

三维激光扫描技术在道路工程测量中的应用

欧品相

中国水利水电第八工程局有限公司

摘要：三维激光扫描技术是近年发展起来一种测量新技术，为空间信息的获取提供了新方法。本文首先对三维激光扫描技术在国内外研究现状进行了分析，其后探讨了三维激光扫描技术工作原理、特点以及运用要点，并围绕三维激光扫描技术在道路工程测量中的应用案例展开具体论述，以期可与同行交流。

关键词：三维激光扫描技术；国内外研究；原理；道路工程；测量

一、引言

三维激光扫描是一种主动的非接触式测量手段，可在短时间内获取大量被扫目标体的三维坐标信息，快速实景复制目标对象、还原目标物体三维模型，这些数据经过加工可以用于建模、测量、表面积和体积计算、分析和监测等。近年来，三维激光扫描技术在工程测量、精细化三维建模等领域均得到了广泛应用，加强相关研究具有重要意义。

二、三维激光扫描技术国内外研究现状

三维激光扫描技术最早于20世纪90年代出现，是一种三维实景成像技术，具有高效率、高精度的特点。国外激光扫描技术的应用研究起步较早，1993年，E.Chen等首次提出IBMR技术，这项技术虽不能形成三维模型图像，但将实物照片信息合成新视点图像，这就是三维激光扫描技术的雏形；1997年，E1-Hakim成功地把CCD照相机与扫描仪装配到一起，并建立了对应的硬件系统，然后将二者固定在一辆小车上，三维激光扫描技术初步成形。直至2000年以后，I.Stamos和 P.K.Alle通过不断改进可以扫描同一时间段的对象深度照片和彩色照片，获取逼真的三维模型。

国内三维激光扫描技术相比国外起步较晚，不过也取得一定的成就。2013年我国第一台具有自主知识产权的LS300地面三维激光扫描仪面世，由中海达公司武汉海达数云有限公司研发。此款扫描仪采用I级激光，可实现高效率、远距离测量，操作简便、智能。现阶段，三维激光扫描技术在很多领域都得到了充分的研究应用，它能以快速、准确、远距离全方位采集的方法获取扫描目标表面的三维点云数据，并且其配套软件及后处理应用做到对扫描目标的高精度、全面的还原重构，使得该技术在建筑物的变形监测、古建筑恢复、道路测量、隧道监测、滑坡体研究各个领域上发挥了重要作用。

三、三维激光扫描技术工作原理与运用要点

(一) 三维激光扫描系统工作原理

三维激光扫描系统由激光扫描系统、电源和笔记本电脑等设备构成，激光扫描系统是三维激光扫描仪主要组成部分，由高精度的激光测距仪和一组多面反射棱镜构成，另外也集成电荷耦合器件和仪器内部控制和校正系统等，如图1所示。

