

# 三维激光扫描在地形测量中的应用

李小军

北海市国土资源信息中心

**摘要:** 三维激光扫描技术的发展已经成为地形测量行业中的一项重要趋势, 该技术能够快速、精确地获取地表的三维坐标信息, 大幅提高了地形测量的效率和精度。其工作原理是利用激光束对地表进行扫描, 并通过激光雷达接收反射回来的光信号, 进而生成三维点云数据。这些数据可以用于制作数字高程模型 (DEM) 和数字表面模型 (DSM), 从而为地质勘探、城市规划、自然灾害预警等行业提供重要的支持。

**关键词:** 三维激光; 扫描; 地形测量; 应用

**【DOI】** 10. 12254/j. issn. 2096-6539. 2023. 02. 120

随着技术的不断提升和应用场景的拓展, 三维激光扫描技术已经被广泛应用于我国的建筑、城市规划、地形测量等领域。它可以精确地获取地形地貌的三维数据, 包括地表高程、地形起伏等, 同时还能够获取地表物体的精确三维模型, 如建筑物、桥梁、隧道等。《国务院关于推进新一代人工智能发展实施方案的通知》明确提出, 要加强新一代人工智能技术与地理信息、测绘地理信息等相关领域的融合应用, 推动三维激光扫描技术在城市规划、交通建设、环境监测等领域的应用, 提高我国数字经济和智能经济的发展水平。可以预见, 随着政策的引导和技术的不断进步, 三维激光扫描技术在地形测量中的应用将会得到更加广泛的推广和应用, 为我国的现代化建设做出更大的贡献。

## 一、用三维激光扫描技术进行地形测量的概述

### (一) 地形测量的原理

地形测量是指使用各种测量仪器和技术获取地球表面形态和特征的过程, 其核心在于测量仪器的能力和数据处理技术的应用。传统测量仪器包括全站仪、水准仪、经纬仪等, 而现代技术则包括激光雷达、卫星遥感等, 这些仪器可以获取地表形态、高程、坡度、曲率等信息, 同时, 对采集到的数据进行处理和解释, 如去噪、滤波、拟合等操作, 并使用地理信息系统 (GIS) 等软件进行数据分析获取更准确的地形信息<sup>[1]</sup>。由于地球表面的形态复杂多变, 因此需要使用不同精度和可靠性的测量仪器和技术, 以满足不同方面应用的需求。

### (二) 三维激光扫描技术的原理

三维激光扫描技术是一种高精度测量技术, 它通过激光发射器发射激光束, 然后利用扫描镜将激光束在空间中进行快速扫描, 从而获得目标物体的三维几何信息。在扫描过程中, 激光束照射到目标物体表面, 部分光线会被物体表面反射回来, 再经过接收器接收并记录下反射光的时间和位置信息。根据光线的反射时间和光

速, 可以计算出激光束与物体表面的距离, 并通过不断扫描得到物体表面的多个点的距离信息, 从而建立目标物体的三维点云模型。最终, 通过点云数据的处理和重建, 可以得到目标物体的三维模型, 实现对目标物体的高精度测量、数字化和可视化。三维激光扫描技术在工业制造、建筑设计、文物保护等领域得到广泛应用, 为各行业提供了强有力的技术支持。

### (三) 三维激光扫描技术在地形测量中的重要意义

传统的地形测量方法需要耗费大量的时间和人力物力, 且精度难以保证, 而三维激光扫描技术可以快速、准确地获取地表地貌的三维数据, 可以测量地形高程、地貌形态、地表覆盖情况等信息, 具有高精度、高效率、非接触等优势<sup>[2]</sup>。此外, 三维激光扫描技术可以扫描大面积地形, 同时保证数据的一致性和完整性, 能够有效地解决传统测量方法无法覆盖和测量复杂地形的的问题。在地理信息系统、城市规划、土地资源调查等领域, 三维激光扫描技术被广泛应用, 对于地形测量、地貌分析、环境评估等方面都具有不可替代的作用。

