

# 腾格里沙漠南缘武威黄土沉积元素地球化学特征

张虎才 李吉均 马玉贞 曹继秀 王乃昂

(兰州大学地理科学系, 兰州 730000)

**提 要** 对腾格里沙漠南缘武威黄土剖面 18 个样品系统的元素地球化学分析结果表明, 剖面中 8 种常量元素氧化物总量平均值为 88.99%, 且整个剖面中变化微弱(87.26%~90.46%), 显示了构成武威黄土物质组成的均一性; 反映风化程度的  $Fe_2O_3/FeO$  和  $Al_2O_3/SiO_2$ , 值变化较为明显, 平均值分别为 1.46(1.02~2.86) 和 0.19(0.17~0.22); 稀土元素总含量平均值为 185.42(169.31~199.82)  $\mu g/g$ , 稀土分布斜率较大, 有较明显 Eu 异常,  $\Sigma LREE/\Sigma HREE$  值平均为 8.23(7.38~9.60), 表现出较显著的轻重稀土的分馏作用, 指示着一定程度的风化作用; 而代表原岩特征的稀土参数  $Eu/Sm$ 、 $Sm/Nd$ 、 $Nd/La$ 、 $\delta Ce$ 、 $\delta Eu$  等变化不大, 反映了不同时代黄土物质来源的一致性。

**关键词** 黄土 元素地球化学 物质来源

**分类号** P 595

**第一作者简介** 张虎才 男 35 岁 副教授 第四纪沉积与环境

野外考察发现, 在祁连山东段北麓干旱区分布着厚度 100~200 m 的黄土堆积。由于这里紧邻沙漠, 因而探讨其地球化学特点, 追索其物质构成特征、来源和与黄土高原形成的关系, 对于研究中国黄土沉积过程、搬运方式, 进而分析大气环境型式有着重要的理论价值。

## 1 剖面位置、采样点及研究目的

武威黄土剖面位于甘肃武威黄羊镇南约 11 km 的张家大庄, 沙沟河(季节河)右岸, 地理坐标约为 37°34'N, 102°49'E。剖面座落于可见厚度约 30 余米向 NEE 微倾的砾石层上, 砾石层顶面(黄土剖面底界)海拔高度约 2 000 m, 所研究的黄土剖面厚 115 m。

古地磁测试结果显示,  $B/M$  界限位于剖面深 105.5 米处, 根据沉积速率推算, 黄土剖面底界年代约为距今 80~85 Ma。

本研究的目的: 1) 分析剖面元素地球化学(常量、微量、稀土)特征及分异特点, 探讨不同时代黄土及古土壤元素地球化学性质; 2) 探讨黄土物质来源, 进而分析黄土堆积与其相邻沙漠演化的关系。

## 2 常量元素氧化物和微量元素含量及其环境意义

武威黄土剖面常量元素氧化物分析结果(表 1)显示, 18 个样品中  $RO (= SiO_2 + MgO + Fe_2O_3 + FeO + CaO + K_2O + Na_2O)$  平均含量 88.99%, 变化于 87.26~90.46%, 其中又以  $SiO_2$  为主, 平均占 58.37% (55.98%~61.54%),  $Al_2O_3$  平均含量为 11.37% (10.68%~12.65%),  $CaO$  平均占 7.91% (6.50%~9.15%),  $Fe_2O_3$ 、 $FeO$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$  分别平均仅占 2.70%、1.85%、2.86%、2.16% 和 1.77%。通过分析发现, 氧化物含量显示的一个总体特点是: 不论是主要氧化物总量(RO)还是各主要氧化物含量, 它们在不同时代样品中含量十分接近, 变化微弱, 从老到新无明显的规律性变化趋势。氧化物含量的这种特点意味着腾格里沙漠南缘武威黄土物质构成主体部分的均一性和黄土堆积过程中沉积环境的相似性。

