

文章编号: 1008-2786(1999)03-0207-05

# 云南省寻甸县金源老干沟泥石流灾害与治理

张军<sup>1</sup>, 陈宁生<sup>1</sup>, 詹文安<sup>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. 云南省计委国土办, 云南昆明 650041)

**摘要:** 通过实地考察, 分析了金源泥石流形成背景, 对泥石流防治工程设计必需的水文参数进行了讨论, 介绍了治理方案的选择和确定, 重点讨论了1000 m长排导槽工程的设计。

**关键词:** 金源老干沟; 泥石流; 治理

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A

## 1 概况

寻甸县位于云南省东北部,  $103^{\circ}07' E \sim 103^{\circ}12' E$ ,  $25^{\circ}50' N \sim 25^{\circ}54' N$ 。县城距省会昆明市约100 km, 系回族彝族自治县。金源属寻甸县西北一个行政乡, 距县城64 km。金源乡南北长约17 km, 东西宽约9 km, 全乡面积154 km<sup>2</sup>。全乡有9个村公所, 121个自然村, 25.8万人(1990年统计), 其中回族、彝族占20%, 人口密度达168人/km<sup>2</sup>, 人均耕地仅0.0536 hm<sup>2</sup>(0.8亩)。人多地少, 土地资源十分珍贵。

金源是云南省泥石流灾害十分严重的地区, 以泥石流活动规模大、暴发频率高、灾害密集、灾情紧迫为显著特点, 其中又以老干沟、沙湾大沟最为突出。1980年以来, 活动有明显加剧之势。老干沟泥石流使上百公顷良田沦为乱石滩, 并直接威胁两侧村庄和稳产田。1991年夏季, 沙湾大沟泥石流将110 hm<sup>2</sup>稻田淤埋殆尽, 良田变荒滩, 使人多地少的矛盾更为尖锐。

老干沟是金源乡泥石流危害最突出的泥石流沟之一, 历史上曾多次发生危害村民生命财产和毁埋盆地周边村庄和良田灾害。沟口位于乡政府以北约3.5 km, 流域面积24.15 km<sup>2</sup>(沟口以上), 主沟长7.85 km, 主沟纵比降14.80%。沟口以下堆积扇面积约2.45 km<sup>2</sup>。流域内主要有马桑井、黑泥巴等8条支沟。流域上游最大海拔高程3223 m, 沟口高程1660 m, 高差达1563 m, 堆积扇缘最低高程1510 m。流域内有马槽坑、小村子、马桑井、厂箐、厂上等16个自然村庄。

### 1.1 泥石流灾害

金源及老干沟在历史上曾有过三次较大的泥石流活跃期, 老干沟、沙湾大沟沟口保留着巨大的泥石流堆积扇。1980年以后, 金源地区泥石流又趋活跃频繁, 自1985年6月24日、7月9日、7月22日三次大泥石流后, 泥石流活动频率和规模明显增大。金源盆地中部的古城村1991年被特大泥石流腹背夹击包围, 成为名符其实的“孤城”。同年雨季泥石流将古城、施夏村110 hm<sup>2</sup>丰产的稻田淤埋, 颗粒无收, 造成106户421人无田可种。据统计, 泥石流已严重威胁金源乡30个自然村, 671户3873人的生命安全, 厂箐、古城、老街等村庄受泥石流冲击的可能很大。

收稿日期: 1999-10-20; 改回日期: 1999-12-30

**作者简介:** 张军(1949-), 男(汉族), 河北省大名县人, 四川大学水利系水工专业。从事泥石流野外考察、动力学研究和防治工程实践20年, 发表论文近30篇, 其中论文“泥石流拦砂坝基础埋深问题”和“泥石流沉积物的力学特征”分别被《中国科学技术文库》和美国《工程索引》(EI)收录, 在“中国泥石流灾害与防治”、“云南蒋家沟泥石流运动观测资料集”等5部专著集任主编和编委, 现任中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所研究员, 西藏自治区国土开发研究所客座专家。

老干沟近代泥石流活动已有 200 多年历史。据史载, 1741 年(乾隆六年)曾发生泥石流灾害, 1911 年、1949 年、1953 年、1978 年、1985 年、1990 年及 1991 年均有大规模泥石流发生。从 1985 年以来, 泥石流更趋频繁: 1. 淤埋村庄、农田, 受泥石流危害, 老干沟下游堆积区范围先后有 5 个村庄受泥石流淤埋或被迫迁走, 毁坏房屋 140 余间, 冲毁农田 200  $\text{hm}^2$ ; 2. 人员伤亡及财产损失, 1958 年以来, 泥石流灾害造成厂箐村 4 人死亡, 伤 8 人, 冲死牲畜近百头; 3. 冲毁公路, 金源至沧溪公路从该沟堆积扇中部通过, 由于泥石流暴发漫流改道使每年雨季该段公路无法正常通行。

