
2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

基于空天地技术的滑坡识别与智能监测预警

二、提名者及提名意见

提名者：杨元喜，西安测绘研究所，教授，测绘科学与技术。

提名意见：

该项目基于空天地技术对滑坡灾害隐患识别理论、高精度监测技术与精准预警模型开展系统和应用研究，在多源遥感滑坡早期识别、低成本毫米级北斗监测技术、数据与机制协同预警模型等方面取得创新性成果。

主要包括：（1）突破了长时序、跨平台剧滑型滑坡三维时间序列监测和序贯动态监测等关键技术，研发了融合高分遥感、InSAR 和 LiDAR 数据的高山峡谷区广域滑坡动态早期识别数据处理系统，实现了滑坡自动/半自动识别、动态编目和准动态形变监测。（2）采用“云+传感器”设计理念，研制了低成本毫米级北斗监测终端，突破了复杂环境北斗监测干扰难题，建立了一套毫米级北斗实时滑坡监测理论技术体系。（3）提出了多源监测信息约束下滑坡稳定性分析模型和顾及地下水位与降雨不确定性的动态智能滑坡预警模型，改善了滑坡稳定性评价和实时预警的可靠性。

研究成果发表高水平论文多篇，在全国 23 个省市自然资源、应急管理、地矿勘察、交通运输、城市规划、市政建设等 20 余个领域示范应用，自研北斗新技术装备 3 次入选自然资源部普适型示范北斗监测设备，成功预警 8 起滑坡灾害。成果被央视、人民网、西班牙媒体等国内外百余家媒体报道。项目选题紧密结合国家需求，成果创新突出，为我国和我省滑坡灾害防控提供有力保障，研究成果具有广阔的应用前景和推广价值，特此提名该成果参选陕西省科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介

（1）立项背景

滑坡防控既是世界难题，更是国家需求。我国是滑坡灾害最严重的国家，易发区占国土面积三分之二，陕西省又是我国滑坡发育最严重的省份之一，隐患区占全省总面积一半以上，广泛分布于黄土高原和秦巴山山地等，2001-2017 年全省发生地质灾害 8345 起，滑坡灾害占 60%。传统人工/半人工的滑坡防控手段存在隐患找不到、设备装不起、灾害报不准等难题亟待克服。提高滑坡隐患早期识别与监测预警能力，提升滑坡灾害防控水平是党和国家各级政府的长期重大战略需求。

滑坡灾害特征谱宽泛，传统调查、监测与机理手段存在严重技术局限，不同尺度滑坡的空间分布、时序形变、诱发因素、动力机制等存在不确定性，致

使大量灾难性滑坡无法准确预警。以先进遥感、北斗导航为代表的空间卫星信息技术为滑坡科学防控提供了技术出路，但也面临突出技术瓶颈：（1）滑坡地形地貌环境下空天遥感技术存在观测点稀疏、监测精度低、只能一维监测等问题，难以识别有效隐患区域，错判漏判严重。（2）卫星导航实时监测技术自动化程度高，但存在设备昂贵、受环境干扰大、实时性差等问题，无法满足破碎滑坡群广泛布点的实际需求。（3）滑坡时空演化机理复杂，预警模型难融合多源监测数据和岩土体物理机制，预警成功率低。我国广袤的土地上有近 80% 的滑坡没有被识别发现，在已发生的滑坡中有近 80% 没有被监测预警，滑坡灾害频发对人民生命财产造成严重危害。

团队围绕空天地协同的滑坡识别与智能监测预警面临的技术瓶颈，历时 12 年，依托国家自然科学基金重点项目、面上项目等 7 项国家级课题和陕西省地质灾害监测预警类项目 20 余项课题，围绕“识别-监测-预警”3 项内容创新研究，刻苦攻关突破，提出并实现了基于“空天地”技术的滑坡动态识别与智能监测预警理论体系和技术装备，成果已在全国陕西在内的 23 个省份进行示范应用。

（2）主要技术内容

围绕滑坡灾害“隐患早期识别难、实时监测成本高、灾害预警不精准”三个关键问题，开展“综合遥感滑坡识别、北斗多源滑坡监测、数据机理滑坡预警”三项核心内容进行理论和技术攻关。本项目主要研究取得了以下三个方面的创新性成果：

