

天水市“7. 25”群发性山洪地质灾害 发育特征及成因分析

于国强, 张茂省, 胡炜

(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: 通过对天水市“7. 25”群发性山洪地质灾害的现场调查, 系统查明了此次地质灾害的灾情、致灾因素、灾害特征、致灾范围以及分布规律, 分析了此次山洪地质灾害发育特征及成因。结果表明: 本次由强降雨引发并加剧的地质灾害类型主要以黄土-泥岩及黄土滑坡为主, 中小型沟谷泥石流、土质崩塌和土质不稳定斜坡次之。“7. 25”山洪地质灾害具有普遍性、群发性、局地爆发性等特征, 其隐蔽性强, 潜在危害大, 灾害链模式显著。灾害发生期间降雨具有强度大、范围广等特点, 使区内山体岩土体饱和, 显著降低了岩土体抗剪强度, 加之与地震的叠加效应明显加剧了此次群发性山洪地质灾害。

关键词: 天水市; 地质灾害; 发育特征; 叠加效应

中图分类号: P694 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-6248(2014)03-0185-07

Analysis on the Development Characteristics and Hydrodynamic Conditions for the Massive Debris Flow in Tianshui

YU Guo-qiang, ZHANG Mao-sheng, HU Wei

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

Abstract: Through a field investigation, the disastrous situation, causal factors, disaster characteristics, scope and distribution of massive mountain torrent geo-hazard on July 25 in Tianshui were systematically identified, and the development characteristics and causes were analyzed. The results show that the main types of geo-hazard caused and exacerbated by the heavy rainfall are mud stone landslides and loess landslides, followed by small debris flow, soil collapse and soil slope instability. The geological hazards had the characteristics as follows: universality, obviously group-occurring, local outbreak, deeply concealed, potentially hazardous and of significant disaster chain mode. The rainfall during the geological hazard had such characteristics as highly intensive and wide in range, which leads to the saturation of rock and soil of the mountain, and reduces the shear strength of rock and soil significantly. The massive mountain torrent geological hazard is exacerbated with the superposition effect of the earthquake and rain.

Key words: Tianshui city; geological hazard; development characteristics; superposition effect

收稿日期: 2014-01-02; 修回日期: 2014-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41302224), 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2014KJXX-20, 2012JQ5001), 国家地质找矿专项“西北地区典型重大突发地质灾害调查”(12120114025901)

作者简介: 于国强(1979-), 男, 博士后, 从事地质灾害等方面的研究。E-mail: yuguogqiang23@163.com

近年来,地质灾害频发、群发、突发现象非常凸显,国内外关于对地质灾害问题的研究越来越受到重视,特别是对滑坡、泥石流等重大突发地质灾害的研究成为人们研究焦点。在地质灾害监测预警、风险区划、防治措施和应急救援方面进展明显(周必凡等,1991;刘希林等,2003)。但对于地质灾害的发育特征以及成因研究较匮乏,笔者结合天水市“7.25”群发性山洪地质灾害特征,进一步研究该地区地质灾害的发育特征及成因。

天水市“7.25”群发性山洪地质灾害是2013年较为典型的重大突发地质灾害,其造成严重的人员伤亡和巨大的经济财产损失。本研究在现场调查的基础上,全面了解此次地质灾害的灾情、致灾因素、灾害特征、致灾范围、分布规律以及灾害损失情况,并对此次山洪地质灾害发育特征及成因进行分析,提出防治建议,以期为此类重大突发性地质灾害的防治提供一定的参考。

1 灾情概况

2013年7月25日,甘肃省天水市秦州区、麦积区、武山县、甘谷县、秦安县、清水县、张家川回族自治县7县(区)出现大范围强降雨天气,造成区内爆发大面积、群发性地质灾害,给全市人民生命财产造成巨大损失。截至8月1日,因灾害死亡人数为24人,失踪1人,倒塌房屋2386间,受损房屋6666间。全市共有地质灾害隐患点708处(表1),其中496为新增地质灾害隐患点,其由降雨引发,其余212处属已有地质灾害隐患。因降雨和岷县漳县6.6级地震加剧了其破坏变形。708处地质灾害隐患中,直接威胁村庄及居民地点的有645处,其中,威胁居民18091户,涉及人数142454人,涉及财产360271.3万元;威胁道路及其他设施63处。

