

激光雷达技术在工程测绘中的应用

冉凤岐

山西万鼎空间数字股份有限公司 山西 大同 037000

摘要：在科技飞速发展的当下，激光雷达技术作为先进的遥感探测手段，在工程测绘领域展现出巨大潜力。本文深入剖析激光雷达技术的原理、特点，详细阐述其在工程测绘不同方面的具体应用，涵盖地形测绘、建筑物测绘、道路工程测绘及矿山工程测绘等。同时分析该技术应用面临的挑战，探讨应对策略与未来发展趋势，旨在为工程实践提供理论支持与技术参考，推动工程测绘行业向更高精度、效率发展。

关键词：激光雷达技术；工程测绘；地形测绘；建筑物测绘；发展趋势

1 引言

工程测绘是工程建设的基础环节，其精度与效率直接影响工程项目的规划、设计、施工及后续管理。传统工程测绘方法，如全站仪测量、水准测量等，在面对大规模、复杂地形及高精度要求项目时，逐渐暴露出效率低、劳动强度大、数据获取不全面等局限。激光雷达技术的出现，为工程测绘带来变革。它凭借高精度、高效率、非接触式测量等优势，能快速获取目标物体三维空间信息，为工程测绘提供更丰富、准确的数据支持，在工程测绘领域应用日益广泛。

2 激光雷达技术概述

激光雷达（Light Detection and Ranging, LiDAR）是集激光、全球定位系统（GPS）和惯性导航系统（INS）于一体的主动式遥感探测技术。其工作原理是向目标物体发射激光脉冲，脉冲遇到目标物体后反射，反射光被激光雷达系统的接收器接收。通过测量激光脉冲从发射到接收的时间间隔 Δt ，结合光速 c （ $c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ），根据公式 $s = c \times \Delta t / 2$ ，可计算出激光雷达与目标物体之间的距离 s 。例如，若测得时间间隔 Δt 为 10^{-6} s ，则距离 $s = 3 \times 10^8 \times 10^{-6} / 2 = 150 \text{ m}$ 。同时，利用GPS和INS技术获取激光雷达系统的空间位置和姿态信息。GPS可提供系统的三维坐标（经度、纬度、高程），精度可达厘米级甚至毫米级；INS则能实时测量系统的姿态角（俯仰角、横滚角、航向角），精度一般在 0.01° - 0.1° 之间。结合这些信息，通过坐标转换算法，可确定目标物体在三维空间中的精确坐标。

3 激光雷达技术在工程测绘中的具体应用

3.1 地形测绘

3.1.1 大比例尺地形图测绘

在大比例尺地形图测绘中，激光雷达技术能快速获取地形表面的高精度三维数据。以1:500比例尺地形图

测绘为例，传统方法需要大量人工进行野外测量，效率低且精度受人为因素影响较大。而激光雷达技术通过机载或车载平台，可在短时间内获取大面积地形数据。机载激光雷达系统一般飞行高度在500-2000米之间，扫描频率可达每秒数十万点甚至数百万点^[1]。获取的点云数据经过处理，生成数字高程模型（DEM），其平面精度可达到 $\pm 0.1 \text{ m}$ ，高程精度可达到 $\pm 0.05 \text{ m}$ 。在此基础上，结合数字正射影像图（DOM），可绘制出精确的地形图。与传统航空摄影测量方法相比，激光雷达技术不受地形起伏、植被覆盖等因素的影响，在山区、森林等复杂地形区域优势明显。

3.1.2 地形变化监测

激光雷达技术可定期对同一区域进行扫描，通过对比不同时期的点云数据，监测地形变化情况。在地质灾害监测中，如滑坡监测，激光雷达技术能及时发现滑坡体的微小变形。一般每隔一定时间（如一个月或一个季度）对滑坡区域进行一次扫描，获取滑坡体表面的三维数据。通过对点云数据的配准和分析，可计算出滑坡体的位移、沉降等变化量。

3.2 建筑物测绘

3.2.1 建筑物三维建模

激光雷达技术可快速获取建筑物的外立面和内部结构的三维点云数据。以一栋高层建筑为例，使用地面激光雷达扫描仪进行扫描，扫描仪的测距精度可达 $\pm 2 \text{ mm}$ ，角度分辨率可达 0.001° 。在建筑物周围设置多个扫描站点，每个站点扫描时间约10-30分钟，通过多次扫描获取建筑物的完整点云数据。点云数据经过预处理（如去噪、滤波等）后，利用三维建模软件进行建模。生成的建筑物三维模型具有高精度、高真实感的特点，能够直观地展示建筑物的外观和内部结构。例如，在城市老旧建筑改造项目中，利用激光雷达技术获取建筑物的三维

