

# 2022 年度甘肃省科技进步奖材料

## 一、项目基本情况

项目名称：滑坡智能监测预警关键技术研究及应用

申报奖种：省科技进步奖

推荐单位：甘肃省交通运输厅

## 二、项目简介

### （一）主要技术内容

本项目滑坡智能监测预警关键技术研究及应用属于测绘、地质、计算机等多学科交叉领域。近年来，国内外学者们虽然对滑坡预警预报进行了卓有成效的研究，但是滑坡受地域地形地貌、气候环境、岩性构造、人为活动等诸多因素影响，滑坡的智能识别、动态监测等仍然在理论和技术等方面还存在一些不足。针对上述问题，项目完成以下主要研究内容和成果：

（1）多源多模态滑坡遥感自动提取技术：提出了基于多因子同向集成浅层滑坡信息自动提取、基于面向对象多尺度分割的滑坡信息自动提取和基于深度学习方法的滑坡自动提取等算法，有效提高了不同影像不同场景下滑坡信息提取精度和效率，为滑坡的易发性评价和预警预报提供了技术支持。

（2）滑坡易发性预测技术：基于深度学习 GRU 网络和 MSCNN 网络构建了滑坡易发性预测模型，降低了滑坡高危区域判断的难度，提高了滑坡发生确切位置的精度，为滑坡预警预报提供了技术支持。

（3）滑坡灾害空间预测技术：基于谷歌地球引擎平台（GEE）的动态多源遥感数据，结合支持向量机（SVM）、随机森林（RF）分类算法以及主成分分析（PCA）数据降维算法、特征递归消除（RFE）数据筛选算法等提出了一种动态多源遥感数据驱动模式下的滑坡预测模型，提高了滑坡灾害发生空间范围预警的精度，为滑坡的监测及预警提供了技术支持。

（4）降雨诱发滑坡预警预报技术：充分顾及黄土降雨入渗特性，首次引入不透水面和公路等参量基于逻辑回归模型构建了降雨型滑坡预测模型，提高了降雨诱发型滑坡预警预报的精度和精细化程度，满足多层次滑坡预警的需求。

（5）GNSS 滑坡实时智能监测预警技术：引入衰减型指数因子，运用方差补偿自适应 Kalman 滤波函数，提出了改进方差补偿自适应 Kalman 滤波预测技术，提高了已知滑坡监测的精度、效率和稳定性。

（6）滑坡预警监测平台/系统：基于项目研发的关键技术，研发了兰州市降雨诱发滑坡

预警系统和 GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台，实现了滑坡灾害的大众和专业化监测。

### **三、主要科技创新**

**(1) 提出了多特征集成、面向对象多尺度分割、深度学习等多种滑坡自动识别方法，解决了滑坡信息的智能化、自动化提取方法的难题。**

系统研究了光学、SAR、LiDAR 等异构多源遥感数据滑坡自动化、智能化提取特征的算法原理和关键技术，提出了多特征集成、面向对象、深度学习滑坡自动提取模型，实现了复杂场景下滑坡信息的高精度自动和智能提取。

**(2) 提出了地形约束的滑坡孕灾环境地理节点构建方法，基于滑坡因子和滑坡编目数据构建了深度学习 MSCNN 和 GRU 滑坡易发性评价模型，提高了滑坡易发性预测的精度和可靠性。**

系统研究了滑坡节点“连续—离散”特征提取方法，构建了地理环境一致性约束的节点特征有向加权图，实现滑坡与孕灾环境关联；提出了一种融合门控循环单元（GRU）网络的像素序列特征和多尺度卷积神经网络（MSCNN）的像素邻域特征提取算法，提高了滑坡易发性预测网络模型的泛化能力以及在复杂场景下的滑坡易发性预测精度。

**(3) 构建了顾及降雨入渗和不透水面等多要素的临界预警模型，提高了降雨诱发型滑坡预警的精准度。**

系统研究了滑坡的机理、岩性降雨入渗特性及成因等，为滑坡的信息提取和高精度预警预报提供了理论基础。研究了长时序降雨诱发型滑坡的特征，提出了适合兰州地区的渗水能力的模型，充分考虑了降雨时间、降雨强度及、漫润深度、不透水面等之间的关系，具有地区普适性和精准性。

