

北秦岭庙湾组黑色岩系稀土元素地球 化学特征及成因意义

王立社^{1,2)}, 侯俊富²⁾, 张复新²⁾, 秦 艳³⁾, 曹红霞²⁾,
齐亚林⁴⁾, 杨鹏飞¹⁾, 金拴联⁴⁾, 房 波⁵⁾, 周 燕⁵⁾

1)西安地质调查中心, 陕西西安 710054; 2)西北大学地质系大陆动力学国家重点实验室, 陕西西安 710069;
3)中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广东广州 510640;
4)中国石油天然气股份有限公司长庆油田研究院, 陕西西安 710021;
5)中国石油天然气股份有限公司青海油田, 甘肃敦煌 736202

摘 要: 笔者采用等离子质谱仪(ICP-MS)方法对北秦岭大荆区奥陶纪—志留纪庙湾组黑色岩系岩石的稀土元素及 V、Ni、Cr、U、Th 等微量元素含量进行了测定。结果显示岩石轻稀土元素相对重稀土元素富集, Eu 异常值 δEu 为 0.63~10.61(绝大多数大于 1.54)多呈正异常, Ce 异常值 δCe 为 0.65~1.02(平均为 0.893) 异常微弱且有正负差异; U/Th 值为 0.38~4.07, $w(\text{V})/w(\text{V}+\text{Ni})$ 值为 0.38~0.93 以及 $w(\text{Ce})/w(\text{La})$ 值为 1.27~2.17。将这些特征值与前人研究成果对比, 并利用 La/Yb-Ce/La 和 La/Yb-REE 判别图解判别后, 认为北秦岭区庙湾组黑色岩系形成于活动陆缘一种干燥缺氧较深浅海环境, 黑色岩系形成过程中有热液作用参与。

关键词: 庙湾组; 黑色岩系; 稀土地球化学; 干燥缺氧环境; 北秦岭

中图分类号: P595; P618.7; P618.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-3021(2010)01-073-10

REE Geochemical Characteristics of the Miaowan Formation Black Rock Series in North Qinling Mountain and Their Genetic Significance

WANG Li-she^{1,2)}, HOU Jun-fu²⁾, ZHANG Fu-xin²⁾, QIN Yan³⁾, CAO Hong-xia²⁾,
QI Ya-lin⁴⁾, YANG Peng-fei¹⁾, JIN Suan-lian⁴⁾, FANG Bo⁵⁾, ZHOU Yan⁵⁾

1) Xi'an Geological Survey Center, Xi'an, Shaanxi 710054;
2) State Key Laboratory of Continental Dynamics, Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069;
3) Institution of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640;
4) Research Institute of Changqing Oil Company, PetroChina Limited Company, Xi'an, Shaanxi 710021;
5) Plant of Qinghai OilField, PetroChina Limited Company, Dunhuang, Gansu 736202

Abstract: The abundances of rare earth elements and some trace elements such as V, Ni, Cr, U and Th of the black rock series from the Miaowan Formation in North Qinling Mountain were measured by using the ICP-MS method. The results show that the black rock series of the Miaowan Formation is usually of the LREE-enriched type, that the samples are characterized by slightly negative or positive Ce anomalies ($\delta\text{Ce}=0.65\sim1.02$) and distinct positive Eu anomalies (with δEu mostly higher than 1.54), and that the ratios of U/Th display a wide variation range from 0.38 to 4.07, the ratios of $w(\text{V})/w(\text{V}+\text{Ni})$ ($=0.38\sim0.93$) are normal, and the ratios of $w(\text{Ce})/w(\text{La})$ ($=1.27\sim2.17$) are relatively high. A study of the parameters of REE and trace elements in comparison with the available data and an analysis of the La/Yb-Ce/La and La/Yb-REE diagrams reveal that the black rock series was formed in a dry, anoxic and shallow sea environment belonging to an active continental margin, with the participation of some hydrothermal fluids.

Key words: Miaowan Formation; black rock series; REE geochemistry; dry and anoxic environment; Northern Qinling

本文由西北有色地勘局地勘院“陕西南部黑色岩系金属矿床成矿规律及找矿预测研究”(编号: 地勘[2006])和中国地质调查局“昆仑-阿尔金成矿带地质矿产调查综合研究”(编号: 1212010913015)联合资助。

收稿日期: 2009-08-01; 改回日期: 2009-12-21。

第一作者简介: 王立社, 男, 1976 生。博士。岩石学矿物学矿床学专业。E-mail: xawlishe@cgs.gov.cn。

黑色岩系是含有机炭(有机 C 含量接近或大于 1%)及硫化物(铁硫化物为主)较多的深灰—黑色的硅质岩、碳酸盐岩、泥质岩(含层凝灰岩)及其变质岩的组合体系(范德廉等, 1973), 是地质历史发展过程中具重现性的时限沉积相, 是地球演化特定地质环境的产物。黑色岩系中往往富集 PGE、Hg、B、As、Mn、Sb、Au、Ag、Pb、P、Ba、U、Mo、V、Zn、Cu、Co、Ni 及稀有元素, 是形成各种矿产的有利岩系(杨剑等, 2005; 赵百胜等, 2007), 因此促使地质学家对其进行持续不断的研究(范德廉等, 2004; 叶杰等, 2000)。然而, 由于黑色岩系具有多类型和多成因的特点, 因此不同的黑色岩系反映不同地质背景和不同的沉积缺氧环境, 不同的黑色岩系含矿性也有所差别。前人分别对中国某些黑色岩系的地球化学特征及其成因(吴朝东等, 1999; 雷加锦等, 2000; 张德全等, 2002; 杨剑等, 2004; 王敏等, 2004; 易发成等, 2004; 潘家永等, 2005)、沉积环境(张位华等, 2003; 江水宏等, 2005)、成矿作用(张光弟等, 2002)、含矿序列与矿床类型(陈华勇等, 2001; 鲍正襄等, 2002; 吕惠进等, 2005)、微量元素(肖启云等, 2006; 赵百胜等, 2007)、成矿物质来源(李胜荣等, 2000; 张光弟等, 2001; 陈永清等, 2003; 罗泰义等, 2005)、热液及生物作用(杨瑞东等, 2005)等做了大量的研究工作, 但主要是针对贵州、湘西、云南等地区的下寒武统。前人有关北秦岭黑色岩系的工作以区域地质调查及找矿为主, 而对黑色页岩的研究较少, 笔者旨在通过稀土元素及相关元素的地球化学特征来探

讨北秦岭区庙湾组(Om)黑色岩系的成因。

1 区域地质概况

1982 年陕西区调队将紧邻铁炉子断裂以北的晚元古代地层称陶湾群, 总体为一套浅变质相碎屑岩、碳酸盐岩夹变质基性火山岩建造。关于陶湾群的时代划归, 一种观点认为属于震旦—寒武纪; 另一种认为属于寒武—奥陶纪(王守仁, 1983), 后者得到多数同仁的支持。张维吉教授在地矿部“七五”重点攻关项目研究报告中认为陶湾群是分布在华北地块与北秦岭褶皱带之间的冒地槽型沉积, 不整合在蓟县系至寒武系不同层位之上, 时代为奥陶系。根据岩性组合将其划分为 4 个岩组, 自下而上分别命名

