

文章编号: 1000-7598-(2002)05-0645-04

蒋家沟流域坡面侵蚀特征实验研究

胡明鉴, 汪稔, 张平仓

(中国科学院武汉岩土力学研究所 LRSM 开放实验室 湖北 武汉 430071)

摘要: 受流域内物质成分、气候条件和复杂侵蚀营力的影响, 蒋家沟流域坡面侵蚀现象甚为严重。根据流域内坡面物质成分、气候、降雨等方面分析了发生坡面严重侵蚀的原因; 并进行了大量的人工降雨侵蚀实验, 分析降雨坡面产流产沙过程和特征。实验结果表明径流随降雨时间和降雨量的增加呈跳跃和波动性增加, 泥沙含量随降雨时间增加而逐渐减小。

关键词: 侵蚀; 物质成分; 人工降雨; 产流产沙

中图分类号: X143 文献标识码: A

Experimental research on erosion characters on slope surface in Jiangjiagou Valley

HU Ming-jian, WANG Ren, ZHANG Ping-cang

(Key Laboratory of Rock and soil Mechanics, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China)

Abstract: The slope in Jiangjiagou Valley suffered from serious erosion due to the substance components, climate and the complicated erosion power. This paper expatiates the serious erosion on slope surface from the substance components, climate and rainfall. It also analyses the erosion principle and process with experiment of erosion inspired by artificial rainfall. The results of the experiments indicate that the runoff increases hopingly and fluctuatingly along with rainfall, while sediment content decreases when the rainfall increases.

Key words: erosion; substance components; artificial rainfall; sediment yield and runoff

1 前言

位于云贵高原北部的小江流域是金沙江的一级支流, 也是我国乃至世界典型的暴雨泥石流区。蒋家沟是小江流域内最具代表性的一条泥石流沟, 小江流域面积 48.6 km^2 , 海拔 $1042 \sim 3269 \text{ m}$ ^[1], 主沟长为 13.9 km 。流域内植被稀疏、荒漠化严重、水土流失严重、生态环境极为恶劣; 蒋家沟地形陡峻, 崩塌、滑坡频繁, 可移动的固体物质储量极为丰富, 每逢雨季, 充沛的降雨促使滑坡泥石流频繁暴发。据观测, 蒋家沟流域每年发生泥石流 15 场左右, 最多的一年达 28 场, 泥石流最大输沙量 6079 t/s , 最多一次固体径流总量达 2000000 m^3 , 见文献[1]。如此频繁的滑坡泥石流导致水土严重流失, 耕作面积不断减少。同时, 坡面土体在日晒风吹, 雨淋霜冻的条件下, 产生严重的物理化学风化, 使侵蚀过程更加容易进行。

2 侵蚀区物质成分和气候特征

流域内大量出露灰黑和灰绿色薄质板岩, 板岩层理清楚、褶皱强烈、节理裂隙发育, 在构造应力作用下强烈地变形和变质, 在暴冷暴热气候下遭受强烈风化剥蚀等作用, 使破碎的岩体极易风化剥落, 从而形成细小的岩石碎屑。板岩之上的松散土体多为原滑坡、崩塌、泻溜堆积物, 颗粒更加松散破碎, 因其粘接力弱, 故每逢降雨、地震时崩塌、泻溜、滑坡等便大规模发生, 造成更大的土体流失。

蒋家沟流域的气候是金沙江干热河谷气候的典型代表, 由于受季风影响, 流域内干湿季节分明, 全年降雨量多集中在雨季, 夏秋两季降雨量占全年的 80% 以上, 特别是 6~8 月份最为集中, 占全年降雨量的 50% 以上^[1]。这种强度大、雨量集中的降雨常能引发大量的滑坡和泥石流。据统计, 降雨集

