

内蒙古元宝山区花岗岩的地球化学特征 及构造环境初探

张术根, 刘 南, 丁俊, 高 翔, 魏 黎, 杨惠钊

(中南大学 地学与环境工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 通过将赤峰元宝山区碱长花岗岩和二长花岗岩的地球化学数据与国内外各类型花岗岩对比和判别, 认为内蒙元宝山区花岗岩属于 A 型花岗岩, 具有富硅、富碱、贫钙镁, 微量元素出现 Sr, P, Eu, Ti 的低谷, 稀土配分模式曲线呈右倾、富轻稀土、典型的海鸥式等 A 型花岗岩特点。利用 Eby A 型花岗岩构造环境判别图解判断岩体为 A1 型, 而且是与大陆造陆抬升有关的 A 型花岗岩类。

关键词: 花岗岩; 地球化学特征; 成因类型; 构造环境; 元宝山区; 内蒙古

中图分类号: P588.121 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2009)04-0341-08

0 引言

内蒙古赤峰市松山区元宝山处在华北地台北缘之官地—红花沟金银铜成矿带内, 区内金及多金属矿床、矿(化)点较多, 该区近外围有碾子沟钼矿、季家沟钼矿、莲花山和红花沟金矿等大中型矿床以及众多钼、铅锌多金属矿床(点), 具有良好的区域成矿条件。该区为燕山期花岗岩区, 铅锌多金属矿化主要产在燕山期花岗岩的断裂破碎带中, 部分呈细脉浸染状分布在流纹斑岩脉内, 成矿与燕山期岩浆侵入活动密切相关。作为华北地台北缘与内蒙—大兴安岭褶皱系两大构造单元的过渡带, 在晚古生代到早中生代期间, 西伯利亚板块与华北板块发生陆陆碰撞对接^[1], 本区花岗岩类可能为陆陆碰撞对接背景下的产物, 属于造山后构造环境。因此, 结合该区花岗岩的岩相学特征, 以主元素、微量元素、稀土元素地球化学特征为重点, 通过与国内外各类型花岗岩对比及相关判别图解分析, 研究其地球化学特征并探讨其形成构造环境, 有助于认识该区燕山期地质成矿背景和指导找矿预测。

1 地质概况

1.1 岩浆岩

元宝山区侵入岩发育(图 1), 分为中侏罗世及晚侏罗世两个侵入阶段。中侏罗世侵入岩出露最为广泛, 呈岩基状产出, 主要为肉红色中细粒二长花岗岩及肉红色中粗粒碱长花岗岩; 晚侏罗世侵入岩主要出露于工作区西部, 呈小岩基及岩株状产出, 为超浅成岩体, 岩石类型为粉红色流纹斑岩。此外, 区内脉岩较发育, 岩石类型有细粒花岗岩、花岗斑岩、流纹斑岩、安山玢岩、辉长岩、石英脉等。它们多沿断裂及节理裂隙侵入。其方向有 NE 向、NW 向以及近 EW 向多组。本文着重研究的是中侏罗世侵入岩。

1.2 构造

区内断裂构造发育, 有近 EW 向、NW 向、NE 向及近 SN 向多组。近 EW 向断裂主要集中在元宝山区南部, 多 S 倾, 见断层角砾岩和断层泥, 部分有硅化、铅锌矿化及褐铁矿化。NW 向断裂相对发育, 主要集中在元宝山区南部, 北东部和北西部也有分布, 带内见断层角砾岩和断层泥; 早期为逆断层, 主要倾向 SW, 倾角 $50^{\circ} \sim 80^{\circ}$; 晚期为正断层, 主要倾向 SWW, 倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$; 早期者硅化、铅锌矿化及褐铁矿化较为普遍。NE 向断裂不甚发育, 最大走向延伸 0.8 km, 破碎带宽度多近 1m, 最宽 6~8 m, 倾向 NW, 倾角 $58^{\circ} \sim 75^{\circ}$, 破碎带内见断层角砾岩和断层泥, 有硅化和褐铁矿化, 个别有微弱铅锌矿化。近 SN 向断裂分布少, 规模小, 走向延伸最长 0.35 km, 破碎带宽

不足 1 m, 见断层角砾岩和断层泥, 有硅化和褐铁矿化, 断裂性质为逆断层, 兼具左行平移性质。

化和钼矿化两种类型, 但地表矿化点分布零散, 钻孔为单孔见矿, 主要为沿断裂破碎带发育的细脉和细脉浸染状矿化, 矿化富集程度普遍较低。

研究区中生代岩浆岩不同程度地具有热液蚀变现象, 常见蚀变类型有高岭土化、绿泥石化、绿帘石化以及硅化等, 以硅化表现强烈。

2 岩石学特征

(1) 中侏罗世二长花岗岩($J_2\Pi\gamma$): 研究区内出露最为广泛, 呈岩基状产出。主要岩石类型为肉红色中细粒二长花岗岩, 岩石为花岗结构, 块状构造, 斜长石 30% ±, 钾长石 35% ±, 石英 30% ±, 黑云母等 5% ±, 矿物为自形-半自形, 颗粒粒径 1~4 mm (图 2A)。该岩体相对产出较早, 有晚侏罗世岩体侵入, 见晚侏罗世玛尼吐组火山岩不整合于该岩体之上。

