

神府—东胜矿区人为泥石流沟道流域地形条件分析

张丽萍¹, 唐克丽², 张平仓²

(1. 南京大学 海岸与海岛开发国家试点实验室, 南京 210093; 2. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 在对神府—东胜矿区人为泥石流沟道广泛野外调查的基础上, 选取了 43 条典型泥石流样沟, 在 1: 10 000 地形图及卫片上进行了形态要素量测, 应用流域地貌分析原理, 对所有样沟各形态要素进行了详细分析, 结果认为, 人为泥石流沟道地势比沿程变化特征为, 以形成区比降最大, 区别于自然泥石流沟道; 沟道分区面积比以汇水区面积最大, 明显区别于湿润地区; 流域形状以扇形为主, 沟道给养面积较大, 崎岖系数不太大是半干旱地区人为泥石流沟道的独特之处。

关键词: 神府—东胜矿区; 人为泥石流沟道; 流域地形

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2000)04-0020-04

中图分类号: S642.23

Analysis on Watershed Topography Factors of Man-made Debris Flow Gully in Shenfu-Dongsheng Mine Site

ZHANG Li-ping¹, TANG Ke-li², ZHANG Ping-cang²

(1. State Pilot Laboratory of Coast and Island Exploitation, Nanjing University, Nanjing 210093, PRC; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling District 712100, Shaanxi Province, PRC)

Abstract Shenfu-Dongsheng mine site is located in the passage of arid and semiarid zone. Based on the fragile eco-environment, coal mining and construction have brought out some new environment problems. Man-made debris flow problem is the most serious of them which caused by coal mining, construction of railway and highway as well as exploiting stone. Because of the particularity of forming process of man-made debris flow, the watershed geomorphy is very distortion. Through every landform factors of watershed systematically analyzed, the results show as follows. (1) The gully bed gradient takes convex shape as the dominant, that is a unique form of man-made debris flow gully. (2) Regional area ratio is the largest in converge water region, and the watershed formation of fan-shaped make up 80 percent of the total sample gullies, it is favorable to water concentration and a particular demand of motive power of debris flow in semiarid area. (3) The landform rugged coefficient of watershed is not suitable too large and the area of providing water for gully formation is larger in semiarid region than in moist region.

Keywords Shenfu-Dongsheng mine site; man-made debris flow gully; watershed geomorphologic formation

沟道流域是泥石流的活动场所, 沟道坡面是提供固体物质的源地, 沟道是泥石流能量集中、消亡的调节纽带。沟道形态是泥石流暴发的决定性因素, 它们不仅影响泥石流的流速、流态, 还控制泥石流的规模及灾害程度。对流域形态要素特征的研究是认识泥石流沟道流域特征、分析泥石流暴发条件之基础, 是布设防治措施的主要依据。对于由人为干扰诱发的人为泥石流沟来讲其沟道形态不同于自然沟道及自然泥石

流沟道, 而是由于人为挖石、采矿修路, 弃土堆积改变了侵蚀基准面、沟道形态, 使沟道畸形发育为泥石流沟, 故其沟道形态复杂多样。

流域整体外貌是各地形单要素的有机组合, 分析流域地形的每个侧面, 是认识流域整体的基础。泥石流暴发与其所在沟的沟床比降、沟坡坡度、流域面积和流域形态等地貌要素关系密切, 沟床比降是流体能量的底床条件, 对泥石流的形成和运动起着促进或阻

收稿日期: 2000-02-21

资助项目: 中国科学院特别支持项目“山地灾害—泥石流、滑坡基础研究”(961202)和南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室项目(SCIEL-21199108)。该项工作(包含)第一作者博士论文的部分内容

作者简介: 张丽萍(1960-), 女(汉族), 副教授, 现在南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室做地理学博士后研究。主要从事地学、土壤侵蚀与环境灾害学研究。电话: (025) 3596022

