

文章编号: 1008-2786-(2016)2-187-07

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000117

则木河断裂中段山体溃滑事件的临界动力强度

许声夫¹ 李渝生^{1,2*} 王金鹏¹

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院 四川 成都 610051;

2. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室/成都理工大学 四川 成都 610051)

摘 要: 在现代地震较为平静的则木河断裂带中段,集中分布有一系列大型古滑坡,并具有高速、远程碎屑流等强动力特征,这些现象给人类进一步探索“大规模滑坡事件”提供了诸多思索和启发。以底古村附近、规模达 $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的巨型古滑坡为研究对象,根据地质调查数据建立山体的岩体力学概念模型。运用具有模拟动力环境条件的离散元数值分析程序(UDEC),探明山体失稳的临界动力条件为 $a = 0.6 \text{ g}$,之后陆续增大地震加速度(a 分别为 0.8 g 、 1.0 g 、 1.2 g 、 1.4 g 、 1.6 g)。观察程序计算出不同加速度条件下的滑坡堆积状态可知,当 $a = 1.6 \text{ g}$ 时滑坡堆积状态与当前地貌相符,进一步得出诱发山体发生高速远程碎屑流运动的初始加速度为 $a \geq 1.6 \text{ g}$ (相当于XI度地震的动力强度)的基本结果。由此推论:该巨型滑坡事件是由强度超过XI度的地震所触发,近代地震活动极为平静的断裂带中段,历史上曾发生过XI度以上强烈地震。

关键词: 古滑坡; 断裂带; 强烈地震; 动力响应

中图分类号: P642.2; X43

文献标志码: A

则木河断裂是中国西南地区地震频发的主要断裂带之一。研究调查表明,近代以来沿该断裂带的地震活动主要发生在断裂带的南、北两端,而近代地震活动贫乏的断裂带中段却发育有一系列体积超过 10^8 m^3 级的巨型滑坡;这些滑坡均具有高速、远程、碎屑流等强动力溃滑特征^[1-3]。这一系列相关联的地质现象和成因引起我们的关注和思考。

当前针对类似的地震诱发的滑坡现象和成因,众多学者开展了广泛地研究。例如:周荣军等根据古地震地表破裂、同震位错结果推论强震复发的时间间隔,并对未来新一轮强震做出推断^[4];任金卫等通过分析则木河断裂北段构造微地貌的演化 and 该

区古地震情况,进而对本区地震活动特点和强震复发间隔作初步探讨^[5];肖盛燮通过研究滑坡的发生机制、分析滑坡体的滑动时间及速度进而预测滑坡体的破坏特征^[6];焦玉勇等结合离散元分析软件,对滑坡实例进行动态模拟,得出结果与实际情况基本一致^[7];黄润秋、许强等通过汶川地震灾区灾害大量调查,结合岩体的变形破坏特点,较为系统的揭示了强震触发山体滑坡的成因机制、地质模式和动力特征^[8-9]。

综上,本文通过对则木河断裂带中段具有典型特征的底古村古滑坡的野外地质调查及测绘,建立与滑坡山体同性质的岩体力学概念模型^[10],运用具

收稿日期(Received date): 2015-03-25; 修回日期(Accepted): 2015-04-18。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金面上项目(批准号:41072231),地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室方向性项目(No: 40100-00002219)。[This research is supported by surface of the State Natural Science Fund projects(Grant No. 41072231) and the directional project of State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection(Grant No: 40100-00002219).]

作者简介(Biography): 许声夫(1990-),男,汉族,四川资阳人,硕士研究生,主要从事区域地质构造稳定性及地震地质灾害研究。[Shengfu Xu (1990-), Male, the Han Nationality, born in Ziyang of Sichuan province, Post-Graduate, Mainly engaged in the study of regional tectonic stability and seismic geological disasters.]E-mail: xedfoxyx@foxmail.com

* 通信作者(Corresponding author): 李渝生(1956-),男,汉族,四川成都人,教授,主要从事地质灾害与区域稳定性方面的研究工作。[Yusheng Li (1956-), Male, Born in Chengdu, Professor, Mainly engaged in the research of geological disasters and regional stability.]E-mail: liyusheng@cdut.cn

有模拟动力功能的离散元数值分析方法,通过递增值输入地震加速度对应的地震波^[11-12],分析讨论触发底古滑坡事件的临界动力条件。

1 断裂带及历史地震

则木河断裂带是一条 NW 向活动性地壳断裂,自晚更新世以来,表现出极为强烈的左旋走滑兼压性逆冲活动。该断裂北端于西昌附近切错 SN 向安宁河断裂,南端在巧家附近斜交于近 SN 向小江断裂(图 1)。

