

文章编号: 1000-0550(2004)01-0059-08

塔里木盆地肖尔布拉克剖面下寒武统底部硅质岩 微量元素和稀土元素地球化学及其沉积背景

于炳松^{1,2} 陈建强¹ 李兴武¹ 林畅松¹

1(中国地质大学 北京 100083)

2(岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室 北京 100083)

摘要 对塔里木盆地北部肖尔布拉克寒武系露头剖面中 8.8 m 厚的黑色页岩夹硅质岩组合中的硅质岩的系统采样分析表明,该硅质岩具有深源成因特征。其低的 Th/U 和 Rb/Sr 比也证明了其沉积时所具有的深部物源和热水注入迹象。硅质岩的稀土元素经北美页岩标准化后的 Ce/Ce* 从 0.42 到 0.79, 平均 0.57。Ce 的负异常明显。这些稀土元素的参数特征与加利福尼亚弗朗希斯科杂岩(Franciscan Complex)中沉积在大洋海底硅质岩的稀土元素特征十分相似。北美页岩标准化后的 Eu/Eu* 值从 8.05 下降到 1.03。其相对较高的 Eu/Eu* 值很有可能反映了热水的注入。Eu/Eu* 值从剖面底部到顶部的系统降低反映了剖面底部热水作用最强烈,向上热水作用逐渐减弱。上述一系列的地球化学标志指示该硅质岩应沉积在离洋中脊不远的、具有深源物质/热水注入的远洋盆地背景中。结合区域地质和伴生黑色页岩地球化学的综合分析认为,该套硅质岩的形成与上升洋流的影响有关。上升洋流将形成于大洋盆地背景中的物质带到大陆边缘陆棚环境中发生沉积,造成了沉积在陆棚环境中的硅质岩,在地球化学组成上保留了其大洋盆地背景的特征。

关键词 硅质岩 稀土元素 微量元素 沉积背景 塔里木盆地

第一作者简介 于炳松 男 1962 年出生 博士 教授 沉积学 层序地防学和地球化学

中图分类号 P588.2 P595 **文献标识码** A

1 引言

在全球沉积记录中,硅质岩从数量上看是一小部分,但它却分布广泛。由于许多硅质岩层序常常位于关键性的地层位上,它们能提供关于沉积盆地和构造活动的重要信息,因此确定其沉积背景具有重要的意义^[1]。描绘硅质岩沉积环境的化学方法正在日趋成熟并已有许多成功的例子。通过对研究得十分成熟的板块构造背景中生代和新生代放射虫硅质岩的稀土元素、主元素和微量元素的解剖研究可使我们根据化学标准区分不同的沉积环境,包括大陆边缘、洋中脊附近和远洋沉积环境^[2~4]。Murray 总结了从早古生代到晚第三纪发育在大陆边缘、远洋和洋中脊环境中 49 个含硅质岩层序中硅质岩全岩的主元素、微量元素和稀土元素(REE)地球化学特征,并提出了一套独立于地质年代和成岩历史的识别硅质岩沉积环境的地球化学标准^[1]。

下寒武统底部沉积层序是蕴含地球早期演化历

史信息的关键性沉积层段。在全球范围的中国、印度、巴基斯坦北部、伊朗、法国南部、英格兰、阿曼北部、前苏联、哈萨克斯坦南部、蒙古、澳大利亚南部、加拿大等国家和地区,下寒武统底部广泛发育有黑色页岩夹薄层硅质岩的岩石组合。有关这套黑色页岩和硅质岩在揭示地球早期演化历史方面的重要意义已得到世界广大地质学家的广泛重视。在中国,下寒武统底部的这套黑色页岩夹硅质岩的组合见于扬子和塔里木地台。已有的研究主要集中于扬子地台及其与成矿作用的关系^[5~14],近年来的研究还开始涉及其与地壳演化的关系^[15~19]。但是,对于塔里木地台上的这套地层,目前有关其岩石地球化学及其与地壳演化和成矿作用等方面关系的研究尚属空白。本项研究的目的在于通过塔里木地台下寒武统底部硅质岩地球化学的研究,推断其沉积环境,并进一步探讨其与地壳演化的关系。已有研究显示,震旦纪/寒武纪之交是 Rodinia 大陆快速裂解的一个重要时期。因此,合理限定塔里木地台下寒武统底部硅质岩的沉积背景可为我们正确认识

Rodinia 大陆裂解过程提供重要的线索。

2 地质背景及样品采集与测试

塔里木盆地位于我国西北(图1),是世界上最大

的内陆含油气盆地之一。它北靠天山褶皱带,西南与昆仑褶皱带相邻,东南为阿尔金隆起所限。在塔里木盆地北部露头区下寒武统底部发育有一套黑色页岩夹硅质岩的岩石组合(图2)。

