

文章编号:1000-4734(2007)03-0315-10

重庆城口地区早前寒武系黑色岩系研究: (3)巴山组硅质岩中 PGE 异常的地球化学研究

李晓彪^{1,2}, 罗远良³, 罗泰义¹, 周明忠^{1,2}

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 重庆市地质矿产勘查开发总公司 205 地质队, 重庆 永川 402360)

摘要:以猪草河剖面 and 羊儿坝剖面为例, 进行硅质岩的 PGE 与微量元素等地球化学分析, 结果表明: 槽区硅质岩中的 PGE 异常受控于硅质岩中火山物质(蚀变成粘土矿物)的多少, PGE 与 Sc、Rb、Cs、Ti、Cr、Zr 等具有良好的相关性; 猪草河剖面远离陆源区, 沉积厚度大, 更靠近火山活动区域, 接受火山粗碎屑物质的量多; 羊儿坝剖面远离火山活动中心, 主要接受了火山灰等细碎屑物质, 更接近陆源区, 受一定量的陆源碎屑物质影响。根据 Cr/Co、Nb/Ta、Pd/Ir-Ni/Cu 及 Ni/Pd-Cu/Ir 对岩浆性质的约束, 当时岩浆性质为基性玄武岩。根据 La-Y-Nb 图解和 Th-Hf-Ta 图解的进一步约束, 表明当时的火山岩浆性质为钙碱性的火山弧玄武岩。

关键词:硅质岩; PGE; 下寒武统; 城巴地区

中图分类号: P534.41; P536 **文献标识码:** A

作者简介: 李晓彪, 男, 1970 年生, 博士研究生, 助理研究员, 主要从事矿床地球化学研究。

黑色岩系是含较多有机碳($C_{\text{有机}} \geq 1\%$)及硫化物(铁硫化物为主)的暗灰—黑色的硅岩、碳酸盐岩、泥质岩(含层凝灰岩)及其相应变质岩石组合的总称^[1]。下寒武统黑色岩系在世界范围内广泛分布, 它是多种元素(如 PGE、REE、Ba、P、Ni、Mo 等)的重要载体或围岩, 其中常产出许多大型、超大型矿床, 被称为“多元素富集层”^[2]。

华南贵州遵义和湖南大庸等地的下寒武统黑色岩系, 由于产出 Ni-Mo-PGE 矿化层而被中外地质学家重视。关于其中铂族元素的来源, 大部分研究者都同意海底热水沉积作用的重要性^[3-9], 但总体上由于早寒武世华南缺乏岩浆活动, 因此对相关热水活动的地球动力学因素一直欠缺深入的研究。

硅质岩由于其抵抗后期改造的能力强和形成于特定的地球化学条件下, 能够反映古环境、古构造、物源及成岩成矿等信息。贵州遵义和湖南大庸等地产出 Ni-Mo-PGE 矿化层的黑色岩系中, 虽

然有一定的硅质岩研究^[4-10], 但总体上这些地方的硅质岩厚度都很薄, 而且这些硅质岩本身还没有发现 PGE 矿化或异常。

罗泰义等^[11-12]最近对南秦岭城巴地区下寒武统黑色岩系的研究表明, 城巴断块水井沱组具有和遵义等地相似的岩性组合, 也发现有相似的 V-Mo-PGE 异常; 而城巴槽区的巴山组硅质岩则以厚度大, PGE 异常广泛而连续存在为特征。李晓彪等^[13]进一步在猪草河剖面发现了硅质岩中强烈的 Eu 正异常, 并讨论了从城巴断块向北分布的硅质岩厚度逐渐增大的三个剖面的沉积环境演化。本文的目的是通过对羊儿坝和猪草河剖面硅质岩的微量元素和铂族元素进行深入讨论, 探讨 PGE 异常形成的原因和 PGE 的来源。

1 地质概况、样品采集及分析情况

南秦岭槽区早寒武世巴山组地层主要包括碳质硅质岩相和碳钙质页岩相, 硅质岩相由中厚层状硅质岩组成, 罗泰义等^[11-12]对城巴地区早寒武世黑色岩系的 PGE 异常进行了系统研究, 本文相关的剖面及样品情况, 在此不予赘述。

涉及的分析测试主要包括微量元素 ICPMS

收稿日期: 2007-06-05

基金项目: 国家自然科学基金(40672053); 重庆市地质矿产勘查开发总公司与中国科学院地球化学研究所合作项目

分析和 PGE 分析,微量元素 ICPMS 分析在中国科学院地球化学研究所采用电感耦合等离子质谱(ICP-MS)分析,稀土元素的分析精度优于 3%,其他微量元素的分析精度优于 10%;PGE 分析由捷克地调局和地矿部郑州综合测试分析中心进行分析;相关的 PGE 及微量元素分析结果请参阅罗泰义等^[11]的表 2 和表 3。

2 硅质岩中的 PGE 异常

2.1 岩浆活动的影响

硅质岩的主要成分是 SiO₂,伴有少量的碳酸盐、硫酸盐、粘土成分及碳质物。研究硅质岩中的粘土成分及相关的典型微量元素有助于了解当时火山岩浆的成分;热水蚀变改造中的有关岩浆活动的典型元素、难活化迁移元素就是比较好的指示因子^[14-15]。硅质岩中的粘土成分主要有两方面的来源,一是陆源碎屑物(含粘土矿物)的蚀变产物,二是火山碎屑物的蚀变产物。对黄安猪草河剖面典型硅质岩的 XRD 分析表明,硅质岩中存在一定量的粘土矿物(伊利石等)和长石(钾长石和斜长石),镜下鉴定表明存在凝灰质硅质岩,说明这些粘土矿物和长石很可能是当时火山岩浆活动存在的证据。

对羊儿坝和猪草河剖面硅质岩,进行了 PGE 与一系列微量元素的相关性计算,表 1 列出了两个硅质岩剖面的相关系数差异;而图 1~21 则集中展示了一系列微量元素与 PGE 的相关性。

