

黄土高原重力侵蚀的地质地貌因素分析 ——从发生的规模频度看区域特征

松永光平^{1,2}, 甘枝茂¹

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062;

2. 东京大学 大学院新领域创成科学研究科, 日本 东京 113 - 0041)

摘要: 在按规模和频度对黄土高原重力侵蚀分类的基础上, 分析了重力侵蚀具有普遍性、沿河谷分布、区域差异明显等区域分布特点。并分析了地质地貌因素对各种主要重力侵蚀形成与分布的影响: 塌陷在碳酸盐地层存在地分布较多, 高陡边坡地区易于形成巨大滑坡, 群发性崩塌、滑坡以及泥流的形成多发生在沟谷密度较大地区, 巨大泥流的形成在沟头地区多有较大的汇水面积等。因此在防治重力侵蚀过程中, 必须充分地研究各地的地质地貌条件, 因地制宜地防治不同类型的重力侵蚀。

关键词: 黄土高原; 重力侵蚀; 分布; 地质与地貌; 规模频度

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2007)01-0055-03

中图分类号: S157, P642.5

Geological and Geomorphological Conditions of Mass Movements in the Loess Plateau

——Regional Characteristics From the Viewpoint of Magnitude and Frequency of Event Occurrence

MATSUNAGA Kouhei^{1,2}, GAN Zhi-mao¹

(1. College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. Institute of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Tokyo 113-0041, Japan)

Abstract: The authors investigated the distribution of mass movements in the Loess Plateau by means of field survey and mapping based on the magnitude and frequency of them. We found the following regional characteristics of mass movement occurrence: (1) mass movements broadly occur along river valleys in the Loess Plateau; (2) the occurrence obviously shows regional difference; (3) the geological and geomorphological conditions strongly affect the occurrence and distribution of mass movements. For instance, sink holes mainly occur at the place where carbonate rock exists, large landslides occur along the cliffs that have a great altitudinal difference, small and frequent landslides and mud flows occur at the place where drainage density is high, and great mud flows occur with the large drainage area. These results indicate that the geological and geomorphological conditions must be considered in order to prevent mass movements in the Loess Plateau.

Keywords: the Loess Plateau; mass movement; distribution; geology and landforms; magnitude and frequency

黄土高原多年平均输沙量为 1.60×10^9 t, 年平均侵蚀强度约 3700 t/km^2 ^[1]。土壤侵蚀不但破坏对当地人给予生活基础的土地资源, 大量泥沙的流失也给黄河下游安全带来威胁。

1998 年以来, 梁峁坡面大量退耕还林还草。随着梁峁坡面侵蚀的减少, 切割黄土高原的沟谷侵蚀将会更加突出, 成为主要的泥沙来源地之一。黄土沟谷的演化受到重力侵蚀的参与。为了采取因地制宜的水土保持对策, 有必要研究重力侵蚀的分布类型及发生诱因。

为了把握重力侵蚀的有关因素和诱因的地域特征, 规模和频度很重要。重力侵蚀的规模和频度的关系被表示如下^[2-3]:

$$N(x) = 10^a 10^{-bx} \text{ 或 } \lg N(x) = a - bx$$

式中: $N(x)$ ——有 x 或 x 以上规模的重力侵蚀累积个数; x ——面积 A 的对数值 ($\lg A$) 表示的重力侵蚀规模; a, b ——常数, a 表示降雨强度等诱因, b 表示地质地貌等因素。

过去的研究表明, 虽然影响重力侵蚀的因素很多, 但地貌地质因素较重要。因此, 笔者在根据重力

收稿日期: 2006-07-11

修稿日期: 2006-09-25

资助项目: 日本国际交流基金 (JPF) 2005 年度研究奖学金“中国黄土高原水土流失与人们生活关系研究”

作者简介: 松永光平 (1978 -) 男, 日本东京人, 高级进修生, 博士生, 主要研究方向为地貌与土壤侵蚀。E-mail: pulsar@nenv.k.u-tokyo.ac.jp。

