

宁夏中卫长流水剖面沉积物中 稀土元素及其环境意义

余素华 郑洪汉

摘要 通过对我国西北腾格里沙漠前缘凹地 - 宁夏长流水剖面第四纪沉积物中稀土元素、分布模式、特征参数和稀土元素之间以及其他元素相关系数研究,探讨了该区河湖相沉积物的物质来源及气候环境演化过程。初步认为该凹地第四纪晚期近7万年以来沉积物经历了三次较大的干冷 / 温湿气候环境演化并存有4~5次亚一级的气候冷暖阶段性变化。其中在约2.7 m处,湖相沉积层中大多稀土元素有突变现象,可能代表了全新世大暖期(9300~5300 a B P)在该区的反应。同时,认为风成砂是进入该区沉积体系的主要物源并保留母岩特征,但也不排除凹地周围侏罗纪基岩受风化剥蚀后随水带入沉积体系。该剖面的沉积物大致以风成砂、河流沉积、湖泊沉积旋回叠覆与气候干冷、冷湿、温湿趋于同步变化的模式。总体以干旱荒漠环境为主导,化学风化相对微弱,生态环境十分脆弱。

关键词 晚更新世 沙漠前缘 稀土元素 气候环境 宁夏

第一作者简介 余素华 女 47岁 副研究员 第四纪地质与地球化学

REE of Sediments of the Changliushui Section at Zhongwei County of Ningxia Province and the Environmental Significance

Yu Suhua Zheng Honghan

(Guangzhou Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences Guangzhou 510640)

Abstract

Reported in this paper are the REE distribution patterns, character parameter and correlation coefficient between REE & primary elements in Quarternary sediments of Chang - liushui section developed at a depressed gully at Zhongwei County of Ningxia Region, near the southern margin of the Ala Shan Desert in North - West China. The material source of the fluvo - lacustrine deposits and the evolutionary of the climate and the environment in the desert front area also discussed here in the section, there are three main climatic and environmental changes from dry and cool to warm and moist during deposition, and four or five secondary climatic fluctuations. At the depth of 2.7 m, the content of REE change very clearly. It seems a reflection of temperate period of Holocene in the area (9300 ~ 54300 a.B.P.). REE characters show that the source of the aeolian sands of the deposit area mainly came from surrounding parent rock material.

Additionally, it is also possible that the weathered material of Jurassic rock was brought into the sedimentary series by washing. The change of sedimentary facies from aeolian to fluvial then to lacustrine origins synchronously coincided with the change of climate from dry - cold cold-moist to warm moist. The arid desert environment is dominant, in which the chemical and weathering processes are weak.

Key words Late pleistocene margin of desert REE climate environment Ningxia province

已有研究资料报导, 近百年来全球年平均气温上升约0.4℃, 北半球上升了0.34℃^[1]。一般认为, 气温变暖是由于大气严重污染、森林大面积破坏, 尤其是19世纪中叶工业革命以来, 大气中(CO₂)和稀有气体(CH₄, N₂等)含量增加, 产生温室效应所致。由于人类不合理的开发活动和自然环境的恶化导致沙漠扩展。沙漠化是严重危及人类生产、生活的重大环境问题之一。因此, 我国对沙漠区治理、绿洲重建、盐湖资源利用、农牧业发展等十分重视。所以, 对于该地区开展地球化学和气候环境研究十分重要。本文试图通过对我国西部沙漠边缘凹地第四纪沉积物中沉积地球化学问题和气候环境演化过程, 期望对预测未来气候变化起到“以古论今”的效果。

1 地质剖面情况

我国西北干旱半干旱区占全国面积的37.7%, 主要分布地在75~125°E, 35~50°N的内陆盆地和高原。横跨极端干旱荒漠、干旱荒漠草原、半干旱草原和半湿润森林草原五个生物气候亚带, 属全球自然地理系统中的一个脆弱生态环境地带。

长流水剖面位于宁夏回族自治区中卫城以西约30 km处, 北面是腾格里大沙漠。该剖面座标位置: 38°50′E, 106°20′W, 海拔1500 m, 出露剖面厚度约20 m, 其上部覆有现代沙漠沙丘, 底部出露侏罗纪基岩。全剖面由14层风成砂、河流相、湖泊相沉积交叠组成。对该剖面以15~25 cm间距取样分析, 样品总数为62块, 本文选择27块样进行稀土元素测定。该剖面发育在黄河北岸的凹陷低谷处, 其高度相当于黄河三级阶地。为一套第四纪晚期(第13层底部, 约3.6m处的风成砂样, 据热释光测定年龄约距今7.4万年)以来的河湖相连续沉积序层, 对于研究沙漠边缘区古水文和湿润环境的地球化学演化具有代表意义。

