

# 湘黔下寒武统黑色岩系不同矿物组合中的 铂族元素特征

肖启云<sup>1,2</sup> 李胜荣<sup>1</sup> 蔡克勤<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 中国地质大学岩石圈构造深部过程及探测技术教育部  
重点实验室 北京 100083; 2. 北京城市学院, 北京 100083)

**摘要:** 贵州遵义和湖南张家界黑色岩系中的矿物组合非常复杂, 用 X 射线衍射仪分析并结合前人的研究成果, 显示其中的硫化物矿物、粘土矿物和有机质含量较高; 经破碎和分选流程对样品进行处理后, 用 ICP-MS 方法测定了黑色页岩和分选后样品中的铂族元素含量, 对贵州遵义和湖南张家界黑色岩系中的铂族元素赋存特征进行研究, 结果表明: 贵州遵义和湖南张家界的黑色页岩系中赋存高含量的铂族元素, 且含量表现较高的稳定性; 低温氧化条件下, 铂族元素的化学活动性足以使之以相当规模活化、迁移并在还原条件下沉淀富集; 经强风化淋滤作用, 富含碳硫钼矿黑色页岩中铂族各元素含量都有不同程度的降低; 绝大部分的铂族元素富集于黑色页岩的有机质和黄铁矿中; 铂族元素的分布模式具规律性, 铂族元素的明显分异说明此黑色页岩的分布模式不具有地外物质的特征。

**关 键 词:** 铂族元素; 黑色岩系; 矿物组合; 富集; 贵州; 湖南

**中图分类号:** P595 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)05-1083-09

黑色岩系在空间上广泛分布于五大洲, 时间上从元古宙到显生宙均有产出<sup>[1]</sup>。中国不同地质时期的黑色岩系广泛分布于湖南、贵州、四川、云南、湖北、广西、广东、江西、浙江、安徽、陕西、福建、江苏等省区, 近年来在河南、宁夏、山西、甘肃、新疆亦有发现, 这些黑色岩系中尤以下寒武统分布最广, 研究程度也相对最高。黑色岩系中的铂族元素资源潜力巨大<sup>[2]</sup>, 前人也对其作了比较深入的研究<sup>[3-9]</sup>, 但由于铂族元素在岩石中的含量相对较低, 只有  $10^{-9}$  至  $10^{-6}$  数量级, 造成对铂族元素在黑色岩系不同矿物相中分布特征的研究还很薄弱, 笔者通过对湘黔下寒武统黑色岩系铂族元素地球化学研究来探讨铂族元素在黑色岩系不同矿物相中的特征。

## 1 采样区地质概况

在贵州遵义西 20~25 km 处的黄家湾矿区, 位于贵州北部由下寒武统形成翼部的松林穹隆构造西南翼, 区域上属上扬子准地块, 黔中隆起东北侧的娄山褶皱带。在穹隆构造范围内主要出露地层有上震旦统灯影组白云岩 ( $Z_2dn$ ) 和下寒武统 ( $\epsilon_1$ ) 炭泥质碎屑沉积岩系。下寒武统牛蹄塘组 ( $\epsilon_{1n}$ ) 底部即为含镍、钼、钒、铀、磷的炭泥质含矿岩系, 为典型的还原

环境海相沉积物。矿区所处的穹状背斜南西翼地质构造简单, 为一向南缓倾的单斜构造, 地层倾角  $15\sim 18^\circ$ , 次级褶皱不发育, 区内无其他更显著的控矿或严重破坏矿层的大型断裂, 本文采样点优先选在黄家湾矿区北部的中南村 (图 1)。

在湖南, 多元素矿带从慈利大浒经迪园至张家界天门山地区。区域出露地层包括元古界板溪群, 新元古界的震旦系, 下古生界寒武系、奥陶统和志留统, 新生界的第四系, 其中新元古界分布最广。区域构造为一北东向的复式背斜, 轴部地层为元古界板溪群海相变质碎屑岩, 由于该区武陵山海底隆起及沅陵凹陷形成特定的古地理环境, 为镍、钼、钒、磷、金、银、铂族元素等有用元素的聚集提供了成矿地质条件。本文引用前人数据的采样点位于图 2 所示的天门山—黄洞复式向斜, 后坪、川岩坪、柑子坪、汪家寨镍钼矿床位于向斜的北翼, 大坪、晓坪、三岔镍钼矿床和郎溪钒矿床位于向斜的南翼。

## 2 样品特征、分选与测试

### 2.1 样品特征

在采取的样品中选取了 7 件进行研究, 包括贵州中南村富黄铁矿黑色页岩样 2 件 (ZN02、ZN03)、富含碳硫钼矿<sup>[10]</sup>黑

收稿日期: 2006-03-10; 改回日期: 2006-05-28

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40073012) 资助。

作者简介: 肖启云, 女, 1975 年生, 博士生, 讲师, 主要从事成因矿物学和宝石学的研究和教学工作; E-mail: xiaoqiyan@bcu.edu.cn。

