

# 神府—东胜矿区人为泥石流的系统控制研究\*

张丽萍

唐克丽 张平仓

(南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室·南京市·210093) (中国科学院水利部水土保持研究所)

**摘要** 在神府—东胜矿区人为泥石流沟道广泛野外调查的基础上,根据人为泥石流的特点及其发生发展过程的动态机理,应用多层次系统控制原理,分别提出了现有人为泥石流及潜在人为泥石流系统防治模式,总结出神府—东胜矿区人为泥石流系统防治的特殊性。控制固体物质补给是关键,合理设计规划弃土石渣的排放场地是重点,搞好汇水区水土保持系统工程是基础,调整沟床比降,减少水流动能,使泥石流暴发减少到最低程度。

**关键词** 人为泥石流 神府—东胜矿区 多层次控制 系统治理

文献标识码: A 文章编号: 1000-288x(1999)02-0007-05 中图分类号: P642.03

## System Controlling Model of Man-Made Debris Flow in Shenfu-Dongsheng Minesite

ZHANG Li-ping

(State Pilot Laboratory of Coast and Island Exploitation, Nanjing University, Nanjing, 210093, PRC)

TANG Ke-li ZHANG Ping-cang

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources)

**Abstract** On the base of extensive field investigation of man-made debris flow in Shenfu-Dongsheng minesite, and according to its characteristics and processes, the system controlling model were respectively summarized up with theory of many levels controlling system, and the peculiarities of system controlling of man-made debris flow in Shenfu-Dongsheng minesite were generalized. The main aim of system harness of man-made debris flow is to make potential debris flow not broken out and present debris flow decreased.

**Keywords** man-made debris flow; Shenfu-Dongsheng minesite; many levels controlling; system harness

人为泥石流是沟谷地貌演化过程中的一个畸变阶段,是人为弃土石渣堆积于沟内斜坡、沟床所致,若弃土石渣堆积超过某一限度后就不可避免地发生泥石流,且不可轻易遏止。人为泥石流与自然泥石流的防治过程相差很大,自然泥石流是客观存在的,是后期布局生产建设、交通线路及城镇居民时必须考虑的自然因素之一,主要以治、避、防为主;人为泥石流则是人为开发利用资源过程中忽略环境问题的后遗症之一,是先布局生产部门、交通线路、吸引居民集中,而后才发生泥石流,故以防为主,二者的控制过程正好相反。因此,对人为泥石流的系统控制应分两种类型,一种是已有泥石流沟道的系统治理;另一种是潜在泥石流沟道的系统控制。

收稿日期: 1998-11-30 \* 本研究获中科院特别经费支持——泥石流发生机理研究项目(961202)资助;该项工作为

第一作者在原单位中国科学院水利部水土保持研究所唐克丽研究员指导下完成的 实验成果编号: SCIEL 21199301

神府—东胜矿区近几年来频繁暴发的泥石流就是典型的人为泥石流,是神府—东胜矿区在大规模采煤、矿区建设而环境治理未能同步进行的后遗症之一。神府东胜矿区是我国现代化煤矿区,是我国跨世纪战略性能源基地。煤炭储量丰富,煤质好,埋藏浅。但由于该区地处干旱、半干旱过渡地带,植被覆盖度低,土壤风蚀、水蚀交错,岩层结构疏松易风化,自然灾害频繁,生态环境十分脆弱。在如此环境条件下,叠加大强度大规模的集中采煤、开矿触发了一系列新的环境问题,其中最为突出的、并较严重的尤为人为泥石流。故系统防治人为泥石流的暴发关系到矿区的建设及资源的可持续利用。

## 1 防治、调控人为泥石流发生的理论基础

### 1.1 人为泥石流沟道纵横演化的地貌过程基础

人为泥石流沟道的纵向发展过程是指其从非泥石流沟演变为泥石流沟,再消退为非泥石流沟,其历时视人为活动程度、开发过程及治理状况而定。一般来讲,非泥石流沟向泥石流沟演化较快,但反向演化则要经历很长的时间,随着人为破坏作用的减退,沟道趋于均衡剖面,然后随着大区域的地壳活动而演化。