2 样品处理和分析技术

样品处理 样品经选出杂物后, 在100℃烘箱中烘8小时左右, 冷却后在玛瑙乳钵中碾磨, 过200目筛, 存放在干燥器中备用。

分析技术 分析方法系采用仪器中子活化分析法(INAA)。所用仪器是SCORPIO-300程控 谱仪。能谱分析、数据处理由PDP 11/04小型计算机按GELI程序进行。将样品和标准在微量天平准确称重20~30 mg, 用高纯铝箔包好后在反应堆照射8小时, 中子通量为 $8 \times 10^3 \text{ ns}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, 冷却7天后在Ge(Li) 谱仪上测量放射性, 测量时间为2000~3000s, 可测出La、Sm等元素短寿命核素; 冷却15天后可测出Ce、Eu、Nd、Tb、Yb、Lu等元素长寿命或半长寿命核素。

3 结果和讨论

1.1 稀土元素和分布

稀土元素作为一组特殊的元素在地球化学的研究中占有相当的地位。由于稀土元素(REE)化学性质上的相似,以致在自然界中它们总是共生在一起,但在原子结构上却存在微小差别,导致各元素之间化学特性的差异。因此,稀土元素在不同的地质过程中,发生一定的分馏,致使它们的分布状况和配分模式有着不同的特征。因此,可以利用REE的地球化学特征解释一些地质问题。

由表1可见,宁夏长流水剖面沉积物中稀土元素总量(REE)为94.9~153.7 $\mu\text{g/g}$,平均值为122.9 $\mu\text{g/g}$ (不含Y值,未测得元素采用内插法估算求得)。其中,钪族元素富集,均值为109.2 $\mu\text{g/g}$,占88.9%;钇族元素丰度较低,均值为13.7 $\mu\text{g/g}$,占11.1%。该剖面沉积物中稀土元素总量高于剖面顶部和底部的现代风成砂(85.8 $\mu\text{g/g}$)和侏罗纪基岩(63.8 $\mu\text{g/g}$),约是它们的1.4倍和2倍,表明在沉积过程中稀土元素相对积累;低于中国黄土(171 $\mu\text{g/g}$)中平均含量。长流水剖面不同岩性(风成砂、河流相、湖泊相)中稀土元素总量、分量轻、中和重稀土组分含量均很接近(表2)说明该剖面各沉积层的物质来源一致。

图1表明,在约2.7 m处,湖泊相沉积层约8.5 m处的埋藏风砂层和约11.7 m处的埋藏风砂层中稀土元素La、Ce、Nb、Sm等有明显突增现象。其中,在湖泊相沉积层和埋藏风砂层中稀土元素突增现象,可能与气温升高,粘化作用相对加强,活性态REE以羟联形式组成多核络离子或与Fe、Al组成异核多络离子,使粘土矿物与有机质联结起来,从而富集保留下来有关^[3]。而在湖泊相沉积层(2.7 m处)中Eu表明明显负异常现象,可能由于随气温逐渐升高,微生物相对活跃,Eu⁺³以Eu⁺²存在所致。这些元素富集亏损的现象可能代表了在相对温暖湿润的气候环境。其中,2.7 m处湖泊相沉积层中稀土元素有突变现象,这可能是全新世大暖期(5 300~9 300年)在该区的反应。对于埋藏沙丘中稀土元素突变现象还有待进一步查明。再就是该剖面REE变化曲线,还可辩出4~5个次一级的突变现象,它们代表了亚一级气候交替。

