

# 基于图幅调查的六盘山镇孕灾地质条件分析

王高峰, 王爱军, 田运涛, 孙秀娟, 李强

(中国地质调查局 水文地质环境地质调查中心, 河北 保定 071051)

**摘要:** 调查研究小流域孕灾地质环境背景, 是分析地质灾害时空分布规律与成灾模式, 完成地质灾害易发程度、危险性区划评价, 提出地质灾害综合防治对策建议的重要依据。以泾河流域六盘山镇幅地质灾害调查为实例分析了地形地貌、地质构造和工程地质岩组与地质灾害的关系。结果显示: (1) 大的地貌单元和格局较明显地控制着地质灾害的分布, 不同地貌单元内的地质灾害类型、发育程度和分布特征等都有差异性, 统计表明滑坡主要发育在剥蚀构造丘陵陵区及低山区地貌, 泥石流主要发育在侵蚀中低山区, 崩塌主要分布在河谷斜坡地带和断裂带内, 地质灾害一般沿地貌边界带密集分布发育, 尤其是沿断裂呈线状展布; (2) 软弱的泥岩岩组是研究区内主要的易滑地层, 控制着地质灾害的分布, 在不同工程地质岩组区间内滑坡面积的多寡与滑坡分布密度相关性不大; (3) 区域地质构造不仅控制着区域地层的展布, 也控制着区域地质灾害的发育, 不同断裂也凸显出一定的差异性。

**关键词:** 地质灾害; 孕灾地质条件; 泾河流域; 易滑地层

中图分类号: P642.2; P642.4; P694

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)05-0364-06

## Analysis on Disaster-Pregnant Geological Environment of Liupanshan Town Based on Map Sheet Survey

WANG Gaofeng, WANG Aijun, TIAN Yuntao, SUN Xiujian, LI Qiang

(Center for Hydrogeology and Environmental Geology Survey, China Geology Survey, Baoding, Hebei 071051, China)

**Abstract:** The investigation on small basin disaster-pregnant geological environment is an important basis to analyze the spatial and temporal distribution of geological disasters and disaster mode. It is also important to complete geological disaster-prone degree and zoning assessment of geological disasters and to propose comprehensive countermeasures. The geological hazard survey in Liupanshan Town of Jinghe River Basin analyzed the relationship between topography, geological structure, engineering geological rock group and geological disasters. The results show that: (1) the large landscape units and patterns obviously control the distribution of geological disasters, the geological disasters within the different types of landforms, the degree of development and distribution have some differences, the statistics shows that landslide mainly develops in the erosion construction hilly and low mountain areas, debris flow mainly develops in the low mountains, and collapse mainly develops in the valley slope zone and fault, the distribution of geological disasters develops densely along the border of general topography, linear distribution is common along the fault; (2) the weak mudstone rock group are the region's major slide-prone stratum, controlling the distribution of geological disasters, the amount of the landslide has little correlation with landslide density in the range of different engineering geological rock group; (3) the regional geological structure not only controls the stratum spread, also controls the development of regional geological disasters. Different fracture highlights some differences.

**Keywords:** geo-hazards; Disaster-Pregnant Geological Environment; Jinghe River Basin; slide-prone stratum

收稿日期: 2015-07-10

修回日期: 2015-08-02

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目“泾河流域地质灾害调查评价”(12120113008700)

第一作者: 王高峰(1984—), 男, 河南淮阳人, 硕士, 工程师, 主要从事地质灾害调查及 GIS 研究。E-mail: 403016203@163.com

通信作者: 王爱军(1963—), 男, 河北辛集人, 学士, 教授级高工, 主要从事地质灾害调查、监测预警研究。E-mail: ffs wajun@163.com

