

黄玉华, 冯卫, 李政国. 陕北延安地区2013年“7.3”暴雨特征及地质灾害成灾模式浅析[J]. 灾害学, 2014, 29(2): 54-59. [Huang Yuhua, Feng Wei, Li Zhengguo. Characteristics and Geological Disaster Mode of the Rainstorm Happened on July 3, 2013 in Yanan Area of Shaanxi Province [J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(2): 54-59.]

陕北延安地区2013年“7.3”暴雨特征及 地质灾害成灾模式浅析^{*}

黄玉华, 冯 卫, 李政国

(国土资源部黄土地质灾害重点实验室/中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘 要: 2013年7月3日以来百年不遇的持续性强降雨, 在陕北黄土高原延安地区引发了大量的崩塌滑坡泥石流地质灾害。通过和往年降雨情况进行对比, 分析了此次强降雨的特征。调查认为, 本次持续性强降雨是大范围地质灾害产生的主要诱发因素。类型主要有小规模黄土崩塌、浅表层黄土滑坡、坡面型黄土泥流, 以及上述灾种复合转化形成的沟谷型泥流。阐述了这几种地质灾害的发育特征和成灾模式, 从降雨、地形、地层组合、沟谷地貌等方面分析了地质灾害发生的临灾条件。

关键词: “7.3”暴雨; 地质灾害; 发育特征; 成灾模式; 延安地区

中图分类号: X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2014)02-0054-06

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2014.02.012

2013年7月3日以来, 延安地区遭遇百年一遇的持续性强降雨, 是该地区自1945年有气象记载以来降雨过程最长、强度最大的一次降雨, 造成严重的财产损失和人员伤亡。持续强降雨造成大量的窑洞房屋坍塌, 道路损毁, 交通中断, 电力、通讯设施破坏。受损淤地坝500余处、水库22座。延安市宝塔区胜利水库、富县大申号水库出现险情。农作物受灾面积47 800 hm², 绝收17 533 hm², 紧急转移撤离群众62.38万人。引发崩塌、滑坡、坡面型泥流等地质灾害多达8 000余处, 死亡近30人。截至7月31日18时, 全市共计154.5万人次受灾, 死亡43人, 直接经济损失102.7亿元。

延安属于典型的黄土地貌区, 地表破碎, 沟壑纵横, 第四系上更新统马兰黄土广泛分布, 土质疏松, 垂直节理裂隙发育, 是陕西省黄土地质灾害高易发区, 而汛期更是地质灾害高发期。陕西省地质灾害的发育特征及分布规律研究^[1-5]、地质灾害与降雨之间的关系研究^[6-9]、滑坡灾害致灾模式及机理研究^[10]、陕西崩滑地质灾害实例分析^[11]、灾害管理^[12]等方面, 前人都做了大量的研究。关于本次百年未遇的强降雨条件下陕北黄土地区地质灾害的研究尚不多见。在国土资源部, 陕西省、延安市各级政府的统一部署下, 笔者带队在延安市开展了汛期地质灾害应急排查。本文通过调查过程中的典型实例, 阐明了本次暴雨诱发的地质灾害发育特征, 分析了成灾模式, 提

出了地质灾害的临灾判别条件, 以期对陕北黄土区今后的地质灾害防治提供一些借鉴。

1 延安“7.3”暴雨特征

1.1 往年降雨特征

延安市位于陕西黄土高原中部, 属典型的暖温带与中温带过渡区的西北干旱气候, 1960-2008年以来, 年平均降水总量507.7 mm, 最大年降水量871.2 mm(1964年), 最小330.0 mm(1974年), 相差2.6倍。日最大降水量139.9 mm(1981年), 时最大62 mm(1979年)。降水主要集中在6-10月, 约占全年降水的70%多; 而7、8月为月降雨量最大的两个月份, 月降雨量在110~140 mm之间。年平均降雨量超过500 mm的县主要集中在子长、志丹、安塞、延川、延长及宝塔区一带, 降雨量整体由北至南, 从东向西呈逐渐减少, 其中以富县和洛川的年平均降雨量最少, 均在500 mm以下。

