

文章编号: 1008-2786-(2015)1-100-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000014

天水市“7·25”群发性地质灾害特征及成因

郭富赞^{1,2} 孟兴民¹ 黎志恒² 谢正团¹ 陈冠¹ 何云峰²

(1. 兰州大学西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省地质环境监测院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 2013-07-25 天水市遭遇罕见暴雨, 引发群发性地质灾害(简称“7·25”群发性地质灾害), 造成严重损失。基于实际调查数据, 论述了本次地质灾害的类型、分布和成灾特征, 并对成因进行了分析。降水引发地质灾害 708 处, 其中滑坡 415 处, 崩塌 102 处, 不稳定斜坡 86 处, 泥石流 100 处, 地裂缝 3 处, 地面塌陷 2 处。地质灾害分布, 在空间上具有不均性、流域集中性、群发性等特征, 并受降雨范围控制; 成灾特点表现为崩塌-滑坡-泥石流、滑坡-堰塞湖链式特征。研究表明, 自 2013-06-20 以来, 降水日数为 24~26 d, 降水日数较往年同期偏多 10~15 d; 同时, 7 月以来降水量是常年同期的 2.2~3.4 倍; 7 月 25 日观测到的 16 h 最大降水量达 152.2 mm。降水表现出前期丰富、当期降强度大的特点, 是此次群发性灾害的主要促发因素。“5·12”汶川地震在研究区的烈度为 VI~VII 度, 特别是南部属于 VII 度区, 一定程度上导致山体松动, 岩层破碎, 因此在降水叠加条件下引发大量的滑坡; 易滑岩土及其结构组合、地形条件奠定了群发性地质灾害形成的物质基础。

关键词: 天水市; 暴雨; 群发性地质灾害; 链式; 促发因素

中图分类号: P642, P694

文献标志码: A

2013-07-25T0:35~16:00, 天水市出现大范围罕见暴雨天气, 降雨量达 93.4~369 mm; 降雨中心在麦积区、秦州区南部地区, 秦州区钱家坝 24 h 最大降水量为 152.2 mm, 1 h 最大降水量为 48.4 mm。暴雨导致天水市出现群发性滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害(简称“7·25”群发性地质灾害), 共出现 708 处, 造成 24 人死亡、1 人失踪、2 386 间房屋倒塌、6 666 间房屋受损, 直接经济损失达 82.75 亿元^[1], 给当地人民生命和财产造成了巨大损失。

天水市地质构造复杂, 软弱岩土广布, 生态脆弱, 降水时段集中, 是我国黄土高原崩塌、滑坡、泥石流灾害最为严重的城市之一^[2]。天水市地质灾害研究开展较早, 李鸿莲、曾思伟等^[3-4]对降水在天水引发的泥石流、滑坡分布、特征等做了相关研究, 指出了暴雨是滑坡、泥石流的主要激发因素, 同时指出

黄土无林区和有林区滑坡发生的临界雨量不同; 徐邦栋、徐峻岭等^[5-6]对陇海铁路天水葡萄园滑坡群的性质、成因和整治对策进行了研究, 指出 1984—1985 年的降水是滑坡群活动的主要促发因素; 吴玮江、王念秦等^[7-8]对天水市黄土滑坡、泥石流做了较为系统的研究, 对滑坡、泥石流的类型、分布、成因特征做了较系统的论述; 叶浩等^[9]对天水市典型泥石流的发育特征风险进行了研究; 王善堂^[10]对天水市的地质灾害分布、发育特征进行了分析; 朱文忠^[11]对天水市地质灾害现状和防治对策进行了研究; 辛存林等^[12]对天水北山滑坡成因特征及防治对策做了详细研究。以上研究对促进天水市地质灾害防治起到了积极作用。“7·25”群发性地质灾害是天水市自 1984 年以来的最严重的地质灾害事件, 具有和以往地质灾害不同的显著特点, 强降雨引发的地质

收稿日期(Received date): 2014-03-10; 改回日期(Accepted): 2014-09-24。

基金项目(Foundation item): 国家重点基础研究发展计划项目, 编号: 2014CB744703; 科技部支撑计划项目, 编号: 2011BAK12B06; 甘肃省科技重大专项项目, 编号: 1102FKDA007。[Supported by National Major State Basic Research Development Program (973 Program, NO. 2014CB744703), National Key Technology R&D Program, China (No. 2011BAK12B06) and Science And Technology Key Project of Gansu province, China (No. 1102FKDA007).]

