

# 汶川震后震害区 DEM 提取方法研究

——以平武县为例

杨鑫<sup>1,2</sup>, 潘倩<sup>2,3</sup>, 杨武年<sup>1,2</sup>, 刘汉湖<sup>1,2</sup>

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;

2. 成都理工大学遥感与 GIS 研究所, 四川 成都 610059;

3. 四川省环境监测中心站, 四川 成都 610041)

**摘要:**数字高程模型(DEM)是地理信息系统的基础数据,在与地形相关的各个领域都有非常广阔的应用前景,因此,对DEM的生产和应用研究意义重大。5·12汶川特大地震导致灾区地形严重破坏,原有的地形图及DEM数据不再具备时效性;而有效的DEM数据在当时抗震救灾和灾后重建高精度正射遥感影像地图制作、三维漫游、公路交通及地质灾害信息提取和预警预报等方面又极为重要。因此,采用何种技术方法快速获取灾区震后DEM数据是当时亟待解决的问题。利用ENVI平台,以四川省平武县为实验区,选用IRS-P5卫星遥感立体像对,尝试在不能采集到高精度地面控制点的条件下,为应急快速获取研究区震后1:5万DEM数据的工作流程。实验结果及其精度评价表明,获取的实验区震后DEM精度达到了1:5万或更高比例尺DEM精度标准。该研究方法及其提取DEM的工作流程对类似地区应急条件下提取达到一定精度要求的DEM有实用参考价值。

**关键词:**IRS-P5; 立体像对; DEM提取; 震害区

**中图分类号:**TP 79; P 315.9      **文献标志码:**A      **文章编号:**1004-0323(2011)06-0751-07

**引用格式:**Yang Xin, Pan Qian, Yang Wunian, *et al.* The Method of DEM Extraction after Wenchuan Earthquake in the Earthquake Disaster Area——Take Pingwu Country for Example[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(6): 751-757. [杨鑫, 潘倩, 杨武年, 等. 汶川震后震害区DEM提取方法研究——以平武县为例[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(6): 751-757.]

## 1 引言

5·12汶川8级特大地震影响波及大半个中国,地壳断裂、山体破碎,并诱发了大量次生灾害,地震造成的严重破坏建国以来罕见。及时快速地获取地震灾害信息是评估和有效降低灾害损失的重要途径<sup>[1]</sup>。5·12地震后,震区地形地貌遭到巨大破坏,震前的灾区DEM、地形图、正射影像图等测绘基础数据已失去时效性,且灾区余震频繁,滑坡、崩塌、泥石流等次生灾害频发,对灾区进行野外测量是不现实的。DEM是制作地形图和正射影像的基本数据,如何快速、及时、准确地获取DEM,更新灾区基础地

理信息数据库,是对灾害快速评估和制定灾区恢复重建规划需解决的重要课题。

本文利用印度IRS-P5遥感卫星立体像对<sup>[2-3]</sup>(空间分辨率2.5 m),探讨应急情况无高精度地面控制点条件下快速提取DEM的方法及工作流程,并对实验结果进行精度评价。本文所采用的研究方法和提取DEM的工作流程具有实用性,对类似地区在应急条件下获取满足精度要求的DEM具有参考价值。

## 2 研究区概况

平武县隶属四川省绵阳市,位于涪江上游,地处

收稿日期:2011-07-18;修订日期:2011-10-21

基金项目:地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室自主研究基金项目(SKLG2009Z004),国家自然科学基金项目(41071265)资助。

作者简介:杨鑫(1984—),男,宁夏中卫人,博士研究生,主要从事3S工程与数字国土方面的研究。E-mail:shen.198471@yahoo.com.cn。

通讯作者:杨武年(1954—),男,宁夏中卫人,博士,教授,博士生导师,主要从事3S技术及应用方面的研究。E-mail:ywn@cdut.edu.cn。

四川盆地西北部边缘。境内山岭绵延,峰峦重叠,地势由西北向东南倾斜,境内高差悬殊大,全县地域轴线南北长 120 km,东西宽 104 km。海拔高于 1 000 m 的中山区占全县面积的 94.35%,海拔低于 1 000 m 的低山区占全县面积的 5.65%。平武县幅员面积 5 974 km<sup>2</sup>,全县有耕地 2.73×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,森林覆盖率为 40.6%,植被种类和水利资源丰富。

