

文章编号: 1007-4619(2008)06-0925-08

机载激光雷达在汶川地震应急响应中的若干关键问题探讨

马洪超¹, 姚春静¹, 张生德²

(1 武汉大学 遥感学院, 湖北 武汉 430079)

2 北京东方道途信息技术有限公司, 北京 100080)

摘要: 就机载激光雷达在“5·12”四川地震灾区快速获取数据的若干关键问题进行了探讨。介绍了机载激光雷达的一般技术以及数据处理基本流程, 对影响数据获取和最后成果精度的几个普遍问题进行了讨论, 根据这次四川灾区的实际情况, 比较详细介绍了数据获取和处理的一些关键技术问题。这些问题的探讨, 对于机载激光雷达在中国广大西南地区的推广应用以及激光雷达在应急响应中的应用, 有较好的参考价值。

关键词: 地震; 机载激光雷达技术; 堰塞湖; 滑坡

中图分类号: TP722.6/TP79 **文献标识码:** A

1 引言

2008年5月12日14时28分, 四川省发生里氏8级强烈地震, 全国大半地区有明显震感。这次地震给灾区人民造成了巨大的生命和财产损失。大地震发生后, 地震灾区形成了34个大小不等的堰塞湖。不论哪个堰塞湖, 一旦溃堤将给下游居民带来次生灾害。在这34个堰塞湖中, 风险最高、最难处置的是北川县唐家山堰塞湖。北川县位于四川盆地西北部, 县城距绵阳市区60km, 距成都160km。县境内山峦起伏, 沟壑纵横, 地势西北高, 东南低, 最高海拔4769m, 最低海拔540m。由于灾区地形及气象条件极其复杂, 尤其灾后地形破坏严重, 给唐家山堰塞湖的抢险工作带来极大困难。由于相关部门和专家缺乏高精度现势性地形数据, 无法进行比较精确的风险评估和排险方案的制订。在此情况下, 应抗震救灾总指挥部的要求, 采用机载激光雷达(LIDAR)对唐家山堰塞湖流域的地形进行了紧急航空摄影测量, 在最短的时间内为有关部门和专家提供了高精度堰塞湖流域的数字高程模型(DEM), 为堰塞湖的险情排除提供了第一手基础数据, 证实了机载激光雷达在复杂地形和复杂气象条件下快速获取高精度DEM的独特优势。

之后, 应有关部门要求, 机载激光雷达设备对

重灾区映秀地区进行了航空摄影测量。由于该地区地形起伏, 高差变化大(区域的最大高程是2050m左右, 最低为200m左右)为航线设计和航空摄影实施带来了困难。通过仔细研究航线、设备、各种物理参数的组合, 充分发挥了设备功能, 成功获取预定区域的DEM数据。

四川地形多为高山和原始森林, 由于余震频繁发生, 造成多处地区出现滑坡, 山体峡谷之间的公路严重阻塞, 极大地影响救灾的交通运输。因此, 快速准确地查找滑坡位置, 及时进行道路抢通是救灾工作顺利完成的 key 之一。利用LIDAR点云生成的DEM数据, 准确快速地判读滑坡的位置和体积, 提高了效率, 改进了勘察工作的安全性。

通过这次工作, 证实了机载激光雷达在复杂地形和气象条件下获取数据的有效性和效率。为抗震救灾提供了高精度的DEM数据, 可以为类似自然灾害的快速响应提供强有力的技术保障。以这次抗震救灾实际工作经验为基础, 探讨机载激光雷达应用于灾害应急响应的若干关键技术。

2 激光雷达技术介绍^[1-3]

机载激光雷达(LIDAR)是一种精度高、耗时少、成本低的新型航空遥感传感器, 由激光扫描仪、全球定位系统(GPS)和惯性导航设备(MU)3部分组成,

收稿日期: 2008-07-12 修订日期: 2008-08-01

基金项目: 国家 973 项目(编号: 2009CB724007)和“十一五”国家 863 项目(编号: 2006AA12Z101)。

作者简介: 马洪超(1969—), 男, 教授, 中国地质大学地球探测与信息技术专业工学博士, 武汉大学摄影测量与遥感专业博士后。主要从事遥感数据处理方面的算法研究和软件开发。已发表论文 30 余篇, 合编专著 1 部。E-mail: hcm@whu.edu.cn, hongchao_m@263.net.cn。