模型,设计师可以更准确地了解建筑物的结构细节,如墙体厚度、门窗位置等,从而制定更合理的改造方案。

3.2.2 建筑物变形监测

建筑物的变形监测是保障建筑物安全的重要手段。激光雷达技术可定期对建筑物进行扫描,获取建筑物表面的三维数据,通过对比不同时期的点云数据,检测建筑物的变形情况。对于高层建筑,一般每隔一定时间(如半年或一年)进行一次扫描。扫描获取的点云数据经过配准后,可计算出建筑物各部位的位移变化。

3.3 道路工程测绘

3.3.1 道路地形测绘

在道路工程的前期规划阶段,需要对道路沿线的地形进行详细测绘。激光雷达技术可快速获取道路沿线的地形数据,生成数字高程模型和数字正射影像图。车载激光雷达系统在道路行驶过程中进行扫描,扫描速度可达每小时50-100公里,扫描宽度可覆盖道路两侧一定范围。获取的点云数据经过处理后,生成的DEM精度可达到 $\pm 0.1\text{m}$,DOM的分辨率可达到 0.1m 。这些数据为道路的选线、设计提供了准确的地形依据^[2]。同时,激光雷达技术还可获取道路周边的地形地貌信息,如山体、河流、植被等,有助于评估道路建设对周边环境的影响。例如,在山区公路的建设中,利用激光雷达技术可以帮助工程师选择合理的路线,避开地质灾害隐患区域,降低工程风险。

3.3.2 道路施工质量检测

在道路施工过程中,激光雷达技术可用于道路平整度、横坡、纵坡等参数的检测。将激光雷达安装在施工车辆上,实时获取道路表面的三维数据。以道路平整度检测为例,激光雷达可按照一定的采样间隔(如每 0.1m 一个采样点)获取道路表面的高程数据。通过计算相邻采样点之间的高程差,可评估道路的平整度。根据相关标准,道路平整度的允许偏差一般为 $\pm 5\text{mm}$ 。例如,在高速公路的路面摊铺过程中,利用激光雷达技术实时监测路面的平整度,当发现某段路面的平整度超出允许偏差时,及时通知施工人员进行调整,确保路面施工质量符合标准要求。

3.4 矿山工程测绘

3.4.1 矿山地形测绘与资源量估算

在矿山工程中,激光雷达技术可快速获取矿山的地形数据,生成矿山的三维模型。通过对矿山三维模型的分析,可准确计算矿山的资源量。机载激光雷达系统对矿山进行扫描,获取的点云数据经过处理后,生成的DEM可精确反映矿山的地形起伏。结合矿山的边界数据

和矿石的密度等参数,利用体积计算方法可估算矿山的资源量。

3.4.2 矿山巷道测绘

对于地下矿山,激光雷达技术可用于巷道的测绘。将激光雷达设备安装在巷道掘进设备上,实时获取巷道的三维数据。激光雷达设备在巷道掘进过程中不断扫描,获取巷道的断面形状、尺寸等信息。生成的巷道数字模型可帮助矿山管理人员直观地了解巷道的掘进情况,及时发现巷道变形、支护失效等问题。例如,在金属矿山的巷道掘进过程中,利用激光雷达技术实时监测巷道的断面尺寸,当发现巷道某部位的断面尺寸小于设计要求时,及时采取措施进行调整,确保巷道的掘进质量符合设计要求。

4 激光雷达技术在工程测绘应用中面临的挑战

4.1 数据处理难度大

激光雷达获取的点云数据量巨大,数据结构复杂,包含大量的噪声和冗余信息。以一次机载激光雷达扫描为例,扫描面积100平方公里,扫描点密度为每平方米10个点,获取的点云数据量可达10亿个点以上。如何对海量的点云数据进行高效、准确的处理,提取有用的信息,是激光雷达技术在工程测绘应用中面临的一个重要挑战^[3]。目前,虽然已经有一些点云数据处理软件和算法,但在处理大规模、复杂场景的点云数据时,仍然存在处理速度慢、精度不高、自动化程度低等问题。例如,在进行点云滤波时,传统的滤波算法可能无法准确区分地面点和非地面点,导致地面模型不准确。

4.2 受环境因素影响

虽然激光雷达技术具有一定的全天候工作能力,但在一些恶劣的环境条件下,如强降雨、浓雾、沙尘暴等,激光脉冲的传播会受到严重影响。在强降雨天气中,雨滴会对激光脉冲产生散射和吸收作用,导致测量精度下降甚至无法正常工作。此外,目标物体的表面特性,如颜色、材质、粗糙度等,也会影响激光脉冲的反射强度和反射方向,从而影响测量结果的准确性。例如,黑色物体对激光脉冲的吸收率较高,反射强度较弱,可能导致测量距离不准确。

