

“C 型埃达克岩”: 一个基于误解的概念?

汪 洋, 程素华

中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083

摘 要: 原始定义的埃达克岩是钠质火成岩, 其全岩化学成分相当于英云闪长岩、奥长花岗岩和(富斜长石的)花岗闪长岩(TTG); 而富钾的“C 型埃达克岩”全岩化学成分相当于(狭义)花岗岩、石英二长岩和(富碱性长石的)花岗闪长岩。现有的失水部分熔融实验岩石学表明, 中等富钾程度的贫硅(高 $Mg^\#$ 值)玄武质源岩的低比例部分熔融条件下可以形成酸性“C 型埃达克岩”; 玄武质源岩部分熔融不会形成那些 SiO_2 含量中等而又不具备高度富碱特征的“C 型埃达克岩”。高 Sr 低 Y 特征并非判别“C 型埃达克岩”高压($p \geq 1.5$ GPa)熔融成因的决定性标志, 仅仅基于高 Sr 低 Y 特征而认为“C 型埃达克岩”形成于高压熔融的成岩机制是值得商榷的。

关 键 词: C 型埃达克岩; 钠质; 钾质; 实验岩石学; 部分熔融; Sr/Y 值

中图分类号: P588.12/13 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2010)03-0284-09

The “C type Adakite”: A Concept Based on Misunderstanding?

WANG Yang, CHENG Suhua

School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: The original defined adakites are sodic igneous rocks, they are tonalite, trondhjemite or (plagioclase rich) granodiorite in whole-rock chemistry; however, the K-rich “G type adakites” defined by Chinese scholars are potassic igneous rocks, they belong to granite (s.s.), quartz monzonite and (alkali feldspar rich) granodiorite, etc. The fluid-absent melting experiments indicate that the acid “G-type” adakite can be generated by low portion melting of the basaltic source-rock that has intermediate potassic and low silicic contents (or high $Mg^\#$) under higher pressure. Otherwise, these experiments do not support the assumption that the intermediate “G-type” adakite, which does not have high alkali contents, is originated from the melting of basaltic source-rock. The characteristics of high Sr and low Y is not a key proxy to indicate the high pressure ($p \geq 1.5$ GPa) melting origin of “G type adakites”. Accordingly, it is not properly to assume the high pressure melting regime for “G-type adakites” just based on the high Sr and low Y characteristics.

Key words: G-type adakite; sodic; potassic; experimental petrology; partial melting; Sr/Y ratio

由埃达克岩概念扩展而来的“C 型埃达克岩”是近年来中国火成岩研究中的充满争议的话题, 不同的学者对于“C 型埃达克岩”概念的合理性和适用性、具体的成岩机制、构造背景和地球动力学意义等方面的争议持续不断^[1~13]。近来, 国外学者也注意到中国学者提出的“C 型埃达克岩”, 并且提出了一些质疑意见^[14, 15]。“C 型埃达克岩”概念的建立蕴

含着 3 个假设: (1) 高 Sr 低 Y 是“C 型埃达克岩”与原始定义的埃达克岩间最主要的共性, 主量元素 K、Na 含量的不同没有指示成岩机制差异的含义; (2) 高 Sr 低 Y 特征指示“C 型埃达克岩”源于基性岩高压($p \geq 1.5$ GPa)部分熔融; (3) 基性岩高压部分熔融结果为其成岩机制解释提供了实验基础。然而, 笔者查阅文献后发现, 至少对于中国大陆的“C 型埃

收稿日期: 2010-01-28 收到, 03-10 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90814006, 40972125, 40572128, 40376013, 40104003); 国家重点基础研究发展规划项目(2008CB425704); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2010ZY23, 2010ZD15)

第一作者简介: 汪洋(1969—), 男, 博士, 主要从事火成岩岩石学研究. E-mail: allen_thalassa@sina.com.

达克岩”,这3个假设的依据并不充分。但是,国内现有反对“C型埃达克岩”的大多数意见并未明确意识到这一点,对“C型埃达克岩”的批评并不深刻。笔者撰文探讨,希求引来方家关于“C型埃达克岩”的真知灼见。本文“C型埃达克岩”的含义遵循张旗等^[3]的定义,而不包括具有高MgO和Mg[#]特征的赞岐岩类(sanukitoid)。

1 “C型埃达克岩”是钠质火成岩吗?

由于“C型埃达克岩”相对于典型的埃达克岩富钾,所以关于“C型埃达克岩”是否可以与钠质埃达克岩相类比曾引起争议。吴福元等^[5]认为Defant和Drummond^[16]的原文并未提出埃达克岩成分是钠质还是钾质。张旗等^[2, 3]认为中国东部中生代埃达克岩虽然相对高钾,但其 $K_2O/Na_2O < 1$,仍然是钠质的。这涉及用什么标准判断火成岩属于钠质抑或钾质的问题。张旗(私人通讯, 2007)认为 K_2O/Na_2O 是否大于1是约定俗成的标准。汪洋^[9]指出,国际通行的判断火成岩是否属于钠质或钾质的标准不是 K_2O/Na_2O 是否大于1,而是 $(Na_2O - 2.0)$ 是否大于 K_2O 。

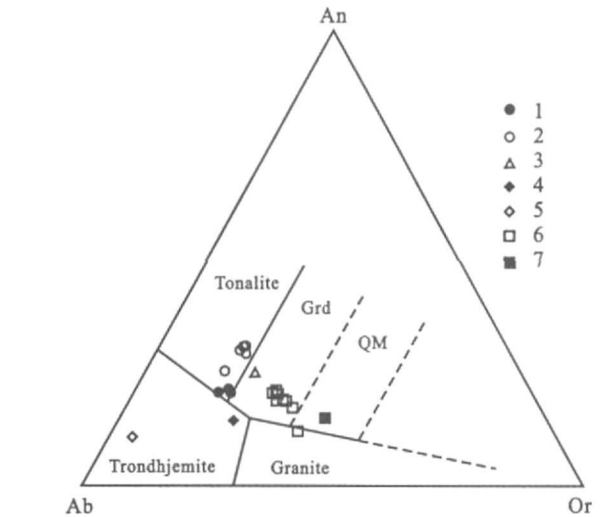
将花岗岩类岩石(granitoid rocks)划为钠质和钾质的实质在于,按照岩石中斜长石和钾长石(严格意义上是碱性长石)的比例将花岗岩类岩石分为:(1)富含斜长石的英云闪长岩-奥长花岗岩(和斜长石比例高的花岗闪长岩)组合(钠质,确切地说是富钠和钙),与(2)富含钾长石的(狭义)花岗岩-石英二长岩-石英正长岩(和碱性长石比例高的花岗闪长岩)组合(钾质,相对于钠和钙而言富钾)。由于定量统计岩石的主要矿物组成很费时,甚至不可能(对隐晶质的火山岩而言),而计算标准矿物也比较麻烦,故以大量数据的统计分析得出的 K_2O 、 Na_2O 含量被用于区分花岗岩类岩石属于钠质或钾质,统计结果是以 $(Na_2O - 2.0)$ 与 K_2O 的相对大小作为区分判据^[17]。因此,以 $(Na_2O - 2.0)$ 是否大于 K_2O (在 Na_2O 含量较低时则可以 Na_2O/K_2O 是否大于2)为标准划分花岗岩类岩石属于钠质还是钾质,具有隐含的岩相学和岩类学含义。按此标准厘定的钠质花岗岩类岩石在岩类学上属于英云闪长岩、奥长花岗岩(部分属于斜长石比例高的花岗闪长岩),而钾质花岗岩类岩石在岩类学上属于(狭义)花岗岩、石英二长岩、石英正长岩(以及碱性长石比例高的花岗闪长岩)。相反,以 K_2O/Na_2O 是否大于1为标准划分钾质/钠质,会导致一些富钾的火成岩被错误地归属为钠质火成岩类;使钾质/钠质的区分失去明确

