地质・矿床

Vol. 45 No. 1 January ,2009

# 湘、黔下寒武统黑色岩系型 Ni、Mo 矿床中 有机质与 PGE 成矿作用研究

## 江永宏

(中国地质调查局发展研究中心,北京 100037)

[摘 要]湘、黔地区张家界、遵义一带分布有黑色岩系型 Ni-Mo-PGE 矿床,测试分析表明黑色页 岩样品铂族元素含量特征参数  $\Sigma$ PGE、Ln(Pd/Pt)、(Ru/Ir)×(Pd/Pt)、Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]均与有机 质含量特征参数有较好的相关性。趋势分析显示,铂族元素含量特征参数 Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]与总 有机碳含量特征参数 Ln(Corg)有很好的线性相关,线性相关公式为 y=0.4762x-1.1316,相关系数 R 为 0.7584,说明该参数为一稳定性参数,主要受有机质总量决定,集中反映了生物制约性。而与湖南张家 界样品有机碳含量 Ln(Corg)与铂族元素含量  $\Sigma$ PGE 同步正消长关系不一样,即贵州遵义地区铂族元素 总量  $\Sigma$ PGE 与有机碳含量的相关性表现出的不一致的规律,可以解释为后生期的热事件(印支海西期, Rb-Sr 等时线年龄 277±37Ma)导致有机质干酪根的高成熟化、大量生过气(C>2%)和石墨化趋势,或者 说是芳构化效应改变了源岩有机质而导致了有机质的损耗。

[关键词]湘、黔地区 黑色岩系型 Ni、Mo 矿床 有机质 PGE 成矿作用 [中图分类号]P618.63;P618.32 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2009)01-0001-06

在湘、黔地区张家界、遵义一带的下寒武统底部 的矿化黑色岩系,被认为是一重要的界线事件层,同 时又被称为"多元素富集层"。围绕着与该"多元素 富集层"相关的黑色岩系型富贵金属镍钼矿床的矿 化物质来源、矿床成因模式、界线事件性质、生物矿 化现象等已开展了很多研究工作<sup>[1-8]</sup>。

该区的有机质成矿作用也已有不少有意义的工 作进行了揭示,如富碳质的黑色页岩中的高成熟干 酪根使黑色页岩具有还原性,成矿流体流经页岩时, 干酪根先吸附后还原导致 Ag、V、Cu、Mo 等金属的 沉淀富集,金也可以被腐殖酸还原而沉淀<sup>[9]</sup>,高振 敏等<sup>[10]</sup>研究了湘西黑色岩系中贵金属富集层的成 因与有机质的关系,认为氨(或有机胺)是贵金属元 素(特别是 Pt、Pd、Os)迁移的载体,碳的吸附可使贵 金属元素得到浓集。有机质还能通过还原硫酸盐生 成还原性硫而导致金属沉淀<sup>[11]</sup>。国内研究者还对 早寒武世黑色页岩建造的贵金属元素进行了大面积 的普查,发现除银分布比较广泛以外,其余各元素主 要在黑色页岩底部的镍钼矿层内得到富集<sup>[12]</sup>,可见 该区的有机质与 PGE 成矿作用的相关性仍有待进 一步研究和发现。

#### 1 矿床地质概况

在扬子地块的湘黔川鄂古坳陷区东南侧,江南 古陆西缘和东部,扬子地块的滇东褶皱带,四川盆地 边缘和昆仑—秦岭构造过渡带等,下寒武统黑色岩 系发育,为含有机碳较高(一般为5%,高达20%) 的硅、泥质岩石,是磷块岩矿床和镍、钼、钒、硒、稀土 (REE)、铂族元素(PGE)共生矿床成矿的有利沉积 环境。湖南镍钼矿区位于扬子地块湘黔川鄂古坳陷 区的东南侧,主要分布在天门山—黄洞复式向斜的 两翼。贵州镍钼矿区位于贵州北部由下寒武统地层 形成翼部的松林穹隆构造西北翼,此穹隆处于 NE 向延伸的松林—岩孔弧形构造的北段,区域上属上 扬子陆块东部,黔中隆起东北侧的娄山褶皱带(图 1)。湘黔地区黑色岩系及其金属元素矿化经历了 沉积期、成岩期、后生期和表生期等多期作用。其 中,沉积期包括早期的粗粒硫化物阶段和晚期的细

