

# 黄土高原动力水蚀系统研究的思路和框架

吴 普 特

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

## 1 引言

客观物质世界每时每刻都在按其固有的必然联系而在做周而复始的机械运动,这种运动方式及其联系即就是我们所说的规律。人们认识世界的目的正是为了揭示这种客观规律,从而利用它来为人类造福,推动物质社会的发展。

客观规律由于其内在性及必然性,使人们很难一下子就能够看出其本质,而这种规律总是通过一定的外部现象而表露。只有深入研究其外部现象,通过对它的外部表现形式的分析研究,才有可能认识其本质,达到认识客观规律的目的。同样对于土壤侵蚀规律的研究,也只有通过对土壤侵蚀发生、发展以及变化所表现出来的外部现象的分析研究,在搞清其外部表露形式及其联系的基础上,才有可能认识土壤侵蚀的发生、发展及其变化过程,从而达到认识土壤侵蚀规律的目的。

土壤侵蚀的发生必须具备两个条件,即外部营力——侵蚀动力及内在物质——侵蚀对象。众所周知,黄土高原的土壤侵蚀多以水流侵蚀为其主要方式,其侵蚀动力主要表现为由于降雨而转化的径流以及雨滴侵蚀作用;同时该地区具有深厚的黄土层(从几十米到几百米),这也为侵蚀提供了丰富的物质来源。那么侵蚀动力是如何作用于侵蚀物质之上并进而产生土壤侵蚀呢?换句话讲,由侵蚀物质所组成的实体地形中,在其地形的不同部位侵蚀动力的作用方式如何,它的侵蚀效果怎样等,这将是进一步揭示土壤侵蚀机理的关键所在。

## 2 黄土高原土壤侵蚀特征

前述已经谈到,黄土高原的土壤侵蚀多以水流侵蚀为主。土壤水蚀的产生是通过降落在土层表面的具有一定能量的降雨首先与地表土壤发生非弹性碰撞,使土壤原状结构遭到破坏,并进而消除以及降低土壤之间的粘结作用,最终使土壤颗粒发生分散、跃移,处于“孤立”及“半孤立”状态。当土壤的入渗能力小于降雨的供水能力之后,坡面即产生径流,通过径流的冲刷、侵蚀能力,不但可以将坡面上已经处于“孤立”及“半孤立”状态的土壤颗粒搬运输出坡面,同时也可将本身径流侵蚀作用所侵蚀掉的部分土粒搬运输出坡面。随着降雨的继续,坡面上径流的不断增大,侵蚀效果愈来愈显著;同时由于汇流以及径流集中作用,坡面径流最终都将输入沟道,并在沟道径流通过的两壁以及沟道内也产生侵蚀;而最终坡面上输入沟道的含沙径流都将通过沟道输入更高一级的支流,直至黄河;这种输送过程已超过土壤侵蚀研究的范畴,土壤侵蚀研究的范

围应主要集中在坡面分水岭地段到沟道之间。

当地表土壤即坡面的下垫面条件不一致时,坡面径流的产生以及汇集方式也会有较大的差异,随之而带来的侵蚀效果将会产生明显的差异,因此下垫面条件即地形因素是影响土壤侵蚀的一个重要因子,事实上它是连结侵蚀动力与侵蚀物质的纽带。黄土高原以其地形复杂、沟壑纵横、地面起伏较大而闻名,这种非规则地形条件决定了土壤侵蚀类形的复杂以及深入揭示侵蚀规律的难度。换句话讲,由于黄土高原的下垫面条件并非一水平面,其纵剖面也并非一光滑曲线,而是具有一定坡度、有一定转折点的非规则实体地形,同时构成地形的表面物质土壤并非钢体,仍有一定的吸水作用并形成壤中流,这就决定了坡面径流即侵蚀动力计算的复杂性。尽管如此,从该地区侵蚀类型所表现出的外部现象,却仍有一定的规律可循。

