

渭河宝鸡段河谷地貌的构造气候响应

陈云 童国榜 曹家栋 李铮华 贾艳琨 徐建明 扬振京

摘要：渭河宝鸡段发育五级河流阶地，分别形成于1.2MaBP、0.8MaBP、0.5MaBP、0.13MaBP、0.009MaBP。它们是第四纪早更新世中期以来，青藏高原整体隆升过程中几个大幅度抬升阶段及其驱动的气候变化的响应，记录了准0.4Ma、准0.1Ma周期的构造气候旋回与亚旋回。这种尺度的构造气候旋回与黄土—古土壤序列记录的天文气候旋回很吻合，表明它们在成因机制上的某种内在联系，深刻认识这一点，将有助于全面理解区域环境演化的规律性与差异性。文中还初步探讨了渭河贯通陇山的时代和统一水系的形成问题。

关键词：渭河阶地；构造气候旋回；准0.4Ma周期；贯通时代

中图分类号：P532，P54

文献标识码：A

TECTONIC CLIMATE RESPONSE IN THE GEOMORPHOLOGY OF THE WEIHE RIVER VALLEY AROUND BAOJI, SHAANXI PROVINCE

CHEN Yun, TONG Guo-bang, CAO Jia-dong, LI Zheng-hua, JIA Yan-kun,
XU Jian-ming, YANG Zhen-jing

(Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, CAGS, Zhengding Hebei 050800, China)

Abstract : There have been developed five stages of terraces, formed in 1.2MaBP, 0.8MaBP, 0.5MaBP, 0.13MaBP, 0.009MaBP, respectively, in the Weihe river around Baoji, Shaanxi Province. Each of these stages is considered to be the response to the corresponding large up lifting and consequent climatic changes during the rising of Qingzang Plateau's since middle period of early Pleistocene, witnessing tectonic climatic cycles and sub-cycles of a period of about 0.4Ma and 0.1Ma. Such scale tectonic climatic cycles well agrees with the astroclimatic circles recorded by loess-paleosol sequence. This shows that there may be some causative relation between them. A knowledge of the relation will be helpful to the understanding of the environmental evolution of the region. A preliminary discussion on the age of the passage of the Weihe river through the Longshan Mt. and the formation of a unified drainage system of it.

Key words: Weihe terrace; tectonic climate cycle; 0.4Ma period age

著名地学家W·Penck早年曾经说过，地貌是内外营力相互作用的产物。若干年

来,人们关注的有关青藏高原的形成、隆升以及有关黄河发育历史问题的研究表明,地貌,尤其是河流地貌及与其形成过程相关的沉积物,比如黄土—古土壤序列、冰碛—古土壤序列、水成沉积系列等,对构造运动与气候变化的响应十分明显[1~18]。孙殿卿、吴锡浩80年代提出的构造气候旋回理论,正是据此酝酿产生并不断完善的[7~11]。最近几年,吴锡浩根据对青藏高原、黄土高原形成演化和我国其他一些地方的地质证据的综合研究,将晚中新世800多万年来划分了8个与地球轨道三要素之一的地轴倾角最大周期变化对应的准1.2Ma周期的构造气候旋回,并分析了大致3.9MaBP以来各准1.2Ma周期主构造气候旋回中蕴含的与地球轨道偏心率准0.4Ma周期对应的亚旋回,并进一步明确指出,在构造运动与气候变化两者关系中构造驱动气候是主要的[7,8]。这是对地球轨道要素驱动太阳辐射量变化的冰期气候旋回理论的一个突破。因为Milonkovitch理论不仅不曾明确阐明准1.2Ma气候变化周期的存在,而且无法满意解释青藏高原隆起驱动的构造气候旋回及其对北半球甚至全球的环境效应。本文通过对渭河天水宝鸡段河谷地貌的调查研究,理解和检验上述构造气候旋回理论,同时旨在从一个侧面能为它提供某种科学依据。

1 渭河宝鸡段河谷地貌特征

渭源于甘肃渭源陇南山地,在甘谷、天水汇合散渡河、葫芦河,东流宝鸡峡进入关中平原,于潼关注入黄河。这里所指的渭河宝鸡段,大致东起虢镇,西到宝鸡峡,南以秦岭山前黄土丘陵、扇地为界,北抵北山南黄土台原,呈现典型的河谷地貌,从谷肩到谷底,由塬区向河流阶地、漫滩依次阶梯状逐级降落,高程约从1000m下降到600m左右(图1)。

