

黄土地区梁峁坡的坡地特征与土壤侵蚀^{*}

曹 银 真

(中国科学院地理研究所)

提 要

本文指出黄土地区梁峁坡的坡角主要分布在 14° — 28° 之间,特征坡角的上限相当于黄土的内摩擦角,下限相当于内摩擦角的0.45倍。黄土地区的坡地形态可分为直形坡、凸形坡、凹形坡、复合形坡和阶梯形坡等五种类型。土壤侵蚀主要受坡地形态和坡度的控制,侵蚀量随着坡度的增大而增加,坡度大于 15° 时,侵蚀量突增,坡面冲刷加剧, 26° 达极大值,此后冲刷作用减弱,重力侵蚀逐渐显著,至 45° 侵蚀达到最大值,以后又趋减弱。

地球表面几乎都是由面积不等,坡形、坡度和坡向不同,组成物质各异的坡地单元所组成。这些坡地始终受着不同组合的外动力的共同作用。而不同物质(包括物质成份及结构构造)组成的坡地又各有不同的抗蚀强度,使得坡地的形态非常复杂。一方面,坡地物质的不同运动形式造成了不同的坡面特征;另一方面,不同的坡地地貌形态在一定程度上制约着坡地的发生和发展方式。所以任一坡段的剖面形态特征都有特定的形成过程和内在机理。研究坡地形态特征及其成因机制不但在理论上可帮助了解坡地的发育演化过程,而且在生产上可进一步探讨坡面上的土壤流失规律,对农业生产及土壤保持规划提供科学依据。

一、梁、峁坡的特征坡度

坡度是反映地表形态特征的主要参数。而特征坡度就是某一地区在特定的岩性构造和气候条件下,分布最广泛的一类坡度^[1]。黄土地区的坡地形态复杂多样,坡面形态特征各不相同,下面就崩边线以上的坡面特征作一分析。

我们采用一万分之一的地形图上选择剖面线进行量算。即,在此剖面线上按等高距分段,从图上量计其水平距离,算出该段的斜率,以求得各小段的坡角。然后统计各种不同剖面上不同坡角出现的频率。所量计的延安地区的各剖面中,其坡度特征很相似,几个典型剖面的坡度分布频率见图1。由图知这些剖面的坡度主要分布在 6° — 32° 之间,令人感兴趣的是坡度群集在 14° — 28° 之间,一般都占75%以上。坡度分布频率的峰值点在 15° 左右。

本文1982年4月16日收到,1983年1月12日收到修改稿。

^{*} 本文承罗来兴先生、陆中臣、陈永宗同志提出修正意见,任鸿林同志帮助清绘图件,一并表示感谢。

绥德诸剖面的坡度特征(图2)与延安地区的情况很相似。坡度分布频率仍群集在 $14\sim 28^\circ$ 之间,一般占65%以上,峰值点在 15° 左右。

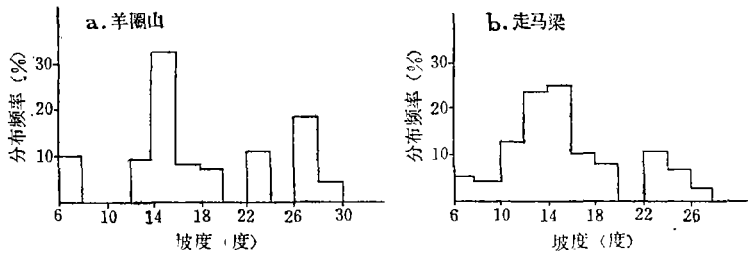


图 1 延安地区梁峁坡的坡度分布频率

Fig. 1 The frequency distribution of angles of loess ridge and hill slope in the Yan An region. a. Yangquanshan, b. Zoumaliang

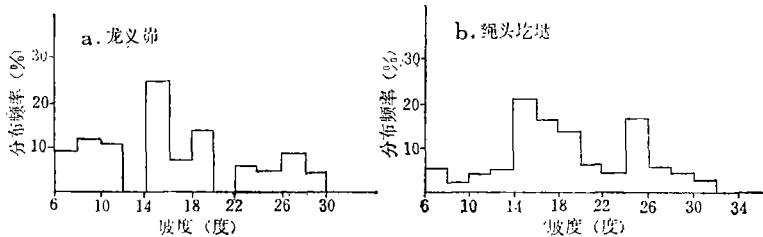


图 2 绥德地区梁峁坡的坡度分布频率

Fig. 2 The frequency distribution of angles of loess ridge and hill slope in the Suide region. a. Longyi mao, b. Shengtougeda

