

A 型花岗岩研究现状及其述评

吴锁平¹, 王梅英², 戚开静³

(1. 中国地质科学院 地质研究所, 北京 100037; 2. 郑州工业贸易学校, 河南 郑州 450007;
3. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 在 20 多年的研究历史中, 随着同位素测年和示踪技术的不断完善, 地质学家对地幔和壳幔相互作用的认识愈来愈深刻。同样, 随着研究案例的日积月累, 对 A 型花岗岩的认识也在不断更新。现在, 人们所讨论的 A 型花岗岩已经不再局限于狭义的花岗岩, 事实上已经扩大到花岗质岩类(如闪长岩和辉长岩)甚至喷出岩(流纹岩、流纹-安山岩), 其识别标志像埃达克岩(adakite)那样越来越依赖于主元素、微量元素和同位素等地球化学指纹, 其物源的多样性和成因的多种模式得到多种同位素联合示踪研究结果的不支持, 但其形成时的构造环境仍然以伸展体制为主。

关键词: A 型花岗岩; 识别标志; 物质来源; 岩石成因; 构造环境

中图分类号: P588.12⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1000-6524(2007)01-0057-10

Present situation of researches on A-type granites: a review

WU Suo-ping¹, WANG Mei-ying² and QI Kai-jing³

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Zhengzhou Industrial and Trade School, Zhengzhou 450007, China; 3. School of Earth Science and Resources, China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

Abstract: With the continuous improvement of the isotopic and tracing technologies for dating rocks, geologists have gained increasingly deepened understanding of the mantle and the interaction between the crust and the mantle in the past twenty years. Correspondingly, the knowledge of the A-type granite has been continually renewed. At present, just like adakite, A-type granites have covered granitoids (including their extrusive rocks such as rhyolite and rhyoandesite). The identification of A-type granites depends increasingly upon their major and trace elements as well as their isotope characteristics. Although A-type granites have diverse sources and genetic models, their tectonic setting remains mainly dominated by the extensional system.

Key words: A-type granite; identification criteria; source; genesis; tectonic settings

1979 年 Loiselle 和 Wones 将 A 型花岗岩这一术语引入地质文献, 此后国内外地质学家对 A 型花岗岩的研究兴致有增无减, 陈培荣和章邦桐(1994)、许保良等(1998)曾经就此做过评述。最近 10 年 A 型花岗岩的研究又取得了许多新进展, 值得总结和探讨, 本文就 A 型花岗岩概念、分类、判别标志、物质来源、岩石成因及构造环境等问题做一综述。

1 A 型花岗岩概念的提出

Loiselle 和 Wones(1979)最早将 A 型花岗岩定义为碱性(alkaline)、贫水(anhydrous)和非造山(anorogenic)的花岗岩, 以 3 个外文词的首字母“A”命名, 不涉及其成岩物质来源。Pitcher(1993)和

King 等(1997)又将其定义为富钾长石的花岗岩(potassium feldspar-rich granite),并认为 A 型花岗岩以适度碱性(mildly alkaline)及高的($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)与典型的钙碱性(calc-alkaline)I 型花岗岩明显不同(肖庆辉等,2002)。现在人们所讨论的 A 型花岗岩包括了除典型的 S 型(强过铝质)和 I 型以外的各种花岗岩,也不限于“贫水”特征和“非造山”环境,化学成分有时与 I 型过渡,所以 Creaser 等(1991)曾建议将 A 型花岗岩作为 I 型花岗岩的一个亚类,袁忠信(2001)曾建议采用“碱性花岗岩类”一词代替传统的 A 型花岗岩,但未引起重视。其实 A 型花岗岩与 I 型花岗岩在化学成分上出现过渡并不奇怪,因为在分类标准上前者强调的是构造环境而后者偏重的是花岗岩的源岩(火成岩)。同样,化学成分上属于 S 型花岗岩的某些花岗岩也可以划归 A 型花岗岩。因此术语使用上的分歧很正常。随着研究范围的扩大和研究程度的加深,人们对 A 型花岗岩及其代表的地球动力学意义的认识渐趋全面。

目前对 A 型花岗岩尚没有一个统一的概念,但其总体特征为:高 FeO^*/MgO 、 Ga/Al , 富集 HFSE、Y、Ce, 低 Ca、贫 Fe 和 Mg, 强烈亏损 Ba、Sr、Eu、P、Ti, 在常用判别图解中多数能落入 A 型区的花岗岩类。通常可以将 A 型花岗岩划分为不同的化学成分类型或岩石学类型。

2 分类

对于 A 型花岗岩,不同学者有不同的分类方案。其中提出时间最早的是 Eby(1992)的不相容元素比值分类。该分类方案简单明了,至今仍受到很多地质学家的推崇。随着 A 型花岗岩概念的扩大和研究程度的提高,逐渐流行起按碱性及铝质程度的分类方案(其最初提出者已无从考证),并试图与 Eby 的分类进行对比研究,这种分类得到了大多数学者的认可。考虑到岩石学特征的直观性,许保良等(1998)曾经提出结合构造环境的岩石学分类方案,可惜未得到广泛应用。现将这 3 种分类方案分别介绍如下。

2.1 按不相容元素的比值分类

按照化学成分,Eby(1992)将 A 型花岗岩分为两个亚类: A_1 及 A_2 型,也有人将它们对应地称为 AA(Anorogenic A-Type)型和 PA(Post-orogenic A-Type)型(袁忠信,2001)。 A_1 亚类中 Rb、Ce、Y、Nb、

Sc、Zr、Hf、Ta、Ga 等不相容元素的比值与洋岛玄武岩(OIB)相似,显示其物质来源以地幔为主(可有一定的地壳混染); A_2 亚类中的这些元素比值则变化较大,显示其相似范围从陆壳到岛弧玄武岩(IAB),其成岩物质来源主要是未变质沉积岩的地壳源岩。实际上还有 A_1 - A_2 过渡类型。

2.2 按碱性及铝质程度分类

按其碱质高低可以分为碱质和碱性 A 型花岗岩两个亚类,它们的共同特点是普遍含有副矿物萤石(富氟),主要成分富碱、贫 Al 和 Ca,微量元素中富集 Y、Zr 而亏损 Sr、Eu、P、Ti,稀土元素配分模式呈现右倾海鸥状(负 Eu 异常)。二者区别在于碱性者比碱质者更富碱(有碱性暗色矿物出现),极富 Y、Zr、Ta 而极度亏损 Ba、Sr、Eu、P、Ti,并且具强烈的负 Eu 异常。国内地质学家上世纪 90 年代中后期研究最详细的也是这两个亚类。刘红涛等(2002)在研究华北京克拉通北缘中生代花岗岩及其构造演化时对这两个亚类做过比较。