通讯作者: 甘枝茂 (1938 -) 男, 教授, 博士生导师。主要从事地貌与土壤侵蚀教学与科研工作。E-mail: Ganzhm@snnu.edu.cn。

侵蚀的规模和频度把握区域分布特征的同时,主要分析地质地貌对重力侵蚀的影响。

1 重力侵蚀分类

为了确保客观性和典型性,重力侵蚀分布的主要信息来源为以全国为对象的一系列地图^[4],以及一定的实地考察结果。在黄土高原上有记载的对土壤侵蚀有重要影响的重力侵蚀种类有滑坡、崩塌、泥石流和塌陷。笔者将重力侵蚀种类根据其规模和频度

再划分,通过与地貌和地质的对应关系来认识黄土高原上的重力侵蚀分布特征。

为了宏观分布特征的把握和地图表现的方便,根据有关规模和频度情报把重力侵蚀分为有 $> 1.00 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的体积而单独分布的和有 $< 1.00 \times 10^6 \text{ m}^3$ 的体积而成群分布的两类。同时,为了认识地质因素的影响,对主要坡面物质进行了划分。为了分析地貌的影响,在地貌分类图上表示这些再划分的重力侵蚀分布(图 1)^[4-5,9],具体情况如表 2 所示。

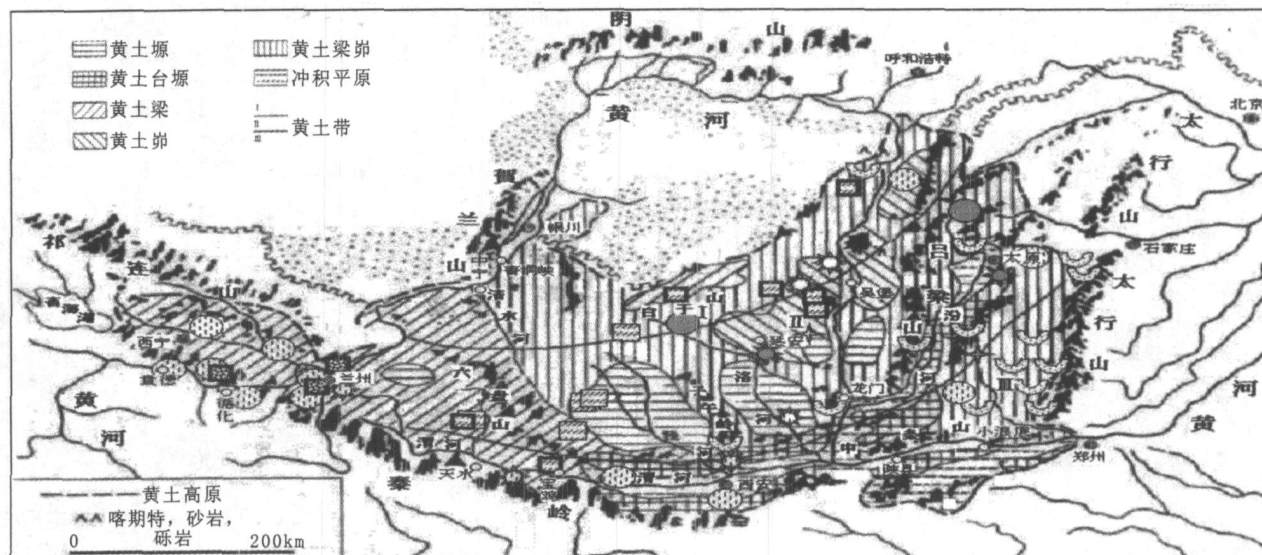


图 1 黄土高原典型重力侵蚀种类分布

表 1 黄土高原重力侵蚀实例

名称	地点	体积/ 10^4 m^3	发生 时间	危害情况
卧龙寺滑坡	陕西宝鸡	2000	1955	毁坏村庄和铁路
周湾滑坡	陕西吴旗县	1300	1965	形成天然聚淤
古刘滑坡	陕西长安县	500	1985	损坏房屋 144 间
黄家川滑坡	陕西子洲县	3	1980	死亡 7 人, 毁窑 5 孔
红旗沟滑坡	陕西延川县	1	1997	死亡 15 人, 毁窑 6 孔
长湾滑坡	甘肃兰州市	2000	1979	毁坏 2 个村庄
洒勒山滑坡	甘肃东乡	3100	1983	毁坏 4 个村庄, 死亡 220 人
葡萄园西滑坡	甘肃葡萄园	40	1985	毁铁路 100 m 余
大浪沟滑坡	青海互助县	1500	1960	村庄埋没, 200 余人丧生
高尚村崩塌	陕西吴堡县	9	2003	毁窑 4 孔
常峁则崩塌	陕西子洲县	1	2003	死亡 12 人, 毁窑 12 孔
城关区东南部 泥石流	甘肃兰州市	56	1951	损坏道路