表 1 猪草河剖面和羊儿坝剖面
相关微量元素与 PGE 的相关系数对比

Table 1. Comparison of the correlation parameters for the related trace elements and PGE between the Zhucaohe and Yang'erba sections

	猪草河剖面			羊儿坝剖面		
	Pt	Pd	Pt + Pd	Pt	Pd	Pt + Pd
Sc	0.56	0.90	0.88	0.59	0.64	0.64
TiO ₂	0.40	0.87	0.82	0.81	0.86	0.85
V ₂ O ₅	-	-	-	0.74	0.72	0.73
Cr	0.73	0.83	0.86	0.68	0.67	0.68
Rb	0.42	0.75	0.73	0.86	0.87	0.88
Cs	0.50	0.74	0.74	0.84	0.87	0.87
Zr	0.57	0.86	0.85	0.53	0.52	0.53
Nb	0.44	0.86	0.82	0.73	0.79	0.79
Ta	0.41	0.87	0.83	0.76	0.84	0.83
Tl	0.43	0.60	0.60	0.86	0.83	0.84
Th	0.41	0.87	0.82	0.60	0.71	0.69

注:-表示相关性差。

(1) Sc:是一种较分散的元素,主要赋存在基性岩和超基性岩的铁镁矿物(辉石、闪石等)中,辉石岩和辉长岩是最主要的 Sc 富集体,而且在岩浆分异过程中,Sc 多富集在结晶过程的早期^[16]。图 2 和图 3 显示 Sc 与 Pt、Pd 及 Pt + Pd 具有很好的相关性,表明硅质岩中的 PGE 与当时可能存在的基性岩浆活动有直接的联系。猪草河剖面硅质岩沉积厚度大,更接近火山活动中心,Sc 的来源单一,相关性优于羊儿坝剖面。

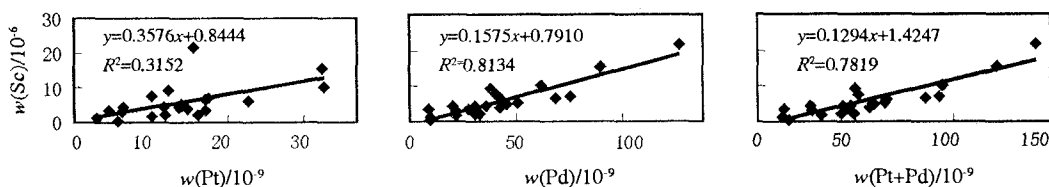


图 1 猪草河剖面 Pt-Sc、Pd-Sc 及 (Pt + Pd)-Sc 相关性

Fig.1. Pt-Sc, Pd-Sc and (Pt + Pd)-Sc correlations for the Zhucaohe section.

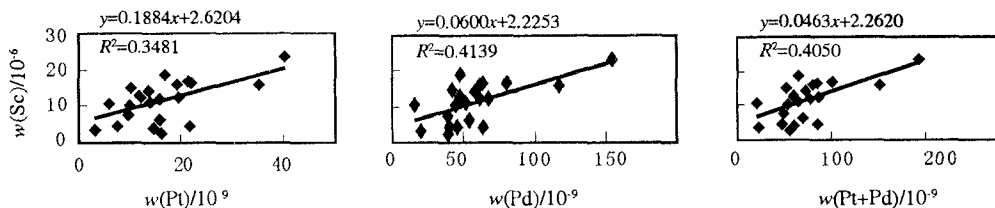


图 2 羊儿坝剖面 Pt-Sc、Pd-Sc 及 (Pt + Pd)-Sc 相关性

Fig.2. Pt-Sc, Pd-Sc and (Pt + Pd)-Sc correlations for the Yang'erba section.

(2)Rb、Cs:同属于大离子元素,比较分散,主要赋存在长石、云母等含钾矿物相中,在岩浆过程中主要在晚期富集^[16]。二者在风化过程中容易被粘土矿物吸附,在硅质岩中的 Rb 和 Cs 含量可

以指示残留岩浆物质的多少^[17];但是在猪草河剖面的硅质岩中存在一定的火山碎屑物,导致了 Rb、Cs 含量的不均一,因此羊儿坝剖面的相关性优于猪草河剖面(图 3~6)。

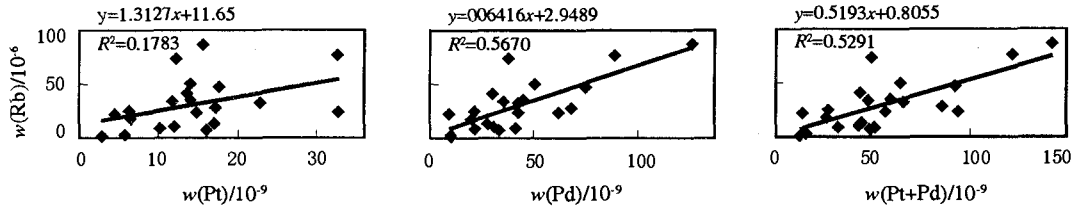


图 3 猪草河剖面 Pt-Rb、Pd-Rb 及 (Pt + Pd)-Rb 相关性

Fig. 3. Pt-Rb, Pd-Rb and (Pt + Pd)-Rb correlations for the Zhucaohe section.

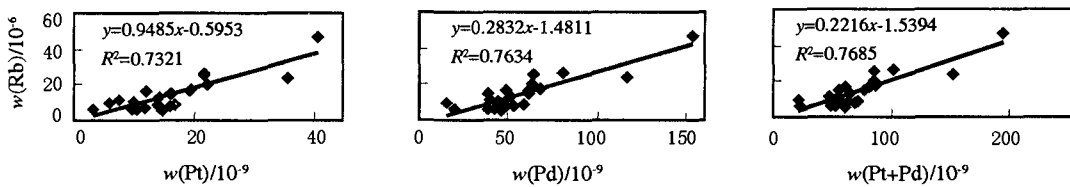


图 4 羊儿坝剖面 Pt-Rb、Pd-Rb 及 (Pt + Pd)-Rb 相关性

Fig. 4. Pt-Rb, Pd-Rb and (Pt + Pd)-Rb correlations for the Yang'erba section.

