

# 黄土地区重力侵蚀的机理及预报

曹 银 真

(中国科学院地理研究所)

黄土地区的最主要侵蚀方式是流水侵蚀和重力侵蚀。据研究,分水岭附近的崩顶侵蚀模数为247吨/平方公里,崩坡侵蚀模数为13,800吨/平方公里,崩边线以下的沟谷侵蚀模数为21,100吨/平方公里。而崩边线以下的地形复杂,有 $35^\circ$ 以上的陡坡,又有 $50^\circ$ 以上的悬崖,泥沙主要来自这类地区重力侵蚀,从小型的土块崩落到大型的滑坡都非常活跃。

## 一、重力侵蚀的主要方式

黄土地区重力侵蚀主要有滑坍、崩坍和壅坍三种形式。

(一) **滑坍**。这是一种规模较大的侵蚀方式,多发生在坡度在 $35^\circ$ — $55^\circ$ 、沟谷相对高差较大的地方,主要分布于冲沟的中、下游和河谷的两岸。从动力条件看,主要是沟水的底切作用和黄土中地下水的下渗,使谷坡变陡,粘滞力降低,以致于失去平衡,使整块土体突然滑动。无论从平面或从剖面上看,其滑动面均呈弧形,并在剖面上多呈迭瓦状。规模较大的滑坍体可堵塞沟道,截断水流,形成天然水库,当地群众称为“聚淤”。滑坍从其规模大小和滑面深度又可分为巨型滑坍(深层滑坍)、中型滑坍(中层滑坍)和小型滑坍(浅层滑坍)三种主要类型。

1、巨型滑坍多沿三迭系煤系地层或某一层泥岩夹层面滑动,滑动面多受基岩地形的控制。滑坍体规模大,数量多,往往连续滑坍,成群出现,形成滑坡阶地。滑坍体地形较平缓。

2、中型滑坍多沿上新世三趾马红土层与基岩接触面滑动,滑动面受基岩古地形的控制。滑坍体一般比前者小,但多而成群出现,往往在沟壁上形成滑坡裙。

3、小型滑坍主要发生在第四纪堆积的黄土内部,滑坍体规模小,分布广而多。特别在冲沟的中、上游,这类滑动最为普遍。

(二) **崩坍**。这种崩坍多发生在 $55^\circ$ 以上的悬崖上,在冲沟和河谷两岸及冲沟沟头最为普遍。崩坍所造成的地貌现象是上部为直立的陡壁,下部是 $35^\circ$ 左右的自然堆积坡(图1)。当沟水冲刷搬运下部堆积物时,上部陡壁再次失去平衡,发生崩

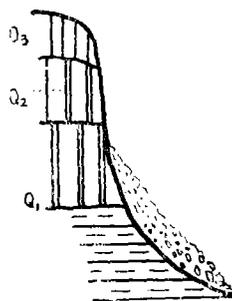


图1 黄土地区的谷壁结构

塌。崩塌的方式往往成块体倾倒，崩塌的频率很高，是重力作用中最普遍的方式。

(三) 挫塌。这是崩塌与滑塌之间的一种过渡类型。主要是由于沟水的底切作用，使上部土体失去平衡，便沿垂直节理整体挫塌，堆在坡角。挫塌体不像崩塌体那么零乱。挫塌体的规模、形成的自然地形和出现的频率均居于滑塌与崩塌之间。

黄土区谷坡的变形破坏，是随时都可以发生的，但主要出现在降雨时期，特别是降雨的后期阶段。在黄土区谷坡一般都较陡峻，沟床比降也很大，同时降雨多集中在7—9月内，常以暴雨形式出现，在沟道中形成洪流，冲刷坡角堆积物，形成临空面；另外由于上部地下水的渗透，其渗透力由坡内向沟道方向作用，使沟壁侧压力大大减小；更重要的是由于降雨，使地下水位抬升，溶解黄土土粒间的胶结物中的Ca、Mg离子，使黄土的粘滞力C值大大降低。可见一次降雨使三种作用同时作用于谷坡，使谷坡失去稳定达到极限平衡，发生破坏。因此在这个时期是谷坡变形破坏强度最大的时期。

## 二、谷坡变形破坏的机理

在黄土地区，谷坡产生各种不同方式的变形破坏，其原因：首先是黄土的强度，即黄土的物理力学性质；第二是影响重力作用的触发因素，即连绵的降雨、水流的底切和地下水的渗透等作用。

### (一) 弧形滑动的机理

我们首先从谷坡上土粒受力平衡的关系进行探讨(图2)。斜坡上的土粒在重力W的作用下，产生平行于坡向的分力 $\tau$ 和垂直于斜坡方向的分力S，有如下关系：

$$\tau = W \sin \theta \dots \dots \dots (1)$$

$$\tau_r = W \cos \theta \tan \varphi \dots \dots \dots (2)$$

式中 $\tau$ 为土粒下滑力， $\tau_r$ 为土粒的阻力，W为土粒重量， $\theta$ 为坡角， $\varphi$ 为黄土的内摩擦角。

从上式可知，坡度 $\theta$ 越大，下滑力 $\tau$ 越大，相应的 $\tau_r$ 越小，所以当坡角 $\theta$ 达一定值时，土粒便开始滑动，出现不稳定现象。对于土体的滑动，我们采用二维的单位土柱法来进行稳定性分析(图3)。

