

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 黄河中游水系的阶地发育时代

岳乐平 雷祥义 屈红军

(西北大学地质系,西安)

**内容提要** 本文通过磁性地层学方法研究了兰州段黄河阶地,宝鸡段渭河阶地,洛川段洛河阶地。结果表明:兰州段黄河最高阶地为六级阶地,发育于1.40Ma B.P.,兰州地区黄河最早出现在1.60Ma B.P.。一级支流宝鸡段渭河最高阶地为五级阶地,发育于1.20Ma B.P.,宝鸡地区渭河最早出现在1.40Ma B.P.。二级支流洛川段洛河最高阶地为五级阶地,发育于1.00Ma B.P.,洛川地区洛河最早出现在1.20Ma B.P.。黄河中游水系的阶地形成,主要是由于青藏高原的隆起以及地壳不断震荡抬升作用造成的。

**关键词** 黄河 渭河 洛河 河流阶地 古地磁

黄河流经黄土高原,并在其上发育了众多的支流。黄河干流与一级、二级支流一起构成了黄土高原水系总框架。其中,最重要的有黄河干流,一级支流渭河,二级支流洛河。第四纪以来,由于青藏高原隆起以及地壳不断震荡抬升作用,流经黄土高原的黄河及其支流不断下切,形成多级河流阶地。多年来人们一直在探讨黄河及其支流形成时代,以及各级阶地年龄,恢复黄河发育史以及黄河与其支流在发育过程中的相互关系<sup>[1,2]</sup>。但是,由于受当时科技水平和条件限制,探讨河流发育时代和阶地年龄问题受到局限。

黄河中游水系的阶地之上多沉积黄土-古土壤序列。近几年来,黄土-古土壤序列磁性地层学研究取得进展,建立了黄土地层古地磁时间标尺,标定了各层古土壤的地质年龄,并且证明了全区黄土-古土壤层序的可对比性,从而可以建立古地磁-古土壤层序相结合的研究河流阶地方法<sup>[3-7]</sup>。为此,笔者用古地磁方法测量了黄河、渭河、洛河阶地上的20余条剖面。据此研究兰州段黄河阶地、宝鸡段渭河阶地和洛川段洛河阶地发育史及三者之间的关系。

## 1 兰州段黄河阶地

黄河是流经黄土高原的最主要河流,由于高原不断抬升,形成多级黄河阶地。兰州地区发育有一至六级阶地(图1),阶地特征见表1。

兰州段黄河六级阶地(T<sub>6</sub>),以九洲台剖面最典型,研究程度最深。阶地基座为前寒武系皋兰群变质岩与晚第三系砂质粘土,基座之上为二元结构的河床相砾石层(厚3m)与具水平层理的冲积砂质黄土(厚20m)堆积。其上为厚约310m的黄土-古土壤序列(L<sub>1</sub>-S<sub>21</sub>)。王永焱<sup>[8]</sup>、Burbank与李吉均<sup>[9]</sup>、曹继秀<sup>[10]</sup>、岳乐平<sup>[11]</sup>、潘保田等<sup>[12]</sup>先后在九洲台剖面进行了磁性地层学研究。笔者的研究表明:黄河六级阶地九洲台剖面包括布容(B)正极性带与松山(M)负极

注:本文为国家自然科学基金资助项目(编号49572133)。  
本文1995年6月收到,1996年2月改回,刘淑春编辑。

性带上段。B/M 界线位于第8层黄土( $L_8$ )中部,剖面自上而下190m 处。哈拉米洛亚带(J)位于 $S_{10}$ , $L_{11}$ , $S_{11}$ 地层段。B/M 界线年龄为0.73Ma,J 亚带年龄为0.90Ma—0.97Ma,剖面最底部古土壤层为 $S_{21}$ 。根据丁仲礼建立的黄土磁化率时间标尺<sup>[6]</sup>计算,该剖面黄土底界年龄为1.40Ma。据此推算,兰州段黄河初次下切,最高阶地露出水面的时间为1.40Ma。

