

► 普通高等教育地理信息科学专业教材 ◀

三维测绘 新技术

◎ 麻金继 梁栋栋 编著



科学出版社

普通高等教育地理信息科学专业教材

三维测绘新技术

麻金继 梁栋栋 编著

本书由安徽师范大学教材建设基金及安徽省高等学校省级质量工程项目“地理过程虚拟仿真实验教学中心”(2015xnzx003)共同资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

倾斜摄影测量、三维激光扫描、数字近景摄影测量是比较前沿的测量技术手段,在诸多领域有着广泛的应用。本书针对上述技术,介绍了它们的系统原理与硬件构成、使用方法和特点;从倾斜摄影测量、近景摄影测量、三维激光扫描的基本理论出发,着重阐述了外业数据采集方法和内业处理软件的使用;此外针对不同的技术,分别介绍了在测绘、测量、三维建模等相关领域的应用;同时以相应案例对实际应用过程进行详细描述。

本书可作为高等院校地理信息科学及相关专业的本科生教材,还可供相关的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

三维测绘新技术/麻金继,梁栋栋编著. —北京:科学出版社,2018.6

普通高等教育地理信息科学专业教材

ISBN 978-7-03-057432-9

I. ①三… II. ①麻… ②梁… III. ①三维-测绘学-高等学校-教材
IV. ①P2

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第101449号

责任编辑:王腾飞 曾佳佳 乔丽维/责任校对:王萌萌

责任印制:张克忠/封面设计:许 瑞

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中华墨凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年6月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2018年6月第一次印刷 印张:29

字数:575 000

定价:99.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《三维测绘新技术》编写组

主 编

麻金继 安徽师范大学地理与旅游学院

梁栋栋 安徽师范大学地理与旅游学院

主要成员

沈 非 安徽师范大学地理与旅游学院

张洪海 安徽师范大学地理与旅游学院

占得龙 安徽师范大学地理与旅游学院

朱 勇 安徽师范大学地理与旅游学院

前 言

人类空间认知的基本规律是从二维到三维，三维可以真实、直观、可视化地表达现实世界。利用激光扫描系统快速、自动、实时获取目标表面三维数据是一种高效、全自动、高精度测绘技术，是测绘领域继“GPS 技术”后的又一项技术革新。近年来，随着扫描设备和应用软件的不断发展与完善，该技术的应用已从初期的测量领域拓展到工业制造、交通建设、社会治理以及安全监管等多个方面，被广泛认为是“大数据”时代基础数据获取的重要技术之一。以三维激光扫描技术为代表的三维测绘技术的发展，为传统测绘手段提供了重要补充，同时也提供了一种崭新的点云式测绘手段，相比传统地面测绘技术，其获取的信息量更大、效率更高；也使测绘数据的获取方法、服务能力与水平、数据处理方法等进入新的发展阶段。

本书主要是为地理信息科学及其他相关学科的本科生编写的，既体现了三维测绘所涉及的理论基础，又可指导解决三维测绘生产中的实际问题。本书综合了目前国内外三维测绘的新理论、新技术和新仪器，将目前三维测绘概括为基于旋翼、固定翼无人机的航空摄影测量、基于影像全站仪和三维激光扫描仪的近景地面摄影测量，在阐述理论上，重点对仪器的操作和数据后处理进行了详实的讲解，实用性较强。

本书编写的目的是使地理信息科学及相关专业的学生掌握三维测绘技术的新知识和新技术，以及先进的三维数据采集设备和数据处理等内容；培养学生的实际操作能力，为后续的专业必修课提供前沿的知识支撑。本书还适合相关的工程技术人员参考。

全书主要由安徽师范大学地理与旅游学院麻金继教授、梁栋栋副教授编著，沈非副教授也做出了巨大的贡献，张洪海、占得龙、朱勇、安源、章群英、余海啸等硕士研究生对本书的编辑和整理做了大量的工作。本书在编著过程中，参考了国内外大量优秀研究成果，在此对其作者表示衷心的感谢。虽然编者试图在参考文献中全部列出并在文中标明出处，但难免有疏漏之处，在此诚挚地希望得到同行专家的谅解和支持。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请各位专家、同行批评指正，以便修改。

