

新疆博州地质灾害空间分异性研究^{* 1}

刘小利^{1,2)} 李井冈^{1,2)} 李 雪^{1,2)} 王秋良^{1,2)}

(1)中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室),武汉 430071)
(2)中国地震局地壳应力研究所武汉科技创新基地,武汉 430071)

摘 要 利用区域地质、DEM、降雨量和地质灾害调查数据,基于 GIS 平台,从高程、坡度、地形起伏度、沟壑密度、降雨量和地层岩性 6 个方面,对博州地区主要地质灾害的空间分布特征进行分析。结果表明,博州主要地质灾害集中分布于地形切割强烈、沟谷多、坡度大、地形起伏度大、降雨量大、岩性软弱的中高山和河谷地带。

关键词 地质灾害;博州;ArcGIS;空间分异性;DEM;地貌

中图分类号:P208

文献标识码:A

ANALYSIS OF SPATIAL DISTRIBUTION OF GEOHAZARDS IN BORTALA REGION

Liu Xiaoli^{1,2)}, Li Jinggang^{1,2)}, Li Xue^{1,2)} and Wang Qiuliang^{1,2)}

(1)Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071)
(2)Wuhan Base of Institute of Crustal Dynamics, CEA, Wuhan 430071)

Abstract The Bortala Region is one of the potential area suffering from serious geohazards, where geographical types are various and complicated. By means of existing data, field investigation, DEM and geological map of the Bortala region, the main geohazard distribution were studied and geohazard susceptibility coefficients was computed by 6 independent factors (elevation, slope, relief, gap density, annual rainfall, lithology) on ArcGIS as a platform. Based on the geohazard susceptibility coefficients, the study area was divided into five classes, namely very low susceptibility, low susceptibility, moderate susceptibility, high susceptibility, and very high susceptibility, and the geohazard susceptibility map was produced. The results show that high-susceptibility zones located in moderate-high mountains and river valleys with high reliefs, steep slopes, intensive gully and soft rock.

Key words: geohazard; the Bortala region; ArcGIS; spatial distribution; DEM; geomorphology

博尔塔拉蒙古自治州(简称“博州”)地处新疆维吾尔自治区西北部,南、北、西三面环山,高山、丘陵、平原等自西向东呈阶梯状高低分布,中部基本是河谷谷地,东部是相对开阔的冲积扇平原(精河平原),东北部为艾比湖流域的汇水中心和风区阿拉山口。境内北东阿拉套山与近东西向别珍套山、科古琴山、博罗霍洛山(北天山分支)在西部复合交

汇,地貌上呈现朝东撒开、向西收敛的山(岭)、盆结构^[1]。山地面积占总面积的 56%,是山洪灾害主发地区,灾种以崩塌及崩塌隐患为主,泥石流、滑坡数量较少。地质灾害规模均为小型,但在汛期地质灾害易发性非常突出^[2]。目前,鲜有文献对本区地质灾害的发育特征、形成原因、时空分布进行分析。本文根据博州已知的 215 个主要地质灾害点,分析了

* 收稿日期:2013-12-02

基金项目:中国地震局地震研究所所长基金项目(15201116022)。

作者简介:刘小利,女,1977 年生,博士,助理研究员,主要研究方向为:3S(GPS/GIS/RS)集成与地学应用。E-mail:liuxl.j@163.com。

博州主要地质灾害的空间分异性特征及其影响因素。

1 地质灾害空间分布特征分析

根据研究区的地形地质特征,结合野外实地调查和理论经验,选取高程、坡度、地形起伏度、地层岩性、沟壑密度、降雨量等作为地质灾害发育环境的判别因子^[3-5],从空间分布特征分析区域地质灾害形成与环境的关系。

1.1 数据源

研究以博州近 5 a 以来的地质灾害调查数据、降雨量、ASTER GDEM 地形数据,以及 1:20 万地质图作为基础。图 1 为博州地区崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害点的分布。

