

山西南部 1.2 Ma B. P. 的地貌转型事件

李有利, 史兴民, 傅建利, 杨景春

(北京大学地理科学研究中心地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 研究山西南部柴庄剖面和杨范剖面上部的黄土地层的磁化率、古地磁、黄土古土壤序列, 发现这两个剖面记录了发生于 120×10^4 a B. P. 的由河流湖泊环境转变为黄土环境的转型事件。分析沉积环境和构造背景, 认为这次事件是山西地堑系盆地间横向隆起发生强烈构造抬升的结果, 可能与青藏高原的隆起对本地区的影响有关。

关键词: 河湖沉积; 黄土; 构造运动; 山西地堑系; 黄河

中图分类号: P931.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-0690(2004)03-0292-06

中国地形三大阶梯的演化以及三者成因上的联系一直是地球科学工作者非常关心的问题。近年来, 青藏高原的研究取得了一系列令世人瞩目的进展, 青藏高原隆升对周边地区地貌发育的影响成了地貌学研究中的热点问题。山西高原属于中国地形阶梯的第二个阶梯。山西高原上的山西地堑由一系列新生代以来发育的断陷盆地构成, 曾经发生过强烈的断块运动和火山活动。断陷盆地中曾经广泛发育河湖相沉积^[1], 并发生多次明显的湖泊扩张和收缩事件。黄河及其支流在其演化过程中也多次发生加积与下切转型事件。识别这些事件, 建立其时间序列, 分析其成因, 不仅对探讨本区构造运动与气候变化的历史有重要意义, 而且对认识更大区域的地貌演化规律也很有价值。

本文对山西南部汾河岸边的柴庄剖面和黄河岸边的杨范剖面进行了研究, 发现虽然两个剖面位于不同的断块之上, 但在沉积序列上相近, 都记录由河湖加积向河流强烈下切转变的地质事件。通过对黄土地层宏观特征、磁化率特性和古地磁测定, 试图确定该地质事件的年代, 并在沉积环境和构造环境分析的基础上讨论该事件发生的原因。

1 地质背景

山西地堑系位于山系高原的轴部, 由一系列正断层控制的断陷盆地构成一个“S”形的断陷盆地系, 大约延伸 1 200 km。它的东侧为太行山, 西侧为吕梁山, 平均海拔高度 1 400~2 000 m。盆地内

部的海拔高度由北向南逐渐由 1 010 m 降低到 380 m。研究区年平均温度 7~10℃, 年降水量由北部的 400 mm 增加到南部的 600 mm, 属东亚季风区温带半干旱气候。黄河由北向南出禹门口入山西地堑系的侯马-河津盆地, 在地堑系南部近直角东折由三门峡出地堑系。汾河发育于太原盆地的西侧的吕梁山, 流经太原、临汾、侯马盆地, 于河津注入黄河(图 1)。

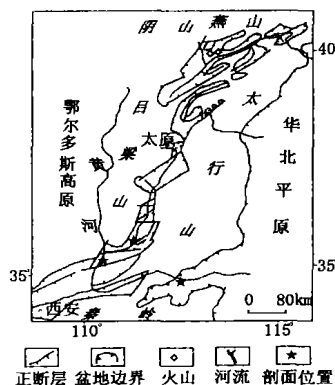


图 1 研究区构造地貌略图及剖面位置

Fig. 1 Tectonic geomorphology of the study area and the location of sections

构造上, 山西高原为夹在近东西走向的阴山-燕山构造带和秦岭构造带之间的台背斜。东侧以太行山东麓正断层与早第三纪以来强烈下陷的华北平原为界, 西侧为新生代以来稳定的鄂尔多斯地块, 西南方向为新生代强烈隆升的青藏高原。地

球物理研究表明, 山西高原地壳厚度为 40~44 km, 在地堑系部位地幔向上拱起约 2~3 km, 热流值也比东西两侧的山地高^[2]。根据历史记载, 从 231 a A. D. 以来, 山西地堑系共发生 19 次大于 6 级的地震, 其中 8 级地震 1 次, 7 级以上地震 5 次。最近 10 余年来, 山西地堑系仍发生多次震群活动, 说明山西地堑系构造运动仍较活跃。

