

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2023.267

引用格式: 汤志刚, 钱静, 谢梦雨, 等. 基于 InSAR 监测数据的采煤沉陷特征及稳定性分析——以江苏省沛县矿地融合示范区为例[J]. 中国地质调查, 2024, 11(4): 132–139. (Tang Z G, Qian J, Xie M Y, et al. Analysis of coal mining subsidence characteristics and stability based on InSAR monitoring data: A case study of the Mining and Land Integration Demonstration Zone in Pei County of Jiangsu Province[J]. Geological Survey of China, 2024, 11(4): 132–139.)

基于 InSAR 监测数据的采煤沉陷特征及稳定性分析 ——以江苏省沛县矿地融合示范区为例

汤志刚, 钱静, 谢梦雨, 孙晓倩, 孟宪中, 张凤鸣

(江苏省地质矿产局第五地质大队, 江苏 徐州 221004)

摘要: 为查明江苏省沛县采煤沉陷区时空发育特征、发展趋势及其危险程度, 更好地指导地质灾害防治与生态环境修复工作, 在煤矿开采资料分析和野外调查成果的基础上, 开展基于多期 Sentinel-1 卫星的合成孔径雷达干涉测量数据技术的地表沉降监测。通过采煤沉陷区 2018—2022 年 InSAR 监测数据进行地表变形分析得知: 2018—2022 年, 采煤沉陷区地表已沉降 0.139 ~ 0.558 m, 2022 年 6—12 月采煤沉陷区地表沉降速率为 0 ~ 2.159 mm/d; 已稳沉陷区(老采空区)沉降量已接近最大值, 沉降速率逐渐减小并趋于 0, 未稳沉陷区(新采空区)沉降量和沉降速率从 0 开始并逐渐增大; 2022 年底尚存在未稳沉陷区面积约 18.45 km², 主要分布在张双楼煤矿等煤矿近 5 a 开采区域。采煤沉陷区 InSAR 监测数据可以较好地反映这一时期的变形特征, 研究可为沛县采煤沉陷区综合治理工作提供科学依据, 亦可为其他类似区域采煤沉陷区特征分析和综合治理工作提供参照。

关键词: InSAR 监测数据; 江苏省沛县; 采煤沉陷区; 时空发育特征; 稳定性

中图分类号: P642.2

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2024)04-0132-08

0 引言

煤炭作为重要的化工原料, 是一种重要的矿产资源。煤炭开采对地方经济发展起到极大的推动作用, 但不合理的开采方式也产生了严重的采空地面塌陷隐患和生态环境破坏问题。采煤沉陷区是由煤矿井工自然冒落开采活动导致地表产生一定规模和范围的变形或位移的区域^[1], 也称为地表下沉盆地、地表移动盆地、地表塌陷盆地, 一般按边界角或者下沉 10 mm 点划定其范围^[2]。截至目前, 针对采煤沉陷区的调查、评价与研究已开展较多, 比如对煤矿开采沉陷机理及特征^[3-6]以及对煤矿采空区稳定性和数值模拟计算^[7-10]等的研究。合成孔径雷达干涉测量(in-

terferometric synthetic aperture radar, InSAR)技术是利用不同时期影像数据间的相位差来获取地面沉降信息, 具有全天时、全天候和高形变监测精度的特点^[11]。近年来, InSAR 在城市地面沉降监测、山体滑坡监测及矿区地表沉降监测等方面有了广泛的应用研究^[12-16]。但是由于煤矿的开采方式、沉陷机理和地表变形特征等与普通的地面沉降、滑坡等灾害地表变形的差异性, 利用 InSAR 技术进行采煤沉陷区地表变形时空特征分析及稳定性判定仍需开展进一步研究。

在前人对采煤沉陷区塌陷特征、稳定性和塌陷机理等研究的基础上, 本文基于 InSAR 监测数据分析了沛县采煤沉陷区塌陷变形的时序特征并开展采煤沉陷区稳定性判定, 旨在为当地政府采煤沉陷区综合治理工作和时序安排提供参考。

收稿日期: 2023-09-08; 修订日期: 2024-05-30。

基金项目: 江苏省地质矿产勘查局 2021 年第二批科研项目“沛县矿地融合示范区和徐州淮海国际港务区采煤塌陷地综合调查评价(编号: 苏地矿发[2021]146号)”资助。

第一作者简介: 汤志刚(1983—), 男, 高级工程师, 主要从事水文地质、工程地质、环境地质和地质灾害防治方面的工作。Email: tangzhigangrw@163.com。