1.2 高程

地表高程对地质灾害分布产生的影响表现为不同高程范围的地形坡度差异,存在易于边坡滑动的临空面以及不同高程范围的人类活动强度差异等^[4]。研究区海拔高程范围为 189 ~ 4 569 m,划分

为 9 个等级,各分级对应的地质灾害点数量和密度见表 1。

由表 1 可知,高程越大,其覆盖面积越小。研究区内大部分区域的高程值相对较低,高程 < 2 500 m 的区域覆盖面积占整个研究区的 82. 18%。86. 98% 的地质灾害发生在高程 500 ~ 2 500 m 的区域。灾害的高密度高程范围为 1 500 ~ 2 000 m;灾害密度随着高程的增加(> 2 000 m)或降低(< 1 500 m)而减少。4 000 m 以上区域地势较高,人类聚居较少,可能存在“有灾无害”的灾害没有统计到。

1.3 原始坡度

坡度是地质灾害的重要控制因素,与土层厚薄、气候条件、水文条件、岩性条件等密切相关。随着坡度的增加,包括重力在内的剪切力增大,相应的滑坡发生概率也会增大。而且,坡度较大的区域崩塌也会为滑坡的发生提供大量的物质来源,进而为触发滑坡创造有利条件^[5]。整个研究区的坡度范围为 0 ~ 81. 7°,划分为 9 个等级,各分级对应的地质灾害点数量和密度见表 2。

