

宛川河阶地的年代与下切机制

胡小飞, 潘保田, 苏 怀, 安春雷, 周 天

(兰州大学资源环境学院地理科学院西部环境教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 宛川河是黄河一条小规模支流, 在榆中盆地中发育了至少四级堆积阶地。以“古土壤断代法”为基础, 结合 OSL 测年和 ^{14}C 测年, 较准确的确定了宛川河四级阶地形成的年代为 33Q、13Q、5Q 和 10 ka。区域构造表明榆中盆地相对下陷, 地面抬升不是引起河流下切的主要原因, 同时阶地相说明作为宛川河侵蚀基准面的黄河对宛川河下切影响只限于距河口不远的一小段距离。每级阶地表面上都堆积一层古土壤指示宛川河下切于古土壤开始发育时期, 对应于气候由冷干向暖湿转换的时期, 河流下切的主要原因是气候变化。

关 键 词: 宛川河; 阶地; 年代; 下切机制

中图分类号: P931 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2007)06-0808-06

影响河流阶地发育的主要原因有构造活动、气候变化和基准面变化^[1,2]。处于青藏高原边缘的兰州地区, 在第四纪以来有强烈的构造活动^[3], 且处于气候变化敏感的季风三角的顶点地区^[4]。在这样一个构造和气候变化较特殊的区域, 河流阶地的研究对于揭示构造抬升、气候与河流的关系和河流间相互关系有重要作用。很多学者对黄河兰州段阶地进行过详细的研究^[5~10], 其结果在国内已作为经典的阶地序列供有关学者进行参考。而兰州盆地周围有规模大小不同的多条河流汇聚到黄河, 河流阶地都比较发育, 20 世纪 60 年代徐叔鹰对这些河流的阶地作了一些地貌的描述^[7], 但这些河流的阶地年代与发育情况, 目前还没有作深入研究。宛川河在兰州盆地东缘的桑园峡汇入黄河, 是黄河的一条规模较小的支流, 其主体所处的榆中盆地是一个相对下陷的区域, 在这样的构造背景下, 地面抬升对河流下切的影响可能不大, 阶地成因分析更容易。而且宛川河各级阶地上沉积有不同厚度的风成黄土, 很有利于阶地的定年。80 年代末, 朱照宇首先应用阶地上沉积的黄土对黄河及其一些支流进行了阶地形成年代的初步研究^[8], 此后大多学者在黄土地区的阶地研究都沿用这一方法^[9~11]。本文拟发展这一方法, 应用黄土序列的粒度和磁化率对地层进行精确划分, 结合

OSL 和 ^{14}C 的绝对年代, 对河流下切的年代作更为可靠的厘定。本文在阶地年代结果和区域构造的基础上, 对河流下切机制进行分析。

1 区域特征

宛川河全长 75 km, 流域面积 1 801 km^[12]。其源于马衔山和兴隆山之间, 沿山间断陷流经高崖转向北流入榆中盆地, 经接驾嘴沿北山山脚即盆地的东北边缘向西北流, 在桑园峡汇入黄河。宛川河在接驾嘴以上汇入支流较少, 水量很小, 从接驾嘴开始有较多水量补给, 主要是从兴隆山流出的河流和泉水, 至此水量开始逐渐变大, 河谷也比较宽。

宛川河流域 (图 1) 北部和东北部地区为一大片以变质岩为底的黄土梁、峁地形, 中部为山前冲洪积平原, 南部为兴隆山和马衔山高大石质山体。兴隆山是复背斜山体, 在它北部是一条逆断层, 呈 NWW 向^[13]; 榆中北山西南边缘沿宛川河谷有一条沿 NWW 向推测正断层。主要受这两条断层影响, 造成夹在其中的榆中盆地相对兴隆山和北山凹陷, 盆地中沉积很厚的第四纪冲洪积卵砾石 (最大厚度达 300 m)^①。

2 宛川河阶地特征

宛川河在兴隆山与马衔山之间一段的河谷为

收稿日期: 2006-05-18 修订日期: 2006-10-25

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (2005CB422001)、国家自然科学基金面上项目 (40471016)、国家自然科学基金优秀创新群体项目 (40421001) 资助。

