

文章编号: 1008 - 2786 - (2013) 4 - 418 - 07

鬼招手滑坡的特征及失稳机制

徐 伟,倪化勇,王德伟,徐如阁

(成都地质矿产研究所,四川成都 610081)

摘 要: 鬼招手滑坡位于“5·12”汶川地震极重灾区彭州市内,是地震 4 a 后暴雨诱发的高速滑坡。剖析了主滑体和堆积区 I、II、III 的特征;分析了影响该边坡稳定性并诱发滑坡的 6 大因素,包括地层岩性、河流及泥石流冲刷侵蚀坡脚、暴雨及雨水下渗、断裂及“5.12”汶川地震、地貌、人类工程活动,其中持续暴雨是滑坡主要诱发因素;计算了主滑体抛射初速度为 40.41 m/s,运动距离为 137 m,定义了主滑体的破坏模式为滑移-抛射模式;总结了滑坡的破坏过程,分为坡体累积破坏、坡体启动、坡体运动、坡体堆积稳定 4 个阶段;对比分析了暴雨和地震诱发的高速滑坡的不同之处,对于地震灾区的防灾减灾工作具有一定参考价值。

关键词: 高速滑坡;滑坡特征;破坏模式;破坏过程

中图分类号: P642.22

文献标志码: A

高速远程滑坡的失稳机制、破坏特征等是近年来国内外学者们研究的热点和焦点。尤其是“5·12”汶川大地震后,在地震灾区触发了许多高速远程滑坡,这些滑坡具有巨大体积、超乎异常的高速度、巨大的能量和超长的运动距离等。学者们对这类在地震动荷载作用下触发的高速远程滑坡进行了大量的深入研究并取得了许多成果:程谦恭,张倬元等^[1]对最近几十年来高速远程崩滑动力学机理方面取得的研究成果、研究现状及发展趋势进行了述评;程谦恭,王玉峰等^[2]仿真了高速滑坡超前冲击气浪产生流场的特征,分析了其形成的动力学机理;方华,裴来政等^[3]对高速远程滑坡的速度进行了研究;许多学者^[4-12]对汶川大地震触发的多个典型高速远程滑坡的特征和失稳机制进行了探讨和研究。

对高速滑坡,国内外目前没有明确严格的定义。根据“国际地科联滑坡工作组”1995 年公布的“建议用于描述滑坡位移速度的一种方法”^[13],滑坡位移速度分为“极缓慢、很缓慢、缓慢、中速、迅速、很迅速、极迅速”7 个等级,其中“极迅速”级别的滑坡位移速度,下限速度为 5 m/s,上限速度为 70 m/s。目

前,大多数学者认为高速滑坡的平均运动速度都在 20 m/s 以上,相当于“极迅速”级别的滑坡。

暴雨诱发的高速滑坡实例较少,故研究成果不多。鬼招手滑坡为小型浅层土质滑坡,是持续暴雨诱发的高速滑坡,主滑体抛射初速度 40.41 m/s,运动距离 137 m。通过现场的详细地质灾害调查和后续分析,对鬼招手滑坡的主滑体和堆积体进行了细致描述;分析总结了影响鬼招手边坡稳定性并最终诱发滑坡的 6 大因素;研究了滑坡的破坏模式和破坏过程;对比分析了暴雨和地震诱发的高速滑坡的不同之处,对于地震灾区的防灾减灾工作具有一定参考价值。

1 滑坡概况

鬼招手滑坡位于四川省彭州市龙门山镇九峰村四组附近,发生时间为 2012-08-18 T11:00。滑坡造成通往银厂沟的唯一公路——银(厂沟)白(水河)路公路垮塌约 200 m(图 1),交通中断,包括银厂沟景区在内的几个村庄成为“孤岛”,同时造成大

收稿日期(Received date): 2013-01-28; 改回日期(Accepted): 2013-03-08。

基金项目(Foundation item): 科技部基础研究专项(2011FY110100)。[This research is supported by the Basic Research Project from Ministry of Science and Technology(2011FY110100).]

