

黄土高原沟谷侵蚀速率研究

——以洛川黄土塬区为例

白 占 国

(中国科学院西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 据洛川塬区8条典型沟谷大量地质地貌实测资料,以恢复、基测各时段沟谷形体为主线,用黄土—古土壤层存在沟谷两侧的波痕关系、 C^{14} 测年及考古资料确定了沟谷发育年代,指出洛河及其主要支流诞生于55.5万年前,后经历了5个演化阶段,并测算出33~25、25~14、14~1和1万年以来及历史时期沟道的侵蚀量、侵蚀率及其递增率。在33~25万年前,侵蚀量为945.624t/a,25~14万年前为672.51t/a,14~10万年前为541.73t/a,1万年前为2535.98t/a。

关键词 黄土高原 沟谷系统演化 沟谷侵蚀速率 洛川塬区

Study of the Gully Erosion Rates on the Loess Plateau ——Taking Luo Chuan Yuan As an Example

Bai Zhanguo

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, the Chinese Academy of Sinica
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shannxi, 712100)

Abstract On the basis of intensive investigation data of gully features in morphology and stratum contacts and C^{14} datings, this paper get the follow results the Luo he river and its main tributaries were formed in 555 ka B. P. , i. e. mid-middle pleistocene, and after that 5 periods of intensive erosion have gone through. The eroded capacity and rates in each period are as follows: 330—250ka B. P. , 945. 624 t/a. ; 250—140ka B. P. , 672. 51 t/a. ; 140—10ka B. P. , 541. 73 t/a. ; 10ka B. P. , 2 535. 98t/a. , headed erosion rates in 5 000 a B. P. , 1. 3 464m/a. as well as 0. 225m/a. in 40 a B. P.

Key words the loess plateau evolution of gully system rates of gully erosion
Luo chuan yuan region

沟谷纵横、侵蚀强烈是黄土高原的主要特征。研究沟谷系统演变过程、不同地质历史时期的侵蚀量及速率,对认识黄土高原现代沟谷侵蚀、预测其演变趋势有重要意义。

• 收稿日期 1994—07—01

1 黄土沟谷系统演化过程的时间标尺和地质地貌记录

洛川塬位于黄土高原中部,地势北高南低。洛河自北而南曲流穿过塬区。海拔800~1 300m。构造上属鄂尔多斯地台上的一个次生构造——台向斜。第三纪时期洛川塬区为一宽浅的基岩侵蚀盆地^[1]。上新世初,堆积了红粘土,第四纪又堆积了厚层黄土与古土壤层,是典型的黄土塬区。黄土—古土壤堆积剖面由黄土层、古土壤层和风化黄土层相互叠加组成。地层完整、稳定、易对比,不具穿时性^[2-5,8-10],并已有详尽的地层年龄测定^[2]。因此,黄土—古土壤时间序列可作为黄土沟谷地质历史演化过程的时间标尺(表1)。

表1 黄土—古土壤地层层序与年龄

时代	年龄(10 ⁴ 年)	层次
Q4	1.0	S ₁
Q3		L ₁
Q	10.0	S ₁
	14.0	L ₂
	20.0	S ₂
	25.0	L ₂
	30.0	S ₃
	33.0	L ₄
	37.5	S ₄
	41.0	L ₅
	46.0	S ₅
	55.5	

*引自《黄土与环境》,刘东生等著,科学出版社

洛川塬区基岩古地形较平缓,黄土—古土壤地层呈水平或微倾斜产状。但在沟谷两侧黄土—古土壤层呈倾斜披覆(图1)。古土壤产状由水平转变为倾斜的时代,代表沟谷开始发育的时期。自沟(或河)口至沟头,倾斜地层由老到新渐次水平尖灭。全新世伊始,沟头有分叉现象且叉口沟底有零星黑垆土发育。依此来确定不同时段内沟头位置和恢复不同地质时期的古沟谷形态。黄土塬区许多沟谷剖面揭示出现代沟谷格局是经历了几个发育阶段后形成的。第五古土壤层(S₅)形成之前,沟谷发育不明显。S₅古土壤开始形成时,沟谷侵蚀加剧。洛河两侧及其较大支流沟口临近有S₅缓倾斜。此后随气候及新构造变化,沟谷发育又经历了几个强烈侵蚀期:

1.1 第一侵蚀期(距今55.5万年)

该侵蚀发生在第五古土壤层形成前期,当时的洛河及其一级支沟两侧有S₅倾斜(图2)并与基岩斜交接触。说明在S₅形成前洛河及其一级支沟临近堆积的黄土和红粘土被侵蚀殆尽。

