

倾斜摄影融合 GNSS 技术在高边坡监测中的应用

孙朝印 张晓强 郑山山 吴 爽

(测绘信息工程院)

[摘要] 随着信息化技术的发展,高边坡监测方法与日俱进,搭载 RTK 的无人机倾斜摄影实景三维建模技术以其独特的优势在公路、铁路、水利、测绘等行业中得到了广泛的应用。本文介绍了倾斜摄影三维实景建模技术的实施和 GNSS 技术的应用,将时间离散空间连续模型成果和时间连续空间离散的 GNSS 成果相融合,基于融合成果进行高边坡变形分析研究,指出倾斜摄影融合 GNSS 技术具有快速高效、纹理丰富、精度可靠等优点,可有效应用于高边坡监测。

[关键词] 无人机 倾斜摄影 GNSS 高边坡监测 实景三维建模

1 引言

1.1 高边坡监测的意义

边坡稳定性问题涉及到高铁、高速公路、水利水电等各个建筑领域,尤其是高速公路建设中,通过监测分析边坡稳定性,避免工程事故发生,减少工程损失显得尤为重要。作为高速公路高边坡治理中的重要手段,监测系统旨在确保高速公路的施工安全与质量过硬的基础上,监测高速公路边坡治理项目工程中的薄弱环节与敏感地带。边坡的失稳踏滑作为全球性地质灾害的一部分,给道路交通与人们的生活带来了极大的不便,轻则财产损失、重则人员伤亡,危害性极大。确认工程安全条件与监测目的后,根据边坡稳定性评估、安全预警及信息化设计的需要,再考虑地形地貌及地质条件,筛选合适的监测设备与监测点,将测点布置成可控制工程安全性的系统,以此来监控高边坡在开挖治理坡体的稳定性状况。

1.2 信息化监测的必要性

本研究区位于云南省强降雨、泥石流、地震等灾害高发区域,这都是诱发路堑高边坡的失稳的主要因素。边坡失稳的发展过程,往往伴随着一系列边坡地表、地下的宏观微观变形变化现象,包括边坡地表的位移、地面裂缝的出现和发展、地下滑动面的形成等。高速公路施工期,路堑高边坡的失稳垮塌会

对作业人员和高速公路的建设造成严重影响;但受限于施工期复杂的监测环境,采用传统方法对高边坡进行监测无论是便利性还是时效性都大大降低。因此,先建立信息化监测系统及时获取施工干扰、环境变化、地质灾害等对稳定性的影响,并保证施工安全,这是十分重要且必不可少的工作。高峻的山岭中,复杂的地形条件制约了工程设计及施工人员的深入,正常的测绘工作难以开展。受地形、地貌影响,传统测量方法(全站仪测量、水准测量)在高边坡外业测量局限性很大。段建肖等^[1]将无人机航拍与三维实景建模整合技术应用到高陡边坡、危岩体等工程地质勘察及高边坡开挖施工地质编录中,提出无人机航拍与三维实景建模整合技术是解决常规工程地质测绘人员难以抵达的难题的重要方法之一,同时也为快速准确高效的三维地质建模提供了依据。赵宇等^[2]成功将无人机倾斜摄影技术应用 G3 京台高速某处边坡局部滑坡测量项目,通过三维实景模型实现工点高边坡处置设计,有效地治理了边坡滑塌病害,保证了既有高速公路的安全营运。

本文以云南都香高速公路某高边坡为例,将无人机倾斜摄影技术和 GNSS 技术同时应用于高边坡监测工作中,通过三维逆向建模方法获得该高边坡三维实景模型,并用传统外业测量方法实测验证模型点位精度,依据三维实景模型量测边坡几何尺寸,

作者简介:孙朝印(1975—),男,河南省泌阳人,工程师,硕士,从事测绘地理信息工作。

对比分析多期模型上点位变形和模型几何变化,有效地对该高边坡进行了“全面体检”。指出无人机倾斜摄影融合 GNSS 技术具有成本低、效率高、易操作、高精度等优势,研究分析了监测关键技术的实施方案、相关的数据处理、实测验证及预警工作。认为该技术可应用于公路路堑高边坡地表信息化监测系统建设。

2 倾斜摄影实景三维建模技术

2.1 倾斜摄影技术概述

倾斜摄影技术是国际测绘遥感领域近年发展起来的一项高新技术,通过在在同一飞行平台上搭载多台传感器,同时从一个垂直、四个倾斜五个不同角度采集影像,并通过先进的空三计算、定位、融合等技术快速构建精细化三维实景模型,高精度地获取地面物方纹理信息,将用户引入符合人眼视觉的真实直观的世界。倾斜摄影测量技术以其大范围、高精度、高清晰度的方式全面感知复杂场景,系统具备高性能的协同并行处理能力,倾斜摄影三维数据可为交通、水利、规划、国土、测绘等多种行业提供二三维一体化的数据来源,并能为用户提供实用、高效、先进的可行性三维建模行业应用整体解决方案。