作者简介(Biography): 徐伟(1986-)男,山东淄博人,硕士,助理工程师;主要从事岩土体稳定性方向研究。[Xu Wei(1986-), male, Zibo, Shandong Province, assistant engineer, majoring in the stability of the rock mass research.] E-mail: 052054@163.com

量人员车辆滞留,直接经济损失达近百万(图 2)。

鬼招手滑坡为小型浅层土质滑坡,全貌如图 3 所示,斜坡面上有较厚的第四系松散堆积的残坡积、崩坡积层碎石土,是滑坡的主要物质来源,碎石原岩为砂岩、粉砂岩。滑坡中下部及两侧山体出露地层主要为三叠系上统须家河组(T_{3x})石英长石砂岩、粉砂岩夹煤层。岩体节理裂隙发育,岩石破碎,控制性结构面产状为: $290^{\circ} \angle 35^{\circ}$ 。



图 3 鬼招手滑坡全貌图(镜向 320°)

Fig. 3 The close-up view of Guizhaoshou landslide (lens direction 320°)



图 1 鬼招手滑坡后缘公路垮塌及路面的拉张裂缝(镜向 60°)

Fig. 1 The diagrammatic sketch of the collapsed road near the rear edge of landslide and the tensile cracks on the roads



图 2 村民通过溜索把生活必需品送进“孤岛”

Fig. 2 The diagrammatic sketch of villagers sending life necessities to the "island" through cableway

滑坡实测剖面图及平面图如图 4、图 5。滑坡坡脚高程为 1 147 m,斜坡坡顶高程为 1 242 m,前后缘高差为 95 m;剪出口高程为 1 203 m,剪出口上方高程 1 210 m 处出露厚度约 1.3 m 的卵砾石层,剪出口下方高程 1 185 m 处出露有煤层。滑坡左侧边界以斜坡基岩出露点为界,滑坡右侧第四系碎石土垮滑严重,右侧边界以垮塌边缘为界;后缘呈圆弧

形,有拉张裂缝和基岩出露;前缘以河道冲沟坡脚为界,主滑方向为 140° ,右侧垮滑方向为 86° 。滑坡体长约 45 m,宽约 50 m,厚 0 ~ 11.5 m,滑坡体规模约为 $1.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

根据收集的原始资料和对滑坡周围地貌的测量可知,鬼招手滑坡前坡形大致分为两段,上部坡度约为 41° ,高程 1 203 ~ 1 235 m;下部坡度约为 55° ,高程 1 154 ~ 1 203 m,坡体上缓下陡。

2 滑坡堆积区特征

鬼招手滑坡堆积区分为三部分,分别是堆积区 I、堆积区 II、堆积区 III,堆积区分布如图 4 所示。各堆积区的物质组成统计如表 1。

堆积区 I 位于白水河对岸,呈长方体平铺,长 86 m,宽 54 m,厚 1.6 m,体积 $0.743 \times 10^4 \text{ m}^3$,是由主滑体沿砂岩风化层形成的滑动面下滑、由剪出口抛出飞行坠落解体后形成的坡积物碎块石土。块石集中分布于堆积区 I 前半部,这是因为主滑体在剪出

