

末次冰期以来鄱阳湖东北缘下蜀黄土常量元素地球化学特征及其物源指示^①

龙进¹ 贾玉连^{1,2} 张智¹ 彭学敏¹ 凌超豪¹ 王朋岭³

(1.江西师范大学地理与环境学院 南昌 330022;2.鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室 南昌 330022;

3.中国气象局气候研究开放实验室 国家气候中心 北京 100081)

摘要 长江中游、鄱阳湖东北缘,末次冰期以来发育区域性风沙—风尘堆积体系。沿现代冬季风方向自北而南选取了10个剖面(通称D-D断面)采集下蜀黄土样品,并用湿筛法提取<20 μm 粒级颗粒进行XRF元素分析,结果揭示:①自北而南,元素含量具有系统性变化特征,SrO、Na₂O、CaO、K₂O、MnO、CaO呈负对数函数关系,SiO₂、ZrO₂、Al₂O₃、TiO₂及化学蚀变指数(CIA)呈正对数变化;在距离长江河谷5~20 km的范围内,变化最为剧烈,随后趋于平稳。稳定元素—稳定元素、次稳定元素—稳定元素、活动元素—稳定元素对散点图同样具有系统的变化特点,显示D-D断面具有高度同源性。这些特征进一步揭示D-D断面属同一粉尘堆积体系。②现代长江河漫滩沉积物、渭南黄土、南京下蜀黄土与D-D断面上北端剖面稳定元素组成极其相似,与南端剖面则差异较大。这揭示了长江碎屑物质和风尘堆积一样具有广泛的来源及高度混合性,利用常量元素地球化学方法进行粉尘物源示踪需要谨慎。

关键词 鄱阳湖东北缘 下蜀黄土 D-D断面 常量元素地球化学 风沙—粉尘堆积体系

第一作者简介 龙进 男 1989年出生 硕士研究生 第四纪风尘沉积与古环境研究 E-mail:459141684@qq.com

中图分类号 P642.13⁺1 P595 **文献标识码** A

长江中游的赣北鄱阳湖地区,发育一系列丘岗状的砂质沉积—沙山^[1-3],同时,在其冬季风下风方向上发育着厚度不等的下蜀黄土^[4-5]。目前,普遍认为沙山是风成堆积,系古长江及其支流赣江的河床砂,经强风短距离搬运,在近岸堆积而成^[1,2,6]。对下蜀黄土,尚存较大争议。有学者认为与宁镇地区的下蜀黄土具有同时或(和)同源属性,并与晚第四纪黄土南侵有关^[5]。李吉均等^[7]将星子神灵湖叶家垄剖面中上部粉砂黏土为主的下蜀土归为粉尘堆积,认为是第四纪黄土南侵的证据,但对其具体来源没有明确意见。李徐生等^[8]研究了西南厚田沙山以南的下蜀黄土,认为粒度具有沿东北—西南方向逐渐变细的特点,是厚田沙山在冬季风下风方向上的衍生堆积;Jia *et al.*^[3]比较了彭泽定山沙山及其下伏的黄土堆积的元素地球化学组成,认为它们具有同源性,确证黄土物源来自于古长江。Hao *et al.*^[9]通过对比南、北方黄土元素特征的异同,认为长江中下游黄土主要物源为邻近的长江下游冲积平原,而非黄土高原。这些研究初步揭示,在鄱阳湖周边的赣北地区,冰期时可能存在众多风沙—粉尘堆积系统。胡亚萍等、张智等^[10-11]分

析了鄱阳湖东北缘沙山与下蜀黄土地层的粒度序列,认为从湖口—彭泽一线与怀玉山地之间,末次冰期以来就存在一个区域性风沙—粉尘堆积体系。

进一步的野外调查发现,末次冰期鄱阳湖东北缘的区域粉尘堆积体系,可能跨越怀玉山地(图1)。本文将D-D断面^[11-12]向南延伸到鄱阳湖滨,增置了5个剖面(图1),彭学敏等^[12]已分析了其粒度变化特征,认为它们属于同一风沙—粉尘体系;本文主要分析其常量元素地球化学特征,揭示完整的区域粉尘堆积的特征,并将其与现代长江河谷漫滩、黄土高原马兰黄土、南京下蜀黄土进行了比较,为粉尘堆积物源示踪研究提供一些思路和建议。

1 材料与方法

1.1 剖面描述与样品

鄱阳湖东北缘、长江南岸二级阶地上串珠状分布的沙山(图1),西起湖口,东至彭泽,以湖口柘机—沙湾和彭泽红光—芙蓉附近分布最广、沙层最厚^[13]。其南侧的下蜀黄土,灰黄色—浅棕黄色、均质、质地为粉砂或含黏土粉砂,由北而南碎屑颗粒明显变细,地

^①江西省重大生态安全问题监控协同创新中心项目(编号:JXS-EW-00)、国家自然科学基金(批准号:41262007)、鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室(江西师范大学)开放基金(编号:ZK2013003)与江西省研究生创新基金项目(编号:YC2012-S050)联合资助
收稿日期:2014-09-15;收修改稿日期:2014-12-29

