

飞马无人机在成昆铁路“8.14”崩塌灾害应急救援中应用

唐尧^{1,2,3},王立娟^{1,2,3},马松^{1,2,3},王志军^{1,2,3},杨栓成^{1,2,3},刘欢^{1,2,3},唐梓洋^{1,2,3},徐陈^{1,2,3}

(1. 四川安信科创科技有限公司, 四川 成都, 610045; 2. 四川省安全科学技术研究院, 四川 成都, 610045; 3. 四川省地震与地质灾害应急技术保障中心, 四川 成都, 610045)

【摘要】: 成昆铁路是我国西南地区的交通动脉, 铁路沿线崩塌等地质灾害频发, 且多为高位, 高位崩塌灾害具有隐蔽性强、破坏性大、排查性难等特点。无人机技术具有响应时间短、直观形象、分辨率高、经济可靠, 可做到“随要随取”。以飞马无人机航拍等影像为数据源, 结合灾前遥感影像, 对“8.14”甘洛县成昆铁路高位山体崩塌开展灾情应急监测, 分析致灾演变特征, 对灾后次生隐患灾害开展应急排查, 查明灾区周边存在新裂缝隐患 2 处、新灾变迹象 3 处。结果表明遥感技术对重特大地质灾害应急救援具有较大应用前景。

【关键字】: “8.14”甘洛崩塌; 成昆铁路; 高位崩滑; 应急救援;

【中图分类号】: P694

【文献标示码】: A

【文章编号】:

0. 引言

成昆铁路始建于 1958 年, 北起成都站、南至昆明站, 全长 1096km, 设计时速 80km/h, 铁路施工环境恶劣、条件艰苦, 该工程曾与美国阿波罗宇宙飞船登月活动 and 苏联第一颗人造卫星共同被联合国组织评为“象征 20 世纪人类征服自然的三大奇迹”。受连日强降雨影响, 2019 年 8 月 14 日 12 时 44 分, 成昆铁路甘洛段埃岱 2 号至 3 号隧洞附近突发山体崩滑灾害险情, 正在参与成昆铁路抢险清淤工作的多人遇险。截止 2019 年 8 月 15 日下午, 初步确定成昆铁路凉红至埃岱站间高位岩体崩塌失联人员 17 人。灾害发生后, 四川省安全科学技术研究院迅速启动地质灾害应急响应, 并派出专业技术人员携带飞马无人机组成测绘组当晚赶赴至灾区现场。

灾害地理上位于甘洛县东北, 地形地貌条件极为复杂, 行政上隶属于甘洛县苏雄乡埃岱村, 地理坐标为东经 102° 47'51.14", 北纬 29° 02'09.68", 崩塌下方为尼日河, 河岸右侧为成昆铁路蜿蜒而过, 本次崩塌堆积体淹没损坏成昆铁路及相关设施, 埋没铁路抢险清淤人员。

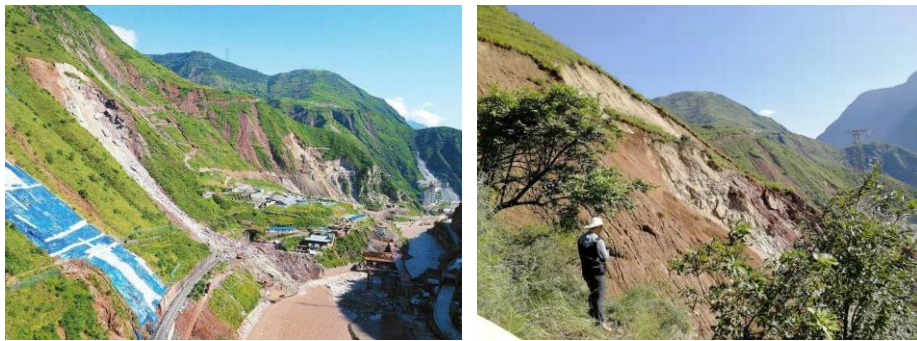


图 1. 甘洛高位山体崩塌现场照片图

1. 无人机数据获取

由于此次航飞目的在于获取甘洛崩塌灾后现状影像信息, 协助掌握当地受灾具体情况, 为现场应急救援提供第一手影像资料, 对于绝对坐标精度没有要求, 因此直接省略了现场像控点和检查点的布置以提升数据获取和处理速度。

1.1 作业流程

无人机航测数据的采集流程包含有任务接受、空域申请、航线设计、实地考察、野外控制测量、无人机组装测试、飞行实施、数据检查、室内处理等一系列的工作内容, 其具体流程图 2。