本次研究选取的两期立体像对覆盖范围基本一致(如图 1 所示),在 104°26′~104°47′E,31°58′~32°18′N 之间。研究范围位于四川省绵阳市平武县和北川羌族自治州交界处,大部分在平武境内。

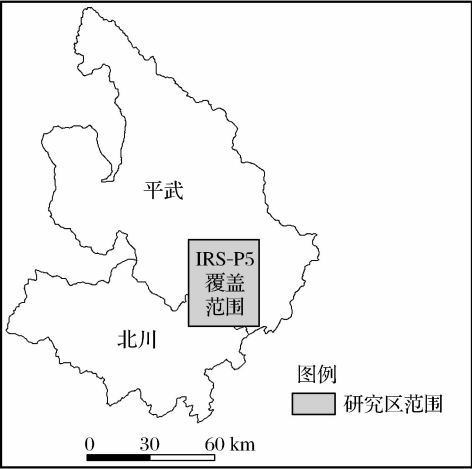


图 1 IRS-P5 立体像对大致覆盖范围示意图  
Fig. 1 IRS-P5 stereo pair coverage diagram

3 提取 DEM 的基本原理与方法

3.1 基本原理

基于遥感立体像对提取 DEM 的基本原理可以看成是空中两个不同位置的摄影站对地面同一点进行拍摄并形成一角,若两个摄影站的空间位置确定,则角度越大地物点越高;相反,角度越小地物点越低。如此解算出所有地面点的高程,就得到了 DEM。

如图 2 所示,S1 和 S2 是两个摄影站(相当于人的双眼),S1 和 S2 之间的距离 b 为空间摄影基线。A、B、C 代表 3 个地物点,当 A、B、C 依次经过 S1、S2 后,形成像点 a1、b1、c1 和 a2、b2、c2。两幅图像中,同名像点的两条反向投影光线采用前方交会可以确定地物点的位置<sup>[4-5]</sup>,它的本质是对该摄影过程几何反转,由此获得地面所有点的高程信息,最终生成 DEM。需要注意的是,同轨立体像对比异轨立体像对的空间、时间效应更加完备,且成像条件也相对一致。

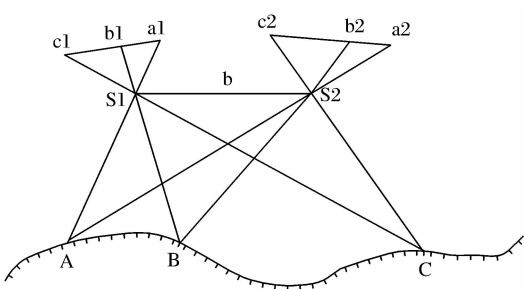


图 2 基于立体像对提取 DEM 原理示意图<sup>[4-5]</sup>  
Fig. 2 The diagram of based stereo pair to DEM extraction

3.2 研究方法

基于立体像对的测图分为立体像对的相对定向和绝对定向。

3.2.1 相对定向

相对定向是指恢复摄影成像瞬间立体像对左右像片之间的相对位置和姿态,其任务是求解相对定向元素,通过这些定向元素即可恢复两张像片的相对位置和姿态<sup>[6]</sup>。

如图 3 所示,地面上的一点 P,经过摄影中心 S 和 S′ 分别在左右影像中成像,得到点 p 和 p′,图中 Sp 与 Sp′ 为同名光线,相交于 P。SS′、Sp、Sp′ 3 线共面,由此可得式(1):

$$SS' \cdot (Sp \times S'p') = 0 \tag{1}$$

根据式(1)列方程组来求解定向参数。此外,还需输入遥感影像数据中提供的主点坐标、传感器镜头焦距、透镜畸变等参数值。

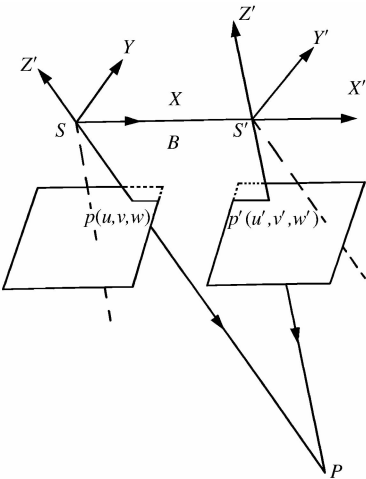


图 3 相对定向原理示意图<sup>[7]</sup>  
Fig. 3 Schematic diagram of the relative orientation