2 研究方法

剖面岩性特征的描述主要在野外进行。以 10 cm 间距系统采集磁化率样品。样品处理方法为: 将样品置于封闭室内自然风干, 磨碎, 称取干样 10 g, 装入 10 cm³ 无磁性塑料盒中。采用英国 Bartington 公司制造的 MS-2 型磁化率仪分别测定样品的低频值(工作频率 0.47 kHz)和高频值(工作频率 4.7 kHz), 最后将结果校正为标准质量磁化率值。

古地磁定向样品间距 50 cm, 重点段样品间距 20 cm。在室内将样品加工成 2 cm × 2 cm × 2 cm

的定向样品两套, 在 Minispin 旋转磁力仪测量了全部样品的天然剩磁。用 TSD-2 型热退磁仪进行系统退磁, 退磁温度为 50, 100, 200, 300 和 400 °C。全部样品加热到 300 °C 时, 基本显示出原生剩磁。

3 研究结果

3.1 柴庄剖面

柴庄剖面位于山西襄汾县柴庄附近汾河西岸, 构造上属临汾盆地和侯马盆地之间的横向隆起区(图 1)。受地壳抬升的影响, 沿汾河两岸晚新生代地层广泛出露。20 世纪 50 年代, 裴文中教授曾在此采集了丰富的哺乳动物化石, 1983 年山西区测队进行了剖面实测, 并采集了丰富的哺乳动物化石, 进行了孢粉分析。1986 年夏正楷教授对该剖面进行了粒度、粘土矿物和化学成分分析, 讨论了沉积特征及其形成环境^[1]。

1) 岩性特征: 根据野外观测, 我们将厚度约 110 m 的柴庄剖面分为 6 个岩性段(图 2)。

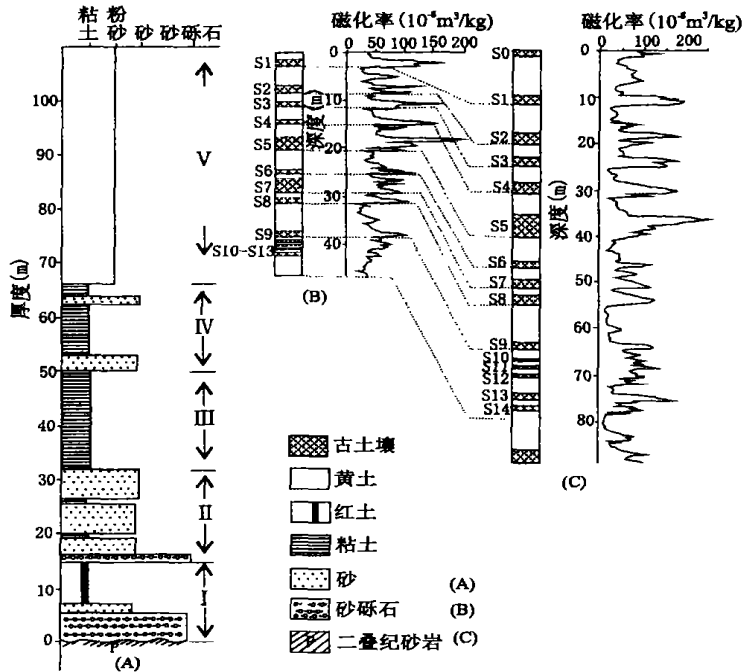


图 2 柴庄剖面岩性特征, 上部黄土、古土壤、磁化率曲线及其与洛川剖面^[3]对比

Fig. 2 Stratigraphic column of Chaizhuang section, and the comparison of the loess, paleosol and the magnetic susceptibility curve of the upper part with those of Luochuan section

第一岩性段: 下部为砂砾石层, 砾石大小混杂, 物质主要来源于下伏二叠纪地层, 为洪积相沉积。中部砖红色粘土与华北地区上新世广泛分布的三趾马红土性状一致。上

部颜色较暗, 与下伏红土为渐变过渡, 含有机物较多。

第二岩性段: 由锈黄色砂层-棕红色粘土或栗色粘土-灰白色泥灰岩组成三套沉积韵律。砂层分选较好, 具斜

① 山西省地质局区测队. 山西的晚新生代地层. 1983.