1 研究区概况

1.1 地理位置

沛县矿地融合示范区位于沛县北部,为沛县工业和煤炭资源主要集聚区。全区包括5个镇和4个街道,分别为龙固镇、杨屯镇、安国镇、鹿楼镇、朱寨镇和大屯街道、沛城街道、汉源街道、汉兴街道,总面积为744.35 km²,占全县总面积的42.70%(图1)。

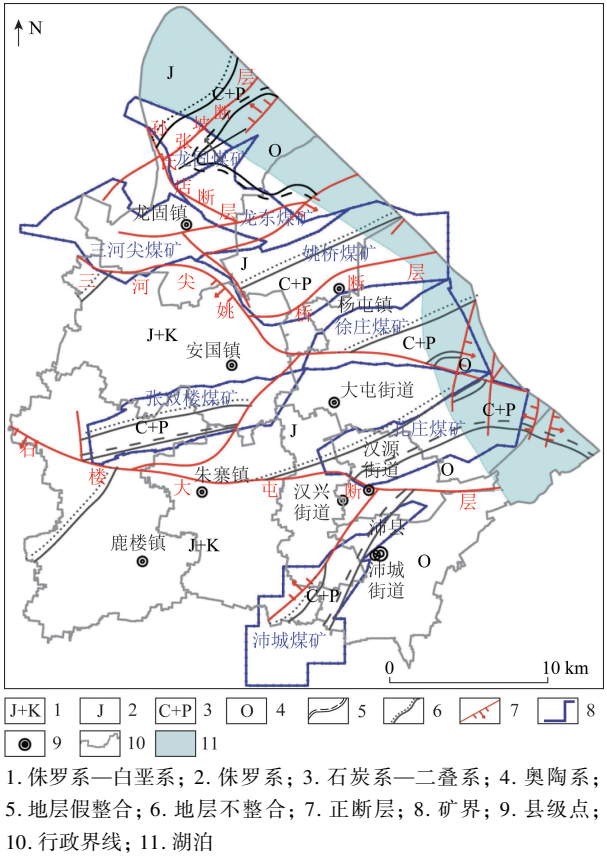


图1 沛县矿地融合示范区位置及区域地质简图
Fig.1 Location and geologic sketch of the Mining and Land Integration Demonstration Zone in Pei County

1.2 地质条件

沛县地处黄淮平原中部,采煤沉陷区属于黄泛冲积平原地貌,地势平坦,由西向东北略倾斜。大地构造位置处于中朝准地台—淮河台坳—淮北台陷褶带—丰沛断拗。地表均被第四系松散层覆盖,下伏基岩地层主要有奥陶系、石炭系、二叠系、侏罗系、白垩系(图1),岩性主要为石灰岩、砂岩、页岩和泥岩,基岩埋深一般为80~270 m,其中石炭系—二叠系为本区含煤地层。

石炭系由中石炭统本溪组(C₂b)和上石炭统太原组(C₃t)组成。岩性为砂岩、页岩、灰岩、泥岩夹煤、铝土矿、菱铁矿等,总厚度为190 m,与奥陶系呈假整合接触。其中,太原组含煤14层,可采煤层为17煤和21煤。

二叠系由下二叠统山西组(P₁s)和下石盒子组(P₁x),及上二叠统上石盒子组(P₂s)组成。下二叠统为本区主要煤系地层和富钾岩石矿层位,局部夹菱铁矿高岭土、耐火黏土;上二叠统由杂色砂岩和砂页岩组成。二叠系总厚度为850 m左右。其中,下二叠统山西组含煤2~4层,可采煤层为7、8、9煤,下二叠统下石盒子组煤层不可采。

1.3 煤矿开采情况

沛县共有8个煤矿矿井(表1),均分布在沛县北部,采矿权范围面积共302.232 5 km²,已探明煤炭储量24亿t,年产优质原煤1 400万t以上,占全省煤炭产量的90%以上。

目前,沛县塌陷频率不断加快,规模不断扩大,造成矿井报废、土地损毁等严重后果,对矿区人民的生命及财产安全威胁较大。

表1 沛县煤矿基本情况表

Tab.1 List of basic conditions of the coal mines in Pei County

煤矿名称	开采煤层	开采水平/m	开采标高/m	矿区面积/km ²	开采现状
徐州矿务集团有限公司	三河尖煤矿 山西组7、9煤	-700、-835、-980	-1 000~-350	43.500 9	停采闭坑
	张双楼煤矿 山西组7、9煤	-500、-750、-1 000	-1 200~-200	37.862 3	在采
华润天能徐州煤电有限公司	龙固煤矿 山西组7、8 太原组21煤	-440、-570	-800~0	14.992 3	停采闭坑
	沛城煤矿 山西组7、8煤	-390、-600、-800	-1 200~-140	34.591 0	停采闭坑
上海大屯能源股份有限公司	龙东煤矿 山西组7煤	-285	-1 300~-154	24.950 4	停采
	姚桥煤矿 山西组7、8煤层	-600	-1 300~-135	63.758 1	在采
	徐庄煤矿 山西组7、8煤	-400、-750和-1 000	-1 300~-60	38.442 0	在采
	孔庄煤矿 山西组7、8煤层	-375、-620、-785、-1 000	-1 300~-160	44.135 5	在采
合计				302.232 5	