1999—2008 年开展以县市为调查单元的地质灾害调查与区划,基本摸清了我国地质灾害发育状况,划分了地质灾害易发区,建立了以县为单元的地质灾害群测群防体系。2005 年在地质灾害多发的县(区、市)启动的 1:5 万崩滑流地质灾害调查,基本查明了我国地质灾害及隐患点的分布规律,为编制全国和地方地质灾害防治规划提供了科学依据,在地质灾害防治实践中发挥了重要的技术支撑作用。近年来,重大地质灾害仍然时有发生,地质灾害防灾减灾形势依然严峻。对孕灾地质条件调查深度不够,地质灾害发育规律和地质灾害链认识不足,较少开展极端条件下地质灾害易发性和风险性的定量评价。对此,2013 年以来,在地质灾害高易发区,选择人口密集的中小流域、活动构造带、重要城镇、重大工程区,以 1:5 万标准图幅为基本工作单元,启动了更加注重孕灾地质背景和工程地质条件调查的崩塌滑坡泥石流灾害调查,由铺面全覆盖调查评价转向具有典型性或代表性的地质灾害高易发区的调查评价,从“就灾论灾”的地质灾害调查转向地质灾害隐患与孕灾地质条件的综合调查。

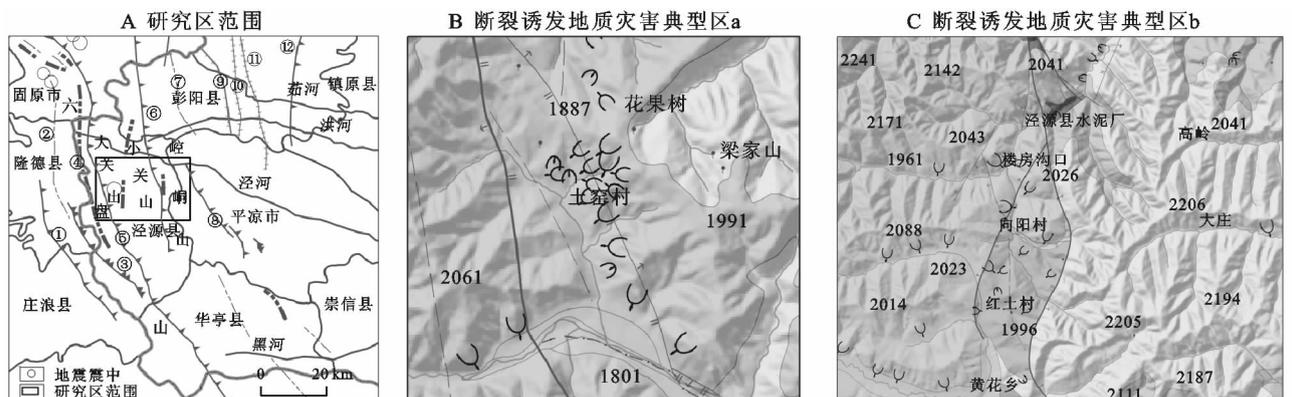
地质灾害的产生是孕灾因子和致灾因子共同作用的结果。相对致灾因子的时变性,孕灾因子的变化相对迟缓,地质灾害孕灾环境研究是进行相关研究的基础<sup>[1]</sup>。如何正确确定不同区域地质灾害孕灾背景条件是开展一个地区地质灾害调查的前提,也是一项复杂的、难度较大的系统科学问题。对因素的选择要适当,才有利于孕灾因素权重的分配;对地质灾害孕灾背景条件的选取没有统一的规定,不同的研究人员所选取的因素也各不相同。差异性地貌为滑坡、崩塌的生成和泥石流的形成运移提供了良好的势能和物质积累条件,在很大程度上决定了地质灾害能否形成以及其类型、数量、规模;地质构造不仅控制地貌的形成发育,也改变了岩土体的结构、物理性质和力学强度;不同的构造单元有着不同的地层岩性组合,岩土

体岩性组合及其结构特征对于滑坡变形失稳的影响是显著的,它们是决定斜坡岩土体强度、应力分布、变形破坏特征的基础,同时也是滑坡等地质灾害的物质基础,在一定程度上决定了坡体的破坏失稳方式;在具备合适的地形地貌和地质条件时,降水尤其是持续性降水或短时高强度暴雨无疑是引发地质灾害最主要的因素之一。

