

文章编号: 1008-2786-(2006)3-333-07

# 良好植被区泥石流防治初探

陈晓清, 崔 鹏, 韦方强

(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)

**摘 要:** 通过对近年来发生在良好植被区的几次重大泥石流、滑坡灾害的考察, 发现植被在泥石流、滑坡形成中的作用有待于进一步认识。通过分析, 当中小强度降雨激发下, 植被能够削减泥石流、滑坡灾害的规模, 甚至抑制泥石流、滑坡灾害的发生; 当降雨超过一定阈值后, 在水作用下, 植被不但不能削减灾害规模, 反而增大灾害的规模。在这类地区, 简单地使用一般的防治措施, 已经不能满足防灾、减灾的需要, 客观要求针对这些地区泥石流灾害的形成原因、危害特征, 研究防治对策。经初步研究提出 3 点防治措施: 1) 加强泥石流滑坡灾害的预测预报工作; 2) 在重点区域设置自动雨量记录报警装置; 3) 特别针对漂木拦挡, 采取新型结构减轻泥石流的危害。

**关键词:** 良好植被区、泥石流、滑坡、防治措施

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

泥石流形成的基本条件包括地质条件、地貌条件和水源条件。针对这三大条件的分析目前已经很多。目前关于生态环境与泥石流的关系研究还较少<sup>[1, 2]</sup>, 山地灾害治理中的生物工程理论研究和应用技术远落后于工程实践<sup>[3]</sup>。普遍认为: 植被破坏是促进泥石流发育的重要诱因, 高植被覆盖能抑制泥石流的发生<sup>[4-14]</sup>。陈金日<sup>[7]</sup>于 1981 年通过实例分析了植被破坏对泥石流形成的促进作用, 以此分析了植被在泥石流防治中的作用。柳素清<sup>[8]</sup>于 1981 年通过不同植被区土壤微团聚体的含量, 分析了植被对泥石流的抑制作用。在涉县的 1996-08 特大洪灾中的调查中发现<sup>[10]</sup>, 在植被覆盖率达 35% 的石灰岩深山区抵御自然灾害的能力不明显, 只有植被覆盖率达到 60%~70% 以上抵御自然灾害能力才能明显表现出来。刘文耀等<sup>[11]</sup>从 1989 年开始对云南的南涧县城后山干热退化山地开展生物生态工程治理, 筛选出一批适应干热环境的乔、灌、草植物, 营造了多种不同结构和功能的植物群落, 开展生物坝系工程, 治理各类侵蚀沟道。马为民等<sup>[12]</sup> 1995

年起在河北省以位于燕山山区(泥石流高发区)的承德市为试验区开展了泥石流防治研究, 在治理中注重植物与工程措施的结合, 推广应用了松柏固坡、截流沟护坡、紫穗槐编织袋谷坊、拱形坝等技术。在目前泥石流综合防治体系建设中, 几乎都包含有生态工程, 将植被保护、建设与泥石流防治土木工程并重<sup>[1, 2, 13]</sup>。

但是在重大泥石流、滑坡灾害中, 还有另外一个事实, 即在许多高植被覆盖地区, 在暴雨激发下发生了大规模的泥石流、滑坡灾害, 造成了严重的危害——重大人员伤亡、巨大的财产损失。云南省新平县的水塘镇、戛洒镇、者竜乡位于哀牢山的东坡, 面积约 300 km<sup>2</sup>, 植被覆盖率 > 50%, 于 2002-08-14 在暴雨激发下发生了超过百年一遇的特大滑坡、泥石流灾害<sup>[14]</sup>。四川凉山州普格县五道箐乡采阿咀沟, 位于螺髻山北侧, 流域内森林植被很好, 森林覆盖率达 70% 以上, 主要成林树种为云南松、高山栎和冷杉, 沟道内亦为灌木和草本所覆盖; 于 2003-06-20 在暴雨激发下暴发了大型泥石流灾害<sup>[15]</sup>。

收稿日期 (Received date): 2005-11-20 改回日期 (Accepted): 2006-03-11

基金项目 (Foundation item): 中国科学院西部之光人才培养计划和 国家杰出青年科学基金 (40025103) 资助。[This research is supported by the West-develop Programme of Chinese Academy of Sciences and the National Science Foundation Project for Outstanding Youth (40025103)]

作者简介 (Biography): 陈晓清 (1974-), 男, 四川遂宁人, 助理研究员。主要从事滑坡泥石流防治理论研究和工程设计以及地理信息系统的应用研究。E-mail: xqchen@institute.cn [Chen Xiaqing (1974-), male, born in Suining, Sichuan, P. H. D., majoring on landslide & debris flow prevention engineering and application of GIS.]