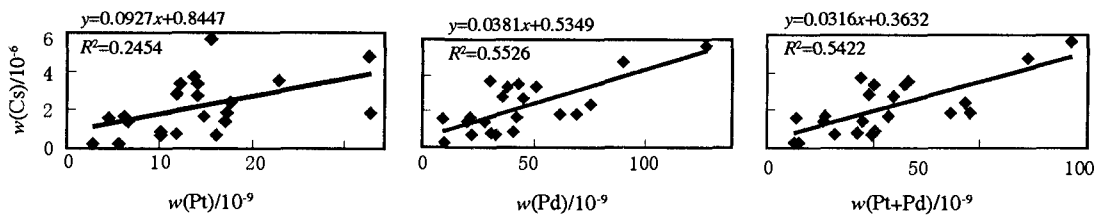


图 5 猪草河剖面 Pt-Cs、Pd-Cs 及 (Pt + Pd)-Cs 相关性

Fig. 5. Pt-Cs, Pd-Cs and (Pt + Pd)-Cs correlations for the Zhucaohe section.

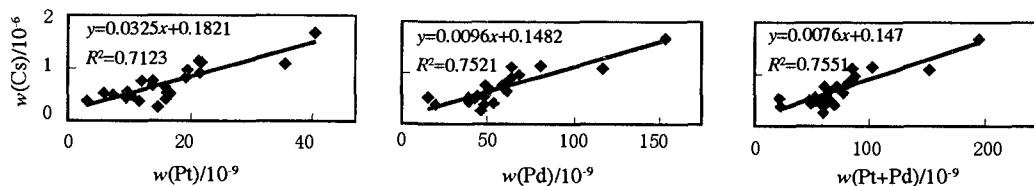


图 6 羊儿坝剖面 Pt-Cs、Pd-Cs 及 (Pt + Pd)-Cs 相关性

Fig. 6. Pt-Cs, Pd-Cs and (Pt + Pd)-Cs correlations for the Yang'erba section.

(3)V:是基性岩浆活动的重要指示元素,在沉积活动过程中又是亲有机质的元素^[16]。有机质的吸附作用及钒卟啉的存在被作为许多黑色岩系钒矿床生物作用成矿的重要证据^[18-19]。陡

山沱组黑色岩系虽然具有很高的有机碳含量,但 V 的含量普遍很低^[12],表明虽然有机碳是一种很好的吸附载体,但还不是一种充分条件。沉积环境中具有高 V 的背景,才是形成黑色岩系中 V

异常的充分条件。猪草河剖面中 V 与 PGE 的相关性很差(未示出),也表明了靠近火山活动的物源区,V 除了碳吸附的存在状态之外,可能还以微细的矿物存在,如江西荷塘、郑坊等地的 V

矿床^[20],导致样品中 V 的分布不均一;远离火山活动的羊儿坝,碳(包括粘土矿物)的吸附作用是主要的,V 的分布均一,与 PGE 的相关性良好(图 7)。

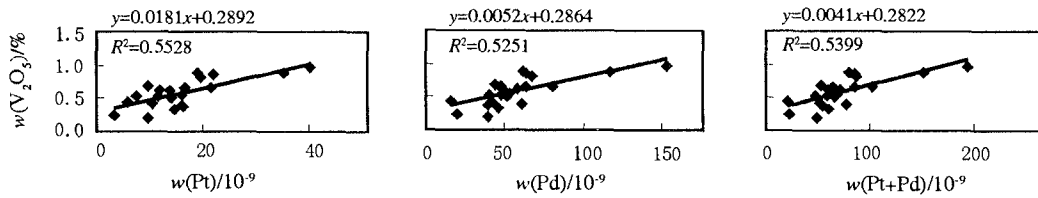


图 7 羊儿坝剖面 Pt-V₂O₅、Pd-V₂O₅及 Pt + Pd-V₂O₅相关性

Fig. 7. Pt-V₂O₅, Pd-V₂O₅ and Pt + Pd-V₂O₅ correlations for the Yang'erba section.

(4)Ti:是岩浆活动的重要指示元素.在基性岩中有很高的含量,是典型的亲氧元素,因而在基性岩的演化中随着碱性的增强而增高,喷出岩中也比侵入岩中含量高;在超基性岩中与 Cr、Ni 伴生,但 Ti 和 Cr 呈负相关^[16]。在热水蚀变过程中 Ti 不容易活化迁移,是良好的指示性元素^[21-22]。

在猪草河硅质岩中 TiO₂与 Pd 及 Pt + Pd 相关性较好,但是与 Pt 的相关性较差;而羊儿坝剖面中 Ti 与 Pt 及 Pd 的相关性都很好(图 8,图 9)。表明羊儿坝剖面接受的火山产物是比较均匀的凝灰质物质,而猪草河剖面可能接受了较多的粗碎屑物质,导致了 Ti 的分布不均一。

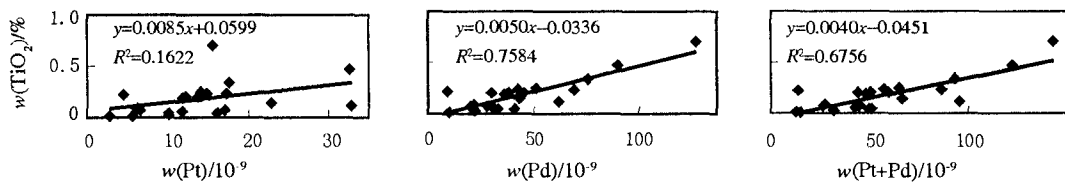


图 8 猪草河剖面 Pt-Ti₂O、Pd-Ti₂O 及 (Pt + Pd)-Ti₂O 相关性

Fig. 8. Pt-Ti₂O, Pd-Ti₂O and (Pt + Pd)-Ti₂O correlations for the Zhucaohe section.

