

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.114

引用格式: 王世宝,李成龙,王娜. 基于DEM和遥感技术的绥德县黄土崩滑危险区段识别及易发性评价[J]. 中国地质调查, 2024,11(6): 93-99. (Wang S B, Li C L, Wang N. Identification and susceptibility evaluation of loess collapse and landslide risk zones in Suide County based on DEM and remote sensing technology[J]. Geological Survey of China, 2024,11(6): 93-99.)

基于DEM和遥感技术的绥德县黄土崩滑危险区段识别及易发性评价

王世宝, 李成龙, 王娜

(西安煤航遥感信息有限公司, 陕西 西安 710199)

摘要: 绥德县地处陕北黄土高原腹地, 黄土梁峁起伏大, 人类工程活动强烈, 致使崩塌滑坡灾害发育, 严重威胁当地的人民生命财产安全。以绥德县为研究区, 采用高精度数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM) (2 m × 2 m) 和高分辨率遥感影像(0.2 m) 分别进行崩塌滑坡易发区段及危险区段的识别, 对研究区进行全面的黄土崩滑识别和核查, 以核查的隐患点数据为基础, 采用信息量模型进行黄土崩滑易发性评价。结果表明: 基于DEM和遥感技术识别出具有威胁对象的危险区段3 529处, 通过野外核查确认黄土崩滑隐患点3 116处, 识别正确率为88.30%; 研究区极高易发区面积为131.32 km²、高易发区面积为275.35 km²、中易发区面积为335.74 km², 极高、高、中易发区主要分布在黄土梁峁区的坡度陡、坡高大及人类工程活动强的斜坡上, 沿黄土梁峁呈片状分布, 75.80%的黄土崩滑隐患点分布在极高、高、中易发区, 易发性评价结果可靠。研究成果进一步提升了绥德县黄土崩滑隐患的精准识别能力, 评价结果可为绥德县防灾减灾工作和国土空间规划等提供基础依据, 对其他类似地质环境地区的黄土崩滑隐患精准识别也具有一定的借鉴意义。

关键词: DEM; 遥感; 黄土崩滑隐患识别; 易发性评价; 绥德县

中图分类号: P681.7

文献标志码: A

文章编号: 2095-8706(2024)06-0093-07

0 引言

陕北地处黄土高原腹地, 其复杂的地质环境、脆弱的生态环境以及特殊的黄土工程特性, 致使黄土崩塌和滑坡多发、频发, 危害严重^[1-2]。黄土崩塌和滑坡灾害具有突发性强、分布广泛、规模较小的特点, 每年冻融期和汛期成为黄土灾害的高发期, 灾害的发生受当地的气候条件和人类工程活动影响较为明显^[3-4]。自20世纪80年代以来, 陕北地区开展了一系列不同精度的地质灾害调查评价工作^[5-6], 如1:50万区域环境地质调查、1:10万地质灾害调查与区划、1:5万地质灾害详细调查、1:1万重要城镇地质灾害风险调查评价等^[7-9], 基本摸清了地质灾害数量、类型及分布情况, 提出了相应

的防治对策, 并采取了相关措施, 有效地减缓了地质灾害造成的损失。然而, 随着近些年人类工程活动愈发强烈, 极端气候现象常有发生, 引发了大量的小型崩塌滑坡地质灾害, 且存在新发生的部分灾害不在已掌握隐患点之列的问题, 不能够及时掌握地质灾害隐患的详细情况^[10-13]。因此, 迫切需要制定有效的解决方案, 能够精准地识别地质灾害, 掌握风险隐患底数, 从而进一步减少和减轻地质灾害造成的破坏。

为摸清地质灾害隐患风险底数, 解决早期识别环节薄弱、隐患点风险底数不清等一系列问题, 本文以黄土崩塌滑坡灾害较为发育的陕北黄土高原地区的绥德县为研究区, 采用高精度数字高程模型(digital elevation model, DEM)和高分辨率遥感影像分别进行崩塌滑坡易发区段及危险区段的