是摄影测量与遥感技术中的高技术设备。LIDAR 获取的数据有点云和全波形 2 种类型。工程应用中成熟的是点云数据。如果数据获取时的相关参数合适, 点云的旁向点间距 (点云密度的一个指标) 可达 0.3m 以下, 航向点间距可达 0.8m 以下, 垂向精度可达 10cm 以下。LIDAR 系统通常会同时携带 2200 万像素或者 3900 万像素的量测型数码相机。该相机经过厂方严格的检校以获得内方位元素, 同时该相机工作的时候由定姿定位系统 (POS) 控制, 具备获取摄影时的外方位元素的能力, 因此可以看作是一个带 POS 系统的小型数码相机 (DMC)。

上述配置和数据获取能力, 为高精度 DEM、数字正射影像 (DOM) 和数字线画图 (DLG) 的生产, 提供了强大的技术手段, 形成了广泛的应用领域。

激光回波必须结合 POS 数据才能解算工程上可以使用的点云数据。激光回波如何量化? 如何与 POS 数据相结合获得每个点的坐标、扫描角度、GPS 时间等等参数? POS 数据如何解算? 这一系列产生点云前的解算过程, 统称为 LIDAR 数据预处理。这种预处理算法和软件是由设备厂商提供的, 用户不必关心、有时也无法了解具体细节, 比如, 激光回波是如何量化? 厂商一般作为商业机密, 不会

随便公布^[4]。

经过预处理解算获得标准格式的点云数据 (波形数据的有关情况), 除了表示高程的点云数据外, 还有激光回波强度信息可供使用。由于一般的 LIDAR 系统采用近红外波段, 因此强度信息可以看作近红外波段的影像数据。但由于点云的分布不规则、更重要的是强度信息并没有经过严格的辐射纠正, 因此使用强度数据时要引起注意^[5,6]。

LIDAR 点云数据处理的关键技术是滤波和分类。在点云数据处理中, 滤波和分类是两个相互穿插、相辅相成的概念, 是为了将地面点和非地面点区分出来。对于非地面点还要区分植被、建筑物、其他人工建筑等类型。在点云数据分类中, 地物类型的定义和光学影像分类中的地物类型的定义有较大的区别。比如高架桥, 是地面点还是非地面点? 有些数据缺失的地方是要内插还是留作空洞? 等等, 是点云分类常常遇到的问题。因此对点云数据的后处理, 要结合用户的需求做^[7,8]。