1.2 延安“7.3”暴雨特征

表1数据来自延安市气象局, 资料分析结果表明, 2013年7月3-31日, 延安各地7月降雨量几乎相当于全年的降雨量。月累积最大降雨量581 mm(安塞县), 最低253.7 mm(黄陵县), 是往年7月平均降雨量的2.26~5.24倍。其中超过400 mm

* 收稿日期: 2013-09-03

修回日期: 2013-10-13

基金项目: 国土资源大调查项目延安市地质灾害调查与综合研究(1212011140001)

作者简介: 黄玉华(1975-), 男, 陕西商南人, 高级工程师, 主要从事地质灾害调查研究工作. E-mail: hyuhua@foxmail.com

的有安塞县、宝塔区、延川县、志丹县、甘泉县、宜川县、吴旗县等 7 县。单日最大降雨量最高 143.7mm(洛川, 2013 - 07 - 26), 最低 49.8 mm(黄陵县, 2013 - 07 - 23)。全月总降雨日最多 19 d, 最少 14 d。日降雨量超过 25 mm 的大雨日数最多达 9 次(安塞县、延川县), 日降雨量超过 50 mm 的暴雨日数最多达 6 次(延川县), 其中日降雨量超过 100 mm 的大暴雨日数安塞县、洛川县、宜川县各有 1 次。

总体来看, 此次降雨中心集中在安塞县、宝塔区、延川县一带。北部子长县、南部黄陵县、黄龙县降雨量相对较低。该次降雨是延安地区 1945 年有气象记录以来, 同期累积降雨量最大, 降雨日最多, 暴雨次数最多、过程最长、暴雨日间隔时间最短的一次强降水过程, 简称“7. 3”暴雨。

2 地质灾害发育特征与成灾模式

据不完全统计, 此次强降雨引发的地质灾害多达 8 000 余处, 属于区域群发性地质灾害。点多面广, 爆发时间集中, 与降雨有明显的一致性。

主要有崩塌、泥流、滑坡三种类型, 尤以坡面型泥流、小型滑塌和浅表层滑坡为甚。而造成人员伤亡和财产损失最为严重的则是持续性强降雨链生的复合型灾害。表 2 中简要列出了“7. 3”暴雨引发的地质灾害主要发育特征及分布规律。

2.1 崩塌

(1) 崩塌特征

崩塌是此次强降雨作用下最易发生的地质灾害类型。以黄土崩塌为主, 多发生在黄土斜坡高陡谷缘的晚更新世黄土(Qp³)中, 这类黄土颗粒粗, 土质结构疏松、富含大孔隙、湿陷性强、垂直节理发育、抗剪强度低、崩解性强。崩塌体规模较小, 土方量一般在数方~数十方之间。对当地的土窑洞、接口窑、依山修建的房屋、路畔等威胁极大。其次, 在公路沿线的基岩崩塌也有发生。

(2) 崩塌破坏模式

此次强降雨引发的崩塌主要发生在由晚更新世黄土(Qp³)组成的黄土边坡。晚更新世黄土以披覆的形式沉积在下伏老地层上。黄土中发育大量的垂直节理、卸荷裂隙、孔洞、落水洞等利于降雨入渗的优势通道^[13]。降雨除地表径流外, 还有

