

# 无人机低空遥感在采煤塌陷区地裂缝特征提取中的应用

赵 男, 王 末\*, 唐文泰, 刘创创

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: 2023年4月18日; 录用日期: 2023年5月19日; 发布日期: 2023年5月29日

## 摘 要

地裂缝是地质灾害中地面变形灾害之一, 它是直接或间接地恶化环境、降低环境质量、危害人类和生物圈发展的地质事件。传统的人力检测地裂缝测量方法在进行测量时, 测量精准度不够高, 山区地势复杂等原因, 需花费较长时间对地裂缝进行测量, 以至于提高了地裂缝提取的难度。基于目前存在的问题, 本文应用无人机遥感技术, 选取测区开展地裂缝提取和特征分析, 查明了塌陷区地裂缝分布数量与特征规律, 对服务鄂尔多斯采煤塌陷区生态治理和灾害防治具有一定研究意义。

## 关键词

地裂缝, 特征分析, 采煤塌陷区, 无人机遥感

# Application of Low Altitude Remote Sensing by UAV in the Extraction of Ground Fracture Features in Coal Mining Collapse Area

Nan Zhao, Mo Wang\*, Wentai Tang, Chuangchuang Liu

Langfang Center for General Survey of Natural Resources, CGS, Langfang Hebei

Received: Apr. 18<sup>th</sup>, 2023; accepted: May 19<sup>th</sup>, 2023; published: May 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Ground fracture is one of the ground deformation hazards among geological hazards, and it is a geological event that directly or indirectly deteriorates the environment, reduces the quality of

\*通讯作者。

the environment, and endangers the development of human and biosphere. The traditional human detection ground fracture measurement method is not accurate enough when making measurements, and it takes a long time to measure ground fractures due to the complicated terrain in mountainous areas, so much so that it raises the difficulty of ground fracture extraction. Based on the existing problems, this paper applies UAV remote sensing technology to select the measurement area for ground crack extraction and feature analysis, and identifies the number of ground cracks distribution and feature pattern in the collapse area, which has some research significance to serve the ecological management and disaster prevention and control of coal mining collapse area in Ordos.

## Keywords

Ground Fracture, Feature Analysis, Coal Mining Collapse Area, UAV Remote Sensing

Copyright © 2023 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

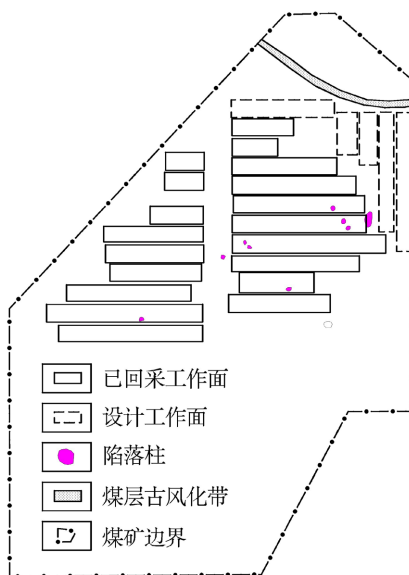
随着国内煤炭资源的大规模开发利用,采煤区的生态环境遭受严重的负面影响,造成的危害包括地表下沉、地表裂缝、塌陷坑(槽),以及伴生的崩塌、滑坡等[1]。地表裂缝是煤矿区最常见、最直观的地面塌陷表现形式之一[2]。

准确的识别裂缝,掌握地裂缝分布规律、发育特征是煤矿区生态环境恢复治理的基础[3]。目前,针对采空区地裂缝图像检测方法的研究很少,国内外较为成熟的地裂缝监测识别手段主要有大地测量技术和地质调查方法。韦博文[4]等通过无人机影像,提出改进的一阶高斯差分匹配滤波(MF-FDOG)算法提取黄土区的地裂缝信息。赵毅鑫等人[5][6]基于红外图像,采用 MATLAB 软件对比分析不同的边缘检测方法的检测效果,提出将基于数学形态学的边缘检测方法中加入 LoG 算子和 Canny 算子,更易于对裂缝边缘特征的提取。通过实地野外勘测徒步进行搜索,并对裂缝区域实时拍照以便后期处理,两种方法时效性较差[7]。利用无人机低空遥感技术,在煤矿塌陷区进行地裂缝识别,具有高效、快捷等优势。本文选取鄂尔多斯某矿区,利用无人机遥感对地裂缝类型和特征进行重点解译分析。