兰州段黄河五级阶地( $T_5$ ),以兰州市黄河北岸墩洼山为代表。阶地特征见表1。基座之上为厚约5m 的砾石层和15m 厚的冲积黄土。其上为厚约200m 的黄土-古土壤序列,包括13层古土壤。兰州一带 $L_9$ 之上的黄土通常可连续覆盖 $T_6$ — $T_5$ 。而其下地层常呈不连续状(在图1中以断斜线表示其不连接)。古地磁结果表明:B/M 界线位于 $L_8$ ,哈拉米洛亚带(J)位于160m 上下。墩洼山黄土剖面底界年龄约为1.20Ma。

兰州段黄河四级阶地( $T_4$ ),以黄河北岸五一山黄土剖面为代表,基座为第三纪红色砂岩。阶地二元结构为5m 厚的砾石层与厚约10m 的具水平层理的

表1 兰州段黄河阶地主要数据

Table 1 Chief data of the Yellow River terraces in the Lanzhou area

阶地	阶面海拔(m)	基座高度(m)		二元结构		黄土-古土壤序列		古地磁年龄(Ma)
		海拔	距河面	砾石层厚(m)	冲积层厚(m)	黄土层厚(m)	最底古土壤层	
$T_1$	1520						$S_0$	0.01
$T_2$	1565	1530	20	5	10	20	$S_0$	0.03
$T_3$	1625	1570	60	5	10	40	$S_1$	0.15
$T_4$	1760	1650	140	5	10	100	$S_5$	0.60
$T_5$	1940	1720	210	5	15	200	$S_{14}$	1.20
$T_6$	2070	1740	230	3	20	310	$S_{21}$	1.40

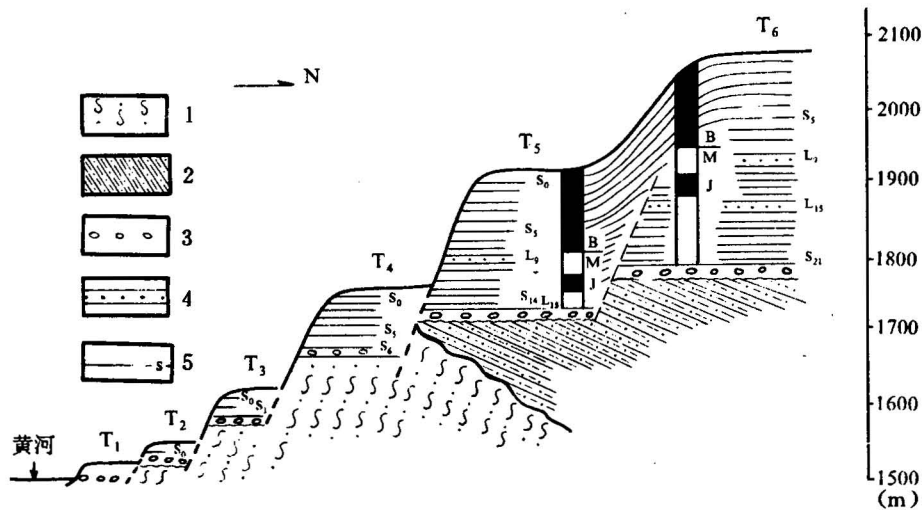


图1 兰州段黄河阶地

Fig. 1 The terraces of the Yellow River in the Lanzhou area

1—片岩;2—砂质粘土;3—砾石;4—砂质黄土;5—古土壤

1— Schist; 2— sand clay; 3— gravel; 4— sand loess; 5— paleosol

冲积黄土,其上为厚约100m 的黄土,含5层古土壤。根据磁性地层研究, $S_5$ 的年龄为0.50Ma,因此,四级阶地的发育年龄约为0.50Ma。

兰州段黄河三级阶地( $T_3$ ),以白塔山剖面为代表。基座为前寒武纪变质岩。5m厚的砾石层与10m厚的冲积黄土构成阶地二元结构,其上堆积了厚40m的风成黄土和一层红褐色古土壤( $S_1$ )。 $S_1$ 的热发光年龄为0.13Ma,由此推算三级阶地约在0.15Ma后开始形成。