更为典型的云南省德宏州西部梁河、盈江、陇川和瑞丽一带,森林覆盖率在 70% 以上,由于长期以来植被保护较好,山上的森林几乎呈原始状态,再加上气候条件好,生态系统近似自然的顶级状态,具有强大的调节雨洪能力、抗破坏能力。但是该区域于 2004-07-05 和 20 两次在区域强降雨作用下,暴发了特大泥石流滑坡。滑坡将大量的树木滑入沟道,泥石流将这些漂木携带到下游平原区,造成了特大洪涝灾害,形成从上游到下游依次为滑坡-泥石流-洪水的灾害链。

国外,在高植被覆盖区暴发大规模泥石流、滑坡的实例也不少。1999 年委内瑞拉的阿维拉山区北坡山麓在强降雨激发下,有 20 多条沟暴发规模超过 50 a 一遇的泥石流<sup>[16]</sup>,使沿海的城镇、村庄、港口、公路及各种设施遭到毁灭性破坏,造成数万人死亡,直接经济损失超过 20 亿美元。该区的植被覆盖率在 90% 以上,其中森林覆盖率达 75% 以上,良好的森林植被未能阻止泥石流的发生。

上面的实例表明,我们需要全面认识植被与泥石流活动的关系,针对良好植被区,研究泥石流防治的对策。

## 1 植被对泥石流的影响

通过上面的泥石流研究及泥石流灾害考察,植被对泥石流的影响包括对泥石流的抑制作用和对泥石流促进作用两个方面。

### 1.1 植被对泥石流的抑制作用

植被对泥石流的抑制作用主要有两个方面:削减形成泥石流的土体补给量和减少参与泥石流活动的水量。

#### 1.1.1 削减形成泥石流的土体补给量

植被的根系(含草、灌、乔)深入土层,层层交织呈网状(图 1)。经测定<sup>[2]</sup>,草本根系较浅,一般 2~10 m;灌木较深,一般达 0.5~4 m;而乔木根系伸入土层最深,达 2~10 m,有的还可以伸入土壤层底部的基岩裂隙中。故植被根系伸入土层大致可分为三层根系,由浅入深为草本根系层、灌木根系层和乔木根系层。各层根系的密度差异较大,一般以草本根系最密,灌木根系次之,乔木根系最稀。植被根系深入土体,相当于锚杆的作用,将土体锚固,增强土体的完整性和抗侵蚀能力。根系越大、越深,起到的锚固作用就越强;根系越密,能锚固的土体量就越大。

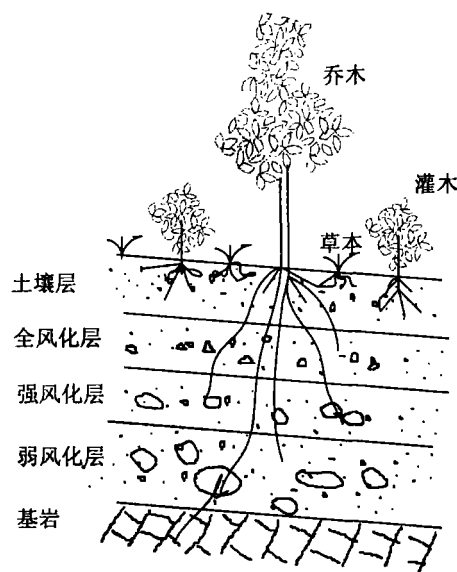


图 1 植被根系图<sup>[17]</sup>

Fig 1 Sketch of the vegetation roots

良好植被区的植被具有较为合理的草灌乔组合,其根系能够锚固从浅层到深层的大量土体。由于大量的土体得到植被的加固,减少了泥石流形成的松散固体物质来源,而使泥石流的活动受到抑制。云南东川蒋家沟泥石流观测研究站就是一个典型实例,1990 年前,站周围的植被覆盖率很低,不足 10%,暴雨时周围的细沟内就有坡面泥石流;但是 1990 年后开始植树造林,大量种植以新银合欢、桉树为主的水土保持先锋树种,至 1997 年站周围的植被覆盖率超过 80%,暴雨时,再没有细沟泥石流产生,而是涓涓细流。

