

公路计算机辅助设计

● 符铎砂 编著

● 人民交通出版社



Gonglu Jisuanji Fuzhu Sheji

公路计算机辅助设计

符铎砂 编著

人民交通出版社

内 容 简 介

本书围绕公路测设一体化集成技术,以公路 CAD 技术为核心,结合作者近年来的科研和教学工作以及国内外相关研究成果,系统介绍了公路 CAD 系统的基本理论、基本原理、基本方法和实际应用。全书共分十章,主要包括:地形数据采集、数字地面模型、路线优化设计、路线 CAD、挡土墙 CAD、中小桥 CAD、涵洞 CAD 以及基于航测数模和野外实测数模的路线设计一体化系统的系统分析、系统设计、系统实现和系统应用等内容。全书反映了当代我国公路 CAD 技术的新发展和新水平,可作为高等院校公路、城市道路及机场工程专业本科生和研究生的基本教材,也可供有关工程勘测设计行业的工程技术人员和研究开发人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路计算机辅助设计/符铎砂编著. -北京:人民交通出版社,1998.3

ISBN 7-114-02928-4

I. 公… II. 符… III. 公路-计算机辅助设计
IV. U412.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 04447 号

公路计算机辅助设计

符铎砂 编著

责任印制:张 凯 版式设计:刘晓方 责任校对:张 捷

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

北京京东印刷厂印刷

开本:787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张:15.25 字数:390 千

1998 年 3 月 第 1 版

1998 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—4000 册 定价:30.00 元

ISBN 7-114-02928-4

U·02093

序

改革开放以来,特别是“七五”和八五”的10年,是我国公路基础设施建设迅速发展的10年,也是公路工程勘察设计由传统的方法向现代技术过渡的10年。这其中,“科技进步”扮演了重要角色。特别应该提到,通过测量高新技术的实际应用和计算机辅助设计(CAD)技术的大面积推广,引发了工程勘察设计行业发展史上的一场革命,促进了测设质量和水平的提高,使工程勘察设计行业朝着现代化的目标跨出了坚实的一步。

以测量高新技术为主体的野外勘察、以数字地面模型为基础的内业数据处理、以公路CAD为核心的公路设计一体化集成技术已成为当今公路测设现代化的主要标志。为加速我国公路测设现代化进程,交通部在《公路交通科技发展“九五”计划和到2010年长期规划》中已明确提出:“为进一步提高规划、设计的效率、质量与科学性,迫切需要利用计算机技术、电子信息技术和光电技术等高新技术改造规划、设计的传统技术构成,实现公路勘测设计自动化。重点包括:经济发展与交通建设模型的建立和参数的确定;GIS技术与地区级公路数据库的开发应用;卫星定位GPS技术、航测遥感技术在公路勘测中的应用;新一代数字地面模型与CAD系统的开发与应用。”

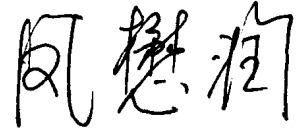
符铨砂同志十多年来致力于公路测设现代化的研究和教学工作,曾作为国家“七五”重点科技攻关项目“高等级公路路线综合优化和计算机辅助设计系统”中的子课题“数字地面模型子系统”的负责人,全身心投入并独立完成了该子系统的研究开发工作;承担并完成了“航测数模技术在公路路线设计中的应用”、“数字地面模型及公路路线集成化CAD系统的开发研究”、“公路路线CAD系统”、“公路中小桥CAD系统”、“公路涵洞CAD系统”、“大比例尺地形图机助成图系统”和“国外道路施工设计计算机辅助系统”等多项课题的研究开发任务,为本科生和硕士生多次讲授“公路CAD技术”、“公路测设新技术”、“航测与航测选线”和“公路几何设计”等课程,累积了丰富的经验,理论水平不断提高。

本书比较全面系统地介绍了公路测设现代技术的主要内容。由于作者在地形数据采集与处理,数字地面模型以及公路CAD等方面都有深入地研究,并取得了较好的成果,这就使得书中论述具有与众不同的特色。书中从地形数据采集与处理、公路设计到图表成果输出,都有详尽介绍,覆盖了公路测设的全过程,给人以全面系统的认识;既反映了当代测量高新技术和计算机技术在公路工程勘察设计行业的新近应用,又注入了作者的科研实践和心得体会,有广度有深度。作者针对公路工程测设行业的特点和需要组织的内容,用本行业读者容易理解的体系和叙述方法,深入浅出,循序渐进,既能帮助读者学习公路测设现代技术的内容,也能为开发人员的深入研究提供有价值的参考。虽然书中叙述主要是以作者自己研制开发的系统为依托,讨论各项技术细节,但并非具体软件的介绍,更多地是对公路测设现代化技术的基本原理、软件总体设计和程序实现的思想方法等方面予以系统总结。这种源于科研实践,又概括提高的专门著作,为数不多,值得推荐、学习和参考。

今后15年是我国公路调整发展的黄金时期,又是公路现代化的关键时期,是公路发展不

可多得的历史机遇。抓住机遇,迎接挑战,促进公路工程勘察设计现代技术的更大发展!