兰州市白塔公园东南及西固城一带有黄河二级阶地发育,二级阶地黄土厚约20m,其下有厚约15m的砂砾石层与冲积黄土。二级阶地堆积物底部的热发光测年资料为0.03Ma。兰州市区多为黄河一级阶地,阶地类型依地点不同,分别为堆积阶地、侵蚀阶地和基座阶地。其中堆积阶地与基座阶地之上有黑垆土与耕作土。由于黑垆土的热发光年龄为8000a,所以推测一级阶地形成于0.01Ma。

## 2 宝鸡段渭河阶地

渭河是黄河中游一条重要支流,为黄河一级支流,发源于甘肃省渭源县,横贯陕西中部,于潼关县入黄河。宝鸡段渭河共发育五级阶地(图2)。

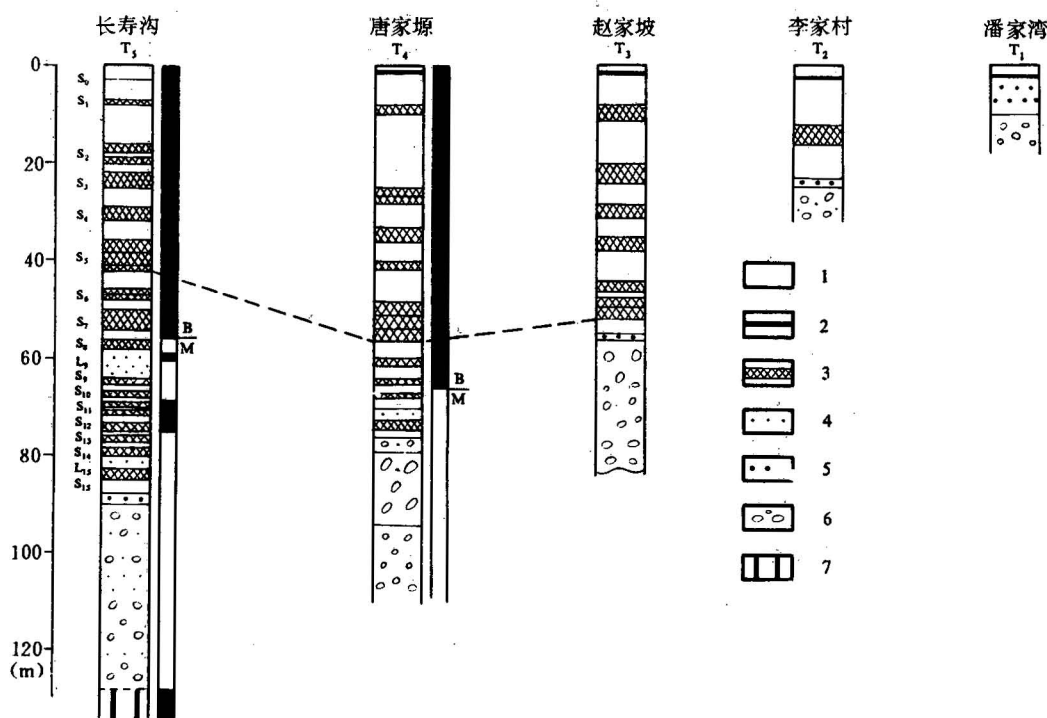


图2 宝鸡段渭河阶地

Fig. 2 The terraces of the Weihe River in the Baoji area

1—黄土;2—黑垆土;3—古土壤;4—砂质黄土;5—细砂;6—砾石;7—红粘土

1—Loess; 2—black loam; 3—paleosol; 4—sand loess; 5—fine sand; 6—gravel; 7—red clay

宝鸡段渭河最高阶地为五级阶地( $T_5$ )。典型地质剖面为宝鸡长寿沟剖面,其为基座式阶地。基座为上第三系蓝田组棕红色砂质粘土。基座面海拔约820m,距渭河水面250m。基座之上为厚约44m的砂砾石与薄层细砂,为阶地二元结构堆积。再向上为厚84m的黄土堆积,为黄土-

古土壤序列,包含古土壤层  $S_0-S_{15}$ 。古地磁结果表明,B/M 界线位于  $L_3$ 底部,哈拉米洛正极性亚带(J)位于  $L_{11}, S_{11}, L_{12}, S_{12}$ 地层段。根据磁性地层年龄计算,  $S_{15}$ 的年龄约1.20Ma。因此,我们认为该剖面黄土底界年龄约1.20Ma。宝鸡段渭河首次下切,五级阶地形成年龄大约在1.20Ma。宝鸡段渭河大约形成于1.40Ma。

