

文章编号: 1000-0550(2011)02-0303-09

# 滇中牟定地区上白垩统马头山组岩石 地球化学及物源属性<sup>①</sup>

史春鸿<sup>1,2</sup> 韩润生<sup>1,2</sup> 吴鹏<sup>1,2</sup> 方明<sup>1</sup> 赖华<sup>1,2</sup> 申屠良义<sup>1,2</sup>

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院 昆明 650093; 2. 有色金属矿产地质调查中心 西南地质调查所 昆明 650093)

**摘要** 马头山组是滇中红色盆地中最重要的赋矿层位,其岩性特征主要为泥岩、砂岩、砾岩等碎屑岩。碎屑岩的化学成分可以反映源区沉积岩的构造背景和物源属性,基于马头山组非矿化岩石主量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征分析,揭示组成马头山组的岩石具有:①SiO<sub>2</sub>含量高;②Ag、Pb、Bi、Ni等亲铜元素富集,Be、Ga、Rb、Y、Nb、Ta、Hf、Sr、Sn等亲石元素亏损;③轻稀土富集、重稀土亏损、弱负Eu异常等特征。利用判别图解得出原岩大地构造背景为被动大陆边缘和活动大陆边缘环境,原岩的原始物质组成应以来自上地壳的长英质岩石为主。结合岩相古地理条件,可知马头山组岩石的物源区主要为康滇古陆和哀牢山造山带。

**关键词** 地球化学 构造背景 物源属性 马头山组 牟定

**第一作者简介** 史春鸿 女 1982年出生 硕士 地球化学 E-mail: chunhongshiok@126.com

**通讯作者** 韩润生 E-mail: hrs661@yahoo.com.cn

**中图分类号** P595 **文献标识码** A

## 0 引言

在沉积过程中,虽然原岩经历了风化、搬运及沉积成岩等一系列物理化学过程,但是陆源碎屑岩的地球化学组成仍主要受物源区控制<sup>[1]</sup>。因此,利用沉积岩的主量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征分析,结合判别图解,对于恢复源区的构造背景和物源属性具有重要意义,并在国内外多个地区得到了验证<sup>[2~10]</sup>。

牟定地区处于扬子陆块西南边缘的楚雄盆地中南部,介于西侧的双柏凹陷和东侧元谋凸起之间的牟定斜坡上<sup>[11]</sup>(图1)。楚雄盆地的基底具双重结构,由晚太古代—早元古代的结晶基底(康定群、苴林群)和早元古代—中元古代的褶皱基底(大红山群、河口群和盐边群)组成,沉积盖层包括震旦系、古生界稳定型盖层沉积及中生界海相、海陆交互相、陆相沉积<sup>[12,13]</sup>。前人对楚雄盆地的物源特征做过诸多研究,如朱同兴等<sup>[14]</sup>通过对盆地沉积相特征、层序地层结构和古地理演化研究,认为盆地沉积物的主要物源区为古哀牢山造山带,其次为东部隆起带,盆地沉积物的供给具有明显的双物源特征;许效松等<sup>[15]</sup>通过研究楚雄盆地的沉积层序,认为盆地的首要沉积物

是由基底岩石风化剥蚀后,经由流水或者初始海侵改造形成的泥岩、泥质粉砂岩,它们对基底侵蚀面有填平作用。

牟定地区出露的地层主要有白垩系上统赵家店组、江底河组、马头山组,下统普昌河组、高峰寺组;侏罗系上统妥甸组,中统蛇甸组、张河组,下统冯家河组;三叠系上统舍资组、干海资组和普家村组等<sup>[13]</sup>,其中马头山组是该地区最重要的赋矿层位。作者在前人对楚雄盆地物源研究的基础上,重点对牟定地区马头山组岩石的主量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征进行分析,旨在为牟定斜坡上白垩世源区构造背景和物源属性提供地球化学证据。

## 1 样品和分析方法

马头山组地层及岩性特征<sup>[13]</sup>如表1所示。薄片鉴定显示:马头山组砂岩分选性较好,磨圆度为次棱角状至次圆状,粒径以细砂级为主。砂岩主要矿物成分为石英(60%~90%),长石和岩屑较少,约为20%,杂基含量5%~30%,胶结物的化学成分主要为具隐晶质结构的钙质胶结物,但矿石及其周围的砂岩中胶结物多呈显晶质结构,重结晶为方解石颗粒。矿石中的金属矿物颗粒分布在透明矿物颗粒间的孔

<sup>①</sup>国家危机矿山专项(编号: NO. 200653098; NO. 20089943)资助。  
收稿日期: 2009-09-23; 收修改稿日期: 2010-04-27