交通部科学技术司司长

A handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '凤', '盛', and '钧'. The style is cursive and fluid.

1997 年 5 月

前 言

随着计算机科学的发展和各种测量高新技术的不断出现,公路勘测设计方法得到了迅速发展。以测量高新技术为主体的野外勘察,以数字地面模型为基础的内业数据处理,以及以公路计算机辅助设计为核心的覆盖公路设计全过程的设计一体化集成技术,代表了公路测设自动化的发展方向,成为当今公路测设现代化的重要标志。在我国,这种现代化的测设方法也在不断发展和完善。随着测设高新技术的应用,必将对我国传统的公路测设手段、方法产生重大变革,极大地促进我国交通行业的科技进步,促进公路学科水平的提高。

作为公路测设现代化的重要组成部分——公路 CAD 技术,在我国已有近 20 年的研究开发历史,目前已在交通设计行业得到大范围的推广普及,在我国公路工程设计领域的各个阶段得到广泛的应用。CAD 技术在公路测设中的应用,显著地提高了设计质量,加快了设计进度,使得公路建设项目达到方案优、投资省、工期短、效益好的要求,极大地促进了我国公路建设事业的发展。公路 CAD 技术已成为公路设计中必不可少的重要手段。

作者在多年的公路 CAD 研究及教学工作中,深感目前国内尚缺乏全面系统介绍公路测设一体化,公路 CAD 技术的基本理论、原理、实际应用方面的专门书籍。为了适应公路 CAD 技术发展的需要,促进我国公路设计由传统的测设方法向公路测设现代化的转变,作者在系统总结多年从事公路航测选线、数字地面模型、公路 CAD 系统的研究,以及近年来给研究生、本科生讲授“公路 CAD 技术”、“公路测设新技术”、“公路航测”等课程的基础上,结合国内外的有关研究成果和公路测设技术的发展趋势,从地形数据采集,数据处理,公路设计至输出设计成果和覆盖公路设计全过程的设计一体化角度出发,撰写了本书。全书分为三大部分:地形数据采集与处理,数字地面模型以及公路计算机辅助设计。第一部分主要介绍各种数据采集方式的基本内容和数据处理原理,包括航测资料的获取与航测成图,航测数据采集,航测判释与航空遥感,GPS 数据采集与处理,全站仪数据采集与处理,数字化仪数据采集与处理等内容。第二部分介绍地形数据处理的基础——数字地面模型的基本原理、建立方法及其应用等问题,主要包括原始数据预处理以及目前常用的散点数模、方格网数模和三角网数模的基本原理以及具体的程序实现;深入讨论了数模的数据结构,快速排序与检索算法,数模中对地物、地形断裂线处理,并介绍了数模在地形图机助成图,以及在路线设计中的各种具体应用等内容。第三部分着重介绍公路计算机辅助设计的基本原理、系统结构、程序设计和算法实现等内容。从公路测设一体化的角度考虑,上述三大部分既相互关联又相对独立,并自成体系。为了方便读者,作者将上述内容分为相对独立并互相关联的《地形数据采集与数字地面模型》和《公路计算机辅助设计》两书出版。

本书即为其中《公路计算机辅助设计》一书。作为完整的公路 CAD 系统,离不开原始地形数据采集和数字地面模型的支撑,为此将上述第一部分、第二部分的有关内容,结合本书的需要,精简成两章予以简要介绍,以保持本书的完整性。

本书共分十章。第一章介绍了国内外公路测设新技术的发展,以及基于我国目前公路测设的现状,我国公路测设自动化的发展方向和实现途径。第二章介绍了公路 CAD 的基本概念和

