第 24 卷第 5 期 地 质 与 资 源 Vol. 24 No. 5
2015 年 10 月 GEOLOGY AND RESOURCES Oct. 2015
文章编号:1671-1947(2015)05-0507-04 中图分类号:P642.26 文献标志码:A

D-InSAR 在盘锦湿地地面沉降监测中的应用

田 辉[1,2],孙岐发[1],王福刚[2],马诗敏[1],都基众[1]
1.中国地质调查局 沈阳地质调查中心(沈阳地质矿产研究所),辽宁 沈阳 110026;
2.吉林大学环境与资源学院,吉林 长春 130026

摘 要:采用二轨差分的方法,对湿地区的 SAR 数据进行配准、滤波、去平地效应、相位解缠、差分处理等处理,最后得到垂直形变图,实现了地表形变的监测. 通过计算,得到东郭苇厂、欢喜岭和西八千乡 3 个沉降中心. 3 处沉降量分别为-169、-78 和-105 mm. 沉降面积方面,东郭苇厂(A)沉降面积为 5.14 km^2,椭圆形沉降区的长轴方向为北东-南西向. 欢喜岭(B)沉降区面积为 0.42 km^2,平面形态近似圆形. 西八千乡(C)沉降区面积为 5.28 km^2,椭圆形沉降区长轴方向为北东-南西向.

关键词:GAMMA 软件;二轨差分;合成孔径雷达干涉测量;盘锦湿地;辽宁省
DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2015.05.018

APPLICATION OF D-InSAR IN THE LAND SUBSIDENCE MONITORING FOR PANJIN WETLAND

TIAN Hui[1,2], SUN Qi-fa[1], WANG Fu-gang[2], MA Shi-min[1], DU Ji-zhong[1]
1. *ShenyangInstitute ofGeology and Mineral Resources*, *CGS*, *Shenyang* 110034, *China*;
2. *College of Environment and Resources*, *Jilin University*, *Changchun* 130026, *China*

Abstract: The two-pass D-InSAR method is adopted for the registration, filtering, flat-earth phase removal, phase unwrapping, differential processing of the SAR data in Panjin wetland, to obtain the vertical deformation map and realize the land subsidence monitoring. By calculation, the subsidence amounts of three subsidence centers, namely Dongguoweichang, Huanxiling and Xibaqianxiang, are -169, -78 and -105 mm, respectively. In respect of subsidence areas, Dongguoweichang (A) is 5.14 km^2, in oval settlement area with NE-SW trending long axis; Huanxiling (B) is 0.42 km^2, nearly circular plane shape; Xibaqianxiang(C) is 5.28 km^2, in oval settlement area with NE-SW trending long axis.

Key words: GAMMA software; two-pass differential; interferometric synthetic aperture radar (InSAR); Panjin wetland; Liaoning Province

0 引言

差分干涉测量技术 D-InSAR(Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar)可以得到地面高程信息和地表形变信息. 在地球科学领域,主要的应用于地形测量、形变监测、大气研究及地物特征研究. 在形变监测方面,主要包括地面沉降、滑坡、地震、断层、地裂缝、火山、冰川、洋流等的监测[1-4].

盘锦湿地区发现地面沉降现象,沉降造成苇场泵站报废,给芦苇种植、河蟹养殖造成了严重的影响,损失过亿. 利用 D-InSAR 技术,快速、准确的获取沉降信息,从而为防灾、减灾工作提供依据,对湿地的利用与保护服务.