作者简介(Biography): 郭富赞(1970-), 男, 甘肃景泰人, 高级工程师/博士研究生, 从事地质灾害防灾减灾方面的研究工作。[Guo Fuyun, (1970-), male, born in Jingtai of Gansu province, Senior Engineer/PhD and mainly engaged in prevention of geo-hazards.] E-mail: fyg51913@163.com

灾害呈现典型崩塌、滑坡-泥石流-堰塞湖链式特征,造成了严重的灾害,引起了社会的广泛关注。因此,开展本次灾害的基本特征、成因研究,可以为进一步防治该区的地质灾害提供理论指导,同时对预测研究区未来暴雨型群发性地质灾害发生、发展具有积极的指导作用和实际意义。

1 地质灾害类型及特征

本次强降雨引发或加剧的地质灾害类型主要有滑坡、崩塌、不稳定斜坡、泥石流、地面塌陷及地裂缝等。

1.1 滑坡

本次发生滑坡415处,类型有黄土滑坡、黄土-泥岩滑坡、堆积层滑坡和基岩滑坡4种,其中黄土滑坡326处,黄土-泥岩滑坡39处,堆积层滑坡37处,基岩滑坡13处。

1. 黄土滑坡主要发育在厚度较大的黄土沟谷两侧的陡坡地带。按照滑面的不同,又可分为黄土层内滑坡和黄土接触面滑坡两个类型。1) 黄土层内滑坡主要分布于黄土层较厚的丘陵前缘较陡地带,一般主滑面发育在相对均匀的黄土层内,近似于圆形,滑坡后壁受垂直节理控制,较陡直、光滑,坡度可达 $60^{\circ} \sim 70^{\circ}$,多呈圈椅状,新滑坡后壁以上多见不连续圈椅状卸荷裂缝。滑坡以浅层为主,规模以小型为主,中型次之。2) 黄土接触面滑坡主要分布于黄土-基岩(泥岩、砂砾岩、变质岩)等构成的二元结构斜坡地带,一般其前缘均有人工切割或河流切割形成的高陡临空面。其特征是滑坡常受控于黄土与基岩的不整合面,以及黄土中垂直节理及构造裂隙;滑动面倾角较陡,一般在 40° 以上。一般滑移面不太规则,滑床具有洼地或沟壑,利于地下水富集。滑坡多为中、浅层,规模以中型为主,小型次之。该类滑坡的另一特点是多为老滑坡的局部或整体复活,且多属间歇性滑动。

2. 黄土-泥岩滑坡主要发育在沟谷两侧的陡坡地带。滑体是由黄土和新近系红层共同组成的。按照滑面的不同,又可分为顺层滑坡和切层滑坡。顺层滑坡是主体沿泥岩层面滑动的滑坡,发育在上覆黄土、下伏泥岩倾向与坡向一致的斜坡地段。滑体主要由第四系黄土和新近系泥、砂岩组成,规模一般较大,多为大、中型滑坡。切层滑坡一般发育于河谷两岸及大型沟谷的中下游地形较陡、临空面较好且

下伏泥岩层向坡内倾斜或近水平状的高陡斜坡地段。滑坡轮廓形态特征明显、各要素较清晰,滑坡多为中、深层,规模多为大、中型,数量较少。

3. 堆积层滑坡主要分布于河流岸坡较陡、汇水条件较好的凹形陡坡地段。滑坡体物质主要由岩石风化的碎石土等残坡积物组成,结构松散,遇水易软化滑动。滑坡多为浅层,规模多为小型为主。

4. 基岩滑坡数量较少,多分布于泥岩、砂砾岩、碎裂结构变质岩构成的斜坡地段,且地形受人工改造或河流切割强烈地段;滑坡的形成与岩层的软弱结构面相关,如软弱夹层、节理及卸荷裂隙等,利于降水入渗形成动、静水压力产生促滑效应。

1.2 崩塌和不稳定斜坡

本次发生崩塌102处,不稳定斜坡86处。崩塌类型主要为土质崩塌,共74处;岩质崩塌次之,为12处。黄土崩塌主要分布于阶地前缘及黄土丘陵的高陡斜坡以及人工斜坡地带,其规模较小,多属小型,一般破坏方式为倾倒式;岩质崩塌主要分布于南部秦岭山地,多为小型,破坏方式一般为拉裂式,多见于古近系及更为古老的基岩地层中,自然边坡和人工边坡上均有发育,在基岩山区修路等所形成的高陡危险边坡分布较多,小型崩塌及危岩体时有所见,对公路、行人造成了一定的威胁。不稳定斜坡多发育于黄土及碎石土构成的斜坡地段,主要特点是坡体陡峻,中上部发育拉张裂缝,变形迹象明显。