## 2. 研究区概况

该区域地处内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗东部,地表为黄土高原边缘地带,这里山大沟深,水土流失严重[8]。地势变化整体呈西南高东北低,海拔最高处 1346 m,最低处 1127 m,高差高 219 m。由于该区域夏季雨水集中,水流量大、动力强、水土流失严重,且地表黄土层被流水冲刷,地表冲沟发育较为完全,沟壑纵横交错、沟深壁陡的复杂地形[9]。煤矿范围内大小不连沟、水涧沟等发育,支沟发育,各沟横截面基本为 U 字型,形成陡峻的峡谷。

该矿区矿井采用主、副斜井开拓方式,主副斜井井底落在井田 6 号煤层赋存最高处后,沿南北方向布置开拓大巷,双翼开采。6 号煤层及 6 下煤层设一组开拓巷道,9 号煤层及 9 号上煤层设一组开拓巷道[10]。采用主斜井、副斜井和回风立井入风,通风方式采用抽出式。采煤方法是长壁式采煤法,顶板管理均为全部陷落法,采煤工艺为综合机械化放顶煤开采(见图 1)。



**Figure 1.** Diagram of the distribution of the working face of the mine

**图 1.** 矿区工作面分布示意图

### 3. 无人机遥感数据采集

#### 3.1. 无人机航测系统

本次无人机遥感系统主要以飞马 D20 多旋翼无人机作为飞行平台(见图 2), 搭载 D-OP3000 高性能倾斜模块进行拍摄和记录, 通过对遥感影像数据的分析处理, 以实现地面信息的实时调查与监测。该无人机主要性能指标见表 1。



**Figure 2.** D20 UAV

**图 2.** D20 无人机

**Table 1.** List of drone parameters

**表 1.** 无人机参数一览表

材质	碳纤维 + 锁始合金	通航速度	18 m/s
对称点击轴距	1.65 m	驱动方式	电动
机体高度	0.6m	起降方式	无遥控垂直起降
续航时间	1 kg 载荷: 80 min	定位精度	水平: $\pm 1$ cm + 1 ppm
	6 kg 载荷: 50 min		垂直: $\pm 2$ cm + 1 ppm

## Continued

点击数量	6 pcs	最大能升速度	5 m/s
起飞重量	6 kg	实用海拔升限	6000 m
抗风能力	6 级	包装运输箱	铝合金设备箱 EVA 内衬
载荷模块	D-OP3000 倾斜模块	工作温度	-20℃~50℃

### 3.2. 航线设计

首先利用 GIS 软件, 依据航测测区范围及实际需要, 下载满足航测要求的地图, 作为无人机飞行底图。然后在无人机管家软件中, 根据前期踏勘及资料收集情况在飞行底图上进行航摄设计。

根据技术要求, 不连沟煤矿测区航测成图比例尺为 1:1000, 所以无人机飞行相对航高设为 400 m; 测区海拔最高点和最低点对应的地面分辨率分别为 5 cm 和 7 cm; 旁向重叠度: 65%; 航向重叠度: 80%; 单架次无人机飞行时间不超过 50 分钟, 共布设 4 架次。

### 3.3. 像控点布设

根据《低空数字航空摄影测量外业规范》的要求, 结合飞马 D20 无人机的技术特点, 在航摄前实地布设像控点标志。像控点均布设在单架次飞行区域的四角和中心, 共计布设像控点 6 个(见图 3)。像控点应用直角模具涂刷, 涂刷大小 > 50 cm, 并且菱角不虚边; 编号涂刷, 字体清晰, 字体高度 > 30 cm (如下图所示), 布设的像控点标志采用红色油漆喷涂。像控点采用 RTK 实测, 使用 RTK 固定解计算, 使用 CGCS2000 坐标系, 平面误差 < 0.01 m, 高程误差 < 0.025 m。

