

参与申报 2024 年度山东省地质科学技术奖申报公示材料

一、项目名称

机器学习在城市地质安全风险防控中的方法创新与实践应用

二、完成单位

青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局),中国地质调查局南京地质调查中心,西北农林科技大学

三、完成人

于鹏,邢怀学,杨静,刘焱春,徐锐,袁月,赵明月,孙萍,徐美君,孙静,王越奇,张芳都

四、成果简介

随着城市化加速推进,由自然因素或人为活动引发的城市地质安全问题日益凸显,一些城市发生道路坍塌、地面沉降、滑坡等重特重大事故灾害,对城市韧性和可持续发展提出极大考验。近年来,机器学习技术飞速发展,为地质学研究提供了新的工具和方法,引领地质学逐渐走向数据驱动型研究的时代。

本研究历时 3 年产学研攻关,将机器学习与新时代城市地质工作深度融合,开展了城市地质安全风险防控示范工作,主要创新如下:

(1) 建立了适用的地质安全风险评价方法。基于贝叶斯、随机森林、决策树等机器学习手段,建立了暴雨洪涝、地面沉降、岩溶塌陷、崩塌风险评价和地热开发评估指标和方法体系,解决了传统方法模糊性大、主观性高问题。

(2) 开发了便捷的地质安全风险评估模型。基于支持向量机、遗传算法、差分变换等机器学习手段,开发了滑坡、边坡失稳、地面塌陷、地下水污染风险评价和地下空间开发评估模型与软件,实现了风险快速评估与精准预警。

(3) 进行了广泛的地质安全评价示范应用。对长沙洪涝、青岛地面塌陷、杭州地面沉降、返岭滑坡、大沽河地下水污染等城市地质安全风险进行了评价应用,并提出保护优先级建议和防治措施。

本研究在 *Journal of Hydrology*、*Journal of Cleaner Production*、《地质论评》等期刊发表论文 25 篇,其中 SCI 19 篇(中科院 1 区 6 篇,2 区 5 篇);授权软著 3 项。成果得到了学术界广泛的肯定,一篇被选为《深地科学》年度 Outstanding Article Citation。依托成果第一完成人受邀在 IAEG 2023、China Rock 2024 等会议做学术汇报 5 次,第二完成人在韩国第 37 届国际地质大会做展板展示,得到了与会专家高度认可。

项目成果在山东、江苏、浙江等省市城市地质工作得到推广应用,成功获批了山东省城市安全应急救援地质保障中心,“城市地下空间地质安全数字化评价团队”入选山东省第一批自然资源高层次科技创新人才团队,为加强城市风险防控体系和能力建设、全力提升城市安全水平、有效防范和坚决遏制重特大安全事故发生提供了有力支撑。

五、主要创新点

城市地质安全风险防控是对城市遭受自然、地质、工程灾害的可能性和后果进行定量分析和评价,以及采取相应措施来降低风险可能性的一门集自然属性和社会属性并重的交叉学科。本研究基于机器学习手段,针对城市开发过程中常见的各类风险(包括暴雨洪涝、地面塌陷、岩溶塌陷、地面沉降、滑坡、崩塌等地质灾害风险,以及地下空间、地下水、地热开发和边坡加固等城市开发和资源利用风险)进行了理论方法创新、模型软件创新和应用示范创新,为城市国土空间规划、重大工程选址、防灾减灾和风险管理提供地学指导。

