

澧阳平原岩板岗剖面地球化学特征与风化强度研究

郭媛媛¹, 莫多闻¹, 毛龙江², 郭伟民³, 顾海滨³

(1. 北京大学城市与环境学院 教育部地表过程分析与模拟重点实验室, 北京 100871; 2. 南京信息工程大学 海洋科学学院, 江苏 南京 210044; 3. 湖南省文物考古研究所, 湖南 长沙 410008)

摘要:通过对岩板岗剖面氧化物含量分析及年代测定,揭示其常量地球化学特征,探讨澧阳平原晚更新世晚期至全新世中期的化学风化过程和环境变化。结果表明,岩板岗剖面沉积物出现不同程度Na、Ca元素亏损及TFe和Mn元素富集,其化学风化作用程度明显高于黄土高原黄土,稍高于镇江下蜀黄土,处于中等的风化阶段。多个风化指标的垂向变化表明岩板岗剖面化学风化强度表现为风化较强、风化较弱、风化加强和风化较强4个阶段的变化。化学风化强度指示澧阳平原27~6.0 ka B.P.间,气候环境经历了相对暖湿—凉湿—气候回暖—温暖湿润的演变过程。

关键词:澧阳平原;晚更新世;常量元素;化学风化

中图分类号:P595 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-0690(2013)03-0335-07

沉积物地球化学元素及相关代用指标能够反映沉积物中相关元素的地球化学行为。研究化学元素的分布、分配和迁移、富集的规律,有助于了解沉积物的物质成分特征,从而为探索沉积物的物质来源,揭示化学风化作用强度以及成壤环境演变等提供依据,并成为探讨过去全球变化的一种重要手段而得到广泛应用^[1-5]。研究发现化学风化作用受地质构造、地形地貌、母质岩性及气候条件等多个因素的影响^[6,7]。风化过程中不同元素的运移特征存在差异,Nesbitt等^[8]根据元素活动性顺序将化学风化过程划分为早、中、晚三个阶段。中国黄土高原黄土—古土壤的地球化学研究基本查明了黄土中元素的含量、变化和运移规律。研究发现黄土高原黄土化学风化处于去Ca、Na的早期阶段^[9],元素组分的演化所揭示的气候变化可以与深海氧同位素记录进行对比^[9]。地球化学元素分析方法不仅应用在黄土高原区,同时也在下蜀黄土^[10]、南方红土^[11,12]以及部分湖泊^[13,14]、河流^[15,16]和沼泽沉积物^[17]的研究中得到应用。但相比较而言在

平原地区沉积物的应用仍相对较少^[18]。

本文以澧阳平原岩板岗剖面为研究对象,通过系统采样和室内常量元素地球化学分析,并结合光释光年代测定,以期揭示澧阳平原沉积物的化学组成特点,并探讨其化学风化过程及其成壤环境变化。

1 研究区概况

澧阳平原位于澧水下游,洞庭湖西北岸。地质构造上,该区西部属于武陵褶皱带的边缘地带,中东部为澧县凹陷的主体。地貌形态受断裂构造的影响,表现为周边隆起、中部凹陷,自西北向东南地势逐渐降低^[19]。平原北、西、南为低山丘陵区,海拔较高,中东部则为低平开阔的平原区,海拔多在50 m以下。平原内部分布有许多低缓丘岗或小台地,与周边平地相对高差仅数米,基底常为晚更新世黄土,上覆全新世沉积物。考古资料显示,许多古遗址常常分布在这些小丘岗上^[20]。

澧阳平原属于中亚热带季风气候向北亚热带

收稿日期:2012-07-04; 修改日期:2012-08-12

基金项目: 国家科技支撑计划项目课题(2010BAK67B02)、国家自然科学基金(40901012)、国家自然科学基金(40671016、41171006、41271228)、国家社科基金重大项目(11&ZD183)资助。

作者简介: 郭媛媛(1983-),女,山东临沂人,博士研究生,主要从事环境演变与环境考古方面的研究。E-mail: yuanyanguo29@gmail.com

通讯作者: 毛龙江,副教授。E-mail: mlj1214@163.com

季风气候的过渡地带,气候温暖,四季分明。年平均气温 16.7°C ,年平均降水量 $1\,311.7\text{ mm}$ ^[21]。澧阳平原水系发达,澧水及其支流澧水、澧水自西向东流过平原注入洞庭湖,松滋河则沿平原东部边缘南下入湖。平原区内沟渠纵横,湖沼密布,形成复杂的水网系统(图1)。

