

文章编号: 1006-6616 (2013) 01-0026-09

成都平原风尘堆积的化学风化特征 及其古气候意义

谭元隆¹, 乔彦松^{1,2}, 赵志中¹, 王 燕¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室, 北京 100081)

摘要: 对成都平原胜利红土剖面进行了系统的常量元素分析, 并与川西典型黄土、古土壤样品的地球化学特征进行对比, 研究本区风尘堆积所经历的化学风化作用过程, 并对该序列化学风化特征的古气候意义进行探讨。研究表明, 成都红土的常量元素组成与川西典型黄土、古土壤样品相似, 与上地壳的平均化学成分也基本一致, 说明成都红土与川西黄土一样, 在堆积以前也经历了多次充分混合作用。在成都红土的形成过程中, Ca、Na 元素大量淋失, 含量很低, K、Mg 也出现了不同程度的淋失, 说明成都红土经历了斜长石和钾长石的化学风化过程。进一步的研究表明, 成都黏土已达到中等风化的末期阶段, 而网纹红土已进入强烈风化作用阶段。从整个序列的化学风化参数来看, 距今 1.13 Ma 以来化学风化强度不断减弱, 表明四川盆地及周围地区更新世中期以来有逐渐变干的趋势, 与全球气候变化具有一致性。

关键词: 成都红土; 风尘堆积; 化学风化; 古气候

中图分类号: P532, P534.63

文献标识码: A

0 引言

成都平原位于长江上游, 西与青藏高原毗邻。该区处在多个大气环流的交汇部位, 气候主要受东亚季风和印度洋西南季风的影响, 广泛分布于其中的风尘堆积是研究古气候变迁及周边大气环流演化模式的理想地质材料。目前, 对成都平原风尘堆积记录的研究主要集中在其时代^[1~3]、成因^[3~7]和物源^[2,7~10]等方面。多个剖面系统的磁性地层研究结果^[2~3]表明, 该区的风尘堆积主要是第四纪中期以来形成的, 风尘物质主要来源于盆地周缘及青藏高原的第四纪松散沉积物。然而, 由于对该序列的系统研究起步较晚, 其中蕴藏的大量古气候信息还有待进一步挖掘。

已有的黄土高原风尘堆积地球化学特征的研究^[11~15]表明, 风尘堆积的化学组成不仅与物质来源以及搬运过程中的沉积分异作用有关, 而且与沉积后的风化成壤作用也有着密切联

收稿日期: 2012-10-15

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价专项 (1212011087118); 国土资源部公益性行业科研专项 (201211077)

作者简介: 谭元隆 (1988-), 男, 硕士研究生, 第四纪地质学专业。E-mail: yuanlongtan@yeah.com

联系作者: 乔彦松 (1966-), 男, 博士, 研究员, 主要从事第四纪地质研究。E-mail: yansongqiao66@gmail.com

系。本次研究中，笔者对位于成都双流的胜利红土剖面^[3]进行了系统的常量元素测试，并通过与川西同时代典型黄土、古土壤样品地球化学特征的对比分析，研究本区风尘堆积所经历的化学风化作用过程，并对该序列化学风化特征的古气候意义进行初步探讨。

1 材料与方 法

位于四川成都双流的胜利红土剖面^[3] (30°31' N, 103°54' E) 总厚度为 16.1 m，野外根据结构、颜色、层间关系等地层特征分为上部成都黏土、中部网纹红土及底部河流相砾石层，厚度分别为 1.8 m、13.2 m 和 1.1 m。通过对胜利红土剖面的粒度测试并结合石英颗粒表面形态及稀土元素分布模式的分析^[6]，确定该序列的网纹红土及成都黏土层为风尘堆积。磁性地层学研究结果^[3]显示，该剖面典型风尘堆积的底界年龄为距今 1.13 Ma。其中，网纹红土的顶界年龄约为距今 0.64 Ma，成都黏土的底界年龄不超过距今 0.1 Ma^[1]，两者之间存在约 0.5 Ma 的地层缺失。

本次研究中按照 5 cm 间距对胜利红土剖面中的 301 个风尘堆积样品（其中包括成都黏土样品 37 个、网纹红土样品 264 个）进行了常量元素测试。为了进行对比分析，在川西高原甘孜地区的甘孜寺剖面^[16]选取典型黄土、古土壤样品各 10 个也进行了同样的测试。所有样品的测试分析在国家地质实验测试中心完成，所用仪器为 3080E 型 X 射线荧光光谱仪。测试结果中除了 MnO 和 P₂O₅ 因含量较低而导致误差较大（达 ±10%）外，其他元素的分析误差均不超过 ±3%。FeO 含量用重铬酸钾容量法测定，分析误差不超过 ±5%。

