

文章编号:1009-2722(2009)11-0021-06

遵义松林地区牛蹄塘组底部岩性特征及沉积环境分析

杨永军¹, 林 丽¹, 张远国², 马莉燕¹, 李德亮¹

(1 成都理工大学沉积地质研究院, 成都 610059; 2 贵州省地矿局 102 地质大队, 贵州遵义 563003)

摘 要:研究区下寒武统牛蹄塘组(C_1n)底部的岩性主要是磷块岩和灰黑色、黑色高炭质页岩或炭质泥岩页岩。其中磷块岩的分布不稳定,在松林穹窿背斜的南翼较薄,有的局部被尖灭。从穹窿背斜南翼往北总体趋势是依次变厚,厚的地方可达 10 几米厚。灰黑色、黑色高炭质页岩或炭质泥岩页岩分布连续,厚度不稳定。泥、页岩中的镍、钼矿层呈薄层状产出,厚度总体分布连续、稳定。在泥、页岩的特定层位有磷结核分布。位于最底部的磷块岩和泥、页岩是在缺氧还原的环境中形成的,磷块岩产生于潮坪区。牛蹄塘组底部的含矿层以下的泥、页岩形成在内陆棚的环境,牛蹄塘组底部含矿层以上及牛蹄塘组中部的泥、页岩形成在陆棚水体较深的沉积环境。

关键词:黑色岩系;牛蹄塘组;镍钼矿;遵义松林地区

中图分类号:P593

文献标识码:A

“黑色岩系”是一套以富含有机质为特征的细粒沉积岩的总称,其岩类包括各种暗色(灰色—黑色)页岩、硅质岩、粉砂岩和少量碳酸盐岩层^[1]。华南下寒武统牛蹄塘组就是一套以黑色岩系为特征的岩石地层单位,其底部页岩层富含有色金属、贵金属、稀有元素、分散元素和放射性元素,由于所富含的金属元素以及该时期又是地史时期生物演化的重要时期因而备受地质学者的关注,前人在华南下寒武统牛蹄塘组岩性特征、沉积环境、沉积相、物源、成因等方

面做了大量的工作。其中在遵义地区关于岩性特征前人已经做了很多工作,曾明国^[2]对遵义黄家湾镍钼矿地质特征及开发前景进行了评述;罗泰义^[3]讨论了遵义牛蹄塘组黑色岩系中多元素富集层的主要矿化特征;林贵生^[4]评述了贵州遵义松林钼镍矿床地质特征及找矿标志。在沉积环境问题上大多数学者一致公认是缺氧还原的环境,沉积相主要有以下几种观点:①张应文等^[5]认为贵州遵义的牛蹄塘组在梅树村阶早期至筇竹寺阶早期属近滨—远滨相沉积;②朱建明等^[6]认为遵义松林小竹地区牛蹄塘组黑色岩系的沉积环境处在局限盆地靠近陆地的边缘部分;③陈兰^[7]根据牛蹄塘组的岩性、化石和构造特征认为遵义地区是典型的内陆棚沉积相;④Pašava^[8]根据在遵义地区牛蹄塘组黑色岩系中发现了蒸发岩(无水石膏、二次岩

收稿日期:2009-07-14

基金项目:教育部“高等学校博士学科点专项科研基金”(编号:20070616014)和中石化海相油气勘探前瞻性项目(编号:G0800-06-25-319)资助

作者简介:杨永军(1981—)男,硕士,主要从事有机地球化学方面的研究工作。E-mail:yang2001bing@163.com

盐),认为沉积环境是泻湖或者是盆地边缘;⑤ Křibek^[9]认为沉积相是一个动荡的、浅海的近滨环境。通过对遵义牛蹄塘组的野外考察,根据牛蹄塘组底部岩性组合特征的分析,并结合一些地球化学指标进一步佐证了其沉积环境为缺氧还原的环境,岩系可能形成在局限盆地靠近陆地的边缘部分。

1 区域地质背景

贵州遵义县松林地区是一个由震旦系、下寒武统地层组成的穹隆,该穹隆位于扬子准地台,黔北台隆遵义断拱,毕节 NE 向构造变形区。研究区位于松林—岩孔背斜东段的松林穹隆背斜,剖面点有小竹流水、新土沟、团山堡、望见山,双龙桥。

