

地面三维激光扫描技术与应用



谢宏全 谷风云 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

江苏省海洋科学与技术优势学科建设工程二期项目
江苏省“十二五”海洋科学类重点专业建设项目 资助
江苏省海洋技术品牌专业(PPZY2015B116)建设工程



地面三维激光扫描技术与应用



谢宏全 谷风云 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

地面三维激光扫描技术与应用/谢宏全,谷风云编著. —武汉:武汉大学出版社,2016.2

ISBN 978-7-307-17475-7

I. 地… II. ①谢… ②谷… III. 三维—激光扫描—研究 IV. TN249

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 006711 号

责任编辑:王金龙 责任校对:李孟潇 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:16.5 字数:402千字 插页:7

版次:2016年2月第1版 2016年2月第1次印刷

ISBN 978-7-307-17475-7 定价:35.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

随着地理空间信息服务产业的快速发展，地理空间数据的要求越来越高。对地理空间数据的要求正朝着大信息量、高精度、可视化和可挖掘方向发展。地面激光雷达技术是一门新兴的测绘技术，是测绘领域继 GPS 技术之后的又一次技术革命。目前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，为工程与科学研究提供了更准确的数据。随着三维激光扫描设备在性能方面的不断提升，而在价格方面的逐步下降，性价比越来越高。20 世纪末，测绘领域也掀起了三维激光扫描技术的研究热潮，应用领域越来越广，在高效获取三维信息应用中逐渐占据了主要地位。车载激光测量系统为地理空间数据采集开辟了新途径，是当今测绘界最前沿、最尖端的科技之一，代表着未来测绘领域的发展主流。因此，已成为国内外学者研究的热点。

地面三维激光扫描技术与全站仪测量技术、近景摄影测量技术相比有其自身的优势，主要特点有：非接触测量、数据采样率高、高分辨率、高精度、全景化的扫描等。10 多年来，扫描仪硬件与数据后处理软件都有了长足的进步。应用领域日益扩大，逐步从科学研究进入到人们的日常生活。目前，地面三维激光扫描技术的应用领域主要有文物古迹保护、建筑、规划、土木工程、工厂改造、室内设计、建筑监测、交通事故处理、法律证据收集、灾害评估、船舶设计、数字城市、军事分析等。三维激光扫描技术目前已经成功应用的领域包括遗产与文物保护；工业设计与检测，工厂改扩建及数字化管理；建筑、桥梁、基础设施测绘；地形测绘和地质研究。

为推动地面三维激光扫描技术的广泛应用，相关技术人才的培养非常重要。目前公开出版的中文技术参考书非常短缺。本书是作者自 2012 年以来从事相关教学与研究成果的主要体现，特别是在出版《地面三维激光扫描技术与工程应用》（2013 年）与《基于激光点云数据的三维建模应用实践》（2014 年）专著的基础上，参考相关文献资料编写而成。本书重点介绍地面三维激光扫描技术原理与应用，同时对车载激光雷达与机载激光雷达技术作简要介绍。

