

泥石流与环境演变

吕 儒 仁

(中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所 成都 610041)

提 要 泥石流具有淤埋、冲毁、冲刷、漫流、磨蚀、直进等特性。其堵河成湖、堵河溃冲、淤积成扇、垫高河床、改造地貌、改变生态系统等都是逼使环境在新的起点上进行演变。泥石流作用过程的巨量输沙、快速沉积和堆积地貌(多为扇形地)都是可以利用的。

关键词 泥石流 环境演变 泥石流利用

泥石流是山区坡地上或沟谷中富含泥沙石块的一种洪流,也是介于山洪与滑坡之间的一类流体。在我国,一般把密度 $1.05 \sim 1.50 \text{ t/m}^3$ 的洪流叫做高含沙水流;把 $1.50 \sim 2.40 \text{ t/m}^3$ 的流体叫做泥石流。按流体中粘粒含量的多少,分别叫做泥流 ($> 30\%$)、泥石流 ($30\% \sim 1\%$) 和水石流 ($< 1\%$)。在泥流中,除粘粒外,其余几乎全为粗中细沙和粉沙。

泥石流作为一种山地灾害,它具有很大的破坏性,多点齐发的群发性,导致多种灾害的连锁性,害利相随的二重性,间隔一定时期发生的准周期性,需要充分引发条件的导生性。人类的许多活动都能引发泥石流,如森林采伐,森林火灾,道路建设,盘山渠道,陡坡耕作,采矿弃碴,工矿排碴,炮击爆破和人工水库溃决等等。泥石流对自然环境的影响是毁灭生物(尤其是植物)和改造地貌(侵蚀、搬运、堆积和尾流作用)。泥石流也能破坏社会环境,造成经济损失和人员伤亡,其间接损失有时超过了直接损失。建设标准低的工程及其环境很容易被泥石流摧毁。在世界上,自然界中的泥石流规模(如火山、地震、冰川、冰湖溃决等引发)往往比人类活动引发的泥石流规模要大得多。

1 泥石流作用过程的特殊性

泥石流以强烈侵蚀作用,巨大搬运能力,快速沉积作用引起地质、地貌、水文、流体力学、水土保持学和社会经济部门等一系列专家的重视。地质学家把泥石流视为一种自然的动力地质作用过程来研究,有时又把它当作一种块体运动来考察;地貌学家把泥石流当作塑造地貌的一种强大动力;水文学家把泥石流当作一种特殊洪流;流体力学家把稀性泥石流(密度 $1.10 \sim 1.80 \text{ t/m}^3$)当作挟沙水流(近年又称之为高含沙水流)处理,把高密度粘性泥石流(密度 $1.80 \sim 2.40 \text{ t/m}^3$)当作非均质粘滞流体来进行研究;水土保持学家把泥石流当作水土流失发展到急剧阶段的一种特殊形式(暴流或石洪)来看待;社会经济学家则把泥石流当作一种自然灾害来处理^[1]。然而作为一种特殊的自然现象,专门研究它的形成、运动、沉积规律,并为灾害的预测预报、泥石流工程防治、工程地质和找矿勘探等服务;研究这种现象在自然历史上的作用和演变等等,必将发展出一门新的泥石流学科。

除泥石流侵蚀、搬运、堆积(或说形成、运动、沉积)作用过程外,泥石流的尾流作用,即泥石流作用过程的后期,被后续稀性泥石流、洪水、沉积分异所析出的水和水流,挟带至河流或海洋中的泥沙石块及悬浮细颗粒物应引起足够重视。