传统的 A 型花岗岩并不包括铝质系列,Miller(1985)、Poitrasson 等(1994)和 Pau(1998)曾经探讨过铝质-过铝质岩浆与非造山环境问题,发现有一部分铝质花岗岩在矿物学和岩石化学特征上与 I 型和 S 型明显不同,与 A 型倒是有相似之处。King 等(1997)详细研究了澳大利亚 Lachlan 褶皱带铝质 A 型花岗岩的特征和成因,随后在国内引起重视。邱检生等(2000)系统研究了福建沿海铝质 A 型花岗岩的地质和地球化学特征,指出其主要矿物组合为 $Q + Ar + Pl$ (石英+钾长石+斜长石),铁镁矿物的含量很低($< 2\%$),且主要为黑云母,常有富铝特征矿物石榴石和白云母等,与碱性花岗岩相比相对富铝,过碱指数和 Fe_2O_3 含量较低,多阳离子参数 R_2 值较高,Ti 和 P 含量很低,Nb、Ta、Zr、Hf、Ga、Y 和 Zn 等元素的含量及稀土元素总量和 Ga/Al 比值均偏低,但轻、重稀土元素的分馏程度(尤其是重稀土元素的分馏程度)较高,并根据两类岩石具有相似的稀土和微量元素分布模式,结合相似的钨同位素组成,推断两者具有相似的岩浆源区,均为壳幔物质混熔的产物。近 5 年来,陈丹玲等(2001)、包志伟和赵振华(2002)、贺峰等(2004)、刘昌实等(2005)、孙德有等(2005)、付建明等(2005)先后报道了他们对铝质 A 型花岗岩及其构造环境的研究成果,其中包括准铝质、铝质和过铝质花岗岩,它们一般属于 A_2 亚类。

2.3 结合构造环境的岩石学分类

许保良等(1998)总结了国内外 A 型花岗岩的岩石学特征,划分出非造山和造山期后两种构造环境下的 7 个 A 型花岗岩岩石学亚类,包括环状杂岩体中的碱性及准碱性-准铝质岩类、斜长岩-微纹二长岩-紫苏花岗岩和钾质(环斑)花岗岩类、层状杂岩体中的酸性岩类、正长岩-花岗岩类、二长-正长花岗岩类、碱长-碱性花岗岩类和碱钙性花岗岩类,其中前 4 个亚类出现在非造山构造环境,后 3 个亚类出现在造山期后构造环境。

3 判别标志

3.1 矿物及岩石类型判别标志

含有他形碱性暗色矿物及萤石的过碱性花岗岩属于典型的 A 型花岗岩,富钼锆石是碱性 A 型花岗岩中特征的副矿物之一,环斑花岗岩多数是 A 型花岗岩。但是有部分不含碱性暗色矿物的准铝质、甚

至过铝质花岗岩类也可以是 A 型花岗岩。许保良等(1998)将世界各地 A 型花岗岩按实际矿物投影到 QAP 分类图解(图 1 右)上, Richard 等(2004)对阿巴拉契亚地区也做了类似的统计(图 1 左)。由此可知, A 型花岗岩的岩石类型范围虽然很大,但至少可以排除一部分岩石类型,如硅英岩、富石英花岗岩和英云闪长岩。然而进一步的判别不得不依赖于岩石地球化学图解。

3.2 岩石地球化学判别标志

3.2.1 A 型花岗岩与其他花岗岩类的判别

由于 A 型花岗岩在碱质、微量元素及稀土元素等方面与 I 型和 S 型花岗岩有明显区别, Collins 等(1982)、Whalen 等(1987)、Eby(1990)提出了相应的地球化学判别图解,例如 $Na_2O - K_2O$ 、 $Ga \times 10^4 / Al - Zr$ (或 Nb、Ce、Y、Zn 等高场强元素)、 $Ga \times 10^4 / Al - (K_2O + Na_2O) / CaO$ 或 K_2O / MgO 、 FeO / MgO 等)图解,另外用 $FeO^T / MgO - SiO_2$ 图解也能很好地把 A 型花岗岩与其他花岗岩区分开来。

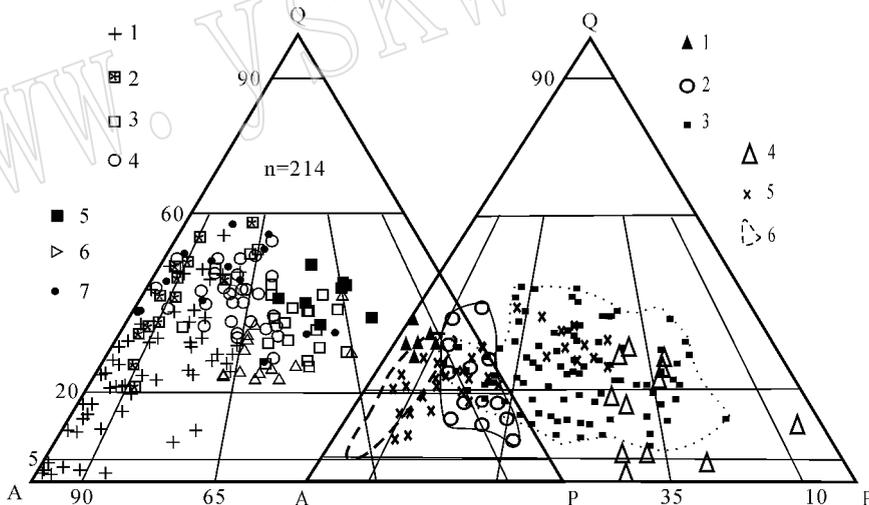


图 1 一些非造山花岗岩实际矿物 QAP 分类图

Fig. 1 QAP classification of modal minerals from some anorogenic granites

左图是 Richard 等(2004)统计的阿巴拉契亚地区晚元古代与伸展有关的花岗岩类,包括:1—Robertson 河准铝质岩石;2—Robertson 河过碱性岩石;3—Suck 山;4—Polly Wright 山凹;5—Mobley 山;6—斑状岩石;7—其他深成岩。右图是许保良等(1998)统计的 A 型花岗岩分布范围,其中:1—不什维尔德层状杂岩中的花岗岩;2—燕山钾质(环斑)花岗岩;3—北美钾质(环斑)花岗岩;4—加拿大斜长岩-微纹二长岩-花岗岩;5—印度泛非花岗岩;6—印度泛非正长岩