对于 LIDAR 携带的 CCD 影像数据处理, 可以看作是一个带 POS 系统的小型 DMC, 一般的摄影测量软件可以使用, 生产正射影像。

LIDAR 数据采集和处理一般流程如图 1。

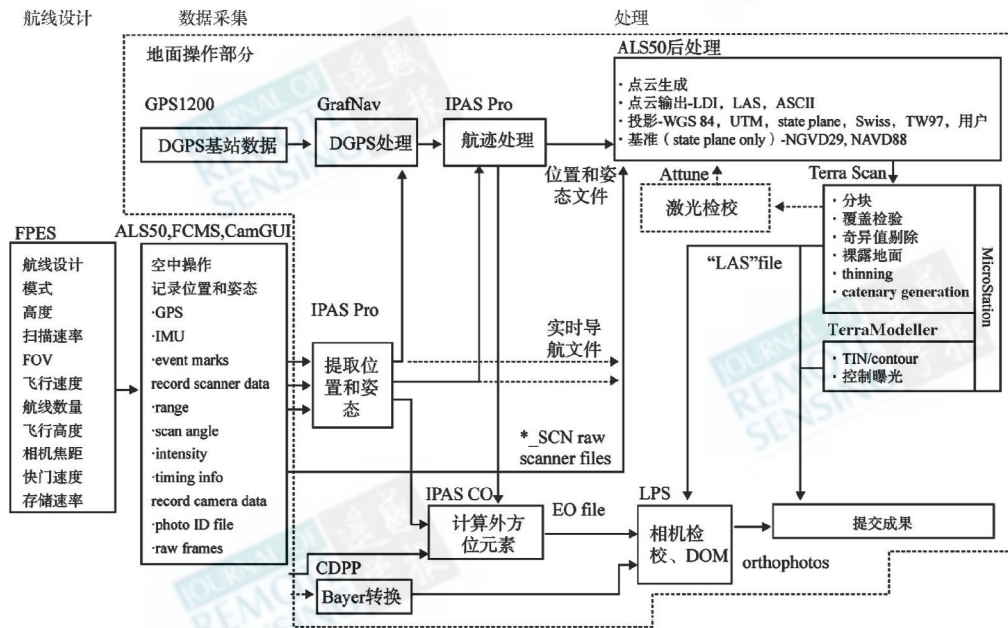


图 1 机载激光雷达数据后处理流程

Fig. 1 Work flow of airborne LIDAR data post-processing

3 获取高精度地形数据几个关键技术问题

LIDAR 的应用领域虽然广泛, 但快速获取高精度 DEM 模型是大多数应用的基础。以下几个方面

是工程应用中需要重点考虑的环节。

(1) 设备检校。新设备在第一次使用时需要进行严格的检校。对 LIDAR 系统来说, 激光扫描仪和相机要进行检校。

(2) 航线设计。航线设计的好坏, 直接影响原始数据的获取。必须综合考虑比例尺、相对地形高

差、飞行速度、激光发射能量和频率等多种因素。

(3)地面 GPS 基站 的设置。这是影响所获取数据精度的最主要因素。要求测区内每隔 25—30km 要布设一个基站, 采样时间间隔 $\leq 2s$ 。理论上, 单点定位(即不需要基站)的精度能达到 30—50cm。不过, 实际难以达到这个精度。

(4)观测条件。地形的起伏程度、测区天气、植被覆盖程度等会影响最后精度。中国的西南地区地形高差很大, 到处是深山峡谷, 难以获得比较均匀的点云数据; 激光雷达在云雾比较厚的情况下难以获得好的数据; 而植被覆盖会影响后续 DEM 的提取。

(5)LIDAR 的发射能量的选择。商业化的 LIDAR 系统, 其激光发射能量有一个限定值, 在这个限定值之下, 是可以进行调节的, 这就是发射能量的选择问题。如果能量选择过高, 硬件系统的损耗增大, 影响设备寿命, 但如果能量选择过低, 又得不到足够的回波能量, 获取不到数据。

还有一些在飞行过程中可能随机碰到的问题, 比如预先设计好的航线不可用、甚至系统停止工作等。很多问题是传统航空摄影测量不会遇到的。因此要充分发挥机载激光雷达的功能, 要求使用者不仅要累积使用经验, 而且要对 LIDAR 设备原理有一定的了解。

4 地震灾区获取数据情况及数据处理

4.1 所用设备概况

我们使用的设备是 Leica ALS50 第二代, 由瑞

士 Leica 公司生产, 2007 年 12 月底到达武汉。主要参数如表 1。

表 1 Leica ALS50 第二代主要性能参数表
Table 1 Main specifications of Leica ALS50 second generation LIDAR system

最大行高	最大发射频率	最大视场角	回波次数	POS 系统类型
6000m	150kHz	75°	4	IPAS10(美国)

随设备携带的 CCD 相机型号为 RCD_105, 3900 万像素, 镜头由厂商严格校核。

由于四川地区气象条件复杂, 夏天又是雨季, 空中不断有云团飘过, 80%—90% 的云层覆盖且局部云层很厚。按照 LIDAR 有关理论, 这样的条件不适合设备使用, 回波信号会很弱甚至没有回波。但为了能尽快获取相关数据, 及时做了机上处理, 基本上比较顺利地获取了数据。

4.2 飞行前准备

一般要求在 WGS84 投影地形图上进行航线设计, 在缺乏原始地图影像资料的情况下, 利用 GoogleEarth 中的影像数据对北京 54 坐标系下的扫描地形图进行纠正, 从而将地形图转换到满足航线设计要求的 WGS84 坐标系下。可以将航线设计文件加载到 GoogleEarth 中, 检查航线设计是否偏离实际地形较远。以唐家山和映秀两个区域为例的航线设计图分别见图 2 和图 3。