收稿日期: 2024-01-11; 修订日期: 2024-11-05。

基金项目: 西安煤航遥感信息有限公司“城市地质调查三维地质建模及应用技术研究(编号: YJKJ-2022-04)”项目资助。

第一作者简介: 王世宝(1994—), 男, 工程师, 主要从事地质灾害风险调查评价方面的工作。Email: 1633287935@qq.com。

早期识别,对识别出的危险区段进行野外核查。通过全面、系统的地质灾害隐患早期识别和 risk 核查,能够精准地掌握研究区地质灾害的发育情况。同时,为了有利于开展地质灾害隐患 risk 管理和土地利用等工作,以新技术、新方法识别的黄土崩滑灾害隐患点数据为基础,采用信息量模型对绥德县开展黄土崩滑易发性评价工作,获得崩滑地质灾害易发性分区。基于高精度 DEM 和遥感技术相结合的方法,探索出一套较为完善的黄土崩滑灾害精准识别体系,旨在为绥德县地质灾害 risk 管控提供依据,同时对其他类似地质环境条件地区的黄土崩滑灾害隐患精准识别具有一定的借鉴意义。

1 研究区概况

绥德县位于陕西省北部榆林市东南部,处于陕西、山西、宁夏、内蒙古四省的交通枢纽地带,交通非常便利,县域总面积为 1 853 km²。区域内气候属温带大陆性半干旱气候,季风气候特征显著,年平均气温为 9.7 ℃,年均降水量为 486 mm,年际降水分配不均,一年内降水主要集中在 7—9 月。绥德县地处陕北黄土高原腹地,地势西北高,东南低(图 1),境内平均海拔 920 m,全县可划分为河谷阶地区、土石峁区、黄土梁峁区 3 种地貌类型。区域内工程岩组较为复杂,岩土体类型可分为中厚层软硬相间岩类、含砾砂黏性土土体、黄土土体 3 类。研究区位于鄂尔多斯地台东部,构造活跃度弱。受研究区地质环境条件的影响,以及近年来经济建设的快速发展和人类工程活动的不断增强,区域内发生大量浅表层黄土崩塌、滑坡灾害,严重威胁当地人民群众的生命及财产安全^[13-14]。

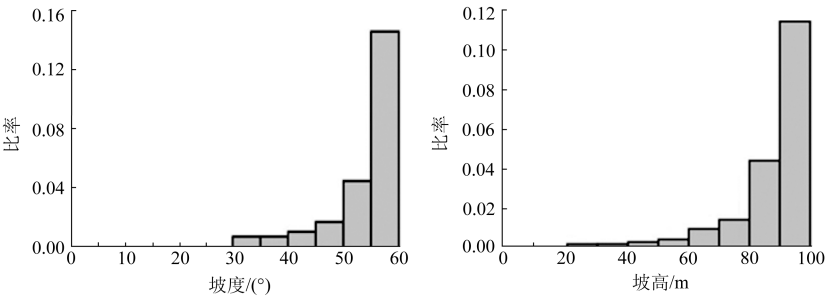


图2 不同坡度(左)和坡高(右)发生崩滑的比率
Fig.2 Collapse and landslide rate at different slope grades (left) and slope heights (right)

容易发生崩滑灾害的易发区段,然后再结合高精度 遥感影像进行承灾体和危险区段的识别,最终对遥

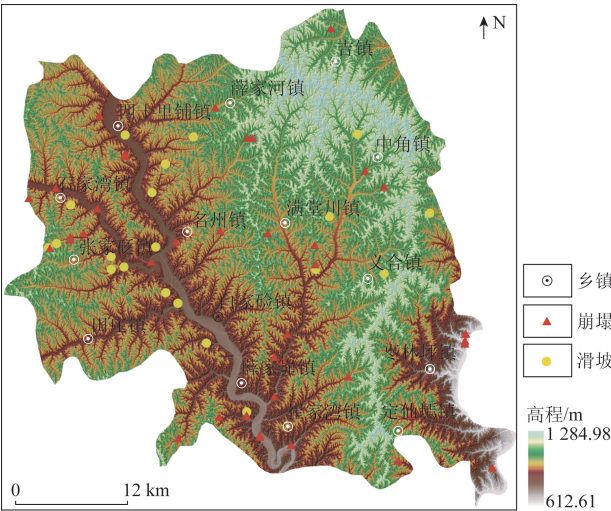


图1 绥德县地形及在册地质灾害分布
Fig.1 Topography and registered geological hazard distribution in Suide County

