

黄土区沟谷发育与气候变化的关系

(以洛川黄土塬区为例)

袁宝印 巴特尔 崔久旭
(中国科学院地质研究所)

殷 强
(中国科学技术大学)

提 要

黄土区沟谷侵蚀与气候变化有密切关系。黄土是干冷气候环境中堆积的地质体,只有在干冷时期才是稳定的。气候变湿润时黄土区发生冲沟侵蚀。洛川黄土塬区 20 万年以来至少出现过五次明显的侵蚀时期,该区河流的侵蚀与堆积过程恰好和冲沟发育过程相反,但两者在时间上可以较好地对比。

关键词 黄土高原 气候变化 古冲沟 气候阶地

大部分黄土区侵蚀强烈,沟谷纵横,水土流失严重,给工农业生产的发展带来许多困难。研究沟谷侵蚀的规律,以便寻找治理的方法,是许多研究黄土的学者所关心的问题。然而黄土区沟谷侵蚀自何时开始加剧,什么因素导致沟谷的侵蚀,目前尚不甚明瞭。

有相当多的证据表明,黄土的侵蚀并非只出现于历史时期。地质时期,黄土的堆积是和侵蚀交替进行的,而且与气候的变化有密切的关系。洛川黄土塬区,黄土侵蚀不太强烈,正是在这种地区易于观察到黄土堆积与侵蚀交替进行的过程,从而寻找该过程与气候变化之间的关系。

一、洛川塬黄土堆积过程与气候变化

洛川位于西安以北 220 多公里,是典型的黄土塬之一。第三纪时期洛川塬区为一宽浅的基岩侵蚀盆地(吴子荣等,1985)^[1]。盆地中缺失老第三纪沉积,至上新世末才开始堆积不厚的红色土状堆积,称之为红粘土。红粘土之上为厚约 135m 的黄土堆积,以洛川黑木沟剖面最为典型(图 1)。剖面下部为厚约 20m 的红粘土,不整合于基岩之上。红粘土均一,无层理,由多层发育程度很深的古土壤和淡棕黄色的土状堆积叠加而成。含 *Prosi-phneus intermedicus* 和蜗牛化石,推测红粘土为风成沉积物,它与上覆午城黄土呈渐变关系(刘东生等,1985)^[2]。

黄土堆积剖面由黄土层、古土壤层和风化黄土层相互叠加而组成。经详细研究证明,黄土层是气候干冷时期的风成沉积,气候转为温湿时,黄土堆积速度减缓,并形成古土壤层或风化黄土层。根据岩性黄土剖面可划分为午城黄土、离石黄土和木兰黄土。古地磁测量结果表明,高斯期和松山期间的界线大致与红粘土和午城黄土间的界线相吻合(Heller, et al.,1984)^[3],说明黄土至少在 240 万年前已经开始堆积。

午城黄土厚约 60m,由黄土、古土壤和风化黄土层迭覆而成。古土壤层一般较薄,经常可见两三层古土壤相互迭加。风化黄土层是一种类似古土壤的棕红色土层,颜色比较均一,缺乏古土壤层所具有的成土作用形成的分带现象。由于它们颜色较深,也是比较温湿的环境下形成的,只是没有发育成古土壤,故称之为风化黄土层。有的风化黄土层含钙质结核较多,结核周围的黄土因钙质富集而呈淡灰黄色,结核之间还保存原来的棕红色,远看常常误认为是黄土层,实际上较淡的颜色是后期结核形成的。午城黄土中,古土壤层和风化黄土层占了绝大部分厚度,黄土层却较少、较薄,共发育九层黄土层。经研究,午城黄土堆积过程中,可划出九个气候旋回,其中以温湿气候占优势,干冷气候所占的时段较短。

离石黄土厚 75m,由发育较好的古土壤和黄土层组成,共含 14 层古土壤。其中第五层古土壤发育最好,呈暗棕红色,实际由三层古土壤迭加而成。古地磁研究证明,松山期与布容期的界线位于第七层与第八层古土壤之间。离石黄土中,一般黄土层厚度大于古土壤层,反映离石黄土堆积时,气候总体上比午城黄土堆积时偏冷,共划分出 14 个气候旋回。每个气候旋回中,大多以干冷气候占优势,这种趋势越向上越明显。

