

基于 GIS 的延河流域滑坡崩塌地质灾害 空间分布及其引发因素分析

郑苗苗^{1,2}, 牛树轩³, 郑泓¹

(1. 长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054;

2. 陕西省地质环境监测总站, 陕西 西安 710054; 3. 中交路桥技术有限公司, 北京 100011)

摘要: [目的] 以更符合滑坡崩塌发生发展规律的延河流域为例, 进行地质灾害空间分布及引发因素分析研究, 为防灾减灾提供依据。[方法] 依据区县地质灾害详细调查资料, 建立 GIS 地质灾害数据库, 包含地理数据、基础地质数据、地质灾害点数据和栅格数据。统计分析坡度、坡高、坡型、河谷发育期等引发因素; 选取坡度、坡型、植被、河谷地貌、地层、降雨量、道路距离、居民点 8 因素, 采用加权信息量法进行地质灾害易发性分区阐述地质灾害空间分布。[结果] 坡高 50~100 m, 坡度 30°~45°易形成滑坡; 老年河谷灾害点密度为壮年期的 2 倍, 幼年期的 3 倍; 凸型和直线型斜坡更容易产生滑坡和崩塌灾害, 阶梯型和凹陷型斜坡稳定程度明显增高。延河流域滑塌高易发面积 1 664.96 km², 灾害点密度 0.29 处/km²; 中易发 3 102.02 km², 密度 0.10 处/km²; 低易发 3 888.99 km², 密度 0.04 处/km²。[结论] 以流域为单位进行地质灾害研究, 引发因素、空间分布规律更为明显, 指导防灾减灾更加实用。

关键词: 延河流域; GIS; 重力侵蚀; 引发因素

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)02-0156-05

中图分类号: P642.22

文献参数: 郑苗苗, 牛树轩, 郑泓. 基于 GIS 的延河流域滑坡崩塌地质灾害空间分布及其引发因素分析[J]. 水土保持通报, 2016, 36(2): 156-160. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.02.030

A GIS-based Research on Triggering Factors of Erosive Landslide and Collapse in Yanhe River Basin

ZHENG Miaomiao^{1,2}, NIU Shuxuan³, ZHENG Hong¹

(1. School of Geology Engineering and Geomatics, Chang'an University, Xi'an,

Shaanxi 710054, China; 2. Shaanxi Institute of Geo-environment Monitoring, Xi'an, Shaanxi

710054, China; 3. China Communications Road and Bridge Consultants Co. Ltd, Beijing 100011, China)

Abstract: [Objective] The occurrence and development of landslide and collapse in Yanhe River were taken as an example, the spatial distribution and triggering factors of geological disasters were analyzed in order to provide a basis for disaster prevention and mitigation. [Methods] According to the detailed geological disaster investigation, GIS geological hazards database was constructed, including geographic data, basic geological data, geological disaster points' data and raster data. Triggering factors, such as slope gradient, slope height, slope type, and valley development, etc., were statistically analyzed. Slope ratio, slope type, vegetation, river valley landforms, stratigraphy, rainfall, residential position, road distance were selected to elucidate the spatial distribution of geological disasters with susceptibility zoning by weighted information method. [Results] Analysis of triggering factors of landslide and collapse showed that landslide were found more frequent in the case with 50 to 100 m slope height and 30° to 45° grade. The density of disaster points in elderly valley is 2 times of the mature stage and 3 times of the juvenile stage. Convex and linear shape slopes are more prone to landslides and collapses; the stability of staircase or umbilicate slope are significantly increased. The acreage of high-prone area is 1 664.96 km². The density of disaster points is 0.29 point/km².

收稿日期: 2015-03-30

修回日期: 2016-01-20

资助项目: 国家重点基础科学(973)发展计划项目“黄土重大灾害及灾害链的发生、演化机制与防控理论(2014CB744701)”; 国家自然科学基金项目(41372329; 40772181)

第一作者: 郑苗苗(1984—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 博士研究生, 工程师, 主要从事地质灾害、地质工程方面的工作与研究。E-mail: zhengmiaomiao07@126.com.

The middle prone area is 3 102.02 km², with disaster density of 0.10 point/km². And the low-prone area is 3 888.99 km², with disaster density as 0.04 point/km². [Conclusion] Geological disasters, if investigated in a river basin, its triggering factors and the spatial distribution will be more easily recognized. And disaster prevention and mitigation are more applicable taking a river basin as unit.

