

文章编号: 1000-0550 (2005) 03-0740-07

塔里木盆地塔北隆起奥陶系 —侏罗系泥岩稀土元素地球化学特征

张沛 郑建平 张瑞生 余淳梅

(中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室地球科学学院 武汉 430074)

摘要 分析了塔里木盆地塔北隆起奥陶系、三叠系和侏罗系泥岩的稀土元素丰度。不同时代泥岩都表现出轻稀土富集、重稀土含量均一和具有 Eu 负异常特征;但它们 LREE/HREE、 La_N/Yb_N 、 $(La/Yb)_{UCC}$ 、Eu/Eu* 和 Ce/Ce* 等参数则显示这些泥岩形成时的物源和环境有差别。奥陶纪时,研究区处于相对稳定的沉积环境,物源为成熟度高的大陆上地壳;二叠纪到三叠纪构造—火山活动强烈,部分沉积物来自火山岩的风化;侏罗纪塔北隆起区则进入稳定构造沉降阶段。这一差别对认识塔里木盆地及周边造山带形成演化研究有指示意义。

关键词 泥岩 稀土元素 物源 沉积环境 塔北隆起 塔里木盆地

第一作者简介 张沛 男 1980 年出生 硕士研究生 岩石学

中图分类号 P595 **文献标识码** A

稀土元素 (REE) 在水体中停留的时间非常短,能够快速进入到细粒沉积物中且不发生分异^[1,2],使得细碎屑沉积物与粗碎屑物相比能更好地保留源区的地球化学信息^[2~4]。通过对中国大陆东部和西南部不同盆地泥岩 REE 的研究,认识到:物源是制约沉积物 REE 组成的主要因素;REE 的分异参数可以用来示踪物源和沉积环境^[5~9]。最近,朱如凯^[10]和于炳松^[11]分别对我国西北部包括塔里木盆地在内的下寒武统底部黑色页岩和石炭系泥岩进行了 REE 研究,发现了早寒武世稀土元素变化与盆内有深部物源的存在有关,石炭纪物源表现为复杂性,具花岗岩、玄武岩和沉积岩的混合成因特征。但目前,人们对盆地不同时代源区特征进行对比,进而探讨物源和沉积环境变化的研究还很薄弱。本文对塔里木盆地塔北隆起区奥陶系、三叠系和侏罗系泥岩的稀土元素丰度进行了分析,结合区域地质背景资料 and 前人研究成果^[12,14~16],探讨该区泥岩形成时物源和沉积环境的演变,以期对塔里木盆地及周边造山带形成演化研究提供帮助。

1 地质背景

夹持于天山与昆仑山褶皱带之间的塔里木盆地,是一在前震旦结晶基底基础上发育起来的古生代克拉通盆地并叠合了中—新生代前陆盆地的复合型盆

地。塔北隆起是塔里木盆地北部的一个一级构造单元,属埋藏在中新世—上新世前陆拗陷中的古隆起。该古隆起的走向为近东西向(东西长约 443 km,南北宽约 86 km,面积约 $3.6 \times 10^4 \text{ km}^2$),并微向北突出呈弧形展布。研究区经历了两个重要的演化阶段,即古生代隆起形成阶段和中、新生代沉降阶段。古生代为海相、海陆交互相沉积,中新生代为陆相沉积^[12]。

2 样品和测试手段

以钻孔取心为研究对象,对从塔北隆起所采集的 11 块泥岩样品进行了研究。它们取自 10 口井,具体井号和样品的取样深度见表 1,其中奥陶系样品 2 块,三叠系 5 块和侏罗系 4 块。样品稀土元素在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室采用电感耦合等离子体质谱分析法 (ICP-MS) 测试完成。为了监控测试精度和准确度,进行了重复样与标样分析,结果表明元素的相对偏差小于 5%,表明总体分析结果可靠。详细的分析流程和测试精度见文献^[13]。不同时代地层的数据采取计算该层位样品平均值的方法得到。

3 分析结果

对塔北隆起不同时代泥岩所进行的 REE 分析结果 (表 1) 表明,各时代泥岩的稀土总量差别较大。奥

表 1 塔北隆起奥陶系—侏罗系泥岩稀土元素含量 (10^{-6})

Table 1 REE compositions of Ordovician - Jurassic mudstones in the Tabei uplift (10^{-6})

