

doi:10.19509/j.cnki.dzkq.2018.0605

曹宏伟,郑祥民,周立旻,等.豫南黄土粒度和常量元素地球化学特征及其对物源的指示意义[J].地质科技情报,2018,37(6):37-45.

豫南黄土粒度和常量元素 地球化学特征及其对物源的指示意义

曹宏伟,郑祥民,周立旻,任少芳,玄晓娜,吴超,刘力

(华东师范大学地理科学学院地理信息科学教育部重点实验室,上海 200241)

摘要:选取豫南驻马店地区埋藏黄土样品进行了粒度、常量元素化学测试分析,探讨了其成因与物源。结果表明:驻马店黄土的粒级组分以粉砂为主,分选较差,峰态中等。粒径频率曲线以双峰为主,而且主峰突出;常量元素分析显示,驻马店黄土来源广泛并且经过了充分混合,化学风化作用处于中等风化阶段;沉积环境判别显示,驻马店黄土大部分为典型的风成成因,但部分层位可能受到古洪水带来的河流相物质的影响;结合黄土粒度与豫东地区风场模拟分析发现,驻马店与黄土高原黄土物源有所差异,驻马店黄土中的粗颗粒是近源风尘沉积物,主要来源于黄河下游泛滥造成的风沙带,受控于冬季豫东地区近地面盛行的东北风。豫南黄土是中国黄土的重要组成部分,深入了解该套沉积物的成因与物源对于研究该地区古环境具有重要意义。

关键词:驻马店黄土;粒度;常量元素;物源

中图分类号:P595

文献标志码:A

文章编号:1000-7849(2018)06-0037-09

中国黄土具有分布广泛、沉积连续、堆积时间长的特点,是记录第四纪古气候和古环境变化的良好载体^[1-2],过去几十年大量学者对黄土高原的黄土—古土壤序列进行了深入研究,在成因、物源、古气候方面取得了一系列重要成果^[1-14]。近年来,越来越多学者开始关注黄土高原以外的黄土沉积物,试图探索这些黄土沉积物的成因和物源,以期为区域古气候环境研究打下坚实基础。一些学者^[15-21]对邙山黄土进行详细研究后认为:邙山黄土来源于黄河下游河漫滩物质。另一些学者^[22-26]基于淮河上游全新世黄土的研究同样认为其来源于黄河切穿三门峡后形成的巨大冲积扇。张华^[27]对大别山黄土—古土壤的成因进行研究后发现其既有水成搬运堆积,也有风力堆积。

通过野外考察发现以驻马店为代表的豫南地区存在的大量埋藏黄土研究很少,目前仅在工程地质方面有少量研究^[28-29]。驻马店位于我国中东部地区,处于大别山北侧,大别山与西部的秦岭一起横亘于我国中部,是中国南北地理格局和气候带的分界线,对气候变化有着比较明显的响应。因此,该地沉积的巨厚埋藏黄土可能在研究区域气候变化上具有

很大潜力,而深入理解该套沉积物的沉积动力和物质来源有助于挖掘这一潜力。

笔者拟结合沉积学、地球化学、气候动力学方法对豫南驻马店黄土进行研究;通过分析该套沉积物的粒度和常量元素地球化学特征,并与黄土高原黄土—古土壤进行对比研究,同时结合区域风力场来揭示豫南黄土的沉积动力特点及其物质来源。

1 研究区概况

研究区位于豫南地区,沙颍河以南、大别山以北的豫南平原、丘陵地区,属于暖温带—北亚热带季风气候,年平均气温一般在12~16℃之间,一月—3~3℃,七月24~29℃;年平均降水量约为750 mm,南部及西部山地较多,全年降水的50%集中在夏季,常有暴雨。该区域以厚层黏性土、粉土组成的风积地层为主,厚度15~50 m。分布面积约 3.5×10^4 km²,除了河流冲积破坏外,绝大部分出露地表,出露面积大于 2×10^4 km²^[28-29]。

本研究采样点位于驻马店市的西北郊区,海拔135 m,经纬度114°5′27″N,32°56′18″E,见图1。

收稿日期:2018-03-13

编辑:刘江霞

基金项目:国家自然科学基金项目(J1310028;41371032)

作者简介:曹宏伟(1993—),男,现正攻读自然地理学硕士学位,主要从事第四纪环境演变研究工作。E-mail:695118384@qq.com

通信作者:郑祥民(1959—),男,教授,主要从事第四纪环境演变研究工作。E-mail:xmzheng@re.ecnu.edu.cn

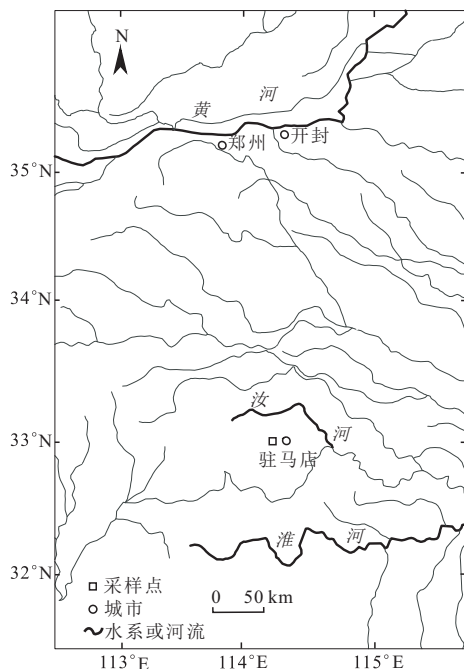


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of sampling sites

2 样品采集和测试方法

2.1 剖面特征

钻孔取样所得岩心长 34.8 m, 根据颜色、性状观测: 表层 30 cm 为现代耕作土壤, 人为改造痕迹明显, 其下至底部均为黄土—古土壤沉积序列, 整体呈现褐黄色/黄褐色, 将钻孔样品放在实验室观察, 可分为 12 层, S 表示古土壤, L 表示黄土, 详见图 2。