特点,总结了国内外公路CAD的发展历史及研究现状,以及公路CAD技术的发展趋势。第三章简要介绍了工程CAD的基础,如CAD系统的环境、软件工程、计算机绘图、工程数据库等内容,并着重对公路CAD系统的硬件、软件环境选择的原则进行了讨论。第四章主要介绍地形数据采集,着重对目前公路CAD中常见的航测数据采集,地形图数字化以及全站仪野外实测三种方式进行了讨论,对数据采集的主要内容和要求、适应范围、作业程序和步骤,以及数据处理的原则和程序实现方法进行了介绍,并着重讨论了数据采集的精度、质量等问题。第五章对数模建立的基本原理、方法及应用进行了简要介绍,并讨论了数字地面模型程序建立的步骤与程序实现方法。第六章介绍路线优化设计,包括路线优化的数学模型,一般算法及具体内容,并对路线优化设计中目标函数进行了讨论。由于路线设计系统是公路CAD中最为成熟、应用最广的系统,所以在第七章中花了较大篇幅作了系统地介绍,其内容包括:路线CAD系统总体设计、平面设计、纵断面设计、横断面设计、土石方调配、透视图绘制及设计图表生成等路线设计系统的主要过程,对各子系统的系统结构、程序设计、交互设计原理及具体应用等进行了讨论。第八章介绍基于航测数模系统以及基于野外实测数模系统的两个具体的路线设计一体化系统。这两个系统均已通过省级鉴定,并投入实际应用。本章试图避免写成程序介绍,而是从采用航测数模技术以及实测数模系统进行公路路线设计的方法、作业程序和步骤,对其软件的结构与开发进行了介绍,并探讨了上述系统在公路路线初步设计阶段及施工图设计阶段应用的可行性。第九章介绍路基边坡稳定性分析及挡土墙设计与绘图的程序开发原理和程序编制。第十章介绍中小桥涵设计与绘图,着重介绍了中小桥参数化绘图系统的开发以及交互式涵洞设计软件的实现过程。

本书力求全面系统,遵循由浅及深、循序渐进的认识规律,并尽可能地注重理论与实际结合,以增强其实用性、可读性和可操作性。本书适合于公路工程科研、设计人员阅读,亦可作为公路专业本科生、研究生的教材及教学参考书。

本书第三章由湖南大学计算机科学系朱娟副教授撰写,其余各章均由符铎砂完成。本书素材吸取了作者近年来的主要科研成果、教学与生产经验,并参考引用了部分国内有关单位的研究报告、技术交流资料以及有关博士、硕士论文。特别要指出的是,书中提及的有些成果是在长沙交通学院公路CAD研究所的龚德俊、桂岚、刘学军、陈历强等同事们的共同努力下完成的,是大家多年来潜心研究、亲密合作、团结奋进的产物。在本书写作过程中,同事们提供了有关原始资料,并给予了极大的支持和帮助。重庆交通学院副教授史义博士认真阅读了全书初稿,就某些问题与作者进行了深入讨论,并从全书的结构、内容以至一些具体的提法和描述提出了很多宝贵的意见。研究生谢祥根、张映雪同学对全书初稿进行了认真的校对,西安公路交通大学张雨化教授和作者的导师姚伯泉先生,以及长沙交通学院张起森教授对本书的写作给予了很大的关心和鼓励。本书的责任编辑卢仲贤同志对本书的结构及章节安排提出了很好的意见。

交通部科学技术司凤懋润司长在百忙之中为本书作序,这是对我们莫大的鼓励和支持。在本书出版之际,作者谨向关心和支持本书的所有同志表示由衷地感谢。

公路CAD技术发展迅速,内容丰富,涉及范围很广,由于作者水平有限,书中难免有不当及疏漏之处,热忱期待读者批评指正。

作 者

1997年5月

目 录

第一章 绪论	1
一、当今公路测设技术的最新发展	1
二、我国公路测设新技术的发展现状	2
三、我国公路测设自动化的发展方向与实现途径	3
第二章 公路 CAD 概述	7
第一节 公路 CAD 的基本概念和特点	7
第二节 公路 CAD 发展概况	8
一、国外公路 CAD 发展概况	8
二、国内公路 CAD 发展概况	9
第三节 公路 CAD 发展趋势	11
一、当今国际上 CAD 领域的发展方向	11
二、公路 CAD 技术的发展趋势	12
第三章 工程 CAD 基础	14
第一节 工程 CAD 系统的硬、软件环境	14
一、CAD 系统的硬件环境	14
二、CAD 系统的软件环境	17
三、公路 CAD 系统硬、软件选择的原则	20
第二节 工程化 CAD 软件的开发方法	21
一、软件工程	22
二、开发工程化 CAD 软件的要求	24
第三节 计算机绘图	26
一、交互式绘图	26
二、参数化绘图	27
三、AutoCAD 绘图软件简介	28
第四节 工程数据库	32
一、工程数据库管理技术的发展	33
二、工程数据的特点	33
三、工程数据模型	34
四、工程数据库管理系统的功能需求	35
五、工程数据库设计方法简介	36
第四章 地形数据采集与处理	38
第一节 地形数据采集的分类及特点	38
一、利用航测方法采集地形数据	39
二、地形图数字化	39

