

自然资源科学技术奖推荐书

(科技进步奖)

(2026 年)

一、成果基本情况

专业评审组		中国测绘学会		成果编号	
成果名称	名称	地震周期形变监测及强震危险性预测关键技术与应用			
	公布名	地震周期形变监测及强震危险性预测关键技术与应用			
主要完成人		单新建、甘卫军、屈春燕、王振杰、宋小刚、李彦川、张国宏、王腾、龚文瑜、刘云华、张迎峰、赵德政、梁诗明、聂志喜、李成龙			
主要完成单位		中国地震局地质研究所、中国石油大学（华东）			
院士（签字）		潘一山			
学科分类名称	1	1702025 地壳与地形变	代码	1702025	
	2	1703550 空间大地测量学	代码	1703550	
	3	1703530 物理大地测量学	代码	1703530	
所属国民经济行业		科学研究、技术服务和地质勘查业			
任 务 来 源		A1 国家科技支撑计划, D1 国家自然科学基金			
具体计划、基金名称、项目名称和编号： 1. 国家重点研发计划项目，基于地壳形变场、温度场、流体场耦合的地震监测技术研究，2019YFC1509200； 2. 国家自然科学基金重点项目，基于高频 GNSS 地震学的震源参数与破裂过程实时反演研究，41631073； 3. 国家重点研发计划课题，高光谱与激光探测遥感数据地震应用技术研究，2018YFC1503602； 4. 国家重点研发计划课题，基于 GPS 与地温测量的形变与地应力观测研究，2018YFC1503304； 5. 国家科技支撑计划课题，基于 InSAR 地震形变场动态监测技术研究，2008BAC35B04					
授权发明专利（项）		17		授权的其他知识产权（项）	20
项目起止时间		起始：2000 年 01 月 01 日		完成：2023 年 12 月 31 日	
推荐等级		特等奖或一等奖			

二、推荐意见

姓 名	潘一山	身份证号	210902196405110012
推荐资格	中国工程院院士		
工作单位	辽宁大学		
职 称	教授	学科专业	固体力学
邮政编码	110819	通讯地址	辽宁省沈阳市和平区文化路3号巷11号 东北大学综合楼1105室
联系电话	18342461555	电子邮箱	panyishan@lnu.edu.cn
推荐意见： 该项目面向国家防震减灾重大战略需求，系统解决了我国地震形变监测、强震危险性评估和地震预警领域的关键科学技术难题，取得多项重大创新成果。项目团队通过20余年持续攻关，率先建立了InSAR/GNSS地壳形变精细处理技术体系，突破了传统监测手段的时空局限，实现了我国西部强震区高分辨率、大范围、毫米级形变监测能力从无到有的跨越；发展了活动断裂全地震周期形变理论，为强震孕育机制研究提供了全新认识；创建了融合地震地质和大地测量的强震危险性评估方法及“形变-流体-温度”三场耦合的地震监测方法，显著提升了中长期地震预测的科学性；研发了基于北斗/GNSS强震预警技术，推动我国强震预警技术体系从“加速度+速度”到“加速度+速度+位移”的转变，为我国后续地震预警网的建设提供了重要的理论与技术支撑。该项目成果已成功应用于西藏重大水电工程、川藏铁路等国家重大工程抗震设防，产生了显著的社会经济效益。出版专著5部，起草国家标准1项、行业标准5项，发表Science、Geology、EPSL等220余篇SCI期刊论文，授权发明专利和软件著作权31项。项目团队在地震大地测量领域取得的一系列突破性成果，推动了学科发展，提升了我国防震减灾能力。鉴于该项目取得的重要成果，特推荐申报自然资源科学技术奖特等或一等奖。			
声明：本人遵守《自然资源科学技术奖章程（暂行）》规定，承诺遵守评审工作纪律，对申报材料的真实性和准确性负责，确认不存在任何违反国家保密法律法规或侵犯他人知识产权的情形，以及其他依规不得推荐的情况。如产生争议，将承担相应的调查核实责任，并积极配合处理。如有材料虚假或违纪行为，愿承担相应责任。 院士签名： 年 月 日			

三、成果简介

断裂活动是地震发生的根本原因，其周期性复发过程可划分为震间、同震和震后阶段。系统监测并研究整个地震周期的断层变形过程，是揭示强震孕育机制、评估地震危险性和开展地震预警的关键。然而，我国上世纪地震形变监测台网分布不均，尤其在西部强震区域站点稀疏、观测资料匮乏，构造形变监测仅在川滇等局部区域开展示范性工作。在本项目实施之前，地震构造形变研究主要依赖现场调查等传统手段，时空特征局限于千年尺度和百公里量级，缺乏对断层变形动态演化过程的长期、连续、精细观测，严重制约了对地震孕育及全过程机理的深入认识。

本项目面向国家防震减灾的重大需求，聚焦地震周期形变监测、强震中长期预测与地震预警中的关键技术难题，历经 20 余年、依托 40 余项国家级科研项目，在地壳形变观测技术、强震形变理论、地震危险性评估、地震预警等方面取得了重要突破，实现了活动断裂全地震周期形变监测与中长期预测能力的重大跨越，推动并引领了我国地震大地测量学的发展。主要创新如下：

（1）建立了InSAR/GNSS地壳形变精细处理技术体系。研发了误差校正关键技术，发展了多源大地测量数据融合算法，率先推进InSAR/GNSS技术在我国地震科学领域的系统研究与应用，保障了国家基础地球物理场的构建，填补了我国西部毫米级大面积连续构造变形监测能力的空白。

（2）率先发现震后形变可调节断层蠕滑过程，提出粘弹性应力驱动断层蠕滑的新观点，改变以往对强闭锁断层无法发生蠕滑的认知；构建了从高分辨率光学影像提取断层带弥散变形的技术体系，解决了强震弥散变形难以定量观测的技术难题，提出“成熟度控制—破裂过程调节—沉积盖层放大”的弥散变形耦合调节机制，拓展了活动断裂全地震周期变形理论，并为重大工程抗震设防从“集中位错避让”向“弥散变形带避让”转变提供科学依据。

（3）形成了多场协同的中长期强震危险性评估理论框架。提出了“形变-流体-温度”三场耦合的地震监测方法，创建了融合大地测量与地震地质的“破裂空段+闭锁段+应力应变积累”强震危险性评估方法，为中国大陆中长期地震危险区划分提供了重要的科学依据。

