

崩岗侵蚀的成因机理研究与问题

林敬兰^{1,2}, 黄炎和²

(1. 福建省水土保持监测站, 福州 350003; 2. 福建农林大学 资源与环境学院, 福州 350002)

摘要: 现有研究成果表明: 疏松、深厚的基岩风化壳(尤其是花岗岩)是崩岗发育的物质基础, 花岗岩内各种节理、裂隙存在形成大量的软弱结构面, 使土体在重力作用下极易产生崩岗; 降雨是崩岗侵蚀的重要诱发因素, 它产生地表径流, 引起冲刷, 同时还通过入渗, 增加土体自重和降低抗剪强度而促进崩岗发育; 崩壁侵蚀量的测定是采用常规方法或航片结合常规调查的方法进行。由于这些研究未能明确崩岗侵蚀的主导岩土特性及随土壤含水量变化的规律, 尤其是未能测定瞬时崩壁侵蚀量, 导致成因机理的深入研究受到限制。为此, 作者提出采用无棱镜全站仪测量瞬时崩壁侵蚀量, 通过钻探方式获取自然地理条件相似的崩岗密集区与非崩岗区的岩土体, 提炼主导岩土特性及与降雨的关系, 进一步探讨崩岗侵蚀的成因机理。

关键词: 崩岗; 成因机理; 崩壁; 岩土特性

中图分类号: S157.1; P642.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0041-04

Review of Study on Formation Mechanism of Slope Disintegration Erosion and Its Problems

LIN Jing-lan^{1,2}, HUANG Yan-he²

(1. Fujian Monitoring Station of Soil and Water Conservation, Fuzhou 350003, China;

2. Department of Land and Environment Science, FA FU, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The result of current research achievements on formation mechanism of the slope disintegration erosion shows that the weathered shell of the loose and thick base rock (mainly consisting of granite) is the material basis for the development of slope disintegration, the weak structural face of the granite due to the existence of the joints and cranny can make the slope disintegration apt to occur under the gravity of soil, rainfall, one of the most influence factor, will not only produce ground run-off which can cause scouring effect, but can also lead to a deadweight increases and shear strength decreases of the soil body through water permeance, which will promote the development of slope disintegration, and the erosion amount of the wall collapse was measured using the conventional investigation method or that in combination with aerial photos. However, the deep-going study on its formation mechanism is now still restricted by the unclearness of the properties of the leading rock and soil in the slope disintegration erosion and the law of their variation with the soil moisture change, especially the unavailability to measure the instant erosion amount of the wall collapse. Therefore, it is proposed by the author to adopt the reflectorless total station to measure the instant erosion amount of the wall collapse, to use drilling to obtain the rock and soil in the dense collapse area and those in the non-collapse area but with the similar geographical conditions for extracting the properties of the leading rock and soil, and to analyze the law of the change in the rock and soil properties under different soil moistures by testing so as to further study the formation mechanism of the slope disintegration erosion.

Key words: collapsing hill; formation mechanism; wall collapse; rock and soil properties

* 收稿日期: 2009-08-19

基金项目: 国家自然科学基金“南方花岗岩地区崩岗侵蚀成因机理研究”(40671113)

作者简介: 林敬兰(1970-), 女, 博士生, 从事水土保持监测及研究。E-mail: sunny_cn@126.com

通信作者: 黄炎和(1962-), 博士, 教授, 长期从事土壤侵蚀研究。E-mail: yanhehuang@hotmail.com

崩岗是指在水力和重力的综合作用下,山坡土体受破坏而崩塌和受冲刷的侵蚀现象^[1],属于重力和水力的复合侵蚀类型^[2]。崩岗在我国集中分布于长江以南的江西、广东、湖南、福建、广西、湖北、安徽 7 省(自治区)花岗岩风化壳深厚的丘陵区,崩岗侵蚀面积不大,但是造成的危害是非常严重的。崩岗侵蚀不仅丧失了大量表土,而且造成地表千沟万壑,无法利用。更为严重的是,崩岗侵蚀所产生的土壤流失量非常巨大,据安溪官桥长垄崩岗试验区测定结果^[3],崩岗沟壑的年产沙模数可达 6~10 万 t/km²,由崩岗侵蚀所产生的泥沙埋没农田,破坏水利设施,毁坏交通路线,淤积江河湖库,增加洪涝灾害,甚至冲毁民众住宅,造成生命财产的严重损失,极大地制约着区域可持续发展。因此,崩岗侵蚀是南方花岗岩地区土壤侵蚀最严重的类型,作为崩岗侵蚀防治重要理论基础的成因机理研究一直是崩岗侵蚀研究的热点,已经取得了不少成果,与此同时,也存在一些尚未解决的关键性问题。