层理,含泥砾,为河床或沙坝堆积。棕红色或栗色粘土为漫滩或牛轭湖堆积,泥灰岩为泛滥平原上的积水洼地沉积。它们组成河流沉积的二元结构。根据其中含长鼻三趾马化石,认为属早更新世早期。

第三岩性段:由棕红色粘土-灰绿色粘土-灰白色泥灰岩组成三套沉积韵律,粘土具水平层理,为湖泊沉积。

第四岩性段:下部具下粗上细的河流二元结构。中部具水平层理,为湖泊沉积。上部又为具斜交层理的河流相砂层。本段下部砂层中产三门马、鹿、牛化石。

第五岩性段:黄土, S9 以上古土壤清晰可辨。S10~S13 发育不好,但从颜色和钙结核发育上可以辨认。

2) 沉积环境:柴庄剖面反映,在临汾盆地和侯马盆地之间的地区,曾经发生过多次沉积环境的变化。其它地区类似的沉积物研究表明,第一岩性段的三趾马红土为风成粉砂经过成土作用的产物^[4,5]。由第一岩性段到第二岩性段代表由粉尘堆积到河流环境的变化。第二岩性段到第三岩性段的变化则代表由河流环境为主到湖泊环境为主的变化。第三岩性段到第四岩性段的变化代表由湖泊环境为主向河流为主的环境变化。第四岩性段到第五岩性段则代表由河流环境向黄土环境的变化。在黄土堆积之前,临汾盆地和侯马盆地之间的地带为构造下沉区,堆积了近 70 m 的河流湖泊沉积。在黄土开始堆积以来,河流发生强烈下切,不仅切穿了新生代的地质层,而且切割到新生代以前的基岩之中,下切深度达到 90 m 以上,反映该地发生了构造上升,引起了由加积环境向下切环境的转变。这次转变是该地区一次重要的地质事件。

3) 磁化率曲线:为了确定该转变时间发生的时代,我们重点研究了第五岩性段的黄土地层,试图根据黄土古土壤序列来限定黄土开始堆积的时间。从磁化率曲线图中以及可看出,该曲线整体呈多个峰值段和低值段交替出现的旋回。峰值段对应着古土壤层,低值段对应着黄土地层。以 S9 为界,旋回可分为上下两段。S9 古土壤开始沉积以来各旋回峰谷值差异明显且谷值段厚度较大。在此之前各旋回峰谷值差异减小且峰值偏低,峰值段厚度大于谷值段厚度。柴庄剖面黄土的磁化率曲线与洛川剖面黄土磁化率曲线可以进行对比(见图 2)。柴庄剖面黄土的堆积速率只有洛川剖面黄土堆积速率的一半左右,这可能与吕梁山对由西北向东南运移的粉尘的阻挡有关。

4) 黄土开始堆积的时间:根据前人对黄土剖面磁化率曲线与深海氧同位素曲线的对比结

果^[6~9],估算不同层位黄土古土壤的年龄。在计算过程中,我们选定了如下一些年代作为标定点: S1 沉积年代为 0.128 ~ 0.073 9 Ma B. P.; S5 沉积年代为 0.625 ~ 0.474 Ma B. P.; S9 的沉积年代为 0.920 ~ 0.843 Ma B. P.; S13 底为 1.120 Ma B. P.。再根据古土壤间黄土的平均堆积速率来计算出各深度的年龄,其中最底层黄土的沉积年代根据其上相邻的 L10、L11、L12 三层黄土的平均堆积速率来确定,计算得出黄土沉积始于 1.20 Ma B. P. 前后。

