文章编号: 1001-8166(2001)02-0201-08

一种新的火成岩——埃达克岩的研究综述*

王 强, 许继锋, 赵振华
(中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640)

摘 要: 埃达克岩(adakite)是一种中酸性富钠火成岩(安山岩、英安岩、钠质流纹岩及相应的侵入岩), 其突出的地球化学特征就是 $SiO_2 \geq 56\%$, $Al_2O_3 \geq 15\%$, 亏损重稀土元素(HREE)与 Y(如 $Yb \leq 1.9\times10^{-6}$, $Y \leq 18\times10^{-6}$), 高 Sr(大多数> 400×10^{-6})、La/Yb(≥ 10.0)与 Sr/Y(> 20.0 ~40.0), 一般具有正铕异常(少数具有极弱负铕异常)。埃达克岩存在两种成因类型: 一种由俯冲的年轻($\leq$ 25 ~30 Ma)大洋板片熔融形成(Ⅰ类埃达克岩); 另一种由增厚地壳环境中的玄武质下地壳熔融形成(Ⅱ类埃达克岩)。对两类埃达克岩的特征、形成机制、成矿作用、动力学意义以及我国埃达克岩的研究现状进行了评述, 并指出了埃达克岩研究中所存在的问题。

关 键 词: 埃达克岩(adakite); 成因类型; 板片俯冲; 底侵作用; 地球动力学
中图分类号: P58 文献标识码: A

1 引言

Defant 等[1]厘定出一种新的火成岩——"adakite(埃达克岩)"(最先在美国阿留申群岛中的埃达克(Adak)岛发现这种岩石[2])。与绝大多数来自于地幔楔(受俯冲大洋板片流体交代过)的火山弧火成岩[3]不同, Defant 等提出的埃达克岩, 是指形成于火山弧环境、由俯冲的年轻($\leq$ 25 Ma)大洋板片熔融所形成的火成岩。在 Defant 等[1]的原始定义中, 埃达克岩具有如下特征: 岩石类型为中酸性钙碱性岩石, 缺失基性端员, 岩石组合为岛弧安山岩、英安岩、钠质流纹岩及相应的侵入岩; 主要矿物组合为斜长石+ 角闪石±黑云母±辉石±不透明矿物; $SiO_2 \geq 56\%$, $Al_2O_3 \geq 15\%$, MgO 通常< 3%(很少> 6%); 与正常的岛弧安山岩—英安岩—流纹岩相比, 低重稀土元素和 Y(如 $Y \leq 18\times10^{-6}$, $Yb \leq 1.9\times10^{-6}$), 高 Sr(大多数> 400×10^{-6}), 高场强元素(HFSEs)含量相似。

埃达克岩的提出引起了广泛关注[4~27]。Defant 等[1]认为埃达克岩不可能由基性岩浆的分离结晶、地壳岩石的熔融、分离结晶和混染(AFC)、岩浆混合以及地幔楔(受俯冲板片的流体交代过)的熔融形成, 只可能是俯冲的玄武质洋壳熔融的结果。但近来有研究表明, 在增厚(> 40 km)的下地壳环境中, 底侵玄武质下地壳的熔融也可形成与埃达克岩的地球化学特征类似的岩石[21~24]。也就是说, 符合 Defant 等定义的埃达克岩的成因类型可能有两种, 一种由俯冲板片的熔融形成(本文称为Ⅰ类)[4~20, 24~27], 另一种由底侵玄武质下地壳的熔融形成(本文称为Ⅱ类)[21~24]。无论是那种成因类型的埃达克岩, 对讨论地球动力学过程、壳幔相互作用、大陆地壳的生长与演化等都具有重要的意义。

2 俯冲板片熔融形成的埃达克岩(Ⅰ类埃达克岩)

2.1 Ⅰ类埃达克岩的特征

目前国外发现的Ⅰ类埃达克岩主要分布于环太平洋周围的现代火山弧中, 它们具有如下特征:

* 收稿日期: 2000-06-28; 修回日期: 2000-08-21.
* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目"大规模成矿作用及大型矿集区预测"(编号: G1999043202); 国家攀登计划预选项目"与寻找超大型矿床有关的基础研究"(编号: 95-预-25); 国家博士后基金"华南绍兴—恩平富碱侵入岩带的初步研究"和广东省自然科学基金博士启动项目(编号: 994588)联合资助.
作者简介: 王强(1971-), 男, 湖北当阳人, 博士后, 主要从事岩浆岩岩石学和地球化学研究. E-mail: wqiang@gig.ac.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 两类典型埃达克岩与中国一些埃达克岩、高镁安山岩的地球化学特征

Table 1 The geochemical characteristics of two kinds of typical adakites, and some adakites and high-Mg andesites in China