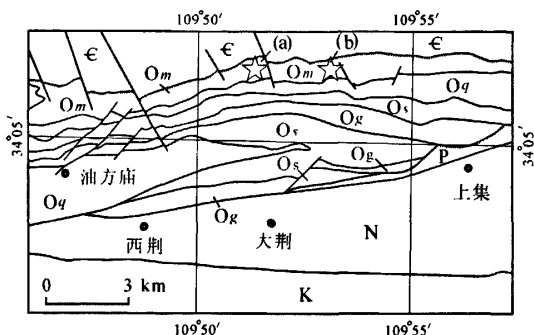


图 1 北秦岭黑色岩系剖面位置图

Fig. 1 Geological map showing section locality of the black rock series in North Qinling Mountain

a. 白石沟剖面; b. 江山村剖面

a. Baishigou section; b. Jiangshan village section

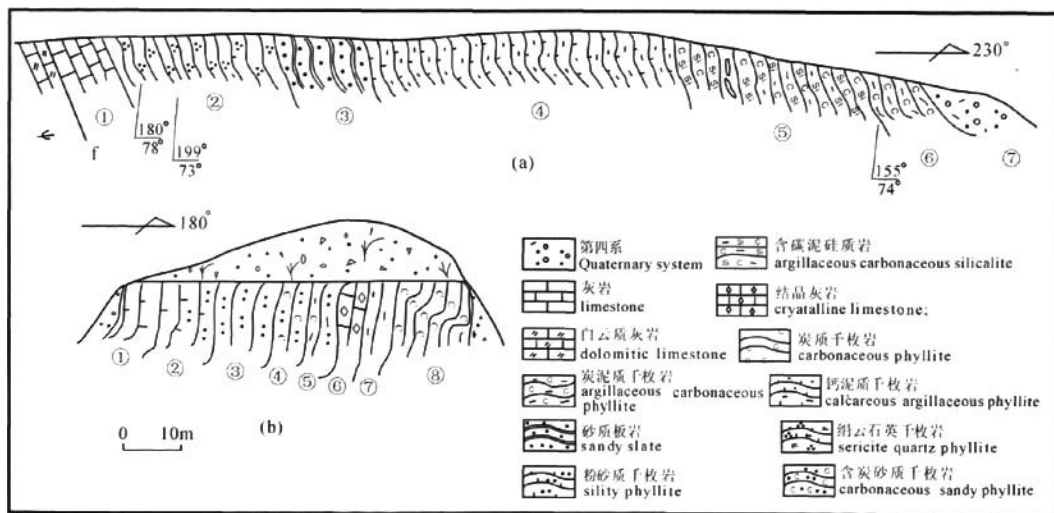


图 2 北秦岭庙湾组黑色岩系剖面

Fig. 2 Sections of the Miaowan Formation black rock series in North Qinling Mountain

a. 白石沟地区; b. 江山村地区

a. Baishigou area; b. Jiangshan village area

表 1 北秦岭庙湾组黑色岩系稀土元素和部分微量元素分析结果及有关参数/ 10^{-6}
Table 1 REE and some trace elements analyses and related parameters of the Miaowan formation black rock series in northern Qinling mountain

样品号	H-BS-2	H-BS-3	H-BS-4	H-JS-1	H-JS-4	H-JS-5	H-JS-6
样品名	绢云石英千枚岩	含炭泥硅质岩	炭质千枚岩	含炭砂质千枚岩	粉砂质千枚岩	结晶灰岩	炭质千枚岩
La	23.73	30.63	104.50	31.18	46.18	9.96	32.45
Ce	43.00	56.16	174.20	52.66	100.10	12.61	59.19
Pr	5.44	5.14	19.48	5.81	11.98	2.05	7.00
Nd	20.22	16.47	64.09	16.97	48.00	5.82	23.80
Sm	4.11	2.20	10.94	2.73	6.85	1.04	3.71
Eu	14.06	1.70	2.21	2.96	3.67	3.07	4.22
Gd	3.87	2.91	10.28	3.15	7.73	1.17	3.97
Tb	0.88	0.51	1.23	0.45	1.04	0.16	0.60
Dy	4.28	1.23	3.79	1.82	5.27	1.04	3.30
Ho	1.14	0.37	0.83	0.52	1.31	0.22	0.86
Er	2.39	1.44	4.30	1.72	4.59	1.03	2.31
Tm	0.56	0.31	0.38	0.33	0.51	0.09	0.41
Yb	5.00	1.64	2.90	2.28	4.06	0.67	3.01
Lu	0.89	0.27	0.35	0.31	0.55	0.12	0.43
Y	22.61	8.91	13.75	12.56	30.01	8.25	22.77
ΣREE	129.56	120.98	399.47	122.90	241.84	39.04	145.28
LREE	110.56	112.30	375.42	112.32	216.78	34.55	130.38
HREE	19.00	8.68	24.05	10.58	25.05	4.49	14.90
LREE/HREE	5.82	12.94	15.61	10.61	8.65	7.69	8.75
(La/Yb) _N	3.41	13.44	25.89	9.79	8.16	10.66	7.74
(La/Sm) _N	3.61	8.70	5.97	7.13	4.21	5.97	5.46
(Tb/Yb) _N	0.75	1.33	1.80	0.83	1.09	1.03	0.84
δEu _N	10.61	2.06	0.63	3.07	1.54	8.48	3.34
δCe _N	0.89	1.00	0.88	0.89	1.02	0.65	0.92
(La/Yb) _S	0.45	1.77	3.40	1.29	1.07	1.40	1.02
(La/Sm) _S	1.03	2.48	1.70	2.03	1.20	1.70	1.56
(Tb/Yb) _S	0.70	1.25	1.69	0.78	1.03	0.97	0.79
δEu _S	16.54	3.09	0.98	4.69	2.35	12.97	5.14
δCe _S	0.90	1.04	0.91	0.92	1.01	0.66	0.93
Ce/La	1.81	1.83	1.67	1.69	2.17	1.27	1.82
V	291	184	155	1297	96	15	164
Zn	48	46	57	44	27	54	47
Co	31	8	24	11	9	5	6
Ni	68	25	103	101	40	25	109
Th	13.7	7.5	50	21	9.8	2.3	11
U	10	22	19	26	40	1.6	17
V/(V+Ni)	0.81	0.88	0.60	0.93	0.71	0.38	0.60
U/Th	0.73	2.92	0.38	1.25	4.07	0.71	1.52
V/Cr	3.06	1.40	1.91	17.77	1.55	0.54	5.29
Ni/Co	2.19	3.13	4.29	9.18	4.44	5.00	18.17
Co/Zn	0.65	0.17	0.42	0.25	0.33	0.09	0.13

