

三维激光扫描技术在矿山地形测量中的应用

艾先桥

国能榆林能源有限责任公司青龙寺煤矿分公司 陕西 榆林 719000

摘要: 三维激光扫描技术通过脉冲与相位测距法等实现高精度三维测量。矿山地形复杂,对高精度三维建模、实时监测数据及标准化数据格式集成需求迫切,传统测量技术存在效率低、精度受限、安全风险大等局限。该技术在地形数据采集、建模与可视化、动态监测与变形分析方面优势显著。但矿山复杂环境影响数据精度,采集处理过程存在站点布设不合理等问题,可通过优化站点布设、动态调整参数、完善预处理流程等措施提升测量精度。

关键词: 三维激光扫描技术; 矿山测量; 地形建模与可视化

引言: 矿山地形测量对矿山工程的安全推进至关重要,传统测量技术受限于单点测量模式、信号遮挡、测量精度不足以及井下作业安全风险等问题,难以满足复杂地形快速、精准测量的需求。三维激光扫描技术凭借脉冲测距、相位测距等方法,结合高速扫描与角度测量,可高效采集海量点云数据,实现高精度三维建模与动态监测。本文将深入探讨该技术在矿山地形测量中的应用,分析其面临的问题并提出优化措施。

1 三维激光扫描技术原理与设备类型

1.1 技术原理

脉冲测距法核心是利用光速的固定性,通过测量激光脉冲从发射到反射接收装置的飞行时间,进而计算出测量点与设备之间的距离。该方法测量范围较广,对环境光线的适应性较强,但测量精度相对有限。相位测距法则是通过发射连续调制的激光信号,检测发射信号与反射信号之间的相位差,结合激光调制频率推导距离,其测量精度更高,不过测量范围相对较窄,受环境干扰更为明显。内置陀螺仪和加速度计等传感器是实现角度测量的关键,陀螺仪可实时感知设备的姿态变化,精准捕捉水平方向的角度偏移,加速度计则能检测设备在垂直方向的倾斜程度,获取垂直角数据。这些角度数据与激光测量的距离数据相互结合,通过坐标转换算法,可快速构建出被测物体的三维坐标系,为后续点云数据处理奠定基础。高速扫描过程中,设备通过激光发射器快速、连续地发射激光脉冲,配合角度传感器的实时角度采集,实现对被测区域的全方位扫描,从而采集到海量三维坐标点。这些点云数据包含丰富信息,其中几何形状信息反映被测物体的轮廓特征,位置信息精准定位各点在三维坐标系中的具体方位,纹理信息则记录被测物体表面的材质纹理细节,为三维建模提供全面数据支撑。

1.2 设备类型与选型依据

手持式三维激光扫描设备具有较强的便携性,体积小且操作灵活,无需复杂的安装调试过程,适合在狭小空间内开展扫描工作,能够轻松到达大型设备无法触及的区域,但其测量范围相对较小,测量效率也较低。机载式设备搭载于空中平台,可实现大范围区域的快速扫描,覆盖面积广且测量效率极高,能够快速获取大面积地形或建筑的三维数据,但其受天气条件影响较大,设备成本也相对较高。车载式设备安装在移动载体上,具备较强的动态测量能力,可在移动过程中完成扫描作业,适用于长距离、大范围的动态测量场景,测量效率介于手持式和机载式之间^[1]。脉冲式三维激光扫描设备的核心优势在于长距离测量,能够在较远的距离上保持较好的测量稳定性,适合大范围、长距离的扫描任务,但其短距离测量精度不如其他类型设备。相位式设备主打高精度短距离测量,在近距离场景下可提供极高的测量精度,适合对精度要求较高的精细扫描任务,但其测量范围有限,且易受环境因素干扰。三角测距式设备则专注于近距离高分辨率测量,能够捕捉到被测物体的细微细节,分辨率极高,适合精细建模等场景,但其测量距离极短,适用场景较为局限。

2 矿山地形测量的核心需求与技术挑战

2.1 测量需求分析

矿山地形存在多种复杂地貌,这些地貌形态不规则且地势起伏剧烈,地表平整度差,常规测量手段受自身技术限制,难以精准捕捉其真实轮廓与细微细节特征,因此高精度三维建模至关重要。高精度三维建模能够为矿山各项工程开展提供精准、全面且完整的地形基础数据,有效支撑后续地质分析、风险评估与工程规划等工作,同时可清晰还原复杂地貌的空间形态,消除测量盲区带来的误差,为矿山工程安全、高效、有序推进提供坚实可靠的数据保障。矿山开采活动持续进行,会不断