区域内出露的地层均为沉积岩,有青白口系、震旦系上统,寒武系,二叠系,三叠系,侏罗系下、中统及第四系,石炭系和泥盆系缺失,部分地区仅有志留系下统分布,震旦系上统和侏罗系中统出露不全。工作区内所出露的地层从老到新为青白口系、南华系、震旦系、寒武系牛蹄塘组—娄山关组、奥陶系桐梓组—湄潭组。

含矿地层为下寒武统牛蹄塘组($\in_1 n$),其上段为深灰、黄灰色含粉砂质页岩、页岩或粘土岩夹薄层砂岩及炭质页岩;下段为灰黑色、黑色高炭质页岩或炭质泥岩,底部为富含黄铁矿和有机质的黑色硅质岩及磷矿层、含钼镍多金属矿层,厚 17~48 m。底部含矿层与下伏震旦系灯影组块状白云岩呈假整合接触关系。

2 剖面描述

双龙桥和新土沟下寒武统牛蹄塘组($\in_1 n$)含矿岩系分层特征描述如下:

双龙桥剖面:

- 12 薄—厚层灰黑色炭质页岩互层,未见顶
厚 145 cm
11 薄层黑色炭质页岩 厚 322 cm

- 10 中—厚层硅质炭质页岩 厚 97 cm
9 薄层黑色炭质页岩,含炭较高 厚 40 cm
8 薄层灰黑色镍、钼矿层,内夹条带状的黄铁矿 厚 5 cm
7 中—厚层灰黑色粉砂质页岩 厚 71 cm
6 薄层灰黑色粉砂质页岩,内含磷结核,结核数量较少 厚 7 cm
5 薄层灰黑色粉砂质页岩 厚 5 cm
4 薄层黑色炭质页岩,含磷结核,内见多孔疏松结构,大小约 3 cm 左右 厚 3 cm
3 薄层黑色炭质页岩,内含磷结核,磷结核大小约 1 cm 左右 厚 3 cm
2 薄层棕灰色泥质岩与夹薄层黑色炭质页岩 厚 3 cm
1 黄白色黏土岩,具古风化壳的典型特征,分布在下伏震旦系白云岩的凸凹面上 厚 2 cm

假整合

- 下伏震旦系灯影组:灰白色块状白云岩
厚 >100 m

新土沟剖面:

- 16 薄层灰色泥岩,未见顶 厚 150 cm
15 薄层灰色炭质页岩 厚 150 cm
14 薄层灰色泥岩 厚 434 cm
13 薄层状黑色炭质页岩 厚 148 cm
12 薄层黑色泥岩,间夹炭质页岩
厚 1966 cm
11 薄—中层黑色炭质页岩,硬度大
厚 302 cm
10 薄层状黑色炭质页岩 厚 259 cm
9 中—厚层黑色炭质页岩 厚 366 cm
8 薄层状黑色、灰黑色镍、钼、钒等多金属矿层,为碎屑状矿石。矿层位较为稳定,内含条带状的黄铁矿 厚 14 cm
7 薄层黑色炭质页岩 厚 171 cm
6 薄层状黑色炭质页岩含小磷结核,结核数量少 厚 1182 cm
5 厚层状黑色炭质页岩,其上部为含比较大的磷结核,结核数量多 厚 332 cm

- 4 薄层黑色炭质页岩,内含小的磷结核
厚 147 cm
- 3 薄层黄红色的风化岩,内见磷块岩角砾
厚 8 cm
- 2 薄层黑色磷块岩
厚 413 cm
- 1 黄褐色黏土岩,具古风化壳的典型特征,
分布在下伏震旦系白云岩的凸凹面上 厚 7 cm
- 假整合
- 下伏震旦系灯影组:灰白色块状白云岩
厚>100 m

3 含矿岩系的岩性特征及沉积环境分析

3.1 磷块岩的分布及沉积环境分析

从剖面上,看小竹流水、双龙桥等地没有发现磷块岩,在新土沟的磷块岩层厚度为

4. 13 m,而在望见山和芭蕉等地厚的地方磷块岩厚度可达 7.0 m。经过观察发现磷块岩的总体展布特征是不连续的,在松林穹窿背斜的南翼较薄,有的局部被尖灭。从穹窿背斜南翼往北总体趋势是依次变厚,厚的地方可达 10 几米厚。对于该地区磷块岩的沉积环境牟南等认为产生在潮坪区^[10]。

