

利用 InSAR 技术研究黄土地区滑坡分布

程 滔^{1,2}, 单新建¹, 董文彤³, 李建华¹

(11 中国地震局地质研究所地震动力学国家重点实验室, 北京 100029;

21 国家基础地理信息中心, 北京 100044; 31 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

摘要: InSAR 技术能够获取大面积、连续、高精度的地表垂直形变信息, 可用来监测地震、火山、滑坡等自然灾害造成的地表形变。文章介绍了 InSAR 技术在监测陕北黄土地区滑坡中的应用, 首先进行野外地质勘察和 TM 光学遥感影像解译, 接着通过 EnviSat SAR 数据差分干涉处理, 获取研究区干涉形变场, 提取出滑坡位移量, 最后详细分析黄草湾至董家寺沿线一带的滑坡变形范围, 并划定出了 4 个有一定变形的重点监视区。

关键词: 合成孔径雷达干涉测量; 黄土; 滑坡; 形变监测

中图分类号: P642I 22

文献标识码: A

文章编号: 100023665(2008)010098204

1 引言

星载合成孔径雷达干涉测量技术(InSAR)是指利用卫星在相同(相邻)轨道上所获取的同一地区两幅 SAR 图像, 通过求取它们的相位差获取干涉图像, 并通过相位解缠来获取地表高程信息的测量技术^[1]。如果获取了同一地区的两幅干涉图像(其中一幅是通过形变事件前的两幅 SAR 获取的干涉图像, 另一幅是通过形变事件前与形变事件后两幅 SAR 图像获取的干涉图像), 通过两幅干涉图差分处理(除去地球曲面、地形起伏影响)便可获取地表微量形变, 这就是差分干涉测量技术(Differential InSAR)的基本原理^[2~4]。

目前, 利用 InSAR 监测滑坡的研究比较少。2002 年, C Squarzonei 等人利用 1991~1999 年获取的 30 幅 ERS2/P2 SAR 数据对法国阿尔卑斯山南部 Ubaye 谷中的 La Valette 滑坡进行了研究。得出在 1991~1999 年间, 滑坡的平均速率从 1991 年的 1cmPd 上升到 1996 年的 2cmPd, 之后又降低到 1999 年的 0.14cmPd, 与地面测量的结果相符^[5~8]。

本文的研究区位于陕西子长地区, 该地区处于半干旱半湿润大陆性季风气候区, 冬季长、干旱少雨, 夏季短、多暴雨。7~9 月是滑坡、崩塌易活动的时段, 我们利用 InSAR 技术在该地区开展了滑坡监测工作。

2 研究区地质概况及遥感影像解译

陕西子长位于鄂尔多斯块体上, 在大地构造上属中朝准地台的西部, 是中国最古老的地台, 为一稳定完整的块体^[9]。研究区位于块体的南鄂尔多斯环形构造东北边缘^[10]。研究区直线距离约 50km, 分布在约为 42km@29km 的范围内, 区内为沟壑纵横的黄土梁、峁地形, 坡度多在 10~25°, 坡面及沟谷流水侵蚀作用强烈^[11]。区内广泛发育第四系上更新统风积马兰黄土(Q₃^{al}), 厚 50~150m^[12]。黄土中往往发育质地粘重的埋藏土^[13]。研究区沿线河流侵蚀切割较深, 造成黄土梁、峁地貌坡脚失稳, 极易发生滑坡、崩塌等地质灾害。

沿线形变量较大的滑坡体主要有两处, 从西向东分别是黄草湾滑坡(109b22c25dE, 37b15c17dN)和董家寺滑坡(109b46c23dE, 37b01c15dN)。

黄草湾滑坡体东侧规模较大, 坡长约 500m, 坡宽约 300m, 呈长舌状, 坡体走向南东约 145°, 坡度较缓, 约 16~18°, 中间有反坡, 坡面上有多级弧形陡坎, 后缘陡坎高达 70~80cm, 具有明显古滑坡形态特征。滑坡体后缘曾出现 5cm 宽纵向裂缝, 用三合土做了填埋处理, 但现在仍可见宽 5mm 的裂缝。