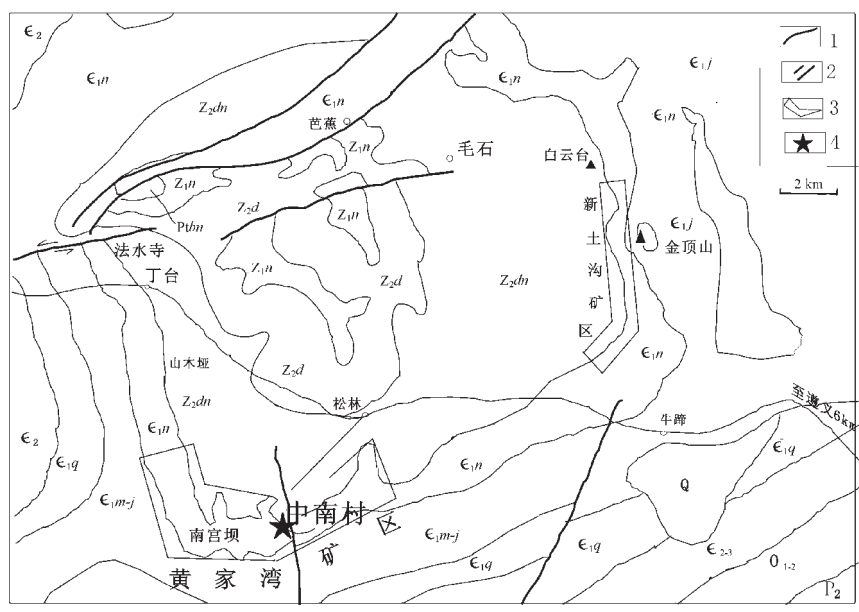


图1 贵州遵义多元素矿床区域地质略图(据曾明果<sup>[9]</sup>,1998,略有修改)

Q—第四系;P<sub>2</sub>—上二叠统;O<sub>1-2</sub>—中、下奥陶统;ε<sub>2</sub>—中寒武统;ε<sub>1q</sub>—下寒武统清虚洞组;ε<sub>1m-j</sub>—下寒武统明心寺组金顶山组并层;ε<sub>1j</sub>—下寒武统金顶山组;ε<sub>1m</sub>—明心寺组;ε<sub>1n</sub>—下寒武统牛蹄塘组;Z<sub>2dn</sub>—震旦系灯影组;Z<sub>2d</sub>—震旦系陡山沱组;Z<sub>1n</sub>—震旦系南沱组;P<sub>tbn</sub>—下元古界板溪群;1—地层界线;2—断层;3—Ni、Mo 矿区;4—采样点

Fig.1 Geological sketch map showing location of polymetallic deposits in Zunyi, Guizhou (modified from Zeng Mingguo, 1998<sup>[12]</sup>)

Q—Quaternary;P<sub>2</sub>—Upper Permian;O<sub>1-2</sub>—Middle-Lower Ordovician;ε<sub>2</sub>—Middle Cambrian;ε<sub>1q</sub>— Lower Cambrian Qingxudong Formation;ε<sub>1m-j</sub>—Lower Cambrian Mingxinshi-Jindingshan incorporated Formation;ε<sub>1j</sub>—Lower Cambrian Jindingshan Formation;ε<sub>1m</sub>—Lower Cambrian Mingxinsi Formation;ε<sub>1n</sub>—Lower Cambrian Niutitang Formation;Z<sub>2dn</sub>—Sinian Dengying Formation;Z<sub>2d</sub>—Sinian Doushantuo Formation;Z<sub>1n</sub>—Sinian Nantuo Formation;P<sub>tbn</sub>—Paleoproterozoic Banxi Group;1—Stratigraphic boundary;2—Fault;3—Ni-Mo deposit;4—Sampling site

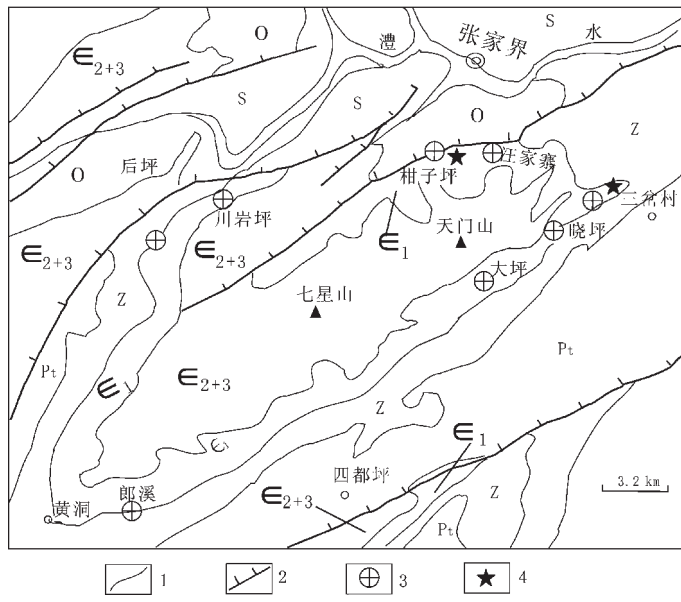


图2 湖南张家界天门山地区多元素矿床区域地质略图(据梁有彬等<sup>[12]</sup>,1995,略有修改)

S—志留系;O—奥陶系;ε<sub>1</sub>—下寒武统;ε<sub>2-3</sub>—中上寒武统;Z—震旦系;Pt—板溪群;  
1—地质界线;2—断层;3—矿床;4—采样点

Fig.2 Geological sketch map showing location of polymetallic deposits in Zhangjiajie, Hunan (modified from Liang Youbing et al., 1995<sup>[12]</sup>)

