

# 都江堰市龙池镇李泉太沟泥石流灾害研究

廖彬<sup>1</sup>, 常鸣<sup>2</sup>

(1. 四川省投资集团有限责任公司, 成都 610015;  
2. 成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

**摘要:**“5·12”汶川地震后,位于地震灾区的四川都江堰龙池镇暴发了群发性泥石流,给灾后重建工作带来很大的难度。选择其中的李泉太沟泥石流作为研究对象,通过野外调查、室内分析和泥石流静动力学参数计算,如屈服应力、流量、容重、冲出总量等计算,认为地震产生的大量崩滑体为泥石流提供了直接物源,在暴雨条件下非常容易导致泥石流的产生;另外沟道陡峭、流量大、暴发隐蔽是李泉太泥石流的主要特征;李泉太泥石流的容重较大,屈服应力较大,不仅能够摧毁公路等基础设施,还能够造成堵江等次生灾害。根据研究结果,建议重点敏感地区采取相应的工程措施,并且充分利用降雨阈值,对李泉太泥石流进行监测预警。

**关键词:** 降雨;泥石流;地震;都江堰

**中图分类号:** P642.23   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1672-1683(2014)02-0102-05

## Characteristics of Debris Flow Hazard of the Liquntai Gully in Longchi Town of Dujiangyan County, Sichuan Province

LIAO Bin<sup>1</sup>, CHANG Ming<sup>2</sup>

(1. Sichuan investment group company of LTD, Chengdu 610015, China; 2. State Key Laboratory for Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** After the May 12th Wenchuan Earthquake, the rainstorm caused the group debris flow hazards in Longchi Town of Dujiangyan County, Sichuan Province, which brought a lot of difficulty to the post disaster reconstruction work. The Liquntai gully debris flow located in Longchi town was selected in the study, and its characteristics were determined through the field investigation, laboratory analysis, and calculation of static and dynamic parameters of debris flow such as the stress yield, flow rate, bulk density, and total outflow. The results showed that (1) the Wenchuan Earthquake generated lots of landslides, which were the supply for debris flow, especially under rainstorm conditions; (2) the Liquntai gully debris flow had the features such as steep channel, large flow, and concealed occurrence; and (3) the bulk density and stress yield of the Liquntai gully debris flow were large, which can not only cause damages to the infrastructure but also generate secondary disaster such as blocking river. The results indicated that the engineering measures need to be performed at the elevation range of 1400 to 1600 m, and the threshold value of precipitation was used for the monitoring and early warning of the Liquntai gully debris flow.

**Key words:** rainfall; debris flow; earthquake; Dujiangyan

2010年8月12-14日在汶川地震重灾区普降大暴雨,导致四川省都江堰市龙池镇暴发群体性泥石流<sup>[2]</sup>,其中李泉太沟在下午16:00发生大规模泥石流,对沟口民居及道路造成严重损坏,见图1。野外调查发现,李泉太泥石流冲出物总量约 $8 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,泥石流堆积体将沟口主干道路冲毁,掩埋部分房屋,部分固体颗粒冲入龙溪河,间接影响下游的紫坪铺水库安全。李泉太泥石流地处汶川地震重灾区,是泥石流活动频繁暴发的区域<sup>[1]</sup>,区内沟壑极为发育,地震产生的大

量崩滑体堆积在沟道两侧和沟道中,为泥石流提供了大量的松散物源。在泥石流堆积物的影响下河床整体都抬升了,直接造成了河水的堵塞和改道,从而为研究区的灾后重建、道路修复及工农业复苏带来了很多不利的影响。

有研究表明<sup>[3,4]</sup>,地震过后的5~10年是泥石流高发阶段,且具有群发、大规模的特点。本文通过李泉太沟泥石流的野外调查情况和遥感影像解译的结果,分析李泉太泥石流的形成因素、基本特征,并详细计算该泥石流的静动力学参