<sup>[</sup>收稿日期]2008-5-20;[修订日期]2008-07-03。

<sup>[</sup>基金项目]国家自然科学基金(编号:40073012),国家重点基础研究发展规划(编号:G1998040800)和国土资源大调查(编号: 200313000068-02)项目联合资助。

<sup>[</sup>作者简介]江永宏(1973—),男,2004 年毕业于中国地质大学(北京),获博士学位,助理研究员,主要从事地质情报和矿床成因矿物学研究工作。



图1 贵州遵义中南村 Ni-Mo 多元素矿床区域地质略图 Q—第四系; $O_{1-2}$ —中下奥陶统; $\varepsilon_2$ —中寒武统; $\varepsilon_{2-3}$ —中上寒武统; $\varepsilon_1q$ —下寒武统清虚洞组; $\varepsilon_1mj$ — 下寒武统明心寺金顶山组并层; $\varepsilon_1m$ —下寒武统明心寺组; $\varepsilon_1j$ —下寒武统金顶山组; $\varepsilon_1n$ —下寒武统 牛蹄塘组; $Z_2dn$ —震旦系灯影峡组; $Z_2d$ —震旦系陡山沱组; $Z_1n$ —震旦系南沱组; $P_1bn$ —古元古界板 溪群;1—地层界线;2—断层;3—Ni. Mo 矿区范围;4—公路

粒硫化物阶段;成岩期包括结核形成阶段和显微脉 状硫化物方解石阶段;后生期主要有含碳沥青石英 方解石阶段;表生期为金属氧化物形成阶段<sup>[13,14]</sup>。

2 样品的采集、制备与分析

#### 2.1 贵金属元素测试分析

分别在贵州遵义中南村和湖南张家界三岔、柑 子坪采取富黄铁矿黑色页岩样2个(ZN02、ZN03)、 富硫钼矿黑色页岩样1个(ZN10)、富有机物团块结 核黑色页岩样品3个(GZP4-2、SC20和SC04)。所 有的贵金属8个元素(Ru、Rh、Ir、Pt、Pd、Os、Au、Ag) 在中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中 心完成,采用电感耦合等离子体质谱分析地质样品 中的铂族元素(用 Re 作内标元素)。

首先通过制样步骤将试金扣中的铂族元素从镍 锍本体中分离出来,再将铂族元素制成可上机测量 的形式并实施测定。具体方法为:将试金扣在特制 不锈钢碎样器中磨细,再转移到烧杯中;加入 200ml 的 12mol/1 HCL(1g 镍形成的镍扣),加盖后 200℃ 下加热溶解1 小时;待镍锍化物溶解完成,将样品移 离热源并冷却至温热,加入 1ml 的 2mg/ml 的 Te 的 溶液(金属 Te 用王水溶解后,用 1mol/mlHCL 稀 释),并用去离子水稀释至 300ml,然后加入 4ml 的 0.2g/ml的 SnCl<sub>2</sub> 溶液;将溶液煮沸 30 分钟使 Te 和 进入盐酸溶液的铂族元素沉淀,冷却至室温过滤溶 液,用 1mol/1的 HCl 充分洗涤过滤膜和沉淀以洗净 残留的镍,用 5ml 浓 HNO<sub>3</sub> 回流溶解沉淀和滤膜,并 由冷凝管上端加入 5ml 的 12mol/1,90°C 下持续 30 分钟以便沉淀溶解完全;溶液冷却后,将样品转移至 20ml 容量瓶并用 0.1mol/1的 HNO<sub>3</sub> 定溶。

