

二、项目简介

项目简介（限1000字）

加快生态文明建设，实现绿水青山目标是国家重大战略。南太行资源枯竭型城市具有大起伏、非连续的地形特征，地表形变种类多、分布广、隐蔽性强。为此，本项目经过多年的科技攻关，突破了无人机变航高摄影测量、InSAR监测数据三维分解、机载LiDAR地表沉陷不确定性分析、地表形变评价体系构建、多源地表信息的无障碍传输及信息化管理等关键技术，实现了资源枯竭型城市地质灾害要素的精准提取和合理评价，为南太行山水林田湖草生态保护修复决策的顺利实施提供了技术保障。本项目主要创新如下：①建立了下垫面为连续曲面的新型航线规划方法，打破了传统航线设计中需根据高程划分航摄分区、将下垫面识为平面的技术滞枯。②创新性提出了适用于资源枯竭型城市的综合D InSAR与SBAS的地表形变监测方法，研制了InSAR监测数据三维分解处理系统，有效提高了InSAR监测资源枯竭型城市地表变形的精度。③构建误差表面相关模型，建立了基于贝叶斯估计的矿区地表形变信息提取方法，实现了基于机载LiDAR数据的建筑物三维模型快速重建，推动了机载LiDAR在中尺度上提取地表形变空间格局及评估技术的发展。④确立了南太行地表形变要素空间分布特征，划定了耕地损毁、建筑物破坏和边坡失稳等三大地表形变灾害类别，以裂缝、下沉量等为评价因子，引入临界扰动指数，建立了南太行地表形变综合评价方法体系。⑤研发了便携式地表形变野外采集系统，实现了复杂、隐蔽生态环境要素的快速定位、属性量化及可视化影像采集。研发了地表形变管理系统，通过有线、无线、4G网络实现了多模地表形变信息的无障碍传输及信息化管理，为地表形变的分析、评估、预警及5G时代更高效快速的地质灾害信息获取奠定了坚实基础。该成果首次解决了南太行资源枯竭城市地表形变快速、大范围、针对性监测和评估的技术难题，系统性构建了该类地区地表形变要素监测技术理论和方法体系，研究成果整体达到国际先进水平。项目研究成果已被河南省地矿局地矿二院等12个单位采纳，广泛应用于焦作、新乡等地表形变要素监测与治理中，监测与治理面积达1200平方公里，探明地表形变敏感区1760余处，实现直接经济效益1.9亿元，间接经济效益10.37亿元，成果的推广应用，加快了南太行地区绿水青山战略目标的实现进程，改善了生态环境，促进了旅游资源开发和低产农田向高产、稳产田的转变，增加了当地经济收入，社会效益显著。

三、科技创新

科技创新（限5000字）

立项背景

煤矿区矿产资源过度开发，对矿山地质环境有显著负面影响，导致矿区建筑物、土地、水源、铁路、公路等环境因子受破坏，造成人民财产损失，影响人民生活质量，成为社会不安定因素之一。随着国家、省、市各级政府日益重视煤矿区加速转型问题，矿山城市地表形变监测越来越受到关注。党的“十九大”亦提出加快生态文明体制改革，建设美丽中国。习近平总书记对生态文明建设做出重要指示，国务院、财政部办公厅、自然资源部办公厅、生态环境部办公厅等部门陆续印发《国务院关于促进资源型城市可持续发展的若干意见》、《关于推进山水林田湖生态保护修复工作的通知》、《关于组织申报第三批山水林田湖草生态保护修复工程试点的通知》等有关规定。河南省省委、省政府高度重视，组织启动了全国首个省级层面统筹推进山水林田湖草生态保护修复工作的专项规划《河南省山水林田湖草生态保护修复规划》，河南省财政厅、国土资源厅、环境保护厅组织编制了《河南省南太行地区山水林田湖草生态保护修复工程实施方案》，申请列入国家第三批山水林田湖草生态保护修复工程试点。本项目亦在此背景下，以煤矿区地表形变监测为主要任务，旨在为煤矿区环境保护及和谐发展提供理论依据和技术支撑。