2.2 无人机倾斜摄影技术的优势

1) 无人机倾斜摄影技术不仅可以精确地反映地形表面的状况,还可以通过先进的定位、整合、建模等技术构建出实景的三维模型。倾斜摄影测量技术主要特点:

(1) 快速灵活,无人机可以在各种地形环境中灵活起降,也可以由辅助设备发射响应迅速,起降灵活^[3]。

(2) 真实反映地物纹理细节,能够真实地反映地物地貌的高度、外观、颜色、位置等属性。

(3) 具有丰富的可量测性,可直接在模型上准确获取地物的高度、长度、坡度、面积、体积和点位坐标等信息,具有详细的空间位置信息。

(4) 成果丰富,通过数据加工可以输出 DSM、DOM、DLG、实景三维模型等数据成果,使倾斜摄影测量技术广泛应用于多个领域。

(5) 精细化模型成果格式丰富(*.osgb, *.obj, *.fbx, *.stl等),便于压缩,易于发布,能与主流三维模型有效融合。

2) 倾斜摄影三维实景建模技术在时效性、现势性、三维性、作业效率、成本、分辨率和精度等方面都有着明显优势。

(1) 时效性强、现势性高,因其受环境条件和地形条件影响较小,数据获取的时效性大大增强。提供的地理空间信息可反映摄影当前最新的情况,成果具备高现势性。

(2) 真三维性,倾斜摄影数据的多角度、全方位、真三维的影像数据,能够更加逼真的反映地物的实际情况及属性^[4]。

(3) 高效率,倾斜摄影测量技术可借助无人机等多种飞行载体快速采集地面的影像数据。高度自动化的三维实景建模技术可借助高配的计算机集群对大量倾斜摄影数据进行分布式空三计算,同时大规模提取影像纹理信息进行高精度逆向建模,能明显提高作业效率。

(4) 低成本、低风险,近年来无人机成本大大降低,易于操作,可以快速采集数据,降低倾斜摄影的成本。

(5) 高分辨率、高精度,无人机因受自身重量、动力、空域等限制,通常在更接近地面的低空作业,可以采集到高分辨率的多角度影像数据。目前无人机拍摄的影像分辨率可以达到 0.01 m,精度可以满足航测 1:500 大比例尺地形图相关规范要求,可以生成大比例尺的 DOM、DLG 和高精度的实景三维模型^[5]。

3 倾斜摄影技术应用

3.1 研究区概况

研究区域地形地貌比较复杂,主要以丘陵、高山区等为主,该高边坡挖方最大高度为 62 m。山坡自然坡度为 18 至 43 度,山上植被以草为主,山下为丘陵间沟谷,沟谷呈“一”字线型,坡体走向与线位近平行。地层覆盖有亚粘土、强风化砂岩、弱风化砂岩等。原设计边坡防护主要采用锚杆格子梁、TBS 植草。

3.2 边坡监测的目的

通过边坡工程的监测工作,可以达到以下目的:

(1) 评价边坡施工及其使用过程中边坡的稳定程度,并做出有关预报,为业主、施工方及监理提供预报数据,跟踪和控制施工进度。

(2) 为防治滑坡及可能的滑动和蠕变变形提供技术依据,预测和预报今后边坡的位移、变形的发展趋势。

(3) 对已经发生滑动破坏和加固处理后的滑坡,监测结果也是检验崩塌、滑坡分析评价及滑坡处理工程效果的尺度,为进行有关位移分析及边坡维

护供参考。

3.3 边坡监测的技术路线

在 2019 年度,本研究区倾斜摄影任务分三期执行,第一期于 4 月 20 日执行,第二期于 7 月 20 日执行,第三期于 2019 年 10 月 20 日执行。倾斜摄影作业先实地踏勘测区,选取适宜起降场地进行无人机航空摄影,并布设测量像控(地标)点和检查点。航摄和像控作业完成后,进行空三加密、三维实景建模、模型修饰、数据分析等工作,作业技术流程如图 1。