3.2 泥、页岩的分布及沉积环境分析

泥、页岩的分布连续,但厚度变化大,含有丰富的化石,沉积构造有平行层理、水平层理。页岩中有一层呈薄层状产出总体分布连续、稳定的镍钼矿层。镍钼矿层常与与黄铁矿伴生。在页岩的特定层位有磷结核分布。

3.2.1 泥、页岩中的镍、钼矿层

镍、钼矿产于寒武系下统牛蹄塘组底部高炭段中,呈薄层状产出,产状与地层产状一致,分布在松林穹窿背斜四周,含矿层厚度总体分

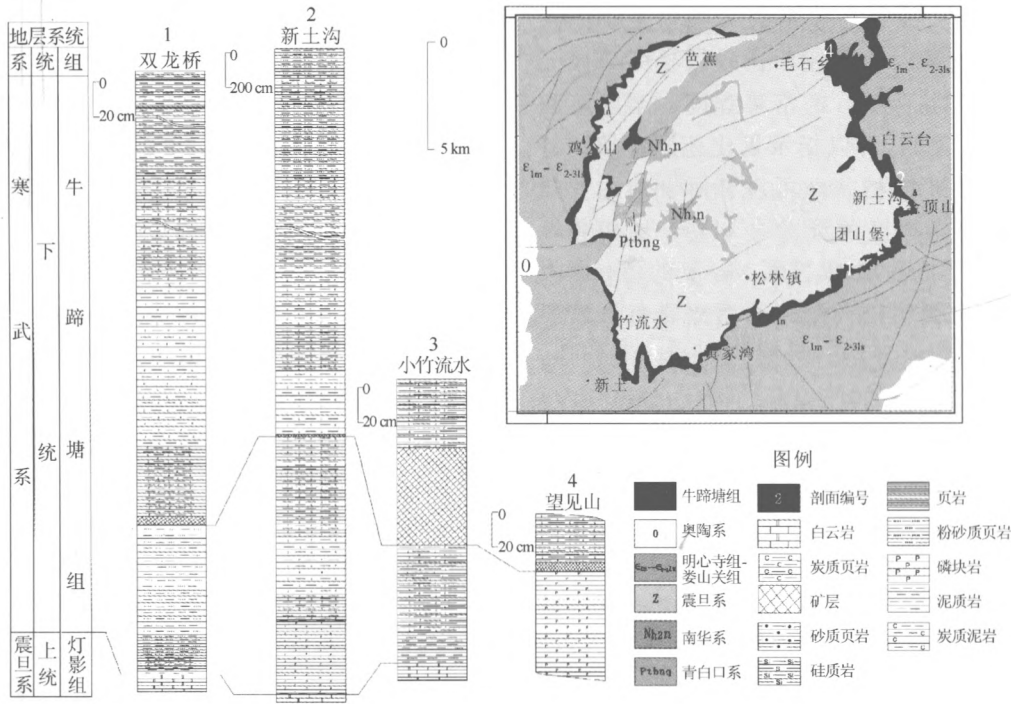


图 1 剖面及地层对比
Fig.1 Sections and strata contrast

布连续、稳定,一般厚度为 0.02~0.06 m,局部有透镜状的矿体或囊状富集体。笔者经过对多个坑道考察,发现在小竹地区发育比较明显的透镜状的矿体。特征为:矿体厚度达 56 cm,品位高,可达 7%。与顶板水平接触,向下弯曲成囊状,向两侧厚度变化很快,并逐渐变薄成为薄层状,降到 4 cm 左右时开始水平延伸,厚度变得稳定。含矿层在高炭质段中从北向南、从西向东有层位变低的趋势。含矿层最大的特点是厚度薄、品位高。含矿层顶底板界限清楚,顶板为炭质页岩。另外在小竹流水一号主洞内存在碎屑状矿层,岩性为砂质页岩,厚度有 15 cm,不连续,镍、钼含量低,一般钼含量 $<1\%$ 。