表 1 2013 年 7 月延安各地降雨量特征值

区县	累计降雨量/mm	日最大降雨量/mm	总降雨日/d	连续降雨日/d	≥25 mm 大雨日/d	≥50 mm 暴雨日/d	≥100 mm 大暴雨日/d
安塞县	581	131. 10	19	9	9	5	1
宝塔区	553. 3	91. 90	18	9	4	4	0
富县	316	70. 50	18	8	8	3	0
甘泉县	441. 3	82. 80	18	4	5	4	0
黄陵县	253. 7	49. 80	17	6	3	0	0
黄龙县	261. 7	73. 30	14	8	4	2	0
洛川县	345. 8	143. 70	15	4	4	2	1
吴起县	417	88. 50	18	9	7	2	0
延川县	567. 3	84. 00	18	9	9	6	0
延长县	334. 5	85. 30	17	9	4	1	0
宜川县	425. 7	111. 40	19	8	6	2	1
志丹县	460. 9	85. 10	17	9	8	3	0
子长县	309. 3	58. 50	19	9	5	1	0

表 2 “7. 3”暴雨引发地质灾害主要特征

灾害类型	分布规律	物质成分	基本特征	实例
崩塌	坡度 > 60°, 坡高 > 10 m 的黄土陡崖地貌。	晚更新世黄土为主、部分人工填土。	快速, 规模较小, 土方量一般在数方~数十方之间。	市政府后山崩塌
浅表层滑坡	坡度 > 30° 的黄土斜坡, 植被较好的坡段更易发生。	晚更新世浅表层松散黄土和全新世滑坡扰动土。	快速, 滑床比较平直, 可见擦痕。滑体厚度多在 0. 4~1. 5 m, 一般 < 2 m, 长、宽 < 10 m。	供热厂后山滑坡
坡面型泥流	坡度 > 40° 的黄土斜坡。	晚更新世浅表层松散黄土和全新世滑坡扰动土、坡表残坡积物、风化层、耕作层。	稀性泥流为主, 呈长条状, 点多面广, 危害严重。	麻洞川胡屯泥流, 宝塔山泥流
链生复合型泥流	晚更新世黄土顺坡披覆的黄土斜坡、沟谷复合地形。	包含以上。	崩塌、滑坡转化为坡面型泥流, 崩塌、滑坡、坡面流转化为沟谷型泥流。	富县段高速公路沿线

部分沿这些优势通道入渗,导致黄土趋于饱和,抗剪强度大幅度降低,从而造成边坡崩塌破坏。如市政府后山黄土崩塌,发生于2013年7月22日,崩塌体高15 m,宽约8 m,方量约20 m³,导致3孔窑洞被毁(图1、图2)。

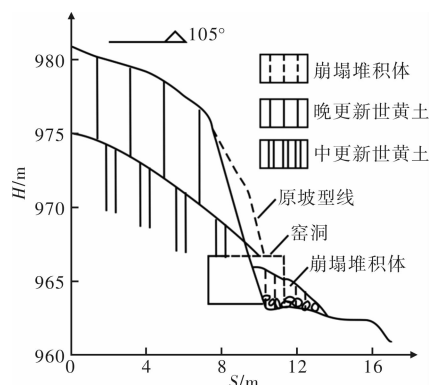


图1 市政府后山黄土崩塌剖面图



图2 延安市政府后山黄土崩塌毁坏窑洞

2.2 浅表层滑坡

(1) 滑坡发育特征

根据滑坡的滑面位置,陕北滑坡主要有黄土层内滑坡,黄土-基岩接触面滑坡、黄土基岩混合滑坡。经调查,本次暴雨并没有引发体积在 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上的中、大型滑坡,原有监测点部分出现垮塌、裂缝、下挫等变形迹象。强降雨引发的主要为浅表层滑坡,发育地层以晚更新世马兰黄土和植被较发育的坡积层为主。此类滑坡在坡度 $>40^\circ$ 的直线型坡面发育者居多,滑坡壁厚高度较小,滑床比较平直,部分可见明显擦痕现象。滑坡厚度多在0.4~1.5 m,一般在2 m以内,长度和宽度大小不等,多在数十米之内。