2 技术方法

2.1 崩滑危险区段识别

研究区主要发育的灾害为中小型的黄土崩塌、滑坡,该类型灾害的发生主要受斜坡的地形控制,当斜坡的地形(坡度、坡高)不同时,其发生滑坡、崩塌的概率也存在一定的差异^[15-16]。数据统计及分析表明(图 2),在黄土高原地区,随着坡度、坡高的逐渐增大,黄土斜坡发生崩塌滑坡的比率逐渐增大,说明坡度、坡高对黄土崩塌、滑坡的发生具有明显的控制作用。因此,在进行黄土崩塌、滑坡灾害隐患识别的过程中,首先将坡度、坡高作为崩塌滑坡灾害易发区段的识别因素,建立基于坡度和坡高的易发坡段识别阈值标准,即斜坡同时满足坡度 > 40°和坡高 > 8 m 的条件,通过该条件识别出研究区

感识别的危险区段斜坡进行野外调查验证,确定崩塌、滑坡隐患点的稳定性、危害程度及风险等级。

2.2 地质灾害易发性评价

地质灾害易发性评价方法主要分为定性和定量两种分析方法^[17]。定性分析法主要根据专家的经验知识进行区域的易发程度的判断,如专家打分法、层次分析法等^[18];定量分析则更偏重于利用数学方法进行量化研究,其相比定性分析法更为准确和科学,如信息量法、确定系数法、频率比法等^[19-20]。为使评价结果更加准确客观,研究区采用定量分析法中的信息量模型进行易发性评价。信息量模型反映了一定地质环境下最易致灾因素及其细分区间的组合,是通过特定评价单元内某种因素作用下地质灾害发生频率与区域地质灾害发生频率相比较实现的^[21]。其模型计算公式为

$$I_i = \sum_{i=1}^n \ln \frac{N_i/N}{S_i/S} \quad (1)$$

式中: I_i 指各影响因子对地质灾害发生提供的信息量; N 指研究区内地质灾害的总个数,个; S 指研究区总面积,km²; N_i 指分布在各因子类别中地质灾害的个数,个; S_i 指研究区内某评价因子的面积,km²。最终计算出的 I_i 为该影响因子的总信息量值,其值越大表示越有利于地质灾害的发生,即地质灾害的易发性越高。

3 黄土崩滑隐患的识别及易发性评价

3.1 基于 DEM 的易发区段识别

绥德县构造活跃度弱,地质构造较为简单,区域岩土体类型分为松散岩组和软硬相间岩组两大类,斜坡上部物质组成主要为松散岩组,下伏基岩为软硬相间岩组,发生滑坡、崩塌灾害的工程岩组主要为斜坡上中—晚更新世的黄土,区域内滑坡、崩塌灾害的发生主要受斜坡坡度、坡高的影响,其对斜坡的稳定性和变形破坏模式具有明显的控制作用。因此,在研究区采用 1:10 000 数字高程模型提取坡度、坡高为分类指标,综合考虑坡度、坡高对斜坡稳定性的影响,筛选出具有一定规模或容易发生崩塌滑坡的易发坡段。根据绥德县地质灾害发育特征及野外调查情况(表 1),研究区崩塌、滑坡易发坡段主要集中在坡度大于 40°和坡高大于 8 m 的斜坡

地段,采用 ArcGIS 软件,利用 2 m × 2 m 高精度 DEM 数据提取研究区易发区段。

表 1 绥德县在册灾害点与坡高分布情况

Tab. 1 Registered disaster points and slope height distribution in Suide County

坡高/m	在册灾害点/个	占比/%
(0,8]	0	0.00
(8,30]	28	43.08
(30,50]	31	47.69
>50	6	9.23

基于 DEM 共识别坡度大于 40°的易发斜坡数量 52 210 个。在此基础上结合 DEM 提取的坡高数据,并进行一定的融合后,共识别坡度大于 40°、坡高大于 8 m 的崩塌滑坡易发区段 11 054 个,总面积为 27.62 km²,分布情况如图 3 所示。