收稿日期: 2001-09-17

胡明鉴, 男, 1976 年生, 硕士, 从事土力学和岩土工程方面的工作

本研究得到中科院“滑坡泥石流”基金和中科院东川泥石流观察研究站开放基金特别支持

中期常是滑坡泥石流暴发的高潮期,约有 70 % 的滑坡泥石流是在 6~8 月份发生的。降雨多集中水蚀和重力侵蚀强烈区,是土壤侵蚀和诱发泥石流的主要动力。

3 人工降雨侵蚀实验

3.1 土体性质及实验布置

坡地土体为原崩塌、溜滑、滑坡等物质和松散破碎的板岩或页岩碎屑的混合物,根据现场取样分析,细粒(粒径<0.074 mm)成分含量不足 15 %,粒径<0.001 mm 含量不足 5 %,为级配不良微含细粒砾,简称砾石土^[2]。土体整体结构松散,粘接力弱。

实验场地选在东川泥石流观测研究站后院坡地的老滑坡堆积体上,实验时,通过控制实验过程中的水压力和降雨时间来控制实验的雨强和降雨量。降雨器由大小不同规格的降雨侧喷头、输水管、分水箱、塑胶水管及支架等组成(如图 1)。降雨动力可选用洒水车、消防车或水塔提供的水压力。实验前后测定实验区不同深度土体的含水量,并用量雨杯测定实际降雨强度。记录降雨开始和结束时间、产流开始和结束的时间;侵蚀沟槽形成的时间及长度、大小等。并在产生径流后用二级径流桶接装径流(如图 2, 3),每间隔一定时间(如 5min)取径流试样测定泥沙含量,并测定径流桶水深,从而获得计算侵蚀模数、径流量和泥沙含量等的最原始和直接的资料。

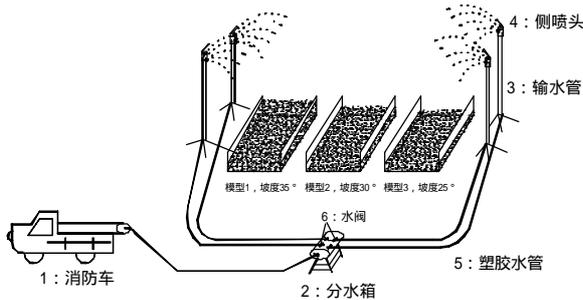


图 1 人工降雨侵蚀试验布置图

Fig.1 The arrangement map of the artificial rainfall erosion experiment

实验前对实验区土体进行适当翻松,并除去杂草。实验区周围用白铁皮环包,以避免降水流失;径流出口处白铁皮底板斜向下插入约 30 cm 深,减小径流流失损失而影响实验质量(如图 2)。径流出口处二级径流桶的 1 号径流桶直径 f 为 30 cm,桶口处有 9 个(f 为 5 cm)的分流孔,2 号径流桶 f 为 40 cm。当 1 号径流桶水满时,径流通过其中一个分流

孔流入 2 号径流桶。为减小每场实验前土体性质之间的差异,每场实验结束后对场地翻松,使下部未经径流侵蚀土体直接暴露于地表,并改变实验场地长度,暴晒、静候 12 h 或 24 h 后进行下一场实验。

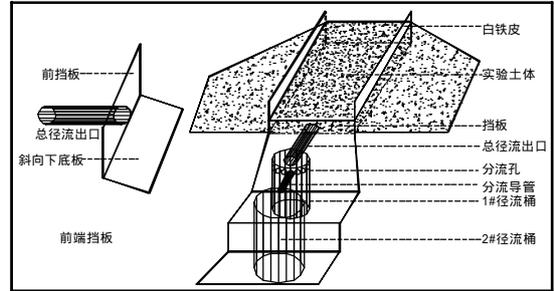


图 2 人工降雨侵蚀实验布置示意图

Fig.2 The arrangement map of the erosion experiment inspired by artificial rainfall

