

矿区多源地表生态损伤精准监测与数据高效处理技术及应用

一、立项背景

习近平总书记指出，我国国情以煤为主，煤炭长期规模开采诱发土地生态退化、农业生产力降低等一系列问题，急需开展地表生态损伤时空信息高效获取处理理论和方法研究，为矿区生态修复提供精准数据支持。

目前研究中还存在如下问题：一是获取手段方式多样，在矿区测绘技术综合运用不充分；二是数据类型丰富，多源数据融合不到位；三是地表生态损伤辨识精准性不高，难以满足矿区生态修复的需要。

本成果以国家自然科学基金重点项目“高强度开采地表生态环境演变机理与调控（U1261206）”、河南省高校科技创新团队“煤矿区形变监测与采动损害防护（13IRTSTHN029）”等

项目为基础，攻克了矿区地表生态损伤“天空地”立体化监测、多时相DInSAR数据干涉处理、多源植被生态数据融合挖掘等难题，建立了矿区多源地表生态损伤

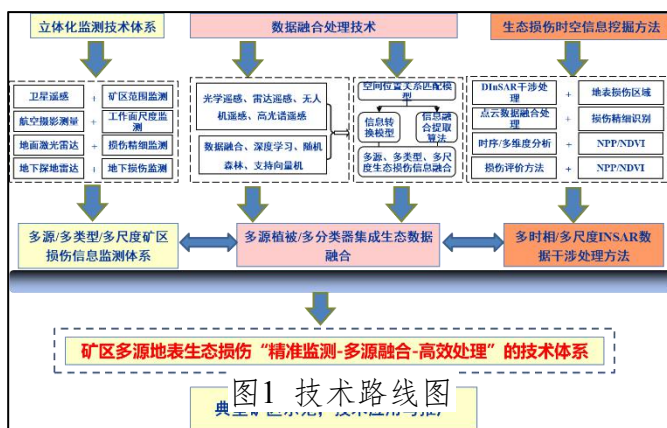


图1 技术路线图

“精准监测-多源融合-高效处理”的技术体系（图1）。

二、科技创新

1.构建了集卫星遥感、低空无人机、激光Lidar、探地雷达的矿区地表损伤信息“天-空-地”立体监测技术体系，实现了矿区生态损伤的高效获取和精细化监测。

(1) 创建了激光雷达地表生态损伤信息快速精确获取技术。发明了地面Lidar平缓塌陷区分区扫描新方法(图2), 设计了一种三维激光扫描合作标靶, 改变了传统单站数据扫描模式, 实现了监测区域有效覆盖范围的最大化, 地表形变获取效率提高20%以上。

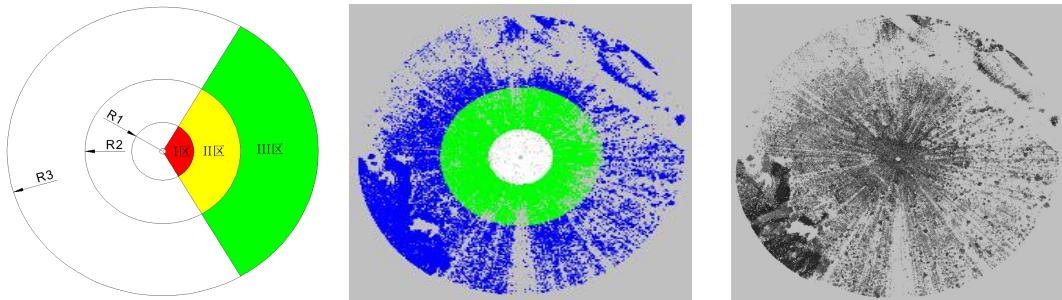


图2 分区扫描方法

(2) 提出了矿区激光点云数据高效融合处理方法。构建了基于规则网格反距离加权的点云插值重构方法, 实现了固定点数和距离的智能选择与运算, 地表精度达到厘米级。

(3) 提出了“无人机红外遥感+探地雷达+现场监测”地表生态损伤信息精细化识别方法(图3), 确定了无人机红外最佳参数, 实现了工作面尺度地表裂缝全周期、精细化监测。