木兰黄土厚约 10m,为均一的淡灰黄色黄土,它与第一层古土壤(S_1)组成一个气候旋回。木兰黄土是单层黄土最厚的一层,底部年龄距今约 12.5 万年。木兰黄土上部发育一层暗褐色的黑垆土,是相对湿冷的气候环境下形成的古土壤,可能代表另一个刚开始的气候旋回。

总之,洛川黄土剖面显示,240 万年以来至少经历了 24 个气候旋回。黄土在这 240 万年内不间断地堆

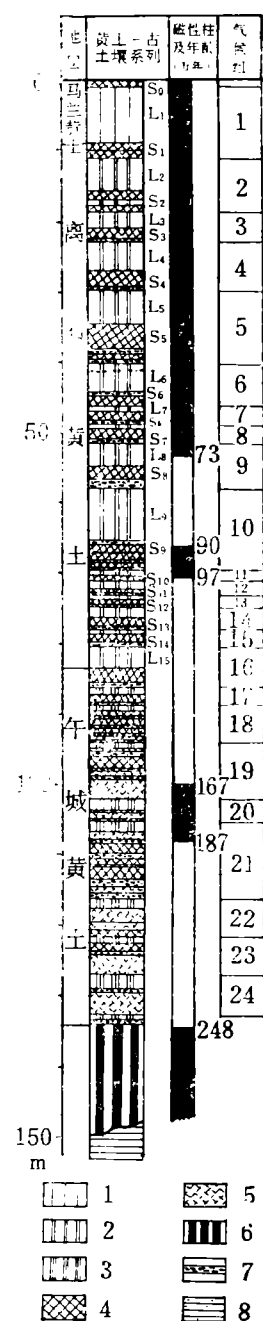


图1 洛川黑木沟黄土柱状剖面

Fig. 1 Geological section through loess deposits of Heimugou, near Luochuan, Shaanxi Province