（4）构建了北斗/GNSS强震预警技术系统。研发了基于北斗特色服务的 GNSS同震形变实时解算、复杂发震断层破裂过程准实时反演等一系列技术，实现了监测预警体系由“加速度+速度”二网融合向“加速度+速度+位移”三网融合的跨越式提升，为我国下一代地震预警网建设提供了坚实的理论和技术支撑。

成果广泛应用于地震形变监测、预警和中长期危险性评估，在西藏重大水电工程、川藏铁路等重大工程的抗震设防中起到了支撑和保障作用，产生了显著的社会和经济效益。出版专著 5 部，起草国家标准 1 项、行业标准 5 项，授权发明专利和软件著作权 31 项，发表SCI论文 220 余篇，包括Science、Geology、EPSL等多篇国际顶级期刊论文。项目成果显著提升了我国地震大地测量领域的理论技术与应用水平，推动了地震监测预测预警的科技进步。

四、主要科技创新

我国强震频繁，地震灾害严重，加强地震监测、预测、预警，最大限度减轻人民生命财产损失，始终是防震减灾的核心任务和紧迫需求。然而，受限于地震频发区域现有地面监测台网覆盖不足，难以满足对分布广、强度大的破坏性地震事件的有效监测与预测。依托多源空间观测技术开展地震监测预测预警，势在必行。近三十年来，InSAR与GNSS等空间大地测量技术迅速发展，为地震周期形变监测和地震危险性评估提供了全新技术手段；高频GNSS的广泛应用促进了地震学与大地测量学融合，实现了地震动态位移的多维度记录；我国北斗卫星导航系统（BDS）的定位及短报文服务，亦为地震预警提供了关键技术支撑。然而，地震周期不同阶段的构造变形时空特征差异显著，毫米级形变的精确测量，尤其是震间和震后阶段，仍面临重大技术挑战。如何融合多源大地测量技术优势，突破时空分辨率与精度限制，实现断裂带地震周期形变的高精度、宽覆盖、动态监测，并据此精细刻画断层运动状态、精准判定潜在地震危险性，已成为亟待突破的理论与技术难题。本项目聚焦地震周期形变观测、地震危险性评估及地震预警全链条研究中的关键理论与技术难点，从空间对地观测技术方法与活动断层变形机理解译入手开展了一系列创新研究及应用，取得了4项代表性科技成果。

创新点一：建立了InSAR/GNSS地壳形变精细处理技术体系。率先推进InSAR/GNSS技术在我国地震科学领域中的系统研究与应用，实现了多尺度地壳构造运动的动态监测，保障了国家基础地球物理场的构建，填补了我国西部毫米级大面积连续构造变形监测能力的空白。学科分类：地壳与地形变、空间大地测量。证明材料：代表性论著1至3（附件4-1至4-3）；授权发明专利ZL202311540390.7等3项（附件7-1及附件7-4.1）；软件著作权2012SR032307等4项（附件7-4.2）；国家标准1项（附件7-4.3）。

地壳形变数据是研究大陆构造变形模式及其动力学机制的核心基础。InSAR与GNSS等空间大地测量技术为构造形变监测提供了前所未有的观测手段，但长期以来面临以下技术难题：1）GNSS观测网络分布稀疏，限制了对断层近场精细构造活动的解析能力；同时，GNSS在垂向形变精度不足，难以全面反映地壳三维变形状态，导致对大陆构造变形模式的约束存在关键信息缺失。2）我国西部地区地形起伏剧烈、植被覆盖度高，削弱了InSAR干涉图的相干性，而长波构造形变信号易与InSAR观测中的长波轨道误差和大气信号耦合，尤其在低相干区域难以有效分离，严重制约了大范围构造形变场的提取精度。3）现有多源异构的形变观测数据在获取方式、质量控制、观测维度和尺度以及误差分布规律上均存在差异，严重影响了高精度、高分辨率地壳三维运动速度场的统一构建与可靠解释。

项目提出了基于GNSS长时间序列分析的非构造误差剔除方法，利用GRACE、NCEP大气压等地表负荷变化信息，构建地球物理改正模型，对周期性非构造形变信号进行精确估算与校正，实现了GNSS垂向构造形变的高精度提取。在国际上首次给出了青藏高原区域高密度GNSS垂向运动速度场。

构建了完整的InSAR地壳形变高精度处理技术体系，提出并发展了多项InSAR误差信号改

正技术与时间序列分析方法，使大范围构造形变的InSAR监测精度达到 2 mm/yr。主要包括：研发了基于子带干涉的电离层延迟校正方法，提出了结合最优大气与轨道误差校正策略的InSAR构造形变提取技术，实现了长波构造信号与大气、轨道误差的有效分离；针对地形起伏显著的西部地区，构建了基于分层相位-地形拟合的大气改正方法，抑制了背景大气噪声，降幅超过 45%；改进了高相干点目标识别与相位估计算法，提出人工/自然永久散射体联合处理技术，实现了植被覆盖区震间微小形变的高精度获取，显著提升了InSAR在复杂地形和地表覆盖条件下的适用性。整体技术在同类研究中达到国际先进水平。

研发了基于球面坐标系下不规则格网的三维地壳形变场解算方法，兼顾了断层近场小尺度变形与块体大尺度构造变形特征，解决了多源异构空间大地测量数据的融合难题；联合InSAR与GNSS数据，获取了中国大陆多尺度现代构造运动图像，实现了我国西部地区毫米级大陆构造变形的可靠提取，为构建全国范围新一代高分辨率三维地壳运动速度场提供了关键技术支撑和方法基础。

创新点二：率先发现震后形变可调节断层蠕滑过程，提出粘弹性应力驱动断层蠕滑的新观点，改变以往对强闭锁断层无法发生蠕滑的认知；构建了从高分辨率光学影像提取断层带弥散变形的技术体系，解决了强震弥散变形难以定量观测的技术难题，提出“成熟度控制—破裂过程调节—沉积盖层放大”的弥散变形耦合调节机制，拓展了活动断裂全地震周期变形理论，并为重大工程抗震设防从“集中位错避让”向“弥散变形带避让”转变提供科学依据。学科分类：地壳与地形变、空间大地测量。证明材料：代表性论著 4 至 6（附件 4-4 至 4-6）；授权发明专利ZL202411248956.3 4 项（附件 7-2，7-4.1）；软件著作权 2021SR0203576 等 2 项（附件 7-4.2）。