Keywords: Yanhe River basin; GIS; gravitational erosion; triggering factor

黄土高原是中华民族的发祥地,随着气候的变化,人口的急剧增长,使黄土高原地壳表层系统遭到严重破坏,黄土滑坡、崩塌、不稳定斜坡等地质灾害频发^[1-6]。自 1965 年 Garrison 提出“地理信息系统”GIS 概念至今,国内外学者已将 GIS 技术广泛的应用到地质灾害研究中。国外 Mejia 等^[7-9]利用 GIS 技术在不同地区对滑坡进行分区研究。姜云等^[10-15]利用 GIS 在不同行政区域进行地质灾害评价研究。以往地质灾害评价多以行政区域为单位进行^[7-15],对黄土高原地质灾害发育类型及分布规律的分析表明,地质灾害发育具有流域性特点,本研究以流域为单位研究地质灾害发育特点,进行延河流域地质灾害空间分布及引发因素分析研究,更符合滑坡崩塌的发生发展规律,以期防灾减灾提供依据。

1 研究区基本情况

1.1 地理位置

延河全长 286.9 km²,流域面积 8 656 km²,多年平均径流总量 2.93×10⁸ m³,河流平均比降 3.26‰,是黄河的 1 级支流,延安市的第 2 大河。延河流域位于黄土高原中部,发源于榆林市靖边县天赐湾乡的周山,自西北向东南流入黄河。流域覆盖了靖边县和志丹县的一部分,安塞县、宝塔区、延长县的绝大部分,化子坪和甘谷驿将延河划分为上中下游。

1.2 地形地貌

延河流域地势整体呈现为西北高、东南低,海拔 447~1 765 m。延河流域为黄土丘陵沟壑区,具体可分为黄土峁状丘陵沟壑区、黄土梁峁丘陵沟壑区和黄土破碎塬区 3 种类型。黄土峁状丘陵沟壑区位于上游集水区内,此区域峁多梁小,河床比降大,植被稀少,侵蚀强烈,水土流失严重。黄土梁峁丘陵沟壑区位于中游集水区内,河谷较宽阔,梁窄峁小,阶地发育,但比上游侵蚀作用弱。黄土破碎塬区位于下游集水区内,冲沟发育,塬面窄小,水土流失强度较中上游弱。

1.3 河谷发育期

区域地貌在横向上体现出不同发育阶段河谷的差异,相应的滑坡、崩塌发育程度也不同。延河流域河流和沟谷地貌的演化阶段或发育程度对斜坡的变

形特征、破坏模式以及地质灾害的规模和致灾程度具有明显的控制作用。将延河流域河谷划分 3 个发育期:老年期河谷:延河干流河谷,常年流水;壮年期河谷:主要为延河 1 级和 2 级支流河谷,常年、季节性流水;幼年期沟谷:延河 3 级以及更次级支流,仅暴雨期流水。

2 研究方法

收集近年来中国地质调查局组织实施的区县地质灾害调查资料,包括靖边县、志丹县、安塞县、宝塔区、延长县的地质调查与区划报告,统计分析表明,延河流域地质灾害的主要类型为滑坡、崩塌、不稳定斜坡,流域内确定的地质灾害点 957 个,其中滑坡 658 处,占灾害总数的 68.8%;崩塌 132 处,占灾害总数的 13.8%;不稳定斜坡 167 处,占灾害总数的 17.5%。利用 MapGIS 的数据采集功能和 ArcGIS 的数据处理功能,建立延河流域地质灾害空间数据库,包含地理数据(行政界线、水系交通、居民点)、基础地质数据(地层岩性、地质构造)、地质灾害点数据(滑坡、崩塌、不稳定斜坡)和栅格数据(DEM 高程数据、植被覆盖程度数据、降雨量分布数据),作为地质灾害空间分析评价的基础数据(图 1)。

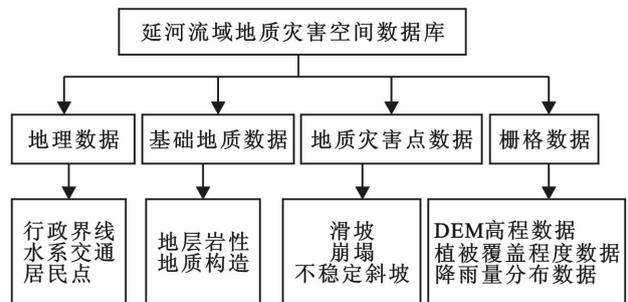


图 1 延河流域地质灾害空间数据库因素

地理数据、基础地质数据来源于本课题组编制的 1:100 万黄土高原地质简图;地质灾害点数据依据近年来中国地质调查局组织实施的区县地质灾害调查资料;DEM 高程数据采用从 ASTER GDEM 免费获取的 GDEM 30 m DEM 数据;植被覆盖度依据 2010 年 8 月 1 日 TERRA 卫星的 MODIS 遥感数据;降雨量依据地球系统科学数据共享平台上提供的全