从土壤的微结构方面看,良好植被区植被的枯枝落叶增加土壤中的有机质,改善土壤结构,从而增加土壤的团聚体和微团聚体,对土壤的抗侵蚀能力起着很大的作用。土壤的抗侵蚀能力可以用土壤的机械分析与微团聚体分析计算所得的分散系数来表示,即土壤分散系数 = 微团聚体含量 ( $< 0.001$  mm) 机械组成 ( $< 0.001$  mm),一般而言,分散系数越小,土体的抗侵蚀能力越强。根据柳素清在四川喜德县东沟的研究结果<sup>[8]</sup>:有林地的分散系数比无林地小、良好植被区比一般植被区的分散系数小,可见植被对泥石流形成具有抑制作用,见表 1。

表 1 喜德东沟不同植被区土壤团聚体分析<sup>[8]</sup>

Table 1 Microaggregate content of different vegetation regions in Donggou Gully of Xide County					
植被类型	描述	采样深度 (cm)	机械组成 < 0.001 mm (%)	微团聚体含量 < 0.001 mm (%)	分散系数 (%)
一般植被区	退耕还林地, 为草被, 高	0~25	13.1	2.5	19.1
	60 cm	25~125	16.7	6.3	37.7
良好植被区	松树林, 10 a 以上生, 林下	4~20	33.9	0.2	0.6
	有小灌木及草被	20~110	15.0	2.2	14.7
无植被区	滑坡体	0~50	24.3	4.7	19.4

1.1.2 减少参与泥石流活动的水量

在我国,暴雨引发的泥石流占绝对多数,有统计表明暴雨泥石流占总数的 95% 左右<sup>[18]</sup>。对于暴雨泥石流而言,水体补给量主要取决于雨水量。该水量既与雨量、雨强有关,还与泥石流流域的汇流条件有关。概括起来说,主要取决于泥石流形成时段内的洪峰流量。植被的调洪、滞洪作用能起到削减泥石流起动的洪峰流量、延长汇流时间的作用。

植被的调节洪峰方式主要是通过地表层以上(乔木的树冠、树枝和树干,灌木的树冠和树枝,以及草被层)和地面及地下层(林下地面枯枝落叶层、植被根系层)的截留作用来实现(图 2)。

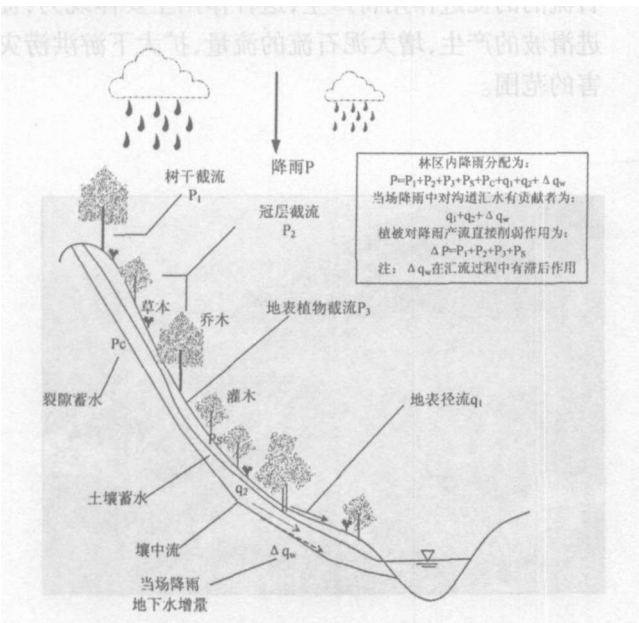


图 2 植被对坡面径流的调节作用示意图<sup>[17]</sup>

Fig 2 Sketch of the vegetation's adjustment to the discharge

经在四川西昌黑沙河流域测量<sup>[2]</sup>,云南松下枯枝落叶层(厚 6~10 cm)可调节 6~12 mm 的水量,再加上该层孔隙大,透水性强,滞洪能力大,又为下层土层的调洪作用提供了有力条件,该流域松林地

