

文章编号: 1006-6616 (2005) 04-0293-09

关于黄河贯通三门峡的时代

蒋复初^{1,2}, 傅建利¹, 王书兵¹, 赵志中¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊沉积与环境开放研究实验室, 南京 210008)

摘要:黄河的发育是晚新生代东亚构造地貌演化和环境变迁的重大事件。从整体上看,黄河只有贯通晋豫间的三门峡,东流入海,才称得上黄河干流的最终形成。三门峡是研究和探讨黄河形成、演化的关键部位之一。根据古三门湖消亡与邙山晚更新世黄土沉积速率突然增大揭示的重大环境突变事件,黄河大约于 150 kaB.P. 前后贯通三门峡东流入海,现代黄河水系最终形成。

关键词:黄河;三门峡;古三门湖;邙山黄土

中图分类号: P534.6

文献标识码: A

黄河是我国第二大河,源于青藏高原,流经黄土高原、华北平原,东流入海。黄河的发育受构造、地貌、气候和水文等自然因素控制,与青藏高原、黄土高原、华北平原和黄海陆架的演变有着紧密的成因联系,是综合反映东亚构造地貌和自然环境变迁的重大地质事件,因而受到普遍的关注与重视^[1-19]。从宏观上看,目前根据不同河段的黄河沉积学和地貌学研究所获得的认识,尚不能圆满说明黄河水系形成的原因和时代。晋豫间的三门峡段黄河位于黄土高原与华北平原的转折带上,其上黄河流经一系列山地(构造抬升区)和盆地(构造沉降区),其下则进入平坦的平原。三门峡段基岩山地曾是黄河东流入海的最后一道障碍,是研究和探讨黄河发育、演化的关键部位之一。只有三门峡段基岩山地被贯穿,并使黄河上、中游来水东流入海,才称得上黄河干流的最终形成。本文主要就三门峡上、下峡口处古三门湖消亡与邙山黄土发育来探讨黄河三门峡贯通时代。

1 黄河形成时代研究现状综述

黄河演化历史上,曾经历了河湖相间、河湖并存的阶段。现代意义的黄河是在贯通一系列古湖泊的基础上形成的。由于不同河段古湖泊消亡的时间及入湖古河流的阶地发育状况不同,因而不同研究者对黄河形成时代问题的认识各有差异,从上新世至全新世,可谓众说纷纭。主要有以下几种代表性认识:王乃樑^[1]通过山西陕西间黄河峡谷地貌研究,认为该段河

收稿日期: 2005-08-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 40302036)和中国科学院湖泊沉积与环境开放实验室基金项目(批准号: HB200108)共同资助。

作者简介: 蒋复初(1949-),男,研究员,博士生导师,从事第四纪地质与环境研究。通讯地址: 100081,北京市海淀区民族大学南路11号;电话: 010-68422376; E-mail: jiangfuchu@sina.com

