

# 我国南方崩岗形成机理的研究

张淑光 蔡庆 邓岚

(广东省水利水电科学研究所·广州市·520500)

## 提 要

我国南方的崩岗主要分为水蚀型、水蚀—重力侵蚀型和重力侵蚀型三类。其形成机理,主要是径流冲刷、崩塌(滑塌)和滑坡、水蚀和重力侵蚀的相互效应。

关键词: 崩岗 水蚀 重力侵蚀

## Study on mechanism of formation of collapse of mound in south of china

Zhang Shuguang Cai Qing Deng Lan

(Institute of water conservancy and water power of Guang dong province, Guang Zhou, 520500)

### Abstract

There are three main types of collapse of mound in south of china as follows: (1) water erosion (2) water and gravitation erosion and (3) gravitational erosion. The water erosion and gravitational erosion play inter-connection and inter-promotion role during the formation of collapse of mound

**Key words** collapse of mound water erosion gravitational erosion

崩岗在我国南方分布广泛,尤以广东省崩岗数量居多,而且较为典型。崩岗来源于地面径流形成的沟状侵蚀,由沟蚀演变而成,绝大部分是大切沟(宽 $>10\text{m}$ ,深 $>10\text{m}$ ),或切沟兼并产物;滑坡的滑坡床;滑塌的滑塌面。所以,崩岗是水蚀、重力侵蚀的综合地貌形态。按土壤侵蚀营力,可以将崩岗分为水蚀型、水蚀—重力侵蚀型和重力侵蚀型。崩岗形成的机理,主要是径流冲刷、崩塌(滑塌)和滑坡、水蚀和重力侵蚀的相互效应。

## 一、径流冲刷

地面径流来源于降水,广东省位于我国南疆,地处中亚热带南缘、南亚热带和热带,降雨量多,暴雨频率大,年平均降雨量 $1500\sim 2000\text{mm}$ ,除1月份没有暴雨外其余各月都有,各地日最大降雨量超过 $100\text{mm}$ ,有些超过 $300\text{mm}$ ,甚至在 $400\text{mm}$ 。降雨形成的地面径流是造成土壤侵蚀的主要营力,且暴雨多、过程雨量大,又是造成重力侵蚀滑坡、滑塌的主要因素。降水形成了地表径流,当地表径流由漫流转变成股流的时候,就产生径流冲力。径流冲力决定于径流的流量和流速,而土壤冲刷又决定于土壤内部抗冲能力的强弱。当土壤抗冲能力小于径流冲力时,便出现侵蚀沟,由无定型的细沟发育到永久性、固定型的浅沟和切沟。据茂名市水保站测定:崩岗发育深切期和崩塌期,沟头后退速度年平均 $42\sim 50\text{cm}$ ,沟沿扩展速度年平均 $40\sim 45\text{cm}$ ,沟床下切深度年平均 $27\text{cm}$ 。

径流量和降水量有直接关系,即降雨量大,径流量也大,而径流量与土壤侵蚀又有直接关系。年

内土壤侵蚀强度的时间变化,每年雨季 4~9 月份土壤侵蚀量占全年总侵蚀量的 95%~98%,其中多雨季节 5~7 月份土壤侵蚀量占全年的 56%~65%。我们采用茂名市小良水保站,原地貌径流泥沙试验场 1983~1989 年共 7 年的资料进行分析,该试验场内有 2 个小崩岗,正处于深切期和崩塌期。试验场面积较大,每逢暴雨泥沙略有流失,所得数据偏低,但可以看得出总趋势。我们用每年产生土壤侵蚀的降雨量  $X_1$ (mm/J)、降雨强度  $X_2$ (mm/h)和土壤侵蚀量  $Y$ (kg/m<sup>2</sup>. a),建立了回归方程。

即

$$Y = b_0 X_1^{b_1} X_2^{b_2}$$

$$Y = 0.0008 X_1^{1.0059} X_2^{0.6294}$$

$$R_0 = 0.89^* \quad S_1 = 0.768 \quad R_{10} = 0.84 \quad S_2 = 0.292 \quad R_{20} = 0.48 \quad R_{12} = 0.34$$