2 采煤沉陷形成机理及稳定性判别依据

2.1 采煤沉陷形成机理

地下煤层采出后,在岩体内部形成一定空间,其周围原有的应力平衡状态受到破坏,引起应力的重新分布,直至达到新的平衡,这一应力重新分布并达到新的平衡的过程即是由矿层顶底板岩土层变形破坏来完成的。对于采用长壁式开采和自然垮落法管理顶板的已进行充分开采的煤矿采空区,顶板岩层的变形破坏一般自下而上出现“冒落(垮落)、裂缝和整体移动(弯曲)”3 个破坏带,当这 3 个破坏带达到地表时,使地表产生移动和变形,形成采煤沉陷区。随着采煤工作面推进,采动影响范围不断扩大,形成下沉盆地^[17]。

地表移动计算理论和方法主要有典型曲线法、负指数函数法和概率积分法,本次采用概率积分法建立预测模型。具体参数值见表 2 和表 3。

表 2 徐州地区不同时期采煤工作面下沉系数

Tab.2 Subsidence coefficient of the coal mining surface in Xuzhou for different periods

开采结束时间/a	1	2	5	10	15	20
下沉系数(q)	0.75	0.825	0.90	0.938	0.975	0.99

表 3 徐州地区地表移动变形预计参数值^[18]

Tab.3 Predicted parameter values for the surface movement and deformation in Xuzhou^[18]

开采深度 H/m	主要影响角正切(tanβ)	水平移动系数(b)	开采影响传播角(θ)/(°)
H≤400	1.6	0.33	90°-0.4α
H>400	1.7	0.27	90°-0.5α

注:α为煤层倾角,(°)。

2.2 采煤沉陷区稳定性判别依据

根据《GB 51044—2014 煤矿采空区岩土工程勘察规范》^[17],结合开采沉陷的一般规律,当工作面终采时间大于地表移动持续时间时,地表变形进入稳沉状态。地表变形移动期一般为 3~5 a。地表移动的延续时间(T)可根据公式计算

$$T=2.5H_0(H_0\leq 400\text{ m}),$$
$$T=1\,000\times\exp(1-400/H_0)(H_0>400\text{ m})。$$

(1)

式中:H₀为工作面平均采深,m;T为地表移动的延续时间,d;exp 为以自然常数 e 为底的指数函数。

本次评价根据采煤沉陷区地表沉陷的一般规律,结合 InSAR 数据地表沉降量、沉降速率及野外调查的实际情况综合确定。

3 采煤沉陷特征及稳定性分区

3.1 InSAR 数据处理

基于多主影像相干目标 InSAR 技术,利用采煤沉陷区 2018—2022 年 Sentinel-1A 极轨卫星 C 波段合成孔径雷达影像,开展矿区地面沉降变形监测。由于煤矿开采沉陷具有变形大、缓变形的特征,且研究区潜水位较高,发生沉陷后地表积水坑出现,故采用的 InSAR 数据监测点需是采煤沉陷区内相干性良好地区。各期数据基本情况见表 4。

表 4 各期数据基本情况

Tab.4 List of basic data for each period

影像期次	数据类型	斜距分辨率 (距离向)/m	斜距分辨率 (方位向)/m	获取期数/期
2018.12.19	Sentinel-1A	2.33	13.96	5
2022.06.23	Sentinel-1A	2.33	13.96	5
2022.08.22	Sentinel-1A	2.33	13.96	5
2022.10.21	Sentinel-1A	2.33	13.96	5
2022.12.20	Sentinel-1A	2.33	13.96	5

地表沉降数据处理步骤(图 2)主要包括:①数据对准备,对一系列 SAR 数据,根据基线估算结果,形成若干个主辅干涉像对,依次进行粗配准、精配准、生成干涉图、去平地相位、去地形相位等处理,生成差分相位图;②差分相位数据处理,对差分相位图进行自适应滤波、相位解缠、相位转高程(形变)和地理编码处理,得出时段沉降量和沉降速率^[19-20]。

