

峨眉山玄武岩的铂族元素地球化学特征*

Geochemical Characteristics of Platinum Group Elements in Emeishan Basalts

张成江¹ 李晓林²

Zhang Chengjiang¹ and Li Xiaolin²

(1. 成都理工学院三系, 成都, 610059; 2. 中国科学院高能物理研究所, 北京, 100080)

(1. Department 3, Chengdu Institute of Technology, Chengdu, 610059;

2. Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

摘要 采用镍铈试金预处理中子活化分析方法, 系统地测定了峨眉山玄武岩的铂族元素含量。14个样品的平均值为: Os=0.39ng/g, Ir=0.0698ng/g, Ru=0.49ng/g, Rh=0.25ng/g, Pt=7.71ng/g, Pd=5.48ng/g。相对于原始上地幔, 峨眉山玄武岩的铂族元素分异明显, Os、Ir、Ru、Rh亏损, Pt、Pd富集。(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)比值(平均13.96)和Pd/Ir比值(平均78.5)显著高于原始上地幔、地幔捕虏体、阿尔卑斯型橄榄岩及科马提岩。铂族元素配分模式为铂钯富集型。以上这些特征表明其原始岩浆为上地幔低程度部分熔融形成的玄武岩浆。

Abstract The contents of platinum group elements PGE in Emeishan basalts have been determined using neutron activation analysis after a nickel sulphide fire assay preconcentration. The means of fourteen samples are: Os=0.39ng/g, Ir=0.0698ng/g, Ru=0.49ng/g, Rh=0.25ng/g, Pt=7.71ng/g, Pd=5.48ng/g. The PGE differentiation in Emeishan basalt is different from that for the primitive upper mantle. Os, Ir, Ru and Rh were depleted, Pt and Pd were enriched. The ratios of (Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru) and Pd/Ir in Emeishan basalts are obviously higher than that in the primitive upper mantle, mantle nodules, Alpine-type peridotite and komatiite. The PGE distribution patterns of Emeishan basalts are "Pt-Pd"-rich types. It turns out that the original magma forming Emeishan basalts is basaltic magma coming from upper mantle of low-extent partial melting.

主题词: 铂族元素; 玄武岩; 峨眉山

Key words: Platinum group elements; Basalt; Emeishan

* 1997-12-16收到, 1998-04-21改回。

本文研究由中国科学院核分析联合开放实验室基金项目(96B016)资助。

第一作者简介: 张成江, 男, 1955年生, 副教授, 放射性地质专业。

分类号: P588.14; P595

Classific. code: P588.14; P595

举世闻名的峨眉山玄武岩是世界上前第三纪五个最大的大陆溢流玄武岩之一。前人对该岩系的地质学、岩石学及地球化学等已做了卓有成效的工作,积累了丰富的资料,但对该岩系的铂族元素地球化学研究仍属空白。本文采用镍铋试金预处理中子活化分析方法,系统测定了该岩系典型剖面岩石的铂族元素含量,探讨了该岩系的铂族元素地球化学特征。

铂族元素地球化学研究是元素地球化学研究的最薄弱环节。前人研究着重在岩浆型硫化物矿床中铂族元素的地球化学方面,而对不含矿岩石,特别是玄武岩的铂族元素地球化学研究很弱。本文提供峨眉山玄武岩的铂族元素数据,旨在促进该领域研究的发展。

1 取样剖面地质简述

剖面位于峨眉山清音电站,出露较好,顶底完整。据熊舜华等(1984)实测和系统研究,该剖面玄武岩厚257.68m,可分为三个喷发旋回,九次溢流。岩性为斜斑玄武岩、无斑隐晶和微晶玄武岩及相应的杏仁状玄武岩。每一旋回底部以斜斑玄武岩开始,向上逐渐过渡为无斑玄武岩。杏仁状玄武岩主要集中在中部。岩石以富Ti及较高的K、U、Th、Nd、Sm和贫Mg、Ca、Cr、Ni、Ce等为特征。其成分介于K·C·康迪的大陆裂谷碱性玄武岩与大陆裂谷拉斑玄武岩之间,汪云亮等(1993)认为可能属于临界面(Critical Plane)玄武岩系列。取样位置见图1。

