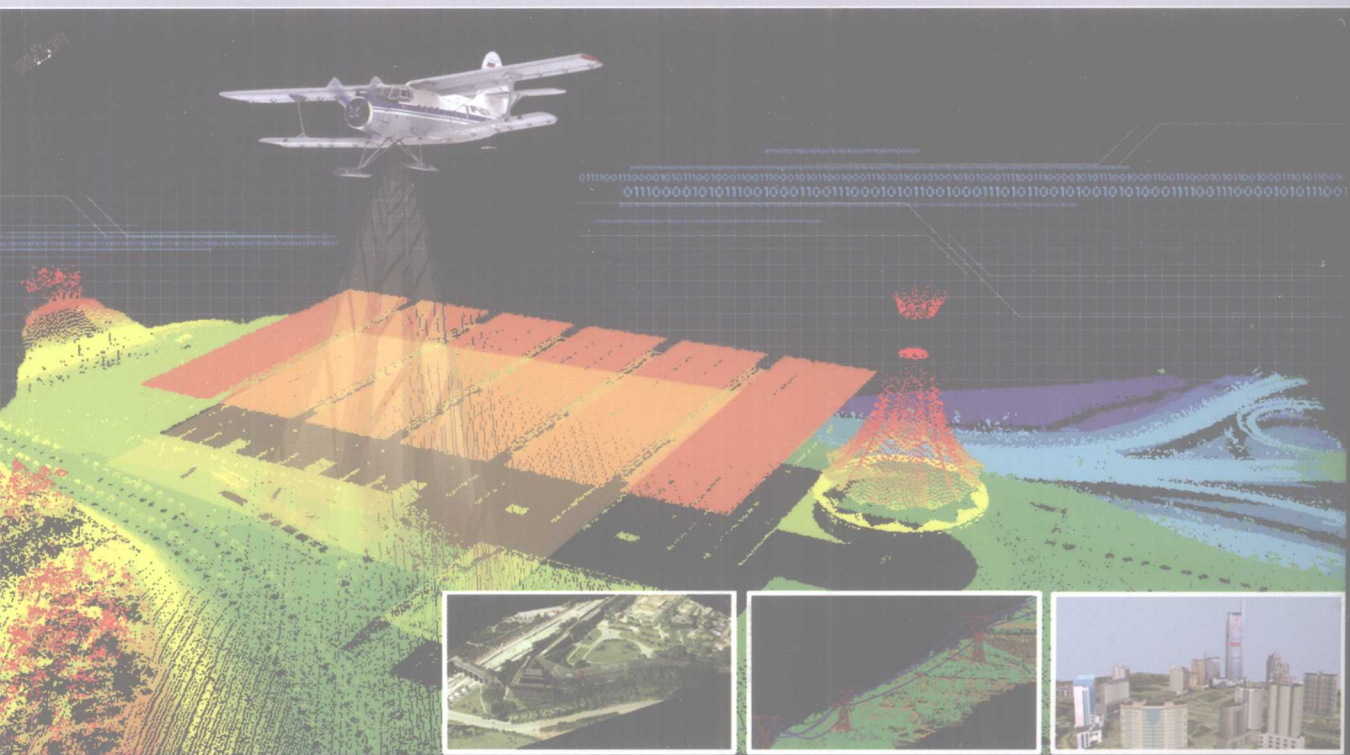


机载激光雷达测量技术 及工程应用实践

徐祖舰 王滋政 阳 锋 © 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

机载激光雷达测量技术 及工程应用实践

徐祖舰 王滋政 阳 锋 © 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

机载激光雷达测量技术及工程应用实践/徐祖舰,王滋政,阳锋编著. —武汉: 武汉大学出版社, 2009. 5

ISBN 978-7-307-06897-1

I. 机… II. ①徐… ②王… ③阳… III. 机载雷达:激光雷达—测量
IV. TN958. 98

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 025757 号

责任编辑:李汉保 责任校对:刘欣 版式设计:马佳

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷:武汉中远印务有限公司

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 15.75 字数: 377 千字 插页: 5

版次: 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-06897-1/TN · 36 定价: 36.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。



