

降雨对滑坡的激发作用实验研究 ——以蒋家沟流域滑坡堆积坡地为例*

胡明鉴,张平仓,汪 稔

(中国科学院武汉岩土力学研究所,湖北 武汉 430071)

摘要: 蒋家沟部分滑坡是在老滑坡的基础上,经过后期条件改变如坡脚流水切割、降雨入渗激发而再次发生规模不等和形式不一的滑动。选择蒋家沟流域这一相对稳定的老滑坡体,通过人工降雨激发促使其二次滑动,观测滑坡滑移过程,分析描述实验过程中坡面出现的各种滑、溜、崩等现象,并进行部分有关的土力学实验,得出一些有意义的结论和可供进一步讨论的参数。

关键词: 老滑坡; 人工降雨; 激发

中图分类号: P642. 22 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2001) 05-0116-03

Study on Inspiring Effect of Landslide Experiment on Condition of Rainfall

—— Example of slope piled by old landslide in Jiangjiagou valley

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

(Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071)

Abstract In Jiang jiagou, most landslides was recoured on old ones with lots of dimensions and forms on conditions of the flows that incised the feet and the rainfalls that infiltrated. We chose a relatively stabilized slope and inspired it to re-slide by artificial rainfall and observed the process, analysed and described the phenomena such as slide, glide and collapse that happened in the experiment. Some indoors experiments about soil mechanics were processed and some significant conclusions and optional parameter were acquired.

Key words old landslide; artificial rainfall; inspiring

滑坡的类型多种多样,形成条件也千差万别。蒋家沟流域地质条件复杂,滑坡类型齐全。考察表明:对泥石流固体物质有直接作用的并非那些规模可观但比较稳定的古、老滑坡,而是那些不具备典型滑坡形态的浅层滑坡、崩塌和泻溜,甚至是薄层土体因降雨入渗,而与下部有一定坡度的基岩分离所产生的溜滑等物质运移。本文通过人工降雨对准稳态的斜坡体进行激发滑坡试验,结果发生了局部的滑坡,形成的滑坡体更加破碎,直接形成了泥石流的固体物质。

2 实验场地的选择和修整

2.1 实验场地的选择

在 1999年 12月对小江流域滑坡泥石流的考察(重点考察蒋家沟流域)过程中,考察了地区滑坡发育的特征,决定以蒋家沟流域作为试验地点。2000年 5月,在综合多种因素的情况下,选定蒋家沟沟口右侧查箐沟与主沟的分水岭下鸡冠山南坡一个老滑坡堆积斜坡为试验场地。场地天然坡度为 42° ,高差 113.3 m(山顶距蒋家沟主沟水面),坡脚距河床中心 30 m。斜坡剖面如图 1。

2.2 试验场地的修整

试验场地为老滑坡堆积体,坡面受后期洪积、坡积及两侧流水切割的影响,在斜坡上呈不规则圆锥形,下部埋藏较深,顶端可见基岩,基岩面倾角为 62° 。斜坡为老滑坡体,但滑坡体下部深埋入泥石流堆积层中,一般洪水难以切割坡脚,因而滑坡体很稳定。实验前对其进行了修整。首先人为切割坡脚,挖掘宽度 7.4 m,水平掘进约 5 m,形成前缘高差约 1.8 m的临空面,临空面下部再开挖掘形成约 0.7 m的反坡。沿宽度 7.4 m向上顺坡面在两边开挖顺沟,最终形成上宽 3.7 m,下宽 7.4 m,长达 7 m,坡度 42° 的孤立块体。

* 收稿日期: 2000-05-25 * 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

作者简介: 胡明鉴,男,生于 1974年,研究生,从事土力学和岩土工程方面的工作。

为使降雨尽可能地入渗块体,在孤立块体面上开挖水平沟 3 条,将坡面分成 3 块,上部块体斜面面积为 7.23 m²,中部块体斜面面积为 8.33 m²,下部 15.24 m²。经过修整后的斜坡如图 2 所示

