

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2017.01.05

汶川震区清平乡绵远河流域泥石流发育特征分析

周纵横¹,任光明¹,许英杰¹,王 猛²,余天彬²,马晓波²

(1. 地质灾害防治与地质环境研究保护国家重点实验室(成都理工大学),四川 成都 610059;

2. 四川省地质调查院,四川 成都 610081)

摘要:汶川地震以后,绵远河流域泥石流灾害频发,研究该流域泥石流发育特征,对认识极震区泥石流活动特点和泥石流发展趋势具有重要意义。本次研究采用现场调查结合遥感解译的方法,分析了绵远河流域降雨时间和空间的分布特点以及该流域泥石流形态、沟床纵坡降以及沟道两侧岸坡特点;调查统计了该流域泥石流物源量、物源密度及其分布特点。研究表明:绵远河流域降雨主要集中在6~9月份,在一定高程范围内,降雨量随着高程的增加而增加;流域内山高坡陡,沟床纵坡降较大,有利于泥石流发育;同时流域内松散物源极为丰富且大部分分布在距沟口高程350 m以上区域,较大的势能大大增加了泥石流的破坏性。

关键词:汶川震区;绵远河流域;泥石流;发育特征

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

文章编号:1003-8035(2017)01-0030-06

Characteristics of the debris flow in Qingping country of Mianyuan river basin, epicenter Wenchuan earthquake

ZHOU Zongheng¹, REN Guangming¹, XU Yingjie¹, WANG Meng², YU Tianbin², MA Xiaobo²

(1. State Key Laboratory of Geo-Hazard Prevention and Geo-Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Sichuan Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: After Wenchuan earthquake, Mianyuan river basin occurred massive debris flow frequently. It is meaningful to cognize activity characteristics and development trend in Wenchuan earthquake. Field investigation and interpretations of aerial photographs were used to the research, analysis the characteristics of the rainfall in the time and space, research the characteristics of the sharp and gully ratio. Investigate material source, material source density and its distribution characteristics. This study demonstrates that the rainfall in Mianyuan River basin mainly is concentrated in 6 ~ 9 months and increases with elevation. Mianyuan river basin have high mountains and steep slopes, it is useful for development of debris flow. At the same time, there are a large number of loose material sources and it distribute 350 m above the mouth of gully.

Keywords: Wenchuan earthquake; Mianyuan river basin; debris flows; development characteristics

0 引言

国内外对震后泥石流研究始于20世纪70年代,研究方向大多集中于震区泥石流降雨条件和泥石流发育特征。关于降雨条件方面的研究,我国学者陈景武^[1]通过蒋家沟实测水利资料,提出了暴雨泥石流启

动的临界判别式。吴积善等人^[2]在云南蒋家沟泥石流观测研究中,提出了以10 min降雨量和前期有效降雨量为指标的泥石流判别式。汶川地震以后,唐川^[3]通过对北川“9·24”泥石流研究分析,认为汶川地震使北川泥石流暴发的前期降雨量降低了约14.8%~22.1%,小时雨强降低了约25.4%~31.6%。

收稿日期:2016-05-30;修订日期:2016-07-01

基金项目:中国地质调查局地质矿产调查评价项目——汶川地震地质灾害调查评价之工作项目(1212011220149)

第一作者:周纵横(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向为地质灾害防治与评估研究。E-mail:451902818@qq.com

针对震后泥石流发育特征,DanieleGiordan 等^[4]利用 6 期不同影像揭示了大型坡面泥石流的变化规律。Chih-Ming Tseng 等^[5]采用多时相的、高精度雷达数据,对流域内滑坡物源量变化进行了计算,以此预测泥石流变化规律。唐川^[6]利用 GIS 和 RS 技术分析北川一带暴雨导致滑坡在数量上比地震直接诱发滑坡增加了 68%。梁京涛^[7]利用遥感技术分析走马岭流域,发现滑坡、崩塌灾害新增面积为 $5.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。乔建平^[8]总结了汶川地震灾区泥石流物源主要类型,并初步提出计算单体动储量的图解法。余天彬^[9]根据现场调查结合遥感解译,分析了龙门山镇地区高架子沟泥石流演化过程、启动方式及灾害机理。高波^[10]通过对高家沟泥石流活动特征研究,分析了“堵溃”型泥石流的形成过程、启动机理及运动特征。郝红兵^[11]通过调查总结“5·12”地震以来一些重大泥石流发育特点,将物源集中启动归纳为归流拉槽、深切揭底和堵塞溃决三种模式。杨东旭等^[12]通过对小岗剑泥石流沟调查分析,研究了小岗剑泥石流的物源特征和形成机制。倪化勇等^[13]通过野外调查,分析了清平“8·13”群发泥石流的成因、特征和发展趋势。