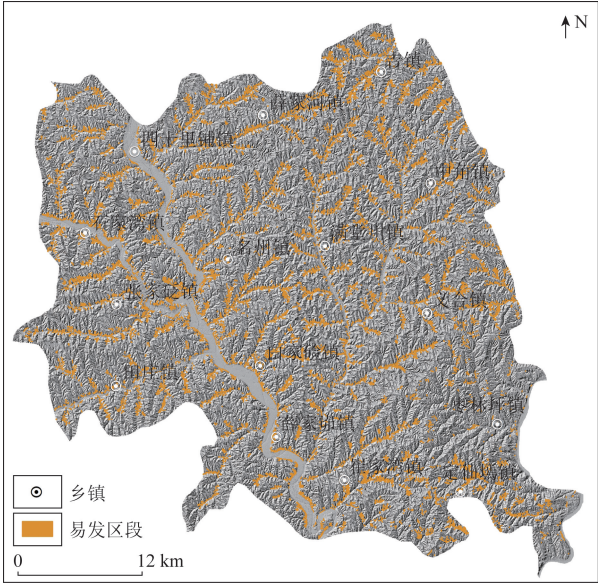


图 3 基于 DEM 识别的绥德县黄土崩滑易发区段分布
Fig. 3 Distribution of loess collapse and landslide – prone areas in Suide County based on DEM identification

3.2 结合遥感技术的危险区段识别

对绥德县基于 DEM 识别出的 11 054 个易发坡段叠加高精度遥感影像数据,开展基于承灾体的危险坡段识别和核查。研究数据为 0.2 m 高分辨率遥感影像数据,具体识别和核查方法为:在易发坡段识别图的基础上,叠加农房数据,采用人机交互的方法圈画出有威胁对象的高陡斜坡单元。对绥德县全域范围内的所有承灾体(房屋建筑、主要道路)逐一进行遥感核查,识别有承灾体的危险坡段(坡度大于 40°、坡高大于 8 m),最终共识别危险区段 3 529 个,遥感核查危险区段数量占 DEM 识别易

发区段数量的 31.93%,进一步缩小了野外实地核
查的数量及范围,提升了野外验证工作地效率和有
效性(图 4)。

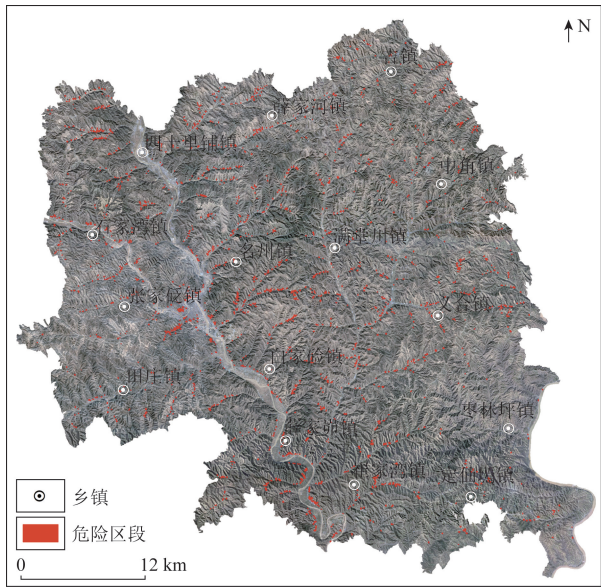


图 4 基于遥感技术识别的绥德县黄土崩滑危险区段分布
Fig.4 Distribution of loess collapse and landslide hazard
sections in Suide County based on remote sensing technology

3.3 崩滑灾害隐患野外核查

(1)核查方法及内容。野外核查以“现代科技 + 人力资源”相结合的方式进
行,主要采用天(卫星)一空(无人飞机)一地(人员)三位一体模式,对
通过 DEM 和遥感识别出来的危险坡段(坡度大于
40°、坡高大于 8 m 且有威胁对象的斜坡段),逐一
进行现场核查,研判其变形破坏模式,圈定可能的
滑坡、崩塌范围,调查其威胁对象。主要核查内容
为隐患风险点的类型、地质环境条件、主要特征、威
胁对象,并进行危险性和风险评价,对隐患点提出
相应的防治措施建议。