驻马店黄土样品在室内以 10 cm 等间距采样, 共采集得到 345 个样品, 所有样品经过 35℃ 恒温烘

干后进行粒度和常量元素测试, 具体步骤如下。

(1) 粒度测试 称取 0.2 g 代表性干样放入 50 mL 烧杯中, 加入 10% H_2O_2 溶液 10 mL, 在 180℃ 电热板上煮沸, 使其充分反应以去除有机质, 冷却后加入 10% HCl 溶液 10 mL, 在 180℃ 电热板上煮沸, 使其充分反应以去除碳酸钙, 冷却后在烧杯中注入蒸馏水并且静置一夜, 再抽去蒸馏水, 加入 2% 六偏磷酸钠溶液 10 mL, 放入 RQ-250DB 型数控超声波清洗器震荡 10 min。测试仪器为英国马尔文公司生产的 Malvern 2000 型激光粒度仪, 测试范围 0.01 ~ 2 000 μm , 重复测量误差 $< \pm 1\%$ 。

(2) 常量元素测试 取出部分烘干后的样品在玛瑙研钵中研磨, 然后过 0.154 mm (100 目) 筛去除大颗粒, 尽量保证样品充分混合, 再将研磨好的样品装入 6 号自封袋中, 按照次序编号, 然后称取约 6 g 样品加入塑质圆环中, 在压饼机上将样品压成圆环状上机待测。部分常量元素含量采用日本岛津公司生产的 XRF-1800 型 X 射线荧光光谱仪进行测试。测试前加入国家一级标准物质 GSD-9 进行质量控制, 误差控制在 5% 以内, 测量 3 次计算各元素的回收率, 所有样品测试的回收率都介于 98% ~ 104% 之间。以上测试都在华东师范大学地理科学学院完成。

3 结 果

3.1 粒度特征

3.1.1 粒径频率曲线特征

众数粒径是指含量较高的粒级所对应的粒径中值, 是搬运介质的主要动力在粒度上的表现, 具有较大的成因意义^[3,5]。驻马店黄土粒径的第一众数一般在 20~40 μm 之间 (图 3), 在细颗粒部分还存在超细粒组分, 约为 1 μm , 可能与成壤作用有关^[5]。从图 3 的粒径频率分布曲线可以看出, 驻马店黄土各层位粒径分布比较集中, 呈现双峰、正偏态特征为主, 部分样品的粒径频率分布曲线呈现多峰态。在图 4 中, 将此结果与以西安马兰黄土、榆林马兰黄土为代表的西北黄土、以镇江下蜀黄土为代表的东部黄土粒径分布特征进行比较后发现: 驻马店黄土与二者粒径分布特征相似。

3.1.2 粒级组成特征

为了方便与前人的研究成果进行对比, 本研究采用刘东生^[1]使用的粒径分组方法, 将驻马店黄土粒级分为 3 个部分, 砂组分 ($> 50 \mu m$)、粉砂组分 (5~50 μm)、黏粒组分 ($< 5 \mu m$) (表 1)。总体上看, 驻马店黄土的主要组分为粉砂, 其次是黏粒, 最少的是砂组分, 属于黏土质粉砂。从各组分的平均

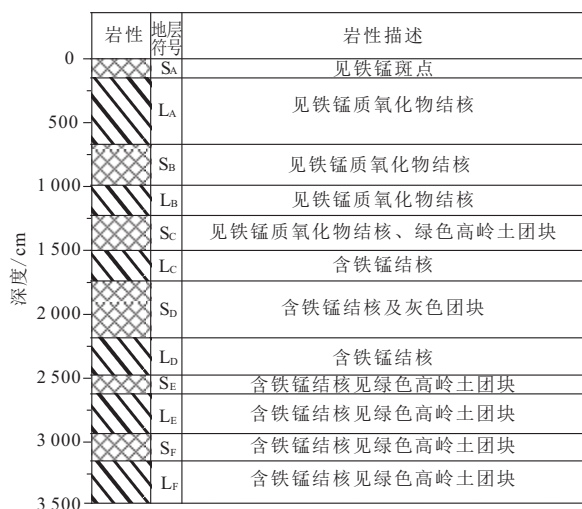


图2 沉积物岩性

Fig.2 Lithologic column

含量来看,驻马店黄土与西北洛川马兰黄土和东部黄土都没有明显区别,表明该地黄土的粒度组成与中国典型黄土并无二致(表 1)。

3.1.3 粒度参数特征

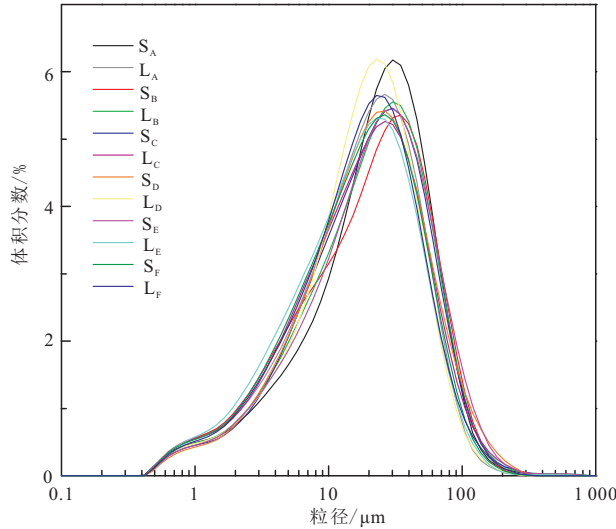


图 3 驻马店黄土各层位粒径频率分布曲线

Fig.3 Grain size frequency distribution curves of Zhumadian loess

粒度参数可以直观地表现出沉积物的粒度分布特征,可以反推出沉积物形成的沉积环境。笔者用 Folk 等^[30]的算法公式计算出平均粒径(M_z)、标准偏差、偏度(SK)、峰态(KG)(图 5)。

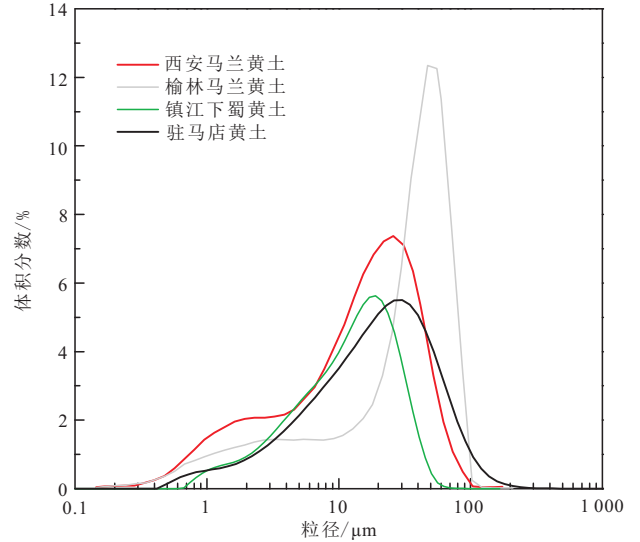


图 4 驻马店黄土与典型黄土粒径频率分布曲线

Fig.4 Grain size frequency distribution curves of Zhumadian loess and typical loess