编 者

2018 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 测绘技术发展	1
1.1.1 国外测绘技术发展	1
1.1.2 国内测绘技术的发展	3
1.2 新三维测绘技术简介	4
1.2.1 无人机系统	4
1.2.2 三维激光扫描系统	6
1.2.3 影像全站仪系统	9
第 2 章 旋翼无人机	12
2.1 倾斜摄影测量原理	12
2.1.1 倾斜摄影测量概述	13
2.1.2 倾斜摄影测量关键技术及应用	14
2.2 旋翼无人机系统	17
2.2.1 系统组成	17
2.2.2 控制原理	20
2.3 数据采集	21
2.3.1 准备工作	21
2.3.2 外业工作	44
2.3.3 DJI GS Pro 配合旋翼无人机进行倾斜影像采集	48
2.4 ContextCapture Master 数据处理	57
2.4.1 ContextCapture Master 软件概述	57
2.4.2 ContextCapture Master 功能模块	64
2.4.3 ContextCapture Master 相关问题	87
第 3 章 固定翼无人机	94
3.1 摄影测量学理论基础	94
3.1.1 摄影测量学概述	94
3.1.2 摄影测量学基础知识	97
3.1.3 数字高程模型建立原理与应用	116

3.1.4	正射影像的概念与制作原理	126
3.2	固定翼无人机系统	133
3.2.1	系统组成	133
3.2.2	任务载荷	135
3.2.3	PPK 与 RTK 定位系统	155
3.3	数据采集	160
3.3.1	准备工作	160
3.3.2	外业工作	191
3.4	数据处理	204
3.4.1	Agisoft PhotoScan 后处理软件	204
3.4.2	Pix4Dmapper 后处理软件	242
3.4.3	清华山维 EPS 地理信息工作站	265
第 4 章	影像全站仪	288
4.1	影像全站仪系统的基本原理	288
4.1.1	数码相机的检校	288
4.1.2	基于共线方程的近景像片解析处理方法	295
4.1.3	数字影像匹配	302
4.1.4	构建三角网	304
4.1.5	纹理映射	305
4.2	影像全站仪系统	307
4.2.1	影像全站仪简介	307
4.2.2	系统组成	308
4.3	外业采集	310
4.3.1	基本技术要求	310
4.3.2	外业数据采集流程	312
4.4	内业数据处理	321
4.4.1	全景图制作	321
4.4.2	测算土方量以及制作等高线地形图	341
第 5 章	三维激光扫描仪	370
5.1	三维激光扫描系统基本原理	370
5.1.1	激光及激光雷达系统	370
5.1.2	三维激光扫描系统的基本原理	377
5.1.3	三维激光扫描系统的分类	383
5.1.4	地面激光扫描系统的构造	386

5.2 地面激光扫描点云数据采集——以 GLS-2000 三维激光扫描仪为例	392
5.2.1 野外扫描方案设计	392
5.2.2 点云数据采集——以拓普康 GLS-2000 三维激光扫描仪为例	394
5.3 点云数据的内业处理	401
5.3.1 ScanMaster 点云数据拼接	401
5.3.2 点云数据建模	410
5.3.3 基于 PCL 的点云数据自动处理	421
5.3.4 CityEngine 模型的发布	436
5.4 综合实例	445
参考文献	448

第1章 绪 论

测绘学是研究测定和推算地面点的几何位置、地球形状及地球重力场，据此测量地球表面自然形状和人工设施的几何分布，并结合某些社会信息和自然信息的地理分布，编制全球及局部地区地图和专题地图的理论与技术的一门学科。测绘行业的发展关系到国民经济、社会发展、国防安全以及国民生活的各个方面。