宝鸡段渭河四级阶地( $T_4$ )以宝鸡唐家塬剖面为代表,阶地类型属嵌入式。出露河床相砂砾石堆积厚约30m。其上为77m厚的黄土堆积,为黄土-古土壤序列。包括古土壤  $S_0-S_8$ 。黄土剖面最下部为粉砂质黄土( $L_9$ )。古地磁测定结果表明,B/M 界线位于第8层黄土( $L_8$ )下部。B/M 界线年龄为0.73Ma。因此,黄土剖面的年龄大约为0.80Ma。唐家塬渭河四级阶地形成年龄大约为0.80Ma。

宝鸡段渭河三级阶地( $T_3$ )以赵家坡剖面为代表,其为基座式阶地。基座为白垩纪角砾岩。基座面海拔约650m,距渭河水面80m。基座面上不整合堆积厚约30m的砂砾石和砂层,为阶地二元结构堆积。其上为55m厚的黄土-古土壤序列,含古土壤  $S_0-S_5$ 。黄土剖面最下部为  $L_6$ 。根据磁化率时间标尺<sup>[6]</sup>年龄公式计算,黄土剖面底部年龄约0.50Ma。据此推测,宝鸡段渭河三级阶地形成年龄约为0.50Ma。

宝鸡段渭河二级阶地( $T_2$ )有风鸣村剖面,李家村剖面。风鸣村剖面厚约20m,含古土壤  $S_1$ 与其下的一层粘化层,其下为砂砾层。李家村剖面厚约15m,含古土壤  $S_1$ ,其下为砂砾石层,根据热释光年龄计算,阶地年龄应在0.15—0.13Ma之间。

宝鸡段渭河一级阶地( $T_1$ )以福临堡剖面、潘家湾剖面为代表。地层厚约2—3m,含黑垆土。黑垆土的热释光年龄约0.008Ma,阶地年龄约0.008—0.010Ma。

综上所述,根据古土磁研究结果与热释光年龄,笔者认为宝鸡段渭河形成于1.40Ma,最高阶地为五级阶地,形成于距今1.20Ma;四级阶地形成于距今0.80Ma;三级阶地形成于距今0.50—0.40Ma;二级阶地形成于距今0.15—0.13Ma;一级阶地形成于距今0.010—0.008Ma。

### 3 洛川段洛河阶地

洛河是黄河二级支流,发源于陕西省吴旗县以北,经甘泉、富县、洛川,于大荔县以南流入渭河。流经陕北黄土高原。洛川县秦家河发育有该区最高阶地五级阶地,以及四到一级阶地(图3),阶地特征见表2。

五级阶地( $T_5$ ),阶地堆积物表面海拔960m左右,距洛河水面130m。基座为三叠纪砂岩,座面距河面55m。基座上覆1.5m的砾石层与0.5m厚的砂层构成阶地二元结构。其上为厚约78m的黄土-古土壤序列,含古土壤层  $S_0-S_{11}$ ,最底部出现的古土壤层为  $S_{11}$ 。洛川黄土的古地磁结果表明,B/M 界线位于  $L_8$ 中部,哈拉米洛正极性亚带(J)相当于  $L_{11}, S_{11}, L_{12}$ 位置。由于J亚时的年龄为0.90—0.97Ma。因此,五级阶地之上的黄土最早堆积时间当在0.97Ma,推算洛河约在1.00Ma开始下切,五级阶地出露洛河水面。

表2 洛川段洛河阶地主要数据  
Table 2 Chief Data of the Luohe River terraces in the Luochuan area

阶地	阶面高度	基座高度	二元结构		黄土-古土壤序列		古地磁年龄(Ma)
	海拔(m)	海拔(m)	砾石(m)	砂层(m)	黄土厚(m)	古土壤层(m)	
$T_1$	830	828	1	0.5	1	$S_0$	0.01
$T_2$	845	830	2.5	1.5	10	$S_1$	0.15
$T_3$	885	835	4	1	45	$S_6$	0.65
$T_4$	905	845	1	0.5	60	$S_8$	0.80
$T_5$	960	880	1.5	0.5	78	$S_{11}$	1.00