本书由谢宏全与谷风云共同编著。其中第 1 章至第 5 章、第 7 章至第 10 章由谢宏全编著；第 6 章和第 11 章由谷风云编著。全书由谢宏全统稿。

在本书撰写过程中，感谢淮海工学院的周立教授的大力支持；感谢国内外相关设备销售公司提供相关产品与应用资料；最后感谢武汉大学出版社王金龙先生在本书出版过程中

目 录

17	.....	0.4
18	.....	0.4
18	.....	0.4
28	.....	0.4
28	.....	0.4
08	.....	0.4
第1章 绪论	.....	1
1.1 基本概念	.....	1
1.2 三维激光扫描系统基本原理	.....	2
1.3 三维激光扫描系统分类	.....	4
1.4 地面激光扫描系统特点	.....	7
思考题	.....	8
第2章 地面激光扫描设备	.....	9
2.1 国外地面三维激光扫描仪简介	.....	9
2.2 国内地面三维激光扫描仪简介	.....	19
2.3 手持式三维激光扫描仪简介	.....	23
2.4 拍照式三维激光扫描仪简介	.....	27
2.5 特殊用途的三维激光扫描仪简介	.....	29
2.6 三维激光扫描技术研究概述	.....	34
2.7 存在的问题与发展趋势	.....	37
思考题	.....	39
第3章 地面激光扫描点云数据采集	.....	40
3.1 野外扫描方案设计	.....	40
3.2 基于标靶的点云数据采集	.....	45
3.3 全站仪模式获取点云数据	.....	51
3.4 点云数据误差来源与精度影响分析	.....	54
3.5 点云数据格式与缺失成因分析	.....	59
思考题	.....	62
第4章 地面激光扫描仪精度检测	.....	63
4.1 仪器性能与检定相关术语	.....	63
4.2 扫描仪检测主要问题	.....	65
4.3 扫描仪主要性能参数定义	.....	66
4.4 扫描仪水平角精度检测试验	.....	69
4.5 扫描仪测距精度检测试验	.....	72

4.6	扫描仪平面点位精度检测实验	77
4.7	目标颜色与粗糙度对点云精度的影响试验	81
	思考题	84
第5章	点云数据预处理	85
5.1	数据处理流程	85
5.2	数据配准	86
5.3	数据滤波	90
5.4	数据缩减	93
5.5	数据分割与数据分类	95
5.6	点云数据应用	96
	思考题	100
第6章	三维模型构建	101
6.1	三维建模的目的和意义	101
6.2	三维建模软件简介	102
6.3	三维建模方法	105
6.4	三维建模研究概述	106
6.5	Cyclone 软件建模应用实例	107
6.6	Geomagic 软件建模应用实例	114
6.7	SketchUp 软件建模应用实例	123
	思考题	135
第7章	地面激光扫描技术在测绘领域中的应用	136
7.1	地形图测绘与地籍测绘	136
7.2	土方和体积测量	139
7.3	监理测量	144
7.4	变形监测	147
7.5	工程测量	152
	思考题	159
第8章	地面激光扫描技术在文物保护领域中的应用	160
8.1	文物保护的意义	160
8.2	主要成果形式	161
8.3	应用研究概述及文物保护项目简介	161
8.4	将军崖岩画保护应用实例	164
8.5	北京历代帝王庙保护应用实例	167
8.6	存在的主要问题与展望	168

思考题	168
第 9 章 地面激光扫描技术在其他领域中的应用	169
9.1 地质研究	169
9.2 地质滑坡与灾害治理	174
9.3 矿业	178
9.4 林业	183
9.5 海洋工程	187
思考题	188
第 10 章 车载激光测量系统与应用	189
10.1 技术出现的背景	189
10.2 概念与特点	190
10.3 国内外研究现状	192
10.4 系统构成与工作原理	194
10.5 车载激光测量系统简介	197
10.6 点云数据获取与特点	213
10.7 点云数据处理与三维建模	215
10.8 工程应用简介	217
10.9 存在的问题与展望	220
思考题	221
第 11 章 机载激光雷达测量系统与应用	223
11.1 机载激光雷达测量技术简介	223
11.2 机载激光雷达系统结构	225
11.3 机载激光雷达数据产品	228
11.4 机载激光雷达测量作业流程	230
11.5 机载激光雷达的应用领域	232
11.6 存在的问题与展望	239
思考题	239
参考文献	240
附录	

第1章 绪论

三维激光扫描技术在我国的应用时间较短，目前已经成为测绘领域的研究与应用热点，相关基本概念还不太明晰。本章在介绍基本概念的基础上，重点阐述三维激光扫描系统的基本原理与分类，最后介绍三维地面激光扫描系统特点。

1.1 基本概念

激光的英文 Laser 是 Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation（受激辐射光放大）的缩写，它是 20 世纪最重大的一项科学发现。激光又被称为神奇之光，因为它的四大特性（方向性好、亮度高、单色性好、相干性好）是其他普通光所无法企及的。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 年首次发现激光的原理。1960 年，世界上第一台红宝石激光器在美国诞生，激光才第一次被制造出来。之后，激光技术在世界各国的重视和科学家们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，激光器得到了蓬勃而快速的发展，激光器的种类也越来越多。激光器按工作介质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。

