

# 甘肃省宕昌县地质灾害易发性评价

李超然,袁广祥

华北水利水电大学地球科学与工程学院,郑州 450046

**摘要:** 甘肃省宕昌县位于青藏高原东缘,内外动力地质作用强烈,地质灾害发育。本研究旨在对宕昌县地质灾害的易发性进行全面评价。基于甘肃省地质灾害数据库,采用层次分析法和GIS空间分析统计方法,选取地形地貌、地质条件、植被和降雨作为评价因子,对宕昌县地质灾害易发性进行了评价。结果表明宕昌县地质灾害高易发区主要分布在岷县干流南河镇-何家堡乡-城关镇段、甘江头-官亭-临江铺-两河口段岷江和角弓河狮子乡-新寨镇段。研究结果将为防灾减灾管理、国土空间规划和用途管制等提供基础依据。

**关键词:** 甘肃宕昌;地质灾害;易发性评价;层次分析法

**中图分类号:** P694;P56 **文献标识码:** A

## Susceptibility Assessment of Geological Hazards in Dangchang County, Gansu Province

LI Chaoran, YUAN Guangxiang

College of Geosciences and Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China

**Abstract:** Dangchang County in Gansu Province, located at the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, experiences intense endogenic and exogenic geological processes, resulting in frequent geological hazards. This study aims to conduct a comprehensive susceptibility assessment of geological hazards in Dangchang County. Based on the Gansu Provincial Geological Hazard Database and employing the Analytic Hierarchy Process (AHP) combined with GIS spatial analysis and statistical methods, evaluation factors including topography, geological conditions, vegetation, and rainfall are selected for the assessment. Results indicate that high-susceptibility zones are predominantly distributed along the southern Hezhen-Hejiabao Township-Chengguan Town section of the Min River mainstream; the Ganjiangtou-Guanting-Linjiangpu-Lianghekou section of the Minjiang River, and the Shizi Township-Xinzhai Town section of the Jiaogong River. The findings provide a critical scientific support for disaster prevention and mitigation management, territorial spatial planning, and land-use regulation.

**Key words:** Tanchang, Gansu; Geological Hazards; Susceptibility Assessment; Analytical Hierarchy Process (AHP)

收稿日期:2024-05-09 改回日期:2024-07-28

基金项目:第二次青藏高原综合科学考察研究资助项目(2019QZKK0904);河南省重点研发专项(No. 221111321500)

第一作者简介:李超然(1998-),男,硕士研究生,从事灾害评价方面的研究。E-mail: 524645948@qq.com

通讯作者:袁广祥(1981-),男,教授,博士生导师,从事工程地质及地质灾害方面研究。E-mail: yuanguangxiang@ncwu.edu.cn

引文格式:李超然,袁广祥. 甘肃省宕昌县地质灾害易发性评价[J]. 地质灾害与环境保护, 2025, 36(1): 21-25.

LI Chaoran, YUAN Guangxiang. Susceptibility assessment of geological hazards in dangchang county, gansu province[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2025, 36(1): 21-25.

## 0 引言

地质灾害易发性评价对城乡建设、用地规划、工程选址、防灾减灾等具有重要意义<sup>[1-3]</sup>,有助于采取有效的防灾措施,降低灾害风险。因此,国内外学者针对不同地质环境条件采用了多种方法和模型评价地质灾害的易发性。樊芷吟等<sup>[4]</sup>基于信息量模型与 Logistic 回归模型耦合对汶川县的地质灾害易发性进行了评价;Segoni 等<sup>[5]</sup>利用随机森林模型,基于地质数据敏感性,对复杂地质环境下滑坡的易发性进行了评价;Cao 等<sup>[6]</sup>利用机器学习方法分析了复杂环境下不同类型的地质灾害的易发性;张玺国等<sup>[7]</sup>基于最大熵模型分析了西藏泥石流、崩塌、滑坡等典型地质灾害的易发性;刘阳等<sup>[8]</sup>以宁夏西吉县地质灾害为研究对象,分别以网格单元和斜坡单元作为评价单元,进行了易发性分区;孙剑锋等<sup>[9]</sup>以浙江省丽水市云和县崇头镇为例,提出了基于灰色关联度与层次分析法耦合的地质灾害易发性评价模型;陈凯等<sup>[10]</sup>通过证据权模型对新疆地区地质灾害易发性进行了评价;孔嘉旭等<sup>[11]</sup>将信息量模型分别连接到随机森林模型和卷积神经网络模型构建耦合模型,开展了黄土高原滑坡易发性评价;王小东等<sup>[12]</sup>基于信息量模型对浙江省长兴县煤山镇全局和区域尺度分割结果分别进行了易发性评价;Ma 等<sup>[13]</sup>采用地理加权回归模型对浙江省长兴县地质灾害易发性进行了评价。