3.2 杨范剖面

杨范剖面位于山西临猗县杨范村西的黄河扬水站旁(见图 1)。剖面沿扬水站管道斜坡出露清晰,易于观测。在地貌上,该剖面位于运城盆地和侯马盆地间的北东-南西走向横向隆起——峨嵋台地上。峨嵋台地东起中条山西麓,沿紫金山、稷王山、孤山一线,向西南延伸,台地宽约 20 km,南北两侧陡坎发育,高度由东向西逐渐降低。物探和钻孔资料表明,峨嵋台地为一构造隆起区,野外考察发现台地南北两侧均有正断层发育,反映峨嵋台地为一复式地垒^[1]。黄河切穿该台地,使剖面得以出露。杨范剖面出露厚度 170 m,上部为黄土-古土壤堆积,厚约 90 m;下部主要为具有大型斜交层理的砂层夹薄层粉砂粘土层,出露 80 m,未见底(图 3)。由野外观测可见剖面上部黄土-古土壤沉积中 S5 古土壤层和 L9 黄土层特征明显,可与洛川典型黄土剖面相应层进行对比。

1) 磁化率曲线与古地磁测定:从磁化率曲线图中可看出,杨范剖面与洛川剖面可以进行对比,甚至两地的沉积速率很接近(图 3)。从曲线比较可以看出,杨范剖面黄土开始堆积于 S14 堆积以前。古地磁测定表明, B/M 界线位于 S8 内。贾拉米洛带的顶位于 S11 中,底位于 S13 中。这与前人的研究成果^[10]一致。

2) 黄土开始堆积的时间:利用黄土地层中的古地磁事件的年龄,可以计算出黄土堆积的速率,根据沉积速率可以推算黄土开始堆积的年龄。计算得到黄土开始堆积的年龄位于 1.17 Ma B. P.。

4 讨论与结论

虽然关于黄土堆积过程与成壤过程缺乏直接的观测研究证据(粉尘降落、再悬浮、净堆积量、土壤发生层次与气候的关系等),一般认为在相对平

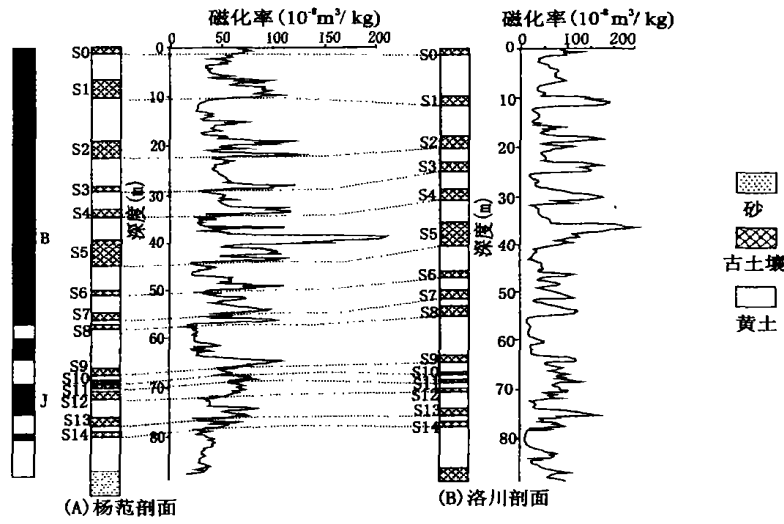


图 3 杨范剖面黄土与洛川剖面对比

Fig. 3 Comparison of loess on the Yangfan section with that on Luochuan section

坦宽广的地区和相对一致的气流场中, 黄土堆积近似连续。本文研究剖面都位于平坦宽广的台地上, 可以认为黄土与下伏的河流、湖泊沉积间是近似连续沉积。

柴庄剖面和杨范剖面反映了黄河中游一次由河流湖泊加积向河流下切, 黄土开始在过去的冲积平原上堆积的转型事件。该事件发生的时间在 S14 发育之前, 大约 120×10^4 a B. P. 左右(图 4)。