(2) 滑坡破坏模式

强降雨与滑坡之间的关系前人做了大量的研究工作^[6-10,14]。浅层堆积物滑坡特定的物质组成、结构性状及厚度条件决定了其特殊的亲雨性。由其特征条件决定的降雨入渗速度、下伏滑床面汇流状况及水力影响程度,导致了这类滑坡对降雨的特殊敏感性^[9]。林孝松在研究暴雨诱发的80多个典型滑坡的发生时间和降雨历时的统计分析中发现,在暴雨开始之后10~12 h内发生滑坡的多

为浅层堆积、堆填土和粘土滑坡^[8],这说明了强降雨是浅层滑坡失稳最关键的触发因素。调查发现,这种浅表层次的滑坡在植被较发育的黄土斜坡上较之裸露的斜坡上更容易发生。后者在强降雨条件下,部分产生滑坡,大部分更容易产生坡面泥流。而植被较好的坡面上,植被一方面防护了坡面,另一方面又增加了坡体自重。在强降雨作用下,坡体表层发育的植被大量吸水,破体内地下水来不及排泄,引起地下水位急剧上升,导致下部土体趋于饱和。在土体强度大大降低的同时,叠加植被本身的自重,表层土体短时间内完成蠕滑-拉裂-贯通-下滑过程,剪断植被根须,顺坡而下形成浅表层滑坡。滑坡体在下滑过程中,若土体饱和或持续接受降雨的条件下,可迅速转化为坡面泥流或沟谷泥流。如2013年7月22日上午,延安供热厂后山发生浅表层黄土滑坡,滑坡体长35 m,宽约10 m,厚1 m,坡向 30° ,方量约40 m³,导致坡脚8间房屋被埋(图3、图4)。



图3 延安供热厂后山浅表层黄土滑坡毁坏房屋

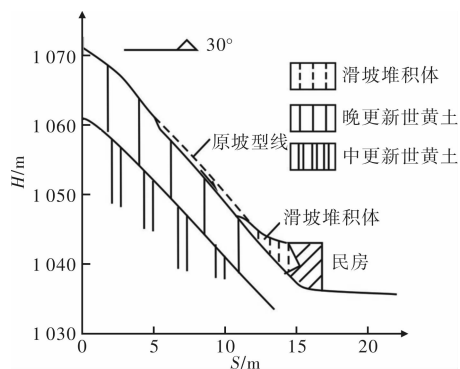


图4 延安供热厂后山浅表层黄土滑坡

2.3 坡面型泥流

(1) 泥流发育特征

黄土高原的泥流是区内的一种灾害类型,但前人研究重点多放在沟谷型黄土泥流上^[15-18]。坡面型泥流是本次强降雨引发的地质灾害中发育最多,危害最严重的灾种。由于陕北降雨量较少,加之近年植被好转,坡面型泥流是陕北往年不太常见的灾害。在此次百年不遇的强降雨作用下,当累积降雨量达到200 mm时, $40^\circ \sim 70^\circ$ 的斜坡上

坡面型泥流大量发生(图 5, 图 6), 尤其是在滑坡扰动土体和裸露的滑坡后壁(多为晚更新世黄土)上更为常见。泥流一般长度大于宽度, 多呈条带状顺坡而下。典型如 7 月 22 日上午 9:45, 宝塔区麻洞川乡胡屯村泥流, 斜坡坡长约 100 m, 宽约 26 m, 坡度 55°。发生泥流区域长约 62 m, 宽 18 m, 滑向 310°, 土方量约 60 m³。泥流掩埋农用车一辆, 致使 1 人死亡, 一人重伤。7 月 12 日凌晨 4 点多, 延川县新建沟后沟爆发泥流, 在救援过程中, 发生二次滑塌, 造成 5 人死亡, 6 间房屋损坏。13 日 07:10 宝塔区河庄坪坡面泥流造成 2 人死亡, 2 间平房损坏。7 月 22 日上午 7 时许, 富县酃城街道办钟楼社区寺坡村发生泥流, 致使一家四口被掩埋。