董家寺滑坡体所在的位置可见两个形态特征明显的现代滑坡, 西侧规模较小, 可见几条弧形陡坎组成的滑坡台阶, 台阶高 3~5m, 滑坡体宽 50m 以上, 东侧滑坡上有多级滑坡陡坎, 滑坡体宽约 100m(照片 1)。

利用 30m 分辨率 TM 影像, 我们对这两个重点灾害区域进行了光学遥感解译。在三维 TM 影像中, 黄草湾滑坡群的形态比较明显, 清楚地表现出滑坡后缘陡坎和滑坡台阶(图 1)。董家寺滑坡群东侧滑坡规模

收稿日期: 200612213; 修订日期: 2007203230

基金项目: 国家自然科学基金(40374013, 40574007)

作者简介: 程滔(1982), 男, 硕士研究生, 研究方向为合成孔径雷达干涉测量技术(InSAR)算法研究与应用。

E-mail: cthuodian@126.com



照片 1 董家寺滑坡体地形地貌特征

Photo 1 Physiognomy features of Dongjiasi landslide

较大,表现出清楚的滑坡后缘弧形陡坎的形迹(图 2)。

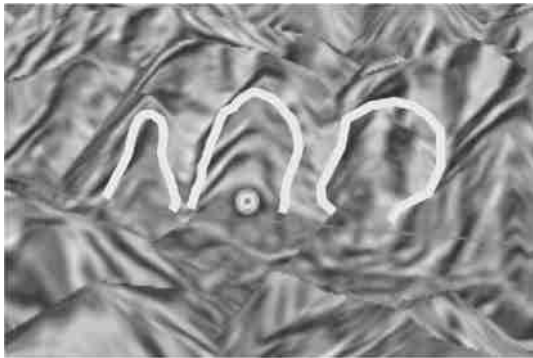


图 1 三维 TM 影像解译出的黄草湾滑坡群

Fig. 1 Huangcaowan landslide cluster interpreted from TM 3D image

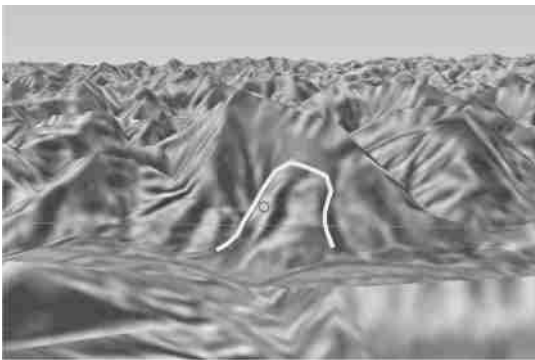


图 2 三维 TM 影像解译出的董家寺滑坡群

Fig. 2 Dongjiasi landslide cluster interpreted from TM 3D image

3 研究区 SAR 数据选取与处理结果分析

研究中使用的数据为欧洲空间局 EnviSat21 SAR 降轨数据。根据研究区的区域范围和地理位置,我们共选取了 7 景数据,相应参数见表 1:

表 1 7 景数据及相应的参数

Table 1 Data and corresponding parameters

景号	Orbit	Track	Frame	接收时间	B _M (m)	B _L (m)	时间间隔 (min)
1	7 730	2 161	2 853	20031 08123	253	- 597	- 5
2	8 732	2 161	2 853	20031 11101	634	- 1 503	- 2
3	9 734	2 161	2 853	20041 01110	0	0	0
4	10 736	2 161	2 853	20041 03120	- 94	455	2
5	15 746	2 161	2 853	20051 03105	198	- 352	14
6	16 748	2 161	2 853	20051 05114	- 61	26	16
7	21 257	2 161	2 853	20061 03125	81	- 199	26

7 景数据的四角点坐标为:左上角(108b57c46d, 37b55c04d), 右上角(110b07e20d, 37b43c28d), 左下角(108b44c16d, 37b03c11d), 右下角(109b52e57d, 36b51c38d), 完全覆盖了滑坡监测区域。

