

文章编号: 1008-2786-(2010)5-519-07

长江三峡地区一级阶地堆积物地球化学特征 ——以江津油溪剖面为例

夏凯生¹, 何多兴¹, 谢世友¹, 袁道先^{1,2*}

(1. 西南大学地理科学学院, 西南大学三峡库区教育部重点实验室, 重庆 北碚 400715)

2. 中国地质科学院岩溶地质研究所、国土资源部岩溶动力学重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 采用¹⁴C法对江津油溪剖面长江三峡一级阶地上部砾岩层胶结年代进行测定以及填隙物的 Fe_2O_3 、 FeO 、 CaCO_3 及 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 等变化特征进行了分析, 下部松散砾石层填隙物氧化物特征为: Fe_2O_3 含量及 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值较高, FeO 、 CaCO_3 含量较低; 胶结砾岩填隙物的氧化物特征则相反。研究结果表明, 本阶地的形成年代为距今13.4~40 ka, 晚更新世晚期的气候变化可能是剖面氧化物变化特征的原因。

关键词: ¹⁴C胶结年代; 填隙物; 氧化物; 一级阶地; 长江三峡地区

中图分类号: P534.63

文献标识码: A

河流阶地是河流地貌系统的有机组成部分, 其自身的发展演变不同程度地记录了流域环境的演变过程, 成为所属流域环境演变的主要信息载体之一。目前在阶地地貌的年代学、以及阶地地貌建构气候环境之间的响应等方面取得了显著进展^[1-9]。长期以来它在第四纪地貌和环境研究中占有重要地位。长江三峡地区的河流阶地蕴藏着丰富的古环境信息, 对长江三峡阶地的研究、对三峡及其邻近地区的古环境重建具有非常重要的意义。前人通过三峡阶地的研究探讨了三峡地区新构造运动的性质和幅度^[7,8], 三峡阶地的成因^[9]。但对长江阶地中蕴藏的丰富的古环境信息研究不够。本文以江津油溪剖面为例, 通过对长江上游一级阶地沉积物的元素组分(氧化物)变化特征及其反映的古环境信息。

1 剖面概况

剖面位置

长江上游一级阶地在三峡地区分布很广, 为堆积阶地。本剖面位于重庆市江津县油溪镇铁路大桥附近(图1), 为第四纪河流沉积, 厚约12 m, 下部为厚层松散砾石层, 中部为胶结坚硬的砾岩, 上部为胶结砂岩和砾质砂岩; 哈安姆^[10]把一级阶地上部胶结的砾石层定名为江北砾岩, 认为相当于华北的三门期; 基岩为中生代侏罗系上沙溪庙组(J₃s)紫红色、暗紫色夹灰紫夹灰紫色、黄绿色泥岩砂岩。

剖面岩性、沉积特征

本剖面由上而下分为8层, 整个岩性柱状图见

收稿日期(Received date): 2009-12-12 改回日期(Accepted): 2010-04-30

基金项目(Foundation item): 国家“十一五”科技支撑计划课题(2006BAC01A16); 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA0002); 国家林业局948项目(2009-4-20); 西南大学博士资助项目(2006011)。[Supported by project of the National Natural Science Foundation of China (40672165), Sino-US cooperation project China Environmental Health, National 11th Five-Year Plan scientific and technological support issues(2006BAC01A16), Natural Science Foundation Project of Chongqing (CSTC2009BA0002) and the State Forestry Administration “948” Project SWNU2006011.]

作者简介(Biography): 夏凯生(1968-), 男, 安徽寿县人, 西南大学地理科学学院在读博士研究生, 研究方向: 岩溶环境与地质生态。[Xia Kai-sheng(1968-), Male, Shouxiang, Anhui Province, H.D. Major in Karst environment, Geoecology and geomorphology.] Tel: 023-68293981 E-mail: Xiekai@163.com

*通讯作者(Correspondence author): 袁道先(1936-), 研究员, 中国科学院院士, 主要从事水文地质、工程地质、岩溶学的研究。[Yuan Daoxian(1936-), Academician of the Chinese Academy of Sciences, Major in Geoecology, karst dynamics, karst ecosystem.]

