

土壤侵蚀模型试验的原型选定问题

雷阿林 唐克丽

中国科学院水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室·陕西杨陵·712100
(水利部)

摘要 基于野外考察、图上量算及对比分析,深入探讨了黄土高原丘陵沟壑地区地貌形态的相似性,及其与土壤侵蚀的关系,并据此提出了土壤侵蚀模型试验的原型选定的一些基本依据和方法。

关键词 黄土丘陵区 土壤侵蚀 模型试验 原型选定

Discussion on Choosing Prototypes in Simulated Test of Soil Erosion

Lei Alin, Tang Keli

(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi)

Abstract This paper has deeply discussed points of similarity among landforms and relations between landforms and soil erosion in hilly-gully area of the Loess Plateau, based on the survey in the field and the measurement on the map as well as the contrast and analysis, and also puts forward some foundations and methods on choosing prototypes in simulated test of soil erosion.

Key words the hilly region of loess; soil erosion; simulated test; choosing prototype

1 问题的提出

模型试验是指在实验室条件下,用不同比尺(包括缩小、放大及等尺寸的)的模型,对现象进行研究的重要科学方法。因其可再现原型的各种现象与过程,可人为控制试验条件与参量;可简化试验、缩短研究周期及促使人们从物理角度理解现象等,而备受各学科专家的青睐,同时也受到土壤侵蚀研究者的重视^[1]。

要从事土壤侵蚀模型试验,首先要确定原型,这是开展此项研究工作的基本前提。然而,自然环境复杂多样,其不同组合构成不同的原型形态,这些不同的原型则呈现了不同的土壤侵蚀规律。人们绝不可能仅用一个“万能模型”去再现现实世界多种多样的原型特征;也永远不要指望在实验室内重现自然界不胜枚举的所有原型。那么,在土壤侵蚀模型试验的原型选定上,人们是不是就束手无策呢?绝不是这样的。我们知道,虽然自然环境因地而异,但又是渐次过渡的,地表上

① 收稿日期:1994-07-30

总还可以划分出若干相似性较大,差异性较小的区域,而且划分愈细,相似性愈大,差异性愈小。在这些被划分的区域内,我们认为,由于相似自然条件的作用,孕育了相似的土壤侵蚀特征,从而塑造出相似的地貌形态来。而这些相似的地貌,必然又以一定的形式对系统产生反馈作用,从而影响该系统呈现出相似的侵蚀现象与过程。人们可通过对区域地貌形态相似性的深入剖析,然后对自然原型做出不同的划分,再以一定规则选定某些地貌形态作为模型试验的原型,继而依相似原理设计模型并安排试验,就一定能在实验室内重演该原型所有的侵蚀现象与过程,并最终揭示土壤侵蚀现象的全部奥秘。

本文正是基于上述认识,以黄土丘陵沟壑区为例,深入揭示该区域地貌形态的相似性,并在此基础上,首次探讨土壤侵蚀模型试验的原型选定依据与方法。

2 黄土丘陵沟壑区地貌形态的相似性

在一个自然分划的区域内,相似的自然条件、相似的侵蚀动因及相似的地貌形态是紧密联系,互为因果的。其作用机理可用下面图式给以简单表示。

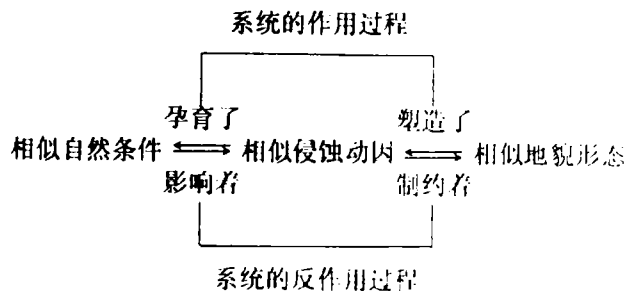


图1 区域相似性关系的简单图式

由此可见,对黄土丘陵沟壑区而言,由于相近的地质背景和古地貌环境,相似的地表组成物质,以及差异不大的气候与植被特征,必然孕育了大致相近的侵蚀现象与过程,从而塑造了该区梁峁广布、沟壑纵横的独特黄土地貌景观。这些相近的地貌形态,反过来又以一定的形态示量(坡度、坡长、面积、轮廓、沟壑密度等)反作用于系统,从而使该系统呈现出大致相似的现代土壤侵蚀特征。我们说,区域的相似性又是一个相对的概念,在区域内也还存在着不同程度的差异性。以下笔者将通过对黄土丘陵沟壑区不同小流域地貌和坡沟形态的定性与定量对比分析,进一步揭示其相似与差异的状况,以便为模型试验的原型分类提供参考依据。