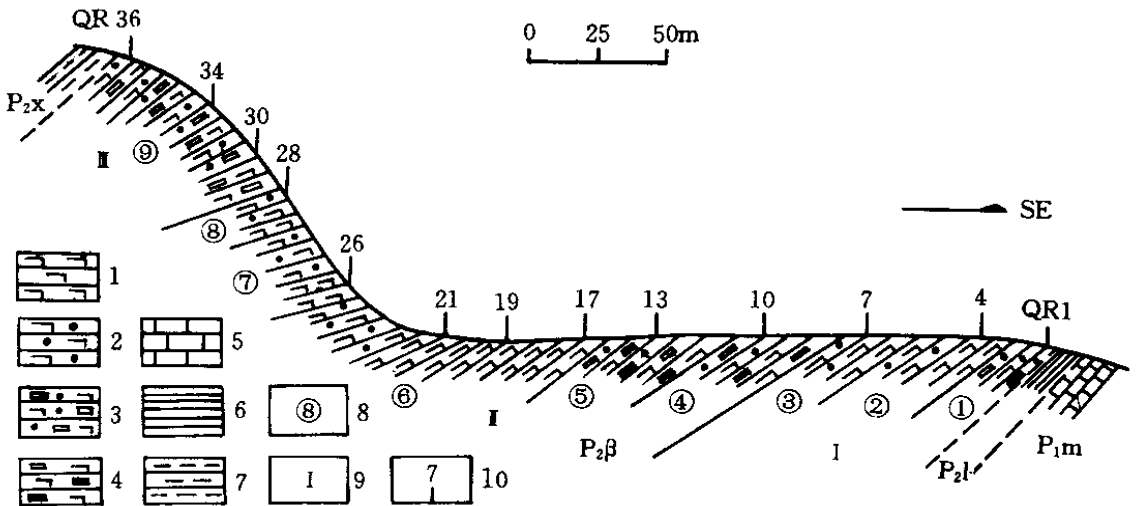


图1 峨眉山清音电站玄武岩地质剖面及取样位置

图例1. 无斑玄武岩; 2. 杏仁状无斑玄武岩; 3. 杏仁状斜斑玄武岩; 4. 斜斑玄武岩; 5. 灰岩; 6. 泥岩; 7. 粘土岩; 8. 喷溢层序号; 9. 喷发旋回; 10. 样号及位置。P_{1m}为下二叠统茅口组; P_{2l}为上二叠统龙潭组; P_{2β}为峨眉山玄武岩; P_{2x}为上二叠统宣威组; I、I、I分别为三个喷发旋回; 图中上排数字为样品号(同表1)

Fig. 1 Geologic section and sampling location of basalts on Qinyin power station in Emeishan

2 铂族元素丰度

铂族元素含量采用镍钨试金预处理中子活化分析方法 (Li Xiaolin and Tong Chunhan, 1995) 测定。在试样重 20g, 辐照 7h, 测量时间 4000~5000s (Rh 为 300s) 条件下, 检出限为: Pt 为 1ng/g, Pd 为 2ng/g, Ir 为 0.001ng/g, Os 为 0.1ng/g, Ru 为 0.2ng/g, Rh 为 0.1ng/g。分析结果列于表 1。

表 1 峨眉山玄武岩的铂族元素及金含量 (ng/g)
Table 1 PGE and Au contents (ng/g) of Emeishan basalts

样品号	岩石名称	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au
QR1	少杏仁斜斑玄武岩	0.82	0.1320	1.00	0.53	7.40	4.68	1.46
QR4	少杏仁无斑玄武岩	0.45	0.1040	0.49	0.15	10.4	6.32	1.10
QR7	无斑玄武岩	0.54	0.0743	0.22	0.33	7.94	5.00	1.42
QR10	杏仁状少斑玄武岩	0.30	0.990	0.30	0.17	9.60	5.88	1.42
QR13	少杏仁无斑玄武岩	0.30	0.0852	0.38	0.25	7.90	6.88	0.84
QR17	无斑玄武岩	0.30	0.0834	0.56	0.33	9.20	7.41	2.02
QR19	少杏仁无斑玄武岩	0.15	0.0500	1.00	0.25	7.40	5.74	1.48
QR21	无斑玄武岩	0.59	0.0641	0.36	0.40	6.00	6.39	4.90
QR26	含杏仁无斑玄武岩	0.57	0.0950	0.30	0.18	10.00	7.04	1.07
QR28	杏仁状无斑玄武岩	0.20	0.0412	0.21	0.18	7.72	4.88	1.60
QR30	少杏仁斜斑玄武岩	0.15	0.0370	0.26	0.22	7.46	4.38	2.20
QR34	斜斑玄武岩	0.15	0.0424	0.53	0.14	5.60	4.14	1.00
QR36	少杏仁斜斑玄武岩	0.30	0.0400	0.34	0.18	5.17	3.20	0.83
JR02	斜斑玄武岩	0.63	0.0300	0.85	0.20	6.70	4.77	1.35
	平均	0.39	0.0698	0.49	0.25	7.71	5.48	1.62