研究区地质灾害的发生主要受地形地貌、地质构造、岩性组合等孕灾因子控制,在 GIS 平台环境下,基于六盘山镇幅地质灾害调查数据库,分别统计每个因子的取值区间与地质灾害分布的关系。衡量地质灾害发育程度的指标主要包括:地质灾害面积百分比(LAR),即影响因子的不同取值区间内地质灾害面积除以区间面积;地质灾害点分布频数(LC),为每 km<sup>2</sup> 内灾害的个数。本文主要采用 LC 来衡量地质灾害在某一因子不同区间内的发育程度。

## 1 研究区概况

研究区位于泾河流域源区,涉及行政区域包括宁夏回族自治区泾源县、甘肃省平凉市崆峒区,主要位于泾源县中北部。在地貌上地处六盘山东麓,崆峒山西缘,地貌形态可分为侵蚀构造中低山区、丘陵区和侵蚀堆积河谷阶地区,地形起伏较大,地表侵蚀强烈;地质构造上位于华北陆块鄂尔多斯地块西缘与秦祁活动带祁连—北秦岭褶皱系东端的复合部位,宁夏南部弧形挤入推覆构造带之西华山—六盘山弧形推覆构造带的南段,大地构造位置特殊,褶皱、断裂较为发育;地震频发,属地质灾害高易发区。区域孕灾地质背景复杂,新构造运动强烈,岩土体类型及性质各异,基岩山区及黄土等地貌类型丰富,河流水系发达,且人类工程活动剧烈,致使在不同孕灾地质条件下的地质灾害形成机制及发育特征也不相同。因此开展该区域地质灾害孕灾条件背景研究极其重要。图 1 为研究区范围与地质构造诱发地质灾害分布图。



①上梁公社—刘家峡断裂;②隆德向斜;③月亮山断裂;④六盘山背斜;⑤六盘山断裂;⑥固原断裂;⑦古城镇向斜;⑧西沟断裂;⑨白阳镇西正断层;⑩白阳镇西逆断层;⑪王洼镇逆断层;⑫沙井子断裂。

图 1 研究区范围与断裂诱发地质灾害分布

## 2 孕灾地质背景条件分析

### 2.1 地形地貌控制作用

地形地貌是崩塌、滑坡、不稳定斜坡以及泥石流等突发性地质灾害类型和规模的主控因素,为地质灾害提供能量和活动场所<sup>[2]</sup>。研究区位于我国地质地貌南北向分界线、第一梯级向第二梯级的转折过渡地带,跨地台与地槽区。东面是鄂尔多斯断块,西北为阿拉善断块,西南系青藏断块及祁连地槽褶皱系。新生代时期,北部受华北应力场的影响,南部受青藏应力场的影响,使该区域具有挤压型弧形地貌格局。再者该区西部即六盘山基岩山区(大关山)为中更新世以来在挤压或剪切—挤压型断裂构造作用下,再经流水侵蚀的碎屑岩泥质岩中山区地貌类型;中部为上新世末—更新世初以来的受挤压型构造影响,经流水侵蚀的兼具红层狭长的涇源县城—六盘山镇剥蚀构造丘陵区地貌,局部夹侵蚀堆积而成的冲积河流阶地地貌;东部即小关山为前第三纪以来在挤压或剪切—挤压型断裂构造作用下,再经流水侵蚀的碎屑岩、泥质岩低山区地貌类型。

这种特殊的大地构造位置或特定的地质构造背景以及独有的新生代应力状态,深刻地影响着该区地貌的形成与发展,决定了区域地貌的基本特征。野外实地调查统计分析:滑坡主要发育在剥蚀构造丘陵区及低山区地貌;泥石流主要发育在侵蚀中低山区;崩塌主要分布在河谷斜坡地带和断裂带内。地质灾害一般沿地貌边界带密集分布发育,尤其是沿断层呈线状展布。