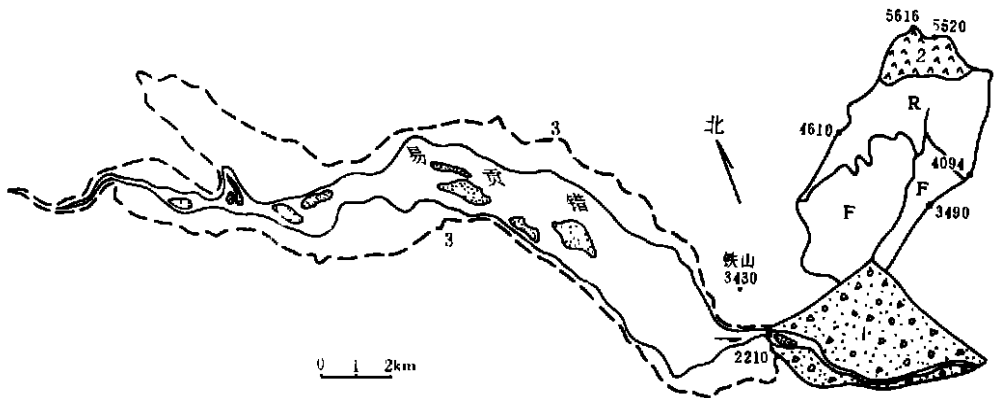
由于泥石流是一类特殊流体,在作用过程中及其以后,显示出一系列特性。例如淤埋(快速堆积特性),冲毁(可将承受力达 1 200t 的铁路桥墩击毁),冲刷(一次刷深可达 7~13m),漫流改道(一次或多次作用),磨蚀(一次可将铁路桥墩或花岗岩磨深 10~20cm^[2]),直进性(弯道超高、直线前进),堵河溃冲(河道较窄时),挤压河道(河道较宽时),河床上涨(尾流泥沙淤积)等等。这些特性是泥石流造成灾害和促成环境演变的根本原因。

2 泥石流与自然环境演变

在自然界,泥石流是一定自然条件组合作用下的产物^[3];泥石流一旦出现,它又以其自身的特性改变着环境,促成自然环境演变。

2.1 堵河成湖

这是一种较普遍的现象。在我国,典型的泥石流堵河是西藏波密 1902 年 7~8 月扎木弄巴(图 1)和 1953 年 9 月卡贡弄巴(图 2)的冰川泥石流分别堵塞易贡藏布和波都藏布,前者形成易贡错,后者形成古乡湖。易贡错湖面面积最大时达 51.9km²,到 1968 年时还有 23.7km²,现在则成了一个风景区;环境由泥石流发生前的河谷流水、森林演变为泥石流发生后的湖泊水域和谷地森林生态系统,同时又是正在开发中的一个旅游景点。古乡湖湖面面积最大时达 4.3km²,由于卡贡弄巴泥石流尾流和波都藏布泥沙淤积严重,至今湖水很浅,湖岸带成为沼泽地。



1. 冰川泥石流扇形地, 11.6km²; 2. 现代冰川, 2.2km²; 3. 最高湖岸线, 此时湖面面积为 51.9km²;
F. 森林, 10.4km²; R. 基岩坡地及古冰碛, 7.6km²

图 1 扎木弄巴冰川泥石流堵塞易贡藏布形成的易贡错

Fig. 1 Yigong-Cuo (Lake) forming by the glacier debris flow in the Zhamulongba Gully blocking up the Yigong-Zangbu

2.2 堵河溃冲

1989 年 7 月 26 日,四川贡嘎山东坡燕子沟内的南关沟暴发冰雪雨水泥石流,流经 30 多 km 后下到大渡河并将其堵断,其后被大渡河水将堵塞堤坝左岸冲决,刷断石棉—

泸定公路 820m 长. 大渡河中还残留有约 30 万 m^3 固体物质的扇形地. 全过程有 627 万 m^3 泥石流固体物质被输往大渡河中,流向下游.

1981 年 7 月 9 日,成昆铁路上的利子依达沟泥石流,仅 3min 内就将当时宽 120m,最大深度 13m 流速 7~8m/s 流量达 3 800 m^3 /s 的大渡河阻塞达 3h;后溃决,有 71 万 m^3 泥沙石块被输往大渡河下游. 这场泥石流历时 1.5~2.0h. 除堵河、溃决冲刷外,成昆铁路利子依达大桥被摧毁,442 次列车被颠覆,汉源县至乌斯河车站的公路被冲毁 830m^[1].

泥石流堵河溃决冲刷,使大量泥沙输往河流下游. 如遇下游水库或河床比降很缓,泥沙落淤,水库淤积,变成沙库;河床垫高,行洪不畅. 大渡河下游龚嘴水库 1971 年建成,至 1983 年泥沙淤积达 2.3 亿 m^3 ,占总库容 (3.5 亿 m^3) 的 2/3,有变成沙库的危险^[4].