2 结果与分析

2.1 成都红土的元素组成

图 1 为胜利红土剖面 301 个样品 8 种元素的氧化物含量分析结果。因 MnO 和 P₂O₅ 含量较低（平均分别为 0.05% 和 0.04%），并且分析误差较大（达到 ±10%），本文不予讨论。从图 1 中可以看出，成都红土常量元素组成具有以下特点：①在元素含量上，成都红土主要成分为 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃，其平均含量分别为 69.72%、14.22% 和 6.51%，其他组分含量较低，均小于 3%；②从整个序列上看，各组分都有一定程度的变化，TiO₂ 含量自下而上呈明显的减少趋势，K₂O 和 MgO 则呈增加趋势，其他组分含量变化幅度较大，趋势不甚明显；③从曲线形态上看，K₂O 和 MgO 含量变化曲线形态基本相近，而 Al₂O₃ 与 SiO₂ 含量变化曲线形态则相反。

2.2 成都红土经历的化学风化过程

风尘堆积的形成经历了风尘物质从源区被搬运后再堆积以及堆积后的风化成壤作用等过程，在风尘堆积形成的不同阶段所经历的化学风化作用是不一样的。以前对甘孜黄土的研究^[17]表明，风尘堆积形成以后的风化作用主要表现为碳酸盐的淋溶及 Fe²⁺ 的氧化，而斜长石风化导致 Na 和 Ca 的淋失主要发生在粉尘源区。因此，查明风尘物质在不同阶段的化学风化作用特征是提取古气候演化信息的关键。

图 2 为胜利红土剖面中 37 个成都黏土和 264 个网纹红土样品常量元素氧化物含量平均值的对比。从图 2 可以看出，FeO、Na₂O、MgO、K₂O 投影点相对于斜率为 1 的直线右偏，在成都黏土中含量高；而 TiO₂ 和 Fe₂O₃ 则轻微左偏，在网纹红土中含量略高。成都红土中

