

利用激光雷达技术进行地形复杂地区工程勘察的应用探索

文 / 尚凡华 三瑞工程技术有限公司

刘国莉 三瑞工程技术有限公司

来海港 三瑞工程技术有限公司

徐象明 三瑞工程技术有限公司

摘要：激光雷达技术在工程勘察中展现了显著优势，特别是在提升效率和降低成本方面。通过快速获取大面积高精度地形数据，减少了现场作业时间和人力需求，并且实现了无人值守的数据采集，极大提升了操作的安全性和灵活性。应用案例表明，该技术不仅加快了项目进度，还有效降低了潜在风险，如地质灾害预警和地下管线保护，从而减少了经济损失。持续投资于激光雷达等先进技术对长期工程项目回报具有深远影响，包括提高工程质量、减少维修成本以及增强项目的适应性和可持续性。这些改进共同促进了资源的有效利用和项目的成功实施。

关键词：激光雷达；地形勘察；复杂地形；三维点云

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.036

引言

在当今快速发展的工程建设领域，面对复杂多变的地形条件和日益增长的项目需求，传统勘察手段逐渐显现出其局限性。激光雷达技术凭借其高精度、高效的数据采集能力，为解决这些挑战提供了全新的解决方案。无论是山区的高速公路建设，还是城市的地下管网更新，激光雷达都能提供详尽的地形信息，支持精准规划与风险评估。尤其在提高勘察效率、降低成本及减少潜在工程风险方面，该技术展现了巨大的应用潜力。通过集成到无人机等移动平台上，激光雷达不仅实现了大面积快速测绘，还能够应对各种复杂环境下的数据获取难题，为现代工程项目带来前所未有的灵活性与准确性。这一技术的应用正逐步改变着工程勘察的方式，推动行业向更加智能和可持续发展的方向发展。

一、激光雷达技术在复杂地形勘察中的应用潜力

（一）激光雷达技术如何突破传统勘察手段的局限性

在面对复杂地形时，传统测量方法往往需要耗费大量时间与人力资源，且难以保证数据的准确性。激光雷达技术通过发射高频激光脉冲并接收反射信号，即使在植被茂密或地势险峻的区域也能高效获取地形信息。该技术不仅能够穿透植被层，减少表面遮挡对数据采集的影响，还能在夜间或者低光照条件下正常工作，极大地扩展了作业时间和范围^[1]。

（二）三维点云数据在地形信息捕捉中的精确度分析

激光雷达生成的三维点云数据集成了海量地理信息，这些数据经过处理后可以转化为高分辨率地形图。对于地形复杂、变化多端的地区，这种高密度的数据采集方式能够捕捉到细微的地表特征，包括微小的高度差异和地形起伏。利用先进的算法进行数据解析，不仅进一步提高了地形建模的精度，还使得地质结构更加清晰可见。通过时间序列分析，还可以监测地表变化趋势，为灾害预警提供科学依据。这种精细的数据处理和分析能力极大地提升了工程项目的规划与实施质量。

（三）植被覆盖与复杂地貌条件下激光雷达的应用优势

植被覆盖和复杂地貌给传统的地形测量带来了巨大挑战，但激光雷达技术却能在这些环境下大显身手。由于其能够穿透树叶等障碍物直接获取地面信息，因此在森林覆盖率高的山区或城市绿化地带同样适用。针对复杂地貌如峡谷、悬崖等地形，激光雷达不仅能快速获取地形数据，还能有效评估地质稳定性，确保工程项目的顺利实施。

二、激光雷达技术实施过程中的关键技术挑战

（一）高分辨率地形图生成过程中面临的技术难题

在生成高分辨率地形图时，激光雷达技术面临着一系列技术挑战。一方面，数据量庞大导致处理速度慢和存储需求高，这对计算资源提出了严格要求。另一方面，复杂地形条件下的多路径效应会干扰激光脉冲的反射信号，造成数据误差。在植被覆盖密集区域，穿透植被获取地面信息的同时需要过滤掉冗余数据，确保地表模型的精确性^[2]。