Left diagram(Richard *et al.*, 2004) shows Late Proterozoic granitoid associated with an extensional environment in the Appalachian Mountain, composed of: 1—Robertson River (metaluminous granite); 2—Robertson River (peralkaline granite); 3—Suck Mountain (granite); 4—Polly Wright cove (granite); 5—Mobley Mountain (granite); 6—porphyritic granite; 7—other plutonic rocks. Right diagram shows A-Type granite (Xu Baoliang *et al.*, 1998), composed of: 1—Bushveld (granites in layered complex); 2—Yanshan Mountain (potassic rapakivi-texture granites); 3—North America (potassic rapakivi-texture granites); 4—Canada (plagioclase-graphic-myrmekitic monzonite-granite); 5—India (Pan-African granites); 6—India (Pan-African syenites)

分异作用完全的 I 型、S 型长英质花岗岩 ($\text{SiO}_2 > 74\%$) 有时与 A 型花岗岩在化学成分上很相似, 不同学者为区分它们而设计了一系列判别图解。Whalen 等(1987)提出的有 $\text{Rb}/\text{Ba} - (\text{Zr} + \text{Ce} + \text{Y}) \times 10^{-6}$ 图解、 $\text{Ce}/(\text{Nb}) - (\text{Ga}/\text{Al}) \times 10^4$ 图解、 $\text{Y}(\text{Zr}) - (\text{Ga}/\text{Al}) \times 10^4$ 图解、 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{CaO} - (\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}) \times 10^{-6}$ 图解和 $\text{FeO}^T/\text{MgO} - (\text{Zr} + \text{Nb} + \text{Ce} + \text{Y}) \times 10^{-6}$ 图解, 姜耀辉等(1999)在研究浙赣皖相地区 A_2 型花岗岩时用后一图解就取得了满意的效果, Eby(1990)设计的 $\text{Ga}/\text{Al}(\text{Th}) - \text{Eu}/\text{Eu}^*$ 图解也很成功。图解判别 A 型花岗岩最早需要在 Pearce

微量元素构造环境判别图解中判定其属于板内花岗岩, 但现在可以根据上述图解法直接进行多图解综合判定, 构造环境的判别可以在类型判定之后进行。

笔者对国内 A、M、I 及 S 型花岗岩地球化学数据做了大量统计, 其中 A 型数据最多, 遍及蒙、新、川、豫、皖、湘、江、浙、赣、冀、吉及东西昆仑, I 型包括浙赣皖相邻地区、吉林大玉山、柴北缘及西昆仑, S 型有华北陆块北缘和西昆仑, M 型仅以西昆仑为代表。对于主量元素和部分微量元素(包括一些元素的比值), 国内统计结果与世界同类型对比列于表 1, 国内各类型花岗岩稀土元素平均含量列入表 2。从

表 1 国内外各类花岗岩主量元素 ($w_B/\%$) 及部分微量元素 ($w_B/10^{-6}$) 含量统计对比表
Table 1 Major ($w_B/\%$) and trace element ($w_B/10^{-6}$) contents of various granites in China and abroad

	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)
SiO_2	73.81	67.24	69.17	70.27	73.55	75.35	64.52	73.35
Al_2O_3	12.40	15.18	14.33	14.10	12.81	12.09	15.83	13.89
Fe_2O_3	1.24	1.94	1.04	0.56	1.42	0.93	1.25	0.81
FeO	1.58	2.35	2.29	2.87	1.18	1.41	3.14	1.11
CaO	0.75	4.27	3.20	2.03	0.82	1.97	3.98	1.17
MgO	0.20	1.73	1.42	1.42	0.27	0.18	1.98	0.32
Na_2O	4.07	3.97	3.13	2.41	3.76	5.19	3.65	3.30
K_2O	4.65	1.26	3.40	3.96	4.69	0.51	3.00	4.79
MnO	0.06	0.11	0.07	0.06	0.09	0.06	0.10	0.04
TiO_2	0.26	0.49	0.43	0.48	0.23	0.18	0.59	0.19
P_2O_5	0.04	0.09	0.11	0.15	0.07	0.06	0.18	0.11
	A 型(148)	M 型(17)	I 型(991)	S 型(578)	A 型(140)	M 型(4)	I 型(28)	S 型(11)
Ba	352.00	263.00	538.00	466.00	235.96	177.00	988.18	664.18
Rb	169.00	17.50	151.00	217.00	269.69	8.00	119.42	227.08
Sr	48.00	282.00	247.00	120.00	57.54	62.30	469.94	156.65
Nb	37.00	1.30	11.00	12.00	34.93	4.07	11.40	14.14
Zr	528.00	108.00	151.00	165.00	333.77	111.00	148.32	114.20
Y	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	3.52	0.06	0.61	1.81	20.58	4.69	0.21	1.55
Rb/Ba	0.48	0.07	0.28	0.47	8.94	1.14	0.09	0.46

表中 A 型(197)表示 A 型花岗岩 197 个样品, 数据来源: 世界花岗岩平均值引自付建明等(2005), 中国 A 型花岗岩平均值原始数据分别引自薛良伟等(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), M 型数据引自肖庆辉等(2002), I 型数据引自姜耀辉等(1999)、肖庆辉等(2002)、孙德有等(2004), S 型数据引自肖庆辉等(2002)、陶继雄等(2003)。

表 2 国内各类型花岗岩稀土元素平均含量统计表
Table 2 Average REE contents of A, I and S type granites in China

类型	$w_B/10^{-6}$							
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb
A(88)	188.402	144.125	119.478	85.4132	58.942	12.2362	38.7042	40.7254
I(11)	118.621	79.2598	53.1717	43.8229	25.3914	16.3204	14.0886	9.50296
S(20)	177.712	133.3	97.995	58.1666	38.1691	12.7742	20.1641	17.6048
类型	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	ΔEu
A(88)	29.3207	30.161	30.3419	36.2195	31.9486	33.1659	29.3207	30.161
I(11)	7.91574	5.61594	6.09428	6.32231	6.046	5.67718	7.91574	5.61594
S(20)	13.9634	14.1694	13.3864	14.6932	11.3747	12.2082	13.9634	14.1694

M 型花岗岩因缺乏数据未能列入本表, 数据来源同表 1 说明。

表 1 和表 2 可以看出，A 型花岗岩与 M、I 及 S 型相比具有如下特点：

(1) 国内外 A 型花岗岩主量元素特征几乎完全一致，即富 SiO_2 (平均 73.35% ~ 73.81%) 富碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 平均 8.42% ~ 8.72%) 贫 CaO (平均 0.75% ~ 0.82%) 和 MgO (平均 0.2% ~ 0.27%)；

(2) 就主量元素中 SiO_2 、($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)、 CaO 和 MgO 含量而言，世界 A 型花岗岩与其他类型易于区别，但中国 A 型与 S 型则非常接近，几乎不能区分；