激光以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。20 世纪末，美国的 CYRA 公司和法国的 MENSIS 公司已率先将激光技术运用到三维测量领域。三维激光测量技术的产生为测量领域提供了全新的测量手段。

三维激光扫描测量，常见的英文翻译有“Light Detection and Ranging”（缩写为 LiDAR）、“Laser Scanning Technology”等。雷达是发射无线电信号遇到物体后返回接收信

号,对物体进行探查与测距的技术,英文名称为“Radio Detection and Ranging”,简称为“Radar”,译成中文就是“雷达”。由于LiDAR和Radar的原理是一样的,只是信号源不同,又因为LiDAR的光源一般都采用激光,所以都将LiDAR译为“激光雷达”,也可称为激光扫描仪。

由国家测绘地理信息局发布的《地面三维激光扫描作业技术规程》(CH/Z 3017—2015)(以下简称《规程》),于2015年8月1日开始实施,对地面三维激光扫描技术(terrestrial three dimensional laser scanning technology)给出了定义:基于地面固定站的一种通过发射激光获取被测物体表面三维坐标、反射光强度等多种信息的非接触式主动测量技术。

三维激光扫描技术又称为高清晰测量(High Definition Surveying, HDS),它是利用激光测距的原理,通过记录被测物体表面大量密集点的三维坐标信息和反射率信息,将各种大实体或实景的三维数据完整地采集到电脑中,进而快速复建出被测目标的三维模型及线、面、体等各种图件数据。结合其他各领域的专业应用软件,所采集点云数据还可进行各种后处理应用。

随着三维激光扫描设备在性能方面(主要包括扫描精度、扫描速度、易操作性、易携带性、抗干扰能力)的不断提升,而在价格方面的逐步下降,性价比越来越高,20世纪末期,测绘领域也掀起了三维激光扫描技术的研究热潮,扫描对象越来越多,应用领域越来越广,在高效获取三维信息应用中逐渐占据了主要地位。

传统的测量方式是单点测量,获取单点的三维空间坐标,而三维激光扫描则自动、连续、快速地获取目标物体表面的密集采样点数据,即点云;实现由传统的点测量跨越到了面测量,实现了质的飞跃;同时,获取信息量也从点的空间位置信息扩展到目标物的纹理信息和色彩信息。

1.2 三维激光扫描系统基本原理

1. 激光测距技术原理与类型

三维激光扫描系统主要由三维激光扫描仪、计算机、电源供应系统、支架以及系统配套软件构成。而三维激光扫描仪作为三维激光扫描系统的主要组成部分之一,又由激光发射器、接收器、时间计数器、马达控制可旋转的滤光镜、控制电路板、微电脑、CCD相机以及软件等组成。

激光测距技术是三维激光扫描仪的主要技术之一,激光测距的原理主要有基于脉冲测距法、相位测距法、激光三角法、脉冲-相位式四种类型。目前,测绘领域所使用的三维激光扫描仪主要是基于脉冲测距法,近距离的三维激光扫描仪主要采用相位干涉法测距和激光三角法。激光测距技术类型介绍如下:

(1) 脉冲测距法

脉冲测距法是一种高速激光测时测距技术。脉冲式扫描仪在扫描时激光器发射出单点的激光,记录激光的回波信号。通过计算激光的飞行时间(Time of Flight, 缩写为TOF),利用光速来计算目标点与扫描仪之间的距离。这种原理的测距系统测距范围可以达到几百

米到上千米的距离。激光测距系统主要由发射器、接受器、时间计数器、微电脑组成。

此方法也称为脉冲飞行时间差测距,由于采用的是脉冲式的激光源,适用于超长距离的距离测量,测量精度主要受到脉冲计数器工作频率与激光源脉冲宽度的限制,精度可以达到米数量级。

(2) 相位测距法

相位式扫描仪是发射出一束不间断的整数波长的激光,通过计算从物体反射回来的激光波的相位差,来计算和记录目标物体的距离。基于相位测量原理主要用于进行中等距离的扫描测量系统中。扫描范围通常在 100m 内,它的精度可以达到毫米数量级。