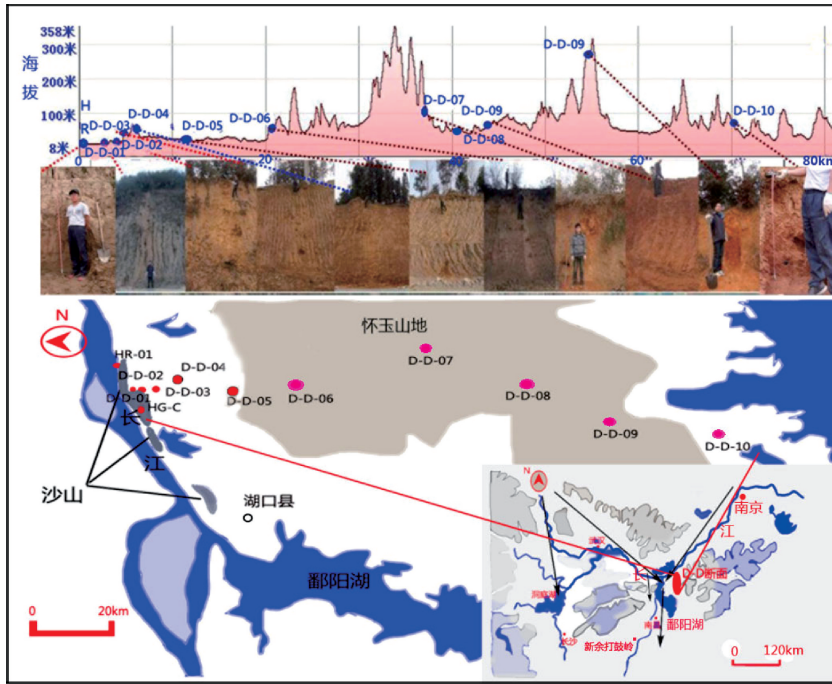


图1 断面位置分布及高程示意图

Fig.1 Location and altitude of profile in the study area

层厚度也逐渐变薄;在怀玉山前异常增厚,进入怀玉山地,突然减薄、颜色显著加深,到鄱阳湖滨的左桥(D-D-09)和周溪(D-D-10)剖面接近棕红色^[13](图1)。就地层接触关系而言,沙山南翼的下蜀黄土,部分往往被沙山所覆盖;向南,多以帽覆式披于低山、丘陵的均质红土或网纹红土之上,与九江附近的下蜀黄土地貌分布相似,表现出明显的风成堆积特点^[12-14]。

彭学敏等对本断面的研究共涉及12个剖面^[12],本文涉及其中11个,即去除七里桥剖面,并将沙港砂山剖面(F-Z-01)作为独立剖面,命名为HG-C,以便探讨D-D断面沙山砂、下蜀黄土区分以及与现代长江河漫滩沉积的元素化学特征。剖面描述详见彭学敏(2014)。每个剖面下蜀黄土层均以等间距采集6~12个样品,共118个。同时,在黄土高原渭南丰原、南京燕子矶(YZJ)剖面、彭泽芙蓉现代长江河漫滩(HR),分别采集10个黄土样品(马兰黄土)、15个下蜀黄土和10个长江河漫滩沉积样品,做对比分析。

1.2 实验方法

取适量样品,经去离子水浸泡12h,加入过量30%双氧水,去除有机质,运用湿筛法过800目(20 μm)网筛,取网筛下部样品烘干,经玛瑙研钵后,过200目网筛,取研磨后的样品约4g压制成直径40mm,厚约5mm的圆片,上机进行XRF元素测试分

析。每10个样品加一个平行样,以检验测试结果的稳定性。实验在江西师范大学物理与化学实验中心完成,所用仪器为德国S4PIONEER X射线荧光光谱仪。此仪器对Na、Ca元素的检测误差为5%、1%左右,对Zr、Fe、K、Si、Al、Mg、Ti的误差均小于1%。

2 结果与分析

测试结果显示,Na、Ca元素在试样与平行样之间的相对误差分别为5.5%~5.0%、1.2%~0.8%,而Zr、Fe、K、Si、Al、Mg、Ti等的相对误差均不足1%,达到了测试技术要求。

结果表明,D-D断面下蜀黄土<20 μm 的粒度组份,主要元素成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 ,三者质量百分含量总量达80%~90%,平均为85.3%。南京燕子矶下蜀黄土 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 为80%~83%,平均为81.3%。二者显著高于长江河漫滩(77.2%),渭南黄土(70.9%),西峰黄土(79.1%);但低于风化较强烈的安徽宣城网纹黄土(95.1%)^[9]。

SiO_2 质量百分比含量,D-D断面介于56.9%~66.7%之间,平均为65.2%,与西峰黄土相近(63.1%)与南京燕子矶下蜀黄土(60.18%);长江河漫滩,介于50.4%~58.5%之间,平均为54.7%,与渭南(52.5%)较为接近;均低于土地壳平均含量(66.6%)^[15]。

表1 风成体系各剖面常量元素氧化物平均含量(wt%)
Table 1 Some constant oxide content of D-D section (%)

剖面(profile)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	CaO	TiO ₂
D-D 断面砂样平均值	64.83	14.03	4.36	2.72	1.42	1.48	0.86	0.77
D-D 断面黄土样均值	64.73	13.93	4.43	2.54	1.51	1.45	1.14	0.80
长江河漫滩(HR)	54.74	15.75	6.70	2.97	2.21	0.84	4.53	1.03
西峰黄土(XF)	63.07	18.38	7.68	3.84	3.53	1.26	1.27	0.84
渭南黄土(WN)	52.52	12.99	5.34	2.77	2.42	1.29	9.06	0.78
南京燕子矶(YZJ)	60.18	15.69	5.44	2.63	1.45	0.91	1.13	0.84
上部陆壳(UCC)	66.6	15.20	5.0	3.4	2.20	3.90	4.20	0.5

注:上陆壳 UCC 数据来自文献[15],西峰黄土数据来自文献[9]。

Al₂O₃质量百分比含量,D-D 断面介于 11.5%~17.9%之间,平均为 14.0%;南京燕子矶下蜀黄土,介于 15.1%~16.5%之间,平均为 15.7%;长江河漫滩介于 12.1%~18.2%之间,平均为 15.8%。均介于西峰(18.4%)和渭南(13.1%)(表1)之间。Fe₂O₃则表现出大致与 Al₂O₃相似的变化特征。

总体而言,相对于上陆壳(UCC),D-D 断面铁、铝与硅均略低;长江河漫滩、南京燕子矶具有富铁铝、贫硅;渭南黄土具有富铁、贫铝硅特点。也就是说,铁铝并不富集而硅具有一定程度的亏损。

由 Base/K 比值与 CIA 值所表示的 D-D 断面化学风化^[16-17],由北而南逐渐增强,D-D-01~D-D-05(怀玉山地以北)五个剖面,均经历了中等强度的风化,与南京燕子矶下蜀黄土相仿;怀玉山地及其以南的剖面,均经历了更强烈的化学风化淋溶,CIA 达到 88~92,均比沙山和长江河漫滩沉积物要高。