表1 稀土元素含量与特征值

Table 1 Contents($\times 10^{-6}$)and character values of REE

名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
长流水沉积物	25.1	50.3	(5.96)	22.7	4.36	0.79	(3.06)	0.63	(3.81)	(0.86)	(2.37)	(0.35)
现代风成砂	19	34	(4.18)	15	3.2	0.62	(2.89)	0.47	(2.74)	(0.59)	(1.59)	(0.23)
侏罗纪基岩	15	26	(3.14)	11	2.0	0.40	(1.53)	0.26	(1.65)	(0.39)	(1.14)	(0.18)
中国黄土(3)	34.0	66.8	(7.97)	37.3	6.02	1.18	(4.43)	0.83	(4.53)	(1.17)	(2.61)	(0.52)
中国陆壳(7)	42	79	9.5	46	7.3	1.6	7.4	1.0	6.2	0.96	2.6	0.43
大洋壳(8)	5.9	15	2.6	13	4.1	1.3	5.5	(0.83)	5.2	(1.2)	3.6	0.6
地壳(8)	30	60	8.2	28	6.0	1.2	5.4	0.9	3	1.2	2.8	0.48
球粒陨石(10)	0.30	0.48	0.12	0.58	0.21	0.074	0.32	0.049	0.31	0.073	0.21	0.033

燕窝湖沉积物	11.3	21.3	(3.06)	13.5	3.52	1.31	(5.03)	0.737	(4.36)	(0.96)	(2.58)	(0.38)
名称	Yb	Lu	REE	La-Nb%	Sm-Ho%	Er-Lu%	Ce / Y	Y	Eu / REE			
长流水沉积物	177	0.30	122.91	84.17	11.4	3.7	8.0		0.6			
现代风成砂	1.1	0.20	85.81	84.12	12.25	3.64	7.8		0.7			
侏罗纪基岩	0.94	0.15	63.79	86.44	9.78	3.8	9.2		0.6			
中国黄土(3)	2.69	0.43	171	85.4	10.7	3.7	8.9		0.7			
中国陆壳(7)	3.2	0.41	85.0	11.8	3.2	8.4	0.8					
大洋壳(8)	3.3	(0.65)	62.8	58.1	28.9	13.0	2.0		2.1			
地壳(8)	0.3	0.5	148	85.3	12.0	2.7	9.1		0.8			
球粒陨石(10)	0.17	0.031	3.32	54.4	31.2	13.4	1.8		2.2			
燕窝湖沉积物 (9)	1.85	0.344	70.2	69.9	22.7	7.4	3.3		1.9			

表2 宁夏中卫长流水剖面不同沉积物的稀土元素含量($\times 10^{-6}$)与特征值
 Table 2 Contents($\times 10^{-6}$)and character values of REE of different sediments
 in Chang-liushui section of Zhongwei County,Ningxia province

岩性	La	Ce	Nb	Sm	Eu	Tb	YU	Lu	REE	LREE	MREE	HREE	L/H
风成砂	25.7	49.9	22.4	4.3	0.78	0.63	1.76	0.30	122.75	104.04	13.9	4.80	8.07
河流相	24.9	51.0	22.1	4.4	0.81	0.64	1.86	0.31	122.77	103.32	14.4	5.07	7.83
湖泊相	24.6	50.8	22.4	4.3	0.75	0.60	1.60	0.27	121.64	103.60	13.6	4.45	8.47

