

基于面向对象技术的建筑物震害识别方法研究*

董燕生^{1,2}, 潘耀忠³, 方伟华³, 于德永³, 何 浩^{1,3}

(1. 北京师范大学 资源学院, 北京, 100875; 2. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097;

3. 北京师范大学 地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 2010 年 1 月 12 日海地发生 7.3 级大地震, 造成首都太子港大量建筑物损毁。从震后甚高分辨率遥感影像中可以发现在倒塌和部分倒塌建筑物的周围存在很多瓦砾。因此, 可以将瓦砾作为建筑物倒塌的震害特征。分别采用基于像元的方法、面向对象的方法、综合地统计学纹理的面向对象方法自动提取建筑物瓦砾, 并对 3 种方法的分类精度进行了评价, 研究结果表明: 单纯面向对象分类方法的总体分类精度低于基于像元的分类方法; 当加入纹理特征后, 总体 Kappa 系数和瓦砾的用户精度明显提高, 然而瓦砾的生产者精度的改善并不明显。

关键词: 建筑物震害; 高分辨卫星遥感; 面向对象分类; 地统计学纹理; 海地地震

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2011)03-0372-06

0 引言

自 2008 年中国汶川 8.0 级地震以来, 全球大地震频繁发生: 2009 年 9 月印尼 7.9 级地震、2010 年 1 月海地 7.3 级地震、2010 年 2 月智利 8.8 级地震和 2010 年 4 月中国玉树 7.1 级地震, 如今地震已经成为全球关注的焦点。建筑物是地震灾害中最重要的承灾体, 因为地震中超过 75% 的人员伤亡直接源于房屋的倒塌, 并且一座大型建筑物的倒塌会使人员伤亡的数目明显增加 (Coburn, Spence, 2002)。大地震发生后, 应急救援工作迫切需要两种建筑物灾情信息: 建筑物的破坏程度和空间位置。同时, 城市的建筑物灾情数据还可以用于估算城市建筑物结构损失, 并为进一步估算人员伤亡情况提供依据 (周光全等, 2010; 晏凤桐, 2003)。IKONOS-2、QuickBird、EROS-B、WorldView-1、GeoEye-1 等震后甚高分辨率的光学卫星遥感影像的有效获取, 使得在城市尺度上识别单体建筑物震害信息成为可能 (Saito *et al*, 2004; Yano *et al*, 2004)。

利用震后高分辨率遥感数据, 虽然可以通过目视解译的方法识别建筑物震害, 但是因其工作量大, 难以满足大范围的地震应急要求, 因此, 需要开发一种计算机自动识别建筑物震害的方法。

在对近几年重大的地震灾害进行遥感监测与评估时, 如 2003 年伊朗 Bam 地震、2003 年阿尔及利亚 Boumerdes 地震、2007 年日本 Off-Mid-Niigata 地震以及 2008 年中国汶川地震等, 学者们纷纷采用面向对象的方法定量评估建筑物震害 (Bitelli *et al*, 2004; Kouchi, Yamazaki, 2005; Suzuki, Yamazaki, 2008; Yamazaki *et al*, 2008; 王岩等, 2009)。传统的基于单个像元的分类方法是根据每一个像元的“DN”值 (灰度值) 进行处理, 而基于面向对象的遥感分类方法关注的是遥感影像中由同质像元组成的“对象” (如建筑物), 并且能够解决基于像元分类方法出现的“椒盐噪声”问题 (Suzuki, Yamazaki, 2008), 因而面向对象分类方法被广泛应用于高分辨率遥感数据信息提取。

2010 年 1 月 12 日海地 7.3 级地震, 造成约 30 万人死亡, 首都太子港大量房屋倒塌或受损。针对这次地震, 笔者采用震后第 4 天所获取的 GeoEye-1 卫星甚高分辨率遥感数据, 应用计算机自动提取的方法, 对实验区建筑物震害进行识别。笔者主要探讨自动提取建筑物震害信息的可能性, 实验过程包括 3 个方面的内容: 首先采用目视解译方法对实验区建筑物震害尺度进行研判, 并对建筑物瓦砾的空间分布做人工数字化; 然后采用 3 种方法 (基于像元的方法、面向对象的方法和综合地统计学纹理的面向对象方法) 分别自动提取建

* 收稿日期: 2010-08-06.