(2) 中侏罗世侵入岩($J_2\xi\gamma$): 主要出露于研究区的东部, 岩石类型为肉红色中粗粒碱长花岗岩, 全晶质粗粒结构, 块状构造, 石英 40% ±, 斜长石 5% ±, 微斜长石 54% ±, 黑云母 1% ± (图 2B)。

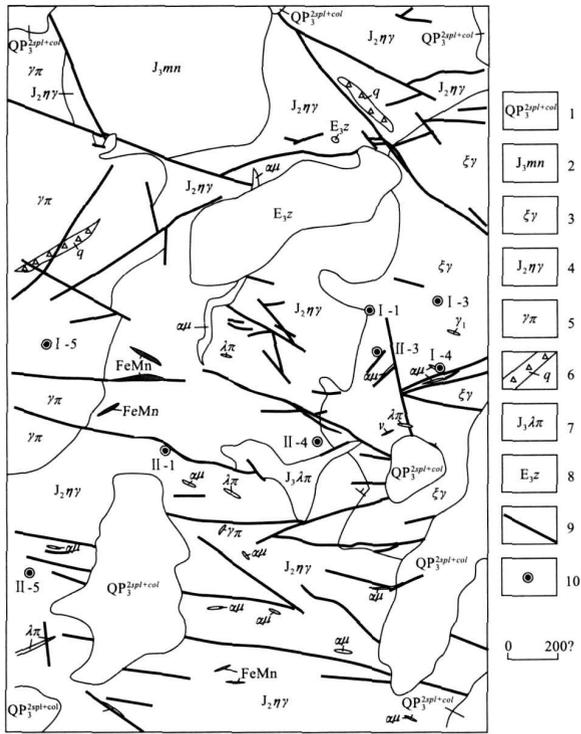


图 1 元宝山区地质图

Fig. 1 Geological map of Yuanbaoshan district

- 1. 第四系 2. 侏罗系玛尼吐组流纹岩、含角砾晶屑凝灰岩 3. 碱长花岗岩 4. 中细粒二长花岗岩 5. 花岗岩 6. 硅化带 7. 流纹斑岩
- 8. 第三纪玄武岩 9. 断裂 10. 采样位置

1.3 矿化与蚀变

地表露头 and 钻孔取样分析表明, 区内有铅锌矿

3 岩石地球化学特征

3.1 主元素

由元宝山区中侏罗世花岗岩主元素分析结果 (表 1) 可看出:

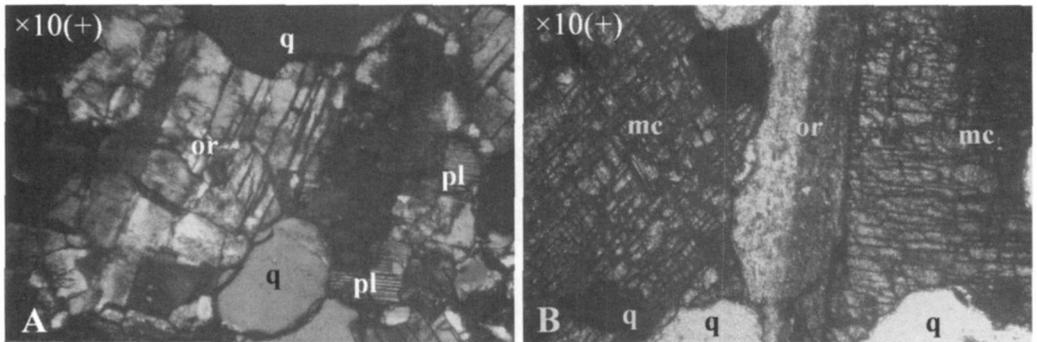


图 2 花岗岩显微照片

Fig. 2 Microscopic photos of granite

A. 二长花岗岩 B. 碱长花岗岩 q. 石英 pl. 条纹长石 or. 钾长石 mc. 微斜长石

表 1 元宝山区岩浆岩主元素分析结果

Table 1 Main element analysis of magmatic rocks at Yuanbaoshan

样号	岩性	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
I-1	中粗粒碱长花岗岩	76.70	0.10	12.12	0.43	1.43	0.05	0.14	0.52	2.79	5.62	0.10
I-3	中粗粒碱长花岗岩	76.33	0.10	12.74	0.82	1.21	0.05	0.10	0.59	2.88	5.09	0.10
I-4	中粗粒碱长花岗岩	77.10	0.20	12.27	0.81	0.96	0.03	0.12	0.50	3.03	4.90	0.05
I-5	中粗粒碱长花岗岩	75.19	0.35	13.44	0.86	0.96	0.01	0.13	0.33	3.14	5.49	0.05
II-1	中细粒二长花岗岩	76.36	0.10	12.45	0.95	1.40	0.12	0.20	0.52	2.80	4.99	0.10
II-3	中细粒二长花岗岩	74.86	0.40	11.79	1.16	3.61	0.03	0.14	0.58	2.95	4.43	0.05
II-4	中细粒二长花岗岩	77.68	0.40	12.19	0.66	0.85	0.04	0.24	0.79	2.54	4.53	0.05
II-5	细粒二长花岗岩	77.37	0.15	12.30	0.76	0.91	0.05	0.09	0.52	2.94	4.87	0.05

测试单位: 湖南建材与非金属测试利用研究所。量的单位: $w_B/\%$ 。

分析方法: CaO 酸溶 EDTA 溶量法; MgO 碱溶 EDTA 溶量法; SiO₂ 动物胶凝聚重量法; Al₂O₃ 酸碱中和溶量法; Fe₂O₃ 磺基水杨酸比色法; K₂O、Na₂O 火焰光度法。

样品中 $w(\text{SiO}_2)$ 普遍较高, 平均为 76.45%。反映在标准矿物成分上为 Q 的过饱和。全碱 $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 平均为 7.87%, 且 $w(\text{K}_2\text{O}) > w(\text{Na}_2\text{O})$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 均大于 1.5, 表现出富钾、富碱的性质。各样品在减除烧失量, 折算成质量分数, 进行铁的校正后, 在 TAS 图上(图 3)全部投在花岗岩区域内, 在岩石系列上属于亚碱性系列。岩体中 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 和 $w(\text{FeO})$ 的平均值分别为 0.804 和 1.416, $w(\text{TiO}_2)$ 和 $w(\text{P}_2\text{O}_5)$ 相对较低, 为 0.226% 和 0.069%, $w(\text{CaO})$ 和 $w(\text{MgO})$ 很低, 平均为 0.544% 和 0.146%。由以上氧化物的平均值可知: 富硅、富碱、相对较低的钙镁含量是赤峰市元宝山区花岗岩的显著特点, 这与李鹤年(1989)总结的内蒙赤峰北部花岗岩的显著特点相同^[3]。在协变图上(图 4), 除样品 II-3 因本身含黑云母相对较多, 且一定程度上被绿泥石化和高岭土化导致异常外, 其他样品的 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 与 $w(\text{SiO}_2)$ 显示出较强负相关, 且线性关系良好, 表明在成岩过程中存在斜长石的分离结晶作用^[4]。分异指数(DI)与 $w(\text{SiO}_2)$ 存在明显的正相关。

3.2 微量元素、稀土元素

样品的微量元素和稀土元素测试结果列于表 2

表 2 微量元素测试结果

Table 2 The trace element analysis

样号	V	Cr	Rb	Sr	Zr	Nb	Hf	Ta
I-1	20.3	7.09	201	36.5	168	26.9	7.40	2.77
I-3	12.2	4.97	164	29.3	132	14.3	6.84	1.9
I-4	16.1	6.10	177	48.6	165	28.7	9.07	5.18
I-5	12.4	4.53	205	48.4	168	23.6	8.75	3.55
II-1	15.1	5.97	176	42.4	182	20.5	7.79	2.39
II-3	20.2	11.4	183	12.2	156	18.6	7.16	2.00
II-4	10.9	4.49	197	21.0	226	19.5	9.24	2.82
II-5	12.8	5.04	218	22.7	199	21.1	8.49	2.59

测试单位: 核工业二三〇研究所分析测试中心。量的单位: $w_B/10^{-6}$ 。

测试采用酸溶方法预处理, 然后用 ICP-MS 法测定^[6], 分析精度优于 5%。

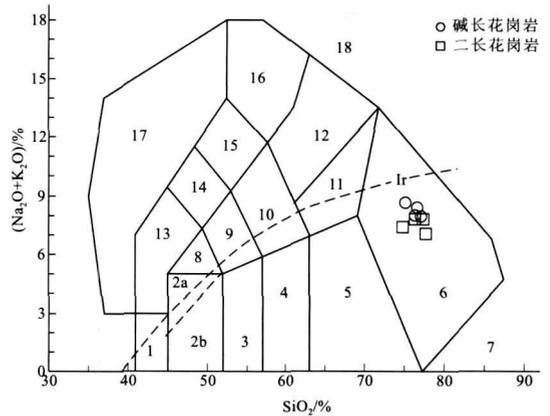


图 3 元宝山区花岗岩的 TAS 图(据文献[2])