根据晚更新世早期形成的水系被错断的位移以及¹⁴C 样品的测年数据推算^[13],晚更新世以来断裂带活动性最强部位在北段大箐-扯扯街附近,平均滑动速率达 12.32~8.98 mm/a(表 1)。全新世以来断裂带活动强度相对减弱,活动性最强烈的部位仍在北段大箐附近,平均滑动速率 7.90 mm/a。根据大地水准测量,近期北段持续左旋、沉陷;中段荞窝-普格段以 1.0 mm/a 的速率持续抬升。

根据历史地震数据^[14],1427—1850 年期间,断裂带地震极为活跃,曾发生过 M_s 有 7.25、6.75、7.5 等 3 次强烈地震;1850 年至今,地震活动强度相对降低,仅发生 7 次 M_s 为 4.0~5.5 级地震。这些地震活动均发生在断裂带南、北两段,中段(荞窝-普格-松新段)自有历史记载以来未发生强烈地震,地震活动极为平静。

2 大型古滑坡事件

在历史地震活动较为平静的断裂带中段,分布有一系列大型古滑坡。其中最为典型是位于断裂带中段松新镇底古村河谷左岸的古滑坡。该处山体地质结构为由中奥陶纪(O_2d)白云岩及泥质灰岩、中志留纪(S_2s)砂页岩及泥灰岩和下二叠纪(P_1)灰岩及玄武岩构成的褶皱构造体系,断裂带沿河床发育(图 2、图 3)。

滑坡体全部为因 P_1 灰岩溃滑崩解形成的块石、角砾及岩粉,总体积约 $3.7 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。其前端碎屑流沿 235° 方向运移超过 3.5 km,并且堵塞河床,这与巧家县附近出现古地震诱发特大滑坡,堵塞金沙江形成的“金塘古堰塞湖”现象相似^[15-16];同时,滑坡具有典型的高速、远程、碎屑流等强动力溃滑特征。根据我们对汶川大地震诱发大型滑坡的研究成

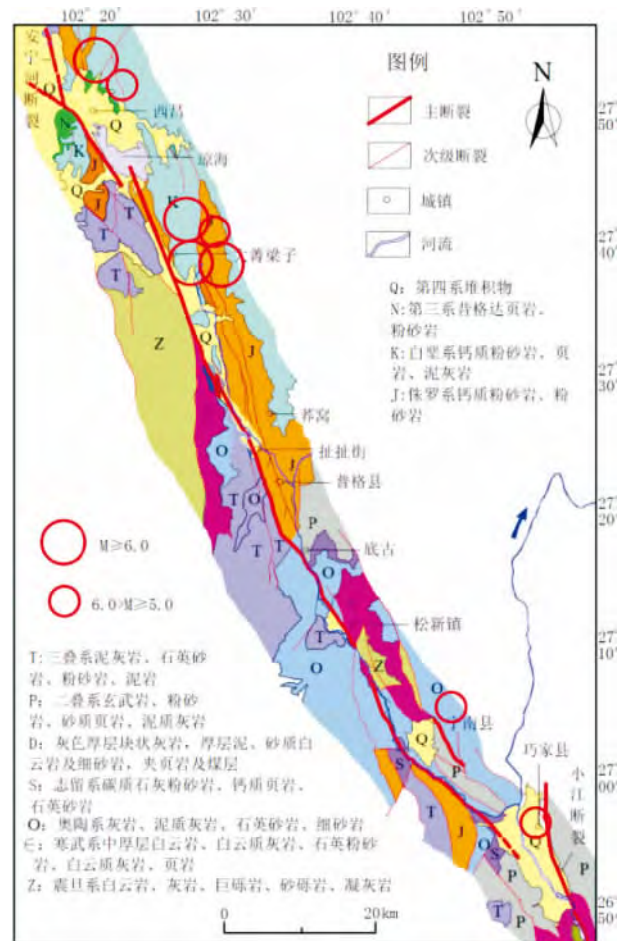


图 1 则木河断裂带构造-地震图

Fig. 1 Tectonic and seismic map of Zemuhe fault zone

果^[8],这类滑坡通常具有强动力触发背景。

则木河河谷广泛发育有较为稳定的 I~V 阶地,但在滑坡体堆积淤塞段河道内却仅发育 I 级阶地。这表明该古滑坡形成时代应在 I 级阶地形成以前、II 阶地(此 II 级阶地在古滑坡事件之前为 I 级阶地)形成之后的晚更新世(Q_3)末期。阶地冲积层¹⁴C 测年数据为 $(1.22 \pm 0.14) \times 10^4 \text{ a}$ 。

