

- [16] 李红杰,赵世海,张新建.连续玄武岩纤维的研究进展及其应用[J].装备制造技术,2016,44(11):256-259.
- [17] 申桂英.世界首条玄武岩纤维2400孔漏板拉丝智能化池窑生产线在广安点火[J].精细与专用化学品,2020,28(07):29.
- [18] 智研咨询.2025-2031年中国玄武岩纤维行业市场调查研究及发展前景展望报告(R979232),[R].智研咨询网(www.chyxx.com),2025.
- [19] 王慧孜.玄武岩纤维增强再生混凝土力学与耐久性研究进展[J].合成纤维,2023,52(11):75-78.
- [20] 李天窄,李益南.玄武岩纤维泡沫混凝土的制备及性能分析[J].塑料科技,2024,52(10):104-107.
- [21] 蒿昭东.PVA-玄武岩混杂纤维增强再生骨料透水混凝土力学性能研究[J].铁道建筑技术,2025,63(02):4-7+25.
- [22] 张庆明.高性能水泥基复合材料在混掺纤维条件下的抗压性能分析[J].交通世界,2024,31(28):36-38.
- [23] 王丽,邵景干,王兆仑,等.RCA高模量玄武岩纤维AC-20C沥青混合料路用性能研究[J].合成材料老化与应用,2024,53(05):32-35.
- [24] 李忠年.玄武岩纤维微表处技术在阿永高速公路养护中的应用[J].石材,2025,43(01):116-118.
- [25] 张文华.沥青路面预养护中玄武岩纤维沥青碎石封层的应用[J].交通世界,2024,31(26):65-67.
- [26] 刘尚志.高速公路沥青路面罩面修补材料抗裂性能试验研究[J].北方建筑,2024,9(06):52-55.
- [27] 宋飞.非煤瓦斯隧道气密性喷射混凝土防突涌施工技术[J].混凝土世界,2024,45(08):64-67.
- [28] 向守川.石油化工用玄武岩纤维高压管的制备技术研究与应用[Z].四川省:四川航天拓达玄武岩纤维开发有限公司,2019-12-13.
- [29] 张友群,杨子昕,郭佳涌,等.隔热材料对三元锂离子电池热失控传播抑制效果的影响[J].新能源进展,2025,13(01):26-31.
- [30] 闫锦锦,司军辉,崔志香.玄武岩纤维/玄武岩颗粒增强高密度聚乙烯复合材料性能[J].工程塑料应用,2024,52(05):65-71.
- [31] 李伟.吸音阻燃型纤维复合材料的制备及其性能研究[D].西安:陕西科技大学,2020.
- [32] 李威,李秀地,芦天翊,等.玄武岩纤维材料抗爆抗冲击性能研究进展[J].塑料工业,2019,47(10):11-14+64.
- [33] 李英建,金子明,李华,等.玄武岩纤维增强乙烯基酯树脂的抗弹性能研究[J].工程塑料应用,2006,34(09):5-7.
- [34] 原韬雄,张腾扬,范昊天,等.玄武岩,变身新纤维开辟新赛道[N].人民日报,2024-08-30(013).
- [35] Anda M,Shamshuddin J,Fauziah C I.Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions[J].Soil and Tillage Research,2013,132:1-11.
- [36] Gillman G P,Burkett D C,Coventry R J.Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock[J].Applied Geochemistry,2002,7(08):987-1001.
- [37] BaraK P,Chen Y,Singer A.Ground basalt and tuff as iron fertilizers for calcareous soils[J].Plant and soil,1983,73:155-158.
- [38] Hartmann J,West A J,Renforth P,et al.Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification [J].Reviews of Geophysics,2013,51(02):113-149.
- [39] Beerling D J,Leake J R,Long S P,et al.Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security [J].Nature Plants,2018,4(3):138-147.
- [40] 唐晓莲,罗艾,杨函,等.关于我国连续玄武岩纤维企业生产过程中几点问题的思考[J].塑料工业,2024,52(10):166.

