黄河中游地区马兰黄土的稀土元素*

吴明清　文启忠[1)]　潘景瑜[1)]　刁桂仪[1)]

（中国科学院地球化学研究所，贵阳 550002；[1)]中国科学院地球化学研究所广州分部，广州 510640）

关键词　稀土元素、马兰黄土、黄河中游地区

文启忠等人[1-3]曾对中国黄土的稀土元素作过研究，他们先后采用纸色层光度法和中子活化分析法主要分析和研究了陕西洛川剖面黄土的8个稀土元素，且对面上的工作涉及不多．作者为全面考察中国马兰黄土的稀土元素地球化学特征，在黄土高原进行大范围野外考察和系统取样的基础上，采用等离子体光谱测定了147块黄土样品的15个稀土元素．现将研究结果报道如下．

一、样品分布及分析方法

黄土物质成分及微结构的众多研究表明[4-6]，马兰黄土虽具很好均一性，但自西北而东南呈明显分带性．因此，从研究工作的系统性和代表性出发，我们在马兰黄土广泛发育的甘、宁、陕、晋等省区，西至兰州，东至长治，北到毛乌素沙漠边缘，南达渭河北岸大约30万 km^2 范围内，选择了9条南北方向的考察路线多次穿越三个黄土带，并分别对砂黄土、黄土和粘黄土进行了详细野外观察和系统取样，共采集黄土样品147件（取样点分布见图1）．一般取样深度距地表2.5—3m，取样点之间相距25—30km．样品处理时先在烘箱内干燥，然后用玛瑙研钵

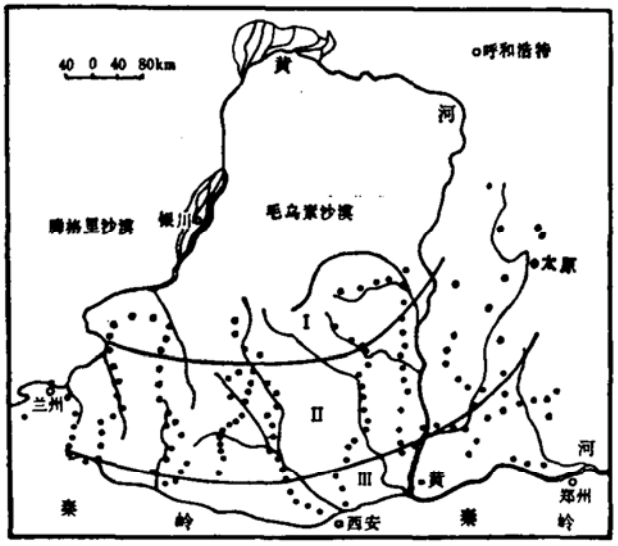

图1　黄河中游地区马兰黄土的取样点分布图

I. 砂黄土带；II. 黄土带；III. 粘黄土带

本文1990年4月9日收到．

* 国家自然科学基金资助项目．

磨碎至大约 200 目，最后用化学分离-等离子体发射光谱测定每个样品中的 15 个稀土元素，

表 1　中国黄土与世界其它地区黄土的稀土元素丰度(ppm)及有关地球化学参数

黄　土	中　国　黄　土				新西兰黄土 (5)	欧洲黄土 (2)	北美黄土 (4)
	砂黄土 (23)*	黄　土 (97)	粘黄土 (27)	黄土高原马兰黄土 (三种黄土样品数加权)			
La	30.91	33.20	33.80	27.75—39.63[1] 32.96[2]	35.36	25.0	34.78
Ce	62.31	67.53	68.62	56.80—75.59 66.92	76.30	51.5	77.78
Pr	6.39	6.78	6.87	5.78—7.24 6.74	9.00	5.27	7.74
Nd	26.75	28.26	28.91	24.14—31.47 28.15	33.98	24.2	31.53
Sm	5.46	5.77	5.86	4.98—6.74 5.74	6.56	4.97	5.84
Eu	1.07	1.15	1.17	0.90—1.37 1.14	1.30	0.82	1.02
Gd	4.54	4.86	5.18	4.16—5.87 4.87	5.10	3.32	4.02
Tb	0.79	0.85	0.82	0.71—0.99 0.84	0.80	0.60	0.71
Dy	4.38	4.66	4.69	3.76—5.40 4.62	4.58	3.67	4.24
Ho	0.90	0.96	0.97	0.76—1.11 0.95	0.93	0.78	0.90
Er	2.57	2.70	2.72	2.11—3.12 2.68	2.69	2.28	2.62
Tm	0.41	0.43	0.44	0.37—0.49 0.43			
Yb	2.63	2.76	2.77	2.14—3.27 2.74	2.42	2.21	2.60
Lu	0.41	0.43	0.43	0.27—0.50 0.43			
Y	23.81	25.21	25.32	19.48—29.40 25.01	24.0	19.0	21.30
∑REE	174.33	185.55	188.57	159.20—206.39 183.95	203.02	143.62	195.08
∑Ce/∑Y	3.29	3.33	3.35	3.10—3.84 3.33	3.93	3.43	4.26
δCe	1.07	1.08	1.08	0.97—1.21 1.08	1.03	1.08	1.14
δEu	0.66	0.66	0.65	0.61—0.75 0.66	0.69	0.62	0.64
资料来源	本　工　作				Taylor 等(1983)[7]		