高度模糊数公式(干涉测量中常用的一个量,即引起一个 2P 相位变化所对应的高度变化,以此来表征干涉测量对高度变化的敏感度)为:

$$\Delta Z_{2P} = - \frac{K}{2} \frac{R \sin H}{B_L}$$

式中: K)) 雷达波波长;

R)) 卫星轨道半径;

H)) 入射角;

B_L)) 垂直基线距。

例如:对于 EnviSat21 系统,工作波段为 C 波段(516cm), R= 79918km, H= 23°, 当 B_L= 200m 时,计算得 ΔZ_{2P}= 4318m; 而当 B_L= 400m 时, ΔZ_{2P}= 2119m, 也就是说,这时,高程只要变化 2119m,就会引起一个 2P 相位变化。由此我们得到:在入射角、波长和斜距不变的情况下, B_L 越大,干涉相位对高度变化的敏感度就越高。但对于差分干涉而言,我们希望干涉相位对形变信息更敏感,因此, B_L 越小,越有利于差分干涉得到精确的形变信息。

由 7 景数据的参数我们可以看出,2004 年 01 月 10 日获取的 3 景数据与其它数据的基线距最优,并且该景数据与 2005 年 05 月 14 日获取的 6 景数据垂直基线距最小,因此在处理过程中,将其作为主图像,将 6 景数据作为辅图像,进行差分干涉处理。结果见图 3。

根据形变量的大小,我们选取了 2 个形变量大的区域,如图 4 中的 Ñ 区和 Ò 区。可以看出,在 Ñ 区和 Ò 区中,细密的干涉条纹出现了排列规则且大致垂直于滑坡滑动方向分布的红色条纹簇,这表示这两个区域有方向比较一致的形变场,变形幅度为 2~ 4 条干涉条

纹,即在 16 个月的时间间隔中,斜距向累计形变量在 6~ 12cm 之间,年均斜距向形变量大约为 415~ 9cm,形变方向与滑坡滑动方向相同。 \tilde{N} 区和 \hat{O} 区形变量较大,并且包含了黄草湾、董家寺滑坡点,是我们研究的重点,在今后的工作中还会进行重点监测。

有些地区未经野外地质勘察,但从差分干涉纹图中,也可以看出有一些形变迹象,如图 4 中的 \hat{O} 区、 \hat{O} 区,这些地区一旦发生滑坡或崩塌,也会造成严重破坏和损失,因此,对这些地区也应重点防范和监测。

