

# 地面三维激光扫描系统中的“五度”研究

李 滨<sup>1</sup>, 李跃明<sup>2</sup>, 宋济宇<sup>2</sup>

(1. 北京大学 遥感与 GIS 研究所, 北京 100871; 2. 天宝寰宇电子产品(上海)有限公司, 上海 200131)

## On Five Parameters in Terrestrial 3D Laser Scanning

LI Bin, LI Yueming, SONG Jiyu

**摘要:** 对三维激光扫描系统中最重要的5个参数进行解析, 明确其概念和内涵, 并对这些参数在实际应用中的问题进行探讨, 有助于对这一新技术的进一步研究和更深入的应用。

**关键词:** 三维激光扫描; 参数; 五度

### 一、三维激光扫描系统

三维激光扫描技术是近年来出现的新技术, 在国内越来越引起研究领域的关注。它是利用激光测距的原理, 通过记录被测物体表面大量的密集的点三维坐标、反射率和纹理等信息, 可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。由于三维激光扫描系统可以密集地大量获取目标对象的数据点, 因此相对于传统的单点测量, 三维激光扫描技术也被称为从单点测量进化到面测量的革命性技术突破。该技术在文物古迹保护、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、军事分析等领域也有了许多的尝试、应用和探索<sup>[1]</sup>。

三维激光扫描系统包含数据采集的硬件部分和数据处理的软件部分。按照载体的不同, 三维激光扫描系统又可分为机载、车载和地面型3类。地面三维激光扫描系统中最重要的5个参数是: 速度、测量长度、角度、精度和稳定性。本文以天宝公司的地面型GX 3D扫描系统为例, 对这些参数的概念和在实际应用中的一些问题作一探讨。

### 二、“五度”的概念和应用

#### 1. 速度

这里的速度是指三维激光扫描系统中硬件的数据获取速度。一般以每秒钟能获取多少个有效数据点为标识。目前, 地面型三维激光扫描仪按照工作原理可分为基于飞行时间测量的脉冲式扫描仪和基于相位波测量的相位式扫描仪两大类。脉

冲式扫描仪是从扫描仪中心一个点一个点的发射出脉冲激光, 激光接触到物体后再反射回来。扫描仪通过记录激光飞行时间来计算被测物体与扫描仪之间的距离。相位式扫描仪是发射出不间断的相位激光波, 激光波碰到被测物体后再反射回来, 通过计算激光波的相位差来测距(如图1所示)。

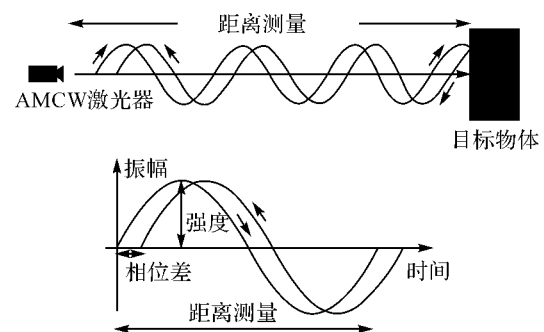


图1 相位式三维激光扫描仪的测距原理

脉冲式扫描仪由于要打出单个的点, 因此扫描速度相对要慢一些。脉冲式扫描仪经过多年的发展, 其速度从最初诞生时的每秒钟十几个点已经现在发展到每秒钟可以测量数万个点。天宝GX 3D扫描仪就属于脉冲式扫描仪, 每秒钟的扫描速度可达到5000点/s(如表1所示)。而相位式样的激光扫描仪由于发射的是不间断的激光波, 因此速度要快得多, 与脉冲式的有数量级的差别。目前常见的相位式扫描的扫描速度都在几十万点到上百万点。

扫描仪的扫描速度是一个重要的参数, 决定了数据采集的效率和外业的工作量。在制定扫描工作规划时, 扫描速度是必须考虑的一个因素。

收稿日期: 2011-12-10

作者简介: 李 滨(1978—), 男, 安徽铜陵人, 博士, 主要研究方向为空间信息工程、地理信息集成、环境遥感以及三维激光扫描技术等。

表 1 天宝 GX 3D 扫描仪的参数

型号	GX 3D				
类型	脉冲式				
速度	5000 点/s				
测量长度	90% 反射率	35% 反射率		18% 反射率	
	350 m	200 m		155 m	
角度	水平			垂直	
	360°			60°	
精度	单点测量精度	角度精度	表面模型精度	标靶精度	双轴补偿器精度
	位置 = $\pm 12$ mm@ 100 m; 距离 = $\pm 7$ mm@ 100 m	水平角 = $\pm 12''$ (60 $\mu$ rad); 竖直角 = $\pm 14''$ (70 $\mu$ rad)	$\pm 2$ mm	标准差 优于 $\pm 1$ mm	分辨率 0.3"; 补偿范围 $\pm 14'$
稳定性	工作温度		防尘防水		防冲击
	0°C ~ 40°C		IP53		60721-3-2: 2M2

