

# 从阶地砾石的统计特征看保德至克虎段河流演化

刘运明, 李有利, 吕红华, 李新坡

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

**摘要:** 通过对保德至克虎段不同地点砾石的岩性、粒径和产状的野外统计与测量, 并对不同地点和不同阶地上砾石的岩性、粒径和产状进行对比, 发现同一地区不同阶地砾石岩性具有很好的相似性, 不同地区同一阶地砾石中灰岩砾石成分从上游向下游由主导成分变为次要成分, 灰岩砾石粒径也从大变小, 反映该区砾石为南北向古黄河冲积物。由于较老的一套砾石层为晚第三系红粘土所覆盖, 说明黄河至少在晚第三纪已经在该区已形成。

**关键词:** 砾石统计; 河流阶地; 山陕峡谷; 地貌演化; 黄河

**中图分类号:** P931.1   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1000-0690(2007)04-0567-06

山陕峡谷段黄河的演化历来是地学界争论的一个重要问题。20世纪30年代德日进、杨钟健已经指出山陕峡谷段黄河最晚在上新世已经出现<sup>[1]</sup>; 其后王乃樑认为黄河至晚形成于上新世<sup>[2]</sup>; 李容全认为, 黄河自龙羊峡以下至少在上新世即已形成, 并在上新世晚期已普遍塑造出壮年古河谷<sup>[3]</sup>; 袁宝印从地文期的角度提出上新世在山陕峡谷已形成雏形期的黄河, 为当时中国北方最大河流<sup>[4]</sup>; 李吉均等认为发生在 1.2 Ma 的黄河运动使黄河切穿积石峡流入临夏—兰州盆地, 同时切开三门峡东流入海, 虽未直接提出本区黄河形成时代, 但指出黄河在 1.2 Ma 前主要发源于祁连山、湟水和大通河, 因此在西宁保存有年龄为 3.4 Ma 最古老阶地<sup>[5]</sup>; Lin Anlin 等人认为始新世黄河沿现今渭河一带东流直接注入渤海, 晚中新世至早上新世出现围绕鄂尔多斯断块的黄河河道<sup>[6]</sup>。很多学者提出不同意见, 朱照宇认为该段黄河形成于 1.45~1.67 Ma 大体上相当于更新世早中期, 位于保德、离石一带的第三系砾石层为当时东西向古分散水系冲积物, 与黄河砾石相差甚远<sup>[7]</sup>; 程绍平等测得的临县克虎镇最高宽谷阶地年龄为 1.409 Ma<sup>[8]</sup>; 潘保田等认为黄河中游地区第三纪以来形成了一级夷平面, 一级剥蚀面和 7 级阶地, 最老的第 7 级阶地的年代大约是 1.3 Ma<sup>[9]</sup>; 杨东等认为黄河出现的年代约 1.8 Ma 左右<sup>[10]</sup>; 张抗认为该区

黄河形成更晚, 大约在晚更新世晚期至全新世<sup>[11]</sup>。

河流阶地是地质历史时期的古河床, 直接记录了河流演化的历史, 可以作为河谷出现的直接证据<sup>[12~19]</sup>。既然保德一带存在第三系砾石层<sup>[1, 4, 7]</sup>, 那么问题的关键就在于这套砾石层是古黄河的冲积物还是东西向河流的冲积物。本文选取保德—府谷、黑峪口—盘塘和克虎—佳县三个地区不同高度的几级阶地, 对阶地上砾石的岩性和粒径进行了统计, 从砾石的统计特征方面判断该套砾石层的归属。

## 1 区域与阶地概况

保德至佳县段黄河位于吕梁山以西, 黄河流域大致保持北北东。该段黄河支流众多, 比较大的河流自北向南主要有朱家川、岚漪河、蔚汾河、窟野河和秃尾河等。保德以北, 特别是河曲县楼子营以北, 黄河主要切割于石灰岩和含煤页岩之中。从保德往南至吉县, 黄河切割于三叠系砂页岩中, 河谷两岸陡峭, 形成峡谷, 河宽约 300~400 m 左右<sup>[20]</sup>。

很多学者认为黄河在山陕峡谷存在 6 级阶地序列<sup>[7~8]</sup>, 且形成于 1.7 Ma 以后, 由于本文所研究的阶地砾石层为晚第三系河流冲积物, 在时代上要远早于上述 6 级阶地, 所以暂时将不同高度的两级晚第三系砾石层分别记做 T<sub>7</sub> 和 T<sub>8</sub>。在保德、府谷地区对三个阶地面上的砾石进行了统计, 分别是保