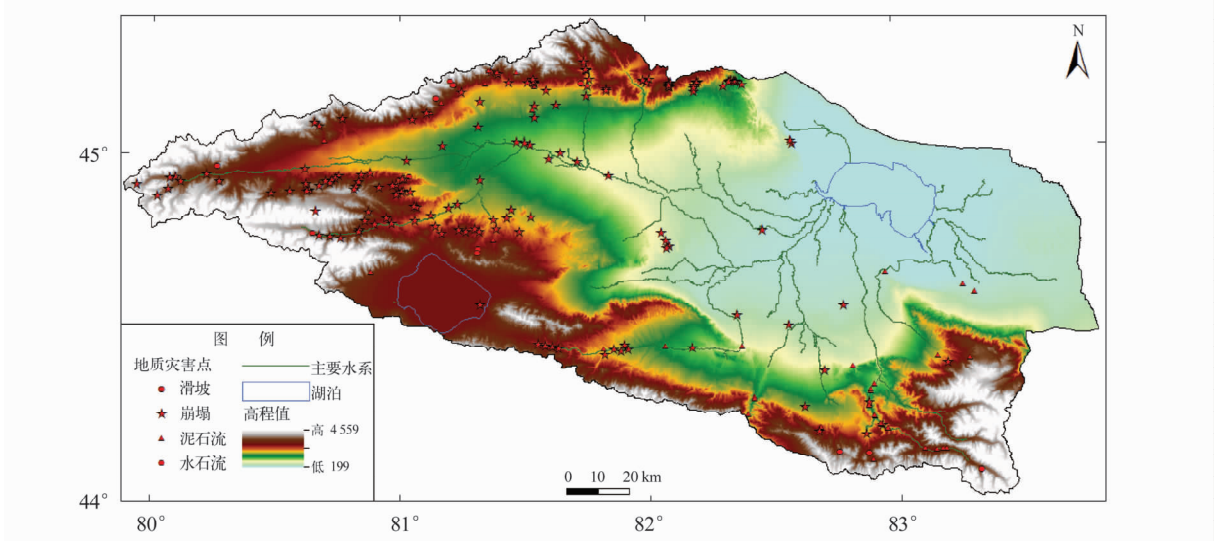


图 1 博州地质灾害空间分布图
Fig. 1 Distribution of geohazards in the Bortala region

表 1 高程分级与主要地质灾害指标

Tab. 1 Elevation classes and index of geohazards in the Bortala region

等级	高程/m	面积/km ²	面积百分比	灾害点数	灾害点比例	灾害点密度/个·km ⁻²
1	< 500	8 550. 22	29. 75	9	4. 19	0. 001 1
2	500 ~ 1 000	4 430. 73	15. 41	25	11. 63	0. 005 6
3	1 000 ~ 1 500	3 748. 62	13. 04	42	19. 53	0. 011 2
4	1 500 ~ 2 000	3 111. 87	10. 83	71	33. 02	0. 022 8
5	2 000 ~ 2 500	3 780. 78	13. 15	49	22. 79	0. 013 0
6	2 500 ~ 3 000	2 265. 98	7. 88	17	7. 91	0. 007 5
7	3 000 ~ 3 500	1 954. 04	6. 80	1	0. 47	0. 000 5
8	3 500 ~ 4 000	861. 68	3	1	0. 47	0. 001 2
9	> 4 000	39. 41	0. 14	0	0	0

表 2 坡度分级与主要地质灾害指标

Tab. 2 Slop classes and index of geohazards in the Bortala region

等级	坡度/(°)	面积/km ²	面积百分比	灾害点数	灾害点比例	灾害点密度/个·km ⁻²
1	<5	11 699.73	42.23	56	26.05	0.004 8
2	5~10	5 033.16	18.17	41	19.07	0.008 1
3	10~15	2 656.03	9.59	35	16.28	0.013 2
4	15~20	1 963.12	7.09	19	8.84	0.009 7
5	20~25	1 661.96	6	21	9.77	0.012 6
6	25~30	1 463.37	5.28	19	8.84	0.013 0
7	30~35	1 227.83	4.43	11	5.12	0.009 0
8	35~40	940.50	3.39	9	4.19	0.009 6
9	>40	1 060.37	3.83	4	1.86	0.003 8

由表 2 可知,研究区大部分区域坡度较缓,地质灾害发育随着坡度的增加而增加。大部分地质灾害分布在<15°的坡度范围内,且灾害密度增加较快;其余灾害则主要分布在 15~40°的坡度范围,这可能是因为>40°的坡度陡峻地区缺少统计数据所致。

1.4 地形起伏度

地形起伏度是指特定区域内最高点与最低点海拔高度的差值^[6],是构造作用与地表剥蚀过程相互作用的结果,可以定量描述地貌形态,划分地貌类型,反映区域地表的切割剥蚀程度^[5]。整个研究区的地形起伏度范围为 0~1 197 m,划分为 6 个等级,各分级对应的地质灾害点数量和密度见表 3。

由表 3 可知,研究区的主要地貌类型为台地(30~70 m)、丘陵(70~200 m)、小起伏山地(200~500 m)和中起伏山地(500~1 000 m),其覆盖面积占整个研究区的 88.2%。97.67%的地质灾害发生在地形起伏度为 200~1 000 m 的区域,灾害密度随地形起伏度的增加而增加。

表 3 地形起伏度分级与地质灾害指标

Tab. 3 Relief classes and index of geohazards in the Bortala region

等级	地形起伏度/m	面积/km ²	面积百分比	灾害点数	灾害点比例	灾害点密度/个·km ⁻²
1	<30	3 199.92	11.13	1	0.47	0.000 3
2	30~70	6 238.70	21.70	15	6.98	0.002 4
3	70~200	6 908.61	24.04	23	10.70	0.003 3
4	200~500	5 955.14	20.72	90	41.86	0.015 1
5	500~1 000	6 249.23	21.74	82	38.14	0.013 1
6	>1 000	191.72	0.67	4	1.86	0.020 9

表 4 沟壑分级与地质灾害指标

Tab. 4 Gully classes and index of geohazards in the Bortala region

等级	沟壑密度/km/100 km ²	面积/km ²	面积百分比	灾害点数	灾害点比例	灾害点密度/个·km ⁻²
1	湖泊	495.22	1.72	0	0	0
2	30	3 355.60	11.67	3	1.40	0.000 9
3	60	6 293.44	21.90	28	13.02	0.004 4
4	90	11 042.50	38.42	118	54.88	0.010 7
5	120	7 072.71	24.61	65	30.23	0.009 2
6	150	483.85	1.68	1	0.47	0.002 1

