

# 低频率泥石流灾害及工程防治

王士革<sup>1</sup>, 范晓岭<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:** 重现期 > 50 a 的泥石流被定义为低频率泥石流。低频率泥石流灾害可能发生在生态环境良好的地区, 并造成重大的财产损失和人员伤亡。低频率泥石流灾害具有需要大暴雨、特大暴雨、冰湖或水库(尾矿坝)溃决、火山爆发、冰雪融化、冰崩、雪崩、滑坡、地震等特殊因素激发, 危害严重, 难于预测预报等特点。低频率泥石流灾害应采取土木工程进行预防性治理, 工程设计的要点是, 在沟谷中布置坚固的大中型骨干拦挡工程, 并保证有充足的拦淤库容。新型拦砂坝设计采用重力式结构, 低坝群布置, 浆砌石建造, 在坝体上设置大孔口, 具有工程投资小, 就地取材, 施工简单, 有选择性地拦截泥沙, 拦淤库容可以反复使用等优点, 适合我国国情。

**关键词:** 低频率; 泥石流; 灾害; 工程防治

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

1999 - 12 - 16, 委内瑞拉瓦嘎斯州北部加勒比海沿岸约 50 km 的狭长地带, 热带飓风带来的特大暴雨引发了低频率大规模毁灭性泥石流灾害, 造成约 1.5 万人死亡, 2.3 万幢房屋被毁, 6.5 万幢房屋受到严重损坏, 直接经济损失达 200 亿美元<sup>[1]</sup>。委内瑞拉发生的低频率泥石流灾害引起了全世界科学家的关注。

中国是世界上泥石流灾害最严重的国家之一, 泥石流灾害常造成重大人员伤亡, 毁坏城镇、村庄、农田, 破坏工矿、交通、通讯、电力、水利、国防等各种设施, 并对生态环境造成破坏。据近年来的统计, 我国平均每年因滑坡、泥石流等突发性地质灾害造成的直接经济损失达 57 亿元, 大概占其他各类自然灾害(除地震灾害外)总损失的 1/4, 死亡和失踪 1 000 ~ 1 500 人占其他各类自然灾害死亡总人数的一半以上<sup>[2]</sup>。

据对世界各国现代泥石流灾害的分析和统计, 造成重大人员伤亡的泥石流灾害绝大多数都是低频率泥石流灾害。因此, 低频率泥石流防治是国内外

最急需解决的课题之一。

## 1 低频率泥石流的定义

在自然界, 泥石流是一种随机现象, 实际工作中一般用经验频率来代替泥石流的发生概率。泥石流防治工程设计需要确定泥石流的暴发频率, 根据暴发频率对泥石流进行分类, 并根据不同类型来制定泥石流防治方案。在泥石流调查中, 一般采取实地调查资料和历史文献资料相结合的综合分析方法, 确定一个小流域暴发泥石流的重现期, 再由重现期推算其暴发频率。

在大多数研究文献中, 泥石流暴发频率的分类采用模糊性指标, 并将泥石流分为三类<sup>[3-6]</sup>。

高频率泥石流: 一年发生多次或数年发生一次的泥石流。

中频率泥石流: 十年以上或数十年发生一次的泥石流。

低频率泥石流: 数十年或上百年才发生一次的

收稿日期(Received date): 2006 - 08 - 14。

基金项目(Foundation item): 中国科学院知识创新工程项目(KSCX - 7 - 01 - 04) [Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences, No KSCX - 7 - 01 - 04]

作者简介(Biography): 王士革(1950 - ), 男, 四川成都人, 研究员, 主要从事泥石流等山地灾害的防治理论和防治技术研究 [Wang Shige (1950 - ) Professor, main research field is theory and technique for mountain hazards]

泥石流。

在泥石流防治工程设计中,必须采用定量指标来划分泥石流的暴发频率。目前,对泥石流频率的分类,我国尚未制定相应的标准。这里在谢洪等人提出的泥石流分类指标的基础上<sup>[7]</sup>,结合工程实践提出了泥石流频率新的分类指标(表1),将泥石流分为高频率、中频率和低频率3类,将重现期 > 50 a 的泥石流定义为低频率泥石流。