收稿日期: 2006-04-18 修订日期: 2006-08-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(40071016)资助。

作者简介: 刘运明(1977-), 男, 山东胶南人, 博士研究生, 主要研究方向为河流地貌、环境演变。E-mail: bdpku@163.com

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

德 T5、府谷 T7 和保德 T8、黑峪口、盘塘地区统计了现代河漫滩、盘塘 T4 和黑峪口 T7 和蔚汾河阶地, 而克虎、佳县地区由于低阶地沉积物保存不明显, 只统计了克虎 T7 前缘 (F) 和 T7 后缘 (B) (图 1、表 1)。

## 2 阶地砾石统计特征分析与对比

对 6 个阶地上 7 个地点对砾石进行了岩性统计, 并在其中 5 个地点统计了砾石的粒径。进行砾石统计的方法, 先选取约  $1 \text{ m}^3$  的范围, 然后在此

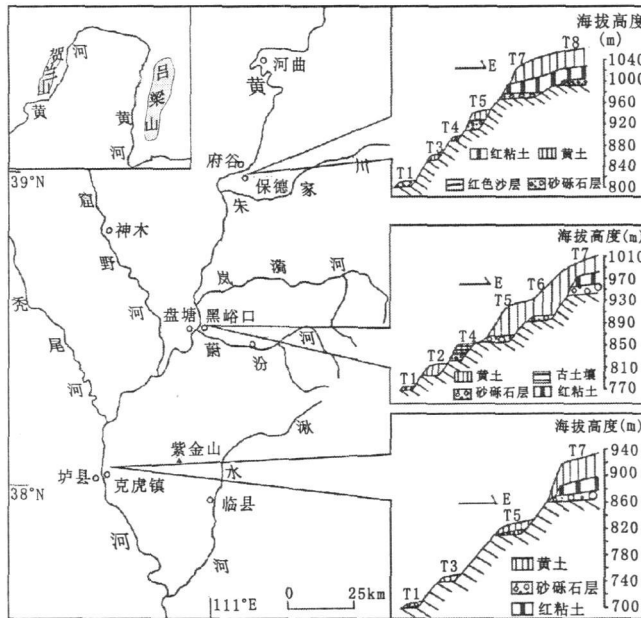


图 1 研究区区域位置与阶地剖面简图  
Figure 1 Location map and terraces of the study area

表 1 保德—佳县阶地特征

Table 1 The features of the selected terraces from Baode County to Kehu Town

阶地级数	基底拔河高度 (m)	阶地类型	阶地堆积物特征
保德 T5	105	基座阶地	砾石层的厚度 $10 \text{ m}$ 左右, 灰岩为主。可以分为上下两层, 底部砾石粒径较小, 以 $3 \sim 5 \text{ cm}$ 为主, 上部粒径较大以 $6 \sim 10 \text{ cm}$ 为主。砾石层之上有一层厚约 $50 \text{ cm}$ 的红色沙层。
府谷 T7	165	基座阶地	砾石层厚度 $7 \text{ m}$ 左右, 灰岩为主。砾石粒径以 $4 \sim 8 \text{ cm}$ 为主。砾石层之上为第三系红粘土, 至少发育了 4 层钙结核。
保德 T8	190	基座阶地	砾石层的厚度 $4 \sim 7 \text{ m}$ 灰岩为主。粒径以 $3 \sim 7 \text{ cm}$ 为主。砾石层之上为第三系红粘土, 其中发育十几层钙结核。
盘塘 T4	50	基座阶地	砾石层厚度为 $3 \text{ m}$ 左右, 砂岩、灰岩为主。大粒径砂岩占有很大成分, 灰岩粒径较小, 一般不超过 $7 \text{ cm}$ 。砾石层之上覆盖黄土, 其中发育 5 条古土壤。
黑峪口 T7	170	基座阶地	砾石层厚度 $12 \sim 26 \text{ m}$ 左右, 砂岩和灰岩为主。粒径 $3 \sim 9 \text{ cm}$ 为主。砾石层之上覆盖第三系红粘土, 红土底部有 $3 \text{ m}$ 左右为河流作用沉积物。
克虎 T7 (B)	160	基座阶地	砾石层厚度 $1 \sim 1.5 \text{ m}$ 左右, 砂岩为主。粒径 $3 \sim 7 \text{ cm}$ 为主。砾石层之上覆盖第三系红粘土层。
克虎 T7 (F)	155	基座阶地	砾石层厚度 $2 \sim 3 \text{ m}$ 砂岩为主。粒径 $3 \sim 7 \text{ cm}$ 。上覆第三系红粘土。

