

北京山区柯太沟泥石流

钟敦伦, 谢 洪, 刘世建, 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: 北京山区为泥石流多发区, 共有泥石流沟 500 多条, 其中不乏河谷型泥石流。为了对北京山区河谷型泥石流进行深入研究和合理防治, 选择一条无论地质历史时期还是近代, 泥石流活动都十分活跃的柯太沟作为研究对象, 以期通过对该沟泥石流的危害、形成条件和发展趋势的研究, 提高对北京山区河谷型泥石流的认识和了解, 从而提出更为合理的减灾对策和防治措施。

关键词: 泥石流; 柯太沟; 形成条件; 发展趋势; 北京山区

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

柯太沟位于北京市北山地区的怀柔县汤河口镇, 沟内原有中心社、大北沟门、东湾子三个行政村, 居民近 1 000 人。该沟为潮白河支流白河的一级支沟, 流域面积 21.1 km², 主沟长 11.1 km, 为一条灾害性河谷型泥石流沟^[1~4]。

1 泥石流的活动及危害状况

1.1 泥石流的活动概况

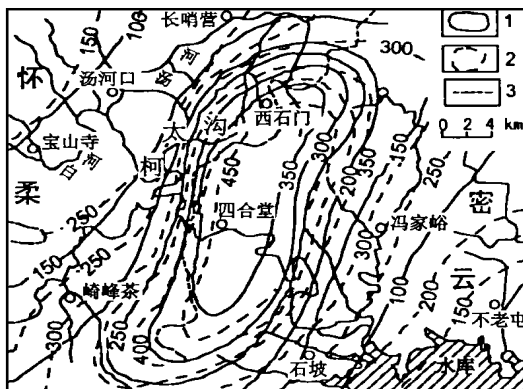
1.1.1 古老泥石流堆积物发育

该沟从上游到下游, 从支沟到主沟, 都有大量分选性和定向排列极差的混杂堆积物。根据该区的地质历史、现代环境和堆积物特征分析, 可以认定这些堆积物为泥石流堆积物, 其中有十分发育的古老泥石流堆积物。

1.1.2 近代泥石流活动十分活跃

该沟曾于 1939 年、1959 年和 1991 年暴发过泥石流, 其中 1939 年和 1991 年规模大、危害重。下面将 1991 年的泥石流活动概况作一分析。

1991-06-10 日该沟上游支沟北沟在特大暴雨激发下, 暴发了一场规模较大的泥石流。在源地激发这场泥石流的当日雨量 > 350 mm, 前 3 日降水量 50 mm~100 mm(图 1); 固相物质补给, 主要为北沟沟垫地形成的大量碎屑物质; 北沟冲出的固相物质质量约为 4.0 万 m³, 容重 > 2.0 t/m³; 泥石流冲出北沟后, 进入主沟, 由于主沟沟床平缓, 在中心社上游一带局部卸荷, 发生大量淤积; 泥石流卸荷后, 容重降低, 在中心社以下, 大约降至 1.5 t/m³~2.0 t/m³; 泥石流沿着弯曲的河道, 奔腾咆哮、横冲直撞, 一边侵蚀, 一边堆积; 由于沟道长而缓, 下游暴雨强度和总量下降, 固相和液相物质都补充不足,



图例说明: 1. 6月10日降水量等值线

2. 6月7~10日降水量等值线; 3. 县界

图 1 1991 年 6 月 10 日及 7~10 日柯太沟区域降水量等值线图

Fig. 1 Precipitation isopleth in Ketai area, 10,

June, and 7~10, June, 1991.

收稿日期: 1999-12-30; 改回日期: 2000-03-04

基金项目: 中国科学院重点项目北京山区泥石流防治对策研究(项目编号: KZ952-J₁-027)的部份研究成果。文内涉及的各类面积和长度均由 1:10 000 地形图量测所得。

作者简介: 钟敦伦(1937-), 男(汉族), 研究员, 四川宜宾人。

于是泥石流侵蚀作用减弱, 堆积作用加强, 容重进一步降低, 在大北沟门以下, 大致降到 $1.3 \text{ t/m}^3 \sim 1.5 \text{ t/m}^3$; 在大北沟门至干沟门一段, 沟床变宽, 泥石流运动阻力进一步加大, 以淤积为主, 容重再度降低, 过干沟门后, 容重降低到 $< 1.3 \text{ t/m}^3$, 演变成高含沙水流。据量测, 加入这场泥石流活动的物质总量约 10 万 m^3 , 为一场中等~大规模的泥石流。

