

黄土高原水蚀的主要类型 及其有关因素

朱 显 谟

(中国科学院西北水土保持研究所)

(续上期第9页)

二 地貌因素也是土壤侵蚀的外因之一。地形条件对于侵蚀的影响是多方面的，同时也常常互为因果和不断地发展着。对水蚀来说，地势的高低以及侵蚀面和侵蚀基准间的高差乃是必要的条件，同时对它们在一定距离间的差异愈大，侵蚀作用就更容易发生和发展得更加迅速而强烈。地势的高差和大中型地貌类型的不同，对于侵蚀作用的进行和发展过程的影响虽然很大，且在很大程度上又可引起其他自然和人为因素的差别。但总的来说，它主要还是个潜在因素，它的作用还远远没有微域地貌的差异所表现的明显而直接。

正和其他地区所得的结果相似，在一定范围和条件下，土壤侵蚀量和斜坡的长度及坡度成正相关的关系，也就是斜坡愈长，流失和冲刷愈强烈；斜面坡度愈大，土壤侵蚀也愈严重。经过观测我们又认为^[6]，就是在农地地面具有2°以上的坡度时（上面并无集流的干扰），离开地块顶端10米的地方，在降雨强度较大时就有细沟出现。但是一般比较明显而强烈的细沟侵蚀，一定要在地面坡度25°的情况下和在距离顶端10米以下的地段上才能呈现出来。

经验证明，坡度愈大冲刷量也愈大，产量愈低；但是，径流量的变化与坡度的关系没有一定的规律性(如图5)^[16]。不过，黄河中游多数水土保持站的试验表明，坡度愈大径流量也愈大，仅绥德站在一般降雨情况下，测得坡度与径流成反相关的结果，当雨强特大时，坡度与径流又成正相关。经过实测甘肃华亭地区百余块农地细沟间侵蚀量的

结果^[16]，我们认为：“在一定范围内，坡度愈大，细沟的冲刷量也愈大……”，并根据实测资料求得坡度和侵蚀沟量的关系如下式：

$$Y = 0.0644 + 0.48X$$

Y——沟蚀率（立方米/公顷）；

X——地面坡度。

但是在地面坡度超过35°时，这一公式就不适应了。郭继志曾应用数理分析方法

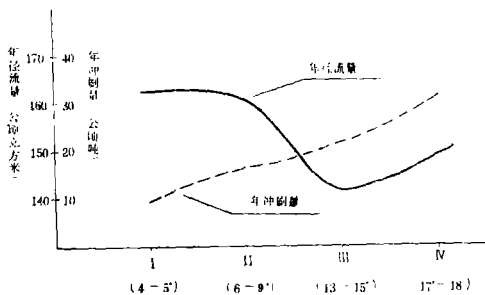


图5 不同坡度平均水土流失量比较

研究的结果认为^[17]，坡面由缓变陡(由 0° — 90°)，水土流失量不是随坡度相应增加，而是具有一定范围的增加。在其他因素相同的情况下， 35° 以上的坡面还起着减少径流的作用； 50° 以上的坡面，还可以相应地减少冲刷量。刘善建于1953年分析天水站水土流失资料时曾认为^[19]：“不同坡度对于径流的影响虽不大，但对冲刷的影响则很显著，坡度愈大冲刷量愈大，尤以坡度增加到15%以上时，其冲刷量的增加更为剧烈……”。我所侵蚀组利用室内模拟降雨的方法进行研究的结果表明^[18]，径流量将随着坡度的增加而增大(图6)。在总侵蚀量中，细沟侵蚀量常占较大的比重(70%左右)。可见，暴雨后在野外直接测定细沟侵蚀量的资料是比较可靠的。

此外，我们从野外观测和一些水土保持站多年来径流小区的记录中，发现很多例子在斜面坡度超过一定限度(各地有所不同)时，它们的侵蚀量往往和坡度愈大侵蚀愈强的说法相矛盾。推其原因，不外由于黄土的特殊性所造成的坡面径流泥沙的多变性状。黄土坡面上的径流全部为超渗径流，因此在降雨强度较大尤其雨强突变时，常易发生含砂量很高的径流，有时几近浆状泥流，在斜坡较大的情况下，它可以顺坡下溜，有时甚至地表湿土部分下与干土部分相脱离蠕动。因此，我们非但无法分辨径流的悬移和推移作用的发生过程及其先后和主从，同时也难确认径流带土，还是泥(牵)引径流？这样的