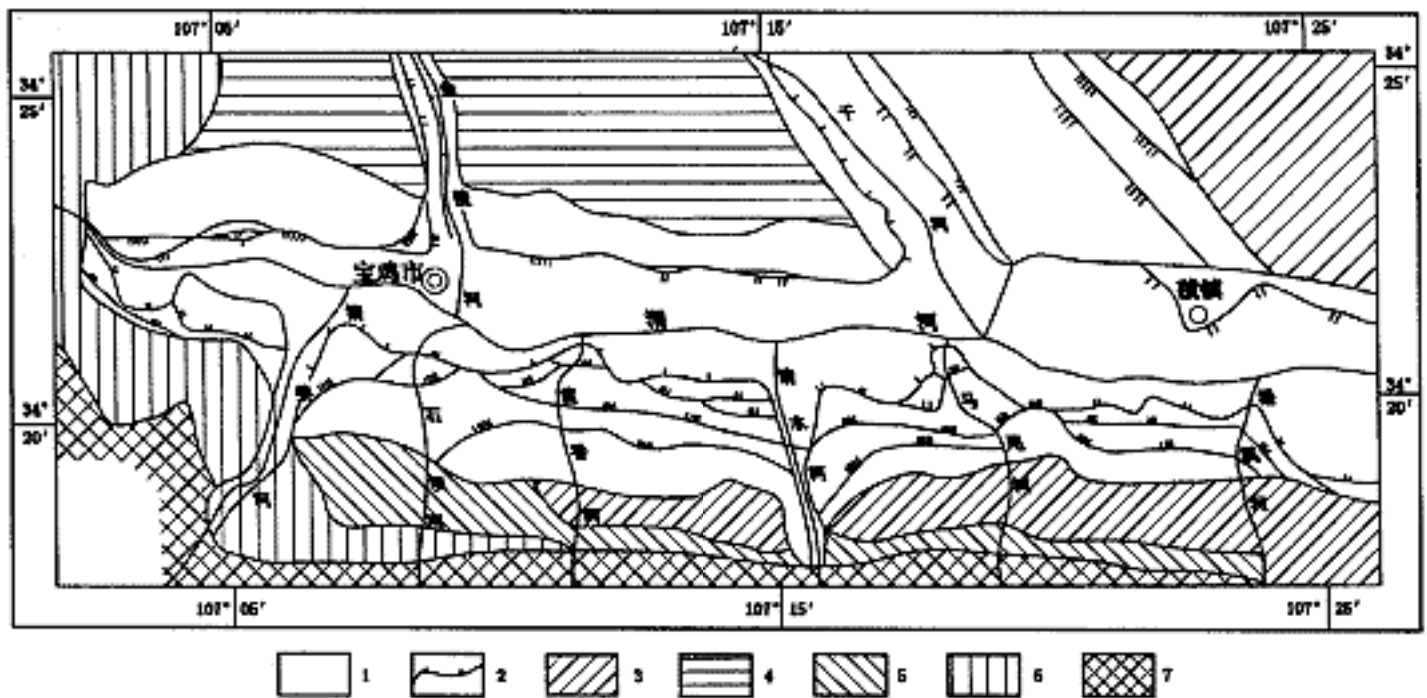


图1 渭河宝鸡段地貌略图

Fig.1 Geomorphologic sketch map of the Baoji part of Weihe river

- 1.渭河漫滩；2.阶地前沿线(短线数代表阶地级数)；3.一级黄土塬；4.二级黄土塬；
- 5.下伏第四系冲洪积相黄土梁峁；6.下伏前三系黄土梁峁；7.基岩山区

河漫滩沿渭河两岸条带状分布。低漫滩一般高出渭河水面1~3m，高漫滩高出5m左右。

第一级阶地，主要分布南岸，北岸仅在宝鸡西有零星分布，一般高出渭河水面20m左右，与高漫滩多呈陡坎接触。

第二级阶地，两岸均有分布，南岸比北岸更普遍、连续，一般高出河水面30m左右，与一级阶地多数呈陡坎接触，有些地方通过近20m的陡坎直接与高漫滩相接。

第三级阶地，断续分布于渭河南岸，北岸仅在渭河出峡谷口有零星展布，高出水面70m~100m，前缘与第二和第一级阶地或高漫滩呈陡坎或陡坡相接，高差分别为40m、50m、70m左右。