徐祖舰

男，1973年7月出生于重庆江津。1997年毕业于西安矿业学院水工专业，现为河海大学商学院在职硕士。先后在重庆煤田地质研究所计算中心、广西桂能软件公司和广西桂能信息工程有限公司工作。多年来一直专业从事3S技术、激光雷达测量技术的研究、开发及行业应用工作，著有《GIS入门与提高》及发表多篇论文。先后获“广西科学技术进步二等奖”、“南宁市科学技术进步二等奖”和“中国南方电网公司科学技术二等奖”各一项，2007年荣获广西水利电力建设集团有限公司第二届十大杰出青年荣誉称号。

联系方式: cqken@163.com



王滋政

男，1976年3月出生于广西全州。1998年毕业于武汉测绘科技大学（现武汉大学）摄影测量与遥感专业。先后在广西航空遥感测绘院、广东汉佳信息技术有限公司、广州腾盈计算机科技有限公司和广西桂能信息工程有限公司工作。多年来一直从事航空摄影测量、地理信息系统、激光雷达测量技术的研究、生产技术管理及行业应用工作。先后获得“国家测绘局测绘科技进步二等奖”、“国家测绘局测绘科技进步三等奖”、“河北省科学技术三等奖”、“中国南方电网公司科学技术二等奖”各一项。

联系方式: wzzlidar@gmail.com



阳 锋

男，1977年7月出生于湖南省衡东县。1996年至2003年就读于浙江大学地球科学系，获理学硕士学位，先后在正先数码科技（深圳）有限公司、广西桂能软件有限公司和广西桂能信息工程有限公司工作。多年来一直从事空间信息化和激光雷达数据处理与应用方面的软件开发、项目实施、行业推广工作。先后获“广西科学技术进步二等奖”、“南宁市科学技术进步二等奖”、“中国南方电网公司科学技术进步二等奖”，各一项，2007年获得“南宁市高新区技术创新先进个人奖”、“南宁市先进工作者称号”。2006年底开始作为底层框架的负责人参与“十一五”863目标导向类项目“机载激光雷达数据处理软件平台”项目工作。

联系方式: yangfme@163.com

参编人员

王 师 李瑞丽 陆小艺 梁 绘 李小明 周晓翠 钟开田
蒋仁军 叶家发 刘改进 刘风秋 罗广义 欧阳开龙 林国朝
陈树铭 李新科 侯至群 高 磊 赵新波 高家志 杨国建
周 平 吴 真 刘启瑞

