

公路航空摄影

测量与遥感

符铎砂 编著

人民交通出版社
China Communications Press

公路航空摄影测量与遥感

Gonglu Hangkong Sheying Celiang Yu Yaogan



◎ 符铎砂 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书系统地介绍了公路航空摄影测量与遥感的基本原理、基本方法及其在公路测设中的实际应用。全书共分八章,主要包括:公路航测的作业过程,航测外业控制测量与像片调绘,解析空中三角测量,航摄像片图的编制,航摄像对的立体观察与航测成图,航测数据采集与处理,遥感技术系统,航测判释和遥感信息处理及其在公路测设中的应用等内容。本书全面反映了测量高新技术在我国公路设计领域的研究应用现状和发展趋势。

本书可作为高等学校道路与铁路工程专业本科生和研究生的选修教材,也可供公路交通行业有关的技术负责人、工程设计人员和研究开发人员学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路航空摄影测量与遥感/符铎砂编著. —北京:人民交通出版社, 2003
ISBN 7-114-04668-5

I 公... II 符... III. ①航空摄影测量: 道路测量②遥感技术-应用-道路测量 IV. U412.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 030793 号

公路航空摄影测量与遥感

符铎砂 编著

正文设计:姚娅妮 责任校对:尹 静 责任印制:张 恺

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本:787×980 1/16 印张:13.75 字数:178 千

2003 年 6 月 第 1 版

2003 年 6 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:22.00 元

ISBN 7-114-04668-5



前 言

当前,随着计算机技术、电子与信息技术、网络技术、空间技术的发展和各种测量高新技术的不断出现,使得公路勘察设计的测设手段得到了迅速发展。航空摄影测量与遥感技术作为现代测绘技术的先进代表,是目前在大范围内采集地形原始数据最理想、最有效的方法和手段,已逐步成为目前我国高等级公路测设中最主要的地形数据来源。航测与遥感技术应用在公路设计中,这对改造公路测设技术,提高公路测设能力,提高设计质量,促进公路测设新技术的发展起到了重要作用。

由于航测、遥感和公路工程分属不同学科,对于公路交通行业人员而言这是一个新的研究领域,目前国内尚缺乏全面系统介绍公路航空摄影测量与遥感的基本原理及其在公路测设中的实际应用方面的技术书籍。为了适应这种公路测设新技术的发展需求,促进我国公路测设方法的现代化,作者在总结多年来对公路测设一体化系统的研究与实际工程应用的基础上,结合国内外有关研究成果和公路测设技术的发展趋势,编写了本书。

本书初稿完成于1997年,作为道路与铁道工程专业硕士研究生内部讲义已沿用多年。本次出版,根据航测遥感技术的最新发展及在公路测设中的研究应用现状和发展趋势,对原稿进行了更新、补充与修订。



本书在编写中力求全面、系统并尽可能地注重理论与实际相结合,以增强其实用性、可读性和可操作性。考虑到本书主要面向道路与铁道工程专业高等学校师生和公路交通行业的有关工程技术人员,读者大多对航测、遥感方面没有太多接触,因此在内容的安排上,对航测遥感技术复杂的理论模型和公式推导没有花太多篇幅来描述,而是侧重从公路测设的角度,系统介绍航测遥感技术的基本原理、基本方法及其在公路测设中的实际应用。

希望通过对本书的学习,使读者能对这些新技术有一个系统、全面的了解和认识,能够比较系统地掌握航测遥感的基本知识,并能够利用这些测绘高新技术解决公路测设中的具体问题。

对于需要在这方面进行深度研究的读者,则可以从书末所列的参考文献中,寻找有关的专著和资料。

航空摄影测量与遥感技术发展迅速,内容丰富,涉及到多种领域、多个学科的交叉与融合,涉及的研究范围很广。由于作者水平所限,书中难免有不足与错误之处,热忱希望读者批评指正。