活动断裂带是地震孕育、发生及震后调整恢复的重要载体，其在震间、同震和震后各阶段均表现出尺度不一、机制多样的地壳形变特征，各阶段形变之间存在显著的时空演化关联与动力学耦合关系。然而，现有研究在全地震周期的变形过程刻画方面仍存在明显不足。1）同震断层带破裂及强变形机制尚不清晰，尤其非弹性弥散变形因观测受限长期难以量化。强震弥散变形的幅度、带宽、控制因素及近地表效应尚待查明，其对跨断层重大线性工程的地震安全评价至关重要，亟需高分辨率观测与定量评估。2）震间-同震-震后形变的相互作用和驱动机制缺少研究。传统研究主要关注同震应力扰动引起的浅部余滑和深部粘弹性松弛过程，忽视了震后中下地壳松弛对浅部余滑的反驱动效应，以及粘弹性应力对邻近闭锁断层的加载作用，导致对断层震间蠕滑和震后余滑的运动学特征和动力学机制缺乏深入认知。

构建了从高分辨率光学、雷达影像量化断层带弥散变形的技术体系，将地震破裂带形变观测的空间分辨率从公里/百米量级提升至米级/亚米级。基于高分辨率光学和雷达影像，提出形变梯度自适应的断层复杂变形自动提取方法，实现了强震弥散变形模式与特征的定量刻画，解决了强震弥散变形难以定量观测的技术难题；利用全球典型震例数据，厘定了弥散变形特征参数，发现了完全弥散化地震破裂变形新模式，量化了断层成熟度、破裂速度及松散沉积物等对弥散变形占比的贡献，据此提出“断层成熟度控制-破裂过程调节-沉积盖层放大”

的弥散变形耦合调节机制。成果深化了对断层带破裂变形规律的认识，为跨断层线性工程防震抗断提供了科学支撑。

率先发现震后形变可调节断层蠕滑过程，提出粘弹性应力驱动断层蠕滑的新观点，改变以往对强闭锁断层无法发生蠕滑的认知。发展和完善了大范围、长时序、高分辨率、高精度震后InSAR观测技术，定量揭示了断层蠕滑和震后形变时空演化特征；首次发现了2001年昆仑山地震震后过程对邻近强闭锁西大滩断裂带瞬态蠕滑的应力调节作用，以及鲜水河断裂康定段“震后余滑”与“稳态蠕滑”共存的独特构造，并在多断层交叉几何复杂区域，识别出震前-同震-震后阶段粘滑与蠕滑的动态迁移关系，为断层震后愈合重闭锁的物理过程提供了直接观测依据；提出了震后过程对断层蠕滑的调节作用，揭示了震间-同震-震后形变的动力学关联，深化了对断层蠕滑动力学机制的理解。

创新点三：提出了“形变-流体-温度”三场耦合的地震监测方法，建立了以“破裂空段+闭锁段+应力应变积累”为核心的中长期强震危险性评估模型，揭示多物理场动态演化与地震孕育过程的关联规律，构建多物理场协同的监测技术框架，为中国大陆中长期地震危险区划分提供了重要的科学依据。学科分类：地壳与地形变、物理大地测量。证明材料：代表性论著7(附件4-7)；授权发明专利ZL202210179583.3等2项(附件7-4.1)；软件著作权2022SR1496872等6项(附件7-4.2)。

我国大陆强震频发、复发周期长、断层系统耦合强、构造背景复杂等特征，导致地震孕育过程极其复杂，现有方法难以全面刻画孕震过程中的多阶段物理机制。1)虽然空间对地观测提供了海量地球物理场数据，但星地联合多物理场协同的强震危险性监测方法和理论研究仍然薄弱。2)地表地球物理场与孕震区的时空演化规律不清，制约了地震孕震过程的深入探究，亟需构建多物理场协同的中长期强震危险性评估理论框架。3)断层震间应力-应变积累特征与历史破裂空段关联性不明，闭锁凹凸体识别精度不足，难以支撑中长期地震危险区精细划分。

构建了热-流-固耦合数值模型，系统解析形变-流体-温度场的关联机制。基于岩石力学实验与耦合数值模拟，建立地震孕育过程多物理场耦合的建模技术，涵盖地壳应力-应变演化、岩石变形、地下流体运移及热传导过程；通过对汶川、芦山等典型地震与海原断裂带的模拟，证实震前流体异常主要受控于断层应力集中与地形调控进而影响地表温度，明确震间非均匀闭锁与流体运移的空间耦合机制。

建立了多物理场协同的强震监测技术和应用框架。面向青藏高原东北缘和川滇示范区开展多物理场协同观测，提取热红外、流体及形变观测数据中异常变化特征，解析了物理场震前异常时空演化模式与地震孕育过程的响应关系，探索了多场耦合机制，建立了示范区多场协同强震监测技术体系。在示范区6级及以上强震的异常识别中开展应用，有力支撑了示范区监测预测和震情研判。

提出了基于“破裂空段+闭锁段+应力应变积累”的三维断层强震危险性评估新方法。在断层应力应变分析基础上，利用高精度形变观测结果，构建三维断裂运动学模型，引入断层长

期活动性和强震复发周期分析结果，提出三维断层强震危险性评估方法，精细反演块体运动参数与断层震间闭锁系数，量化闭锁凹凸体的应力加载强度，揭示孕震阶段状态。系统厘清了青藏高原大型活动断裂闭锁孕震凹凸体的分布位置、几何尺度和耦合强度，定量评估了断裂的强震潜能，显著提升了强震危险区划分的科学性。

创新点四：构建了北斗/GNSS强震预警技术系统。研发了北斗/GNSS同震形变实时解算、震级快速估计和破裂过程准实时反演等系列技术，实现了预警技术体系由“加速度+速度”向“加速度+速度+位移”的跨越，在川滇、甘肃开展示范应用，为我国未来地震预警网建设提供了重要的理论和技术支撑。学科分类：地壳与地形变、物理大地测量。证明材料：代表性论著 8（附件 4-8）；授权发明专利 ZL202310704490.2 等 8 项（附件 7-3，7-4.1）；软件著作权 2019SR0407430 等 2 项（附件 7-4.2）；

现有地震预警使用测震学数据，强震时易出现限幅、饱和与信号扭曲，而高频 GNSS 形变记录无限幅、饱和缺点，受地震波传播路径影响小，能有效弥补测震学手段局限，在强震预警中优势显著。然而，GNSS 强震预警面临多方面技术难题。1）传统 GNSS 定位技术难以实时获取同震形变。相对定位依赖不受地震影响的参考站，精密单点定位（PPP）收敛时间达 15-30 分钟，实时单站速度-位移解算存在位移漂移，时域点定位（TPP）需要事后精密星历。2）用于震级估算的 GNSS 数据信噪比低、采样率低，强震动数据采样率高，但速度和位移积分存在基线漂移，难以快速、稳定获取震级。3）破裂过程反演依赖完整的形变时间序列和断层先验模型，而时间序列获取具有滞后性、发震断层确定多需震后调查，难以满足预警时效需求。