表1 天水市各县(区)地质灾害隐患点一览表
Tab. 1 Thelist of geological hazard point in Tianshui city

序号	乡(镇)	崩塌 (处)	滑坡 (处)	不稳定斜坡 (处)	泥石流 (处)	地裂缝 (处)	地面塌陷 (处)	小计(处)
1	麦积区	23	124	23	43		1	214
2	张家川县	30	68	43	6			147
3	清水县	20	67	8	8			103
4	秦州区	11	78	3	29			121
5	秦安县	8	13	1	1	2	1	26
6	武山县	4	41	4	8	1		58
7	甘谷县	6	24	4	5			39
8	合计	102	415	86	100	3	2	708

2 山洪地质灾害发育特征及成因分析

2.1 山洪地质灾害类型

本次由强降雨引发并加剧的地质灾害类型主要有滑坡、崩塌、不稳定斜坡、泥石流、地面塌陷及地裂缝灾害。本次灾区内地质灾害隐患共计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(图1)。

(1)滑坡。灾区内滑坡以黄土-泥岩及黄土滑坡为主,堆积层滑坡次之,附带少量基岩滑坡。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滑坡,包括黄土-泥

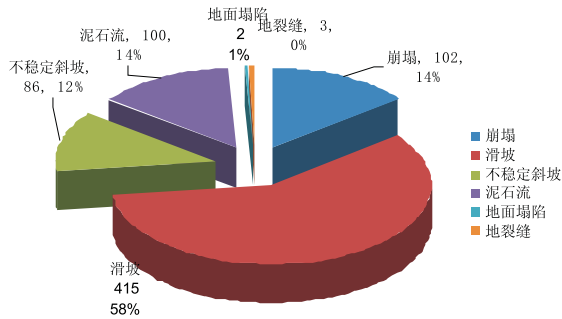


图1 天水市地质灾害类型及数量
Fig. 1 The type and number of geology hazards in Tianshui city

岩顺层滑坡和黄土-泥岩切层滑坡。顺层滑坡是主体沿泥岩层面滑动的滑坡,发育在上覆黄土,及下伏泥岩倾向与坡向一致的斜坡地段;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,各滑坡要素较清晰。

黄土滑坡主要分布黄土覆盖区,发育在沟谷两侧的陡坡地带。包括黄土无层滑坡和黄土接触面滑坡两种类型。黄土无层滑坡主要分布于黄土层较厚的黄土丘陵前缘较陡地带,滑面多沿黄土中的垂直节理、裂隙发育,滑动面倾角较陡,一般在 40° 以上,受控于黄土中的垂直节理及构造裂隙。黄土层内滑坡发育在较厚黄土层组成的陡坡部位,平面形态较规则。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,其滑移机制多为滑移拉裂或塑流性裂型。

研究区内还发育堆积层滑坡,滑体由堆积于斜坡上的各种松散堆积物组成。滑坡体物质主要由残坡积物砂碎石、碎石土等组成,结构松散,遇水易软化滑动。该类滑坡主要分布于河流岸坡较陡、汇水条件较好的凹形且易汇水地段。滑体遇暴雨或连阴雨时饱水,突然发生,基本无前兆。滑体厚度多为浅层,规模多以小型为主。同时灾区内还发育少量基岩滑坡,该滑体由较坚硬、坚硬层状或块状岩组成,基岩表面受流水侵蚀作用强烈,多发育小型冲沟,切割深度达数 10 m,其灾害形式以崩塌为主。基岩滑坡的形成多与岩层的软弱结构面相关,如软弱夹层、断裂、节理及卸荷裂隙等,变形破坏方式为滑移拉裂型或崩塌形(图 2、图 3)。

(2) 泥石流。灾区泥流主要发育在区内黄土地区,为以细粒泥砂为主要固体成分的泥石流类型(A. E Scheidegger 等,1987)。灾区主要发育于耒河及西汉水流域中下游、渭河北岸等地区。其物质来源主要是沟谷中的滑坡、崩塌堆积物及坡积物,河谷型泥石流则是由各支沟冲积物汇合而成。泥石流搬运能力较大,堆积物分选不明显,巨型漂砾多见,往往携带巨型漂石,在沟口多形成规模巨大的堆积扇。区内泥流一般以中-小型沟谷型为主,偶有山坡型。按流体性质,本区泥流多为黏性,稀性少见。水



