

# 大别山北麓黄土地球化学特征及其古气候意义

崔王<sup>1</sup>, 宋传中<sup>1</sup>, 刘奇<sup>1</sup>, 张妍<sup>1</sup>, 吴文理<sup>2</sup>, 唐海欧<sup>3</sup>, 王文斌<sup>1</sup>

(1. 合肥工业大学 资源与环境工程学院, 安徽 合肥 230009; 2. 中国矿业大学 化学与环境工程学院, 北京 100083; 3. 合肥工业大学 化学工程学院, 安徽 合肥 230009)

**摘要:**通过对大别山北麓 GS 剖面系统的氧化物地球化学的测试及综合分析, 讨论该地区中更新世以来 GS 剖面的氧化物地球化学分布特征及其所记录的古气候变迁规律。综合分析表明: 大别山北麓富含硅、铝、铁, 三者之和高达 85%, 该区中更新世以来以湿热气候为主, 氧化物地球化学分布特征和变化规律可推断该地区中更新世以来经历了 8 次暖湿期与 8 次干凉期的交替过程, 氧化物比值分析验证该地区经历多次干冷—温湿大幅度的波动, 同时伴随着成壤程度、淋溶和化学风化强弱多次旋回。

**关键词:**大别山北麓黄土; 中更新世; 古土壤地球化学; 古气候

中图分类号: P632 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2007)03-0256-05

第四系沉积物能保存其形成时的气候环境信息<sup>[1]</sup>。环境条件决定了沉积物的风化、搬运、沉积和成土(成岩)过程中的地球化学特征, 同时地层中各化学元素的迁移聚集也受到气候、地形源区物质化学成分的初始差异和化学元素自身特点的影响, 且这些气候环境信息可以通过沉积物中的地球化学元素的含量和分布体现出来, 提取这些信息探讨地质历史时期的自然环境和气候变迁, 已成为当今科研工作的最新手段之一。第四系沉积物中主要的造岩元素 Si、Al、Ca、Fe、Mg、K、Na 等主要是以其氧化物形式存在, 按这些氧化物的表生地球化性质, 研究其百分含量及分子比值在剖面中的变化规律, 可以对古气候环境进行指示<sup>[2]</sup>。

中国黄土是第四纪全球气候变化信息的主要载体之一<sup>[3]</sup>。目前学者对我国的黄土——古土壤进行了大量的研究, 已取得了丰硕的成果, 研究手段、方法也日益完善, 但研究的区域有限, 有部分重要区域出现相关研究资料短缺。大别山是秦岭—大别山造山带重要组成部分, 也是造成中国南北生态、气候分界的重要因素, 展开对该地区系统的古气候和中国中东部古气候环境演变的研究有着重要的意义, 但目前有关该地区的古气候环境研究很少。

近期我们正对大别山北麓 GS(光山)剖面进行了系统的采样测试, 并对其有机质、磁化率和粒度及其意义进行了初步研究, 笔者根据 GS 剖面 80 个样品系统的氧化物地球化学测试数据, 拟提供该剖面

的氧化物地化特征分析结果, 并分析该区中更新世以来风尘堆积系列氧化物地球化学特征及其所记录的古气候变迁规律。

## 1 样品采集和分析

样品采自河南省光山县境内, 位于 312 国道罗山—光山段, 竹竿河东, 路的北侧。其坐标是 32°06.447'N, 114°40.340'E, 该采样点黄土——古土壤层次分明, 从下往上按 20 cm 间距采样, 测定 GS 剖面的常量元素及其氧化物, 共采集到 80 个样品, 将样品在瓷研钵中研磨, 过 200 目筛后自然烘干, 送往合肥市国土资源检测中心检测, 检测依据: AHDS-ZZ-C05-1-2003 DZG93-11。根据大别山矿物分析和河南地质勘查资料, 推断最低层位形成于中更新世前后。