不同高程的地方,受河流切割作用不同,往往形成不同的地形地貌,其与地质灾害的分布存在一定耦合关系。研究区数字高程模型(DEM)空间分辨率为 25 m×25 m,在 GIS 平台下可以通过 DEM 提取坡向、坡度因子栅格。研究区内高程为 1 560~2 685 m,按照 100 m 一个级别将研究区内高程进行分组,并统计每组内发育的地质灾害面积,统计结果见表 1。大约 83%的研究区高程位于 2 100 m 以下,2 100 m 以上面积仅为 17%。约 95%的地质灾害发育在 2 100 m 高程以下,超过 50%的地质灾害发生在 1 900~2 100 m 高程范围内,地质灾害发育灾害面积百分比最大的高程区间为 1 900~2 000 m。

表 1 地质灾害与高程的关系

高程/m	A/km <sup>2</sup>	LN/处	LA/km <sup>2</sup>	PoLA/%	LC/(个·km <sup>-2</sup> )
1560~1700	17.90	3	0.04	0.44	0.168
1700~1800	31.53	11	0.36	3.78	0.349
1800~1900	67.59	17	0.81	8.36	0.252
1900~2000	128.01	64	3.90	40.50	0.500
2000~2100	101.36	39	2.48	25.78	0.385
2100~2200	41.64	4	0.40	4.14	0.096
2200~2300	14.87	3	1.64	17.00	0.202
>2300	16.27	0	0.00	0.00	0.000

注:A为因子划分区间面积,LN为地质灾害数量,LA为地质灾害面积,PoLA为灾害面积占总灾害面积百分比,LC为地质灾害点分布频率,下表同。

坡度是地质灾害发生的主要影响因素之一,对其发生起到控制性作用;另外坡度广泛用于地质灾害危险性的评价因子,不同坡度坡体,其内部应力分布不同,稳定性不同,以往研究表明坡度在 10°~40°最易发生滑坡灾害。在 GIS 空间分析模块中以 DEM 为基础插值等高线获得地形坡度,将研究区坡度划分为 6 级,即 <5°,5°~15°,15°~25°,25°~30°,30°~40°, >40°。研究区内坡度分类与各个级别中的地质灾害

发生统计情况见表 2,统计结果表明大部分地质灾害发育在坡度 5°~40°。在坡度过大(>40°)与过小(<5°)的区域内地质灾害均很少发生,但是灾害点分布频率最大的是坡度 5°~25°和大于 40°的区域内。以滑坡为例,研究区在 5°~25°坡度范围内最易发生滑坡灾害,而黄土型滑坡主要发生在坡度为 10°~40°,基岩滑坡主要发生在 25°~50°,碎石层滑坡主要发生在 5°~45°,土岩复合型滑坡主要发生在 8°~40°。

表 2 地质灾害与坡度的关系

坡度/(°)	A/km <sup>2</sup>	LN/处	LA/km <sup>2</sup>	PoLA/%	LC/(个·km <sup>-2</sup> )
<5	21.03	3	0.12	1.25	0.143
5~15	96.69	48	2.50	25.94	0.496
15~25	139.21	58	2.95	30.62	0.417
25~30	65.29	13	2.01	20.88	0.199
30~40	86.99	17	1.98	20.57	0.195
>40	9.97	2	0.07	0.74	0.201

坡向对研究区内的地质灾害发育起着一定的作用:(1)因为六盘山东麓深大逆冲断裂走向自北而南由北北向变为北北西—近南北向,在垂直于主应力方向上的岩石受积压破碎;(2)坡向决定了坡体受阳光照射时点及时长,进而影响岩体风化速度,从一定程度

上影响着地质灾害的发生。地质灾害与坡向的统计结果见表3,可以看出SSE—SSW是地质灾害发育的优势方向,其次是SE,原因是研究区地貌形成是六盘山东麓断裂侧向挤压逆冲所致,而导致此坡向的斜坡易于失稳而滑动,所以在此坡向上的地质灾害占优势。