1 盘锦湿地概况

盘锦湿地位于下辽河平原最南端辽河入海口处,占地面积 1000 hm^2. 盘锦湿地是我国最美的六大湿地之一,同时也是世界上植被类型保护最好的芦苇沼泽地. 保护区内有丹顶鹤、黑嘴鸥等国家一、二类保护动物 43 种,栖息的珍稀鸟类多达 263 种. 因此,盘锦又有"鹤乡"和"黑嘴鸥之乡"之称. 每年 9 月,红海滩美丽壮

收稿日期:2014-06-25;修回日期:2015-01-04. 编辑:李兰英.
基金项目:中国地质调查局"东北平原地面沉降调查"项目(编号:12120113011500)资助.
作者简介:田辉(1984—),男,硕士,主要从事水文地质、环境地质调查研究工作,通信地址:辽宁省沈阳市皇姑区黄河北大街 280 号,E-mail:359585977@qq.com

观的景色吸引着大量国内外游客来此观光[5-7].

研究区在大地构造上属于华北台地的东北部,在区域构造上位于辽河断陷地带. 人类活动主要影响第四系、新近系地层,详细论述如下.

第四系(Q):第四系地层平行不整合于新近系,并于裂谷两侧超覆角度不整合于前古近系岩层之上. 其内部沉积连续,地层一般厚 65~400 m,水平结构特点由层次简单向复杂过渡至层次不明显, 岩性由砂砾石层向细砂、粉细砂过渡.

新近系(N):研究区新近系平行不整合或微角度沉积不整合于古近系及前古近系裂谷基底地层之上,可分为明化镇组、馆陶组 2 个岩石地层单位. 明化镇组(Nm):下段为灰绿、黄褐、杂色泥岩、砂质泥岩夹灰白色砂岩、砂砾岩. 半成岩,层理较发育、含植物残屑. 上段为灰白色,中粗粒—中细粒砂岩、砂砾岩、含砾砂岩夹黄绿、灰绿色泥岩、泥质粉砂岩薄层或透镜体. 颗粒分选好,砾径一般 0.5~20 mm,大者可为 70~100 mm,由北向南颗粒变细. 顶部分布泥岩,厚度 4~8 m,横向变化不大,局部地段如高升、红旗等地缺失. 该组地层埋深一般在 100~400 m 之间,总体趋势由东西两侧向中间,由北东向南西埋藏由浅至深,埋藏最深处位于赵圈河苇场以南. 明化镇组地层厚度一般为 100~800 m,地层厚度变化趋势与埋深一致. 馆陶组(Ng):岩性为灰、灰白色厚层状含漂砾砂砾岩、细砂岩、薄层含砾砂岩及灰绿色、浅灰绿色、黄绿色泥岩、泥质粉砂岩,偶夹紫红色泥岩. 黏土质半胶结, 砾石成分主要为石英、石英砂岩、火山岩、变质岩及少量花岗岩. 砾石分选较差,北部、西部曙光、欢喜岭地区砾径较大,一般 3~50 mm,大者可达 150 mm 以上,东部砾径变细,一般 3~10 mm. 田庄台、太平房地层中夹有玄武岩和玄武质凝灰岩. 该组地层在研究区西部部分缺失. 缺失线南起艾家,经石新镇、胡家延伸到北部的后王回窝堡. 在缺失线附近,馆陶组地层覆于花岗片麻岩、片麻岩、砂砾岩之上. 地层由东西两侧向中间,由北东向南西厚度加大(50~370 m)、埋藏变深(350~1200 m). 厚度最厚位于双台河口一带可达 370 m, 埋藏最深处位于大洼县西南海外河一带,可达 1200 m.

2 数据处理流程

本文利用 GAMMA 软件的 MSP、ISP、DIFF&GEO 模块, 采用的数据为 ALOS PALSAR 卫星雷达数据, DEM 分辨率为 90 m.

二轨差分数据处理如图 1 所示. 利用主、从两幅 SAR 影像,经过配准、干涉图生成、滤波、去平地效应、相位解缠等步骤,得到干涉图,再与 DEM 模拟的干涉图进行差分处理,得到差分干涉干涉图,最终得到地表形变图[8-14].