图 2 榆树坡滑坡

Fig. 2 The yushupo landslide



图 3 漆湾滑坡

Fig. 3 The qiwan landslide

石流主要发育在西汉水支流基岩山区及灾区内南部山区植被条件较好的地段,以沟谷型为主,为稀性,水石流堆积物分选较好,搬运能力较差,固体物质来源主要为风化堆积物、坡积物。此次灾区内由于岷县、漳县 6.6 级地震造成部分泥石流流域内山体松动,并引发或加剧崩塌、滑坡。因固体松散物质的大量增加,遇到强降雨天气,会加剧泥石流灾害的发生(图 4)。

(3) 崩塌。主要为土质崩塌,岩质崩塌次之。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类居住地,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秦岭山地,多见小型,破坏方式一般为拉裂式。多见于新近系、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。

(4) 不稳定斜坡。多为土质不稳定斜坡(坡体多



图 4 甘谷小砂沟泥石流

Fig. 4 The xiaoshagou debris flow in gangu

由黄土构成,部分为碎石土),分布在灾区内高斜坡地带,主要特点是坡体中上部发育裂缝,有变形迹象。

(5)地裂缝。该灾害总是在暴雨时发生,形成机制与黄土的垂直节理发育和其土体湿陷性有关,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。

(6)地面塌陷。灾区发育的均为黄土地面塌陷,湿性黄土在干燥状态下可以承受一定荷重而变形不大。当浸水后,土粒间水膜增厚,水溶盐被溶解,土粒联结力显著减弱,引起土体结构破坏并产生湿陷。

2.2 山洪地质灾害发育特征

受地质环境条件及本次暴雨灾害的影响和制约,灾区滑坡等斜坡灾害在软弱地层中集中分布,主要分布于第四系黄土、第四系坡残积层及古、新近系泥岩地区,其他地层中滑坡的数量较少。滑坡大多沿构造线集中分布,滑坡的滑向与构造线走向平行。另外,崩塌、滑坡及不稳定斜坡沿村庄、交通沿线集中分布。灾区因山体陡峻,沟壑纵横,相对高差大,给崩塌、滑坡等地质灾害的形成创造了有利的地形条件。经分析,此次灾害区地质灾害呈现以下 5 种特征。

(1)普遍性、群发性明显。灾害区内泥石流、滑坡、崩塌灾害普遍发育,几乎每个乡镇均有地质灾害分布。由于受强降雨影响,滑坡、泥石流、崩塌等地质灾害随处可见,连片分布,范围广泛,在山体斜坡上形成类似“猫抓脸”式的坡面碎屑流,群发性特征十分明显。

(2)局地爆发性特征。此次群发性地质灾害发育呈流域单元集中分布特征,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,地质灾害发育密度相对较高(高克昌等,2007;

黄润秋等,2007)。

(3)隐蔽性强。天水灾区地处黄河流域与长江流域的过渡地带,植被覆盖率高,地质灾害的隐蔽性非常强。根据现有的专业认识和监测程度很难判断地质灾害的具体发生部位,具有隐蔽性强特征。

(4)潜在危害大。通过对灾前灾后航摄影像对比,局地爆发区域内山体滑坡的面积约占山体坡面面积的 10%。经现场调查发现,这些山坡上未发生滑动部分也处于饱水状态,稳定性很差,若再发生降雨,加剧地质灾害发生的可能性非常大,对居民灾后回迁和恢复重建造成巨大的潜在危害。

(5)灾害链模式显著。灾害突破了传统的单体地质灾害的模式,代之以广泛分布的高密度坡面流、碎屑流和沟谷型泥石流叠加的灾害链模式,并造成多处堵江,形成堰塞湖,威胁灾后回迁和重建工作(张茂省等,2008)。

2.3 山洪地质灾害成因分析

(1)降水因素。降水是引发和加剧此次地质灾害的主要因素。6 月 19 日至 8 月 1 日,天水地区持续不断连续降水。尤其是 6 月 19 日至 6 月 21 日、7 月 7 日至 7 月 8 日、7 月 21 日至 7 月 22 日、7 月 24 日至 7 月 26 日,天水市各县区连续经历 4 次强降雨,降雨量为 199.1~369 mm(表 2、图 5、图 6)。区域内的连续降水具有强度大、范围广等特点,使得区内山体岩土体饱和,岩土体抗剪强度显著降低,进一步诱发或加剧了崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害的发生。灾区的 708 处地质灾害隐患点几乎都由此次强降雨引发或加剧而产生。