注: 数据在西北有色金属研究院利用 ICP-MS 法测定(下标 N 表示球粒陨石标准化, S 表示北美页岩标准化)。

为庙湾组(Om)、屈垌组(Oq)、石板河组(Os)和坵神庙组(Og),笔者所研究的黑色岩系岩性段属于庙湾组。

本项目组对北秦岭造山带大荆地区黑色岩系进行了实测,其中东峪乡白石沟庙湾组,主要由黑灰色灰岩、钙泥质千枚岩、绢云石英千枚岩、灰色片理化砂质板岩、夹石英脉透镜体炭硅质岩、含炭泥硅质岩及炭泥质千枚岩等岩石组成,与寒武系白云质灰岩断层接触(区域上为不整合接触);江山村黑色岩系主要由黑灰色钙质千枚岩、灰色粉砂质千枚岩、黑灰色含炭粉砂质千枚岩、黑色结晶灰岩、泥质千枚岩和炭质千枚岩组成。白石沟黑色岩系岩石层理及千枚理产状均南倾,其中发育有石英脉透镜体显然曾遭受了剪切作用;江山村黑色岩系岩石变形比白石沟程度高,其中揉皱、千枚理、劈理发育,整体产状较陡并向北倾。该区黑色岩系岩石具有挤压剪切的特点,这可能是地层受其南4 km左右铁炉子断裂带活动影响之结果(该断裂带是商丹缝合带北侧洛南-栾川逆冲推覆断层的一段,在造山带形成过程中经历了古生代、中生代长期的逆冲活动(Mattauer et al., 1985; 张国伟等, 1995, 1996);新生代以来,铁炉子断裂转变为左旋走滑活动(Pelzer et al., 1988; Zhang et al., 1995)。

2 稀土元素地球化学特征及探讨

从表1可见,黑色岩系不同类型岩石的稀土元素含量变化较大。其中炭质千枚岩层是稀土元素的富集体,绝大多数稀土元素在该层得到富集,其稀土总含量(ΣREE)在黑色岩系中为最高(达到 399.47×10^{-6});硅化结晶灰岩中稀土元素贫化,稀土总含量(ΣREE)为 39.04×10^{-6} 。轻稀土元素(ΣLREE)和重稀土元素(ΣHREE)在黑色岩系中含量特征与稀土总量特征一致,即在炭质千枚岩中富集,而在结晶灰岩中贫化。除硅化结晶灰岩外,其余黑色岩系稀土总量与我国87个黑色岩系中泥质岩的稀土总量($132 \times 10^{-6} \sim 334 \times 10^{-6}$)相似(范德廉等, 2004),这可能与沉积物中粘土物质对稀土元素的吸附作用有关。

LREE/HREE 值反映了轻、重稀土的分馏程度(研究区 LREE/HREE 值为5.82~15.61),显示轻重稀土分馏程度较高。稀土元素球粒陨石标准模式图(图3)和特征参数值表明,REE模式曲线均向右倾斜,倾斜度较大其 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}} = 3.41 \sim 25.89 > 1$;轻重稀土曲线特征稍有差别,轻稀土模式曲线右倾较陡 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}} = 3.61 \sim 8.7$,重稀土模式曲线相对平缓 $(\text{Tb}/\text{Yb})_{\text{N}} = 0.75 \sim$

1.80;此外各岩石的稀土曲线近于平行,暗示其源区一致。

黑色岩系岩石北美页岩标准化分布模式图(图4)显示,模式曲线没有明显的向左或向右倾斜(其 $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{S}}$ 平均值仅为1.49),整体上呈近水平状分布,轻稀土模式曲线稍有右倾 $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{S}}$ 为1.03~2.48,而重稀土模式曲线则微向右或微向左均有,其 $(\text{Tb}/\text{Yb})_{\text{S}}$ 为0.7~1.69;该标准化图及相关参数具有明显的Eu正异常、微弱的Ce负异常。

该区黑色岩系稀土元素球粒陨石标准化模式图及北美页岩标准化模式图与前人(范德廉等, 2004)对中国若干地质时代黑色岩系岩石的球粒陨石及北美页岩标准化模式图分布基本一致,所不同的是研究区黑色岩系基本上呈Eu正异常而非负异常。显然是非正常海相沉积物的特点。

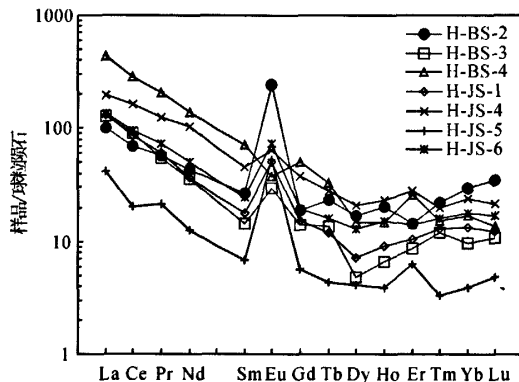


图3 黑色岩系球粒陨石标准化图解(标准化值据 Sun 等, 1989)

Fig. 3 Chondrite-normalized REE-patterns for the Miaowan formation black rock series (modified from Sun et al., 1989)

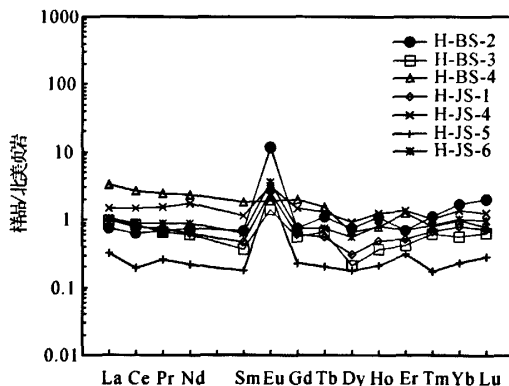


图4 黑色岩系北美页岩标准化图解(标准化值据 Haskin 等, 1968)

Fig. 4 NAAS-normalized rare earth element patterns for the black rock series (modified from Haskin et al., 1968)