图 5 延安宝塔山坡面型泥流



图 6 宝塔区刘万家沟坡面型泥流

(2) 泥流发育模式

持续性的强降雨是导致泥流发育的最主要诱发因素。降雨开始时, 雨水冲刷带走剖面大量松软土层, 当进行到半小时后, 入渗量便超过泥沙冲蚀量。此时土压力和孔隙水压力上升, 基质吸力持续下降, 边坡负荷增加, 抗剪强度减小, 逐渐进入临界状态。随着降雨持时越长, 坡体表面土体达到饱和状态, 在重力作用下, 坡体表面泥土夹杂雨水突然沿坡面冲出, 形成泥流。这在野外降雨诱发坡面泥流的模拟实验也得到了证明。坡面流与崩滑土体汇集到沟谷, 在持续降雨条件下极易转化为沟谷型泥石流。

2.4 链生复合型灾害

本次持续性的强降雨引发的崩、滑灾害往往并不是单一的、截然可分的单一灾种。在前期降水量使部分土体达到饱和的情况下和崩滑灾害发生后降雨持续的情况下, 又链生转化成复合型的灾害。主要有以下两种模式。

(1) 崩滑→坡面泥流型

崩塌或者滑坡发生后, 崩塌体或滑塌体迅速发展成坡面型泥流。大体有 2 种情况: ①崩滑发生后, 崩滑体土体松散, 且含水量充分, 在滑动中迅速转化为坡面泥流流。②强降雨引发崩滑, 滑动土体下滑过程中继续接受降雨, 形成泥流。

(2) 崩滑流→沟谷泥流型

沟谷两岸斜坡在强降雨下发生崩滑、坡面型泥流, 堆积体汇集到沟谷内, 形成沟谷泥石流源, 降雨量达到一定值时, 形成沟谷型泥石流。这种类型在高速公路沿线大量存在, 沟谷型泥石流冲出沟谷, 阻断公路, 冲毁公路设施, 导致高速公路停运(图 7)。

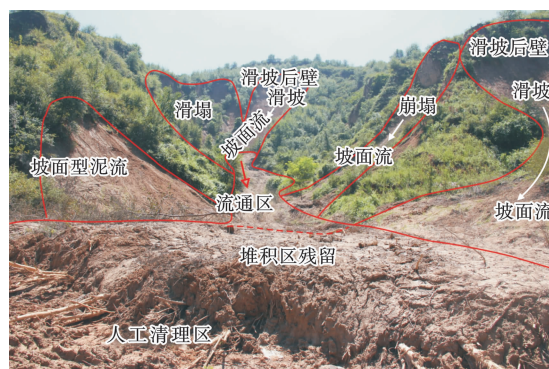


图 7 包茂高速公路沿线坡面型泥流、滑塌转化为沟谷型泥流阻断公路

3 地质灾害临灾条件判断

地质灾害通常是指在特定的地质地形地貌条件下, 以地质动力活动或地质环境发生异常变化为主要成因、以降雨和人类工程活动为主要诱因的自然灾害, 在延安地区以崩塌、泥(石)流、滑坡等类型为主。地质灾害的形成是个复杂的过程, 其发生是内因和外因综合作用下的结果。内因如区域构造活动的结果为灾害形成提供的地形地貌条件; 具有特殊的微结构、孔隙性、湿陷性、节理裂隙、物质构成等特征的黄土地层岩性为滑坡形成提供了物质基础。外因如降雨、地下水位突变、不合理的人类工程经济活动等。这些前人都做了大量的研究工作, 也取得了丰硕的成果。以下仅依据延安地区的地质环境条件, 结合本次持续性降雨条件下, 阐述地质灾害易发生的主要临灾判断条件。

表 3 黄土高原区地质灾害发生前期降雨情况分析^[14]

灾害种类	当日降水量/ mm	降雨日 数/d	连续降雨 日数/d	≥10mm 日 数/d	≥25mm 日数/d	累积降水 量/mm	累积次数
崩塌	20.7	5.3	3.8	2.1	1.0	75	70
滑坡	19.9	5.5	4.2	2.4	1.1	79	35
泥石流	18.2	5.4	3.2	2.0	0.8	52	5