表 1 武威黄土剖面常量元素(氧化物)分析结果

Table.1 Common elemental oxide analysis results of the wuwei loess section

编号	常量 元素(氧化物)含量(%)												
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	灼失量	S
G01(So)	55.98	11.27	2.88	2.47	1.90	9.15	0.69	2.08	1.53	0.14	0.076	11.14	0.05
G02	59.32	10.85	2.70	2.56	1.60	7.72	0.64	2.19	1.84	0.14	0.076	8.37	0.36
G03	59.40	11.30	2.98	2.80	1.61	7.59	0.72	2.15	1.80	0.15	0.077	8.98	0.02
G04	58.24	11.61	2.97	2.63	1.82	7.77	0.68	2.19	1.77	0.14	0.083	9.26	0.01
G05	57.17	11.24	3.04	2.64	2.00	8.70	0.70	2.14	1.71	0.14	0.081	9.67	0.01
G06	56.42	12.10	3.12	3.23	1.73	7.92	0.77	2.29	1.72	0.16	0.086	9.80	0.08
G07	58.42	10.94	2.91	2.78	1.66	8.37	0.70	2.08	1.76	0.15	0.075	9.40	0.03
G08(古)	57.94	12.65	2.86	3.77	1.32	6.50	0.79	2.38	1.90	0.13	0.089	9.46	0.10
G09(古)	57.52	12.39	3.10	3.60	1.65	6.75	0.76	2.39	1.91	0.14	0.100	9.47	0.06
G10	59.12	11.06	2.78	2.27	2.06	8.20	0.66	2.09	1.82	0.14	0.075	9.14	0.10
G11	59.54	11.27	2.79	2.62	1.84	7.10	0.63	2.09	1.95	0.14	0.081	8.80	0.09
G12	61.54	10.68	2.70	2.17	2.12	7.46	0.67	2.04	1.75	0.14	0.077	8.32	0.04
G13(古)	58.50	11.54	2.76	2.61	2.00	7.84	0.71	2.18	1.71	0.15	0.080	9.06	0.01
G14	58.50	11.18	2.69	2.46	2.02	8.25	0.70	2.12	1.78	0.14	0.080	9.22	0.02
G15(古)	58.85	10.84	2.74	2.41	2.00	8.16	0.66	2.12	1.68	0.14	0.077	9.37	0.02
G16	57.86	11.10	2.80	2.44	1.84	8.67	0.68	2.08	1.68	0.14	0.077	9.84	0.01
G17	58.82	11.14	2.69	2.46	1.96	8.04	0.69	2.10	1.74	0.14	0.077	9.02	0.02
G18	57.56	11.49	2.88	2.71	2.12	8.20	0.71	2.22	1.75	0.15	0.084	9.48	0.01
平均	58.37	11.37	2.86	2.70	1.85	7.91	0.70	2.16	1.77	0.14	0.081	9.32	0.06

黄土剖面中  $Fe_2O_3/FeO$ 、 $Al_2O_3/SiO_2$  值, 从一个方面揭示了粉尘堆积过程中氧化—还原条件及遭受风化作用的程度<sup>[1,2]</sup>, 并在一般情况下随气候温暖条件的加剧其比值增大。武威黄土剖面中  $Fe_2O_3/FeO$ 、 $Al_2O_3/SiO_2$  值变化不大, 平均值分别为 1.46 和 0.19(表 2), 其值在 G08 样品(野外被鉴定为古土壤)中最高, 分别达 2.86 和 0.22。

表 2 氧化物及氧化物风化指数

Table.2 Content of oxide and oxide weathering indices

编号	RO*	$Fe_2O_3/FeO$	$Al_2O_3/SiO_2$	$Al_2O_3/CaO + K_2O + Na_2O$
G01	87.26	1.30	0.20	0.88
G02	88.78	1.60	0.18	0.92
G03	89.63	1.74	0.19	0.98
G04	89.00	1.45	0.20	0.99
G05	88.64	1.32	0.20	0.90
G06	88.52	1.87	0.21	1.01

G07	88.92	1.67	0.19	0.90
G08	89.32	2.86	0.22	1.17
G09	89.31	2.18	0.22	1.17
G10	89.40	1.10	0.19	0.91
G11	89.20	1.42	0.19	1.01
G12	90.46	1.02	0.17	0.95
G13	89.14	1.31	0.20	0.98
G14	89.00	1.22	0.19	0.92
G15	88.80	1.21	0.18	0.91
G16	88.47	1.33	0.19	0.89
G17	88.95	1.26	0.19	0.94
G18	88.93	1.28	0.20	0.94
平均	88.99	1.46	0.19	0.96