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

小差异大, 大的达 20 ~ 25 mm 小的仅几厘米。剖面整体呈浅黄色, 但从下到上有细微分层, 剖面颜色也存在差异。

基岩为紫红色钙泥质粉砂—砂岩, 产状为 235° I20°。

从地貌形态和剖面结构看, 本剖面位于长江北岸凹岸, 现在为侵蚀岸, 剖面上部有些层位受到后期侵蚀, 而阶地的剖面特征显示此为堆积阶地, 因此我们认为本阶地沉积时为凸岸, 阶地遭受后期侵蚀是由于水动力条件发生了几次重大变化。

通过对野外剖面的纵横向变化、旋回砾序变化、旋回间接触关系、组合关系、颜色变化和层理特征变化规律分析, 我们可把剖面划分为 3 个沉积旋回。

第一旋回: 包括第 1、2 层。第 1 层为厚层松散砾石层, 砾石大小相差悬殊, 分选差, 砾径最大可达 30 mm 最小为 0.5 mm 通常为 5 ~ 10 mm 钙泥质胶结; 砾石成分复杂, 砾石无方向性。第 2 层为砾岩层, 其中砾石含量约占 70%, 砾石大小相差悬殊, 分选差, 砾径最大可达 30 mm 最小为 0.5 mm 通常为 5 ~ 10 mm 钙泥质胶结; 砾石成分复杂, 杂基—颗粒支撑。本旋回沉积砾石粒径大, 无方向性, 显示沉积时水动力强, 搬运能力大, 水流扰动剧烈。

第二旋回: 包括 3、4、5 层, 第 3 层为松散砾石层, 钙质胶结, 但胶结较松散, 砾石大小相差悬殊, 砾径最大可达 30 mm 多为 5 ~ 10 mm 分选差, 但磨圆度好; 第 4 层砾质砂岩, 厚 40 mm 砾石含量约为 30% ~ 40%; 第 5 层砾质粉砂岩—细砂岩, 表层有后期淋溶而成的钙华层。本旋回粒径变化较大, 底部粒径大上部粒径小, 显示底部河流搬运能力较强, 从底部向上减弱。

第三旋回: 包括 6 ~ 8 层, 第 6 层砾质砂岩, 厚 30 mm 砾岩大小为 0.5 ~ 5 mm 分选差, 磨圆差, 胶结较好, 已严重风化; 第 7 层: 泥质粉砂岩—细砂岩; 第 8 层: 钙质粉砂岩, 表面沉积有钙华。本旋回沉积物粒径变化小, 表明水的搬运能力较弱。

2 剖面填隙物氧化物分析

在第四纪气候演化中, 河流系统对外部因素如气候变化的响应一直是研究的热点。气候变化通过流域降水量、植被发育、风化、侵蚀过程等因素的调控, 对各种河流地貌过程和河流沉积物产生重要影响, 因此可以通过对河流阶地沉积的研究反演气候

的变化^[11-16]。用沉积物的氧化物指标重建古气候、古环境演化历史是全球变化研究的一个重要组成部分, 前人在全国各地进行了深入的研究^[17-23]。

一般认为 CaO 、 Al_2O_3 、 MgO 不同价态铁的氧化物含量及其比值 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 对气候变化较为敏感。本研究把阶地填隙物的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 K_2O 、 CaO 、 MgO 含量作为古环境变化替代指标, 通过研究剖面上氧化物的变化特征以研究其沉积环境。我们在该剖面取氧化物分析样 15 个, 其中, 第 1 层松散砾石层 4 个, 第 2 层砾岩 3 个, 第 4 层砾质砂岩 2 个, 第 5 层砾质砂岩 2 个, 第 6 层砂岩 1 个, 第 8 层砂岩 1 个; 为了避免后期溶蚀、淋滤对化学成分的影响, 采样时在明显受影响的层位我们在同一层位其他未受影响的地点取样。分析结果见表 1、2 图 3、4、5 所有样品均在西南大学资源环境科学学院岩溶环境实验室分析, SiO_2 、 FeO 用滴定法, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 CaO 、 MgO 用原子吸收光谱仪 (Atomic Absorption Spectrophotometers) TAS-986 测定。