Fig. 3 TAS diagram of Yuanbaoshan magmatic rocks
Ir-Irvine 分界线: 上方为碱性, 下方为亚碱性 1. 橄榄辉长岩 2a. 碱性辉长岩 2b. 亚碱性辉长岩 3. 辉长闪长岩 4. 闪长岩 5. 花岗岩 6. 花岗岩 7. 石英岩 8. 二长辉长岩 9. 二长闪长岩 10. 二长岩 11. 石英二长岩 12. 正长岩 13. 副长石辉长岩 14. 副长石二长闪长岩 15. 副长石二长正长岩 16. 副长正长岩 17. 副长深成岩 18. 霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩

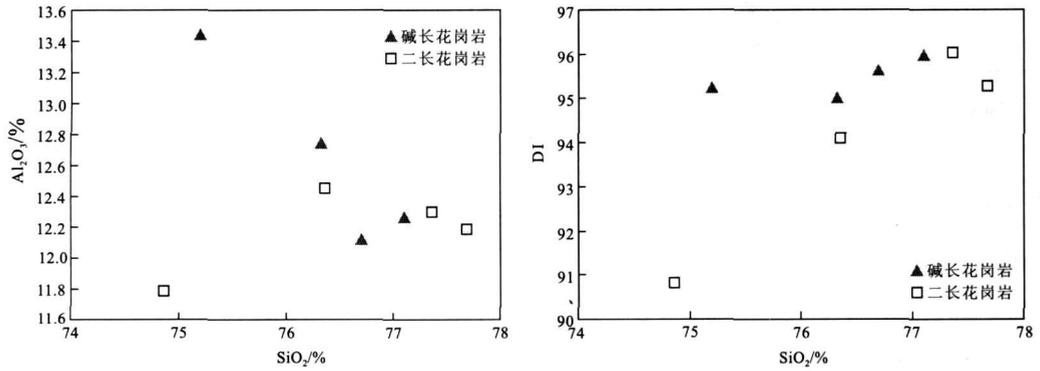


图4 部分主元素协变图

Fig. 4 The covariant graph of some elements

表3 稀土元素测试结果

Table 3 The REE analysis

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
I-1	22.1	39.6	4.81	15.2	3.19	0.288	2.68	0.509	3.49	0.76	2.24	0.392	2.84	0.443	22.4
I-3	26.4	47	5.27	17.4	3.65	0.194	2.46	0.473	3.33	0.679	2.02	0.342	2.39	0.381	18.8
I-4	32.8	62.3	6.38	21.1	4.05	0.341	2.78	0.588	4.21	0.941	2.69	0.487	3.38	0.533	27.1
I-5	29.7	51.1	6.62	22	4.6	0.343	2.96	0.585	3.86	0.79	2.46	0.428	3.12	0.483	23.9
II-1	47	83.3	8.75	26.8	4.45	0.341	3.44	0.547	3.24	0.65	1.99	0.339	2.41	0.37	19.7
II-3	24.9	39.3	5.36	17.7	3.2	0.116	2.3	0.414	3.11	0.671	2.06	0.369	2.58	0.394	20.4
II-4	41.2	71.1	7.89	24.1	4.38	0.147	3.41	0.536	3.32	0.682	2.09	0.357	2.51	0.41	20.8
II-5	31.2	80.9	5.61	17.2	3.07	0.155	2.49	0.424	2.74	0.588	1.83	0.336	2.35	0.357	17.4

测试单位:核工业二三〇研究所分析测试中心。量的单位: $w_B/10^{-6}$ 。

测试采用酸溶方法预处理,然后用 ICP-MS 法测定^[6],分析精度优于 5%。

稀土元素球粒陨石标准化图(图5)所用值为原始地幔标准化值。从表2,表3及图5中能分析出如下规律:样品 $w(\sum REE)$ 的平均值为 134.96×10^6 , $\sum Ce/\sum Y$ 值为 6.38~13.14, 平均 9.37, 这在一定程度上反映了稀土元素分异程度较高^[5]。La/Yb 值平均为 12.11, 也显示了分异程度较强的特点。整个稀土元素分配模式属轻稀土富集型,在稀土分配模式图上容易看出轻稀土分异明显,曲线倾斜,重稀土分异相对较差,曲线平直, Eu 的负异常强烈,呈现出明显的“V”型,属典型的海鸥式,稀土元素标准化模式十分相似,应属于同源岩浆演化系列的反映^[3]。

在微量元素蛛网图(图6)上看出,本区样品富集大离子亲石元素 K, Rb, Hf, La 和 Ta。具有显著的 P, Sr, Ti 和 Nb 负异常,在 P 和 Ti 处出现明显的低谷, Rb 的大量富集,也暗示着该区岩体经过了较强的分异。由元宝山区内已发现的众多钼矿、铜矿可知,该区的钨钼族元素也较富集,显示出了 A 型