的岩石分类含义。因此,“以 K_2O/Na_2O 是否大于1划分钾质/钠质”的认识值得商榷。

虽然文献^[16]未提及埃达克岩的钠含量标准,但所统计的数据显示埃达克岩都是富钠的。文献^[21]和^[22]均明确指出,埃达克岩在 $Ca-Na-K$ 图解中落在趋近 $Ca-Na$ 边的一侧,而不显示向K端员演化的趋势。研究表明,高硅埃达克岩(HSA)是钠质火成岩,在 $Ca-Na-K$ 图解中落在趋近 $Ca-Na$ 边的一侧^[20](参见文献^[20]图7)。钱青等^[23]也注意到埃达克岩在 $Ca-Na-K$ 图解中的演化趋势不同于普通钙碱性系列岩石。需要说明的是,国际上最近对TTG岩系的统计研究表明,(典型的)TTG在 $Ca-Na-K$ 三角图解中落在趋近 $Ca-Na$ 边的一侧,其 $K_2O/Na_2O < 0.45$ (即 K/Na 摩尔比小于0.4),属于典型的钠质火成岩^[20, 24];部分富钾的“TTG”岩石应该属于所谓“secondary TTG(次生TTG)”,是英云闪长质地壳再熔融的产物,它们不应该与钠质的典型TTG岩系相混淆^[24]。埃达克岩与(典型的)TTG岩系在钾、钠含量方面的对应关系表明,Ab-Arr-Or三角图中埃达克岩的成分点落在英云闪长岩、奥长花岗岩(以及花岗闪长岩偏向英云闪长岩和奥长花岗岩的)区域(图1)。因此,埃达克岩属于钠质火成岩是其隐含的重要成分特征^[15, 20, 24]。

中国东部中生代有高Sr低Y特征的“C型埃达克岩”(或称为“华北型埃达克岩”)多数 $K_2O/Na_2O < 1$,但 $(Na_2O - 2.0) < K_2O$ (文献^[3]表2.3和图2.3);其平均成分在Ab-Arr-Or三角图中落在花岗闪长岩偏向(狭义)花岗岩和石英二长岩的区域,甚至落在(狭义)花岗岩或石英二长岩的范围,而非英云闪长岩、奥长花岗岩的范围(图1);在 $Ca-Na-K$ 图中偏离 $Ca-Na$ 边而偏向K端员(图2)。由于图1采用的是平均成分点投影,“C型埃达克岩”的酸性端员必定属于(狭义)花岗岩。因此“C型埃达克岩”是钾质火成岩而非钠质火成岩(图3)。

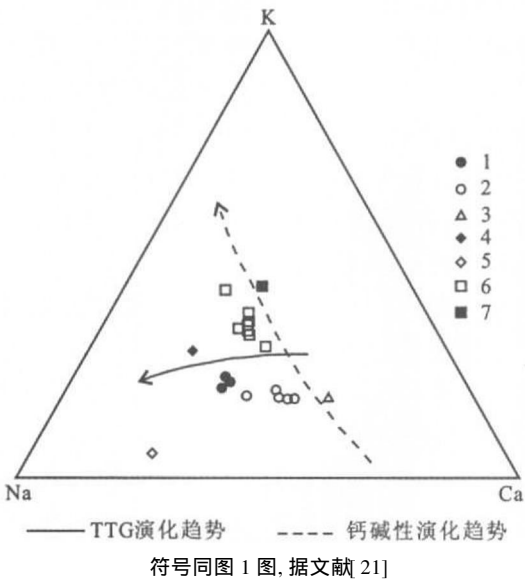
钾质与钠质火成岩的区分不但有岩类学含义也有岩石成因意义。大量的成因岩石学和实验岩石学研究显示,钠质花岗岩类(英云闪长岩、奥长花岗岩等)主要通过基性岩的部分熔融而成^[19, 20, 25~28];钾质花岗岩类的成岩机制相对多样,既可由基性岩浆与壳源熔体的相互作用而成^[29, 30],也可由壳源富钾岩石部分熔融^[31]或高钾基性岩的部分熔融而成^[32];近年学界更趋强调基性岩浆与壳源熔体的相互作用^[33]。所以,对于“C型埃达克岩”而言不宜盲目套



1 TTG 平均值^[20]; 2 “O 型埃达克岩”平均值^[3, 20]; 3 低硅埃达克岩平均值^[20]; 4 实验熔体平均成分^[20]; 5 “西湾型埃达克岩”平均值^[3]; 6 “华北型埃达克岩”(“C 型埃达克岩”)平均值^[3]; 7 “可可西里型埃达克岩”平均值^[3]; Granite 花岗岩; Grd 花岗闪长岩; QM. 石英二长岩; Tonalite 英云闪长岩; Trondhjemite 奥长花岗岩; 底图据文献[18, 19]

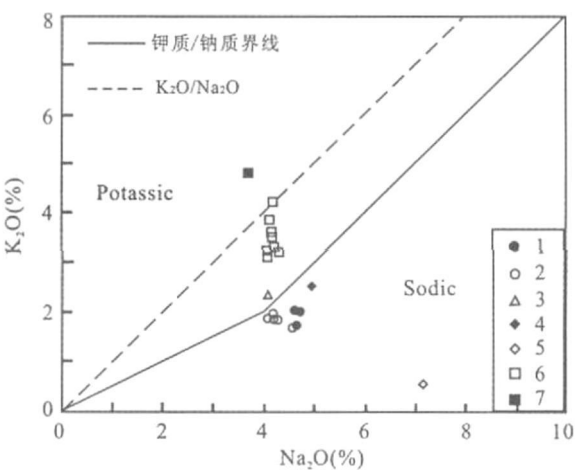
1 TTG averages^[20], 2 “O-type adakite” averages^[3, 20], 3 LSA average^[20], 4 average composition of experimental melts^[20], 5 “Xirwar type adakite” average^[3], 6 “North China type adakite”(“G type adakite”) averages^[3], 7 “Hoh Xir type adakite” average^[3].
Grd Granodiorite; QM. Quartz monzonite; after ref. [18, 19]

图 1 埃达克岩平均成分的标准矿物 Ab An Or 图
Fig. 1 Normative AbAnOr plot showing the average compositions of adakites



符号同图 1 图, 据文献[21]
Symbols are same as those in Fig. 1; after ref. [21]
图 2 埃达克岩平均成分的 Ca-Na-K 图
Fig. 2 Ca-Na-K plot showing the average compositions of adakites

用(钠质)埃达克岩的成岩机制,对实验岩石学研究结果须仔细甄别。



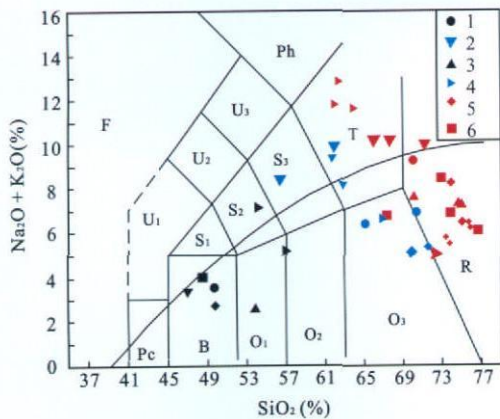
符号同图 1
Symbols are same as those in Fig. 1
图 3 埃达克岩平均成分的 Na₂O-K₂O 图
Fig. 3 Na₂O-K₂O plot showing the average compositions of adakites

2 基性岩部分熔融能否形成“C 型埃达克岩”?