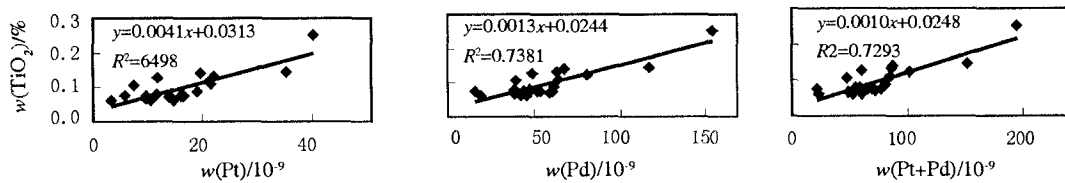


图 9 羊儿坝剖面 Pt-TiO₂、Pd-TiO₂及 (Pt + Pd)-TiO₂相关性

Fig. 9. Pt-TiO₂, Pd-TiO₂ and (Pt + Pd)-TiO₂ correlations for the Yang'erba section.

(5)Cr:典型的地幔元素。在超基性岩中含量最高,基性岩次之^[16];在表生条件下只有在强氧化条件下才能活化迁移,虽然黑色岩系中较高的 Cr 含量被一些学者认为是有机质聚集的结果,但是大量的 Cr 的原始来源应该是深部来源,有机质起了捕获富集的作用^[15, 23]。在与 PGE 的相关性

方面,Cr 的矿物相更多的是与熔点高的元素相关,如 IPGE。黄安剖面硅质岩中,Cr 与 Pt 有一定的相关性,是所有元素中与 Pt 相关性最好的元素,和 Pd 及 Pt + Pd 也具有良好相关性;整体上,猪草河剖面的相关性优于羊儿坝剖面(图 10,图 11)。

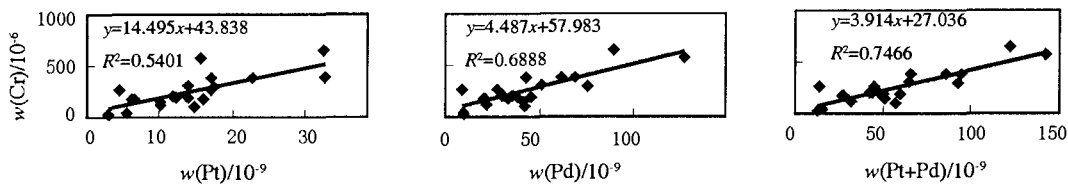


图 10 猪草河剖面 Pt-Cr、Pd-Cr 及 (Pt + Pd)-Cr 相关性

Fig. 10. Pt-Cr, Pd-Cr and (Pt + Pd)-Cr correlations for the Zhucaohe section.

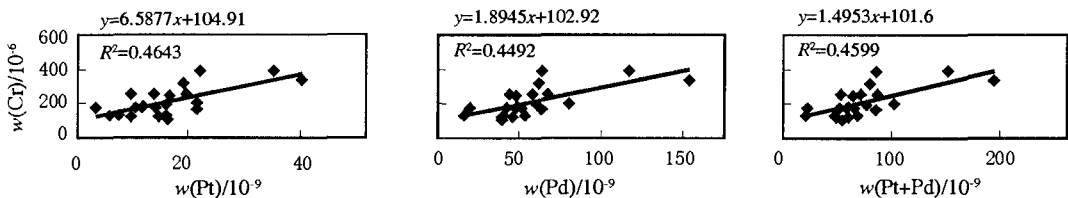


图 11 羊儿坝剖面 Pt-Cr、Pd-Cr 及 (Pt + Pd)-Cr 相关性

Fig. 11. Pt-Cr, Pd-Cr and (Pt + Pd)-Cr correlations for the Yang'erba section.

(6) Co、Ni、Cu (图略): Co 在黄安硅质岩中与 PGE 有一定的负相关性,可能与 Co 对氧逸度变化非常敏感有关;Ni 和 Cu 的异常都可能是基性岩浆活动的指示因素^[16],但是由于在热水活动过程中 Ni 和 Cu 有较大的活化迁移能力,在硅质岩中 Ni 和 Cu 与 PGE 的相关性都较差,但是它们在地表氧化条件下能够形成鲜明的绿色次生矿物,是野外工作的重要指示标志。

(7) Zr、Nb、Ta、Th: 这是一组难活化迁移的元素,在热水活动过程中与 PGE 具有相似的性质。在羊儿坝剖面,可能存在陆源碎屑锆石的影响,Zr 与 PGE 的相关性较差;而猪草河剖面硅质岩中 Zr 的来源单一,这一组元素与 PGE 都有良好的相关性(图 12~19),表明这些特征元素来源于相关的基性岩浆活动;这一组元素的相关性在猪草河剖面都优于羊儿坝剖面,表明了二者之间沉积物源的差异。

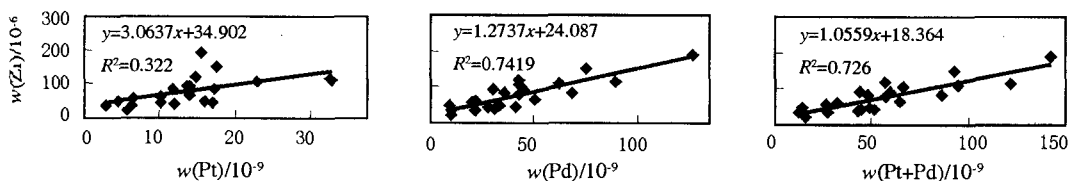


图 12 猪草河剖面 Pt-Zr、Pd-Zr 及 (Pt + Pd)-Zr 相关性

Fig. 12. Pt-Zr, Pd-Zr and (Pt + Pd)-Zr correlations for the Zhucaohe section.