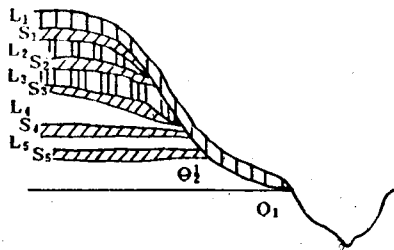


图1 黄土—古土壤地层披覆关系示意图

1.2 第二侵蚀期(距今33万年)

如图3,黄土—古土壤层倾斜披覆关系清晰,剖面上可见到古沟谷侵蚀面。侵蚀面上堆积了第一、二、三层黄土(L₁、L₂、L₃)和第一、二层古土壤(S₁、S₂),其上发育最老地层为第三古土壤层(S₃),侵蚀发生在距今大约33万年前。

1.3 第三侵蚀期(距今25万年)

以图4为例,古沟谷形成的侵蚀面上发育了第二层古土壤(S₂),其年代为25万年前。

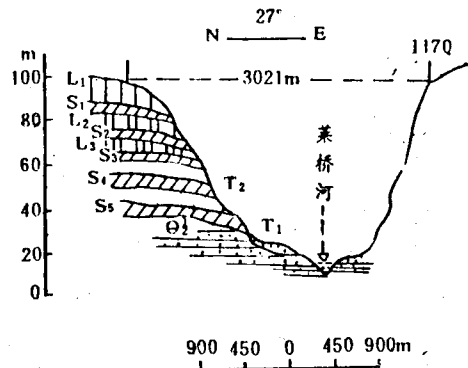


图2 洛川永乡莱桥沟入洛河附近阳平崓实测剖面图

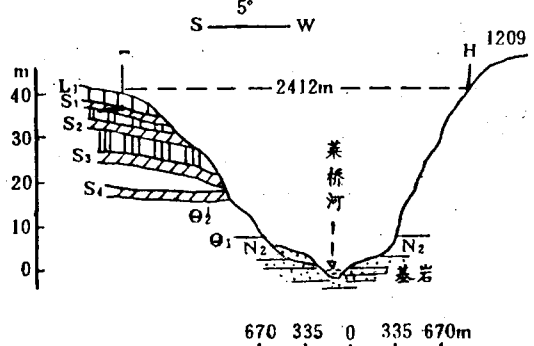


图3 洛川永乡莱桥沟高家孤实测横剖面图

1.4 第四侵蚀期(距今14万年)

如图5所示,沟谷两侧第一古土壤层倾斜披覆,倾角 $15^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 。

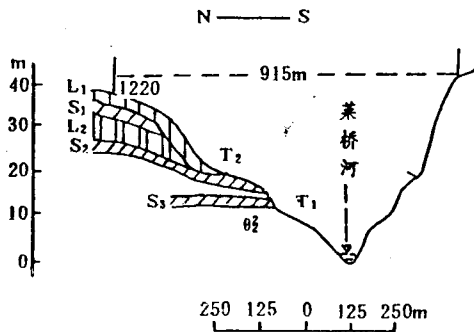


图4 洛川水乡莱桥汉北贺苏实测横剖面图

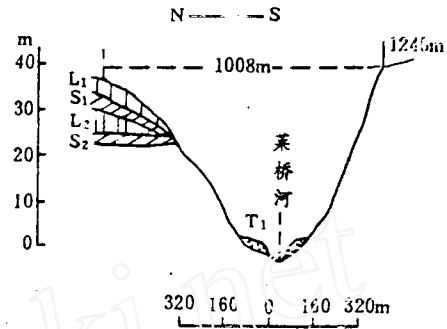


图5 洛川旧县莱桥沟故现实测横剖面图

1.5 第五侵蚀期(距今1万年)

沟谷形态呈“V”字形,沟头有分叉现象,叉口处有零星垆土发育。大致相当于最后一次冰期后的温湿期,结合 C^{14} 测年,大约距今1万年。

2 不同地质时期沟谷侵蚀量测算

2.1 测算方法

依据时间标尺和地质地貌记录,通过野外观测结合地形图,恢复不同时期沟谷形状并量测其空腔体积(即形体)。

2.1.1 1万年来沟谷形体

(1) 溯源侵蚀量。沟谷呈楔形,采用三棱锥体积法求得,即 $V = \frac{1}{3} \times S(\text{横截面积}) \times H(\text{沟谷长度})$ (图6)。

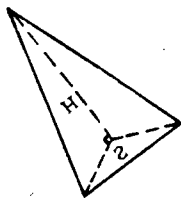


图6 三棱锥示意图

(2) 下切侵蚀量 1万年来下切量部分含在溯源侵蚀量中,另一部分在14~1万年发育的沟谷中,1万年来下切量,用三棱锥体积法求得。14万年前沟谷中1万年来的下切量多已切至基岩,下切微弱,本文略去。