目前,震区泥石流发育特征研究多集中于针对单沟泥石流的研究,而单沟泥石流往往存在一定的偶然性,不能以此代表震区泥石流发育特点。因此,选取震区某一流域内所有泥石流发育特征进行综合研究,能更好的对震区泥石流特征进行归纳总结,减小偶然误差。本次研究通过分析绵远河流域内 33 条泥石流沟的降雨分布特征、地形发育特征、物源分布特征,进一步认识该流域内泥石流发育特点,以期为震区泥石流研究以及灾后重建提供有益的参考价值。

1 流域概况

绵远河流域位于四川省绵竹市,地理位置 $31^{\circ}26'42'' \sim 31^{\circ}42'03''\text{N}$, $103^{\circ}54'46'' \sim 104^{\circ}11'14''\text{E}$,隶属沱江水系。据统计,绵远河多年平均径流量为 $15.7 \text{ m}^3/\text{s}$,年径流深度约为 $1\,200 \text{ mm}$ 。研究区属亚热带湿润气候区,夏季暴雨较多,年平均气温 $14.4 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年降雨量 $1\,500 \sim 1\,700 \text{ mm}$ ^[14-15]。地貌上为强烈侵蚀的高山峡谷地貌,海拔整体上西北高南东低,西南方茶坪山高程大于 $2\,000 \text{ m}$ 。流域内出露的主要岩性有粉砂岩、灰岩、白云岩、白云质泥岩,第四纪主要分布在山地斜坡及河谷地带。另外,映秀—北川断裂通过该区,其地质构造作用强烈,地震烈度达 X 度。研究区内岩层以陡倾直立为主,裂隙发育,岩体破碎,崩塌、滑坡极为发育,这些不良地质现象为泥石流的发生提供了丰富物源条件。

研究区泥石流沿着绵远河呈带状分布,本次研究选取流域内不同类型泥石流共 33 处,其中包括文家沟、走马岭、小岗剑等引起国内外高度重视的泥石流沟(图 1)。33 条泥石流沟详细特征参数见表 1。