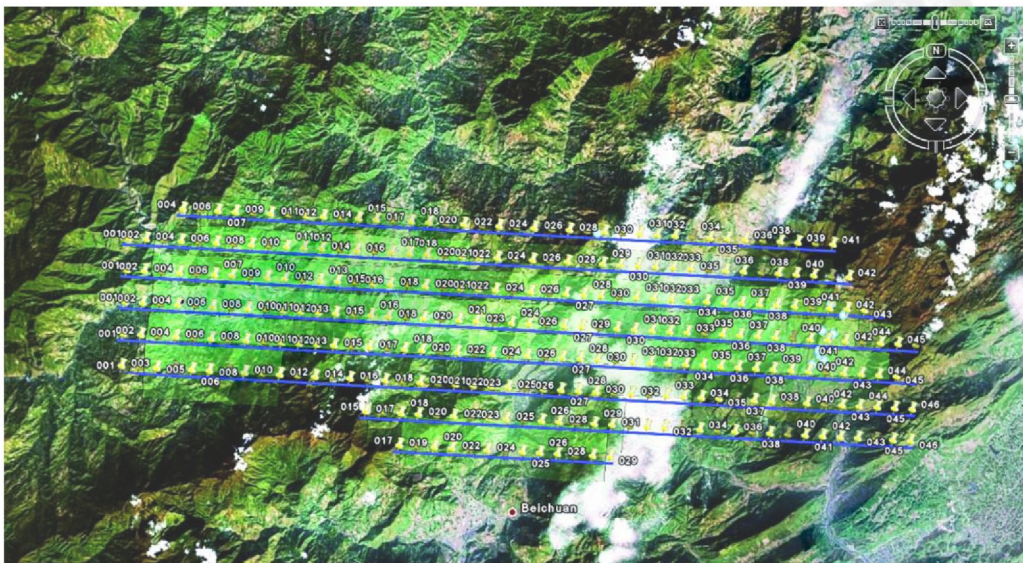


图 2 唐家山堰塞湖测区航线设计

Fig. 2 Flight lines of Tangjashan Earthquake lake area

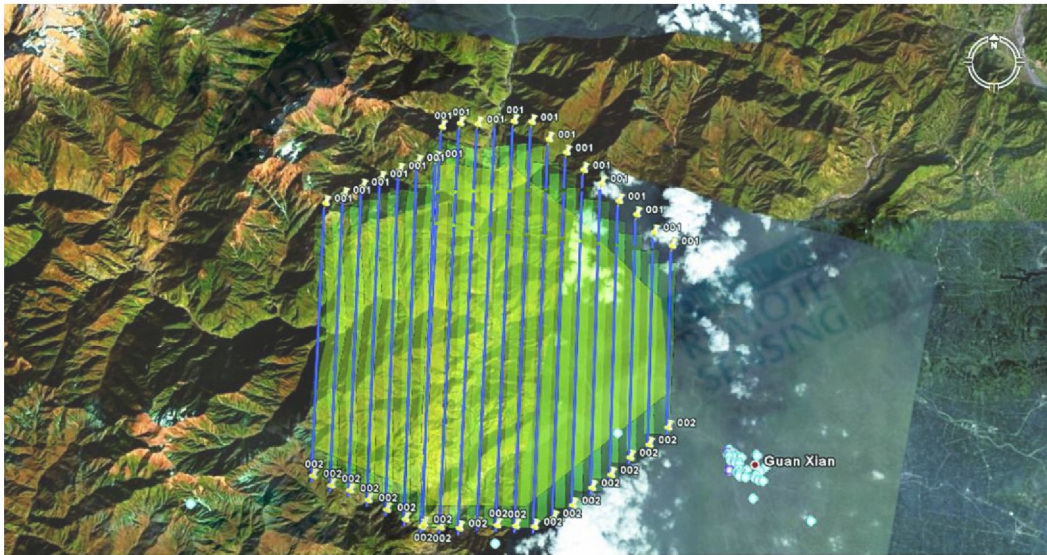


图 3 映秀区域航线设计图

Fig.3 Flight lines of Yingxiu area

由于设备已经经过检校,加之时间紧迫,因此直接利用已有的检校成果,而没有做进一步的检校。结果表明,获取的点云航带无需进行航带配准,就能很好地进行拼接。

已有的经验表明,单点定位很难满足精度的要求,因此需要至少一个基站参与 POS数据的差分计算。由于唐家山堰塞湖地区交通困难,余震不断,地形起伏变化大,地面工作危险重重,在应急情况下,我们在机场布设了一个地面基站,作为地面参考。为了保证基站数据的可靠性,需在飞行前 1—2h进行 GPS观测,并且在飞行结束后还要延迟观测 1—2h。该基站虽然离唐家山超过 100km,但结果表明,由该基站参与的差分计算,比单点定位的精度提