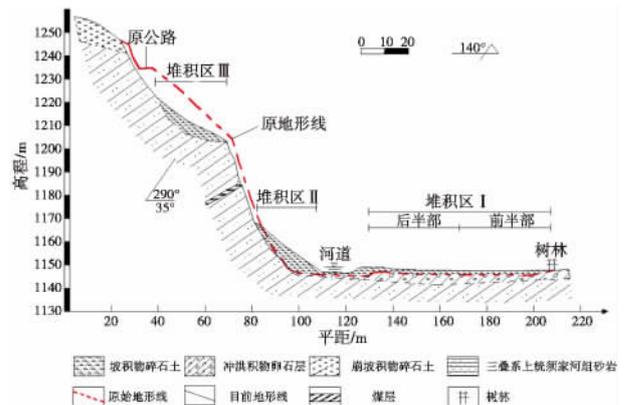


图 4 鬼招手滑坡实测剖面图

Fig. 4 The measured section plan of the Guizhaoshou landslide

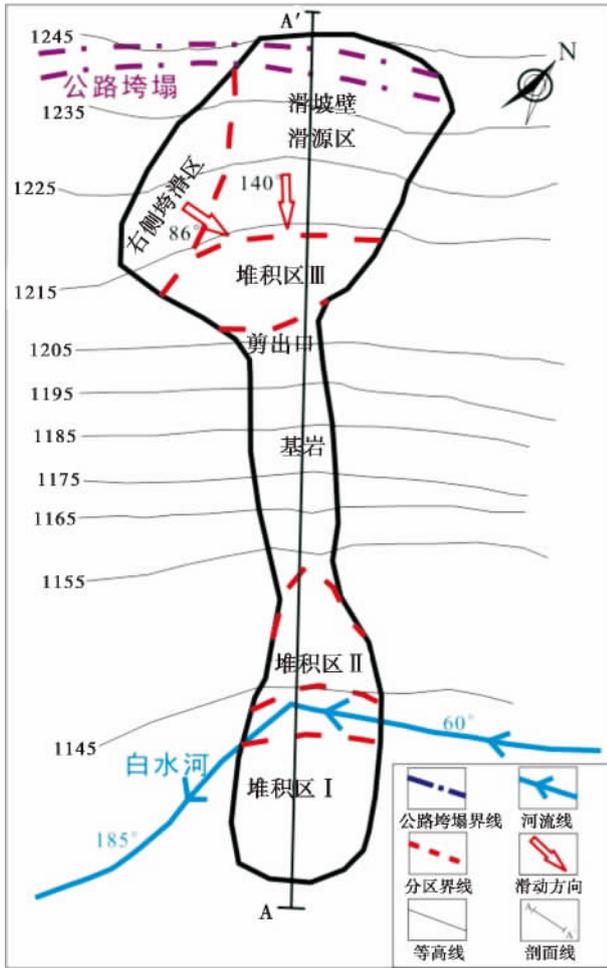


图5 鬼招手滑坡平面图

Fig.5 The plan of the Guizhaoshou landslide

表1 各堆积区物质组成统计表

Table 1 The composed substance of all the accumulation zone %

堆积区域	块石	碎石	砂土	卵石
堆积区 I 前半部	21	42	32	5
堆积区 I 后半部	16	53	31	0
堆积区 II	6	29	65	0
堆积区 III	1	32	67	0

时将锁固段岩体瞬间剪断,并一同抛出坠落于前半部;块石的块径大都为 22 cm × 17 cm × 14 cm,大者块径为 50 cm × 40 cm × 30 cm,棱角分明,原岩为砂岩、粉砂岩。前半部分布有少许卵石,来源于滑坡体上的卵石层,磨圆度高;卵石块径大都为 10 cm × 8 cm × 6 cm,大者的块径为 18 cm × 15 cm × 12 cm。另外在堆积区 I 前缘发现有数块较完好的未完全解体的砂岩风化层块体,如图 6 所示。堆积区 I 前半部和后半部碎块石土物质组成统计结果如图

7、图 8 所示。



图6 堆积区 I 前缘的砂岩风化层块体(镜向 240°)

Fig.6 The block of sandstone weathering layer in the leading edge of the accumulation zone I (lens direction 240°)

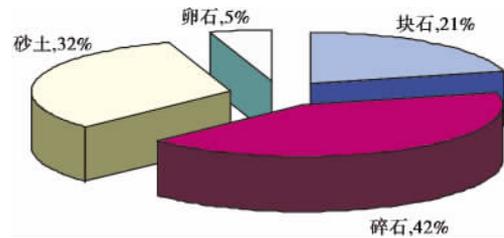


图7 堆积区 I 前半部碎块石土物质组成统计

Fig.7 The material composition statistics of gravelly soil in the first half of accumulation zone I

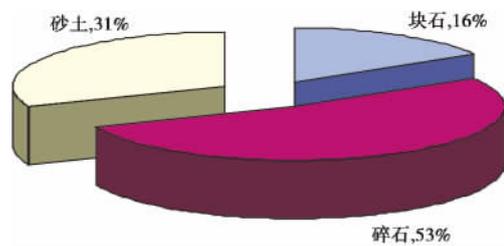


图8 堆积区 I 后半部碎块石土物质组成统计

Fig.8 The material composition statistics of gravelly soil in the second half of accumulation area I