从分析结果看, 本剖面填隙物氧化物以 SiO_2 、 CaO 、 Fe_2O_3 为主, SiO_2 (27.17% ~ 67.05%) 最多, CaO (1.31% ~ 28.11%) 次之, MgO 、 FeO 、 K_2O 含量较少, Al_2O_3 最少。 Fe_2O_3 的含量变化为底部含量高, 中、上部低。具体来讲, 底部松散砾石层含量为剖面最高, 达 7.45% 左右; 第 2、4、5 层砂岩其含量降低为平均 2.3% 左右; 上部的第 6、7 层砂岩含量有所降低, 为 1.83%。第 8 层砂岩其含量略有升高。 FeO 含量的变化特征与 Fe_2O_3 变化特征相反, 即剖面底部含量低, 中、上部高; 其底层仅 0.19%, 但第二层为 0.50%, 有个突变; 中上层变化不大。

CaO 的含量变化特征与 Fe_2O_3 的变化特征相反, 其在剖面的变化曲线几乎对称, 即剖面底部含量非常低, 中、上部较高。具体分析, 底部松散砾石层 CaO 的含量剖面最低, 为 1.5% 左右; 第 2 层砾岩有很大上升, 为 24.32%, 升高了 10 倍, 随后又降低, 第 4 层砂岩其含量有较大升高, 达 25% 左右; 第 5、6、7 层砂岩其含量略有降低, 为 23% 左右; 第 8 层砂岩其含量有所升高, 为 26.9%。 MgO 的含量变化底部较低, 中、上部较高。具体分析, 底部松散砾石层 MgO 含量剖面最低, 平均为 0.22% 左右; 第 2 层砾岩其含量有较大升高, 达 0.73%; 第 4 层砂岩 MgO 含量略有升高, 为 0.92%; 第 5 层砂岩 MgO 含量有所升高, 为 1.16%; 6 ~ 8 层砂岩 MgO 含量略有降低, 为 0.96%。值得注意的是 Al_2O_3 的含量在整个

表 1 油溪剖面氧化物变化表

Table 1 The change table of oxide Youxi profile at Jiangjin

(%)

取样号	高度 (cm)	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO
YX8—2	1 170	砂岩	27.17	0.57	0.94	0.95	1.92	0.55	26.86
YX7—2	1 125	砂岩	39.08	0.38	0.92	0.96	1.82	0.59	22.82
YX6—2	1 100	砾质砂岩	35.59	0.38	0.89	0.96	1.84	0.56	23.98
YX5—3	1 075	砂岩	38.77	0.47	1.13	1.18	2.37	0.49	22.62
YX5—1	1 055	砂岩	38.38	0.42	1.03	1.14	2.13	0.52	21.82
YX4—5	1 030	砾质砂岩	35.49	0.39	0.88	1.07	2.33	0.50	24.08
YX4—2	1 007	砾质砂岩	34.73	0.33	0.79	0.87	2.32	0.51	26.30
YX2—8	970	砾岩	37.62	0.35	0.83	0.76	2.21	0.52	28.11
YX2—7	940	砾岩	37.65	0.38	0.91	0.64	2.03	0.53	23.17
YX2—4	850	砾岩	35.91	0.32	0.87	0.78	2.54	0.44	24.32
YX1—14	740	松散砾石	65.01	0.18	2.29	0.18	7.76	0.14	1.49
YX1—10	615	松散砾石	67.05	0.17	2.23	0.20	7.66	0.18	1.54
YX1—8	600	松散砾石	66.62	0.17	2.45	0.17	7.03	0.22	1.47
YX1—4	340	松散砾石	62.30	0.18	2.14	0.29	7.31	0.20	1.39
YX1—2	250	松散砾石	59.49	0.20	2.75	0.27	7.40	0.21	1.31