1.2 设备选择

收稿日期:

作者简介: 唐尧(1985 ~), 男, 四川蓬安人, 高级工程师, 主要从事自然灾害应急监测与处置研究。

考虑到目标区域范围较大、数据采集处理的时效性要求高，旋翼无人机和高像素载荷不适用于该地区的数据工作，综合考虑后决定使用飞马飞马 D200 无人机进行航飞（图 2），无人机具体参数如表 1 所示。

无人机航测数据的采集流程包含有任务接受、空域申请、航线设计、实地考察、野外控制测量、无人机组装测试、飞行实施、数据检查、室内处理等一系列的工作内容，其具体流程图 2。

1.3 航线规划

出于对铁路沿线灾区作业面积、飞行时间和影像分辨率的综合考量，计划 3 架次完成数据采集工作，规划作业面积为 6.96km²，飞行高度 500m，航向重叠度 80%，旁向重叠度 60%，预计平均分辨率为 9.8cm，预计航时 42min，规划航线如图 3 所示。

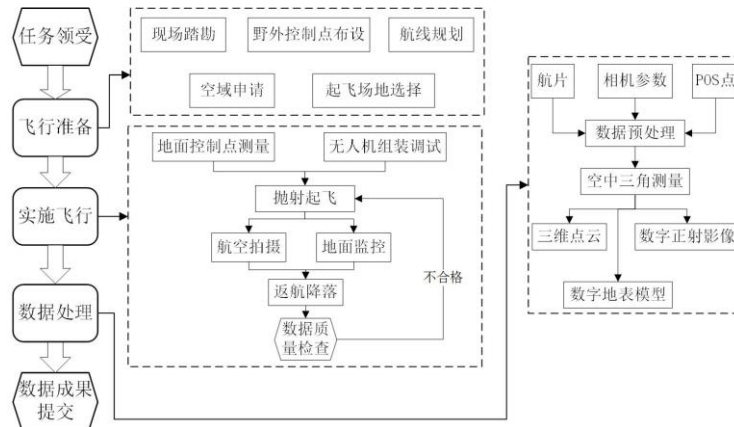


图 2 无人机数据获取流程

1.4 飞行作业

在目标区域周边寻找合适的起飞位置，起飞前检查飞行参数和无人机是否满足起飞要求，确认无误后，按照起飞流程开展外业飞行。

1.5 数据传输与质量检查

无人机降落后，通过无人机管家远程下载飞行 POS 数据，之后从机载相机的存储卡中对无人机航飞影像资料进行拷贝，拷贝照片数量共计 415 张。拷贝完成后检查航飞照片有无过亮、过暗或虚焦等情况，本次航飞数据未发现存在上述问题，能够直接进行后续处理工作。

2. 内业数据处理

2.1 无人机数据处理

低空无人机遥测技术是以获取高分辨率数字影像为目标，以无人驾驶飞机为平台，飞行高度较低，以高分辨率数码相机为传感器，并通过 3S 技术系统集成应用来获取地面一定范围内的遥感正射影像与点云的一种遥感技术，其具有灵活机动、安全性较高、地面分辨率高、操作简单、影像获取周期短效率高等优势。本次无人机航摄采用飞马 D200 电动固定翼型无人机，对航飞影像进行预处理采用 Pix4D 软件完成，对影像进行拼接和畸变纠正，处理影像平均分辨率为 9.23cm，满足 1:1000 影像图出图精度。数据源主要为灾后 2019 年 8 月 15 日、8 月 16 日及 8 月 17 日的多期航摄数据。由于此次航飞未提前布置相控点和检查点，因此空三加密过程中无法计算坐标中误差。此次航飞数据经过处理后，获得灾区正射影像、数字表面模型、三维模型、三维点云等初步成果，为后续数据分析提供基础资料。

