

# 黄土高原坡面沟蚀的类型及其 发生发展规律

刘元保 朱显谟 周佩华 唐克丽

## 提 要

沟壑纵横是黄土高原的一大特点,复杂的沟系和沟蚀在黄土高原土壤侵蚀中占有重要的地位。我们将纵横的沟槽分为三个系列。将坡面侵蚀沟系列分为细沟、浅沟、切沟三个类型进行研究,给浅沟下了新的定义,把集流槽划为一种特殊地形,切沟按发生部位和规模大小分别分为两类,讨论了它们与冲沟、干沟的区别和鉴别方法。对坡面沟蚀的发生、发展,调查方法和控制方法等做了细致的研究。

黄土高原地形破碎,侵蚀类型复杂,有其独特的发生发展规律。由于地貌形态及其组合关系的特殊性与复杂性,一般性的侵蚀分类很难将黄土高原的土壤侵蚀进行归类、分析和研究。坡度急剧增大使一般所定义的侵蚀类型失去其本质特点。如切沟侵蚀,不再受集中径流下切、沟头前进、沟岸崩塌、下次径流搬运等过程的支配,而受重力作用的影响很大。径流过程也发生了明显的变化,沟底不再有崩塌堆积物,切沟的横断面多为“V”字型。

黄土高原的地貌对侵蚀有明显的控制作用,土壤侵蚀在空间分布上有明显的界线,不同空间位置的土壤侵蚀有本质的差异。为了清楚地认识和划分侵蚀类型,我们将这种空间差异引入了土壤侵蚀分类。黄土高原首先可分为两大地貌单元,即沟间地和沟谷地。以沟缘线为界将其以上部分的侵蚀称为坡面侵蚀,以下部分的侵蚀称为沟道侵蚀。这样划分无论从侵蚀调查,侵蚀制图,还是从水土保持规划等方面来说,都非常方便。

本文着重讨论坡面侵蚀部分的沟状侵蚀,包括细沟侵蚀、浅沟侵蚀、切沟侵蚀三种基本侵蚀形态。坡面沟蚀是坡面侵蚀的主要部分,是泥沙的重要来源,是破坏土地资源的根本原因。现从分类和发生发展规律两方面加以讨论。

## 一、坡面沟蚀的类型

1. 黄土高原的沟蚀系列。沟壑纵横是黄土高原景观的一大特点。复杂的沟渠系统和侵蚀过程,给分类带来困难。前人从地貌、侵蚀等方面出发,对复杂的沟系做了不少研究和划分,一般将侵蚀沟分为细沟、浅沟、切沟、冲沟、干沟、河沟等。但细沟在侵蚀类型中的归属意见有分歧;浅沟的概念不一致;切沟的范围有差别;人为因素对切沟形态的影响很少研究;在不同地区和不同土地类型条件下,沟蚀的差异和发展关系研究甚

少。本文将上述问题一并考虑。

前面将侵蚀粗分为坡面和沟道两大部分,从侵蚀沟系来看,更确切地应将黄土高原的沟渠系统划分为坡面侵蚀沟系列、悬沟系列和沟道系列。坡面沟蚀系列主要分布在沟缘线以上,即侵蚀过程主要受所在坡面集水控制,在侵蚀机制上来讲,存在分散和搬运两方面。悬沟系列是指坡度较陡的坡面上的侵蚀沟,坡度一般大于 $35^{\circ}$ ,主要分布在沟缘线以下,不受搬运能力的限制,只存在分散问题,沟底没有堆积物出现。沟缘线以下,部分塌地上的侵蚀沟,可以认为是坡面侵蚀沟。塬地上小于干沟的侵蚀沟也列入坡面侵蚀沟系列。沟道系列包括冲沟、干沟和河沟。冲沟仍为现代侵蚀沟,纵剖面与所在剖面不完全一致,区别它与切沟一般是很容易的。冲沟系由切沟发展而成,但并不是所有的切沟都能发展成冲沟,它是在特殊的地形条件和人为干扰下,有较多径流集中的条件下才能形成。冲沟规模很大,一般十几米到几十米宽,纵剖面与所在坡面不完全一致。而切沟是指纵剖面与所在坡面基本一致的小侵蚀沟,一般几米到十几米宽,在均一的坡面上也能形成,不会阻碍人畜通行,人们总可以找到较浅处通过,而冲沟则完全阻止。干沟是古代侵蚀沟,即马兰黄土堆积前已形成,被黄土堆积充填为凹地,被现代侵蚀再切割而成。两侧马兰黄土层向沟底相向倾斜。河沟是有地下水出露,而有常流水的沟。