突破了基于 IGS RTS 星历改正数和北斗短报文通讯的 GNSS 同震形变实时解算技术。设计了基于北斗短报文通讯的等效距离改正数计算及编码方案，克服了北斗短报文频率和带宽限制对 IGS RTS 有效传输的影响，攻克了网络中断后 IGS RTS 精密轨道及钟差改正数无法有效传输的难题。实现了高频 GNSS 同震形变实时高精度解算，实时位移精度优于 2cm、速度精度优于 2cm/s。

提出了基于速度域的高频 GNSS 与地震仪多尺度超分辨率融合方法及峰值速度震级快速估计算法。采用离散卡尔曼滤波，构建了 GNSS 历元间差分速度与地震波融合算法，解决了 GNSS 采样率低、短期精度差及地震仪积分基线漂移问题，实现了高精度、高采样率、宽频带位移和速度时间序列的获取；提出并构建了基于 GNSS/强震仪数据融合的峰值速度震级估计算法和模型，实现了强震震级的快速测定。

研发了基于指纹匹配的破裂过程准实时反演技术。建立了包含地震破裂分布、子断层起始破裂和持续时间以及地表 GNSS 时间序列的强震破裂指纹库，提出了实时形变数据向量矩阵与指纹向量矩阵匹配算法，将地震破裂过程由以往“事后反演”转为“地震与指纹事件的实时匹配”，实现了复杂断层破裂过程和震源参数的准实时获取，为高时效地震应急响应提供了关键支撑。

主要科技创新与国外同行的对比方面，总体情况如表 1 所示。与该领域处于国际前沿的美国、欧洲和日本等相比，上世纪我国在地壳形变观测、孕震理论、地震危险性评估及强震

预警等方面相对落后。经过多年努力，目前在这些方面处于国际先进水平，在同震-震后孕震机制等方面达到了国际领先水平。

表 1 主要科技创新先进性对比

科技创新	本项目成果	国外情况
InSAR/GNSS 地壳形变观测技术	ÿ 建立 InSAR/GNSS 地壳形变精细处理技术体系，构造形变监测精度达 1-2 mm/yr ÿ 提出 GNSS 非构造误差剔除方法，2013 年首次给出青藏高原区域 GNSS 垂向运动速度场，精度达 1.4 mm/yr	ÿ 得益于早期 SAR 系统和 GPS 数据优势，欧美 InSAR/GNSS 数据处理算法较为成熟，形变监测的精度为 1-2 mm/yr ÿ 美国西部地区 GNSS 垂向速度场于 2016 年构建（精度约 1 mm/yr），欧洲地中海地区 GNSS 垂向速度场于 2013 年构建（精度 3.4 mm/yr）
弥散变形与断层蠕滑检测技术与理论	ÿ 形成弥散变形监测技术体系，分辨率达米级/亚米级 ÿ 厘清了断层弥散变形的特征参数及致灾规律 ÿ 提出粘弹性应力驱动断层蠕滑的新观点	ÿ 弥散变形测量技术未形成系统性的误差校正方法，分辨率达米级/亚米级 ÿ 弥散变形分布规律及致灾机制研究不足 ÿ 地震周期形变相互作用和驱动机制缺少研究，忽略震后形变对浅层蠕滑的驱动作用，认为强闭锁断层段无法发生蠕滑
强震监测与中长期危险性评估方法	ÿ 建立多物理场协同的强震监测技术应用体系，系统解析形变-流体-温度场的关联机制 ÿ 提出融合地震地质和大地测量的三维断层强震危险性评估新方法	ÿ 强震监测依赖 GNSS/InSAR、地面定点形变网、地震台网等单物理场，未开展多场协同的监测 ÿ 地震危险性评估结合地震地质和大地测量，但未纳入非均匀的断层闭锁因素
强震预警技术	ÿ 构建基于北斗短报文通讯的 GNSS 同震形变实时解算技术，精度优于 2 cm ÿ 提出 GNSS/强震仪融合峰值速度的强震震级快速估计算法 ÿ 构建基于指纹匹配的破裂过程准实时反演技术	ÿ 美国 2014 年建立了加州大地测量学地震预警系统，但同震形变实时解算均采用 GPS 数据、形变精度 2 cm，在强震时可能面临通讯中断风险 ÿ 日本的紧急地震速报系统，震级估计依赖测震学数据，可能会对强震震级低估 ÿ 破裂过程采用回溯反演，未进行准实时反演

综上所述，本项目在地壳形变观测、强震孕震理论、地震危险性评估、地震监测预警等方面进行了系统的理论和技术创新。在我国地震形变监测台网稀疏、构造复杂、大陆型强震频发的背景下，建立了活动断裂全地震周期形变监测及强震危险性预测的理论和技術，引领了我国地震大地测量的发展。

五、客观评价

本项目成果得到中国测绘学会、中国地球物理学会、石耀林院士、张培震院士、陈晓非院士、Jeffrey Freymueller教授、深圳大学、中国地震局地震预测研究所等国内外同行专家、高校、科研院所、学术组织等的高度评价。

1、结题验收意见（国家重点研发计划项目）

(1) 2023年8月15日，对单新建负责的国家重点研发计划“基于地壳形变场、温度场、流体场耦合的地震监测技术研究”项目进行了验收。专家组一致认为：**构建了多源异构数据的区域形变场重建技术；研发了多物理场耦合的地震异常信息判识技术，并在川滇、海原地震危险区开展了示范应用。**（旁证材料：附件2-1）

(2) 2022年3月9日，对甘卫军负责的对国家重点研发计划项目课题“基于GPS与地温测量的形变与地应力观测研究”进行了验收。专家组一致认为：**高精度基岩温度观测和连续GPS观测对中国地震科学实验场的建设具有重要参考意义。**（旁证材料：附件2-2）

(3) 2022年3月12日，对屈春燕负责的国家重点研发计划项目课题“高光谱与激光探测遥感数据地震应用技术研究”进行了验收。以陈晓非院士为组长的专家组一致认为：**基于高光谱遥感的地震多参数异常提取方法均达到国内领先水平，在中长期地震危险性评估及日常地震异常跟踪监测研究等方面得到应用。**（旁证材料：附件2-3）