S—Silurian;O—Ordovician;ε<sub>1</sub>—Lower Cambrian;ε<sub>2-3</sub>—Middle-Upper Cambrian;Z—Sinian;Pt—Banxi Group  
1—Stratigraphic boundary;2—Fault;3—Ni-Mo deposit;4—Sampling site

色页岩样 2 件(ZN10 和 ZN12,其中 ZN12 是 ZN10 经风化淋滤作用的产物),和湖南张家界富(磷质)结核黑色页岩样品 3 件(GZP4-2、SC20、SC04),各样品(手标本)特征见表 1。

笔者分别对贵州遵义和湖南张家界的样品 (ZN02 和 SC20)作了 X 射线衍射分析(图 3~4,测试者:中国地质大学(北京)粉晶 X 射线衍射实验室,陈荣秀),同时结合前人的研究成果<sup>[4,10~15]</sup><sup>①</sup>,可知两地黑色页岩的主要矿物有:黄铁矿、黄铜矿、含碳硫钼矿、石英、伊利石、高岭石、蒙脱石、长石、石

墨、重晶石、金云母、白云母、方铅矿和(羟)磷灰石,还有有机质和生物化石等。

2.2 矿物分选

样品 (ZN02、ZN03、SC04、GZP4-2、SC20)按下列破碎流程(图 5)和分选流程(图 6)在北京冶金设计研究总院矿物分选实验室进行分选。如前所述,黑色岩系的矿物组合特别复杂,在此笔者只将其粗略分选为 4 部分:以黄铁矿为主(本文用 Py 标记)的矿物组合、除黄铁矿以外的硫化物(主要为

表 1 样品的特征

Table 1 Characters of samples

样品号	产地		岩性	特征	主要矿物
ZN03	遵义  中南村		富黄铁矿黑色页岩	致密块状、以黄铁矿(含量高达 90%)为主硫化物,局部呈薄层状、透镜体	黄铁矿、微晶石英、粘土、有机质
ZN02				致密块状,深灰黑色,黄铁矿伴生矿物在黄铁矿中呈浸染状	黄铁矿、磁铁矿、有机质粘土矿物、微晶石英
ZN10			富含碳硫钼矿黑色页岩	致密块状,深灰黑色,含树皮状化石,有针状无色矿物集合体附着在表面	含碳硫钼矿、粘土矿物
ZN12			富含碳硫钼矿黑色页岩风化产物	块状,疏松,有轻感,颜色灰白,表面有小圆孔	含碳硫钼矿、粘土矿物
GZP4-2	张家界	柑子坪	富结核黑色页岩	深黑色,有硫化物纹层,结核局部呈透镜体,直径最高可达 8cm	黄铁矿、磷质结核
SC20		三岔		构造滑动面光滑、明亮而具镜面特征,结核较小,直径大约 3cm	沥青质结核
SC04					

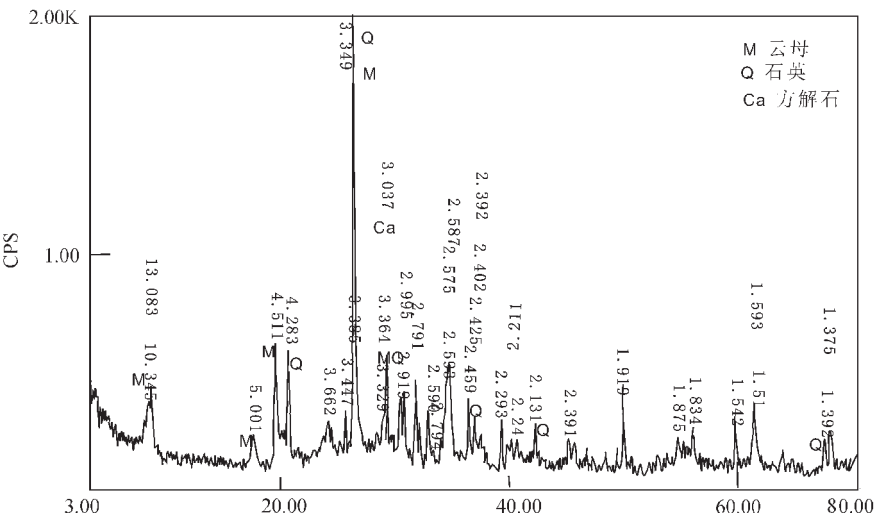


图 3 遵义黑色页岩 X 射线衍射谱线图

Fig.3 X-ray powder diffraction pattern of the black shale from Zunyi

①江永宏.湘黔地区下寒武统黑色岩系型 Ni-Mo 矿床成因矿物学研究(博士论文 D).北京:中国地质大学,2004.