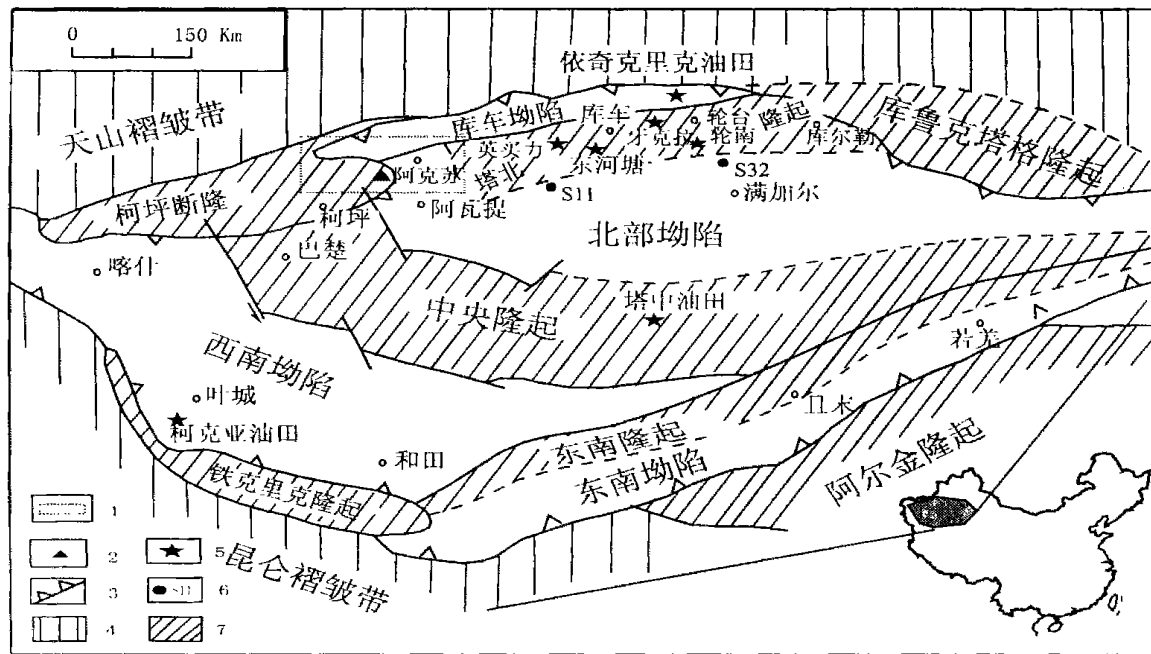


图1 地质背景与研究剖面位置图

1. 研究区;2. 研究剖面位置;3. 现代盆地边界;4. 褶皱带;5. 油/气田;6. 钻井;7. 隆起区

Fig. 1 Geological setting and location of the studied section

1. Study area; 2. Location of outcrop sections; 3. Present basin boundary; 4. Fold belt; 5. Oil/gas field; 6. Wells; 7. Uplift

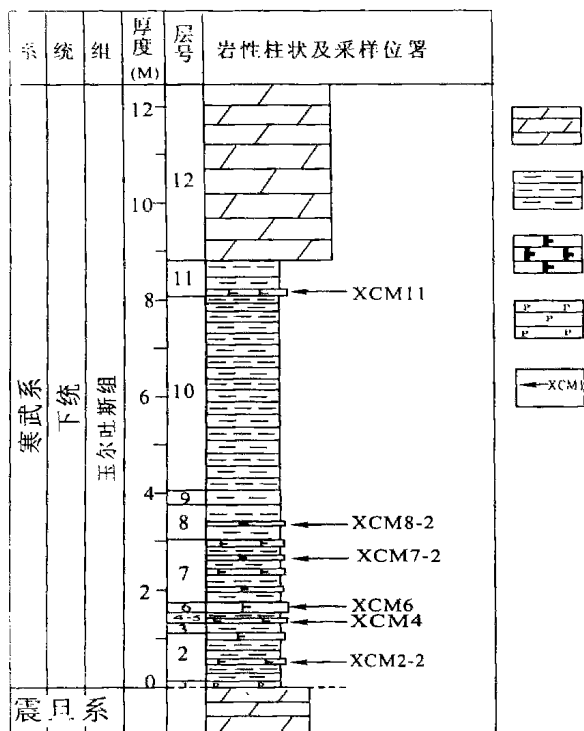


图2 下寒武统底部剖面柱状及采样位置图

1. 白云岩;2. 页岩;3. 层状硅质岩;4. 磷块岩;5. 硅质岩样品采样位置

Fig. 2 The column and position of samples at the bottom of Lower Cambrian

1. Dolomite; 2. shale; 3. bedded chert; 4. phosphorite; 5. the positions and their numbers of bedded-chert samples

研究剖面位于阿克苏市西北 60 km 的肖尔布拉克(图1)。该剖面中这套黑色岩系平行不整合于震旦系灰褐色厚层白云岩、藻叠层白云岩之上,其底部为一层厚 10~15 cm 的结核状磷块岩,下部为黑色页岩夹薄层硅质岩,上部主要由黑色页岩组成。在该黑色岩系之上,为一套灰色中-厚层状瘤状泥晶白云岩。本次研究的硅质岩样品是在该剖面黑色岩系中从底到顶逐层依次采集所得(图2)。

所有样品经手工粉碎后,由中国科学院地球化学研究所用 ICP-MS 完成微量元素和稀土元素的分析测试工作。对 Li、Be、Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Rb、Sr、Zr、Mo、Cs、Ba 和 Pb,其检测限为 0.01~0.2 μg · l⁻¹;对 Y、Nb、Hf、Ta、W、Th、U 和 REE,其检测限为 0.001~0.005 μg · l⁻¹。

3 分析结果与讨论

3.1 微量元素

硅质岩样品的微量元素分析结果见表1。通过硅质岩中微量元素含量与地壳中的含量对比发现,V、Cu、Zn 和 U 在地下壳中的含量远高于上地壳中^[20],而这些元素在硅质岩中的含量较下地壳更高。Pb、Ba、

表 1 硅质岩样品微量元素分析结果表 ($\times 10^{-6}$)Table 1 Trace element data of the bedded - chert samples ($\times 10^{-6}$)