堆积区 II 位于滑坡坡脚,成三角形堆积,长 32 m,宽 28 m,厚 0 ~ 6 m,体积 $0.358 \times 10^4 \text{ m}^3$,主要来源于滑坡右侧碎石土体垮塌,沿滑动面滑下由剪出口滑出掉落堆积于坡脚,堆积物上部为碎石和砂土,下部分布有少量块石。块石块径大都为 20 cm × 15 cm × 12 cm,大者的块径为 35 cm × 30 cm × 20 cm,棱角分明;碎石粒径大都为 10 cm × 7 cm × 5 cm,大者块径为 15 cm × 12 cm × 8 cm,棱角分明;原

岩均为砂岩、粉砂岩。堆积区Ⅱ碎石土物质组成统计结果如图9所示。

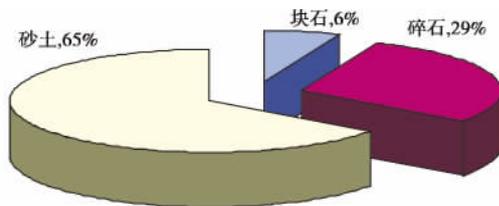


图9 堆积区Ⅱ碎石土物质组成统计

Fig. 9 The material composition statistics of gravel soil in accumulation zone II

堆积区Ⅲ位于滑坡滑动面上,长36.3 m,宽38 m,厚5.7 m,体积 $0.524 \times 10^4 \text{ m}^3$,来源包括滑坡右侧碎石土体垮塌沿滑动面下滑堆积、主滑体后部残留部分。堆积物为第四系残坡积、崩坡积层碎石土,碎石粒径大都为 $8 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$,大者块径为 $13 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$,棱角分明;堆积物表层偶见块径为 $20 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \times 12 \text{ cm}$ 的块石;原岩均为砂岩、粉砂岩。堆积区Ⅲ碎石土物质组成统计结果如图10所示。堆积物上仍可见东倒西歪的“醉汉林”。堆积区Ⅲ碎石土物质组成统计结果如图11所示。

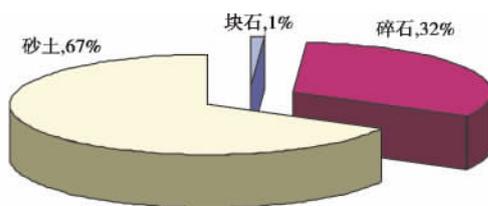


图10 堆积区Ⅲ碎石土物质组成统计

Fig. 10 The material composition statistics of gravel soil in accumulation zone III

3 滑坡发育条件

3.1 地层岩性

鬼招手滑坡下覆岩性为三叠系上统须家河组(T_3x)石英长石砂岩、粉砂岩夹煤层,岩体裂隙发育,岩层易风化,结构松散,力学强度低。在构造作用以及其他外动力作用下,形成了土状或泥状的砂岩风化软弱层,成为滑坡的滑动面。同时,在坡体表面,由于抗风化能力弱,形成了大量的松散物质成为主滑体,既有较大块石,也有碎屑物质。

3.2 地貌

边坡上缓下陡。滑坡剪出口位置较高,距沟谷

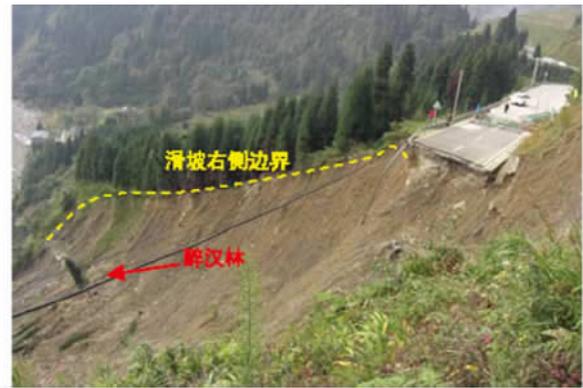


图11 主滑体右侧垮塌及堆积区Ⅲ上的醉汉林(镜向210°)