δEu 为 Eu 的异常系数, 既可灵敏地反映体系内的地球化学状态, 又是鉴别物质来源和判定构造环境的重要参数。现代高温地热系统(>250℃), 如快速扩张的太平洋脊(Michard et al., 1983; Michard et al., 1986), 慢速扩张的大西洋脊(Campbell et al., 1988), 弧后扩张中心的劳厄盆地(Fouquet et al., 1993), 均为 Eu 正异常。现代热卤水及其沉积物的研究表明(Klinkhammer et al., 1994; Michael et al., 1999; 丁振举等, 2000), 热水及其沉积物稀土元素经球粒陨石标准化后, 以出现正 Eu 异常、不具 Ce 异常及轻稀土相对重稀土富集的地球化学特点而不同于正常海水及其沉积物。但是古热水系统中沉积形成的硅质岩或细碎屑岩具轻稀土相对重稀土富集和 Eu 的正异常之特点, 而 Ce 异常特征很少能够被完整地保存下来(Murray et al., 1991; 吕志成等, 2004)。Eu 异常的产生主要取决于 Eu^{2+} , Eu^{3+} 平衡。在较高温热液蚀变过程中, Eu 相对于其它稀土元素可能发生显著分馏(Sverjensky, 1984)。在温度>250℃时, Eu 以二价态存在, 即使有大量络合作用, 三价 Eu 在温度不断升高条件下也不能稳定存在(别风雷等, 2000)。因此, Eu 以 Eu^{2+} 形式出现会导致热流体 Eu 正异常, 反之则可出现 Eu 负异常。海相沉积物中出现明显的 Eu 正异常一般有两种可能: ①在沉积过程中有富含 Ca 长石类矿物的火山岩碎屑加入, 因为富 Ca 长石多呈明显的 Eu 正异常; ②沉积过程中有较高温和强还原性的热液加入, 其中的 Eu^{2+} 可稳定存在(Sverjensky, 1984)。研究区黑色岩系 7 个样品中 6 个样品的 δEu >1.54-10.61, 而岩石中未发现火山物质, 因此该区黑色岩系形成过程中可能曾有热液参与。U/Th 值能够较好地地区别正常海水沉积与热水沉积, 正常海水沉积的 U/Th<1, 热水沉积的 U/Th>1(Bostrom, 1983), 研究区黑色岩系 U/Th 为 0.38-4.07 显示有正常的海水沉积和热水沉积, 这说明热水活动是波动式的。这些特点与其处于活动大陆边缘古地理环境沉积物无 Eu 亏损一致(赵振华, 1993)。

δCe 为 Ce 的异常系数, 可以反映岩石形成的氧化还原环境、海水的深浅等。Ce 是变价元素, 除呈 Ce^{3+} 外, 在氧化条件下 Ce^{3+} 可变成 Ce^{4+} (刘钦甫等, 1998)。据 Brookins(1984)研究(在 25℃和 1×10^4 Pa 条件下), 在弱碱性或碱性环境中, Ce^{3+} 转变成 Ce^{4+} 的 Eh 范围甚宽。在干燥气候条件下, Ce 的迁移能力低, 导致沉积海盆中 Ce 的亏损, 进而沉积岩中出现 Ce 的负异常(于学元等, 1996)。例如, 最近对东太平洋洋隆之上海水的研究表明, 引起明显负 Ce 异常的

唯一可能原因是 Ce 被氧化成了可以被任何氢氧化物吸附的难溶的+4 价离子(Meller, 1994)。氧化环境中 Ce^{4+} 不易溶于海水, 因此 Ce 在海水中亏损呈现负异常, 而在沉积物中富集呈现正异常或无明显负异常; 当缺氧环境降临时, Ce 活化并以+3 价状态释放到水体中, 导致 Ce 在海水中富集呈现正异常, 而在同期沉积物中则发生亏损呈现负异常(De Barr, 1985; Wilde, 1996)。北美和西欧寒武纪至三叠纪的磷灰质化石中, Ce 异常曲线的正向峰值与间冰期全球海侵事件相对应(Wright, 1984)。Ce 异常与海平面升降的依赖关系说明水深控制了底层水体的氧化还原程度和 Ce 的亏损程度: 海平面上升, 底层水体溶解氧浓度降低, 沉积物的 Ce 异常值趋小; 海平面下降, 底层水体溶解氧浓度升高, 沉积物的 Ce 异常值趋大(Wilde, 1996)。研究区黑色岩系岩石的 δCe 值为 0.65-1.02(平均为 0.893), 异常不明显可能与古热水沉积 Ce 的异常特征很难被保留下来有关(Murray et al., 1991; 吕志成等, 2004), 但整体上显示微弱的负异常依然暗示, 该区黑色岩系沉积时正处于一种比较干燥、缺氧的封闭环境。白顺良(Bai et al., 1994)通过对华南泥盆纪缺氧沉积的稀土元素地球化学特征研究指出: 当 $w(\text{Ce})/w(\text{La}) < 1.5$ 时为富氧环境, $w(\text{Ce})/w(\text{La}) = 1.5 \sim 1.8$ 时为贫氧环境, $w(\text{Ce})/w(\text{La}) > 2.0$ 时为厌氧环境。(Hatch et al., 1992)对北美堪萨斯州上宾西法尼亚系黑色页岩的研究表明, $w(\text{V})/w(\text{V}+\text{Ni})$ 值能有效反映环境氧化还原条件: 高的 $w(\text{V})/w(\text{V}+\text{Ni})$ 值(0.84-0.89)反映水体分层, 底层水体中出现 H_2S 的厌氧环境, 中等值(0.54-0.82)为水体分层不强烈的厌氧环境, 低值时(0.46-0.60)为水体分层弱的贫氧环境。北秦岭黑色岩系 $w(\text{Ce})/w(\text{La})$ 值为 1.27-2.17(平均为 1.75)以及 $w(\text{V})/w(\text{V}+\text{Ni})$ 值为 0.38-0.93(平均值为 0.7), 证明该黑色岩系整体上形成于一种贫氧而较还原的环境, 其间水体深度有一定的变化导致还原性时而相对强, 时而相对弱。

将大荆地区样品结果投入 La/Yb-Ce/La(图 5)和 La/Yb-REE(图 6)图解中, 发现样品多落于沉积岩区和玄武岩区, 显示样品为正常海相沉积并有热水作用参与的特点, 热水成因与岩浆有关。

3 结论

(1) 北秦岭造山带大荆地区黑色岩系庙湾组(Om), 主要由黑灰色灰岩、钙泥质千枚岩、灰色片理化变砂岩、炭泥质灰岩、含炭泥硅质灰岩及炭泥质岩石组成。

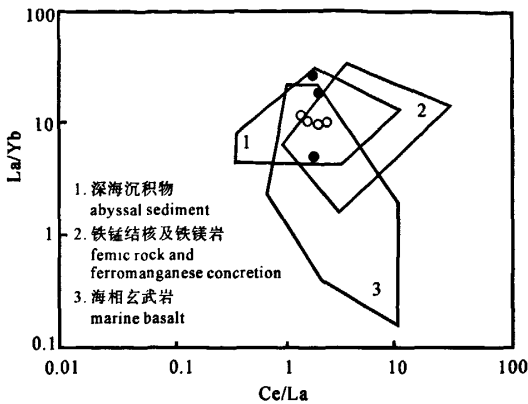


图5 庙湾组黑色岩系 La/Yb-Ce/La 图解
(据 Kunzendorf 等, 1988)

Fig.5 La/Yb-Ce/La diagram for the Miao wan formation black rock series (modified from Kunzendorf et al., 1988)