谷远在上新世以前就已存在。德日进等^[2]根据河曲、保德附近新生代地层研究,认为黄河形成时代不晚于上新世保德期。李容全^[3]认为最晚在上新世初期(第一外流期)就已有了黄河,它是串通、连接晚第三纪初期的一些盆地而形成的。至保德期末、静乐期初,由于构造活动黄河被截成数段而注入到下游一侧的内陆湖泊,无河水外泄(内流时期)。自中更新世中晚期,即0.3~0.25MaB.P.以来,黄河重新恢复外流河的面貌,完全继承了第一外流期的流路而东流入海(第二外流期)。袁宝印等^[4]根据对黄河阶地及地文期的研究,将黄河发育历史分为三个阶段:①黄河雏形期,时代为上新世,黄河至少已达河套地区;②河湖并存期,早更新世至中更新世,黄河已达到共和盆地;③大黄河期,晚更新世至今,现今黄河的基本面貌形成。朱照宇^[5]通过水系沉积物特征的研究,认为黄河主要形成于1.67~1.43MaB.P.期间。李吉均等^[6]则认为发生于1.7MaB.P.的青藏运动C幕,黄河开始出现;1.2MaB.P.发生的黄河运动使黄河切开积石峡流入临夏—兰州盆地,同时切开三门峡东流入海,黄河现代水系格局形成。滕志宏等^[7]认为黄河形成于早更新世早期,约1.6~1.5MaB.P.。杨守业等^[8]通过对黄河三角洲沉积物元素组成的研究认为早更新世时黄河全河贯通成为一条完整的河流。岳乐平等^[9]通过黄河中游阶地发育时代的研究认为,早更新世后期,大约于1.2MaB.P.前后,现代黄河主干流形成。潘保田等^[10]通过黄河中游夷平面和阶地的研究,认为发生于1.1MaB.P.的黄河运动使得黄河向上游扩展和三门峡被打通,统一黄河形成。黄万波等^[11]通过对三门峡地区哺乳动物化石的研究,认为黄河形成的时间在早更新世末或中更新世初。薛铎^[12]通过汾渭盆地与河南平原地区更新统介形类化石组合对比,认为三门峡以东黄河形成的时代为中更新世初期或早更新世末期,距今约七八十万年至一百万年左右。刘书丹等^[13]通过河南东部平原第四纪沉积物特征,认为黄河形成于中更新世早期,距今约0.73MaB.P.。张伯声^[14]、丁梦林^[15]和张抗^[16]则认为黄河在晚更新世后期相继打通禹门口和三门峡,使一系列内陆湖盆贯通相连,黄河最终形成。吴锡浩等^[17]、王苏民等^[18]将三门古湖沉积记录的环境变迁与黄河贯通东流进行联系,大致发生在150kaB.P.的构造运动和河流袭夺导致外流黄河形成。夏东兴等^[19]则认为全新世早期黄河中上游贯通,并冲出三门峡,黄河形成。

2 邙山黄土地层记录

邙山黄土主要分布于黄河出三门峡后的黄河南岸,以河南省郑州市西北的邙山塬发育最佳^[20-24],其特征是晚更新世黄土厚度巨大。它不仅是过去全球变化的良好记录,而且也是构造地貌过程的环境响应。

邙山黄土以位于邙山塬中部的赵下峪剖面发育最好,出露 S_0 以上黄土地层^[20-21](图1),总厚度大于172.1m,其中末次间冰期 S_1 古土壤厚15.7m,末次冰期 L_1 黄土厚77.3m,是由晚冰阶 L_1LL_1 黄土、间冰阶 L_1SS_1 古土壤和早冰阶 L_1LL_2 黄土组成的复合黄土,厚度分别为41.6m、13.2m和22.5m。

邙山塬东北缘的桃花峪剖面出露 S_3 以上黄土—古土壤序列^[22-23],地层厚度约130m。其中 S_0 古土壤厚0.6m, L_1 黄土厚70.8m, S_1 古土壤厚9.9m, L_2 黄土厚12.4m。 L_1 复合黄土由分别厚29.8m、19.5m和21.5m的 L_1LL_1 黄土、 L_1SS_1 古土壤和 L_1LL_2 黄土组成。

