库车坳陷第三系泥岩地球化学特征及其对 构造背景和物源属性的指示

李双建12,王清晨2

(1. 中国石油化工股份有限公司 石油勘探开发研究院,北京 100083;2. 中国科学院 地质与地球 物理研究所,北京 100029)

摘要:利用碎屑岩地球化学特征判断沉积盆地的构造背景和物源属性是盆地分析的重要手段,也是对利用粗碎屑沉 积岩的组分统计判断盆地源区背景的有益补充和验证。对库车坳陷第三系 36 件泥岩样品的地球化学特征分析表 明,主量元素中 CaO 的含量很高,对其他主量元素以及微量和稀土元素有稀释作用,一些可靠的物源分析指标主要 指示了非碳酸盐沉积物的源区性质;REE 分布模式与上地壳相似,轻稀土元素富集,Eu 负异常,微量元素比值显示 源岩以长英质岩石为主。通过 K₂O/Na₂O – SiO₂ 以及 La – Th – Sc – Zr/10 判别图分析,认为源区的构造背 景具有类似于岛弧的特征。这一结果与前人所做的砂岩组分的研究结果存在差异,说明板内造山带与其前陆盆地 之间在沉积与构造耦合上具有特殊性。

关键词 : 库车坳陷 ;第三系 地球化学 构造背景 物源 中图分类号 :P588.22 ;P591 ;P541 文献标识码 ;A

文章编号:1000-6524(2006)03-0219-11

Geochemical characteristics of Tertiary mudstones in Kuqa depression and their implications to tectonic setting and provenance attribute

LI Shuang-jian^{1,2} and WANG Qing-chen²

(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC Corp., Beijing 100083; 2. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: The application of detrital geochemistry to determining tectonic setting and provenance attribute is an important means for basin analysis and also a helpful supplementary or verification method in using coarse detrital rocks to judge the background of provenance. Geochemical characteristics of 36 Tertiary mudstone samples from Kuqa depression show that the content of CaO is very high, which can somewhat dilute other major elements, trace elements and rare elements. Some reliable indicators for provenance analysis show the source rock nature of noncarbonate sediments. The REE distribution pattern is similar to that of the upper continental crust, characterized by enrichment of LREE and negative Eu anomalies. Some trace element ratios show that the source rocks are mainly felsic. According to $K_2O/Na_2O - SiO_2$, La - Th - Sc and Th - Sc - Zr/10 discrimination diagrams, the tectonic setting of the provenance is similar to that of island arc. This result is different from the former research result on sandstones, suggesting that there exist specific characteristics between the orogenic inner plate and its foreland basin in sedimentary and tectonic coupling.

Key words: Kuqa depression; Tertiary; geochemistry; tectonic setting; provenance

作者简介:李双建(1978 -),男,汉族,博士研究生,研究方向:盆地分析,电话(010)62008145 E-mail lishj@mail.igcas.ac.cn。

收稿日期:2005-06-17;修订日期:2005-10-17

基金项目:国家重点发展规划(973)资助项目(2005CB422101 G1999043303)

通过碎屑组分恢复沉积盆地的物源和构造背景 是造山带沉积学的一项重要工作。碎屑沉积物可以 提供关于那些以前存在、后来被剥蚀或者经过变质 的大陆或大洋板块的信息。除了气候、地形、搬运距 离和成岩作用,一般认为碎屑岩组分主要受物源区 母岩性质和构造背景影响(McLennan *et al.*,1993; Fralick and Kronberg,1997)。碎屑岩中的粗碎屑组 分容易受风化作用、搬运作用和成岩作用的影响,丢 失一些重要的物源信息。一些在沉积、成岩过程中 性质稳定的地球化学元素(如 REE、Th、Se、Co 和 Zr 等)被广泛用来推断物源区的组成特征和大地构造 背景,并取得了良好的效果(Taylor and McLennan, 1985;Bhatia and Crook,1986;McLennan *et al.*, 1993, 邵磊等,1997)。

天山与相邻新生代沉积盆地形成了复杂的盆山 系统 具有鲜明的中国地域特色 曾被称为"中国型 盆地 (Bally and Snelson, 1980)。这一盆山系统的 构造演化过程是亚洲大规模陆内变形的产物。前人 对该区的研究主要集中在中生代以前天山造山带的 形成过程和中生代以来库车坳陷内沉积构造演化与 油气形成的关系 对库车坳陷物源和构造背景的研 究仅限于对砂岩碎屑组分的统计(高长林等,1993; Graham 1993 ;Carroll et al., 1995 ;何登发等, 1996 ; Yin et al., 1998;卢华复等, 2000;Hendrix, 2000;李 忠等 2003 2004 ;柳永清等 2004)。根据砂岩碎屑 的研究结果 库车坳陷第三纪粗碎屑砂岩富岩屑、贫 长石 岩屑中的碳酸盐岩岩屑和变质岩岩屑富集 而 火山岩岩屑含量较少,源区的构造背景主要为再造 山旋回带。本次研究在库车坳陷第三系中采集了 36 个泥岩样品 通过主量元素、微量元素和稀土元素测 试,分析库车坳陷第三系碎屑岩地球化学特征、高碳 酸盐岩含量对各种地球化学元素及其比值的影响, 并探讨其物源属性和形成的构造背景。选择泥岩是 因为地球化学元素在泥岩中分布的均一性更强 更 适合于物源分析(Cullers ,1995)。

1 地质背景

天山造山带东西绵延 1 500 km ,是中亚地区最 重要的古生代造山带之一 ,包括塔里木板块、伊犁中 天山板块和准噶尔板块 ,由一些具前寒武基底的微 板块组成 ,普遍分布中新生代盖层。塔里木板块和 伊犁中天山板块之间以南天山缝合带为界(形成于 早石炭世)缝合带广泛分布的蛇绿混杂岩和蓝片岩 是早石炭世晚期塔里木板块北缘与伊犁板块南缘碰 撞的结果。伊犁中天山板块与准噶尔板块之间的缝 合带也形成于早石炭世晚期。在这条缝合带上,中 奥陶世的蛇绿混杂岩、蓝片岩和晚泥盆-早石炭世的 蛇绿岩都有分布。古生代末期塔里木板块、伊犁中 天山板块与准噶尔板块和欧亚大陆拼合在一起。早 二叠世,天山开始隆升,并伴随有火山喷发和花岗岩 侵入(Gao et al.,1995;吴世敏等,1995)。目前南天山 出露的主要岩石是浅变质的古生界千枚岩、板岩、结 晶灰岩及晚古生代花岗岩和钙碱性火山岩等(图1)。

库车坳陷位于塔里木盆地北缘、天山南麓,是一 个中生代前陆盆地。新生代特别是晚第三纪渐新世 以来,伴随着天山强烈的隆升,盆地内沉积了巨厚、 连续的陆相沉积 ,为研究天山陆内造山的隆升过程 和机制提供了天然实验室。库车坳陷第三系包括5 个组,自下而上依次是库姆格列木组、苏维依组、吉 迪克组、康村组和库车组。在克孜勒努尔沟剖面除 了库姆格列木组底部的一小部分为海相沉积外 其 余地层都是陆相沉积 沉积物的粒度向上变粗 沉积 相由湖相逐步演变为河流相和冲积扇相。库姆格列 木组底部为灰白、浅灰色泥灰岩、灰质砾岩,下部为 紫红色砂砾岩与同色泥岩、粉砂岩、石膏层互层,上 部为紫红色泥岩 厚 130 m。苏维依组主要为褐红色 砂岩、泥岩和少量砾岩,上部含钙质较高,厚143m。 吉迪克组主要为一套棕红色砂质泥岩与泥岩互层, 其间夹有较多的厚层状或中薄层状灰绿色泥灰质粉 砂岩或泥质条带 宏观上具有明显的红、绿条带相间 的特点 厚1075 m。康村组下段为暗棕色砂质泥岩 夹灰绿色泥岩及粉砂岩 ,上段以暗棕褐色砂质泥岩 为主,夹砂岩,厚1140m。库车组下段为青灰色细-中粒块状砂岩夹褐黄色带灰色砾岩 上段主要为褐 黄色粉砂岩夹灰褐色砾岩、砂岩 厚2 700 m。

2 样品采集与分析

本次研究在库车县牙哈乡克孜勒努尔剖面 (42°04.715′N 83°18.419′E)共采集地球化学样品 36 块,其中库姆格列木组3块、苏维依组2块、吉迪 克组12 块、康村组15 块、库车组4块,均为泥岩。 主量元素分析采用 Shimadz 1500 X 射线荧光仪测 定,分析误差除 P₂O₅ 约为5%外,其余氧化物均小于 1%。CO₂含量用酸溶法测定,所用仪器为HighTOC



图 1 研究区构造地质图 据 Graham 等 (1993) 李忠 2004) 等修改]

Fig. 1 Tectonic geological map of the study area (modified after Graham et al., 1993 and Li Zhong et al. 2004)

II 红外线检测仪,分析误差小于1%。微量元素和稀 土元素采用电感耦合等离子质谱(ICP-MS)方法完 成,分析误差小于5%。所有测试均由中国科学院地 质与地球物理研究所地球化学实验室完成。