基金项目: 国家科技支撑计划 (2008BAK49B04) 和地表过程与资源生态国家重点实验室自主研究项目联合资助。

建筑物瓦砾；最后比较 3 种方法的提取精度。

1 实验与结果

1.1 实验数据

震后遥感数据为 2010 年 1 月 16 日 Geoeye - 1 卫星获取的高分辨率卫星遥感影像，全色波段空间分辨率为 0.5 m，多光谱波段空间分辨率为 2 m（蓝、绿、红、近红外）。近红外波段参与分类，能够容易地分辨集中的植被和阴影。实验中选择典型建筑物倒损区——海地首府太子港总统府附近的遥感影像，实验区图像大小为 796 × 723 个像元，共 575 508 个像元。在 ENVI 软件中采用 Pan - sharpening 数据融合方法，将全色波段和多光谱波段进行融合，生成 0.5 m 的 Pan - sharpening 融合影像，如图 1 所示。

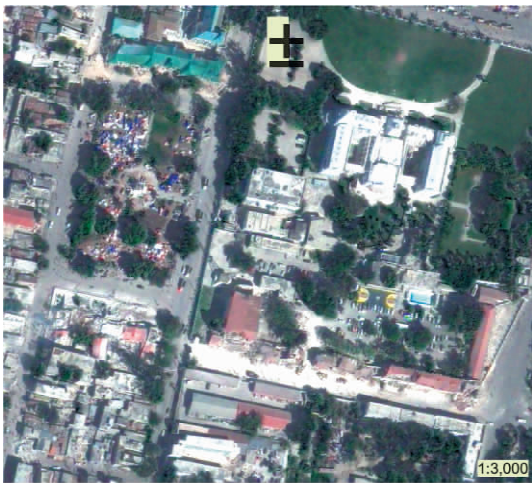


图 1 试验区 Pan - sharpening 融合遥感影像

Fig. 1 Remote sensing image by Pan - sharpening fusion method in test zone

1.2 实验步骤

实验分为 3 个步骤：第一是目视解译；第二是遥感分类（基于像元的方法、面向对象的方法和综合地统计学纹理的面向对象方法）；第三是精度评价。实验流程如图 2 所示。

1.2.1 目视解译

参照欧洲地震烈度表（EMS - 98），建筑物损毁等级分为四级：基本完好（D1 和 D2）、中等破坏（D3）、严重破坏（D4）和完全毁坏（D5）。由于缺少地面真实参考数据，目视解译对参考了

欧盟联合研究中心（Joint Research Centre，简称 JRC）的解译结果，以及 GoogleEarth 震前的影像，对试验区的单体建筑物进行逐个目视解译，单体建筑物震害解译结果如图 3 所示。

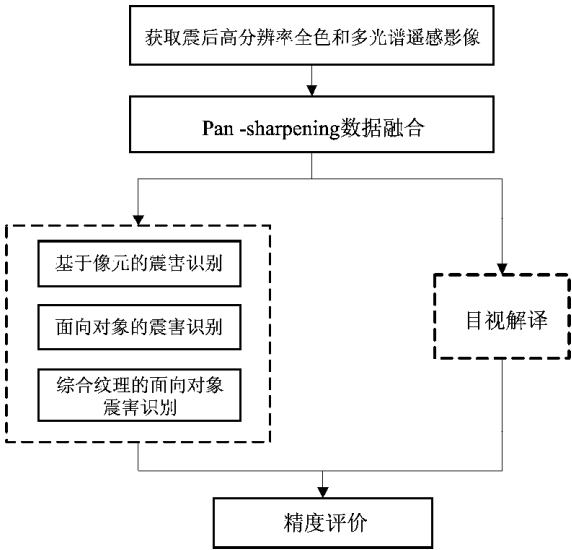


图 2 实验流程图

Fig. 2 Experimental flow chart



图 3 建筑物震害尺度及空间分布情况

Fig. 3 Damage scale and spatial distribution of buildings

从图 3 的单体建筑物震害评估的结果中，可以发现严重破坏和完全破坏的建筑物周围均有建筑物瓦砾，从而证明了瓦砾是建筑物倒损的明显震害特征之一。因此，笔者正是通过对建筑物瓦砾的自动识别来检测建筑物震害的空间分布情况。由于地震灾害的现场信息具有时间敏感性，在没