SS	GBPG- 1	GBPG- 2	1	2	3	4	5	6	平均值	UC	LC
SN	(Recomm.)	(Analsis)	XCM2- 2	XCM- 4	XCM- 6	XCM7- 2	XCM8- 2	XCM- 11			
V	19.5	20.5	139.68	252.90	158.39	206.44	552.68	201.83	251.98	11.6	38
Cr	59.6	62.6	101.15	79.41	54.19	40.89	74.53	78.50	71.44	18.6	99
Co	30	33.0	2.41	3.55	31.50	3.48	1.26	9.64	8.64	14.3	37.4
Ni	80.3	79.0	8.04	13.58	79.49	21.18	32.70	62.53	36.25	52	79
Cu	18.6	19.4	104.01	68.11	66.06	52.64	72.57	145.36	84.79	14	17
Zn		1.35	24.68	41.87	512.87	66.02	128.68	121.51	149.27	1.4	1.4
Ga		3.53	1.07	1.34	2.85	1.03	1.82	1.43	1.59	2.0	1.3
Ge	56.2	57.9	0.73	0.77	0.66	0.54	1.11	1.30	0.85	110	41
As	363.5	382	7.94	9.28	25.49	11.65	49.53	34.25	23.03	316	352
Rb	18	18.5	1.38	2.62	9.86	1.56	12.30	2.68	5.06	20.72	7.2
Sr	231.8	236	588.90	107.30	529.73	52.59	55.08	143.29	246.15	237	165
Y	9.93	10.3	2.35	1.80	58.94	11.81	17.90	22.41	19.20	25.9	28.1
Zr	1.7	1.64	3.59	4.89	12.83	5.35	14.46	9.05	8.36	1.4	0.6
Nb		0.129	0.45	0.59	1.39	0.66	1.28	0.93	0.88	0.055	0.080
Mo		0.109	2.87	5.02	3.41	4.91	56.53	25.46	16.37	0.102	0.101
Ag		0.028	4.42	8.73	0.32	13.45	1.43	6.67	5.84	0.061	0.052
Cd		0.970	0.55	1.21	26.79	1.24	0.26	0.13	5.03	2.5	2.1
In		0.340	0.06	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.31	0.30
Sn	0.32	0.333	1.56	0.64	0.70	1.77	0.71	1.60	1.16	5.8	0.8
Sb	908	881	1.17	1.11	2.14	1.34	3.71	2.79	2.04	668	568
Cs	6.07	6.65	0.23	0.32	0.56	0.30	0.55	0.27	0.37	5.8	4.0
Ba	0.4	0.369	15695.18	2260.56	12382.62	313.07	195.65	821.57	5278.11	1.5	0.48
Hf		0.383	0.19	0.13	0.30	0.11	0.37	0.16	0.21	1.4	0.6
Ta		0.305	0.05	0.03	0.09	0.02	0.10	0.04	0.05	0.75	0.26
W	14.1	12.0	0.34	0.68	0.74	0.43	0.40	0.64	0.54	17	12.5
Tl		0.087	0.13	0.18	0.23	0.18	0.38	0.29	0.23	0.123	0.037
Pb	11.23	11.9	53.16	14.19	23.04	7.25	12.79	10.16	20.10	10.3	6.6
Bi	0.9	0.912	0.03	0.02	0.16	0.07	0.06	0.19	0.09	2.5	0.93
Th	19.5	20.5	0.31	0.36	1.73	0.33	0.96	0.48	0.69	11.6	38
U	59.6	62.6	4.30	5.45	4.15	4.48	13.5	13.56	5.91	18.6	99
Th/ U	0.07	0.07	0.42	0.07	0.07	0.13	0.12	0.62	0.38		
Rb/ Sr			0.002	0.024	0.019	0.030	0.223	0.019	0.021	0.348	0.116

说明:GBPG是标样;GBPG- 1 所列为标样成分数据;GBPG- 2 为本次分析结果;GBPG- 1 与 GBPG- 2 数据的对比可说明本次分析的质量。SS- 样品序列号;SN- 样品号;UC- 上地壳平均成分;LC- 下地壳平均成分;UC和LC数据据 Wedepohl^[20]。XCM- 6 的岩性为硅质灰岩。

Cd、Ag、Mo、As 和 Sb 在上、下地壳中的含量相近^[20], 但它们在硅质岩中明显富集。硅质岩中 Cr 和 Ni 的含量较下地壳略低,但仍高于上地壳。与上述情况相反, Rb、Zr、Cs、Hf、Ta、W、Tl、Bi 和 Th 在下地壳中的含量较上地壳中明显偏低^[20], 这些元素在硅质岩中的含量明显低于上地壳中的含量。硅质岩的这些微量元素丰度特点说明其沉积过程可能与深部物源有关。

Th/ U 和 Rb/ Sr 比从剖面底部的 0.07 和 0.002 上升到顶部的 0.13 和 0.223,其平均值分别为 0.12 和 0.021。明显偏低的 Th/ U 和 Rb/ Sr 比反映了硅质岩沉积时富铁镁质物质的加入^[21~23],而且,剖面底部极低的 Th/ U 和 Rb/ Sr 比反映了最强的富铁镁质物源的加入。这些富铁镁质物源应来自深部,如下地壳或上地幔。

3.2 稀土元素(REE)

硅质岩中的 REE 相对而言受成岩改造的影响较小^[24],而且其内部的分馏特征已被用作为不同时代和不同构造背景下硅质岩沉积环境判别的有用指标^[1~4, 25~31, 34~36]。本次研究硅质岩的 REE 分析结果见表 2。其球粒陨石和北美页岩标准化后的稀土分布模式见图 3 和图 4。部分稀土元素参数列于表 2 和表 3。

3.2.1 Ce/ Ce *

球粒陨石标准化后的 Ce/ Ce * 值变化于 0.42 ~ 0.83,平均 0.60。北美页岩标准化后的 Ce/ Ce * 值变化于 0.42 ~ 0.79,平均 0.57。Ce 的负异常明显。据已有研究报道,在扩张洋脊、大洋底以及大陆边缘这三种不同沉积背景中沉积的硅质岩,其平均 Ce/ Ce * 值(北美页岩标准化)分别为 0.29、0.58 和 1.03^[3]。本