人为泥石流沟道的横向发展过程乃是泥石流沟由小到大、由简单到复杂的发展过程,或称其为分支发展过程,即坡面泥石流、坡沟泥石流、冲沟泥石流及沟道泥石流的演化过程。人为泥石流沟道横向发育的几个阶段可分为两种过程,一种为新生的坡面泥石流演化而成坡沟或切沟泥石流,目前在矿区为数很少;另一种是继承了自然沟道形态直接为冲沟泥石流或沟道泥石流;在一次泥石流暴发过程中可能只形成一个横向阶段,也可能有几个横向阶段同时发生或相继发生。人为泥石流的形成特点在于人为作用提供了固体物质,改变了流域沟道形态,诱发了泥石流。若在资源开发、土地利用过程中,能遵循沟道地貌演化规律,或治理过程中按沟道均衡剖面原则布设措施,便能促进人为泥石流沟道的反向演化进程,中断人为泥石流的横向发展。

### 1.2 人为加速侵蚀机理研究理论的借鉴

人为泥石流形成的固体物质补给过程主要来源于人为作用导致加速侵蚀过程,人为加速侵蚀机理研究的理论是分析人为泥石流能否形成的基础理论。人为加速侵蚀的方式,包括人为直接堆放的弃土石渣,人为破坏植被导致地表抗蚀能力减小,人为削坡挖方加大地形坡度促进了重力侵蚀。资源开发、土地利用过程中所松动的表土,其容重减小,易随水流失,增加了河流泥沙含量。

人为加速侵蚀的力学机理与常规土壤侵蚀的力学成因基本相同,水力、重力、风力侵蚀均有发生。关键区别有以下几点:(1)人为弃土石渣及松动的表土容重小,颗粒间粘聚力几乎是零,泥沙易起动,故其进入河流的泥沙量多;(2)植被是地表的保护层,枝叶能截留雨滴,减低雨滴打击力,并能减低风速,根系可以固结表土,起土内钢筋作用,植被破坏意味着地表失去保护层,任受各种外力的侵蚀;(3)重力侵蚀是沟道泥沙主要来源,人为开挖边坡,使边坡土体失稳,重力侵蚀加重。基于这 3 点侵蚀特征差异,在其它条件相同的斜坡上,人为堆积斜坡上的侵蚀量大于自然斜坡。相同雨强状况下,人为堆积斜坡上的侵蚀量大于自然斜坡。经人工降雨模拟实验证实,二者侵蚀量相差 9 倍之多;同一汇流过程人为堆积体易起动形成泥石流,而自然堆积物则不然。<sup>[1]</sup>

### 1.3 水土保持基础措施应用是防治泥石流的前提

唐晓春先生总结了我国现有的、具有一定代表性的 5 种泥石流防治模式,并总结提出了泥

泥石流全面防治模式<sup>[3]</sup>。其基础措施离不开水土保持的 3 大措施(工程、生物、耕作措施)。在泥石流预防、治理的不同阶段都是这 3 大措施分配比例、主次的变化及系统分配。谭万沛先生归纳了目前减轻泥石流滑坡灾害的措施,可概括为 2 大类、3 个方面、4 项措施<sup>[4]</sup>。两大类是指硬性措施(工程措施)和软性措施(非工程措施);3 个方面是防、治、预测预报;4 项措施有工程治理措施、生物治理措施、遇险躲避措施、险情监测预测预报及抢险救灾措施。其实质是水土保持措施的进一步应用、加强,强调了预测预报,其基础离不开水土保持原理措施。