花岗岩的特征^[8]。

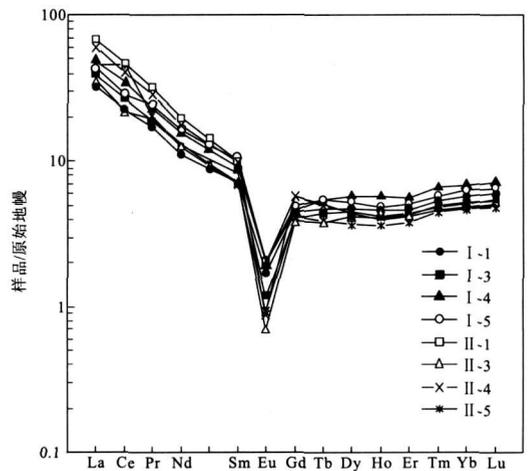


图5 稀土元素球粒陨石标准化图
(据文献[7])

Fig. 5 The chondrite normalized REE patterns of Yuanbaoshan granite

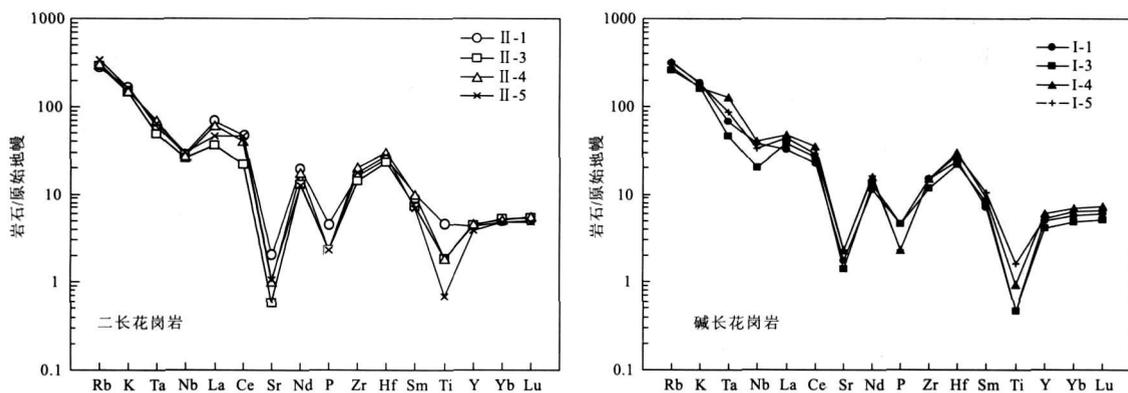


图 6 花岗岩微量元素蛛网图

Fig. 6 Primitive mantle-normalized patterns of trace element of granite

4 讨论

4.1 成因类型

花岗岩的成因分类不下 20 种, 其中 ISMA 分类是用得最广泛的^[9]。虽说某些类型之间由于分类的原则不同, 会存在两种类型在地球化学特征上有重叠和过渡, 如, A 型强调的是岩性(碱性)和非造山环境, 而 I 型、S 型和 M 型等则强调的是源岩; 但岩石系列毕竟是一套区域性岩石组合, 同一岩石系列的岩石在矿物组成和化学成分上相似, 不同岩石系列的岩石在形成环境、物质来源和形成过程方面不尽相同。反过来说, 岩石成因信息可以通过岩石系列及其地球化学特征来反映^[9]。正因为有这些特点的存在, 很多学者在不断地实验与经验积累中发现了一些不同类型花岗岩的的差异(表 4, 表 5)及下列规律。吴锁平、王梅英、戚开静等人总结出了 A 型花岗岩与 M 型、I 型及 S 型相比具有的特点: ①富 SiO₂(w(SiO₂) 平均 73.35% ~ 73.81%)、富碱(w(Na₂O + K₂O) 平均 8.42% ~ 8.72%)、贫 CaO(w(CaO) 平均 0.75% ~ 0.82%) 和 MgO(w(MgO) 平均 0.2% ~ 0.27%); ②强烈亏损 Ba, Sr, Eu, P 和 Ti; ③稀土配分模式呈典型的海鸥式^[10]。由表 4, 表 5 中元宝山区花岗岩与国内外各类型花岗岩的对比得出: 元宝山区碱长花岗岩和二长花岗岩的主量元素与国内外 A 型花岗岩的主量元素特征几乎完全一致, 即富 SiO₂(平均 76.45%)、富碱(全碱平均 7.87%)、贫 CaO(平均 0.544%) 和 MgO(平均 0.146%)。在微量元素方面表现的特征也与典型的 A 型花岗岩相似, 即强烈亏损 Sr, Eu, P 和 Ti, 具有 I

型花岗岩所没有的 Eu 谷, Eu 的负异常较 S 型花岗岩更深。稀土配分模式图具典型的海鸥式, 微量元素蛛网图上的低谷也与国内外 A 型花岗岩的相似。综合地球化学特征及相关图解, 如 K₂O - Na₂O 图(图 7)可以判断出元宝山区碱长花岗岩和二长花岗岩应该属于 A 型花岗岩。

