

·学科进展与展望·

## 低空遥感技术与地震堰塞湖监测

童玲<sup>1</sup> 李玉霞<sup>1</sup> 赵忠明<sup>2</sup> 汪阳春<sup>3</sup>  
朱骅<sup>4</sup> 孔纪名<sup>3</sup> 秦军<sup>5</sup>

(1 电子科技大学地表空间信息技术研究所, 成都 610054; 2 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100010;  
3 中国科学院山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 4 北京安翔动力科技有限公司, 北京 100085;  
5 西南交通大学, 成都 610031)

**[摘要]** 本文介绍了利用无人飞机和直升飞机机载光学传感器, 沿江河走向对 5.12 汶川地震产生的山体滑坡、崩塌等地貌变化造成的堰塞湖和相关灾害进行高分辨率、低空遥感的灾害信息获取和灾情评估技术; 展示了部分灾后遥感影像; 并给出了灾后应急信息采集技术框架方案。

**[关键词]** 低空遥感, 无人飞机, 堰塞湖, 高分辨率遥感影像, 地震灾害

### 1 引言

地质自然灾害, 如地震、滑坡、崩塌、洪水、泥石流等, 往往会造成地球表面结构的巨大变化, 形成新的地形地貌或地质景观。与此同时, 在地形复杂地区沿江河走向的交通、通讯设施、河道以及居落也会受到严重毁损。如近期发生的“5.12 汶川地震”震中位于地形极其复杂的四川岷江流域汶川、映秀一带。震级高达 8.0 级的大地强烈震撼, 使得从川西北到川东北的龙门山地震断裂带出现大量滑坡和崩塌。航空影像探测表明, 属国家级优质风景区的川西北、东北区域植被大面积毁损, 所有河道出现不同程度的堵塞, 地貌变化巨大, 使得人们赖以生存的大地变得“满目疮痍”。与此同时交通道路出现了毁灭性损害。

在“大自然”遭到破坏的同时, 也损毁了大量的建筑物以及其他人工设施。在地形复杂的山区, 道路和通讯设施的损坏意味着灾情无法获取, 救援无法开展。更为可怕的是隐藏的次生灾害(如堰塞湖)的信息无法探测。据历史记载上世纪发生在川西北高原(叠溪海子)的大地震直接造成人员伤亡为数千人, 而震后堰塞湖溃堤导致的人员伤亡达数万之众。因此及时准确探测次生灾害信息, 预测次生灾害发生的时间, 评估灾害发生将导致的危害是救灾工作的重中之重。

在“5.12 汶川地震”的抗震救灾工作中, 由电子科技大学、中国科学院遥感应用研究所、中国科学院山地灾害与环境研究所、北京安翔动力科技有限公司、西南交通大学、成都军区测绘信息中心组成的“高分辨率、低空遥感地震灾情探测专家队”利用无人飞机航空遥感系统的灵活机动、回收方便、信息获取及时准确、适于高危地区探测、感兴趣目标重点观测等特点, 在直升机遥感配合下, 结合飞控、定位、图象处理以及灾情评估方面的专业技术, 及时获取了灾区堰塞湖、重灾区受灾状况、道路损坏状况等目标的完整的高分辨率航空遥感影像, 并给出了详细的灾情评估信息。获得的遥感影像包括岷水甘河子、青川、北川、安县、平武、绵竹、什邡、岷江流域(都江堰-茂县)等重灾区的高分辨率遥感数据(分辨率 0.1—0.35 m)5000 多幅, 共计 63 个航带, 提供专题影像产品 100 多幅, 包括唐家山、肖家桥、东河口等 34 个大型高危堰塞湖。上述单位为抗震救灾决策提供了及时可靠的数据和信息支持, 成为首个完成所有堰塞湖探测任务的团队。

### 2 飞行平台及航线

与普通大面积推扫式遥感不同的是, 堰塞湖探测需沿河道进行。在山高、谷深的高原山区, 河道狭窄, 海拔落差大, 科学的选择飞行平台、合理地制定飞行航线是完成探测任务的首要保证。

本文于 2008 年 8 月 6 日收到。

## 2.1 飞行平台

易形成堰塞湖的河流多有弯道多、拐弯急、河道狭窄、落差大等特点。为了满足整条河流域所有堰塞湖遥感探测需求,要求飞行航线严格沿着河道行进路线制定。为了保证影像较高分辨率、较好清晰度,飞行高度应尽可能低,同时在整个航行中要求飞行平稳、高度不变。