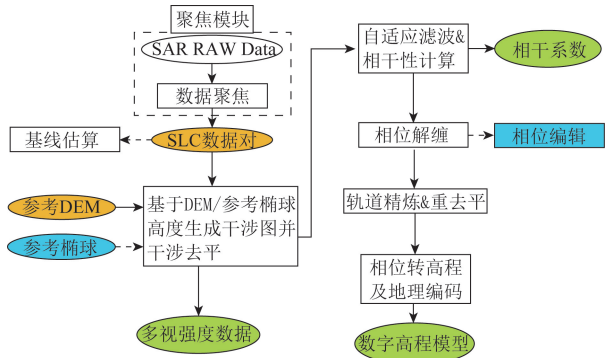


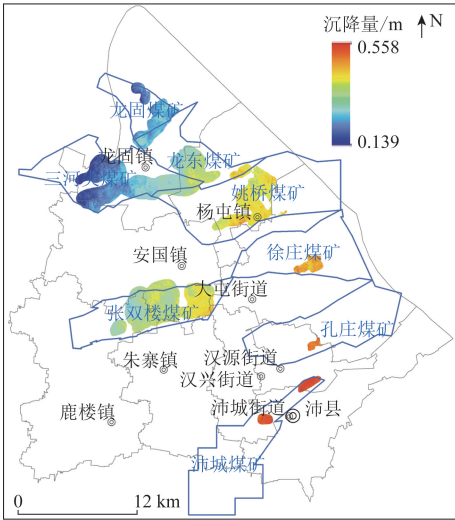
图 2 InSAR 数据预处理及地表形变反演过程

Fig.2 InSAR data preprocessing and surface deformation inversion process

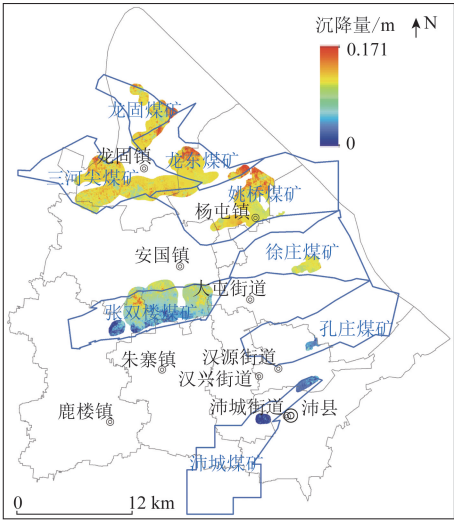
SAR 影像经过处理后,通过对 InSAR 沉降监测结果进行科学验证、分析、评价,同时利用 GIS 分析技术,结合 2018 年以前沉降数据等基础地理信息数据,得出 2018—2022 年以及 2022 年 6—8 月、8—10 月、10—12 月的沉降速率和累计沉降量(表 5)。

表 5 不同期次影像对累计沉降量与沉降速率处理结果
Tab.5 Analysis results of accumulated settlement amount and settlement amount rate for different image periods

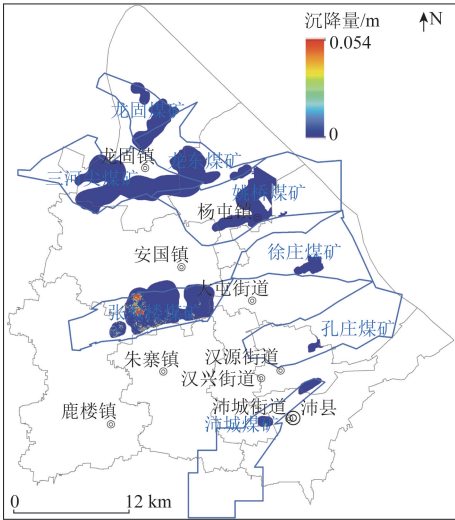
主辅影像期次	累计沉降量/m	沉降速率/(mm·d ⁻¹)
2018.12.19—2022.12.20	[0.139,0.558]	—
2022.06.23—2022.08.22	[0.000,0.171]	[0.503,2.159]
2022.08.22—2022.10.21	[0.000,0.054]	[0.000,0.140]
2022.10.21—2022.12.20	[0.000,0.073]	[0.000,0.789]