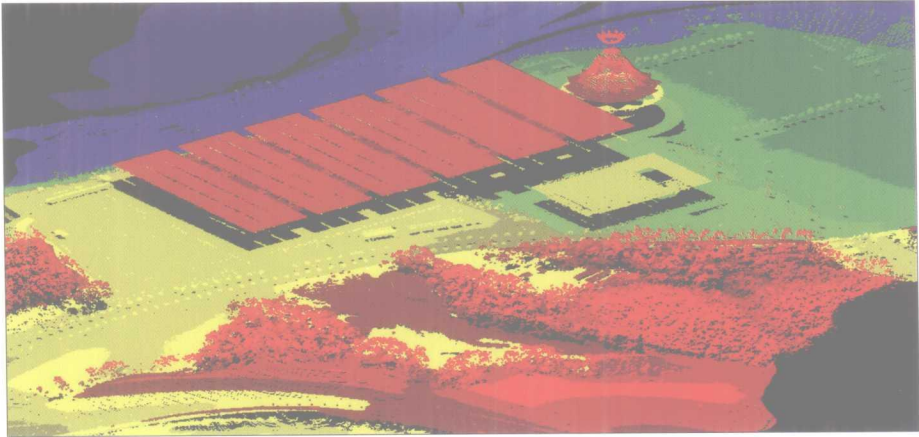


图2-1 广西南宁国际会展中心激光点云

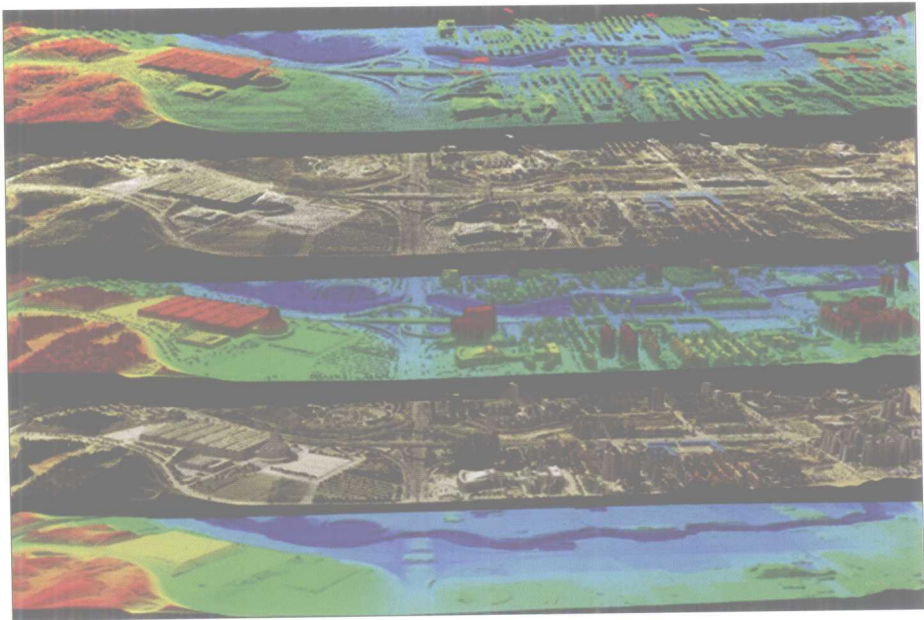


图2-4 激光点云数据不同表现形式及分类生成DEM



图2-12 山海关长城老龙头正射影像样图



图2-15 广西南宁五象广场某建筑东、南、西、北四个方向的斜片三维量测



图6-27 相间距离量测



图6-28 相间高差量测



图6-29 线间距离量测

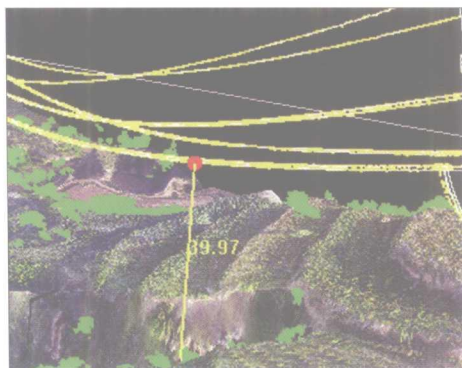


图6-30 对地距离量测

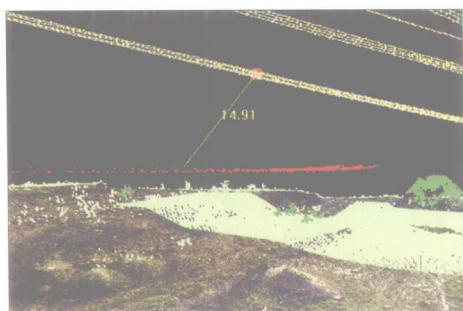


图6-31 交叉跨越空间量测



图6-32 坡度量测

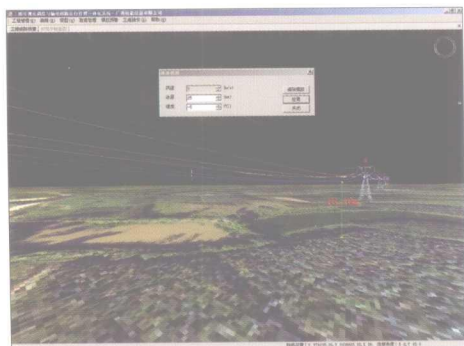


图6-52 模拟不同工况下导线到地面的距离

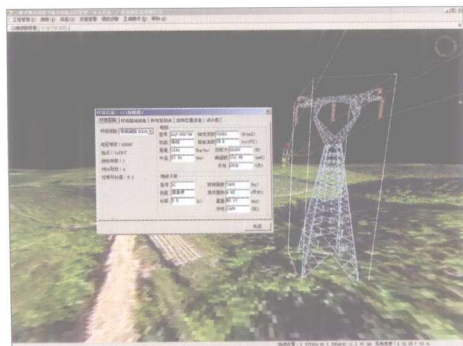


图6-53 杆塔信息查询

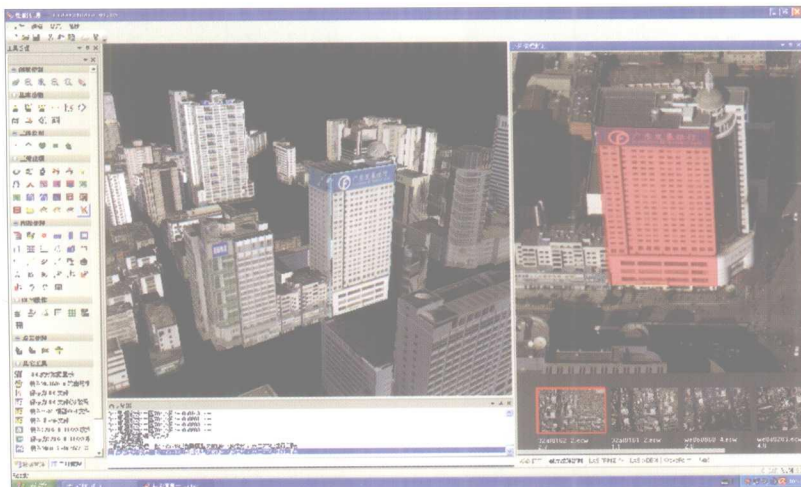


图7-9 建筑物侧面纹理快速粘贴



图8-5 平面设计时动态断面显示

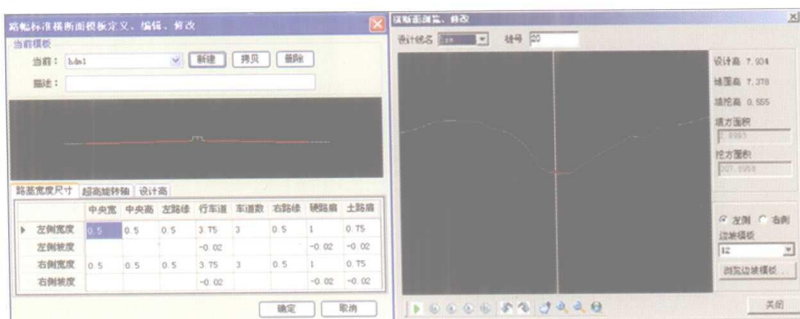


图8-8 横断面设计

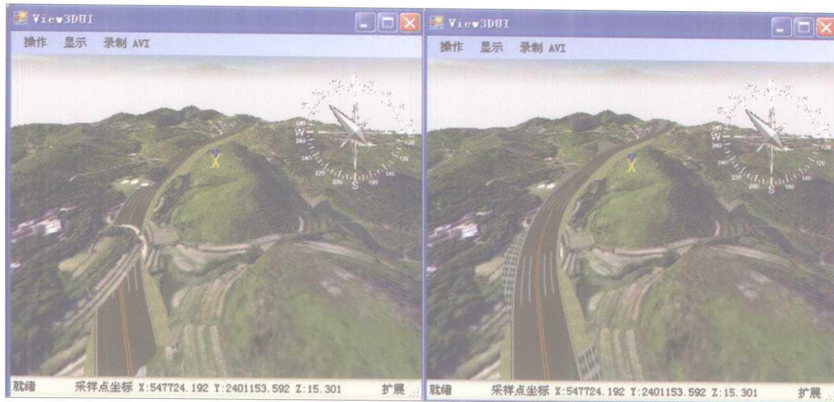


图8-13 公路选线成果三维场景快速显示

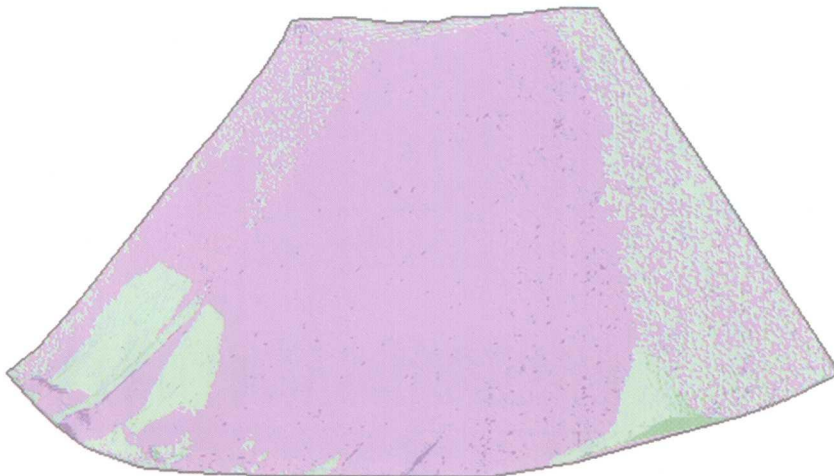


