

人类活动与泥石流灾害及山区土地砂石化

陈廷方^{1,2}, 崔 鹏³

(1. 西南交通大学土木学院, 成都 610031; 2. 西南科技大学城建学院, 四川 绵阳 621002;

3. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要: 泥石流不仅是一种严重的突发性自然灾害, 同时又是一种强烈的水土流失形式。泥石流以其强大的侵蚀和堆积作用导致山区土地砂石化。在分析人类活动对泥石流形成的影响, 泥石流导致土地砂石化的方式的基础上, 提出了泥石流及山区土地砂石化的防治对策。

关键词: 人类活动; 泥石流; 山区土地砂石化

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)06-0083-03

Human Activities, Debris Flow Disasters and Land Humid-desertification in Mountain Area of China

CHEN Ting-fang^{1,2}, CUI Peng³

(1. College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. College of City Construction, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621002, China;

3. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy
of Sciences and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China)

Abstract: Debris flow is not only one kind of unplanned mountain disaster, but also strenuous water loss and soil erosion. With the encroachment of debris flows and other disasters, in particular, with the growing human disturbance, the mountain environment deteriorates with the criss-crossing of gullies on slopes, increasing aggradation of the river-beds, and the outward expansion of stony and rugged lands much like desert landscape of northwest China. This process of environment deterioration, with the spread of sandy-stony land, refers to as the humid-desertification phenomenon. Based on the investigation of the interdependent and interactive relationship among the human activity, debris flow and humid-desertification, the control and the mitigation countermeasures of the humid-desertification and debris flow are proposed.

Key words: human activities; debris flow; humid-desertification in mountain area

1 前 言

泥石流是山区常见的自然灾害之一, 以其突发性和毁灭性著称, 往往对受灾对象造成毁灭性的打击。然而, 在泥石流造成严重的自然灾害的背后还隐藏着另一种灾害——山区土地砂石化。土地砂石化过程是指在山区或高原盆地边缘坡地, 在自然因素与人类不合理经济活动驱使下, 经暴雨、洪水激发, 产生粗化作用, 使原本非泥石流的山区或泥石流已停息活动的沟谷, 出现大规模砂石泥砾的迁移过程。这种过程可在短时间内完成, 使本流域及邻近地区的自然环境发生沧桑巨变。泥石流活动作为砂石化过程的主宰者, 蚕蚀山坡, 冲蚀沟谷, 导致山体破碎, 岸坡失稳, 重力滑崩现象丛生, 使山坡向砂石化迅速发展; 另一方面, 泥石流将大量砂石泥砾从山地搬至山麓河谷地带, 经雨水淋洗或洪水冲刷, 细粒物质被冲走, 留下巨石累累的“石海”, 农田废弃, 村寨迁徙, 变成一片“砂石化”地面。在砂石化过程中, 水的作用是贯穿始终和

最赋予活力的。因此, 把由于泥石流活动和后期水的影响对地表的粗化过程所形成的砂石粗砾地面称为“砂石化”现象, 并以此区别于我国北方内陆区的沙质地面为主要标志的类似沙漠景象的环境退化过程——沙漠化^[1]。

山地是泥石流与人类共存的环境。泥石流作用于山地环境, 导致土地砂石化, 强烈地影响人类活动; 人类活动也作用于山地环境, 强烈地影响泥石流。人类活动对山地环境和泥石流的影响, 在一定程度上决定了它们的演化方向。即人类活动若不按自然规律办事, 过度向山地索取, 必将导致山地环境退化和泥石流的广泛活动和频繁发生, 甚至引起泥石流活动范围的扩大和成灾规律的改变^[2]。山地环境、泥石流和人类活动之间, 关系密切、互相制约。人类在经济活动中只要切实遵守自然法规, 并积极防治泥石流, 就能抑制泥石流的危害, 促进山地环境和人类活动的和谐发展。本文将对人类活动对泥石流的影响以及泥石流导致土地砂石化的方式及其防治对策进行探讨。

* 收稿日期: 2004-11-09

基金项目: 国家自然科学基金重大研究计划(90202007)资助

作者简介: 陈廷方(1963-), 男, 副教授, 主要从事岩土工程、山地灾害研究。

2 我国泥石流与山区土地砂石化分布

我国是一个多山国家,山地面积占国土面积的2/3以上。尤其是西部山区,地质构造复杂,新构造运动强烈,地震活动频繁,地形起伏波动大,气候多变,生态环境脆弱,为泥石流灾害的形成和发展创造了条件,使之成为全球泥石流灾害最为严重的地区之一^[3]。我国泥石流集中分布在西南山区、黄土高原、秦巴山地以及青藏高原东南部。泥石流在地质、地貌和气候带上具有明显的分布规律^[4]。

