

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2015.02.09

四川都江堰椿芽树沟泥石流特征参数 计算及防治工程设计

袁颖¹, 王帅伟¹, 满兵²

(1. 石家庄经济学院勘查技术与工程学院, 河北 石家庄 050031;

2. 河北省地矿局水文工程地质勘查院, 河北 石家庄 050021)

摘要: 运动学和动力学特征参数的分析计算是泥石流防治工程设计的基础。本文以椿芽树沟泥石流为例, 在分析泥石流形成条件的基础上, 详细计算了泥石流的流体重度、流速、流量、冲出量、冲击力、冲高、爬高和超高等运动学和动力学特征参数, 提出了“拦挡排”相结合的综合防治思路, 并给出了“谷坊坝+梳齿坝+单边防护堤+V型排导槽”的具体防治工程。椿芽树沟泥石流的防治方案不仅为椿芽树沟泥石流的防治提供了技术支持, 也可为同类工程提供参考。

关键词: 椿芽树沟泥石流; 形成条件; 特征参数; 防治工程

中图分类号: X43; P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2015)02-0051-06

Calculation of characteristic parameters and design of control work against of debris flow in Chunyashu gully, Sichuan province

YUAN Ying¹, WANG Shuaiwei¹, MAN Bing²

(1. School of Prospecting Technology and Engineering, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang, Hebei 050031, China; 2. Hydrological and Engineering Geology Investigation Institute,

Geology and Mineral Exploration Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei 050021, China)

Abstract: Analysis and calculation of characteristic parameters of kinematics and dynamics are the basis of control engineering design of debris flow. Taking Chunyashu Gully debris flow as an example, the formation conditions of debris flow were analyzed firstly. Then kinetic and dynamic parameters, including bulk density, velocity, flow capacity, sediment flush-out, impact force, impact and lift height, climb height and superelevation had been calculated in detail. Finally, the comprehensive control concept of integrated blocking method, retaining method with draining method was present, and the control engineering including check dam, comb dam, one-side protection embankment and V-type drainage groove was designed. The above design scheme provides technical support for the control of Chunyashu Gully debris flow and design reference for similar engineerings.

Keywords: Chunyashu gully debris flow; formation conditons; characteristic parameters; control engineering

0 引言

近几年,环太平洋地震带和地中海喜马拉雅地震

带上,大地震频繁发生,同时诱发了大量次生地质灾害。大量震灾实例表明,发生在山区的强烈地震,普遍诱发滑坡、崩塌、泥石流等次生地质灾害,严重影响人

收稿日期: 2014-03-26; 修订日期: 2014-04-09

基金项目: 国家自然科学基金资助(41301015); 国家大坝工程技术研究中心开放基金资助(NDSKFJJ1201)

第一作者: 袁颖(1976-),男,江西人,教授,博士,主要从事地质灾害防治与设计的教学和科研工作。Email: yuanyingson@163.com

员生命财产安全。在这几种常见的地质灾害中,由暴雨、冰雪融化等诱发的泥石流具有突然性以及流速快、能量大和破坏力强等特点,往往造成巨大损失^[1]。在我国,泥石流的防治和设计理论近二十年发展迅速,行业规范也制定较完善,特别是“5.12”汶川大地震和甘肃舟曲特大泥石流后,对于泥石流的形成机制、动力学特征及其防治和设计也越发受到重视^[2-6]。但是泥石流的防治实践性和经验性较强,泥石流特征参数的定量分析计算较为复杂,需要综合考虑泥石流运动学和动力学方面的特征进行分析以确定相关计算参数,并提出行之有效的防治对策,以保障人民群众的生命财产安全和保护当地经济持续发展。本文以“5.12”汶川大地震后椿芽树沟泥石流地质灾害为例,对泥石流形成条件进行了简要分析,并结合规范和相关文献对泥石流特征参数进行了详细分析和计算,提出有针对性的防治工程综合治理思路,给出防治工程结构设计示意图,以供工程技术人员参考。