作者简介: 胡小飞 (1980-), 河北张北人, 博士研究生, 主要从事地貌与全球变化研究。E-mail: huxf04@st.lzu.edu.cn

① 甘肃地矿局水文地质工程地质队。榆中县农田供水及区域水文地质普查, 1978

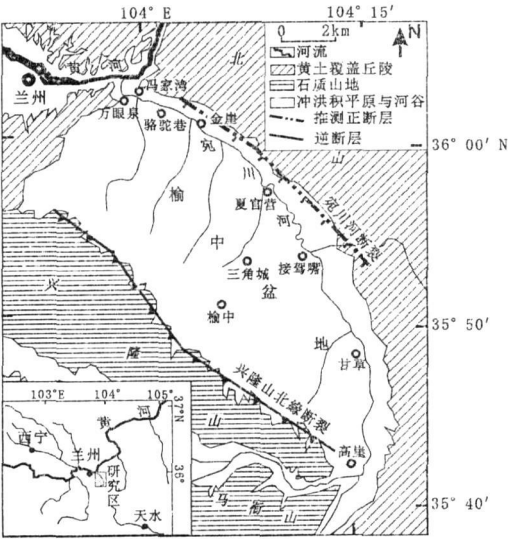


图 1 研究区地貌和构造略图

Fig 1 Simplified geomorphology and structure map of study area

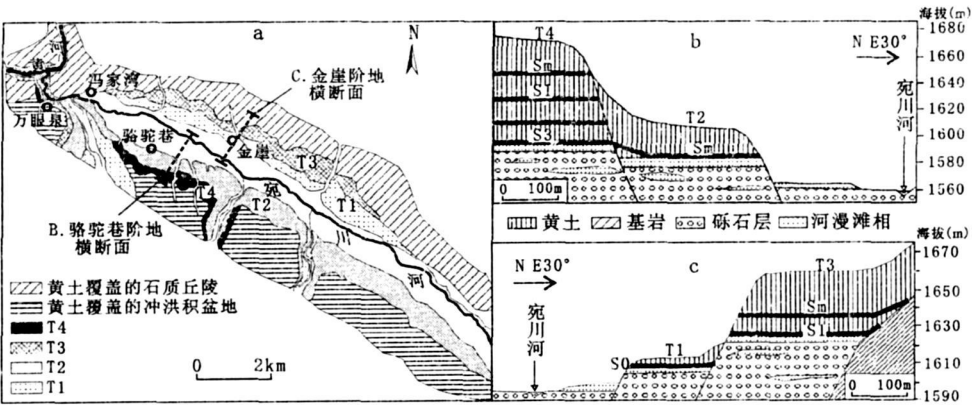
深切峡谷,阶地不发育;高崖至接驾嘴段仅有一级阶地发育;从接驾嘴开始河流谷地开始变宽,沿河发育有四级阶地,阶地面较宽。尤以金崖骆驼巷一带河谷最宽(图 2A),阶地分布最全也最完整,各级阶地不对称分布,河流左岸有 T2 和 T4 右岸有 T1 和 T3。冯家湾至入黄河口河谷又为深切峡谷,河谷较窄,一、二、三、四级阶地都有出露。T4 分布在河流的左岸,主要在金崖以下有遗留,阶地面最宽 300 m, T3 比较发育,从夏官营开始逐渐出露,

在金崖一带最发育,阶地面连续且较宽,最宽有 500 m 左右,到了冯家湾以下阶地面较窄,到河口与黄河 T3 连在一起; T2 是宛川河最发育的一级阶地,从夏官营开始主要分布在河左岸,阶地面很连续且很宽,在金崖附近可达到 1 km; T1 沿河都有发育,在夏官营以上河流两岸都有分布,且阶地面较宽,夏官营以下阶地面变窄,沿河流右岸断续分布,在万眼泉以下,只有少量点状遗留。

本研究主要集中夏官营以下,这一段各级阶地发育比较完整,以下分别讨论各典型横剖面的阶地特征:

骆驼巷阶地断面(图 2B):宛川河骆驼巷分布有二级和四级阶地,与万眼泉不同, T2、T4 都为堆积阶地。T4 砾石层顶拔河高度为 26 m,砾石层厚度在 10 m 以上,未见底,之上有 5 m 左右的河漫滩沉积,河漫滩之上黄土厚 75~80 m。T2 砾石层顶拔河 14 m,砾石层未见底,砾石直径主要集中在 2~8 m,为次圆状,砾石层上有 7 m 厚的河漫滩沉积,河漫滩之上是 20~25 m 的黄土沉积。

金崖阶地断面(图 2C):宛川河金崖分布有一级和三级阶地, T1、T3 都为堆积阶地。T3 砾石层顶拔河高度为 27 m,砾石层未见底,河漫滩沉积厚 4 m 左右,河漫滩之上黄土厚 40 m 左右。T1 砾石层顶拔河 10 m,砾石层未见底,砾石层上有 2~3 m 厚的河漫滩沉积,中偶夹有小粒砾石透镜体;河漫滩之上是 4 m 左右的全新世黄土。



a. 阶地分布; b. 骆驼巷阶地横断面; c. 金崖阶地横断面

图 2 宛川河夏官营以下阶地分布图及阶地序列

Fig 2 Terrace distribution and sequences in downstream from Xiguanying of Wanchuan River

从以上的阶地特征中可以看出,金崖和骆驼巷的各级河流阶地都为堆积阶地,而到冯家湾以下都表现为基座阶地,宛川河在冯家湾以上处于榆中

盆地中,在宛川河形成以前盆地中接受了很厚的第四纪冲洪积沉积物,由于处于这样的基底上,河流很容易摆荡,造成河流的河谷很宽,而到冯家湾以

下的基岩地区, 由于较难侵蚀的基岩的限制作用, 使河流摆荡不开, 而形成深切的曲流, 河谷较窄。且由于河流基岩的差异, 及盆地的相对下陷, 造成盆地中砾石层堆积较厚, 河流下切幅度较小, 表现为堆积阶地; 而到了冯家湾以下 (不属于下陷的盆地), 基岩突然高起, 阶地上河流相的堆积很薄, 基岩出露, 形成基座阶地。区域的构造和地质不同造成阶地特征的差异。

3 宛川河下切年代分析

宛川河各级河流阶地上分别覆盖着不同厚度的风成黄土, 阶地下切年龄我们采用阶地面之上覆盖的风成黄土底部的年龄来确定^[8]。因为当阶地

开始下切, 其河漫滩再不能被洪水淹到, 这时风成黄土开始在河漫滩之上堆积, 那么风成黄土开始堆积的年龄就代表河流开始下切的年龄。对于黄土底部的年龄, 我们通过光释光 (OSL) 测年和¹⁴C 测年, 结合黄土-古土壤序列来确定。

为了清楚辨认黄土与古土壤层位, 我们在各级阶地的砾石层之上以 10 cm (T4、T3) 和 5 cm (T2、T1) 间隔采序列样, 共采序列样品 1 784 个, 粒度与磁化率测试在兰州大学西部环境重点实验室粒度实验室和磁学实验室完成。光释光样品由中国科学院兰州寒区旱区科学与工程研究所年代实验室测试;¹⁴C 样品由兰州大学¹⁴C 年代实验室进行测试 (图 3、表 1)。