三、野外实测采集地形数据·····	40
第二节 航测数据采集·····	41
一、航测数据采集的设备要求·····	41
二、航测数据采集的内容及要求·····	42
三、航测数据采集的精度问题·····	43
四、航测数据采集的质量保障措施·····	45
第三节 地形图数据采集·····	46
一、数字化仪基本原理及作业方式·····	46
二、数字化仪坐标转换·····	47
三、地形图图纸变形纠正·····	48
四、地形图的数字化输入·····	49
第四节 野外数据采集·····	50
一、全站仪的基本原理和作业方式·····	50
二、全站仪配合袖珍计算机进行公路测设·····	52
三、全站仪采集地形数据·····	53
第五章 数字地面模型·····	55
第一节 数字地面模型及应用·····	55
第二节 数字地面模型在公路路线设计中的应用·····	56
第三节 数字地面模型的种类及特点·····	57
一、规则数模·····	57
二、半规则数模·····	58
三、不规则数模·····	58
第四节 数字地面模型的建立·····	59
一、地形数据采集·····	59
二、地形数据预处理·····	60
三、地形数据排序与检索·····	61
四、数字地面模型的高程内插·····	63
五、地物、断裂线处理·····	67
第六章 路线优化设计·····	68
第一节 路线优化设计概述·····	68
一、路线优化设计研究现状·····	68
二、路线优化设计过程·····	69
第二节 路线优化设计数学模型的建立·····	70
一、决策变量的选择·····	70
二、目标函数的确定·····	71
三、约束条件·····	74
第三节 路线优化设计的一般算法·····	75
一、非线性规划问题·····	75
二、动态规划法·····	78
第四节 路线纵断面优化设计·····	79

一、初始纵断面方案的形成	80
二、随机搜索法	80
三、降维法	81
四、动态规划法	82
五、梯度投影法	83
第五节 公路平面优化设计	85
一、宽带平面优化	85
二、中带平面优化	86
三、窄带平面优化	87
四、平面优化设计中目标函数的讨论	87
第七章 路线设计	89
第一节 路线 CAD 系统总体设计	89
第二节 平面设计	91
一、回旋线的特性及计算公式	91
二、导线法平面曲线要素及主点桩计算	93
三、逐桩坐标计算	103
四、交互式平面设计原理	108
五、平面视距保证的计算原理	112
六、平面设计中其他问题	113
七、平面设计软件编制	115
第三节 纵断面设计	117
一、路线纵、横断面地面线的获得	117
二、纵断面交互设计	118
三、纵断面设计计算	120
四、纵断面设计软件编制	121
第四节 横断面设计	123
一、横断面地面线的产生	123
二、横断面设计及土石方工程量计算	124
三、横断面交互设计	127
四、横断面设计软件编制	128
第五节 土石方调配	130
一、采用土石方累计曲线进行调配	131
二、土石方调配软件编制	132
第六节 路线设计图表的自动绘制	134
一、设计表格的自动生成	135
二、纵断面设计图的自动生成	135
三、横断面设计图的自动生成	141
四、路线平面设计图的自动生成	147
第七节 公路透视图计算与绘制	149
一、路线透视图的基本原理	150

二、路线透视图视点与视轴的选取	151
三、物点坐标计算	152
四、路线透视图的消隐与绘制	155
第八章 路线设计一体化系统	160
第一节 基于航测数模技术的路线设计一体化系统	160
一、利用航测数模技术进行公路路线设计的新方法	160
二、基于航测数模技术的路线设计一体化系统	163
三、航测数模技术用于公路路线设计的可行性分析	168
第二节 基于野外实测数模的路线设计一体化系统	169
一、野外数据采集与处理	169
二、三角网数字地面模型的建立	171
三、路线纵、横断面地面线内插	172
四、路线平面图的自动绘制	174
五、野外实测数模系统用于公路路线设计的可行性分析	175
第九章 路基边坡稳定性分析及挡土墙设计与绘图	177
第一节 路基边坡稳定性分析	177
一、高路堤边坡稳定性分析	177
二、陡坡路堤边坡稳定性分析	180
三、深路堑边坡稳定性分析	181
四、路基边坡稳定性分析程序设计	182
第二节 挡土墙设计与计算	183
一、挡土墙土压力计算	183
二、挡土墙强度及稳定性验算	188
三、挡土墙设计软件的编制	190
第三节 挡土墙施工图绘制	192
一、挡土墙设计图绘制的原理	192
二、挡土墙绘图的程序设计	196
第十章 中小桥涵设计与绘图	199
第一节 中小桥 CAD 系统总体设计	199
第二节 中小桥设计软件实现原理	201
一、上部结构设计与计算	201
二、下部结构设计与计算	206
第三节 中小桥设计图的自动绘制	210
一、图元编码基本原理及程序实现	211
二、桥梁设计图的自动绘制	215
第四节 涵洞设计与绘图	223
一、涵洞设计软件的结构及功能要求	224
二、涵洞设计软件的开发	225
参考文献	231