范围内逐个对砾石进行统计, 基本保证每个地点统计 100 块砾石。为了更好的反映阶地砾石的真实状况, 我们一般选取粒径大于  $1 \text{ cm}$  的砾石进行统

计。

在一个小区域范围内, 同一条河流的阶地其上砾石具有两个方面的特性: 首先, 同一地点不同高

度阶地之间砾石对比应具有相似性, 即砾石的特征不能相差太远, 这是横向对比。其次, 不同地点同一级阶地砾石对比应具有连续性, 如上游为主要成分的砾石, 不能在极短的距离内消失; 同一岩性的砾石, 如果没有新的物源, 下游粒径不应大于上游粒径, 这是阶地砾石的纵向对比。本文在对砾石岩性和粒径进行对比时就是按照这两个原则进行的。

### 2.1 阶地砾石岩性对比

首先, 选择 T<sub>7</sub> 阶地对砾石岩性进行纵向对比, 由图 2 所示。在保德河谷地区, 灰岩砾石在整个砾石层中占绝对优势, 可以接近 70% 左右; 向下至黑峪口和盘塘, 虽然灰岩砾石在数量还是第一位的, 砂岩砾石比例明显增加, 数量上与灰岩大体相仿; 再到临县克虎镇, 阶地上砂岩砾石比例达 40% ~ 50%, 成为阶地中砾石的主要成分, 而灰岩砾石的所占比例已经不足 30%, 已成为次要成分。两种岩性的砾石——灰岩砾石和砂岩砾石存在此消彼长关系。

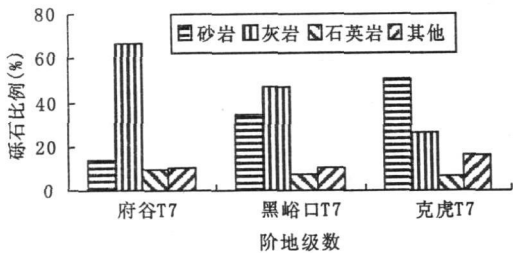


图 2 阶地砾石岩性纵向对比

Fig 2 Longitudinal comparison of pebbles lithology

从该区地质图 (图 3) 上可以看出, 灰岩砾石的来源可能有两个: 一是保德和河曲以北, 由古黄河或南北向河流搬运而来, 二是从东侧吕梁山由东西向的河流搬运而来。假定灰岩砾石是从吕梁山由东西向的河流搬运而来, 那么就会产生一些问题: 首先, 保德和黑峪口两个地区至吕梁山灰岩物源区的距离大体相当, 且都有东西向的河流存在, 但灰岩砾石在整个砾石层中所占的比例却相差很大。其次, 克虎地区以东偏北是紫金山, 发源于吕梁山的湫水河在紫金山东侧折向南流, 紫金山的存在使得克虎地区存在发源于吕梁山的第三纪古河流的可能性大为降低, 而克虎 T<sub>7</sub> 阶地上灰岩砾石所占比例仍然可以接近 30%, 这些灰岩砾石的来源将无法解释。如果把灰岩砾石归结为黄河搬运而来, 就可以很好的解释这种砾石岩性的变化。保

德和河曲县以北, 特别是保德天桥水库以北的地区就存在奥陶系灰岩区, 南北向的古黄河流经此奥陶系灰岩区, 使得保德地区阶地上以灰岩砾石占主要成分。保德以南, 黄河切割于三叠系砂页岩中, 新的物源为砂岩, 所以在保德下游的黑峪口, 砂岩与灰岩的数量大体相仿, 而到了临县克虎镇, 砂岩砾石的比例达到 50% 左右, 成为阶地砾石中的主要成分。