表 1 各地黄土剖面粒度组成对比

Table 1 Comparison of grain size compositions

采样点	黏粒组分比例/%		粉砂组分比例/%		砂组分比例/%
	胶粒(<1 μm)	黏粒(<5 μm)	细粉砂(5~10 μm)	粗粉砂(10~50 μm)	砂(>50 μm)
驻马店	2.54	15.80	15.04	57.97	11.19
镇江 ^[29]	3.03	19.13	14.82	55.97	10.07
南京泰山新村 ^[17]		29.59	14.52	50.97	4.91
洛川马兰黄土 ^[1]	14.50	27.40	12.50	53.30	6.80

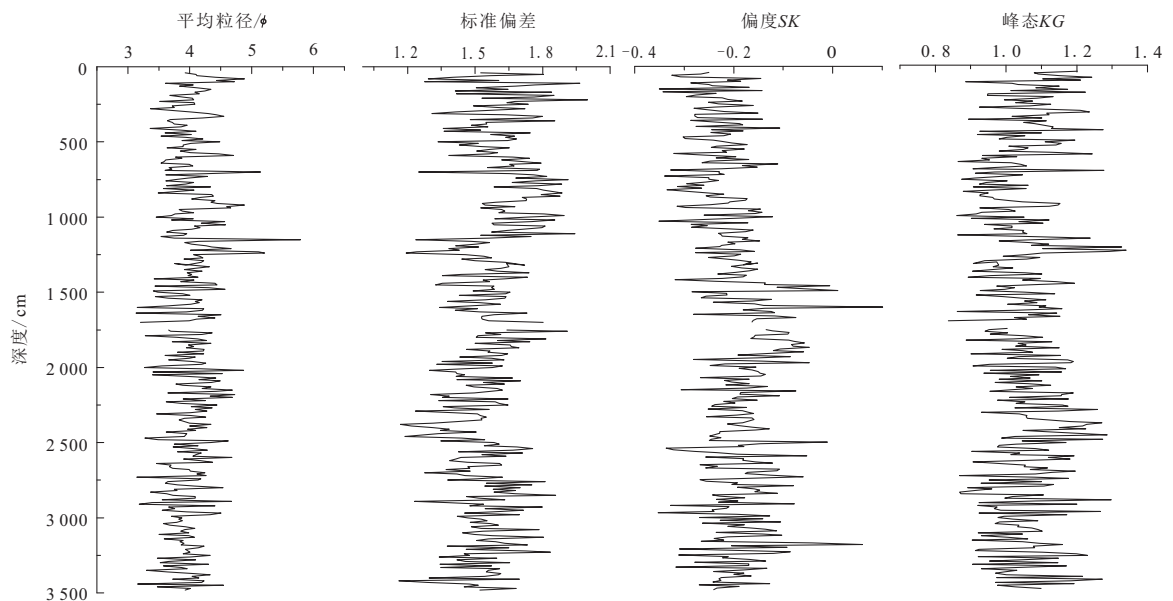


图 5 驻马店黄土粒度参数垂向变化

Fig.5 Vertical variation of the grain size parameters of the Zhumadian loess

前人对各种环境沉积物的粒度参数有过总结,发现黄土沉积物分选性较差,偏度大多数 <1 ,峰态中等(0.90~1.11)^[1-2]。驻马店黄土粒度参数(图 5)显示,驻马店黄土样品平均粒径在 3.13~4.88 ϕ 之间,平均 4.00 ϕ ,标准偏差介于 1.16~1.99 之间,平均 1.56,分选性较差。偏度介于-0.35~0.11 之间,平均为-0.19,属于负偏-极负偏,表明粒径集中于细端。峰态介于 0.83~1.34 之间,平均 1.05,属于中等^[31]。如果峰态很低,表明沉积物未经改造就进入了新环境,峰态中等表明驻马店黄土受到了一定的后期改造^[30]。

3.2 元素地球化学特征

3.2.1 常量元素含量特征

驻马店黄土的主要化学成分为 Si、Al 和 Fe,三

者之和为 87.2%,其中又以 Si 为主, $w(\text{Si})$ 平均为 66.14%(60.37%~80.29%), $w(\text{Al})$ 平均为 15.33%(11.95%~17.92%), $w(\text{Fe})$ 平均为 5.75%(3.84%~7.01%)(表 2)。而 K、Mg、Na、Ca 质量分数较低,平均值分别仅为 2.08%,1.58%,1.03%,1.34%。其质量分数顺序表现出 $\text{Si}>\text{Al}>\text{Fe}>\text{K}>\text{Mg}>\text{Ca}>\text{Na}$ 的规律(表 2)。上述元素质量分数在黄土层和古土壤中的变异系数(CV)较低,除 Mg 和 Na 的 CV 值分别为 0.11 和 0.18 外,其他元素质量分数的 CV 值均小于 0.10,说明古土壤与黄土的元素组成相似度较高,暗示两者有着相同的物质来源,即古土壤是黄土风化成壤改造的产物,具备风成黄土组成均一的特征^[29]。

表 2 驻马店黄土常量元素质量分数

Table 2 Major elements content of Zhumadian loess

采样点	Si	Al	Fe	K	Ca	Na	Mg
全剖面范围	60.37~80.29	11.95~17.92	3.84~7.01	1.47~2.54	1.07~1.51	0.59~1.45	0.98~1.85
均值	66.14	15.33	5.75	2.08	1.34	1.03	1.58
古土壤均值 $w_B/\%$	66.18	15.67	5.82	2.00	1.30	0.97	1.50
黄土层均值	66.11	15.15	5.72	2.15	1.36	1.06	1.63
变异系数 CV	0.04	0.06	0.08	0.09	0.06	0.18	0.11
洛川黄土 ^[14]	57.57	11.90	4.80	2.08	7.73	1.49	2.06
下蜀黄土 ^[33] $w_B/\%$	68.07	13.32	5.30	2.35	1.00	0.92	1.61
UCC ^[34]	66.00	15.20	5.00	3.40	3.90	4.20	2.20

3.2.2 常量元素分布模式特征

图 6 为驻马店黄土分层的常量元素 UCC 标准化结果。驻马店黄土内部分层的 UCC 标准化曲线十分相似,均表现为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 接近于 1.00,没有明显亏损或富集,表明驻马店黄土来源广泛并且经过了充分混合,因此与上部陆壳(upper

continent crust,缩写 UCC)^[32]的平均元素组分相近。从图 6 中还可以看出, Na_2O 的亏损最明显,这是黄土沉积物中斜长石矿物受到风化蚀变的结果。常量元素 UCC 标准化值 SiO_2 介于 0.98~1.03 之间, Al_2O_3 介于 0.92~1.12 之间, Fe_2O_3 介于 1.05~1.26 之间, K_2O 介于 0.57~0.66 之间, MgO 介于 0.