$Al_2O_3/CaO + K_2O + Na_2O$  值的大小标志着在

\* RO =  $SiO_2 + Al_2O_3 + MgO + Fe_2O_3 + FeO + CaO + K_2O + Na_2O$

气候环境影响下黄土中活动组分与惰性组分之间的消长关系, 比值愈大, 一般则表明活动组分迁出程度愈高, 也即意味着气候条件也愈温湿。总体来看, 武威剖面分析结果中  $Al_2O_3 / (CaO + K_2O + Na_2O)$  值变化十分微小, 绝大多数样品接近平均值 0.96, 而只有 G08 号样最高也仅为 1.17, 这与高的  $Fe_2O_3 / (FeO + Al_2O_3 / SiO_2)$  值一致, 说明 G08 号样品代表的古土壤形成时期在剖面中记录的气候条件最佳, 并推测可能与兰州九州台剖面  $S_4^{(3)}$  相当。

微量元素在黄土剖面中的含量及分异特征, 不仅与黄土沉积过程中气候状况及风化作用强弱有关, 也与原岩特性相关。武威黄土剖面样品 21 个微量元素分析结果(表 3)表明: 不同时代样品中微量元素之间无显著规律性变化, 其中 Cu、Cr、Ni、Co、Rb、Nb、Th、Sc 等 8 种元素含量在所有分析样品中几乎相等; Pb、Zn、Sr、Ba、V 等 5 种元素含量虽具有一定的变化, 但不大。相比而言, 其它元素则具有

相对较大的变化幅度, 且相对平均值较为离散。经统计发现, 18 个样品分析结果中, G08 号样品 21 种微量元素中有 Cu、Zn、Cr、Ni、Li、Rb、Sc 等 9 种元素含量最高, 另有 7 种元素含量高于或等于平均值, 只有 5 种元素含量相对低于平均值。说明大多数微量元素在 G08 号样品中产生了富集, 这与常量元素(氧化物)分析结果是一致的。

### 3 稀土元素含量, 特征参数及其指示的物质来源

不同成因岩石中稀土元素含量、分布模式及特征参数是不同的, 它们不但受控于原岩的化学成分、矿物成分, 也受到岩石风化及风化物在搬运、沉积及后生作用环境中物理化学及生物作用的影响, 因而它一方面保留了原岩的特点, 另一方面也通过一定特征参数记录着环境变化的信息。