A-CN-K 图解是反映化学风化趋势以及化学风化过程中主要矿物与元素成分变化的常用方法^[18-19]。D-D 断面、长江河漫滩(HR)与沙山(HG)^[3]样品排列成基本上与 A-CN 的风化趋势线平行的一条线上;这一方面反映了上述区域物质组成的高度均一性,另一方面也证明了粉尘物质具有物质成分的相似性。燕子矶(YZJ)与渭南(WN)黄土同样分布在这条线上。这一现象反映其母质正处在以斜长石的脱 Ca 和 Na 为主的化学风化淋溶过程,在靠近 A-K 连线时,以燕子矶下蜀黄土和 D-D 断面为主的样品连线向左倾斜,而意味着钾长石的脱 K 过程已经开始。据此,我们认为 D-D 断面的化学风化已基本完成早期阶段的去 Ca,Na 风化过程,并初步进入中期的去 K 风化阶段^[18]。

D-D 断面元素成分与距离长江的关系 活动性元素(如 Na₂O、CaO、K₂O、MnO₂、SrO₂、Rb₂O 等)呈负对数变化,而稳定、次稳定元素(如 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、

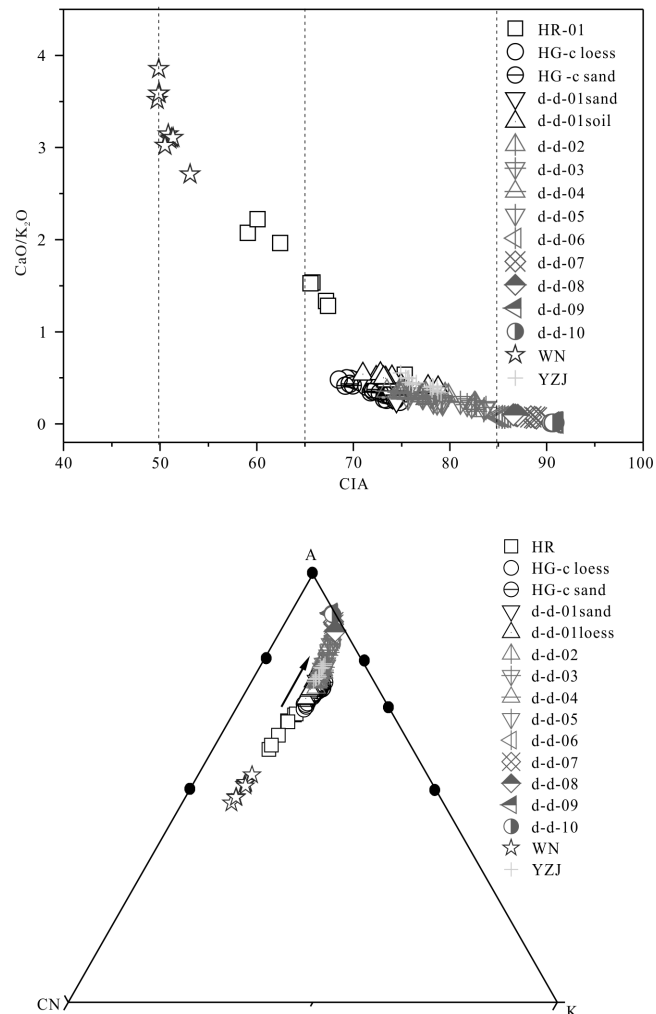


图2 CIA(%)与Base/K₂O度散点图、
A-CN-K 化学风化程三角图

图中:A=Al₂O₃;CN=CaO*+Na₂O;K=K₂O;Base=CaO+MgO+Na₂O+K₂O
Fig.2 Scatter diagram of CIA vs. Base/K₂O molar ratio and
A-CN-K ternary diagram of the D-D section in north Poyang
Lake region loess (arrows indicating weathering trend)

TiO₂、ZrO₂等)呈正对数变化。这种对数关系变化揭

示,距离物源地长江河谷 5~20 km 是个特征距离,在这个范围内,元素成分以及剖面厚度变化剧烈,随后便基本趋于稳定(图 3)。

D-D 断面这种元素成分随距离的变化模式,与北美大河流域区域性风沙—风尘堆积的变化模式基本一致^[20-21]。在北美的密西西比河及其支流密苏里河流域,在末次冰期环境下,存在区域性风沙—粉尘堆积体系。Muhs *et al.*^[20-21] 揭示,从物源地(现代河谷)到下风方向上,区域性风沙—粉尘堆积体系中的各种类型的参数(包括粒度、堆积物厚度、元素含量等)均

具有随着距离的变化呈现对数变化特点。这与 D-D 断面所揭示的区域风沙—粉尘体系的特点是相同的。这进一步揭示,在赣北地区,确实存在区域性风沙—粉尘堆积体系。

不过,与处在 41°N 的纬度上环境寒冷干燥的北美体系相比,处在 30°N 的气候温暖湿润东亚季风区的赣北体系还是表现出少许不同,这主要体现在一些次稳定元素,例如 K₂O 和 Rb₂O。在北美体系中,K₂O 和 Rb₂O 呈正对数函数关系,而在赣北体系中,它们呈负对数关系(图 3)。