(3) 微量元素 Nb、Zr、Y、Ga 等 HFSE 含量及 Rb/Sr 和 Rb/Ba 比值在 A 型花岗岩中最高，而且与其他类型花岗岩差别明显。Rb 含量较高，Sr 和 Ba 含量较低。虽然 Ba 的含量中外差距较大但却具有完全相同的变化规律，即 $I > S > A > M$ ，Nb 含量也有类似的规律，即 $A > S > I > M$ 。这与苏玉平等 (2005) 总结的 A 型花岗岩典型的微量元素特征相同 (如富集 Ga，除 Eu 外的稀土元素和高场强元素，亏损 Ba、Sr 及具明显的 Eu 负异常)。

(4) 从 REE 配分模式 (图 2) 来看，国内 A 型花岗岩中 REE (Eu 除外) 元素含量远高于 S 及 I 型，REE 总量 (219.03×10^{-6}) 几乎是 I 型 (114.71×10^{-6}) 的 2 倍，也远高于 S 型 (173.14×10^{-6})，而 Eu 则形成低谷，呈所谓右倾海鸥型，这一点与 S 型比较接近，但又有所不同。S 型 REE 配分曲线的左翼比 A 型的略陡，相应的 Eu 谷也没有 A 型的深。I 型花岗岩则没有 Eu 谷。

需要指出的是，上述结论是根据大量数据统计得出的平均值，每一项指标实际都有或大或小的变化范围，比如国内 A 型花岗岩的 Rb/Sr 比值平均为 20.85，而变化范围达 0.28 ~ 85.12。这是因为 A 型花岗岩微量元素的含量受制于源区性质、岩浆的物理化学条件、岩浆作用过程和络合作用等因素，应用中应该结合研究对象的这些制约因素综合判断。

3.2.2 A_1 与 A_2 亚类的判别

在识别出 A 型花岗岩之后，通常用 Y-Nb-Ce、Y-Nb-Ga $\times 3$ 三角图解或者 Rb/Nb-Y/Nb、 R_1 -Ga/Al 图解来判别 A_1 与 A_2 亚类， A_1 亚类富 Nb 而 A_2 亚类富 Y。孙德有等 (2000) 等在研究小兴安岭西北部 A 型花岗岩成因时用 Y-Nb-Ga $\times 3$ 和 R_1 -Ga/Al 图解取得了理想的结果。

此外，稀土元素配分模式呈现典型的海鸥式 (Eu 强烈亏损) 不相容元素标准化蛛网图上出现 Ba、Sr-P 和 Eu-Ti 3 个明显的低谷也是 A 型花岗岩的判别标志。

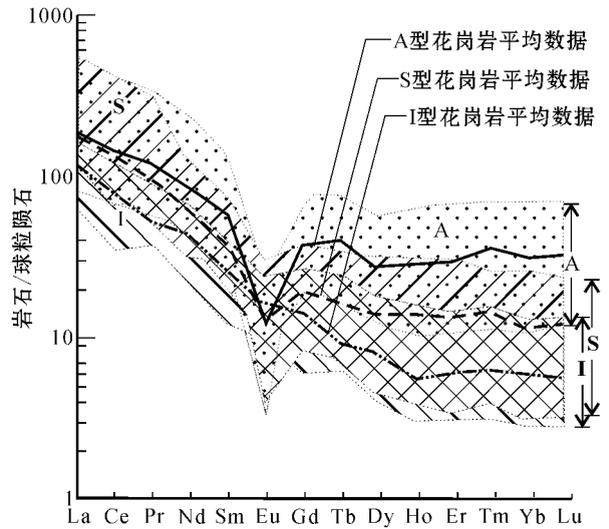


图 2 国内 A、S、I 型花岗岩稀土元素配分曲线

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of A, S and I type granites in China

球粒陨石标准化数据引自 Anders 和 Grevesse (1989)；A 型花岗岩取用了 12 个地区共 88 个样品的分析结果，S 型花岗岩取用了华北地块北缘共 20 个样品的分析结果，I 型花岗岩取用了浙赣皖相邻地区 4 个及吉林大玉山 7 个样品分析结果，图中自上而下 3 个充填区域分别代表 A、S、I 型花岗岩的投影区，粗线则分别代表

A、S 型及 I 型花岗岩平均 REE 配分曲线，数据来源同表 1 Chondrite data from Anders and Grevesse (1989)；88 samples taken from 12 areas for A-type granites, 20 samples taken from the north margin of North China block for S-type granites, 4 samples from Zhejiang, Jiangxi and Anhui Provinces and 7 samples from Jilin Province for I-type granites；Dots, left diagonal area and right diagonal area are projections of A-type, S-type and I-type granites respectively；Data resources as for Table 1

4 物质来源

Sr、Nd、O、Pb 等同位素是地球物质来源的化学指纹，目前公认大陆溢流玄武岩 CFB (代表原始地幔)、洋中脊玄武岩 ORB (代表亏损地幔)、平均陆壳的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 分别为 0、+10 和 -15，洋岛和岛弧玄武岩的 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 为 +6 ~ +8，地幔、全地球、MORB、海水、大气降水及各种岩石的 $\delta^{18}\text{O}$ 数值也已经确定。这些都可以用来分析研究对象的物质来源及其演化过程。

已有的研究资料 (李之彤等 2001) 表明 A 型花岗岩类的 I_{Sr} 值可以从 0.698 (内蒙古巴尔哲碱性花岗岩体) 到 0.725 (秦岭龙王瞳)。A 型花岗岩类 I_{Sr} 值范围如此之大说明其物质来源和形成过程确实

很复杂,一般认为与地幔锶同位素的不均匀性和地壳物质的不同程度卷入有关,但 Collins 等(1982)主张用下地壳源岩成分差异以及源岩形成与 A 型岩浆产生之间的时间间隔长短来解释,而魏春生等(1997)认为 A 型花岗岩 I_{Sr} 值高,表明其直接来源于亏损地幔的可能性不大,并主张将 I_{Sr} 值与 Nd 同位

素和锆石 $\delta^{18}O$ 值结合起来研究其物质来源。用已有 Sr、Nd 同位素资料在 $\epsilon Nd(t) - \epsilon Sr(t)$ 图解上可以勾画出不同物源区的演化趋势,并用来识别岩石的物质来源。许保良等(1998)搜集整理前人的资料,在该图解上识别出了亏损、原始、富集地幔及壳-幔、壳源等多种物源类型(图 3)。