尽管缺乏有力的实验岩石学证据,国内一些学者坚信“C 型埃达克岩”是由基性成分岩石在高压下部分熔融而成^[1, 3]。如上所述,“C 型埃达克岩”为钾质火成岩,其成岩机制是否与产于板块俯冲边界的(钠质)埃达克岩相同,源于基性岩的高压部分熔融?这是一个需要探讨的问题。实验岩石学是埃达克岩成因研究的基础,辨析“C 型埃达克岩”的成因离不开对实验岩石学研究结果的深入理解。

笔者收集了 1990 年代以来玄武质源岩失水部分熔融实验中能够得到有“C 型埃达克岩”成分特征熔体[即作为实验产物的熔体必须满足 SiO₂ ≥ 56%、(Na₂O-2.0) < K₂O,同时其残留相矿物组合中含有石榴子石而没有斜长石]的结果,具体的实验条件参数列于表 1,起始物质的主量元素特征列于表 2。将这些实验熔体、相同实验中采用相同起始物质并在相同压力和残留相矿物组合条件下得到的富钠中酸性熔体一并投影于图 4 至图 7。

结果表明,不同钾含量的玄武质源岩在高压下部分熔融可以形成(狭义)花岗质或正长质熔体(图 4),其(Na₂O-2.0) < K₂O 甚至 Na₂O < K₂O(图 5)。由于在所有部分实验中相同压力下的熔体分数(即部分熔融程度 F)随温度增高而增加,同时熔体的 SiO₂ 含量随温度增高而降低,所以在相同压力下实验熔体的 SiO₂ 含量高低反映了 F 值的大小。实验结果表明,在低 F 的条件下有利于形成钾质熔



黑色符号表示起始物成分, 红色符号表示钾质熔体成分, 蓝色符号表示钠质熔体成分; 熔体成分符号中较大者代表同一实验中较高压力的结果, 较小者代表较低压力的结果; 实线为碱性及亚碱性分界线; B—玄武岩, F—副长石岩, O₁—玄武安山岩, O₂—安山岩, O₃—英安岩, Pc—苦橄玄武岩, Ph—响岩, R—流纹岩, S₁—粗面玄武岩, S₂—玄武粗安岩, S₃—粗安岩, T—粗面岩或粗面英安岩, U₁—碱玄岩或碧玄岩, U₂—响岩质碱玄岩, U₃—碱玄质响岩; 底图据[39]

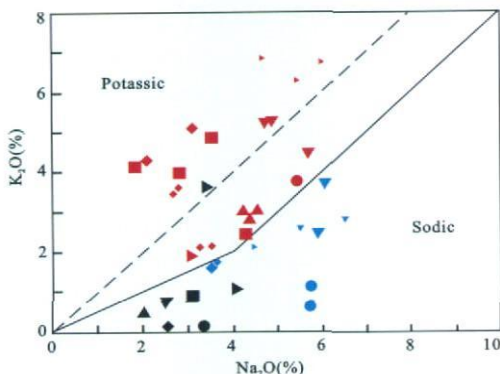
Black symbols represent the compositions of starting materials; red ones represents the potassic melts, and blue ones the sodic melts as defined in Fig. 3 (see text for detail). Among them, the larger symbols for melt compositions represents the results from higher pressure during same experiment; and the smaller are the results from lower pressure. Solid line boundary line between alkaline and subalkaline series.

1—[28], 2—[35], 3—[34], 4—[37], 5—[36], 6—[38]

B—basalt, F—feldspathoid, O₁—basaltic andesite, O₂—andesite, O₃—dacite, Pc—picritic basalt, Ph—phonolite, R—rhyolite, S₁—trachybasalt, S₂—basaltic trachyandesite, S₃—trachyandesite, T—trachyte or Trachydacite, U₁—tephrite or basanite, U₂—phonolitic tephrite, U₃—tephritic phonolite; after ref. [39]

图4 失水熔融实验的起始物与熔体的 TAS 图

Fig. 4 TAS plot showing the compositions of starting materials and melts in fluid-absent melting experiments

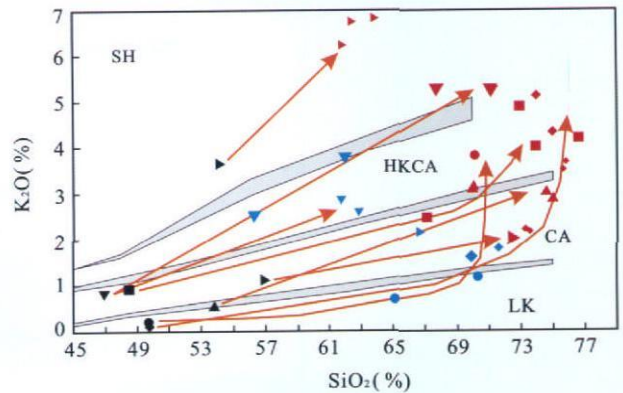


符号同图4; 1 钾质/钠质界线, 2 K₂O/Na₂O = 1 线

Symbols are same as those in Fig. 4; 1 boundary line between potassic and sodic series, 2 the line of K₂O/Na₂O = 1

图5 失水熔融实验熔体的 Na₂O-K₂O 图

Fig. 5 Na₂O-K₂O plot showing the melt compositions of fluid-absent melting experiments



符号同图4; CA—钙碱性系列, HKCA—高钾钙碱性系列,

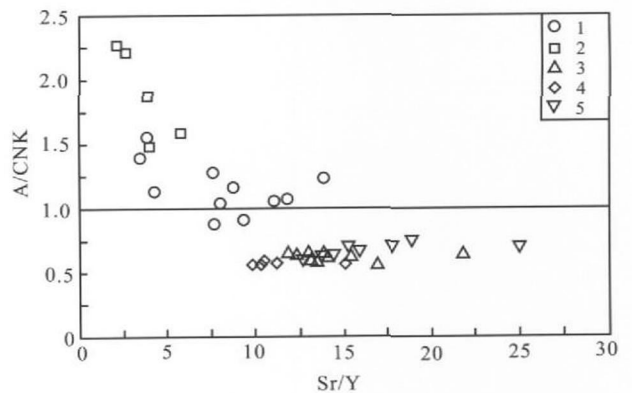
LK—低钾(拉斑)系列, SH—钾玄岩系列; 箭头线

示意不同实验的起始物与熔体的钾含量变化

Symbols are same as those in Fig. 4; CA—calc alkaline series, HKCA—high K calc alkaline series, LK—low K (tholeiitic) series, SH—shoshonitic series. The arrow lines show the K content variations from starting material to melts among different experiments

图6 失水熔融实验熔体的 SiO₂-K₂O 图

Fig. 6 SiO₂-K₂O plot showing the melt compositions of fluid-absent melting experiments