1.木兰黄土 2.离石黄土 3.午城黄土 4.古土壤层 5.风化黄土层 6.红粘土 7.钙质结核 8.基岩

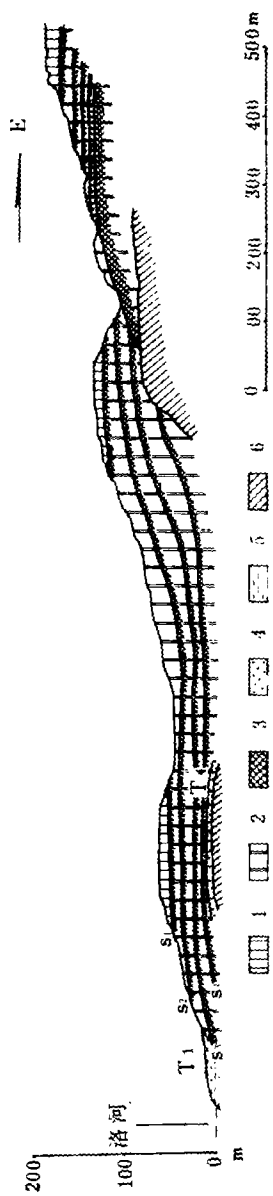


图 2 洛川县下岭泉洛河阶地剖面

Fig. 2 Terraces of Luohe River at Luochuan

1. 马兰黄土 2. 离石黄土 3. 古土壤 4. 砾石层 5. 亚砂土 6. 基岩

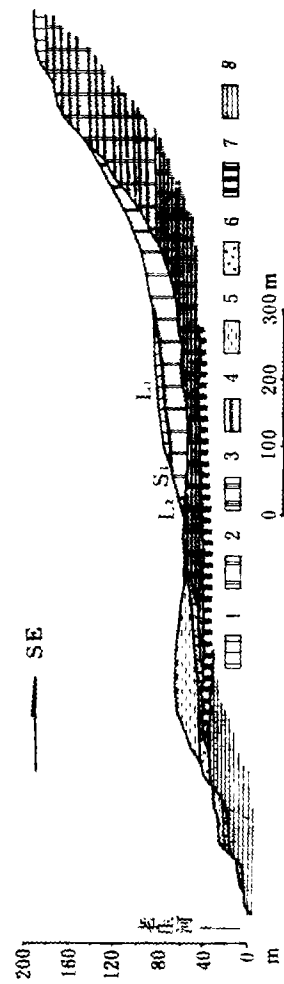


图 3 洛川县老庄河古冲沟剖面

Fig. 3 Ancient gully at Laozhuanghe, Luochuan

1. 马兰黄土 2. 离石黄土 3. 午城黄土 4. 古土壤 5. 亚砂土 6. 砂砾层 7. 红粘土 8. 三叠纪砂岩

积,只是堆积速率随气候变化而变化。古土壤在温湿气候环境下形成,反映了黄土堆积减缓的过程。

与黄土堆积过程相对应的是侵蚀过程。黄土梁峁区较强的侵蚀往往把以前沟谷发育过程的地质记录破坏,或者留下非常繁复的剖面,难于寻找其中的规律,而洛川黄土塬区由于地形始终和缓、侵蚀微弱,却保留了比较有条理的清晰的沟谷发育过程的地质记录,使得有条件追踪沟谷发育过程与气候变化之间的关系。

二、黄土冲沟发育过程的地质记录

黄土塬区内部,许多剖面揭示出现在的冲沟是经历了几个发育阶段后形成的。第五层古土壤形成之前,冲沟的发育不明显,所以现在冲沟两侧第五层古土壤以下的地层都是

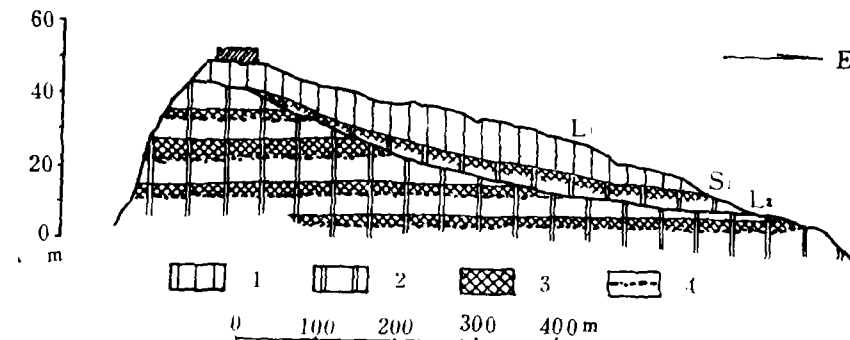


图4 洛川县清池古冲沟剖面

Fig. 4 Ancient gully at Qingchi, Luochuan

1. 马兰黄土 2. 离石黄土 3. 古土壤 4. 钙结核

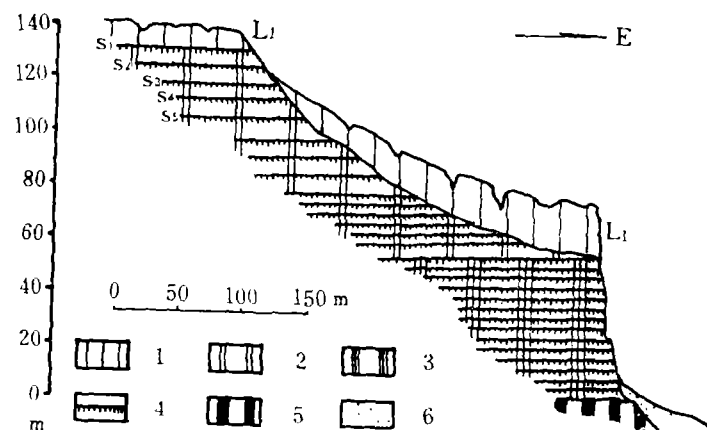


图5 洛川县北汉寨古冲沟剖面

Fig. 5 Ancient gully at Beihanzhai, Luochuan

1. 马兰黄土 2. 离石黄土 3. 午城黄土 4. 古土壤 5. 红粘土 6. 砂层

整合的。自第五层古土壤形成时开始,出现较明显的黄土侵蚀。但侵蚀的强度却随气候的变化而时强时弱,到现在至少经历了五次较强的侵蚀时期:

1. 第一侵蚀期(距今约 56 万年)

该期侵蚀发生在第五层古土壤形成时期,当时的地形面向临近洛河及其一级支流处明显的倾斜(图 2)。从此以后,黄土塬面上出现了明显的波状起伏,以后的冲沟就是沿地形低洼处开始发育的。

2. 第二侵蚀期(距今约 20 万年)

以清池和老庄河剖面为例(图 3、4)。剖面上可以看到古冲沟形成的侵蚀面,侵蚀面上堆积了第一层黄土 (L_1)、第二层黄土 (L_2) 和第一层古土壤 (S_1)。侵蚀面上堆积的最老地层为第二层黄土 (L_2),所以侵蚀大致发生在第二层古土壤形成时期,距今大约 20 万年左右。洛河支流附近侵蚀可达 130m 深,黄土塬区中部约 40m 深。这次侵蚀形成了较宽浅的冲沟。

3. 第三侵蚀期(距今约 12.5 万年)

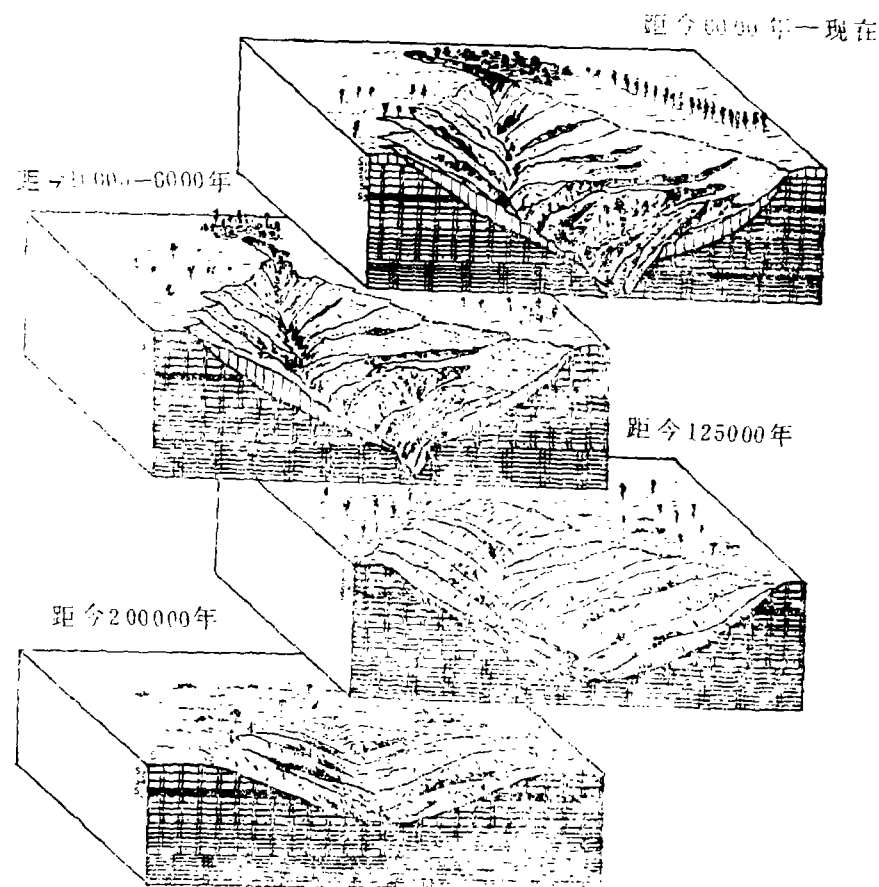


图 6 洛川黄土塬区 20 万年以来的侵蚀发育阶段

Fig. 6 Erosion stage of Luochuan Loess Yuan since 200 000 years

以北汉寨剖面为例(图5),古冲沟形成的侵蚀面上只堆积了马兰黄土(L_1),底部混有古土壤碎屑,使底部微显红色。剖面说明侵蚀发生在第一层古土壤形成时期,大约距今12.5万年。侵蚀深度较大,塬区内部可达100多米深。