有现场调查灾情数据的情况下,笔者采用目视解译作为“真值”对自动分类的结果进行精度评价。为此,对实验数据进行人工数字化建筑物瓦砾,其空间分布情况如图4所示。



图4 建筑物瓦砾空间分布情况

Fig. 4 Spatial distribution of building rubbles

1.2.2 面向对象震害识别

利用面向对象分类软件 eCognition 进行基于面向对象的瓦砾信息提取,包括3个步骤:首先分割遥感影像。经过反复实验,采用的分割尺度为49,参与分割的波段包括蓝、绿、红和近红外,并且每个波段的权重均设为1;然后选择分类样本,根据实验区地物实际分布情况,选择了10种分类样本:黑色屋顶、灰色屋顶、绿色屋顶、红色屋顶、白色屋顶、草地、树冠、阴影、道路和建筑物瓦砾;最后进行监督分类。监督分类采用最邻近分类算法,分类指标为样本的均值和方差。基于面向对象技术自动提取的瓦砾与目视解译结果的对比如图5所示。

在图5中,面向对象的方法能够正确识别大部分建筑物瓦砾,特别是建筑物成片倒塌区域。同时,分类结果仍然存在漏分和错分现象。漏分主要是一些面积较小的瓦砾;自动提取的瓦砾明显多于目视解译的结果,这些错分主要发生在临时转移安置点(如帐篷)散布的区域、表面较为粗糙且不均匀的建筑物屋顶、低矮建筑物密集区、一些微小地物(如车辆)和不同地物交界的边缘(如树冠与道路、阴影与道路)。



图5 面向对象提取结果与目视解译对比情况

Fig. 5 Comparison the extracting results between object-oriented approach and visual interpretation

1.2.3 基于像元的震害识别

为了与面向对象方法进行比较,实验中利用 ERDAS 软件采用基于像元的最大似然分类方法提取建筑物瓦砾。其分类的样本与面向对象分类方法中采用相同的样本。基于像元提取的瓦砾与目视解译结果的对比如图6所示。



图6 基于像元提取结果与目视解译结果对比情况

Fig. 6 Comparison the extracting results between pixel-based approach and visual interpretation

从图6可以看出,自动提取的建筑物瓦砾散布在整个实验区,分类结果明显多于目视解译,但相对于前文所用的基于面向对象分类方法,错分现象有所减小,同样还发现临时转移安置点散布

的区域被错分为瓦砾, 地物交界的边缘部分也容易被错分, 漏分现象更为明显, 建筑物倒塌后大块瓦砾被漏分。

1.2.4 综合纹理的面向对象震害识别

地质统计学被广泛应用于遥感影像纹理的提取, 并且优于基于傅立叶纹理提取方法 (Maillard, 2003)。综合纹理的面向对象震害识别方法包括二个步骤: 提取地质统计学纹理特征和多尺度面向对象分类。

第一步, 提取地质统计学纹理特征。标准半方差函数对图像中的极端 DN 值具有敏感性, 因此本文采用 Lark (1996) 提出的均方根对差函数 (Mean Square Root Pair Difference Function, 简称 SRPD) 代替标准半方差函数, 计算公式为

$$SRPD_{(h)} = \frac{1}{N_h} \sum [ABS(DN_i - DN_{i+h})]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

式中, SRPD 是总体均半方差的无偏估计; N 是像元对数目; DN_i 和 DN_{i+h} 代表相距 h 的两个像元值。实验中对全色波段提取 SRPD 纹理, 并采用了经验半方差图确定纹理提取时的尺度参数, 其中窗口大小为 3×3 个像元, 窗口内步长距离为 1 个像元、步长方向为全方向。

第二步, 多尺度分割的面向对象分类。经过反复实验发现应用 SRPD 纹理波段替换 Pan-sharp-ening 融合影像中的蓝波段分类效果最好, 所以采用纹理、绿、红和近红外这四个波段参与分类。从上述两个实验中发现, 不同地物类型交界的边缘部分容易被错分。为了使尽量少的地物类别参与分类, 实验中先采用小尺度分割实验区影像, 从而排除植被等微小地物的影响。经过反复实验, 采用的第一个分割尺度为 28。在实验中, 采用保守取阈值的原则, 建立了 2 个知识规则, 从而排除植被和阴影: (1) NDVI 值不小于 0.03 为透水层 (植被), 与植被邻接度大于 0.5 的也归为植被; (2) 近红外波段值不大于 140, 亮度值不大于 145, 同时与阴影邻接度大于 0.5 的也划为阴影。