创新点一：针对广域区域内隐蔽的“微小”滑坡隐患“找不到”“圈不准”的瓶颈问题，提出了遥感 InSAR 广域滑坡隐患早期识别新理论。提出了 InSAR 滑坡半自动/自动化滑坡早期识别方法，解决了高山区隐蔽条件下滑坡隐患“找不到”、错判漏判严重的难题；提出了蠕变型和剧滑型滑坡三维长时序形变监测方法，精细识别了滑坡隐患的边界，精确反演了滑坡的厚度，突破了传统遥感 InSAR 技术滑坡隐患“圈不准”、发育历史“弄不清”的瓶颈，实现了广域滑坡隐患动态识别更新与长时序三维形变监测。

创新点二：针对破碎滑坡群隐患区需要广泛布点，实时高精度三维监测设备“装不起”的瓶颈问题，研制了隐患滑坡体精细实时低成本毫米级监测新技术。首创并研制了“轻终端+行业云”普适型千元级北斗滑坡监测新装备，创建了 GNSS 滑坡监测环境建模和自适应补偿新理论，提出了环境感知、环境建模、虚拟观测、异步差分、自适应基准等新技术，将监测精度从厘米级提升至毫米级，监测更新率从半小时提升至实时秒级，有效克服了复杂环境下卫星导航“测不准”和“装不起”难题。

创新点三：针对滑坡机理复杂且差异巨大，滑坡灾害“不敢报”“报不准”等瓶颈问题，构建了滑坡灾害空天地协同的精准预警新模型。提出了大地测量与工程地质学科交叉型滑坡稳定性综合判识新方法，构建了多源监测数据与滑坡物理力学机制协同的智能预警新模型，研发了环境自适应的北斗多源实时毫米级在线监测云平台，有效解决了滑坡灾害“报不准”难题，成功预警国内外

8 起滑坡灾害。

(3) 应用推广及效益

项目建立了滑坡灾害空-天-地多尺度多维度监测预警新理论，开辟了滑坡灾害智能化监测预警研究的新思路。代表性应用成效包括：

国家需求方面：开展了包括陕西省在内 350 万 km² 广域滑坡早期识别与编目工作，编制了首张基于遥感 InSAR 的 20m 分辨率 350 万 km² 地表形变图，识别滑坡灾害 1.4 万余处，服务于川藏铁路、雅鲁藏布江下游水电资源开发和黄河上游水电工程防灾减灾等国家重大工程建设，为国务院、中国工程院、发改委等部门编写咨询报告 3 部，受到科技部、自然资源部相关领导的高度评价并在全中国范围内推广应用。

应用推广方面：实现了滑坡三维实时北斗监测精度优于 3mm，大幅降低北斗监测设备成本（从 1-3 万元降至 1000 元），直接推动自然资源部在全国 5.5 万处隐患点安装普适型（低成本）监测设备。自研设备 3 次入选自然资源部地质灾害 GNSS 普适型设备，在 23 省进行示范推广，应用于自然资源、交通运输、石油管道等 20 余个领域，获中卫协全国天璇星示范工程奖。同时成果为国际防灾减灾提供“中国方案”，服务巴基斯坦卡洛特水电站的安全监测。

社会效益方面：研究开发的滑坡预警模型与关键技术在国内实现 7 次滑坡精准预警，被人民日报等 100 余家媒体报道，微博热搜累计阅读超 9000 万，形成了较好较广泛的社会影响力。同时，研究团队与西班牙合作，采用早期识别-动态监测-圈定高风险区的技术方法，成功识别并预警了西班牙“阿勒考”市滑坡灾害，受到了市政府、市议会、西班牙权威媒体的广泛报道和高度评价。

项目主要依托的国家自然科学基金重点项目《基于空天地技术的滑坡识别与智能监测预警》结题被全票评为“优秀”。本项目科技成果评价委员会由我国著名地质灾害防治专家、中国工程院院士殷跃平研究员任主任委员，评价委员会一致认为本项目成果总体处于国际先进水平，在融合空天地技术进行滑坡识别与智能监测预警研究方面达到国际领先水平。

研究成果支撑主编学术专著 1 部、国家标准 1 部，参编国家、地方及行业标准规范 4 部，发表高水平论文 225 篇（SCI 131 篇）、授权专利 30 项（发明专利 21 项）、软著 11 项。培养国家级人才 3 人，省部级人才 12 人次，博士研究生 122 人。获陕西省优秀博士论文 6 人，获测绘科技进步奖一等奖、卫星导航定位科技进步奖一等奖等科研奖励和各类荣誉等 21 项。