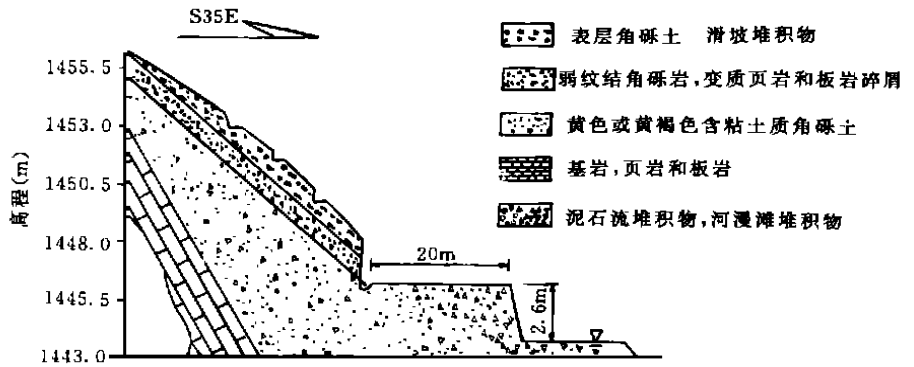


图 1 实验斜坡剖面图

3 实验设备

我们设计了大小规格的降雨喷头、侧喷头、分水箱及钢管支架等设备和无缝钢管、塑胶水管等全套降雨辅助设备。动力设备是中型 3.0 t 的消防车 1 辆,消防车最大压力为 7.4 kg,最大扬程为 17.4 m,最大水平输水距离为 360 m。在蒋家沟对面约 200 m 处开挖蓄水池,备清水,消防车在此水池抽水送到试验点,通过减压分水箱分送给 4 个降雨器。人工降雨试验布置图如图 3

4 人工降雨实验过程

4.1 实验前估算斜坡的稳定性

为了验证降雨滑坡实验的可行性和对实验结果的预见性,我们对斜坡的稳定性进行了初步的估算。在斜坡各层选择扰动土体进行室内配制,完成室内土工实验,并结合蒋家沟地区的有关资料^[1],选择力学参数估算斜坡的稳定性。计算采用瑞典条分法的公式进行^[5]:

(1) 不考虑渗流影响时:

$$F_s = \frac{M_R}{M_S} = \frac{\sum (c l_i + W_i \cos \theta_i \tan H_i)}{\sum W_i \sin \theta_i} \quad (1)$$

(2) 考虑渗流影响时:

$$F_s = \frac{M_R}{M_S} = \frac{\sum [(W_i \cos \theta_i - V_w h_{wi}) \tan H_i + c l_i]}{\sum W_i \sin \theta_i} \quad (2)$$

式中: H_i 和 l_i 分别为有效内摩擦角和有效粘结力。不固结不排水实验得出的各层土在天然状态下 $C\Phi$ 值和其他参数如表 1

表 1 各土层在天然状态下 $C\Phi$ 值和其他参数

土层	粘结力 c (kPa)	内摩擦角 Φ (°)	天然含水量 w (%)	天然密度 d_s (g/cm ³)
表层土	30	23.04	6.0	1.90
第二层	33	21.16	8.4	1.94
第三层	27	25.34	9.0	2.01

经过条分法估算得稳定系数分别为: 不考虑降雨和渗流情况下 $F_s = 1.21$,考虑降雨和渗流情况下 $F_s = 0.97$,证明通过人工降雨是可以促使修整后的斜坡滑动的

4.2 降雨过程及典型现象

通过对蒋家沟原来的降雨滑坡资料初步分析,我们采用了短历时,大雨强的降雨模式,实验设计雨强为 0.8, 0.9 mm,并采用量雨杯量测实验时的实际雨强。实验时在斜坡两边对等架设 4 个侧喷头,间距为长 7.0 m 宽 4.0 m (如图 3),力求降雨均匀而平稳的喷撒在实验斜坡上。降雨从上午 11:35 开始至下午 17:21 结束,分 6 个时段进行,各时段之间间隔为备水和雨水入渗。在降雨时段中,最长历时 25 min,