分析单位: 中国科学院高能物理研究所核分析开放实验室; 分析人: 李晓林。

由表 1 可见, 峨眉山玄武岩铂族元素的含量变化顺序为: Pt>Pd>Ru>Os>Rh>Ir, 与原始上地幔中铂族元素的丰度变化趋势 (Pt>Ru>Pd>Os>Ir>Rh) (Ringwood, 1991) 不尽相同, 表明在地幔熔融形成玄武岩的过程中, 铂族元素已发生了明显的分异。

不同类型岩石中的铂族元素含量有一定的差异, 总体上由底部向上, 除 Pt、Pd 和 Au 变化规律不明显外, Os、Ir、Ru 和 Rh 含量逐渐降低。这与岩石化学上 SiO₂ 逐渐增高 (45.8%~53.3%), MgO 逐渐减少 (5.09%~3.67%) 的趋势一致。暗示在岩浆演化过程中 Os、Ir、Ru 和 Rh 具有相容元素特征。

铂族元素地球化学研究是玄武岩元素地球化学研究的最薄弱环节, 可供参考的资料很少。就已有数据 (表 2) 可见, 峨眉山玄武岩的 Os、Ir、Ru 和 Rh 含量低于原始上地幔 (Ringwood, 1991), 也低于地幔捕掳体 (Barnes et al., 1985) 和科马提岩 (Brügmann et al., 1987), 而 Pt、Pd 和 Au 则略高于原始上地幔和地幔捕掳体。如果以原始上地幔的铂族元素含量近似代

表峨眉山玄武岩岩浆源区地幔的铂族元素含量,则在地幔部分熔融过程中,Os、Ir、Ru、Rh为相容元素,而Pt、Pd、Au为弱不相容元素。代表地幔高度熔融的科马提岩的Os、Ir、Ru、Rh低于原始上地幔,Pt、Pd、Au高于原始上地幔,而残余地幔岩则相反,也表明在地幔部分熔融过程中Os、Ir、Ru、Rn为相容元素,Pt、Pd、Au为弱不相容元素。随熔融度增大,熔体中Os、Ir、Ru的含量逐渐增高,而Pt、Pd、Au略有降低。这与赫尔伯特等(1991),Naldrett et al. (1986)和Brügmann et al. (1987)的研究结果一致。与MORB相比,峨眉山玄武岩的各个铂族元素含量均明显偏高。

表2 不同成因玄武岩的铂族元素特征对比

Table 2 Correlation of geochemical characteristics of PGE for different genetic basalts

序号	名称	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	$\frac{(Pt+Pd)}{(Os+Ir+Ru)}$	$\frac{Pd}{Ir}$
1	峨眉山玄武岩 (14个样平均)	0.39	0.0698	0.49	0.25	7.71	5.48	1.62	13.96	78.5
2	大陆拉斑玄武岩		0.1				12			120
3	N-MORB (3个样平均)	<0.0013	0.003				<0.12	0.20		40
4	洋岛玄武岩		0.36				1.6			4.44
5	安大略 Alexo 科马提岩 (9个样平均)	2.24	2.19	2.81			8.71	2.13		3.98
6	低钛熔岩		<0.23				15	1.9		65.2
7	Stillwater 岩体边缘相		0.25	6	5	12	55			220
8	Bushveld 岩体边缘相		0.6		12	50	20	30		33.3
9	地幔捕掳体	4.02	4.15			6.74	4.49	0.79		1.08
10	原始上地幔	3.4	3.3	4.2	1	6.80	5	0.75	1.08	1.52
11	C ₁ 球粒陨石	486	481	712	134	990	560	140	0.92	1.16