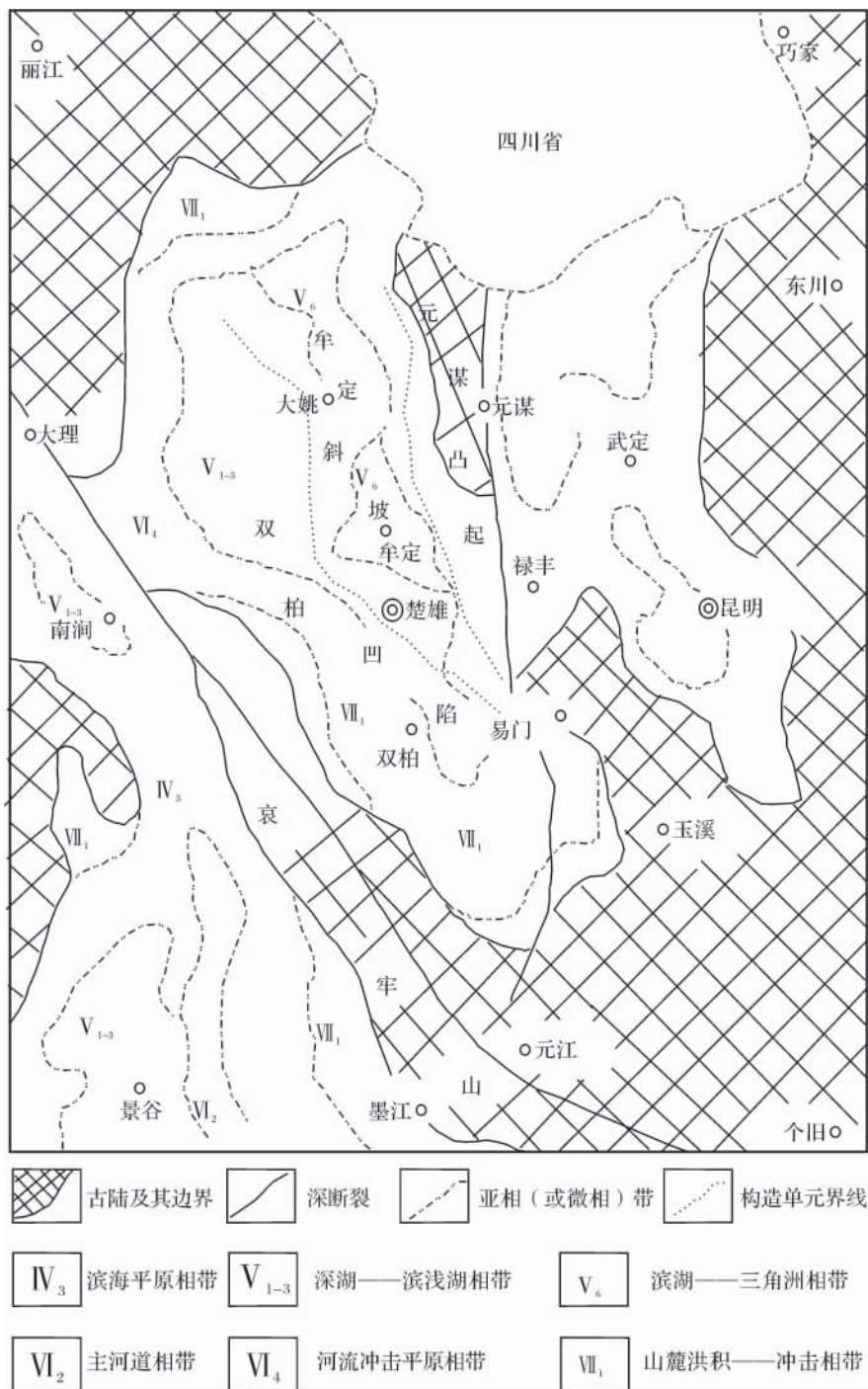


图1 楚雄盆地晚白垩世岩相古地理示意图(据《云南省岩相古地理图集》,1995 修绘)

Fig.1 Sedimentary facies and palaeogeography of the late Cretaceous in Chuxiong basin (modified from Lithofacies and Palaeogeography Atlas of Yunnan Province ,1995)

隙或胶结物中 呈自形、半自形粒状结构和交代残余结构。

本文研究的 20 个样品均为牟定地区探矿钻孔 (ZK15101 和 ZK4001) 岩芯中未矿化的新鲜岩石 样品在各钻孔中的位置及岩性特征如表 2 所示。郝家河段是

主要的含矿段 故作为分析的重点在样品数量上较清水河段多。研究样品均由西北有色地质研究院测试中心测定 其中化学成分(氧化物)采用化学方法分析 微量元素采用 ICP—MS 进行测定 其中矿化元素含量大于 0.1% 时用化学法重验 分析均达到精度要求。

表 1 牟定地区马头山组分层及岩性特征

Table 1 Stratigraphy and lithology of Matoushan Formation in the Mouding

地 层		岩 性	
马头山组	清水河段	清水河第四亚段( $K_2mc_4$ )	紫红色泥岩、泥质粉砂岩与灰绿色泥岩互层
		清水河第三亚段( $K_2mc_3$ )	灰紫色中粗粒砂岩夹紫红色泥岩
		清水河第二亚段( $K_2mc_2$ )	紫红色泥岩与灰紫色细砂岩互层,局部夹灰黑色、黄绿色泥岩
		清水河第一亚段( $K_2mc_1$ )	灰紫色细粒含砾砂岩、紫红色泥岩、灰色中粗粒砂岩;发育石膏、方解石脉
郝家河段		郝家河下亚段( $K_2mx_3$ )	灰色、灰紫色含砾砂岩,紫红色泥岩,灰色、青灰色细粒砂岩
		郝家河中亚段( $K_2mx_2$ )	灰色、青灰色、灰白色、灰紫色细粒砂岩
		郝家河上亚段( $K_2mx_1$ )	灰紫色细粒(含砾)砂岩夹紫红色泥岩

表 2 牟定地区马头山组岩石样品说明

Table 2 Instruction for Matoushan Formation samples in the Mouding

样品号	岩 性	取样位置	层位	样品号	岩 性	取样位置	层位
MDC-52	灰绿色泥岩	ZK15101( 267m)	$K_2mc_4$	MDC-83	紫红色泥岩	ZK4001( 192m)	$K_2mx_3$
MDC-51	灰紫色粗粒砂岩	ZK15101( 307.4m)	$K_2mc_3$	MDC-21	灰白色细粒砂岩	ZK15101( 582m)	$K_2mx_2$
MDC-42	灰绿色含砾泥岩	ZK15101( 467m)	$K_2mc_2$	MDC-16	浅灰紫色细粒砂岩	ZK15101( 600.5m)	$K_2mx_2$
MDC-39	灰紫色中粗粒砂岩	ZK15101( 495m)	$K_2mc_1$	MDC-11	灰紫色细砂岩	ZK15101( 617.7m)	$K_2mx_2$
MDC-37	灰白色细粒砂岩	ZK15101( 507.5m)	$K_2mc_1$	MDC-93	青灰色细粒砂岩	ZK4001( 269.3m)	$K_2mx_2$
MDC-66	紫红色粉砂质泥岩	ZK4001( 89m)	$K_2mc_1$	MDC-92	灰黄色砂质砾岩	ZK4001( 265.95m)	$K_2mx_2$
MDC-26	灰色中细粒含砾砂岩	ZK15101( 571.2m)	$K_2mx_3$	MDC-1	灰紫色含砾细砂岩	ZK15101( 665m)	$K_2mx_1$
MDC-25	紫红色粉砂质泥岩	ZK15101( 572.5m)	$K_2mx_3$	MDC-96	灰紫色细粒含砾砂岩	ZK4001( 282m)	$K_2mx_1$
MDC-71	灰色细粒砂岩	ZK4001( 116.8m)	$K_2mx_3$	MDC-97	青灰色细粒砂岩	ZK4001( 285.7m)	$K_2mx_1$
MDC-73	浅灰紫色中细粒砂岩	ZK4001( 130m)	$K_2mx_3$	MDC-100	青灰色细粒砂岩	ZK4001( 295.1m)	$K_2mx_1$