1.2 泥石流的危害状况

1. 危害人民生命财产安全 1939 年该流域中下游支沟——大干沟、后摩岭沟和水泉沟暴发泥石流, 激起主沟也暴发泥石流, 严重毁坏三个自然村, 冲走 57 人, 并造成重大财产损失; 1959 年该流域下游支沟水泉沟暴发泥石流, 给居住在该支沟口的居民带来一定的财产损失; 1991 年该沟上游支沟北沟暴发泥石流, 激起主沟也暴发泥石流, 造成 3 人死亡, 多人受伤, 中心社村、大北沟门村居民和东湾子村部分居民大量财物被毁的重大灾害。

2. 危害工农、农业和水利设施 1991 年的泥石流, 冲毁乡村公路 10 余 km, 毁坏电力和通讯线路各 10 余 km, 造成交通、电力和通讯中断, 迫使矿山停工停产, 给有关部门和乡镇企业带来严重危害; 泥石流还冲毁河堤、大口井和机电提灌站等水利和农业设施, 给农业生产带来极大困难。

3. 危害人类生存环境 据调查, 1939 年的泥石流严重破坏流域内大干沟、后摩岭沟和水泉沟沟口三个自然村的房屋, 其中干沟门自然村的房屋全部被冲毁; 1991 年的泥石流冲毁和冲塌该沟大量房屋, 冲毁大量护村堤和院墙, 房屋大量进水, 成为危房, 使部分居民无家可归和部分居民有家难归。同时, 该沟泥石流冲毁中心社村耕地 20 hm^2 , 占该村耕地的 87 %, 冲毁大北沟门村耕地 23 hm^2 , 占该村耕地的 96 %, 两村被毁耕地多数不能复耕或难以复耕。

4. 危害江河与水库 泥石流把大量泥沙输入白河, 抬高河床, 致使河床由窄深型变为宽浅型, 造成泄洪能力的严重下降和洪水泛滥; 输入白河的大量泥沙、污物, 又通过白河将其中一部分输入密云水库, 造成水库的淤积和水质的降低。