## 2 矿区人为泥石流的多层级系统控制

### 2.1 现有泥石流的系统治理

神府—东胜矿区现存泥石流是矿区一期工程(包括采矿、修建铁路、公路、架桥、河堤筑防)导致的环境后遗症之一。根据考察,泥石流规模较小,密度大,以人为活动规律而分布,以矿区居民点为中心,沿交通、主沟道线呈放射状分布。就大的矿区而言,可分为矿区中心区、近郊区及远郊区。又由于神府东胜矿区的自然环境决定了其生物措施的缓慢性(植被恢复速度慢),因此在治理过程中有其独特的模式。

2.1.1 治理原则 根据神府—东胜矿区泥石流的特征,治理过程中应以控制人为弃土石渣为主,以修建排疏工程及弃土石渣场工程为辅,分中心、近、远区别治理。

2.1.2 防治措施 提高资源的利用率,控制人为弃土石渣的排放量,规划堆放位置是防治的主要措施。实行层层治理、层层防治的方针对现存人为松散堆积体的处理以固、排两种方式为主。基于此,首先应处理露天矿区堆积的剥离土石渣,采取逐步疏放及生物复垦措施,规划控制新剥离的弃土石渣堆放位置,原则上远离沟床,以填洼为主;第二,统一规划采石场,将沿主要交通线路、近矿区的采石场硬性停止,以远离主要交通线、矿区为原则,裸露基岩区为主采石区。针对现已堆积的弃石渣应以移迁为主,减小堆积坡度为辅,实行彻底清理;第三,因泥石流多沿公路及矿区,堆积停淤地直接为公路及矿区,故不适合修停淤场,应以排为主。泥石流沟道系统治理应区分汇水区、形成区、流通区,原则上在汇水区以农田基本建设为主,坡面植树种草,谷底修拦沙坝,旨在减少洪水来量及泥沙量;形成区以硬性层层拦挡为主;流通区以降低沟床比降、减慢流速、设置排导工程为主,沟口堆积区以彻底清除为终。综合治理模式见图 1。

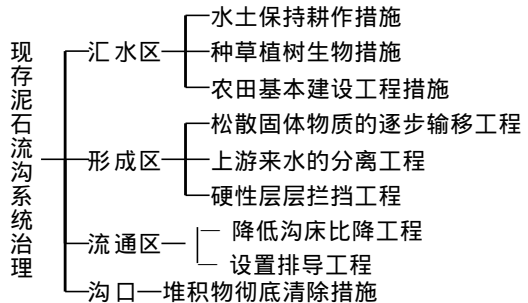


图 1 神府东胜矿区人为泥石流沟道系统治理模式

### 2.2 潜在人为泥石流的多层级控制

矿区建设导致的人为泥石流,只要我们能事先加以注意,采取措施是完全可以避免的。若忽视弃土石渣的堆放问题,泥石流形成速度之快,灾情之重是无法想象的。神府东胜矿区的煤炭资源在 21 世纪将由国内走向国际,开采规模必将扩大。矿区扩建定有大量的弃土石渣排放,对地面产生不同程度的干扰,在这一过程中必将对环境的负效应加以注意,否则将会导致更多新的人为泥石流。

无论何种类型的泥石流其形成条件均是:充足的松散固体物质;暴雨大水量的冲击动力;陡峻的地形条件。欲控制人为泥石流的形成必须从这 3 个基本条件着手,采取多层级控制。<sup>[5]</sup>

#### 2.2.1 第 1 层,从 3 个基本条件入手分别控制

(1) 弃土石渣的排置控制。根据第一期工程采矿整体过程中成、废品率,合理预计弃土石

渣的排放量,并按排放种类设置排放场地,原则上露天煤矿排渣场设计要重视源头截水沟或山坡截洪沟及河床拦洪作用。按照弃土石渣的物理力学性质及大气降雨资料设计排土石渣场,尽量做到土石分离,利于矿区复垦及废旧利用,绝不允许在排土石渣场内设计任何积水、排水工程。对于所有能造成大量弃土石渣、与矿区建设有关的工矿企业,工程建设都必须要求对弃土石渣处理采取有力措施后才允许动工。统一规划采石场,原则上远离矿区及居民区。由修路挖洞而导致的陡坡,并是施工必经之处,实行工程加固。以不同的角度从根本上削减人为泥石流固体物质来源。若在技术、经济可能的情况下,实行废旧利用。

