

# 贡嘎山东坡雅家埂河特大型泥石流流动力学特征

宋志, 李宗亮, 巴仁基, 刘宇杰

(中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610082)

**摘要:** 对2005年8月11日贡嘎山东坡雅家埂河特大型泥石流运动过程进行了描述, 并采用现场实地勘查等手段, 定量计算泥石流流速和流量等动力学特征, 还运用得到的流量反演泥石流运动过程, 从而得到雅家埂河特大型泥石流的形成机理。结果表明: 雅家埂河特大型泥石流的形成与降雨有直接关系; 雅家埂河支沟泥石流的群发性造成主河泥石流规模巨大; 经对雅家埂河流域泥石流形成、发生的历史分析, 推断出该流域泥石流存在18~21年的暴发周期; 雅家埂河松散物源充足, 降雨与水源丰富, 地形地貌陡峭, 极易再次发生规模较大的泥石流。

**关键词:** 泥石流; 支沟; 雅家埂河; 实地勘查; 动力学特征; 贡嘎山

**中图分类号:** P694 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)04-0416-04

## Kinetic Characteristics of Oversize Mud-rock Flow in Yajiageng River of Eastern Gongga Mountain

SONG Zhi, LI Zong-liang, BA Ren-ji, LIU Yu-jie

(Chengdu Center of Geological Survey, China Geology Survey, Chengdu 610082, Sichuan, China)

**Abstract:** Motor process of oversize mud-rock flow in Yajiageng River of Eastern Gongga Mountain on August 11, 2005 was described; kinetic characteristics of mud-rock flow were calculated quantificationally with the means of field survey, and was used to simulate the motor process of mud-rock flow in order to find the mechanism of oversize mud-rock flow in Yajiageng River. The results showed that formation of oversize mud-rock flow in Yajiageng River was directly related to the rainfall; mud-rock flow in tributary ditch of Yajiageng River meantime happened, and caused that the flow in the master river was huge; the eruptive period was 18-21 years according to the history of mud-rock flow in Yajiageng River; because loose material was plentiful, rainfall and water were rich and terrain was precipitous, oversize mud-rock flow in Yajiageng River could happen again.

**Key words:** mud-rock flow; tributary ditch; Yajiageng River; field survey; kinetics characteristic; Gongga Mountain

## 0 引言

2005年8月11日, 贡嘎山东坡海螺沟风景区雅家埂河发生了群发性特大型泥石流, 这场泥石流灾害给当地居民与旅游造成了巨大损失, 相继有南门关沟、磨子沟、燕子沟等数条沟道发生灾害, 给海螺沟风景区造成严重经济损失<sup>[1]</sup>。雅家埂河特大型泥石流具有西南地区泥石流灾害的典型性, 研究其形成机理、运动过程及发展趋势, 不仅对该地区泥石流灾害防治提供理论依据, 而且对西南山区典型地质背景下泥石流运动与灾害调查防治提

供借鉴。

## 1 地质背景

雅家埂河位于四川省泸定县西南方向的磨西镇、新兴乡境内(图1), 流域面积为379.87 km<sup>2</sup>, 流域周长为103 km, 最大海拔高程为7 556 m, 最小为1 250 m, 即磨西台地龙尾; 雅家埂河与燕子沟在这里相汇成为磨西河, 相汇处东北方向为雅家埂河流域。雅家埂河主沟长37.15 km, 高差达到6 306 m<sup>[2]</sup>。

从大地构造上看, 雅家埂河流域内以北西向为控制性构造, 由一系列压扭性断裂和复式褶皱组成, 形

收稿日期: 2010-01-30

基金项目: 中国地质调查局项目(1212010814038)

作者简介: 宋志(1982-), 男, 四川宣汉人, 从事地质灾害(泥石流方向)研究, E-mail: songzhi520@163.com

成于印支期,并在燕山期发展强化。第四纪以来新构造活动以强烈的地震活动和水热活动为主,对雅家埂河流域有较强烈的影响,其主要构造有鲜水河断裂、磨西断裂、草科向斜、毛坪背斜等<sup>[3]</sup>。

