

黄土高原典型小流域侵蚀沟形态和稳定性监测初探

王 略, 徐 佳, 董亚维

(黄河水利委员会 黄河上中游管理局, 陕西 西安 710021)

摘 要: [目的] 在黄土高原地区选择 6 条典型小流域, 开展侵蚀沟形状特征、发育程度、形态变化等监测, 对侵蚀沟稳定性进行分析, 初步构建侵蚀沟稳定性评价指标体系。[方法] 在雨季前后 2 次对 6 条典型小流域主沟道代表性断面、支毛沟代表性断面、支毛沟的沟头进行亚米级精度测量。[结果] 获得了 6 条典型小流域各等级侵蚀沟数量和各流域沟道主断面、支毛沟沟道断面、支毛沟沟头变化数据, 并对其进行了分析。初步构建了侵蚀沟稳定性评价指标体系。[结论] 影响沟道形态变化的因素基本总结为: 降水因素、水土保持措施、植被覆盖因素、汇水面积、坡度、地表组成物质等。

关键词: 侵蚀沟; 典型小流域; 主沟道; 支毛沟; 断面; 沟头; 形态变化; 稳定性; 黄土高原

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)01-0126-05

中图分类号: S157.1

文献参数: 王略, 徐佳, 董亚维. 黄土高原典型小流域侵蚀沟形态和稳定性监测初探[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1): 126-131. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2018. 01. 022. Wang Lue, Xu Jia, Dong Yawei. Preliminary study on morphology and stability of erosion gully in typical small watersheds of Loess Plateau[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1): 126-131. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2018. 01. 022

Preliminary Study on Morphology and Stability of Erosion Gully in Typical Small Watersheds of Loess Plateau

WANG Lue, XU Jia, DONG Yawei

(Upper and Middle Yellow River Bureau, Yellow River Conservancy Commission, Xi'an, Shaanxi 710021, China)

Abstract: [Objective] In the Loess Plateau, six typical small watersheds were selected to monitor the shape features, development stage and morphological change of erosion gullies in these watersheds, and analyze stability of erosion gullies. We aim to build a preliminary assessment index system for erosion gully stability. [Methods] In these small watersheds, every time before and after the rain, sub-meter measurements were carried out in typical cross-section of main gully channel and branch channel, and gully head. [Results] The number of each class of erosion gullies in the six typical watersheds and the data of cross-section and gully head of branch channels were obtained. The assessment index system of erosion gully stability was preliminarily built. [Conclusion] The factors influencing the change of channel morphology are summarized as follows: precipitation, water conservation measures, vegetation cover, catchment area, slope, matter of earth's surface and so on.

Keywords: erosion gutter; typical small watershed; main gully channel; branch channel; cross-section; gully head; morphological change; stability; the Loess Plateau

侵蚀沟是黄土高原主要的侵蚀地貌, 侵蚀沟的发育是水力和重力共同作用的结果。侵蚀沟发育的基本形式是沟头前进、沟壁扩张和沟底下切。陈永宗等^[1]、刘秉正等^[2]、唐克丽^[3]基于多期遥感数据分析认为侵蚀沟的沟头和沟壁是发展的, 有关试验站也在进行侵蚀沟的观测, 但有关沟道发展的研究鲜见报

道。鉴于这种情况, 亟待通过侵蚀沟的监测, 对其动态变化和影响因素形成认识, 以便为侵蚀沟的利用、改造、治理提供科学依据。为此, 水利部在“黄河流域全国水土流失动态监测与公告项目”开展侵蚀沟动态监测工作, 选择黄土高原地区 6 条典型小流域, 开展侵蚀沟形状特征、发育程度、形态变化等监测, 对侵蚀

收稿日期: 2017-08-31

修回日期: 2017-11-12

资助项目: 国家重点研发计划项目“黄河水沙变化机理与趋势预测”(2016YFC0402409); 全国水土流失动态监测与公告项目(1261520154801)

第一作者: 王略(1983—), 女(汉族), 湖北省麻城市人, 本科, 高级工程师, 主要从事水土保持监测研究。E-mail: 85688457@qq.com。

沟稳定性进行分析,初步构建侵蚀沟稳定性评价指标体系,以期为进一步探索黄土高原地区侵蚀沟科学治理、水土流失灾害预防提供基础数据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 侵蚀沟确定

