

# 多源遥感影像融合技术在地质灾害调查中的应用

薛东剑<sup>1,2</sup>, 张东辉<sup>3</sup>, 何政伟<sup>1,2</sup>, 张雪峰<sup>2</sup>

(1. 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. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059;

3. 核工业北京地质研究院遥感信息与图像分析技术国家级重点实验室, 北京 100029)

**摘要:**我国是地质灾害频发的国家, 灾害造成了大量人员伤亡和经济损失, “5·12”地震更是诱发了滑坡、崩塌、泥石流以及堰塞湖等地质灾害, 给人民生命财产造成重大损失。实践表明, 运用遥感技术可以进行大范围的地质灾害调查与监测, 使应急速度得到显著提高, 但目前传感器种类较多, 如何在海量的数据中发现规律、进行数据的协同处理, 弥补信息提取能力的不足, 是亟待解决的问题。在对图像融合方法分析的基础上, 结合地质灾害调查的任务和研究区具体情况, 以全色 SPOT 和多光谱 TM 影像为数据源, 进行数据融合算法及图像质量评价研究, 取得了良好的效果。融合后图像不仅保留了多光谱信息, 而且空间信息量也得到了增强, 提高了孕灾因子及承灾体的提取精度, 为地质灾害调查与地质灾害风险评价起到了技术支撑作用。

**关键词:** 图像融合; 地质灾害; 遥感影像

**中图分类号:** TP 75      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1004-0323(2011)05-0664-06

**引用格式:** Xue Dongjian, Zhang Donghui, He Zhengwei, *et al.* Application of Multi-source Remote Sensing Image Fusion in Geohazard Investigation[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2011, 26(5): 664-669. [薛东剑, 张东辉, 何政伟, 等. 多源遥感影像融合技术在地质灾害调查中的应用[J]. 遥感技术与应用, 2011, 26(5): 664-669.]

## 1 引言

我国是地质灾害最严重的国家之一, 灾害造成了大量人员伤亡和经济损失, 由于灾害发生地区的气候及地质环境条件非常恶劣, 常规的地面调查很难满足时效性要求, 实践表明遥感技术在地质灾害调查中起到了十分关键的作用。目前传感器种类较多, 获得的影像分辨率不同、时相不同、光谱信息不同, 单一遥感数据存在一定的局限性, 不利于图像解译与决策分析。采用图像融合技术不仅保留了多光谱信息, 空间信息量也得到了加强, 比较适合人的视觉及计算机分类等处理, 更能发挥遥感技术在地质灾害调查中的优势。目前图像融合主要在 3 个层次上进行: 像素级、特征级和决策级。像素级融合主要针对原始图像进行, 最大的优点是尽可能多地保持原始信息, 提供其他融合层次所不能提供的细微信

息, 大致分为两类: 基于空间域的图像融合和基于变换域的图像融合<sup>[1-5]</sup>, 空间域常用的图像融合算法有 IHS 变换法、基于特征融合方法等; 基于变换域的图像融合方法有小波变换等, 变换域的融合方法在提高分辨率的同时, 能较好地保留原图像光谱信息<sup>[6]</sup>。

结合地质灾害调查任务及地学数据的空间性、多源性等特点, 以 2.5 m 分辨率全色 SPOT 图像和多光谱 TM 遥感影像数据为数据源, 在对遥感图像融合方法研究的基础上, 借助 Matlab、ERDAS IMAGINE、ENVI 等图像处理工具, 分别运用主成分分析、乘积运算、Brovey 变换、HSV 彩色合成、IHS 变换、小波变换等对研究区进行了图像融合实验, 并对不同的融合结果进行了比对分析, 使融合后的图像更利于在地质灾害调查中提取灾害信息, 地质、构造、土地利用等孕灾背景及房屋、道路等承灾体信息。

收稿日期: 2010-05-30; 修订日期: 2011-07-15

基金项目: 国家 863 计划项目(2007AA120306), 国家科技支撑“十一五”计划项目(2008BAK49B02)。

作者简介: 薛东剑(1977—), 男, 内蒙古赤峰人, 博士, 讲师, 主要从事环境遥感与地理信息应用等方面研究。E-mail: xdj101@sina.com。