本次飞行任务全部选择在 9:00~15:00 之间, 阴影对航摄影响较小时进行。无人机每次起飞前均按规程认真检查飞机和相机的电池电量、以及其它机载设备的工作状态无异常。无人机采用垂直起飞, 起飞风力不大于 3 级。

无人机飞行过程中, 无人机飞行状态正常, 空速为 14 m/s, 地面操控站与无人机间距离小于 3 km, 基本全程保持地面操控站于无人机之间的通讯畅通。

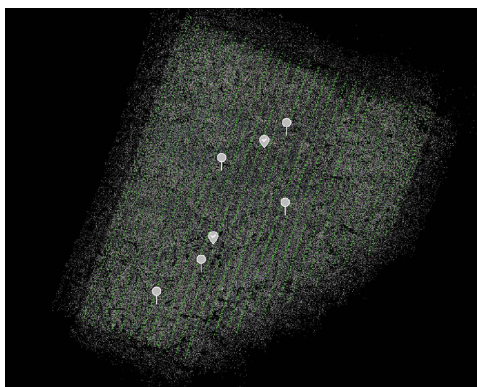


Figure 3. Image control point layout location map  
图 3. 像控点布设位置图

### 3.4. 无人机数据处理流程

利用无人机管家将获取的照片和对应的 POS 信息进行差分解算, 检查相机照片、POS 信息及控制点坐标符合规范要求, 再利用 DJI 智图软件将导入的照片及 POS 信息一键自动空三, 查看空三质量报告,

检查影像信息质量、机载 RTK 状态和相机校准信息。手动添加像控点后, 按要求设置好控制点和检查点, 单个控制点刺点不少于 10 张照片。最后对影像进行色彩、亮度和对比度的调整, 通过匀色处理缩小影像间的色调差异, 使色调均匀、反差适中、层次分明, 保持地物色彩不失真, 使航测区能清晰的反映出地貌特征, 可用于航测区地面裂缝解译工作。数据处理流程如图 4 所示。

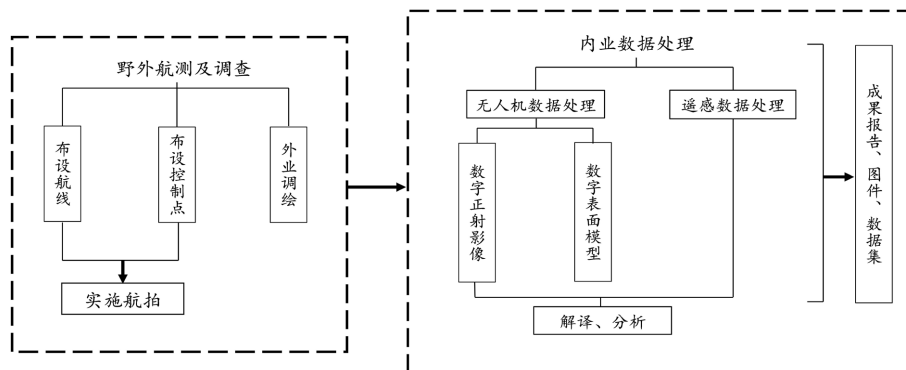


Figure 4. UAV aerial survey processing flow chart

图 4. 无人机航测处理流程图

#### 4. 地裂缝数据解译

本次航拍任务监测区面积共计  $13.349637 \text{ km}^2$ , 经空三加密后自动生成点云数据, 利用 DJI 智图软件对其进行正射纠正后生成数字正射影像 DOM 和 DSM, 对测区 DOM 影像进行目视解译, 建立直接解译标志, 该地裂缝线状纹理明显, 多以锯齿状、线状或者环形展布在工作面内部或者周边, 裂缝中间宽、两端窄, 向两端逐渐尖灭, 长度一般几十米到几百米。拉伸型地表裂缝在遥感影像上呈现出中间色调明显较两边发黑的特点(见图 5)。