在自然界,高频率泥石流沟极为少见,我国仅发现有云南东川蒋家沟、大盈江浑水沟和西藏波密加马其美沟等少数高频率泥石流沟。中频率泥石流沟在我国分布很普遍,目前,各部门开展泥石流区域调查,对泥石流沟编目和进行治理的泥石流沟大多数是此类泥石流沟。根据最新的研究,低频率泥石流沟是分布最普遍,数量最大,潜在危险最大的泥石流沟,但目前对此类泥石流沟研究甚少,进行调查、编

目和治理的更少。

表1 泥石流频率分类指标

Table 1 The sort index of debris flow frequency

泥石流类型	重现期(a)
低频率	>50
中频率	3~50
高频率	≤2

## 2 低频率泥石流灾害的特点<sup>[8]</sup>

由泥石流造成的灾害,包括人员伤亡、财产损失、生态环境和资源破坏等,称为泥石流灾害<sup>[9]</sup>。20世纪60年代以来,国内外相继发生了一系列重大的低频率泥石流灾害(表2),造成了巨额的财产损失和大量的人员伤亡。

表2 重大低频率泥石流灾害

Table 2 Serious hazards of low frequency debris flow

暴发地区	暴发时间	激发因素	灾情概况
秘鲁瓦斯卡兰山	1970	火山顶岩体崩塌	500多万m <sup>3</sup> 的雪水夹带泥石,以100 km/h的速度冲向秘鲁的容加依城,造成2.3万人死亡
哥伦比亚鲁伊斯	1985-11-13	火山爆发	阿美罗城成为废墟,造成2.5万人死亡,15万家畜死亡,13万人无家可归,经济损失高达50亿美元
厄瓜多尔 Paute 河谷	1986-03-29	滑坡坝溃决	下游20 km河谷内的居民住房、交通和工厂被泥石流完全毁坏
菲律宾莱特岛中部	1991-11	特大暴雨	造成至少6000人死亡
委内瑞拉加勒比海沿岸	1999-12-06	特大暴雨	1.5万人死亡,2.3万幢房屋被毁,6.5万幢房屋受到严重破坏,直接经济损失达200亿美元
菲律宾莱特岛圣伯纳镇	2006-02-17	特大暴雨	圣伯纳镇遭严重破坏,死亡人数超过1800人
云南盈江县南怀河	1968-08-02	特大暴雨	淤埋3个村寨,100人死亡
四川雅安甘溪沟、陆王沟	1979-11-12	特大暴雨	死亡164人
四川甘洛县利子依达沟	1981-07-09	暴雨	冲毁成昆线铁路大桥,中断行车372 h,死亡300多人,造成直接经济损失2000多万元
云南东川因民黑山沟	1984-05-27	特大暴雨	121人死亡,直接经济损失1100万元
西藏波密米堆沟	1988-07-15	冰湖溃决	造成川藏公路42 km毁坏,交通中断达半年之久,直接经济损失600万元
云南祥云县米甸乡	1999-09-15	特大暴雨	水库溃决造成直接经济损失439万元
四川丹巴县邛山沟	2003-07-12	暴雨	51人失踪和死亡
四川汶川县茶园沟	2003-08-09	大暴雨	2人死亡,11人失踪
云南盈江县、陇川县、瑞丽市	2004-07-04	特大暴雨	14人死亡,4人失踪
云南盈江县支那乡芦山村蕨叶坝下寨	2004-07-20	特大暴雨	12人死亡,41人失踪
四川泸定县德威乡、杵坨乡	2005-06-30	暴雨	9人死亡,经济损失151万元

## 2.1 一般由特殊因素激发

低频率泥石流沟在一般年份只出现常年洪水,在特殊因素的激发下才发生泥石流。这些特殊因素包括大暴雨、特大暴雨、冰湖或水库(尾矿坝)溃决、火山爆发、冰雪融化、冰崩、雪崩、滑坡、地震等。由于这些激发因素出现的概率小,导致低频率泥石流发生的频率也小,这些激发因素的出现又是随机的,因此,对低频率泥石流灾害的预测和预报非常困难。