四级阶地( $T_4$ ),阶地面海拔905m。基座为三叠纪砂岩、砂质页岩,基座面高出河面20m,上覆1m厚的砾石层与砂层,再向上为厚约60m的风成黄土,其中含8m厚红褐色古土壤。剖面底部的黄土层为第9层黄土( $L_9$ )与第8层古土壤( $S_8$ )。古地磁 B/M 界线位于  $L_8$  之中,未出现哈拉米洛亚带(J)。根据洛川地区黄土沉积速率推算第9层黄土( $L_9$ )的年龄约为0.8Ma,由此推断,四级阶地是在约0.80Ma 以前,洛河下切出露为阶地。

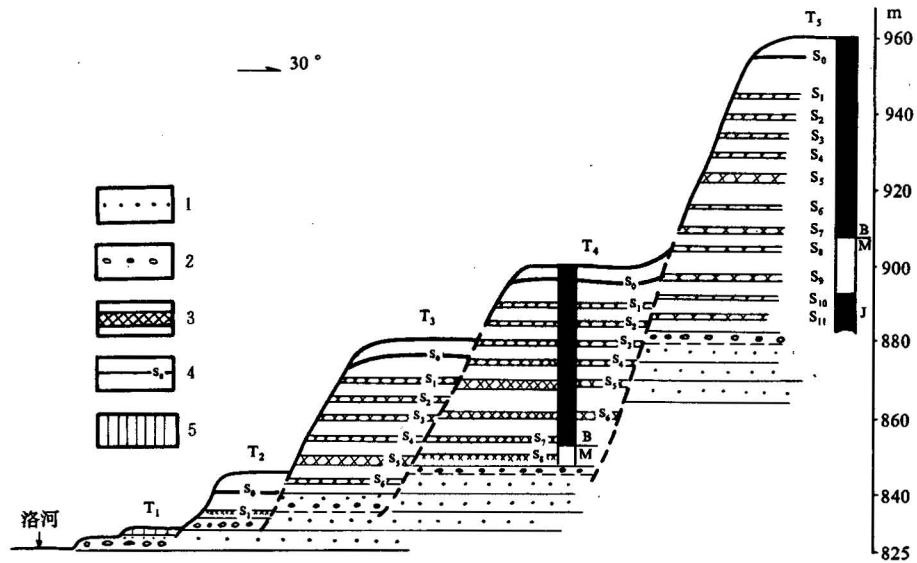


图3 洛川段洛河阶地

Fig. 3 The terraces of the Luohe River in the Luochuan area

1—砂岩;2—砾石;3—古土壤;4—黑垆土;5—马兰黄土

1— Sand; 2— gravel; 3— paleosol; 4— black loam; 5— Malan loess

三级阶地( $T_3$ ),阶地面海拔885m。基座为三叠纪砂岩。基座面高出河面10m。其上4m厚的砾石层与1m厚的砂层为阶地二元结构。45m厚的风成黄土覆盖其上,黄土中含6层红褐色古土壤。黄土层底部出现古土壤  $S_6$ ,  $S_6$  的磁性地层年龄约为0.65Ma,可以推断,三级阶地的形成年代大约在0.65Ma 前。

二级阶地( $T_2$ ),阶地面海拔845m。基座为三叠纪砂岩,基座面高出河面5m,其上为2.5m厚的砾石层与1.5m厚的砂层,上覆厚约10m的马兰黄土。下部出露第一层红褐色古土壤( $S_1$ ),  $S_1$  之下有厚约2m的黄土,推算二级阶地的年龄应为0.15Ma。

一级阶地( $T_1$ ),阶地面海拔830m。基座为三叠纪砂岩,个别地方基座被破坏。阶地二元结构为厚约1m的砾石层与0.5m的砂层,上部仅有1m多厚的耕作土与下伏黑垆土。黑垆土的热发光年龄为8000a,可以推断,洛河最后一次下切时间当在0.01Ma B. P.。