第一章 绪 论

当前,在全球范围内以信息为中心的新工业已在兴起,在新的工业革命中,电子计算机的应用成为现代社会发展的主要标志。随着计算机技术的发展、各种高新技术的不断出现以及学科之间的相互交叉和渗透、相互影响和促进,公路勘察设计的技术得到了迅速发展。

一、当今公路测设技术的最新发展

按公路设计过程划分,公路测设分为勘测(外业)和设计(内业)两大部分。勘测部分的技术发展主要是地形数据采集的自动化和高精度,这取决于各种新技术、先进设备的支持;设计部分主要取决于计算机硬、软件环境和 CAD 研究及应用水平的提高。目前,最能直接为公路测设提供技术支持的首推:全球卫星定位系统(GPS)、航空摄影、遥感和计算机等高新技术及这些技术的集成。

GPS 是以人造卫星为基础的无线电导航定位系统,它是利用天空中均匀分布的 24 颗 GPS 卫星轨道参数及其载波相位信号,通过地面接收设备接收其发射信息,实时地测定地面接收载体的三维位置。GPS 作为新一代卫星导航与定位系统,不仅具有全球性、全天候、连续的精密三维导航与定位能力,而且有良好的抗干扰性和保密性。相对于经典测量学来说,GPS 定位技术具有观测点之间无需通视、定位精度高、观测时间短、提供三维坐标、操作简便、全天候作业等主要特点。由于其高度自动化及其所达到的精度和具有的巨大潜力,目前已广泛渗透到经济建设和科学技术的许多领域,在地球科学研究、大地测量、摄影测量的野外控制、普通及精密工程测量等各个测绘应用领域得到广泛应用。随着高程异常的解决以及 GPS 接收机的发展,GPS 在航测的外控测量、公路控制测量等外业测量工作中将有十分广阔的应用前景。

航空摄影和摄影图像处理为大规模地采集地形数据提供了快捷的手段。航空摄影测量经历了模拟摄影测量、解析摄影测量两个阶段,现正在向数字摄影测量阶段发展。数字摄影测量基于数字影像与摄影测量的基本原理,应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配、模式识别等多学科的理论与方法,提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息。作为摄影测量学的分支学科,它与模拟、解析摄影测量的最主要区别是利用相关技术和扫描技术将像片影像数字化,无需人眼进行观测便可得到被测区域的地表三维数据。数字摄影测量从概念上、手段上、设备上及最终成果等方面,与传统方法都有较大差别。数字摄影测图最终是以计算机视觉代替人眼的立体观测,因而所使用的仪器最终将只是通用计算机及其相应外部设备。目前,世界各国对数字摄影测量高度重视,积极投入资金和人力竞相研究。比较著名的系统有美国的 DAMS、瑞士的 DSP1、Leica 公司的 Helava 以及美国 Intergraph 公司、I²S 公司的数字摄影测量工作站等。这些系统对地形有很强的处理能力,但目前对于地物及各种隐蔽区域的处理还均未达到实用水平,这也是该领域研究人员正在努力的课题之一。

作为广义摄影测量的重要部分——遥感技术,随着运载工具和传感器的革新而迅速发展,

获取信息的手段越来越多,应用的领域也越来越广泛。遥感手段由原来单一的航空可见光摄影遥感逐步发展到热红外、多波段扫描、雷达探测等多种空间遥感技术手段,随着遥感平台的升高,已由航空遥感发展到航天遥感。由于航天遥感覆盖面积大、信息丰富,可进行宏观地质研究,直接或间接地得到大量有关工程地质及水文方面的资料,公路带状大区域的宏观地质现象判释更能突出这项技术的独特优势。国外目前广泛地采用航天遥感资料进行计算机图像处理和信息提取,大量的遥感信息已进入自动识别和自动处理成图阶段,为公路工程地质解译提供了准确可靠的信息来源。

上述新技术的出现和发展,都是以计算机等微电子技术的进步为核心、为基础的。计算机在公路设计领域的直接应用更是成果累累,技术也逐渐趋向成熟、实用。国外公路CAD技术经过30多年的发展,至90年代已发展成集数据采集与处理、设计、分析、优化于一体的集成化、系统化技术。其软件的适应性大大增强,并开始应用人工智能解决设计中的一些问题。国际上比较典型的道路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;以数据采集、处理和图像输出为一体的芬兰ROADCAD道路系统;具有先进图像处理、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,即用一种全新的“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: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。