* 括号内为样品数，下同. 1) 为变化范围；2) 为平均值.

分析误差一般在10% 以下. 分析结果见表1.

二、结果与讨论

1. 稀土总量的区域分布特征 从表1可以看出,马兰黄土中稀土元素总量(∑REE)的变化范围在159.20—206.39ppm 之间,平均值为183.95ppm. 随着黄土样品的粒径由粗到细,即由砂黄土过渡到黄土再到粘黄土,稀土总量略有增加. 稀土元素含量在区域分布上的差异与马兰黄土在空间分布上的粒度分带性相一致,这一特征实际上与不同黄土带中黄土样品矿物成分的变化密切相关. 在砂黄土带,黄土粒径相对较粗,石英、长石等轻矿物含量相对较高,由于石英等轻矿物对稀土等微量元素的"稀释"作用[8],所以砂黄土的稀土总量相对较低. 在黄土带,粒径较粗的轻矿物相对减少,富含稀土等微量元素的重矿物含量相对多些,因而稀土总量相对较高些. 至于粘黄土带,其矿物成分与黄土带差别不大,仅是粘粒组分有所增加,由于粘土矿物对稀土元素有一定吸附作用,所以导致粘黄土与黄土在稀土元素的含量上差距甚微. 另外,与世界其它地区的黄土相比,中国马兰黄土的稀土总量明显高于欧洲黄土,而低于新西兰黄土和北美黄土. 这主要与世界各地黄土物质来源的差异性有关.

2. 稀土元素分布模式特点 无论是砂黄土、黄土还是粘黄土,它们的球粒陨石标准化稀土元素分布模式均互相类似,模式线具负斜率,Eu 呈负异常(图2). 另外,从地理位置来说,从西到东无论是甘肃、宁夏的黄土,还是陕西、山西的黄土,它们的稀土分布模式亦十分类似,但甘肃、宁夏黄土样品其模式线分布范围相对较窄,而山西黄土样品的模式线分布范围相对较宽些.这说明黄河中游地区整个马兰黄土的稀土组成其差异是比较小的,充分反映了它们物源上的同一性. 与此同时,中国马兰黄土与世界其它地区黄土的稀土元素分布模式相比较,它们基本上为相互平行的"V"型平滑曲线(图3),与地壳页岩同属一个稀土分布模式类型. 这一特征表明,世界各地的黄土在物质来源上与陆壳页岩一样,它们是广大范围内陆壳各类岩石的风化碎屑(粉尘)混合物,只不过页岩的沉积是流水搬运的结果,而黄土的堆积则主要是风力搬

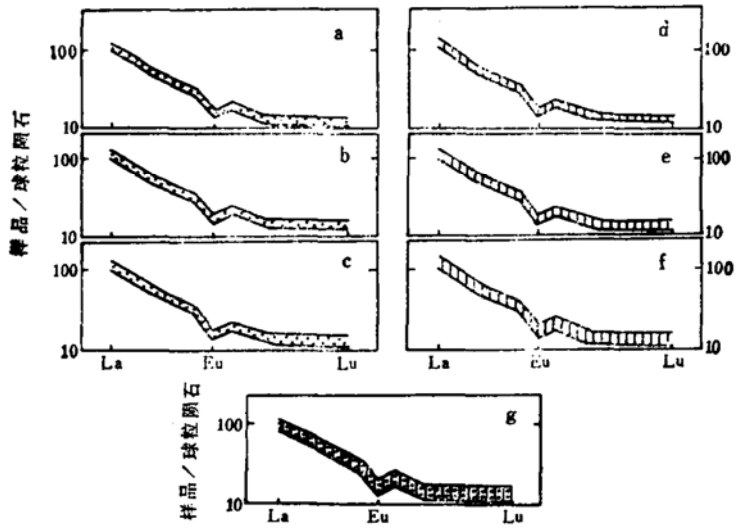

图2 黄河中游地区不同黄土带、不同区域马兰黄土的稀土元素分布模式

a. 砂黄土(23)*; b. 黄土(97); c. 粘黄土(27); d. 甘肃、宁夏黄土(60); e. 陕西黄土(51); f. 山西黄土(36); g. 所有马兰黄土样品(147).