2 融合算法研究

在地质灾害调查中由于研究尺度不同,所使用的数据类型往往较多,基础地理数据格式不统一,投影类型不一致,需对所有的这些数据进行集成处理,使其转换到同一坐标系下。在此研究中将所有数据都转换到 WGS84 坐标系 UTM 投影方式下,在空间上进行精确配准,建立融合数据模型进行融合实验。考虑到地质灾害调查人员的专业背景,文中运用业内常用的 ERDAS、ENVI 等遥感图像处理软

件,采用主成分分析法(PCA)、乘积运算法、IHS 彩色合成、Brovey 变换、小波变换、HSV 彩色合成等进行了融合实验,对软件中没有的模块或是操作不方便的功能,采用 ERDAS 遥感软件中的空间建模工具(Spatial Modeler)及 EML 语言来实现。空间建模工具是 ERDAS IMAGINE 下的一个面向目标的模型语言环境,提供了大量的函数和操作算子,运用模型可以产生适合于用户的数据特征和应用目标的算法,如运用 ERDAS 空间建模图像模型生成器产生的 IHS 图像模型,从而实现融合处理(图 1)。

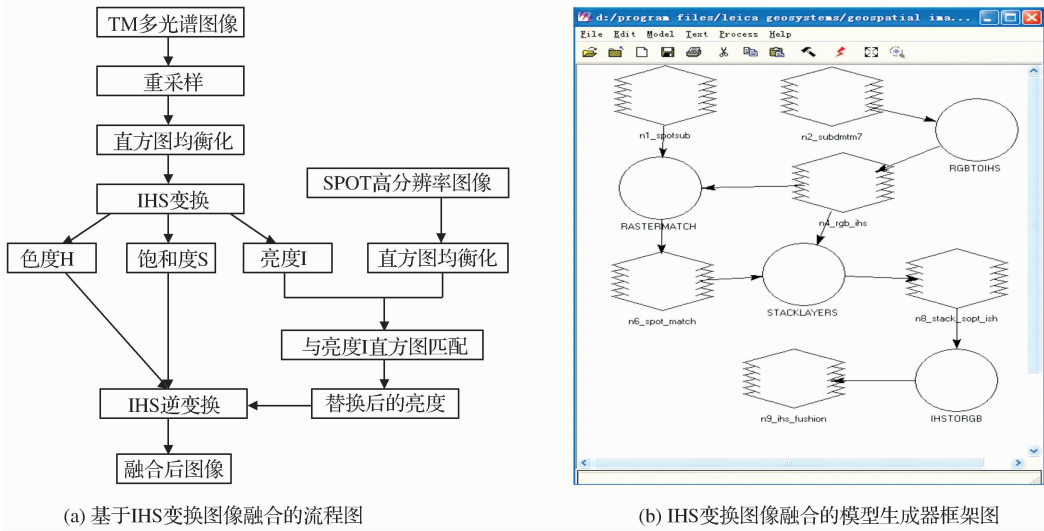


图 1 IHS 融合算法流程图

Fig.1 Flow chart of IHS fusion algorithm

选取经过配准与几何校正后的低分辨率 TM 多光谱图像、高分辨率 SPOT 全色图像进行融合试

验, TM 为 30 m 空间分辨率, SPOT 全色波段为 2.5 m 空间分辨率(图 2)。

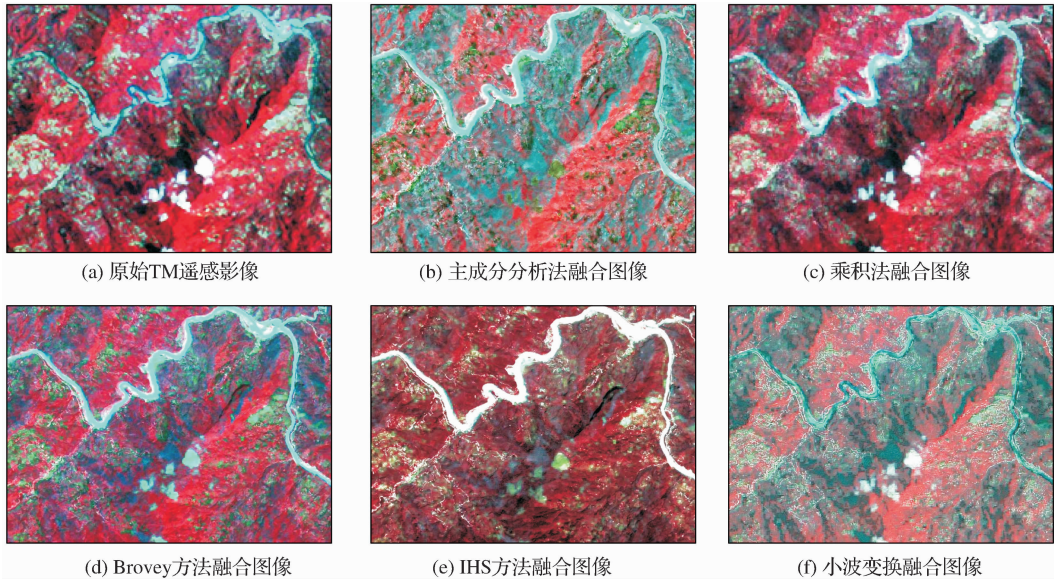


图 2 融合前后图像

Fig.2 Results of image fusion

图2(a)为重采样后的2.5 m分辨率的Landsat TM多光谱遥感图像,选用其中的三波段,并映射到RGB彩色空间,从而以彩色图像显示,图2(b)~2(f)为融合后图像。

### 3 融合图像质量评价

#### 3.1 融合图像质量评价体系

遥感影像质量精度评价,目前主要分为定性和定量两种,定性评价主要通过目视效果如色调、清晰度、地物形状和纹理信息等进行分析,具有很大的主观性;定量评价常利用统计参数等数学方法进行判定<sup>[7-10]</sup>。主观评价往往受影像类型、实验环境、观察

$$\bar{g} = \frac{1}{(M-1)(N-1)} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} \sqrt{\frac{(D(i,j) - D(i+1,j))^2 + (D(i,j) - D(i,j+1))^2}{2}} \quad (1)$$

其中: $D(i,j)$ 为遥感图像的第*i*行、*j*列的灰度值, $M$ 、 $N$ 分别为遥感图像的总行数、总列数。一般来说, $\bar{g}$ 越大,图像越清晰。