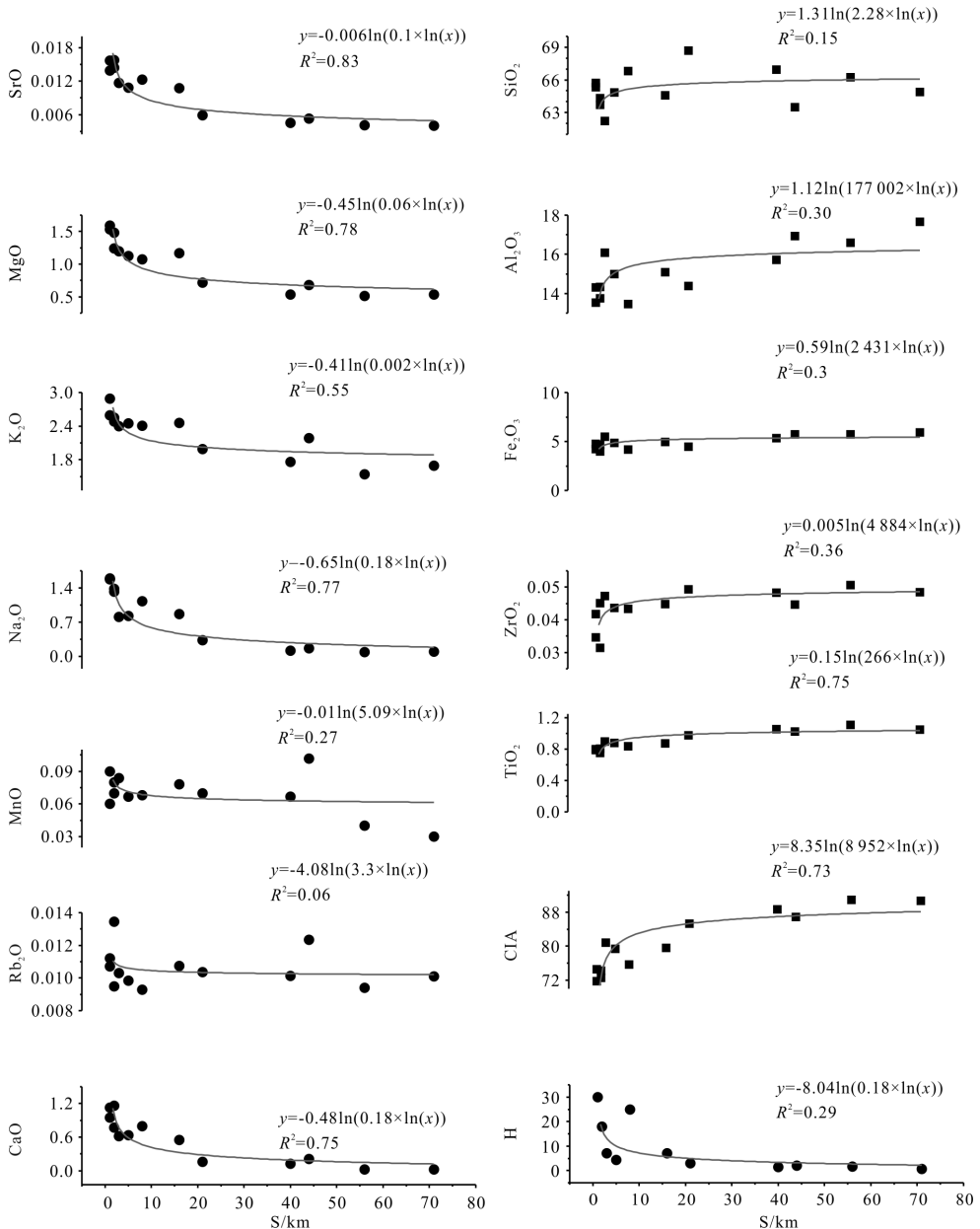


图 3 D-D 断面各剖面常量元素 (wt%) 及其距离相关性图

Fig.3 Correlation diagram of major element (wt%) vs. distance south of Yangtze River in D-D section

注:S 为与长江的距离,H 为剖面厚度,CIA (%) 计算参照文献[17]

3 讨论

在表生过程中,不同的矿物具有不同的抗风化能力,譬如普通辉石($(Ca, Mg, Fe)_2[Si_2O_6]$)、普通角闪石 $\{Ca_2(Mg, Fe^{2+})_4(Al, Fe^{3+})[Si_7, Al]_{22}(OH)_2\}$ 、斜长石($Na[AlSi_3O_8] \sim Ca[Al_2Si_2O_8]$)及黑云母($K(Mg, Fe^{2+})_3(Al, Fe^{3+})Si_3O_{10}(F, OH)_2$)等抗风化能力较弱,白云母($KAl_2[Si_3AlO_{10}](OH, F)_2$)、钾长石($K_2[Al_2Si_6O_{11}]$)等抗风化能力较强。这种差异性风化表现在:①初级化学风化, Ca、Mg、Fe、Na 等首先游离出来,随水淋失;②中等化学风化,随着钾长石风化, K 被游离出来,但它往往被黏土矿物吸附,滞留在风化壳中。Fe 被氧化成 Fe_2O_3 (赤铁矿),也很难被淋失; Al 存在于蒙脱石、水云母、高岭土等黏土矿物甚至铝土矿中,同样滞留于风化壳中,相对富集^[22];③石英、金红石(TiO_2)和锆石(ZrO_2)等矿物,性质极其稳定,基本上不参与一般程度的风化过程。因此,滞留在原地的碎屑颗粒中的 K、Al、Ti、Zr 与石英等相对富集,其配比能够较好地反映母岩及其源区的元素组成特征^[15, 23-26],这是利用地球化学方法进行物源示踪的基本思路。

但是源区地球化学元素被流水搬运或者被风吹蚀搬运到一定距离上,在多大程度上能反映源区的元素地球化学组成? 学界并没有对这一问题进行过详细的定量论述。

D-D 断面,由于这些相对稳定的元素呈现随着距源区的远近而有规律的函数变化关系,因此各元素对(图4)及各元素比值之间的散点图(图5),同样表现出有规律的系统性的逐渐变化。从近源区的 D-D-01 到远离源区的 D-D-10,其相互之间的“元素地球化学距离”还是较大的。也就是说,这种区域粉尘体系,物质在搬运过程中,元素物质还是经过了一定程度的“分选”。

将长江河漫滩(HR)、渭南黄土(WN)、南京燕子矶下蜀黄土(YZJ)投影到图4与图5中,得到图6与图7。我们发现,它们与 D-D-02~D-D-05 样品具有更为密切的联系,而与 D-D-06~D-D-10 保持一定的距离。众所周知,渭南黄土与南京燕子矶下蜀黄土,分别只是黄土高原和宁镇地区粉尘堆积系统的一个环节^[27-28]。在它们各自的粉尘体系里,地球化学元素组成在不同的粉尘搬运距离上,具有系统性的是变化的,就像 D-D 体系一样。对黄土高原的黄土地球化学的研究,刘东生、徐树建等曾就此展开过论述^[27-28]。