“径流”在坡面上所刻划的流道也就必然要和地面坡度的变化发生紧密关系。1956年隆德城西黄土梁上所见细沟的形状如图7。

从图7不难看出，细沟的下切深度和宽度仅仅随着坡度的大小而变化，坡度大时细沟的宽和深也相适应地加大；坡度变小时也相应地变小。同时从其中看不出坡长的影响，也许坡度作用较大已掩盖了坡长所引起的变化。

坡长与土壤侵蚀的关系可能更较复杂。往往由于土壤抗蚀抗冲性能的差异、

地面坡度、降雨情况等不同，土壤侵蚀与坡长的变异、地面坡度、降雨情况等不同，土壤侵蚀与坡长的变异也就完全不一。天水站和绥德站多年观测的资料表明：1、只有在特大暴雨以及较大暴雨——雨量 $>10-15$ 毫米、强度 >0.5 毫米/分时，坡长与径流和冲刷均成正相关；2、当降雨的平均强

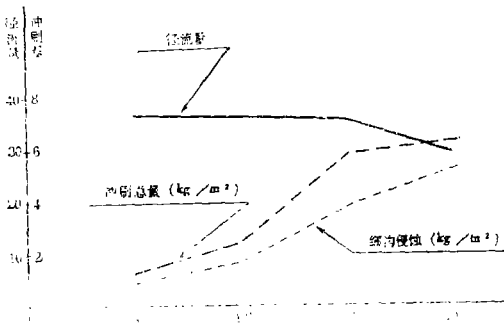
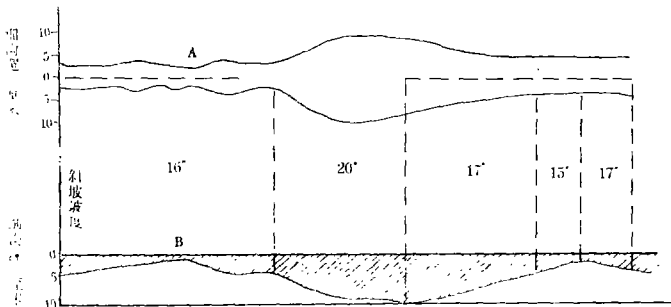


图6 模拟降雨在不同坡度上的径流量和冲刷量关系图



A—细沟平面图；
B—细沟沟床下切深度；
0—细沟起点。

图7 隆德城西黄土梁坡度和细沟宽、深关系图

度较小，或较大强度的降雨持续时间很短时，坡长与径流成反相关，与冲刷成正相关，3、当一次降雨雨量很小（3—5毫米）、强度也很小、历时也很短的情况下，坡长与径流和冲刷均成反相关。总的说来，以坡长与径流成反相关、与冲刷成正相关的次数最多^[10]。

罗来兴的野外观测认为^[20]，在地形因素中影响冲刷最主要者是坡度与坡长，其次是坡形坡向。在一定距离内，侵蚀力随坡长的增加而增加。在坡度一致的坡面，可能出现几处侵蚀剧烈的地段，侵蚀剧烈地段首次多出现在分水岭以下25—35米处，第二次则在45—55米处出现，二者相距不过十米左右。

上面都是根据面积很小的径流小区或地块上的实测数字而获得的概念和结论，看来大体相符。这儿我们必须再作点说明：坡度增大所引起土壤渗透量的减少，不是由于雨水停留在土表时间的减少，而是在较陡的斜坡上土表被水的淹没层比在缓坡上较小，也就是地面变陡，土与水的接触面减少的结果。坡度增大，增加了径流动力强烈破坏与展平微域地形的不平性（糙率减小）。在一定条件下，斜坡愈长，径流系数减小，即所谓“径流退化”的实质是：径流质体虽然向下愈增，但土壤被水淹复盖的面积同时也增加，因此也提高了土壤吸收强度，形成了在坡面不长时径流系数的缩小。但是当坡面长度增加，径流汇集成较大股流后，使渗透强度提高的速度减慢，并也随着径流的退化而降低。

