

桐柏—大别造山带燕山晚期 A型花岗岩的厘定*

王强 赵振华 熊小林

(中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640)

关键词 A型花岗岩 高分异I型花岗岩 构造环境 桐柏—大别造山带

摘要 本文通过岩石地球化学研究和讨论,认为桐柏—大别造山带燕山晚期存在过碱性(peralkaline)和铝质(aluminous)A型花岗岩。过碱性花岗岩的岩石类型为碱长花岗岩和石英正长岩,其 $ACNK=0.72\sim 0.97$, $NKA=1.02$ 。铝质A型花岗岩是本文研究的重点,岩石类型也为碱长花岗岩和石英正长岩;其 SiO_2 含量为 $67.73\%\sim 77.60\%$,富碱(Na_2O+K_2O 含量为 $7.97\%\sim 9.76\%$), $ACNK=0.72\sim 1.03$, $NKA=0.84\sim 0.97$,属于偏铝质—微过铝质岩石;轻稀土元素富集,负铈异常明显($\delta Eu=0.12\sim 0.57$),Zr、Nb、Ga、Y富集。与高分异的I型花岗岩相比,研究区高硅($SiO_2>72\%$)的铝质A型花岗岩富Fe($Fe/Fe^T>1.50\%$),高Zr+ Nb+ Ce+ Y和Ga/Al,具有较高的Zr饱和温度($845\sim 880^\circ C$)。研究区A型花岗岩形成于造山期后环境,标志着桐柏—大别造山带在晚白垩世进入了伸展塌陷阶段及碰撞—叠覆造山的结束。

1 引言

A型花岗岩因其产出的构造环境特殊(非造山或造山期后)而成为地质研究的热点之一。在碰撞造山带中,A型花岗岩的出现一般标志着造山运动的结束。大多数学者认为印支期是扬子板块与华北板块碰撞形成桐柏—大别造山带的时期^[1~8],印支期后桐柏—大别造山带进入碰撞后的构造演化阶段。然而,桐柏—大别造山带的造山运动究竟何时结束,目前还未有定论。桐柏—大别造山带燕山期发育有大面积的碰撞后花岗岩,出露面积约占造山带的三分之一,近年来,这些碰撞后的花岗岩受到普遍关注,并取得了许多突出的成果^[9~22]。已有的研究表明,桐柏—大别造山带燕山期花岗岩的成因类型主要为I型,其中是否有A型花岗岩,迄今未有准确报道,部分研究者甚至认为桐柏—大别造山带不存在A型花岗岩。笔者通过研究,发现桐柏—大别造山带燕山晚期存在A型花岗岩,并且这些岩石的出现可能标志着桐柏—大别造山带在晚白垩世进入了伸展塌陷阶段。

2 岩体地质及岩石特征

根据已有的资料,本文所发现的A型花岗岩体主要分布于湖北境内的桐柏—大别山区

* 本文受到国家攀登计划预选(95-预-25)、国家重点基础研究发展规划(G1999043202)、广东省自然科学基金博士启动(994588)和国家博士后基金项目的资助。

第一作者简介 王强,1971年生,博士,岩石学和地球化学专业。

收稿日期 1999-11-02, 改回日期 2000-08-09

(图1),共有7个(表1)。它们都呈小岩株或岩脉产出,岩体与围岩呈明显的侵入接触关系,接触面常切割或插入变质岩中。7个岩体的岩石大多具有中粒-中细粒半自形粒状结构,有时也发育较多的蠕英结构或文象结构,不具有片麻状构造,块状构造发育。岩石主要矿物组成为钾长石、石英、斜长石和少量黑云母,不含碱性暗色矿物。7个岩体的岩石类型主要为石英正长岩、碱长花岗岩、钾长花岗岩。研究区内A型花岗岩的年龄资料不多,芳畈岩体