3.2.2 绝对定向

相对定向无法确定立体模型在地面坐标系中的方位和大小,所以,需要把模型坐标转换为地面坐标,这种坐标系的变换即为模型的绝对定向。

对于卫星遥感数据而言,其绝对定向不同于传统变换公式的方法,而是利用 RPC 参数、最小二乘法拟合,  $l^{\text{left}}$ 、 $S^{\text{left}}$ 、 $l^{\text{right}}$ 、 $S^{\text{right}}$  计算见式(2)。

$$l^{\text{left}} = \frac{\text{Num}_L^{\text{left}}(U,V,W)}{\text{Den}_L^{\text{left}}(U,V,W)} \tag{2}$$

其中:物方坐标( $U,V,W$ ) 均未知,可采用增加冗余检查点、利用最小二乘法计算得出。

4  IRS-P5 卫星遥感立体像对的 DEM 提取

4.1  所用数据

研究除了待处理的震区 2007 年 IRS-P5 立体像对和震后 2009 年 IRS-P5 立体像对外,可用的数据还有:

- (1)立体像对覆盖范围内的震前 1 : 5 万 DEM 数据(四川省测绘局提供),成像时间为 2007 年 10 月(如图 4)。
- (2)1 : 1 万比例尺的正射影像(局部),成像时间为 2007 年 3 月(见图 5)。
- (3)TM 图像,轨道号:129/038。

4.2  DEM 提取工作流程

本次研究中,几何定位采用的是有理函数模型。在 ENVI 平台下实现 IRS-P5 立体像对 DEM 提取。生成步骤包括:相对定向、绝对定向、核线影像生成、DEM 生成等。具体流程如图 6 所示。

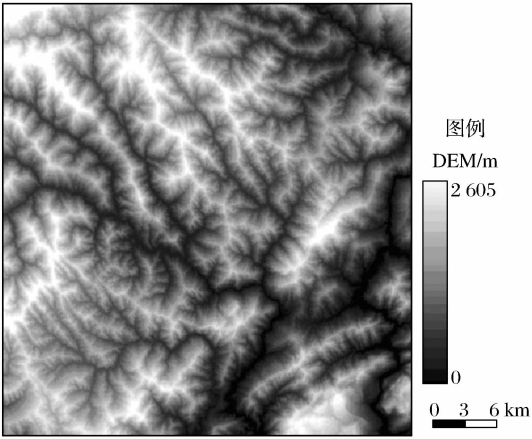


图 4  研究区震前 1 : 5 万 DEM

Fig. 4  The 1 : 50 000 DEM of study area before the earthquake

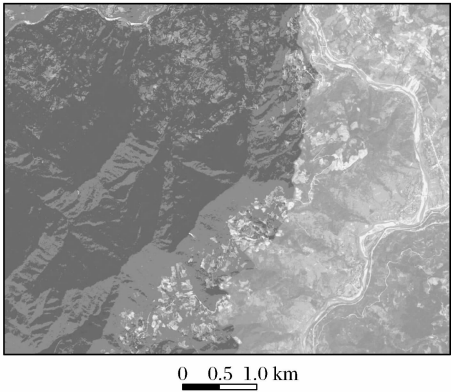


图 5  研究区震前 1 : 1 万 DOM(局部)

Fig. 5  The 1 : 10 000 DOM of study area before the earthquake

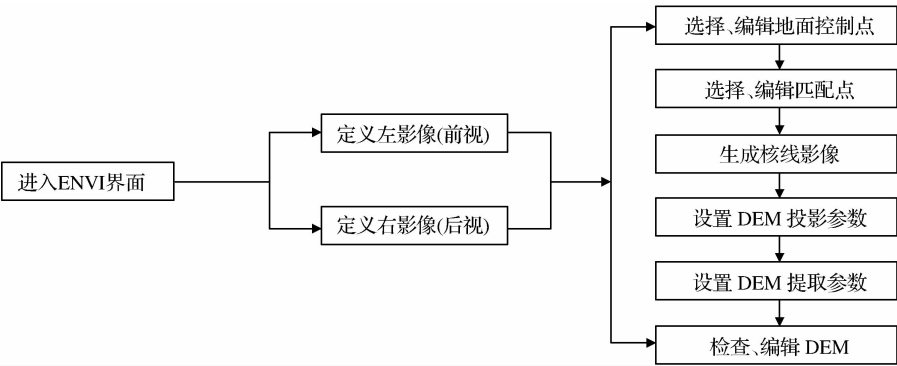


图 6  ENVI 平台下的 DEM 提取流程图

Fig. 6  The flow chart of DEM extraction in ENVI platform

4.2.1  输入数据

在 ENVI 环境下,首先选择待处理的立体像对数据,指定左片、右片,打开对应的 RPC 文件。RPC 参数由软件自动计算,可根据计算后的 RPC 参数给定最大、最小高程值。