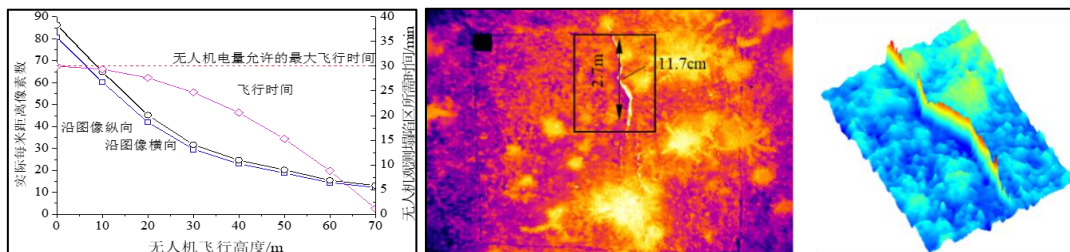


图3 无人机红外遥感地表裂隙提取结果

(4) 提出了基于天空地遥感影像的多尺度地表生态损伤区域快速识别技术(图4), 研发了多尺度矿区地表时空信息自动提取处理软件系统, 在神东补连塔矿精准发现一级损伤区3.5km²、二级损伤区9.6km²。

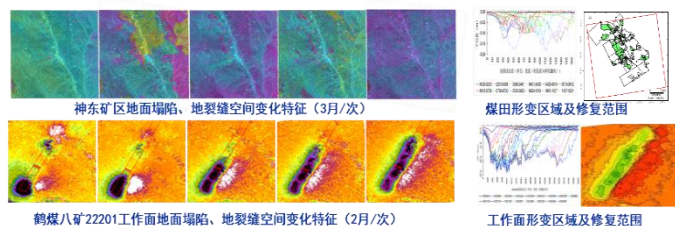


图4 多尺度生态损伤范围快速识别技术

(5) 研制了矿区地表损伤信息监测分析系统。发明了基于Delaunay三角网生长算法和矢量等高线自动提取方法，构建了沉陷区DEM精细模型，开发了矿区地表变形监测分析系统，实现了点云滤波、空洞填补、沉降信息自动提取、三维建模的一体化处理。

2.创新性地运用“相邻式”和“累积式”两种干涉策略，从矿区、工作面尺度提出了多时相DInSAR干涉处理方法，构建矿区地表损伤的GAUSS模型动态预测方法。

(1) 提出了基于DInSAR的矿区地表损伤监测新方法。引入二通加外部DEM的DInSAR数据处理算法，提出了“相位累积式”和分阶段“相邻重访周期式”干涉测量策略，减小了时间退相干影响。

(2) 建立了基于小基线集干涉测量技术的工作面尺度地表沉降时序分析方法。优化了SAR数据集的时间基线和空间基线阈值，建立SBAS InSAR地表沉降时序分析方法，降低了时空失相干、地形和大气延迟的影响。精准监测布尔台矿典型工作面沉陷盆地边缘504d的时序形变信息，精度优于97%。

(3) 构建矿区地表损伤的GAUSS模型动态预测方法。联合DInSAR与PIM技术，构建了基于GAUSS模型的地表动态预计方法，解决了非同步观测条件下工作面地表损伤区域的时序分析难题，准确获取了布尔台矿22201工作面17期开采沉陷相位变化信息（图5）。

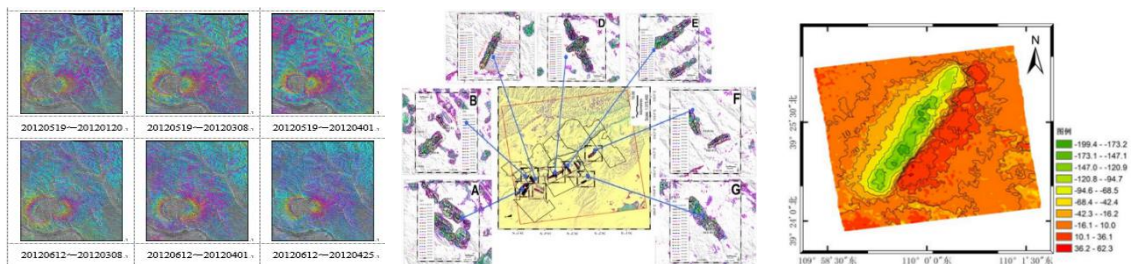


图5 矿区多时相DInSAR干涉处理结果

3.突破了矿区植被多源信息融合、多分类器集成、覆盖类型准确识别等技术瓶颈，提出了矿区地表植被多源、多尺度生态时空数据融合处理技术。

(1) 构建了多尺度小波与色彩域变换的主被动遥感数据融合模型（图6）。改变了植被单源单一分类器覆盖类型识别模式，研发了影像最优分割、雷达与光学数据融合处理等软件，信息熵提高15%以上。