四、客观评价

滑坡灾害的特征谱十分宽泛，加之受到传统滑坡调查、监测与机理研究数据的不确定性和研究技术的限制，致使不同尺度的滑坡空间分布、时间形变特点、诱发因素、动力机制，尤其是预警与评估等各个环节仍存在诸多未解之难题。开展“滑坡识别、监测、评估和预警”关键理论方法研究，攻克“空天地”观测

技术用于滑坡监测预警中存在的“滑坡隐患找不到、实时监测成本高、动态预警不精准”三大技术瓶颈是研究滑坡灾害机理和防灾减灾的必经之路。

该项目依托的国家自然科学基金重点项目《基于空天地技术的滑坡识别与智能监测预警》被全票评为结题“优秀”。2024 年, 3 月 19 日, 陕西省测绘地理信息学会组织殷跃平院士等 8 位专家对项目成果进行了评价, 认为本项目成果总体处于国际先进水平, 在融合空天地技术进行滑坡识别与智能监测预警研究方面达到国际领先水平。

1. 隐患早期识别与监测

建立了融合地表形变信息与形态特征的多类型滑坡广域半自动化/自动化早期识别方法, 实现了从蠕滑至剧滑多形变梯度、多类型地质灾害的广域自动化识别。

(1) 系统性提出了西北小尺度黄土滑坡早期识别、二维长时间序列形变监测方法, 研究成果入选中国精品科技期刊顶尖学术论文(F5000)、高被引论文、高下载论文及高 PCSI 论文。

(2) 系统性提出了西部高山峡谷区隐蔽性地质灾害广域高精度半自动化早期识别方法, 研究成果入选 ESI 1%高被引成果。

(3) 创新性提出跨平台雷达遥感地质灾害二维、三维长时序形变监测方法, 有效解决了国际上雷达遥感长时序(>10 年) 地质灾害形变监测的空白。

隐患早期识别与监测成果获得国内外学者高度评价, 代表性同行评价如下:

① 意大利国家研究委员会、国际知名遥感滑坡专家 Guzzetti 在其《Earth-Science Reviews》(2021) 滑坡识别研究综述论文中引用本研究成果为典型案例。

【引用论文: Mondini A C, Guzzetti F, Chang K T, et al. Landslide failures detection and mapping using Synthetic Aperture Radar: Past, present and future[J]. Earth-Science Reviews, 2021, 216: 103574.】

② 清华大学等国内外知名高校的学者对本团队跨平台雷达遥感地质灾害多维长时序形变监测研究成果进行了整段引用, 并被周福霖等 25 位院士负责的中国工程院重大咨询项目采纳。【引用论文: Xu W J, Xu Q, Liu G Y, et al. A novel parameter inversion method for an improved DEM simulation of a river damming process by a large-scale landslide[J]. Engineering Geology, 2021, 293: 106282.】

③ 我国著名山地灾害专家崔鹏院士在其川藏铁路地质灾害综述性论文中认为本团队西部高山峡谷区隐蔽性地质灾害早期识别研究成果为识别威胁川藏铁路的滑坡提供了可靠依据。【引用论文: Cui P, Ge Y, Li S, et al. Scientific challenges in disaster risk reduction for the Sichuan-Tibet Railway[J]. Engineering Geology, 2022, 309: 106837.】

2. 高精度北斗/GNSS 滑坡监测技术

研发了小型化低成本高精度滑坡一体化北斗/GNSS 监测传感器设备, 解决了监测设备成本高的瓶颈; 研制出北斗/多源传感器多尺度全天候融合处理云平

台，实现了复杂遮挡环境下滑坡全方位实时高连续、高精度监测。

(1) 首创并研制了基于“轻终端+行业云”设计理念的低成本毫米级北斗/GNSS 变形监测接收机，实现对滑坡等地质灾害地表变形的高精度实时监测，研究成果入选中国精品科技期刊顶尖学术论文 (F5000)。

(2) 提出了利用导航卫星观测信息建立基于空间地形特征的自适应截止高度角 ADEM 环境模型，自适应感知复杂地形空间环境，有效提升遮挡环境下的卫星导航系统定位的可靠性，研究成果入选 ESI 1% 高被引成果。