图9-12 基于激光雷达数据的土石方量精确计算



图10-21 长城可量测斜拍影像

人民日报

RENMIN RIBAO

今日16版(华东、华南地区20版) 国内统一连续出版物号 CN 11-0005
第21202期(代号1-1)
网址: <http://www.people.com.cn>
手机: <http://wap.people.com.cn> 人民日报社出版

山海关长城

借助激光雷达恢复古貌

本报北京7月27日讯 记者廖文报道:2008年奥运会举办之际,按照清明时节特征修复的山海关长城将展现在世人面前。记者今天从国家测绘局组织的项目鉴定会上获悉,此次山海关长城修复的前期测绘工作首次利用了激光雷达技术——多重三维激光扫描技术,该项技术今天通过了专家的鉴定。

激光雷达是20世纪以来发达国家研制并应用于城市、水利、电力、交通、林业等行业领域测绘的先进手段,由于长城大多蜿蜒于崇山峻岭间,山高路险,植被繁茂,给长城基础数据的测量、获取带来了极大困难。该系统通过空中机载激光雷达技术,高像素航空数码相机和地面相配套的激光雷达扫描,与厘米级定位导航设备的整合,进行多重激光扫描与数码成像同步测绘,可获取完全真实的三维立体影像,构建高精度、高清晰度、大比例尺、可以多角度观察并准确测量的三维数字山海关长城模型。

测绘和文物部门可以基于真实三维模型成果进行长、宽、高以及面积、体积的快速精确测量,为修复长城提供全面的技术支持。

光明日报

GUANGMING DAILY

2008年7月29日 星期六

今日9版

国内统一连续出版物号 CN 11-0005 第20041号 (代号1-1)

