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》

张 旗[1], 王 焰[2], 刘红涛[1], 王元龙[1], 李之彤[3]

(1. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029; 2. 香港大学 地球科学系, 中国 香港;
3. 国土资源部 沈阳地质矿产研究所, 辽宁 沈阳 110032)

摘 要:中国的埃达克岩出露很广,几乎遍及全国各地(除两广和湘黔4省区外),主要集中在古亚洲洋造山带、吉林—黑龙江东部以及中国东部地区,其次为秦祁昆造山带、新特提斯造山带以及青藏高原,在中国南方仅有零星的分布。中国最早的埃达克岩位于赣东北蛇绿岩中(1 000 Ma),最年轻的第三纪埃达克岩产于青藏高原(60~10 Ma)。中国各地的埃达克岩可大体分为O型和C型埃达克岩两类,主要反映了板块俯冲和地壳加厚2个不同的地球动力学背景。文中还讨论了不同地质时期由埃达克岩所指示的板块消减事件和陆壳加厚事件及其地球动力学意义。

关键词:埃达克岩; 分布; 时代; 俯冲; 地壳加厚; 构造背景
中图分类号:P588.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2321(2003)04-0385-16

埃达克岩(adakite)是Defant等(1990)[1]在研究阿留申群岛火山岩时提出来的,指的是发育于岛弧地区的具有特定地球化学性质的一套中酸性火山岩和侵入岩的术语。其地球化学标志是:$w(SiO_2)\geqslant 56\%$,高铝($w(Al_2O_3)\geqslant 15\%$),$w(MgO)<3\%$(很少$>6\%$),贫Y和Yb($w(Y)\leqslant 18\ \mu g/g$,$w(Yb)\leqslant 1.9\ \mu g/g$),Sr含量高($>400\ \mu g/g$),LREE富集,无Eu异常(或有轻微的负Eu异常)。埃达克岩富Si,说明是地壳熔融的;贫Y和Yb,暗示部分熔融时有石榴石稳定存在;富Sr、Eu和Sr(相对于Ce和Nd)具正异常,说明熔融时斜长石在源区不稳定[1,2]。因此,埃达克岩最重要的地球动力学意义在于,它是深部地壳熔融形成的。如果与板块俯冲有关,大约来自70~90 km的深度[1];如果与板块消减俯冲无关,则来自加厚的下地壳(深度至少$>$40 km)。

我国的埃达克岩分布很广,除了个别省份外,几乎遍及全国各地。经过几十年的积累,有关资料浩如烟海,限于笔者水平,不可能一一查阅。因此,本文所列举的埃达克岩可能仅为九牛之一毛,可能有许多重要的埃达克岩被遗漏了。还由于较早的地球化学数据的可靠性较差,有的数据不全(例如许多资料尽管有REE数据,但是缺少Sr的数据),因此,本文所列举的埃达克岩可能还存在某些问题,不排除经核实有部分埃达克岩被否定的可能。笔者衷心欢迎有兴趣的同行的修改、补充和批评。

收稿日期:2003-05-27;**修订日期**:2003-09-05
基金项目:国家"973"项目(G1999043206-05);中国科学院知识创新工程项目(KZCX1-07); KZCX2-104
作者简介:张旗(1937—),男,研究员,岩石学和地球化学专业。

1 中国埃达克岩的时空分布

据不完全的资料,中国埃达克岩出露很广,几乎遍及全国各地(除两广和湘黔4省区外)。在造山带和非造山带均有分布,前者主要集中在古亚洲洋造山带和环太平洋造山带(吉林—黑龙江东部),其次为秦祁昆造山带、新特提斯造山带以及皖南—赣东北造山带;后者主要出露于中生代的中国东部高原以及新生代的青藏高原,中国南方仅有零星的分布(图1)。

1.1 造山带

出露于造山带的埃达克质岩大多与板块的俯冲作用有关,少数为板块碰撞后陆壳加厚的产物。

1.1.1 古亚洲洋造山带

目前发现的古亚洲洋埃达克岩的时代可以从奥

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

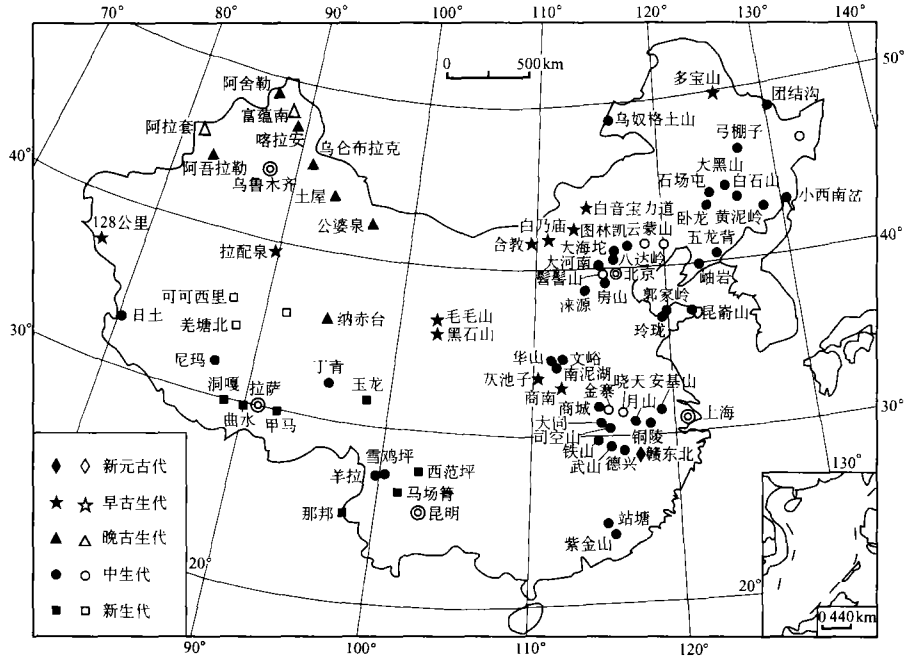


图1 中国埃达克岩分布图

Fig. 1 Distribution of adakite in China

图例中的空心符号为火山岩，实心为侵入岩

陶纪—二叠纪。如新疆东准噶尔和阿勒泰南缘的泥盆纪火山岩[3]，阿舍勒(牛贺才等，待刊)、喀腊安、扎拉特、切热克斯塔、二台北(259～273 Ma[4])、兔子泉[5]、喀拉萨依、乌伦布拉克[6,7]、西滩、索尔库都克、别勒库都克、老山口、北山、金山等地的花岗岩-闪长岩类；西准噶尔包古图地区的花岗岩、和布克赛尔黑山头地区的萨吾尔山、萨勒布尔山地区的阿米泰斜长花岗斑岩；西天山的喇嘛苏[8]、莫斯早特、黑山头(阿吾拉勒岩带石英斑岩[9,10])，阿拉套火山岩[11]；东天山的土屋—延东花岗斑岩(泥盆纪—早石炭世[12,13])等。甘肃北山公婆泉花岗斑岩。内蒙古的白乃庙、合教、格少图、图林凯、德言其庙、孙德拉图、呼勒格尔、米生庙、太古生庙、苏尼特左旗白音宝力道[14～16]、巴音高勒、莫斯托、霍朔根敖包、阿都楚鲁、达茂旗公胡都格、昭盟碧留台、旧达青、白云鄂博白云、锡林浩特石灰窑南等花岗岩类[14～17]，以及黑龙江的多宝山[18]。

对于内蒙古白音宝力道花岗岩，王焰等[16]认为是埃达克岩，但是陈斌等[15]不同意。其实，从陈斌等[14,15]发表的数据看，白音宝力道花岗岩应当是埃达克岩。

1.1.2 秦祁昆造山带

秦祁昆造山带内多处发现了埃达克岩，大多是早古生代的，如西昆仑—阿尔金地区的新藏公路128公里花岗岩(460 Ma[19])、赛图拉北、哈巴克北、明铁盖、卡日巴生、赞坎，瓦石峡、红柳沟北、布拉克巴、巴什考西、库牙克、拉配泉[20,21]等。甘肃北祁连的雷公山-毛毛山-老虎山英云闪长岩、石英二长岩和花岗闪长岩、白银黑石山[22]。北秦岭灰池子[23](437 Ma)、商南和吊庄花岗岩等。

该带近来还发现有三叠纪的埃达克岩，如北秦岭的西坝岩体[24]。

1.1.3 新特提斯造山带

目前仅有零星的埃达克岩出露，如冈底斯带的曲水(41～56 Ma[25,26])、云南腾冲的那邦[27](55 Ma)；班公湖—怒江带的日土花岗岩[19,28](80 Ma)、丁青巴登英云闪长岩(侵入沙丁板岩，J_2)(据刘文斌介绍)，丁青北部J_2雁石坪群玛托组英安岩和安山岩(李秋生介绍)；尼玛J_2去申拉组英安岩(卢书炜介绍)。

1.1.4 环太平洋造山带

吉黑东部属于晚古生代晚期—中生代的环太平洋构造带，据资料分析，有不少埃达克岩的显示，如吉林的浑江蚂蚁河[29]、永吉长冈岭、前撮落(即大黑山斑岩钼矿)、吉林老窑沟、公主岭石场屯[29]、蛟河白石山[30]、和龙孟山、老秃顶子、梨树沟(李之彤，未

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

刊)、桦甸五道溜河、黄泥岭[31~33](153～168 Ma)、辽源梨树、敦化大蒲柴河、汪清仲平、棉田、杨木林、安图石门、东清[32](155～158 Ma)、小捕屯、小龙屯、珲春三道沟、小西南岔、敦化保忠桥、大石头、汪清西崴子、百草沟、盘石扇车山、荞麦楞子、桦甸二道甸子、舒兰齐家、四平卧龙等花岗岩类[32,34~36]。黑龙江的资料较少，目前仅知宾县弓棚子花岗岩、团结沟斑岩金矿以及 J_2 的屯田营组、J_3 金沟岭组和地荫沟组、K_1 的小岭组和东山组、K_2 的三棵榆树组中酸性火山岩具有埃达克岩的特征[37]。据黑龙江地质志记载，那里有不少埃达克质的花岗岩存在，可惜时代不清。

内蒙古海拉尔西南的乌奴格吐山花岗斑岩是二叠纪的[38~40]，推测可能与鄂霍茨克—蒙古缝合带的消减事件有关，而鄂霍茨克海是古太平洋向西伸出的一个海湾，主要在黑龙江以北的俄罗斯境内，因此，本文将其归属于环太平洋带。

1.1.5 皖南-赣东北造山带

最近，Li 等[41]在赣东北蛇绿岩中发现了中国时代最老的(1 000 Ma)埃达克岩(斜长花岗岩)，该区属于皖南-赣东北造山带，但是目前对该造山带的情况了解甚少。