(3) 提出了轻量化北斗智能监测装备滑坡应急监测预警方案，在部署环境件复杂，部分区域人工布设设备风险极高区域，填补了无人化远程快速安全布设方案，成果获 COSPAR 2025 全球最佳论文奖。

北斗/GNSS 监测成果获得国内外学者的高度评价，代表性同行评价如下：

① 研发北斗监测接收机入选自然资源部普适型示范监测设备 3 次、获中国管道集团北斗准入证、获 2019 年天璇星示范工程奖，获陕西测绘仪器计量监督检查中心指标认定满足行业规程要求。相关成果为中国工程院提供了《自然灾害防控的空天地技术应用与产业发展战略研究报告》，还被北斗副总设计师、中科院院士杨元喜教授选作北斗代表性应用在中科院报告中介绍。

② Jacek Paziewski is an Associate Professor at the University of Warmia and Mazury (UWM) in Olsztyn, 在国际期刊 (中科院 1 区 Top) 《GPS Solutions》“We also acknowledge the contributions of Zhang et al. (2015) and Du et al. (2019), who modified RTK models to handle asynchronous GNSS observations being an effect of outages at reference stations.” 高度肯定了成果对 GNSS RTK 连续性的贡献。

【引用论文：Paziewski, J. et al. Dynamic displacement monitoring by integrating high-rate GNSS and accelerometer: on the possibility of downsampling GNSS data at reference stations. GPS Solut 27, 157 (2023).】

3. 智能精准预警模型

(1) 构建了北斗滑坡实时监测预警平台，在全国 23 个省份开展滑坡监测工作，成功预警国内 8 起滑坡灾害，受到了《人民日报》等百余家官媒报道，相关新闻累计播放上亿次，同时国际滑坡专家、谢菲尔联大学副校长 Dave 教授撰文高度评价预警成果。

(2) 建立了雷达遥感地质灾害监测预警体系，通过早期识别-动态监测-圈定高风险区-成功预警了西班牙“阿勒考”市滑坡灾害，受到了市政府、市议会等部门的高度评价，并被西班牙《INFORMACION》、《中国日报》、《中国教育在线》、《科学网》等多家国内外主流媒体的广泛报道。

五、应用情况

1. 应用情况

本项目从滑坡隐患识别、实时监测、智能预警三方面开展基础理论和工程应用研究，建立了滑坡灾害“空-天-地”多尺度多维度监测预警理论，开辟了滑坡灾害智能化监测预警研究的新思路。项目研究成果在陕西省自然资源系统各

单位、中国地质环境监测院、自然资源部地质灾害技术指导中心、中国电建集团西北勘测研究院有限公司、机械工业勘察设计研究院有限公司、陕西省地震局、中国地震局第二监测中心、西安市勘察测绘院、长庆工程设计有限公司、甘肃省地质环境监测院、重庆市地质环境监测总站、贵州省自然资源技术信息中心、贵州省基础地理信息中心、上海华测导航技术股份有限公司、山西迪奥普科技有限公司、甘肃省永靖县盐锅峡镇人民政府等多个单位的科研和生产项目中得到应用，应用领域包括防灾减灾、地质调查、水利水电工程、交通工程、地震地质灾害调查与监测、城市建设、管线工程、GNSS 装备制造等，在陕西省地质灾害监测预警、黄土地区重大工程建设、西北地区水电工程建设、防灾减灾、城市建设和地学科技人才培养中发挥了重要作用，识别滑坡等各类地质灾害隐患点 1.4 万余处，大幅降低了北斗监测设备成本(从数万元降至 1000 元)，直接推动自然资源部全国 28 万隐患点上安装 5.5 万处普适型(低成本)滑坡监测设备，项目参与单位上海华测导航技术股份有限公司已在全国范围内累计承建滑坡及地质灾害监测项目逾 5000 个，项目累计金额超过 15 亿元，服务范围遍及山地丘陵、公路铁路沿线、水库库岸、矿山尾矿等多类高风险场景，在 GNSS 滑坡监测细分领域市场占有率超过 70%，是国内地质灾害自动化监测领域规模最大、项目案例最为丰富的技术服务企业。产生了显著的社会和经济效益。

