

准格尔旗地面沉降与地裂缝特征研究

高森, 秦越强, 王志民, 柴晨晖, 孙宇飞, 李朋伟, 王江玉龙, 孙伟涛, 周业泽, 许凯然, 姜禹戈

中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊

收稿日期: 2021年11月29日; 录用日期: 2021年12月28日; 发布日期: 2022年1月4日

摘要

内蒙古鄂尔多斯市准格尔旗以丰富的煤矿资源而闻名, 煤矿资源的开发利用使该地区地面沉降、地裂缝普遍发育。采用InSAR技术对准格尔旗2015年6月至今的地面沉降和地裂缝特征进行了监测。InSAR成果反映准格尔旗地面变形主要有两个集中区, 分别位于东部的边界区和西南部边界区, 引起地面变形的主要行为是矿山开采和渣土堆填, 其中分为四种类型: 露天开采及填土区、渣土堆填区、地面建筑变化区、井工开采区。

关键词

地面沉降, 地裂缝, InSAR技术, 准格尔旗

Study on Characteristics of Land Subsidence and Ground Fissures in Jungar Banner

Sen Gao, Yueqiang Qin, Zhimin Wang, Chenhui Chai, Yufei Sun, Pengwei Li, Jiangyulong Wang, Weitao Sun, Yeze Zhou, Kairan Xu, Yuge Jiang

Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang Hebei

Received: Nov. 29th, 2021; accepted: Dec. 28th, 2021; published: Jan. 4th, 2022

Abstract

Zhungeer banner, Ordos City, Inner Mongolia, is famous for its abundant coal resources. The development and utilization of coal resources make the land subsidence and ground fissures widely developed in this area. The characteristics of land subsidence and ground fissures in Zhungeer banner from June 2015 to now were monitored by InSAR technology. InSAR results show that there are two concentrated areas of ground deformation in Zhungeer banner, which are located in

文章引用: 高森, 秦越强, 王志民, 柴晨晖, 孙宇飞, 李朋伟, 王江玉龙, 孙伟涛, 周业泽, 许凯然, 姜禹戈. 准格尔旗地面沉降与地裂缝特征研究[J]. 自然科学, 2022, 10(1): 27-32. DOI: 10.12677/ojns.2022.101004

the eastern border area and the southwest boundary area respectively. The main behaviors causing ground deformation are mining and slag soil filling, which can be divided into four types: open-pit mining and filling area, slag and soil filling area, surface construction change area and underground mining area.

Keywords

Land Subsidence, Ground Fissure, InSAR Technology, Zhungeer Banner

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

准格尔旗地处内蒙古西南部、鄂尔多斯市东部。旗境东、北两面被黄河环绕，与山西省、呼和浩特市、包头市隔河相望；南临古长城与陕西省搭界；西与达拉特旗、东胜区、伊金霍洛旗接壤；素有“鸡鸣三省”之称[1]。2014年被评为全国百强县第10名，是鄂尔多斯市经济强旗。全旗总面积7692平方公里，辖9乡镇1苏木，共159个嘎查村，23个社区，居住着蒙古、汉、回、满、藏等14个民族。2019年末全旗常住人口为37.7万人[2]。

准格尔旗煤炭探明储量544亿吨，远景储量1000亿吨，且地质构造简单、埋藏浅、煤层厚、低瓦斯、易开采，发热量均在6000大卡/千克以上，为优质的动力煤和化工煤；石灰石总储量50亿吨，品位高，氧化钙含量达52.92%；铝矾土总储量1亿吨，矿层稳定，品位呈现铝高硅低的特征；此外，高岭土、硫铁矿、白云岩、石英砂的储量也大，特别是煤层气的储量可观[3]。全旗建成煤化工产能469万吨(其中甲醇220万吨，烯烃60万吨，油品16万吨，稳定轻烃19万吨，尿素52万吨，乙二醇12万吨，其他90万吨)。在建煤化工产能269万吨，40亿立方米。2018年煤化工行业累计实现产值92.77亿元，增长7.8%，占全旗规模以上工业总产值的10.6%。生产煤制油品19.41万吨，增长2.6%；生产甲醇246.6万吨，增长0.9%。今年一季度，煤化工行业产值19.49亿元，减少9.8%。煤炭资源的大量开采使得该地区地面沉降、地裂缝普遍发育[4]。