我国低频率泥石流灾害主要由大暴雨、特大暴雨激发而发生,在沿海一带山区主要由台风带来的暴雨所激发,在中西部地区山区主要由局地暴雨所激发。如,1981-07-09,百年一遇的暴雨引发的四川甘洛县利子依达沟低频率泥石流,冲毁成昆铁路大桥,中断行车372 h,造成死亡300多人,直接经济损失2000多万元<sup>[10]</sup>。发生这类泥石流的小流域沟床比降大,一般没有固定的大、中型松散固体物质补给源地,常年洪水输沙能力较小,只能带走沟床表面较细的物质,沟床表面由粗大的砾石覆盖。而大暴雨、特大暴雨引发的大洪水,能揭起大砾石形成的保护层,启动沟床物质,形成大规模泥石流。这类泥石流沟发生一次大规模泥石流后,积累充分的固体物质需要很长的时间,这也是泥石流发生频率低的原因之一。<sup>[3]</sup>

我国由冰湖溃决、冰雪融化、冰崩和雪崩激发的低频率泥石流主要发生在青藏高原及周边地区,如,1998-07-15,西藏波密米堆沟冰湖溃决形成泥石流(见表2)<sup>[11]</sup>。由于大部分小型水库(尾矿坝)设计标准低,工程质量难以保证,水库(尾矿坝)溃决形成泥石流的现象在我国每年都有发生,如2001-07-10,云南武定县近城镇木果甸村村前山上的钛矿采选厂尾矿坝突然坍塌形成泥石流,造成5人死亡,2人失踪。

滑坡可直接转化为泥石流,而在高山峡谷地区大型滑坡形成的土石坝可堵江形成堰塞湖,坝后水位上涨导致坝体溃决,则可能形成溃决型泥石流,形成滑坡→泥石流灾害链,造成更大的灾害。如,1986-03-29,厄瓜多尔 Paute 河谷由地震引起的滑坡,在河谷中形成高200 m的土石坝,26 d后土石坝溃决形成泥石流,下游20 km河谷内的居民住房、道路和工厂被泥石流完全毁坏,造成巨大的灾害<sup>[12]</sup>。

我国没有现代活火山,而在南、北美洲火山引发的泥石流灾害触目惊心。如,1985-11-13,哥伦比亚亚鲁伊斯火山爆发,山上的积雪融化后夹杂着泥砂、

石块顺坡而下形成泥石流,淤埋了山下的城镇、村庄和田地,阿美罗城成为废墟,造成2.5万人死亡,15万家畜死亡,13万人无家可归,经济损失高达50亿美元<sup>[13]</sup>。

## 2.2 生态环境良好的地区也可能发生泥石流灾害

一般人错误地认为在生态环境良好、植被覆盖率高的山区不会发生泥石流、滑坡等突发性山地灾害。据现在已搜集的资料表明,在各国生态环境良好、植被覆盖率非常高的山区,甚至在原始森林地区都多次发生低频率泥石流灾害,并造成重大的财产损失和人员伤亡。20世纪80年代以来在四川贡嘎山、九寨沟风景区的原始森林地区和植被覆盖良好的江西庐山风景区均发生过泥石流灾害。云南省德宏州地处南亚热带,州境内大部分地区为茂盛的森林所覆盖。2004-07-04~05,德宏州普降特大暴雨,盈江县、陇川县、瑞丽市大面积发生山洪、泥石流及滑坡灾害,造成14人死亡、4人失踪;同年07-20,盈江县再次出现特大暴雨,支那乡芦山村藤叶坝下寨发生特大滑坡、泥石流灾害,造成12人死亡、41人失踪。根据对此次滑坡、泥石流灾害调查资料的初步分析,森林对山体的保护是有限度的,当暴雨持续发生,林下土体含水量接近液限时,树根对土体的锚固作用消失,当山体下滑时,其上的植物将一起随土体滑动,成为泥石流固体物质的组成部分——漂木。含有大量漂木的泥石流危害范围更宽,因为一般泥石流携带的大漂砾都停积在沟口堆积扇上,而漂木则可以随水流一直漂到更远的地带,堵塞河道和桥洞,造成洪水泛滥<sup>[14]</sup>。

在美洲的美国、巴西等国家和亚洲泰国、印度尼西亚等国家的生态环境良好、植被覆盖率高的地区,此类现象也经常发生,被称为“木流(woody debris or woody debris flow)”,并将其作为一种灾害,进行专门的研究<sup>[15]</sup>。