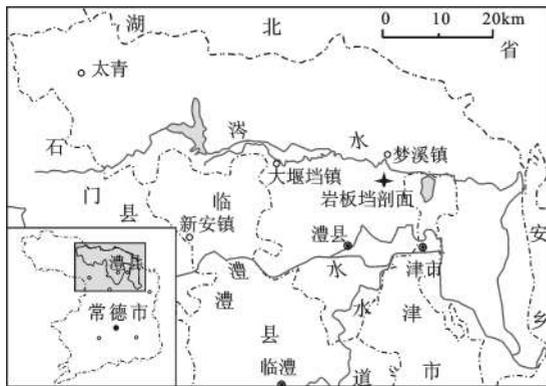


图1 澧阳平原概况及岩板挡剖面位置
Fig.1 Physiographic map of the Liyang Plain and the location of the Yanbandang(YBD) profile

2 研究材料及方法

岩板挡(YBD)剖面($29^{\circ}43'54.30''\text{N}$, $111^{\circ}46'53.65''\text{E}$)位于澧阳平原东北部,海拔约 37 m (图1)。根据野外观察,按照地层岩性变化自下而上作如下划分:① 棕黄色粘土质粉砂层,有弱网纹化现象,未见底;② 黄褐色粘土质粉砂层,与下伏地层相比颜色略深,厚约 20 cm ;③~⑤ 黑褐色土层,厚 $80\sim 150\text{ cm}$,出土细小石器,且自下而上细小石器数量有所增加;⑥ 黑色土层,见水平层理,厚约 50 cm ;⑦ 棕黄色粘土层,厚约 60 cm 。其中,①和②层以地上的风成沉积过程为主,②层之后出现短暂的沉积间断,平地之上侵蚀出一条浅冲沟,③~⑤层即为该冲沟内的沉积,之后的⑥层为低洼地形之上的沼泽相沉积过程。除③~⑤层有少量细小石器发现外,其余地层均未见任何人类活动痕迹,整个剖面保持了原始的沉积特征。对岩板挡剖面①~⑦层以 5 cm 间隔连续取样 68 个,从中取 35 个样品进行氧化物含量测定。同时,在剖面不同地层取 8 个光释光年代样品进行年代测试。

常量元素分析在北京大学地空学院的X射线荧光光谱仪上测试完成。在测定过程中加入国家标样GSS-3和GSS-12进行质量控制,分析精度在实验误差范围内。

光释光年代样品由北京大学考古文博学院光释光实验室测试完成。测年结果(表1)基本与地层层序相符,仅第⑤层中的YBD 11出现异常。考古专家对⑤层出土的细小石器进行仔细观察分析,确定其为新旧石器过渡时期文化遗存。过渡时期年代为 $16\,000\sim 10\,000\text{ a B.P.}$ 之间。由此可推断YBD 11测年结果偏老,应予以舍弃。综合年代结果可知,岩板挡剖面地层包含了晚更新世晚期至全新世中期的沉积记录。

表1 澧阳平原岩板挡剖面年代数据表

Table 1 List of OSL dating data from the YBD profile

样品号	实验编号	所属地层	年代(ka B.P.)
YBD 9-1	080407	⑦层上部	6.11 ± 0.31
YBD 9-2	080408	⑦层下部	6.33 ± 0.32
YBD 10	080409	⑥层中部	9.92 ± 0.50
YBD 11	080410	⑤层中部	17.68 ± 0.91
YBD 12	080411	④层中部	15.56 ± 0.80
YBD 13	080412	③层上部	21.17 ± 1.11
YBD 14	080413	②层中部	23.49 ± 1.20
YBD 15	080414	①层中部	26.73 ± 1.37

