

乌陂河小流域降雨对土壤侵蚀的影响

钟朝章

(广东省水利水电科学研究所·广州市·510610)

卜伟文 王胜华 林新明

(广东省五华县水保站·五华县·514471)

提 要

乌陂河小流域降雨量大,土壤侵蚀营力主要为水力侵蚀。十年一遇暴雨情况下,雨滴溅蚀、地表径流冲刷的能量,即可发生严重的面蚀、沟蚀、崩岗侵蚀。从分水岭顶至80~100m的坡面地段,土壤侵蚀最严重,应成为全面管护、重点治理的地段。

关键词: 乌陂河小流域 降雨 降雨侵蚀力 土壤侵蚀

Effects of Rainfall on Soil Erosion in Wupohe Small Watershed

Zhong Chaozhang

(Institute of water Conservancy and Hydropower of Guangdong Province,

GuangZhou, Guangdong, 510610)

Bu Weiwen Wang Shenghua Lin Xinming

(Station of Soil and Water Conservation of Wuhua County, Wuhua, Guangdong, 514471)

Abstract

In Wupohe Watershed Precipitation is heavy and agent of erosion is mainly caused by water erosion, Decennially, surface erosion gully erosion and collapse of mound are caused by energy of raindrop splashing and surface runoff scouring, The dome area from the watershed to the lower part of 80 metres to 100 metres where soil erosion is badly should be the key sector to protect and to control soil erosion.

Key words Wupohe small watershed rainfall erosion force of rainfall soil erosion

一、土壤侵蚀概况

五华县乌陂河小流域,位于北纬 $24^{\circ}02'$ ~ $24^{\circ}07'$ 和东经 $115^{\circ}38'$ ~ $115^{\circ}42'$ 之间,面积 23.23km^2 ,水土流失面积 15.2km^2 ,占山地面积 81.5% ,其中面蚀 4.24km^2 ,沟蚀 5.06km^2 ,崩岗侵蚀 5.9km^2 。1984年资料,侵蚀模数 $4428\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,崩岗侵蚀模数高达 $5\sim 6$ 万 $\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,是五华县乃至广东省最严重的水土流失地区之一。

据在该小流域白石塘山西北坡面上调查,方法是以绳子圈定 $20\text{m}\times 10\text{m}$ 的样方,从分水岭顶以下 10m 起,每隔 10m ,测定侵蚀沟密度、沟宽和沟间地宽等,见表1。

据实地考察,全坡面都有面蚀现象,而沟蚀,只有在分水岭顶以下 6m 左右起才发生,侵蚀沟的条数有自上而下减少的趋势,而侵蚀沟平均面宽,是自上而下不断加宽,这是由于侵蚀沟兼并合流的结果,有的侵蚀沟发展成为深宽超过 1m 的切沟,有的已发展成深宽超过 10m 的崩岗,即面蚀、沟

蚀、崩岗侵蚀在坡面上同时存在,坡面被侵蚀得千沟万壑,支离破碎。

表 1 白石塘山坡面土壤侵蚀情况调查

距分水岭顶 距 离 (m)	侵蚀沟 条 数 (条)	侵蚀沟 密 度 (条/100m)	侵蚀沟 宽 度 (m)	沟间地 宽 度 (m)	沟宽与沟间 地宽比值	侵蚀沟 密 度 频 率
10	13	65	2.92	17.08	1 : 5.85	0.128
20	14	70	3.84	16.16	1 : 4.21	0.138
30	14	70	3.90	16.10	1 : 4.13	0.138
40	13	65	4.20	15.80	1 : 3.76	0.128
50	9	45	4.50	15.50	1 : 3.44	0.089
60	10	50	5.26	14.74	1 : 2.80	0.099
70	10	50	4.35	15.65	1 : 3.60	0.099
80	8	40	3.66	16.34	1 : 4.46	0.079
90	5	25	2.59	17.41	1 : 6.72	0.049
100	5	25	2.09	17.91	1 : 8.57	0.049
平均	10.1	50.5	3.73	16.27	1 : 4.36	

造成严重水土流失的原因是多方面的,在该流域,可以说,土壤侵蚀主要是降雨侵蚀力与土壤可蚀性的函数。很明显,只有降雨侵蚀力大于土壤抗蚀力,才有可能发生土壤侵蚀。为此,我们就乌陂河流域降雨对土壤侵蚀的影响进行分析。