科技含量

针对焦作等煤矿区地形复杂，起伏大非连续，灾害分布广、类型多等特点，综合利用GPS、水准测量、无人机高精度摄影测量、合成孔径雷达干涉测量、航空LiDAR等技术，建立地表形变要素多模监测体系，实现煤矿区的动态、大范围、高精度的地表形变监测，构建地表形变破坏等级评估模型，为煤矿区环境保护及和谐发展提供技术支撑。技术原理：利用低空无人机遥感数字化测图技术，实现煤矿区中地表形变点（煤矿塌陷区、采石场、排土场）大起伏、非连续等特殊地形条件下的地形特征点坐标和高程信息的快速提取；基于多期机载LiDAR点云数据和模糊推理方法，研究坡度、点云密度和地表粗糙度的误差相关表面，精确地获取煤矿区地表形变信息；基于采矿扰动区内各种地表形变的临界扰动指数，建立了煤矿区各类地表形变评估技术和判别模式。

一、针对煤矿区的地形特点，突破了无人机非量测相机变航高摄影测量的航线规划、变航高数据采集、高精度空中三角测量等关键技术，在满足地表形变要素测量精度的前提下，提高无人机航空摄影测量效率4倍，延长无人机使用寿命30%，创造性实现了煤矿区大起伏、非连续等特殊地形条件下的地表形变要素坐标、高程及属性信息的准确快速提取，为南太行煤矿区地表形变无缝监测与生态文明建设提供了坚实的技术支撑。利用煤矿区的DEM数据，采用柯里金插值及小面元整体拟合方法将大起伏、非连续地表拟合为连续的曲面函数模型，在此基础上，改进传统航线设计思路，建立了下垫面为连续曲面的新型航线规划方法，从而打破了传统航线设计中需根据高程划分航摄分区、将下垫面识为平面的技术滞枯，既保证了航线设计的整体性，也大大提高了航线设计效率。支撑材料：附件2、附件3。

二、突破了InSAR在大尺度上获取煤矿区大范围地表形变位置、分布特征及生态环境变化信息，创新性提出了适用于煤矿区的综合SBAS与D InSAR的地表形变监测方法，研制了InSAR监测数据三维分解处理系统，有效提高了InSAR监测煤矿区地表变形的精度。（1）提出综合SBAS与D InSAR的地表形变监测方法，建立了利用D InSAR提取地下矿业开采、扰动引起的地面塌陷的技术流程，以及基于SBAS技术获取区域性地面沉降形变场的算法模型，实现了南太行煤矿区地表形变信息的无缝高精度提取。（2）基于煤矿区地表移动过程中下沉与水平移动的函数关系和梯度算子理论，构建了InSAR监测沿LOS方向位移的三维矢量分解函数模型，研制了InSAR监测数据三维分解数据处理系统，实现了三维形变数据分解的自动化。实验结果显示三维分解与水准观测数据高度吻合。支撑材料：附件7、附件8、附件9、附件10。

三、针对LiDAR DEM中存在的 uncertainty 问题，构建误差表面相关模型，建立了基于贝叶斯估计的矿区地表形变信息提取方法；发展和实现了一种基于LiDAR点云数据法向量分析和曲率计算的建筑物顶面点云区域增长分割算法，设计了一套建筑物顶面轮廓线提取与规则化编辑的方法流程，实现了基于机载LiDAR数据的建筑物三维模型快速重建，推动了机载LiDAR在中尺度上提取地质环境空间格局及对地表突发灾害进行监测、灾情评估技术的发展，为煤矿区建筑物损毁评估提供了技术支撑。设计并实现了一种基于查询点与邻近点最大角度差阈值法检测建筑物边缘点算法，构建了一套轮廓线提取、分组拟合以及规则化编辑的方法，建立了基于LiDAR建筑物三维模型重建的技术流程，实现了复杂建筑物三维快速重建，为煤矿区建筑物损毁评估提供了技术支撑。支撑材料：附件6、附件7、附件8。