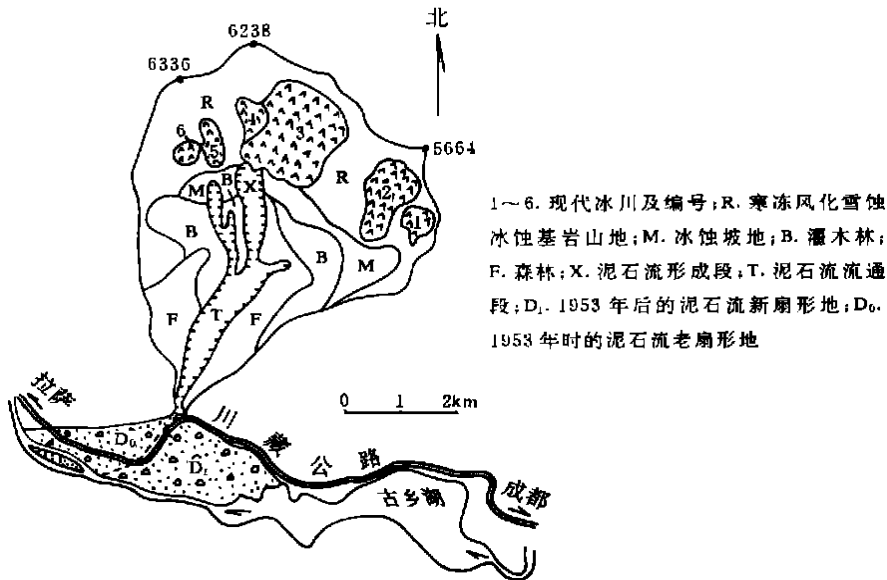


图 2 卡贡弄巴冰川泥石流堵塞波都藏布形成的古乡湖

Fig. 2 Guxiang Lake forming by the glacier debris flow in the Kagong-Longba Gully blocking up the Bodu-Zangbu

2.3 淤积成扇

泥流出口后在开阔地上散流停积成扇形地,有时规模很大. 例如:扎木弄巴冰川泥流扇形地堆积物总量 6.95 亿 m^3 (见图 1,其中首次泥流最大淤积量 5.13 亿 m^3),面积 11.6 km^2 ,扇缘弧长 7.1km;它是目前已知我国境内现代泥流扇形地规模最大的一个. 卡贡弄巴冰川泥流扇形地现存面积 4.6 km^2 ,泥流堆积物总量 1.92 亿 m^3 . 如果泥流活动时期过去,扇形地不再遭受泥流叠加,或间隔很长时期(如 100a 以上)才再发生泥流,则在一定气候条件下会逐渐演变出一个新的生态系统. 图 1 的扇形地历经近 90a,已出现一个森林生态系统,其中最大树龄加上成苗期,就是扇形地的生成年代.

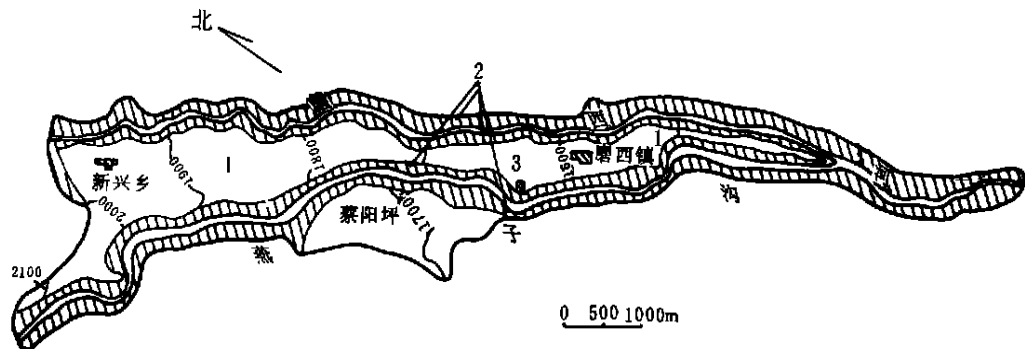
2.4 淤高河床

一条由许多泥流沟谷汇入的大河流域,除高山深窄谷段外,河床会淤高,甚至成悬河. 例如:滇西南大盈江河床以 5~10 cm/a ^[5],滇东北小江下游以 30~46 cm/a ^[2],武都白

龙江河床以 $13\text{cm/a}^{[6]}$, 黄河下游以 $4\sim 5\text{cm/a}$ 最大以 $10\text{cm/a}^{[7]}$, 华蓥市溪口河以 19cm/a (1958~1986年) 的速度上涨, 其中黄河下游、溪口河都已成为地上悬河。这对原来的生态平衡是很大的冲击和破坏, 对社会环境也带来一系列影响, 逼使演变。