综上所述,生态环境良好的地区、泥石流等灾害的发生频率小于生态环境恶劣的地区,在大暴雨或特大暴雨的激发下可能发生大规模低频率泥石流灾害。

## 2.3 危害严重

低频率泥石流平时不被人们所警惕,一旦发生可能造成极其严重的人员伤亡和财产损失。低频率泥石流危害严重既有自然因素,又有人为因素<sup>[16,17]</sup>。

### 2.3.1 自然因素

#### 2.3.1.1 暴发突然,先兆不明显

泥石流暴发突然,历时短暂,低频率泥石流的主要成灾过程从发生到结束一般仅有几分钟到几十分钟,而且先兆不明显,暴发地点随机性很强,在暴发前难以准确预报,在灾害发生时来不及组织有效防御和人员疏散。因此,常常造成重大的财产损失和人员伤亡。如,2003-07-12,四川甘孜藏族自治州丹巴县巴底乡邛山沟突发特大泥石流灾害,造成51人失踪和死亡(包括5名上海游客)。泥石流发生时,邛山沟下游并没有下雨,当地藏民和游客正在跳藏族舞,对泥石流毫无防备,以至造成惨剧。

### 2.3.1.2 规模大,破坏力强

低频率泥石流具有巨大破坏力,往往在极短的时间内将数量巨大的固体物质从沟内搬运到堆积扇上,摧毁前进途中的一切建筑物,造成巨大的破坏。如,前面的1981-07-09四川甘洛县利子依达沟泥石流,将铁路桥直径为4.0~6.5m的变截面圆台型桥墩冲断,冲击力达1200t。<sup>[10]</sup>

### 2.3.1.3 泥石流扇是山区城镇建设的首选之地

在山区,尤其在高山峡谷地区,山谷中泥石流堆积扇地势较为平坦开阔,土地肥沃,灌溉便利,气候及交通条件相对较好,是山区城镇建立和进行农业生产的首选之地,也是公路、铁路等生命线工程必经之地。这些堆积扇上的建筑物和农田本身就处于泥石流危害范围之内。据统计,全国约有150个县级以上城镇受泥石流危害。如,2003-08-29,泥石流冲进陕西宁陕县城,造成6人死亡,11人失踪。<sup>[16]</sup>

### 2.3.2 人为因素

#### 2.3.2.1 对低频率泥石流灾害缺乏警惕性

人们对低频率泥石流警惕性不高,或因判定困难,或抱有侥幸心理,把它发育的沟谷作为一般洪水沟看待。因而在沟口泥石流堆积扇上建大量的房屋及其他设施,为了获得更多的土地将沟槽缩窄,紧靠沟边进行建设,同时,沟口的排导工程只能排导一般年份的洪水。堆积扇开发后,泥石流危险区内集中了大量人口和财富,又缺乏有效的防御工程,一旦大规模泥石流发生,就会造成巨大的损失。

#### 2.3.2.2 不合理的人类经济活动增多

随着山区经济的发展,开山采矿、水利、交通工程建设等破坏山体稳定和随意弃渣的现象不断发生,导致生态环境恶化,水土流失加剧,促使泥石流活动性增强,甚至直接诱发泥石流。

## 3 低频率泥石流灾害的工程防治

低频率泥石流难于预测预报,一般采取土木工程进行治理。20世纪90年代开始,我所重点对低频率泥石流防治进行了研究,系统地归纳总结出一套适合中国国情、较为成熟的低频率泥石流防治理论和防治技术<sup>[8,18]</sup>。

### 3.1 防治标准

目前,我国城镇防洪和防治泥石流按《城市防洪工程设计规范》CJJ50-92的防洪标准(表3)执行。

表3 城镇防洪标准

Table 3 Standards for prevention of flood in cities of China

城市等别	防洪标准(重现期:a)		
	河(江)洪、海潮	山洪	泥石流
特别重要城市	≥200	100~50	>100
重要城市	200~100	50~20	100~50
中等城市	100~50	20~10	50~20
小城市	50~20	10~5	20