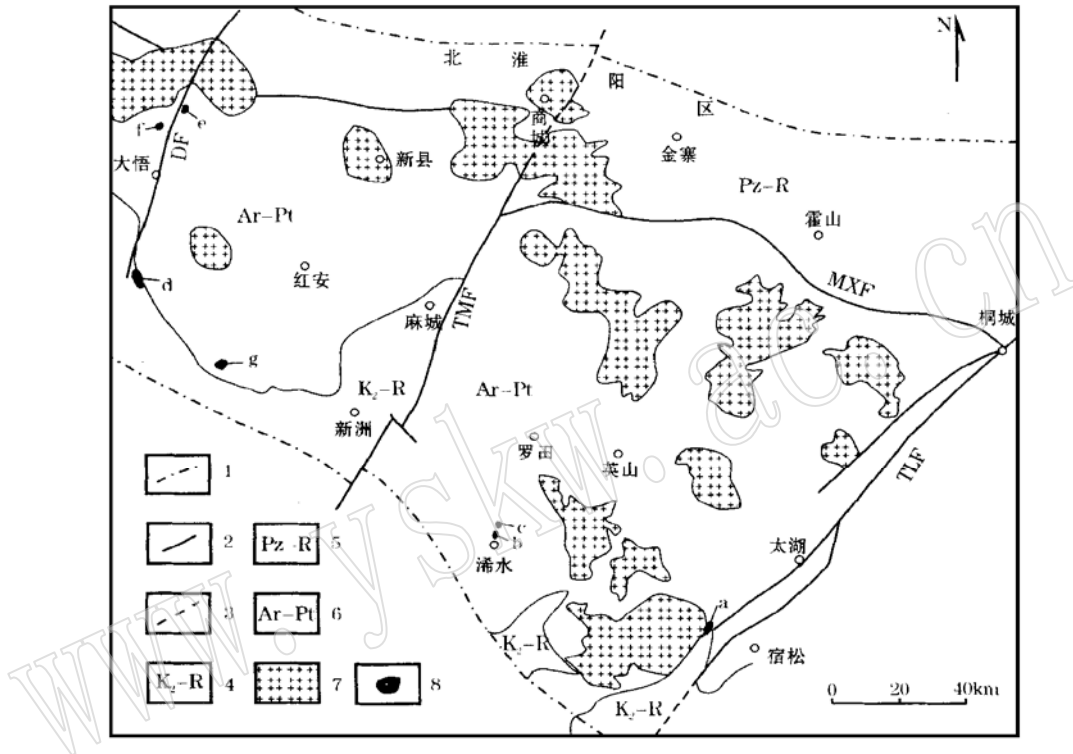


图1 桐柏-大别造山带地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Tongbai-Dabie orogenic belt

1—造山带变形边界断层; 2—大断裂; 3—隐伏断裂; 4—晚白垩世—第四纪断陷盆地; 5—北淮阳古生界—第三系; 6—太古宙—元古宙桐柏—大别杂岩; 7—燕山期花岗岩; 8—A型花岗岩; a—婆婆寨, b—崇山咀, c—陈家桥, d—芳畈, e—望家山, f—娘娘顶, g—研子岗; TLF—郟庐断裂; MXF—磨子潭—晓天断裂; TMF—团麻断裂; DF—大悟断裂

表1 桐柏-大别造山带A型花岗岩的地质特征

Table 1 Geological characteristics of A-type granite in Tongbai-Dabie orogenic belt

分区	岩体	位置	岩石类型	面积(km ²)	时代
大别山	婆婆寨	湖北黄梅县停前镇	碱长花岗岩	7.8	晚白垩世
	崇山咀	湖北浠水县望城	钾长花岗岩	2.0	晚白垩世
	陈家桥	湖北浠水县梅河	石英正长岩	1.5	—
桐柏山	芳畈	湖北大悟县芳畈乡	碱长花岗岩	6.5	80~94 Ma(全岩、长石 K-Ar) ^[11]
	望家山	湖北大悟县三里城	碱长花岗岩	1.2	晚白垩世
	娘娘顶	湖北大悟县新店	碱长花岗岩	1.0	晚白垩世
	研子岗	湖北黄陂县研子岗	石英正长岩	6.0	晚白垩世

的 K-Ar 年龄为 80~ 94 Ma^[11]。湖北区域地质志^[15]曾将芳畈与研子岗岩体的形成时代归为晚白垩世。上述 7 个岩体的岩性均一, 块状构造发育, 且与围岩呈明显的侵入接触, 表明这些岩体受构造运动改造并不强烈。因此, 笔者根据岩体岩石特征、其与围岩的接触关系、已有的同位素年龄资料以及前人研究成果, 初步将这些岩体划定为晚白垩世的产物, 其精确的年代学测试目前正在进行中。

3 岩石化学

花岗岩的岩石化学成分见表 2。从表 2 中可以看出, 研究区 A 型花岗岩具有如下特点: (1) 石英正长岩低硅(65.26%~ 67.73%)、低铝(12.84%~ 15.42%), 钾长花岗岩、碱长花岗岩高硅(74.44%~ 77.60%)、低铝(10.98%~ 12.44%); (2) 富碱, Na₂O+ K₂O 含量为 7.97%~ 9.76%; (3) ACNK[Al₂O₃/(CaO+ Na₂O+ K₂O) 分子数比]与 NKA[(Na₂O+ K₂O)/Al₂O₃ 分子数比](表 2)分别为 0.72~ 1.03 和 0.84~ 1.02, 在 Maniar & Piccoli (1989) 的 ACNK-NKA 图解^[42]中, 娘娘顶、研子岗落入过碱性岩区, 其它花岗岩落入偏铝质- 微过铝质花岗岩区; (4) 岩石类型, 在图 2 中落入碱性岩区, 在 Na₂O- K₂O 图解(图 3)中落入 A 型花岗岩区。

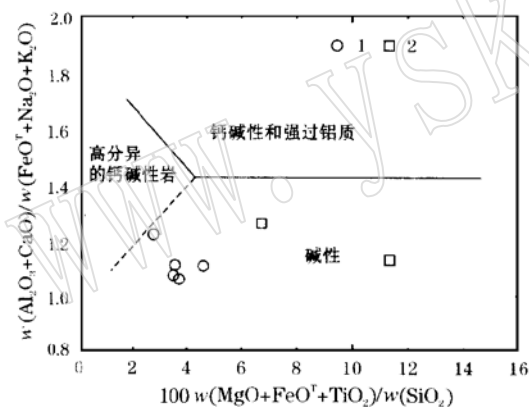


图 2 花岗岩的主元素判别图(据文献[39])

Fig. 2 Discrimination diagram of major elements in granite

1—碱长花岗岩; 2—石英正长岩

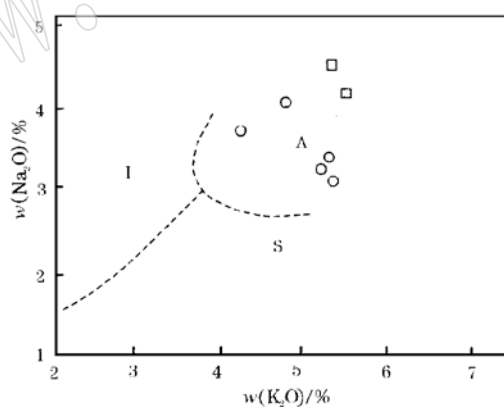


图 3 Na₂O- K₂O 图解(据文献[40])