经过上述处理, 实验区剩余 4 种未分类的地物类型: 建筑物、道路等空旷用地、瓦砾以及少量阴影。因为大尺度分割有利于建筑物等大对象的提取, 第二次分割对象时采用的分割尺度为 49。

除阴影样本外, 选择了与上述 2 种方法中相同的 7 类分类样本, 并采用最邻近分类算法进行监督分类, 参与分类的波段包括纹理、绿、红和近红外, 分类指标为样本的均值和方差。经过自动提取的瓦砾和目视解译结果的对比情况如图 7 所示。



图7 综合纹理的面向对象提取结果与目视解译结果对比情况

Fig. 7 Comparison the extracting results between object-oriented approach aided by using texture image and visual interpretation

在图 7 中, 大面积的建筑物倒塌区域能够被准确识别, 部分小面积的瓦砾存在漏分现象。与上述 2 种实验方法进行比较, 发现瓦砾错分现象明显减少。

1.3 精度评价

以目视解译的结果作为地面真值, 对 3 种瓦砾自动识别方法进行精度评价。通过分类总体精度、Kappa 系数, 以及瓦砾的生产者精度和用户精度这四个指标来评价分类结果。精度评价方法如图 8 所示, 精度评价结果如表 1 所示, 3 种方法的精度比较统计图如图 9 所示。

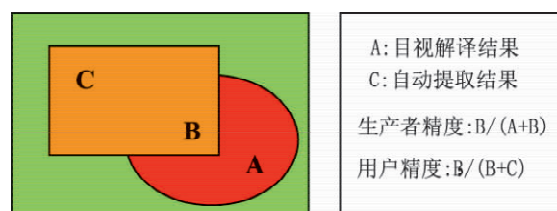


图8 分类精度评价方法

Fig. 8 Evaluation method of classification accuracy

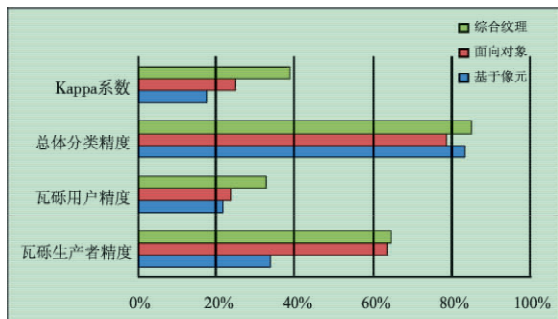


图9 三种分类方法精度评价比较直方图

Fig. 9 Histogram of comparison of three methods' classification accuracy

表1 三种分类方法的精度评价结果

Tab. 1 Evaluation result of three methods' classification accuracy

	基于像元	面向对象	综合纹理
瓦砾生产者精度 (%)	33.85	63.51	64.57
瓦砾用户精度 (%)	21.69	23.65	32.65
总体分类精度 (%)	83.29	78.57	85.04
Kappa 系数 (%)	17.52	24.73	38.80

从表1和图9可以看出,3种方法的总体分类精度相差并不明显,但是基于像元的分类方法的总体分类精度高于单纯的面向对象方法,并不是预想的面向对象方法的总体精度一定高于基于像元的分类方法。综合纹理的面向对象方法的4个精度评价指标均高于另外2种方法,其中总体Kappa系数明显提高。

就瓦砾的生产者精度而言,两种面向对象分类方法均明显高于基于像元的分类方法,并且大于60%,说明采用面向对象的分类方法超过一半的建筑物瓦砾可以被正确识别;而基于像元的监督分类方法的生产者精度只有33.85%,说明有超过一半的瓦砾被漏分。

而3种方法的用户精度相差不大,并且均低于33%,说明这3种方法将非瓦砾区域错误识别为瓦砾的区域大致相同,通过分析3种方法分类结果,错分主要发生在:(1)临时转移安置点散布的区域(如帐篷);(2)表面较为粗糙的完好建筑物屋顶以及低矮建筑物物密集区;(3)不同地物交界的边缘区域(如树冠与道路、阴影与道路等);(4)一些微小地物(如车辆)。