## 2. 测量长度

测量长度亦即三维激光扫描系统中硬件部分的测程,即单站架设时可以获得的有效数据的范围。一般而言,地面型三维激光扫描系统中,相位式扫描仪的测量长度较短,在几十米到 100 多米之间;脉冲式的扫描仪的测程较长,在数百米到数千米之间。扫描仪的测量长度并非越长越好。由于扫描仪采用的是激光测距的原理,因此随着测程的增加,获取的数据的精度会相应的衰减,因此,不同的应用要选择相适应的产品。通常,对于小型建筑和室内的应用,可采用测程较短的设备;对于大型建筑和大型工程中的应用,比较适合采用测程长的产品并且要通过多设站的方式,以保证数据获取的精度符合要求。

测量长度是扫描仪的一个重要指标,一般一起标识的测量长度都是在实验室状态下的测程,一般要求在标准大气压下的晴朗天气下,对于有 90% 反射率的标准白板的测程。在实际应用中,由于所测对象没有那么高的反射率,一般实际有效测程会大大小于标称测量长度。天宝的 GX 3D 的测量长度对于 90% 反射表面是 350 m,对于 35% 反射表面是 200 m,对于 18% 反射表面是 155 m(标准柯达灰色卡, E1527795)。测量长度也是在扫描外业规划中很重要的一个考虑因素。

## 3. 角 度

这里的角度是指三维激光扫描系统中硬件的单站单次扫描可获得的数据视角范围。视角范围包含了水平视角和垂直视角。三维激光扫描系统发展的初期,扫描视角只有  $40^\circ \times 40^\circ$ 。随着技术的进步,目前扫描仪硬件的水平视角都能达到  $360^\circ$ ,垂直视角从  $40^\circ$  到  $312^\circ$  不等。如天宝的 GX 3D 扫

描的视角角是  $360^\circ \times 60^\circ$ ,就表示单站扫描可以获得水平位置上下  $60^\circ$  范围内的一个条带状的数据。视角角的大小会影响到外业工作的效率和数据获取的完整性。对于垂直视角角不能达到全景范围的设备,需要通过云台或多站扫描等手段,进行数据的补充以实现全景的扫描。

## 4. 精 度

地面三维激光扫描系统的精度包含了数据获取的单点测量精度、角度精度、表面模型的精度、标靶的精度、双轴补偿器的精度等。国内学者对于扫描仪的精度指标,已经有了一些探究<sup>[2-4]</sup>。

单点测量精度是指扫描仪在获取单个测量点时的测量精度,包括距离精度与点位精度。距离精度是指测量值在测量点与扫描仪中心的连线方向上的误差;点位精度是指测量值在测量点与扫描仪中心连线的垂直方向上的误差。单点测量精度也被称作范围噪音,精度底则范围噪音大。范围噪音是激光测距的一个固有的属性,可以随着技术的进步减小范围噪音,但不可能消除。单点精度会随着激光测量距离的增加而衰减。为了便于比较,一般制造商都统一标识在 50 m 或 100 m 处的硬件的单点测量精度。GX 3D 的单点测量精度标称为:位置精度 =  $\pm 12$  mm @ 100 m; 距离精度 =  $\pm 7$  mm @ 100 m。

扫描仪的角度精度是指角度测量时一测回方向标准差。一般标称的精度包括水平角和垂直角。比如 GX 3D 标称的角度精度如下:水平角 =  $\pm 12''$  (60  $\mu$ rad); 竖直角 =  $\pm 14''$  (70  $\mu$ rad)。目前的三维激光扫描仪的测角精度都低于全站仪,这是因为三维激光扫描系统其优势不在于测量单个点,而在于对大量点云的集中处理。

如上所述,三维激光扫描系统的特点和优势并不在于单点测量,而在于通过对“面测量”中的大量的数据进行统计建模,形成表面模型。以图2为例,显示的是具有不同单点测量精度的扫描仪对同一个平面(实线部分)进行扫描获取的一些测量点。左边是高范围噪音,右边是低范围噪音。通过三维激光扫描系统中的软件,可对这些数据点进行统计建模,拟合出一个平面(虚线部分),这样拟合出来的平面与真实平面之间的误差就要比范围噪音要小的多。GX 3D的标称表面模型精度为 $\pm 2\text{ mm}$ 。

