

A型花岗岩的岩石学亚类及其物质来源

许保良 阎国翰 张 臣

(北京大学地质学系,北京,100871)

李之彤

何中甫

(沈阳地质矿产研究所,沈阳,110032)

(北京大学地质学系,北京,100871)

摘 要 评述和总结了国内外 A 型花岗岩的岩石学特征,指出目前被划归为这类的岩石至少包括非造山和造山两种环境的 7 种类型(或组合),即:环状杂岩体中的碱性及准碱-准铝质岩类;斜长岩-微纹二长岩-紫苏花岗岩和钾质(环斑)花岗岩类;层状杂岩体中的酸性岩类;正长岩-花岗岩类;二长-正长花岗岩类;碱长-碱性花岗岩类;碱钙性花岗岩类。认为这些岩石的差异本质上反映出它们物质来源的多样性,亏损地幔、原始地幔、富集地幔、壳-幔和地壳物质是这些岩石的潜在源岩。

关键词 A 型花岗岩 岩石学类型 物质来源

CLC P58, P59

A 型花岗岩是指出现于非造山环境,具有碱性、无水特征的花岗质岩石^[1]。它们出现于包括中国、加拿大、澳大利亚、新西兰、美国、奥斯陆、格陵兰、前苏联、蒙古、南美洲、非洲、欧洲在内的世界各地;形成于元古代、古生代、中生代、新生代等不同时期;研究内容涉及岩类学、造岩矿物学、地球化学、岩石成因学、构造背景、地壳增生以及地球动力学等,是近 20 年来结晶岩石学乃至地质学研究的热点课题。

值得注意的是:由于对术语理解的不同以及确定碱性标准的差异,也由于研究中存在单纯强调构造含义和/或使用 Whalen 和 Pearce^[2~3]地球化学方法的倾向,致使目前所限定的 A 型花岗岩与原来的概念有很大不同。它们在岩类学上不仅包含碱性岩类,还被扩大到碱钙性、准碱-准铝质、微过铝质等多种类型,或者说几乎包容了除 I、S 型以外的各种花岗岩;在构造含义方面也从非造山环境延伸到造山期后环境。对此,有人提出 A 型花岗岩是否构成独立类型的质疑,有人建议取消这一术语,也有人在接受这些概念的同时,开展了亚类划分的研究^[4~10]。

本文拟就 A 型花岗岩的岩石学类型及其物质来源问题进行评述和讨论。文中的岩石学名称采用国际地质科学联合会 1989 年建议的 QAP 实际矿物分类方案。名称前贯以“碱

收稿日期:1998-05-08 修改稿收到日期:1998-06-08

作者简介:许保良,男,1953 年生,教授,博士生导师,中国地质学会岩石专业委员会副秘书长,从事岩石学教学和研究工作。

本研究系中国教育部博士点基金资助课题(编号:9500104)。

性'者是指含有岩浆期的霓石、霓辉石、亚铁钠闪石、钠闪石等矿物的过碱性岩石,它们也常常显示出 $x(\text{Na} + \text{K}) / x(\text{Al}) > 1$ 的化学特征。碱长岩类则是指以碱性长石为主、不具有上述特点的高碱质岩石。

1 非造山 A 型花岗岩类

泛指出现于大陆内部地台、地盾、陆壳抬升、陆内裂谷、板内拉张和热点——地幔柱等构造区的花岗岩类。奥斯陆二叠纪、马拉维中生代^[11]、科西嘉二叠纪^[12]和攀西古生代花岗岩^[13]形成于裂谷环境。南非元古代和尼日利亚—尼日尔岩中生代 A 型花岗岩出现于陆内地台或抬升区,后者可能与地幔柱作用有关^[14~17]。北美东北部和冈瓦纳古陆岩石的出现分别与大西洋的开裂和冈瓦纳古陆解体密切相关^[18~20]。南美东部地区中生代碱性岩出露于马里斯卡拉、巴拉圭、贝拉丝科、亚马逊、里约热内卢、戈亚斯等地,成三个三连点态势分布,有可能是地幔柱作用的结果^[21]。遍布欧亚和北美大陆的元古代环斑花岗岩与初生裂谷作用关系密切^[22~26]。它们是该类岩石的代表,并可以被进一步划分为四种类型。