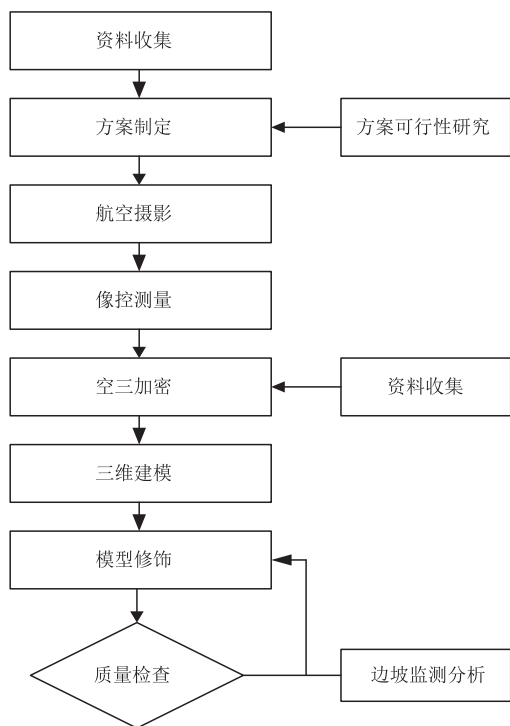


图 1 作业技术流程图

3.4 倾斜摄影外业实施

(1)设备选择与航线设计,考虑到作业区域实际情况,采用搭载 D-OP300 五镜头倾斜摄影测量模块的飞马智能航测系统 D200 进行无人机倾斜摄影外业作业。为了获取测区地面高分辨率影像,满足三维建模对地物各个立面都要有足够重叠度的要求,设计飞“S”型航线,整个测区地面平均分辨率设计为 2.0 cm,飞行模式为仿地飞行,航向重叠度 80%,旁向重叠度 70%。作业航线如下图:

(2)像控点布测,像控(检查)点布设一般按照区域网布设,像控点点位均匀控制测区。区域网大小和像控点的跨度以能够满足内业空中三角测量精度要求为准。像片控制测量采用双频 GNSS 接收机,基于 GNSS RTK 技术施测,作业前在已知控制点进行检

校,作业时取三次读数的平均值为最终成果。

(3)航空摄影,在天气符合飞行作业要求的情况下,机组人员携带设备到达起降场。首先对航摄硬件进行检查维护,确保其在最佳状态下工作。在飞机起飞前对飞机状况进行全面检查,确保安全后作业。无人机起飞后,时刻监控其状况参数。无人机降落后,及时下载、检查数据成果并进行预处理。

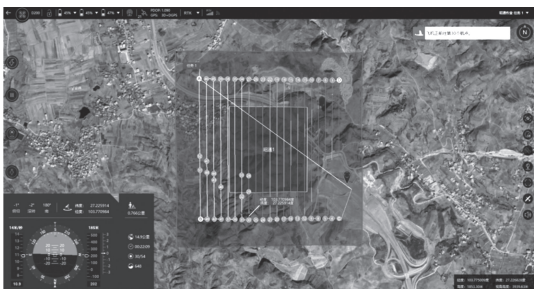


图 2 作业航线图

3.5 基于 ContextCapture Center 的三维实景建模

(1)数据准备,在进行三维建模前,需要整理原始影像、相机文件、像控数据、POS 数据等,为导入软件进行后期的处理做准备。

(2)空中三角测量,选择图形工作站,软件采用 ContextCapture Center(CC),对所采集影像数据进行空三加密、三维模型构建。将外业测定的像片控制点成果,在内业环境中进行转刺,利用这些点对已有区域网模型进行约束平差计算,将区域网纳入到精确的大地坐标系统中,完成绝对定向,如图 3 所示。空三结束后查看精度报告,确保符合规范要求。

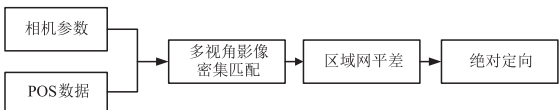


图 3 CC 空三加密流程

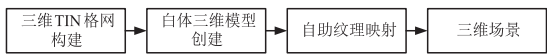


图 4 CC 三维建模流程

(3)全自动三维建模采用多机多节点并行运算的 CC 软件进行,建模流程如图 4 所示。将空三完成后的成果数据直接提交生成三维 TIN 格网构建、白体三维模型创建、自助纹理映射和三维场景构建。

3.6 成果精度评价

第一至三期空三加密完成后,对前三期空三报告进行对比分析可知,同一像片控制点下,点位中误差变化不大。空三报告精度汇总如表 1 所示:

表 1 边坡空三报告精度表 (R 代表 Reprojection,D 代表 Distances)