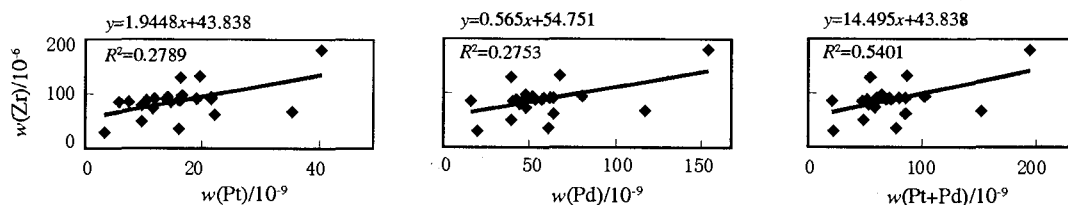


图 13 羊儿坝剖面 Pt-Zr、Pd-Zr 及 (Pt + Pd)-Zr 相关性

Fig. 13. Pt-Zr, Pd-Zr and (Pt + Pd)-Zr correlations for the Yang'erba section.

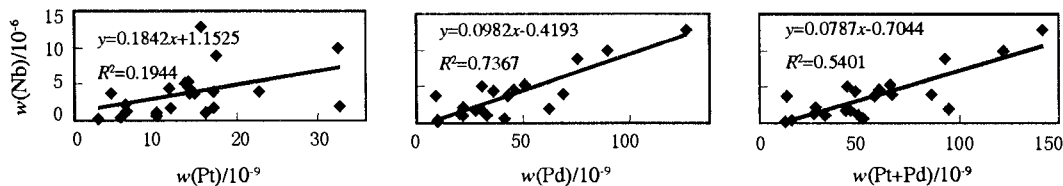


图 14 猪草河剖面 Pt-Nb、Pd-Nb 及 (Pt + Pd)-Nb 相关性

Fig. 14. Pt-Nb, Pd-Nb and (Pt + Pd)-Nb correlations for the Zhucaohu section.

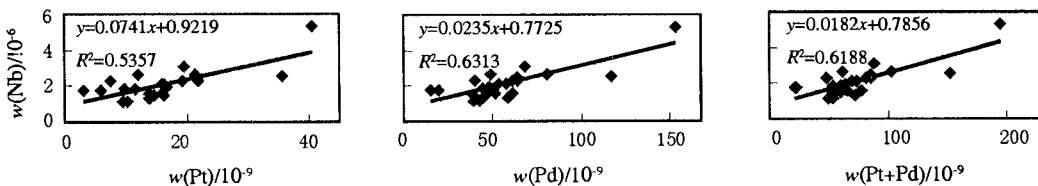


图 15 羊儿坝剖面 Pt-Nb、Pd-Nb 及 (Pt + Pd)-Nb 相关性

Fig. 15. Pt-Nb, Pd-Nb and (Pt + Pd)-Nb correlations for the Yang'erba section.

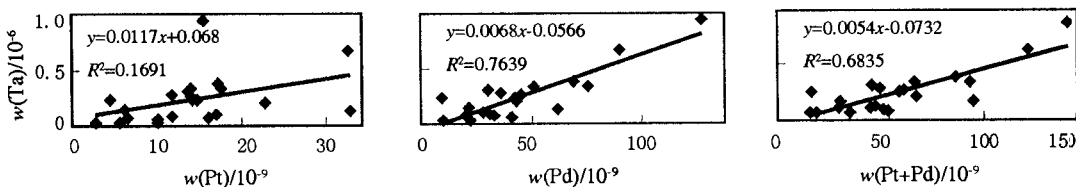


图 16 猪草河剖面 Pt-Ta、Pd-Ta 及 (Pt + Pd)-Ta 相关性

Fig. 16. Pt-Ta, Pd-Ta and (Pt + Pd)-Ta correlations for the Zhucaohu section.

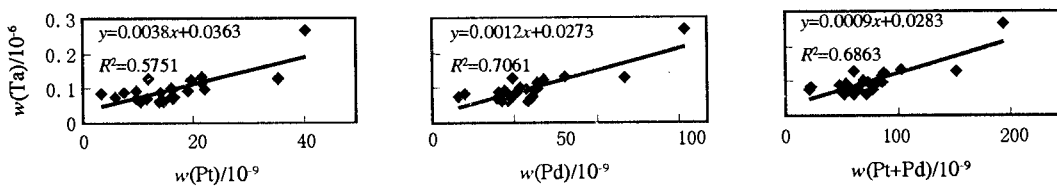


图 17 羊儿坝剖面 Pt-Ta、Pd-Ta 及 (Pt + Pd)-Ta 相关性

Fig. 17. Pt-Ta, Pd-Ta and (Pt + Pd)-Ta correlations for the Yang'erba section.

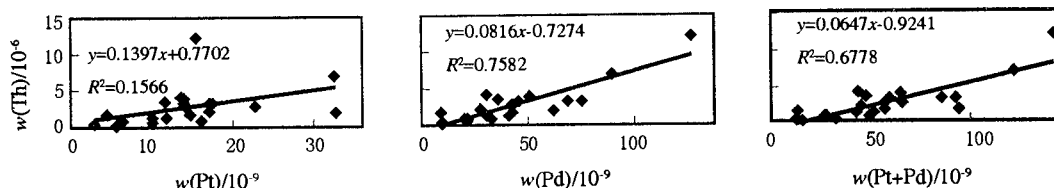


图 18 猪草河剖面 Pt-Th、Pd-Th 及 (Pt + Pd)-Th 相关性

Fig. 18. Pt-Th, Pd-Th and (Pt + Pd)-Th correlations for the Zhucaohu section.

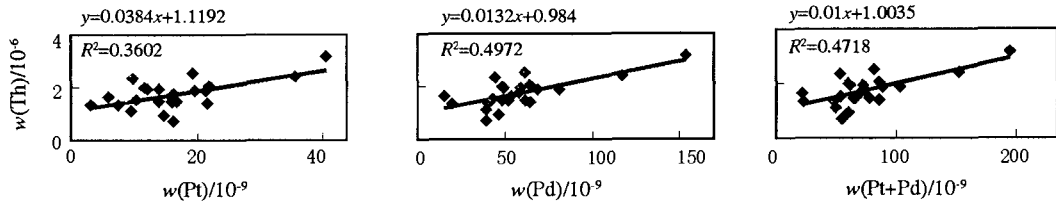


图 19 羊儿坝剖面 Pt-Th、Pd-Th 及 (Pt + Pd)-Th 相关性

Fig. 19. Pt-Th, Pd-Th and (Pt + Pd)-Th correlations for the Yang'erba section.