单位土柱分析一般是在滑动面以上取一单位宽的土柱，进行平面分析，也叫条分法。这一分析是假设：1、滑动面在地下一定深度处，并呈圆弧形；2、沿坡面的土层是均质分布的；3、忽略土柱的端点压力和侧向压力的影响。实践证明，单

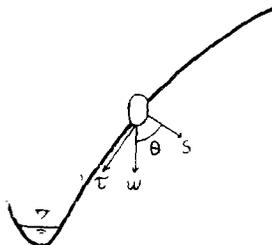


图2 斜坡上土粒受力的关系

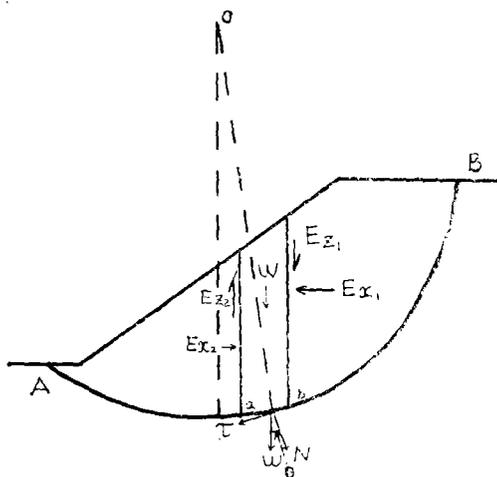


图3 弧形滑动稳定性分析

一土柱的稳定性分析，能够很好地代表整个斜坡的稳定性分析（公式从略）

当滑动面上土体的抗剪强度 $\tau_r$ 与切应力 $\tau$ 之比的关系为：

$\frac{\tau_r}{\tau} > 1$  时，谷坡处于稳定状态；

$\frac{\tau_r}{\tau} < 1$  时，谷坡已破坏；

$\frac{\tau_r}{\tau} = 1$  时，谷坡处于极限平衡状态。

谷坡是否稳定，完全取决于坡地上的剪切应力和抗剪强度之间的相互转换；当沟水掏蚀坡角或降雨下渗时，都能增大土体的切应力，降低抗剪强度；当剪切力和抗剪力达极限平衡时，土体便发生破裂滑动。

### （二）块体崩塌的机理

在黄土丘陵沟壑区，崩边线以下，沟谷的沟头，往往是一直立的陡壁，然后为 $30-40^\circ$ 的急斜倾向沟床（图4）。在这类地带，重力崩塌作用占绝对优势，崩塌量大而频繁。对于崩塌的作用过程我们作下面分析：

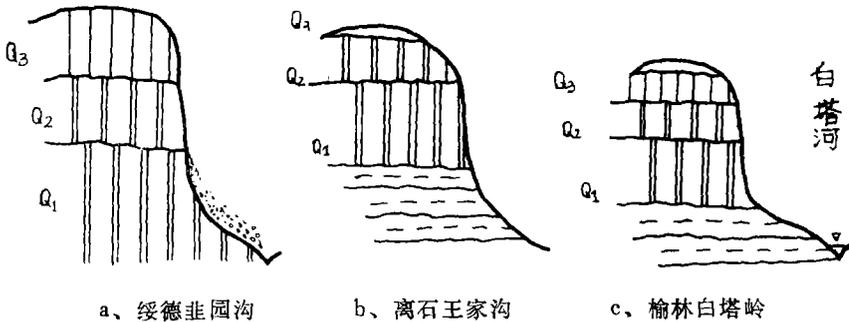


图4 黄土丘陵地区悬谷结构

- 1、设坡地上的土层是均匀分布的；
- 2、陡壁顶面近于水平，即 $\theta \approx 0$ ；
- 3、可能破裂面通过坡角且与水平面的夹角为 $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ 。在这样的条件下，当沟水

下切时，谷坡侧压力不断递减，垂直应力不断增大。在这一阶段，谷坡物质仍处于弹性变形中，弹性变量和引起变形的应力成正比关系，其变形符合虎克定律，即：

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \dots\dots (3)$$

式中： $\sigma$ 为正应力； $\varepsilon$ 为相对变形量； $E$ 为杨氏模量，可通过实验求得，它表示物质变形的难易程度， $E$ 越大，变形越大。

当沟水下切到一定深度（临界深度）时，谷坡顶部的物质首先达到极限平衡状态，产生平行于临空面的裂隙（图5）。当沟水进一步下切或其它作用的影响，使切应力 $\tau$

值增大,抗剪强度 $\tau_f$ 减小,便使整个谷坡达到极限平衡状态。即, $\frac{\tau_f}{\tau} = 1$ ,应变与应力关系不再符合虎克定律,这时张裂隙深度为(图6):

