

帅向华, 刘钦, 甄盟, 冯蔚, 杨海芳, 2018. 倾斜摄影技术在云南鲁甸地震现场的应用研究. 震灾防御技术, 13 (1): 158—167.
doi: 10.11899/zzfy20180114

倾斜摄影技术在云南鲁甸地震 现场的应用研究¹

帅向华¹⁾ 刘钦¹⁾ 甄盟¹⁾ 冯蔚²⁾ 杨海芳²⁾

1) 中国地震台网中心, 北京 100045

2) 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

摘要 本文首先介绍了利用六旋翼无人机倾斜摄影系统和动力三角翼倾斜摄影系统在云南鲁甸地震现场开展倾斜摄影数据采集、三维建模的相关工作, 利用建立的三维模型, 分别对灾区房屋震害、滑坡、滚石、堰塞湖地震地质灾害进行了系统的分析研究。相关研究表明: 倾斜摄影技术可以表现地震灾害场景和具体灾害特征, 对遥感在地震灾情精细化分析及了解灾区建筑物的布局、破坏程度和恢复重建建筑现状方面具有重要的意义。该项工作是地震领域初次利用倾斜摄影技术开展的相关研究, 对于进一步深入研究倾斜摄影新技术在地震灾害领域和其他相关领域的工作具有很好的借鉴作用。

关键词: 鲁甸地震 倾斜摄影 地震灾害

引言

2014 年 8 月 3 日 16 时 30 分, 云南省昭通市鲁甸县 (27.1°N, 103.3°E) 发生 6.5 级地震, 震源深度 12km。据民政部门统计, 截至 8 月 8 日 15 时, 该地震已造成 617 人死亡, 112 人失踪, 3143 人受伤。这次地震造成云南、贵州、四川 3 省 10 县 101 个乡镇遭受不同程度的破坏。地震极震区烈度达 IX 度, 宏观震中位于鲁甸县龙头山镇, 等震线形状呈椭圆形, 长轴走向呈北北西向。VI 度区及以上总面积约 10350 平方千米, 其中, IX 度区总面积 90 平方千米, VIII 度区总面积 290 平方千米, VII 度区总面积 1580 平方千米, VI 度区总面积 8390 平方千米。简易房屋破坏面积约 1209 万平方米, 毁坏面积约为 466 万平方米, 总计 1675 万平方米; 非简易房屋中等破坏面积约 68 万平方米, 严重破坏面积约 33 万平方米, 毁坏约 16 万平方米, 总计 117 万平方米。同时, 地震造成大量滑坡、崩塌、滚石、堰塞湖等地质灾害 (帅向华等, 2014)。

倾斜摄影技术是国际测绘领域近些年发展起来的一项高新技术, 它通过在同一飞行平台上搭载多台传感器, 同时从 1 个垂直、4 个倾斜等 5 个不同的角度采集影像, 将用户引入符合人眼视觉的真实直观世界。倾斜影像不仅能够真实地反映地物情况, 而且还通过采用先进

1 基金项目 国家重点研发计划 (2016YFC0803107)

[收稿日期] 2017-09-04

[作者简介] 帅向华, 女, 生于 1973 年。硕士, 研究员, 硕士研究生导师。主要从事震害预测、地震灾害应急、GIS 应用和遥感应用研究。E-mail: shuaixhua@sina.com