4. 第四侵蚀期(距今约1万年)

这次侵蚀形成的冲沟中尚未堆积新的黄土层,冲沟地形保存十分清楚。该期冲沟的特点是:(1)沿第三侵蚀期沟谷强烈下切,许多地方切穿了红粘土层达到基岩。(2)在第三侵蚀期形成的沟谷谷坡上,切割成许多垂直主沟的小冲沟,使原来的冲沟更加支离破碎。这次侵蚀发生于马兰黄土堆积之后,大致相当于最后一次冰期结束后的温湿时期,距今大约1万年。

5. 第五侵蚀期(距今6000年—现在)

指历史时期发育的沟谷,以洛川县城西北的冲沟为例。洛川县中学以西,路旁沟壁上发现一彩陶文化遗址。遗址分布面积较大,洛川县城西北的冲沟恰好从遗址中间切过,大约延伸了50m。彩陶遗址的年代大约距今5000—6000年,当时的村落中应无冲沟穿过,而是附近的冲沟在5000年以来向前发展了约50m。此期冲沟沟壁陡直,沟头为尖锥状,是目前冲沟发展最迅速的部分(图6)。

黄土塬区的冲沟发育历史表明,气候湿润时,平坦的黄土塬面形成古土壤,同时靠近河流的谷坡上黄土发生侵蚀形成冲沟。当气候变干时,侵蚀变弱,原来冲沟的谷坡上可堆积黄土层。以上事实说明黄土侵蚀与气候变化有密切关系。

三、河谷发育过程的地质记录

洛河是流经洛川塬区最大的河流,属黄河的一级支流。洛河深嵌于黄土塬中,河床距塬面约250m,河曲十分发育,形成深切曲流的景观。河谷谷坡主要由高出河面约80m的基岩陡坎组成。陡坎之上堆积厚约100m的黄土,黄土层向塬区很快变厚。相反,黄土层和古土壤层在临近洛河河谷的地方急骤倾斜并变薄。第五层古土壤往往直接覆盖在基岩陡坎的转折处,倾角可达 22° 。午城黄土很少有在河谷谷坡上直接出露者,红粘土则从未见有在洛河谷坡上出露。河谷中发育四级阶地,以下岭泉(见图2)、高家河(图7)等地最为典型。阶地情况可归纳如下:

一级阶地(T_1),高8m,堆积阶地,由亚砂土组成。

二级阶地(T_2),基座阶地,基岩高出河面1.5m,上覆厚约3m的砂砾层。阶地上覆盖厚约7m的马兰黄土,其中不夹古土壤层。

三级阶地(T_3),基座阶地,基岩高出河面2—3m,其上为砂砾层和亚砂土。阶地面高出河面约12m,并覆盖厚约15m的黄土,夹一层古土壤。

四级阶地(T_4),基座阶地,基岩高出河面约2m,上面覆盖厚约6m的砂砾层。阶地面上堆积厚约50m的黄土,其中发育四层古土壤(见图2)。 T_4 在洛河河谷中最为发育,而且都盖有厚约50m的黄土。乍看起来,似乎阶地高出河面约六十多米,实际上是由厚层的风成黄土覆盖而造成的。

根据上述洛河阶地的资料及阶地上黄土发育情况,可做如下分析:

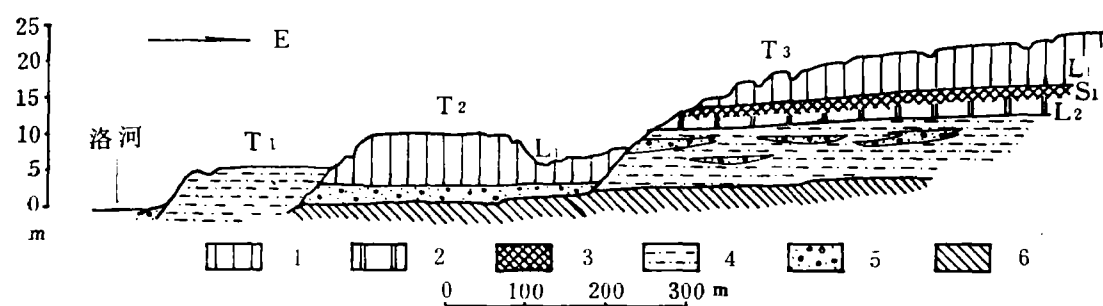


图7 洛川县高家河洛河阶地剖面

Fig. 7 Terraces of Gaojiahe, Luochuan

1. 马兰黄土 2. 离石黄土 3. 古土壤 4. 亚砂土 5. 砂砾层 6. 基岩

洛河通过洛川塬区时,河谷地貌的一个突出特点是河谷比较狭窄,两岸由高80m左右的基岩陡壁所限制,河流阶地在两岸基岩陡壁所限制的范围内发育。从而该区洛河河谷的发育过程可以明显地分为两个阶段。

第一阶段是河流下切形成基岩陡壁,构成洛河河谷地貌的骨架。全区范围内,上新世红粘土堆积时,没有流域面积较大的河流,洛河仅是一条规模很小的溪流。洛河河谷缺乏高阶地,即洛河两侧的基岩陡坎之上未见古洛河的沉积物,表明洛河形成后即开始强烈下切。如果下切发生在午城黄土堆积以后,基岩陡坎之上应普遍出露午城黄土,组成下部为基岩上部为午城黄土的陡壁。不但未见这种现象,而且午城黄土在临近河谷地区迅速尖灭,说明午城黄土堆积前或堆积过程中基岩陡坎已经存在,所以基岩陡坎大致形成于上新世晚期至早更新世初期,这样强烈的下切只能是构造因素造成的。

河谷发育的第二阶段是阶地的形成。洛河共发育四级阶地,阶地形成后阶地面上开始堆积风成黄土,可根据黄土的年龄确定阶地的时代。 T_4 之上,黄土剖面由四层古土壤和五层黄土组成,阶地形成时代大致相当于第五层古土壤。第五层古土壤顶部年龄大约距今56万年(刘东生等,1985),所以 T_4 的时代为距今56万年左右。 T_3 之上发育一层古土壤和二层黄土,阶地形成时代与第二层古土壤相当,距今20万年左右。 T_2 之上只发育马兰黄土,阶地形成时代与第一层古土壤一致,距今约12.5万年。 T_1 之上没有覆盖黄土,阶地形成于全新世。

如果把洛河各级阶地上面覆盖的黄土层剥去,就会发现阶地高度变化不大,而且阶地的高度并非按时代新老有规律的排列。 T_1 高8m左右, T_2 高5m左右, T_3 高度不超过15m, T_4 高8m。阶地高度特征表明它们不是由于地壳间歇性抬升造成的。最老的阶地与现在的一级阶地高度相等,说明56万年以来,河流下切十分微弱。同时各级阶地之间又没有相互迭覆的现象,也不能用地壳间歇性下沉来解释它们的形成,因而推测它们是气候变化的产物。

四、讨论和结论

洛川黄土塬区由于具有特殊的构造和地貌条件,自240万年以来连续接受了厚约

130 多米厚的黄土堆积,其间至少经历了 24 个气候旋迴。气候的变化不仅使黄土堆积构成了黄土—古土壤系列,对黄土地貌发育过程也留下深刻影响。当气候干冷时黄土堆积迅速,成土作用微弱,形成黄土层。这个时期降雨量小,地表径流较弱,所形成的黄土层及其地貌形态在干冷的气候条件下也是比较稳定的。当气候转为温和湿润时,黄土堆积速度减缓。另一方面成土作用加剧,于是形成古土壤层。与此同时,由于降雨量增多,地表径流加大,原来堆积的黄土层就成为不稳定的堆积,在条件适宜的地貌部位就会发生侵蚀,于是形成冲沟。当下一次干冷时期到来时,侵蚀变得微弱,原来的冲沟不仅停止发育而且冲沟中也堆积黄土层。但冲沟中的黄土层始终不能把冲沟填平,下一次温湿时期,即沿原来的冲沟底进行新的侵蚀作用。洛川黄土塬区自第五层古土壤发育以来,共出现过五次比较明显的侵蚀,并有一次比一次加剧的趋势。