由于采用的是连续光源,功率一般较低,所以测量范围也较小,测量精度主要受相位比较器的精度和调制信号的频率限制,增大调制信号的频率可以提高精度,但测量范围也随之变小,所以为了在不影响测量范围的前提下提高测量精度,一般都设置多个调频频率。

(3) 激光三角法

激光三角法是利用三角形几何关系求得距离。先由扫描仪发射激光到物体表面,利用在基线另一端的 CCD 相机接收物体反射信号,记录入射光与反射光的夹角,已知激光光源与 CCD 之间的基线长度,由三角形几何关系推求出扫描仪与物体之间的距离。为了保证扫描信息的完整性,许多扫描仪扫描范围只有几米到数十米。这种类型的三维激光扫描系统主要应用于工业测量和逆向工程重建中。它可以达到亚毫米级的精度。

(4) 脉冲-相位式测距法

将脉冲式测距和相位式测距两种方法结合起来,就产生了一种新的测距方法:脉冲-相位式测距法,这种方法利用脉冲式测距实现对距离的粗测,利用相位式测距实现对距离的精测。

三维激光扫描仪主要由测距系统和测角系统以及其他辅助功能系统构成,如内置相机以及双轴补偿器等。工作原理是通过测距系统获取扫描仪到待测物体的距离,再通过测角系统获取扫描仪至待测物体的水平角和垂直角,进而计算出待测物体的三维坐标信息。在扫描的过程中再利用本身的垂直和水平马达等传动装置完成对物体的全方位扫描,这样连续地对空间以一定的取样密度进行扫描测量,就能得到被测目标物体密集的三维彩色散点数据,称为点云。

2. 点云数据特点

地面三维激光扫描测量系统对物体进行扫描后采集到的空间位置信息是以特定的坐标系为基准的,这种特殊的坐标系称为仪器坐标系,不同仪器采用的坐标轴方向不尽相同,通常其定义为:坐标原点位于激光束发射处, Z 轴位于仪器的竖向扫描面内,向上为正; X 轴位于仪器的横向扫描面内与 Z 轴垂直; Y 轴位于仪器的横向扫描面内与 X 轴垂直,同时, Y 轴正方向指向物体,且与 X 轴、 Z 轴一起构成右手坐标系。

三维激光扫描仪在记录激光点三维坐标的同时也会将激光点位置处物体的反射强度值记录,可称之“反射率”。内置数码相机的扫描仪在扫描过程中可以方便、快速地获取外界物体真实的色彩信息,在扫描、拍照完成后,不仅可以得到点的三维坐标信息,而且获取了物体表面的反射率信息和色彩信息。所以包含在点云信息里的不仅有 X 、 Y 、 Z 、 $In-$

tensity, 还包含每个点的 RGB 数字信息。

依据 Helmut Cantzler 对深度图像的定义, 三维激光扫描是深度图像的主要获取方式, 因此激光雷达获取的三维点云数据就是深度图像, 也可以称为距离影像、深度图、xyz 图、表面轮廓、2.5 维图像等。

三维激光扫描仪的原始观测数据主要包括: ①根据两个连续转动的用来反射脉冲激光镜子的角度值得到激光束的水平方向值和竖直方向值; ②根据激光传播的时间计算出仪器到扫描点的距离, 再根据激光束的水平方向角和垂直方向角, 可以得到每一扫描点相对于仪器的空间相对坐标值; ③扫描点的反射强度等。

《规程》中对点云 (point cloud) 给出了定义: 三维激光扫描仪获取的以离散、不规则方式分布在三维空间中的点的集合。

点云数据的空间排列形式根据测量传感器的类型分为: 阵列点云、线扫描点云、面扫描点云以及完全散乱点云。大部分三维激光扫描系统完成数据采集是基于线扫描方式, 采用逐行 (或列) 的扫描方式, 获得的三维激光扫描点云数据具有一定的结构关系。点云的主要特点如下:

①数据量大。三维激光扫描数据的点云量较大, 一幅完整的扫描影像数据或一个站点的扫描数据中可以包含几十万至上百万个扫描点, 甚至达到数亿个。

②密度高。扫描数据中点的平均间隔在测量时可通过仪器设置, 一些仪器设置的间隔可达 1.0mm (拍照式三维扫描仪可以达到 0.05mm), 为了便于建模, 目标物的采样点通常都非常密。