地球化学参数	Ⅰ类埃达克岩[1, 4, 6, 8, 12]	Ⅱ类埃达克岩[21~23]	大别山印支期前Ⅰ类埃达克岩[27]	安徽沙溪Ⅱ类埃达克岩[37]	秦岭三岔子古生代火山岩[28]	
					Ⅰ类埃达克岩	高镁安山岩
样品数	—	35	4	6	1	5
SiO_2(wt%)	≥56.00	56.06～72.48	63.28～71.60	57.46～61.066l.23	53.13～57.21	
Al_2O_3(wt%)	≥15.00(很少< 15.0)	14.53～19.81	14.97～17.56	14.45～17.38	17.37	12.35～14.90
Na_2O/K_2O	> 1.00	1.00～5.57	1.03～2.86	1.15～3.54	41	0.93～3.94
MgO(wt%)	< 3.00(很少> 6.00)	0.10～2.56	0.43～2.16	2.13～3.55	3.15	6.25～7.37
Y ($\times10^{-6}$)	≤18.00	2.00～15.00	3.32～12.19	1.00～12.00(1 个样品为 19.00)	11.00	15.00～20.00
Yb ($\times10^{-6}$)	≤1.90	0.07～1.03	0.31～1.34	0.86～1.29(1 个样品为 1.97)	1.01	1.43～1.72
Sr ($\times10^{-6}$)	> 400 (很少< 400)	355～1 512	545～941	471～2 180	425	85～521
Sr/Y	≥20.0～40.0	38.1～617.5	44.7～219.0	35.3～176.1	38.6	5.0～34.7
La/Yb	≥10.0	26.9～142.9	16.70～97.5	14.1～21.3	22.2	8.0～10.3
Sr 异常	正异常	正异常	正异常	正异常	正异常	4 个样品正异常
Eu/Eu*	正异常或微弱负异常	≥0.60	0.88～1.67	0.69～1.12	0.92	0.82～0.99

(1) 地球化学特征。Ⅰ类埃达克岩的主要地球化学特征见表 1 和图 1、2。

(2) 共生组合。埃达克岩为中酸性岩石,一般不与玄武岩或玄武安山岩共生。但Ⅰ类埃达克岩可以同“高 Nb”[4,5]或“富 Nb”玄武岩[16, 17, 26]共生。“高 Nb”或“富 Nb”玄武岩的突出特征就是地幔标准化的微量元素图解呈现正或弱负 Nb 异常,地幔标准化的 La/Nb[$(La/Nb)_{MN}$] = 0.7～2.0。“高 Nb”和“富 Nb”玄武岩的成因有两种可能性:①由俯冲洋壳的熔融形成,俯冲洋壳首先熔融形成低镁的埃达克岩,然后再熔融形成高 Nb 玄武岩;②由先前与原始埃达克质岩浆反应的富金云母的地幔的部分熔融形成。

(3) 源岩成分。Defant 等[1]认为埃达克岩主要由俯冲的玄武质洋壳的熔融形成。然而近期的研究表明,一些埃达克岩或埃达克质的安山岩中明显包含有大洋沉积物的组分[11, 12]。另外,埃达克质岩浆在上升过程中可能与地幔楔反应,也可能受到地壳的混染(图 3)。与俯冲有关的埃达克岩具有如下的同位素特征[8~16, 36]: $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i < 0.705$、$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i > 0.5125$,这已超出了洋中脊玄武岩(年轻的洋壳)的同位素组成的范围: $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i < 0.704$、$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i > 0.5130$。因此,Ⅰ类埃达克岩的物质来源并不是单纯的玄武质洋壳。

(4) MgO 含量或 Mg# ((Mg/(Mg+Fe) molar))。Defant 等[1]最初在提出的埃达克岩概念时,认为绝大部分埃达克岩的 MgO 质量百分含量

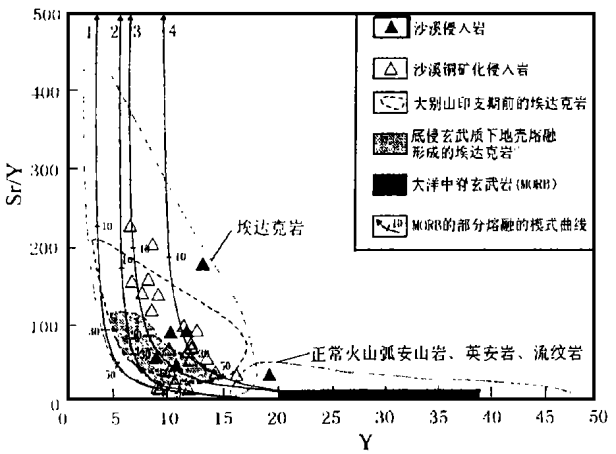


图 1 火成岩的 Sr/Y-Y 图解[1,7]

Fig. 1 Sr/Y-Y diagram of the igneous rocks

1. 榴辉岩(石榴石/辉石= 50/50);2. 石榴石角闪岩(石榴石/角闪石= 10/90);3. 角闪榴辉岩(角闪石/石榴石/辉石= 10/40/50);4. 石榴石角闪岩(石榴石/角闪石= 10/90)

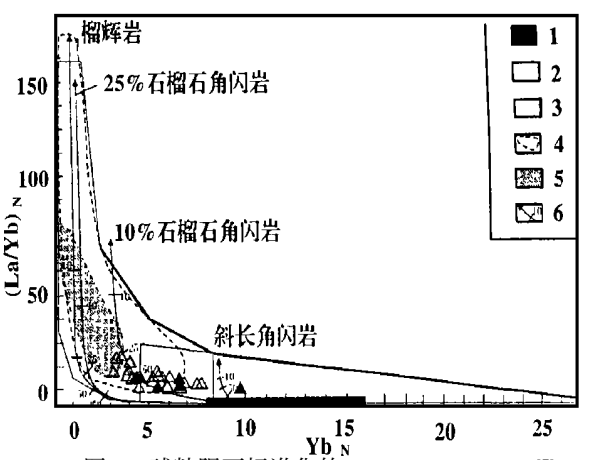


图 2 球粒陨石标准化的 $(La/Yb)_N$-Yb_N [7]