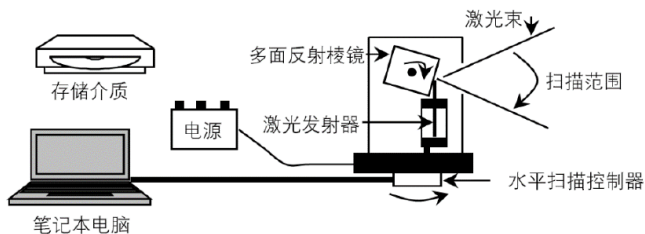


图1 地面三维激光扫描系统

三维激光扫描仪在获取目标物体的三维坐标过程中，扫描

控制模块控制和计算每次脉冲激光的角度，测得测站至扫描点的斜距，结合扫描的水平方向和垂直方向角，进而得到点云的空间相对坐标。三维激光扫描仪的测量原理如下图2所示。

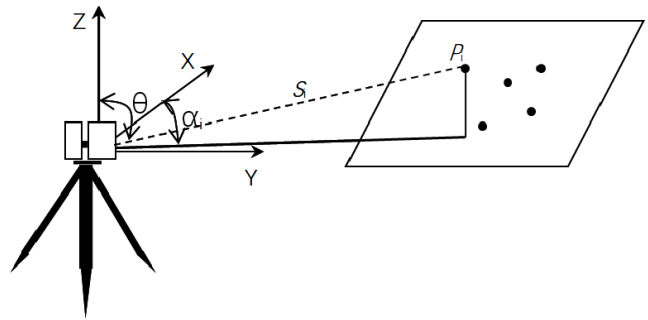


图2 三维激光扫描仪的测量原理图

仪器内部坐标系：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轴在横向扫描面内与Z轴垂直，Y轴与X轴垂直，Y轴正方向指向物体，与X轴、Z轴构成右手坐标系（如图2所示）。

$$X = S \cos \theta \cos \alpha$$

$$Y = S \cos \theta \sin \alpha$$

$$Z = S \sin \theta$$

式中： α —横向扫描角； θ —纵向扫描角；S—仪器到扫描点的斜距。

(二) 三维激光扫描技术特点

三维激光扫描是一种新兴测量技术，通过现场扫描采集三维数据，快速重构出实体目标的三维模型及线、面、体、空间等各种数据，主要优势可归纳如下：

(1) 易操作：三维激光扫描仪的操作类似于全站仪，扫描前都需要找好架站的位置，然后进行仪器调平，三维激光扫描仪的易操作性在于仪器架好站后，只需技术人员设置好参数，仪器便可以自动进行全方位的扫描，不需要人工找点，和多余的操作。在扫描过程中仪器自动进行点云扫描和保存数据，并自动进行对被测物进行连续拍照。

(2) 数据收集快：三维激光扫描技术的采点速率较高，脉冲式三维激光扫描仪扫描采点速率达到数千点每秒，而相位式三维激光扫描仪采点速率更是达到数万点每秒。扫描完一座超高层的点云数据信息只需一至两天。是传统的测量方式不可比的。

(3) 精度高：三维激光扫描仪可以快速大量收集被测物的点云数据，可以对被测物实施点云加密数据收集，从而提高被测物点云分辨率。目前三维激光扫描仪的精度可以达到毫米级，完全满足对超高层外饰的测量精度要求。

(4) 非接触性：传统测量方式往往需要人拿测量工具去复杂的环境中测量被测物，而三维激光扫描技术不需人身处复杂的环境，与被测物相隔百米至数百米都可以收集被测物的点云数据，大大提高了测量时技术人员的安全性。

(5) 主动发射激光：仪器主动发射激光，从仪器中打出激光脉冲在收集反射回的激光脉冲，不需要依赖外部光源，这样就大大减少了外界环境的限制，白天晚上都可以进行扫描测量。

(6) 仪器防护能力强：三维激光扫描仪结构紧凑，适合

在野外或者比较复杂的条件下工作。目前常用的设备一般体积较小，重量轻，具备防水防潮的特点，环境适应力强，对环境要求不高。

(7) 数字化：三维激光扫描技术数字信息化明显，对被测物点云中的每一个点，都有其坐标，对于这些点坐标可以随时显示与提取。并且仪器可以对收集的点云数据进行预处理，可以在仪器显示屏上随时查看采集的效果。仪器也可以对收集的点云进行格式转换变为其他软件也可以处理的数据，更加方便的进行展示。

(三) 三维激光扫描技术要点

三维激光扫描技术运用时，通过发射器发出一定频率的激光，在棱镜反射下，发射到建筑物表面并反射，根据发出和接收的时间差，计算出仪器到建筑物之间的斜距，同时根据编码器记录的水平角、垂直角，确定出地物的空间坐标。具体技术要点如下。

1. 现场踏勘

在选择三维激光扫描仪站点过程中，现场踏勘是一个必不可少的环节，可以准确了解扫描现场的地理环境。现场踏勘主要确定扫描范围、合适的扫描角度、扫描仪设备参数的大体设置等，以便于获取高质量的点云数据。