项研究中硅质岩的 Ce/Ce^* 值与上述大洋底沉积硅质岩的值十分相似。

3.2.2 $(La/Ce)_N$

硅质岩 REE 的 $(La/Ce)_N$ 比值是用于推断其沉积机制的最有效的参数之一。在大陆边缘、大洋盆地和洋中脊附近背景中沉积的硅质岩中,其 $(La/Ce)_N$ 比存在着明显的差异。大陆边缘硅质岩的 $(La/Ce)_N$ 1, 记录了 $(La/Ce)_N$ 1 的陆源颗粒的影响,同时也反映了来自非亏损边缘水体的吸附源^[1,3,4];洋中脊附近的

硅质岩以严重的 Ce 亏损为特征,其 $(La/Ce)_N$ 8.3.5, 记录了洋中脊附近海水明显的 Ce 亏损^[1];大洋盆地硅质岩以中等 $(La/Ce)_N$ 比为特征(2~3)^[1,3,4]。本项研究中硅质岩的 $(La/Ce)_N$ 比值为 1.36~3.13, 平均 2.07。据此判断,塔里木盆地北部下寒武统底部硅质岩沉积在大洋盆地背景中。

3.2.3 Eu/Eu^*

球粒陨石标准化后的 Eu/Eu^* 值从剖面底部的 5.54 向上明显降低,至顶部降至 0.73。北美页岩标准

表 2 硅质岩样品稀土元素分析结果($\times 10^{-6}$)

Table 2 REE data of the bedded - chert samples ($\times 10^{-6}$)

SS	GBPG- 1	GBPG- 2	1	2	3	4	5	6	球粒陨石	NASC
SN	(Recomm.)	(Analysis)	XCM2- 2	XCM- 4	XCM- 6	XCM7- 2	XCM8- 2	XCM- 11		
La	52.95	52.7	3.62	1.51	32.3	3.24	5.42	7.95	0.310	32
Ce	103.2	107	2.64	1.96	54.1	3.75	7.21	7.33	0.808	73
Pr	11.45	11.7	0.470	0.277	6.92	0.721	1.32	1.67	0.122	7.9
Nd	43.3	41.8	1.57	1.02	29.3	3.11	5.72	7.92	0.600	33
Sm	6.79	6.91	0.383	0.175	6.17	0.662	1.45	1.73	0.195	5.7
Eu	1.79	1.74	0.687	0.133	1.59	0.201	0.334	0.465	0.0735	1.24
Gd	4.74	4.89	0.366	0.179	6.10	0.923	1.59	2.22	0.259	5.2
Tb	0.6	0.622	0.056	0.031	0.923	0.156	0.268	0.313	0.0474	0.85
Dy	3.26	3.32	0.260	0.180	5.69	1.09	1.74	2.30	0.322	5.8
Ho	0.69	0.646	0.053	0.045	1.23	0.287	0.414	0.555	0.0718	1.04
Er	2.01	2.09	0.170	0.138	4.00	0.909	1.13	1.82	0.210	3.4
Tm	0.3	0.284	0.041	0.029	0.521	0.139	0.195	0.248	0.0324	0.50
Yb	2.03	1.96	0.168	0.174	2.60	0.779	1.08	1.28	0.209	3.1
Lu	0.31	0.324	0.020	0.030	0.354	0.132	0.171	0.177	0.0332	0.48
			10.50	5.88	151.80	16.10	28.03	35.97	3.29	173.21

说明:GBPG是标样;GBPG- 1 所列为标样成分数据;GBPG- 2 为本次分析结果;GBPG- 1 与 GBPG- 2 数据的对比可说明本次分析的质量。SS- 样品序列号;SN- 样品号;球粒陨石数据据 Boynton^[32],北美页岩(NASC)数据据 Haskin 等^[33]。XCM- 6 的岩性为硅质灰岩。