---

#### 作者简介:

第一作者:牛柏然,1991年生,女,黑龙江哈尔滨人,黑龙江省火山岩科技有限公司,主要研究方向为陶瓷艺术设计。Email:740555667@qq.com;

通讯作者:齐宏运,1996年生,男,内蒙古宁城人,硕士,中国地质调查局哈尔滨自然资源综合调查中心,助理工程师,主要研究方向为生态地质调查、自然资源综合调查。Email:1836961459@qq.com

---

## Comprehensive Application and Development of Basalt and Its Fibers

NIU Boran<sup>1</sup>, QI Hongyun<sup>2,3\*</sup>, JIA Liming<sup>2,3</sup>, MENG Lingyu<sup>2,3</sup>, WANG Decai<sup>2,3</sup>, MIAO Zhifeng<sup>2,3</sup>

(1. Heilongjiang Volcanic Rock Technology Co., Ltd, Harbin 150001, China;

2. Harbin Center for Integrated Natural Resources Survey, China Geological Survey, Harbin 150086, China;

3. Observation and Research Station of Earth Critical Zone in Black Soil, Harbin,  
Ministry of Natural Resources, Harbin 150086, China)

**Abstract:** Basalt is a widely distributed basic igneous rock with characteristics of hardness, wear resistance and corrosion resistance. It has significant application value in many fields, such as construction, road building, and the development of new materials. Basalt fiber, as its product, has become a research hot spot in materials science due to its high tensile strength, thermal stability, and chemical resistance. This paper reviews the formation mechanisms of basalt and the current research and application status of basalt fibers both domestically and internationally. It also analyzes their application advantages and challenges in different fields, including civil engineering, road engineering, energy, national defense and military industry (aerospace), and agriculture. The future development directions are also discussed, emphasizing the importance of technological innovation, application expansion, and sustainable development. The study aims to provide insights for the efficient utilization of basalt resources and further research in related fields.

**Key words:** basalt; fiber; composite materials; comprehensive utilization; application fields

# 激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度评估与误差分析

刘 龙\*

(上海泓源建筑工程科技股份有限公司, 上海 201706)

**摘要:**随着水利工程规模扩大与复杂度提升,高精度地形测绘的作用愈加重要。本文旨在评估激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度,并分析误差。通过实验设计,选用大疆禅思 L2 激光雷达在复杂地形区域采集数据,采用多种方法评估精度。结果显示虽然该技术精度高,但受多种因素影响。结论是优化设备选型等可提升精度,为水利工程提供科学依据,助力激光雷达技术广泛应用。

**关键词:**激光雷达扫描技术;地形测绘;精度评估;误差分析

**中图分类号:**P231 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2736(2025)04-0073-7

## 0 引言

随着水利工程建设规模的不断扩大和复杂性的显著提升,高精度地形测绘数据成为保障工程顺利实施的关键<sup>[1]</sup>。传统的测绘方法在效率和精度上已难以满足现代水利工程的需求。激光雷达扫描技术作为一种新兴的非接触式测量手段,凭借其高精度、高效率、全天候作业等优势,逐渐成为水利工程地形测绘的重要工具<sup>[2]</sup>。然而,其在水利工程复杂环境中的精度表现和误差特性仍需深入研究。本文将通过实验设计与数据分析,系统评估激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度,并对其误差来源进行全面剖析,提出有效的校正方法和误差控制策略,旨在为水利工程的设计、施工和管理提供科学可靠的地形测绘技术支持。

## 1 激光雷达扫描技术原理与特点

### 1.1 激光雷达扫描技术原理

激光雷达扫描技术是一种基于激光测距原理的高精度测量技术。其核心工作原理是发射激光脉冲,使其在遇到目标物体后反射回接收器,通过测量激光脉冲往返的时间(TOF)或相位

差,计算出目标物体与激光发射点之间的距离。同时,激光雷达配备高精度的惯性测量单元(IMU)和全球定位系统(GPS),能够实时获取激光发射点的位置和姿态信息,从而实现对目标物体的空间三维坐标测量。信号处理环节则对反射信号进行滤波、去噪和数据融合等处理,生成高密度、高精度的三维点云数据,为后续的地形测绘和分析提供基础数据支持<sup>[3]</sup>。