2. 数据获取

利用三维激光扫描进行点云数据获取的方案主要有两种：一是基于控制点坐标作为外部参考，每站在点云采集时同时扫描3个以上控制点坐标，数据处理时可以直接利用控制点坐标将点云数据从扫描坐标系转换到控制点坐标系下；另一种是在数据采集时保证相邻扫描站之间有一定的重叠度，数据处理时利用配准算法对多站点云进行配准，同时在点云采集时扫描一定数量的控制点坐标，实现点云模型的重建。三维激光扫描基本流程如下图3所示。

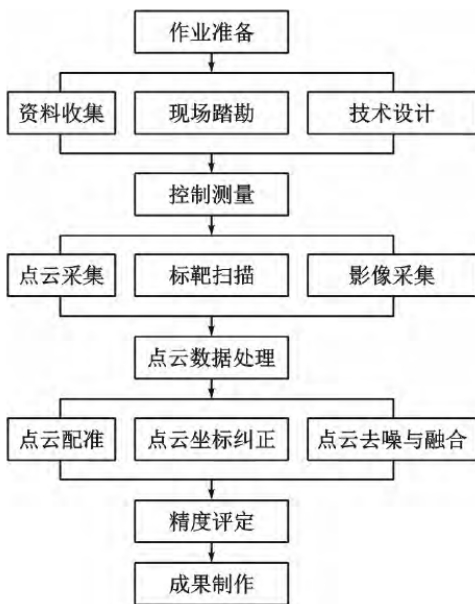


图3 三维激光扫描技术基本流程

3. 点云处理

三维激光扫描仪在点云数据采集时，由于测量设备或被测物体存在遮挡等原因，要获取被测物体完整的表面信息，一般要从多视角对被测物体扫描，且在扫描时还需保证一定的重叠度。而扫描仪在点云采集时，每站点云数据都是在其独立的扫描坐标系下，要获取完整的点云模型，需要将不同站扫描坐标系统一在同一坐标系下，因此必须要对多视点云配准。

多视点云配准的方法主要有两种：基于特征的配准和基于

ICP算法配准。基于特征的配准方法通常是在外业扫描时相邻两站均扫描3个以上的公共标靶，通过同名标靶点对点云进行配准，而在大型场景的扫描中，这就需要布设大量的标靶点。基于ICP算法配准的主要配准思想可以表示为：设定两个点云数据集P和Q，以P为参考，在P、Q的重叠区域内搜索其对应的最近点对，以这些点作为同名点来计算坐标变换参数，同时建立最近点对的误差函数模型，以此不断进行迭代运算，直至两次迭代的误差值小于算法预先设定的阈值，则迭代终止，此时计算结果为最佳变换模型。

在测绘场景中，先利用ICP算法对点云组初始配准，再利用标靶点和同名特征点对点云组精细配准，这就避免了基于标靶配准方法在数据采集时要大量布设标靶点的情况，大大提高了数据采集的效率，而且控制了ICP算法在多视点云配准时配准误差连续累积的情况，提高了最终点云模型的精度。

四、三维激光扫描技术在道路工程测量中的应用实例探析

(一) 工程概况

本项目为路段升级改造工程，目的是对当前的道路病害进行清除，对平面和高程进行全面的测量后，全面分析相关工作的具体落实方案。在区域测量中，采用三维激光扫描技术获得各项结果。该测试区位于市区内，总体长度37.71km，要求道路平面的数据误差不得高于5cm，高程测量误差不得大于2cm，对此截取了一段路面进行扫描测试。

(二) 三维激光扫描技术方案

本测试项目采用天宝SX10影像扫描仪进行测量扫描，SX10影像扫描仪又称扫描全站仪，结合了全站仪和扫描仪的功能，既能实现全站仪的工作流程，进行设站工作，也能进行三维扫描。当进行全站仪设站工作时，能达到1秒全站仪的测量精度；当扫描时，扫描速度达到26600点/秒，扫描距离达到600m，扫描范围为360°×300°。

