

降雨与黄土滑坡地质灾害的内在联系探讨——以陕西地区为例

李凯军 蒋雪莹

西藏大学

DOI:10.12238/eep.v7i8.2206

[摘要] 为了明确降雨与黄土滑坡地质灾害的内在联系,本文以陕西地区为例,分析了黄土滑坡地质灾害特点及危害,论述了降雨对黄土滑坡时空分布、黄土边坡特性的影响,提出了几点黄土滑坡灾害监测及防治对策。得出:陕西地区降雨与黄土滑坡存在紧密关系,月降雨量与黄土滑坡地质灾害的发生次数存在正相关性,局部降雨空间分布与黄土滑坡地质灾害也具有正相关关系。

[关键词] 降雨; 黄土滑坡; 地质灾害; 陕西地区; 土壤湿度指数

中图分类号: S152.7 文献标识码: A

Discussion on the internal relationship between rainfall and geological hazards of loess landslide: A case study of Shaanxi Province

Kaijun Li Xueying Jiang

Tibet University

[Abstract] In order to clarify the intrinsic connection between rainfall and loess landslide geological disasters, the characteristics and hazards of loess landslide geological disasters are analysed in Shaanxi region as an example, the influence of rainfall on the spatial and temporal distribution of loess landslides and the characteristics of loess slopes are discussed, and several points of loess landslide disaster monitoring and prevention and control countermeasures are put forward. It is concluded that there is a close relationship between rainfall and loess landslides in Shaanxi area, there is a positive correlation between monthly rainfall and the number of occurrences of loess landslide geological disasters, and there is also a positive correlation between local rainfall spatial distribution and loess landslide geological disasters.

[Key words] rainfall; loess landslides; geological hazards; Shaanxi region; soil moisture index

前言

黄土高原是华夏民族的发源地,见证了灿烂的华夏文明。近期频发的地质灾害,对黄土高原地区经济发展和人民群众生命安全均造成了较大的威胁,滑坡是一种黄土高原常见的地质灾害。在陕西地区,广泛分布强渗透性黄土,遇强降雨时黄土内部土体软化,斜坡稳定性下降,易发生滑坡危害。基于此,探讨降雨与陕西地区黄土滑坡地质灾害的内在联系,对地区滑坡灾害预防具有非常重要的意义。

1 黄土滑坡地质灾害特点及危害

黄土滑坡地质灾害具有分布范围广、发生频率高、规模小、突发性强度等特点。一旦发生黄土滑坡地质灾害,将直接摧毁农田、房舍、森林、农业机械设施、交通设施等,同时伤害人畜,给局部乡村造成毁灭性打击^[1]。比如,2022年,陕西省宝鸡市蔡家坡镇北发生黄土滑坡地质灾害,滑体中部引渭渠旁边公路因滑坡蠕变20m长、3cm宽裂缝,对当地交通造成了严重打击。

2 陕西地区降雨与黄土滑坡的内在联系

2.1 地区概括

陕西地区位于中国内陆腹地,黄河中游,介于东经105° 29' ~111° 15'。地区地势呈南北高、中间低,地貌众多,涉及平原、山地、盆地、高原等,其中黄土高原占全省土地面积的40%,地跨黄河、长江两大水系^[2]。陕西地区横跨三个气候带,关中及陕北大部分地区属于暖温带季风气候,陕南属于北亚热带季风气候,陕北北部长城沿线属于中温带季风气候。整个地区气候呈现春季干燥温暖、夏季炎热多雨、秋季凉爽湿润、冬季寒冷干燥的特点,年均降水量340mm~1240mm,降水南部多、北部少,陕南为湿润区,关中为半湿润区、陕北为半干旱区。

2.2 降雨对黄土滑坡时空分布的影响

根据陕西水文水资源信息网汇编的陕西平均降雨量分布信息,区域降水量年内分布失衡。3月~10月均有阴雨出现,其中3月~6月短期阴雨较多,降雨主要集中在6月~9月,6月~9月平均降水量占全年降水量的70%左右,多以雷阵雨形式降落。为进一步探明黄土滑坡地质灾害与陕西地区降雨之间的关系,在黄

表1 陕西地区月黄土滑坡地质灾害与月降雨量表(局部)

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
黄土滑坡地质灾害发生次数	2次	4次	3次	7次	9次	13次	20次	25次	15次	30次	1次	1次
降雨量	10.4mm	10.1mm	20.1mm	25.5mm	40.2mm	45.9mm	80.5mm	98.9mm	60.3mm	101.2mm	25.2mm	0mm

土滑坡地质灾害调查的基础上,结合陕西地区地质灾害发生时间,按月进行分类统计(10年均值),获得陕西地区月黄土滑坡地质灾害与月降雨量表,局部见表1。

由表1可知,陕西地区月降雨量与黄土滑坡地质灾害的发生次数存在密切关系。随着月降雨量的增加,陕西地区黄土滑坡地质灾害的发生次数上升。同时,月降雨量对黄土滑坡地质灾害的影响具有显著滞后性,表现为6月的降雨量增加,不仅与6月的黄土滑坡地质灾害次数增加存在联系,而且与7月的黄土滑坡地质灾害次数大幅增加存在联系。