(2) 暴雨水动力条件的控制。天然暴雨的直接控制从目前来讲是无法控制的,但可以通过改变地面特性间接地控制,经泥石流源地松散体起动力人工降雨及放水冲刷实验结果所揭示<sup>[1]</sup>,神府东胜矿区泥石流松散体起动力主要是上游来水,在汇流区逐步控制洪水下泄是主要方面。在汇水区除生物措施外,农田基本建设是重点,坡面梯田、鱼鳞坑、水平沟拦截、沟道谷坊、淤泥坝拦截,同时要合理设计洪水的分离下泄工程,建立良好的水土保持系统工程,控制汇水区的土壤侵蚀。

(3) 地形条件控制。即坡面、沟床侵蚀基准面的控制和沟床均衡剖面的形成。这一问题主要由工程挖方来实现。对于坡面堆积的弃土石渣坡度减小,采用转排设备减轻弃土石渣场边坡重量,减小坡度;对于工程建设挖方造成的陡坡,视两种情况处理,陡坡角度小以工程护坡固结为准,若是陡而高的边坡应以上部削减为准。沟道比降的调整,侵蚀基准面是调节器,应在沟口抬高侵蚀基准面,或是人为修渡槽、延长沟道。

#### 2.2.2 第 2 层,两两要素相互作用的控制

(1) 水土分离。一方面要最大限度地控制排土石渣场顶部和边坡的径流量,根据各排土石渣场上游汇水面积的大小,设置拦洪沟、修绕道排水渠,防止地表水流入排土场,使水土分离抑制泥石流形成;另一方面在排土石渣场坡脚深入沟道地段,设置导流堤和坡脚加固措施,或修建排水长涵,防止水对排土石渣场边坡的冲刷;第三方面,露天采煤大量的排土石渣场顶部的降水量排放,应隔段修防渗排水渠,既能排水,又不冲刷土石渣。

(2) 弃土石渣堆积场地的合理控制。随意堆放弃土石渣使泥石流形成机率增加,合理设计选择弃土石渣的排放场地是控制泥石流暴发的根本。矿区现有煤矿布局多以沟谷河滩为主,采石以沿路居多,面临这一已形成的生产布局,纠正已形成的乱堆乱放弃土石渣的残局,设计合理的排置场地,同时顺应已形成的生产布局。对河漫滩谷地的露天矿,弃土石渣应分离排放,细粒排放在靠岸一侧,粗粒堆在靠河床一侧,并形成内低外高地形,利于堆积区复垦及压实,减少土沙随水流失。对井矿排弃物一方面要严格避开汇水集中之地,另一方面要在沟谷下游设置高标准排置场地,有意识地抬高侵蚀基准面,降低沟道比降。对采石场除进行统一规划外,应顺应斜坡层层修高度较低的排渣场,土石分离排放,石渣为底土为盖,这样经过短期生物复垦培育,即可成为梯田式耕地。电厂弃渣的废旧利用,生活工业垃圾的统一堆放,深坑埋压进行沼气化利用。

(3) 汇水与流域地形相适应控制。流域地形条件控制汇流的速度、汇流量的大小、入渗率的快慢。改变地形条件,降低沟床比降,斜坡坡度,使水动力条件减小,避免了泥石流的形成。汇流区人为地貌工程的层层拦截就是地形条件控制汇流的措施。

2.2.3 第 3 层,泥石流形成三要素的沟道系统控制。就泥石流沟道系统而言,降水及松散固体物质的堆积是其输入变量,泥石流或洪水流量的沟口排泄是其输出变量,输入的物质与能量