4.2.2  输入控制点

由于 IRS-P5 提供的 RPC 参数可用于构建通用

传感器模型,因此一个立体像对只需 4~9 个地面控制点即可。选好控制点后,运行模型计算,最后查看残差报告,了解最初结果。

4.2.3  匹配点的生成与编辑

本次研究获得的匹配点是通过系统自动生成的,对不满意点可以进行手动修改。将移动窗口设为 15,自动生成获取匹配点 30 个,其 MaximumY

Parallax 为 27.8323 个像素。个别自动匹配点误差较大,是由于研究区位于山区,造成图像阴影较多,在全色波段影像中含信息量较少,且系统自动匹配容易出现错误。

4.2.4 核线影像生成

核线影像是建立起与核线相关的一对影像,能够提升影像匹配速度和精度<sup>[7]</sup>。核线图像由编辑后的匹配点计算得到。在计算中,设置核线图像的缩减系数,其最小值为 1,表示与原影像有相同的分辨率。

4.2.5 DEM 生成

通过前面的步骤得到了无上下视差的核线影像对。软件自动匹配同名点后将根据对应点的视差核算每个像素点的高程。在 ENVI 中设置提取 DEM 的参数,并设置精细度为最大,最后得出的两时相 DEM 如图 7、8 所示。

4.2.6 DEM 编辑

实验过程中所提取的 DEM 有时会产生一些误差,必须对其进行数据处理。因为控制点分布有限,且阴影对影像的影响比较大,在提取的 DEM 成果出现严重错误的时候,需要根据实际情况和已有经验,进一步编辑高程,直到错误基本消除。2009 年影像上部云覆盖较多,致使生成的 DEM 出现空洞。本次研究利用 1:5 万 DEM 做掩膜处理,填充 2009 年 DEM 成果的错误数值。经过编辑后的 2009 年 DEM 结果见图 9。

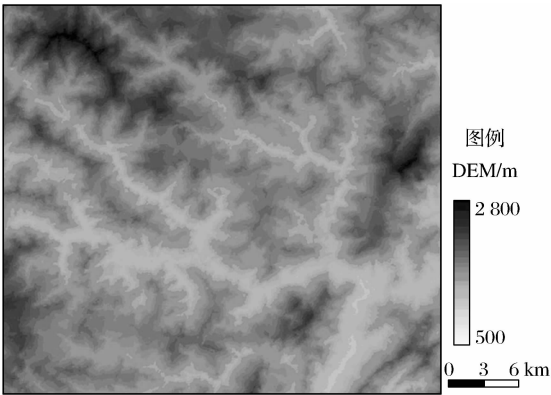
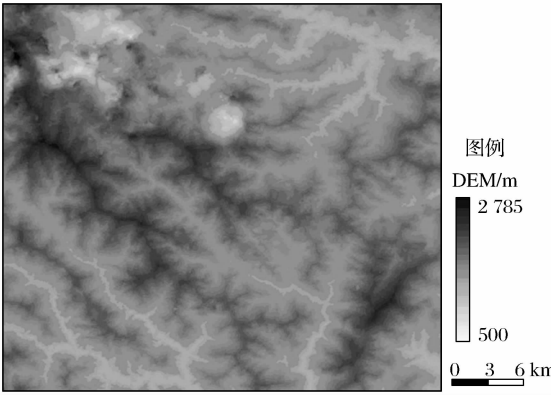


图 7 利用 IRS-P5 像对提取的 2007 年 DEM  
Fig. 7 Extracted the DEM using IRS-P5 stereo pair of 2007



(左上角漏洞为云遮挡缺失信息造成的错误)  
图 8 利用 IRS-P5 像对提取的 2009 年 DEM  
Fig. 8 Extracted the DEM using IRS-P5 stereo pair of 2009