对氧化还原比较敏感的金属元素通常在缺氧沉积物中高度富集,氧化还原条件一旦发生变化,这些敏感金属元素也随之变化。在还原环境(以及最初生产率增加)下,这些敏感金属元素富集程度有所增加。根据这些敏感元素含量或者比值可以判断氧化还原环境,尤其是黑色页岩是否为缺氧环境下的沉积物。Mo、V、Ni 等元素就是对氧化还原比较敏感的金属元素。Piper^[11]认为 Mo 的富集程度与当时沉积时的环境有关联,可以指示氧化还原环境。特别是 Mo 和 V 的相关性可以标示环境。贵州松林地区蹄塘组黑色页岩的 Mo 与 V 相关性很明显。所测试的数据投到 Mo-V 的相关图上(图 2),一致表明松林地区蹄塘组黑色页岩形成于缺氧的还原环境。另据研究,与 Ni 相比,V 更容易在缺氧条件下富集。因此,通常用 $V/(V+Ni)$ 的比值来指示水体氧化强度,其比值大于 0.54 为缺氧环境,小于 0.54 为富氧环境^[12]。研究区牛蹄塘组黑色岩系中的 $V/(V+Ni)$ 比值为比值为 0.92~0.98,均大于 0.54^[13],认为贵州松林地区早寒武世牛蹄塘组底部黑色岩系沉积于缺氧的还原环境,形成于内陆棚^[7]。

3.2.2 泥、页岩中的黄铁矿条带

遵义牛蹄塘组黑色页岩中的镍钼矿常与黄铁矿共生。镍钼矿层中的黄铁矿分布多呈层纹

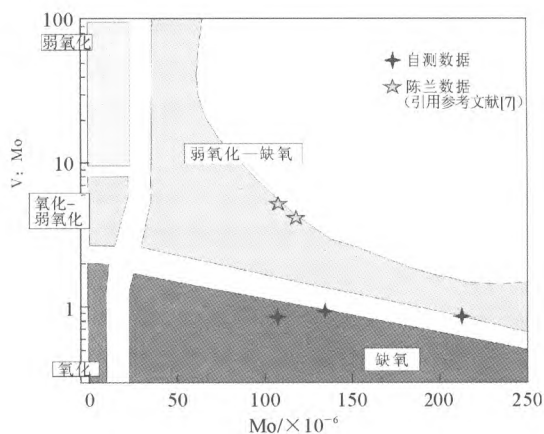


图 2 遵义松林地区牛蹄塘组黑色岩系 Mo-V 相关图(底图据参考文献[11])

Fig. 2 Mo-V correlation chart of black shale series of Niuti-tang formation

状和透镜状,厚度一般在 0.3~3 mm,局部见侵染状。黄铁矿有两种产状,一种为立方自形粒状,一种为他形草莓状。草莓状黄铁矿、二硫化镍矿胶状集合体与生物藻类残体、沥青、炭泥质组成碎屑、细砾石,以及球状结核,呈似硫化物假象^[14]。这些碎屑或团粒呈块状或条带、条纹构造。自形粒状黄铁矿与针镍矿、辉镍矿、黄铜矿、闪锌矿等交代充填于碎屑中或包裹穿切碎屑团块。条带状黄铁矿的自形一半自形细粒与白云石、石英、炭质、粘土等组成条带或条纹构造。微晶状黄铁矿表现出沉积期到成岩早期生成的特点,它们多以细微晶和胶状凝块构成条带。成岩后期生成的黄铁矿及镍黄铁矿等呈自形晶、组成斑块状集合体^[15]。前人研究发现;其中原生草莓状黄铁矿代表着还原环境。

3.2.3 泥、页岩中的结核

磷结核的研究对沉积学和沉积地球化学有重要的意义,因为它记录了沉积物沉积与成岩过程的重要信息^[16]。磷结核是沉积岩中一种磷的富集体,磷结核主要产于富有机质的黑色页岩或现代有机软泥中。磷结核是磷元素在沉积物中循环富集的产物,形成过程有众多的控制因素,主要富集于黑色页岩剖面中的特定层