低频率泥石流暴发的周期很长,泥石流防治工程保护的對象一般是县城及乡、镇,即使提高设计等级,采用小城市20a一遇的设计标准,显然也达不到防御泥石流灾害的目的。根据我国已建泥石流防治试点工程的设计经验和工程的运行情况,建议低频率泥石流防治工程设计按下列标准进行(表4)。

表4 低频率泥石流防治标准

Table 4 Standards for prevention of low frequency debris flow

城镇等别	标准(重现期:a)	
	设计	校核
重要城镇	100	300
一般城镇 重要居民点	50	100

### 3.2 防治工程的设计原则

低频率泥石流的防治除应遵循一般泥石流治理工程的设计方法外,还应根据低频率泥石流暴发规模大和破坏力强的特点,考虑下述设计原则:

1. 对泥石流沟进行预防性治理,以防巨灾出现;
2. 在沟谷中布置坚固的大中型骨干拦挡工程,以抵御大规模泥石流的冲击,将大部分固体物质拦截沟内,在泥石流峰值流量被削减、泥石流密度降低

的前提下,堆积扇上的排导槽可按稀性泥石流或山洪设计;

3. 拦砂坝应有充足的拦淤库容,并在一般洪水年保持空库,以抵御大规模低频率泥石流。

### 3.3 一种新型的拦砂坝

低频率泥石流沟治理的成功与否,在于骨干拦砂坝的设计。20世纪90年代以来,我所科研人员开始研究适用于低频率泥石流防治的新型拦砂坝,并在工程实践中开始应用。这种新型拦砂坝采用重力式结构,低坝群布置,坝体采用浆砌石建造,坝体上设有排水和排泄细颗粒泥沙的大孔口。拦砂坝在一般洪水年让细颗粒泥沙从坝体上的孔口通过,保持充足的库容,当大规模泥石流发生时,拦砂坝群将大石块、粗颗粒泥沙和漂木拦截在库内,起到削减泥石流峰值流量,降低泥石流容重和减小泥石流破坏力等作用,达到减轻和控制灾害的目的。与美国、日本、前苏联采用高坝治理泥石流的技术相比,这种拦砂坝设计方案具有显著的优点(表5)<sup>[8,19,20]</sup>。

1. 解决了一般泥石流沟道缺乏建大型拦砂坝的坝址问题;

2. 可节约1/3到1/2的工程投资;

3. 拦砂坝可就地取材,施工方法简单,不需要大型施工机械,可组织当地民工施工,适合我国国情;

4. 拦砂坝库容可有选择性地拦截泥沙,拦淤库容可以反复使用。

表5 拦砂坝设计方案比较表

Table 5 The comparison of design for the barrage

方案		低坝群技术	高坝技术
结构特点	坝型	重力式	土石坝
	坝高	10~15 m	50 m以上
	数量	2~4座	一般1座
	泄洪	坝体上设有泄洪孔	需设专门的泄洪设施
建筑材料	坝主体	浆砌石	土、石
	基础	毛石混凝土	土、石
	溢流口、泻流孔	混凝土	混凝土
优缺点		可用于大多数泥石流沟	需建高坝的地形和地质条件
		可有选择性地拦截泥沙	无选择性地拦截泥沙
		拦淤库容可重复使用	拦淤库容一次性使用
		施工简单,不需大型施工机械	施工需大型施工机械
		工程造价低	工程造价高 30%~50%
	可靠性较高	可靠性高	

我国山区经济技术水平低,泥石流防治投资水平低,这种拦砂坝更显示出其优越性。这种拦砂坝已运用在北京、云南等地的泥石流防治工程中,并在工程实践中获得成功(图1)。如,1999年云南大理市白石溪发生大规模低频率泥石流,我所设计的泥石流拦砂坝起到拦截大颗粒泥沙、削减峰值流量等关键性作用,使下游免遭泥石流危害。



图1 云南梁河囊滚河泥石流拦砂坝

Fig. 1 Silt-strip dam in Longgun Rive, in Lianghe County, Yunnan Prinvonce

## 4 结论

低频率泥石流暴发突然,具有巨大破坏力,往往在极短的时间内将数量巨大的固体物质从沟内搬运到堆积扇上,摧毁前进途中的一切建筑物,造成巨大的破坏,是一种经常造成重大人员死亡的突发性灾害。