## 2 氧化物指标的气候意义

研究表明<sup>[1,4]</sup> 地球化学元素在表生环境下, 受到气候变化的影响常常会发生不同程度的迁移和积聚, 引起含量的变化, 通过认识地层沉积物中地球化学元素含量及其比值的变化, 可为认识区域气候变化过程提供可靠的环境信息。假定在同一个剖面中各地层单元的地形条件和化学元素本身性质相对不变, 那么化学元素的淋溶、迁移和积聚就可以在很大程度上解释古气候变化, 地层中化学元素氧化物的变化反映地层沉积环境的演化过程, 是探讨气候变

化的理想指标<sup>[5-6]</sup>。

根据地球化学理论<sup>[7]</sup>,表生地球环境下化学元素在淋溶、迁移和积聚过程中,表现出  $K_2O \rightarrow Na_2O \rightarrow CaO \rightarrow MgO \rightarrow SiO_2 \rightarrow Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3$  活动性依次减弱。钾和钠属碱金属,化学性质最活跃,在干旱气候环境下  $K_2O$  和  $Na_2O$  最易富集,沉积物中钾、钠含量升高反映干旱环境,钙、镁是活动性中等或较强的元素,半湿润、半干旱条件有利于它们的溶解迁移和富集,沉积物钙、镁含量升高反映半干旱环境。铝的化学性质较稳定,多以  $Al_2O_3$  的形式保留在地层中,在温暖潮湿的气候条件下,水介质为酸性,沉积物中易溶元素溶解迁移,  $Al_2O_3$  相对富集,随着气候干旱程度的增大,水介质由酸性转向碱性,铝含量降低,因此,地层中  $Al_2O_3$  含量升高反映暖湿环境。变价元素铁的的化学性质与铝相似,多以  $Fe_2O_3$  与  $FeO$  形式

存于地层中,表生带风化过程中氧化作用越强,地层中  $Fe_2O_3$  相对含量越高,反之,则  $FeO$  含量增高。硅在地层中含量最多,并以  $SiO_2$  形式保留在沉积层中,易在湿热气候条件下富集,但其在剖面中相对含量的变化往往与  $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$  呈反相关关系,沉积物中硅含量升高反映湿热气候环境。

### 3 部分常量氧化物指标特征及其环境意义

大别山北麓 GS 剖面常量指标主要包括  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$ ,其次为  $K_2O$ 、 $MgO$ 、 $Na_2O$ 、 $CaO$ 、 $FeO$ 、等。总趋势为  $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $Al_2O_3$  含量最高,三者平均含量之和达 85% 以上(表 1)。这种显著的富硅铝铁现象突出表明了该区以湿热为主的气候特点。