2、鉴定意见

(1) 中国测绘学会2019年组织的“基于空间对地观测的多尺度构造形变场演化特征获取技术及其应用”科技成果鉴定认为：**项目成果在地震趋势会商中发挥了重要作用……研究成果填补了我国西部地区地壳形变监测能力的不足，提升了对地震危险性评估的能力。项目成果整体达到国内领先水平、部分达到国际先进水平。**（旁证材料：附件2-4）

(2) 中国地球物理学会2023年组织的“活动断裂带形变全过程集成监测与震源参数反演关键技术及地震危险性判定”科技成果鉴定认为：**在中国地震局大形势年度会商及中国大陆地区中长期地震危险性预测中得到应用推广，社会效益显著……成果整体达到国际先进水平，其中在震后断层蠕滑机制方面达到国际领先水平。**（旁证材料：附件2-5）

3、查新报告结论

科学技术部西南信息中心查新中心于2026年9月4日出具的查新报告指出：本项目所述的地震周期形变监测及强震危险性预测关键技术与应用，内容包括：1）建立了InSAR/GNSS地壳形变精细处理技术体系....2）构建了从高分辨率光学、雷达影像量化断层带弥散变形的技术体系.....3）发现震后形变可调节断层蠕滑过程，提出粘弹性应力驱动断层蠕滑的观点.....4）提出了“形变-流体-温度”三场耦合的地震监测方法.....5）基于“破裂空段+闭锁段+应力应变积累”的三维断层强震危险性评估.....6）构建了北斗/GNSS强震预警技术系统.....；在所检文献以及时限范围内，国内外未见相同文献报道。本项目具有新颖性。（旁证材料：附件8-1）

4、代表性论文引文影响力分析

科学技术部西南信息中心查新中心于 2026 年 9 月 4 日出具的引文影响力分析报告指出：项目组 8 篇代表性论文全部被SCI收录，其中 6 篇位于JCR Q1 区，总被引 726 次（他引 668 次，他引率 92%），单篇最高被引 418 次，彰显了卓越的学术产出质量与高认可度。引文覆盖全球 60 个国家、550 余家机构，包括牛津、剑桥、斯坦福、MIT及加州大学等世界顶尖学府，以及中科院、清北等国内名校；引文作者逾 2600 名，多位中外院士对论文观点进行了正面引述。引文分布于 159 种期刊，并见于Nature子刊、Science及其子刊等高影响力刊物，最高影响因子达 74.1。研究主题涉及地球物理、遥感、地质学等多学科交叉，国际影响力广泛，在相关交叉领域具有显著的学术引领价值。（旁证材料：附件 5-9）

5、国内外同行学术评价

(1)项目组于 2002 年发表于中国科学上的关于InSAR地震学应用的文章，被欧洲空间局雷达遥感领域首席科学家Fabio Rocca教授作为InSAR地震科学研究的典例予以引述；此外，石耀霖院士评述该工作“雷达干涉技术获取形变数据精度的不断提高以及覆盖范围的不断扩大，使得利用这些数据解析地震断层细节信息成为可能”。（旁证材料：附件 9-1）

(2)项目关于地震危险性分析的工作，得到张培震院士、Jean-Paul Ampuero教授等国内外知名学者团队的高度认可和关注。青藏高原断层闭锁模型的文章，在WILEY出版社平台上为 2023 年“Top Viewed Article”。美国IUGG国家委员会主席Jeffrey Freymueller教授评述“首次给出青藏高原的三维GPS速度场，将被广泛引用”，在 2016 年被AGU评选为最高被引的 10 篇中国地学论文之一；项目组北斗GNSS地震预警的工作，被杨元喜院士、倪四道院士团队作为“地震源过程”的典例予以引证。（旁证材料：附件 9-2 至 9-4）

6、用户应用评价

深圳大学等高校、中国地震局地震预测研究所等行业研究所一致认为：项目研发的InSAR/GNSS地壳形变提取技术在观测密度、范围、重复观测次数方面都更有优势，取得了良好的效果，节省了大量的人力、物力及时间成本，为地震危险性评价、油气生产单位保障生产安全等方面提供了重要的判别依据。（旁证材料：附件 3-1 至 3-6、3-9 至 3-12）

7、示范应用评价

(1)甘肃省地震局：部署了基于地震孕育过程的地震异常信息监测软件平台，....，有效实现了对青藏高原东北缘地区的震情跟踪和监测，其中 2022 年门源 6.9 级地震和 2022 年德令哈 6.0 级地震前存在较为明显的地球物理场异常，取得了良好的示范应用效果。（旁证材料：附件 3-7）

(2)四川省地震局：部署了项目团队研发的基于地震孕育过程的地震异常信息监测软件平台，在川滇地区开展了应用，实现了对川滇地区震情跟踪和监测，其中对四川芦山 6.1 级地震、马尔康 6.0 级震群和泸定 6.8 级地震进行了较好的跟踪，取得了良好的示范应用效果。（旁证材料：附件 3-8）

六、应用情况、经济效益和社会效益

1. 应用情况

项目突破了InSAR/GNSS地壳形变监测、中长期强震危险性评估、北斗强震预警及全地震周期变形与孕震理论等多项关键技术难题，成功实现了中国西部活动构造的毫米级形变监测、百米级断层运动刻画和分钟级地震形变场响应。技术成果被行业单位、高等院校、公司等应用在地震异常监测和应急响应、地震危险性评估、地质灾害监测、重大工程建设及能源开采等方面，取得显著效果。

（1）强震InSAR/GNSS同震形变场的地震应急响应与应用

自2008年起，项目成果成为强震应急响应的重要组成部分。快速生成的InSAR/GNSS同震形变场为应急响应和灾害调查提供了高精度定量数据，在2008年汶川、2010年玉树、2017年九寨沟、2021年玛多、2024年乌什和2025年定日等二十余次地震中发挥了关键作用。InSAR同震形变场为乌什地震在观测仪器稀少和房屋稀疏情况下的烈度评判提供重要依据。相关数据已实现网络共享，仅玛多和漾濞地震的下载量近3000次。（旁证材料：附件3-13）

（2）中国西部大范围毫米级震间地壳形变场获取

项目发展的“基于最优误差校正的Stacking InSAR震间形变提取算法”及“联合InSAR与GPS构建三维地壳运动速度场”等技术，成功实现了青藏高原及周边地区广域毫米级震间地壳形变场的获取。成果已在多家高校和科研机构应用，并在页岩气诱发形变、滑坡监测等方面开展示范验证。相比传统方法，该技术在精度、密度、覆盖范围及重复观测频次方面均具优势，显著节省人力和成本，具有重要的工程与科研价值。（旁证材料：附件3-1至3-6、3-9至3-10）