**2. 坡面沟蚀类型及其形态特征。**坡面沟蚀有细沟、浅沟、切沟三种主要侵蚀类型。细沟能被普通耕作所消灭,浅沟不能被普通耕作所消灭,切沟不能横耕(朱显谟,1956)<sup>[1]</sup>。这种分类系统和苏联分类体系类似,与西方分类差别较大。西方分类中只有细沟(Rill)和切沟(Gully),而没有浅沟。他们区分细沟和浅沟的标准也是能否被一般耕作所消除。福斯特(Foster, G.R)认为,由于耕作工具的变化,现在的细沟比以往的细沟要大一些。他们也有不同的深宽等数量指标来作为鉴别细沟和切沟的标准。福斯特<sup>[2]</sup>把深度超过30厘米的沟作为切沟。贝内特(Bennett, H.H)<sup>[3]</sup>将农地和林地的切沟分别定义。我国罗来兴<sup>[4]</sup>、辛树帜、蒋德麒<sup>[5]</sup>等将没有明显沟边的槽形地称为浅沟。

细沟的概念比较一致,系指一般耕作能消除之侵蚀沟。黄土高原的细沟一般为槽形,宽5—20厘米,深2—15厘米,间距15—95厘米。现将1983年安塞的一次实测资料列表如下:

表1 细沟宽度分布

宽度(厘米)	0—5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30	>30
条 数	16	51	43	24	16	3	7
比例(%)	10	31.8	26.9	15.0	10	1.9	4.4

表2 细沟深度分布

深度(厘米)	2—5	5—10	10—15	15—20	20—25	25—30
条 数	39	77	27	14	1	1
比例(%)	24.5	48.5	17.0	8.8	0.6	0.6

表 3

细沟间距分布

间 距 (厘米)	15—35	35—55	55—75	75—95	95—115	115—135	135—155	>155
条 数	22	41	27	21	10	10	5	17
比例(%)	14.4	26.8	17.6	13.7	6.5	6.5	3.3	11.2

从表 1、表 2、表 3 来看, 细沟宽度 73.7% 集中在 5—20 厘米之间, 深度在 2—10 厘米之间的占 73.0%, 间距在 15—95 厘米之间的占 71.6%; 平均宽、深、间距分别为 12.63 厘米、7.87 厘米、87.41 厘米。若除去间距大于 155 厘米的 (11%), 平均间距为 65.8 厘米。这与绥德 1961 年 8 月 1 日和天水 1959 年 7 月 14 日暴雨形成的细沟相比非常接近 (绥德平均宽、深、间距为 15.1 厘米、8.2 厘米、80.9 厘米, 天水分别为 15.3 厘米、7.5 厘米、57.3 厘米)。

浅沟侵蚀在黄土高原表现的特别明显, 在坡面侵蚀中占很重要的地位, 浅沟侵蚀区占坡面侵蚀的 50% 左右。对浅沟的定义不同, 会影响侵蚀调查、评价和水土保持规划。如前所述, 目前一般认为无明显沟边的槽形地为浅沟, 朱显谟认为这种槽形地是浅沟发展的最后阶段。这种无明显沟边的槽形地在黄土高原丘陵沟壑区坡面上分布很广, 它的走向垂直于等高线, 并沿等高线排列, 间距多为 15 米左右。在较宽广的坡面上排列许多条沟槽, 使整个坡面呈瓦背状起伏。这种地形是在细沟侵蚀和人为耕作的共同作用下形成, 它的形态是人为耕作直接塑造的结果, 在自然状况下不可能形成。它既不能直接由细沟发展而成, 也不可能以整体发展为切沟。所以我们认为这种地形不是浅沟, 而是一种特殊的微地形, 暂称为集流槽。集流槽在黄土丘陵区分布很广, 对坡面侵蚀影响很大。