(1)项目研发的地质灾害实时监测和智能预警模型与关键技术方法在防灾减灾领域得到推广应用，在国内外成功实现 8 次滑坡灾害精准预警。其中项目组曾 4 次成功预警甘肃省永靖县盐锅峡镇黑方台滑坡灾害，被人民日报等 100 余家新闻媒体刊登，网络累计播放量超 2000 万，微博累计阅读超 9000 万，形成了良好的社会影响力。同时，本项目研究团队采用西班牙 PAZ SAR 卫星遥感数据，通过“早期识别-动态监测-精准预警”的方法成功预警了西班牙阿勒考市(Alcoy)滑坡灾害，受到了阿勒考市市政府、市议会等部门的高度评价。

(2)项目研发的半自动(精度高)/自动化(效率高)滑坡早期识别方法及多维度长时序滑坡监测技术在我国西部大范围滑坡等地质灾害隐患动态编目与精细监测中得到广泛应用。项目组开展了我国西部地区 350 万 km²的广域滑坡早期识别与编目研究，编制了遥感 InSAR 首张 20m 分辨率 350 万 km²地表形变图，识别滑坡灾害 1.4 万余处，服务于川藏铁路、黄河上游水电工程库区边坡大范围识别与形变动态监测、金沙江和雅鲁藏布江下游水电资源开发，受到科技部、自然资源部相关部门的高度评价并在全中国推广应用。

(3)项目研发了小型化低成本高精度北斗/GNSS 监测接收机研制技术、北斗实时监测智能预警云平台系统，实现了滑坡三维变形毫米级自动化实时获取并开展了地质灾害高精度监测示范应用，实现监测终端成本从数万元降至 1000 元，实时精度优于 3mm。自研的北斗普适型监测装备三次入选自然资源部地质灾害监测预警普适型仪器设备，在多处指定示范区进行应用，并获得中卫协全国天璇星示范工程奖。北斗监测技术成果在 23 个省份进行推广应用，主要合作单位超过 20 家，涉及自然资源、交通运输、石油管道等多个领域。

(4) 项目成果通过编制国家标准、出版学术专著、发表学术论文、申报专利和软件著作权等形式，为相关教学、科研与技术人员提供理论指导与技术支持，也为相关单位在地质灾害早期识别、监测预警、设备研发和防灾减灾工作提供了重要资料和工作思路。

表 6-1 部分应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象	应用起止时间	联系人/电话
1	西安市勘察测绘院	融合高分遥感、InSAR 和 LiDAR 等多源遥感技术的西安地区地面沉降、地裂缝调查与监测	西安实景三维试点项目，城乡规划基础测绘，建筑物变形监测，地铁变形监测等	2015-2024	吴创奇， 13891815036
2	中国地质环境监测院	融合高分遥感、InSAR 和 LiDAR 数据的滑坡动态早期识别数据处理系统，低成本毫米级北斗/GNSS 变形监测技术装备	云南、四川、西藏等地区滑坡等地质灾害隐患识别（识别滑坡等地质灾害隐患点上千处）和普适型仪器设备试用	2019-2024	魏云杰， 13051013393
3	永靖县盐锅峡镇人民政府	低成本高精度滑坡监测 GNSS 接收机、北斗/GNSS 实时监测智能预警云平台系统	盐锅峡镇黑方台滑坡群监测预警	2018-2024	孔军芬/0930-8867069
4	中国电建集团西北勘测研究院有限公司	融合高分遥感、INSAR 和 LiDAR 等多源遥感技术的地质灾害早期识别理论方法	黄河上游水电工程库区边坡大范围识别与形变动态监测	2018-2024	李祖锋 18066968372
5	长庆工程设计有限公司	InSAR 高精度形变监测关键技术，融合 InSAR 形变图、DEM 坡度坡向图和多时相光学影像，采用机器学习和深度学习算法实现滑坡等地质灾害的自动识别	陕北、宁夏等地输油管线地质灾害识别与风险评估（识别各类地质灾害隐患点 5000 余处），储油站址优化选址、石油管线最优选线等	2018-2023	何军， 13630289855