由于粉尘堆积来自于岩性较为单一的铝硅酸盐上陆壳,如果这些物质经历了长距离的搬运(例如经过长江、黄河这种大河的搬运到中下游,或经西风带从中亚内陆造山带长距离搬运到黄土高原),其化学成分经历了高度混合,若再经风成搬运与分选,其地球化学元素组成也会产生分化与分异。其风成体系中近源区的粉尘堆积(20 km 范围之内),颗粒组成,

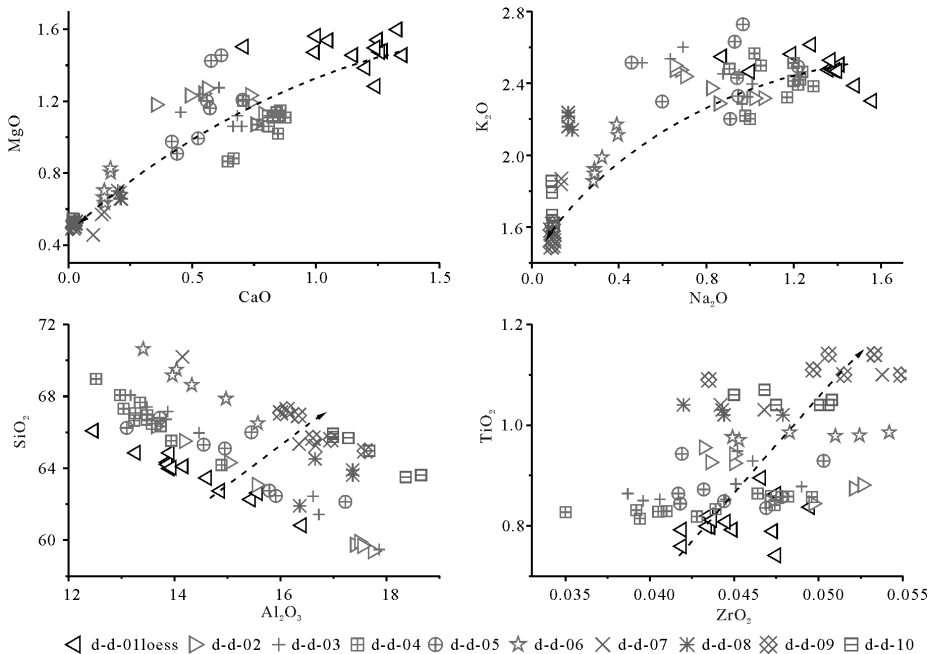


图4 D-D 断面下蜀黄土常量元素散点图(wt%)

Fig.4 Scatter diagrams of major elements for D-D section

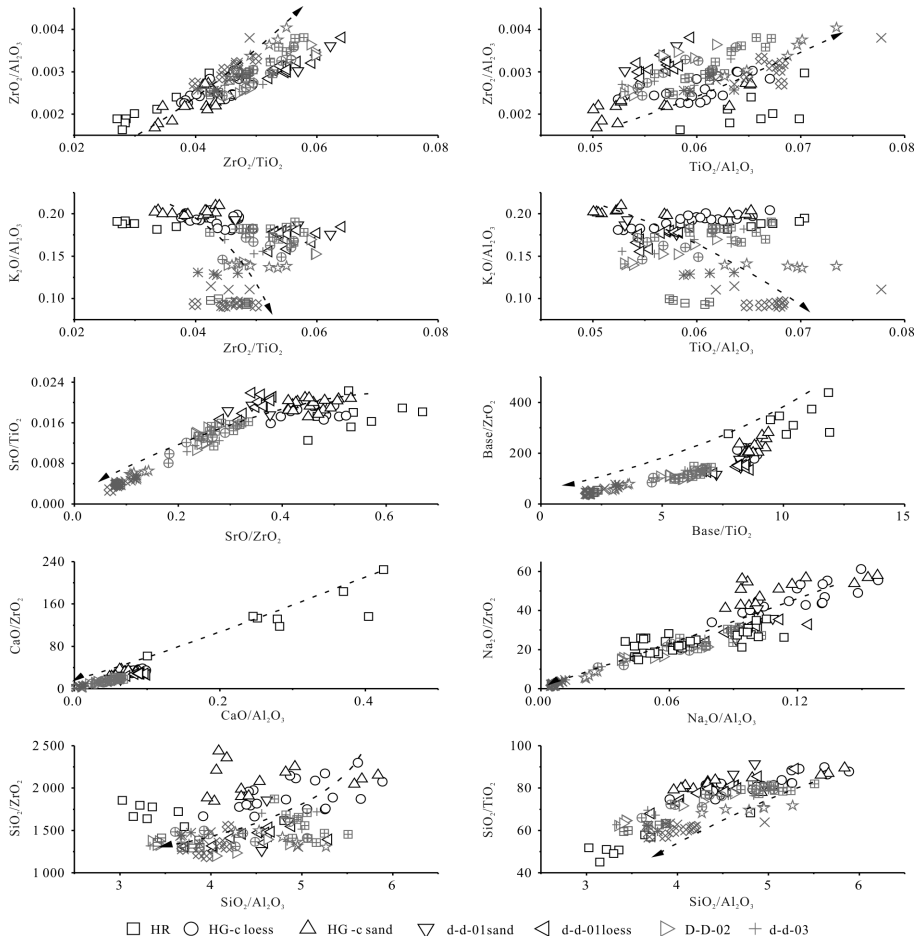


图5 D-D断面相对稳定元素比值散点图(wt%)