测绘产业的深刻革命势必对为其服务的测绘仪器行业提出更高、更迫切的要求。反过来，测绘仪器的进步也必定会大大促进测绘科技的发展，从传统测绘、数字化测绘向着信息化发展。测绘学将与人们息息相关的地球作为研究对象，现代测绘通过与全球定位系统（global positioning system, GPS）技术、航空航天遥感技术、地图制图与地理信息系统（geographic information system, GIS）技术相结合，形成了现代测绘的新局面。

现代测绘科学研究的主要对象是空间信息。现代高新测绘技术系统，往往是多种专业技术的综合系统，测绘的范围已经从地面扩展到整个近地空间，加之通信、计算机网络等信息技术，给测绘学的发展提供了广阔的空间。随着数字地球构想的实施，测绘学面临一个历史性的发展新机遇。传统的或现代测绘学将以地球空间信息学的新面目立于地球科学分支学科之林，以更强的活力向前发展。

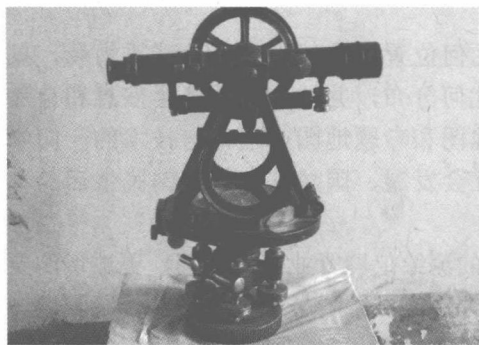
1.1 测绘技术发展

测绘获取观测数据的工具就是测量仪器，测绘学的形成和发展在很大程度上依赖测绘方法和测绘仪器的创新与变革。

1.1.1 国外测绘技术发展

17 世纪前使用简单的工具，如我国的绳尺、步弓、矩尺等，主要以量距为主。17 世纪初发明了望远镜。1617 年，荷兰斯涅耳首创使用三角测量法进行测量工作，用以代替在地面上直接量测弧长，自此测绘工作不仅是量距，而且开始进行角度测量。约于 1640 年，英国的加斯科因在望远镜透镜上加十字丝用于精确瞄准，这

是光学测绘仪器的开端。1730 年,英国西森制成测角用的第一台经纬仪,促进了三角测量的发展,图 1-1 (a) 为早期的游标式经纬仪。随后陆续出现小平板仪、大平板仪和水准仪,用于野外直接测绘地形图,图 1-1 (b) 为用于测定高程的水准仪。



(a) 游标式经纬仪



(b) 水准仪

图 1-1 经纬仪与水准仪

16 世纪中叶起,为满足欧美间的航海需要,许多国家相继研究海上测定经纬度以确定船位。直到 18 世纪时钟的发明,有关经纬度的测定,尤其是经度测定方法才得到圆满解决,从此开始了大地天文学的系统研究。随着测量仪器和方法不断改进,测量数据精度的提高,要求有精确的计算方法。1806 年和 1809 年,法国的勒让德和德国的高斯分别提出了最小二乘准则,为测量平差奠定了基础。19 世纪 50 年代,法国的洛斯达首创摄影测量方法。到 20 世纪初,形成地面立体摄影测量技术。由于航空技术的发展,1915 年制造出自动连续航空摄影机,可将航摄像片在立体测图仪上加工成地形图,因而形成了航空摄影测量方法。在这一时期,又先后出现了摆仪和重力仪,使陆地和海洋上的重力测量工作得到迅速的发展,为研究地球形状和地球重力场提供了丰富的实地重力观测数据。可以说,从 17 世纪末到 20 世纪中叶,主要是光学测绘仪器的发展,此时测绘学的传统理论和方法也已发展成熟。到 20 世纪 50 年代,测绘仪器又朝着电子化和自动化的方向发展,1948 年发展起来的电磁波测距仪,可精确测定远达几十千米的距离,相应地在大地测量定位方法中发展了精密导线测量和三边测量。与此同时,随着电子计算机的出现,人们发明了电子设备和计算机控制的测绘仪器设备,如摄影测量中的解析测图仪等,使测绘工作更加简便、快速和精确。继而在 20 世纪 60 年代又出现了计算机控制的自动绘图机,可用以实现地图制图的自动化。自 1957 年苏联第一颗人造卫星发射成功,测绘工作出现了新的飞跃,发展了人造卫星的测绘工作。卫星定位技术和遥感技术在测绘学中得到广泛的应用,形成航天测绘。

