

昌马断裂带地震滑坡的展布特征*

康来迅 王建荣

(国家地震局兰州地震研究所 兰州 730000)

提 要 根据大量的野外地质调查和测量资料分析,讨论了地震滑坡沿昌马断裂带走向和倾向的展布特征. 研究认为昌马断裂带地震滑坡主要发生在山坡坡度 30°—50°的部位和山坡地形高差 100—300m 的部位;地震滑坡规模、数量的分布特征与断裂活动强度的分布变化有密切的关系,这是地震滑坡与降水滑坡、人为滑坡和融冻滑坡的最大区别;最后讨论了地震滑坡最大水平滑距的规律,对地震滑坡灾害预测有很现实的意义.

关键词 地震滑坡 最大水平滑距 昌马断裂带

昌马断裂带属祁连山西北部的活动性深、大断裂,由北西西向、北东东向和北北西向断裂组成,总体方向为北西西. 它形成于古生代加里东期,且沿带分布有加里东期超基性岩,海西、燕山和喜山期都有过明显的活动. 第四纪,特别是晚更新世晚期以来该断裂发生过多次强烈走滑活动,其中北西西向、北东东向显反扭,北北西向为顺扭. 1932-12-25 该断裂发生过 7.5 级强震. 因此昌马断裂带是一条强震发生带,沿带分布了一系列地震滑坡和地震崩塌现象(图 1).

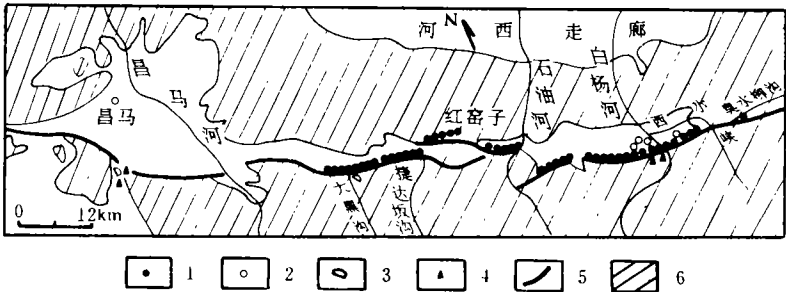


图 1 昌马断裂带地震滑坡与地震崩塌展布略图

Fig. 1 Distribution diagram of seismic landslides and collapses along the Changma Fault Belt

1. 地震滑坡 2. 融冻泥石流 3. 融冻滑坡 4. 地震崩塌 5. 断裂 6. 隆起区

1 地震滑坡沿断裂带走向分布特征

1.1 地震滑坡主要位于陡山坡麓

昌马断裂带主要分布在昌马—西水峡断陷盆地的南缘. 由于本断裂长期强烈活动,断裂通过的山坡多属陡坡地形. 地震滑坡也主要分布在昌马—西水峡盆地南侧,从附近

* 地震科学联合基金资助项目(项目号 90011)有关研究的部分成果.

本文改回日期:1994-11-30.

较陡的山坡上滑下来堆积在山麓较平坦的地带。据断裂带 24 个较典型、较大的地震滑坡后壁(破裂壁)的最大坡度测量分析,除一个为 28°外,其余为 30°—46°(图 2)。根据地貌学的侵蚀原理,地震滑坡发生前的山坡坡度应稍大于目前后壁的坡度。30°—50°的山坡强震时多发生滑坡(李天池,1979)。反映斜坡的稳定性随坡度增大而减小,强震时易于产生地震滑坡。

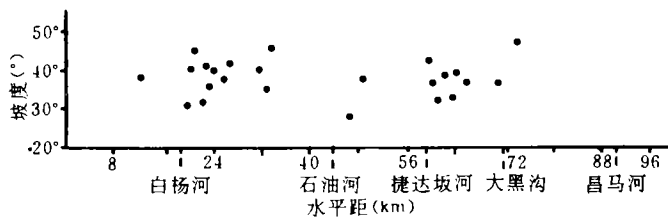


图 2 昌马断裂带地震滑坡后壁坡度图

Fig. 2 Slope angles of the back wall of seismic landslides along the Changma Fault Belt

1.2 地震滑坡主要集中在地形高差较大的部位

地震滑坡主要集中在地形相对高差较大、坡度较陡的地段。如白杨河—小碱沟段,滑坡发生区的山坡相对高差达 200—300m,这一带的地震滑坡数量较多,规模也大些(图 3)。其中有的滑坡垂直滑距就达 242.71m,滑坡长>100m。庙沟之西、大黑沟东、小豹子沟东,山坡地形相对高差约 100m。红窑子垭口两侧,大黑沟西,山坡地形相对高差<100m。这些地带地震滑坡的规模相对较小,滑坡长<100m,数量也较少。