Fig. 3 Na₂O versus K₂O diagram

图例同图 2

4 微量、稀土元素特征

研究区 A 型花岗岩的稀土总量较高($\Sigma\text{REE} = 138.64 \times 10^{-6} \sim 501.55 \times 10^{-6}$), 轻稀土元素富集, 重稀土元素略微亏损(表 2), $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE} = 2.77 \sim 13.37$, 除陈家桥石英正长岩外($\delta\text{Eu} = 0.57$), 其它侵入岩都显示出强烈负铕异常($\delta\text{Eu} = 0.12 \sim 0.25$)。在原始地幔标准化的不相容元素图解(图 4)中, 研究区岩石为 Sr、Ti 亏损, Ba、K、La、Ce、Zr、Y 明显富集,

表 2 A 型花岗岩的常量元素($w_B/\%$)、微量元素和稀土元素($w_B/10^{-6}$)分析结果

Table 2 Contents of major elements, trace elements and REE in A type granite

序号	大别山			桐柏山				世界平均				澳大利亚		
	婆婆寨		崇山咀	陈家桥	芳畈	望家山	娘娘顶	研子岗	421	205	148	103	Ackley	Scandy Cape
	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1
样品数	aY	Kf- Y	Σ	aY	aY	aY	Σ	Y'	S'	A	HFI	HFI	HFS	
SiO ₂	75.62	74.44	67.73	75.33	77.60	76.43	65.26	73.39	73.39	73.81	76.17	77.65	73.72	
TiO ₂	0.15	0.18	0.36	0.12	0.17	0.10	0.49	0.26	0.28	0.26	-	0.05	0.05	
Al ₂ O ₃	12.25	12.44	15.42	11.63	10.98	11.60	12.84	13.43	13.45	12.4	-	12.14	14.79	
Fe ₂ O ₃	1.54	2.10	2.24	1.28	1.79	2.18	1.94	0.6	0.36	1.24	-	0.23	0.17	
FeO	0.40	1.11	1.71	0.86	0.59	0.74	2.20	1.32	1.73	1.58	-	0.2	0.52	
MnO	0.01	0.05	0.09	0.04	0.04	0.04	0.07	0.05	0.04	0.06	-	0.02	0.05	
MgO	0.20	0.10	0.40	0.27	0.29	0.08	3.16	0.55	0.58	0.2	0.12	ND	0.07	
CaO	0.40	0.77	1.45	0.38	0.11	0.11	2.63	1.71	1.28	0.75	0.61	0.34	0.4	
Na ₂ O	3.30	3.44	4.24	3.07	3.65	4.00	4.50	3.33	2.81	4.07	3.37	3.7	4	
K ₂ O	5.30	5.32	5.52	5.40	4.29	4.82	5.25	4.13	4.56	4.65	4.92	4.93	4.11	
P ₂ O ₅	0.02	0.00	0.11	0.06	0.01	0.00	0.44	0.07	0.14	0.04	-	0.01	0.42	
H ₂ O	0.39	0.02	0.47	0.88	0.40	0.00	0.86	-	-	-	-	ND	ND	
Σ	99.58	99.91	99.74	99.32	99.92	100.1	99.64	98.84	98.62	99.06	-	99.27	98.3	
Na ₂ O+K ₂ O	8.6	8.76	9.76	8.47	7.94	8.82	9.75	7.46	7.37	8.72	-	8.63	8.11	
NKA	0.91	0.92	0.84	0.94	0.97	1.02	1.02	0.74	0.71	0.95	-	0.94	0.75	
ACNK	1.03	0.97	0.99	1.00	1.01	0.97	0.72	1.03	1.13	0.95	-	1.01	1.26	
FeO ^T	1.79	3.00	3.73	2.01	2.20	2.70	3.95	1.86	2.05	2.70	1.00	0.41	0.67	
Cr	10.0	10.0	10.0	5.3	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	
Ni	ND	ND	ND	ND	2.0	4.0	< 1	-	-	-	-	ND	2.0	
Co	2.7	2.0	3.5	1.6	-	-	-	-	-	-	-	ND	ND	
V	6.0	3.9	7.2	4.4	22.0	23.0	6.0	-	-	-	-	ND	ND	
Zn	20.4	48.9	59.1	21.6	35.0	44.0	120.0	-	-	-	-	83.0	53.0	
Rb	141.0	109.0	99.4	127.8	194.0	277.0	169.0	424	312.0	945.0	-	-	-	
Ba	424	420	1050	322	510	388	352	99	30	2	-	-	-	
Sr	46	215	108	15	143	81	48	31	12	15	-	-	-	
Ga	25.5	27.0	27.0	27.0	16	17	24.6	19.0	16.6	26.4	-	-	-	
Nb	18.4	30.2	21.2	22.4	12	13	37	-	25.0	47.0	-	-	-	
Zr	207	459	616	397	144	136	528	116	138.0	27.0	-	-	-	
Y	32.96	53.84	37.44	63.78	12	13	37	-	31	12	-	-	-	
M*	0.9129	1.1042	1.3517	0.9367	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
t/°C	845	880	885	870	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1000Ga/Al	4.33	4.43	3.57	4.73	2.25	2.39	3.75	-	2.58	3.37	-	-	-	
La	72.31	121.04	101.55	13.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ce	92.00	205.77	173.89	67.57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Pr	13.52	27.57	23.13	4.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nd	43.15	91.11	80.14	12.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Sm	7.00	15.35	12.15	3.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Eu	0.34	0.56	2.03	0.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Gd	6.17	11.82	9.05	6.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tb	1.10	2.03	1.47	0.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Dy	8.81	10.06	7.17	11.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ho	1.25	2.19	1.54	2.44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Er	3.79	6.27	4.37	6.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tm	0.60	0.99	0.72	1.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Yb	3.90	5.99	4.43	6.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Lu	0.54	0.80	0.64	1.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Σ REE	254.48	501.55	422.28	138.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
L/H	13.37	6.20	17.83	2.77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
δ Eu	0.15	0.12	0.57	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