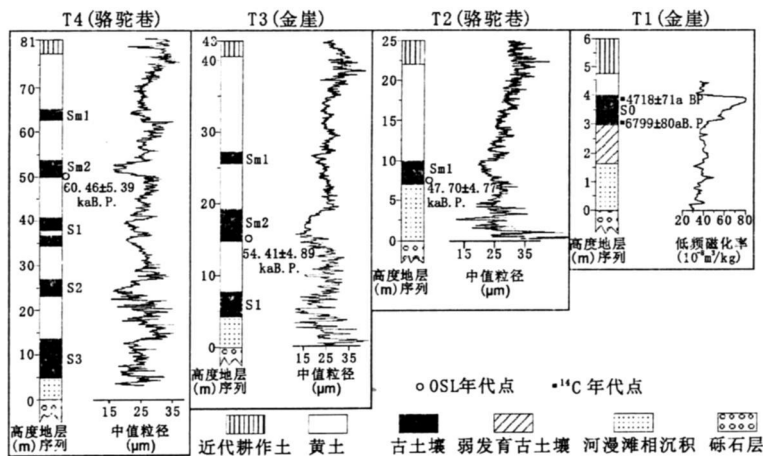


图 3 宛川河各级阶地砾石层以上地层剖面

Fig 3 Strata above every terrace gravel of Wanchuan River

表 1 宛川河各级阶地特征及下切年龄表

Table 1 Terrace feature and incision timing of Wanchuan River

阶地及地点	砾石层海拔	拔河高度	冲积层厚度	黄土厚度	黄土底部	下切年代
	(m)	(m)	(m)	(m)	古土壤	(ka)
T4(骆驼巷)	1 588	26	5	76	S4	330
T3(金崖)	1 613	18	4	30	S1	130
T2(骆驼巷)	1 576	14	5	20	Sm 1	50
T1(金崖)	1 705	10	2 3	3. 7	S0	10

第四级阶地 (T4): 采用骆驼巷 T4 作为分析剖面, 阶地砾石层海拔 1 588 m, 之上有 5 m 厚的河漫滩相沉积, 这之上覆盖的风成黄土厚 76 m。由于现在 OSL (光释光) 测年技术的局限, 对于 100 ka 以上的年龄存在较大的不确定性, 我们在此剖面 50 m 处 (一层古土壤底部) 采得释光样品一块, OSL 年龄测定为 60 46 ± 5 39 ka B. P., 可以确定

50~ 53 m 这一层古土壤是发育在末次冰期间冰段的一层古土壤, 对应深海氧同位素 M IS3c 阶段, 我们把它定为 Sm2, 结合粒度分析及野外观测, 风成黄土底部为古土壤 S3, 那么 T4 在 S3 开始发育时下切, 对照丁仲礼完成的黄土高原黄土的轨道调谐年龄^[14], S3 底部年龄 336 ka 宛川河在 330 ka 左右下切形成 T4

① 甘肃地矿局水文地质工程地质队. 榆中县农田供水及区域水文地质普查. 1978, 32~ 33

第三级阶地 (T3): 选取出露较好金崖 T3作为分析剖面。砾石层顶海拔 1 613 m, 拔河 18 m, 河漫相沉积厚 4 m, 上覆 39 m 厚的风成黄土。剖面 13 m 处 OSL 年龄为 54.41 ± 4.89 ka B. P., 13~17 m 这一层古土壤为 S_{m3} , 粒度分析、野外观察显示黄土底部古土壤为 S_t , 这次下切开始于 S_t 开始发育时期, S_t 底的轨道调谐年龄为 128 ka^[14], 河流下切年代在 130 ka 左右。

第二级阶地 (T2): 以骆驼巷 T2 为分析剖面, 阶地砾石层顶海拔 1 576 m, 拔河 14 m, 之上的河漫滩相沉积厚 7 m, 风成黄土厚 18 m。风成黄土底部 (剖面 7 m 处) OSL 年龄为 47.70 ± 4.77 ka B. P., 7~10 m 这一层古土壤为 S_{m1} , 对应深海氧同位素 M IS3a 阶段。那么在 S_{m1} 发育时宛川河开始下切形成 T2。推断开始下切的年代为 50 ka 左右。

第一级阶地 (T1): 选用金崖 T1 为分析剖面, 阶地砾石层海拔 1 605 m, 拔河 10 m, 河漫滩相沉积厚 2.3 m, 上覆 3.7 m 厚的全新世黄土。全新世黄土中部 (3~4 m) 发育较好的黑垆土质古土壤 S_0 , 之下为弱发育的黑垆土, 磁化率分析与野外观测对应很好。全新世古土壤 S_0 底部 (3.1 m) 的 ^{14}C 测年结果为 6799 ± 80 a B. P., S_0 顶部 (4 m) ^{14}C 测年结果为 4748 ± 71 a B. P., 推断弱发育的古土壤应该在全新世初期开始发育, 那么宛川河在 10 ka 左右全新世初期开始下切形成 T1。