利用三维激光扫描技术对古长城进行全面测绘 “数字长城”助力山海关修复

本报北京7月29日讯(记者廖文报道)国家测绘局日前在京举行新闻发布会,介绍利用三维激光扫描技术对古长城进行全面测绘的情况。这项技术首次应用于城市、水利、交通、林业等行业领域测绘的先进手段,为修复长城提供了全面的技术支持。

记者日前在北京参加了由国家测绘局主办的“数字长城”发布会。会上,国家测绘局总工程师李维表示,此次对山海关长城进行了全面的测绘,构建了高精度、高清晰度、大比例尺、可以多角度观察并准确测量的三维数字山海关长城模型。这项技术首次应用于城市、水利、交通、林业等行业领域测绘的先进手段,为修复长城提供了全面的技术支持。

李维表示,此次对山海关长城进行了全面的测绘,构建了高精度、高清晰度、大比例尺、可以多角度观察并准确测量的三维数字山海关长城模型。这项技术首次应用于城市、水利、交通、林业等行业领域测绘的先进手段,为修复长城提供了全面的技术支持。

中国测绘报

激光测绘技术实现长城山海关段数字还原

为建设数字长城探索一种新模式

本报北京7月29日讯(记者廖文报道)国家测绘局日前在京举行新闻发布会,介绍利用三维激光扫描技术对古长城进行全面测绘的情况。这项技术首次应用于城市、水利、交通、林业等行业领域测绘的先进手段,为修复长城提供了全面的技术支持。

记者日前在北京参加了由国家测绘局主办的“数字长城”发布会。会上,国家测绘局总工程师李维表示,此次对山海关长城进行了全面的测绘,构建了高精度、高清晰度、大比例尺、可以多角度观察并准确测量的三维数字山海关长城模型。这项技术首次应用于城市、水利、交通、林业等行业领域测绘的先进手段,为修复长城提供了全面的技术支持。