从方程的复相关系数和偏相关系数可知,回归是达标的,标准回归系数为正值,说明崩岗侵蚀量是随降雨量与降雨强度的增大而增大, $S_1 > S_2$ 说明降雨量较降雨强度对崩岗侵蚀量的影响要大, $R_{20} = 0.48$ 比  $R_{10} = 0.84$ 小,表示降雨强度不如降雨量的关系密切。

## 二、崩塌(滑塌)和滑坡

崩塌(滑塌)和滑坡属土壤重力侵蚀,是崩岗形成和发育过程的另一主要营力。陡坡地形和径流冲刷与人为劈山削坡形成的陡壁,造成的临空面是重力侵蚀的重要原因。集中的暴雨、霪雨和河流冲刷是触发重力侵蚀的诱发因素。

崩塌是水蚀——重力侵蚀型崩岗沟头后退和沟沿扩展的主要方式。崩塌是块体位移中出现翻转现象,使块体摔得很碎。常见的崩塌现象发生在切沟或崩岗沟底径流淘蚀。集中垂直的径流冲蚀崖壁下部,淘刷崖脚,使崖壁下部侵蚀成凹形,崖壁上部土体失去平衡,由自重而沿几乎垂直的面坠落,而出现块体塌陷或崩塌(图 1-a)。不管是浅沟或者是切沟,当土壤层切穿延伸到沙土层时,均可出现径流淘蚀,发生崩塌现象;当土层未切穿时,则视沟壁的高度或沉积层出现的深度而定,但是侵蚀土壤的土壤层都很薄,尽管浅沟发育以下切为主,常常在浅沟发育阶段就伴随着淘蚀引起崩塌发生。这就十分清楚的表明,本区水力侵蚀方式和重力侵蚀过程有着紧密的联系,在浅沟发育过程中就有重力侵蚀方式在参与,特别是切沟发育阶段,沟谷两侧扩展方式主要以崩塌为主。切沟形成的沟壁和崩岗崩壁,在汇集地表水流的地形处,发生孔隙水压,从而产生崩落。崩塌的土层较浅是一种小规模

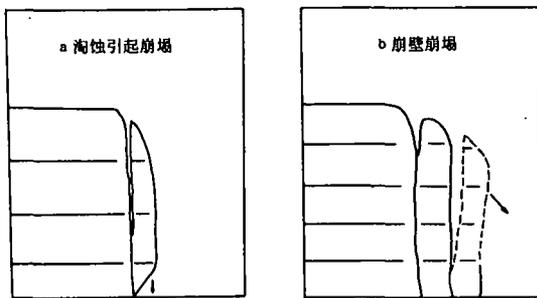


图 1-a 淘蚀引起崩塌 图 1-b 崩壁崩塌

图 1 崩塌示意图

的块体移动,但发生的次数最多。地质因素方面,基岩的节理、裂隙存在,加上集中暴雨等外因,就会发生崩塌。另外崩岗崩壁前缘失去负荷,谷坡侧压力不断递减,垂直向应力不断增大,在临空面处产生与坡面平行的减压裂隙。降雨径流沿裂隙或土体下渗水使土壤含水量增加,当土壤含水量超过毛管饱和湿度时,产生的孔隙水压和粘土矿物膨胀产生的向外力,土壤内摩擦角小,以及土体吸水增重作用等等均能增大土体切应力,降低抗剪强度而发生崩塌(图 1-b)。对于土体崩塌的机理,许多学者从土力学角度出发进行了大量研究,从而得出谷坡张裂隙和临界深度  $Z_0$  和激发谷坡块体运动的沟谷临界下切深度  $H_c$  之间的关系

$$Z_0 = \frac{2c}{r} \operatorname{tg}(45^\circ + \frac{\varphi}{2} J)$$

$$H_c = 2Z_0$$

式中:  $C$  —— 土的内聚力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ );  $\varphi$  —— 土的内摩擦角 ( $^\circ$ );  $r$  —— 土的容重 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

研究对谷坡临界下切深度和临界张裂隙深度的变化关系,对谷坡稳定性的预测预报具有重要意义。根据花岗岩形成土壤的内摩擦角和内聚力计算结果,沟谷临界下切深度  $H_c$  为 2.4m,这和我们野外调查观测,崩岗崩壁高度 2m 以上出现崩塌现象,5.5m 左右崩塌最为活跃相符。