地层	样品号	井号	取样深度 /m	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
侏罗系	J-1	轮南 8	4200.63 ~ 4206.83	66.9	81.8	9.73	34.5	6.29	1.37	5.64	0.87	4.78	0.95	2.60	0.39	2.58	0.46
	J-2	东河 7	5076.14 ~ 5078.08	74.8	87.5	11.1	38.8	6.92	1.50	5.49	0.85	4.62	0.97	2.91	0.44	3.14	0.57
	J-3	东河 1	5479 ~ 5488	29.0	56.0	4.19	15.0	2.51	0.55	2.18	0.31	1.62	0.32	0.93	0.14	1.02	0.15
	J-4	库南 1	3820.25 ~ 3825.41	65.9	85.8	9.80	35.6	6.43	1.36	5.54	0.83	4.84	0.89	2.63	0.35	2.63	0.45
三叠系	T-1	轮南 5	4799.85 ~ 4805.92	14.5	16.4	3.44	13.4	2.97	0.66	2.37	0.45	2.61	0.56	1.58	0.23	1.62	0.27
	T-2	轮南 55	4306.16 ~ 4308.87	41.6	43.6	7.32	27.0	5.22	1.19	4.33	0.77	4.26	0.88	2.51	0.38	2.85	0.44
	T-3	轮南 19	4714.78 ~ 4726.43	94.1	112	22.2	94.4	24.5	6.83	24.3	4.54	22.7	3.94	8.46	0.99	5.92	0.93
	T-4	轮南 16	4430.7 ~ 4436.7	16.5	25.2	3.38	12.5	2.45	0.57	2.16	0.39	2.52	0.54	1.55	0.25	1.72	0.27
	T-5	轮南 53	4358.06 ~ 4361.01	18.1	15.9	3.56	13.1	2.44	0.56	2.15	0.45	2.83	0.65	1.87	0.30	2.20	0.38
奥陶系	O-1	英买 1	5312 ~ 5321	68.1	85.0	85.0	33.5	6.14	1.13	5.36	0.72	4.21	0.74	2.17	0.30	2.18	0.36
	O-2	英买 1	5198 ~ 5206.19	63.9	81.9	8.65	32.5	6.01	1.08	5.44	0.75	4.38	0.81	2.46	0.31	2.32	0.36
	PAAS			38	80	8.9	32	5.6	1.1	4.7	0.77	4.4	1	2.9	0.4	2.8	0.43
	NASC			32	73	7.9	33	5.7	1.24	5.2	0.85	5.8	1.04	3.4	0.5	3.1	0.48
				30	64	7.1	26	4.5	0.88	3.8	0.64	3.5	0.8	2.3	0.33	2.2	0.32
地层	样品号	REE	L/H	La _N /Yb _N	La _N /Sm _N	Gd _N /Yb _N	(La/Yb) _{UCC}	(La/Sm) _{UCC}	(Gd/Yb) _{UCC}	Eu/Eu*	Ce/Ce*	Th	Sc				
侏罗系	J-1	218.9	11.0	17.5	6.7	1.8	1.9	1.6	1.3	0.70	0.77	14.30	17.20				
	J-2	239.6	11.6	16.1	6.8	1.4	1.7	1.6	1.0	0.75	0.73	9.29	16.70				
	J-3	113.9	16.1	19.1	7.3	1.7	2.1	1.7	1.2	0.72	1.22	5.96	3.79				
	J-4	223.1	11.3	16.9	6.5	1.7	1.8	1.5	1.2	0.70	0.81	13.90	16.70				
	平均值	198.9	12.5	17.4	6.8	1.7	1.9	1.6	1.2	0.72	0.88						
三叠系	T-1	61.0	5.3	6.0	3.1	1.2	0.7	0.7	0.8	0.76	0.56	3.70	4.84				
	T-2	142.3	7.7	9.8	5.0	1.2	1.1	1.1	0.9	0.76	0.60	8.24	8.84				
	T-3	425.5	4.9	10.7	2.4	3.3	1.2	1.2	2.4	0.86	0.59	10.60	16.60				
	T-4	70.0	6.4	6.4	4.2	1.0	0.7	0.7	0.7	0.75	0.81	3.98	3.56				
	T-5	64.5	5.0	5.5	5.1	0.8	0.6	0.6	0.5	0.75	0.48	6.17	7.40				
平均值	152.7	5.9	7.7	3.9	1.5	0.9	0.9	1.1	0.78	0.61							
奥陶系	O-1	219.1	12.7	21.1	7.0	2.0	2.3	1.7	1.4	0.60	0.82	13.00	16.20				
	O-2	211.0	11.5	18.6	6.7	1.9	2.0	1.6	1.4	0.58	0.84	12.50	13.00				
	平均值	215.0	12.1	19.8	6.8	1.9	2.2	1.7	1.4	0.59	0.83						
	PAAS	183.0	9.5	9.2	4.31	1.0	1.0	1.0	0.66								
NASC	173.2	7.5	7.0	3.51	0.8	0.8	1.0	0.70									
UCC	146.4	9.5	9.2	4.2	1.4	1.4	1.4	0.65									

