

张永红, 刘冰, 吴宏安, 等. 雄安新区2012~2016年地面沉降InSAR监测[J]. 地球科学与环境学报, 2018, 40(5): 652-662.

ZHANG Yong-hong, LIU Bing, WU Hong-an, et al. Ground Subsidence in Xiong'an New Area from 2012 to 2016 Monitored by InSAR Technique[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2018, 40(5): 652-662.

## 雄安新区2012~2016年地面沉降InSAR监测

张永红<sup>1</sup>, 刘冰<sup>1,2</sup>, 吴宏安<sup>1</sup>, 程霞<sup>1,3</sup>, 康永辉<sup>1</sup>

(1. 中国测绘科学研究院摄影测量与遥感研究所, 北京 100830; 2. 山东科技大学 测绘科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 3. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083)

**摘要:** 雄安新区的设立是千年大计、国家大事, 地面沉降状况是关乎新区环境承载容量的重要因素。利用2012年1月至2016年11月获取的28期RADARSAT-2影像和时间序列InSAR技术, 提取了雄安新区的平均沉降速率和累计沉降量, 并用相近时段内的水准测量数据对InSAR监测结果进行了精度验证; 对雄安新区地面沉降的原因进行了分析, 并对雄安新区地面沉降危险性情况进行了评价。结果表明: 雄安新区约78%的面积处于地面沉降轻微区(沉降速率小于每年10 mm), 地面沉降危险性评价为较严重和严重的地区都集中在雄县, 面积合计67.9 km<sup>2</sup>, 占雄安新区面积的4.38%; 雄县地面沉降主要是地热资源开采及塑料包装业采用地下水所致。研究结果对雄安新区的建设与发展具有参考价值。

**关键词:** 地面沉降; InSAR技术; 遥感; 时间序列; 地热资源; 地下水; 雄安新区

中图分类号: P236

文献标志码: A

文章编号: 1672-6561(2018)05-0652-11

## Ground Subsidence in Xiong'an New Area from 2012 to 2016 Monitored by InSAR Technique

ZHANG Yong-hong<sup>1</sup>, LIU Bing<sup>1,2</sup>, WU Hong-an<sup>1</sup>, CHENG Xia<sup>1,3</sup>, KANG Yong-hui<sup>1</sup>

(1. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China; 2. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, Shandong, China; 3. School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China)

**Abstract:** The establishment of Xiong'an New Area is a millennium plan and a national strategy. Located in the North China plain, the largest subsiding zone of China, the ground subsidence condition of Xiong'an New Area is an important factor related to its environmental carrying capacity. The ground subsidence of Xiong'an New Area was monitored using time-series InSAR technique with 28 RADARSAT-2 images acquired from January 2012 to November 2016. The annual subsidence rate and the accumulative subsidence series over Xiong'an New Area were retrieved. The InSAR monitoring result was validated by leveling data measured over the similar period with the SAR image acquisitions. Subsequently, driving forces of ground subsidence over Xiong'an New Area was analyzed, and the land in Xiong'an New Area was categorized into 4 subsiding risk levels according to annual subsidence rate. The results show that about 78% of Xiong'an New Area had little ground subsidence with annual subsidence rate less than 10 mm per year, and the large subsidence occurred only in Xiongxian county which was mainly caused by extraction of geothermal resources and groundwater. There were 67.9 km<sup>2</sup> with the subsiding risk categorized as relatively serious and serious levels, accounting to 4.38% of

收稿日期: 2018-03-26; 修回日期: 2018-06-14

投稿网址: <http://jese.chd.edu.cn/>

基金项目: 国家测绘地理信息局地理国情监测项目(B1602); 中国测绘科学研究院基本科研业务费项目(7771610, 7771624)

作者简介: 张永红(1973-), 男, 湖北武汉人, 研究员, 工学博士, E-mail: yhzhang@casm.ac.cn。

Xiong'an New Area. The result of this research could provide decision-making reference for the construction and development of Xiong'an New Area.

**Key words:** ground subsidence; InSAR technique; remote sensing; time series; geothermal resource; groundwater; Xiong'an New Area

0 引 言

2017 年 4 月 1 日,中共中央、国务院印发通知,决定设立河北雄安新区。雄安新区是继深圳经济特区和上海浦东新区之后又一具有全国意义的新区,是千年大计、国家大事。雄安新区被明确要建设成为绿色生态宜居新城区、创新驱动发展引领区、协调发展示范区、开放发展先行区<sup>[1]</sup>。雄安新区的环境承载容量是关乎其历史使命能否实现的重要因素。

雄安新区地处京津保腹地,位于华北平原中心。华北平原因长期地下水超采是世界上地面沉降漏斗最大、沉降覆盖面积最大的地区<sup>[2]</sup>。雄安新区的地面沉降状况是评估其环境承载容量的重要因子。已发表的地面沉降研究文献中完整覆盖雄安新区的主要有葛大庆等<sup>[3]</sup>及张永红等<sup>[4]</sup>。前者展示了中国中东部地区 2012 年 1 月至 2015 年 10 月 RADARSAT-2 影像的地面沉降速率图,该图比例尺较小,显示了华北平原大的沉降中心分布,但缺乏相关地面沉降状况的定量描述<sup>[3]</sup>。后者利用 ERS、ENVISAT、RADARSAT-2 多颗卫星时序 SAR 数据研究了京津冀地区 1992~2014 年的地面沉降,给出了京津冀平原区(包括雄安新区)2012 年 2 月至 2014 年 7 月的沉降速率图<sup>[4]</sup>,但对雄安新区地面沉降没有专门的论述。Zhu 等对更早时段也有研究<sup>[5-7]</sup>,但研究区都在雄安新区外围。中国地质调查局在最新公布的雄安新区地质调查结论中指出“区内场地稳定性和工程建设适宜性总体较好,···,但应关注地面沉降问题”<sup>[8]</sup>。由此可见,地面沉降对雄安新区的建设有直接影响,但从公开发布的文献资料来看,目前针对雄安新区地面沉降的专门研究还是空白。

本文以 2012 年 1 月至 2016 年 11 月获取的 28 期 RADARSAT-2 影像为遥感数据源,采用自主研发的多主影像相干目标小基线 InSAR(MCTSB-InSAR)技术<sup>[4,9]</sup>,提取了雄安新区在该时段内的平均沉降速率和时间序列累计沉降量,分析了该区域的地面沉降原因,对该区域地面沉降危险性进行了评价,以期揭示雄安新区较详细的地面沉降状况。

1 SAR 数据

本研究使用了 28 期时间序列 RADARSAT-2

宽模式影像,数据格式为单视复数据(SLC 数据),像元大小分别为 11.83 m(距离向)和 5.21 m(方位向),雷达波中心入射角约为 26.2°。影像的获取时间跨度从 2012 年 1 月 28 日至 2016 年 11 月 14 日,RADARSAT-2 影像时空基线参数见表 1。影像覆盖区面积约为 170 km×155 km,包括天津南部,河北沧州、衡水、保定、廊坊部分区域(图 1)。图 1 中