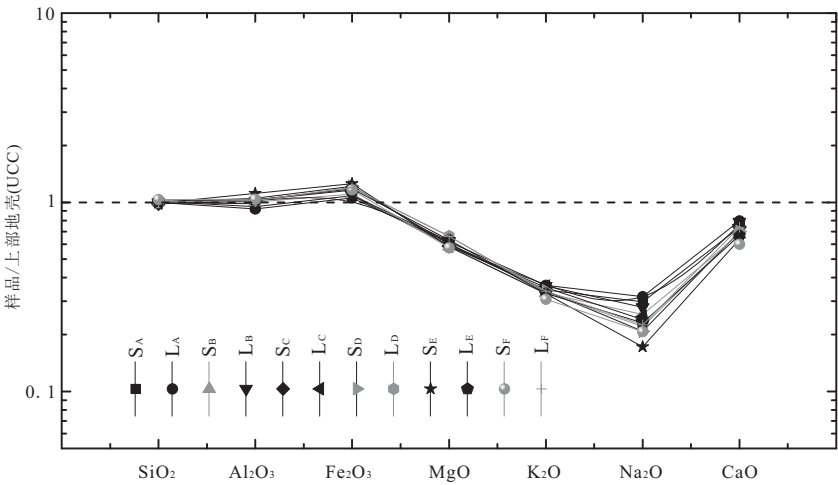


图 6 驻马店黄土分层常量元素 UCC 标准化曲线

Fig.6 UCC-normalized spider diagrams for major elements of Zhumadian loess

59~0.79 之间, Na_2O 介于 0.17~0.31 之间,除了 Na 以外,各常量元素 UCC 标准化值变异系数(CV)均小于 0.2。

4 讨 论

4.1 驻马店黄土成因

粉砂组分被称为黄土的“基本粒组”,驻马店黄土的粒度组成以粗粉砂($10\sim 50\ \mu\text{m}$)为主,这一组分比例高达 57.97%。这是风尘黄土的基本粒组,也是风尘黄土的重要标志之一。从粒度特征对成因的指示意义来看,黄土中的粗、细粒组分分别是由受到东亚季风主导的近地面气流与西风带控制的高空气流影响形成^[3],驻马店黄土也可能经过类似的风力搬运形成。

利用 Taylor 等^[33]对风成沉积与水成沉积判别经验公式:

$$Y = -0.568\ 8M_z + 3.701\ 6\sigma^2 - 2.076\ 6SK + 3.113\ 5KG$$

式中: M_z 为中值粒径; σ 为标准偏差; SK 为偏度; KG 为峰度。

鹿化煜等^[6]研究表明,典型风成沉积物环境判别参数皆小于零,而水成沉积物的环境判别参数都大于零。

驻马店黄土粒度的判别结果显示(图 7),判别参数波动较大,介于 $-10.78\sim 4.77$ 之间,平均值为 -1.54 , Y 大部分为负值,与风尘黄土的判别参数 Y 一致,少数判别参数为正值,与水成沉积物比较相似。环境判别参数 Y 值变化较大,波动明显,可能说明沉积环境不稳定,物质来源不唯一。