当加入纹理信息后,Kappa系数明显提高14

个百分点,用户精度也明显提高9个百分点,而生产者精度只提高了1个百分点,说明当加入纹理信息后,明显增加了建筑物瓦砾识别的准确性,然而漏分现象的改善并不明显。

2 结论与讨论

为了评判快速识别建筑物震害,笔者采用了3种自动提取方法提取建筑物瓦砾。在目视解译时,再次证明了瓦砾是建筑物破坏程度及空间分布的明显震害特征。

对3种自动提取方法进行对比实验,证明基于面向对象方法(包括加入纹理信息后)能够准确识别大部分建筑物瓦砾(生产者精度大于60%),并且识别精度远远优于基于像元的提取方法(生产者精度为33.85%),但是即使加入纹理信息后,瓦砾的用户精度仍然较低(小于33%)。通过对比分析3种方法的识别结果挖掘了瓦砾最容易误判的区域。为了准确识别建筑物震害信息,还需要排除引起错分的干扰地物,比如利用建筑物高度信息排除完好建筑物,在地震灾害中临时转移安置点的范围和数量,也可以间接反映地震灾情,可以采用人工目视修正的方法提取临时转移安置点,从而进一步提高瓦砾提取的精度。

当加入纹理信息后,提高了瓦砾识别精度,特别是总体Kappa系数和瓦砾的生产者精度。同时,通过减少分类类别的方法可以提高分类精度,比如先排除容易识别的植被和阴影,这样避免了瓦砾与植被、瓦砾与阴影的错分现象。笔者主要探讨自动提取建筑物震害信息的可能性,因此没有对实验进一步优化,比如应用对象的形状信息、高程信息等。当然在在灾情发展的不同阶段究竟需要什么样的分类精度也有待进一步讨论。

衷心感谢美国 Geoeye 公司提供的 GeoEye-1 高分辨率遥感影像。

参考文献:

- 王岩 王晓青 窦爱霞. 2009. 面向对象遥感分类方法在汶川地震震害提取中的应用[J]. 地震 29(3): 54-60.
- 晏凤桐. 2003. 地震灾情的快速评估[J]. 地震研究 26(4): 382-387.

- 周光全, 卢永坤, 非明伦, 等. 2010. 地震灾害损失初步评估方法研究 [J]. 地震研究 33(2): 208–215.
- Bitelli G, Camassi R, Gusella L, et al. 2004. Image change detection on urban areas: The earthquake case [C]. ISPRS XXth Congress Volume XXXV, Istanbul, Turkey.
- Coburn A, Spence R. 2002. Earthquake Protection, 2nd Edition [M]. New York: John Wiley & Sons.
- Kouchi K, Yamazaki F. 2005. Damage Detection Based on Object-based Segmentation and Classification from High-resolution Satellite Images for the 2003 Boumerdes, Algeria Earthquake [C]. Proceeding 26th Asian Conference on Remote Sensing, Hanoi, Vietnam.
- Lark R M. 1996. Geostatistical description of texture on an aerial photograph for discriminating classes of land cover [J]. International Journal of Remote Sensing 17(11): 2115–2133.
- Maillard P. 2003. Comparing texture analysis methods through classification [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 69(4): 357–367.
- Saito K, Spence R J, Going C, et al. 2004. Using high-resolution satellite images for post-earthquake building damage assessment: A study following the 26 January 2001 Gujarat earthquake [J]. Earthquake Spectra 20(1): 145–169.
- Suzuki D, Yamazaki F. 2008. Extraction of Building Damages in the 2007 Niigata-Ken Chuetsu-Oki Earthquake Using Digital Aerial Images [C]. 28th Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Yamazaki F, Suzuki D, Maruyama Y. 2008. Use of Digital Aerial Images to Detect Damages due to Earthquake [C]. 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Yano Y, Yamazaki F, Matsuoka M, et al. 2004. Building Damage Detection of the 2003 Bam, Iran Earthquake Using QuickBird Images [C]. 25th Asian Conference on Remote Sensing, Chiang Mai, Thailand.