位。在双龙桥剖面镍钼矿层底部有两层磷结核,下面的一层磷结核大小约 ± 1 cm,数量多,表观颜色较相应的围岩(黑色页岩)浅。上面的一层磷结核大小变化较大,小的直径小于1 cm,大的切穿本层可达7 cm,颜色和围岩相近,数量少。两层磷结核形状多为枕头状、椭球形、圆球形或扁平状,并常见多球连生体。新土沟剖面有一大套含磷结核的炭质页岩,可分3层:下层为含小结核的炭质页岩,硅质,结核多,顺层分布;中部为含大磷结核炭质页岩,厚层状,结核多,大小变化很大;上层为薄层状含小磷结核炭质页岩,结核少,顶部为含矿层底板。磷结核形状为椭球形、圆球形、脸盆状。在小竹流水有一层含小结核炭质页岩夹硅质页岩的岩层,磷结核形状为椭球形、圆球形,结核较大,大的长轴有25 cm左右,颜色为黑色。结核的上部为含矿层,矿层覆盖在结核上部。磷结核的形成以化学沉积和生物作用为主,形成于台缘斜坡、洋流上涌发育地带^[10]。

3.2.4 泥、页岩中的化石

贵州遵义松林下寒武统牛蹄塘组岩层中含丰富的低等菌藻类及凝源类化石^[17-20],并见蠕虫类、痕迹化石及硅质海绵骨针和硅质放射虫,其中大量海绵骨针和完整海绵体化石出现的最低层位直接覆于镍钼矿层之上^[19]。赵云龙等^[17]对寒武统牛蹄塘组下部岩石中的化石做了描述,主要有海绵、低钙化的大型双壳节肢动物及藻类等化石。计有:海绵 *Saetaspoingia* Mehlet Reitner, 1993, *Leptomit us* Walcott, 1886;大型双壳节肢动物 *Perspicaris* Briggs, 1977;刺细胞动物虫管化石 *By ronia* Matthew, 1899;藻类。杨瑞东^[18]对遵义松寒武统牛蹄塘组中的锥形原始管虫 *Archotuba conoidalis* Hou, 1999 和娜罗虫(未定种) *Naraoia sp* 进行了描述,认为遵义生物群生活在水体相对较深的陆棚环境。杨兴莲^[19]讨论了六射海绵纲中的遵义海绵 *Zunyis pongia*,其发现层位位于镍钼矿层之上。六射海绵纲主要生活于大陆斜坡及其以下的深海底,少数发现于90~

200 m 的水深范围内。蒲心纯等^[20]认为遵义牛蹄塘组中下部化石均保存在黑色含粉砂质页岩中,处于陆棚水体较深的沉积环境。

3.3 牛蹄塘组底部岩系的地球化学特征

据研究,一些地球化学指标也能反映沉积环境。Wignall^[22]建立 U-Th 关系式用 δU 值来表示氧化还原指标。

$\delta U = 6U / (3U + Th)$,若 $\delta U > 1$,表明缺氧环境;若 $\delta U < 1$,则说明为正常的海水环境。

黔北黑色岩系磷矿层、镍矿层、钼矿层、黑色页岩 δU 值分别为 1.97、1.73、1.99、1.77,均大于 1,表现为缺氧沉积环境^[23]。

一般认为 $Pr/Ph < 1$ 是指示缺氧还原沉积环境,而 $Pr/Ph > 1$ 则是氧化条件。这里 Pr/Ph 值为磷块岩 0.80、镍矿层 0.92、钼矿层 1.18、黑色页岩 0.86。磷块岩、镍矿层和黑色页岩的 Pr/Ph 值 < 1 ,只有钼矿层的大于 1,结合岩性、生物等特征判断,该阶段贵州黑色岩系形成时期均为典型的还原沉积环境^[24]。

4 结论

研究区下寒武统牛蹄塘组($\epsilon_1 n$)下段的岩性主要是磷块岩和灰黑色、黑色高炭质页岩或炭质泥岩页岩。其中磷块岩的分布不稳定,在松林穹窿背斜的南翼较薄,有的局部被尖灭。从穹窿背斜南翼往北总体趋势是依次变厚,厚的地方可达 10 几米厚。灰黑色、黑色高炭质页岩或炭质泥岩页岩分布连续,厚度不稳定,页岩中的镍、钼矿层呈薄层状产出,厚度总体分布连续、稳定。

根据岩性及地球化学指标判断遵义松林地区下寒武统牛蹄塘组的磷块岩和泥、页岩形成时沉积环境皆为缺氧还原的环境。根据岩性、构造、生物特征推断出位于最底部的磷块岩可能形成在潮坪区;牛蹄塘组下段的含矿层及其以下泥、页岩形成在内陆棚的环境;牛蹄塘组底部含矿层以上及牛蹄塘组中部的泥、页岩形成