3 泥岩地球化学特征

3.1 主量元素

研究区主量元素测试结果见表 1。由主量元素 的纵向变化图(图 2)可以看出,库车坳陷第三系泥岩 中的 CaO 含量普遍较高,特别是在库姆格列木组,平 均含量高达 36.4%,受此影响其他主量元素的含量 偏低。库姆格列木组,苏维依组、吉迪克组和康村组 CaO 含量向上增加,但库车组有所降低。其他主量 元素如 SiO₂、Fe₂O₃、MgO、K₂O 和 Na₂O 的变化趋势 与 CaO 相反,Al₂O₃和 TiO₂的含量变化不明显,MnO 和 P₂O₅的含量均小于 1%,纵向上几乎没有什么变 化。与澳大利亚后元古宙平均泥岩(PASS)主量元 素相比,该区泥岩富 CaO,贫 TiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃和 K₂O,而 SiO₂、MgO、MnO 和 Na₂O 与 PASS 相差不 多(PASS 数据来自 Taylor 和 Mclennan, 1985)(图 3)。因为 SiO₂ 亏损的程度并不高,所以 K₂O 和 Al₂O₃不完全亏损是由于碳酸盐岩稀释的影响。一 般来讲 Al n K 元素富集于长石和伊利石、高岭石 等粘土矿物中 $K_{2}O$ 和 $Al_{2}O_{3}$ 的亏损与岩石中这些 矿物含量较少有关。

3.2 微量和稀土元素

库车坳陷第三系泥岩中微量元素含量最大的特 点是总量偏低(表1),特别是库姆格列木组,一些微 量元素含量不及 PASS 的 1/5(图3),这可能与该区 泥岩中丰富的碳酸盐含量有关。大离子亲石元素 Rb、Cs、Ba和Sr 的含量变化较大,但总体和 PASS 的成分相当(图3)。库姆格列木组Sr 元素含量相对 较高,是由于Sr 元素在碳酸盐岩中含量较高的缘故 (Cullers, 2002)。研究区沉积岩中Co、Cr、Ni、Sc和 V等铁镁族元素的含量虽有一定的变化,但总体上 除了总量偏低以外均类似于 PASS。

该区稀土元素同样受到了碳酸盐岩稀释作用的 影响。在碳酸盐岩含量高的库姆格列木组,∑REE 平均值仅为45.88×10⁻⁶,说明稀土元素富集于碎屑 组分中。经球粒陨石标准化后,各组稀土元素的分 布模式相似(图4),均表现为轻稀土元素富集,重稀 土元素分布平坦,Eu显著负异常;指示轻重稀土元 素分异度的(La/Yb),在9~11之间,各组平均值均 大于 PASS 的值(9.2);指示轻稀土元素分异程度的 (La/Sm),一般都大于4;指示重稀土元素分异程度 表 1 库车坳陷第三系泥岩主量元素(w_B/%)与微量元素(w_B/10⁻⁶)含量表

uo
essi
bre
a de
nqŝ
١K
ron
S fi
one
dst
nm
IL.
rtia
Te
in (
- 6
/10
W ^B
s (
ent
em
e el
rac
ld t
an
(%
B
и)
jor
ma
$0\mathbf{f}$
nts
nte
CO
The
-
e 1
abl
L

									G							J			dan meh					
地层	样号	SiO_2	TiO ₂	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K_2O	P2O5	LOI	TOTAL	CO ₂	Ľ	Be	S	V	Ŭ	Z	i Cu	Zn	Ga	Rb
定研救	KM-40	20.62	0.09	2.06	0.58	0.05	1.19	38.34	0.00	0.20	10.0	35.92	99.07	35.04	5.99	0.21	2.20 21	.80 17.	37 2.5	8 9.3	30 3.03	3 40.82	2.43	13.62
 一两位 列太组	KM-45	28.55	0.16	3.35	1.21	0.08	1.67	33.54	0.06	0.45	0.02	30.86	99.95	30.30	9.15	0.42	4.30 29	.61 28.	33 5.3	3 13.	89 9.76	5 15.11	3.94	21.31
T	KM-42	34.70	0.16	3.60	1.30	0.08	1.63	30.06	0.64	0.55	0.02	27.63	100.36	27.10	9.78	0.38	4.49 32	91 27.	45 5.4	8 17.	49 30.1	1 13.57	4.21	21.11
苏维	KM-50	65.89	0.49	11.27	3.66	0.05	2.65	2.96	2.40	2.59	0.41	7.88	96.96	2.45	39.67	1.60]	0.1910	6.8454.	03 10.	81 29.	71 48.3	9 53.52	13.55	94.84
依组	KM-55	50.79	0.55	9.22	3.39	0.10	2.02	13.80	2.38	1.37	0.10	15.78	99.50	11.53	61.79	3.31 1	9.1314	3.3086.	50 18.	46 50.	26 38.2	0 94.79	25.28	164.21
	KM-53	49.74	0.74	17.07	7.42	0.07	3.61	4.87	1.43	4.15	0.21	10.98	100.28	4.00 2	28.78	1.07	9.17 59	.26 47.	59 9.3	6 26.	51 53.1	5 55.52	10.75	68.62
	KM-91	54.02	0.66	13.94	5.51	0.09	3.49	6.71	1.72	3.14	0.16	10.55	99.97	5.88	54.19	2.15 1	4.22 97	.37 70.	61 14.	36 44.	93 33.0	2 221.30	17.85	124.01
	KM-97	56.14	0.58	11.82	4.44	0.07	2.19	8.99	1.56	2.51	0.13	0.97	99.40	7.69 4	11.14	1.74 1	1.45 84	.04 68.	22 12.	11 32.	28 20.1	2 73.97	15.13	101.68
	KM-100	55.97	0.50	10.62	3.72	0.13	2.10	11.00	1.63	2.13	0.13	12.06	86.66	9.54	38.76	1.48 1	0.06 70	.32 63.	52 9.9	9 73.	07 32.5	2 55.82	13.07	86.74
	KM-104	58.43	0.56	12.37	4.48	0.09	2.15	7.40	1.64	2.49	0.12	10.02	99.76	6.46	12.08	1.64 1	1.78 79	.27 57.	53 12.0	01 33.	43 21.9	0 72.07	15.70	101.84
中市	KM-107	38.13	0.38	7.22	2.54	0.06	1.67	25.18	1.09	1.17	0.06	22.49	99.99	21.69 2	24.21	. 97	7.23 49	.59 37.	00 7.1	0 17.	31 12.9	1 38.76	8.76	56.61
克组	KM-115	50.43	0.64	13.00	5.36	0.09	3.06	9.00	2.33	2.42	0.14	13.10	99.56	7.62	1.47	1.82 1	3.27 84	.11 58.	11 12.	97 35.	68 20.4	3 64.07	15.32	99.05
	KM-122	53.03	0.71	13.65	5.74	0.11	3.07	7.85	1.80	2.71	0.15	10.98	08.66	6.68	61.86	2.05 1	4.59 99	.20 81.	22 15.	32 42.	39 28.40	0 97.11	17.89	113.95
	KM-125	43.88	0.50	7.37	2.82	0.08	1.46	21.29	1.72	1.28	0.15	18.96	99.49	7.28	50.07	1.90 1	4.8310	1.4779.	80 15.7	75 43.	64 25.2	5 76.74	17.01	109.20
	KM-126	48.10	0.54	10.32	4.06	0.08	2.26	13.84	1.71	1.50	0.15	16.34	98,90	16.0	51.18	1.90 1	5.1310	0.4582.	17 16.	18 43.	59 28.13	3 76.94	17.21	114.01
	KM-131	47.86	0.68	14.96	6.79	0.11	3.44	8.10	1.46	3.16	0.15	12.93	99.64	7.13	5.87	2.53 1	8.07 12	5.51100.	12 19.8	85 57.	37 28.2	3 96.47	21.23	136.44
	KM-133	46.95	0.65	14.05	6.28	0.09	3.56	9.55	1.42	2.94	0.18	13.88	99.55	8.42	2.31	2.39 1	6.1310	1.44 76.	40 16.8	84 47.	37 27.4	5 90.79	18.85	124.50
	KM-137	50.37	0.67	12.35	5.18	0.09	3.88	9.01	1.79	2.26	0.12	13.66	99.39	8.73 2	4.15	1.19	9.38 60	.58 45.	88 10.	11 28.	50 22.9	4 52.31	10.27	64.88
	KM-142	37.74	0.45	8.09	3.27	0.09	2.08	22.86	0.96	1.03	0.09	23.31	99.97	19.29 4	3.66	1.75 1	4.02 98	.81 75.	75 15.	16 41.	86 29.99	9 84.21	15.64	100.92
	KM-144	31.68	0.37	7.57	3.06	0.08	2.28	26.60	0.56	0.96	0.07	25.81	99.04	23.11 2	9.62	1.23	8.87 54	.83 50.	29 9.6	5 29.	24 20.89	9 41.89	9.81	64.30
	KM-169	50.13	0.65	12.58	5.31	0.10	3.13	9.64	1.33	2.40	0.12	l4.00	99.39	8.01	2.11	2.03 1	4.5810	1.7173.	49 14.8	81 74.	18 50.43	3 75.49	17.55	112.59
	KM-150	45.38	0.55	12.12	5.07	0.11	3.91	11.01	1.38	2.12	0.11	17.78	99.54	9.53	5.62	1.81	3.68 98	.37 71.	43 16.0	07 36.	32 22.30	0 66.95	16.41	98.44
	KM-153	48.55	0.60	10.44	4.27	0.10	2.72	14.23	1.35	1.99	0.15	15.38	99.78	12.17 3	2.02	1.53 1	1.43 80	.14 61.	71 11.	94 29.0	02 19.4	3 60.01	13.44	84.72
	KM-9	30.07	0.36	7.14	2.96	0.09	2.32	28.39	0.71	0.91	0.09	26.45	99.49	25.22.2	4.16	90	7.98 52	.58 46.	03 8.9	5 21.	25 19.6	7 41.30	9.46	60.56
康村组	KM-73	50.00	0.57	10.62	4.04	0.08	2.80	11.93	1.35	1.64	0.14	l6.02	99.19	10.14	3.33	L)52 1	1.33 70	.88 56.	86 10.3	39 28.	78 19.40	6 65.04	13.57	87.15
	KM-13	32.57	0.40	7.83	3.15	0.11	2.11	26.16	1.20	1.14	0.10	24.45	99.22	22.58	6.48	(.19	8.73 59	.19 42.	84 10.	52 26.0	00 22.5(6 52.90	10.32	70.01
	KM-18	45.83	0.58	11.12	4.64	0.07	2.90	13.48	1.82	1.74	0.13	17.43	99.74	10.82 3	4.45	l.65 1	1.70 78	.72 60.	58 11.4	40 29.	25 25.1	5 73.35	14.76	97.14
	KM-23	44.09	0.62	9.25	3.67	0.06	2.20	18.06	1.56	1.29	0.16	8.69	99.65	15.02 2	6.73	1.22 1	0.79 67	.79 74.	48 7.7	3 27.	36 23.00	0 53.43	11.51	72.85
	KM-24	44.29	0.55	12.32	4.89	0.05	4.28	2.10	5.62	1.86	0.09	22.11	98.16	0.76 3	7.40	.84	3.72 93	.91 77.	92 12.2	26 35.	72 29.11	1 64.07	16.65	101.71
	KM-35	31.48	0.38	8.89	3.67	0.09	2.35	24.57	1.23	0.94	0.09	25.60	99.29	21.38 2	9.24	.39	9.39 65	.35 47.	05 12.	12 28.	18 23.03	3 50.77	11.77	76.82
	KM-58	44.59	0.57	12.62	5.29	0.13	3.03	10.29	2.32	1.56	0.10	18.92	99.43	8.16 3	60.6	1.81	3.53 90	.86 63.	14 15.3	14 38.	18 29.33	3 66.98	16.01	102.91
	KM-63	47.09	0.62	13.04	5.63	0.12	3.23	10.67	1.96	2.34	0.14	4.75	99.58	8.95 4	5.03	2.04	4.32 10	0.7470.	53 16.2	22 42.	11 35.38	8 91.85	18.41	122.01
	KM-66	50.12	0.40	7.29	2.89	0.07	1.47	17.48	1.39	1.16	0.08	17.21	99.56	14.62 1	9.90	. 32	7.66 47	.83 46.	71 7.6	5 18.	29 15.94	4 37.17	8.94	61.07
库车组	KM-67	51.22	0.52	9.93	3.96	0.08	1.98	13.63	1.59	1.81	0.13	4.53	99.38	10.86 1	9.48	10.1	8.16 45	.74 37.	57 7.4	3 17.	91 13.98	8 40.29	9.10	56.42
	KM-69	52.41	0.67	13.06	5.32	0.12	3.19	8.40	1.93	2.60	0.17	1.34	99.22	10.87 3	2.60	1.49 1	1.09 71	.01 53.	81 10.0	58 29.0	63 26.5	5 58.31	13.44	89.34
	KM-158	51.4	0.64	12.99	5.324	0.121	3.29	8.5	1.79	2.54	0.18	2.06	98.831	11.1	0.09 1	432	10.6 69	48551.0	54 10.	14 29.4	41 22.7	5.55.481	12.61	34.856