表 3 牟定地区马头山组岩石主量元素含量(%)及特征参数

Table 3 Content and characteristic parameters of major elements from Matoushan Formation in the Mouding

样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BaO	烧失量	总和%	TFe	Fe <sup>+3</sup> /Fe <sup>+2</sup>
MDC-52	44.41	0.63	11.35	1.60	2.61	0.11	5.74	10.41	1.33	2.37	0.04	18.20	98.80	4.21	0.61
MDC-51	65.52	0.51	10.14	2.32	1.38	0.05	2.05	4.41	1.12	2.53	0.06	8.92	99.02	3.70	1.68
MDC-42	54.72	0.64	12.23	0.97	2.92	0.10	2.90	7.29	1.56	3.00	0.05	12.56	98.94	3.89	0.33
MDC-39	66.44	0.39	6.52	0.29	1.14	0.09	1.23	10.11	1.49	0.80	0.02	10.88	99.40	1.43	0.25
MDC-37	57.56	0.55	9.60	1.85	1.81	0.11	2.22	10.01	0.68	2.40	0.08	12.20	99.05	3.66	1.02
MDC-66	47.96	0.62	10.06	3.21	1.12	0.13	2.78	13.79	0.69	2.65	0.05	16.01	99.07	4.33	2.87
MDC-26	57.77	0.46	6.57	0.62	1.84	0.14	5.63	9.38	1.17	1.47	0.03	14.50	99.58	2.46	0.34
MDC-25	44.41	0.66	13.39	4.59	2.82	0.09	4.95	8.99	0.41	4.10	0.04	15.00	99.45	7.41	1.63
MDC-71	69.02	0.52	5.41	0.91	0.60	0.07	1.08	9.44	1.21	1.29	0.04	9.48	99.06	1.51	1.51
MDC-73	71.77	0.42	5.71	1.27	0.69	0.06	0.92	8.14	0.70	1.73	0.03	8.06	99.51	1.96	1.84
MDC-83	62.82	0.60	8.67	2.36	1.51	0.09	3.56	6.18	0.31	2.47	0.03	10.50	99.10	3.87	1.57
MDC-21	71.97	0.39	4.88	1.04	0.76	0.07	0.82	8.59	0.69	1.54	0.03	8.52	99.30	1.80	1.37
MDC-16	74.20	0.38	5.20	2.01	0.88	0.07	1.13	6.29	0.40	1.82	0.05	7.30	99.73	2.89	2.28
MDC-11	70.07	0.39	5.25	0.92	1.35	0.09	2.47	6.82	0.80	1.71	0.03	9.22	99.11	2.27	0.68
MDC-93	68.56	0.68	5.99	0.50	1.00	0.09	1.73	9.03	1.18	1.10	0.04	9.56	99.46	1.50	0.50
MDC-92	67.35	0.41	5.54	1.06	1.26	0.10	1.64	10.54	0.32	1.29	0.04	10.01	99.55	2.32	0.84
MDC-1	76.52	0.33	4.74	1.13	0.67	0.07	0.72	6.58	0.13	1.61	0.05	7.02	99.57	1.80	1.69
MDC-96	69.25	0.51	5.57	0.78	1.31	0.08	2.43	8.34	0.32	1.57	0.04	9.65	99.85	2.09	0.60
MDC-97	71.00	0.45	6.34	0.75	0.98	0.06	1.50	7.70	0.68	1.66	0.03	8.32	99.47	1.73	0.76
MDC-100	74.20	0.45	6.00	0.75	1.02	0.07	0.89	6.96	1.00	1.56	0.03	7.00	99.93	1.77	0.73

注: 西北有色地质研究院测试中心采用化学方法分析, 2008。

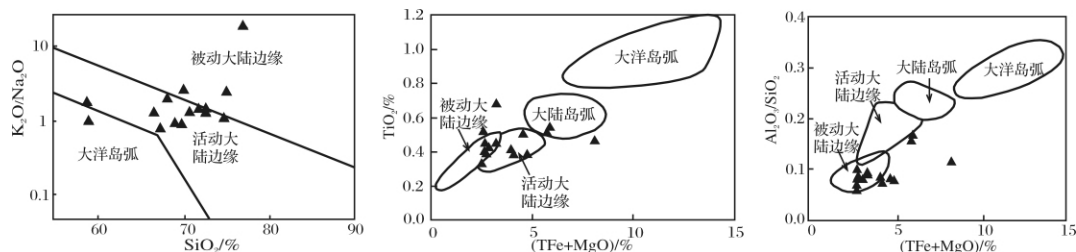


图2 牟定地区马头山组砂岩主要元素构造环境判别图解(图2a底图据文献[9],图2b、2c底图据文献[7])

a. 砂岩  $K_2O/Na_2O-SiO_2/\%$  判别图解 b. 砂岩  $TiO_2/\%-(TFe+MgO)/\%$  判别图解 c. 砂岩  $Al_2O_3/SiO_2-(TFe+MgO)/\%$  判别图解

Fig. 2 Diagram of tectonic setting discrimination on major elements for the Matoushan Formation sandstones in the Mouding

## 2 结果和讨论

### 2.1 主要元素地球化学特征与物源分析

表3所示该区岩石氧化物以  $SiO_2$  为主,含量变化在 44.41%~84%,其次是  $Al_2O_3$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、烧失量,其余氧化物含量均较低。氧化物的含量与岩石的颜色和岩性密切相关,而与地层的关系不明显。如  $SiO_2$ 、 $FeO$  在紫红色泥岩中含量较低,在灰色、灰紫色砂岩中含量较高,而  $TiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $TFe$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、 $Fe_2O_3/FeO$  烧失量却相反,在紫红色泥岩中含量高,在灰色、灰紫色砂岩中含量偏低。 $Fe_2O_3/FeO$  值的明显变化反映牟定地区晚白垩世气候变化显著,呈现炎热干燥与温暖潮湿交替变化,这同岩石的颜色多变所反映出的气候多变相一致。

产于大洋岛弧(发育在大洋或者薄的大陆地壳背景上)、大陆岛弧(发育在厚的大陆地壳或者薄的大陆边缘上)、活动大陆边缘(安第斯型盆地,发育在厚的大陆边缘)、被动大陆边缘(裂陷的大陆边缘,发育在大陆边缘的厚的地壳上)等不同构造环境中的沉积盆地,其砂岩化学成分不同,尤其表现在  $K_2O/Na_2O$ 、 $TFe+MgO$ 、 $Al_2O_3/SiO_2$  等数值的差异上<sup>[1]</sup>。