二、降雨侵蚀力

据以五华县 1961~1983 年的降雨资料进行排频,求得十年一遇年降雨量 1 650.7mm,十年一遇(下同)24h 最大雨量 315.4mm,60min 最大雨强 132.5mm,30min 最大雨强 81.4mm,10min 最大雨强 54.8mm。

降雨侵蚀力,是降雨雨滴对土壤的击溅分散和地表径流对土壤的分离、割切冲刷、挟带运移作的用。分两点叙述如下:

(一)雨滴溅蚀

暴雨的雨滴直径相对较大,贝斯特研究,雨滴大小,可表达为: $D_{50} = aI^b$, 并据实验,求得不同情况下的 a 、 b 值,其中之一为:

$$D_{50} = 2.32I_{10}^{0.18} \quad (1)$$

式中: D_{50} ——雨滴中数直径 (mm); I_{10} ——10min 最大雨强。

代入(1)式得十年一遇暴雨情况,雨滴直径为 4.77mm,设雨滴为球体,它的体积为:

$S_0 = \frac{\pi}{6}D^3 = 0.057\text{cm}^3$, 其下落速度,埃利森研究为 9.1m/s,那么每滴雨滴对土壤表面的打击能量为:

$$E_0 = \frac{1}{2}mv_0^2 = r_w S_0 V_0^2 / 2g \quad (2)$$

式中: m ——雨滴质量; r_w ——水密度; v_0 ——雨滴下落终速; g ——重力加速。

代入(2)式,求得每滴雨滴对土壤的打击能量: $E_0 = 16.5 \text{gcm}^2/\text{s}^2$, 弗里研究,雨滴溅蚀量与其动能成正比:

$$\text{砂土溅蚀量} \propto E_0^{0.9} \quad (3)$$

$$\text{壤土溅蚀量} \propto E_0^{1.46} \quad (4)$$

比萨尔(BisaL)关于雨滴对土壤的击溅分散量有如下关系:

$$G = KDV_0^{1.4} \quad (5)$$

式中: k ——比例系数。5~8月 $k = 0.017$; 9~4月 $k = 0.0031$ 。代入(5)式中,十年一遇暴雨情况下,雨滴对土壤的击溅量: $G = 0.03 \sim 0.178 \text{g}/\text{m}^2$, 相当 $33.0 \sim 178.0 \text{t}/\text{km}^2$ 。但是若有植被覆盖,或者地表径流深度超过雨滴直径3倍时,雨滴的溅蚀作用,将受到抑制而减弱。

(二)地表径流侵蚀和输移作用

雨滴对土壤具有侵蚀作用,而输移作用很弱或无,但地表径流兼而有之,现以小流域白石塘山为例,进行分析。

该山的坡长 $L = 180 \text{m}$, 平均坡度 $\alpha = 35^\circ$, 相对高程 $H = L \cdot \sin\alpha = 103.0 \text{m}$, 属中低丘,花岗岩风化发育而形成的赤红壤。分水岭顶光秃,坡面植被已逆向演替为稀疏松树的亚热带草坡,远观沟蚀最醒目。十年一遇暴雨侵蚀力情况如下。

1. 径流流速。按曼宁流速公式:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (6)$$

式中: v ——地表径流流速; n ——曼宁公式中的糙率,取值 $n = 0.05$;

R ——水力半径,因坡面很宽,水力半径近似径流深; S ——水力坡降。

代入(6)式,求得径流流速 $v = 2.56 \text{m}/\text{s}$ 。

2. 径流量。径流量计算公式很多,粗略近似:

$$q = CIA/t \quad (7)$$

$$\text{或 } q = \frac{1}{n} \sin\alpha^{0.95} R^{2.07} \quad (8)$$

式中: q ——径流量; C ——径流系数,取值 $C = 0.55$; I ——雨强; A ——计算面积; t ——历时。

代入(7)式,求得单宽流量 $q = 0.036 \text{m}^3/\text{s}$; 代入(8)式,求得 $q = 0.035 \text{m}^3/\text{s}$, 径流流速、流量与土壤侵蚀量、泥沙输移率均成正比关系。