BER F X Z No Bit Th F S Y Z No Distribution Distrin	東表 1	Fig. 1	Lu	0.08	0.11	0.13	0.27	0.39	0.30	0.34	0.29	0.29	0.30	0.22	0.31	0.37	0.34	0.33	0.35	0.35	0.25	0.33	0.21	0.32	0.28	0.31	0.24	0.28	0.24	0.27	0.38	0.24).22	0.28	0.33	0.25	0.31	0.30	
MAR Web S: Y Z: No Gas Hi Th Co P Mid Sint Sint <th< th=""><th>411</th><th>tinued</th><th>Υb</th><th>0.59</th><th>0.79</th><th>0.91</th><th>1.75</th><th>2.74</th><th>1.98</th><th>2.20</th><th>1.97</th><th>1.97</th><th>2.11</th><th>1.50</th><th>2.07</th><th>2.42</th><th>2.19</th><th>2.21</th><th>2.37</th><th>2.34</th><th>1.64</th><th>2.17</th><th>1.46</th><th>2.13</th><th>1.91</th><th>2.09</th><th>1.63</th><th>1.90</th><th>1.62</th><th>81</th><th>56</th><th>.68</th><th>.53 (</th><th>.86</th><th>22</th><th>.67</th><th>2.08</th><th>1.91</th><th>5.</th></th<>	411	tinued	Υb	0.59	0.79	0.91	1.75	2.74	1.98	2.20	1.97	1.97	2.11	1.50	2.07	2.42	2.19	2.21	2.37	2.34	1.64	2.17	1.46	2.13	1.91	2.09	1.63	1.90	1.62	81	56	.68	.53 (.86	22	.67	2.08	1.91	5.
张氏 学 S Y Z Nb C Nb H Ta Ph Th U La C Ph M Sn Ea Cd Tb Py tb F - U La C Ph M Sn Ea Cd Tb Py tb F - C M SND 916-08.25 21:92 218 0.09 976.51 (5) 114 0.20 0.45 1.50 0.45 1.50 0.45 1.50 0.45 1.50 0.45 0.11 0.05 0.50 0.45 0.11 0.05 0.50 0.45 0.15 0.40 0.10 0.05 0.10 0.01 0.05 0.10 0.01 0.05 0.10 0.01 0.05 0.00 0.01 0.01		Con	Tm	0.10	0.13	0.15	0.28	.44	.32	.36	.33	.32	.34	.24	.32	.40	.36	.36	. 39	. 38	.27	.35	.24	.36	.31	.36	.27	.32	.26	.30	.43	.27 1	.26 1	.30 1	.37 2	.28	.35	.32	00
MLE REF S Y Z Nb G ha Hi Th U La C Ph Mi Ph Mi			Er	. 75 (. 91 (.11 (.87 (. 82	. 16 (50 (.20	.15 (. 29 (.73 (.25 (.64 (.41 (.41 (.54 0	.57 0	.86	.29 0	.64 0	.34 0	.07	.44 0	. 78 0	.17 0	.81 0	.07 0	.80 0	.72 0	.74 0	.16 0	.43 0	. 90	.50 0	.25 0	1.1
• 速振 様号 Sr Y Zr Nb Ga Ba Hf Ta Pb Tb JU La Ce Pr Na Sn Ear Cd Tb Dy Tk MAH HIG 408.25 112 22 130 231 145 01 150 151 143 151 151 151 151 151 151 151 151 151 15			Ho	.29 0	.34 0	.42	. 66 1	.06	. 79 2	. 91	.80	. 76 2	. 82	. 64	.78 2	.96	.85 2	.86	. 91 2	. 93 2	.66 1	.82	.56 1	.88	.77 2	.89 2	. 70 1	.79 2	.67 1	.74 2	.02 2	.62 1	.62 1	76 2	.85 2	.72 1	.91 2	82 2	770
#E			D	.45 0	.67 0	. 11 0	.15 0	.23 1	.81 0	.41 0	.84 0	.62 0	. 90	.13 0	.85 0	.62 0	.25 0	.21 0	.48 0	.65 0	.25 0	.04 0	.76 0	.17 0	.68 0	.43 0	.34 0	. 90 0	.29 0	. 69	.12	94 0	0. 0	72 0	25 0	.48 0	.51 0	0 10.	107
#E			Tb	.24 1	.28 1	.35 2	.56 3	. 93 5	.67 3	.72 4	.66 3	.60 3	.66 3	.56 3	.61 3	.82 4	.73 4	. 76 4	. 70 4	. 78 4	.55 3	.71 4	.47 2	.74 4	.66 3	. 79 4	.58 3	. 69 3	.59 3	.65 3	. 89 5	.51 2	.53 3	.64 3	.75 4	.60 3	.80 4	. 69 3 71 4	1
#E #			F	.50 0	.85 0	.29 0	.52 0	. 69	.18 0	.46 0	.01 0	.97 0	.13 0	.53 0	.07 0	.98 0	. 79 0	.77 0	.81 0	.13 0	.58 0	.33 0	.97 0	.63 0	.98 0	0 60.	.71 0	.35 0	.70 0	.15 0	.53 0	.14 0	.40 0	.19 0	71 0	.86 0	.05 0	.53 0	1 11
#FF #FF Not 1224 113: 691 Ca Fai Hi Ta Fib Th U La Ca Fi Nd Sin Figure 153 0 (17) 6917 60113-60 (12) 63 0 (13) 64 (13) (12) (12) (12) (12) (12) (12) (12) (12			Eu	.45 1	.46 1	.58 2	.84 3	.40 5	.97 4	.03 4	.92 4	.86 3	.95 4	.81 3	.93 4	.18 4	.11 4	. 11 4	.13 4	.21 5	.83 3	.98 4	.92 2	.11 4	.93 3	.15 5	.83 3	.02 4	.90 3	.95 4	.22 5	.71 3	06 3	97 4	05 4	94 3.	27 5	- 99 4 1 4	1
· · · · · · · · · · · · · · · · ·			Sm	.53 0	00.	.37 0	.94 0	.06 1	.73 0	.42 1	0 66.	.55 0	. 79 0	.88 0	. 90 0	.61 1	.52 1	.54 1	.93 1	.01 1	.17 0	.18 0	.44 0	.47 1	.68 0	.79 1	.12 0	09 1	.36 0	.76 0	.37 1	.65 0	73 1	80 0	48 1	32 0	63 1	58 0	11
4. (本) 本学 Sr. Y Zr. Nb Cs Ba Hf Ta Pb Th U La Ce Pr 本学 Sr. Y Zr. Nb Cs Ba Hf Ta Pb Th U La Ce Pr (本) 本 (An-01416.408.26 21.92 - 2.81 0.89 70.67 0.63 0.33 6.81 1.51 0.54 3.81 11.90 1.88 7 列水炮 (An-01416.408.26 21.92 - 2.81 0.89 70.67 0.63 0.33 6.81 1.51 0.54 3.81 11.90 1.88 7 列水炮 (An-50 107.99 17.60 113.46 9.92 6.95 334.62 3.29 0.95 20.94 8.18 2.56 24.77 55 75 37 24 本筆 KM-50 107.99 17.60 113.46 9.92 6.95 334.62 3.29 0.95 20.94 8.18 2.56 24.77 55 75 92 29 50 大協 (An-50 107.99 17.60 113.46 9.92 6.95 334.62 3.29 0.95 20.94 8.18 2.56 24.77 55 77 93 25 (KM-51 10.224 411.75 81.29 01.23 7 61 41.54 53 83 1.18 28 01 11.31 3.26 55 34.77 53 7 53 9 (KM-101 123.812.1817.39 10.32 7 61 41.54 53 38 0.95 2.74 9 8.53 2.46 55 7 59 2 (KM-101 13.13 21.08 1224 411.54 53 10.03 8.63 12.23 4.03 11.33 2.24 6 28 6 55 7 59 2 (KM-101 13.13 231.08 1228 4.11 50 23 10.30 24 55 7 1.90 22 18 9.44 2.17 2.90 25 61 6.87 22 (KM-11216.29 16.07 27 4 11.54 55 0 7 00 10.32 2.46 28 66 55 7 69 2 (KM-11216.29 16.07 27 4 11.15 25 5 0.09 1.17 2.04 25 60 10.22 13 31.56 66 7 7 52 (KM-11216.29 16.07 7 10 2 (KM-11216.29 16.07 7 10 2 (KM-112172.18 17 2.90 10.34 94.45 1.10 27.10 10.32 2.46 28 65 7 59 0.13 (KM-11216.29 16.07 7 12 20 0.01 13 0.5 98 55 25 3 40 1.10 2.57 0.81 1.10 2.70 10.32 2.46 28 65 5 7 59 2 (KM-12214.41 4.92 4.87 7 10.03 2.98 55 25 3 40 1.10 2.57 0.81 1.10 2.70 10.32 2.40 25 57 1.02 2.41 25 7 51 2.20 10 24 1.42 2.42 2.42 2.42 2.42 2.44 2.44 1.44 1			PN	.40 1	0.20 2	1.22 2	0.78 3	5.13 7	1.62 4	3.62 5	5.44 4	3.53 4	3.96 4	.43 3	5.24 4	0.99 5	.39 5	0.26 5	.23 5	.51 6	.43 4	5.58 5	7.47 3	3.08 5	1.68 4	26 5	.51 4	.59 5	.25 4	.81 4	.70 6	.40 3	.863	.03 4	.14 5	26 4	.32 5	.03 5	1111