M·A·喀尔生(carson)依土力学和岩石力学原理推得^[2]:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{(\gamma - \gamma_w)}{\gamma} \operatorname{tg} \phi'$$

式中 θ 为地面坡度, ϕ' 为土的内摩擦角, γ 为土的容重, γ_w 为水的容重。

由上式可知,地形坡度取决于组成坡地的物质条件,即不同的地面物质形成不同的地面坡度。在美国怀俄明州拉腊米山区花岗岩风化山坡,喀氏认为直形坡的上限坡角大致与风化层物质的内摩擦角一致,下限角大致与风化层充分风化并处于湿润状况条件下的临界坡角相一致。并用下式表示:

$$\operatorname{tg} \theta = 0.48 \operatorname{tg} \phi'$$

即在湿润状态下地面坡度大致是物质内摩擦角的一半。我们根据724部队资料,对于沙黄土带¹⁾内黄土的容重取 1800 克/厘米^3 ,内摩擦角取 28° ,用喀尔生的公式可推得在土体处于饱和状态时,坡角与内摩擦角的关系为:

1). 黄土区分带按刘东生等人的划分。

$$\operatorname{tg} \theta = 0.45 \operatorname{tg} \phi'$$

土体处于干燥状态时坡角与内摩擦角的关系为:

$$\operatorname{tg} \theta = \operatorname{tg} \phi' \text{ 或 } \theta = \phi'$$

黄土的内摩擦角若取 28° , 则按上两式得土体处于饱和状态下和干燥状态下的地面坡度分别为 14° 和 28° 。这显然与我们所测剖面的特征坡角的下限坡角和上限坡角相一致。换言之, 黄土地区梁峁坡的特征坡度的分布上限大致相当于黄土的内摩擦角, 下限大致相当于内摩擦角的0.45倍。

二、坡地形态特征与土壤侵蚀

坡形是坡度随着坡长的变化而形成的地面起伏形态。一定的坡形反映了坡地演化过程中的特定阶段。黄土地区的坡地形态复杂多样, 我们以坡度沿坡长方向的变化规律把黄土地区的坡地形态概括为下列几类。

1. **直形坡** 从分水线向下随着坡长的增加, 坡度基本保持不变, 坡度与坡长不存在相关关系, 纵剖面是顺直的(图3a)。

2. **凸形坡** 从分水线向下, 随着坡长的增加, 坡度单调增大, 坡度与坡长存在着正相关关系, 纵剖面为上凸形(图3b.和图4)。

3. **凹形坡** 从分水线向下, 随着坡长的增加, 坡度单调减小, 坡度与坡长存在着负相关关系, 纵剖面为上凹形(图3c.和图5)。

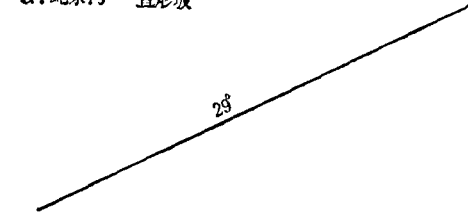
4. **复合形坡** 有凸凹形和凹凸形两种类型, 凸凹形坡从分水线向下随着坡长的增加, 首先是坡度单调增加, 到达一定值后坡度又单调减小, 凹凸形坡正好相反, 从分水线向下随着坡长增加, 首先是坡度单调减小, 而后又单调增加。复合形坡实质上是直形坡、凸形坡和凹形坡复合而成, 坡地的上部为凸(凹)形, 下部为凹(凸)形, 中间为直形段, 纵剖面是上凸(凹)下凹(凸)的(图3d.)。

5. **阶梯形坡** 这类坡形实质上是复合形坡在坡长方向上的继续扩展, 从分水线向下, 随着坡长的增加, 坡度有规律的时而增大时而减小, 纵剖面为正弦波形上下波动(图3e.)。

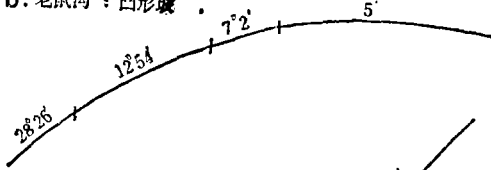
黄土地区的坡地形态千变万化, 作用过程复杂多样。尤其第四纪以来黄土高原大面积间歇性上升, 形成了三级地貌面, 层状地形使得坡地形态复杂化。所以从分水线到谷底的整个坡地形态多是复合形态(凸凹形或凹凸形坡), 单一形态的坡面较少, 特别是顺直坡形更为少见。