第四级阶地，主要分布南岸清姜河与潘溪河之间，阶地面被近代沟谷切割而较破碎，一般高出河水面100m~160m，与第三级阶地或第二级阶地呈陡坎接触，高差分别为40m、60m左右。

第五级阶地，分布渭河两岸，在北岸分布连续，直接与第二级阶地或高漫滩呈陡坎接触，高出河漫滩150m以上；在南岸，多半直接与第四级阶地呈陡坡相接，高差30m~50m。

由上述可知，渭河宝鸡段河谷横断面是不对称的。由于秦岭不断上升，渭河不断向北摆动，故南岸五级阶地发育，阶地面也较宽；北岸只见第五级阶地，其他多被侵蚀破坏(图2)。

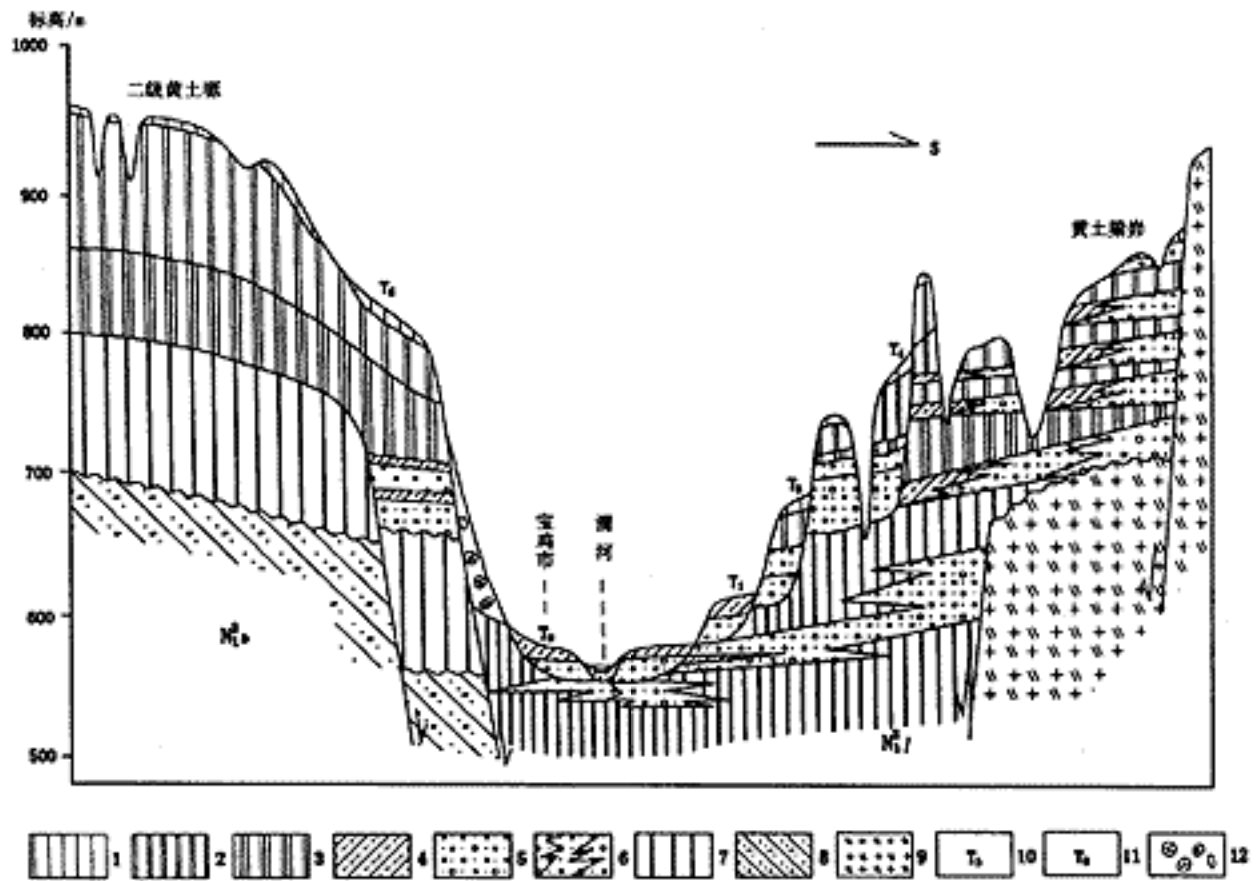


图2 渭河宝鸡段河谷横剖面示意图

Fig.2 Cross profile of the Weihe river around Baoji, Shaanxi Province

1.上更新世黄土；2.中更新世黄土；3.下更新世黄土；4.亚粘土；5.砂卵石层；6.山前洪积层；7.上第三系蓝田组；8.上第三系坝河组；9.印支期花岗岩；10.河流阶地代号，数字代表级数；11.渭河漫滩；12.坡积物