收稿日期: 2013-02-17    修回日期: 2013-10-01    网络出版时间: 2014-03-10

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2014.02.001.html>

作者简介: 廖彬(1971-),男,四川成都人,高级工程师,主要从事坝基稳定性、地质灾害方面研究。E-mail: 593812532@qq.com

数,例如容重、屈服应力、流量、冲出总量等,为今后的重建工作提供依据和防治建议。



图 1 李泉太沟全貌

Fig. 1 Full view of the of Liquantai gully

## 1 研究区概况

李泉太沟泥石流位于龙池镇南岳村,岷江一级支流龙溪河的左岸,距离龙池镇约 4 km,沟口地理坐标为 N 31° 5' 17", E 103° 33' 42"。

根据都江堰市 1957 年 - 2008 年的降雨资料,研究区多年平均降水量约为 1 134.8 mm,最少降雨量是 1974 年的 713.5 mm,最多降雨量是 1978 年的 1 605.4 mm;全年降水量的 80% 集中在 5 月 - 9 月,其中 8 月为平均降水量最多的月份(平均 289.9 mm),1 月为平均降水量最少的月份(平均 12.7 mm);李泉太沟 1 小时的最大降水量为 83.9 mm,10 分钟的最大降水量为 28.3 mm。因此研究区降雨总体特征表现为短时间、强度高和暴雨频繁,非常利于泥石流等地质灾害的发育。

龙池镇在地质构造上属于华夏构造体系龙门山构造带的中南段,处于映秀 - 北川断裂带的西北侧。研究区新构造运动强烈,地区性不均匀升降和断裂活动频繁,地震频发,岩石裂隙、断裂和褶皱构造非常发育,岩体破碎。根据《四川、甘肃、陕西部分地区地震动参数区划图(2008)》,该区域地震动反应谱特征周期是 0.40 s,地震烈度可以达到 XI 度,地震动峰值的加速度为 0.20 g。

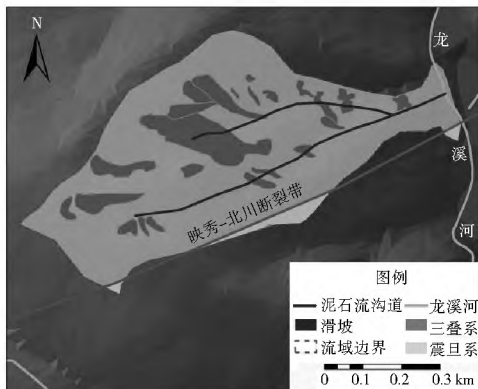


图 2 李泉太沟地质图

Fig. 2 Geological map of Liquantai gully

李泉太沟流域内第四系松散堆积物主要包括洪积物(Q<sub>4</sub><sup>pl</sup>)、崩滑堆积物(Q<sub>4</sub><sup>del</sup>)、崩坡堆积物(Q<sub>4</sub><sup>et-dl</sup>),分布在泥

石流沟的堆积区和流通区;震旦系下统火山岩组(Za)由灰绿色安山岩、凝灰岩及安山玄武岩构成,主要分布在泥石流形成区。另外,以砂岩、泥岩为主的三叠系须家河组(T<sub>3x</sub>)也有少量分布<sup>[5]</sup>(图 2)。

表 1 李泉太沟流域的分区特征

Table 1 The characteristics of zonations of the Liquantai gully watershed

编号	各支沟名称	流域面积/km <sup>2</sup>	沟长/km	最低高程/m	最高高程/m	相对高差/m	平均沟道比降(%)
0	主沟	0.32	0.99	1 080	1 740	660	667
1	形成区	0.27	0.63	1 280	1 740	460	730
2	流通区	0.02	0.22	1 160	1 280	120	545
3	堆积区	0.03	0.14	1 080	1 160	80	571