3 结果与讨论

3.1 岩板挡剖面常量元素分析结果

常量元素分析结果表明,澧阳平原岩板挡剖面沉积物的氧化物含量主要以 SiO_2 、 Al_2O_3 和 TFe_2O_3 (包括 Fe_2O_3 和 FeO)为主,三者之和为 $86\%\sim 90.8\%$ 。其中 SiO_2 为 $63\%\sim 73.9\%$, Al_2O_3 为 $11.5\%\sim 17.2\%$, TFe_2O_3 为 $4.7\%\sim 6.9\%$ 。其余氧化物含量较低,表现为 $\text{K}_2\text{O}(2.18\%)>\text{MgO}(1.35\%)>\text{Na}_2\text{O}(0.94\%)>\text{TiO}_2(0.92\%)>\text{CaO}(0.76\%)>\text{P}_2\text{O}_5(0.21\%)>\text{MnO}(0.13\%)$ 。

研究表明,随着岩石风化作用的进行,不同元素迁移程度存在差异。一般而言, K 、 Na 、 Ca 、 Mg 等碱金属元素容易被淋溶出,而 Si 、 Al 、 Ti 等稳定元素却易在残留相中富集,被淋溶出的 K 、 Mg 元素又易被粘土矿物所吸附^[9]。在分析不同地层常量元素的淋溶迁移特点时常用基本未风化的上部地壳(UCC)平均化学成分含量进行标准化。标准化曲线(图2a)显示:岩板挡剖面沉积物除 Si 和 Al 元素趋近于上部地壳的平均化学成分外,其他元素均出现不同程度的偏离。其中, Ca 、 Na 元素表现为明显亏损的特征, P 、 Mg 、 K 元素轻度亏损,而 Mn 、 TFe 和 Ti 元素则相对富集。剖面不同地层的标准

化曲线间也存在明显差别,第①~②层和第⑦层沉积物Na、Ca的亏损及Mn、TFe的富集更为明显,而第③~⑤层黑褐色土和第⑥层黑色土层Na、Ca元素的亏损和Mn元素的富集程度相对偏弱。这表明黑褐色土层及黑色土层的淋溶迁移程度相对于其他地层偏弱,代表气候环境相对较差。

将岩板挡剖面沉积物常量元素含量的UCC标准化曲线与黄土高原洛川黄土—古土壤^[2]、镇江下蜀黄土^[10]、澧阳平原玉成剖面^[18]和安徽宣城红土^[12]作对比(图2b),发现岩板挡剖面沉积物的化学成分介于下蜀黄土和玉成剖面之间,而与洛川黄土—古土壤和宣城红土差别较大。前人研究认为洛川黄土因为长期处于干冷的气候条件下,其风化作用强度处于低等化学风化阶段,洛川古土壤基本进入了中等化学风化阶段,镇江下蜀黄土明显经历了中等强度的风化作用,宣城红土则已经进入了高等的化学风化阶段。由图2b的曲线对比来看,岩板挡剖面沉积物经历了比下蜀黄土更强烈的化学风化过程,其Ca、Na的淋溶和K、Mg的迁移更为显著,并出现明显的TFe和Mn富集。但是总体来说,没有达到宣城红土的风化强度。

3.2 岩板挡剖面化学风化强度

1) 风化指标的指示意义。在沉积物常量元素研究中,通常采用元素含量的加和或比值等方法来放大元素指标的意义或消除各种扰动因素的影响。本文利用氧化物的分子比值作为表征化学风化强度的度量指标。

化学蚀变指数(CIA)是用来反映沉积物化学

风化程度的一个度量指标^[22],其表达式为: $[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^{①} + K_2O + Na_2O)] \times 100$,式中分子式均为氧化物分子摩尔数。文中所用到的CaO摩尔值根据McLennan^[23]提供的方法计算获得。化学蚀变指数可以有效地指示样品中长石风化成粘土矿物的程度,能很好的反应沉积物的化学风化状况。CIA值越高,说明沉积物的化学风化程度越强。

残积系数能够反映沉积物成壤强度的大小变化,其表达式为: $(Al_2O_3 + Fe_2O_3) / (CaO + MgO + Na_2O)$ ^[24]。一般残积系数值越高,表明Ca、Mg、Na元素的淋溶作用越强,Al、Fe元素的残积较多,反映风化作用程度越高,成壤作用越强。

风化淋溶系数(BA)主要反映盐基的淋溶状况,其表达式为: $[(K_2O + Na_2O + CaO^* + MgO) / Al_2O_3] \times 100\%$,式中分子式均为氧化物分子摩尔数^[12]。研究表明BA值越小,活性组分的淋溶作用越明显,化学风化作用越强^[25]。