本次研究在黄土高原不同侵蚀类型区选择了 6

条面积适中的典型小流域分别为:甘肃省天水市的桥子沟(分桥子东沟、桥子西沟)、甘肃省定西市的安家沟、甘肃省庆阳市的南小河口、陕西省绥德县的王茂沟、山西省吕梁市方山县的沙沟和内蒙古自治区鄂尔多斯的二老虎沟(表 1);在典型小流域中分别选择 2~4 条长度 300~500 m(控制面积约为 10~20 hm²)的典型支沟,共 18 条(表 2)典型支沟作为研究对象。

表 1 典型小流域位置及面积统计

编号	名 称	所在地	经度(E)	纬度(N)	侵蚀类型区	面积/ km ²	支毛沟 数目
1	桥子沟	甘肃省天水市秦州区	105°42′28″	34°36′23″	丘Ⅲ区	2.5	2
2	安家沟	甘肃省定西市	104°39′6″	35°34′46″	丘Ⅳ区	8.3	4
3	南小河口	甘肃省庆阳市	107°33′30″	35°42′30″	黄土塬区	38.5	3
4	王茂沟	陕西省绥德县	110°21′00″	37°35′30″	丘Ⅰ区	5.8	4
5	沙 沟	山西省方山县	111°17′34″	37°44′45″	丘Ⅰ区	1.8	2
6	二老虎沟	内蒙古自治区准格尔旗	110°36′33″	39°47′58″	丘Ⅰ区	2.9	3

表 2 监测支毛沟形状参数

编号	支毛沟 名称	长/ m	宽/ m	面积/ hm ²	纵比降/ (m·m ⁻¹)
1 ₁	桥子沟 1	707.0	98.4	10.2	0.27
1 ₂	桥子沟 2	687.8	85.8	4.8	0.31
2 ₁	安家沟 1	376.7	111.4	2.5	0.28
2 ₂	安家沟 2	1 010.8	377.0	21.8	0.22
2 ₃	安家沟 3	539.3	440.5	18.1	0.31
2 ₄	安家沟 4	488.3	412.3	9.7	0.24
3 ₁	南小河口 1	655.7	185.3	9.7	0.29
3 ₂	南小河口 2	546.8	226.9	8.8	0.27
3 ₃	南小河口 3	771.5	413.0	21.7	0.29
4 ₁	王茂沟 1	589.3	287.0	10.7	0.30
4 ₂	王茂沟 2	452.3	277.4	8.8	0.36
4 ₃	王茂沟 3	603.4	339.9	11.8	0.22
4 ₄	王茂沟 4	564.1	230.7	7.9	0.22
5 ₁	沙沟 1	411.0	84.6	2.6	0.27
5 ₂	沙沟 2	305.4	158.6	3.9	0.40
6 ₁	二老虎沟 1	147.2	83.5	0.8	0.24
6 ₂	二老虎沟 2	380.0	204.4	4.2	0.13
6 ₃	二老虎沟 3	205.2	174.4	2.5	0.18

1.2 研究内容与方法

1.2.1 侵蚀沟发育状况监测 在 1:1 万 DEM 基础上,对 6 条典型小流域的侵蚀沟数量特征进行提取,I 级侵蚀沟对应于切沟,Ⅱ侵蚀沟对应于较大切沟(或冲沟),Ⅲ侵蚀沟对应于冲沟,Ⅳ侵蚀沟和Ⅴ侵蚀沟则对应于坳沟(干沟)。具体方法为:侵蚀沟数量特征提取基于水文学基本原理,利用现有 1:1 万 DEM 数据,提取各个流域的河网,并手工对不合理的

水系进行修改(如平行河网问题),再采用 A. N. Strahler 水系分级方法对各流域的侵蚀沟进行分级。

1.2.2 侵蚀沟形态变化测量 典型小流域主沟道选取 12 个代表性断面,支毛沟选取 36 个代表性断面及支毛沟的沟头,在雨季前后进行测量,测量精度为亚米级。具体方法为:每个测量断面至少埋设 2 个标志桩,支毛沟沟头最少布设 2~3 个图根控制点,对断面控制桩和沟头控制点进行编号。以 WGS-84 椭球为基准,按国家 3 度分带规则当地所在中央子午线建立的高斯投影坐标系,采用动态 RTK 方式 GNSS 测量,极坐标方法、棱镜与免棱镜相结合的全站仪测量和 RTK 控制、全沟头地形 Reigl 三维激光扫描等 3 种方法对所有断面标志桩及图根控制点平面与高程位置进行测量。用南方 Cass 软件绘制地形特征线、地形线、等高线和断面图等。