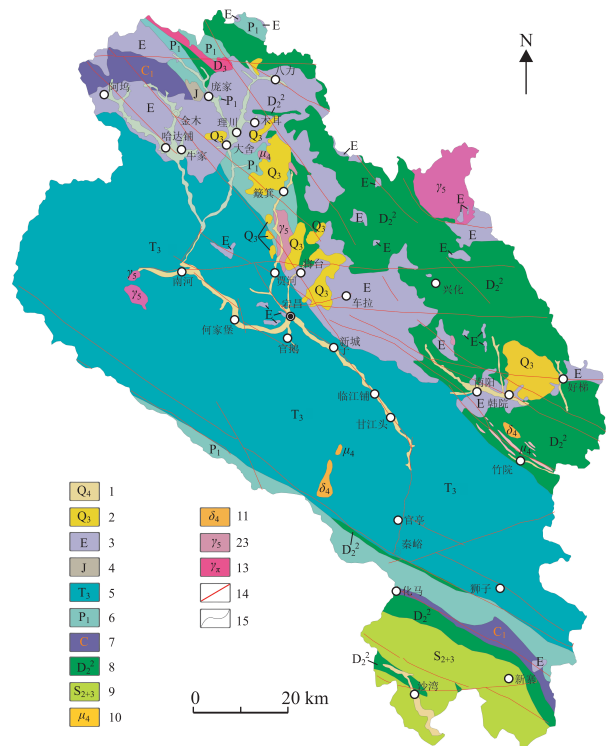
在传统的地质灾害易发性评价中,通常采用单一或多种方法的组合来对不同地区进行评估。然而,由于各个地区地质灾害的诱发因素存在差异,因此在方法选择上难以达成一致。为此,需要根据具体研究区域的地质灾害特点,选择合适的评价因子和方法,建立适合该区域的地质灾害易发性评价指标体系。

甘肃省宕昌县位于青藏高原东侧,地处两大山脉西秦岭和岷山的交汇处,其内外地质活动非常活跃,生态环境极度脆弱。此处地质灾害发育情况非常普遍,且造成的损失非常严重。因此,本文对宕昌县地质灾害的易发性进行评价,以便为当地政府和相关机构提供科学且可信赖的决策参考。

## 1 研究区区域概况

宕昌县县域南北狭长,境内岷江、白龙江等河流的长期冲刷、切割,沟壑纵横,地形地貌异常复杂<sup>[14,15]</sup>,山地与沟谷海拔相差悬殊,气候的垂直变化以及南北方向差异相当明显,地势由西北向东倾

斜。历经多期构造运动,使得地层褶皱与倒转,构造裂隙发育,岩体破碎。区内地层岩性复杂,地层出露较多,从志留系至第四系均有分布,而以泥盆系、三叠系与古近系分布最为广泛。岩浆岩多以岩脉的形式分布于断裂带上,岩性以酸性为主,辅以中性与酸性岩石(图 1)。



1. 第四系全新统砾卵石、碎石土;2. 第四系上更新统粉土、亚砂土;3. 古近系粉砂岩、砾岩;4. 侏罗系砂岩、炭质页岩;5. 三叠系炭质灰岩、板岩;6. 二叠系下统中厚层状灰岩夹板岩;7. 石炭系中厚层状灰岩夹板岩;8. 泥盆系千枚岩、灰岩板岩;9. 志留系千枚岩、板岩;10. 华力西期安山玢岩、石英斑岩;11. 华力西期闪长岩;12. 燕山期花岗岩;13. 花岗斑岩、斜长花岗斑岩;14. 断层;15. 地质界线。