（3）地震孕育异常信息监测技术的示范应用

项目研发了地震孕育阶段的异常信息监测技术及配套软件平台，并于2020年在四川省和甘肃省地震局部署，实现了川滇地区及青藏高原东北缘地震异常的日常监测与跟踪。省局利用该平台在2022年青海门源6.9级地震和德令哈6.0级地震前捕捉到较为明显的地球物理异常，展现了良好的应用前景和示范效应。（旁证材料：附件3-7、3-8）

（4）地震危险性判定新方法支撑危险区划定

项目构建了融合“破裂空段+闭锁段+应力应变积累”的断裂带强震危险性综合判定方法，系统评估了中国西部主要活动断裂的强震风险。成果已纳入中国地震局趋势会商、大形势年度会商及中长期地震危险性判别工作，为地震监测与预报提供了重要支撑。（旁证材料：附件3-11、3-12）

（5）服务地理国情监测与地震预警

项目研发的高精度GNSS三维形变解算技术，应用于2015和2016年国家地理国情监测，助力丝绸之路经济带重点区域的地理信息获取。在自然基金重点项目支持下，开发了“基于北斗GNSS的地震预警系统平台”，在四川布设了40套高频GNSS与强震仪并址台站，实现了“加速度+速度+位移”三类数据融合的预警示范应用。在中国第二代卫星导航系统重大专项支持

下，建立了“北斗地震速报预警分系统”，在甘肃布设了 25 套高频北斗地震速报终端，开展地震速报预警应用示范。项目构建的北斗特色强震预警技术系统，为我国下一代地震预警网建设提供了关键技术支撑。（旁证材料：附件 3-10、3-19）

表 2 主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	深圳大学	Stacking InSAR 震间形变提取算法	青藏高原南部形变速率场获取	2018 年-至今	汪驰升 13147065112
2	中国地震局地震预测研究所	联合 InSAR 与 GPS 建立三维地壳运动速度场方法	青藏高原中部地区形变观测	2018 年-至今	洪顺英 13699137783
3	中国地震局第一监测中心	Stacking InSAR 震间形变提取算法	川滇、西北地区的断层形变观测	2018 年-至今	王家庆 18526418851
4	青海省测绘院	物理-数据双驱动的时序 InSAR 监测技术	区域地壳形变监测、地质灾害隐患识别	2018 年-2021 年	赵利江 /18609788971
5	甘肃云空间科技有限公司	快速变形自动探测及 GNSS 位移预警技术	滑坡隐患识别和动态监测	2021 年-2023 年	董军霞 /18093953663
6	河南工业大学	Stacking InSAR 震间形变提取算法	四川地区滑坡监测	2018 年-至今	李卫东 13938577870
7	甘肃省地震局	基于地震孕育过程的地震异常信息监测技术	青藏高原东北缘地区震情跟踪和监测	2020 年-至今	钟美娇 13919978489
8	四川省地震局	基于地震孕育过程的地震异常信息监测技术	青藏高原东北缘和川滇地区的震情跟踪和监测	2020 年-至今	张铁宝 13981911170
9	国家能源页岩气研发中心	InSAR 微小形变监测技术	页岩气开发区地壳形变监测	2022 年-至今	刘德勋 15369625088
10	应急管理部国家自然灾害防治研究院	北斗地震速报预警分系统	地震速报预警应用示范	2023 年-至今	商号律 13810451008
11	中国地震台网中心	断层闭锁模型、InSAR 同震形变观测	2018 年全国地震会商报告中关于龙门山断裂及精河地震后续研判	2018 年	岳冲 15652385310
12	中国地震局地球物理研究所	GNSS 基础产品加工系统	中国地震实验场（川滇）GNSS 数据处理	2022 年-至今	简慧子 13051468088

2. 经济效益和社会效益

(1) 经济效益

本项目显著提升了我国InSAR/GNSS地壳形变监测技术水平，其应用范围延伸至重大工程抗震抗断设计、地质灾害调查、资源开采、交通、水电、水利、城市安全监测等多个领域。建立了基于InSAR/GNSS的广域覆盖、高时空分辨率形变监测体系，实现了无接触、大范围、连续观测、毫米级精度的地壳运动动态观测，改变了传统地壳形变监测的工作模式。该技术体系与地面观测技术结合，通过InSAR/GNSS广域普查锁定关键区域，再结合地面精密测量进行重点验证，大幅提升了复杂地形及地理环境条件下的形变监测效率。

这些技术的突破，在国家水电、水库大坝、川藏铁路、电力设施、能源开发等重大工程项目中展现出重要应用价值。在水电工程方面：应用于西藏重大水电工程抗震抗断设计；在水库大坝方面：应用于龙滩水库大坝安全监测；在铁路方面：应用于川藏铁路雅安-理塘段选线优化；在能源开发方面：为四川泸县页岩气开采区提供了地面变形监测；在基础设施建设方面，完成了阿坝-成都东特高压线路沿线地质灾害风险评估。这些国家重大工程项目建设利用了本成果为其提供设计、选址、建设、运行等过程中地壳形变连续监测及地震地质灾害风险评估。技术的应用大大节约了工程“选、建、运”过程所产生的人力、物力和时间成本，提升了工程建设和应用的整体效率，由此带来的间接经济效益难以估量。（旁证材料：附件 3-5、3-10、3-14 至 3-18）

(2) 社会效益

1) 发展了地震大地测量学，推动了多学科深度交叉融合

开源多项软件工具并被全球地震大地测量学、地球物理学等领域研究人员广泛认可与应用：三角元同震破裂模型反演软件[简称：TDEinv]V1.0、InSAR数据处理软件工具等等。应用结果表明，这些软件为活动断裂运动学研究提供了强有力的工具，显著推进了地震形变场计算、模拟及地震危险性评估等关键科学问题研究的深入发展。

依托中国地震学会和中国地球物理学会，成功主办了 30 余场大地测量学与地球物理学领域的学术会议。这些会议聚焦大地测量先进技术、地壳形变及地震动力学模拟等前沿研究方向，为相关领域学者搭建了高水平的学术交流平台，深化了大地测量技术与地震动力学理论的交叉融合发展。

与外交部亚洲司合作，举办多期面向亚洲地区的“地壳形变国际培训班”。系统讲授了InSAR/GNSS形变观测理论技术等，吸引了来自亚洲等 10 余个国家的科研人员参与。显著增强了我国在地震科技领域的国际影响力，搭建了高水平的国际合作平台，为“一带一路”防灾减灾合作提供重要的技术支撑。