前人以准格尔旗矿区煤层顶板以上地层岩性特征为基础，归纳出准格尔旗矿区内主要存在的三种地貌塌陷类型，分别是全厚基岩塌陷类型，基岩上覆薄松散沉积层塌陷类型以及基岩上覆厚松散沉积层塌陷类型[5]。

本文主要通过InSAR遥感监测及路面地质调查等工作手段，调查准格尔旗煤矿区地面塌陷及地裂缝的分布现状和危害，为准格尔旗煤炭矿集区生态修复提供依据。

2. 地质背景

2.1. 地层岩性

准旗境内出露地层主要有古生界二叠系、中生界三叠系、侏罗系及新生界新近系、第四系，局部地段分布有古生界奥陶系、石炭系和中生界白垩系地层[6]。二叠系、三叠系出露地层主要分布在中东部，岩性为泥岩、砂岩及含砾砂岩；侏罗系出露地层主要分布在中西部，岩性为粉砂岩、泥岩，并夹有煤线及煤层；白垩系出露地层主要分布在北部，岩性为砂岩、含砾砂岩及砂质泥岩[7]。新近系地层主要分布在区内沟谷两侧，岩性为红色泥岩；第四系地层主要分布在东南部和北部风积沙地中，岩性为砂质粘土、砂砾石、风积沙及黄土[8]。

2.2. 地质构造

工作区地质构造较为简单, 未见岩浆活动和变质作用, 只有中生代及其以后的沉积地层出露[9]。岩层基本水平, 倾角一般只有 1~3 度, 为一般稳定中生代负性构造单元。前人将本区归为华北地台鄂尔多斯台向斜, 并位于台向斜的东北部。区内不同时代的地层, 经受不同时代的构造运动, 但表现及其微弱, 主要表现为地壳升降运动。不同程度的各次构造运动, 对本区的构造形态留下了各式各样的痕迹[10]。它们不仅表现为不同形式的轻微褶皱构造, 而且还表现为大小不等、方向不同的断裂构造, 并受前二叠世地层基底隆起控制。区内构造变动强弱程度, 总的自西向东减弱。从三叠世到现代的地层中, 有数个区域性不整合及旋回特征, 将全区划分为印支期、燕山期、喜山期等三个构造层, 并根据岩相古地理及成矿地理特征进一步将燕山构造层划分两个亚构造层[11]。

3. 数据准备

3.1. Sentinel-1 数据

Sentinel-1A 卫星是由欧空局在 2014 年 4 月发射的 C 波段科研 SAR 卫星, 基于“哥白尼”计划, 用以接替已经退役的 EnviSat-ASAR 系列卫星[12]。2016 年又发射了 Sentinel-1B 卫星, 目前两颗卫星同时在轨飞行, 单颗卫星重访周期 12 天, 两颗卫星可以做到 6 天的重访周期, 目前数据全球完全免费[13]。

Sentinel-1 卫星得益于精确的轨道飞行控制, 数据轨道误差可以控制在很小的范围内, 且其干涉宽幅 (IW, Interferometric Wide swath) 成像模式, 数据成像稳定, 质量高, 幅宽约 250 km × 250 km, 非常适合用来做 InSAR 研究和面上排查使用[14]。

准格尔旗地区为平原区, 该地区在 Sentinel-1 数据拍摄计划中只有升轨数据, 数据拍摄日期自 2015 年 6 月 15 日至今, 2015 年至 2017 年, 数据拍摄间隔多为 24 天, 2018 年至今数据拍摄间隔为 12 天。目前已下载完成截至 2020 年 3 月 31 日前该地区所有干涉宽幅 Sentinel-1 数据, 累计超过百期, Sentinel-1 卫星数据具体参数见表 1。

Table 1. Sentinel-1 satellite data parameters

表 1. Sentinel-1 卫星数据参数

模式	入射角/°	分辨率	幅宽/km	极化
条带成像	20~45	5 m × 5 m	80	HH + HV, VH + VV, HH, VV
干涉宽幅	29~46	5 m × 20 m	250	HH + HV, VH + VV, HH, VV
超宽幅	19~47	20 m × 40 m	400	HH + HV, VH + VV, HH, VV
波浪模式	22~35 35~38	5 m × 5 m	20 × 20	HH, VV