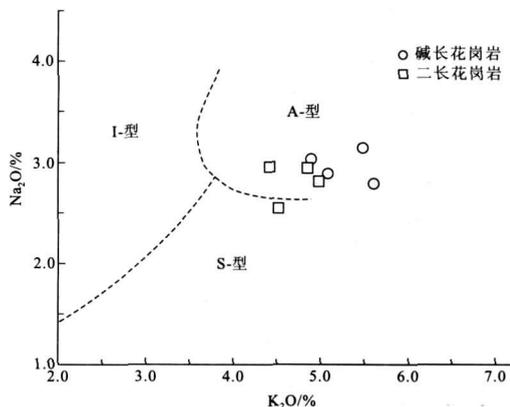


图 7 K₂O - Na₂O 图

Fig. 7 Diagram of K₂O - Na₂O

4.2 构造环境

目前没有统一的构造环境分类方案, 一些以往使用较普遍的方案最近受到置疑^[11]。过去一般认为 A 型花岗岩均形成于非造山的或板内的构造环境^[12], 而现在愈来愈多的人倾向将 A 型花岗岩分为非造山(A1 型)和后造山(A2 型)两类^[13]: A1 型属非造山板内花岗岩, 与大陆裂谷环境或地幔热点(地幔羽)有关; A2 型属于后碰撞或后造山环境, 一般产于大陆边缘^[14]。元宝山区 A 型花岗岩在一般岩浆岩构造环境判别图(图 8)中很难判别其确切的构造环境。为了解决在特殊构造环境下形成的 A 型花

岗岩^[14]的构造环境判别问题, Eby(1992)提出了用于碱性花岗岩构造环境的判别图(图9, 图10)。从图9和图10可看出, 元宝山区花岗岩数据全都投在A1区。这表明元宝山区A型花岗岩属于非造山花岗岩。非造山花岗岩在目前被限定为与裂谷有关地区的、造山以后抬升的大陆地区的和大洋环境的3类花岗岩^[9]。由于元宝山区花岗岩的 $w(K_2O)$ 很高

(平均4.989%), 可排除元宝山区花岗岩形成于大洋环境的可能^[8]。另外, 通过本区碱长花岗岩和二长花岗岩微量元素蛛网图与Pearce等^[15]中典型的裂谷花岗岩蛛网图比较, 二者并无太多相似之处, 结合元宝山区的实际情况, 并不存在裂谷的地质证据, 因此确定该区A型花岗岩是造山以后抬升的大陆地区类花岗岩。

表4 元宝山区花岗岩与国内外各类花岗岩主量元素对比

Table 4 Comparison of the main elements in Yuanbaoshan alkali adamellite granite with various type of granite at home and abroad

项目	元宝山区	世界花岗岩				中国花岗岩			
		A型(148)	M型(17)	I型(991)	S型(578)	A型(197)	M型(4)	I型(62)	S型(26)
SiO ₂	76.40	73.81	67.24	69.17	70.27	73.55	75.35	64.52	73.35
Al ₂ O ₃	12.42	12.40	15.18	14.33	14.10	12.81	12.09	15.83	13.89
Fe ₂ O ₃	0.82	1.24	1.94	1.04	0.56	1.42	0.93	1.25	0.81
FeO	1.39	1.58	2.35	2.29	2.87	1.18	1.41	3.14	1.11
CaO	0.54	0.75	4.27	3.20	2.03	0.82	1.97	3.98	1.17
MgO	0.16	0.20	1.73	1.42	1.42	0.27	0.18	1.98	0.32
N ₂ O	2.89	4.07	3.97	3.13	2.41	3.76	5.19	3.65	3.30
K ₂ O	4.99	4.65	1.26	3.40	3.96	4.69	0.51	3.00	4.79
MnO	0.05	0.06	0.11	0.07	0.06	0.09	0.06	0.10	0.04
TiO ₂	0.26	0.26	0.49	0.43	0.48	0.23	0.18	0.59	0.19
P ₂ O ₅	0.07	0.04	0.09	0.11	0.15	0.07	0.06	0.18	0.11

量的单位: $w_B/\%$; 括号中的数字表示样品数量。

数据来源: 世界花岗岩(平均值)据付建明等(2005); 中国花岗岩(平均值)A型: 据薛良伟等(1996), 许保良等(1998), 施光海等(2004), 马昌前等(2004), 陈丹玲等(2001), 孙德有等(2005), 付建明等(2005), 姜耀辉等(1999), 钟华明(1997), 曲晓明等(2002), 贾大成等(2002), 柏道远等(2005), 肖庆辉等(2002); 中国花岗岩(平均值)M型: 据肖庆辉等(2002); 中国花岗岩(平均值)I型: 据姜耀辉等(1999), 肖庆辉等(2002), 孙德有等(2004); 中国花岗岩(平均值)S型: 据肖庆辉等(2002), 陶继雄等(2003)。

表5 元宝山区花岗岩与国内外各类花岗岩微量元素对比

Table 5 Comparison of the trace elements in Yuanbaoshan alkali adamellite granite with various type of granite at home and abroad