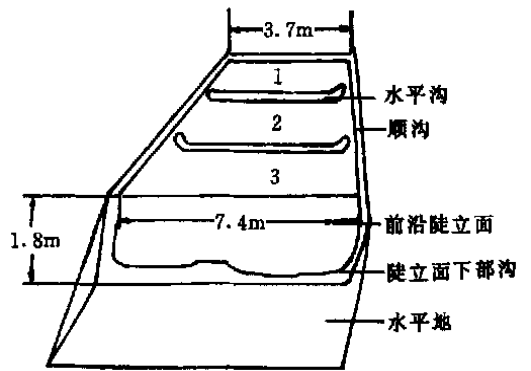


图 2 实验斜坡正面图

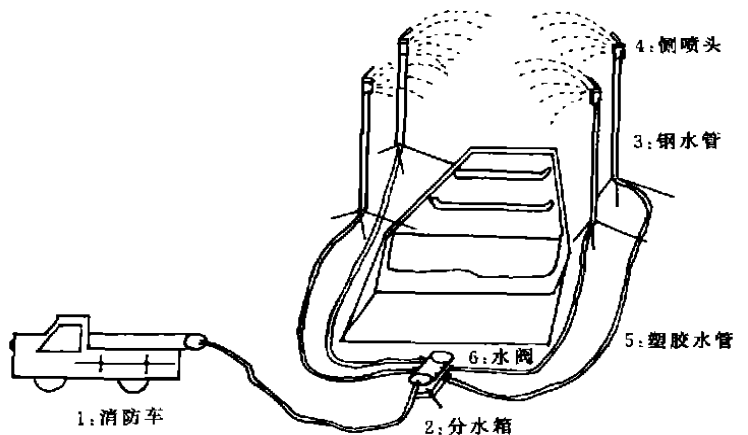


图 3 人工降雨试验布置

最短 11 min, 累计降雨时间 92 min, 累计雨量 94.87 mm; 由于受风力的较大影响, 降雨分布不均匀, 雨强变化较大, 在 6 个降雨时段中最大雨强 1.39 mm/min, 最小雨强 0.23 mm, 平均雨强 1 mm/min, 地面实测雨量 90.06 mm, 有效降雨 94.93%, 各降雨时段雨强雨量如图 4

实验因各降雨时段间隔较长, 雨水有充分的时间入渗, 因此整个降雨过程中, 没有明显的产流过程, 降雨几乎全部入渗。实验中出现溜滑、崩塌现象较多, 溜滑从第一降雨时段开始后 10 min 产生, 在第二阶段雨强达到最大时, 溜滑和崩塌的规模最大; 随着降雨的进行和雨强的变化, 接下来的每场降雨时段, 都有或多或少规模不等的溜滑发生, 规模也有不同程度的变化。崩塌多发生在 3 条水平沟较陡的地方。溜滑和崩塌的规模首先由小变大, 再由

