

甘肃省泥石流发育特征、成因分析及其危害

陈秀清¹, 白福², 于燕燕²

(1. 甘肃有色工程勘察设计研究院, 甘肃 兰州 730000;
2. 甘肃省地矿局第二地质矿产勘查院, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 甘肃省是我国泥石流地质灾害最为严重的 4 大省份之一。据统计, 全省发育有泥石流沟 6 260 条, 这些泥石流沟大部分集中在东部地区, 河西地区较少。泥石流强烈发育的陇南、甘南山区, 地势高差多在 1 000 m 以上, 山坡坡度 $\geq 30^\circ$ 。区内地质构造复杂, 地震活动频繁, 广泛分布黄土、泥岩、千枚岩、页岩等软弱易滑岩土体, 为泥石流发育提供了必要的地形条件和岩土条件, 降雨和地震及人类活动是诱发因素。长期以来, 频繁发生的泥石流地质灾害已给甘肃人民的生命财产和工农业生产建设带来了严重威胁和危害, 造成约 3 715 人死亡, 直接经济损失几十亿。其中, 2010 年 8 月 8 日, 舟曲发生的特大泥石流地质灾害震惊世界, 泥石流地质灾害已严重困扰和制约着甘肃省的国民经济发展和广大人民群众的正常生活。因此, 应通过科学规划人类活动, 采取必要的工程措施制约泥石流地质灾害的发生, 减轻泥石流地质灾害造成的损失。

关键词: 泥石流; 成因; 危害; 甘肃省

中图分类号: P694 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-6248(2014)03-0205-06

Development Characteristics, Causes and Hazard Analysis of Debris Flow in Gansu Province

CHEN Xiu-qing¹, BAI Fu², YU Yan-yan²

(1. *Gansu Non-ferrous Engineering Exploration and Design Research Institute, Lanzhou 730000, China;*
2. *No. 2 Geology and Mineral Exploration Team, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730020, China*)

Abstract: As one of the four provinces with most serious geological disasters of debris flow in China, Gansu province has developed 6260 debris flow ditches, most of which are concentrated in the east area and few happened in the west of the Yellow River. The debris flow developed seriously in Longnan and Gannan mountain areas, where the terrain elevation is above 1000m, the slope of hillside is more than 30 degrees, the local geological structure is complicated with frequent seismic activities, and there is a wide distribution of loess, mudstone, phyllite, shale and other soft slippery rock mass, that provide the necessary terrain conditions and soil conditions for debris flow. Rainfall, earthquakes and human activities are predisposing factors of debris flow. Over the years, frequent occurrences of debris flow disaster in Gansu have brought serious threat and harm to local people's lives, properties, industrial construction and agricultural production. Having killed about 3715 people, the geological hazard also caused direct economic losses of billions. Among them, the largest debris flow disaster happened in Zhouqu on 8 August 2010

收稿日期: 2013-10-09; **修回日期:** 2014-07-25

基金项目: 国土资源大调查计划项目“西北黄土高原区地质灾害详细调查”(1212010640330)

作者简介: 陈秀清(1969-), 女, 山西阳泉人, 学士, 高级工程师, 主要从事水文地质工程地质及地质灾害方面的勘察和研究。

E-mail: lzbaifu@163.com

shocked the world, seriously restricted the economic development of Gansu province and disturbed the majority of people's normal life. Therefore, we should plan human activities scientifically and take necessary engineering measures to restrict the occurrence of debris flow hazards and reduce the losses caused by the geological disasters of debris flow.