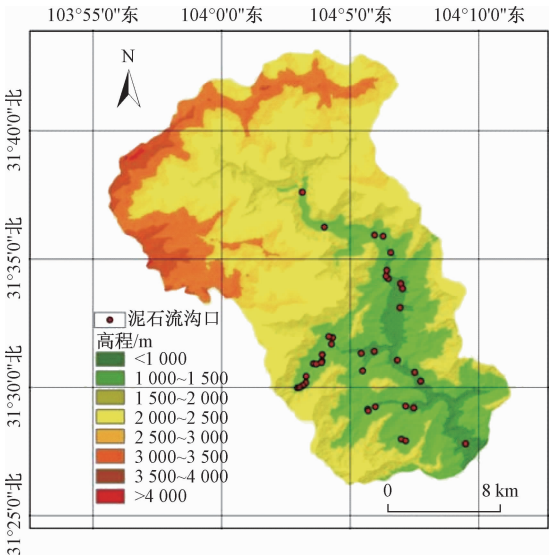


图 1 研究区地形地貌图

Fig.1 Map of topography and landform

表 1 泥石流灾害详细特征参数表

Table 1 Detailed characteristic parameters of debris flow disaster

编号	沟名	流域面积/ km ²	流域形态 特征参数	沟床纵比 降/‰	物源密度/ ($\times 10^4 \text{ m}^3 /$ km ²)	距沟口 350 m 高程以上物 源量/ $\times 10^4 \text{ m}^3$
MZ01	夹皮沟	11.13	0.38	350	36.04	358
MZ02		0.58	0.2	720	229.86	67
MZ03		5.43	0.45	559	98.98	532
MZ04	燕儿岩沟	0.89	0.25	662	115.16	67
MZ05		0.51	0.36	992	214.49	98
MZ06		5.16	0.46	482	171.41	741
MZ07	走马岭	0.84	0.43	829	534.86	387
MZ010		3.47	0.37	431	251.18	653
MZ014		5.1	0.33	407	185.62	716
MZ015	文家沟	7.12	0.52	361	71.33	288
MZ016		1.33	0.37	643	109.43	97
MZ017		2.05	0.35	506	41.24	83
MZ018	漆树沟	1.88	0.37	679	267.44	480
MZ019		7.72	0.33	316	1 068.58	6 610
MZ020		2.48	0.39	615	538.65	1 110
MZ025	小岗剑	1.38	0.23	630	169.33	228
MZ026		1.3	0.38	680	506.86	608
MZ027		2.1	0.33	544	67.51	118
MZ030	头道金沟	5.2	0.32	393	140.21	404
MZ031		2.14	0.38	696	133.24	269
MZ034		18.13	0.51	300	81.01	942
MZ039		1.25	0.48	808	62.96	62
MZ041		1.4	0.35	635	301.02	235
MZ043		15.88	0.22	555	66.33	1025

续表

编号	沟名	流域面积/ km ²	流域形态 特征参数	沟床纵比 降/‰	物源密度/ (×10 ⁴ m ³ / km ²)	距沟口 350 m 高程以上物 源量/×10 ⁴ m ³
MZ047		8.9	0.33	696	211.41	1 780
MZ048		1.09	0.35	668	93.39	88
MZ049		0.87	0.22	723	448.65	308
MZ051		1.10	0.67	665	113.10	74
MZ053		11.34	0.3	523	32.17	295
MZ055	花石沟	10.1	0.4	786	46.35	192
MZ057		1.72	0.29	915	72.24	70
MZ060		3.96	0.36	409	37.71	146
MZ040	长河坝沟	16.28	0.31	587	247.12	3 859

2 泥石流降雨分布特征

2.1 降雨时间分布特征

据统计,清平乡年降雨量为 1 500 ~ 1 700 mm,其中汛期(6~7月)降雨量占年降雨量 60%~70%。根据绵竹市农业气象服务中心提供及应急勘查期间安装的自动雨量检测仪的资料显示,2008 年 9 月 24 日~2010 年 9 月 18 日,该流域内共发生 6 次规模较大的泥石流活动,发生时间集中在 7~9 月,一次降雨量多在 50 mm 以上,10 min 降雨量为 10 mm 时便引发了泥石流灾害。2012—2013 年月降雨量情况见图 2。

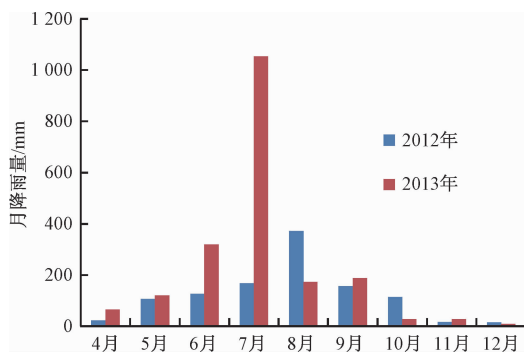


图2 2012 年与 2013 年流域月降雨量柱状图

Fig.2 Map of monthly rainfall in 2012 and 2013

从图2可以看出,降雨量主要集中在6~9月份,2012年6~9月降雨量占全年雨量74.7%,2013年6~9月降雨量占全年降雨量87.3%。2012年与2013年年降雨量差异较大,同时2013年降雨明显多于2012年。

2.2 降雨空间分布特征

绵远河流域泥石流沟流域面积较大,山高谷深,海拔悬殊,降雨空间分布极不均匀,由于目前大部分泥石流沟无雨量站点,本次研究主要选取走马岭不同高程的雨量站点共6处,文家沟不同高程雨量站点7处,用

以分析该流域降雨空间分布特征。根据位于不同高程的雨量站点绘制降雨量与高程关系图(图3、图4)。

由图3、图4可知,走马岭降雨量在高程1 000~1 550 m处,降雨量随高程增加而增加,而1 550 m高程以上部分,降雨量分布无明显规律;文家沟在高程1 100~1 380 m处,降雨量随高程增加而增加,1 380 m高程以上部分,降雨分布无明显规律。分析原因可知,当高程越高时,受大气环流、水汽含量、气温、太阳辐射等影响更加强烈,因此不能由一种简单模型描述。同时需要指出,由于降雨量数据较少,降雨空间分布特征有待进一步进行验证,此处只提供一种研究思路。