## 1.2 发展趋势

1. 村庄 由于流域内 8 条支沟有 7 条支沟有明显泥石流活动, 一些村庄直接受到泥石流严重威胁, 例如厂箐村历史上多次受泥石流危害, 造成人员及财产伤亡, 厂箐支沟上游的大中山滑坡, 距村庄距离仅 800 m, 垂直高差 300 m。1979 年、1988 年、1991 年发生 3 次较大滑动, 下滑 3 m 多, 裂隙达 33 cm, 滑体方量达 120 万  $\text{m}^3$ , 一旦失稳将给厂箐村造成极大危害。寡妇茏沟泥石流正处于活跃期, 1991 年沟口上涨 6 m ~ 8 m, 大村子(彝族村)距沟口仅 100 m, 泥石流如改走右岸将对大村子造成直接危害。五里松村历史上曾多次遭泥石流侵袭, 由于堆积扇不断向下游扩展, 随时可再次遭受危害。为保护新龙村和沧溪, 当地政府曾在沟口右侧修防护堤一段, 但沟口连年上涨, 1990 年堤加高 6 m, 到 1991 年底只剩 1.6 m。老干沟距新龙村 700 m, 纵坡达 11.4%, 距沧溪村 1 100 m, 纵坡达 10.9%, 均大于泥石流的运动纵坡, 如不统筹治理, 沟口右侧的新龙村和沧溪村 1 000 多居民, 受泥石流危害的可能性依然存在, 亦十分突出。

2. 农田 上游支沟受泥石流活动冲刷, 沟床下切, 沟道展宽, 使厂箐村一带农田不断减少, 人均耕地已严重不足。老干沟泥石流对下游堆积扇两侧的农田威胁最大, 其中沧溪 154  $\text{hm}^2$  稳产稻田和 640  $\text{hm}^2$  河坝田受直接威胁, 占全乡稻田面积的 60% 左右。

## 2 老干沟泥石流灾害成因分析

### 2.1 泥石流土源类型及分布储量

老干沟流域内断层发育, 褶皱强烈, 加之受新构造运动影响, 为老干沟泥石流的固体物质提供了有利条件。老干沟泥石流松散固体物质主要分为以下几种类型: 滑坡崩塌体, 残坡积物, 沟岸崩塌, 沟床堆积物及山坡表土层等。

1. 滑坡崩塌体 流域内滑坡崩塌分布广泛。据考察, 滑塌体达 45 个, 累计面积达 1.73  $\text{km}^2$ , 占流域面积的 7.2%, 滑坡崩塌体总方量为 4 955.9 万  $\text{m}^3$ , 其中强烈活动的滑坡体为 333.16 万  $\text{m}^3$ , 处于缓慢活动的滑坡为 1 401.74 万  $\text{m}^3$ , 分别占总量的 6.7% 和 28.3%。

2. 残坡积物 残坡积物主要集中于厂上、厂箐两支沟, 面积为 1.13  $\text{km}^2$ , 占流域总面积的 4.7%, 坡积物方量为 1 283.75 万  $\text{m}^3$ 。

3. 沟岸崩塌 沟岸崩塌分布于主沟及其支沟沟岸, 宽度一般为 5 m ~ 10 m, 总面积为 0.11  $\text{km}^2$ , 方量为 108.11 万  $\text{m}^3$ 。

4. 沟床堆积 沟床质不仅是泥石流携带停积物, 又可参与下次泥石流活动, 多沿主沟床分布, 面积为 0.44  $\text{km}^2$ 。统计方量为 196.69 万  $\text{m}^3$ 。

5. 堆积扇固体物质 老干沟泥石流堆积扇主要有二处: 寡妇茏支沟堆积扇和主沟堆积扇, 前者面积为 0.12  $\text{km}^2$ , 主沟堆积扇面积为 0.862  $\text{km}^2$ 。据计算寡妇茏支沟堆积扇为 49.88 万  $\text{m}^3$ , 主沟堆积扇为 210.68 万  $\text{m}^3$ 。