4.3 数据融合与共享问题

在工程测绘中,往往需要综合利用多种测绘数据,如激光雷达数据、卫星影像数据、传统测量数据等。不同数据源之间的数据格式、坐标系统、精度等存在差异,数据融合和共享的难度较大。例如,激光雷达数据通常以点云格式存储,而卫星影像数据以栅格格式存储,要将这两种数据进行融合,需要进行复杂的坐标转

换和数据格式转换。此外,不同数据源的精度差异也可能导致融合后的数据精度下降。

5 应对挑战的策略与发展趋势

5.1 应对挑战的策略

加强数据处理技术研发:加大对点云数据处理算法和软件的研究投入,开发更加高效、准确、自动化的数据处理方法。例如,利用机器学习、深度学习等人工智能技术,对点云数据进行分类、滤波、特征提取等处理。通过训练大量的点云数据样本,让机器学习模型自动学习点云数据的特征和规律,提高数据处理的效率和精度。

提高环境适应性:加强对激光雷达技术的研究,提高其在恶劣环境条件下的工作性能。例如,研发具有抗干扰能力的激光雷达系统,优化激光脉冲的发射和接收技术,减少环境因素对测量结果的影响。在激光雷达系统中增加雨滴传感器和雾浓度传感器,根据环境条件自动调整激光脉冲的发射功率和频率。

推动数据融合与共享:制定统一的数据标准和规范,建立数据共享平台,促进不同数据源之间的有效融合和共享。例如,建立通用的点云数据格式和坐标系统标准,使不同来源的点云数据能够方便地进行融合和分析。同时,加强对数据融合算法的研究,提高数据融合的质量和效率。

5.2 发展趋势

多传感器融合:未来,激光雷达技术将与其他传感器技术,如相机、惯性测量单元(IMU)、全球导航卫星系统(GNSS)等进行深度融合,实现多源数据的互补和协同,提高测绘的精度和可靠性^[4]。例如,将激光雷达与相机融合,可以同时获取目标物体的三维信息和纹理信息,生成更加真实、准确的三维模型。在自动驾驶领域,激光雷达与相机、IMU、GNSS的融合可以实现车辆周围环境的高精度感知和定位。

智能化与自动化:随着人工智能技术的不断发展,激光雷达技术将朝着智能化和自动化的方向发展。例如,利用人工智能算法实现激光雷达数据的自动分类、目标识别和建模,减少人工干预,提高测绘效率和质量。在建筑物测绘中,通过深度学习算法自动识别建筑物的门窗、墙体等特征,实现建筑物的快速建模。

小型化与便携化:为了满足不同场景下的测绘需求,激光雷达设备将朝着小型化和便携化的方向发展。小型化的激光雷达设备可以方便地安装在无人机、机器人等移动平台上,实现快速、灵活的测绘作业。例如,手持式激光雷达扫描仪的体积越来越小,重量越来越轻,操作也越来越简单,适用于室内小场景的测绘。

实时动态测绘:未来,激光雷达技术将实现实时动态测绘,能够在移动过程中实时获取目标物体的三维信息,并实时处理和分析数据。这将为工程测绘带来更高的效率和实时性,满足一些对实时性要求较高的工程项目,如应急救援、交通监测等的需求。在交通监测中,实时动态测绘可以实时获取道路上的车辆和行人的三维信息,为交通流量统计和交通管理提供数据支持。

结语

激光雷达技术作为一种先进的遥感探测手段,在工程测绘领域具有广阔的应用前景。其高精度、高效率、非接触式测量等特点,为工程测绘提供了更为丰富、准确的数据支持,能够满足不同类型工程项目的测绘需求。虽然激光雷达技术在工程测绘应用中面临着数据处理难度大、受环境因素影响等挑战,但通过加强数据处理技术研发、提高环境适应性、推动数据融合与共享等策略,可以有效应对这些挑战。未来,激光雷达技术将朝着多传感器融合、智能化与自动化、小型化与便携化、实时动态测绘等方向发展,为工程测绘行业带来更多的创新和变革,推动工程测绘行业向更高精度、更高效率、更智能化的方向发展。在工程实践中,应充分认识和利用激光雷达技术的优势,积极探索其在工程测绘中的应用方法和模式,为工程建设提供更加优质的测绘服务。

参考文献

- [1]陶儒川.工程测绘中激光雷达测绘技术运用分析[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(06):193-195.
- [2]李钦.建筑工程测绘中的激光雷达测绘技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(06):181-183.
- [3]焦兴隆.激光雷达测绘技术在工程测绘中的应用[J].中国住宅设施,2024,(08):74-76.
- [4]张军伟,闫宏昌.激光雷达测绘技术在工程测绘中的应用研究[J].科学技术创新,2024,(10):12-15.