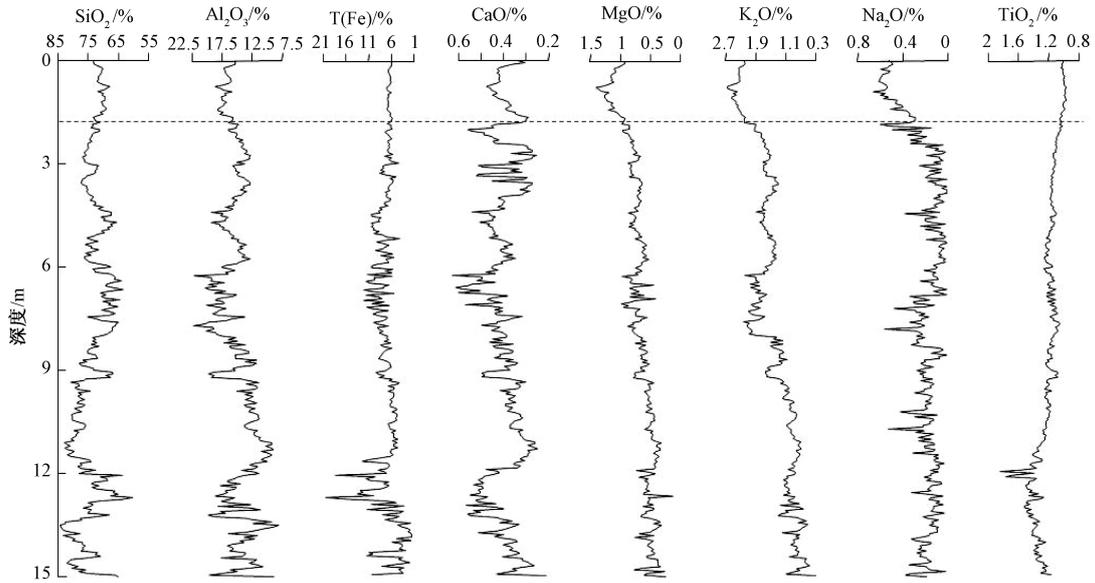


图1 成都胜利红土剖面序列的主要化学成分

Fig. 1 Main chemical compositions in the Shengli red earth profile in Chengdu

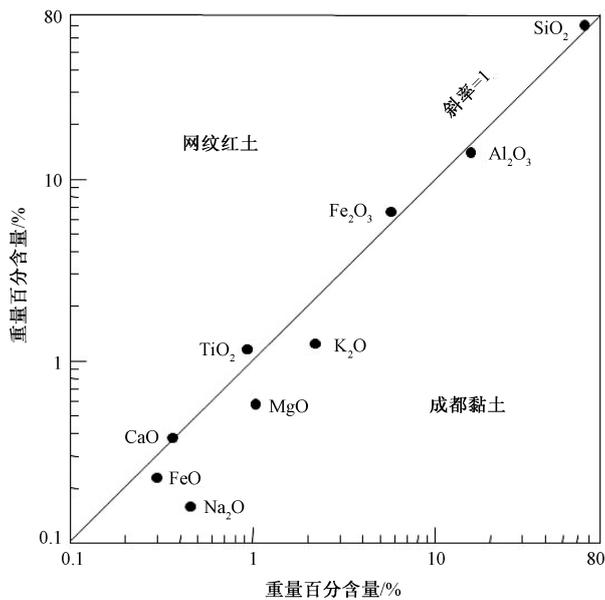


图2 成都胜利红土剖面中成都黏土、网纹红土主要元素含量比较

Fig. 2 Comparison between the main element contents in Chengdu clay and in reticulate red soil in the Shengli red earth profile

CaO 和 Na₂O 平均含量都小于 0.5%，远小于黄土与古土壤中的含量^[17]。CaO 含量在成都黏土和网纹红土中基本没有差别，而 Na₂O 差别较大。

从图 1 及图 2 可知，各个元素的含量在剖面中呈现波动特征，元素含量平均值在成都黏土和网纹红土间也存在明显差异，表明这些元素含量的高低可能与粉尘在堆积后经历的不同风化程度有关。为了更直观地反映这个现象，本文采用 Gallet 等建议的方法^[14,18]，选择风化

过程中保持稳定的 Al 元素作为参照计算各元素相对 Al 值的变化（见图 3）。从图 3 中看出，网纹红土中的 SiO_2 、 Fe_2O_3 和 TiO_2 有一定程度的富集，而 K_2O 、 Na_2O 、 MgO 、 FeO 出现了亏损。根据主要造岩元素在风化作用过程中的迁移顺序^[19]，Ca、Na、K、Mg 属易于迁移的一类，Si、Al、Fe、Ti 属不易迁移的一类。易于转移的 Ca 元素含量在网纹红土与成都黏土中并没有明显的差别（见图 3），其原因是 Ca 元素极易淋失与迁移，两者中的 Ca 元素均基本完全淋滤，含量极少。不易发生迁移的 Fe 元素也发生了变化，网纹红土中相对富集 Fe_2O_3 而亏损 FeO 。从成都红土中元素富集和亏损特征可以看出，风尘堆积形成以后，网纹红土比成都黏土经历了更强的化学风化作用。

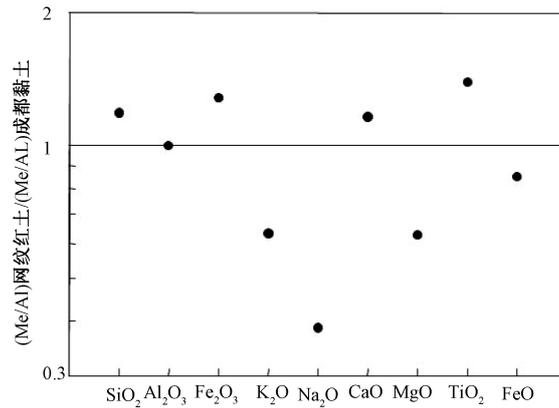


图 3 成都胜利红土剖面中成都黏土、网纹红土主要元素相对 Al 的比值变化特征

Fig. 3 Ratio of main element contents in Chengdu clay and in reticulate red soil in the Shengli red earth profile to Al