在面积较小的地块中，地面径流却比较分散（细沟侵蚀也同样是分散细微股流的冲刷现象）。它们的冲刷能力非常有限，在它们的行进道路上，稍遇地面糙率或土壤透水性能的细微增加，就可能被分散、减弱甚至消失。因此很明显，在一定的雨强范围内，地面坡度的增加虽然加强了地面径流的冲刷能力，但是另一方面也就逐渐地增长了流线的长度；又加地面粗糙不平，那末从径流的动能不能破坏和展平地表的细微起伏的时候起，在它的行进道路上由于路线的延长和阻力的增加，就要逐渐地被分散减缓（径流的渗透因而加强）甚至消失，在径流中所携带的泥沙就要相应地沉降下来。这里就存在着二种力量同时由于地面坡度的增加而逐渐加强的现象。第一种力量是径流动能，是冲刷的能力，它和雨强、坡度成正比。第二种力量是抵抗冲刷的能力，它和坡度的关系是：在地面平滑的情况下，在坡度增加时它的增长很微弱，实际上可以不计；但在地面粗糙的情况下，则其实际增长很快，同时更因坡长的增加而增加。在一定降雨强度和降雨量的情况下，在坡度和坡长增加时，这二种力量的增衰将在土壤侵蚀的实际变化中表现出来。何况，每当坡面上呈“泥流状”的径流减速滞留时，常将其全部泥粒骤然放下，非但不为后续径流开道而反堵塞流道，阻止后续径流的前进。

斜面的形状直接影响到地面径流的情况，因此它对于土壤侵蚀的发生和发展也有非常明显的作用。自然界中实际存在的坡面形状由于坡长、坡度及其组合和其他自然、人为条件的不同是非常复杂多变的。但从理论上可以概括成下列五类：即凸形、凹形、直形、台阶形和复式等（图8）坡形对土壤侵蚀的影响，实际上就是坡度、坡长二个因素的综合作用的结果。所以在研究复杂的坡形对土壤侵蚀的影响，实际上就是研究坡度、坡长二个因素的综合作用的结果。所以在研究复杂的坡形对土壤侵蚀的影响时，应该考虑其每一组成部分的坡度、坡形及其集流面积和集流情况。一般说来，凸形坡和直形坡上土壤侵蚀都是坡面下部最为强烈，但是，由于凸形坡坡度和坡长同时增加，其下部的

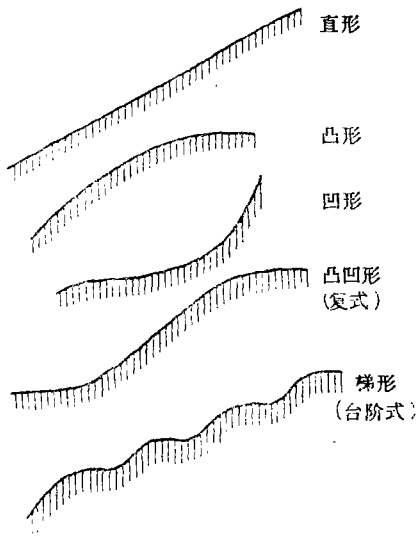


图8 常见坡形示意图

地面径流的愈来愈分散而减弱。但在坡折处，不论流失和冲刷都要来得强烈(照片11)。在直形坡上(常常出现在完整的梁地)所表现的沟蚀除和上面所谈的侵蚀规律相一致外，不论各种类型的侵蚀沟常保持并行的形式(照片12)。在凹形坡(常常出现在黄土区的沟掌附近及上部基岩较硬、下部基岩较软的地段)上，所发生的现象则恰和凸形坡上所发生的相反，一般在斜坡变缓的情况下就会发生淤积作用；但是倘若在斜面横向不是开阔展布而且带起伏的情况下，则地面径流就必然地集中在整个狭小的地方，而演成很大的冲刷和径流量相适应的侵蚀沟就在那里呈现出来；同时各个侵蚀沟常上下相连，呈一个枝状的完整的系统(照片13)。

三 地质因素和土壤侵蚀的关系，除在古代侵蚀中论及外，今仅就岩性对于现代水蚀的影响讨论于后。

黄土地区的岩体作为被侵蚀的对象来说，以各期黄土最为重要，它非但面广、深厚，而且岩性特殊。其它位于黄土层下的红土、基岩虽也常见出露，但均局限于陡崖基部、河床及其两侧陡壁而已。显然，它们对于沟谷本身侵蚀的影响是很明显的，如峡谷、跌水、砭坎、聚水盆等的形成和发展，以及河床的定向侵蚀等，无不与基岩倾角、倾向和出露岩层的岩性以及其含盐量等都有着密切的关系。后者在古代内