(2)地质灾害隐患风险评估标准。地质灾害风
险取决于斜坡危险程度和危害程度,即风险是危险
程度和危害程度的函数。将危险程度按斜坡失稳
年概率分为:几乎不可能[0,10⁻⁵)、很少[10⁻⁵,
10⁻⁴)、不一定[10⁻⁴,10⁻³)、可能[10⁻³,10⁻²)、很
可能[10⁻²,10⁻¹)、几乎一定[10⁻¹,1)共 6 级。将
危害程度按威胁对象分为:一般级([0,3)人,或
[0,100)万元)、较大级([3,10)人,或[100,500)万
元)、重大级([10,30)人,或[500,1 000)万元)、特
大级(≥30 人,或≥1 000 万元)共 4 级。综合考虑
危险程度和危害程度,根据地质灾害风险评估分级

表,将地质灾害风险等级划分为 4 个级别:极高
(VH)、高(H)、中(M)、低(L),如表 2 所示。

表 2 地质灾害风险评估分级

Tab.2 Classification of geological hazard risk assessment

危险可能性 (年概率)	危害程度			
	特大级 (特重)	重大级 (重)	较大级 (中)	一般级 (轻)
几乎一定	VH	VH	H	H
很可能	VH	H	H	M
可能	H	H	M	M
不一定	H	M	L	L
很少	M	L	L	L
几乎不可能	L	L	L	L

(3)崩滑灾害隐患风险核查结果。经过野外核
查工作,共调查地质灾害隐患点 3 116 处,识别正确
率为 88.30%。并根据核查风险评估分级表,对
3 116 处地质灾害隐患点的危险程度和风险进行了
分级评估:极高风险点 7 处(2 处滑坡、5 处崩塌),
占隐患点总数的 0.22%;高风险点 126 处(20 处滑
坡、106 处崩塌),占隐患点总数的 4.04%;中风险
点 495 处(39 处滑坡、456 处崩塌),占隐患点总数
的 15.89%;低风险点 2 488 处(49 处滑坡、2 439
处崩塌),占隐患点总数的 79.85%(图 5)。

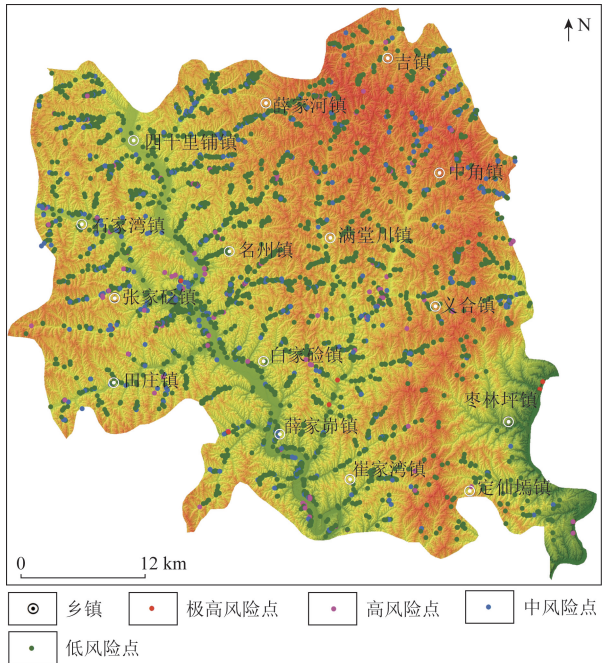


图 5 基于 DEM 和遥感技术识别的绥德县崩滑灾害
隐患点分布
Fig.5 Distribution of collapse and landslide disaster
points in Suide County based on DEM and remote
sensing technology

3.4 黄土崩滑易发性评价

滑坡、崩塌灾害的发育是多种影响因子共同作用的结果,不同区域灾害的发育程度存在较大差异。因此,根据绥德县的地质环境条件、发育灾害的孕灾特点以及资料的可获取性,选取坡度、坡高、坡型、坡向、斜坡地质结构类型5个影响因子对黄土崩滑灾害的易发性进行评价。选取本次野外核査的极高、高、中风险等级的隐患点及在册灾害点作为信息量模型的样本数据,采用信息量模型的计算方法(式1)进行各个影响因子的信息量计算,将各个影响因子的信息量再利用 Arcgis 的栅格计算器工具进行叠加,得到绥德县黄土崩滑灾害的易发性指数,再运用自然断点法进行易发性分区,分为极高、高、中、低、极低易发区,形成绥德县黄土崩滑易发性分区(图6)。