邙山塬西北角孤柏嘴剖面出露 S_8 以上黄土—古土壤序列^[24],地层厚度约116m。上部

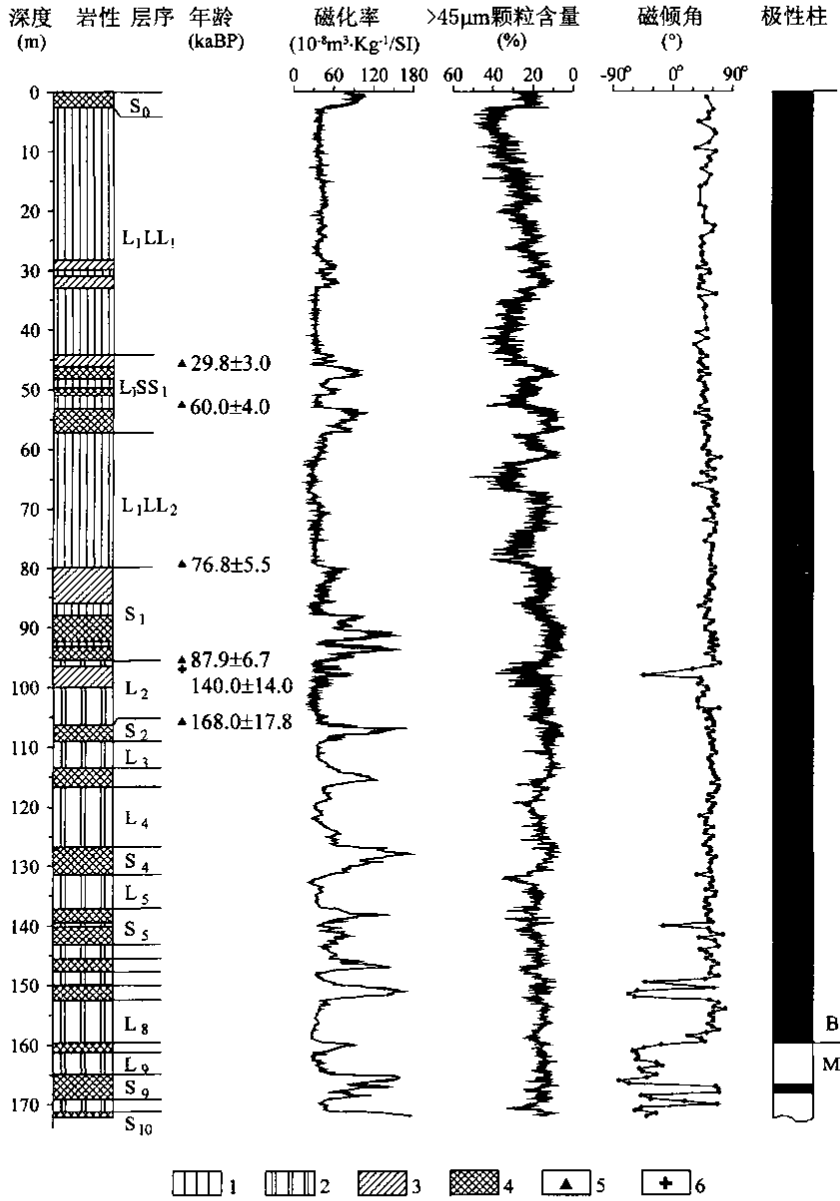


图 1 赵下峪剖面黄土—古土壤序列及其磁化率和粒度曲线

Fig.1 Loess-paleosol sequence and its magnetic susceptibility and grain size curves and polarity column in the Zhaoxiayu section, Mangshan

1. 马兰黄土; 2. 离石黄土; 3. 弱发育古土壤; 4. 古土壤; 5. OSL 年龄; 6. TL 年龄

晚更新世以来黄土—古土壤序列厚度亦可达 83.5 m，其中 S₀ 古土壤厚 0.6 m，L₁ 复合黄土总厚 78.1 m，S₁ 复合古土壤厚 11.2 m，L₂ 黄土厚 4.8 m。

邙山黄土层与黄土高原同期黄土层^[5,25-29]相比较（表 1），S₁ 及以上地层厚度远远大于黄土高原地区黄土和古土壤的厚度，L₂ 黄土略厚些，而 S₂ 以下则大致相近，显示出明显的区域性特征。

邙山黄土的平均沉积速率以末次冰期 L₁ 黄土的平均沉积速率最大，赵下峪剖面 L₁ 黄土的平均沉积速率为 1.25 mm/a（表 2），其中 L₁LL₁ 黄土的平均沉积速率高达 3.45 mm/a，末次

表 1 邙山与黄土高原主要地点的黄土和古土壤厚度对比简表
Table 1 Correlation between the loess and paleosol thicknesses at Mangshan and the main localities of the Loess Plateau