单纯考虑陕西北部地区,年平均降水总量在空间上不均匀分布。根据陕西地区气象资料统计可得,以延川、子长、志丹等代表的县区年均降雨量超出500mm,由东向西逐步减少,以洛川、富县为代表的北部地区年均降雨量均低于500mm。为明确降雨与黄土滑坡地质灾害在空间方面的相关性,分析2014年以来有降雨记录的黄土滑坡地质灾害,将地区主要地质灾害叠加于陕西地区年平均降雨量分布图中,得出年平均降雨量与滑坡地质灾害分布图。北部局部地区分布图见图1。

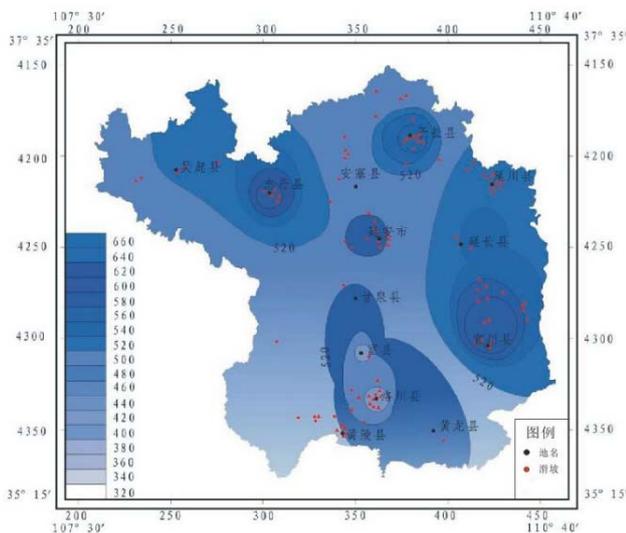


图1 陕西北部局部地区年平均降雨量与滑坡地质灾害分布图

由图1可知,陕西北部东部滑坡地质灾害点分布广泛、密集,西部滑坡地质灾害点相对较少。图中,以延安市区、宜川、子长为代表的地区属于地质灾害高发易发区,相应地区的年降雨量也较多,与统计结果相符。表明:在空间分布上,陕西地区北部地质灾害与区域年内平均降雨量存在正相关。但是,在陕西地区降雨相对较少的局部也存在不同程度的黄土滑坡地质灾害^[3]。综

上,在仅考虑降雨作用下,黄土滑坡地质灾害分布在陕西地区空间上符合正向规律,年降雨量是诱发黄土滑坡地质灾害的主要因素之一。

2.3 降雨对黄土边坡特性的影响

大气降水对黄土滑坡发育造成较大影响,不仅可以软化斜坡岩土体,而且会在相对隔水层形成自由水面,增加静水动水压力,促使土体产生塑性蠕变变形。借助现场勘测的方式,得出:在降雨作用下,黄土斜坡不同部位的特性差异较大^[4-5]。坡顶位置黄土层发生局部变形破坏,表现为大范围拉伸形成拉张裂隙,局部沿着雨水、黄土边坡接触面发生滑动破坏;坡后部、坡脚位置为剪切破坏,表现为小范围变形滑塌,局部发生显著水平位移^[6]。由此可知,在降雨作用下,黄土变形破坏与接触面、坡面交切关系相关,在顺接触面的坡顶,水体沿着接触面运动的倾向较为明显,持续侵蚀接触面物质,致使有效接触面收缩,黄土软化,力学强度下降,斜坡沿着接触面出现明显位置移动^[7]。在降雨持续时间较长时,坡体内部易形成贯通性水流通,在水流无法从通道流出时诱发斜坡出现滑动破坏,局部剖面见图2。

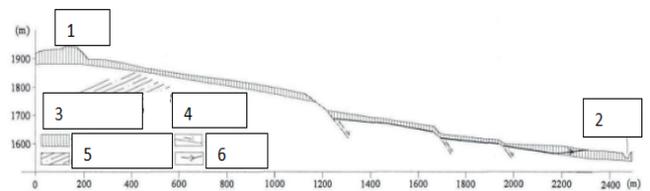


图2 降雨作用下陕西地区某黄土边坡特性变化图(局部)

图2中,1为滑坡周界;2为坡脚;3为黄土;4为基岩错动带;5为基岩;6为剪出口。

3 黄土滑坡灾害监测及防治

3.1 监测预警对策

根据降雨与陕西地区黄土边坡滑坡地质灾害之间的内在联系,以地形湿度指数表示降雨作用下的黄土特性为辅助,制定黄土滑坡灾害监测方案。

首先,以地理信息系统为基础,采用矢量-栅格复合单元,对黄土边坡进行危险性分析。分析期间,根据雨水冲刷规律,选择水系交汇优先控制黄土边坡单元形状,雨水汇流量控制黄土边坡单元规模,集水区黄土边坡单元则依据水系切割分段^[8]。随后,设定流经某一像元的最小汇流量并进行栅格-矢量转换,自动推测分段注入点与黄土边坡单元。