此外常用的评价方法还有偏差指数、协方差、标准偏差、平均误差、扭曲度、互信息、相关系数、交差熵、偏差熵、联合熵、信噪比、对比度变换等<sup>[16]</sup>。这些评价指标是评价原始图像与融合后图像之间所含信息量大小的指标,能够较客观地反映多源传感器融合的性能变化。如协方差描述了同一目标低分辨率图像的一个像素涵盖高分辨率图像的多个像素的信息;偏差指数越小说明两幅图像越接近,光谱保持越好;交差熵是对两幅图像所含信息的相对衡量。

扭曲度:直接反映了融合后图像的失真程度,其定义如下:

$$D = \frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j |I_F(i,j) - I(i,j)| \quad (2)$$

其中: $I_F(i,j)$ 和 $I(i,j)$ 分别为融合后图像与原始图像上 $(i,j)$ 点的灰度值,扭曲程度小,表明图像失真程度小。

偏差指数:反映融合后图像与原始图像在光谱信息上的匹配程度,其定义为:

$$D_k = \frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j \frac{|I_F^k(i,j) - L_k(i,j)|}{I_F^k(i,j)} \quad (3)$$

$k = 1, 2, 3$

其中: $k$ 为多光谱波段数, $M \times N$ 为融合图像的大小, $I_F^k(i,j)$ 和 $L_k(i,j)$ 为融合图像与原多光谱图像在*k*波段像素 $(i,j)$ 的灰度值。

逼真度:指被评价图像与标准图像的偏离程度。计算值越大,表明图像改善越大,融合效果好,对于离散图像定义为归一化均方根误差值,即:

者学识阅历等因素影响,在实际应用中可采用客观定量评价的方法,将定性评价仅作为辅助手段。常用于图像客观质量评价的方法主要包括均值、方差、信息熵、标准差、离散度、平均梯度、三阶平均细节累计量等<sup>[11-14]</sup>;方差常用来描述偏离均值的程度,替代影像的方差越大融合影像的分解力就越高<sup>[15]</sup>;信息熵是衡量图像信息丰富程度的一个重要指标,融合图像中的信息熵越大,说明图像中包含的信息越多,融合效果越好;平均梯度也称为清晰度,反映影像的微小细节反差与纹理变化特征,平均梯度越大,说明融合图像越清晰<sup>[15]</sup>;式(1)给出了第*k*波段融合图像平均梯度的定义。

$$\text{Corr}(B, F) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m,n) - \bar{B}][F(m,n) - \bar{F}]}{\sqrt{\left\{ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [B(m,n) - \bar{B}]^2 \right\} \left\{ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [F(m,n) - \bar{F}]^2 \right\}}} \quad (4)$$