3. 集流时间。柯皮切(kirpich)研究,集流时间与坡度、坡长关系,可表达为:

$$T = 0.20L^{0.77}S^{-0.385} \quad (9)$$

本例 $T = 12.5 \text{min}$, 这意味着,十年一遇暴雨情况下,降雨 12.5min , 即有泥沙被径流挟带到山脚。

4. 地表径流的切应力。威斯奇迈尔研究,土壤分离量与径流拖泻应力成正比: $G \propto (\tau - \tau_0)^n$, 而杜波依斯有关公式为 $q_s = a(\tau - \tau_0)^b$, 式中 a, b, n 为经验系数, τ ——切应力; τ_0 ——临界切应力,它们与水力半径,水力坡降等有关,可表达如下:

$$\tau = r_w g R S \quad (10)$$

$$\tau_0 = 0.75r_w R \sin \alpha \quad (11)$$

代入式, $\tau = 0.4 \text{ kgf/m}^2$, $\tau_0 = 0.026 \text{ kgf/m}^2$, 十年一遇暴雨情况下, $\tau \gg \tau_0$, 地表径流导致土壤被冲刷侵蚀, 是不可避免的。

5. 土粒起动临界。马维斯(Mavis)研究, 不同粒级的土粒的临界起动流速可表达为:

$$V_0 = D_0^{4/9} (r_s - 1)^{1/2} \quad (12)$$

式中: D_0 ——土粒直径; r_s ——土粒比重, 取值 2.65, 从上式可见, 土粒越小, 临界起动流速越小, 前面已计算地表径流流速为 2.65m/s, 足可将小于 5mm 的土粒起动运移。

6. 地表径流总侵蚀能量。关于降雨侵蚀能量指标, 常见的有威斯奇迈尔的 EI_{30} , 哈德逊的 $KE > 25$ 等, 按江忠善降雨动能公式如下:

$$E = 7.29 + 11.5 \log I_{30} \quad (13)$$

式中: E ——降雨动能 $J/(m^2 \cdot mm)$, 即 1mm 降雨量, 在 $1m^2$ 土地面积上产生的能量(J); I_{30} ——为 30min 雨强, 十年一遇 30min 最大雨强 81.4mm/30min, 代入(13)式 $E = 29.4 J/(m^2 \cdot mm)$, 则 $EI_{30} = 2393.2 J/m^2$; $KE > 25$, 是指降雨量 $> 25mm$ 的能量, 这里 $KE > 25 = 29.4 J/m^2$ 。

而地表径流总侵蚀能量, 是降雨动能和位能之和, 可表达为:

$$E = r_w q v^2 / 2g + r_w q L \sin \alpha \quad (14)$$

公式符号意义同上。可见侵蚀能量与地表径流流量、流速及坡度、坡长等有关, 代入(14)式, 求得十年一遇 24h 最大雨强的地表径流总侵蚀能量 $E = 3728.8 \text{ kgm}^2/s^2$, 相当 3728.8J。可见十年一遇暴雨所产生的侵蚀能量相当大。

摩根关于溅蚀输移量的公式如下:

$$A = KKE^{0.84} S^{2.3} \quad (15)$$

式中: A ——溅蚀输移量 g/m^2 , 它与 $KE > 25$ 指标和 S 成正比; K ——比例系数, 取值同(5)式, 代入(15)式 $A = 23.0 \sim 128.0 t/km^2$, 而地表径流总侵蚀能量大, 故其相应输移量大得多, 可表达如下:

$$Q_c = 8554.0 q^{1.8} \sin^{1.13} S \sin^{-0.15} d_{35}^{-1} \quad (16)$$

式中: Q_c ——径流侵蚀输移量 g/m^2 ; d_{35} ——35%, 比表土颗粒还小的颗粒粒径, 代入(16)式 $Q_c = 4933.0 t/km^2$ 。

三、面蚀、沟蚀、崩岗侵蚀

(一)面蚀 面蚀占总侵蚀面积 30.0%, 雨滴溅蚀和降雨发生层流侵蚀, 是面蚀的主要原因, 在平缓的坡面上亦可发生, 是一种不太引人注意而又严重导致土壤肥力下降的侵蚀形式, 它使土壤腐殖质层养分和盐基离子淋失。据苏联学者研究, 面蚀强度, 依降雨强度, 土壤理化性质不同, 侵蚀模数可达 $150 \sim 2220 t/km^2$, 据测定土壤养分流失, 钾元素(K_2O) $3.0 \sim 44.1 t/km^2$, 磷元素(P_2O_5) $0.15 \sim 2.22 t/km^2$, 氮元素(N) $0.3 \sim 4.44 t/km^2$ 。耕地面蚀的养分流失量则更大。