3 临界动力强度的数值分析

离散元 UDEC 计算程序能很好地模拟块体系统的变形和大位移。块体的性质既可以是变形体,也可以是刚体,甚至是介于二者之间的弹塑性体。变形块体被划分成有限个单元网格,每一单元根据给定的“应力-应变”准则,表现为线性或非线性的特性。不连续面发生法向和切向的相对运动也由线性或非线性的“力-位移”的关系控制。该程序能够自动考虑计算过程因破裂而产生的新型结构面。

表 1 则木河断裂带的断距及滑动速率
Tab.1 Fault displacement and slip-rate in Zemuhe fault zone

测点位置	水系错断平均值/m		位移经历时间/(10 ⁴ a)		滑动速率/(mm/a)			
					Q ₃ 以来		Q ₄ 以来	
	Q ₃ 早期 Early Q ₃	Q ₄ 晚期 Late Q ₄	Q ₃	Q ₄	范围值 Range	平均值 Average	范围值 Range	平均值 Average
李金堡 (F1)	446.7	51.3	9~6	1.0~0.7	5.2~7.8	6.49	5.1~7.3	6.20
大箐 (F2)	887	65.2	9~6	1.0~0.7	9.8~14.7	12.3	26.5~9.3	7.90
扯扯街 (F3)	646.5	60	9~6	1.0~0.7	7.2~10.8	8.98	6.0~8.5	7.29
松新 (F4)	418.3	51	9~6	1.0~0.7	4.6~6.9	5.81	5.1~7.2	6.20
大同 (F5)	245	50	9~6	1.0~0.7	2.7~4.1	3.39	5.0~7.1	6.07

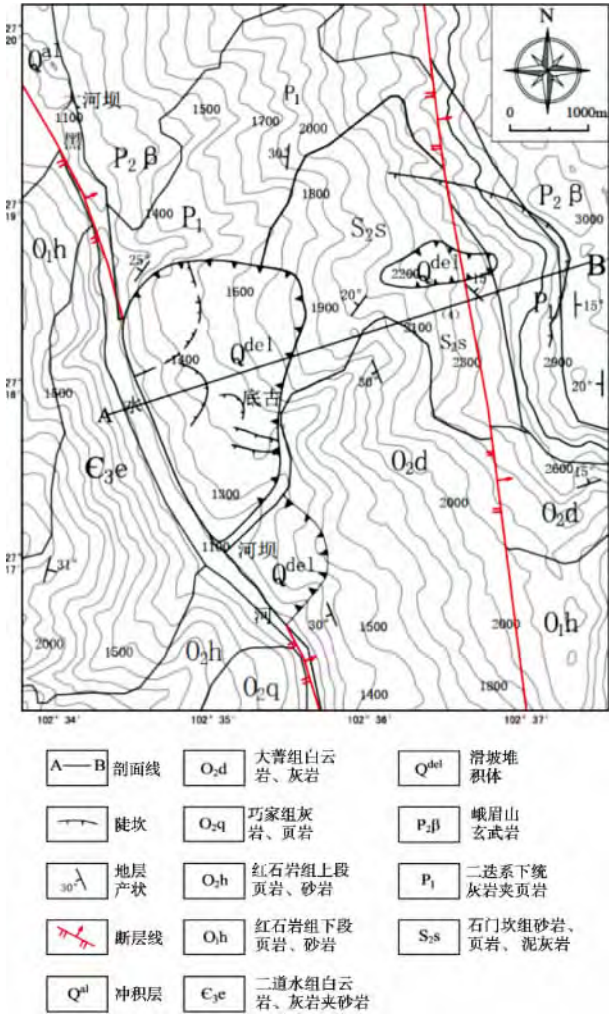


图 2 底古村滑坡地质图
Fig.2 Geological map of landslide in Digu village

3.1 模型及参数

根据实测的地质、地形及控制性节理裂隙发育情况建立计算概化模型(图 4)。模型参数根据《岩石力学参数手册》中涉及的水电工程的岩体力学试

验数据选取^[17](表 2)。模型动力边界条件按图 5 设置。为了最大限度地减小由震源产生的地震波向外传播而反射到模型内部以及能量发散对模型的影响,模型底部采用粘滞边界,两侧采用自由场边界。

