

安县雎水河流域地质灾害发育、分布及影响因素

巨能攀, 侯伟龙, 赵建军, 张罗致

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 安县雎水河流域属龙门山山脉与四川盆地过渡地区, 地形切割强烈, 地层岩性复杂, 活动断裂发育, 特别是“5.12”汶川特大地震后, 区内地质环境变得十分脆弱, 大型、特大型崩塌滑坡泥石流流十分发育, 具有数量多、规模大、分布范围广, 呈区域性密集分布等特征。在“成兰线雎水河段卫星遥感解译图”的基础上, 通过对该流域两次详细的地质测绘调查, 分析了地质灾害的发育、分布特性及其影响因素, 进而对灾后重建提供一定的参考依据。研究得出的主要认识有: (1) 地质灾害在流域内分布范围广、密度大、呈密集性分布, “成群成带性”现象明显; (2) 地质灾害的分布与地形地貌有密切的关系, 大多数地质灾害发生在高程 800~1 500 m 坡度 30°~50°的范围内; (3) 地质灾害主要沿雎水河及其支流两岸发生, 多呈线性分布; (4) 发震断裂控制着地质灾害的分布, 在断层的上下盘分布表现出明显的差异, 断层上盘的地质灾害数量明显多于下盘, 距发震断裂 10 km 范围是地质灾害最为发育的区域; (5) 地层岩性与地质灾害的类型有密切的关系, 坚硬、较坚硬岩组中的崩塌数量远远多于软弱泥页岩、千枚岩岩组, 软岩、极软岩岩组中的滑坡比坚硬岩中相对要多; (6) 不同的岸坡结构控制着地质灾害的发育、分布, 横向岸坡中崩滑最为发育, 其次为斜向倾内层状岸坡。另外, 中陡倾岸坡中的地质灾害较缓倾岸坡发育; (7) 地质灾害的类型、发育分布与也与坡体结构、岩体结构及其组合特征有一定的关系。研究发现, 顺层边坡中如发育有陡倾坡内的结构面, 则易形成滑坡, 而反倾边坡中如发育有倾坡外的结构面则更易形成崩塌。

关键词: “5.12”汶川特大地震; 地质灾害; 发育; 分布; 影响因素

中图分类号: P642.2 P694 X141 X43

文献标识码: A

2008-05-12T14:28 四川省汶川县发生 Ms8.0 级大地震, 造成人员伤亡超过 10 万, 近 1.9 万人失踪。受“5.12”汶川特大地震影响, 安县雎水河段群发地质灾害, 呈现出数量多、规模大、分布范围广, 密集分布等特征, 大型、特大型崩塌滑坡十分发育。后遇强降雨, 大量的松散崩塌滑坡堆积物又会形成次生泥石流灾害, 如 2009-07、2010-08 的几次持续强降雨诱发了泉水村、新桥村、柿子园等数十处大型、特大泥石流灾害, 造成了严重的人员和财产损失。这些灾害将在段内长期存在, 且严重威胁着公路、新建铁路、灾民安置点、灾后重建场址的安全。

研究区位于龙门山前段, 地质环境复杂, 山高坡

陡。本研究借助于航空遥感技术, 通过图像数字处理和三维模型的建立, 对区内的地质灾害点进行详细遥感解译, 宏观研究区内的地质灾害的发育、分布情况。在遥感解译图像的基础上, 经过两次详细的现场地质测绘调查, 统计研究了地质灾害的发育、分布与高程、坡度、距断裂的位置、河流水系、岸坡结构、坡体结构和岩体结构等因素的关系, 进而为新建铁路雎水河段内的选线和灾后建设提供可靠的地质依据。

1 地质环境

1.1 地形地貌

收稿日期 (Received date): 2010-03-15; 改回日期 (Accepted): 2010-07-25.

基金项目 (Foundation item): 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2008CB425801) 资助。 [This research is supported by China Key Basic Research Development Plan of 973 Plan (2008CB425801).]