PAAS和 NASC分别为澳大利亚后太古宙平均页岩^[17]和北美页岩组合样^[20],UCC为全球平均大陆上地壳成分^[17],L/H为轻重稀土元素比值,下标 N表示元素相对于球粒陨石标准化,下标 UCC表示元素相对于上陆壳标准化, $Eu/Eu^* = Eu_N / (Sm_N * Gd_N)^{1/2}$, $Ce/Ce^* = Ce_N / (La_N * Pr_N)^{1/2}$,球粒陨石值据文献 [23]

陶系泥岩的稀土元素总量较高(平均为 215×10^{-6})。三叠系泥岩稀土总量与奥陶系相比,除个别样品异常高外,总体明显偏低,平均为 153×10^{-6} 。侏罗系泥岩与之接近,为 199×10^{-6} 。

LREE/ HREE和 La_N/Yb_N 在一定程度上反映所分析样品的稀土分异状况,并间接反映物质来源。 La_N/Sm_N 比值反映轻稀土之间的分馏程度,该值越大轻稀土越富集; Gd_N/Yb_N 比值反映重稀土之间的分馏程度,比值越小,重稀土富集程度越高。奥陶系泥岩 LREE/ HREE和 La_N/Yb_N 分别为 12.1和 19.8,而三叠系的两比值分别降为 5.9和 7.7,侏罗

系泥岩又再度升高(12.5和 17.4)。 La_N/Sm_N 和 Gd_N/Yb_N 也有相同的变化趋势。从图 1中也可以看到,三叠系与奥陶系、侏罗系相比,分布曲线变缓,轻重稀土的分异程度明显降低。说明研究区不同时代的物源发生了很大的变化。

北美页岩(NASC)以及澳大利亚后太古宙平均页岩(PAAS)中的稀土元素常被用以代表上地壳中稀土元素的特征^[17,18],有富含轻稀土,重稀土含量稳定和 Eu负异常的特点。轻稀土富集说明上地壳中大离子亲石元素的含量相对于原始幔源要明显偏高;重稀土含量均匀则是上地壳内缺少使重稀土分馏的因

素; Eu 的负异常是由于元素分异作用使地壳内上地壳中 Eu 元素缺失, 而下地壳中 Eu 元素富集^[19]。据此, 人们可以根据沉积岩中稀土元素的分布特征对沉积物的来源进行判别。

塔北隆起不同时代泥岩的稀土元素球粒陨石标准化分布模式与 PAAS 和 NASC 的分布趋势基本类似, 均表现为轻稀土的明显富集, 平坦的重稀土型和具一定的 Eu 负异常 (图 1)。但除了不同时代泥岩轻重稀土分异程度存在显著差异外, Eu 负异常程度也有明显差别: 奥陶系泥岩 Eu 负异常非常明显, Eu/Eu^* 为 0.59, 低于大陆上地壳 (UCC) (0.65)^[17], 也低于 PAAS (0.66)^[18] 和 NASC (0.70)^[20]; 侏罗系泥岩 Eu/Eu^* 值与之相比略高 (0.72); 而三叠系泥岩 Eu/Eu^* 值 (0.78) 明显高于 PAAS 和 NASC, 更高于 UCC, 为弱的 Eu 负异常。显示从奥陶系、经三叠系到侏罗系, 泥岩的 Eu/Eu^* 值有一先增后减的过程。

各时代泥岩 REE 上陆壳标准化模式也表现出不同的分异形式, 奥陶系和侏罗系除 La 元素含量异常高外, 总体呈轻稀土相对富集的右倾模式, $(La/Yb)_{UCC}$ 分别为 2.2 和 1.9; 而三叠系泥岩与它们相比明显不同, 呈轻稀土亏损, 重稀土相对富集的左倾模式, $(La/Yb)_{UCC} < 1$ 。这一差别可能说明三叠纪时源区成分发生了很大的变化, 有来自下地壳或幔源的深部物质加入。样品 T-2 和 J-3 与其所在时代的其他样品相比, 表现出一定的差异性, 其原因有待进一步研究。

Ce/Ce^* 值能灵敏地反映沉积环境的氧化还原条件, $Ce/Ce^* > 1$ 为正异常, 表示还原环境; $Ce/Ce^* < 0.95$ 为负异常, 表示氧化环境^[21]。研究区内不同时代都表现出不同程度的 Ce 负异常, 其中三叠系 Ce 负异常明显, Ce/Ce^* 值平均为 0.61, 奥陶系和侏罗系则为比较弱的负异常, 其值分别为 0.83 和 0.88。显示了奥陶系和侏罗系泥岩沉积时为弱的氧化环境 (侏罗系个别样品为还原环境), 而三叠纪为强烈的氧化环境。Ce 异常与沉积盆地的构造背景有关, 据 Murray^[22] 对加利福尼亚海岸圣弗兰斯科湾的燧石和页岩 (侏罗纪和白垩纪) 的研究表明, 距洋脊顶 400 km 之内的扩张脊附近, Ce 明显为负异常, Ce/Ce^* 为 0.29; 大洋盆地中等 Ce 负异常, Ce/Ce^* 为 0.55; 大陆边缘区的 Ce 负异常消失或为正异常, Ce/Ce^* 为 0.90 ~ 1.30。因此, 本文认为研究区奥陶纪应该为大陆边缘环境。三叠系样品表现为 Ce 负异常, 由于样品主要采自轮南地区, 该地区三叠纪沉积环境主要为扇三