在梁峁坡面上, 坡地形态直接影响着地面径流特征。也就是说, 坡地形态影响土壤侵蚀的发生和发展。水流对地面的侵蚀力主要取决于水流的动能, 而动能与坡度和坡长有关。流速随着坡度增加而增大, 流量随着坡长增加而增大。所以, 一般说来, 直形坡因坡度均一, 流速沿程变化不大, 水流沿坡向下对地面的侵蚀力主要通过增加流量来获得。因此直形坡的侵蚀作用主要发生在下部。凸形坡坡度与坡长成正相关, 坡度与坡长同时增加, 侵蚀作用主要发生在中下部, 但侵蚀强度比直形坡大的多。凹形坡坡度与坡长成负相关, 上部陡下

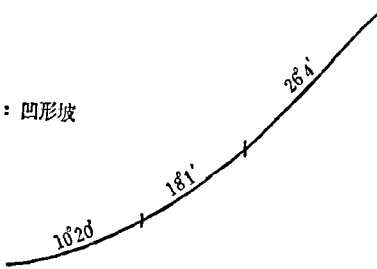
a. 蛇家沟：直形坡



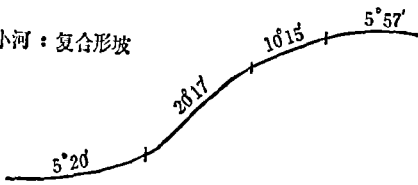
b. 老鼠沟：凸形坡



c. 芦苇岭：凹形坡



d. 小河：复合形坡



e. 驼耳巷：阶梯形坡

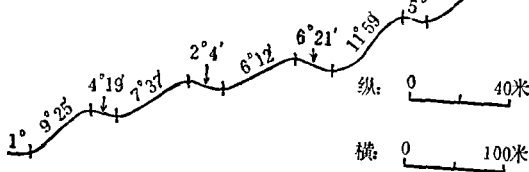


图 3 黄土地区的坡地形态 (大理河流域)

Fig. 3 The slope forms in the loess region (in the Dali River Basin). a. Straight slope, b. Convex slope, c. Concave slope, d. Concave-Convex slope, e. step slope.

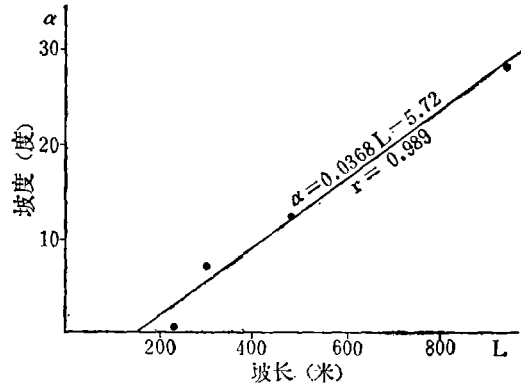


图 4 凸形坡坡度与坡长的关系

Fig. 4 The relationship between the slope angles and slope lengths of convex slope.

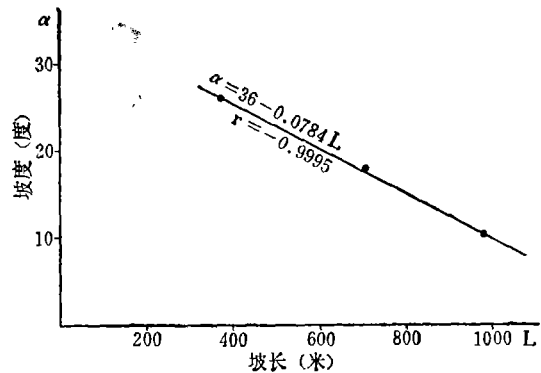


图 5 凹形坡坡度与坡长的关系

Fig. 5 The relationship between the slope angles and slope lengths of concave slope.