因此对于飞行平台的要求是:(1) 行进路线灵活、转弯半径小,严格控制河流在机腹正对下方;(2) 姿态稳定。复杂地理环境的侧风小于4级情况下,无人机飞行姿态数据满足飞行时,横滚转/俯仰角不大于2度,旋偏角不大于3度。对于直升飞机,配合陀螺仪控制的平台,保证CCD镜头垂直对地。

针对堰塞湖监测对飞行平台的要求,在“5.12汶川地震”堰塞湖探测中,根据川西北、东北地理、地貌特点和探测任务要求,选择了无人机和直升飞机两种飞行平台。

无人机探测主要针对小区域、短流程以及动态监测需求。如安县茶坪河,全长20余公里,河道宽几百米到数公里,峡谷深小于一公里,采用AF-1000无人飞机,其基本参数为:

- 机长:1.80 m
- 翼展:2.35 m
- 起飞重量:12 kg
- 有效载荷:~1.5 kg
- 最大平飞速度:~100 km/h
- 续航时间:2 h
- 最大航程:~200 km
- 起飞方式:地面滑跑/车载起飞
- 动力系统:38 cc 汽油发动机

对于长流程、大流域江河的探测,采用了直升飞机低空飞行工作模式。按探测区域的海拔高度不同分别选用M17、M17 涡7等机型。根据被探测堰塞湖周围地貌特点,其稳定平飞高度从400 m—5000 m的变化,飞行速度控制在(100—200)km/h。

无人机和直升飞机遥感各有其特点。无人机机动灵活,转弯半径小,工作条件简单,在无气流(或小气流)影响时震动小,影像清晰度高,可进行多次重复飞行,飞行成本低,适于动态监测。直升飞机飞行速度快,续航能力强,可根据现场情况实时调整航线,适于大流域江河滑坡、崩塌、泥石流、洪水和堰塞湖探测。

## 2.2 航线制定与飞控

堰塞湖探测航线制定有别于其他航空遥感任

务,其飞行路线为沿着河道走向的曲线,相对普通航空直线飞行更为复杂。航线制定要求更精细、准确。特别是在复杂地形条件下,为了避免飞行平台撞毁,造成财产和人员伤亡,在制定飞行航线时,要求准确掌握河道所处峡谷两旁山脊高度、峡谷宽度,特别是在河道转弯处的详细信息。此外由于在峡谷中低空飞行,飞行危险系数高,应尽可能预测河道峡谷所处位置的气象,了解气流走向与分布,避免气流导致飞行姿态不稳,无法控制,以至飞行器损毁、人员伤亡。

航线制定采用卫星影像与大比例尺地形图相结合的方式。选择合适分辨率、带准确地理信息的卫星影像,根据任务要求在影像上确定始、终点坐标,以折线拟合飞行路线,同时给出折线交接点的经、纬度坐标。在保证完整遥感信息获取前提下,最短折线长度由飞控和导航参数确定。折线数越多,飞行航线与河道越吻合,因此在平台参数允许的前提下,应尽可能多取折线。

在大比例尺地形图上绘出飞行航线,确定航线上地表海拔高度变化以及进入探测航线的飞行路径上的海拔高度,在保证探测航线飞行高度不变的前提下,确定合适的飞行高度。此外,为制作附带高程信息的三维影像,回程需沿原航迹平行路线作逆向飞行,两条航线相距长度由三维遥感影像制作旁半重叠率参数确定。

将标有飞行航线的电子地图输入无人机飞控系统。无人机在进入堰塞湖探测自动巡航状态下,严格按照预定航线飞行,同时根据遥感(如航向重叠率等)要求自动控制传感器进行遥感航拍,完成堰塞湖遥感探测任务。

直升飞机航线只要求根据任务沿河道作初步制定,但飞控系统将根据飞行路线实时记录每张遥感影像的地理信息,为制作完整影像图提供基本参数。

## 3 遥感影像

### 3.1 对堰塞湖监测遥感影像的要求

与摄影测量要求的单幅影像不同,堰塞湖监测遥感影像必须满足以下要求:

- (1) 完整展示整条河流流向及两岸的所有信息,以便于做出流域上所有堰塞湖的处理决策;
- (2) 尽可能高的分辨率。一般要求达到0.1 m—0.4 m,以满足灾害定量评估需求;
- (3) 遥感影像快速处理。要求飞行完成几小时内制作出附带地理信息、灾害信息定量解译的完整影像,以尽可能减小堰塞湖次生灾害危险;
- (4) 经过增强处理,对灾害信息能够突