改变原有地形地貌, 各类地形变化若不能及时捕捉和监测, 极易引发安全事故, 因此矿山对实时监测数据有着极为迫切的需求。实时监测数据需具备较高的时效性与准确性, 能够快速捕捉地形变化的细微差异, 精准实现对各类地形变化的动态追踪与提前预警, 及时发现潜在安全隐患, 为工程方案调整与隐患处置提供精准数据支撑, 切实保障开采作业安全稳定, 避免安全事故造成的各类损失^[2]。矿山工程开展中, 地形数据并非孤立存在, 需与地质模型、开采规划系统实现有效集成, 才能充分发挥数据应用价值, 为开采方案制定、工程施工管控、进度推进等工作提供全面有力支撑。标准化数据格式是实现这种高效集成的关键前提, 可有效避免不同系统间数据不兼容导致的效率低下与数据误差, 规范数据采集、存储、传输与应用全流程, 确保数据统一性与通用性, 推动矿山工程向数字化、智能化方向稳步发展。

2.2 传统测量技术局限性

传统测量技术中, 全站仪普遍采用单点测量模式, 每次仅能完成单个点位的数据采集, 操作流程繁琐且耗时较长。矿山地形复杂多样且测量范围广阔, 这种单点测量模式需要投入大量人力、物力与时间成本, 测量效率极为低下, 难以适配矿山工程高效推进的实际需求。三维激光扫描采用面测量模式, 可同时采集海量点位数据, 大幅提升测量效率与数据完整性, 两者对比之下, 传统单点测量模式的耗时短板尤为突出, 无法满足复杂地形快速测量的实际需求。传统测量技术常依赖相关信号实现定位与测量, 矿山地形复杂, 高大山体、茂密植被等会对信号造成遮挡, 同时地形自身的遮挡也会影响测量视线, 导致测量信号不稳定, 进而大幅降低测量精度。高陡边坡地形特殊, 测量难度大且对精度要求极高, 传统测量技术受自身精度限制, 无法精准捕捉边坡的细微变形, 难以满足高陡边坡的监测需求, 无法及时发现潜在安全隐患, 难以保障相关区域的作业安全。井下测量环境极为特殊, 传统测量方法需要作业人员近距离操作才能完成数据采集工作。井下空间狭窄、地质条件不稳定, 易发生坍塌事故, 同时井下可能存在有毒气体等危险因素, 人员近距离作业会面临极大安全风险, 不仅直接威胁作业人员的人身安全, 还可能因人员紧急避险导致测量工作中断, 进而影响测量进度与数据的完整性, 无法保障测量工作的顺利推进。

3 三维激光扫描技术的矿山地形测量应用

3.1 地形数据采集流程

地形数据采集需遵循矿山独立坐标系的扫描站点布设原则, 合理控制站点间距, 确保相邻站点采集的数据

能够有效衔接, 同时严格把控重叠率, 保障后续点云配准的精度, 针对矿山复杂地形制定科学的盲区规避策略, 通过优化站点位置、增加扫描角度等方式, 减少地形遮挡带来的测量盲区, 确保采集的数据覆盖完整、无遗漏。站点布设需结合矿山地形起伏与地貌特征, 兼顾采集效率与数据质量, 为后续数据处理和建模工作奠定坚实基础。激光雷达、相机、陀螺仪的联合校准是保障数据精度的关键流程, 需先对各设备进行单独校准, 消除设备自身误差, 再通过统一的校准标准实现三者的协同校准, 确保各设备采集的数据同步一致。测距范围、点频、分辨率等参数直接影响数据质量, 测距范围需适配矿山测量需求, 点频决定数据采集效率与细节丰富度, 分辨率则影响地形特征的捕捉精度, 合理设置各项参数, 可在保证数据质量的同时, 提升采集效率, 避免无效数据冗余^[3]。点云配准技术依托特征点匹配与相关算法实现, 通过识别不同站点采集点云中的共性特征点, 结合算法完成点云的精准拼接, 消除不同站点间的坐标偏差。控制点布设对全局坐标统一起到重要支撑作用, 合理布设控制点可实现各扫描站点坐标的统一校准, 确保整个矿山地形测量数据处于同一坐标系下, 提升数据的整体性与准确性, 为后续地形建模、动态监测等工作提供统一的坐标基准。

3.2 地形建模与可视化

点云数据预处理包含去噪、滤波、精简等关键步骤, 去噪主要去除采集过程中因环境干扰、设备误差产生的无效数据, 滤波可消除数据中的冗余信息与异常值, 精简则在保留核心地形特征的前提下, 减少数据量。这些预处理步骤能够有效平衡模型精度与计算效率, 既避免无效数据影响模型精度, 又减少数据量过大导致的计算压力, 确保地形建模高效、精准, 为后续可视化呈现提供高质量的数据支撑。表面重建是地形建模的核心环节, 常用方法包括三角网重建、移动最小二乘法等。三角网重建能够快速构建地形表面轮廓, 适配矿山复杂多变的地形特征, 可有效还原陡崖、沟壑等复杂地貌的形态, 且计算效率较高。移动最小二乘法则注重地形表面的平滑性, 能够弱化局部数据误差的影响, 适合对地形表面精度要求较高的场景, 结合矿山地形特点选择适配的重建方法, 可提升地形模型的真实性和适用性。数字高程模型与数字正射影像图的生成依托预处理后的点云数据, 数字高程模型通过提取点云的高程信息, 构建能够反映地形起伏的三维模型, 数字正射影像图则结合影像数据与高程信息, 生成平面化的地形影像。