的径流系数仅为裸地的 15%~28% (表 2)。

表 2 黑沙河流域不同植被条件下径流系数比较<sup>[2]</sup>

Tab 2 The Comparison of outflow coefficient in Heshaha Gully

日期	一日降雨量 (mm)	径流系数	
		云南松林地	裸露地
1976-09-15	50.3	0.11	0.74
1976-10-06	43.8	0.20	0.72

由于植被对降雨产流的削减作用,使得地表径流深减小,依据水力学和水文学原理,地表水流的流速相应较小,从而延长了径流的汇流时间。同样,在西昌黑沙河流域测量<sup>[2]</sup>,在同一场暴雨中,比较流域内的林地、草地和裸地的产流时间,结果林地的产流时间比裸地延迟了 55 min,草地的产流时间比裸地延迟了 67 min。

还有就是植被的根系对土体具有改造作用,能改善土体的团粒结构,增大孔隙度,增强土体的透水性和保水能力。从而减少了参与泥石流活动的水量,抑制泥石流的形成。

由于我国泥石流分布范围较广,不同的区域的植被条件差异很大,植被对泥石流的抑制作用差异亦很大。不同乔、灌、草组合的具体抑制作用大小有待于进一步研究。

1.2 植被对泥石流的促进作用

植被对泥石流的抑制作用不是在任何条件都适用。针对暴雨激发的泥石流,当雨强和雨量超过某一临界值时,植被对泥石流的抑制作用将消失,而演化为对泥石流的促进作用。从辨证法角度来看,这也符合事物发展的客观规律。

1.2.1 增大松散固体物质来源

前面分析了植被根系对土体的锚固作用。依据土力学的测试,植被根系的锚固能力在很大程度上取决于土体的强度。当土体的含水量增加时,土体

的强度会不断降低。当土体饱和后,其强度接近最低点,在斜坡上土体不能够保持自稳,产生向下的下滑力,由于根系与土体的良好接触关系,下滑力将传递给植被,使植被一起向下滑动。这种现象在湿润地区尤为明显,湿润地区由于有较好的水土条件,乔木多为浅根性,且生长茂盛,根系主要集中在土体表层。由于根系集中分布于表土层而与下部土层形成结构上的分界面,在长时间降雨中,表土层充分饱和,强度降低,加上高大乔木的自重作用,容易失稳破坏。另外,在降雨期间多伴随着大风,风对高大乔木的摇动将产生很大的水平推力,而且这种水平推力的方向性不确定,多变化,呈现往复作用。植被会把这种往复式摆动荷载施加到根系层,增加了根系层土体变形破坏的程度,促进更大面积坡体破坏,成为形成泥石流的物质来源。这种泥石流较相近地质地貌和气象水文条件下的其他地区泥石流,规模更大、危害作用更强。图 3 是 2002 年云南新平特大泥石流、滑坡灾害时低山区向高山区过渡带上出现的大面积植被良好区崩滑,而图 4 为 1999 年委内瑞拉特大泥石流灾害时山上出现的崩滑。

发达的植被根系深入土层和基岩,对其会产生强大的机械破坏作用,从而降低坡体的完整性、促进基岩风化,降低斜坡的稳定性。当强降雨发生时,坡体失稳,将提供更多的固体物质来源。

### 1.2.2 增大泥石流流量

在长历时降雨过程中,植被调节降雨产流作用的功效将随着降雨时间的延长而明显减弱。原因是植被的截留和土体的持水能力不是无限大的,即如图 2 植被对降雨的直接削减作用 ( $\Delta P$ ) 是有限的。不论是植被地上部分还是林下土壤,其拦截和蓄积的能力是固定的,在长历时降雨的中后期,当植被的拦截能力已达到饱和时,对后续降水就不再发挥拦蓄作用,甚至还会使前期拦蓄的水量和后续降水叠加在一起,增大产流量。从而促进泥石流的产生、增大泥石流的流量。