表 1 RADARSAT-2 影像时空基线参数

Tab. 1 Spatial and Temporal Baselines of RADARSAT-2 Images

序号	成像日期	垂直基线/m	时间基线/d
1	2012-01-28	0.0	0
2	2012-03-16	-111.5	48
3	2012-07-14	-40.9	168
4	2012-08-31	-9.1	216
5	2012-10-18	180.1	264
6	2012-11-11	132.9	288
7	2013-01-22	190.8	360
8	2013-04-28	86.3	456
9	2013-06-15	285.7	504
10	2013-08-02	180.9	552
11	2013-11-06	272.1	648
12	2013-12-24	399.9	696
13	2014-02-10	27.1	744
14	2014-03-30	237.6	792
15	2014-04-23	123.4	816
16	2014-05-17	321.6	840
17	2014-07-04	194.6	888
18	2014-09-14	52.0	960
19	2014-11-01	170.1	1 008
20	2014-12-19	111.3	1 056
21	2015-03-25	276.1	1 152
22	2015-05-12	272.6	1 200
23	2015-08-16	154.6	1 296
24	2015-10-03	192.6	1 344
25	2016-05-06	260.1	1 560
26	2016-06-23	366.2	1 608
27	2016-09-03	159.5	1 680
28	2016-11-14	264.8	1 752

方框为 RADARSAT-2 影像覆盖区,以 Landsat TM 影像为背景。为了降低斑点噪声,增加相干性,对单视复数据做了  $5 \times 1$  的多视处理,多视处理后像元大小为 25 m(距离向)和 25 m(方位向)。本文选用了

30 m 格网间距的 SRTM 数字高程数据去除地形相位。另外,从天津市测绘院获取了研究区内天津市域 2012~2015 年 154 个水准点的观测数据,用于精度评价。水准点分布位置见图 1。

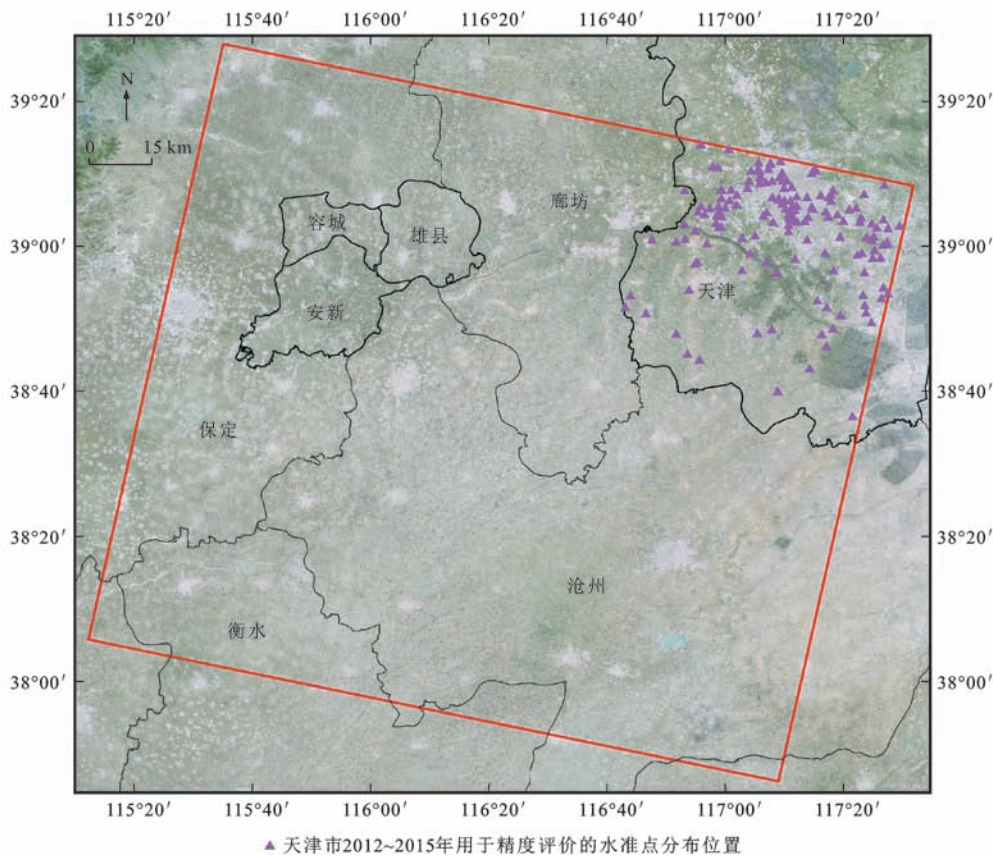


图 1 雄安新区地理位置

Fig. 1 Location of Xiong'an New Area

## 2 数据处理

MCTSB-InSAR 技术主要包括小基线干涉像对选择、高相干点提取、高相干点网络连接和形变参数反演 4 个主要步骤。在此仅介绍本文数据的处理过程,更多细节请参阅文献[4]和[9]。

在干涉像对选择方面,依据影像集的时空基线分布状况,以干涉像对连接图必须连通<sup>[4]</sup>和干涉相干性最优为原则,确定了干涉像对的时间基线不超过 180 d、垂直基线小于 250 m 的时空基线阈值,共形成了 66 个干涉像对(图 2)。本文采用平均相干系数、幅度离差<sup>[9]</sup>、平均幅度等参数阈值原则,共提取了约  $6.78 \times 10^5$  个高相干点,这些高相干点主要分布在建筑物、道路、桥梁、铁路及公共设施等地上。对于提取的高相干点,采用局部 Delaunay 三角网连接<sup>[10]</sup>,分块大小为  $2\ 074 \times 1\ 978$ ,重叠度为 50 个像元,共得到 4 509 200 边。

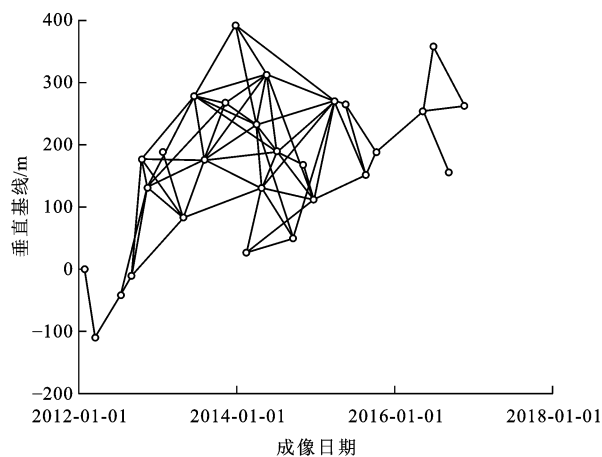


图 2 干涉像对连接图

Fig. 2 Connections of Interferograms

将地表形变分解为线性形变(主形变)和非线性残余形变,对第  $i$  幅干涉图上两相邻高相干点(设为  $m, n$ )构成的边上干涉相位差可表示为

$$\Delta\varphi_{m,n}(T^i) = \Delta\delta_{m,n}(T^i) + \Delta\beta_{m,n}(T^i) +$$



$$\Delta\alpha_{m,n}(T^i) + \Delta N_{m,n}(T^i) \quad (1)$$

$$\Delta\delta_{m,n}(T^i) = \frac{4\pi}{\lambda} T^i \Delta v_{m,n} + \frac{4\pi}{\lambda} \frac{B_m^i}{R_m^i \sin \theta_m^i} \Delta h_{m,n} \quad (2)$$