四、以InSAR、无人机、LiDAR等航空遥感监测数据为基础，确立了南太行地表形变空间分布特征，划定了耕地损毁、建筑物破坏和边坡失稳等三大地表形变类别，以裂缝、下沉量、倾斜、水平变形等为评价因子，引入临界扰动指数，构建了煤矿区各类地表形变评估技术和判别模式，利用模糊层次分析法，建立了南太行地表形变的综合评价方法体系，为南太行煤矿区的地表形变治理提供了有效的技术支撑。（1）引入扰动系数概念，结合当地地质环境的承载能力，确定各级损害的临界扰动系数，建立煤矿区的地表形变扰动评价模式。综合考虑地貌类型、地表形变空间分布及人类活动等评价因子，优化基于模糊层次分析法的评价指标体系，确定南太行地表形变发生的风险等级。（2）融合地表下沉量、水平变形量、建筑物结构等因素，建立了矿区建筑物损害的动态评价方法，制定了南太行矿区建筑物损害评价标准，实现了矿区建筑物损害的定量、科学判定，为南太行地区建筑物损害定级提供了技术依据。支撑材料：附件1、附件2、附件3、附件6、附件7。

五、针对煤矿区地表形变的复杂性和隐蔽性，基于移动平台研发了便携式地表形变野外采集系统，解决了地表形变监测体系的坐标基准问题，实现了复杂、隐蔽地表形变的快速定位、属性量化及可视化影像采集。利用数据库和互联网+技术，研发了地表形变管理系统，通过有线、无线、4G网络实现了多模地表形变信息的无障碍传输及信息化管理，为地表形变的分析、评估、预警及5G时代更高效快速的地表形变信息获取奠定了坚实基础。针对煤矿区地表形变特点，以SQL Server为平台，设计开发了地

表形变管理软件，实现了地表形变单记录与批量增加、删除、查询、分析、显示、打印输出等信息化管理功能，为地表形变评估、预警及治理提供了可靠依据，为煤矿区地表形变大数据建立奠定了技术基础。支撑材料：附件4、附件5、附件6、附件7、附件8、附件9、附件10、附件11、附件12。

该成果首次解决了南太行煤矿区地表形变快速、大范围、针对性监测和评估的技术难题，系统性构建了该类地区地表形变监测技术理论和方法体系，建立了各类地表形变评估技术和判别模式，研究成果整体达到国际先进水平。

项目研究成果已被河南省地矿局地矿二院、河南省航空物探遥感中心、河南省中纬测绘规划信息工程有限公司等12个单位采纳，广泛应用于焦作、新乡、鹤壁、济源、灵宝、邯郸等煤矿区的地表形变环境监测与治理中，监测与治理面积达1200平方公里，探明地表形变点1760余处，实现直接经济效益2.6亿元，间接经济效益10.37亿元，成果的推广应用，加快了南太行地区绿水青山战略目标的实现进程，改善了生态环境，促进了旅游资源开发和低产农田向高产、稳产田的转变，增加了当地经济收入，社会效益显著。

创新点

(1) 针对煤矿区的地形特点，突破了无人机非量测相机变航高摄影测量的航线规划、变航高数据采集、高精度空中三角测量等关键技术，在满足地表形变要素测量精度的前提下，提高无人机航空摄影测量效率4倍，延长无人机使用寿命30%，创造性实现了煤矿区大起伏、非连续等特殊地形条件下的地表形变要素坐标、高程及属性信息的准确快速提取，为南太行煤矿区地表形变无缝监测与生态文明建设提供了坚实的技术支撑。

(2) 突破了InSAR在大尺度上获取煤矿区大范围地表形变位置、分布特征及生态环境变化信息，创新性提出了适用于煤矿区的综合SBAS与D InSAR的地表形变监测方法，研制了InSAR监测数据三维分解处理系统，有效提高了InSAR监测煤矿区地表变形的精度。

(3) 针对LiDAR DEM中存在的 uncertainty 问题，构建误差表面相关模型，建立了基于贝叶斯估计的矿区地表形变信息提取方法；发展和实现了一种基于LiDAR点云数据法向量分析和曲率计算的建筑物顶面点云区域增长分割算法，设计了一套建筑物顶面轮廓线提取与规则化编辑的方法流程，实现了基于机载LiDAR数据的建筑物三维模型快速重建，推动了机载LiDAR在中尺度上提取地质环境空间格局及对地表突发灾害进行监测、灾情评估技术的发展，为煤矿区建筑物损毁评估提供了技术支撑。