Key words: debris flow; causes; hazard; Gansu province

甘肃省地处青藏高原、黄土高原和内蒙古高原的交汇地区,总面积 $45.44 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其中黄土高原丘陵和基岩山地分布面积达 $32 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占全省总面积的 70.6%, 属典型的高原山地型省份。境内山高谷深, 沟壑纵横, 地质构造复杂, 断裂发育, 新构造运动强烈, 地震频繁且强度高。黄土、泥岩、千枚岩、页岩、碳质板岩等软弱岩土体广泛分布, 加之区内降水集中于 7~9 月, 局部地区暴雨多, 为泥石流的发生提供了必要的降雨、地形和岩土条件。尤其是 2010 年 8 月 8 日舟曲县发生的特大泥石流地质灾害, 造成 1 501 人死亡, 264 人失踪, 是新中国建国以来发生的最大泥石流地质灾害(张茂省, 2011)。因此, 甘肃省具有泥石流分布广泛、发生频繁、危害严重等特点, 是我国泥石流地质灾害最为严重的 4 大省份之一(中国科学院兰州冰川冻土研究所,

1982)。笔者根据实际调查和收集的大量资料, 较系统的论述了甘肃省泥石流成因和危害, 旨在进一步提高甘肃省地质灾害研究和防治水平, 减少地质灾害损失, 为经济建设服务。

1 泥石流分布特征

甘肃省是全国 4 大泥石流地质灾害危害区之一, 全省 87 个县(市、区)中, 其中有 53 个不同程度地发生过泥石流地质灾害。据统计, 全省共有泥石流沟 6 260 条, 其中沟谷型和河谷型泥石流沟共 5 120 条, 占总数的 82%, 这些泥石流沟大部分集中在东部地区, 河西地区较少, 其余为山坡型泥石流, 而山坡型泥石流主要分布在陇南市(表 1)(姚宝贵, 1995)。

表 1 甘肃省东部河谷、沟谷型泥石流统计表
Tab. 1 Valley & gully debris flow statistics in east Gansu

类型	白银市	兰州市	定西市	庆阳市	平凉市	天水市	陇南市	临夏州	甘南州	合计
河谷型(条)	5	3	18	28	15	21	51	9	12	162
沟谷型(条)	64	34	392	888	519	501	2 014	185	361	4 958
合计(条)	69	37	410	916	534	522	2 065	194	373	5 120
所占比例(%)	1.3	0.7	8.0	17.9	10.4	10.2	40.4	3.8	7.3	100

受降水分布和暴雨出现次数的影响, 甘肃省泥石流分布密度和暴发频率由南向北呈递减趋势, 大致可分为 3 个泥石流分布区(图 1)(赵成, 2003)。

1.1 陇南黏性泥石流分布区

分布于甘南和陇南山区, 尤其是迭部以东的白龙江中下游和西汉水流域, 共有泥石流沟 2 500 条, 仅白龙江流域就有泥石流沟 1 000 多条, 主要分布在舟曲县以下沿大断裂带的白龙江两岸, 分布密度和暴发频率为全省之冠。受沟谷侧蚀作用的影响, 白龙江北岸泥石流沟较南岸发育, 常堵江为患的沟谷主要有甘家沟、三眼峪沟、石门沟和深沟等。

1.2 黄土高原泥流分布区

分布于黄河谷地两岸及支流渭河、泾河及祖历

河等流域。这些流域中, 以塬丘高差大, 黄土厚 60~70 m, 局部超过 100 m, 沟谷切割深, 黄土底部有第三系泥岩出露并赋存有地下水的地区分布较集中, 如兰州市的黄河南岸、渭河谷地、宝天铁路沿线等地。