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	论文	“轻终端+行业云”的实时北斗滑坡监测技术（F5000 高被引）	中国	10.11947/j.AGCS.2019.20190167.	2019 年 05 月 05 日	测绘学报	长安大学	白正伟;张勤; 黄观文; 景策; 王家兴
2	论文	Integration of Sentinel-1 and ALOS/PALSAR-2 SAR datasets for mapping active landslides along the Jinsha River corridor, China (Top1%高被引中科院 1 区 Top)	中国	10.1016/j.enggeo.2021.106033	2021 年 04 月 29 日	Engineering Geology	长安大学	Xiaojie Liu; Chao Ying Zhao; Qin Zhang; Zhong Lu; Zhenhong Li; Chengsheng Yang; Wu Zhu; Jing Liu Zeng; Liquan Chen; Chuanjin Liu

3	论文	Deformation of the Baige Landslide, Tibet, China, Revealed Through the Integration of Cross-Platform ALOS/PALSAR-1 and ALOS/PALSAR-2 SAR Observations (中科院 1 区 Top)	中国	10.1029/2019GL086142	2020 年 01 月 21 日	Geophysical Research Letter	长安大学	Xiaojie Liu; Chaoying Zhao; Qin Zhang; Zhong Lu; Zhenhong Li
4	论文	多源遥感地质灾害早期识别技术进步与发展趋势 (F5000 高被引)	中国	10.11947/j. AGCS. 2022. 20220132	2022 年 02 月 25 日	测绘学报	长安大学	张勤; 赵超英; 陈雪蓉
5	论文	Three dimensional and long-term landslide displacement estimation by	中国	10.1016/j. rse. 2021. 112745	2021 年 10 月 21 日	Remote Sensing of Environment	长安大学	Xiaojie Liu; Chaoying Zhao; Qin Zhang; Yueping

		fusing C- and L-band SAR observations: A case study in Gongtiue County, Tibet, China. (中科院 1 区 Top)						Yin; Zhong Lu; Sergey Samsonov; Chengsheng Yang; Meng Wang; Roberto Tomás
6	发明专利	一种远程部署的地质灾害监测装置及其监测方法	中国	ZL202011192252.0	2021 年 12 月 07 日	4832709	长安大学	张勤; 白正伟; 黄观文; 景策; 王铎
7	发明专利	一种灾害监测型 GNSS 接收机及其监测方法	中国	ZL202011474102.9	2021 年 11 月 16 日	4792573	长安大学	黄观文; 白正伟; 张勤; 杜源; 王铎; 景策; 陈孜
8	发明专利	一种融合 DEM、光学遥感和形变信息的潜在滑坡识别方法	中国	ZL201910237520.7	2022 年 09 月 16 日	5454296	长安大学	赵超英; 荀张媛; 刘晓杰
9	标准	全球连续监测评估系统 (iGMAS) 质量要求 第 2 部分: 产品	中国	GB/T39396.2-2020	2020 年 11 月 09 日	国家标准化管理委员会	长安大学; 中国卫星导航工程中心; 西安测绘研究所; 中国航天	黄观文; 焦文海; 王乐; 刘莹; 张勤; 贾小林; 孙汉荣; 王利;

							标准化研究所	苏牡丹;王维嘉;宋淑丽;李建文;王凯;李孟园
10	其他	非线性最小二乘理论及其在 GPS 定位中应用研究	中国	ISBN: 9787503041938	2019 年 11 月 01 日	测绘出版社	长安大学	张勤, 黄观文

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
黄观文	1	处长	教授	长安大学	长安大学	项目主要贡献人，创新点二、三的主要贡献人，采用“云+传感器”的设计理念，研制了小型化千元级北斗变形监测装备，研发了实时毫米级监测技术和智能监测预警云平台，研究开发的滑坡预警模型与关键技术方法成功实现多次滑坡灾害精准预警。
赵超英	2	无	教授	长安大学	长安大学	项目骨干成员，创新点一的主要贡献人，提出半自动化/自动化滑坡早期识别方法及多维度、长时序监测技术体系，解决了强隐蔽型滑坡错判漏判的难题。
张勤	3	无	教授	长安大学	长安大学	项目主要贡献人，基于空天地观测技术，提出了数据处理新理论，构建了多源遥感滑坡早期识别体系、研制了低成本毫米级北斗监测装备、提出了数据与机制协同的滑坡预警模型，构建了多源监测数据与滑坡物理学机制协同的预警模型与综合信息系统，先后多次成功预警滑坡灾害，为我国地质灾害防灾减灾提供了有力技术支撑。