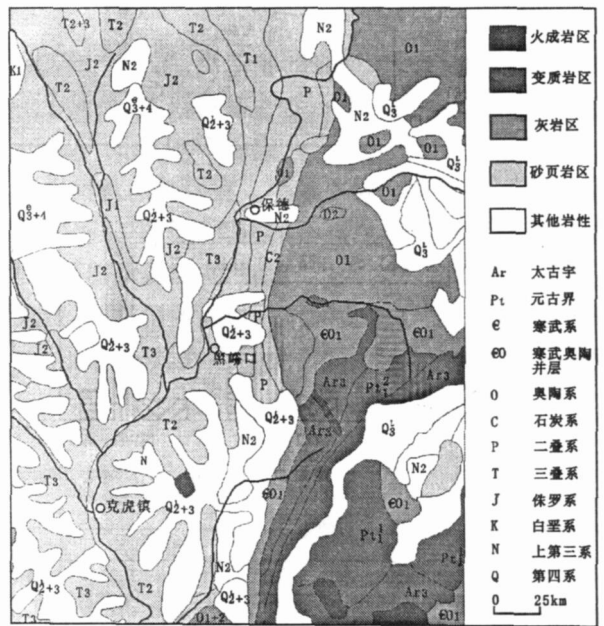


图 3 研究区地质简图 (根据马丽芳改绘)

Fig 3 Geological map of the study area (After Ma Liang)

由于克虎地区低阶地多为侵蚀阶地, 阶地砾石岩性的横向对比只选择保德和黑峪口两地进行。图 4 中, 灰岩砾石为阶地砾石的主要成分, 灰岩砾石在整个砾石层中的比例可达 67%, 一般认为这不像黄河这样源远流长的大河所形成的, 但我们对保德县城附近 T<sub>5</sub> 上砾石的统计发现, 灰岩砾石的比例为 71%, 现代黄河河漫滩上灰岩砾石也占有绝对优势。造成这种现象的原因: 山陕峡谷上游的河流砾石在黄河流经河套断陷盆地后多沉积下来, 故保德地区阶地上保存的砾石, 其来源多为保德以北的灰岩区, 使灰岩砾石在阶地上占主导地位。

黑峪口地区各级阶地上砾石岩性的对比给出了更明显的结果。我们在黑峪口地区的每级阶地上都统计了 160 ~ 180 块砾石的岩性, 增加了该区一级拔河高度 50 m 左右的蔚汾河阶地进行对比, 结果如图 5 盘塘 T<sub>4</sub>、黑峪口 T<sub>7</sub> 与现代黄河河漫

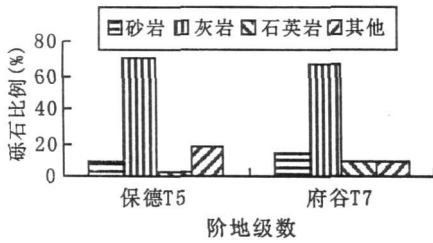


图 4 保德地区阶地砾石岩性横向对比  
 Fig. 4 Transverse comparison of pebbles lithology in Baode area

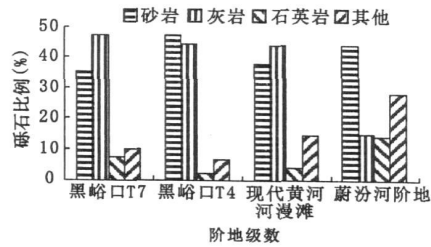


图 5 黑峪口地区阶地砾石岩性横向对比  
 Fig. 5 Transverse comparison of pebbles lithology in Heiyukou area

滩砾石的岩性保持了很好的相似性,而 T<sub>4</sub>与 T<sub>7</sub>阶地与东西向蔚汾河的砾石岩性差别较大,表现在蔚汾河阶地砾石中变质岩、火成岩等成分的异常升高,灰岩砾石的比例异常减小。在野外的观察中也可以发现,蔚汾河阶地砾石的磨圆比其它三级阶地上砾石的磨圆要差。因此,盘塘 T<sub>4</sub>与黑峪口 T<sub>7</sub>两级阶地应该同属于古黄河作用形成的阶地,不赞成把黑峪口 T<sub>7</sub>归为东西向河流所形成。

2.2 砾石粒径对比与扁平度

除了对阶地上砾石的岩性进行对比分析外,我们从所统计的砾石中又分别对其中的砂岩和灰岩的粒径进行了单独统计,此外还根据粒径统计值得出了各级阶地上砾石的扁平度特征,如表 2 所示。从砾石粒径的整体来看,各级阶地上砾石的粒径大部分小于 7 cm,当然大粒径砾石也是存在的,各个区间都有砾石分布,没有明显的规律。