表中铂族元素含量单位为 ng/g;各序号原始数据来源:1. 本文;2. Barnes (1985); 3. Hertogen et al. (1980); 4. Crockett (1981); 5. Brügmann et al. (1987); 6. Hamlyn et al. (1985); 7. Page et al. (1976); 8. Sharpe, 1982; 9. Barnes (1985); 10. Ringwood (1991); 11. Anders et al. (1989)。

由于Pd、Pt与Os、Ir、Ru在岩浆作用过程中地球化学行为的明显差异,Pd/Ir、(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)比值具有重要的岩浆成因意义。峨眉山玄武岩的(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)=6.19~27.93,平均13.96,明显高于原始上地幔值(1.08)。Pd/Ir=35.45~159.0,平均78.5,远大于原始上地幔值(1.52)和地幔捕掳体值(1.08),也大于地幔高度熔融形成的科马提岩的值(3.98),而与地幔低度熔融形成的洋中脊N-MORB(5~100,平均40)(Haldrett and Barnes, 1986),大陆拉斑玄武岩(120)、低钛熔岩(65.2)等较接近。Pd/Ir比值的变化反映了地幔熔融度的大小,Pd/Ir比值越小,熔融度越大(Barnes et al., 1985)。峨眉山玄武岩的Pd/Ir比值较大,暗示其物质来源于上地幔熔融程度偏低的玄武岩浆。据汪云亮等(1993),峨眉山玄武岩的原始岩浆形成于上地幔10%~17%的部分熔融。

3 铂族元素配分模式

铂族元素是一组特殊的化学元素,其性质相对惰性。在地质作用过程中,子体岩石中的

铂族元素特征对母体具有较明显的继承性。另外，六个元素的地球化学行为既有共性又有差异。正由于其对母体的继承性以及特殊共性和分馏效应，可作为有效的地球化学示踪剂之一（李胜荣，1994），其配分模式具有重要的成因意义。

3.1 相对配分模式

由图 2，峨眉山玄武岩的铂族元素相对配分模式既不同于镁质超镁铁岩的“Ru-Os”富集型，也不同于球粒陨石或上地幔的“Ru-Pt”富集型，而与“Pt-Pd”富集型的铁质超镁铁岩相似。

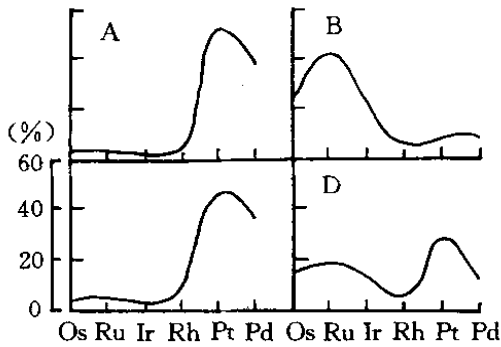


图 2 铂族元素相对配分曲线

A 为峨眉山玄武岩；B 为镁质超镁铁岩；C 为铁质超镁铁岩；D 为 C₁ 球粒陨石；B、C 据李胜荣等（1994），D 原始数据据 Ringwood（1991）

Fig. 3 The distribution of PGE for different genetic rocks

3.2 C₁ 球粒陨石标准化配分模式

图 3 给出了峨眉山玄武岩及世界不同构造环境区典型镁铁-超镁铁岩系的铂族元素 C₁ 球粒陨石归一化曲线（C₁ 球粒陨石数据 Ander, 1989）。可见，铂族元素配分模式大体可分为两类：一类是近于水平的曲线，原始地幔、地幔捕掳体、科马提岩属于此类型。据 Barnes(1985) 研究，阿尔卑斯型橄榄岩也属于此类型。另一类为向左陡倾的曲线，洋中脊玄武岩、大陆拉斑玄武岩、低钛熔岩及铁质超镁铁岩侵入体属于此类。峨眉山玄武岩的铂族元素配分模式属于后者。