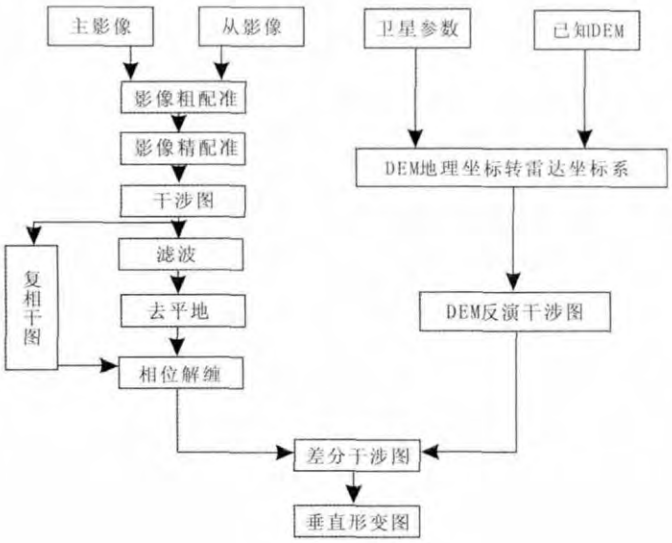

图 1 两轨差分干涉数据处理流程图

Fig. 1 Two-pass differential interferometric data processing flowchart

3 实验数据处理

3.1 影像的配准

在配准过程中查看配准误差,按照经验,只有小于 0.2 个象元才能继续生成干涉图. 如果配准误差过大,就需要继续改进偏移多项式. 通过改变影像块的大小、影像块的数目、阈值大小、配准多项式系数等来减小配准误差.

3.2 干涉图的生成

利用配准后的 SLC 影像,外加 SLC 的参数文件和偏移量的参数文件,生成研究区干涉图. 图 2a 为 2009 年 12 月 24 日影像与 2010 年 12 月 27 日影像生成的研究区干涉图.

3.3 干涉图去平地效应

干涉成像时,平坦的地面产生干涉条纹,这些条纹的存在增加了解缠的难度. 因此,应将平地相位从干涉图中去除.

如图 2b 所示,在生成的原始干涉图(图 2a)中,最直观的看只有细的彩色条纹. 通过去平地效应处理,即能看出地形变化的趋势. 图中存在颗粒状斑点,即雷达噪声斑点,需要进一步处理.