西固区泥石流	甘肃兰州市	60	1964	死亡 157 人

注: 据参考文献[6-8]等资料。

2 重力侵蚀的区域分布特点

2.1 整体特征

由图 1 和表 2 可以看出重力侵蚀在黄土高原分布比较普遍。东起太行山,西至青海湟水、黄河谷地,南起渭河谷地,北达长城沿线,均有不同类型的重力侵蚀存在。

重力侵蚀主要分布在河谷地带,在各类河(沟)谷坡均有一定的重力侵蚀,尤其是高差大,坡度大的沟谷河谷坡面,是大型重力侵蚀相对集中的地区。例如,甘肃省兰州市以西的黄河谷地、湟水谷地,陇中的葫芦河谷地,陕西省西安市以西渭河北侧谷地、泾河谷地以及无定河、延河等河的较大支流谷地,重力侵蚀发育。

2.2 区域分布

重力侵蚀的类型分布与组合存在着明显的差异。巨型滑坡和大型滑坡主要分布在甘肃省兰州以西,渭河北侧谷地;塌陷主要集中在山西、晋陕蒙接壤区以及渭北煤矿区;群发性崩塌、滑坡、泥石流大多集中在陕北地区和陇中地区。

3 地质地貌因素对重力侵蚀影响分析

3.1 对塌陷的影响

塌陷在山西、晋陕蒙接壤区及渭北煤矿区分布较多,其原因有两点:

(1) 山西第四系黄土层下有较多古生界碳酸盐地层,早期溶蚀形成的地下裂隙洞穴成为后期上覆黄土层里松散物质中地下水的汇流通道,使较多上覆物质由此流失,上部塌陷。(2) 由于山西、晋陕蒙接壤区及渭北区煤矿大量开采,许多地方地面塌陷。

表 2 黄土高原重力侵蚀区域分布特征

区域	地貌类型	地面高差/m	沟谷密度/ (km^{-2})	物质组成	沟谷坡度/ (°)	重力侵蚀类型	地貌部位
吕梁山以东	黄土梁峁, 土石山地	250~500	2~4	黄土, 基岩	20~40	塌陷多, 崩塌群发, 巨大滑坡	坡面, 谷地
长城—延安之间	黄土梁峁	250~400	4~6	黄土	20~40	滑坡, 泥石流, 崩塌群发	大支沟
子午岭—六盘山之间	黄土塬, 梁峁	200~300	1~3	黄土	30~45	巨大泥石流	山前沟谷
兰州—六盘山之间	黄土梁	200~500	2~3	黄土, 红土	15~25	泥石流群发	支毛沟
兰州以西	黄土梁, 土石山地	400~600	2~3	黄土, 基岩	25~45	泥石流群发, 巨大滑坡	谷坡
西安—宝鸡间渭河谷地	黄土台塬	150~300	1~2	黄土	30~45	巨大滑坡	台塬边坡
渭河上游谷地	黄土梁	300~500	2~3	黄土	20~30	泥石流群发	支沟