1 研究进展

已有研究表明,崩岗侵蚀的发生要具备 3 个基本条件^[2,4]:疏松深厚的基岩风化物,水力和重力的综合作用及地表植被的破坏。绝大部分崩岗的形成由于面蚀沟蚀引发,而植被的破坏是产生面蚀沟蚀的主要影响因素;坡度的作用也主要在水蚀阶段,就是在面蚀和沟蚀阶段发挥重要作用,当侵蚀进入以崩塌为主的重力侵蚀阶段时,坡面坡度已经不是主要因素^[5-7],再加上植被和坡度与土壤侵蚀的关系研究已有很多成果,因此,崩岗侵蚀成因的研究集中在基岩的岩土特性、水的作用、软弱结构面和崩壁侵蚀 4 个方面。

1.1 基岩的岩土特性

1.1.1 疏松、深厚的基岩风化壳是崩岗发育的物质基础 调查研究表明^[7-8]:崩岗在我国集中分布于长江以南地区,风化物厚度在 20~50 m 的崩岗发生频率最高,10~20 m 次之,2~10 m 仅见少量,而 2 m 以下一般未见崩岗发生,野外调查同时表明,85%以上崩岗发生在花岗岩上^[3-7,9-21],尤其是燕山期的中粗粒花岗岩,在砂页岩^[22]、砂泥岩和第三纪、第四纪松散沉积物等也见少量崩岗发育^[23]。这表明绝大多数的崩岗发育在花岗岩上,其发育程度与基岩风化物厚度呈正相关。

江南地区高温多雨,这为促进岩石的物理化学风化提供了优越的条件,花岗岩含有大量极易风化的石英、长石和云母等矿物,加上岩体发达的三维节

理构造和存在的大量裂隙^[7],使得矿物与水汽接触面大大增加,风化介质可以深入到深层,加速岩体风化作用向深部发育,从而形成疏松深厚的风化母质层,一般厚达 20~30 m,甚至可达上百米^[13],为崩岗的发育提供了物质基础。

1.1.2 花岗岩的岩土特性 花岗岩的主要矿物为石英、长石和云母,大约分别占 50%、30%~40%和 1%,其风化物缺乏黏粒、较粗而松散,随着深度的增加,其风化程度下降,相应地黏粒含量下降、颗粒越来越粗,从地表往下大致可以将风化剖面分成土壤层、红土层、砂土层和碎屑层,不同风化层次具有不同的物理、化学和力学特征^[17-8,13,24-30]。

表 1 风化壳不同剖面层次的主要理化及力学特征

项 目	红土层	砂土层	碎屑层
厚度/ m	0~3	3~20	10~30
颜色	红棕	灰白	近岩体
含水量/ %	16~18	18~20	20~22
质地	砂质黏土	砂壤质	岩核碎屑
<0.002 mm 颗粒/ %	6.03	2.33	0.29
粒度	细粒	中粗粒	粗粒
密度	小	中	大
湿容重/ (g·cm ⁻³)	1.72~1.75	1.57~1.61	1.66~1.67
干容重/ (g·cm ⁻³)	1.47~1.48	1.33~1.35	1.37~1.38
孔隙比	0.766	0.961	0.903
比重/ (g·cm ⁻³)	2.63	2.61	2.62
饱和度/ %	60.1	48.9	62.3
有机质/ %	<1	0.25~0.4	<0.3
SiO ₂ 含量/ %	62.28	64.41	70.11
Al ₂ O ₃ 含量/ %	24.33	21.34	15.3
Fe ₂ O ₃ 含量/ %	4.91	3.22	2.19
水稳性指数/ %	50~80	5	5
胀缩度	22~28	20~26	20~26
液限/ %	44.0	38.8	40.5
塑限/ %	26.6	20.0	25.5
塑性指数/ %	17.4	18.8	15.0
抗冲指数	0.7~1.0	0.22	0.22
抗蚀性指数	22	530	780