集流槽一般间距 15 米左右, 集中同样宽度坡面上的径流, 其底部往往发生一种特殊的侵蚀沟形态, 它比细沟大, 比切沟小, 深一般为型底层的深度 (20 厘米), 宽一般为 30—50 厘米, 有时达 1—2 米。一般性暴雨就能形成, 耕作后, 下一次暴雨径流过程中又将形成。这种小沟和细沟、切沟一样, 人为耕作只通过影响土壤抗冲性来间接影响它的发生频率、发展速度、侵蚀量等, 而不象集流槽那样, 其外表形态都是人为耕作直接塑造而成。为揭示其本质特点, 我们认为应把这种小沟划为浅沟, 与细沟、切沟列为一个系统。因为它才具有自然的侵蚀过程和发生机制。所以, 我们在黄土高原土壤侵蚀分类中, 给浅沟和浅沟侵蚀下这样的定义: 浅沟是发生在集流槽底部 (一般宽度在 2 米以内), 能被普通耕作工具所通过的小侵蚀沟, 它在发生发展过程中所造成的侵蚀称为浅沟侵蚀。

切沟一般为槽形横断面, 根据其发生部位可分为底部切沟和斜坡切沟两种。底部切沟是指发生在侵蚀凹地底部的切沟, 其中包括圪地、塄地、沟壕地等底部的切沟。它的横断面开始为槽形, 以后发展为梯形。底部切沟宽度小于 10 米, 往往和干沟沟头连接, 在连接处干沟沟头是一个大跌水, 沟突然展宽, 将原凹地底部大部分或全部侵蚀掉, 完全阻止两侧的人畜通行。斜坡切沟发生在梁、塔、塬坡上。横断面开始为槽形, 以后多发展为“V”形。斜坡切沟依据规模大小可分为大切沟与小切沟两种。小切沟宽一般小于 10 米, 多为 2—7 米; 大切沟宽度多大于 10 米。小切沟一般不会发展为冲沟, 只有集流较集中的塄地下方, 或在塬区道路影响下才能发展起冲沟。其余的小切沟在人为作用下多发展为圪埫地等。大切沟发生在较宽广、坡度较缓、坡长大的坡面上。纵剖面虽与所在剖

面一致,但规模大,阻止人畜通行,往往发展为冲沟或大面积破坏土地资源。

## 二、坡面沟蚀的发生发展规律

黄土高原坡面沟蚀是现代流水在坡面上的差异性侵蚀。它的标志就是使地面上出现明显的沟痕。其发生发展受近代地面特征、气候和人为作用的控制,而与沟道系统没有本质的联系,坡面侵蚀沟不能用Horton定律来统计,也不参加沟道切割密度的计算。

坡面沟蚀中的细沟、浅沟、切沟侵蚀既有紧密的联系,又存在发生学上的演替关系,即切沟侵蚀是由细沟、浅沟侵蚀发展而来,但它们的分布规律、侵蚀过程却有各自的特点,现在分别讨论如下:

### 1. 细沟侵蚀。

(1)发生机制。细沟侵蚀主要发生在 $5-35^{\circ}$ 的坡面上,更多的是发生在 $10-35^{\circ}$ 的坡面上。它们既可以在梁塔坡上,也可以在沟塌地上形成。细沟的形成和发展是流水的作用,地面上发生径流,就必然对坡面有冲刷力,当它大于地面抗冲力时,就冲刷地面,造成侵蚀。当这种侵蚀表现出差异性、能在地面上刻划出细小的沟纹时,就认为发生了细沟侵蚀。地面上的这种差异性侵蚀,是径流的差异性集中的结果。只要地表径流的水层厚度不超过地面微小高差或水层整体下流力小于地面对它的阻力,这种差异性集中是必然的,即径流的大部分从低凹处流动或从某处突破下泄。细沟就是这些相对集中的线流的侵蚀作用与周围的侵蚀作用(片蚀)出现明显的差异时被显现出来。

差异性侵蚀能否表现出来,及其差异的大小决定于地面的微小起伏对径流的再分配情况以及径流的冲刷力和抗冲性的对比情况。抗冲性越强就只能表现出更大的差异,细沟侵蚀是最小的差异性侵蚀,在抗冲性较强的林草地极少出现。