部缓,但因上部水量不足,侵蚀不太严重,下部虽然水量大,但坡度平缓且往往成上凹形,水流速度减小。非但侵蚀减少,有时还形成堆积。所以凹形坡以中部侵蚀最强。复合形坡和阶梯形坡坡度周期性的增大和减小,在坡峰与坡谷的过渡段(顺直段)侵蚀较强。就整个坡面来说,有减弱流速的作用,所以侵蚀作用没有凸形坡和直形坡强烈。

三、坡度与土壤侵蚀

坡度的变化对泥沙的稳定性有两方面的影响：一是随着坡度的增大，泥沙本身的阻力（即抗滑力）减小，二是随着坡度的增大，水流的动能也随之增大，加强了坡面冲刷。我们将绥德辛店沟1958—1960年的部分观测资料列于表1。（由于影响冲刷量的因素很多，这里只讨论坡度与冲刷量的关系）。从表知，侵蚀量随着坡度增大而增加，当坡度达 15° 左右时侵蚀量急剧增加。到 28° 以后，侵蚀量又随之而减小。这就说明在特定的外力条件下，适合于坡面水流侵蚀的最佳坡角约为 $15^{\circ} \sim 28^{\circ}$ 左右。陈永宗在坡度与产沙量的关系的研究中认为，面蚀的临界坡角约为 28° 左右¹⁾。为了分析 $[0^{\circ}, 90^{\circ}]$ 区间内坡度与土壤侵蚀的变化规

表 1 坡度与侵蚀量的关系

Tab. 1 The relationship between the slope angles and eroded sediment quantities.

坡度 (度)	坡长 (米)	径流量 (公升/公顷)	冲刷量 (吨/公顷)	备 注
8.6	20.2	459310	10.38	取自1959年 观测资料
14.7	20.7	425040	13.17	
28.7	22.8	373060	27.95	
34.3	24.2	327340	15.76	
8.6	20.2	358840	12.56	取自1958年— 1960年观测资料
14.7	20.7	318250	71.45	
21.8	21.6	647380	111.27	
28.4	22.5	310710	113.64	
34.3	24.2	327340	15.76	

律。我们根据陕西省第二水文地质大队的野外观测资料整理编绘了图6。经检验证明这几类侵蚀发生的频率分布基本上属于正态分布，分布曲线见图7。从图6可以看出由坡面冲刷、潜、蚀沟蚀到滑坡各种侵蚀过程所需的下限坡角和上限坡角有逐渐增大的趋势。同时由图6a.知，坡面冲刷发生的频率主要集中在 $10^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 之间，大约在 15° 左右侵蚀发生的频率突然增大，在 26° 后又趋减小。这与我们前面分析的结果是类似的。图6b.到图6d.除了分布频率上下限坡角有逐渐增大的趋势外，最突出的特点是这三种类型的侵蚀频率的峰值均在 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 之间，都各占50%以上。图6中冲刷频率曲线的标准差(σ)为7，潜蚀为7.5，沟蚀为7，滑坡为6.5。这说明潜蚀所适应的坡度范围最大，其次是冲刷和沟蚀，滑坡最小。这也就是黄土地区坡面冲刷、地下潜蚀和各种沟道侵蚀的分布范围比重力侵蚀大的原因所在。

为了综合比较，我们计算了四种侵蚀方式发生的综合频率（图7），从图中可以看出冲刷、潜蚀、沟蚀及滑坡这四种类型的作用过程所出现的频率分布。这些类型的作用过程所出现的频率主要集中在 $10^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 之间，侵蚀频率的峰值大约在 45° 左右。同时可以看出最初发生的侵蚀类型是冲刷，随着坡度的增大，冲刷作用逐渐加强。在 15° 以后突然猛增，大约在