在本次研究中没有对样品进行去除碳酸盐的前处理，但从成都红土与川西典型黄土、古土壤样品地球化学特征的对比（见图 4）中发现，成都红土的常量元素组成与川西典型黄土、古土壤样品相似，与上地壳的平均化学成分也基本一致，说明成都红土与川西典型黄土一样，在堆积以前也经历了多次充分混合作用。从成都红土样品与 UCC（Upper Continental Crust，上陆壳平均化学成分）比值图（见图 4）中也可以发现，稳定元素中的 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 与 UCC 值基本接近，而 TiO_2 有轻微的富集；相对易淋溶元素中的 CaO 、 Na_2O 、 MgO 、 K_2O 出现了不同程度的亏损，其中 CaO 和 Na_2O 亏损最为严重； Na_2O 、 MgO 、 K_2O 含量在成都黏土与网纹红土间有明显的差异。 TiO_2 有轻微的富集可能与粉尘物源有关， Na_2O 、 MgO 、 K_2O 含量的差异则是后期不同风化程度造成的。

CIA 是反映化学风化强度的指标，能有效反映样品中长石风化成黏土矿物的程度，其计算公式为 $CIA = \text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) \times 100$ ，式中 CaO^* 指存在于硅酸盐中的 CaO ^[20]。 $CIA < 50$ 表示未风化； $50 < CIA < 65$ 表示风化程度较低； $65 < CIA < 85$ 表示中等程度风化； $CIA > 85$ 则表示强烈风化^[21]。A-CN-K 图解^[18]（即 Al_2O_3 - CaO^* + Na_2O - K_2O 三角图）反映的是化学风化趋势和风化过程中主要成分及相关矿物的变化。本文对 20 个甘孜黄土样品、37 个成都黏土样品和按不同间隔选取的 30 个典型网纹红土样品进行了分析，结果（见图 5）显示， CIA 值按甘孜黄土、甘孜古土壤、成都黏土、网纹红土顺序依次增大，表明它们的风化强度依次增强。甘孜黄土、古土壤及成都黏土的风化趋势线与 A-CN (Al_2O_3 - CaO^* + Na_2O) 边基本平行，说明斜长石最先风化，Ca 与 Na 发生流失。与甘孜黄土、古土壤相比，成都黏土明显有向 A-K (Al_2O_3 - K_2O) 边靠近的趋势，反映成都黏土的 Ca、Na

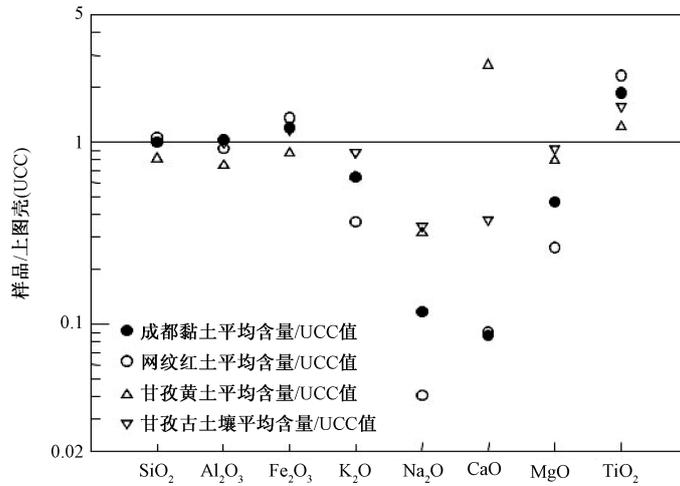


图4 成都胜利红土剖面中成都黏土、网纹红土主要元素平均含量的 UCC 标准化值变化特征
 Fig.4 Ratio of main element contents in Chengdu clay and in reticulate red soil in the Shengli red earth profile to UCC

流失程度更为显著；此外，成都黏土 CIA 值（平均值为 80.6）已接近 85，数据点位于蒙脱石和伊利石连线附近，说明成都黏土已达到中等风化的末期阶段，开始进入钾长石的风化阶段，风化矿物以伊利石和蒙脱石为主，可能有少量的高岭石。与上述三者不同的是，网纹红土的风化趋势线与 A-K (Al_2O_3 - K_2O) 边基本平行，且向 A (Al_2O_3) 点靠近，表明斜长石已完全风化，Ca 和 Na 流失殆尽，呈现出脱 K 特征和富 Al 化趋势；其 CIA 平均值为 88.3，已超过 85，表明网纹红土进入脱 K 富 Al 的强烈风化作用阶段，导致含钾矿物（黑云母、伊利石、钾长石等）的分解，风化矿物以高岭石为主。