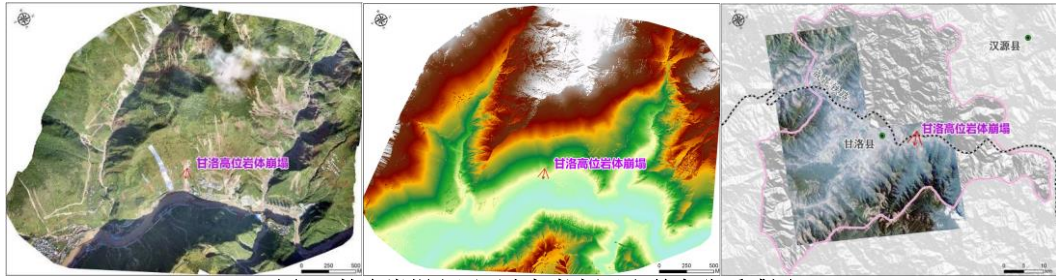


图 3. 甘洛崩塌灾区无人机航摄及灾前高分遥感图

2.2 遥感数据处理

国产高分遥感技术凭借其响应时间周期短、地形直观形象、分辨率高、观测范围大的优点对助力灾害应急救援、滑坡成因分析、灾情监测及隐患排查有着不可替代的作用，适用于我国西南地区地灾多发高发区，特别是攀西地区地灾灾后应急抢险救援、灾情监测、次生灾害链分析排查与灾后应急抢险救援辅助决策。数据源主要为崩塌灾前 2019 年 2 月 9 日高分二号遥感影像。遥感数据处理主要采用 PIE (Pixel Information Expert)-Basic 6.0 遥感专业软件，完成暴雨灾区的光学影像与雷达影像进行辐射校正、大气校正、正射校正、影像融合及图像增强等预处理。PIE 是航天宏图自主开发的一款专业的遥感图像处理软件，提供了面向多源、多载荷的遥感图像处理、辅助解译及信息提取功能，是一套高度自动化、简单易用的遥感工程化应用平台。该软件采用多核 CPU 并行计算技术，大幅提高了运行效率，能更好的适应大数据量的处理需要；采用组件化设计，可根据用户具体需求对软件进行灵活定制，具有高度的灵活性和可扩展性，能更好的适应用户的实际需求和业务流程。

3. 灾情应急救援应用分析

3.1 灾害人员压埋区解译

高位崩塌灾害发生后，及时了解掌握高位灾害规模、山体高位落差、重要交通受损区与失联（伤亡）人员淹没区分布等情况，开展崩塌灾害区受灾前后的灾情对比尤为重要。通过解译灾后 2019 年 8 月 15 日无人机现场航摄影像与灾前 2019 年 2 月 9 日高分二号遥感影像与，获知本次灾害疑似失踪人员位于崩体下缘东北方向靠尼日河区域，大致分为三部分（图 4），即原成昆铁路沿线靠隧道口处约 70m 长区域、成昆铁路复线施工板房与施工工地 2 处，面积约 2240 m²，原负责现场铁路清淤工人主要在堆积区下部施工，因此疑似因灾害失踪人员区域，该区域除大量碎块石以外，尚存有至少三处直径达 3m 以上的巨石，严重威胁救援抢险施工与应急处置工作，建议加强实时跟踪监测，严防次生灾害再次危及灾害应急处置与抢险救援人员生命安全。