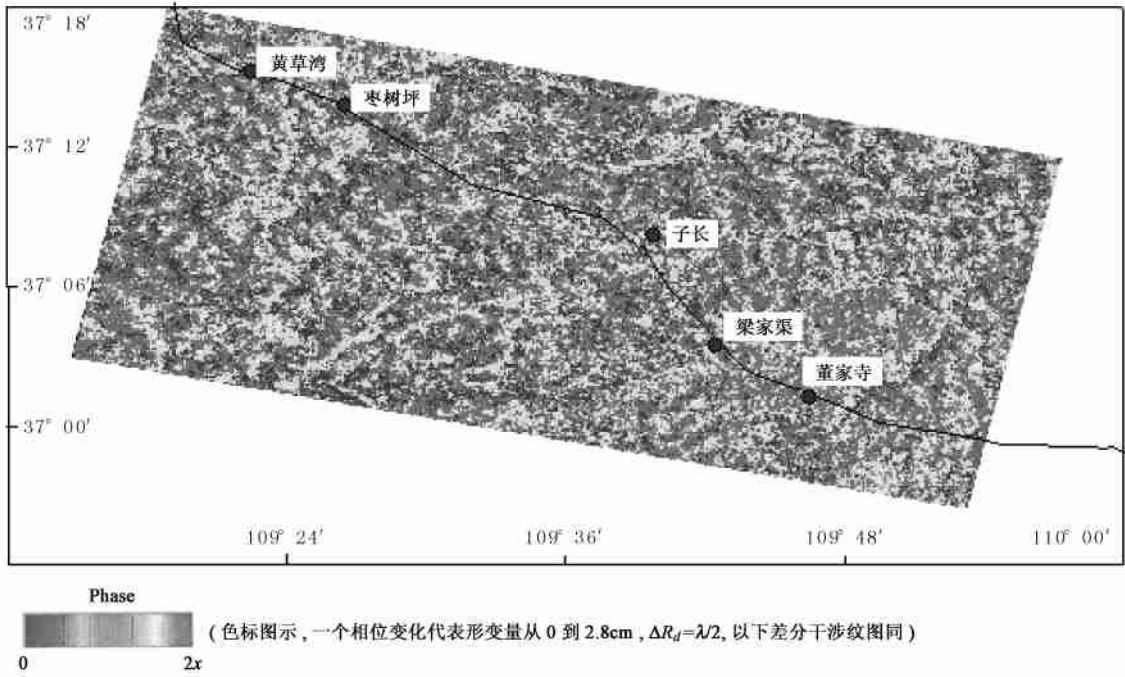


图 3 研究区 InSAR 差分干涉纹图

Fig. 3 Differential interferogram of the studying areas

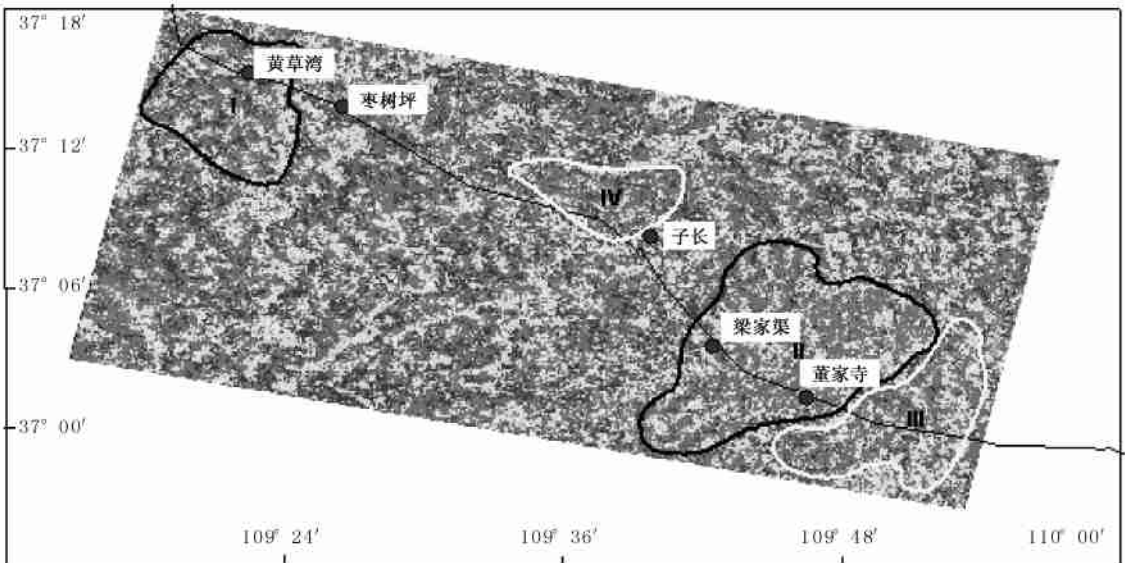


图 4 从研究区差分干涉纹图中划定出的有一定变形的重点监视区

Fig. 4 Significant monitoring areas plotted from the differential interferogram of the studying areas

\tilde{N} 区、 \hat{O} 区) 形变量大, 重点研究区; \hat{O} 区、 \hat{O} 区) 形变量大, 但未进行野外勘察

4 结论

在此次利用 InSAR 技术在陕北地区开展滑坡监测的过程中,由于监测的时间比较短,滑坡形变量较小,在提取滑坡形变场时采取了分段、分块分别进行研究的方法。结果表明,我们获取了研究区的形变场,监测到了滑坡的范围,在黄草湾与董家寺两个地区提取的滑坡位移量与光学解译、野外地质调查的结果相一致。