1.5 沟壑密度

沟壑密度是描述地面切割破碎程度的一个指标,地面越破碎、地形越起伏多变的地方沟谷密度越大,沟壑密度越大的地方也越容易形成地表径流,地表径流形成越快,对土壤冲刷越严重,暴雨或融水也极易迅速汇集成洪,造成滑坡、崩塌等地质灾害^[7]。博州境内主要有博尔塔拉河水系和精河水系。博尔塔拉河水系主要包括博尔塔拉河、乌尔达克赛河、大河沿子河、阿恰尔河、哈拉吐鲁克河以及 40 余条山溪河沟,集水面积约 6 627 km²。精河水系包括精河、托托河以及 9 条山溪河沟,集水面积 1 419 km²。整个研究区的沟壑密度范围为 0~137 km/100 km²,划分为 6 个等级,各分级对应的地质灾害点数量和密度见表 4。

由表 4 可知,沟壑密度越大,地质灾害发生的几率越大。但沟壑密度为 150 时例外,这是因为其覆盖区域主要分布于博尔塔拉河谷地带。98.14%的地质灾害发生在沟壑密度为 60~120 的区域,灾害高密度区的沟壑密度为 90~120。

1.6 降雨量

博州特殊的地理位置和地貌特征形成了区域降水的独特性,在空间分布上极不均匀,暴雨和特大暴雨成为诱发地质灾害的主要天然动力之一^[8]。近48 a 以来,博州地区4个气象站年平均降水量为157.1 mm,阿拉山口站为109.9 mm,博乐站为186 mm,温泉站为229.8 mm,精河站为102.7 mm^[9]。通过插值将全区年降雨量划分为3个等级,各分级对应的地质灾害点数量和密度见表5。

由表5和图1可知,博州地区年降雨量整体上表现为从西向东逐渐减少,平原、戈壁及沙漠地区降

水稀少,山区降水则明显增加。地质灾害与年平均降雨量的空间分布趋势明显一致,即随着降雨量的增加,灾害发生的比重也逐渐增大。

1.7 地层岩性

地层岩性是地质灾害发生的物质基础,决定着斜坡的结构强度,对地质灾害的发生具有重要的控制作用^[10]。博州市各个地质时代地层发育齐全,沉积类型繁多,不同地层岩性在地质灾害发育过程中的影响程度也不相同。按照地层,将研究区划分为12类,各类别对应的地质灾害点数量和密度见表6。

表 5 降雨量分级与地质灾害指标

Tab.5 Rainfall classes and index of geohazards in the Bortala region

等级	年降雨量/mm	面积/km ²	面积百分比	灾害点数	灾害点比例	灾害点密度/个·km ⁻²
1	100~150	11 216	39.03	51	23.7	0.004 5
2	150~200	9 142	31.8	69	32.1	0.007 5
3	200~250	8 386	29.17	95	44.2	0.011 3

表 6 地层与地质灾害指标

Tab.6 Stratum classes and index of geohazards in the Bortala region

类别	地层	面积/km ²	面积百分比	灾害点数	灾害点比例	灾害点密度/个·km ⁻²
1	积雪	350.01	1.22	0	0	0
2	水体	1 262.51	4.41	0	0	0
3	第四系	14 520.76	50.73	51	23.72	0.003 5
4	第三系	596.42	2.08	4	1.86	0.006 7
5	白垩系-三叠系	26.31	0.09	0	0	0
6	二叠系	494.81	1.73	9	4.19	0.018 2
7	石炭系	3 452.91	12.06	33	15.35	0.009 6
8	泥盆系	4 558.56	15.93	107	49.77	0.023 5
9	奥陶系-志留系	120.37	0.42	0	0	0
10	寒武系	80.02	0.28	0	0	0
11	前寒武系	1 533.34	5.36	5	2.33	0.003 3
12	侵入岩	1 747.32	6.10	6	2.79	0.003 4