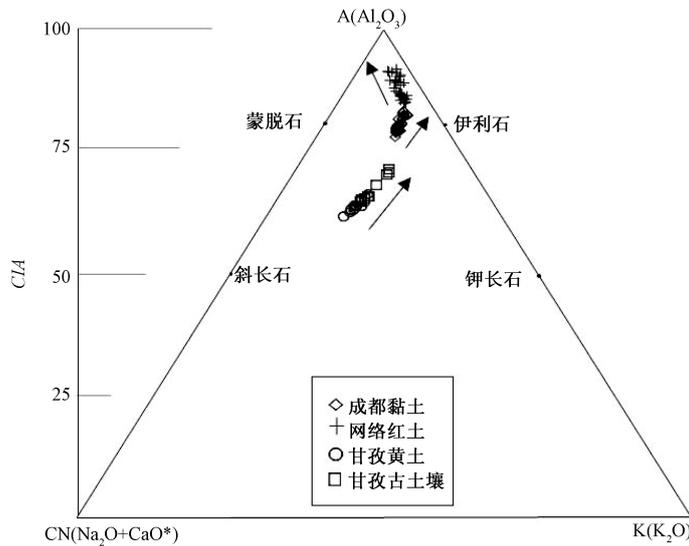


图5 成都胜利红土剖面中成都黏土、网纹红土和甘孜黄土、古土壤的化学风化趋势
 Fig.5 Chemical weathering tendency of Chengdu clay and reticulate red soil in the Shengli red earth profile, Ganzi loess and ancient soil

综上所述，成都红土中 CaO 和 Na_2O 淋失严重，含量很少， MgO 、 K_2O 也出现了一定程度的亏损，说明成都红土经历的风化作用较强。其 Ca 和 Na 的淋失主要在粉尘源区发生，而 Na_2O 、 MgO 、 K_2O 在网纹红土和成都黏土中的差异则是风尘堆积形成以后的风化作用造成的。 CIA 的分析结果也表明，网纹红土已进入强烈的风化作用阶段，成都黏土已达到中等风化的末期阶段。

2.3 风化参数及古气候意义

为了解成都胜利红土剖面序列的风化程度，图 6 中列出了该剖面 5 种风化参数随深度的变化曲线。 CIA 值是反映化学风化强度的有效指标，剖面曲线显示 CIA 值从底界到顶界逐渐变小，化学风化强度不断减弱。 Na/K 是衡量样品中斜长石风化程度的重要指标^[18, 22]。由于斜长石比钾长石风化得快，因而 Na/K 比值与风化强度成反比。在成都胜利红土剖面中， Na/K 与 CIA 参数曲线呈现相反的变化特征（见图 6）。 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 是反映含铁矿物氧化程度的良好指标^[23~24]，同样也反映风化强度。从总体上看，成都红土中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 相对较低，但曲线变化趋势不明显，并不与 CIA 呈明显的反向关系。残积系数指 $(\text{Al} + \text{Fe}) / (\text{Na} + \text{Mg} + \text{Ca})$ 比值，其值越大，则 Al 和 Fe 含量越高，淋滤越强，残积较多，化学风化也越强，指示暖湿的气候条件^[25~26]。成都胜利红土剖面残积系数自下而上呈逐渐减小的趋势，反映淋滤作用不断减弱，风化作用程度不断降低。 K/Al 系数主要反映硅酸盐矿物风化过程中释放钾的含量^[27]，其值越大，风化程度越低。图 6 中显示 K/Al 系数随深度的减小不断增大，反映风化强度不断减弱。