的定位技术，嵌入精确的地理信息，产生更丰富的影像信息，带来更高级的用户体验。该技术在欧美等发达国家已经广泛应用于应急指挥、国土安全、城市管理、房产税收等行业，在国内的应用尚处于起步阶段，主要行业有国土资源管理、房产税收、数字城市、环保监测、灾害评估等（杨国东等，2016），应用的内容主要在城市三维建模、建筑物空间变化监测（王琳等，2015；江明明，2017；程俊，2017）、山洪灾害调查等方面（王东甫等，2014）。云南鲁甸地震极震区集中、震害现象丰富、震害特征典型，为充分抢救和利用鲁甸地震的震害资料，2014年10月始，首次将倾斜摄影技术应用于地震领域，分别采用六旋翼无人机倾斜摄影系统和动力三角翼倾斜摄影系统在云南鲁甸地震灾害现场进行数据采集。期间由于当地天气条件恶劣，直到2015年3月才完成采集。本文综合介绍了数据采集、处理、分析及应用等方面的内容，详细的数据解译分析参见《云南鲁甸地震倾斜摄影震害图集》（帅向华等，2017）。李玮玮等（2016）在鲁甸地震倾斜摄影数据的基础上，通过研究从三维模型中提取的纹理影像，结合面向对象影像分析提取混凝土结构外墙及其裂纹，并对所提取的外墙、裂纹进行分析；同时基于倾斜摄影生成的 DSM 影像和 nDSM 影像提取建筑物，并分析建筑物倒塌率。张雪华（2017）通过获取北川老县城曲山镇约 1 平方千米的倾斜摄影数据开展了不同倒塌建筑目视解译的分类研究，并基于 DSM 影像和 nDSM 影像分析了建筑物倒塌率。

1 倾斜摄影测量技术概述

倾斜摄影测量技术是通过在同一飞行平台上搭载多台传感器，同时从 1 个垂直、多个倾斜的角度采集影像，并记录航高、航向和旁向重叠、坐标等参数，然后对倾斜影像进行分析和整理。

1.1 反映地物周边真实情况

相对于正射影像，倾斜影像能让用户从多个角度观察地物，更加真实地反映地物的实际情况，极大地弥补了基于正射影像应用的不足。图 1 为中心投影和倾斜投影的原理对比。

1.2 可实现单张影像量测

在三维技术平台上，我们能够实现对真三维模型的高度、长度、面积、角度、坡度等数据的量测，还可以根据应用需求，进行拓扑分析、虚拟挖掘、模型置换等，进一步拓展了倾斜摄影测量技术在行业中的深度应用。

1.3 多种数据成果产出

倾斜摄影测量数据是带有空间位置信息的可量测的数据，可以同时产出 DSM、DOM、DLG 等多种格式的数据成果。同时，利用航空摄影大规模成图的特点，通过从倾斜影像批量提取及贴纹理的方式，能够有效降低城市三维建模成本。

2 鲁甸地震现场航飞情况

数据采集方案的设计采用两个层次、不同精度、覆盖全面的原则。第一，对Ⅸ度区及Ⅹ度区边缘的村落有重点地进行选择，选取的原则为灾区特征明显、受灾严重、人口聚集、有

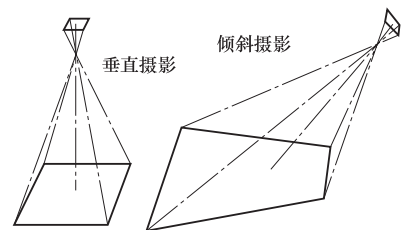


图 1 中心投影与倾斜投影原理对比图

Fig. 1 Comparison of principles between central projection and oblique projection

建构筑物破坏现象。选用微型无人机搭载我国自主知识产权的倾斜摄影平台对鲁甸灾区Ⅷ—Ⅸ度区的重点村落进行数据采集,数据精度优于 5cm。飞行点为龙泉村、翠屏村、刘家包包、光明村、新坪村、红山岩村、骡马口、沙坝、八宝村、银屏村、营盘村。拍摄时间为 2014 年 10 月。第二,对鲁甸灾区Ⅸ度区(东起昭通市鲁甸县龙头山镇骡马口村,西至龙头山镇翠屏村,南自昭通市巧家县包谷垸乡红石岩村,北到鲁甸县龙头山镇葫芦桥,长轴 14km,短轴 7km)面积约 90km² 内的数据进行全覆盖采集,选用动力三角翼搭载我国自主知识产权的倾斜摄影平台进行数据采集,数据精度为 15cm。拍摄时间为 2015 年 3 月。数据采集完成后,对上述数据采用统一的数据建模方法进行三维建模。