1.1.2 国内测绘技术的发展

我国测绘仪器经历了几十年的发展,由传统测绘仪器向现代测绘仪器演进。20世纪50年代开始,各种类型的电磁波测距仪逐渐发展起来,其采用的测量定位方法也由三角测量法扩展到精密导线测量及三边测量法。同时电子计算机的出现也将测算速度大大提升,测绘数据经过计算机的运算变得更加精确和快捷。卫星空间技术的发展也极大地推动了测绘仪器及测绘技术手段的发展。

传统的测绘仪器在20世纪80年代前是测绘事业的主要工具,对中华人民共和国成立后的建筑事业发挥了重要的作用,如电子经纬仪、电磁波测距仪、全站仪和电子水准仪等。现代测绘仪器的发展基本上没有脱离传统仪器的脚步,但是它在卫星技术兴起之时带动了测量技术的进一步发展。在美国建立为军用舰艇导航服务的卫星服务之后,新一代卫星导航系统开始进入研究阶段,随着研究的深入,全球定位系统进入使用阶段。全球定位系统具有覆盖面广、功能多、精度高以及实时定位等功能,这项技术代表着新型测绘技术的演进。我国在20世纪80年代后期开始研发全球定位系统,90年代开始组装并拥有了自主知识产权的全球定位系统接收机。这些技术成果成功运用在测绘仪器中,数字化的到来也使得我国测绘仪器、测绘学的发展进入新纪元。

21世纪以来,数字化程度加深,微型技术的发展使得数据的迅速无缝交接成为测绘仪器的重要特征。首先,数字化、网络技术与现代测绘仪器的结合成为未来测绘仪器的主要发展趋势。各种智能仪器、虚拟仪器及传感器,利用成熟的网络设施,将最大幅度地实现资源共享,同时降低组建系统的费用,甚至还可提高测控系统的功能并拓宽其应用的范围。其次,全球定位、导航技术与通信技术相结合成为未来测绘仪器的又一发展趋势。全球定位系统成为占据主要地位的定位技术手段,逐步取代了常规光学仪器和电子仪器。导航系统与全球定位系统的结合是卫星技术发展的主要方向。测量精确度通过导航及全球定位系统将精确到厘米、毫米级别。通信技术的高度发展也将信息与技术快速准确地进入数字系统中,对测绘仪器的发展有极强的推动作用。最后,测量随着遥感技术的发展进入动态监测阶段。未来的测绘技术将会不满足于单纯的静态分析,遥感技术的高分辨率的发展使多方位、多时段的检测成为可能,将测量范围扩展到每时每刻。

测绘仪器的自动化、数字化及智能化对测绘事业来说是质的飞跃,同时也促进了全球定位系统技术的改善以及工业测量系统的发展,测绘仪器的发展也推动了测绘软件的发展。

近年来,无人机、三维激光扫描仪、影像全站仪等技术的发展使得测绘的

方式及应用领域又有了进一步的提升。小型无人机可以携带多光谱相机、雷达等多种观测载荷,可以达到高精度、低成本、迅速地针对测定区域进行观测的需求。基于近年发展成熟的倾斜摄影测量数据处理软件,可以实现对目标的多角度观测,进行目标区域的三维重建,得到真实感强、纹理精细、大区域的三维重建模型;20世纪90年代,随着三维激光扫描设备在精度、效率和易操作性等方面性能的提升以及成本方面的逐步下降,它成为测绘领域的研究热点,扫描对象和应用领域也在不断扩大,逐渐成为空间三维模型快速获取的主要方式之一;影像全站仪系统是将数字近景摄影测量系统和全站仪结合在一起的测量系统,该系统在测量单点信息的同时记录目标影像,通过摄影测量的方法实现了全站仪由点测量到面测量的转换,无棱镜测距技术使得近景摄影测量真正实现了无接触测量。