碍的作用,沟床比降大,流域汇集的水流和形成的泥石流运动速度快,对沟床的侵蚀和侧蚀极为强烈。沟坡坡度的缓陡直接影响泥石流的规模、固体物质的补给方式及汇流的急缓。沟坡的坡度大,汇流速度快,山坡易崩塌、滑坡,松散堆积物易起动,形成岩屑流或坡面泥石流,所形成的泥石流规模较大。流域面积的大小和流域形状影响到泥石流暴发所需的动能条件,暴发频率及成灾程度,流域面积较大,形状近乎于扇形、漏斗或勺状有利于流域汇水,洪峰流量的形成,加速了泥石流暴发。

神府—东胜矿区为片沙覆盖的黄土丘陵沟壑区,沟谷出露中生代泥页岩和砂岩,与煤层成互层分布,因采集煤层及采石造成了大量人为泥石流沟道。

根据对神府—东胜矿区主要矿区重要交通线路范围内的实地野外考察,选择典型泥石流样沟 43 条,进行详细的野外测量,并在 1:10 000 地形图及航片上对样沟地貌形态要素做了详细的动态量算(表 1),计算结果表明矿区人为泥石流沟谷形态要素有别于自然沟道及自然泥石流沟的发育,有其独特的方面及畸变的行迹。

表 1 神府—东胜矿区人为泥石流沟流域地貌形态要素计算表

样号	面积 /km ²	沟道总长度 /m	水道给养常数	崎岖系数	地势比	流域形状系数	汇水区:形成区:流通区
1	0.0435	409	106.3570	0.9872	0.2576	0.574	14.6 ² :6.7 ² :1
2	0.0461	300	153.6667	0.6664	0.3413	0.782	11.9 ² :4.3 ² :1
3	0.0407	350	116.2857	0.8939	0.2971	0.660	14.2 ² :2.4 ² :1
4	0.0757	915	77.6410	1.7526	0.2661	0.586	14.5 ² :4.1 ² :1
5	0.1966	1236	159.0615	1.0373	0.2230	0.695	22.1 ² :4.7 ² :1
6	0.2758	1795	153.6490	0.9697	0.1628	0.605	35.4 ² :3.5 ² :1
7	0.1129	745	151.5436	0.7833	0.2305	0.702	9.3 ² :5.3 ² :1
8	0.1415	735	192.5170	0.5350	0.1761	0.708	16.1 ² :4.2 ² :1
9	0.1297	760	170.6579	0.7383	0.1615	0.502	12.4 ² :4.8 ² :1
10	0.1259	945	133.2275	1.0508	0.1931	0.572	12.3 ² :8.9 ² :1
11	0.0626	280	223.5714	0.4249	0.2195	0.628	6.0 ² :3.4 ² :1
12	0.0172	215	80.0000	1.0000	0.3721	0.592	7.7 ² :2.8 ² :1
13	0.0413	340	120.4706	0.7409	0.2647	0.574	15.8 ² :8.9 ² :1
14	0.0718	475	151.1579	0.6946	0.2211	0.630	20.4 ² :8.0 ² :1
15	0.0438	430	101.8605	1.0308	0.2442	0.554	6.8 ² :2.8 ² :1
16	0.0368	370	99.4595	0.7239	0.1964	0.601	13.3 ² :4.9 ² :1
17	0.0575	450	127.7778	0.4852	0.1851	0.712	27.3 ² :13.4 ² :1
18	0.0191	250	76.4000	0.8770	0.2680	0.578	9.4 ² :4.3 ² :1
19	0.0475	390	121.7949	0.5953	0.1575	0.513	39.8 ² :6.8 ² :1
20	0.0244	265	92.0755	0.7331	0.2015	0.534	6.3 ² :4.3 ² :1
21	0.0274	380	72.1053	1.1442	0.2427	0.519	6.1 ² :2.6 ² :1
22	0.0548	595	92.1008	0.9772	0.1565	0.456	13.2 ² :5.8 ² :1
23	0.0736	845	87.1006	0.9759	0.1259	0.464	16.3 ² :6.5 ² :1
24	0.2099	1620	129.5679	0.5796	0.1001	0.672	3.3 ² :2.6 ² :1
25	0.0441	682	64.3796	1.0252	0.1970	0.679	6.9 ² :3.3 ² :1
26	0.0601	613	98.0424	0.6528	0.1969	0.814	13.1 ² :4.7 ² :1
27	0.0326	425	76.7059	0.9452	0.2132	0.637	10.8 ² :4.8 ² :1
28	0.0299	391	76.4706	0.8500	0.2010	0.610	11.5 ² :6.0 ² :1
29	1.6426	10160	161.6732	0.8041	0.0551	0.757	93.3 ² :5.7 ² :1
30	0.0286	290	98.6207	0.6591	0.2241	0.616	21.7 ² :13.0 ² :0
31	0.8587	4340	197.8570	0.6692	0.0960	0.654	52.8 ² :8.8 ² :1
32	0.1270	850	149.4118	0.6827	0.1500	0.575	11.3 ² :5.2 ² :1
33	0.1181	1290	91.5504	1.1469	0.1250	0.431	26.7 ² :5.6 ² :1
34	0.1501	1250	120.0800	0.7995	0.1071	0.521	10.2 ² :3.7 ² :1
35	0.0119	146	81.5068	0.6748	0.3767	0.724	12.2 ² :10.6 ² :1
36	0.0796	620	128.3871	0.6621	0.1371	0.462	46.6 ² :5.0 ² :1
37	0.0309	330	93.6364	0.8010	0.2273	0.536	29.5 ² :22.2 ² :1
38	0.0442	580	76.2069	0.7240	0.2100	0.527	8.5 ² :4.4 ² :1
39	0.0356	520	68.4615	1.4168	0.2622	0.646	4.5 ² :4.1 ² :1
40	0.1987	1400	141.9286	0.5460	0.1174	1.094	61.2 ² :99.2 ² :1
41	0.0360	410	87.8049	0.9168	0.1963	0.357	9.7 ² :3.8 ² :1
42	0.0492	570	86.3158	0.9291	0.2056	0.659	25.3 ² :4.0 ² :1
43	0.1133	700	161.8571	0.6351	0.1428	0.520	5.1 ² :5.2 ² :1