2.1 小流域地貌的相似性

A. N. Strahler 和 M. E. Morisawa 研究表明^[2],地区性质相似的流域,地貌形态也相似;而地区性质存在差异的流域,地貌形态也就有差异。这里所谓相似,指两比较流域地貌形态示量的几何相似性,即相应点间的全部几何形态量具有一个大致相近的比例。我们运用黄土丘陵区小流域的分析结果,进一步验证上述结论。

在 1:10 000 地形图上,选择东沟、庙沟、韭园沟、纸坊沟四条小流域,分东沟/庙沟(同处黄土梁状丘陵沟壑)、韭园沟/纸坊沟(分处黄土梁状丘陵沟壑和黄土梁状丘陵沟壑)两种情形,进行相似性对比分析,结果见表 1。

由表 1 可见,东沟和庙沟多数比值较接近,说明两流域地貌形态有较大相似性。而韭园沟和

纸坊沟多数比值存在明显差异,说明两流域地貌形态相似性较小。这一结果与 A. N. Strahler 等人的结论基本一致。应该指出,东沟和庙沟在流域形状和河网密度方面的较大差异,主要与流域级别低(同为二级水系)、面积小(均不足 1km^2)有关。

表1 黄土丘陵区不同小流域地貌相似性比较

项 目	东沟/庙沟	韭园沟/纸坊沟
尺度比例		
第一级水道的平均长度	$\lambda_1 = 1.27$	$345/259 = 1.33$
第二级水道的平均长度	$\lambda_2 = 1.21$	$534/394 = 1.35$
第一级流域的平均面积	$\lambda_{A_1} = 1.31$	$7200/7694 = 0.94$
第二级流域的平均面积	$\lambda_{A_2} = 1.40$	$27580/42000 = 0.65$
第一级流域的相对高差	$\lambda_{H_1} = 1.23$	$116/143 = 0.81$
第二级流域的相对高差	$\lambda_{H_2} = 1.16$	$170/237 = 0.27$
第一级流域的河网密度	$\lambda_{D_1} = 1.12$	$50000/35000 = 1.43$
第二级流域的河网密度	$\lambda_{D_2} = 1.04$	$80000/54000 = 1.48$
无量纲量		
高程积分	55.4%/53.2%	—
流域的圆度	0.493/0.583	—

注:韭园沟资料引自文献[2]。

2.2 坡沟形态的相似性

所谓坡沟,包括了坡面和沟谷两个地貌子系统,一般以谷缘线为界,以上者为坡面系统,以下者为沟谷系统。侵蚀沟一般常见的有细沟、浅沟、切沟、冲沟、坳沟及河沟等六类,在我们的研究中,考虑到细沟能被普通耕作所消灭,浅沟虽不能被普通耕作所消灭,但仍可耕作,而浅沟以下的其它侵蚀沟道均不适于耕作,所以将前述细沟与浅沟作为坡面沟蚀看待,将其余四类侵蚀沟作为沟道侵蚀看待。据对若干小流域坡沟系统的剖面形态野外观察、图上量算及参考前人研究成果可见,黄土丘陵沟壑区坡沟系统的相似性也是比较明显的。

首先,坡沟几何形态是大致相近的。沿坡面径流线延伸方向,坡面剖面形态一般有凸形、凹形、直线形、复合形(凸凹形和凹凸形)及阶梯形等五种类型。曹银真统计分析认为,黄土地区梁峁坡的坡度主要分布在 $14^\circ \sim 28^\circ$ 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^[3]。我们对绥德(黄土状丘陵沟壑)若干小流域的图上量算与野外观察可见,与一定的侵蚀方式相应,坡面相应坡度与坡长有一个大致的区间范围(如表2所示)。谷缘线以下的沟谷主要有切沟、冲沟、坳沟及河沟四种类型,据陈永宗调查结果,其各种形态要素也有一定的分布区间(如表3所示)^[4]。

表2 黄土丘陵区坡面形态要素的数量特征

坡 形	坡段部位	侵蚀方式	坡度($^\circ$)	坡长(m)
凸形坡	坡上部	溅蚀与片蚀	$0^\circ \sim 5^\circ$	0~20
	坡中部	细沟为主,间或有浅沟	$10^\circ \sim 20^\circ$	20~30
	坡下部	浅沟为主,细沟进一步发育	25° 左右	15~20

其次,坡沟的空间展布是基本有序的。就坡面而言,主要呈放射型向四周扩散,梁状丘陵为扇形排列,峁状丘陵为圆形或近圆形排列。各种侵蚀沟的发育,也有大致相近的分布规律。细沟为梁峁坡上中部,距分水线 3~5m,临界坡度 5° ;浅沟为梁峁坡中下部,距分水线 20m 以上,临界坡度 20° ;切沟为沟谷缘线以下,干沟两侧;冲沟与坳沟为河沟或老冲沟的沟间地;河沟为沟间地。