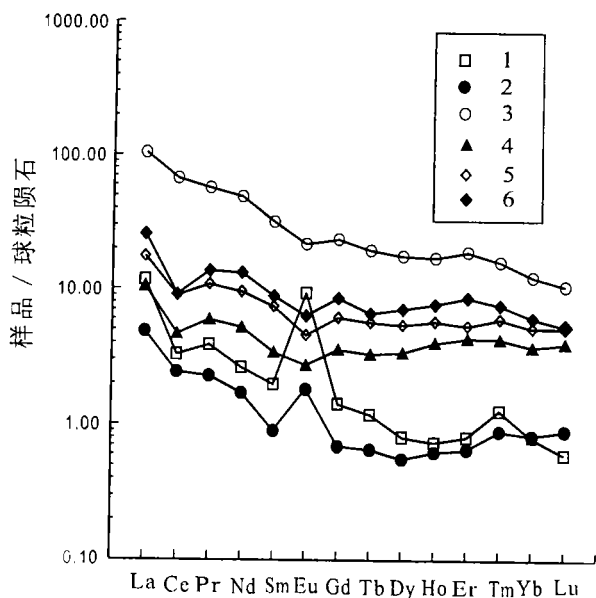


图 3 硅质岩球粒陨石标准化稀土元素分布模式

Fig. 3 Chondrite - normalized REE patterns of the bedded chert

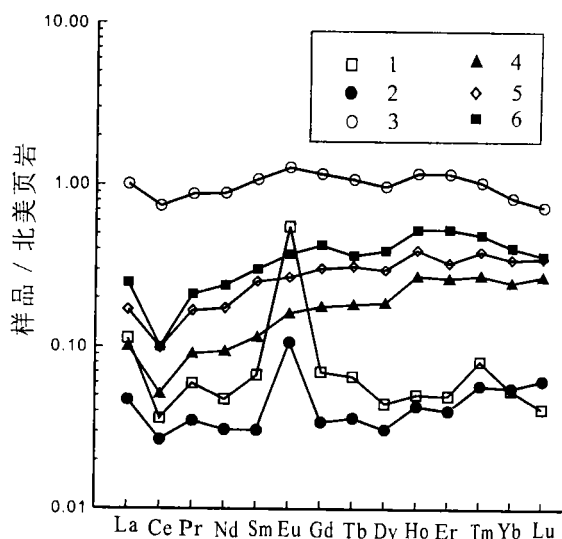


图 4 硅质岩北美页岩标准化稀土元素分布模式

Fig. 4 NASC - normalized REE patterns of the bedded chert

表 3 硅质岩样品部分稀土元素参数表

Table 3 Some REE parameters of the bedded chert samples

SS		1	2	3	4	5	6	平均值
SN		XCM2 - 2	XCM - 4	XCM - 6	XCM7 - 2	XCM8 - 2	XCM - 11	
球 粒 陨 石 标 准 化	Eu/ Eu *	5.54	2.28	0.79	0.79	0.67	0.73	1.80
	Ce/ Ce *	0.42	0.68	0.83	0.57	0.63	0.46	0.60
	(La/ Ce) _N	3.58	2.01	1.55	2.25	1.96	2.83	2.36
	(La/ Lu) _N	19.38	5.38	9.76	2.63	3.39	4.81	7.56
	(La/ Sm) _N	5.95	5.42	3.29	3.08	2.36	2.90	3.83
	(Gd/ Yb) _N	1.76	0.83	1.90	0.96	1.19	1.40	1.34
N A S C 标 准 化	Eu/ Eu *	8.05	3.29	1.14	1.10	0.96	1.03	2.60
	Ce/ Ce *	0.42	0.65	0.79	0.53	0.59	0.44	0.57
	(La/ Ce) _N	3.13	1.76	1.36	1.97	1.71	2.47	2.07
	(La/ Lu) _N	2.72	0.75	1.37	0.37	0.48	0.67	1.06
	(La/ Sm) _N	1.68	1.53	0.93	0.87	0.67	0.82	1.08
	(Gd/ Yb) _N	1.30	0.61	1.40	0.71	0.88	1.03	0.99

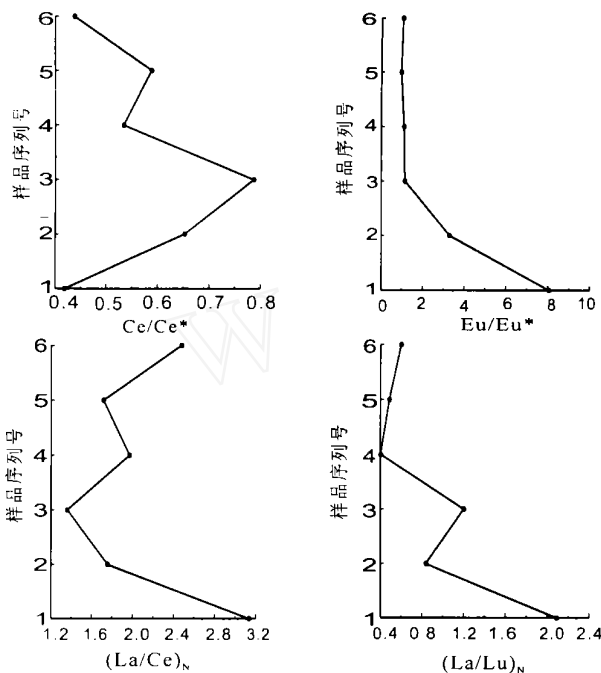


图 5 北美页岩标准化稀土元素参数在剖面中的变化

Fig 5 The changes of some NASC-normalized REE parameters along the section

化后的 Eu/ Eu^* 值从剖面底部的 8.05 降至顶部的 1.03。海水中最显著的 Eu 异常见于热水流体(北美页岩标准化后的 Eu/ Eu^* 值可达 10, Michard, 1989)^[30]。在 F - MH 硅质岩中,在离洋中脊 75 km 范围内, Eu/ Eu^* 值呈现系统的变化,从 1.35 降至 1.02^[31]。由此可见,塔里木盆地北部下寒武统底部硅质岩中相对较高的 Eu/ Eu^* 值最大的可能性与热水的注入有关。剖面中硅质岩 Eu/ Eu^* 值从底部到顶部的逐渐降低反映最强的热水活动出现于剖面底部,并向上逐渐减弱。硅质岩薄层在剖面下部产出密度大,向上明显变稀这一分布特征也支持了上述观点。

3.2.4 (La/Lu)_N

硅质岩中北美页岩标准化后的 $(La/Lu)_N$ 比值从剖面底部的最大值 2.72 向上减小到剖面顶部的 0.67, 平均 1.06。在 F - MH 硅质岩中, $(La/Lu)_N$ 值从扩张洋中脊附近的较低值 0.65 增加到离洋中脊达 85 km 的较高值 1.15, 到大洋盆地达最高值 2.70, 进一步向大陆边缘逐渐降低至 0.79^[31]。根据 F - MH 硅质岩 $(La/Lu)_N$ 参数标准判断,塔里木盆地北部下寒武统底部硅质岩应沉积在离洋中脊不远的大洋盆地背景中。

3.2.5 REE

本次研究硅质岩的 REE 值除 XCM - 6 样品(硅质灰岩)较高外,其余均很低。REE 值在剖面底部为 10.50×10^{-6} , 向上至顶部增加到 35.97×10^{-6} 。在加利福尼亚弗朗希斯科杂岩中硅质岩(F - MH 硅质岩)的 REE 值从洋中脊的最小值 10.9×10^{-6} 有规律地上升到距洋中脊 120 km 以外的 72.6×10^{-6} ^[31]。按照这一标准判断,本项研究的硅质岩应沉积在离洋中脊不太远的大洋底背景中。