ukg 祥号 Sr Y Zr Nb Cs Ba Hf Ta Pb Th U La Cs 推奏 KM-40 1416 -408.26 21.92 2.81 0.89 970.67 0.63 0.33 6.08 1.51 0.43 8.19 11.90 1 海峡 KM-45 44.58 9.93 7.87 3.75 1.51 429.02 1.08 0.47 15.14 2.24 0.03 15.60 2 孙木坦 KM-55 101.25 0.30 47113.47 9.92 6.50 334 6.23 0.05 2.37 0.85 1.10 2.11 75 14 5.17 5 苏彬 KM-55 101.25 0.30 47113.47 9.92 6.50 533 4.23 1.10 0.47 15.14 2.14 0.05 15.00 220 1 苏彬 KM-55 101.25 0.30 47113.47 9.92 6.50 533 4.23 1.09 0.47 15.14 2.17 9.02 56.11 6 苏彬 KM-55 101.25 0.30 47113.47 9.95 5.28 228 93 5.6 0.96 23.70 8.54 2.10 77.01 22.71 6 KM-101 141.29 21.86 17.96 11.36 9.95 5.28 228 93 5.6 0.96 23.70 8.54 2.10 77.01 22.71 7 KM-101 141.29 21.81 17.93 10.23 7.61 441.54 3.83 0.95 27.40 8.53 3.21 27.23 55.95 6.5 7 KM-101 141.29 21.86 17.96 11.36 9.31 43.34 1.10 0.71 19 9.5 6.80 1.23 2.153 9.34 55 9 KM-101 141.29 21.86 17.95 11.20 10.34 49.54 4.23 1.10 0.71 9.19 25 6.80 1.23 2.153 9.34 55 9 KM-101 141.29 21.66 2.76 8 3.14 1.10 2.21 3.01 97 19 95 6.80 1.23 2.153 9.34 55 0.5 KM-101 141.31 82 21 08 12.5 31 0.70 8.68 312.02 3.54 1.10 27 10 9.13 2.2 1.53 9.34 55 0 KM-101 141.31 83 21 08 12.5 30 10.34 49.54 6.3.54 1.10 9.71 10 3.01 3.32 1.53 2.153 9.34 55 0 KM-101 16.5 20 16.07 5 1.10 5 9.80 56.57 3.34 1.11 2 2.68 81 0.01 2.21 3.31 56.69 7 KM-112 244 115.80 21 34 10.05 9.80 56.57 3.34 1.11 2 2.68 10.40 2.51 33.15 6.66 1 KM-122 181.53 21.02 15.20 13.22 12.10 70.13 3.34 1.10 2.77 70 10 33 2.43 38 57 0 KM-132 206 023 34 130 6.52 33 2.53 0.35 1.12 8 6.61 12 20 0.13 38 57 6 KM-132 206 023 34 130 765 6.56 33 3.54 1.10 2.74 31.77 1.50 023 4.56 4.58 KM-132 204 023 31 130 72 211.20 19.21 1.12 2.58 3.61 1.12 2.58 3.54 0.56 6.58 KM-132 264 023 211.8 9 81 4.60 2.54 1.12 2.51 2.31 11.06 2.25 3.11 62.29 2.53 3.50 1 KM-132 264 0123 211.20 9.22 11.12 0.24 9.14 01.13 2.12 2.50 1.23 2.51 33 57 6 KM-132 264 0123 24 1			Pr	.88	.68 1(.90 1	. 74 2(.50 3(.36 24	.89 28	.87 25	.47 23	.58 23	.12 19	.76 25	.97 3(73 29	-82 29	.04 30	.22 30	.57 23	.10 26	.71 17	.51 28	.79 24	.24 3]	.45 20	. 91	. 11 22	.83 25	.93 32	.05 15	.10 18	.63 25	.74 28	. 70 22	. 78 28	.37 27	7 11
地震 禅母 Sr Y Zr Nb Cs Ba HI Ta Pb Th U La 種康 A KM-40 1416.408.26 21.92 2.81 0.89 970.67 0.63 0.33 6.08 1.51 0.24 0.82 11.92 1 刻水超 KM-40 1416.408.26 21.92 2.81 0.89 970.67 0.63 0.33 6.08 1.51 0.24 0.68 11.92 10 3/4 (2017) 9017.60113.46 9.95 6.83 34.62 3.29 0.95 2019 81.81 2.55 24.77 3 KM-51 104.50 107.9917.60113.46 9.95 5.82 282.83 3.65 0.95 23.09 85.43 2.74 75 3.55 5 KM-91 140.1224.41 127 851.29 0118 0319.75 3.83 1.18 28.04 11.31 3.26 35.25 6 KM-91 140.1224.41 127 851.29 01.80 312,75 3.83 1.18 28.04 11.31 3.26 35.25 6 KM-101 142.711.118 137 901.23 0.14 40.54.73 4.75 1.10 0.27 113 3.26 3.27 6 KM-101 142.711.118 137 901.23 0.14 40.54.73 4.75 1.10 0.27 18 28.04 11.31 3.26 35.25 6 KM-101 142.711.118 138 21.08 125.53 10.70 8.66 312.02 3.70 8.53 2.10 23 2.40 25 KM-101 142.121.118 137 901.23 0.11 90 317 0.21 89 44 2.17 20.02 5 KM-101 142.121.118 137 901.23 0.10 901.05 9 105 7.09 10.95 6.80 1.55 2.15 33 KM-101 142.121.118 137 901.03 10.55 9.86 56.57 3.40 1.11 2.50 81 10.3 23 3.48 9.40 5 KM-123 321.08 7524.5118 1156 281.27 8 3.44 1.11 31.51 1106 2.25 33.19 5 KM-123 371.74 123 21.00 10.15 9 104 495.64 5.34 1.10 27.70 10.39 2.47 23.87 5 KM-132 321.74 2.23 11.20 0.31 1.55 112.10 70.33 3.44 1.11 31.51 1106 3.05 33.88 6 KM-132 321.74 2.23 11.20 2.22 11.21 12.51 2.12 10.71 1.24 5.06 2.12 3.10 5 KM-132 37.74 41.23 61.00 25.5 5.85 5.71 2.55 0.88 11.10 2.71 12.48 5.06 2.26 3.34 0 KM-132 41.49 24.58 12.7 84 14.66 3.54 1.10 27.70 10.39 2.47 2.56 5.56 5.56 5.56 5.56 5.56 5.56 5.56			പ	1.90 1	4.70 2	5.60 2	5.97 5	9.22 9	2.71 6	4.55 7	5.11 6	5.59 6	3.24 6	9.43 5	5,29 6	5.35	3.69 7	3.64 7	5.87 8	5.01 8	1.24 5	7.61 7	8.57	2.92 7	5.70 6	5.48 8	5.98 5	5.72 6	.34 6	.64 6	64 8	5.17 5	.35 5	3.22 6	1.09 7	.35 5	3.42 7	8.68 7 43 7	
地层 样号 Sr Y Zr Nb Cs Ba Hf Ta Pb Th U P P P Th U P P P Th U P P P P Th U P P P P P P P P P P P P P P P P P P			La	.19 1	.92 14	8.08 15	1.77 45	62 79	1.01 52	5.25 64	0.02 56	.21 55	3.08 5:	53 39	3.49 55	.39 66	. 15 63	87 62	.40 65	.88 66	. 14 44	.03 57	.13 38	. 19 62	.02 56	.43 65	.65 45	.66 55	.36 47	.94 57	. 69 65	. 63 45	.52 41	. 62 58	. 88 64	.41 40	.61 53	.09 58 75 56	ALL PARTY