3.4 干涉图滤波

干涉图滤波可以提高解缠精度, 有效地减少雷达

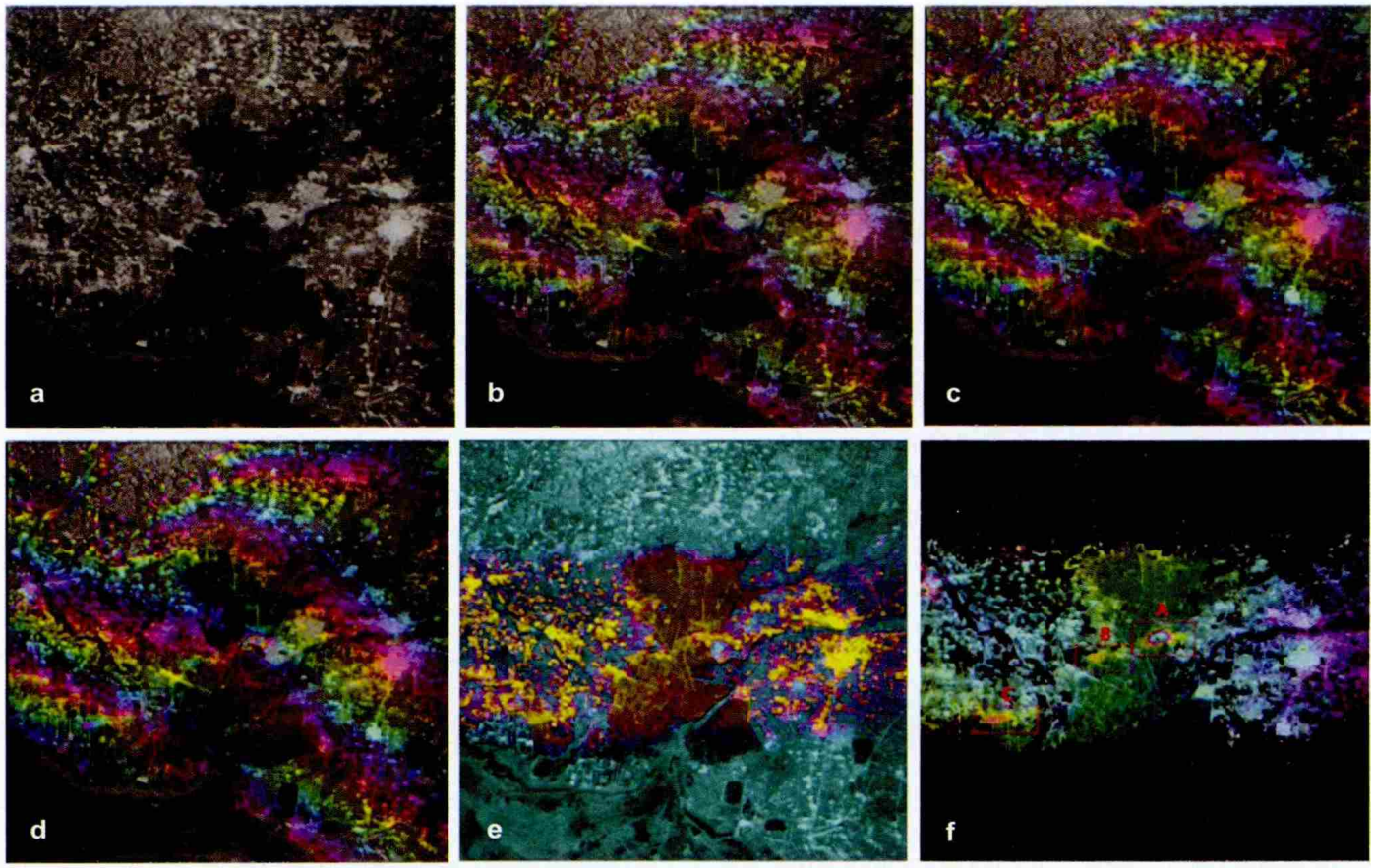

图 2　2009-12-24—2010-12-27 时段计算结果图

Fig. 2　Calculation during 2009-12-24—2010-12-27

a—干涉图(interferogram);b—去平地相位(flat-earth phase removal);c—滤波(filtering);d—差分干涉图(differential interferogram);e—相干图(coherence map);f—垂直形变图(vertical deformation map)

噪声带来的误差. 具体计算过程如下:首先,利用复数干涉图计算局部坡度,沿着斜坡通过计算得到干涉相位的平均值. 然后,局部计算干涉图像的功率谱,依据功率谱设计滤波器,对干涉图进行滤波. 图 2b、c 是干涉图滤波前、后对比图. 滤波前(图 2b)干涉图面昏暗,有许多麻点;滤波后(图 2c)干涉图面鲜艳,相位清晰,此时表明噪声相位已经被有效去除.

3.5　差分干涉图的生成

具体步骤如下:先利用外部 DEM 数据模拟地形相位,然后采用最小二乘拟合方法优化模拟地形相位和真实解缠相位影像之间的相位缩放因子,最后生成差分相位图,即为去地形相位图. 图 2d 为去地形相位的干涉图.

3.6　相干图的生成

相干图的质量,直接决定了 InSAR 测量结果的质量. 整个区域的相干系数越高,相干性越好,相干图质量也就越高. 图 2e 为研究区的相干图. 其中黄色、红色的区域为高亮区,相干系数较高,能达到 0.8 左右,表明相干性较好.