作 者

2003年5月



目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 公路航空摄影测量

第一章 航空摄影测量概述	11
第一节 航空摄影测量的特点及其发展阶段	11
第二节 航摄资料的获取	14
第三节 航摄像片的特点	26
第二章 航测外业控制测量与像片调绘	35
第一节 航测外业控制测量	35
第二节 航摄像片的外业调绘	46
第三章 解析空中三角测量	53
第一节 常用的坐标系统	54
第二节 单航带法解析空中三角测量	56
第四章 航测像片图与航测地形图	70
第一节 航摄像片图的编制	70
第二节 航摄像对的立体观察与航测成图	78
第五章 航测数据采集	84
第一节 航测数据采集的设备	84
第二节 航测数据采集	102
第三节 航测数据采集的质量保障措施	111
第四节 航测数据采集与公路测设一体化	117

第二篇 遥感技术及在公路 测设中的应用

第六章 遥感技术概述	125
------------------	-----



第一节 遥感技术基本知识	125
第二节 遥感技术现状及发展趋势	142
第七章 航测判释及其在公路测设中的应用	152
第一节 航摄像片判释方法和步骤	152
第二节 航测像片判释	160
第三节 航测判释在公路测设中的应用	169
第八章 遥感信息处理及在公路测设中的应用	177
第一节 航空遥感及应用	177
第二节 航天遥感及应用	182
第三节 遥感图像处理简介	191
第四节 遥感信息处理及在公路测设中的应用	199
后记	210
主要参考文献	211



绪 论

当前,随着计算机技术、电子信息技术和光电技术等高新技术的发展,以及学科之间的相互交叉和渗入、相互影响和促进,公路勘察设计的测设手段得到了迅速发展。这对改造公路测设的传统技术构成,提高公路测设能力,提高设计质量,促进公路测设新技术的发展起了重要作用。从公路设计过程划分,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;内业设计部分则主要取决于计算机硬、软件水平的提高。各种测量高新技术和计算机技术的高度集成,形成的公路测设一体化集成系统,代表了现代公路测设的发展方向。

一、现代公路勘测技术的最新发展

外业勘测中最关键的问题是如何高速、准确、有效地获取设计所需的大面积的各类地形原始数据。公路设计原始地形数据的来源一般有三种方法:采用航测方法从航摄像片上获得数据;已有大比例尺地形图的数字化;野外实测采集地形数据。对每一种数据来源,根据其数据采集的设备、手段不同又有多种数据采集方式:如航测数据采集视其采集设备的不同有模拟法测图、解析法测图、全数字测图以及遥感判释等几种方式;地形图数字化有人工手扶跟踪数字化仪输入法和图形扫描仪(又称全自动数字化仪)输入法两种;野外实测数据有采用全站式电子经纬仪(又称电子速测仪)



从野外实测获得地形数据,还有采用全球卫星定位系统(GPS)从野外采集地形数据等多种。从技术发展的角度看,目前最能直接为公路测设提供技术支持的首推航空摄影测量、遥感和全球卫星定位系统(GPS)以及地理信息系统(GIS)。

1. 航空摄影测量

航空摄影和摄影图像处理为大规模采集地形数据提供了快捷的手段。利用航测方法采集数据能直观地观察地表形态,工作环境好,可以随意和方便地控制地形点的分布和密度,所获得的地形信息可靠、精度高。特别是由于航测仪器的发展,目前较大范围的各种地形图大都是由航测手段成图,而利用解析法测图的解析测图仪在测图的同时,可以附带记录测图信息,不需特意为建立数字地面模型重新采集,这给数据采集带来极大方便,所以航测采样是目前在公路测设中最理想、最成熟,也是最常用的地形数据采集手段。