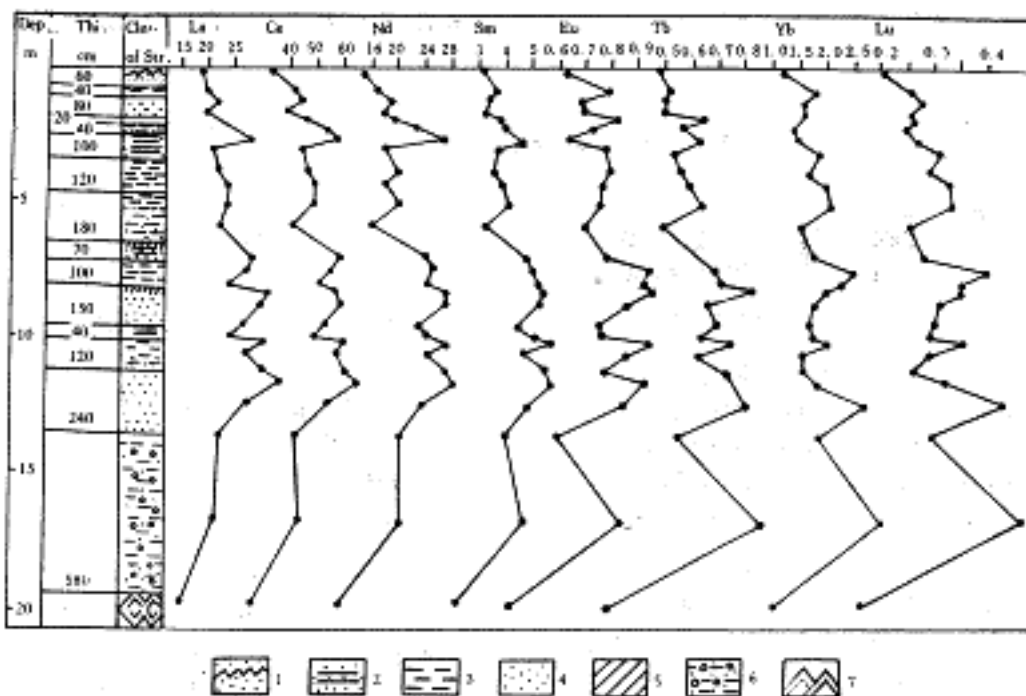


图1 宁夏中卫长流水剖面沉积物中REE含量变化曲线

1.现代风成砂；2.湖泊沉积；3.河流沉积；4.埋藏沙丘；5.剥蚀层；6.河流与碎屑砾岩混合层；7.侏罗纪基岩

Fig.1 REE variation curve of Chang-liushui section Zhongwei County, Ningxia province

3.2 稀土元素分布模式

图2A表明，阴影区为长流水剖面沉积物中稀土元素含量范围，该剖面沉积物中稀土元素分布模式彼此相似，均属轻稀土适度富集，缓右倾斜型Eu呈负异常分布模式。表明长流水剖面中风成砂、河流相、湖泊相沉积物稀土元素分布模式与该剖面顶部现代风成砂的十分相似。表明它们的物质来源相同。与该剖面底部侏罗纪基岩相比较，La - Eu基本相似，Eu-Lu稍有不同，即Eu负异常不明显，元素Lu、Tb较为贫缺。这事实说明风成砂是进入该区内陆湖泊沉积体系的主要物源，但也不排除湖盆周围侏罗纪基岩受风化剥蚀后随水带入沉积体系。

图2B为长流水剖面沉积物的稀土元素分布模式与不同类型沉积物相比较。与中国黄土相比较〔3〕，元素Ce相对富集。可能由于该剖面环境较黄土堆积环境相对湿润，引起介质条件改变(pH降低)，使元素Ce相对积累。即在表生沉积过程中，在强碱性介质条件下Ce要发生转移，而在酸性介质条件下又会引起Ce含量的增高〔4, 5, 6〕。与中国陆壳相比〔7〕，陆壳的元素Ce、Lu分馏，长流水剖面沉积物中元素Ce、Lu相对富集。与地壳相比〔8〕，REE分布模式基本相似，但地壳的元素Lu相对富集，与大洋壳层的相比较〔8〕，大洋壳层轻稀土元素相对贫缺，元素Lu富集。与长城湾燕窝湖的比较〔9〕，燕窝湖沉积轻稀土贫缺Eu富集，而长流水剖面沉积物相对富集轻稀土元素，Eu呈弱异常。

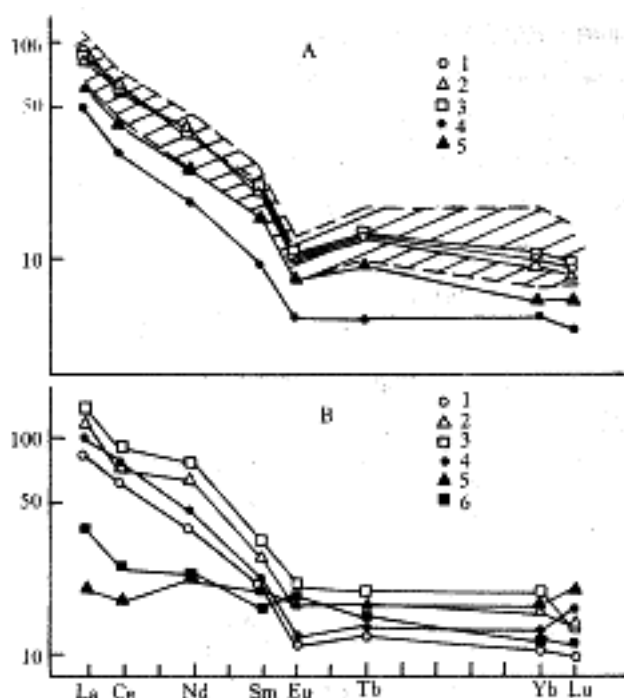


图2 稀土元素分布模式

A.宁夏长流水剖面沉积物中稀土元素分布模式

- 1.风成砂；2.湖泊沉积；3.河流沉积；4.侏罗纪基岩；
- 5.现代沙漠沙；B.不同沉积物中稀土元素分布模式

- 1.长流水沉积物；2.中国黄土；3.中国陆壳；
- 4.地壳；5.大洋壳；6.燕窝湖沉积物

Fig.2 REE Distribution Patterns

A.REE Distribution Patterns in Different Sediments from the Chang-liushui Section of Zhongwei County, Ningxia Region