2) 对国家防震减灾及强震应急服务成效显著

近十几年，我国破坏性中强地震频发，项目研发的InSAR微小地壳形变提取技术、震源参数反演技术在多个地震应急响应和灾害调查中发挥作用。相关数据已实现网络共享，仅玛多和漾濞地震的下载量超过 3000 次，广泛服务于应急救援与科学研究。InSAR同震形变场为 2024 年乌什地震在观测仪器稀少和房屋稀疏情况下的烈度评判提供重要依据。（旁证材料：

附件 3-13)

在中国第二代卫星导航系统重大专项和自然科学基金重点项目支持下，开发了“基于北斗GNSS的地震预警系统平台”，建立了“北斗地震速报预警分系统”，实现了“传输-解算-反演-预警”的一体化集成，并在川滇（架设 40 站）、甘肃地区（架设 25 站）开展示范应用。（旁证材料：附件 3-10、3-19）

围绕川滇、青藏高原东北缘等区域活动断层三维闭锁/蠕滑模型成果，在中国地震局地震危险性年度会商、中国大陆地区中长期地震危险性判别、国家重大科技基础设施项目“中国地震科学实验场”GNSS台站的布局选址中得到应用，为国家防震减灾及强震应急服务等提供技术支撑和科学数据。（旁证材料：附件 3-11、3-12）

3) 对重大工程防震抗断设计支撑成效显著

随着“一带一路”倡议推进，青藏高原内部川藏铁路、西气东输、西电东送、高速公路等重大生命线工程面临强震破坏的严峻风险。项目研发的形变观测技术、地温观测技术等成果直接服务于西藏重大水电、川藏铁路（雅安-理塘段）、三峡大坝、川南页岩气开采、阿坝-成都东特高压输电线路等重大工程论证、设计、实施中，为国家战略工程的地震安全性保驾护航（旁证材料：附件 3-14 至 3-18）。

4) 人才培养成效显著

通过科研和应用实践，形成了具有国内外学术影响力的InSAR/GNSS理论-观测-地震应用相结合的团队，培养了一批本领域近百名专业技术人才，分布在中国地震局系统、高校、中科院等单位，成为相关领域的骨干力量，大部分服务于防灾减灾科研及业务第一线。另外，依托学会专业委员会开展学术研讨会、科普宣传、研究生课程等，为相关领域青年学者搭建高水平的学术交流平台。

(3) 生态环境效益

本项目提出的InSAR/GNSS地壳形变监测技术体系在生态环境监测领域同样展现出广阔的应用前景。该技术体系能够高精度捕捉由湖泊水位变化、冰川流动、沙丘迁移、冻土冻融以及土壤湿度波动等环境过程引起的地表形变信号。这些形变现象本质上是人类活动、气候变化、水文过程与地质构造等多圈层耦合作用的综合体现。通过将形变数据与环境参数进行多源数据融合，我们能够定量解析环境变化的驱动机制，为更好地认识地球、利用地球资源、保护地球环境等生态保护工作提供科学依据。

七、代表性论文专著目录与被他人引用情况

1. 代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表时间 年 月 日	通讯作者/第一作者是否为本成果主要完成人	SCI 他引次数	他引总次数
1	利用星载 D-INSAR 技术获取的地表形变场提取玛尼地震震源断层参数 (Co-seismic ground deformation and source parameters of Mani M7.9 earthquake inferred from spaceborne D-InSAR observation data)	中国科学. D 辑, 地球科学 (SCIENCE IN CHINA SERIES D-EARTH SCIENCES)	单新建, 马瑾, 王长林, 柳稼航, 宋晓宇, 张桂芳	2002 年 32(10) 卷 837-844 页 (2004 年 47(6) 卷 481-488 页)	2002-10-01	是	18	208
2	Large-Scale Crustal Deformation, Slip-Rate Variation, and Strain Distribution Along the Kunlun Fault (Tibet) From Sentinel-1 InSAR Observations (2015-2020)	JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SOLID EARTH,	Zhao Dezheng, Qu Chunyan, Burmann Roland, Gong Wenyu, Shan Xinjian, Qiao Xin, Zhao Lei, Chen Han, Liu Lian	2022 年 127(1) 卷	2022-01-13	是	26	26
3	Three-dimensional velocity field of present-day crustal motion of the Tibetan Plateau derived from GPS	JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-SOLID EARTH	Liang Shiming, Gan Weijun, Shen Chuanzheng, Xiao Genru, Liu Jing, Chen	2013 年 118(11) 卷 5722-5732 页	2013-10-10	是	400	400

	measurements		Weitao, Ding Xiaoguang, Z hou Deming					
4	The rise, collapse, and compaction of Mt. Mantap from the 3 September 2017 North Korean nuclear test	SCIENCE	Wang Teng, Shi Qibin, Nikkh oo Mehdi, Wei Shengji, Bar bot Sylvain, Dre ger Douglas, Bur gmann Roland, Mota gh Mahdi, Chen Qi-F	2018 年 361 (6398) 卷 166-170 页	2018 -05 -10	是	83	83
5	Transient fault creep on the Xidatan (Tibet) fault driven by viscoelastic relaxation following the 2001 Kokoxili earthquake	GEOLOGY	Zhao Dezheng, Qu Chunyan, Sha n Xinjian, Bur gmann Roland, Chen Han, Materna Kathryn	2022 年 50 (11) 卷 1250-1255 页	2022 -08 -31	是	2	2
6	Strain Threshold for the Formation of Coseismic Surface Rupture	GEOPHYSICA L RESEARCH LETTERS	Li Chenglong, L i Tao, Holling sworth James, Zhang Yingfeng, Qi an Li, Shan Xinjian	2023 年 50 (16) 卷	2023 -08 -21	是	9	9
7	Interseismic Coupling, Asperity Distribution, and Earthquake Potential on Major Faults in Southeastern	GEOPHYSICA L RESEARCH LETTERS	Li Yanchuan, Sh an Xinjian, Gao Zhiyu, Huang Xing	2023 年 50 (8) 卷	2023 -04 -17	是	39	39

	Tibet							
8	Real-time precise point positioning with a low-cost dual-frequency GNSS device	GPS SOLUTIONS	Nie Zhixi, Liu Fei, Gao Yang	2020 年 24(1) 卷	2019 -11 -15	是	91	91