滑塌是重力侵蚀型崩岗发生发展的一种主要方式,常见于森林破坏后,草、灌丛生的陡坡和崖壁。英德县南部 1982 年 5 月和 1983 年 6 月暴雨形成大量崩岗,如大洞区几乎达到无山不崩的程度,都是属于这一类型。丰顺县盆谷花岗岩低丘亦常见之。滑塌属于边坡表层剥落,于边坡最表层 (1~2m) 发生剥离形式的滑动塌落,是边坡调整形态与动力之间动态平衡的快速方式。高角度的谷坡或陡坡,在暴雨的诱发下容易发生滑塌,以维持边坡的形态与能量之间的平衡。滑塌的块体规模在  $50\text{m}^3$  以下(图 2)。森林破坏前土壤侵蚀微弱,土壤发育

良好,具有明显的 A、B、C 层,腐殖质层厚 30cm, (A+AB 层达 1m 以上),有机质含量 30g/kg 左右,团粒结构好,根系密集,土壤疏松,渗水性强,一般暴雨无径流产生。淀积层有明显的铁、锰胶膜和粘粒淀积,土质粘、紧实、孔隙少、透水性差。大强度降水,下渗水流至淀积层上部,往往形成了临时滞水层,土壤含水量骤增,减少了内摩擦角,产生了弧形滑塌面。库伦提出的关于土体抗剪强度最简单的公式为:

$$S = C + Qtg\varphi$$

式中:  $S$  —— 抗剪强度 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ );  $C$  —— 内聚力 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ );  $Q$  —— 法向应力;  $\varphi$  —— 内摩擦角 ( $^\circ$ ).

另外上层土壤毛细管孔隙尚未被水充分饱和的状态下,由于毛细管水的引力作用而产生的内聚力,使土壤处于稳定的平衡状态。当毛管水达到饱和状态时,不仅毛管水失去引力作用,而且失去土体的内聚力,反而产生了孔隙水压,出现向外分力,降低了土体的稳定性。加之土壤上层吸水增重,增加了土体位能,重力下沉力相对增大,当滑动力矩超过抗滑力矩时,块体便向薄弱的临空面下滑。此外降雨下渗水流到达砂土层时,土壤结持力迅速降低(自然情况下红土层  $0.862\text{kg}/\text{cm}^3$ ,砂土层  $0.08\text{kg}/\text{cm}^3$ ,碎屑层  $0.06\text{kg}/\text{cm}^3$ ),上覆土层由于重力和向前推力的双重作用下下滑,形成块状位移。为了查明在某种降雨条件下,表层土内孔隙水压的消长情况,必须推断孔隙水压前雨水初期贮留量( $S$ )以及与孔隙水压上升、下降有关系的水分特性。初期贮留量  $S$  为

$$S = (V_{w_3} - V_{w_1}) \times D$$

孔隙水压上升速度( $V_p$ )可用下式推算

$$V_p = (K_1 - K_2)/(V_{w_4} - V_{w_3})$$

式中:  $D$  —— 表层土厚度;  $K_1$ 、 $K_2$  —— 表层土和下层土的渗透系数;

$W_1$  —— 初期水分体积;  $W_3$  —— 孔隙水压发生前夕水分体积(毛管饱和含水量体积);

$W_4$  —— 孔隙水压发生后水分体积(大于毛管饱和含水量体积)。

降雨开始前表层土具有  $W_1$  的初期含水量,降雨开始后,雨水渗入表层土中。随着湿润线往下延伸,湿润线即使到达表层土的底部,孔隙水压也并不立即出现,表层含水量达到  $W_3$  时孔隙水压出现,