## 2 形成因素

### 2.1 地形因子

李泉太沟泥石流区属于中山地貌,地表遭受切割风化严重。泥石流发育区沟谷基本情况见表 1,堆积区呈扇状分布,面积约 0.32 km<sup>2</sup>,相对高差 660 m 左右;形成区长约 630 m,高差约 460 m,平均坡度 30°,最大约 40°;流通区长约 220 m,相对高差约 120 m,平均坡度 19°,最大约 29°。地势相对高陡的地区既有利于降雨汇流,又有利于松散堆积固体颗粒下滑。为了详细观察崩滑体自身的变化特征及演变规律,利用唐川提供的强震区滑坡体厚度及体积的计算公式得到研究区滑坡体的体积<sup>[6]</sup>。

$$t = 1.432 \ln(S_L) - 4.985 \quad (1)$$

$$V = S_L \cdot t \quad (2)$$

式中:t 为滑坡体的厚度(m);S<sub>L</sub> 为滑坡体的面积(m<sup>2</sup>);V 为滑坡体的体积(m<sup>3</sup>)。

通过 ERDAS 软件进行分析,得到在不同高程条件下滑坡面积及体积在各个区间上所占滑坡体面积的比例(表 2),发现在高程为 1 400~ 1 600 m 之间崩滑体最丰富,可以为泥石流提供充足的物源。

表 2 李泉太沟流域崩滑体在高程因子上的分布特征

Table 2 The distribution characteristics of landslides in elevation factor of the Liquantai gully watershed

高程/m	崩滑体面积/km <sup>2</sup>	崩滑体体积/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
700~ 1 000	0.001	4.91
1 000~ 1 200	0.012	101.58
1 200~ 1 400	0.018	162.83
1 400~ 1 600	0.025	237.91
1 600~ 1 800	0.011	91.75

### 2.2 坡度因子

根据研究区的地形地貌特征,利用 Arcgis 进行坡度分析,得出李泉太泥石流沟的崩滑体在不同坡度分级区间上的分布特征,见图 4 及表 3。

从表 3 可以看出,滑坡体在 40° ~ 60° 的区间内大量分布,在李泉太泥石流沟治理工程中必须注意这个坡度段的崩滑体分布情况。

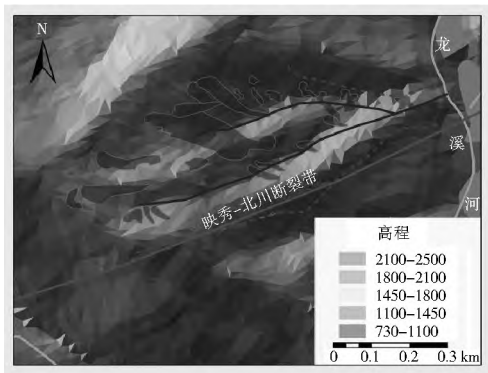


图 3 李泉太沟高程图

Fig. 3 Elevation map of Liquantai gully

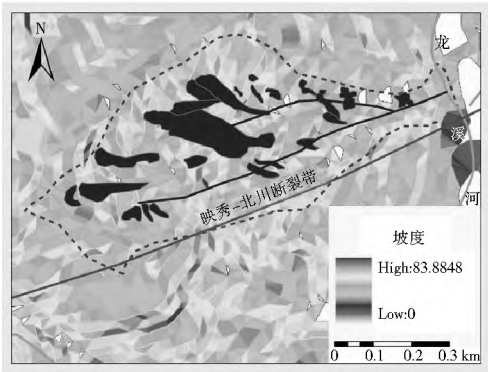


图 4 李泉太沟坡度图

Fig. 4 Slope map of Liquantai gully

表 3 李泉太沟流域崩滑体在坡度因子上的分布特征

Table 3 The distribution characteristics of landslides in slope factor of the Liquantai gully watershed

坡度(°)	崩滑体面积/km <sup>2</sup>
0~ 20	0.001
20~ 30	0.007
30~ 40	0.014
40~ 50	0.025
50~ 60	0.023
> 60	0.011

### 2.3 降水因子

2010 年 8 月 13 日 14:00 开始, 龙池镇开始持续降雨, 8 月 13 日 16:00 左右李泉太泥石流开始形成, 持续约 40 min。根据都江堰紫坪铺镇降雨站资料, 统计出泥石流暴发当日的降雨强度和累积降雨量, 见图 5。暴发前的累积降雨量为 57.2 mm, 8 月 13 日 17:00 达到最大小时降雨量, 为 75 mm。