### 1.2.3 漂木增大灾害

当大量植被特别是乔木,进入沟道成为泥石流的组成部分后,即通常所说的泥石流中的漂木,在沟道狭窄处,很容易堵塞,形成临时泥石流库,而后再溃决产生更大规模的泥石流。大量的漂木进入流域的下游,如山口外平原地区,会堵塞河道、桥涵,加大洪涝灾害,这种现象在 2004—07 云南盈江和陇川的暴雨泥石流灾害中非常普遍,图 5 就是其中一个典型实例。

总而言之,当降雨超过某一临界值时,植被对泥石流的促进作用将产生,这种作用主要体现为:促进滑坡的产生,增大泥石流的流量,扩大下游洪涝灾害的范围。



图 3 2002 年新平发生的大规模崩滑

Fig. 3 Large-scale landslide in Xinping in 2002

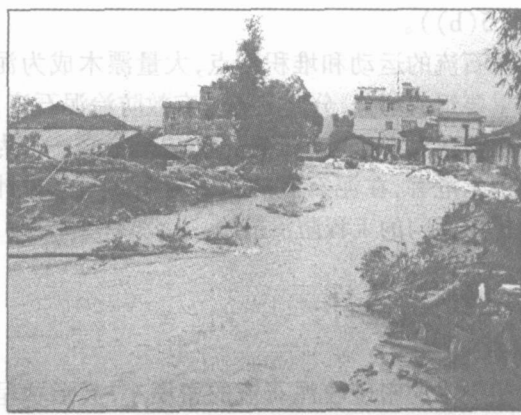


图 4 1999 年委内瑞拉特大泥石流时山上大量的崩滑

Fig. 4 Large-scale landslide in Venezuela in 1999



(a) 出山口处形成的漂木坝



(b) 漂木坝溃决后

图 5 泥石流携带大量漂木堵塞造成下游洪涝灾害

Fig 5 Flood induced by big wood obstruction

## 2 泥石流防治措施

良好植被区的泥石流除具有一般地区泥石流的活动特征外,与地质、地貌、水文气象等基本条件相近的其他地区相比,其泥石流的发育受到良好植被条件的限制,泥石流暴发频度低,但在当暴雨超过植被调控限度后会产生更大规模泥石流。这种泥石流由于暴发间隔时间长,具有很大的隐蔽性,往往容易被人们忽视。再加上不合理的人类活动,例如人为缩小沟道过流断面、在中下游沟道采石破坏沟床稳定等,一旦暴发泥石流将会产生重大的人员伤亡和财产损失。

在目前,对于良好植被区泥石流防治研究还需要进一步深化。经对云南新平 2002-08 的特大暴雨泥石流、滑坡灾害和云南盈江和陇川 2004-07 的特大暴雨泥石流、滑坡灾害的考察,结合当地的地质、地貌、水文气象等条件的分析研究,提出如下的防治措施。

### 2.1 加强泥石流的预报研究

我国良好植被区存在泥石流危害的面积很大,要全面采取工程治理是不现实的。目前采取泥石流预报,是减轻这些地区泥石流灾害的有效手段。已有的泥石流预报模型如蒋家沟泥石流预报模型是针对较干旱地区的<sup>[6]</sup>,通过成昆铁路沿线泥石流研究得出的攀西模型主要是针对攀西地区<sup>[19]</sup>,其植被覆盖有高有低。针对如盈江、陇川、新平等良好植被区,需要研究适合的预报模型。

### 2.2 在重点区域设置自动雨量记录报警装置

目前我国的基本气象观测站一般设置于县城及

以上城市,而这些城市与泥石流形成源地相比,海拔明显偏低。而在泥石流源地区域由于远离城市,缺乏气象观测点。用城市的观测数据预测预报附近山区的泥石流活动,显然偏差太大。2004-07 盈江特大泥石流滑坡灾害考察发现,07-04T22 00 至 05T20 00 的 22 h 内,盈江县城的降雨量达 117.3 mm,陇川县城达 137.8 mm,在海拔超过 1 500 m 的昔马、户宋河水库、芒旦水库三个观测点,其 24 h 雨量则达到了 350.4 mm、288.0 mm、280.0 mm,属于特大暴雨,这三个观测点均位于河流的中上游区,属于泥石流、滑坡的源区。

事实表明要预防泥石流,不能只依赖于城市的气象观测站,在泥石流滑坡源区的重点区域设置自动雨量记录装置,收集基础数据,有助于植被良好区泥石流滑坡形成条件的建立,还有助于提高该区域泥石流滑坡灾害的预报精度。