本书从实用性出发,详细介绍无人机、三维激光扫描仪、影像全站仪这三种目前较为新颖的测绘仪器的技术原理、操作使用、数据采集与处理、成果输出、完整案例等内容。

1.2 新三维测绘技术简介

1.2.1 无人机系统

无人驾驶航空器,是一架由遥控站管理(包括远程操纵或自主飞行)的航空器,也称遥控驾驶航空器。无人机系统,也称无人驾驶航空器系统,是指由一架无人机、相关的遥控站、所需的指令与控制数据链路以及批准的型号设计规定的任何其他部件组成的系统。

按照用途进行划分,无人机可以分为军用无人机和民用无人机。军用无人机包括侦察无人机、诱饵无人机、电子对抗无人机、通信中继无人机、无人战斗机和靶机等。民用无人机可分为巡查/监视无人机、农用无人机、气象无人机、勘探无人机和测绘无人机等。

近年来,地理空间信息技术取得了飞速的发展,尤其是灵活机动、具有快速响应能力的轻小型航空飞行器,在最近几年迅速成长,成为航空遥感领域一个引人注目的亮点。

由于航空遥感平台及传感器的限制,普通的航空摄影测量手段在获取小面积、大比例尺数据方面存在成本高、性价比低等问题。具有低成本和机动灵活等诸多优点的低空无人机遥感能在小区域内快速获取高质量遥感影像,是国家航空遥感监测体系的重要补充,是航空遥感的未来发展方向。在当今卫星遥感和普通航空

遥感蓬勃发展的形势下,轻小型低空遥感是粗、中、细分辨率互补的立体监测体系中不可缺少的重要技术手段。

无人机航测技术体现了无人机与测绘的紧密结合,同时也提供了更高效的测绘方式。经实验证明,无人机航测技术完全可以达到1:1000国家航空摄影测量规范的要求。

1) 无人机航测特点

低空无人机遥感系统,作为卫星遥感与普通航空摄影不可缺少的补充,它有以下优点:

(1) 无人机可以超低空飞行,可在云下飞行航摄,弥补了卫星光学遥感和普通航空摄影经常受云层遮挡而获取不到影像的缺陷。由于低空接近目标,因此能以比卫星遥感和普通航摄低得多的代价得到更高分辨率的影像。

(2) 能实现适应地形和地物的导航与摄像控制,从而得到多角度、多建筑面的地面景物影像,用以支持构建城市三维景观模型,而不局限于卫星遥感与普通航摄的正射影像常规产品。

(3) 使用成本低,无人机体形小,耗费低,对操作员的培养周期相对较短。系统的保养和维修简便,同时不用租赁起飞和停放场地,也无须机场起降,因而灵活机动,适应性强,容易成为用户自主拥有的设备,同时也回避了飞行员人身安全的风险。

(4) 相比野外实测,无人机航测方法具有周期短、效率高、成本低等特点。对于面积较小的大比例尺地形测量任务($10\sim 100\text{km}^2$),其受天气和空域管理的限制较多,成本高;而采用全野外数据采集方法成图,作业量大,成本也高。将无人机遥感系统进行工程化、实用化开发,则可以利用其机动、快速、经济等优势,在阴天、轻雾天也能获取合格的彩色影像,从而将大量的野外工作转入内业,既能减轻劳动强度,又能提高作业的技术水平和精度。

(5) 系统还可以根据监测目标的需求搭载全色波段、单波段、多波段等不同的相机或者传感器,可以实现多角度拍摄。同时系统还具有快速数据处理能力、应用分析功能以及快速融合处理其他数据的能力,从而拓展了其测绘功能,满足多种测绘需求。