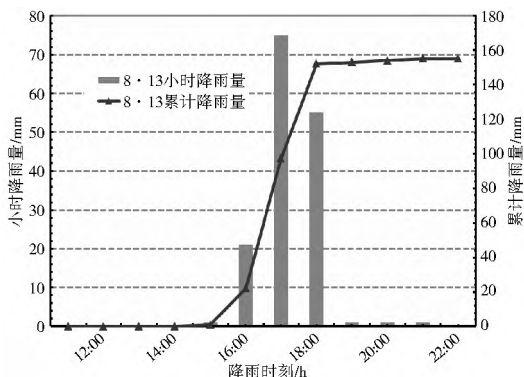


图 5 小时降雨和累积降雨

Fig. 5 Hourly and accumulated precipitation

根据 Caine<sup>[7]</sup>和 Jibson<sup>[8]</sup>的降雨持续时间和雨强关系, 见表 4, 确定了泥石流暴发降雨阈值。

表 4 降雨持续时间和雨强对泥石流发生的关系

Table 4 Relationship between the precipitation duration time and intensity and the initiation of debris flow

	公式	持续时间/h	雨强/(mm·h <sup>-1</sup> )
Caine (1980)	$I = 14.82D^{-0.39}$	1	14.82
Jibson (1989)	$I = 30.53D^{-0.57}$	1	30.53

李泉太泥石流“8·13”最大小时降雨强度可以达 75 mm, 远高于由 Caine 公式得出的 14.82 mm 和 Jibson 公式得出的 30.53 mm, 超过了泥石流暴发的临界阈值。降雨阈值可以为李泉太泥石流灾害提供预警依据。

### 2.4 物源因子

李泉太泥石流距离“5·12”汶川地震的震中区直线距离大约为 4.8 km。地震形成许多滑坡体, 使得大量的松散物质堆积于泥石流沟道、坡麓两侧, 为李泉太泥石流的形成提供了直接物源, 见图 6。



图 6 沟道中的物源

Fig. 6 The material sources in the debris flow gully

另外, 在斜坡体的表面尤其是坡脚地段风化现象特别严重, 风化层在汶川地震过程中的变得松动, 极易沿沟道滑动。

震前、震后组织进行实地野外调查, 发现地震前几乎没有崩滑体产生, 地震后产生了大量的崩滑体, 并且有很多的崩滑体随着泥石流冲入龙溪河。具体采用震前 2007 年 9 月融合后分辨率 15 m 的 TM 影像和震后 2010 年 4 月分辨率 2.5 m 的 Spot 影像进行分析研究, 具体见图 7。

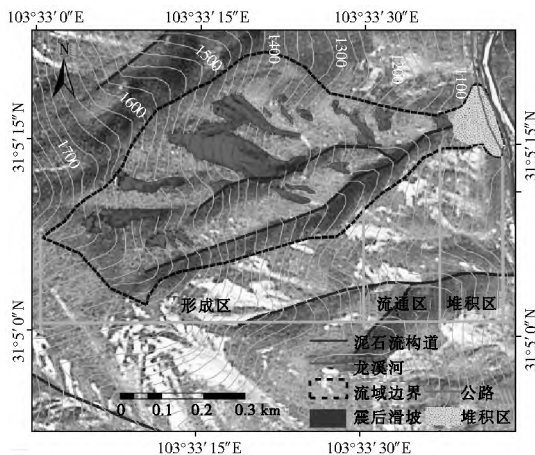


图 7 地震后流域内物源情况

Fig. 7 The material sources in the debris flow gully

### 3 李泉太泥石流参数特征

为了分析李泉太泥石流的破坏力机理,对其静动力学参数进行了计算分析。

#### 3.1 泥石流容重

通过对野外采集的李泉太泥石流的样本进行在实验室筛分实验,得出颗粒分布曲线,重点用来计算泥石流容重,见图8。李泉太泥石流堆积区堆积物分选性极差,沟道中最大块石的长为10 m,宽为0.7 m,高为0.5 m,碎块石中充填有大量细粒砂土。