表 2 阶地砾石粒径与扁平度特征

Table 2 The grain size and flatness of terrace pebbles

阶地级数	砾石数量	粒径 (cm) 区间分布					
		1~3	3~5	5~7	7~9	9~11	> 11
保德 T5	100	18	39	25	9	4	5
保德 T8	90	12	34	18	8	13	5
黑峪口 T7	100	14	34	23	15	4	10
克虎 T7 (B)	50	17	14	13	4	1	1
克虎 T7 (F)	100	36	46	9	3	5	1
阶地级数	砂岩砾石数量	砂岩砾石粒径 (cm) 区间分布					
		1~3	3~5	5~7	7~9	9~11	> 11
保德 T5	9	2	3	2	0	1	1
保德 T8	8	2	5	1	0	0	0
黑峪口 T7	31	3	7	8	4	3	6
克虎 T7 (B)	21	6	4	7	2	1	1
克虎 T7 (F)	51	14	23	6	3	4	1
阶地级数	灰岩砾石数量	灰岩砾石粒径 (cm) 区间分布					
		1~3	3~5	5~7	7~9	9~11	> 11
保德 T5	71	11	27	19	8	2	4
保德 T8	74	8	27	15	8	11	5
黑峪口 T7	33	4	21	6	1	0	1
克虎 T7 (B)	15	7	6	1	1	0	0
克虎 T7 (F)	26	13	12	1	0	0	0
阶地级数	砾石扁平度 (a+b)/2c 区间分						
	1.00~1.50	1.50~2.00	2.01~2.50	2.51~3.00	3.01~3.50	3.51~4.00	> 4.01
保德 T5	26	25	26	11	7	3	2
保德 T8	34	39	15	7	1	2	2
黑峪口 T7	20	32	23	5	12	3	5
克虎 T7 (B)	30	22	26	16	4	0	2
克虎 T7 (F)	22	28	25	11	9	1	4

砂岩砾石方面, 虽然克虎 T<sub>7</sub>阶地前缘砂岩砾石粒径中 1~5 m砾石占主要成分, 但从各级阶地来看, 砂岩砾石粒径分布较分散, 没有明显规律, 大粒径和小粒径的砾石较多, 这是由于黄河在保德以南切入三叠纪砂岩, 物源比较近, 大粒径砂岩砾石可随时得到补充。

灰岩砾石方面, 保德一带灰岩砾石粒径以 1~7 m为主, 但大粒径灰岩砾石普遍存在, 且存在磨圆较差的大粒径灰岩砾石。在黑峪口 T<sub>7</sub>阶地面上, 灰岩砾石的粒径明显变小, 粒径大于 7 m的灰岩砾石已经不多, 灰岩砾石数量虽然占优, 但一般夹杂于大粒径的砂岩之间, 其磨圆都非常好, 以圆和极圆砾石为主。在与吕梁山灰岩区距离相差不大的情况下, 保德和黑峪口两个地区灰岩砾石在粒径和磨圆方面存在很大差别, 把它们归为东西向河流作用形成是不能令人信服的。在克虎 T<sub>7</sub>阶地上, 灰岩砾石的粒径以小于 5 m为主, 阶地前缘粒径大于 7 m砾石的统计值为零, 灰岩砾石磨圆也非常好。从三个地区灰岩粒径对比来看, 灰岩砾石粒径存在明显的从上游向下游变小的趋势。我们认为这种粒径变小的趋势是物源渐远的表现, 上游灰岩砾石经过长距离的搬运和磨蚀使粒径逐渐变小, 说明该级阶地为源远流长的南北向河流所冲积形成的。

扁平度也是砾石的一个重要特征, 各级阶地扁平度主要分布在 1~2.5之间, 相差不大, 磨圆较好, 为河流相砾石。

### 3 结 论

从纵向对比来看, 从保德、黑峪口至克虎占主导成分的砾石的岩性由灰岩变为灰岩和砂岩并重, 再到砂岩占主导成分, 这是黄河在该段物源变化的一个明显表现, 而从保德至克虎灰岩砾石的粒径由大变小, 这恰恰是灰岩物源渐远、砾石被河水搬运磨蚀粒径变小的表现。从横向对比来看, 保德地区 T<sub>5</sub>和 T<sub>7</sub>阶地砾石岩性具有很高的相似性, 盘塘 T<sub>4</sub>、黑峪口 T<sub>7</sub>上的砾石岩性与现代黄河河漫滩上砾石岩性类似, 而与东西向的蔚汾河阶地砾石岩性差异明显。纵向对比的连续性和横向对比的相似性说明, 拔河高度约 165 m左右的晚第三系砾石层是南北向河流作用形成的, 应该是古黄河冲积物。虽然黄河在 0.15 Ma<sup>[5]</sup> 或晚更新世早期<sup>[21 22]</sup> 才进入共和盆地, 但这并不影响晚第三纪“雏形期”<sup>[4]</sup>