B.REE Distribution Patterns in Other Sediment

综上所述，该剖面沉积物的稀土元素分布模式主要继承了来源区母岩的特征。与黄土物质有共同物源区，但在漫长的沉积过程中，由于受区域沉积环境介质条件影响元素Ce相对积累。且与中国黄土、中国陆壳、地壳均属陆源物质的稀土元素分布模式，而有别于大洋壳层和长城湾燕窝湖的稀土元素分布模式。

3.3 稀土元素特征值

REE、Ce/Y、Eu/Sm、Sm/Nd、Ce/Ce \cdot 和Eu/Eu \cdot 等比值都可能受到风化、沉积和成岩作用的影响，但主要是反映其来源物质的特征。因此，通过对稀土元素分馏特征研究，有助于进一步查明该剖面沉积物的来源。图3和图4系将长流水剖面沉积物中稀土元素的轻、中、重成分 Ce/Y、Eu/REE 比值，与长流水剖面顶部风成砂和底部侏罗纪基岩、中国黄土、中国陆壳、整个大洋壳层、地壳、球粒陨石^[10]，南极长城湾燕窝湖沉积作多项对比。

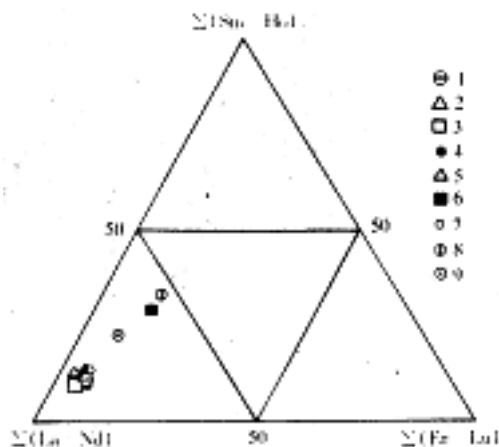


图3 稀土元素成分三角图

- 1.长流水沉积物；2.现代风成砂；3.侏罗纪基岩；
- 4.中国黄土；5.中国陆壳

Fig.3 A triangular map of REE

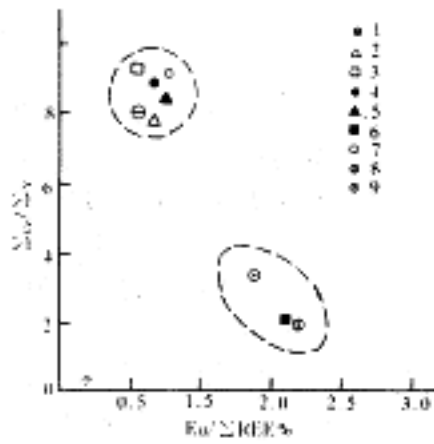


图4 各类岩石的 Ce/ Y、Eu/ REE比值散点
 1.长流水沉积物；2.现代风成砂；3.侏罗纪基岩；4.中国黄土；
 5.中国陆壳；6.大洋壳；7.地壳；8.球粒陨石；9.燕窝湖沉积物

Fig.4 Plot of Ce/Y、Eu/ REE ratios form different rocks

图4表明，长流水剖面沉积物与风成砂、侏罗纪基岩、黄土、陆壳、地壳沉积区分布在图中相对富 La - Nd区域；而大洋壳层、球粒陨石和燕窝湖沉积区分布在相对富 Sm - Ho和 La - Nd区域。

图4 Ce/ Y、Eu/ REE比值特征表明，长流水剖面沉积物及黄土、陆壳、地壳分布在图右上方贫钕富铈族稀土区，其 Ce/ Y在7.8 ~ 9.2Eu/ REE在0.6 ~ 0.8之间；大洋壳层、球粒陨石和长城湾燕窝湖分布在图右下方，相对富钕贫铈族稀土区，Ce/ Y在1.8 ~ 3.3、Eu/ REE在1.9 ~ 2.2之间。