1.3 泥石流

本次共调查泥石流100处,按水源类型划分均为暴雨型,按物质成分可分为泥流、泥石流和水石流三种,其数量分别为26处、63处、11处。

泥流主要发育在藉河及西汉水流域中下游、渭河北岸等黄土分布区,其松散物质来源主要是黄土滑坡、泻溜以及坍塌等,另外陡坡开垦而产生的面蚀也是重要的固体物质来源之一。泥流由于颗粒细小,极易长距离输送,一般有非常明显的堆积扇,且有明显的球状沉积物。区内泥流以沟谷型为主,偶有山坡型。按流体性质,泥流多为粘性。

泥石流主要发育在藉河、南沟河上游、西汉水流域及渭河河谷两岸,其固体物质来源主要是沟谷中的滑坡、崩塌堆积物及坡积物。泥石流搬运能力较大,堆积物分选不明显,巨型漂砾多见,在沟口多形成规模巨大的堆积扇。

水石流主要发育在南部山区植被条件较好的地段,以沟谷型为主,堆积物分选较好,搬运能力较差,

固体物质来源主要为风化残积物、坡积物。

1.4 地裂缝与地面塌陷

地裂缝 3 处,属黄土沉陷性地裂缝,延伸长度 200~300 m,属小型地裂缝。其形成与黄土的垂直节理发育和土体湿陷性有关,大量雨水沿垂直节理面入渗而改变黄土的物理性状,节理面被潜蚀,土体湿陷,裂缝扩展延伸而形成地裂缝。地面塌陷有 2 处,属黄土潜蚀形成地面塌陷,规模均为小型。

2 地质灾害分布特征

“7·25”群发性地质灾害的空间分布特征,主要有以下几点。

2.1 空间分布不均

地质灾害具有显著的局地爆发性特征,空间分布不均匀。灾后排査出的 708 处地质灾害点,主要集中分布于东南部的麦积、张家川、秦州区和清水 4 个县(图 1、2),占全部灾害点的 82.63%,而西北部的秦安、甘谷、武山 3 个县仅占 17.36%。

2.2 流域集中、成带成群分布

地质灾害发育呈现流域单元集中分布,群发性特征明显。滑坡、泥石流等主要集中在西汉水流域、渭河流域及以上流域较大支流河谷地区。在秦州区白

家河流域、麦积区东柯河流域一带暴雨中心区,直观的反映是浅层黄土、堆积层饱水以后形成崩塌、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,同时也密集形成泥石流。

2.3 灾害分布与暴雨落区高度一致

根据现场调查分析,西部的武山一带由于属岷县漳县 6.6 级地震破坏区(烈度 VI 度),而降水量较小,地质灾害的分布密度相对较小;而秦州区东南部、麦积区西部、清水县、张家川县呈北东向带状分布的地质灾害,其密度明显大于其他区域,和“7·25”暴雨的落区和路径高度一致。