(2)地震灾害叠加。天水市地处六盘山南北地震带中段银川—天水—武都带和秦岭北缘东西地震

表 2 天水市各县(区)汛期降雨量(mm)

Tab. 2 The precipitation during flood season in Tianshui city(mm)

日期及时间	秦州区	麦积区	武山县	甘谷县	秦安县	清水县	张家川县
6 月 19 日 8 时至 6 月 21 日 8 时	57.9	160.3	12.2	46.8	91.4	124.0	125.7
7 月 7 日 20 时至 7 月 8 日 20 时	73.8	83.5	26.7	32.0	55.2	67.0	70.5
7 月 21 日 14 时至 7 月 22 日 8 时	94.9	93.7	20.2	108.5	24.3	97.3	54.1
7 月 24 日 14 时至 7 月 26 日 8 时	43.9	31.5	34.3	27.8	28.2	44.6	36.2

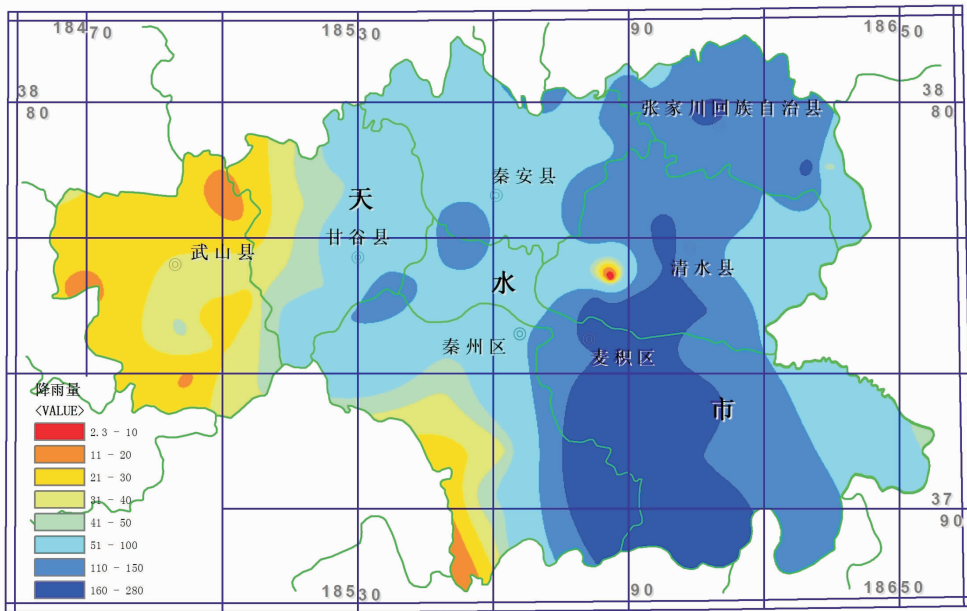


图 5 天水市 6 月 19 日至 6 月 21 日降雨量分布图

Fig. 5 The rainfall distribution from 6.19 to 6.21 in Tianshui city

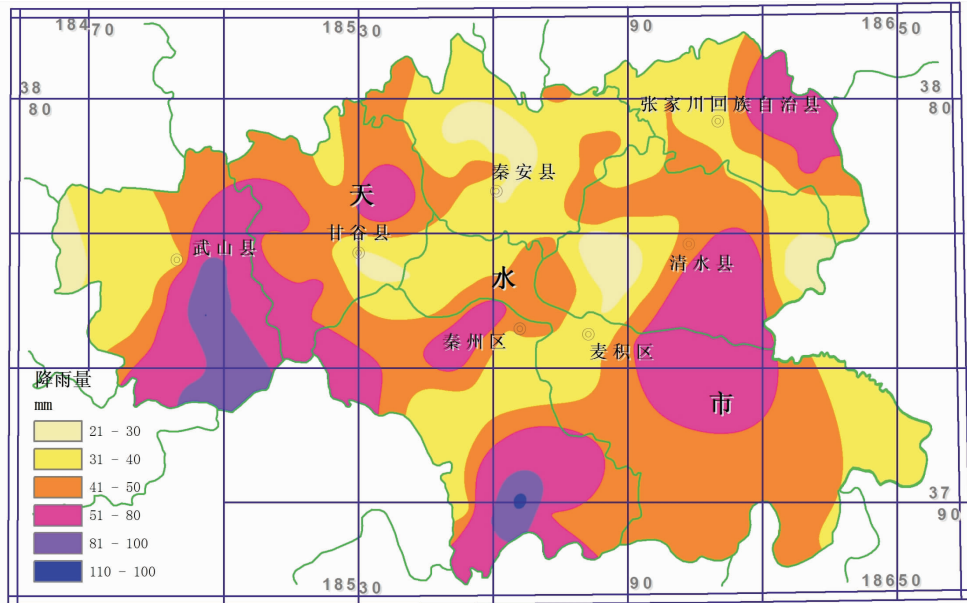


图 6 天水市 7 月 24 日至 7 月 26 日降雨量分布图

Fig. 6 The rainfall distribution from 7.24 to 7.26 in Tianshui city