图 1 宕昌县地质图

## 2 研究方法

本次使用的地质灾害数据来源于甘肃省地质灾害数据库。通过将层次分析法与 GIS 空间统计分析技术相融合,对该地区的地质灾害易发性进行评估和划分。

### 2.1 评价指标体系的构建

首先建立多层次结构模型,分为目标层、因子层和指标层(图 2),选择地形地貌、地质条件、植被和降雨作为评价因子,选取坡度、切割深度、沟壑密度作为地形地貌的评价指标,岩土体类型和距断层距离作为地质条件评价指标,植被指数和年均降雨量分别作为植被和降雨的评价指标。采用 1~9 标度法(Saaty, 1980),确定每个评价指标的权重(表 1),

并进行一致性检验。

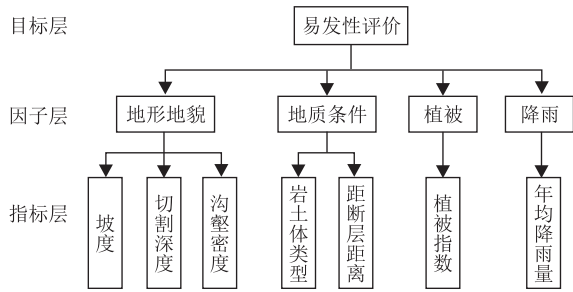


图 2 宕昌县地质灾害易发性评价层次结构模型图

表 1 各评价指标的权重

评价因子	评价指标	权重	排序
地形地貌	坡度	0.125 2	2
	切割深度	0.082 6	5
	沟壑密度	0.086 5	4
地质条件	岩土体类型	0.393 7	1
	距断层距离	0.1102	3
植被	植被指数	0.027 1	7
降雨	年均降雨量	0.056 2	6

### 2.2 评价单元的确定

在评估地质灾害发生的可能性时，需要挑选适当的评价单元，目前常用的划分方法有栅格单元划

分、自然斜坡单元划分以及均一条件与行政单元划分等。其中栅格单元划分与斜坡单元划分应用较为广泛，斜坡单元划分时斜坡的选择需要进行人工修正，降低了其应用性，而栅格单元原理简单，便于进行空间叠加分析，可根据精度要求灵活划分栅格，本文采用栅格单元作为评价单元，进行易发性评价。首先运用栅格数据处理技术来划分研究区域，根据  $3.0\text{ km} \times 3.0\text{ km}$  的规模来设定单元网格，最后将整个区域分割成 34 行、39 列，总共 718 个单元网格。

### 2.3 评价指标量化分级

根据研究区地形地貌、地质条件、灾害特征等，结合各评价指标的特点和对地质灾害的贡献程度，对所选的 7 个评价指标进行量化分级(表 2、图 3)。

表 2 地质灾害易发性评价标准划分

危险等级	1	2	3	4
坡度	<15	15~30	30~45	>45
切割深度	<25	25~50	50~75	>75
沟壑密度	<0.25	0.25~0.50	0.50~0.75	>0.75
降水量	<400	400~500	500~600	>600
距断层距离	<1 000	1 000~3 000	3 000~6 000	>6 000
岩土体类型	软岩	较软岩	较硬岩	坚硬岩
植被指数	<0.25	0.25~0.5	0.5~0.75	>0.75