Control	第 1 期			第 2 期			第 3 期		
Name	RMS of R	RMS of D	3D Error	RMS of R	RMS of D	3D Error	RMS of R	RMS of D	3D Error
DB01	0.01	0.0004	0.0002	0.01	0.0003	0.0001	0.01	0.0011	0
DB02	0.01	0.0005	0.0001	0.02	0.0004	0	0.01	0.0003	0.0001
DB03	0.01	0.0004	0	0.01	0.0004	0	0.01	0.0005	0.0002
DB04	0.02	0.0006	0.0004	0.03	0.0008	0.0003	0.07	0.0018	0
XK01	0.02	0.0004	0	0.01	0.0004	0	0.02	0.0006	0.0002
XK02	0.02	0.0004	0.0001	0.02	0.0004	0	0.07	0.0014	0.0003
XK03	0.03	0.0009	0.0006	0.03	0.0008	0.0005	0.06	0.0011	0.0002
XK04	0.02	0.0005	0.0003	0.02	0.0005	0.0002	0.01	0.0004	0
XK05	0.02	0.0009	0.0002	0.01	0.0007	0.0001	0	0.0003	0
XK06	0.11	0.0018	0.0006	0.01	0.0005	0	0.05	0.0014	0
XK07	0.12	0.0020	0.0008	0.02	0.0005	0.0002	0.04	0.0010	0.0002
Global RMS	0.05	0.010	0.0004	0.02	0.0006	0.0002	0.04	0.0010	0.0002
Median	0.02	0.0005	0.0002	0.02	0.0005	0.0001	0.02	0.0011	0.0001

三维模型修饰后,分辨率采取软件质检,测区平均 GSD 为 2.0 cm。点位精度采取人工实测平高检查点的方式进行检验。测定位置明显、周边环境较好、易于查找的点位作为检查点,其坐标值可作为真实值,同三维模型中相同点位坐标数据进行比对。通过求解平面中误差及高程中误差,结果均满足《三维地理信息模型数据产品规范》(GB/T 9015—2012)中对于三维模型的相关规定,即要求平面精度不低于 0.30 m、高程精度不低于 0.75 m^[5],满足本次边坡监测对测图精度的要求。第一期结果如下表 2 所示(第二、三期检查点较多不再一一列举):

表 2 GPS RTK 校验模型精度表

点号	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$	$\Delta S(m)$	$\Delta Z(m)$
JC01	0.020	0.011	0.015	0.002
JC02	-0.015	0.003	0.010	-0.012
JC03	-0.018	-0.019	0.004	-0.016
JC04	0.015	-0.013	0.007	0.006
JC05	-0.018	-0.018	0.005	-0.015
JC06	0.008	0.006	0.016	-0.013

4 GNSS 技术应用

GNSS(Global Navigation Satellite System)自动化监测技术,具有精度高、不受气候条件限制、自动化程度高、无需站点之间通视、实时动态监测等优点,使得其广泛应用于桥梁、隧道、路基沉降、边坡监测等工程中^[6]。GNSS-DB1 监测点在边坡施工初步

成型时固定设站在该高边坡顶部,于 2019 年 3 月 17 日开始全天候采集数据,时间-位移变化曲线如图 5 所示。

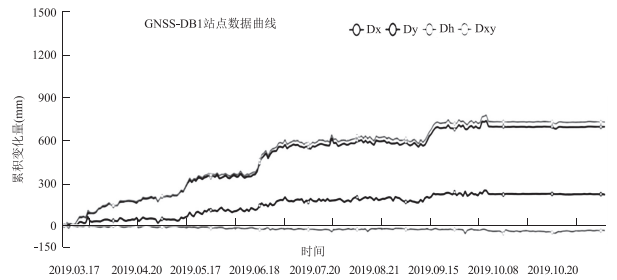


图 5 GNSS-DB1 站点数据曲线

5 融合对比分析

对比分析是数据分析中较为常用的一种手段,对于时序数据来说,一般包括时间对比与测点对比,测点对比一般用于不同监测类型的传感器数据。本次监测数据主要有倾斜摄影数据和 GNSS 数据,倾斜摄影数据目前只采集三期,只有同周期内位移相对点位的变化分析,属于时间上离散监测,空间上连续监测成果。GNSS 只有同一测点随时间变化的数据,属于时间上连续监测,空间上离散监测成果。两种技术融合可初步验证三个不同时间段内边坡的变形情况。精选第一、三期模型总图和第一至三期 GNSS-DB1 紧邻点 DB1a(DB1 受仪器遮挡不能直接在模型上采集)在倾斜模型中的变化曲线图如 6-图 8。