1 椿芽树沟泥石流形成条件

椿芽树沟泥石流处于四川省都江堰市龙池镇北部,距离龙池镇约 8 km。区域构造方面为强抬升区,地形陡峻,沟谷下切和侧蚀作用强烈,沟岸山坡坡度在 35°以上,沟谷形态为 V 型谷,沟谷纵坡 533‰,就地形条件而言,有利于物源和水源的快速汇聚。物源方面,区内主要出露元古界震旦系花岗岩和松散第四系残坡积物、崩坡积物、冲洪积物等。“5.12”汶川大地震后不良地质现象发育,泥石流固体物源量大增;泥砂沿程补给充分,补给长度比 45%;沟口泥石流堆积扇明显挤压大河,导致扇区前缘龙溪河段河形明显弯曲,说明泥石流活动强度较大。沟域内降水丰沛,水源条件丰富,泥石流易发程度较高。“5.12”汶川大地震后至今,发生过几次泥石流,均未冲出沟口。但沟域内松散固体物源量大增,椿芽树沟在短时强降雨或持续降雨作用下诱发产生较大规模泥石流灾害的危险性大大增加。依据泥石流易发程度数量化评分表^[6],椿芽树沟泥石流综合得分 108 分,属泥石流易发沟。同时按照地质灾害防治等级的划分标准,该地质灾害点场地为复杂场地,泥石流灾害潜在危险性等级为中型,危险性和危害性较大^[7]。因此,进行工程防治是十分必要的。

2 泥石流基本特征参数计算

泥石流基本特征参数主要反映的是泥石流的运动学

特征。椿芽树沟泥石流基本特征参数计算主要参照和利用野外调查和访问获取的泥位、沟道断面特征等进行,包括泥石流流体重度、流速、流量、一次泥石流过程总量和一次泥石流固体冲出物总量。

2.1 泥石流流体重度

重度是泥石流最基本的特征参数之一,除对泥石流流体的性质起决定性作用外,还直接影响工程的规模 and 经济效益。由于没有泥石流现场观测的重度值,本文在现场调查的基础上,按照规范查表确定泥石流重度为 1.745 t/m³^[7-8]。

2.2 泥石流流速

目前,国内外确定泥石流流速的方法很多,由于所在区域的差异很大,不同类型的泥石流,流体性质各异,在具体计算时应考虑不同地区、不同类型和不同性质的泥石流特点,结合现场调查和历史资料,确定选用适当的计算公式与相关参数。根据现场调查,地震后松散堆积体在结构特征上以碎石、砾石为主,砂黏土充填(图 1)。



图 1 椿芽树沟堆积物的特征

Fig. 1 Characteristics of sediment of Chunyashu gully

鉴于上述物源特征,确定椿芽树沟泥石流以稀性流为主,因此采用西南地区(铁二院)计算公式确定泥石流流速,计算公式如下^[7]:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\gamma_H \varphi + 1}} \frac{1}{n} H_c^{2/3} I_c^{1/5} \quad (1)$$

限于篇幅,这里及后文引用的计算公式中的各参数说明见对应引用的参考文献。

根据椿芽树沟泥石流防治工程设计要求,按 20 年一遇洪水计算(频率 5%),按 50 年一遇标准校核(频率 2%),计算得椿芽树沟泥石流平均流速如表 1。其中 5-5'、8-8'、12-12'和 17-17'为设置防治工程的剖面位置(图 2)。

2.3 泥石流流量

泥石流的流量值不仅反映了泥石流的强度、规模

和泥石流的性质,而且还决定着泥石流防治工程构筑物的类型、结构和大小,是泥石流防治工程设计中重要的基本特征参数。根据椿芽树沟气象特征,本文采用雨洪法计算泥石流流量。

表 1 泥石流流速计算

剖面位置	频率 P 条件下的平均泥深/m		沟道纵坡	泥沙修正系数	糙率系数 n	固体物质重度/(t/m^3)	平均流速/(m/s)	
	$P = 5\%$	$P = 2\%$					5%	2%
5-5'	0.53	0.61	0.69	0.842	0.067	2.61	4.35	4.62
8-8'	0.58	0.63	0.638	0.842	0.067	2.61	3.99	4.31
12-12'	0.55	0.62	0.586	0.842	0.067	2.61	3.69	4.12
17-17'	0.50	0.59	0.52	0.842	0.067	2.61	3.60	3.98