二、我国公路测设新技术的发展现状

我国公路交通设计行业较大范围地应用计算机等新技术已近20年,各设计单位、高校及科研院所相继研制开发了一大批计算机软件产品,在我国公路测设中发挥着重要作用。交通部十分重视先进技术的研究和成果应用,“六五”期间就立项开展了“航测电算在公路测设中应用的研究”,“七五”期间又将该技术进行深化和拓展,将“航测遥感在公路测设中的实用技术”的课题列入了交通部“八五”科技进步的“通达计划”。由交通部组织实施的包括路线CAD、桥梁CAD在内的7个国家“七五”重点科技攻关项目的交通部CAD工程在“七五”期间启动并完成,这对促进我国公路CAD技术和各种测设新技术的发展以及推广、普及起到了重要的作用。与此同时,很多设计院及科研院所也推出了各自的公路CAD系统,形成了一种百花齐放,遍地开花的格局。虽然其中有一些是低水平的重复劳动,但也为我国公路CAD领域培养了一大批既懂专业又懂计算机的开发队伍。目前,全国绝大部分公路设计部门,在公路工程设计工作中全部应用了CAD技术。在一些大型公路建设项目的可行性研究及工程设计招投标中,具有真实背景的三维工程实体造型以及计算机动画的应用正日益增多,设计文档、设计图库的计算机管理以及单位内部的计算机网络管理正在兴起。计算机技术在公路设计中的应用,有力地推动着公路行业的技术进步,促进了公路测设质量和水平的大幅度提高。

在公路勘察的手段方面,随着测量高新技术的发展,促使传统的勘察方法也不断改进。目前,航测技术在各部、省级设计院的高等级公路勘察中得到普遍应用,大比例尺地形图的测绘工作基本上都是采用航测手段完成。直接利用航测获得的地形图数据建立数字地面模型,用于公路路线初步设计及施工图设计的方法及相应的 CAD 系统已在高等级公路设计中得到推广应用;利用全站仪采集地形原始数据,建立数字地面模型,自动绘制大比例尺地形图,并完成路线设计的路线 CAD 集成系统,也正在实际生产中发挥作用;GPS 在公路路线导线网的基本控制测量、航测外控测量及各类桥隧控制测量中得到了广泛应用。有些设计院在路线测设中,成功地采用了 GPS 定位、带坐标格网及地名注记的纠正像片、正射影像图、航测数据采集、遥感地质判释、数字地面模型等测量高新技术,取得了显著的效果。部颁《公路摄影测量规范》也已公布实施。

在我国测绘领域,有关学者对 GPS、航测遥感进行了深入地学科研究,在 GPS 辅助空中三角测量方面取得了突破性进展;在航测数字化测图技术方面,推出了全数字化测图系统(DPS),并逐步向商品化方向发展。测绘部门与公路设计部门合作,对 DPS 技术用于公路设计进行了初步的尝试,取得了较好的效果。这些充分展示了测量高新技术在我国公路勘测设计中应用的广阔前景。

三、我国公路测设自动化的发展方向与实现途径

改革开放以来,我国公路基础设施建设有了一个突飞猛进的发展,但对于整个国民经济发展的需要来说,交通还处于滞后状态。经济的进一步发展、改革开放的进一步深化,对公路交通建设提出了更高、更新的要求。为了适应建设的需要,必须着力于提高公路设计的效率、质量和水平,而其关键是迫切需要改革传统的公路测设方法和手段,提高公路测设自动化的水平。

“七五”、“八五”期间,我国公路勘测设计新技术的开发和应用有了一定的基础,但发展的速度和应用很不平衡,从总体来说,测设技术的水平不高,集成化、系统化程度还很低,不能适应目前公路建设对勘测设计的要求,与国际先进水平还有较大差距。主要表现在:

1. 原始数据的采集方法单一,没有充分利用 GPS、航空摄影测量和全站仪等各种现代化高效的数据采集手段。

虽然各个部、省级设计院在公路设计中已普遍采用航测方法,但航测的主要作用仅仅是测绘大比例尺地形图,没有充分利用航测提供的丰富信息,特别是地形数据资料。设计所需数据大都还是采用从地形图上读取或由野外实测这种传统的勘测手段。直接从航片采集地形数据或利用全站仪野外采集数据,与数字地面模型及 CAD 系统相结合进行公路路线设计的方法以及采用 GPS 进行控制测量,采用遥感手段进行地质判释等方法,虽然已在实际工程中应用,但还没有得到大范围的推广。传统的测设技术仍然滞后于 CAD 技术的发展,地形数据的获取成为公路设计中的一个最薄弱环节,形成了一个“瓶颈”,严重阻碍了公路测设速度和质量的提高,这是我国公路测设中亟待解决的一个难题。