6. 地表土侵蚀方量 根据泥石流地区调查统计, 该类土源约占总土源的 20% 左右, 结合野外考察分析, 其方量为 1 318.9 万  $\text{m}^3$ 。

经调查与计算, 老干沟泥石流松散固体物质总方量 8 074.03 万  $\text{m}^3$ , 其中滑坡崩塌体占 62.6%, 残坡积物占 16.2%, 土壤侵蚀量占 16.7%, 沟岸崩塌占 1.4%, 沟床物质占 2.5%, 堆积扇物质占 0.6%。

## 2.2 地貌与水文气象因素

老干沟流域地貌形态有利于泥石流的形成。从沟口到山顶海拔高差达 1 563 m,其中海拔 2 600 m 以上山势陡峻,为强风化裸露山体,地表产流及水动力强;海拔 2 900 m 以上可视为清水区,为残存的高原蚀蚀区;海拔 2 200 m ~ 2 900 m 为泥石流主要形成区,滑坡崩塌、松散坡积物主要位于海拔 2 400 m ~ 2 900 m 范围,该区地势高差变幅大,沟床纵坡陡,有利于松散固体物质的输移。海拔 1 660 m ~ 2 200 m 沟谷地带为泥石流流通区,该段沟谷宽阔、平坦,小村子以下为主流通区。海拔 1 660 m 沟口以下则为中轴长 1.5 km,平均宽 1.64 km,面积约 2.45 km<sup>2</sup> 的巨大的堆积扇。

老干沟受高原低纬度季风环流及高差悬殊的地形影响,表现出明显的季风气候和立体气候特征,对泥石流的活动影响很大。据调查分析,老干沟流域海拔 1 660 m 以下降水量 < 900 mm,年均温 16 °C 左右;海拔 1 660 m ~ 2 200 m,年降水量约 900 mm ~ 1 100 mm,年均温 14 °C 左右;海拔 2 200 m ~ 2 900 m,年降水量 1 100 mm ~ 1 300 mm,年均温 8 °C ~ 13.8 °C;海拔 2 900 m 以上,降水量 > 1 300 mm,年均温 < 8 °C。

2.2.1 雨量对泥石流活动的影响 据寻甸县气象站降水资料(表 1),当地降水量约 89 % 集中在 5 ~ 10 月份,其中 6 ~ 8 月降水量占 58 %;老干沟泥石流活动 80 % 左右集中在 6 ~ 8 月,7、8 月份为泥石流活动高峰期。

表 1 寻甸县逐月平均降水量统计表(1956 ~ 1979 年)

Table 1 Monthly rainfall in Xundian County, 1956 ~ 1979

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
降雨量 (mm)	11.6	4.4	13.5	26.0	91.0	213.0	205.7	199.7	129.4	84.5	39.8	11.4	1030.0

寻甸县暴雨资料表明,> 50 mm 的日降水每年平均约 2 次,而 1990、1991 年分别达到 4、5 次之多。由于老干沟位于南北走向的迎风坡(西坡),降水更为充沛。短历时暴雨是老干沟泥石流形成的主要诱发因素。

2.2.2 老干沟泥石流形成的雨量条件分析 从调查访问及县气象站对照资料分析,老干沟应属于暴雨一大暴雨型泥石流。

3 地震作用 由于金源及老干沟位于小江大断裂西支,沿该断裂带历史上曾多次发生地震。有资料统计,公元 1500 年至 1986 年,该区曾发生大于 5 级以上地震 20 次(平均 24 年左右一次)。

4 人类活动 1991 年调查,老干沟流域内共有 18 个自然村,647 户,2 777 人。坡耕地 188 hm<sup>2</sup>,林地 406 hm<sup>2</sup> 亩,分别占总面积的 7.8 % 和 16.8 %,森林覆盖率为 8.1 %,荒山面积 915 hm<sup>2</sup>,占总面积 37.9 %。老干沟人类活动对泥石流的影响主要表现为毁林开荒,陡坡垦殖。由于能源缺乏,当地老乡主要烧木柴,1958 年前流域内森林茂密,1958 年后逐渐砍完。

## 3 泥石流水文及洪峰流量计算

1 野外调查 主要进行泥石流汇流条件和流通条件,泥石流性质和规模的调查,泥石流洪痕断面和冲积扇纵断面测量。

2 清水设计流量的计算 采用水文手册法、水科院法、铁二院法、公路所法计算清水流量,并进行了比较。考虑到该沟所处的地域特点,铁二院法主要适用于西南地区,且与公路所法相对较为接近,设计使用铁二院法计算老干沟洪峰流量。老干沟主沟二十年一遇洪峰流量为 106.4 m<sup>3</sup>/s。