表 2 油溪剖面氧化物比值变化表

Table 2 The change table of oxide ratio of Youxi profile

取样号	高度 (cm)	Fe ₂ O ₃ /FeO	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	(Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃)×100
YX8—2	1 170	3.5	47.6	29.7
YX7—2	1 125	2.9	102.8	22
YX6—2	1 100	3.2	93.6	20.6
YX5—3	1 075	4.8	82.5	19.8
YX5—1	1 055	4.0	91.4	19.7
YX4—5	1 030	4.7	91	16.7
YX4—2	1 007	4.6	105	14.2
YX2—8	970	4.3	107.5	15.8
YX2—7	940	3.8	99	18.7
YX2—4	850	5.8	112.2	12.5
YX1—14	740	55.4	361	2.3
YX1—10	615	51	394	2.2
YX1—8	600	35	391	2.4
YX1—4	340	45.6	346	2.4
YX1—2	250	41	297	2.7

剖面普遍偏低,从 0.14%~0.49%。

该剖面填隙物氧化物的比值在剖面上也呈现有规律变化。具体分析,Fe₂O₃/FeO 值变化呈现从剖面底部往上降低的总趋势,但层间存在差异,底部松

散砾石层其比值较高,平均为 47.6 剖面中、上该比值有较大的降低,比值多在 5.9~2.9 第 2 层砾岩和第 4 层砂岩其比值多为 4.6 左右,第 5 层比值有所降低,为 4.4 第 6、7 层比值降低,为 3 左右;第 8 层比值有所升高,为 3.5 SiO₂/Al₂O₃ 值变化特征在总体上与 Fe₂O₃/FeO 值变化特征相似,但层间差异更显著;底部松散砾石层其比值较高,平均为 357.8 剖面中、上该比值有较大的降低,比值在 112.2~47.6 第 2 层砾岩该比值较高,平均达 106.2 第 4 层砂岩其比值有所降低,为 98;第 5 层砂岩比值进一步降低,为 91.2 第 16、7 层比值略有升高,分别为 93.6、102.8 第 8 层砂岩比值则减低很大,为 47.6 总体来看,本剖面的氧化物的变化指标同剖面的旋回变化是一致的。

我们还在江津油溪剖面 2~5 层取 ¹⁴C 年龄样 YX2—1、YX2—2、YX4—1、YX4—2、YX5。砾岩层取填隙物、砾石层取局部胶结填隙物、砂岩层取新鲜岩石作为分析样。样品在国土资源部岩溶动力开放实验室同位素测定室(广西桂林)进行了 ¹⁴C 年龄测定,经校正后,测定结果见表 3。同时又取剖面下部松散砾石层填隙物石英砂做 ESR 测年,结果为 40 ka。从表 3 可见,江津油溪剖面的上部胶结层年代为 24.3~13.4 ka;下部堆积层由于取样困难年龄样较少,仅有一个,我们以为至少 >40 ka。

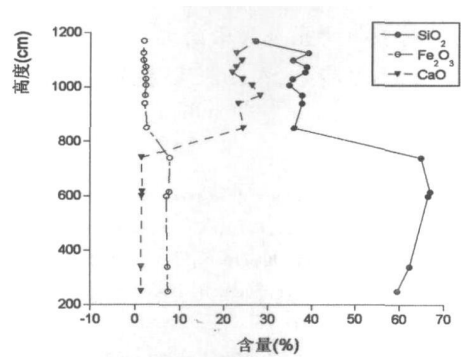


图 3 油溪剖面 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 变化图

Fig 3 The change churve of SiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO of the Youxi profile