出显示。

### 3.2 堰塞湖遥感影像的处理技术

包括三部分内容:低空遥感影像尺度校正;遥感影像快速拼接;遥感信息增强处理。

#### (1) 低空遥感影像尺度校正

遥感影像尺度校正是遥感影像处理的核心,包括内校正与外校正。

内校正是针对光学镜头的非线性畸变、CCD 排列误差等传感器系统缺陷对单幅影像进行纠正。在焦距确定的条件下,镜头畸变差对每幅遥感影像的影响相同。同时由于 CCD 器件的固定性,其对每幅影像的影响也是相同的,可以与镜头畸变差一并作为系统性误差用数学公式或模型加以模拟、预测,并统一纠正。与普通摄影测量相比,低空遥感的场景较小,传感器系统缺陷对影像的尺度影响也相对较小。

外校正是对遥感影像中外方位元素引入误差的几何纠正。堰塞湖遥感监测影像可采取下列方法进行外校正:(i) 具有目标区大比例尺地形图条件下,利用地形图获取控制点的坐标和高程,按照摄影测量的方法进行几何纠正。这种方法纠正精度较高,但地形图成图时间与遥感影像成图时间差异较大时,地面控制点的识别和地面高程的准确性都难以保证;(ii) 在目标区有正射影像的条件下,以正射影像为基准,将无人机遥感影像与其进行匹配纠正,从而以高分辨率的低空遥感影像替换低分辨率的正射影像;(iii) 基于机载惯性导航系统和 GPS 定位系统的方法。利用机载测绘系统,确定影像准确坐标位置。将惯性导航与 GPS 定位算法融合以获得高精度坐标,该技术的成熟度还有待提高,特别是其在无人飞机上的应用还有待进一步研究。

#### (2) 遥感影像快速拼接

低空遥感由于其幅面小,完整地获取整条河流信息往往需要几百、甚至上千幅影像。因此影像快速拼接是提高堰塞湖信息获取速度的关键。

由于航高低,镜头焦距短,使得遥感影像周边成像质量变差。为提高最终的成图质量,对每幅影像进行逐个分析,通过兴趣区的选择,对其进行裁剪,选用靠近影像中心的部分。然后对所有影像进行匀色处理,尽可能消除由于成像时间不同造成的影像间色彩、明暗等方面的差异。将匀色处理后的影像,按其相邻位置排序,对比相邻影像间的重叠区,为每幅影像标注拼接线。把待拼接的影像和拼接线一起输入图像校正软件系统,利用每幅影像携带的地理

信息完成影像镶嵌,最终得到完整的遥感影像图。

## 4 应急信息采集技术

低空遥感能提供完整影像,分辨率较高,经过校正和灾害区域、对象增强处理,结合部分地理信息,能满足对堰塞湖灾害的快速定量评估与解译要求。

堰塞湖灾害定量信息评估与解译包括:

(1) 滑坡。根据遥感影像的比例尺和方向,判别滑坡的长度和宽度以及滑动方向;由于影像有30%的以上的航向和旁向重叠,通过立体像对可快速提取滑坡体高度和厚度,再通过地质图的资料对比,可准确得出滑体的主要岩性。

(2) 崩塌。崩塌体长度、宽度信息提取与滑坡基本一样。灾害区崩塌体的平面规模与其厚度有相关性,发生崩塌所形成的倒石堆坡度一般在37度左右,可通过崩塌体的长度推算其高度。

(3) 泥石流。泥石流沟的判读主要是通过对沟道内松散固体物质的辨识获得。一般通过专家知识库及相关经验判断具备爆发泥石流所需要地形条件(沟道比降)。震后所引发的大量滑坡和崩塌固体物提供了形成泥石流的必备条件。

(4) 堰塞湖。堰塞湖是由于河道两岸滑坡(崩塌)阻塞河道所致。堰塞坝为阻塞河道的滑坡体。确定堰塞坝体积,需判读出堰塞坝的平面规模,结合其高度进行。

根据堰塞体的回水位置,确定其高程,结合地形图数据,计算坝体位置水深。通过坝体前后的有水和无水区位置,可以确定坝体的高度从而计算出堰塞坝的体积。

堰塞湖的流域面积可通过地形图量算,再配合水文以及气象资料,计算有关汇流以及水位上涨信息。

坝体的稳定性评估,除了对堰塞体的组成物质进行判断外,需要深入现场考察。

基于低空遥感影像对堰塞湖灾害的评估具有快、准的特点,适于地震、洪水等灾害所致信息阻断区堰塞湖等次生灾害信息的获取,是灾害处理决策的主要技术支撑之一。

## 5 结束语

低空遥感系目前遥感科学与技术领域里的前沿研究方向及研究热点。在“5.12 汶川地震”抗震救灾中,低空遥感首次被用于堰塞湖次生灾害信息探测,获得了巨大成功。通过低空遥感探测的堰塞湖影像