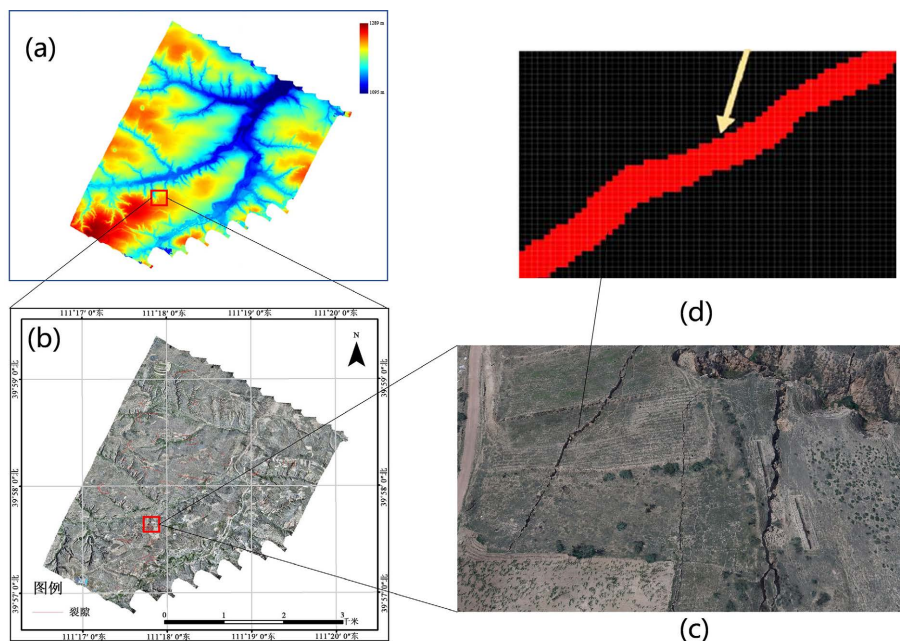


Figure 5. Directly interpreted sign of ground fracture

图 5. 地裂缝直接解译标志

## 5. 地表裂缝特征分析

### 5.1. 地表裂缝分布现状

该矿区主采煤层产状近于水平, 开采盘区, 成片分布, 相应地裂缝也比较发育(见图 6), 统计数据显示, 裂隙长 24 m~437 m, 裂隙宽 0.11~2.23 m, 最宽可达 2.23 m。倾角近直立, 地面可见裂隙深度达 3 m 以上。裂隙组合类型呈群集式、阶梯陷落式。在一些新近开采区不断出现新增裂缝痕迹, 在一些老采区随着工作面的不断向前推进, 地裂缝有闭合的趋势。开采规模越大, 采空区面积也就越大, 地裂缝发育就越长, 越密也越大。