国多年平均降雨量分布图。

首先统计分析坡度及坡高、坡面形态、河谷地貌与地质灾害的关系,揭示地质灾害的引发因素及地形地貌控灾规律。其次,分别用地质灾害空间数据库与高程、植被覆盖程度、降雨量分布等单要素因子图进行叠加分析,确定地质灾害的 8 个主要控制因素,坡度、坡型、植被、河谷地貌、地层、降雨量、道路距离、居民点,最终确定地质灾害综合分区评价的评价因子及其权重,得到地质灾害分区。

3 滑坡崩塌引发因素

地形因素是滑坡和崩塌灾害产生的先决条件。斜坡的几何形态决定着斜坡的稳定性,坡度、坡高和坡面形态是斜坡的形态要素,以下分析这些地形要素和滑坡、崩塌的关系。

3.1 坡度及坡高

斜坡的稳定性与坡高和坡度大小成反比,对延河流域滑坡的原始坡高和原始坡度的统计结果如图 2 所示。由图 2 可以看出,延河流域的滑坡坡度分布在 $20^{\circ}\sim 70^{\circ}$,坡高分布在 20~200 m 之间,其中坡高集中在 50~100 m 内,坡度集中在 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 内。对延河流域分别按坡度和坡高划分区间,统计各个坡度区间和坡高区间的单元个数,同样对区内滑坡坡度和坡高进行分区统计,得到每个坡高和坡度区间内滑坡点数

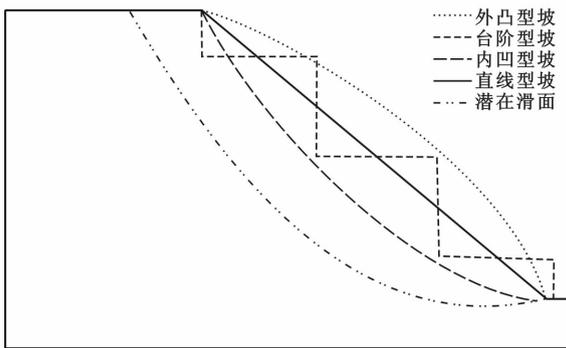


图 3 4 种坡型沿给定滑动面的剪应力分布

3.3 河谷地貌控灾规律

在 ArcGIS 中,利用水系分析功能,在 DEM 数据提取的水系基础上,可进行提取出研究区的各个集水区,把延河干流经过的集水区划分为老年期河谷,把延河一、二级支流经过的集水区划分为壮年期河谷,其他划分为幼年期沟谷,将研究区按照河谷地貌进行分区(图 4)。

对地质灾害点按照河谷地貌分区进行统计,分析各河谷地貌地质灾害特点。各发育期河谷地貌的地质灾害类型及数量详见表 1。

量,求出各个坡度和坡高区间发生滑坡的统计比率,随着坡度的增加,滑坡发生率迅速增大。

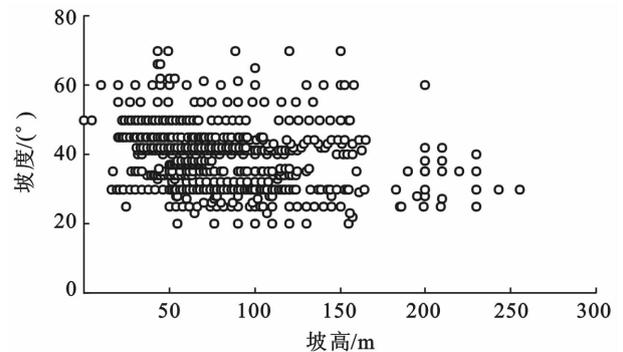


图 2 延河流域滑坡的坡度与坡高的关系

3.2 坡面形态

研究区内斜坡坡面形态可划分平直型、凸型、凹型以及阶梯型。坡型对稳定性的影响体现在对坡体应力环境的影响方面。图 3 为坡顶和坡脚位置相同,取相同的土性参数,4 种不同坡型沿给定滑动面的剪应力分布,由图 3 可见,剪应力沿滑动面的由大而小依次为凸形坡、直坡、梯形坡和凹型坡,而且凸形坡和直坡显著高于梯形坡和凹坡。在抗剪强度相同的条件下,前者稳定性明显低于后者。因此,凸型和直线型斜坡更容易产生滑坡和崩塌灾害。阶梯型和凹陷型斜坡稳定程度明显增高。