### 1.2 技术特点与应用优势

激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中具有显著的优势。首先,其测量精度极高,能够提供毫米级的地形数据,满足水利工程对高精度测绘的需求。其次,激光雷达扫描速度快、效率高,能够在短时间内完成大面积的地形测绘任务,大大缩短了工期<sup>[4]</sup>。此外,激光雷达扫描技术采用非接触式测量方式,无需人员进入危险区域,降低了测量风险,同时避免了对地形的破坏。激光雷达还具备全天候作业能力,能够在夜间、雨雾等恶劣天气条件下正常工作,不受光照和天气条件的限制<sup>[5]</sup>。这些特点使得激光雷达扫描技术在水利工程的地形测绘中展现出巨大的应用潜力,能够为水利工程的设计、施工和管理提供高效、准确的地形数据支持。

## 2 激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度评估

### 2.1 实验设计与数据采集

为了全面评估激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度表现,本研究设计了系统的实验方案。实验区域选择某大型水库周边区域,该区域地形复杂,包含陡坡、山谷、河流和植被覆盖区,能够充分模拟水利工程地形测绘的典型场景<sup>[6]</sup>。

在激光雷达扫描设备选型方面,选择大疆禅思 L2 机载高精度测绘激光雷达。该设备的主要参数如下:测距精度为 2cm 150m;探测距离方面,反射率 50% 且光照强度 0 klx 时可达 450m,反射率 10% 且光照强度 100 klx 时可达 250m。采样点数方面,单回波时最大可达 240000 点/s,多回波时最大可达 1200000 点/s。此外,设备配备高精度的惯性测量单元(IMU)和全球定位系统(GPS),保障了数据的准确性与可靠性<sup>[7]</sup>。

激光雷达数据采集流程如图 1 所示。因研究区地形起伏大且障碍物多,将设备安装在能灵活调整高度与角度的稳定支架上,确保水平固定,完成预热与初始化调试,检查各项参数。随后,依据地形特点设置参数,植被覆盖区降低扫描速度、减小扫描间隔;陡坡区域调整扫描角度范围;平地区域提高扫描速度;河流区域设置反射率阈值。扫描时实时监测设备状态,依地形调整位置角度,实时传输数据并做初步格式转换与存储管理。扫描后用可视化软件检查数据质量,对不合格区域重调参数或补扫,对合格数据进行滤波、去噪等预处理,植被覆盖区用专门滤波算法<sup>[8]</sup>。

验证数据采集方法:在实验区域选多个有代表性的位置,用高精度全站仪或 GPS RTK 设备进行测量,获取精确三维坐标。测量点均匀分布在不同地形,数量依区域大小和地形复杂程度确定,全面覆盖各类地形特征。将这些数据与激光雷达扫描数据对比,评估其精度<sup>[9]</sup>。

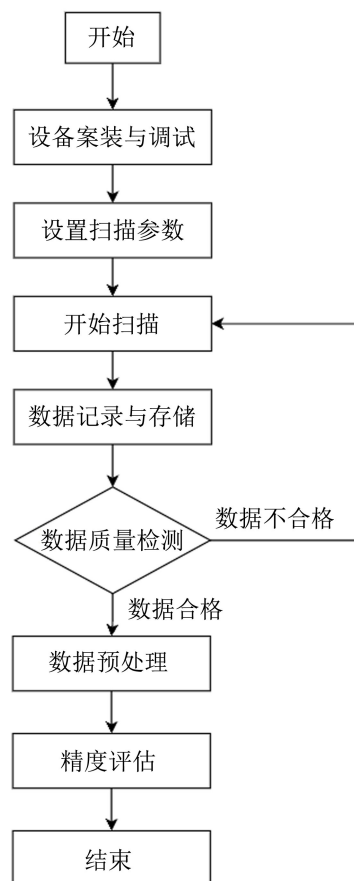


图 1 数据采集流程

### 2.2 精度评估方法

为了全面评估激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度表现,本文采用多种精度评估方法,包括点云密度分析、高程精度评估和平面精度评估等<sup>[10]</sup>。评估过程中,采用专业点云处理软件(Terrasolid)对数据进行精确测量和分析,并将结果与已知控制点数据进行对比,以确保评估结果的可靠性。该区域的三维成像结果如图 2 所示。