3.2 对群发性崩塌、滑坡的影响

群发性崩塌、滑坡在晋陕高原分布较多, 主要因为这里的土石山地、黄土梁峁丘陵区地面沟谷密度较大, 谷坡较陡, 黄土较厚而疏松, 广泛分布的中生界沙岩、沙页岩、煤层等, 多裂隙, 易风化破碎。因此处于陡坡的黄土及基岩物质, 易于失去平衡, 在其它诱因的影响下形成崩塌或滑坡。而沟谷坡较缓的甘肃陇中黄土梁状丘陵区, 群发性崩塌、滑坡相对较少。可见地质地貌因素在群发性崩塌中起到了重要的作用。

3.3 对巨型和大型滑坡的影响

巨大的滑坡主要发生在兰州以西及西安至宝鸡段, 山西汾河上游、沁河上游等山区, 尽管这些地区也有较易于风化的岩石, 疏松的黄土红土, 但更为突出的是有易于形成巨大滑坡的高陡边坡。例如宝鸡北侧的台塬边坡, 坡度达 $30^{\circ} \sim 60^{\circ}$, 高差 100~200 m。有名的卧龙寺大滑坡就发生在这里; 甘肃酒勒山大滑坡, 除了疏松的黄土物质与下覆第三系红土之间易产生滑动面外, 高差近 300 m 的黄土坡面是产生巨大滑坡的重要场所(空间)和物质基础。兰州以西、陕北白于山区及山西等地的深切河谷, 无疑是新构造运动上升较强影响的结果。

3.4 对群发性泥(石)流和巨型泥石流的影响

群发性泥(石)流在黄土高原分布比较普遍, 这与广泛分布的黄土等松散物质及其众多的集流沟谷有

关。一旦有暴雨发生, 地表径流就会产生强烈的侵蚀, 在沟谷形成高含泥沙的液固两相的混合流, 即泥石流或者泥石流。

但巨大泥石流的形成, 在沟头地区必须要有一定的汇水面积和丰富的松散物质, 而黄土梁峁区众多的支毛沟, 其沟头汇水面积一般较小, 只有那些处于山区的沟谷, 沟头才具有较大的汇水洼地。因此在子午岭、六盘山一些植被稀少的沟谷, 在暴雨时易于形成巨大泥石流或泥石流。不过巨大泥石流、泥石流的形成, 除地质地貌因素外, 大量的降雨是必不可少的。此外, 在陇中北部、宁南地区, 由于春季的冻融作用, 在一些沟谷或坡面常形成许多冻融泥石流, 不过此类泥石流一般规模较小。

4 结 论

黄土高原千沟万壑, 地形破碎, 有广泛分布的黄土等松散物质以及斜坡陡壁, 为各种重力侵蚀提供了有力的场所。但不同的地质地貌环境对重力侵蚀的类型分布有不同的影响, 因而形成了地质地貌与重力侵蚀类型的某些对应关系。因此在防治重力侵蚀过程中, 必须充分地研究各地的地质地貌条件, 因地制宜地防治不同类型的重力侵蚀, 这是预防与治理重力侵蚀的前提。

(下转第 91 页)

3.3 基于 SOC 理论的灾害防治工程设计

山地灾害过程在时间和空间上都是一个离散的过程,所以必须研究其强度和频度的关系,才能对山地灾害过程的活动情况作出较准确的判断。处于 SOC 状态的山地灾害系统是在混沌的边缘发生演化,不确定性的增加遵循负幂律准则。而“频率—规模”关系是防治工程设计的重要依据。山地灾害的防治工程一般包括坡面防护工程与支挡工程等,传统的设计是采用安全系数法。对于呈现 SOC 现象的灾害系统,在防治工程参数设计时,从理论上说工程设计使用期内的最大荷载无法估计,不宜采用安全系数法。工程设计时应主要考虑风险性与经济性的综合平衡,宜采用可靠性设计方法。可靠性设计的技术关键是确定“破坏概率”,实用中一般采取将破坏概率定义为某一基准值被超过的概率的做法,这时频率—规模的幂律分布关系则为计算破坏概率提供了依据。根据 SOC 理论,大规模坍塌都是发生在临界状态并由链式反应所引起,在防治工程方案规划时,传统的削坡工程措施,是实现使系统偏离临界状态的直接手段。此外,既然“链式反应”导致大规模坍塌,那么设法切断这种“链式反应”也是值得贯彻的理念。如采用放平台或框架护坡等措施,有时可能会是阻止大规模灾害现象的更经济的方案。