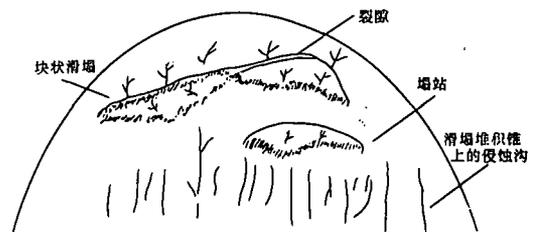


图 2 滑塌示意图

并随着土壤含水量的增加而急剧上升。花岗岩风化壳及其土壤的水分特性见表 1。

表 1 五华县花岗岩赤红壤水分物理性质

取样深度 (cm)	土容重 (g/cm <sup>3</sup> )	孔隙度 (%)	毛管饱和含水量 (%)	田间持水量 (%)	饱和含水量 (%)
0~22	1.12	57.8	48.2	17.4	56.3
22~43	1.18	55.4	44.3	17.4	51.4
43~60	1.29	51.1	38.0	17.4	45.8

滑坡是形成重力侵蚀型崩岗的另一主要形式,常见于紫金、龙川、五华等花岗岩地区。植被尚好,下部是不透水的基岩。在这不同地层接触面附近,由于地质构造和自然营力而形成的块体位移,该接触面即为滑动面,多为中、厚层滑坡,丰顺县砂页岩山区,坡麓厚层风化堆积物上发生滑坡触发泥石流的崩岗亦为常见。

由于存在着透水性显著不同的两个地层(风化壳和基岩)的接触面,降水转化为土壤渗透水,以一定的流速通过透水层,而在不透水的基岩层面滞留,形成临时滞水层。这样便形成了一个有很大孔隙水压的含水层,这种孔隙水压在透水层中引起剪切破坏,减小土体的有效应力,降低土体的抗剪强度。土粒间粘结力和摩擦力减小,沿接触面向下、向前的推力不断作用于弱抗滑段上,当剪应力超过抗剪强度时形成土层蠕变。由上可见,土体的稳定性和孔隙水压关系密切,而内在性质上决定于土壤内摩擦阻力和内聚力。内摩擦阻力的大小决定于内摩擦角的大小,当土壤含水量增加时内摩擦角减少,土壤内聚力的大小也和土壤含水量有关,当土壤含水量在塑限以上时容易发生滑塌和滑坡。花岗岩风化壳和土壤内在物理性质见表 2。而土壤不同的含水量抗剪强度不同,红土层当土壤含水量由 16% 提高到 30% 时,土壤内摩擦角减小 33%,当土壤含水量由 16% 提高到 27.6% 时,土壤内聚力降低 84%;碎屑层当土壤含水量由 17.5% 提高到 31.4% 时,土壤内摩擦角和内聚力分别减小 25.4% 和 87% (见图 3-1、图 3-2、图 3-3)。