(三) 三维激光扫描工作情况

1. 前期准备

(1) 项目进场前，需要完成一系列准备工作，包括前期资料的收集、人员及设备就位、测绘仪器检查校验、计算机软硬件的准备等。

(2) 外业观测开始前，所有人员都经过了野外工作培训，对相关的技术规范、仪器的使用方法熟练掌握，同时尽量保证在整个作业期间人员与使用的仪器、设备保持固定，减少人为因素的误差影响。

(3) 进行现场踏勘，其目的主要是查看工作区内概略地形，路面完成情况，车辆运行情况，GPS信号是否正常，是否涉及人员安全问题等。

(4) 现场布设控制点，控制点布设间隔约100m。现场采用RTK技术和精密水准技术测量的控制点三维坐标。

2. 现场扫描

(1) 在道路中心架设SX10仪器，架设高度约1.8m，采用测站设立或者后方交会的方式，进行设站，设站完成后进行道路扫描。SX10扫描不需要架设标靶，后期处理无须拼接配准。

(2) 由于需要扫描的目标是路面，且仪器架设高度有限制，故现场约每隔60m架设一次仪器进行扫描。现场采用粗略模式进行扫描，30m处的点间隔约3cm，点云噪声在1.5mm以内。扫描仪的工作范围360°×300°。

3. 数据处理

采用天宝Trimble Business center (简称TBC) 软件进行处理。导入外业扫描点云数据，无须拼接配准。

4. 检查点分析

在TBC上进行点云分类处理，提取地面。现场实测8个检查点，在内业处理时，根据检查点的坐标，在点云上提取对应位置的高程值，结果如表1所示。

表1 现场实测8个检查点结果

检查点	高程	点云高程	差值
J1.1	7.514	7.516	0.002
J1.2	7.544	7.543	-0.001
J1.3	7.250	7.255	0.005
J1.4	7.009	7.011	0.002
J1.5	6.899	6.902	0.003
J1.6	6.513	6.518	0.005
J1.9	7.101	7.102	0.001
J1.10	7.076	7.079	0.003

从上表可以看出, SX10结合了全站仪和扫描仪的功能, 能很好的完成控制设站和扫描的工作, 无须拼接配准, 即可得到高精度的点云数据, 从而验证了三维激光扫描技术在道路测绘中的应用的可行性。

五、结语

综上所述, 随着测绘技术的快速更新与发展, 三维激光扫描技术在更多的测绘场景中得到了应用。在公路交通建设中, 道路及其附属结构等三维信息的精确获取是重要前提, 直接关系到道路建设工作的顺利推进。通过三维激光扫描技术的运用, 可有效提高现场数据获取效率, 以全方位的视角获取高精度、高密度的场景三维空间信息, 克服了传统测量技术局限性, 为道路建设提供可靠数据支撑。

参考文献

[1]葛坤龙,陈猛. 车载三维激光扫描技术在公路断面测量中的应用[A]. 山东省测绘地理信息学会. 第十九届华东六省一市测绘学会学术交流会暨2017年海峡两岸测绘技术交流与学术研讨会论文集[C]. 山东省测绘地理信息学会: 山东省测绘地理信息学会, 2017: 6.

[2]姚利辉,刘向阳. 三位激光扫描技术在道路测绘中的应用[A]. 《智能城市》杂志社、美中期刊学术交流协会. 2016智能城市与信息化建设国际学术交流研讨会论文集II[C]. 《智能城市》杂志社、美中期刊学术交流协会: 旭日华夏(北京)国际科学技术研究院, 2016: 1.

[3]杨必胜,梁福逊,黄荣刚. 三维激光扫描点云数据处理研究进展、挑战与趋势[J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1509-1516.

[4]付海军. 地面三维激光扫描技术在道路工程测绘中的应用[J]. 智能城市, 2017, 3(03): 103+129.

[5]李良英,韩峰. 地面三维激光扫描技术在道路改扩建测绘中的应用研究[J]. 矿山测量, 2016, 44(05): 24-27.