2 泥石流的形成条件

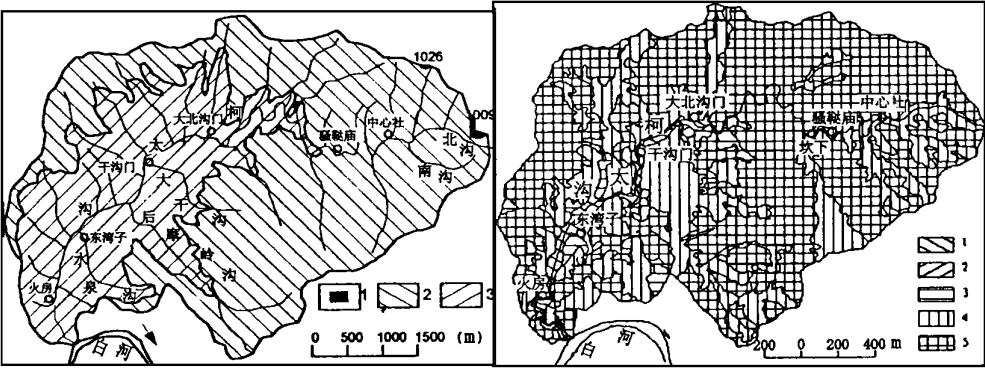
2.1 泥石流形成的基本条件

2.1.1 泥石流形成的能量条件

推动泥石流运动的能量主要来自地形赋予的松散固相物质的位能和暴雨径流的动能。

1. 地形条件 (1)流域的地势分布为泥石流形成提供巨大的位能: 该流域最高点海拔 $1\,026 \text{ m}$, 最低点 250.1 m 。海拔 $1\,000 \text{ m} \sim 1\,026 \text{ m}$ 的地表面积占流域面积的 0.05% , 与流域最低点的相对高差平均达 763 m ; 海拔 $500 \text{ m} \sim 1\,000 \text{ m}$ 的地表面积占流域面积的 63.17% , 与流域最低点的相对高度平均达 500 m ; 海拔 $250.1 \text{ m} \sim 500 \text{ m}$ 的地表面积占流域面积的 36.78% , 与流域最低点的相对高差平均约为 125 m (图 2)。由上可见, 该流域 $2/3$ 的地面平均高出流域最低点 500 m 以上。其上分布的松散固相物质, 对于流域最低点具有巨大的位能; 另外 $1/3$ 的地面平均高出流域最低点 125 m , 其上分布的松散固相物质, 对于流域最低点也具有足够的位能; (2)流域山坡坡度和支沟沟床比降为松散固相物质的位能转化成动能提供了良好的条件: 该流域 $< 6^\circ$ 的平地占流域面积的 2.5% , $6^\circ \sim 15^\circ$ 的缓坡地占流域面积的 0.2% , $15^\circ \sim 25^\circ$ 的较陡坡地占流域面积的 2.1% , $25^\circ \sim 35^\circ$ 的陡坡地占流域面积的 33.7% , $\geq 35^\circ$ 的急陡坡地占流域面积的 61.5% (图 3), 可见, 该流域的山坡是十分陡急的, 陡坡地和急陡坡地的面积占流域面积的 95.2% , 分布在 $\geq 35^\circ$ 急陡坡地上的松散固相物质处于极限平衡或不稳定状态; 该流域主沟平缓, 沟床比降仅 32.4% , 支沟陡峻而密集, 沟长 $\geq 500 \text{ m}$ 的支沟多达 35 条, 沟床比降一般都在 100% ~ 300% 。这样的山坡坡度和支沟沟床比降, 能使松散固相物质的巨大位能, 在暴雨径流作用下迅速转化成动能。

2. 暴雨径流条件 该沟位于降水偏少但变率大的半湿润地区, 降水的年际变率 $> 25 \%$; 年内变率达 125% ~ 130% 。这说明流域所处地域的降水, 高度集中于多雨年的雨季。多雨年雨季往往出现大暴雨和特大暴雨, 加上特殊的地形, 暴雨往往由河谷向山岭急剧增加, 如 1991—06—10 该流域由沟口白河谷地至沟源中心社以上地带, 随着海拔增高, 降水由 100 mm 左右急增到 350 mm 以上(见图 1)。这种降水



1. 海拔高程>1000 m的区域; 2. 海拔高程 500 m~1000 m的区域; 3. 海拔高程<500 m的区域

图 2 柯太沟地面高程分区图

Fig. 2 Altitude regionization in Ketai gully

1.<6°; 2.6°~15°; 3.15°~25°; 4.25°~35°; 5.≥35°

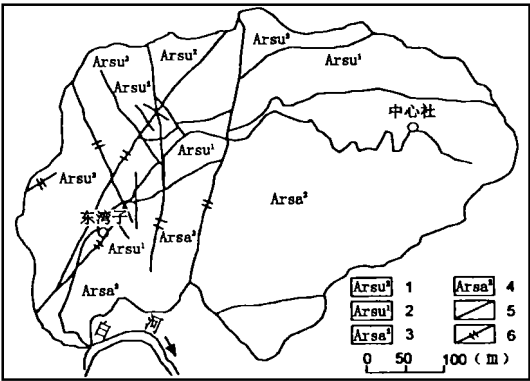
图 3 柯太沟山坡坡度分级图

Fig. 3 Slope grade of Ketai gully

由河谷向山岭急增的分布, 导致具有最大动能的暴雨径流与具有最大位能的松散固相物质的最佳结合, 加之暴雨和特大暴雨之前, 往往有较大的前期降水, 如 1991—06—10 特大暴雨到来之前的 7 d~9 d 降水量达 50 mm~100 mm (见图 1)。这些前期降水使流域内的土壤和松散固相物质充分饱和, 当大暴雨和特大暴雨降临时, 入渗系数很小, 几乎全部转化为坡面径流和沟谷洪流, 这无疑为松散固相物质的启动和泥石流的形成提供了强大的动力条件。

2.1.2 物质条件

1. 泥石流形成的固相物质 (1)地质条件有利于固相物质的形成: 流域内地层属太古界张家坟群山神庙组和宋营子组, 十分古老; 岩性主要为片麻岩, 夹有石英片岩, 穿插有辉石岩脉, 其中赋存磁铁矿; 构造上处于阴山纬向构造体系和新华夏构造体系的交接复合部位附近, 裂隙和断层十分发育 (图 4)。在上述地质背景下, 岩体被裂隙和片麻理、片理切割成大大小小的棋盘状块体。这些块体在各种外营力作用下, 边风化, 边以面蚀、沟蚀等水力侵蚀方式和滚石、崩塌等重力侵蚀方式向沟内聚积, 尤其是左岸岩体, 其片麻理、片理方向与山坡坡向一致, 倾角大, 岩块更易以重力侵蚀方式向沟内聚积, 形成大量固相物质。(2)热量条件有利于固相物质形成: 流域内气温平均年较差达 32.3℃, 平均日较差达 12.6℃, 极端较差达 59.6℃; 地面温度平均年较差达 36.9℃, 极端较差达 95.0℃, 80 cm 深 2 月平均地温 -0.1℃, 说明流域平均结冻深度在 1 m 左右。在这种气温、地温和结冻、融冻反复进行的条件下, 岩体受热胀冷缩和裂隙水冻、融的反复挤压, 不断破碎, 形成岩块、岩屑和岩末。(3)偏少的降水和陡急的山坡、支沟与平缓的主沟有利于固相物质的积累: 流域内降水偏少, 年降水量仅 500 mm~550 mm; 暴雨更少, 日降水量≥50 mm 的降水水平均每年 1.5~2.0 次, ≥100 mm 的降水平均 10 年出现 3~4 次, ≥150 mm 的降水平均 10 年出现