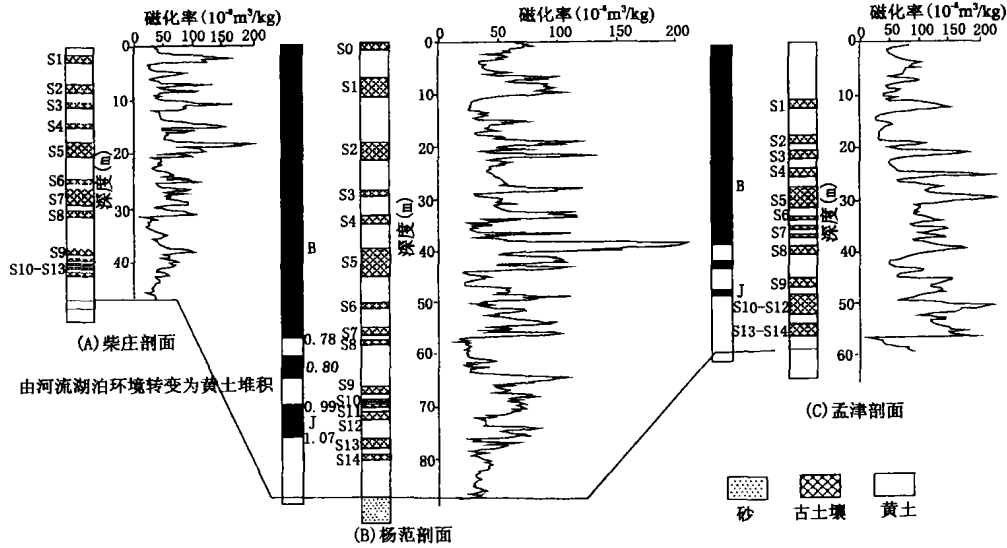


图 4 柴庄剖面、杨范剖面和孟津剖面^[12]对比及其共同反映的河流开始下切的转型事件

Fig. 4 Comparison of the Chaizhuang, Yangfan and Mengjin sections showing the transformation event from accretion to incision of rivers

这次转型事件在河南孟津县东的河流阶地剖面也有表现。该剖面位于孟津县会盟镇扣马村旁, 剖面底部为钙质胶结的砾石层。砾石磨圆和分选很好, 厚度在 6 m 以上(未见底)。砾石层之上覆盖 60 余米黄土, 野外可识别出 10 余层古土壤, 其中

相当于 S5 的古土壤和 L9 的黄土特征明显, 可与洛川剖面进行对比。根据王书兵等关于该剖面磁化率和古地磁的研究成果^[11], 我们认为该剖面可与柴庄剖面和杨范剖面进行对比(图 4)。这三个剖面黄土开始堆积的时代相近, 说明大约 $120 \times$

10^4 a B. P. 在黄河中游末段普遍发育河流开始强烈下切的地质事件。

影响河流加积与下切转变的主要因素有构造活动、气候变化和与它们有关的侵蚀基准面变化。构造运动可以造成相对抬升地区河流的下切和相对下沉地区河流的加积。河流阶地分布广泛,如果河流阶地发生了掀斜、错断或褶皱,可以用来研究构造变形的历史和速率^[12,13]。如果构造运动具有间歇性,比如构造抬升有间歇性,在构造稳定时期河流侧向侵蚀较强,河谷发生展宽,在构造抬升强烈时期,河流下切侵蚀比较强烈,一次构造稳定与构造抬升组合形成一级阶地^[13]。

气候是影响河流系统的重要因素。气温、降水与植被一起,随时间变化直接影响基本的河流参数(河流水量、含沙量、河网密度、河床坡度等)的变化。晚第四纪河流沉积中可以发现不同时间尺度的气候变化的旋回,如200~400年、2500年、 2×10^4 年和 10×10^4 年周期等^[14]。每个旋回都具有一个温度和降水的升高和降低阶段,也有一个水量和含沙量的升高和降低阶段,这在河流的加积和下切过程上有表现。