图 1 为大别山北麓 GS 剖面氧化物含量的垂直变化曲线。氧化物含量在剖面中的分布以 3 m 深为

表 1 GS 剖面主要氧化物指标在地层中的变化趋势

层编号	化探参数	$Na_2O$	$MgO$	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$CaO$	$K_2O$	$Fe_2O_3$	$FeO$
GS-1	样品数量	8	8	8	8	8	8	8	8
	平均值	1.19	1.38	14.10	67.65	0.81	2.25	5.18	0.31
	范围	1.15 ~ 1.22	1.13 ~ 1.53	13.68 ~ 14.27	66.96 ~ 69.06	0.72 ~ 0.86	2.15 ~ 2.33	5.08 ~ 5.25	0.15 ~ 0.53
	标准偏差	0.02	0.14	0.20	0.78	0.05	0.05	0.05	0.12
GS-2	样品数量	6	6	6	6	6	6	6	6
	平均值	1.20	1.35	13.97	67.83	0.81	2.30	4.97	0.17
	范围	1.15 ~ 1.24	1.19 ~ 1.46	13.22 ~ 14.54	66.32 ~ 69.38	0.74 ~ 0.86	2.25 ~ 2.39	4.43 ~ 5.43	0.064 ~ 0.3
	标准偏差	0.03	0.10	0.48	1.00	0.04	0.09	0.36	0.02
GS-3	样品数量	7	7	7	7	7	7	7	7
	平均值	1.21	1.22	13.52	69.09	0.72	2.27	4.58	0.10
	范围	1.11 ~ 1.25	1.13 ~ 1.42	13.03 ~ 14.93	65.78 ~ 69.93	0.69 ~ 0.82	2.18 ~ 2.46	4.35 ~ 5.44	0.064 ~ 0.13
	标准偏差	0.04	0.03	0.60	1.37	0.04	0.09	0.36	0.02
GS-4	样品数量	6	6	6	6	6	6	6	6
	平均值	1.20	1.18	13.74	69.37	0.69	2.29	4.47	0.10
	范围	1.18 ~ 1.24	1.12 ~ 1.2	13.37 ~ 13.96	69.09 ~ 69.68	0.68 ~ 0.7	2.26 ~ 2.31	4.4 ~ 4.55	0.077 ~ 0.14
	标准偏差	0.02	0.03	0.21	0.20	0.01	0.02	0.05	0.02
GS-5	样品数量	10	10	10	10	10	10	10	10
	平均值	1.31	0.93	12.78	70.16	0.70	2.00	4.29	0.11
	范围	1.13 ~ 1.43	0.86 ~ 1.07	11.75 ~ 13.99	67.43 ~ 71.42	0.65 ~ 0.77	1.92 ~ 2.14	3.89 ~ 4.9	0.064 ~ 0.15
	标准偏差	0.08	0.07	0.63	1.10	0.04	0.07	0.26	0.03
GS-6	样品数量	4	4	4	4	4	4	4	4
	平均值	1.24	0.84	12.60	71.14	0.64	1.94	4.20	0.15
	范围	1.19 ~ 1.27	0.81 ~ 0.91	12.41 ~ 13.13	69.79 ~ 71.75	0.62 ~ 0.69	1.9 ~ 2.02	3.92 ~ 4.6	0.12 ~ 0.21
	标准偏差	0.03	0.04	0.31	0.80	0.03	0.05	0.25	0.04
GS-7	样品数量	9	9	9	9	9	9	9	9
	平均值	1.12	1.09	13.59	68.06	0.71	2.11	4.83	0.11
	范围	1.05 ~ 1.19	0.91 ~ 1.19	12.66 ~ 14.24	66.93 ~ 70.17	0.66 ~ 0.74	1.97 ~ 2.17	4.33 ~ 5.24	0.064 ~ 0.23
	标准偏差	0.04	0.08	0.42	1.04	0.02	0.06	0.24	0.05
GS-8	样品数量	5	5	5	5	5	5	5	5
	平均值	1.18	1.13	12.98	69.10	0.76	2.05	4.56	0.14
	范围	1.13 ~ 1.21	1.03 ~ 1.27	12.64 ~ 13.56	67.16 ~ 70.27	0.67 ~ 0.84	2.02 ~ 2.13	4.33 ~ 4.91	0.1 ~ 0.19
	标准偏差	0.03	0.08	0.35	1.11	0.06	0.04	0.21	0.03
GS-9	样品数量	7	7	7	7	7	7	7	7
	平均值	1.26	1.54	14.06	65.31	0.95	2.33	5.29	0.24
	范围	1.19 ~ 1.3	1.5 ~ 1.56	13.92 ~ 14.42	64.95 ~ 66.03	0.91 ~ 0.97	2.26 ~ 2.36	5.19 ~ 5.5	0.22 ~ 0.28
	标准偏差	0.04	0.02	0.16	0.33	0.02	0.03	0.11	0.02
GS-10	样品数量	19	19	19	19	19	19	19	19
	平均值	1.20	1.57	14.07	64.98	0.88	2.36	5.36	0.35
	范围	1.06 ~ 1.29	1.3 ~ 1.64	13.5 ~ 14.49	63.48 ~ 66.59	0.75 ~ 0.95	2.11 ~ 2.42	5.1 ~ 5.59	0.3 ~ 0.57
	标准偏差	0.06	0.08	0.24	0.74	0.05	0.07	0.14	0.07
总体样	样品数量	80	80	80	80	80	80	80	80
	平均值	1.21	1.27	13.64	67.74	0.79	2.22	4.87	0.20
	范围	1.05 ~ 1.43	0.81 ~ 1.64	11.75 ~ 14.93	63.48 ~ 71.75	0.62 ~ 0.97	1.9 ~ 2.46	3.89 ~ 5.59	0.064 ~ 0.57
	标准偏差	0.07	0.25	0.64	0.15	0.10	0.15	0.47	0.12