(二)沟蚀 随着降雨量增加, 不但有面蚀, 同时会发生沟蚀。沟蚀是否发生, 取决于弗劳德数(Fr), 当 $Fr > 1 \sim 2$, 即有细沟或切沟发生:

$$Fr = v / (g \cdot R)^{1/2} \quad (17)$$

公式符号意义同上。代入(17)式。求得 $Fr = 3.34$, 可见十年一遇暴雨情况下, 不可避免发生沟蚀现象。由表 1 表明: 在分水岭顶以下 $10 \sim 100m$ 之间的坡面地段, 沟蚀最活跃, 侵蚀沟密度 $65 \sim 70$ 条/100m, 在山坡 100m 以下至山脚地段, 侵蚀沟条数变少, 仅为 25 条/100m。

由于任何一个平坦的坡面, 总具有抗蚀力较弱, 造成地表径流集中为股流的地方, 股流轨迹, 是径流对土壤割切冲刷运移的结果, 反复进行即形成细沟和切沟。如果沟道某处形成跌水, 即可能

发生沟头后退冲蚀, 据加拿大 Stocking 研究, 沟头后退侵蚀公式:

$$Y \cong P^{1.34} A^{1.00} H^{0.52} \quad (18)$$

式中: Y ——沟头后退侵蚀速率 (m); P ——总降雨量; A ——沟头前集水面积;
 H ——沟头侵蚀高度。十年一遇暴雨和原有沟头高 0.5 m 的情况下, 一年内沟头后退侵蚀可达 6~13.8m, 关于切沟, 活动期发育面积的增长, 比尔公式为:

$$A_c \cong 81.41 Ri^{0.0982} At^{-0.044} Lg^{0.7954} Lw^{-0.2473} e^{-0.014 \Delta P} \quad (19)$$

式中: A_c ——沟道增长面积 (m²); Ri ——径流深 (m); At ——梯田面积 (m²);
 Lg ——原有切沟长; Lw ——自切沟末端至分水岭长 (m); e ——自然对数的底;

ΔP ——年降雨量与多年平均降雨量的比值。忽略 At 项, 设在分水岭顶以下 10 m 的坡面有一切沟长 10m, 代入式, 其沟蚀年增长扩大面积可达 232.8m², 可见沟蚀强度比面蚀强得多。

(三) 崩岗侵蚀 崩岗侵蚀, 是比沟蚀更为严重的侵蚀形式。关于崩岗侵蚀, 有两种情况: 其一是连绵霪雨, 继之降暴雨, 会突然崩山而形成新的崩岗, 如 1986 年 7 号强台风, 五华县局部地方, 三天连续降雨 1 097.6mm, 使水土流失面积和崩岗个数倍增, 这是因为连续降雨, 而且雨量大, 使土壤过饱和, 导致土体内断裂形成了滑动面, 于是发生滑坡、崩塌、剥落、泻溜等大块体移动; 其二, 崩岗形成, 是由于侵蚀沟不断扩大和兼并合流的结果。

当径流轨迹形成沟头跌水之后, 水流跌落之处, 能量很大, 并形成涡流, 这是旋转的质点群, 有两种破坏力: 一是质点群本身的重力; 二是作旋转运动所产生的离心力。使沟头被侧向淘蚀和下切, 使沟岸端墙更高更陡, 当超过临界高度值, 即有可能崩塌下来而形成更大的崩岗。据 Talor 研究, 沟岸安全临界高度公式如下:

$$H_c = N_c c / r_d \quad (20)$$

式中: H_c ——临界高度 (m); N_c ——依崩壁倾角和土壤内摩擦角而定的数; c ——土壤内聚力。当土壤容重 $r_d = 1.313t/m^3$, 含水量 35.8%, 以不排水不固结抗剪强度试验, 测得土壤内聚力 $c = 0.4t/m^2$, 内摩擦角 $\varphi = 20.7^\circ$, 代入 (20) 式, 求得崩壁安全临界高度如表 2。

由表 2 表明: 崩壁倾角越大, 安全临界高度越小, 即崩塌可能性越大, 活动期的崩岗, 在降雨期间, 极易崩塌下来。据 Stocking 研究, 沟壑端墙后退侵蚀量可表达为:

$$Q_r = 0.016 \cdot 3A^{1.63} \quad (21)$$

式中: Q_r ——后退侵蚀量 (kg/m²); A ——原活动期沟壑面积 (m²); 假设一个 1ha 大小的活动期崩岗, 其后退侵蚀量可达 34 100t/km², 当地有许多崩岗, 已后退溯源侵蚀至分水岭。