式中:  $\Delta\varphi_{m,n}(T^i)$  为相邻高相干点的差分干涉相位差;  $T^i$  为第  $i$  幅干涉图的时间基线;  $\Delta\delta_{m,n}(T^i)$  为相邻高相干点的模型相位差, 包括两点之间的高程误差之差 ( $\Delta h_{m,n}$ ) 和线性形变速率之差 ( $\Delta v_{m,n}$ ) 贡献的相位;  $\Delta\beta_{m,n}(T^i)$  为非线性形变相位差;  $\Delta\alpha_{m,n}(T^i)$  为大气影响相位差;  $\Delta N_{m,n}(T^i)$  为噪声相位差;  $\lambda$  为雷达波波长;  $B_m^i$ 、 $R_m^i$ 、 $\theta_m^i$  分别表示第  $i$  幅干涉图上点  $m$  处的垂直基线、斜距和雷达波视角。

为求解未知数  $\Delta h_{m,n}$  与  $\Delta v_{m,n}$ , 建立模型相干系数方程<sup>[10-11]</sup>。其表达式为

$$\gamma_{m,n} = \frac{1}{M} \left| \sum_{i=1}^M \exp[j(\Delta\varphi_{m,n}(T^i) - \Delta\delta_{m,n}(T^i))] \right| \quad (3)$$

式中:  $\gamma_{m,n}$  为相邻高相干点的模型相干系数;  $M$  为干涉图数目;  $j$  为中间参数。

式(3)中模型相干系数  $\gamma_{m,n}$  取得最大值的高程误差之差与线性形变速率之差为正确解。求解这两个参数的方法有二维周期图法<sup>[12]</sup>或空间搜索法<sup>[13-14]</sup>。对 Delaunay 三角网上所有边完成最大化求解后, 将  $\gamma_{m,n} \geq 0.7$  的边作为可靠的连接关系, 并将模型相干系数  $\gamma_{m,n}$  作为权值, 利用某一参考点的线性形变速率和高程误差, 采用加权最小二乘方法解算得到各高相干点上线性形变速率和高程误差的绝对量。从差分干涉相位中去除高相干点的线性形变相位和高程误差相位, 得到高相干点的残余相位, 包括大气影响相位、非线性形变相位以及噪声相位。根据残余相位 3 个分量的不同时空频谱特征, 利用时空域的滤波方法可以将三者分离出来<sup>[12]</sup>, 并得到每个 SAR 成像时刻对应的非线性形变(以第一期影像为时间参考)。将线性形变和非线性形变累加到一起, 可以得到每个时刻的雷达视线方向(LOS)形变量。为了方便和水准数据进行比较, 假设沉降是地面形变的主要分量, 将雷达视线方向形变量转化为垂向沉降量。转化公式为

$$d_v = \frac{d_r}{\cos \theta} \quad (4)$$

式中:  $d_v$  为垂向沉降量;  $d_r$  为雷达视线方向形变量;  $\theta$  为雷达视线入射角。

### 3 结果分析

#### 3.1 周边区域的地面沉降

通过 MCTSB-InSAR 技术提取了整景 SAR

RADARSAT-2 影像覆盖区 2012 年 1 月至 2016 年 11 月平均沉降速率信息(图 3), 图 3 中正值代表地面抬升, 负值代表地面沉降。整个区域内最大沉降速率为每年 184 mm, 位于河北省廊坊市胜芳镇; 与廊坊市沉降中心相邻的是天津市武清区王庆坨镇的沉降漏斗, 最大沉降速率为每年 181 mm; 河北平原的保定东南部、衡水北部及沧州西部有连接成片的大面积沉降带, 沉降速率大都在每年 45 mm 以上。相对而言, 雄安新区大部分区域的沉降速率在每年 40 mm 以内。

将本文 RADARSAT-2 影像覆盖区监测结果与相关文献进行了比较。张玲等研究了河北沧州地区 2012 年地面沉降速率, 指出沧州西部存在任丘—肃宁沉降带, 肃宁最大沉降速率超过每年 100 mm<sup>[15]</sup>; 从本文监测结果来看, 任丘、肃宁是沧州西部的主要沉降中心, 肃宁 2012~2016 年最大沉降速率为每年 89 mm, 这可能暗示 2012 年后肃宁地面沉降有所减缓。Zhu 等利用 2009 年 3 月至 2013 年 3 月的 TerraSAR-X 影像获取了天津西部沉降信息, 其中最大沉降速率出现在王庆坨镇, 为每年 137 mm<sup>[5]</sup>; 唐嘉等利用 2007 年 1 月至 2010 年 10 月的 PALSAR 影像和 2007 年 2 月至 2009 年 6 月的 ASAR 影像分别提取了胜芳镇和王庆坨镇的沉降速率, 胜芳镇最大沉降速率为每年 206.9 mm(PALSAR 影像)、211.6 mm(ASAR 影像), 王庆坨镇最大沉降速率为每年 120.2 mm(PALSAR 影像)、125.5 mm(ASAR 影像)<sup>[7]</sup>; 本文结果显示, 2012~2016 年胜芳镇和王庆坨镇的最大沉降速率分别为每年 184、181 mm。比较三者, 虽然时间范围不一致, 但都显示胜芳镇和王庆坨镇是该地区沉降最严重的区域, 进而可以推断胜芳镇沉降 2010 年以后呈现一定程度的减缓, 王庆坨镇沉降在 2013 年以后加剧。总体来说, 这些用不同时段不同卫星 SAR 影像提取的沉降信息显示了较好的一致性, 这也从侧面验证了本文研究结果的可靠性。

利用从天津市测绘院获取的 154 个水准数据对 MCTSB-InSAR 技术获取的地面沉降结果进行精度检验。这些水准点的分布见图 1, 天津市测绘院每年第四季度(10 月至 12 月)施测一次。需要说明的是, 本文使用的 154 个水准数据为 2012~2015 年的, 与 SAR 数据的获取时段并不完全重合, 对精度评估会有一定影响。将水准点逐年的沉降量累加然后除以时间, 得到 2011~2015 年的平均沉降速率, 然后选择那些半径 80 m 范围内有至少一个高相干