Fig. 11 The collapse near the right side of the landslide body and the dumped trees on the accumulation zone III

河道约40 m。沟谷宽约800 m,地势开阔,地形较平坦,为滑坡的发生提供了上佳的地貌条件。

3.3 河流、泥石流冲刷掏蚀坡脚

鬼招手滑坡位于沟谷凹岸、白水河转弯处,坡脚长期经受河水的冲刷侵蚀作用,再加上滑坡所在沟谷在暴雨或持续降雨诱发下经常暴发泥石流,且由于山沟上游滑坡崩塌提供了大量物源,沟道纵坡较大,泥石流较凶猛,流通此处对坡脚也产生强烈的冲击掏蚀作用,使坡脚处岩体碎裂化、剥蚀坠落。

3.4 断裂及“5·12”汶川地震

彭州市属于“5·12”汶川地震的极重灾区,地处龙门山华夏系构造带和川西新华夏系构造带,区内主要断裂有映秀断裂和灌县断裂,该滑坡位于映秀断裂附近,地质构造复杂,断裂褶皱发育,新构造活动较为强烈,使边坡岩体的完整性、坚固性和稳定性遭到一定程度的破坏。

3.5 暴雨及雨水下渗

根据调查和资料收集,彭州市地质灾害发生的时间多集中在每年5—9月,尤其6、7月最多,持续降雨时发生滑坡、泥石流的几率最大。根据彭州市气象站资料,降雨量特征值如表2。最长连续降雨时段10 d。降雨量集中在6—9月,占全年降雨量的70.37%。

在2012-08-17T17:00—18T4:00,该地区普降大到暴雨,是鬼招手滑坡发生的主要诱发因素之一。大量的雨水渗入坡体地表以下,使砂岩风化岩体水分饱和、软化,降低了岩土体的抗剪强度、增加了岩土体的容重和坡体下滑推力,滑坡体前缘锁固段的抗剪强度降低,受到的下滑推力增大;同时,雨水还转变为地下水,产生渗透力、扬压力,软化、润

滑、潜蚀砂岩风化层滑动面,诱发了滑坡。

表 2 彭州市降雨量特征值统计表

Table 2 The statistics of Pengzhou district' rainfall eigenvalue

特征值	多年平均	年最大值	月最大值	24 h 最大值	1 h 最大值
降雨量/mm	936.97	1 217.1	441.8	167.0	69.7

3.6 人类工程活动

滑坡后缘处修建有银(厂沟)白(水河)公路,公路在建设时对边坡进行了削坡、填土、加载等人类活动;公路在使用过程中,往来车辆繁多,边坡长期承受不间断的动荷载作用,这必然会对边坡后缘岩土体稳定性造成一定的扰动和影响,是不可忽视的影响因素。

4 滑坡破坏模式及破坏过程

4.1 滑坡主滑体抛射初速度计算

通过走访当地居民,询问滑坡发生时的目击者了解到:滑坡从启动到落地堆积的时间很短,无准确的记录,但据多位目击者估计滑坡全程运动时间在 5 s 内。通过现场的地质灾害调查,测得主滑体总运动距离 $L = 137$ m;剪出口与堆积体 1 所在地面高差 $H = 56.2$ m。假设主滑体离开剪出口时的抛射初速度为 v ;主滑体在空中飞行时间为 t ,主滑体竖直方向不存在除重力之外的其他作用力,因此采用自由落体运动公式计算运动时间和抛射初速度

$$L = vt$$

$$H = \frac{1}{2}gt^2$$

计算得到全程运动时间 $t = 3.39$ s;抛射初速度 $v = 40.41$ m/s。计算所得滑坡全程运动时间 3.39 s 与目击者所描述的时间比较吻合。

4.2 滑坡主滑体破坏模式

破坏模式是边坡稳定性分析的基本依据。边坡的破坏与其自身岩土体的结构类型存在着密切的联系,静力条件下边坡的变形与破坏可概括为多种模式:滑移-拉裂破坏模式、滑移-压致拉裂破坏模式、塑流-拉裂破坏模式、滑移-弯曲破坏模式、弯曲-拉裂破坏模式、滑劈破坏模式、顺层滑移型破坏模式^[10]。

