

文章编号:1007-2993(2009)03-0143-04

斜坡地质变形体强烈地震后的 变形和演化特征

许文鼎¹ 吴云莺² 张树宝²

(1. 青海省柴达木综合地质勘查大队,青海格尔木 816000;
2. 河北水文工程地质勘查院,河北石家庄 050021)

【摘要】 四川汶川“5.12”地震后,构造剥蚀中低山、丘陵区的山谷斜坡上,形成了大量的崩塌、滑坡、泥石流等次生地质灾害变形体。这些地段多分布有重要的工程建筑、村庄、城镇人口密集区,地震波效应后的松散岩土体,在降雨、外力等作用下,稳定性迅速降低。灾后防治工程一定要在分析变形体所处地质环境、变形历史、现状变形特征及演化趋势规律的条件下,提出经济科学、合理的防灾、减灾对策及治理方案。

【关键词】 “5.12”地震;地质变形体;变形特征;演化规律

【中图分类号】 P 316

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2009.03.009

Deformation Features and Evolution of Slope Geological Disaster Mass After Strong Earthquake

Xu Wending¹ Wu Yunying² Zhang Shubao²

(1. Caidam Integrated Geological Exploration Team of Qinghai, Geermu 816000, Qinghai;
2. Hebei Prospecting Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Shijiazhuang 050021, Hebei, China)

【Abstract】 After Wenchuan “5.12” earthquake of Sichuan province, there are many secondary geological disasters such as tallings, slides and mudrock flows in denudation hill areas valley in low mountain slopes, there are many important projects, villages and densely populated areas. After earthquakes the stability of loose rock and soil mass is decrease sharply with the distroy of rain fall and external. Disaster proveting must according to the geological environment, deformation history, deformation characties of the status and evolution, give us a economic and scientific, reasonable ways to prevent disasters and decrease disaster and governance programs.

【Key words】 “5.12” earthquake; geological deformation mass; deformation feature; evolution

0 引言

四川汶川“5.12”地震后,面积达 13 余万 km² 的斜坡区形成众多的地质变形体,涉及 51 个县(市),这些斜坡地质灾害变形体,地貌单元一般为构造剥蚀中低山、丘陵,微地貌为山谷或河谷斜坡。顺向、斜向坡形成滑坡变形体为多,逆向坡形成崩塌变形体为多。坡体形态为凹型、“之”型坡,坡度一般在 20°~40°或 50°~60°,二者变形体形式不同,前者以滑坡为主,后者崩塌较多。坡体底部多为河谷,近变形体前缘坡体底部多有人工切坡破坏坡脚或河流地表水水流湍急,冲刷侵蚀作用强烈的侵蚀阶地,形成高度不等的陡坎。斜坡地质结构多为二元结构或多元结构,上部多为第四系松散碎石土层,厚度不等;

下伏基岩为各时代的沉积岩,岩体强风化带厚度约 5~15 m,岩层产状倾向与坡向呈近似平行时,地质灾害体变形趋势更大。

斜坡地质体所处地质构造类型多为断裂带附近,区域构造一般为单斜构造。原生构造、构造节理裂隙发育,风化壳厚度较大,这些部位利于下滑变形体结构的产生和变形体物质形成和聚积。

“5.12”强烈地震灾区属亚热带季风气候区,有雨量充沛、降雨期集中、瞬时雨量大的特点,多年平均降水量为 800~1 200 mm,其中春季 18%、夏季 59%、秋季 22%、冬季 2%,具明显的冬干、春旱、夏涝、秋淋的特点,这种气候特点为斜坡地质变形体后期成灾提供了基础条件。另外,降雨有坡面雨特点,

域内降雨量有自南向北渐少趋势,相同区域有随海拔的升高,年降水量相应增大的趋势,因此,山体海拔较高的迎风面的斜坡变形体致灾性大,地质灾害体失稳的几率自南向北逐渐增大。在5~9月时段为斜坡变形体的主要防范期。