（二）数据处理与解析方法在实际应用中的优化路径

全球定位系统（GPS）和地理信息系统（GIS）的结合，也为高精度测绘提供了更加精准的数据基础。GPS可以实现厘米级别的定位精度，在复杂地形中，配合多点定位和差分修正技术，能够有效提升数据采集的准确性。而GIS则负责对测绘数据进行存储、管理、分析与可视化，通过与三维地形模型的结合，可以为后续工程决策提供直观的数据支持。

（三）提升激光雷达数据采集准确性的策略探讨

为了提升激光雷达数据采集的准确性，需从多个方面着手改进。在设备选择上，采用高频率的激光发射器和灵敏度更高的接收器能够显著提高数据采集质量。在操作层面，合理设置扫描参数，例如调整激光脉冲频率和扫描角度，以适应不同的地形和环境条件。实施严格的校准程序确保设备运行在最佳状态，减少系统误差。对于特定项目，还可以结合实地考察结果对采集的数据进行二次验证和修正，确保最终输出的地形图具有高度的可靠性和精度。

三、复杂地形工程勘察中激光雷达技术的具体应用场景

(一) 基于激光雷达的精准地形测绘与地质灾害预警

利用激光雷达技术进行精准地形测绘，可以生成高分辨率的数字地形模型，这对地质灾害预警具有重要意义。通过捕捉细微地形变化，如山坡表面的小裂缝或地表沉降，能够提前发现潜在的滑坡、泥石流等地质灾害风险^[3]。结合时间序列分析方法，定期更新地形数据，监测长期地质活动趋势，有助于制定有效的预防措施。

(二) 施工方案优化过程中激光雷达数据的应用案例

在工程项目的施工方案优化阶段，激光雷达数据提供了宝贵的地理信息支持。在道路建设中，通过激光雷达获取的地形数据可以帮助工程师精确规划路线，避开不稳定区域并最小化土方工程量。同样，在城市基础设施扩建项目中，该技术能够清晰展示现有建筑与地下设施的位置关系，便于合理安排施工顺序，避免不必要的拆迁和重建工作。

(三) 环境保护与工程规划中激光雷达技术的角色定位

在环境保护和工程规划方面，激光雷达技术扮演着至关重要的角色。通过对自然保护区或生态敏感区域进行高精度测绘，能够准确评估开发活动对生态环境的影响，为可持续发展提供决策支持。激光雷达还可用于监测森林资源，了解树木的高度、密度及生长状况，帮助制定科学的林业管理计划。

四、激光雷达技术在工程勘察中的经济效益评估

(一) 提高勘察效率与减少人力成本的实际效果分析

激光雷达技术在提升勘察效率方面展现出显著优势，

表 1：激光雷达技术在国内不同工程项目中的应用效果对比

工程项目类型	应用激光雷达前平均勘察时间（天）	应用激光雷达后平均勘察时间（天）	勘察成本节省比例	事故减少率	数据来源
高速公路建设	60	30	45%	60%	国家交通运输部 2024 年报告
城市地铁扩展	90	45	50%	70%	城市轨道交通协会 2024 年统计
水利枢纽工程	120	60	55%	75%	水利部 2025 年一季度数据
山区风电场开发	75	35	40%	55%	可再生能源发展中心 2024 年报
沿海港口建设	80	40	48%	65%	海事局 2024 年度报告