1.2 非造山带

非造山带的埃达克岩出露于陆块内部，主要与地壳的加厚作用有关，如中生代的中国东部高原和新生代的青藏高原，中国南方仅有零星分布。

1.2.1 中国东部高原

这是中国目前发现埃达克岩最多的地区，主要分布在中生代的中国东部高原，其范围北至辽宁-内蒙古南缘(安家营子、山岳沟、裴家屯-旧门、碱厂、大梁顶、都山、肖营子、南猴顶等)[42~46]、河北-山西-北京(八达岭、矾山、房山、大河南、大海坨、涞源、麻棚、云蒙山、口前、寿王坟、东坪等)[47~67]，胶东(郭家岭、玲珑、昆嵛山)[68~70]，南到北淮阳(商城、程香铺、苏仙石、伏山、石鼓洼、肆顾墩、楼坊湾、桃花岭、母山、肖畈、亮山)[71,72]、大别(司空山、大同、鹅公包、云峰顶、父子岭、天堂寨、响肠、分流铺、三角山)[73~76]、长江中下游(上海张埝，江苏安基山、冶山，安徽滁州琅琊山、铜陵铜官山、老庙基、天鹅抱蛋山、狮子山、白芒山、凤凰山、新桥头、雨山、缪家、鸡冠山、沙滩角、冬瓜山，安庆月山、沙溪、总铺、洪镇，江西武山、城门山、铜厂、富家坞、朱砂红，湖北铁山、阳新、殷祖、灵乡、封山洞等)[77~82]，西抵山西-河南-陕西东端(华山、文峪、娘娘山、石家湾、老牛山、花山、南泥湖、大坪、石宝沟、秋树湾等)[83~85]，东至朝鲜半岛[63,64]。包括髫髻山组、九龙山组、花吉营组、蓝旗组、一部分义县组和张家口组的中酸性火山岩以及 160～110 Ma 时代的大部分花岗闪长岩-石英闪长岩-二长花岗岩。在华北地块北缘有部分埃达克岩为三叠纪—早侏罗世的，如谷咀子、温泉、红花梁、响水沟、金厂沟梁—二道沟花岗岩等[45,46,50,67](236 ～ 218 Ma[50,67])，此外，沿郯庐断裂带和徐淮地区(许文良等，待刊)也有零星早侏罗世的埃达克岩分布。

1.2.2 中国南方

中国南方埃达克岩很少见，最近有新的发现。如 Xiong 等[86]发现了江西会昌站塘晚白垩世埃达克质火山岩。据资料推测，福建紫金山[87,88]和江西会昌红山[89]与铜矿有关的早白垩世花岗闪长斑岩以及浙江余姚梁弄、瑞安城门和黄岩黄土岭花岗闪长岩(邢光福介绍)也类似埃达克岩的地球化学特征。

1.2.3 青藏高原

青藏高原保存有中国最年轻的第三纪(60～10 Ma)埃达克岩，分为 3 个带：从南向北依次为冈底斯[25~27]、北羌塘[90~93]和可可西里[94~96]。冈底斯带存在两期埃达克岩，早期 60～55 Ma，如曲水花岗岩和云南盈江那邦花岗岩[25,26]；晚期为 10～20 Ma(如厅宫、甲马、躯龙、洞嘎等[97,98]或 10～26 Ma[99]。北羌塘带可能向东南延伸到藏东—川西—滇中地区，该区与铜矿有关的斑岩，如玉龙、莽总、马拉松多、多霞松多、扎拉尕、马牧普、莽总[100,101]、四川西范坪[102]、云南马场箐[103]等，均具有埃达克岩的地球化学特征。可可西里绝大多数中酸性火山岩都具有埃达克岩的特征，其时代为 9～19 Ma[94~96]，与冈底斯一道，同属中国最年轻的埃达克岩。

2 中国埃达克岩的成因和形成环境

分布在中国各地的埃达克岩大体可分为两类：一类类似环太平洋地区的 O 型埃达克岩，与板块的消减作用有关；另一类为 C 型埃达克岩[63,64]，主要是地壳加厚条件下中基性岩部分熔融的产物。对于前一类埃达克岩的成因争论不大，分歧主要在后一类。因此，下面主要就中国东部的埃达克岩成因作一初步的讨论。

埃达克岩通常是由俯冲的洋壳在榴辉岩的条件

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

下熔融形成的[1]。近年来，底侵的玄武岩和加厚下地壳(>40 km)基性岩熔融形成埃达克质岩的模式也受到普遍的关注[51,63,64,78,81,82,104~106]。但是，也有一些学者认为同源基性岩浆的分离结晶作用可以产生埃达克质岩石[107~109]，此外，还有玄武质岩浆与陆壳混染及岩浆混合成因的见解[53,110~113]。

八达岭花岗岩和涞源(王安镇)花岗岩是中国东部中生代最典型的2个具有埃达克岩特征的花岗质侵入体，钱青等[109]称八达岭岩体为高Ba-Sr花岗岩，认为是基性岩浆和地壳物质发生混合并主要发生结晶分异作用形成的；而陈斌等[52]则认为涞源花岗岩是来自富集地幔的基性岩浆与壳源花岗质岩浆混合形成的。

笔者不同意上述见解，对于八达岭花岗岩来说，因为：(1)八达岭埃达克岩的时代在127～125.8 Ma[113,114]之间，是早白垩世的，而八达岭岩体中的辉长岩时代不清。据目前的资料，邻区的辉长岩(如云蒙山和棋盘岩)年龄都较老[47,65,113,114]，如云蒙山辉长岩的锆石U-Pb年龄为151～159 Ma，为中侏罗世的[113]。(2)基性岩和中酸性岩的体积比不相称。八达岭埃达克岩约占八达岭杂岩的80%，壳源花岗岩(非埃达克岩[51])约占20%，而八达岭的辉长岩出露面积仅为1%[47]，换算成体积则还要小。因此，八达岭埃达克岩不可能是同源的基性岩浆分离结晶产生的。(3)八达岭辉长岩和花岗岩之间有很大的成分间隔。辉长岩的$w(SiO_2)$在46%～52%之间，而花岗岩的$w(SiO_2)$>70%(70%～75%)，其间只有一个样品的$w(SiO_2)$为57%。按照分离结晶或陆壳混染的规律，由基性岩→中性岩→中酸性岩，其成分应当是连续的，体积逐渐减小，而不应当出现大的成分间隔，更不应当以$w(SiO_2)$>70%的花岗岩占优势。(4)花岗岩的粘度很大，不具有很强的活动力，不仅其本身难以发生结晶分离，也很难由其它岩浆经结晶分异作用形成。(5)微量元素特征。以$w(Th)/w(Ta)$值为例，3件辉长岩平均的$w(Th)/w(Ta)=2.2$，$w(Zr)/w(Nb)=7.0$，而埃达克岩的相应比值分别为8.6和11.9，上述差异与分离结晶说是相悖的。(6)REE分布。如果辉长岩和花岗岩有成因联系，后者是前者分离结晶形成的，则斜长石的分离结晶将导致岩石的Eu/Eu^*迅速下降(在氧逸度不变的条件下)，而八达岭埃达克岩却没有负铕异常。(7)Sr-Nd同位素。八达岭基性岩的$N_i(^{87}Sr)/N_i(^{86}Sr)$和$\varepsilon(Nd,t)$值变化范围较小，在0.705 1～0.705 4和－8.2～－11.2之间($t=150$ Ma)；而埃达克岩的$N_i(^{87}Sr)/N_i(^{86}Sr)$和$\varepsilon(Nd,t)$值变化较大，分别为0.705 3～0.706 8和－11.3～－20.2($t=130$ Ma)，埃达克岩与基性岩的$N_i(^{87}Sr)/N_i(^{86}Sr)$和$\varepsilon(Nd,t)$也不具负相关关系，不支持岩浆结晶分离的模式。野外和室内证据表明，八达岭杂岩的基性岩是富集的岩石圈地幔部分熔融形成的，而花岗岩是壳熔的，其中，具有埃达克岩地球化学特征的部分花岗岩来自加厚的下地壳，其余是中上地壳熔融的[51]。

岩浆混合的解释也存在许多问题。以涞源(或王安镇)花岗岩为例，(1)像八达岭岩体一样，花岗岩占绝对优势，辉长岩的规模非常小，暗色包体的体积更加微不足道，它们怎么可能是一系列不同程度岩浆混合的产物？(2)与基性岩混合的酸性岩的端员组分是什么？陈斌等[53]只提供了基性端员的组分，却没有提供酸性端员的组分，人们如何去了解混合的过程和结果？(3)涞源花岗岩(他们所说的中酸性岩)具有adakite的地球化学特征。而陈斌等[53]认为这些都是壳源花岗岩，且不同意有地壳加厚，因此，上述壳源花岗岩的残留物不应当有石榴石，而应当是角闪石＋辉石＋斜长石的组合。而这样的组合所熔出的花岗岩应当有明显或不明显的负铕异常，HREE(Yb)应当$>2\times10^{-6}$，大体相当于他们的淡色花岗岩的REE样式。在陈斌等[53]的哈克图解中，淡色花岗岩处于混合的下部端员，可是他们却将其解释为残留岩浆。(4)他们把王安镇和大河南2个花岗岩的数据投在一个哈克图解中去探讨他们的演化和混合问题，即使二者具有同样的成因，这样处理也不合逻辑。花岗岩混合的现象是常见的，局部的混合是可能的，涞源岩体也不例外；但是说涞源花岗岩总体上是基性岩浆和酸性岩浆混合形成的就很难理解。

不论岩浆分离还是混合的解释，他们均否认花岗质岩浆与地壳加厚有关，葛小月等[66]还从实验岩石学角度否定中国东部埃达克岩来源深的认识。她们根据岩石的Al_2O_3含量较低，推断在岩浆形成过程中有斜长石滞留于残留相中，再根据较平坦的HREE分布型式而推断角闪石为主要的残留相，并据此提出中国东部高Sr低Y型火成岩的源区残留相主要为角闪石，并且含有石榴石和斜长石，推测其形成的压力接近角闪石＋斜长石＝石榴石＋熔体(±单斜辉石)反应的石榴石稳定线，大约为0.9～

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

1.3 GPa(温度为 800～1 000 ℃)，仅相当于 30～45 km，与现代华北的地壳厚度大体相当，因此，不存在地壳加厚。问题是，中国东部埃达克岩的残留相成分是以角闪石为主和含有斜长石吗？

如前所述，中国东部埃达克岩的地球化学特征与典型的 adakite 大体一致。据葛小月等[66]的统计，中国东部的 Al_2O_3 质量分数平均为 16%，只比典型的 adakite(17.1%)低约 1%。其次，据葛小月等[66]的统计，中国东部的 Sr 含量(376～1 535μg/g)和 Sr/Y 比值(27～166)并不低，大体类似于典型的 adakite(分别为 348～2 003μg/g 和 32～443)。此外，中国东部埃达克岩基本上没有负铕异常，少数为正铕异常或弱的负铕异常。Al_2O_3、Sr 含量和铕异常均与斜长石有关。如上所述，中国东部只是 Al_2O_3 略偏低，其它 2 项指标与典型的 adakite 相似。因此，只根据一个 Al_2O_3 含量上的微小差别而不考虑其它因素就推断源区有斜长石残留似乎并不充分。按照 adakite 的定义[10]，$w(Al_2O_3)>15\%$即可，有什么依据说 $w(Al_2O_3)$为 16%的就有斜长石残留，而>17%的就没有斜长石残留？