低频率泥石流沟在大暴雨、特大暴雨、冰湖或水库(尾矿坝)溃决、火山暴发、冰雪融化、冰崩、雪崩、滑坡、地震等特殊因素的激发下才发生泥石流。

生态环境良好的地区泥石流灾害发生的频率小于生态环境恶劣的地区,在大暴雨或特大暴雨的激发下仍可能发生低频率泥石流灾害。

低频率泥石流难于预测预报,一般采取土木工程进行防治。防治工程设计应考虑,对泥石流沟进行预防性治理,在沟谷中布置坚固的大中型骨干拦挡工程,拦砂坝应有充足的拦淤库容,并在一般洪水年保持空库等设计原则。

新型拦砂坝工程设计采用重力式结构,低坝群布置,浆砌石建造,坝体上设有排水和排泄细颗粒泥沙的大孔口,具有工程投资小,就地取材,施工简单,

有选择性地拦截泥沙,拦淤库容可以反复使用等优点,适合我国国情。

### 参考文献(References)

- [1] Reinaldo Garcia-Martinez, José Luis Lopéz. Debris flow of December 1999 in Venezuela [A]. In: Debris-flow Hazards and Related Phenomena [C]. Praxis: Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2005. 519 ~ 538
- [2] Wang Shige. Seercan escape from hazards [J]. *Resource and Environment of Residence*, 2005, 7: 9 ~ 22 [王士革. 灾害逃生, 先知者胜 [J]. 资源与人居环境, 2005, 7: 9 ~ 22]
- [3] Kang Zhicheng, Li Zhuofen, Ma Ailai, et al. Research for Debris Flow in China [M]. Beijing: Science Press, 2004. 5 ~ 21 [康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2004. 5 ~ 21]
- [4] Wu Jishan, Tian Lianquan, Kang Zhicheng, et al. Debris Flow and Its Comprehensive Control [M]. Beijing: Science Press, 1993. 191 ~ 214 [吴积善, 田连权, 康志成, 等. 泥石流及其综合防治 [M]. 北京: 科学出版社, 1993. 191 ~ 214]
- [5] Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Science & Water Conservancy Ministry. Debris Flow in China [M]. Beijing: Science Press, 2000. 60 ~ 71 [中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所. 中国泥石流 [M]. 北京: 科学出版社. 2000. 60 ~ 71]
- [6] Zhong Dunlun, Xie Hong, Wang Shige, et al. Debris Flow in the Beijing Mountain [M]. Beijing: The Commercial Press, 2004. 87 ~ 108 [钟敦伦, 谢洪, 王士革, 等. 北京山区泥石流 [M]. 北京: 商务印书馆, 2004. 87 ~ 108]
- [7] Xie Hong, Zhong Dunlun, Wei Fangqiang, et al. Information of debris flow and its collection [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2000, 20 (5): 474 ~ 477 [谢洪, 钟敦伦, 韦方强, 等. 泥石流信息范畴与信息收集 [J]. 地理科学, 2000, 20 (5): 474 ~ 477]
- [8] Wang Shige. Characteristic of large low-frequency debris flow hazards and mitigation strategies [J]. *Journal of Mountain Science*, 2005, 2 (1): 50 ~ 58
- [9] Wang Shige, Zhong Dunlun, Zhang Xiaogang, et al. Essential Knowledge for Mitigating Mountain Hazards [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2005. 39 [王士革, 钟敦伦, 张晓刚, 等. 山地灾害及防灾减灾基本知识 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2005. 39]
- [10] Li Deji, Lu Ruren, Tang Bangqing, et al. Debris flow and its control in Lizhiyida Gully, Ganluo, Sichuan [A]. In: Collected Papers of the National Conference on Exchange of Experiences on the Prevention and Control of Debris Flow [C]. Chongqing: Chongqing Division of Scientific and Technical Document Publishing House, 1983. 34 ~ 39 [李德基, 吕儒仁, 唐邦兴, 等. 四川甘洛利子依达沟泥石流及其防治 [A]. 见: 全国泥石流防治经验交流会论文集 [C]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 34 ~ 39]
- [11] Lu Ruren, Li Deji, Tan Wanpei, et al. Hazards and Environment in Mountain Area [M]. Chengdu: Sichuan University Press, 2001. 36 ~ 43 [吕儒仁, 李德基, 谭万沛, 等. 山地灾害与山地环境 [M]. 成都: 四川大学出版社, 2001. 36 ~ 43]
- [12] G. Plaza-nieto, O. Zevallos. The 1993 La Josefina Rockslide and Rio Paute Landslide Dam, Ecuador [J]. *Landslide News*, 1994, (8): 4 ~ 7
- [13] James W. Valance. Volcanic debris flows [A]. In: Debris-flow Hazards and Related Phenomena [C]. Praxis: Praxis Publishing Ltd Chichester UK, 2005. 247 ~ 274