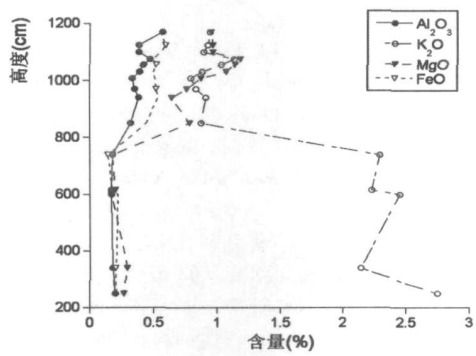


图 4 油溪剖面 Al_2O_3 、 K_2O 、 MgO 、 FeO 变化图

Fig. 4 The change churve of Al_2O_3 、 K_2O 、 MgO 、 FeO of the Youxi profile

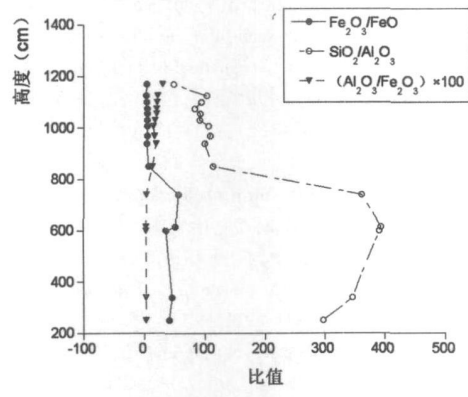


图 5 油溪剖面氧化物比值变化图

Fig. 5 The change churve of oxide ratio of Youxi profile

表 3 江津油溪剖面胶结物 ^{14}C 年龄

Table 3 The ^{14}C dating of cemented material of Youxi profile at Jiangjin

取样号	取样位置 (cm)	岩性	测定年代 (a)
YX5	1 037	砂岩	13 439±170
YX4-2	1 032	砂岩	15 129±400
YX3	1 025	砂岩	15 421±140
YX2-2	1 015	砂岩	22 240±660
YX2-1	1 007	砂岩	24 360±900

3 讨论

^{14}C 年代分析表明, 本阶地剖面上部砾岩胶结年代为 13.4~24.3 ka 与长江一级阶地西师附中剖面、大石坝剖面等其他剖面所得到的结果一致^[24], 剖面下部松散砾石层填隙物 ESR 堆积年代为距今 4 ka 阶地发育年代应该为 13.4~40 ka

本剖面我们用 ^{14}C 和 ESR 得到了沉积年代和胶结年代, 很明显, ^{14}C 和 ESR 年龄的地理意义是不同的, 胶结年龄一定大于沉积年龄, 把两种年龄放在一起是不合适的。但是, 我们通过野外考察发现, 在长江一级阶地上, 上部沉积物很多松散的胶结在一起, 明显是近代形成的, 故而我们认为, 长江一级阶地的胶结年龄和沉积年龄相差不大, 可以认为是边沉积边胶结。故阶地发育年代应该为 13.4~40 ka

前人对长江三峡地区的一级阶地进行了深入研究, 未有统一结论。韩志勇^[25] 用 TL 测年认为 7.2~17 ka 为全新世, 明显年龄偏小。刘兴诗^[26] 用 ^{14}C 测年为 9.1±0.7~39.3±2.6 ka 杨达源^[9] 认为一级阶地的上部中部古木的 ^{14}C 年代为 6.57±0.11~31±1 ka 即中下部形成于晚更新世中晚期, 而上部形成于全新世, 同我们结论一致。

杨达源^[9] 认为长江阶地可能在构造上升的基础上, 由于气候变化和流量和水位变化形成的。我们认为阶地上部砾岩的胶结期应在末次冰期冰盛期到全新世初期, 该时段全球气候总体寒冷^[27], 下部堆积层为温暖时期的产物。这和剖面岩性变化一致, 如前所述, 下部第一旋回反映了水动力强, 可能为温暖期, 发生的高水位。而上部的岩性变化反映了水动力条件减弱, 水位下降, 可能和气候转换为干冷有关。

一般认为: 温度高, 沉积环境开放度高, 氧化作用强, 含 Fe^{2+} 的矿物易被氧化为 Fe^{3+} , 虽然降水的淋失作用会降低 Fe^{3+} 的含量, 但总体来说会使 Fe_2O_3 含量增多, $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 增大^[28], 反之, 气候干冷, 其低价铁 (FeO) 含量较高, Fe_2O_3 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 较低^[17, 18, 20]。由图 3 4 5 可见, 在第一旋回, 剖面底部值 Fe_2O_3 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 高, FeO 低, 反映该层可能为氧化环境, 气候相对暖湿。但到了第二层 Fe_2O_3 值从 7.76 突变为 2.54 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 从 55.4 降为 5.8 而 FeO 则从 0.14 猛升到 0.44 这说明此时气候有一个突变, 气候波动很大, 从氧化环境变成了还原环