葛小月等[66]一再强调角闪石和斜长石在残留相中的作用，按照她们的推测，残留相以角闪石为主，斜长石和石榴石次之，那么，这样的源区就不可能是榴辉岩或角闪榴辉岩，而应当是含石榴石的斜长角闪岩或含斜长石的石榴角闪麻粒岩。榴辉岩正是由于缺少斜长石(斜长石全部或几乎全部进入岩浆)才导致岩浆富 Al、Sr 和无负铕异常或负铕异常不明显。如果残留相中有斜长石出现，该斜长石必定富 Ca(同时还富 Sr)，所熔出的中酸性岩浆相应的应当贫 Ca 和 Sr，可能会出现负铕异常。埃达克岩之所以亏损 HREE($w(Yb)<1.9$ μg/g)，是由于残留相石榴石包容了绝大部分 HREE 所致。角闪石的 HREE 丰度比石榴石低一个数量级[115]，角闪石如果作为主要的残留相，所熔出的中酸性岩浆 HREE 虽然更加平坦了，但是 HREE 丰度必定更高了，很有可能 $w(Yb)>1.9$ μg/g。因此，在残留相以角闪石为主，斜长石和石榴石次之的条件下熔融形成的中酸性火成岩，可能具有下述地球化学特征：富 Si 但不一定富 Al($w(Al_2O_3)$可能<15%)和 Sr($w(Sr)$可能<400 μg/g)，LREE 富集，有明显或不明显的负铕异常，HREE 具平坦的分布，HREE 丰度较高($w(Yb)>1.9$ μg/g)。具有上述地球化学特征的岩石还是葛小月等[66]描述的高 Sr 低 Y 岩石吗？

实验研究[116～119]表明，埃达克岩是在适当的温度(850～1 150 ℃)和压力(1.0～4.0 GPa)条件下由玄武质岩石部分熔融形成的。笔者认为，中国东部埃达克岩与典型埃达克岩在 K_2O 质量分数、Al_2O_3 质量分数、$Mg^{\#}$ 指数和 δSr_N 值上的区别的原因比较复杂，可能与源区组成、部分熔融程度、熔融深度、同化混染、结晶分异(AFC)以及深部(富钾)流体等对下地壳的改造有关[117,120,121]，目前还不能给出明确的解释。笔者倾向于认为主要与源区组成不同有关。许多学者认为，按照埃达克岩富 Al、Sr，贫 Y、Yb 和无负铕异常的特点，由地壳物质对幔源岩浆的混染和随后的分离结晶作用是不可能形成的[1,104,106,122～124]。在埃达克岩形成的过程中，少量或局部的混染和分离作用是可能的，但不可能成为埃达克岩成因的主体因素。埃达克岩最重要的成因意义在于埃达克岩的形成与石榴石处于平衡。

埃达克岩可以形成在多种构造环境[104,125～127]，板块消减带、底侵玄武岩和加厚下地壳的熔融都可以形成具有埃达克岩地球化学特征的中酸性岩石[1,104～106,128～130]。Rapp 等[117]的实验表明，板块俯冲和加厚陆壳的熔融都可以形成埃达克岩。

3 中国埃达克岩的形成背景

根据上面的讨论，中国埃达克岩主要反映了板块俯冲和地壳加厚 2 个不同的地球动力学背景，下面按照时间的顺序作一简要的归纳：

(1)新元古代。新元古代赣东北埃达克岩的发现[41]，揭示赣东北洋盆在 10 亿年前的一次洋内消减事件(图 2)，该事件未必与洋盆的闭合有关。

(2)早古生代。隔了 5 亿多年，在奥陶纪时中国才又有了埃达克岩的记录，如发育在古亚洲洋范围内的温都尔庙图林凯蛇绿岩中的埃达克岩(427～459 Ma[131])、白乃庙—合教地区、苏左旗白音宝力道及黑龙江多宝山的埃达克岩。秦祁昆洋盆内的埃达克岩也大多是奥陶纪的，如新藏公路 128 公里、阿尔金拉配泉、北祁连毛毛山-老虎山、白银黑石山，北秦岭灰池子、商南、吊庄岩体等。根据埃达克岩的地球化学资料，上述埃达克岩大多是板块消减作用的记录。例如北秦岭灰池子—商南一带的埃达克岩[23]，$w(Na)/w(K)>2$，属于 O 型埃达克岩，暗示奥陶纪时在北秦岭地区存在一次消减事件，虽然目

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

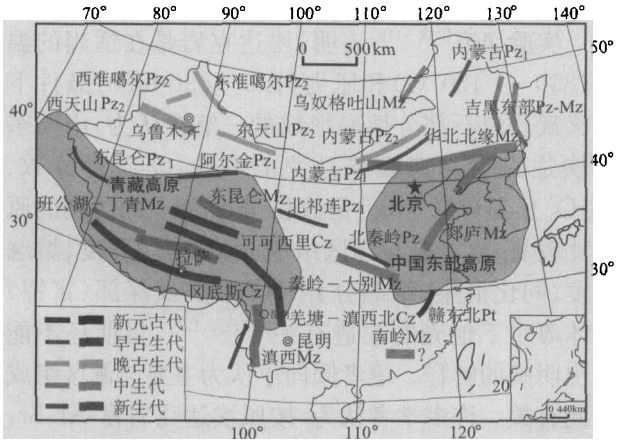


图 2 埃达克岩所指示的中国地质历史上的板块消减带和地壳加厚带概略分布图

Fig. 2 Distribution of plate subduction and crust thickening belts in Chinese geological history showed by adakites

图中细线代表消减带(未考虑俯冲方向)，粗线示地壳加厚带

前尚未发现该时代的蛇绿岩。

(3)晚古生代。古亚洲洋一直持续到早石炭世，在阿尔泰南缘和东、西准噶尔、东天山地区陆续发现的晚泥盆世—早石炭世埃达克岩(乌伦布拉克、索尔库都克、包古图、和布克赛尔、土屋、延东等)表明洋内频繁的消减事件。阿吾拉勒埃达克岩是早二叠世的，这时，古亚洲洋已经闭合，因此，它指示的是古亚洲洋闭合后的一次陆内地壳增厚事件[9,10]。

(4)三叠纪—早侏罗世埃达克岩分布较零星，如：① 吉黑东部[30,32,33]；② 华北地块北缘[45,46]；③ 北秦岭[24]；④ 郯庐断裂带；⑤ 徐淮地区；⑥ 东昆仑(青海格尔木之南 198 Ma 的纳赤台、小南川和野牛沟花岗岩[26]；⑦ 滇西北德钦的羊拉和雪鸡坪铜矿等[101]。吉黑东部位于古太平洋构造域，据张艳斌等[32,33]的资料，该区早先认为的加里东或海西期花岗岩(笔者认为其中部分具有埃达克岩的特征)经最近研究可能大多是印支—早侏罗世的，推测与板块消减作用有关。华北北缘及北秦岭的埃达克岩可能是华北地块分别与北方造山带和扬子地块碰撞导致的地壳加厚事件有关。沿郯庐断裂带分布的胶东昆嵛山和辽东—吉林张广才岭白石山(190 Ma[30])，表明郯庐断裂带不仅具走滑特征，而且还存在构造加厚作用。徐淮地区的埃达克岩靠近郯庐断裂带，但是否与该构造带有关还不清楚。格尔木之南的埃达克岩可能是东昆仑造山带东西向陆壳增生事件的记录。滇西北羊拉和雪鸡坪可能是晚三叠世的，推测与古特提斯洋盆闭合后的地壳增厚事件有关。

(5)燕山期是中国埃达克岩最发育的时代。① 在中国东部，晚侏罗世—早白垩世的埃达克岩呈面型分布，推测是大范围地壳加厚事件的产物[63,64]。② 浙闽和赣南早白垩世埃达克岩的发现非常有意义，Xiong 等[86]认为可能与地壳加厚的机制有关。③ 西藏班公湖—怒江带埃达克岩的时代从东向西变得年轻，从中侏罗世—晚白垩世。据该带蛇绿岩研究的成果，东段丁青洋盆是中侏罗世之前闭合的，至日土闭合发生在晚白垩世之前，因此，该带中侏罗世—晚白垩世的埃达克岩可能是班公湖—怒江洋盆闭合之后的陆陆碰撞加厚作用形成的。

(6)新生代的埃达克岩分布在青藏高原。埃达克岩分为 3 个带，且从南向北时代逐渐变新：如冈底斯(60～55 Ma)、北羌塘—玉龙—川西—滇中(33～44 Ma)和可可西里(7～19 Ma)，暗示青藏高原可能是从南部首先开始抬升的，早期抬升的模式可能类似现代安底斯造山带的形成，随后高原向北扩展，至 10～20 Ma，青藏高原总体抬升，导致冈底斯和可可西里该时代埃达克岩的广泛发育[94～99]。

4 几点启示

上述对中国埃达克岩形成背景的归纳只是初步的，未必合适，但是仍然可以给我们以新的启示：

(1)由埃达克岩所指示的板块消减带，可能与早先的认识一致，例如新疆的东、西准噶尔、东天山和内蒙古的中部地区，那里根据已知的岛弧火成岩(包括玻安岩)组合，已经确立了板块消减作用的存在。

(2)由埃达克岩所确定的新的岛弧带和消减事件。如赣东北和北秦岭消减带。过去只知道赣东北有蛇绿岩存在[132,133]，但是不知道是否存在洋内消减事件，是否有岛弧和岛弧在哪里。赣东北蛇绿岩中埃达克岩的发现解决了这个悬念，尽管俯冲方向仍然不清楚。北秦岭是否存在早古生代的蛇绿岩一直存在争论，虽然多数人承认洋盆最终是在早古生代末期闭合的[133]。北秦岭灰池子—商南一带 O 型埃达克岩的发现不仅表明存在洋内俯冲事件，而且也间接暗示可能存在同时代的蛇绿岩。

(3)埃达克岩指示的地壳加厚作用具有重要的意义。地质历史上的地壳加厚事件一直是构造学界关注的焦点之一，鉴别是否存在地壳加厚可以有不同的方法，其中主要是构造学的方法。而埃达克岩则提供了又一个可能是最直接和最可靠的方法，不

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

过，该方法仅限于地壳厚度较大的情况，如果地壳厚度不足 40 km，则不大会出现埃达克岩，也无从提供地壳是否加厚的证据。例如西天山阿吾拉勒早二叠世埃达克岩的发现表明古亚洲洋闭合之后在西天山存在一次地壳加厚事件，其地壳厚度至少>40 km。班公湖—怒江带中侏罗世埃达克岩的发现，也表明在班公湖—怒江洋盆闭合后沿该带出现一个地壳厚度可能超过 40 km 的造山带。西昆仑存在一条颇具规模的加里东期的活动陆缘花岗岩带，但是目前只在少数岩体中鉴别出具有类似埃达克质岩的特征(如新藏公路 128 km 花岗岩[134])，表明该活动陆缘的地壳厚度较大(30～40 km)，但可能只有局部地段地壳厚度>40 km。图 2 归纳的中国各地的地壳加厚带(至少>40 km)，有些与早先的认识一致，有些则是新提出来的。有些地区的资料较少，例如东昆仑和三江地区，地壳加厚带的延伸情况不清楚。但是，既然是构造作用导致的地壳加厚，就不会限于较小的规模，应当有向两侧扩展的可能。又如江西会昌—福建上杭地区，那里所确定的埃达克质岩可能也与地壳加厚事件有关，但是其所指示的是东西向的南岭地壳加厚还是 NNE 向的浙东—闽西带地壳加厚？目前尚不能确定。