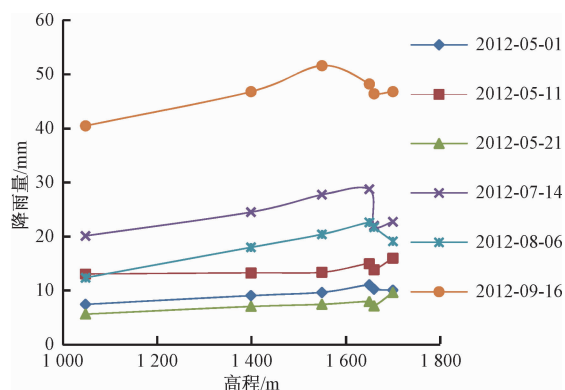


图3 走马岭泥石流沟降雨量与高程关系图

Fig.3 Relation between rainfall and elevation of Zoumaling gully

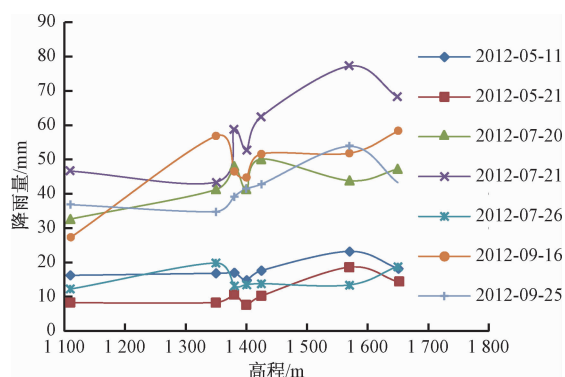


图4 文家沟泥石流沟降雨量与高程关系图

Fig.4 Relation between rainfall and elevation of Wenjia gully

3 地形发育特征

3.1 流域形态特征

流域形态对泥石流汇流条件和水动力条件有直接影响,本次研究采用流域形状比进行表示:

$$St = S/L^2$$

式中: S ——流域面积;

L ——沟沟长。

通过对研究区内 33 条泥石流沟进行信息提取,结果如图 6、图 7 所示。研究区内 33 条泥石流沟 St 介于 0.2 ~ 0.6 (图 5), 主要集中在 0.3 ~ 0.4 之间, 占泥石流总数的 57.6% (图 6)。该区间内流域形态有利于泥石流沟汇水, 易达到启动所需条件。

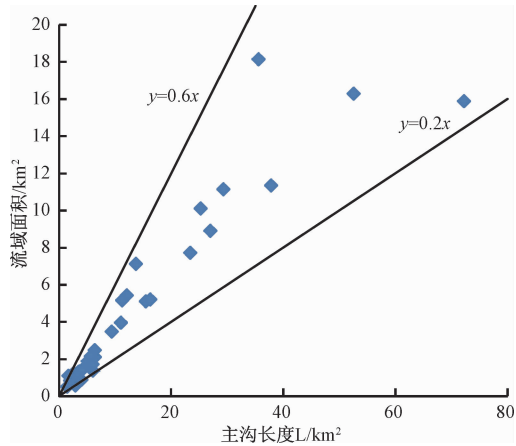


图 5 流域形状比统计结果
Fig. 5 Statistic of watershed shape ratio

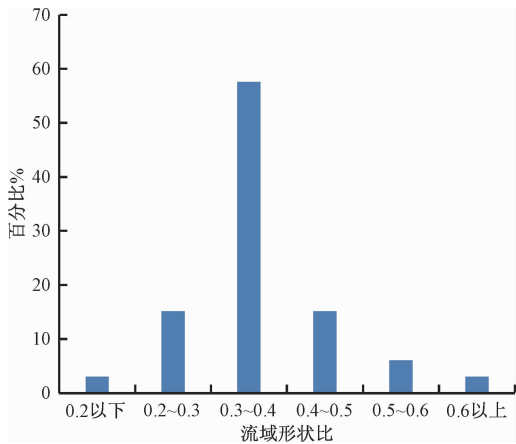


图 6 流域形状比参数特征
Fig. 6 Characters of watershed shape ratio

3.2 沟床纵坡降特征

沟床平均纵坡降是控制泥石流形成和运动的重要因素,本次研究对 33 条泥石流沟沟床纵坡降进行了统计,结果显示研究区内平均纵坡降介于 200‰ ~ 900‰ 之间 (图 7), 其中纵坡降在 600‰ ~ 700‰ 所占比例最大, 达 33.3%, 其次为 500‰ ~ 600‰ 区间, 为 18.2% (图 8)。由此可见,流域内泥石流纵坡降整体较大,为易发性泥石流沟床坡降。通过分析流域面积与沟床纵坡降关系发现流域面积与沟床纵坡降有一定的相关性,整体呈流域面积越大,沟床纵坡降越小。