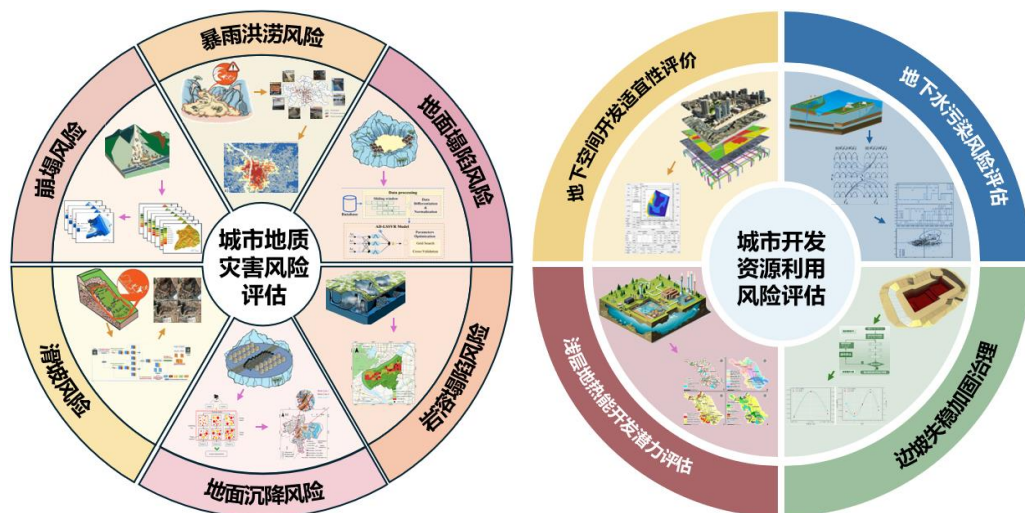


图 1 机器学习在城市地质安全风险防控中的应用

(1) 创新点 1: 建立了适用的城市地质安全风险评价方法

针对传统评价方法如层次分析法模糊性大、主观性高的技术瓶颈,本研究采用贝叶斯网络、随机森林、决策树、模糊分析等机器学习手段,建立了暴雨洪涝、地面沉降、岩溶塌陷、崩塌风险评价和地热开发评估指标和方法体系。一方面极大程度上规避了传统评价因子模糊性、不确定性、人为干扰大的影响,相关系数达 96%,提高了评价合理性;另一方面,有效的防止了数据过拟合和过度提取,解决了数据规模小和分散性难题,召回率为 90%,准确率为 88%,保障了评价精度。

(2) 创新点 2: 开发了便捷的城市地质安全风险评估模型

针对传统评估工作数据量大、耗时长、适用性差等难题,本研究基于卷积神经网络、支持向量机、遗传算法、差分变换等机器学习手段,面向滑坡识别、地面塌陷预测、边坡失稳加固优化、地下水污染风险评估、地下空间开发地质安全评价等方面,分别开发了 R-CNN、AD-LSSVR, GA-SVM、ArcGLAD 和多种赋权城市地下空间地质安全评价模型和软件。相较传统方法表现了更稳健的回归性能、更高的数据拟合质量和训练效率,性能指标提高 10%,工作效率提高 20%以上,实现了对城市地质安全风险的快速评估与精准预警。

(3) 创新点 3: 进行了广泛的城市地质安全评价示范应用

基于本研究提出的评价方法和模型,分别在长沙市暴雨洪涝风险评估、青岛市地面塌陷风险评估、滨江区岩溶塌陷风险评估、杭州市地面沉降风险评估、西海岸新区滑坡灾害风险评估、崂山风景区崩塌灾害风险评估、大沽河地下水污染风险评估、潍坊市地下空间开发地质安全评估、江苏省浅层地热能开发潜力评估、返岭边坡失稳加固优化等项目中进行了应用验证。在此基础上提出了对应的城市国土空间规划、资源管理、工程选址、监测网布设、地质灾害防治分区及污染防控等决策建议,推动了城市韧性、风险防控能力和现代化治理水平的提高。