洛河在通过黄土塬区的地段内,其侵蚀和堆积过程与上述黄土塬区的冲沟发育过程完全不同。气候温湿时期,黄土塬内部侵蚀比较剧烈,形成冲沟,大量的泥沙被带到河流中。河流的正常堆积厚度是由洪水位的高度所决定的。洛河在洛川塬区河段,由于两岸受基岩陡壁的限制,河谷比较狭窄。气候温湿时期,地表径流较大,河流水量增加,洪水位也比较高,于是在河谷中堆积较厚的冲积物。当气候转为干冷时,黄土塬内部的侵蚀减弱,以前形成的冲沟中又重新堆积黄土。同时地表径流由于降水量减少而变得微弱,携带到河流中的泥沙相应减少,使河流产生冲刷。另一方面,降水量减少使河流洪水位比温湿时期降低,洪水位达不到原来的高度,于是原来的河漫滩变成阶地。阶地面脱离了河水的影响后,上面开始堆积风成黄土。所以洛川塬区的洛河河段,阶地是气候变化形成的,应属气候阶地类型。

洛川黄土塬区黄土—古土壤序列发育完好,并已测定和估算了各层黄土和古土壤层的年龄。根据冲沟中和阶地上黄土的古土壤发育的层数,可以推算出阶地和冲沟形成的时代并进行对比,对比结果列于表 1。

表 1 洛川黄土塬区洛河谷底堆积面和冲沟侵蚀期对比表
Tab. 1 Correlation between the terraces of Luohe river and phases of gullying in Luochuan Yuan

年 龄 (a)	谷底堆积面	冲沟侵蚀期
6000—现在	河漫滩	第五侵蚀期
10 ⁴	第一级阶地 (T ₁)	第四侵蚀期
12×10 ⁴	第二级阶地 (T ₂)	第三侵蚀期
20×10 ⁴	第三级阶地 (T ₃)	第二侵蚀期
56×10 ⁴	第四级阶地 (T ₄)	第一侵蚀期

洛川黄土塬区河谷阶地和冲沟发育主要在第五层古土壤形成时开始的,所以出现这种现象可能由下面两个原因造成: (1) 午城黄土堆积前期,洛川地区地壳稳定抬升,河流下切,未能形成阶地。(2) 午城黄土和离石黄土下部,除个别黄土层外大部分黄土层都较薄,说明相对温湿的气候占主导地位,坡面黄土和古土壤层比较稳定,不易发生侵蚀,所以冲沟不发育。自第五层古土壤开始形成至现在,以黄土堆积为主。黄土地貌主要在

干冷气候条件下形成,稳定性很差。当气候转为温湿时,原来的坡地受到侵蚀,形成冲沟,而在河谷谷底发生堆积。以第二侵蚀期(距今 20 万年)为分界,沟谷侵蚀明显加剧,黄土区沟谷纵横的地貌景观开始出现。

综上所述,可知黄土区的侵蚀以及进入河流中的泥沙量与气候变化有明显的对应关系。对黄土高原现在河流流域的产沙过程研究结果看,黄土侵蚀与地表径流成正比关系(陈永宗,1983)^[4]。黄土高原地区夏季多暴雨,河流流量主要受降雨的控制,河流流量基本体现了该流域的地表径流,河流含沙量则代表该流域范围内侵蚀量的大小。通过对黄河支流皇甫川洪峰流量与含沙量关系以及黄河下游夹河滩水文站流量、含沙量过程线的研究,也可以看出河流含沙量与流量成正比关系(胡汝南等,1980;张胜利等,1980)^[5,6]。上述事实说明,自大约 60 万年以来,黄土高原地区的黄土侵蚀与地表径流成正比。这一简单事实恰好反映了黄土高原黄土侵蚀最基本的规律。那么黄河泥沙含量也一定随气候变化而有所变化,深入研究它们之间的关系对黄土高原和黄河的治理必将有重要作用。陈家其对黄土高原地区 1 500 年以来水旱变化趋势分析表明,未来 100 年内,黄土高原气候将相对湿润,降雨增多(陈家其,1983)^[7]。因而径流量必然加大,黄土侵蚀将随之加剧,入黄泥沙也将增加。黄土高原水土保持和黄河治理中,需考虑这一因素。