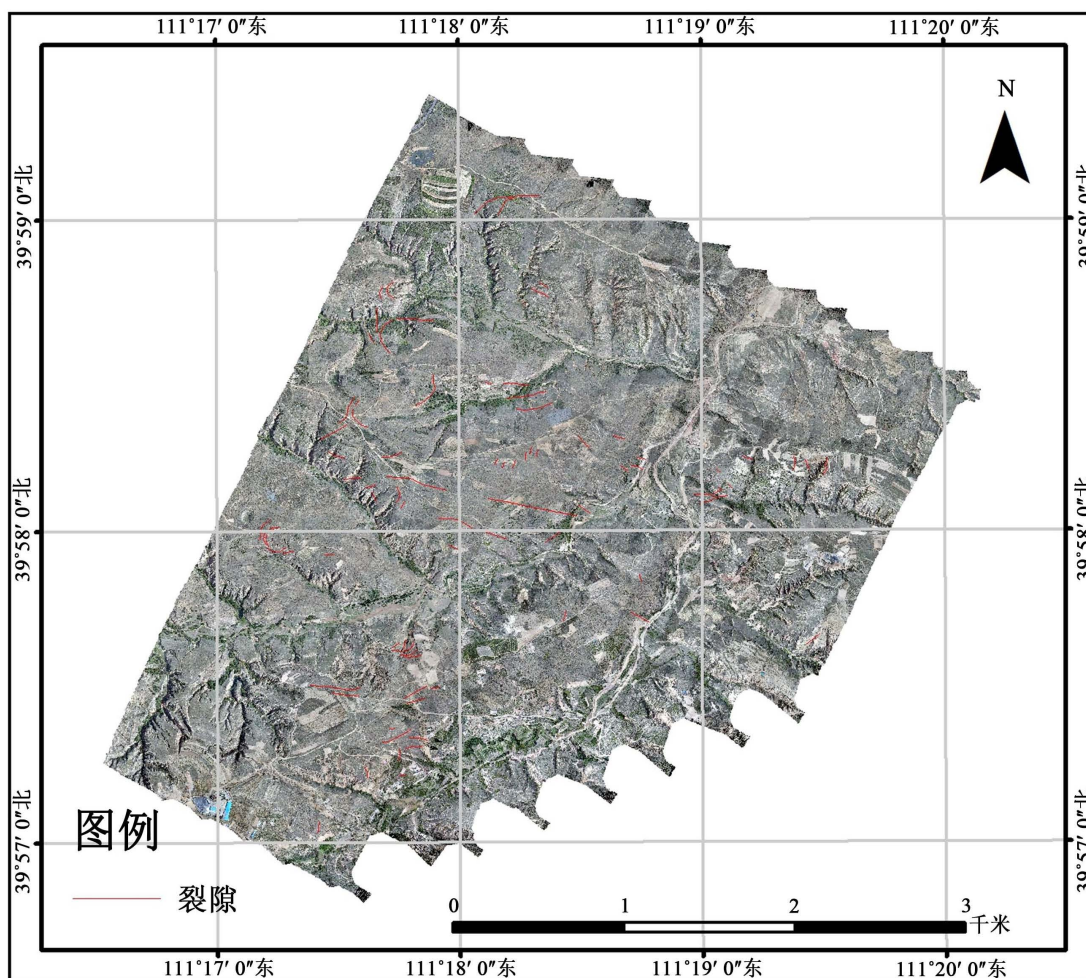


Figure 6. Distribution of ground fractures in the survey area

图 6. 测区地裂缝分布图

### 5.2. 地表裂缝特征规律

通过对 107 处裂隙长度、裂隙宽度和方位角进行分析对比(见图 7), 裂隙宽度主要在 0.25 m~0.75 m 之间, 裂隙方位角主要在  $80^{\circ}$ ~ $110^{\circ}$ 、 $160^{\circ}$ ~ $180^{\circ}$ 和  $0^{\circ}$ ~ $40^{\circ}$ 范围内, 地裂缝走向多垂直于工作面的长轴方向发展。裂隙长度主要在 20 m~120 m 之间, 相关性剖析得到裂隙长度和裂隙宽度之间的相关系数为 0.368, 具有一定的负相关性, 裂隙长度越长, 裂隙宽度具有越小趋势。