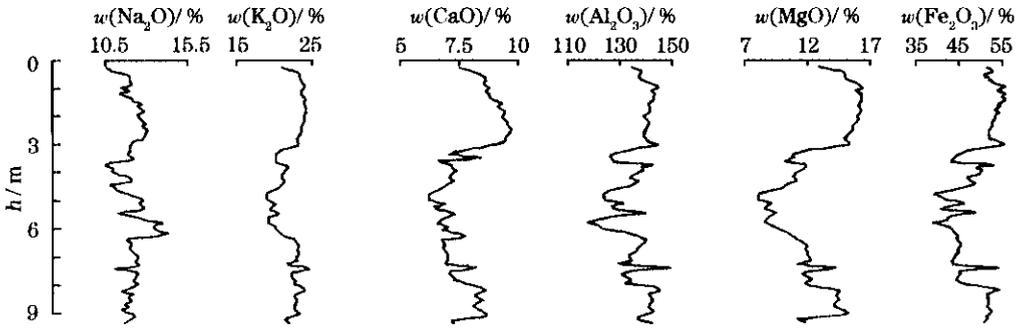


图1 GS剖面部分氧化物指标含量曲线

界划分为2段,3 m以上剖面中氧化物含量比较稳定,几乎没有什么波动,只有Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、Na<sub>2</sub>O等略有振荡,但幅度很小。说明这段时期内该地区气候环境相对比较稳定,没有出现大的气候变化。3 m以下氧化物含量表现出有规律的旋回振荡变化,且变化幅度明显有所增大。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO变化基本同步,明显成正相关关系。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO在7.5 m处出现峰值,同时Na<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>在此达到最低值,表明表生带风化过程中氧化作用较强,在此时期内明显出现过相对高温潮湿的气候环境;类似变化自上而下大致呈8个波动旋回,基本反映了中更新世以来受冰期、间冰期旋回影响而存在着8次暖湿期与8次干凉期的交替。SiO<sub>2</sub>含量的变化规律与Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO呈负相关关系,即SiO<sub>2</sub>相对含量高时,气候较为干凉,而含量降低时,气候相对湿热。CaO属于活动性中等或较强的元素,只要是在半干旱-半湿润的气候环境下,就可以较多地被溶解和迁移,CaO含量越高指示气候环境越干冷<sup>[8]</sup>。由于该区以湿热为主的气候特点,致使大部分CaO被溶解和迁移,与洛川黄土相比其含量相对较低,易受其他金属元素影响,这可能是导致CaO与Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和MgO变化基本同步的重要原因。K<sub>2</sub>O的变化则较为“反常”:K<sub>2</sub>O易在干冷气候环境下易于富集,在湿热条件下易被淋失,但在GS剖面中,K<sub>2</sub>O与湿润型氧化物Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>与MgO变化基本同步。分析认为K<sub>2</sub>O“反常”是由于较湿热的气候条件使得K<sub>2</sub>O大量淋溶,含量较低,而本区黄土——古土壤黏粒含量较高且黏度大,K<sup>+</sup>易于被黏粒吸附<sup>[4]</sup>。加之成壤作用过程中地表植被茂盛,植物生长过程中吸收大量的K<sup>+</sup>,被植物吸收的这部分钾实际上是在就地循环,最终仍保留在土壤中,故而部分土壤层中K<sub>2</sub>O的含量反而显高。

#### 4 氧化物含量比值及气候环境意义

前人在研究表生环境下常量元素的地球化学特

征与环境的关系时就已发现,氧化物的比值与环境之间有较明显的对应关系。将这些比值用于黄土——古土壤地层剖面,显示出与黄土——古土壤的交替对应的氧化物比值的变化<sup>[3]</sup>。常用的氧化物比值如下。