4 沉积背景

塔里木盆地北部下寒武统底部硅质岩的微量元素和 Eu/ Eu^* 值说明其沉积作用过程中有深部物质和热水流体的加入。 Ce/ Ce^* 、 $(La/ Ce)_N$ 、 $(La/ Lu)_N$ 和 REE 等参数都指示其沉积在离洋中脊不是太远的大洋盆地背景中。由此判断,本文所研究的硅质岩应沉积在离洋中脊有一定距离、具有较多深部热水流体注入的大洋盆地背景中。然而,这一结论与我们根据地质背景分析所得到的关于其沉积环境的认识相去甚远。从前述的地质背景中可知,该套黑色页岩夹硅质岩的组合,夹于上下两套浅水碳酸盐岩台地相的白云岩中,其沉积环境应属于开阔陆棚环境^[37],而不是大

洋盆地背景。对于这一矛盾,我们经过地质地球化学的综合分析认为,这些硅质岩,包括伴生的黑色页岩,其形成与上升洋流有关。上升洋流将形成于大洋盆地背景中的物质带到大陆边缘陆棚环境中发生沉积,造成了沉积在陆棚环境中的硅质岩,在地球化学组成上保留了其大洋盆地背景的特征。这可从以下几方面得到佐证。

从伴生的黑色页岩有机碳含量看,在具有上升洋流活动地区的现代海洋沉积物中,如秘鲁和阿曼的大陆边缘,通常具有较高的总有机碳含量,一般大于 3%^[38]。而在现代远洋沉积物中,其平均总有机碳含量通常不到 0.5%^[39~41]。研究剖面中与硅质岩伴生的黑色页岩的残余有机碳含量为 3.93%~9.80% (12 个黑色页岩样品),平均 6.45%,远高于 3%,这一结果符合上升洋流沉积体系的特征。

现代海洋磷块岩的形成主要集中在热带太平洋东海岸和阿拉伯海,少量在纳米比亚和西澳以外的海区。热带太平洋东海岸是最广泛的上升洋流活动区,中美洲宽广的边缘海中广泛发育的磷质沉积物说明了磷质沉积与上升洋流之间的成因联系^[42]。研究剖面底部结核状磷块岩的发育,也在一定程度上支持了上升洋流的存在。

区域性的层序地层研究证明,早寒武世早期是塔里木地台海平面快速上升时期^[34],这一变化与全球性海平面变化趋势相一致。这种全球性的海平面快速上升通常被认为与海底快速扩张所造成的海洋盆地体积的变化有关。受活动构造所控制的海流体系可形成上升洋流,以搬运营养物质,从而导致富有机质沉积物的形成^[38]。本文研究的硅质岩中所蕴含的深源信息,同样反映了当时岩石圈的快速拉张背景。

5 结论

塔里木盆地北部肖尔布拉克剖面下寒武统底部硅质岩中部分微量元素如 V、Cu、Zn、U、Pb、Ba、Cd、Ag、Mo、As 和 Sb 高度富集,而其它一些元素如 Rb、Zr、Cs、Hf、Ta、W、Tl、Bi 和 Th 却严重亏损。这些微量元素特征指示硅质岩具有深源成因。较低的 Th/U 和 Rb/Sr 比进一步说明了其沉积时富铁镁质深部物源的存在。

球粒陨石和北美页岩标准化后的 Ce/Ce* 值远小于 1,北美页岩标准化后的 Eu/Eu* 值大于 1,REE 低且从剖面底部向顶部逐渐增高,北美页岩标准化后的 (La/Lu)_N 值从剖面底部的最大值向上逐渐降低,平均 (La/Ce)_N 值 2.07,说明 Ce 的亏损。

上述地球化学证据说明塔里木盆地北部下寒武统底部硅质岩应沉积在离洋中脊有一定距离的大洋盆地

背景中。但这一认识与区域沉积学研究所得到的其沉积在开阔陆棚环境中的结论大相径庭。与硅质岩伴生的黑色页岩中高有机碳含量、黑色岩系底部结核状磷块岩的发育以及硅质岩形成于海平面快速上升时期等迹象表明该套黑色岩系及其中的硅质岩的形成可能与上升洋流的活动有关。上升洋流将形成于大洋盆地背景中的物质带到大陆边缘陆棚环境中发生沉积,造成了沉积在陆棚环境中的硅质岩,在地球化学组成上保留了其大洋盆地背景的特征。硅质岩中富铁镁质深部物源的存在说明了其沉积在岩石圈伸展裂解的背景中。硅质岩中地球化学参数从剖面底部向上的规律性变化说明早寒武世早期岩石圈的裂解作用最强,此后逐渐减弱,这也说明了当时岩石圈拉张具有幕式拉张作用的特点。这为 Rodinia 大陆在寒武纪早期发生快还裂解提供了岩石学和地球化学证据。

参考文献 (References)

- 1 Murray R W. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications. *Sedimentary Geology*, 1994, 90: 213 ~ 232.
- 2 Murray R W, Buchholtz ten Brink M R, Jones D L, Gerlach D C and Russ G P. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, 1990, 18: 268 ~ 271.
- 3 Murray R W, Buchholtz ten Brink M R, Gerlach D C, Russ G P and Jones D L. Rare earth, major and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: assessing REE sources to fine-grained marine sediments. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 1875 ~ 1895.
- 4 Murray R W, Buchholtz ten Brink M R, Gerlach D C, and Russ G P and Jones D L. Interoceanic variation in the rare earth, major, and trace element depositional chemistry of chert: perspectives gained from the DSDP and ODP record. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1992, 56: 1897 ~ 1913.
- 5 Fan Delian. Polyelements in the Lower Cambrian black shale series in southern China. In: Greccs S A ed. The significance of trace elements in solving petrogenetic problems and controversies. Theophrastus Publications, 1983. 447 ~ 474.
- 6 Fan Delian, Yang Ruiying, Huang Zhongxiang. The Lower Cambrian black shale series and iridium anomaly in south China. In: Academia Sinica eds. Developments in geosciences, contribution to 27th IGC. Moscow, 1984. 215 ~ 224.
- 7 范德廉,叶杰,杨瑞英,等. 扬子地台前寒武纪/寒武纪界线附近的地质事件与成矿作用. *沉积学报*, 1987, 5: 81 ~ 95 [Fan Delian, Ye Jie, Yang Ruiying, et al. The geological events and mineralization near the boundary line of Precambrian and Cambrian in Yangtze Platform. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1987, 5: 81 ~ 95]
- 8 Chen Nansheng. Lower Cambrian black rock series and associated stratiform deposits in southern China. *Chinese Journal of Geochemistry*, 1990, 9: 244 ~ 255
- 9 涂光炽. 华南元古宙基底演化与成矿作用. 北京: 科学出版社,