图6 绥德县黄土崩滑易发性分区

Fig.6 Zoning of loess collapse and landslide susceptibility in Suide County

由绥德县易发性分区(图6)及易发性分区统计(表3)可知,黄土崩滑极高易发区面积为131.32 km²,占总面积的7.17%;高易发区面积为275.35 km²,占总面积的15.04%;中易发区面积为335.74 km²,占总面积的18.34%;低易发区面积为455.03 km²,占总面积的24.85%;极低易发区面积为633.42 km²,占总面积的34.60%。研究区极高、高、中易发区主要分布在黄土梁峁区的坡度陡、坡高大及人类工程活

动强的斜坡上,沿黄土梁峁呈片状分布;低、极低易发区主要分布在斜坡坡度较缓、人类工程活动较弱及平缓的河谷地区。研究区易发性分区和黄土崩滑隐患分布情况表明,随着研究区易发性指数的增大,其所分布的黄土崩滑隐患点频数也随之增大,表明易发性分区与黄土崩滑隐患点的分布具有较好的一致性,黄土崩滑易发性评价结果可靠。

表3 绥德县黄土崩滑易发性分区统计

Tab.3 Statistical of the susceptibility zoning of loess collapse and landslide in Suide County

易发性分区	面积/ km ²	面积占全 区比/%	隐患点 数量/个	各分区隐患点占总 隐患点数量比/%
不易发区	633.42	34.60	70	11.14
低易发区	455.03	24.85	82	13.06
中易发区	335.74	18.34	123	19.59
高易发区	275.35	15.04	168	26.75
极高易发区	131.32	7.17	185	29.46
总计	1 830.86	100.00	628	100.00

4 结论

(1)本文基于高精度DEM和遥感技术相结合的方法对绥德县进行了崩塌、滑坡易发区段及危险区段的早期识别,为崩塌、滑坡隐患的野外调查提供了明确的目标,进一步提高了野外调查的效率及正确率。通过2 m×2 m的DEM识别出坡度大于40°、坡高大于8 m的崩塌滑坡易发区段共计11 054处,结合0.2 m高分辨率遥感数据,识别出具有威胁对象的危险区段3 529处。

(2)通过野外实地调查,验证危险区段,最终确定崩塌、滑坡隐患点3 116处,识别正确率为88.30%,其中极高风险点7处、高风险点126处,中风险点495处、低风险点2 488处。

(3)基于野外调查的崩塌、滑坡隐患点,采用信息量模型进了易发性评价:极高易发区面积为131.32 km²,高易发区面积为275.35 km²,中易发区面积为335.74 km²,极高、高、中易发区主要分布在黄土梁峁区的坡度陡、坡高大及人类工程活动强的斜坡上,沿黄土梁峁呈片状分布;低易发区面积为455.03 km²,极低易发区面积为633.42 km²,低、极低易发区主要分布在斜坡坡度较缓、人类工程活动较弱及平缓的河谷地区。研究区识别出的75.80%的崩塌、滑坡隐患点分布在极高、高、中易发

区,且随着研究区易发性指数的增大,所分布的黄土崩滑隐患点频数也随之增大,易发性评价结果可靠。

(4)研究成果进一步提升了绥德县黄土崩塌、滑坡隐患的精准识别能力,评价结果可为绥德县防灾减灾工作和国土空间规划等提供基础依据,对其他类似地质环境地区的地质灾害隐患精准识别也具有一定的借鉴意义。

参考文献(References):

[1] 李媛,孟晖,董颖,等.中国地质灾害类型及其特征——基于全国县市地质灾害调查成果分析[J].中国地质灾害与防治学报,2004,15(2):32-34.
Li Y, Meng H, Dong Y, et al. Main Types and characteristics of geo-hazard in China: Based on the results of geo-hazard survey in 290 counties[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15(2): 32-34.

[2] 孙萍萍,张茂省,程秀娟,等.黄土高原地质灾害发生规律[J].山地学报,2019,37(5):737-746.
Sun P P, Zhang M S, Cheng X J, et al. On the regularity of geological hazards on the Loess plateau in China[J]. Mountain Research, 2019, 37(5): 737-746.