地层单位	地层厚度 (m)										
	栾阳 赵下峪 ^[20]	栾阳 桃花峪 ^[23]	栾阳 孤柏嘴 ^[24]	陕县 曹村 ^[25]	渭南 阳郭镇 ^[26]	蓝田 刘家坡 ^[27]	宝鸡 陵塬 ^[5]	洛川 黑木沟 ^[28]	西峰 火巷沟 ^[29]	兰州 九洲台 ^[29]	午城 柳树沟 ^[29]
L ₀			1.8	>0.5		0.7				4.0	
S ₀	2.6	0.6	1.5	2.0	1.43	0.5	1.5	0.8	1.3	1.0	
L ₁	77.3	70.8	78.1	7.0	7.12	2.3	6.8	8.0	10.7	48.0	8.0
S ₁	15.7	9.9	11.2	4.0	3.61	2.9	2.2	2.4	2.5	7.0	2.0
L ₂	10.8	12.4	4.8	3.0	7.54	4.5	8.1	6.0	6.0	9.0	4.0
S ₂	2.8	1.0	1.5	3.3		2.5	4.1	2.45	1.7	8.0	5.0
L ₃	4.4		2.7	4.5		2.3	3.3	3.05	8.8	17.0	4.5
S ₃	3.1		1.8	2.1		2.0	2.9	2.2	3.2	7.0	6.5
L ₄	10.2		3.9	3.1		2.5	5.4	3.1	3.1	17.0	3.0
S ₄	4.5		2.1	2.9		1.3	1.6	2.9	2.1	1.5	2.0
L ₅	5.8		3.8	4.8		2.5	5.9	4.0	5.3	14.0	6.5
S ₅	5.9		1.3	5.6		5.1	5.1	5.3	6.8	14.3	4.0
L ₆	2.5		2.4	5.7		4.2	5.85	5.0	6.0	13.0	6.0
S ₆	2.2		1.3	2.5		1.0	1.8	1.65	1.8	10.7	6.0
L ₇	2.3		1.1	4.0		1.7	3.0	2.9	1.0	8.0	6.5
S ₇	2.3		0.5	1.0		1.2	1.3	1.3	1.2	1.5	1.0
L ₈	7.1		1.2	2.0		1.2	2.35	1.38	1.9	8.0	6.0
S ₈	1.6		>1.08	2.5		2.8	2.7	2.35	2.8		1.0

表 2 邙山赵下峪剖面黄土—古土壤序列平均沉积速率

Table 2 Average sedimentation rates of the loess-paleosol sequence in the Zhaoxiayu section, Mangshan

地层单位	单位厚度 (m)	氧同位素 素阶段	界限年龄 (ka)	持续时间 (ka)	平均沉积速率 (mm/a)
S ₀	2.6	1	0~12.05	12.05	0.22
L ₁ LL ₁	41.6	2	12.05~24.11	12.06	34.5
L ₁ SS ₁	13.2	3	24.11~58.96	34.85	0.38
L ₁ LL ₂	22.5	4	58.96~73.91	14.95	1.51
S ₁	15.7	5	73.91~129.84	55.93	0.28
L ₂	10.8	6	129.84~189.61	59.77	0.18
S ₂	2.8	7	189.61~244.18	54.57	0.05

间冰期 S_1 古土壤的平均沉积速率虽然相对较 L_1 黄土小得多,但仍可达 0.28 mm/a ,高于 L_2 黄土的 0.18 mm/a 。对比黄土高原内部(表3),沉积速率相对较高的渭南剖面,黄土的沉积速率约为 $0.11 \sim 0.13 \text{ mm/a}$,古土壤仅为 $0.06 \sim 0.08 \text{ mm/a}^{[26]}$ 。对于远离沙漠的邙山地区,出现 L_2 以上风尘沉积速率显著加快,形成末次间冰期以来巨厚的黄土—古土壤序列的现象,其原因应是沉积环境突变和特定的地方性气候条件所致。

表3 黄土—古土壤序列平均沉积速率

Table 3 Average sedimentation rates of the loess-paleosol sequence

地层单位	平均沉积速率 (mm/a)				
	荥阳赵下峪	荥阳桃花峪	陕县曹村	渭南阳郭镇	洛川黑木沟
S_0+L_0	0.22	0.05	0.21	0.12	0.07
L_1	1.25	1.14	0.11	0.12	0.13
S_1	0.28	0.18	0.07	0.06	0.04
L_2	0.18	0.21	0.05	0.13	0.10
S_2	0.05	0.02	0.06	—	0.04

从图1可知,邙山黄土地层的粒度组成比中粗颗粒组分占较大比例, L_2 黄土以上地层 $> 45 \mu\text{m}$ 的中、粗粒组分含量一般变化于 $10\% \sim 40\%$ 之间,局部层段可达 50% 左右,较黄土高原腹部地区粒度明显偏粗,说明来自西北沙漠经黄土高原到达该地的成分极为有限,大部分为近源物质,是一种近源粉尘堆积。高沉积速率需要丰富的物源供应,孟津以东的黄河冲积扇是邙山黄土的主要源地。