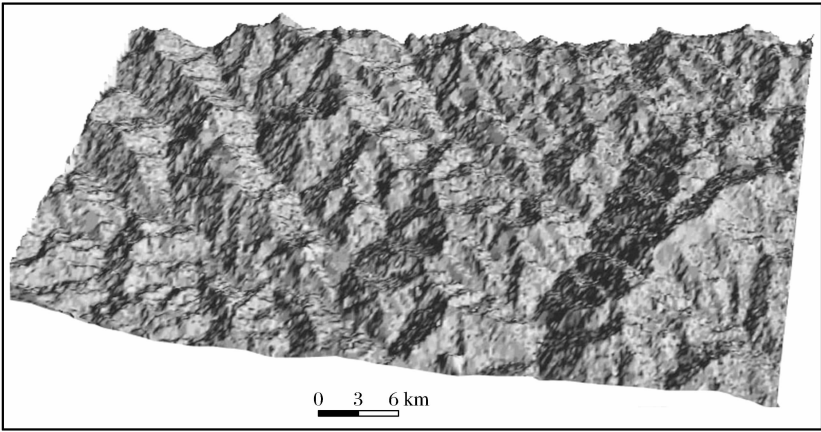


图 9 编辑后的 DEM  
Fig. 9 The edited DEM

4.3 结果分析

4.3.1 定性分析

研究利用震前 IRS-P5 像对提取的 DEM,其高程信息整体与用震前已有的 1:5 万 DEM 生成的等高线叠合,地形细节匹配良好,(如图 10),说明本

文所用方法可行。

4.3.2 精度评价

本文对 DEM 精度评价是经过对比 DEM 上点的高程值与实际观测值而得出的。首先,在研究区范围内选取检查点,获得检查点的实际高程值;其

次,在生成的 DEM 上找到相应点的点位高程值;最后,计算二者之间的数值差值,得到各检查点的误差。

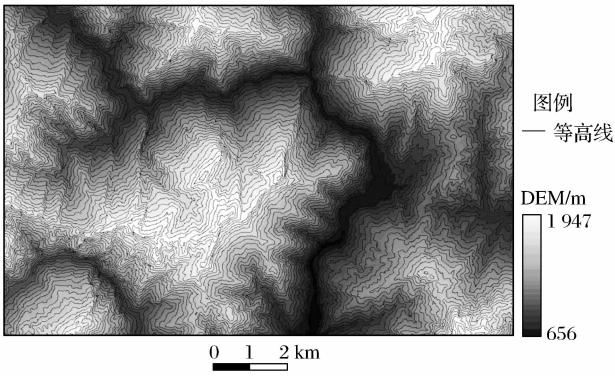


图 10 DEM 与等高线叠加效果(局部,等高线间距为 50 m)  
Fig. 10 Overlay effect of the DEM and contours(Local, contour interval is 50 m)

DEM 误差定义如下:假设检查点的高程为  $z_i(i = 1, 2, \cdots, n)$ ,提取的 DEM 上对应点位的高程值为  $z_i$ ,记中误差为  $\sigma$ ,方差  $\sigma^2$  如式(3)。

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - z_i)^2$$

(3)

根据生产单位相关测试评价得知,基于 IRS-P5 提取的 DEM 精度约为 5 m,成图比例尺为 1 : 1 万到 1 : 2.5 万<sup>[8]</sup>。研究区植被盖度高,ENVI 最后得到的 DEM 其实是数字表面模型 DSM(Digital Surface Model),在地表植被茂盛的区域,DSM 与 DEM 之间的高程差异较明显。

对两期 DEM 精度评价采用的是检查点法。由于地震灾害破坏了原有的地表地形特征,大部分地表发生变化不适合进行检查,故本次研究在假设 1 : 5 万 DEM 上获取值为真的基础上,结合两时相 IRS-P5 图像、震前 1 : 5 万 DEM 和 1 : 1 万 DOM,在研究区范围内的不同高程处,选取 10 个在地面上易于识别(如道路交叉点、桥梁等)的控制点,且控制点均匀分布在图幅范围内,将采集的检查点和 DEM 对应点的高程值进行比较,计算高程的均方根误差值(以 RMSE 表示,如式(4))。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - z_i)^2}{n}}$$

i

(4)