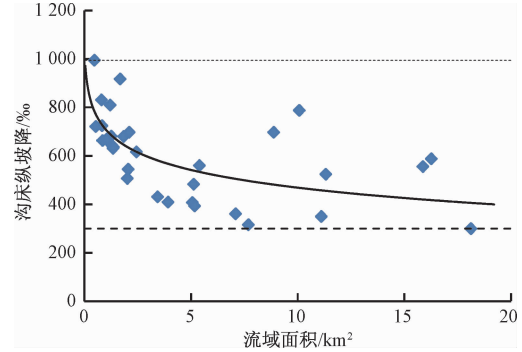


图 7 流域面积与沟床纵坡降关系图
Fig. 7 Relation between area and gully ratio

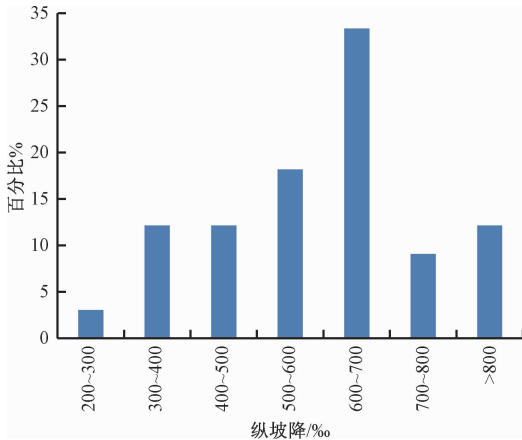


图 8 沟床纵坡降特征
Fig. 8 Characters of gully ratio

3.3 沟道两侧岸坡特征

通过对研究区内泥石流进行信息提取分析,研究区山体坡度集中于 15° ~ 60°, 占整个流域面积 94.1%, 其中坡度在 35° ~ 40° 之间所占比例最大, 为 35.3% (图 9)。研究资料表明,山体坡度介于 25° ~ 70° 之间易发生崩塌、滑坡灾害,为泥石流补给松散物源。由此可见,该流域内山体有利于泥石流灾害的形成。

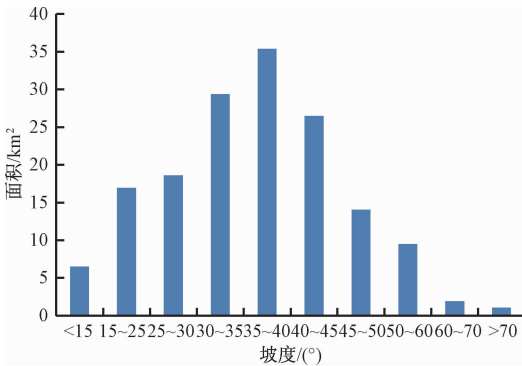


图 9 岸坡坡度统计结果图
Fig. 9 Statistics of slope gradient

4 物源发育特征

根据野外调查及遥感解译,统计分析了该流域内泥石流松散物源量与松散物源密度。研究表明该流域内松散物源极为丰富,除部分流域面积较小沟谷以外,大部分均在 $1.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 以上,部分沟谷达千万方,如文家沟物源总量达 $8.254 \times 10^7 \text{ m}^3$,为整个地震灾区物源量最大沟谷。

另外,从物源密度来看,该流域内泥石流物源密度也较大,对于流域面积较小的沟谷来说,物源密度特征越明显,部分泥石流沟流域面积虽小,但物源密度达 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上(图 10),物源异常丰富。