3.2 计算成果及分析

3.2.1 重力场条件下的山体稳定性

仅考虑重力场的计算成果显示,岩体不平衡推力迅速收敛(图 6),山体处于稳定状态。

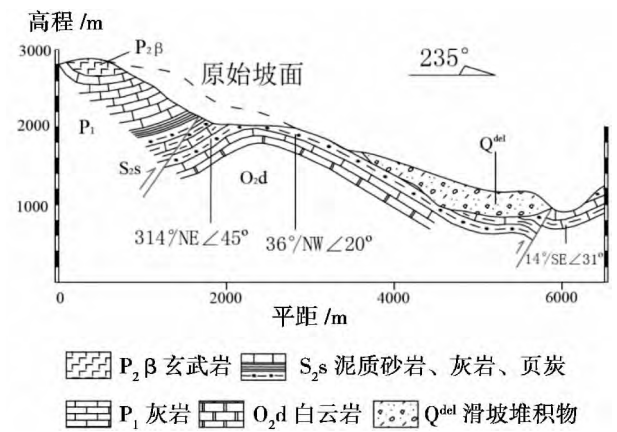


图 3 古滑坡剖面图
Fig.3 Geological section of ancient landslide

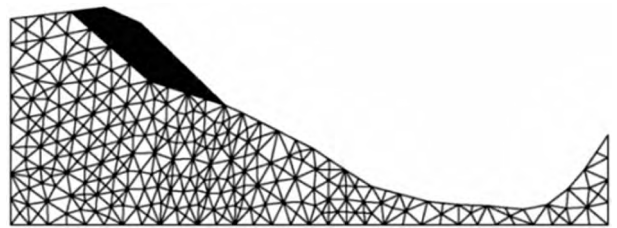
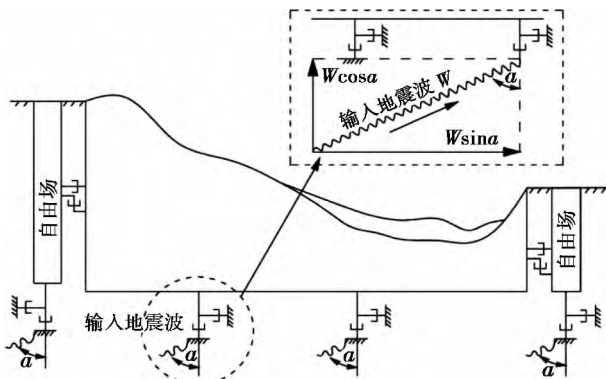


图 4 离散单元概化模型
Fig.4 Generalized model with discrete unit

表 2 岩体参数

Tab. 2 Rock-mass parameter

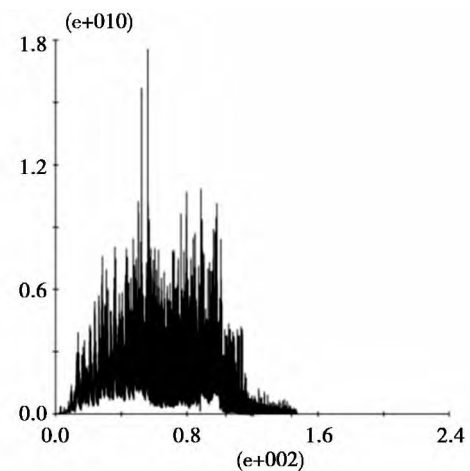
岩性	天然密度 /(kg/m^3)	内聚力 C /MPa	φ / $^\circ$	体积模量 /GPa	剪切模量 /GPa	法向刚度 /(GPa/m)	切向刚度 /(GPa/m)
风化灰岩	2 600	1	20	17.2	3.9		
风化玄武岩	2 500	1	20	17.2	3.5		
弱风化灰岩	2 670	5	45	20.6	9.9		
层面		0.5	15			2.67	2.54
节理裂隙面		0.5	15			2.58	2.65



注: W 为给定的输入地震波 μ 为该组地震波与重力方向的夹角。

图 5 数值模型边界条件示意图

Fig. 5 Sketch map of numeral model boundary condition

图 7 输入加速度 $a = 0.6 \text{ g}$ 的不平衡推力Fig. 7 The unbalanced force with keyin $a = 0.6 \text{ g}$

3.2.2 极限平衡状态的临界动力条件

输入地震加速度 $a = 0.6 \text{ g}$, 计算结果(图 7)显示, 在地震作用的前 50 s, 不平衡推力持续增大; 50 s 后不平衡推力逐渐减小, 约在 142 s 时刻达到收敛状态, 并开始进入自稳阶段。此时滑体处于临界平