带中部天水—兰州带的交汇复合部位,地震背景条件复杂,活动频繁。据有关资料记载,自公元前 186 年以来,该地震带记录到 5 级以上地震 24 次,其中 6~6.9 级地震 20 次,7~7.9 级地震 7 次,大于或等于 8 级的地震 11 次,地震活动的强度大、频率高,具明显成群分布的特点,具有活跃—平静相互交替的活动态势(唐川,2010;唐川等,2009;崔鹏,2010)。2008 年 5 月 12 日汶川 8 级地震波及天水,天水震感强烈,民房受损严重,并伴随有地质灾害活动;2013 年 7 月 22 日岷县 6.6 级地震,波及天水,渗透岩土体遭受扰动,加剧了天水市群发性山洪泥石流灾害发生,灾害的叠加效应明显加剧了天水市群发性山洪地质灾害的发生(图 7)。

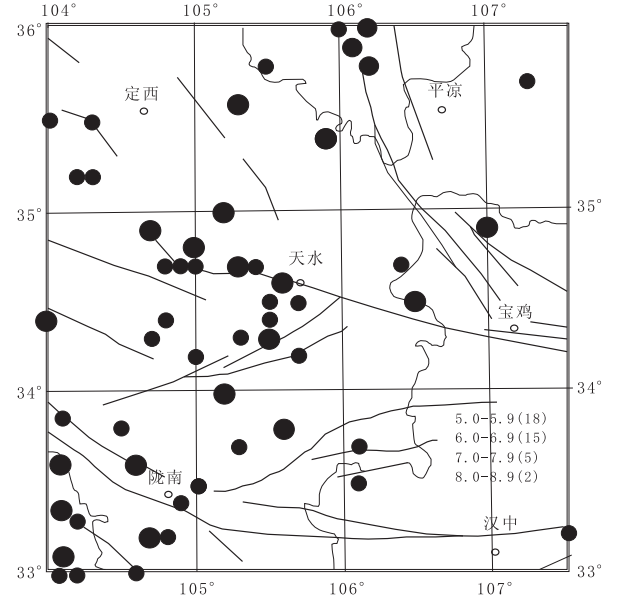


图 7 天水市及外围 $M_s \geq 5.0$ 级震中分布图
Fig. 7 The epicenter distribution of $M_s \geq 5.0$ in Tianshui city and periphery

3 结论

通过对甘肃省天水市“7.25”群发性山洪地质灾害的现场调查,全面了解了此次地质灾害的灾情、致灾因素、灾害特征、致灾范围、分布规律以及灾害损失情况,并对此次山洪地质灾害发育特征及成因进行了分析,得出以下结论并提出防治建议。

(1)本次由强降雨引发并加剧的地质灾害类型包括滑坡、崩塌、不稳定斜坡、泥石流、地面塌陷及地

裂缝灾害。主要以滑坡以黄土-泥岩及黄土滑坡为主,中小型沟谷泥石流、土质崩塌和土质不稳定斜坡居中,地裂缝、地面塌陷分布较少。

(2)由于地质环境条件及本次暴雨灾害的影响和制约,其对崩塌、滑坡等地质灾害的形成创造了有利的地形条件,“7.25”山洪地质灾害具有普遍性、群发性、局地爆发性特征,其隐蔽性强,潜在危害大,灾害链模式显著。