Recognition of the Earthquake-damaged Buildings Based on Object-oriented Technology

DONG Yan-sheng^{1,2}, PAN Yao-zhong^{1,3}, FANG Wei-hua³, YU De-yong³, HE Hao^{1,3}

(1. College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

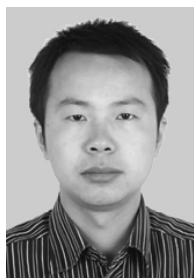
(2. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

(3. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

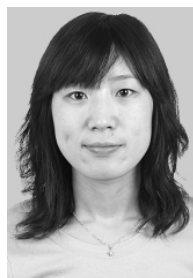
Abstract

An $M 7.3$ strong earthquake occurred in Port-au-Prince, Haiti on Jan. 12, 2010 has destroyed a large number of buildings. From the post-earthquake very high resolution remote sensing image, we can find there are a lot of rubbles around collapsed and partly damaged buildings. Therefore, we take these rubbles as seismic-damage characteristics of the collapsed buildings and use the following three methods—pixel-based method, object-oriented method and object-oriented method combined with geo-statistical texture to extract rubbles automatically. Finally, we assess the accuracy of the three classifications of the remotely-sensed data through the three methods. It turns out that the accuracy of pixel-based method is less than that of object-oriented method. The overall Kappa coefficient and user's precision of rubbles have improved remarkably when adding texture feature. However, there is no obvious improvement of the producer precision of the rubbles.

Key words: building damage; high-resolution satellite remote sensing; object-based classification; geo-statistical texture; Haiti earthquake



董燕生 北京农业信息技术研究中心助理研究员。2010年毕业于北京师范大学，获博士学位。主要从事地震灾害遥感、农业灾害遥感等领域的研究，尤其是灾后遥感监测与损失评估。



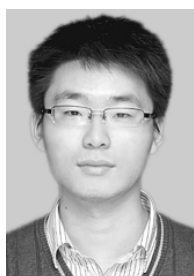
兰双双 北京工业大学建筑工程学院博士后。2005年、2007年、2010年毕业于吉林大学环境与资源学院，并分别获学士、硕士、博士学位。主要从事水环境与地震地下流体方面的研究。



倪红玉 安徽省地震局工程师。2008年毕业于中国科技大学化学物理系，获硕士学位。主要从事地震预报研究工作。



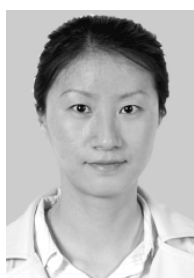
王伟涛 中国地震局地球物理研究所助理研究员。2009年毕业于中国科学技术大学地球与空间科学系，获博士学位。主要从事重复震源和4D地震学研究。



魏运浩 中国地震局地震研究所硕士研究生。2007年毕业于武汉理工大学资源与环境工程学院，获学士学位；2008年9月至今，在中国地震局地震研究所水库诱发地震研究室攻读硕士学位。主要从事地震工程研究工作。



许晓庆 宁夏回族自治区地震局工程师。2004年毕业于成都信息工程学院计算机科学与技术专业，获学士学位；2010年毕业于中国科学技术大学地球和空间科学学院固体地球物理专业，获硕士学位。现主要从事地震预测和计算地震学等研究工作。



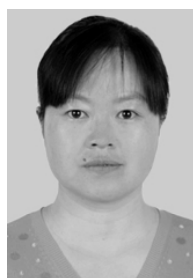
张风霜 中国地震局第一监测中心工程师。2006年毕业于天津师范大学数学与应用数学专业，获理学硕士学位；2009年2月至6月于中国科学院上海天文台学习利用Gamt/Globk软件进行GPS数据处理的基础理论与方法。现主要从事GPS数据处理与地震预测研究。



张双凤 河北省地震局邯郸中心台工程师。1999年毕业于河北工程大学计算机专业，获学士学位。主要从事地震观测及分析预报工作。



张新东 河北省地震局高级工程师。1988年毕业于云南大学地球物理系，获理学学士；2003年毕业于中国科技大学地球物理专业，获硕士学位。曾参与首都圈地震台网建设、十五河北数字地震台网改造等项目。主要从事地震台网的勘选、设计与建设，数字化地震波形资料的应用研究等。



李 琼 云南省地震局工程师。2008年毕业于云南大学固体地球物理系，获硕士学位，主要从事地震前兆和地震预报等方面的研究工作。