应该叙及,从绥德和安塞野外观察看到,坡沟的差异性也很显著。绥德,以峁状丘陵为主,峁顶浑圆,中下部坡度大,状似馒头,这使得该区峁坡坡面多以凸形为主。同时峁的大小规模相近,其高差多在30m左右,从而使四周坡面呈现大致相近的坡度规模(45~60m)。安塞则以梁峁状丘陵为主,梁脊与峁顶较尖,坡面坡度变化小,这使得该区梁峁坡面多以直线形或近直线形为主。同时梁峁的大小规模相差悬殊,从而使周围坡面呈现较大区间范围(10~80m)的坡长变化。

表3 黄河中游黄土丘陵区沟谷形态要素数量特征

项 目	沟 谷 类 型				
	切 沟	冲 沟	塬 沟	河 沟	
数 量 特 征					
汇水面积	分布区间(km ²)	0.0037~0.02	0.005~0.046	0.05~0.5	>0.2
	范围(km ²)	0.0037~0.01	0.01~0.03	0.1~0.25	0.2~1.0
	集中程度				
	条数(条)	157	43	47	49
	占总条数(%)	79.6	77.9	74.7	92.5
沟道长度	分布区间(m)	20~200	100~260	300~1000	>500
	范围(m)	50~150	100~250	400~800	500~2000
	集中程度				
	条数(条)	145	60	49	48
	占总条数(%)	72.6	88.4	77.5	91.7
沟床比降	分布区间	0.3~1.1	0.26~0.75	0.08~0.36	0.01~0.2
	范 围	0.4~0.6	0.3~0.5	0.1~0.3	<0.2
	集中程度				
	条数(条)	163	59	52	51
	占总条数(%)	82.7	86.7	82.4	96.4
地形坡降	分布区间	0.3~1.1	0.28~0.6	0.1~0.4	0.02~0.25
	范 围	0.3~0.7	0.3~0.5	0.1~0.4	<0.25
	集中程度				
	条数(条)	180	50	63	50
	占总条数(%)	90.6	76.3	100	94.4
沟谷宽度	分布区间(m)	20~80	25~80	70~250	85~270
	范围(m)	30~60	30~70	100~200	>100
	集中程度				
	条数(条)	176	50	53	46
	占总条数(%)	85.3	86.2	86.7	90.2
沟谷深度	分布区间(m)	5~20	5~40	20~110	30~120
	范围(m)	<10.0	10~30	40~80	>40
	集中程度				
	条数(条)	--	54	50	42
	占总条数(%)	--	93.1	82.0	81.2

3 土壤侵蚀模型试验的原型选定依据与方法

在阐述这一问题之前,我们首先需要澄清一种认识,即沟间地与沟谷地侵蚀量的比例(简称坡沟关系)是否唯一?多年来,不少研究者始终认为,坡沟关系是唯一的^[5,6,7,8,9],他们将人们研究结果不统一的现象,仅仅归结为计算方法不恰当或没有将侵蚀量换算到单位面积的缘故。笔者认为,上述皆非主要影响因素,本质的原因是不同研究者所处的区域不同。只有相似的自然条件所塑造的相似地貌区域,才有相似的侵蚀规律,而不同的区域自然有不同的侵蚀结果。坡沟关系绝不唯一,而应当是有多少种差异的区域,就有多少个坡沟关系。尤其当考虑到不同区域土壤侵蚀

的动力学机制时更应当是如此。

相似自然条件影响下的相似地貌区域应作为原型分类的基本界定范围。因为形态相似的地貌,如果其成因不同,就不会有相似的现代侵蚀特征。因而,对分别处于不同成因区域的相似地貌类型不应作为同一类原型看待。只有相似成因区域内的相似地貌类型,才具有相似的现代侵蚀现象与过程,也才可作为同一类原型处理。但相似只是一个相对的概念,划分再小的区域也还是有差异,究竟应以多大区域作为最低级的相似类型区,这是一个十分复杂的问题。笔者认为可从下述几方面考虑。第1,由研究目的确定。即要解决什么问题,该问题对原型有什么要求,从此出发去考虑原型的划分。第2,由研究内容确定。比如,我们是要研究沟谷发育的,可是原型选的过大,经过缩尺后要研究的沟谷类型不见了,试验中也出现不了,这样的研究还有什么意义。第3,由研究方法确定。比如,我们要在相似理论的指导下设计模型试验,选取的原型经过缩尺后有无变态,变态有多大,是不是在容许的范围内,这些都能引导我们去选择一个恰当规模的原型。最后,应该指出,在考虑上述几点后,也许还找不到一个适合研究问题的恰当的原型,这就需要我们熟悉模型理论和模型试验技巧,在模型本身上作文章。