2. 数字地面模型的应用还不普及,CAD 系统缺乏功能强大的数模的有力支持。目前国内已推出基于航测、数模的路线设计一体化系统,并已在工程实际中得到应用,但在认识上仍没有得到应有的重视。数字地面模型是公路测设现代化的重要基础之一。数模技术发展到今天已经相当成熟、实用,国内外的研究工作都充分证明了这一点。如果数模技术不能很好地应用

于实际工程,我国公路 CAD 技术也难以有新的突破,公路测设技术的水平也难以提高。

3. 在公路 CAD 系统的开发方面,缺乏更深一层的理论支持。我国的公路设计,通常都是按平面、纵面和横断面分别设计,然后再考虑平、纵配合和平、纵、横的综合协调。平面、纵面和横断面组成公路的整体效果全凭设计者经验决定,在设计中造成了一定的随意性,而难以达到设计成果的最优化。现在国内公路 CAD 系统软件编制思想和程序结构也基本模仿常规的设计过程,即按平面、纵面和横断面分别编写程序,平、纵、横的设计是分离的,其设计的模型都是建立在二维的基础上。用二维的概念来描述公路这一带状三维几何体,存在着本质的缺陷。随着计算机的硬件及支撑软件的发展,以及数模系统的成熟和实用,目前已具备建立三维模型进行公路设计的能力。如何用三维的概念描述公路几何实体,如何继承原有的设计经验,使三维路线 CAD 系统应用于实际工程设计,亟待深入地探讨与研究。

4. 公路 CAD 缺乏工程数据库系统的支持,缺乏统一的设计思想,系统化、集成化难以实现。随着计算机科学的发展,软件编写思想及编译系统也在发展,目前我国大部分公路设计软件是由非结构化的 BASIC 或 FORTRAN 开发的,由于开发平台的限制不能充分利用现代计算机的硬、软件丰富资源,软件的水平难以提高,开发新一代公路 CAD 系统已是不可避免。在新一代公路 CAD 系统开发中,应采用新的、实用的、适合于编写大型程序的计算机程序设计方法、概念和语言,并严格遵循软件工程的要求来开发程序。在进入 Windows 的 90 年代,可视化技术已成为潮流,对公路 CAD 的图形语言功能、交互功能及智能化、集成化、柔软性也应提高到非常重要的高度来认识。

通过“六五”、“七五”、“八五”期间的研究开发,我国的公路测设技术有了重大发展,取得了一大批研究成果,促进了公路设计领域的科技进步和公路交通事业的蓬勃发展。基于我国目前的发展现状、经济技术实力和交通事业发展的巨大需求,我国公路测设自动化的发展宜在两个层次上展开。

一方面,在“七五”、“八五”的研究基础上,充分做好已有成果的推广、普及工作,将公路测设新技术,尽快转化成生产力,形成实用型的技术,同时在推广应用过程中,使其得以完善、扩充和进一步发展。这一方面的重点,是以提高公路测设能力,提高测设质量为目标,追求从有效的数据采集、数据处理,到设计、分析、计算与优化,直至最终输出设计成果的覆盖公路设计全过程的设计一体化。并不断拓展公路测设新技术的应用范围,加大对公路设计过程支持的深度和广度,以满足我国公路建设事业发展的迫切需要。

另一方面,密切跟踪国际上公路测设的高新技术及计算机科学的最新发展,在测设手段上,主要是 GPS、航测数字测图、遥感地质资料综合处理,逐步实现数据采集的自动化;在 CAD 技术方面,主要是向可视化、集成化、智能化和网络化方面发展,形成以测量高新技术为主体的野外勘察、内业数据处理和 CAD 设计一体化集成技术,促进我国公路测设由传统方法到现代化的转变。

在具体的实现途径上,可以重点做好以下几方面工作:

(1)推广、普及航测数模技术在公路设计中的应用。目前,航测技术已非常成熟,并在我国公路设计部门得到广泛的应用,利用航测技术获取数据是最理想、最有前途的地形数据采集手段。由于公路设计部门的大比例尺测图已广泛采用航测方法,所以利用航测获取地形数据也是我国目前最现实、最易实现的手段。在数据有效获得的基础上,建立沿公路走向的带状数模可为公路设计自动准确地提供地形数据,与路线 CAD 相结合,形成数据采集与处理、路线设计的一体化系统。这种作业方式,不仅可以最大限度地取代人工测量工作,降低设计费用,缩短设