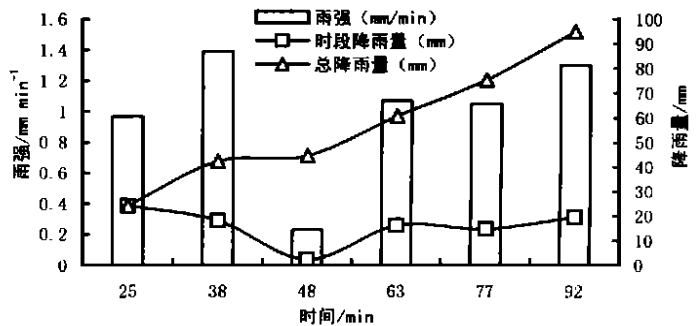


图 4 雨强、雨量随时间变化关系

大逐渐变小, 是因为在降雨开始时, 由于斜坡土体含水量小, 土粒间粘结力较小, 松散的颗粒在雨水的作用下很快流失; 随着降雨的进行, 土体含水量变大, 土体间粘结力增大, 于是溜滑和崩塌的规模减小。再之后, 雨水入渗使土体 $c\phi$ 值降低, 颗粒间下滑力大于抗滑力, 使土体失稳下滑。这就是后来溜滑和崩塌规模又有些增大的原因。实验到第 6 场快结束时, 斜坡陡壁发生崩塌, 规模为 $1.1\text{m} \times 0.8\text{m} \times 0.5\text{m}$ 。在崩塌发生后的一段时间里, 崩塌壁中间有大股的层间水流出, 层间水由大而小, 由浊而清, 并冲刷粗粒之间的细粒物质发生小的崩塌。在溜滑和崩塌过程中, 伴随局部的股状壤中(或层间)流水产生, 流水首先携带细粒物质, 形成极其混浊的高含沙水流, 冲刷接近饱和的松软物质形成沟槽, 由于沟槽壁部塌落为固体粗粒物质的补给, 很快完成了由溜滑、崩塌、高含沙水流向泥石流转化。试验过程中测得泥石流的容重达 $2.32\text{t}/\text{m}^3$, 浆体容重(高含沙浊流)达 $1.8 \sim 1.95\text{t}/\text{m}^3$ 。滑坡的发生出现于试验当天晚上 9 时至第二天上午 7 时之间, 滑坡发生于下部块体左侧临空面上, 滑体上宽 1.9m , 下宽 2.1m , 后缘滑壁错距 1.9m , 坡度 62° , 有微弱清水渗出。块体沿原坡面之中的局部隔水层滑动, 滑床长 1.3m , 坡度 42° , 在滑床上可观察到微弱的滑痕。在前缘临空面处形成剪出口, 并沿临空面塌落堆积, 量测滑体体积约 3.8m^3 , 堆积体表面坡度 37° , 与周围邻近松散体天然休止角一致。

5 结论

(1) 斜坡自身固有的特性(如岩性、坡度、结构构造等)是决定斜坡稳定性的因素。降雨对稳定系数在某范围内的斜坡进行激发而使其滑动。如果斜坡本身很稳定, 即使在雨强、降雨量都超过当地的临界雨强和降雨量的条件下, 斜坡也可能很稳定。因此降雨滑坡体现在降雨对准稳态斜坡的“激发”作用上。

(2) 降雨激发滑坡实验反映了降雨前期雨量, 临界雨量和滑坡发生后雨量的不同作用。三者是相互依赖, 相互影响的。滑坡的发生与土体含水量状况有很密切的关系, 土体含水量与前期降雨量关系很大, 前期降雨量越大, 斜坡土体就越接近饱和, 含水量也越大; 相反, 斜坡物质含水量就越小。因此用前期含水量的大小来相对说明物质的饱和度是一个简便可行的办法^[3]。滑坡发生后雨量是影响滑坡运动形式的因素。由于滑坡暴发通常是快速、剧烈的, 因而滑坡发生后的土体很快以新的形式堆积, 这时如果雨量充分, 坡度适宜, 饱和度很大的滑坡土体过饱和或超饱和, 滑坡土体会呈流态向下流动而很快转变为泥石流; 雨量少则滑坡土体由于滑坡发生后产生大量的新的裂隙和缝隙使降雨很快流失而堆积。因而, 滑坡发生后雨量对滑坡的“贡献”不明显。对滑坡激发起作用的主要是前期雨量和滑坡发生的临界雨量。据文献记载: 东川蒋家沟的坡面泥石流发生的临界雨量指标是日降水量 17mm , 10min 降雨 5mm ^[4]。

(3) 降雨激发滑坡是一个复杂的综合过程, 表现在雨水入渗并在土体内运移使土体含水量变大, 动水压力增加, 裂隙充水扩张, 土体抗剪强度降低, 土体 $c\phi$ 值降低, 从而降低斜坡稳定因素而产生滑坡。