#### 4 新构造运动、气候变化与水系发育演化

兰州段黄河阶地、宝鸡段渭河阶地、洛川段洛河阶地为基座型阶地与堆积阶地,这类阶地多是地壳间歇性抬升造成的。当地壳稳定时期,河流以侧蚀和拓宽河谷为主,水流负载能力降低,河床沉积为较多的砂砾石物质。当地壳抬升时,河流迅速下切,河道变窄,部分河床露出水

面,逐渐发育为阶地。一般认为,河流阶地主要受构造运动控制。

黄河中游水系,包括黄河干流、一级支流渭河、二级支流洛河的最高级阶地都是在1.40Ma之后形成的。可以认为黄土高原水系演化主要受控于第四纪新构造运动。据李吉均等研究<sup>[13]</sup>,第四纪初期新构造运动异常活跃,印度板块北冲造成青藏高原抬升,促使青藏高原、黄土高原、华北平原三大地貌阶梯形成。黄土高原基底的抬升,造成黄河水系下切,形成阶地。

关于兰州段黄河形成时期,笔者认为,青藏高原在第四纪初期已开始加速隆起,兰州地区西邻青藏高原,必受其影响而迅速抬升。此时,若该区黄河已经形成,必定形成早于兰州六级阶地(1.40Ma)的黄河阶地。再者, $T_6$ 的河床相砂砾石沉积厚度仅3m左右,属正常河床相堆积,不具地壳长期稳定,堆积巨厚河床相沉积物的性质。因此,该区黄河形成时代不超过1.40Ma太远,推算兰州段黄河形成时代大约为1.60Ma,否则,就会有时代更老的阶地出现,或出现巨厚的加积型河床相沉积。同样的道理,笔者认为宝鸡段渭河发育时代约1.40Ma,洛川段洛河发育时代约1.20Ma。

黄土-古土壤记录了丰富的气候变化信息。通过不同时期阶地之上的黄土-古土壤序列分析,可以揭示各级阶地形成时期气候变化状况。

大约在1.40Ma B. P.,兰州地区黄河首次下切形成六级阶地,之后地壳趋于稳定,阶地之上接收黄土沉积,由于气候波动形成黄土-古土壤序列。至1.20Ma前后,黄河再次下切,形成五级阶地。在此期间六级阶地之上沉积了 $S_{21}-S_{15}$ ,相当于午城黄土上部,或洛川剖面古土壤组合WS-1<sup>[3]</sup>。密集的褐红色古土壤组合与肉红色黄土,反映了相对后期温暖湿润的气候。陈发虎的兰州黄土地球化学与孢粉资料<sup>[14]</sup>也证明了 $S_{21}-S_{15}$ 反映了相对温暖的气候记录。

大约1.20Ma前后,黄河二次下切形成五级阶地。河床出露水面后首先接收了粉砂质黄土沉积( $L_{15}$ )。 $L_{15}$ 记录了第四纪一次特别寒冷的气候历史<sup>[3-5]</sup>,相当于大姑冰期的I期。1.20—0.50Ma之间, $T_5$ 之上沉积了 $L_{15}-S_6$ 。除 $L_{15}$ 外,上砂层 $L_9$ 同样记录了一次特别寒冷气候历史<sup>[3,4]</sup>,相当于大姑冰期的II期。而 $S_9-S_{14}$ 则记录了一次温暖的间冰期气候历史。因此,在四级阶地形成之前,五级阶地形成期间(1.20—0.50Ma)经历了寒冷( $L_{15}$ )—温暖( $S_{14}-S_9$ )—寒冷( $L_9$ )—温暖( $S_8-S_6$ )的气候变化历史。

0.40Ma前后,黄河第三次下切,形成四级阶地。至三级阶地形成前, $T_4$ 上沉积了 $S_5-S_2$ 。这一时期特别是 $S_5$ 形成时期,是中更新世最温暖阶段,相当于庐山—大理间冰期。

0.15Ma前后,形成三级阶地,沉积了 $S_1-L_1$ ,记录了末次间冰期与末次冰期气候。 $T_2$ 之上的黑垆土记录了全新世初期一次温暖湿润气候,而 $T_1$ 之上的耕作土则是现代气候产物。