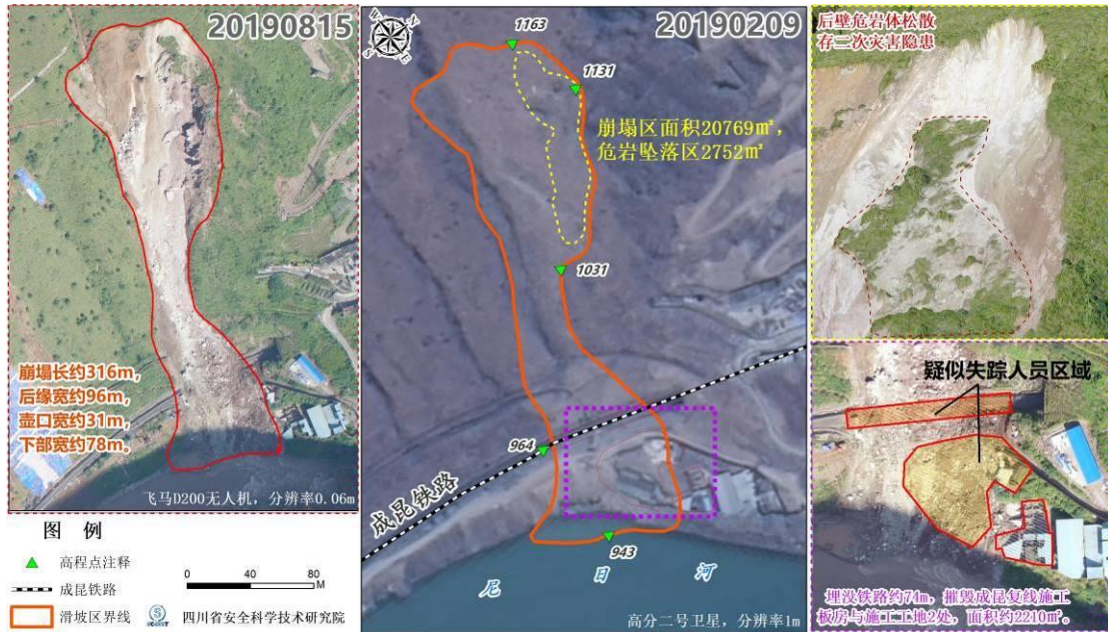


图4 灾害人员压埋区解译

3.2 灾害基本特征分析

通过分析灾后无人机影像，灾害总体呈“似哑铃状”，呈西南-东北向展布，上部物源区与下部堆积区较宽，中间壶口处较窄。崩塌危岩坠落区面积约 2572 m²，水平长约 125m，宽约 100m，侧翼点高程约 1131m(图 4)，塌体面积约 20769 m²，估算崩塌方量约 4.8 万 m³，始崩处部位海拔高程约 1163m，堆积最低处(河床位置)海拔高程约 943m，最大高差约 220m。最大水平崩滑距离约 316m，整体坡度 35~50°左右，滑向 115°(图 3)。在灾后无人机影像上见有明显侧向滑移迹象，滑移距离约 3~6m，由于崩塌危岩坠落区左上部前端崩塌体脱落，残留的母体失去牵引力而暂时沿滑面静止、稳定性较差，存有二次滑坡隐患，曾在应急救援的过程中多次发生碎块石滑落的现象；崩塌危岩坠落区右下部危岩体风化强烈、岩体破碎、形变迹象明显，表现为其侧翼的高压输电线基座铁塔可以清楚看出其有略微倾斜，该部位下方和侧向临空，仍处于不稳定状态，受重力或其他自然因素的影响，仍存在较大的可能性失稳下坠，建议重点加强监测关注。