Fig. 2 $(La/Yb)_N$-Yb_N diagram chondrite-normalized

1. 大洋中脊玄武岩(MORB);2. adakite 岩高铝奥长花岗岩-英云闪长岩-英安岩(TTD);3. 低铝 TTD;4. 部分熔融曲线,图中样点符号同图 2

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

应小于3. 0%。但是, 自然界中一些埃达克岩的 MgO> 3.0% 且 Mg# ((Mg/(Mg+ Fe) molar)) > 0. 5。最近的实验岩石学的资料显示, 在 1～4 GPa 的条件下, 蚀变玄武岩熔融形成熔体的 Mg# 小于 0. 5, 但是, 蚀变玄武岩在同样条件下形成的熔体被地幔橄榄岩混染后, 其 Mg# 迅速增加, 可达到 0. 5 以上(图 3)[19]。因此, 许多埃达克岩所表现出的高镁特征, 可能与俯冲板片的熔融形成的原始埃达克质岩浆在上升的过程中与地幔楔的交换有关。另外, 一些含有板片组分的高镁安山岩的形成也可能与上述过程有关(图 3)[9～12, 15, 16, 19, 36]。自然界中也存在一些低镁(Mg# < 0. 5)的埃达克岩[1, 4, 7, 8, 12, 37], 这些岩石的形成可能直接由板片熔融形成, 也可能与俯冲板片的熔融深度较浅有关[16]。

(5) 与高压、超高压榴辉岩和俯冲带的浅源地震的关系。俯冲的年轻大洋板块在俯冲过程中发生脱水反应, 熔融形成埃达克岩, 残留物转变为高压、超高压的石榴石辉石岩或榴辉岩, 同时将诱发地震。最近的研究表明, 日本西南部热的菲律宾板块的俯冲不仅熔融形成了埃达克岩, 其残留物在 40～90 km 处转变为榴辉岩, 而且 70 km 深处诱发了浅源地震; 相反, 在日本东北部冷的太平洋板块的俯冲没有埃达克岩形成, 但在 100～200 km 的深处发生脱水反应, 诱发了地幔楔的熔融和中深层次的地震, 地幔楔的熔融形成了大面积的正常火山弧岩石[25]。