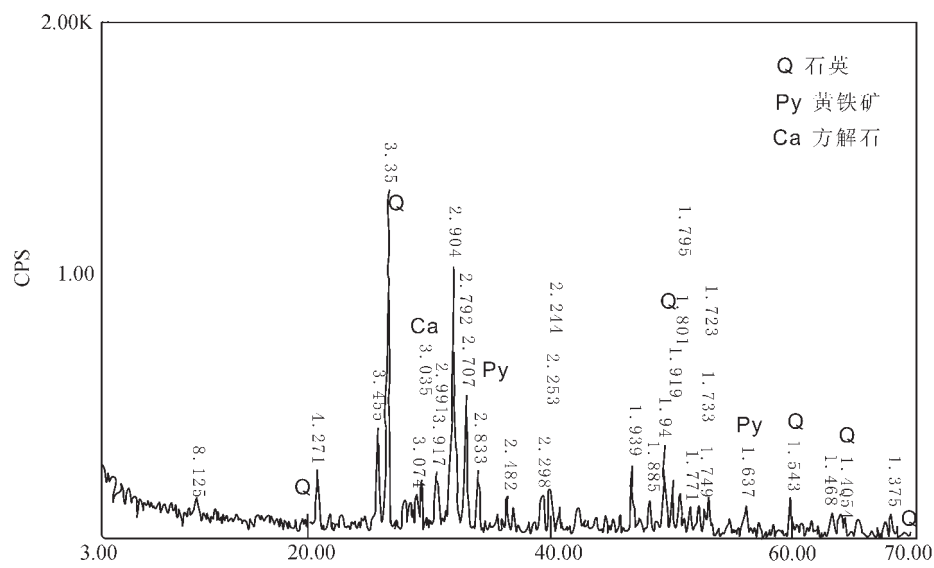


图 4 张家界黑色页岩 X 射线衍射谱线图

Fig.4 X-ray powder diffraction pattern of the black shale from Zhangjiajie

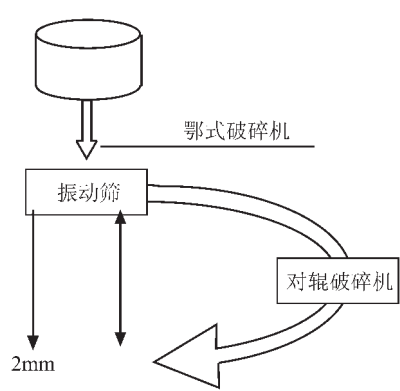


图 5 破碎流程

Fig.5 Flow chart of crushing

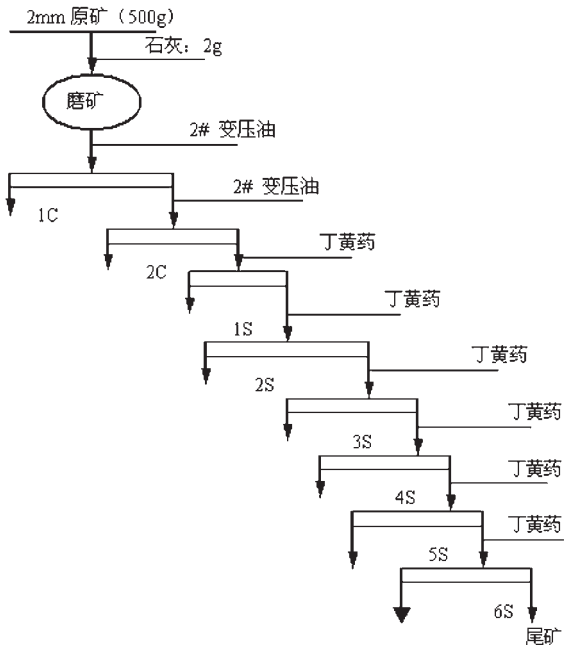


图 6 磨浮流程

Fig.6 Flow chart of grinding and floatation

含碳硫钼矿,用 S 标记)为主的矿物组合、以粘土矿物(主要为高岭石、云母,用 C 标记)为主的矿物组合和以有机质(用 O 标记)为主的组合。

为了检测分选情况,本文用 X 射线衍射作半定量分析(图 7,测试者,中国地质大学(北京)粉晶 X 射线衍射实验室,陈荣秀),其中用这种方法分析分选出的样品 Py 纯度在 90%以上,样品 S 由于含碳硫钼矿呈胶状其峰值没能出现,难以确定它的纯度,样品 C 和样品 O 的纯度相对低一些。

2.3 样品测试

本文用电感耦合等离子体质谱的方法(ICP—MS)测试铂族元素的丰度(表 2~3),分析样品先用 Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 碱熔分解,Te 共沉淀富集待测铂族元素,具体测试条件及过程见文献[16]。

3 铂族元素的分布特征

3.1 铂族元素丰度特点

从湘、黔两地下寒武统黑色页岩和金属富集层铂族元素的含量(表 2)分析中可看出具有以下特点:

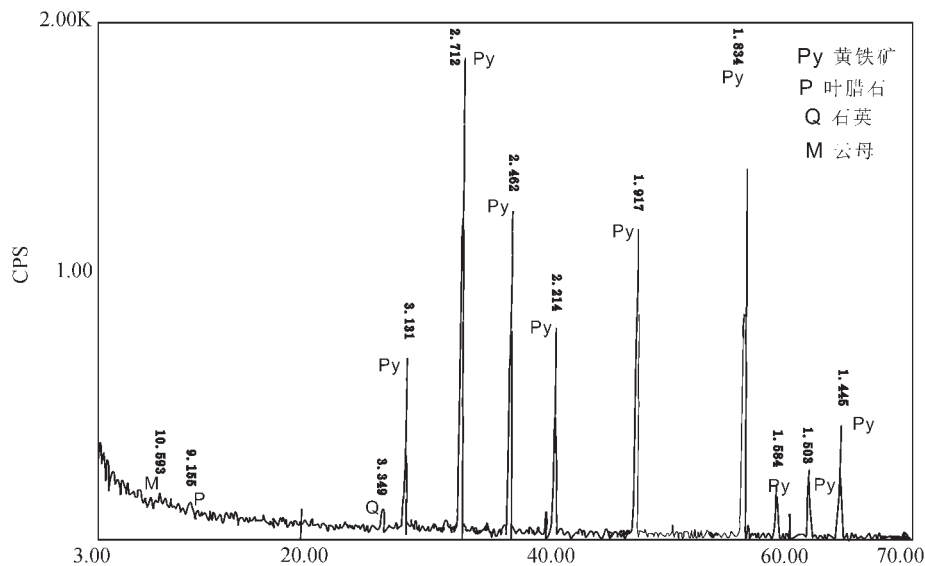


图 7 分选出来的黄铁矿 X 射线衍射谱线图

Fig.7 X-ray powder diffraction pattern of the selected pyrites

表 2 湘黔下寒武统黑色页岩及金属富集层铂族元素含量(10<sup>-9</sup>)

Table 2 Platinum group element analyses of the Lower Cambrian black shales and metal-rich bed in Guizhou and Hunan												
样品号	ZN10	ZN12	ZN02	GZP5-1	DG08	GZP5-2	GZP-6	T1-1	T4-3	T11-2		
岩性	黑色页岩					金属富集层						
产地	遵义			张家界				遵义			地壳	Cr*[18]
来源	本文			李胜荣 <sup>①</sup>							丰度 <sup>[12]</sup>	(10 <sup>-6</sup> )
Os	77.77			4	2	150	100	160	190	110	0.2	486
Ru	4.98	2.99	2.8	1	2	9	7	8	8	6	0.1	712
Rh	1.78	0.53	0.24	6	0.5	11	8	12	16	11	5	134
Ir	2.71	2.27	2.47	0.5	0.5	2	4	1	1	1	1	481
Pt	84.96	21.42	8.66	180	4	360	240	380	580	270	6.53	990
Pd	180.02	59.92	6.69	100	0.5	310	240	300	500	400	11	560

注:由中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中心漆亮分析,\*为碳质球粒陨石,单位:10<sup>-6</sup>。

(1)黑色岩系中赋存高含量的铂族元素,从岩石类型来看,金属富集层中铂族的含量明显高于黑色页岩,除 Ru 和 Ir 外,前者的含量数十倍于后者;从铂族相对黎彤<sup>[4]</sup>地壳丰度的浓集系数来看,除元素 Rh 和 Ir 外,其他各元素在黑色页岩和富集层中都有不同程度的富集,且浓度系数按 Os、Pd、Pt、Ru、Ir、Rh 的次序递减。应当指出的是,黎彤的地壳丰度值中,Rh 明显偏高而 Ru、Os 似显偏低,这是造成浓集系数中

Rh 严重亏损的人为原因。不过,该黑色页岩中富集铂族元素的基本特征是勿容置疑的。

(2)对比样品 ZN10 和 ZN12(ZN12 是 ZN10 经强风化淋滤作用的产物)的铂族各元素含量可知:经强风化淋滤作用,富含碳硫钼矿黑色页岩中铂族各元素含量都有不同程度的降低;对比样品 ZN02(富黄铁矿黑色页岩)和 ZN10(富含碳硫钼矿黑色页岩)的铂族各元素含量可知:富含碳硫钼矿

①李胜荣.湘黔地区下寒武统黑色岩系金银铂族元素地球化学研究(博士后科研论文),贵阳:中国科学院地球化学研究所,1994.

表 3 黑色页岩中以含碳硫钼矿、黄铁矿、粘土矿物及有机质为主  
的组合样品中铂族元素含量(10<sup>-9</sup>)

Table 3 Platinum group element content of C/MoS <sub>2</sub> mixed-layer minerals, pyrite, clay mineral, and organic matter in the black shale								
样品号	ZN02-C	ZN02-O	ZN02-Py	ZN02-S	SC04-C	SC04-O	SC04-S	ZN03-C
Ru	0.55	2.39	20.32	0.92	6.71	20.43	1.8	0.63
Rh	0.35	1.71	1.94	0.54	0.92	1.52	0.81	0.18
Ir	1.1	1.54	11.36	1.17	1.23	4.74	1.47	0.89
Pt	6.62	57.06	43.96	36.18	46.43	25.9	49.73	4.6
Pd	8.988	64.68	31.416	20.82	79.956	87.048	84.108	13.704
样品号	ZN03-O	ZN03-Py	SC20-C	SC20-O	SC20-S	GZP4-2-C	GZP4-2-O	GZP4-2-S
Ru	3.88	0.37	3.39	10.88	11.74	2.63	5.93	16.08
Rh	1.03	0.18	1.74	9.09	13.45	0.36	4.5	9.55
Ir	2.07	1.11	1.15	4.27	6.23	1.05	2.49	5.92
Pt	126.95	11.76	67.55	266.43	619	10.59	112.74	236.46
Pd	29.1	5.856	84.684	371.544	658.152	22.848	156	320.088

注:由中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中心漆亮分析。

黑色页岩中的铂族含量比富黄铁矿中的高。

(3)贵州境内的黑色页岩和金属富集层较湖南境内相应的岩石类型的铂族含量明显偏高。有意义的是,贵州的遵义和湖南的张家界的黑色页岩中铂族的含量变化不大,表现较高的稳定性,这对新类型铂族资源的利用是十分有利的因素。