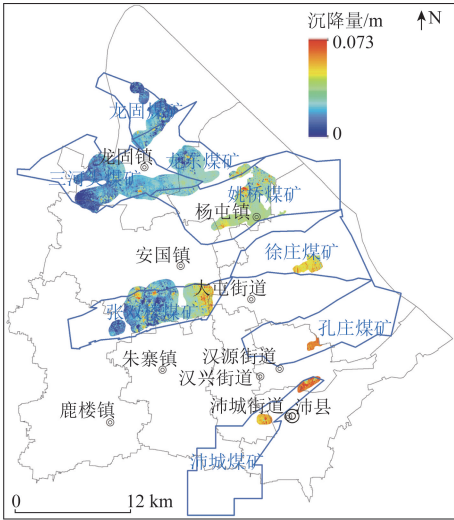
(a) 2018—2022 年累计沉降量



(b) 2022 年 6—8 月累计沉降量



(c) 2022 年 8—10 月累计沉降量



(d) 2022 年 10—12 月累计沉降量

● 地名 □ 矿界 □ 行政界限

图 3 沛县采煤沉陷区 2018—2022 年累计沉降量

Fig.3 Accumulated settlement of coal mining subsidence area in Pei County from 2018 to 2022

3.2 InSAR 数据地表变形分析

经过对采煤沉陷区 2018—2022 年 InSAR 监测数据进行分析,结合采煤沉陷区开采条件、地表沉陷特征调查等,可以看出两者具有高度一致性。

2018—2022 年,沛县各煤矿采煤沉陷区地表沉降量为 0.139 ~0.558 m,沉降量较大的区域主要分布在龙东煤矿、姚桥煤矿、徐庄煤矿和张双楼煤矿的近年开采区(图 3)。从图 3 可以看出,2018—2022 年孔庄煤矿和沛城煤矿采煤沉陷区沉降量较大,但 2022 年 6—12 月孔庄煤矿和沛城煤矿沉降量均较小,主要因为沛城煤矿于 2016 年闭坑后沉陷趋于稳定。

2022 年 6—12 月采煤沉陷区地表沉降速率为 0 ~ 2.159 mm/d,沉降速率较大的区域主要分布在龙东煤矿、姚桥煤矿、徐庄煤矿和张双楼煤矿等近年开采的采煤沉陷区未稳沉区(图 4)。其中:6—8 月,地表沉降

速率较大的区域主要分布在沛县的张双楼煤矿、三河尖煤矿、龙东煤矿和姚桥煤矿,部分新开采区域地表沉降速率为 1 ~ 2 mm/d; 8—10 月和 10—12 月,研究区地表沉降速率均小于 1 mm/d。