通过分析松散物源分布规律,发现松散物源主要集中在距沟口 350 m 高程以上区域,该部分松散物源占松散物源总量的 50% ~ 98%,造成该研究区泥石流

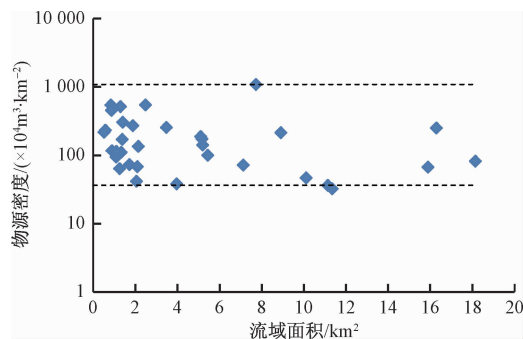


图 10 流域面积与物源密度关系图

Fig. 10 Relation of area and material source density

破坏性往往较大(图 11)。分析其原因,主要是山体受地震的高程放大效应影响,高程较大处,岩体更为破碎,在强降雨下,更易转化为泥石流物源,参与泥石流活动。

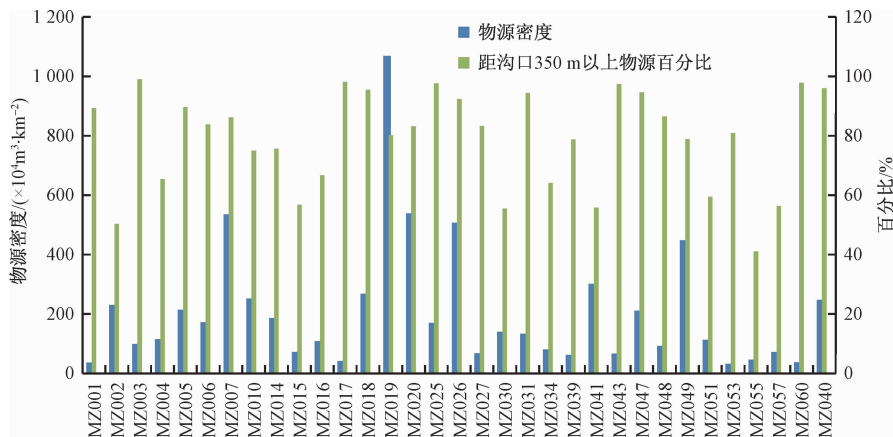


图 11 各沟道物源密度以及距沟口 350 m 以上物源百分比图

Fig. 11 Material source density and the percentage of the 350 m above the mouth of gully

5 结论

(1) 绵远河流域降雨量主要集中在 6 ~ 9 月;不同高程处降雨量不同,在高程较低处,降雨量随高程的增加而增加;超过一定高程后降雨分布无明显规律。

(2) 流域内 33 条泥石流沟流域形态特征值介于 0.2 ~ 0.6 之间,有利于泥石流汇水;沟床纵坡降较大,主要介于 600‰ ~ 700‰,属于易发生泥石流灾害纵坡降;山体坡度集中在 $15^\circ \sim 60^\circ$,易发生崩塌、滑坡灾害。

(3) 流域内泥石流松散物源丰富,物源密度较大,且松散物源主要分布在距沟口 350 m 高程以上区域,该部分松散物源占松散物源总量的 50% ~ 98%。

(4) 由于降雨量资料不够丰富,降雨分布特征具有一定的偶然性,本次仅总结现象并尝试进行了简单的分析。

参考文献:

- [1] 陈景武. 云南东川蒋家沟泥石流暴发与暴雨关系的初步分析[A]. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊[C]. 北京:科学出版社,1985:88-96.
CHEN Jingwu. A preliminary analysis of the relation between debris flow and rainstorm at Jiangjia gully of Dongchuan in Yunnan [A]. Collected papers of Lanzhou Institute of Glaciology and Cryopedology, Chinese Academy of Sciences [C]. Beijing Science Press, 1985:88-96.
- [2] 吴积善,等. 云南蒋家沟泥石流观测研究[M]. 北京,科学出版社,1990.
WU Jishan, et al. Study on debris flow observation in Jiangjia ditch, Yunnan [M]. Beijing Science Press, 1990.