3 成灾特征

通过对本次群发性地质灾害的调查,可以总结为两大成灾特征:滑坡-泥石流链式特征,滑坡-堰塞湖链式特征。

3.1 滑坡-泥石流链式特征

“7·25”群发性地质灾害与多数单体地质灾害特征有很大不同,代之以高密度浅层土质崩塌、滑坡、碎屑流和沟谷型泥石流叠加的灾害链特征。

本次发生泥石流的沟谷多数为短浅的沟谷,泥石流松散物质来源主要是降雨激发的滑坡、崩塌等

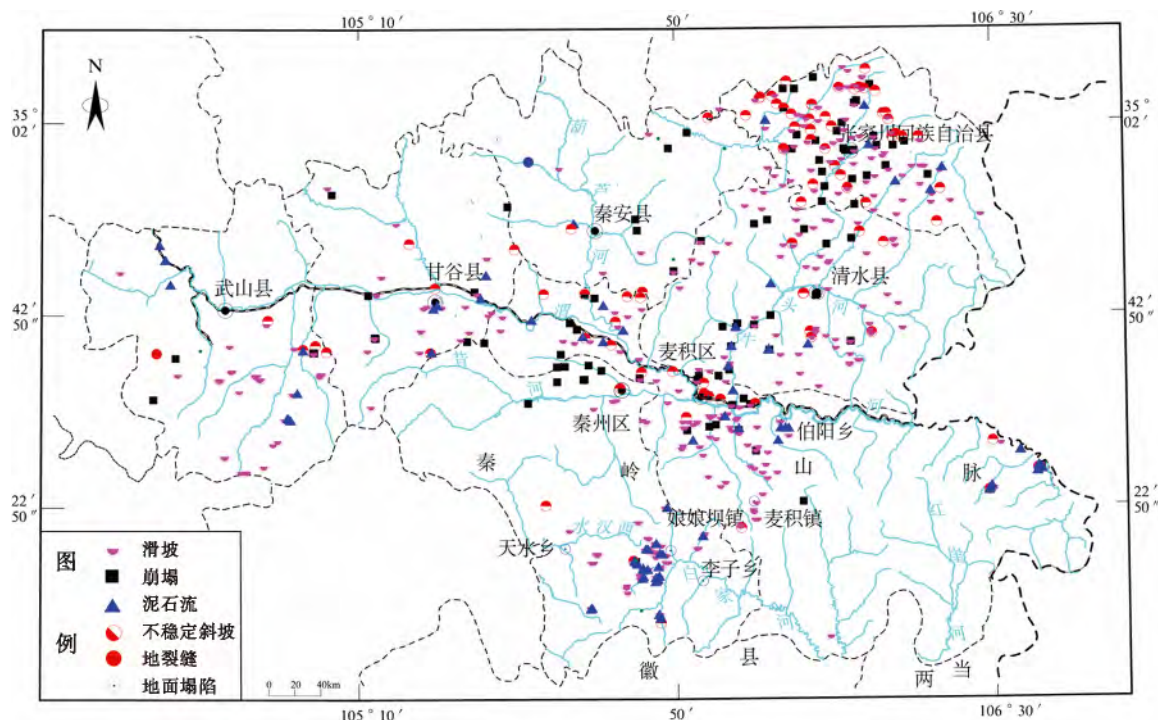


图 1 “7·25”群发性地质灾害分布图

Fig. 1 Geological hazards distributes on July 25th 2013

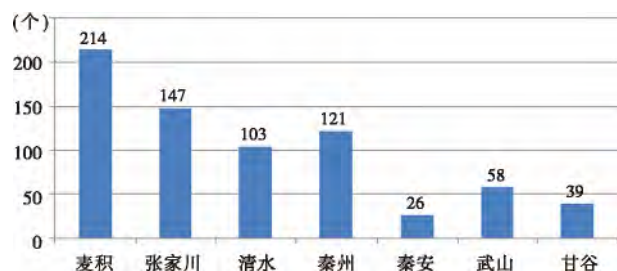


图2 天水市各县(区)地质灾害数量

Fig.2 Numbers of the geological hazards in different counties of Tianshui city

转化而来。典型的如麦积镇、娘娘坝一带的黄土-泥岩二元结构斜坡多形成顺向坡,饱水的表层土体形成的坡面型泥石流和群发性的浅层土质崩塌、滑坡(图3),直接汇集于沟谷顺沟而下形成泥石流。马跑泉一带的大庄沟泥流具有典型性。该沟流域面积 0.45 km^2 ,沟道呈上陡下缓的折线型,形态为“V”型,纵坡降 177‰ ;沟道中、下游段较为开阔,沟谷宽度 $20\sim 70\text{ m}$,沟口两侧为大沟村所在地。2013-07-24晚,强降雨导致大沟村南部的沟道内发生滑坡并转化为泥流顺沟而下,泥流堆积物一直从沟口延伸至大沟村村庄中部,堆积体纵向长约 700 m ,横宽 $20\sim 70\text{ m}$,堆积物厚度 $2\sim 10\text{ m}$,堆积物体积约为 $20\times 10^4\text{ m}^3$ 。此次泥流直接将村委会(三层楼)楼房向前推挤超过 70 m ,并摧毁10户村民房屋及100 m村道。由于预警及时使人员迅速转移,未造成人员伤亡(图4)。

3.2 滑坡-堰塞湖链式灾害特征

本次强降雨引起的滑坡造成了毛峪河、五龙沟等多条沟谷形成堰塞湖,形成滑坡-堰塞湖链式灾害,典型的如伯阳镇榆树村滑坡-堰塞湖。滑坡的发生和降水并不同步,略有滞后性。

榆树村滑坡发生于2013-07-29T10:40,滑坡堆积体堵塞毛峪河形成堰塞湖。滑坡属于老滑坡复活,为黄土-泥岩滑坡,主滑方向 76° ,滑坡的坡体高约 450 m ,平均坡度 60° 。平面呈簸箕形,坡面呈不规则状。滑坡后缘宽约 100 m ,前缘宽约 190 m ,长约 200 m ,厚约 50 m ,体积约 $135\times 10^4\text{ m}^3$,属大型滑坡。由于滑体主轴前缘岩性以泥质砂岩为主,完整性相对较好,滑体下滑时泥质砂岩下滑至沟底基本呈整体块状,上覆土层下滑受阻,分向南北两侧,其中北侧滑坡堆积体以黄土为主,压埋河道和东侧道路,堆积体高出路面约 7 m 。南侧堆积体高出路面约 2.5 m ,形成两道天然“土坝”。其中第一道“土坝”以上水体长约 1 000 m ,水面平均宽度约 30 m