表 3 武威黄土剖面微量元素分析结果

Table 3 Trace element analysis results of the wuwei loess section

编号	微量元素含量( $\mu g/g$ )																						
	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Co	Li	Rb	Cs	Sr	Ba	V	Mo	Nb	Zr	U	Th	B	Sc	F	Cl	$F/Cl \times 10^{-2}$	$Th/U$
G01	27	24	61	57	36	11	24.0	90	6.4	220	470	75	0.75	7.7	180	3.35	9.3	54	12	465	1760	0.26	2.78
G02	25	25	57	27	12	15.8	84	4.9	250	410	69	0.75	9.3	200	2.94	10.0	46	12	484	240	2.02	3.40	
G03	22	18	60	59	32	10	20.7	94	6.2	340	480	68	2.00	9.6	320	4.18	10.8	68	12	588	440	1.34	2.58
G04	24	20	60	28	10	26.8	90	6.0	230	530	78	1.70	9.6	220	2.94	10.6	118	13	632	290	2.18	3.61	
G05	24	20	63	64	36	7	29.5	94	6.4	210	490	72	1.70	9.3	270	2.79	10.0	75	12	626	220	2.85	3.58
G06	26	27	71	63	34	8	29.8	94	7.0	210	540	83	1.20	10	250	3.21	11.0	102	13	652	340	1.92	3.43
G07	19	26	64	59	31	10	17.7	86	5.6	210	540	76	1.50	8.3	270	2.66	10.5	70	12	659	160	4.12	3.95
G08	29	22	89	67	38	10	34.1	101	7.5	200	540	89	1.70	9.2	240	3.28	11.0	102	14	591	1350	0.44	3.35
G09	24	33	73	64	34	12	27.6	100	7.5	220	590	85	1.70	9.3	240	3.35	10.9	71	13	642	1720	0.37	3.25
G10	22	19	62	61	29	5	18.9	86	5.5	230	550	76	1.00	8.1	320	2.66	10.0	66	12	537	760	0.71	3.76
G11	20	17	56	56	29	10	26.9	87	5.8	200	550	77	2.20	10	320	8.18	10.3	73	12	652	1680	0.39	1.26
G12	21	20	54	58	27	9	22.4	83	5.2	180	550	69	1.30	7.4	340	2.79	10.1	42	11	575	280	2.05	3.62
G13	21	18	67	63	31	8	15.3	91	6.1	210	520	74	1.30	8.6	280	2.94	10.4	60	12	600	260	2.31	3.54
G14	30	23	72	52	32	8	26.3	88	6.1	220	590	82	0.92	8.6	270	2.32	10.1	48	12	705	550	1.28	4.35
G15	23	14	67	59	35	10	20.7	84	5.8	210	560	75	1.00	9.0	290	3.76	9.8	49	11	606	150	4.04	2.61
G16	24	17	62	57	36	14	18.7	88	6.0	240	620	81	1.10	8.8	270	2.66	9.7	58	12	607	150	4.05	3.65
G17	26	20	67	54	28	9	28.1	87	5.7	210	570	72	1.50	9.5	360	3.08	9.7	43	12	673	160	4.21	3.15
G18	28	14	85	60	31	11	17.7	91	6.2	235	540	79	1.30	10	300	2.79	10.0	54	12	771	660	1.67	3.58
平均	24	21	66	59	32	10	23	90	6.1	224	536	77	1.37	9.1	274	3.33	10.2	67	12	615	620	1.00	3.06

武威黄土稀土元素含量平均值为 185.42 (变化于 169.31~199.82  $\mu\text{g/g}$  (不包括 Y 含量)), 其中轻稀土总量平均为 165.33 (变化于 150.20~179.77)  $\mu\text{g/g}$ ; 重稀土平均为 20.09 (介于 16.84~22.85)  $\mu\text{g/g}$ 。反映轻重稀土分馏程度, 进而指示黄土形成过程中稀土元素迁出与富集状况的轻重稀土之比平均值为 8.23 (介于 7.38~9.60) 之间。就分析结果看 (表 4), 剖面中稀土元素与其它分析结果一样, 从老到新样品分析数据之间没有规律性变化关系。

就各样品分析结果来看, G02 号样轻稀土中 Ce、Nd、Sm 含量最低, La、Pr 含量也低于平均值; G13 号样品重稀土中 Ho、Er、Tm、Yb 达最高值, Tb、Dy、Ln 含量也高于平均值; 而 G15 号样重稀土组份含量明显偏低, 元素 Gd、Tb、Dy、Er、Yb、Lu 含量均为最低值, 仅有一个元素 Ho 略高但也低于平均值。结合 G02 样品低的稀土总量 (169.31  $\mu\text{g/g}$ ) 和  $\delta\text{Ce}$  值 (0.92, 18 个样品平均值为 0.97), 最低的微量元

素 Ni、Cs、Ba、V 含量值和粘粒中唯一含有粘土矿物高岭石 (5%) 的特点, 说明稀土元素这种特征可能与贫含稀土元素的重矿物和较强的风化作用有关; G13 号样富重稀土的特征可能决定于轻重稀之间较弱的分馏作用和重稀土元素的相对富集; G15 号样品贫重稀土的现象则可能是当时介质环境碱性增强和 REE 的络合性差异导致重稀土组份 (HREE) 严重损失的结果。

稀土分布模式直观的显示了稀土的分异状况。武威黄土的稀土分布模式特点为斜率为负的模式 (图 1), 斜率相对较大, 略现 Eu 负异常; 轻稀土部分曲线平直, 重稀土部分元素 Gd、Tb、Dy 相对较为富集。就所分析得到的数据看, 稀土含量经标准化后其最大值与最小值分别所构成的稀土分布模式与平均分布模式极为类似, 无显著异常, 反映了相对较强而稳定的轻重稀土分馏程度, 并与黄土高原典型黄土剖面研究结果十分一致<sup>[3,4]</sup>。