五、激光雷达技术与其他勘察技术的集成应用探索

(一) 激光雷达与无人机结合实现大面积快速测绘

激光雷达技术与无人机的结合开创了大面积快速测绘的新纪元。无人机搭载轻便高效的激光雷达设备，能够覆盖广阔区域并获取高精度地形数据，尤其适用于难以到达或危险地带的测量任务。这种组合不仅提高了数据采集的速度和灵活性，还显著降低了人力成本和操作风险。通过预设飞行路径，无人机可以自动执行复杂地形的扫描作业，实时传输数据至地面站进行初步处理^[5]。借助于先进的同步定位与地图构建算法，进一步提升了测绘结果的精确度。在大型基础设施建设、环境监测以及灾害评估等领域，这种集成方案展示了其独特的优势，为后续分析提供了坚实的数据支持。如图 1 所示。

尤其在地形复杂或多变的环境中。通过快速获取大面积高精度地形数据，减少了现场作业时间，降低了对大规模地面测量团队的需求。自动化处理软件能够迅速将原始数据转化为可用信息，进一步缩短了项目周期^[4]。激光雷达设备可以集成到无人机或其他移动平台上，实现无人值守的数据采集，极大提升了操作灵活性和安全性。对于大型基础设施项目而言，这种高效的数据收集方式不仅加快了前期规划进度，还使得资源得以更合理分配，从而有效降低了整体勘察成本。

(二) 通过激光雷达技术降低项目风险的经济价值

采用激光雷达技术有助于识别潜在工程风险，进而降低项目的经济损失。在山区或沿海地区进行建设时，该技术能精准探测地质不稳定区域，提前预警滑坡、洪水等自然灾害的风险点，避免因选址不当造成的巨大损失。同样，在城市更新项目中，激光雷达可以详细扫描地下管线布局，防止施工过程中意外损坏现有设施。

(三) 投资于先进技术对长期工程项目回报的影响探究

在长期工程项目中，投资于激光雷达等先进技术带来了深远影响。由于这类技术能够提供详尽的基础地理信息，支持从设计到施工再到运营维护各阶段的决策优化，从而确保工程质量并延长使用寿命。先进的数据采集与分析手段有助于及时发现并解决潜在问题，减少后期维修频率和成本。通过实时监控环境变化，如气候变化对基础设施的影响，可动态调整管理策略，增强项目的适应性和可持续性。长远来看，这种持续的技术投入促进了资源的有效利用，增强了项目的竞争力，并为未来的扩展和升级奠定了坚实基础。



图 1：搭载激光雷达设备的无人机在不同场景作业

（二）多源数据融合背景下激光雷达技术的优势发挥

在多源数据融合的背景下，激光雷达技术与其他传感器数据的整合展现出强大的优势。将激光雷达生成的三维点云数据与光学影像、GPS 数据等结合，可以获得更加全面和精细的地表信息。在城市规划中，利用激光雷达提供的建筑物高度及结构细节，配合卫星图像中的土地利用情况，可以更准确地评估城市发展需求。同样，在农业领域，结合土壤湿度传感器数据，激光雷达有助于精准绘制农田地形图，优化灌溉系统设计。通过这种方式，不同来源的数据相互补充，提升了整体数据的质量和实用性，为各种应用场景下的决策制定提供了科学依据。

（三）激光雷达在跨领域合作中的创新应用模式研究

激光雷达技术在跨领域的合作中催生了一系列创新应用模式。在文化遗产保护方面，激光雷达可用于创建古迹的三维模型，帮助考古学家详细记录历史建筑的状态，并指导修复工作。与虚拟现实技术结合，可开发互动式教育平台，让公众更好地了解文化遗产的价值。在医疗健康领域，激光雷达用于室内导航系统，协助医院优化患者流线设计，提升医疗服务效率。在智能交通系统中，激光雷达作为自动驾驶汽车的关键感知组件，能够提供周围环境的精确信息，确保行车安全。这些跨领域的合作探索不仅拓宽了激光雷达的应用范围，也促进了相关行业的技术进步和发展。