1.3 河西内陆河流域稀性泥石流区

河西走廊南部的祁连山北坡和北部的龙首山、合黎山南坡山麓地带, 发育有小规模的稀性泥石流, 其发生的频率与暴雨强度关系密切。

2 泥石流成因分析

泥石流的形成必须同时具备 3 个基本条件, 首

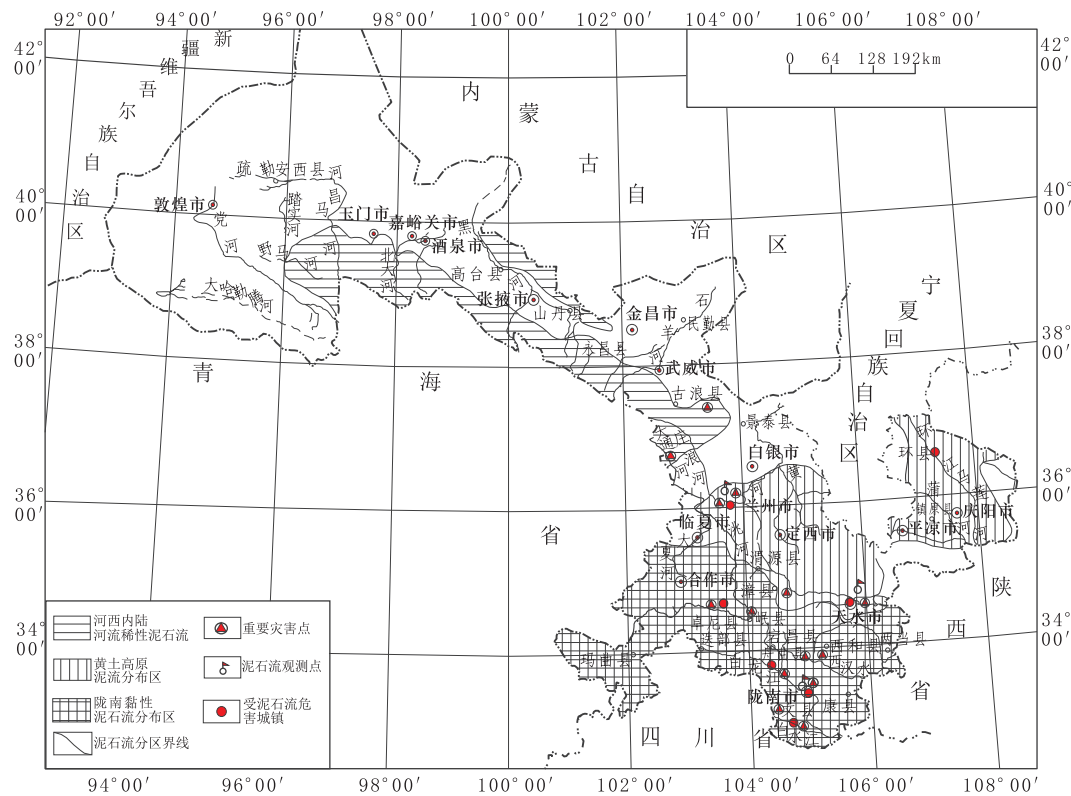


图 1 甘肃省泥石流分布图

Fig.1 The debris flow distribution in Gansu province

先是流域内要有丰富的松散固体物质,并能源源不断的补给泥石流;其次要有陡峻的地形和较大的沟床纵坡;最后是在流域中的中上游应有强大的暴雨来提供充沛的水源作为外动力条件。此外,还有人类活动改变自然条件可加剧泥石流的发生(赵成, 2011)。

2.1 固体物质来源

地质条件决定了松散固体物质来源、组成、结构、补给方式等。固体物质类型为岩石风化物、黄土,冲洪积物。泥石流强烈发育的陇南、甘南山区,出露的地层主要是志留系、泥盆系、石炭系的灰色千枚岩、碳质页岩、片岩和板岩等软弱岩石,这些软弱岩石在经受多次构造运动后,节理、裂隙十分发育,极易风化形成厚层风化壳。由于区内地质构造复杂,具有多种地质构造体系复合的特征,新构造运动使许多古老断裂构造重新复活,地震活动频繁,尤其是有史以来的百余次大于 5 级的地震,造成山体松动。在暴雨和地下水作用下,形成了大面积滑坡、崩塌,堵塞沟道,为泥石流的形成提供了丰富的松散固体物质(吴玮江,2006)。在陇中、陇东和陇西出露的

地层主要是第三系红色泥岩和第四系黄土,泥岩裂隙发育,具不透水性和遇水易软化呈可塑性等特点,厚层黄土具大孔隙和强湿陷性特点。这些不良条件都在地震和降水及地下水的作用下为泥石流形成提供了松散固体物质(白福,2009)。

2.2 有利的地形

甘肃省东部特殊的地形条件决定了泥石流的多发性。陇南基岩山区地势高差多在 1 000 m 以上,山坡坡度 $\geq 30^\circ$,沟床坡降 $\geq 40\%$ 。陇中黄土丘陵区地势高差为 150~600 m,其中兰州黄河两岸为 400~600 m,山坡坡度 $\geq 20^\circ$,沟床坡降 $\geq 30\%$ 。