#### 2.2 总有机碳分析

同时在北京矿冶研究总院地质所对金属富集层 样品(ZN03、SC04、GZP4-2、SC20)进行矿石分选,分 选为四部分:以黄铁矿为主的矿物组合、以硫钼矿为 主的矿物组合(S)、以粘土矿物为主的矿物组合 (C)、以有机质为主的矿物组合。为有机质与 PGE 相关性研究的科学性和便利,我们又选取主要以粘 土矿物组合样品为主、少量的硫钼矿矿物组合样品 以及少量的全岩样品进行总有机碳检测(表1),在 中国石油天然气股份有限公司中国石油勘探开发研

表1 湘黔地区黑色岩系多金属富集层铂族元素含量与总有机碳含量(C<sub>av</sub>)相关性一览表

编号	1	2	3	4	5	6	7
样品号	ZN02	ZN03-1C	ZN03-3S	ZN10	GZP4-2-1C	SC04-2C	SC20-2C
产地	遵义	遵义	遵义	遵义	张家界	张家界	张家界
C <sub>org</sub> /%	0.28	4.95	0.35	6.61	11.90	14.61	17.01
Ru /10 <sup>-9</sup>	2.8	0.63	0.37	4.98	2.63	6.71	3.39
Rh /10 <sup>-9</sup>	0.24	0.18	0.18	1.78	0.36	0.92	1.74
Ir /10 <sup>-9</sup>	2.47	0.89	1.11	2.71	1.05	1.23	1.15
Pt /10 <sup>-9</sup>	8.66	4.6	11.76	84.96	10.59	46.43	67.55
Pd /10 <sup>-9</sup>	6.69	13.704	5.856	180.02	22.848	79.956	84.684
Os /10 <sup>-9</sup>	—	—	—	77.77	—	—	—
Ru/Pt	0.323326	0.136957	0.031463	0.058616	0.248347	0.144519	0.050185
Ru/Ir	1.133603	0.707865	0.333333	1.837638	2.504762	5.455285	2.947826
Pd/Pt	0.772517	2.97913	0.497959	2.118879	2.157507	1.722076	1.253649
(Pt+Pd)/(Ru+Rh+Ir)	2.785844	10.76706	10.61205	27.98099	8.276733	14.26479	24.24108
$\Sigma PGE *$	20.86	20.004	19.276	274.45	37.478	135.246	158.514
$(Ru/Ir) \times (Pd/Pt)$	0.875728	2.108823	0.165986	3.893734	5.404042	9.394416	3.69554
$Lg(\Sigma PGE)$	1.319314	1.301117	1.285017	2.438463	1.573776	2.131124	2.200068
Ln(Pd/Pt)	-0.2581	1.091631	-0.69724	0.750887	0.768953	0.543531	0.226058
$Ln[(Ru/Ir)\times(Pd/Pt)]$	-0.1327	0.74613	-1.79585	1.359369	1.687147	2.240115	1.307127
Ln(Corg)	-1.27297	1.599388	-1.04982	1.888584	2.476538	2.681706	2.833801

测试者:总有机碳含量(Corg)——中国石油天然气股份有限公司中国石油勘探开发研究院实验中心有机地化室马文玲,2003;铂族元素含量——中国科学院地球化学研究所资源环境测试分析中心,1999。

注: $\Sigma PGE * 为铂族元素含量总和,因便于文章比较,未计算 <math>Os_\circ$ 

究院实验中心完成。用稀盐酸去除样品中的无机 碳,然后在高温氧气流中燃烧,使总有机碳转化成二 氧化碳,再经红外检测器检测出总有机碳的含量。

2.2.1 仪器

碳硫测定仪;碳硫分析专用瓷坩埚:直径为 25mm,高为25mm,使用前在900℃温度下灼烧2小 时;分析天平:感量为0.1mg;马福炉:加热温度大于 900℃;可控温电热板或水浴锅;烘箱;真空泵;抽滤 器;坩埚架。

2.2.2 分析步骤

2.2.2.1 样品制备

将样品磨碎至粒径小于 $0.2 mm_{\odot}$ 磨碎好的样品 量一般不应少于 $4g_{\odot}$ 

2.2.2.2 称样

根据样品类型称取 0.01~1.00g 试样,称准至 0.0001g。

2.2.2.3 溶样

在盛有样品的容器中缓慢加入过量的盐酸溶 液,放在电热板中,控制温度在 60℃~80℃,溶样 2 小时以上,直至反应完全为止。溶样过程中应确保 样品不溅出,否则应重做。