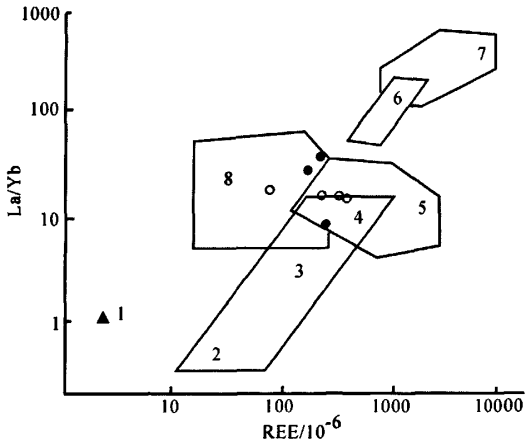


图6 黑色岩系 La/Yb-REE 图解(据 Allegre 等, 1978)

Fig.6 La/Yb-REE diagram for the Miao wan formation black rock series (modified from Allegre et al., 1978)

1. 球粒陨石 chondrite; 2. 大洋拉斑玄武岩 oceanic tholeiite;
3. 大陆拉斑玄武岩 continental tholeiite; 4. 碱性玄武岩 alkali basalt; 5. 花岗岩 granite; 6. 金伯利岩 kimberlite;
7. 碳酸盐岩 carbonate rock; 8. 沉积岩 sedimentary rock

(2) 北秦岭区庙湾组黑色岩系不同岩石的稀土元素含量变化较大, 在炭质千枚岩中含量最高(达 399.47×10^{-6}) 在结晶灰岩中含量最低(为 39.04×10^{-6}), 稀土元素的高低可能与岩石中炭的含量有关。

(3) 黑色岩系 REE 球粒陨石标准化模式曲线及北美页岩标准化模式曲线各自相互平行, 表明源区一致。球粒陨石标准化模式曲线向右倾斜, 显示轻稀土相对重稀土富集(LREE/HREE 值为 5.82~15.61, $La_N/Yb_N=3.41\sim25.89>1$), 轻稀土分布模式曲线右

倾较陡($La_N/Sm_N=3.61\sim8.7$), 而重稀土分布模式曲线相对平缓($Tb_N/Yb_N=0.75\sim1.8$); 黑色岩系的北美页岩标准化图解呈近水平状(其 La_8/Yb_8 平均值仅为 1.49)。

(4) 黑色岩系 Eu 异常 $\delta Eu=0.63\sim10.61$ (绝大多数大于 1.54>1)呈正异常, δCe 值为 0.65~1.02(平均为 0.893)为微弱负异常; U/Th 值为 0.38~4.07, $w(V)/w(V+Ni)$ 值为 0.38~0.93 以及 $w(Ce)/w(La)$ 值为 1.27~2.17。

(5) La/Yb-Ce/La 图解以及 La/Yb-REE 图解也表明北秦岭庙湾组黑色岩系形成于有热液参与的海相沉积环境。

从该区稀土元素及其它相关元素地球化学特征综合分析, 该区黑色岩系形成于一种较干燥的缺氧环境, 在形成黑色岩系的过程中有热水作用参与。前人研究表明, 秦岭造山带板块拼接的主结合带是商丹带, 以此为界将秦岭造山带分为北秦岭和南秦岭, 分别归属于华北陆块和扬子陆块(董云鹏等, 2003)。秦岭地区俯冲造山作用以扬子板块向北俯冲, 俯冲的时代主要发生在奥陶-志留纪(于在平等, 2003), 由于该俯冲作用的发生导致南秦岭作为扬子被动大陆边缘发展, 而北秦岭则作为华北板块的活动大陆边缘演化, 发育岛弧及弧后盆地。正是在这种挤压拉张兼有的复杂地质背景之下, 使北秦岭区奥陶纪-早志留世处于一种海水深度有变化的较深浅海或陆棚海相沉积环境, 期间气候干燥、热液活动, 共同造就了北秦岭区黑色岩系这样的稀土地球化学特征。

致谢: 本文工作得到高菊生、李建斌、任涛、樊忠平、郑炜、谭文娟等同志的大力支持, 审稿人以及责任编辑给本文提出了宝贵的修改建议, 在此一并谢过!

参考文献:

- 鲍正襄, 万榕江, 包觉敏. 2002. 上扬子台区下寒武统黑色岩系中的钒矿床[J]. 云南地质, 21(2): 175-182.
- 别风雷, 李胜荣, 孙岱生, 侯增谦, 苏文超, 英基丰. 2000. 川西岷村黑矿型多金属矿床热液体系稀土元素组成特征[J]. 矿物学报, 20(3): 233-241.
- 陈华勇, 张增杰. 2001. 湘西北黑色岩系中矿产资源的综合利用[J]. 地质与勘探, 37(3): 32-35.
- 陈永清, 夏庆霖, 刘红光. 2003. 黑色页岩建造中的贵金属矿产评价研究[J]. 地球物理学进展, 18(2): 261-268.

