

基于差分雷达干涉测量的矿区地面沉降监测研究

董玉森^{1,2,3} Ge Linlin² Chang Hsingchun² 张 志^{1,3}

(1 中国地质大学地球科学学院,武汉市鲁磨路 388 号,430074)
(2 School of Surveying and Spatial Information Systems, UNSW, Sydney 2052,澳大利亚)
(3 中国地质大学空间科学技术研究中心,武汉市鲁磨路 388 号,430074)

摘 要:收集了 1992 年 12 月至 1998 年 6 月 JERS-1 L 波段雷达数据,利用差分雷达干涉测量技术进行地面沉降监测研究。通过“二轨法”进行差分处理,选择其中的 6 景差分雷达干涉图进行分析。在研究区内发现了 4 个沉降区域,并按照时间序列通过对地面形变图进行分析,获取其中两个沉降区最大的垂直沉降量。
关键词:地面沉降;雷达差分干涉测量;JERS-1 卫星
中图法分类号:P225.1; P237.9

以合成孔径雷达干涉测量(InSAR)技术为基础进行地面沉降的调查和监测,是国内外研究的热点之一。Gabriel 等^[1]首次论证了差分干涉测量技术(differential InSAR, DInSAR)可用于探测 cm 级的地表变形^[1]。Wegmüller 等利用 DInSAR 对德国 Ruhrgebiet 地区地面沉降进行了研究,获取了因地下采矿而导致的地面沉降信息^[2]。Ge 等将 GPS 和 InSAR 技术结合在一起进行矿区地面形变测量^[3],准确地获取了澳大利亚 Appin 地区煤矿开采造成的地面沉降信息,并利用 GIS 技术对地面沉降过程和煤矿开采过程进行了综合分析,得到了地面沉降随着煤矿的开采而变化的信息^[4]。刘国林等分析了 InSAR/GPS 数据融合在矿区地表形变监测中应用的可行性^[5]。吴立新等利用多时相 DInSAR 技术结合角反射器(或平面反射器)方法进行了工矿区地表沉陷监测^[6]。另外,利用 JERS-1 数据对国内某矿区地面沉降监测,并将沉降的特征与澳大利亚 Appin 矿区进行对比,分析不同的采矿技术对地面沉降的影响^[7,8]。

现有的研究主要集中在沉降范围和沉降量的获取上,而对于沉降过程的分析研究不足。本文利用 DInSAR 技术,获取了在时间上具有连续性和重复性的地面沉降信息,对于矿区地面沉降的治理和

地面沉降的时空发展机理研究具有重要意义。

1 差分雷达干涉测量技术

星载合成孔径雷达测量技术是指利用雷达卫星在相同(相邻)轨道上所获取的同一地区两幅雷达图像,通过求两幅雷达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^[9]。而 DInSAR 是利用复雷达图像的相位差信息来提取地面目标的微小形变信息的测量技术。常用的 DInSAR 模式是重复轨道差分干涉测量(Repeat-Pass DInSAR)^[10]。由于 DInSAR 获取的是两景图像成像时间之间的地面形变信息,通过多个连续成像间隔的地面形变信息,可以得到沉降区的变化过程,从而确定沉降区的状态。

本文的研究区域位于华北地区的某煤矿区,近年来该地区曾经发生过多起矿山坍塌事件。在发生坍塌之前,该矿区曾经发生了大面积的地面沉降。

因矿区地面沉降的时间集中、垂直沉降速度高等,本研究选择日本 JERS-1 卫星的 L 波段雷达数据作为数据源。笔者收集了 1992 年 12 月至 1998 年 6 月共 20 景 JERS-1 雷达数据。在数据处理时,采用“二轨法”进行 DInSAR 处理,用

SRTM-3(shuttle radar topography mission)数据作为 DEM 数据源,其精度优于 1 : 2.5 万以上的地形图。

“二轨法”数据处理的流程如图 1 所示。

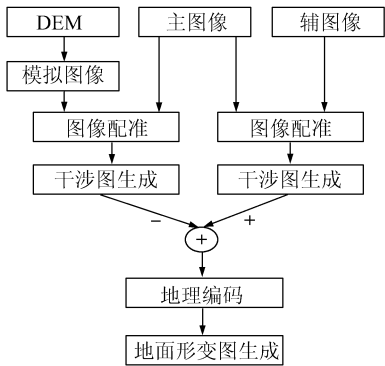


图 1 二轨法差分干涉数据处理流程图
Fig. 1 Data Processing Flow of Two-Pass Differential Interferometry