从表 1 可以看出:从红土层、砂土层到碎屑层,随着风化程度的下降,含水量增加、质地趋向砂化、黏粒及次生矿物下降、有机质减少、SiO₂ 的含量上升而 Al₂O₃ 和 Fe₂O₃ 含量下降、水稳性指数下降、液限和塑限随深度增加先降后升、抗蚀性和抗冲性都下降。这说明红土层抗冲抗蚀力比较强,最松散易蚀的是最底层的土体。

花岗岩风化壳虽然在各层次之间表现出不同的特征,但从总体上看是相当松散而且透水性极强。红土层由于胀缩度大容易产生裂隙,加上吸水保水力强,容易吸水增重发生崩岗,而一旦红土层被蚀去

或切穿后延伸到砂土层时,可出现径流淘蚀、沟蚀加剧的现象,再加上松散和抗冲抗蚀力差的砂土层和碎屑层,基底不稳,必然导致其上覆盖层的倾斜和倒塌,进一步加速崩岗的发育^[7-8,13]。

1.2 降雨的作用

降雨是崩岗侵蚀发生的触发因素,其作用有两个方面:一是产生地表径流^[5,7-13],引起冲刷,促进崩岗的发育,所以暴雨是引起崩壁不稳定的重要因素,崩岗大量崩塌发生于短时间大量降雨期,斜坡顶部松散的表层土几乎完全饱水,而水在短时间内往往来不及向深处渗透,改变斜坡的极限平衡和改变斜坡土体的强度指标^[18-19],使土体稠度剧变、强度骤降,从而导致坡面不稳;二是降雨入渗土体,增加土体自重,降低粘聚力,使土的抗剪强度降低,同时入渗的水还可能发生化学溶蚀而扩大裂隙面,此外还通过潜蚀把土层中细土粒冲走,破坏了土层结构,从而影响上部土体的稳定^[18,23,27],促进崩岗的发育,因此,前期降雨的累积效应是影响崩壁崩塌规模的一个关键因素。

1.3 软弱面结构面的存在

花岗岩风化壳内存在大量的软弱结构面^[7-8,18,28-29],它们包括原基岩中的构造节理、风化后残留下来的原生节理、风化过程中产生的风化节理,同时还包括干湿交错、冷热交替在土层中出现垂直或横向裂隙。由于这些软弱面的存在,土体在重力的作用下极易产生崩岗。

原基岩中的构造节理对基岩风化影响最大,基本上控制了许多大型崩岗的伸延方向,如广东省、福建省许多条形崩岗的伸展方向也与该区的构造节理方向相吻合^[3,6,22,31]。

花岗岩岩体形成时常伴生 3 组以上不同方向的原生节理,一组近水平,另两组分布于垂直方向上,这些节理多具张裂性,相互切割穿透,成为水的活动通道,加速岩体沿节理的球状风化,使风化壳形成垂直节理发育,当地势反差和临空面增大时,风化土体极易沿残余节理面倾覆。

风化过程中产生各种大小裂隙,相互切割穿透,极有利于雨水或地表径流的入渗,成为水的活动通道,加速岩体沿节理的球状风化,而由地表减压产生的卸荷节理,引起较陡高的斜坡带的应力重新分布,易引发突发性的崩陷。由于这些软弱面的存在,土体在重力的作用下极易产生崩岗。