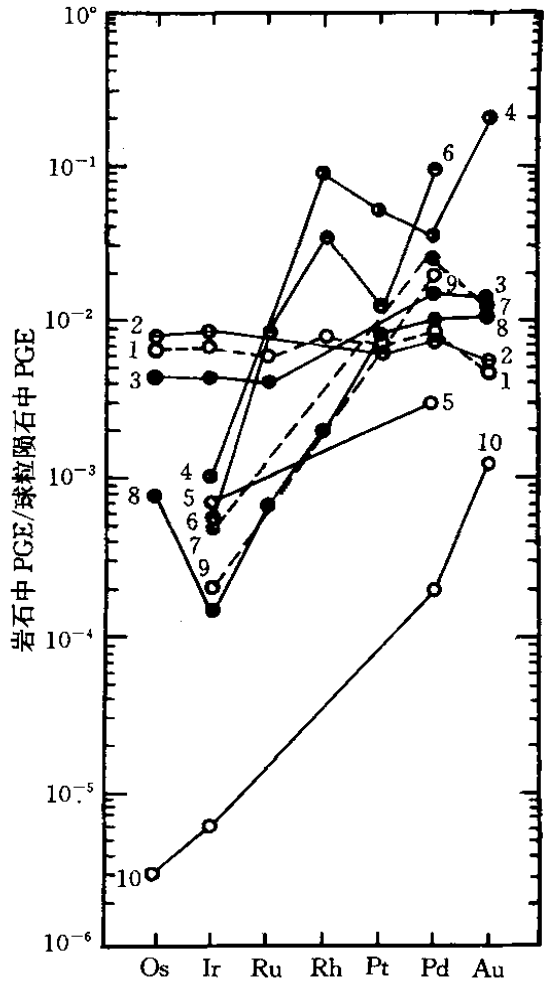


图 3 铂族元素和金 C₁ 球粒陨石归一化曲线

1. 原始上地幔；2. 地幔捕掳体；3. 加拿大安大略 Alexo 科马提岩；4. Bushveld 岩体边缘相；5. 洋岛玄武岩；6. Stillwater 岩体边缘相；7. 低钛熔岩；8. 峨眉山玄武岩（14 个样平均值）；9. 大陆拉斑玄武岩；10. N-MORB；数据来源同表 2

Fig. 3 C₁ chondrite-normalized PGE and Au patterns for different genetic rocks

4 结论

峨眉山玄武岩的 $(Pt+Pd)/(Os+Ir+Ru)$ 和 Pd/Ir 比值明显高于原始上地幔、地幔捕掳体及科马提岩流。铂族元素相对配分模式为“Pt-Pd”富集型, C_1 球粒陨石标准化配分模式为向左陡倾的曲线。这为该岩系的原始岩浆为上地幔低度部分熔融形成的玄武岩浆的认识提供了新的依据。

参 考 文 献

- 李胜荣, 高振敏, 陈南生. 1994. 试论铂族元素地球化学示踪体系. 矿物岩石地球化学通讯, (1): 36~37
- 汪云亮, 李巨初, 王旺章, 韩文喜. 1993. 幔源岩浆岩源区成分判别原理及峨眉山玄武岩地幔源区性质. 地质学报, 67 (1): 52~62
- 熊舜华, 李建林. 1984. 峨眉山区晚二叠世大陆裂谷边缘玄武岩系的特征. 成都地质学院学报, (3): 43~57
- 赫尔伯特等著, 沈承珩、刘道荣等译. 1991. 铂族元素的地质环境. 北京: 地质出版社, 114~126
- Anders E and Grevesse N. 1989. Abundances of elements: Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, 55 (1): 197~214
- Barnes S J, Naldrett A J and Gorton M P. 1985. The origin of the fractionation of Platinum-Group elements in terrestrial magmas. *Chemical Geology*, 53: 303~323
- Brügmann G E, Arndt N T, Hofmann A W and Tobschan H J. 1987. Noble metal abundances in komatiite suites from Alexo, Ontario, and Gorgona Island Colombia. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51 (8): 2159~2169
- Hertogen J, Janssens M J and Palme H. 1980. Trace elements in ocean ridge basalt glasses; implications for fractionations during mantle evolution and petrogenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44: 2125~2143
- Li Xiaolin and Tong Chunhan. 1995. Determination of all platinum group elements in six new Chinese PGE geochemical standard reference samples using neutron activation analysis after a nickel sulphide fire assay preconcentration. *Geostandards*, 19 (1): 25~26
- Naldrett A J and Barnes S J. 1986. The behavior of platinum group elements during fractional crystallization and partial melting with special reference to the composition of magmatic sulfide ores. *Fortschritte der Mineralogie*. 64 (2): 113~133
- Ringwood A E. 1991. Phase transformations and their bearing on the constitution and dynamics of the mantle. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55: 2083~2110