高大。在应急情况下,这样的处理也是许可的。

4.3 数据处理

由于飞行条件恶劣加之测区地形高程变化大,获取的数据存在多种问题。首先,在云层较厚的区域,存在比较严重的缺失。其次为了加强信号接收,采取 MPFA 多脉冲发射获取方式,但是由于地形起伏严重,加之气象条件恶劣,使得信号接收发生紊乱,因此获取的数据在地形相对高差超出设备的作业范围的山顶区域,出现数据下陷或者抬升。比如,在唐家山堰塞湖至绵阳中游区域的数据缺失比较严重,如图 4。幸运的是,唐家山堰塞湖的数据刚好被完整地获取到了。

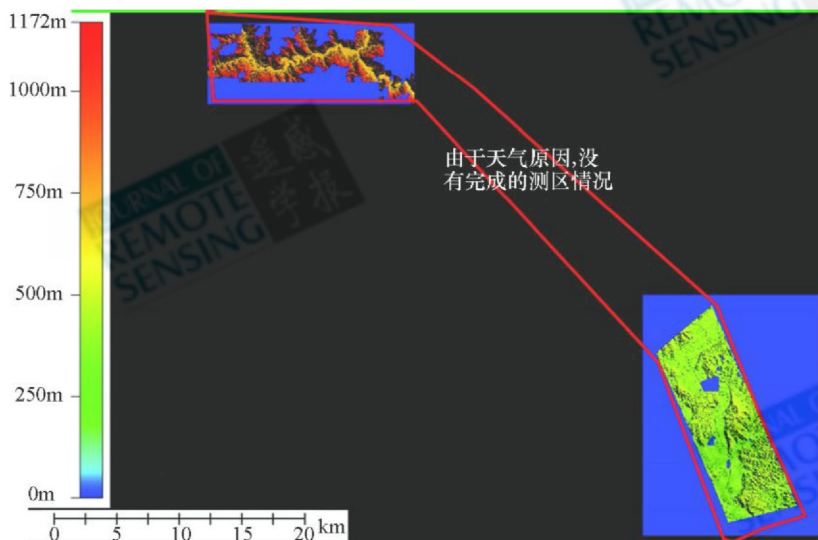


图 4 天气影响下的数据缺失(主要由厚云引起)

Fig.4 Data losing due to bad weather (heavy clouds)

按照 LIDAR 数据一般后处理流程, 结合本次飞行特点, 我们采用的数据处理主要流程如图 5。

需要注意的是, 恶劣天气条件下获取的点云数据往往存在数据缺失和数据抬升或者塌陷的现象, 采取绝对高程滤波方法将错误点和粗差点剔除, 在此基础上生成 DEM。由粗 DEM 点云精化的一般步骤: (1)错误点的提取; (2)低点去除, 去除不连续的

低点; (3)表面低点去除, 去除连续低点; (4)地面点提取; (5)再一次低点去除, 主要是以地面为参考, 去除离地表面距离超出阈值的点, 即平滑地表。由于测区内的高山多为原始森林, 生成的地面模型有很多的毛刺, 需要将毛刺去掉, 生成高精度的 DEM, 以便进行体积量测、勘测设计、滑坡计算等各种数值分析和测量计算。