Fig.5 Scatter diagrams of ratio of immobile elements for D-D section

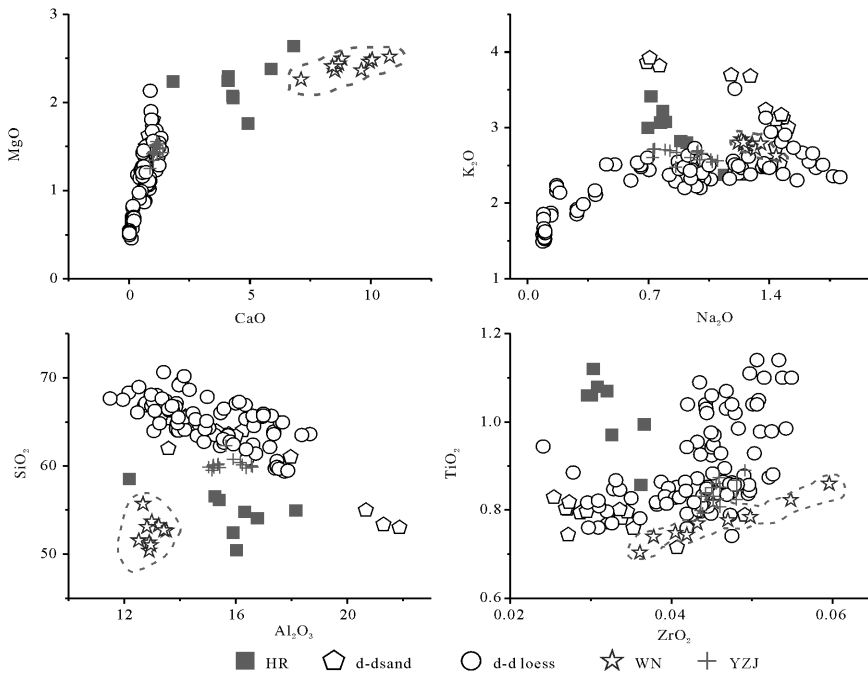


图6 D-D断面相对稳定元素散点图(wt%)

Fig.6 Scatter diagrams of immobile elements for D-D section

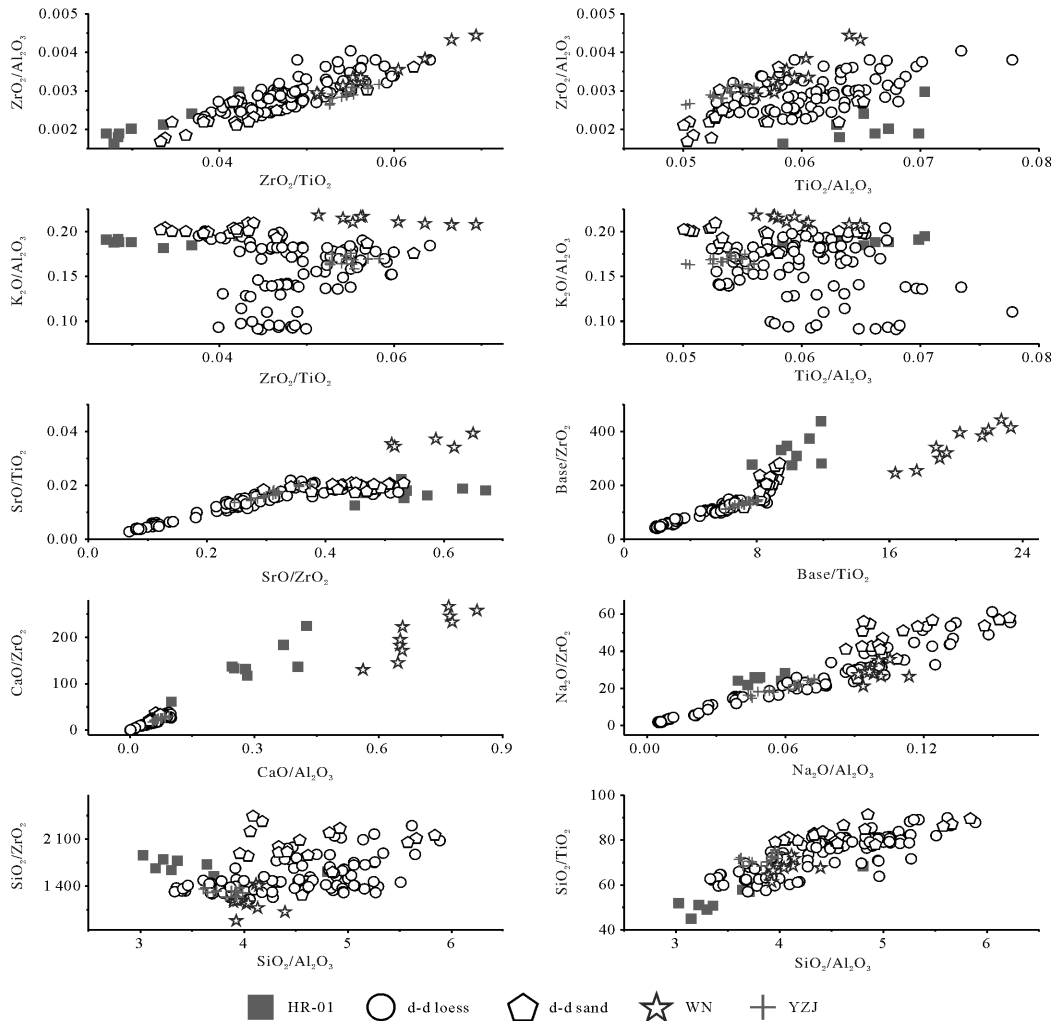


图7 D-D断面相对稳定元素比值散点图(wt%)

Fig.7 Scatter diagrams of immobile elements for D-D section

就像我们经常所指的粉砂物质占优势的黄土堆积^[11-12],这在北美的相对简单的风沙—粉尘体系中也是如此^[19-20]。它的常量元素地球化学组成是相似的,对它的示踪,可能经常会得出无效结论。

因此,尽管渭南与南京、与赣北相距遥远,即使在末次冰期环境下,粉尘堆积物质也不可能有密切的联系,这种情况 Hao *et al.*^[9]曾有过论述。但是渭南黄土与燕子矶下蜀土常量稳定元素示踪,却发现它们与D-D断面的许多剖面具有密切关系,原因可能就在于它们处在不同区域粉尘堆积体系的基本相同或相似的位置。故利用地球化学元素进行元素示踪,需要谨慎从事。

4 结论

基于D-D断面风沙—粉尘堆积体系元素地球化

学特征研究,以及与长江河漫滩沉积物(HR),北方渭南黄土(WN)、南京下蜀土(YZJ)的对比分析,可以得出以下初步认识:

(1) 末次冰期以来,鄱阳湖东北缘存在完整的风沙—风尘体系。自北而南,D-D断面沙山砂、下蜀黄土的地球化学元素组份具有高度均一性,粉尘物质成分相似;剖面厚度总体呈递减趋势,但在平原向丘陵山地过渡带(距离长江河谷约20 km)剧烈波动,体现出风尘堆积受地形影响较大的特征,有力地指示了D-D断面的风成特点。

(2) 自北而南,元素含量具有系统性对数模式变化特征。SrO、Na₂O、CaO、K₂O、MnO、CaO呈负对数函数关系, SiO₂、ZrO₂、Al₂O₃、TiO₂及化学蚀变指数(CIA)呈正对数变化;也就是在距离长江河谷5~20 km的范围内,变化最为剧烈,随后趋于平稳。这使稳

定元素—稳定元素、次稳定元素—稳定元素、活动元素—稳定元素对散点图同样具有系统的变化特点,表明粉尘物质在搬运过程中,地球化学元素有一定程度的“分选”。显示 D-D 断面沙山砂、下蜀黄土具有高度同源性。这些特征进一步揭示它们属于同一粉尘堆积体系。

(3) 现代长江河漫滩沉积物、渭南黄土、南京下蜀黄土与 D-D 断面北端剖面 D-D-02~D-D-05 稳定元素组成极其相似,与 D-D-06~D-D-10 剖面则差异较大。这揭示了长江碎屑物质和粉尘堆积一样具有广泛的来源及高度混合性。渭南黄土和南京下蜀土也仅仅是不同区域粉尘堆积的一个组成部分,它们只是与 D-D 断面的某些沉积常量元素组成比较相似。本研究表明,利用常量元素地球化学方法进行粉尘物源示踪需要谨慎。

参考文献 (References)

- 1 杨达源. 江南的晚更新世风成砂丘[J]. 中国沙漠, 1985, 5(4): 36-43. [Yang Dayuan. Aeolian dunes in the Late Pleistocene on the south bank at the mid-lower reaches of Yangtze River[J]. Journal of Desert Research, 1985, 5(4): 36-43.]
- 2 邹学勇. 赣江下游地区的风成沉积物[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 340-345. [Zou Xueyong. Aeolian sediment in down stream area of Ganjiang River, China [J]. Journal of Desert Research, 2001, 21(4): 340-345.]
- 3 Jia Yulian, Zhang Jingran, Lai Zhongping, et al. OSL dating of Aeolian sedimentary stratigraphy in the middle reaches of the Yangtze River and its environmental implications [J]. Quaternary Geochronology, 2012: 44-49.
- 4 席承藩, 张俊民. 中国土壤区划的依据与分区[J]. 土壤学报, 1982, 19(2): 97-109. [Xi Chengfan, Zhang Junmin. The soil regions of China[J]. Acta Pedologica Sinica, 1982, 19(2): 97-109.]
- 5 杨达源. 中国东部的第四纪风尘堆积与季风变迁[J]. 第四纪研究, 1991(4): 354-360. [Yang Dayuan. The Quaternary dust-fall accumulation and the monsoon variability in eastern China[J]. Quaternary Sciences, 1991(4): 354-360.]
- 6 吴艳宏, 羊向东, 王苏民, 等. 九江—彭泽一带砂山研究存在问题探讨[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(2): 103-106. [Wu Yanhong, Yang Xiangdong, Wang Sumin, et al. Discussion of existing problems on the research of the sand hill from Jiujiang to Pengze[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2000, 20(2): 103-106.]
- 7 李吉均, 张林源, 邓养鑫, 等. 庐山第四纪环境演变和地貌发育问题[J]. 中国科学(B辑), 1983, 13(8): 734-743. [Li Jijun, Zhang Linyuan, Deng Yangxin, et al. Problems of Quaternary environment and geomorphology evolutions for Mt Lushan[J]. Science in China, 1983, 13(8): 734-743.]
- 8 李徐生, 韩志勇, 杨达源, 等. 末次冰期鄱阳湖西南缘地区的风尘堆积[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(1): 101-108. [Li Xusheng, Han Zhiyong, Yang Dayuan, et al. Aeolian-dust deposit to the southwest of the Poyang Lake during the last glacial age[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(1): 101-108.]
- 9 Hao Qingzhen, Guo Zhengtang, Qiao Yansong, et al. Geochemical evidence for the provenance of middle Pleistocene loess deposits in southern China[J]. Quaternary Science Review, 2010, 29(23/24): 3317-3326.
- 10 张智. 末次间冰期以来赣北鄱阳湖地区风沙——风尘体系研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2013. [Zhang Zhi. The study of sand-loess system in the Poyang Lake region since Late Interglacial [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2013.]
- 11 胡亚萍, 贾玉连, 张智, 等. 粒度揭示的末次间冰期以来长江中游风沙——风尘体系[J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1324-1332. [Hu Yaping, Jia Yulian, Zhang Zhi, et al. Sand-loess system in the middle reaches of Yangtze River since late interglacial indicated by grain size[J]. Journal of Desert Research, 2013, 33(5): 1324-1332.]
- 12 彭学敏, 贾玉连, 胡亚萍, 等. 赣北芙蓉—周溪断面下蜀黄土粒度特征及其指示意义[J]. 热带地理, 2014(5): 663-671. [Peng Xue-min, Jia Yulian, Hu Yaping. The grain-size features and significance of Xiashu Loess profile of Furong-Zhouxi in the North Jiangxi province [J]. Tropical Geography, 2014(5): 663-671.]
- 13 景存义, 邱淑影. 湖口、彭泽沿江地区第四纪地层与砂山[J]. 南京师院学报: 自然科学版, 1980(2): 37-42. [Jing Cunyi, Qiu Shuzhang. The sand hill and the Quaternary layers along Hukou to Pengze region[J]. Journal of Nanjing Normal University, 1980(2): 37-42.]
- 14 吴锡浩, 徐和聆, 蒋复初, 等. 长江中下游地区网纹红土中撞击事件记录的首次发现与初步研究[J]. 地质地球化学, 1995(4): 83-86. [Wu Xihao, Xu Heling, Jiang Fuchu, et al. The first discovery and preliminary study of the meteorite event in the vermiculated red soil in the middle and lower Yangtze River[J]. Geology Geochemistry, 1995(4): 83-86.]
- 15 Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution[M]. London: Blackwell Scientific Pub., 1985: 277.
- 16 杨守业, 李从先, 李徐生, 等. 长江下游下蜀黄土化学风化的地球化学研究[J]. 地球化学, 2001, 30(4): 402-406. [Yang Shouye, Li Congxian, Li Xusheng, et al. Geochemical records of chemical weathering of the Xiashu Loess in the lower reaches of the Changjiang River [J]. Geochimica, 2001, 30(4): 402-406.]
- 17 Sheldon N D, Tabor N J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols [J]. Earth-Science Reviews, 2009, 95(1/2): 1-52.
- 18 陈骏, 安芷生, 刘连文, 等. 最近 2.5Ma 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. [Chen Jun, An Zhisheng, Liu Lianwen, et al. Variations in chemical compositions of the eolian dust in Chinese Loess Plateau over the past 2.5 Ma and chemical weathering in the Asian inland [J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2001, 31(2): 136-145.]
- 19 Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. Nature,