2.2.2.4 转移

将溶好的样品转移到置于抽滤器上的坩埚里, 用蒸馏水洗净残留的酸液,按顺序放在坩埚架上。 2.2.2.5 烘干

将样品坩埚放入 70℃~80℃的烘箱内,烘干待 用。

2.2.2.6 开机测定

### 3 有机质与 PGE 元素的相关性研究

从表1中可以看出,7件样品主要来自富黄铁 矿黑色页岩(ZN02、ZN03-1C、ZN03-3S)、富硫钼矿 黑色页岩(ZN10)、富有机物团块结核黑色页岩 (GZP4-2-1C、SC04-2C、SC20-2C)。其中,为便于 比较不同矿物组合或矿物含量高低对 PGE 富集的 影响,我们特地选取了样 ZN03中的两种组合(富粘 土和富硫钼矿的1C和3S)。

1) Ln(Pd/Pt)

从图 2 中可见 铂 族 元 素 含 量 特 征 参 数 Ln(Pd/Pt)与总有机碳含量特征参数 Ln(Corg)具有 相关性,湖南张家界三岔和柑子坪的样品,表现出有 机碳含量 Ln(Corg)与铂族元素含量 Lg $\Sigma$ PGE 同步 正消长关系,而贵州遵义中南村的样品,表现出同步 反消长关系。从表 1、图 1 ~ 5 可以看出,铂族元素 含量特征参数  $\Sigma$ PGE、Ln(Pd/Pt)、(Ru/Ir)×(Pd/ Pt)、Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]均与有机质含量特征参 数有较好的相关性。

2)  $\Sigma PGE$ 



图 2 湘黔地区黑色岩系多金属富集层铂族元素含量特
 征参数 Lg(ΣPGE)与总有机碳含量特征参数 Ln(Corg)
 相关性分析(1,2,3,4,5,6,7 为样品编号)



图 3 湘黔地区黑色岩系多金属富集层铂族元素含量特 征参数 Ln(Pd/Pt)与总有机碳含量特征参数 Ln(Corg) 相关性分析(1,2,3,4,5,6,7 为样品编号)



图4 湘黔地区黑色岩系多金属富集层铂族元素含量特征参数 数(Ru/Ir)×(Pd/Pt)与总有机碳含量特征参数In(Corg) 相关性分析(1,2,3,4,5,6,7为样品编号)

从图 1 中可见,湖南张家界三岔和柑子坪的样 品,表现出有机碳含量 Ln(Corg)与铂族元素含量 Lg(ΣPGE)同步正消长关系,根据前人对张家界天 门山地区矿床的研究<sup>[15]</sup>,铂族元素与有机碳有密切 关系,并且其富集特点可能与铂族元素可呈有机金 属化合物迁移和被碳质吸附的地球化学性质具有一 致性。而贵州遵义中南村的样品,表现出不一致的 规律。



图 5 湘黔地区黑色岩系多金属富集层铂族元素含量特 征参数 Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]与总有机碳含量特征参 数 Ln(Corg)相关性分析(1,2,3,4,5,6,7 为样品编号)



图 6 湘黔地区黑色岩系多金属富集层铂族元素含量特 征参数 Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]与总有机碳含量特征参 数 Ln(Corg)线性相关趋势分析图

3)  $(Ru/Ir) \times (Pd/Pt) Ln [(Ru/Ir) \times (Pd/Pt)]$ 

从图 3、图 4 中可见,所有湖南张家界三岔、柑 子坪和贵州遵义中南村的样品,(Ru/Ir)×(Pd/Pt) 与 Corg 或 Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]与 Ln(Corg)有非 常好的同步正消长关系。从图 5 中可见,趋势分析 中铂族元素含量特征参数 Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)] 与总有机碳含量特征参数 Ln(Corg)有很好的线性 相关,线性相关公式为 y=0.4762x-1.1316,相关系 数 R 为 0.7584(采用 Excel 线性相关计算法重新得 出的 R 值,比图 6 中图形自动给出的拟合参数准 确)。