aY—碱长花岗岩; Kf- Y—钾长花岗岩; Σ —石英正长岩; Y'—酸性 I 型花岗岩; S'—酸性 S 型花岗岩; A—A 型花岗岩; HFI—高分异 I 型花岗岩; HFS—高分异 S 型花岗岩。1~ 7 取自李石等^[11]; 8 取自湖北省区域地质志(1989); 9~ 10、12~ 13 取自 Whale(1987); 11 取自 King et al.^[28]。M* = (Na+ K+ 2Ca)/(Si×Al), ACNK = Al₂O₃/(CaO+ Na₂O+ K₂O)(分子数比), NKA = (Na₂O+ K₂O)/Al₂O₃(分子数比), L/H = Σ LREE/ Σ HREE。

Ga 元素 (25.5~ 27.0) 与世界 A 型花岗岩的平均值 (24.6) 非常接近 (表 2)。与世界酸性 I S 型花岗岩的平均 1000Ga/Al 值 (2.25~ 2.39) 相比 (表 2), 研究区岩石的 1000Ga/Al 值 (3.57~ 4.73) 明显偏高, 接近或大于世界 A 型花岗岩的平均值 (3.75)。在 1000Ga/Al-Zr-Nb-Ce-Y 图解 (图 5) 中, 均落入 A 型花岗岩区。

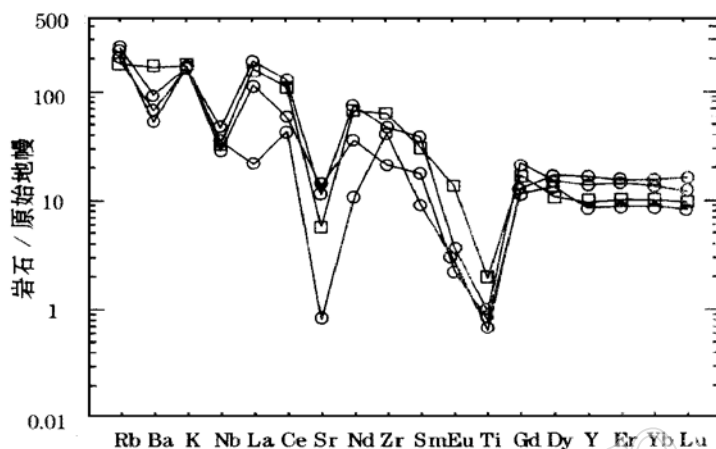


图 4 不相容元素原始地幔标准化图解

Fig. 4 Standardized diagram of primary mantle for incompatible elements
图例同图 2

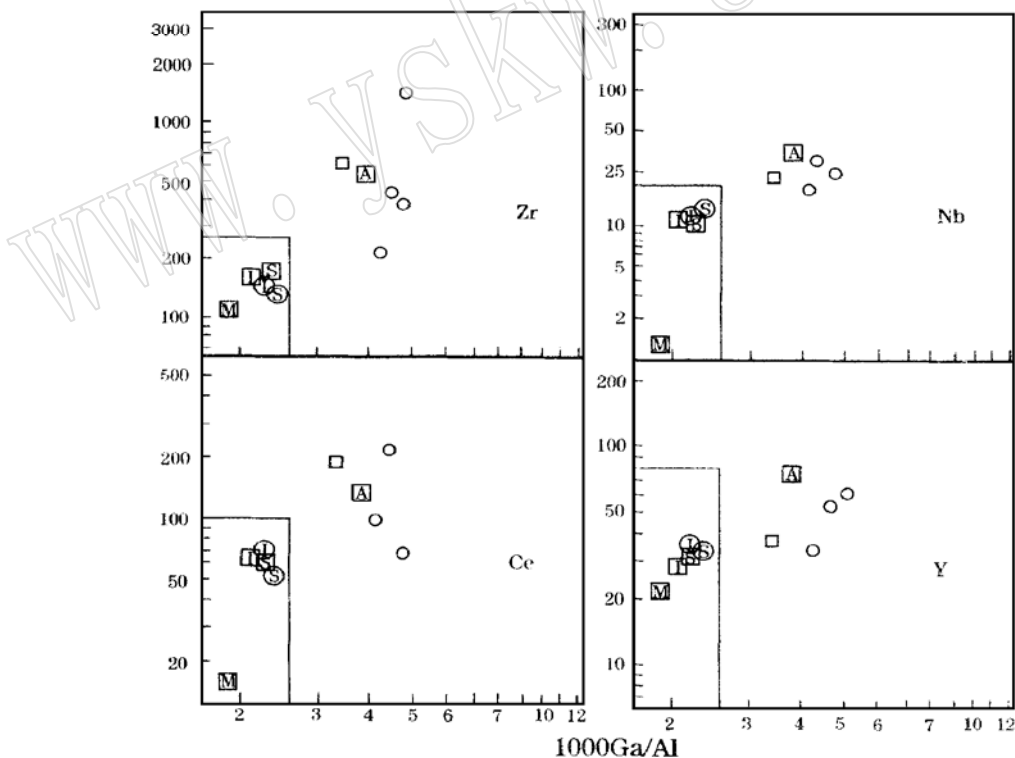


图 5 1000Ga/Al-Zr-Nb-Ce-Y 图解 (据文献 [40])