在处理过程中,理论上可以得到 190 幅差分干涉图。但是由于受时间基线、垂直基线等因素的影响,最终获得 9 幅具有较好相干性的差分干涉图。

2 结果分析

在对所有的数据进行处理后,根据差分干涉图的时间分布和干涉图的质量,选取其中的 6 幅差分干涉图进行进一步的分析处理。具体如表 1 及图 2 所示。

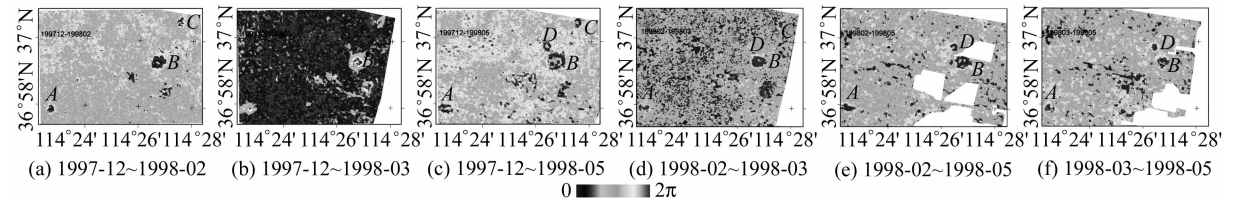


图 2 研究区差分干涉图
Fig. 2 D-InSAR Interferograms of Research Area

表 2 基准点的相干值和高度变化值

	像 对					
	1997-12~1998-02	1997-12~1998-03	1997-12~1998-05	1998-02~1998-03	1998-02~1998-05	1998-03~1998-05
相干性	179	164	214	218	131	142
高度变化值 R/m	0.23	-0.31	-0.08	-0.04	0.67	0.51

2.2 B 沉降区

由图 2 可以看出,B 区在 132 d 的监测时间内,其沉降区域的面积变化不大。

首先从时间上分析 B 区在相同时间间隔的

表 1 JERS-1 雷达图像干涉像对

Tab. 1 Master/Slave Pairs of JERS-1 SAR Image for Interferometry

序号	主图像	辅图像	垂直基线/m	时间间隔/d
1	1997-12-23	1998-02-05	-1 163	44
2	1998-12-23	1998-03-21	-1 458	88
3	1997-12-23	1998-05-04	596	132
4	1998-02-05	1998-03-21	-295	44
5	1998-02-05	1998-05-04	1 759	88
6	1998-03-21	1998-05-04	2 050	44

所选择的雷达图像干涉像对集中在 1997 年 12 月到 1998 年 5 月之间,为当地的冬、春两季,时间间隔为 44~132 d。此时植被覆盖度较低,地面裸露,增加了主、辅图像之间的相干性。

2.1 差分干涉图分析

从差分干涉图(图 2)可以看出,在研究区内存在着 4 个主要沉降区,分别编号为 A、B、C、D。其中,D 区是在 1998 年 2 月以后出现的新的沉降区。由于雷达数据覆盖范围的差异,C 区无法在差分干涉图 2(e)、图 2(f)中显示,因此,选择 B 区和 D 区作为具体的研究对象。

为了使获取的地面垂直沉降的结果具有可对比性,需要一个高程没有发生变化的点作为基准点,该点在所有的干涉像对中应具有较好的相干性。笔者选择位于研究区附近的某机场的一栋建筑作为基准点,它在地面形变图(geocoded change map)中的高度变化值 R 和其相干性如表 2 所示。实际的地面沉降值应是在地面形变图上的值减去 R 所得到的数值。

轨道重复周期(44 d)内的变化情况。在图 3 中, R 代表基准点在地面形变图中的值,曲线位于 R 以上的代表相对于基准点的隆起值,位于 R 以下的部分代表沉降值。图 3(a)、3(d)及图 3(f)分别表