表 4 武威黄土剖面稀土元素含量

Table 4 REE content of the Wuw ei Loess

编号	稀土元素元素含量 ( $\mu\text{g/g}$ )														
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
G01	40.7	82.5	9.04	34.5	6.70	1.33	5.04	0.91	5.98	1.16	3.20	0.48	2.88	0.45	25.7
G02	37.5	68.2	8.04	29.3	5.90	1.26	4.71	0.80	5.71	1.12	3.05	0.46	2.88	0.44	22.7
G03	38.8	71.8	8.32	31.2	6.45	1.24	5.07	0.87	6.02	1.25	3.10	0.47	2.98	0.44	23.2
G04	41.9	78.9	8.88	34.5	6.57	1.42	5.38	0.98	6.70	1.16	3.38	0.41	2.52	0.42	27.4
G05	41.4	85.2	9.12	35.8	6.81	1.44	5.05	0.91	6.34	1.12	3.20	0.46	2.52	0.41	26.1
G06	37.4	72.1	8.06	30.5	6.13	1.24	5.08	0.90	6.09	1.17	3.17	0.43	2.63	0.40	25.4
G07	38.5	75.9	8.16	31.7	6.35	1.26	4.98	0.89	6.02	1.18	3.38	0.50	3.02	0.44	25.4
G08	40.5	74.4	8.46	33.8	6.62	1.28	5.28	0.93	6.15	1.09	3.38	0.48	3.12	0.44	25.5
G09	41.9	77.3	8.93	31.7	6.47	1.46	4.90	0.83	5.83	1.11	3.13	0.47	3.09	0.43	24.4
G10	35.4	73.9	7.66	31.7	6.24	1.20	5.32	0.87	5.98	1.15	3.25	0.47	3.09	0.44	24.9
G11	39.2	75.4	8.78	34.9	6.58	1.36	5.49	0.89	6.16	1.03	3.51	0.50	2.88	0.46	24.8
G12	36.5	71.0	8.04	31.3	6.34	1.21	4.97	0.84	5.61	1.39	3.04	0.43	2.82	0.41	21.8
G13	38.3	74.3	8.28	33.4	6.34	1.17	4.91	0.97	6.64	1.20	3.70	0.52	3.30	0.48	25.9
G14	40.8	79.4	8.91	35.4	6.82	1.36	5.77	1.03	7.05	0.89	3.57	0.51	3.23	0.49	25.4
G15	39.6	75.0	8.49	31.1	6.13	1.28	4.68	0.77	4.99	1.05	2.51	0.36	2.28	0.36	19.3
G16	42.6	79.7	8.51	32.8	6.46	1.27	5.16	0.91	5.69	1.05	2.86	0.44	2.89	0.42	24.7
G17	39.6	75.3	8.38	32.3	6.13	1.28	5.06	0.83	5.81	1.05	3.02	0.40	2.60	0.40	22.4
G18	42.0	81.2	8.79	37.0	6.93	1.28	5.36	0.87	5.87	1.06	2.94	0.40	2.44	0.37	23.3
平均	40.0	76.2	8.49	32.9	6.44	1.30	5.12	0.89	6.04	1.12	3.19	0.46	2.84	0.43	24.3

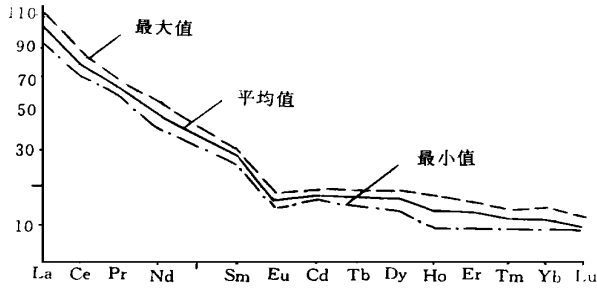


图1 腾格里沙漠南缘武威黄土剖面稀土分布模式  
Fig. 1 REE distributive model of the Wuwei loess in the southern margin of the Tengger desert