土壤侵蚀要比直形坡强烈得多，出现在塔状丘顶和崩坡上的侵蚀，除坡长、坡度同时增加外，由于集流面积也相应地增加，因此要复杂得多。凹形坡上陡下缓，中部的侵蚀最强；下部常因坡度变小，非但侵蚀减少，有时可见堆积大于侵蚀的现象。台阶和复式坡面，一般有减缓水土流失的作用，但在坡折处容易发生洞穴侵蚀，并在比较固定的径流线通过坡折式台阶边缘时，常易形成沟蚀。图9系我们在山西河曲道黄沟观测结果，可以表明坡形、坡度与水土流失和作物产量间关系的一个实例^[97]。

从侵蚀沟发展的情况来看，在凸形坡上(常常出现在黄土丘陵的阳坡或土状物覆盖极薄的硬质基岩地区)它们一定呈放射的形式，同时它们的分枝愈下愈多，因此沟道的下切作用也就随着

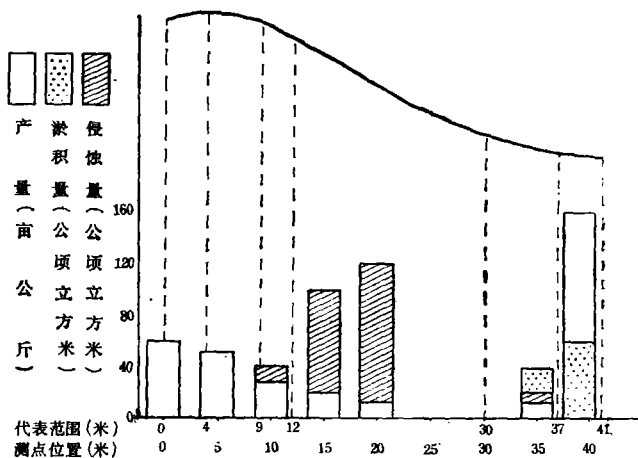


图9 山西河曲道黄沟凸凹形坡地上油菜产量与细沟侵蚀和淤积量的关系

陆中心地带表现得更为明显，当地常有干山、苦水、烂石头之说。

区内黄土，不论其沉积方式或时代的不同，就其岩性来说，都是极易遭受侵蚀的物体。一般又常认为，各地各期黄土的沉积在厚薄和有无上虽有很大的差异，但是岩性均一，不论南北东西、上下新老，都差异不大。不过沉积后由于成土和成岩作用的强弱和条件上的差异，都能在侵蚀面貌上呈现出来。一般沉积在前，被埋压在下方的成岩作用较明显，它的抗冲能力也逐渐增加。沉积在后，出露于地表的，成土作用较强，它的抗蚀性能常见增强。后者当植被生长茂密，根系密布的情况下，非但其抗蚀性能增加显著，同时也必将具有一定的抗冲性能。但是在人为耕种尤其在灭茬休闲的情况下，抗冲性能就表现得异常微弱。

看来，没有经过成岩或成土作用的黄土层，不论其抗蚀或抗冲性能都表现得非常微弱，同时湿陷性也表现得十分明显。又加黄土地区新构造运动比较活跃，因而为黄土地区某些特殊的侵蚀现象的形成（如陷穴、黄土柱、天然桥等）创造了条件。黄土作为一个特殊土状堆积物来说，其特点在于，粒度组成的特殊和均一，土体结构及微结构的特殊，和特殊的渗水性能等。

黄土粒度的组成曾有很多研究资料可查，但由于分析方法和研究角度的不同，因此不易完全依靠数据来加以对比。好在大家都共同认为，其主要粒级为粉砂，一般含量均达50%上下，大于0.1毫米的砂粒含量极小，而<0.001毫米的粘粒含量，则因南北而异：南部较高，常达20%以上，北部偏低，常在10%以下，有时不足5%。刘东生等^[2]曾采用黄土粒度Md值并结合显微镜法的测量结果，自北而南将黄土划分为砂黄土、黄土和粘黄土三带。看来，三带黄土粒度的组成具有明显的差异，更加其微结构中“骨架”颗粒的大小和胶结形式也有明显的差异^[3,4]，这些对于黄土的抗蚀、抗冲性能，渗水和持水的特殊性，湿陷性的表现以及侵蚀沟的横断面等都将发生巨大的影响。