(8) Tl: 与 Se、As 等都是岩浆射气元素^[16]。ICP-MS 不能精确测定 Se 和 As, 但是一些研究证明槽区的硅质岩中含有较高含量的 Se^[24]。Tl 的迁移距离较远, 近火山源区由于多种因素的影响

而分布不均一, 在远离火山源区, 控制因素单一(细颗粒火山灰)而分布均一, 导致羊儿坝剖面中 Tl 与 PGE 的相关性普遍优于猪草河剖面(图 20, 图 21)。

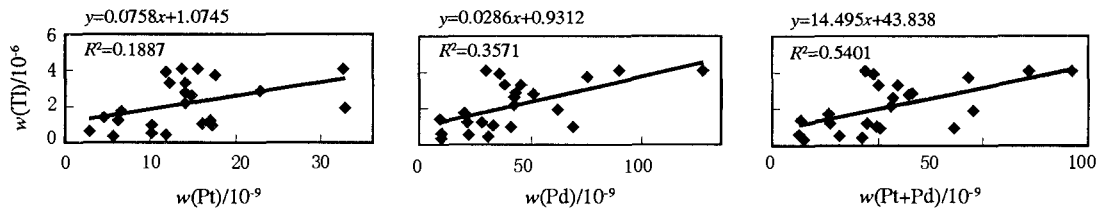


图 20 猪草河剖面 Pt-Tl、Pd-Tl 及 (Pt + Pd)-Tl 相关性

Fig. 20. Pt-Tl, Pd-Th and (Pt + Pd)-Tl correlations for the Zhucaohe section.

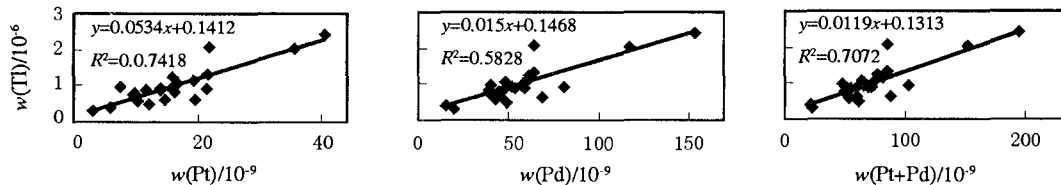


图 21 羊儿坝剖面 Pt-Tl、Pd-Tl 及 (Pt + Pd)-Tl 相关性

Fig. 21. Pt-Tl, Pd-Tl and (Pt + Pd)-Tl correlations for the Yang'erba section.

2.2 岩浆活动的性质

通过对部分典型微量元素与 PGE 的相关性研究, 结果表明在硅质岩沉积时期, 有比较强烈的火山岩浆活动, 根据一些典型微量元素的比值, 可以对硅质岩中保留的岩浆信息进行约束。

(1) Nb/Ta 比值: 在超基性岩中的平均值为 16, 在辉长岩中为 17.3, 和酸性岩有很大的差异^[16]。猪草河硅质岩的 Nb/Ta 比值主要集中在 14~18 之间, 平均 17.03; 羊儿坝硅质岩的 Nb/Ta 比值主要集中在 17~22 之间, 平均 21.90(图 22)。上述数值表明在硅质岩中存在的岩浆物质为基性或超基性岩浆活动的产物。

(2) Cr/Co: 铁族元素在岩浆岩中的比值具有指示意义, Cr/Co 比值在超基性岩中平均为 10, 而在基性岩中为 4.4^[16], 猪草河硅质岩中 Cr/Co 比值主要集中在 1~4 之间, 平均为 3.0(图 23), 表明岩浆性质更接近于基性岩浆。

(3) La-Y-Nb 图解^[24]: 硅质岩的主要数据点落入该图解的 1C 区(图 24), 表明岩浆性质为火山弧玄武岩。

(4) Th-Hf-Ta 图解^[25]: 两套硅质岩的主要数据点落入该图解的 D 区(图 25), 进一步根据 Hf/Th 比值大部分小于 3, 表明岩浆性质为钙碱性的火山弧玄武岩。

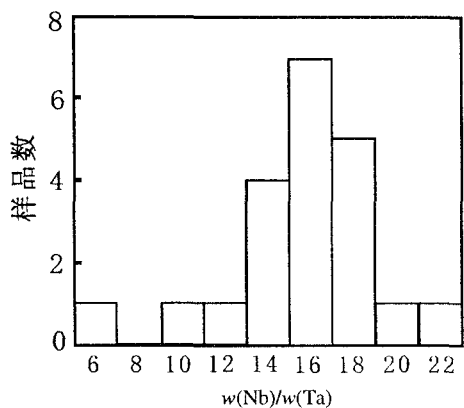


图 22 猪草河与羊儿坝硅质岩中 Nb/Ta 比值的统计直方图

Fig.22. Nb/Ta ratios in the Zhucaohe and Yang'erba cherts.