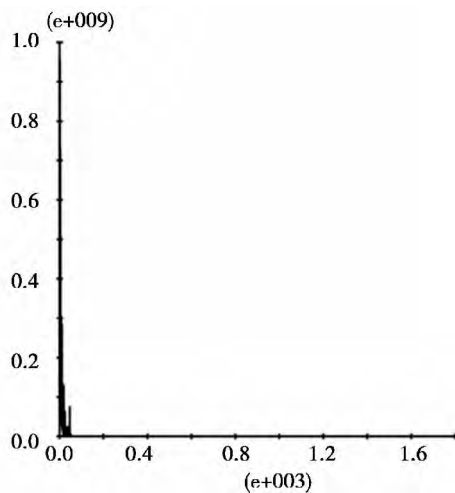


图 6 底古斜坡天然条件下不平衡力

Fig. 6 Digu slope's unbalanced force under natural state

衡状态。

3.2.3 触发山体溃滑的临界动力条件

在 $a = 0.6 \text{ g}$ 的基础上, 继续增大输入地震加速度 a 为: 0.8 g 、 1.0 g 、 1.2 g 、 1.4 g 、 1.6 g 时。计算结果显示(图 8), 在 $a < 0.6 \text{ g}$ 的条件下, 山体处于整体稳定状态; 输入加速度达到 $a \geq 0.6 \text{ g}$ 及 $a = 0.8 \text{ g}$ 、 1.0 g 、 1.2 g 、 1.4 g 时, 山体发生整体性失稳破坏, 但岩体的破坏、运移状态均与实际情况不符。

只有当地震加速度达到 $a \geq 1.6 \text{ g}$ 时, 才能触发与实际情况近似的远程碎屑流型溃滑事件(图 9)。

根据上述计算分析我们认为 $a = 0.6 \text{ g}$ 是山体保持整体稳定的临界加速度; $a \geq 1.6 \text{ g}$ 是触发远程碎屑流型溃滑事件的临界动力条件, 相当于 XI 度地震的动力强度。

4 $a = 1.6 \text{ g}$ 条件下的山体动力响应

4.1 山坡溃滑启动的临界时间

数值计算显示: $t = 3.75 \text{ s}$ 时, 山体内部不同部

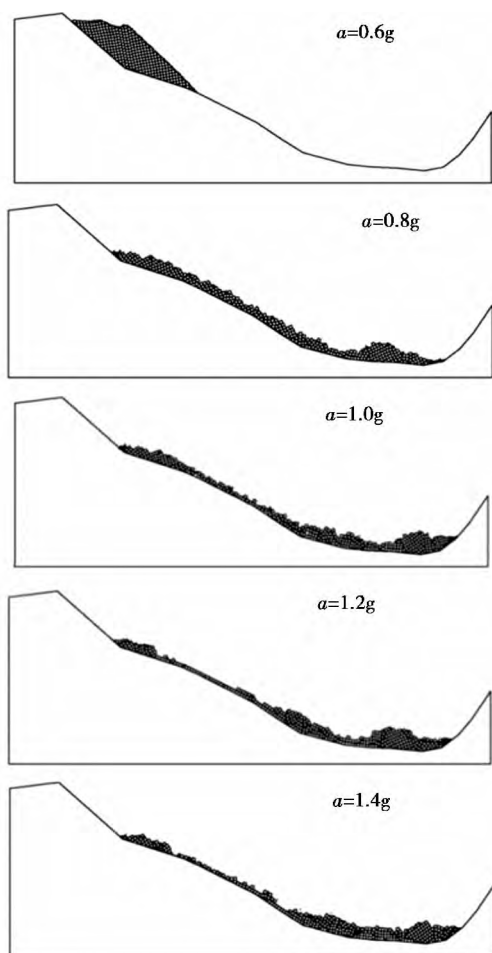


图8 不同加速度条件下山体破坏及运动堆积状态

Fig. 8 State of mountain damage and movement-accumulation under different seismic accelerations