作者简介 (Biography): 巨能攀 (1973-) 男, 成都理工大学副教授, 主要从事工程地质的研究。 [Ju Nengpan male born in 1973 professor of Chengdu University of Technology Mainly engaged in engineering geology]

雒水河流域属龙门山山脉与四川盆地过渡部位, 属构造侵蚀中低山和高山沟谷深切割地貌。受到地层岩性和地质构造的控制, 区内地形复杂, 高差悬殊, 地域差异较大。地势整体呈西北高东南低, 由西北向东南逐渐倾斜, 山势陡降。西北地区海拔多在 1 000~2 000 m, 东南海拔多在 800~1 500 m。根据地形分布特点, 可将研究区分为四个高程段: < 800 m 地段、800~1 000 m 地段、1 000~1 500 m 地段和 > 1 500 m 地段。研究区面积 111.41 km², 其中 > 1 500 m 地段面积 17.43 km², 占统计区的 15.64%、1 000~1 500 m 地段面积 49.22 km², 占统计区的 44.18%、800~1 000 m 地段面积 38.44 km², 占统计区的 34.50%、< 800 m 地段面积 6.32 km², 占统计区的 5.67%。

根据地形坡度特征, 可将研究区内坡度分为五个部分: < 25°、26°~30°、31°~40°、40°~50°和 > 50°地段。统计表明, 坡度在 30°~50°地段发育分布的地质灾害占整个统计区内的 70.89%。

1.2 地质构造

研究区位于我国著名的活动断裂带——龙门山断裂带上。龙门山构造带是规模宏大、结构复杂的巨型推覆构造带, 由一系列压性、压扭性断裂及褶皱组成, 断裂总体走向 NE40°左右, 倾向 NW, 倾角 50°~80°, 活动构造发育^[1]。区内的活动断裂有映秀—北川断裂(龙门山中央断裂 F₂)、江油—都江堰断裂(龙门山前山断裂 F₃)、以及岩梯子断裂(F₄)、卸军门断裂(F₅)、两岔河断裂(F₆)、清平断裂(F₇)和夜火槽断裂(F₈)等。受断裂控制, 区内构造主要运动方向为由北西向南东仰冲, 形成叠瓦状的逆冲带, 在地形上成北西—南东呈阶梯式下降, 相对高度达 600~700 m。

1.3 地层岩性

区内地层较全, 从古生界到新生界都有发育, 岩浆岩、沉积岩、变质岩均可见。古生界地层有震旦系上统芍药组(Z₆s)和邱家河组(Z₆q), 寒武系下统清平组(ε₁c), 奥陶系中统宝塔组(O₂b), 志留系下统马龙溪群(S₁h), 中统茂县群第一亚组(S₂₋₃mx¹)和第二亚组(S₂₋₃mx²), 泥盆系中统观雾山组(D₂gn), 上统唐王寨群(D₃tn), 石炭系下统总长沟群(C₁zn), 二叠系下统(P₁)和上统(P₂)等; 中生界地层包括三叠系下统飞仙关+铜街子组(T₁f+t), 中统嘉陵江+雷口坡组(T₂jt+1)和天井山组(T₂t), 上统须家河组(T₃x¹); 新生界地层为第四系全、更新统

松散岩层。根据《岩土工程勘察规范》GB50021—2001^[2], 可将区内地层岩性分为 5 个类别: 坚硬岩、较硬岩、较软岩、软岩、极软岩。研究区内的坚硬岩岩组主要岩浆岩、坚硬碳酸盐岩等, 包括地层有晋宁期第一期侵入岩、震旦系芍药组、邱家河组、奥陶系宝塔组等; 较坚硬岩岩组主要有凝灰岩、灰岩、白云岩、白云质灰岩、砂岩等, 包括地层有寒武系下统清平组、石炭系下统总长沟群、泥盆系、二叠系、三叠系等; 较软岩岩组有泥岩、粉砂岩、泥质灰岩、页岩、千枚岩、炭质板岩等, 包括地层有志留系上中统; 极软岩岩组主要有更新统(阶地砾石、砂土、粘土层、湖河沉积层)和全新统地层^[1]。