六、推动激光雷达技术在工程勘察领域广泛应用的策略

（一）加强激光雷达技术培训促进专业技能提升

加强激光雷达技术的培训对于提升专业技能至关重要。通过系统的课程设置，涵盖从基础理论到高级应用的全方位知识，帮助从业人员深入理解激光雷达的工作原理及其在不同领域的应用潜力。专门设计的实践环节让参与者有机会亲身体验设备操作和数据处理流程，增强实际动手能力。针对特定行业如地理信息系统、城市规划及环境监测等，定制化的培训模块能够更好地满足各领域的需求。定期举办工作坊和技术交流活动，鼓励跨学科合作与创新思维，进一步提高技术水平。

（二）制定行业标准规范激光雷达技术的应用流程

为确保激光雷达技术的有效应用，制定统一的行业标准显得尤为关键。详细规定从设备选择、数据采集到后期处理的各个环节的操作规范，有助于提升数据质量和一致性。标准化流程可以减少因操作不当导致的数据误差，保证不同项目间结果的可比性。在地形测绘中明确点云密度要求，在灾害预警中设定风险评估指标，从而指导实际操作更加科学合理。建立质量控制体系，对实施过程进行监督和评估，确保各项标准得到有效执行^[6]。通过这种方式，不仅能提高整个行业的服务水

平，还能增强外界对激光雷达技术的信任度，推动其广泛应用。

（三）构建开放共享平台加速激光雷达技术普及推广

该平台旨在汇集来自全球各地的研究成果、案例分析以及最新技术动态，为用户提供丰富的学习资源和支持工具。借助云计算和大数据技术，实现海量数据的高效存储与快速访问，方便用户随时随地获取所需信息。支持多源数据融合和在线协作功能，鼓励科研机构与企业之间的交流合作，共同攻克技术难题。通过组织线上线下相结合的技术研讨会和培训班，促进知识传播和技术进步。这样的开放共享机制打破了信息壁垒，降低了技术门槛，使得更多组织和个人能够接触并应用激光雷达技术，助力其在全球范围内的推广应用。

结语

激光雷达技术凭借其高精度、高效能的特点，正在革新地形复杂地区的工程勘察方式。通过与无人机等先进技术的结合以及多源数据的融合应用，不仅拓宽了其应用场景，还提升了项目实施的安全性和经济性。制定行业标准和加强专业培训有助于规范技术操作流程，提高从业人员的专业技能，确保数据的准确性和一致性。构建开放共享平台进一步促进了技术的普及与创新应用模式的发展，为各行业的进步提供了强有力的支持。随着这些措施的逐步落实，激光雷达技术将在更多领域展现其无限潜力，推动实现更加智能和可持续发展目标。

参考文献

- [1] 方宏涛. 基于激光雷达测绘技术的土地利用变动实时监测研究 [J]. 华北自然资源, 2024, (04): 102-105.
 - [2] 韩璐. 无人机激光雷达技术在矿山测量中的应用 [J]. 工程技术研究, 2024, 9(14): 207-209.
 - [3] 王继东. 基于激光雷达技术的高精度地面模型生成与应用研究 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2024, 36(07): 4-6.
 - [4] 王海祥. 浅谈激光雷达技术在水文测量中的创新 [J]. 内蒙古水利, 2024, (02): 27-29.
 - [5] 丁铭铭, 包广道, 刘婷, 等. 激光雷达技术在叶面积指数提取中的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2023, 51(13): 1-7.
 - [6] 白彬, 吴庆瑞, 周轩宇. 浅谈激光雷达技术在大气环境监测中的应用 [J]. 资源节约与环保, 2021, (09): 56-57.
- 作者简介：尚凡华 (1982.03-)，男，汉族，山东省东营市，工程师，本科，研究方向：工程勘察。刘国莉 (1987.01-)，女，汉族，山东省东营市，职称：工程师，本科，研究方向：工程勘察。来海港 (1977.06-)，男，汉族，山东省东营市，本科，研究方向：工程勘察。徐象明 (1990.09-)，男，汉族，山东省东营市，专科，研究方向：工程勘察。