- [14] Meng Guocai, Gao Kechang, Wang Shige, et al. Large-scale landslide debris flow hazard and the mitigation countermeasure in Longchuan County, Yunnan Province [J]. 2004, 15 (4): 104 ~ 108 [孟国才, 高克昌, 王士革, 等. 云南陇川县“2004-07-05”特大滑坡泥石流灾害及防治对策 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15 (4): 104 ~ 108]
- [15] J. V. Degraff. Landslide dams from the November 1998 Storm Event in Southern Thailand [J]. *Landslide News*, 1990, (4): 12 ~ 15
- [16] Xie Hong, Zhong Dunlun, Wei Fangqiang, et al. Debris flow hazards and their formation causes in mountain urban of China [J]. *Journal of Mountain Science*, 2006, 24 (1): 79 ~ 87 [谢洪, 钟敦伦, 韦方强, 等. 我国山区城镇泥石流灾害及其成因 [J]. 山地学报, 2006, 24 (1): 79 ~ 87]
- [17] Wang Shige. Landslides and debris flow in construction of town in mountain area in Yunnan Province [A]. In: Theory and Practice of Landslide and Debris Flow Hazards for Town in Mountain Area [C]. Xian: Northwestern Polytechnic University Press, 1999. 157 ~ 163 [王士革. 云南山区城镇建设中的滑坡泥石流问题 [J]. 见: 山地城镇规划理论与实践 [C]. 西安: 西北工业大学出版社, 1999. 157 ~ 163]
- [18] Li Deji. Theory and Practice of Mitigating Debris Flow Hazards [M]. Beijing: Science Press, 1997. 150 ~ 169 [李德基. 泥石流减灾理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社. 1997. 150 ~ 169]
- [19] N. POPOV. Debris flow and their control in Alma-Ata [J]. *Landslide News*, 1990, (4): 25 ~ 27
- [20] Lan Zhaosheng, Cao Guangyao, Yao Deji. Sediment control dam of debris flow [J]. In: Institute of geography, Chinese Academy of Science, et al. Debris Flow (2) [C]. Chongqing: Chongqing Division of Scientific and Technical Document Publishing House, 1983. 76 ~ 84 [兰肇生, 曹光尧, 姚德基. 国外泥石流拦挡工程 [J]. 见: 中国科学院成都地理研究所. 泥石流 (2) [C]. 重庆: 科学技术出版社重庆分社, 1983. 76 ~ 84]

## The Hazards and Engineering Control of Low Frequency Debris Flow

WANG Shige<sup>1</sup>, FAN Xiaoling<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;*

2. *The Graduated School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** Low frequency debris flow is defined as that with return period of larger than 50 years. The most disasters have been caused by the low-frequency debris flows, which occur usually under heavy rain and rainstorm; break of ice lake and reservoir (tail mineral dams), volcanic eruptions, melted ice and snow, ice collapse, avalanche, landslides, earthquakes, and others alike. They also occur in good ecological conditions. The forecast of low-frequency debris flow is difficult and generally engineering measurements are necessary for prevention. In designing engineering works, the large and medium-sized dams of gravity types should be set in the gully with sufficient capacity of storage. And deeper dams should be planned in group with coordinating function. The sediment can be selectively captured and the capacity of storage can be renewed. Dams are built in stone masonry with parallel holes for delivering water and fine content of sediment of the flow. Engineering system like this costs less and requires no special materials and techniques in construction.

**Key words:** low frequency; debris flow; hazards; engineering control