## 4 讨论

 1)在金属元素的活化、迁移、富集和沉积等成 矿过程中与金属直接作用或通过其还原性制约金属 元素行为的有机化合物、有机集合体或生物体通常 被称为与金属成矿有密切关系的有机质,包括腐殖 酸、氨基酸、羧酸、石油、沥青、干酪根和细菌,这些物 质中含 O、N、S 配位体或极性基团。据研究<sup>[16]</sup>,按

2009年

照成熟程度与演化序列,有机质生成世代顺序依次 是:I. 腐殖酸 $\rightarrow$ II. 低成熟干酪根 $\rightarrow$ III. 有机羧酸 $\rightarrow$ IV. 石油 $\rightarrow$ V. 高成熟干酪根 $\rightarrow$ VI. 沥青和甲烷气 $\rightarrow$ VI. 石)。有关研究表明<sup>[17]</sup>,该研究区低的类异戊 间二烯烷烃/正烷烃比值(Pr/Ph)(0.57~0.86)表 明缺氧的超盐度环境,生物类型为以浮游生物为主,  $C_{15}-C_{25}$ 规则类异戊间二烯烷烃的存在,说明一种极 嗜热微生物是 PGE 早期矿化的主要因素。

2) 从类异戊间二烯烷烃/正烷烃比值(Pr/nC17 和 Ph/nC18) 可知, 贵州遵义金属富集层的样品最 低,分别为 0.36、0.34,反映了成熟度最高,而从 C29 甾烷的异构化系数 20S/20(S+R) 可判断该地 区在地史上生过油,并且经历了生油高峰期,所以与 湖南张家界样品有机碳含量 Ln(Corg) 与铂族元素 含量  $\Sigma PGE$  同步正消长关系不一样,即贵州遵义地 区铂族元素总量  $\Sigma PGE$  与有机碳含量的相关性表现 出的不一致的规律,可以解释为有机质干酪根的高 成熟化、大量生过气(C>2%)和石墨化趋势或者说 是芳构化效应改变了源岩有机质而导致了有机质的 损耗[17],例如黑色页岩(ZN02)的镜质体反射率  $R_0$ =6.678,为准变质阶段,而富金属硫化物层(ZN10) 中的有机质已成为石墨。另有研究<sup>[10]</sup>表明,Pt、Pd、 Os、Ru、Rh 对铵的相关系数较高,而铵与金、银的相 关性较差,铵高则贵金属低,铵低则贵金属高,说明 有机质的成熟度提高,降解的游离铵也越高,在同等 条件下进入粘土矿物(伊利石)的固定铵也应该越 多,铵是迁出,而贵金属元素是富集。

3) (Ru/Ir)×(Pd/Pt),在数学意义上又可等同 于(Ru/Pt)×(Pd/Ir)。虽然它的地质概念目前未引 起足够重视, (Ru/Pt), (Pd/Ir) 作为两项参数已 被较广泛使用<sup>[13,18]</sup>,可以说元素的配比规律是受地 区及物质来源限制的参数。PGE 元素可分为 Ir 组 和 Pd 组, Ir 组为 Os、Ir、Ru, Pd 组为 Rh、Pt、Pd。如 果把铂族元素按熔点降低的顺序排列(Os、Ir、Ru、 Rh、Pt、Pd),它们在地幔部分熔融过程中的分异就 会反映地幔来源岩浆作用形成的矿床的成因<sup>[18]</sup>。 如果考虑海洋沉积物特别是与热卤水沉积物活动的 特征,湘黔地区寒武纪涌入海底的含贵金属元素的 热卤水或岩浆水中铂族元素的配分比与有关岩浆岩 已大不相同,反映 Ir、Ru、Rh、(Os)相对亏损而 Pt、 Pd 相对富集的 Pt-Pd 型配分模式<sup>[13]</sup>,所以在此次 研究中,(Ru/Ir)×(Pd/Pt) 与 Corg 或 Ln[(Ru/Ir)× (Pd/Pt)]与 Ln(Corg)有非常好的同步正消长关系, 线性相关公式为 y=0.4762x-1.1316,说明该参数