1.4 崩壁侵蚀

崩岗的侵蚀过程主要是通过崩壁的崩塌作用来完成,没有崩壁的崩塌便没有崩岗的演变和崩岗地

形的发育,即崩壁的崩塌是整个崩岗演变过程中最活跃的部分,也是崩岗运动的物质来源^[18]。对崩壁侵蚀的研究,目前国内研究集中在崩壁的临界高度方面,如李思平等^[18]通过土力学相关理论,计算出临界高度:不考虑裂隙面时,天然状态、毛细管水状态和饱和状态下分别为 7.8 ~ 9.25 m、4.62 ~ 4.94 m 和 2.52 ~ 2.77 m;考虑裂隙面时,倾角为 80 和 85 时,临界高度分别为 2.84 m 和 5.72 m。

由于崩壁侵蚀在时空发展上的间歇性,对于崩壁侵蚀量的测量,大多采用建立径流小区或卡口站进行观测^[3],或者采用常规调查或航片结合常规调查的方法^[29],一般其时间尺度都在 1 a 以上。

张信宝^[31]尝试用斯肯普敦教授研究并提出的超压密岩土边坡失稳理论解释花岗岩风化膨胀如何影响崩壁稳定。

2 存在问题

2.1 崩岗侵蚀的主导岩土特性不明确

崩岗侵蚀的岩土特性是成因机理研究中最关注的问题,也是研究成果最多的,但是基本上都是从崩岗发育的基岩本质去分析岩土特征^[3,6,13],其分析的土样都来自从崩岗发育的剖面上^[18],或者来自崩岗发育区中因采石和公路建设开挖的出露面^[25]。通过这种取样方式分析出来的结果只能代表是花岗岩的岩土特性,而不能明确哪些是与崩岗侵蚀密切相关的花岗岩的主导岩土特征。

2.2 崩岗侵蚀的岩土特性随水分变化规律不明确

大多数的崩岗是由沟蚀发育而来,水力是崩岗形成的重要因素之一,现有的研究成果大多集中在定性分析岩土与水力作用的变化上,或是分析单因素降水上,而没有定量的研究崩岗侵蚀的岩土特性在不同水分条件下是如何变化的,如土体中孔隙水压和含水量的变化过程与土体抗剪强度的变化有什么关系,前期降雨的频率、降雨时间、雨量的大小等降雨特征与当前降雨的特征,是如何影响坡体的稳定性等等。

2.3 瞬时崩壁侵蚀量及随水分变化的规律不明确

由于采用常规调查或航片结合常规调查的方法测量崩壁的侵蚀速度(侵蚀量),其时间尺度都在 1 a 以上,目前尚未见到短时的崩壁侵蚀量的定量研究报告。如果没有解决短时崩壁侵蚀量的量测问题,就难于理清降雨入渗引起的土体含水量变化与崩壁侵蚀发育的定量关系,也难于理清岩土特性与水作用发生的变化与崩壁侵蚀的关系(即含水量与崩壁侵蚀发育的成因机理),使得崩岗侵蚀成因机理研究

难以深入。

3 展 望

以上分析表明:这些研究成果有力地推动了崩岗侵蚀成因机理的研究进展,然而由于未能明确崩岗侵蚀的主导岩土特性及其随土壤含水量变化的规律及瞬时崩壁侵蚀量,这是阐明崩岗侵蚀成因机理的重要基础数据,导致成因机理的深入研究受到限制。而要阐明崩岗侵蚀的成因机理,必须解决的核心问题有两个:一是准确定量短时段(一次降雨过程及雨后一段时间)的崩壁侵蚀量;二是设计合适的研究方法以详细分析崩岗侵蚀的主导岩土特征及其与水作用的变化规律。短时段的崩壁侵蚀量可以采用无棱镜全站仪进行测量;主导岩土特征的研究可以在研究区花岗岩发育的风化壳上,选择自然条件相似的崩岗密集区与非崩岗区有代表性的地点,通过钻探方式采集不同层次岩土体,分析比较其特性差异,总结崩岗的典型岩土特征;同时通过测定分析不同土壤含水量条件下的崩岗岩土特性的变化规律,提示崩岗的典型岩土特征与降雨的关系。为深入阐明崩岗侵蚀的成因机理,进一步丰富崩岗侵蚀理论,进行崩岗侵蚀的预测预报和采取有效的防治措施提供科学依据。

参考文献:

- [1] 王礼先,孙保平,余新晓,等.中国水利百科全书:水土保持分册[M].北京:中国水利水电出版社,2004:48-49.
- [2] 唐克丽,等.中国水土保持[M].北京:科学出版社,2004:80-82.
- [3] 阮伏水.福建省崩岗侵蚀与治理模式探讨[J].山地学报,2003,21(6):675-680.
- [4] 史德明.我国热带、亚热带地区崩岗侵蚀之剖析[J].水土保持通报,1984,4(3):32-37.
- [5] 殷祚云,李熙深.花岗岩风化壳崩岗侵蚀整治方案及效益[J].水土保持通报,1999,19(4):12-17.
- [6] 丁光敏.福建省崩岗侵蚀成因及治理模式研究[J].水土保持通报,2001,21(5):10-15.
- [7] 牛德奎.赣南山地丘陵区崩岗侵蚀阶段发育的研究[J].江西农业大学学报,1990,12(1):29-36.
- [8] 丘世钧.红土地崩岗侵蚀过程与机理[J].水土保持通报,1994,14(6):31-40.
- [9] 林明添.大田崩岗侵蚀机理与治理措施初探[J].福建水土保持,1999,11(3):21-22,33.
- [10] 林卫烈,阮伏水,何英恒,等.尤溪县联合乡滑坡崩岗成因及治理对策[J].福建水土保持,1991(1):54-56,58.
- [11] 罗旺元,陈龙江.广东省兴宁县崩岗的防治[J].福建水土保持,1991(4):45-47,52.
- [12] 钟继洪,唐淑英.南方山区花岗岩风化壳崩岗侵蚀及其防治对策[J].水土保持通报,1991,11(4):25-28.
- [13] 张淑光,钟朝章.广东省崩岗形成机理与类型[J].水土保持通报,1990,10(3):8-16.
- [14] 江金波.再论崩岗侵蚀的成因与防治:以德庆,五华两地为例[J].中国水土保持,1995(1):19-22.
- [15] 刘瑞华.华南地区崩岗侵蚀灾害及其防治[J].水文地质工程地质,2004,31(4):54-57.
- [16] 张凤洲.花岗岩红色风化壳上崩岗的治理[J].珠江水利水电信息,1993(4):28-31.
- [17] 李思平.广东省崩岗侵蚀规律和防治的研究[J].自然灾害学报,1992,1(3):68-74.
- [18] 谢建辉.德庆县崩岗治理及其防治对策[J].亚热带水土保持,2006,18(2):52-54.
- [19] 廖建文.广东省崩岗侵蚀现状与防治措施探讨[J].亚热带水土保持,2005,17(4):28-30,48.
- [20] 袁本华,周春苗.新邵县崩岗现状与防治对策[J].亚热带水土保持,2006,18(3):52-53,56.
- [21] 丘世钧.切割下坠——砂页岩地区崩岗源头墙壁后退方式之一[J].水土保持通报,1999,19(6):20-22.
- [22] 周作旺.浅析地下水对崩岗形成的作用[J].广西水利水电,2000(3):55-58.
- [23] 吴志锋,王继增.华南花岗岩风华壳的崩岗地形与土壤侵蚀关系[J].水土保持学报,2000,14(2):31-35.
- [24] 王彦华,谢先德,王春云.风化花岗岩崩岗灾害的成因机理[J].山地学报,2000,18(6):496-501.
- [25] 阮伏水.福建崩岗侵蚀机理初探[J].福建水土保持,1991(4):33-37.
- [26] 王彦华,谢先德,王春云.广东花岗岩风化剖面的物性特征[J].热带地理,2000,20(4):256-260.
- [27] 吴克刚,Dannel Clarke,Peter Dicenzo.华南花岗岩风华壳的崩岗地形与土壤侵蚀[J].中国水土保持,1989(2):2-7.
- [28] 李思平.广东崩岗形成的岩土本质[J].福建水土保持,1991(4):28-33.
- [29] 姚清尹.花岗岩裂隙构造及其对风化与岩体破坏的影响[M].北京:科学出版社,1989.
- [30] 张信宝.崩岗边坡失稳的岩石风化膨胀机理探讨[J].中国水土保持,2005(7):10-11.