## 二、三维激光扫描技术在地形测量工作中的优势

### (一) 硬件方面

三维激光扫描技术是一种高精度的地形测量手段, 通过光学原理和计算机技术实现。在硬件方面, 三维激光扫描仪具有多重优势。其测量精度达到亚毫米级别, 远高于传统地形测量仪器, 具有快速扫描能力, 可在短时间内获取大量测量数据。例如, Faro定位系统的扫描速度达到1.2百万点/秒, 可在10分钟内完成1平方公里的地形测量。同时激光扫描仪的激光器具有长寿命和高重复频率的特点, 适合长时间高强度工作。这类设备的激光束具有高方向性和小散斑角的特点, 能够保证测量精度和稳定性, 还有远距离测量能力, 可在500米以上的距离范围内进行地形测量。例如, RIEGL VQ-780i 激光扫描仪可在1000米范围内进行地形测量, 适用于山区、沙漠等工作人员无法直接进入的地形, 可以实现精确定位和精确控制扫描区域。例如, Trimble TX8激光扫描仪配备全方位定位系统和全景相机, 能够实现全方位的测量和数据获取。因此三维激光扫描技术具有高精度、快速、稳定、远距离测量等优势, 使该技术成为地形测量领域中不可或缺的专业手段<sup>[3]</sup>。

### (二) 数据处理方面

三维激光扫描技术可以实现高效的数据采集, 在几秒钟内获取上千万个点的地形数据。这种高效的数据采集方式不仅可以大幅减少人工成本, 还可以在短时间内获取大量准确的地形数据。并且以亚毫米的精度获取地

形数据,相比于传统地形测量方法,精度提高了数倍。通过三维数据处理软件,激光扫描仪获取的点云数据可以进行去噪和过滤,从而得到更为精确的地形数据。精度的提高可以为地形测量和工程设计提供更为准确的数据支持,避免了不必要的资源浪费和误差。通过三维数据处理软件,可以对点云数据进行自动化处理和分析,提高了工作效率。此外这项技术还可以生成高质量的数字高程模型(DEM),为地形测量和工程设计提供更为准确的数据支持。

### 三、三维激光扫描在地形地质图测绘中的应用要点

#### (一) 扫描现场勘察

三维激光扫描地形地质图的测绘工作流程包括扫描现场勘察、激光扫描、数据处理、地形地貌提取、地质分析和结果呈现。在扫描现场勘察中,需要确定勘察设备摆放的位置和方向,并了解现场地形地貌和地质情况,利用激光扫描目标物体的表面,并记录反射回来的光线信息,生成原始数据,再配合去除杂乱噪声、滤波、配准和融合等操作,生成完整、准确的三维点云模型,基于处理好的数据,采用数字高程模型等算法提取地形地貌信息,包括高程、坡度、坡向和曲率等数据,根据地形地貌图和地质信息研究地质构造和演化历史,探寻地质资源和地震危险等。最后,将分析结果呈现在数字地图、地形地貌图、立体模型等形式中,进行展示和应用。三维激光扫描技术为地质勘探、环境监测、工程规划等领域提供了强有力的技术支持,为高效、精准的地形地貌测量和地质分析提供了重要手段。

#### (二) 地形点云数据获取

##### 1. 利用已知空间坐标点的数据采集方法

利用已知空间坐标点的数据采集方法,可以实现对地形点云数据的高效获取和处理。该方法的基本原理是以已知的空间坐标点为参考,通过激光扫描仪等设备对目标物体进行扫描,获取目标物体表面的三维坐标点数据。在数据采集过程中,首先需要确定已知空间坐标点的位置和坐标系,然后安装和调整激光扫描仪等设备,确定扫描方向和区域,并进行扫描操作<sup>[4]</sup>。在获得原始的三维点云数据后,进行数据处理和分析,包括数据滤波、配准、重建等操作,最终生成高精度、高分辨率的地形点云数据,并用于地形分析和建模。在使用已知空间坐标点的数据采集方法时,需要注意已知点的准确性和稳定性,扫描仪的位置和方向以及扫描范围和分辨率的选择,以保证扫描数据的完整性和精度。同时,需要进行数据质量控制和误差评估,以保证地形点云数据的可靠性和精度。

##### 2. 利用公共标靶的数据采集方法

公共标靶的数据采集方法通过在目标区域内布置公共标靶,采用激光扫描仪等设备扫描公共标靶,从而获得公共标靶的三维坐标点数据,作为整个测量过程的参考。通常情况下,公共标靶的数量应达到目标区域的1%至2%,标靶之间的距离应保持在5米以内,以保证扫描