2.1.2 14~1万年间沟谷形体 溯源侵蚀沟谷形态呈楔形,采用三棱锥体积法求得。下切侵蚀主要发生在14~25万年间形成的沟道中,采用平均断面法,即在14~25万年间形成的沟道中量取数个14~1万年间下切的沟谷横断面,求其均值,再乘以该沟道长度。同理可分别求得14~25和25~33万年间

发育沟段溯源和下切侵蚀量。

2.1.3 历史时期发育沟谷的体积 历史时期洛川塬区的汉人为防御少数民族入侵建筑多处城堡,后经沟蚀切穿古城墙伸入古城堡内,实测城堡内沟蚀量并用 C^{14} 测年得城门顶横木年龄为738年(本文采用700年),据历史记载和丰富的历史地理考古资料。

2.2 测算结果与讨论

依上所述,求得洛川塬区沟谷不同时期侵蚀量(表2)。

由表2和图7可看出,以14~1万年间侵蚀量最小为界,25~14、33~25、>33万年间依次增加,如计33~25万年间侵蚀量为100%,则25~14万年间递减了38.88%;14~1万年间递减了47.1%。1万年来侵蚀最强,递增了168.18%。特别是有文字记载以来,递增幅度更大。据历史地理考证,5 000

表2 洛川塬区8条沟谷分期平均侵蚀量测算

时 段	溯源侵蚀量 (m ³)	下切侵蚀量 (m ³)	侵蚀总量 (m ³)	年均侵蚀量 (t/a)	递增率 (%)	溯源率 (m/a)	递增率 (%)	下切率 (m/a)	递增率 (%)
>33万年	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33~25万年	1076.56 × 10 ⁴	2791.02 × 10 ⁴	3867.58 × 10 ⁴	945.624	100	0.01822	100	0.000793	100
25~14万年	1594.19 × 10 ⁴	2796.17 × 10 ⁴	4390.36 × 10 ⁴	672.51	-28.88	0.012	-34.13	0.000542	-31.65
14~1万年	1006.29 × 10 ⁴	2582.91 × 10 ⁴	3589.21 × 10 ⁴	541.73	-42.71	0.00566	-68.94	0.001261	59.01
1万年以来	531.31 × 10 ⁴	1285.92 × 10 ⁴	1817.23 × 10 ⁴	2535.98	168.18	0.0504	176.62	0.007513	847.41
5000年以来	—	—	—	—	—	1.3464	7289.7	—	—
700年以来	—	—	—	—	—	0.02296	26.02	0.006017	658.76
40年来	—	—	—	—	—	0.225	1134.9	—	—

注：①土壤容重采用平均值(1.956t/m³)。

②据黄委会西峰水保站40年来对南小河沟22个未治理沟头的观测均值。

年来沟头溯源率为1.346m/a,是史前地质时期的72.89倍。700和40年来沟头溯源率分别为0.02296和0.225m/a,递增率分别为26%和11.35倍。700和40年来沟头溯源率经多处实测取得,基本代表塬区沟头的溯源率。而5000年来历史考证的沟头前进量依据历史文献,发生在人口稠密区,多为发育十分迅速的沟谷。

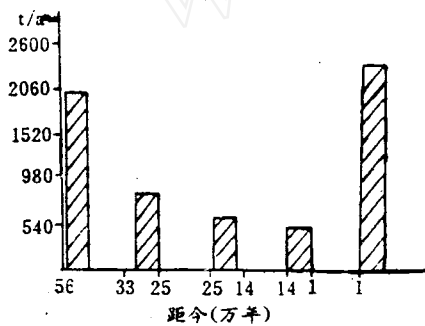


图7 洛川塬区沟谷分期侵蚀速率柱状图

黄土沟谷系统演化的主要动力是新构造运动及其伴生的季风气候的变化。洛河及其较大支沟两侧基岩陡坎上未见古洛河沉积物及由基岩和中更新世前堆积黄土组成的阶地。基岩陡坎主要由新构造抬升所致。洛河及其支流共发育四级阶地。T₄之上有S₅古土壤发育,形成时代距今55.5万年;T₃之上有L₂古土壤发育,形成时代距今20万年左右;T₂之上有马兰黄土堆积,形成时代为10万年左右;T₁之上无黄土,形成于全新世。剔除各级阶地上伏黄土厚度,T₄高8.5m,T₃高12m,T₂和T₁分别不超过5m和6m,这表明它们不是由于地壳间歇性抬升所致,推测是气候变化的产物。中更新世以来,洛川地区气候至少经历