总之,降雨是“5.12”地震灾区震后斜坡变形体将来再次发生突然滑动的主要诱因,降雨使斜坡的地质灾害敏感区转变为地质灾害风险区域。

1 斜坡地质变形体形变现状分析

1.1 斜坡地质体变形历史分析

灾区震前就是斜坡地质灾害多发区,地质灾害点密度3.2处/100 km²[1]。斜坡地质体一般为第四系松散层,岩土体组成主要为碎石土,土石比6:4~5:5,碎石块径一般在2~10 cm,部分为强风化岩块,块径较大,坡体土层透水性差异很大。强震前斜坡变形体表现为缓慢、蠕移状态。斜坡变形体的形成与变形是随着地质体体积扩大、厚度增加以及斜坡地应力逐渐聚集、增加,缓慢、渐进地进行。震前变形过程中主要受新构造运动、降雨和人类活动等三个因素的控制和影响。

1)新构造运动:新构造运动形式表现地壳差异升降运动、活断层和地震。地壳差异升降运动在山地斜坡变形体形成和变形过程中,是最基础的因素。它一方面形成地形的高差;一方面加速外动力地质作用强度,使斜坡残坡积层堆积速度加快。另外,活断层、地震作用同时在加剧着斜坡变形体的变形。

2)斜坡区处于多雨区的构造剥蚀中低山、丘陵,地表水体发育、降雨强度大、历时长。降水、地表水体在斜坡区迅速转化为地下水(地下水类型主要为松散岩类孔隙潜水和基岩裂隙水,二者无明显隔水层),变形体中的地下水沿斜坡方向渗流,最终排泄于坡底河谷地表水或河谷区砂卵石孔隙水中,这是斜坡震前变形体变形的主要因素。另外,暴雨或持续降雨期,雨水入渗至变形体不均匀的岩土层中,局部形成上层滞水,影响变形体局部的稳定性,使得斜坡变形体局部呈现蠕滑、快滑转为突滑状态。降雨因素与斜坡变形体的危险度、破坏力关系最为密切,表现在雨期变形体位移加速度期望值的高值。

3)人类活动对斜坡地质体形变的影响作用表现在很多方面,主要有修建公路等建筑物时,对斜坡前缘坡脚进行切坡,使地质体前缘形成高度较大的临空面,对稳定性产生影响;变形体上部第四系松散层覆盖,为当地居民的基本耕地,修造大面积梯田,改变坡体形态;灌溉水及居民排水入渗至坡体内,软化

土体;外加动、静荷载对斜坡地质体稳定性的影响。总体来说,灾区“5.12”震前斜坡变形体形变多处于渐变的、缓慢的、蠕滑阶段。斜坡变形体随着变形体体积的增长、厚度加大,斜坡地应力的聚集,向不稳定斜坡或临界趋势发展。

1.2 “5.12”地震对斜坡地质体变形的影响

据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001),灾区受灾严重区域地震设防基本烈度为Ⅷ度,设计基本地震加速度为0.20g,属强震区,地壳不稳定区。受强烈地震作用,斜坡地质体变形特点为变形作用的混合性、形式的多样性和快速变形、非降水作用因素。从有关资料分析,“5.12”地震强烈斜坡变形区域,面积约有10×104 km²,绵延500 km²。

1)在斜坡区,地震本身是一种突发性的、破坏性极强的地质灾害。从地震波的传播来看,传播最快的是纵波(P波),这种波使斜坡地面发生上下震动,山体先是被这种上下振动而松散破裂;紧接而至的横波(S波)使已经松散破裂的山体前后左右摇动,而且这种波(S波)从深部震源垂直向上传播到地表时,由于入射和反射的波列叠加到一起,因此近斜坡地表处波的振幅将加倍,能量则变为4倍。地震力对斜坡的变形破坏表现为致使原有斜坡地质变形体滑动、成灾和地震过程产生新的斜坡地质变形体。