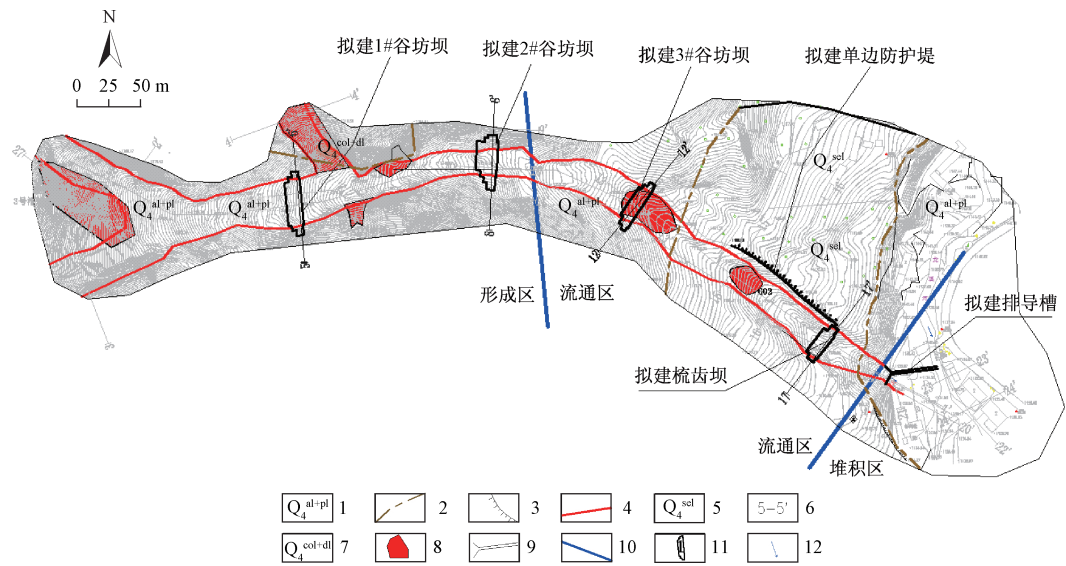


图 2 椿芽树沟泥石流防治工程平面布置图

Fig. 2 Plan layout of control engineering of Chunyashu gully debris flow

1—第四系冲、洪积堆积; 2—地质界线; 3—单边防护堤; 4—泥石流灾害危险区界线; 5—泥石流堆积; 6—剖面线;
7—第四系崩积; 8—崩塌物源分布范围; 9—V 型排导槽; 10—泥石流灾害特征分区界线; 11—谷坊坝和梳齿坝; 12—河流。

频率 P 条件下的暴雨洪峰流量计算采用如下公式^[9]:

$$Q_p = 0.278\psi \frac{s}{\tau^n} F \tag{2}$$

相应的泥石流峰值流量计算采用如下公式^[7]:

$$Q_c = (1 + \varphi) Q_p D_c \tag{3}$$

采用雨洪法求得的泥石暴雨洪峰流量和泥石流峰值流量如表 2。

表 2 泥石流暴雨洪峰流量和峰值流量计算

Table 2 Rainstorm peak discharge and peak discharge of the debris flow

剖面位置	$P = 5\%$		$P = 2\%$	
	暴雨洪峰流量	泥石流流量	暴雨洪峰流量	泥石流流量
	$Q_p / (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_c / (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_p / (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_c / (\text{m}^3/\text{s})$
5-5'	6.850	16.40	8.327	19.94
8-8'	7.389	17.69	8.955	21.44
12-12'	7.783	18.64	9.403	22.52
17-17'	8.753	19.21	10.326	22.95

2.4 一次泥石流过程总量和泥石流固体冲出物总量

一次泥石流总量 Q 可通过计算法和实测法确定。实测法精度高,但因往往不具备测量条件,只是一个粗略的概算。计算法根据泥石流历时 $T(\text{s})$ 和最大流量 $Q_c(\text{m}^3/\text{s})$,按泥石流暴涨暴落的特点,将其过程概化为五角形^[2],按下式计算:

$$Q = KTQ_c \tag{4}$$

一次泥石流固体冲出物总量按下式进行计算^[6]:

$$Q_H = Q(\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_H - \gamma_w) \tag{5}$$

将各已知参数带入式(4)和(5),可计算出一次泥石流过程总量和固体物质总量如表 3。

3 泥石流动力学特征参数计算

泥石流防治工程方案的确定应在泥石流基本参数计算的基础上,结合拟建工程部位特点,对拟设拦挡排工程部位的泥石流整体冲击力、爬高和最大冲起高度、

拟设排导槽弯曲段的弯道超高等动力学特征参数进行计算。按照规范确定椿芽树沟泥石流流防治工程设计安全级别为三级,按 20 a 一遇洪水进行设计计算,因此,采用对应设计频率 $P=5\%$ 的泥石流流平均流速进行泥石流流动力学特征参数计算。

表 3 一次泥石流过程总量和固体物质总量计算
Table 3 Total volume of one debris flow process and sediment flush-out of one debris flow