1.2.3 侵蚀沟稳定性分析 基于监测数据和收集到的相关数据,对主沟道断面、支毛沟沟道断面、支毛沟沟头分析形态变化,并进行侵蚀沟稳定分析,初步提出侵蚀沟稳定性评价指标体系。具体方法为:断面分析的主要方法是根据两期测量的断面数据,绘制出断面图,并对 2 次断面点数据进行排序,逐点获取两次断面数据的高程差,然后初步排除测量误差和地形综合误差的影响,从而分析沟道是否加深,同时结合断面长度分析断面宽度是否加宽。支毛沟沟头变化分析基于两次野外测量的地形数据(包括控制点,地形特征点、线等),获取 2 次测量的最终地形图;将两次地形图的等高线,特征点线导入到 ArcGIS 内,建立

两次测量的沟道的 DEM 数据,并得到两次测量的差异表面数据;结合实地观测情况,排除测量误差与制图综合误差的影响,获取沟头地形变化的主要区域。

2 结果与分析

2.1 典型小流域侵蚀沟发育程度

桥子沟流域侵蚀沟总数 48 条,侵蚀沟级别可分为 3 级,Ⅰ级侵蚀沟数量为 36 条,占总数的 75.00%,Ⅱ级侵蚀沟数量为 10 条,占总数的 20.83%,Ⅲ级侵蚀沟数量为 2 条,占侵蚀沟总数的 4.17%;安家沟流域侵蚀沟总数 161 条,侵蚀沟级别可分为 4 级,Ⅰ级侵蚀沟数量为 131 条,占总数的 81.37%,Ⅱ级侵蚀沟数量为 23 条,占总数的 14.29%,Ⅲ侵蚀沟和Ⅳ侵蚀沟数量分别为 5 和 2 条,占总数的 4.35%;南小河沟流域侵蚀沟总数 439 条,侵蚀沟级别可分为 5 级,Ⅰ级侵蚀沟数量为 351 条,占总数的 79.95%,Ⅱ级侵蚀沟数量为 69 条,占总

的 15.72%,Ⅲ级侵蚀沟数量为 14 条,占总数的 3.19%,Ⅳ和Ⅴ级侵蚀沟数量分别为 4 和 1 条,占侵蚀沟总数的 1.14%;王茂沟流域侵蚀沟总数 241 条,侵蚀沟级别可分为 5 级,Ⅰ级侵蚀沟数量为 179 条,占总数的 74.27%,Ⅱ级侵蚀沟数量为 44 条,占总数的 18.26%,Ⅲ级侵蚀沟数量为 14 条,占总数的 3.19%,Ⅳ和Ⅴ级侵蚀沟数量分别为 3 和 1 条,占侵蚀沟总数的 1.66%;沙沟流域侵蚀沟总数 60 条,侵蚀沟级别可分为 4 级,Ⅰ级侵蚀沟数量为 49 条,占总数的 81.67%,Ⅱ级侵蚀沟数量为 8 条,占总数的 13.33%,Ⅲ级侵蚀沟数量为 2 条,占总数的 3.33%,Ⅳ级侵蚀沟数量为 1 条,占侵蚀沟总数 1.67%。二老虎沟流域侵蚀沟总数 117 条,侵蚀沟级别可分为 4 级,Ⅰ级侵蚀沟数量为 95 条,占总数的 81.20%,Ⅱ侵蚀沟数量为 17 条,占总数的 14.53%,Ⅲ和Ⅳ侵蚀沟数量分别为 4 和 1 条,占总数的 4.27%。6 条典型小流域各等级侵蚀沟数量特征汇总情况见表 3。