表 3 列出了湘、黔两地下寒武统黑色页岩分选后的不同矿物组合中铂族元素的含量分析数据,从中可以看出其具有以下特点:

- (1)以粘土矿物为主的矿物组合中铂族元素含量最低,说明铂族元素与黑色页岩中的粘土矿物相关性最弱。
- (2)除个别数据(GZP4-2-S)外,铂族元素在有机质为主的矿物组合中的富集程度都比较高,吴朝东<sup>[4]</sup>曾经指出:“生物和有机质是黑色岩系形成和成岩主要的动力作用因素,黑色岩系形成于还原和弱酸性的缺氧沉积环境为主并常受浅水有机质补充,具有良好的聚集与保存条件”。这进一步说明铂族元素在低温氧化条件下,其化学活动性足以使之以相当规模活化、迁移并在还原条件下沉淀富集。
- (3)对比 ZN02-Py 与 ZN02-S 可以知道,铂族元素在 Py(以黄铁矿为主的矿物组合)中的富集程度比 S 中(除黄铁矿以外的硫化物,主要为含碳硫钼矿为主的矿物组合)的富集程度要高得多,前者中的 Ru 含量是后者的 20 多倍。
- (4)表 2(ZN02)和表 3(ZN02-C、ZN02-O、ZN02-Py、ZN02-S)中的铂族元素含量数据对比说明,绝大部分的铂族元素富集于黑色页岩的有机质和黄铁矿中。

3.2 铂族元素分布模式

根据表 2 和表 3 中的铂族元素含量,笔者将最能代表太阳系组成的 CI 碳质球粒陨石<sup>[8]</sup>作为标准,对数据进行标准

化,作铂族元素的分布模式图(图 8~13):

以上各分布模式图几乎是一致的,从 Ru、Rh、Ir、Pt 到 Pd 呈“M”型,在元素 Ir 处为最低点,这与前人<sup>[5,8,11]</sup>研究达到共识,在此分布模式更具规律性,同时还可以看出,不论分选与否,铂族各元素是同步富集的。按这种标准化所得曲线应能反映碳质球粒陨石的特征,从理论上讲应近于水平延伸。但实际情况是 Pd、Pt 明显富集,而 Ir、Ru 严重亏损且 Ir 的含量非常稳定,在金属富集层、黑色页岩及各分选的矿物组合中含量几乎相等,铂族元素的明显分异说明此黑色页岩的分布模式不具有地外物质的特征。

4 结 论

(1)黑色岩系中富集着铂族元素;金属富集层中铂族元

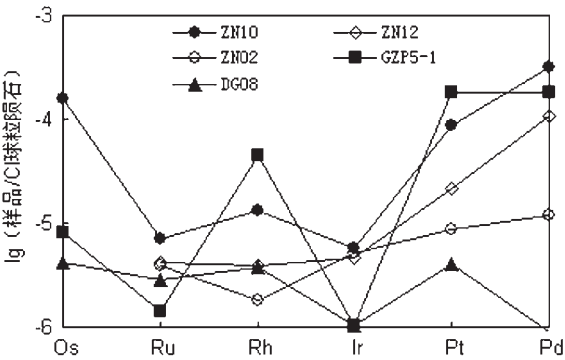


图 8 黑色页岩铂族元素分布模式  
Fig. 8 PGE distribution patterns for black shales



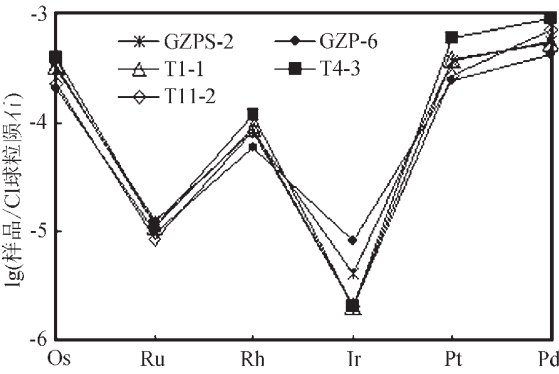


图 9 金属富集层铂族元素分布模式

Fig.9 PGE distribution patterns for the metal-rich bed

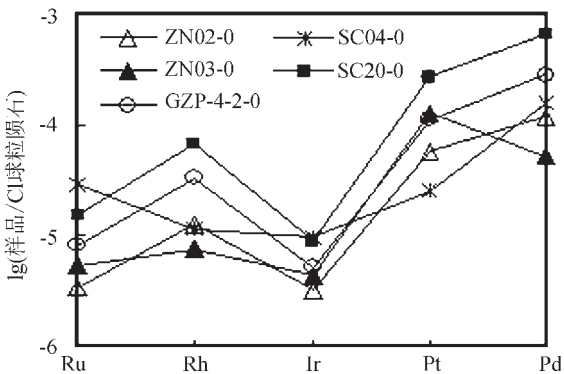


图 11 黑色页岩中以有机质为主的矿物组合铂族元素分布模式

Fig.11 PGE distribution patterns for the mineral assemblage dominated by organic matters in black shales