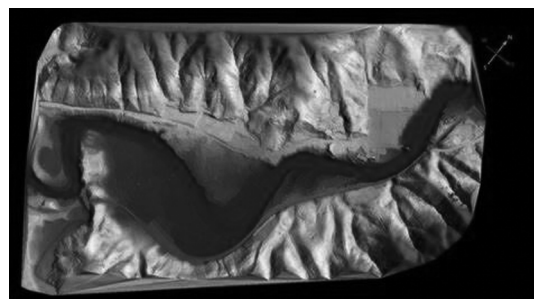


图 2 实验区域三维成像结果

### 2.2.1 点云密度分析

在水利工程地形测绘中,点云密度是衡量激光雷达扫描数据质量的关键指标之一。点云密度越高,意味着对地形细节的捕捉能力越强,数据可靠性也越高。鉴于水利工程地形通常极为复杂,涵盖陡坡、山谷、河流以及植被覆盖区等多样地貌,精准的点云密度分析显得尤为重要。

本次点云密度分析采用专业点云处理软件(Terrasolid)。利用该软件强大的点云数据处理功能,首先对不同地形区域进行精准划分,设定特定的分析范围。随后,通过软件内置算法,统计每个区域内的点云数量,并结合区域面积,精确计算出各区域的点云密度。分析结果如表1所示。

表1 点云密度统计表

地形类型	点云密度 (点/m <sup>2</sup> )	备注
平地	151	数据采集稳定,点云分布均匀,经 Terrasolid 软件分析,无明显噪点和异常分布
陡坡	137	部分区域因地势陡峭,激光入射角变化大,导致点云密度有所下降,经 Terrasolid 软件识别,局部区域点云分布呈离散状
植被覆盖区	104	植被对激光的遮挡作用明显,经 Terrasolid 软件检测,部分区域出现点云空洞,影响地形细节呈现

从表1数据可知,平地区域的点云密度最高,达到151点/m<sup>2</sup>,而植被覆盖区的点云密度相对最低,为104点/m<sup>2</sup>。这清晰地表明,植被是影响激光雷达扫描点云密度的关键因素,在后续数据采集工作中,针对植被覆盖区域需采取特殊的数据采集策略与处理方式。

### 2.2.2 高程精度评估

高程精度是地形测绘中的关键指标,直接影响水利工程的设计和施工。激光雷达扫描技术能够提供高精度的高程数据,但其精度仍需通过

与已知高程点的对比进行验证。高程精度评估如表2所示。

表2 高程精度评估表

测量点 编号	激光雷达高程 (m)	已知高程 (m)	误差 (m)
1	50.362	50.341	+0.021
2	45.713	45.695	+0.018
3	30.215	30.238	-0.023
4	25.565	25.583	-0.018
5	10.324	10.305	+0.019

从表2可以看出,激光雷达扫描的高程精度较高,误差范围均在±0.03m以内,满足水利工程对高程精度的要求。

### 2.2.3 平面精度评估

平面精度评估主要通过对比激光雷达扫描数据与已知地形图的平面位置差异来实现。平面精度直接影响地形测绘的准确性,尤其是在水利工程的施工和管理中。平面精度评估如表3所示。

表3 平面精度评估表

测量点 编号	激光雷达平面 坐标(x,y)	已知平面坐标 (x,y)	误差 (m)
1	(3654235.143, 38456789.372)	(3654235.128, 38456789.385)	0.017
2	(3654100.218, 38456850.529)	(3654100.203, 38456850.546)	0.021
3	(3654050.307, 38456900.642)	(3654050.292, 38456900.658)	0.019
4	(3653980.438, 38456950.721)	(3653980.423, 38456950.738)	0.022
5	(3653900.551, 38457000.823)	(3653900.536, 38457000.842)	0.024

从表3可以看出,激光雷达扫描的平面精度较高,误差范围在0.017m到0.024m之间,能够满足水利工程对平面精度的要求。

通过上述三种精度评估方法,结合实验区域

数据,本文展示了激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的高精度表现。

### 2.3 影响因素分析

激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中应用广泛,但其精度受多种因素影响,具体分析如下:

地形复杂度是关键因素之一。水利工程地形常包含陡坡、山谷、河流等复杂地貌。在陡坡区域,由于地势陡峭,激光雷达在扫描时角度急剧变化,部分区域的扫描距离变长,这使得接收到的反射信号减弱,导致点云密度降低,难以精准捕捉到地形的细微起伏,像坡度转折处的细节容易遗漏,造成数据不均匀分布,局部精度下降明显。例如在某山区水利工程测绘中,陡坡区域因地形复杂,点云密度相较于平坦区域降低了约 20%。山谷区域同样存在类似问题,两侧山体的遮挡与反射干扰,进一步影响了扫描效果。

植被覆盖度也显著影响激光雷达扫描精度。植被会遮挡激光脉冲,导致点云数据稀疏,甚至出现数据空洞。植被的密度和高度影响激光脉冲穿透能力,茂密的森林和高大的树木下,激光难以到达地面,给地形细节测绘带来极大挑战。在某湿地水利工程测绘时,因高植被覆盖,部分区域数据空洞率高达 15%,严重影响了地形分析的精度。

大气条件同样不容忽视。大气中的水汽、灰尘、雾霾等会散射和吸收激光脉冲,导致激光能量衰减,测量误差增大,大气折射还会使激光脉冲传播路径偏移。在雾霾天气下,激光信号衰减严重,测量误差可扩大至正常情况的 2-3 倍。

此外,设备性能、操作人员技术水平和数据处理方法也会影响精度。激光雷达的测距精度、扫描频率和角分辨率等参数关乎数据质量,需定期校准维护设备;操作人员的经验和技能影响数据采集处理准确性,加强培训可减少人为误差;数据处理中的滤波、去噪和融合等操作,采用先进算法和软件工具能提高数据可靠性。

综上所述,激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度受多种因素综合作用。通过合

理调整扫描参数、采用多源数据融合技术、选择合适的采集时间和环境、加强设备校准和人员培训等措施,可有效提升其精度和可靠性,使其更好地服务于水利工程地形测绘工作。

## 3 激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的误差分析与校正

### 3.1 误差来源分析

激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的误差来源主要包括激光发射与接收、环境因素影响、数据处理三个方面。

#### 3.1.1 激光发射与接收误差

激光雷达测距精度影响地形测绘精度。激光发射与接收过程受多种因素干扰,如激光发射器功率波动、探测器灵敏度变化以及激光脉冲散射和吸收等,都会导致测距误差。在本次实验中,部分区域的点云密度差异就与激光接收信号强弱有关,像陡坡区域因扫描角度急剧变化,反射信号减弱,导致点云密度降低,从平地区域的 151 点/m<sup>2</sup> 降至 137 点/m<sup>2</sup>,影响测量精度。此外,扫描距离变化也会产生影响,长距离扫描时,激光雷达系统的死区时间和光子计数系统误差会造成数据堆栈现象,影响测量精度。

#### 3.1.2 环境因素影响误差

环境因素对激光雷达扫描精度的影响显著。大气中的水汽、灰尘和雾霾等会散射和吸收激光脉冲,导致激光能量衰减,测量误差增大。多项研究表明,在特定的环境条件及测量精度要求下,当大气压变化 100Pa 时,GPS 测量的高程误差通常会在 2cm 至 5cm 之间波动<sup>[11]</sup>。此外,植被覆盖也会对激光雷达扫描产生较大影响。植被会遮挡激光脉冲,导致点云数据稀疏,甚至出现数据空洞。例如,在植被覆盖区,激光雷达的点云密度可能会降低到 104 点/m<sup>2</sup>,显著低于平地区域的 151 点/m<sup>2</sup>,低于平地区域,还出现点云空洞,严重影响地形细节测绘。

#### 3.1.3 数据处理误差

数据处理过程中的误差主要包括滤波、去噪和数据融合等环节。在滤波过程中,如果算法选

择不当,可能会导致地形细节的丢失或误判。例如,在处理复杂地形数据时,简单的滤波算法可能会将陡坡或山谷的地形特征误判为噪声而去除。此外,数据融合过程中,不同数据源之间的匹配误差也会影响最终的测绘精度。例如,当将激光雷达数据与无人机测绘数据融合时,如果融合算法不准确,可能会导致误差累积。