Fig. 5 1000Ga/Al-Zr-Nb-Ce-Y diagrams

I S M A 花岗岩 (方框), 酸性 I S 花岗岩 (圆圈), 图例同图 2

5 讨 论

5.1 A 型花岗岩的类型

自从 Loiselle & Wones 于 1979 年提出非造山、碱性、无水的 A 型花岗岩的概念以来,有关 A 型花岗岩的特征及其成因问题的讨论始终存在着分歧。争议的焦点主要集中在三个方面: (1) A 型花岗岩与其它类型花岗岩(如 I S 型花岗岩)的分类标准不一致; (2) A 型花岗岩与酸性 I 型花岗岩的成分重叠; (3) A 型花岗岩有时与其原始定义不一致,它并不只出现于非造山环境。争论的结果使得更多的地学工作者致力于 A 型花岗岩及其相关领域的研究,也使得 A 型花岗岩的研究内容不断丰富。从构造环境上来说,目前 A 型花岗岩的分类包括两种:非造山和造山后^[23-27];从成分特征上来说,A 型花岗岩的概念已从狭义的“碱性、无水”的岩石拓宽到相对含水的偏铝质和微过铝质的岩石——铝质(aluminous) A 型花岗岩^[24, 28-29]。桐柏一大别造山带出露大面积的碰撞后花岗岩,众多学者对其进行了广泛深入的研究^[9-22],但这些研究主要限于 I 型花岗岩,有部分研究者甚至认为桐柏一大别造山带不存在 A 型花岗岩。然而,我们的研究表明,桐柏一大别造山带不但存在过碱性的 A 型花岗岩(如娘娘顶碱长花岗岩和研子岗石英正长岩),也存在一些偏铝质-微过铝质的 A 型花岗岩——铝质 A 型花岗岩(如婆婆寨、崇山咀、陈家桥、芳畈和望家山等花岗岩体)。

5.2 与高分异 I 型花岗岩的区别

$\text{SiO}_2 > 72\%$ 的铝质 A 型花岗岩与高分异的 I 型花岗岩有许多相似之处,二者极易混淆^[28]。由于研究区铝质 A 型花岗岩大都为高硅花岗岩($\text{SiO}_2 > 74\%$),因此需要将它们与高分异的 I 型花岗岩区分开来: (1) 在图 2 中,研究区 A 型花岗岩与高分异的花岗岩有明显的区别; (2) 一般说来,高分异的 I 型花岗岩 FeO^T (全铁) 含量较低(表 1, 低于 1.00%), 而研究区 A 型花岗岩的 FeO^T 均大于 1.00% (1.79% ~ 3.95%); (3) 在图 6 中,研究区 A 型花岗岩均落入 A 型花岗岩区,而与分异的 I S 花岗岩相区别; (4) A 型花岗岩的一个重要特征是形成温度较高,这也是高硅 A 型花岗岩与高分异的 I 型花岗岩的重要区别^[28], 根据

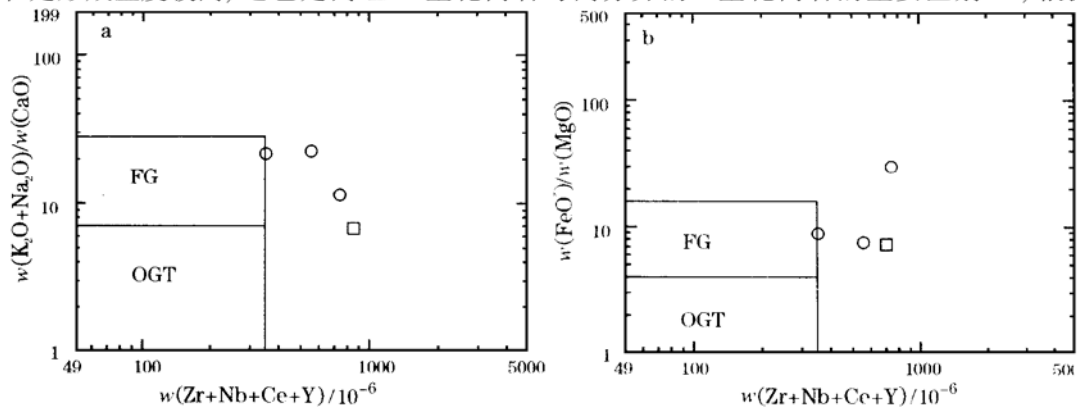


图 6 $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y} - \text{FeO}^* / \text{MgO} - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{CaO}$ 图解(据文献[41])

Fig. 6 $\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y} - \text{FeO}^* / \text{MgO}, (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / \text{CaO}$ diagram

FG 一分异的 M+I+S 型花岗岩, OGT 未分异的 M+I+S 型花岗岩, 图例同图 2

Watson 等^[30]的公式, 计算出研究区 A 型花岗岩的 Zr 饱和温度为 845~ 880 °C, 形成温度很高, 远高于 King 等^[28]所计算的高分异 I 型花岗岩的形成温度 764 °C。