成分变异指数(ICV)也能用来粗略估计沉积序列中矿物化学风化程度,其表达式为: $(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3$ ^[26]。前人研究发现非粘土矿物与粘土矿物相比Al₂O₃的含量要低得多,因此非粘土矿物的ICV值较高,而粘土矿物的ICV值较低。如辉石和闪石的ICV值较高,介于10~100之间,碱性长石0.8~1,斜长石为0.6,而粘土矿物的ICV值更低,如白云母和伊利石大约为0.3,蒙脱石为0.15~0.3,高岭石则最小,介于0.03~0.05之间^[26]。因此,ICV值越低,化学风化作用越强烈。

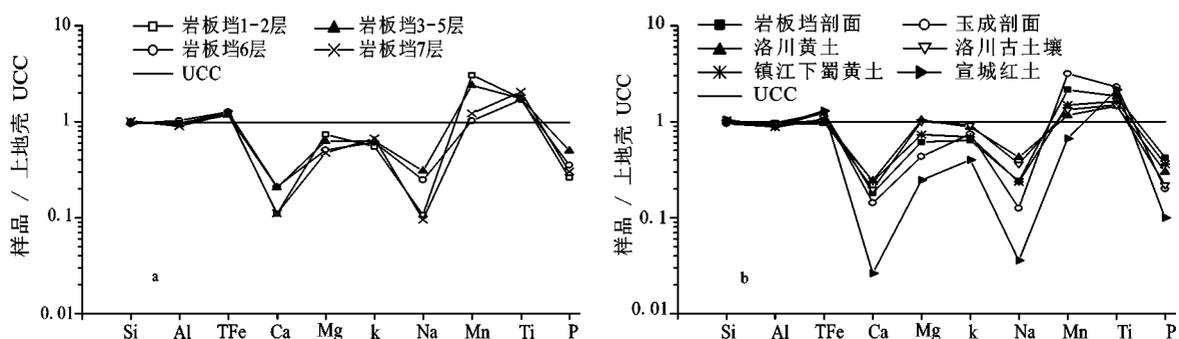


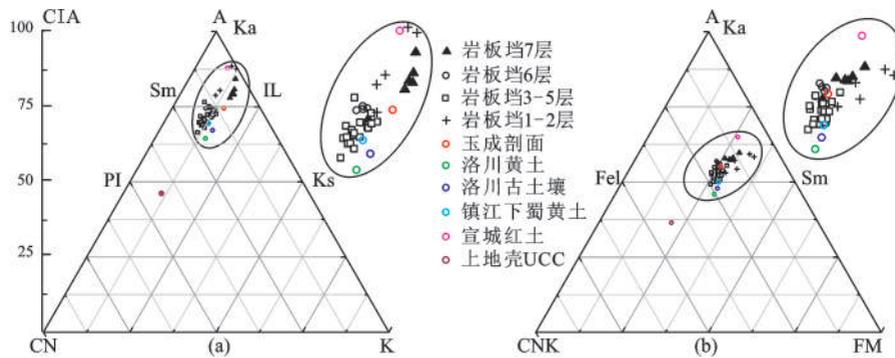
图2 澧阳平原岩板挡剖面各层沉积物常量元素UCC标准化曲线(a)及其与黄土高原黄土—古土壤^[2]、镇江下蜀黄土^[10]、玉成剖面^[18]和宣城红土^[12]UCC标准化曲线的比较(b)

Fig.2 UCC-normalized patterns of major elements in different sediment layers at YBD profile in Liyang Plain (a), and comparison of UCC-normalized patterns between loess-paleosol in the Loess Plateau, Xiashu loess in Zhenjiang, yc profile in Liyang Plain and Xuancheng red earth in Anhui Province (b)

① CaO为硅酸盐矿物中的摩尔含量,不包括碳酸盐、磷酸盐中CaO含量;文中下面所用到的此类CaO均标记CaO*。

2) 岩板挡剖面整体的化学风化强度。前人研究认为, CIA 值介于 50~65 之间, 反映寒冷干燥气候下低等的化学风化程度; CIA 值介于 65~85 之间, 反映温暖湿润气候下中等的化学风化程度; CIA 介于 85~100 之间, 反映炎热、潮湿气候条件下强烈的化学风化程度。通过计算得知岩板挡剖面的 CIA 值介于 66.4~88.4 之间, 平均为 74.37, 对应温暖湿润气候下中等的化学风化强度。与其他地区沉积物相比, 岩板挡剖面的 CIA 值远远高于上陆壳的平均值 47.9^[27], 明显高于洛川黄土(63.73)和古土壤(67.36), 略高于镇江下蜀黄土(70.45), 与玉成剖面(74.82)接近, 但明显低于宣城红土(87.6)。由此可见 UCC→洛川黄土→洛川古土壤→镇江下蜀黄土→岩板挡剖面, CIA 值依次升高, 表明化学风化作用强度逐渐加强。