[6]李谋思,孙雨,韦荣艺,何宝根. 三维激光扫描与无人机结合在地形测绘中的应用[J]. 人民珠江, 2017, 38(05): 23-26.

作者简介:

欧品相(1980-),男,贵州锦屏,工程师,本科,工作方向: 线路工程测量。

(上接第97页)

导管埋深比较深的情况下, 对于上层混凝土因浇筑时间已经逐步接近初凝状态, 表面处于硬壳状态, 这种情况下也就使得钢筋笼与混凝土两者之间存在一定握裹力, 在这种情况下, 如果导管底部没有及时提至钢筋笼底部以上, 就会使得混凝土在导管流出后不断向上顶升, 从而引发钢筋笼上浮问题。

(二) 处理技术

其一, 在进行第一次清孔作业时, 应选择比重、粘度相对较低的泥浆进行清洗和置换作业, 并对钻头上下活动, 采取边冲边扫的方式, 将孔中存在的泥块等搅拌成泥浆状态, 然后排除出去, 保证泥浆符合要求才能进行提钻; 其二, 提升混凝土浇灌速度, 合理对混凝土浇灌时间进行控制, 若遇高温气候应采取加缓凝剂的方式来起到防止混凝土顶层进入钢筋笼后流动性变小; 若混凝土灌注位置与钢筋笼底部相接近, 应尽可能少进行导管穿插, 待到钢筋笼被混凝土埋牢之后在保证导管处于正常埋深。

六、卡管与埋管故障

(一) 故障成因

其一, 剪球制作存在不合理, 主要体现在剪球和导管两者之间的直径差比较小, 在进行剪球前因砂浆或细石料渗入导管和球壁之间发生堵塞; 其二, 混凝土配比不符合要求, 对于封底处所用的混凝土坍落度比较小, 或者是混凝土拌合不均匀, 再加上累积混凝土时使得粗骨料不断下沉, 使得漏斗口位置的粗骨料处于互相挤压密实状态, 使得漏斗口因此发生堵塞, 剪球后混凝土无法下落。在进行混凝土灌注时也会发生卡管问题, 这种情况就是因混凝土过早凝固造成堵塞, 若发生机械故障或混凝土粗骨料直径过大情况下, 就会导致混凝土在导管中

时间过久, 其中部分混凝土逐步趋于初凝状态, 在下落时阻力增大, 使得部分混凝土还停留在导管。

(二) 处理技术

其一, 运用合理长度钢筋对剪球进行强制性捅塞球, 以此促使混凝土下落; 其二借助机械设备的震动功能促使混凝土在自然状态下落, 在下落的同时导管回到相应埋管处; 其三, 对封底混凝土数量进行计算, 明确混凝土配合比, 尽可能选用和易性比较好的水泥和砾石作为粗骨料; 其四, 对于灌注卡管, 一般以预防为主, 在进行混凝土灌注作业前对相关设备进行全面检查, 在灌注过程中, 最好连续快速进行, 对于高温天气, 可在混凝土中加入适量缓凝剂, 以此延缓混凝土初凝时间。

七、总结

综上所述, 为进一步加快推动我国交通事业的健康发展, 这就要求我们意识到工程质量的重要性, 桩基施工作为公路桥梁工程中比较重要的一部分, 相关人士应对此加大重视力度, 针对其中可能出现的故障问题制定相应的应对策略, 根据当前工程施工实际以及过往施工经验来解决故障, 从此从根本上避免事故扩大化发展。

参考文献

[1]徐伟. 公路桥梁桩基施工常见事故及其处理方法[J]. 建筑技术与设计, 2017, 000(013): 2301-2301.

[2]郑龙. 公路桥梁桩基施工中常见技术问题[J]. 科技创新与应用, 2016, 000(027): 257-257.

[3]马万明. 道路桥梁施工中常见的病害与施工处理技术的探讨[J]. 工程技术: 引文版, 2016(11): 00166-00166.