2 地质灾害的分布及影响因素

2.1 空间分布特征

研究区域内地质灾害主要表现为崩塌、滑坡、泥石流, 以及斜坡浅表层剥落等。分布范围主要是沿断裂带、河流、沟谷、交通干线分布, 呈带状、线状分布, 海拔主要集中在 800~1 500 m, 地质灾害的数量较多, 呈区域性集中的特点(图 1)。经现场调查和遥感解译, 雒水河段地质灾害的空间分布特征主要有以下几点。

1. 范围广

根据“成兰铁路雒水河段卫星遥感解译图”(简称“遥感解译图”)和现场调查综合分析, 雒水河段内都不同程度的存在地质灾害。

2. 密度大

单位面积内的地质灾害的数量大, 是区内地质灾害的一大特点, 统计区总体面积 111.34 km², 地质灾害近 1 710 处, 其中崩塌 1 674 个, 滑坡 21 个, 泥石流沟 15 条, 平均密度达 15 处/km²。遥感图像直观的反映是崩塌、滑坡上下左右连成一片, 很难分清单体地质灾害的发育范围。

3. 成带成群性明显

地质灾害的空间分布表现为成带和成群性。沿河谷地质灾害多呈“带状”分布, 雒水河沿岸的这种“带状”特点在遥感图像上表现得十分直观。另外在山区地区, 地质灾害的分布表现为“成群”性, 卫星遥感图像也很直观的反映出这样的特点(图 2)。

2.2 分布及影响因素

1. 地形

雒水河段主要为构造侵蚀中低山和高山地貌、



图 2 雎水河段高川村附近地质遥感解译图

Fig 2 Remote sensing interpretation image of geohazards distribution in Gaochuan village

河谷阶地地貌。根据“遥感解译图”统计, 地质灾害多发生在 800 ~ 1 500 m 高程。进一步的现场调查发现, 地质灾害产生的具体部位还与微地貌形态有密切的关系。

(1) 高程

统计发现, 大多数的崩塌滑坡都发生在高程 800 ~ 1 500 m 范围内, 其中又以 1 000 ~ 1 500 m 范围密度最高, 达 19.81 个 / km², 800 ~ 1 000 m 次之, 密度 12.28 个 / km²。这是因为 800 ~ 1 500 m 高程河谷岸坡地形坡度较陡, 岩体卸荷强烈, 受地震动响应也最突出, 因而地质灾害发育最多 (图 3、表 1)。

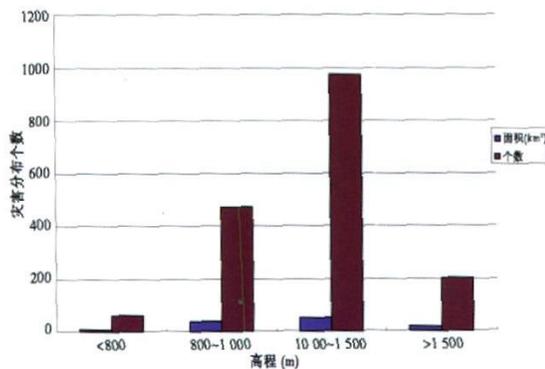


图 3 地质灾害分布与高程的关系直方图

Fig 3 Relationship histogram of geohazards distribution and elevation

(2) 坡度

地形坡度也是地质灾害发育、分布的控制性因素之一。调查研究发现, 绝大部分的灾害集中在坡度 30° ~ 50° 的范围内 (图 4、表 2), 且多在地形坡度由缓变陡的过渡转折部位。这主要是该坡度范围内的斜坡陡峭, 为其失稳破坏提供了势能条件, 在地震动等外力作用下易发生变形滑动^[3-5]。

表 1 地质灾害分布于高程的关系

Table 1 Relationship of geohazards distribution and elevation

高程 (m)	面积 (km ²)	个数	密度 (个 / km ²)
< 800	6.32	60	9.5
800 ~ 1 000	38.44	472	12.28
1 000 ~ 1 500	49.22	975	19.81
> 1 500	17.43	203	11.64