表 3 6 条典型小流域各等级侵蚀沟数量特征

流域名称	侵蚀沟 级别	不同沟长范围的侵蚀沟数量/条					合计
		<100 m	100~300 m	300~500 m	500~1 000 m	>1 000 m	
桥子沟	Ⅰ	3	15	11	7	0	36
	Ⅱ	0	6	2	1	1	10
	Ⅲ	0	0	0	0	2	2
安家沟	Ⅰ	11	85	28	6	1	131
	Ⅱ	3	8	5	7	0	23
	Ⅲ	0	0	0	3	2	5
	Ⅳ	0	0	0	1	1	2
南小河沟	Ⅰ	108	199	32	11	1	351
	Ⅱ	5	22	14	23	5	69
	Ⅲ	0	3	2	5	4	14
	Ⅳ	0	0	0	2	2	4
	Ⅴ	0	0	0	0	1	1
王茂沟	Ⅰ	23	135	19	2	0	179
	Ⅱ	12	19	11	2	0	44
	Ⅲ	0	6	6	2	0	14
	Ⅳ	0	0	1	0	2	3
	Ⅴ	0	0	0	0	1	1
沙 沟	Ⅰ	12	33	4	0	0	49
	Ⅱ	0	5	1	2	0	8
	Ⅲ	0	0	0	2	0	2
	Ⅳ	0	0	0	0	1	1
二老虎沟	Ⅰ	52	40	3	0	0	95
	Ⅱ	8	5	2	2	0	17
	Ⅲ	0	0	0	3	1	4
	Ⅳ	0	0	0	0	1	1

2.2 各流域主沟道断面、支毛沟沟道断面、支毛沟沟头变化情况

各典型小流域主沟道断面、支毛沟沟道断面的 2 期观测数据显示,去除个别断面点因地形综合造成高程差有较大差异外,大部分断面点的高程差均在误差范围以内,沟道的宽度、深度均未见明显变化。沙沟支毛沟 1、二老虎沟的 3 条支毛沟内有一些发生变化的区域。

2.3 侵蚀沟稳定性分析及初步评价指标体系

针对典型小流域在监测期间的地形变化与沟道断面变化,结合流域的边界线、沟沿线、流水线等地貌特征线以及坡度、土地利用、植被覆盖度、水土保持措施、地表组成物质等影响沟道发育的环境要素;以及 18 个支毛沟在监测期间的地形变化与沟道断面变化,结合支毛沟的沟沿线,土地利用,植被覆盖,水土保持措施等进行分析,影响沟道形态变化的因素为以下几个方面。

(1) 降雨因素^[4]。这一因素是引起沟道侵蚀变化的主要动力因素,包括降雨量与降雨强度 2 个方面。从沟道监测的结果来看,沟道未发生显著变化的几个沟道降水都偏少,降雨强度也较弱,而地形变化较为明显的流域,降水则偏多,且降雨强度较大。

(2) 水保措施。除降水以外,水保措施的完善与否也直接影响着沟道形态的变化。本次监测的 6 个

流域均为黄河上中游重点监测流域,水保措施相对来讲都比较完善,每个支毛沟沟头附近均修筑有各种梯田,鱼鳞坑、水平沟等水保措施。这些水保措施有效地防止了侵蚀的发生。

(3) 植被覆盖因素^[6]。这一因素也对侵蚀的发生有重要影响,植被覆盖度高的沟道,侵蚀相对就较弱。同时,具体的植被覆盖措施也会影响到植被覆盖发挥的减弱侵蚀的作用。

(4) 汇水面积。汇水面积^[6-7]对侵蚀的发生也有重要影响。二老虎沟侵蚀较强也与二老虎沟沟道上游汇水面积较大有直接关系,特别是二老虎沟支毛沟 3,上游汇水面积较大。

(5) 坡度。支毛沟集水区和沟道内的坡度也对汇流过程有着重要影响。二老虎沟支毛沟 2 相对于支毛沟 1 的侵蚀弱些,其中一个原因就是支毛沟 2 相对于支毛沟 1 整个沟道的地形要平缓些。

(6) 地表组成物质。沟道内地表组成物质^[8-10]也是影响侵蚀发生的重要因素。二老虎沟沟道内均为砒砂岩覆盖,抗蚀性差,在强降雨条件下极易发生侵蚀,所以地形变化较为明显。而安家沟沟道内的老黄土的抗蚀性较强,是安家沟地形变化不显著的一个重要原因。