雅家埂河流域内出露地层较多,岩石类型多样。根据各种岩石的物理力学性质及其完整性、坚硬程度、岩性对比,将出露地层划分为松散岩类、半坚硬—坚硬岩类和坚硬岩类。其中,松散岩类主要为冰水堆积物、更新统冲洪积与泥石流堆积物、现代河道洪积与泥石流堆积物等;半坚硬—坚硬岩类主要为绿片岩、石英岩夹板岩、大理岩等;坚硬岩类包括斜长花岗岩、石英闪长岩等<sup>[3]</sup>。

2 雅家埂河特大型泥石流运动过程

从补给方式上看,雅家埂河存在着细沟、坡面侵蚀、崩滑补给,沟床补给 3 种类型。这里物源丰富,几乎包括了泥石流的所有类型,如崩滑型、冰碛型、沟床侵蚀型。按照《泥石流灾害防治工程勘查规范》<sup>[4]</sup> 进行易发性评价,该流域评分为 105,属于易发程度。

2005 年 8 月 11 日雅家埂河特大型泥石流是一场暴雨加冰川水源类型中频特大型山区泥石流。雅家埂河支沟众多,8 月 11 日多数支沟都不同程度发生泥石流灾害,例如右岸的熊家沟、高家沟等,泥石流淤埋了大约 0.67 hm<sup>2</sup> 农田和 150 m 长的公路。泥石流堆积物中沙占多数,其中巨石和大树分布其中。从沟口往上游,崩滑随处可见,主沟及支沟侵蚀严重,对雅家埂河造成直接影响,将其物源提供到主沟的主要是雅家埂河上游的黑沟、大木干沟、小河子沟、南门关沟 4 条泥石流支沟(图 2),研究这 5 条沟道泥石流运动过程,进而对其动力学特征进行分析。

通过现场勘查,从 8 月 5 日开始,雅家埂河流域开始连降大雨,一直到 12 日,降雨量达到 533 mm。在这期间,雨水下渗使土体水饱和。在降水和高海拔处积雪融水径流汇合的冲蚀下,雅家埂河上游支沟沟床下切,边坡失稳,沟岸滑坡、崩塌频繁发生,逐渐形成淤积,物源堵塞沟道,后续洪水涌至,进一步



图 1 雅家埂河流域地理位置  
Fig. 1 Geographic Position of Yajiageng River

使土体水分饱和;由于上游支沟纵比降较大,堵塞沟道的物源整体溃决演变成泥石流。

雅家埂河上游支沟黑沟首先暴发大规模泥石流,在 40 km<sup>2</sup> 流域面积内,巨厚的冰碛层从冰体内融出,寒冻雪蚀冰蚀为风化陡坡提供了大量物源,在水动力和形成区 41.4% 纵坡条件下,大规模泥石流一涌而下,将黑沟 0.775 km<sup>2</sup> 的堆积区全部铺满,部分泥石流沿着雅家埂河主干道下切,裹挟着沟内深厚的早期河道堆积物和边坡崩滑积物,奔涌到达与大木干沟交汇处。

由于该处河道狭窄,宽为 5~6 m 基岩卡口形成一座天然的拦砂坝,将大量物源拦截在此,降低了势能,从一定程度上降低了由黑沟引发泥石流的规模大小(图 3)。

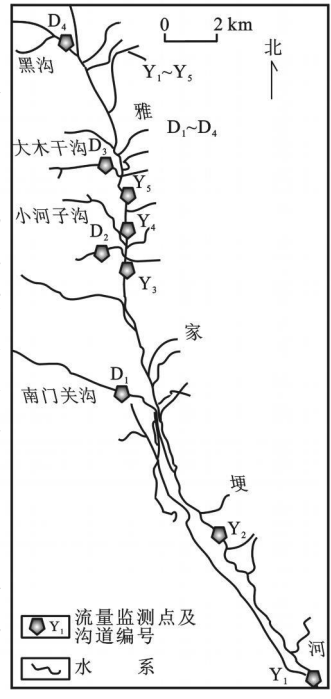


图 2 雅家埂河及支沟位置  
Fig. 2 Position of Yajiageng River and Its Tributary Ditch

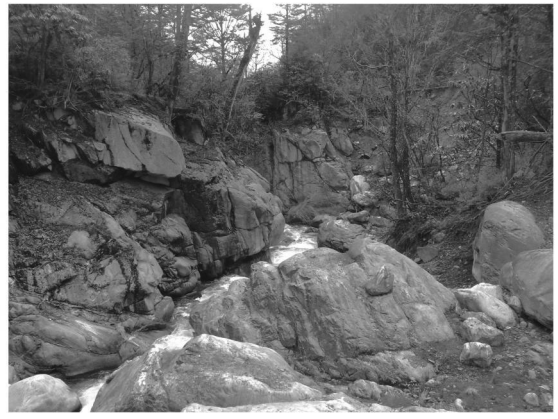


图 3 雅家埂河上游“藕节”形河道基岩  
Fig. 3 Bedrock in the Riverway Located in the Upper of Yajiageng River