5.3 岩石成因

已经提出的 A 型花岗岩成因的观点有多种, 主要包括: (1) 碱性玄武岩的分离结晶^[31]; (2) 岩浆混合^[32]; (3) 下地壳源岩(或麻粒岩相残留体、紫苏花岗质下地壳或英云闪长质 I 型花岗岩)的部分熔融^[28-29, 33-35]。研究区 A 型花岗岩大多为高硅花岗岩, 在 SiO₂ 为 74.4%~ 75.62% 时, Ba 较高($322 \times 10^{-6} \sim 424 \times 10^{-6}$), Rb 很低($109.0 \times 10^{-6} \sim 141.0 \times 10^{-6}$), 而通常由分离结晶形成的高硅花岗岩, 其 Rb 含量一般要大于 270×10^{-6} ^[36]。这

就暗示研究区 A 型花岗岩不可能由玄武岩浆的分离结晶形成。此外, 研究区 A 型花岗岩包含有一些微过铝质的岩石, 如果具有高浓度 Al 和 $\Sigma(\text{Ca} + \text{Na} + \text{K})$ 的较强偏铝质的镁铁质岩浆加入到偏铝质(或 I 型)的花岗质岩浆中, 那么混合岩浆很难具有微过铝质特征。因此, 研究区 A 型花岗岩只可能由部分熔融形成。在 Y/Nb-Ce/Nb 图解(图 7)中, 研究区 A 型花岗岩主要落入平均地壳成分周围火山弧花岗岩、同碰撞花岗岩区, 说明这些花岗岩的源岩可能与碰撞造山、大陆边缘或岛弧岩浆作用有关, 其直接来自地幔的可能性非常小。

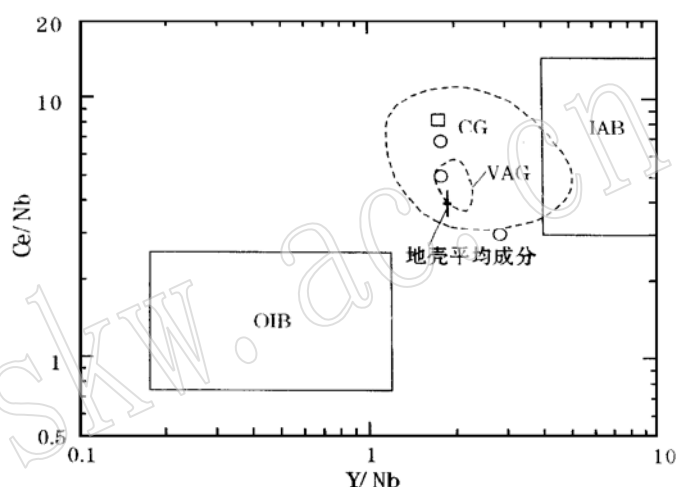


图 7 Y/Nb-Ce/Nb 图解(据文献[43])

Fig. 7 Y/Nb-Ce/Nb diagram

OIB—大洋岛弧玄武岩; IAB—相对富集 Nb、Ta 的岛弧玄武岩;

C—平均地壳比值; VAG—火山弧花岗岩; CG—同碰撞花岗岩; 图例同图 2

5.4 构造环境

A 型花岗岩的构造环境可分为两种, 非造山和造山期后环境^[23-27]。研究区 A 型花岗岩在 Rb-Y-Nb 和 Nb-Y 图解^[38]中均落入板内花岗岩区。在 Y-Nb-Ce 和 Nb-Y-3 Ga 图解中落入 A₂ 区(图 8)(造山后 A 型花岗岩区), 在图 9 以及 Ga/Al($\times 10^4$)-R₁ 图解^[25]中也落入造山期后 A 型花岗岩区。因此, 研究区 A 型花岗岩形成于造山期后环境。

5.5 构造意义

无论是非造山还是造山期后的 A 型花岗岩, 其共同的特征是形成于拉张的构造环境中^[25-37], A 型花岗岩的出现往往标志着造山运动的结束^[25]。不少学者认为印支期后桐柏—大别造山带进入碰撞后的构造演化阶段, 然而, 桐柏—大别造山带构造发展的重要转折究竟起于何时, 目前尚未定论。一部分研究者认为桐柏—大别造山带印支期后即已进入伸展构造演化阶段^[4, 6, 21], 但另一部分研究者认为秦岭—桐柏—大别造山带印支期后出现大规模逆冲推覆, 发生了不亚于板块碰撞构造的陆内(或板内)造山作用, 并持续到晚白垩世 100 Ma 左右^[38]。我们认为, 桐柏—大别造山带晚白垩世 A 型花岗岩的出现, 标志着造山带此

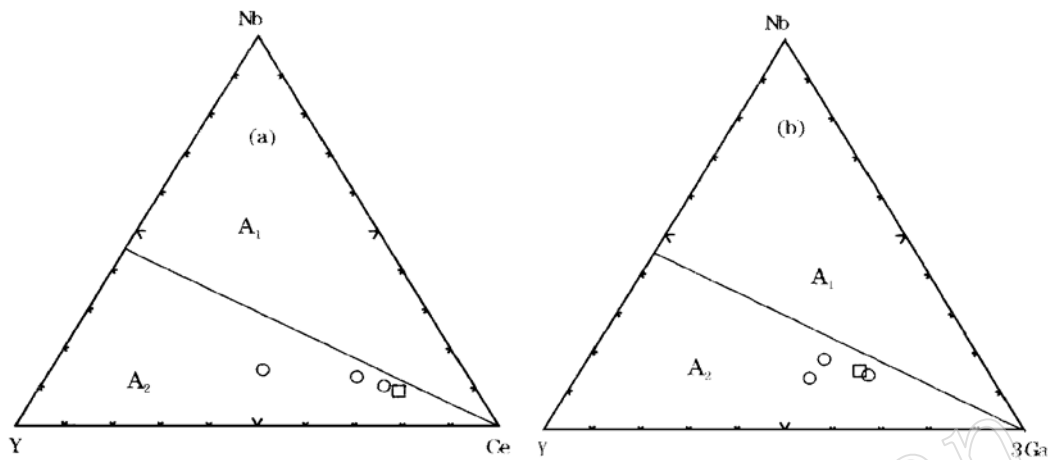
图8 A型花岗岩的构造环境判别图解^[24]