(1) 泥石流在三大地貌阶梯过渡地带集中分布。我国地貌的最大的特点是西高东低,呈三大阶梯状。不同阶梯过渡地带多为深切割的中高山地区,山高谷深,地形陡峻,地质构造活动强烈,由于地形抬升作用,降水丰沛,具备泥石流发育的良好条件,泥石流在这种地区极其发育。

(2) 泥石流在断裂构造带上集中分布。断裂构造带上地质构造活动强烈,造成岩体破碎,山体失稳,直接为泥石流提供了松散碎屑物质,为泥石流发育提供了有利条件。例如云南省小江流域的主河谷发育在著名的小江大断裂带上,这里老构造错综复杂,新构造运动强烈,泥石流沿断裂带密集分布,是我国泥石流最为发育的地区之一。小江流域全长138.2 km,通过实地考察,小江两岸已确定为泥石流沟的沟谷就达170余条,平均不到1 km就发育一条泥石流沟^[4]。强烈的泥石流重力侵蚀和堆积作用造成山坡裸露,泥石流堆积扇和主河滩地砂石遍布,砂石化程度异常严重。

(3) 泥石流在地震活动带上集中分布。频繁强烈的地震活动造成岩体破碎,崩塌、滑坡为泥石流发育提供了良好的物质条件。烈度在Ⅶ以上的地震带上,这种分布更为明显。

(4) 季风气候有利于泥石流和山区土地砂石化的发育。我国绝大多数地区为季风气候所控制,造成降水在年内和年际分布上的不均匀性。季风气候区大部分降水集中在夏季6~9四个月内,一般占到全年降水量的70%以上。降水在年际间的变化很大,丰水年降水量可达枯水年的2倍以上。这就造成了夏季多暴雨,虽然在半干旱地区,也可出现高强度的降水,从而为泥石流的发育提供有力的水源保障。

山区砂石化土地与泥石流的分布一致,泥石流越严重的地区造成的土地砂石化也越严重。

3 人类活动对泥石流形成的影响

人类与自然环境的关系十分密切。随着社会进步,人口增长和科学技术发展,人类对自然资源的开发利用不断加强,加之人类对自然环境特性及其演化规律认识不够,对人类活动与自然环境相互作用的后果估计不足,结果是自然生态平衡不断被破坏。我国大多数泥石流的发生、发展,就是由于自然环境恶化和不合理人类活动综合作用的结果。

3.1 人口增长对泥石流形成的影响

由于人口增加,工农业生产不断发展,必然要扩大耕地,兴建住宅,采伐森林,开发能源,从而改变自然生态系统的结构和功能,使其抵抗自然灾害的能力减弱。人类不合理的经济活动,使流域内稳定土体失稳,水土流失和重力侵蚀不断加强,固相物质不断增多。如云南凤鸣河流域,50年代初期,山清水秀,林茂粮丰。随后,由于人口不断增加,加之对生态环境的重要作用认识不足,出现了森林过伐,陡坡耕作和毁林开荒等不合理的人类经济活动,使森林植被遭到彻底破坏,导致山洪肆虐,水土流失加剧,崩塌、滑坡活跃,形成泥石流的固相物质大量增加。

3.2 森林植被破坏对泥石流形成的影响

森林植被是人类利用自然资源的重要方面。在物质循环和自然生态平衡中,森林植被起着不可取代的作用。森林植被被破坏,必然加剧水土流失,各种自然灾害接踵而来。如云南小江流域,由于历史以来长期过度砍伐森林,使小江流域大部分山区变为光山秃岭,加之山高谷深,断层、滑坡发育,地震活动频繁,每当降雨时(尤其是点暴雨),则洪水奔流而下,由于溅蚀和坡面径流的强烈冲刷,表层土被带走,只有碎石砂砾留在坡地上,土壤变得坚硬、板结和贫瘠,植被不易恢复,造成恶性循环,加剧了小江流域自然侵蚀作用,使泥石流灾害愈演愈烈^[1]。

3.3 工程建设活动对泥石流形成的影响

工程建设活动对泥石流形成的作用,是通过改变泥石流形成条件来实现的,主要有两个方面:一方面是工程建设活动增加松散固相物质促使泥石流形成;另一方面是工程建设活动提供泥石流形成的水动力条件。