以上结果表明，长流水剖面沉积物与剖面周围的风成砂、侏罗纪基岩、中国黄土、中国陆壳、地壳物质关系密切，彼此的亲缘性十分显著，表明长流水剖面物质与风成砂具有同源性，侏罗纪基岩是其物源之一，并与黄土物质有较大范围共同物源区。说明该剖面沉积物受环境影响较小，以干旱沉积环境为主导，化学风化不强烈，主要继承了蚀源区母岩特征。

表3 稀土元素的相关系数

Table 3 Correlation matrix of REE

	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
La		+++	+++	+++	++	+++		
Ce	0.962		+++	+++	+	++		
Nd	0.803	0.779		+++		+		
Sm	0.865	0.839	0.733		+++	+++		+
Eu	0.507	0.465	0.340	0.649		+++	+	++
Tb	0.621	0.575	0.473	0.794	0.661		+++	+++

Yb	0.023	0.007	-0.012	0.314	0.474	0.628		+++
	0.182	0.144	0.143	0.421	0.561	0.724	0.963	

表4 稀土元素与其它元素的相关系数

Table 4 Correlation analysis of REE & primary elements

	Na	Cr	Fe	Co	Rb	Cs	Zr	Hf	Sr	U	Th	W	Au	As	Sb	Sr	Ba
La	.532	.441	.384	.382	.462	.472	.100	.130	.509	-.059	.766	-.279	-.052	.050	-.073	-.023	-.091
Ce	.429	.388	.362	.257	.489	.543	.103	.097	.504	.043	.799	-.277	.028	.129	-.011	.040	-.085
Nb	.393	.364	.289	.244	.432	.329	.087	.089	.421	-.041	.657	-.310	.032	.89	-.003	-.130	-.066
Sm	.732	.581	.644	.453	.636	.598	.370	.389	.731	.153	.885	-.331	.028	.304	.235	-.111	-.048
Eu	.371	.574	0.729	.646	.542	.694	.259	.443	.697	.149	.404	-.206	.119	.320	.163	.141	.384
Tb	.656	.478	0.604	.596	.468	.483	.282	.269	.637	-.020	.606	-.383	.054	.295	.215	.001	.039
Yb	.280	.302	0.517	.360	.388	.353	.563	.551	.494	.193	.197	.076	.136	.401	.485	-.043	.136
Lu	.376	.423	.566	.446	.397	.380	.560	.541	.521	.164	.271	.021	.106	.397	.417	-.066	.170

3.4 稀土元素间及与其他元素的相关性

表3为长流水剖面沉积物中稀土元素间的相关系数，表明稀土元素Eu与Ce，Yb、Nd与Tb,Sm与Lu一般相关；Ce与Tb，Eu与La显著相关；La、Ce与Nd、Sm、Tb,Sm与Eu、Nd、Tb、T与Eu、Yb、La、Yb与Lu呈极显著相关。总体来说，该剖面沉积物中稀土元素之间是有不同程度的正相关关系。

表4为长流水剖面沉积物中稀土元素与其他元素间的相关系数，表明相关性水平为：La、Ce、Tb与Na、Cr、Rb、Cs、Sc,Yb、Lu与Cr、Co、Sc、Sb,Nb与Rb、Sc,Sm与Co,Eu与Hf一般相关；La与Na、Sc,Sm、Eu与Cr、Rb、Cs,Tb与Fe、Co、Th,Yb、Lu与Fe、Zr、Hf、Sc显著相关；La、Ce、Nd、Sm与Th,Sm、Eu与Nd、Fe、Rb、Cs、Sc,Tb与Nd、Sc极显著相关。总体表明稀土元素与Th、Sc、Fe、Na、Rb、Cs、Co、Cr、Hf、Zr等元素呈明显正相关关系，而与W、Sr、Ba、U等元素具有不同程度负相关关系。

4 结论

1)西北腾格里沙漠前缘凹地宁夏长流水剖面第四纪沉积物中稀土元素总丰度值不高，平均值为123 $\mu\text{g/g}$ (不包括Y值)左右。表现该剖面沉积以风成砂、河流相沉积、湖泊沉积旋回叠覆与气候环境干冷、冷湿、温湿趋于同步变化。总体以干旱荒漠环境为主导，化学风化相对微弱。