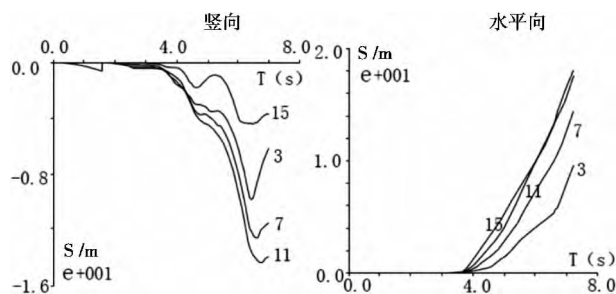
图9 $a = 1.6$ 的运动堆积状态

Fig. 9 State of movement and accumulation when $a = 1.6$ g

位的竖向及水平位移时程曲线出现拐点(图10)。即在地震荷载作用3.75 s后,山体开始发生宏观不连续变形破坏。故 $t = 3.75$ s 为山坡破坏启动的临界时间。

4.2 初始动力响应

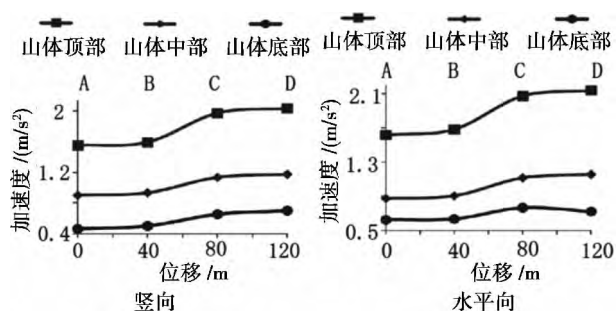
计算结果(图11及表3)显示,在溃滑启动0~3.75 s的初始时段内,山体内部不同高程竖向和水



(3 - 山体顶部 Top of mountain; 7, 11 - 山体中部 Center of mountain; 15 - 山体底部 Bottom of mountain)

图10 不同高程的位移时程曲线

Fig. 10 Time-history curves of vertical(left) and horizontal(right) displacements at different elevations



A、B - 稳定基岩山体前后部 Stable bedrock mountain front and back

C、D - 失稳山体前后部 Instable mountain front and back

图11 不同高程的加速度响应对比曲线

Fig. 11 Acceleration correlation curve sat different elevations
(The left is vertical and right is horizontal)

平加速度响应有所不同。竖向和水平加速度随高程的增加而增大;同一高程,加速度响应随着距坡体临空面距离减小而递增;溃滑山体的动力响应明显强于稳定基岩,尤其是在山体的中部及上部,这种差异更加明显。

4.3 山体溃滑 - 运动发展过程

溃滑体运动包括三个不同的过程(图12):0~3.75 s 山体处于相对静止阶段,3.75 s 处于临界平衡状态;3.75~54 s 块体运移速度不断增大,54 s 达到最大值,水平速度 97.2 m/s、竖向速度 65.2 m/s;54~90 s 块体运移至河谷底部后由于右岸山体阻挡速度迅速减小并降低至0。此时,溃滑体最大水平运移距离 3.5 km,最大竖向运移距离 1.8 km。

5 结论

1. 则木河断裂带中段集中发育的具有高速远程碎屑流等强动力特征的大型滑坡群,是由强烈地震所

表3 初始加速度响应计算结果(0~3.75 s)

Tab.3 Results of initial acceleration response(0~3.75 s) /g

部位	岩体点位	稳定基岩		失稳山体	
		A	B	C	D
山体顶部	水平	1.615	1.683	2.073	2.137
	竖向	1.553	1.593	1.975	2.033
山体中部	水平	0.875	0.905	1.000	1.155
	竖向	0.901	0.934	1.135	1.175
山体下部	水平	0.624	0.634	0.765	0.722
	竖向	0.461	0.501	0.653	0.701

注: A 为稳定基岩后部, B 为稳定基岩前部, C 为失稳山体后部, D 为失稳山体前部。

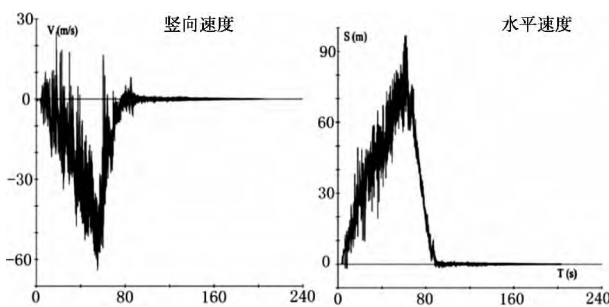


图12 溃滑体运动速度时程曲线

Fig. 12 Time-history curve of collapsed body movement velocity

诱发。这些由地震触发的山地灾害事件发生在距今 1.22×10^4 a 以前的晚更新世末期。

2. 基于现场实测数据建模的数值计算分析得出: 相当于XI度地震的动力强度(水平加速度 $a \geq 1.6g$) 是触发与实际情况近似的远程碎屑流型溃滑事件的临界动力条件。据此, 我们可以推论: 距今 1.22×10^4 a 以前的晚更新世末期, 近代地震活动极为平静的则木河断裂带中段, 曾发生过烈度达到或超过XI度的强烈地震。有人类记载以来的地震活动相对较平静的现象, 应是地震活跃期之间的地震间歇的表现。阐明这一点, 对于评估断裂带的潜在地震危险性, 具有极为重要的构造动力学意义。