2)斜坡变形体变形强度的分带性与区域构造的分布密切相关[3],斜坡强变形地质体多处于龙门山断裂带附近。龙门山断裂带主要由后山断裂带(茂汶断裂带)、中央断裂带(北川—映秀断裂带)、前山断裂带(江油—都江堰断裂带)组成。特别是发震断裂带,南坝大断层,为活断层,逆断层,走向北东,倾向北西,断层上盘活动强烈,全长360 km。该断裂带附近地区为极震区,明显发现断裂北西侧山体大面积滑坡、崩塌等斜坡地质变形体,极强烈的影响范围在10~15 km范围。表明活动断层活动性与斜坡地质变形体变形强度呈相关关系。

3)地震对原有斜坡变形体变形作用表现为触发和加速变形,震前处于稳定或较稳定状态的变形体,强烈地震触发、或加速了斜坡变形体的滑移速率,使得一些斜坡地质体形成灾变。在“5.12”大地震中,地震力使处于极限平衡状态下的斜坡变形体,在重力的作用下突然加速下滑,这些滑坡变形体前缘大幅度下滑,产生剪切破坏,剪出口明显;后缘形成拉张裂缝、较高的圈椅围岩壁;并产生部分滑塌现象,岩堆体积较大,变形体局部的滑移产生拉张裂隙。地震水平惯性力使崩塌危岩体崩落、崩滑和变形,由

于主震、持续的余震作用,表现在倒石锥的叠加和多次变形的运动形式。上述的这些斜坡变形体,震后长时间内会处于不稳定状态。

4)另一方面,“5.12”地震使斜坡完整稳定岩体,变形破坏严重,山体浅表层松动,地震诱发砂土液化、地裂缝,地震波作用使得斜坡岩土体松散化、岩土层出现“似地震液化”现象,岩土层表现喷砂和山体的喷发(俗称“地开花”)^[2];地形变表现为山崩、地裂、地鼓包、地陷和斜坡块体运动、斜坡大量新的地质变形体的形成,震后大范围出现山体斜坡块石倒石锥、滑塌、崩落体和滑坡现象。在震后灾区卫星遥感解译中,斜坡变形体发生密度21处/100 km²,是震前的6.6倍。震中汶川卫星遥感可解译区内共解译出斜坡地质灾害点2000处,平均70处/100 km²,更是高达震前这一数据的21.8倍^[7],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。

2 斜坡地质灾害体的类型、基本特征及危害性

2.1 斜坡块体运动

地震力(瞬时水平分力、垂直分力、“岩土体似地震液化”和地震波效应)将斜坡块体由基岩拆离开来,这些岩块、土石体在重力作用下崩落、崩滑,表现为岩落、岩滑、泥石流落、泥石流滑、碎屑落、碎屑滑,斜坡中部、底部形成体积大小不一、高度较大的倒石锥。强震后很长一段时间会延续,大规模块体运动的形变时间,集中在震后几日内,会延续几个月,主要是受强震后余震的控制,持续时间一般为一个水文周期年。这些松散堆积的碎块石倒石锥体,极不稳定。危害表现为有的位于人类活动场所地斜坡的中上部和次生沉积物流形成必要的大量物源条件。

2.2 崩塌

地震时,斜坡区崩塌现象是普遍存在的,崩塌变形体数量约占斜坡变形体总数的90%以上^[1],尤其以基岩层面与斜坡坡面不一致的岩质崩塌为多。其间地形复杂,沟谷纵横,分布有数千处崩塌点,密度高达30~70处/100 km²。震中区映秀镇24 km²范围内,没有受到斜坡崩塌地质灾害影响的面积仅为20%。受地震作用影响,崩塌地质灾害可划分三个危险等级区域:①地震烈度7度以上区域,崩塌地质灾害极危险区,面积约3×104 km²,崩塌、坍塌、滚石等次生山地斜坡地质灾害普遍发生;②崩塌地质灾害危险区为龙门山断裂带[包括后山断裂带(茂汶断裂带)、中央断裂带(北川—映秀断裂带)、前山断裂带(江油—都江堰断裂带)]范围,面积约有10×