无人机在实际应用中,同样也存在一定的缺陷:速度慢,抗风和气流能力差,在大风、气流乱的飞行中,飞机易偏离飞行线路,难以保持平稳的飞行姿态,受天气影响较大;应变能力不强,不能应对意外事件,当有强信号干扰时,易造成接收机与地面工作站失去联系;机械部分也有出现故障的可能,一旦出现舵机失灵现象,对无人机以及机载设备将会是致命的;在大范围测绘工作中,无人机的航时较短,可能需要进行多个架次的飞行,这对影像获取的完整性和准确性也有一定的影响。

2) 无人机航测的应用领域

(1) 无人机用于森林火警监控及重大灾难的抢险。

在四川汶川地震和青海玉树地震的灾难中,中国科学院遥感与数字地球研究所和地理科学与资源研究所首批科研人员携带的无人机,在交通道路设施毁坏严重、天气条件恶劣的情况下,带回了大量的灾区现场数据资料,为抢救人民生命、保障财产安全起到了重要作用。无人机系统还可以用来探测、确认、定位和监视森林火灾,在没有火灾的时候可以用无人机来监测植被情况,估算含氢量和火灾风险指数,在火灾过后也可以来评价灾后的影响。无人机在灾害天气或者受污染的环境中执行高危险性的任务时,具有无可比拟的优势。

(2) 无人机用于航空摄影测量。

无人驾驶飞行器摄影测量系统属于特殊的航空测绘平台,其技术含量高,涉及多个领域,组成比较复杂,加工材料、动力装置、执行机构、姿态传感器、航向和高度传感器、导航定位设备、通信装置以及遥感传感器均需要精心选型和研制开发。无人机摄影测量系统以获取高分辨率空间数据为应用目标,通过 3S 技术在系统中的集成应用,达到实时对地观测和空间数据快速处理的目标,并且无人机航空摄影测量系统具有运行成本低、执行任务灵活性高等优点,正逐渐成为航空摄影测量系统的有益补充,是空间数据获得的重要工具之一。

(3) 倾斜影像建立三维模型。

利用多角度航拍带有倾斜角度的影像,通过专业的建模处理软件,全自动生成模型。利用三维数据处理软件高效加载海量倾斜模型数据,流畅的三维体验满足了旅游、景区等行业应用;轻松实现单体化操作与表达,为房产、国土、城管、智慧城市等行业应用提供了基础平台;实用的压平操作,模拟建筑物拆除,满足规划行业应用;还可以进行高度、长度、面积、角度、坡度等的量测,应用于水利、能源开采等管理系统;基于 GPS 的三维空间分析功能,结合倾斜摄影模型的高精度,分析出供决策者参考的准确数值指标;在三维场景中能看到房屋侧面的紧急出口,倾斜模型上任意点之间可以进行准确量算,如计算通视距离、设计制高点 and 狙击方案等。这些事发地周围的详细信息,在应急行动中关乎人员及财产的安全,有时甚至能起到决定性作用。

1.2.2 三维激光扫描系统

受激辐射光放大(light amplification by the stimulated emission of radiation, LASER),简称激光,它是 20 世纪最重大的科学发现之一。激光技术,是探索开发产生激光的方法以及研究应用激光的这些特性为人类造福的技术总称。自激光产生以来,激光技术得到了迅猛的发展,不仅研制出不同特色的各种各样的激光器,而且激光的应用领域也在不断拓展。

物理学家爱因斯坦在 1916 年首次提出激光的原理。1960 年,世界上第一台红宝石激光器在美国诞生,激光才第一次被实现。之后,激光技术在世界各国的重视和科学家的辛勤努力下得到了飞速的发展。与传统光源不同,激光具有相干性、高亮度、颜色极纯、定向发光和能量密度极大等特点,并且需要用激光器产生。

激光器是用来发射激光的装置。1954 年科学家研制成功了世界上第一台微波量子放大器,在随后的几年里,科研人员又先后研制出红宝石激光器、氦氖激光器、砷化镓半导体激光器。之后,激光器得到了快速的发展,激光器的种类也越来越多。按工作介质不同,激光器大体上可分为固体激光器、气体激光器、染料激光器和半导体激光器四大类。激光因其高亮度和能量密度极大的特性,现已广泛用于医疗保健领域。在光学加工工业和精密机械制造工业中,精密测量长度是关键技术之一。随着传感器技术和激光技术的发展,激光位移传感器出现了。它常被用于振动、速度、长度、方位、距离等物理量的测量,还被用于无损探伤和对大气污染物的监测等。在机械行业中,常使用激光传感器来测量长度。