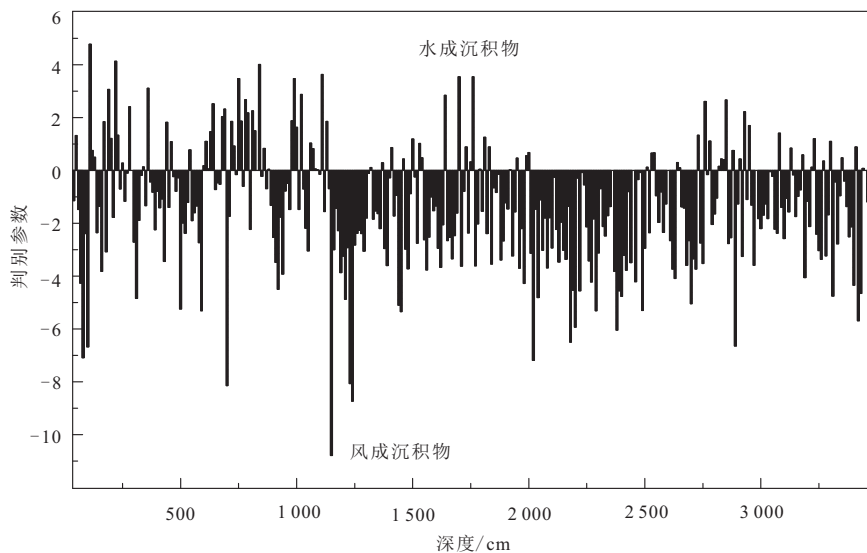


图7 驻马店黄土样品判别参数

Fig.7 Linear discriminant analysis results of Zhuamadian loess

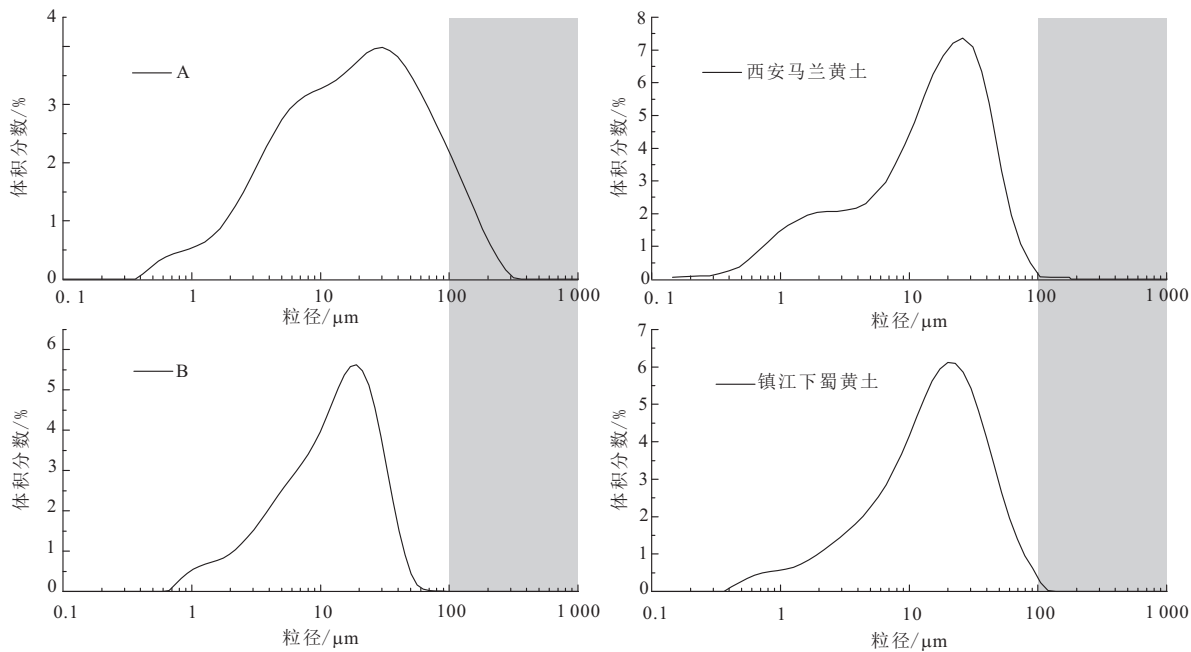
根据粒度判别参数分析结果,随机挑选出被判为风成沉积与水成沉积的黄土样品绘制其频率曲线(图 8)。其中被判定为水成沉积的黄土为三峰,被判定为风成沉积的样品与西安马兰黄土、镇江下蜀黄土同样为双峰型。被判定为水成沉积的粒径频率曲线上最突出的区别在于 $>100\ \mu\text{m}$ 的粒径区间(图 8 中灰色区域),被判定为水成沉积的黄土样品在这一区间有一明显的矮峰,而被判定为风成沉积的黄土样品则无。

Sun 等^[32]研究发现,不同沉积过程形成的沉积物,粒度曲线有差异,不同的峰代表着不同的搬运动力,例如单峰、双峰可能分别对应一种、两种搬运动力。对于被判定为水成沉积的驻马店黄土样品,应该有另外一种搬运动力对应于 $>100\ \mu\text{m}$ 粒度区间的矮峰。

依据现代气象记录结合其他学者的研究成果可以得知:汝河流域曾发生过堪称世界之最的 1975 年 8 月驻马店特大洪水事件。另外,也有学者在汝河流域野外考察同样发现了全新世古洪水滞流沉积物剖面^[34]。而本研究采样点位于平原,淮河支流汝河在附近流过,黄土沉积在雨季河水泛滥时可能接受了部分河流沉积物,导致环境判别参数 Y 值大于零。杨立辉等^[35]还提出了另一种可能,近源组分来自附近河漫滩沉积物的风力二次搬运,沉积后保留了一部分河漫滩沉积物的粒度特征。

4.2 驻马店黄土化学风化程度

化学蚀变指数(CIA)是反映化学风化程度的常用指标^[36-39],CIA 值越大,说明经历的风化作用越强,其公式为: $CIA = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})] \times 100\%$ ^[40]。式中:各项均为氧化



A.被判定为水成沉积的黄土;B.被判定为风成沉积的黄土

图8 驻马店黄土与典型风成黄土的粒径频率曲线

Fig.8 Grain size frequency curves of Zhumadian loess and typical loess

物分子摩尔数; CaO^* 指存在于硅酸盐矿物中的 CaO 摩尔分数。驻马店黄土中 CIA 值波动明显, CIA 值介于 71.09~82.64 之间, 所有黄土层 CIA 均值为 76.92, 所有古土壤层 CIA 均值为 78.45, 古土壤层的 CIA 均值明显高于黄土层, 说明古土壤形成过程中经历了更强烈的化学风化作用, 长石蚀变成黏土矿物的程度高, 表明这一期间气候暖湿, 有利于化学风化的进行; 而黄土层形成时期化学风化作用比较微弱, 不利于长石的蚀变, 风化成壤程度弱。剖面中不同层位 CIA 值的变化实际上反映了黄土沉积过程中经历的风化成壤强度差异^[40]。

$\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值 (分子摩尔比) 是衡量样品中斜长石风化程度的指标, 与其化学风化程度成反比^[38,40]。将 CIA 值以及 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值投点到图

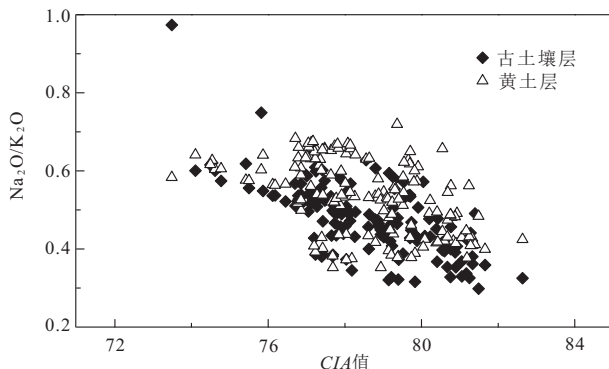


图9 驻马店黄土化学风化参数 CIA 与 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 散点图

Fig.9 Scatter diagram for CIA vs. $\text{Na}_2/\text{K}_2\text{O}$ molar ratio of Zhumadian loess

9 中, 可以看出, 驻马店黄土样品的 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值与 CIA 指数呈明显的负相关。

Nesbitt 等^[41] 依据质量平衡原理、长石淋溶实验和矿物稳定性的热力学计算而提出大陆化学风化趋势预测的 A-CN-K (即 $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}$) 三角模型图, 这一模型可以比较准确地反映出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。图 10 显示, 驻马店黄土与西北洛川黄土、镇江下蜀黄土的数据点非常接近, 这一特征说明驻马店黄土有可能与西北洛川黄土、镇江下蜀黄土同样起源于广泛的上部陆壳^[31]。西北洛川黄土的风化趋势线大致与 CN-A 边平行, 说明剖面中的斜长石受到了较强的风化分解, 易溶元素 Ca 、 Na 大