其中: $Z_i$  为第  $i$  个插值高程值( $i = 1, 2, \cdots, n$ ),是对应的高程值真值,具体比较结果见表 1 和表 2。

表 1 2007 年 DEM 检查点坐标与实际值比较

Table 1 DEM checkpoint coordinates compared with the actual value in 2007

序号	X	Y	实际高程值/m	提取高程值/m	高程误差/m
1	104.700658	32.098677	1 907.83	1 902	5.83
2	104.727137	32.128347	2 125.10	2 119	6.10
3	104.538871	32.272146	2 290.86	2 312	−21.14
4	104.642047	32.049751	1 789.40	1 809	−19.60
5	104.651681	32.234714	1 567.30	1 589	−21.70
6	104.504264	32.142073	1 017.86	1 015	2.86
7	104.472299	32.118530	1 648.27	1 659	−10.73
8	104.564061	32.236328	2 005.87	2 019	−13.13
9	104.636049	32.081926	761.53	747	14.53
10	104.650504	32.127075	1 170.52	1 164	6.52

表 2 2009 年 DEM 检查点坐标与实际值比较

Table 2 DEM checkpoint coordinates compared with the actual value in 2009

序号	X	Y	实际高程值/m	提取高程值/m	高程误差/m
1	104.564175	32.236242	1 998.90	1 989	9.90
2	104.571332	32.244306	1 597.18	1 583	14.18
3	104.556992	32.253343	2 044.70	2 031	13.70
4	104.732758	32.130698	1 996.56	1 987	9.56
5	104.549983	32.090654	1 271.93	1 301	−29.07
6	104.656778	32.010121	903.47	896	7.47
7	104.635968	32.060008	1 559.78	1 543	16.78
8	104.607864	32.059266	1 209.97	1 196	13.97
9	104.535113	32.125288	827.00	856	−29.00
10	104.539647	32.106584	958.29	983	−24.71

经过计算,2007 年 RMSE 为 14.35 m,最大高程误差 21.7 m;2009 年 RMSE 为 18.58 m,最大高程误差 29.07 m。此次提取的 DEM 数据虽然未能达到 1:2.5 万的理论精度,但是满足 1:5 万或更大比例尺 DEM 精度标准。在山区,1:5 万 DEM 能够满足应用要求,但若能实地采集到高精度控制点,则可以达到 1:1 万的理论尺度。

## 5 结 语

本次研究采用 IRS-P5 卫星遥感立体像对,借助 ENVI 平台,以震前 1:1 万正射影像和 1:5 万 DEM 为参考选取控制点提取 DEM,最终获得 2007 年和震后 2009 年的 1:5 万 DEM 数据,并对提取的 DEM 数据进行了精度评价,取得的主要成果有:

(1) 利用 IRS-P5 卫星遥感立体像对提取 DEM 理论精度可达 1:2.5 万。但由于缺失高精度地面控制点,本次研究从现有震前 1:1 万 DOM 和震前 1:5 万 DEM 上选取控制点进行计算,提取的 DEM 高程误差中,2007 年 RMSE 为 14.35 m,2009 年 RMSE 为 18.58 m,满足 1:5 万 DEM 精度指标。由于震后研究区地形强烈改变,采集的 2009 年控制点精度低于 2007 年,致使提取的 2009 年 DEM 精度低于 2007 年,而且山区成像精度要低于平原。

(2) 结果表明,DEM 的最终精度与控制点精度密切相关。需要注意的是,在处理震后数据时,若缺少有时效性的参考数据,则精度可能低于震前。本次研究虽然没有达到理论的 1:2.5 万精度要求,但在特殊情况下辅助决策分析,这些数据能够满足使用要求。

(3) 此外,由于研究区植被覆盖度高,且 ENVI 不能编辑立体 DEM,得到的 DEM 高程值并非真值,而是 DSM,但在一般情况下,DSM 的使用效果等同于 DEM<sup>[9]</sup>。