伴随着激光技术和电子技术的发展,激光测量也已经从静态的点测量发展到动态的跟踪测量和三维测量领域。欧美国家和地区在三维激光扫描技术行业中起步较早,始于 20 世纪 60 年代。发展最快的是机载三维激光扫描技术,目前该技术正逐渐走向成熟。早期,美国斯坦福大学于 1998 年进行了地面固定激光扫描系统的集成实验,取得了良好的效果,至今仍在开展较大规模的研究工作。1999 年,在意大利的佛罗伦萨,来自华盛顿大学的 30 人小组利用三维激光扫描系统对米开朗琪罗的大卫雕像进行测量,包括激光扫描和拍摄彩色数码像片,之后三维激光扫描系统逐步产业化。目前,国际上许多公司及研究机构对地面三维激光扫描系统进行研发,并推出了自己的相关产品。

目前,国际上已有几十个三维激光扫描仪制造商制造了各种型号的三维激光扫描仪,包括微距、短距离、中距离、长距离的三维激光扫描仪。微距、短距离的三维激光扫描技术已经很成熟。长距离的三维激光扫描技术在获取空间目标点三维数据信息方面取得了新的突破,并应用于大型建筑物的测量、数字城市、地形测量、矿山测量和机载激光测高等方面,并且有着广阔的应用前景。

在国内,三维激光扫描技术的研究起步较晚,研究的内容主要集中在微短距的领域,这几年,随着三维激光扫描技术在国内应用逐步增多,国内很多科研院所以及高等院校正在推进三维激光扫描技术的理论与技术方面的研究,并取得了一定的成果。在堆体变化的监测方面,原武汉测绘科技大学(2000 年与武汉大学合并)地球空间信息技术研究组开发的激光扫描测量系统可以达到良好的分析效果,武汉大学自主研发的多传感器集成的 LD 激光自动扫描测量系

统,实现了通过多传感器对目标断面的数据匹配来获取被测物的表面特征的目的。清华大学提出了三维激光扫描仪国产化战略,并且研制出了三维激光扫描仪样机,已通过国家 863 项目验收。北京大学的视觉与听觉信息处理国家重点实验室三维视觉计算小组在这方面做了不少研究,三维视觉计算与机器人实验室使用不同性能的三维激光扫描设备、全方位摄像系统和高分辨率相机采集了建模对象的三维数据与纹理信息。最终通过这些数据的配准和拼接完成了物体和场景三维模型的建立。凭借我国和意大利政府合作协议,北京故宫博物院于 2003 年将从意大利引进的激光扫描技术应用到故宫古建筑群的三维扫描中。加拿大 Optech 公司生产的 ILRIS-3D 三维激光扫描仪在北京建筑工程学院的故宫数字化项目中起到了重要作用。

2006 年 4 月,西安四维航测遥感中心与秦始皇兵马俑博物馆合作建立了 2 号坑的三维数字模型。此外,北京天远三维科技有限公司的 OKIO 三维扫描仪、上海精迪测量技术有限公司的 JDSCAN 三维扫描仪都有自己的市场竞争力。距世界上第一台三维激光扫描仪开发问世,到现在已有十多年了,随着仪器技术的不断进步,以及各行各业的科研及工程技术人员的不实践,该项技术已经逐渐成为广大科研和工程技术人员全新的解决问题的手段,并逐渐取代一些传统的测绘手段,为工程、研究提供更准确的数据。扫描仪硬件的进步主要体现在以下 8 个方面:

(1) 扫描速度从最初的几千点每秒,发展到今天已经达到了百万点每秒。速度的变化主要带来外业数据采集时间的缩短,直接提高了工作效率,并缩短了危险环境下数据采集的时间,从而让外业更安全。