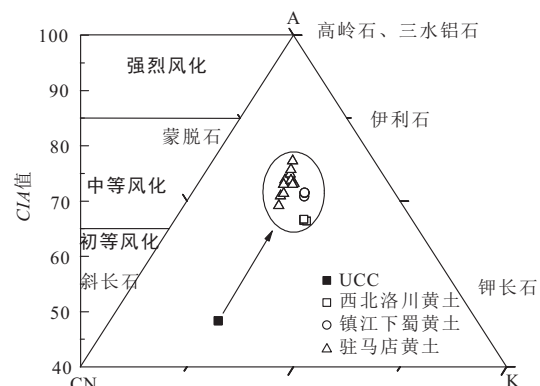


图10 驻马店黄土 A-CN-K 化学风化趋势图 (箭头表示风化趋势)

Fig.10 A-CN-K ternary tendency diagram of chemical weathering for Zhumadian loess

量流失, Ca、Na 的流失率从西北洛川黄土→驻马店黄土→镇江下蜀黄土逐渐增大, 而钾长石含量相对稳定。与西北洛川黄土相比, 一方面驻马店黄土的数据点更接近 A—K 连线, 反映出驻马店黄土在化学风化时硅酸盐矿物(如长石)经历了更强的风化过程, 斜长石的 Ca、Na 流失程度更为明显; 另一方面, 驻马店黄土的数据点比西北洛川黄土有更偏向 CN—A 连线的趋势, 说明驻马店黄土中的钾长石也遭受了初步的风化^[37]。

总之, 驻马店黄土数据点的分布范围与西北洛川黄土、镇江下蜀黄土比较接近, 风化产物中的黏土矿物成分依然是以伊利石和蒙脱石为主, 整体处于脱钙、钠的中等风化阶段, 尚未到达强烈风化阶段。

4.3 驻马店黄土物质来源

黄土沉积的形成需要 3 个条件: 一是充分的物质来源; 二是适当的大气环流动力; 三是有合适的沉积地形^[1]。

按照刘东生^[1]对黄河流域黄土带的划分, 驻马店黄土属于黏黄土。若驻马店黄土与黄土高原黄土—古土壤的物质来源相同, 根据风尘堆积规律, 在长途搬运过程中, 粉尘受风速、地形等影响, 由粗到细逐渐沉积, 距离源区越远粒度越细, 分选程度越好。理论上驻马店黄土的粒度应该比以西安、洛川为代表的黄土高原黄土的粒度要细, 但实际情况相反。一般情况下, 砂粒不容易在风力的作用下长距离搬运, 中国各地的黄土砂组分比例大多 < 10%, 驻

马店黄土中砂组分(> 50 μm) 比例高达 11.19%。虽然驻马店地区处于东亚冬季风影响范围, 但是驻马店位于豫南盆地, 即使在干冷时期, 冬季风较强, 但要 > 50 μm 的砂粒搬运到中部地区也是比较困难的。因此, 驻马店黄土中明显较多的砂粒含量以及相应较少的黏粒含量很可能说明其接受了部分近距离搬运的粗颗粒沉积。

黄河贯通三门峡后, 向东流入海湾, 将黄土高原侵蚀带来的泥沙通过三门峡进入华北平原, 由于地势趋于平缓, 河床不稳定, 水流搬运能力下降, 将携带的泥沙快速沉积在孟津以东形成黄河冲积扇, 也成为建造华北平原的主要动力。在黄河淤积、决口、迁徙的过程中形成了决口扇、废弃河道等面积巨大的地貌单元, 提供了丰富的风尘物质来源^[21, 26]。

依据全球古气候模拟对比研究计划(PMIP)公布的 1 000 a 以来的风场数据(图 11), 豫东地区至驻马店, 近地面风向以季节变换型风向为主, 冬季、秋季盛行偏北风, 春季、夏季盛行偏东风。而驻马店以东、以北都存在黄河泛滥留下的大量漫滩物质, 尤其在秋季和冬季降水较少, 土壤含水量较低, 容易导致沙丘移动、沙尘暴和降尘^[42]。近代以来, 豫东、豫南地区冬春季节由近地面东北风影响下形成的风沙灾害非常严重。这一情况正是黄土堆积和冬季东北风入侵的延续^[42-43], 而豫东、豫南的风沙地正是黄河古河道、决口扇等冲积物由冬季东北风塑造而成的。