其中: $\bar{B}$ 、 $\bar{F}$ 分别为相应图像的均值,反映了两幅图像的相关程度,其值越大,融合图像与多光谱图像的相关程度越高,表明融合图像较好地保留了源图像的光谱信息,质量也越好。

在融合图像质量评价的应用上可根据具体研究目的对上述方法进行遴选。

#### 3.2 评价结果分析

对上述融合图像进行解译比较,融合图像光谱基本没有扭曲,空间信息的传递性较好,多光谱的空间分辨率相比得到提高。针对繁杂的融合算法,在实际应用中选择恰当的评价方法很重要,利用评价结果,结合融合方法的理论分析,可进行融合算法优劣的研究<sup>[17]</sup>。在对融合图像质量目视评价的基础上,选择具有代表性的评价指标进行定量评价,实验证明这些评价参数能较好地反映遥感影像的融合效果。

由图3与表1分析得出,基于信息量的评价中,较高的融合方法是主成分分析法(2.733),这种方法融合后的图像信息更加丰富。与其相比,采用IHS方法图像融合后,信息丢失现象比较严重,影像上地类颜色漂移,甚至局部出现亮斑。基于清晰度的评价中,IHS(9.4931)、小波变换(6.9309)融合后的图像灰度差异明显,变化梯度显著,图像清晰;反之,Brovey(2.91)、乘法法(3.8107)方法融合后的图像清晰度相对较低,说明在地表覆盖监督分类时,不宜在这些图

像上进行靶区的选取。虽然这两种方法清晰度不高,并不一定表明融合信息不足;因此,对上述两种融合后的图像进行研究时,建议选取合适灰度拉伸方法提供清晰度。基于逼真度的评价中,通过与标准图像进行相关分析,能发现 IHS (35.995)、主成分分析法

(19.392)融合后的图像与标准图像差别最大,即逼真度最好。在提高空间分辨率的同时,较好地保留了源图像的光谱信息;而 Brovey (14.805)和小波变换 (15.02)与源图像的逼近程度比较小,融合后的图像光谱信息不够丰富,与原始图像差别不够显著。

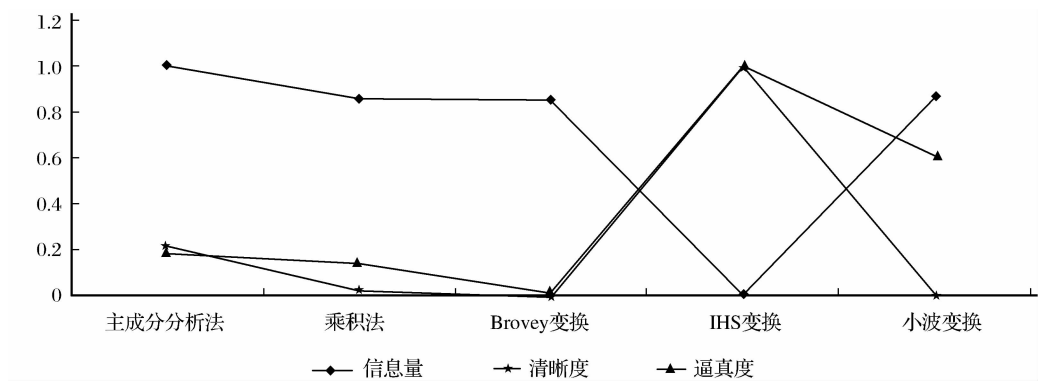


图 3 遥感图像融合效果定量评价

Fig. 3 Quantitative evaluation of remote sensing image fusion

表 1 遥感图像融合定量评价

Table 1 Quantitative evaluation of remote sensing image fusion

融合方法	评价值								
	均值			标准差			信息量	清晰度	逼真度
	TM3	TM4	TM5	TM3	TM4	TM5			
主成分分析法	56	97	121	22	28	28	2.733	4.1294	19.392
乘法法	25	95	112	10	45	52	2.547	3.8107	15.457
Brovey 变换	18	62	75	7	23	24	2.542	2.9100	14.805
IHS 变换	131	52	55	37	50	50	1.442	9.4931	35.995
小波变换	20	72	86	20	34	38	2.553	6.9309	15.020