从表5可看出,分析数据中代表稀土元素Eu异常程度从而可以反映原岩特征的稀土参数 $\delta_{Eu}$ 平均值为0.70(变化于0.64~0.80之间);揭示元素Ce分异程度的 $\delta_{Ce}$ 平均值为0.97(介于1.05~0.92之间),与原岩特征相关的参数Eu/Sm、Sm/

Nd、Nd/La的平均值及变化范围分别是:0.20(0.18~0.23),0.20(0.19~0.21)和0.82(0.76~0.90)。这一点,可由图2来进一步说明。武威黄土、武都黄土及与腾格里沙漠白碱湖钻孔样品稀土元素地化参数三角图解,清楚地显示了黄土与沙漠物质组成的相关性。再次说明了位于腾格里沙漠南缘祁连山山系东段北麓不同时代的黄土具有着统一的物源供给区域;剖面中存在的少数较显著的元素地球化学差异是在不同气候背景条件下、不同的沉积环境中元素分异、迁移与富集的结果,当然个别含稀土及微量元素重矿物含量的差异也是造成地球化学变化的原因之一。

#### 4 粘土矿物及其环境意义

分析结果显示,武威黄土剖面中粘土矿物以广泛存在的绿泥石为主,平均含量可占粘土部分的20.5%,变化幅度较大,为13%~27%;其次便为广

表5 稀土元素特征参数

Table. 5 Characteristical Indices of REE

编号	$\Sigma_{REE}$	$\Sigma_{LREE}$	$\Sigma_{HREE}$	$\frac{\Sigma_{LREE}}{\Sigma_{HREE}}$	$\delta_{Eu}$	$\delta_{Ce}$	Eu/Sm	Sm/Nd	Nd/La
G01	194.87(220.57)	174.77	20.10	8.70	0.70	1.00	0.20	0.19	
G02	169.31(192.01)	150.2	19.11	7.86	0.74	0.92	0.21	0.20	0.78
G03	177.88(201.08)	157.81	20.07	7.86	0.67	0.93	0.19	0.21	0.80
G04	193.21(220.61)	172.17	21.04	8.18	0.73	0.95	0.22	0.19	0.82
G05	199.82(225.92)	179.77	20.05	8.97	0.76	1.02	0.21	0.19	0.86
G06	175.25(200.65)	155.43	19.82	7.84	0.69	0.97	0.20	0.20	0.82
G07	182.27(207.67)	161.87	20.40	7.93	0.69	1.00	0.20	0.20	0.82
G08	186.02(211.22)	165.06	20.96	7.88	0.67	0.94	0.19	0.20	0.83
G09	187.53(211.93)	167.76	19.77	8.49	0.80	0.93	0.23	0.20	0.76
G10	176.63(201.53)	156.10	20.53	7.60	0.64	1.05	0.19	0.20	0.90
G11	187.21(212.06)	166.22	21.04	7.90	0.70	0.95	0.21	0.19	0.89
G12	173.54(195.14)	154.39	19.15	8.06	0.66	0.97	0.19	0.20	0.86
G13	183.70(209.60)	161.79	21.91	7.38	0.65	0.97	0.18	0.19	0.87
G14	195.54(220.94)	172.69	22.85	7.56	0.67	0.97	0.20	0.19	0.87
G15	178.44(197.74)	161.60	16.84	9.60	0.73	0.95	0.21	0.20	0.79
G16	190.76(215.46)	171.34	19.42	8.82	0.68	0.98	0.20	0.20	0.77
G17	182.16(204.56)	162.99	19.17	8.50	0.71	0.96	0.21	0.19	0.82
G18	196.51(219.81)	177.20	19.31	9.18	0.65	0.99	0.18	0.19	0.88
平均	185.42(209.72)	165.33	20.09	8.23	0.70	0.97	0.20	0.20	0.82