角洲^[16], 该环境沉积物是间歇性急流堆积的产物, 经常暴露地表, 遭受不同程度的氧化作用, 这可能就解释了出现明显的 Ce 负异常的原因。

4 讨论

泥岩地球化学的优势在于细粒碎屑沉积物能够均一源区地质体的地球化学特征, 尽可能消除由于岩性岩相不同所造成的地球化学差异, 确保不同时代地层中元素地球化学对比的统一性和可靠性^[9]。不同的构造环境具有不同的物质组成, 并控制着岩石的矿

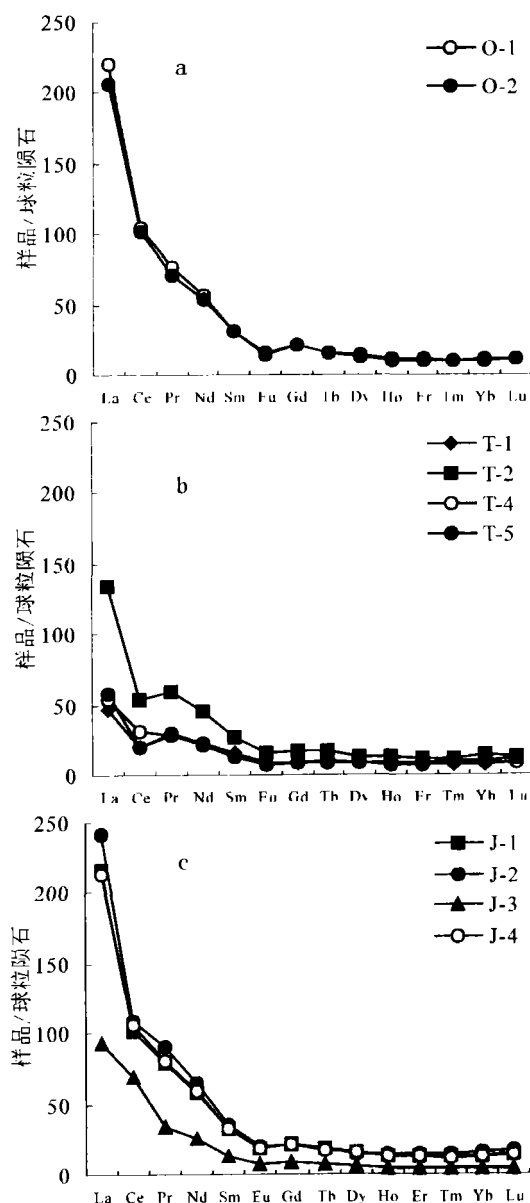


图 1 泥岩球粒陨石标准化稀土元素分布曲线

Fig 1 Chondrite-normalized REE diagrams for mudstones
a 奥陶系; b 三叠系; c 侏罗系

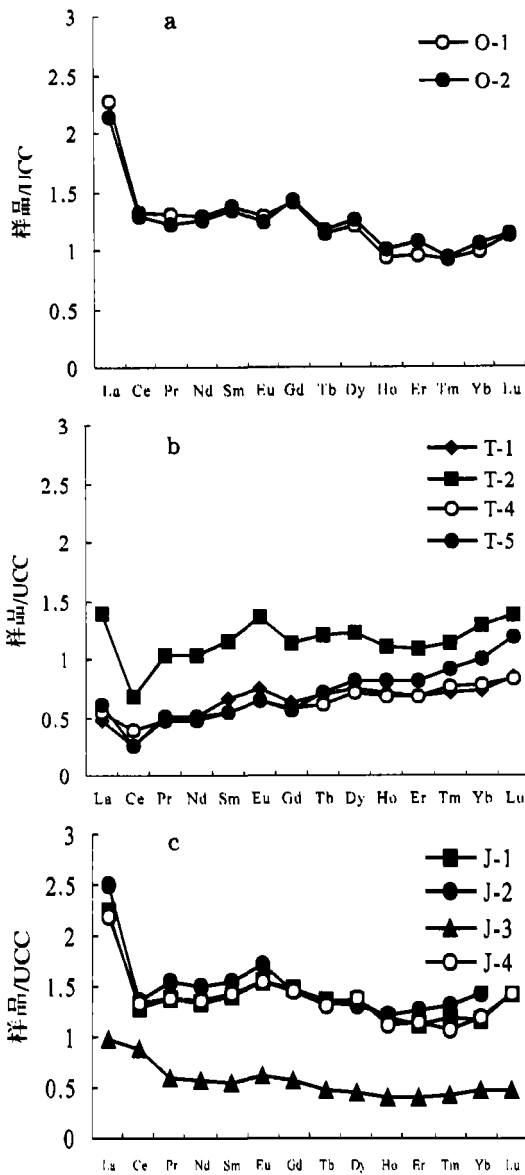


图 2 泥岩 UCC 标准化稀土元素分布曲线

Fig 2 UCC - normalized REE diagrams for mudstones
a 奥陶系; b 三叠系; c 侏罗系

物成分和化学成分^[24,25]。因此,通过对比不同时代泥岩的地球化学特征,可以很好地反映源区和沉积环境的演变。

Savoy^[28]专门为泥岩设计了 La—Th—Sc 三角图解(图 3),划出了被动大陆边缘沉积物(PM)、与岩浆弧有关的沉积物(MAR)、海洋岛弧碱性玄武岩(OAB)和后太古代澳大利亚页岩沉积物(PAAS)的 La, Th 和 Sc 的分布范围。对塔北隆起奥陶系、侏罗系泥岩样品 La, Th, Sc 投图全部落入被动大陆边缘沉

积区,而三叠系泥岩样品部分落入被动大陆边缘沉积区、部分落入与岩浆弧有关的沉积物区以及两者的重叠区域,显示了三叠系源区有火山物质的加入。另外,虽然前人的研究以及所提出的各种判别图解仅涉及大陆边缘和岛弧,未包括陆内克拉通盆地等盆地类型,但是陆内克拉通盆地的物源区性质和沉积物化学组成与被动大陆边缘有很大的相似性。中生代塔里木盆地已转入陆相沉积,研究区内侏罗系泥岩样品也落入被动大陆边缘沉积区,说明其沉积环境属于稳定的板块内部。