和灾情信息成为抗震救灾指挥部处理堰塞湖决策的“军事地图”,同时也是灾后重建规划的基础信息。

“高分辨率、低空遥感地震灾情探测”抗震救灾行动得到了四川省抗震救灾指挥部、四川省科技厅、成都军区测绘信息中心、济南军区陆航一团、成都军区陆航二团等单位 and 武警官兵的大力支持。他们不

仅在装备、人员、航线、飞行任务安排等方面给予大力支持,同时他们在抗震救灾第一线、在地震重灾区冒着生命危险忘我工作的精神也给了参与专家极大的鼓励。在此对给予本次行动帮助和支持的所有单位、个人表示深深的感谢,对于他们在抗震救灾中的忘我精神表示无限敬佩。

## LOW ALTITUDE RS TECHNOLOGY AND SEISMIC DAMMED LAKE MONITORING

Tong Ling<sup>1</sup> Li Yuxia<sup>2</sup> Zhao Zhongming<sup>1</sup> Wang Yangchun<sup>3</sup>  
Zhu Hua<sup>4</sup> Kong Jiming<sup>3</sup> Qin Jun<sup>5</sup>

(1UESTC, Chengdu 610054; 2IRSA, Beijing; 3IMHE, Chengdu 610041; 4BAFT, Beijing; 5SJU, Chengdu 610031)

**Abstract** 5.12 Wenchuan Earthquake damaged the topography of Nongmeng mountain range from North-West to North-East of Sichuan Province greatly. It made a lot of dammed lakes, the main reason of secondary damage. The paper introduces the technology of the low altitude RS(Remote Sensing) with high surveying resolution and damage evaluation technology to the dammed lakes along the river due to earthquake landslip. The aerophotographes of the damaged area are showed and the technology construction of the damage information collection is suggested.

**Key words** low altitude RS, pilotless plane, dammed lake, high resolution RS image, seismic disaster

·资料·信息·

## 科学基金资助成果用于“神七”宇航员首次太空行走

我国“神七”航天员首次执行了舱外太空行走任务,与“神六”和“神五”不同,航天员所穿的舱外航天服要比舱内航天服复杂得多。作为航天员观察太空世界的“眼睛”——由郑州大学橡塑模具国家工程研究中心自主研制的舱外宇航服面窗经受了各种特殊的环境条件的考验。

为了保证宇航员的安全和顺利完成舱外任务,势必对特殊环境下宇航服面窗的力学、光学等性能提出了更高的要求。制品需要具备高低温环境下非常高的抗冲击性能,以抵抗太空微尘的冲击;具备非常好的防辐射能力和光谱透过率,以保证透过面窗视物没有混浊现象、清晰和不变形;制品表面应光洁,无斑纹、气孔、泛白、雾晕、黑点、变色、银纹色线等缺陷;制品内部没有任何微裂纹等等。

郑州大学橡塑模具国家工程研究中心自上世纪80年代开始从事高聚物成型和模具技术领域的研究,在国家自然科学基金重大项目“高聚物成型加工与模具设计中的关键力学和工程问题”和国家杰出青年科学基金的资助下,中心主任申长雨教授带领

课题组重点开展了高聚物成型过程复杂流体动力学计算、高聚物成型过程与制品性能预测的多尺度建模和计算方法、高聚物成型过程的模拟仿真技术、模具优化设计及制品质量控制研究等方面的基础和应用基础研究。在这些研究成果的基础上,经过近两年的努力,他们对注塑成型全过程进行了全过程的宏观和微观数值模拟,详细分析了成型过程非牛顿黏弹性流体的流动和传热过程,预测了成型诱导的各种微结构的变化,以及制品的尺寸精度,数值分析了各种环境和工况下面窗的受力和变形行为。并经过近百次的数值与物理实验,完成了从模具的设计、制造,工艺条件的优化以及产品的制造,并与相关科研单位一起完成了最终产品的性能测试,包括高低温实验、抗冲击实验、抗辐射实验、光线折射实验和耐压实验等,各项性能指标完全满足航天要求,取得了满意的结果,受到总装备部领导的高度赞扬。

(数理科学部 供稿)