### 2.3 采用漂木拦挡结构

根据对 2004-07-05 盈江-陇川特大泥石流灾害和 2002-08-14 新平特大滑坡泥石流灾害的考察,良好植被区泥石流的运动特点表现为:一般呈现阵流性;在沟道内由漂木和大石组成一个个临时坝,在上游汇流作用下溃决,产生堵溃洪峰,增大对沟道的冲刷能力,从而不断堵、不断溃,沿途不断增大流量;在弯道处漂木和大石由于离心力作用大量停积在凸岸一侧。泥石流堆积特点表现为:泥石流进入堆积区后,由于动力减小,漂木与石块的密度差异,发生漂木、大石和水明显的分离,大石停积在堆积扇的顶部,漂木停积在堆积扇的边缘;当漂木进入下游河道后,发生河道堵塞,从而增大了洪涝危害范围(见图 5(b))。

由泥石流的运动和堆积特点,大量漂木成为泥石流的重要组成部分,分离漂木可有效防治泥石流,是良好植被区泥石流防治工程的重要措施之一。为了防治漂木危害,在泥石流防治工程中必须考虑针对漂木提出专门的工程防治措施。

### 3 漂木拦挡设计

由于漂木的密度较泥石流的密度小,其形状呈长条形,与泥石流的混合作用小,常以漂浮的形式随泥石流一起运动。在拦挡漂木的设计中应充分利用这一特性,将漂木与泥石流进行分离。

考虑泥石流的冲击力、搬运和粒度特性,拦挡漂木的工程结构应当可以通过较大粒径的石块,仅拦挡漂木和巨大漂砾,主要采用的工程结构型式有缝隙坝和梳齿坝,以重力式结构为主。

缝隙坝一般选择在峡谷段布置,有效高度为 5 ~ 8 m。其设计要点主要有: 1) 坝体为重力式,一般为混凝土或浆砌石结构,内外坡比降和  $> 1: 0.7$ ; 2) 缝隙大小依据泥石流颗粒级配决定,一般缝隙宽度为设计通过巨大漂砾均值粒径; 3) 每个齿的强度应单独验算,验算项目包括抗拉、抗冲击等; 4) 坝基础宜为整体基础,一般为整体混凝土结构,以整个坝作抗倾覆验算; 5) 坝下游应设置防冲潜槛或防冲护坦。图 6 为九寨沟日则 2 号沟缝隙坝的结构简图。

梳齿坝一般选择在宽谷段布置,有效高度为 3 ~ 5 m。梳齿坝的设计要点主要有: 1) 坝体为重力式,一般为浆砌石结构,内外坡比降和  $> 1: 0.7$ ; 2) 梳齿的大小与间距依据泥石流的冲积力和泥石流颗粒级配来决定; 3) 强度验算包括抗倾覆、抗冲击等; 4) 沟床比降较大时,坝下游应设置防冲潜槛。

缝隙坝和梳齿坝的主要功能就是拦挡泥石流中的漂木和巨砾,防止沟道堵塞雍流而形成更大规模泥石流。同时,也起到缩减泥石流规模和冲击破坏能力的作用。

### 4 结论

在今后的泥石流防治中要重新认识植被与泥石流的关系以及良好植被区泥石流防治问题。良好的植被能够抑制泥石流的发生; 但当降雨超过某一临界值后,植被会促进泥石流的活动。针对良好植被区的泥石流防治,可以采取: 1) 加强泥石流预报手

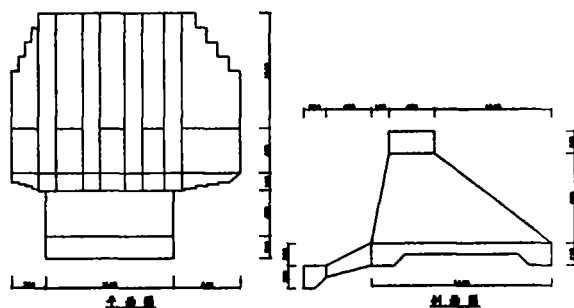


图 6 九寨沟日则 2 号沟缝隙坝结构简图<sup>[18]</sup>

Fig 6 Sketch of gap dam of Rize No. 2 gully of Jiuzhaigou gully

段; 2) 在重点区域设置自动雨量记录报警装置; 3) 在工程防治方面, 可以采用缝隙坝和梳齿坝来减轻泥石流对下游高经济密度区的危害。

本文是对良好植被区的泥石流防治的初步探索, 希望这类地区泥石流的防治能够得到广大同仁的重视, 深入研究, 取得更多成果, 保障山区经济建设成果, 促进社会经济发展。