由于各种融合方法的原理不同,数据分布区间各异,在具体使用时需根据研究目的和提取内容进行选择,如主成分分析法变换融合影像光谱保真度高、色彩层次清楚、结构突出,整体效果较好,利于地质灾害的目视解译。

4 地质灾害调查分析

地质灾害发生主要受制于地层岩性、构造展布、植被覆盖、地形地貌以及大气降水强度等要素<sup>[18-19]</sup>。本文中地质灾害调查主要针对四川省“5·12”震后青川、平武县进行,这两个县由于跨龙门山前山断裂、后山断裂及龙门山中央断裂,地震诱发了大量的地质灾害。通过上述融合算法和实验分析,针对不同的提取目标,对研究区的 SOPT 与 TM 数据进行了融合处理(图 4)。根据提取地物性质选择适当的 TM 波段组合与 SPOT 融合,融合后的图像不仅保持了多光谱信息,同时还具有较高的空间分辨率,可

较好地提取滑坡、崩塌等地质灾害及水体、土地利用、建筑、道路等孕灾因子和承灾体,从而提高了解译精度。对于崩、滑等灾害体,其物质主要由岩石组成,反射特性主要取决于它们的组成成分,崩塌一般发生在解理裂隙发育的坚硬岩石组成的陡山坡与峡谷陡岸上,在遥感图像上常呈浅色调,其上部较陡峻,一般无植被生长,且多沿河道分布。针对研究区具体情况,在融合时,TM 影像波段选取主要根据 TM 各波段的地物波谱特征及应用特点,选取不同的波段组合以突出不同的地物,如第 5 波段为大部分造岩矿物波谱响应曲线高峰段;第 4 波段为近红外波段,植被高反射区,某些情况下与矿床分布特征有一定的关系;第 3 波段是红光波段,是可见光中波长最长的波段,抗大气干扰的能力相对 1、2 波段较强,常选用 TM5、4、3(RGB)组合方案对岩性进行提取。岩石的反射光谱差别、影像色调的差异及岩石组合的形状,是解译岩石类型的重要标志。通过对



水体的单波段特征统计,其中标准差最大的是 TM5,其次是 TM7、TM4,而 TM3、TM4、TM5 波段组合的相关系数最小,一般 TM 提取水体最佳波段组合为 TM345,此组合水体突出、林草分明。由于岩性不同,形成的植被、水系往往也不同,在解译

时结合了这些间接解译标志。利用地质灾害在图像上的色调、阴影、纹理及形态等,并结合附近地形、岩性、构造、植被、水系等环境因素综合判断解译,可以勾绘出灾害范围、确定其类别、规模、分布规律等(图 4)。