邙山晚更新世黄土地层表明大约于 150 kaB.P. 前后的邙山地区的沉积环境有一重大突变,可以认为,这一环境突变事件可能与三门峡的贯通密切相关。

3 古三门湖沉积记录

古三门湖的发育、演变与黄河的形成密切相关。三门古湖分布范围东起三门峡,西达宝鸡,发育一套河湖相沉积地层(图2),以三门峡上峡口附近的山西省平陆县黄底沟(图3)和河南陕县东坡沟两剖面出露较好,研究亦为详细^[30-34]。

黄底沟剖面,较完整地记录了三门组的层序。三门组下部为底砾石层,中部以粘土为主,上部以砂层为主。从黄底沟剖面磁性地层和年代学初步研究结果可知(图4),三门组沉积开始于 5 MaB.P. 左右,结束于 150 kaB.P. 左右^[33-34]。三门组的最高层位为厚约 36 m 的“白砂层”(图3, E 剖面 and B 剖面上部)。白砂层交错层理发育,夹砾石透镜体,顶部为薄层砾石,其上为黄土所覆盖。地貌上构成海拔 $460 \sim 480 \text{ m}$ 的台地,相当于 IV 级阶地。

顶部白砂层的意义在于它指示了中更新世末期一次古湖水位快速升高的突发事件,反映上游有更大的来水进入三门古湖,堆积了高水位沉积的厚层砂及砾石层。砾石层中含大量成分属三门组粘土的泥球,指示了三门古湖行将被河流所取代。根据热释光测年结果^[33],在 411 m 高地后缘的 E 剖面,上覆黄土中距“白砂层”顶面 1.1 m 处的热释光年龄为 $100.5 \pm 7 \text{ kaB.P.}$ 、距砂层顶面之下 5.4 m 处灰白色粉砂的热释光年龄为 $251.8 \pm 23 \text{ kaB.P.}$ 。另外,黄河 III 阶地粉砂的热释光年龄为 $148.3 \pm 10.5 \text{ kaB.P.}$ 。据此推算,白砂层顶面年龄约为 150 kaB.P. ,即古三门湖大约于 150 kaB.P. 前后结束沉积。