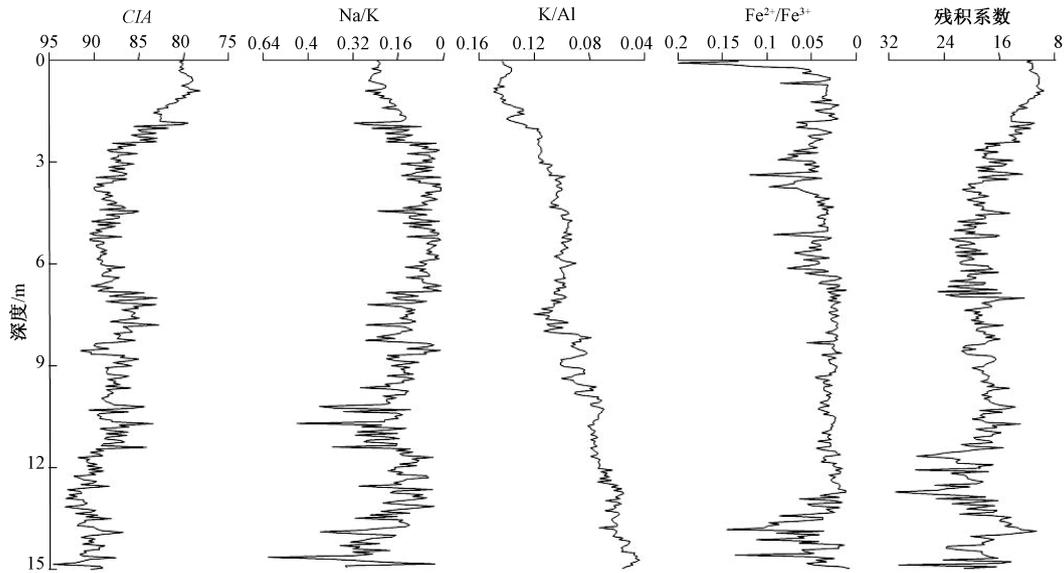


图 6 成都胜利红土剖面化学风化参数随深度变化特征

Fig. 6 Changes of chemical weathering parameters from the Shengli red earth profile in Chengdu with the depth

成都胜利红土剖面的上述 5 个风化参数特征表明，成都红土的粉尘源区及堆积区自距今 1.13 Ma 以来的风化强度不断减弱。化学风化程度受植被发育情况、气候、地形等多种因素影响，而其中气候因素中的降水量和温度起着至关重要的作用^[22]。在干冷条件下，物理风化作用相对强，而化学风化作用弱；反之，气候温暖湿润，则植被发育，矿物分解加速，化学风化程度就强。成都平原位于青藏高原东缘，该区的风尘物质来源主要为四川盆地及周边

山地的松散沉积物。因此,成都红土的风化程度不断减弱的特征指示着四川盆地及周围地区在中更新世以来逐步干旱化的趋势。这与甘孜黄土研究结果^[17]基本一致,共同指示了青藏高原东缘更新世中期以来逐步干旱化的气候变化特征。

3 结论

本文对成都平原胜利红土剖面中风尘堆积的地球化学成分进行了系统分析,并与川西典型黄土、古土壤样品的地球化学特征进行了对比,结果显示:成都平原风尘堆积的地球化学组成与川西典型黄土、古土壤样品十分相似,与上地壳的平均化学成分也基本一致,说明成都平原的风尘堆积在堆积之前也经历了多次的充分混合作用;成都红土经历了较强的风化作用,其中成都黏土已达到中等风化的末期阶段,网纹红土已进入强烈风化作用阶段;成都平原胜利红土剖面的化学风化参数指示四川盆地及周围地区自距今 1.13 Ma (中更新世)以来有逐渐干旱化的趋势,与全球气候变化的趋势是一致的。