1 杂砂岩, 2 泥(页)岩, 3 斜长角闪岩, 4 基性麻粒岩,

5 前寒武纪基性火成岩; 据文献[41, 42]

1 graywacke, 2 pelite (shale), 3 amphibolite, 4 mafic granulite, 5 Precambrian mafic igneous rocks. after ref. [41, 42]

图7 中国东部各地泥(页)岩、杂砂岩和基性火成岩、变质岩平均成分(A/CNK)-(Sr/Y)图解

Fig. 7 The A/CNK vs. Sr/Y diagram for the average compositions of pelite (shale), greywacke, mafic igneous and metamorphic rocks in the eastern part of China

体。在 SiO₂-K₂O 图解(图6)中, 部分熔融产物显示 K 含量随 SiO₂ 含量增加(即 F 增加)而降低的趋势, 由高 SiO₂ 含量的钾质熔体变化为相对低 SiO₂ 含量的钠质熔体, 例如: 文献[35](压力 2.0 GPa)、文献[28](3.2 GPa 压力)、文献[36](压力 2.7 GPa 和 3.2 GPa)的实验结果, 文献[38](压力 2.5 GPa)、温度 1000 °C 实验熔体的 SiO₂ 含量 67%、

表 1 角闪岩失水熔融实验的基本情况

Table 1 Major parameters of the amphibolite fluid absent melting experiments

代 码	起始物质	温压条件	残留相矿物	文 献
CYS06	角闪岩	$p=1.6\text{ GPa}, t=875\sim1000^{\circ}\text{C}$	Grt+ Cpx + Opx $\pm$ Amp	[34]
RW95# 2	低钾角闪岩	$p=3.2\text{ GPa}, t=1075\sim1150^{\circ}\text{C}$	Grt+ Cpx + Rut	[28]
SD94	角闪岩	$p=1.5, 2.0\text{ GPa}, t=900\sim1150^{\circ}\text{C}$	Grt+ Cpx $\pm$ Amp+ Rut	[35]
SPD02	榴辉岩	$p=2.7, 3.2\text{ GPa}, t=1025\sim1150^{\circ}\text{C}$	Grt+ Cpx + Q + Zo+ Ky	[36]
XC07am	角闪岩	$p=2.0, 2.5\text{ GPa}, t=950, 1075^{\circ}\text{C}$	Grt+ Omp+ Rut	[37]
XC07sh	钾玄岩	$p=1.5\sim2.5\text{ GPa}, t=1050\sim1075^{\circ}\text{C}$	Grt+ Cpx + Rut	[37]
ZK95	角闪岩	$p=2.5\text{ GPa}, t=800\sim1000^{\circ}\text{C}$	Grt+ Cpx + Opx + Amp	[38]

注: Amp: 角闪石; Cpx: 单斜辉石; Grt: 石榴子石; Ky: 蓝晶石; Omp: 绿辉石; Opx: 斜方辉石; Q: 石英; Rut: 金红石; Zo: 黝帘石

表 2 角闪岩失水熔融实验的起始物质主量元素特征

Table 2 Major element characteristics of the source material used for amphibolite fluid absent melting experiment

代 码	矿物比例 (%)			起始物化学成分 (%)									
	Q	Amp	Pl	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Mg [#]	A/CNK
CYS06	0	70	30	53.81	0.79	13.71	9.13	10.09	9.41	2.05	0.55	66	0.65
RW95# 2	微量	—	—	49.68	2.11	17.41	10.93	6.20	9.87	3.37	0.21	51	0.73
SD94	2	76	21	46.98	1.22	15.03	13.12	8.27	11.30	2.52	0.80	53	0.59
SPD02	4	0	0	49.76	0.76	19.89	5.80	8.12	12.67	2.56	0.14	72	0.72
XC07am	13	38	42	57.04	0.90	16.56	8.59	3.99	7.30	4.12	1.12	46	0.78
XC07sh	—	—	—	54.22	1.07	17.99	8.03	4.34	6.61	3.44	3.66	49	0.83
ZK95	0	75	25	48.47	1.40	13.64	12.66	7.81	11.42	3.12	0.94	53	0.51

注: Amp: 角闪石; Pl: 斜长石; Q: 石英。—表示未报道具体数值

Na₂O 含量 4.28%、K₂O 含量 2.49%, (Na₂O/2.0) 仅较 K₂O 低 0.21%, 而温度为 800 ~ 900℃时得到的熔体 Na₂O < K₂O (图 5)。同时可以看出, 低钾的源岩^[28, 36] 部分熔融产物的 K 含量随 SiO₂ 含量增加而呈指数曲线式增长, 即在高 SiO₂ 端(*F* 小) K 含量高, 而随着 SiO₂ 含量降低(*F* 增高) 熔体的 K 含量迅速降低。这表明对于低钾含量(在 SiO₂-K₂O 图中落在低钾拉斑系列范围内)的玄武岩失水熔融体系, K 表现为微量元素的地球化学行为, 即可以用稀溶液近似描述 K 在熔体与残留矿物相之间的分配。Moyen 等^[24] 也指出这一点, 并认为 K 在玄武岩失水部分熔融体系中的总分配系数(*D* 值) 为 0.05 ~ 0.1。但是, 钾含量较高的源岩(在 SiO₂-K₂O 图中落在中钾的钙碱性系列甚至钾玄岩系列范围内), 熔体的 K 含量随 SiO₂ 含量增高而呈近似直线增加(如文献[35](压力 2.0 GPa 实验结果)。这表明 1) 当熔融体系起始成分的 K 含量增加到一定程度时, K 的地球化学行为不再遵守稀溶液近似原则, 这对于 K 含量很高的起始物质更是如此(如文献[37] 钾玄岩作起始物质的实验); 或者 2) 在相对高 K 含量的起始物质熔融体系中 K 的总分配系数大于文献[24] 作者的估计; 根据批式部分熔融公式, 若 *D* > 0.1, 熔体中元素含量较源岩的富集程度(即 *C*_l/*C*₀) 随 *F* 值的变化曲线, 在较大的 *F* 值(如

0.5% ~ 50%) 范围内由于曲率低而近似直线(参见文献[40])。无论如何, 已有的高压下玄武质源岩失水部分熔融体系实验显示, 熔体的 K 含量随 *F* 值的降低(即熔体 SiO₂ 含量的增加) 而显著增高, 在 SiO₂-K₂O 图上多表现为熔体较源岩更富钾, 如低钾系列源岩形成的熔体成分落在中钾的钙碱质甚至高钾钙碱质区域, 钙碱性系列的玄武质源岩部分熔融产物落在高钾钙碱质甚至钾玄质区域(图 6)。

因此, 形成相对富钾的“C 型埃达克岩”不一定需要高度富钾的源岩。实际上, 文献[37] 以钾玄岩为起始物质得到的是正长岩/粗面岩成分的熔体, 其熔体的全碱(Na₂O + K₂O) > 11%、K₂O > 6.0%, 明显高于张旗等^[3] 提出的超钾质“可可西里型埃达克岩”的平均全碱含量(8.51%) 和 K 含量(4.81%)。我们注意到, 除钾玄质成分而外的起始物, 其 K 的绝对含量并不是决定其部分熔融产物 K 含量高低的唯一影响因素。在 2.0 GPa 压力和 900℃温度下, 文献[37] 以 K₂O = 1.12% 的角闪岩为起始物形成的熔体的 K₂O 含量(~ 2%) 远低于 Sen 和 Dunn^[35] 以 K₂O = 0.80% 的角闪岩为起始物所得到的熔体(K₂O > 5%)。这可能是由于文献[35] 的角闪岩较文献[37] 更贫 SiO₂(前者 47%, 后者 57%), 富碱(在 TAS 图中前者紧靠碱性/亚碱性系列分界线, 而后者明显位于分界线下, 图 4)。