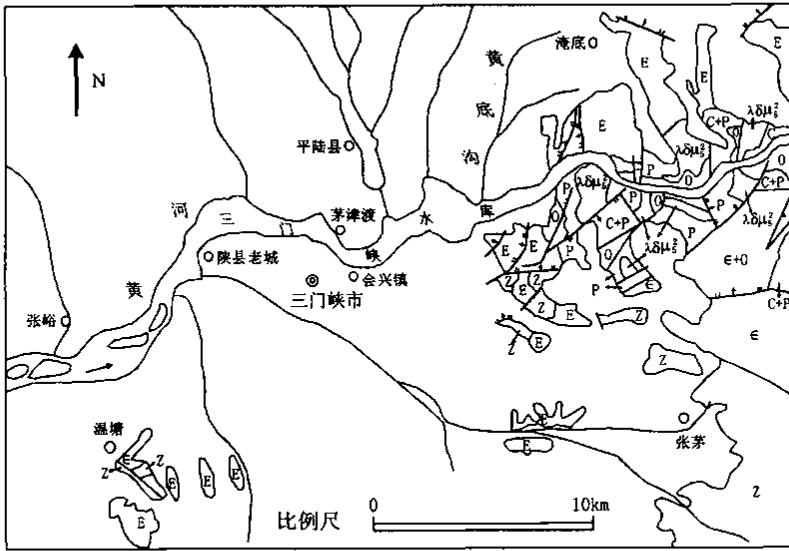


图2 三门峡地区地质略图

Fig.2 Geological sketch map of the Sanmenxia area

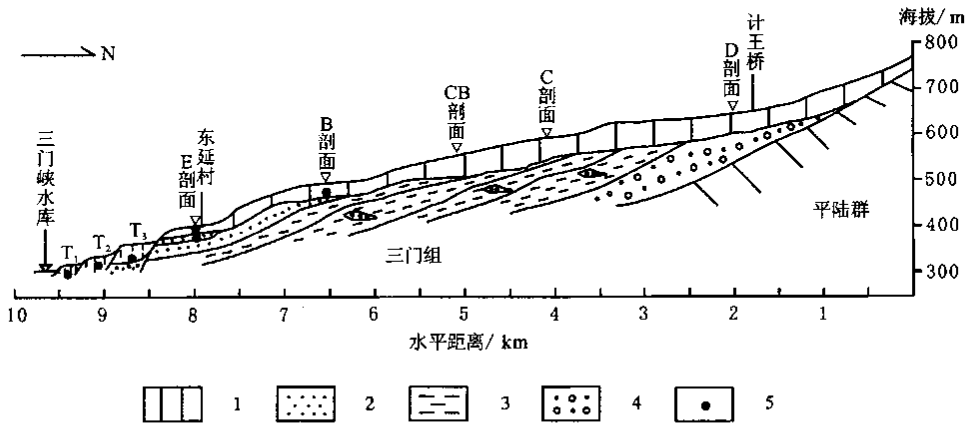


图3 山西平陆黄底沟地质地貌综合剖面图

Fig.3 Huangdigou composite geological and geomorphologic section at Pinglu County, Shanxi

1. 黄土; 2. 砂; 3. 粘土; 4. 砾石; 5. 热释光年龄样点

三门峡沉积结束后，形成了以三门峡组为基座的海拔高程分别为 400~410 m、370~380 m 和 340~350 m 的三级黄土覆盖阶地。若以当地原黄河水面高程 290 m 计（现三门峡水库水位 310 m 左右）， T_1 、 T_2 和 T_3 的拔河高度分别为 50~60 m、80~90 m 和 110~120 m。这三级黄河阶地上覆的黄土状堆积古土壤发育不明显。

4 三门峡贯通时代讨论

巨厚的邠山晚更新世黄土堆积与三门峡古湖消亡是发生于 150 kaB.P. 前后相互联系的环境突变事件，两者的联系纽带就是开始贯通三门峡的黄河。150 kaB.P. 前后，黄河上、中游从各自独立的内流水系逐步相互连通，因而干流水量增加，汇集于古三门峡，并堆积了三门峡

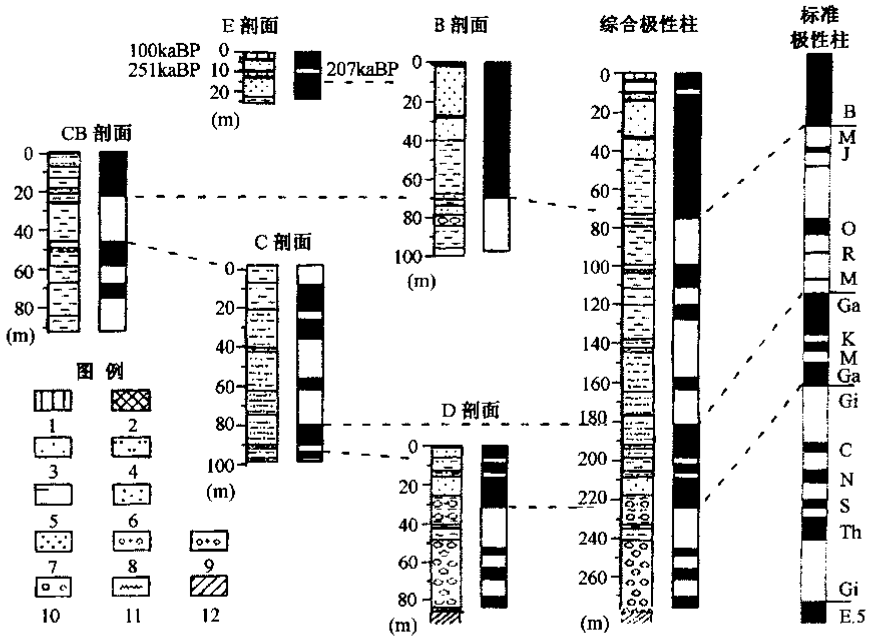


图 4 黄底沟剖面三门组综合地层剖面

Fig.4 Composite stratigraphic profiles of the Sanmen Formation of the Huangdigou section

- 1. 黄土; 2. 古土壤; 3. 粉砂质粘土; 4. 粘土质粉砂; 5. 粘土、泥岩; 6. 粉、细砂;
- 7. 中、粗砂; 8. 砂砾与泥岩互层; 9. 砂砾; 10. 砾石; 11. 不整合; 12. 平陆群