从 85 kPa 风场来看, 冬季的豫东地区高空盛行

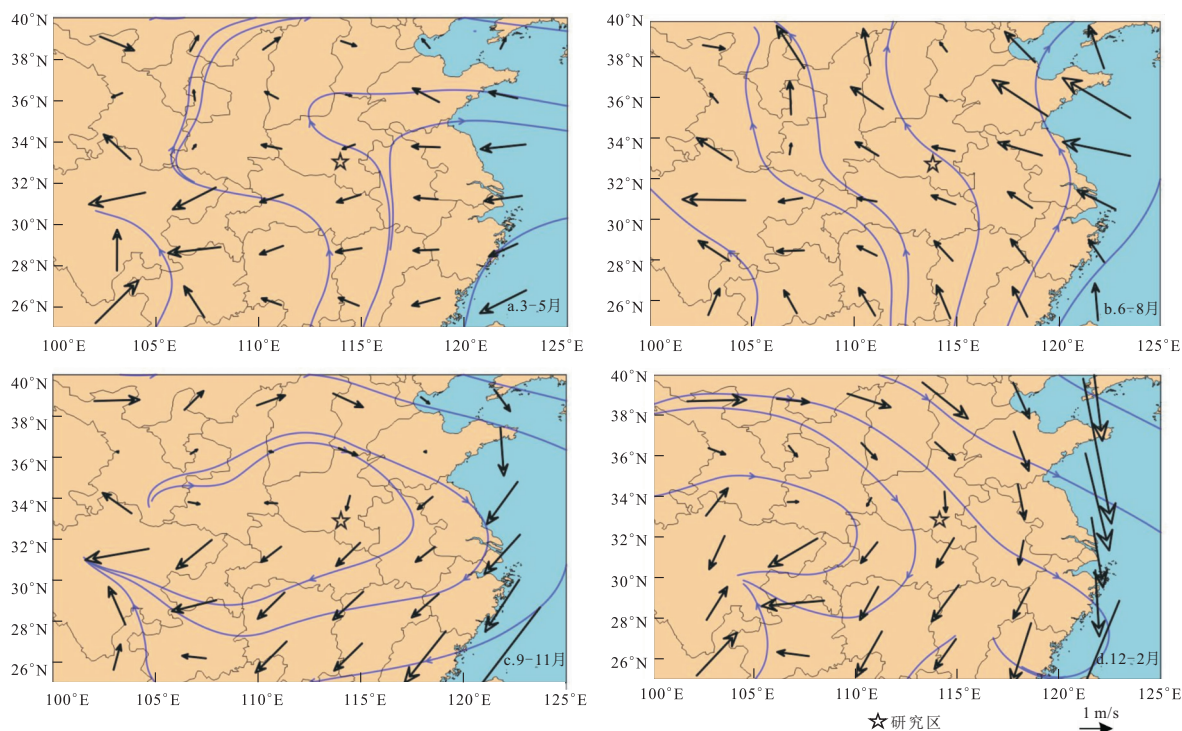


图 11 过去 1 000 a 中国东部近地面、85 kPa 风向模拟图(黑色箭头代表近地面风场, 蓝色线条代表 85 kPa 风场)

Fig.11 Near ground and 85 kPa wind direction simulation in eastern China in the past 1 000 years

西北风,来自西北沙漠、黄土高原的细颗粒物同样会进入驻马店黄土沉积物中。

从表 3 可以看出,沿着东北—西南向的主风向上从开封到驻马店的风沙地到黄土区,粒度由粗变细,表明粗颗粒物留在原地形成各种风沙地,而细颗粒物被风力搬运,沉积在下风向,形成黄土堆积。因此,驻马店黄土和古土壤的近源沉积主要来自黄河冲积扇与泛滥平原的松散河流冲积物。这与杨一鸣等^[44]对淮河上游黄土的研究结论基本一致。

表 3 由开封到驻马店沿东北—西南方向的主风向上风沙地与黄土区粒度组成统计

Table 3 Statistics of grain size along the north-east and south-west direction of the wind sand from Kaifeng to Zhumadian and the loess region

地 点	不同粒度组成占比/%		
	>250 μm	250~100 μm	<100 μm
开封北柳园村 ^[44]	4.8	88.9	6.3
开封杏花营南沙堂 ^[44]	22.2	56.4	21.4
中牟贾鲁河东 ^[44]	7	18.5	74.5
禹州 ^[44]	0	1.13~7.05	92.95~98.87
驻马店	0	0.1~1.53	98.47~99.90

5 结 论

(1)对驻马店黄土的粒度分析表明,驻马店黄土的主众数粒组为粉砂(10~50 μm),占比 57.97%,次众数粒组是黏粒(<5 μm),占比 15.8%。这与西北洛川马兰黄土和东部黄土都没有明显区别,表明该地区黄土的粒度组成与中国黄土并无二致。驻马店黄土粒度参数平均值:平均粒径 $M_z=4.00$,标准偏差=1.56,偏度 $SK=-0.19$,峰态 $KG=3.74$ 。粒度频率曲线以双峰为主,而且主峰突出。

(2)常量元素分析显示驻马店黄土出现不同程度 Na、K 元素亏损,化学风化作用处于中等风化阶段。

(3)驻马店黄土的粒度和常量元素特征与中国典型黄土比较相似,结合环境判别公式推断出大部分层位黄土样品成因为风成,但由于地处汝河平原,少数层位可能受到古洪水带来的水流沉积物的干扰。

(4)驻马店地区的黄土与黄土高原近地面风力系统不同,其中的细颗粒物可能部分来源于西北黄土、戈壁、沙漠,也可能部分受到后期成壤作用改造而成。但粗颗粒物是近源风尘沉积物,主要来源于黄河下游泛滥平原的风沙地带,受控于冬季、秋季华北平原近地面盛行的东北风。

参考文献:

[1] 刘东生.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985.
[2] 刘东生,丁仲礼,郭正堂,等.黄土与干旱环境[M].合肥:安徽科

学出版社,1991.

[3] 孙东怀,鹿化煜,Rea D,等.中国黄土粒度的双峰分布及其古气候意义[J].沉积学报,2000,18(3):327-335.
[4] 孙东怀,鹿化煜.晚新生代黄土高原风尘序列的粒度和沉积速率与中国北方的大气环流演变[J].第四纪研究,2007,27(2):251-262.
[5] 孙东怀.黄土粒度分布中的超细粒组分及其成因[J].第四纪研究,2006,26(6):928-936.
[6] 鹿化煜,安芷生.黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比:红黏土风成成因的新证据[J].沉积学报,1999,17(2):61-67.
[7] 任剑璋,全浩,丁仲礼,等.倒数第二次冰期气候快速变化的一个例证:宁黄土气候不稳定性记录[J].科学通报,1997,42(17):1836-1839.
[8] 鹿化煜,安芷生.洛川黄土粒度组成的古气候意义[J].科学通报,1997,42(1):67-69.
[9] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Holocene palaeoflood events recorded by slackwater deposits along the lower Jinghe River, Middle Yellow River Basin, China[J]. Journal of Quaternary Science, 2012, 27(5): 485-493.
[10] 安芷生, Porter S, Kukla G, 等.最近 13 万年黄土高原季风变迁的磁化率证据[J].科学通报,1990,35(7):529-532.
[11] 刘秀铭,刘东生, Heller F, 等.黄土频率磁化率与古气候冷暖变换[J].第四纪研究,1990,45(1):42-50.
[12] 朱显谟,赵景波.黄土中古土壤研究的新进展[J].世界科技研究与发展,1999,21(2):37-41.
[13] 鹿化煜,安芷生.黄土高原黄土粒度组成的古气候意义[J].中国科学:地球科学,1998,28(3):278-283.
[14] 文启忠.中国黄土地球化学[M].北京:科学出版社,1989.
[15] Zheng Hongbo, Huang Xiangtong, Ji Junliang, et al. Ultra-high rates of loess sedimentation at Zhengzhou since Stage 7: Implication for the Yellow River erosion of the Sanmen Gorge[J]. Geomorphology, 2007, 85: 131-142.
[16] Jiang Fuchu, Fu Jianli, Wang Shubing, et al. Formation of the Yellow River, inferred from loess-palaeosol sequence in Mangshan and lacustrine sediments in Sanmen Gorge, China[J]. Quaternary International, 2007, 175: 62-70.
[17] Jiang Fuchu, Wang Shubing, Zhao Zhizhong, et al. Mangshan loess in central China and the paleomonsoon variations since the Last Interglaciation[J]. Acta Geologica Sinica: English Edition, 2004, 78(3): 813-819.
[18] 吴锡浩, 安芷生, 蒋复初, 等.上新世以来黄土高原的构造气候旋回[A]//纪念袁复礼教授诞辰 100 周年学术讨论会组织委员会.纪念袁复礼教授诞辰 100 周年学术讨论会文集[C].北京:地震出版社,1993:73-78.
[19] 肖华国,吴锡浩,蒋复初,等.中原末次冰期间冰阶以来的古季风气候变迁[J].地球学报,1998,19(1):84-89.
[20] 吴锡浩,安芷生.黄土高原黄土—古土壤序列与青藏高原隆升[J].中国科学:地球科学,1996,26(2):103-110.
[21] 吴锡浩,蒋复初,王苏民,等.关于黄河贯通三门峡东流入海问题[J].第四纪研究,1998,53(2):188-195.
[22] 何忠,黄春长,庞奖励,等.淮河上游全新世黄土—土壤剖面重金属元素分布与环境变化[J].环境科学,2006,27(7):1323-1328.
[23] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Su Hongxia, et al. Holocene environmental change inferred from the loess-palaeosol sequences adjacent to the floodplain of the Yellow River, China[J]. Quaternary Science Reviews, 2009, 28: 2633-2646.