全数字化测图(也称数字摄影测量)是在解析法测图的基础上发展起来的更为先进的一种摄影测量方法。它与解析法测图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。数字摄影测量的主要设备是扫描仪和具有图形图像处理功能的计算机,用来对像片影像数字化。全数字化测图系统的测图过程是首先将像片影像的灰度数字化,然后在计算机上进行数据处理。具体做法是通过扫描方式将像片上影像的灰度值转换成电信号或数字信号,形成“数字影像”,然后用相关技术代替人眼自动地立体照准(寻找)同名像点。目前自动化的相关技术还不能完全代替人眼的立体观察,在隐蔽地区、陡峭地形、影像质量极差或云层遮盖地区,以及对地物的识别和植被的处理等仍需人工协助,解决这些问题,也是目前摄影测量界研究的主攻方向。由于自动化测图系统速度快,无需人工量测,测量的数据点密集,有利于各种比例尺的测图,特别是制作正射影像图。这种全数字化、自动化测



图方法代表了航空摄影测量学科的发展方向。世界各国竞相投入资金和人力对其深入探讨和研究,也推出了一些成熟的实用产品,在实际生产中得到大范围的推广应用。随着研究工作的深入,数字摄影测量系统在理论上、技术上的日益成熟和应用上的日益普及,全数字测图将成为公路设计中地形数据采集的最理想方法。

2. 遥感地质判释

作为广义摄影测量的重要部分——遥感技术,在公路勘测中的作用越来越得到重视。航摄像片及遥感图像均具有视野广阔、影像逼真、信息丰富的特点,在图像中通过遥感判释技术可直接或间接地获得大量有关工程地质及水文方面的资料,犹如把勘测现场搬到室内进行研究一样,使得勘测设计工作“有的放矢”地进行,避免了盲目性,大大地减少了外业劳动强度,从而提高了勘测设计的质量和速度。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,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。

3. 全球卫星定位系统

全球定位系统(Global Positioning System 简称 GPS)是美国国防部主要为满足军事部门对海上、陆地和空中设施进行高精度导航和定位的要求而建立的。该系统从 20 世纪 70 年代开始设计、研制,历时 23 年,投资近 300 亿美元,现已全部建成。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。作为新一代卫星导航与定位系统,GPS 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 GPS 定位技术的高度自动化及其所达到的定位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、航摄影载 GPS 定位、普通及精密工程测量以及公路控制测量等各个测绘应用领域得到广泛应用。

4. 地理信息系统

地理信息系统(GIS)代表了采用各种现代化的方法采集、分析、存储、管理、显示、传递和应用与地理和空间分布有关数据的一门综合和集成的信息科学,是随着各种测量高新技术、计算机技术、信息科学的发展而逐步形成的。由于 GIS 具有强大的空间分析和数据处理能力以及数据易于维护、更新和可扩充性,可作为公路 CAD 系统的基础信息源,在公路的规划、设计、管理、养护等工作中有着十分广阔的应用前景。

航测(数字摄影测量)、遥感地质判释、GPS 等新技术、新设备、新理论在公路设计中的应用,给传统的公路测量手段带来了巨大变革,随着这些测量高新技术的不断发展,有望实现公路设计所必需的原始地形数据采集工作的自动化,公路设计也将逐步由计算机辅助设计向公路的自动化设计过渡。

二、公路航测遥感技术的应用研究现状与发展趋势

航测遥感技术在公路测设中的应用,主要体现在以下方面:

(1)利用航摄像片并配合少量地面控制测量工作,为公路勘测设计提供各种像片平面图和地面信息,供选线和纸上定线用。

(2)利用航片上丰富的地面信息,通过立体观察、判释和少量实地调查工作,可以在航测像对构成的立体光学模型上选线,并通过航测判释和遥感为工程设计提供地质、水文等有关资料。