示在第一个(1997-12~1998-02)、第二个(1998-02~1998-03)和第三个(1998-03~1998-05)轨道重复周期内的地面沉降情况。从图中可以看出,在这三个时间间隔中,相对于基准点,B区垂直沉降的最大值分别为0.10 m、0.09 m和0.04 m,表明该区处于沉降速度减缓阶段。

其次,分析B区在时间上的累计沉降量。图

3(a)、3(b)、3(c)分别代表44 d(1997-12~1998-02)、88 d(1997-12~1998-03)和132 d(1997-12~1998-05)的地面沉降情况,其垂直相对沉降量的最大值分别为0.10 m、0.14 m、0.22 m。考虑到误差因素的影响以及沉降最低点的位置偏移,获取的结果较为准确。

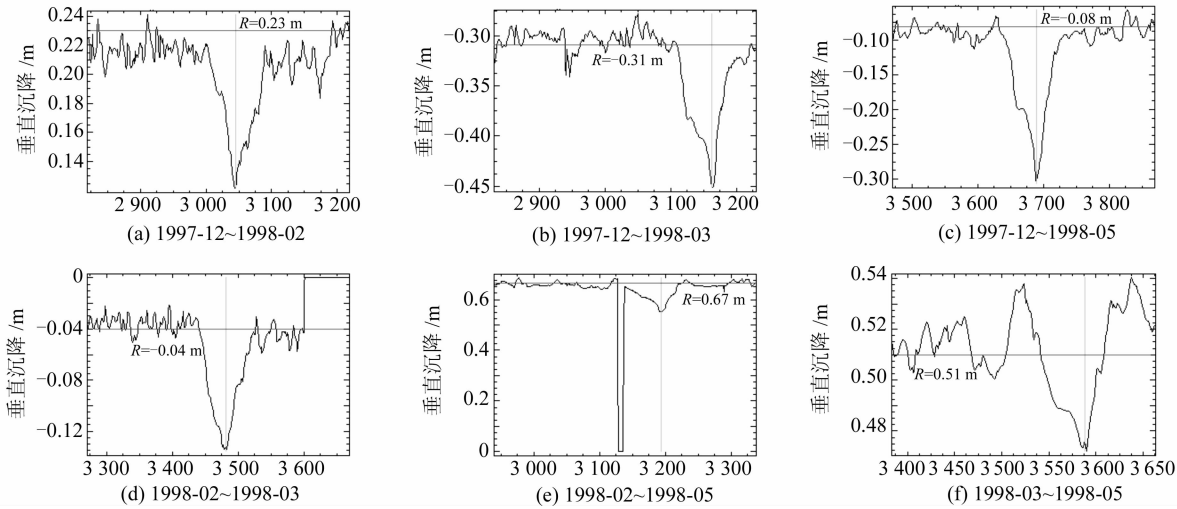


图3 通过B区的沉降剖面图(纵坐标为0表示没有数据)
Fig. 3 Subsidence Profile of Area B(There Is No Subsidence Data when It Is Zero)

2.3 D 沉降区

对于D区,从图4上可以看出,该区的地面沉降在1997-12~1998-05间,其最大相对沉降量为0.20 m,从1998-02~1998-05间,最大相对沉降量为0.16 m。单独从一个卫星重复周期(44 d)来分析,在1998-02~1998-03间,D区有少

量的地面沉降,小于0.03 m,该区的地面变形在差分干涉图上仅仅表现为少量的条纹;沉降主要集中在1998-03~1998-05间,其最大相对沉降量为0.09 m。同时期的差分干涉图明显地反映了这种变化,表明该区处于沉降加速阶段。

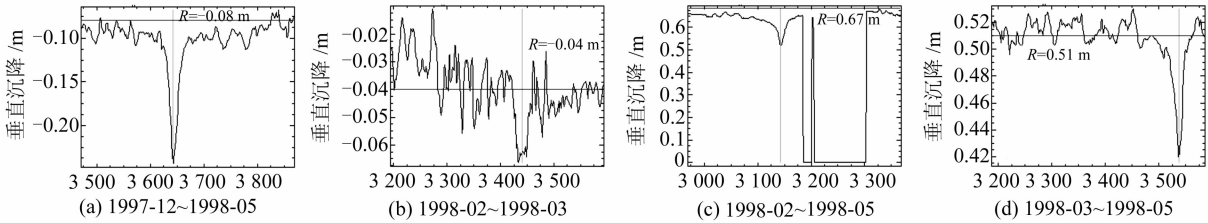


图4 通过D区沉降剖面图(纵坐标为0表示没有数据)
Fig. 4 Subsidence profile of area D (There Is No Subsidence Data when It Is Zero)