104 km²。③崩塌地质灾害严重区绵延500 km,其间地形复杂,沟谷纵横,地形切割深度达150~300 m,坡体陡立,崩塌山地地质灾害风险严重。这些处于高位的危岩体,在余震、降雨、大风、人为震动条件下,3至5年会是这些次生灾害爆发的高发期。

2.3 滑坡

灾区震后滑坡多为界面滑动(风化层厚的北川、九寨沟等多)或折线滑动的斜坡滑坡体,这些滑坡变形体形成周期快,现状不稳定、不均匀滑动。

1)震前已有滑坡变形体,滑坡平面形态呈半月形。滑体厚度一般在10~30 m,局部可能超过30 m。滑体物质总体来看多为碎石土,但碎石含量在不同的坡体部位有所不同,滑体前缘及中部碎石成份相对较多,土石比约为6:4~8:2;后缘碎石含量稍少,岩性为含碎石粘土、碎石土,滑体中的碎块石的块径多在2~10 cm,局部可见块径达几十厘米的岩块。滑带多为第四系与基岩接触面,岩性为粘土、含砾粘土,湿—稍湿,可塑,切面光滑,坡度45~55°。滑床岩性一般为基岩。纵向剖面上形态多为“之”型坡,前缘厚、后缘薄,前缘剪出口明显,后缘圈椅围岩壁较高。由于不均匀滑动,滑体上鼓胀(地表上鼓)、纵张裂缝形成,泉水或湿地出现等。一些滑坡体在“5.12”地震中大部分滑体滑动,震后形成部分滑体残留,滑动不明显的部份滑体,震后形成了高位极危险的滑坡体。

2)斜坡地震中新形成的滑坡,崩滑、溜滑地质作用因素为主,表现为滑体物质岩块较多,平面形态呈不规则状,具有前缘宽度大,纵向较小的特点。一般来说,震后主要危险滑坡体前缘都不同程度地经过人工处置。滑体厚度一般不大,多中层滑坡。滑坡多为牵引式滑坡,少量推移式。滑坡纵剖面形态表现为阶梯状。这些新形成滑坡,有的部分滑体滑动,后缘或周界附近形成部分残留滑体;有的部份滑体滑动不明显,现状形成高位极危险的滑坡体。纵向上滑体不均匀滑动后形成前缘厚、剪出口不明显,中部分布有小型平台,剪裂缝多,后缘滑壁较高形成危岩体的特征。后缘的弧形拉张裂隙、下错阶梯状陡坎(一级或多级)出现、滑体两侧出现平行的羽状张裂隙(斜列式)。

斜坡滑坡变形体危害表现在前缘较厚的滑体再次下滑和后缘圈椅围岩壁的危岩体崩落,对斜坡下方场地的威胁;次生沉积物流灾害的物源和衍生堰塞湖灾害的形成。

2.4 次生沉积物流

次生沉积物流是斜坡块体、崩塌岩锥、滑坡

体,适当场地类型、水动力条件组合的再次斜坡变形体运动形式,主要为次生泥石流、碎屑流。一般分布于崩滑体前缘或交界处。10年时间内将是次生泥石流变形体的高发期,部分形成时间会更长一些。次生泥石流危险区范围包括泥石流形成区、泥石流流经通过的流通区和泥石流堆积区及影响范围区等。泥石流预警是与降雨强度明显相关,特别是阵雨强度是预测泥石流发生的基本要素。