1 流域地势比沿程分配变化特征

流域地势比是指流域的总地势,是流域相对高差 H_{\max} 与平行于主水道线的流域最大水平长度 L_{\max} 之间的比值^[1],即:

$$\text{地势比} = H_{\max} / L_{\max} \quad (1)$$

一般泥石流沟从上游到下游可分为 4 个区段,侵蚀汇流区,指流域上游区段,是泥石流和水的主要供给段;形成区是水、土有机结合,滑坡崩塌大量补给,泥石流形成段;流通过渡区位于沟谷的中、下段,多为峡谷、陡坎或跌水,沟床纵比降大;堆积区位于泥石流沟口是泥石流固体物质堆积地段。一般情况,流域地段纵剖面是下凹形的地势从上游到下游逐渐变得平缓。如云南省蒋家沟流域,汇水区的山坡比降为 50%~60%,形成区比降 15%~22%,冲淤过渡区比降 8%~10%,堆积河谷比降 6%~7%^[2]。但是,由于矿区人为泥石流沟均分布在主要交通线路两侧,是人为修路、采石排渣所致,其堆积区主要分布在交通路上及主沟道的河床上,其分区划分主要为 3 段:汇水区—形成区—流通区,并且流域地势纵剖面变化大。为了进一步分析矿区人为泥石流沟的形态特征,将 43 条样沟分区,并进行了地形要素量算,根据计算结果统计流域地势纵剖面变化如图 1。

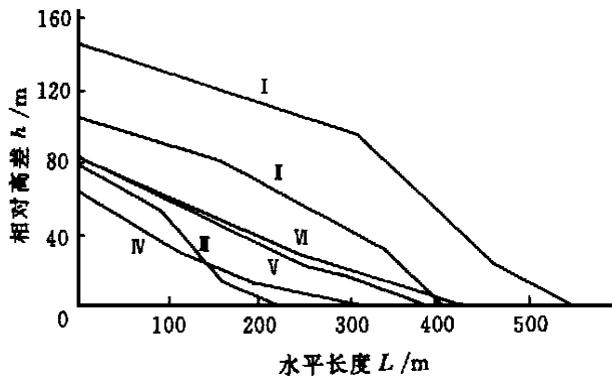


图 1 神府东胜矿区 43 条人为泥石流样沟流域地势纵剖面沿程变化类型曲线

由图 1 可知,矿区人为泥石流沟地势纵比降变化可分为 6 种类型,其中凸型纵剖面占总样沟的 67.5%,上凸下凹型占 13.9%,上凹下凸型占 7%,正常的下凹型纵剖面为 11.6%。在调查过程中发现正常下凹型纵剖面沟道不直接靠近公路,沟内均有乡村小路沿沟而过,采石场多分布在流域的上中游,故泥石流暴发在上游沿沟发生堆积。凸型流域纵剖面是矿区人为泥石流区别于自然沟道及自然泥石流沟道的典