表 3 地质灾害与坡向的关系

坡向分类/(°)	A/km <sup>2</sup>	LN/处	LA/km <sup>2</sup>	PoLA/%	LC/(个·km <sup>-2</sup> )
0~22.5	28.19	2	0.18	1.90	0.071
22.5~67.5	61.55	4	0.14	1.42	0.065
67.5~112.5	60.17	10	1.98	20.51	0.166
112.5~157.5	51.08	40	2.48	25.76	0.783
157.5~202.5	47.15	38	2.44	25.29	0.806
202.5~247.5	44.72	22	1.19	12.38	0.492
247.5~292.5	49.16	12	0.76	7.85	0.244
292.5~337.5	51.20	9	0.39	4.03	0.176
337.5~360	25.96	4	0.08	0.86	0.154

## 2.2 工程地质岩组控制作用

地层岩性是地质灾害发生、发展的重要内因和物质基础。不同的岩土体具有不同的力学性质、不同的岩性组合及斜坡结构类型具有不同的稳定性,其发育的地质灾害类型不同<sup>[3]</sup>。即岩土体性质在一定程度上决定着地质灾害的发育程度与类型,是形成的内在主要控制因素,其类型、性质、结构决定着致灾体的物质来源,并控制着地质灾害的发育类型和生成规模<sup>[4]</sup>。按照岩土沉积环境或建造类型、结构特征及其工程特性,将研究区划分为7个工程岩组类别。这7类工程地质岩组分别为:I类工程岩组为松散黏砂—砾石双层结构土,主要为松散黏砂土,含少量砾石、碎石,下部为砾石层,多成河流阶地地貌,砾石土骨架疏松,易形成河道塌岸;II类工程岩组为非湿陷性黄土—卵砾石双层结构土,主要为粉砂质黄土层、砂砾石层、碎石土层,沉积物柱状节理发育,整体结构较差,局部胶结强度大,在雨水和外力作用下极易产生崩塌、黄土滑坡、覆盖层滑坡等地质灾害;III类工程岩组为软弱的泥岩岩组,由古近系山麓冲积扇—河相粗碎屑岩沉积的寺口子组砂砾岩、泥岩和湖湘沉积的清水营组砂岩、泥岩组成,该岩组表层松散堆积层遇水饱和,大部分遇水沿裂缝下渗到伏具有遇水软化、具有隔水性的泥岩、粉砂质泥岩,在软弱接触带多产生滑坡灾害;IV类工程岩组为半坚硬的块状、片状薄—中厚层状泥岩、页岩泥岩岩组,由下白垩系马东山组、乃家河组泥灰岩、泥灰质页岩、泥岩等组成,在小关山一带集中出露,局部呈东西向狭条带延伸至崆峒山脉,该岩组多发育基岩滑坡、覆盖层—基岩混合型滑坡、泥石流等灾害;V类工程岩组为较坚硬块状中厚层状粉砂岩夹页岩岩组,岩性

为白垩系李洼峡组粉砂岩,泥灰质粉砂岩夹页岩,粉砂质页岩等,在马场大台至西峡水库一带及研究区东部崆峒山与小关山交界一带等地呈南北向分布,属较坚硬岩石;VI类工程岩组为坚硬块状厚层状砾岩砂岩岩组,由下白垩系三桥组块状砾岩,和尚铺组砂岩组成,主要分布在六盘山东麓东坡—松树台沿线及崆峒山西缘沿线;砂岩、含砾砂岩在秋千架一带出露,属坚硬岩石;VII类工程岩组为碳酸盐类岩建造的坚硬的块状厚层状石灰岩岩组,由中寒武系、中奥陶系青灰色灰岩组成,为碳酸盐台地潮坪相沉积及台地边缘浅滩相、滨海浅滩沉积,岩层层状结构发育,属坚硬岩石,地质灾害发育少。