### (2)细沟侵蚀的影响因素。

a.地形因素。地形对细沟侵蚀的影响主要有坡度、坡长、微地貌以及地形组合关系的影响。

坡度是通过影响坡面物质的稳定性、径流速度、入渗量来影响细沟侵蚀的。从前两方面来看,随着坡度的增加,侵蚀量也必然增加。

对于入渗来说,如果是小雨,由降雨与地面接触面积来决定,则坡度越大,入渗量也越大;若是大雨,主要由径流与坡面的接触面积以及径流速度等决定。所以,坡度越大,入渗量越小;径流量越大,侵蚀量越大。这是坡度对侵蚀总的情况。对于细沟侵蚀,特别是较严重的细沟侵蚀来说,一般是在暴雨情况下发生,所以坡度越大,侵蚀也越严重。

坡长对片状侵蚀和总侵蚀量的影响比较复杂,但对细沟侵蚀的影响是随着坡长的增加,侵蚀量也明显增大(参见表4)。

地貌条件对细沟侵蚀有明显影响的是微地貌,以及耕作等人为作用造成的地面凹凸不平,或耕作造成土壤松紧度的巨大差异,降水后松散处立即沉陷形成的坑洼。无论什么原因造成的小坑洼,都最早积水,往往成为细沟的发源地。

黄土高原微地貌中对细沟侵蚀影响最明显的是瓦背状坡面,表现在以下两个方面:第一,集流槽顶端附近细沟侵蚀最严重(见表4),这是因为此处有一个汇水倒三角面,水流集中,坡度也较陡;第二,在集流槽侵蚀槽所在,区特洼是瓦背状坡面的凸起部分,

细沟侵蚀很弱，集流槽底部是浅沟侵蚀，而它们之间的凸起部分，因具横向比降，水向两边分散，细沟侵蚀很弱。

表4 集流槽对细沟侵蚀的影响

X (米)	8		10		15		20		25				$X_{\frac{1}{2}}$	30		35		40		45	
H(厘米)	1.1		1.3		1.2		1.4		1.8					1.0		1.0		0.6		0.9	
X (米)	30		32		34		36		41		43			$X_{\frac{1}{2}}$	45		47		49		
H(厘米)	0.4		0.7		0.8		1.4		1.1		1.4				4.2		3.9		4.3		
X (米)	6	10	14	18	22	25	32	37	39	41				$X_{\frac{1}{2}}$	43	45		47			
H(厘米)	1.1	1.2	1.3	1.6	1.5	1.6	1.5	2.4	1.8	4.4					1.5	2.9		3.3			

说明：X——距分水岭的距离；H——细沟、浅沟侵蚀深； $X_{\frac{1}{2}}$ ——集流槽顶端到分水岭的距离。

据1983年安塞等地资料。

地形组合关系对细沟侵蚀的影响，主要指沟塌地、沟墁地、塍地等，一般位于陡坎下面，由于陡坎上方多为硬荒草地，大量集水下泄，再加上陡坎本身的积水(特别是向壁风时)，造成严重的细沟侵蚀。

b.降雨因素。细沟侵蚀是径流作用的结果，所以它的必要条件是有产流降雨。细沟侵蚀还要求在小范围内(57—80厘米)有较大的径流量，形成高速小股流，这就需要高强度降雨。如果强度较小，即使历时很长，雨量很大，也难以发生细沟侵蚀。在高强度降雨情况下，历时很短就可出现严重的细沟侵蚀。在这一点上，细沟侵蚀比浅沟、切沟侵蚀表现的更明显。因为细沟侵蚀只能集中较小范围的径流，当雨强较小时，径流量小，冲刷力也小，不足以形成细沟。但是浅沟和切沟侵蚀具有较大的集水面积(浅沟间距绝大部分为10—20米)，即使径流系数较小，集中以后也具有较大的冲刷力，能造成浅沟、切沟侵蚀，这种现象在野外常能见到。1983年9月笔者在固原调查期间，没有下暴雨，坡面上没有细沟出现，但有宽30—50厘米，深20—30厘米的浅沟侵蚀发生。

c.土壤抗冲性。土壤抗冲性是土壤侵蚀的一个极其重要的直接因子，同时也是影响细沟侵蚀的极重要因素。在黄土高原主要反映在沙黄土、黄土和粘黄土三带和不同利用情况下，而且不同利用情况下的抗冲性差异大于三带之间的差异，用索波列夫抗冲仪的试验结果如表5。