从分水岭到沟底,尽管下垫面条件差异较大,但侵蚀方式却有一定的变化规律。在分水岭附近,由于地面坡度比较平缓,上部无径流汇集,坡地径流的主要来源仅为降落在该地段的降雨,侵蚀动力仅为雨滴击溅动力及薄层水流(也可叫做细沟间水流)的冲刷侵蚀动力,因此在此部位主要发生雨滴击溅侵蚀及薄层水流侵蚀(片蚀,也叫做细沟间侵蚀)。距分水岭越远,坡地梯度愈来愈陡,上部径流汇集亦越来越多,由于地表并非绝对水平而呈现出相对的低凹分界,凹处汇聚径流相对较多,聚集的侵蚀体相对于平整及凸处地表亦较多,这样大部分径流将汇聚于凸处,并形成主要的径流流线,径流侵蚀动力相对较大。导致地表侵蚀出现了差异性,凹处侵蚀强度将大于其它部位,这种径流的集中作用所刻划出地表侵蚀的差异性,就产生了细沟,相应就出现了细沟侵蚀。

当距分水岭一定距离后,在坡面上形成了一种微地貌——瓦背状地形,有人称之为集流槽,是由于坡面沟蚀及人为耕作共同形成的(刘元宝);亦有人认为是细沟的发展结果(朱显谟)。但无论它的形成原因如何,客观事实则是存在这种地形,在这种地形上所产生的侵蚀则为浅沟侵蚀。由于浅沟相对于细沟较大,甚至在浅沟内仍有细沟产生,因此沟内汇聚径流较多,径流侵蚀力亦就相应较大,这就导致了它的发生发展以及变化规律与细沟侵蚀有较大的差异。切沟侵蚀一般发生在坡面沟缘线以下,其侵蚀动力除了径流的冲刷作用之外,有时亦伴有重力作用从而产生重力侵蚀,如滑坍、泻溜等,但其直接原因仍是由于径流的作用而改变了黄土颗粒之间的粘结及入渗,引起黄土层之间形成地下径流通道而产生的软弱夹层所致。

上述分析表明,从分水岭到沟道,在这相差几十米的高程范围内,尽管地形复杂,起伏较大,但土壤侵蚀的发生发展以及变化在垂直方向上仍具有明显的差异,即黄土高原地区的土壤侵蚀具有垂直分布规律。

大量研究结果表明,黄土高原土壤侵蚀主要是由少数几场大的暴雨所产生的径流所致。据周佩华研究员全国降雨侵蚀力研究结果表明,该地区降雨侵蚀力并不大,在全国范围内属中下等水平,但侵蚀强度却居世界之最。由此可见土壤侵蚀的垂直分异性和以径流侵蚀为主是黄土高原土壤侵蚀的两大基本特征。

### 3 黄土高原动力水蚀系统研究的思路和框架

关于黄土高原土壤侵蚀类型在垂直方向上的分布现象,自50年代以来,已有许多地学及土壤侵蚀工作者做了大量的研究工作(承继成、陈永宗、刘元宝等),充分肯定了这一客观现象,同时亦得到了公认。而近几十年来,对于这种客观现象一直处于定性描述阶段,对于机理及量化研究相对较小,尤其是在土壤侵蚀规律及水土流失预报方面这一客观规律并未得到重视。例如对于