### 参考文献 (References)

- [1] Li Deji. Theory and practice for hazard reduction of debris flow [M]. Beijing: Science Press, 1997. 22 ~ 23 [李德基. 泥石流减灾理论与实践 [M]. 北京: 科学出版社, 1997. 22 ~ 23]
- [2] Wu Jishan, Tian Lianquan, Kang Zhicheng, et al. Debris flow and its comprehensive control [M]. Beijing: Science Press, 1993. 251 ~ 257 [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. 251 ~ 257]
- [3] Wang Daojie, Chen Lurong, Zhou Lin, et al. Problems of bio-engineering in the prevention of mountain hazards [J]. Journal of Mountain Science, 2004, 22 (4): 461 ~ 466 [王道杰, 陈吕容, 周麟, 等. 山地灾害治理中的生物工程存在的问题 [J]. 山地学报, 2004, 22 (4): 461 ~ 466]
- [4] Yu Guirui, Xie Gaodong, Wang Qinfeng, et al. Considerations to some issues on vegetation rehabilitation in western China [J]. Journal of Natural Resources, 2002, 17 (2): 216 ~ 220 [于贵瑞, 谢高地, 王秋凤, 等. 西部地区植被恢复重建中几个问题的思考 [J]. 自然资源学报, 2002, 17 (2): 216 ~ 220]
- [5] Zhang Hongbin, Jin Deshan. Some natural factors influencing on activity of landslide and debris flow in Yunnan Province [J]. Hydrology and Engineering Geology, 2004 (5): 38 ~ 41 [张红兵, 金德山. 影响云南省滑坡泥石流活动德几个自然因素 [J]. 水文地质工程地质, 2004 (5): 38 ~ 41]
- [6] Wu Jishan, Kang Zhicheng, Tian Lianquan, et al. Observation of Debris Flow in Jiangjiagou Ravine [M]. Beijing: Sciences Press, 1990. 237 ~ 250 [吴积善, 康志成, 田连权, 等. 云南蒋家沟泥石流观测研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1990. 237 ~ 250]