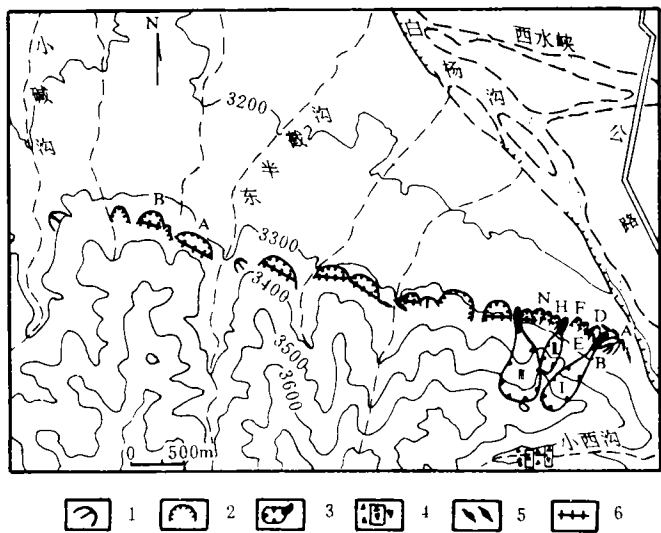


图 3 白杨河—小碱沟地震滑坡及雪蚀洼地、融冻泥石流分布图

Fig. 3 Distribution of seismic landslides,ni-vation basins and thaw debris flows from Baiyang River to Xiaojian Ravine

- 1. 地震滑坡;2. 地震滑坡群(两个或两个以上滑坡纵向或横向连在一起);3. 雪蚀洼地及其融冻泥石流;4. 地震崩塌堤坝;
- 5. 1932 年地震鼓包;6. 1932 年地震破裂带

这里要着重指出,昌马盆地内没有发现较大的地震滑坡(见图 1)。昌马盆地边缘的山坡地形高差较小、坡度较缓。如昌马盆地西南侧、南侧边缘的山坡相对高差<100m,坡度多<30°。因此昌马盆地没有形成较大的地震滑坡的条件。

1.3 地震滑坡的分布随断裂活动的强度而变化

根据野外地质调查,晚更新世晚期以来昌马断裂带以反扭走滑活动为主,一系列山脊、水系沿断裂呈反扭位错变形. 断裂带东段(石油河以东)山脊沿断裂反扭走滑位错量平均为42.08m(表1). 中段(石油河至昌马河)山脊反扭走滑位错量平均为8.05m. 西段(昌马河以西)还没有发现明显的山脊反扭走滑位错现象,反映晚更新世晚期以来,断裂的反扭走滑活动强度由东向西呈现由强至弱的变化;1932年地震破裂带或地震断层使一系列小冲沟、纹沟发生走滑位错变形,其中北东东向、北西西向为反扭变形,北北西向为顺扭变形. 东段小水系走滑位错量平均为3.82m(表2),中段小水系走滑位错量平均为2.71m. 西段1932年的地震裂缝规模最小,地震断层水平位错量平均为0.90m(侯康明等,1990). 反映1932年地震断层水平位错量东段规模最大、最明显,往西逐渐减弱. 昌马乡鲁家弯村附近葛家坟的地震裂纹呈树枝状分叉,树枝状分叉是地震破裂带应力应变末端效应的主要表现形式之一. 所以,昌马盆地没有发现较大的地震滑坡. 根据野外调查,昌马断裂带地震滑坡现象也是东段规模较大、数量较多,往中段、西段地震滑坡逐渐减小、减少以致于消失.

综上所述,地震滑坡与昌马断裂带晚更新世晚期以来的活动强度、1932年地震断层活动强度的分布变化有密切的关系. 本带由东段至中段、西段,断裂活动强度都表现为由强至弱的变化,地震滑坡也是东段规模较大、数量较多,往中段、西段地震滑坡逐渐变小、减少以致于消失. 这是因为断层错动或地震破裂带和地震滑坡都是由震源体错动产生的地震波传至地壳表层产生的破裂效应,实质上是不同地段受地震波作用力的影响不同.

2 地震滑坡最大水平滑距的分布规律

昌马断裂带的地震滑坡,受地震力的强烈作用,从较陡的山坡上滑下来堆积在山麓比较平坦的地带. 这些滑坡的水平滑距不尽相同,为了分析水平滑距的分布规律,以便为减轻地震滑坡灾害做些预测研究,在野外对较大滑坡的水平滑距*L*和垂直滑距*H*进行了实测(表3、图4). 从图4可以看出,这些点比较集中,分布接近于一直线.