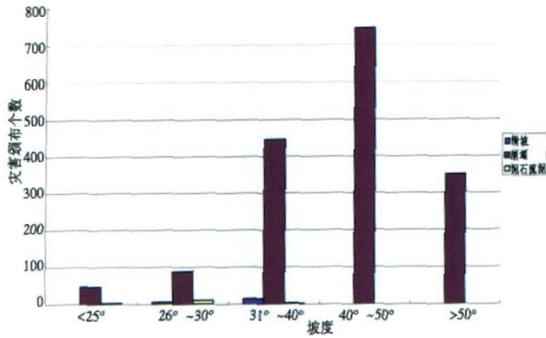


图 4 地质灾害分布与地形坡度的关系直方图

Fig 4 Relation histogram of geohazards distribution and degree of slope

表 2 地质灾害分布与地形坡度的关系

Table 2 Relation between distribution of geohazards and degree of slope

地形坡度 ($^\circ$)	<math><25</math>	$26 \sim 30$	$31 \sim 40$	$40 \sim 50$	>50
滑坡	1	5	14	1	0
崩塌	46	88	446	745	349
泥石流	2	9	3	1	0

2. 沟谷河流

地质灾害主要沿睢水河以及支流两岸发生,整体沿河流两岸呈“线性”分布(图 5)。

3. 断裂构造

段内的有三条“5.12”发震断裂:龙门山前山断裂(F_3 、 F_{3-2})和龙门山中央断裂(F_{2-1})。通过遥感解译分析和现场调查,地质灾害在区域上总体是沿发震断裂带呈带状和线状密集分布的,主要呈现以下特征:

(1) 地质灾害发育、分布在发震断裂的上、下盘具有明显的差异。统计发现,距中央断层(F_{2-1})上下盘 5 km 范围内,上盘地质灾害有 465 个,下盘有 263 个,断层上盘的地质灾害明显多于下盘。这主要是龙门山地震断裂活动表现为逆冲挤压变形,上盘变形破裂比下盘强烈(图 6)。

(2) 断裂、特别是发震断裂控制着地质灾害的分布。区域内地质灾害分布共呈现出三个密集区,分别为中央断裂(F_{2-1})8 km 范围内、前山断裂(F_3 、 F_{3-2})5 km 范围内和卸军门断裂及其支断裂(F_5 、 $F_{5-1} \sim F_{5-5}$)交汇密集处 5 km 范围内,这三个区域内的地质灾害共有 1 057 个,占整个区域内地质灾害数的 61.81%。调查发现,距发震断裂 F_{2-1} 上下盘 5 km 范围内地质灾害共有 747 个,占整个统计区的 43.68%,此段地质灾害最为发育,公路路面损坏也最为严重;5 ~ 10 km 范围内的地质灾害有 389 个,占 22.75%,> 10 km 范围地质灾害渐少。这说明距发震越近地质灾害分布密度越大,反之,则密度越小;另外,非发震断裂密集交汇处也是地质灾害十分发育的地区,这主要是因为受断裂构造影响,岩体破碎,卸荷较强,在外力作用下易行成崩塌滑坡。

4. 地层岩性

研究发现,地质灾害在硬岩、较坚硬岩地层的发育程度远远高于软岩地层,绝大部分的崩塌发生在硬岩、较坚硬岩岩组中,而软岩、极软岩岩组中的滑坡、泥石流较坚硬岩中多(表 3)。

5. 岸坡结构

睢水河两岸出露地层都很好的表现出了原生层状的特征,原生层状结构面是坡体变形破坏的主要控制面,同时河流的走向又决定着岸坡的临空条件。刘汉超等人选取岩层倾角(α)、岩层倾向与岸坡倾向间的夹角(β)作为岸坡结构划分的基本数据^[9],将岸坡结构划分为 5 大类(I ~ V)、11 小类(I₁ ~ I₂, II, III₁ ~ III₂, IV₁ ~ IV₂, V₁ ~ V₂)。

现场调查发现,睢水段内的崩塌滑坡主要是沿河岸两侧呈“线状”分布的,但是不同的岸坡地段其发育分布又有明显的差异。研究区出露岩层倾角较陡,大都> 10°,除平缓层状岸坡外,其他几类岸坡结构在段内均可见,且出岸线长度差异不大。通过对研究区内不同岸坡段的崩塌滑坡的分布统计发现,