1) 陈永宗：黄土高原的现代侵蚀。

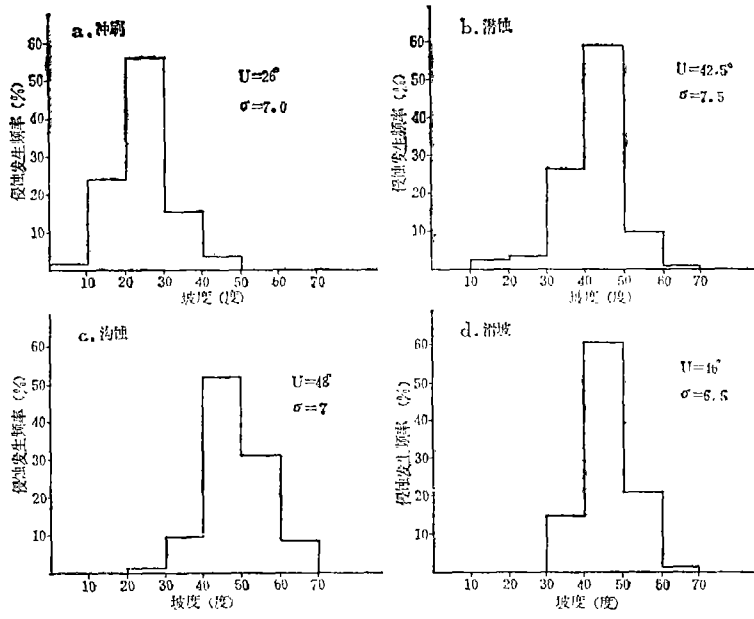


图 6 土壤侵蚀发生频率

Fig. 6 The frequency occurring in soil eroion. U: Average values σ : Standard deviation
a. Sheet erosion, b. Underground erosion, c. Gully erosion, d. Landslid.

26°左右冲刷作用达到极大值，此后又趋减小。但代之而来的是潜蚀、沟蚀及各种重力侵蚀。可见26°左右是侵蚀方式的一个转折点，即以水流为主的侵蚀作用转变为以重力为主的侵蚀作用。在分布曲线上相当于一个极值点。但这时的侵蚀作用并没有减小，而更趋严重。大约在 45°左右，整个[0°, 90°]的区间内侵蚀作用达到最大值，此后又趋减小。即在0°~90°的坡段上最大侵蚀坡度为45°。

国外对坡度与侵蚀的关系研究较早，但在对比上出现了一些混乱。首先是 F·G·伦奈^[3] (F·G·Renner) 于 1936 年在美国爱达荷州博伊西河流域测量了片蚀、沟蚀和无侵蚀地带的面积比率，作出了比降与侵蚀曲线图 (图 8)。从图知侵蚀面积随着比降增大而增加，大约在比降为40%处达最大值，而后又趋减小。后来，R·E·霍顿^[4] (R·E·Horton) 在研究流域数量地貌学的基础上建立了坡度函数：

$$f(s) = \frac{\sin \alpha}{\text{tg}^{0.3} \alpha} \quad (\text{式中} \alpha \text{为坡度})$$

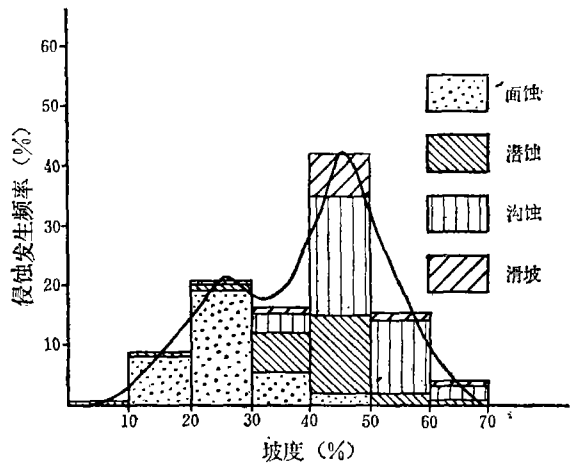


图 7. 坡度和土壤侵蚀的关系

Fig. 7 The relationship between slope angles and soil erosion.

从图知侵蚀面积随着比降增大而增加，大约在比降为40%处达最大值，而后又趋减小。后来，R·E·霍顿^[4] (R·E·Horton) 在研究流域数量地貌学的基础上建立了坡度函数：

并用伦奈的实测结果来验证,认为完全吻合(图9,横坐标为百分比,纵坐标为侵蚀百分数)。实际上霍顿把他的坡度函数与伦奈的实测资料这样对比是不合适的。迈克尔丘奇^[5](Michael church)指出了霍顿的错误:由 $f(s) = \frac{\sin \alpha}{\tan^{0.3} \alpha}$ 得在第一象限内(即 $0^\circ - 90^\circ$ 内)的最大值为 $56^\circ 47'$,显然与图矛盾。而且当 $\alpha = 90^\circ$ 时, $f(s) = 0$, 当 $\alpha = 0$ 时, $f(s)$ 不存在,而用洛比达法则对上式求极限得当 $\alpha \rightarrow 0$ 时, $f(s) \rightarrow 0$ 。除了数学上的错误外,图中的横坐标不应以百分比来划分。J·R·格莱伍(J·R·Glew)和D·C·福特^[6](D·C·Ford)用石膏做实验表明,地面的蚀低程度随着坡度的增加而增大,在 45° 处地面侵蚀深度达到最大值,此后又趋减小。同时把他们的结果又与伦奈和霍顿的结果进行对比。虽然在比较时对伦奈和霍顿的结果进行了修正,但仍然未必确切。除了数学上遗留的错误外,他们还忽视了决然不同的自然环境。迈克尔丘奇对R·E·霍顿的坡度函数进行了修改,又作出了一条曲线(图9,横坐标为度,纵坐标为小数)。由此可见,不同的学者所研究的地区和方法不同,其结果也有差别,不能不加区别地进行对比。