同时由于研究区为典型黄土地区,多年雨水、风等侵蚀作用,构成了研究区梁、峁、沟、壑的典型地貌特征,这种细碎的地貌形态对 SAR 图像的后向散射特征有一定的影响;其次,由于目前 SAR 数据积累较少,基线距较短、相干性较好的图像对不多,导致 InSAR 处理时相关性较低,除了 $\hat{N} \sim \hat{O}$ 区形变较大区域之外,其它地区也显示出了一些粗缓的干涉条纹分布。

单用常规 InSAR 技术难以实现对单个滑坡体的监测。为了有效地解决以上出现的问题,今后,我们会采用角反射器 InSAR 技术进行微量形变监测,以获取单个滑坡体的变形幅度、变形方向和变形速率。

参考文献:

- [1] 王超,张红,刘智. 星载合成孔径雷达干涉测量[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 14- 17.
- [2] 单新建,叶洪. 干涉测量合成孔径雷达技术原理及其在测量地震形变场中的应用[J]. 地震学报, 1998, 20(6): 647- 655.
- [3] 王超,刘智,张红,等. 张北) 尚义地震同震形变场

雷达差分干涉测量[J]. 科学通报, 2000, 45(23): 2550 - 2555.

- [4] 马超,单新建. 星载合成孔径雷达差分干涉测量(D - InSAR)技术在形变监测中的应用概述[J]. 中国地震, 2004, 20(4): 410- 418.
- [5] Squarzoni C, Delacout C, Allemand P. Nine years of spatial and temporal evolution of the La Valette landslide observed by SAR interferometry [J]. Engineering Geology, 2003, 68: 53- 66.
- [6] Leva D, Rivolta C, Binda Rossetti I, et al. Using a ground based interferometric synthetic aperture radar (GBInSAR) sensor to monitor a landslide in Japan[C]. IEEE, 2005, 6: 4096- 4099.
- [7] Toshifumi Moriyma, Seiho Uratsuka, Toshiko Umehara, et al. Polarimetric analysis of the disastrous environment by using P2SAR[C]. IEEE, 2005, 6: 4084 - 4087.
- [8] Perski Z, Jura D. ERS SAR Interferometry for Land Subsidence Detection in Coal Mining Areas[J]. Earth Observation Quarterly, 1999: 25- 29.
- [9] 国家地震局5鄂尔多斯周缘活动断裂系6课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 5- 19.
- [10] 李建华,申旭辉. 青藏高原东北隅弧东断裂与南鄂尔多斯环状构造[J]. 地震地质, 2001, 23(1): 116- 121.
- [11] 陕西省滑坡工作办公室. 陕西省滑坡灾害预测图[M]. 西安: 西安地图出版社, 1995.
- [12] 张天曾. 黄土高原论纲[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993.
- [13] 安芷生,肖举东,张景昭,等. 季风与最近 13 万年黄土高原的气候历史[M]黄土 第四纪地质 全球变化(二). 刘东生. 北京: 科学出版社, 1990: 1- 151.

A study of landslide distribution in loess area with InSAR

CHENG Tao^{1,2}, SHAN Xin2jian¹, DONG Wen2tong³, LI Jian2hua¹

- (1. State Key Laboratory of Earthquake Dynamics, Institute of Geology, China Earthquake Administration, Beijing 100029, China; 2. National Geomatics Center of China, Beijing 100044, China; 3. Exploration & Production Research Institute, Sinpec, Beijing 100083, China)

Abstract: Continuous and high2accurate vertical deformation of a large area can be obtained with InSAR. The InSAR is an effective technology for monitoring the earth surface deformation caused by some natural disasters, such as earthquake, volcano eruption, and landslide. This paper introduces the application of InSAR on monitoring landslides in loess area in Shanxi province. Firstly, we carried the wild geological investigation and optical interpretation of TM remote sensing images. Then, with D2InSAR processing of EnviSat SAR data, we obtained the interferometric deformation field and the displacement of the study area. Finally, we detailedly analyzed the deformation ranges along Huangcaowan2Dongjiasi line, and plotted four important monitoring areas where great displacement occurred.

Key words: InSAR; loess; landslide; deformation monitoring