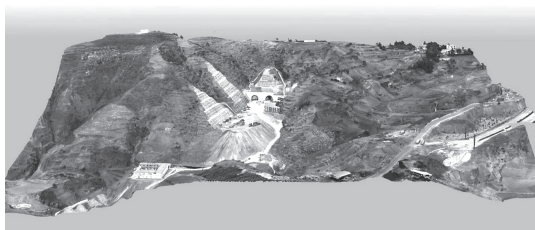


图6 第一期模型总图

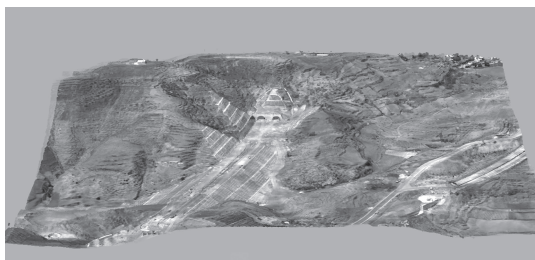


图7 第三期模型总图

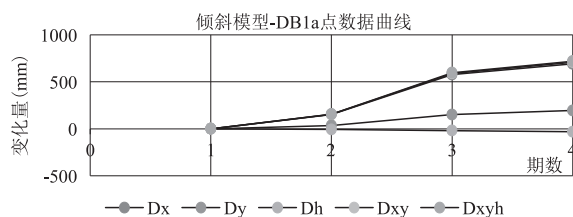


图8 第一至三期 GNSS-DB1 紧邻点 DB1a 变化曲线图

综合分析,可以得出以下结论:①第一期处在边坡施工期,作业区和厂房等均在高边坡附近,第三期边坡施工配套设施已撤离,该边坡施工基本完成。②在同一时间变化周期内,倾斜模型上 DB1a 位移变化与 GNSS-DB1 变化量与变化率基本一致。③边坡顶部监测点位移量于 6 月 18 日发生突变,分析可能与 6 月 17 日晚四川宜宾珙县的地震相关(研究区离震中不到 100 KM),至 10 月 1 日之后位移速率趋缓。④将时间离散、空间连续的模型成果和时间连续、空间离散的 GNSS 成果相融合,保证了监测成果在时间和空间上的连续性。⑤高精度倾斜摄影技术已可以辅助运用于高边坡的外部监测。

6 结语

倾斜摄影技术以其精细的纹理特征和丰富的成果类型,决定了其能够完成实景底图获取、实景方案

模拟、实景进度汇报、实景进度分析、实景现状监测,实现足不出户了解现场情况、解决现场问题、掌控现场动态等典型功能。

倾斜摄影技术的强大技术优势,使其在各行各业得到了极大地认可,被较广泛地应用在实景导航、城市规划、不动产登记、勘测设计、BIM 设计、市政交通、工程施工、运营维护、公共安全、应急救援、灾害评估、智慧城市、智慧旅游、文物保护、变形监测和信息化平台建设等领域。

本文以云南都香高速公路某高边坡为研究对象,主要采用斜摄影融合 GNSS 的方法开展安全监测和稳定性的研究。探索了边坡监测的有关理论和方法。在此基础上,设计布置了此边坡的安全监测方案。对边坡的监测数据进行及时、合理、有效的分析,获取边坡变形规律和安全状况,判断其安全状况和稳定性。就高速公路施工期高边坡自动化监测进行分析,本文的研究方法对类似高速公路路堑边坡的监测研究及稳定性评判具有一定的参考价值。

地理信息大数据和信息化的时代已经到来,无人机航测系统以其机动、快速、灵活、高效等特点得到了广泛的应用,不但节省作业成本,而且操作和维护还非常简单,不仅具有较强的作业能力,而且智能化、稳定性和可靠性都能得到保障。结合更多源化的数据进行综合分析,完善倾斜摄影技术在监测领域的应用,为高边坡的变形监测提供技术支持将成为趋势。

参考文献

- [1] 段建肖,廖立兵等. UAV 及 Smart3D 整合技术在水利水电工程地质勘察中的应用[J]. 水利规划与设计, 2018 (2):108-111.
- [2] 赵宇,江磊. 无人机倾斜摄影技术在高边坡测量中的应用研究[J]. 智能城市, 2020(6):58-59.
- [3] 宋小平. 无人机倾斜摄影测量技术在矿山治理中的应用分析[J]. 测绘技术, 2019(6):41.
- [4] 陈姣. 无人机航摄系统测绘大比例尺地形图应用研究[D]. 昆明:昆明理工大学, 2013.
- [5] CH/T9015-2012. 三维地理信息模型数据产品规范[S]. 国家测绘局, 2012.
- [6] 朱宝柱. GNSS 技术在怀新高速公路高边坡监测中的应用研究[D]. 长沙:长沙理工大学, 2018.