2)初步认为该区第四纪晚期约7.4万年以来经历了三次较大的干冷/温湿气候环境演化。并存有4~5次亚一级的气候阶段性变化，在2.2 m处湖相沉积层中大多REE有突变现象，代表了全新世大暖期(5 300~9 300年)在该区的反映。

3)该剖面沉积物都属轻稀土适度富集，缓右倾斜型Eu呈弱负异常的REE分布模式。风成砂、河流相、湖相沉积与现代风成砂稀土元素分布模式彼此类同，证明风

成砂是该湖盆沉积的主要物源。与黄土稀土元素分布模式也相似，它们都属同源物质。但沉积的区域环境不同。

4)该剖面沉积物中 Ce / Y、Eu / REE等特征值，在稀土分馏与岩石成因关系中位置，可判明该剖面沉积主要是风成砂进入沉积体系，并保留了母岩的特征，同时不排除侏罗纪基岩受风化剥蚀后经外力混合进入沉积体系。

5)长流水剖面沉积物各元素间相关系数研究表明，稀土元素之间呈明显正相关关系；且稀土元素与Th、Sc、Fe、Na、Rb、Cs、Co、Cr、Hf、Zr等元素呈明显正相关关系，而与W、Sr、Ba、U等元素具有不同程度的负相关关系。

致谢 本工作得到刘东生先生的悉心指导，袁宝印教授对工作给予很大的支持和关心，谨致谢忱！

本文系“八五”国家自然科学基金重大研究部分在成果
作者单位：中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640

参考文献

- 1 Ker R A. The Global Warming is Real Science, 1989, 603 ~ 604
- 2 Yu Suhua, Zheng Honghan, Chen Xiaobo. The Ehemerntal Geodchemical Characteristis of ate Quatemart of Yanwo Lake Core form Great Wall Staion, King George island Antarctica Research. 1992, 4(3): 31 ~ 37
- 3 余素华，文启忠. 黄土中的稀土和稀有元素. 中国黄土地球化学，北京：科学出版社，1989. 95 ~ 114
- 4 陈志澄，陈达慧，俞受荃等. 试论有机质在华南花岗岩风化壳REE溶出、迁移和富集中的作用. 地球化学. 1985. 23(2)：168 ~ 178
- 5 Liu Tungsherg. Loess and the Environment. Beijiing：China Ocean Press，1985. 129 ~ 134
- 6
，1976. 147 ~ 149
- 7 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度. 地球化学. 1994. 23(2)：140 ~ 145
- 8 中国科学院贵阳地球化学研究所编辑. 简明地球化学手册. 北京：科学出版社，1977. 67 ~ 71
- 9 余素华，郑洪汉，陈肖伯等. 南极长城站区燕窝湖岩芯中稀土元素特征. 南极研究. 1993，5(3)：49 ~ 54
- 10 Haskin L A, Schmitt R A, Smith R H. Meteoritic, Solar and Terrestrial Rare Earth Distribution, In: Runcom and Urey, eds physics and Chemisty of the Earth 7. Ahrens Press, 1966. 167 ~ 321

收稿日期：1996-12-21 收改稿日期：1998-11-17

作者: [余素华](#) [郑洪汉](#), [Yu Suhua](#), [Zheng Honghan](#)
中国科学院广州地球化学研究所, 广州, 510640

刊名: [沉积学报](#) [ISTIC](#) [PKU](#)

英文刊名: [ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA](#)

年, 卷(期): 1999, 17(1)

被引用次数: 16次

参考文献(10条)

1. [Ker R A](#) [The Global Warming is Real](#) 1989
2. [Yu Suhua](#); [Zheng Honghan](#); [Chen Xiaobo](#) [The Ehemerntal Geodchemical Characteristis of ate Quatemart of Yanwo Lake Core form Great Wall Staion](#) 1992(03)
3. [余素华](#); [文启忠](#) [黄土中的稀土和稀有元素](#) 1989
4. [陈志澄](#); [陈达慧](#); [俞受莹](#) [试论有机质在华南花岗岩风化壳REE溶出、迁移和富集中的作用](#) 1985(02)
5. [Liu Tungsherg](#) [Loess and the Environment](#) 1985
6. [б а п а ш о в ю а](#) [г е о х и м и я Р е д к о з е м е и ь х э п е м е н т о в](#) 1976
7. [黎彤](#) [中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度](#)[期刊论文]-[地球化学](#) 1994(02)
8. [中国科学院贵阳地球化学研究所](#) [简明地球化学手册](#) 1977
9. [余素华](#); [郑洪汉](#); [陈肖伯](#) [南极长城站区燕窝湖岩芯中稀土元素特征](#)[期刊论文]-[南极研究](#) 1993(03)
10. [Haskin L A](#); [Schmitt R A](#); [Smith R H](#) [Meteontitc, Solar and Terrestrial Rare Earth Distribution, In: Runcom and Urey, eds physics and Chemisty of the Earth7](#) 1966