项目	元宝山区	世界花岗岩平均				中国花岗岩平均			
		A型(148)	M型(17)	I型(991)	S型(578)	A型(197)	M型(4)	I型(62)	S型(26)
Ba		352.00	263.00	538.00	466.00	235.96	177.00	988.18	664.18
Rb	187.44	169.00	17.50	151.00	217.00	269.69	8.00	119.42	227.08
Sr	34.44	48.00	282.00	247.00	120.00	57.54	62.30	469.94	156.65
Nb	20.89	37.00	1.30	11.00	12.00	34.93	4.07	11.40	14.14
Zr	173.22	528.00	108.00	151.00	165.00	333.77	111.00	148.32	114.20
Y	20.00	75.00	22.00	28.00	32.00	54.03	43.40	19.32	17.31
Ga	24.60	15.00	16.00	17.00		18.54		4.54	
Ga/Al	3.75	1.87	2.28	2.25					
Rb/Sr	6.72	3.52	0.06	0.61	1.81	20.58	4.69	0.21	1.55
Rb/Ba	8.94	0.48	0.07	0.28	0.47	1.14	0.09	0.46	

量的单位: $w_B/10^{-6}$; 括号中的数字表示样品数量。

数据来源: 世界花岗岩(平均值)据付建明等(2005); 中国花岗岩(平均值)A型: 据薛良伟等(1996), 许保良等(1998), 施光海等(2004), 马昌前等(2004), 陈丹玲等(2001), 孙德有等(2005), 付建明等(2005), 姜耀辉等(1999), 钟华明(1997), 曲晓明等(2002), 贾大成等(2002), 柏道远等(2005), 肖庆辉等(2002); 中国花岗岩(平均值)M型: 据肖庆辉等(2002); 中国花岗岩(平均值)I型: 据姜耀辉等(1999), 肖庆辉等(2002), 孙德有等(2004); 中国花岗岩(平均值)S型: 据肖庆辉等(2002), 陶继雄等(2003)。

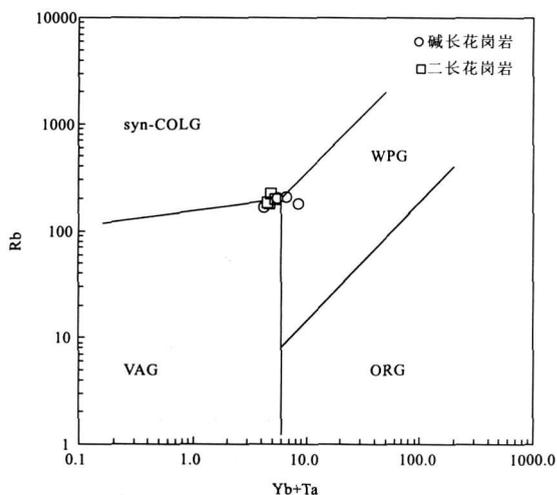


图 8 (Yb+ Ta) - Rb 图(据文献[16])

Fig. 8 Diagram of (Yb+ Ta)- Rb

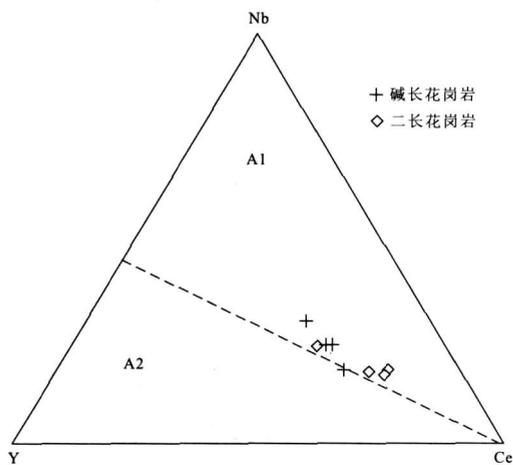


图 9 Y- Nb- Ce(据文献[17])

Fig. 9 Diagram of Y-Nb-Ce

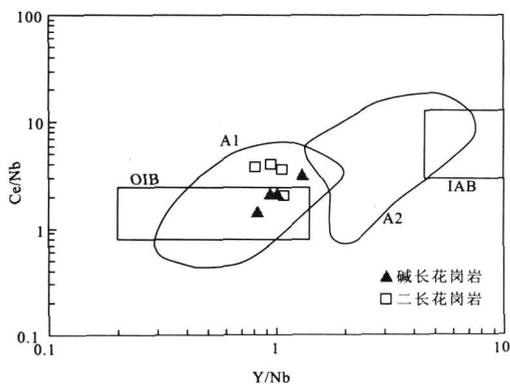


图 10 Ce/Nb- Y/Nb(据文献[17])