(沟谷呈“V”字形),河道平均宽度约 16 m ,水位最高处抬升约 14 m ,估计总水量约 $35\times 10^4\text{ m}^3$,对下游的韩河村、下河村406户村民2 082人的生命及财产安全形成严重威胁(图5)。

4 灾害成因

结合天水“7·25”群发性地质灾害特点,主要从降水、地震、地层岩性及地形条件等方面分析灾害的成因。

4.1 降雨

降雨诱发地质灾害的过程中,主要表现在前期降雨、当期降雨强度和降雨量等因素^[13],强降雨成为地质灾害链成灾演化的关键控制因素^[14]。天水市“7·25”降水特征主要表现为前期降水丰富、当期降水强度大等,是本次群发性灾害的主要促发因素,并加速了灾害链演化。

4.1.1 前期降水日数多、持续时间长

根据气象资料统计,2013-06-19—2013-07-26期间,天水市各县(区)经历4次强降雨,降雨量为 $199.1\sim 423.5\text{ mm}$ (表1)。天水自6月20日以来降水日数为 $24\sim 26\text{ d}$,降水日数较往年同期多 $10\sim 15\text{ d}$ 。7月以来,天水秦州区降水量是常年同期的3.4倍;其他县区则在2.2倍以上。连续降水使得浅表层土体接近饱和、岩体裂隙充水,导致斜坡大部分地方土壤相对湿度超过 70% ,南部白家河流域土壤相对湿度在 90% 以上,使得岩土体抗剪强度显著降低,对于浅层堆积层及裂隙发育的黄土斜坡稳定极为不利;同时高含水土壤也使泥石流的汇水更为迅速。

4.1.2 暴雨落区集中、强度大、反复作用

2013年6—7月的4次区域性暴雨的落区和路径基本一致,均处于天水市东南部的秦州、麦积、张家川、清水4个区(县)。

6月20日最大小时降水量出现在秦州区李子园,1 h降水量达 65 mm (20日04时—05时),2 h降水量达 115 mm 。此次强降雨共引发95处地质灾害,其中泥石流17处,滑坡65处,崩塌9处,不稳定斜坡4处。秦州区白家河流域、麦积区颖川河、东柯河、毛峪河流域是灾害最为严重的区域,出现了群发性的、密集分布的泥石流、滑坡、崩塌等灾害。

7月8日的强降雨再次袭击了这一地区,在部分地方引发了地质灾害,数量达46处,其中泥石流13处,滑坡24处,崩塌6处,不稳定斜坡3处。



图3 麦积镇塑流滑坡
Fig. 3 Slope debris flows in Maiji town



图4 大庄沟滑坡 - 泥流
Fig. 4 Dazhuang mudflows

7月21日的强降水虽然未形成大的灾害,却加大了土壤含水量,使得土壤持续处于近饱和状态。7月24—26日夜间天水出现强降水天气,秦州区钱家坝24 h最大降水量为152.2 mm,1 h最大降水量为48.4 mm,最终导致形成了比6月20日、7月8日范围更广、危害更大的群发性的滑坡、崩塌—泥石流灾害及滑坡—堰塞湖等灾害链^[15],其中娘娘坝一带的群发性滑坡、泥石流造成22人死亡。

对比该地区以往地质灾害资料,1965年罗玉沟泥石流,降雨量为90~100 mm,历时8 h时,1 h最大雨强为57.3 mm;天水伯阳1978年菜子沟泥石流,2 h小时雨量为105 mm,1 h最大雨强为60 mm^[3];1990年锻压机床厂滑坡,日降水量113 mm^[1]。可以看出,钱家坝16 h降水量152.2 mm,已超过历次灾害的降水强度。据李鸿璘研究^[4],当前期降水量丰富,当日降水量达到50~60 mm,天水地区即可引发滑坡;当小时降水量超过35 mm即可

表1 2013年6—7月灾区气象站(点)4次降水统计
Table 1 Precipitation in Weather Stations during June - July 2013 /mm

| 气象站(点) Weather station | 日 期 Date | | | | 累 计 Grand total |
|---------------------------|--------------|------------|-------------|--------------|--------------------|
| | 6月19 —20日 | 7月7 —8日 | 7月2 —22日 | 7月24 —25日 | |
| 李子 | 198.2 | 128.6 | 22.7 | 29.8 | 379.3 |
| 钱家坝 | 114.9 | 119.4 | 37.0 | 152.2 | 423.5 |
| 舒家坝 | 91.8 | 109.9 | 32.9 | 48.5 | 283.1 |
| 庙川 | 83.6 | 65.3 | 37.9 | 42.8 | 229.6 |
| 长官 | 28.1 | 95.2 | 26.0 | 102.9 | 252.2 |
| 张家山 | 51.8 | 109.2 | 30.4 | 102.2 | 293.6 |