表1 昌马断裂带山脊反扭走滑位错实测数据(由东至西)

Table 1 The measured data of strike-slip dislocation along the ridges of Changma Fault Belt				
山脊位置			实测山脊位错量(m)	各段平均(m)
东段(臭水柳沟至石油河)	臭水柳沟源头第1山脊		36.5	42.08
	西水峡南侧地区	第1山脊	49.6	
		第2山脊	39.4	
		第3山脊	36.3	
		第4山脊	34.7	
		第5山脊	40.6	
		第6山脊	45.0	
		第7山脊	69.0	
		第8山脊	70.0	
		第9山脊	65.0	
		第10山脊	65.0	
		第11山脊	55.5	
	小碱沟西侧山脊		32.0	
	大碱沟东第1冲沟东山脊		34.7	
	红沟盆地大冲沟东山脊		12.0	
	红沟东一山脊		16.0	
月牙达坂垭口东一山脊		14.0		
中段(石油河至昌马河)	捷达坂沟西第2山脊		8.2	8.05
	捷达坂沟西第3山脊		8.4	
	捷达坂沟西第5山脊		6.4	
	大灰条沟西侧大山脊		9.2	

表 2 昌马断裂带小水系走滑位错实测数据(由东至西)

Table 2 The measured data of strike-slip dislocation from small river system of Changma Fault Belt

小 冲 沟、纹 沟 位 置				水系 特征	位错 特征	位错量 (m)	断裂 方向	备注	各段平均 (m)
东段(石油河以东)	西水峡 地 区	第 8 冲沟沟床西侧纹沟 ¹⁾		纹 沟	反 扭	4.00	北东东		3.82
		第 11 山脊西侧—纹沟				5.60 ²⁾			
	雅儿河东山麓—纹沟			纹 沟		2.00	北东东		
	红沟东—冲沟			小冲沟	反 扭	2.10			
红沟西—冲沟			小冲沟		5.40				
中段(石油河—昌马河)	大豹子沟东侧—纹沟			纹 沟	反 扭	3.50	北西西		2.71
	大豹子沟至红窑子垭口	冲沟 1		小冲沟	顺 扭	1.30	北北西		
		冲沟 2				2.00			
		冲沟 3				3.20			
		冲沟 4				3.40			
		冲沟 5				4.00			
		冲沟 6				1.80			
		冲沟 7		纹 沟	1.00				
		冲沟 8		小冲沟	2.00				
		冲沟 9		纹 沟	1.00				
		冲沟 10		小冲沟	3.80				
		冲沟 11		小冲沟	3.60				
	捷达坂沟西第 2 山脊西侧—纹沟			纹 沟	反 扭	1.20	北西西		
	捷达坂沟西第 4 山脊西侧—纹沟			小冲沟		2.50			
	捷达坂沟西第 5 山脊西侧—纹沟			纹 沟		1.20			
	庙沟夹皮沟地区	庙沟夹皮沟东 3 冲沟		小冲沟	反 扭	4.50	北西西	两次位错 量总和	
		庙沟夹皮沟东 2 纹沟		纹 沟		1.95			
		庙沟夹皮沟东 1 冲沟		小冲沟		4.00			
		庙沟夹皮沟东平台纹沟 1		纹 沟		3.10			
		庙沟夹皮沟东平台纹沟 2				2.40			
		庙沟夹皮沟西第 2 山坡西纹沟				5.20			
	红窑子垭口		臭水柳沟南山坡纹沟 1	纹 沟	反 扭	3.40	北西西	两次位错 量总和	
	西侧地区		臭水柳沟南山坡纹沟 2			1.00			
	小灰条沟西侧—冲沟			小冲沟	反 扭	1.70	北西西		
	流沙湾子山脊西侧冲沟 1					3.00			
	流沙湾子山脊西侧冲沟 2					4.50			
	流沙湾子山脊西侧冲沟 3					3.00			
西段	据参考文献(侯康明等,1990)								0.90

1)西水峡南侧地区,第 1 山脊西侧的冲沟称为第 1 冲沟,冲沟编号照此类推. 这些冲沟沟床都比较宽,其内一般发育有两条小冲沟,西冲沟规模小,多属纹沟.

2)1932 年地震引起的水系最大位错量.