**(4) 提出了一套高山峡谷区复杂环境 GNSS 变形监测的基准优化设计方法，显著提高了 GNSS 滑坡变形监测的精度及效率。**

研究了高山峡谷区基于可见卫星的 GNSS 监测优化设计方法，建立了适用、可靠的精度估算模型。提出了系统的高山峡谷区 GNSS 外部变形监测误差抑制技术及一套基于监测基准的监测成果维持方法，优化了高山峡谷区监测 GNSS 大高差精度控制技术，提升了峡谷区 GNSS 实时监测精度，有效提升了高山峡谷区基于 GNSS 滑坡变形监测的精度。

**(5) 研发了多款滑坡实时监测预警系统，解决了各种滑坡预警预报的难题。**

基于北斗导航定位技术，研发了 GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台，形成了完整的监测体系，实现了 24 小时可变频率连续监测，解决人工监测时间不稳定，观测易受天气、

设备影响等的难题。基于降雨滑坡预警模型，研发了降雨滑坡预警预报桌面系统和手机 APP，实现了降雨型滑坡的精细化预警预报。

#### 四、经济效益、社会效益及推广应用

##### (1) 经济效益

该项目研发的桌面端、手机 APP 降雨诱发滑坡预警系统、GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台等已在多家灾害监测部门使用，部分成果已成为政府滑坡监测示范项目，创造了较好的经济效益。据不完全统计，新增利润超过 359 万元。此外，降雨诱发滑坡预警系统能够大范围长时序动态监测，能够被大众开源免费使用，经济效益难以估算。

##### (2) 社会效益

《国家“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要》明确指出“优化国家应急管理能力体系建设，提高防灾减灾抗灾救灾能力。”目前，我国已建成较为完善的灾害应急体系，但是，现有的灾害应急监测及预警预报技术还存在普适性、精度和时间响应滞后等一系列问题。本项目研究成果有助于提高滑坡灾害应急监测的精度和效率，有助于提升滑坡预警预报的质量，为国家、地方防灾减灾平台、体系的建设提供技术支持，推动滑坡灾害的防治，保障社会经济的发展。

##### (3) 推广应用

项目研发的降雨诱发滑坡预警系统、GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台及遥感滑坡自动识别软件等已经过多家滑坡监测单位的测试和应用，切实提高了降雨诱发滑坡预警的精细度和效率，提升了已知滑坡 GNSS 动态监测的精度。

应用和测试单位对系列滑坡监测系统/软件给予了肯定，对试用中存在的问题，课题组及时跟进、完善，目前系统均在正常运行。

序号	测试系统/软件/平台	应用/测试单位	应用/测试时间	备注
1	GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台	兰州市伏龙坪街道	2019.10-2020.7	长期监测，系统目前仍在正常运行
2	滑坡遥感自动提取软件	中铁第四勘察设计院集团有限公司	2016.9-2018.6	应用测试
3	降雨诱发滑坡预警系统	甘肃省水土保持科学研究所	2018.4-2020.6	应用测试
4	GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台	兰州交通大学工程检测有限公司	2017.10-2020.7	长期监测，系统目前仍在正常运行
5	降雨诱发滑坡预警系统	甘肃省地质矿产勘查开发局勘查测绘院	2018.4-2020.6	长期监测，系统目前仍在正常运行

6	降雨诱发滑坡预警系统	甘肃省恒石公路检测科技有限公司	2018.1-2020.7	长期监测，系统目前仍在正常运行
---	------------	-----------------	---------------	-----------------

## 五、主要完成单位及完成人

### （一）主要完成单位

#### （1）兰州交通大学

利用多源遥感影像系统研究了多种类型滑坡的自动提取方法，提出了地形约束的滑坡孕灾环境地理节点构建方法，构建了顾及降雨入渗和不透水面等多要素的临界预警模型，与甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘查院、甘肃省地质环境监测院及中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司联合研发、测试完善了降雨诱发滑坡预警系统、GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台，并将这些软件系统成功应用于不同类型的滑坡监测与预警应用中，产生了显著的社会效益和经济效益。此外，项目成果适合市民自我进行防灾减灾，有助于提高市民的防灾意识和安全意识，有助于促进城市的管理，具有巨大的推广应用价值和经济前景。