型标志。是人类行为活动原则(就近交通便利,经济效益显著)的显示。流域地势变化是一个很重要的地形标志,它是沟网密度、地形坡度、流域面积、形状的总体反映。

2 流域面积分区比例计算

泥石流沟流域面积一般较小,变化在十几平方公里到零点几平方公里之间,分支少。工作调查区内历史上并无泥石流的记录,由于矿区建设所导致的新生的人为泥石流,是人为超自然负荷开发状况下,使一些老冲沟,冲沟畸形演化而来的,故其流域面积绝大部分在 1 km^2 以下。

泥石流形成的动力是水,我国大多数泥石流,降雨是其主要动力,降水强度、降雨量是决定性因素,调查区位于干旱半干旱过渡区,年均降雨量仅有 400~490 mm,若要达到泥石流起动所需的水量,需大强度长时间的降雨,大面积的汇水区,这一要求正是导致该区泥石流沟各分区面积比例畸形的主要原因。

量测统计数字表明,汇水区面积所占全流域面积比例均大于 50%,最大可达到 93.3%,绝大部分分布在 60%~90% 之间,其次是形成区,主要分布在 20%~30% 之间,流通区面积最小,均在 10% 之内。汇水区、形成区、流通区面积之比见表 1。

各区面积计算显示,矿区人为泥石流汇水区面积最大,是形成区面积的 10~20 倍,最大可达 93.3 倍,是形成区面积的 2~3 倍,最大超过了 15 倍,形成区面积是流通区面积的 3~6 倍,最大者是 22 倍,这一比例是分析干旱、半干旱地区人为泥石流沟道的主要指标。这一方面说明了泥石流动力来源的要求,另一方面体现出人为泥石流灾情重的原因。流通区是泥石流搬运侵蚀、消能地段,流通区很短,说明:(1)泥石流在形成区形成后,经过大比降的形成区,流通区马上可以冲出沟口,其冲击力非常可观;(2)泥石流的形成一次性完成概率大,沿途固体物质补给及流通区消能作用较弱,是能量逐渐积累一次释放过程的典型,它明显区别于自然泥石流沟道所具有的调节促进作用。

3 流域形状及面积分析

流域整体形状影响流域汇流及洪峰流量,圆形或卵形流域,降水一般容易向主沟汇集,洪峰易形成,且时间早,洪量大。狭长形流域汇流缓慢,洪水渲泄比较均匀,因而使洪峰时间出现晚,洪峰平缓,不集中。

流域的形状可以用延长率或圆度率来表示, 所谓的延长率 e (elongation) 是指与流域同样面积的圆的直径 d , 与平行于主水道线的流域的最大长度 L_m 之间的比值^[1], 即

$$e = d / L_m \quad (2)$$

它是由美国学者 S. A. Schumm 提出, 其涵义明显, 如 $e = 1$, 流域为圆形; $e > 1$, 流域宽度大于长度; $e < 1$, 流域长度大于宽度, 呈长条状。

根据计算公式及 1: 10000 地形图上 43 条样沟的量算计算结果 (表 1), e 值几乎均分布在 0.5~0.75 之间, 只有 40 号样沟大于 1, 流域形状近乎圆形, 22, 23, 33 样沟值小于 0.5, 流域呈长条形, 其余样沟随着 e 值的增大, 形状接近于圆形。流域分区面积比, 汇流区面积占流域面积 60% 以上, 说明流域上游宽度大于下游, 则分析勾绘出各样沟的形状, 绝大部分为扇形、卵形及勺形, 有利于降水的汇流, 洪峰流量出现早, 水动力条件能够满足泥石流的形成。这也是流域规模不大, 易形成泥石流的原因所在。