3.3.1 工程建设活动增加固相物质促使泥石流形成

工程建设活动中大量开挖的废弃土石若处理不当会增加松散固相物质质量促进泥石流形成,例如,在采矿工业中,如果废石和尾矿处理不当,将大量增加固相物质,促进泥石流爆发。如云南东川矿务局、易门铜矿、昆阳磷矿等,都有因未合理布设排土场,把剥离和掘进产生的大量废石倾倒在山坡上和沟谷中,促进泥石流爆发的许多例证;个旧锡业公司把大量尾矿注入火谷都尾矿库,该库尾矿坝质量欠佳,加上暴雨袭击,导致坝体溃决,促进大规模泥石流爆发^[2]。筑路任意倾倒弃土,促进泥石流爆发。如成昆铁路在筑路期间,把大量弃土倾倒在沟谷中,促进泥石流爆发;修筑公路弃土不当,促进泥石流爆发的实例更多。

3.3.2 工程建设活动提供泥石流形成的水动力条件

人类修建水库、渠道、蓄水、输水灌溉,使水利资源得到合理利用,但若设计标准偏低或施工质量欠佳,都能造成水坝溃决和水渠渗漏,为泥石流形成提供水动力条件。如成昆铁路沿线弯丘车站沟上游一小水库,因设计标准偏低,1981年在超标准暴雨作用下,坝体溃决,为泥石流形成提供了强大的水动力条件;又如1981年四川汶川、金川、黑水等县的渠道,因施工条件艰苦,质量欠佳,造成渠道渗漏,促进了泥石流的形成^[5]。

露采中围岩的水力剥离或矿区生产生活排水,都会使水和土结合起来,为泥石流形成创造水动力条件。如四川西昌太和铁矿,在采矿中利用水力剥离围岩,使水土融为一体,导致矿区泡石头沟多次发生泥石流;又如江西铁坑铁矿,把采矿工业场地的生活用水和雨水,通过四条渠道排入该矿桂山山坡型排土场,导致水土结合,多次形成泥石流^[6]。

在坑道掘进中,遇到地下水主要通道,造成地下水突涌,使水体补给量增大,并排入沟谷,冲刷坡面松散物质而形成泥石流。如1970年4月东川汤丹铜矿马店坪坑掘进时遇到地下水通道,造成地下水突涌,并注入堆积大量弃渣的关沟,造成泥石流^[6]。

4 泥石流导致山区土地砂石化的方式

4.1 泥石流侵蚀

泥石流侵蚀主要发生在沟谷的中上游地区或坡面上,属重力侵蚀,其侵蚀比一般水流侵蚀更加强烈。泥石流侵蚀包括坡面侵蚀和沟道侵蚀两种方式。

4.1.1 坡面侵蚀

坡面侵蚀过程即是坡面汇流形成泥石流的过程。泥石流

沟上游山坡坡度大, 植被稀少, 地表裸露, 抗侵蚀能力差, 在强暴雨的作用下强大的坡面径流形成冲沟, 冲沟不断加深、扩大, 将坡面松散的土层不断带走, 使坡面植被和土壤遭到严重侵蚀破坏, 形成裸露坡、光板地、裸岩或石山等, 坡面植被自然恢复难度极大, 往往在植被还未恢复前又遭到下一次泥石流侵蚀破坏, 造成坡面长期处于裸露荒芜状态。泥石流在坡面汇流后进入沟道, 形成更强大的泥石流, 使沟道内泥石流具有更强的侵蚀能力。

4.1.2 沟道侵蚀

由于泥石流的强大侵蚀作用, 一方面, 使沟谷不断向上游溯源侵蚀, 同时, 强烈的侵蚀作用不断侵蚀沟岸, 使沟岸不断坍塌后退, 毁坏沟岸土地。坡面侵蚀与沟道侵蚀相互作用、相互促进, 使泥石流侵蚀更加强烈。沟道侵蚀使沟床下切, 坡面失稳, 往往引发坡面次生性崩塌、滑坡, 促进坡面侵蚀, 有时造成的浅层滑坡面积达山坡总面积的50%以上, 使整个山坡基岩裸露, 短期内植被无法恢复, 水土流失严重。一次泥流过程可将沟道下切数米到数十米。例如云南蒋家沟1984年一次泥石流将沟道下切16 m^[7]。1954~1963年西藏古乡沟泥石流将上游主沟刷深140~180 m, 年均刷深16 m^[8]。泥石流进一步发展, 山地不断被蚕食和肢解, 沟谷纵横, 支离破碎, 变成荒山秃岭。