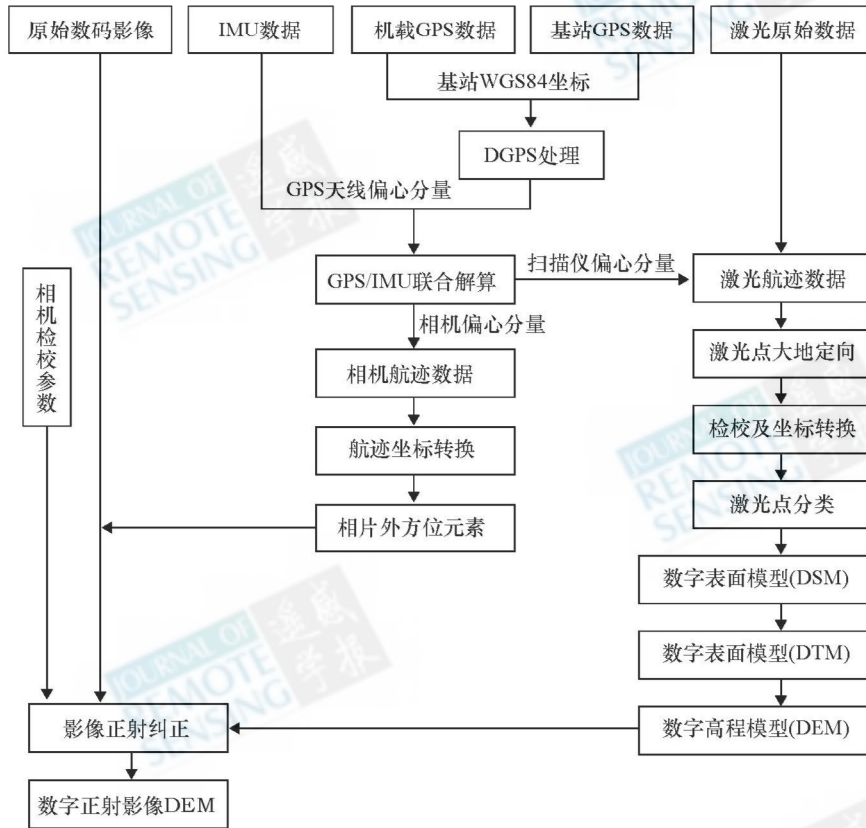


图 5 数据处理流程图

Fig. 5 Flow chart of data processing of our project

4.4 成果

本次在四川灾区执行的飞行架次总计 4 架次, 计划飞行面积 800km², 有效获取数据的面积约为 500km²。一般是当天获取数据, 晚上连夜处理, 第二天将结果报送给相关部门。以唐家山和映秀地区为例, 获取的数据成果主要包括: (1)大面积 DEM 成果; (2)等高线; (3)滑坡分析成果; (4)水位分析数据 (图 6)。其中唐家山地区飞行高度为 3300m, 映秀地区飞行高度为 4100m, 都使用 MP A 技术。唐家山地区原始点云间隔在 x 和 y 方向上均约 2m, 映秀地区的点云间隔约 2.5—3m。由于拍摄地区均为地震重灾区, 数据绝对精度无法用地面检查点的方法进行检查。但是相对高程精度可达 30cm。需

要说明的是, 由于处理时间紧迫, 所列成果基本上未做精处理。其中, 图 6(a)为唐家山堰塞湖上游及坝区 DEM, 总面积约 130km²。唐家山堰塞湖位于图示右下角, 积水存储量超过 1.7 亿 m³; (b)为由 (a)所示的 DEM 直接生成的等高线; (c)唐家山堰塞湖地区局部 DEM 数据; (d)唐家山堰塞湖的坝区局部地形, 包括堰塞湖滑坡, 泄洪沟。清晰地揭示了滑坡和湖面水位, 为次生灾后专家提供了高精度的基础数据; (e)唐家山堰塞湖上游, 马堰岭古滑坡; (f)映秀地区 160km² 的 DEM; (g)映秀镇附近局部三维地形; (h)都汶公路滑坡解译。滑坡区域清晰可见, 在部分严重区域, 仅几百米内就有多处滑坡。