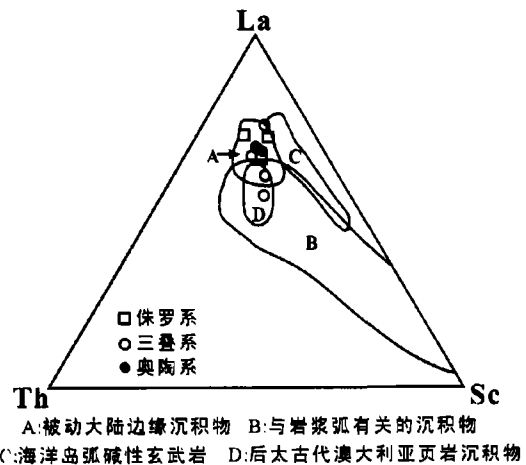


图 3 泥岩 La—Th—Sc 判别图 (据 Savoy et al., 2000)
Fig 3 La—Th—Sc discriminatory diagram of the mudstones (after Savoy et al., 2000)

Eu、REE、LREE/ HREE 是表征稀土元素组成特点的重要参数,用 Eu/ REE— LREE/ HREE 散点图(图 4)可以很好地反映稀土元素组成特征。图 4 中显示,奥陶系和侏罗系相关性较好,且和澳大利亚后太古代平均页岩(PAAS)及上陆壳(UCC)的值较为接近,说明它们基本代表了上陆壳的化学组成;而三叠系和它们相比有明显的差别,且和二叠纪基性火山岩关系较为密切,表明该时期部分沉积物来自火山岩的风化。

稀土元素特征常被用来判断现代和古沉积物的构造背景或物源区性质,总体认识为从稳定的板块内部沉积区或被动大陆边缘到构造—火山活动强烈的地区如活动大陆边缘或大洋岛弧区,REE、LREE/ HREE、La_N/ Yb_N 等值显示出逐渐降低的趋势^[24~27]。塔北隆起从奥陶系到三叠系再到侏罗系上述比值有由大到小,又增大的过程,而 Eu/Eu^{*} 有一先增后减的过程,反映构造环境有一个稳定—活动—

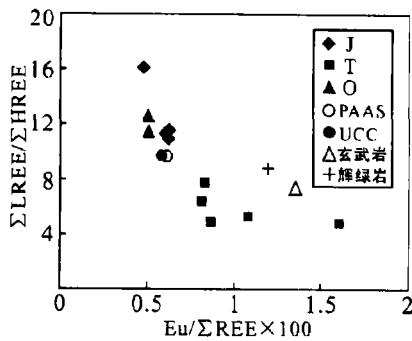


图 4 泥岩 Eu/REE—LREE/HREE 散点图

Fig 4 Plot of Eu/REE vs LREE/HREE for mudstones
玄武岩数据来源于文献 [30]; 辉绿岩数据来源与文献 [12]