地质 样号 Sr Y Zr Nb Cs Ba Hf Ta Pb Th 下 解析 4 (1) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2) (2		5	2	.43 8	.82 H	.83 13	.36 24	. 50 42	10 2	.26 35	.17_29	.21 27	.46_28	.53 21	.91 28	.70 35	.51 33	.47 32	.06 34	.05 33	27 24	.56 30	.22 20	.25 33	.04 30	.18 35	.59 23	.15 29	.54 27	.24 29	.15 37	.19 22	.80 23	44 28	.60 32	.68 25	20 33	96 31 99 30	
地层 推号 Sr Y Zr Nb Cs Ba Hf Ta Pb · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			린	.51 0	.40 0	.41 _0	.18 2	3.2 3	.54 2	.31 3	.44 2	.53 3	.32 2	.80 1	.17 3	28 4	.40 2	.39 2	.48 5	.06 3	.59 1	.65 2	.61 1	.66 2	.13 2	.21 2	.11	.17 2	.38 1	.97 2	.14 2	.14 2	.59 1	.16 2	.71 2	.64 1	.23 2	21 1	
地层 推号 Sr Y Zr Nb Cs Ba Hf Ta Ta 唐輝格 KM-40 1416.40 8.26 21.92 2.81 0.89 970.67 0.63 0.33 6 序輝姆格 KM-40 1416.40 8.26 21.92 2.81 0.89 970.67 0.63 0.33 6 列水组 KM-45 48.58 9.98 37.87 3.75 1.51 429.62 1.08 0.47 14 步推 KM-45 48.58 9.98 37.87 3.75 1.51 429.62 1.08 0.47 14 步推 KM-51 107 99 17.60 113.46 9.97 5 1.85 51.21 71.09 0.47 15 步推 KM-91 140.12 24.41 137.58 12.30 11.80 319.75 3.83 1.18 25 KM-101 142.17 21.18 137.58 12.30 11.80 319.75 3.83 1.18 25 KM-101 142.17 21.18 137.58 12.30 11.80 319.75 3.83 1.18 25 KM-101 142.17 21.18 137.58 12.30 11.80 319.75 3.83 1.10 22 KM-101 142.17 21.18 137.58 12.30 11.80 319.75 3.83 1.10 22 KM-101 142.17 21.18 137.58 12.30 11.80 319.75 3.83 1.10 22 KM-101 142.17 21.18 137.58 12.30 11.80 319.75 3.83 1.10 22 KM-101 142.17 21.18 137.50 10.9449.56 0.53 3.44 1.11 23 KM-131 253.75 24.81 137.58 12.00 13.05 9.80 55 57 3.40 1.12 26 KM-131 268 21.94 116.58 10.92 8.34 38.03 33 3.44 1.11 31 KM-131 253.75 24.81 136.28 13.77 12.66 536.60 3.34 1.10 27 KM-131 268.75 32.4.81 136.28 13.77 12.66 536.60 3.34 1.10 27 KM-131 268.75 32.4.81 136.28 13.77 12.66 536.60 3.34 1.10 27 KM-131 268.75 32.4.81 136.28 13.77 12.66 536.60 3.34 1.10 27 KM-131 268.75 32.4.81 136.28 13.77 12.66 536.60 3.34 1.10 27 KM-131 268.75 32.4.81 136.28 13.77 12.66 536.60 3.34 1.10 27 KM-131 268.75 32.73 11.16 21.22 9.92 27 11.18 9.81 446.63 2.84 1.00 27 KM-153 191.83 22.93 10.20411.59 7.15 56 53.94 0.35 74 1.05 27 KM-153 191.83 22.93 10.20411.59 7.15 56 53 10.2 111 22 KM-153 191.83 22.93 10.20411.59 7.15 56 53 10.2 21 112 26 KM-153 191.83 22.93 10.20411.59 7.15 56 53 112 27 KM-153 191.83 22.93 10.20411.59 7.15 56 53 112 123 23 KM-153 191.83 22.93 10.20411.59 7.15 56 53 112 123 23 KM-454 137.701.66 191.22 11.10 9.10 351.97 2.41 103 2 KM-454 137.701.11 81 12.28 10.95 31.42 1.10 2 KM-43 317.701.66 191.22 11.10 9.10 351.97 2.41 103 2 KM-43 317.701.66 191.22 11.11 91.12 2.11 10 9.10 351.97 2.21 107 KM-43 317.01 66 191.22 11.10 9.10 351.97 2.21 107 KM-43 317.01 66 191.22 11.01 9.10 351.91 28 110 8.74 8.17 8.75 1.10 20 KM-43 317.01 66 191			-42	.08 1	.21 2	. 14 2	.94 8	. 73 13	. 70 8	.04 11	. 18 9	.49 8	.03 10	.95 6	.08 9	.38 12	.88 10	.70 10	.71 12	.53 11	.27 6	.26 9	.08 6	.13 11	.40 10	.25 11	.83 7	.70 11	.41 7	. 91 11	.29 11	.02 10	.92 8	.12 11	.56 11	.73 7	.97 10	.18 10 95 10	
地長 样与 Sr. Y Zr. Nb Cs Ba Hf Y 河木坦 KM-401416.40 8.26 21.92 2.81 0.89 970.67 06 0<			La	.33 6	.47 14	.47 15	.95 20	.25 40	.96 23	.18 28	.00 22	.95 27	.04 26	97 19	.97 23	.59 40	.12 26	.10 27	.19 31	.11 31	80 15	.05 26	.77 18	.23 23	.02 27	.14 23	.86 21	.18 17	.84 32	.11 22	.36 14	09 21	92 21	.22 30	.13 32	82 18	19 18	05 21	
地层 样号 Y Zr Nh Cs Ba 利木県 ドM-40 1416, 408. 26 21.92 2.81 0.89 970. 67 0 利木塢 FM-40 1416, 408. 26 21.92 2.81 0.83 57.21 1 ガ木塢 FM-40 1416, 408. 26 21.92 3.81 0.83 57.21 1 ボ炸 FM-50 107.917.60 113.46 9.92 6.93 334.62 3 ボケー FM-55 107.20 30.47 144.72 13.75 144.44 44 44 ボケー FM-10 142.172 1121.63 9.96 5.28 283 35 3 419.46 44 KM-91 140.1224.41 137.58 12.76 44 54 3 141.54 3 141.54 3 143 36 53 141.54 3 3 30 35 3 141 34 3 141 34 3 141 34 3 141			Ħ	.63 0	.08	0 60.	.29 0	.05 1	.65 0	.83 1	.21 1	.83 0	.76 1	.31 0	.33 0	.54 1	40 1	.34 1	.81 1	44 1	55 0	54 1	.31 0.	25 1	.84 1	.05 1	.85 0	.81 1	74 0	.39 1	.24 1	.62 1	.84 0	.62 1	61 1	42 0	.98 1	64 1.	
地层 样号 Sr Y Zr Nb Cs 1 地层 样号 Sr Y Zr Nb Cs 1 潮木組 KM-40 1416.40 8.26 21.92 2.81 0.89 97.4 潮木組 KM-45 484.58 9.98 3.75 1.51 423 赤堆 KM-50 107.99 17.60 113.46 9.92 6.96 33 赤炸 KM-53 844.26 20.41 121.66 53 141 KM-91 140.12 244 118 37 31 21 21 23			Ba	0.67 0	9.62 1	2.17 1	4.62 3	5.12 4	2.89 3	9.75 3	9.46 4	1.54 3	2.02 3	2.07 2	.35 3	3.64 3	5.27 3	5.89 3.	5.60 3	.33 3	3.71 2.	0.40 3.	1.632.	1.42 3.	5.63 2.	3.56 3	I.17 1	3.14 2	0.97	0.80 2	. 89 3	1.97 2	6.991	5.31 2	1.16 2.	0.08 2.	8.082.	9.82 2. 5 02 2.	