黄河在山陕峡谷存在的事实。

致 谢: 在与北京大学张家富副研究员和中国科学院地质与地球物理研究所刘宝印研究员的交流中受益非浅, 特此致谢。

### 参考文献:

- [1] 德日进, 杨钟健. 山西西部陕西北部蓬蒂纪后黄土期前之地层观察 [ J ]. 地质专报, 1930(甲种), (8): 1~19
- [2] 王乃樵. 对于张伯声先生“从黄土线说明黄河河道的发育”一文的意见 [ J ]. 科学通报, 1956 (7): 67~72
- [3] 李容全. 黄河的形成与变迁 [ A ]. 见: 杨景春. 中国地貌特征与演化 [ M ]. 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] 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.
- [6] Lin Aiming, Yang Zhenyu, Sun Zhiming et al. How and when did the Yellow River develop its square bend [ J ]. Geology 2001, 29 (10): 951~954
- [7] 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.
- [8] 程绍平, 邓起东, 闵伟, 等. 黄河晋陕峡谷河流阶地和鄂尔多斯高原第四纪构造运动 [ J ]. 第四纪研究, 1998 3 238~248.
- [9] 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.
- [10] 杨东, 方小敏, 彭子成, 等. 陇西六盘山黄土及最近 1.8Ma B P 以来的构造运动与气候变化 [ J ]. 地理科学, 2006 26 (2): 192~198.
- [11] 张抗. 黄河中游形成史初探 [ J ]. 中国第四纪研究, 1988 8 (1): 185~193.
- [12] 潘保田, 王均平, 高红山, 等. 河南扣马黄河最高级阶地古地磁年代及其对黄河贯通时代的指示 [ J ]. 科学通报, 2005 50 (3): 255~261.
- [13] 周春林, 袁林旺, 刘泽纯, 等. 南京汤山地区的地貌与岩溶发育演化 [ J ]. 地理科学, 2006 26(1): 47~51
- [14] 郑朝贵, 朱诚, 高华中, 等. 南京江北地区晚更新世末期以来泥炭层 <sup>δ</sup><sub>13</sub>C 记录的古气候变化 [ J ]. 地理科学, 2006 26 (3): 328~334.
- [15] 朱丽东, 叶玮, 周尚哲, 等. 中亚热带第四纪红粘土的粒度特征 [ J ]. 地理科学, 2006 26(5): 586~591
- [16] 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
- [17] 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
- [18] 高玄瓖. 地貌形态分类的数量化研究 [ J ]. 地理科学, 2007 27 (1): 109~114.
- [19] 李景宜. 陕西渭河下游湿地环境风险因素分析 [ J ]. 地理科学, 2007 27(3): 71~75.

- [ 20] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会. 中国自然地理地貌[M]. 北京: 科学出版社, 1980
- [ 21] 马丽芳. 中国地质图集[M]. 北京: 地质出版社, 2002
- [ 22] 杨达源, 吴胜光, 王云飞. 黄河上游的阶地与水系变迁[J]. 地理科学, 1996 16(2): 137~143.

## Implication of Statistical Features of Terrace Pebbles to River Evolution from Baode County to Kehu Town

LU YunMing LI YouLi LU HongHua LIXinPo

(MOE Laboratory for Earth Surface Processes and Department of Geography, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract:** The lithology, grain size and orientation of the pebbles in different sites and on different river terraces have been studied along the Huanghe (Yellow) River from Baode to Kehu in the Shanxi-Shaanxi Gorge area. It is found that the pebbles are similar in lithology on different terraces in the same region, as well as on the same terrace from the upstream to the downstream. The grain sizes of limestone pebbles have a tendency of becoming smaller from upstream to downstream. This indicates the pebbles maybe the relics of the ancient Huanghe River. Because the highest pebbles are covered by late Tertiary red clay, it is concluded that the Huanghe River run through this area at least in late Tertiary.

**Key words:** pebble statistic; river terrace; Shanxi-Shaanxi gorge; landform evolution; Yellow River