Roser 等<sup>[9]</sup>根据  $SiO_2$  的含量和  $K_2O/Na_2O$  的比值区分砂岩源区的构造环境(图2a),用此判别图分析马头山组的15个砂岩样品,发现11个样品落入活动大陆边缘环境,3个样品落入被动大陆边缘环境,1个样品落入了大洋岛弧环境。Bhatia 等<sup>[7]</sup>利用砂岩化学成分的变异特征来绘制砂岩环境判别图(图2b、图2c),从而确定砂岩的原始沉积环境。用此判别图分析马头山组的砂岩样品,发现在图2a的  $TiO_2-(TFe+MgO)$  判别图中,5个样品落入被动大陆边缘环境,5个样品落入活动大陆边缘环境中,2个样品落入大陆岛弧环境,3个样品落在了判别图外;在图2c的  $Al_2O_3/SiO_2-(TFe+MgO)$  判别图中,12个样品落入

被动大陆边缘或靠近此背景的环境中,2个样品落在判别图外靠近活动大陆边缘的环境中。由此可知:马头山组砂岩源区的构造环境并不单一,包括被动大陆边缘和活动大陆边缘。

Roser 等<sup>[10]</sup>提出了区分物源区主要是铁镁质的、中性的、长英质火成岩或石英沉积岩的砂岩—泥岩套的  $F_1-F_2$  判别图解(图3),其中:

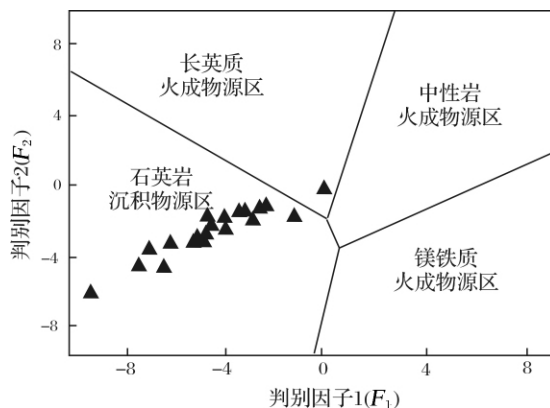


图3 牟定地区马头山组砂岩—泥岩套的  $F_1-F_2$  源岩特征判别图解(底图据文献[10])

Fig. 3  $F_1-F_2$  source rock discrimination diagram for the Matoushan formation rocks in the Mouding

$$F_1 = -1.773TiO_2 + 0.607Al_2O_3 + 0.76Fe_2O_{3(总)} - 1.5MgO + 0.616CaO + 0.509Na_2O - 1.224K_2O - 9.09$$

$$F_2 = 0.445TiO_2 + 0.07Al_2O_3 - 0.25Fe_2O_{3(总)} - 1.142MgO + 0.438CaO + 0.475Na_2O + 1.426K_2O - 6.861$$

用此判别图分析马头山组的岩石样品,发现除了一个样品外,其余样品均落入石英岩沉积物源区。说明马头山组岩石具有相同的原岩特征,并远离火成物源区。

### 2.2 微量元素地球化学特征及物源分析

从表4可以看出:大多数微量元素(如  $Co$ 、 $Cr$ 、 $P$ 、

Ti、V、Li、Be、Sc、Ga、Rb、Y、Nb、In、Cs、Ta、Th、U 等) 在马头山组各亚段中含量的高低同岩石的岩性和颜色密切相关,表现为在深色(紫红色、灰紫色)泥岩中富集,在浅色砂岩中亏损,另外 P 在马头山组较新地层中明显富集; Cu、Ag、Cd、Zn、Tl、Pb、Bi 等亲铜元素以及 Mo、W 等元素在某些浅色岩石中有富集特征; Ge、Zr、Hf、Sr 等亲石元素以及 Sn、Ni 等元素在各岩石中的分布无明显特征。另外将马头山组岩石微量元素含量同上陆壳元素丰度值<sup>[16]</sup>比较,发现 Ag、Pb、Bi、Ni 等亲铜元素明显富集; Be、Ga、Rb、Y、Nb、Ta、Hf、Sr、Sn 等亲石元素明显亏损。

La/Th—Hf 判别图解可以进一步揭示物源区的属性<sup>[2,17]</sup>。将马头山组岩石样品投影到此判别图解上(图 4),发现样品主要位于上地壳平均成分附近,大部分样品落入长英质岩成分内,少部分落在混合长英质/基性源成分内。由此可见,马头山组原岩源区属性主要为上地壳环境,原岩成分主要为长英质。

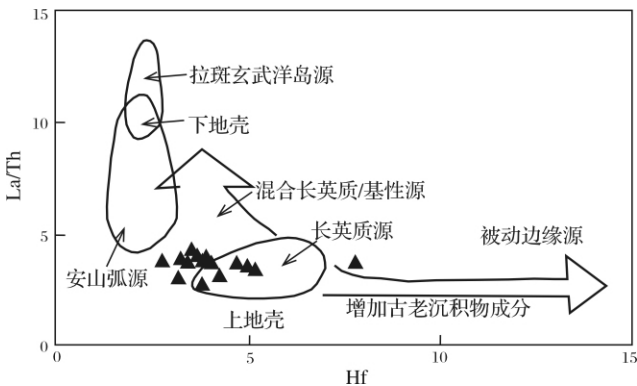


图 4 牟定地区马头山组砂岩 La/Th—Hf 源岩特征判别图解(底图据文献[17])

Fig. 4 La/Th—Hf source rock discrimination for Matoushan Formation sandstones in the Mouding

Bhatia 等<sup>[8]</sup>认为,La、Th、Y、Zr、Ti、Co、Ni 等不活

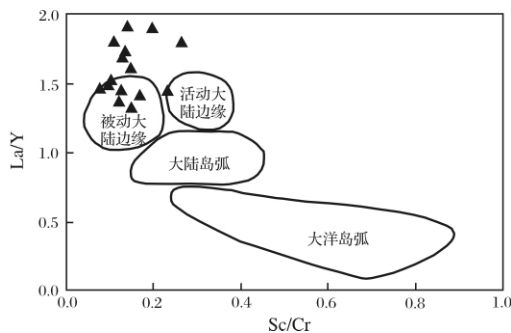
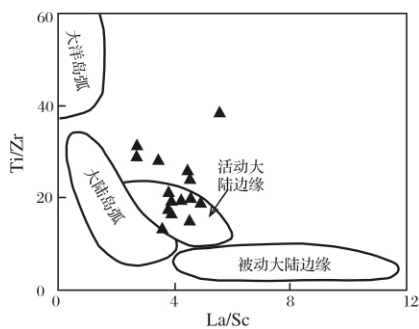