(4)中国东部高原。现代地球上存在一个青藏高原，但是，我们有理由相信，在漫长的地质历史上不会只有一个高原。问题是我们怎样知道在地质历史上的什么时候和什么地区存在过高原？高原的范围有多大？高原在什么时候抬升？什么时候消失？许多地质学家对这个问题作过探索[56,57,135～137]，虽然仍然存在若干不确定性，但这种探索是非常可贵的。值得注意的是，埃达克岩的提出给了我们以新的启示。例如：根据埃达克岩的分布，我们可以大致勾勒出中国东部高原的轮廓(北抵辽宁，西达山西和陕西东端的华山一带，南到长江中下游，东至朝鲜半岛)，中国东部埃达克岩大多是 150～120 Ma 的，表明高原大约在中侏罗世开始整体抬升，中国东部没有发现可靠的 110 Ma 之后的埃达克岩，暗示在这之前高原已经塌陷了[63,64]。

5 存在问题

(1)查明中国埃达克岩的时空分布及其形成的环境，对于探讨中国不同时期大地构造背景无疑是非常有意义的，但前提是要有足够和可靠的资料。笔者在调研时感到的最大的问题莫过于埃达克岩的时代问题(包括侵入岩和火山岩)，其次是地球化学数据的质量。因此，本文仅仅是作了概略性的尝试，大量艰苦细致的工作还有待今后进行。

(2)埃达克岩形成的动力学背景。O 型埃达克岩大多与板块的消减作用有关已是人所共知的了，但也有产于大陆内部与玄武岩底侵或地壳加厚有关的，如西天山阿吾拉勒、辽西、安徽沙溪和江苏安基山等地产出的埃达克质岩石[9,10,42,43]。而产于大陆内部的 C 型埃达克岩是否统统归之于地壳加厚机制也是一个有争议的问题，根据目前的认识，大多数 C 型埃达克岩产于陆壳加厚条件，但是如何区分是下地壳熔融还是底侵玄武岩熔融，仍然是个未决的问题；对于 C 型埃达克岩富钾的成因也没有定论，Rapp 等考虑了可能的 3 种因素：源区富 K、部分熔融程度较低或压力更大[120]，是否还有其它因素的影响，如深部富钾流体的参与和上部地壳的混染等还不十分清楚。相关实验资料的缺乏显然大大限制了人们对该问题的认识。

(3)拆沉作用的意义。许多人尝试用拆沉作用来解释大陆上埃达克岩的形成，认为可能是拆沉的洋壳和/或下地壳沉入地幔受到加热使之部分熔融形成的。由于熔融的埃达克质岩浆在上升时穿过上覆地幔，与地幔进行物质交换，该模式还可以解释部分(C 型)埃达克岩富 Mg 的原因。笔者认为，地壳加厚和埃达克岩熔出是拆沉的前提，只有地壳加厚，才会使下地壳底部达到榴辉岩相的温压条件，而只有埃达克岩的熔出才会使榴辉岩的密度增加，使之有可能超过下伏地幔的密度，才能诱发拆沉作用。因此，究竟是先熔融后拆沉，还是先拆沉后熔融，仍然是一个需要认真研究的问题。

总之，中国埃达克岩的问题还很多，我们对埃达克岩的理解还非常肤浅，尽管还存在许多争论(详见本文的附录)，但是，已经有越来越多的人开始接受它和研究它。笔者认为，埃达克岩是 20—21 世纪之交地球科学最重要的发现之一，是花岗岩研究史上一个重要的里程碑，是岩石学领域内一颗璀璨的明珠，其深厚的地球动力学意义和潜在的经济价值将越来越为人们所认识。只要我们本着科学的态度，鼓励创新，不断探索，必然会揭示其更加深刻的含义，对推进中国地质进步和科学繁荣产生积极的影响。

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

附《国内关于埃达克岩的争论》

埃达克岩(adakite)的术语是 Defant 和 Drummond 在 1990 年提出来的[1]，10 年之后，埃达克岩的概念才被引入国内[16,73]。随后，张旗等在 2001 年把中国东部中生代具埃达克岩地球化学标志的中酸性火山岩和侵入岩定为埃达克岩(C 型)[63,64]，引起国内学术界广泛的争论。

Defant 和 Drummond 1990 年[1]提出的 adakite 的定义如下：Adakite 是一套火山岩或侵入岩，形成于岛弧地区，是≤25 Ma、热的俯冲洋壳熔融形成的；埃达克岩以 $w(SiO_2)\geqslant 56\%$、$w(Al_2O_3)\geqslant 15\%$(很少低于此值)和 MgO 通常小于 3%(极少大于 6%)为特点，Y 和重稀土元素含量低($w(Y)<18\times 10^{-6}$、$w(Yb)\leqslant 1.9\times 10^{-6}$)，Sr 含量高(很少小于 400×10^{-6})，$N(^{87}Sr)/N(^{86}Sr)<0.704\ 0$；其主要矿物组合是斜长石和角闪石，可以出现黑云母、辉石和不透明矿物。

按照上述定义，埃达克岩产于岛弧环境，因此，许多人认为，只有岛弧环境下由俯冲的 MORB 板片部分熔融形成的才是埃达克岩，并极力反对将 adakite 的概念引入中国东部[53,70,109]，其主要依据是：(1)adakite 产于岛弧环境，是俯冲的 MORB 部分熔融形成的，而中国东部非岛弧环境，不是 MORB 熔融的；(2)典型的 adakite 富钠，$w(Na_2O)/w(K_2O)$ 多大于 2；而中国东部所谓的埃达克岩富钾，Na_2O 和 K_2O 质量分数相当，$w(Na_2O)$ 略大于或小于 $w(K_2O)$；(3)典型的 adakite 具很高的 ε(Nd)(正值)和很低的 $I(Sr)$(<0.705)同位素比值，而中国东部相反，ε(Nd)多为很低的负值和有很高的 $I(Sr)$ 值(>0.704)[52,70,109]。而另一种意见认为，埃达克岩不仅限于板块消减带环境，下地壳熔融也可以形成埃达克岩[9,10,45,51~53,63,64,71,78~82,104~106,117,127]。埃达克岩的地球化学指标表明其与石榴石处于平衡，中国东部富钾且 ε(Nd)低 $I(Sr)$ 高可能与源区组成、部分熔融程度或压力有关[63,64,120,121]。有人认为中国东部埃达克岩富 K，因此不是 adakite[53,66,109]。而埃达克岩的定义中并没有规定 Na/K 的比例[1]。

一些学者指出，既然 adakite 作为一种岩石，就应当有明确的岩相学和矿物学标志(见《科学通报》2002 第 47 卷第 2 期第 150 页)，如常用的传统岩石命名原则那样，不能只根据几个地球化学指标就用埃达克岩来代替安山岩、花岗闪长岩等等常见的岩石定名。而另一些人认为，埃达克岩是以地球化学标志命名的，不同于传统的岩石命名原则。埃达克岩的地球化学特征反映的是岩浆形成的物理化学条件：富 Al 和 Sr、低 Y 和 HREE(如 Yb)表明(安山岩和花岗闪长岩等等)部分熔融时的压力较高，残留矿物中有富 Y 和 HREE 的石榴石存在，而斜长石很少或无，并不否定或替代原先安山岩或花岗闪长岩等等的命名。

许多人认为，只有岛弧环境的 adakite 才称得上 adakite，而产于非岛弧区的某些中酸性岩，即使具有 adakite 的地球化学特征，也并非埃达克岩。不应扩大埃达克岩定义的范畴。因此，中国东部具有类似埃达克岩地球化学特征的岩石不应称为埃达克岩，建议改称为高 Sr 低 Y 型岩石或高 Ba-Sr 花岗岩，以免造成混乱[53,66,109]，并强烈呼吁“回到 adakite 的原始定义上去”。另一些人则认为，虽然 Defant 等最初定义的 adakite 是形成于岛弧区，但国外早已发现 adakite 可以形成在不同的构造环境[104~106,117]。岩石命名是一种描述性的表述，不应当与其成因及其形成的构造环境联系起来，实际上，也没有任何一种岩石固定只形成在一种构造环境[137]。Defant 在 2002 年重新解释 adakite 的定义时指出：“adakite 只是一个一般意义上的术语，指的是具有 adakite 地球化学特征的那些岩石，而没有特定的构造含义[127]。”Kay 等[125]也指出，与榴辉岩矿物残留相(富石榴石和贫斜长石)平衡的任何安山质和英安质岩浆均是典型的 adakite。

许多人认为，中国东部所谓的埃达克岩不一定形成于加厚的下地壳底部，拆沉的下地壳、分离结晶、壳幔岩浆混合或 AFC 过程均能形成之[53,66,107~112,121]。而另一些人认为，按照埃达克岩富 Al、Sr，贫 Y、Yb 和无负铕异常的特点，是不可能由岩浆混合和分离结晶作用形成的[1,104,122~124,127]。

总之，国内关于埃达克岩的争论非常激烈，争论的焦点在 adakite 的定义及其形成环境上。有人建议搁置有关 adakite 术语的争论，而认真思考此类地球化学特征的中酸性岩浆岩的地球动力学意义及其所反映的中国东部中生代构造背景。埃达克的研究才刚刚开始，其本身并不成熟，许多问题还在探讨之中，因此，争论是很自然的。随着资料的积累，研究工作的深入，人们认识的提高，相信大家都会从这场争论中受益的。

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

在本文写作过程中得到南京大学陈培荣教授和陈卫锋硕士的帮助，感谢审稿人提出的修改意见，并仔细订正了文中的许多错误。本文附录系应编辑部之邀撰写的，莫宣学教授提出了很好的意见，在此一并表示衷心的感谢。

References[参考文献]:

[1] DEFANT M J, DRUMMOND M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subduction lithosphere [J]. *Nature*, 1990, 347: 662-665.

[2] DEFANT M J, XU J F, KEPEZHINSKAS P, et al. Adakites: Some variations on a theme[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 129-142.

[3] XU J F, MEI H J, YU X Y, et al. Adakites related to subduction in the northern margin of Junggar arc for the Late Paleozoic: Products of slab melting[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46: 684-687(in Chinese). [许继峰，梅厚钧，于学元，等. 准噶尔北缘晚古生代岛弧中与俯冲作用有关的adakite火山岩：消减板片部分熔融的产物[J]. 科学通报，2001，46：684-687.]

[4] LIU W, ZHAO Z Z. REE distribution patterns of late Paleozoic granitoids along Wulungu-Zhaisangbo tectonic belt, northern Xinjiang Uygur Autonomous Region[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1995, 19: 133-144(in Chinese). [刘伟，赵志忠. 新疆乌仑古—斋桑泊构造带晚古生代花岗岩类的稀土元素分布模式[J]. 大地构造与成矿学，1995，19：133-144.]