表 3 地质灾害分布与地层岩性关系统计表

Table 3 Relation tables of geohazards distribution and lithology

工程地质岩组	地层	滑坡	崩塌	泥石流	合计	百分比 (%)
坚硬岩浆岩、碳酸岩	B ₄ 、Z ₆ s、Z ₆ q、O ₂ b	2	27	2	31	1.81
较坚硬碳酸岩、砂砾岩岩组	ϵ_1 c、C ₁ zn、D ₂ gn、D ₃ tn、P ₁ 、P ₂ 、T ₁ f+t、T ₂ t、T ₂ j+1	4	1 590	4	1 598	93.45
较软砂泥岩岩组	T ₃ x ¹	0	21	0	21	1.23
软弱泥页岩、千枚岩岩组	S ₂₋₃ mx ¹ 、S ₂₋₃ mx ² 、S ₁ h	2	36	1	39	2.28
极软弱松散岩岩组	Q ₂₋₁ ¹ 、Q ₄	13	0	8	21	1.23

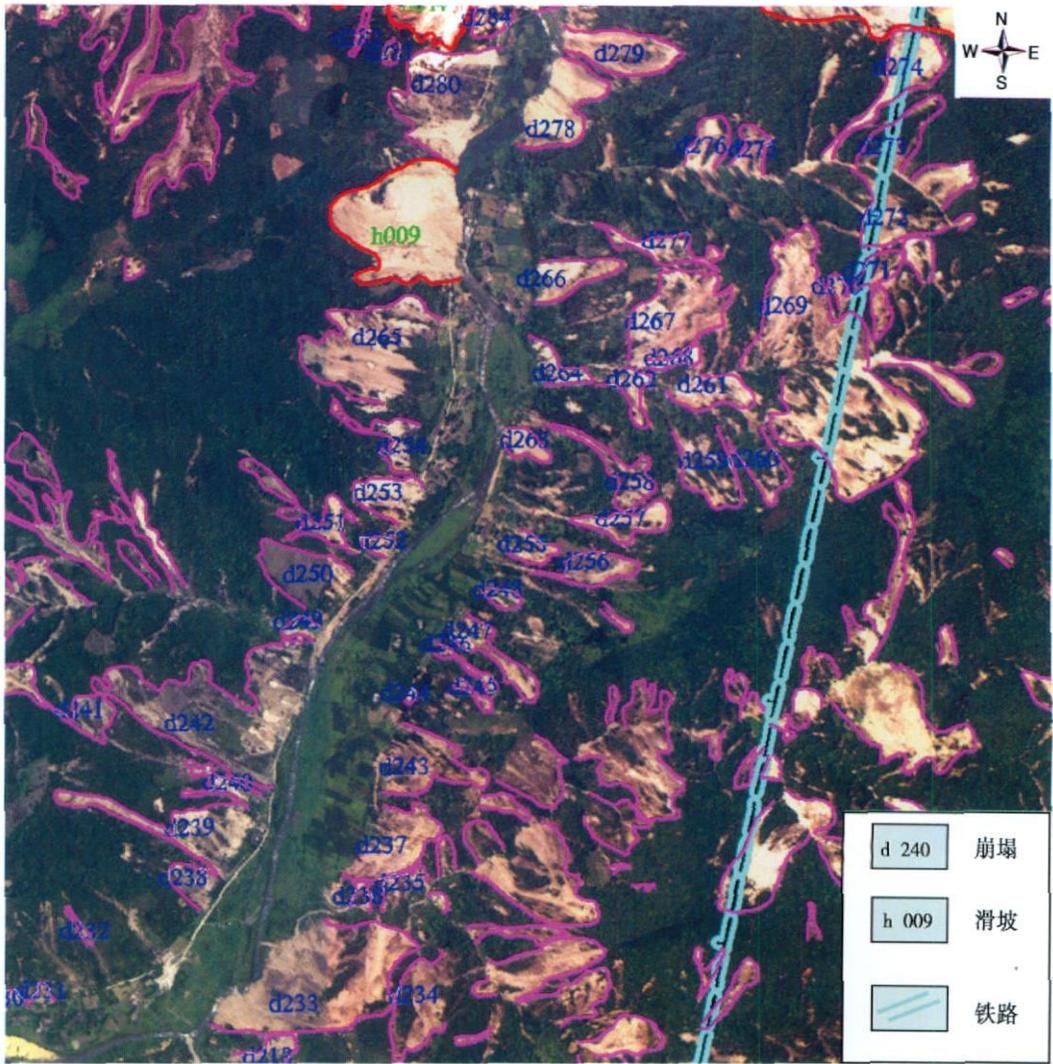


图 5 崩塌滑坡遥感解译图

Fig. 5 Remote sensing interpretation image of geohazards distribution in Jushui river

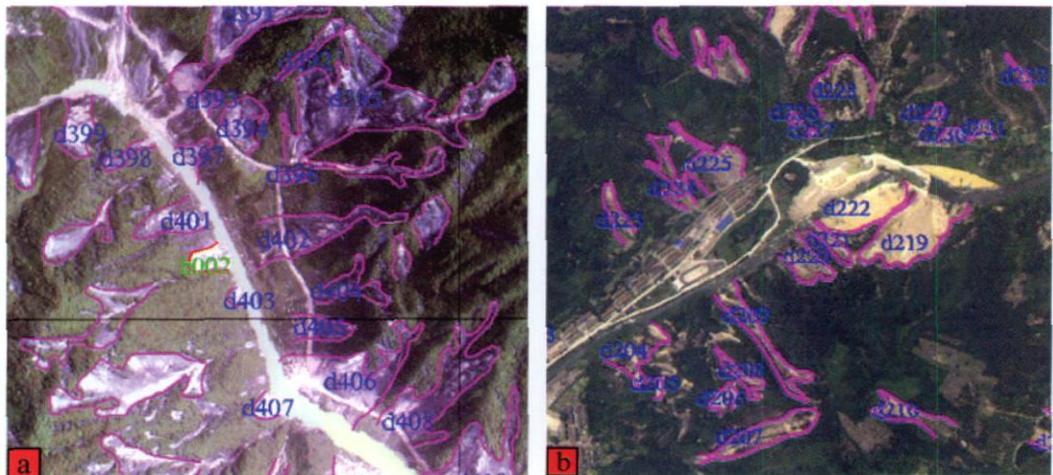


图 6 高川乡二郎村中央断裂附近崩塌滑坡遥感解译图 (a 断层的上盘 b 断层的下盘)

图中红线勾画为滑坡, 紫线勾画为崩塌