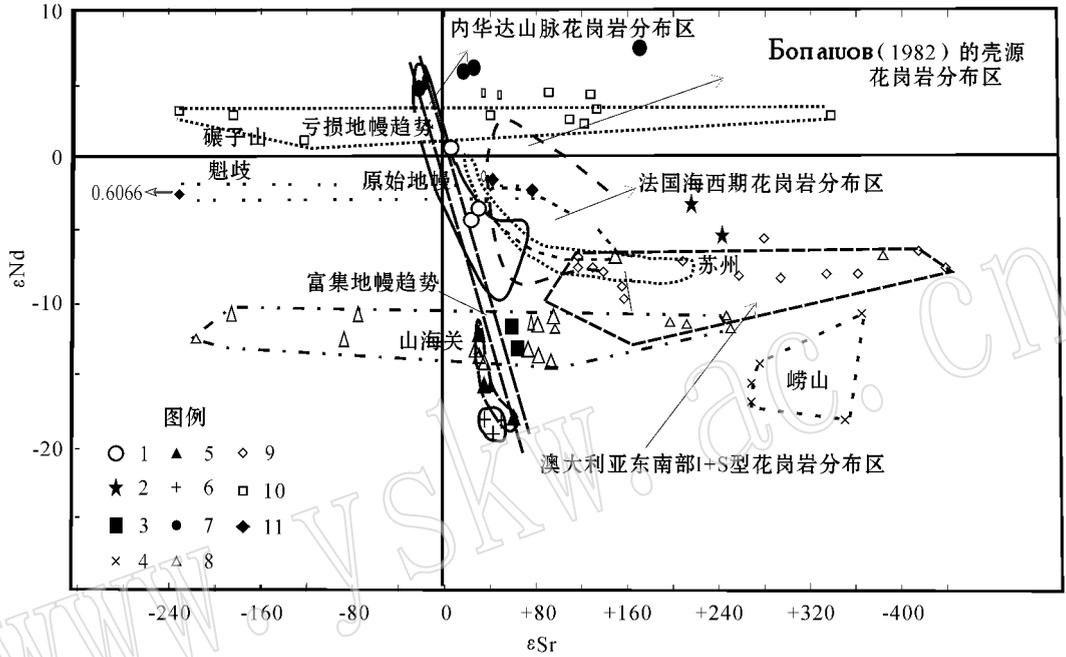


图 3 一些 A 型花岗岩 Sr-Nd 同位素关系 [据许保良等(1998)、魏春生等(2001)数据编绘]

Fig. 3 Nd-Sr isotope diagram of some A-type granites [from Xu Baoliang *et al.* (1998) and Wei Chunsheng *et al.* (2001)]
 1—尼日利亚乔斯高原环状杂岩体 2—尼日利亚乔斯高原里里瓦依杂岩 3—燕山地区 4—嶗山碱性岩套 5—山东基底岩石 6—嶗山钙碱性岩套 7—新疆乌伦古河碱性花岗岩 8—山海关 A 型花岗岩 9—苏州 A 型花岗岩 10—峨嵋山 A 型花岗岩 11—魁岐 A 型花岗岩
 1—Jos Plateau, Nigeria (ring complex) 2—Ririwai, Jos Plateau, Nigeria (complex); 3—Yanshan area; 4—Laoshan Mountain, Shandong (alkaline suite granites); 5—Shandong (basement rocks); 6—Laoshan Mountain, Shandong (calc-alkaline suite); 7—Wulungur River, Xinjiang (alkaline); 8—Shanhaiguar (A-type granite); 9—Suzhou (A-type granite); 10—Nianzishan Mountain, Heilongjiang (A-type granite); 11—Kuizhi, Fujian (A-type granite)

全岩 $\delta^{18}O$ 也能作为物质来源的示踪剂。正常 $\delta^{18}O < 10\text{‰}$ 花岗岩多属 I 型,高 $\delta^{18}O > 10\text{‰}$ 花岗岩多属 S 型。Taylor(1988)认为,一般花岗岩 $\delta^{18}O$ 只要 $> 8\text{‰}$,其来源中都有沉积岩或风化、热液蚀变岩石的加入。锆石是各种岩浆岩中最常见的副矿物,除用于岩体年代测定外,对其矿物学及氧同位素研究无疑有助于了解岩浆的来源和演化历史。在 $\delta^{18}O$ 抗蚀变干扰方面锆石比石英要好的多,但是真正的研究工作是借助于成熟的激光探针技术,正常地幔锆石 $\delta^{18}O$ 值为 $5.3\text{‰} \pm 0.3\text{‰}$ 。魏春生等(1997,1999,2000,2001a,2001b)等在国内岩浆岩锆

石 $\delta^{18}O$ 研究方面做出了很大的贡献,他们利用激光氟化技术获得了 109 个高质量锆石 $\delta^{18}O$ 实验数据,表明中国东部 A 型花岗岩锆石 $\delta^{18}O$ 值普遍偏低 ($3.79\text{‰} \pm 0.40\text{‰} \sim 5.05\text{‰} \pm 0.14\text{‰}$),可贵的是他们用 Nd-Sr-O 同位素体系结合同位素年代学资料对研究对象物质来源进行联合制约,去除了不合理的数点,不仅判别其物质来源,而且用定量模拟法探究源区物质可能的水岩交换作用,最终提出了再循环俯冲洋壳部分熔融的新见解。

Pb 同位素虽然也用来判别物质来源,但有时得出的结果与岩石化学标志及 Sr、O 同位素得出的结果矛盾,因为 HIMU 的成因既可以是地幔柱也可以

是俯冲洋壳的再循环,所以解释时需要考虑其他地质条件的制约。

笔者对国内 1995 年至今发表的关于 A 型花岗岩物源论文做了不完全统计,有 13 篇论及物源,其中陆壳、洋壳、地幔(可有少量混染)和壳幔混合者分别为 6、1、5 和 1 篇。由此可见 A 型花岗岩的物源的确具有多样性,但又以陆壳重熔和幔源为主。

5 构造环境

A 型花岗岩类与热点、大陆裂谷或造山后的地壳伸展有关,这一点已经在世界各地得到验证。目前对 A 型花岗岩形成的构造环境在认识上没有大的分歧,笔者统计了国内 30 篇关于 A 型花岗岩的论文,其中 26 篇提到构造环境,拉张(包括拉张、裂谷、伸展等)说占绝对上风(24 篇),走滑和碰撞各占 1 篇,岩体定位的具体环境虽然都是拉张,但其大的构造背景可以是伸展、挤压或剪切走滑。Eby(1992)也认为 A_1 亚类似乎最有可能代表热点、地幔柱或非造山环境中的裂谷环境,而 A_2 亚类可侵入于各种构造环境。

随着新的准确的同位素数据的出现,某些花岗岩构造环境的已有定论可能要受到挑战。例如最近 Cocherie 等(2005)等对科西嘉-撒丁岛岩基中的锆石用 3 种方法做了年代学测定,结果是那里的 A 型花岗岩(286Ma 之前)不能作为特提斯裂谷开始(170Ma)的前奏;另外,据 Skridlaite 等(2003)研究,波兰东北、立陶宛南部及东欧克拉通西部的 Fe-K 质 A 型花岗岩及其相关的斜长岩形成于挤压为主的构造环境。