[5] LI J Y. *Researching on Paleozoic Plate Tectonics of Karamaili Area, East Junggar, Xinjiang*[D]. Beijing: Institute of Geology, Chinese Academia of Geology Sciences, 1988. 1-271(in Chinese). [李锦轶. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区古生代板块构造研究[D]. 北京：中国地质科学院地质研究所，1988. 1-271.]

[6] YU H X, LIN J F, LIU J Y, et al. Metallogenic features of the Ulunbulake porphyry copper deposit hosted in cryptoexplosion breccia pipe, Xinjiang[J]. *Geology and Procpecting*, 1998, 34(5): 8-13(in Chinese). [喻亨祥，林锦富，刘家远，等. 新疆乌伦布拉克隐爆角砾岩筒型斑岩铜矿成矿地质特征[J]. 地质与勘探，1998，34(5)：8-13.]

[7] LIAO Q L, JIANG S Y. Metallogenetic series of gold and copper related to intermediate-acid hypabyssal rocks in East Jungaer of Xinjiang[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2001, 16: 7-11(in Chinese). [廖启林，蒋少涌. 新疆东准噶尔中酸性浅成岩金、铜成矿系列[J]. 地质找矿论丛，2001，16：7-11.]

[8] LIAO Q L, LAI J Q. REE geochemistry of rocks in Lamasu copper deposit in northern Xinjiang[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2002, 17: 145-151(in Chinese). [廖启林，赖健清. 新疆北部喇嘛苏铜矿区有关岩石的稀土元素地球化学[J]. 地质找矿论丛，2002，17：145-151.]

[9] XIONG X L, ZHAO Z H, BAI Z H, et al. Adakite-type sodium-rich rocks in Awulale Mountain of west Tianshan: Significance for the vertical grown of continental crust[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46: 281-287(in Chinese). [熊小林，赵振华，白正华，等. 西天山阿吾拉勒adakite型钠质中酸性岩及地壳垂向增生[J]. 科学通报，2001，46：281-287.]

[10] XIONG X L, ZHAO Z H, BAI Z H, et al. Origin of Awulale adakitic sodium-rich rocks in western Tianshan: Constraints for Nd and Sr isotopic compositions[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2001, 17: 514-522(in Chinese). [熊小林，赵振华，白正华，等. 西天山阿吾拉勒埃达克质岩石成因：Nd和Sr同位素组成的限制[J]. 岩石学报，2001，17：514-522.]

[11] WANG Q, ZHAO Z H, BAI Z H, et al. Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basaltic rocks association in the Alataw Mountains, north Xinjiang: Interactions between slab melt and mantle peridotite and implications for crustal growth [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003 (in press). [王强，赵振华，白正华，等. 新疆阿拉套山石炭纪adakite、富Nb岛弧玄武质岩：板片熔体与地幔橄榄岩相互作用的证据[J]. 科学通报，2003，48：1342-1349.]

[12] RUI Z Y, WANG F T, LI H H, et al. Advance of the porphyry copper belt of the East Tianshan mountain, Xinjiang [J]. *Chinese Geology*, 2001, 11-16(in Chinese). [芮宗瑶，王福同，李恒海，等. 新疆东天山斑岩铜矿带的新进展[J]. 中国地质，2001，10：11-16.]

[13] CHEN W M. Discussion on hosting-rocks from Tuwu-Yandong (porphyry) copper in East Tianshan Mountains[A]. *Conference on Mineralization and Dynamic of Cu-polymetallic Deposits and new Techniques and Methods of Exploration and Prospecting in East Tianshan Mountains (Collection of Papers and Abstracts)* [C]. Beijing, China, Dec. 2001, 123-128(in Chinese). [陈文明. 论东天山土屋—延东(斑岩)铜矿的容矿岩[A]. 东天山铜多金属矿床成矿过程和成矿动力学及找矿预测新技术新方法会议(论文及摘要集)[C]. 北京，2001年12月，123-128.]

[14] CHEN B, XU B. The main characteristics and tectonic implications of two kinds of Paleozoic granitoids in Sunidzuqi, central Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1996, 12: 546-561(in Chinese). [陈斌，徐备. 内蒙古苏左旗地区古生代两类花岗岩类的基本特征和构造意义[J]. 岩石学报，1996，12：546-561.]

[15] CHEN B. Characteristics and genesis of the Bayan Bold Pluton in Southern Sonid Zuoqi, Inner Mongolia[J]. *Geological Review*, 2002, 48: 261-266(in Chinese). [陈斌. 内蒙古苏尼特左旗白音宝力道岩体特征与成因——是岛弧岩浆岩而不是埃达克岩[J]. 地质评论，2002，48：261-266.]

[16] WANG Y, ZHANG Q, QIAN Q. Adakite: Geochemical characteristics and tectonic significances[J]. *Sci Geol Sinica*, 2000, 35: 251-256(in Chinese). [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，

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

2000,35:251-256.]

[17] ZHAO C J, LI Z T. The Early Paleozoic granites of central Inner Mongolia[A]. *Contributions to the Project of Plate Tectonics in Northern China. No.* 2[C]. Shenyang, China, 1987. 80-100(in Chinese). [赵春荆,李之彤.内蒙古中部早古生代的花岗岩类[A].中国北方板块构造论文集(第2集)[C].中国沈阳,1987.80-100.]

[18] ZHAO Y Y, ZHAO G J. Geochemical characteristics of Duobaoshan copper ore field REE and its genetic model in Heilongjiang Province[J]. *Jilin Geology*, 1995, 14(2): 71-78(in Chinese). [赵元艺,赵广江.黑龙江多宝山铜矿稀土元素地球化学特征及多宝山铜矿成矿模式[J].吉林地质,1995,14(2):71-78.]

[19] XU R H, ZHANG Y Q, XIE Y W, et al. Isotopic geochemistry of plutonic rocks[A]. PAN Y S. *Geological Evolution of the Karakorum and Kunlun Mountains*[M]. Beijing: Seismological Press, 1996. 137-186.

[20] MA T Q, DENG R L, SUN H Q, et al. Geochemical characteristics and its tectonic setting of quasi-adakite from the western Alkin Mountain[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002(4):1-6(in Chinese). [马铁球,邓瑞林,孙海清,等.阿尔金山西端似埃达克岩的地球化学特征及构造背景[J].华南地质与矿产,2002(4):1-6.]

[21] WU J. *Tectonic-Lithological Assemblages Within Altyn Ophiolitic Melange Zone and Their Implications for Tectonics*[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 2001. 1-97(in Chinese). [吴俊.阿尔金蛇绿混杂岩带构造岩石组合及其大地构造意义[D].北京:中国科学院地质与地球物理研究所,2001.1-97.]

[22] WANG G Y. The characteristics of intrusive body from eastern Heishishan Hill, Baiyin area, Gansu, and its ore-bearing [J]. *Northwest Geology*, 1999, 32: 5-10(in Chinese). [王光宇.白银黑石山东部侵入岩体特征及其含矿性[J].西北地质,1999,32:5-10.]

[23] LI W P, WANG T, WANG X X. Discussion on the source of Huichizi granitoid complex pluton in Northern Qinling, Central China—Constraint on element and isotopic geochemistry [J]. *Earth Science*, 2001,26:269-278(in Chinese). [李伍平,王涛,王晓霞.北秦岭灰池子花岗质复式岩体的源岩讨论——元素-同位素地球化学制约[J].地球科学,2001,26:269-278.]

[24] ZHANG C L, LUO J L, LI M, et al. Geochemical characteristics and geological significance of Xiba granite, porphyry and porphyrite in East Qinling[J]. *Journal of Northwestern University* (Nature Science Edition), 2002, 32: 384-388(in Chinese). [张成立,罗静兰,李森,等.东秦岭西坝花岗岩体及其脉岩的地球化学特征[J].西北大学学报(自然科学版),2002,32:384-388.]

[25] JIANG W, MO X X, ZHAO C H, et al. Geochemistry of granitoid and its mafic microgranular enclave in Gangdise belt, Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1999, 15: 89-97(in Chinese). [江万,莫宣学,赵崇贺,等.青藏高原冈底斯带中段花岗岩类剪切中的镁铁质微粒包体地球化学特征[J].岩石学报,1999,15:89-97.]

[26] HARRIS N B, XU R H, LEWIS C L, et al. Isotopic geochemistry of the 1985 Tibet Geotraverse, Lhasa to Golmud [A]. CHANG C, et al. The Geological Evolution of Tibet [J]. *Phil Trans R Soc Lond*, 1988, A327:263-285.

[27] JI J Q. *Petrology and Cenozoic Lithospheric Tectonic Evolution of Tengchong-Yingjiang-Nabang Area, West Yunnan, South-West China*[D]. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, 1998. 1-88(in Chinese). [季建清.滇西南腾冲-盈江那邦地区岩石学与新生代岩石圈构造演化[D].北京:中国科学院地质与地球物理研究所,1998.1-88.]

[28] ZHANG Y Q, XIE Y W, XU R H, et al. Geochemistry of granitoid rocks[A]. PAN Y S. *Geological Evolution of the Karakorum and Kunlun Mountains*[M]. Beijing: Seismological Press, 1996. 94-136.

[29] FANG W C. *Granitoid and Mineralization in Jilin Province* [M]. Changchun: Jilin Science and Technology Publishing House, 1992. 1-271(in Chinese). [方文昌.吉林省花岗岩类及成矿作用[M].长春:吉林科学技术出版社,1992.1-271.]

[30] SUN D Y, WU F Y, LIN Q, et al. Petrogenesis of the crust-mantle interaction of early Yanshanian Baishishan pluton in Zhangguangcai Range[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17: 227-235(in Chinese). [孙德有,吴福元,林强,等.张广才岭燕山早期白石山岩体成因与壳幔相互作用[J].岩石学报,2001,17:227-235.]

[31] LIU D Z, QU S, WANG X G. The basic geological features of the Huangniling rock body[J]. *Jilin Geology*, 1994, 13(4):41-49(in Chinese). [刘大瞻,曲森,王晓功.黄泥岭岩体的基本特征[J].吉林地质,1994,13(4):41-49.]

[32] ZHANG Y B. *The Isotopic Geochronologic Frame of Granitic Magmatism in Yanbian Area*[D]. Changchun, China: College of Earth Sciences, Jilin University, 2002. 1-132(in Chinese). [张艳斌.延边地区花岗质岩浆活动的同位素地质年代学格架[D].长春:吉林大学地球科学学院,2002.1-132.]

[33] ZHANG Y B, WU F Y, LI H M, et al. Single grain zircon U-Pb ages of the Huangniling granite in Jilin Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18:475-481(in Chinese). [张艳斌,吴福元,李惠民,等.吉林黄泥岭花岗岩体的单颗粒锆石 U-Pb 年龄[J].岩石学报,2002,18:475-481.]

[34] ZHU Q W, LU F X, XIE Y H, et al. Volcanic rocks assemblages in active belt of spreading type in continental margin: Study on Mesozoic volcanic rocks around Songliao Basin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1997, 13: 551-562(in Chinese). [朱勤文,路凤香,谢意红,等.大陆边缘扩张型活动带火山岩组合——松辽盆地周边中生代火山岩研究[J].岩石学报,1997,13:551-562.]