根据研究资料(中国科学院兰州冰川冻土研究所,1982),甘肃省泥石流形成所需的坡度和沟床比降:坡度在基岩山区为 $30^\circ\sim 40^\circ$,黄土丘陵区为 $20^\circ\sim 35^\circ$;沟床比降基岩山区为 $20\%\sim 30\%$,黄土丘陵区为 $\geq 10\%$ 。

2.3 充沛的水源

降水是泥石流形成的直接触发因素,泥石流主要分布区的甘肃省东部,年降水量 300~800 mm,但降水却集中在 7~9 月,占全年降水量的 60%以

上,且多以历时短、来势猛的暴雨形式出现,为泥石流的形成提供了外动力条件。据资料分析(中国科学院兰州冰川冻土研究所,1982),全省 80% 的泥石流发生在 7~8 月内。显然,甘肃省的泥石流也基本是暴雨型泥石流。

根据统计资料(中国科学院兰州冰川冻土研究所,1982),受地形等因素影响,甘肃省境内形成泥石流所需的最小雨强由东南向西北逐渐增大。陇南地区为 15~20 mm/h,庆阳、平凉地区为 20~30 mm/h,天水、兰州地区为 25 mm/h,河西地区为 30~40 mm/h。

2.4 人为因素

随着人口的不断增长和经济建设的发展,近 50 年来,人类生产活动增强,主要表现在毁林开荒、陡坡耕种、不合理开矿、炸石、筑路、修建水利工程以及各种开发建设等,造成山体破坏失稳,崩塌、滑坡和泥石流地质灾害日趋频发,所造成的危害和直接经济损失也日益扩展和增强。当人类经济活动违反自然规律时,必然引起大自然的报复,有些泥石流地质灾害的发生,就是由于人类不合理的开发而造成的。较典型的是舟曲县境内过去一直森林茂密,山上全是郁郁葱葱的大树。

据统计,从 1952 年 8 月舟曲林业局成立到 1990 年,这里的森林资源遭受到掠夺性破坏,累计采伐森林 126 500 hm²,许多地方的森林成为残败的次生林。加上民用木材和乱砍滥伐、倒卖盗用,全县森林面积每年以 10×10⁴ m³ 的速度减少,植被破坏严重,生态环境遭到超限度破坏,水土流失极为严重,终于导致了 2010 年 8 月 8 日舟曲特大山洪泥石流地质灾害的发生(图 2、图 3)。

3 泥石流危害程度

泥石流常常具有暴发突然、来势凶猛、迅速之特点,并兼有崩塌、滑坡和洪水破坏的双重作用,其危害程度比单一的崩塌、滑坡和洪水的危害更为广泛和严重。泥石流造成的危害涉及城镇、工厂、矿山、铁路、公路、农业、水利、电力、通讯等社会和经济的各个方面。甘肃省东部受地形条件制约,人类居住多靠近泥石流堆积区和流通区,每年都有危害程度不同的泥石流地质灾害发生,其中危害程度严重和特别严重的泥石流地质灾害每 3~5 年就要发生一次,其危害程度严重的代表性泥石流地质灾害 2 次。



图 2 舟曲泥石流流通区冲毁的村庄

Fig. 2 Debris flow circulation zone washed out of the village in Zhouqu



图 3 舟曲泥石流沟口堆积物堵塞白龙江

Fig. 3 Debris flow deposits clogging the Bailong River in Zhouqu

1973 年 4 月 27 日,庄浪县文家沟泥石流地质灾害中,死亡 800 多人,毁房 4 000 多间,淹没农田约 666.67 hm²,水利设施遭受严重损失。2010 年 8 月 8 日,舟曲县城东北部山区突降特大暴雨,持续 40 多分钟,最大降雨量达 96.77 mm,暴雨引发三眼峪沟和罗家峪沟特大山洪泥石流地质灾害,包括舟曲县城关镇月圆村在内的宽约 500 m、长约 5 km 的区域被夷为平地,其中三眼村、月圆村、春场村基本被冲毁。造成这一区域居住群众 1 501 人死亡,264 人失踪,泥石流冲出沟口固体物质约 180×10⁴ m³,泥石流堆积物堵塞白龙江形成堰塞湖,2 km 内沟床堆积厚达 1.5~2m,直接经济损失几十亿元,其灾情之大、伤亡人数之多、损失之严重乃全国罕见,世界震惊(胡凯衡,2010)(表 2)。