在 SiO_2 和 K_2O 含量相当的情况下, 源岩的 $\text{Mg}^\#$ 值高者在相同温压条件下形成的熔体具更高的 SiO_2 和 K_2O 含量(对比文献[28] $\text{Mg}^\# = 51$ 和文献[36] $\text{Mg}^\# = 72$, 图 6)。同时我们注意到, Clemens 等^[34] 的实验起始物虽然 K_2O 含量仅 0.55% 但 $\text{Mg}^\#$ 高达 66, 在 1.6 GPa 压力下的失水部分熔融产物的 $\text{K}_2\text{O} > (\text{Na}_2\text{O} - 2.0)$, 而 K_2O 含量(约 3%) 甚至高于文献[37] 以 $\text{K}_2\text{O} = 1.12\%$ 的角闪岩为起始物在更高压力下形成的熔体(图 6)。这表明源岩贫硅同时富碱, 或者源岩的 $\text{Mg}^\#$ 相当高都有利于形成相对富钾的熔体。即使“C 型埃达克岩”可以通过玄武质岩石的失水部分熔融而成, 其源岩性质也不应如同早先研究者所推测的那样仅仅富钾即可满足要求。

对现有基性成分岩石失水熔融实验结果分析表明: 1) 玄武质源岩在高压下的失水熔融一般无法形成具 $(\text{Na}_2\text{O} - 2.0) < \text{K}_2\text{O} < \text{Na}_2\text{O}$ 特征的中酸性 ($\text{SiO}_2 < 70\%$) “C 型埃达克岩”。2) 适当成分的玄武质源岩在高压下的低比例部分熔融可以形成酸性 ($\text{SiO}_2 > 70\%$) 的“C 型埃达克岩”。3) 贫硅富碱的玄武质岩石或有高 $\text{Mg}^\#$ 的玄武质岩石都有利于形成相对富钾的酸性埃达克质熔体。4) 富钾的玄武质岩石(如钾玄岩)在高压下的失水熔融可以形成具埃达克岩微量元素地球化学特征的碱性的正长质/粗面质熔体。

3 “C 型埃达克岩”高 Sr 低 Y 特征是高压($p \geq 1.5$ GPa) 熔融的标志?

高 Sr 低 Y 特征一直被视为鉴别埃达克岩的最主要标志^[16, 20, 22], 也是中国学者建立“C 型埃达克岩”概念的主要地球化学依据^[1, 3, 11~13]。Moyen^[15] 基于失水部分熔融实验、地球化学模拟和火成岩成分数据统计研究指出, 具高于 MORB 的 Sr/Y 值的源岩在相对低压($p < 1.5$ GPa) 下的部分熔融可以形成高 Sr/Y 值的熔体。其中 1) 源岩成分为泥岩或杂砂岩, 部分熔融体系中石榴子石的最低压力条件是 0.5 GPa 左右, 在 $p > 1.0 \sim 1.5$ GPa 条件下熔体的 Sr/Y 值达到源岩的 15 倍以上(见文献[15] 图 4)。若泥岩或杂砂岩成分的源岩 Sr/Y 值为 3 ~ 10, 对应的熔体 Sr/Y 值为 45 ~ 100, 与大多数“C 型埃达克岩”的 Sr/Y 值相当(50 ~ 100)。2) 源岩成分为基性火成岩, 失水部分熔融体系残留相组合中斜长石消失同时出现石榴子石的最低压力条件是 1.5 GPa 左右, 在 $p \geq 2.0$ GPa 时熔体的 Sr/Y 值可达源岩的 20 倍以上。若源岩 Sr/Y 值为 10 ~ 15,

对应的熔体 Sr/Y 值为 200 ~ 300 以上, 远高于大多数“C 型埃达克岩”的 Sr/Y 值。这意味着“C 型埃达克岩”不一定形成于高压条件, 有悖于“C 型埃达克岩”代表高压条件($p \geq 1.5$ GPa) 熔体的成因观点。因此有必要进一步剖析中国东部地区“C 型埃达克岩”高 Sr 低 Y 特征的成岩意义。

中国东部地区的泥(页)岩和杂砂岩的化学成分数据^[41, 42] 显示, 全岩成分主体为过铝质($\text{ACNK} > 1$) (图 7), 而华北地区“C 型埃达克岩”整体上属于准铝质岩石($\text{ACNK} < 1$)^[3]。大量实验岩石学研究表明, 泥岩或杂砂岩部分熔融产物是强过铝质熔体(参见文献[30])。在平衡的熔融体系中, 过铝质源岩不可能熔出准铝质的熔体。因此, 华北地区“C 型埃达克岩”不可能是泥岩或杂砂岩成分的源岩在相对低压条件下部分熔融的产物。

根据文献[15] 和[24] 对基性岩石部分熔融实验结果的总结, 当 $p > 1.5$ GPa, 失水部分熔融形成的熔体比例在 20% 以下时, 熔体 Sr/Y 值是源岩的 10 至 20 倍以上(图 8 中点线以上部分), 熔体比例在 20% ~ 60% 时, Sr/Y 值是源岩的 5 ~ 13 倍左右(图 8 中点线以下部分)。据文献[24] 归纳的熔体 SiO_2 含量与熔体比例 F 的关系, 当 $F < 20\%$ 时, 熔体的 $\text{SiO}_2 \geq 67\%$ (以源岩 $\text{SiO}_2 = 49\% \sim 54\%$ 计算); 当 $F = 20\% \sim 40\%$, 熔体的 $\text{SiO}_2 = 56\% \sim 67\%$ 。中国东部地区的斜长角闪岩、基性麻粒岩、各主要大地构造单元的前寒武纪基性岩, 以及华北克拉通下地壳下部的成分数据^[41, 42] 显示: 它们的 $\text{Sr}/$

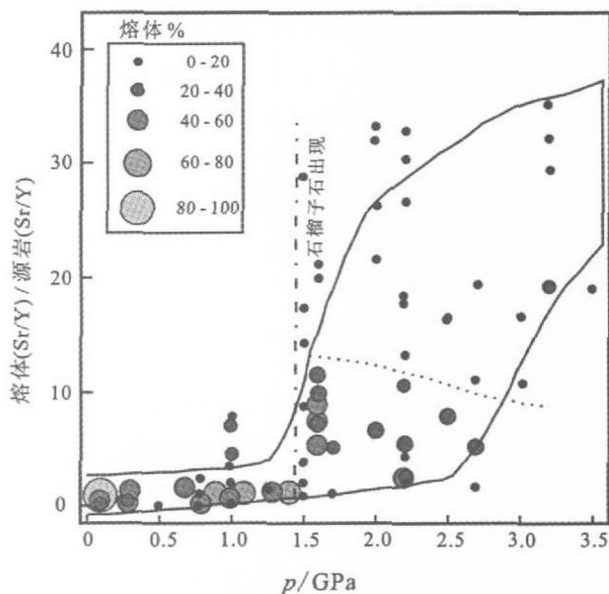


图 8 熔体 Sr/Y 富集程度随熔融压力图解^[15]