2.5 改造地貌

如前所述, 泥石流因其携带大量固体颗粒物质而有冲大淤的特点, 塑造地貌的能力和速度是惊人的。贡嘎山东坡磨西台地(图3)的生成即为一个典型例子。



1. 现存的磨西台地; 2. 全新世高温期(尤其近1500年)以来为流水、洪水及冰雪雨水泥石流下切形成的谷坡地; 3. 贡嘎山高山生态系统观测试验站基地站

图3 贡嘎山东坡以燕子沟冰川泥石流为主生成的磨西台地

Fig. 3 Moxi Platform formed by taking the glacier debris flow in the Yanzi Gully as dominant factors in the eastern slope of Mt. Gongga

磨西台地所在位置原是比较第四纪末次冰期规模更大一次冰期中形成的冰蚀谷地。

1. 2万 a BP以来的冰后期中的高温期, 即 $8\,000\sim 3\,000\text{a BP}$ 间^[8]直至 $1\,500\text{a BP}$ 左右^[9], 以燕子沟(包括磨西河上游、南门关沟、磨子沟和海螺沟)为主的冰雪消融洪水和像1989年7月26日那样的冰雪雨水泥石流大量淤积而成的。据粗算, 磨西台地(含蔡阳坪)现存面积 7.11km^2 , 古台地面积 16.70km^2 , 古台地体积 18.85亿 m^3 , 现存台地体积 11.0亿 m^3 。若以冰后期 $8\,000\sim 1\,500\text{a BP}$ 中的 $6\,500\text{a}$ 计, 则古台地是以平均 $29\text{万 m}^3/\text{a}$ 的速度在增长。实际上很可能主要是在 $8\,000\sim 3\,000\text{a BP}$ 这 $5\,000\text{a}$ 中形成的, 但台地的最后形成时间 $1\,500\text{a BP}$ 左右。台地形成后 $1\,500\text{a}$ 来, 平均以 $52\text{万 m}^3/\text{a}$ 的速率被蚀去, 形成了燕子沟和磨西河倒梯形宽谷陡坡谷地。这后期侵蚀下切的泥沙输移速度比前期堆积速度约大1.8倍。由于燕子沟汇合了磨子沟、海螺沟等大沟水流, 其水量约比磨西河水量大1.0倍, 因而其下切速度比磨西河下切速度快得多。目前台地在燕子沟一侧的平均相对高度比磨西河那侧高 27.2m 。磨西台地平均高出燕子沟和磨西河 132m 。目前磨西台地体积是古磨西台地的 58.5% , 约 7.82亿 m^3 的古台地组成物质被冲走。进入人类历史时期以来, 磨西台地又经历了原始森林生态系统到农业生态系统的变化。

2.6 改变生态系统

海螺沟冰川冰舌末端前的冰水河坝, 每年雨季常有洪水或泥石流出现。由于气候暖湿, 在边岸洪水不及的漂砾和石块上, 先是褐红色藻类, 其次是地衣, 后是苔藓, 然后从石缝中长出草本植物和灌木来。在泥沙石块(类似粘性泥石流体)堆积体上, 首先长出贴地草本植物、地衣和苔藓, 接着是沙棘、水青和桦木林, 最后是冷杉 *Abies fabri* 生长成林。在

近 60a 多来冰川退缩后的冰水河道两岸,沙棘林生长茂密,高者达 10m 左右,人难进入。

在海螺沟冰川森林公园 3 营地和海拔 3 000m 气象站所在地,西侧的黄崩溜小沟 1976 年 8 月和 1989 年 7 月 26 日都暴发过中等规模的泥石流。前者摧毁了大片原始森林,其尾部泥沙淤埋林下地表在 1.5m 以上的部分森林,经历十几年后死亡(因土壤层被埋,上覆土体通气性极差);这场泥石流堆积物总量 13.1 万 m^3 ,从上到下有 4 个叠置的小泥石流堆积扇,石块上生长有褐红色藻类和灰白色地衣,泥沙地面长有贴地草本植物,以及稀疏的小灌木。后者是一片白色石滩地,被摧毁的森林树干倒成一片。在三营和气象站是一片呈扇形地分布的水冬瓜林 *Populus yunnanensis*,最大树龄 80a 左右。由此向西,有一片树龄 40a 左右的高山柳林 *Salix hypoleuca*。过熟的冷杉林树龄 130~150a。这些不同树龄和不同林型的条带状森林,反映了不同时期的泥石流活动及其规模。