数据的准确性和完整性。公共标靶可以采用不同类型的标志物,如反光板、精密棱镜等,根据实际情况进行选择。在进行扫描操作时,需要根据公共标靶的位置和类型,确定扫描方向和区域,以保证扫描数据的完整性和准确性。在扫描过程中,激光扫描仪会扫描公共标靶,记录下标靶的坐标数据,并将其作为整个测量过程的参考。在获得原始的三维点云数据后,需要进行数据处理和分析,包括数据滤波、配准、重建等操作,最终生成高精度、高分辨率的地形点云数据。通过该方法,可以实现对目标区域内这类信息的全面、准确获取。同时,这项技术可用于整个测量过程的参考,有效提高了地形点云数据的精度和稳定性,并适用于不同类型的地形测量场景,如森林、山地、沙漠等,其测量精度可达到1-2厘米级别。

##### 3. 利用公共特征点的点云数据采集方法

利用公共特征点的点云数据采集方法,可以更好地实现地形点云端数据的获取和处理,该方法的基本原理是利用目标物体表面的特征点,在数据采集过程中自动匹配特征点,从而获取点云数据。通常情况下,特征点的数量应达到目标物体表面点的5%至10%,以保证数据采集的准确性和稳定性,应根据目标物体表面形态、光照条件、材质等因素进行选择 and 调整。在数据采集过程中,需要选择适当的激光扫描仪等设备,并对设备参数进行调整,以保证数据的完整性和精度。在获得原始的三维点云端资源后,需要进行数据处理和分析,包括数据滤波、配准、重建等操作,最终生成高精度、高分辨率的地形点云数据,并用于地形分析和建模。利用公共特征点的点云数据采集方法,可以更好地实现地形点云数据的获取和处理,该方法的基本原理是利用目标物体表面的特征点,在数据采集过程中自动匹配特征点,从而获取点云数据,这类资源的数量应达到目标物体表面点的5%至10%,以保证数据采集的准确性和稳定性,并根据目标物体表面形态、光照条件、材质等因素进行选择 and 调整,还要匹配适当的激光扫描仪等设备,并对其参数进行调整,获得原始的三维点云数据后,还要做好数据处理和分析,包括数据滤波、配准、重建等操作,最终生成高精度、高分辨率的地形点云数据,并用于地形分析和建模。

##### (三) 基于改进二代小波变换的地形三维点云去噪

在地形点云数据获取的过程中,存在着数量众多的噪声点,这些噪声点不仅会降低地形分析和建模的精度,还会影响到后续的地形数据处理。为了解决这个问题,改进二代小波变换方法被广泛采用于地形三维点云去噪。改进二代小波变换方法的基本原理是将小波变换和临界点处理相结合,去除点测量数据中的噪声点。在降噪过程中,需要选择合适的小波基函数和阈值参数,以保证清理效果的稳定性和准确性。一般来说,小波基函数选择Daubechies小波、Symlets小波等,临界值的参数可以通过试验、经验和自适应方法进行调整。

进二代小波变换去噪方法包括以下步骤：首先，对点云数据进行小波分解，得到小波系数；其次，对小波系数进行阈值处理，将小于一定阈值的小波系数置零，将大于一定阈值的小波系数保留；最后，对处理后的小波系数进行小波重构，得到抑噪后的点云数据，选择合适的小波基函数和阈值参数，可以去除点云数据中的高频和低频噪声点，提高点云数据的质量和稳定性。改进二代小波变换方法的优点在于能够去除不同类型的噪声点，具有很好的适用性和灵活性。该方法已经广泛应用于地形测量、工程建设、地震勘探等领域，可以提高点云数据的精度和可靠性，具有重要的实际应用价值<sup>[5]</sup>。

#### （四）地形点云空洞修补

在三维激光扫描地形地质图的测绘工作流程中，补充地形点云空缺是不可或缺的一个步骤。它在整个测绘过程中占据了重要的地位，旨在完善三维激光扫描获取的数据，一般分为这几个处理内容：首先，通过对点云数据的处理，确定空洞的位置和大小；然后，选择合适的修补措施来填补空洞。常用的措施包括：基于网格的填充、点云拟合、三角剖分等，基于网格的填充是最常见的修补方法，它可以通过计算周围点的平均高度来填补空洞，也可以使用点云拟合来生成曲面，再通过三角剖分将空洞进行填充；最后，通过可视化工具来检查修补结果的准确性和完整性，如ParaView和CloudCompare等。对于较小的空洞，可以使用基于网格的修补方法来快速修复，而对于较大的空洞，可能需要使用点云拟合和三角剖分来获得更好的填充效果。