Fig. 6 Remote sensing interpretation image of geohazards in the vicinity of the zhongyang fault of Erlang Village

横向岸坡(II)中崩塌滑坡最为发育,占整个区域的38.94%,其次为斜向倾内层状岸坡(V₁),占整个区域的15.52%(表4图7)。总的来说,中陡倾岸坡比缓倾岸坡更易发生崩塌滑坡。

表4 岸坡结构与崩塌滑坡分布的关系

Table 5 Relational of slope structure and distribution of collapses and landslides

岸坡结构类型	滑坡	崩塌	合计	所占百分比(%)
II	8	652	660	38.59%
III ₁	1	24	25	1.47%
III ₂	4	96	100	5.85%
III ₃	4	34	38	2.22%
IV ₂	1	208	209	12.22%
IV ₃	1	244	245	14.33%
V ₁	1	262	263	15.38%
V ₂	1	154	155	9.06%

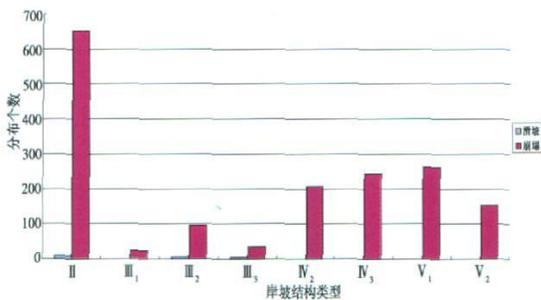


图7 岸坡结构与崩塌滑坡分布的关系直方图
Fig 7 Relational histogram of slope structure and distribution of collapses and landslides