Nesbitt 等人曾提出大陆风化的 A-CN-K($Al_2O_3-CaO+Na_2O-K_2O$)和 A-CN-K-FM($Al_2O_3-CaO+Na_2O+K_2O-TFe_2O_3+MgO$)三角图解, 用来反映化学风化趋势以及化学风化过程中主要成分和矿物的变化^[22]。岩板挡沉积物的 A-CN-K 和 A-CN-K-FM 三角图(图 3)显示样品数据点均分布于 PI-Ks 连线之上, 并与 A-CN 线和 A-CN-K 线平行。与洛川黄土、古土壤和镇江下蜀黄土相比, 岩板挡的数据点更接近于 A-K 线或 A-FM 线, 个别数据点位置非常靠近于宣城红土数据点的位置, 这暗示岩板挡剖面沉积物斜长石的 Ca、Na 淋失程度非常显著, 钾长石也开始了初步的风化。就剖面不同地层而言, 棕黄色土层①~②和第⑦层的数据点相比于黑褐色土层③~⑤层和黑色土层第⑥层更偏于右上方, 暗示①~②层和第⑦层沉积物 Ca、Na 的淋溶作用



A=Al₂O₃, CN=CaO+Na₂O, K=K₂O, CNK=CaO+Na₂O+K₂O, FM=TFe₂O₃+MgO, Sm=蒙脱石, IL=伊利石, PI=斜长石, Ks=钾长石, Ka=高岭石, Fel=长石

图3 岩板挡沉积物 A-CN-K 和 A-CN-K-FM 三角图解

Fig.3 A-CN-K (a) and A-CN-K-FM (b) diagrams of sediments at Ybd profile

更为明显, 风化程度更高。

3) 岩板挡剖面风化差异。岩板挡剖面 CIA、残积系数、BA、ICV 值等指标随地层累积深度的变化曲线(图 4)具有很好的对应关系, 其中 CIA 和残积系数的变化趋势一致, 而与 BA 和 ICV 的变化趋势相反。根据不同指标的变化趋势, 结合测年结果, 自下而上分为 4 个阶段来探讨岩板挡剖面不同地层之间的风化强度差异。

阶段 I (27~23 ka B.P.) 对应底部棕黄色土层①和②层, 累积厚度 0~45 cm。这一时期 CIA 值(平均 81.83)和残积系数值(平均 3.50)均较高且略呈降低趋势, BA 值(平均 50.78%)和 ICV 值(平均 0.872)则较低并呈升高趋势, 表明阶段 I 的风化作用强度较高。

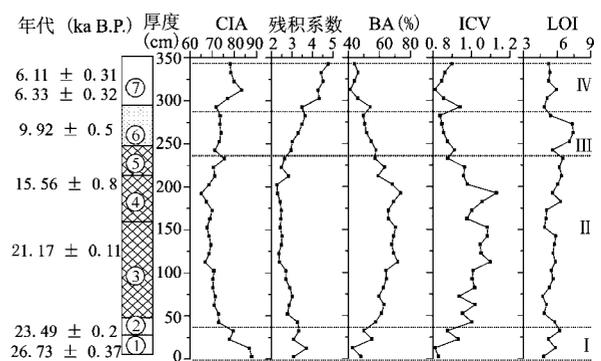


图4 岩板挡剖面 CIA、残积系数、BA 值、ICV 及 LOI 变化曲线

Fig.4 The curves of CIA, eluvial coefficient, BA, ICV and LOI at YBD profile

阶段 II (22~11 ka B.P.) 对应黑褐色土层③~⑤

层, 累积厚度 45~235 cm。该阶段 CIA 值(平均 70.96)和残积系数值(平均 2.59)明显降低呈现低谷, BA 值(平均 65.62)和 ICV 值(平均 1.013)则较高并显示为峰值, 暗示这一时期风化作用显著减弱。