(6) 成矿作用。在斑岩 Cu 矿的成矿模型中, 西

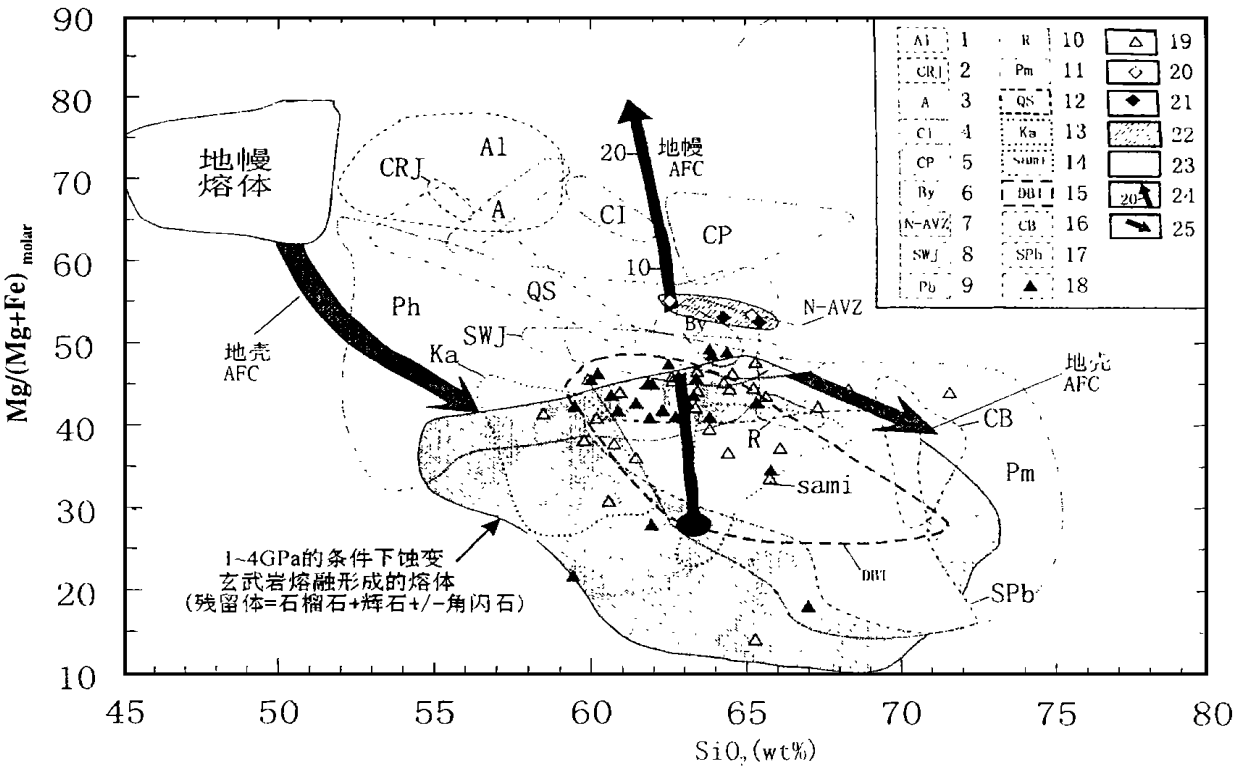


图 3　埃达克岩和埃达克质岩石的 SiO_2(wt%) – Mg# (Mg/(Mg+ Fe) molar) 图解

Fig. 3　The SiO_2(wt%) – Mg# (Mg/(Mg+ Fe) molar) diagram of adakites and adakitic rocks

与俯冲板片熔融有关的埃达克岩或埃达克质岩石: 1. 美国 Aleutians 的埃达克质高镁安山岩[11]; 2. 日本 Ryukyu 中部的埃达克质高镁安山岩[15]; 3. 美国 Aleutians 的 Adak 岛的埃达克岩[2]; 4. 南美 Cook 岛的埃达克岩[12]; 5. 阿根廷 Cerro Pampa 的埃达克岩[9]; 6. 南美 Burney 的埃达克岩[12]; 7. 南美 Andean Austral 火山岩带北部的埃达克岩[12]; 8. 日本西南的埃达克岩[8]; 9. 菲律宾的埃达克岩[17]; 10. 南美 Andean Austral 火山岩带 Reclus 的埃达克岩[12]; 11. 巴拿马的埃达克岩[4]; 12. 秦岭三岔子晚古生代的埃达克岩和埃达克质高镁安山岩[36]; 13. 俄罗斯 Kamchatkan 弧北部橄榄岩包体中的埃达克岩脉[13]; 14. 地幔橄榄石中的埃达克质的熔融包裹体[14]; 15. 北大别地块埃达克质灰色片麻岩[27];

新底侵的镁铁质地壳部分熔融形成的埃达克质岩石: 16. 秘鲁科迪勒拉的 Blanca 岩基[21～22]; 17. 新西兰的白垩纪的 Separation Piont 岩基[23]; 18. 沙溪石英闪长玢岩[37]; 19. 沙溪矿化石英闪长玢岩[37];

熔融实验: 20. 被方辉橄榄岩混染的角闪岩化的玄武岩的熔体[19]; 21. 被二辉橄榄岩混染的角闪岩化的玄武岩的熔体[19]; 22. 被地幔岩混染的角闪岩化的玄武岩的熔体; 23. 在 1～4GPa 下的俯冲板片熔体[18～20];

其它: 24. 与俯冲板片熔融有关的埃达克岩、埃达克质岩石分离结晶和受地幔混染的演化线[12]; 25. 岩浆分离结晶和受地壳混染的演化线[12]

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

里托曾提出了洋壳重熔模式[28]。他认为大部分成矿金属是大洋地壳俯冲到地幔时,发生部分熔融而从洋壳中浸出的,在部分熔融过程中,浸出的金属作为钙碱性岩浆的一部分而上升,并最终成岩和成矿。最近的研究表明,Ⅰ类埃达克岩常与 Au、Ag、Cu、Mo 等热液和斑岩矿床密切共生,成矿物质来源于埃达克质岩浆[16]。

2.2 Ⅰ类埃达克岩的成因

埃达克岩特殊的地球化学特征具有表 2 所示的含义。从表 2 中可以看出,埃达克岩的源区残留矿物组合为石榴石+ 含 Ti-相矿物+ 辉石±角闪石,很少或不含斜长石。俯冲板片高压、超高压(> 1.0 GPa)和缺流体的条件下熔融过程中,随着熔融程度加深,斜长石消失,角闪石逐渐消失,熔融后的残留物为石榴石角闪岩或榴辉岩,使得埃达克岩表现出明显低 Yb、Y,高 Sr/Y、La/Yb 比值(图 1a、b)[1, 7, 8, 24]。

表 2 埃达克岩地球化学特征的含义

Table 2 Implications of the geochemical characteristics of adakites

埃达克岩的特征	含 义
低 HREE	源区含有石榴石
低 Y	源区含有角闪石、石榴石和单斜辉石
高 Sr	斜长石可能熔融,Sr 与角闪石、石榴石和单斜辉石没有亲缘性
高 Sr/Y	该比值明显不同于由分离结晶作用形成的安山岩、流纹岩的比值
低 HFSE(Nb、Ta)	源区存在含 Ti-相矿物(如金红石)或角闪石
Eu 正异常或微弱负异常、高 Al_2O_3、Na_2O	源区很少或没有斜长石
高 La/Yb	轻稀土相对重稀土的富集程度
高 ϵNd、低 $^{87}Sr/^{86}Sr$	源岩以 N-MORB 为主