3 泥石流设计流量 主沟以 20 年一遇泥石流流量作为排导槽工程的设计流量,采用计算公式为

$$Q_{\Phi} = (1 + \Phi_c) D_n Q_p \quad (5)$$

式中  $Q_{\Phi}$  为频率为  $p$  的泥石流设计流量(m<sup>3</sup>/s);  $Q_p$  为同频率的洪峰流量(m<sup>3</sup>/s),采用铁二院法计算结果;  $\Phi_c = (\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_s - \gamma_c)$  为泥石流流量增加系数,  $\gamma_w$ 、 $\gamma_s$  分别为水和固体物质容重(分别为 1 t/m<sup>3</sup> 和 2.65 t/m<sup>3</sup>);  $\gamma_c$  为根据泥石流性质调查和设计频率所确定的泥石流设计容重(t/m<sup>3</sup>);  $D_n$  为泥石流堵

塞系数,根据沟道流通条件、泥石流性质确定。老干沟主沟二十年一遇泥石流流量为  $351.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 。计算结果与调查的相同断面位置的相同频率的泥石流流量是较为接近的。

## 4 泥石流治理方案

### 4.1 工程治理方案

1. 治理原则及重点项目 老干沟泥石流灾害防治原则是,工程防治与生物治理相结合,以防为主,防治结合。工程防治上突出“稳”与“排”,即把滑坡、崩塌及沟床松散固体物质尽可能稳固在流域中上游;通过排导工程保护下游堆积扇大片农田和开发堆积荒滩,减缓土地紧张的尖锐矛盾。

1) 减少泥石流对村庄的危害 老干沟流域受泥石流灾害影响的村庄达 15 个,如全面设防,投资有困难,应对受威胁突出的村庄重点设防,减轻灾害损失。这些村庄有厂箐村、厂上村、大村子、小村子、新龙村等。

2) 保护农田 保护农田和开垦泥石流堆积扇上近千亩荒滩地,减轻人均耕地严重不足,成为治理老干沟泥石流灾害的重要组成部分。

3) 综合治理与保护公路、水渠等基本设施相结合 金源乡至沧溪公路是当地重要交通线,该公路从堆积扇中部(距沟口 520 m,海拔 1 600 m)通过,长约 500 m,整治工程与公路交叉应统筹规划。距沟口以下 1430 m 有农田引水渠道通过,流量约  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,整治中应予保护。

2 治理方案 上游以建谷坊群为主,目的是防止沟床下切,控制滑坡、崩塌发展;中游以固床工程为主,控制减少沟床大颗粒进入堆积扇;下游以排导工程为主,固定泥石流流向,保护农田,开发荒滩地为目的。

1) 上游拦挡工程 上游支沟工程主要包括小箐沟谷坊群,大村子拦挡坝,厂箐沟谷坊群,歹乌沟谷坊群,黑泥巴沟谷坊群,厂上沟拦挡坝、大箐沟谷坊群。厂箐沟、黑泥巴沟、寡妇茆沟为整治的重点。

2) 中游主沟固床工程 中游流通区主沟道全长约 2.5 km(小村子至沟口),规划建潜坝 10 座,其中最下游一道加高 2 m~3 m,以阻挡大石头进入排导槽。

3) 下游排导工程 排导槽的走向和长度曾分别选择了两种方案,经反复比较,最后决定采用:走向为出沟口略偏下游  $22^\circ$ (方位角  $292^\circ$ )方案,长度为 1 000 m。

该方案的主要优点是:①直接在乱石滩通过,不占用农田;②走向顺直,一坡到底,设计纵坡为 9.36%,可满足粘性和稀性泥石流排导要求;③便于两侧荒滩改造后引水改田;④可将下游 960 亩冷浸田做为停淤场,待今后开发利用。

排导工程的结构 整个工程由首部导流段和主排导槽两部分组成。首部导流段两侧导流堤接两岸坡,呈倒八字型将泥石流归入排导槽,与流向的夹角小于  $45^\circ$ ,两侧总长 250 m,其间设 2~3 道防冲肋板;主排导槽两端边墙为直墙式,两侧用土石方回填夯实。排导槽设计纵坡为 9.36%。经计算,设计流量时槽内泥石流流速将超过  $7 \text{ m/s}$ ,需设置防冲肋板,每 10 m 设 1 道。筑砌时将肋板与边墙连为一体。