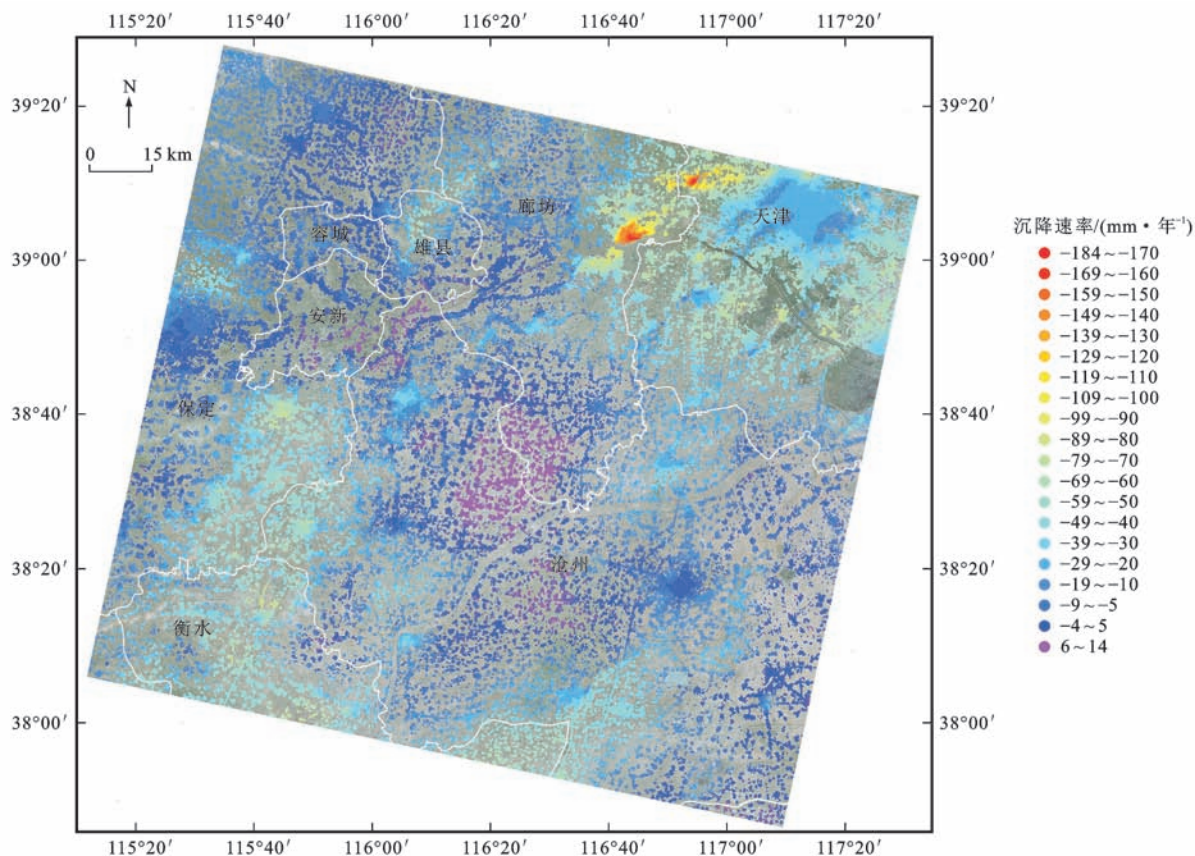


图 3 SAR RADARSAT-2 影像覆盖区 2012 年 1 月至 2016 年 11 月平均沉降速率

Fig. 3 Average Subsidence Rates Derived from SAR RADARSAT-2 Image from January 2012 to November 2016

点的水准点,将水准点的平均沉降速率与最邻近高相干点的线性沉降速率进行对比。这样的水准点共 85 个,二者沉降速率差值直方图分布见图 4,其中绝大部分的差值在每年 $[-5 \text{ mm}, 5 \text{ mm}]$ 区间内,差值绝对值超过每年 8 mm 的点共有 9 个。分析发现,这些差值较大点上的沉降速率均在每年 75 mm 以上。造成这些点上 InSAR 监测与水准测量结果相差较大的原因除前述的观测时段不一致外,水准测

量本身的时点误差也是重要因素。据了解,天津测绘院的水准测量每年大约从 10 月开始,12 月底结束,全部完成后要经过一次平差处理,对某个水准点而言,它的测量时刻有约 2 个月的时差,对于沉降速率较大的情况,2 个月的时差将对水准测量的沉降速率估算产生较大影响。差值的平均值已用于图 3 所示的沉降速率的标定,差值的标准差为每年 5.2 mm,表明 MCTSB-InSAR 技术反演的沉降速率精度较高。

### 3.2 地面沉降状况

将 RADARSAT-2 影像覆盖区内的雄安新区(包括雄县、容城县、安新县)沉降监测结果抽取出来,分别显示于图 5(平均沉降速率)和图 6~8(累计沉降量)。从沉降区域的空间分布来看,雄县沉降区域较大,主要分布在大营镇、雄州镇、北沙口乡、米家务镇、朱各庄乡及昝岗镇等地区,最大沉降速率为每年 75 mm,位于雄县大营镇西胥村;容城县容城镇沉降较大,最大沉降速率达每年 28 mm,其周边区域沉降速率较小,不超过每年 15 mm;安新县绝大部分区域没有发生地面沉降,只在南部的芦庄乡和刘李庄镇形成了相对较大的地面沉降,沉降速率最

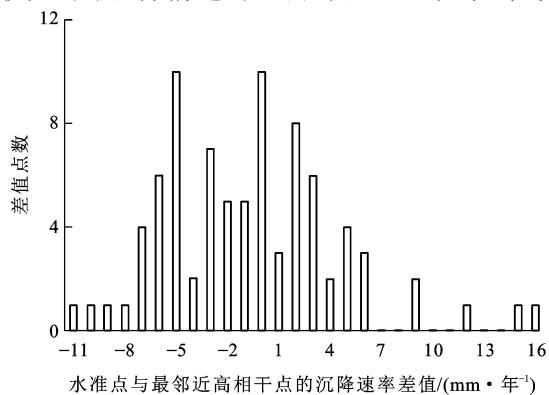


图 4 85 个水准点与最邻近高相干点的沉降速率差值直方图

Fig. 4 Histogram of 85 Difference Values of Subsidence Rates Derived from InSAR and Levelling Measurement



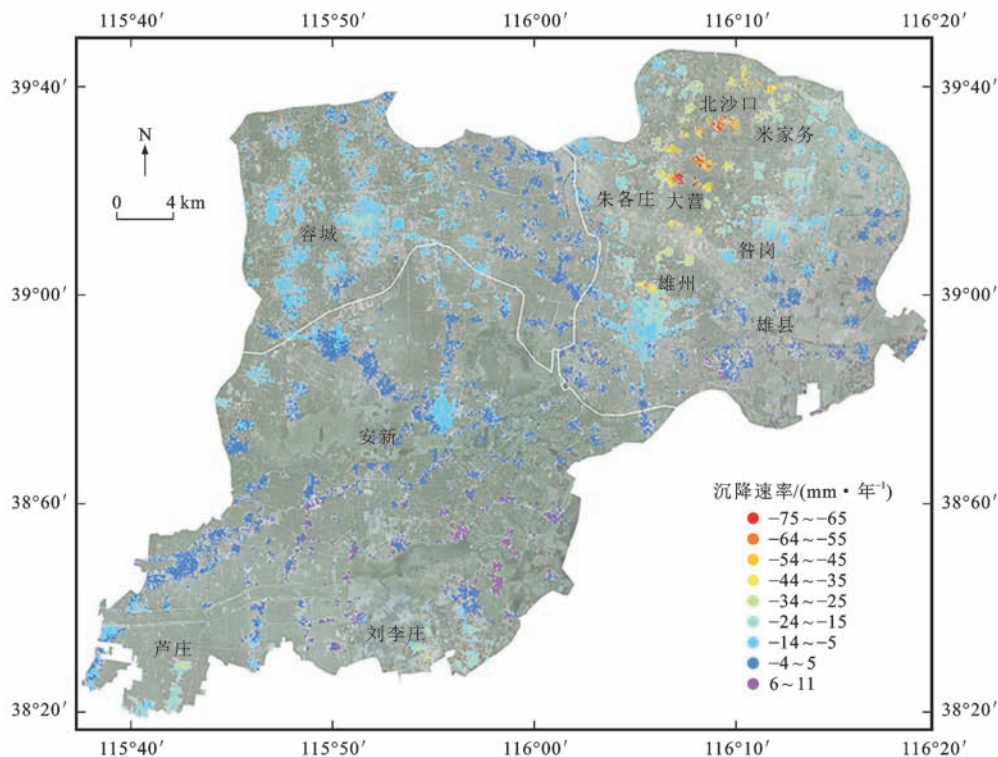


图 5 2012 年 1 月至 2016 年 11 月平均沉降速率

Fig. 5 Average Subsidence Rates from January 2012 to November 2016

大值分别为每年 35 mm 和 37 mm。从地面沉降的演化进程来看,雄县大营镇至北沙口乡一带的地面沉降从 2013 年 4 月开始逐步加剧,此后随时间推移,沉降速率和沉降范围不断扩展,至 2016 年 11 月,最大累计沉降量达到 411 mm;而安新县南部的地面沉降发展较缓慢,直到 2013 年底才有明显的沉降,到 2016 年 11 月,安新县刘李庄镇和芦庄乡最大沉降量分别为 235 mm 和 218 mm。由此可见,雄安新区地面沉降随时间推移呈现不断加剧的趋势。