4.2 泥石流堆积

泥石流堆积发生在泥石流沟的下游地区。泥石流出口后, 地形突然开阔, 坡度变缓, 泥石流运动受阻, 逐渐停积下来, 往往在沟口堆积形成巨大的堆积扇, 并将主河向对岸挤压。由于泥石流堆积是一种混杂堆积, 使泥石流堆积扇形成一个杂乱无章、大小混杂、分选性极差的堆积体, 在后期洪水的改造下形成砾石滩, 与戈壁滩的景观极其相似^[4]。在这种滩地上植物生长困难, 又常遭受泥石流的再次袭击, 所以泥石流堆积扇上土地砂石化程度最为严重。

4.3 泥石流使耕地贫瘠化

泥石流导致耕地贫瘠化包括两个方面:

(1) 耕地数量减少。泥石流地区耕地数量减少的原因有以下几方面: 泥石流直接冲毁和淤埋沟谷两岸和山口外的耕地, 使耕地数量减少。如1980年8月云南巧家县水碾河沟爆发泥石流, 淤埋农田171 hm²; 又如1974年7月四川会理清水河等数条沟谷同时爆泥石流, 毁坏良田130多hm^{2[2]}。泥石流把大量的泥沙输入主河后, 超过了主河的输沙能力, 使大量的泥沙无法被主河带走而停淤在主河河床, 使主河河床淤高, 造成主河无固定沟槽, 河道到处游移, 不但使河滩土地沙化, 经常遭洪水的淹没而无法利用, 而且给主河防洪也带来极大困难。如1989年辽宁岫岩暖泉河两岸16条沟和3处坡面爆发泥石流, 大量泥沙进入主河, 致使主河河床抬高1~2 m, 造成高含沙水流溢堤, 冲毁路堤结合的公路15.5 km和沿河两侧的大片农田^[2]。大规模的泥石流往往会堵断主河, 形成泥石流坝。泥石流坝造成上游水位上涨, 淹没主河上游的土地和村镇以及交通线路等。泥石流坝溃决时形成的强大洪峰又给下游的土地、村镇和交通线路等带来严重的灾害, 经过溃决洪水的扫荡, 主河下游的良田变成沙石地, 复耕难度极大。

(2) 耕地肥力下降。山区耕地本来不足, 加上泥石流的毁坏, 就更为缺乏, 于是垦殖陡坡耕地进行耕作。泥石流流域的坡地在泥石流作用下, 重力侵蚀和水土流失严重, 土层变薄, 颗粒变粗。据实测资料, 四川会理一泥石流沟——炭山沟的陡坡耕地, 在一次暴雨之后, 冲刷出深33 cm, 宽25~100 cm

的沟槽, 因沟槽强烈发育, 坡面被改造成顺坡“梳状地”, 耕地表层熟土被大量冲走, 留下粗骨质土, 导致土壤肥力严重下降^[2]。

4.4 泥石流活动使气候、水文条件恶化

由于泥石流活动使河谷和山地荒废, 森林植被被破坏, 丧失了天然绿色屏障, 导致干旱和洪水灾害增多。一方面泥石流发育地区及其邻近地区气温变化加剧, 风力增大, 降水减少, 造成干旱灾害; 另一方面在雨季, 暴雨来临, 便迅速汇集, 形成强大的暴雨径流, 造成泥石流灾害和洪灾。

5 山区土地荒漠化的防治与开发利用

山区土地砂石化的根源在于强烈的泥石流活动, 而多数泥石流的发生、发展, 是由于自然环境恶化和不合理人类活动综合作用的结果。所以山区土地砂石化的防治与开发利用离不开规范人类活动, 加强环境保护和泥石流防治。

5.1 泥石流防治

5.1.1 土木工程措施

泥石流土木工程防治可采用从上游到中游再到下游的稳、拦、排相结合的综合减灾系统^[9]。稳即是在流域上游修建谷坊, 以稳定沟床和坡脚, 起到稳床固坡的作用, 同时减缓上游的沟床比降, 达到抑制泥石流形成的目的。谷坊一般以谷坊群的形式出现, 形成一个相互保护的系统。拦即是在流域中下游修建拦砂坝, 拦蓄泥石流。拦砂坝是泥石流减灾工程中的控制性工程, 拦砂坝一般设计成开孔坝, 平时的洪水和较小颗粒的泥砂可以通过孔洞进入排导槽, 一旦大规模泥石流暴发, 拦砂坝拦截绝大部分粗颗粒物质, 细颗粒物质可以进入排导槽, 起到控制泥石流灾害的作用。排即是在下游修建排导槽, 排导槽起到束流排导的作用, 将通过拦砂坝后不含粗大颗粒的变性泥石流排导到指定地带, 起到泥石流减灾的作用。