6 岩石成因

对于 A 型花岗岩的岩石成因,Collins 等(1982)提出了残余源成因假说,即在经过第 1 次熔融(形成 I 型岩浆)之后,残余的长英质麻粒岩再次发生熔融而成 A 型花岗岩。这一成因可以很好的解释传统 A 型花岗岩的高温、贫水和富氟及富 HFSE 特征。但这一成因受到 Creaser 等(1991)的质疑,一系列的实验研究成果(Wolf *et al.*, 1989; Conrad, 1988; Rutter and Wyllie, 1988; Clemens, 1987)也不支持(转引自陈培荣等, 1994)。于是 Creaser 等(1991)提出英云闪长质岩石在水不饱和条件下的部分熔融可直接产生

A 型花岗岩岩浆。然而 Eby 划分的 A_1 亚类具有与 ORB 相似的不相容元素地球化学特点,这要求另外的成因来解释。吴才来等(1998)认为安徽茅坦的 A 型花岗岩是幔源岩浆经过高度分异演化的残余岩浆形成的,姜耀辉等(2000)等指出西昆仑的 A_2 型花岗岩形成于古陆部分熔融后较强烈的分离结晶作用,魏春生等(1997, 2001b)用再循环俯冲洋壳部分熔融来解释中国东部碾子山等 A 型花岗岩的形成,玄武质岩浆分异(可同化部分沉积岩)成因也有报道(王大英等, 1999; 孙德有等, 2005)。最近研究表明(肖庆辉等, 2002),长英质火成岩和变沉积岩在高压(> 2GPa)下熔融也能衍生出过铝质 A 型花岗岩。

综上所述, A 型花岗岩的成因因时因地而异。构造背景不同、物质来源不同、岩浆演化过程的分异程度不同,凡此种种决定了不可能用统一的成因模式来简单解释。

7 小结

(1) 正像埃达克岩(adakite)那样, A 型花岗岩的概念已经逐步脱离了岩相学而侧重地球化学特点和构造环境,已经有 A 型流纹岩和 A 型花岗质岩类(辉长苏长岩-花岗岩)的研究;

(2) 对 A 型花岗岩的命名虽然有些乱,如在 A 型花岗岩名称前加上碱性、准铝质、过铝质、强过铝质、晶洞、环斑、Fe-K 质、富集(亏损)型等,但并不影响学术交流;

(3) A 型花岗岩的地球化学判别标志可归结为:高硅富碱贫钙低镁(与 S 型类似, M 型以相对高钙、高钠低钾及没有 Eu 异常与之不同),强烈富集 HFSE(Nb、Zr、Y、Ga)而亏损 Sr 和 Ba(与其他类型花岗岩区别明显),异常高的 REE 总量和典型的右倾海鸥型 REE 配分模式;

(4) A 型花岗岩的厘定不能脱离构造背景研究,现有报道的 A 型花岗岩几乎全部形成于主体上的伸展体制或挤压、剪切体制下派生的局部拉张环境。

8 展望

综观国内外对 A 型花岗岩的研究,既有典型的也有似是而非的。一些人将 A 型花岗岩盲目扩大化,另一些人则刻板地坚持 A 型花岗岩的原始定义。这就提醒我们研究 A 型花岗岩既要继承也要发展。

需要继承的是 A 型花岗岩的拉张环境,需要发展的是进一步完善 A 型花岗岩的判别标志,不仅仅是岩相学和岩石地球化学标志,还应该深入研究花岗岩中某些副矿物的矿物学与地球化学标志;对于构造环境判别不能完全迷信判别图解,一方面要区分区域构造背景和岩体所在具体构造位置,另一方面要与区域地质构造研究成果相匹配。把岩体的精确定年(如锆石的 SHRIMP 等)定量模拟实验和质量平衡计算以及 Sr-Nd-Pb 及 O 同位素联合示踪技术紧密结合起来精确刻画拉张环境的深部动力学过程,将是 A 型花岗岩研究的新趋势,对大陆动力学理论研究、盆地演化与沉积矿产的找矿勘探都有重要意义。

致谢 本文写作得到吴才来教授的帮助,修改又得到匿名审稿人的指点,在此特表谢意!

References

- Bai Daoyuan, Chen Jianchao, Ma Tieqiu, *et al.* 2005. Geochemical characteristics and tectonic setting of Qitianling A-type granitic pluton in southeast Hunan [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(4): 255~272 (in Chinese with English abstract).
- Bao Zhiwei and Zhao Zhenhua. 2002. Geochemistry and tectonic setting of the Fugang aluminous A-type granite, Guangdong Province, China-A Preliminary study [J]. *Geology-Geochemistry*, 31(1): 52~61 (in Chinese with English abstract).
- Cocherie A, Rossi Ph, Fanning C M, *et al.* 2005. Comparative use of TIMS and SHRIMP for U-Pb zircon dating of A-type granites and mafic tholeiitic layered complexes and dykes from the Corsican Batholith (France) [J]. *Lithos*, 82(1~2): 185~219.
- Collins W J, Beams S D, White A J K, *et al.* 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 189~200.
- Creaser R A, Price R C and Wormald R J. 1999. A-type granites revisited: Assessment of a residual-source model [J]. *Geology*, 19: 163~166.
- Chen Danling, Liu Liang, Che Zicheng, *et al.* 2001. Determination and preliminary study of Indosinian aluminous A-type granites in the Qimantag area, southeastern Xinjiang [J]. *Geochimica*, 30(6): 540~546 (in Chinese with English abstract).
- Chen Peirong and Zhang Bangtong. 1994. Review of study for A-type granitoid [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 9~14 (in Chinese).
- Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. *Lithos*, 26: 115~134.
- Eby G N. 1992. Chemical subdivision of The A-Type granitoids: petrogenesis and implications [J]. *Geology*, 20: 641~644.
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu. 2005. Ascertainment of the Jinjiling aluminous A-type granite, Hunan Province and its tectonic setting [J]. *Geochimica*, 34(3): 215~226 (in Chinese with English abstract).
- He Feng, Xu Liquan, Su Hongwei, *et al.* 2004. Characteristics and tectonic setting of Middle-Permian A-type granites in Tianshuijing area, west of Inner Mongolia [J]. *Northwestern Geology*, 37(3): 7~14 (in Chinese with English abstract).
- Jia Dacheng and Hu Ruizhong. 2002. Tectonic setting discrimination of late Yanshanian granites in Northeast Hunan Province, China [J]. *Geology-Geochemistry*, 30(2): 10~14 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Yaohui and Yang Wanzhi. 2000. Discovery of A-type Granite Zone and Its Geodynamic Significance in the Western Kunlun Mts., China [J]. *Geological Review*, 46(3): 235~244 (in Chinese with English abstract).
- King P L, White A J R, Chappell B W, *et al.* 1997. Characterization and origin aluminous A-Type granites from Lachlan Fold Belt, Southeastern Australia [J]. *J Petrol.*, 38(3): 371~391.
- Loiselle M C and Wones D S. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. *Geological Society of America*, 11: 468.
- Li Zhitong and Zhu Qun. 2001. Stable Isotope Composition of Granitoids in Eastern Jilin and Heilongjiang Provinces [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 353~359 (in Chinese with English abstract).
- Liu Changshi, Chen Xiaoming, Wang Rucheng, *et al.* 2005. Isotopic Dating and Origin of Complexly Zoned Micas for A-type Nankunshan Aluminous Granitoid [J]. *Geological Review*, 51(2): 193~200 (in Chinese with English abstract).
- Ma Changqian, Yu Zhenbing, Xu Pin, *et al.* 2004. SHRIMP Zircon Dating and Geochemical evidences: the Silurian A-type granite on the south margin of Tongbai-Dabie Mountain [J]. *Science in China (Ser. D)*, 34(12): 1100~1110 (in Chinese).
- Miller C F. 1985. Are strongly peraluminous magmas derived from pelitic sedimentary sources? [J]. *J. Geo.*, 93: 673~689.
- Paul J S. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 45: 29~44.
- Pitcher W S. 1993. The Nature and Origin of Granitoid [M]. Blackie: Academic and Professional, 1~316.
- Poitrasson F, Pin C and Duthou J L. 1994. Aluminous subsolvus anorogenic granite genesis in the light of Nd isotope heterogeneity [J]. *Chem. Geol.*, 112: 199~219.
- Qiu Jiansheng, Wang Dezi, Satoshi Kanisawa, *et al.* 2000. Geochemistry and petrogenesis of aluminous A-type granites in the coastal area of Fujian Province [J]. *Geochimica*, 29(4): 313~321 (in Chinese with English abstract).
- Qu Xiaoming, Hou Zengqian, Zhou Shugui, *et al.* 2002. The Age and Tectonic Setting of Lianlong Sn-bearing Granite in Western Sichuan Province [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(3): 223~228 (in Chinese