S. A. Schumm 定义: 沟道给养面积是指单位长度沟道所要求的汇水面积。其表示方式用沟道给养面积常数 C 来表达, 即

$$C = A \sum L \quad (3)$$

式中: A ——流域面积; $\sum L$ ——沟道总长度

沟道的给养面积常数是衡量沟道来水量的重要指标, 它是流域沟壑密度的倒数, 即沟壑密度大, 地形破碎, 沟道的给养面积常数小, 来水量小; 沟道的给养面积常数大, 沟壑密度小。表 1 显示研究区内 43 条样沟的沟道给养面积常数, 最大为 $223.6 \text{ m}^2/\text{m}$, 最小为 $64.4 \text{ m}^2/\text{m}$, 最大分配概率为大于 $90 \text{ m}^2/\text{m}$

4 流域崎岖度分析

流域崎岖度是反映流域地形, 高低起伏, 地面破碎程度的总体指标, 由崎岖系数 y (ruggedness number) 来表示, 即

$$y = H \cdot D \quad (4)$$

式中: H ——流域相对高差; D ——流域沟壑密度

公式 (4) 说明流域崎岖系数与相对高度及沟壑密度的相关性, 崎岖系数越大, 则地形越破碎, 坡度越大。根据美国学者 R. E. Horton 坡地长度定律, 斜坡

的长度 L_0 则与沟壑密度 D 呈反比, 即

$$L_0 = 1/2D \quad (5)$$

它随着崎岖系数的增大而减小, 呈反比关系。

泥石流是严重土壤侵蚀的产物, 这一结论是地理学界、土壤侵蚀、泥石流研究领域所公认的定论。但进一步深入系统研究, 二者之间不仅有着内在联系, 而且也存在着各相关因素之间的差异。土壤侵蚀供给泥石流固体物质, 土壤侵蚀愈严重, 供给泥石流的固体物质愈多。侵蚀要求大的土壤侵蚀面积 S

$$S = 2D \frac{H}{\sin T} P^{[3,4]} \quad (6)$$

式中: D ——沟壑密度; H ——切割深度; T ——平均坡度; P ——土壤侵蚀系数

根据公式涵义, 土壤侵蚀与沟壑密度呈正比, 沟壑密度愈大, 土壤侵蚀面愈大。进一步分析, 在岩体休止角限制下, 沟壑密度又与切割深度呈反比, 沟壑密度愈大, 切割深度愈小。

泥石流的暴发不仅需要丰富的固体物质, 还需要流量大, 流速快的水动力条件, 陡而高的地形条件, 在特定的流域内, 高差小, 流域比降小, 汇流速度慢, 沟网密度大, 水道的给养常数小, 达不到泥石流暴发所需要的水动力条件^[5-7]。神府东胜矿区 43 条泥石流样沟的崎岖系数 (表 1) 分布在 1.7~0.4 之间, 大概率分布值为 0.6~1.0

[参 考 文 献]

- [1] 承继成, 江美球. 流域地貌数学模型 [M]. 北京: 科学出版社, 1986. 71.
- [2] 马谯乃. 云南东川蒋家沟泥石流流速分析 [C]. 中国地理学会 1977 年地貌学术讨论会文集. 北京: 科学出版社, 1981. 210~214.
- [3] 甘枝茂主编. 黄土高原地貌与土壤侵蚀研究 [M]. 西安: 陕西省人民出版社, 1990. 106~120.
- [4] 张丽萍. 黄土地貌特征与水土流失关系的分析研究 [J]. 山西师大学报, 1991, 5(4): 64~69.
- [5] 张丽萍, 唐克丽, 张平仓. 泥石流沟道发育阶段信息维数分析 [J]. 自然灾害学报, 1998, 7(3): 185~189.
- [6] 张丽萍, 唐克丽, 张平仓. 房对沟泥石流形成环境及特征分析 [J]. 水土保持通报, 1998, 18(3): 39~41.
- [7] 李钜章著. 现代地貌数学模型 [M]. 北京: 气象出版社, 1994. 42~52.