参考文献(References)

- [1] 程谦恭, 张倬元, 黄润秋. 高速远程崩滑动力学的研究现状及发展趋势[J]. 山地学报, 2007, 25(1): 72-84 [Cheng Qiangong, Zhang Zhuoyuan, Huang Runqiu. Study on dynamics of rock avalanches: state of the art report [J]. Mountain Research, 2007, 25(1): 72-84]
- [2] 殷跃平. 汶川八级地震滑坡高速远程特征分析[J]. 工程地质学报, 2009, 17(2): 153-166 [Yin Yueping. Rapid and long run out features of landslides triggered by the Wenchuan earthquake. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(2): 153-166]
- [3] 王家鼎, 张倬元. 地震诱发高速黄土滑坡的机理研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(6): 670-674 [Wang Jiading, Zhang Zhuoyuan. A study on the mechanism of high-speed loess landslide induced by earthquake [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(6): 670-674]
- [4] 周荣军, 何玉林, 杨涛, 等. 鲜水河断裂带乾宁-康定段的滑动速率与强震复发间隔[J]. 地震学报, 2001, 23(3): 250-261 [Zhou Rongjun, He Yulin, Yang Tao, et al. The slip rate and strong earthquake recurrence interval on the Qianning-Kangding segment of the Xianshuihe Fault zone [J]. Acta Seismologica Sinica, 2001, 23(3): 250-261]
- [5] 任金卫, 李坪. 则木河断裂带北段地震地貌及古地震研究[J]. 地震地质, 1989, 11(1): 27-33 [Ren Jinwei, Li Ping. Earthquake-caused landforms and paleoseismic study on the northern segment of the Zemuhe Fault [J]. Seismology and Geology, 1989, 11(1): 27-33]
- [6] 肖盛燮, 周小平, 杨海青, 等. 二维高速滑坡力学模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(3): 456-461 [Xiao Shangxie, Zhou Xiaoping, Yang Haiqing, et al. Two-dimensional mechanical model of high-speed landslides [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(3): 456-461]
- [7] 焦玉勇, 葛修润, 刘泉声, 等. 三维离散单元法及其在滑坡分析中的应用[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(1): 101-104 [Jiao Yuyong, Ge Xiurun, Liu Quansheng, et al. Three-dimensional discrete element method and its application in landslide analysis [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(1): 101-104]
- [8] 黄润秋. 汶川8.0级地震触发崩滑灾害机制及其地质力学模式[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(6): 1239-1249 [Huang Runqiu. Mechanism and geomechanical modes of landslide hazards triggered by Wenchuan 8.0 earthquake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(6): 1239-1249]
- [9] 许强, 黄润秋. 5.12 汶川大地震诱发大型崩滑灾害动力特征初探[J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 721-729 [Xu Qiang, Huang Runqiu. Kinetics characteristics of large landslides triggered by May 12th Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6): 721-729]
- [10] 苏生瑞, 张永双, 李松, 等. 汶川地震引发高速远程滑坡运动机理数值模拟研究-以谢家店子滑坡为例[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3): 277-287 [Su Shengrui, Zhang Yongshuang, Li Song, et al. Numerical analysis on motion mechanism of high-speed and long runout landslide by Wenchuan Earthquake-taking Xiejiaodianzi Landslide as an example [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2010, 32(3): 277-287]
- [11] 何先龙, 杨立志, 赵立珍, 等. 基于多重互相关函数计算地探信号到时差[J]. 地球物理学进展, 2009, 24(4): 1516-1520 [He Xianlong, Yang Lizhi, Zhao Lizhen, et al. Calculation of wave arrival time difference of earth-exploration signals based on multiple cross-correlation function [J]. Progress in Geophysics, 2009, 24(4): 1516-1520]
- [12] 何先龙, 赵立珍. 基于多重互相关函数分析剪切波速[J]. 岩土力学, 2010, 31(8): 2541-2544 [He Xianlong, Zhao Lizhen. Analysis of shear wave velocity based on multiple cross-correlation functions [J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, 31(8): 2541-2544]
- [13] 杜平山. 则木河断裂带的走滑位移及滑动速率[J]. 四川地震, 2000(1/2): 49-64 [Du Pingshan. Slip displacement and its rate