不同岩组内地质灾害发育面积与数目统计结果见表4。就整个研究区而言,总的地质灾害面积占研究区总面积的百分比为2.3%,灾害密度为0.336个/km<sup>2</sup>。大部分地质灾害(46.1%)发生在IV类岩组中,此类岩组的平均灾害面积也是最大的,达到4.38km<sup>2</sup>,但是灾害密度反而较低;III类岩组中也发育了占地质灾害总数量38.3%的灾害,但是该岩组地质灾害密度最高,达到0.987个/km<sup>2</sup>;其他5类发育的地质灾害数量很少。

研究区与地质灾害关系密切的易滑地层主要有古近系泥质、砂质红层软岩;白垩系的紫红色泥岩。这些易滑地层强度低、遇水易软化,由其组成的斜坡稳定性差,发生滑坡的频率高。主要是因为:一方面,不同时代的红层软岩的岩性、结构构造和产状有较大的差异,对斜坡稳定性、滑坡类型和发育程度有一定影响。研究区白垩系地层层理发育,单层厚度变化大,一般厚度较小,岩相岩性变化较大,夹有多层页

岩、灰岩,软硬相间,物理力学性质变化也较大。且经受的地质构造作用也较强烈,节理发育,局部岩层倾角大而易变,差异性风化明显。因此,白垩系红层软岩中滑面沿层理发育的顺层滑坡较常见。另一方面,古近系泥岩岩性相对单一,以泥岩、砂质泥岩为主,多为厚层状,层理不甚发育,物理力学性质变化不大,除盆地边缘、断层带附近外,岩层一般呈近水平状,也多发育切层滑坡。该层在水的作用下,强度急剧降低,

产生滑坡,而成为易滑地层。再者,在水的作用下泥岩还具有膨胀性,当水进入泥岩变形破坏区,产生软化的同时,发生体积膨胀,劈裂岩体,加速变形破坏和滑面的发育,膨胀压力作用于上部变形体,降低滑面上的有效应力,促发滑坡。古近系泥岩还具有半定向一定向排列的微结构特点,从而发育天然软弱面,便产生岩性的各向异性和沿定向排列方向的蠕变性和易滑性,同时具有明显的流变性。

表 4 地质灾害与岩组的关系

岩性分类	A/km <sup>2</sup>	LN/处	LA/km <sup>2</sup>	PoLA/%	LC/(个·km <sup>-2</sup> )
I	18.48	9	0.62	6.48	0.487
II	3.43	3	0.54	5.63	0.876
III	54.70	54	3.49	36.19	0.987
IV	193.77	65	4.38	45.49	0.335
V	107.42	6	0.41	4.23	0.056
VI	40.87	4	0.19	1.99	0.098
VII	0.50	0	0.00	0.00	0.000

### 2.3 断裂构造带控制作用

地质构造条件对地质灾害的发育分布有重要的影响,主要包括构造格局、新构造运动、断裂等方面对滑坡的控制作用。断裂是岩体破碎,并为地下水渗流创造了条件,他常常控制着滑坡、崩塌的发育地带的延伸方向、发育规模及分布密度<sup>[5]</sup>。研究区受北北西一近南北向构造控制,从西部到东部依次形成了六盘山背斜、六盘山深大逆冲断裂、泾源断陷向斜、崆峒山背斜大地构造格局。背斜中低山区主要以白垩系地层为主;向斜盆地丘陵区主要覆盖古近系泥岩和砂岩地层,少数地段马兰黄土盖帽式覆盖。在中、低山区以崩塌和泥石流灾害为主,主要威胁公路、景区等;断陷盆地区以覆盖层滑坡为主,主要威胁居民区及主

干公路。

断裂构造分析采用构造线密度来表达,即单位面积内断裂线的总长度,然后以 DEM 数据为基础,首先生成 1 km×1 km 网格,然后利用 GIS 中的分析功能,将研究区内断裂及断层经过与网格相交、重新统计总长度、连接等操作,最后得到构造密度图。这样将研究区按照密度系数分为 7 类,研究区内最大构造密度为  $3 \times 10^{-3}$  m/km<sup>2</sup>,对每个类别中的地质灾害发育情况进行统计分析,结果见表 5,可以看出在断裂构造密集发育区也是地质灾害高发区。大约 62% 的研究区构造密度小于  $1 \times 10^{-4}$  m/km<sup>2</sup>,相对应超过 50% 的地质灾害也发生在该区间,但是灾害点分布频率最大的是  $1.5 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-3}$  的区域,达到了 0.918 个/km<sup>2</sup>。