五次冷暖旋回,有五次强烈侵蚀期。每次强烈侵蚀均发生在古土壤层形成前期或黄土堆积后期。在此期间,气候由干冷逐渐转向温湿,降雨逐渐增多,未成壤的黄土层具有十分脆弱的点棱接触支架式多孔结构^[6],抗冲性能极差,极易发生侵蚀。当古土壤形成后,由于成壤作用和密布的根系缠绕固结土体,大大提高了黄土的透水性和抗冲能力,侵蚀减弱,致使披覆在沟谷两侧的倾斜古土壤层仍有保留。这一见解已被唐克丽等的研究^[7]所证实。黄土沟谷发育与侵蚀是同一过程的两个方面,二者可比较(表3)。

表3 黄土塬区洛河沟谷系统演化与侵蚀期对比

年龄(年)	沟谷系统格局	沟谷侵蚀期	地温期
55.5 × 10 ⁴	洛河及其较大一级支沟形成雏形	第一侵蚀期	铜川期侵蚀
33 × 10 ⁴	洛河一、二级支沟形成	第二侵蚀期	洛川期侵蚀(I)
25 × 10 ⁴	洛河三级支沟形成	第三侵蚀期	洛川期侵蚀(II)
14 × 10 ⁴	较大冲沟形成	第四侵蚀期	清水期侵蚀
10 ⁴ 以来	冲沟、切沟、试沟、细沟形成	第五侵蚀期	全新世冰后期

自沟谷开始发育以来,沟蚀一刻也未停止过,只是侵蚀强弱不同而已。

(下转第30页)

表7 \bar{V} 实测值与模拟值对照表

序号	实测值 (cm/s)	模拟值 (cm/s)	误差(%)	序号	实测值 (cm/s)	模拟值 (cm/s)	误差(%)	备注
1	5.92	6.18	+4.39	14	11.86	11.47	-3.29	
2	6.46	7.28	+12.69	15	11.94	12.25	+2.60	误差=
3	7.80	8.38	+7.44	16	9.68	8.63	-10.85	(模拟值-
4	9.22	8.94	-3.04	17	11.17	10.28	-7.79	实测值)/实
5	9.95	9.32	-6.33	18	11.41	11.37	-0.35	测值
6	6.63	6.90	+4.07	19	13.62	13.31	-2.28	
7	7.74	8.72	+16.73	20	14.12	13.51	-4.32	
8	9.10	9.55	+4.95	21	10.98	9.15	-16.67	
9	10.35	10.38	+0.29	22	12.27	10.71	-12.71	
10	11.09	10.93	-1.44	23	12.63	12.19	-3.48	
11	8.30	7.92	-4.58	24	13.88	13.67	-1.51	
12	8.47	9.49	+12.04	25	15.17	13.34	-5.47	
13	10.16	10.83	+6.59					

3.3 薄层水流平均流速可采用 $\bar{V} = Kq^m S^n$ 的模式进行计算,对于本实验,可写为 $\bar{V} = 1.462q^{0.355} S^{0.379}$ 。

参考文献

- 1 吴普特,周佩华.薄层水流流动型态及侵蚀搬运方式的研究.水土保持学报,1992.(1)

(上接第25页)

3 结论

黄土高原沟谷系统演化是一个地质过程。沟谷侵蚀是长期地质历史过程和后期人类活动共同作用的结果。洛川塬区沟谷系统自55.5万年开始发育,经历了五次强烈侵蚀期,至全新世初奠定了沟谷系统格局。此后伴随人类活动参与其中以来,沟谷侵蚀进一步加剧。沟谷侵蚀速率历程呈现下凹抛物线性趋势。

参考文献

- 1 吴子荣等.洛川塬黄土沉积的地质环境.中国第四纪研究,1985.6(1)
- 2 刘东生等.黄土与环境.北京:科学出版社,1985
- 3 孙建中等.武家堡剖面古地磁新资料.水文地质工程地质,1988(5)
- 4 王永炎等.中国黄土研究的新进展.西安:陕西人民出版社,1982
- 5 李虎候等.黄土的热释光年代.地球化学,1982(1)
- 6 朱显谟.任美镛.中国黄土高原的形成过程与整治研究,中国人口、资源与环境,1991(1)
- 7 唐克丽等.土壤侵蚀与第四纪生态环境演变,第四纪研究,1991(4)
- 8 An Zhisheng et al. Loess-paleosol Sequences and Chronology at Lantian Man Localities Aspects of Loess Research. China Ocean Press, 1987
- 9 Liu Xiuming et al. A preliminary Study on Magnetostratigraph of a Loess Profile in XiFeng Area, Gansu Province, Aspects of Loess Research, China Ocean Press, 1987
- 10 Derbyshire E et al. Interim Results of Studies of the Sedimentology and Remanent Magnetization of the Loess Succession at Jiu Zhoutai, Lanzhou, China, Aspects of Loess Research, China Ocean Press, 1987