王利	4	所长	教授	长安大学	长安大学	项目骨干成员，创新点二的主要贡献人。主持相关科研项目以及成果的推广应用，协助项目负责人实现“云+端”的北斗滑坡监测云平台的搭建以及示范应用。
杜源	5	无	高级工程师	长安大学	长安大学	项目骨干成员，对创新成果二和成果三做出了贡献，研发了高连续性的北斗滑坡监测算法，提升了监测算法的连续性，参与研发的北斗装备三次入选地质灾害监测预警普适型仪器设备。
杨成生	6	无	教授	长安大学	长安大学	项目骨干成员，创新点一的主要贡献人，提出了 InSAR 时序分析高相干点优化选取方法，构建了多轨多平台地表三维形变联合解算模型，解决了滑坡不同形变量级的多维度形变监测难题，协助项目负责人将成果应用于陕西省重大工程中。
瞿伟	7	无	教授	长安大学	长安大学	项目骨干成员，创新点 3 的主要贡献人。提出了一种融合地下水、工程地质资料与斗/GNSS 监测形变的滑坡稳定性评价新方法，实现了滑坡稳定性精细建模与合理评价，协助项目负责人将成果应用于典型黄土滑坡灾害稳定性评价与预警研究应用中。
耿永超	8	中国电科集团首席专家	研究员级高工	中电科西北集团有限公司	中电科西北集团有限公司	项目骨干成员，创新点三的贡献人之一。主持科研成果的推广应用，协助研制北斗短报文传输机制，并开展其在地质灾害监测预警领域的应用，提升了数据传输可靠性，支撑了北斗监测技术在防灾减灾领域的应用。
刘晓杰	9	无	副教授	兰州理工大学	长安大学	项目骨干成员，创新点一、三的主要贡献人，编制了首张 20m 分辨率 350 万平方公里地

						表形变图，服务于川藏铁路和金沙江、雅鲁藏布江下游水电资源开发，受到科技部、自然资源部相关领导的高度评价并在全国内推广应用。
韩军强	10	无	副研究员	中国科学院国家授时中心	长安大学	主要完成人，提出了 GNSS 滑坡监测环境自适应模型，极大的提高了复杂环境下的滑坡监测精度，开发了北斗滑坡监测云平台，有力保障了 GNSS 技术在复杂遮挡环境下的应用性能。
白林	11	无	副教授	长安大学	长安大学	主要完成人，协助负责人完成了多地的示范应用建设，极大的推广了滑坡识别、监测以及预警技术的落地应用。
涂锐	12	院长	教授	山东科技大学	长安大学	项目骨干成员，创新点二的主要贡献人，支持了实时毫米级监测技术和智能监测预警云平台的研发。
景策	13	无	助理研究员	长安大学	长安大学	项目骨干成员，创新点二的主要贡献人，支持了实时毫米级监测技术和智能监测预警云平台的研发。
王乐	14	无	高级工程师	长安大学	长安大学	主要完成人，针对北斗卫星技术特点，开展北斗卫星精密数据处理研究方法研究，支撑北斗导航系统高精度服务与监测评估。
孙翡翠	15	副经理	工程师	上海华测导航技术股份有限公司	上海华测导航技术股份有限公司	主要完成人，协助负责人完成了多地的示范应用建设，极大的推广了滑坡识别、监测以及预警技术的落地应用。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献 (限 600 字)
长安大学	1	全面负责项目组织和总体实施，对创新点 1、2、3、做出了创新性贡献，主要贡献如下： 1、针对广域区域内隐蔽的“微小”滑坡隐患“找不到”“圈不准”的瓶颈问题，提出了遥感 InSAR 广域滑坡隐患早期识别新理论。 2、针对破碎滑坡群隐患区需要广泛布点，实时高精度三维监测设备“装不起”的瓶颈问题，研制了隐患滑坡体精细实时低成本毫米级监测新技术。 3、针对滑坡机理复杂且差异巨大，滑坡灾害“不敢报”“报不准”等瓶颈问题，构建了滑坡灾害空天地协同的精准预警新模型。 相关成果在国内外成功实现 8 次滑坡灾害精准预警，4 次成功预警了我国典型黑方台滑坡灾害，被人民日报等 100 余家新闻媒体刊登。
中电科西北集团有限公司	2	项目参与单位。协助长安大学提供滑坡监测场地，并通过工程实践项目使成果在滑坡灾害区域的重大工程建设和地质灾害防治中发挥了重要作用。
上海华测导航技术股份有限公司	3	完成了多地的示范应用建设，极大的推广了滑坡识别、监测以及预警技术的落地应用。