3 斜坡地质灾害体变形趋势分析

由地震地质灾害衍生的次生斜坡地质灾害体将长期存在是汶川地震灾区的一大特点。通过对地震后的斜坡变形体分析,这些斜坡变形体多为新增地质灾害点,“5.12”地震中变形明显。表现在地震过程中变形体已变形完成或滑落。①变形体变形后,表现有后缘有多条拉张裂缝,裂缝平行于变形圈椅边界线,中部错裂缝明显,裂缝延伸长,可见深度大,位移明显;变形体两翼剪裂缝呈雁行式排列,裂缝延伸较长;变形后缘壁明显,较高一高。②部分斜坡变形体还具有继续变形的趋势,高或较高的后缘壁危岩体,由于应力松弛带的形成,极易崩落^[4];较厚的变形体前缘,逐渐形成斜坡变形体下滑,在暴雨或持续降雨过程中,部分破坏变形了的变形体,有随时下滑强变形或突然变形的可能。震后多数斜坡变形体变形过程:①随着斜坡松散土石体下落,变形体体积的逐渐加大,变形体极限平衡的接近;②变形体后缘拉张裂隙发育,降雨直接入渗至变形体后缘发育的拉张裂隙和受地震震动后呈松散状态坡体土,至滑带(滑面),降低滑带土的抗剪强度;增加孔隙水压力、静水压力和动水压力;入渗至坡体的水体增加了滑体自重,上述条件促使斜坡不稳定变形体变形,乃至崩滑、滑移和强烈变形。③这些崩塌、滑坡体产生的巨大松散岩土体堆积在谷坡斜地上,为次生泥石流的发生提供了充足的物源,泥石流灾害在灾区将长期存在;一些崩滑体堵塞江河,形成堰塞湖,这些堰塞湖在汛期严重威胁上下游安全。

综上所述,震后雨季来临前斜坡变形体多呈现蠕滑状态,变形缓慢;暴雨或持续降雨时,土体饱和,斜坡变形体突然剧烈变形。降雨条件下,斜坡变形体位移加速度与相应的位移速度的平方成正比^[5]。

$$\frac{dx^2}{dt^2} = A \left(\frac{dx}{dt} \right)^2$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{V} = [A(\alpha-1)l/(\alpha-1)](t_p-t)l/(\alpha-1)$$

式中: A 、 α 为常数, $\alpha=1.5\sim 2.2$; V 为滑动速度; t 为初始时间; t_p 为斜坡破坏时间。

4 结论

综上所述,“5.12”地震灾区斜坡变形地质灾害体将在相当长时间内存在,并且威胁到灾后重建工作。地震次生斜坡地质变形灾害体不同于其它外力作用下的地质灾害,它的动因机制、定向分布规律、大范围群发和强变形,都决定了这样的斜坡地质灾害变形体防治、生态环境恢复重建是一项困难、复杂的系统工程。

雨季暴雨或持续降水是地质灾害变形体将来发生滑动、剧烈变形的主要诱因,降雨期是变形体再次致灾的主要时期。因此,变形体的地质结构、变形特征和变形体区域(变形体变形区、危险区、拉张影响区、周边稳定区)变形预测研究、防治工程是长期的,因此就有必要因地制宜地采用适当的变形监测方案对地质灾害变形体进行变形监测和预测。

对现处于欠稳定或不稳定状态的斜坡变形体,采取斜坡变形体变形监测、预警机制,预防致灾。

监测数据采集间隔10d、雨季加密观测。监测内容包括地表大地变形监测、地表裂缝位错监测、地面倾斜监测、建筑物变形监测、变形体裂缝多点位移监测、深部位移监测、地下水监测、孔隙水压力监测、变形体地应力监测等^[6]。

建立监测数据库、数据和图形处理系统、趋势预报模型、险情预警系统。这也是斜坡地质变形体防治最为常用的手段之一,对于重要的斜坡区地质灾害体的监测更是必要的。

参 考 文 献

- [1] 乔彦肖. 汶川地震地质灾害发育特点及动因机制分析[J]. 河北遥感, 2008(4): 16-18.
- [2] 国家人与生物圈委员会. 汶川地震后环境现状[J]. 人与生物圈, 2008(4): 32-33.
- [3] 徐秉业, 沈新普, 岑章志. 边坡工程与固体力学[J]. 力学进展, 1994, 24(4): 518-523.
- [4] 崔政权, 李 宁. 边坡工程理论与实践最新进展[M]. 北京: 中国水利电力出版社, 1999.
- [5] 刘传正. 地质灾害勘查指南[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [6] 张 彬, 王 钊, 彭亚明, 等. 三峡库区某滑坡的稳定性和评价[J]. 人民长江, 2003, 34(4): 14-16.