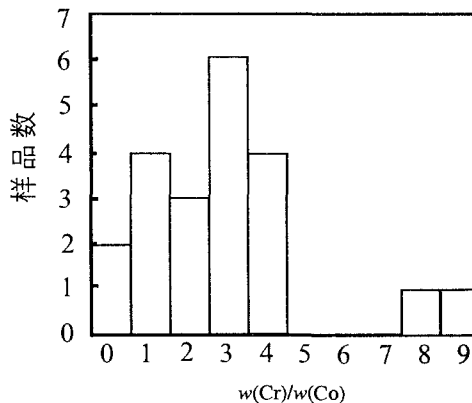
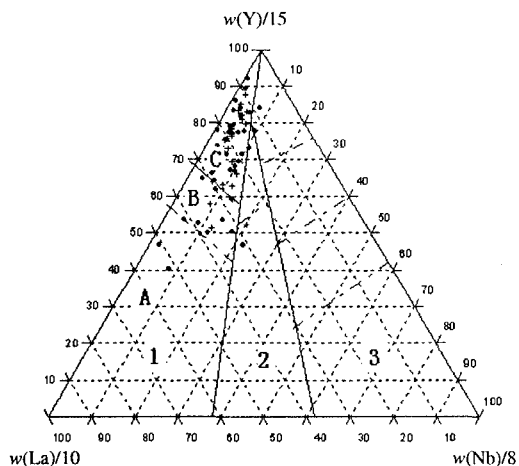


图 23 猪草河硅质岩中 Cr/Co 比值的统计直方图

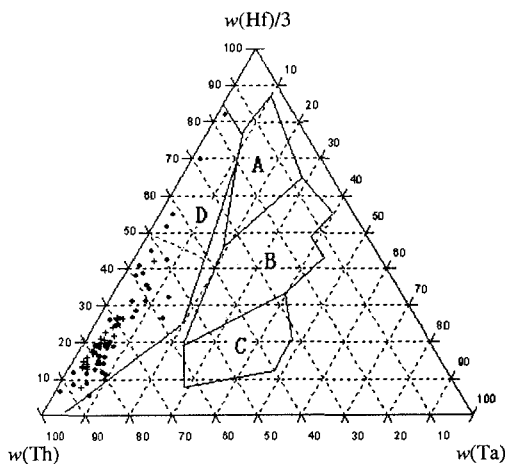
Fig.23. Cr/Co ratios in the Zhucaohe cherts.



实心圆点为猪草河硅质岩的数据,
+ 为羊儿坝硅质岩的数据;
1C 区为火山弧玄武岩

图 24 猪草河和羊儿坝硅质岩的 La-Y-Nb 判别图解^[24]

Fig.24. La-Y-Nb discrimination diagram of siliceous rocks between the Zhucaohe and Yang'erba sections.



实心圆点为猪草河硅质岩的数据,
+ 为羊儿坝硅质岩的数据;
D 区为火山弧玄武岩, Hf/Th < 3 的区域代表钙碱性玄武岩

图 25 猪草河和羊儿坝硅质岩的 Th-Hf-Ta 判别图解^[25]

Fig.25. Th-Hf-Ta discrimination diagram of siliceous rocks between the Zhucaohe and Yang'erba sections.

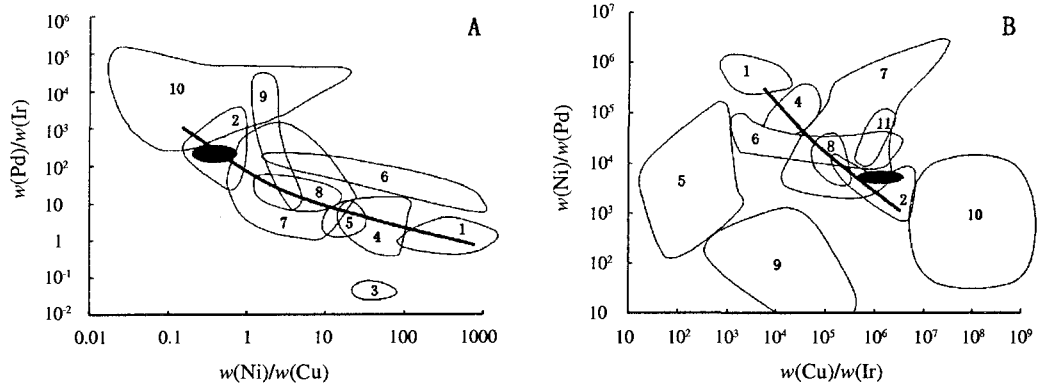
(5) Pd/Ir-Ni/Cu 及 Ni/Pd-Cu/Ir 图解^[26]: 硅质岩中有 Ir 分析数据的样品有 5 件, 这些样品在两种图解中都主要落入溢流玄武岩的区域(图 26), 表明硅质岩中的岩浆物质的性质为基性的(溢流)玄武岩(该图解不能明确区分火山弧玄武岩)。

3 结论

根据硅质岩的 PGE 与微量元素地球化学分析, 结合岩矿鉴定, 表明槽区硅质岩中的 PGE 异

常受控于硅质岩中岩浆物质(粘土矿物等)的多少, PGE 与 Sc、Rb、Cs、Ti、Cr、Zr 等具有良好的相关性。

猪草河剖面 and 羊儿坝剖面的相关性对比表明, 猪草河剖面远离陆源区, 沉积厚度大, 更靠近火山活动区域, 接受的火山粗碎屑物质的量多; 羊儿坝剖面远离火山活动中心, 主要接受了火山灰等细碎屑物质, 更接近陆源区, 受一定量的陆源碎屑物质影响。



A. Pd/Ir-Ni/Cu 图解

B. Ni/Pd-Cu/Ir 图解

1. 地幔 2. 溢流玄武岩 3. 蛇绿岩中铬铁岩 4. 科马提岩 5. 铬铁岩 6. 蛇绿岩 7. 层状岩体
8. 高镁玄武岩 9. PGE 矿层 10. 富 Cu 硫化物脉体 11. 洋中脊玄武岩
黑粗线表示熔融趋势线

图 26 基性-超基性岩石及硫化物中金属元素比值图解(根据 Barnes 等^[26])

Fig. 26. Ratio diagram of the metal elements in basic-ultrabasic rocks and sulfides.