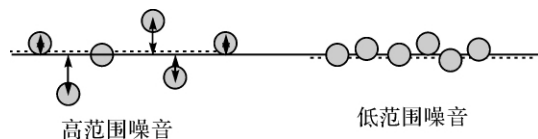


图2 范围噪音与表面模型精度

一般三维激光扫描系统都会标识出标靶精度。标靶是一种特殊材料制作或特殊图案的目标物,有球形和平面两种。三维激光扫描系统通过对该目标的识别、计算和拟合,可以获得比普通目标单点测量更高的单点精度。标靶的应用主要是作为多站之间拼接的公共点或对于特殊位置的特征点的测量。GX 3D标称的标靶识别精度为标准差优于 $\pm 1\text{ mm}$ 。

扫描仪的双轴补偿器精度与全站仪一样,分别指仪器在没有完全整平的情况下,通过双轴补偿器反馈回的倾斜角度,在一定的范围内改正误差,精确测量。一般包含补偿器分辨率和补偿范围两项。如天宝的GX 3D扫描仪的双轴补偿器分辨率是 $0.3''$ ,补偿范围是 $\pm 14'$ 。双轴补偿器并不是所有的扫描仪都具备。对于具备双轴补偿器的扫描仪而言,一般可选择打开或关闭。带有双轴补偿器的扫描仪可像全站仪一样作后方交会和导线测量,增加了扫描仪在实际应用中的灵活性。

### 5. 稳定度

稳定度包含了工作温度、存储温度、防水防尘等级和防冲击等级。

工作温度是指扫描仪能正常工作的温度范围。由于扫描仪内的激光器只有在一定的温度范围内才能正常工作,温度过低无法启动,温度过高容易造成激光器损坏,因此扫描仪的参数上都会标有一个“工作温度”指标,这也决定了扫描仪对工作现场环境的要求。除了工作温度之外,对于有些内置存储的扫描仪来说,还会涉及一个“存储温度”,这是指扫描仪的存储介质如内置硬盘或SD卡等能正常存储数据的温度。

防尘防水等级一般用IP(ingress protection)防护等级表示:IP防护等级系统是由国际电工委员会(International Electrotechnical Commission, IEC)所起草的,将电器依照其防尘防湿气之特性加以分级<sup>[5]</sup>。IP防护等级由两个数字所组成,第1个数字表示电器防尘、防止外物侵入的等级;第2个数字表示电器设备防湿气、防水侵入的密闭程度。数字越大表示其防护等级越高。如天宝的GX 3D扫描仪标识的防护等级是IP53,就表示其在防尘方面,可完全防止外物侵入;对于灰尘,虽不能完全防止灰尘侵入,但灰尘的侵入量不会影响电器的正常运行。

防冲击等级主要指仪器及其在运输过程中防冲击的能力。这个等级也采用了IEC的标准(IEC 60721-3-2:环境条件的分类,第3部分:环境参数及其严酷程度的类别,第2节:运输)<sup>[6]</sup>。如天宝的GX 3D的防震指标就标注为IEC 60721-3-2:2M2,是指按照IEC 60721-3-2的标准,达到2M2条件下的指标。2M2指标包含了静态正弦震动、静态随机震动、非静态振动(冲击)、自由跌落、倾倒、摇摆与倾斜、静态加速度、静负载等8个小项。在2M2条件下,静态加速度是 $20\text{ m/s}^2$ ,静态载荷是 $10\text{ kPa}$ 。

### 三、结束语

速度、测量长度、角度、精度和稳定度是地面三维激光扫描系统中的5个重要参数,本文通过对这5个参数的解读,明确了这5个概念的内涵,并介绍了这些参数在实际应用中的的一些需要注意的问题。深入了解和掌握这些参数,将有助于对三维激光扫描系统的进一步理论研究,并有助于提高实际工作中的应用效率和成果的完善。

### 参考文献:

- [1] 李滨. 徕卡三维激光扫描系统在文物保护领域的应用[J]. 测绘通报, 2008(6): 72-73.
- [2] 刘春, 张蕴灵, 吴杭彬. 地面三维激光扫描仪的检校与精度评估[J]. 工程勘察, 2009(11): 56-60.
- [3] 石银涛, 程效军, 张鸿飞. 地面三维激光扫描建模精度研究[J]. 河南科学, 2010(2): 182-186.
- [4] 朱凌. 地面三维激光扫描标靶研究[J]. 激光杂志, 2008(1): 33-35.
- [5] IEC. 60721-3-2-1997 Classification of Environmental Conditions[S]. [S.l.]: IEC, 1997.
- [6] 全国电工电子产品环境条件与环境试验标准化技术委员会. GB/T 4798.2-2008 电工电子产品应用环境条件第2部分: 运输[S]. 北京: 中国标准工业出版社, 2008.