#### （五）地物地貌提取以及等高线生成

进行地形地貌提取时，需要对采集的点云数据进行预处理，如点云滤波、去除离群点等。通过点云分类算法，可以将地表点云与非地表点云分离出来，其中地表点云的精度可达到平均高程误差 $<0.5$ 米，点云密度可达到 $50$ 个点/ $m^2$ 以上。在地表信息的基础上，采用地形地貌分类算法可将地形地貌要素分类成不同类别，分类精度可达到 $90\%$ 以上。等高线生成是地形测量中最基本的操作之一，可以基于点云数据或者数字高程模型（DEM）进行。对于点云数据，可以采用三角剖分方法生成TIN，再基于TIN插值生成等高线；而对于DEM数据，可以采用插值方法如反距离权重插值法、样条插值法等生成高程表面，并基于高程表面进行等高线的生成。完成地形地貌提取和等高线生成后，可将其应用于城市规划、土地利用规划、水资源管理等领域。以土地利用规划为例，通过对地形地貌的提取和等高线的生成，可以实现土地的分类和高程的测算，有效提高土地利用效率。

#### （六）DEM模型生成

DEM模型的生成是通过插值算法将采集的点云数据转化为连续的表面高程模型，常用的插值方法包括反距离权重插值法、样条插值法等。预处理过程中，可采

用滤波算法去除异常值和噪声，使得DEM模型的精度达到平均高程误差 $<0.5$ 米，点云密度可达到 $50$ 个点/ $m^2$ 以上。基于DEM模型，可以进行高程测量、坡度分析、流域分析等，其中高程测量的精度可达到 $0.1$ 米以内，坡度分析的精度可达到 $1\%$ 以下，流域分析的精度可达到 $90\%$ 以上。此外，基于DEM模型可以生成等高线图、坡度图、方向图等，以支持工程规划、土地利用规划和水资源管理等决策，还可用于进行地形分析和模拟，如地质地形模拟、洪水模拟等。

#### （七）地形图生成

该技术通过在地面上扫描激光束并记录反射回来的信号，获取地形的三维数据，生成地形图的工作流程可以分为四个步骤：数据采集、数据处理、数据分析和地图生成。在数据采集阶段，使用激光扫描仪从不同的位置对地面进行扫描。每次扫描会生成一个点云数据集，其中包含数百万个点的坐标和反射强度信息；在数据处理阶段，对采集到的点云数据进行清洗和滤波，去除一些噪声点和无效数据。同时，还需要对点云数据进行配准和融合，将不同位置、不同角度采集到的点云数据进行融合，形成一个完整的数据集；在分析阶段，通过对点云数据进行分析，提取出地形信息和地貌特征，比如坡度、高度等，还可以将地形数据与其他数据源进行融合，比如卫星遥感数据、地形图等；最后，在地图生成阶段，将处理和分析过的数据转化为可视化的地形地质图。

#### 结束语

总而言之，三维激光扫描技术在地形测量中的应用已经得到广泛认可和应用，成为我国地形测量领域的重要工具之一，它不仅可以通过高精度地获取地形地貌的三维数据，还能够获取地表物体的精确三维模型，为我国基础设施建设和城市规划提供了重要的技术支持。随着政策的引导和技术的不断进步，三维激光扫描技术在地形测量中的应用将会得到更加广泛的推广和应用。同时，我们也需要关注技术的合理使用和开发，确保其自身功能与作用在地形测量中能够得到最大限度地发挥，并为我国的现代化建设和可持续发展做出更大的贡献。

#### 参考文献

- [1] 李鹏. 基于三维激光扫描的数字化地形测量方法[J]. 北京测绘, 2022, 36(12): 1709-1714.
- [2] 刘阳, 王鹏飞. 地形测量中三维激光扫描技术的应用[J]. 科技资讯, 2022, 20(08): 66-68.
- [3] 郑贤泽, 朱艳军, 陶旭. 三维激光扫描技术在地形测量中的应用分析[J]. 城市勘测, 2021, (01): 106-109.
- [4] 苟鑫. 三维激光扫描技术在地形地质测量中的运用分析[J]. 石化技术, 2020, 27(11): 50-51.
- [5] 马汉君. 三维激光扫描技术在地形地质测量中的应用[J]. 世界有色金属, 2019, (12): 231-232.