境,气候由暖湿转变为干冷。

Ca^{2+} 是活动性中等或较强的元素,只要在半湿润,半干旱的气候条件下, CaO 就可以较多的被淋溶和迁移。 CaO 含量少表明沉积环境是氧化环境,气候是暖湿的,而含量高则相反^[12-18]。 MgO 与 CaO 的环境指示作用是相似的^[18]。从图 3、4 可以看出,剖面底部 CaO 、 MgO 含量低,显示堆积环境是氧化环境,剖面上部为高值,说明胶结环境为还原环境,这与前述结论是一致的。

Al_2O_3 能较好地表达表生作用过程中铝的地球化学行为及其反映的古气候变化,一般所说的 Al_2O_3 含量随着气候温湿程度的加剧,风化程度的加深而增大。本剖面的 Al_2O_3 的含量偏低可能与末次冰期以来气候总体比较干冷有关。

$\text{SO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 又称风化系数,是自然环境水热结构的重要标志,能反映某些矿物的含量关系,且与气候条件、风化程度有关。该比值越小,表明风化程度越强,气候越暖湿,反之,气候越干冷^[3-19]。对比图 3、4、5 上部两者同下部一样表现了正相关的特点,这反映了阶地上部胶结期干冷环境下氧化作用偏弱的特点。同时,我们发现本剖面 $\text{SO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 值比较高,表明阶地堆积、胶结环境氧化作用不强,气候总体干冷的特点。

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的值反映剖面粘土矿物的多少,其值越多反映粘土矿物多,胶结矿物越多,反之,这表示粘土矿物少,砾石多。从本剖面看,上部值大,底部值小同上部胶结,下部堆积的结果一致。

4 结论

通过上述讨论,我们认为:(1)长江三峡一级阶地的形成年代为 13~40 ka (2)下部松散砾石层填隙物氧化物特征为 SO_2 、 Fe_2O_3 含量及 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值较高, FeO 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 含量比值较低;表示沉积环境为氧化环境,气候相对暖湿;胶结砂岩填隙物的 SO_2 、 Fe_2O_3 含量及 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 、 $\text{SO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 比值较低, FeO 、 CaO 、 MgO 含量较高,表明上部胶结砾石的沉积环境为还原环境,气候干冷。(3)本地区在末次冰期间冰期到冰盛期气候突然从相对暖湿变为干冷,冰盛期到全新世早期,本地区气候波动很大,气候很不稳定可能是剖面氧化物变化的原因。

致谢:在本文成文过程中,得到中国地质科学院岩溶地质研究所林玉石研究员、中国科学院地球化

学研究所刘再华研究员及西南大学地理科学学院沈立成博士的悉心指导,在此深表谢意!

参考文献 (References)