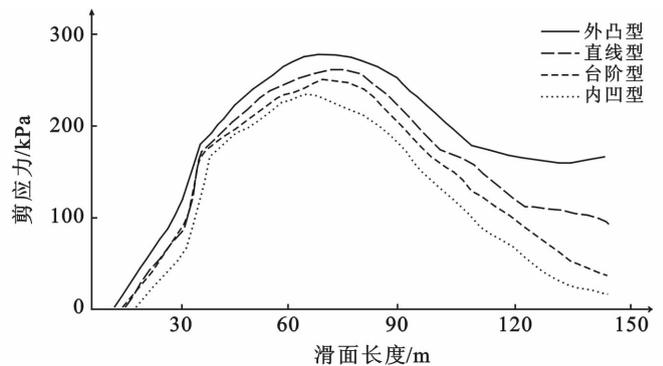


图 3 4 种坡型沿给定滑动面的剪应力分布

表 1 各发育期河谷地质灾害类型

河谷地貌	滑坡	崩塌	不稳定斜坡	面积/ km ²	灾害点密度/ (个·km ⁻²)
老年期	76	31	29	532.05	0.256
壮年期	250	40	33	2468.92	0.131
幼年期	332	61	105	5564.52	0.089

老年期河谷地区的灾害点密度最大,为壮年期河谷地区的近 2 倍,幼年期河谷地区的 3 倍,从幼年期河谷、壮年期河谷到老年期河谷,地质灾害点密度呈

现增长的趋势。从滑坡形成时间上看,以老滑坡为主,但随着河谷由老到新,老滑坡比例不断下降,古滑坡和现代滑坡比例上升(图 5)。从滑坡形成原因上看,自然原因为各发育期河谷滑坡形成的主要原因,但是随着河谷由新到老,人类活动越来越强烈,由人工原因导致的滑坡比例也不断上升,老年期河谷有超过 40%的滑坡是由开挖等人类工程活动引起的(图 5)。从崩塌物质组成上看,河谷由新到老,河床下侵深度增大,基岩出露从无到有,位置从低到高,岩质崩塌所占的比例也不断上升,幼年期河谷绝大多数为土质崩塌,占崩塌总数的 96.7%;壮年期河谷仍以土质崩塌为主,但比例下降到 77.5%;而老年期河谷崩塌主要以岩质崩塌为主,占比 58.1%(图 5)。从崩塌的