大木干沟比黑沟暴发泥石流稍晚,当雅家埂河泥石流洪峰经过该点时,大木干沟泥石流已经启动,大木干沟流域基本特征与黑沟相似,暴发的过程也大致相似,区别在于大木干沟的纵坡大,崩滑更为严重(图 4),其规模不亚于黑沟的程度,2 股泥石流体

汇在一起,由北向南奔流,冲毁上游段磨榆公路及桥梁,在公路桥下游段淤积约 1/3 的砂量后,仍然向南推进,最后到达与支沟一小河子沟交汇处。



图 4 大木干沟崩滑严重

Fig. 4 Serious Slump in Damugan Tributary Ditch

小河子沟是一条极其活跃的冰川暴雨型泥石流沟,流域面积  $19.1 \text{ km}^2$ ,平均主沟纵坡达到  $21.7\%$ 。当由上游引发的泥石流到达此处时,小河子沟还没到达泥石流洪峰流量,但是其水能参与到主沟的运动中,也增强了主沟泥石流运动的能量。此时,堆积在小河子沟里的大型滑坡体,在水分饱和和势能的驱动下,有逐渐溃决的趋势,滑坡崩塌不断延续,卵砾砂石不断向前滑动,以微弱的力量牵引着漂块石崩滑体,终于在降雨延续的过程中,准泥石流达到运动的极限水平,形成溃决,往下左突右拐,冲蚀边岸,获得大量物源的补充,冲毁了长达  $30 \text{ m}$  的公路桥,与雅家埂河主沟汇合。

雅家埂河泥石流在沿途不断得到物质与水量的补给后,规模逐渐扩大,流量大增,终于在小河沟下游处海子幽  $200 \text{ m}$  宽阔的河道内,形成大面积淤积,但是降雨不断持续和加大,固体物质不断拥挤,有着纵坡小、面积大优势的海子幽停淤场,又被后面泥石流峰值流量猛烈袭来,终于冲出海子幽的卡口,向前涌至南门关沟处,由北向南形成  $69.7 \times 10^4 \text{ m}^2$  的堆积区。

雅家埂河水到该处时,占主河流域面积近 1/3 的南门关沟已蓄势待发,只是暴发的时间要稍微晚些。8 月 11 日晚 8 点左右,在南门关沟终于暴发特大型泥石流。在南门关沟堆积区,最大的一块花岗岩体积为  $10.8 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$ ,约  $787 \text{ t}$ 。这些巨石均被泥石流由上游冲下。在第一波泥石流过后,横跨在沟上的南门关桥就被泥石流冲毁。

2 股泥石流在南门关沟处以  $45^\circ$  的夹角汇集,形

成了面积达  $169.9 \times 10^4 \text{ m}^2$  的堆积区,局部淤积高度达  $5 \text{ m}$ ,可见该次群发型泥石流规模之巨大,后续泥石流体不断涌至,参与到向南延续的泥石流运动过程中。虽然,特大型泥石流到此势能减低,纵坡变小,但是经过  $3 \text{ km}$  的路程,到达坨玛坨时,河宽骤降  $60 \text{ m}$  宽,水量与物源在此集中聚合,能量突然加大,还不断接受磨西台地边坡崩滑、小支沟相对较小的物源量和强大的水动力补充,经过磨西台地的雅家埂河下游,其势能与流量丝毫未减。

### 3 特大型泥流动力学特征

根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》<sup>[4]</sup>,确定不同类型泥石流的性质,结合本地区实际情况,按照稀性与黏性不同性质的计算方法,对雅家埂河主河 5 个断面和黑沟等 4 个重要支沟采用形态调查法进行流速流量计算<sup>[4]</sup>。雅家埂河断面的编号为  $Y_1 \sim Y_5$ ,黑沟等 4 个支沟编号为  $D_1 \sim D_4$ (图 2)。