阶段 III(11~8 ka B.P.)对应黑色土层堆积第⑥层, 累积厚度 235~285 cm。该阶段 CIA 值(平均 74.04)和残积系数值(平均 3.29)相比前期又有所升高, BA 值(平均 52.93)和 ICV 值(平均 0.864)则呈现降低趋势, 表明该阶段风化强度又开始增强。

阶段 VI(6.5~6.0 ka B.P.)对应剖面上部棕黄色土层第⑦层, 累积厚度 285~345 cm。这一时期 CIA 值(平均 79.06)和 K_f 值(平均 4.7)明显升高出现峰值, BA 值(平均 46.04)和 ICV 值(平均 0.847)则迅速降低显示低谷, 暗示这一阶段风化作用强度明显加强。

以上分析可知, 岩板挡剖面不同地层沉积物元素的淋溶迁移存在明显差异, 剖面自下而上沉积物的化学风化作用经历相对较强—相对较弱—逐渐加强—相对较强 4 个阶段的变化。

3.3 化学风化特征与古气候

在化学风化过程中, 物源、地貌、构造、气候都是制约风化作用强度的因素^[10,28]。岩板挡沉积物组成物质来源于范围广泛的上地壳, 并经过充分混合, 母质成分对风化的影响较低。岩板挡剖面所在的澧县凹陷属于洞庭盆地西北的次级构造单元, 晚更新世晚期拗陷幅度较小或基本稳定^[19], 因此构造及地貌不会对化学风化作用产生重大影响。众多研究发现, 在母质和地形条件一致的前提下, 气候条件尤其年均温度和降水量对化学风化过程具有决定性影响^[10,18,29]。因此, 可以用元素地球化学指标作为反映气候干湿变化的重要指标^[30]。通过前面化学元素分布特征以及相关指标的计算不难发现, 岩板挡剖面化学风化作用自下而上经历了四个阶段的强弱变化。各指标之间具有非常好的对应关系, 这里以 CIA 指标为代表来探讨化学风化作用背后的气候环境特征。阶段 I(0~45 cm), 对应 MIS3a 末期, 沉积物 CIA 值较高, 化学风化强度大。这一时期烧失量值(图 4)相对较高, 代表相对暖湿的气候环境, 植被生长繁茂, 有机质来源较多。阶段 II(45~235 cm), 对应 MIS2 时期, CIA 值降低形成低谷, 风化程度明显减弱, 指示气候恶化, 温度降低。温度的降低使得这一时期相对湿度增大, 气候呈现出凉湿的特征, 地层中有机

质分解受到限制, 烧失量值变化不大。阶段 III(235~285 cm), 为全新世早期的沉积物, CIA 值开始升高, 气候回暖, 降水增加。沉积环境受到水分影响增加, 有机质大量保存于地层中使得沉积物颜色发黑, 烧失量值表现为峰值。阶段 VI(285~345 cm), CIA 快速升高, 出现峰值, 化学风化作用强度大, 指示全新世大暖期温暖湿润的气候环境。温度的显著升高, 加速有机质的分解作用, 这一时期烧失量值出现低谷。因此, 晚更新世晚期至全新世中期, 澧阳平原气候环境经历相对暖湿—凉湿—气候回暖—暖湿 4 个阶段的变化过程。

4 结 论

1) 常量元素分析结果表明, 澧阳平原岩板挡剖面沉积物的化学组成以 SiO_2 、 Al_2O_3 和 TFe_2O_3 为主, 其他氧化物含量相对较低。UCC 标准化曲线显示, 沉积物中 Na、Ca 元素强烈淋溶, K、Mg 元素轻度迁移, 而 TFe 和 Mn 元素则相对富集。其化学风化程度明显高于黄土高原黄土, 稍高于镇江下蜀黄土, 远低于宣城红土而与玉成剖面的风化程度接近, 反映了较为温暖、湿润条件下中等的化学风化程度。

2) 通过 CIA、 K_f 、BA、ICV 等指标的计算以及 A-CN-K 和 A-CN-K-FM 三角图解的分析, 发现岩板挡剖面不同地层之间化学风化强度差异明显, 剖面底部和顶部的棕黄色土层风化强度明显高于剖面中部的黑褐色土层和黑色土层。风化指标的变化曲线揭示出岩板挡剖面化学风化强度经历风化较强、风化较弱、风化加强和风化较强 4 个阶段的变化。