坡面水蚀的预报虽然有比较成熟的方法,但所采用的方法却是将坡面上众多侵蚀类型所产生的侵蚀量合而为一,通过建立总侵蚀量与影响因子之间的相关方程来进行预报。这种方法,虽然有一定的依据,但随机性很大;同时也未将坡面侵蚀过程中的内在联系反映出来。诸如分水岭附近的弱度侵蚀以及下部由于径流的汇集而产生的冲刷作用,从而引起的强度侵蚀等。致使土壤侵蚀规律研究中的许多理论问题难以解释清楚,至今仍争论不休。这不但直接影响该学科的深入发展,而且本身对国家的水土保持事业,甚至治黄决策亦有严重的影响。例如有人说黄土高原的泥沙来源主要是沟蚀(特别是沟中的重力侵蚀),坡面来沙很少;由此推论坡面梯田林草等措施不能解决黄河泥沙问题,解决黄河泥沙只有靠沟中修大坝拦蓄(甚至认为修小坝也不解决问题)。这种说法的科学性如何?是否每个类型区泥沙来源都是沟蚀为主?当坡面(塬面)水不下沟以后,沟蚀是否永远还是那么严重等等,至今仍无定论。如果以黄土高原土壤侵蚀垂直分布规律为基础,深入研究其形成机制、动力过程等,这些问题即可迎刃而解。

我们认为黄土高原的土壤侵蚀既然已经从外部形式上以垂直分布性而表露,那么就应以此为线索进行重点研究,深入揭示其内在形成机制。从分水岭开始直到沟道,在搞清不同侵蚀带土壤侵蚀发生发展及变化规律的基础上,以径流的连续性为纽带即可将不同地形部位的侵蚀过程联系起来,从而可以进一步研究不同地形部位侵蚀方式的相互联系、相互作用,最终达到综合研究,搞清该地区土壤侵蚀规律的目的。这种方法不仅可以解决该地区土壤侵蚀规律的理论问题,而且也为该地区的侵蚀预报奠定了基础,并对制定相应的水土保持措施具有重要的意义。事实上当今土壤侵蚀研究的重要方向之一也正是建立基于侵蚀基本物理概念的水蚀预报模型(WEPP),美国 FOSTER 等人已开始做这方面的探索性工作,这种想法的产生实际上是基于国外同行们已经深刻地认识到“土壤侵蚀研究的继续,最终可能导致抛弃或从根本上修改通用土壤流失方程式(USLE)”的基础之上。

具体研究思路为,首先按照土壤侵蚀在垂直方向上的分布类型,逐个研究。从雨滴击溅开始直到径流沟坡冲刷,在此基础之上,基于水流总是“由高往低”流动,且水流质点具有连续性,即上部来水量等于断面区间内土壤入渗量与断面出口径流量之和。通过这一约束条件,加上水流侵蚀作用对象——下垫面条件的实体连续性,即可将不同种类的侵蚀方式,自上而下连系起来,这在理论上是可行的。同时,由于侵蚀的复杂多样性,在某一特定的侵蚀区域内,很可能是多种侵蚀方式的组合,每一种侵蚀方式对总侵蚀效应都有各自的贡献,对于这种侵蚀状况可以在首先分类的基础之上,逐个类型加以计算,然后求和,同样可以解决。

为了使问题更加简单化,可以沟整线为界,首先研究坡面上水流的侵蚀状况,然后研究沟坡水流冲刷侵蚀,两者结合即可解决侵蚀计算问题。事实上这种研究思路就好像小孩玩的“积木”一样,由于整体效应研究难度较大,或者线条太粗,可以首先将整体划分为若干个有机单元,每一个单元的情况与整体相比则相对简单,可进行比较深入的研究;同时在对每个单元深入研究的基础上,通过各个单元之间的客观联系,又可将其组装起来,还原到整体,达到认识整体,揭示整体本质的目的。

这种研究思路事实上是一种系统科学的思想,是把整个侵蚀整体当做一个动力侵蚀系统来考虑,从大的分类上动力侵蚀系统又分为坡面水蚀子系统与沟坡水蚀子系统,每个子系统又包含着若干个小水蚀系统,即不同类型的水流侵蚀方式,或者侵蚀类型。划分的依据完全根据该区侵蚀类型在垂直方向上所表现出的分布规律,水平方向上复杂多样性以及水流侵蚀动力特征。同时各个小系统之间以及两个大的子系统间都可依据水流的连续性将其有机地组合起来,这就为

