每个部件之间的流动情况;数据流程图描绘系统的逻辑模型,它描述信息在系统中的流动和处理情况,考虑系统必须完成的基本逻辑功能;数据字典是关于数据信息的集合,主要在软件分析和设计过程中给人提供关于设计的描述信息。数据流程图和数据字典共同构成系统的逻辑模型,缺一不可。

2. 需求分析

需求分析是软件准备和立项时期的最后一个阶段,它的基本任务是准确回答“系统必须做什么”这个问题,对系统提出完整、准确、清晰、具体的要求。

分析系统的数据要求是需求分析的一个重要任务,在需求分析中往往用数据流程图、数据字典和主要算法描述详细的逻辑模型。结构化分析方法就是面向数据流自顶向下逐步求精进行需求分析的方法。需求分析的目的之一就是把数据流和数据存储定义到元素级。沿数据流程图从输出端往输入端回溯,应该能够确定每个数据元素的来源,与此同时也就初步定义了有关的算法。通常把分析过程中得到的有关数据元素的信息记录在数据字典中,把对算法的简明描述记录在IPO图中。IPO图是输入-处理-输出图的简称,描绘输入数据、对数据的处理和输出数据之间的关系。通过分析而需补充的数据流、数据存储和处理,应该添加到数据流图的适当位置上。通过功能分解可以完成数据流图的细化。在数据流图中选出一个功能比较复杂的处理,并把它的功能分解成若干个子系统,这些较低层的子功能列成为一张新数据流程图,在这张新数据流程图上还应该包括自己的数据存储和数据流。在分层细化时必须保持信息的连续性,也就是说细化前后对应功能的输入输出数据必须相同。

3. 总体设计

总体设计的基本目的是回答系统该如何实现。设想可供选择的方案,其中应该考虑各种可能的实现方案,从中选出最佳方案。需求分析阶段得出的数据流程图是总体设计的极好出发点。选择方案的一种常用方法是列出数据流图中处理分组的各种可能的方法,抛弃在技术上行不通的分组,余下的部分是可以实现的部分。

选取合理的方案,应该从前面已选出的方案中考虑合理的方案。考虑的方法是根据问题定义和可行性研究阶段确定的工程规模和目标,准备系统流程图、组成系统的物理元素清单、

成本效益分析和实现这个系统的进度计划,综合分析对比各种合理方案的利弊,推荐一个最佳方案,并制订详细的实现计划。设计软件结构时,通常把程序中每个模块完成一个功能,并把模块组成良好的层次系统,上层模块调用下层模块,直至最低层模块。这种层次结构可以用层次图或结构图来描绘。

在软件结构设计过程中应遵循下列一些原则:模块化,可以使软件结构清晰,不仅容易设计也容易理解和阅读。抽象化,在最高层使用抽象的概括的方式叙述问题的解法,在较低的层次用更过程化的语言,在最低层用直接实现的方式叙述问题的解法,即软件工程的每一步都是从抽象到具体精化的过程。信息隐蔽化和局部化,隐蔽就是模块设计得使信息可以不被不需要的模块访问;局部化就是把关系密切的元素物理地安排得彼此靠近。模块独立化,模块独立程度用耦合和内聚两个指标来表征,应该使系统尽可能松散耦合和高内聚。

4. 详细设计

详细设计阶段的根本目的是确定应该怎样具体地实现所要求的系统,经过这个阶段的设计工作,得出对目标系统的精确描述,从而在编码阶段可以把这个描述直接翻译成程序。结构程序设计是一种设计程序的技术,它采用自顶向下逐步求精的方法和单入口单出口的控制结构。在总体设计阶段采用自顶向下逐步求精的方法,可以把一个复杂的问题的解法分解和细化成一个由许多模块组成的层次结构的软件系统。在详细设计或编码阶段采用自顶向下逐步求精的方法,可以把一个模块的功能分解细化为一系列具体的处理步骤或某种高级语言。

在设计工作中采用结构化程序设计方法,其优点是:自顶向下逐步求精,符合人们解决复杂问题的普遍规律,可以提高软件开发的成功率和生产率;先全局后局部、先整体后细节、先抽象后具体的逐步求精的开发过程,有清晰的层次结构,容易阅读;不使用 GOTO 语句,采用单入口和单出口的控制结构,使得程序的静态结构和动态执行情况比较一致;控制结构有确定的逻辑模式、编写程序代码只限用很少几种直接了当的方式;程序清晰和模块化有助于修改;程序的逻辑结构清晰,有助于证明程序的正确性。

5. 编码

编码即用一定的程序设计语言实现所作的软件设计。程序设计语言有很多种,在具体选择开发语言时要考虑以下几点:系统用户的要求,可以使用的编译环境,可以得到的软件工具,程序员的知识,工程规模,软件可移植性要求,软件的应用领域等。

在道路 CAD 应用领域,在过去曾使用过 FORTRAN、TrueBASIC、PASCAL 等语言。目前一般推荐使用 C 和 C++ 语言,在具备可视化软件开发工具的情况下,往往采用 VB 和 VC 语言。

6. 测试

软件测试是软件开发过程中的重要步骤,可以说决定着软件的质量。在软件周期中横跨两个阶段,在编写出每个模块之后就要测试(单元测试),在这个阶段完成后还要对系统进行各种综合测试。测试的根本目的是尽可能多地发现并排除软件中潜在的错误,最终提供高质量的软件系统给用户。

7. 维护

维护是软件生存周期内的最后一个阶段。软件维护是在软件交付使用后,为修改错误或满足新的要求而修改软件的过程。

有人以为,软件经过了测试,就没有问题了,这是不对的。因为即使在软件测试中设置了追捕错误的天罗地网,查到了不少错误,但总有一些错误会漏网,加上用户要求的不断改变,这些问题都只有通过软件的维护工作来解决。