项目材料完善，研究成果显著，相关内容真实有效。因此，我单位优先推荐该项目申报甘肃省科技进步奖一等奖。

#### （2）中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

利用 GNSS 的采样频率高、定位精度高和无需人值守测量等优点，提出了高危复杂环境应急变形监测技术，提高了基于 GNSS 滑坡监测的精度和效率；对于滑坡多发的高山峡谷地区影响 GNSS 定位精度问题，提出了高山峡谷复杂环境 GNSS 监测精度控制技术；此外，将上述技术应用于复杂环境的滑坡监测，验证了 GNSS 精度控制技术的可靠性。

#### （3）甘肃省地矿局测绘勘查院

在多项滑坡遥感监测项目中进行了大量的外业调绘工作，研究了滑坡的发生机理；长时间测试、应用了项目研发的降雨诱发滑坡预警系统和 GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台，辅助完成系统功能的改进；研发了一种内业全数字摄影测量设备，设计开发了人机航空摄影测量管理系统等，为滑坡监测提供了理论支持和软硬件支撑，具有较大的应用价值。

#### （4）甘肃省地质环境监测院

针对兰州及其周边地区，研究了间歇性黄泥土泥岩的滑坡形成机制；在滑坡等地质灾害监测实施管理方面，提出了地质灾害特征与风险管理对策，研发了地质灾害群测群防信息管理系统；为本项目的研究提供了大量的基础数据资料，测试、应用并协助指导降雨诱发滑坡预警系统不断完善，有效提升了滑坡监测系统应用的精度和效率。

### （二）主要完成人（姓名、排序、工作单位、主要贡献）

排名	姓名	技术职称	工作单位	对本项目技术创造性贡献
1	杨树文	教授	兰州交通大学	<p>(1) 项目负责，滑坡理论研究、技术研发指导；</p> <p>(2) 提出了多特征集成和面向对象多尺度分割等的多种滑坡自动识别方法；</p> <p>(3) 构建了顾及降雨入渗和不透水面等多要素的临界预警模型；</p> <p>(4) 主持研发了降雨诱发滑坡实时监测预警系统；</p> <p>(5) 对该项目技术创新的贡献率为 70%。</p>
2	张志华	教授	兰州交通大学	<p>(1) 提出了动态多源数据驱动模式下的滑坡灾害空间预测算法，有效提高了滑坡预测精度；</p> <p>(2) 负责降雨诱发滑坡预警系统研发；</p> <p>(3) 参与 GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台研发；</p> <p>(4) 对该项目技术创新的贡献率为 60%。</p>
3	杨国林	副教授	兰州交通大学	<p>(1) 主持研发了 GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台；</p> <p>(2) 负责 GNSS 滑坡实时智能监测预警云平台的外业建设、运行维护和推广；</p> <p>(3) 对该项目技术创新的贡献率为 50%。</p>
4	何毅	副教授	兰州交通大学	<p>(1) 基于 InSAR 技术分析了兰州市地表形变特征，研究了地质断层与 InSAR 地表形变的关系及其对滑坡发育的影响；</p> <p>(2) 提出了联合升降轨 Sentinel-1A 的地表形变监测技术，应用于兰州市及其周边滑坡的动态监测；</p> <p>(3) 提出了地形约束的滑坡孕灾环境地理节点构建方法，基于滑坡因子和滑坡编目数据构建了 MSCNN 和 GRU 深度学习滑坡易发性评价模型；</p> <p>(4) 对该项目技术创新的贡献率为 50%。</p>
5	李祖锋	教授 高级 工程师	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	<p>(1) 提出了高山峡谷复杂环境 GNSS 监测精度控制技术；</p> <p>(2) 提出了高危环境应急变形监测技术，提高了基于 GNSS 滑坡监测的精度和效率；</p> <p>(3) 对该项目技术创新的贡献率为 50%。</p>
6	种绍龙	教授 高级 工程师	甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘查院	<p>(1) 研发了无人机航空摄影测量管理系统，用于滑坡外业监测和调绘；</p> <p>(2) 滑坡外业调绘和滑坡机理研究；</p> <p>(3) 在滑坡灾害监测项目中试用了降雨诱发滑坡实时监测预警系统，协助指导完善预警系统；</p> <p>(4) 对该项目技术创新的贡献率为 40%。</p>
7	闫浩文	教授	兰州交通大学	<p>(1) 项目理论、技术研究指导；</p> <p>(2) 提出了基于 Voronoi 图的空间方向关系描述模型，用于降雨诱发滑坡研究中降雨、滑坡时空分布</p>