组顶部“白砂层”。上游来水的大量进入，使古湖水位升高，湖水开始从东部三门峡地垒山地低缓的分水垭口向东溢流，并不断下切，最终切穿三门峡，三门峡水外泄，古湖消亡。黄河干流进入华北平原，最终形成东流入海的黄河水系。贯通三门峡后的黄河因侵蚀基准面下降而加剧溯源侵蚀，并携带着从黄土高原侵蚀下来的大量泥沙来到华北平原，出峡口后在孟津以东沉积形成巨大的古冲积扇和广阔的华北大平原。偏北冬季风又把黄河冲积扇扇顶部位的细粒物质吹扬为粉尘，在下风扩散部位快速堆积，形成巨厚的邙山晚更新世黄土。邙山晚更新世黄土地层的高沉积速率需要丰富的物源供应来支持，结合三门峡古湖的消亡，表明三门峡地区的沉积环境有一重大突变。这一变化与黄河开始贯通三门峡和外流黄河水系形成有关。

据三门峡地区的黄河阶地分析，只有 T_1 、 T_2 和 T_3 三级低阶地才与外流的黄河水系相关。三门峡峡谷入口河段，黄河发育六级黄土覆盖阶地，三级低阶地可与三门峡水库区的对比，与黄河相关。至于更高的 T_4 、 T_5 和 T_6 黄土覆盖阶地，似应为分水岭在三门峡地垒山地并西流注入古三门湖的古河谷遗迹。在峡谷出口河段的小浪底附近，黄河也发育了三级低阶地，而更高的阶地应属源自周围山地的东流古河流之产物。

综上所述，联系三门峡古湖消亡与邙山黄土发育，黄河大致于 150 kaB.P. 前后贯通三门峡东流入海，黄河水系形成。但尚需指出，这一认识仍需更多的峡谷段河谷地貌学和年代学的证据加以证实，有待进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 王乃樑. 对于张伯声先生“从黄土线说明黄河河道的发育”一文意见 [J]. 科学通报, 1956, (7): 67~73.
- [2] 德日进, 杨钟健. 山西西部、陕西北部萧墙纪后黄土期前之地层观察 [J]. 地质专报, 甲种第八号, 1930, 1~19.
- [3] 李容全. 黄河的形成与变迁 [A]. 见: 杨景春主编, 中国地貌特征与演化 [C]. 北京: 海洋出版社, 1993. 52~59.
- [4] 袁宝印, 王振海. 青藏高原隆起与黄河地文期 [J]. 第四纪研究, 1995, (4): 353~357.
- [5] 朱照宇, 丁仲礼. 中国黄土高原第四纪古气候与新构造演化 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1994. 1~226.
- [6] 李吉均, 方小敏, 马海洲, 等. 晚新生代黄河上游地貌演化与青藏高原隆升 [J]. 中国科学, D 辑, 1996, 2(4): 316~322.
- [7] 滕志宏, 李龙堂. 郑州—洛阳黄河南岸黄土地层及更新世环境分析 [J]. 西北大学学报 (自然科学版), 1998, 28(2): 153~156.
- [8] 杨守业, 蔡进功, 李从先. 黄河贯通时间的新探索 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(2): 15~20.
- [9] 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.
- [10] 潘保田, 李吉均, 曹继秀. 黄河中游的地貌与地文期问题 [J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 1994, 30(1): 115~123.
- [11] 黄万波, 计宏祥. 三门峡地区含哺乳动物化石的几个第四纪剖面 [J]. 古脊椎动物学报, 1984, 22(3): 230~238.
- [12] 薛铎. 黄河东段形成时代管见 [J]. 河南地质, 1996, 14(2): 110~112.
- [13] 刘书丹, 李广坤, 李玉信, 等. 从河南东部平原第四纪沉积物特征探讨黄河的形成与演变 [J]. 河南地质, 1988, 6(2): 20~24.
- [14] 张伯声. 陕北盆地的黄土及山陕间黄河河道发育的问题 [J]. 第四纪研究, 1958, 1(1): 88~106.
- [15] 丁梦林. 古地震与远古时代大洪水传说的起因 [A]. 见: 中国第四纪研究委员会编, 第三届全国第四纪学术会议论文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1982. 206~209.
- [16] 张抗. 黄河中游水系形成史 [J]. 中国第四纪研究, 1988, 8(1): 185~193.
- [17] 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.
- [18] 王苏民, 吴锡浩, 张振克, 等. 三门古湖沉积记录的环境变迁与黄河贯通东流研究 [J]. 中国科学, D 辑, 2001, 31(9): 760~776.
- [19] 夏东兴, 吴桑云, 郁彰. 末次冰期以来黄河变迁 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1993, 13(2): 83~88.
- [20] 蒋复初, 吴锡浩, 孙东怀, 等. 中原邙山黄土地层 [J]. 地质力学学报, 1998, 4(4): 12~18.
- [21] 吴锡浩, 蒋复初, 肖华国, 等. 中原邙山黄土及最近 20 万年构造运动与气候变化 [J]. 中国科学, D 辑, 1999, 29(1): 75~81.
- [22] Wu Xihao, Wang Sumin, An Zhisheng, et al. Mangshan loess and its prospects for study of past global changes [J]. Scientia Geologica Sinica, 1995, Supplementary Issue (1): 115~120.
- [23] 蒋复初, 吴锡浩, 肖华国, 等. 郑州邙山桃花峪高分辨率晚更新世黄土地层 [J]. 地质力学学报, 1997, 3(2): 11~17.
- [24] 赵希涛, 曲永新, 李汉青, 等. 河南荥阳孤柏嘴剖面黄土—古土壤序列与高分辨率 S_1-L_1 地层的初步研究 [A]. 见: 刘嘉麒, 袁宝印主编: 中国第四纪地质与环境—庆贺刘东生院士八十五华诞暨从事地质工作五十五周年文集 [C]. 北京: 海洋出版社, 1997. 68~78.
- [25] 肖华国, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 三门峡地区的黄土地层 [A]. 见: 安芷生主编, 黄土、黄河与黄河文化 [C]. 郑州: 黄河水利出版社, 1998. 1~7.
- [26] 刘嘉麒, 陈铁梅, 聂高众, 等. 渭南黄土剖面的年龄测定及十五万年来高分辨率时间序列的建立 [J]. 第四纪研究, 1994, (3): 193~202.
- [27] 孙建中, 赵景波. 黄土高原第四纪 [M]. 北京: 科学出版社, 1991. 1~12.
- [28] 刘东生, 卢演侑, 郑洪汉, 等. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. 44~112.