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

[35] ZHANG J F, ZHU H C. A preliminary study on the granitic types and tectonic setting of granites in Yanbian area[J]. *Liaoning Geology*, 2000, 17(1):25-33(in Chinese). [张炯飞，祝洪臣. 延边地区花岗岩的成因类型及其形成的大地构造环境[J]. 辽宁地质，2000，17(1)：25-33.]

[36] MA J X, LI Z T, ZHANG Y P, et al. *Paleozoic Tectono-Magmatic Activity and Gold-Silver Mineralization of Central Jilin Province*[M]. Beijing: China Geological Publishing House, 1998. 1-168(in Chinese). [马俊孝，李之彤，张允平，等. 吉林中部古生代构造-岩浆活动与金银成矿作用[M]. 北京：地质出版社，1998. 1-168.]

[37] *Bureau of geology and mineral resources of Heilongjiang Province. Regional Geology of Heilongjiang Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 1-734(in Chinese). [黑龙江地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1993. 1-734.]

[38] WANG Z T, QIN K Z, ZHANG SL. *Geology and Exploration of Large Copper Deposits*[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1994(in Chinees). [王之田，秦克章，张守林. 大型铜矿地质与找矿[M]. 北京：冶金工业出版社，1994.]

[39] WANG Z T, QIN K Z. Geological-geochemical characteristics and metallogenic material sources of the Wunugetushan lower crust porphyry copper-molybdenum deposit[J]. *Mineral Deposits*, 1988, 7(4):3-15(in Chinese). [王之田，秦克章. 乌奴格吐山下壳源斑岩铜-钼矿床地质地球化学特征与成矿物质来源[J]. 矿床地质，1988，7(4)：3-15.]

[40] QIN K Z, WANG Z T. Rare earth element behaviour in the Wunugetushan Cu-Mo deposits, Inner Mongolia, and its significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1993, 67: 323-335(in Chinese). [秦克章，王之田. 内蒙古乌奴格吐山铜-钼矿床稀土元素的行为及其意义[J]. 地质学报，1993，67：323-335.]

[41] LI W X, LI X H. Adakitic granites within the NE Jiangxi ophiolites, South China: Geochemical and Nd isotopic evidence[J]. *Precambrian Research*, 2003, 112:29-44.

[42] CHEN Y X, CHEN W J. *Mesozoic Volcanic Rocks in Western Liaoning Province and Surrounding Area —Geochronology, Geochemistry and Tectonic Environment*[M]. Beijing: Seis Publ House, 1997. 1-279(in Chinese). [陈义贤，陈文寄. 辽西及邻区中生代火山岩——年代学、地球化学和构造背景[M]. 北京：地震出版社，1997. 1-279.]

[43] LI W P, LI X H, LU F X. Genesis and geological significance for the middle Jurassic high Sr and lower Y type volcanic rocks in Fuxin area of West Liaoning, northeastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17: 523-532(in Chinese). [李伍平，李献华，路凤香. 辽西中侏罗世高 Sr 低 Y 型火山岩的成因及其地质意义[J]. 岩石学报，2001，17：523-532.]

[44] TRUMBULL R B, HUA L, LEHRBERGER G, et al. Granitoid-hosted gold deposits in the Anjiayingzi district of Inner Mongolia, People's Republic of China[J]. *Econ Geol*, 1996, 91: 873-895.

[45] LIU H T, SUN S H, LIU J M et al. The Mesozoic high-Sr granitoids in the northern marginal region of North China Craton: Geochemistry and source region[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 257-274(in Chinese). [刘红涛，孙世华，刘建明，等. 华北克拉通北缘中生代高锶花岗岩类：地球化学与源区性质[J]. 岩石学报，2002，18：257-274.]

[46] LIU H T, ZHAI M G, LIU J M, et al. The Mesozoic granitoids in the northern marginal region of North China Craton: Evolution from post-collisional to anorogenic[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 433-448(in Chinese). [刘红涛，翟明国，刘建明，等. 华北克拉通北缘中生代花岗岩：从碰撞后到非造山[J]. 岩石学报，2002，18：433-448.]

[47] BAI Z M, BAO Y G, GE S. W. Latitic series of the Yanshanian tectonic cycle in Beijing region[J]. *Jour Geol and Min Res North China*, 1995, 10 (1): 51-63(in Chinese). [白志民，鲍亦冈，葛世炜. 北京燕山构造旋回安粗岩系[J]. 华北地质矿产杂志，1995，10(1)：51-63.]

[48] LI W P, LU F X, LI X H, et al. Geochemical features and origin of volcanic rocks of Diaojishan Formation in Western Hills of Beijing[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2001, 20:123-133(in Chinese). [李伍平，路凤香，李献华，等. 北京西山髫髻山组火山岩的地球化学特征与岩浆起源[J]. 岩石矿物学杂志，2001，20：123-133.]

[49] WANG Q, WANG R J, FANG J Y. Petrological characteristics and petrogenesis of intermediate-acidic rocks of Yanshan Period in Kouquan, Zhuolu County, Hebei Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 1997(2):34-42 (in Chinese). [王强，王人镜，方金云. 河北涿鹿县口前燕山期中酸性和酸性岩浆岩的岩石学特征及其成因[J]. 华南地质与矿产，1997(2)：34-42.]

[50] MIAO L C, QIU Y M, MCNAUGHTON N, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of granitoids from Dongping area, Hebei Province, China: Constraints on tectonic evolution and geodynamic setting for gold metallogeny [J]. *Ore Geology Reviews*, 2002, 19:187-204.

[51] WANG Y, ZHANG Q. Badaling granitic complexes in Beijing area: Their composition, geochemical characteristics and geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17: 533-540(in Chinese). [王焰，张旗. 八达岭花岗杂岩的组成、地球化学特征及其意义[J]. 岩石学报，2001，17：533-540.]

[52] CHAI J H, YANG H, CHANG Z S, et al. Petrological and geochemical characteristics of the Wanganzhen complex and discussion on its genesis[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19:81-92(in Chinese). [蔡剑辉，闫国翰，常兆山，等. 王安镇岩体岩石地球化学特征及成因探讨[J]. 岩石学报，2003，19：81-92.]

[53] CHEN B, ZHAI M G, SHAO J A. Petrogenesis and significance of the Mesozoic North Taihang complex: Major and trace element evidence[J]. *Science in China (Serices D)*,

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

2002, 32:896-907(in Chinese). [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)，2002，32：896-907.]

[54] WANG Q, XU J F, ZHAO Z H, et al. Geochemical characteristics and genesis of Yanshanian intrusive rocks in Fanshan, Hebei Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2002, 22: 160-168(in Chinese). [王强，许继峰，赵振华，等. 河北矾山燕山期侵入岩地球化学特征及成因[J]. 矿物学报，2002，22：160-168.]

[55] CHENG Z M, LU F X, LI C N, et al. Genesis of microgranular enclaves in Shouwangfen granodiorites, Hebei Province [J]. *Geoscience*, 2003, 17: 20-26(in Chinese). [成中梅，路凤香，李昌年，等. 河北寿王坟花岗闪长岩中暗色微粒包体的成因[J]. 现代地质，2003，17：20-26.]

[56] DENG J F, LIU H X, ZHAO H L. Yanshanian igneous rocks and orogeny model in Yanshan-Liaoning area[J]. *Geoscience*, 1996, 10:137-148(in Chinese). [邓晋福，刘厚祥，赵海玲. 燕辽地区燕山期火成岩与造山模型[J]. 现代地质，1996，10：137-148.]

[57] DENG J F, ZHAO G C, ZHAO H L, et al. Yanshanian igneous petrotectonic assemblage and orogenic-deep processes in East China[J]. *Geological Review*, 2000, 46: 41-48(in Chinese). [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，2000，46：41-48.]

[58] Bureau of geology and mineral resources of hebei province [M]. *Regional Geology of Hebei Province*. Beijing: Geol Publ House, 1989. 1-741(in Chinese). [河北省地质矿产局. 河北省北京市天津市区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1989. 1-741.]

[59] BAI Z M, BAO Y G, GE S W. Latitic series of the Yanshanian tectonic cycle in Beijing Region[J]. *Journal of Geology and Mineral Resources of North China*, 1995, 10(1): 51-63(in Chinese). [白志民，鲍亦冈，葛世炜. 北京燕山构造旋回安粗岩系[J]. 华北地质矿产杂志，1995，10(1)：51-63.]

[60] WANG J L, LI B Z, ZHOU D X. *The Geological Characteristics and Mineralization of Intermediate-Acid Rocks in Hebei Province*[M]. Beijing: Geol Publ House, 1994(in Chinese). [王季亮，李丙泽，周德星. 河北省中酸性岩体地质特征及成矿关系[M]. 北京：地质出版社，1994.]

[61] XU B L, YAN G H, XU Z B. Geochemistry and genetic implication of three series of Yanshanian granite in northern Hebei Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 1999, 15: 208-216(in Chinese). [许保良，阎国翰，徐振邦. 冀北燕山期三个系列花岗质岩石的地球化学特征及其成因意义[J]. 岩石学报，1999，15：208-216.]

[62] MA F, MU Z G, LIU Y L. Fangshan intrusion, Beijing: Constraints from trace and rare earth elements as well as Sr-isotope composition[J]. *Acta Geoscience Sinica*, 2003, 24: 105-110(in Chinese). [马芳，穆治国，刘玉琳. 北京房山侵入岩体：微量元素、稀土元素及 Sr 同位素组成对其成因的制约[J]. 地球学报，2003，24：105-110.]

[63] ZHANG Q, QIAN Q, WANG E, et al. An East China plateau in mid-late Yanshanian period: Implication from adakites [J]. *Chinese Journal of Geology*, 2001, 36:248-255(in Chinese). [张旗，钱青，王二七，等. 燕山中晚期的"中国东部高原"：埃达克岩的启示[J]. 地质科学，2001，36：248-255.]

[64] ZHANG Q, WANG Y, QIAN Q, et al. The chatacteristics and tectonic-metallogenic significances of the Mesozoic adakites in eastern China[J]. *Acta Petrol Sinica*, 2001, 17:236-244(in Chinese). [张旗，王焰，钱青，等. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报，2001，17：236-244.]

[65] LIU F S, SHI Z L. Characteristics and genesis of unit-superunits about member of Laiyuan-Badaling batholith, Hebei Province[J]. *Geoscience*, 1995, 9: 409-418(in Chinese). [刘凤山，石准立. 河北涞源—八达岭岩基段单元-超单元特征及其成因[J]. 现代地质，1995，9：409-418.]

[66] GE X Y, LI X H, CHEN Z G, et al. Geochemistry and petrogenesis of Jurassic high Sr/low Y granitoids in eastern China: Constraints on crustal thickness[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47: 474-480(in Chinese). [葛小月，李献华，陈志刚，等. 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：对中国东部地壳厚度的制约[J]. 科学通报，2002，47：474-480.]