1. 太古界张家坟群宋营子组第二段;
2. 宋营子组第一段;
3. 张家坟群山神庙组第三段;
4. 山神庙组第二段;
5. 地层界线; 6. 断层

图 4 柯太沟流域地质简图

Fig. 4 Geological sketch of Ketai gully basin

1 次。这样的降水条件, 在一般年份不利于平缓主沟固相物质的起动, 却十分有利于陡峻山坡和陡急支沟固相物质向主沟输送, 于是主沟内固相物质越积越多。

2 泥石流形成的液相物质 流域内泥石流形成的液相物质, 主要为暴雨形成的地表径流。前文已述, 该流域降水偏少, 但大暴雨和特大暴雨却时有发生, 如 1991—06—10 的特大暴雨, 流域的平均降水量 $> 250 \text{ mm}$ (见图 1), 若考虑径流系数为 0.9, 那么当日的径流总量约达 475 万 m^3 , 只需其中很少一部分就能满足泥石流形成对液相物质的需要。

由上述可见, 该流域具有形成泥石流的巨大能量和丰富的作为能量载体的物质, 因此具备了形成泥石流的基本条件。

2.2 泥石流形成的促进条件

2.2.1 过度索取生物能源

为了索取生活能源, 流域内居民无计划的砍树和割草为薪, 导致原始植被破坏殆尽, 目前仅存灌木林、次生林和幼林, 林型、树种和结构单一, 根系浅, 固土持水能力差。

2.2.2 无计划采矿排废和筑路弃渣

流域内近几年来铁矿开采获得较快发展, 探矿点多、面大, 探矿、采矿排废和筑路弃渣就地倾倒, 大量废石和弃土置于山坡上和沟谷内, 促进了泥石流的形成和发展。

2.2.3 闸沟垫地

流域内随着人口的增长, 物质的需求量也大幅度增长。居民为了获得更多物质, 除了在主沟围滩造地外, 还在各陡急支沟闸沟垫地。闸沟地地埂用干砌石筑成, 既无基础, 又相互缺乏联结, 当大暴雨或特大暴雨发生时, 抵挡不住强大沟谷洪流的冲蚀, 于是发生溃决, 导致泥石流暴发。

2.2.4 挤压河道, 侵占泄洪断面

流域内挤压河道、侵占泄洪断面的现象有两个方面。

1 河滩造地挤压河道、侵占泄洪断面 流域内平坦地极少, 25° 以下的地面仅 1.01 km^2 , 因此在河滩造地现象普遍。河滩地严重挤压河道, 侵占泄洪断面, 当泥石流袭来时, 这些河滩地的土体成为泥石流的组成部分, 为泥石流活动推波助澜。

2 在河滩、支沟口和泥石流堆积扇上建房, 挤压河道、侵占泄洪断面 由于沟内平坦地极少, 居民住房一部分建在河滩上, 一部分建在支沟口或泥石流堆积扇上, 严重挤压河道, 侵占泄洪断面, 当泥石流袭来时, 部分房屋毁坏后成为泥石流固相物质的组成部分, 扩大了泥石流的规模和破坏能力。

2.3 泥石流形成的激发条件

前文已述, 该流域降水虽偏少, 但大暴雨和特大暴雨仍时有发生, 而且在流域独特的下垫面条件下, 径流系数很大, 能在很短时间内汇集成强大的沟谷洪流, 起动沟床物质形成泥石流, 并沿途汇入崩滑体和底床液化物质, 规模不断增大。可见, 大暴雨和特大暴雨形成的强大的沟谷洪流是该流域泥石流形成的激发条件。