- with English abstract).
- Richard P T, John N A and Mervin J. 2004. Neoproterozoic A-type granitoids of the central and southern Appalachians: intraplate magmatism associated with episodic rifting of the Rodinian supercontinent [J]. *Precambrian Research*, 128 : 3~38.
- Rutter M J and Wyllie P J. 1988. Melting of vapor-absent tonalite at 10 Kbar to simulate dehydration melting in the deep crust [J]. *Nature*, 331 : 159~160.
- Skirdlaite G, Wiszniewska J and Duchesne C J. 2003. Ferro-potassic A-type granites and related rocks in NE Poland and S Lithuania: west of the East European Craton [J]. *Precambrian Research*, 124(2~4): 305~326.
- Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqing, et al. 2004. The age of A-type granite and its regional tectonic significance in Xilinhaote, Inner Mongolia [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(4): 384~389 (in Chinese).
- Su Yuping and Tang Hongfeng. 2005. Trace Element Geochemistry of A-Type Granites [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 24(3): 245~251 (in Chinese with English abstract).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. 2005. Confirmation of two episodes of A-type granite emplacement during Late Triassic and Early Jurassic in the central Jilin Province, and their constraints on the structural pattern of Eastern Jilin-Heilongjiang Area, China [J]. *Earth Science Frontiers*, 21(2): 63~275 (in Chinese with English abstract).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Li Huimin, et al. 2000. The age of PA-type granite in Northwestern Xiao Xin'anling and the relationship with the collision belt, Suolun-Hegen-Zhalaita mountain [J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(20): 2217~2222 (in Chinese).
- Sun Deyou, Wu Fuyuan, Zhang Yanbin, et al. 2004. The final closing time of the west Lamulun River-Changchun-Yanji plate suture zone: Evidence from the Dayushan granitic pluton, Jilin Province [J]. *Journal of Jiling University (Earth Science Edition)*, 34(2): 174~181 (in Chinese with English abstract).
- Tao Jixiong, Hu Fengxiang and Chen Zhiyong. 2003. Characteristics and tectonic setting of Indosinian S-type granites in the northern margin of North China landmass [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 22(2): 112~118 (in Chinese with English abstract).
- Taylor H P. 1988. Oxygen, hydrogen and strontium isotope constrains on origin of granites [J]. *Trans. Royal Soc. Edinb. Earth Sci.*, 79 : 317~338.
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-Type granites: Geochemical characteristics discrimination and petrogenesis [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 95 : 407~419.
- Wang Daying and Yun Ping. 1999. Basic characteristics of late Triassic A-type granite in Ledong area, Hainan [J]. *Guangdong Geology*, 14(4): 19~22 (in Chinese).
- Wei Chunsheng. 2000. The genesis models of A-type granites and its significance in geodynamics [J]. *Earth Science Frontiers*, 7(1): 238 (in Chinese).
- Wei Chunsheng, Zheng Yongfei and Zhao Zifu. 1997. Mechanics of $\delta^{18}\text{O}$ value depletion in A-type granite of East China: degassing vs water-rock exchange [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(Supp.): 257~259 (in Chinese).
- Wei Chunsheng, Zheng Yongfei and Zhao Zifu. 1999. The hydrogen and oxygen isotope geochemistry of the Suzhou A type granite [J]. *Acta Geologica Sinica*, 15(2): 224~236 (in Chinese with English abstract).
- Wei Chunsheng, Zheng Yongfei and Zhao Zifu. 2001a. Nd-Sr-O isotopic geochemistry constraints on the age and origin of the A-type granites in eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 95~111 (in Chinese with English abstract).
- Wei Chunsheng, Zheng Yongfei, Zhao Zifu, et al. 2001b. Oxygen isotope evidence for two-stage water-rock interaction of the Nianzishan A-type granite in NE China [J]. *Chinese Sci. Bull.*, 46(1): 8~13 (in Chinese).
- Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, et al. 1998. A-type Granites in Maotan. Anhui [J]. *Acta Geologica Sinica*, 72(3): 237~248 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Qinghui, Deng Jinfu, Ma Daquan, et al. 2002. The Way of Investigation on Granitoids [M]. Beijing: Geological Publishing House, 294 (in Chinese).
- Xu Baoliang, Yan Guohan and Zhang Cheng. 1998. Petrological subdivision and source material of A-type granites [J]. *Earth Science Frontiers*, 5(3): 113~124 (in Chinese with English abstract).
- Xue Liangwei, Yu Xiangdong and Zhao Taiping. 1996. The geochemical characteristics of A-type Granite in Songshan Aerea and its structural environment [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 12(1): 137~144 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin. 2001. A Discussion on the Naming of A-type Granite [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 293~296 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Huaming. 1997. Characteristics of geology and geochemistry, and tectonic environment for dike group of A-type granite in Kecun, Anhui Province [J]. *Anhui Geology*, 7(2): 20~25 (in Chinese).