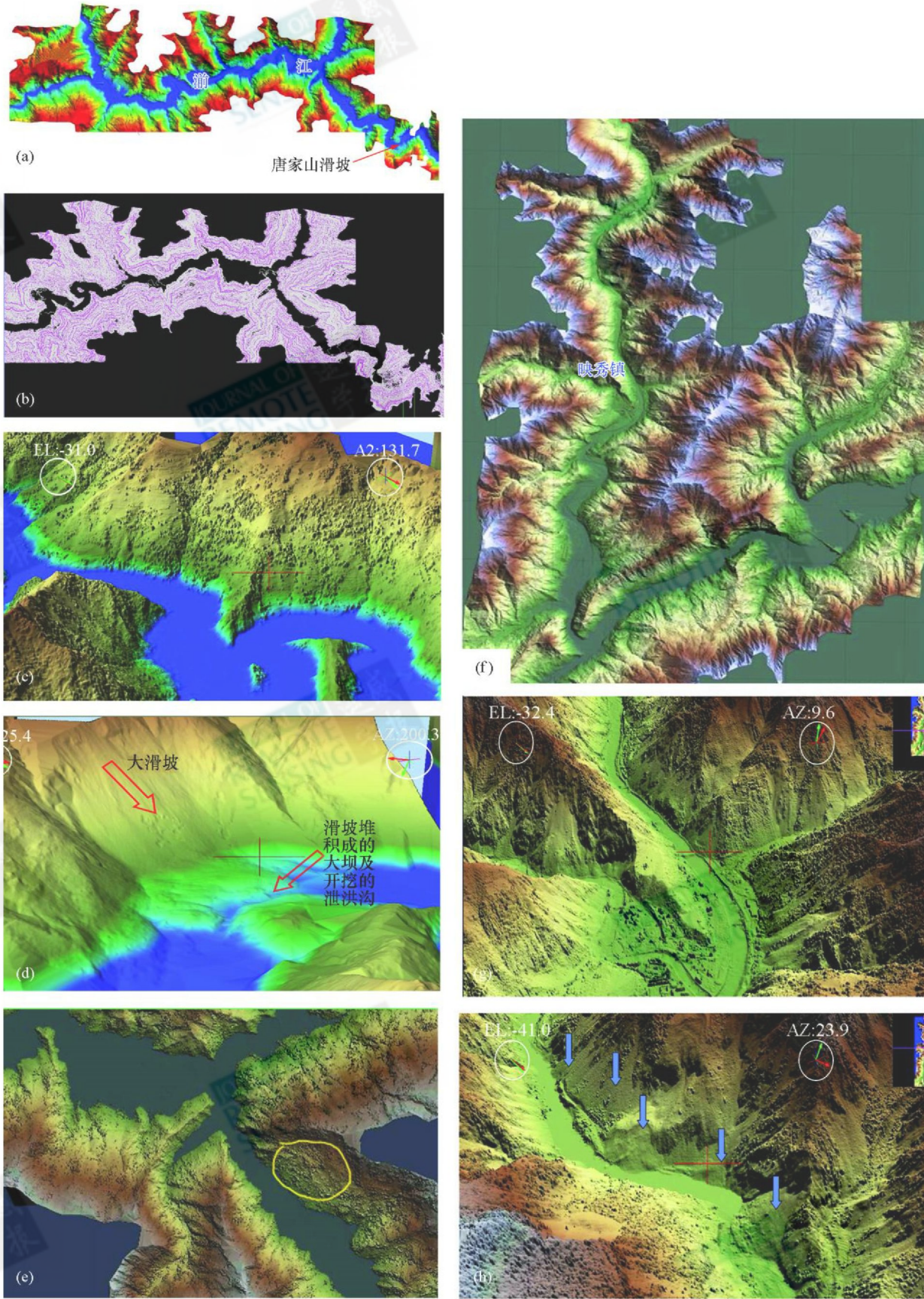


图 6 以唐家山和映秀地区为例数据成果图

Fig. 6 LIDAR data acquired from the Tangjiashan and Yingxiu areas

5 结论与展望

通过这次汶川大地震灾害应急响应实践,证实了 LIDAR 技术在困难地区获取高精度 DEM 数据方面存在独到的技术优势:

(1) 具备在复杂气象条件下的数据获取能力。这次数据获取的大部分时间均有厚薄不均的云层覆盖,有些地区,更是乌云密布,能见度很低,裸眼根本看不见地面。即便如此,在激光发射能量合适的情况下,也能获得部分回波数据。

(2) 在中国西南高山峡谷和森林覆盖密集的地区,激光雷达具有高精度、高效率的优势。由于广大西南部地区缺乏高精度测绘数据,而传统的测量方法又难以在高山峡谷、气候无常的西南地区发挥作用,机载激光雷达无疑是最佳的选择。

(3) 机载激光雷达数据处理迅速,能满足应急需要。如果我们不需要进行大量的人工建筑、植被等地物剔除,那么机载激光雷达获取的数据只要稍加处理,便能得到精度较高的 DEM 数据。这在灾害应急响应的应用中尤为重要。