- [1] Bull W. B. Threshold of critical power in stream[J. Geological Society of America Bulletin 1979 90(5): 453~464
- [2] Brakenridge G. R. Late Quaternary Floodplain Sedimentation along the Middle Terre River, Southern Missouri[J. Quaternary Research 1981, 15(1): 62~76
- [3] Fuller J. C. et al. River Response to High Frequency Climate Oscillations in Southern Europe Over the Past 2000 Years[J. Geology 1998 26(3): 275~278
- [4] Chatters J. C. Hooper K. A. Response of the Columbia River Fluvial System to Holocene Climate Change[J. Quaternary Research 1992 37 42~59
- [5] Van Balen R. T. Houthuysen R. F. VanderWateren F. M. et al. Sediment budget and tectonic evolution of the Ardennes and Roer valley rift system[J. Global and Planetary Change 2000 27 113~129
- [6] Hu Xiaomeng, Fu Jianji, Li Youli. Response of Landform Development to the Tectonic Movement and the Climate Changes in Fenhe Drainage Basin[J. Acta Geographica Sinica 2002 57(3): 317~324 胡小猛,傅建利,李有利.汾河流域地貌发育对构造运动和气候变化的响应[J.地理学报, 2002 57(3): 317~324]
- [7] Li Jijun, Xie Shiyu, Kuang Mingsheng. Geomorphic evolution of the Yangtze Gorges and the time of their formation[J. Geomorphology 2001, 41(2-3): 125~135
- [8] Xie Ming. Neotectonic uplift velocity and type along the Changjiang River during Quaternary[J. Quaternary Sciences 1990 12(4): 308~315 谢明.长江三峡地区第四纪以来新构造上升速度和形式[J.第四纪研究, 1990 12(4) 308~315]
- [9] Yang Dayuan. Genetic mechanism of the alluvial terraces along the three gorges course of the Changjiang River[J. Acta Geographica Sinica 1988 43(2): 122~124 杨达源.长江三峡阶地的成因机制[J.地理学报, 1988 43(2): 122~124]
- [10] Heim. The geological structures and oil in the vicinity of Chongqing, Sichuan Province[J. Special Publ. Geol. Surv. Kwantung & Kwangsi 1931, 8 256 哈安姆.四川重庆附近地质构造及石油[J.两广地质调查所特刊, 8号, 1931: 256]
- [11] Sergei W. Das Diluviale System[J. Fortschritte Geologie und Palaeontologie 1939 X11-9 1~92
- [12] Vandenbergh J. Timescales climate and river development[J. Quaternary Science Reviews 1995 (14): 631~638
- [13] Blum M. D., Tornqvist T. E. Fluvial responses to climate and sea level change: a review and look forward[J. Sedimentology 2000 47 (Suppl. 1): 2~48
- [14] Maddy D. Bridgland D. and Winstaway. Uplift driven valley incision and climate controlled river terrace development in the Thames Valley UK[J. Quaternary International 2001 23~26
- [15] Kasse C., J. Vandenbergh, J. Van Huissteden. Sensitivity of Weichselian fluvial systems to climate change (North-eastern Germany)[J. Quaternary Science Reviews 2003 (22): 2141~2156
- [16] Vandenbergh J. Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas[J. Quaternary Science Reviews 2003 (22): 2053~2060
- [17] Shi Jiansheng, Li Zhenghua, Wei Mingjian et al. Loess and Pa-