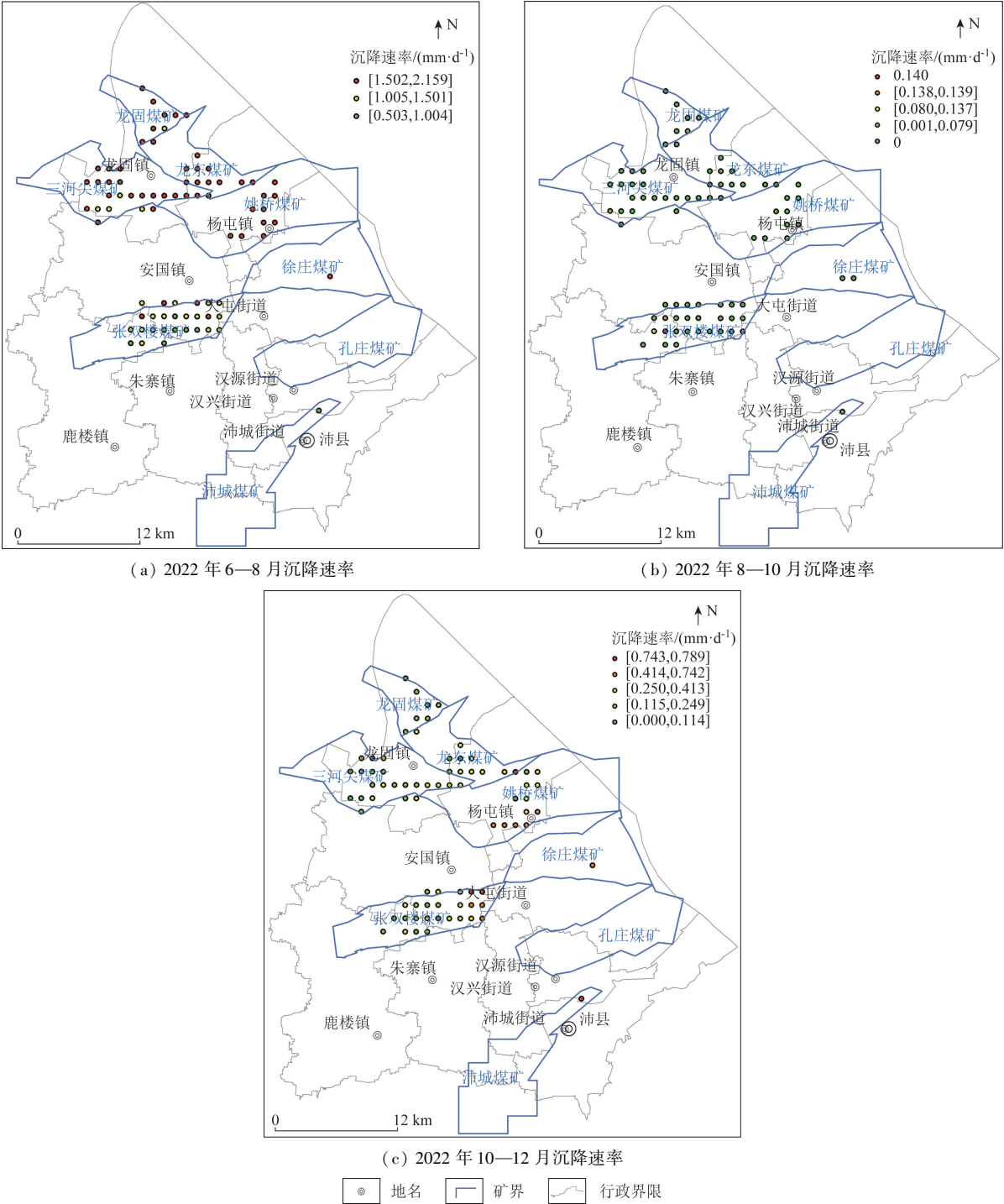


图 4 沛县采煤沉陷区 2022 年 6—12 月分段沉降速率

Fig. 4 Sectional settlement rate of coal mining subsidence area in Pei County from June to December in 2022

3.3 稳定性分区

通过煤矿开采条件(时间、深度、方式)分析、野

外调查及 InSAR 监测数据分析(沉降量、沉降速率)可以看出:已稳沉采煤沉陷区主要为 5 a 以上

老采空区塌陷影响区域,地表沉降量已接近最大值,沉降速率逐渐减小并趋于 0; 未稳沉采煤沉陷区主要为 5 a 以下新采空区塌陷影响区域,沉降量和沉降速率从 0 开始并逐渐增大。

至 2022 年底,沛县尚有未稳沉采煤沉陷区约 18.45 km²,主要分布在张双楼煤矿在采矿山和三河尖煤矿、龙东煤矿近年闭坑的矿山近 5 a 来开采区域(表 6),这些新开采区域造成了新的塌陷积水区和建筑开裂变形(图 5,图 6)。2022 年采煤沉陷区稳定性分区及部分新的塌陷积水区、建筑开裂变形分布位置见图 7。

表 6 各矿区未稳沉采煤沉陷区面积统计

Tab.6 Unstable sedimentation area for each mining area

煤矿名称	未稳沉采煤沉陷区面积/km ²	备注
三河尖煤矿	2.85	新近关闭
张双楼煤矿	12.20	在采
龙东煤矿	3.40	在采
总计	18.45	



图 5 龙东煤矿近年开采造成新塌陷区

Fig.5 New collapse area caused by recent mining in Longdong coal mine



图 6 龙东煤矿近年开采造成建筑开裂

Fig.6 Construction cracking caused by recent mining in Longdong coal mine

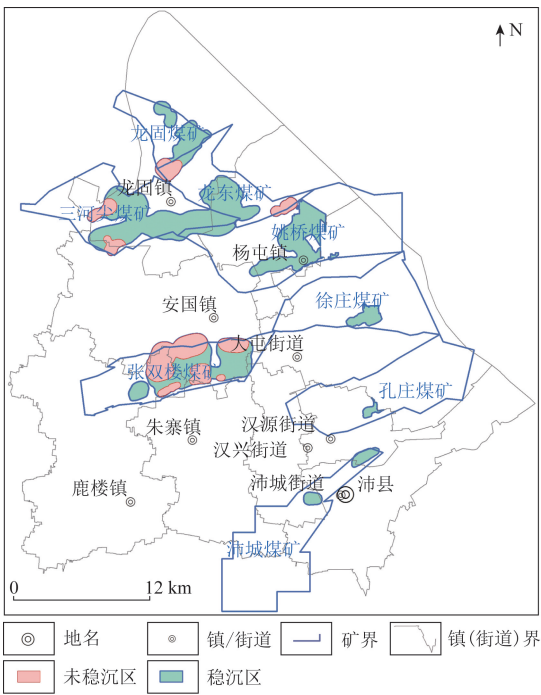


图 7 2022 年底采煤沉陷区稳沉分区

Fig.7 Stability zoning of coal mining subsidence in the end of 2022

由图 7 可以看出:龙固镇、杨屯镇、鹿楼镇、和大屯街道、沛城街道、汉源街道、汉兴街道内大部分采煤沉陷区已趋于稳定,地表沉降量不再增加,沉降速率极小,可在已稳沉沉陷区内可以开展土地复垦、工程建设或生态修复工程;朱寨镇、安国镇和龙固镇区域内位于张双楼煤矿等近 5 a 开采区域的采煤沉陷区仍未稳定,地表沉降量仍会增加,沉降速率较大,不宜开展新的建设利用工程,以防受到采煤沉陷区地表变形影响。