九、完成人合作关系说明

第一完成人黄观文教授依托国家自然科学基金重点基金等研究课题，围绕滑坡灾害“识别-监测-预警”3项内容开展系列原创性研究，形成了“空天地”滑坡动态识别与智能监测预警研发团队。

赵超英，张勤，王利，杜源，杨成生，瞿伟，耿永超，刘晓杰，韩军强，白林，涂锐，景策，王乐，孙翡翠等同志为该团队的重要成员，共同参与了项目立项、方案研讨、关键技术研究、软件算法开发、成果应用、野外调查验证和综合研究，形成了实质性合作关系，合作起始时间、方式和成果等详细信息，见“完成人合作关系情况汇总表”。

本项目研究成果排名主要参考项目实施过程中的实际创造性贡献的大小进行排序，所有成员对此排名无异议。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	论文	张勤/3 黄观文/1 景策/13	2017	2020	“轻终端+行业云”的实时北斗滑坡监测技术	附件 1-1
2	论文	刘晓杰/9 赵超英/2 张勤/3 杨成生/6	2019	2022	Integration of Sentinel-1 and ALOS/PALSAR-2 SAR datasets for mapping active landslides along the Jinsha River corridor, China	附件 1-2
3	论文	刘晓杰/9 赵超英/2 张勤/3	2018	2021	Deformation of the Baige Landslide, Tibet, China, Revealed Through the Integration of Cross-Platform	附件 1-3

					ALOS/PALSAR-1 and ALOS/PALSAR-2 SAR Observations	
4	论文	刘晓杰/9 赵超英/2 张勤/3	2018	2022	Three-dimensional and long-term landslide displacement estimation by fusing C- and L- band SAR observations: A case study in Gongjie County, Tibet, China.	附件 3-1
5	论文	张勤/3 赵超英/2	2018	2023	多源遥感地质灾 害早期识别技术 进展与发展趋势	附件 3-2
6	共同 知识 产权	张勤/3 黄观文/1 景策/13	2019	2021	一种远程部署的 地质灾害监测装 置及其监测方法	附件 3-3
7	共同 知识 产权	黄观文/1 张勤/3 杜源/5 景策/13	2018	2022	一种灾害监测型 GNSS 接收机及其 监测方法	附件 3-4
8	共同 知识 产权	赵超英/2 刘晓杰/9	2020	2023	一种融合 DEM、 光学遥感和形变 信息的潜在滑坡 识别方法	附件 3-5
9	合著	黄观文/1 王乐/14 张勤/3 王利/4	2017	2021	全球连续监测评 估系统 (iGMAS) 质量要求 第2部 分: 产品	附件 3-6

10	合著	黄观文/1 张勤/3	2015	2021	非线性最小二乘理论及其在 GPS 定位中应用研究	附件 3-7
11	共同完成科研项目	张勤/3 赵超英/2 杨成生/6 黄观文/1 瞿伟/7 王利/4 杜源/5 刘晓杰/9 王乐/14	2017	2023	基于空天地技术的滑坡识别与智能监测预警 (41731066)	附件 3-8
12	共同完成科研项目	王利/4 杜源/5 韩军强/10	2019	2022	基于云平台的低成本高精度 GNSS 滑坡变形动态监测软硬件技术研究 (41877289)	附件 3-9
13	共同完成科研项目	杜源/5 耿永超/9 黄观文/1 王乐/14	2021	2023	GNSS 长基线解算功能模组项目	附件 3-12
14	共同获奖	黄观文/1 涂锐/12 韩军强/10 杜源/5	2016	2017	第三届“建行杯”中国“互联网+”大学生创新创业大赛陕西赛区省级复赛中荣获银奖	附件 3-14
15	共同完成科研项目	杨成生/6 白林/11	2020	2022	青海省三江源冰川监测与保护方案咨询报告	附件 3-13
16	共同完成科研项目	黄观文/1 孙翡翠/15	2020	2021	一种顾及对流层延迟影响的超高层建筑形变监测方法	附件 3-15