③带有扫描物体光学特征信息。由于三维激光扫描系统可以接收反射光的强度, 因此, 三维激光扫描的点云一般具有反射强度信息, 即反射率。有些三维激光扫描系统还可以获得点的色彩信息。

④立体化。点云数据包含了物体表面每个采样点的三维空间坐标, 记录的信息全面, 因而可以测定目标物表面立体信息。由于激光的投射性有限, 无法穿透被测目标, 因此点云数据不能反映实体的内部结构、材质等情况。

⑤离散性。点与点之间相互独立, 没有任何拓扑关系, 不能表征目标体表面的连接关系。

⑥可量测性。地面三维激光扫描仪获取的点云数据可以直接量测每个点云的三维坐标、点云间距离、方位角、表面法向量等信息, 还可以通过计算得到点云数据所表达的目标实体的表面积、体积等信息。

⑦非规则性。激光扫描仪是按照一定的方向和角度进行数据采集的, 采集的点云数据随着距离的增大、扫描角越大, 点云间距离也增大, 加上仪器系统误差和各种偶然误差的影响, 点云的空间分布没有一定的规则。

以上这些特点使得三维激光扫描数据得到十分广泛的应用, 同时也使得点云数据处理变得十分复杂和困难。

1.3 三维激光扫描系统分类

三维激光扫描技术是继 GPS 技术问世以来测绘领域的又一次大的技术革命。目前,

许多厂家都提供了不同型号的激光扫描仪，它们无论在功能还是在性能指标方面都不尽相同，如何根据不同的应用目的，从繁杂多样的激光扫描仪中进行正确和客观的选择，就必须对三维激光扫描系统进行分类。

借鉴一些学者的相关研究成果，一般分类的依据有搭载平台、扫描距离、扫描仪成像方式、扫描仪测距原理，下面做简要介绍：

1. 依据承载平台划分

当前从三维激光扫描测绘系统的空间位置或系统运行平台来划分，可分为如下四类：

(1) 机载型激光扫描系统

机载激光扫描测量系统 (Airborne Laser Scanning System, ALSS; 也有称为 Laser Range Finder, LRF; 或者 Airborne Laser Terrain Mapper, ALTM), 也称机载 LiDAR 系统。

这类系统由激光扫描仪 (LS), 飞行惯导系统 (INS)、DGPS 定位系统, 成像装置 (UI), 计算机以及数据采集器、记录器、处理软件和电源构成。DGPS 系统给出成像系统和扫描仪的精确空间三维坐标, 惯导系统给出其空中的姿态参数, 由激光扫描仪进行空地式的扫描来测定成像中心到地面采样点的精确距离, 再根据几何原理计算出采样点的三维坐标。

空中机载三维扫描系统的飞行高度最大可以达到 1 km, 这使得机载三维激光扫描不仅能用于地形图绘制和更新方面, 还在大型工程的进展监测、现代城市规划和资源环境调查等诸多领域都有较广泛的应用。

(2) 地面激光扫描测量系统

地面激光扫描测量系统 (Ground-based Laser Scanning System, GLSS; Vehicle-based Laser Mapping System, VLMS) 可划分为两类: 一类是移动式扫描系统, 也称为车载激光扫描系统, 还可称为车载 LiDAR 系统; 另一类是固定式扫描系统, 也称为地面三维激光扫描系统 (地面三维激光扫描仪), 还可称为地面 LiDAR 系统。

所谓移动式扫描系统, 是集成了激光扫描仪, CCD 相机以及数字彩色相机的数据采集和记录系统, GPS 接收机, 基于车载平台, 由激光扫描仪和摄影测量获得原始数据作为三维建模的数据源。移动式激光扫描系统具有如下优点: 能够直接获取被测目标的三维点云数据坐标; 可连续快速扫描; 效率高, 速度快。目前市场上的车载地面三维激光扫描系统的价格比较昂贵 (500 万元左右), 单位拥有的数量较少。地面车载激光扫描系统, 一般能够扫描到路面和路面两侧各 50 m 左右的范围, 它广泛应用于带状地形图测绘以及特殊现场的机动扫描。