(3)借助于解析摄影测量以及正处于研究发展阶段的数字摄



影测量,直接产生被摄区域的大比例等高线地形图和地形三维坐标数据,为公路测设提供原始地形数据。

应用航测技术进行公路勘测设计这种先进的测设方法,在国内外已被广泛地应用于生产。与传统的公路勘测设计手段相比,航测方法具有明显的优点:把繁重的外业工作大部分变为室内作业,节省了大量人力、物力,不但可以大幅度降低劳动强度、提高效率,而且可以保证地形图成图精度,特别是对人烟稀少、气候恶劣和地形困难地区,效果尤为明显;由于利用航摄像片可以获得大面积与实地相似的立体模型和地形图,有利于在大区域内进行路线多方案比选,不遗漏优秀方案;可充分利用航片所反映的地面信息和各种地表现象,根据影像特征进行判释,并配合立体观察,能获得测区地貌、地质、水文等各种资料,为路线的多方案比选提供重要依据。

更重要的是,利用航测技术与数字地面模型技术相结合,将自动高速地为路线设计提供设计所需的地形、地貌、地物等各种原始数据,能最大限度地取代人工外业测量工作,便于进行路线多方案比选和路线优化设计,能大大提高设计质量,缩短设计周期,降低设计成本,具有明显的社会效益和经济效益。在路线 CAD 系统不断完善和日趋普及的今天,航测数模技术作为地形原始数据采集的最有效的手段,在路线设计自动化系统中起着愈来愈重要的作用。航测数模技术与路线 CAD 系统相结合,将形成数据采集与处理、路线设计与计算,各种设计图表输出等一整套路线自动设计系统,这是路线设计的发展方向。

航测在道路勘测设计中的应用,最先始于美国。美国从 20 世纪 40 年代开始,先后在许多州公路局设立航测机构,利用航测技术进行一般公路和高速公路的勘测工作。而后于 20 世纪 50 年代后期,逐步发展了数字地面模型技术,开展了公路选线自动化的研究,并深入研究了航摄像片判释、遥感技术在公路设计中的应用。早在 50 年代初,美国大部分州公路机构已开始使用航测成果进行公路设计;60 年代,在全美各州都已有适用于公路踏勘的比例尺



在 1:15 000 至 1:25 000 范围内的航空像片,在公路初测与最终定测阶段,再沿路线走向摄取较大比例尺的航片。

继美国之后,瑞典、墨西哥、日本、英国、法国、加拿大和罗马尼亚等国都先后采用航测方法进行道路选线设计。与此同时,国际摄影测量学会也于 1960 年成立了有关公路、铁路航测研究的专门委员会,从事科技交流和应用推广工作,极大地推动了该技术在道路勘测设计中的应用。目前,航测方法在世界上大多数国家道路设计中获得了广泛的应用。

我国铁路部门早在 20 世纪 50 年代就将航测遥感技术应用于铁路勘测设计,几十年来,用航测方法完成了大量的新线勘测和老线改建任务。航测在铁路勘测中的主要作用是完成航测成图、初测选线以及地质和水文判释等工作,在新线方案研究和初测阶段采用航测遥感技术已形成一套成熟的作业程序。在近十几年来,随着科技的发展,仪器设备的更新,我国铁路航测遥感技术有了新的发展,突出表现在测图精度方面有大幅度提高;作业方案更符合铁道工程勘测特点,能及时向新线各勘测设计阶段提供不同比例尺的地形图;遥感判释技术得到进一步深化,并逐步开展计算机图像处理技术;数字地面模型、数字测图、计算机辅助设计与绘图已开始应用于生产,这对提高我国铁路勘测设计水平起到了显著作用。

我国公路设计部门航测技术的应用研究虽起步较晚,但发展迅速。国内公路设计部门于 1976 年开始,逐步开展了航测在公路设计中应用的研究。广西、四川、湖南、河南等省级交通设计院以及湖南大学、交通部公路二院等交通设计、研究部门在研究利用已有国家航测资料成图,室内借助于简单的航测设备如多倍仪、立体镜、视差杆等在立体模型上研究路线走向以及地质判释等方面做了不少工作。