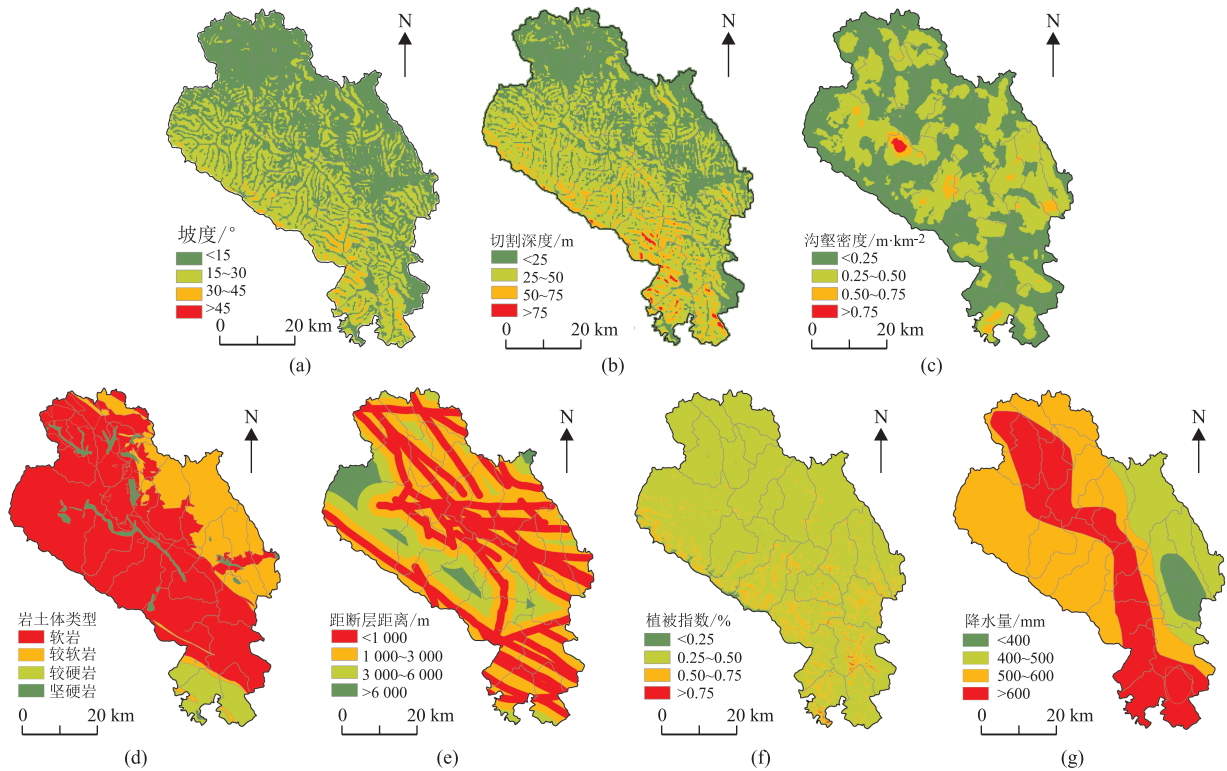


图 3 地质灾害评价指标分级

(1) 坡度是地质灾害重要孕灾因子，坡度大小影响着斜坡应力分布和堆积物厚度。研究区南部存在多个坡度大于  $30^\circ$  的区域，属于较高危险等级。

(2) 切割深度为平均高程与最小高程之差，它体现地形起伏程度和切割侵蚀强度，也侧面体现了沟谷的发育程度。研究区南部和中部的部分区域切

割深度大于 75 m,属于高危险等级。

(3) 沟壑密度是地形发育阶段和地表抗蚀能力的重要特征值,对地质灾害的发育有重要的影响作用。研究区部分中部地区的沟壑密度大于  $0.75 \text{ m/km}^2$ ,这些区域为高风险地带。

(4) 岩土体类型。岩土体作为地质灾害发生的物质基础,不同岩土体物理力学性质有所差异,造成了不同岩土体发生地质灾害难易程度和发生地质灾害类型也各不相同。宕昌县中部和北部大部分区域为软岩和较软岩,地质灾害风险较高。

(5) 距断层距离。受距断层距离影响,一般情况下沿着断层带附近岩石相对较为破碎,岩石风化严重,这为地质灾害的发生提供了有利的条件。研究区内多个中部和北部区域距离断层小于 1 000 m,属于高风险区域。

(6) 植被指数。由于植被覆盖度越低,水土保持、固坡能力越差,越容易发生地质灾害。宕昌县大部分区域植被覆盖度低于  $0.25\%$ ,属于高风险等级。

(7) 降雨量。降雨尤其是暴雨往往是地质灾害发生的直接原因。研究区北部及中部部分区域、南部大部分区域降水量大于 600 mm,属于高危险等级。

### 3 地质灾害易发性评价结果

按照上述评价方法,各评价指标根据权重进行信息叠加计算,获得了宕昌县地质灾害易发性分区栅格图(图 4)。在此基础上,综合考虑各种因素,以“区内相似、区间相异”为原则,修改完善后最终形成宕昌县地质灾害易发程度分区图(图 5)。