Fig. 8 Sr/Y enrichment of melt as a function of melting pressure

Y 值在 9 ~ 25 之间变化, 集中于 10 ~ 16 (图 7)。如果华北地区“C 型埃达克岩”是下地壳基性岩类在高压($p \geq 1.5$ GPa)下失水部分熔融的产物, 那么偏酸性($\text{SiO}_2 \geq 67\%$)的“C 型埃达克岩”的 Sr/Y 值至少大于 100, 甚至高达 300 ~ 600; 而中性($\text{SiO}_2 = 56\% \sim 67\%$)的“C 型埃达克岩”Sr/Y 值应为 50 ~ 200。

前人对中国“C 型埃达克岩”的统计表明, “华北型埃达克岩”中大多数(2/3 以上)的 Sr/Y 值在 150 以下(见文献[3]图 2.3)。因此, 其中的酸性成分者不太可能是中国东部基性源岩在高压($p \geq 1.5$ GPa)下失水部分熔融的产物。中国东部基性岩类高压($p \geq 1.5$ GPa)下失水熔融, 当部分熔融程度较高时($F = 20\% \sim 40\%$)可以形成中性“C 型埃达克岩”的 Sr/Y 值(50 ~ 150); 但是, 这些中性“C 型埃达克岩”的富钾特征得不到高压部分熔融实验的支持。大别山地区的“C 型埃达克岩”较中国东部其他地区偏酸性, 其中有相当部分的 Sr/Y 值大于 150; 该区偏酸性的“C 型埃达克岩”有可能是中国东部基性源岩在高压($p \geq 1.5$ GPa)下失水部分熔融的产物。所以, 中国东部“C 型埃达克岩”中的大部分岩石可能并非基性岩类在高压($p \geq 1.5$ GPa)下失水部分熔融的产物, 其相对较高的 Sr/Y 值应该用其他成岩过程来解释^[6, 7, 9, 23, 43~46]。

综合上述, 我们认为 Moyer^[15]认为“C 型埃达克岩”较高的 Sr/Y 值并不反映其形成于高压($p \geq 1.5$ GPa)失水部分熔融过程的观点存在漏洞。对于中国东部具很高 Sr/Y 值(150 以上)的酸性“C 型埃达克岩”而言, 很可能是有高于 MORB 的 Sr/Y 值的基性岩类在高压($p \geq 1.5$ GPa)下失水部分熔融的产物; 这些岩石相对富钾的成分特征也与高压下低程度熔融形成的熔体成分相符合。对于中国东部 Sr/Y 值介于 50 ~ 100 的大多数“C 型埃达克岩”, 其成因不能简单地用中国东部地区的基性源岩在高压($p \geq 1.5$ GPa)下的失水部分熔融来解释。高 Sr 低 Y 特征不是“C 型埃达克岩”高压($p \geq 1.5$ GPa)熔融成因的判别性指标!

应该指出, 有学者提出“中国东部的 C 型埃达克岩很可能在 1.5 ~ 2.0 GPa 深度下地壳少水的条件下形成”的看法, 这有可能是错误理解含水(fluid-present)熔融、无水(anhydrous)熔融与失水(fluid-absent 或称为 dehydration—脱水)熔融概念所致。“地壳少水的条件”意味着熔融体系含自由水, 即属于含水熔融; 无水熔融则是体系中既不含自由水也不存在含水矿物相; 而失水熔融过程中体系不含自由水, 但可以有含水矿物相^[47, 48]。详细介绍了含水

熔融、无水熔融与失水熔融的相关文献有[31]、[47]和[48]。近年发表的一些有关埃达克岩成因的实验岩石学研究多是含水部分熔融实验, 如: Prouteau 等^[49]以及 Xiong 等^[50]的工作, 其结果可以解释与海洋板块俯冲作用有关的(钠质)埃达克岩成因。但是, 大陆地壳深部岩石一般只能发生失水部分熔融^[30, 31, 47, 48], 即熔融过程中体系不含自由水相。有必要指出, 玄武质源岩含水部分熔融产物是钠质而非钾质的中酸性熔体^[9, 24, 30, 49], 而“C 型埃达克岩”是钾质火成岩。含水部分熔融实验结果不能用来解释大陆环境中的“C 型埃达克岩”的成因。

4 结 论

原始定义的埃达克岩属钠质火成岩, 岩类学意义是其全岩化学成分相当于英云闪长岩、奥长花岗岩和(斜长石比例高)花岗闪长岩(TTG)。中国学者据微量元素地球化学特征与(原始定义的)埃达克岩的高度相似性而厘定的富钾“C 型埃达克岩”, 虽其 $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} < 1$, 但 $(\text{Na}_2\text{O} - 2.0) < \text{K}_2\text{O}$, 应属钾质火成岩而非钠质火成岩; 其全岩化学成分相当于(狭义)花岗岩、石英二长岩和(碱性长石比例高)花岗闪长岩等, 而与(原始定义的)埃达克岩相区别。

这种岩类学差异有重要的岩石成因意义。现有的失水部分熔融实验岩石学结果表明, 1) 中等富钾程度的贫硅(高 $\text{Mg}^\#$ 值)玄武质源岩在相对高压($p \geq 1.5$ GPa)低比例部分熔融条件下可以形成酸性($\text{SiO}_2 > 70\%$)“C 型埃达克岩”。2) 玄武质源岩部分熔融不能形成那些 SiO_2 含量中等(56% ~ 67%)而又不具备高度富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)特征的“C 型埃达克岩”。3) 与以往的推测相反, 高钾的钾玄质源岩在高压下的失水熔融并不能形成常见的“C 型埃达克岩”, 而是形成高度富碱的正长质/粗面质熔体, 根据与其平衡的残留相矿物组合, 这种熔体应该具埃达克岩的微量元素特征。

高 Sr 低 Y 特征并非判别“C 型埃达克岩”高压($p \geq 1.5$ GPa)熔融成因的决定性标志。除少部分具很高 Sr/Y 值的酸性“C 型埃达克岩”而外, 中国东部大多数“C 型埃达克岩”可能并不是基性岩类在高压下的部分熔融产物, 对其成因研究应该考虑多种成岩过程。不应该不加分析地将含水部分熔融实验的结果用于推断大陆环境中的“C 型埃达克岩”的成岩机制。仅仅基于高 Sr 低 Y 特征而将“C 型埃达克岩”的成岩机制与原始定义的埃达克岩相类比, 这种认识是不全面的。因此, “C 型埃达克岩”作为一个整体不具备特定的成岩机制。

致 谢: 承蒙张旗研究员、迟清华研究员、L. I. Khodorevskaya 研究员、J. F. Moyen 博士、T. Rushmer 教授、肖龙教授、葛小月博士、熊小林研究员提供相关资料, 在此一并致以谢忱!