3 结 语

通过相同周期(44 d)和多周期(88 d和132 d)的差分干涉图和垂直沉降剖面图,可以得到两个研究区内具有可比性的地面沉降信息,获取其沉降过程,分析出两个沉降区是分别处于沉降加速和沉降减缓阶段。这对于地面沉降治理和

研究地面沉降的时空发展机理具有重要的意义。由于目前研究缺乏地面实测数据,今后还需结合实测对研究区地面沉降进行更为详细的评价。而且DInSAR仍然具有一些局限性,特别是受到大气失相干、时间失相干等因素的影响。因此,利用永久散射体技术来去除这些不利因素的影响将是今后研究的重点。

参 考 文 献

[1] Gabriel A K, Goldstein R M, Zebker H A. Mapping Small Elevation Changes over Large Areas; Differential Radar Interferometry [J]. Journal of Geophysical Research, 1989, 94(B7): 9 183-9 191

[2] Wegmüller U, Strozzi T , Werner C, et al. Monitoring of Mining-Induced Surface Deformation in the Ruhrgebiet (Germany) with SAR Interferometry [C]. IGARSS'00, Honolulu, USA,2000

[3] Ge Linlin, Chen H Y, Han S, et al. Integrated GPS and Interferometric SAR Techniques for Highly Dense Crustal Deformation Monitoring[C]. The 14th International Technology Meeting of the Satellite Division of the U. S. Inst. of Navigation, Salt Lake City, Utah,2001

[4] Ge Linlin, Rizos C, Han S, et al. Mining Subsidence Monitoring Using the Combined InSAR and GPS Approach[C]. The 10th International Symposium on Deformation Measurements, International Federation of Surveyors (FIG), Orange, California, 2001

[5] 刘国林,张连蓬,成枢,等. 合成孔径雷达干涉测量与全球定位系统数据融合监测矿区地表沉降的可行性分析[J]. 测绘通报, 2005(11):10-13

[6] 吴立新,高均海,葛大庆,等. 基于 D-InSAR 的煤矿区开采沉降遥感监测技术分析[J]. 地理学与国土研究, 2004,20(2):22-25

[7] Dong Yusen, Chang H C, Ge Linlin. Radar Interferometry for Mining Subsidence Monitoring [C]. The 13th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Canberra, Australia, 2006

[8] Dong Yusen, Ge Linlin, Chang H C. Mine Subsidence Monitoring by JERS-1 SAR Interferometry [C]. The International Symposium on Future Intelligent EO Satellites, Beijing, China, 2006

[9] 王超,张红,刘智,等. 星载合成孔径雷达干涉测量 [M]. 北京:科学出版社,2002

[10] 李陶,刘经南,廖明生. 重复轨道差分干涉测量参数模型的建立 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(8):744-747

第一作者简介:董玉森,讲师,博士,现从事差分干涉雷达地面形变监测、地理信息系统与遥感的研究。
E-mail:ysdong@cug.edu.cn

Mine Subsidence Monitoring by Differential InSAR

DONG Yusen^{1,2,3} GE Linlin² CHANG Hsingchun² ZHANG Zhi^{1,3}

(1 Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

(2 School of Surveying and Spatial Information Systems, UNSW, Sydney 2052, Australia)

(3 Space Science and Technology Research Center, China University of Geosciences, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

Abstract: In this study, two-pass differential InSAR technique was used to monitor ground subsidence. JERS-1 L-band SAR imagery, acquired from December 1992 to May 1998, was selected as experimental data. 6 interferometric pairs were selected, and 4 subsidence bowls were found in the research area. Based on the temporal series of height change map, maximal vertical subsidence rate of two bowls was obtained. The studies show that DInSAR technique has great potential in ground subsidence monitoring.

Key words: subsidence; differential InSAR; JERS-1

About the first author: DONG Yusen, Ph.D, lecturer, majors in DInSAR for ground deformation monitoring, GIS and RS.
E-mail: ysdong@cug.edu.cn