由表6可知,覆盖研究区最广的地层是第四系,占整个研究区的50.73%;然后是泥盆系和石炭系,各占研究区的15.93%和12.06%;其他地层比重较小。88.84%的灾害分布于泥盆系、第四系和石炭系地层,灾害的高密度地层岩性为泥盆系岩层。据地质图和调查资料,灾害发育的泥盆系地层的主要岩性为碳酸盐岩、碎屑岩、硅质岩、硅质板岩、千枚岩及流纹斑岩、集块岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩、夹生物碎屑灰岩、杂色碎屑岩、夹长英质纳长斑岩,岩屑凝灰岩、硅质岩、角岩等;石炭系地层的主要岩性为深灰色碳酸盐岩、细碎屑岩、凝灰质砂砾岩、沉凝灰岩、砾岩、砂岩夹少量灰岩、凝灰质火山碎屑岩、生物碎屑灰岩、灰岩、泥灰岩、碎屑岩、酸性火山碎屑岩等;第四系地层的主要岩性为砂、砂泥、砾石、漂砾等为主的松散堆积层;二叠系地层的主要岩性为灰绿黄绿色黑灰色砂页岩与灰色灰岩、泥灰岩等。显然,地质灾害点被覆地层的岩性主要为较软弱或风化较强

的岩层。

2 地质灾害易发性快速评价

根据统计结果,分别按照灾害密度大小对6个影响因子进行重新赋值。不同因子的重分类赋值见表7。

考虑到各影响因子的量纲和规模处于不同的范围,分别对6个影响因子进行权重设置,统一到相同的等级体系。为此,首先将各因子的取值范围约束到[0,6],即按照原始等级或类别所对应的灾害点密度进行重新赋值。然后,根据野外实地调查和已有文献资料^[5,7,10,11],将6个因子对本区地质灾害的控制作用进行权重配置,由大到小依次为坡度(*S*)、地层岩性(*L*)、地形起伏度(*A*)、沟壑密度(*W*)、降雨量(*R*)和高程(*H*),取值分别为6、5、4、3、2、1。根据回归法^[11],对6个影响因子进行加权计算,可获得研究区地质灾害易发性系数*D*:

表 7 博州地质灾害影响因子的级别-权重赋值

Tab. 7 Susceptibility rating-weighting system of geohazards in the Bortala region

影响因子	等级/类别												因子权重
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
高程(<i>H</i>)	3	4	5	6	5	4	2	3	1	-	-	-	1
坡度(<i>S</i>)	4	4	6	4	5	5	4	4	3	-	-	-	6
地形起伏度(<i>A</i>)	2	3	4	6	5	6	-	-	-	-	-	-	4
沟壑密度(<i>W</i>)	1	2	4	6	5	3	-	-	-	-	-	-	3
年平均降雨量(<i>R</i>)	2	4	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
地层岩性(<i>L</i>)	1	1	4	4	1	5	5	6	1	1	3	3	5

$$D = H \times 1 + S \times 6 + A \times 4 + W \times 3 + R \times 2 + L \times 5$$
(1)

根据式(1),得到研究区灾害易发性系数取值范围为[52,126]。除少数异常点之外,趋势曲线整体上呈正态分布,与其他研究结果得到的趋势基本一致^[5,7,10,11],表明本文方法是可靠的。为便于地质灾

害区域划分,将得到的灾害易发性系数等间隔划分为5个级别:极低易发区(52~67)、低易发区(67~82)、中易发区(82~96)、高易发区(96~111)、极高易发区(111~126),重分类后得到研究区地质灾害易发性空间分布如图2。红色区域为最易发生地质灾害的区域,与历史地质灾害在空间分布上比较吻合。