参考文献 (References):

- [1] 张旗, 钱青, 王二七, 王焰, 赵太平, 郝杰, 郭光军. 燕山中晚期的中国东部高原: 埃达克岩的启示[J]. 地质科学, 2001, 36(2): 248–255
Zhang Qi, Qian Qing, Wang Erchie, Wang Yan, Zhao Taiping, Hao Jie, Guo Guangjun. Existence of East China Plateau in mid-late Yanshanian period: Implication from adakites [J]. Scientia Geologica Sinica, 2001, 36(2): 248–255 (in Chinese with English abstract)
- [2] 张旗, 王焰, 刘红涛, 王元龙, 李之彤. 中国埃达克岩的时空分布及其形成背景, 附: 国内关于埃达克岩的争论[J]. 地学前缘, 2003, 10(4): 385–400
Zhang Qi, Wang Yan, Liu Hongtao, Wang Yuanlong, Li Zhitong. On the space-time distribution and geodynamic environments of adakites in China, Annex: the debates on adakite research in China [J]. Frontiers in Earth Sciences, 2003, 10(4): 385–400 (in Chinese with English abstract)
- [3] 张旗, 王焰, 熊小林, 李承东. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇[M]. 北京: 中国大地出版社, 2008: 1–344
Zhang Qi, Wang Yan, Xiong Xiaolin, Li Chengdong. Adakites and granites: Challenges and opportunities [M]. Beijing: Science Press, 2008: 1–344 (in Chinese with English abstract)
- [4] 葛小月, 李献华, 陈志刚, 李伍平. 中国东部燕山期高Sr低Y型中酸性火成岩的地球化学特征及成因: 对中国东部高原地壳厚度的制约[J]. 科学通报, 2002, 47(6): 474–480
Ge Xiaoyue, Li Xianhua, Chen Zhigang, Li Wuping. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in eastern China: Constraints on crustal thickness [J]. China Science Bulletin, 2002, 47(11): 962–968
- [5] 吴福元, 葛文春, 孙德有. 埃达克岩的概念、识别标志及其地质意义[A]. 肖庆辉. 花岗岩研究思维与方法[C]. 北京: 地质出版社, 2002: 172–191
Wu Fuyuan, Ge Wenchun, Sun Deyou. Adakite: Concept, indicators of identification, and its geological significance [A]. In: Xiao Qinghui. The Ways of Investigation on Granite [C]. Beijing: Geological Publishing House, 2002: 172–191 (in Chinese)
- [6] 陈斌, 翟明国, 邵济安. 太行山北段中生代岩基的成因和意义: 主要和微量元素地球化学证据[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32: 896–907
Chen Bin, Zhai Mingguo, Shao Jie'an. Petrogenesis and geological significance of the Mesozoic batholith in northern segment of Taihang Mountain: evidences from major and trace element geochemistry [J]. Science in China (series D), 2002, 32: 896–907 (in Chinese)
- [7] 陈斌, 刘超群, 田伟. 太行山中生代岩浆作用过程中的壳幔岩浆混合作用: 岩石学和地球化学证据[J]. 地学前缘, 2006, 13: 140–147
Chen Bin, Liu Chaoqun, Tian Wei. Mixing of crustal and mantle-derived magmas during the Mesozoic magmatism in Taihang Mountain: Petrological and geochemical evidences [J]. Frontiers in Earth Sciences, 2006, 13: 140–147 (in Chinese with English abstract)
- [8] 董申保, 田伟. 埃达克岩的命名、特征和岩石成因[J]. 地学前缘, 2004, 11(4): 585–594
Dong Shenbao, Tian Wei. The nomenclature, characteristics and petrogenesis of adakite [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(4): 585–594 (in Chinese with English abstract)
- [9] 汪洋. 中国东部中生代钾质火成岩研究中的几个问题[J]. 地质论评, 2007, 53(2): 198–206
Wang Yang. A discussion on some problems in the research on the Mesozoic potassic igneous rocks in eastern China [J]. Geological Review, 2007, 53(2): 198–206 (in Chinese with English abstract)
- [10] 王蕊, 陈斌, 柳小明. 北京西山地区髻髻山组和东岭台组火山岩的地球化学特征与岩浆起源[J]. 高校地质学报, 2007, 13(3): 603–612.
Wang Rui, Chen Bin, Liu Xiaoming. Geochemical characteristics and origin of the Tiaojishan and Donglingtai formations from Western Hills, Beijing [J]. Geological Journal of China Universities, 2007, 13(3): 603–612. (in Chinese with English abstract)
- [11] Xu J F, Shinjo R, Defant M J, Wang Q, Rapp R P. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust? [J]. Geology, 2002, 12: 1111–1114.
- [12] Gao S, Rudnick R L, Yuan H L, Liu X M, Liu Y S, Xu W L, Ling W L, Ayers J, Wang X C, Wang Q H. Recycling lower continental crust in the North China craton [J]. Nature, 2004, 432: 892–897.
- [13] 王强, 许继峰, 赵振华, 资峰, 唐功建, 贾小辉, 姜子琦. 埃达克质岩的构造背景与岩石组合[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(4): 344–350.
Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, Zi Feng, Tang Gongjian, Jia Xiaohui, Jiang Ziqi. Tectonic setting and associated rock suites of adakitic rocks [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2008, 27(4): 344–350. (in Chinese with English abstract)
- [14] Niu Y L. Generation and evolution of basaltic magmas: some basic concepts and a new view on the origin of Mesozoic–Cenozoic basaltic volcanism in eastern China [J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11: 9–46.
- [15] Moyen J F. High Sr/Y and La/Yb ratios: The meaning of the “adakitic signature” [J]. Lithos, 2009, 112: 556–574.
- [16] Defant M P, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 1990, 347: 662–665.
- [17] Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, Zanettin B. A chemical classification of volcanic rocks based on the total al-