地层 样号 Sr Y Zr Nb 市場時 KM-40 1416.40 8.26 21.92 2.81 0 市場時 KM-40 1416.40 8.26 21.92 2.81 0 市場時 KM-45 484.58 9.98 3.72 1 市場時 KM-45 161.54.6 98 3.72 1 市場 KM-45 107.9917.60 113.46 9.95 5 市場 KM-53 844.26 20.41 121.63 9.96 5 大M-91 140.12 24 1137.58 10 28 10 28 KM-100 142.17 118 321.08 125.53 10 28 10 28 11 6 9 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 11 28 28 28			S	66 68.	.51 42	.38 51	.96 33	. 60 43	.28 28	.8031	.31 41	.61 44	.68 31	74 28	.34 38	. 94 49	80 56	. 79 57	. 66 53	. 10 71	36 25	32 37	.01 295	.24 43	.81 44	.15 36	.38 25	.06 36	. 91 103	. 44 40	.66 31	.10 35	.95 316	.09 46	. 76 46	.05 60	90 200	99 40 538 38	
地层 样号 Sr. Y Zr. 1 唐姆格 KM-40 1416.40 8.26 21.92 2 2 唐姆格 KM-45 184.58 9.98 37.87 3 列木組 KM-45 107.99 17.60 113.46 9 33.812 3			9	.81 0	.75 1	72 1	.92 6	.70 14	.96 5	.30 11	.36 9	.32 7	.70 8	69 4	.92 8	. 59 10	.05 9	.66 9	.27 12	.22 12	67 5	.29 9	17 6	.76 10	.18 9	.59 7	65 5	.39 7	52 5	.50 8	.28 5	.01	42 6	.84 9	.62 10	86 4	.31 3	.62 6. 89 6.	
地层 样号 Sr Y 2012 地层 样号 Sr Y 2013 河水组 KM-40 1416.40 8.26 21 唐興格 KM-40 1416.40 8.26 21 河水组 KM-45 188.58 9.98 37 河水组 KM-55 104.26 30.4714 KM-53 844.26 20.41 12 KM-91 140.12 24.41 13 KM-101 142.17 21.18 13 KM-115 178.98 21.94 116 KM-125 312.77 24.11 KM-133 250.92 25.93 10 KM-142 319.16 23.21 11 KM-142 319.16 23.22 11 KM-153 191.83 22.93 10 KM-53 192.73 24 11 KM-58 172.58 19.62 83 KM-66 132 101.03 75 KM-66 132.30 13 KM-66 132.30 13 KM-66 132.30 13 KM-66 132.30 13 KM-60 301.40 22.32 19 40 KM-60 301.40 22.30 33 KM-60 301.40 22.30 39 KM-60 301.40 22.30 39 KM-60 301.40 22.30 39 KM-60 301.40 22.30 30 <p< th=""><th></th><th></th><th>Zr</th><th>.92 2</th><th>.87 3</th><th>.08</th><th>3.46 9</th><th>4.72 13</th><th>1.63 9</th><th>7.5812</th><th>7.9611</th><th>7.3910</th><th>5.53 10</th><th>.05 7.</th><th>5.58 10</th><th>7.62 13</th><th>0.00 13</th><th>2.8912</th><th>5.2813</th><th>2.0313</th><th>.72 8.</th><th>0.7612</th><th>.37 8.</th><th>5.44 12</th><th>.22 11</th><th>2.0411</th><th>.32 7</th><th>.64 11</th><th>44 8</th><th>. 73 11</th><th>l.81 12</th><th>.22 11</th><th>.05 8.</th><th>. 98 10</th><th>. 76 12</th><th>. 78 7.</th><th>.14 10</th><th>.27 11 747 10</th><th></th></p<>			Zr	.92 2	.87 3	.08	3.46 9	4.72 13	1.63 9	7.5812	7.9611	7.3910	5.53 10	.05 7.	5.58 10	7.62 13	0.00 13	2.8912	5.2813	2.0313	.72 8.	0.7612	.37 8.	5.44 12	.22 11	2.0411	.32 7	.64 11	44 8	. 73 11	l.81 12	.22 11	.05 8.	. 98 10	. 76 12	. 78 7.	.14 10	.27 11 747 10	
地层 样与 Sr. 唐姆格 KM-40 1416.408. 唐姆格 KM-40 1416.408. 河木組 KM-42 618.5812 苏維 KM-50 107.9917 苏維 KM-51 104.263 苏維 KM-51 104.124 KM-100 142.172 142.3921 KM-101 140.122 142.3221 KM-101 142.172 142.42 KM-101 142.172 142.42 市油 KM-107 166.29 16 市油 KM-107 166.29 16 市油 KM-113 268.75 24 KM-121 2531.74 24 KM-137 207.27 18 KM-137 207.27 18 KM-137 207.27 18 KM-133 269.92 25 KM-131 253.75 24 KM-131 253.77 24 KM-131 253.77 24 KM-131 <				26 21	98 37	.29 38	.60 11	.47 14	.41 12	.41 13	.8614	. 18 137	. 08 12	.02 75	. 94 11(.26 117	. 23 12(. 58 122	.81 136	. 92 122	.85 91	. 34 13(.36 81	. 22 11:	.20 99	. 93 102	.54 60	. 13 89	. 71 59 22	.03 75	.74 11	.61 91	. 77 59	.62 83	. 26 93	. 74 78	. 79 94	. 30 93 36 92	
地原 株与 141 地原 株与 141 市場格 KM-40 141 市場格 KM-40 141 市米 KM-45 48 刘木焰 KM-45 618 沃州-42 618 KM-53 100 KM-53 84 KM-91 144 KM-101 145 KM-101 145 KM-101 166 防州-115 178 KM-115 178 KM-113 1253 KM-113 1253 KM-133 265 KM-13 1253 KM-133 265 KM-133 265 KM-13 1253 KM-133 265 KM-13 1253 KM-13 223 KM-13 1253 KM-13 1253 KM-13 1253 KM-13 223 KM-13 223 KM-13 223 KM-13 223 KM-13 1253 KM-13 224 KM-13 205 KM-13 205 KM-13 205 KM-13 205 KM-142 2175 KM-53 192 KM-53 192 KM-53 192 KM-53 192 KM-51 192 KM-53 193 KM-54 337			0L	6.408.	1.58 9.	3.5812	7.9917	1.2630	1.2620). 12 24	2.3921	17 21	. 83 21	5.29 16	3.9821	3.7524	. 74 24	1.49 24	3.7524	.92 25	7.27 18	. 60 23	3.9316	1.0623	9.8121	1.83 22	2.5618	1.09 20	3. 18 18	5.60 19	2.7327	7.70 16	1.91 16	58 19	. 71 23	. 30 18	. 60 23	.40 22	
● 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本 本			ilp	40 141	45 484	42 618	50 107	55 104	53 844	91 140	97 142	100 142	104 131	107 166	115 178	122 198	125 321	126 414	131 253	133 269	137 207	142 361	144 243	169 194	150 469	153 191	-9 252	73 224	13 268	18 228	23 192	24 337	35 254	58 172	63 176	66 132	67 196	69 301 58189	
地库列苏依 吉克 康 革 基 基 基 基 计 计 计 计 计 计 计 计 计 计 计 计 计 计 计		1 777	t t	格 KM	H KW	KM.	KM	KM.	KM.	KM-	-KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM-	KM	H KM	KM.	KM-	H KM-	KM-1 KM-1							
			地层	库姆相	列大台		苏维	依组						通	克组												1	康柯笔									库车组		