2.1 六旋翼无人机倾斜摄影系统特点及其技术参数

六旋翼无人机倾斜摄影系统的特点是动力模块(如浆叶、电机、机臂等)可灵活更换;利用地面站规划航线,具备自主飞行能力;提供定点曝光信号,用于控制相机定点曝光;具备电池低电压地面报警和飞机倾角过大自动开伞保护功能;预留云台安装位置,可自由拆卸云台;易折叠,方便携带。

无人机基本参数和云台基本参数分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 无人机基本参数

Table 1 The basic parameters of UVA

飞行器性能	技术参数
总重量	<8kg (含两块电池)
飞行升限	1500m
载重与续航时间	载重 2.5kg, 续航时间 ≥30min
悬停精度	垂直方向 ±1m, 水平方向 ±2m
最大倾斜角度	35°
最大升降速度、平飞速度	最大升降速度 6m/s; 最大平飞速度 10m/s
巡航速度	≥6m/s
平均维修时间	≤30min
工作效率	0.5km ² /架次

表 2 云台和相机基本参数

Table 2 The basic parameters of the cloud platform and the camera

云台性能	技术参数
尺寸	210mm×265mm
重量	2.1kg
CCD 数量	5 个
CCD 尺寸	13.2mm×8.8mm
最小曝光间隔	2s
总像素	大于 1 亿
防水等级	IP67
曝光方式	定点曝光

续表

云台性能	技术参数
POS	记录定点曝光 POS 信息
影像分辨率	2—10cm
定位精度	1m

2.2 动力三角翼与云台参数

动力三角翼飞机的特点是造价低、结构简单、可快速拆装折叠、方便运输；超低空飞行性能好；起降距离短，操作简单；草地、简易机场、公路均可起降；适用于 200—1500m 高度层的航空摄影任务；可应用于 100km² 以内的大比例尺航空摄影和倾斜摄影。

动力三角翼基本参数和云台基本参数分别如表 3 和表 4 所示。

表 3 动力三角翼基本参数

Table 3 The basic parameters of Delta-wing airplane

性能	指 标
基本参数	巡航速度 120km/h，最大速度 150km/h 耗油 12L/h，油箱容量 50 L 巡航航程 702km 最大空机重量 260kg，最大起飞重量 450kg 翼展 9.97m 起飞距离：小于 60—100m
适用环境	抗风性能：4 级
保护装置	具有安全弹射伞防护功能
作业参数	作业高度：200—1500m 作业效率：4—6km ² /h 成果精度：3—14cm

表 4 动力三角翼搭载云台和相机参数

Table 4 The Basic Parameters of the cloud platform and the camera on Delta-wing airplane

基本参数	总重≤25kg 平台尺寸：85mm×50mm×25mm 独立供电 统一的数据存储和传输接口
曝光方式	相机定时曝光
摄影精度	0.03—0.20m
适用环境温度	-10℃—50℃
CCD 大小	24mm×35mm
像素大小	4000 万

2.3 数据建模方法

三维建模过程主要包括原始影像的亮度、饱和度等数据优化预处理，分类垂直、倾斜影像；根据相机参数、GPS/IMU 提供的 POS 数据确定精确的外方位元素，进行空中三角形加密；多视角影像密集匹配生成高密度点云；基于点云构建三维不规则三角网，生成白模；基