根据这些点的展布形态,可设

$$L=a_0+a_1H,$$

(1)

其中 a_0,a_1 为待定常数.

经过一系列数学运算(邓建中等,1985),正规方程组成为

$$\begin{cases} S_0\alpha_0 + S_1\alpha_1 = t_0 \\ S_1\alpha_0 + S_2\alpha_1 = t_1. \end{cases} \quad (2)$$

表 3 昌马断裂带地震滑坡最大垂直滑距和最大水平滑距实测数据及 H_i^2, H_iL_i 值

Table 3 The maximum vertical and horizontal sliding distance of seismic landslides along Changma Fault Belt and H_i^2, H_iL_i

编号	滑 坡 位 置	垂直滑距 $H(\text{m})$	水平滑距 $L(\text{m})$	H_i^2	H_iL_i
1	大泉口东滑坡 A	161.14	315.31	25966.1000	50809.0534
2	白杨河西岸滑坡 A	96.07	227.68	9229.4449	21873.2176
3	白杨河西岸滑坡 C_1	70.08	130.40	4911.2064	9138.4320
4	白杨河西岸滑坡 C_2	25.72	35.20	661.5184	905.3440
5	白杨河西岸滑坡 D	119.52	226.79	14285.0300	27105.9408
6	白杨河西岸滑坡 F	117.50	222.80	13806.2500	26179.0000
7	白杨河西岸滑坡 H	242.71	455.34	58908.1440	110515.5714
8	白杨河西岸滑坡 N	157.22	292.32	24718.1280	45958.5504
9	东半截沟西滑坡 A	78.15	157.03	6107.4225	12271.8945
10	东半截沟西滑坡 B	82.94	198.14	6879.0436	16433.7316
11	小碱沟西山脊滑坡 C	116.11	229.84	13481.5320	26686.7224
12	大碱沟东第二冲沟西滑坡 D	102.43	191.04	10491.9050	19568.2272
13	大碱沟东岸滑坡	123.77	207.82	15319.0130	25721.8814
14	捷达坂沟西岸滑坡 A	48.17	114.89	2320.3489	5534.2513
15	捷达坂沟西岸滑坡 B	47.00	102.69	2209.0000	4826.4300
16	安门河南滑坡 C	97.57	172.62	9519.9048	16842.5334
17	大灰条沟东滑坡 D	126.45	260.52	15989.6030	32942.7540
18	大灰条沟东滑坡 E	93.67	172.92	8774.0689	16197.4164
19	大灰条沟西滑坡 F	67.05	113.27	4495.7025	7594.7535
20	大黑沟东滑坡	92.77	176.59	8606.2729	16382.2543
21	红窑子西滑坡 A	28.88	76.71	834.0544	2215.3848
22	红窑子西滑坡 B	65.89	114.81	4341.4921	7564.8309
23	大黑沟西山前滑坡	55.62	111.27	3093.5844	6188.8374
24	鸽子子崖对面山坡滑坡 C_1	71.60	125.73	5126.5600	9002.2680
		$\Sigma 2288.03$	$\Sigma 4431.73$	$\Sigma 270075.3299$	$\Sigma 518459.2807$

结合野外测量有关数据值(见表 3),则得

$$S_0 = \sum_{i=1}^m H_i^0 = \sum_{i=1}^{24} H_i^0 = 24.00,$$

$$S_1 = \sum_{i=1}^m H_i = \sum_{i=1}^{24} H_i = 2288.03,$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^m H_i^2 = \sum_{i=1}^{24} H_i^2 = 270075.33,$$

$$t_0 = \sum_{i=1}^m L_i = \sum_{i=1}^{24} L_i = 4431.73,$$

$$t_1 = \sum_{i=1}^m H_iL_i = \sum_{i=1}^{24} H_iL_i = 518459.28,$$

式中 $m=24$,为 24 组测量数据.

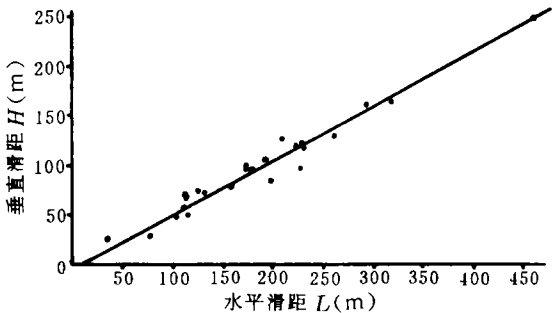


图 4 昌马断裂带地震滑坡 $H-L$ 图

Fig. 4 Relationship between H and L along Changma Fault Belt

上述正规方程组则为

$$\begin{cases} 24.00\alpha_0 + 2288.03\alpha_1 = 4431.73 \\ 2288.03\alpha_0 + 270075.33\alpha_1 = 518459.28. \end{cases}$$