在磨西河流域典型的泥石流沟道中选择 1~2 个测流断面,首先,断面选在沟道顺直、断面变化不大、无阻塞、无回流、上下沟槽无冲淤变化、具有清晰泥痕的沟段;其次仔细查找泥石流留下的痕迹,然后确定泥位;最后测量这些断面上的泥石流流面比降(若不能由痕迹确定,则用沟床比降代替)、泥位高度(或水力半径)和泥石流过流断面面积等参数,由泥石流流速公式进行计算(图 5、表 1)。

表 1 给出了 8 月 11 日雅家埂河及其支沟特大型泥石流流速、流量值。首先,上游的雅家埂河支沟黑沟( $D_4$ )暴发泥石流,其流量达到  $1228 \text{ m}^3/\text{s}$ ,根据文献<sup>[4]</sup>,规模达到特大型。该泥石流向下不断侵蚀与运动,在基岩卡口处淤积、降能,之后接纳了大木干沟( $D_3$ )  $408 \text{ m}^3/\text{s}$  的流量,到达近距离的雅家埂河沟口往北  $22 \text{ km}$  处( $Y_5$ )处,流量增大到  $586 \text{ m}^3/\text{s}$ ,当黑沟的泥石流体运动到此处时,所贡献的流量值

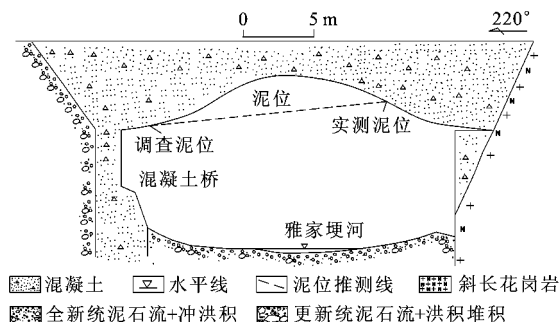


图 5 雅家埂河实测剖面及沟道基本参数

Fig. 5 Measured Section and Groove Basic Parameter in Yajiajiang River

表 1 雅家埂河与支沟流速流量

Tab. 1 Amount and Velocity of Mud-rock Flow in Yajiageng River and Its Tributary Ditch

编号	位置	流速/	流量/
		( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )	( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
Y <sub>1</sub>	雅家埂河沟口往北 6 km 处	6.60	1 327
Y <sub>2</sub>	雅家埂河沟口往北 9 km 处	6.50	1 213
Y <sub>3</sub>	雅家埂河沟口往北 17 km 处	7.02	1 888
Y <sub>4</sub>	雅家埂河沟口往北 18 km 处	4.50	486
Y <sub>5</sub>	雅家埂河沟口往北 22 km 处	6.50	586
D <sub>1</sub>	南门关沟	4.67	1 827
D <sub>2</sub>	小河子沟	4.61	1 584
D <sub>3</sub>	大木干沟	6.58	408
D <sub>4</sub>	黑沟	7.68	1 228

已经只有近  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ , 然后, 相对以稳定的流量向南运动, 在小河子沟上游处雅家埂河沟口往北 18 km 处 (Y<sub>4</sub>) 流量为  $486 \text{ m}^3/\text{s}$ , 可以理解为有少量的泥石流流体在林场看护站上游停歇, 随着小河子沟 (D<sub>2</sub>) 的  $1 584 \text{ m}^3/\text{s}$  流量的加入, 减去近正交汇集的能量损失后, 雅家埂河主流仍然在往北 17 km 处 (Y<sub>3</sub>) 以  $1 888 \text{ m}^3/\text{s}$  的巨大流量向南奔涌, 与南门关沟 (D<sub>1</sub>) 的  $1 827 \text{ m}^3/\text{s}$  的流量汇合后在折田坝宽广的河谷地貌上部分淤积。剩余的泥石流流体沿着磨西台地下方的雅家埂河以约  $1 250 \text{ m}^3/\text{s}$  的流量向主河沟口涌去<sup>[5-8]</sup>。