鬼招手滑坡的破坏模式可定义为:滑移-抛射模式。主滑体在持续降雨作用下,前缘锁固段被剪断,主滑体沿砂岩风化层贯通形成的滑动面启动滑移,由于主滑体较高的初速度(40.41 m/s)及有利

的地形,主滑体由剪出口抛射出去,越过白水河后坠解体。随后主滑体右侧碎石土体在持续的降雨作用下,主滑体内部岩土体抗剪强度降低,后缘拉张裂缝贯通后,右侧土体沿滑动面滑下,部分堆积于滑动面上,部分堆积于坡脚处。

4.3 滑坡破坏过程

滑坡的破坏过程大致可分为 4 个阶段。

1. 坡体累积破坏阶段:滑坡坡脚在河水长期冲刷掏蚀作用,以及坡体所在沟暴发泥石流的冲击作用下,坡脚处岩体部分解体坠落,残留岩体破碎、风化程度高,对主滑体前缘锁固段岩体支撑作用不断降低;同时,滑坡发生前的持续暴雨导致雨水渗入主滑体,使其岩土体饱和、软化,降低了抗剪强度、增加了主滑体的容重和下滑推力;主滑体后缘产生拉张裂缝,前缘锁固段的抗剪强度降低的同时受到的下滑推力增大,产生剪切裂缝。据目击者描述,滑坡后缘银白公路在滑坡发生前 2 h 路基便出现缺口,附近居民立即上报封路,公路上的拉张裂缝如图 1 所示。

2. 坡体启动阶段:在暴雨持续作用下,主滑体前缘锁固段的抗剪强度不断降低,受到的下滑力不断增加,前缘的剪切裂缝和后缘的拉张裂缝不断扩张,沿砂岩风化层形成贯通的滑动面,最终前缘锁固段被剪断,锁固作用消失,主滑体沿剪出口向临空面抛出。随后,主滑体右侧碎石土体沿滑动面滑下。

3. 坡体运动阶段:由于滑坡发育处地形上缓下陡,剪出口位置较高,滑坡前方的地势开阔,地形较平坦,为主滑体的抛射创造了有利条件。主滑体前部和中部岩体由剪出口抛出后在重力作用下飞行一段距离,产生明显的气垫效应,气浪将附近树林中树木的树枝沿一定高度(红线标记所示)截断,痕迹整齐明显,如图 12 所示;主滑体后部的小部分松散岩



图 12 气浪截断的树枝

Fig. 12 The diagrammatic sketch of truncated branches by gas wave

土体能量较小沿滑动面滑下堆积在滑动面上;主滑体右侧碎石土体在重力作用下沿滑动面缓慢滑下。

4. 坡体堆积稳定阶段:沿剪出口抛出的主滑体越过白水河飞行一段距离后,从天而降坠落解体。据目击者描述滑坡在落地解体时产生了巨响,地面也有极大的震动,巨响及震动堪比汶川地震时;小部分主滑体沿滑动面滑下后堆积在坡脚;滑坡体右侧碎石土体沿滑动面滑下后一部分堆积于滑动面上,一部分落于坡脚。

5 结论与讨论

通过野外的详细调查以及后续的分析,总结出以下几点结论:

1. 鬼招手滑坡为小型浅层土质滑坡,堆积区分为堆积区Ⅰ、堆积区Ⅱ、堆积区Ⅲ,对主滑体和堆积体特征进行了详细剖析。

2. 影响鬼招手滑坡稳定性并最终导致滑坡的6大因素,包括地层岩性、地貌、河流及泥石流冲刷掏蚀坡脚、断裂及“5·12”地震、暴雨及雨水下渗、人类工程活动,其中主要诱发因素为暴雨及雨水下渗。

3. 对鬼招手滑坡的破坏模式和破坏过程进行了研究,计算得到主滑体抛射初速度为40.41 m/s;全程运动时间 $t=3.39$ s,与现场调查信息吻合。主滑体的破坏模式定义为滑移-抛射模式;滑坡破坏过程分为4个阶段:1) 坡体累积破坏阶段、2) 坡体启动阶段、3) 坡体运动阶段、4) 坡体堆积稳定阶段。