				特征研究； (3) 对该项目技术创新的贡献率为 50%。
8	田婉婷	工程师	甘肃省地质环境监测院	(1) 参与了地质灾害预警信息系统的研发； (2) 研发了地质灾害群测群防信息管理系统； (3) 对该项目技术创新的贡献率为 40%。
9	郭富赞	教授级高级工程师	甘肃省地质环境监测院	(1) 提出了地质灾害特征与风险管理对策； (2) 研究了间歇性黄泥土泥岩的滑坡形成机制； (3) 对该项目技术创新的贡献率为 40%。
10	赵波	工程师	甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘察院	(1) 研发了一种内业全数字摄影测量设备，为滑坡监测提供了硬件支撑； (2) 研发了生态环境保护管理平台和国土规划管理平台； (3) 对该项目技术创新的贡献率为 30%。

## 六、知识产权

项目授权国家发明专利 3 项，软件著作权 9 项，发表高水平学术论文 56 篇，出版专著 3 部，成果登记 2 项。

### (1) 主要知识产权证明目录：

知识产权类别	知识产权名称	授权或申请号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
发明专利	一种 GNSS 测量控制网精度估计方法	CN106959456	2019.4.26	3349742	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	李祖锋；万宗礼；薛绍军；吕宝雄
发明专利	一种内业全数字摄影测量设备	CN211178437U	2020-08-04	11138816	赵波	赵波
发明专利	一种新型的航空遥感摄影测量装置	CN211167457U	2020-08-04	11161814	赵波	赵波
计算机软件著作权	降雨诱发黄土滑坡预警系统 V1.0	2019SR0810165	2019-08-05	4230922	兰州交通大学	杨树文；张志华；何毅；杨国林；闫浩文
计算机软件著作权	天水市地质灾害预警信息系统 V1.0	2019SR0482700	2019-05-20	3903457	武汉地大信息工程股份有限公司；甘肃省地质环境监测院；天水市地质灾害应急中心	郭富赞；田婉婷
计算机软件著作权	高分辨率遥感	2019SR0023	2019-01-08	3444239	兰州交通大学	杨树文；张志华；何

作权	影像阴影自动检测系统	482				毅; 杨国林; 闫浩文
计算机软件著作权	高分辨率卫星影像与无人机航片融合处理软件 V1.0	2019SR0810114	2019-08-05	4230871	兰州交通大学	杨树文; 张志华; 何毅; 杨国林; 闫浩文
计算机软件著作权	甘肃省县(市、区)地质灾害群测群防信息管理系统 V1.0	2019SR0753298	2019-07-19	4174056	甘肃省地质环境监测院	郭富赞; 田婉婷
计算机软件著作权	自然资源确权登记管理系统	2019SR0749103	2019-07-19	4169860	甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘查院	赵波
计算机软件著作权	生态环境保护管理系统	2019SR0752382	2019-07-19	4173139	甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘查院	赵波
计算机软件著作权	国土空间规划管理平台	2019SR0752129	2019-07-19	4172886	甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘查院	赵波
计算机软件著作权	无人机航空摄影测量管理系统	2019SR0749531	2019-07-19	4170288	甘肃省地质矿产勘查开发局测绘勘查院	赵波

(2) 主要论文专著目录:

序号	论文专著名称	刊名	年卷页码 (xx年xx卷xx页)	发表时间	全部作者	他引总次数
1	A method aimed at automatic landslide extraction based on background values of satellite imagery	International Journal of Remote Sensing	2014,35(6):2247-2266	201403	Shuwen Yang; Yikun Li; Guangsheng Feng; Lifeng Zhang	4
2	Spatiotemporal dynamics of the vegetation in Ningxia, China using MODIS imagery	Frontiers of Earth Science	2020,14(1):221-235	202001	Yi HE; Haowen YAN, Lei MA; Lifeng ZHANG; Lisha QIU; Shuwen YANG	13
3	Quantifying the main urban area expansion of Guangzhou using Landsat imagery	International Journal of Remote Sensing	2018,39(21):7693-7717	201811	Yi HE; Peng Dou; Haowen YAN; Lifeng ZHANG; Shuwen YANG	9
4	Characteristics of Surface Deformation in Lanzhou with Sentinel-1A Tops	Geosciences	2020,10(99):1-21	202003	YiHe; Wenhui Wang; Haowen Yan; Lifeng Zhang; Youdong Chen; Shuwen Yang	