参 考 文 献

- [1] 陈治荣,何银武. 据¹⁴C 年龄数据浅议广汉粘土与成都粘土的时代归属 [J]. 山地学报, 1990, 8 (3): 167~173.
CHEN Zhi-rong, HE Yingwu. A preliminary discussion on date determination of Guanghan Clay and Chengdu Clay with ¹⁴C [J]. Journal of Mountain Science, 1990, 8 (3): 167~173.
- [2] Yang Shengli, Fang Xiaomin, Shi Zhengtao, et al. Timing and provenance of loess in the Sichuan Basin at the eastern margin of the Tibetan Plateau, southwestern China [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010, 292 (1-2): 144~154.
- [3] 赵志中, 乔彦松, 王燕, 等. 成都平原红土堆积的磁性地层学及古环境记录 [J]. 中国科学: D 辑, 2007, 37 (3): 370~377.
ZHAO Zhi-zhong, QIAO Yan-song, WANG Yan, et al. The magnetic stratigraphy and the palaeoenvironmental record of red clay in Chengdu plain [J]. Science in China: Series D, 2007, 37 (3): 370~377.
- [4] Thorp J, Dye D S. The Chengdu clays deposits of possible aeolian origin in western and northwestern Sichuan Basin [J]. Bulletin of the Geological Society of China, 1936, 15 (2): 225~246.
- [5] 汪波, 聂前勇, 王运生, 等. 也论成都粘土的成因 [J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 13 (1): 54~64.
WANG Bo, NIE Qian-yong, WANG Yun-sheng, et al. Discussion on the genetic mechanism of Chengdu clay [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2002, 13 (1): 54~64.
- [6] 乔彦松, 赵志忠, 李增悦, 等. 成都平原红土堆积的风成成因证据 [J]. 第四纪研究, 2007, 27 (2): 286~291.
QIAO Yan-song, ZHAO Zhi-zhong, LI Zeng-yue, et al. Aeolian origin of the red earth formation in the Chengdu plain [J]. Quaternary Sciences, 2007, 27 (2): 286~291.
- [7] 胡兆国, 冯金良, 鞠建廷. 成都粘土中石英的粒度分布及其表面微结构特征 [J]. 山地学报, 2010, 28 (4): 392~406.
HU Zhao-guo, FENG Jin-liang, JU Jian-ting. Grain size distribution and microstructure of quartz in the Chengdu Clay [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28 (4): 392~406.
- [8] 邵之刚, 李代钧, 李永昭. 成都平原更新世粘土的地质特征 [C] //中国地质学会第四纪冰川与第四纪地质专业委员会, 江苏省地质学会. 第四纪冰川与第四纪地质论文集 (一). 北京: 地质出版社, 1984: 142~152.
SHAO Zhi-gang, LI Dai-jun, LI Yong-zhao. Geological characteristics of Pleistocene clay in the Chengdu Plain [C] // Commission on Quaternary Glaciology and Geology of the Geological Society of China, Geological Society of Jiangsu Province. Contribution to the Quaternary glaciology and Quaternary geology (1). Beijing: Geological Publishing House, 1984: 142~152.
- [9] Feng Jinliang, Hu Zhaoguo, Ju Jianting, et al. Variations in trace element (including rare earth element) concentrations

- with grain sizes in loess and their implications for tracing the provenance of eolian deposits [J]. *Quaternary International*, 2011, 236 (1-2): 116-126.
- [10] Yang Shengli, Fang Xiaomin, Yan Maodu, et al. Grain size profiles in the Chengdu Clay, eastern margin of the Tibetan Plateau; Implications for significant drying of Asia since ~500 ka B P [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 38 (1-2): 57-64.
- [11] 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1985: 238-255.
LIU Dong-sheng. *Loess and the environment* [M]. Beijing: Science Press, 1985: 238-255.
- [12] 文启忠. 中国黄土地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989: 23-63.
WEN Qi-zhong. *Geochemistry of Chinese loess* [M]. Beijing: China Science Press, 1989: 23-63.
- [13] Gallet S, Jahn B M, Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications [J]. *Chemical Geology*, 1996, 133 (1-4): 67-88.
- [14] 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*, 1997, 27 (6): 531-536.
CHEN Jun, Ji Jun-feng, QIU Gang, et al. Study on geochemistry of loess chemical weathering extent in Luochuan profile, Shanxi Province [J]. *Science in China; series D*, 1997, 27 (6): 531-536.
- [15] Xiong Shangfa, Ding Zhongli, ZhuYuanjian, et al. A ~6 Ma chemical weathering history, the grain size dependence of chemical weathering intensity, and its implications for provenance change of the Chinese loess-redclay deposit [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2010, 29 (15-16): 1911-1922.
- [16] 乔彦松, 赵志中, 王燕, 等. 川西甘孜黄土磁性地层学研究及其古气候意义 [J]. *第四纪研究*, 2006, 26 (2): 250-256.
QIAO Yan-song, ZHAO Zhi-zhong, WANG Yan, et al. Magnetostratigraphy and its paleoclimatic significance of a loess-soil sequence from Ganzi area, west Sichuan plateau [J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26 (2): 250-256.
- [17] 乔彦松, 赵志中, 王燕, 等. 川西甘孜黄土-古土壤序列的地球化学演化特征及其古气候意义 [J]. *科学通报*, 2010, 55 (3): 255-260.
QIAO Yan-song, ZHAO Zhi-zhong, WANG Yan, et al. Variations of geochemical compositions and the paleoclimatic significance of a loess-soil sequence from Garzê County of western Sichuan Province, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2009, 54 (24): 4697-4703.
- [18] Nesbitt H W, Markovices G, Price R C. Chemical processes affecting alkalis and alkaline earths during continental weathering [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44: 1659-1666.
- [19] 冯增昭. 沉积岩石学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 16-20.
FENG Zeng-zhao. *Sedimentary petrology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993: 16-20.
- [20] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. *Nature*, 1982, 299: 715-717.
- [21] 冯连君, 储雪蕾, 张启锐, 等. 化学蚀变指数 (CIA) 及其在新元古代碎屑岩中的应用 [J]. *地学前缘*, 2003, 10 (4): 539-544.
FENG Lian-jun, CHU Xue-lei, ZHANG Qi-rui, et al. CIA (Chemical Index of Alteration) and its applications in the Neoproterozoic clastic rocks [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10 (4): 539-544.
- [22] 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*, 2001, 31 (2): 136-145.
CHEN Jun, AN Zhi-sheng, LIU Lian-wen, et al. Variations in chemical compositions of the eolian dust in Chinese Loess Plateau over the past 2.5Ma and chemical weathering in the Asian inland [J]. *Science in China: Series D*, 2001, 31 (2): 136-145.
- [23] 顾兆炎, 丁仲礼, 熊尚发, 等. 灵台红粘土和黄土-古土壤序列的地球化学演化 [J]. *第四纪研究*, 1999, (4): 357-365.
- [24] 孙福庆, 文启中, 刁桂仪, 等. 古土壤地球化学的某些问题——黄土风化过程中元素的变化 [J]. *土壤学报*,