5.1.2 生物工程措施

生物工程减灾措施是泥石流减灾工程的辅助措施, 虽不能直接控制泥石流灾害, 但可以通过蓄水截流、调节洪峰削弱泥石流的形成, 并可以保持水土, 减少水土流失, 延长泥石流土木工程的使用寿命。生物工程措施主要包括营造水源涵养林以蓄水截流调节洪峰; 营造水流调节林以控制地表径流; 营造固堤护岸防冲林以防止堤岸冲刷; 种植薪炭林和经济林, 解决山区生物能源问题, 防止新的植被破坏^[9]。

5.2 保护扇形地, 开发河滩地

在泥石流沟下游修建泥石流排导槽以排泄泥石流和洪水, 保护和开发泥石流扇形地, 将昔日的砾石滩开发成耕地。例如云南东川大桥河经过泥石流治理, 在泥石流堆积扇上修建泥石流排导槽后, 使大片的泥石流荒滩得到保护, 开发出376 hm²良田^[1]。在各泥石流沟得到有效控制后, 输入主河的泥沙大量减少, 使主河的侵蚀能力增强, 主河将会下切, 形成固定沟槽, 原来受洪水漫流侵害的河滩地可以开发利用。在泥石流发育的地区这类可开发的河滩地资源非常丰富。如云南小江流域沿江两岸有滩地0.97万hm²。泥石流扇形地和主河河滩地的大量开发利用, 大大增加了山区的耕地面积, 并且这些土地水热条件好, 土地承载力高, 减缓了山区的人地矛盾, 使得山坡上的陡坡耕地可以退耕还林, 恢复植被, 使山区环境向着良性循环方向发展。

5.3 切实做好退耕还林还草, 搞好生态建设

严格保护天然林, 大力绿化荒山荒坡; 大于25°的陡坡耕地实行退耕还林还草, 小于25°的坡地尽量退耕还林, 对于无

(下转第149页)

地资源的年产肉量为870 906 t/a(其中,山西省黄河流域现实草地资源和潜力草地资源的年产肉量458 380 t/a)。按照山西省现实精羊肉和面粉价格的比值:1 0 141(羊肉价格17元/kg,面粉价格2 4元/kg,考虑到两者折算原粮的比例相差不大),估算出山西省现实草地资源和潜力草地资源所产肉食的折粮数为6 629 430 t/a(其中,山西省黄河流域现实草地资源和潜力草地资源所产肉的折粮数为3 623 032 t/a)。

5 以草-畜-粮为路径提高山西省区域粮食人口承载能力

山西省草地资源通过以草养畜,以畜济粮能够容纳多少人口?根据通用的人均享用400 kg/a粮食的最低安全标准,估算出山西省以草养畜,以畜济粮能够容纳16 573 574人的用粮(其中,山西省黄河流域能够容纳9 057 579人的用粮)(各县市容纳人口数见表2),表2数据表明,山西省在退耕还林还草人口的粮食问题上,还是有很大的潜力可挖,能够有效地保证与加快退耕还林还草的步伐,恢复原有的“山川秀美”的生态环境。

6 结 论

(1)粮食是一个国家区域经济发展的基础问题和战略问题,只有稳定粮食的生产才能发展一切。草地资源往往是以发展畜牧业为前提,以区域经济增长为目的。本文试从退耕还林

还草解决粮食的问题上,以草地资源为突破口,通过以草养畜,以畜济粮的目的,探讨“草—畜—粮—人”之间的关系,无疑是为当前退耕还林还草战略措施的实施提供基础保证。

(2)用典型试验的案例,研究以草养畜,以畜济粮的问题,能够更加接近实际的潜力;用市场羊肉价格和面粉的价格的内在联系,估算山西省以畜济粮的关系也较贴近现实。

(3)本文在假定的条件下,通过以草养畜,以畜济粮的估算,认为仅草地折粮一项,山西省能够再容纳人口1 657.36万人(其中,山西省黄河流域容纳905.76万人),是2002年山西省总人口(3 241.35万人)的51.13%(山西省黄河流域占27.94%)。但实际上,山西省各县市发展畜牧业差异很大,草地利用率不可能达到100%,仅仅是59%(www.lgoods.com/cnsx/sum/plant.htm)。而且,相当数量的肉食品是用于提高人们的生活水平和增加区域经济效益的,很难达到理论上人口容量的估算值。