六、代表性论文（15 篇）

序号	论文名	期刊名	影响因子	中科院分区	发表时间	作者	被引
1	Rainstorm-induced flood risk assessment in developed urban area using a data-driven approach with watershed units	Science of the Total Environment	8.2	1 区 TOP	2024. 946. 174135.	于鹏 (通讯)	16
2	Multiscale Analysis Framework for Assessing Land Degradation Neutrality with Ecosystem Services: A Case Study of the Yellow River Basin	Journal of Cleaner Production	9.7	1 区 TOP	2023. 414. 137559	于鹏 (4/5)	/
3	Using t-distributed Stochastic Neighbor Embedding (t-SNE) for cluster analysis and spatial zone delineation of groundwater geochemistry data	Journal of Hydrology	5.9	1 区 TOP	2021. 597. 126146	杨静 (通讯)	67
4	Using one-way and co-clustering methods to reveal spatio-temporal patterns and controlling factors of groundwater geochemistry	Journal of Hydrology	5.9	1 区 TOP	2021. 603. 127085	杨静 (通讯)	10
5	Deformation analysis of underwater shield tunnelling based on HSS model parameter obtained by the Bayesian approach	Frontiers in Marine Science	2.8	1 区	2023. 10. 1195496	于鹏 (2/7)	3
6	Accumulation and esterification of diarrhetic shellfish toxins from the aqueous phase in laboratory-exposed mussels	Harmful Algae	5.5	1 区	2020. 93. 101797	赵明月 (2/3)	3
7	Small-scale, large impact: utilizing machine learning to assess susceptibility to urban geological disasters—a case study of urban road collapses in Hangzhou	Bulletin of Engineering Geology and the Environment	4.2	2 区	2024. 83. 454	邢怀学 (通讯)	/
8	Risk Assessment of Multi-Hazards in Hangzhou: A Socioeconomic and Risk Mapping Approach Using the CatBoost-SHAP Model	International Journal of Disaster Risk Science	4	2 区	2024. 1-17	邢怀学 (通讯)	1
9	Susceptibility assessment of multi-hazards using random forest—back propagation neural network coupling model: a Hangzhou city case study	Scientific Reports	4.3	2 区	2024. 14: 21783	邢怀学 (通讯)	/
10	Risk Assessment and Prevention Planning for Collapse Geological Hazards Considering Extreme	Land	3.2	2 区	2023. 12. 1558	于鹏 (1/9)	10

	Rainfall—A Case Study of Laoshan District in Eastern China						
11	Historical reconstructions of sedimentary organic matter sources and phytoplankton evolution in the Jiaozhou Bay based on sterols and carbon isotope	Marine Pollution Bulletin	5.3	2 区	2021.165.112109	王越奇 (1/8)	9
12	Combining sterols with stable carbon isotope as indicators for assessing the organic matter sources and primary productivity evolution in the coastal areas of the East China Sea	Continental Shelf Research	2.1	3 区	2021.223.104446	王越奇 (1/9)	4
13	Using self-organizing map and multivariate statistical methods for groundwater quality assessment in the urban area of Linyi city, China	Water	3	3 区	2023, 15(19): 3463	杨静(通讯)	1
14	Adaptive Difference Least Squares Support Vector Regression for Urban Road Collapse Timing Prediction	Symmetry	2.2	3 区	2024, 16, 977	刘焱春(通讯)	/
15	Advanced susceptibility analysis of ground deformation disasters using large language models and machine learning: A Hangzhou City case study	PLoS One	2.9	3 区	2024, 19(12): e0310724.	邢怀学(通讯)	/

七、软件著作权

序号	论文名	著作权人	登记号	发表时间
1	山体抗滑桩单桩造价遗传算法优化系统 V1.0	于鹏 (2/3)	2023SR0657502	2023.02.15
2	城市地质大数据管理信息系统 V1.0	中国地质调查局南京地质调查中心	2024SR0128739	2023.09.01
3	城市地质成果应用服务信息平台 V1.0	中国地质调查局南京地质调查中心	2024SR0128729	2023.09.01

八、主要完成人情况

姓名	排名	技术职称	工作单位	完成单位
于鹏	1	高级工程师	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)
邢怀学	2	正高级工程师	中国地质调查局南京地质调查中心	中国地质调查局南京地质调查中心
杨静	3	副教授	西北农林科技大学	西北农林科技大学
刘焱春	4	高级工程师	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)
徐锐	5	工程师	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)
袁月	6	工程师	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)
赵明月	7	工程师	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)	青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局)

孙萍	8	高级工程师	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）
徐美君	9	高级工程师	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）
孙静	10	工程师	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）
王越奇	11	高级工程师	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）
张芳都	12	工程师	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）	青岛地质工程勘察院（青岛地质勘查开发局）