[67] MIAO L C, FAN W M, ZHAI M G, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology of the granitoid intrusions from Jinchanggouliang-Erdaogou gold orefield and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2003, 19: 71-80(in Chinese). [苗来成，范蔚茗，翟明国，等. 金厂沟梁—二道沟金矿田内花岗岩类侵入体锆石的离子探针 U-Pb 年代学及意义[J]. 岩石学报，2003，19：71-80.]

[68] LIN J Q, TAN D J, CHI X G. *Mesozoic Granite in Jiao-Liao Peninsula*[M]. Beijing: Sci Publ House, 1992. 1-208(in Chinese). [林景仟，谭东娟，迟效国. 胶辽半岛中生代花岗岩[M]. 北京：科学出版社，1992. 1-208.]

[69] YANG Jinhui. *Age and Metallogenic Dynamics of Gold Mineralization in Jiaodong Peninsula, Eastern China: Constraints on the Interaction of Mantle/Crust and Metallogenesis/Lithospheric Evolution*[D]. Beijing, China: Institute of Geology and Geophysics, CAS, 2000. 1-133(in Chinese). [杨进辉. 胶东地区金矿床成矿时代及其成矿地球动力学背景：兼论壳幔相互作用与成岩成矿[D]. 北京：中国科学院地质与地球物理研究所，2000. 1-133.]

[70] Bureau of geology and mineral resources of shandong province. *Regional Geology of Shandong Province*[M]. Beijing: Geol Publ House, 1991. 1-721(in Chinese). [山东省地质矿产局. 山东省区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1991. 1-721.]

[71] PAN G Q, LU X C, YU H B. Petrological and geochemical characteristics of Mesozoic adakite from Northern Huaiyang and discussion on its genesis[J]. *Acta Petrologica Sinica*,

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

2001, 17:541-550(in Chinese). [潘国强，陆现彩，干航波. 北淮阳中生代 adakite 岩石地球化学特征及成因讨论[J]. 岩石学报，2001，17:541-550.]

[72] LI J Z, LIU W C, SUN S P. Petrological and geochemical features of the granitoid in Mesozoic Era in Jinzhai-Suxianshi area, Beihuaiyang[J]. *Geoscience*, 1997, 11:102-110(in Chinese). [李家振，刘文灿，孙善平. 北淮阳金寨—苏仙石地区中生代花岗岩类岩石学及地球化学特征[J]. 现代地质，1997，11:102-110.]

[73] WANG Q, XU J, WANG J, et al. The recognization of adakite-type gneisses in the North Dabie Mountains and its implication to ultrahigh pressure metamorphic geology[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45:1017-1024(in Chinese). [王强，许继锋，王建新，等. 北大别山 adakite 型灰色片麻岩的确定及其与超高压变质作用的关系[J]. 科学通报，2000，15:1017-1024.]

[74] WANG Q, XU J F, ZHAO Z H, et al. The petrogenesis and geodynamic significances of heavy rare earth element (HREE)-depleted granitoids during Yanshan period in the Dabie Mountains[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17:551-564(in Chinese). [王强，许继锋，赵振华，等. 大别山燕山期亏损重稀土元素花岗岩类的成因及动力学意义[J]. 岩石学报，2001，17:551-564.]

[75] MA C Q, YANG K G, TANG Z H. *Magma-Dynamics of Granitoids — Theory, Method and a Case Study of the Eastern Hubei Granitoids*[M]. Wuhan: Press Chinese University of Geosciences, 1994. 1-260(in Chinese). [马昌前，杨坤光，唐仲华. 花岗岩类岩浆动力学——理论方法及鄂东花岗岩类例析[M]. 武汉：中国地质大学出版社，1994. 1-260.]

[76] MA C Q, YANG K G, XU C H. Mesozoic potassic magmatism in the Dabie Mountains: Implication for exhumation of ultrahigh-pressure metamorphic terranes[J]. *Acta Petrol Sinica*, 1999, 15: 379-395(in Chinese). [马昌前，杨坤光，许长海. 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[J]. 岩石学报，1999，15:379-395.]

[77] MAO J R, SU Y X, CHEN S Y. *Felsic Intrusions and Mineralization in the Middle and Lower Part of Yangtze River*[M]. Beijing: Geol Publ House, 1990. 1-191(in Chinese). [毛建仁，苏郁香，陈三元. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿[M]. 北京：地质出版社，1990. 1-191.]

[78] WANG Q, ZHAO Z H, XIONG X L, et al. Melting of the underplating basaltic lower crust: Evidence from the Shaxi adakitic sodic quartz diorite-porphyrites, Anhui Province, China[J]. *Geochimica*, 2001, 30:353-362(in Chinese). [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 adakite 质富钠石英闪长玢岩的证据[J]. 地球化学，2001，30:353-362.]

[79] WANG Q, ZHAO Z H, XU J F, et al. Petrogenesis and metallogenesis of the Yanshanian adakite-like rocks in the Eastern Yangtze Block[J]. *Science in China (Series D)*, 2003, 46(Suppl):164-176(in Chinese). [王强，赵振华，许继峰，等. 扬子地块东部燕山期埃达克质(adakite-like)岩与成矿[J]. 中国科学(D)，2003，46(增刊):164-176.]

[80] WANG Y L, ZHANG Q, WANG Y. Geochemical characteristics and geodynamic significance of volcanic rocks in Ningwu area, Jiangsu Province, eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17(4):565-575(in Chinese). [王元龙，张旗，王焰. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义[J]. 岩石学报，2001，17(4):565-575.]

[81] XU J F, WANG Q, XU Y G, et al. Geochemistry of Anjishan intermediate-acid intrusive rocks in Ningzhen area: Constraint to generation of adakite-like magma[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17: 576-584(in Chinese). [许继峰，王强，徐义刚，等. 宁镇地区中生代安基山中酸性侵入岩的地球化学：亏损重稀土和钇的岩浆产生的限制[J]. 岩石学报，2001，17:576-584.]

[82] XU J F, SHINJO R, DEFANT M J, et al. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust [J]? *Geology*, 2002, 30: 1111-1114.

[83] FAN H R, XIE Y H, WANG Y L. Petrological and geochemical characteristic and genesis of the Huashan granitic batholith, western Henan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 1994, 13:19-32(in Chinese). [范宏瑞，谢奕汉，王英兰. 豫西花山花岗岩基岩石学和地球化学特征及其成因[J]. 岩石矿物学杂志，1994，13:19-32.]

[84] LUO M J, LI S M, LU X X, et al. *Metallogenesis and Deposit Series of Main Mineral Resources of Henan Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 1-355(in Chinese). [罗铭玖，黎世美，卢欣祥，等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床系列[M]. 北京：地质出版社，2000. 1-355.]

[85] Bureau of geology and mineral resources of Shanxi Province. *Regional Geology of Shanxi Province*[M]. Beijing: Geol Publ House, 1989. 1-780(in Chinese). [山西省地质矿产局. 山西省区域地质志[M]. 北京：地质出版社，1989. 1-780.]

[86] XIONG X L, LI X H, XU J F, et al. Extremely high-Na magmas derived from alkali-rich basaltic underplate: The Zhantang andesites in the Huichang basin, SE China[J]. *Geochemical Journal*, 2003, 37:233-252.

[87] ZHANG D Q, YU H W, YAN S H, et al. Geochemistry of Mesozoic magmatism in the Zijinshan Region and implication on regional tectonic inversion[J]. *Geological Review*, 2001, 47:608-616(in Chinese). [张德全，佘宏全，闫升好，等. 福建紫金山地区中生代构造环境转换的岩浆岩地球化学证据[J]. 地质论评，2001，47:608-616.]

[88] MAO J R, TAO K Y, LI J Y, et al. Geochronology and geochemical characteristics in late Mesozoic Sifang pluton, southwestern Fujian, and their significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18:449-456(in Chinese). [毛建仁，陶奎元，李寄禺，等. 闽西南晚中生代四方岩体同位素年代

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

学、地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报，2002，18：449-458.]

[89] ZHOU J Y, CUI B-F, CHEN H M, et al. *Metallogenic Regularities and Prognosis of Copper and Tin Deposits on the Area of Hongshan-Xikengjing, South of Jiangxi Province*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000. 1-195 (in Chinese). [周济元，崔炳芳，陈宏明，等. 赣南红山—西坑迳地区铜锡矿地质及预测[M]. 北京：地质出版社，2000. 1-195.]

[90] LI G M. Petrologic features and genesis of Cenozoic volcanic rocks, Qiangtang area, northern Tibetan Plateau[J]. *Geology-Geochemistry*, 2000, 28(2): 38-43(in Chinese). [李光明. 藏北羌塘地区新生代火山岩岩石特征及其成因探讨[J]. 地质地球化学，2000，28(2)：38-43.]

[91] TAN F W, PAN G T, XU Q. The uplift of Qinghai-Xizang Plateau and geochemical characteristics of Cenozoic volcanic rocks from the center of Qiangtang, Xizang[J]. *Acta Petrological et Mineralogica*, 2000, 19: 121-130(in Chinese). [谭富文，潘桂棠，徐强. 羌塘腹地新生代火山岩的地球化学特征与青藏高原隆升[J]. 岩石矿物学杂志，2000，19：121-130.]

[92] LAI S C, LIU C Y. Enriched upper mantle and eclogitic lower crust in north Qiangtang, Qinghai-XizangPlateau: Petrological and geochemical evidence from the Cenozoic volcanic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2001, 17: 459-468 (in Chinese). [赖绍聪，刘池阳. 青藏高原北羌塘榴辉岩质下地壳及富集型地幔源区——来自新生代火山岩的岩石地球化学证据[J]. 岩石学报，2001，17：459-468.]

[93] BAI Y S, LI L, TANG C Y. Characteristics and tectonic setting of Geladandong granitoids from the source of Yangtze River[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002(4): 7-12(in Chinese). [白云山，李莉，汤朝阳. 长江源格拉丹东花岗岩体的基本特征及其构造属性[J]. 华南地质与矿产，2002(4)：7-12.]

[94] TURNER S, ARNAUD N, LIU J, et al. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts[J]. *J Petrology*, 1993, 37: 45-71.

[95] DENG W M. *Cenozoic Intraplate Volcanic Rocks in the Northern Qinghai-Xizang Plateau*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998. 179(in Chinese). [邓万明. 青藏高原北部新生代板内火山岩[M]. 北京：地质出版社，1998. 179.]

[96] ZHENG X S, BIAN Q T, ZHENG J K. On the Cenozoic volcanic rocks in Hoh Xil district, Qinghai Province[J]. *Acta Petrol Sinica*, 1996, 12: 530-545(in Chinese). [郑祥身，边千韬，郑健康. 青海可可西里地区新生代火山岩研究[J]. 岩石学报，1996，12：530-545.]

[97] QU X M, HOU Z Q, HUANG W. Is Gangdese porphyry copper belt the second "Yulong" copper belt[J]? *Mineral Deposits*, 2001, 20: 355-366(in Chinese). [曲晓明，侯增谦，黄卫. 冈底斯斑岩铜矿(化)带：西藏第二条"玉龙"铜矿带[J]? 矿床地质，2001，20：355-366.]