[3] 彭建兵,林鸿州,王启耀,等.黄土地质灾害研究中的关键问题与创新思路[J].工程地质学报,2014,22(4):684-691.
Peng J B, Lin H Z, Wang Q Y, et al. The critical issues and creative concepts in mitigation research of loess geological hazards[J]. Journal of Engineering Geology, 2014, 22(4): 684-691.

[4] 彭建兵,王启耀,庄建琦,等.黄土高原滑坡灾害形成动力学机制[J].地质力学学报,2020,26(5):714-730.
Peng J B, Wang Q Y, Zhuang J Q, et al. Dynamic formation mechanism of landslide disaster on the Loess Plateau[J]. Journal of Geomechanics, 2020, 26(5): 714-730.

[5] 刘传正,沈伟志,黄帅.中国地质灾害预防应对战略思考[J].灾害学,2022,37(3):1-4,11.
Liu C Z, Shen W Z, Huang S. Some viewpoints on strategies in risk reduction of geological disasters in China[J]. Journal of Catastrophology, 2022, 37(3): 1-4, 11.

[6] 刘传正,陈春利.中国地质灾害防治成效与问题对策[J].工程地质学报,2020,28(2):375-383.
Liu C Z, Chen C L. Achievements and countermeasures in risk reduction of geological disasters in China[J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(2): 375-383.

[7] 李新斌,田辉,韩朝辉,等.地质灾害调查评价与监测预警技术的发展与展望[J].世界有色金属,2021,46(11):163-165.
Li X B, Tian H, Han Z H, et al. Development and prospect of geological hazard investigation, evaluation, monitoring and early warning technology[J]. World Nonferrous Metals, 2021, 46(11): 163-165.

[8] 孙萍萍,张茂省,贾俊,等.中国西部黄土区地质灾害调查研

究进展[J].西北地质,2022,55(3):96-107.
Sun P P, Zhang M S, Jia J, et al. Geo-hazards research and investigation in the loess regions of western China[J]. Northwestern Geology, 2022, 55(3): 96-107.

[9] 李慧,王欣泉,宗爽.现阶段我国地质灾害防治工作新思路——中国地质灾害防治工程行业协会“5·12全国防灾减灾日”云服务活动综述[J].中国地质灾害与防治学报,2020,31(3):5-8.
Li H, Wang X Q, Zong S. At this stage, new ideas for the prevention and control of geological disasters in China: A review of the cloud service activities of the “5.12 National Disaster Prevention and Mitigation Day” of the China Geological Disaster Prevention and Control Engineering Industry Association[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2020, 31(3): 5-8.

[10] 殷志强.2008年春季极端天气气候事件对地质灾害的影响[J].防灾科技学院学报,2008(2):20-24.
Yin Z Q. Influence on geological disasters of the extreme climate event of spring 2008 in China[J]. Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2008(2): 20-24.

[11] 佟彬,齐干,张义祥,等.气候变化对我国地质灾害的影响与防治战略思考[J].城市与减灾,2023(5):34-42.
Tong B, Qi G, Zhang Y X, et al. Influence of climate change on geological disaster in our country and thoughts on its prevention and control strategy[J]. City and Disaster Reduction, 2023(5): 34-42.

[12] 石菊松,吴树仁,张永双,等.应对全球变化的中国地质灾害综合减灾战略研究[J].地质论评,2012,58(2):309-318.
Shi J S, Wu S R, Zhang Y S, et al. Integrated landslide mitigation strategies study for global change in China[J]. Geological Review, 2012, 58(2): 309-318.

[13] 袁湘秦,赵法锁,陈新建,等.陕西省绥德县地质灾害易发性区划[J].灾害学,2017,32(1):117-120,125.
Yuan X Q, Zhao F S, Chen X J, et al. Zoning of geological hazards' susceptibility evaluation in Suide county of Shaanxi Province[J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 117-120, 125.

[14] 袁湘秦,赵法锁,祝艳波,等.陕西省绥德县滑坡发育特征及成灾因素[J].南水北调与水利科技,2016,14(6):165-170.
Yuan X Q, Zhao F S, Zhu Y B, et al. Characteristics and influencing factors of landslide in Suide county[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2016, 14(6): 165-170.