图 5 牟定地区马头山组砂岩微量元素构造环境判别图解(底图据文献[2])

Fig. 5 Diagram of tectonic setting discrimination on trace elements for the Matoushan Formation sandstones in the Mouding

泼金属元素在沉积过程中,含量不发生明显变化,可以用来研究砂岩的物源区和判别构造环境,并提出了区分源区构造环境的砂岩判别图解。在图 5 的 Ti/Zr—La/Sc 判别图解中,马头山组砂岩样品主要落入活动大陆边缘区,而在 La/Y—Sc/Cr 判别图解中,样品主要落入了被动大陆边缘区,因此马头山组岩石源区的主要构造背景为活动大陆边缘和被动大陆边缘,这同主量元素分析结果一致。

### 2.3 稀土元素地球化学特征及物源分析

马头山组岩石稀土元素含量如表 5 所示,可见各元素均在泥岩中含量高,在砂岩中含量低。

稀土元素特征是指示物源区最重要的指标<sup>[18,19]</sup>。从稀土元素特征参数表(表 6)可以看出:  $\Sigma\text{REE}$  在泥岩中含量较高,在砂岩中含量较低(表 6)这是因为泥岩中的粘土矿物多,易吸附稀土元素,并且砂岩中的石英对稀土含量起稀释作用。另外从表中可以看出:  $\Sigma\text{REE}$  位于 75.52 ~ 166.68 之间,平均为 113.02;  $\text{La}_N/\text{Yb}_N$  位于 8.85 ~ 12.61 之间,平均为 10.3。Murray 等<sup>[20]</sup>研究认为:  $\delta\text{Ce}$  值和稀土元素丰度的不同可作为一个指相标志。据此可划分出: ① 扩张洋中脊相(距洋脊脊顶 400 km 以内):  $\delta\text{Ce}$  约为 0.29,  $\Sigma\text{REE}$  较高; ② 洋盆区:  $\delta\text{Ce}$  为 0.55,  $\Sigma\text{REE}$  中等; ③ 大陆边缘区(距大陆 1 000 km 以内):  $\delta\text{Ce}$  从 0.9 ~ 1.3,  $\Sigma\text{REE}$  非常低。马头山组岩石  $\delta\text{Ce}$  值变化范围为 0.81 ~ 0.94,由此可知马头山组岩石原岩的构造环境主要为大陆边缘区,这同主量元素、微量元素分析结果一致。

从稀土元素配分模式图上可以看出,各样品变化曲线几乎一致,表明它们具有相同的物源。总体表现为:轻重稀土分异明显,即轻稀土富集,重稀土亏损; Eu 具弱正异常。以上特征显示这些岩石具有明显的上地壳特征。

表4 牟定地区马头山组岩石微量元素含量 ( $\mu\text{g/g}$ )

Table 4 The trace element data of the Matoushan Formation rocks in the Mouding

样品号	Co	Cr	P	Ti	V	Li	Be	Sc	Ga	Rb	Y	Nb	In	Cs	Ta	Th
MDC-52	19	42	626	3753	90	43	1.72	12.06	15.66	83.1	21.4	11.01	0.07	5.7	0.83	11.32
MDC-51	14	90	465	3081	77	49	1.73	9.71	15.68	82.0	14.5	8.9	0.05	5.0	0.67	8.7
MDC-42	29	114	568	3853	85	65	1.90	12.42	18.02	100.0	21.5	12.38	0.06	6.1	0.96	13.12
MDC-39	11	60	395	2321	35	47	0.58	5.68	7.68	26.1	13.2	7.1	0.03	1.1	0.53	5.2
MDC-37	18	79	495	3292	69	50	1.44	9.30	13.07	74.3	18.6	9.9	0.04	4.0	0.78	9.2
MDC-66	26	97	574	3722	68	45	1.73	11.54	14.44	91.8	23.4	10.66	0.05	6.9	0.75	10.0
MDC-26	11	39	416	2773	60	27	0.80	6.60	8.68	46.6	18.1	9.2	0.04	2.7	0.69	7.7
MDC-25	27	68	695	3947	95	93	2.48	13.53	19.31	136.5	24.5	12.08	0.08	11.05	0.95	13.51
MDC-71	8	42	365	3097	44	14	0.76	5.22	7.26	38.1	16.0	12.51	0.03	1.7	0.97	5.8
MDC-73	10	35	255	2541	35	16	0.90	5.18	7.63	50.5	13.6	7.6	0.03	2.4	0.54	6.0
MDC-83	19	99	507	3578	63	23	1.48	9.82	11.99	80.8	20.5	10.11	0.05	5.3	0.74	11.18
MDC-21	14	22	188	2357	41	22	0.66	4.21	6.46	48.0	10.9	7.3	0.04	1.8	0.50	5.4
MDC-16	13	61	249	2298	33	26	0.81	4.39	6.51	45.5	11.3	6.6	0.03	2.0	0.50	5.2
MDC-11	16	30	334	2326	34	15	0.73	4.11	6.46	43.3	11.9	6.7	0.03	2.0	0.51	5.9
MDC-93	13	47	285	4100	55	11	0.61	6.08	7.49	39	16.3	11.73	0.03	1.4	0.81	7.5
MDC-92	20	41	279	2471	44	15	0.87	6.10	6.96	59	17.5	7.0	0.04	1.8	0.81	5.5
MDC-1	13	20	219	1997	3	29	0.54	4.61	6.18	35.9	11.5	5.9	0.04	1.6	0.49	4.7
MDC-96	11	51	247	3028	42	13	0.84	5.17	6.86	49	13.4	8.2	0.02	2.0	0.55	5.5
MDC-97	11	20	266	2707	47	17	0.90	5.30	7.43	50	13.3	7.5	0.04	2.0	0.52	6.5
MDC-100	5	35	311	2674	44	14	0.76	4.70	6.74	47	12.4	7.6	0.03	1.8	0.54	5.5
上陆壳	10	355	-	30000	60	20	3.0	11.0	17.0	112	22	25	0.05	3.7	2.2	10.7
样品号	U	Cu	Ag	Cd	Zn	Tl	Pb	Bi	Mo	W	Ge	Zr	Hf	Sr	Sn	Ni
MDC-52	4.98	74	1.02	0.07	222	0.8	34	0.44	10.71	1.3	1.55	139	4.48	237	1.00	45
MDC-51	2.52	23	0.42	0.05	64	0.4	18	0.38	0.7	0.8	1.62	98	3.17	175	0.97	36
MDC-42	3.83	5	0.80	0.04	112	0.7	21	0.46	1.2	1.5	1.89	126	4.12	268	1.06	57
MDC-39	1.25	30	0.59	0.16	49	0.6	16	0.25	2.4	0.5	1.42	83	2.73	189	0.96	25
MDC-37	3.53	60	2.48	0.12	438	1.3	190	0.48	7.7	1.2	1.56	113	3.78	343	1.03	40
MDC-66	4.31	42	0.59	0.06	139	0.5	39	0.33	0.6	1.0	1.43	142	4.42	182	1.04	990
MDC-26	1.89	24	0.58	0.03	81	0.4	20	0.34	0.8	0.8	1.45	169	5.20	233	1.03	20
MDC-25	2.93	34	1.27	0.04	155	0.8	26	0.56	0.7	1.5	1.81	126	4.18	269	1.08	38
MDC-71	1.13	31	0.60	0.04	53	0.2	34	0.27	0.5	1.1	1.35	122	3.63	185	0.97	531
MDC-73	1.11	5	0.64	0.09	56	0.3	15	0.24	0.5	3.0	1.51	131	4.02	159	0.99	486
MDC-83	1.82	5	0.65	0.04	62	0.4	16	0.33	0.8	1.5	1.59	207	6.46	152	1.01	730
MDC-21	1.12	51	0.74	0.05	57	1.9	803	0.19	3.8	0.5	1.89	125	3.77	170	0.99	21
MDC-16	0.89	160	0.57	0.04	90	0.3	23	0.22	0.6	0.5	1.07	134	4.19	242	0.92	26
MDC-11	0.99	49	0.32	0.05	79	0.3	21	0.27	0.6	0.4	0.88	61	3.24	142	0.92	27
MDC-93	1.52	12	0.79	0.04	32	0.3	10	0.23	0.7	3.4	1.52	276	7.78	166	0.94	690
MDC-92	1.14	13	0.50	0.07	42	0.4	24	0.89	1.3	161.20	1.43	119	3.50	194	0.98	35
MDC-1	0.78	41	0.64	0.08	147	0.3	213	0.86	0.6	0.7	1.41	149	5.02	163	0.98	18
MDC-96	1.11	29	0.52	0.04	42	0.3	12	0.21	0.6	1.0	1.49	158	4.69	189	0.95	647
MDC-97	2.24	1	0.51	0.07	45	0.3	13	0.16	8.9	0.8	1.39	114	3.40	146	0.95	473
MDC-100	1.04	22	0.63	0.05	48	0.3	23	0.21	0.4	5.8	0.99	134	3.88	149	0.95	532
上陆壳	2.8	25	0.055	0.1	71	0.80	20	0.13	1.5	2.0	1.6	190	5.8	350	5.5	20