4 雅家埂河泥石流发生历史及趋势

雅家埂河在历史上曾经多次暴发泥石流, 据统计, 主河在 1966 年 8 月、1984 年 9 月、2005 年 8 月分别暴发规模较大的泥石流灾害。从统计学上看, 雅家埂河泥石流存在着 18~21 年准周期性。同样, 根据雨洪法与形态调查法比较, 在 Y<sub>1</sub> 处, 雅家埂河下游处形态调查法流量为  $1 327 \text{ m}^3/\text{s}$ , 可以看成为雅家埂河整个流域全面汇流后最终泥石流峰值流量。根据雨洪法, 假设泥石流与暴雨同频率且同步发生, 计算断面的暴雨洪水设计流量全部转变成泥石流流量, 按水文方法计算出断面不同频率下的小流域暴雨洪峰流量 (计算方法据文献[9]), 然后选用泥石流重度和堵塞系数, 计算泥石流流量, 得到雅家埂河不同频率下的流量 (表 2), 同样可以推算出, 在发生频率为 5% 时 (即 50 年一遇), 泥石流流量达到  $1 348 \text{ m}^3/\text{s}$ , 十分接近 Y<sub>1</sub> 处的流量, 从流量的定量分析认为, 雅家埂河也存在着 20 年一遇 (发生频率为 2%) 的大规模泥石流。

雅家埂河及其重要支沟 (黑沟、小河子沟、大木

表 2 雅家埂河不同发生频率下泥石流洪峰流量

Tab. 2 Flood Peak Amount of Mud-rock Flow in Yajiageng River Under Different Happen Frequency

流量类型	设计洪水流量			泥石流流量		
发生频率/%	5	2	1	5	2	1
流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	747	868	961	1 348	1 566	1 734

干沟、南门关沟) 无论在第四纪还是在现代, 都是贡嘎山区冰川最发育的地方之一, 雅家埂河为主的第四纪冰川曾下延到今天的磨西宽谷盆地。冰川是寒冷气候的产物, 尤其是海洋性高山冰川更是高寒气候的产物。冰川中含有许多寒冻风化崩解的岩块和岩石碎屑, 在往下流动延伸的过程中, 由于冰体消融而释放出来沉积在谷地中称之为冰碛。随着气候的变暖, 冰川消融加快, 谷地中的冰碛物也就堆积越多。每年夏秋雨季中, 高温及大的降水过程往往促使洪水及泥石流出现, 出现冰川暴雨型泥石流。雅家埂河流域第四纪冰川广泛发育, 古冰碛和现代冰碛都非常丰富, 所以, 雅家埂河存在着泥石流发生的必备要素, 存在再次暴发泥石流的可能性<sup>[10-13]</sup>。

5 结语

(1) 雅家埂河流域泥石流地质背景具备西南典型型地质灾害发育特征, 陡峭的地形地貌、充足的水源、丰富的强活动性物源, 对于研究特大型泥石流的形成机理、运动过程具有代表性。

(2) 2005 年 8 月 11 日雅家埂河特大型泥石流的形成与降雨有直接关系, 支沟泥石流的群发性是造成主河泥石流规模巨大的直接因素, 通过对泥石流运动过程的详细阐述, 客观地反映了特大型泥石流的形成机理。

(3) 通过对各沟段的断面实测得到的流量, 反推特大型泥石流的运动过程, 对泥石流的形成过程以及相关泥石流的防治研究提供新手段与新方法。

(4) 雅家埂河泥石流以暴雨诱发为主, 存在 18~21 年的周期, 松散物以冰碛物为代表的泥石流沟, 作为泥石流重要组成成分的松散固体物质储量巨大。气候变化 (温度升高、暴雨增多或减少) 以及汶川 5.12 大地震在不同程度上可能增强了雅家埂河流域水动力条件和崩滑体的数量与规模。

参考文献:

[1] 陈晓清, 崔 鹏, 陈斌如, 等. 海螺沟 050811 特大泥石流灾害及减灾对策[J]. 水土保持通报, 2006, 26 (3): 122-126.