无挥发份的熔融实验[18, 20]表明,当蚀变玄武岩熔融时,在 0.8 GPa 条件下,残留物为斜长石+ 角闪石±斜方辉石±钛铁矿,熔体不具有埃达克岩的特征;在 1.6 Gpa 条件下,残留物为石榴石+ 角闪石±斜长石±单斜辉石±钛铁矿,熔体具有埃达克岩的特征;在> 1.6 GPa 的条件下,残留物为石榴石+ 单斜辉石±金红石,熔体具有埃达克岩的特征;低压下的熔体稀土分配曲线平坦、重稀土不亏损,但在高压下的熔体轻重稀土分异明显,重稀土强烈亏损。

在火山弧环境,俯冲板片熔融形成Ⅰ类埃达克岩主要取决于两个因素:①俯冲板片的年龄。Defant 等[1]认为俯冲大洋板片必须非常年轻(一般≤25 Ma),Peacock 等[32]认为能够熔融形成Ⅰ类埃达克岩的俯冲板片的最大年龄可达 30 Ma[24]。而且,年轻的板片在俯冲过程中,发生熔融形成Ⅰ类埃达克岩的位置一般在火山弧下 70～90 km 深处[1, 8, 16]。②俯冲的时间。模拟计算表明,只有在俯冲开始阶段,即大洋板片的俯冲量不超过 200 km 时,板片的熔融才可能发生,而当俯冲板片的量超过 200 km 时,板片熔融不可能发生[24]。

2.3 Ⅰ类埃达克岩的动力学意义

Ⅰ类埃达克岩具有重要的动力学意义,主要表现为:①由于其成因和形成的构造环境特殊,可证明大洋板片俯冲消减的存在和指示大洋板块俯冲的方向,具有极其重要的动力学指示意义;②俯冲的大洋板片熔融所形成的埃达克质(adakitic)岩浆在上升过程中将会与地幔楔、地壳发生反应,因此Ⅰ类埃达克岩也是研究壳幔相互作用的重要岩石"探针";③由于太古宙高铝奥长花岗岩- 英云闪长岩- 英安岩(TTD)或花岗闪长岩(TTG)(主要是太古宙,也包括少量元古宙及其以后的 TTD)特征与埃达克岩特征类似,因此在太古宙俯冲大洋板片的熔融可能是一种非常重要的地壳增生方式[1, 7, 16]。④由于埃达克岩与高压、超高压榴辉岩和俯冲带的浅源地震有密切的成因联系,因此,埃达克岩可以间接指示高压、超高压变质作用和俯冲带的浅源地震的发生。

3 玄武质下地壳熔融形成的埃达克岩(Ⅱ类埃达克岩)

3.1 Ⅱ类埃达克岩成分特征及成因

Gromet 等[29]认为轻重稀土分异明显且重稀土元素(HREE)强烈亏损的北美西部的半岛山脉(Peninsular Ranges)中酸性侵入岩可能由底侵(underplating)的玄武质下地壳岩石在榴辉岩相的条件下熔融形成。Atherton 等[21, 22]认为秘鲁的 Blanca 侵入岩和火山岩虽然具有与 Defant 等[1]提出的 adakite 岩类似的地球化学特征(表 1,图 1、2),但它

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

们由新底侵的玄武质下地壳熔融形成。在新西兰也发现有玄武质下地壳熔融形成的埃达克岩[23]。Ⅱ类埃达克岩的 Mg# 一般小于 0.5, 地球化学特征与斜长角闪岩在实验室较高压力(1.0～4.0 Gpa)条件下熔融形成熔体的成分一致(图 3)[18～20], 并且其成分点的分布与地幔 AFC 演化线不具有相关性, 但与地壳 AFC 演化线具有明显的相关性(图 3)。这表明, 新底侵的玄武质下地壳熔融形成埃达克质岩石不受地幔 AFC 的影响, 但明显受到地壳 AFC 的影响(图 3)。Ⅱ类埃达克岩的同位素具有如下特征: ①($^{87}Sr/^{86}Sr)_i$= 0.704～0.708、($^{143}Nd/^{144}Nd)_i$= 0.5123～0.5126[21～23], 与洋壳熔融形成的埃达克岩岩的同位素特征(见前面)相比, $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$ 略微偏高、$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 略微偏低, 但有小范围重合; ② 明显不同于洋中脊玄武岩的同位素特征(见前面); ③可能受到地壳混染[23]。

Atherton 等[21]认为玄武质下地壳熔融形成埃达克岩决定于两个因素: 地壳的热状态和厚度。来自地幔的玄武质岩浆的底侵作用不仅可使地壳发生垂向增生, 导致地壳厚度加大, 而且也使下地壳保持高热流状态, 这为埃达克岩的形成创造了有利条件。在水不饱和以及增厚的下地壳(厚度至少大于 40 km)环境中, 斜长石将变得极不稳定, 此时新底侵的玄武质下地壳可发生熔融, 熔融反应式为:

角闪石+ 斜长石±石英=

石榴石+ 辉石+ 熔体+ 新生斜长石(钠长石)