注:括号中数据包括Y,稀土含量及轻、重稀土总量为实测值

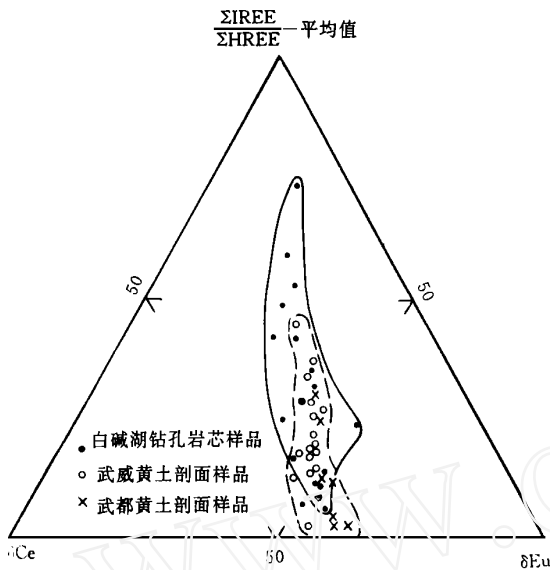


图2 白碱湖钻孔、武威黄土、武都黄土地化参数关系  
Fig. 2 Relationship of geochemical indices  
of the Baijiahu core, Wuwei loess and Wudu loess

泛存在于干旱—半干旱环境,而在潮湿条件下不稳定的粘土矿物伊利石,其平均含量占粘土部分的12% (变化于9%~17%)。除此之外,所有样品中仅有G02号样含5%的高岭石,故总体来看,粘土矿物种类十分单调。另一个特点是:粘土部分中平均含有10%左右的方解石,且大多样品含量十分接近此值,这些特点及事实,均与前述其它研究结果一致,即武威剖面中不同时代黄土具有统一而持续稳定的物质来源供给区域和类似的沉积环境;变化幅度不大,至少是水热条件下配置不佳的气候背景。

## 5 武威黄土剖面元素地球化学的气候环境意义,物质来源及与黄土高原典型黄土剖面的对比

不同气候条件下存在着一定的与之相适应的沉积物,这些沉积物与它所处环境之间的适应或者平衡关系是通过沉积矿物及元素组成的迁移或富集及元素重新组合、产生新矿物来实现的。因而,它们不但具有原岩的组成特征,而且记录着它们形成时的气候环境,这就是我们利用元素地球化学的研究来探讨气候变化历史的理论基础。通过探讨沉积物中保留的信息来探索其物质来源,区分不同沉积物进

而分析其搬运营力及途径,沉积后变化而与气候环境联系起来。中国北方广泛分布的黄土层便是这类沉积物的典型代表。

区域对比研究结果证实,尽管兰州地区黄土中的气候记录与洛川剖面有所差异,如洛川剖面中至少在中更新世以来以 $S_5$ 发育最好,而兰州则以 $S_4$ 为代表<sup>[3]</sup>;但在洛川、兰州之间存在着沉积环境变化一定的规律性,不仅如此,它们的物质来源也是一致的,而且这种物质来源的一致性,可以追索至黄土高原南缘西秦岭山地的武都黄土<sup>[5,6]</sup>。

通过对比分析发现,尽管武威黄土剖面中的古土壤难于鉴别和进行野外对比,但元素地球化学分析结果显示G08号样品代表的古土壤层发育较好并可能与兰州地区 $S_4$ 相当。一般比较而言,武威黄土剖面与兰州剖面形成环境的差异表现在兰州较为干燥,但温度略高;而武威黄土剖面则因海拔较高而表现为湿度相对较大、温度较低的环境,即两剖面元素地球化学行为及反映的环境控制因子为兰州以降水为主而武威则以温度为主,这与兰州处于一个大范围干旱—半干旱背景和武威张家大庄剖面位于山麓地带的地理位置有关。

如果我们将位于黄土高原北缘并和腾格里沙漠相毗邻的武威黄土剖面与位于其南缘西秦岭山地武都黄土剖面做以对比,就会发现它们之间存在着很大的相关性,如构成黄土主体部分的8种氧化物总量平均值为:武威88.99% (变化于87.26%~90.46%)、武都为86.08% (变化于79.97~92.76%);介于它们之间的兰州黄土为86.42% (变化于78.84%~95.26%);稀土总量(实测值)平均分别为:武威185.42 (变化于169.31~199.82)  $\mu\text{g/g}$ 、武都为184.78 (变化于175.54~196.91)  $\mu\text{g/g}$ ;LREE/HREE值分别为8.23、9.88;Eu/Sm值为0.20、0.18;Sm/Nd值为0.82、0.87。这些可比的实测值及计算值,充分说明了它们的物质构成的同源性,而其中微弱但可辩的差异明确的揭示了两区沉积环境的不同和主控制因子的差别。这也进一步证明了元素地球化学在同类沉积物中作为气候指标的可靠性和有效性。