而固定式的扫描仪系统类似于传统测量中的全站仪, 它由一个激光扫描仪和一个内置或外置的数码相机, 以及软件控制系统组成。二者的不同之处在于固定式扫描仪采集的不是离散的单点三维坐标, 而是一系列的“点云”数据。这些点云数据可以直接用来进行三维建模, 而数码相机的功能就是提供对应模型的纹理信息。地面型激光扫描系统是一种利用激光脉冲对目标物体进行扫描, 可以大面积、大密度、快速度、高精度地获取地物的形态及坐标的一种测量设备。

(3) 手持型激光扫描系统

手持型激光扫描系统是一种便携式的激光测距系统, 可以精确地给出物体的长度、面

积、体积测量。一般配备有柔性的机械臂。优点是快速、简洁、精确，可以帮助用户在数秒内快速地测得精确、可靠的成果。此类设备大多用于采集比较小型物体的三维数据，大多应用于机械制造与开发、产品误差检测、影视动画制作以及医学等众多领域。此类型的仪器配有联机软件和反射片。

(4) 星载激光扫描仪

星载激光扫描仪也称星载激光雷达，是安装在卫星等航天飞行器上的激光雷达系统。运行轨道高并且观测视野广，可以触及世界的每一个角落，对于国防和科学研究具有十分重要的意义。星载激光扫描仪在植被垂直分布测量、海面高度测量、云层和气溶胶垂直分布测量，以及特殊气候现象监测等方面可以发挥重要作用。

另外，在特殊场合应用的激光扫描仪，如洞穴中应用的激光扫描仪：在特定非常危险或难以到达的环境中，如地下矿山隧道、溶洞洞穴、人工开凿的隧道等狭小、细长型空间范围内，三维激光扫描技术亦可以进行三维扫描，此类设备如 Optech 公司的 Cavity Monitoring System，可以在洞径 25cm 的狭小空间内开展扫描操作。

2. 依据扫描距离划分

按三维激光扫描仪的有效扫描距离进行分类，目前国家无相应的分类技术标准，大概可分为以下四种类型：

①短距离激光扫描仪。这类扫描仪最长扫描距离只有几米，一般最佳扫描距离为 0.6~1.2m，通常主要用于小型模具的量测。不但扫描速度快且精度较高，可以在短时间内精确地给出物体的长度、面积、体积等信息。手持式三维激光扫描仪都属于这类扫描仪。

②中距离激光扫描仪。最长扫描距离只有几十米的三维激光扫描仪属于中距离三维激光扫描仪，它主要用于室内空间和大型模具的测量。

③长距离激光扫描仪。扫描距离较长，最大扫描距离超过百米的三维激光扫描仪属于长距离三维激光扫描仪，它主要应用于建筑物、大型土木工程、煤矿、大坝、机场等的测量。

④机载（或星载）激光扫描系统。最长扫描距离大于 1km，系统由激光扫描仪、DGPS 定位系统、飞行惯导系统、成像装置、计算机及数据采集、记录设备、处理软件及电源构成。机载激光扫描系统一般采用直升机或固定翼飞机作为平台，应用激光扫描仪及实时动态 GPS 对地面进行高精度、准确实时测量。

3. 依据扫描仪成像方式划分

按照扫描仪成像方式分为如下三种类型：

①全景扫描式。全景式激光扫描仪采用一个纵向旋转棱镜引导激光光束在竖直方向扫描，同时利用伺服马达驱动仪器绕其中心轴旋转。

②相机扫描式。它与摄影测量的相机类似。它适用于室外物体扫描，特别对长距离的扫描很有优势。

③混合型扫描式。它的水平轴系旋转不受任何限制，垂直旋转受镜面的局限，集成了上述两种类型的优点。

4. 依据扫描仪测距原理划分

依据激光测距的原理,可以将扫描仪划分成脉冲式、相位式、激光三角式、脉冲-相位式四种类型。

1.4 地面激光扫描系统特点

传统的测量设备主要是通过单点测量获取其三维坐标信息。与传统的测量技术手段相比,三维激光扫描测量技术是现代测绘发展的新技术之一,也是一项新兴的获取空间数据的方式,它能够快速、连续和自动地采集物体表面的三维数据信息,即点云数据,并且拥有许多独特的优势。它的工作过程就是不断的信息采集和处理过程,并通过具有一定分辨率的三维数据点组成的点云图来表示对物体表面的采样结果。地面三维激光扫描技术具有以下一些特点:

①非接触测量。三维激光扫描技术采用非接触扫描目标的方式进行测量,无需反射棱镜,对扫描目标物体不需进行任何表面处理,直接采集物体表面的三维数据,所采集的数据完全真实可靠。可以用于解决危险目标、环境(或柔性目标)及人员难以企及的情况,具有传统测量方式难以完成的技术优势。

②数据采样率高。目前,三维激光扫描仪采样点速率可达到百万点/秒,可见采样速率是传统测量方式难以比拟的。

③主动发射扫描光源。三维激光扫描技术采用主动发射扫描光源(激光),通过探测自身发射的激光回波信号来获取目标物体的数据信息,因此在扫描过程中,可以实现不受扫描环境的时间和空间的约束。可以全天候作业,不受光线的影响,工作效率高,有效工作时间长。

④具有高分辨率、高精度的特点。三维激光扫描技术可以快速、高精度获取海量点云数据,可以对扫描目标进行高密度的三维数据采集,从而达到高分辨率的目的。单点精度可达2mm,间隔最小1mm。

⑤数字化采集,兼容性好。三维激光扫描技术所采集的数据是直接获取的数字信号,具有全数字特征,易于后期处理及输出。用户界面友好的后处理软件能够与其他常用软件进行数据交换及共享。

⑥可与外置数码相机、GPS系统配合使用。这些功能大大扩展了三维激光扫描技术的使用范围,对信息的获取更加全面、准确。外置数码相机的使用,增强了彩色信息的采集,使扫描获取的目标信息更加全面。GPS定位系统的应用,使得三维激光扫描技术的应用范围更加广泛,与工程的结合更加紧密,进一步提高了测量数据的准确性。

⑦结构紧凑、防护能力强,适合野外使用。目前常用的扫描设备一般具有体积小、重量轻、防水、防潮,对使用条件要求不高,环境适应能力强,适于野外使用等特点。

⑧直接生成三维空间结果。结果数据直观,进行空间三维坐标测量的同时,获取目标表面的激光强度信号和真彩色信息,可以直接在点云上获取三维坐标、距离、方位角等,并且可应用于其他三维设计软件。

⑨全景化的扫描。目前水平扫描视场角可实现360°,垂直扫描视场角可达到320°。

更加灵活更加适合复杂的环境，提高扫描效率。

⑩激光的穿透性。激光的穿透特性使得地面三维激光扫描系统获取的采样点能描述目标表面的不同层面的几何信息。它可以通过改变激光束的波长，穿透一些比较特殊的物质，如水、玻璃以及低密度植被等，透过玻璃水面、穿过低密度植被来采集成为可能。奥地利 Riegl 公司的 V 系列扫描仪基于独一无二的数字化回波和在线波形分析功能，实现超长测距能力。VZ-4000 甚至可以在沙尘、雾天、雨天、雪天等能见度较低的情况下使用并进行多重目标回波的识别，在矿山等困难的环境下也可轻松使用。

三维激光扫描技术与全站仪测量技术的区别如下：

①对观测环境的要求不同。三维激光扫描仪可以全天候地进行测量，而全站仪因为需要瞄准棱镜，必须在白天或者较明亮的地方进行测量。

②对被测目标获取方式不同。三维激光扫描仪不需要照准目标，是采用连续测量的方式进行区域范围内的面数据获取，全站仪则必须通过照准目标来获取单点的位置信息。

③获取数据的量不同。三维激光扫描仪可以获得高密度的观测目标的表面海量数据，采样速率高，对目标的描述细致。而全站仪只能有限度地获取目标的特征点。

④测量精度不同。三维激光扫描仪和全站仪的单点定位精度都是毫米级，目前部分全站式三维激光扫描仪已经可以达到全站仪的精度，但是整体来讲，三维激光扫描仪的定位精度比全站仪略低。