3.3 动态监测与变形分析

动态监测依托基于时间序列的点云叠加分析方法,通过采集不同时间段的矿山地形点云数据,进行叠加对比,精准量化地形变化的幅度与速率,捕捉地形细微变形,实现对矿山地形变化的动态追踪。这种分析方法能够及时发现边坡位移、采空区沉降等潜在变形隐患,为后续预警与处置提供精准的数据支撑,保障矿山开采作业的安全稳定推进。结合矿山地形特点与工程安全要求,明确边坡位移、采空区沉降等关键变形指标的阈值,根据变形程度划分不同预警等级,构建科学的分级预警体系^[4]。当监测到的变形数据达到对应阈值时,及时发出预警信号,提醒相关人员采取应对措施,分级预警体系能够实现隐患的精准管控,避免因变形加剧引发安全事故,为矿山安全管理提供可靠保障。地形变形与岩体稳定性密切相关,结合地质构造数据,建立两者的关联模型,通过分析地形变形特征,推断岩体稳定性状况,判断变形发展趋势。该关联模型能够为支护措施决策提供科学依据,根据岩体稳定性等级与变形情况,制定适配的支护方案,优化支护策略,提升矿山边坡、采空区等区域的稳定性,降低安全风险,保障矿山工程长期稳定开展。

4 三维激光扫描技术应用中的问题与优化措施

4.1 矿山复杂环境对扫描数据精度的影响

矿山地形地貌复杂且环境多变,对三维激光扫描数据精度产生显著影响。矿山内部光线条件不稳定,明暗交替明显,会干扰激光信号的发射与接收,导致数据采集出现偏差。矿山区域常存在粉尘、水汽等干扰因素,这些物质会削弱激光传播强度,影响信号反射效果,降低数据采集的准确性。矿山地形起伏剧烈,部分区域坡度较大,会导致扫描角度不合理,出现测量盲区,进而影响数据的完整性与精度,无法精准反映矿山地形的真实特征,给后续建模与监测工作带来不利影响。

4.2 数据采集与处理过程中的常见问题

数据采集过程中,常出现站点布设不合理的问题,导致相邻站点数据重叠率不足或过高,重叠率不足会影响点云配准精度,过高则会增加数据冗余,降低采集效率。扫描参数设置不当,会导致数据分辨率与点频不匹配,要么无法捕捉地形细微特征,要么产生大量无效数

据。数据处理阶段,预处理流程不规范,去噪、滤波不彻底,会导致无效数据残留,影响模型构建精度。点云配准过程中,特征点识别不准确,会出现配准偏差,导致全局坐标不统一,影响后续地形分析与动态监测的准确性。

4.3 提升矿山地形测量精度的技术优化方法

针对矿山复杂环境与数据处理中的问题,可通过多种技术优化方法提升测量精度。在数据采集前,优化站点布设方案,结合矿山地形特征合理控制站点间距与重叠率,规避测量盲区。根据环境条件动态调整扫描参数,适配光线、粉尘等环境因素,减少信号干扰。数据处理阶段,完善预处理流程,采用高效的去噪、滤波算法,彻底清除无效数据,保留核心地形特征。优化点云配准技术,提升特征点识别的准确性,结合控制点校准,实现全局坐标统一,进一步提升地形测量与建模的精度,满足矿山工程的实际需求^[5]。

结束语:三维激光扫描技术凭借其独特优势,在矿山地形测量中发挥着关键作用,从数据采集、建模可视化到动态监测,为矿山工程提供了有力支撑。然而,矿山复杂环境及数据处理过程存在诸多问题,影响测量精度。通过优化站点布设、动态调整扫描参数、完善预处理流程、提升点云配准技术等优化方法,可有效提升测量精度。未来,随着技术不断进步,三维激光扫描技术将在矿山领域发挥更大价值。

参考文献:

- [1]彭科翔.基于三维激光扫描的矿山复杂地形测量与数据建模应用研究[J].世界有色金属,2025(12):177-179.
- [2]钟玉娟.三维激光扫描技术在矿山测量中的应用分析[J].世界有色金属,2025(11):199-201.
- [3]黄荣飞.三维激光扫描技术在煤矿矿山测量中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2025(13):133-135.
- [4]梁乔.三维激光扫描技术在矿山测量中的应用研究[J].世界有色金属,2024(23):136-138.
- [5]冯国飞.地形测量中三维激光扫描技术的应用[J].科技资讯,2023,21(10):92-95.