作为一种新型航空遥感传感器,LIDAR 技术的优势已经为国内外众多的工程实践所证实。但正因为是新型传感器,认识和了解它的人比较少,而能够在工程上应用这种技术的人就更加少了。这方面,中国与西方发达国家以及亚洲的日本、中国

台湾地区的差距是比较大的。要真正利用这门技术,需要由包括高校、工程技术单位、科研院所甚至政府机构在内的全体业内人士的共同努力。

参考文献 (References)

- [1] Wehr A, Lohr U. Airborne Laser Scanning: An Introduction and Overview [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 1999, **54**: 68—82.
- [2] Ackmann F. Airborne Laser Scanning: Present Status and Future Expectations [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 1999, **54**: 64—67.
- [3] Baltasvicius E. P. A Comparison between Photogrammetry and Laser Scanning [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 1999, **54**: 83—94.
- [4] Axelsson P. Processing of Laser Scanner Data: Algorithms and Applications [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 1999, **54**: 138—147.
- [5] Coren F, Sterzai P. Radiometric Correction in Laser Scanning [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, **27**(15): 3097—3104.
- [6] Filin S. Surface Classification from Airborne Laser Scanning Data [J]. *Computers and Geosciences*, 2004, **30**: 1033—1041.
- [7] Zhang K, Chen S, Whitman D, et al. A Progressive Morphological Filter for Removing Nonground Measurements from Airborne LIDAR Data [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003, **41**(4): 872—882.
- [8] Sithole G, Vosselman G. Experimental Comparison of Filter Algorithms for Bare-Earth Extraction from Airborne Laser Scanning Point Clouds [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 2004, **59**: 85—101.

Some Technical Issues of Airborne LIDAR System Applied to Wenchuan Earthquake Relief works

MA Hong-chao¹, YAO Chun-jing¹, ZHANG Sheng-de²

(1 School of Remote Sensing, Wuhan University, Hubei Wuhan 430079, China)

(2 Beijing Eastlawn Information Technology Ltd. Co., Beijing 100080, China)

Abstract Based on the practical experiences we learned from “5·12” Wenchuan Earthquake relief works, the paper discusses some key technical issues on data acquisition and post-processing arising from the airborne LIDAR system when it is applied to rapid response. After briefly introducing the basic principles of LIDAR technology and its post-data processing work flow, several key technical issues concerning data acquisition and processing are expounded: (1) System calibration, which is actually important to all scenarios when LIDAR system is to be used; (2) Flight planning, the first and is also the key step as for high accuracy data acquisition. A good flight plan is of great importance, especially when LIDAR system works in hilly areas with high relief, where weather condition is often complicated as well; (3) Ground GPS base station setting up, GPS base station, which is necessary if POS system is adopted and high positioning accuracy is demanded. Several requirements should be satisfied; (4) Conditions for observation, including topographical condition, weather condition and forestry covering, all of which can influence the accuracy of the final results; (5) The choice of LIDAR hardware systems. Though several commercial LIDAR systems can be selected, we should bear in mind that each system has its pros and cons. Observation conditions have to be taken into consideration, especially when the LIDAR system is to be used over the hilly areas, such as in Sichuan Province; (6) The choice of laser power emission. As an active sensor system, LIDAR emits power by itself. However, there is a limitation as how much power is emitted. When lower power is emitted, it may lack of energy that signals can not be reflected by ground objects, so no echoes recorded. On the other hand, if raising power emission to a very high level, it is harmful to the hardware components of the system. So the optimal choice is a must.

Some achievements using the Leica ALS50 second generation LIDAR system are listed in the latter section, which show the airborne LIDAR technology is an efficient and practical way to obtain high accuracy DEM data for Southwestern China. Some conclusions are summarized in the last section, including: (1) LIDAR system can acquire raw data under complex topographic and bad weather conditions; (2) LIDAR technology is the best choice for accurate DEM data acquisition in hilly areas with high relief and heavy forest; (3) data post-processing is time efficient and shows its satisfaction for rapid response applications. The works described in the paper is helpful to similar natural hazard relief works, and the technical issues discussed in the paper can be referenced by other similar projects.

Key words earth-quake, LIDAR technology, earth-quake lake, landslide