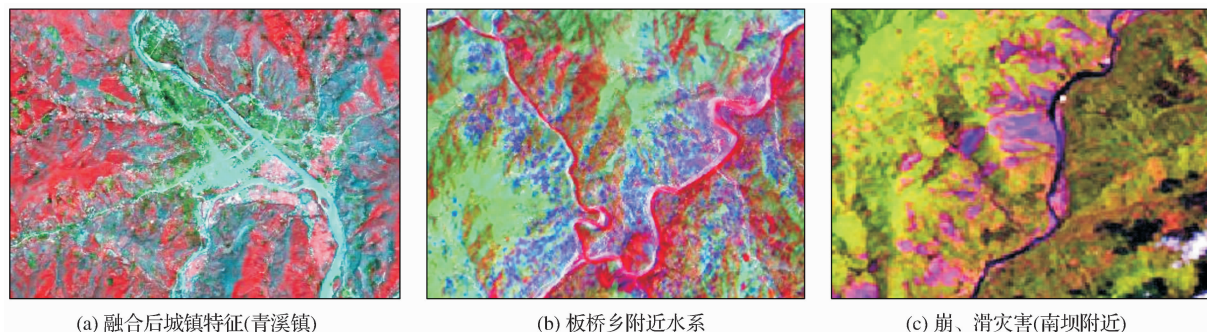


图 4 TM 与 SPOT 融合后图像

Fig. 4 Fusion image of TM and SPOT

## 5 结 语

针对地质灾害调查的目的与任务,在对多源遥感影像融合算法及质量评价分析的基础上,以覆盖青川、平武县研究区的 SPOT 和 TM 数据为例,进行了融合处理,取得了良好的效果,融合后图像不仅保留了多光谱图像的光谱信息,而且空间信息量也得到了增强,提高了解译精度,弥补了单一数据源信息提取能力的不足。实践表明,图像融合在地质灾害调查中具有很大的潜力,恰当的波段与融合算法选择可使地质灾害调查、风险评价等研究的可靠性和精度均得到提高,其研究成果对地质灾害多发区的防灾减灾研究具有一定的借鉴意义。

## 参考文献(References):

- [1] Cheng Yinglei. The Study on Multi-sensor Image Fusion in Remote Sensing[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2006. [程英蕾. 多源遥感图像融合方法研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2006.]
- [2] Li Guoyan, Liu Xiaomei, Li Jinlian. Research on Remote Sensing Image Fusion based on Image Multiscale Analysis[J]. Science of Surveying and Mapping, 2008, 33(1): 115-118. [李国砚, 刘晓玫, 李金莲. 基于多尺度分析的遥感影像融合研究[J]. 测绘科学, 2008, 33(1): 115-118.]
- [3] Li Zhenhua, Jing Zhongliang, Sun Shaoyuan, et al. Remote Sensing Image Fusion based on Steerable Pyramid Frame Transform[J]. Acta Optica Sinica, 2005, 25(5): 598-602. [李振华, 敬忠良, 孙韶媛, 等. 基于方向金字塔框架变换的遥感图像融合算法[J]. 光学学报, 2005, 25(5): 598-602.]
- [4] Hong Gyoo Sohn, Konghyun Yun, Hoon Chang. Analysis of

Image Fusion Methods Using IKONOS Imagery[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2003, 7(5): 577-584.

- [5] Zeng Meilan, Jin Shengping. Multisensor Image Fusion based on Wavelet Frame[J]. Computer Engineering and Applications, 2004, 24: 59-61. [曾梅兰, 金升平. 基于小波框架的多传感器图像融合[J]. 计算机工程与应用, 2004, 24: 59-61.]
- [6] Gou Lei, Li Huihui, Bao Yongsheng. Image Fusion[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2008. [郭雷, 李晖晖, 鲍永生. 图像融合[M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.]
- [7] Kang Tingjun, Zhang Xinchang, Wang Haiying. An Improved Fusion Method of IHS for ETM+ Image and the Contrast of Land Cover Classification[J]. Geography and Geo-Information Science, 2009, 25(4): 64-67. [康停军, 张新长, 王海鹰. ETM+影像 IHS 融合算法改进及其土地覆盖分类实验比较[J]. 地理与地理信息科学, 2009, 25(4): 64-67.]
- [8] Alatengtuya. The Analysis on the Precisions of TM, SPOT and Their Fusion Image in the Land Use Investigation[J]. Journal of Arid Land Resources & Environment, 2004, 18(9): 77-80. [阿拉腾图雅. TM、SPOT 及其融合影像在土地利用调查中的精度分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(9): 77-80.]
- [9] Han Ling, Wu Hanning. An Application of Multi-source Remote Sensing Data Fusion in Geological Interpretation[J]. Remote Sensing Information, 2004, 2: 35-37. [韩玲, 吴汉宁. TM 与 ETM 影像融合用于地质构造解译[J]. 遥感信息, 2004, 2: 35-37.]
- [10] Parul Shah, Merchant S N, Desai U B. Multifocus and Multispectral Image Fusion based on Pixel Significance Using Multiresolution Decomposition[J]. Signal, Image and Video Processing, 2011, 21(3): 259-270.
- [11] Ye Qin, Li Xiang, Chen Ying. Evaluating Aerophoto Image Quality based on Character Statistics[J]. Remote Sensing Information, 2006, 5: 20-23. [叶勤, 李翔, 陈鹰. 基于统计特性方法的航空遥感图像质量评定研究[J]. 遥感信息, 2006, 5: 20-23.]