(3)“7.25”山洪地质灾害发生前期,天水市各县区连续经历 4 次连续强降雨,其具有强度大、范围广等特点,使区内山体岩土体饱和,显著降低了岩土体抗剪强度,加之“7.22”岷县 6.6 级地震,波及天水,渗透岩土体遭受扰动,其降雨与地震的叠加效应明显加剧了此次群发性山洪地质灾害。

4 建议

鉴于灾区受灾面积大,地质灾害隐患点多、面广,威胁严重,灾后恢复重建难度大,综合考虑此次群发性山洪地质灾害特点和灾区经济社会发展水平、地质环境条件等因素,提出以下防治建议。

(1)加强地质灾害气象预警预报。灾区处于主汛期时,地质灾害监测预警是预防的重要措施,建议整合气象、水利、国土等部门监测预警系统,建立统一的天水市山洪地质灾害气象预警综合平台,加快监测预警设施建设。

(2)完善和加强群测群防体系建设。依靠群专结合的监测预警体系,充分发挥地质灾害群测群防的作用,形成群专结合的地质灾害预防体系;提升社会公众对防灾减灾的参与程度,增强全民自救互救能力,健全群专结合的地质灾害群测群防网络体系,实行分级管理,推进防灾减灾社会化。

(3)加强汛期职守,及时掌握监测数据的变化情况和各方面反馈的信息,加强雨量和地质灾害活动的监测,结合地质灾害气象预报,进行综合判断后,适时发布预警信息。

参考文献(References)

A. E. Scheidegger, 艾南山. 武都地区的滑坡和泥石流 [J]. 水土保持学报, 1987, 1(2): 19-27.
A. E. Scheidegger, Ai Nanshan. Clay slides and debris flow

- in the Wudu region [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1987, 1(2): 19-27.
- 崔鹏, 庄建琦, 陈兴长, 等. 汶川地震区震后泥石流活动特征与防治对策 [J]. 四川大学学报(工程科学版), 2010, 42(5): 10-19.
- Cui Peng, Zhuang Jianqi, Chen Xingchang, et al. Characteristics and Countermeasures of Debris Flow in Wenchuan Area After the Earthquake [J]. Journal of Sichuan University(Engineering Science Edition), 2010, 42(5): 10-19.
- 高克昌, 韦方强, 崔鹏. 降水空间特征与泥石流沟分布的关系 [J]. 北京林业大学学报, 2007, 29(1): 85-89.
- Gao Kechang, Wei Fangqiang, Cui Peng. Relationship between the spatial characteristics of precipitation and distribution of debris flow ravines [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007, 29(1): 85-89.
- 黄润秋, 许向宁, 唐川. 地质环境评价与地质灾害管理 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- Huang Runqiu, Xu Xianlin, Tang Chuan. Assessment of geo-environment and management of geo-hazards [M]. Science Press, Beijing, 2007.
- 刘希林, 莫多闻. 泥石流风险评价 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- Liu Xiling, Mo Duowen. Debris flow risk assessment [M]. Sichuan Science and Technology Press, Chengdu, 2003.
- 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测 [J]. 山地学报, 2010, 28(3): 341-349.
- Tang Chuan. Activity tendency prediction of rainfall induced land-slides and debris flows in the Wenchuan Earthquake areas [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(3): 341-349.
- 唐川, 许强. 强震区城市地质灾害风险管理的研究内容与方法探讨 [J]. 工程地质学报, 2009, 17(1): 56-61.
- Tang Chuan, Xu Qiang. Approach on geohazards risk management for urban in strong seismic zone [J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 56-61.
- 向喜琼, 黄润秋. 地质灾害风险评价与风险管理 [J]. 地质灾害与环境保护, 2000, 11(1): 38-41.
- Xiang Xiqiong, Huang Runqiu. Risk assessment and risk management for slope geohazards [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Protection, 2000, 11(1): 38-41.
- 张茂省, 唐亚明. 地质灾害风险调查的方法与实践 [J]. 地质通报, 2008, 27(8): 1205-1216.
- Zhang Maosheng, Tang Yaming. Risk investigation method and practice of geohazards [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27(8): 1205-1216.
- 周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南 [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 125-129.
- Zhou Bifan, Li Deji, Luo Defu, et al. Guide to Prevention of Debris Flow [M]. Science Press, Beijing, 1991: 125-129.