3) 元素地球化学指标一定程度上能够反映气候的干湿变化。通过对化学风化指标的分析结合烧失量值的变化曲线, 揭示出澧阳平原地区晚更新世晚期至全新世中期(27~6.0 ka B.P.), 气候环境经历了相对暖湿—凉湿—气候回暖—温暖湿润的演变过程。

参考文献:

- [1] 文启忠, 刁桂仪, 贾蓉芬, 等. 黄土剖面中古气候变化的地球化学记录[J]. 第四纪研究, 1995, 15(3): 223~231.
- [2] 陈 骏, 安芷生, 刘连文, 等. 最近 2.5 Ma 以来黄土高原风尘化学组成的变化与亚洲内陆的化学风化[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2001, 31(2): 136~145.
- [3] 陈 骏, 季峻峰, 仇 纲, 等. 陕西洛川黄土化学风化程度的地

- 球化学研究[J].中国科学(D辑:地球科学),1997,27(6):531~536.
- [4] S R Taylor,S M Mclennan,M T Mcculloch.Geochemistry of loess.continental crustal composition and crustal model ages[J].*Geochim Cosmochim Ac*,1983,47(11):1897-1905.
- [5] S Gallet,B M Jahn,M Torii.Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence.China.and paleoclimatic implications[J].*Chem Geol*,1996,133(1-4): 67-88.
- [6] Wang H,Liu Z F,Sathiamurthy E,et al.Chemical weathering in Malay Peninsula and North Borneo:Clay mineralogy and element geochemistry of river surface sediments[J].*Science China-Earth Sciences*,2011,54(2):272-282.
- [7] Liu Z F,C Colin,Huang W,et al.Climatic and tectonic controls on weathering in south China and Indochina Peninsula:Clay mineralogical and geochemical investigations from the Pearl,Red,and Mekong drainage basins[J].*Geochemistry Geophysics Geosystems*,2007,8(Q05005).
- [8] H W,Nesbitt,G M Young.Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of Lutites[J].*Nature*,1982,299(5885):715-717.
- [9] 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): 42~44.
- [10] 李徐生,韩志勇,杨守业,等.镇江下蜀土剖面的化学风化强度与元素迁移特征[J].*地理学报*,2007,62(11): 1174~1184.
- [11] 熊尚发,丁仲礼,刘东生.南方红土元素迁移特征及其古环境意义[J].*土壤学报*,2001,38(01): 25~31.
- [12] 许良峰,魏 骥,姜 伟.皖南网纹红土的剖面风化特征及其古气候意义[J].*土壤通报*,2010,41(1): 7~12.
- [13] 陈敬安,万国江,陈振楼,等.洱海沉积物化学元素与古气候演化[J].*地球化学*,1999,28(6): 562~570.
- [14] 陈敬安,万国江,黄荣贵.程海近代气候变化的化学记录[J].*海洋地质与第四纪地质*,2000,20(1): 39~42.
- [15] Liu Z F,Zhao Y L,C Colin,et al.Chemical weathering in Luzon, Philippines from clay mineralogy and major-element geochemistry of river sediments[J]. *Appl Geochem*,2009,24(11): 2195-2205.
- [16] 杨守业,J Hoi-Soo,李从先,等.黄河、长江与韩国 Keum、Yeongsan 江沉积物常量元素地球化学特征[J].*地球化学*,2004,33(1): 99~105.
- [17] 王国平,刘景双,翟正丽.沼泽沉积剖面特征元素比值及其环境意义——盐碱化指标及气候干湿变化[J].*地理科学*,2005,25(3): 3335~3339.
- [18] 毛龙江,莫多闻,周昆叔,等.澧阳平原黑褐色土壤剖面常量元素地球化学特征[J].*环境化学*,2009,28(5): 734~738.
- [19] 柏道远,马铁球,王先辉,等.洞庭盆地第四纪地质研究进展——1:25万常德市幅和岳阳市幅区域地质调查主要成果[J].*华南地质与矿产*,2011,27(4): 273~285.
- [20] 郭伟民.澧阳平原的考古学启示[J].*中原文物*,2005,(6): 43~53.
- [21] 澧县地方志编纂委员会.澧县志[M].北京:方志出版社,2010.
- [22] H W Nesbitt,G M Young,S M Mclennan, et al.Effects of chemical weathering and sorting on the petrogenesis of siliciclastic sediments,with implications for provenance studies[J]. *J Geol*, 1996,104(5): 525-542.
- [23] S M Mclennan.Weathering and global denudation[J]. *J Geol*, 1993,101(2): 295-303.
- [24] 杨红瑾,黄春长,庞奖励,等.宁夏长城塬全新世黄土—土壤剖面元素地球化学特征研究[J].*地理科学*,2010,30(1):134~140.
- [25] 董红梅,赵景波,宋友桂.长安少陵塬 S₁古土壤化学成分与环境变化[J].*地理科学*,2010,30(6):904~909.
- [26] R Cox,D R Lowe,R L Cullers.The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the Southwestern United-States[J].*Geochim Cosmochim Ac*,1995,59(14):2919-2940.
- [27] S R Taylor,S M Mclennan.The Continental Crust: Its Composition and Evolution -An Examination of Geochemical Record Preserved in Sedimentary Rocks[M].London: Blackxell,1985.
- [28] A D Jacobson J D Blum C P Chamberlain,et al.Climatic and tectonic controls on chemical weathering in the New Zealand Southern Alps[J].*Geochim Cosmochim Ac*,2003,67(1):29-46.
- [29] 丁 敏,庞奖励,黄春长,等.关中东部长全新世黄土古土壤序列常量元素地球化学特性研究[J].*中国沙漠*,2011,31(4):862~866.
- [30] 舒 强,赵志军,陈 晔,等.江苏兴化 DS 浅孔沉积物地球化学元素与粒度所揭示的古环境意义[J].*地理科学*,2009,29(6): 923~928.