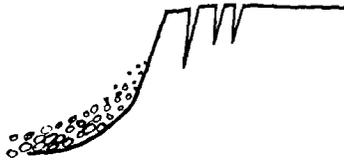


图5 沟水下切谷坡处于极限平衡

$$\text{则 } Z_0 = \frac{2c}{\gamma} \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad \dots\dots (4)$$

式中:  $Z_0$ ——张裂隙深度;

$c$ ——为黄土的粘滞力;

$\gamma$ ——为黄土的天然容重。

说明坡顶最上部 $Z_0$ 厚的土层,侧压力为负值,是张力带所在区,当沟水下切到极限深度时,就会在坡顶张力带中产生张裂隙,使谷坡崩塌。张裂隙的深度取决于物质强度和下切深度的关系,可通过这一关系来建立黄土区重力崩塌的预报方程式。

设临界切割深度为 $H_c'$ ,可能破裂面与水平面的夹角为 $45^\circ + \frac{\varphi}{2}$ (图7),进行二维分析,从图7得:

$$H_c' = \frac{4c}{\gamma} \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) - Z_0 \quad \dots\dots (5)$$

在张裂隙 $Z_0 = 0$ 的情况下,

$$H_c' = \frac{4c}{\gamma} \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) \quad \dots\dots (6)$$

黄土的物理力学性质取决于黄土的组成物质。据研究,西北黄土有从西北向东南逐渐变细的趋势。黄土的物理力学性质随之发生有规律的变化。若黄土的力学性质按下表资料选择,分别代入(4)式可求得不同地带、不同性质的黄土条件下的临界张裂隙深度为:

第Ⅰ带:  $Z_0 = 0.104 - 0.296$ 米;

第Ⅱ带:  $Z_0 = 0.144 - 1.235$ 米;

第Ⅲ带:  $Z_0 = 0.261 - 1.060$ 米。

同样再由(6)式算得相应临界切割深度 $H_c'$ 的值为:

第Ⅰ带:  $0.207 - 0.591$ 米;

第Ⅱ带:  $0.288 - 2.470$ 米;

第Ⅲ带:  $0.522 - 2.120$ 米。

从上述结果显然看出,临界切割深度是张裂隙深度的2倍,张裂隙的深度是临界切

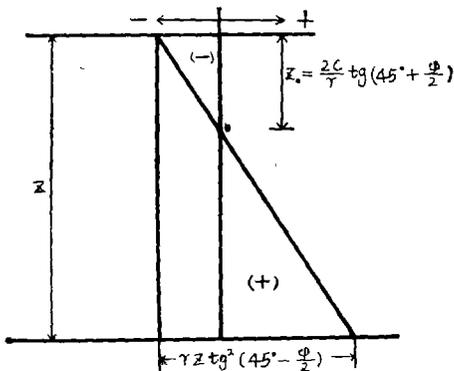


图6 土压力与深度的关系

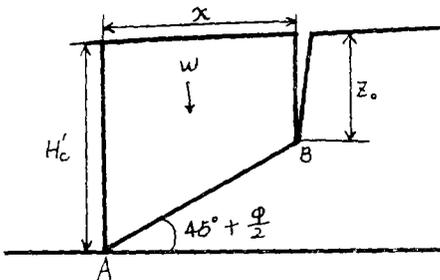


图7 张裂隙深度与临界切割深度的关系

# 从江西兴国县的水土流失谈我国南方的水土保持问题

史德明 杨艳生 黄心唐

(中国科学院南京土壤研究所)

(江西兴国县水土保持办公室)

## 一、水土流失现状及其危害

江西兴国县在第二次国内革命战争时期,被誉为苏区的模范县,对我国革命作出了巨大的贡献。解放后,在各个经济领域中已取得了较大的进展。但长期来,由于水土流失严重,影响了农村经济的迅速发展,至今仍属于江西老革命根据地的特别困难区。

兴国县水土流失之烈、面积之广、为害之大,在我国南方红壤区是罕见的。据1980年调查,全县水土流失面积达284.86万亩,占土地总面积的59%,占山地面积的84.78%。其中强度流失面积约100万亩,为总流失面积的35.24%;而无明显流失面积仅51万亩,约占山地面积的15.22%。水土流失不断蚕食土地,沟蚀面积已达106万亩,占流失面积的37.36%,使地面变得沟壑纵横,支离破

割深度的一半。即:

$$H_0' = 2 Z_0 \quad \text{或} \quad Z_0 = \frac{1}{2} H_0' \quad \dots\dots (7)$$

我们可借助于这一结果,来对黄土区重力崩塌作用进行预报,估计崩塌的时间。

## 三、结 束 语

黄土地区的谷坡变形破坏取决于黄土的物质成份和各种触发作用。它的形成机理是很复杂的,在进行预报时应全面地分析组成谷坡物质的物理力学特性及其各种触发因素,然后可参考上述表达式进行预报。

应该注意的是,我们在建立(4)、(6)两关系式时,是在均质土体的假定基础上来考虑的。但黄土区黄土中往往下伏有软弱结构面,在这种情况下进行预报时,视不同情节,应适当减少 $H_0'$ 和 $Z_0$ 值。