解得

$$\begin{cases} \alpha_0 = 8.54 \\ \alpha_1 = 1.85. \end{cases}$$

所以

$$L = 8.54 + 1.85H. \quad (3)$$

式(3)就是根据昌马断裂带地震滑坡的最大垂直滑距和最大水平滑距的测量数据计算出来的关系式,即图4的 $H-L$ 直线。这是昌马断裂带地震滑坡最大水平滑距的分布规律,即地震滑坡沿断裂带的倾向展布特征。

滑坡灾害预测:若昌马断裂带上有一陡坡(或不稳定岩体),在陡坡之下需要建设一项重要工程。该工程离陡坡(或不稳定岩体)的水平距离该有多远,地震时不致于受地震滑坡的影响而被摧毁。这是一个工程边界条件问题和地震滑坡最大水平滑距预测问题。首先在野外测量并计算出陡坡或不稳定岩体与山麓平坦地面的垂直距离 H 值,然后代入式(3)得出 L 值,认为取 $2L$ 值是工程比较合适、安全的边界条件。这种方法也适用于其他的地震滑坡带。

3 几点认识

1. 昌马断裂带地震滑坡主要发生在山坡坡度 $30^\circ-50^\circ$ 和地形高差100—300m的山坡部位。

2. 地震滑坡沿昌马断裂带走向分布规律显示:地震滑坡规模、数量的分布特征与断裂活动强度的分布变化有密切的关系。这是地震滑坡与降水滑坡、人为滑坡和融冻滑坡的最大区别。

3. 根据对昌马断裂带地震滑坡最大垂直滑距和最大水平滑距的测量和统计分析,可以研究地震滑坡最大水平滑距的规律。这种方法对其他地震滑坡带也有意义,尤其是对位于强震区、滑坡灾害比较严重的山区城市,如兰州市、天水市等。由于山区城市规划工作滞后,对早已建成的工程设施和居民住宅会不会受到南、北两山地震滑坡的摧毁,可用这种方法预测地震滑坡最大水平滑距,以保护工程设施不被地震滑坡摧毁有很现实的意义。

参 考 文 献

- [1] 李天池. 四川松潘、平武地震区崩塌和滑坡的若干问题. 见:铁道部科学研究院西北研究所主编. 滑坡文集(第2集). 北京:人民铁道出版社,1979. 136.
- [2] 侯康明,郭敬信,侯珍清等. 昌马断裂带的水平错断与强震重复率的估计. 中国地震. 1990,(3):75.
- [3] 邓建中,葛仁杰,程正兴. 计算方法. 西安:西安交通大学出版社,1985. 119—121.

A STUDY ON DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF SEISMIC LANDSLIDES ALONG THE CHANGMA FAULT BELT

Kang Laixun Wang Jianrong

(*Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau Lanzhou 730000*)

Abstract

Based on the abundant data of field geological investigation and measurement, the distribution characteristics of trend and tendency of seismic landslides along the Changma Fault Belt were discussed. The data available indicates the most seismic landslides occurred in the hillslope area, the gradient is between 30° — 50° or the altitude difference is between 100—300m in this area. Their scale, amount and characteristics of distribution closely related with distribution and movement intensity of active fault. Seismic landslide differs greatly from precipitation landslide, man-made landslide and thaw landslide on dynamic conditions. Lastly, the regularity of maximum horizontal sliding distance of seismic landslides is discussed. This research is helpful for predicting seismic landslide disasters.

Key words Seismic landslide, maximum horizontal sliding distance, Changma Fault Belt

《泥石流(4)》即将出版

《泥石流(4)》是成都山地灾害与环境研究所泥石流研究室庆祝成立20周年论文专集。该文集24篇文章,着重反映研究的新成果。文集对泥石流学科的发展历史和成就,泥石流的区域研究方向,泥石流预报原理和参数、预警站的配置和建设、泥石流实验研究的现状和发展、泥石流动力学和静力学的基本理论、泥石流灾情评估、泥石流信息系统的建设,分别进行了深入的探索和讨论。本文集资料翔实、内容丰富、观点新颖、论据充分、结构严谨,可供从事泥石流研究和防治、山区灾害防治、水土保持、资源开发和山区城镇与交通建设的科技人员和大专院校有关专业师生参考。

中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所泥石流室 杨仲文