Geochemical Characteristics and Weathering Intensity of the Yanbandang Profile in Liyang Plain, the Middle Reach of the Changjiang River

GUO Yuan-yuan¹, MO Duo-wen¹, MAO Long-jiang², GUO Wei-min³, GU Hai-bin³

(1. *Laboratory for Earth Surface Process, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China*; 2. *College of Marine Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China*; 3. *Hunan Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology, Changsha, Hunan 410008, China*)

Abstract: Based on detailed field survey, oxide contents analysis and optically stimulated luminescence (OSL) dating of the samples from the Yanbandang(YBD) profile in Liyang Plain, the geochemical characteristics of major elements, the weathering process and environmental change from late Pleistocene to mid-Holocene were discussed. The results showed that the content of oxide is mainly composed of SiO₂, Al₂O₃ and TFe₂O₃ (Fe₂O₃+FeO) and their percentage are between 86% and 90.8%. Compared to the average upper continental crust composition, Na and Ca have been leached out strongly, while total Fe and Mn relatively enriched in the sediments of the YBD profile. The intensity of chemical weathering in the YBD sequence was significantly higher than that of loess and paleosol in Loess Plateau, slightly higher than Xiashu loess in Zhenjiang, almost equal to the Yucheng profile in Liyang Plain, but obviously lower than the red soil from Xuancheng profile in Anhui Province, which indicated a moderate chemical weathering intensity under warm and moist conditions. Changes of the Chemical Index of Alteration (CIA), the Eluvial Coefficient, the Coefficient of Weathering and Eluviations (BA), the Index of Compositional Variation (ICV) and the analysis of A-CN-K and A-CN-K-FM ternary diagrams suggested palpable differences in weathering intensity of the strata. There are four stages of weathering process in the YBD profile: relatively stronger weathering, relatively weaker weathering, intensifying weathering, and relatively stronger weathering. The weathering intensity of the yellowish brown soil at the top and bottom of YBD profile were clearly higher than that of the black brown soil and the black soil. Since the chemical weathering intensity is sensitive to climate change, the geochemical parameters can be used to unravel the environmental change to some extent. The higher CIA value reveals that the climate is relatively warmer and wetter in the end of the MIS3a stage. It becomes cooler during the LGM, but gradually returns to be warm again in early-Holocene. The climate in the mid-Holocene was the warmest and most humid compared to the aforementioned periods.

Key words: Liyang Plain; Late Pleistocene; major elements; chemical weathering