5	Aerosol contamination survey during dust storm process in northwestern china using ground, satellite observations and atmospheric modeling data	Theoretical & Applied Climatology	2019,135(1-2),119-133	201901	FilonchykMikalai; Yan Haowen; Shareef Tawheed Mohammed Elhessin; Yang Shuwen	16
6	Detection of aerosol pollution sources during sandstorms in northwestern china using remote sensed and model simulated data	Advances in Space Research	2018,61(4):1035-1046	201802	Filonchyk Mikalai; Yan Haowen; Yang Shuwen; Lu Xiaomin	18
7	基于SPOT5影像自动提取水体的新方法	武汉大学学报·信息科学版	2015,40(3):308-314	201504	杨树文; 李轶鲲; 刘涛; 姚花琴	32
8	巷道与地层交切建模研究	武汉大学学报·信息科学版	214,39(4):496-499	201404	张志华; 侯恩科; 罗晓霞; 邓念东	5
9	天水市北山王家半坡滑坡形成机制	兰州大学学报: 自然科学版	2016,52(1):6	201602	谢正团; 郭富赟; 孟兴民	14
10	兰州市皋兰山铁三小滑坡形成条件及其稳定性分析	兰州大学学报: 自然科学版	2015,51(3):339-344	201506	曾润强; 王思源; 曾宇桐; 郭富赟; 李松; 赵岩; 孟兴民	13
11	顾及黄土滑坡的兰州市不同等级降雨时空变化特征	水土保持研究	2019,26(1):184-191	201901	张珊; 杨树文; 王恒亮	2
12	最优分割尺度的滑坡信息提取	测绘科学	2017,42(3)120-125.	201701	雍万铃; 杨树文; 张立峰; 杨猛	18
13	基于不透水层的兰州市黄土滑坡渗水模型研究	兰州交通大学学报	2019,38(6):97-102	201912	王兆华; 杨树文; 张珊; 刘龙龙	2
14	Logistic模型的兰州市降雨型黄土滑坡预警研究	测绘科学	2020,45(4):142-148	202004	王兆华; 张继贤; 杨树文; 刘龙龙	9
15	矿山巷道三维网络模型构建及空间网络分析技术	中国环境出版社	2016	201603	张志华	9
16	大气负荷对我国GNSS站地壳垂向形变影响分析	全球定位系统	2018,43(04):14-18	201808	张健琿; 杨国林; 刘涛; 邵明	3
17	兰州市降雨型黄土滑坡灾害空间分布特征	测绘科学	2016,41(12):142-146	201612	张珊; 杨树文; 杨猛; 李鹏元	9



18	二次曲面与最小二乘配置的组合模型在 GPS 高程异常拟合中的应用	测绘通报	2020,(5):127-129	202005	吕建伟; 张志华; 张新秀	5
19	联合升降轨Sentinel-1A的地表形变监测技术研究	海洋测绘	2020,40,(4):59-64	202007	陈有东; 何毅; 张立峰; 王文辉; 唐源蔚	10
20	宝兰客运专线洪亮营隧道滑坡成因机制探讨	兰州大学学报: 自然科学版	2015, 51(6): 65-68	201512	谢正团; 郭富贲; 王思源; 孟兴民; 黎志恒	7

### (3) 成果登记目录

序号	成果登记名称	备注
1	兰州市降雨诱发滑坡预警系统	
2	高山峡谷复杂环境下工程变形监测关	

### (4) 专著出版

序号	专著名称	作者	出版社及出版时间
1	高分辨率遥感影像地物阴影检测技术	杨树文	测绘出版社, 2019
2	矿山巷道三维网络模型构建及空间网络分析技术.	张志华	中国环境出版社, 2016