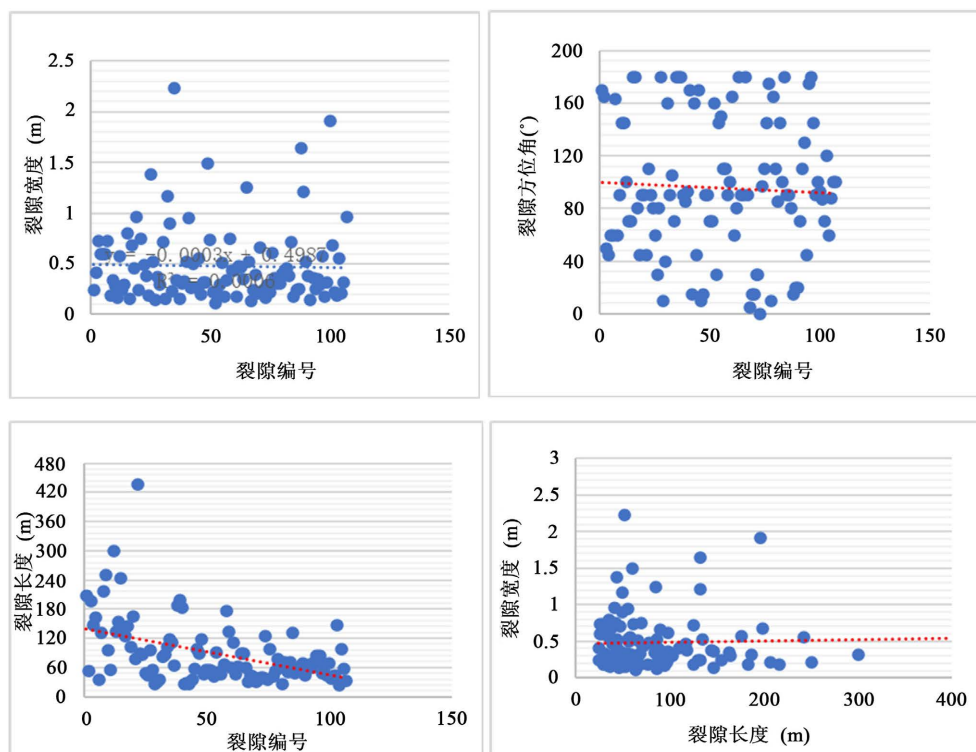


Figure 7. Analysis of ground fracture characteristics in the survey area

图 7. 测区地裂缝特征分析图

## 6. 总结

a) 相较于传统人工测量采煤塌陷区地裂缝数据, 无人机遥感具有检测精度高、执行效率高、成本低等优点, 可以直观、清晰的反映出地表裂缝的位置、形态、长度等特征信息, 全面准确地展示地表裂缝的发育规律。为采煤塌陷区地表裂缝提供了一种较佳的调查手段。

b) 鄂尔多斯采煤塌陷区植被覆盖较少, 利用无人机低空遥感工作手段, 可快速准确查明测区地裂缝数量和分布特征, 为低植被覆盖区地裂缝调查提供了一种快速调查手段。

c) 该测区地裂缝走向多垂直于工作面的长轴方向发展, 裂隙长度主要在 20 m~120 m 之间, 相关性剖析得到裂隙长度和裂隙宽度之间的相关系数为 0.368, 具有一定的负相关性, 裂隙长度越长, 裂隙宽度具有越小趋势。

d) 鄂尔多斯采煤塌陷区, 变形特征主要表现为地裂缝及地面塌陷。采空塌陷产生的地质问题, 引发了土地资源破坏、威胁地面建(构)筑、破坏浅层地下水的结构及地表水的分布、诱发加剧水土流失、土地沙漠化等一系列问题。

## 参考文献

- [1] 侯恩科, 张杰, 谢晓深, 徐友宁. 无人机遥感与卫星遥感在采煤地表裂缝识别中的对比[J]. 地质通报, 2019, 38(101): 443-448.
- [2] 吴敏杰. 无人机在煤矿地表隐蔽灾害排查中的应用[J]. 煤矿安全, 2021, 52(11): 123-129.
- [3] 付博. 基于无人机正射影像的建筑物震害识别研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地震局地质研究所, 2018.
- [4] 韦博文, 刘国祥, 汪致恒. 基于改进的 MF-FDOG 算法和无人机影像提取黄土地区地裂缝[J]. 测绘, 2018, 41(2): 51-56+61.

- [5] 赵毅鑫, 许多, 孙波, 等. 基于无人机红外遥感和边缘检测技术的采动地裂缝辨识[J]. 煤炭学报, 2021, 46(2): 624-637.
- [6] 赵毅鑫, 许多, 张康宁, 等. 采动地表浅层隐蔽裂缝的无人机红外识别现场试验[J]. 煤炭学报, 2022, 47(5): 1921-1932.
- [7] 杨奇让, 胡振琪, 韩佳政, 杨坤, 浮耀坤. 煤矿区无人机影像采动地裂缝提取方法研究[J/OL]. 煤炭科学技术: 1-13, 2022-01-26.
- [8] 张雪华. 基于无人机影像的面向对象建筑物震害提取研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地震局地震预测研究所, 2017.
- [9] 王彦武, 周波, 马涛, 田晋华, 高雅玉. 低空无人机遥感技术在淤地坝水土资源监测中的应用[J]. 中国水土保持, 2019(10): 64-66.
- [10] 蚁群川. 低空无人机遥感测绘技术在农村地籍测量中应用[J]. 地矿测绘, 2019, 2(3): 9-10.