第3期











Fig. 3 Spiderplot of average major elements and trace elements for mudstone in each formation normalized against PASS

的(Gd/Yb), 一般都小于 2 Eu 负异常在库姆格列木 组最大(平均 0.8),其他组平均 0.65~0.68,与 PASS 的 Eu 异常相近(0.66)。

4 高碳酸盐岩含量对主量、微量元素 含量的影响

已有研究(Graham,1993)和本次研究都证实了 研究区砂岩中富含碳酸盐岩岩屑,这对库车坳陷物 源区的恢复有重要意义。由泥岩主量元素分析结果 (表1)可以看出,库车坳陷第三系细粒沉积岩 CaO 含量普遍较高。为了进一步证实这些 CaO 基本都是 来源于碳酸盐岩,采用酸溶法测得了样品中来源于 碳酸盐岩溶解产生的 CO₂ 的含量(表1)。结果表 明 CO₂ 与 CaO 有良好的线性相关关系,两者的相关 系数达到 0.997(图 5a),这说明泥岩样品中几乎所 有的 CaO 都来源于可溶的碳酸盐岩而非长石等其他 不溶矿物。除去 CaO 以外的主量元素总量与 CO₂含 量呈负相关,相关系数为 0.904(图 5b),说明这些元 素基本上源于陆源碎屑组分。另外,这种负相关性 还表明,岩石中的碳酸盐岩均来自源区碳酸盐岩的 风化而非成岩过程中新生成,因为成岩过程中生成 碳酸盐矿物会导致两者之间的离散(Feng and Ker-



图 4 库车坳陷第三系各组泥岩稀土元素平均含量球粒 陨石标准化蛛网图

Fig. 4 Chondrite-normalized mean REE patterns of Tertiary mudstones from Kuqa depression

rich, 1990 、Gu, 1994)。 以 Sc和 La 与 X SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ (total)+

 $M_{gO} + N_{a_2O} + K_{2O} + TiO_2 + MnO + P_2O_5$)的关系为 例研究该区高碳酸盐岩岩屑含量对微量元素含量的 影响(图 5 c,d)结果发现在该主量元素总含量小于 60%时,随着主量元素总量的增加,Sc和 La含量也 呈线性增加;但是当该主量元素总含量大于 60%时, Sc和 La含量趋于稳定或不规律变化。其他微量元 素如 Sm、Eu、Tb、Yb、Lu、Ta、Sc、Th和 Cr的含 量与该主量元素总量也具有类似的关系。这种结果 表明这些元素主要来源于陆源碎屑,而非碳酸盐岩。

本次研究的另一个目的是探究有多少陆源碎屑 的物源信息保留在这种富碳酸盐岩岩屑的沉积物 中,这主要涉及到对于物源分析可靠的微量元素比 值与碳酸盐岩含量的关系。以 La/Co 和 Eu/Eu* 为 例,它们的值随CO2含量的增减基本保持恒定的变



图 5 库车坳陷第三系泥岩高碳酸盐岩含量与其他主量、微量元素的关系

Fig. 5 The relationship between high carbonate content and other major and trace elements in Tertiary mudstones from Kuqa depression

化范围(图 5e、f),其他稳定微量元素比值诸如 Th/Cr、Th/Co和 La/Sc 等也具有类似的性质。这说 明在该区 CO₂ 含量 35%以下的沉积物中,稳定微量 元素比值受碳酸盐岩含量变化的影响不大,它们仍 然可以用来研究陆源碎屑的物源性质。

5 泥岩地球化学对物源属性的指示

泥岩中的微量元素可以提供有关沉积岩物源属 性的信息。例如,相对于基性岩,长英质岩石中 La 和 Th 含量高,而 Co、Sc 和 Cr 则富集于基性岩中。 由于这些元素在风化过程中相对稳定,其比值很适 合于指示物源的组成(Roser and Korsch, 1986, 1988; Cullers *et al*., 1988; Girty *et al*., 1993)。由 表 2 可见,库车坳陷第三系各组地层泥岩的非迁移 性元素比值如 La/Sc、Th/Sc、Th/Co 和 Th/Cr 均与 大陆上地壳(UCC)和硅质砂岩的特征值相近,而与 大陆下地壳(LUC),洋壳(OC)和基性砂岩的特征值 相差甚远。为进一步揭示源岩的属性,利用 La/Th-Hf 和 Co/Th-La/Sc 源岩属性判别图解,对泥岩样 品的原始属性进行分析(图 6)。由图 6a 可见,大多 数泥岩落在长英质岩与基性岩混合源区。在 Co/Th-La/Sc 图解 图 6b)上,研究区的泥岩具有低而相对稳 定的 Co/Th值,平均为 1.32 而 La/Sc 的值较高,多数 大于 2 样品分布区域在长英质火山岩和安山岩之间, 反映源岩以长英质岩为主,并有安山质岩石的混入。

在指示沉积物源区的指标中,稀土元素模式是 最可靠的指标。源自上地壳的稀土元素具有富集轻 稀土元素、重稀土元素含量稳定和 Eu 具负异常等特 征。如果组成泥岩的碎屑母岩源自上地壳,泥岩中 稀土元素的分布形态应与上地壳中稀土元素相一致 (Taylor and McLennan,1985)。库车坳陷第三系各 组地层的砂岩经球粒陨石平均值标准化后,稀土元 素分布表现为富轻稀土元素、重稀土元素含量均一、 Eu 元素具明显的负异常(图4),这与上地壳中稀土 元素的分布形态几乎完全一致。所以,研究区第三 系沉积岩的原始物质应来自于上地壳。

6 泥岩地球化学对物源区构造背景的 指示

↓ 基于对砂岩的研究,前人已总结出板块构造环 境碎屑岩化学组成特征的一系列判别图解(Bhatia,

表 2 库车坳陷第三系泥岩微量元素比值 Table 2 Trace element ratios of Tertiary mudstones from Kuqa depression

库车组	UCCa	LUC ^a	OC ^a		硅质砂岩 ^b	基性砂岩 [。]	库姆格列木纠	且苏维依组	吉迪克组	康村组
La/Sc	2.7	0.3	0.1	$2.5 \sim 16$	$0.4 \sim 1.1$	3.14	2.33	2.5	2.46	3.28
Th/Sc	0.97	0.029	0.935	$0.84 \sim 20.5$	$0.05 \sim 0.22$	0.59	0.75	0.81	0.83	1.03
Th/Co	1.07	0.030	0.005	$0.67 \sim 19.4$	$0.04 \sim 1.4$	0.49	0.74	0.80	0.80	1.08
Th/Cr	0.31	0.005	0.001	0.13 - 2.7	$0.018 \! \sim \! 0.046$	0.09	0.15	0.15	0.16	0.21

a—据 Cullers 等(1988); b—据 Girty 等(1993)。



图 6 库车坳陷第三系泥岩物源属性判别图

Fig. 6 Discrimination diagram for provenance attribute of Tertiary mudstone in Kuqa depression

a—据 Floyd and Leveridge(1987); b—据 Gu等(2002)

a—after Floyd and Leveridge(1987); b—after Gu et al.(2002)

1983 ,1985 ;Bhatia and Crook ,1986 ; Roser and Ko-100 ◆ 库姆格列木组 rsch, 1986, 1988)。通常细碎屑岩(粉砂岩和泥、页 ■ 苏维依组 岩 与其相伴生的砂岩往往具有相同的物源和沉积 ▲ 吉迪克组 10 ×康村组 构造背景,因而具有相似的地球化学特征(Roser和 $\psi(K_2O)/w(Na_2O)$ ▶ 库车组 Korsch,1986)。在 Roser and Korsch(1986)提出的 被动大陆边缘 K₂O/Na₂O-SiO₂图解上,几乎所有的数据点都落在 岛弧区域 图 7)。在非迁移性微量元素 La - Th - Sc和 Th - Sc - Zr/10 组成的构造背景判别图上,几乎 活动大陆边缘 岛弧 所有的样品点都落在大陆岛弧范围内(图8)。Bhati-0.1 a 等(1986) 指出 形成于大陆岛弧构造背景的主要盆 20 40 60 80 100 地有弧间盆地、弧后盆地和弧前盆地 ,邻近盆地的地 $w(SiO_2)/\%$ 壳性质是岛弧形成并发育良好的大陆壳或是变薄的 大陆边缘,源区类型属于切割弧到再造山旋回带。 图 7 库车坳陷第三系泥岩主量元素对构造背景的 李忠等(2004)通过对砂岩组分的统计认为,库车坳 指示(据 Roser 和 Korsch ,1986) Fig. 7 The indication of major elements in Tertiary 陷白垩-第三纪的物源区构造属性为"混合造山带", mudstones of Kuga depression to tectonic setting 受岛弧和碰撞造山冲断的多重影响,这一结论与南 (after Roser and Korsch 1986) 天山现今岩石组合和构造特征基本吻合。本次研究 姆格列木组 维依组 吉迪克组 康村组 库车组 R A А $\overline{Zr}/10$ 库车坳陷第三系泥岩微量元素对构造背景的指示(据 Bahtia 和 Crook 1986) 图 8 Fig. 8 The indication of trace elements in Tertiary mudstones of Kuqa depression to tectonic setting

(after Bahtia and Crook ,1986)

A—大洋岛弧;B—大陆岛弧;C—活动大陆边缘;D—被动大陆边缘

A-oceanic island arc; B-continental island arc; C-active continental margin; D-passive continental margin

通过微量元素确定的类似于岛弧构造背景应该是指 库坳陷物源区源岩形成时的构造背景,因为现今的 南天山是古生代塔里木板块与伊犁中天山板块碰撞 增生的结果,中新生代库车坳陷的沉积是在板内构 造运动的背景下形成的,它的物源区除了已存在的 古生代岛弧以外,没有新的弧出现,只有地层的变形 和变质。这就进一步深化了对砂岩组分不能揭示的 一些问题的认识,同时也证明了造山带沉积岩岩石 地球化学特征具有构造背景的继承性,特别是表现 在非迁移性元素中,这与李双应等(2004)的认识是 一致的。