- climatic Evolution[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 57~70[石建省, 李铮华, 魏明健, 等. 黄土和古气候演化[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 57~70]
- [18] Zhang Qiang, Zhu Cheng, Jiang Fengning et al. Environmental Changes Since Late Pleistocene in North Bank of Yangtze River Nanjing[J]. Scientia Geographica Sinica, 2001, 21(6): 498~504[张强, 朱诚, 姜逢清, 等. 南京江北地区晚更新世以来环境演变研究[J]. 地理科学, 2001, 21(6): 498~504]
- [19] Zhu Cheng, Yu Shiyong, Zhang Bing et al. Study on Holocene sedimentary environment in Baquashan area of Nanjing[J]. Scientia Geographica Sinica, 1997, 17(3): 253~258 [朱诚, 于世永, 张兵, 等. 南京宝华山地区全新世沉积环境研究[J]. 地理科学, 1997, 17(3): 253~258]
- [20] Gu Mingzhang, Chen Zhongda, Wang Qinghua et al. Geochemical records of Holocene sediments in the Xianghu section, Hangzhou and their geological significance[J]. Chinese Geology, 2005, 32(1): 70~74[顾明光, 陈忠大, 汪庆华, 等. 杭州湘湖剖面全新世沉积物的地球化学记录及其地质意义[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 70~74]
- [21] Zhang Qiang, Zhu Cheng. Holocene climate variation in north bank of the Yangtze River Nanjing inferred from accumulation record from Linfeng Profile[J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science), 2000, 23(3): 241~246[张强, 朱诚. 南京江北地区全新世环境演变的沉积学研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2000, 23(3): 241~246]
- [22] Zhong Wei, Li Jijun, Fang Xiamin et al. Geochemical feature of the sediment in Linxia Basin and monsoon evolution[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1997, 17(4): 55~61[钟巍, 李吉均, 方小敏, 等. 临夏盆地王家山剖面沉积物地球化学元素特征与季风演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1997, 17(4): 55~61]
- [23] Li Zhenghua, Wang Yuhai. The geochemical record of loess deposited and Palaeoclimate evolution[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1998, 18(2): 41~47[李铮华, 王玉海. 黄土沉积的地球化学记录与古气候演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(2): 41~47]
- [24] He Duoxing, XIE Shiyong, Shen Licheng et al. Research on the chron and environment of diagenesis for Jiangbei conglomerate—Taking the Fuzhong Profile of Beibei Chongqing as an example[J]. Carstologia Sinica, 2005, 24(3): 175~180[何多兴, 谢世友, 沈立成, 等. 江北砾岩的成岩时代及其环境条件研究——以重庆北碚附中剖面为例[J]. 中国岩溶, 2005, 24(3): 175~180]
- [25] Han Zhuyong, Li Xusheng, Ren Xuemei et al. Dating of River Terraces in the Three Gorges Reservoir Area Area[J]. Geographica Sinica, 2006, 61(11): 1200~1207[韩志勇, 李徐生, 任雪梅, 等. 三峡库区长江阶地冲积物的年代测定[J]. 地理学报, 2006, 61(11): 1200~1207]
- [26] Liu Xingshi. Quaternary of the Sichuan Basin[M]. Chengdu: Science and Technology Press, 1983: 63~64[刘兴诗. 四川盆地的第四系[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1983: 63~64]
- [27] Wang Jianli, Wang Li, He Xiao et al. Study on Climate Change Based on Stalagmite from Chongqing Cave During the Last Glaciation[J]. Scientia Geographica Sinica, 2006, 26(5): 580~585[王建力, 王丽, 何潇, 等. 重庆地区末次冰期气候变化的石笋记录研究[J]. 地理科学, 2006, 26(5): 580~585]
- [28] Yu Suhua, Zhu Zhaoyu, Li Shijie et al. Environmental records of variation of iron oxides in drill core from Tianshuhai Lake on the southern flank of west Kunlun Mountains[J]. Geochimica, 1997, 26(6): 88~98[余素华, 朱照宇, 李世杰, 等. 西昆仑山南侧甜水海湖岩芯铁变化的环境记录[J]. 地球化学, 1997, 26(6): 88~98]

Geochemical Characteristics of the Palaeoenvironment of Sediment of the First Terrace of the Three Gorge of the Changjiang

—— A Case Study for the Youxi Profile of Jiangjin

XIA Kesheng¹, XIE Shengyou², HE Douxing², YUAN Daoxian

(1. School of Geography Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

2. Institute of Karst Geology, CAGS Karst Dynamics Laboratory, MLRG Guilin 541004, China)

Abstract: The ¹⁴C age dating method was applied to study the deposited age of the the first terrace of the Three Gorge of the Changjiang in Youxi profile, Jiangjin. The geochemical characteristics of oxides such as MgO, CaO, Fe₂O₃, FeO, Fe₂O₃/FeO were analyzed. It was found that the Fe₂O₃ and the Fe₂O₃/FeO ratio are high in the lower incompact gravel bed, whereas FeO, CaO, MgO are lower. The characteristics of the oxides in the diagenetic conglomerate are opposite. The ¹⁴C age dating indicated that the deposited age of the first terrace was between 13.4 ka BP and 40.0 ka BP. The geochemical results shown that the Jiangbei conglomerate might be deposited under a dry and cold climate during the last Glacial age in late Pleistocene, and these geochemical characteristics recorded in cyclic sedimentations of this area reflected the changes of alluvial system dynamics, and implicated warm/wet cold/dry cyclic changes in late Pleistocene.

Key words: ¹⁴C, diagenetic chron, interstitial material, oxide, palaeoenvironment, the first terrace, the Three Gorge of the Changjiang