- 丁振举, 刘从强, 姚书振, 周宗桂. 2000. 海底热液系统高温流体的稀土元素组成及其控制因素[J]. 地球科学进展, 15(3): 307-312.
- 董云鹏, 张国伟, 赵霞, 姚安平. 2003. 北秦岭元古代构造格架与演化[J]. 大地构造与成矿学, 27(2): 115-124.
- 范德康, 杨秀珍, 王连芳, 陈南生. 1973. 某地下寒武统含镍钼多元素黑色岩系的岩石学及地球化学特点[J]. 地球化学, 3: 143-164.
- 范德康, 张焱, 叶杰. 2004. 中国的黑色岩系及其有关矿床[M]. 北京: 科学出版社, 1-48.
- 江永宏, 李胜荣. 2005. 湘、黔地区前寒武-寒武纪过渡时期硅质岩生成环境研究[J]. 地学前缘, 12(4): 622-629.
- 雷加锦, 李任伟, 濮英英, 方家虎. 2000. 扬子地台南缘早寒武世黑色岩系中形态硫特征及成因意义[J]. 中国科学(D 辑), 30(6): 592-601.
- 李胜荣, 高振敏. 2000. 湘黔寒武系底部黑色岩系贵金属元素来源示踪[J]. 中国科学(D 辑), 30(2): 169-174.
- 刘钦甫, 杨晓杰, 丁述理. 1998. 华北晚古生代煤系高岭岩微量元素和稀土元素地球化学研究[J]. 地球化学, 27(2): 196-203.
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 33(5): 459-464.
- 罗泰义, 宁兴贤, 罗远良, 李晓彪, 凌荣祥, 姚林波. 2005. 贵州遵义早寒武黑色岩系底部 Se 的超常富集[J]. 矿物学报, 25(3): 275-282.
- 吕惠进, 王建. 2005. 浙西寒武系底部黑色岩系含矿性和有用组分的赋存状态[J]. 矿床地质, 24(5): 567-675.
- 吕志成, 刘从强, 刘家军, 吴丰昌. 2004. 北大巴山下寒武统重石矿床赋矿硅质岩地球化学研究[J]. 地质学报, 78(3): 390-406.
- 潘家永, 马东升, 曹双林, 夏菲, 陈少华, 吴凯. 2005. 华南 Pc-C 过度期深水相剖面的碳、氧同位素记录[J]. 地球学报, 26(9): 182-185.
- 王敏, 孙晓明, 马名扬. 2004. 黔西新华大型磷矿磷块岩稀土元素地球化学及其成因意义[J]. 矿床地质, 24(3): 484-493.
- 吴朝东, 陈其英. 1999. 湘西磷块岩的岩石地球化学特征及成因[J]. 地质科学, 34(2): 213-222.
- 吴朝东, 杨承运, 陈其英. 1999. 湘西黑色岩系地球化学特征及成因意义[J]. 岩石矿物学杂志, 18(1): 26-39.
- 肖启云, 李胜荣, 蔡克勤. 2006. 湘黔下寒武统黑色岩系不同矿物组合中的钼族元素特征[J]. 中国地质, 33(5): 179-187.
- 杨剑, 易发成, 侯兰杰. 2004. 黔北黑色岩系的岩石地球化学特征和成因[J]. 矿物学报, 24(3): 285-290.
- 杨剑, 易发成, 刘涛, 李虎杰. 2005. 黔北黑色岩系稀土元素地球化学特征及成因意义[J]. 地质科学, 40(1): 84-94.
- 杨瑞东, 朱立军, 高慧, 张位华, 姜立君, 王强, 鲍森. 2005. 贵州遵义松林寒武系底部热液喷口及与喷口相关生物群特征[J]. 地质论评, 51(5): 481-493.
- 杨晓平, 邓起东, 冯希杰. 2005. 东秦岭内部铁炉子断裂带的新走滑活动[J]. 中国地震, 21(2): 172-183.
- 叶杰, 范德康. 2000. 黑色岩系型矿床的形成作用及其在我国的产出特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 19(2): 95-102.
- 易发成, 杨剑, 侯兰杰. 2004. 黔北黑色岩系的钼族元素地球化学特征及成因探讨[J]. 地质科学, 39(3): 367-374.
- 于学元, 郑作平, 牛贺才, 郭健. 1996. 八卦庙大型金矿床稀土元素地球化学研究[J]. 地球化学, 25(2): 140-149.
- 于在平, 崔海峰. 2003. 造山运动与秦岭造山[J]. 西北大学学报(自然科学版), 33(1): 65-69.
- 张德全, 余宏全, 徐文艺, 董英君. 2002. 骆驼沟喷气沉积型钴(金)矿床成矿地质背景及矿床成因的地球化学限制. 地球学报, 23(6): 527-534.
- 张光弟, 李九玲, 熊群尧, 齐锋, 曾明果. 2002. 贵州遵义黑色页岩钼族金属富集特点及富集模式[J]. 矿床地质, 21(4): 377-386.
- 张光弟, 毛景文, 熊群尧. 2001. 中国钼族金属资源现状与前景[J]. 地球学报, 22(2): 107-110.
- 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 1995. 秦岭造山带的结构构造[J]. 中国科学(B 辑), 25(9): 994-1003.
- 张国伟, 孟庆任, 于在平, 孙勇, 周鼎武, 郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D 辑), 26(3): 193-200.
- 张位华, 姜立君, 高慧, 杨瑞东. 2003. 贵州寒武系底部黑色硅质岩成因及沉积环境探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 22(2): 174-178.
- 赵百胜, 刘家军, 王建平, 翟裕生, 彭润民, 王守光, 沈存利. 2007. 白云鄂博群黑色岩系微量元素地球化学特征及地质意义[J]. 现代地质, 21(1): 87-94.
- 赵振华. 1993. 锆地球化学特征的控制因素[J]. 南京大学学报(地球科学版), 5: 271-280.

References:

- ALLEGRE C J, MINSTER J F. 1978. Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 38(1): 1-25.
- BAI Shun-liang, BAI Zhi-qiang, MA Xue-ping, WANG Da-rui, SUN Yuan-lin. 1994. Devonian Events and Biostratigraphy of South China, Chap ter 3: Ce /La Ratio as Marker of Palaeoredox[M]. Beijing: Peking University Press, 21-24.
- BAO Zheng-xiang, WAN Rong-jiang, BAO Jue-min. 2002. Vanadium deposits of black shale in Upper Yangtze Platform[J]. Yunnan Geology, 21(2): 175-182 (in Chinese with English abstract).