科技日报

SCIENCE AND TECHNOLOGY DAILY

2008年7月29日

第21202期

网址: <http://www.stdaily.com>

世界先进测绘技术首次用于山海关长城修复

最新发现与创新

本报北京7月29日讯(记者廖文报道)国家测绘局日前在京举行新闻发布会,介绍利用三维激光扫描技术对古长城进行全面测绘的情况。这项技术首次应用于城市、水利、交通、林业等行业领域测绘的先进手段,为修复长城提供了全面的技术支持。



图10-29 媒体报道

内容简介

机载激光雷达测量技术的出现和发展,为地理空间三维信息的获取提供了全新的技术手段,这项技术的出现是继全球定位系统(GPS)以来在遥感测绘领域的又一场技术革命。作者在多年从事机载激光雷达测量生产及应用工作的基础上,将理论研究与应用实践相结合,编写完成本书。

全书共11章,第1章简要介绍机载激光雷达测量技术相关基础知识;第2章介绍机载激光雷达测量数据产品;第3章结合生产实际对机载激光雷达测量生产作业流程进行详细介绍;第4章介绍机载激光雷达测量生产过程中如何进行有效的质量控制;第5章介绍与机载激光雷达测量相关的生产和应用软件;第6章~第10章分别介绍机载激光雷达测量技术在电网工程、城市三维建模、公路建设、建设工程及古迹保护等行业和领域中的应用思路和应用案例;第11章对地面激光扫描仪及其应用进行了介绍。

本书以务实为原则,内容翔实而丰富,不仅可以作为测绘、规划、电力、交通、水利、林业等行业生产作业和应用开发人员的参考指导用书,亦可以作为各大专院校测绘相关专业学生及激光航测相关从业者的学习教材。

序

机载激光雷达测量技术作为一种先进的测量手段，其快速采集高精度激光点云数据和高分辨率数码影像的特点，必将为建设工程行业带来新的技术革命。广西电力工业勘察设计研究院作为激光雷达测量技术应用的先行者，2005年率先引进国际先进的三维激光雷达设备和技术，开发出具有自主知识产权的输电线路优化选线软件平台(OnePLD)，2006年5月，顺利完成了罗平—百色Ⅱ回500kV线路工程机载激光雷达优化选线项目，该项目系南方电网公司机载激光雷达测量技术推广示范项目，成为国内首家将激光雷达测量技术成功应用于架空线路优化选线的企业。

与传统航空摄影测量优化选线技术相比较，机载激光雷达优化选线具有明显优势，如选线更加精确、更有利于实现终勘定位或施工过程中可能遇到的改线、优化选线效率更高及更有利于实现数字化电网，等等。近年来该团队先后开展了钦州—防城港500kV线路工程项目、大新—南宁500kV线路工程项目、马山—雷村和雷村—林村220kV线路工程项目、北京超高压500kV源霸线机载激光雷达电力巡线项目、海万输电线路电力线相间激光扫描测距项目、厦门电力线路走廊资产管理项目等，为工程建设节省了大量的投资，取得了良好的经济效益和社会效益；培养了一批掌握机载激光雷达测量技术从航飞设计、数据采集、数据生产和软件开发应用的优秀专业技术人员，开展并形成了具有自主知识产权的以机载激光雷达测量技术为核心的电网初选、优化选线、排杆、数字化移交、电力巡线、三维线路资产管理和专业分析等电网全流程综合解决方案，使该院在数字化电网领域的研究和应用处于国内同行业领先地位。

数字城市是机载激光雷达测量技术的另外一大应用领域，该团队已在南宁、昆明等城市成功进行机载激光雷达航摄数据采集、数据处理、三维建模及应用等方面的实验和研究，充分发挥机载激光雷达测量技术的优势和特点，结合自主底层3D GIS软件平台开发技术，开发了LiDAR Studio系列数据处理、三维建模及应用的软件平台和处理工具，并积累了丰富的经验和应用案例，为该技术的大规模推广应用打下了良好的基础。

本书作者及工作团队，将欧美国家的先进经验和我国的实际情况相结合，对实际应用和大规模生产遇到的问题进行了较系统的总结，为在我国进一步拓展应用范围和应用深度进行了有益的探索和实践，并展示了广阔的应用前景。