- [7] Chen Jinri. Forest vegetation and debris flow activities [A]. In: Chengdu Institute of Geography eds. Debris Flow (1) [C]. Chongqing Branch of Science and Technology Literature Press. 1981. 36~ 39 [陈金日. 森林植被与泥石流活动 [A]. 见: 中国科学院成都地理研究所. 泥石流论文集 (1) [C]. 科学技术文献出版社重庆分社, 1981. 36~ 39]
- [8] Liu Suqing. Vegetation control to debris flow in Donggou of XIDE County, Sichuan [A]. In: Chengdu Institute of Geography eds. Debris Flow (1) [C]. Chongqing Branch of Science and Technology Literature Press. 1981. 40~ 42 [柳素清. 四川喜德东沟流域植被对泥石流形成的抑制作用 [A]. 见: 中国科学院成都地理研究所. 泥石流论文集 (1) [C]. 科学技术文献出版社重庆分社, 1981. 40~ 42]
- [9] Luo Defu, Li Jian. Debris flow and nature protection [A]. In: Chengdu Institute of Geography eds. Debris Flow (1) [C]. Chongqing Branch of Science and Technology Literature Press. 1981. 50~ 53 [罗德富, 李木咸. 泥石流与自然保护区 [A]. 见: 中国科学院成都地理研究所. 泥石流论文集 (1) [C]. 科学技术文献出版社重庆分社, 1981. 50~ 53]
- [10] Li Gaitang. Investigation of forest mitigation disaster in Shexian county [J]. *Hebei Forest Science and Technology*, 1997(3): 34~ 36 [李改堂. 森林植被在涉县 96.8 特大洪灾中抗洪减灾作用的调查报告 [J]. 河北林业科技, 1997(3): 34~ 36]
- [11] Liu Wenyao, Liu Lunhui, Qiu Xuezhong et al. Environment characteristics and its control of dry-hot degraded mountainous area by Nanjian county, Yunnan province [J]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1999, 5(2): 87~ 91 [刘文耀, 刘伦辉, 邱学忠, 等. 云南南涧干热退化山地环境特征及其治理 [J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2): 87~ 91]
- [12] Ma Weinong. The function of planting engineering to control debris flow [J]. *Chinese Water and Soil Conservation*, 2002, (5): 27~ 28 [马为民. 植物工程技术在防治泥石流中的作用 [J]. 中国水土保持, 2002, (5): 27~ 28]
- [13] Shen Youxin, Zhang Yandong, Liu Wenyao. Plant rehabilitation on degraded land at debris-prone dry valley [J]. *Journal of Mountain Science*, 2002, 20(2): 188~ 193 [沈有信, 张彦东, 刘文耀. 泥石流多发干旱河谷区植被恢复研究 [J]. 山地学报, 2002, 20(2): 188~ 193]
- [14] Chen Xiaoqing, Wei Fangqiang, Cui Peng et al. 2002-8-14 Large-scale landslide debris-flow hazard in Xinping county and the prevention countermeasure [J]. *Journal of Mountain Science*, 2003, 21(5): 599~ 604 [陈晓清, 韦方强, 崔鹏, 等. 2002-8-14 特大滑坡泥石流灾害及防治对策 [J]. 山地学报, 2003, 21(5): 599~ 604]
- [15] Liu Xilin, Wang Quancai, Zhang Dan et al. Debris flow disasters occurred on June 20 2003 in Puge county of Sichuan [J]. *Journal of Catastrophology*, 2003, 18(4): 46~ 50 [刘希林, 王全才, 张丹, 等. 四川凉山州普格县“6.20”泥石流灾害 [J]. 灾害学, 2003, 18(4): 46~ 50]
- [16] Xie Hong, Wei Fangqiang, Li Yong et al. Debris flows running into sea on the north slope of Avila Mountain in Venezuela in 1999 [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2002, 11(1): 117~ 122 [谢洪, 韦方强, 李泳, 等. 1999 年委内瑞拉阿维拉山北坡入海型泥石流 [J]. 自然灾害学报, 2002, 11(1): 117~ 122]
- [17] Cui Peng, Liu Suqing, Tang Bangxing et al. Debris flow study and prevention in national park [M]. Beijing: Science Press, 2005. 9~ 10 [崔鹏, 柳素清, 唐邦兴, 等. 风景区泥石流研究与防治 [M]. 北京: 科学出版社, 2005. 9~ 10]
- [18] Tian Wanpei, Wang Chenghua, Yao Lingkan et al. Zonal Forecast of Rainfall-induced Debris Flow and Landslide [M]. Chengdu: Sichuan Sciences and Technique Press, 1994. 1 [谭万沛, 王成华, 姚令侃, 等. 暴雨泥石流滑坡的区域预测与预报 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 1]

## Study of Control Debris Flow in High-covered Vegetation Region

CHEN Xiaoqing, CUI Peng, WEI Fangqiang

(Institute of Mountain Hazards and Environment, C.A.S., Chengdu 610014, China)

**Abstract** In China, many main measures are applied to mitigate the disasters of debris flow and landslide, including planting tree and forestation, sealing mountain region, protecting vegetation in mountain region. In recent years, some fatal disasters of debris flow and landslide have occurred in Xinping county, Yingjiang county and Longchuan county of Yunnan province, and so on. After investigating, we discover that there are high covered vegetations in these regions, these facts indicate we must lubricate the function of vegetation in the formation of debris flow and landslide. Through primary research, when rainfall is small, the high-covered vegetation can restrain the formation and scale of debris flow; but when rainfall is over a certain value, the high-covered vegetation will magnify the scale of debris flow. The normal measures to control debris flow can't meet with the requirement of society development. According to the formation cause and dangerous characteristics in high-covered vegetation region, three measures have provided as follows: 1) deeply enhance the forecast research of debris flow; 2) set up auto rainfall alarm setting in the key regions; 3) according to big floating wood, a series of structures are presented to mitigate the disaster of debris flow.

**Key words** high-covered vegetation, debris flow, landslide, mitigation countermeasure