(4)本文是以白羊草作为山西省天然草地估算的产草量的主要根据,实际上,山西省天然草地类型多样,各种类型的产草量相差较大,而且就在白羊草类型中,因地不同而产草量也有较大的差异;在天然草地中也有部分人工草地,为简单估算,故将其计入天然草地之中;在人工草地计算中,苜蓿的年可刈割3~4次,事实上,各地差异很大;用典型试验数据,难免对各县市数据计算过于偏差等。这些问题均应值得进一步深入研究的内容。

参考文献:

- [1] 山西省地图集编撰委员会,山西自然地图集[Z]. 1984
- [2] 毛凯,等. 种草在长江中上游地区绿化中的作用及适宜种草的选择[J]. 草原与草坪, 2000, (2): 43- 45
- [3] 郭万祥,李元华. 林草结合是长江上游地区保持水土的重要途径[J]. 四川草原, 1999, (2): 12- 13
- [4] 张仁健,王明星,等. 中国沙尘暴天气的新特征及成因分析[J]. 第四纪研究, 2002, 22(4): 374- 380
- [5] 刘起. 草地与国民经济持续发展[J]. 四川草原, 1998, (3): 1- 4
- [6] 董宽虎,靳宗立,等. 山西白羊草灌丛草地牧草产量动态研究[J]. 中国草地, 1995, 17(4): 11- 16
- [7] 黄富祥,等. 生态学视角下的草地载畜量概念[J]. 草业学报, 2000, 9(3): 48- 57
- [8] 胡永杰. 紫花苜蓿喂山羊的增重效果[J]. 青海畜牧业, 2002, (3): 39- 42
- [9] 于广丽,聂国兴. 不同地区种植的豫玉22营养成分分析[J]. 河南畜牧兽医, 2002, 23(1): 5- 7
- [10] 农业部. 农业部“十五”重点推广的肉羊良种[J]. 中国农村科技, 2003, (12): 32- 34

(上接第85页)

法退耕还林的必须进行坡改梯改造,以减轻水土流失;严禁刀耕火种、广种薄收、撂荒弃耕等原始耕作方式;草场严禁牲畜超载,实行轮养、轮放和圈养。

通过上述措施促使山地生态系统向良性循环方向转化,利用山地生态系统抑制泥石流,减轻土地砂石化。

参考文献:

- [1] 杜榕桓,等. 云南小江泥石流综合考察与防治规划研究[M]. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社, 1987. 84- 283
- [2] 钟敦伦,谢洪. 泥石流与人类经济活动[J]. 长江流域资源与环境, 1999, 8(3): 327- 333
- [3] 祁龙,马东涛. 我国西部地区道路交通建设中的泥石流问题[A]. 中国西部交通发展战略研讨会文集[C]. 北京:测绘出版社, 1994. 37- 41
- [4] 韦方强,崔鹏,胡凯衡,等. 中国泥石流与山区土地荒漠化[J]. 水土保持学报, 2001, 15(5): 108- 111
- [5] 钟敦伦. 1981年四川暴雨泥石流[J]. 大自然探索, 1982, 1(1): 52- 58
- [6] 钟敦伦,严润群,陈精日. 初论矿山泥石流[A]. 见:泥石流论文集(1)[C]. 重庆:科学技术文献出版社重庆分社, 1983. 43- 49
- [7] 田连权,等. 泥石流侵蚀、搬运与堆积[M]. 成都:成都地图出版社, 1993. 39
- [8] 李鸿连. 西藏东南部山区冰川泥石流的地质地貌作用[A]. 见:中国地理学会. 地貌学术讨论会论文集[C]. 北京:科学出版社, 1965. 155- 159
- [9] 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:商务印书馆, 2000. 222- 223, 283- 295

5.4 保护山地环境

良好的山地环境造就良好的生态系统,良好的生态系统具有良好的水文气候效应,良好的水文气候效应抑制泥石流的发生发展。因此,人类在经济活动中应严格按照自然规律办事,并通过多种途径保护山地环境。