在沟道系统内的响应过程是灰色的, 随机性很大, 不同的响应过程, 输出的变量差异很大, 影响过程的因素为地形传递函数。松散堆积体在沟内的堆积部位决定了响应过程变化途径, 泥石流形成的时刻及位置; 松散体堆积规模、方式、降水汇流量的大小、沟床比降及沟槽横断面形状反应了响应过程中的灰箱化。

潜在人为泥石流沟道的系统控制模式同图 1, 分区设置相应措施, 全沟实行系统控制。汇水区以水土保持措施为主体, 旨在控制水沙下泄, 洪水漫流; 形成区加强松散堆积体的统一管理, 控制排放规模及堆积部位, 排置场地设置的合理性; 流通区应控制沟道地形比降, 布设排疏工程, 其整体控制过程可用图 2 表示。

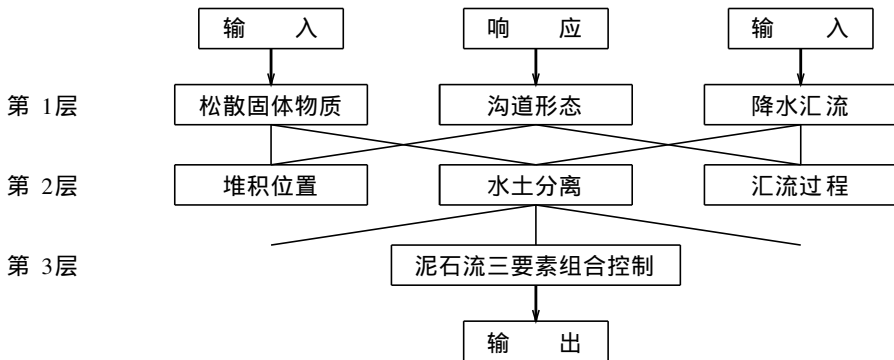


图 2 人为泥石流沟多层次分散控制框图

### 3 矿区人为泥石流系统防治特点

(1) 人为泥石流易暴发、易控制, 控制的主要内因是矿区建设规划中的环境意识及行政策略, 故预防是基本原则, 既经济, 又不会造成环境恶化, 是环境资源可持续利用的中心任务。

(2) 矿区建设弃土石渣的不断排出, 对人为泥石流的形成及固体物质的补给远远大于自然泥石流的补给量, 是导致泥石流易暴发的主因。故控制弃土石渣的排放量、堆积场地的部位及排土渣场的设计标准是头等大事。

(3) 因地处于干旱、半干旱地区, 降雨少, 主要靠大强度、大汇水面积汇水量所致, 故汇水区的水土保持系统工程的合理配置是防止人为泥石流暴发的关键。

(4) 矿区建设导致的人为泥石流, 分布在矿区中心、居民点附近, 工程措施是应急的最有效措施, 其中以排疏为主, 拦挡为辅。

(5) 与自然泥石流系统防治比较, 整个过程不需避、逃、安全防治措施, 重点突出在预防、水土保持和疏排。

#### 参 考 文 献

- 张丽萍, 唐克丽, 张平仓. 泥石流源地松散体起动人工降雨模拟及放水冲刷实验. 山地学报, 1999, 1(1)
- 张平仓, 王文龙, 高学田. 神府—东胜煤田开发区人为滑坡崩塌的发生及其防治. 水土保持研究, 1994, 1(4): 45-53
- 唐晓春. 泥石流防治模式初探. 水土保持学报, 1991, 5(4): 8-17
- 谭万沛, 王成华. 暴雨泥石流滑坡区域预测与预报. 成都: 四川科学技术出版社, 1994
- 王雨田, 主编. 控制论信息论系统科学与哲学. 北京: 中国人民大学出版社, 1988. 5-271