* 括号内为样品数,下同

运的功劳.

3. 沉积环境探讨

尽管稀土元素的地球化学特性主要是反映各原始来源物质的特征，但在沉积作用过程中，某些稀土元素地球化学参数则往往或多或少地打上了沉积环境的烙印，因而可以利用这些参数来探讨古沉积环境. 一些研究表明[9],在表生作用过程中，Ce 的迁移能力明显受气候的影响,在干冷气候条件下，Ce 迁移能力最低,因而主要保持在陆相沉积物中.从黄土高原的 δCe 来看,它们均大于 1.05，呈现 Ce 正异常[10]，欧洲黄土和北美黄土也具有 Ce 正异常的特点. 说明中国黄土和欧洲、北美黄土均形成于较干冷的气候环境，因而 Ce 不易迁移而富集. 相比之下，新西兰黄土的 Ce 正异常不明显,说明其形成环境相对较湿热一些. 另外，$\sum Ce/\sum Y$ 比值也可反映沉积环境气候条件的变化. 一般来说,在干冷条件下,稀土元素之间的分异作用较弱,因而 $\sum Ce/\sum Y$ 变化小；而在湿热条件下,重稀土从沉积物中带出的能力比轻稀土强，因而引起 $\sum Ce/\sum Y$ 比值增加. 以中国黄土为例,从砂黄土到黄土再到粘黄土,其 $\sum Ce/\sum Y$ 比值是递增的,说明砂黄土带气候较干燥,黄土带次之,粘黄土带较湿润,这与中国黄土分布的实际地质环境状况是相符的. 而与世界黄土相比,中国黄土的 $\sum Ce/\sum Y$ 为 3.33，欧洲黄土为 3.43,新西兰黄土为 3.93.显然中国黄土形成时的气候条件相对较干冷些,而欧洲次之,新西兰较湿润. 至于北美黄土，它堆积时的气候条件应当比新西兰黄土较干燥（δCe 已反映了这一气候特点),但 $\sum Ce/\sum Y$ 比值却反映出相反的结果,其中可能还有一些未知的影响因素.

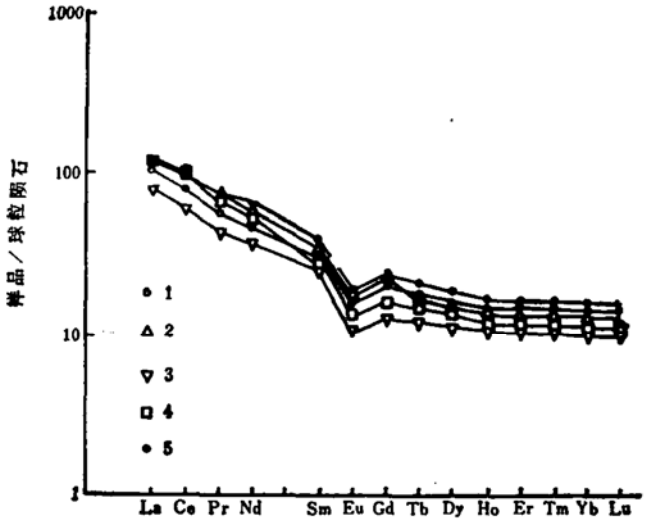

图 3　世界各地区黄土与北美页岩的稀土元素分布模式
1.中国黄土;2.新西兰黄土;3.欧洲黄土;4.北美黄土; 5.北美页岩

致谢：黄万才同志参加了野外考察并清绘了图件，工作中还得到王三学工程师和湖北地矿局中心实验室等的支持和帮助,作者谨致谢忱.

参　考　文　献

[1] 文启忠等,地球化学,1981,2: 151—157.
[2] 文启忠等,地球化学,1984,2: 126—133.
[3] 文启忠等,中国黄土地球化学,科学出版社,1989,95—106.
[4] 刘东生等,黄土与环境,科学出版社,1985,191—219.
[5] 苏联义等,地质科学,8(1959),251—255.
[6] 朱海之等,第四纪地质问题,科学出版社,1964,140—150.
[7] Taylor, S.R., McLennan, S. M. and McCulloch, M. T., *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47(1983), 1897—1905.
[8] Chaudhuri, S. and Cullers, S.L., *Chem. Geol.*, 24(1979), 327—338.
[9] Ронов А.Б. и др., *Геохимия*, 1967, 1:3—19.
[10] 王中刚等,稀土元素地球化学,科学出版社,1989,88—93.