我们将黄土地区四种类型的侵蚀频率以横坐标为度,纵坐标为侵蚀百分比绘入图9。(图中粗线所示),结果与格莱伍和福特的实验结果相同。最大侵蚀坡角均为 45° ,但与伦奈的结果不同。比较之下,我们的结果最大侵蚀坡角偏大。对这一差异的成因,我们初步认为首先是地质地貌条件及自然地理条件的差别所造成的。我国黄土地区地面破碎,沟壑纵横,坡度一般较陡且变化很大。据研究^[7]黄土地区沟坡面积比例各占一半,陡壁面积相应增大。同时黄土地区暴雨集中,黄土质地疏松,很容易受侵蚀。所以使侵蚀发生的频率曲线峰值(最大侵蚀坡角)增大。另外,黄土地区各种类型的重力侵蚀突出,分布面积广,出现频率大。并且重力侵蚀所需的坡面坡度一

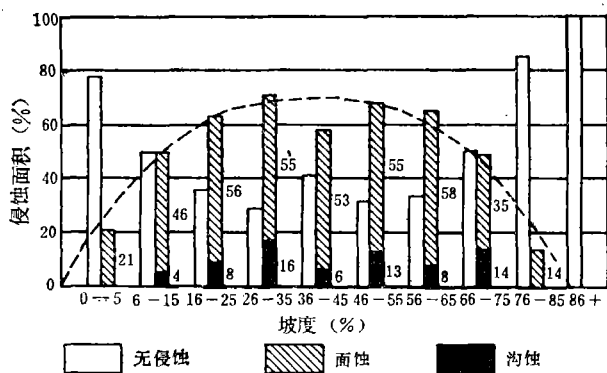


图8. Renner的坡度与土壤侵蚀关系(据Horton, 1945年。)

Fig. 8 The relationship between slope angles and soil erosion stated after F. G. Renner (adopted from Horton, 1945).

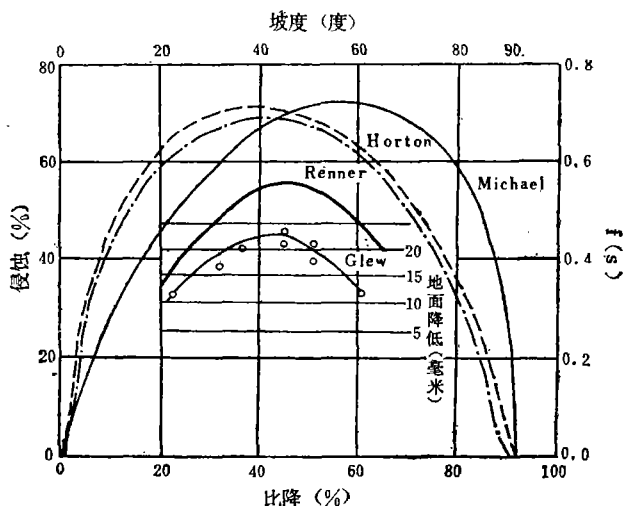


图9 坡度与侵蚀的关系

Fig. 9 The relationship between slope angles and soil erosion.

般在 40° 以上,这就使得曲线的重心向右偏移,最大侵蚀坡角相应增大。而伦奈所研究的地区自然环境与我国黄土地区大不相同,地形比较平缓、主要外动力是水流冲刷作用,侵蚀方式主要是坡面冲刷,重力作用微弱,因流水作用所适应的地面坡度在 40° 以下,所以使曲线的重心向左偏移,最大侵蚀坡角相对减小。