(1) 地质灾害高易发区主要分布在岷江干流南河镇-何家堡乡-城关镇段、岷江干流甘江头-官亭-临江铺-两河口段和角弓河狮子乡-新寨镇段。在该区域,沟壑广泛,地形切割严重,山峰陡峭,平均坡度大约  $45^\circ$ ;出露地层为三叠系薄层灰岩、板岩和砂岩互层,第四系上更新统黄土、全新统冲洪积物;断裂构造极为发育,岩体破碎,残坡积物丰富;人口稠密地区,人类的工程和经济行为非常频繁,对自然环境的破坏作用巨大;植被分布零星,水土流失严重;地震活动频繁,暴雨频发、强度较大,这对滑坡和泥石流灾害的形成有利。

(2) 地质灾害中易发区主要分布在金木河、秋末河、岷江-白龙江干流流域和角弓河上游。沟谷切割强烈,相对高差  $100\sim 500 \text{ m}$ ,斜坡坡度一般大于  $30^\circ$ ;沟谷斜坡体中下部出露古近系和新近系红色砂

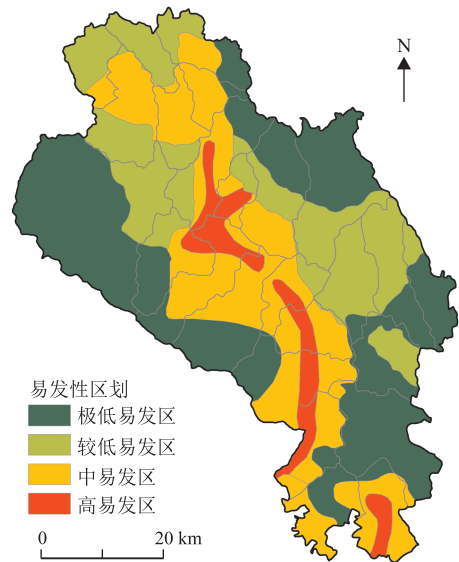


图 4 易发性计算成果栅格图

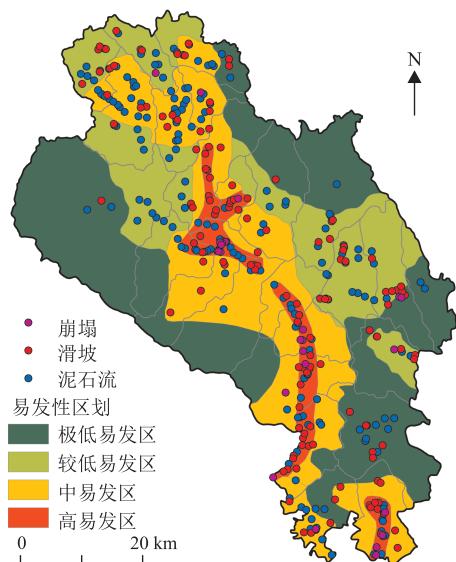


图 5 宕昌县地质灾害易发程度分区图

砾岩、砂岩,上部覆盖厚度不等的黄土状粉土;断裂、褶皱发育,岩体破碎,残坡积物丰富;森林植被覆盖度较高。滑坡、崩塌主要分布在沟谷两侧斜坡体的中上部及各支沟源头区以小型堆积层滑坡为主;沟道内松散堆积物丰富,为泥石流的形成提供了充沛条件,一遇暴雨,便暴发泥石流,威胁和危害堆积区的城镇、村庄、农田及公路。

(3) 地质灾害低易发区主要分布在阿坞镇、庞家乡、八力镇北部;哈达铺镇和南河乡之间;兴化乡、韩院乡之间。区内植物覆盖率相对较高,人类工程活动相对较弱。地质灾害对农田和其他基础设施具有一定危害。该区地质环境条件较为脆弱,崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害主要分布在金木河、理川河、

秋末河上游,海拔1 900~2 500 m,即南北两列山系之间抗风化能力弱的古近系红层分布区,地形起伏小,山梁宽缓,相对高差300~500 m,山坡坡度 $18^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 。

(4) 极低易发区分布在八力镇-兴化乡一带,西部林区、好梯乡-狮子乡一带,该区地质环境条件较

好,植被覆盖率较高,滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害发育程度低。

通过调查,宕昌县地质灾害368处,其中崩塌25处、滑坡143处、泥石流200处(参见图5)。中易发区和高易发区占研究区面积的34.78%,但地质灾害点却占总地质灾害点的68.9%(表3)。