2 阶地成因与构造气候旋回

渭河第五级阶地，以马家塬实测剖面为例，属基座阶地。基座是上第三系蓝田组棕红色钙质粘土，厚35m，中部夹近4m厚的透镜状砂砾石层，与下伏中新统坝河组砂砾岩呈角度不整合。基座上覆厚35m的砂卵石层夹薄层砂、亚粘土、粘土层，组成多个二元结构。再上是厚87m的黄土—古土壤序列，含15层古土壤(图3)。

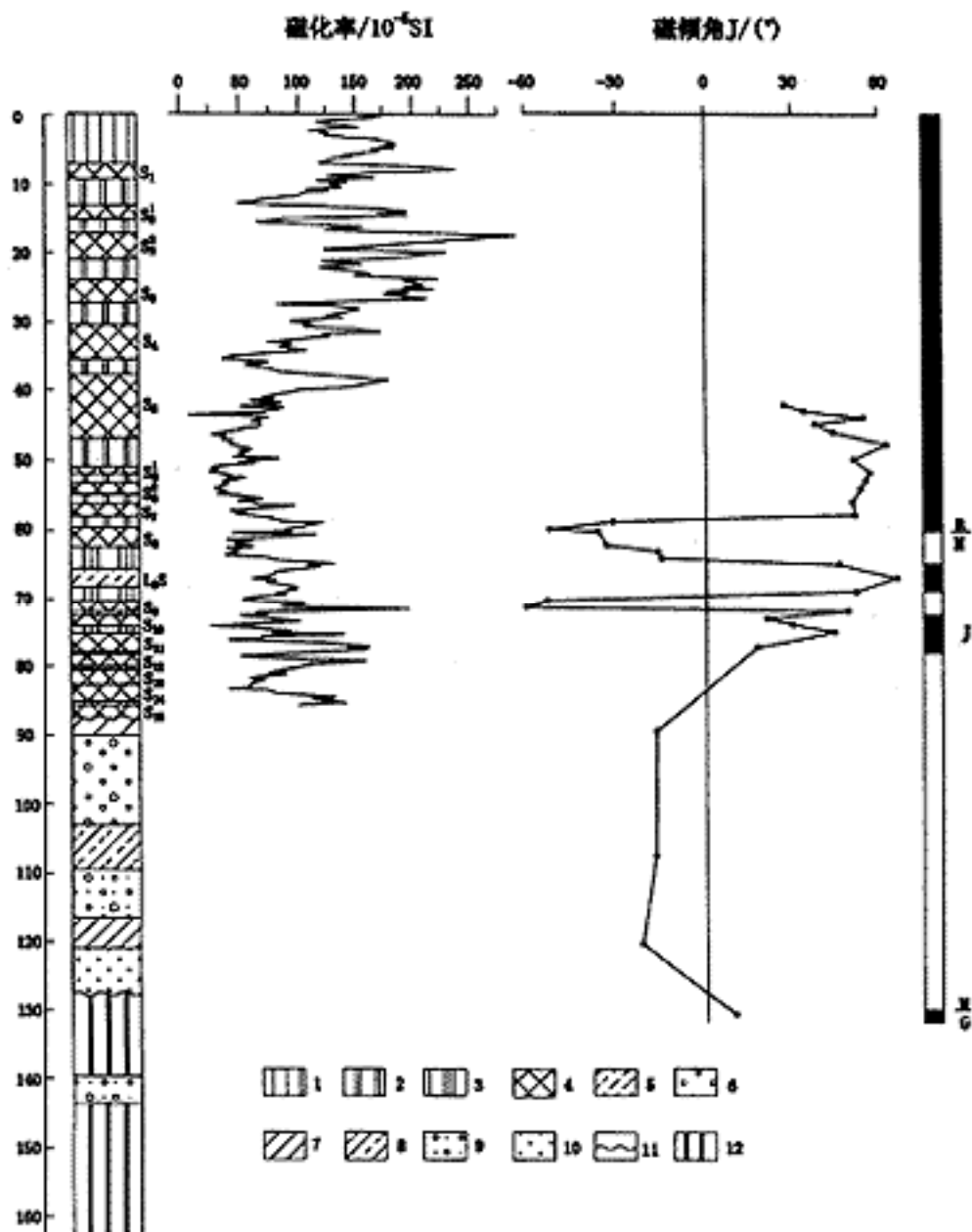


图3 宝鸡马家塬剖面磁性地层结果

Fig.3 Magnetic strata of the Majiayuan profile in Baoji