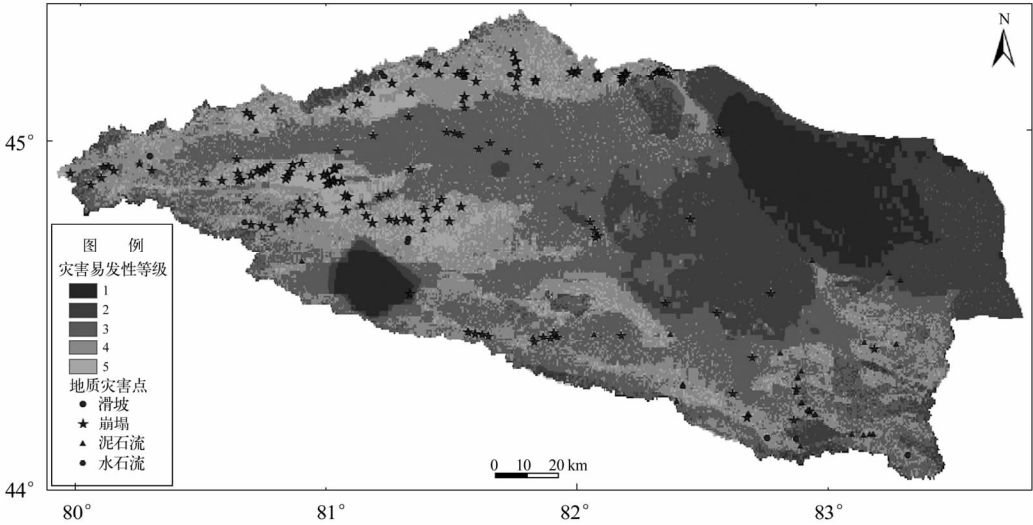


图 2 博州地质灾害易发性分级图

Fig. 2 Geohazard susceptibility map of the Bortala region

由图2可知,博州地质灾害易发区域主要集中于西北部的中高山区和河谷。研究区沟谷狭窄,两侧坡体陡峻,断裂构造发育,物理风化作用强烈,极易形成不稳定斜坡和危岩体。博尔塔拉河、库松木切克河、精河等河谷受物理风化、降水、河水凹岸侵蚀等作用,当强降雨或暴雨发生时,极易造成泥石流和水石流。另外,中部岗吉格山和北部阿拉套山常年积雪区春季融化,易造成崩塌和泥石流等。总地来说,地形切割强烈、沟谷多、坡度大、地形起伏度大、降雨量大、岩性软弱等特点,是地质灾害发生的主要条件。研究区内,高程为1 500~2 000 m、坡度为10~15°、地形起伏度为200~500 m、沟壑密度为90 km/100 km²的地区极易发生崩塌、滑坡等地质灾害。

3 结 语

基于GIS平台和DEM数据,对博州地质灾害的6个影响因子,即高程、坡度、地形起伏度、沟壑密度、降雨量、地层岩性进行了空间统计分析,利用基于经验知识的回归法对6个因子进行加权计算,获得地质灾害易发性系数及其分级图。结果表明,研究区地质灾害的空间分异性特点与其地形地貌、地层岩性和降雨量等因素有密切关系。

参 考 文 献

1 刘小利. ETM⁺和DEM数据在断裂解译中的应用[J]. 大地测量与地球动力学,2012(6):50-53. (Liu Xiaoli. Application of ETM⁺ image and dem data in fault interpretation [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2012(6):50-

- 53)
- 2 王凯博. 博州山洪灾害防治对策探讨[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 289 – 294. (Wang Kaibo. Discussion on the prevention and control measures of mountain torrents in Bozhou district [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(1): 289 – 294)
 - 3 Liu J G. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery; Zigui-Badong [J]. Geomorphology, 2004, 61(1–2): 171 – 187.
 - 4 Rawat J S, Joshi R C. Remote-sensing and GIS-based landslide-susceptibility zonation using the landslide index method in Igo river basin, Eastern Himalaya, India [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33(12): 3 751 – 3 767.
 - 5 Kawabata D, Bandibas J. Landslide susceptibility mapping using geological data, a DEM from ASTER images and an artificial neural network (ANN) [J]. Geomorphology, 2009, 113: 97 – 109.
 - 6 王秋良. 北川地区地震灾害的地形因子分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2008(6): 68 – 72. (Wang Qiuliang. Analysis on terrain factors of earthquake disaster in Beichuan area [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2008(6): 68 – 72)
 - 7 Baeza C, Corominas J. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2001, 26(12): 1 251 – 1 263.
 - 8 Sharma R H, Shaky N M. Rain induced shallow landslide hazard assessment for ungauged catchments [J]. Hydrogeology Journal, 2008, 16: 871 – 877.
 - 9 杨勇. 近 48 年新疆博州地区气候变化趋势的分析 [J]. 石河子大学学报, 2010, 28(4): 446 – 452. (Yang Yong. An analysis of the climatic change in the Bortala region in the last 48 years [J]. Journal of Shihezi University: Natural Science, 2010, 28(4): 446 – 452)
 - 10 Chigira M. Landslides induced by the 2008 Wenchuan earthquake, Sichuan, China [J]. Geomorphology, 2010, 118: 225 – 238.
 - 11 Ayalew L, Yamagishi H. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan [J]. Geomorphology, 2005, 65: 15 – 31.