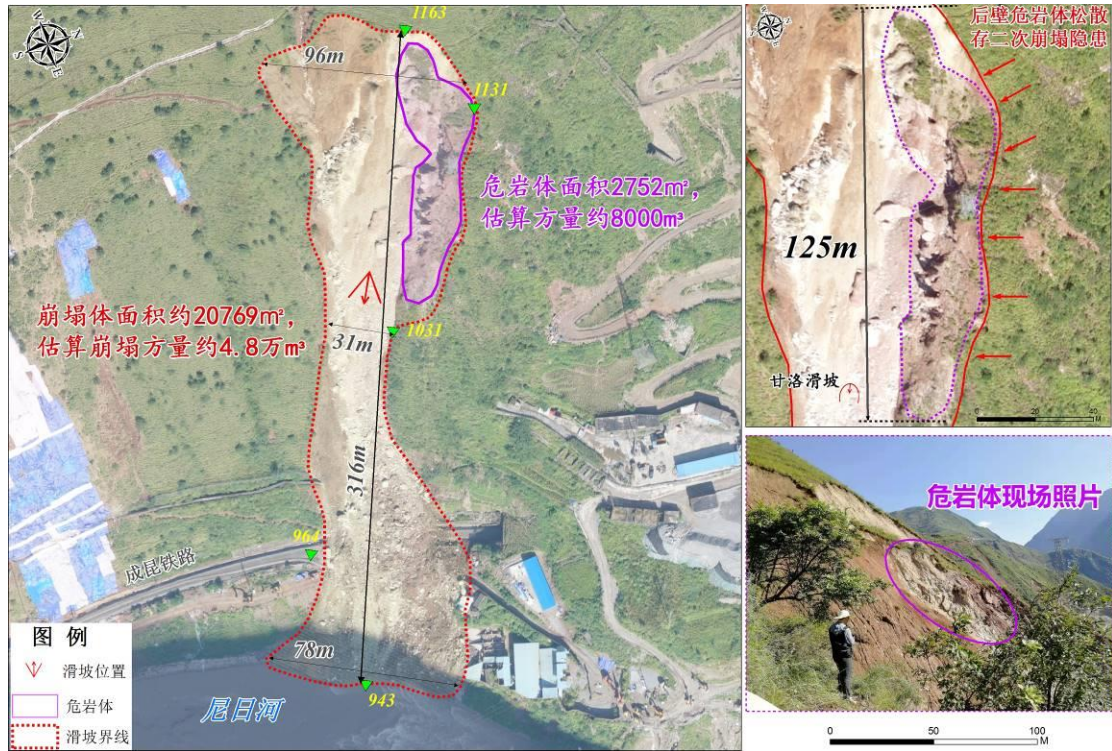


图 5 灾害基本特征分析

3.3. 灾变裂隙与演变分析

对无人机航摄影像及现场实地调查反馈，崩塌体顶部后缘见有两组拉裂缝，拉裂缝走向 220° ，长约 4.5m，宽约 5~7cm（图 5）。经初步分析拉裂缝发育在表层第四系残坡积层，尚未延伸至下部基岩。而在崩体后缘向上约 100m 的区域未发现有明显的拉裂缝发育。分析崩体后缘部位在 2016 年 3 月 18 日、2019 年 2 月 9 日及 2019 年 8 月 15 日等多期遥感与无人机数据，结果表明在灾前的 2016 年 3 月 18 日与 2019 年 2 月 9 日两期影像上，见有灰黑或墨绿色条状纹理影纹，疑似崩体灾前裂缝征兆，在灾后的 2019 年 8 月 15 日影像上，对应位置表现为明显滑移错动，色调呈亮白色，崩体后缘及侧壁见有明显拉裂缝，且上部见有大量松散残留崩体堆积，一旦遭遇持续降雨，极易二次成灾。



图 6 灾变裂隙与演变分析

3.3.次生灾害隐患排查

通过对比三期无人机数据，共解译排查出 3 处灾变隐患迹象（图 6 中 A、B、C），其中与本次崩塌直接相关的 1 处(B 处)，另两处则分布在崩塌体右侧与上部（图 6）。该三处灾变迹象中 A 处为疑似新裂缝，或为新崩塌或滑坡灾前征兆，严重威胁下方应急处置与应急抢险救援人员生命；B 处为原崩塌残留危岩体受重力失稳坠落，为原崩塌灾害后续灾变所致，因其地势较高，势能大，下坠过程对崩塌后壁冲刷与下方堆积物冲击较大，建议下方救援人员严密监视；C 处位于原崩塌体右侧，相距约 400m，为以次生滑坡，该滑坡直接威胁下方蜿蜒的山间公路，间接危机更下部成昆复线施工工地，建议保持跟踪监测。



图7 次生灾害隐患排查分析图

4. 结语

(1) 以高分遥感技术为基础, 采用“高分+地质灾害”模式, 完成了甘洛县成矿铁路高位山体崩塌灾害基本灾情信息, 结果表明本次崩塌区面积崩塌体面积约 20769 m², 最大高差约 220m, 最大水平崩滑距离约 316m, 整体坡度 35~50°, 估算崩塌方量约 4.8 万 m³。

(2) 利用崩塌灾前灾后影像, 采用“高分+应急处置”模式, 分析了灾区疑似失踪人员掩埋区域, 科学指导现场应急救援施救; 同时结合现场反馈信息, 分析了灾害前后致灾演变特征、对崩体后缘开展隐患排查, 查明崩塌周边疑似裂缝隐患 2 处、灾变迹象 3 处。

参考文献:

- [1]唐尧,王立娟,马国超等. 利用国产遥感卫星进行金沙江高位滑坡灾害灾情应急监测[J]. 遥感学报, 2019(2):252-261.
- [2]唐尧,王立娟,马国超等. 无人机与国产高分技术在“6·24”茂县滑坡灾情应急监测中的应用[J]. 国土资源情报. 2017, (8):14-19.
- [3]李亚玲,苏海峰,李铭全等. 滑坡监测方法研究综述[J]. 西南公路. 2015(4):153-156.
- [4]周学珍. 遥感技术在矿山地质灾害监测中的应用——以山西神府煤矿区为例[J]. 能源环境保护. 2013,(2):52-55.
- [5]姚智,况顺达,刘沛等. 利用遥感手段进行地质灾害编图的初步讨论——以印江县为例[J]. 贵州地质. 2001,18(2):128-130.
- [6]钟颀,余德清. 遥感在地质灾害调查的应用及前景探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报. 2004,15(1):134-136.
- [7]冯东霞,余德清,龙解冰. 地质灾害遥感调查的应用前景[J]. 湖南地质. 2002,21(4):314-318.
- [8]王晓志. 基于 Worldview2 数据的岫岩县地质灾害遥感解译与分析[J]. 吉林地质. 2018, 37(4):66-70,82.
- [9]佚名. 汶川地震震洞子沟右岸大型滑坡地质构造特征及成因[J]. 工程地质学报, 2019, 27(2):437-450.
- [10]唐尧. 深圳“12.20”山体滑坡灾害成因及安全防范分析[J]. 国土资源情报. 2016,(1):39-43.