频率 P	剖面 位置	泥石流峰 值流量 $Q_c/(m^3/s)$	经验系数 K	历时 T/s	一次过程总 量 Q/m^3	一次固体总 量 Q_H/m^3
5%	5-5'	16.4	0.202	3000	9938.40	4598.824845
	8-8'	17.69	0.202	3000	10720.14	4960.561677
	12-12'	18.64	0.202	3000	11295.84	5226.957019
	17-17'	19.21	0.202	3000	11641.26	5386.794224
	5-5'	19.94	0.202	3000	12083.64	5591.498012
2%	8-8'	21.44	0.202	3000	12992.64	6012.122236
	12-12'	22.52	0.202	3000	13647.12	6314.971677
	17-17'	22.95	0.202	3000	13907.70	6435.550621

3.1 泥石流整体冲击力

泥石流冲击力可以分成泥石流整体冲击力和个别石块冲击力两个部分。以往的实践和计算结果表明,如果泥石流体中含有大量巨砾,这些巨砾与流体等速运动,则个别石块的冲击力对工程建筑物的威胁要远远大于流体动压力,并往往是导致工程失事的主要原因。而椿芽树沟泥石流的固体物源以碎石、砾石为主,粒径较小,个别石块的冲击力不大,因此,只对泥石流整体冲击力进行计算。采用铁二院(成昆、东川两线)的计算公式如下^[7]:

$$P = \lambda \frac{\gamma_c}{g} V_c^2 \sin \alpha \tag{6}$$

计算过程主要选择拟布设拦挡工程的 5-5'剖面、8-8'剖面、12-12'剖面 和 17-17'剖面进行计算,计算结果见表 4。

表 4 泥石流整体冲击力计算
Table 4 Whole impact force of the debris flow

剖面 位置	建筑物形 状系数 λ	泥石流 重度 $\gamma_c/(KN/m^3)$	泥石流平 均流速 $V_c/(m/s^2)$	受力面与泥石流 冲击力方向的夹 角 $\alpha/(^{\circ})$	泥石流 冲击力 P/kN
5-5'	1.33	17.1	4.35	90	43.91
8-8'	1.33	17.1	3.99	90	36.95
12-12'	1.33	17.1	3.69	90	31.6
17-17'	1.33	17.1	3.60	90	30.08

3.2 泥石流最大冲起高度和爬高

泥石流最大冲起高度和爬高按下式计算^[7]:

$$\Delta H = \frac{V_c^2}{2g} \tag{7}$$

$$\Delta H_c = \frac{bV_c^2}{2g} \approx 0.8 \frac{V_c^2}{g} \tag{8}$$

选择拟设拦挡工程的 4 个剖面进行计算,计算结果详见表 5。

表 5 泥石流最大冲起高度和爬高计算
Table 5 The maximum impact and lift height and climb height of the debris flow

剖面 位置	各剖面泥石流平均 流速 $V_c/(m/s^2)$	泥石流最大冲起 高度 $\Delta H/m$	泥石流爬高 $\Delta H_c/m$
5-5'	4.35	0.96	1.54
8-8'	4.99	0.81	1.29
12-12'	4.59	0.69	1.11
17-17'	3.60	0.66	1.05

3.3 泥石流弯道超高

泥石流弯道超高按下式进行计算^[7]:

$$\Delta h = \frac{2V_c^2 B}{gR} \tag{9}$$

通过计算,在拟设排导槽处泥石流在此弯道处最大超高为 1.1 m,该处泥石流径流深 1.0 m,超高后泥石流高度将达到 2.1 m,易产生大量堆积,从而泥石流可能冲入吴家坡,而威胁该处村民的人身财产安全。

4 防治工程设计

椿芽树沟沟道总体特征为上游纵坡较大,中游逐渐变缓,局部地段有陡缓相间的变化特点,局部垭口为治理工程设置谷坊坝和梳齿坝提供了有利条件。椿芽树沟下游流通堆积区沟道从老堆积扇区中间通过,沟道一般深 2~5 m,宽度 20~150 m,局部有弯道发育,沟道堵塞程度中等,沟口段与主河锐角相交,总体排导条件较差,在清理沟道的前提下修建排导工程的条件总体上较好。根据防治目标,结合沟道纵坡特征及沟域物源分布等,制定“拦挡排”相结合的综合治理思路^[10],采用“谷坊坝+梳齿坝+单边防护堤+V型排导槽”防治工程进行治理,其防治工程平面布置图如图 2。