4 阶地下切机制

影响本区的构造特征的主要是两条断裂 (见图 1), 一条是兴隆山北麓的兴隆山北缘断裂和北山西南麓的宛川河断裂^[8], 在第四纪初榆中地区经受了强烈的差异性升降运动, 造成兴隆山、马衔山断块的强烈隆升, 北山地区有微弱上升, 以及榆中盆地的相对下陷, 在盆地中接受沉积; 晚更新世以来兴隆山北缘断裂仍有活动, 由于拗陷及断裂作用在榆中盆地中形成了近 250 m 厚的更新世堆积。以上资料说明, 兴隆山与北山的构造抬升造成榆中盆地的断陷, 自晚第四纪以来, 在宛川河各级阶地形成时段, 盆地在构造上是相对下陷或稳定的。榆中盆地相对下陷的地质构造不能驱动宛川河下切。晚第四纪以来, 由于马衔山断裂的褶皱和冲断作用, 形成桑园峡的冲断隆起^[8], 这一区域的隆起只影响到宛川河入河口的一小段, 造成阶地特征的变化和阶地的变形, 对于驱动整条河流的下切

不大可能。
宛川河是黄河一条小规模的一级支流, 宛川河的下切是否是黄河的作用呢? 我们从宛川河的阶地位相分析 (图 4), 除了在冯家湾以下和金崖附近阶地有变形, 盆地中各级河流阶地与河床基本上是平行的, 金崖附近的上凸是由于侧面支流的影响, 造成堆积加厚; 而冯家湾以下阶地表现为基座阶地, 这与桑园峡的小区域隆起^[8]有很大关系。冯家湾以下阶地位相呈喇叭口形状, 这可能是由于黄河基准面的影响, 但没有明显的裂点出现, 说明黄河的作用没有影响到冯家湾以上。宛川河在 330 ka 左右下切形成四级阶地, 这一时段黄河在兰州没有发育阶地, 黄河对宛川河四级阶地的形成没有影响。从上面的分析可以看出, 黄河对宛川河的下切有一定影响, 但只限于河口的一小段。

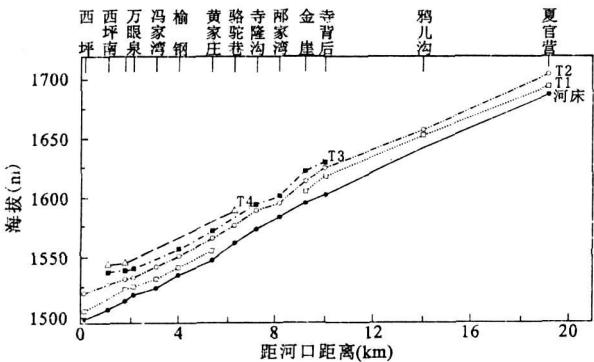


图 4 宛川河阶地位相图

Fig 4 Longitudinal profile of Wanchuan River

榆中盆地中宛川河各级阶地都为堆积阶地, 各级阶地高差不大 (见表 1)。宛川河各级阶地表面上分别覆盖一层古土壤, 测年结果和地层分析说明这些古土壤都发育在气候较湿润温暖的间冰期和间冰段, 表明河流的下切是在古土壤开始发育时期发生的, 河流的下切与气候由冷干转暖湿的时期相对应。理论上, 地貌的临界 (geomorphic threshold) 可以被气候的变化而打破^[15], 促使河流平衡的突然改变, 河流下切。河流的模拟也表明冰期与间冰期的旋回可以驱动阶地的形成^[16]。国内一些研究指出阶地的形成与气候有很大关系^[9, 11, 17~22], 欧洲地区的阶地研究表明气候变化是河流阶地发育的重要原因^[23~31], 在半干旱半湿润地区, 冰期时降水量减少, 河流的径流减少, 承载力降低, 再加上植被的恶化引起坡面侵蚀加强, 在河流中表现为堆积; 间冰期时, 降雨量的增大引起河流的径流大大增