表 2 甘肃省严重、特别严重泥石流地质灾害一览表

Tab. 2 The list of seriously & especially serious Debris flow geological hazard in Gansu Province

发生位置	发生时间	性质	损 失 情 况
兰州市东岗镇	1951 年 8 月 14 日	泥流	死亡 50 人,直接经济损失约 300 万元
宁县	1958 年 7 月 14 日	泥流	死亡 84 人、牲畜 90 头
兰州市西固南山	1964 年 7 月 20 日	稀性 泥石流	死亡 200 多人,埋没职工住宅楼 21 栋,毁坏铁路 3.6 km,中断交通 34 h,直接经济损失约 1 000 万元
兰州市盐场堡	1966 年 8 月 8 日	稀性 泥石流	死亡 134 人,冲毁学校和工厂,直接经济损失约 500 万元
庄浪县文家沟	1973 年 4 月 27 日	稀性 泥石流	死亡 800 多人、牲畜 2 600 多头,毁坏房屋 4 000 多间,淹没农田约 666.67 hm ² ,水利设施遭受严重破坏,直接经济损失约 2 000 万元
宕昌县化马	1976 年 7 月 25 日	黏性 泥石流	死亡 61 人,毁坏房屋 708 间,堵塞白龙江,冲毁公路 15 km,直接经济损失约 300 万元
两当县	1981 年 8 月 1 日	黏性 泥石流	死亡 65 人,毁坏房屋 1 488 间,冲毁公路 5 km,直接经济损失约 2 000 万元
文县城关	1982 年 8 月 6 日	黏性 泥石流	死亡 29 人,受伤 19 人,毁坏房屋 100 多间,直接经济损失约 260 万元
西和县石峡镇	1984 年 8 月 3 日	黏性 泥石流	死亡 60 人,毁坏房屋 1 036 间,直接经济损失约 300 万元
礼县城关	1984 年 7 月 24 日	黏性 泥石流	死亡 30 人,受伤 57 人,毁坏房屋几百间,直接经济损失约 531 万元
武都县甘家沟	1984 年 8 月 3 日	黏性 泥石流	中断公路 15 天,淹没农田约 66.67 hm ² ,直接经济损失约 1 000 万元
武山县	1985 年 8 月 12 日	稀性 泥流	死亡 91 人,冲断陇海铁路,直接经济损失约 500 万元
庆阳县 14 个乡镇	1988 年 7 月 25 日	泥流	死亡 54 人,冲毁公路 220 km,房屋 53 间,淹没农田约 2 000 hm ² ,直接经济损失约 3 000 万元
卓尼县城关	1988 年 6 月 7 日	黏性 泥石流	死亡 45 人,受伤 30 人,毁坏房屋几百间,直接经济损失约 1 052 万元
天水市罗王沟	1990 年 8 月 12 日	稀性 泥流	死亡 200 多人,冲毁房屋 300 多间,直接经济损失约 1 000 万元
舟曲县城关	2010 年 8 月 8 日	黏性 泥石流	死亡 1 501 人,264 人失踪。共 6 025 户,26 470 人受灾,月圆村、椿场村两个村庄被毁,损毁房屋 63 615 间,冲毁农田 94.47 hm ² ,淹没机关单位办公楼 21 栋,城区道路、供水、供电、通讯等基础设施严重受损中断。直接经济损失约几十亿元,灾情之重、伤亡人数之多,损失之大,全国罕见。
岷县	2012 年 5 月 10 日	稀性 泥石流	死亡 47 人,12 人失踪,132 人受伤入院治疗,35.8 万人受灾。因灾倒塌房屋 4 080 户 19 445 间,严重受损 8 097 户 40 489 间,毁坏耕地 7 106.67 hm ² ,农作物受灾面积 24 266.67 hm ² 。造成道路、供水、供电、通讯等基础设施严重受损中断,直接经济损失达几十亿元