- [12] Li S T, James T K, Wang Y. Using the Discrete Wavelet Frame Transform to Merge Landsat TM and SPOT Panchromatic Images[J]. *Information Fusion*, 2002, 3(1): 17-23.
- [13] Zhao Wenji, Duan Fuzhou, Liu Xiaomeng, *et al.* Topics and Practice of ENVI Remote Sensing Image Processing[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2007. [赵文吉, 段福州, 刘晓萌, 等. ENVI 遥感影像处理专题与实践[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.]
- [14] Li Xinliang, Zhao Shuhe, Ke Changqing, *et al.* The Study of Methods of Quantitative Evaluation on Remote Sensing Image Fusion and Actualization[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2007, 22(3): 460-465. [黎新亮, 赵书河, 柯长青, 等. 遥感图像融合定量评价方法及实验研究[J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(3): 460-465.]
- [15] Weng Yongling, Tian Qingjiu. Analysis and Evaluation of Method on Remote Sensing Data Fusion[J]. *Remote Sensing Information*, 2003, 3: 49-54. [翁永玲, 田庆久. 遥感数据融合方法分析与评价综述[J]. 遥感信息, 2003, 3: 49-54.]
- [16] Jia Yonghong. A Method of Image Fusion to Enhance Spatial Resolution of Remotely Sensed Multispectral Images[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 1997, 12(1): 19-23. [贾永红. 遥感多光谱影像空间分辨率增强的融合方法[J]. 遥感技术与应用, 1997, 12(1): 19-23.]
- [17] Xue Dongjian, He Zhengwei, Qiu Wenxia, *et al.* Quality Assessment and Application of Remote Sensing Image Fusion based on EML and SML[J]. *Remote Sensing Information*, 2009, 6: 63-67. [薛东剑, 何政伟, 仇文侠, 等. 基于 EML 与 SML 实现遥感影像融合质量评价及应用研究[J]. 遥感信息, 2009, 6: 63-67.]
- [18] Feng Dongxia, Yu Deqing, Long Jiebing. Application Foreground Researching of Remote Sensing Technology about Geologic Disaster[J]. *Hunan Geology*, 2002, 21(4): 314-318. [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.]
- [19] Zhang Chunshan, Zhang Yecheng, Ma Yinsheng. Regional Dangerous on the Geological Hazards of Collapse, Landslide and Debris Flows in the Upper Reaches of the Yellow River[J]. *Journal of Geomechanics*, 2003, 9(2): 143-153. [张春山, 张业成, 马寅生. 黄河上游地区崩塌、滑坡、泥石流地质灾害区域危险性评价[J]. 地质力学学报, 2003, 9(2): 143-153.]

## Application of Multi-source Remote Sensing Image Fusion in Geohazard Investigation

Xue Dongjian<sup>1,2</sup>, Zhang Donghui<sup>3</sup>, He Zhengwei<sup>1,2</sup>, Zhang Xuefeng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection,

Chengdu 610059, China; 2. College of Earth Sciences of CDUT, Chengdu 610059, China;

3. National Key Laboratory of Remote Sensing Information and Imagery Analyzing Technology, Beijing Research Institute of Uranium Geology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Frequent geohazard in China have caused heavy casualties and economic losses. “5 · 12” earthquake induced a large number of geohazard such as landslides, collapse, debris flow and barrier lake etc. causing significant loss of life and property. Practice shows that the use of remote sensing technology can be a wide range of geohazard survey and monitoring, but also a marked improvement in response speed. But currently there are more types of sensors, so how the laws are found in mass data, how to collaborative process data, and how to make up for the deficiency on information extraction capabilities is a serious problem. This paper, based on the analysis of the commonly used image fusion method and combined with the task of investigating the geohazard and specific circumstances of the study area, regards full color multi-spectral SPOT and TM images as the data source and carries out the data fusion algorithm and image quality evaluation, so as to obtain good results, which not only retains the multi-spectral images of spectral information, but also increases space of the amount of information fusion images to make up for the shortage of the amount of information of single data and to improve pregnant disaster factor and hazard-affected body extraction accuracy. So those have played a role in technology support in the geological hazard and risk assessment of geohazard, and their research on the geohazard-prone areas of disaster prevention and mitigation and disaster sensing mechanism is provide with reference.

**Key words:** Image fusion; Geohazard; Remote sensing image