本书理论联系实际，内容翔实，较好地反映了该技术领域的实际应用状况和成果，并提供了大量实际应用方面的技术细节。该书的出版对进一步推动与激光雷达测量相关的研究、生产与应用技术的进步，促进我国地理空间信息及应用产业的发展可以发挥重要的作用，值得鼓励和支持，特此作序。



武汉大学教授 博士生导师

2008年11月25日

前 言

地理信息是人们认知世界、利用自然不可缺少的媒介,是经济社会发展的基础性、战略性资源。随着人类社会的发展,人们越来越多地认识到地理信息对生产生活的重要作用,世界上许多国家已经把空间地理信息资源的开发利用放到重要的战略位置。1998年1月31日,美国副总统阿尔·戈尔在加利福尼亚科学中心开幕典礼上发表的题为“The Digital Earth: Understanding our planet in the 21st Century”的演说,提出一个与GIS、网络、虚拟现实等高新技术密切相关的“数字地球”(Digital Earth)概念,明确地将“数字地球”与遥感技术、地理信息系统、计算机技术、网络技术、多维虚拟现实技术等高新技术和可持续发展决策、农业、灾害、资源、全球变化、教育、军事等方面的社会需要联系在一起。欧洲、日本以及一些发展中国家也加快了数字化地理信息系统建设与应用的步伐。

自从1839年由Daguerre和Niepce拍摄第一张地表像片以来,利用像片制作地表平面图(X 、 Y)技术一直沿用至今。到了1901年荷兰学者Fourcade发明了摄影测量的立体观测技术,使得从二维像片可以获取地面三维数据(X 、 Y 、 Z)成为可能。一百余年以来,立体摄影测量仍然是获取地面三维数据最精确和最可靠的技术,是国家基本比例尺地形图测绘的重要技术。

随着科学技术的发展和计算机及高新技术的广泛应用,数字立体摄影测量也逐渐发展和成熟起来,并且相应的软件和数字立体摄影测量工作站已在相关生产部门普及。但是摄影测量的工作流程:航空摄影—摄影处理—地面测量(空中三角测量)—立体测量—制图(DLG、DTM、GIS及其他)基本没有大的变化。这种生产模式的周期长、费用高、效率低,特别是在地面高精度三维数据的获取方面尤显不足。机载激光雷达测量技术作为一种新兴的空间对地观测技术,在多等级、高时空分辨率三维空间信息的获取方面产生了重大突破,代表了对地观测领域一个新的发展方向,使我们从传统的人工单点数据获取变为连续自动数据获取,不仅提高了观测的精度和速度,而且使数据的获取和处理朝智能化和自动化的方向发展(张小红,2007)。

激光雷达测量技术(Light Detection And Ranging, LiDAR)源自1970年美国航天局(NASA)的研发。因全球定位系统(Global Positioning System, GPS)及惯性导航系统(Inertial Navigation System, INS)的发展,使精确的即时定位及姿态确定成为可能。德国Stuttgart大学于1988—1993年间将激光雷达测量技术与即时定位定姿系统结合,形成空(机)载激光雷达测量系统(Ackermann-19)。之后,空(机)载激光雷达测量系统随即发展相当快速,从1995年开始商业化。截至2001年7月,全球约有75个商业组织使用69种类似的系统。从1998年起,以每年25%的速度递增(Flood M, 2001)。研发空(机)载激光雷达测量系统的原始目的是观测多重反射(Multiple Echoes)的观测值,测出地表及树顶的高度模型。由于其具有高度自动化及精确的观测能力,空(机)载激光雷达测量技术演变为DEM和DSM

的主要生产技术。

机载激光雷达测量手段获取的数据成果已被广泛应用于电力线路勘测、森林调查、资源勘探、城市规划、农业开发、水利工程、土地利用、环境监测、交通通讯、海岸带侵蚀监测、防震减灾及国家重点建设项目、测绘和军事等方面,为国民经济、社会发展和科学研究提供了极为重要的原始资料,并取得了显著的经济效益,展示出良好的应用前景。采用低空机载激光雷达测量系统获取地面三维数据的方法与传统的测量方法相比较,具有外业成本及后处理成本低的优点。目前,广大用户急需低成本、高密度、快速度、高精度的数字高程数据或数字表面数据,机载激光雷达测量技术正好满足这个需求,因而这项技术成为各种测量应用中深受欢迎的一种高新技术,是继 GPS 后给测绘行业带来的又一场革命。