(上接第 42 页)

- 4 张培震. 中国大陆的强震活动与活动块体 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(B04): 12 – 20. (Zhang Peizhen. Earthquake activities and active blocks in China [J]. Science in China: Series D, 2003, 33(B04): 12 – 20)
- 5 王敏. 现今中国大陆地壳运动与活动块体模型 [J]. 中国科学: D 辑, 2003, 33(B04): 21 – 32. (Wang Min. The present day crustal movement and block model of continental China [J]. Science in China: Series D, 2003, 33(B04): 21 – 32)
- 6 王辉, 金红林. 基于 GPS 资料反演中国大陆主要断裂现今活动断速率 [J]. 地球物理学进展, 2010, 25(6): 1 905 – 1 916. (Wang Hui, Jin Honglin. GPS-constrained inversion of present-day slip rates along major faults in Chinese mainland [J]. Progress in Geophysics, 2010, 25(6): 1 905 – 1 916)
- 7 高战武. 张家口-蓬莱断裂带的分段特征 [J]. 华北地震科学, 2001, 19(1): 35 – 42. (Gao Zhanwu. The segmental character of Zhangjiakou-Penglai fault [J]. North China Earthquake Science, 2001, 19(1): 35 – 42)
- 8 龚伟. 郯庐断裂带江苏段第四纪活动性研究 [J]. 地震研究, 2010, 33(1): 86 – 92. (Gong Wei. Research on quaternary activity in Jiangsu sector of the Tanlu fault zone [J]. Journal of Seismological Research, 2010, 33(1): 86 – 92)
- 9 王家映. 地球物理反演理论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. (Wang Jiaying. Geophysical inverse theory [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002)
- 10 Mc Caffrey R. Block kinematics of the Pacific-North America plate boundary in the southwestern United States from inversion of GPS, seismological, and geologic data [J]. J Geophys Res, 2005, 110(B7): 1 – 27.
- 11 Socquet. Microblock rotation and fault coupling in SE Asia triple junction from GPS and earthquake slip vector data [J]. J Geophys Res, 2006, 111: B8409.
- 12 Subarya C, Chlieh M, Prawirodirdjo L. Plate-boundary deformation associated with the great Sumatra-Andaman earthquake [J]. Nature, 2006, 440(2): 46 – 51.
- 13 Prawirodirdjo L, Bocl Y, McCaffrey R, et al. Geodetic observations of interseismic strain segmentation at the Sumatra Subduction Zone [J]. Geophys Res Lett, 1997, 24(21): 2 601 – 2 604.
- 14 Wallace L M, McCaffrey R, Beavan J, et al. Rapid microplate rotations and backarc rifting at the transition between collision and subduction [J]. Geology, 2005, 33(11): 860 – 875.
- 15 McCaffrey R, Qamar A I, King R W, et al. Fault locking, block rotation and crustal deformation in the Pacific Northwest [J]. Geophysical Journal International, 2007, 169(3): 1 315 – 1 340.
- 16 Manaker D M, Calais E, Freed A M, et al. Interseismic plate coupling and strain partitioning in the northeastern Caribbean [J]. Geophysical Journal International, 2008, 174(3): 889 – 903.