7 结论

(1)通过泥岩全岩地球化学,特别是 CO₂ 与各 类元素含量的对比分析认为,库车坳陷第三系物源 区存在大量的碳酸盐岩,这些碳酸盐岩以继承碎屑 的形式富集于沉积岩中,受其影响研究区泥岩的主 量(除 CaO 外)、微量及稀土元素总量偏低,对源区指 示可靠的地球化学指标主要反映了岩石中碎屑组分 的源区背景。

(2)主量元素风化趋势和非迁移性微量元素比 值表明,库车坳陷第三系源区主要由长英质岩石和 安山岩组成,稀土元素分布模式与上地壳相似,轻稀 土元素富集,Eu负异常,说明源岩来自上地壳并经 受了壳内分异作用的影响。

(3)由于造山带周缘盆地碎屑岩岩石地球化学 具有构造背景的继承性,一些非迁移性元素所揭示 的源区构造背景为造山带岩石形成时的古地理特 征,库车坳陷第三系泥岩地球化学特征揭示其源区 构造背景具有类似于岛弧的特征。

致谢 野外工作得到中石油塔里木油田分公司 宋文杰副总经理的大力支持,研究生张然和彭守涛 参加了野外取样,全岩分析得到了中科院地质所肖 举乐研究员、李禾和靳新娣高级工程师的帮助,在此 一并表示衷心的感谢!

Reference

- Bally A W and Snelson S. 1980. Realms of subsidence A Miall A D. Facts and Principles of World Petroleum Occurrence C J. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir, 6:9~94.
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [J]. Journal of Geology , 91:611~627.
- Bhatia M R. 1985. Rare earth element geochemistry of Australian Paleozoic graywackes and mudstones : Provenance and tectonic control [J]. Sedimentary Geology , 45 97~113.
- Bhatia M R and Crook K W. 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 92:181~193.
- Carroll A R , Graham S A , Hendrix M S , et al. 1995. Late Paleozoic tectonic amalgamation of northwestern China : Sedimentary record of the northern Tarim , northwestern Turpan , and southern Junggar basins [J]. Geological Society of America Bulletin , 107 : 571 ~ 594.
- Cullers R L. 1995. The controls on the major and trace elements evolution of shales , siltstones and sandstones of Ordorvician to Tertiary age in the Wet Mountains region Colorado ,U. S. A[J]. Chemical Geology ,123 :107~131.
- Cullers R L. 2002. Implications of elemental concentrations for provenance redox conditions and metamorphic studies of shales and limestones near Puerblo ,Co ,USA [J]. Chemical Geology , 191 :305 ~ 327.
- Cullers R L, Basu A and Suttner L. 1988. Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the

Tobacco Root batholith , Montana , USA[J]. Chem. Geol. , 70:335 $\sim 348.$

- Feng R and Kerrich R. 1990. Geochemistry of fine grained clastic sediments in the Archean Abitibi greenstone belt, Canada : Implications for provenance and tectonic setting [J]. Geochimca et Cosmochimica Acta, 54 : 1 061~1 081.
- Floyd P A and Leveridge B E. 1987. Tectonic environment of Devonia Gramscatho basin , South Cornwall : Framework mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones [J]. Geological Society of London Journal , 144 531~542.
- Fralick P W and Kronberg B I. 1997. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources [J]. Sediment Geol, 113:111~24.
- Gao Changlin , Cui Kerui , Qian Yixiong , et al. 1993. Microplate Tectonics in the Tianshan and the Northern Tarim Basin [M]. Beijing : Geological Publishing House 229~270(in Chinese).
- Gao Jun, He Guoqi, Li Maosong *et al.* 1995. The mineralogy , petrology , metamorphic PTDt trajectory and exhumation mechanism of blueschists , South Tianshan , northweatern China [J]. Tectonophysics , 250 :151~16.
- Girty G H, Hanson A D, Yoshinobu A S, et al. 1993. Provenance of Paleozoic mudstones in a contact metamorphic aureole determined by rare earth element, Th, and Sc analyses, Sierra Nevada, California
 [J]. Geology, 21:363-66.
- Graham S A , Hendrix M S , Wang L B , et al. 1993. Collisional successor basins of western China : Impact of tectonic inheritance on sand composition [J]. Geological Society of America Bulletin , 105 :323 ~ 344.
- Gu X X. 1994. Geochem ical characteristics of the T riassic Tethys-turbidites in the northw estern Sichuan , Ch ina : Imp lications for provenance and interpretation of the tectonic setting [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 58 : 4 615~4 631.
- Gu X X , Liu J M , Zheng M H , et al. 2002. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan , South China : Geochemical evidence [J]. Journal of Sedimenatry Research , 72 :393 ~ 407.
- He Dengfa and Li Desheng. 1996. Tectonic Evolution and Oil-Gas in Tarim Basir[M]. Beijing : Geological Publishing House , $44 \sim 67$ (in Chinese).
- Hendrix M S. 2000. Evolution of Mesozoic sandstone compositions, southern Junggar, northern Tarim, and western Turpan basins, Northwest China: A detrital record of the ancestral Tian Shan [J]. Journal of Sedimentary Research, 70(3):520~532.
- Li Shuangying , Li Renwei , Yue Shucang , et al. 2004. Geochemistry of Mesozoic detrial rocks and its constrains on provenance in Feixi basin , Anhui Province [J]. Acta Petrologica Sinica ,20 :667~676 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhong , Wang Daoxuan , Lin Wei , et al. 2004. Mesozoic-Cenozoic clastic composition in Kuqa depression , northwest China : Implication for provenance types and tectonics attributes [J]. Acta Petrologica Sinica 20(3):655-666 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhong , Wang Qingchen , Wang Daoxuan , et al. 2003. Depositional

record constraints on Late Cenozoic uplift of Tian Shan and tectonic transformation in Kuqa depression , West China [J]. Acta Sedimento-logica Sinica , 21(1): $38 \sim 45$ (in Chinese with English abstract).

- Liu Yongqing, Wang Zongxiu, Jin Xiaochi, et al. 2004. Evolution, chronology and depositional effect of uplifting in the eastern sector of the Tian Shan Mountains J]. Acta Geologica Sinica ,78:319 ~ 331 (in Chinese with English abstract).
- Lu Huafu, Chen Chuming, Liu Zhihong, *et al*. 2000. The structural featyres and origin of the Kuqa rejuvenation foreland and thrust belt [J]. Acta Petroleum Sinica 21(3):18~24 (in Chinese with English abstract).
- McLennan S M , Hemming S , McDaniel D K , et al. 1993. Geochemical approaches to sedimentation , provenance , and tectonics A]. Johnson M J and Basu A. Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments [C]. Geological Society of America , Boulder , CO , 21 ~ 40.
- Roser B P and Korsch R J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone2mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/ Na₂O ratio [J]. Journal of Geology , 94 $635 \sim 650$.
- Roser B P and Korsch R J . 1988. Provenance signatures of sandstone mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data J]. Chemical Geology .67 :119~139.
- Shao Lei , Stattegger K and Li Wenhou. 1997. Discussion on tectonic setting of basin with geochemistry of sandstones []. Chinese Science Bulletin , 43(9) 985~988 (in Chinese).
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. The Continental Crust : Its Composition and Evolution[M]. Geoscience Texts Blackwell Scientific Publications , 3(2.

- Wu Shimin , Lu Huafu , Ma Ruishi , *et al.* 1995. Classification of tectonic facies and their evolutionary features in the west Tianshan mountains [J]. Regional Geology of China ,14(2):149 \sim 159 (in Chinese with English abstract).
- Yin A, Nie S, Craig P, et al. 1998. Late Cenozoic tectonic evolution of the southern Chinese Tian Shan [J]. Tectonics , 17(1):1~27.

附中文参考文献

- 高长林,崔可锐,钱一雄,等. 1993.天山微板块构造与塔北盆地 [M].北京:地质出版社,229~270.
- 何登发,李德生.1996.塔里木盆地构造演化与油气[M].北京:地 质出版社,44~67.
- 李双应,李任伟,岳书仓,等. 2004.安徽肥西中生代碎屑岩地球化学 特征及其对物源制约[J],岩石学报,20:667~676.
- 李 忠,王道轩,林 伟,等. 2004. 库车坳陷中-新生界碎屑组分对 物源类型及其构造属性的指示[J]. 岩石学报 20(3):655~666.
- 李 忠,王清晨,王道轩,等.2003.晚新生代天山隆升与库车坳陷 构造转换的沉积约束[]].沉积学报,21(1):38~45.
- 卢华复,陈楚铭,刘志宏,等.2000.库车再生前陆逆冲带的构造特 征与成因[J].石油学报,21(3):18~24.
- 邵 磊 Stattegger K 李文厚. 1997. 从砂岩地球化学探讨盆地构造背
 [1]. 科学通报 43(9) 985~988.
- 吴世敏,卢华复,马瑞士,等.1995.西天山一带大地构造相划分及其 演化特征[J].中国区域地质,14(2):149~159.