在椿芽树沟 5-5'、8-8'、12-12'剖面处修建 3 座谷坊坝以稳拦物源,同时通过泥石流物质回淤压脚起到稳固沟床和减轻沟岸崩滑的作用。在 17-17'剖面处修建梳齿坝,拦截泥石流中大粒径块石,排导小粒径块石,减少到达椿芽树沟下段的固体物质量,降低泥石流重度。在沟谷下游,高程点 1185.89 m 至高程点 1163.92 m 之间,设计单边防护堤,防止泥石流弯道超高,对左岸民房造成伤害。在沟出口位置修建 V 型排

导槽,起到排导小粒径固体物质及洪水的作用,同时减小在居民点的河道曲率,增大曲率半径,减小弯道超高,保护沟口农家乐的安全。由于篇幅所限,各防治工程的详细计算和设计过程不具体给出,仅给出泥石流防治工程结构示意图(图3~图6)。

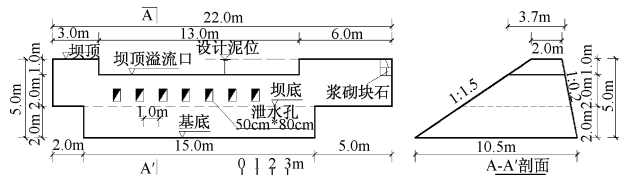


图3 谷坊坝结构示意图

Fig. 3 Structural schematic diagram of check dam

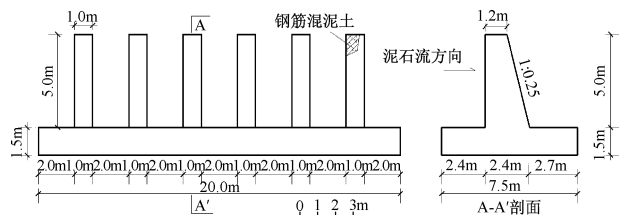


图4 梳齿坝结构示意图

Fig. 4 Structural schematic diagram of comb dam

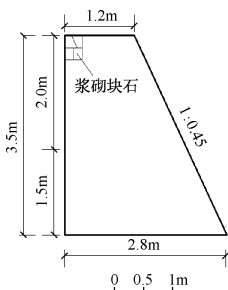


图5 单边防护堤结构示意图

Fig. 5 Structural schematic diagram of one-side protection embankment

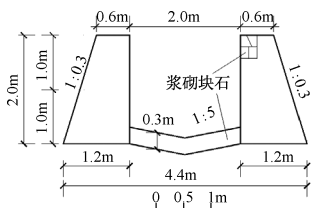


图6 V型排导槽结构示意图

Fig. 6 Structural schematic diagram of v-type drainage groove

5 结论

(1) 泥石流的特征参数不仅反映了泥石流的规模、强度和流体性质,还直接决定着泥石流防治工程的

类型、结构和尺寸,是泥石流研究和防治工程设计的基础。本文在分析椿芽树沟泥石流形成条件的基础上,重点对泥石流的重度、流速、流量、冲出量、冲压力、冲高、爬高和超高等运动学和动力学参数进行了分析计算,为泥石流的防治设计和科学治理提供了依据。

(2) 椿芽树沟为低频率老泥石流沟,“5.12”汶川大地震破坏了流域内山体的稳定性,产生了大量的崩滑体。由于地形坡度陡峻,在强降雨的作用下易形成泥石流灾害。防治工程采用“谷坊坝+梳齿坝+单边防护堤+V型排导槽”拦挡排相结合的综合治理方案,充分考虑了泥石流的运动学和动力学特征、防治目标、沟道纵坡特征及沟域物源分布等因素,能起到有效的防治效果,结构图也可作为地质灾害治理设计人员提供参考。

参考文献:

- [1] 吴积善,田连权,康志成,等. 泥石流及其综合治理[M]. 北京:科学出版社,1993.
WU Jishan, TIAN Lianquan, KANG Zhicheng, et al. Debris flow and its comprehensive control [M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [2] 张自光,张志明,张顺斌. 都江堰市八一沟泥石流形成条件与动力学特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 34-38.
ZHANG Ziguang, ZHANG Zhiming, ZHANG Shunbin. Formation conditions and dynamics features of the debris flow in Bayi gully in Dujiangyan county [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(1): 34-38.
- [3] 智晶子,王运生,韩丽芳,等. 四川省都江堰龙池甘沟泥石流特征及危险性分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(4): 52-56.
ZHI Jingzi, WANG Yunsheng, HAN Lifang, et al. Risk analysis and features of Gangou' debris flow, in Longchi, Dujiangyan of Sichuan province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(4): 52-56.
- [4] 胡向德,毕远宏,魏洁. 甘肃舟曲三眼峪沟泥石流的形成条件与发展趋势[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2011, 22(2): 55-60.
HU Xiangde, BI Yuanhong, WEI Jie. Conditions leading to the destructive debris flow at the Sanyanyu gully and its occurrence trend [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2011, 22(2): 55-60.
- [5] 宋志,巴仁基,刘宇杰. 四川康定母猪笼沟泥石流