(1)退碱系数( $w_{Na_2O} + w_{CaO} / w_{Al_2O_3}$ ):Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>在风化过程中淋失较少、相对稳定,但是Na<sub>2</sub>O、CaO的化学性质较活泼,容易发生淋溶和积聚。某地层单位该值增大时,表明沉积气候环境处于干旱阶段<sup>[9]</sup>。

(2)残积系数( $w_{Al_2O_3} + w_{Fe} / (w_{RO} + w_{R_2O})$ ):残积系数的数值减少,说明风化淋溶作用较弱、气候干旱(本文中这一指标不能很清晰地指示在整体干冷的气候条件下所发生的暖湿波动);反之,说明Al、Fe残积较多,气候暖湿<sup>[10-11]</sup>。式中R指阳离子,RO特指Ca和Mg的氧化物,R<sub>2</sub>O特指Na的氧化物。

(3)硅铝率:反映了黄土——古土壤形成的氧化还原条件和风化作用。一般说来,比值随气候的温湿程度加剧、风力程度加深而减小,即比值降低,土壤化学风化作用加强<sup>[3,12]</sup>。根据地球化学理论<sup>[13]</sup>,就沉积物而言,SiO<sub>2</sub>在碱性条件下有利于活化转移,而两性氧化物Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>只有在强碱条件下才能溶解迁移。一般当 $w_{SiO_2} / w_{Al_2O_3} > 2$ 时,反映偏碱性环境,此时SiO<sub>2</sub>大量转化迁移,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>值相应增加。

(4)化学风化指数: $w_{Al_2O_3} / (w_{Al_2O_3} + w_{CaO} + w_{NaO})$ ;它是表明沉积物风化程度的指标。

图2为大别山北麓GS剖面部分氧化物比值随剖面深度的垂直变化图。地球化学元素氧化物的比值在剖面中同样存在着规律性的变化,其变化较地球化学元素氧化物更为显著。从图中变化趋势看出退碱系数和硅铝率、残积系数和风化系数的变化基本同步,分别成显著正相关关系。图2中 $w_{SiO_2} / w_{Al_2O_3}$ 始终大于2,据此可判断本区始终呈偏碱性环境。图2可细分为3段:1~3 m硅铝率曲线比较稳定,几乎没有大的波动,退碱系数略有振动,整体呈上升变化,残积系数和风化系数曲线略有振荡并整

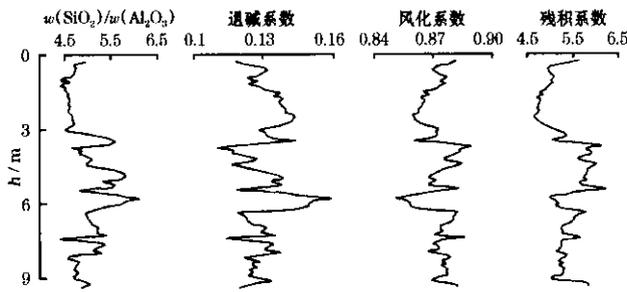


图2 大别山北麓 GS 剖面部分化学参数的对比

体趋势呈下降变化。这与氧化物曲线变化如出一辙,形成良好的对应关系,表明该地区这时期内总体气候波动很小,但整体区域气候逐渐向干旱方向转变;3~5.91 m 处,退碱系数与硅铝率和残积系数与风化系数都有高频较大幅度旋回波动,但曲线总体变化趋势都不显著,且分别在 5.91 m 处达到最高峰值和最低值,对应气候环境变化为:干旱—潮湿和淋溶强弱多次旋回波动,同时伴随土壤作用、氧化还原和化学风化作用强弱多次波动旋回,且在 3.89 m 和 5.91 m 处出现过相对较干旱气候。5.91~9.35 m 处,退碱系数和硅铝率总体呈下降趋势,残积系数与风化系数呈上升趋势,其指示气候变化向相对温湿,易淋溶和风化程度较强方向转变;退碱系数与硅铝率和残积系数与风化系数陡然在 7.5 m 出现谷值和峰值,表明该地区这段时期内突然出现相对比较湿热气候,同时经历易淋溶和化学风化较强阶段,可揭示出当时具有较强的夏季风活动。