图5 毛峪河榆树坡滑坡堵沟形成堰塞湖(左为近景,右为远景)
Fig. 5 Yushu landslides damned valleys in Maoyu River(left for close shot ,right vision)

引发泥石流,超过 40 mm 可形成灾害性泥石流^[3]。可以说,“7·25”群发性地质灾害的发生是既具备了前期降水条件,也具备了降水强度。

4.2 地震

天水市及外围断裂、褶皱均很发育,尤其是晚第四纪以来断裂活动显著,地震活动频繁,是我国主要的地震区之一^[16]。研究区处于我国南北地震带与天水—兰州东西两大地震带交汇部位,历史上是高烈度地震多发区。例如 1654 年天水南 8 级地震,震中烈度达 XI 度,引发了大范围的滑坡。2008 年“5·12”汶川地震在研究区的烈度为 VI~VII 度,特别是南部属于 VII 度区,一定程度上导致山体松动,岩层破碎,短期内很难达到平衡,因此在降水叠加条件下势必引发大量的滑坡。强震过后,地震灾区滑坡、泥石流等地质灾害显著增强是一个具有普遍性的现象^[16]。

4.3 地层岩性

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滑岩土及其斜坡组合结构特征上。区内易滑动的岩层组合主要有黄土—基岩、松散层—基岩两种结构。这两种易滑岩层组合结构的共同特点,是斜坡往往由岩土形成二元结构的顺向斜坡,上部黄土或堆积层松散、节理裂缝发育,下部的有一个相对隔水的底板,上覆的黄土或残坡积土在其上滑动。黄土中的垂直节理是黄土崩塌形成的主要结构因素;在南部基岩地区,残坡积层由于树木根系的劈裂作用,而形成导水裂隙或孔洞;新近系(N)泥岩、古近系(E)砂砾岩、白垩系(K)砾岩则形成相对隔水层。坡度 $>60^\circ$,晚更新世黄土(Q_3^{col})厚度在 8 m 以上的陡崖,在降雨条件下容易发生黄土崩塌。坡度 $>25^\circ$,由黄土、残坡积层和基岩组成的顺向斜坡,在强降雨条件下,容易发生浅层黄土滑坡、堆积层滑坡和坡面型泥流。

4.4 地形

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。天水市发生滑坡的斜坡坡高和坡度的统计结果如图 6。坡度 $10^\circ\sim30^\circ$,坡高 150~300 m 的斜坡,是发生黄土滑坡的优势斜坡。

坡度 $>60^\circ$,坡高在 10~30 m 的斜坡前缘陡崖,是崩塌发生的优势坡段;在有人工开挖坡脚或加载条件下,发生的概率显著增加。娘娘坝一带地形属嘉陵江上游基岩山地,地形陡峻,切割强烈,由于

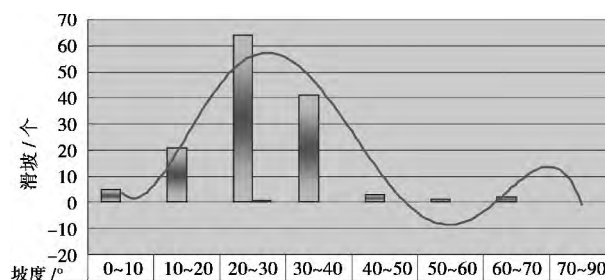


图 6 滑坡与坡度关系

Fig. 6 Relation between landslide and slope

沿河谷人为修路、建房切坡,导致形成的人工陡坡,在暴雨激发下发生很多小型崩塌。

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。天水市境内沟谷发育,多数为狭窄的冲沟或干沟,以“V”型谷居多,沟床比降集中在 $50\%\sim150\%$ 。通过对泥石流沟谷的沟坡坡度频数统计,并结合野外调查分析,最有利于提供泥石流固体物质的沟坡坡度为 $25^\circ\sim45^\circ$,固体物质补给方式主要以沟蚀、面蚀为主,其次为崩塌、滑坡等提供的松散物。当强降水作用下洪水挟带黄土崩塌、坡面泥流汇集于沟谷中,易转化为泥石流,泥石流在流动过程中冲蚀沟谷岸坡或滑坡坡脚,导致沟岸产生新的滑坡或老滑坡复活,转化为物源使泥石流流量增大形成更大的灾害。有时泥石流侵蚀沟岸形成大规模的滑坡,导致沟谷堵塞形成堰塞湖^[18],形成滑坡—泥石流灾害链,如榆树沟滑坡。