(2) 扫描仪结构从原来的分体式,发展到今天的高度一体化集成。高度一体化集成主要包括扫描仪电池内置、高分辨率数码相机内置、高分辨率彩色触摸屏控制面板内置、数据存储内置。一体化使仪器携带、工作中的迁站更方便,操作也更便捷,不再需要携带更多的附件,仪器也不需要过多的外部电缆进行连接。

(3) 视场角从原来的几十度发展到现在几乎全景的扫描。视场角的改变主要带来两方面的帮助:一方面,使扫描仪的架设更灵活,并提高工作效率,如果视场角小,要达到理想的扫描结果,仪器架设的方位会有更多的限制,而且有时需要多次扫描才能达到效果;另一方面,视场角的增加,带来扫描架站数量的减少,从而减少数据的后续拼接,减少后处理工作量和避免不必要的误差累积,从而提高了扫描的整体精度。

(4) 最高测量精度提高到 2mm 左右,扫描点间隔可以细小到 1mm。测量精度的提高直接带来数据结果准确性的提高,使三维激光扫描仪对大型结构、建筑测量以及监测成为可能。扫描点间隔的细小,使细微的结构可以通过扫描表达出来,也增加了仪器的可用范围。

(5) 有效扫描距离不断加大。从几十米增加到几百米, 目前奥地利 Riegl 公司的 VZ-6000 与 LPM-321 扫描仪最大测程已经达到 6km, 为在特殊环境下应用提供了设备保障。

(6) 中文操作菜单, 简便易学。虽然多数扫描仪的操作界面是英文, 但是针对我国已经出现中文操作菜单, 例如, 徕卡 ScanStation 系列的 CIO、C5、P20, 大大方便了我国用户的使用。

(7) 国内研制的扫描仪开始投入市场。我国科研院所及相关公司研制的仪器从样机逐渐走向市场, 与国外 100 万元以上的价格相比, 我国一般市场价格在 100 万元以内。例如, 广州中海达卫星导航技术股份有限公司(简称中海达)开发的 LS-300 三维激光扫描仪, 是国内第一台完全自主知识产权的高精度地面三维激光扫描仪; 北京北科天绘科技有限公司(简称北科天绘)研制的三维激光扫描设备 U.Arm 系列, 共有 4 个型号; 还有广州思拓力测绘科技有限公司、深圳市华朗科技有限公司、武汉迅能光电科技有限公司、杭州中科天维科技有限公司都已研发出相关产品。

(8) 手持(拍照)式扫描仪技术先进。目前已经有多家公司研发多系列相关产品, 以及特殊用途的扫描仪, 技术先进, 应用广泛。

扫描数据后处理软件的进步体现在以下 4 个方面:

(1) 可处理更大的数据量。随着软件算法的改进以及计算机硬件性能的提高, 目前优秀的三维扫描后处理软件可以存储和处理多达十几亿点的数据。这种性能的提升, 可以同时处理更大区域的数据, 并在扫描时可以进行更加精细的扫描。

(2) 功能更丰富, 涵盖更多行业的需要。软件已经可以成熟提供从工业设备管道建模、建筑物的建模到非规则复杂形体的建模, 并可以直观准确地进行地形、形变分析等计算, 还可以提供二维特征线条的提取等功能。

(3) 操作简便。人性化, 易于掌握。

(4) 除随机扫描控制与数据处理的软件外, 近年来可应用于三维建模的商业软件数量较多, 为用户提供了更多的选择。中海达与北科天绘自主研发了系列激光点云数据处理软件和三维全景影像点云应用平台, 为我国用户创造了良好的应用环境。

1.2.3 影像全站仪系统

在过去的 20 年中, 随着数字摄影测量技术的快速发展和数码相机的出现, 摄影测量的方法和设备及其应用领域发生了巨大的变化, 效率得到很大的提高。但有一个问题一直都没有得到解决, 那就是必须在被测物体表面或周围布设一定数