Fig. 8 Discrimination diagram of tectonic environment for A_type granite

A₁—非造山的A型花岗岩; A₂—造山期后的A型花岗岩; 图例同图2

时已进入伸展塌陷阶段,同时也预示着碰撞-叠覆造山的结束。

6 结论

(1) 桐柏-大别造山带燕山晚期存在过碱性(peralkaline)和铝质(aluminous)两类A型花岗岩,它们形成于造山后环境。

(2) 桐柏-大别造山带晚白垩世A型花岗岩的出现标志着造山带在晚白垩世进入了伸展塌陷阶段,也标志着碰撞-叠覆造山的结束。

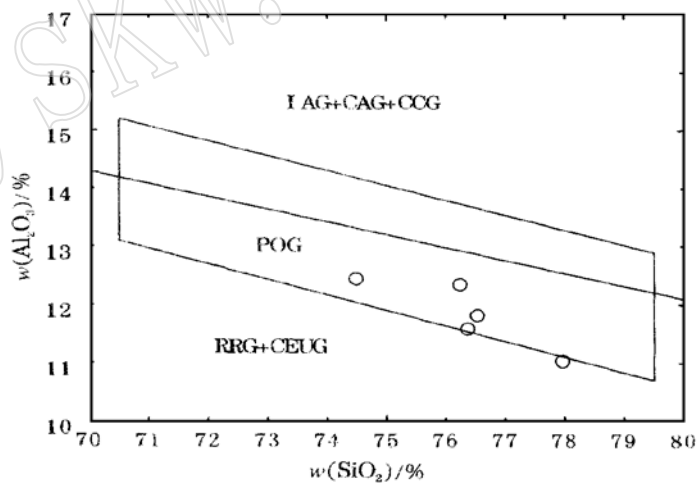


图9 花岗岩的构造环境图解(据文献[42])

Fig. 9 Tectonic environment of granites

图例同图2

参考文献

- 1 Li S, Xiao Y, Liu D, *et al.* Collision of the North China and Yantze Blocks and formation of coesite-bearing eclogites: timing and processes. *Chemical Geology*, 1993, 109: 89~ 111.
- 2 从柏林,王清晨. 大别山-苏鲁超高压变质带研究的最新进展. *科学通报*, 1999, 44(11): 1127~ 1141.
- 3 徐树桐,刘贻灿,江来利,等. 大别山的构造格局和演化. 北京: 科学出版社, 1994.
- 4 Hacker B R, *et al.* U/Pb zircon age constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China.

- Earth Planet. Sci. Lett., 1998, 161: 215~ 230.
- 5 董树文, 孙先如, 张勇, 等. 大别造山带的基本结构. 科学通报, 1993, 38(6): 542~ 545.
 - 6 Zhang R Y, Liou J G and Tsai C H. Petrogenesis of a high-temperature metamorphic terrane: a new tectonic interpretation for the north Dabie Shan, central China. *J. Metamorphic Geol.*, 1996, 14: 319~ 333.
 - 7 王清晨, 从柏林, 马力. 大别造山带与合肥盆地的构造耦合. 科学通报, 1997, 42(6): 575~ 580.
 - 8 翟明国, 从柏林. 苏鲁—大别山变质带岩石大地构造学. 中国科学(B辑), 1996, 26(3): 258~ 264.
 - 9 张德全, 孙桂英. 大别山地区天堂寨花岗岩的侵位时代及地质意义. 岩石矿物学杂志, 1990, 9(1): 31~ 35.
 - 10 张德全, 孙桂英. 对混合花岗岩的质疑——论中国大别山地区天堂寨片麻状花岗岩的成因. 中国地质科学院院报, 1991, 22, 147~ 158.
 - 11 李石, 王彤. 桐柏—大别山花岗岩类地球化学. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991. 1~ 207.
 - 12 谢智, 陈江峰, 周泰禧, 等. 大别造山带变质岩和花岗岩的钐同位素组成及其地质意义. 岩石学报, 1996, 12(3): 401~ 408.
 - 13 金成伟, 郑祥身. 大别岳西地区花岗岩类岩石学及其成因. 岩石学报, 1998, 14(4): 493~ 502.
 - 14 陈跃志, 邵桂青, 桑宝梁. 大别山区司空山两类花岗岩类岩体的岩石学和地球化学特征及其成因. 岩石学报, 1989, 4(1): 59~ 66.
 - 15 湖北省地矿局. 湖北省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1990. 300~ 448.
 - 16 John B, Wu F, Lo C, *et al.* Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr/Nd isotopic evidence from post-collision mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China. *Chemical Geology*, 1999, 157: 119~ 146.
 - 17 Ma C, Li Z, Ehlers C, *et al.* A post-collisional magmatic plumbing system: Mesozoic granitoid plutons from the Dabie Shan high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic zone, east central China. *Lithos*, 1998, 45: 431~ 457.
 - 18 马昌前, 杨坤光, 许长海, 等. 大别山中生代钾质岩浆作用与超高压变质地体的剥露机理. 岩石学报, 1999, 15(3): 379~ 95.
 - 19 陈廷愚, 牛宝贵, 刘志刚, 等. 大别山腹地燕山期岩浆作用和变质作用同位素年代学研究及其地质意义. 地质学报, 1991, 65(4): 329~ 336.
 - 20 简平, 马昌前, 杨坤光. 大别造山带东部燕山晚期区域变质—岩浆活动与区域构造隆升的同位素地质年代学证据. 地球科学, 1996, 21(5): 219~ 523.
 - 21 陈江峰, 谢智, 刘顺生, 等. 大别造山带冷却年龄的⁴⁰Ar-³⁹Ar和裂变径迹年龄测定. 中国科学, 1995, 25(10): 1088~ 1092.
 - 22 彭亚鸣, 潘国强, 叶友清. 大别造山带天柱山花岗岩研究. 南京大学学报(地球科学版), 1994, 6(4): 326~ 333.
 - 23 Bonin B. From orogenic to anorogenic settings: evolution of granitoid suites after a major orogenesis. *Geol. J.*, 1990, 25: 261~ 270.
 - 24 Eby G N. The A-type Granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 1990, 26: 115~ 134.
 - 25 洪大卫, 王式流, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. 中国科学(B辑), 1995, 25(4): 418~ 426.
 - 26 许保良, 闫国翰, 张臣, 等. A型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源. 地学前缘, 1998, 5(3): 113~ 124.
 - 27 赵振华, 王中刚, 邹天人, 等. 新疆乌伦古富碱侵入岩成因探讨. 地球化学, 1996, 25(3): 206~ 220.
 - 28 King P L, White A J R, Chappell B W, *et al.* Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia. *J. Petrology*, 1997, 38: 371~ 391.
 - 29 Jung S, Mezger K and Hoernes S. Petrology and geochemistry of syn- to post-collisional metaluminous A-type granite — a major and trace element and Nd-Sr-Pb-O isotope study from the Proterozoic Damara Belt, Namibia. *Lithos*, 1998, 45, 147~ 176.
 - 30 Watson E B, Harrison T M. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 1983, 64: 29~ 304.
 - 31 Turner S P, Foden J D, Morrison R S. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: an example from the Padthaway Ridge, South Australia. *Lithos*, 1992, 28: 151~ 179.