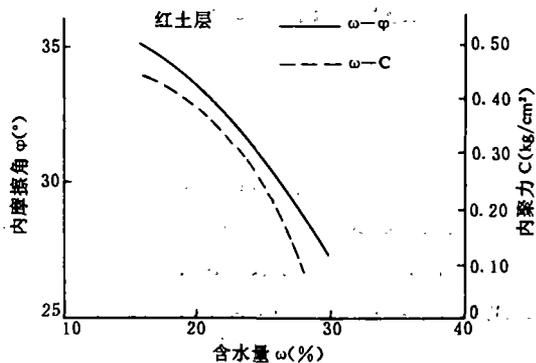


图 3-1 红土层

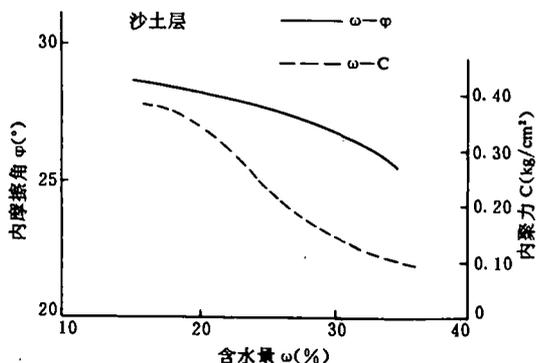


图 3-2 沙土层

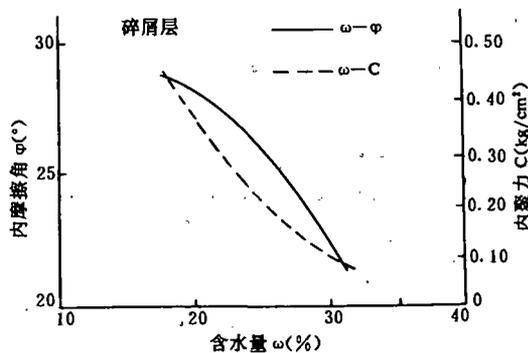


图 3-3 碎屑层

图 3 五华县花岗岩风化壳各土层不同含水量与内摩擦角和内聚力的关系

用,治理成效显著,其中棉洋河小流域综合治理得到了中央水利部的奖励。

80年代,治理、科研、开发三者相结合。做到以水土保持科研促防治水土流失,以防治水土流失促经济开发,以获取较大的生态和社会效益。

五华县水保站承担着水利部、广东省水电厅、中科院、广东省科学院的一些研究所及高等院校的水保科研任务,共有10多个项目,都取得了较好的科研成果和显著的进展。仅五华县水保站与有关科技人员编写并公开发表的论文就有20多篇,部分科研资料还提供国际泥沙研究中心作为培训讲学教材。通过这些科研活动及取得的科研成果,对该流域的综合治理开发起到了很好的指导作用,逐步协调了治理与开发的关系,不断巩固和扩大了治理的成效,促进了生产的发展和经济的振兴。而且还带动了周围地区的治理与开发工作的开展。许多科研成果获得了国务院及广东省、广州市有关部门的奖励,并授予“农村科技先进集体”称号。

五华县水保站建站40年是坚持在水土流失极其严重的乌陂河流域长期艰苦奋斗综合治理的40年,在这40年中,从中央到地方,各级领导多次亲临现场视察和指导,并给予极大的支持。我们所取得的成绩,都与各级领导的重视和支持分不开的,并得到了各级领导的赞扬和鼓励,同时还受到国际友人及专家学者的关注和赞誉。如50年代,苏联专家扎拉夫斯基实地考察后,对该流域群众性大规模治理崩山表示称赞;60年代,该流域以生物、工程措施相结合进行沟坡兼治的良好效果,吸引了越南水利考察团前来参观考察;以后的“治山、治水兼治田”,特别是改革开放以来,进一步加强责任制,开展综合治理并取得了显著的生态、经济、社会效益。慕名而来参观考察的共有12个国家,60多位专家学者。他们参观后在留言中写道:“现场考察是最好的学习课堂,五华县水保站卓有成效的工作,给我们留下了深刻的印象”,“五华县水保站做了非常出色的工作,如果把它运用到其它国家和地区,中国将会成为全世界水土保持事业上最有成就的国家”。诚然,这只是对我们过去在水土保持工作中的一些成绩的鼓励和鞭策,为了进一步巩固和扩大现有成果,逐步建成、并不断改善和优化水土保持生态系统,争取获得更显著的生态、经济和社会效益,还需要付出艰辛的劳动和做更扎实细致的工作。

(上接第46页)

表2 五华县花岗岩风化壳土壤物理性质

土层	含水量 (%)	容重 (g/cm <sup>3</sup> )		孔隙比	饱和度 (%)	土粒 比重	液限 (%)	塑限 (%)	塑性指数 (%)
		湿	干						
红土层	17.5	1.75	1.489	0.766	60.1	2.63	44.0	26.6	17.4
沙土层	18.0	1.57	1.331	0.961	48.9	2.61	38.8	20.0	18.8
碎屑层	21.6	1.67	1.373	0.903	62.3	2.62	40.5	25.5	15.00

### 三、水蚀和重力侵蚀的相互效应

水蚀和重力侵蚀作用在崩岗形成和发育过程中是相互联系,又相互促进的,而在崩岗发育的后期,却成为互相削弱和互相消失的过程。水蚀——重力侵蚀型崩岗在深切期和崩塌期,由于径流冲刷作用引起的崩塌相伴,促进侵蚀沟的沟头后退和沟沿扩展。疏松的崩塌堆积锥更有利于径流的冲刷运移,成为崩岗最大的产沙部位。而堆积锥的径流冲刷,又加高陡壁的高度,使陡壁失去支撑,促进崩塌的发生,流入沟沿裂隙的径流,也有促进崩塌作用。平衡期沟头上部的集水面积小,径流冲刷减弱,崩塌堆积锥得以保存,崩壁得到支撑保护,而崩塌减少,植被恢复,径流冲刷和崩塌逐步消失。