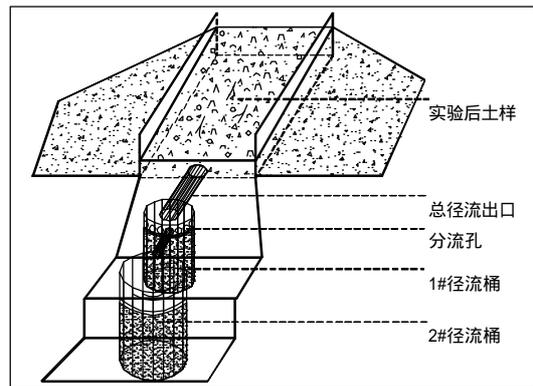


图 3 实验后土体形态

Fig.3 Appearance of the soil after the artificial rainfall experiment

3.2 实验过程和现象

根据蒋家沟流域多年降雨资料的统计分析,实验选择短历时、大雨强的降雨模式,进行雨强分别为 0.5 mm/min、0.8 mm/min 和 1.1 mm/min,降雨时间为 50, 70, 100 min 不等的交叉人工降雨坡面侵蚀实验。根据蒋家沟流域坡度一般较大的特点,选择实验坡度为 25°, 30°, 35°, 坡长 3 m, 4 m, 5 m。由于观测站内蓄水池能提供降雨的动力,因此实验直接引用观测站蓄水池中的水。

在整个降雨实验过程中,多发生片蚀,少量的沟蚀仅为细沟侵蚀。有局部的壤中(或层间)流水产生,流水携带细粒物质,形成混浊的含沙水流,冲刷接近饱和的表面松软物质形成细小沟槽;表面松软的物质细粒成分被水流携带流失后剩下的粗大砂砾或碎屑物质镶嵌在表面,使表面更加凹凸不平(如

图 3)。降雨实验开始后 5 ~ 30 min 内开始产生径流，降雨结束后的 2 ~ 20 min 内仍有断续、时间不等的径流产生，径流滞后的时间随降雨强度、坡长、坡度等因素变化而变化。先后共进行了 30 多场交叉降雨侵蚀实验，但部分场次由于实验过程中风力较大，降雨多被吹到实验小区之外，有些实验数据没能测到。表 1 中只列出了风力小、实验条件好的实验场次所取得的数据。

如表 1 所示，径流量和产沙量均出现很大的跳跃性。整个降雨侵蚀过程径流随降雨量增加并呈现非线性增加，显现出跳跃和波动；泥沙含量总体上随降雨量增加而减小，其过程也存在明显的跳跃和波动(如图 4, 5)。可以看出：在降雨过程中，虽然泥沙总量随径流而增加，但增幅却不断减小。实验过程中多发生片蚀，少量沟蚀且仅为细沟侵蚀，这与黄土侵蚀过程存在很大的差异。在考虑雨水溅蚀、表层土体结皮板结和细沟等因素的影响时，黄土侵

蚀过程中泥沙含量随降雨要经过先由小而大、再由大而减小，而后又由小而增大的过程^[3] (如图 6 所示)。

侵蚀过程中表层土中的细粒和粘粒成分在降雨实验中径流产生后很快随径流流失，使径流浑浊而成高含沙水流。随着降雨的继续进行，径流逐渐由浑浊变得澄清。细粒和粘粒成分流失以后，土体表面因细粒和粘粒流失而使尖锐的碎屑更加突出。同时，因细粒和粘粒成分流失使土体粘接力减小，粗大颗粒架空等使土体更加容易发生崩塌和溜滑等现象。因此发生在蒋家沟流域坡面的这种侵蚀过程会直接或间接地促进滑坡泥石流的发生。

经过人工降雨侵蚀实验取样得出的数据统计整理，并进行拟合分析，发现侵蚀过程中泥沙含量随降雨时间和径流量的增加而递减，所求得拟合曲线方程为 $y = 72.49 x^{-0.76}$ ， $R^2 = 0.94$ 。实验统计和拟合曲线如图 7。