- 1993 [Tu Guangzhi. The Basement Evolution and Mineralization of Proterozoic in South China. Beijing: Science Press, 1993]
- 10 涂光炽. 低温地球化学. 北京: 科学出版社, 1998. [Tu Guangzhi. The Low Temperature Geochemistry. Beijing: Science Press, 1998]
- 11 李胜荣, 高振敏. 湘黔寒武系牛蹄塘组黑色岩系稀土元素特征 - 兼论海相热水沉积岩的稀土模式. 矿物学报, 1995, 15: 225 ~ 229 [Li Shengrong, Gao Zhenming. REE character of black rock series of Niutitang Formation in Hunan and Guizhou - simultaneous discussion on the REE model of hydrothermal rocks in sea facies. Acta Mineralogica Sinica, 1995, 15: 225 ~ 229]
- 12 李胜荣, 高振敏. 湘黔下寒武统黑色岩系热演化条件. 地质地球化学, 1996, 4: 30 ~ 34 [Li Shengrong, Gao Zhenming. Conditions on thermal evolution of Lower Cambrian black rock series in Hunan and Guizhou. Geology - Geochemistry, 1996, 4: 30 ~ 34]
- 13 Li Shengrong Gao Zhenming. Silicalites of hydrothermal origin in the lower Cambrian black rock series of south China. Chinese Journal of Geochemistry, 1996, 15: 113 ~ 120
- 14 Li Shengrong Gao Zhenming. Source tracing of noble metal elements in Lower Cambrian black rock series of Guizhou - Hunan Provinces, China. Science in China (Series D), 2000, 43: 625 ~ 632
- 15 于炳松, 裘愉卓, 李娟. 扬子地块西南部晚元古至三叠纪沉积地球化学演化. 沉积学报, 1997, 15(4): 127 ~ 133 [Yu Bingsong, Qiu Yuzhuo, Li Juan. Sedimentary geochemical evolution from Upper Proterozoic to Triassic in southwest Yangtze Massif. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15(4): 127 ~ 133]
- 16 于炳松, 裘愉卓. 扬子地块西南部晚元古代至三叠纪稀土元素地球化学及其地壳演化. 现代地质, 1998, 12(2): 173 ~ 179 [Yu Bingsong and Qiu Yuzhuo. REE geochemistry and crustal evolution from Upper Proterozoic to Triassic in southwest Yangtze Massif. Geoscience, 1998, 12(2): 173 ~ 179]
- 17 于炳松, 乐昌硕. 沉积岩物质成分所蕴含的地球深部信息. 地学前缘, 1998, 5(3): 105 ~ 112 [Yu Bingsong, Yue Changshuo. Some information about the interior of earth contained in composition of sedimentary rocks. Earth Science Frontiers, 1998, 5(3): 105 ~ 112]
- 18 Yu Bingsong, Qiu Yuzhuo. The geochemistry of sedimentary rocks and its relation to crustal evolution in the southwest Yangtze Massif. Chinese Journal of Geochemistry, 1998, 17(3): 265 ~ 274
- 19 Yu Bingsong. Control of interior sources on time - bound characteristics of mineralization in southwest Yangtze Massif. Journal of China University Geosciences, 1998, 10(1): 80 ~ 85
- 20 Wedepohl K H. The composition of the continental crust. Geochim. Cosmochim. Acta, 1995, 59: 1217 ~ 1232
- 21 McLennan S M and Taylor S R. Th and U in sedimentary rocks: crustal evolution and sedimentary recycling. Nature, 1980, 285: 621 ~ 624
- 22 McLennan S M, Taylor S R, McCulloch M T, and Maynard J B. Geochemical and Nd - Sr isotopic composition of deep - sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1990, 54: 2015 ~ 2052
- 23 McLennan S M and Taylor S R. Sedimentary rocks and crustal evolution: Tectonic setting and secular trends. Journal of Geology, 1991, 1: 1 ~ 21
- 24 Murray R W, Jones D L, and Buchholtz ten Brink M R. Diagenetic formation of bedded chert: evidence from chemistry of the chert - shale couple. Geology, 1992, 20: 271 ~ 274
- 25 Adachi M, Yamamoto K, Sugisaki. Hydrothermal chert and associated siliceous rock from the Northern Pacific: Their geological significance as indication of ocean ridge activity. Sedimentary Geology, 1986, 47: 125 ~ 148
- 26 Girty H G. Provenance and depositional setting of Paleozoic chert and argillite, Sierra Nevada, California. Journal of Sedimentary Research, 1996, 66: 107 ~ 118
- 27 Jafri S H, Balaran V and Govil P K. Depositional environments of Cretaceous radiolarian cherts from Andaman - Nicobar Islands, north-eastern Indian Ocean. Marine Geology, 1993, 12: 291 ~ 301
- 28 Kunzendorf K. Regional variation of REE pattern in sediments from active plate boundaries. Marine Geology, 1988, 84: 191 ~ 199
- 29 Mirchard V. Some geochemical indicators for discrimination between diagenetic and hydrothermal metalliferous sediments. Marine Geology, 1982, 50: 241 ~ 256
- 30 Michard A. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 745 ~ 750
- 31 Rangin C, Steinberg M, Bonnot-Courtois C. Geochemistry of Mesozoic bedded cherts of Central Baja California (Vizcaino - Cedros - San Benito): implication for paleogeographic reconstruction of an old oceanic basin. Earth Planet Science Letter, 1981, 54: 313 ~ 322
- 32 Boynton W V. Cosmochemistry of the Rare Earth Elements. In: Henderson P ed. Rare Earth Element Geochemistry. Developments in Geochemistry 2. Elsevier, Amsterdam, 1984. 63 ~ 114
- 33 Haskin M A and Haskin L A. Rare earth in European shales: a re-determination. Science, 1966, 154: 507 ~ 509
- 34 Shimizu H and Masuda A. Cerium in chert as an indication of marine environment of its formation. Nature, 1997, 266, 24: 346 ~ 348
- 35 Nagasawa H and Suwa K. Rare - earth concentrations in 3.5-billion-year-old Onverwacht cherts: An indicator for early Precambrian crustal environments. Geochemical Journal, 1986, 20: 253 ~ 260
- 36 Lottermoser B G. Rare earth element study of exhalites within the Willyama Supergroup, Broken Hill Block, Australia. Mineral. Deposita, 1989, 24: 92 ~ 99
- 37 乐昌硕, 于炳松, 田成, 王荣前. 新疆塔里木盆地北部层序地层及其沉积学研究. 北京: 地质出版社, 1996 [Yue Changshuo, Yu Bingsong, Tian Cheng and Wang Rongqian. Study on Sequence Stratigraphy and Sedimentology in northern Tarim Basin. Beijing: Geological Publishing House, 1996]
- 38 Lickge A, Boussafir M, Lallier - Verges E, Littke R. Comparative study of organic matter preservation in immature sediments along the continental margins of Peru and Oman. Part 1, Results of petrographical and bulk geochemical data. Organic Geochemistry, 1996, 24: 437 ~ 451
- 39 Bordovskiy O K. Accumulation and transformation of organic substances in marine sediments, Part 2. Marine Geology, 1965, 3: 3 ~ 34
- 40 Premuzic E T, Benkovitz J S, Gaffrey J S, Walsh J J. The nature and distribution of organic matter in the surface sediments of the world oceans and seas. Organic Geochemistry, 1982, 4: 63 ~ 77
- 41 Suzuki N, Ishida K, Shinomiya Y, Ishiga H. High productivity in the