- about zemuhe faults [J]. Earthquake Research In Sichuan ,2000 (1/2): 49 – 64]
- [14] 孙成民. 四川地震全记录 [M]. 成都: 四川人民出版社, 2010: 409 – 415 ,579 – 603 [Sun chengmin. Thesichuan earthquake records [M]. Chengdu: SichuanRenmin Press ,2010: 409 – 415 ,579 – 603]
- [15] 张信宝 ,David Higgitt ,刘维明 ,等. 金沙江下游金塘古滑坡堰塞湖阶地 [J]. 山地学报 ,2013 ,31(1): 127 [Zhang Xinbao ,David Higgitt ,Liu Weiming ,et al. Terraces of Ancient Giant Jintang Landslide-dammed Lakein Jinsha River [J]. Journal of Mountain Science 2013 ,31(1): 127]
- [16] David L Higgitt ,Xinbao Zhang , Weiming Liu ,et al. Giantpalaeo-landslide dammed the Yangtze river [J]. Geoscience Letters 2014 , 1: 6
- [17] [中国水利水电科学研究院 ,等. 岩石力学参数手册 [M]. 北京: 水利电力出版社 ,1991: 85 – 89 ,175 – 190 ,233 – 238 ,341 – 349 [China Institute of Water Resources and Hydropower Research ,et al. Handbook of rock mechanical parameters [M]. Beijing: Water Resources and Electric Power Press ,1991: 85 – 89 ,175 – 190 ,233 – 238 ,341 – 349]

Relationship between Dynamic Strength and Landslide Shape in Middle of Zemuhe Fault Zone

XU Shengfu¹ ,LI Yusheng^{1,2} ,WANG Jinpeng¹

(1. Environmental and Civil Engineering College ,Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China;

2. State Key Laboratory of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection/Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China)

Abstract: Large ancient landslides are found along the central segment of Zemuhe fault in Southwestern Sichuan of China , which concentrate at the part with relatively calm seismic activities in the modern history. Strong dynamic characteristics can be observed in the landslides , including high speed and long travel distance of the debris. It is postulated that these landslides may have been triggered by a violent prehistoric earthquake , or numerous strong seismic activities occurred in the middle of Zemuhe fault zones. The study aims at understanding the failure mechanism of Digu landslide and the simulation of its failure process based on the field investigation. The size of Digu landslide is estimated to be approximately $10 \times 10^7 \text{ m}^3$. Discrete element numerical analysis (UDEC) is applied to simulate the dynamic conditions and to analyze the critical dynamic condition that triggered the slope failure. The critical dynamic condition is achieved when the earthquake acceleration $a \geq 1.6 \text{ g}$ and seismic intensity of XI equivalently based on the results of the simulation , in which the failure modes are similar to the prototype. It is possible that the gigantic Digu landslides was triggered by strong earthquake of with the earthquake intensity equal or greater than the level of XI occurred in the middle of Zemuhe fault zones in the past.

Key words: ancient landslide; fault; strong earthquake; dynamic response

封面照片: 南宫山

南宫山又称笔架山 ,系北大巴山北坡华龙山支脉余脉 ,位于陕西省安康市岚皋县东南部 ,地处秦岭以南 ,大巴山北麓 ,主峰金顶海拔 2 267.4 m ,属于中山地貌。南宫山有 4.2 亿年前古生代志留纪火山多次喷发遗留形成的众多火山岩地质遗迹 ,其中火山砂砾岩、火山凝灰岩、火山角砾岩等类型丰富、结构典型 ,火山岩石峰林、峰丛地貌景观特色明显。

照片为南宫山佛掌崖 ,其成因主要是由火山岩中发育的垂直节理差异风化而成 ,当火山岩受构造运动被强烈抬升 ,此时沿着一组垂直裂隙可以发展成明显的断层 ,地貌上为断层崖。悬崖形成后 ,沿崖面水流冲刷形成了众多的竖直条带 ,后期沿着断层崖(临空面) 会有基岩崩塌 ,成为陡峭的火山岩峭壁。照片中的火山岩峭壁高达 200 m ,是研究华南板块北缘晚加里东期裂谷构造活动特征的典型实例。

(张 阳)