在东亚季风气候区,气温比较高的时期,夏季风活动强烈,带来较多的降水;气温比较低的时期,冬季风活动强烈,降水较少^[15,16]。在冰期,降水较少,河流水量也较小,气温较低,机械风化作用产生较多的泥沙,河流含沙量较高,易于发生堆积。在间冰期,降水较多,河流水量较大,但由于植被密度较大,水土流失相对较弱,河流含沙量较少,河道易于冲刷侵蚀。在河西走廊地区的研究发现,气候由冷向暖的波动变化时,由于植被尚未恢复,泥沙来源丰富,洪水作用强烈,河流普遍发生堆积,而在气候稳定温暖湿润阶段河流发生下切^[17]。

如果综合考虑构造因素与气候因素,情况更复杂。在构造强烈下沉的地区,气候变化引起的河流的加积与下切的变化远不如构造下沉引起的加积,这样,只表现加积,但不同气候期的沉积速率有差异。在构造强烈抬升地区,气候变化引起的河流作用远不如构造抬升引起的河流的下切,由于很难发生河流阶地发育所必须的河流展宽作用,因而河流只表现下切,不发育阶地,只是不同气候期河流下切的速率有差异。在构造运动掩盖不了气候变化引起的河流的加积向下切的转型事件的时候,往往在微微的构造抬升背景下,气候变化对河流过程影

响的结果可以在地貌上表现出来。

兰州附近黄河的第五级(T5)阶地形成的年龄为 1.2 Ma ^[18]。李吉均先生认为该阶地沉积物的时代代表地壳相对稳定,河流侧蚀与展宽河谷时期。Porter等在研究中国秦岭北麓河流阶地时,认为天文周期控制的冰期间冰期旋回是阶地发育的最主要控制因素^[19]。熊尚发等通过北京地区河流阶地的发育时代的研究^[20],认为中国很多地区河流阶地发育过程主要受控于构造抬升,气候变化在河流加积-下切转化过程中也起到一定作用。可见在不同地区,阶地形成的主要原因可能不同。山西地堑系中盆地间的横向隆起上河流由长时间的加积作用转向下切侵蚀,用气候变化成困难以解释。从柴庄剖面看,黄土以下的第四纪河湖相沉积中至少有三个由下向上由河流沉积变为湖泊沉积的序列,总沉积厚度约50 m。这种加积序列通常只能用盆地的下沉来解释。而黄土堆积开始以来,汾河下切达70余米,切穿了以前的河湖相沉积,且深切与基岩之中。汾河由前期加积转变为后期的强烈下切应该反映该地区由相对下沉的构造环境变为相对抬升的构造环境,是构造运动的结果。

山西南部这次转型事件与兰州黄河的第五级阶地在年龄一致。如果认为兰州黄河的阶地的发育是构造间歇性抬升的结果,则至少可以认为,约 120×10^4 a B. P. 构造运动事件在中国北方广大区域有时代上的一致性。另外,黄土高原黄土剖面在 $(110 \sim 120) \times 10^4$ 年粒度明显增加,堆积速率明显增大,被认为可能与青藏高原又一次强烈隆升对气候和粉尘供给的影响有关^[22]。我们认为山西南部的转型事件可能是青藏高原的隆升及其对周围地区的影响在山西地堑系的表现。这次构造事件沿黄河及其支流在柴庄剖面、杨范剖面和以黄河及其支流的强烈下切表现出来,可能代表黄河已经贯通三门峡谷地,说明至少在 120×10^4 a B. P. 前,黄河的外流格局已经形成。

参考文献:

- [1] 王乃梁,杨景春,夏正楷,等. 山西地堑系新生代沉积与构造地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 400.
- [2] 国家地震局鄂尔多斯周缘活动断裂系课题组. 鄂尔多斯周缘活动断裂系[M]. 北京: 地震出版社, 1988.
- [3] Guo Z T, Ruddiman W F, Hao Q Z, et al. Onset of Asia desertification by 22 Myr ago inferred from loess deposits in China [J]. Nature, 2002, 416(14): 159-163.

[4] Guo Z T, Peng S Z, Biscay, P E, et al. Origin of the Miocene Pliocene Red Earth formation at Xifeng in northern China and implications for paleoenvironments[J]. *Paleogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 2001, **170**(1- 2): 11- 26.