其次,在考虑降雨强度、持续时间的情况下,计算降雨入渗、地下水径流复合作用的地形湿度指数,获得黄土滑坡体饱和因子在时间维度的分布情况。

最后,耦合水文模型与黄土边坡模型,进行实时监测预警。基于地理信息系统的耦合模型运行的前提是:地表、地下水位线与黄土滑动面平行,运行核心是实时监测黄土边坡的稳定性系数,黄土边坡的稳定性系数与归一化植被覆盖指数、黄土粘聚力、边坡倾角等均具有较为紧密关系^[9]。系统自动运行的计算公式如下:

$$F_s = \frac{[(q+W)\cos\theta - F_0\sin\theta]\tan\phi + (c_1 + c_2)L}{(q+W)\sin\theta - F_0\cos\theta + P} \quad \text{式-1}$$

式-1中, F_s 为黄土边坡稳定性系数; q 为外荷载力, N; W 为黄土滑坡体自重, N; θ 为黄土边坡倾角, °; F_0 为土壤湿度指数; ϕ 为内摩擦角, °; c_1 为黄土粘聚力, kPa; c_2 为归一化植被覆盖指数; L 为黄土边坡长, m; P 为雨水渗透压力, N。

3.2 防治对策

在监测预警的基础上,应根据区域情况,进行黄土滑坡预防方案的制定,方案制定要素见图3。

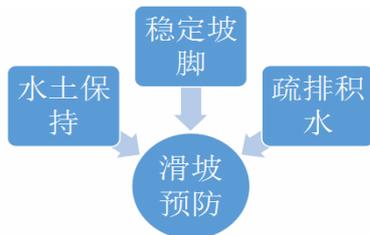


图3 黄土滑坡预防要素

图3中,水土保持的重点是防护林治理、农耕方式优化;疏排积水的重点是开凿排水盲洞、设置排水管与反滤排水体;稳定坡脚的重点是挖填方、牵引跨越等。

在监测的黄土边坡进入滑坡临界甚至突发黄土滑坡地质灾害时,应及时采取治理措施。在黄土滑坡治理期间,应以维持黄土边坡原貌景观为前提,使用微型桩新技术,降低黄土滑坡地质灾害的负面影响。微型桩一般设置在黄土滑面上30cm到滑面下30cm范围内,三角形布置,桩心配筋,提高黄土滑坡稳定系数。

4 总结

综上所述,降雨是导致陕西地区黄土滑坡地质灾害发育、发生的主要因素之一,强降雨时期,陕西地区黄土边坡滑坡地质灾害发生次数较多,年均降雨量较多的地区,黄土滑坡地质灾害发生率较高。降雨作用下黄土边坡不同部位的特性变化是滑坡地

质灾害发生的主要原因之一。降雨与黄土滑坡地质灾害的相关性研究可以辅助地质灾害预报预警的科学开展,为黄土滑坡地质灾害防御方案的科学制定提供依据。

[基金项目]

本文系西藏大学国家级大学生创新创业训练计划(项目编号:202310694009)。

[参考文献]

- [1]张全,张艳阳,张紫昭,等.冻融循环作用下伊犁黄土性质劣化特征及其对滑坡稳定性的影响[J].工程地质学报,2023,31(04):1319-1332.
- [2]贾磊,姚顺波,邓元杰,等.2000~2020年陕西秦巴山区区境质量时空演变及其地形梯度效应[J].长江流域资源与环境,2022,31(02):398-413.
- [3]李彦妮,黄昌.全球降雨计划GSMaP与IMERG卫星降雨产品在陕西地区的精度评估[J].干旱区地理,2022,45(01):80-90.
- [4]徐增辉,金继明,蔡耀辉,等.气候变化对黄土高原浅层滑坡影响的模拟研究——以延安宝塔区为例[J].水土保持研究,2021,28(01):387-393.
- [5]杨创奇,陶攀,杨正.基于逻辑回归树耦合熵指数模型的滑坡易发性分区——以陕西省延安市吴起县滑坡为例[J].人民长江,2022,53(05):128-134.
- [6]贲琰棋,易武,黄晓虎,等.基于前期雨型影响的汉江支流堵河左岸麻池村1号滑坡监测预警降雨阈值研究[J].水利水电技术(中英文),2023,54(05):38-50.
- [7]李子豪,王钧,郭婷婷,等.基于降雨强度-历时的安徽省黄山市滑坡分组阈值研究[J].水土保持通报,2022,42(1):184-190.
- [8]姬建,崔红志,佟斌,等.基于物理过程不确定性的降雨诱发浅层滑坡易发性快速区划:GIS-FORM技术开发与应用[J].岩石力学与工程学报,2024,43(04):838-850.
- [9]李同录,袁思凡,徐家隆,等.降雨引起的两类不同浅层滑坡稳定性的计算模型——与“浅层黄土滑坡易发性评价:以晋西黄土区蔡家川农地小流域为例”一文商榷[J].山地学报,2023,41(06):916-925.

作者简介:

李凯军(1999--),男,汉族,山西吕梁人,本科在读,研究方向:滑坡灾害。