表 1 雨强、雨量、径流和产沙量关系(部分)
Table 1 Rain density, rainfall, runoff and sediment

场次	规格	坡度 (°)	土地类型	含水量 / %		雨强 /mm	总雨量 /L	总径流量 /kg	产砂量 t/m ² .a	侵蚀模数 /min	历时 /min
				实验前	/mm						
1	3*1	35	裸地	12.6	14.7	0.50	50.00	61.29	0.117	323.771	100
2	3*1	35	耕地	13.1	18.5	0.80	56.00	46.89	0.112	442.403	70
3	3*1	30	耕地	11.2	17.9	0.80	56.00	82.09	0.517	2 041.132	70
4	3*1	30	耕地	/	/	1.10	55.00	64.49	0.194	1 069.661	50
5	3*1	25	耕地	13.3	18.0	0.80	45.60	55.68	0.091	442.009	57
6	3*1	25	耕地	/	/	1.10	55.00	38.10	0.100	551.958	50
7	4*1	35	耕地	9.7	15.0	0.80	55.20	15.55	0.049	195.381	69
8	4*1	35	耕地	8.1	21.7	1.10	61.60	161.24	0.751	3 706.755	56
9	4*1	30	耕地	8.1	21.5	1.10	59.40	73.29	0.277	1 418.111	54
10	4*1	30	耕地	10.4	17.1	0.80	63.20	86.47	0.192	671.405	79
11	4*1	25	耕地	/	/	0.80	56.00	90.86	0.163	642.886	70
12	4*1	25	耕地	8.0	16.0	1.10	55.00	90.86	0.313	1 731.569	50
13	5*1	25	裸地	10.2	16.8	0.80	53.60	77.05	0.30	1 227.48	67
14	5*1	25	裸地	11.5	16.9	1.10	55.00	133.58	0.50	2 776.37	50
15	5*1	30	裸地	12.6	/	0.50	14.00	/	/	0.00	28
16	5*1	30	裸地	11.6	16.9	0.50	19.50	37.40	0.04	314.51	39
17	5*1	30	裸地	11.6	18.0	0.80	56.00	110.98	0.46	1 829.21	70
18	5*1	30	裸地	16.1	18.2	1.10	55.00	212.77	1.05	5 790.31	50

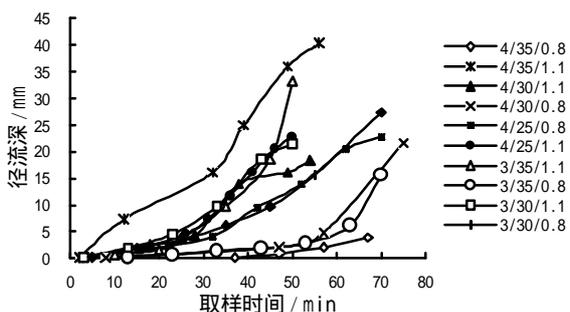


图 4 径流与降雨量关系曲线
Fig.4 Relationship of runoff and rainfall

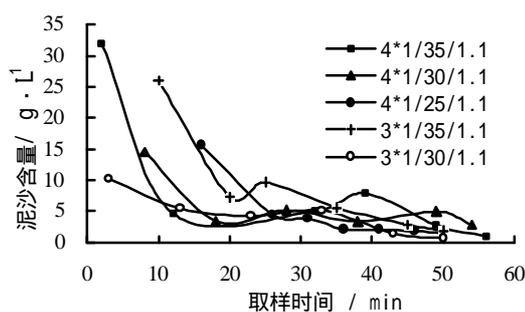


图 5 泥沙含量与降雨量关系曲线
Fig.5 Relationship of sediment content and rainfall

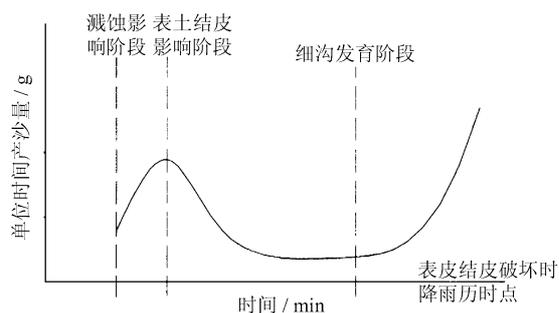


图6 降雨历时-单位时间产沙量(g)过程概化图
Fig.6 Sketch of relationship between rainfall duration and sediment generation rate