我国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,并将《航测遥感在公路测设中的实用



技术》课题纳入了交通部“八五”科技进步的“通达计划”,“九五”期间,更是把《GPS、航测遥感及公路 CAD 集成技术》列为国家重点项目进行科技攻关。交通部于 1985 年底通过鉴定的《航测电算技术在公路测设中的应用》和 1991 年初鉴定的《航测遥感在公路测设中的实用技术》等研究课题,系统地研究了公路航测的方法及在公路设计中应用的可行性,研究了数字地面模型的建立等技术问题。特别是在航测数据采集的精度方面,作了大量细致的野外实测和室内分析对比工作,为航测技术在我国公路勘测设计中的推广应用作出了贡献。

1990 年底,经过国家级鉴定验收通过的国家“七五”重点科技攻关项目《高等级公路路线综合优化与计算机辅助设计系统的开发研究(简称路线 CAD)》,提出了功能强大的、较完善的用于公路路线设计的“数字地面模型系统”,为航测数模技术在公路设计中的实际应用创造了条件。1994 年初通过鉴定的《航测数模技术在公路路线设计中的应用研究》课题,在国家“七五”攻关项目《路线 CAD》的研究基础上作了进一步的完善和扩充,从公路工程设计实际应用的目标出发,将航测数模技术与路线 CAD 相结合,全面、系统、深入地研究了从航测数据采集、原始数据处理、路线设计计算至输出文件的覆盖路线设计全过程的公路测设一体化集成技术,在国内首次提出了采用航测数模技术用于公路路线施工图设计的新方法,设计了一整套采用此方法进行路线内、外业勘测设计的工作程序,完成了相应的全套计算机软件系统。该系统目前已在多条高等级公路的初步设计与施工图设计中成功地得到应用。

2000 年完成的国家“九五”攻关项目《GPS、航测遥感及公路 CAD 集成技术》,从公路测设原始地形数据采集的需要出发,通过与国内的测绘科研院所合作,对 GPS、航测、遥感等测量高新技术在公路测设中的应用进行了有针对性的研究和探讨。在 GPS 定位测量方面:探讨了 GPS 测量与公路导线测量的匹配关系;提出了适用于不同精度要求和不同工程(路线、大桥、隧道)测量作业模式以及控制网数据处理方法;提出考虑了测线大地水准面倾斜改



正的 GPS 高程测量方法;采用 RTK 技术实现了公路三维数据采集与放样测量,以及航测外控点的快速测量;首次将动态 GPS 与航测集成技术应用于公路带状区域。在航测方面着重对数字摄影测量的研究,探讨了数字影像处理、自动化 DTM 数据生产、三维数字化地形图、数字影像产品、虚拟的现实等技术。在遥感地质解译方面,着重对遥感的数据采集、图像处理,资料解译及成果应用的一体化研究,争取实现空间信息处理工程化。

随着我国经济发展的需要,我国公路建设正处于前所未有的高速发展时期,取得了良好的经济效益和社会效益。取得了显著的效果。

在我国测绘领域,随着对 GPS、航测遥感进行深入的学科研究,在 GPS 辅助空中三角测量方面已经取得了突破性进展。测绘部门与公路设计部门合作,对 GPS 技术用于公路设计进行了成功的尝试,取得了较好的效果。我国 GIS 的研究,经过十余年的努力,已在国土资源、城市规划与管理、环境工程以及土木工程规划设计领域得到日益广泛的应用,并推出了国产化的 GIS 商品软件。

随着 GPS、数字摄影测量的发展和逐步应用,航测数据的采集和处理将进入自动化时代,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。而原始地形数据采集与处理的自动化和公路 CAD 系统的集成,所形成的覆盖公路设计全过程的一体化技术,构成了公路测设自动化系统的主要框架,这必将引起公路测设的重大变革,对促进我国公路设计自动化系统的发展和完善必将产生深远的影响。

第一篇 公路航空摄影测量