3 泥石流的利用

泥石流成灾仅是它的一种表现,它还有更多的性质可供人类利用。

3.1 泥石流流体性质的利用

泥石流的最大特点是富含泥沙石块物质,并能流动很远,在束流无阻挡的条件下,中途不会沉积或很少沉积下来。前已述及的燕子沟、利子依达沟泥石流都已显示了这一特性,我国北方黄土高原的泥流也具有这一性质。因此人们可广泛利用泥流的这一特性来长距离输送泥沙物质。淤地泥库,造土坝,加固黄河大堤,引黄淤地等等都是其例子。这一流体性质的引伸应用便是水煤浆和矿浆的管道输送。

3.2 泥石流沉积物的利用

由于泥石流沉积物是被搬运了一定距离的源地松散固体物质,是寻找黄金等重砂矿的好目标^[10]。粘性泥石流沉积物是青藏高原公路养护的好材料,也是地下水的隔水层,更是建筑物的好地基。分析第四纪地层中的泥石流沉积物,可以获取许多古气候、古环境和古地理方面的信息,它对于研究全球气候和环境变化是有用的^[11]。

3.3 泥石流堆积地貌的利用

现代泥石流堆积地貌一般呈现扇形地。第四纪冰后期全新世中晚期生成的磨西台地达 16.70 km^2 ,现今还残留有 7.11 km^2 。只要泥石流活动高潮时期已成为过去,或中小规模的泥石流能够得到控制,泥石流扇形地是完全可以开发利用的。改土造田、建厂设站、新建城镇等等,均是可行之举。我国西南四川的安宁河流域、滇东北的小江流域,这类例子颇多。

参 考 文 献

- [1] 吕儒仁,李德基. 四川大型泥石流. 科学, 1985, 37(1): 39~45.
- [2] 陈光曦,王继康,王林海编著. 泥石流防治. 北京: 中国铁道出版社, 1983. 22~44.
- [3] 吕儒仁. 对泥石流形成演变的一种认识: 自然条件组合论. 灾害学, 1988, (4): 19~24.
- [4] 杨纪柯. 四川省林水土问题的对比与对策. 大自然探索, 1986, 5(2): 1~7.
- [5] 张信宝,刘江. 云南大盈江流域泥石流. 成都: 成都地图出版社, 1989. 1~31.
- [6] 罗德富,李斌. 泥石流与自然保护. 见: 中国科学院成都地理研究所. 泥石流论文集(1). 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1981. 50~53.

- [7] 温善章. 对黄河下游洪水泥沙灾害的讨论. 人民黄河, 1988, (5): 59~ 61.
- [8] 竺可桢. 历史时代世界气候的波动. 气象学报, 1962, 31(4): 275~ 288.
- [9] 胡发德. 从磨西台地堆积的砾石层特征探讨贡嘎山地区泥石流的演变. 见: 中国科学院兰州冰川冻土研究所, 甘肃省交通科学研究所汇编. 泥石流学术讨论会兰州会议 (1982)文集. 成都: 四川科学技术出版社, 1986. 167 ~ 170.
- [10] 涂光炽. 固体地球科学的若干重要进展. 科学发展若干问题探讨. 见: 中国科学技术协会编. 中国科学技术协会三届二次全委会学术论文集. 北京: 学术期刊出版社, 1987. 44~ 51.
- [11] 崔之久,熊黑钢. 泥石流沉积相模式. 沉积学报, 1990, 8(3): 128~ 140.

DEBRIS FLOW AND ENVIRONMENTAL CHANGE

Lu Ruren

(*Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences
& Ministry of Water Conservancy Chengdu 610041*)

Abstract

Debris flow is a kind of fluid with abundant mud, sand and stone. On the basis of size of the clay grain contents ($> 30\%$, $30\% \sim 1\%$, $< 1\%$), it may be divided into mud-flow, mud-stone-flow and water-stone-flow. Most of unreasonable aspects of human activity often causes debris flow, and spread the disaster. The erosion, transport, deposit and tail-flow action of debris flow processes is intensity. It has special natures of silting, destroying, washing out, overflowing, grinding and advancing in straight line etc. It can change environment as well as force surrounding into evolution on the new start, due to blocking up a river into lake, occurrence of bursting and washing out after blocking up a river, accumulating into a fan, filling up the river bed and causing it to raise, transforming topography, changing ecological system etc. The history of the debris flow action post glacial period of 12 thousand years is of evidence since. Debris flow not only has one aspect of leading to calamity, but also may be used. For example to a nature of fluid (quickly transporting a great of mud, sand and stone), deposits (seeking for mineral and exploring, extracting information of environment etc.) and topography (changing soil into farmland, building factory and establishing a station, new building town etc.) people can all use in order to service economy construction.

Key words characteristic of debris flow, environmental change, use of debris flow