残留物为石榴石+ 辉石±角闪石±斜长石, 熔体形成Ⅱ类埃达克岩[21～23]。

3.2 Ⅱ类埃达克岩的地质意义

Ⅱ类埃达克岩具有重要的地质意义, 主要表现为: ①由于其成因特殊, 可用于指示底侵作用的存在, 而底侵作用是大陆垂向增生和改造的一种重要方式, 具有重要的壳– 幔演化动力学意义; ②底侵的玄武质下地壳重熔形成的中酸性埃达克质岩浆被抽取后, 含石榴石(或榴辉岩质)的残留体可能下沉, 岩石圈拆沉作用(delemination)可能发生, 残留体又回到地幔中[22, 29]; 与拆沉作用有关的岩浆的微量元素特征为高 La/Yb, Sr/Y, 一般缺少负铕异常[30], 表现出与埃达克质岩浆相似的地球化学特征; ③底侵的玄武质下地壳重熔形成的中酸性埃达克质岩浆被抽取后, 加入到地壳中, 使地壳保持长英质特征, 因此来自地幔的玄武质岩石的重熔可能是大陆壳生长和演化的一个基本过程[29]。

4　我国埃达克岩的研究现状

我国埃达克岩的研究才刚刚起步。我们近期从秦岭、北大别山以及长江中下游的沙溪等地厘定出埃达克岩(表 1、图 1、2、3)。

(1) *北大别山印支期前的Ⅰ类埃达克岩*。我们的研究证实北大别山中酸性灰色正片麻岩中存在 adakite 型灰色片麻岩[27](表 1、图 1、2), 其由俯冲大洋板片熔融形成。由于大别山灰色片麻岩主要分布于北大别山且形成于印支期前。因此, 北大别山 adakite 型灰色片麻岩的存在表明, 扬子和华北板块印支期碰撞前存在大洋板片的俯冲, 洋壳是向北大别山下俯冲, 在俯冲过程中洋壳熔融形成有 adakite 型的火成岩(Ⅰ类埃达克岩), 同时残留物转变为高压、超高压榴辉岩。这暗示, 除了在印支期的超高压变质岩石之外, 大别山可能还存在早于印支期的超高压变质作用。

(2) *秦岭古生代的Ⅰ类埃达克岩*。秦岭三岔子地区古生代的火山岩中存在Ⅰ类埃达克岩和埃达克质的高镁安山岩[36](表 1), 其源岩中包含有玄武质洋壳、大洋沉积物, 形成模式为: 含沉积物的大洋板片在俯冲过程中熔融形成原始埃达克质岩浆, 岩浆在上升过程中与地幔楔发生反应或与原始高镁安山岩质浆混合(图 3), 形成埃达克岩和埃达克质的高镁安山岩。

(3) *沙溪(安徽庐江县)石英闪长玢岩*。安徽庐枞地区的沙溪岩体因岩体中产有斑岩铜(金)矿床而闻名。沙溪早白垩世石英闪长玢岩表现出与埃达克岩类似的地球化学特征[37](表 1, 图 1、2、3); 其与庐枞火山盆地双庙组粗面玄武岩(形成略早于沙溪入岩)的 Nd-Sr 同位素组成类似。我们认为沙溪侵入岩是由新底侵的玄武质下地壳熔融形成。因此, 在燕山晚期扬子地块可能存在地壳垂向增生事件。另外, 由于沙溪斑岩铜(金)矿床的成矿物质来源主要来自于沙溪侵入岩, 因此, 沙溪铜(金)矿床不是与大洋板片俯冲有关的斑岩铜(金)矿床, 而可能是与底侵的玄武质下地壳熔融有关的斑岩铜(金)矿床。

最近, 王焰等[31]通过系统总结前人对内蒙古早古生代的苏左旗白音宝力道闪长岩类的研究成果, 认为该闪长岩类可能为埃达克岩。

5　埃达克岩的研究所存在的问题

随着对埃达克岩的研究不断深入, 也引发了新的科学问题:

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(1) 既然可能有两类埃达克岩,那么如何准确区分Ⅰ类埃达克岩和Ⅱ类埃达克岩? 因为在前人所有有关埃达克岩的研究中,都只是针对某一种成因类型的埃达克岩(Ⅰ类或Ⅱ类)进行研究,都没有讨论如何区分两类埃达克岩。

(2) 已经发现的Ⅰ类埃达克岩主要分布于环太平洋周缘的现代岛弧中[1,4~17],那么在古代岛弧特别是环太平洋周缘的古岛弧中是否可能也存在Ⅰ类埃达克岩?近期的地球物理资料证实,中生代确实存在古太平洋或伊泽奈崎板块向东亚大陆板块的俯冲[32]。对于我国东部,相当一部分研究者认为它受到中生代古太平洋或伊泽奈崎板块向东亚大陆板块的俯冲作用的影响[33~35]。中国东部存在大面积的中生代火成岩,它们的形成是否直接与古太平洋板块或伊泽奈崎板块的俯冲有关,一直是地质研究者所关心的问题。但长期以来,该问题一直悬而未决。如果我们能够在中国东部中生代的火成岩中找到Ⅰ类埃达克岩,将会为解决上述诸多问题提供强有力的证据。

(3) Ⅱ类埃达克岩的高场强元素(HFSEs)含量与火山弧火成岩的相似,目前发现的Ⅱ类埃达克岩主要形成于地壳增厚的火山弧或火山弧晚期的环境中[21~23],那么在其它构造环境中能否有Ⅱ类埃达克岩? 如果有,其形成机制是什么?

参考文献(**References**):

[1] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. Nature, 1990, 347: 662~665.