利用公式(1)<sup>[9]</sup>,计算得到李泉太沟泥石流容重为1.91 g/cm<sup>3</sup>。

$$Y_D = Y_0 + P_2 P_{05}^{0.35} Y_V \quad (1)$$

式中:Y<sub>D</sub>为黏性泥石流容重(g/cm<sup>3</sup>);Y<sub>0</sub>为泥石流的最小容重,取1.5 g/cm<sup>3</sup>;P<sub>2</sub>为大于2 mm的粗颗粒含量,取0.542;P<sub>05</sub>为小于0.05 mm的细颗粒含量(小数表示),取0.06;Y<sub>V</sub>为黏性泥石流最小容重,取2.0 g/cm<sup>3</sup>。

根据研究经验,在不同的地方取的样品会出现不同的容重值。又根据李泉太泥石流野外的现场调研,决定将其容重修正值为2.0 g/cm<sup>3</sup>。因此,李泉太泥石流属于黏性泥石流。

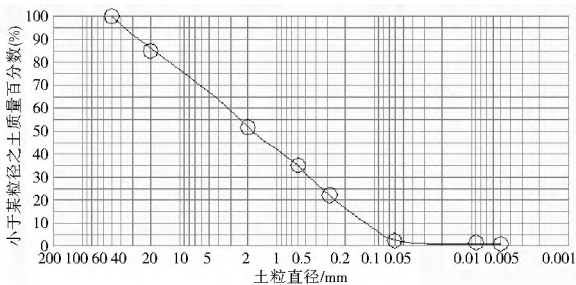


图8 颗粒分布曲线

Fig. 8 The curve of grain size distribution

#### 3.2 泥石流屈服应力

反映黏性泥石流特征的一个非常重要的参数就是泥石流的屈服应力。研究表明,泥石流容重、泥石流最大淤积厚度、淤积坡度与泥石流屈服应力之间有着密切的关系<sup>[10]</sup>。

$$\tau_B = \gamma' gh \sin\theta \quad (2)$$

式中:τ<sub>B</sub>为泥石流屈服应力(Pa);γ'为泥石流相对容重,γ' = γ<sub>c</sub> - γ<sub>0</sub> (kg/m<sup>3</sup>);γ<sub>c</sub>为泥石流容重,取2 000 kg/m<sup>3</sup>;γ<sub>0</sub>为环境容重,γ<sub>0</sub> ≈ 0(陆地),γ<sub>0</sub> = 1 000 kg/m<sup>3</sup>(水中);g为重力加速度,取9.81 m/s<sup>2</sup>;θ为坡度,取5°;h为泥石流的堆积厚度,取2.5 m。

利用公式(2)计算得到泥石流屈服应力为4 276 Pa,说明李泉太泥石流的屈服应力较大,能够有效地抵抗河流对堆积区泥沙固体的冲刷。

#### 3.3 泥石流动力学参数

为了确定李泉太泥石流的洪峰断面面积,泥石流的流速、流量、冲出量等参数,在泥石流流通区选择了一个断面进行计算,结果见表5。

表5 断面特征及流速和流量

Table 5 Features of the cross section, velocity and discharge of debris flow

最大断面宽/m	固体物质/m <sup>3</sup>	泥深/m	面积/m <sup>2</sup>	纵比降	水力半径/m	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
12	89 600	2	35	0.31	0.97	4.1	143.54

李泉太泥石流的平均运动速度采用余斌<sup>[11]</sup>提出的公式(3)进行计算,结果见表5。

$$V = 1.1 (gR)^{1/2} s^{1/3} \left[ \frac{D_{50}}{D_{10}} \right]^{1/4} \quad (3)$$