earliest Triassic ocean: black shales, Southwest Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1998, 141: 53 ~ 65

42 Ganeshram R S, Pedersen T F, Calvert S E and Francols R. Reduced

nitrogen fixation in the glacial ocean inferred from changes in marine nitrogen and phosphorus inventories. *Nature*, 2002, 415: 156 ~ 159

Rare Earth and Trace Element Patterns in Bedded - cherts from the Bottom of the Lower Cambrian in the Northern Tarim Basin, Northwest China :Implication for Depositional Environments

YU Bing-song^{1,2} CHEN Jian-qiang¹ LI Xing-wu¹ LIN Chang-song¹

1(China University of Geosciences, Beijing 100083)

2(Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Exploration, Ministry of Education, Beijing 100083)

Abstract Black rock series at the bottom of the Lower Cambrian in the Northern Tarim Basin, China, is composed of black shales interbedded with thin - bedded cherts. Six chert samples were systematically collected from a vertical section of 8.8 meters in depth in Xiaerbulak, Northern Tarim Basin. The cherts were crushed and analyzed for trace element and rare earth concentrations. Trace elements such as V, Cu, Zn, U, Pb, Ba, Cd, Ag, Mo, As and Sb are highly enriched, and others such as Rb, Zr, Cs, Hf, Ta, W, Tl, Bi and Th are highly depleted in the cherts. These trace element patterns suggest that the cherts may be of deep crustal origin. The low ratios of Th/ U and Rb/ Sr further suggest that the cherts are of earth interior sources or received hydrothermal input during their deposition. The chondrite - normalized Ce/ Ce* ratio ranges from 0.42 to 0.83, with an average of 0.60. North American Shale Composite (NASC) - normalized Ce/ Ce* ratio ranges from 0.42 to 0.79, with an average of 0.57. Negative Ce anomalies are distinct. REEs in the cherts generally increase from 10.50 ppm at the bottom to 35.97 ppm at the top of the sampled section. NASC - normalized (La/Lu)_N ratio decreases from 2.72 at the bottom to 0.67 at the top. NASC - normalized (La/ Ce)_N ratio increases from 1.36 at the bottom to 3.13 at the top. These REE patterns are very similar to those for the cherts deposited in the pelagic ocean - basin floor in the Franciscan Complex exposed at Marin Headlands, California (F - MH chert) (Murray *et al.*, 1991). Chondrite - normalized Eu/ Eu* value markedly decreases upward in the section from 5.54 at the lowermost to 0.73 at the top, and NASC - normalized Eu/ Eu* value decreases from 8.05 to 1.03. The relatively high Eu/ Eu* ratio for the cherts from the North Tarim Basin is most likely due to a hydrothermal input (e. g., Eu/ Eu* ~ 10). The systematic decrease of Eu/ Eu* ratio from the bottom to the top of the section reflects that the hydrothermal input is the largest in the lowermost portion of the section and gradually decreases upward. These geochemical characteristics indicate that the cherts from the bottom of the Lower Cambrian in the Northern Tarim Basin should be deposited on a pelagic ocean - basin floor in proximity to the mid ocean ridge that provided much interior source/ hydrothermal input, but this conclusion is in quite contradiction to that from the sedimentological research. On the basis of the comprehensive studies of regional geology and geochemistry of black shales, it is considered that the upwelling carries the substances formed in the pelagic ocean floor onto shelf to deposit, which results in the pelagic geochemical characteristics of the bedded cherts deposited on shelf.

Key words chert, rare earth and trace elements, depositional environment, Northern Tarim Basin