### 3.3 地面沉降原因分析及危险性评价

经分析有关资料,推断地热资源的开发是引发雄县出现较大沉降的最主要原因。雄县位于华北平原牛驼镇地热田范围内,全县约六成面积下蕴藏着地热资源,地热水储量达  $821 \times 10^8 \text{ m}^3$  [16]。雄县从 2003 年就开始使用地热资源,随着经济的发展,地热井的开凿量也随之增加,至 2017 年 2 月,雄县共有地热井 68 眼 [16-17]。其中,大营镇、雄州镇地热开采条件较好,地热井数量较多 [18],沉降也较大;北沙口乡、米家务镇、朱各庄乡及谷岗镇西部也较适宜开发地热资源,地热井数量次之;而位于雄县东部的双堂乡、张岗乡及龙湾乡地热可持续开发条件较差,地热井数目也较少,地面几乎无沉降。图 9(a)为截

止至 2009 年底的雄县地热井位置分布示意图 [18],图 9(b)为 2012~2016 年雄县累计沉降量,可见地热井的位置分布和累计沉降量分布之间存在着很强的空间相关性。

造成雄安新区地面沉降的另一个因素可能是塑料包装企业及纺织企业消耗了大量的地下水。雄县是华北地区最大的塑料包装产业基地 [19],全县的塑料包装企业有 3 000 多家,主要集中在包装印刷、塑料制品和颗粒销售。包装印刷及塑料制品都是高耗水行业。鉴于华北平原长期处于水资源短缺状态 [2],推测雄县规模巨大的塑料包装产业很可能导致地下水开采量增多,进一步加剧了雄县的地面沉降。安新县刘李庄镇位于白洋淀南部,也拥有多达 47 家塑料加工企业;芦庄乡是安新县纺织厂的聚集地,乡镇内分布着大量的纺织厂,而纺织业也是高耗水行业之一。因此,有理由推断安新县刘李庄镇及芦庄乡两地的地面沉降主要是塑料包装业及纺织业大量消耗地下水所致。

在雄安新区高相干点沉降监测结果的基础上,采用克里金(Kriging)插值方法将高相干点上的沉降速率值内插至每个像元,可以得到整个雄安新区完整的沉降速率图,然后根据杨艳等对北京市郊区地面沉降危险性分级评价标准 [20],将雄安新区地面沉降危险

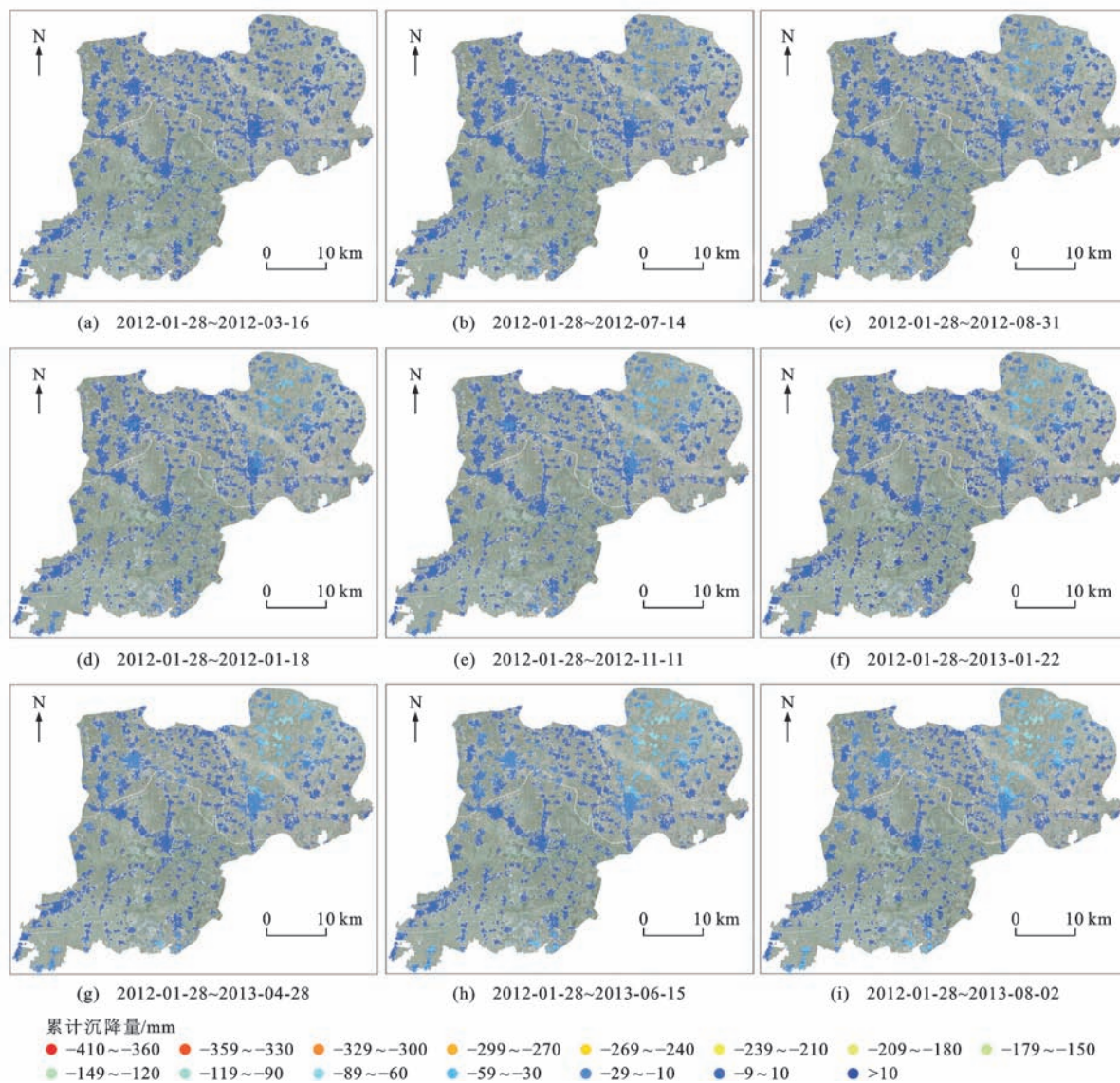


图 6 2012 年 1 月至 2013 年 8 月累计沉降量序列

Fig. 6 Sequence of Accumulative Subsidence from January 2012 to August 2013

性评价分为严重区(沉降速率大于每年 50 mm)、较严重区(沉降速率为每年 30~50 mm)、一般区(沉降速率为每年 10~30 mm)和轻微区(沉降速率小于每年 10 mm)(图 10)。从图 10 可以看出,雄安新区约 78% 以上的区域为地面沉降轻微区,地面沉降较严重区和严重区都集中在雄县,面积分别为 55.76 km<sup>2</sup>和 12.14 km<sup>2</sup>,二者合计仅占雄安新区面积的 4.38%(表 2)。