(2) 提出了分类器集成的矿区地表覆盖信息识别方法。提出了基于支持向量机、神经网络、决策与回归树、随机森林等分类器模型的串并联集成算法，实现了分类器之间的模式互补（图6）；研发了基于模糊证据理论的主被动遥感植被提取、高分数据随机森林分类软件，显著降低了植被覆盖类型的错分、漏分概率。

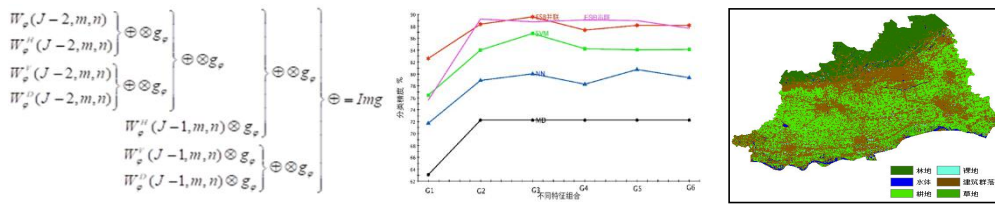


图6 矿区植被覆盖类型提取与信息融合

(3) 研发了矿区植被与生态损伤因子自动化提取处理技术。建立了矿区植被指数NDVI定量反演和模式分类协同的植被类型数据融合技术，构建了NDVI指数与生态损伤关系模型，研发了植被指数合成、地表信息自动提取等软件，实现了植被类型准确识别及生态损伤数据的高效融合（图7）。

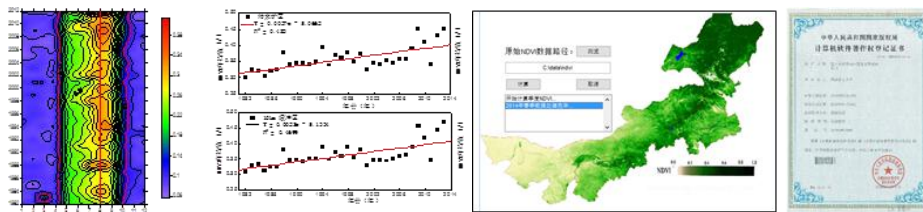


图7 矿区植被与生态损伤因子自动化提取

4.创新性提出长时序植被生态时空信息多维度挖掘方法，获得神东矿区31年植被生态时空变化特征（图8），获得煤

矿开采对植被生态的作用强度、空间范围和影响时间。

(1) 揭示矿区植被净初级生产力(NPP)的时空变化特征。基于神东矿区EOS/MODIS卫星遥感NPP数据集,分析了对比区、直接影响区、间接影响区的NPP时空变化特征及影响因素,NPP呈现先降后升趋势,与年降水量、生态修复呈正相关,与开采扰动呈负相关(相关系数为0.663)。

(2) 构建了矿区植被生态损伤多峰高斯函数甄别模型。首次将GIMMS NDVI3g引入矿区生态变化研究,融合神东矿区31年温度、降水、植被指数和开采强度等信息,构建了NDVI变化的多峰高斯函数甄别模型,植被生态中度以上损伤区域达11.4%、轻度30.2%、未损伤36.2%,变好22.2%,生态修复活动对矿区、10km缓冲区、20km缓冲区的贡献率分别为8.36%, 8.66%, 9.69%。

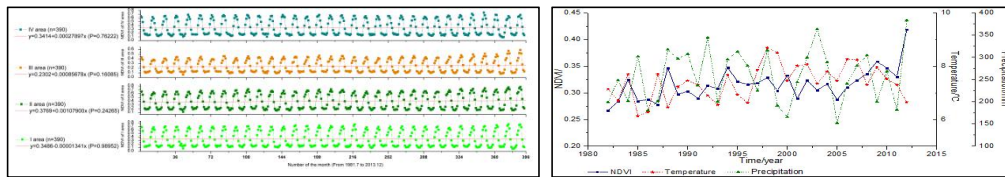


图8 神东矿区31年植被NDVI时序变化及与气温、降水相关曲线图

项目获授权发明专利10项、软件著作权12项;发表论文89篇,其中SCI/EI论文32篇,出版专著2部,培养博士后4人,研究生50人。

三、应用情况及效益

成果在河南、内蒙、山西、陕西等省份进行了规模化应用,完成了矿区3.5万km²的长时序、多尺度生态损伤精准监测与融合处理,为河南获批南太行山水林田湖草生态保护修复国家级试点、12个县市区的十三五土地整治规划编制、50多个煤矿生态修复方案设计、智慧城市试点、河南省国土空间基础信息平台试点等工作提供了技术和信息支持,直接经济效益3.42亿元,支撑了矿区山水林田湖草生命共同体构建,

综合效益显著。