计周期,还特别有利于进行路线多方案比选和优化设计,易于选择路线最佳方案,这对提高设计质量和建设效益具有重要意义。目前,这种基于航测、数模技术的公路设计一体化系统已经推出,并在实际工程中得到应用。由于航测的普及、数模系统的成熟,这种测设方法在全国大规模推广应用已是最佳时机,而这种新技术的推广应用必将对我国公路测设水平和测设能力的提高产生很大的促进作用,并将加速我国公路测设现代化的进程。

(2)促进基于野外实测公路设计一体化系统的应用与推广。这是对航测方法的一种补充。当路线里程较短,或由于路线方案改动使路线超出原航摄区域范围,以及对于各种立交、广场、桥位等工点的地形图测绘和数据采集,采用航摄方法不太经济时,利用带自动记录装置的全站式速测仪野外采集数据,是一种切实可行的方法。该方法所要求的硬件环境较低,都是目前各个设计院普遍采用的设备,所以该方法可直接面向各测量队一级,易于推广普及。基于野外数据采集的公路设计系统,是以数字地面模型为基础,利用计算机处理由全站仪采集记录的地形原始数据,建立沿公路走向的带状三角网数字地面模型,为公路路线设计自动提供纵、横断面地面线数据,并自动绘制等高线地形图、路线平面图,形成从数据采集与处理,路线设计与计算,到各种设计图表输出的设计一体化系统。该方法推广的目的,就是要逐步取代人工外业平板仪测绘地形图,内业剪、贴、复印出路线平面图,以及从图上读取路线纵、横断面地面线这种费时费力的工作方式。该方法的应用,将能最大限度地减少人工内、外业测量工作量,便于进行路线方案比选和路线优化设计,提高地形图成图速度,减轻劳动强度,使出图规范化,图纸清晰美观,较大幅度地提高设计质量,缩短设计周期,降低设计成本。国内已推出这种成套的公路路线一体化系统,由于功能强,对环境的依赖低,符合我国目前经济与技术现状,并能有效地提高设计能力和设计成果质量。作为航测方法的一种补充,该方法是一种易于推广,见效快的测设方法,应能在我国公路测设中起到重要的作用。

(3)做好已有公路CAD软件商品化的工作,在使用中完善、扩充、提高,使之转化成生产力,并根据实际需要,不断拓宽计算机技术在公路设计中的覆盖面。这个工作以提高设计中计算机的应用率、计算机出图率为主要目标。国内公路CAD技术的发展已近20年,特别是经过“七五”、“八五”期间的攻关和各科研院所、大专院校、设计单位的自主开发,涌现了一大批公路CAD成果,几乎覆盖了公路设计的全过程和各个阶段、各个方面。由于其中大多数软件功能单一、针对性较强,商品化、系统化的程度不高,交互功能不强,严重地限制了这些成果的推广、普及。这些成果若弃之不用,是资源的一种巨大浪费,对这些成果做一些筛选,有选择地对一些较好的系统进行扶持、增加一定投入,以实用为目标,进行以完善功能、增强商品化为重点的二次开发,是一项投入少,见效快的工作,这也是提高我国公路设计中计算机应用水平、提高公路测设能力、提高设计质量的切实可行的重要途径。

(4)目前,国内公路设计中采用GPS进行平面控制测量已有相当广泛的基础。由于公路路线为一狭窄的带状区域,路线控制测量与大地控制测量及其它工程控制测量在施测方案、控制网设计及作业计划等方面存在较大差异,所以对GPS用于公路路线的平面控制测量中有关GPS网的施测方案、带状GPS网的网形结构设计、GPS的WGS-84世界大地测量坐标系至我国国家坐标系或地方坐标系的转换以及GPS网的平差等问题,必须结合生产实践进行研究,提出满足公路设计需要的GPS平面控制测量方法和技术措施。

在GPS高程测量方面,必须综合利用已知地球重力场资料和水准测量资料,结合公路这一带状区域的特点,研究有效的从GPS大地椭球面高程系统至工程测量中采用的正常高(水准高程)系统的转换方法,研究GPS用于等级水准测量的方法和作业程序,以促进GPS这种

成熟、先进的新技术在我国公路测设中的应用。

(5)结合航测、遥感、GPS 的最新研究成果,探讨有关遥感地质判译技术、机载 GPS 辅助空中三角测量定位技术、航测数字摄影测量技术、GPS 的实时载波相位动态定位(RTK)等在公路测设中应用的方法,提出满足公路测设的具体的技术要求和作业程序。结合这些测量高新技术的发展,努力实现公路勘测工作的现代化。