3.7　形变图生成

图 2f 为 2009-12-24~2010-12-27 时段研究区垂直形变图,该图显示出 3 个明显的沉降区,分别为东郭苇厂(A)、欢喜岭(B)和西八千乡(C). 图中一个颜色周期表示 200 mm 垂直形变量,A、B、C 三处沉降量分别为-169、-78 和-105 mm,平均沉降速率分别为 167.6、77.3 和 104.1 mm/a. 经过计算,东郭苇厂(A)沉降面积为 5.14 km^2,椭圆形沉降区的长轴方向为北东-南西向;欢喜岭(B)沉降区面积为 0.42 km^2,平面形态近似圆形;西八千乡(C)沉降区面积为 5.28 km^2,椭圆形沉降区长轴方向为北东-南西向.

3.8　形变产生的危害

1) 对于泵站的危害:现有泵站持续下沉,完全淹没在水中,已无法正常使用.

2) 对于灌渠的危害:灌渠横穿沉降中心区,沉降导致灌渠局部下沉,靠天然的水力梯度,河水已无法输入到芦苇生长区,必须要加高护堤,并利用大功率水泵,

将河水输送到地势高的地方.

3) 对于芦苇生产的影响:芦苇生长区大部分区域靠人工灌溉,河水到不了地势高(相对于沉降区)的地方,对于芦苇生长极为不利,直接导致芦苇减产,苇厂收入降低.

综上所述,在沉降区必须投入更多的人力、物力、财力,才能维持苇厂生产及局部的生态平衡.

4 结语

基于二轨法模型,对盘锦湿地地区 ALOS PALSAR 影像数据进行差分干涉测量数据处理,并从差分干涉图中提取了地面沉降信息. 得到东郭苇厂(A)、欢喜岭(B)、西八千乡(C) 3 个沉降中心的沉降速率及沉降面积信息. 在湿地中,人类生产、建筑、经济活动,应远离沉降区,减少沉降对人类的损失.

参考文献:

[1] 穆冬. 干涉合成孔径雷达成像技术研究[M]. 南京:南京航空航天大学出版社, 2001: 32—35.

[2] 张红. 基于相干目标的 D-InSAR 方法研究[M]. 北京:测绘出版社, 2009: 1—20.

[3] 周春霞. 星载 SAR 干涉测量技术及其在南极冰川地貌地形研究中的应用[D]. 武汉:武汉大学, 2004: 23—30.

[4] 单新建,马瑾,宋晓宇,等. 利用星载 D-InSAR 技术获取的地表形变场研究张北-尚义地震震源破裂特征[J]. 中国地震, 2002, 18(1): 119—126.

[5] 陶梅,金宝丹,钮劲涛. 盘锦湿地功能开发与合理利用[J]. 辽宁工程技术大学学报, 2009, 28(3): 84—86.

[6] 李琦. 盘锦湿地的价值及其开发利用[J]. 现代农业科技, 2010(6): 316—318.

[7] 田辉. D-InSAR 技术在盘锦地区地面沉降监测中的应用研究[D]. 长春:吉林大学, 2014: 30—54.

[8] WANG Gui-jie, XIE Mo-wen, CHAI Xiao-qing. D-InSAR-based landslide location and monitoring at Wudongde hydropower reservoir in China[J]. Environmental Earth Sciences, 2013, 69(8): 2763—2777.

[9] YANG Cheng-sheng, ZHANG Qin, ZHAO Chao-ying, et al. Monitoring mine collapse by D-InSAR[J]. Mining Science and Technology, 2010, 20: 696—700.

[10] FAN Hong-dong, DENG Ka-zhong, JU Cheng-yu. Land subsidence monitoring by D-InSAR technique[J]. Mining Science and Technology (China), 2011, 21: 869—872.

[11] 何秀凤. InSAR 对地观测数据处理方法与综合测量[M]. 北京:测绘出版社, 2012: 110—150.

[12] 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: 55—78.

[13] 廖明生. 雷达干涉测量-原理与信号处理基础[M]. 北京:测绘出版社, 2003: 43—96.

[14] 郭华东. 雷达对地观测理论与应用[M]. 北京:科学出版社, 2000: 51—88.