- [24] Huang Chunchang, Pang Jiangli, Zha Xiaochun, et al. Extraordinary floods of 4 100—4 000 a.B.P recorded at the late Neolithic Ruins in the Jinghe river gorges, middle reach of the Yellow river, China [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2010, 289: 1-9.
- [25] 李胜利, 黄春长, 庞奖励. 黄河泛滥平原全新世沙尘暴活动的历史记录: 以颍河上游一典型剖面为例 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(1): 144-150.
- [26] 李新艳, 黄春长, 庞奖励, 等. 淮河上游全新世风成黄土与成壤环境变化研究 [J]. *干旱区地理*, 2007, 30(3): 392-399.
- [27] 张华. 大别山北麓罗山黄土古土壤古环境信息研究 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [28] 谢封春. 江浙浙豫西黄土基本特征 [J]. *河南地质*, 1987, 5(3): 42-48.
- [29] 陈璞皎, 郑祥民, 周立旻, 等. 宁镇地区下蜀黄土粒度特征及其古环境意义 [J]. *地质科技情报*, 2017, 36(5): 7-13.
- [30] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1957, 27: 28-29.
- [31] 成都地质学院. 沉积岩(物)粒度分析及其应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [32] Sun D, Bloemendal J, Rea D K, et al. Grain-size distribution function of polymodal sediments in hydraulic and aeolian environments, and numerical partitioning of the sedimentary components [J]. *Sedimentary Geology*, 2002, 152(3/4): 263-277.
- [33] Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: Its composition and evolution, an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks [A] // Anon. The continental crust, its composition and evolution: An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks [C]. [S.l.]: Blackwell Scientific Pub., 1985: 7-16.
- [34] 陈莹璐, 黄春长, 张玉柱, 等. 汝河全新世古洪水沉积学与光释光测年研究 [J]. *地质学报*, 2017, 91(10): 2351-2367.
- [35] 杨立辉, 叶玮, 郑祥民, 等. 河漫滩相沉积与风成沉积粒度判别函数的建立及在红土中应用 [J]. *地理研究*, 2014, 33(10): 1848-1856.
- [36] 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: 地球科学*, 2001, 31(2): 136-145.
- [37] 毛沛妮, 庞奖励, 黄春长, 等. 汉江上游黄土常量元素地球化学特征及区域对比 [J]. *地理学报*, 2017, 72(2): 279-291.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major chemistry of lutites [J]. *Nature*, 1982, 299: 715-717.
- [42] 张霞, 王建玲, 闫惠芳. 郑州地区沙尘暴天气的气候特征分析 [J]. *河南气象*, 2002(3): 19-20.
- [43] 付光轩, 刘军臣, 刘和平. 近 40 a 河南沙尘暴、扬沙和浮尘气候特征分析 [J]. *河南气象*, 2002(1): 22-24.
- [44] 杨一鸣, 黄春长, 庞奖励. 淮河上游全新世风成黄土—土壤物质来源研究 [J]. *地理与地理信息科学*, 2005, 21(1): 43-46.

Characteristics of Grain Size, Element Geochemistry and Their Provenance Implications of Loess in the South of Henan

Cao Hongwei, Zheng Xiangmin, Zhou Limin, Ren Shaofang, Xuan Xiaona, Wu Chao, Liu Li

(Key Laboratory of Geo-information Science of Ministry of Education,

School of Geographic Sciences, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract: The grain sizes and major element chemistry of buried loess samples in Zhumadian, southern Henan Province were measured and analyzed, and the origin and provenance of the samples were discussed. The results show that the grain size fractions of the loess in this area are mainly silty sand, with poor sorting and medium kurtosis. Size frequency curves present the distribution of twin peak, with one prominent peak. The major element analysis shows that the loess has a wide range of sources and has undergone a full mixing, and its chemical weathering is in a moderate weathering stage. Identification of the sedimentary environment indicates that Zhumadian loess belongs to the typical eolian-formation debris, though some may have been influenced by the ancient flood which have brought in fluvial materials. Combination of wind power system in eastern region of Henan and the grain size analysis of Zhumadian loess reveals that it's different from the Loess Plateau, the local materials are mainly derived from the sand belt caused by the Yellow River flood which serves as a major contributor to coarse grain in the loess, and that the sand belt is under the control of prevailing northeast wind near the ground in the winter for half year in eastern Henan. Loess in the south of Henan is an important part of Chinese loess. Understanding the origin and provenance of sediments in this area is necessary to study the paleoenvironment of south of Henan.

Key words: Zhumadian loess; grain size; major element; provenance