3.1 降雨条件

降雨是地质灾害最主要的诱发因素之一,也使得降雨量成为地质灾害预警最重要的一个指标因子。张雅斌通过对 1960—2006 年有地质灾害和相对应降雨量的记录研究表明(表 3),当日平均降水量达到 20 mm 左右,降雨日数为 5 d 左右,10 mm 以上日数 2 d 左右,25 mm 以上日数约 1 d 时,崩塌、滑坡、泥石流三种地质灾害就开始发生。崩塌发生前一般最多存在 10 个降雨日,小于等于 2 d 的仅有 8 次,占 11.4%;滑坡发生前一般最多有 9 个降雨日,小于等于 2 d 的仅有 3 次,占 8.1%;泥石流发生前降雨日数均在 4 d 以上。地质灾害发生前期往往有 3 个以上的降雨日数。崩塌发生前期连续降雨日数平均 3.8 d,最长达 10 d,连续降雨日 3 d 以上的有 46 次,占 65.7%,连续降雨日小于等于 2d 共 24 次,占 34.3%;滑坡发生前连续降雨日平均 4.2 d,最长达 9 d,连续降雨日 3 d 以上的有 29 次占 82.9%。

而本次“7.3”降雨过程中,单日最大降雨量最高达到 143.7 mm,最低 49.8 mm。全月总降雨日最多 19 d,最少 14 d。日降雨量超过 25 mm 的大雨日数最长达 9 d,日降雨量超过 50 mm 的暴雨日数最长达 6 d,更有降雨量超过 100 mm 的大暴雨日数安塞县、洛川县、宜川县各有 1 次。这些都远远大于前人研究得出的灾害发生的降水条件。

3.2 坡度和坡高条件

坡度和坡高是滑坡崩塌发生的重要因素,理论上讲,坡度越大,坡高越高,地质灾害发生的概率越大。在一定的坡高和坡度条件下,滑坡稳定性决定于边坡土体的性质;而在土性条件一定时,临界状态的粘性土坡,坡高与坡度在理论上反相关,砂性土坡稳定性和坡高无关。自然斜坡,处于临界到稳定状态,粘性土坡的坡高越大,坡度就越缓。通过对延安发生滑坡的斜坡坡高和坡度的统计结果如图 8,图 9。坡度 25°~55°,坡高 20~120 m 的斜坡上,是发生黄土滑坡的优势斜坡;坡度 >60°,坡高在 10~30 m 之间的斜坡前缘陡崖上,是崩塌发生的优势坡段。在强降雨和开挖坡脚或加载条件下,发生的概率大大增加。

3.3 地层岩性条件

地层岩性是地质灾害发育的物质基础,对灾害的影响主要表现在易崩地层、易滑地层、软弱结构面等的岩层组合上。区内易滑动的地层组合主要有披覆式黄土—古土壤结构、黄土—红粘土结构、黄土—基岩结构。以上三种易滑地层结构的共同特点是有一个相对隔水的底板,上覆的黄土在其上滑动。黄土中的垂直节理是黄土崩塌形