为一稳定性参数,主要受有机质总量决定,集中反映 了生物制约性,故可以说,铂族元素主要是赋存在有 机质干酪根和粘土矿物中,并应以独立矿物形式存 在。

### 5 结论

 海水正常沉积的有机质来源是浮游生物,而 在热液喷口附近生长的极嗜热微生物是 PGE 早期 矿化的主要因素,来源于壳幔混合作用的、属于典型 基性成分的贵金属元素得到初步富集。

2) 铂族元素主要是赋存在有机质干酪根和粘 土矿物中,并应以独立矿物形式存在。

 3) 铂族元素含量特征参数 ΣPGE、Ln(Pd/Pt)、 (Ru/Ir)×(Pd/Pt)、Ln[(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]均与有 机质含量特征参数有较好的相关性。

4) 趋势分析显示, 铂族元素含量特征参数 Ln [(Ru/Ir)×(Pd/Pt)]与总有机碳含量特征参数 Ln (Corg)有很好的线性相关,线性相关公式为 y = 0.4762x-1.1316,相关系数 R 为 0.7584。说明该参 数为一稳定性参数,主要受有机质总量决定,集中反 映了生物制约性。

5) 与湖南张家界样品有机碳含量 Ln(Corg) 与 铂族元素含量  $\Sigma PGE$  同步正消长关系不一样,即贵 州遵义地区铂族元素总量  $\Sigma PGE$  与有机碳含量的相 关性表现出的不一致的规律,可以解释为后生期的 热事件(印支海西期, Rb – Sr 等时线年龄 277 ± 37Ma)<sup>[17]</sup>导致有机质干酪根的高成熟化、大量生过 气(C>2%)和石墨化趋势或者说是芳构化效应改变 了源岩有机质而导致了有机质的损耗,例如黑色页 岩(ZN02)的镜质体反射率  $R_0 = 6.678$ ,为准变质阶 段,而富金属硫化物层(ZN10)中的有机质已成为石 墨。

致谢:在文章的研究过程中,导师李胜荣教授曾 给予直接指导,曾得到中国地质大学(北京)田世诚 教授、孙岱生教授、以及中国地质大学(北京)电子 探针室尹京武、陈卉泉高级工程师、北京城市学院肖 启云博士、中国石油天然气股份有限公司中国石油 勘探开发研究院实验中心有机地化室蔡冰老师、姜 乃煌研究员帮助,在此表示最衷心的感谢!

#### [参考文献]

- [1] 范德廉,叶 杰,杨瑞英,等.扬子地台前寒武/寒武纪界线附近的地质事件与成矿作用[J].沉积学报,1987,5(3):81~95.
- [2] 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.
- [3] 李胜荣,肖启云,申俊峰,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.
- [4] 毛景文,张光弟,杜安道,等.遵义黄家湾镍钼铂族元素矿床地 质、地球化学和 Re-Os 同位素年龄测定[J].地质学报,2001, 75(1):234~241.
- [5] 张光弟,李九玲,熊群尧,等.贵州遵义黑色页岩铂族元素金属 富集特点及富集模式[J].矿床地质,2002,21(4):377~385.
- [6] Chaodong Wu, Chengyun Yang, Qiying Chen. Genesis of hydrothermal-sedimentary barite deposits, W Hunan and E. Guizhou, China[J]. In: Mineral Deposits: Processes to Processing, Stanley et al. (eds) .1999. 283–285.
- [7] Coveney RM, Jr, Murowchick JB, Grauch RI, Chen N, Glascock MD, and Denison JR. Gold and Platinum in shales with evidence against extraterrestrial sources of metals [J]. Chemical Geology, 1992(99): 101-114.
- [8] Kao Li-Shun, Peacor Donald R, Coveney Jr. Raymond M., Zhao Gengmei, Dungey Keenan E, Curtis M. David, and Penner-Hahn James E., A C/MoS2 mixed-layer phase (MoSC) occurring in mealliferous black shales from southern China, and new data on jordisite[J]. American Mineralogist, 2001, 86:852-86.
- [9] 王恩德,关广岳.金矿床的有机地球化学研究—腐殖酸对金银 迁移沉淀作用[J].地球化学,1993,1:56~60.