稳定的演化过程。

震旦—奥陶纪塔里木板块处于陆壳伸展分裂阶段,在塔里木板块北缘,中天山的一些陆块开始从塔里木板块边缘分离,此后现今南天山地区的持续扩张形成南天山洋盆,塔北隆起在构造上处于被动大陆边缘^[12]。早二叠世随着中天山岛弧向塔里木板块的俯冲作用,中天山与塔里木板块拼合,古南天山褶皱带形成。在南天山褶皱带南侧发育大型逆冲推覆体系,而塔北隆起是该逆冲带的前缘隆起^[16],全区遭受隆起剥蚀,因此二叠纪沉积范围比较局限,几乎全区没有接受沉积。同时,众多研究表明^[14, 29, 30],由于这种俯冲,碰撞作用,在早二叠世本区经历了最为强烈,分布范围最广的一次火山活动,盆地及周缘进入隆升剥蚀和强烈构造变形阶段。而且,发生于早二叠世末期的伸展作用,具有更大的构造背景,在准噶尔盆地、天山山脉和塔里木盆地的许多地方,都分布有二叠纪的基性火山岩和辉绿岩墙群,它们最主要的活动期是早二叠世末期,并且以碱性玄武岩为特征^[29]。三叠纪塔里木板块受南缘板块活动控制,并受其挤压应力影响,塔北隆起地区二叠纪形成的断裂及块断隆起活动,在三叠纪得到继续和加强。塔北隆起北部轮台断隆自早二叠世即开始隆起剥蚀,成为塔北隆起南部(轮南、英买力等地区)及中部凹陷地区的重要物源区。经过二叠—三叠纪强烈的构造—火山活动后,侏罗纪塔北隆起地区进入稳定沉降构造发展阶段,沉积厚度分布均匀,一般变化不大,反映了构造稳定期的特征。不难看出,塔北隆起区奥陶纪和侏罗纪沉积环境稳定,在地球化学组成上较为成熟,沉积物源主要是成熟的大陆上地壳,火山物质比例很小;二叠—三

叠纪在强烈活动的构造背景下,出现了大面积的火山活动,该时期部分沉积物来自源区火山岩的风化。

5 结论

泥岩的化学组成主要受构造环境控制,并能对构造环境有较好的反映。塔北隆起区不同时代泥岩的稀土元素地球化学特征很不同,表现奥陶纪和侏罗纪的岩石有明显的 Eu 负异常和高的 LREE/HREE、 L_{a_N}/Y_{b_N} 和 $(La/Yb)_{UCC}$ 值;三叠纪沉积物有弱的 Eu 负异常和低的 LREE/HREE、 L_{a_N}/Y_{b_N} 和 $(La/Yb)_{UCC}$ 值。这种差别体现为奥陶纪和侏罗纪时沉积环境稳定,处于弱的氧化状态中,物源主要是成熟的大陆上地壳;三叠纪时构造—火山活动强烈,沉积物处于较强的氧化状态中,沉积物源区有火山物质的加入。

致谢 感谢中国科学院地质与地球物理研究所李忠、王清晨研究员的鼓励和支持,地质过程与矿产资源国家重点实验室胡圣红教授的测试安排,以及评审专家的修改意见。

参考文献 (References)

- 赵振华. 微量元素地球化学原理. 北京: 科学出版社, 1997. 143 ~ 223 [Zhao Zhenhua Principles of Trace Element Geochemistry. Beijing: Science Press, 1997. 143 ~ 223]
- 杨守业, 李从先. REE 示踪沉积物物源研究进展. 地球科学进展, 1999, 14(2): 164 ~ 167 [Yang Shouye, Li Congxian Research progress in REE tracer for sediment source. Advance in Earth Sciences, 1999, 14(2): 164 ~ 167]
- Cullers R L, Barrett T, Carlson R, et al. REE and mineralogical changes in Holocene soil and stream sediment. Chemical Geology, 1987, 63: 275 ~ 297
- Cullers R L, Basu A, Suttner L J. Geochemical signature of provenance in sand-size mineral in soil and stream near the tobacco root batholith, Montana, USA. Chemical Geology, 1988, 70: 335 ~ 348
- 杨守业, 李从先, Lee C B, 等. 黄海周边河流的稀土元素地球化学及沉积物物源示踪. 科学通报, 2003, 48(11): 1233 ~ 1236 [Yang Shouye, Li Congxian, Lee C B, et al. REE geochemistry of suspended sediments from the rivers around the Yellow Sea and provenance indicators. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(11): 1135 ~ 1139]
- 邵磊, 朱伟林, 吴国, 等. 渤中凹陷及周边地区沉积岩若干稀土元素特征. 同济大学学报, 2001, 29(6): 662 ~ 665 [Shao Lei, Zhu Weilin, Wu Guoxuan, et al. Characteristic of some trace elements of sedimentary rock from the Bozhong and Neighbor areas, Bohai-Gulf basin. Journal of Tongji University, 2001, 29(6): 662 ~ 665]
- 邵磊, 朱伟林, 吴国, 等. 珠江口及北部湾盆地泥岩地球化学特点. 同济大学学报, 2000, 28(5): 523 ~ 527 [Shao Lei, Zhu Weilin, Wu Guoxuan, et al. Geochemical Characteristic of mudstone and