- [29] 岳乐平, 薛祥煦. 中国黄土古地磁学 [M]. 北京: 地质出版社, 1996. 33-55.
- [30] 贾福海. 对黄河三门峡水库三门系的初步认识 [A]. 见: 中国第四纪研究委员会编, 三门峡第四纪地质会议文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1959. 21-46.
- [31] 曹照垣, 邢历生, 于清河. 三门峡东坡沟剖面磁性地层的初步研究 [A]. 见: 中国地质科学院地质力学研究所所刊, 第5号, 北京: 地质出版社, 1985. 65-74.
- [32] 山西省地质矿产局. 山西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989. 237-257.
- [33] 王书兵, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 三门峡地区三门群地层时代研究 [J]. 地质力学学报, 1999, 5 (4): 57-65.
- [34] 王书兵, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 三门组的内涵及其意义 [J]. 第四纪研究, 2004, 24 (1): 116-123.

THE AGE OF THE YELLOW RIVER PASSING THROUGH THE SANMEN GORGE

JIANG Fu-chu^{1,2}, FU Jian-li¹, WANG Shu-bing¹, ZHAO Zhi-zhong¹

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Open Laboratory of Lake Sediment and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, Jiangsu, China*)

Abstract: The development of the Yellow River was one of the major events of Late Cenozoic tectonogeomorphologic and environmental evolution in East Asia. Only by passing through the Sanmen Gorge between Shanxi and Henan and flowing into the sea, was the main stream of the Yellow River formed eventually. Therefore, the Sanmen Gorge is one of the crucial sites for the study and discussion of the formation and evolution of the Yellow River. On the basis of the important events of environmental sudden change revealed by the extinction of the Sanmen paleolake and abrupt change in sedimentation rate of the late Pleistocene loess at Mangshan, it is inferred that the Yellow River passed through the Sanmen Gorge and flowed into the sea about 150 kaB.P., and then the modern Yellow River drainage system formed eventually.

Key words: Yellow River; Sanmen Gorge; Sanmen paleolake; Mangshan loess