在崩岗体内倾角 $< 53^\circ$ 至沟床的坡面, 是承接崩壁突然崩塌下来的大量泥沙的处所, 是一个极不稳定的松散的冲积锥, 其稳定的安息角临界公式为: 土壤干燥时,

$$\theta = \varphi \quad (22)$$

降雨入渗土壤饱和时,

$$\theta = (r_d - r_w) / r_d \cdot \varphi \quad (23)$$

式中: θ ——冲积锥安息角, 其它符号意义同上。据计算, 土壤干燥时 $\theta = 24^\circ 42'$, 降雨入渗土壤饱和

表 2 崩壁安全临界高度 (m)

崩壁倾角 (°)	N_c	H_c
53	11.4	3.5
60	10.4	3.2
70	8.4	2.6
80	7.0	2.1
90	5.5	1.7

时 $\theta = 4^{\circ}46'$ 。可见,土壤干燥时,崩体内的冲积锥相对较稳定,一旦降雨,土壤过饱和,极易发生泻溜、滑塌而造成大量泥沙下泻,并将为径流所挟带,冲出崩岗口,危害极大。

四、结 语

1. 广东省南临浩翰的太平洋,终年受海洋性气候影响,是全国多雨省份。据统计,五华县十年一遇年雨量 1 650.7mm,十年一遇 24h 最大降雨量 315.4mm/d。因此,土壤侵蚀营力,在当地主要是水力侵蚀,崩岗是重力侵蚀类型,但归根结底,是降雨侵蚀力引起的。

2. 十年一遇暴雨情况下,每滴雨滴对土壤的打击力量达 $16.5\text{gcm}^2/\text{s}^2$,地表径流总侵蚀能量达 $3\,729\text{kgm}^2/\text{s}^2$, (相当 3 729J),径流切应力大大超过临界切应力,径流流速,亦大大超过土粒起动流速,无疑会发生面蚀、沟蚀和崩岗侵蚀现象,新的水土流失亦不可避免。

3. 据考察,一个山坡坡面,最严重侵蚀地段,是分水岭顶以下 10~80m 地段,80~100m 起到山脚地段,侵蚀现象相对较轻,在这一地段上,可发现侵蚀沟断头,条数减少,并且沟间地有落淤现象,植被的长势、覆盖度亦较好。因此,治理水土流失的重点地段,应当是分水岭及由分水岭顶起至 80~100m 的地段。而水土流失的治理战略,必须要以雨滴击溅,径流对土壤颗粒的分离冲刷运移机理为依据,因此,水土保持的战略措施,主要是防止土壤遭受雨滴打击和对地表径流实施拦截、分散、延缓、消化(增加入渗量)以减缓其侵蚀力为目标。

(上接第 54 页)

二、经济效益

水土保持是保护开发利用水土资源,改变山区山光、地瘦、人贫,使山区人民脱贫致富的一项伟大社会工程。小流域治理要实行全面规划,山、水、田、林综合治理,提高综合效益,过去搞水土保持主要强调蓄水拦沙,而忽视了开发致富,致使水土保持成果无法巩固。近年来强调水土保持要从提高生态效益、经济效益和社会效益三个方面考虑。乌陂河小流域在治理措施上,由单纯的防护性治理,转变为开发性治理,根据自然条件有计划的改造自然,合理开发利用,以生态效益为前提,以经济效益为核心,提高农业生产,使当地人民尽快脱贫致富,调动了山区广大干部群众的积极性,水土保持得到了不断发展,巩固了水土保持成果。首先治山、修梯田、堵崩口、植树种草、封山育林、建立林场、山麓沙渍地种果树,发展商品经济,目前种植的沙田柚、荔枝、龙眼、黄皮、柿子、柑橙等果品年产值已达 8 万余元。其次是改水,固定河床,截弯取直,河床比降加大,提高了河流泄洪输沙能力,变河床淤积为河床冲刷,河床下降 0.2~1.2m,由地面河变成了地下河,使河流两岸 440 亩落河田,变成了高产的爽水田,水稻亩产由 200~300kg,提高到 500~800kg,同时增加了灌溉水源,提高了抗旱能力,1992 年是五华县历史上最干旱的一年,比历史上大旱的 1941 年旱情还要严重,但乌陂河小流域没有受到干旱的威胁,获得了粮食丰收。

乌陂河小流域水土保持综合治理,恢复耕地 372 亩,保护耕地 2 840 亩,粮食总产由 1981 年 110.1 万 kg,增加到 1990 年 116.4 万 kg,工农业总产值 1981 年 182.6 万元,1990 年达到 865.5 万元,增长 78.9%,人均年收入由 1981 年的 58.2 元,增加到 1990 年的 805.3 元,粮食总产量增长 5.4%,人均收入增长 92.8%,农业稳产高产,人民生活水平显著提高。