- provenance analyses of the Pearl basin and Beibu-Gulf basin. *Journal of Tongji University*, 2000, 28(5): 523 ~ 527]
- 8 张廷山, 陈晓慧, 兰光志, 等. 川东南地区志留纪稀土元素分布及其地质意义. *西南石油学院学报*, 1998, 20(3): 26 ~ 30 [Zhang Tingshan, Chen Xiaohui, Lan Guangzhi, *et al* Rare earth element distribution of Silurian in southeast area, Sichuan province and its geological significance. *Journal of Southwest Petroleum Institute*, 1998, 20(3): 26 ~ 30]
 - 9 于炳松, 裘愉卓. 贵州地区新元古代—三叠纪沉积岩中稀土元素地球化学特征与地壳演化. *现代地质*, 1998, 20(3): 26 ~ 30 [Yu Bingsong, Qiu Yuzhuo. REE characteristics in Neoproterozoic to Triassic sedimentary rocks and its relation to crustal evolution in Guizhou province. *Geoscience*, 1998, 20(3): 26 ~ 30]
 - 10 朱如凯, 郭宏莉, 何东博, 等. 中国西北地区石炭系泥岩稀土元素地球化学特征及其地质意义. *现代地质*, 2002, 16(2): 130 ~ 136 [Zhu Rukai, Guo Hongli, He Dongbo, *et al* The REE Geochemical Characteristics of Carboniferous mudstone in North West area. *Geoscience*, 2002, 16(2): 130 ~ 136]
 - 11 于炳松, 陈建强, 李兴武, 等. 塔里木盆地寒武统底部黑色页岩地球化学及其岩石圈演化意义. *中国科学(D辑)*, 2002, 32(5): 374 ~ 382 [Yu Bingsong, Chen Jianqiang, Li Xingwu, *et al* Geochemistry of black shale at the bottom of the Lower Cambrian in Tarim Basin and its significance for lithosphere evolution. *Science in China (Series D)*, 2003, 46(5): 498 ~ 507]
 - 12 贾承造. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 1997. 171 ~ 255, 291 ~ 306 [Jia Chengzao. The Tectonic Feature and Oil-gas of Tarim Basin, China. Beijing: Petroleum industry Press, 1997. 171 ~ 255, 291 ~ 306]
 - 13 Lin S L, He M, Hu S H. Precise determination of trace elements in geological samples by ICP-MS using compromise conditions and fine matrix-matching strategy. *Anal Sci*, 2000, 16: 1290 ~ 1296
 - 14 陈汉林, 杨树锋, 董传万, 等. 塔里木盆地地质热事件研究. *科学通报*, 1997, 42(10): 1096 ~ 1098 [Chen Hanlin, Yang Shufeng, Dong Chuanwan, *et al* Geological thermal events in Tarim Basin. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(7): 580 ~ 584]
 - 15 范学文, 万里皋, 时卫东. 塔北隆起中、新生界层序地层学研究. *新疆石油地质*, 1996, 17(4): 346 ~ 349 [Fan Xuwen, Wan Li-gao, Shi Weidong. Sequence stratigraphy of Mesozoic-Cenozoic in Ta-bei uplift. *Xinjiang Petroleum Geology*, 1996, 17(4): 346 ~ 349]
 - 16 顾家裕, 何斌. 塔里木盆地轮南地区三叠系扇三角洲沉积与储集层研究. *沉积学报*, 1994, 12(2): 54 ~ 62 [Gu Jiayu, He Bing. Study on Triassic fan delta sedimentation and reservoir in Lunnan area, Tarim basin. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1994, 12(2): 54 ~ 62]
 - 17 Taylor S R, McLennan S M. The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Oxford London: Blackwell Scientific Publication, 1985, 1 ~ 301
 - 18 McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. In: Lipin B R, Mckay G A, eds. *Geochemistry and mineralogy of rare earth elements*. Wash-ington: The Mineralogical Society of America, 1989. 169 ~ 200
 - 19 McLennan S M, Hemming S, McDaniel M J, *et al*. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Jonhanson M J, Basu A, eds. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Boulder, Colorado: Geological Society of America Special Paper 284, 1993. 21 ~ 40
 - 20 Haskin M A, Haskin L A. Rare earth in European shales: a redetermination. *Science*, 1966, 154: 507 ~ 509
 - 21 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1989. 90 ~ 93 [Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, *et al* Rare earth element geochemistry. Beijing: Science Press, 1989. 90 ~ 93]
 - 22 Murry R W. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, 1990, 18: 268 ~ 271
 - 23 Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth element. In: Henderson P, ed. *Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry*, 2. Amsterdam: Elsevier, 1984. 63 ~ 114
 - 24 Bhatia M R. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudrocks: Provenance and tectonic control. *Sedimentary Geology*, 1985, 45: 97 ~ 113
 - 25 Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib Mineral Petrol*, 1986, 92: 181 ~ 193
 - 26 邵磊, 李献华, 韦刚健, 等. 南海陆坡高速堆积物的物质来源. *中国科学(D辑)*, 2001, 31(10): 828 ~ 833 [Shao Lei, Li Xianhua, Wei Gangjian, *et al* Provenance of a prominent sediment drift on the northern slope of the South China Sea. *Science in China (Series D)*, 2001, 44(10): 919 ~ 925]
 - 27 李双应, 岳书仓, 杨建, 等. 皖北新元古代刘老碑组页岩的地球化学特征及其地质意义. *地质科学*, 2003, 38(2): 241 ~ 253 [Li Shuangying, Yue Shucang, Yang Jian, *et al* Geochemical characteristics and implications of Neoproterozoic shales from the Liulaobei Formation in North Anhui. *Chinese Journal of Geology*, 2003, 38(2): 241 ~ 253]
 - 28 Savoy L, Stevenson R K, Mountjoy E W. Provenance of Upper Devonian-Lower Carboniferous miogeosynclinal strata, southeastern Canadian Cordillera: Link between tectonics and sedimentation. *Jour Sedimentary Research*, 2000, 70(1): 181 ~ 193
 - 29 姜常义, 穆艳梅, 白开寅, 等. 南天山花岗岩类的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境. *岩石学报*, 1999, 15(2): 298 ~ 308 [Jiang Changyi, Mu Yanmei, Bai Kaiyin, *et al* Chronology, petrology, geochemistry and tectonic environment of granitoids in the southern Tianshan, western China. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15(2): 298 ~ 308]
 - 30 陈汉林, 杨树锋, 董传万, 等. 塔里木盆地二叠纪基性岩带的确定及大地构造意义. *地球化学*, 1997, 26(6): 77 ~ 87 [Chen Hanlin, Yang Shufeng, Dong Chuanwan, *et al* Confirmation of Permian basite zone in Tarim basin and its tectonic significance. *Geochimica*, 1997, 26(6): 77 ~ 87]