- 1982, 299(5885): 715-717.
- 20 Muhs D R, Bettis E A. Geochemical variations in Peoria Loess of western Iowa indicate paleowinds of midcontinental North America during last glaciation[J]. *Quaternary Research*, 2000, 53(1): 49-61.
- 21 Muhs D R, Reynolds R L, Been J, et al. Eolian sand transport pathways in the southwestern United states; importance of the Colorado River and Local sources[J]. *Quaternary International*, 2003, 104(1): 3-18.
- 22 李长安, 张玉芬, 熊德强, 等. “巫山黄土”常量元素地球化学特征[J]. *地球科学*, 2013, 38(5): 916-922. [Li Chang'an, Zhang Yufen, Xiong Deqiang, et al. Major element Compositions of the “Wushan Loess”[J]. *Earth Science*, 2013, 38(5): 916-922.]
- 23 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. [Li Xusheng, Han Zhiyong, Yang Shouye, et al. Chemical weathering intensity and element migration features of the Xiashu Loess profile in Zhenjiang[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1174-1184.]
- 24 McLennan S M, Hemming S, McDaniel D K, et al. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics[J]. *Geological Society of America, Special Papers*, 1993, 284: 21-40.
- 25 操应长, 王艳忠, 徐涛玉, 等. 特征元素比值在沉积物物源分析中的应用——以东营凹陷王 58 井区沙四上亚段研究为例[J]. *沉积学报*, 2007, 25(2): 230-238. [Cao Yingchang, Wang Yanzhong, Xu Taoyu, et al. Application of the ration of characteristic elements in provenance analysis: A case study from the upper part of the fourth member of the Shahejie Fm. in the W58 area, Dongying depression[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2007, 25(2): 230-238.]
- 26 张玉芬, 邵磊, 熊德强. 巫山黄土元素地球化学特征及其成因和物源意义[J]. *沉积学报*, 2014, 32(1): 78-84. [Zhang Yufen, Shao Lei, Xiong Deqiang. Elemental compositions of the “Wushan Loess”: implications for origin and sediment source[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2014, 32(1): 78-84.]
- 27 刘东生. 中国的黄土堆积[M]. 北京: 科学出版社, 1965: 1-244. [Liu Dongsheng. *The Loess Deposits in China*[M]. Beijing: Science Press, 1965: 1-244.]
- 28 徐树建. 晚第四纪我国风尘堆积的区域对比研究[M]. 济南: 山东人民出版社, 2012: 1-248. [Xu Shujian. *Comparion Study on the Aeolian Dust of China in the Late Quaternary*[M]. Jinan: Shandong People's Publishing House, 2012: 1-248.]

Geochemical Characteristics of Loess from Northeast of Poyang Lake since Last Glacial and Its Provenance Implications

LONG Jin¹ JIA YuLian^{1,2} ZHANG Zhi¹ PENG XueMin¹ LING ChaoHao¹ WANG PengLing³

(1. School of Environment and Geography Jiangxi Normal University, Nanchang 330022;

2. Key Laboratory of Poyang Lake Wet Land and Watershed Research, Nanchang 330022;

3. Laboratory for Climate Studies, CMA, Nation Climate Center, Beijing 100081)

Abstract: The sandy hill sand and loess deposits constitute the regional sand-loess system, which are widely distributed in the middle reach of Yangtze River especially in the Poyang Lake area since the last interglacial. A transect named D-D transect was set from north to south along with the winter monsoon direction. The <20 mm grains extracted from bulk sample on the basis of wet-sieve methods were used to measure major and trace element abundances by XRF. Our results reveal that: (1) The content of major element has a systemic change from north to south. The changes are most pronounced within the range of 5 to 20 km away from the Yangtze River, and then level off. SrO, Na₂O, CaO, K₂O, MnO, CaO are of negative logarithmic function changes, SiO₂, ZrO₂, Al₂O₃, TiO₂ and CIA are of positive logarithmic function changes; The profiles of D-D transect seem to have a similar source displayed by the scatter diagrams of ZrO₂/Al₂O₃ vs. ZrO₂/TiO₂, TiO₂/Al₂O₃ vs. TiO₂/ZrO₂, K₂O/Al₂O₃ vs. ZrO₂/TiO₂, K₂O/TiO₂ vs. ZrO₂/Al₂O₃, SrO/TiO₂ vs. SrO/Al₂O₃, Base/ZrO₂ vs. Base/TiO₂, etc. These characteristics further reveals that all of the profiles in D-D transect belong to the same aeolian deposits system. (2) The stable elemental compositions of the D-D transect are similar to the WN loess, Xiashu loess, and sediment of flood land of the Yangtze River, these results reveal that aeolian deposits and the Yangtze River sediment have a rich source and over-commixing. Therefore, it is suggested that the factors on chemical composition of clastic sediment should be fully studied when geochemistry methods are used to analyze the province and depositional setting, and multiple methods can be synthetically used and the study on regional geology should be paid more attention.

Key words: Northeast Poyang Lake; Xiashu loess; D-D transection; geochemical characteristics; sand-loess system