根据 Cr/Co、Nb/Ta、Pd/Ir-Ni/Cu 及 Ni/Pd-Cu/Ir 对岩浆性质的约束表明,当时的岩浆性质为基性玄武岩。

根据 La-Y-Nb 图解和 Th-Hf-Ta 图解的的进一步约束,表明当时的火山岩浆性质为钙碱性的火山弧玄武岩。

参 考 文 献:

[1] 叶杰,范德廉. 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, 2000,19(2): 95-102.
 [2] 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.
 [3] 江永宏,李胜荣. 贵州遵义下寒武统黑色岩系型 Ni, Mo 矿床 Rb-Sr 同位素测年与示踪研究[J]. 矿物岩石, 2005,25(1): 62-66.
 [4] 李胜荣,高振敏. 华南下寒武统黑色岩系中的热水成因硅质岩[J]. 矿物学报, 1996,16(4): 416-422.
 [5] JIANG Shao-yong, YANG Jing-hong, LING Hong-fei, et al. Re-Os isotopes and PGE geochemistry of black shales and intercalated Ni-Mo polymetallic sulfide bed from the Lower Cambrian Niutitang Formation, South China [J]. 自然科学进展(英文版), 2003,13(10):788-794.
 [6] Pasava J. A group of papers devoted to the metallogeny of black shales; preface [J]. *Economic Geology*,1996,91(1):1-3.
 [7] Steiner M, Wallis E, Erdmann B-D, et al. Submarine-hydrothermal exhalative ore layers in black shales from South China and associated fossils; insights into a Lower Cambrian facies and bio-evolution [J]. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*,2001,169(3/4): 165-191.
 [8] 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.
 [9] 李胜荣,高振敏. 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[J]. 矿物学报, 1995,15(2): 225-229.
 [10] 江永宏,李胜荣. 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, 2005,12(4): 622-629.
 [11] 罗泰义,宁兴贤,罗远良,等. 重庆城口地区早前寒武系黑色岩系研究:(1)铂族元素成矿潜力评估[J]. 矿物学报, 2007,27(3/4): 287-301.
 [12] 罗泰义,陶琰,朱丹,等. 重庆市城口黑色岩系贵金属成矿性研究[R]. 贵阳:中国科学院地球化学研究所,2004.
 [13] 李晓彪,罗远良,罗泰义,等. 重庆城口地区早前寒武系黑色岩系研究:(2)早寒武世硅质岩的沉积环境研究[J]. 矿物学报, 2007, 27(3/4):302-314.
 [14] 张成立,周鼎武,陆关祥,等. 南天山库米什蛇绿混杂岩带中硅质岩的元素地球化学特征及其形成环境[J]. 岩石学报, 2006,22 (1): 57-64.
 [15] 雷卞军,胡宁,等. 鄂西古生代硅质岩的地球化学特征及沉积环境[J]. 沉积与特提斯地质, 2002,22(2): 70-79.
 [16] 刘英俊,曹励民,李兆麟,等. 元素地球化学[M]. 北京:科学出版社,1984.
 [17] 于炳松,陈建强,李兴武,等. 塔里木盆地肖尔布拉克剖面下寒武统底部硅质岩微量元素和稀土元素地球化学及其沉积背景[J]. 沉积学报, 2004,22(1): 59-66.

- [18] 于炳松, Dong Hailiang, 陈建强, 等. 塔里木盆地寒武统底部层状硅质岩微量元素和稀土元素地球化学特征及其成因意义[J]. 地质学报, 2005, 79(2): 261-261.
- [19] 姚林波, 高振敏, 等. 渔塘坝矿床富硒硅质岩的成因[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(1): 54-63.
- [20] 龙洪波, 龙家灿. 樟村—郑坊黑色岩系钒矿床中钼冰长石岩的发现—热水沉积成因的证据[J]. 科学通报, 1994, 39(7): 636-638.
- [21] 温汉捷, 裘愉卓, 凌宏文, 等. 中国早古生代若干高硒黑色岩系中层状硅质岩的地球化学特征及其成因意义[J]. 沉积学报, 2003, 21(4): 619-626.
- [22] 周永章, 何俊国, 杨志军, 等. 华南热水沉积硅质岩建造及其成矿效应[J]. 地质前缘, 2004, 11(2): 373-377.
- [23] 冯彩霞, 刘家军, 等. 渔塘坝矿床硅质岩的地球化学特征及成因[J]. 沉积学报, 2002, 20(4): 727-732.
- [24] 吕志成, 刘丛强, 刘家军, 等. 北大巴山下寒武统毒重石矿床赋矿硅质岩地球化学研究[J]. 地质学报, 2004, 78(3): 390-406.
- [25] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [26] Pašava J, Barnes S-J, Vymazalová A. The use of mantle normalization and metal ratios in the identification of the sources of platinum-group elements in various metal-rich black shales [J]. *Mineralium Deposita*, 2003, 38(6): 775-783.

PRE-EARLY CAMBRIAN BLACK ROCK SERIES IN CHENGKOU DISTRICT, CHONGQING: (3) PGE GEOCHEMISTRY OF LOWER-CAMBRIAN CHERTS IN BASHAN GROUP.

LI Xiao-biao^{1,2}, LUO Yuan-liang³, LUO Tai-yi¹, ZHOU Ming-zhong^{1,2}

(1. The State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100039, China;

3. The No. 205 Geological Team, Chongqing Geology Bureau, Yongchuan 402360, China)

Abstract: According to the geochemical analysis of the PGE and trace elements in the siliceous rocks from the Zhucaohe and Yang'erba sections, it is concluded that: (1) the PGE anomaly relies on the quantity of magmagenic ingredients (clay minerals, etc.) in geosynclinal siliceous rocks, and the PGE are closely related with some elements such as Sc, Rb, Cs, Ti, Cr, Zr, etc; (2) the Zhucaohe section with thicker sediments and much bigger volcanic debris is far from the land-derived region and close to the volcanically active area; while the Yang'erba section with much smaller volcanic ashes is far from the center of volcano activity area and close to the land-derived region and affected by certain land-derived debris; (3) the constraints of Cr/Co, Nb/Ta, Pd/Ir-Ni/Cu and Ni/Pd-Cu/Ir on magma quality indicate that the temporal magma is characteristic of basic basalts; and (4) the further constraints of La-Y-Nb and Th-Hf-Ta indicate that the temporal magma is characteristic of calc-alkaline island-arc volcanic basalts.

Key words: chert; PGE; Lower-Cambrian; Chengba district