4 结论

甘肃省泥石流地质灾害分布广泛,类型齐全,危害严重。降雨是泥石流地质灾害发生的直接触发因素,全省 80% 的泥石流地质灾害发生在 7~8 月内。显然,甘肃省的泥石流也基本是暴雨型泥石流。因此,希望各级政府和科技工作者高度重视泥石流地质灾害,通过科学规划人类活动,采取必要的工程措施、生物措施、管理措施因地制宜进行综合治理,从而制约泥石流地质灾害的发生,最大限度的减轻泥石流地质灾害造成的损失。各种措施要以经济上是否合理为前提,即减灾投入必须小于得以保护对象的效益,投入少,产出大,才是可取可行的(崔鹏, 2003)。

参考文献(References):

- 张茂省,黎志恒,孙萍萍,等. 舟曲三眼峪“8.8”特大泥石流灾害特征与风险减缓对策[J]. 西北地质, 2011, 44(3): 10-20.
- Zhang Maosheng, Li Zhiheng, Sun Pingping, et al. The Disaster Characteristics and Risk Mitigation Measures of “8.8” Debris Flow at Sanyanyu Gully Zhouqu [J]. Northwestern Geology, 2011, 44(3): 10-20.
- 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 甘肃泥石流[M]. 北京: 人民交通出版社, 1982.
- Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, debris flow in Gansu province [M]. The publishing house of peoples transportation, Beijing, 1982.
- 姚宝贵, 邓冠荣. 甘肃省东部泥石流分布图说明书[R]. 兰州: 甘肃省地质矿产局地质环境研究所, 1995.
- Yao Baogui, Deng Guanrong. Debris flow distribution specification in the east of Gansu province [R]. Institute of

Geological Environment, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou, 1995.

赵成, 施孝. 甘肃省地质灾害发育特征及防治对策[J]. 甘肃科学学报, 2003, 15(专辑): 23-29.

Zhao Cheng, SHI Xiao. The Development Characteristic and Prevention and Treatment of Geologic Hazard in Gansu Province [J]. Journal of Gansu Sciences, 2003, 15(Collected papers): 23-29.

赵成, 王根龙, 胡向德, 等. “8.8”舟曲暴雨泥石流的成灾模式[J]. 西北地质, 2011, 44(3): 63-70.

Zhao Cheng, Wang Genlong, Hu Xiangde, The Disaster Mode of Rainstorm Debris Flow Happened in Zhouqu County on August 8, 8 [J]. Northwestern Geology, 2011, 44(3): 63-70.

吴玮江, 王念秦. 甘肃滑坡灾害 [M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2006.

Wu Weijiang, Wang Nianqin. Landslide hazard in Gansu [M]. Lanzhou University Press Lanzhou, 2006.

白福, 陈秀清. 兰州市伏龙坪、华林坪地质灾害特征及形成机制分析[J]. 甘肃地质, 2009, 18(1): 66-70.

Bai Fu, Chen Xiuqing. Analysis of Characteristics and Formation Mechanism about Geological Hazards in Fulongping and Hualingping in Lanzhou [J]. Gansu Geology, 2009, 18(1): 66-70.

胡凯衡, 葛永刚, 崔鹏. 对甘肃舟曲特大泥石流灾害的初步认识[J]. 山地学报, 2010, 28(5): 628-634.

Hu Kaiheng, Ge Yonggang, Cui Peng. Preliminary Analysis of Extra-large-scale Debris Flow Disaster In Zhouqu County of Gansu province [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(5): 628-634.

崔鹏, 韦方强, 谢洪, 等. 中国西部泥石流及其减灾对策[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 142-151.

Cui Peng, Wei Fengqiang, Xie Hong, et al. Debris flow and Disaster reduction strategies in western china [J]. Quaternary Sciences. 2003, 23(2): 142-151.