大,而植被的恢复使坡面侵蚀减弱,河流泥沙减少,从而促使河流的下切,这样的气候旋回导致阶地的发育。宛川河的河水补给主要是降水和泉水,由于泉水的量变化很小,它对河流大规模的堆积-侵蚀旋回影响很小,影响宛川河径流变化的主要是降水,该区域又处于西部半干旱地区,降水与植被的变化对宛川河的影响很大,在气候由冷干向暖湿转换时期,宛川河以前的平衡被气候变化打破,引起宛川河的下切,形成各级阶地。宛川河下切的主要原因是气候变化。

综上所述,榆中盆地相对下陷的地质构造不能驱动宛川河下切,桑园峡的小区域抬升只影响到阶地特征和位相的变化;黄河对宛川河有一定影响,但只限于河口一小段;宛川河下切形成阶地的主要原因是气候变化,河流下切开始于气候由冷干向暖湿转换时期。

5 结 论

1) 宛川河共发育四级阶地, T₄ T₃ T₂和 T₁的下切年代分别是: 33Q 13Q 50和 10 ka

2) 宛川河每级阶地地面上都沉积一层古土壤,河流下切开始于气候由冷干向暖湿转换时期,宛川河下切形成阶地的主要原因是气候变化。

致 谢: 本文 OSL 测年由中国科学院寒区旱区环境工程研究所释光实验室赵晖、范育新和彭海梅测试完成,¹⁴C 测年由兰州大学¹⁴C 实验室曹继秀和许齐治测试完成,刘小丰、胡春生、雷国良参加野外工作,特致谢意。

参考文献:

- [1] 沈玉昌,龚国元. 河流地貌学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1986 56~ 71
- [2] Schumm S A. The Fluvial System[M]. New York: Wiley- Interscience 1977 210~ 239.
- [3] 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起[J]. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 316~ 322
- [4] Li J J, Feng Z D, Tang L Y. Late Quaternary monsoon Patterns on the Loess Plateau of China[J]. Earth surface Processes and Landforms 1988, 139(2): 125~ 135
- [5] 陈梦熊. 甘肃中部之地文[J]. 地质论评, 1947, 12(6): 545~ 556
- [6] 黄汲清. 中国新构造运动的几个类型[A]. 见: 中国科学院地学部(编辑). 中国科学院第一次新构造运动座谈会发言记录[C]. 北京: 科学出版社, 1957. 8~ 44