通过上面的分析,我们认为黄土地区的坡地在 $[0^\circ, 90^\circ]$ 的区间内, 15° 、 26° 和 45° 这三个坡度点是很值得注意的。 15° 是产沙的突然增大点,在 15° 以下地面侵蚀相对较微弱,可以耕种。 15° 以上产沙量突然增大,侵蚀渐趋加剧,不能耕种,应退耕还林以植树种草为主。 26° 是侵蚀方式的一个转折点,即由以水流作用为主转变为以重力作用为主。 45° 是整个坡度区间内侵蚀作用的最大值点。随着坡度增大,侵蚀作用加剧,在 45° 达最大值,此后又趋减小。这三个坡度点的研究对流域综合治理措施的合理布局是有一定意义的,而且在理论上也是值得探讨的。

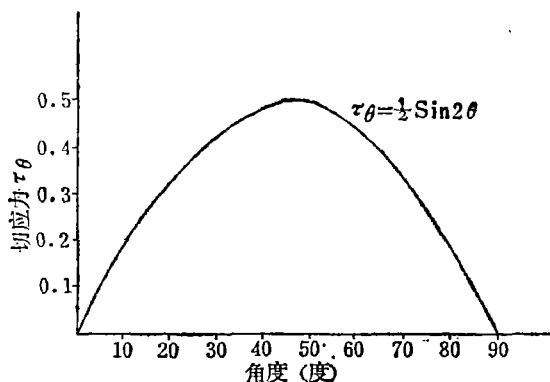


图 10 坡度与切应力的关系

Fig. 10 The relationship between slope angles and stress.

四、最大侵蚀坡角的理论机制

上文已述,黄土地区发生侵蚀的频率在 $40^\circ \sim 50^\circ$ 之间最为集中,最大侵蚀坡角为 45° 。考察发现,在 45° 左右的坡地上冲刷、潜蚀、沟蚀及各种重力侵蚀(特别是泻流、滑坡)作用都很活跃。在上新世三趾马红土中最为突出。考察所见和观测资料的统计分析的结果一致,还可以从以下的简单分析中得到证明:

由材料力学可知¹⁾,在任何斜面上的总应力为:

$$W = \sigma \cdot \cos \theta \quad (1)$$

式中 W —斜面上的总应力; σ ——斜面上的正应力; θ ——斜面倾斜角
对于坡面上的任一泥沙颗粒有如下关系:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_s}{W} \text{ 或 } \sigma_s = W \cdot \cos \theta \quad (2)$$

$$\text{于是有: } \sigma_s = W \cdot \cos \theta = \sigma \cdot \cos^2 \theta \quad (3)$$

$$\tau_s = W \cdot \sin \theta = \sigma \cdot \sin \theta \cos \theta = \frac{\sigma}{2} \sin 2\theta \quad (4)$$

式中: σ_s ——坡角为 θ 的斜坡上的正应力;

τ_s ——坡角为 θ 的斜坡上的切应力;

1) 尹国康,土力学。

(3)、(4)式揭示了坡面上泥沙在重力作用下所产生的切向下滑力及垂直于坡面的正应力随坡度而改变的规律,即坡面上泥沙的下滑力和有效正应力的转换关系主要取决于地面坡度的变化情况。

当 $\theta = 0$ 时, $\sigma_s = \sigma \cos^2 \theta = \sigma$

$$\tau_s = \frac{\sigma}{2} \sin 2\theta = 0$$

即在水平地面上泥沙对地面的垂向压力最大,在数值上为单位面积上泥沙所施加于地面的力,而切向应力最小,其值为0,这就是平地上泥沙最稳定的基本原理。

当 $\theta = 45^\circ$ 时, $\sigma_s = \sigma \cos^2 \theta = \frac{\sigma}{2}$

$$\tau_s = \frac{\sigma}{2} \sin 2\theta = \frac{\sigma}{2}$$

这就是说在 45° 的坡面上泥沙的切向下滑力与垂直于坡面的正应力相等,切应力达到了临界值,这时若无外力作用时,泥沙颗粒的动力与阻力势均力敌,达到了似动非动的状态,在数值上各占单位面积上正应力的一半。

当 $\theta = 90^\circ$ 时, $\sigma_s = \sigma \cos^2 \theta = 0$

$$\tau_s = \frac{\sigma}{2} \sin 2\theta = 0$$

可见在 90° 的坡面上泥沙所产生的下滑力和垂直于坡面的正应力之间的转化关系又回到了 0° 时的情况,切应力最小为0,正应力最大为 σ 。这就说明 45° 的坡面上的有效切应力最大,其数值为正应力的一半。在 0° 和 90° 的坡面上切应力最小,为0。实际上,若 σ 取1,则