式中:V为黏性泥石流平均运动速度(m/s);g为重力加速度(m/s<sup>2</sup>);R为黏性泥石流水力半径;s为黏性泥石流运动纵比降;D<sub>50</sub>为泥沙颗粒中百分比小于50%的颗粒直径,取1.8 mm;D<sub>10</sub>为泥沙颗粒中百分比小于10%的颗粒直径,取0.12 mm。

利用公式(4)计算李泉太泥石流的流量,结果见表5。

$$Q = V \times A \quad (4)$$

式中:Q为李泉太泥石流的洪峰流量(m<sup>3</sup>/s);V为李泉太泥石流平均流速(m/s);A为李泉太泥石流洪峰断面面积(m<sup>2</sup>)。

利用公式(5)<sup>[12]</sup>计算洪峰流量的泥石流冲出量。

$$W = 0.264 \times T \times Q \quad (5)$$

式中:W为泥石流冲出量(m<sup>3</sup>);Q为李泉太泥石流洪峰流量(m<sup>3</sup>/s);T为李泉太泥石流的持续时间,取2 400 s。

计算得到李泉太泥石流固体冲出物与野外实际调查的数据基本符合。由此可以看出李泉太泥石流具有很高的破坏力,能够冲出大量的松散固体颗粒,足以对沟口处的都汶公路及附近的居民造成严重威胁。

### 4 结论与建议

(1)“5·12”汶川地震造成大量的崩滑体滞留在高程1 400~1 600 m,坡度40°~60°的沟道中,直接为李泉太泥石流提供了丰富的物源。因此在治理李泉太泥石流时,应在敏感区范围内重点采取相应的工程措施。

(2)暴雨天气是诱发李泉太泥石流的另一主要因素。因此遭遇极端降雨时,要充分利用降雨雨强-持续时间关系确定的降雨阈值,对李泉太泥石流进行监测预警。

(3)计算结果表明,李泉太泥石流的容重较大,屈服应力较大,不仅能够摧毁公路等基础设施,还能够造成堵江等次生灾害。因此必须加强监测预警,及时提供防灾避险信息,并对已经发现的地质灾害点进行工程治理,最大限度的减少损失。

#### 参考文献(References):

[1] 谢洪,钟敦伦,娇震,等. 2008年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报, 2009, 27(4): 501-509. (XIE Hong, ZHONG Dunlun, JIAO Zhen, et al. Debris Flow in Wenchuan Quake hit Area in 2008[J]. Journal of Mountain Science, 2009, 27(4): 501-509. (in Chinese))

[2] 许强. 四川省8·13特大泥石流灾害特点、成因与启示[J]. 工程地质学报, 2010, 18(5): 596-608. (XU Qiang. The 13 August

- 2010 Catastrophic Debris Flows in Sichuan Province: Characteristics, Genetic Mechanism and Suggestions [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2010, 18(5): 596-608. (in Chinese)
- [3] 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 Landslides and Debris Flows in the Wenchuan Earthquake Areas [J]. *Journal of Mountain Science*, 2010, 28(3): 341-349. (in Chinese))
- [4] 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 Jian qi, CHEN Xing chang, 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. (in Chinese))
- [5] 马煜, 余斌, 吴雨夫, 等. 四川都江堰龙池“8·13”八一沟大型泥石流灾害研究[J]. *四川大学学报(工程科学版)*, 2011, 43(增刊): 92-98. (MA Yu, YU Bin, WU Yufu, et al. Research on the Disaster of Debris Flow of Bayi Gully, Longchi, Dujiangyan, Sichuan on August 13, 2010 [J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2011, 43(Supp): 92-98. (in Chinese))
- [6] CHUAN Tang, JING Zhu, MING Chang, et al. An Empirical Statistical Model for Predicting Debris Flow Runout Zones in the Wenchuan Earthquake Area [J]. *Quaternary International*, 2012, 250: 63-73.
- [7] CAINE N. Rainfall Intensity Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows [J]. *Geogr Ann*, 1980, 62: 23-27.
- [8] Jibson RW. Debris Flow in Southern Porto Rico [J]. *Geological Society of America*. 1989, 236: 29-55.
- [9] 余斌. 根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(5): 789-796. (YU Bin. Research on The Calculating Density by the Deposit of Debris Flows [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(5): 789-796. (in Chinese))
- [10] 马煜. 粘土矿物成份与泥石流屈服应力的关系研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2011. (MA Yu. Research on the Calculating Density by the Deposit of Debris Flows [D]. Cheng du: Cheng du University of Technology 2011. (in Chinese))
- [11] 余斌. 不同容重的泥石流淤积厚度计算方法研究 [J]. *防灾减灾工程学报*, 2010, 30(2): 207-211. (YU Bin. Study on the Method for Deposition Depth Calculation of Debris Flow with Different Densities [J]. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering* 2010, 30(2): 207-211. (in Chinese))
- [12] 余斌. 粘性泥石流的平均运动速度研究 [J]. *地球科学进展*, 2008, 23(5): 524-532. (YU Bin. Study on the Mean Velocity of Viscous Debris Flows [J]. *Advances in Earth Science*. 2008, 23(5): 524-532. (in Chinese))
- [13] 唐川, 朱静. GIS支持下的地震诱发滑坡危险区预测研究 [J]. *地震研究*, 2001, 24(1): 73-81. (TANG Chuan, ZHU Jing. GIS Based Earthquake Triggered Landslide Hazard Prediction [J]. *Journal of Seismological Research*, 2001, 24(1): 73-81. (in Chinese))