于纹理自动贴面技术,最后生成高精度三维模型(牛鹏涛,2014;李安福等,2014;孙宏伟,2014)。倾斜摄影数据建模流程如图2所示。

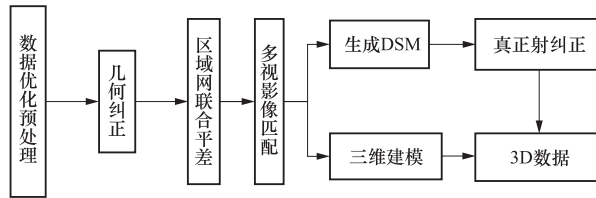


图2 倾斜摄影建模技术流程

Fig. 2 Florchart of data processing of oblique photograph

3 震害分析

在云南鲁甸 6.5 级地震现场灾害调查中,发现灾害主要表现为建(构)筑物震害,大量滑坡、滚石和大小不一的堰塞湖。本文将对这 3 类震害在倾斜摄影影像中的表现进行初步分析。其中,建筑物震害通过六旋翼无人机倾斜摄影系统所采集的数据进行三维建模后分析;滑坡和滚石则在对六旋翼无人机倾斜摄影系统和动力三角翼倾斜摄影系统所采集的数据进行三维建模后分析;堰塞湖通过对动力三角翼倾斜摄影系统所采集的数据进行三维建模后分析。

3.1 建筑物震害分析

以龙泉村一砖混结构(图3)为例,现场调查该结构为严重破坏。通过倾斜影像目视判断结果为:从正摄影像上目视判读屋顶基本完好,从房屋的正面侧视影像上目视判读其为两层结构,从房屋的侧面、背面侧视影像上目视判读其为 4 层砖混结构,外墙出现多处较大的裂缝,房屋严重毁坏。

可以看出,由于传统的正射影像仅仅获取建筑物的屋顶数据,在屋顶未遭受破坏时,难以对这些震害进行准确识别;而倾斜影像获取的是建筑物的真实外观信息,对于屋顶未遭受破坏,但墙体出现破坏的现象可以准确地识别。而且,对于这种依地势而修建的房屋,其不同角度的楼层数和外观表现也不一,倾斜影像则可以很好地反映这一现象。

《建(构)筑物地震破坏等级划分(GB/T24335—2009)》(中华人民共和国国家标准,2009)将建筑物的破坏等级划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏 5 个等级。实际上,传统的遥感影像震害识别无法识别砌体结构的 5 种破坏状态,尤其是基本完好、轻微破坏、中等破坏这 3 种状态的识别基本无法和地面调查的分类要求一致。丁军等(1996)将砌体房屋分为倒塌、严重破坏、破坏和基本完好;窦爱霞等(2012)根据高分影像将玉树地震中的建筑物分为倒塌、局部倒塌和未倒塌 3 类。倾斜影像通过对砌体房屋的屋顶、墙体的破坏特征的识别,在识别结构破坏状态的准确性和精细化方面都有很大的优势。

3.2 滑坡、滚石分析

通过对六旋翼无人机倾斜摄影系统所采集的数据进行三维建模后,分析其中的滑坡滚石灾害。如龙泉村道路旁陡坡存在多处滑坡,大量滚石从山坡滚下,图4中滚石最大直径约 5.4m,图5为图4中框体内放大图,图6是图4的另外一个侧面,图7为局部放大图。图4—图7可以清晰地反映出滑坡造成多处房屋掩埋,滚石击中房屋造成严重破坏,而且,该滑坡是由多次滑坡形成,依然不稳定。



图 3 龙泉村砖混结构示例

Fig. 3 The masonry-concrete structure in Longquan village



图 4 滑坡、滚石（正面）

Fig. 4 Landslide and rockfall (the front)



图 5 图 4 框体内的局部影像图

Fig. 5 Close-up view of partial image in Fig. 4



图 6 从另一角度展示滚石击中房屋，滑坡土方掩埋房屋

Fig. 6 The building is destroyed by the landslide and rockfall from different view angle



图 7 滑坡掩埋房屋、滚石击中房屋（放大）

Fig. 7 The building is destroyed by the landslide and rockfall (enlarged partial detail)

通过对动力三角翼倾斜摄影系统所采集的数据进行三维建模后，分析其中的滑坡滚石灾害。如图 8，此处位于八宝村南 1.2km，地震后大面积滑坡阻断道路，滑坡坡面面积 72750m^2 ，最大滚石直径约 10m。图 9 为图 8 的框体内局部影像图，图 10 为现场考察拍摄图。