2. 被他人引用情况

序号	被引代表性论文 专著序号	引文名称/作者	引文刊名	引文发表时间（年 月 日）
1	1	Three Gorges Dam stability monitoring with time-series InSAR image analysis/Wang Teng, Perissin Daniele, Rocca Fabio, Liao Ming-Sheng	SCIENCE CHINA-EARTH SCIENCES	2011-10-18
2	2	Co-seismic rupture of the 2021, Mw7.4 Maduo earthquake (northern Tibet): Short-cutting of the Kunlun fault big bend/Pan Jiawei, Li Haibing, Chevalier Marie-Luce, Tapponnier Paul, Bai Mingkun, Li Chao, Liu Fucui, Liu Dongliang, Wu Kungang, Wang Ping, Li Chunrui, Lu Haijian, Chen Peng	EARTH AND PLANETARY SCIENCE LETTERS	2022-09-15
3	3	Extensive and drastically different alpine lake changes on Asia's high plateaus during the past four decades//Zhang Guoqing, Yao Tandong, Piao Shilong, Bolch Tobias, Xie Hongjie, Chen Deliang, Gao Yanhong, O'Reilly Catherine M., Shum C. K., Yang Kun, Yi Shuang, Lei Yanbin, Wang Weicai, He You, Shang Kun	GEOFYSICAL RESEARCH LETTERS	2016-12-29
4	4	Yield Estimates for the Six North Korean Nuclear Tests From Teleseismic P Wave Modeling and Intercorrelation of P and Pn Recording/Voytan Dimitri P., Lay Thorne, Chaves Esteban J., Ohman John T	JOURNAL OF GEOFYSICAL RESEARCH-SOLID EARTH	2019-04-25
5	5	Stress evolution on the Kunlun fault under the influence of the laterally heterogeneous lower crust/Pang Yajin, Wu Yanqiang, Chen Changyun	TECTONOPHYSICS	2025-01-16
6	6	Fault Orientation Trumps Fault Maturity in Controlling Coseismic Rupture Characteristics of the	AGU ADVANCES	2024-03-29

		2021 Maduo Earthquake/Liu-Zeng Jing, Liu Zhiyun, Liu Xiaoli, Milliner Chris, Rodriguez Padilla Alba M., Xu Shiqing, Avouac Jean-Philippe, Yao Wenqian, Klinger Yann, Han Longfei, Shao Yanxiu, Yan Xiaodong, Aati Saif		
7	7	Distribution of Interseismic Coupling Along the Maidan Fault in Tianshan Before the 2024 Mw 7.0 Wushi Earthquake/Wang Xiaohang, Xu Caijun, Wen Yangmao, Zhao Xiong, Wang Shuai, Xu Guangyu	GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS	2024-12-20
8	8	Performance evaluation of BDS-3 PPP-B2b precise point positioning service/Xu Yangyin, Yang Yuanxi, Li Jinlong	GPS SOLUTIONS	2021-10-01

八、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	大气校正方法、装置、电子设备及存储介质	中国	ZL202311540390.7	2024-06-18	第 7110280 号	中国地震局地质研究所	华俊、龚文瑜、单新建、屈春燕、张国宏、宋小刚、刘云华、李彦川	有效
发明专利	同震形变场的解算方法、装置、设备、介质及产品	中国	ZL202411248956.3	2025-04-25	第 7897947 号	中国地震局地质研究所	容伊霖、屈春燕、单新建、陈晗、王家庆	有效
发明专利	基于北斗 PPP-B2b 服务的实时同震位移速度解算方法及系统	中国	ZL202310699165.1	2026-07-14	第 9095048 号	中国石油大学（华东）	周庐艳、聂志喜、王振杰、张远帆、徐晓飞	有效
发明专利	多轨道 InSAR 震	中国	ZL202211025070.3	2023-07-04	第 6113347 号	中国地震局地	华俊、龚文瑜、单	有效

	间形变速率场拼接方法、装置、设备及介质					质研究所	新建	
发明专利	基于高频 GNSS 的地震预警方法、装置、电子设备及存储介质	中国	ZL202210413877.8	2023-01-06	第 5685274 号	中国地震局地质研究所	单新建、张迎峰、张国宏、李彦川	有效
发明专利	一种断层运动的监测方法、装置、设备及存储介质	中国	ZL202310341176.2	2023-11-10	第 6478636 号	中国地震局地质研究所	龚文瑜、张云生、单新建、屈春燕、焦中虎、华俊	有效
发明专利	一种利用北斗短报文实现同震位移提取的方法及系统	中国	ZL202310703563.6	2026-03-20	第 8793796 号	中国石油大学（华东）	曹译化、张远帆、聂志喜、王振杰、周庐艳	有效
计算机软件著作权	GNSS 形变监测与地震参数快速判定系统	中国	2019SR0407430	2019-04-28	软著登字第 3828187 号	中国地震局地质研究所	单新建, 刘云华, 郭皓明, 张迎峰, 李彦川	有效

	V1.0							
计算机 软件著作 权	基于地震 孕育过程 的地震异 常信息监 测软件系 统	中国	2022SR14 96872	2022-11-11	软著登字第 10451017 号	中国地 震局地 质研究 所	刘云华, 单新建, 焦中虎, 张国宏, 龚文瑜	有效
标准	地震灾害 遥感评估 地震地质 灾害	中国	DB/T 74-2018	2018-12-14	中国地震局	中国地 震局地 质研究 所	张桂芳、 单新建、 王晓青、 刘云华、 宋小刚、 龚文瑜	有效

九、成果获科技奖励情况

获奖成果名称	获奖时间	奖项名称	奖励等级	授奖单位
海洋地质勘探导航定位关键技术 与国产装备研发	2020-08-15	卫星导航定位科技进步奖	一等	中国卫星导航定位协会
基于空间对地观测技术的地震形变周期获取与模拟应用研究	2019-08-15	学术成果优秀奖	省部级	中国地震学会
潜在地震滑坡危险区域预测模型研究与系统研制	2015-08-15	中国地震局防震减灾科技成果奖	二等	中国地震局
强地震综合预测方法和预警技术研究	2015-08-15	中国地震局防震减灾科技成果奖	二等	中国地震局
基于卫星遥感信息的地震监测技术与应用	2012-09-09	地理信息科技进步奖	二等	国家测绘地理信息局，中国地理信息产业协会
赵德政	2022-07-31	中国地球物理学会优秀博士学位论文	省部级	中国地球物理学会
李彦川	2021-07-31	中国地球物理学会优秀博士学位论文	省部级	中国地球物理学会
张国宏	2017-06-15	第十一届李善邦青年优秀地震科技论文三等奖	省部级	中国地震学会
李彦川	2017-07-15	山东省优秀硕士论文	省部级	山东省教育厅
张迎峰	2017-08-16	中国地球科学联合会优秀学生论文	省部级	中国地球物理学会