(4) 降雨激发滑坡, 就滑坡发生时间来说, 一般情况滞后于滑坡发生的最大雨强和降雨量。这是因为降雨入渗和土体吸水软化、力学性质降低是一个渐进的过程, 在一定时间内才能完成。这一观点为文献[2]所证实。

(下转第 132 页)

3.3 地层组合关系

煤层覆岩的组合关系及力学性质是促使灾害发生的又一重要因素,岩层形成的破裂面与水平面夹角 $\gamma = 45^\circ + b/2$,不同岩层其内摩擦角 b 不同,所以不同岩性岩层组合势必会产生不同大小范围的灾害区域;软硬相间岩层的下沉速度各不相同,软快硬慢,导致离层现象出现,所以在软硬相间岩层段地质灾害相对严重。

3.4 降雨

降雨一方面渗入土层,对土体产生了浸润、软化及溶解等作用,减小摩擦力与凝聚力,促使土体沿软弱夹层等不良结构面产生滑动;另一方面,大气降水下渗,增大了山坡土体含水量,使土达到塑性状态而降低土体稳定性,是诱发土体滑坡的主要因素。另外,降雨使黄土湿陷性得以体现,从而产生裂缝。

上述 4 方面因素为形成本区地质灾害的主要因素,当然其它因素(如采煤爆破等)也将对其有一定影响。

4 地质灾害防治措施

(1)对地裂缝防治,可采用削平坡体,回填夯实,使土地复垦

(2)植树种草,治山治坡,根治荒山,减少水土流失,防止灾害继续发展

(3)对滑坡体治理,按照“及时发现、预防为主、查明情况、及早治理”的原则,合理设计抗滑工程,或者可同时在滑坡体周边挖掘排水沟,防止雨水入渗冲刷。

(4)建议在采矿技术方面推行井下充填采煤法,防止覆岩塌陷。

参考文献:

- [1] 郭映忠.三峡库区重庆段城市滑坡的研究与防治[J].中国地质灾害与防治学报,1999,10(2).
- [2] 徐卫亚.地质灾害防治基本原则及防治对策[J].中国地质灾害与防治学报,1992,3(2).
- [3] 段永侯.中国地质灾害[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [4] 杨梅忠.中国煤矿工程地质灾害与减灾对策研究[J].煤田地质与勘探,1998,4.
- [5] 袁仁茂,等.镇江市滑坡规律研究及其发生原因探析[J].水土保持研究,1999,6(4): 95-99.

(上接第 115 页)

参考文献:

- [1] 梁志勇,徐永年,等.引水防沙与河床演变[M].北京:中国建材工业出版社,2000.
- [2] 钱宁,张仁,等.河床演变学[M].北京:科学出版社,1983.
- [3] 武汉水利电力学院河流泥沙教研室.河流泥沙工程学(上册)[M].北京:水利电力出版社,1981.
- [4] 许炯心.淮河弯曲河型成因的初步探讨[J].泥沙研究,1989(2).
- [5] 尹学良,梁志勇,等.河型成因研究及其应用[J].泥沙研究,1999(2).
- [6] 沈玉昌.长江上游河谷地貌[M].北京:科学出版社,1965.
- [7] 刘希林.试论泥石流动力作用对河床地貌的影响[A].第二届全国泥石流学术会议论文集[C].北京:科学出版社,1991.

(上接第 118 页)

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] 李焯芬,陈虹.雨水渗透与香港滑坡灾害[J].水文地质与工程地质,1997(4): 34-38.
- [3] 陈景武.云南东川蒋家沟泥石流暴发与暴雨关系的初步分析[A].中国泥石流研究专集[C].北京:科学出版社,1990. 88-96.
- [4] 郭仲三,等.蒋家沟坡地土力类泥石流启动的动力学模型[A].见:泥石流观察与研究[M].北京:科学出版社,1996. 57-63.
- [5] 陈仲颐,周景星,王洪瑾.土力学[M].北京:清华大学出版社,1994.