虽然地面三维激光扫描测量与近景摄影测量在操作过程上有不少相近之处，但它们的工作原理却相差甚远，实际应用中也差别很大。主要区别如下：

①数据格式不同。激光扫描数据是包含三维坐标信息的点云集合，能够直接在其中量测；而摄影测量的数据是影像照片，显然单独一张影像是无法量测的。

②数据拼接方式不同。激光扫描数据拼接时主要是坐标匹配，而摄影测量数据拼接时主要是相对定向与绝对定向。

③测量精度不同。激光扫描测量精度显然高于摄影测量精度，且前者精度分布均匀。

④外界环境要求不同。激光扫描测量对光线亮度和温度没有要求，而摄影测量则要求相对较高。

⑤建模方式不同。激光扫描的建模是直接对点云数据操作的，而摄影测量首先要匹配像片，才能进一步建模，其过程相对复杂。

⑥实体纹理信息获取方式不同。激光扫描系统是根据激光脉冲的反射强度匹配数码影像中的纹理信息，然后粘贴特定的纹理信息；而摄影测量则是直接获取影像中的真彩色信息。

思考题

1. LiDAR 的英文全称是什么？中文含义是什么？

2. 点云数据中包含哪些信息？主要特点有哪些？

3. 地面三维激光扫描技术有哪些特点？它与全站仪测量技术的区别主要体现在哪些方面？

第 2 章 地面激光扫描设备

地面三维激光扫描仪是地面激光扫描系统中最主要的硬件设备，近年来得到了快速发展，主要体现在品牌数量、性能指标、类型等方面的变化。本章主要介绍国内外主要设备的基本情况，对国内外研究现状进行分析，最后指出目前存在的问题与未来的发展趋势。

2.1 国外地面三维激光扫描仪简介

目前，生产地面三维激光扫描仪的公司比较多，随着地面三维激光扫描技术应用普及程度的不断提高，国外产品在中国的市场目前还占主导地位。它们各自的产品在性能指标上有所不同，以下简要介绍有代表性的公司产品。

2.1.1 奥地利 Riegl 公司的产品

自 Riegl 公司于 1998 年向市场成功推出首台三维激光扫描仪以来，并于 2002 年全球首家实现地面三维激光扫描仪和专业化的尼康和佳能数码单反相机的结合。其强大的软件功能，可根据用户的需要，提供极为丰富的三维立体空间模型（AutoCAD）、立体影像（MAYA）及三维定量分析。经过改装，该系统可装载在汽车上，进行连续的三维数据的采集。

Riegl 激光扫描仪具有的主要特点包括扫描速度最快、拼接时间最短、产品质量最好、具备的功能最多、配套的软件最多、合作的厂家最多、产品的种类最多、产品的信誉最好、设备所能达到的各项技术指标均优于厂家公开的技术指标。

Riegl 公司于 1999 年推出 LPM-2K 扫描仪，2002 年推出 LMS-Z360 扫描仪，之后陆续推出多种型号的扫描仪。2014 年推出的 VZ-2000 扫描仪如图 2-1 所示，兼容应用于地面激光扫描仪的 RiSCAN PRO 软件，RiVLib 数据库和应用用于监测和矿山测量工作流程优化软件 RiMining，还可选配软件 RiMTA 3D 和 RiSOLVE。

仪器主要规格参数见表 2-1，仪器详细规格参数见北京富斯德科技有限公司网站（www.fs3s.com）。

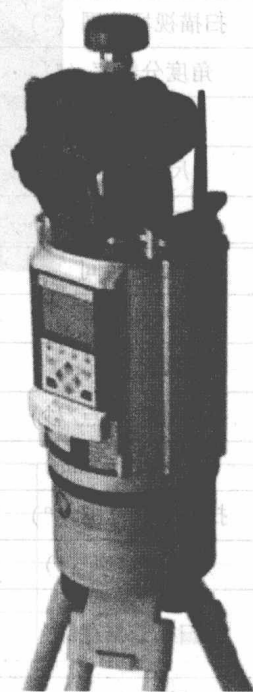


图 2-1 VZ-2000 扫描仪