(下转第 435 页)

## 参考文献:

- [1] 《延安市志》编纂委员会. 延安市志[M]. 西安: 陕西人民出版社, 1994.
- [2] 杨武圣. 陕西省志: 第六卷, 气象志[M]. 北京: 气象出版社, 2001.
- [3] 温克刚, 翟佑安. 中国气象灾害大典(陕西卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2005.
- [4] 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究[J]. 考古学报, 1972(1): 15-38.
- [5] 袁林. 西北灾荒史[M]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1994.
- [6] Wang J A, Su Y, Shang Y R, et al. Vulnerability Identification and Assessment of Agriculture Drought Disaster in China[J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(2): 161-168.
- [7] Thorndycraft V R, Benito G. Late Holocene Fluvial Chronology in Spain: the Role of Climatic Variability and Human Impact[J]. Catena, 2006, 66(1/2): 34-41.
- [8] 肖军, 赵景波. 陕西省54年来农业干旱灾害特征研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(5): 201-204.
- [9] 赵景波, 郁耀闯, 王长燕. 1850—1949年关中地区干旱灾害研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2006, 34(4): 99-103.
- [10] 谭徐明. 近500年我国特大干旱灾害的研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 23(2): 77-83.
- [11] 同海丽. 陕西省干旱特征与抗旱对策及应急供水[J]. 地下水, 2005, 27(4): 232-233.
- [12] 张德二. 中国三千年气象记录总集[M]. 南京: 江苏教育出版社, 2004.
- [13] 张超, 杨秉康. 计量地理学基础[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [14] 李兆元, 葛凤英. 陕西省旱涝规律的探讨[C] //陕西省气象学会. 陕西省气象学会论文选集. 西安: 陕西省科学技术协会, 1964.
- [15] 杨新. 陕西干旱灾害特征[J]. 灾害学, 1998, 13(2): 80-84.
- [16] 国家防汛抗旱总指挥部办公室. 水利部南京水文资源研究所. 中国水干旱灾害[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997.
- [17] 张养才. 中国农业气象灾害概论[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [18] 刘引鸽, 缪启龙. 西北地区农业干旱灾害与预测研究[J]. 干旱区地理, 2004, 27(4): 564-569.
- [19] 梁旭, 尚永生, 张智, 等. 我国西北五省干旱灾害历史变化规律分析[J]. 干旱区资源与环境, 1999, 13(1): 28-33.
- [20] 赵景波, 马莉. 明代陕南地区洪涝灾害研究[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(2): 207-211.
- [21] 任朝霞, 杨达源. 西北干旱区近50年旱涝时空变化及其防御措施研究[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(6): 118-121.
- [22] 李佩成. 关于气候变化的哲学思考[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(4): 331-336.
- [23] 顾静, 赵景波, 周杰. 关中地区元代干旱灾害与气候变化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2007, 27(6): 111-117.
- [24] 任朝霞, 杨达源. 西北干旱区近50年气候变化特征与趋势[J]. 地球科学与环境学报, 2007, 29(1): 99-102.
- (上接第419页)
- [2] 中国地质调查局成都地质调查中心. 四川泸定县地质灾害详细调查报告[R]. 成都: 中国地质调查局成都地质调查中心, 2008.
- [3] 陈富斌, 高生淮. 贡嘎山高山生态环境研究[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993.
- [4] DZ/T 0220—2006. 泥石流灾害防治工程勘查规范[S].
- [5] 谭炳炎. 泥石流活动评估与防治[R]. 北京: 国土资源部, 2004.
- [6] 吴积善, 田连权, 康志成. 泥石流及其综合治理[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [7] 田连权, 吴积善, 康志成, 等. 泥石流侵蚀搬运与堆积[M]. 成都: 成都地图出版社, 1993.
- [8] 田梅青, 姜振泉, 刘炜金, 等. 山东省栖霞市泥石流灾害的成因环境及危险性趋势分区评价[J]. 地球科学与环境学报, 2005, 27(4): 24-27.
- [9] 四川省水利电力厅. 四川省中小流域暴雨洪水计算手册[S]. 成都: 四川省水利电力厅, 1984.
- [10] 周必凡, 李德基, 吕儒仁, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [11] 李宗亮, 魏伦武, 杨全忠, 等. 四川泸定县冷碛镇黑沟泥石流发育特征与危害初探[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(4): 88-92.
- [12] 殷跃平. 中国地质灾害减灾战略初步研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(2): 1-8.
- [13] 赵景波, 马莉. 明代陕南地区洪涝灾害研究[J]. 地球科学与环境学报, 2009, 31(2): 207-211.