### 3.2 误差校正方法

针对激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的误差来源,本文提出点云纠正法、深度补偿法、颜色校正法三种校正方法。

#### 3.2.1 点云纠正法

点云纠正法在水利工程地形测绘中具有重要意义,它能够有效解决因设备位姿误差而引发的点云偏差问题。在实际的水利工程地形测绘过程中,车载激光雷达受复杂地形影响,部分区域存在建筑物和植被遮挡,进而导致位姿信息不准确,直接影响点云数据的精度。为了解决这一问题,通常采用布设控制点并结合误差时变插值模型的方法。合理布设控制点,可以为点云数据提供精确的参考位置信息,而误差时变插值模型则能够根据时间变化对位姿误差进行精确估计和插值,从而有效修正位姿误差,显著提升点云数据的准确性。

#### 3.2.2 深度补偿法

深度补偿法在水利工程地形测绘中具有重要作用,它能够有效解决激光雷达在长距离扫描时出现的测距误差问题。在实际的水利工程地形测绘过程中,激光雷达的扫描距离较长时,激光能量衰减和测量误差会显著增加。这主要是因为随着距离的增加,激光束的发散会导致能量分布不均,同时大气湍流、背景光干扰等因素也会对激光信号产生影响,进而造成测距误差。为了减少这些误差,通常采用建立测距误差模型的方法,对不同距离的测量数据进行补偿。例如,针对长距离扫描时的死区时间和光子计数误差,可以通过调整扫描参数和采用先进的信号处理算法进行校正。具体来说,可以通过增加激光脉冲能量、优化扫描频率以及运用自适应滤波等算

法来提高测距精度。

#### 3.2.3 颜色校正法

颜色校正法在水利工程地形测绘中具有关键作用,它主要用于解决数据融合过程中出现的误差问题。在实际的水利工程地形测绘过程中,激光雷达扫描数据通常需要与其他数据源(如无人机测绘数据、光学影像等)进行融合。由于不同数据源获取数据的方式和传感器特性存在差异,导致各数据源之间的色彩信息不一致,直接影响融合数据的质量和精度。通过颜色校正法对不同数据源的色彩信息进行校正和融合,可以确保数据的一致性和准确性。例如,在机载激光实景三维重构中,利用双目相机获取的视频信息对激光雷达的位姿进行矫正,并通过共线方程获得色彩信息,实现信息融合生成三维真彩点云。具体来说,颜色校正法通过建立色彩转换模型,将不同数据源的色彩空间进行对齐和调整,从而消除色彩偏差,提高融合数据的视觉效果和测量精度。

### 3.3 误差控制策略

在水利工程地形测绘中应用激光雷达扫描技术时,采取综合误差控制策略对提高测量精度和效率同样很重要。

#### 3.3.1 设备选型与参数优化

在水利工程地形测绘的设备选型与参数优化阶段,应优先选择高精度、高稳定性的激光雷达设备,并根据地形复杂程度和植被覆盖状况灵活调整扫描参数。例如,在陡坡区域适当调整扫描角度和分辨率,以确保全面覆盖目标区域。同时,定期对设备进行校准,确保其在不同环境条件下保持最佳性能。此外,还需考虑设备的适应性和兼容性,以满足水利工程地形测绘的多样化需求。

#### 3.3.2 环境因素控制

在水利工程地形测绘中,环境因素控制同样很重要。应合理规划作业时间,避开暴雨、沙尘等恶劣天气,以减少大气散射和吸收对激光脉冲传播的干扰。在植被茂密的区域,可通过增加扫描次数或采用多源数据融合技术,弥补因植被遮

挡导致的数据缺失。此外,还需注意温度、湿度、风速等气象条件对设备性能的影响,选择合适的测量时段和环境条件,确保测量数据的准确性和可靠性。

### 3.3.3 数据处理优化

在水利工程地形测绘中,数据处理优化至关重要。采用先进的滤波算法(如高斯滤波、中值滤波等)去除噪声干扰,并利用去噪算法剔除异常点。在融合多源数据时,运用稳健的融合算法,防止地形细节丢失和误判。此外,通过在测绘区域布设高精度控制点,结合点云纠正法和深度补偿法对测量数据进行精细校正,进一步提升数据精度。这种方法不仅提高了数据的准确性,还为水利工程的规划设计和施工提供了可靠的数据支持。