[2] Kay R W. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific Ocean crust[J]. J Volcanol Geotherm Res, 1978, 4: 117~132.

[3] Gill J B. Orogenic Andesite and Plate Tectonics[M]. Berlin: Springer, 1981.

[4] Defant M J, Richerson M, De Boer J Z, *et al*. Dacite genesis via both slab melting and differentiation: petrogenesis of La Yeguada volcanic complex[J]. Panama J Petrol, 1991, 32: 1 101~1 142.

[5] Defant M J, Jackson T E, Drummond M S, *et al*. The geochemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica: an overview[J]. J Geol Soc (London), 1992, 149: 569~579.

[6] Defant M J, Drummond M S. Mount St Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc[J]. Geology, 1993, 21: 547~550.

[7] Drummond M S, Defant M J. A model for trondhjemite-tonalite-dacite genesis and crustal growth via slab melting: Archaean to modern comparisons[J]. J Geophys Res, 1990, 95: 21 503~21 521.

[8] Morris P A. Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in southwestern Japan[J]. Geology, 1995, 23: 395~398.

[9] Kay S M, Ramos V A, Marquez M. Evidence in Cerro Pampa volcanic rocks of slab melting prior to ridge trench collision in southern South America[J]. The J Geol, 1993, 101: 703~714.

[10] Yogodzinski G M, Kelemen P B. Slab melting in the Aleutians: implications of an ion probe study of clinopyroxene in primitive adakite and basalt[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 158: 53~65.

[11] Yogodzinski G M, Kay R W, Volynets O N, *et al*. Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: implications for slab melting and processes in the mantle wedge[J]. Geol Society Am Bull, 1995, 107: 505~519.

[12] Stern C R, Kilian R. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Austral volcanic zone[J]. Contrib Miner Petrol 1996, 123: 263~281.

[13] Kepezhinskas P K, Defant M J, Drummond M S. Progressive enrichment of island arc mantle by melt-peridotite interaction inferred from Kamchatka xenoliths[J]. Geochim Cosmochim Acta, 1996, 60: 1 217~1 229.

[14] Schiano P, Clocchiatti R, Shimizu N, *et al*. Hydrous, silica-rich melts in the sub-arc mantle and their relationship with erupted arc lavas[J]. Nature, 1995, 377: 595~600.

[15] Shinjo R. Geochemistry of high Mg andesites and the tectonic evolution of the Okinawa Trough-Ryukyu arc system[J]. Chemical Geology, 1999, 157: 69~88.

[16] Martin H. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids[J]. Lithos, 1999, 46: 411~429.

[17] Sajona F G, Maury R C, Bellon H, *et al*. High field strength element enrichment of Pliocene-Pleistocene island arc basalts, Zamboanga Peninsula, Western Mindanao (Philippines)[J]. J Petrology, 1996, 37: 693~726.

[18] Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycing[J]. J Petrol, 1995, 36: 891~931.

[19] Rapp R P, Shimizu N, Norman M D, *et al*. Reaction between slab-derived melts and peridotite in the mantle wedge: experimental constraints at 3.8 Gpa[J]. Chemical Geology, 1999, 160: 335~356.

[20] 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.

[21] Atherton M P, Petford N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. Nature, 1993, 362: 144~146.

[22] Petford N, Atherton M. Na-rich partial melts from newly

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith, Peru[J]. J Petrology, 1996, 37: 1 491～1 521.

[23] Muir R J, Weaver S D, Bradshaw J D, *et al*. Geochemistry of the Cretaceous Separaton Plint Batholith, New Zealand: granitoid magmas formed by melting of mafic lithosphere[J]. J Geol Soc Lond, 1995, 152: 689～701.

[24] Peacock S M, Rushmer T, Thompson A B. Partial melting of subducting oceanic crust[J]. Earth Planet Sci Lett, 1994, 121: 227～244.

[25] Peacock S M, Wang K. Seismic consequences of warm versus cool subduction metamorphism: Examples from southwest and northeast Japan[J]. Sciences, 1999, 286: 937～939.

[26] Hollings P, Kerrich R. An Archean arc basalt-Nb-enriched basalt-adakite association: the 2.7 Ga confederation assemblage of the Birch-Uchi greenston belt, Superior Province[J]. Contrions to Mineralogy and Petrology, 2000, 139: 208～226.

[27] Wang Qiang, Xu Jifeng, Wang Jianxin, *et al*. The recognition of adakite-type gneisses in the North Dabie Mountains and the relationship between them and ultrahigh pressure metamorphism[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 46(10): 1 017～1 024. [王强, 许继锋, 王建新, 赵振华, 邱家骧, 王人镜, 熊小林, 桑隆康, 彭练红. 大别山 adakite 岩型灰色片麻岩的确立及其与超高压变质作用的关系. 科学通报, 2000, 46(10): 1 017～1 024.]

[28] The Geological Institute of Metallurgy Industry Ministry. Porphyry Copper Mine in China[M]. Beijing: Science Publishing House, 1984, 144～179. [冶金工业部地质研究所. 中国斑岩铜矿[M]. 北京: 科学出版社. 1984. 144～179.]