目前,在尚无一个原型分类体系情况下,笔者尝试提出下述分类方案(如表4所示),供人们选择原型,设计模型试验时参考。

表4 黄土丘陵区土壤侵蚀(水蚀)模型试验的原型分类系统

一级区	二级区	三级区	
黄土丘陵沟壑区	黄土梁状丘陵沟壑	相似性大于一级区,更多强调了侵蚀的地貌差异,是侵蚀类型划分的基本单元。在该区的每一地形单元内,若以小流域为原型,在所有相似小流域间认为差异已经可以忽略。若以坡沟为原型,认为差异仅表现在坡沟的几种形态类型上。	
相似的自然条件(地质与古地貌、气候、土壤与地表堆积物、植被等)。 相似的地貌形态、 相似的现代侵蚀过程。	黄土崩状丘陵沟壑		在每一二级区内,再分为二类(小流域、坡沟)作为基本原型单位。这里主要考虑了研究内容的差异。 1. 以二级水系*的小流域为最小流域分划单位,这是流域间相似的最低要求。 主要研究内容:·小流域径流泥沙来源;·小流域侵蚀试验新方法,新技术的应用。 2. 以坡沟形态划分的坡面类型(凸形、凹形、直线形、复合形、阶梯形)与侵蚀沟类型(细沟、浅沟、切沟、冲沟、坳沟、河沟)及其组合类型作为基本原型单位。 主要研究内容:·坡沟形态与微地貌发生、发展及演变规律;·坡沟径流、泥沙来源;·坡沟侵蚀临界值、极限值及其它特征值的获取;·坡沟土壤养分迁移规律及土壤退化机理;·沟坡侵蚀力学及侵蚀动力机理;·坡沟侵蚀试验新方法、新技术的应用。
	黄土梁状丘陵沟壑		
	黄土缓坡丘陵沟壑		
	黄土长坡梁状丘陵沟壑		
	黄土长坡梁状丘陵沟壑		
黄土梁状宽谷丘陵沟壑			
黄土梁状宽谷丘陵沟壑	… … …		

*参考文献[2]的水系划分方法。

由表4中,我们对原型的分类类型,分类依据及不同类型的研究内容已看的很清楚。这里还要叙及的是,在同一基本类型单元内,由于同一坡沟类型的明显差异(相应形态要素的数值区间范围较大),坡沟原型如何选定的问题。我们提出两条途径。第1,取真实原型,然后建模试验,在试验结果向其它相似类型外推时,根据差异大小,增加一定权重或比例系数。第2,取概化原型,将同一坡沟类型再抽象为几种概化类型,然后建模试验,再将结果外推到与其相近的所有原型

上。还应指出,以小流域为基本原型单位时,由于原型相对尽可能大的模型来说也要大出数百至数千倍,这样模型比尺必然很大,经缩尺后原型的几何形态势必会有较大的变态,许多不容忽视的差异被忽略了。加之,在目前情况下,除几何形态外,其它因素均不能依比尺缩小,小流域模型试验不能满足甚至是极粗略的相似性要求,所获得的试验结果只能是一种简单的,甚至是不可靠的定性结论。

最后,还需指出,本文划分的类型依然很多,据此选定原型,组织模型试验,思路是清晰的,但要尽述这众多的类型也是不易的。我们设想了这样一些减少原型试验的途径。

(1)从侵蚀危害最严重,机理又不明的类型入手。

(2)实验模拟与数学模拟相结合,并将一部分类型研究归于数学模拟处理。

(3)定性与定量、实验与理论相结合,举一反三,扩大试验结果的应用范围。

(4)考虑土壤侵蚀的时间演化序列,探讨不同坡形间的演变规律,寻求一模多用,一模多果的途径。

参考文献

- 1 R. 拉尔. 土壤侵蚀研究方法. 北京:科学出版社,1991
- 2 承继成,江美球. 流域地貌数学模型. 北京:科学出版社,1986. 156~162
- 3 曹银真. 黄土地区梁峁坡的坡地特征与土壤侵蚀. 地理研究,1983,2(3):20~27
- 4 陈永宗. 黄河中游黄土丘陵区的沟谷类型. 地理科学,1984,4(4):321~327
- 5 焦菊英等. 小流域沟间与沟谷地径流泥沙来量的探讨. 水土保持学报,1992,6(2):24-28
- 6 陈永宗等. 黄土高原现代侵蚀与治理. 北京:科学出版社,1988. 178~182
- 7 龚时暘,蒋德麒. 黄河中游黄土丘陵沟壑区沟道小流域水土流失及治理. 中国科学,1978,(6):671~678
- 8 蒋德麒等. 黄河中游小流域径流泥沙来源初步分析. 地理学报,1966,32(1)
- 9 曾伯庆. 晋西黄土丘陵沟壑区水土流失规律及治理效益. 人民黄河,1980,(2)