Fig. 10 Diagram of Ce/Nb- Y/Nb

5 结论

(1) 通过花岗岩主量元素、微量元素和稀土元素的分析, 认为元宝山区花岗岩属于 A 型花岗岩。碱长花岗岩和二长花岗岩具有富碱、富 SiO₂、相对贫 CaO 和 MgO 的特点, 微量元素出现了 Sr, P, Eu, Ti 等低谷, 稀土配分模式曲线呈右倾、富轻稀土、典型的海鸥式等 A 型花岗岩特征。

(2) 通过引用 Eby 关于碱性花岗岩的构造环境判别图解, 判断出元宝山区花岗岩应该属于 A1 型, 并利用不同花岗岩类具有不同的 K₂O 和 TiO₂ 值的特点, 进一步认为元宝山区花岗岩可能是一种造山以后抬升的大陆地区花岗岩。

参考文献:

- [1] 唐文龙, 杨言辰, 李骞, 等. 伊春前进地区岩浆岩的地球化学特征及其对成矿的制约[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 41-47.
- [2] Middlemost E A K. Naming materials in the magma/ igeous rock system[J]. Earth-Science Reviews, 1994, 37: 215-224.
- [3] 李鹤年, 段国正. 内蒙赤峰北部锡多金属成矿带花岗岩地球化学特点及成矿作用[J]. 长春地质学院学报, 1989, 19(2): 131-140.
- [4] 闫峻, 陈江峰. 鲁东青山组中性火山岩的地球化学特征: 岩石成因和地质意义[J]. 地球化学, 2007, 36(1): 1-10.
- [5] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [6] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学, 1996, 25(6): 552-558.
- [7] 路远发. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 2004, 33(5): 459-464.
- [8] 苏玉平, 唐红峰. A 型花岗岩的微量元素地球化学[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(3): 245-251.
- [9] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [10] 吴锁平, 王梅英, 戚开静. A 型花岗岩研究现状及其评述[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(1): 57-66.
- [11] Forster H J. An evanlation of the Rb Vs (Y+ Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks [J]. Lithos., 1997: 261-293.
- [12] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Petrol., 1984, 25: 956-983.
- [13] Eby G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence

- and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis[J]. *Lithos.*, 1990, 26: 115-134.
- [14] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题[J]. *大地构造与成矿学*, 2007, 31(1): 92-103.
- [15] 张旗, 潘国强, 李承东, 等. 花岗岩构造环境问题: 关于花岗岩研究的思考之三[J]. *岩石学报*, 2007, 23(11): 2683-2698.
- [16] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of petrology*, 1984, 25: 956-983.
- [17] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications [J]. *Geology*, 1992, 20: 641-644.

STUDY ON THE GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS, GENETIC TYPE AND TECTONIC SETTING OF MAGMATIC ROCKS IN YUANBAOSHAN DISTRICT, INNER MONGOLIA

ZHANG Shu-gen, LIU Nan, DING Jun, GAO Xiang, WEI Li, YANG Hui-fang

(College of Geoscience and Environment Engineering, Central South University, Changsha, Hunan, China, 410083)

Abstract: Comparison of Yuanbaoshan alkali-adamellite granite with various type of granite at home and abroad and the discrimination diagrams show that the Yuanbaoshan granite belongs to A-type granite. It is rich in silicon and alkali, and poor in calcium and magnesium characterized by a low valley pattern of trace elements including Sr, P, Eu, and Ti and right decline REE pattern with high LREE, a typical seagull style. All of these characteristics comply with A-type granite. And it is discriminated the A-type granite in the Eby tectonic diagrams. Moreover, the authors consider that it may be related to the orogenic uplift of the continent.

Key Words: granite; geochemical characteristics; genetic type; tectonic setting; Yuanbaoshan district; Inner Mongolia

(上接第 328 页)

A SUMMARY OF THE APPLICATION OF LEAD ISOTOPE TO STUDY ON ORE DEPOSITS AND ORE EXPLORATION

ZHANG Jian-fang, ZHANG Gang-yang

(Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: The lead isotope has been widely used in tracing of the ore source material including model age method, PbSL isochron age method, geotectonic model method, $\Delta^{206}\text{Pb}/\Delta^{207}\text{Pb}$ graphic method, and the direct comparison method. Tracing the source material only by model age value has been phased out and the model age value must be calibrated with that calculated from the rational model. China geology was not involved in the Pb isotope geotectonic regime and now is questioned in China. $\Delta^{206}\text{Pb}/\Delta^{207}\text{Pb}$ graphic method involves the geology of China but is under testing and verification. The direct comparison method is the most efficient and intuitive tracing method. In addition, the whole ore Pb-Pb isochron dating has been more accurate and applied successfully in a number of deposits through removing the late interference factors from the sampling system. Results of Pb isotope researches have been applied to geochemical exploration and ore potential evaluation, especially for application of the systematic Pb isotope geochemical profile method (three-dimensional projection topology value V_1 and V_2) to the prediction of concealed ore resources and deep blind ore bodies.

Key Words: lead isotopes; ore-forming material source; isochron dating; ore predicting and evaluating