- [3] 唐川,梁京涛.汶川震区北9.24暴雨泥石流特征研究[J].工程地质学报,2008,16(6):751-758.
TANG Chuan, LIANG Jingtao. Characteristics of debris flows in Beichuan epicenter of the Wenchuan earthquake triggered by rainstorm on September 24, 2008 [J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6):751-758.
- [4] Daniele Giordan, Paolo Allasia, Andrea Manconi. Morphological and kinematic evolution of a large earthflow: The Montaguto landslide, southern Italy. Geomorphology 187(2013):61-79.
- [5] Chih-Ming Tseng, Ching Weei Lin, Colin P. Stark. Application of a multi-temporal, LiDAR-derived, digital terrain model in a landslide-volume estimation [J]. Earth Surface Process and Landforms, 2013(38):1587-1601.
- [6] 唐川,丁军,梁京涛.汶川震区北川县城泥石流源地特征的遥感动态分析[J].工程地质学报,2010,18(1):1-7.
TANG chuan, DING Jun, LIANG Jingtao. Remote sensing images based observational analysis on characters of debris flow source areas in Beichuan country of wenchuan earthquake epicenter region[J]. Journal of Engineering Geology, 2010,18(1):1-7.
- [7] 梁京涛,王军,宋云,等.汶川震区典型泥石流动态演变特征研究一以绵竹市走马岭泥石流为例[J].工程地质学报,2012,20(3):318-325.
LIANG Jingtao, WANG Jun, SONG Yun, et al. Temporal evolution of typical debris flows in Wenchuan earthquake areas: case study of Zoumaling-gully debris flows in Mianzhu country [J]. Journal of Engineering Geology, 2012, 20(3):318-325.
- [8] 乔建平,黄栋,杨宗佶,等.汶川地震极震区泥石流物源动储量统计方法讨论[J].中国地质灾害与防治学报,2012,23(2):1-6.
QIAO Jianping, HUANG Dong, YANG Zongjie, et al. Statistical method on dynamic reserve of debris flow source materials in meizoseismal area of Wenchuan earthquake region [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(2):1-6.
- [9] 余天彬,任光明,王猛,等.汶川震区龙门山镇高架子沟“8·18”泥石流灾害机理与特征[J].中国地质灾害与防治学报,2014,25(3):9-13.
YU Tianbin, REN Guangmin, WANG Meng, et al. Mechanism and characteristics of gaojiazhi gully debris flow on August 18, 2012 in Longmenshan town, epicenter of Wenchuan earthquake[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(3):9-13.
- [10] 高波,任光明,王军,等.四川汶川高家沟泥石流形成条件与启动机理研究[J].中国地质灾害与防治学报,2014,25(4):1-5.
GAO Bo, REN Guangming, WANG Jun, et al. Study on formation conditions and initiation mechanism of gaojia gully's debris flow in Wenchuan county [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control 2014, 25(4):1-5.
- [11] 郝红兵,赵松江,李胜伟,等.汶川地震区特大泥石流物源集中启动模式和特征[J].水文地质工程地质,2015,42(6):159-165+170.
HAO Hongbing, ZHAO Songjiang, LI Shengwei, et al. The star-up mode on large debris flow material source in Wenchuan earthquake region [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2015, 42(6):159-165+170.
- [12] 杨东旭,陈晓清,游勇,等.汶川地震区绵竹小岗剑沟泥石流发展趋势[J].山地学报,2012(6):701-708.
YANG Dongxu, CHEN Xiaoqing, YOU Yong, et al. The debris flow development trend of in Xiaogangjian gully in Mianzhu county, Wenchuan earthquake zone [J]. Journal of Mountain Science, 2012(6):701-708.
- [13] 倪俊勇,郑万模,唐业旗,等.绵竹清平“8·13”群发泥石流成因、特征与发展趋势[J].水文地质工程地质,2011(3):129-133+138.
NI huayong, ZHENG Wanmo, TANG Yeqi, et al. Formation, characteristics and trend of the group debris flows occurred on August 13 in Qingping, Mianzhu county [J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2011(3):129-133+138.
- [14] 李凌婧,姚鑫,张永双,等.汶川地震绵远河流域地质灾害遥感提取与分布特征研究[J].工程地质学报,2014,22(1):46-55.
LI Lingjing, YAO Xin, ZHANG Yongshuang, et al. Rs-based extraction and distribution characteristics of geo-hazards triggered by Wenchuan earthquake in Mianzhu river basin [J]. Journal of Engineering Geology, 2014, 22(1):46-55.
- [15] 李为乐,黄润秋,唐川,等.汶川地震触发的绵远河流域崩塌滑坡的特征[J].山地学报,2011,29(4):483-492.
LI Weile, HUANG Runqiu, TANG Chuan, et al. Landslides triggered by 5·12 Wenchuan earthquake in the Mianzhu river basin, China [J]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(4):483-492.