注: 西北有色地质研究院测试中心采用 ICP-MS 方法分析 2008。

表 5 牟定地区马头山组岩石稀土元素含量(  $\mu\text{g/g}$ )

Table 5 The REE data of the Matoushan Formation rocks in the Mouding

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
MDC-52	30.55	56.96	6.42	26.14	4.89	1.01	4.64	0.65	3.77	0.80	2.20	0.38	2.18	0.32	21.4
MDC-51	26.08	46.34	5.10	19.71	3.47	0.94	3.42	0.45	2.62	0.53	1.58	0.27	1.65	0.23	14.5
MDC-42	32.79	60.59	6.61	26.39	4.91	1.05	4.58	0.62	3.67	0.78	2.36	0.37	2.39	0.33	21.5
MDC-39	19.61	35.89	4.42	17.44	3.32	0.75	3.13	0.41	2.33	0.48	1.39	0.23	1.30	0.20	13.2
MDC-37	25.55	49.41	5.57	23.30	4.43	1.03	4.12	0.62	3.42	0.68	1.98	0.32	1.95	0.29	18.6
MDC-66	29.63	58.27	6.69	27.45	5.27	1.20	5.15	0.72	3.96	0.83	2.36	0.36	2.19	0.33	23.4
MDC-26	25.45	47.84	5.58	22.17	4.20	0.85	3.71	0.50	3.01	0.61	1.85	0.26	1.78	0.25	18.1
MDC-25	36.05	68.92	7.57	30.51	5.58	1.16	5.25	0.63	4.17	0.86	2.61	0.38	2.62	0.36	24.5
MDC-71	23.19	42.48	4.89	19.29	3.53	0.81	3.41	0.48	2.73	0.56	1.59	0.26	1.54	0.22	16.0
MDC-73	21.85	38.60	4.53	17.86	3.37	0.72	3.05	0.42	2.28	0.48	1.38	0.23	1.39	0.21	13.6
MDC-83	32.95	62.00	7.04	27.59	5.08	1.04	4.66	0.67	3.94	0.73	2.11	0.34	2.04	0.32	20.5
MDC-21	20.67	37.10	4.34	17.15	2.89	0.63	2.62	0.33	1.90	0.38	1.15	0.18	1.20	0.18	10.9
MDC-16	16.37	29.71	3.49	14.42	2.69	0.70	2.59	0.35	2.04	0.40	1.20	0.17	1.22	0.17	11.3
MDC-11	22.57	41.49	4.81	18.99	3.32	0.75	3.10	0.39	2.30	0.42	1.31	0.18	1.21	0.18	11.9
MDC-93	27	50	5.8	23	4.10	0.88	3.55	0.50	3.06	0.56	1.63	0.28	1.71	0.27	16.3
MDC-92	23	39	5.0	21	4.05	0.91	3.71	0.48	3.02	0.56	1.68	0.25	1.58	0.23	17.5
MDC-1	16.55	31.36	3.74	15.02	2.94	0.72	2.70	0.36	2.09	0.43	1.25	0.19	1.19	0.19	11.5
MDC-96	20	36	4.3	17	3.14	0.72	2.88	0.39	2.37	0.47	1.32	0.21	1.31	0.20	13.4
MDC-97	24	45	5.0	20	3.58	0.75	3.16	0.47	2.60	0.46	1.38	0.22	1.32	0.20	13.3
MDC-100	21	38	4.5	17	3.10	0.72	2.90	0.38	2.27	0.43	1.24	0.20	1.24	0.19	12.4