图 8 位于八宝村南 1.2km 处滑坡

Fig. 8 Land slide 1.2km away from the south of Babao village



图 9 图 8 框体内局部影像

Fig. 9 Close-up view of partial image in Fig. 8



图 10 图 8 滑坡的现场考察照片

Fig. 10 On-site field of the landslide photo of Fig. 8

由此分析得出, 倾斜摄影可以从不同角度观察滑坡, 分析滑坡的各个参数和再次产生灾害的可能性以及灾害的位置、规模等。通过六旋翼无人机获取的高分辨率数据有助于近距离观察和分析滑坡, 而通过动力三角翼获取的数据则能从较高的角度和全局观察滑坡, 尤其对于大型滑坡的分析非常有效。

3.3 红石岩堰塞湖

2015 年 3 月, 采用动力三角翼对牛栏江红石岩堰塞湖及其周边区域进行倾斜摄影, 对在此次地震中遭受严重破坏的红石岩水电站、周边村庄以及地震造成的堰塞体滑坡、堰塞湖近况都进行了重点拍摄。

红石岩水电站位于牛栏江堰塞体下游处, 受地震影响已严重破坏。距离周围最近村庄腰棚子村仅有约 0.3km。截至 2015 年 3 月动力三角翼倾斜摄影时, 红石岩水电站处堰塞湖水位高 1094m, 最长处 336m, 最宽处 43m, 距离红石岩村约 0.72km, 距离滑坡堰塞体约 0.88km。图 11 为动力三角翼倾斜摄影的红石岩堰塞湖及其周边影像。

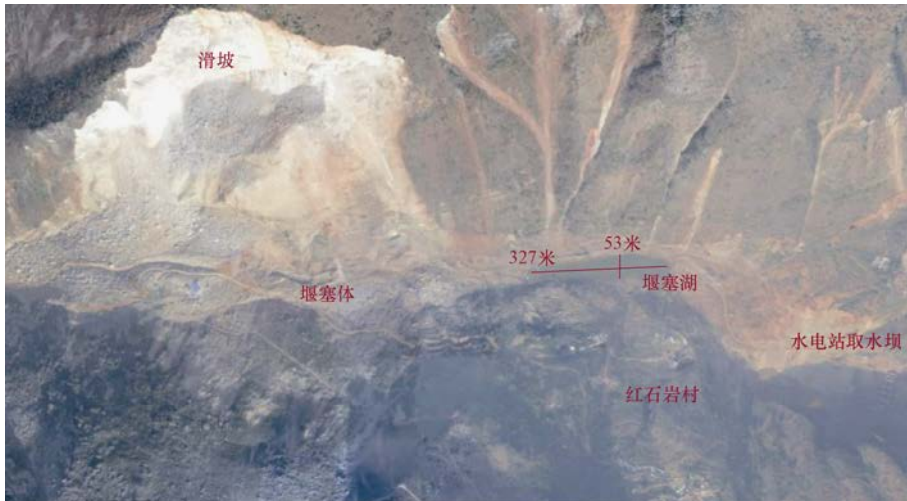


图 11 动力三角翼倾斜摄影的红石岩堰塞湖及其周边影像

Fig. 11 The oblique photography of Hongshiyuan earthquake-induced lake and its surrounding imagery by the power delta wing aircraft

通过动力三角翼倾斜摄影获取的数据能够从各个角度观察和分析云南鲁甸地震最大的堰塞湖, 包括滑坡形成的堰塞体、堰塞湖、周边居民地的分析、红石岩水电站的破坏情况等, 对于震后如何开展应急救援和疏导堰塞湖等具有非常重要的作用。