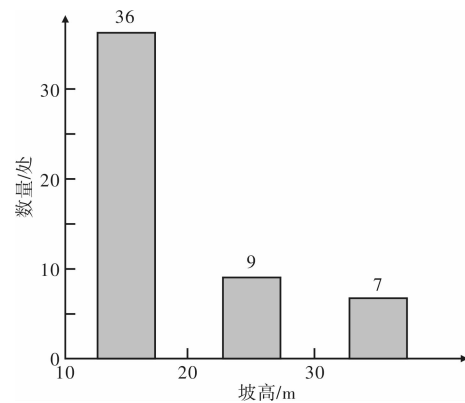


图 8 崩塌发生数量与坡高关系柱状图

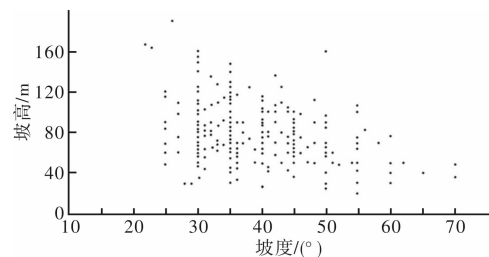


图 9 滑坡发生的坡高和坡高散点图

成的主要结构因素;中生代地层中,砂岩和泥页岩软硬相间,砂岩被两组节理切割形成的块状结构则是岩体崩塌形成的有利结构形式。于由砂岩和泥、页岩组成的斜坡,差异性风化强烈、节理裂隙发育、岩体被切割破碎程度严重的容易发生基岩崩塌。坡度大于 60°,晚更新世黄土(Qp^3)厚度在 10 米以上的陡崖,在降雨条件下容易发生黄土崩塌。坡度大于 25°,由黄土和基岩组成的斜坡,且晚更新世黄土(Qp^3)顺坡披盖,厚度较厚,在强降雨条件下,容易发生黄土滑坡和坡面型泥石流。

3.4 沟谷地形条件

河流和沟谷地貌的演化阶段或发育程度对斜坡的变形特征、破坏模式以及地质灾害的规模和致灾程度具有明显的控制作用。老年期河谷两岸多属古滑坡和老滑坡,在自然状况下一般都是稳定的。但由于是重要集镇所在的区域,人类工程活动强烈,人类活动触发的滑坡、崩塌最多,且造成重大灾害。壮年期河谷的主要扩展方式为重力侵蚀,河谷凹岸的斜坡易发生变形失稳,尤其在河谷的交汇部位,是集镇和大的村庄所在的区域,人口和建筑工程比较密集,人类工程活动较强烈,河流侧蚀引起的自然灾害和人类活动引发的工程灾害兼有,且造成较大灾害。谷坡变形失稳主要为黄土滑坡。其特点是滑坡点密度较大,

规模以中小型为主; 崩塌则以小型为主。幼年期沟谷发展演变过程依次是由细沟、浅沟、悬沟、冲沟和干沟, 最后发展到河沟。细沟、浅沟、悬沟发育的深度和宽度都很小, 一般不具备发生滑坡、崩塌的地形条件。冲沟的沟底较窄, 滑坡不发育, 崩塌频发, 干沟内以崩塌为主, 滑坡次之。当沟谷两边斜坡黄土疏松(或发生黄土崩滑现象较多)、植被覆盖度低、沟谷坡降较大, 沟谷内矿渣等废弃物较多, 行洪不畅等现象时, 在强降雨条件下容易产生破坏力极强的沟谷型泥石流。另外, 强降雨冲毁淤地坝形成沟谷型黄土泥石流也应引起高度重视。

4 结论

(1) 该次降雨是延安地区有气象记录以来, 同期累积降雨量最大, 降雨日最多, 暴雨次数最多、历时最长的一次降雨。是此次地质灾害发生最重要的诱发因素。

(2) 此次强降雨诱发的地质灾害主要有坡面型泥流、小型滑塌和浅表层滑坡, 而造成人员伤亡和财产损失最为严重的则是持续性强降雨链生的由这几种灾害转化叠加的复合型灾害: 崩滑→坡面泥流型和崩滑流→沟谷泥流型。

(3) 地质灾害的形成是个复杂的过程, 其发生是诸多内因和外因综合作用下的结果。在坡高、坡度、岩性组合、沟谷发育程度等地形地貌和地层岩性等方面达到灾害发育的易发条件时, 降雨的激发是引发灾害最关键的因素之一。

致谢: 本文撰写过程中得到徐友宁研究员的指导, 参与调查的还有延安市国土资源局的贺和平、宋军等同志。文中地质灾害和造成的损失等相关数据来自陕西省省国土资源厅和延安市国土资源局, 气象资料来自延安市气象局, 在此一并致谢!