整个系统的研究提供了可能及便利条件。

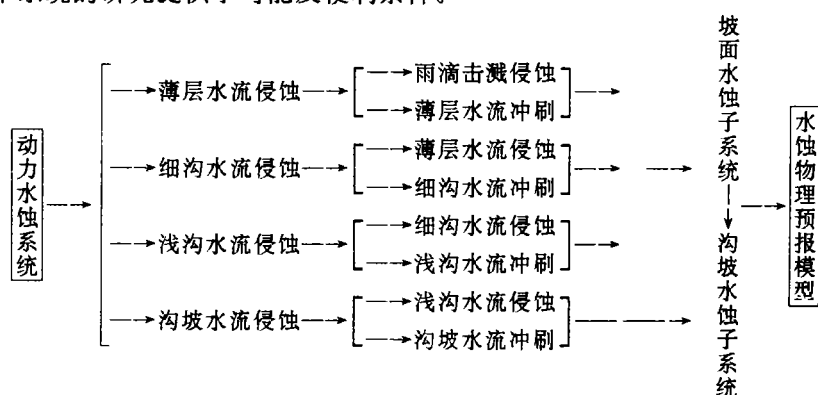


图1 动力水蚀系统示意图

由图1可明显看出各个系统之间联系非常紧密,上一级系统即为下一级系统的子系统或者分系统,具有由上到下这种方向上的可传递性,即系统的矢量传递性。事实上上一级系统就是下一级系统的基础。

对于每一个系统的研究,实质上就是对于这种系统所对应的侵蚀类型、侵蚀动力及侵蚀效应的研究。各个系统的侵蚀效应之和实质上就是动力水蚀系统的总侵蚀效应,按照这种思路,在研究各个系统侵蚀动力及侵蚀效应的基础上,求解或组合得出动力水蚀系统的总侵蚀效应,就可建立侵蚀物理预报模型,这种预报模型将完全抛弃原有经验模型的思路,从动力侵蚀系统出发,在研究侵蚀动力的基础上所建立的,从侵蚀物质机制或成因角度出发的模型。其优点就在于它的预报值将不再是多年平均侵蚀量的概念,而是特定侵蚀动力条件下所产生的侵蚀效应,结果具有唯一性及一一对应特征,具有针对性及实用性。

水蚀物理预报模型的建立及应用,可依据预报的区域或范围,建立不同尺度的模型,并在不同尺度范围上进行应用。具体应用步骤为:

(1)选择预报尺度范围,并进行系统分类。

(2)在分类的基础上,对预报区域进行界定,即做出若干个“有限元”,每一个“有限元”将对应动力水蚀系统中某一个分系统。

(3)对各个“有限元”进行逐个计算,求出各个分系统的侵蚀效应。

(4)对各个分系统的侵蚀效应逐个组装求和,即为该区域的总侵蚀效应。

当然在预报的过程中,还可根据实际需要,分别预报坡面水蚀子系统,沟坡水蚀子系统的侵蚀效应;甚至可以对尺度范围内每一地块即“有限元”的侵蚀效应进行预报。上述工作最终都可在动力水蚀系统研究的基础之上,编制相应的计算机系统程序,计算工作均可由计算机来完成。

当然要完成上述工作,或者设想,决非一两个人所能及,而是需要众多科技工作者联合作战、攻关。笔者只不过是根据10年来对土壤侵蚀的研究实践、前辈们的工作所体会到的认识,并开始做这方面的努力,做了一些不成熟的工作。也许上述认识及想法还很幼稚,甚至有错谬之处,欢迎同行批评指正。

#### 参考文献

- 1 朱显谟.黄土高原水蚀主要类型.水土保持通报,1983,(1)
- 2 朱显谟.黄土高原水蚀主要类型.水土保持通报,1983,(2)
- 3 朱显谟.黄土高原水蚀主要类型.水土保持通报,1983,(3)
- 4 周佩华.中国降雨侵蚀力等值线图.1989