4 结语

本项目第一次将倾斜摄影技术引入到地震领域, 用于收集及分析地震灾害场景和具体灾害特征。通过分析倾斜摄影建立的三维模型尝试对灾区的建筑物布局、破坏程度、恢复重建建筑现状及灾区的滑坡、堰塞湖等地震地质灾害进行了解译和分析。该项研究结果对地震灾害场景的大规模精确表达与灾情获取, 以及遥感在地震灾情精细化分析应用方面具有开创性的作用, 同时, 也在一定程度上抢救了鲁甸地震现场的部分资料, 对后续的科学的研究具有重要的意义。实际上, 倾斜摄影作为遥感领域的一项新技术, 在各个行业和领域正在发挥更为

重要的作用，通过不断的研究和探索，该项技术也必将在地震领域发挥其优势，除了本文研究方向外，还有不同结构的建筑物或构筑物的单体及群体破坏模型构建、建筑物结构的快速判定等相关研究方向。

参考文献

- 程俊，2017. 基于直升机平台的大连市城区倾斜摄影. 地理空间信息, **15** (3): 23—25.
- 丁军, 王丹, 1996. 遥感图像上城市震害信息的获取及其应用. 灾害学, (1): 82—86.
- 窦爱霞, 王晓青, 丁香等, 2012. 遥感震害快速定量评估方法及其在玉树地震中的应用. 灾害学, **27** (3): 75—80.
- 江明明, 2017. 基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模. 测绘与空间地理信息, **40** (3): 189—190.
- 李安福, 曾政祥, 吴晓明, 2014. 浅析国内倾斜摄影技术的发展. 测绘与空间地理信息, **37** (9): 57—59.
- 李玮玮, 2016. 基于倾斜摄影三维影像的建筑物震害提取研究. 北京: 中国地震局地震预测研究所.
- 李玮玮, 帅向华, 刘钦, 2016. 基于倾斜摄影三维影像的建筑物震害特征分析. 自然灾害学报, **25** (2): 152—158.
- 牛鹏涛, 2014. 基于倾斜摄影测量技术的城市三维建模方法研究. 价值工程, (26): 224—225.
- 孙宏伟, 2014. 基于倾斜摄影测量技术的三维数字城市建模. 现代测绘, **37** (1): 18—21.
- 帅向华, 姜立新, 侯建盛等, 2014. 云南鲁甸 6.5 级地震灾害特点浅析. 震灾防御技术, **9** (3): 340—358.
- 帅向华, 刘钦, 冯蔚等, 2017. 云南鲁甸 6.5 级地震倾斜摄影震害图集. 北京: 地震出版社.
- 王东甫, 刘正坤, 2016. 倾斜摄影测量在山洪灾害调查中的应用. 南方能源建设, **3** (S1): 154—157.
- 王琳, 吴正鹏, 姜兴钰等, 2015. 无人机倾斜摄影技术在三维城市建模中的应用. 测绘与空间地理信息, **38** (12): 30—32.
- 杨国东, 王民水, 2016. 倾斜摄影测量技术应用及展望. 测绘与空间地理信息, **39** (1): 13—15, 18.
- 张雪华, 2017. 基于无人机影像的面向对象建筑物震害提取研究. 北京: 中国地震局地震预测研究所.

Application of the UVA Oblique Photography Technique in the Field of Ludian Earthquake, Yunnan

Shuai Xianghua¹⁾, Liu Qin¹⁾, Zhen Meng¹⁾, Feng Wei²⁾ and Yang Haifang²⁾

1) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

2) Institute of Earthquake Forecasting, CEA, Beijing 100036, China

Abstract In this paper we describe the use of six rotor UVA oblique photography system and power of delta wing oblique photography system, and carry out related work oblique photography data acquisition, 3D modeling of the Ludian earthquake in Yunnan. Based on the 3D model, earthquake disaster housing and seismic geological disasters of landslides, rockfall and earthquake-induced lake are analyzed. Our study has a good reference for further research of new technology in earthquake disaster tilt photography and other related works.

Key words: Yunnan Ludian earthquake; Oblique photography; Earthquake disaster