(上接第78页)

- [16] Charles S P, Bates B C, Smith I N, et al. Statistical Downscaling of Daily Precipitation from Observed and Modelled Atmospheric Fields [J]. *Hydrological Processes*, 2004, 18(8): 1373-1394.
- [17] Friederichs P, Hense A. Statistical Downscaling of Extreme Precipitation Events Using Censored Quantile Regression [J]. *Monthly Weather Review*, 2007, 135(6): 2365-2378.
- [18] 赵天保, 符淙斌. 中国区域 ERA-40、NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析 [J]. *气候与环境研究*, 2006, 11(1): 14-32. (ZHAO Tian bao, FU Cong bin. Preliminary Comparison and Analysis between ERA-40, NCEP-2 Reanalysis and Observations over China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2006, 11(1): 14-32. (in Chinese))
- [19] 赵天保, 符淙斌, 柯宗建, 等. 全球大气再分析资料的研究现状与进展 [J]. *地球科学进展*, 2010, 25(3): 242-254. (ZHAO Tian bao, FU Cong bin, KE Zong jian, et al. Global Atmosphere Reanalysis Datasets: Current Status and Recent Advances [J]. *Advances in Earth Science*, 2010, 25(3): 242-254. (in Chinese))
- [20] 邓小花, 翟盘茂, 袁春红. 国外几套再分析资料的对比与分析 [J]. *气象科技*, 2010, 38(1): 1-8. (DENG Xiaohua, ZHAI Panmao, YUAN Chunhong. Comparative Analysis of NCEP/NCAR, ECMWF and JMA Reanalysis [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2010, 38(1): 1-8. (in Chinese))
- [21] Dee D P, Uppala S M. Variational Bias Correction of Satellite Radiance Data in the ERA-Interim Reanalysis [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2009, 135(644): 1830-1841.
- [22] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim Reanalysis: Configuration and Performance of the Data Assimilation System [J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 2011, 137(656): 553-597.
- [23] Uppala S, Dee D, Kobayashi S, et al. Towards A Climate Data Assimilation System: Status Update of ERA-Interim [J]. *ECMWF Newsletter*, 2008, 115.
- [24] Shi X, Xu X. Regional Characteristics of the Interdecadal Turning of Winter/summer Climate Modes in Chinese Mainland [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52(1): 10F-112.
- [25] 潘晓华, 翟盘茂. 气温极端值的选取与分析 [J]. *气象*, 2002, 28(10): 28-31. (PAN Xiaohua, ZHAI Panmao. Analysis of Surface Air Temperature Extremum [J]. *Meteorological Monthly*, 2002, 28(10): 28-31. (in Chinese))