6. 坡体结构及岩体结构

睢水河段的地质灾害的类型、分布、发育密度,

还与区内坡体结构及岩体结构有关。区内坡体结构总体上可分为顺层、斜向和反倾边坡,不同类型的坡体结构结合岩体结构,一定程度上控制着崩塌滑坡的类型展开。研究发现,顺层边坡坡体其岩体中如果发育有陡倾坡内的结构面,则易形成滑坡,例如区内干磨房滑坡就是典型的顺层滑坡,主要受顺层边坡和陡倾坡内的结构面控制;另外反倾边坡中如发育有陡倾坡外的结构面则易形成崩塌,这说明崩塌滑坡的分布展开与坡体结构和岩体结构及其组合特征有一定的关系(图8)。

3 结论

1. 地质灾害的发育、分布在空间上具有范围广、密度大、成群成带等特征。大多数的崩塌滑坡发生在高程800~1500m,其中又以1000~1500m密度最高,800~1000m次之,高程1500m以上地质灾害发育较少;绝大部分的灾害集中在坡度20°~50°的范围,且多在地形坡度由缓变陡的过渡转折部位。

2. 区域内地质灾害发育分布并不均衡,主要沿睢水河流及其支流沿岸成条状、带状分布,在山区则是呈现出成群、成片的密集分布特征。

3. 地质灾害的形成和分布主要还受龙门山断裂带的控制,特别是发震断裂带。沿发震断裂带地质灾害多成“线状”、“片状”密集分布,尤其在活动强烈的断裂10km范围内分布更加集中。

4. 地质灾害分布密度在发震断层的上下盘有明显的差别,断裂上盘的地质灾害数量远多于下盘,这是由于龙门山断裂属逆冲推覆构造带,断裂的上盘变形破裂比下盘强烈。



图8 a为干磨房顺层滑坡, b为反倾岩层中的崩塌

Fig 8 a is bedding landslide of Gannofang b is the collapse in toppling rock slp

5. 不同的岩性决定了地质灾害的类型, 硬岩、较坚硬岩岩组中发生的崩塌远远多于软岩中的崩塌, 但是滑坡、泥石流多发生在软岩、极软岩中。

6. 崩塌滑坡的分布与岸坡结构有密切的关系, 横向岸坡中崩塌滑坡最为发育, 其次为斜向倾内层状岸坡, 且中陡倾岸坡比缓倾岸坡更易发生崩塌滑坡。

7. 地质灾害类型的展布也与坡体结构、岩体结构及其组合特征有一定的关系。顺层边坡坡体其岩体中发育有陡倾坡内的结构面则易形成滑坡, 而反倾边坡中如发育有陡倾坡外的结构面则易形成崩塌。

参考文献 (References)

[1] Qi Shengwen, Xu Qiang, Liu Chunling et al. Slope instabilities in the severest disaster areas of 5. 12 Wenchuan Earthquake [J]. *Journal of Engineering Geology* 2009 17(1): 44 ~ 49 [祁生文, 许强, 刘春玲, 等. 汶川地震极重灾区地质背景及次生斜坡灾害空间发育规律 [J]. *工程地质学报*, 2009 17(1): 44 ~ 48]

[2] State Bureau of Technical Supervision Ministry of Construction of People Republic of China Standard for Classification of Engineering Rock Masses (GB50218-94). Beijing China Planning Press 1995 [国家技术监督局、中华人民共和国建设部. 工程岩体分级标准 (GB50218-94) [S]. 北京: 中国计划出版社, 1995]

[3] Hung Runqiu, Xu Qiang. Catastrophic Landslides in China [M]. Beijing Science Press 2008 [黄润秋, 许强. 中国典型灾害性滑坡 [M]. 北京: 科学出版社, 2008]

[4] Parsons T, Chen J, Kirby E. Stress changes from the 2008 Wenchuan earthquake and increased hazard in the Sichuan basin [J]. *Nature* 2008 454: 509 ~ 510