4 结论

(1)2018—2022 年,沛县采煤沉陷区地表已沉降 0.139 ~ 0.558 m,2022 年 6—12 月采煤沉陷区地表沉降速率为 0 ~ 2.159 mm/d。已稳沉沉陷区(老采空区)沉降量已接近最大值,沉降速率逐渐减小并趋于 0; 未稳沉沉陷区(新采空区)沉降量和沉降速率从 0 开始并逐渐增大。至 2022 年底存在未稳沉沉陷区面积约 18.45 km²,主要分布在张双楼煤矿等煤矿近 5 a 开采区域。通过对采煤沉陷区煤矿开采条件分析和野外调查,结合 InSAR 监测数据处理分析,可以较好地得出地表变形特征并判断其稳定性,可为采煤沉陷区地面塌陷的监测、预报、防

治以及修复利用、时序安排等提供数据基础与科学依据。

(2) 由于沛县矿地融合示范区处于高潜水位平原矿区, 在沉降量较大区域会产生积水, 积水区域会影响 InSAR 监测数据准确性及后续分析研判, 对积水区应进一步应结合积水深度等数据开展地表变形分析。

参考文献 (References):

- [1] 中国风景园林学会. T/CHSLA 50002—2018 黄淮海平原采煤沉陷区生态修复技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
Chinese Society of Landscape Architecture. T/CHSLA 50002 – 2018 Technical Standard for Ecological Restoration in Coal Mining Subsidence Area of Huang – Huai – Hai Plain[S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2019.
- [2] 国家安全监管总局, 国家煤矿安监局, 国家能源局, 等. 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范[S]. 2017.
State Administration of Work Safety, National Coal Mine Safety Supervision Bureau, National Energy Administration, et al. Specification for Coal Pillar Retention and Coal Mining in Buildings, Water Bodies, Railways, and Main Tunnels[S]. 2017.
- [3] 何国清, 杨伦, 凌赓娣, 等. 矿山开采沉陷学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1991.
He G Q, Yang L, Ling G D, et al. Mining Subsidence Learning[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1991.
- [4] 郭广礼. 老采空区上方建筑地基变形机理及其控制[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2001.
Guo G L. Mechanism and Control of Deformation of Building Foundation Above the Old Goaf[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2001.
- [5] 邓喀中, 谭志祥, 姜岩, 等. 变形监测及沉陷工程学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2014.
Deng K Z, Tan Z X, Jiang Y, et al. Deformation Monitoring and Settlement Engineering[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 2014.
- [6] 谢晓龙. 采空老区地表变形及沉陷机理研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
Xie X L. Ground Deformation and Subsidence Mechanism of Old Mining Area[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2010.
- [7] 张永波. 老采空区建筑地基稳定性及其变形破坏规律的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2005.
Zhang Y B. Research on the Stability of Building Foundation Above Old Mine Goafs and Its Damage Regula[D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2005.
- [8] 栾长青. 采空区的沉陷机理及地表变形破坏的时空预测研究[D]. 西安: 长安大学, 2005.
Luan C Q. Study on the Subsidence Mechanism of Goaf and Spatiotemporal Prediction of Surface Deformation and Failure[D]. Xi'an: Chang'an University, 2005.
- [9] 王旭春, 岳著文, 管晓明. 深部走向长壁开采地表移动数值模拟[J]. 水文地质工程地质, 2012, 39(6): 108 – 113.
Wang X C, Yue Z W, Guan X M. Numerical simulation of surface movement under long – wall mining condition in deep areas[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2012, 39(6): 108 – 113.
- [10] 郭文兵, 邓喀中, 邹友峰. 概率积分法预计参数选取的神经网络模型[J]. 中国矿业大学学报, 2004, 33(3): 322 – 326.
Guo W B, Deng K Z, Zou Y F. Artificial neural network model for predicting parameters of probability – integral method[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2004, 33(3): 322 – 326.
- [11] Gabriel A K, Goldstein R M. Crossed orbit interferometry: theory and experimental results from SIR – B[J]. International Journal of Remote Sensing, 1988, 9(5): 857 – 872.
- [12] 李达, 邓喀中, 高晓雄, 等. 基于 SBAS – InSAR 的矿区地表沉降监测与分析[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2018, 43(10): 1531 – 1537.
Li D, Deng K Z, Gao X X, et al. Monitoring and analysis of surface subsidence in mining area based on SBAS – InSAR[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2018, 43(10): 1531 – 1537.
- [13] 彭鹏, 杨红磊. 基于改进相干点目标技术的阜阳市地面沉降调查[J]. 中国地质调查, 2016, 3(4): 63 – 68.
Peng P, Yang H L. Study of land subsidence monitoring based on an improved coherent point target technology in Fuyang City[J]. Geological Survey of China, 2016, 3(4): 63 – 68.
- [14] 高思远. 基于 Sentinel – 1 数据的 PS – InSAR 技术在金沙江白格滑坡监测中应用研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2019.
Gao S Y. Research on the Application of PS – InSAR Based on Sentinel – 1 Data In Monitoring of Baige Landslide in Jinsha River[D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2019.
- [15] 汤志刚, 景佳俊, 颜士顺, 等. 基于 InSAR 监测数据的石膏矿采空塌陷特征分析——以邳州平台矿和希州矿为例[J]. 中国地质调查, 2020, 7(4): 112 – 117.
Tang Z G, Jing J J, Yan S S, et al. Analysis of gob collapse characteristics in gypsum mine based on InSAR monitoring data: A case study of Pizhou Pingtai and Xizhou mine[J]. Geological Survey of China, 2020, 7(4): 112 – 117.
- [16] 张洋. 沛北矿区地表沉降 InSAR 监测研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2016.
Zhang Y. Study on the Ground Subsidence Monitoring in Peibei Mining Area with InSAR Technology[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2016.
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 51044—2014 煤矿采空区岩土工程勘察规范(2017 年版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.
Ministry of Housing and Urban – Rural Development of the People's