4. 暴雨和地震诱发的滑坡在基本特征等方面存在诸多不同。鬼招手滑坡是暴雨诱发的高速滑坡,存在以下特征:1) 滑坡发生前坡体经历了较长时间的雨水持续入渗、抗剪强度持续降低的累积破坏阶段;2) 滑坡在整个破坏过程中只承受重力作用,没有地震力等其他外力作用;3) 滑坡体在启动前水平方向没有作用力,抛射初速度和飞行距离均较小,高速但没有伴随着远程特征;4) 滑坡体部分抛出,堆积体在滑动区、飞行区、堆积区均有分布,堆积区相对较分散;5) 滑坡规模较小,发生时产生的能量较小。

地震诱发的高速滑坡其相关特征如下:1) 滑坡发生前坡体累积破坏阶段的持续时间很短暂;2) 滑坡体在启动之前承受地震力和重力的共同作用,启动抛出后承受重力作用;3) 滑坡体在启动前垂直方向承受重力作用和地震竖向荷载作用,水平方向承

受地震水平荷载作用,抛射初速度和飞行距离均很大,高速且大都伴随着远程特征;4) 滑坡体大都为整体抛出,飞行一段距离后坠落解体,堆积体在滑动区和飞行区极少分布,集中分布于堆积区;5) 滑坡规模一般为大型甚至巨型,发生时产生的能量巨大,并且容易因地形等因素影响形成滑坡-碎屑流复合型滑坡。

5. 鬼招手滑坡发生于地震灾区,是汶川地震后4 a发生的高速滑坡。在地震灾区震后仍存在大量的潜在不稳定斜坡,这类斜坡在余震和路面动荷载震动作用下坡体变得越来越疏松,坡体长时间变形破坏,并且在暴雨等因素诱发下易发生滑坡。这类斜坡具有危害性大、隐蔽性强、潜伏时间长等特征,要引起当地政府的高度重视,加强地震灾区内尤其是居民较集中、风景名胜区的的核心斜坡排查和研究的力度,避免造成人员伤亡和财产损失。

鬼招手滑坡的研究工作仍需进一步深入,对于边坡应力应变位移规律及特征、公路车辆行驶产生的动荷载对边坡稳定性影响程度等等问题有待进一步解决。

参考文献(References)

- [1] Cheng Qiangong, Zhang Zhuoyuan, Huang Runqiu. Study on dynamics of rock avalanches: state of the art report [J]. Journal of Mountain Science 2007, 25(1): 72-84 [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]
- [2] Cheng Qiangong, Wang Yufeng, Zhu Qi, et al. Dynamics of airblasts generated by rock avalanches [J]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(1): 70-80 [程谦恭, 王玉峰, 朱圻, 等. 高速远程滑坡超前冲击气浪动力学机理 [J]. 山地学报 2011, 29(1): 70-80]
- [3] Fang Hua, Pei Laizheng, Xiang Lingzhi. Study on kinematic velocity of high-speed and long-range landslides induced by Wenchuan earthquake [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2011, 31(2): 212-217 [方华, 裴来政, 向灵芝. 汶川地震高速远程滑坡速度研究 [J]. 防灾减灾工程学报, 2011, 31(2): 212-217]
- [4] Li Weile, Huang Runqiu, Tang Chuan, et al. Landslides triggered by “5.12” Wenchuan earthquake in the Mianyu river basin, China [J]. Journal of Mountain Science 2011, 29(4): 483-492 [李为乐, 黄润秋, 唐川, 等. 汶川地震触发的绵远河流域崩塌滑坡的特征 [J]. 山地学报 2011, 29(4): 483-492]
- [5] Ying Yaoping. Rapid and long run-out features of landslides triggered by the Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(2): 153-166 [殷跃平. 汶川八级地震滑坡高速远程特征分析 [J]. 工程地质报 2009, 17(2): 153-166]
- [6] Huang Runqiu, Pei Xiangjun, Li Tianfu. Basic characteristics and formation mechanism of the largest scale landslide at Daguangbao oc-