- 32 Bédard J. Enclaves from the A_type granite of the Mèganic Complex, White Mountain magma series: clues to granite magmagenesis. *J. of Geophysical Research*, 1990, 95(B11): 17797~ 17819.
- 33 Collins W J, Beams S D, White A J R, *et al.* Nature and origin of A_type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982, 80: 189~ 200.
- 34 Creaser R A, Price R C, Wormald R J. A_type granites revisited: Assessment of a residual_source model. *Geology*, 1991, 19: 163~ 166.
- 35 Chapple B W, White A J R. L_ and S_type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences*, 1992, 83, 1~ 26.
- 36 Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic Rocks. *Journal of Petrology*, 1984, 25: 956~ 983.
- 37 王德滋, 赵广涛, 邱检生. 中国东部晚中生代 A 型花岗岩的构造制约. *高校地质学报*, 1995, 1(2): 13~ 21.
- 38 张国伟, 孟庆任, 赖绍聪. 秦岭造山带的结构构造. *中国科学(B 辑)*, 1995, 25(9): 994~ 1003.
- 39 Sylvester P J. Post_collisional alkaline granites. *J of Geology*, 1989, 97: 261~ 280.
- 40 张玉泉, 谢应雯, 涂光焱. 哀牢山—金沙江富碱侵入岩及其与裂谷构造关系初步研究. *岩石学报*, 1987, 3(1): 17~ 27.
- 41 Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A_type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral Petrol.*, 1987, 95: 407~ 419.
- 42 Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of American Bulletin*, 1989, 101: 635~ 643.
- 43 Eby G N. Chemical subdivision of the A_type granitoids: petrogenetic and tectonic: implications. *Geology*, 1992, 20: 641~ 644.

The Ascertainment of Late_Yanshanian A_type Granite in Tongbai— Dabie Orogenic Belt

Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin

(Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640)

Key words: A_type granite; high fractionated L_type granite; tectonic environment; Tongbai— Dabie orogenic belt

Abstract

The study and discussion of petrology and geochemistry have revealed that there exists two kinds of A_type granites in Tongbai_Dabie orogenic belt: peralkaline and aluminous granites. The peralkaline A_type granites include alkaline feldspar granite and quartz syenites, characterized by $ACNK = 0.72 \sim 0.97$ and $NKA = 1.02$. The aluminous A_type granites also include alkaline feldspar granite and quartz syenites, characterized by $SiO_2 = 67.73\% \sim 77.60\%$, rich alkali, $Na_2O + K_2O = 7.97\% \sim 9.60\%$, $ACNK = 0.72 \sim 1.03$, $NKA = 0.84 \sim 0.97$, rich REE, $\delta Eu = 0.12 \sim 0.57$ and rich Zr, Nb, Ga and Y. Compared with high fractionated L_type granites, the high Si ($SiO_2 > 72\%$) aluminous A_type granites show rich Fe ($FeO^T > 1.50\%$),

(下转第 315 页)(to be continued on p. 315)

www.yskw.ac.cn

(上接第 306 页)(Continued from p. 306)

high Zr+ Nb+ Ce+ Y and Ga/Al as well as high zircon saturation temperature (845~ 880 °C). The A_type granites were formed in a post-orogenic environment. It is suggested that Tongbai - Dabie orogenic belt entered the phase of extension and collapse in Late Cretaceous, during which the orogenic movement ended.