Republic of China. GB 51044 – 2014 Code for Investigation of Geotechnical Engineering in the Coal Mine Goaf (2017) [S]. Beijing:China Planning Press,2017.

[18] 王勇. 徐州矿区地表移动观测与参数的求取[J]. 矿山测量, 2013(4):79–81.

Wang Y. Observation of surface movement and parameter determination in Xuzhou mining area[J]. Mine Surveying,2013(4):79–81.

[19] 范雪婷,李明巨,张大骞,等. 基于多主影像相干目标小基线 InSAR 技术的无锡市地表沉降监测[J]. 现代测绘,2018, 41(3):1–5.

Fan X T,Li M J,Zhang D Q,et al. Monitoring of surface subsidence in Wuxi City with MCTSB – InSAR method[J]. Modern Surveying and Mapping,2018,41(3):1–5.

[20] 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 Y H,Wu H A,Kang Y H. 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.

Analysis of coal mining subsidence characteristics and stability based on InSAR monitoring data: A case study of the Mining and Land Integration Demonstration Zone in Pei County of Jiangsu Province

TANG Zhigang, QIAN Jing, XIE Mengyu, SUN Xiaoqian, MENG Xianzhong, ZHANG Fengming
(No. 5 Geological Team, Jiangsu Bureau of Geology and Mineral Resources, Jiangsu Xuzhou 221004, China)

Abstract: In order to identify the spatiotemporal development characteristics, development trends, and risk levels of coal mining subsidence areas in Peixian County of Jiangsu Province, and better guide geological disaster prevention and ecological environment restoration work, the authors in this paper carried out the surface subsidence monitoring using multi period Sentinel – 1 satellite synthetic aperture radar interferometry data technology, based on the analysis of coal mining data and field investigation results. By analyzing the surface deformation of the coal mining subsidence area from 2018 to 2022 using InSAR monitoring data, the authors concluded that the surface of the subsidence area had sunk by 0.139 to 0.558 meters from 2018 to 2022, and the surface subsidence rate of the subsidence area was 0.000 to 2.159 mm/d from June to December in 2022. The settlement amount of the stable subsidence goaf (old goaf) has approached its maximum value, and the settlement rate is gradually decreasing and approaching 0. The settlement amount and settlement rate of the unstable subsidence goaf (new goaf) started from 0 and gradually increased. The unstable subsidence area was approximately 18.45 km² at the end of 2022, mainly distributed in Zhangshuanglou and other coal mines explored in the past 5 years. The surface InSAR data could better reflect the deformation characteristics. This study could provide some scientific basis for the comprehensive management of coal mining subsidence areas in Pei County, and provide some references for characteristic analysis and comprehensive management of coal mining subsidence areas in other similar regions.

Keywords: InSAR monitoring data; Pei County in Jiangsu Province; coal mining subsidence area; characteristics of spatiotemporal development; stability

(责任编辑: 刘丹)