[29] Gromet L P, Silver L. REE variations across the peninsular ranges batholith: Implications for batholithic petrogenisis and crustal growth in magmatic arcs[J]. Journal of Petrology, 1987, 28: 75～125.

[30] Kay R W, Kay S M. Creation and destruction of lower continental crust[J]. Geologiche Rundschau, 1991, 80: 259～278.

[31] Wang Yan, Zhang Qi, Qian Qing. The geochemical characteristics of adakite and its tectonic implications[J]. Geological Science, 2000, 35(2): 251～256. [王焰, 张旗, 钱青. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质科学, 2000, 35(2): 251～256.]

[32] Van der Voo R, Spakman W, Bijwaard H. Mesozoic subducted slabs under Siberia[J]. Nature, 1999, 397: 246～249.

[33] Deng Jinfu, Zhao Guochun, Zhao Hailing, *et al*. Yanshanian Igneous petrotectonic assemblsge and orogenic-deep processes in East China[J]. Geological Review, 2000, 46(1): 41～48. [邓晋福, 赵国春, 赵海玲, 等. 中国东部燕山期火成岩构造组合与造山——深部过程[J]. 地质论评, 2000, 46(1): 41～48.]

[34] Zhou Xinmin, Li Wuxian. The petrogenesis of mesozoic igneous rocks in southeast China: coupled model between lithosphere subducting and basalt underplating[J]. Natural Science Progress, 2000, 10(3): 240～247. [周新民, 李武显. 中国东南部晚中生代火成岩成因: 岩石圈消减和玄武岩底侵相结合的模式[J]. 自然科学进展, 2000, 10(3): 240～247.]

[35] Lo C H, Yui T F. $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating of high-pressure rocks ing the Tananao basment complex, Taiwan[J]. J Geol Soc China, 1996, 39(1): 13～30.

[36] Xu Jifeng, Wang Qiang, Yu Xueyuan. Geochemistry of high-Mg andesites and adakitic andesite from the Sanchazi block of the Mian-Lue ophiolitic melange in the Qinling Moutains, central China: Evidence of partial melting of the subducted Paleo-Tethyan crust and its implication[J]. Geochemical Journal, 2000, 34: 359～377.

[37] Wang Qiang, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, *et al*. the melting of underplating basaltic lower crust: the evidences from Na-rich quartz diorite-porphyry in Anhui proince[J]. Geochemistry, 2000(submission). [王强, 赵振华, 熊小林, 等. 底侵玄武质下地壳的熔融: 来自安徽沙溪富钠石英闪长玢岩的证据[J]. 地球化学, 2001(待刊).]

THE SUMMARY AND COMMENT ON RESEARCH ON A NEW KIND OF IGNEOUS ROCK—ADAKITE

WANG Qiang, XU Ji-feng, ZHAO Zhen-hua

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

Abstract: Adakite is a kind of mediate and acid igneous Na-rich rock (andesite, dacite, sodiumic rhyolite and homologus intrusive rock), with the stickup characteristics of $SiO_2 \geq 56\%$, $Al_2O_3 \geq 15\%$, depletion in HREE and Y ($Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$, $Y \leq 18 \times 10^{-6}$), high Sr ($> 400 \times 10^{-6}$, rarely $< 400 \times 10^{-6}$)、La/Yb (≥ 10.0) and Sr/Y ($> 20.0 \sim 40.0$), as well as positive Sr anomaly but absent or positive negative Eu anomaly. There are two types of adakites with different petrogenesis: one type is formed by the melting of subduct-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ing young (≤25～30 Ma) slab (Ⅰ-type adakite), and the other type is formed by the melting of basaltic lower crust under thickened setting (Ⅱtype adakite). Ⅰ-type adakite has also these characteristics: sometimes associated with "high-Nb" or "Nb-enriched" basalt; usually reacting with the mantle during the adakitic magma uprising; closely related to high-pressure, ultra-pressure eclogite and shallow earthquakes; sometimes associated with Au、Ag、Cu、Mo hydrotherm and porphyry deposit. In addition, Ⅰ-type adakite occurs when the age of subducted slab is less than 25～30 Ma and the subducting slab reaches 70～80 km under the arc. The Mg# (Mg/(Mg+ Fe) molar) of Ⅱtype adakite is generally less than 0.50. In the condition of aqua-undersaturation and the setting of thickened(> 40 km) lower crust, Ⅱtype adakite is apt to be formed by the melting of newly underplating basaltic lower crust. Two types of adakites are very significative to studying geodynamics, crust-mantle interaction, and the growth and evolution of continent crust. We found the Ⅰ-type adakite in north Dabie and Qingling mountains and the Ⅱtype adakite in Shaxi region of Anhui province, and thought Shaxi porphyry Cu deposit could be related to Ⅱtype adakite.

Key words: Adakite; Petrogenesis types; Slab subducting; Underplating geodynamics.

《地球科学进展》投稿的新规定

致作者、读者

为提高审稿质量, 客观、公正地评价稿件质量, 本刊将采用稿件盲审制度, 请广大作者在投稿时注意寄两份稿件, 其中 1 份稿件只列出文章标题、正文和参考文献, 另一份除第一项要求外, 注明作者单位全称、邮编、作者简介和各类基金资助项目的名称、编号以及联系方式等内容。

《地球科学进展》编辑部

2001 年 4 月

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net