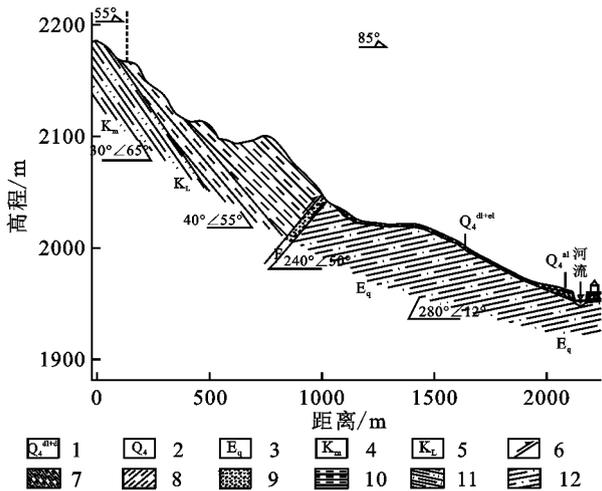
表 5 地质灾害与断裂的关系

构造密度/( $10^{-4}$ m·km <sup>-2</sup> )	A/km <sup>2</sup>	LN/处	LA/km <sup>2</sup>	PoLA/%	LC/(个·km <sup>-2</sup> )
<0	172.95	56	2.72	28.19	0.324
0~1	88.64	26	1.77	18.42	0.293
1~5	46.77	12	0.59	6.17	0.257
5~10	55.06	15	2.10	21.82	0.272
10~15	36.61	17	1.13	11.77	0.464
15~20	13.07	12	1.11	11.55	0.918
20~30	6.06	3	0.20	2.08	0.495

根据表 5 分析研究区地质灾害与断裂的关系:(1) 活动断裂两侧地形地貌、地层岩性差异显著,为地质灾害的形成提供了动力来源和物性差异。处于研究区西部的六盘山东麓深大逆冲断裂不仅控制了研究区中山区到河谷丘陵区的展布,而且控制了白垩系地层与古近系地层的分布。在断裂下盘出露地层大部分为古近系清水营组及寺口子组砖红色泥岩、砂

岩易滑地层,在山前斜坡顶部还出露盖帽式黄土层,在河谷斜坡中上部出露第四系砂砾石层;而在其上盘主要发育白垩系六盘山群泥岩、灰岩及砾岩地层,岩性较坚硬。六盘山东麓深大逆冲断裂控制了六盘山东麓中山区与河谷丘陵区的边界,沿断裂发育了一系列的古、老、新地质灾害,滑坡、崩塌、泥石流具有大量发育,在其上盘以崩塌、泥石流灾害为主,而在下盘以

滑坡灾害为主。另外,在研究区中东部的土窑—秋千架—沙南逆冲断裂作为白垩系坚硬—半坚硬岩层与古近系软弱红层的分界线其对滑坡灾害的控制也较明显,在其下盘以中小型滑坡、崩塌灾害发育,相反,在其上盘地质灾害不发育,但是局部褶皱、小型断层十分发育,坡体往往剥蚀严重,在该断裂带内中大型滑坡极其发育,坡体前缘堆积大量的土黄色强胶结的碎石层,厚度从 10~40 m 不等。(2) 六盘山东麓深大逆冲断裂带控制了研究区南北向断陷区域地质灾害分布的空间格局,尤其是该断裂为一新的构造活动断裂,它处于华北陆块鄂尔多斯地块西南缘与秦祁活动带祁连—北秦岭褶皱系东端的复合部位,宁夏南部弧形挤入推覆构造带之西华山—六盘山弧形推覆构造带的南段。新近纪末的喜马拉雅运动使研究区接受第四期变形,构造活动甚为强烈,使六盘山东麓、小关山等地形成断裂,并且向着东北侧的盆地逆冲,古近纪—新近纪地层也被卷入变形之中,白垩纪地层逆冲到了古近系之上(图 2),这次运动造就了现今活动断裂分布及地貌的基本轮廓。第四纪活动是新近纪末喜马拉雅运动的继续,更新世—全新世研究区在总体上升遭受剥蚀的同时,在河流的沟谷、山间盆地及山麓地带沉积了冲积、洪积的砂、砾、泥和厚度不等的风成黄土。地质灾害大部分沿兼具红层狭长的新民乡—六盘山镇构造断陷区内密集发育且规模大,数量多,尤其发育大量的新滑坡。