附中文参考文献

- 柏道远, 陈建超, 马铁球, 等. 2005. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境 [J]. *岩石矿物学杂志*, 24(4): 255~272.
- 包志伟, 赵振华. 2002. 佛冈铝质 A 型花岗岩的地球化学及其形成环境初探 [J]. *地质地球化学*, 31(1): 52~61.
- 陈丹玲, 刘良, 车自成, 等. 2001. 祁漫塔格印支期铝质 A 型花岗岩的确定及初步研究 [J]. *地球化学*, 30(6): 540~546.
- 陈培荣, 章邦桐. 1994. A 型花岗岩类研究综述 [J]. *国外花岗岩类地质与矿产*, 4(总 40): 9~14.
- 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 2005. 湖南金鸡岭铝质 A 型花岗岩的厘定及构造环境分析 [J]. *地球化学*, 34(3): 215~226.
- 贺锋, 许立权, 苏宏伟, 等. 2004. 内蒙古西部甜水井地区中二叠世 A 型花岗岩 [J]. *西北地质*, 37(3): 7~14.
- 贾大成, 胡瑞忠. 2002. 湘东北燕山晚期花岗岩构造环境判别 [J]. *地*

- 质地球化学, 30(2):10~14.
- 姜耀辉 戚建中 刘红樱. 1999. 浙赣皖相临地区 A2 型花岗岩[J]. 火山地质与矿产, 20(1):48~55.
- 姜耀辉 杨万志. 2000. 西昆仑山 A 型花岗岩带的发现及其地球动力学意义[J]. 地质论评, 46(3):235~244.
- 李之彤 朱 群. 2001. 吉黑东部花岗岩类的稳定同位素组成[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3):353~359.
- 刘昌实 陈小明 王汝成, 等. 2005. 广东南昆山 A 型花岗岩定年和环带云母研究[J]. 地质论评, 51(2):193~200.
- 马昌前 余振兵 许 聘, 等. 2004. 桐柏-大别山南缘的志留纪 A 型花岗岩类: SHRIMP 锆石年代学和地球化学证据[J]. 中国科学(D 辑), 34(12):1100~1110.
- 曲晓明 侯增谦 周书贵, 等. 2002. 川西连龙含锡花岗岩的时代与形成构造环境[J]. 地球学报, 23(3):223~228.
- 邱检生 王德滋 蟹泽聪史, 等. 2000. 福建沿海铝质 A 型花岗岩的地球化学及岩石成因[J]. 地球化学, 29(4):313~321.
- 施光海 苗来成 张福勤, 等. 2004. 内蒙古锡林浩特 A 型花岗岩的时代及区域构造意义[J]. 科学通报, 49(4):384~389.
- 苏玉平 唐红峰. 2005. 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, 24(3):245~251.
- 孙德有 吴福元 高 山, 等. 2005. 吉林中部晚三叠世和早侏罗世两期铝质 A 型花岗岩的厘定及对吉黑东部构造格局的制约[J]. 地学前缘, 21(2 总 269):63~275.
- 孙德有 吴福元 李惠民, 等. 2000. 小兴安岭西北部造山后 A 型花岗岩的时代及与索伦山-贺根山-扎赉特碰撞拼合带东延的关系[J]. 科学通报, 45(20):2217~2222.
- 孙德有 吴福元 张艳斌, 等. 2004. 西拉木伦河-长春-延吉板缝合带的最后闭合时间——来自吉林大玉山花岗岩体的证据[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 34(2):174~181.
- 陶继雄 胡凤翔 陈志勇. 2003. 华北陆块北缘印支期 S 型花岗岩带特征及构造环境[J]. 岩石矿物学杂志, 22(2):112~118.
- 王大英 云 平. 1999. 海南乐东地区晚三叠世 A 型花岗岩基本特征[J]. 广东地质, 14(21~29).
- 魏春生. 2000. A 型花岗岩成因模式及其地球动力学意义[J]. 地学前缘, 7(1):238.
- 魏春生 郑永飞 赵子福. 1997. 中国东部 A 型花岗岩 $\delta^{18}\text{O}$ 亏损机理: 去气 VS 水/岩交换[J]. 地球学报, 18(增刊):257~259.
- 魏春生 郑永飞 赵子福. 1999. 苏州 A 型花岗岩氢氧同位素地球化学研究[J]. 岩石学报, 15(2):224~236.
- 魏春生 郑永飞 赵子福. 2001a. 中国东部 A 型花岗岩形成时代及物质来源的 Nd, Sr, O 同位素地球化学制约[J]. 岩石学报, 17(1):95~111.
- 魏春生 郑永飞 赵子福, 等. 2001b. 碾子山 A 型花岗岩两阶段水岩相互作用的氧同位素证据[J]. 科学通报, 46(1):8~13.
- 吴才来 周珣若 黄许陈, 等. 1998. 安徽茅坦 A 型花岗岩研究[J]. 地质学报, 72(3):237~248.
- 肖庆辉 邓晋福 马大铨, 等. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1~294.
- 许保良 阎国翰 张 臣. 1998. A 型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源[J]. 地学前缘, 5(3):113~124.
- 薛良伟 尉向东 赵太平. 1996. 嵩山 A 型花岗岩的地质地球化学特征和构造环境[J]. 岩石学报, 12(1):137~144.
- 袁忠信. 2001. 关于 A 型花岗岩命名问题的讨论[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3):293~296.
- 钟华明. 1997. 安徽柯村 A 型花岗岩岩墙群地质地球化学特征及构造环境[J]. 安徽地质, 7(2):20~25.

·新书介绍·

《秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学》

张宗清 等著 2006 年 北京 地质出版社 550 千字 348 页 定价 55 元

秦岭是我国南、北自然地理的分界线,也是中国南、北两个最大陆块中朝克拉通华北陆块和扬子克拉通陆块会聚结合区域,具有长期多阶段发展复杂演化历史,在我国大地构造格局研究中占有十分重要的地位。本书是作者近十多年来对秦岭蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩进行同位素年代学和地球化学所取得成果的总结。全书共分六章,第一章和第二章简单介绍了秦岭地质概况和采用的技术路线及数据分析方法,第三章至第五章系统介绍了秦岭蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩的同位素年代学和地球化学研究实验结果,第六章根据已获得的同位素年代学和地球化学资料对秦岭地壳物质组成、结构、构造块体关系、拼合时间及秦岭构造性质演变等重大基础地质问题进行了探讨。

本书资料丰富,内容翔实,可供地质、地球化学领域科研工作者和高等院校地质、地球化学专业及其他有关专业师生参考。