表5 不同土壤抗冲性指数

马兰黄土分带		砂黄土带			黄土带			粘黄土带
抗冲性 指数 地点 利用方式		绥德	河曲	兴县	茶坊	离石	定西	天水
	农地表土	8.62	7.81	7.69	12.82	10.00	12.05	16.67
	草地表土	32.25	14.29	—	30.30	—	142.86	58.82

从表5可以看出，不同地带的农地最大相差1.13倍，砂黄土与黄土带相差0.45倍，与粘黄土带相差1.07倍，黄土带与粘黄土带相差0.44倍。而不同带内农地与草地平均相差3.63倍，最大相差6.45倍以上。野外观察和以往的小区资料也能说明这一点。这就是

草地极少发生细沟和浅沟侵蚀的主要原因,同时也说明草地提高了土壤的抗冲性,使土壤能抵抗小股流的作用,不致发生细沟、浅沟侵蚀。我们在1983年调查期间,农地常见细沟,但牧草和荒草地从未发现,即使无蓄水或不能明显减少径流,甚至有外来径流作用的草地,也只见水流痕迹,而无细沟侵蚀。

d.覆盖对细沟侵蚀的影响。对于细沟侵蚀来说,覆盖有以下几个方面的影响:第一,消除雨滴直接打击,减小径流的侵蚀和输沙能力;第二,如果有植物覆盖,有明显的截留降雨作用;第三,增加地面积水率,减缓流速,增加入渗,减少径流;第四,改善土壤性质,加强抗冲、抗蚀性;第五,抑制径流集中,减少股流冲刷。所以在荒草地,尤其在人工草地,即使在大暴雨情况下,也很少发生细沟侵蚀。

e.人为因素。人为活动对细沟侵蚀的影响,是通过对植被、土壤的影响来间接起作用。翻松地的抗冲性很弱,最易发生细沟侵蚀。不同时期,人们如何利用一块土地,对细沟侵蚀也有很大影响。休闲翻耕麦地和荞麦地的细沟侵蚀最严重,这是因为在暴雨期间地表无覆盖,并且土壤非常疏松。所以老乡有这样的经验,荞麦地土壤肥力的减退最厉害,这也许与此有关。

2.浅沟侵蚀。我们前面已给浅沟侵蚀下了定义。浅沟侵蚀是指发生在集流槽底部的沟状侵蚀,不会阻止普通耕作工具通行。国外一般没有这个分类单位,只有细沟和切沟。而黄土高原,特别是丘陵区,这种侵蚀现象非常普遍,占有很重要的地位,也极易与细沟侵蚀和切沟侵蚀区分开,它的侵蚀过程和特点与细沟侵蚀和切沟侵蚀有明显的差异,所以我们需要对它单独进行研究。

黄土高原浅沟侵蚀的特殊性是因为集流槽的普遍存在。浅沟侵蚀是在集流槽形成后才发生的,所以我们首先要研究一下集流槽的形成。

(1)集流槽的形成。集流槽是坡面沟蚀和人为耕作共同作用下逐渐形成的。在较平整的坡面上最初只能形成细沟,因为当径流发生时,由于地面的微小起伏,只能使径流初步集中,形成一些小股流,集中了较小范围的径流(一般1米以内)。细沟发生之后,对径流有限制作用,使它向一个狭窄的沟槽内集中,并在其间流动,在较长的坡面上能在上、下不同部位同时产生细沟,随侵蚀过程的发展,可能上下连通。在连通过程中,必有两条或多条汇入同一条的现象,但一般不会有一条分入两条的现象。此外,由于微地形等因素的影响,细沟极易左右摆动而发生交汇,一旦交汇,就会因两条之间的微小差异而使全部径流在一处流过;相反,很难有分叉现象出现。分叉的主要原因是径流不能被沟槽所输送,分出部分径流,再冲出沟槽。这种可能性在黄土中很小,即使暂时出现,也会因分出的两支径流或地面的差异而使一条迅速发展,夺走全部径流,使分叉现象不能继续保持。