- curred during the Wenchuan earthquake [J]. *Journal of Engineering Geology* 2008, 16(6): 730-741 [黄润秋, 裴向军, 李天斌. 汶川地震触发大光包巨型滑坡基本特征及形成机理分析[J]. *工程地质学报* 2008, 16(6): 730-741]
- [7] Huang Runqiu, Pei Xiangjun, Zhang Weifeng, et al. Further examination on characteristics and formation mechanism of Daguangbao landslide [J]. *Journal of Engineering Geology* 2009, 17(6): 725-736 [黄润秋, 裴向军, 张伟峰, 等. 再论大光包滑坡特征与形成机制[J]. *工程地质学报* 2009, 17(6): 725-736]
- [8] Sun Ping, Zhang Yongshuang, Ying Yueping, et al. Discussion on long run-out sliding mechanism of Donghekou landslide-debris flow [J]. *Journal of Engineering Geology* 2009, 17(6): 737-744 [孙萍, 张永双, 殷跃平, 等. 东河口滑坡-碎屑流高速远程运移机制探讨[J]. *工程地质学报* 2009, 17(6): 737-744]
- [9] Qi Chao, Xing Aiguo, Ying Yueping, et al. Numerical simulation of dynamic behavior of Donghekou rockslide-debris avalanche [J]. *Journal of Engineering Geology* 2012, 20(3): 334-339 [齐超, 邢爱国, 殷跃平, 等. 东河口高速远程滑坡-碎屑流全程动力特性模拟[J]. *工程地质学报* 2012, 20(3): 334-339]
- [10] Wang Tao, Shi Jusong, Wu Shuren, et al. Formation mechanism of Wenjiagou high-speed and long-runout debris avalanche triggered by Wenchuan earthquake [J]. *Journal of Engineering Geology* 2010, 18(5): 631-644 [王涛, 石菊松, 吴树仁, 等. 汶川地震触发文家沟高速远程滑坡-碎屑流成因机理分析[J]. *工程地质学报*, 2010, 18(5): 631-644]
- [11] Zhang Yuanjiao, Xing Aiguo, Zhu Jiliang. Dynamics analysis of Niujiangou rockslide-debris avalanche triggered by the Wenchuan earthquake [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University* 2012, 46(10): 1665-1670 [张远娇, 邢爱国, 朱继良. 汶川地震触发牛圈沟高速远程滑坡-碎屑流动力学特性分析[J]. *上海交通大学学报* 2012, 46(10): 1665-1670]
- [12] Feng Jun. Study on stability and support of consequent bedding rock slope [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2005: 1-229 [冯君. 顺层岩质边坡开挖稳定性及其支护措施研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2005: 1-229]
- [13] International Union of Geological Sciences Working Group on Landslide. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide [J]. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 1995, 52: 75-78

The Characteristics and Instability Mechanism of Guizhaoshou Landslides

XU Wei, NI Huayong, WANG Dewei, XU Ruge

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, China)

Abstract: Guizhaoshou landslide is located in quake-hit areas—Pengzhou city of Sichuan, China. It is a rainstorm-induced high-speed landslide after four years of Wenchuan earthquake, the feature of the main slide body and accumulation zone I, II, III is analyzed detailly; six factors affecting the stability of the landslide and inducing landslides, including formation lithology, foot of the slope undercut and washed by rivers and debris flow, heavy rains and rainwater infiltration and etc are analyzed, and sustained heavy rain is the major predisposing factors to landslide; the projectile initial velocity of the main slide body is 40.41 m/s, movement distance is 137 meters, landslide destruction mode is defined as the slip-projectile mode; the destruction process of Guizhaoshou landslide is summarized, which is divided into four stages including slope cumulative undermine stage, start-up phase of the slope, the slope body movement stage, slope accumulate stable stage. The work fills the research on the rainstorm-induced high-speed landslide, and the difference is compared from rainstorm-induced and earthquake-induced high-speed landslide. The work has a certain reference value for the disaster prevention and mitigation work in the areas threatened by geological disasters.

Key words: high-speed landslides; landslides characteristics; destruction mode; destruction process