气候变化对水系演化有着重要影响。上新世末到更新世初,该区气候温和,雨水较多,内陆湖泊发育,如著名的古三门湖广泛分布于陕、晋、豫三省。此时,内流河发育,不少河流汇集于三门湖。早更新世后期,气候逐渐干旱寒冷,三门湖退缩。大约于1.20Ma前后,古三门湖逐渐消失,黄河流经干涸的古三门湖东流而去。

总之,黄河及其一、二级支流的发育演化不仅受控于新构造运动,而且受气候变化影响。第四纪以来,黄土高原日益干旱、寒冷,早期星罗棋布的湖,特别是三门湖干涸,使水系分布发生巨大变化。现代黄河主流形成,内流河重新取向流入其它大河,形成现代黄河水系格局。它的形成对整个黄土高原生态环境,特别是植被分布、动物群组成及人类生存都有重大影响。

## 参 考 文 献

1 陈梦熊. 甘肃中部之地文. 地质论评, 1947, 12(6): 545—556.

- 2 张林源. 兰州河谷盆地第四纪地质的初步研究. 兰州大学学报, 1962, (1): 89—101.
- 3 刘东生. 黄土与环境. 北京, 科学出版社, 1985.
- 4 张宗祜, 张之一. 中国黄土. 北京: 科学出版社, 1991.
- 5 孙建中. 黄土高原第四纪. 北京: 科学出版社, 1991.
- 6 丁仲礼, 刘东生. 中国黄土研究新进展(一). 黄土地层, 第四纪研究, 1989, (1): 24—35.
- 7 朱照宇. 水系沉积物—古土壤系列与气候—构造旋回. 黄土第四纪地质全球变化. 1991, (1): 62—70.
- 8 王永焱. 兰州黄土的形成时代问题. 地质科技, 1978, (4): 76—84.
- 9 Burbank D W, Lj Jijun. Age and palaeoclimatic significance of the loess of Lanzhou, China. Nature, 1985, 316(4): 141—143.
- 10 曹继秀, 徐齐治, 张宇田, 陈发虎. 兰州九洲台黄土—古土壤系列与环境演化研究. 兰州大学学报(自然版), 1988, (1): 118—122.
- 11 岳乐平, 雷祥义, 屈红军. 兰州九洲台黄土剖面古地磁研究. 西北大学学报, 1992, 22(1): 87—94.
- 12 潘保田, 李吉均, 朱俊杰, 陈发虎, 曹继秀, 张宇田, 陈怀录. 兰州地区黄河阶地发育与地貌演化. 中国西部第四纪冰川与环境. 北京: 科学出版社, 1991. 271—277页.
- 13 李吉均, 文世宣, 张青松, 王富葆, 郑本兴, 李炳元. 青藏高原隆起的时代、幅度和形成探讨. 中国科学, 1979, (6): 608—616.
- 14 陈发虎, 张维信. 甘肃地区的黄土地层学与第四纪冰川问题. 北京: 科学出版社, 1993.

## THE AGE OF TERRACE DEVELOPMENT IN THE MIDDLE REACHES OF THE YELLOW RIVER

Yue Leping, Lei Xiangyi and Qu Hongjun

*(Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi)*

### Abstract

The authors have studied the terraces of the Yellow River in the Lanzhou area, the Weihe River in the Baoji area and the Luohe River in the Luochuan area with the magnetostratigraphic method. The results show that the highest terrace of the Yellow River in the Lanzhou area is terrace VI, which was formed at 1.40 Ma, and the Yellow River in the region appeared at 1.60 Ma. The highest terrace of the Weihe River in the Baoji area is terrace V, which was formed at 1.20 Ma B. P. The Weihe River in the area appeared at 1.40 Ma B. P. The highest terrace of the Luohe River in the Luochuan area is terrace V, which was formed at 1.00 Ma B. P. The Luohe River in the area appeared at 1.20 Ma B. P. The uplift of the Qinghai—Tibet plateau, uninterrupted oscillation and uplift of the crust and climatic changes have controlled the terrace development of the middle Yellow River drainage system.

**Key words:** Yellow River, Weihe River, Luohe River, river terrace, paleomagnetism

### 作者简介

岳乐平,男,生于1949年4月。1976年毕业于西北大学地质系,后获博士学位。现为西北大学地质系副教授,从事第四纪地质与古地磁学的研究。通讯处:西安市西北大学地质系,邮政编码:710069。