1.晚更新世黄土；2.中更新世黄土；3.早更新世黄土；4.古土壤；5.弱发育的古土壤；
6.卵石层；7.粘土；8.亚粘土；9.砂卵石层；10.砂层；11.不整合面；12.第三系红土

第四级阶地，以唐家塬剖面为例，属黄土覆盖阶地，含8层古土壤的黄土下伏的是下细中粗上细为特征的加积型砂砾石层(图4)。

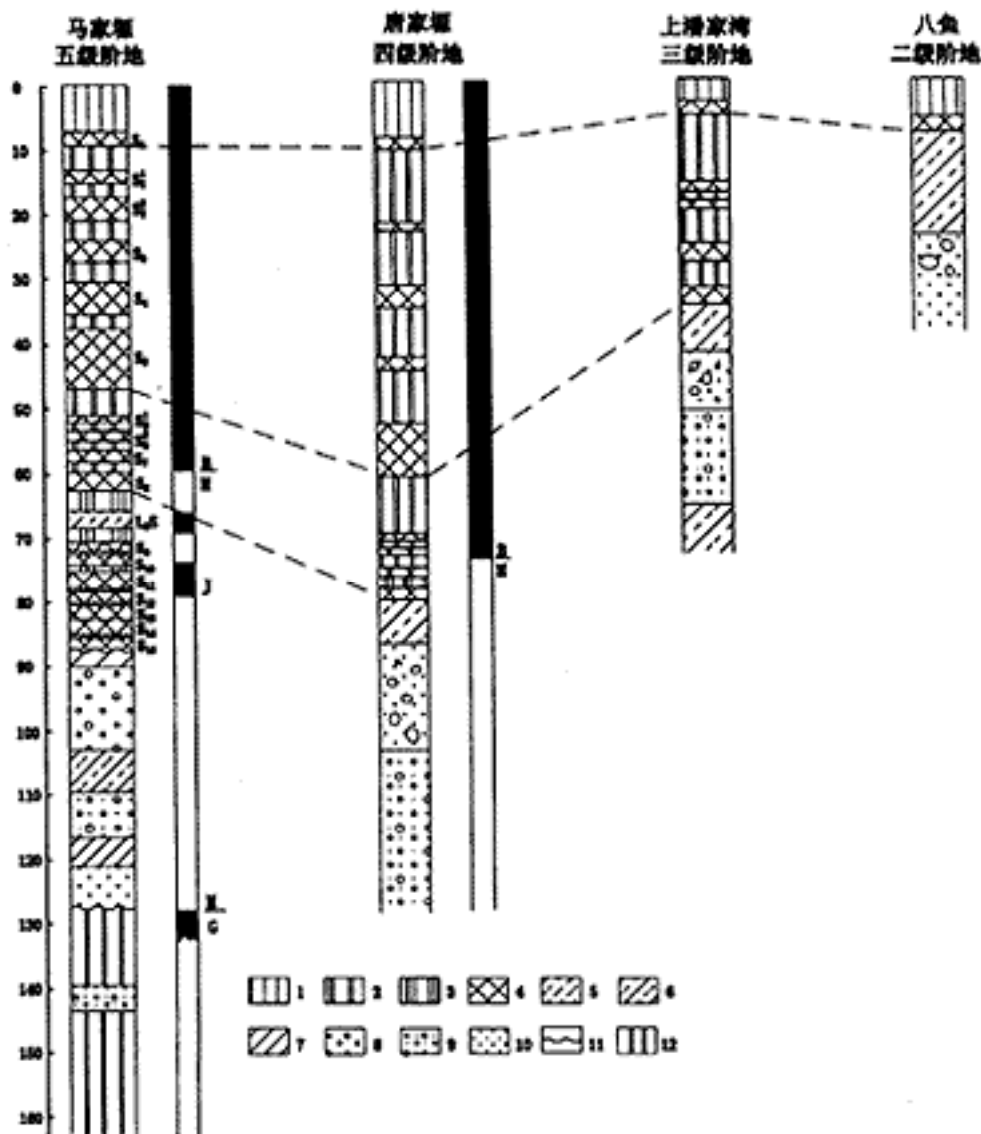


图4 渭河宝鸡段阶地地层对比图

Fig.4 Strata correlations of river terraces in the Weihe river around Baoji, Shaanxi Province