天水南部地区属小陇山林区,植被茂密,沟谷多属“V”型谷,纵坡降在 $40\%\sim200\%$,历史上观测到的滑坡、泥石流现象较少。本次由于残坡积土在强降水作用下形成饱和土滑坡,连同坡体上的树木一起滑入沟道,堵塞沟道形成堰塞湖,堰塞体溃决形成了泥石流,有的沟道甚至形成了流木。这些现象说明地形对滑坡、泥石流的形成是最基本的条件。植被对滑坡的影响主要表现在根劈作用在岩(土)层中形成大孔隙或裂隙,形成有利于地下水入渗的优势通道^[19],从而影响斜坡的稳定性。

5 结论

“7·25”群发性地质灾害是天水市近年来最严重的灾害事件,研究表明:

1. 地质灾害在空间分布上具有不均匀性、流域集中性、群发性特征,且和降雨的落区基本一致,明

显受到降雨分布的控制。

2. 地质灾害成灾特点具有显著的崩塌、滑坡 – 泥石流链式、滑坡 – 堰塞湖链式特征,加重了灾情。

3. 极端降水是地质灾害的主要促发因素,表现在前期降水丰富、持续时间长,当期降雨强度大等。另外,“5·12”地震对地质灾害的形成有一定的影响,地形与岩土条件是群发性地质灾害形成的物质基础。

参考文献 (References)

- [1] He Yunfeng, Wang Jianhong, Zhao Chen, et al. On July 25 2013, Torrents and geo-hazards survey of emergency in Tianshui city [R]. Institute of Geo-environment Monitoring of Gansu Province. 2010. 07. 28 [何云峰, 王建红, 赵成, 等. “7.25”天水市群发性山洪地质灾害应急调查报告[R]. 甘肃省地质环境监测院. 2013-07-28]
- [2] Wu Weijiang. The Tianshui landslide and debris [J]. Hydrogeology and Engineering Geology. 2003, 30(5): 75-78 [吴玮江. 天水市滑坡泥石流灾害[J]. 水文地质工程地质. 2003, 30(5): 75-78]
- [3] China Academy of Sciences, Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Traffic Science Institute of Gansu Province. Debris flow in Gansu [M]. Beijing: China Communications Press, 1982: 12 [中国科学院兰州冰川冻土研究所, 甘肃省交通科学研究所. 甘肃泥石流[M]. 北京: 人民交通出版社, 1982: 12]
- [4] Li Honglian. Loess Landslide of Tianshui Area [G]//The landslide. Beijing: Chinese Railway Press, 1988: 100-106 [李鸿琰. 天水地区的黄土滑坡[G]//滑坡文集. 北京: 中国铁道出版社, 1988: 100-106]
- [5] Xu Bangdong. The characteristics and treating measure of landslide group in Putaoyuan station, Longhai railway line [G]//The landslide. Beijing: Chinese Railway Press, 1990: 1-9 [徐邦栋. 陇海铁路葡萄园滑坡群的性质和整治的研究[G]//滑坡文集. 北京: 中国铁道出版社, 1990: 1-9]
- [6] Xu Junling. Formation and stability evaluation of Putaoyuan landslide group along Longhai railway [G]//Beijing: The landslide. Chinese Railway Press, 1990: 100-107 [徐峻岭. 陇海线葡萄园滑坡群的形成及稳定性评价[M]//滑坡文集. 北京: 中国铁道出版社, 1990: 100-107]
- [7] Wu Weijiang, Wang Nianqin. The Gansu landslide [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2006-03 [吴玮江, 王念秦. 甘肃滑坡[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2006-03]
- [8] Wang Nianqin, Zhang Zhuoyuan. Study on loess landslide disaster [M]. Lanzhou: Lanzhou University Press, 2005: 03 [王念秦, 张倬元. 黄土滑坡灾害研究[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2005: 03]
- [9] Ye Hao, Pei Lixin, Liu Changli, et al. Risk assessment on debris now in the Luoyugou drainage basin in Tianshui City, Gansu Province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2008, 19(4): 13-17 [叶浩, 裴丽欣, 刘长礼, 等. 甘肃省天水市罗玉沟泥石流灾害风险评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2008, 19(4): 13-17]
- [10] Zhu Wenzhong. Tianshui geological hazards and countermeasures [J]. Gansu Science and Technology, 2004, 20(6): 12-14 [朱文忠. 天水市地质灾害现状与防治对策[J]. 甘肃科技, 2004, 20(6): 12-14]
- [11] Wang Shantang, Zhang Jiafeng. Environmental problems and petrounder measures in Tianshui city [J]. Ground water, 2004, 26(3): 200-201 [王善堂, 张家峰. 天水市环境问题及防治对策[J]. 地下水, 2004, 26(3): 200-201]
- [12] Xin Cunlin, Yang Guolin, Zhao Zhipen, et al. Geo-hazard types and causes analysis in Tianshui Beishan [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2): 89-95 [辛存林, 杨国林, 赵志鹏, 等. 甘肃天水市北山地质灾害类型及成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(2): 89-95]
- [13] Li Jun, Zhou Chenghu. Analysis of relationship between landslide volume and antecedent precipitation in Hong Kong [J]. Journal of Natural Disaster, 2002, 11(2): 37-45 [李军, 周成虎. 香港地区滑坡体积与前期降水关系分析[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 37-45]
- [14] Cui Yun, Kong Jiming, Tian Shujun, et al. The critical role for heavy rainfall in the evolution of the mountain hazards chains [J]. Mountain Research, 2011, 29(1): 87-95 [崔云, 孔纪名, 田述军, 等. 强降雨在山地灾害链成灾演化中的关键控制作用[J]. 山地学报, 2011, 29(1): 87-95]
- [15] Zhong Dunlun, Xie Hong, Wei Fangqiang, et al. Discussion on mountain hazards chain [J]. Mountain Research, 2013, 31(3): 314-426 [钟敦伦, 谢洪, 韦方强, 等. 论山地灾害链[J]. 山地学报, 2013, 31(3): 314-426]
- [16] Cheng Yuxiang, Zhang Jun, Du Dongju, et al. The relationship between the fault activity and geological hazard in Tianshui area. [J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(1): 33-37 [成玉祥, 张骏, 杜东菊, 等. 天水地区断裂活动性与地质灾害的相关性研究[J]. 工程地质学报, 2007, 15(1): 33-37]
- [17] Qi Xin, Tang Chuan, Chen Zhoufeng, et al. Coupling analysis of control factors between earthquake induced landslides and subsequent fall induced landslides in epicenter area of Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(4): 522-531 [齐信, 唐川, 陈州丰, 等. 汶川地震强震区地震诱发滑坡与后期降雨诱发滑坡控制因子耦合分析[J]. 工程地质学报, 2012, 20(4): 522-531]
- [18] Wan Zhiqiang, Xiao Shengxue. Analysis of formation and chained evolution mechanism of landslide induced by rainfall [J]. West Communications Science & Technology, 2011(1): 30-34 [万志强, 肖盛燮. 降雨型滑坡的形成及链式演化机理分析[J]. 西部交通科技, 2011(1): 30-34]
- [19] Xu Zemin. Vegetation and macropores in vadose zone of hill slopes [J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(6): 135-141 [徐则民. 植被与斜坡非饱和带大空隙[J]. 地学前缘, 2007, 14(6): 134-142]