体积上看,各发育期河谷都以中小型崩塌为主,大型崩塌大都分布在老年期河谷(图 5)。

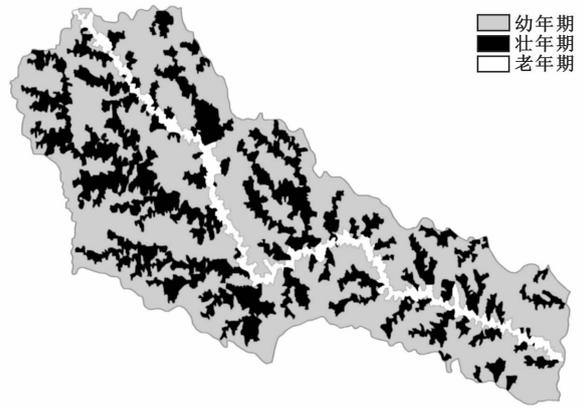


图 4 延河流域河谷地貌分区

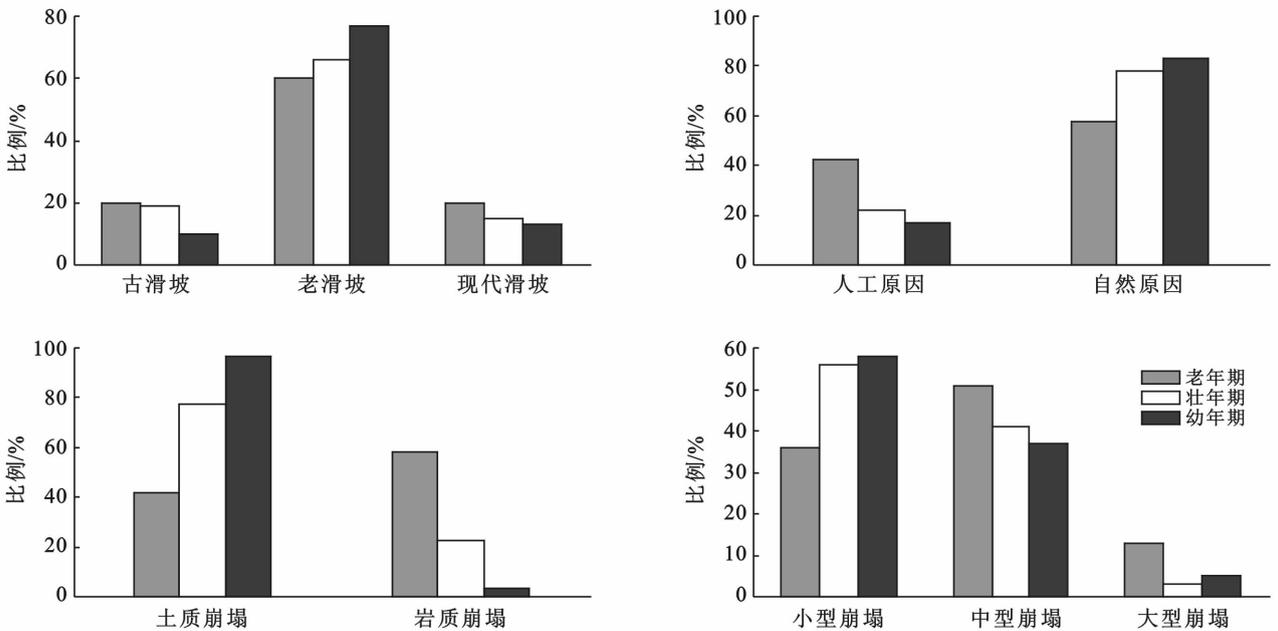


图 5 各发育期河谷滑坡年代、成因、土岩质崩塌、崩塌体积比例对比

3.4 滑坡崩塌空间分布

根据选取的坡度、坡型、植被、河谷地貌、地层、降雨量、道路距离、居民点 8 因素,采用加权信息量法进行地质灾害易发性分区研究。延河流域高易发面积 1 664.96 km²,占 19.2%,灾害点 486 处,灾害点密度 0.29 处/km²;中易发 3 102.02 km²,占 35.8%,灾害点 300 处,密度 0.10 处/km²;低易发 3 888.99 km²,占 44.9%,灾害点 171 处,密度 0.04 处/km²(图 6)。

4 结论

(1) 延河流域斜坡稳定性与坡高和坡度大小成反比,延河流域滑坡坡度分布在 20~70 度之间,坡高分布在 20~200 m 之间,其中坡高集中在 50~100 m 内,坡度集中在 30~45 度内。

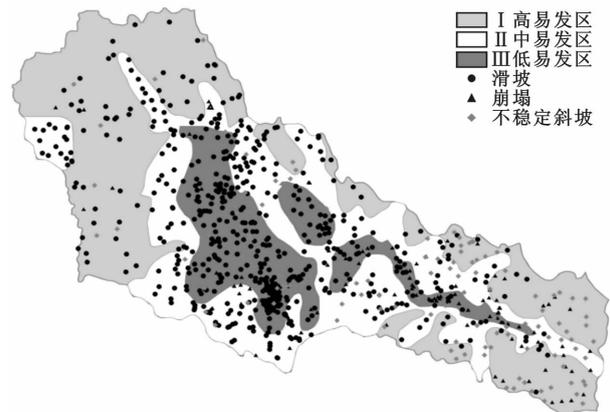


图 6 延河流域地质灾害易发性分区

(2) 研究区内斜坡坡面形态可划分平直型、凸型、凹型以及阶梯型 4 中类型。剪应力沿滑动面由大

而小依次为凸形坡、直坡、梯形坡和凹型坡,而且凸形坡和直坡显著高于梯形坡和凹坡。在抗剪强度相同的条件下,前者稳定性明显低于后者。因此,凸型和直线型斜坡更容易产生滑坡和崩塌灾害。阶梯型和凹陷型斜坡稳定程度明显增高。