## 5 结论

大别山北麓  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  三者的平均含量之和达 85% 以上。这种显著的富硅铝铁现象突出表明了该区以湿热为主的气候特点。

该地区  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$  含量变化基本同步,

明显成正相关关系,基本反映了中更新世以来存在着 8 次暖湿期与 8 次干凉期的交替。

退碱系数、硅铝率、残积系数、风化系数指示了该地区经历干旱—潮湿和淋溶强弱多次旋回波动,同时伴随成壤程度、氧化还原和风化作用强弱多次波动旋回,且在 7.5 m 处突然出现相对比较湿热气候,同时经历易淋溶和化学风化较强阶段,可揭示出当时具有较强的夏季风活动。

## 参考文献:

- [1] 文启忠,刁桂议,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,1995,8(3):223.
- [2] 李徐生,杨达源,鹿化煜.皖南风尘堆积序列氧化物地球化学特征与古气候记录[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(4):75.
- [3] 刘东生.黄土与环境[M].北京:科学出版社,1985.
- [4] 高尚玉,董光荣,李保生.陕西榆林地区古风成沙地层中化学元素含量变化与气候环境[J].中国沙漠,1985,5(3):25.
- [5] 林炳营.地球化学简明原理[M].北京:冶金工业出版社,1990.
- [6] 舒强,钟巍,熊黑钢,等.南疆尼雅地区 4000 a 来的地化元素分布特征与古气候环境演化的初步研究[J].中国沙漠,2001,21(1):12.
- [7] 刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984.
- [8] 周延兴.论沧州沿海地区第四纪沉积物的  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  垂直变化周期性及其应用[J].海洋地质与第四纪地质,1984,4(2):103.
- [9] 赵锦惠,王丹,樊宝生,等.延安地区黄土堆积的地球化学特征与最近 13 万年东亚夏季风气候的波动[J].地球化学,2004,33(5):495.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 文启忠.中国黄土地球化学[M].北京:科学出版社,1989.
- [13] 李嘉林.地球化学导论[M].兰州:兰州大学出版社,1988.

## GEOCHEMICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LOESS-PALEOSOL ON THE NORTHERN SLOPE OF THE DABIE MOUNTAIN AND THEIR IMPLICATIONS TO PALEOENVIRONMENTAL CHANGE

CUI Wang<sup>1</sup>, SONG Chuan-zhong<sup>1</sup>, LIU Qi<sup>1</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>, WU Wen-li<sup>2</sup>, TANG Hai-ou<sup>3</sup>, WANG Wen-bin<sup>1</sup>

(1. School of Resources Science and Environment Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. School of Chemistry and Environment Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China; 3. School of Chemical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** Based on systematic geochemical and synthetic analyses of oxides of the GS loesses on the northern slope of the Dabie Moun-

万方数据

tain ,this paper deals with geochemical features of oxides and movement regularity of paleoclimate of this area in Middle Pleistocene. The total amount of silicon aluminum and iron reaches 85% in that area ,and hence the authors hold that the climate has been mainly wet and hot from Middle Pleistocene till now in this area. From the distribution characteristics and movement regularity of oxides it can be concluded that this area has experienced alternately eight times of warm and wet climate and the same times of dry and cold climate since Middle Pleistocene. Analyses of the ratios of oxides reveal that this area has experienced repeated remarkable changes from dry and cold to warm and wet accompanied by several cycles of formation degree eluviation and chemical weathering of soils.

**Key words** loess on the northern slope of the Dabie Mountain ;Middle Pleistocene ;soil geochemistry ;paleoclimate

作者简介 崔王(1980 - ) ,男 ,硕士研究生 ,研究方向 :生态环境与可持续发展。

## “ 第八届全国勘查地球化学学术讨论会 ” 第二号通知

“ 第八届全国勘查地球化学学术讨论会 ” 将于 2007 年 11 月 9 ~ 12 日在云南昆明召开 , 会期 4 天。有意者请登陆 [www.igge.cn](http://www.igge.cn) 或 <http://www.geosociety.org.cn/index1.htm> 下载电子版“ 第二号通知 ”。

中国地质学会勘查地球化学专业委员会