改革开放以来,我国测绘事业得到快速发展,测绘标准体系、技术体系和法规体系基本建立,国家基础地理信息系统建设逐步加强,测绘工作为经济社会发展的服务功能日益增强。进一步加强测绘工作,推进我国地理信息系统建设,对于全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化,具有重要战略意义。

我国高校和科研院所很早就开展对激光雷达测量技术的研究,而机载激光雷达测量系统设备基本由国外购买引进。从 2004 年开始,通过数年的研究、探索和应用实践,已在国内培养了一批专业从事机载激光雷达测量技术的技术人才。

在多年从事机载激光雷达测量技术的理论研究与生产实践基础上,我们把总结的经验和取得的成果汇编成本书。全书主体内容共 11 章,第 1 章对激光雷达相关基础知识进行了简要介绍;第 2 章介绍了机载激光雷达基础数据产品;第 3 章结合生产实际对机载激光雷达测量生产作业流程进行了详细介绍;第 4 章对激光雷达数据生产过程中如何有效地进行质量控制进行详细讲解,第 5 章介绍了与激光雷达相关的解算、处理和应用软件;第 6 章~第 10 章分别介绍激光雷达测量技术在电网工程、城市三维建模、公路测设、建设工程及古迹保护这几个行业中的应用思路和应用案例;第 11 章对地面激光扫描仪及其应用进行了简要介绍。参编的人员还有:王师、李瑞丽、陆小艺、梁绘、李小明、周晓翠、钟开田、蒋仁军、叶家发、刘改进、刘凤秋、罗广义、欧阳开龙、林国朝、陈树铭、李新科、侯至群、高磊、赵新波、高家志、杨国建、周平、吴真、刘启瑞。

在本书的编写过程中,为提高书稿质量,几易其稿。但由于机载激光雷达测量技术是刚从国外引进不久的先进测量技术,更因作者能力和水平有限,在仓促的编写过程中难免有所疏漏和错误,敬请广大读者批评指正。此外,在本书编写过程中为丰富书稿内容,通过互联网络上查阅、参考和引用了部分资料,可能会因疏忽而遗漏个别参考引用出处,敬请谅解。

在本书即将完稿之时,惊闻我国遥感地学之父陈述彭院士不幸逝世,先生生前曾亲自参加山海关长城保护维修激光测绘项目的鉴定,提出了许多关于激光雷达测量技术生产和应用相关的宝贵意见和建议,借此机会,本书全体作者对陈前辈表示深切缅怀和哀悼。

作 者

2008 年 12 月于南宁

目 录

第 1 章 机载激光雷达测量基础	1
§ 1.1 激光雷达测量技术简介	1
§ 1.2 机载激光雷达测量与航空摄影测量	5
§ 1.3 国外机载激光雷达测量技术发展概况	8
§ 1.4 国外机载激光雷达测量系统厂家概况	8
§ 1.5 国内机载激光雷达测量系统概况	10
§ 1.6 机载激光雷达测量系统飞行搭载平台	11
§ 1.7 机载激光雷达测量技术应用领域	13
第 2 章 机载激光雷达测量数据产品	15
§ 2.1 激光点云	15
§ 2.2 数码航空影像	17
§ 2.3 波形文件	19
§ 2.4 数字高程模型 (DEM)	20
§ 2.5 数字地表模型 (DSM)	21
§ 2.6 数字正射影像 (DOM)	21
§ 2.7 三维电子沙盘	22
§ 2.8 可量测斜片影像	23
§ 2.9 建筑物三维模型	24
第 3 章 机载激光雷达测量作业生产流程	26
§ 3.1 生产流程概述	26
§ 3.2 航摄准备	27
§ 3.3 航摄数据采集	30
§ 3.4 激光雷达数据处理	30
§ 3.5 建筑物三维建模	41
§ 3.6 电力巡线激光数据处理作业	44
第 4 章 机载激光雷达测量生产质量控制与评价	47
§ 4.1 质量管理概述	47
§ 4.2 机载激光雷达测量主要误差概述	47