引证文献(16条)

1. [金明](#), [李妩巍](#) [乌兰花地区下白垩统、上新统岩石地球化学特征及其古气候演变](#)[期刊论文]-[铀矿地质](#) 2003(6)
2. [谢周清](#), [孙立广](#), [刘晓东](#), [赵俊琳](#) [近2000年来南极菲尔德斯半岛西湖沉积物中稀土元素1/δEu特征与气候演变](#)[期刊论文]-[沉积学报](#) 2002(2)
3. [强明瑞](#), [李森](#), [金明](#), [陈发虎](#) [60 ka来腾格里沙漠东南缘风成沉积与沙漠演化](#)[期刊论文]-[中国沙漠](#) 2000(3)
4. [丁秋红](#), [金成洙](#), [张立东](#), [郭胜哲](#), [张长捷](#), [彭艳东](#), [贾斌](#), [陈树旺](#), [邢德和](#), [郑月娟](#) [四合屯含鸟化石层地球化学异常及沉积环境](#)[期刊论文]-[地质与资源](#) 2003(3)
5. [匡少平](#), [徐仲](#), [张书圣](#), [马振东](#) [运用地球化学方法研究中、新生代环境气候演替——兼论四川盆地侏罗纪气候变化](#)[期刊论文]-[青岛化工学院学报\(自然科学版\)](#) 2002(1)
6. [LIN Chunye](#), [HE Mengchang](#), [LI Yanxia](#), [YANG Linsheng](#), [LIU Ruimin](#), [YANG Zhifeng](#) [Rare earth element content in the SPM of Daliao river system and its comparison with that in the sediments, loess and soils in China](#)[期刊论文]-[稀土学报\(英文版\)](#) 2008(3)
7. [范玉海](#), [屈红军](#), [王辉](#), [杨县超](#), [冯杨伟](#) [微量元素分析在判别沉积介质环境中的应用——以鄂尔多斯盆地西部中区晚三叠世为例](#)[期刊论文]-[中国地质](#) 2012(2)
8. [张文翔](#), [张虎才](#), [雷国良](#), [杨伦庆](#), [类延斌](#), [常风琴](#), [蒲阳](#), [庞有智](#) [稀土元素指标δCe-εREE对沉积相的指示研究](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 2009(4)
9. [曹军骥](#), [张小曳](#), [王丹](#), [周杰](#) [晚新生代风尘沉积的稀土元素地球化学特征及其古气候意义](#)[期刊论文]-[海洋地质与第四纪地质](#) 2001(1)
10. [杨競红](#), [王颖](#), [张振克](#), [J. -P. Guilbault](#), [毛龙江](#), [魏灵](#), [郭伟](#), [李书恒](#), [徐军](#), [季小梅](#) [宝应钻孔沉积物的微量元素地球化学特征及沉积环境探讨](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 2007(5)
11. [陈秀玲](#), [李志忠](#), [贾丽敏](#), [郭利成](#) [新疆伊犁河谷沙漠沉积的稀土元素特征及其环境意义](#)[期刊论文]-[第四纪研究](#) 2013(2)
12. [孔为伦](#) [大别造山带周缘盆地中生代古环境与古气候研究](#)[学位论文]硕士 2006
13. [陈树旺](#) [四合屯地区义县组火山活动与生物灾难事件耦合关系](#)[学位论文]博士 2004
14. [张立军](#) [辽宁北票四合屯盆地地下白垩统义县组生物群及沉积环境研究](#)[学位论文]博士 2005

15. 张立东 北票一义县地区义县组化石沉积层的层位、时代及形成环境[学位论文]博士 2004
辽西北票义县地区义县组古植物群及其古生态学研究[学位论文]博士 2004

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_cjxb199901025.aspx