由此可见,细沟在侵蚀发展过程中交汇和分叉是不等概的,分叉的概率几乎为零。

交汇以后的细沟,集中了更大的径流,能形成更大的细沟,使坡面侵蚀的横向差异更大。耕作之后,表面上看不出什么差别,但实际上已有差异,在下一次降雨侵蚀中又将表现出来,并使差异更大,集中径流的范围也更大。如此冲刷一耕作一再冲刷一再耕作,一次一次循环,径流一次比一次集中,坡面横向起伏一次比一次大,最终肉眼不难看出槽形出现,就谓之集流槽,也就是说集流槽已完全形成。每隔一定距离又有另一条

发展起来,限制了它们对径流的进一步集中,也使整个坡面呈瓦背状起伏。

集流槽的形成需要一定的侵蚀动力,即一定的径流来源。在降雨条件一定的情况下,主要决定于地形及土壤的抗冲性条件,在草地一般不能形成。从地形因素来看,坡度和坡形对集流槽的发育有明显的影响。在 $15-35^{\circ}$ 以内,随着坡度的增加集流槽的间距越小,距分水岭的距离也越小。对杏子河流域5块1平方公里左右的样方调查,得出如下统计规律:

$$X_t = 59.69 - 0.597J \quad (\text{直形坡})$$

$$X_t = 56.84 - 0.833J \quad (\text{凹形坡})$$

$$S_t = 24.56 - 0.364J \quad (\text{直形坡})$$

$$S_t = 20.833 - 0.316J \quad (\text{凹形坡})$$

式中:  $X_t$ 为集流槽顶端到分水岭的距离;

$S_t$ 为集流槽的间距;

$J$ 为地面坡度。

不同坡形上集流槽的排列方式和密度差异很明显。凸形坡上呈辐射状,间距和到分水岭的距离最大;凹形坡上呈辐合状,间距和到分水岭的距离最小;直形坡上呈平行状,间距和到分水岭的距离居中。现将几个平均数列表如下:

表6 集流槽间距和到分水岭的距离与坡形的关系

坡形	平均坡度	集流槽平均间距 (米)	集流槽到分水岭的距离 (米)
凸	$26.78^{\circ}$	22.17	58.70
直	$26.64^{\circ}$	15.79	44.30
凹	$29.55^{\circ}$	12.06	32.24

(2) 浅沟侵蚀及其调查方法。集流槽一旦形成,对以后的径流分配起很大的作用。径流向槽底集中,侵蚀立即增强,极易发生沟状侵蚀,一般不切破犁底层,发生在耕作层,宽为30—50厘米,或几条小沟。这种小沟侵蚀和平坦坡面上的细沟侵蚀显然不同,它集中了15米左右宽坡面上的径流;也不同于切沟,不能阻止耕作,每年被耕作所填掉。

浅沟侵蚀量应以集流槽底部每年出现的沟槽的总体积为准。首先将坡面划分为不同的侵蚀区和侵蚀带,在集流槽以上不必考虑浅沟侵蚀问题,在集流槽所在坡面,或集流槽与切沟交接带内调查浅沟侵蚀。所以应先将所调查区划分为不同的侵蚀带,在发生浅沟侵蚀的带内再抽样调查。也可先求出集流槽的密度,然后再抽样调查单位长度集流槽内的浅沟侵蚀,或者两种方法结合起来使用。

(3) 浅沟侵蚀的控制。浅沟侵蚀仍以农耕地为主,在林草地常见水流痕迹,但不发生浅沟侵蚀。农地浅沟侵蚀严重,使集流槽不断发展。集流槽顶端(即细沟、浅沟侵蚀过渡带)侵蚀强烈,使集流槽上溯。集流槽一旦上溯,使坡面侵蚀发生明显的变化,侵蚀控制更加困难,一般耕作措施效果很差。所以这个过渡带必须加以控制。此带很狭窄,可用草带、地埂等加以控制。

浅沟侵蚀带或浅沟侵蚀交错带中的集流槽底部浅沟侵蚀有发展为切沟侵蚀的潜在危

险,一旦发展为切沟就难以控制,并标志着土地资源的彻底破坏。所以必须提前控制浅沟侵蚀,防止切沟产生。目前鉴于退耕困难,在顺坡侵蚀槽底部种植2米宽左右的纵向(垂直于等高线)草带,控制浅沟侵蚀。此两项水土保持措施,投资少,想必对黄土高原的水土保持有重要意义。