- 形成特征与物源定量计算[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2012, 23(3): 39-45.
- SONG Zhi, BA Renji, LIU Yujie. Debris flow characteristics at Muzhulong gully, Kangding Country Sichuan province and quantity estimation of its source material [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2012, 23(3): 39-45.
- [6] 杨东旭,游勇,陈晓清,等.汶川震区陡峻型泥石流典型特征与防治[J]. 水文地质工程地质, 2015, 42(1): 146-153.
- YANG Dongxu, YOU Yong, CHEN Xiaoqing, et al. Typical Characteristics and mitigation of debris flow in narrow-steep gullies in the Wenchuan earthquake areas [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2015, 42(1): 146-153.
- [7] DZ/T0220—2006 泥石流灾害防治工程勘查规范[S].
- DZ/T0220—2006 Specification of Geological Investigation for Debris Flow Stabilization [S].
- [8] 河北省地矿局. 四川省地震灾区都江堰市龙池镇南岳村椿芽树沟泥石流应急勘查报告[R]. 石家庄: 河北省地矿局水文工程地质勘察院, 2010.
- Geology and Mineral Exploration Bureau of Hebei Province. The feasibility report of Chunyashu gully debris flow in nanyue village of Longchi town of Dujiangyan city in Sichuan province [R]. Shijiazhuang: Hydrological and Engineering Geology Investigation Institute, 2010.
- [9] 四川省水利电力厅. 四川省中小流域暴雨洪水计算手册[M]. 成都: 四川省水利电力厅, 1984.
- Water Conservancy and Electric Power Department of Sichuan Province. Calculation manual of rainstorm and flood in small basin in Sichuan province [M]. Chengdu: Water Conservancy and Electric Power Department of Sichuan Province, 1984.
- [10] 沈娜. 四川省九龙县石头沟泥石流特征与防治工程措施研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- SHEN Na. The characteristics and prevention measures of Shitou gully in Jiulong country Sichuan province [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2008.

(上接第 22 页)

- [6] 李维朝,戴福初,闵 弘,等. 基于降雨滑坡机理的水文过程监测系统设计[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(4): 22-26.
- LI Weichao, DAI Fuchu, MIN Hong, et al. Design of monitoring system for hydrologic process based on rainfall landslide mechanism [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(4): 22-26.
- [6] 贺可强,白建业,王思敬. 降雨诱发型堆积层滑坡的位移动力学特征分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(5): 705-709.
- HE Keqiang, BAI Jianye, WANG Sijing. Analysis of displacement dynamic feature of colluvial landslide induced by rainfall [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(5): 705-709.
- [7] 李长江,麻土华,李 炜,等. 滑坡频度-降雨量的分形关系[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2010, 21(1): 87-93.
- LI Changjiang, MA Tu hua, LI Wei, et al. Fractal relation of landslide frequency and rainfall [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010, 21(1): 87-93.
- [8] 许建聪,尚岳全. 降雨作用下碎石土滑坡解体变形破坏机制研究[J]. 岩土力学, 2008, 29(1): 106-112, 118.
- XU Jiancong, SHANG Yuequan. Study on mechanism of disintegration deformation and failure of debris landslide under rainfall [J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(1): 106-112, 118.
- [9] 张 珍,李世海,马 力. 重庆地区滑坡与降雨关系的概率分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(17): 3185-3191.
- ZHANG Zhen, LI Shihai, MA Li. Probability analysis of relationship between landslide and rainfall in Chongqing area [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(17): 3185-3191.
- [10] 三峡工程库区三期地质灾害防治地质勘察技术要求[S]. 三峡库区地质灾害防治工作指挥部, 2004.
- The reservoir area of Three Gorges Project phase three geological disaster prevention and control of geological survey requirements [S]. The Three Gorges Reservoir Geological Hazard Prevention and Control Work Headquarters, 2004.