## 4 结论

本文通过对激光雷达扫描技术在水利工程地形测绘中的精度评估与误差分析,验证了其在复杂地形条件下的可靠性和有效性。研究表明,激光雷达技术能够提供高精度的地形测绘数据,但在实际应用中仍受多种因素影响。通过优化设备选型、控制数据采集环境以及采用有效的误差校正方法,可显著提升测量精度和效率。本文的研究成果为水利工程的设计、施工和管理提供了科学依据,也为激光雷达技术在水利工程领域的广泛应用奠定了坚实基础。

### 参考文献(References):

- [1] 邓绍波. 地形图测绘中无人机航空摄影测量技术的应用[J]. 科技资讯, 2024, 22(21): 24 - 26.
- [2] 赵钧儒, 孙亚娟, 郑新鹏. 多源遥感数据融合技术在海洋地形测绘中的应用研究[J]. 黑龙江国土资源, 2025, 23(01): 54 - 60.

源, 2025, 23(01): 54 - 60.

- [3] 苏秀永, 柴路嘉, 谭龙, 等. 基于数据融合技术的无人机航测成图模式探索[J]. 工程勘察, 2024, 52(08): 66 - 70.
- [4] 杨孟康. 激光雷达数据处理技术的创新与优化[J]. 大众标准化, 2024, 42(13): 159 - 161.
- [5] 毛红涛. 激光雷达测绘技术在矿山地形测量中的精度探究[J]. 世界有色金属, 2024, 38(10): 199 - 201.
- [6] 李璐. 综合利用多源数据优势开展山区带状复杂地形测绘探究[J]. 大众标准化, 2024, 42(05): 163 - 165.
- [7] 唐学哲, 刘昌军, 胡小青, 等. 基于无人机载激光雷达数据的建筑物自动提取算法[J]. 中国防汛抗旱, 2015, 25(05): 67 - 71 + 96.
- [8] 周吕, 李青逊, 权菲, 等. 基于无人机倾斜摄影测量三维建模及精度评价[J]. 水力发电, 2020, 46(04): 41 - 45 + 50.
- [9] 林鑫, 庞勇, 李春干. 无人机密集匹配点云与机载激光雷达点云的差异分析[J]. 林业资源管理, 2020, 48(03): 58 - 62.
- [10] 朱卓人, 张伟, 李飞, 等. 数字航空影像与机载点云的配准参数优化及对应数据集构建[J]. 测绘地理信息, 2021, 46(S1): 242 - 247.
- [11] 詹总谦, 胡孟琦, 满益云. 多尺度区域生长点云滤波地表拟合法[J]. 测绘学报, 2020, 49(06): 757 - 766.

### 作者简介:

第一作者/通讯作者:刘龙,1981年生,男,黑龙江佳木斯人,上海泓源建筑工程科技股份有限公司,工程师,主要研究方向为地理信息系统。Email:3508708810@qq.com

## Accuracy Evaluation and Error Analysis of Lidar Scanning Technology in Topographic Surveying of Water Conservancy Engineering

LIU Long\*

(Shanghai Hongyuan Construction Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai 201706, China)

**Abstract:** With the expansion of scale and complexity of hydraulic engineering, high – precision terrain mapping is very important. The purpose of this paper is to evaluate the accuracy of LiDAR scanning technology in terrain mapping of hydraulic engineering with error analysis. Through the experimental design, DJI Zenmuse L2 LiDAR is selected to collect data in the complex terrain area, and various methods are used to evaluate the accuracy. The results show that the technique has high precision, but it is affected by many factors. It's concluded that optimizing equipment selection and other measures can improve accuracy, providing a scientific basis for water conservancy projects and facilitating the wide application of LiDAR technology.

**Key words:** laser radar scanning technology; topographic surveying; accuracy evaluation; error analysis