- BIE Feng-lei, LI Sheng-rong, SUN Dai-sheng, HOU Zeng-qian, SU Wen-chao, YING Ji-feng. 2000. Compositional characteristics of rare earth elements in the paleogeothermal system of the Gacun "Kuroko" polymetallic deposit, western Sichuan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 20(3): 233-241 (in Chinese with English abstract).
- BOSTROM K. 1983. Genesis of Ferromanganese deposits diagnostic criteria for recent and old deposits//Rona P A, Bostrom K, Laubier L, Smith K L. *Hydro thermal Processes at Seafloor Spreading Centers*[M]. New York: Plenum Press, 473-489.
- BROOKINS A H. 1984. Eh-Ph diagram for REE[J]. *Geochem.*, 45: 70-80.
- CAMPBELL A C, PALMER M R, KLINKHAMMER G P. 1988. Chemistry of hot spring on the Mid-Atlantic Ridge[J]. *Nature*, 335: 514-519.
- CHEN Hua-yong, ZHANG Zeng-jie. 2001. The multipurpose use of mineral resource of black shale in the northwest Hunan[J]. *Geology and Prospecting*, 37(3): 32-35 (in Chinese with English abstract).
- CHEN Yong-qing, XIA Qing-lin, LIU Hong-guang. 2003. Study on assessment of precious metals resources associated with black shales[J]. *Progress in Geophysics*, 18(2): 261-268 (in Chinese with English abstract).
- DEBAAR H J W, BACON M P, BREWER P G. 1985. Rare earth elements in the Pacific and Atlantic oceans[J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 49: 1943-1959.
- DING Zhen-ju, LIU Cong-qiang, YAO Shu-zhen, ZHOU Zong-gui. 2000. Rare Earth Elements Compositions of High-Temperature Hydrothermal Fluids in sea Floor and Control Factors[J]. *Advance in Earth Sciences*, 15(3): 307-312 (in Chinese with English abstract).
- DONG Yun-peng, ZHANG Guo-wei, ZHAO Xia, YAO An-ping. 2003. The Proterozoic Tectonic Framework and Evolution of the North Qinling Orogen, Central China[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(2): 115-124 (in Chinese with English abstract).
- FAN De-lian, YANG Xiu-zhen, WANG Lian-fang, CHEN Nan-sheng. 1973. Petrological and geochemical characteristics of a Ni-Mo multi-element-bearing Lower Cambrian black shale from a certain district[J]. *Geochimica*, 3: 143-163 (in Chinese with English abstract).
- FAN De-lian, ZHANG Tao, YE Jie. 2004. Chinese black rock series and relevant ore deposits[M]. Beijing: Science Publishing House, 1-48 (in Chinese with English abstract).
- FOUQUET Y, STACKELBERG U, CHARLOU J. 1993. Metallogenesis in back-arc environments: The Lau Basin example[J]. *Econ. Geol.*, 88: 2154-2181.
- JIANG Yong-hong, LI Sheng-rong. 2005. A study of the fluid environment of silicalite of transitional Precambrian-Cambrian age in Hunan and Guizhou provinces[J]. *Earth Science Frontiers*, 12(4): 622-629 (in Chinese with English abstract).
- HATCH J R, LEVENTHAL J S. 1992. Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Up-per Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone[J]. *Wabaunsee County, Kansas, USA. Chemical Geology*, 99: 65-82.
- HASKIN L A, HASKIN M A, FREY F A. 1968. Relative and absolute terrestrial abundances of the rare earth elements. In: Ahrens L H, ed. *Origin and distribution of elements*[J]. Oxford: Pergamon, 889-910.
- KUNZENDORF H, STOFFERS P, GWOZDZ R. 1988. Regional variations of REE patterns in sediments from active plate boundaries[J]. *Marine Geology*, 84(3-4): 191-199.
- KLINKHAMMER G P, ELDERFIELD H, MEDMOND J. 1994. Geochemical implications of rare earth element patterns in hydrothermal fluids from mid-ocean ridges[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(23): 5105-5113.
- LEI Jia-jin, LI Ren-wei, PU Ying-ying, FANG Jia-hu. 2000. The origin and sulphur characteristics of Early Cambrian black-shales on the south fringe of Yangtze platform[J]. *Science in China (Series D)*, 30(6): 592-601 (in Chinese with English abstract).
- LI Sheng-rong, GAO Zhen-min. 2000. Source tracing of noble metal elements in black shales of the Cambrian bottom in Hu-nan and Guizhou provinces[J]. *Science in China (Series D)*, 30(2): 169-174 (in Chinese with English abstract).
- LIU Qin-fu, YANG Xiao-jie, DING Shu-li. 1998. Geochemistry of trace elements and REE on kaolinite rocks in Late Palaeozoic coal measures, north China[J]. *Geochimica*, 27(2): 196-203 (in Chinese with English abstract).
- LU Yuan-fa. 2004. Geokit—A geochemical toolkit for Microsoft Excel[J]. *Geochimica*, 33(5): 459-464 (in Chinese with English abstract).
- LUO Tai-yi, NING Xing-xian, LUO Yuan-liang, LI Xiao-biao, LING Rong-xiang, Yao Lin-bo. 2005. Super-Enrichment of Se in the Bottom Black Shales Lower Cambrian at Zunyi, Guizhou Province, China[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 25(3): 275-282 (in Chinese with English abstract).
- LV Hui-jin, WANG Jian. 2005. Ore potential and modes of occurrence of associated elements in lower Cambrian black shale of Western Zhejiang[J]. *Mineral Deposits*, 24(5): 567-675.
- LV Zhi-cheng, LIU Cong-qiang, LIU Jia-jun, WU Feng-chang.

2004. Geochemical Studies on the Lower Cambrian Witherite-bearing Cherts in the Northern Daba Mountains[J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(3): 390-406 (in Chinese with English abstract).
- MATTAUER M, MATTAE P H, MALAVIERLLE. 1985. Tectonics of the Qinling belt: build-up and evolution of eastern Asia[J]. *Nature*, 317(10): 496-500.
- MICHARD A, ALBAREDE F. 1986. The REE content of some hydrothermal fluids[J]. *Chem. Geol.*, 55: 51-60.
- MICHARD A, ALBAREDE F, MICHARD F. 1983. Rare earth elements and uranium in high-temperature solutions from East Pacific Rise hydrothermal vent field [J]. *Nature*, 303: 795-797.
- MÉLLER P, DULSKI P, BAU M. 1994. Rare-earth elements adsorption in a seawater profile above the east Pacific rise[J]. *Chem. Erde*, 54: 129-149.
- MICHAEL B, PETER D. 1999. Comparing yttrium and rare earths in hydro- thermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge; implications for Y and REE behavior during near-vent mixing and for the Y/Ho ratio of Proterozoic seawater[J]. *Chemical Geology*, 155: 77-90.
- MURRAY R W, BUCHHOLTZ T B, GERLACH D C. 1991. Rare earth, major, and trace elements in chert from Franciscan Complex and Monterey Group: Assessing REE sources to fine grained marine sediments[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55: 1875-1895.
- PAN Jia-yong, MA Dong-sheng, CAO Shuang-lin, XIA Fei, CHEN Shao-hua, WU Kai. 2005. Carbon and oxygen isotopic records from the deep-water facies sections of the Precambrian-Cambrian transitional period[J]. *Acta geoscientia sinica*, 26(9): 182-185.
- PELZER G, TAPPONNER P, ZHANG Zhitao. 1988. Formation and evolution of strike-slip faults, rifts and basins during India-Asia collision: An experiment approach[J]. *J. Geophys. Res.*, 93: 15085-15117.
- SUN S S, MCDONOUGH W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. eds. *Magmatism in the ocean Basins*[J]. Special Publication. Geological Society of London, 42: 313-345.
- SVERJENSKY D A. 1984. Europium redox equilibria in aqueous solution[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 67: 70-78.
- WANG Min, SUN Xiao-ming, MA Ming-yang. 2004. Rare Earth Elements Geochemistry and Genesis of Xinhua Large-size Phosphorite Deposit in Western Guizhou[J]. *Mineral Deposits*, 24(3): 484-493 (in Chinese with English abstract).
- WILDE P, QUINBYHUNT M S, ERDTMANN B D. 1996. The whole-rock cerium anomaly: a potential indicator of eustatic sea-level changes in shales of anoxic facies[J]. *Sedimentary Geology*, 101: 43-53.
- WRIGHT J, SEYMOUR R S, SHAW H. 1984. REE and Nd isotopes in conodont apatite: Variations with geological age and depositional environment[J]. *Geol Soc Amer Spec Pap*, 196: 325-340.
- WU Chao-dong, CHEN Qi-ying. 1999. The Genesis and Geochemistry Characteristics of Phosphates of Upper Sinian-Lower Cambrian, West Hunan[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 34(2): 213-222 (in Chinese with English abstract).
- WU Chao-dong, YANG Cheng-yun, CHEN Qi-ying. 1999. The origin and geochemical characteristics of Upper Sinian-Lower Cambrian black shales in western Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(1): 26-39 (in Chinese with English abstract).
- XIAO Qi-yun, LI Shen-rong, CAI Ke-qin. 2006. Features of platinum-group elements in different mineral assemblages in the Lower Cambrian black rock series in Hunan and Guizhou[J]. *Geology in China*, 33(5): 179-187 (in Chinese with English abstract).
- YANG Jian, YI Fa-chang, HOU Lan-jie. 2004. Genesis and Petrogenchemistry Characteristics of Lower Cambrian Black Shale Series in Northern Guizhou[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 24(3): 285-290 (in Chinese with English abstract).
- YANG Jian, YI Fa-chang, LIU Tao, LI Hu-jie. 2005. REE Geochemical Characters of the Lower Cambrian Black Shale Series in Northern Guizhou and Their Original Significance[J]. *Chinese Journal of Geology*, 40(1): 84-94 (in Chinese with English abstract).
- YANG Rui-dong, ZHU Li-jun, GAO Hui, ZHANG Wei-hua, JIANG Li-jun, WANG Qiang, BAO Miao. 2005. A Study on Characteristics of the Hydrothermal Vent and Relating Biota at the Cambrian Bottom in Songlin, Zunyi County, Guizhou Province[J]. *Geological Review*, 51(5): 481-493 (in Chinese with English abstract).
- YANG Xiao-ping, DEN Qi-dong, FENG Xi-jie. 2005. The Tieluzi Fault Interior Eastern-Qinling Mountains—An Active Strike-slip Fault[J]. *Earthquake Research in China*, 21(2): 172-183 (in Chinese with English abstract).
- YE Jie, FAN De-lian. 2000. Characteristics and mineralization of ore deposits related to black shale series[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 19(2): 95-102 (in Chinese with English abstract).
- YI Fa-cheng, YANG Jian, HOU Lan-jie, WANG Jian-zhong. 2004. Origin and geochemistry of platinum group elements of Lower