(4) 在类似地区、应急情况下,本文采用的研究方法和提取 DEM 的工作流程,对研究人员快速、及时地提取满足精度要求的 DEM 有一定参考价值。

## 参考文献 (References):

- [1] Liu Jiahang, Yang Jianfeng, Wei Chengjie, *et al.* Acquisition of Earthquake Damage Information based on Remote Sensing Technology: History, Current Situation and Trend[J]. Journal of Natural Disasters, 2004, 13(6): 46-52. [柳稼航, 杨建峰, 魏成阶, 等. 震害信息遥感获取技术历史、现状和趋势[J]. 自然灾害学报, 2004, 13(6): 46-52.]
- [2] Zhu Mingran, Meng Xian, Zhang Mingtao, *et al.* DEM Product Quality Inspection and the Realization of Software ArcGIS[J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2008, (3): 74-75, 80. [祝明然, 孟先, 张明涛, 等. 数字高程模型产品质量检查及 ArcGIS 软件的实现[J]. 现代制造技术与装备, 2008 (3): 74-75, 80.]
- [3] Beijing Oriental Dawn Information Technology Co., Ltd. India CARTOSAT-1 (IRS-P5) Satellite Introduction [M/OL]. <http://bjeo.com.cn/pbnens/213728/20070612>, 2006. [北京东方道迩信息技术有限公司. 印度 CARTOSAT-1(IRS-P5) 卫星介绍 [M/OL]. <http://bjeo.com.cn/pbnens/213728/20070612>, 2006.]
- [4] Wang Shugen. The Principles and Application of Photogrammetry[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2009. [王树根. 摄影测量原理与应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009.]
- [5] Ma Suyan. Research on the Extraction of DEM based on High Resolution Remotely-sensed Data[D]. Shanghai: East China Normal University, 2009. [马素颜. 基于高分辨率卫星遥感数据提取 DEM 方法研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2009.]
- [6] Chai Dengfeng, Zhang Dengrong. Geometric Approach to High-resolution Satellite Images[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2007. [柴登峰, 张登荣. 高分辨率卫星影像几何处理方法[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2007.]
- [7] Guan Yuanxiu, Cheng Xiaoyang. High Resolution of Satellite Image Processing Guide[M]. Beijing: Science Press, 2008. [关元秀, 程晓阳. 高分辨率卫星影像处理指南[M]. 北京: 科学出版社, 2008.]
- [8] Zhao Liping, Liu Fengde, Li Jian, *et al.* Preliminary Research on Position Accuracy of IRS-P5[J]. Remote Sensing Information, 2007, (2): 28-32. [赵利平, 刘凤德, 李健, 等. 印度测图卫星 IRS-P5 定位精度初步研究[J]. 遥感信息, 2007, (2): 28-32.]
- [9] Xu Gang, Zheng Daxing, Qiao Ziji, *et al.* Study on Fast Extraction of Landslide Environmental Indicator Parameters based on High-precision DEM and RS: A Case Study of Changleyuan Super Large-scale Landslide in Jintai District, Baoji City, Shaanxi Province, China[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(8): 1047-1052. [徐刚, 郑达兴, 乔子江, 等. 基于高精度 DEM 和 RS 技术的滑坡环境指标参数快速提取方法——以陕西省宝鸡市金台区长乐源特大型滑坡为例[J]. 地质通报, 2009, 28(8): 1047-1052.]

The Method of DEM Extraction after Wenchuan Earthquake in the  
Earthquake Disaster Area  
——Take Pingwu Country for Example

Yang Xin<sup>1,2</sup>,Pan Qian<sup>2,3</sup>,Yang Wunian<sup>1,2</sup>,Liu Hanhu<sup>1,2</sup>

- (1. *State Key Laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection ,  
Chengdu University of Technology ,Chengdu 610059,China;*
2. *RS & GIS Institute ,Chengdu University of Technology ,Chengdu 610059,China;*
3. *Sichuan Environmental Monitoring Center ,Chengdu 610041,China)*

**Abstract:** DEM is the basis of geographic information system data, associated with the terrain in all areas has a very broad application prospects, in the production and applications of DEM, has an important significance. Wenchuan earthquake changed the existing landscape of disaster area, lead to the original DEM data and Topographic Map no longer have timeliness, the effective DEM data for earthquake relief at the time and reconstruction accuracy orthophoto imagery map production, 3D roaming, road transport and geological disaster forecast and warning information extraction, etc. is extremely important. Therefore, the technical methods adopted quickly after the earthquake disaster obtain DEM data was a serious problem. In this context, this paper use ENVI platform, selected for the study area in Sichuan Province Pingwu country, select IRS-P5 stereo pair as the main source of the data, in the emergency case of cannot be collected in high-precision ground control points, try to get the study area 1 : 50 000 DEM data after the earthquake quickly. Experimental results and the accuracy assessment show that, the experimental area for post-earthquake DEM accuracy, reaching 1 : 50 000 scale accuracy or higher standard. This research method and process in similar regions of emergency conditions to extract up to a certain precision of the DEM has practical reference value.

**Key words:** IRS-P5; Stereo pair; DEM extraction; Earthquake disaster area