### 3. 切沟侵蚀。

(1)切沟的形成及影响因素。虽然绝大部分切沟由浅沟发展而来,但它们的分布、形成过程及形态特征均有很大的差别。它们的发生是径流侵蚀作用和地面抗蚀力相对平衡关系破坏的结果,在不同情况下有不同的诱发因素,即主导因素。这些主导因素就是指其它条件一致,而由于这一因素不同而导致切沟发生的因素。影响切沟因素固然有气候、地质(包括土壤)、地貌、植被、人为活动,然而就某地通过发生与不发生切沟侵蚀的坡面对比,能得出结论:地形和人为因素是切沟发生的决定因素,其中又以人为作用为首要。正象上文分析那样,没有人类活动,基本上就没有细沟、浅沟侵蚀,但问题是我们必须研究有人为活动情况下的侵蚀规律。

a.耕作对切沟形成的影响。坡面切沟主要是由浅沟发展而成,细沟、浅沟侵蚀加人为耕作发展起来顺坡侵蚀槽,顺坡侵蚀槽底部又经常发生浅沟侵蚀;浅沟被耕作,再侵蚀,再耕作,使顺坡侵蚀槽不断加深,径流不断集中,最终在底部发生切沟。如果不耕作,就极少发生浅沟,也不致使切沟发生。

b.人为特殊活动对切沟形成的影响。拨水沟、分地界活动能直接导致切沟发生。榆林、米脂、佳县等地拨水沟很普遍,有的当年就出现切沟。

c.村庄道路对切沟形成的影响。村庄道路径流系数大,侵蚀非常严重。据山西吕梁水土保持试验站观测,塬面道路4年平均径流模数为农田的8.14倍,平均冲刷模数为农田的52.2倍。据估计,黄土山区道路产流比农田大4—10倍,冲刷量大50—100倍。又据西峰水保站观测,村庄道路的水土流失占塬面径流的87.2%,占侵蚀量的92.2%,仅道路就占41.1%。所以道路上很容易发生切沟侵蚀,或路面迅速下降而变成切沟。村庄集水中,也常造成切沟侵蚀,所以塬区多有沟头溯源现象。

d.局部基准面对切沟发生的影响。黄土高原地形破碎,坡度陡峻,坡面沟蚀受基准面的影响很不明显,但在特定的条件下,也能表现出来。固原地区在塬地两侧常见浅沟侵蚀从顶到底,而不发生切沟侵蚀,但塬地一旦被切开,两侧就发生严重的切沟侵蚀。

e.坡长对切沟发生的影响。切沟发生需要足够的径流量,而径流的横向集中有限,只有坡长增加才能达到所需条件。通过在航片上量测,陕北丘陵区目前不发生切沟的平均坡长为74.4米,比值大于目前切沟沟头到分水岭的距离 $X_3=64.5$ 米,这是连锁效应,即切沟沟头一旦形成,易于上溯。所以,我们把不发生切沟的坡长作为切沟发生的临界坡长,更接近实际情况。绥德坡长大于74.4米的较少,所以切沟密度仅有2.54公里/平方公里。

f.坡度对切沟侵蚀的影响。在坡面上,切沟常在中段坡度最陡处出现,有的甚至在中间出现切沟,而下面却是浅沟侵蚀。这是坡度增大,径流下切能力突然增大的原因,坡度也影响到沟头到分水岭的距离( $X_2$ ),这反映了坡度对发生切沟临界坡长与沟头上溯能力的影响。