- kali-silica diagram [J]. *J. Petrol.*, 1986, 27: 745–750.
- [18] O'Connor J T. A classification for quartz rich igneous rocks based on feldspar ratios [J]. U.S. G. S. Professional Paper, 1965, 525(B): 79–84.
- [19] Barker F, Arth J G. Generation of trondjemite-tonalite liquids and Archean trondjemite-basalt suites [J]. *Geology*, 1976, 4: 596–600.
- [20] Martin H, Smithies R H, Rapp R P, Moyen J F, Champion D C. An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: Relationships and some implications for crustal evolution [J]. *Lithos*, 2005, 79: 1–24.
- [21] Defant M P, Xu Jifeng, Kepezhinskas P, Wang Qiang, Zhang Qi, Xiao Long. Adakites: Some variations on a theme [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(2): 129–142.
- [22] Martin H. Adakite magma: modern analogues of Archean granitoids [J]. *Lithos*, 1999, 46: 411–429.
- [23] 钱青, 钟孙霖, 李通艺, 温大任. 八达岭基性岩和高 Br Sr 花岗岩地球化学特征及成因探讨: 华北和大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩的对比[J]. *岩石学报*, 2002, 18(3): 275–292. Qian Qing, Chung Sunlin, Lee Tungyi, Wen Dajen. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Badaling high Br Sr granitoids: A comparison of igneous rocks from North China and the Dabie-Sulu Orogen [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18(3): 275–292. (in Chinese with English abstract)
- [24] Moyen J F, Stevens G. Experimental constraints on TTG petrogenesis: implications for Archean geodynamics [A]. Benn K, Mareschal J C, Condie K C. Archean geodynamics and environments [C]. AGU Geophysical Monograph, 2006, 164: 149–175.
- [25] Arth J G, Hanson G N. Quartz diorite derived by partial melting of eclogite or amphibolite at mantle depth [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1972, 37: 164–174.
- [26] Maaloe S. Petrogenesis of Archean tonalities [J]. *Geologische Rundschau*, 1982, 71: 328–346.
- [27] Martin H. Petrogenesis of Archean trondhjemites, tonalities and granodiorites from eastern Finland: Major and trace element geochemistry [J]. *J. Petrol.*, 1987, 28: 921–953.
- [28] Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8–32 kbar: implication for continental growth and crust-mantle recycling [J]. *J. Petrol.*, 1995, 36: 891–931.
- [29] McCarthy T C, Patino Douce A E. Experimental evidence for high temperature felsic melts formed during basaltic intrusion of the deep crust [J]. *Geology*, 1997, 25: 463–466.
- [30] Patino Douce A E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origins of granitic magmas? [A]. Castro A, Fernandez C, Vigneresse J L. Understanding granites: Integrating new and classical techniques [C]. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.*, 1999, 168: 55–75.
- [31] Clemens J D. Melting of the continental crust: fluid regimes, melting reactions and source rock fertility [A]. Brown M, Rushmer T. Evolution and Differentiation of the Continental Crust [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, 297–331.
- [32] Sisson T W, Ratajeski K, Hanks W B, Glazner A F. Voluminous granitic magmas from common basaltic sources [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2005, 148: 635–661.
- [33] Watkins J M, Clemens J D, Treloar P J. Archean TTGs as sources of younger granitic magmas: melting of sodic metatonalites at 0.6–1.2 GPa [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2007, 154: 91–110.
- [34] Clemens J D, Yearron L M, Stevens G. Barberton (South Africa) TTG magmas: Geochemical and experimental constraints on source rock petrology, pressure of formation and tectonic setting [J]. *Precam. Res.*, 2006, 151: 53–78.
- [35] Sen C, Dunn T. Dehydration melting of a basaltic composition amphibolite at 1.5 and 2.0 GPa: implications for the origin of adakites [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1994, 117: 394–409.
- [36] Skjerlie K P, Patino Douce A E. The fluid-absent partial melting of a zoisite-bearing quartz eclogite from 1.0 to 3.2 GPa: implications for melting of a thickened continental crust and for subduction zone processes [J]. *J. Petrol.*, 2002, 43: 291–314.
- [37] Xiao L, Clemens J D. Origin of potassic (C-type) adakite magmas: Experimental and field constraints [J]. *Lithos*, 2007, 95: 399–414.
- [38] Zharikov V A, Khodorevskaya L I. Melting of amphibolites and the genesis of tonalite-trondhjemite magmatic suites (from experimental data) [J]. *Experiment in Geosciences*, 1995, 4(2): 18–23.
- [39] Le Maitre R W. Igneous rocks: A classification and glossary of terms (2nd Edition) [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002: 1–236.
- [40] Zou H. Quantitative geochemistry [M]. London: Imperial College Press, 2007: 1–287.
- [41] 鄯明才, 迟清华. 中国东部地壳与岩石的化学组成 [M]. 北京: 科学出版社, 1997: 1–292. Yan Mingcai, Chi Qinghua. The chemical compositions of crust and rocks in the eastern part of China [M]. Beijing: Science Press, 1997: 1–292. (in Chinese)
- [42] 迟清华, 鄯明才. 应用地球化学元素丰度数据手册 [M]. 北京: 地质出版社, 2007: 1–148. Chi Qinghua, Yan Mingcai. Handbook of elemental abundance for applied geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1–148. (in Chinese)
- [43] 汪洋, 姬广义, 孙善平, 李家振. 北京西山沿河城东岭台组火山岩成因及其地质意义 [J]. *地质论评*, 2009, 55(2): 194–214. Wang Yang, Ji Guangyi, Sun Shanping, Li Jiazhen. Origin of the volcanic rocks in the Donglingtai Formation from Yancheng Area, Western Hills of Beijing and its geological implications [J]. *Geological Review*, 2009, 55(2): 194–214. (in Chinese with English abstract)

5 闽、浙、皖、赣边境原产地产品经济区

从武夷山到黄山是钱塘江与长江水系的分水岭,也是华夏与扬子陆块之间犬牙交错的复杂拼接地带。这片土地哺育了中国历史上优秀的灰州文化。歙县—德兴一带作为大陆块体碰撞证据的地质“牌坊”——蛇绿岩套与歙县—婺源一带标志徽州文化的人文牌坊一样精美。当黄山—温州地震剖面揭示出龙游—金华地段存在 100 km 深的不同大陆块碰撞界面时,恰恰忽略了就在近 30 m 深的地下所显现的我们的祖先所创造的“龙游石窟”神秘奇观。黄山毛峰、祁门红茶、武夷岩茶、白毫银针、开化龙顶茶和惠明茶等历代名茶、贡茶,就产于这一地域环境。从金华至龙游的短距离大陆板块边界上,就有金华佛手、金华火腿和龙游宣纸等名特原产地产品。

从地质角度看,在中国大陆上还有许多已形成或可以形成优势原产地产品群落的地区,如西部的三江地区、天山—北山地区和河西走廊,以及沿海的珠江三角洲等(图 1)。为了能使我国有更多的原产地产品得到开发、发展与保护,政府部门应统筹规划与布局原产地产品群落经济区的发展与保护,并作

出合理的科学安排;科研部门应深入研究原产地产品的科学数据标记的建立所需的科学数据,做好原产地产品原料基地的开发和环境质量监控工作;传媒应克服重个别品牌轻群落整体和“重人文轻自然”宣传的倾向;企业管理部门应建立集质量监督、环境保护和防伪打假于一体的管理模式。

社会发展需要开放和多元文化的撞击,大地活力的产生需要有多元物质组成体系的交汇。人类只有一个地球,地球上许多特定的原产地往往也只有一个。随着人们对地球原环境认识的深化、环境保护意识的增强、企业管理水平的提高,中国在入世后一定能为地球原产地保护和民族精品的发扬光大作出新的贡献。

参考文献 (References):

[1] Witze A. Alcohol and science: The grapes of rock [J]. Nature, 2005, 438: 1073– 1074.
[2] 朱炳泉, 地球化学省与地球化学急变带 [M]. 北京: 科学出版社, 2001: 120.
Zhu Bingquan. Geochemical provinces and geochemical steep zones [M]. Beijing: Science Press, 2001: 120. (in Chinese)

(上接第 292 页)

[44] Richards J R, Kerrich R. Special paper: Adakite-like rocks: Their diverse origins and questionable role in metallogenesis [J]. Economic Geology, 2007, 102: 537– 576.
[45] Ulmer P. Differentiation of mantle derived calc-alkaline magmas at mid to lower crustal levels: experimental and petrologic constraints [J]. Periodico di Mineralogia, 2007, 76: 309– 325.
[46] Ulmer P, Muntener O, Alonso-Perez R. Differentiation of mantle derived calc-alkaline magmas at mid to lower crustal levels: experimental and petrologic constraints [J]. Geochim Cosmochim Acta, 2008, 72(12): A966.
[47] Clemens J D. The granulite-granite connexion [A]. Vielzeuf D, Vidal P. Granulites and crustal differentiation [C]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990: 25– 36.
[48] Stevens G, Clemens J D. Fluid-absent melting and the roles of fluids in the lithosphere: a slanted summary? [J]. Chemical Geology, 1993, 108: 1– 17.
[49] Prouteau G, Maury R C, Scaillet B, Pichavant M. Fluid-present melting of oceanic crust in subduction zones [J]. Geology, 1999, 27: 1111– 1114.
[50] Xiong X L, Adam J, Green TH. Rutile stability and rutile/melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: Implications for TTG genesis [J]. Chemical Geology, 2005, 218: 339– 359.