3 泥石流的发展趋势

泥石流的发展趋势, 取决于泥石流形成条件的变化和人类经济活动的合理程度。由于形成泥石流的自然条件是相对稳定的或具有周期性的, 它们总是以比较稳定的方式或按一定的周期对泥石流的形成和发展产生影响, 而人类经济活动则是不确定的, 其既可促进泥石流的形成和发展, 又可抑制泥石流的形成和发展。因此, 在短期内, 人类经济活动是影响泥石流发展趋势最直接、最积极和最活跃的因素。

3.1 人类活动维持现有水平下的发展趋势

若人类经济活动维持 1991 年灾后的强度, 即在沟内保持一个行政村和一个镇的民兵训练基地, 干沟门以下的土地由村使用, 干沟门以上的土地由民兵训练基地管理, 铁矿开采控制在现有 2.0 万 t/a 的水平, 那么该沟将因人口数量的减少, 向山地索取资源的强度有所减轻, 环境质量会逐渐有所好转。但该流域各支沟闸沟垫地的干砌地埂在大暴雨和特大暴雨形成的强大径流作用下, 仍能溃决, 一旦溃决, 便能形成大规模泥石流, 并激起主沟也形成泥石流。目前流域内虽然人口和住房已大幅度减少, 但泥石流仍能给东湾子村、民兵训练基地和采矿业造成十分严重的危害。

3.2 不合理的人类经济活动加剧条件下的发展趋势

若流域内不合理的人类经济活动加剧,如进一步过度索取生物资源,采矿强度加大,废石不合理堆放增多,那么泥石流活动将进一步增强。泥石流的暴发频率将因激发雨量的减小而增高,在暴雨强度、总量和笼罩面积相同的条件下,将激发更大规模的泥石流,对人民生命财产和环境的破坏将进一步增大。

3.3 人类对泥石流进行综合治理条件下的发展趋势

若沟内停止不合理的人类经济活动,并对泥石流加以综合治理,如在 $\geq 35^\circ$ 的坡地建设水源涵养林,在 $15^\circ \sim 35^\circ$ 的坡地建设水土保持林、用材林和薪炭林,在 $6^\circ \sim 15^\circ$ 的坡地和支沟梯地建设果园等,使土固于山、水蓄于林,减小形成泥石流的固相物质质量和水动力条件,并配合适当的工程措施,如修建拦沙坝、调、排洪建筑物和对支沟沟地埂进行改造等。这样,该沟泥石流将会逐渐削弱,泥石流的危害将会逐渐得到控制,居民将因生命财产获得保护而安居乐业,经济也会获得振兴。

参考文献:

- [1] 魏永明. 1991年北京北部山区泥石流成因及防灾对策[J]. 山地研究 1993, 11(3): 187~191.
- [2] 崔之久, 谢又予, 姚鲁峰, 等. 关于北京山区泥石流暴发周期的初步探讨[A]. 见: 首都圈自然灾害与减灾对策[C]. 北京: 气象出版社, 1992. 158~165.
- [3] 中国科学院·水利部成都山地灾害与环境研究所. 北京市怀柔县柯太沟泥石流综合防治规划研究报告[R]. 1993. 1~63.
- [4] 北京市地质研究所. 北京市北山地区泥石流灾害详查及防治对策报告[R]. 1993. 22~27.

DEBRIS FLOW IN KETAI GULLY, HUAIROU COUNTY, BEIJING

ZHONG Dun-lun, XIE Hong, LIU Shi-jian, WEI Fang-qiang

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

Abstract: Ketai gully, located in Tanghekou Town, Huairou, Beijing, is one of the first tributaries of Chaobaihe River. Debris flow in the basin were of high activity in geological and modern history. Conglomerations deposited from the upper to down, from the tributaries to main, are of debris flows in the old and recent, especially of the occurrences in 1939, 1959 and 1991, which caused a great loss of the local inhabitants.

Debris flows in the area profit from the relief distribution responsible for the gravity potential energy that will be energizing the conversion of sediments into debris flows and favoring the confluence of runoff, from the schistosity and gneissic schistosity of the ancient strata and the fissure and fracture, due to the position at the cross of the tectonic system of latitudinal Yinshan and the New Huaxia, and from the sharp alternations of cold and hot, freeze and melt, which bring to the rocks slit, crack and weathering. In addition, the scarcity of precipitation and mitigation of the main gully are profitable for the accumulation of debris which would be occasionally stimulated by heavy rains.

Debris flow has three developmental tendencies in this gully. If unreasonable activities of human cease, and a comprehensive control measures work, debris flow will become weak gradually.

Key words: debris flow; Ketai gully; formation condition; developing trend