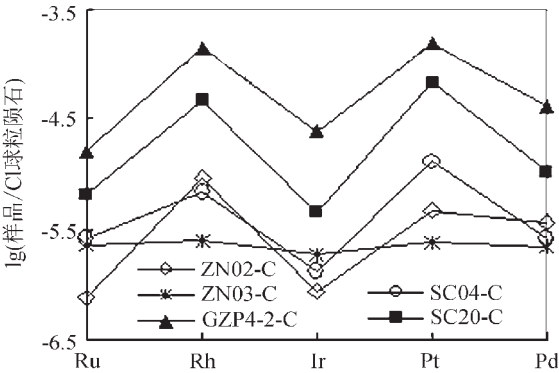


图 10 黑色页岩中以粘土矿物为主的矿物组合铂族元素分布模式

Fig.10 PGE distribution patterns for the mineral assemblage dominated by clay minerals in black shales

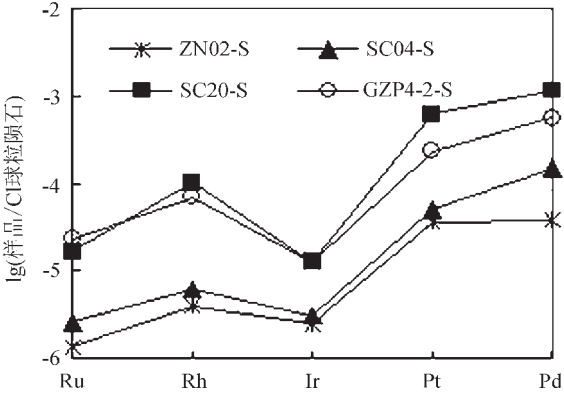


图 12 黑色页岩中以含碳硫钼矿为主的矿物组合铂族元素分布模式

Fig.12 PGE distribution patterns for the mineral assemblage dominated by C/MoS<sub>2</sub> mixed-layer minerals in black shales

素的含量明显高于黑色页岩;风化淋滤作用使黑色页岩中铂族各元素含量都有不同程度的降低;湘黔两地黑色页岩中铂族的含量变化不大,表现较高的稳定性,这对新类型铂族资源的利用是十分有利的因素。

(2)绝大部分的铂族元素富集于黑色页岩的有机质和黄铁矿中;铂族各元素在黑色岩系的 O(以有机质为主的组合)中的富集程度最高,在 Py(以黄铁矿为主的矿物组合)中的富集程度次之,在 S(除黄铁矿以外的硫化物,主要为含碳硫钼矿为主的矿物组合)中的富集程度略低,在 C(以粘土矿物为主的矿物组合)中含量最低。

(3)铂族元素的分布模式具规律性,在黑色岩系的各矿物相中也是同步富集的,铂族元素的明显分异说明此黑色页岩的分布模式不具有地外物质的特征。

参考文献 (References):

[1] 金菊.含金黑色岩系及有关微细浸染型金矿床(化)的特征[J].冶金地质动态,1988,(8):43~52.

Jin Ju. Characteristics in black shale series with gold and concerned finely disseminated gold mineralization, [J]. Metallurgy - Geology Trend, 1988,(8):43~52(in Chinese).

[2] 别风雷, 孟繁聪. 具有潜力的重要资源类型——黑色岩系铂多金属矿床[J].矿产保护与利用,1999,(3):37.

Bie Fenglei, Meng Fancong. The most potential important resource: Platinum group elements and poly-metals mineralization in black shale series [J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 1989,(3):37 (in Chinese with English abstract).