注: 西北有色地质研究院测试中心采用 ICP-MS 方法分析, 2008。

表 6 牟定地区马头山组岩石稀土元素特征参数值

Table 6 REE element characteristic parameters of the Matoushan Formation in the Mouding

委托号	$\Sigma\text{REE}$	LREE	HREE	LREE/HREE	$\text{La}_N/\text{Yb}_N$	$\delta\text{Eu}$	$\delta\text{Ce}$	委托号	$\Sigma\text{REE}$	LREE	HREE	LREE/HREE	$\text{La}_N/\text{Yb}_N$	$\delta\text{Eu}$	$\delta\text{Ce}$
MDC-52	140.90	125.96	14.95	8.43	9.45	0.64	0.92	MDC-83	150.51	135.69	14.82	9.16	10.89	0.64	0.92
MDC-51	112.39	101.64	10.74	9.46	10.68	0.82	0.89	MDC-21	90.72	82.78	7.93	10.43	11.62	0.69	0.88
MDC-42	147.44	132.33	15.11	8.76	9.26	0.66	0.92	MDC-16	75.52	67.39	8.14	8.28	9.09	0.80	0.89
MDC-39	90.88	81.43	9.45	8.61	10.18	0.70	0.88	MDC-11	101.00	91.92	9.08	10.12	12.61	0.70	0.90
MDC-37	122.67	109.29	13.38	8.17	8.85	0.72	0.94	MDC-93	123.09	111.52	11.57	9.64	10.81	0.69	0.90
MDC-66	144.41	128.49	15.91	8.07	9.13	0.70	0.94	MDC-92	104.18	92.66	11.52	8.04	9.88	0.70	0.81
MDC-26	118.04	106.08	11.96	8.87	9.69	0.64	0.91	MDC-1	78.72	70.32	8.40	8.38	9.38	0.77	0.91
MDC-25	166.68	149.79	16.89	8.87	9.30	0.64	0.94	MDC-96	90.59	81.44	9.15	8.90	10.42	0.71	0.88
MDC-71	104.99	94.19	10.80	8.72	10.15	0.71	0.90	MDC-97	107.36	97.55	9.81	9.95	12.24	0.66	0.92
MDC-73	96.35	86.93	9.42	9.23	10.65	0.67	0.87	MDC-100	93.93	85.07	8.85	9.61	11.68	0.72	0.87

### 3 结论

沉积岩的元素地球化学特征能较好揭示源区的构造背景和物源属性。通过分析滇中牟定地区马头山组岩石的主量元素、微量元素和稀土元素地球化学特征, 揭示该地区源区构造背景主要为被动大陆边缘和活动大陆边缘; 沉积物源的原始物质应来自上地壳, 以长英质为主, 属于典型的大陆型沉积体系。根据物源区的构造环境及物源属性, 可推断物源区的具体位置。结合岩相古地理图(图 1)可知: 晚白垩世牟定地区为滨湖—三角洲相带, 地势较低, 而地势相对较高的“元谋古陆”与“哀牢山造山带”则容易被剥

蚀, 成为马头山组的重要物源区。

地壳的发展是一个“活动区”与“稳定区”相互转化、交替更迭、由简单到复杂、由低级到高级、螺旋式上升的不断前进过程<sup>[21]</sup>。从大地构造背景看, “元谋古陆”属“康滇古陆”的一部分, 在古生代—中生代属具稳定建造的“扬子板块西缘”, 为“被动大陆边缘”环境。哀牢山造山带在古生代—中生代早期为活动大陆边缘, 侏罗—白垩纪, 哀牢山造山带南西向逆冲推覆使楚雄盆地在伸展构造体制的控制下再次剧烈沉陷, 在晚三叠世盆地的基础上, 接受了上万米的红层堆积<sup>[22]</sup>, 此时, 哀牢山带转换为陆内造山带。综上所述, 马头山组的主要物源区包括两部分: 其一为东

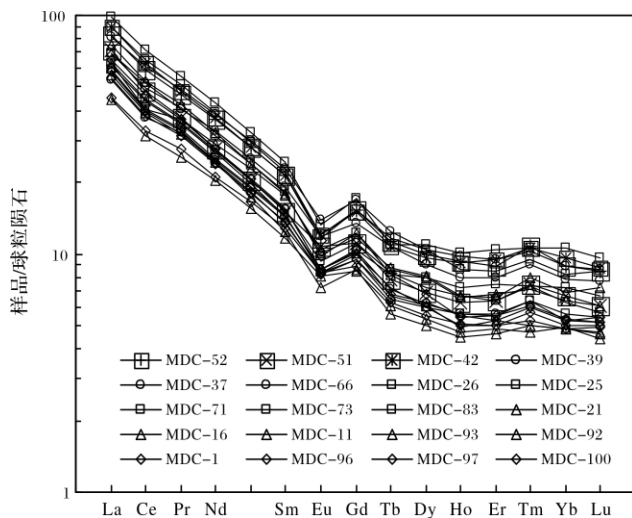


图6 牟定地区马头山组岩石稀土元素分配模式图  
(据 Taylor 等, 1985)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution patterns for the Matoushan formation argillaceous rocks and sandstones in the Mouding

侧具有稳定被动大陆边缘建造的康滇古陆,其二为西侧组成为活动陆缘—造山作用产物的哀牢山造山带。

致谢 本文得到冉崇英教授、王学琨教授、李波博士、王雷博士的指导与帮助,在此一并表示感谢!

### 参考文献(References)

- Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation [M]. London: Longman Scientific Technical Press, 1993: 1-352
- 李志明, 刘家军, 胡瑞忠, 等. 兰坪中生代盆地沉积岩源区构造背景和物源属性研究[J]. 沉积学报, 2003, 12(4): 547-552 [Li Zhiming, Liu Jiajun, Hu Ruizhong, et al. Tectonic setting and provenance of source rock for sedimentary rocks in Lanping Mesozoic-Cenozoic Basin: evidences from geochemistry of sandstones[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 12(4): 547-552]
- 陈刚. 中生代鄂尔多斯盆地陆源碎屑成分及其构造属性[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 409-413 [Chen Gang. Terrigenous clastic composition and its tectonic feature in the Mesozoic of the Ordos basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 409-413]
- 邵磊, 刘志伟, 朱伟林. 陆源碎屑岩地球化学在盆地分析中的应用[J]. 地学前缘-中国地质大学, 2000, 7(3): 297-304 [Shao Lei, Liu Zhiwei, Zhu Weilin. Application of sedimentary geochemistry of terrigenous clastic rock to basin analysis[J]. Earth Science Frontiers: China University of Geosciences, 2000, 7(3): 297-304]
- 和钟铨, 王玉芬, 侯伟. 漠河盆地中侏罗统砂岩地球化学特征及物源属性分析[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 12(4): 93-100 [He Zhonghuan, Wang Yufen, Hou Wei. Geochemistry and provenance analysis of the Middle Jurassic sandstones in the Mohe Basin, Hei-