通过对沟道形态变化因素的总结,初步形成侵蚀沟稳定性评价指标体系(表 4)。

表 4 侵蚀沟稳定性评价指标

影响因素	主要指标	指标代码	简单说明
降 雨	降雨量	R_1	降雨是沟道发育的动力条件。通常降雨量越大,表明产生侵蚀的水流的水量越大,易产生侵蚀
	降雨强度	R_2	降雨强度越大,在单位时间内产生汇流的水量越大,侵蚀发生的可能越大
水土保持措施	各种水保措施面积	P	各类别水土保持措施是人为减弱土壤侵蚀的主要因素,沟道流域内的水保措施覆盖面积越大,侵蚀发生的可能越小
植被覆盖	植被覆盖度	C	每种类型的植被覆盖度是表征植被覆盖程度的指标,覆盖度高,植被发挥减小侵蚀的作用就越大
汇水面积	沟沿线以上集水区面积	Ca	沟沿线以上集水区的面积能够反映流入沟道内的水流的多少,汇水面积越大,则流入沟道的水量越多,造成侵蚀的强度就会增大
坡 度	沟沿线以上集水区平均坡度	S_1	沟沿线以上集水区的平均坡度能够反映流入沟道内的水流的由势能转化为动能的大小,坡度增大,侵蚀的可能就会增大
	沟道内纵比降	S_2	沟道内的纵比降反映的是汇流入沟道内的水路总的侵蚀动能的大小,纵比降大,则侵蚀的能量就较大
地表组成物质	各类地表组成物质面积	K_1	不同的地表组成物质对侵蚀的抵抗能力不同。各类地表组成的面积反映了地表物质的空间组成比例
	土壤抗蚀性	K_2	抗蚀性强的土壤,受侵蚀的可能较小

3 讨论与结论

根据监测期内对各典型小流域侵蚀沟的动态监

测,摸清了小流域的侵蚀沟数量情况,对比地形与沟道变化的情况,将影响侵蚀沟沟道形态变化的因素基本总结为:降水因素、水保措施、植被覆盖因素、汇水

面积、坡度、地表组成物质等几个主要因素,初步形成侵蚀沟稳定性评价指标体系。结合监测过程、结果讨论得出以下建议:

(1) 根据各流域侵蚀沟动态变化的监测结果来看,在同一小流域的支毛沟,因为其空间距离较小,各种影响侵蚀因素的情况基本类似,监测结果也很相似。所以一个小流域内只重点选择 1~2 条支毛沟开展监测工作即可。

(2) 侵蚀沟监测的重点应放在支毛沟尺度,重点监测支毛沟变化情况以及支毛沟的地形、断面、沟沿线等内容。

(3) 后续的侵蚀沟监测工作可增加一些治理度差的沟道进行,并对侵蚀沟至少进行 5~10 a 连续监测,才能得出更科学、准确的结论。

[参 考 文 献]

[1] 陈永宗,景可,蔡强国,等. 杏子河流域的侵蚀地貌[J]. 水土保持通报,1984,4(5):321-327.
[2] 刘秉正,翟明柱,吴法放. 渭北高原沟谷怪蚀初探[J]. 中国

科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1990,12:25-33.
[3] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京:科学出版社,2004:32-36.
[4] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(1):类型与气候因素 [J]. 水土保持通报,1981,1(3):1-9.
[5] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(4):植被因素 [J]. 水土保持通报,1982,2(3):40-44.
[6] 姚志红,杨勤科,吴喆,等. 区域尺度降雨径流估算方法研究:算法设计[J]. 水土保持研究,2006,13(5):306-308.
[7] 姚志红. 基于 GIS 的区域水土流失过程模型研究[J]. 水土保持研究,2010,19(6):15-18.
[8] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素(3):土壤因素 [J]. 水土保持通报,1982,2(1):25-30.
[9] 谢红霞,李锐,杨勤科,等. 退耕还林(草)和降雨变化对延河流域土壤侵蚀影响[J]. 中国农业科学,2009,42(2):569-576.
[10] 程琳,杨勤科,谢红霞,等. 基于 GIS 和 CLSE 的陕西省土壤侵蚀定量评价研究[J]. 水土保持学报,2009,23(5):61-66.

~~~~~

(上接第 125 页)

[4] 程琳,杨勤科,谢红霞,等. 基于 GIS 和 CLSE 的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. 水土保持学报,2009,23(5):61-66.  
[5] 杨勤科,李锐,曹明明. 区域土壤侵蚀定量研究的国内外进展[J]. 地球科学进展,2006,21(9):31-38.  
[6] 刘宝元,毕小刚,符素华,等. 北京土壤流失方程[M]. 北京:科学出版社,2010:7-13.  
[7] 章文波,谢云,刘宝元. 利用日降雨量计算降雨侵蚀力的方法研究[J]. 地理科学,2002,22(6):705-711.  
[8] 章文波,付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. 资源科学,2003,25(1):35-41.  
[9] 章文波,谢云,刘宝元. 中国降雨侵蚀力空间变化特征[J]. 山地学报,2003,21(1):33-40.  
[10] Liu Baoyuan, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE, 1994,37(6):1835-1840.  
[11] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning [M]. Washington: United States Department of Agriculture, Agriculture handbook, 1978,537.