[3] 鲍振襄. 湖南西北部黑色岩系中的贵金属矿化[J].矿物岩石,1997,

- 17(2):70~77.
- Bao Zhenxiang, The noble metals minerallzation in black shale of northwestern Hunan [J]. Mineralogy and Petrology, 1997, 17 (2): 70~77(in Chinese with English abstract).
- [4] 李胜荣, 高振敏. 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),2000,30(2):169~174.
- Li Shengrong, Gao Zhenmin. Tracing source for noble metals in the Lower Cambrian black shale in Hunan and Guizhou Provinces [J]. Science in China(Series D). 2000, 30(2):169~174(in Chinese).
- [5] 吴朝东, 申延平, 候泉林.湘西黑色岩系铂族元素地球化学特征及富集因素[J].自然科学进展,2001,11(5):507~513.
- Wu Chaodong, Shen Yanping, Hou Quanlin. Geochemistry characteristics and enrichment of platinum group elements in black shale series in Northwest Hunan Province [J]. Advances in Natural Science, 2001,11(5): 507~513 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李胜荣, 肖启云, 申俊丰, 等. 贵州遵义下寒武统黑色岩系中贵金属的表生活动性初探[J].自然科学进展,2002,12(6):612~615.
- Li Shengrong, Xiao Qiyun, Shen Junfeng, et al. Supergene mobility of noble metal elements in black rock series [J]. Advances in Natural Science, 2002,12(6): 612~615(in Chinese with English abstract).
- [7] 李胜荣, 肖启云, 申俊丰, 等. 湘黔下寒武统铂族元素来源与矿化年龄的 Re—Os 同位素制约[J].中国科学(D 辑),2002,32(7):568~575.
- Li Shengrong, Xiao Qiyun, Shen Junfeng, et al. Origin of the platinum group elements and mineralization years of Re—Os isotope—limit in the Lower Cambrian in Hunan and Guizhou Provinces [J]. Science in China (Series D),2002,32(7):568~575(in Chinese).
- [8] 易发成, 杨剑, 侯兰杰, 等. 黔北黑色岩系的铂族元素地球化学特征及成因探讨[J].地质科学,2004,39(3):367~374.
- Yi Facheng, Yang Jian, Hou Lanjie et al. Origin and geochemistry of platinum group elements of Low Cambrian black shale series in northern Guizhou[J]. Chinese Journal of Geology,2004, 39(3):367~374(in Chinese with English abstract).
- [9] 曾明果. 遵义黄家湾镍钼矿地质特征及开发前景 [J]. 贵州地质, 1998,15(4):305~310.
- Zeng Mingguo. Geological feature of the Huangjiawan Ni—Mo deposit in Zunyi of Guizhou and its prospect for development [J]. Guizhou Geology,1998,15(4):305~310(in Chinese with English abstract).
- [10] Kao Lishun, Peacor D R, Covenvey Jr. A C/MoS<sub>2</sub> mixed—layer phase (MoSC) occurring in metalliferous black shales from Southern China, and new data on jordisite [J]. American Mineralogist, 2001, 86:852~861.
- [11] 梁有彬, 朱文凤. 湘西北天门山地区镍钼矿床铂族元素富集特征及成因探讨[J].地质找矿论丛,1995,10(1):55~65.
- Liang Youbin, Zhu Wenfeng. Discussion on the enrichment characteristics of PGE, REE and the genesis for Ni—Mo ore deposits in Tianmenshan area, Northwest Hunan Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1995,10(1):55~65(in Chinese with English abstract).
- [12] 孙一虹.湘西北下寒武统碳质页岩岩石学、岩石化学和地球化学研究[J].湖南地质,1986,5(1):1~15.
- Sun Yihong. Research of Petrology, Petrochemistry and geochemistry on the carbonaceous shales form the Lower Cambrian, western Hunnan province[J]. Hunnan Geology, 1986, 5 (1):1~15(in Chinese with English abstract).
- [13] 张爱云, 伍大茂, 郭丽娜, 等. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义[M].北京:科学出版社,1987.
- Zhang Aiyun, Wu Damao,Guo Lina,et al. Geochemistry and Deposit Enlightener on Oceanic—phase Black Shale Series [M]. Beijing:Science Press,1987(in Chinese with English abstract).
- [14] 李有禹.湘西北镍钼多金属喷气沉积矿床的地球化学特征[J].地球化学,1997, 26(3):89~95.
- Li Youyu. Geochemistry of Ni—Mo polymetallic exhalation—sediment ore deposits, northwestern Hunnan [J]. Geochemistry, 1997,26(3):89~95 (in Chinese with English abstract).
- [15] 吴朝东, 陈其运, 雷家锦. 湘西震旦—寒武纪黑色岩系的有机岩石学特征及其形成条件[J].岩石学报,1999,15(1):453~462.
- Wu Chaodong, Chen Qiyun, Lei Jiabin. The genesis factors and organic petrology of black shale series from the Upper Sinian to the Lower Cambrian, Southwest China[J].Acta Petrologica Sinica,1999,15 (3):453~462 (in Chinese with English abstract).
- [16] 漆亮, 胡静. 等离子体质谱法快速测定地质样品中的痕量铂族元素和金[J].岩矿测试,1999,18(4),267~279.
- Qi liang, Hu jing.Fast determination of platinum group elements and gold in geological samples by ICP MS [J]. Rock and Mineral Analysis, 1999,18(1):267~279 (in Chinese with English abstract).
- [17] 黎彤.地壳元素丰度的若干统计特征[J].地质与勘探,1992,28(10):1~7.
- Li Tong.The statistical characteristics of the abundance of chemical elements in the earth's crust[J]. Geology and Prospecting, 1992, 28 (10):1~7(in Chinese with English abstract).
- [18] Anders E, Grevesse N.Abundances of elements: Meteoritic and solar[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1989, 55(1):197~214.



## Features of platinum-group elements in different mineral assemblages in the Lower Cambrian black rock series in Hunan and Guizhou

XIAO Qi-yun<sup>1,2</sup>, LI Sheng-rong<sup>1</sup>, CAI Ke-qin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Geo-Processes and Mineral Resources of China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Lithospheric Structure, Plutonic Process and Survey Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The mineral assemblages are very complex in the Lower Cambrian black shale in Zhangjiajie of Hunan and Zunyi of Guizhou. X-ray diffraction analysis combined with previous research results shows that the contents of sulfide minerals, clay minerals and organic matter are relatively high. After crushing and separation of the samples, the ICP-MS method was used to determine the PGE contents of the black shale and separated samples, and in addition, the mode of occurrence of PGE in the black shale in the study areas was studied. Study shows that the content of PGE in the area is high and stable. The chemical activity of PGE is high enough to enable them to be remobilized to a considerable extent under low-temperature, oxidizing conditions and precipitated and concentrated under low-temperature, reducing conditions. The PGE contents of black shale in the primary C/MoS<sub>2</sub> mixed-layer mineral-rich black shale decreased to varying extent after strong weathering and leaching. The greater majority of the PGE are concentrated in organic matter and pyrite. The PGE distribution patterns show certain regularity. The remarkable differentiation of PGE demonstrates that the distribution pattern of the black shale does not have the characteristics of extraterrestrial material.

**Key words:** platinum-group elements; black rock series; mineral assemblage; enrichment; Guizhou; Hunan

---

**About the first author:** XIAO Qi-yun, female, born in 1975, lecturer and doctor candidate, majors in mineralogy and mainly engages in the study and teaching of genetic mineralogy and gemology; E-mail: xiaoqiyn@bcu.edu.cn.