[参 考 文 献]

- [1] Per Bak, Chao Tang, Kurt Wiesenfeld. Self-organized Criticality[J]. *Physical Review A*, 1988, 1(1): 364—374.
- [2] Per Bak, Chao Tang, Kurt Wiesenfeld. Self-Organized Criticality: An Explanation of 1/f Noise[J]. *Physical Review Letters*, 1987, 59(4): 381—384.
- [3] 蒋良淮,姚令侃,李仕雄. 非均匀散粒体自组织临界性机制初探[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(18): 3178—3184.
- [4] 刘信安,周佩雯,陈双枢. 沙堆实验的自组织临界性与水华暴发行为的关系研究[J]. *自然科学进展*, 2006, 16(3): 338—343.
- [5] 于群,郭剑波. 中国电网停电事故统计与自组织临界性特征[J]. *电力系统自动化*, 2006, 30(2): 16—21.
- [6] Held G A, Solina D H, Keane D T, et al. Experimental study of criticality mass fluctuation in an evolving sandpile [J]. *Physical Review Letters*, 1990, 65(9): 1120—1123.
- [7] 何越磊,姚令侃,苏凤环,等. 沙堆模型动力学特性与灾害系统演化预测研究[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(4): 44—50.
- [8] 李仕雄,姚令侃,蒋良淮. 影响沙堆自组织临界性的内因与外因[J]. *科技通报*, 2003, 19(4): 278—281.
- [9] Carmen P C, Prado, Zee Ol mi. Inertia and break of self-organized criticality in sandpile cellular automata models [J]. *Physical Review A*, 1992, 45(2): 665—669.
- [10] Turcotte D L. Fractals and Fragmentation[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91(B2): 1921—1926.
- [11] Johnson P A, Richard H, Mauen, et al. Hromadlka, Magnitude and frequency of critical-mass fluctuations in an evolving sandpile. *Physical Review Letters*, 1990, 65: 1120.
- [12] Hovius N, Stark C P, Allen P A. Sediment flux from a mountain belt derived by landslide mapping[J]. *Geology*, 1997, 25(3): 231—234.
- [13] Scheidegger A E. On prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides[J]. *RockMechanics*, 1973, 5: 231—236.
- [14] Vansteijn H. Debris-flow magnitude-frequency relation Ships for central and north-west Europe [J]. *Geomorphology*, 1996, 15(3—4): 259—273.

(上接第 57 页)

[参 考 文 献]

- [1] 黄河水利委员会治黄研究组编, (日文) 芦田和男监修. 黄河治水与开发[M]. 东京: 古今书院, 1989. 42.
- [2] Ohmori H, Hirano M. Magnitude, frequency and geomorphological significance of rocky mud flows, landcreep and the collapse of steep slopes. *Z. Geomorph. N. F.*, 1988, Suppl. - Bd. 67: 55—65.
- [3] 平野昌繁, 大森博雄. 在泥沙移动现象上的规模频度分布特性和其地貌学上的意义(日文). *地形*, 10(2): 95—111.
- [4] 中国水文地质工程地质勘察院主持. 中国环境地质图系[M]. 北京: 中国地图出版社, 1992.
- [5] 黄河水利委员会勘测规划设计院编. 中国黄土高原地貌图集[M]. 北京: 水利电力出版社, 1984.
- [6] 中国科学院黄土高原综合科学考察队. 黄土高原地区土壤侵蚀区域特征及其治理途径[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 98.
- [7] 国家计划委员会国土地区司, 地质矿产部地质环境管理司. 中国地质灾害[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993. 440—443.
- [8] 吉松弘行, 纲木亮介, 近藤观兹, 等. 中国滑坡——特别关于黄土地带滑坡(日文)[J]. *滑坡*, 28(4): 37—44.
- [9] 松永光平. 中国黄土高原侵蚀过程与其分布(日文)[J]. *物性研究*, 2004, 82(3): 468—477.