[5] Keefer D. K. Statistical analysis of an earthquake induced landslide distribution the 1989 Loma Prieta California event [J]. *Engineering Geology* 2000 58: 231 ~ 249

[6] Liu Handao, Chen Minglong, Li Kewu et al. Evaluation of Environmental Geology in the Reservoir Area [M]. Chengdu Chengdu Science and Technology University Press 1993 16 ~ 27 [刘汉超, 陈明东, 黎克武, 等. 库区环境地质评价研究 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993 16 ~ 27]

Geohazards of Jushui River in the Wenchuan Earthquake Area

JJ Nengpan, HOU Weibing, ZHAO Jianjun, ZHANG Luozhi

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection Chengdu University of Technology Chengdu 610051, China)

Abstract: The area along to Jushui River in Anxian city belongs to the transitional region between the Longmenshan mountain and the Sichuan basin. In this area topography was cut strongly and the lithologies are very complicate and active fault well developed. Especially after the "5. 12" Wenchuan great earthquake, the geological environment is getting increasingly fragile and large-scale and super-scale geohazards such as rockfalls, landslides and debris flows are well developed. The geohazards have great quantity, large-scale, wide, high concentrated distribution and other properties. On the basis of "the map of remote sensing interpretation of the area along Jushui river of the Chengdu-Lanzhou railway", after two geological surveys and investigations, this paper summarized and analysed properties of the development and distribution of poor geological phenomenon and influencing factors of them. Then this will provide some degree of references for the disaster reconstruction of the region. The main consequences of this study are: (1) Geohazards in this area are widely distributed, have high density, present high concentrated distribution and distribute in groups and belts; (2) The distribution of geohazards is closely related with topography and physiognomy. Most happened in the region of height between 800 m to 1 500 m and slope between 30° to 50°; (3) Geohazards mainly happened on both banks along the Jushui River and its tributaries and they distributed mainly in belts; (4) Geohazards are controlled by seismogenic faults in this region and most of them distributed in lines or belts along faults. Moreover, these distributed in upper wall and in lower wall have great difference, that is the number in upper is obvious big than in down. The range 10 km away from the seismogenic fault is the most developed of poor geological phenomena; (5) The lithologies are closely related with the types of poor geological phenomena.

na. Statistical study found that the number of rockfalls happened in hard and less hard stone is far larger than in weak mud shale and phyllite, but the number of landslides happened in soft rock and extremely soft rock is relatively larger; (6) Different slope structures control the development and the distribution of poor geological phenomena. Study showed that poor geological phenomena mostly happened in horizontal slope, and secondly happened in oblique internal layered slope. In addition, poor geological phenomena happened in mid-steep bank slope are more than in less flatten slope; (7) The types and distribution of poor geological phenomena are some related with slope structure, rock mass structure and its combined features. Study found that if there are steep oblique internal structural surfaces in bedding lithologic slope, landslides easily happened in the slope, and if there are oblique external structural surfaces in Anti-dumping slope, the slope easily form rockfalls.

Key words: “5.12”Wenchuan earthquake; Geohazards; development and distribute; factors

封面照片说明: 喀喇昆仑山区的沙漠

喀喇昆仑山脉位于亚洲大陆腹地, 西北—东南走向, 中国、塔吉克斯坦、巴基斯坦、阿富汗和印度的边界全都辐凑于这一山系之内; 中国境内主要属西藏阿里地区 and 新疆喀什地区。喀喇昆仑山脉是高度仅次于喜马拉雅山脉的世界第二高山脉, 海拔 8 611 m 的世界第二高峰——乔戈里峰是它的最高峰。其土地辽阔, 以荒漠为主, 人口稀少。在我国境内, 该山脉的气候主要是干旱—半干旱大陆性的气候。由于海拔高, 大部分山区终年低温, 冰川发育, 空气稀薄, 太阳辐射强烈, 气温变化巨大, 并常有强风, 因而风蚀作用强烈, 风沙地貌发育。

照片为该山脉南坡西藏阿里北部的沙漠地貌。

(山水)