(4)式为 $\tau_s = \frac{1}{2} \sin 2\theta$,它的图形为一正弦曲线,其振幅为 $\frac{1}{2}$,半周期为 $\frac{\pi}{2}$,曲线峰值所

对应的横坐标为 $\frac{\pi}{4}$,在 $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$ 内的图形见图10,这一图形与图9所示图形很相似。

这种理论上的分析与前面所述的自然现象是相符的。

五、结 语

1. 黄土地区梁崩坡的坡度主要分布在 14° — 28° 之间,在 15° 左右最为集中。特征坡角的分布上限大致相当于黄土的内摩擦角,下限大致相当于内摩擦角的0.45倍。

2. 黄土地区地面破碎,沟壑纵横,坡地形态复杂多样。大体上可分为直形坡、凸形坡、凹形坡、复合形坡和阶梯形坡五种类型。一般说来,以凸形坡侵蚀最强,直形坡和凹形坡次之(在无冲沟发育的情况下),复合形坡和阶梯形坡相对较弱。

3. 坡地的坡角对土壤侵蚀有一定的影响,随着坡度的增大,土壤侵蚀加剧,在 45° 左右侵蚀达最大值,此后又趋减小。

4. 黄土地区的坡地在 $[0^\circ, 90^\circ]$ 的区间内 15° 、 26° 和 45° 这三个坡度点是很值得研究

的。 15° 是产沙的突然增大点,在 15° 以下,地面侵蚀相对较弱,当坡度超过 15° 时,产沙量突然增大,侵蚀渐趋加剧。 26° 是土壤侵蚀方式的一个转折点,即以流水作用为主转变为以重力作用为主。 45° 是整个坡度区间内侵蚀作用的最大值点。在 45° 以下,随着坡度增大,侵蚀作用加剧,在 45° 达最大值,超过 45° 以后,侵蚀作用又趋减弱。

参 考 文 献

- (1) Anthony Young, Zomba, Characteristic and limiting slope angles; Stanley, A. Schumm and M. Paul Mosley (eds), Slope Morphology, 1973.
- (2) Carson, M. A., An Application of The Concept of Threshold Slopes to the Laramie Mountains, Wyoming; Stanley A. Schumm and M. Paul Mosley (eds), Slope Morphology, 1973.
- (3) Renner, F. G., Conditions Influencing Erosion on the Boise River Watershed, U. S. Dept. Agric., Tech. Bull. Washington, D. C.
- (4) Horton, R. E., Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology; Geol. Soc. Amr. Bull, Vol. 56, No. 2, 1945.
- (5) Michael church, Horton's Slope Function; Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 6, No. 2, 1981.
- (6) Glew, J. R. and Ford, D. C., ASimulation Study of the Development of Rillenkarren; Earth Surface Processes, Vol. 5, No. 1, 1980.
- (7) 牟金泽、孟庆枚: 论流域产沙量计算中的泥沙输移比, 泥沙研究, 第2期, 1982年。

SLOPE FEATURES AND SOIL EROSION IN THE LOESS REGION

Cao Yinzheng

(Institute of Geography, Academia Sinica)

Abstract

In this paper the relationship between slope features and soil erosion in the loess region has been studied. Investigation shows that the angles of slopes of loess ridge and hill mostly vary from 14° to 28° . The upper limit of the characteristic angles corresponds to the angle of internal friction of loess and the lower limit to half of the angle. This is coincident with the results stated by Carson (1969).

The slope forms in the loess region can be separated into five types, namely straight, convex, concave, concave-convex and step slopes. The erosion position is very different on the different kind of the slopes. It mostly occurs on the downslope of the straight slope, on the mid-down slope of the convex slope, on the mid-slope of the concave slope and on the straight segments between the convex and concave elements of concave-convex and step slope.

Soil erosion is greatly controlled by slope angles. The statistical analysis of the data observed in the fields shows that 15° , 26° and 45° are very important to soil erosion. The sediment yields increase with slope angles, then over 15° the sediment yields rapidly rise and washing is greatly intensified. At 26° the way of erosion changes, from the running water wash to gravitational erosion. At 45° erosion is the most intense in the slope angles between 0° and 90° . This result is supported by the mathematical deduction. The study of the three slope angles is important in both theoretical research and reasonable planning for controlling the drainage basin in a comprehensive way.