参考文献:

- [1] 雷祥义. 黄土高原地质灾害与人类活动[M]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [2] 张茂省, 校培喜. 延安市宝塔区崩滑地质灾害发育特征与分布规律初探[J]. 水文地质工程地质, 2006, 11(6): 73-74.
- [3] 靳泽先, 韩庆宪. 黄土高原滑坡分布特征及宏观机理[J]. 中国水土保持, 1988(6): 21-25.
- [4] 吴玮江, 王念秦. 黄土滑坡的基本类型与活动特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2002, 13(2): 36-40.
- [5] 曾磊, 黄玉华. 黄土高原河谷演变与地质灾害发育规律研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(3): 67-71.
- [6] 唐亚明, 薛强. 降雨入渗诱发黄土滑塌的模式及临界值初探[J]. 地质论评, 2013, 59(1): 97-106.
- [7] 许建聪, 尚岳全, 陈侃福, 等. 强降雨作用下的浅层滑坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(18): 3246-3251.
- [8] 林孝松, 郭跃. 滑坡与降雨的耦合关系研究[J]. 灾害学, 2001, 16(2): 87-92.
- [9] 王发读. 浅层堆积物滑坡特征及其与降雨的关系初探[J]. 水文地质工程地质, 1995, 22(1): 20-23.
- [10] 张茂省, 李同录. 黄土滑坡诱发因素及其形成机理研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(4): 530-540.
- [11] 黄玉华, 武文英, 张睿, 等. 陕北子长县阎家沟黄土滑坡特征及其变形机制[J]. 灾害学, 2009, 24(1): 64-67.
- [12] 周新民, 王雁林. 陕西省地质灾害防治现状及对策探讨[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2005, 16(4): 84-90.
- [13] 曾磊, 张茂省, 黄玉华, 等. 优势入渗通道对黄土斜坡稳定性影响研究[J]. 工程地质学报, 2011, 19(sup 1): 39-45.
- [14] 张雅斌, 杜继稳, 蔡蕊, 等. 陕西省精细化地质灾害气象预报预警研究[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 28-34.
- [15] 雷祥义, 黄玉华, 王卫. 黄土高原的泥流灾害与人类活动[J]. 陕西地质, 2000, 18(1): 28-39.
- [16] 马东涛, 崔鹏, 张金山, 等. 黄土高原泥流灾害及防治对策[J]. 水土保持研究, 2006, 13(4): 19-21.
- [17] 史正涛, 张虎元. 黄土塑性泥流形成机理[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994, 5(sup 1): 190-195.
- [18] 杨为民, 吴树仁, 张永双, 等. 降雨诱发坡面型泥石流形成机理[J]. 地学前缘, 2007, 14(6): 197-204.

Characteristics and Geological Disaster Mode of the Rainstorm Happened on July 3, 2013 in Yanan Area of Shaanxi Province

Huang Yuhua, Feng Wei and Li Zhengguo

(Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, MLR/Xi'an Center of Geological Survey, China Geology Survey, Xi'an 710054, China)

Abstract: Since the persistent heavy rainfall happened on July 3, 2013, a large number of collapse and landslide debris flow disasters are caused in Northern Shaanxi Loess Plateau. By comparing with rainfalls in the previous years, characteristics of the heavy rainfall are analyzed. According to investigation, the persistent rainstorm is the main inducing factor produced a wide range of geological disasters. There are small scale loess collapse, shallow loess landslide, loess slope in mud flows and gully mudflow formed by compositing transformation in the above types of geological hazards. The development characteristics and disaster mode of the geological hazards are elaborated. The forming disaster conditions about geological hazards are analyzed from the aspect of rainfall, terrain, stratum combination, ravine landform and so on.

Key words: “7.3” rainstorm; geological hazard; development characteristic; pattern of disaster formation; Yanan area