1.晚更新世黄土；2.中更新世黄土；3.早更新世黄土；4.古土壤；5.弱发育的古土壤；6.亚粘土；7.粘土；8.卵石层；9.砂卵石层；10.砂层；11.不整合面；12.第三系红土

第三级阶地，以上潘家湾剖面为例，上部为厚约40m黄土，含五层古土壤，第五层古土壤直接覆盖在30m厚的由亚粘土与砂砾石层组成的二元结构堆积层上(图4)。个别地方，可见由上第三纪蓝田组或白垩纪角砾岩组成的阶地基座。

第二级阶地，以八鱼剖面为例，上部由近10m厚黄土组成，含一层古土壤，古土壤底部的热释光年龄为 11.67 ± 1.3 万年，其下是由亚粘土、砂砾石组成的二元结构沉积物。

第一级阶地，以下潘家湾剖面为例，阶地下部可见厚约4m的砂砾石层，上部为厚6m左右的黄土状土，顶部由一层黑垆土和全新世黄土组成，厚约2m。

由上述可知，渭河宝鸡段的五级阶地均为黄土覆盖的阶地，黄土—古土壤序列之下是加积型的河床、河漫滩相沉积，其上覆黄土底部的年龄，便是阶地形成的年龄。

鉴于黄土—古土壤序列在黄土高原地区有极好的对比性，而且根据古地磁、热释光、 ^{14}C 等手段建立起来的年龄标尺也有相当高的可靠性，故可据此判定：

第五级阶地：自古土壤 S_{15} 开始发育时下切形成，年龄为1.2MaBP；

第四级阶地：在0.8MaBP古土壤 S_8 发育时开始下切出露为阶地；

第三级阶地：自0.5MaBP古土壤 S_5 发育时下切形成；

第二级阶地：在0.13MaBP古土壤 S_1 发育时开始下切形成；

第一级阶地：是在黑垆土 S_0 开始发育时下切形成的，其年龄为0.009MaBP。

黄土高原黄土—古土壤序列丰富的气候记录表明，古土壤发育时属温暖的间冰期气候。因此，渭河各级阶地黄土下伏河流二元相加积型冲积层则是在冰期气候环境下形成的。也就是说，河流堆积—下切形成阶地的过程正好与冰期—间冰期旋回对应。从渭河几级阶地的年龄间隔看，似乎可以与轨道偏心率周期气候变化对应的准0.4Ma周期一致，可见，渭河宝鸡段河流阶地对气候变化的灵敏响应。

上文述及，渭河宝鸡段的阶地高差都较大，多在30m以上，且多为基座阶地，单纯气候变化难以说明渭河何来如此大的下切能量，无疑，这与构造抬升运动密切相关。更有意思的是，青藏高原形成及隆升的研究^[1,2,3]表明，渭河下切形成的几级阶地，正好与青藏高原自1.6MaBP~1.2MaBP形成高原面起转向整体隆升的几次明显的大幅度隆升阶段一致。如渭河阶地 T_5 强烈下切过程与青藏高原出现高原面达到“半山”高度的隆升阶段一致； T_4 的形成与青藏高原从“半山”高度上升到海拔近3000m的构造抬升阶段吻合；造成渭河下切形成 T_3 的过程，与高原从3000m上升到3600m的隆升阶段同步； T_2 的形成与高原上升到4100m的构造隆升一致； T_1 的形成，显然亦与高原上到目前平均5000m的高程的隆升过程密切相关(表1)。

由此可见，渭河宝鸡段河流阶地是受构造和气候共同影响并在构造驱动下形成的。它们记录了与地球轨道偏心率准0.4Ma周期变化相对应的构造气候旋回，与吴锡浩根据青藏高原和黄土高原诸多地质证据提出的大致1.6MaBP以来的5个构造气候旋回(TC_4 、 TC_3 、 TC_2 、 TC_1 、 TC_0)一致(表1)。