3.2. EnviSat-ASAR 数据

Envisat-ASAR 卫星是继 ERS-1/2 卫星系统退役后, ESA 为接续其工作于 2002 年 3 月发射的新一代科研 SAR 卫星, 卫星工作波段为 C 波段, 该卫星系统具有多极化、多角度、多模式的成像能力, 最高地面分辨率可达 5 m [15]。该卫星稳定运行十余年, 卫星系统于 2012 年 4 月下线, 但运行期间积攒了一大批宝贵的数据, 可以应用于自然灾害防治、环境监测等领域[16]。准格尔旗地区 ASAR 数据分布以降轨为主, 共计 17 景 Image 模式数据, 成像日期自 2003 年 8 月至 2010 年 10 月。ASAR 数据成像质量较高, 时间上跨度较长, 空间分辨率为 30 m。

3.3. 地形数据

3.3.1. ALOS_World_3D 数据

ALOS World 3D DSM 是由 JAXA (日本宇航局)机构免费分发的全球高程数据,根据 ALOS 雷达卫星干涉成像计算高程数据,成像日期为2006~2011年间,空间分辨率为30 m,数据成像质量及处理精度较高[17]。

3.3.2. NASADEM 数据

NASADEM 是由 NASA (美国宇航局)与 2020 年发布的最近全球地形数据,期基于 SRTM 数据(成像日期为 2000 年)重新处理,提高了高程精度及填充了缺失值[18]。此数据使用了之前数据不具备的算法和数据。对于缺失数据使用 ASTER GDEM 进行填充。数据空间分辨率为 30 m,成像质量及精度较高。

4. 数据处理

本次处理选择自 2019 年 1 月至 2020 年 3 月间的升轨 Sentinel-1 数据,其中由于轨道分布问题,需要相对轨道号为 11 和 113 的两个条带才能完全覆盖准格尔旗地区。

两个轨道数据均进行批量 D-InSAR 处理,为保证干涉图质量,D-InSAR 干涉对间隔时间不超过 36 天,11 号轨道条带数据最大空间基线为 227.4 m,最短空间基线仅为 0.4 m,完全满足 D-InSAR 干涉计算需要[19]。然后使用 Stacking-InSAR 方法估算地表变形速率,通过滤波的方式控制大气效应误差。

5. InSAR 监测成果

11 与 113 轨道两个条带各有 37 与 36 期数据参与计算,D-InSAR 干涉对均超多 100 对,经过大气滤波、相位解缠、叠加分析等计算后获得准格尔旗地区地面变形情况[20]。并结合 2020 年 6 月 2 日获取的 10 m 分辨率 Sentinel-2 光学遥感影像,对准格尔旗工作区进行地面变形 InSAR 解译工作见图 1。

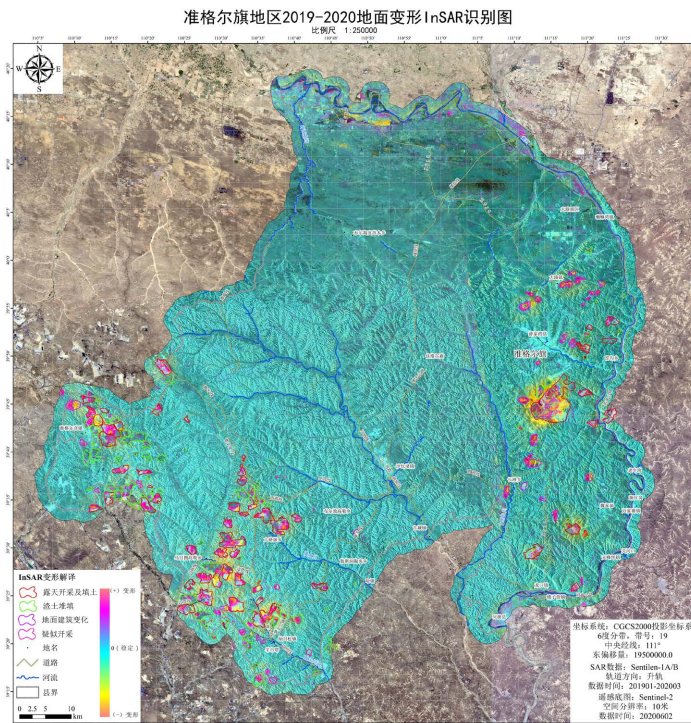


Figure 1. InSAR identification of ground deformation in Jungar banner area
图 1. 准格尔旗地区地面变形 InSAR 识别图