过流能力校核和稳定计算 过流能力及流速计算,采用东川大白泥沟、蒋家沟流速计算公式<sup>[2]</sup>  $U_c = K \cdot H_c^{2/3} \cdot I^{1/5}$ ,分别取泥深  $H_c$  为 1.0 m, 2.0 m 和 3.0 m 时计算,流速分别为  $6.2 \text{ m/s}$ 、 $9.8 \text{ m/s}$  和  $11.5 \text{ m/s}$ 。稳定计算参照采用了蒋家沟堆积物力学特征值( $c$ 、 $\varphi$  值),计算结果可满足要求。

### 4.2 生物治理方案

#### 1. 流域植被概况<sup>1)</sup>

1) 林业措施 ①在海拔 2 800 m 以上地区,受气温、降水及热量条件影响,保护好灌丛草甸,以封育保护为主。②海拔 2 200 m~2 800 m 地区,以营造水源涵养林为主,注意针阔叶混交,乔、灌、草多层结构复合,加大地表植被覆盖,使地表水减少减慢,抑制水动力条件,选择滇杨、旱冬瓜、麻栎、华山松,灌木以马桑、火把果为主。③海拔 1 700 m~2 200 m 地区,以营造水土保持林为主,林型配置以阔叶林和

1) 资料由张有富同志提供。

针阔叶混交林为主, 树种以云南松、油杉、青冈、洋槐为主, 灌木以马桑、苦刺、胡枝子为主, 并发展核桃、柿花等经济林木。④海拔 1 700 m 至山脚地区, 以营造薪炭林为主, 如新银合欢、赤桉、车桑子、三叶豆、山毛豆等, 并发展石榴、板栗、柿花等经济林果木, 近年来已取得明显的经济效益。⑤山区至四甲河边的大片坝区, 是金源主要农田区, 水热条件好, 水稻、土豆、小麦产量高。但受泥石流堆积侵袭和冬春风沙影响较大, 应加强防护林营造, 沿排导槽两侧种赤桉、三叶豆及发展石榴、柿花等经济林木, 已取得明显效果。

2) 农业措施 ①固定现有耕地, 提高单产量, 禁止乱开荒, 避免造成新的水土流失。②陡坡耕地停耕还林, 因地制宜改种经济果药, 既保持水土, 又提高经济效益。③实行间作、套种等立体种植, 增加地表覆盖度及时间, 提高水保效能。

3) 牧业措施 为防止牛、羊放牧啃食坡面草被幼苗, 对牲畜实行圈养。在高山平缓区适当划定小片牧区, 进行轮封轮牧, 严禁大面积乱放牧。

加强管护措施, 落实护林人员, 使封山育林及生物治理工作落到实处。

致谢: 现场工作期间, 得到寻甸县及金源乡各级领导和有关部门的大力支持, 在此深表谢忱。

#### 参考文献:

- [1] 吴积善, 康志成. 云南蒋家沟泥石流观测[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 118~127.  
[2] 陈光曦, 王继康. 泥石流防治[M]. 中国铁道出版社, 1983. 2~49.

## DEBRIS FLOW DISASTER AND ITS CONTROL OF LAOGAN RAVINE, JINYUAN, XUNDIAN, YUNNAN

ZHANG Jun<sup>1</sup>, CHEN Ning-sheng<sup>1</sup>, ZHAN Wen-an<sup>2</sup>

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041 PRC;* 2. *Plan Commission, Yunnan, Kunming, 650041 PRC*)

**Abstract:** Located on the upper reaches of Xiaojiang River in northeastern Yunnan, Jinyuan is one of the zones where debris flow and landslides are concentrated, frequent and disastrous. Notable are the debris flows Laogan Ravine, which damage villages erode fertile farmland to turn vast stretches of it into desert flat. This paper makes a general survey of the debris flows at Jinyuan, analyzes the background of their occurrences, discusses the parameters necessary for the design of corrective works against debris flows, and describes how to select and decide the remedial scheme. Emphasis is placed on discussing the desing of a 1000 m-long diversion channel which has been implemented since 1992. So far it has been completed. 50 check dams have been constructed in the source area in combination with the biological measures. In this way, debris flow hazards are defectively but under control so as to achieve the remarkable ecological and socio-economical benefits.

**Key words:** Laogan ravine; debris flow; control