Characteristics and Causes of Assembled Geo-hazards Induced by the Rainstorm on 25th July 2013 in Tianshui City ,Gansu ,China

GUO Fuyun^{1 2} ,MENG Xinmin¹ ,LI Zhiheng² ,XIE Zhengtuan¹ ,Chenguan¹ ,He Yunfeng²

(1. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems with the Ministry of Education ,Lanzhou University ,Lanzhou 73000 ,China;

2. Institute of Geo-environmental Monitoring of Gansu Province ,Lanzhou 730050 ,China)

Abstract: In July 25th 2013 ,the Tianshui city has encountered a heavy rainstorm ,which rainstorm triggered cluster geo-hazards ,and caused serious casualties and economic losses. Based on field survey ,the type ,distribution ,characteristic and formation of the geo-hazards were analyzed. The rainstorm induced 708 potential geo-hazards ,including 415 landslides ,102 collapse ,86 unstable slopes ,100 debris flow ,three ground fissures ,and two surface subsidence. The spatial distribution of geo-hazards ,controlled by the rainfall ,showed uneven ,watershed-concentrated and clustering characteristics. The disaster exhibited chain characteristic ,for example ,collapse-landslide-debris flow and landslide—barrier lake .Results show that there were 24 ~ 26 days with rainfall since 20th June ,which was more than 10 ~ 15 days higher compared with the same period in last year. Meanwhile ,the rainfall was over 2.2 ~ 3.4 times heavier than the perennial rainfall at the same period since July. The maximum amount of 16 hours precipitation observed on 25th July was 152.2 mm. The rainfall exhibited characteristics of abundant antecedent rainfall and high-intensity current rainfall ,which were considered as the main triggering factors of this clusters of geo-hazards. Apart from that ,the seismic intensity of “5·12” Wenchuan earthquake in the study area was around 6 ~ 8 degree ,and 8 degrees in particular in the southern area causing the mountain loose ,rock crushing ,and therefore ,in combination with the rainfall ,it is inclined to trigger large amounts of landslides ,in addition ,the sliding prone rock-soil with its structure composition ,and high-relief topography could lay the material foundation for this clusters geo-hazards.

Key words: rainstorm; assembled geo-hazards; characteristics and formation mechanism; Tianshui of Gansu