表3 研究区地质灾害分布与易发性分区对比

易发性等级	分区面积/km <sup>2</sup>	分区比例/%	地质灾害数量/个	灾害比例/%	灾害密度/100 km <sup>-2</sup>
极低易发区	1 324.61	40.03	33	9.6	0.02
低易发区	825.1	24.94	74	21.5	0.09
中易发区	953.88	28.78	111	32.3	0.12
高易发区	205.37	6.20	126	36.6	0.61

## 4 结论

基于甘肃省地质灾害数据库,采用层次分析法和GIS空间分析统计方法,综合分析宕昌县地质灾害时空分布规律以及评价其地质灾害易发性。结果表明:

(1) 空间分布呈不规则带状,沿岷江及其主要支沟的河谷地、角弓河新寨以下河谷地、良恭河南阳-韩院段的河谷地及两河口至沙湾的白龙江谷地密集分布且主要发生于丰水年,约占发生灾害总数的95%以上。

(2) 地质灾害高易发区主要分布在岷江干流南河镇-何家堡乡-城关镇段、甘江头-官亭-临江铺-两河口段岷江和角弓河狮子乡-新寨镇段,总面积205.37 km<sup>2</sup>,占全县面积的6.20%。

(3) 地质灾害中易发区主要分布在金木河、秋末河、岷江-白龙江干流流域和角弓河上游,总面积953.88 km<sup>2</sup>,占全县面积的28.78%。

### 参考文献

[1] 罗守敬,王珊珊,付德荃.北京山区突发性地质灾害易发性评价[J].中国地质灾害与防治学报,2021,32(4):126-133.

[2] ZHAO J, ZHANG Q, WANG D, et al. Machine learning-based evaluation of susceptibility to geological hazards in the Hengduan mountains region, China[J]. International Journal of Disaster Risk Science, 2022, 13(2): 305-316.

[3] 郭飞,赖鹏,黄发明,等.基于知识图谱的滑坡易发性评价文献综述及研究进展[J].地球科学,2024,49(5):1584-1606.

[4] FAN Z, GOU X, QIN M, et al. Information and logistic

regression models based Coupl-Ing analysis for susceptibility of geological hazards[J]. Journal of Engineering Geology, 2018, 26(2):340-347.

[5] SEGONI S, PAPPAFICO G, LUTI T, et al. Landslide susceptibility assessment in complex geological settings: sensitivity to geological information and insights on its parameterization[J]. Landslides, 2020, 17(10):2443-2453.

[6] CAO J, ZHANG Z, DU J, et al. Multi-geohazards susceptibility mapping based on machine learning—a case study in Jiuzhaigou, China[J]. Natural Hazards, 2020, 102(3): 851-871.

[7] 张玺国,周雄冬,徐梦珍,等.西藏地质灾害易发性及对水能开发适宜度影响[J].地理学报,2022,77(7):1603-1614.

[8] 刘阳,尚慧,占惠珠,等.评价单元对地质灾害易发性评价的影响[J].科学技术与工程,2022,22(35):15536-15545.

[9] 孙剑锋,马超,胡金树,等.基于灰色关联度与层次分析法耦合的地质灾害易发性评价——以浙江省云和县崇头镇为例[J].工程地质学报,2023,31(2):538-551.

[10] 陈凯,陈砺锋,张紫昭,等.基于实证调查的新疆地区地质灾害易发性和危险性评价研究[J].工程地质学报,2023,31(4): 1156-1166.

[11] 孔嘉旭,庄建琦,彭建兵,等.基于信息量和卷积神经网络的黄土高原滑坡易发性评价[J].地球科学,2023,48(5):1711-1729.

[12] 王小东,马静茹,袁广祥.顾及空间非平稳性的地质灾害易发性评价[J].安全与环境学报,2023,23(12):4392-4401.

[13] MA J, WANG X, YUAN G. Evaluation of geological hazard susceptibility based on the regional division information value method[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2023, 12(1):17.

[14] 郑龙,王文丽,马紫娟.宕昌县地震活动性分析与评价[J].甘肃科技,2016,32(2):12-16.

[15] 何斌,赫明林,徐新兰.甘肃省宕昌县地质灾害发育特征与形成条件分析[J].甘肃地质,2013,22(3):64-70.