成土或成岩作用微弱的黄土，遇水极易散碎，这是它们极易侵蚀的原因，也是它们的共性。此外更由于黄土土层深厚和上下粒级组成的均一性，因此发育在黄土层上的侵蚀沟，也常较深狭，其横断面呈狭槽形。有时沟壁陡峭呈立墙状，这是由于土体均一柱状结构比较发育的关系。但是这种现象常常为古土壤发生层段的出现所干扰而常呈梯形。这种现象尤其在第二黄土带中最为典型，其北砂黄土带中陡壁常带一定的斜度或其高度局限在2米上下，沟深2



米以上的常呈宽“V”形。北部及西部成岩作用较强的老黄土(Q₂)、砂黄土,则常出现棱边明显的“V”形侵蚀沟,有时并呈现出二壁不对称的现象,从远处看去,状若由块状基岩所组成的山地。南部粘黄土带中侵蚀沟的槽形横断面,常较黄土带中的宽而陡壁也较斜。其他不论发育在红土或泥质岩体风化层上的侵蚀沟,一般都呈“V”形。

典型陷穴的出现,也常在第二黄土带中较为频繁而发育,砂黄土带中常以跌穴为主,粘黄土带中则又较少见。赵庚申等^[35]认为随着砂粒和物理性粘粒的增加,洞穴侵蚀的数量有减少的趋势,而其发生洞穴侵蚀最频繁的地带又适与第二黄土带相一致。以往有人认为,黄土地区出现的陷穴是一种溶蚀现象,并特名之为黄土卡斯特。陷穴的发生又恰在富含碳酸钙的第二黄土带中比较频繁,因此,溶蚀之说,具有一定的道理。但是经过对黄土中碳酸钙存在的形式及其分布的研究^[34]以后,就完全否定了这一说法的可靠性。从常见的现象和分布地带上的一致性看来,陷穴的发生和黄土的湿陷性反倒具有比较密切的关系,尤其在自重湿陷表现得比较明显的坡积洪积黄土堆积的塬畔、洞、掌、川、台地区更为明显,但是它们之间内在机理,还缺乏系统的研究。看来,黄土地区的陷穴侵蚀还可能和黄土的物理力学性质等有关,当然,下渗水的集中和一定的裂隙、孔洞等又为必要的条件。

透水性也是和土壤侵蚀有密切关系的地质因素之一。对黄土来说,水的下渗较易而旁渗作用很微弱,这是和其他粘土和基岩等显然不同之处。因此在水土保持方面,它的确是一个取之不尽、用之不竭的良好工程建筑材料。但是,它又切忌地面溢流,所以我们在进行一切工程设计时必须给予特别的注意。

在一般情况下地面径流的发生完全由地表土层的透水性能所控制,但是在土壤发生层段比较浅薄和多雨的季节,那就必然要和土壤以下的成土母质甚至基岩的透水性能发生密切的联系。在同样为黄土的情况下,由于上下土层透水性能的比较一致,因此,不会发生什么不利影响;但在黄土或由红土风化的土层掩盖在红土上的时候,由于红土岩体透水性能的突然降低,所以由地表渗下来的水分常常由于不能及时下渗而形成了红土表面暂时积水的现象。在下伏红土地面比较平缓而上复黄土层较薄的情况下,容易导致充水土体蠕动,即蓄满径流侵蚀的发生。这种侵蚀的为害,常远远超出超渗径流的为害之上。在上部土层深厚而下伏地面斜坡较大,尤其地处沟谷或崖壁边缘时,就很容易发生滑坡的现象。其他在基岩地区,也常发生相同的现象。尤其在土壤不甚发育、风化层很薄的硬质致密和块状的基岩地区表现得更为明显。由此可见,我们在斜坡上进行修筑梯田时,就必须事先进行详细地了解底部岩层的性征不可。此外,这种透水性质的不同,同样也影响了土壤保水的能力和间接地形成了植物生长情况的差异,最后也就必然地对于各种侵蚀作用产生相应的影响。

(二)