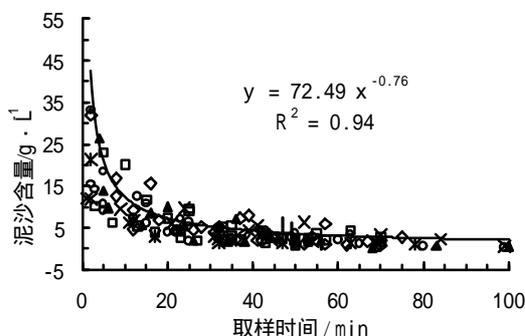


图7 泥沙含量随降雨时间的变化关系
Fig.7 The sediment content varies along with rainfall

4 结论与启示

(1) 蒋家沟流域因坡面物质严重风化、松散破碎、粘接力差等因素,使其更容易发生侵蚀和水土流失。干热河谷气候特征和短历时、大雨强的降雨是水土流失的直接原因。实验过程中多片蚀,少量细沟侵蚀。土体因细粒和粘粒成分流失、粘接力减小、粗大颗粒架空,使雨后土体更加容易发生崩塌和溜滑,间接的促进了该地区滑坡泥石流的发生。

(2) 侵蚀过程中径流随降雨量跳跃和波动性增加;泥沙含量随降雨量跳跃和波动性减小。这与黄土降雨侵蚀过程中泥沙含量随降雨先由小而大、再由大而减小,而后又由小而增大的过程有明显的区别。

(3) 如何建立降雨侵蚀过程中降雨强度、斜坡坡长、坡度等对泥沙含量的影响的关系式仍然是今后的研究重点和目标。

参考文献

[1] 吴积善,康志成,田连权等,云南蒋家沟泥石流观测研究[M],北京:科学出版社,1990.
[2] 王裕宜,张军,严璧玉.泥石流侵蚀过程中应力特征的分析研究[J],中国地质灾害与防治学报,1996:12-19.
[3] 陈浩,蔡强国,坡度影响坡面产流、产沙过程的试验研究[A],黄河粗泥沙来源及侵蚀产沙机理研究文集[C].北京:气象出版社,1989:27-40.

上接第 603 页

(17) 比较合理地反映排水孔排水量,对排水孔和单元的尺寸要求降低,适用范围更大。

4 结论

排水孔排水量解析解和有限元渗流计算耦合是求解有密集排水孔(如重力坝中的排水孔)的渗流场的有效而简便的计算方法,本文对排水孔排水流量解析式进行了改进,从而使计算结果更加合理;计算式中没有R参数,从而克服了对排水孔和单元尺寸的限制,扩大了应用范围。

参考文献

[1] 毛昶熙,李祖貽. 堤坝渗流以沟代并列的计算方法,水利学报[J],1989,(7): 49 - 55

[2] 关锦荷,刘嘉火,朱玉侠. 用排水沟代替排水并列的有限单元分析[J]. 水利学报, 1984,(3): 10 - 18
[3] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 北京:水利电力出版社, 1990.
[4] 王镭,刘中,张有天. 有排水孔幕的渗流场分析[J]. 水利学报, 1992,(4): 15 - 40
[5] 朱岳明,陈振雷等,改进排水子结构法求解地下厂房洞室群区的复杂渗流场. 水利学报, 1996,(9):79 - 85
[6] 詹美礼,速宝玉,刘俊勇. 渗流控制分析中密集排水孔模拟的新方法[J]. 水力发电, 2000.(4):23 - 25
[7] Zhan Meili, Su Baoyu. New method of simulating concentrated drain hole in seepage control analysis[J]. **Journal of Hydrodynamics, Ser. B.** 1999 (3): 27 - 35.