## 6 主要结论

通过对武威黄土剖面元素地球化学的系统研究和与其它地区研究结果的对比分析,我们可以得出以下几点主要结论:

1) 元素地球化学可以作为追索物质来源并通过不同元素地球化学行为及组合、分异特点、特征参数来探讨沉积物中气候信息的有效途径和可靠手段。

2) 位于腾格里沙漠南缘、祁连山山脉北麓的武威黄土剖面形成于距今约 80~85 万年以来,它与以兰州及洛川黄土为代表的黄土高原典型黄土剖面及黄土高原南缘西秦岭山地武都黄土具有相同的物质成分和统一的物质供给区域。

3) 武威黄土剖面所反映的气候环境变化信息表明,其气候变化由于海拔高度和温、湿复杂配置关系的影响,不是十分明显且幅度不大;形成的古土壤发育程度不高,温度的变化对古土壤的发育有控制意义。G08 号样品所在的古土壤层所代表的气候事件与兰州九州台剖面 S<sub>4</sub> 相当,但表现为相对温度较低,湿度较大的环境特点,正是这种特点,造成了在黄土高原其它地区十分有效的磁化率在武威黄土剖面失去了它的可比气候意义。

4) 对于同一类沉积物而言(黄土),其元素组合、

特征参数、自生矿物组合等方面的微弱差异,反映了不同地区沉积环境的差异。在同一参考标准下,利用同一分析方法,对不同地区同一类型沉积物进行深入、系统的分析,对于探讨不同地区气候环境差异及区域分异,进而探讨气候变化特点具有十分重要的意义。

#### 参 考 文 献

- [1] 刘东生等. 黄土与环境. 科学出版社, 1985.
- [2] 文启忠等. 中国黄土地球化学. 科学出版社, 1989.
- [3] 张虎才, 张林源, W. C. Mahany 等. 兰州九州台黄土剖面元素地球化学研究. 地球化学, 1991, 1: 79~86.
- [4] 文启忠, 余素华, 孙福庆等. 陕西洛川黄土剖面中的稀土元素地球化学, 1984, 2: 126~133.
- [5] 张虎才. 武都黄土堆积及晚更新世以来环境变迁研究. 兰州大学学报, 1997, (1): 105~114.
- [6] 张虎才. 武都黄土剖面稀土元素研究. 地球化学, 1996, (6): 545~551.

## A Study on Elemental Geochemical Characters of the Wuwei Loess Section in the South Vicinity of Tengger Desert

*Zhang Hucai Li Jijun Ma Yuzhen Cao Jixiu and Wang Naiang*

(Department of Geographical Sciences Lanzhou University, Lanzhou 730000)

### Abstract

The elemental geochemical analysis results on 18 samples taken from a 115m thick loess section which is located in Wuwei on the south vicinity of Tengger Desert, showed that the 8 common elemental oxides make up 88.99% of the material with a very narrow variable range, from 87.26 to 90.46 per cent, indicating the similarity of the loess material in the whole section. The average weathering indices expressed by the ratios of  $Fe_2O_3/FeO$  and  $Al_2O_3/SiO_2$  are 1.46 and 0.19, ranging from 1.02 to 2.86 and 0.17 to 0.22, respectively. The average content of REE is  $185.42\mu g/g$ , ranging from  $169.31$  to  $199.82\mu g/g$  and the REE distribution pattern is of a relatively big slope and obvious anomaly of Eu, in the reference with the ratio of LREE/HREE, which is 8.23 averagely, ranging from 7.38 to 9.60 and showing a relatively strong fractionation which indicates a considerable degree of weathering. At the same time, the indices of  $Eu/Sm$ ,  $Sm/Nd$ ,  $Nd/La$ ,  $\delta Eu$  and  $\delta Ce$  proved that the loess materials of different ages are transported from a common source area that is similar to the typical loess in Loess Plateau.

**Key Words** loess elemental geochemistry source area of loess material