参 考 文 献

- [1] 吴子荣、袁宝印等,洛川塬黄土沉积的地质环境,中国第四纪研究,6(1),1985。
- [2] 刘东生等,黄土与环境,科学出版社,1985。
- [3] Heller, F. et al, Magnetism of Chinese Loess Deposits (astr.), *Geophys. J. R.*, 77, 1984.
- [4] 陈永宗,黄河中游沟道流域产沙过程初步研究,地理研究,2(1),1983。
- [5] 胡汝南等,黄河下游变动河床洪水水位预报方法的初步探讨,人民黄河,(3),1980。
- [6] 张胜利、孟庆枚,皇甫川高含沙水流特征初步分析,人民黄河,(3),1980。
- [7] 陈家其,黄河中游地区近 1 500 年水旱变化规律及其趋势分析,人民黄河,(5),1983。

THE RELATIONSHIP BETWEEN GULLY DEVELOPMENT AND CLIMATIC CHANGES IN THE LOESS YUAN REGION: EXAMPLES FROM LUOCHUAN, SHAANXI PROVINCE

Yuan Baoyin Ba Teer Cui Jiuxu
(*Institute of Geology, Academia Sinica*)

Yin Qiang
(*University of Science and Technology of China*)

Key words Loess plateau; Climatic change; Ancient gully; Climatic terrace

Abstract

Owing to the special structure and geomorphic conditions of Luochuan Yuan, loess with a

thickness of 135 m has been accumulated by continuous deposition over the past 2.4 million years. This period of loess accumulation spans at least 24 climatic cycles. The climatic changes not only formed loess-paleosol sequences but also had a profound influence on other aspects of geomorphic development.

In the cold-dry stages when loess deposition was fast, soil genesis was comparably weak. In this way the fine loess layers were formed. precipitation and surface runoff remained low in these cold-dry stages. The loess layer and its geomorphic expression was stable only under such climatic condition.

When humid temperate climates developed, loess deposition rates were much reduced, permitting strong pedogenesis. In this way paleosols were formed. In addition, precipitation and surface runoff were much higher in the humid temperate stages, affecting the stability of the underlying loess. This resulted in the onset of erosion and the development of gullying. Since the fifth paleosol layer was formed five erosion stages are recognized in the Luochuan Yuan region.

The process of deposition and erosion in the valley of Luohe river at Luochuan Yuan region differs significantly from that mentioned above. During the humid-temperate climatic stage, loess erosion remained strong in the inner part of loess yuan, and gullies were formed. A lot of loess material was carried into the Luohe river. Because the valley of Luohe river was narrow and the runoff volume and flood levels were higher than those in the cold-dry stage, a thick deposit of alluvium was formed in the valley. When the climate entered the next cold-dry stage, erosion was weaker in the inner part of loess yuan and surface runoff decreased. The quantity of loess material carried into the river decreased accordingly. Erosion was then occurred in the alluvium. As the flood level in the cold-dry stage was lower than that in the previous humid climate, the flood level could not reach its previous heights. The alluvium deposited in the last climatic stage then was preserved as a terrace. Loess then began to deposit on the terrace surface. It is reasonable to consider that the terraces of Luohe river in Luochuan Yuan region was formed by such climatic changes.

Although the history of Luohe river differs from that of gullying in the inner part of Luochuan loess yuan, both were formed under the influence of the climatic changes. Correlation between the terraces of Luohe river and the gullies of various erosion stages is therefore possible. Such correlation is shown in the following table:

Tab. 1 Correlation between the terrace of Luohe river and phases of gullying in Luochuan Yuan

Age	River terrace	Gullying stages
560 000	Terrace 4	First stage
200 000	Terrace 3	Secand stage
120 000	Terrace 2	Third stage
10 000	Terrace 1	Fouth stage
6 000	Valley flat	Fifth stage