[15] 张茂省,李同录.黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J].工程地质学报,2011,19(4):530-540.
Zhang M S, Li T L. Triggering factors and forming mechanism of loess landslides[J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(4): 530-540.

[16] 唐亚明.陕北黄土滑坡风险评价及监测预警技术方法研究[D].北京:中国地质大学(北京),2012.
Tang Y M. Methods on Risk Assessment and Monitor & Early Warning for the Loess Landslide in North of Shannxi[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2012.

- [17] 许冲,戴福初,姚鑫,等. 基于GIS与确定性系数分析方法的汶川地震滑坡易发性评价[J]. 工程地质学报,2010,18(1): 15–26.
- Xu C, Dai F C, Yao X, et al. GIS platform and certainty factor analysis method based Wenchuan earthquake – induced landslide susceptibility evaluation [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(1): 15–26.
- [18] 许冲,戴福初,姚鑫,等. GIS支持下基于层次分析法的汶川地震区滑坡易发性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S2): 3978–3985.
- Xu C, Dai F C, Yao X, et al. GIS – based landslide susceptibility assessment using analytical hierarchy process in Wenchuan earthquake region[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(S2): 3978–3985.
- [19] 张俊,殷坤龙,王佳佳,等. 三峡库区万州区滑坡灾害易发性评价研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(2): 284–296.
- Zhang J, Yin K L, Wang J J, et al. Evaluation of landslide susceptibility for Wanzhou district of Three Gorges Reservoir[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2016, 35(2): 284–296.
- [20] 周毅,丁明涛,黄涛,等. 芦山县滑坡灾害影响因素的空间分异性[J]. 中国地质调查, 2022, 9(4): 45–55.
- Zhou Y, Ding M T, Huang T, et al. Spatial heterogeneity of influencing factors of landslide disasters in Lushan County[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(4): 45–55.
- [21] 刘康,田臣龙,徐凤琳. 基于信息量–层次分析耦合模型的泗水县地质灾害易发性评价[J]. 中国地质调查, 2023, 10(2): 77–86.
- Liu K, Tian C L, Xu F L. Susceptibility assessment of geological disasters in Sishui County based on the coupling model of Information Content and Analytic Hierarchy Process method[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(2): 77–86.

Identification and susceptibility evaluation of loess collapse and landslide risk zones in Suide County based on DEM and remote sensing technology

WANG Shibao, LI Chenglong, WANG Na

(Xi'an Coal Aviation Remote Sensing Information Co., Ltd., Shaanxi Xi'an 710199, China)

Abstract: Suide County is located in the hinterland of the Loess Plateau in northern Shaanxi, with great loess fluctuation and intense human activity, which leads to the development of collapse and landslide disasters and seriously threatens the safety of local people's lives and properties. Suide County was taken as the study area to identify the prone and dangerous sections of loess collapse and landslide using high – precision Digital Elevation Model (DEM) (2 m × 2 m) and high – resolution remote sensing images (0.2 m). A comprehensive identification and verification of loess collapse and landslide was conducted in the study area, and an information quantity model was used to construct the evaluation of loess collapse and landslide susceptibility based on the verified hidden danger point data. The results showed that 3 529 dangerous sections with threatening objects were identified based on DEM and remote sensing technology, and 3 116 hidden danger points of loess collapse and landslide were confirmed through field verification, with an accuracy rate of 88.30%. The study area has an extremely high susceptible area of 131.32 km², a high susceptible area of 275.35 km², and a moderately susceptible area of 335.74 km², those three mainly distributed in steep slopes, high slopes, and slopes with strong human engineering activities in sheets along the loess ridge and hill area. Besides, 75.80% of the hidden dangers of loess collapse and landslide is distributed in extremely high, high, and medium susceptible areas, and the susceptibility evaluation results are reliable. The research results have further improved the precise identification ability of loess collapse and landslide in Suide County, and the evaluation results could provide the basis for disaster prevention and reduction work and national spatial planning in Suide County, which have certain reference significance for the precise identification of loess collapse and landslide in other similar geological environment areas.

Keywords: DEM; remote sensing; hidden dangers identification of loess collapse and landslide; susceptibility evaluation; Suide County

(责任编辑: 刘丹)