(3) 老年期河谷地区的灾害点密度最大,为壮年期河谷地区的近2倍,幼年期河谷地区的3倍,从幼年期河谷、壮年期河谷到老年期河谷,地质灾害点密度呈现增长的趋势。

(4) 从滑坡形成时间上看,以老滑坡为主;从滑坡形成原因上看,自然原因为各发育期河谷滑坡形成的主要原因;从崩塌物质组成上看,幼年期河谷、壮年期河谷以土质崩塌为主,而老年期河谷崩塌主要以岩质崩塌为主;从崩塌的体积上看,各发育期河谷都以中小型崩塌为主,大型崩塌大都分布在老年期河谷。

(5) 根据选取的坡度、坡型、植被、河谷地貌、地层、降雨量、道路距离、居民点8因素,采用加权信息量法进行地质灾害易发性分区,得到延河流域地质灾害易发性分区图,延河流域高易发面积为1664.96 km²,灾害点密度为0.29处/km²;中易发面积为3102.02 km²,密度0.10处/km²;低易发面积3888.99 km²,密度0.04处/km²。

[参 考 文 献]

- [1] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京:地质出版社,2001.
- [2] 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.
- [3] 李同录,龙建辉,李新生,等. 黄土滑坡发育类型及其空间预测方法[J]. 工程地质学报,2007,15(4):500-506.
- [4] 丁辉,张茂省,李林. 西北黄土高原区滑坡遥感解译研究[J]. 第四纪研究,2011,31(6):1077-1085.
- [5] 刘鹏飞,李滨,陈志新. 陕西延安地区黄土滑坡特征及其活跃性分期[J]. 中国地质灾害与防治学报,2012,23(4):16-19.
- [6] 黄玉华,冯卫,李政国. 陕北延安地区2013年“7·3”暴雨特征及地质灾害成灾模式浅析[J]. 灾害学,2014,29(2):54-59.
- [7] Navarro M M, Wohl E E. Geological hazard and risk evaluation using GIS[J]. Methodology and Model Applied to Massociation of Engineenng Geologists, 1994, 25(4):459-481.
- [8] Mejia-Navarro M, Wohl E E. Geological hazard and risk evaluation using GIS: Methodology and model applied to Medellin, Colombia[J]. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1994,31(4):459-481.
- [9] Fall M, Azzam R, Noubactep C. A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping[J]. Engineering Geology, 2006,82(4):241-263.
- [10] 姜云,王兰生. 地理信息系统在山区城市地面岩体稳定性管理与控制中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 1994,5(1):32-38.
- [11] 阮沈勇,黄润秋. 基于GIS的信息量法模型在地质灾害危险性区划中的应用[J]. 成都理工大学学报,2001,28(1):89-92.
- [12] 张桂荣,殷坤龙,刘传正,等. 基于GIS的陕西省旬阳滑坡灾害危险性区划[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003,14(4):39-43.
- [13] 张茂省,校培喜,魏兴丽. 延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探[J]. 水文地质工程地质, 2006,33(6):72-74.
- [14] 段钊,赵法锁,陈建新. 陕北黄土高原区滑坡发育类型与时空分布特征:吴起县为例[J]. 灾害学,2011,26(4):52-56.
- [15] 史伟宏,王建彬,曾宪中,等. 延安市富县崩滑地质灾害发育特征与分布规律浅析[J]. 地下水,2012,34(7):145-146.
- [16] 申成磊,李满春,李飞雪,等. 基于数据包络分析的分水镇农村土地利用效率评价[J]. 中国土地科学,2011,25(1):16-21.
- [17] 毕宝德,等. 土地经济学[M]. 北京:中国人民大学出版社,2011.
- [18] 刘坚,黄贤金,翟文侠,等. 城市土地利用效益空间分异研究[J]. 江南大学学报:人文社会科学版,2005,4(6):67-71.
- [19] 刘喜广,刘朝晖. 城市土地利用效益评价研究[J]. 华中农业大学学报:社会科学版,2005(4):91-95.
- [20] 鲍新中,刘澄,张建斌. 城市土地利用效率的综合评价[J]. 城市问题,2009(4):46-50.
- [21] 黄奕龙,王仰麟,卜心国,等. 城市土地利用综合效益评价:城际比较[J]. 热带地理,2006,26(2):145-150.
- [22] 王应明. 运用离差最大化方法进行多指标决策与排序[J]. 系统工程与电子技术,1998(7):24-26.
- [23] 王明涛. 多指标综合评价中权数确定的离差、均方差决策方法[J]. 中国软科学,1999(8):100-101.

(上接第155页)