表1 青藏高原隆升、渭河阶地形成与构造气候旋回对比表
Table 1 Correlation table of uplifting of the Qinghai-Tibetan Plateau, formation of Weihe Terrace with tectonic climatic cycles

年代/MaBP	青藏高原隆升阶段及其平均高程/m	渭河阶地及其形成时代/MaBP	构造气候旋回划分	地貌过程特征
0.09	近代继续上升 5000	T_0 T_1	TC_0	快速持续上升，河流堆积侵蚀下切，强度不大，阶地高差小
0.13 0.5	4200	T_2	TC_1	快速隆升，渭河第二级阶地形成
0.8	3600	T_3	TC_2	强烈大幅度隆升，河谷深切，渭河贯通陇山，袭夺葫芦河，统一水系形成

1.2	3000	T ₄	TC ₃	强烈抬升，渭河深切，阶地高差大
	2400	T ₅	TC ₄	青藏高原出现高原面，并达到“半山”高度，渭河加积深切，最高一级阶地形成

3 关于渭河贯通陇山时代的商榷

有关黄河水系演化问题已有大量研究^[12~19]，然而，至今尚无具体涉及其重要一级支流渭河水系的形成演化。大家知道，渭河只有通过六盘山南端与秦岭衔接处的陇山，才算将上、中、下游连成一体形成统一的水系。渭河何时贯通陇山无疑是其发育史上的一个重大事件。

渭河在宝鸡峡以东乃是流经渭河地堑构造基础上发展起来的关中平原。这一段古渭河，根据渭河最高级阶地形成时代，大致在1.4MaBP~1.2MaBP时已经存在。当时古三门湖西部边缘已被来自古湖周边山地的向心河流所替代。渭河第四级阶地大致形成于0.8MaBP，其下部加积型二元结构冲积层的砾石成分，以花岗岩为主，次为片麻岩，片岩，大理岩，石英，磨圆度中等，多呈次圆状，半棱角状。可见，它们被搬运不远，来源于断陷盆地南侧秦岭的中元古界变质岩系和印支期花岗岩。陇山以西的天水、陇西，无论是西秦岭地区，或是祁连山地区，古生界和中生界均为海相或海陆交互相地层，主要是碎屑岩、灰岩、火山石，碳酸盐类岩石有广泛分布，如果当时渭河已经贯通陇山的话，则组成第四、五级阶地下部的河流二元相结构冲积层，必定含有大量的灰岩、火山岩砾石成分，然而，事实并非如此，第四、五级阶地下部的砂卵石层几乎见不到碳酸盐类岩石成分的砾石或卵石。

另外，渭河通过陇山形成有名的宝鸡峡谷，从目前的河谷地貌看，这段渭河，不但是峡谷，而且曲流发育相当完美。这可能意味着，六盘山断陷从第三纪末隆起成山后，早更新世以来其东西两侧也许已有相向发育的两条河流。东侧一条(正是古渭河的一段)，流入渭河断陷盆地；西侧一条，由东而西注入天水盆地。这两条相向河流经过后来各自的发育演化，河流纵剖面多次调整平衡，均形成了曲流。大致0.5MaBP，在青藏高原平均高程由3000m上升到3600m那次大幅度强烈隆升驱动下，陇山整体抬升，赋予上述两条河流巨大的能量，强烈下切并溯源侵蚀，从而切穿了分水岭陇山。由于东侧的古渭河基准面低，因而袭夺了西侧的河流，形成渭河宝鸡峡谷，并保留了原先发育的曲流形态。渭河贯通陇山后，继而袭夺了当时注入秦安盆地的葫芦河，汇合散渡河等支流，形成统一的渭河水系。

显然，以上关于渭河水系形成演化的意见还有待深入工作予以证实。

4 结论

渭河宝鸡段发育五级阶地，分别形成于1.2MaBP、0.8MaBP、0.5MaBP、0.13MaBP、0.009MaBP。它们是第四纪早更新世以来青藏高原整个隆升过程中几个大幅度抬升阶段及其驱动的气候变化的响应，记录了准0.4Ma周期的构造气候旋回和准0.1Ma周期的亚旋回。这与黄土—古土壤序列记录的与偏心率准0.4Ma和准0.1Ma周期相应的气候变化极为吻合，反映了以构造驱动气候变化为本质的构造气候旋回与太阳辐射变化的天文气候旋回存在显著区别，同时也还有一定时空尺度方面的相似性或耦合作用。全球变化的区域对比与差异或许有可能在这一点上得到深一层的理解。