表 2 地面沉降危险性分级

Tab. 2 Land Subsidence Risk Classification

危险性分级	面积/km <sup>2</sup>	占比/%
严重区	12.14	0.78
较严重区	55.76	3.60
一般区	263.19	17.01
轻微区	1 216.03	78.61

## 4 结 语

(1)利用 2012 年 1 月至 2016 年 11 月 28 期 RADARSAT-2 影像,基于多主影像相干目标小基线 InSAR 技术提取了雄安新区及周边的平均沉降速率和累计沉降量信息。利用 85 个水准观测数据对 InSAR 获取的平均沉降速率进行了精度验证,标准差为每年 5.2 mm。

(2)雄安新区约 78% 以上的区域为地面沉降轻微区(沉降速率小于每年 10 mm)。雄县部分区域发生了较大的地面沉降,容城县容城镇及其周边区域发生了较小的地面沉降,安新县南部的刘李庄镇及芦庄乡小部分地区发生了相对较大的地面沉降。雄安新区地面沉降危险性评价为较严重和严重的区



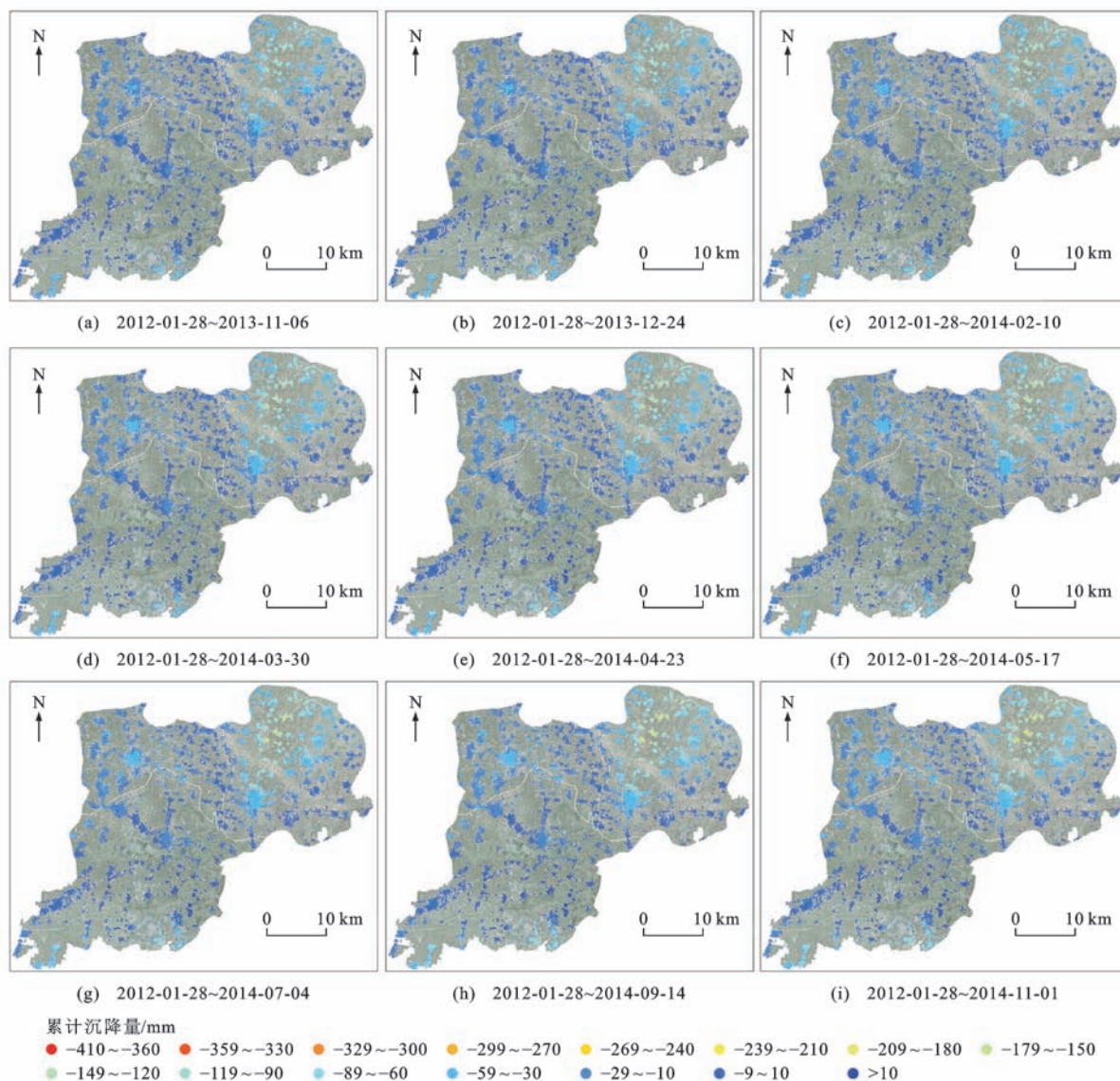


图 7 2012 年 1 月至 2014 年 11 月累计沉降量序列

Fig. 7 Sequence of Accumulative Subsidence from January 2012 to November 2014

域都集中在雄县,共 67.9 km<sup>2</sup>,占雄安新区面积的 4.38%,最大沉降速率为每年 75 mm。整体而言,雄安新区地面沉降呈现不断加大的趋势。

(3)雄安新区地面沉降的主要原因是地热资源开采和包装印刷业及纺织业等导致的地下水开采。建议未来对雄县的地热资源开采和地下水开采加以控制,以遏制雄安新区地面沉降的进一步发展,为雄安新区发展战略的顺利实施提供良好的生态环境。

本文所用水准数据为天津市测绘院提供,特此致谢!

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 蔡之兵. 雄安新区的战略意图、历史意义与成败关键[J]. 中国发展观察, 2017(8): 9-13.

CAI Zhi-bing. Strategic Intention, Historical Significance, the Key to Success and Failure of the Xiongan New Area[J]. China Development Observation, 2017 (8): 9-13.

- [2] 何庆成, 刘文波, 李志明. 华北平原地面沉降调查与监测[J]. 高校地质学报, 2006, 12(2): 195-209.

HE Qing-cheng, LIU Wen-bo, LI Zhi-ming. Land Subsidence Survey and Monitoring in the North China Plain [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12 (2): 195-209.

- [3] 葛大庆, 张玲, 王艳, 等. 雷达干涉测量: 于高远处测精微[J]. 国土资源科普与文化, 2017(3): 24-29.

GE Da-qing, ZHANG Ling, WANG Yan, et al. InSAR: Subtle Measuring from a High Place[J]. Scientific and Cultural Popularization of Land and Resources, 2017(3): 24-29.