- Cambrian black shale series in northern Guizhou[J]. Chinese Jour. Geol., 39(3): 367-374 (in Chinese with English abstract).
- YU Xue-yuan, ZHENG Zuo-ping, NIU He-cai, GUO Jian. 1996. REE geochemistry of Baguamiao gold deposit[J]. Geochimica, 25(2): 140-149 (in Chinese with English abstract).
- YU Zai-ping, CUI Hai-feng. 2003. Orogeny and orogenic types and process of the Qinling Mountains[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 33(1): 65-69 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG De-quan, SHE Hong-quan, XU Wen-yi, DONG Ying-jun. 2002. Geochemical Constraint on the Metallogenetical Geological Background and Genesis of Tuolugou Sedimentary-Exhalative Cobalt-Gold Deposit[J]. Acta Geoscientia Sinica, 23(6): 527-534.
- ZHANG Guang-di, LI Jiu-ling, XIONG Qun-yao, QI Feng, ZENG Ming-guo. 2002. Enrichment features and patterns of PGE metals in black shale from Zunyi area, Guizhou province[J]. Mineral Deposits, 21(4): 377-386 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Guang-di, MAO Jing-wen, XIONG Qun-yao. 2001. The Present Situation and Prospects of Platinum Metals Resources in China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 22(2): 107-110.
- ZHANG Guo-wei, MEN Qing-ren, LAI Shao-cong. 1995. The Structures and Tectonics of the Qinling Orogenic Belt[J]. Science in China (Ser. B), 25(9): 994-1003 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Guo-wei, MENG Qing-ren, YU Zai-ping, SUN Yong, ZHOU Ding-wu, GUO An-lin. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling Orogen[J]. Science in China (Ser. D), 26(3): 193-200 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wei-hua, JIANG Li-jun, GAO Hui, YANG Rui-dong. 2003. Study on Sedimentary Environment and Origin of Black Siliceous Rocks of the Lower Cambrian in Guizhou Province[J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 22(2): 174-178 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yue-qiao, VERGELY P, MERCIER J. 1995. Active faulting in and along the Qinling Range (China) inferred from SPOT imagery analysis and extrusion tectonics of south China[J]. Tectonophysics, 243(1-2): 69-95 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Bai-sheng, LIU Jia-jun, WANG Jian-ping, ZHAI Yu-sheng, PENG Run-min, WANG Shou-guang, SHEN Cun-li. 2007. Trace Elements Geochemistry of the Black Rock Series from Bayan Obo Group and Their Geological Implications[J]. Geoscience, 21(1): 87-94 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zhen-hua. 1993. Control factors of Eu geochemical characteristics[J]. Journal of Nanjing University (Earth Science Ed.), 5: 271-280 (in Chinese with English abstract).

罗布泊盐湖第一个地质科学深钻开钻

2009年岁末,罗布泊盐湖首个地质科学深钻正式开钻,标志着罗布泊盐湖找钾第二次创业正式拉开帷幕。这对深化认识罗布泊的形成演化具有重要的科学意义。至2010年3月3日,已获得钻井进尺487m,预计2010年6月份内可以完工。

罗布泊找钾第一次创业始于1995年,查明其资源量只能满足300万吨产能规模30年需要,后备资源勘查的重要性已凸现出来。因此,中国地质科学院矿产资源研究所钾盐专家建议,开展罗布泊找钾二次创业,开辟第二找矿空间。

科学家提出了罗布泊深部找钾的科学依据:一、沉积年代对比,目前罗北凹地已揭示的钾盐矿层年代都不超过25万年,而与之山一山之隔的柴达木盆地中西部,自上新世以来就已出现盐湖沉积,一些盐湖在早-中更新世时期还沉积了薄层固体钾盐,因此,罗布泊在早更新世或更早时期可能已出现盐湖环境。二、柴达木盆地西部第三系碎屑岩中赋存有富钾卤水,推测罗布泊第三系地层也可能蕴藏有富钾卤水。三、柴达木盆地在100万~180万年之间,出现一个极端干旱气候期,据此,罗布泊也应出现过有利于盐湖环境发育的气候环境。四、在罗布泊干盐湖区发现很多深部卤水补给盐湖的通道等重要证据。五、连续电导率成像技术揭示罗布泊盐湖深部地层1000m处可能还有卤水分布,重力测量表明,罗布泊盐湖第四系底界埋深达1000余m。六、罗布泊出现系列地堑凹地,沉降作用一直持续进行,最深沉降区位于北部地带。

本次钻探目标是:探测罗布泊盐湖深部200m~1000m是否存在富钾卤水与富钾卤水赋存状态;研究查清罗布泊盐湖第四纪沉积环境演化历史及成钾规律;研究钾盐富集机理与后备资源量评价预测;提出下一步深部卤水勘查方案与开发建议。

罗布泊是世界最大干盐湖之一,目前,还没有一个穿透第四系的地质科学钻探。科钻1井的实施,对深化认识罗布泊的形成演化具有重要的科学意义。

罗布泊盐湖钾盐科钻1井研究项目由中国地质科学院矿产资源研究所承担,国投罗布泊钾盐公司出资,新疆第二水文地质大队施实钻井工程,吐哈油田测井公司完成钻孔测井。