[5] Mo D W, Derbyshire E. The depositional environment of the late Pliocene "red clay", Jing le Basin, Shanxi Province, China [J]. *Sedimentary Geology*, 1991, **70**: 33- 40.

[6] 刘东生, 丁仲礼. 二百五十年来季风环流与大陆冰量变化的阶段性耦合过程[J]. *第四纪研究*, 1992, (1): 13~ 23.

[7] Ruddiman W F, Raymo M E, Martison D G, et al. Pleistocene Evolution: Northern Hemisphere Ice Sheets and North Atlantic Ocean[J]. *Paleoceanography*, 1989, **4**(4): 353- 412.

[8] 刘东生(编译). *第四纪环境*[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 198~ 239.

[9] Rutter N W. 中国黄土和全球变化[J]. *第四纪研究*, 1992, (1): 3~ 11.

[10] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 62~ 81.

[11] 王书兵, 蒋复初, 吴锡浩, 等. 河南邙岭塬黄土地层[J]. *地质力学学报*, 2001, **7**(4): 309~ 314.

[12] Merritts D J, Vincent K R, Wohl E E. Long river profiles, tectonism, and eustasy: A guide to interpreting fluvial terraces [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, **99**(B7): 14031- 14050.

[13] 杨景春, 李有利. *地貌学原理*[M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.

[14] Starkel L. Climatic change and fluvial response[A]. In: Gardner R, Scoging H M (eds.). *Mega Geomorphology*[C]. Chichester: John Wiley & Sons, 1983. 195- 211.

[15] 施雅风. 山地冰川湖泊萎缩所指示的亚洲中部气候变化趋势与未来展望[J]. *地理学报*, 1990, **45**(1): 1~ 13.

[16] 王苏民. 末次冰期以来岱海环境变化与古气候[J]. *第四纪研究*, 1990, (3): 223~ 232.

[17] 李有利, 杨景春. 河西走廊平原区全新世河流阶地对气候变化的响应[J]. *地理科学*, 1997, **17**(3): 248~ 252.

[18] 李吉均. 青藏高原隆起及其对环境的影响[A]. 见: 包浩生(主编). *任美镠教授八十华诞地理论文集*[C]. 南京: 南京大学出版社, 1993. 57~ 63.

[19] Porter S C, An Z S, Zheng H B. Cyclic Quaternary alluviation and terracing in a nonglaciated drainage basin on the north flank of the Qinling Shan, central China[J]. *Quaternary Research*, 1992, **38**: 157- 169.

[20] 熊尚发, 丁仲礼, 刘东生. 北京地区河流阶地的发育时代[A]. 见: 刘嘉麒, 袁宝印(主编). *中国第四纪地质与环境*[C]. 北京: 海洋出版社, 1997. 221~ 227.

[21] Xiong S F, Ding Z L, Yang S L. Abrupt shifts in the late Cenozoic environment of northwestern China recorded in loess-paleosol red clay sequences [J]. *Terra Nova*, 2001, **13**(5): 376- 381.

Geomorphic Transformational Event Around 1.2 Ma B. P.
in the Southern Shanxi Province

LI You Li, SHI Xing-Min, FU Jia-Li, Yang Jing-Chun

(MOE Laboratory for Earth Surface Processes and Research Center for Geographic Sciences, Peking University, Beijing 100871)

Abstract: Based on the studies of magnetic susceptibility, paleomagnetism and loess-paleosol sequence of the Chaizhuang and Yangfan sections in the southern Shanxi Province, it is suggested that these sections documented a geomorphic transformation from fluvial environment to the loess environment around 1.2 Ma B. P. Combining with the analyses of the sedimentary environment and tectonic background, we proposed that this event is likely the result of the uplift of the transverse horsts, the Chaizhuang horst between the Linfen and Houma basins, the Emeitai horst between the Houma and Yuncheng basins, in the Shanxi graben system which probably linked with the tectonic movement in the Tibet Plateau.

Key words: fluviolacustrine deposit; loess; tectonic movement; Shanxi graben system; the Yellow River