解译地面变形主要有两个集中区，分别位于东部的边界区和西南部边界区，引起地面变形的主要行为是矿山开采和渣土堆填。共解译 181 处变形区，其中分为四种类型：

- 1) 露天开采及填土区，共 57 处：此处为露天矿开采区，并伴有渣土堆填，采矿活动多；
- 2) 渣土堆填区，共 79 处，此处多为露天采矿后渣土堆填的位置，诱发变形多为渣土堆积沉降变形；
- 3) 地面建筑变化区，共 2 处此处为地面建筑发生变化，改变地表高程信息而出现的变形反应；
- 4) 井工开采区，共 43 处，此类型多为在 InSAR 图像上可见明显变形反应，但在 2020 年 6 月 2 日的光学遥感影像上无地面开启痕迹，所以推测为地下开采区或多年前地形发生变化(开挖或堆填)导致，现场实地调查可见多条地裂缝见图 2。



Figure 2. Field investigation of ground fissures
图 2. 实地调查地裂缝

6. 结论

从以上分析可以看出，本文利用 InSAR 技术成功探测了准格尔旗地区 2015~2020 年间地面沉降的区域分布和随时间演化的特点，即在空间上地面沉降主要分布在准格尔旗的东部边界区和西部边界区，其中西部边界区沉降规模较大。引起地面变形的主要行为是矿山开采和渣土堆填，其中分为四种类型：露天开采及填土区、渣土堆填区、地面建筑变化区、井工开采区。建议准格尔旗煤炭矿集区采取填充回填、地面回填及地面平整相结合的方式治理本区内已出现的采空塌陷及地裂缝。

基金项目

地调局项目《鄂尔多斯市准格尔旗煤炭矿集区生态修复支撑调查》(DD20208078)。

参考文献

- [1] 王嘉元, 秦富仓, 杨振奇, 李龙, 芳菲. 基于 GIS 地形分析的内蒙古准格尔旗生态区划研究[J]. 内蒙古林业科技, 2020, 46(3): 38-42.
- [2] 马光耀. 准格尔县域经济发展研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中央民族大学, 2013.
- [3] 武志慧. 鄂尔多斯市准格尔旗煤炭物流研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2012.
- [4] 白阳. 内蒙古煤化工行业发展潜力研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2012.
- [5] 刘国庆. 准格尔旗煤田塌陷地生态修复研究[D]: [硕士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2008.
- [6] 高春云. 鄂尔多斯盆地西缘南段构造特征及演化研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2020.
- [7] 段登飞. 鄂东南阳新岩体周缘砂卡岩型铜多金属矿床地质特征及矿床成因[D]: [博士学位论文]. 武汉: 中国地质

- 大学, 2019.
- [8] 赵俊峰. 鄂尔多斯盆地直罗——安定期原盆恢复[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2007.
- [9] 刘溪. 鄂尔多斯盆地东、南部中晚三叠世延长期原型盆地分析[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2019.
- [10] 阎家祥. 准格尔旗某工程滑坡综合治理[J]. 中国水运(下半月), 2013, 13(3): 250-252.
- [11] 闫建萍. 鄂尔多斯盆地南部晚古生代沉积——构造演化及天然气勘探潜力研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 西北大学, 2010.
- [12] 卢旺达, 韩春明, 岳昔娟, 赵迎辉, 周格仪. 基于 Sentinel-1A 数据的天津地区 PS-InSAR 地面沉降监测与分析[J]. 遥感技术与应用, 2020, 35(2): 416-423.
- [13] 何宇飞. 基于 SWARM 和 DEMETER 卫星电子密度数据的地震电离层现象研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国地震局地球物理研究所, 2020.
- [14] 戴可人. 融合新一代卫星 SAR 数据的地形与形变信息提取模型与方法[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2017.
- [15] 陈炳乾. 面向矿区沉降监测的 InSAR 技术及应用研究[D]: [博士学位论文]. 徐州: 中国矿业大学, 2015.
- [16] 周琦. 基于 SBAS-InSAR 技术的北京平原区地面沉降监测研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 首都师范大学, 2013.
- [17] 马永明, 张利华, 张康, 朱志儒, 吴宗凡. 基于 SWAT 模型和多源 DEM 数据的流域水系提取精度分析[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(10): 11.
- [18] 李志杰. 基于遥感和 GIS 的 2000-2017 年帕米尔高原冰川变化研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西北大学, 2020.
- [19] 张月, 庞蕾, 徐西桂, 张天, 张瑞菊. 差分层析 SAR 技术研究现状分析[J]. 测绘通报, 2019(1): 5-12.
- [20] 陈优良, 王之玉, 栗正刚, 王兆媛, 郑冉. 基于 D-InSAR 的矿山地表沉陷监测研究[J]. 化工矿物与加工, 2019, 48(8): 10-14.