在陆棚水体较深的沉积环境。

参考文献:

- [1] 高振敏, 罗泰义, 李胜荣. 黑色岩系中贵金属富集层的成因: 来自固定铍的佐证[J]. 地质地球化学, 1997(1): 18-23.
- [2] 曾明国. 遵义黄家湾镍钼矿地质特征及开发前景进行了评述[J]. 贵州地质, 1998, 15(4): 305-310.
- [3] 罗泰义. 遵义牛蹄塘组黑色岩系中多元素富集层的主要矿化特征[J]. 矿物学报, 2003, 23(4): 296-302.
- [4] 林贵生. 贵州遵义松林钼镍矿床地质特征及找矿标志[J]. 昆明冶金高等专科学校学报, 2007, 23(3): 20-27.
- [5] 张应文, 杭家华. 贵州沉积型镍钼钒矿成矿地质特征及找矿方向[J]. 矿产与地质, 2008, 22(2): 116-120.
- [6] 朱建明. 贵州遵义牛蹄塘组黑色岩系的硒同位素变化及其环境指示初探[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(4): 361-365.
- [7] 陈 兰. 湘黔地区早寒武世黑色岩系沉积学及地球化学研究[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 2005.
- [8] Pašava J, et al. New data on the origin of Lower Cambrian Mo-Ni-PGE black shales in Gui zhou Province, south China[C] // International Geological Congress. Proc. 32nd IGC, Florence, 189-15.
- [9] Bohdan Křibek. Organic geochemistry and petrology of barren and Mo-Ni-PGE mineralized marine black shales of the Lower Cambrian Niutitang Formation(South China)[J]. International Journal of Coal Geology, 2007, 72(3-4): 240-256.
- [10] 牟 南, 吴朝东. 上扬子地区震旦—寒武纪磷块岩岩石学特征及成因分析[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2005, 41(4): 551-562.
- [11] Piper D Z, Calvert S E. A Marine Biogeochemical Perspective on Black Shale Deposition[J]. Earth Science Reviews, 2009, 95(1-2): 63-96.
- [12] Yarincik K M, et al. Oxygenation history of bottom water in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578000 years: Results from rebox-sensitive metals (Mo, V, Mn, and Fe)[J]. Paleocyanography, 2000, 15(6): 593.
- [13] 袁 宏. 黔北牛蹄塘组的地球化学特征及形成环境[J]. 贵州地质, 2007, 24(11): 55-59.
- [14] Lott D A, et al. Sedimentary exhalative nickel-molybdenum ores in south China[J]. Economic Geology, 1999, 94(7): 1051-1067.
- [15] 曾明果. 遵义黄家湾下寒武统底部 Mo-Ni-PGE 矿中铂族元素赋存形态分析及成因意义[J]. 贵州地质, 2007, 24(2): 147-152.
- [16] 雷加锦, 等. 上扬子区早寒武世黑色页岩磷结核特征及生化淀磷机制[J]. 地质科学, 2000, 35(3): 277-287.
- [17] 赵元龙, 等. 贵州遵义下寒武统牛蹄塘组早期后生生物群的发现及重要意义[J]. 古生物学报, 1999, 38(supp.): 132-138.
- [18] 杨瑞东. 澄江生物群分子在贵州遵义牛蹄塘组发现[J]. 地质学报, 2003, 77(2): 145-151.
- [19] 杨兴莲. 贵州下寒武统牛蹄塘生物群中海绵新材料[J]. 古生物学报, 2005, 44(3): 454-463.
- [20] 蒲心纯, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [21] 李胜荣. 湘黔地区牛蹄塘组黑色岩系稀土特征——兼论海相热水沉积岩稀土模式. 矿物学报, 1995, 15(2): 225-229.
- [22] Wignall P B. Black Shales[M]. Oxford: Clarendon Press, 1994: 461.
- [23] 杨 剑. 黔北黑色岩系的岩石地球化学特征和成因[J]. 矿物学报, 2004, 24(3): 285-288.
- [24] 易发成, 杨 剑. 贵州金鼎山下寒武统黑色岩系的有机地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2005, 24(4): 294-299.