- 1983, 20 (2): 101 ~ 111.
- SUN Fu-qing, WEN Qi-zhong, DIAO Gui-yi, et al. On the geochemical characteristics of paleosol the change of chemical elements in loess during weathering process [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1983, 20 (2): 101 ~ 111.
- [25] 张虎才, 张林源, Mahaney W C. 兰州九州台黄土剖面元素地球化学研究 [J]. *地球化学*, 1991, 20 (1): 79 ~ 84.
- ZHANG Hu-cai, ZHANG Lin-yuan, Mahaney W C. Element geochemistry of the Jiuzhoutai loess section, Lanzhou [J]. *Geochimica*, 1991, 20 (1): 79 ~ 84.
- [26] 靳鹤龄, 苏志珠, 孙忠. 浑善达克沙地全新世中晚期地层化学元素特征及其气候变化 [J]. *中国沙漠*, 2003, 23 (4): 366 ~ 372.
- JIN He-ling, SU Zhi-zhu, SUN Zhong. Characters of chemical elements in strata of middle and late Holocene in Hunshandake Desert and the indicating climatic changes [J]. *Journal of Desert Research*, 2003, 23 (4): 366 ~ 372.
- [27] Nesbitt H W, Young G M. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1984, 48 (7): 1523 ~ 1534.

CHEMICAL WEATHERING CHARACTERISTICS AND PALEOCLIMATIC SIGNIFICANCE OF THE EOLIAN DEPOSITS IN CHENGDU PLAIN

TAN Yuan-long¹, QIAO Yan-song^{1,2}, ZHAO Zhi-zhong¹, WANG Yan¹

(1. *Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China;*

2. *Key Laboratory of Neotectonic Movement and Geohazard, Beijing 100081, China)*

Abstract: The chemical composition of the eolian deposits mainly depends on the material composition of the source area and post-depositional in-situ pedogenesis. In this study, systematic major element composition analysis has been made Shengli red earth section in Chengdu Plain, and compared with the geochemical characteristics of typical loess and paleosol samples from western Sichuan Province. The research results show that, similar major element composition between the Chengdu Red Earth and the loess-paleosol samples from western Sichuan, and they are also comparable to the average composition of the Upper Continental Crust. These suggest that the Chengdu Red Earth, as same as loess from western Sichuan, were all derived from well-mixed sedimentary protoliths which had undergone numerous upper crustal recycling processes. In the formation process of the Chengdu Red Earth, Ca and Na element experienced a large number of leaching and the content is very low, K and Mg also appeared different degree of leaching, explaining Chengdu Red Earth experienced chemical weathering process of plagioclase and potassium feldspar. Further study shows that, Chengdu clay has reached the later stage of medium degree of chemical weathering, and the vermiculated red soil has entered the strong weathering stage. From the chemical weathering parameters of the entire sequence, weakening chemical weathering intensity from 1.13 MaBP shows that Sichuan Basin and the surrounding area has gradually become drier since the mid-pleistocene, and has consistency with global climate change.

Key words: Chengdu Red Earth; eolian deposits; chemical weathering; paleoclimate