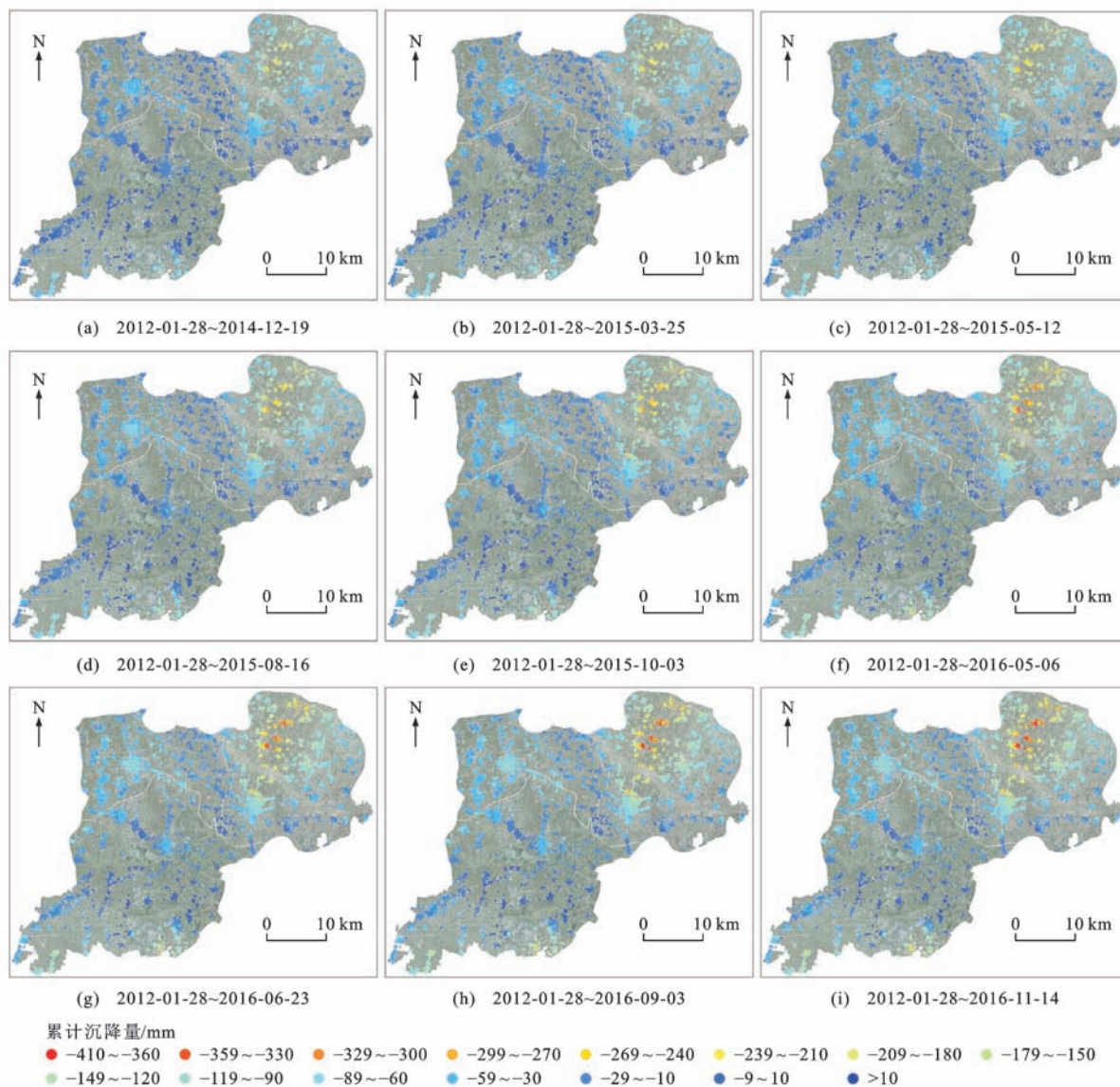


图 8 2012 年 1 月至 2016 年 11 月累计沉降量序列

Fig. 8 Sequence of Accumulative Subsidence from January 2012 to November 2016

- [4] 张永红, 吴宏安, 康永辉. 京津冀地区 1992~2014 年三阶段地面沉降 InSAR 监测[J]. 测绘学报, 2016, 45(9): 1050-1058.
- ZHANG Yong-hong, WU Hong-an, KANG Yong-hui. Ground Subsidence over Beijing-Tianjin-Hebei Region During Three Periods of 1992 to 2014 Monitored by Interferometric SAR[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2016, 45(9): 1050-1058.
- [5] ZHU C G, ZHANG Y H, ZHANG J X, et al. Recent Subsidence in Tianjin, China: Observations from Multi-looking TerraSAR-X InSAR from 2009 to 2013[J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(23): 5869-5886.
- [6] 葛大庆. 区域性地面沉降 InSAR 监测关键技术研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2013.

- GE Da-qing. Research on the Key Techniques of SAR Interferometry for Regional Land Subsidence Monitoring[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2013.
- [7] 唐 嘉, 刘国祥, 宋云帆, 等. PALSAR 和 ASAR PSI 显著地表沉降探测与分析[J]. 遥感学报, 2015, 19(6): 1019-1029.
- TANG Jia, LIU Guo-xiang, SONG Yun-fan, et al. Significant Subsidence Detection and Analysis by PALSAR and ASAR PSI[J]. Journal of Remote Sensing, 2015, 19(6): 1019-1029.
- [8] 中国地质调查局. 公布雄安新区地质调查第一阶段成果[J]. 城市规划通讯, 2017(17): 13.
- China Geological Survey. Announcement of First-stage Geological Survey Results over the Xiong'an