注:1 第四系全新统崩坡积物;2 第四系全新统冲积物;3 古近系渐新统清水营组;4 白垩系下统马东山组;5 白垩系下统李洼峡组;6 逆断层;7 含砾粉质黏土;8 粉质黏土;9 碎裂岩;10 泥岩;11 泥质粉砂岩;12 粉砂质泥岩。

图 2 泾源兰家大庄附近断层地质剖面

### 3 结论

(1) 地质灾害主要发育在 2 100 m 高程以下,且在 1 900~2 100 m 高程范围内集中发育,在 5°~25°坡度范围内最易发生滑坡灾害;受活动断裂的影响,SSE—SSW 是地质灾害发育的优势方向;与地质灾害关系密切的易滑地层岩组为软弱的泥岩岩组,地质灾害密度最高,达到 0.987 个/km<sup>2</sup>,其次为半坚硬的块状、片状薄—中厚层状泥岩、页岩泥岩岩组。

(2) 六盘山东麓断裂构造带以活动褶皱与活动断裂相伴形式出现,是一条以挤压逆冲运动为主的典型活动逆断裂构造带,在研究区多处可见有高角度的逆冲运动,使组成六盘山主体的白垩系地层逆掩在古近系红层之上,在泾河源镇南营村发现白垩系紫红色砂岩及灰绿色泥岩向东逆冲至第四纪阶地的砂砾层之上<sup>[6]</sup>,在研究区东北部安国乡石咀子附近六盘山群逆冲推覆于第四纪马兰黄土之上,垂直推覆达 75 mm。地质灾害的分布明显受活动构造控制,在六盘山东麓逆冲断裂带及土窑秋千架逆冲断裂带两侧呈线性带状展布,如六盘山东麓逆冲断裂带附近,断裂穿过处,地形坡度发生急剧变化,造成断裂带附近的岩层破碎、散落,从一定程度降低了岩土体的自身强度,也有利于雨水入渗,进一步降低坡体的稳定性,断裂带附近往往发育大型滑坡、崩塌,这也为泥石流的形成提供了大量的物源。另外在秋千架附近地质构造集中发育,是活动断裂的密集发育区,该区域内岩石块体极不稳定,有利于崩塌的产生。

#### 参考文献:

[1] 林孝松,唐红梅,陈洪凯,等.重庆市地质灾害孕灾环境分区研究[J].中国安全科学学报,2011,21(7):3-7.  
 [2] 任凯珍,冒建,陈国许.关于地质灾害孕灾因子权重确定的探讨[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(1):80-86.  
 [3] 刘春玲,祁生文,童立强,等.喜马拉雅山地区重大滑坡灾害及其与地层岩性的关系研究[J].工程地质学报,2010,18(5):669-676.  
 [4] 李进,万军伟,黄琨,等.福建省长汀县地质灾害的形成条件与防治对策[J].水土保持研究,2012,19(1):192-196.  
 [5] 盛海洋,李红旗.我国滑坡、崩塌的区域特征、成因分析及其防御[J].水土保持研究,2004,11(3):208-210.  
 [6] 向宏发,魏顺民,张秉良,等.六盘山东麓活动逆断裂构造带晚第四纪以来的活动特征[J].地震地质,1998,20(4):321-327.