[98] HOU Z Q, MO X X, GAO Y F, et al. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: Case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in northern Chile [J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22: 1-12(in Chinese). [侯增谦，莫宣学，高永丰，等. 埃达克岩：斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. 矿床地质，2003，22：1-12.]

[99] CHUNG S L, LIU D Y, JI J Q, et al. Adakites from continental collision zones: Melting of thickened lower crust beneath southern Tibet[J]. *Geology*, (in press).

[100] ZHANG Y Q, XIE Y W, QIU H N, et al. Shoshonitic series: Geochemical characteristics of elements for ore bearing porphyry from Yulong copper ore belt in eastern Tibet[J]. *Earth Science--Journal of China University of Geosciences*, 1998, 23: 557-561(in Chinese). [张玉泉，谢应雯，邱华宁，等. 钾玄岩系列：藏东玉龙铜矿带含矿斑岩元素地球化学特征[J]. 地球科学，1998，23：557-561.]

[101] SHENTU BAOYONG. Geochemical of REE from the granitoids in eastern Tibet[J]. *Tethyan Geology*, 1995(19): 90-105(in Chinese). [申屠保涌. 藏东花岗岩类稀土元素地球化学特征[J]. 特提斯地质，1995(19)：90-105.]

[102] LI L Z, YANG S C, KANG B H. Geologic features and ore content of porphyry group in the Himalayan Epoch in Xihanping-Mofancun, Yanyuan [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 1995, 15: 283-293(in Chinese). [李立主，杨仕长，康本和. 盐源县西范坪—模范村喜马拉雅期斑岩群地质特征及找矿前景探讨[J]. 四川地质学报，1995，15：283-293.]

[103] BI X W, HU R Z, YE Z J, et al. Relation between A-type granites and copper mineralization as exemplified by the Machangqing Cu deposit[J]. *Science in China (Series D)*, 1999, 29: 389-495(in Chinese). [毕献武，胡瑞忠，叶造军，等. A型花岗岩类与铜成矿关系研究——以马厂箐铜矿为例[J]. 中国科学(D)，1999，29：389-495.]

[104] ATHERTON M P, PETFORD N. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust[J]. *Nature*, 1993, 362: 144-146.

[105] MUIR R J, WEAVER S D, BRADSHAW J D, et al. The Cretaceous Separation Point batholith, New Zealand: Granitoid magmas formed by melting of mafic lithosphere[J]. *J Geol Soc London*, 1995, 152: 689-701.

[106] PETFORD N, ALTHOTON M P. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: The Cordillera Blanca Batholith, Peru[J]. *J Petrol*, 1996, 37: 1491-1521.

[107] CASTILLO P R, JANNEY P E, SOLIDUM R U. Petrology and geochemistry of Camiguin island, southern Philippines: Insights to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1999, 134: 33-51.

[108] CASTILLO P R. The origin of some of the adakite-like and

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

Nb-enriched lavas in southern Philippines[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 143-151.

[109] QIAN Q, CHUNG S L, LEE T Y, et al. Geochemical characteristics and petrogenesis of the Badaling high Ba-Sr granitoids: A comparison of igneous rocks from North China and the Dabie-Sulu Orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 275-292(in Chinese). [钱青，钟孙霖，李通艺，等. 八达岭基性岩和高 Ba-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: 275-292.]

[110] FEELEY T C, HACKER M D. Intracrustal derivation of Na-rich andesitic and dacitic magmas: An example from Volcano Olague, Andean Central Volcanic Zone[J]. *The Journal of Geology*, 1995, 103:213-225.

[111] MA C, LI Z, EHLERS C, et al. A post-collisional magmatic plumbing system: Mesozoic granitoid plutons from the Dabieshan high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic zone, east-central China[J]. *Lithos*, 1998, 45: 431-456.

[112] CHEN B, JAHN B M, WEI C J. Petrogenesis of Mesozoic granitoids in the Dabie UHP complex, Central China: Trace element and Nd-Sr isotope evidence[J]. *Lithos*, 2002, 60: 67-88.

[113] DAVIS G A, QIAN X, ZHENG Y, et al. Mesozoic deformation and plutonism in the Yunmeng Shan: A Chinese metamorphic core complex north of Beijing, China[A]. YIN A, HARRISON T M. *The Tectonics Evolution Asia*[M]. London: Cambridge University Press, 1996. 253-280.

[114] DAVIS G A, ZHENG Y D, WANG C, et al. Mesozoic tectonics evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China [A]. HENDRIX M S, DAVIS G A. *Paleozoic and Mesozoic Tectonics of Central Asia: From Continental Assembly to Intracontinental Deformation*[M]. Boulder, Colorado: Geological Society of America, 2001. 171-197.

[115] GREEN T. H. Experimental studies of trace-element partitioning applicable to igneous petrogenesis-Sedona 16 years later[J]. *Chem Geol*, 1984, 117: 1-36.

[116] RAPP R P, WATSON E B, MILLER C F. Partial melting of amphibolite/ eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites[J]. *Precambrian Research*, 1991, 51: 1-25.

[117] RAPP R P, WATSON E B. Dehydration melting of metabasalt at 8～32 kbar: Implications for continental growth and crust-mantle recycling[J]. *J Petrol*, 1995, 36: 891-931.

[118] 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]. *Chem Geol*, 1999, 160:335-356.

[119] 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.

[120] RAPP R P, XIAO L, SHIMIZU N. Experimental constraints on the origin of potassium-rich adakites in eastern China[A]. *Acta Petrologica Sinica*, 2002, 18: 293-302.

[121] WU F Y, GE W C, SUN D Y. The definition, discrimination of adakites and their geological role[A]. XIAO Q H, DENG J F, MA D Q, et al. *The Ways of Investigation on Granitoids* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002. 172-191(in Chinese). [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，邓晋福，马大铨，等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京：地质出版社，2002. 172-191.]

[122] PEACOCK S M, RUSHMER T, THOMPSON A B. Partial melting of subducting oceanic crust[J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1994, 121: 227-244.

[123] STERN C R, KILLIAN R. Role of the subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites fom the Andean Austral volcanic zone[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1996, 123:263-281.

[124] SAJONA F G, MAURY R C, PUBELLIER M, et al. Magmatic source enrichment by slab-derived melts in a young post-collision setting, central Mindanao (Philippines)[J]. *Lithos*, 2000, 54: 173-206.

[125] KAY S M, MPODOZIS C. Central Andean ore deposits linker to evolving shallow subduction systems and thickening crust[J]. *GSA Today*, 2001, 4-9.

[126] OYARZUN R, MARQUEZ A, et al. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism[J]. *Mineralium Deposita*, 2001, 36: 794-798.

[127] DEFANT M J. Reply for comment by R. Conner on the "Evidence suggests slab melting in arc magmas" by M. Defant and P. Kepezhinskas (*EOS*, 2001, 82: 65, 68-69)[J]. *EOS*, 2002, 66:256-257.

[128] GROMET L P, SILVER L T. REE variations across the Peninsula Ranges Batholith: Implications for batholithic petrogenesis and crustal growth in magmatic arcs[J]. *J Petrol*, 1987, 28: 75-125.

[129] MARTIN H. Adakitic magmas: Modern analogues of Archean granitoids[J]. *Lithos*, 1999, 46: 411-429.

[130] SHEPPARD S, GRIFFIN T J, TYLER I M, et al. High- and low-K granites and adakites at a Paleoproterozoic plate boundary in northwestern Australia[J]. *J Geol Soc London*, 2001, 158: 547-560.

[131] JIAN P, LIU D Y, ZHANG Q, et al. SHRIMP dating of ophiolite and leucocratic rocks within ophiolite: An overview [J]. *Earth Science Frontiers*, 2003, 10: 439-456(in Chinese). [简平，刘敦一，张旗，等. 蛇绿岩及蛇绿岩中浅色岩的 SHRIMP U-Pb 测年[J]. 地学前缘，2003，10：439-456.]

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

[132] ZHOU Guoqing. The discovery and significance of the Northeastern Jiangxi Province Ophiolite(NEJXO), its metamorphic peridotite and associated high-temperature-high-pressure metamorphic rocks[J]. *J SE Asian Earth Sci*, 1989, 3:237-247.

[133] ZHANG Q, ZHOU G Q. *Ophiolites of China*[M]. Beijing: Science Press, 2001(in Chinese). [张旗，周国庆. 中国蛇绿岩. 北京：科学出版社，2001.]

[134] REN J S, CHEN T Y, NIU B G, et al. *Tectonic Evolution of the Continental Lithosphere and Metallogeny in Eastern China and Adjacent Areas*[M]. Beijing: Science Press, 1990. 1-205(in Chinese). [任纪舜，陈廷愚，牛宝贵，等. 中国东部大陆岩石圈的构造演化与成矿[M]. 北京：科学出版社，1990. 1-205.]

[135] REN J S. *The Tectonic Map of China and Neighbour Area*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 1-50(in Chinese). [任纪舜. 中国及邻区大地构造图[M]. 北京：地质出版社，1999. 1-50.]

[136] DONG S W, WU X H, WU H Z, et al. On tectonic seesawing of the East Asia continent—Global implication of the Yanshanian Mountain[J]. *Geological Review*, 2000, 46: 7-13(in Chinese). [董树文，吴锡浩，吴珍汉，等. 论东亚大陆的构造翘变——燕山运动的全球意义[J]. 地质论评，2000, 46: 7-13.]

[137] ZHANG Q, WANG Y, WANG Y L. On the relationship of the term adakite and its tectonic setting[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2003, 27: 101-108(in Chinese). [张旗，王焰，王元龙. 埃达克岩与构造环境[J]. 大地构造与成矿学，2003, 27:101-108.]

ON THE SPACE-TIME DISTRIBUTION AND GEODYNAMIC ENVIRONMENTS OF ADAKITES IN CHINA ANNEX: CONTROVERSIES OVER DIFFERING OPINIONS FOR ADAKITES IN CHINA

ZHANG Qi[1], WANG Yan[2], LIU Hongtao[1], WANG Yuanlong[1], LI Zhitong[3]

(1. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029, *China*;
2. *Department of Earth Sciences, The University of Hong Kong, Hong Kong, China*;
3 *Shenyang Institute of Geological and Mineral Resources, Shenyang* 110032, *China*)

Abstract: Adakites occur widely in most area of China except for Guangdong, Guangxi, Hunan and Guizhou Provinces, and concentrate mainly on the Paleo-Asian orogenic belt, east of Jinlin and Heilongjiang and east China, as well as on the Qin-Qi-Kun orogenic belt, Neo-Tethyan orogenic belt and Tibet Plateau, but sporadically in south China. The oldest adakite (about 1 000 Ma) in China occurs associated with ophiolite in NE Jiangxi, while the youngest adakite (60～10 Ma) in China is the Tertiary adakite in Tibet Plateau. All the adakites in China can be divided into two groups: one is O-type adakite, the other is C-type adakite, which are formed by plate subduction and crust thickening, respectively. It is also discussed in the paper that the events of subduction and continental crust thickening in different geological ages and their geodynamic implications which are indexed by the adakites.

Key words: adakite; distribution; age; subduction; crust thickening; geodynamic environment

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