- [10] 高振敏,罗泰义,李胜荣.黑色岩系中贵金属富集层的成因:来 自固定铵的佐证[J].地质地球化学,1997,1:18~23.
- [11] Powell TG, Macqueen RW, Role of organic matter in precipitation of lead-zinc sulfides at Pine Point, Canada, In: Geoscience in the development of natural resources [J]. Geological Society of Australia, 1984, Vol(12):441~442.
- [12] 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].科学出版社,1987,240.
- [13] 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[R]. 中国科学院贵阳地球化学所,博士后科研论文, 1994.
- [14] Yonghong Jiang, Shengrong Li, Kazue Tasaki, Ryuji Asada, The Mineral Association and Typomorphism of Pyrite in the Lower Cambrian Black-Rock Series-Type Rich-in-Noble-Elements Ni-Mo Deposits in Hunan and Guizhou Provinces, China, Mineralogy and Geochemistry--Resources, Environment and Life[M]. Edited by Shengrong Li, Junfeng Shen and Hong Xu, Geological Publishing House, Beijing, China, 2004, p. 180-189.
- [15] 梁有彬,朱文凤. 湘西北天门山地区镍钼矿铂族元素富集特征
  及成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 1995 年 3 月,10(1):55 ~
  65.
- [16] 庄汉平,卢家烂. 与有机质有成因联系的金属矿床[J]. 地质地 球化学,1996,224(4):6~11.
- [17] 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[R]. 中国地质大学(北京)博士学位论文,2004 年.
- [18] 储雪蕾,孙 敏,周美夫.内蒙古西大井铜多金属矿床矿石的 铂族元素分布及物质来源[J].科学通报,2002,47(6):457~ 461.

# Study on Correlation Between Organic Matter and PGE Mineralization in the Black-rock-series-type Ni-Mo Deposits in the Lower Cambrian in Hunan and Guizhou Provinces

JIANG Yong-hong

(Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037)

Abstract: The Black-Rock-Series-Type Ni-Mo-PGE deposits are located in the Zhangjiajie of Hunan province and Zunyi of Guizhou province, The analysis in shows that the black shale samples the PGE content characteristics including  $\Sigma$ PGE  $Ln(Pd/Pt) (Ru/Ir) \times (Pd/Pt) Ln[(Ru/Ir) \times (Pd/Pt)]$ are all in good correlation with the characteristic parameters of organic content. The tendency map analysis indicates that the Ln[(Ru/Ir)  $\times$ (Pd/Pt)] is well in linear correlation with the characteristic parameter of PGE content, i. e. Ln[(Ru/Ir)  $\times$ (Pd/Pt)]. The linear correlation equation is y=0.4762x-1.1316, and the correlation coefficient R is equal to 0.7584, indicating the parameter is a stable one, mainly controlled by the total organic content (TOC) and accurately as an index to the constraints from the bio-material. However, apart from the up-and-down correlation in step between the parameters of Ln(Corg) and the  $\Sigma$ PGE of the samples from Zhangjiajie of Hunan province, whereas such coexistent relation is quite different there in the Zunyi area of Guizhou province, which is extrapolated to be in the consequence of the catagenesis-stage thermal event (Yinchi-Hercynian epoch as the Rb-Sr isochron age to be 277±37Ma) which has caused the high maturity of the kerogen, a lot of gas exhalation(C>2%) and the tendency to become graphite, or in other words, the aromatic structure effect has interchanged the organic matter in the resource rock and led to the exhaustion of the organic matters.

Key words: Hunan and Guizhou Provinces, Black-Rock-Series-Type Ni-Mo deposits, organic matter, Platinum Group Elements, mineralization.