(4) 以InSAR、无人机、LiDAR等航空遥感监测数据为基础，确立了南太行地表形变空间分布特征，划定了耕地损毁、建筑物破坏和边坡失稳等三大地表形变类别，以裂缝、下沉量、倾斜、水平变形等为评价因子，引入临界扰动指数，构建了煤矿区各类地表形变评估技术和判别模式，利用模糊层次分析法，建立了南太行地表形变的综合评价方法体系，为南太行煤矿区的地表形变治理提供了有效的技术支撑。

(5) 针对煤矿区地表形变的复杂性和隐蔽性，基于移动平台研发了便携式地表形变野外采集系统，解决了地表形变监测体系的坐标基准问题，实现了复杂、隐蔽地表

形变的快速定位、属性量化及可视化影像采集。利用数据库和互联网+技术，研发了地表形变管理系统，通过有线、无线、4G网络实现了多模地表形变信息的无障碍传输及信息化管理，为地表形变的分析、评估、预警及5G时代更高效快速的地表形变信息获取奠定了坚实基础。

本项目内容无保密技术内容。

国际比较

2008年冰雪灾害中，国家民政系统将无人机遥感资料应用于灾害调查。汶川地震中无人机更是发挥了重要的作用，及时快速的了解地震后灾区的房屋、道路等损毁程度与空间分布，为地震次生灾害防治和灾后重建工作等提供了第一手的信息和科学决策依据。InSAR技术则是利用了图像的相位信息，卫星两次不同时间过境获取两景SAR图像，通过两景SAR图像相位信息复数相干来提取相位形变信息，获取在卫星两次过境期间所发生的地表形变。InSAR技术主要用来测量地形和监测地表形变，应用领域较广，包括地面高程测量、地形测绘发展到城市沉降监测、同震形变研究、火山监测、冰川漂移和山体滑坡等。近年来，美国、欧洲和日本等国家，利用机载激光雷达扫描技术提取的精细地形地貌等数字信息进行灾害的调查以及灾害单体的识别等工作，取得了一定的进展。国内相关研究主要应用在基础测绘、国土调查、生态调查、城市数字化、文化遗产普查、林业调查、铁路规划、电力巡线、电力选线等方面。附件“项目213科技查新报告”显示，本项目中关键技术尚无相关报道。

存在问题与改进

南太行地区地质结构丰富，资源开采引起的地表形变诱因复杂，虽然项目在无人机、InSAR和LiDAR高精度、多尺度、高时效监测方面取得了良好的效果，对地表形变的精确判别与评估建立了科学的方法，但地表形变形成机理研究尚不够深入且研究开展较为困难，致使对南太行煤矿区地表形变的评价与预警研究尚有一定的局限性，需从地质条件和地表形变原因出发，对形变机理进行更深入地研究，进而完善南太行煤矿区地表形变评价体系与预警方法。

四、推广应用情况

1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

项目成果在焦作市城区北部山区矿山地质环境治理工程勘查项目、河南济源克井采煤沉陷区矿山地质环境治理项目、中站区武汉钢铁公司废弃粘土矿地质环境治理工程和南太行地区山水林田湖草生态保护修复工程等项目进行了推广应用，实现了资源枯竭型城市地质环境精确、快速勘查，优化了工程作业模式，取得了良好的经济效益和社会效益，为焦作市资源枯竭型城市乃至南太行地区矿山地质环境治理重点工程建设做出了突出贡献。

随着我国生态文明的建设，各级政府对生态环境十分重视，特别是河南省焦作、义马和灵宝三个资源枯竭型城市广泛存在废弃矿山地质环境问题，安阳、鹤壁、平顶山等地区部分矿井也到了生产设计的后期，今后也面临相似情况。项目研究成果与资源枯竭城市的具体特征紧密结合，能为矿区地质灾害多模、快速、精确监测提供理论支撑和技术保障，因此，推广应用前景十分广阔。本成果推广应用，必将会保障资源枯竭型城市的生态修复和治理工程的顺利进行，对全社会的生态文明建设有重要的理论技术意义。