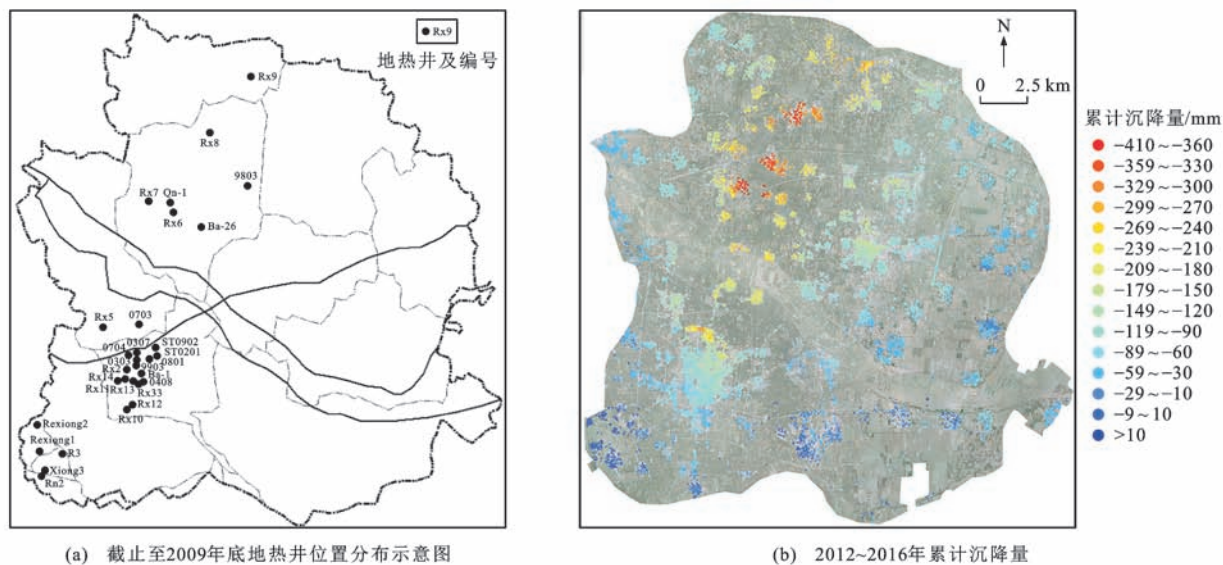


图 9 雄县地热井位置分布及累计沉降量

Fig. 9 Geothermal Well Location and Accumulative Subsidence of Xiong'an

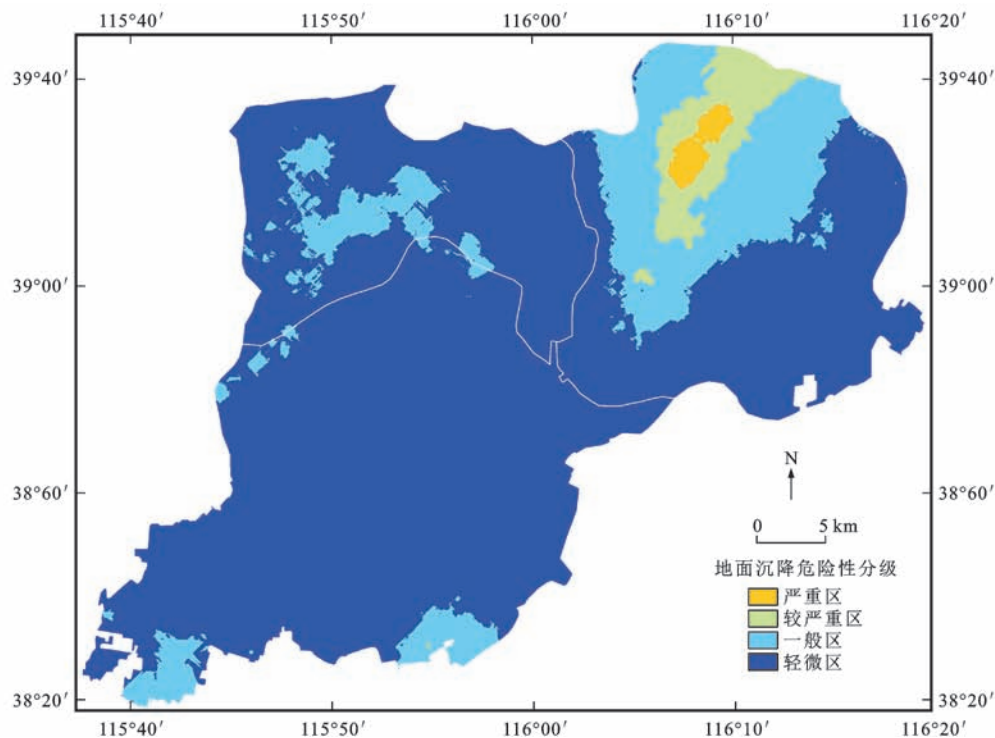


图 10 雄安新区地面沉降危险性分区

Fig. 10 Ground Subsidence Risk Map of Xiong'an New Area

New Area[J]. Urban Planning Newsreport, 2017(17):13.

- [9] 张永红, 吴宏安, 张利民, 等. 基于高分辨率时间序列卫星 SAR 影像的交通网络沉降监测[M]// 孙和平, 熊 熊, 王 勇. 大地测量与地球动力学进展: 第二辑. 武汉: 湖北科学技术出版社, 2014: 619-631.
- ZHANG Yong-hong, WU Hong-an, ZHANG Li-min, et al. Based on the High-resolution SAR Imaging Satellite Time Series of Traffic Network Settlement Monitoring[M]// SUN He-ping, XIONG Xiong, WANG

Yong. Progress in Geodesy and Geodynamics: Volume Two. Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 2014: 619-631.

- [10] FERRETTI A, PRATI C, ROCCA F. Permanent Scatterers in SAR Interferometry[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(1): 8-20.
- [11] ZHANG L, DING X L, LU Z. Modeling PSInSAR Time Series Without Phase Unwrapping[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2011, 49



- (1):547-556.
- [12] FERRETTI A, PRATI C, ROCCA F. Nonlinear Subsidence Rate Estimation Using Permanent Scatterers in Differential SAR Interferometry[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing, 2000, 38(5):2202-2212.
- [13] ZHANG Y H, ZHANG J X, WU H G, et al. Monitoring of Urban Subsidence with SAR Interferometric Point Target Analysis: A Case Study in Suzhou, China [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2011, 13(5):812-818.
- [14] 张永红, 张继贤, 龚文瑜, 等. 基于 SAR 干涉点目标分析技术的城市地表形变监测[J]. 测绘学报, 2009, 38(6):482-487, 493.
- ZHANG Yong-hong, ZHANG Ji-xian, GONG Wen-yu, et al. Monitoring Urban Subsidence Based on SAR Interferometric Point Target Analysis[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2009, 38(6):482-487, 493.
- [15] 张玲, 葛大庆, 郭小方, 等. 近十年来沧州地区地面沉降演化状况[J]. 上海国土资源, 2014, 35(4):72-75, 80.
- ZHANG Ling, GE Da-qing, GUO Xiao-fang, et al. Land Subsidence in Cangzhou over the Last Decade Based on Interferometric Time Series Analysis[J]. Shanghai Land and Resources, 2014, 35(4):72-75, 80.
- [16] 董立龙. 雄县:地热代煤催生“无烟城”[N]. 河北日报, 2017-02-28(5).
- DONG Li-long. Xiong-xian: Replacing Coal with Geothermal Energy to Produce “Smoke-free City”[N]. Hebei Daily, 2017-02-28(5).
- [17] 徐秋玲. 雄县模式:地热清洁供暖样本[N]. 中国电力报, 2017-04-07(1).
- XU Qiu-ling. Xiong-xian Model: Geothermal Clean Heating Sample[N]. China Electric Power News, 2017-04-07(1).
- [18] 庞菊梅. 基于开采条件评价及回灌潜力分析的地热可持续开发研究:以河北省雄县为例[D]. 北京:首都师范大学, 2011.
- PANG Ju-mei. A Geothermal Sustainable Development Study Based on Assessment of Mining Conditions and Reinjection Potential: A Case Study of Xiong-xian County, Hebei Province[D]. Beijing: Capital Normal University, 2011.
- [19] 周振成. 雄县被授予“中国塑料包装产业基地”荣誉称号[N]. 中国包装报, 2008-06-02(5).
- ZHOU Zhen-cheng. Xiong-xian was Awarded the “China Plastics Packaging Industry Base” Honorary Title[N]. China Packaging News, 2008-06-02(5).
- [20] 杨艳, 贾三满, 王海刚, 等. 北京规划新城地面沉降影响分析[J]. 城市规划, 2013, 37(11):67-71.
- YANG Yan, JIA San-man, WANG Hai-gang, et al. Analysis on Impact of Land Subsidence on Planned New Cities in Beijing[J]. City Planning Review, 2013, 37(11):67-71.

### 《地球科学与环境学报》入编《中文核心期刊要目总览》

2018年9月6日,接北京大学图书馆通知,《地球科学与环境学报》入编《中文核心期刊要目总览》2017年版之“地质学”类的核心期刊(即中文核心期刊)。

《中文核心期刊要目总览》采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被摘量、被摘率、被引量、他引量、影响因子、特征因子、论文影响分值、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索工具收录、基金论文比、Web下载量等16个评价指标,选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物达49种,统计到的文献数量共计93亿余篇次,涉及期刊13953种。参加核心期刊定性评审的学科专家近8000位。经过定量筛选和专家定性评审,从我国正在出版的中文期刊中评选出1981种核心期刊。

《地球科学与环境学报》的入选离不开各位作者、审稿专家长期以来的支持与帮助,在此表示我们诚挚的谢意!编辑部也会继续努力,进一步提升学报学术质量和影响力,同时期待诸位专家学者能一如既往地关心、支持我刊的发展。