Rare Earth Elemental Characteristics of Ordovician-Jurassic Mudstone in Tabei Uplift, Tarim Basin

ZHANG Pei ZHENG Jian-ping ZHANG Rui-sheng YU Chun-mei

(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, Faculty of Earth Sciences,

China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract Rare earth element (REE) abundance of Ordovician, Triassic and Jurassic mudstone in the Tabei uplift, Tarim basin has been analysed. All the mudstones show the characteristics of high LREE content, uniform HREE and negative Eu anomaly. The ratios such as $LREE/HREE$, La_N/Yb_N , $(La/Yb)_{UCC}$, Eu/Eu^* and Ce/Ce^* , however, are obviously different among them, and thus reflecting the different sources and environments when they were formed. The mudstones formed in different ages display variable degrees of REE differentiation and negative Eu anomaly. The Ordovician mudstones have high ratios of $LREE/HREE$ and La_N/Yb_N (12.1 and 19.8) and significant negative Eu anomaly ($Eu/Eu^* = 0.59$). The Triassic mudstones, however, show unusual low ratios of $LREE/HREE$ and La_N/Yb_N (5.9 and 7.7) and small negative Eu anomaly ($Eu/Eu^* = 0.78$). The Jurassic mudstones are similar to the Ordovician samples except less negative Eu anomaly ($Eu/Eu^* = 0.72$). Similarly, UCC-normalized REE patterns of samples also show significant changes within different ages. In general, the Ordovician and Jurassic mudstones show slight enrichment of LREE relative to UCC, whereas the Triassic ones show strong LREE depletion. These characteristics indicate that the Ordovician mudstones were formed under a relatively stable sedimentary environment. The sources should be the upper continental crust with high maturity. During Permian-Triassic times, the north of the Tarim basin was tectonic and volcanic, which provide abundant volcanic materials. It stepped into the stable sinking period in Jurassic. The REE difference among mudstones has indicating significance for studying the formation and evolution of the Tarim basin and surrounding orogenic belt.

Key words Mudstone, REE contents, provenance, sedimentary environment, Tabei uplift, Tarim basin