- longjiang [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, 12(4): 93-100
- 张雷, 刘招君, 和钟铨, 等. 孙吴—嘉荫盆地白垩系淘漠河组—太平岭组砂岩主量元素的地球化学特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 6(2): 100-106 [Zhang Lei, Liu Zhaojun, He Zhonghuan, et al. Geochemistry of major elements from the Cretaceous Taoqihe Formation-Taipinglingchang Formation sandstones in the Sunwu-Jiayin basin [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2008, 6(2): 100-106]
- Bhatia M R. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones [J]. Journal of Geology, 1983, 91: 611-627
- Bhatia M R, Crook K A W. Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basin [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1986, 92: 181-193
- Roser B P, Korsch R J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO<sub>2</sub> content and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratio [J]. Journal of Geology, 1986, 94: 635-650
- Roser B P, Korsch R J. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major element data [J]. Chemical Geology, 1988, 67: 119-139
- 王维贤, 等. 楚雄地区砂岩铜矿成矿预测及靶区优选 [R]. 西南有色金属地质勘查局, 1997: 8-43 [Wang Weixian, et al. Metallogenic prognosis and target seeking of sandstone Cu deposit in Chuxiong basin [R]. Bureau of Southwest Non-ferrous metals Resource Geology, 1997: 8-43]
- 云南省地质矿产局. 云南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1990 [Bureau of Geology and Mineral Resources Geology of Yunnan Province. Regional Geology of Yunnan Province, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990]
- 郭远生, 罗荣生, 等. 滇中砂岩铜矿地质 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2008: 12 [Guo Yuansheng, Luo Rongsheng, et al. Sandstone-Type Copper Geology of Central Yunnan [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2008: 12]
- 朱同兴, 黄志英, 尹福光. 盆地转换与沉积地质记录——以楚雄前陆盆地分析为例 [J]. 岩相古地理, 1999, 13(3): 1-15 [Zhu Tongxing, Huang Zhiying, Yin Fuguang. Basin-range transition and depositional records: an example from the Chuxiong foreland basin in Yunnan [J]. Lithofacies and Paleogeography, 1999, 13(3): 1-15]
- 许效松, 尹福光, 万方, 等. 楚雄盆地性质与沉积层序演化 [J]. 岩相古地理, 1999, 19(5): 1-11 [Xu Xiaosong, Yin Fuguang, Wan Fang, et al. The nature of the Chuxiong Basin and evolution of sedimentary sequences [J]. Lithofacies and Paleogeography, 1999, 19(5): 1-11]
- Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. Blackwell Scientific Publications, Geoscience Texts, 1985
- Gu X X, Liu J M, Zheng M H, et al. Provenance and tectonic setting of the proterozoic turbidities in Hunan, south China: geochemical evidence [J]. Journal of Sedimentary Research, 2002, 72(3): 393-407
- McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes [J]. Reviews in Mineralogy,



- 1989, 21: 169-200
- 19 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-534 [Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, *et al.* Geochemistry of Rare Earth Elements [M]. Beijing: Science Press, 1987: 1-534]
- 20 Murry R W. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale [J]. *Geology*, 1990
- 21 陈国达. 地洼学说——活化构造及成矿理论体系概论 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1996 [Chen Guoda. Diwa Theory: Activation Theory of System Structure and Mineralization Introduction [M]. Changsha: Central South Industry University Press, 1996]
- 22 张志斌, 曹德斌. 滇中楚雄中生代盆地的形成、演化及其与哀牢山造山带的关系——以楚雄西舍路至禄丰碧城镇区域地质综合剖面为例 [J]. 地球学报, 2002, 23(2): 129-134 [Zhang Zhibin, Cao Debin. The relationship of the formation and evolution of Mesozoic Chuxiong basin to Ailaoshan Orogenic belt in central Yunnan exemplified by regional geological integrated section from Xishelu of Chuxiong to Bichengzhen of Lufeng [J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2002, 23(2): 129-134]

## Geochemistry and Provenance of Source Rock for Matoushan Formation Rocks ( Late Cretaceous) in the Mouding Area , Central Yunnan

SHI Chun-hong<sup>1 2</sup> HAN Run-Sheng<sup>1 2</sup> WU Peng<sup>1 2</sup> FANG Ming<sup>1</sup>  
LAI Hua<sup>1 2</sup> SHENTU Liang-yi<sup>1 2</sup>

(1. Faculty of Land and Resource Engineering , Kunming University of Science and Technology , Kunming 650093;

2. Southwest Institute of Geological Survey , Geological Survey Centre for Non-ferrous Metals Resources , Kunming 650093)

**Abstract** The Matoushan Formation , one of the most important ore-bearing stratum , is located in the Red-bed basin of central Yunnan Province , China. Its lithology is mainly clastic rocks , including mudstone , sandstone , as well as conglomerate. The geochemical compositions of sandstones and argillaceous rocks could discriminate the tectonic setting and provenance of source rock area. Based on the geochemical signatures of major elements , trace elements , and rare earth elements of the non-mineral rocks , which picked from Matoushan Formation of Mouding , reveal that the sandstones and argillaceous rocks of Matoushan Formation , which are characterized by: ① high contents of SiO<sub>2</sub>; ② Enrichment some chalcophile elements such as Ag , Pb , Bi and Ni , loss of some lithophile elements for example Be , Ga , Rb , Y , Nb , Ta , Hf , Sr and Sn; ③ LREE enrichment , HREE depletion and slightly negative Eu anomaly. The differentiate diagrams refer that the provenance of Matoushan Formation belong to passive continental margin and active continental margin tectonic setting. The primary materials of sedimentary rocks should come from the upper continental crust , and are mainly composed by felsic rocks. Combined with the data of sedimentary facies and palaeogeography , we know that the principal source rock area of Matoushan Formation are Kangdian ancient land and Ailaoshan orogenic belt.

**Key words** geochemistry; tectonic setting; provenance of source rock; Matoushan Formation; Mouding