对杏子河流域的切沟统计,凸形坡平均沟头到分水岭的距离为95.3米,直形坡为72.58米,凹形坡54.9米。

g.大量集水对切沟发生的影响。沟壑地、塍地、峁地虽然坡度较小,但如果没有水土保持措施,绝大部分会形成切沟侵蚀,这主要是两侧集水面积大,径流量大所造成的。

(2)切沟的发展。如上所述,切沟的形成条件各不相同,自然发展方式也各异。道路中由于人为经常修补,以整体下降成沟为主。拨水沟和地界等活动形成的切沟,因水流非常集中,一般是纵向发展很快,形成非常狭长的槽形沟。其它大多数斜坡切沟最初以槽形断面出现,并有多级跌水,在发展过程中,这些跌水不断下切上溯。形成跌水是因为随着坡长增加,股流冲刷力不断加大,当冲刷力大于抗冲力时,就出现一个水漩涡,水漩涡沿后壁很快上溯就发展成为跌水。这种侵蚀叫跌水下切侵蚀。当切沟发展到一定深度时,普遍发生沟壁崩塌,形成沟底崩积物。由于崩积物非常松散,在下一次的侵蚀过程中多以陷穴侵蚀的方式进行,沟头处易形成跌穴。随着沟头的前进,能形成多个陷穴,或在一个较长的沟底,水沿底部漏走,松散堆积物每隔一定的距离下陷一个圆洞,形成陷穴。这些陷穴如果是随沟头前进留下的跌穴,多为方形或其它形状;果如水从底部掏空而成的,则一般是圆形,因为圆柱是最小剪切面。所以在这个时期沟底常形成串珠状陷穴,整个沟底被陷穴串通,不得见其沟底。这些陷穴侵蚀可以认为是切沟侵蚀的子过程。所以说沟底陷穴(或可称为沟成陷穴)和沟的关系主要是先有沟后有穴。

沟底、集流槽底部、凹形坡、沟壑地等处的陷穴侵蚀,跌水下切侵蚀,水漩涡是不同等级的三个侵蚀形态,以陷穴侵蚀最为严重。在抗冲性很小(或冲刷力很大)的情况下发生。不过目前的陷穴侵蚀,在某种意义上讲起缓兵之计的作用,水从下边流,在新黄土较薄的地区达到老黄土,有时达到红土。它们的抗冲性强,冲刷较少,松散的崩积物或土壤得到暂时的保存。

斜坡小切沟的进一步发展,在农田由于人为挖填多以圪塆地的形式保留。圪塆地内又可发生浅沟、切沟侵蚀,能形成套谷。

圪塆地内形成切沟时,上端多形成跌穴。由于底部多为松散堆积物,又有陡坎,所以圪塆地在切沟发生前,也易形成陷穴,进一步发展为切沟。

斜坡大切沟或非农地斜坡小切沟,一般发展为宽“V”字形切沟,斜坡大切沟还能进一步发展为冲沟,而小切沟一般不能发展为冲沟,只能成片破坏土地。

底部切沟一般初期为槽形,槽底较宽,陷穴较少,最终形成梯形断面。沟壑地切沟,无论是干沟沟头上溯或本身发展,都易转变为干沟,速度也很快。

(3)切沟的分布。斜坡小切沟主要分布在较长的坡面上(>70米),距分水岭一定距离(64米左右)处。一般与集流槽相间分布,或上部为集流槽,下部转变为切沟,或几条相交后变为切沟。斜坡大切沟一般分布在坡长大于100米,甚至300米的坡面上。底部切沟分布在沟壑地、塍地、峁地等部位。所以一般坡面上分不出浅沟侵蚀区和切沟侵蚀区,只有在少数较长的坡面才能分出。

## 参 考 文 献

- [1] 朱显谟: 黄土区土壤侵蚀分类, 《土壤学报》, 1956年4卷2期。
- [2] Haan, C. T. and H. P. Johnston and D. L. Brakensiek, Hydrologic Modeling of Small Watershed, American Society of Agricultural Engineers, pp299, 1982.
- [3] Bennett, H. H, Element of Soil Conservation, Second Edition, McGRAW-HILL Publishing Company LTD. London, 1955.
- [4] 罗来兴: 划分晋西、陕北、陇东黄土区域沟间地与沟谷的地貌类型, 《地理学报》, 1956年22卷8期, 201—222页。
- [5] 辛树帜、蒋德麟等: 《中国水土保持概论》, 农业出版社, 1982年, 53页。

## The Laws of Hillslope Channel Erosion Occurrence and Development on Loess Plateau

*Liu Yuanbao   Zhu Xianmo   Zhou Peihua   Tang Keli*

### Abstract

Complex channel system, and channel erosion play a very important role in soil erosion on loess plateau. We divided the channel into three series, and subdivided hillslope erosion ditch series into rill, shallow-gully and gully. In this paper, we give shallow-gully a new definition. According to the place and sizes, we divided gully into bottom-gully, slope side gully, big gully and small gully, then, discuss the difference between gully and ravine and canyon and the method of how to distinguish them. On this basis we studied the occurrence and development and the method of survey and the control of channel erosion.