- [7] 徐叔鹰. 陇中西部黄土区黄河及其支流阶地发育的若干问题[J]. 兰州大学学报, 1965 (1): 116~ 143.
- [8] 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~ 440.
- [9] 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]. 见: 中国第四纪冰川与环境研究中心. 中国西部第四纪冰川与环境[C]. 北京: 科学出版社, 1991. 271~ 277.
- [10] 曾永年,马海洲,李 珍,等. 西宁地区湟水阶地的形成与发育研究[J]. 地理科学, 1995 15(3): 253~ 258
- [11] 高红山,潘保田,邬光剑,等. 祁连山东段河流阶地的形成时代与机制探讨[J]. 地理科学, 2005 25(2): 197~ 202
- [12] 焦北辰. 中华人民共和国地名词典——甘肃省[M]. 北京: 商务印书馆, 1995. 345
- [13] 戴聚昌,袁道阳. 兰州地区活动构造的基本特征[J]. 高原地震, 2003 14(3): 35~ 40.
- [14] Ding Z L, Derbyshire E, Yang S L, et al. Stacked 2.6-Ma grain size record from the Chinese loess based on five sections and correlation with the deep-sea $\delta^{18}\text{O}$ record[J]. Palaeogeography, 2002 17(3): 5~ 15-21.
- [15] S A Schumm. Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. Fluvial Geomorphology [A]. M E Morisawa Publication in Geomorphology [M]. State University of New York, Binghamton, 1973. 299~ 310.
- [16] Veldkamp A, van Dike J J. Simulating internal and external controls on fluvial terrace stratigraphy: a qualitative comparison with the Meuse record[J]. Geomorphology 2000 33(3-4): 225~ 236
- [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, 17(3): 248~ 252
- [18] 杨 东,方小敏,彭子成,等. 陇西六盘山黄土及最近 1.8 Ma B. P. 以来的构造运动与气候变化[J]. 地理科学, 2006 26(2): 192~ 198
- [19] 谢远云,李长安,王秋良,等. 江汉平原 9.0 ka B. P. 以来的气候演化: 来自江陵剖面沉积物记录[J]. 地理科学, 2006 26(2): 199~ 204
- [20] 胡春生,潘保田,高红山,等. 最近 150 ka 河西地区河流阶地的成因分析[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 603~ 608
- [21] 胥勤勉,杨达源,葛兆帅,等. 金沙江三堆子乌东德河段阶地研究[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 609~ 615
- [22] 贾铁飞,戴雪荣,张卫国,等. 全新世巢湖沉积记录及其环境变化意义[J]. 地理科学, 2006, 26(6): 706~ 710
- [23] Pastre J F, Nicole L L, Lemoine C, et al. River system evolution and environmental changes during the Late glacial in the Paris Basin (France) [J]. Quaternary Science Reviews 2003 22(20): 2177~ 2188
- [24] Antoine P, Lautridou J P, Laurent M. Long-term fluvial archives in NW France: response of the Seine and Somme river to tectonic movements, climatic variations and sea-level changes [J]. Geomorphology, 2000 33(3-4): 183~ 207.
- [25] Maddy D, Bridgland D, Westaway R. Uplift-driven valley inci-

sion and climate-controlled river terrace development in the Thames Valley, UK [J]. Quaternary International 2001, **79** (1): 23–36

[26] Starkel L. Climatically controlled terraces in uplifting mountain areas [J]. Quaternary Science Reviews 2003, **22** (20): 2189–2198

[27] Tebbens L A, Veldkamp A, Westenhoff W, et al. Fluvial incision and channel downcutting as a response to Late-glacial and Early Holocene climate change: the lower reach of the River Meuse (Maas), The Netherlands [J]. Journal of Quaternary Science 1999, **14** (1): 59–75.

[28] Litchfield N J, Berryman K R. Correlation of fluvial terraces within the Hikurangi Margin, New Zealand: implications for climate and baselevel control [J]. Geomorphology 2005, **68** (3–4): 291–313

[29] Bridgland D R. River terrace systems in north-west Europe: an archive of environmental change: uplift and early human occupation [J]. Quaternary Science Reviews 2000, **19** (13): 1293–1303

[30] Vandenberghe J. Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas [J]. Quaternary Science Reviews 2003, **22** (20): 2053–2060.

[31] Cordier S, Hamand D, Fréchen M, et al. Fluvial system response to Middle and Upper Pleistocene climate change in the Meurthe and Moselle valleys (Eastern Paris Basin and Rhenish Massif) [J]. Quaternary Science Reviews 2006, **25** (13–14): 1460–1474

Terrace Formation Age and River Incision Mechanism of Wanchuan River

HU Xiao-Fei PAN Bao-Tian, SU Hua; AN Chun-Lei; ZHOU Tian

(Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Department of Geography, College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000)

Abstract The Wanchuan River, which is a small tributary of the Huanghe (Yellow) River, has developed four staircases of river terrace at least within Yuzhong Basin. Based on “Paleosol-dating”, combining OSL dating and ¹⁴C dating, we demonstrate that the beginning ages of incision of T₄, T₃, T₂ and T₁ were 330 ka, 130 ka, 50 ka and 10 ka, respectively. Analysis of regional geological structure and terrace feature indicates that tectonic uplift has not played significant role in river incision, and the Huanghe River, the base level of Wanchuan River, has influenced only a short segment of downstream of the river. The paleosol developed on the surface of each river terrace indicates that river incision began in the period during climate transformation from dry cold phase to humid warm phase, when the paleosol development began in the Loess Plateau, so the main cause of river incision is climate change.

Key words Wanchuan River; river terrace; chronology and incision mechanism