据目前已有的若干证据，按照构造气候旋回理论，渭河可能在0.5MaBP时贯通陇山，继后并袭夺了葫芦河，汇合散渡河等支流，从而形成统一的渭河水系。

野外工作过程中，曾得到陕西省地矿局及其第三地质大队的协助，并提供了大量内部资料，特此深表谢意。

基金项目：原地质矿产部“九五”前沿科技项目(9501113)

作者简介：陈云(1937—)，男，研究员，主要从事第四纪地质与环境工程研究。

作者单位：(中国地质科学院水文地质环境地质研究所，河北 正定 050800)

参考文献

- [1] 吴锡浩, 王富葆, 安芷生, 等. 晚新生代青藏高原隆升的阶段和高度 [A]. 刘东生, 安芷生主编. 黄土、第四纪地质、全球变化, 第三集 [C]. 北京: 科学出版社, 1992.1~13.
- [2] 吴锡浩. 青藏高原隆升幅度的初步研究 [A]. 刘东生, 安芷生, 吴锡浩主编. 黄土、第四纪地质、全球变化, 第四集 [C]. 北京: 科学出版社, 1996.1~17.
- [3] 吴锡浩, 安芷生. 黄土高原黄土—古土壤序列与青藏高原隆升 [J]. 中国科学, 1996, 26(2): 103~110.
- [4] 李吉均. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨 [J]. 中国科学, 1979, (6): 608~618.
- [5] 李吉均. 青藏高原隆起的三个阶段及夷平面 [A]. 中国地理学会地貌与第四纪专业委员会编. 地貌·环境·发展 [C]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.1~5.
- [6] 潘裕生. 青藏高原的形成与隆升 [J]. 地学前缘, 1999, 6(3): 153~162.
- [7] 吴锡浩, 安芷生, 蒋复初, 等. 上新世以来黄土高原的构造气候旋回 [A]. 北京地质大学纪念袁复礼教授诞辰100周年学术讨论委员会. 纪念袁复礼教授诞辰100周年学术讨论会论文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1993.73~78.
- [8] 吴锡浩, 王苏民, 安芷生, 等. 关于晚新生代准1.2Ma周期构造气候旋回 [J]. 地质力学学报, 1998, 4(4): 1~11.
- [9] 吴锡浩. 北京地区第四纪冰期与构造—气候旋回 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1983, 3(2): 111~119.
- [10] 孙殿卿, 吴锡浩. 中国第四纪构造—气候旋回的初步研究 [J]. 中国第四纪研究, 1986, 7(2): 1~9.
- [11] 吴锡浩. 构造—气候旋回与第四纪下限问题 [A]. 第四纪冰川与第四纪地质论文集, 第七集 [C]. 北京: 地质出版社, 1991.32~42.
- [12] 张抗. 黄河中游水系形成史初探 [J]. 中国第四纪研究, 1989, 8(1): 185~193.
- [13] 朱照宇. 黄河中游河流阶地的形成与水系演化 [J]. 地理学报, 1989, 44(4): 429~439.
- [14] 岳乐平, 薛祥煦. 中国黄土古地磁学 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.66~70, 117~126.

- [15] 岳乐平, 雷祥义, 屈红军.黄河中游水系的阶地发育时代 [J] .地质论评, 1997, 43(2) : 186 ~ 192.
- [16] 朱照宇.水系沉积物—古土壤系列与气候—构造旋回 [A] .刘东生主编.黄土、第四纪地质、全球变化, 第一集 [C] .北京: 科学出版社, 1990.62 ~ 70.
- [17] 关恩威.渭河谷地地貌发育史及有关问题的讨论 [J] .中国第四纪研究, 1965, 4 (1) : 195 ~ 203.
- [18] 潘保田, 李吉均, 朱俊杰, 等.兰州地区黄河阶地发育与地貌演化 [A] .中国第四纪冰川与环境研究中心、中国第四纪研究委员会编.中国西部第四纪冰川与环境 [C] .北京: 科学出版社, 1991.271 ~ 277
- [19] 吴锡浩, 蒋复初, 王苏民, 等.关于黄河贯通三门峡东流入海问题 [J] .第四纪研究, 1998, (2) : 188.

收稿日期: 1999-8-13