1.1 亚类:碱性及伴生的准碱~准铝质 A 型花岗岩类

奥斯陆、马拉维、科西嘉、攀西、尼日利亚—尼日尔、北美东北部、南美东部以及燕山地区出露有这类岩石^[2, 11~13, 15~17, 21, 27]。它们主要以环状、类环状杂岩形式产出,多与火山岩伴生,显示出高定位、超浅成的特点。岩石类型主要是碱长或碱性正长岩~碱性石英正长岩~碱性花岗岩,可有黑云母花岗岩与其伴生,分别构成碱性和准碱~准铝两个系列(图 1)。这些岩石中普遍发育有文象结构、填间结构、斑状结构和晶洞构造;存在岩浆期的钠钙质~钠质角闪石、霓辉石~霓石和富铁黑云母、铁橄榄石,构成标志矿物。杂岩体中的碱性与非碱性花岗岩的比例变化很大,如尼日尔岩区以碱性花岗岩为主,尼日利亚岩区中黑云母花岗岩则占统治地位。

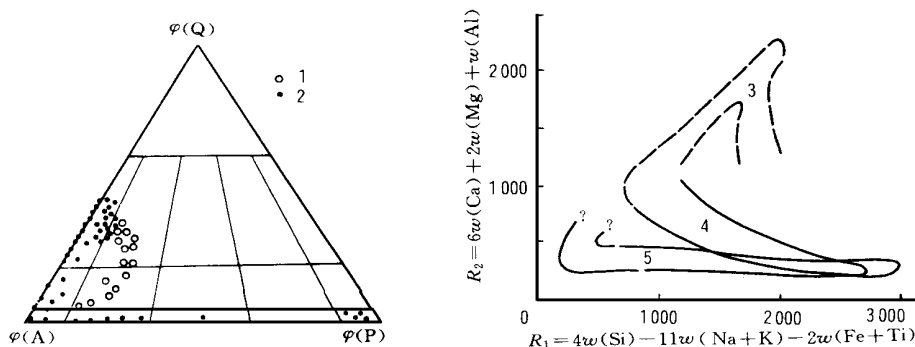


图 1 尼日利亚 A 型花岗岩类的 QAP 实际矿物分类图

(资料引自 Bowden, 1984)

Fig. 1 Classification diagram of QAP modal minerals of A-type granites from Nigeria

1-碱性花岗岩类;2-伴生的准碱~准铝花岗岩类;3-火山岩类;4-准碱~准铝花岗岩趋势;
5-碱性花岗岩趋势;奥斯陆、科西嘉和燕山等地 A 型花岗岩也具有相似的岩石组合与变异趋势

奥斯陆岩区的岩石类型~成因关系模式是钙歪碱白榴正长岩 二长岩 碱性正长岩

碱性花岗岩,同时存在一个碱性正长岩 歪霞正长岩亚系;尼日利亚—尼日尔岩区一个系列是辉长岩 正长岩 铁橄榄石花岗岩 绿钠闪石花岗岩 绿钠闪石黑云母花岗岩 黑云母花岗岩,另一个是橄榄辉长岩 正长岩 铁橄榄石花岗岩 亚铁钠闪石花岗岩 亚铁钠闪石钠闪石花岗岩 钠闪石花岗岩。此外,在橄榄辉长岩与铁橄榄石花岗岩之间还可形成拉长-中长斜长岩;燕山地区仅出现由碱长正长岩(碱长粗面岩) 碱性石英正长岩(碱流岩、碱性流纹质熔结凝灰岩) 碱性花岗岩构成的碱性系列。博南根据科西嘉、尼日利亚、尼日尔等地资料提出的综合模型是二长岩和正长岩 绿钠闪石花岗岩 蓝色闪石花岗岩 钠铁闪石花岗岩 钠铁闪石霓石花岗岩 钠闪石花岗岩,由二长岩和正长岩演化出的另一个可能的分支是黑云母超熔花岗岩 黑云母透熔花岗岩 黑云母低熔花岗岩。

1.2 亚类 :层状杂岩体中的花岗岩类

是指出现于地台、地盾等稳定构造环境,发育于层状基性侵入杂岩中的花岗岩类,南非布什维尔德和格陵兰斯凯尔加德等杂岩中的碱长质花岗岩(图2)是这类岩石的代表^[14]。一般讲,这类岩石的主体是层状超镁铁质、镁铁质岩石,晚期出现斜长花岗岩乃至碱长花岗岩类。

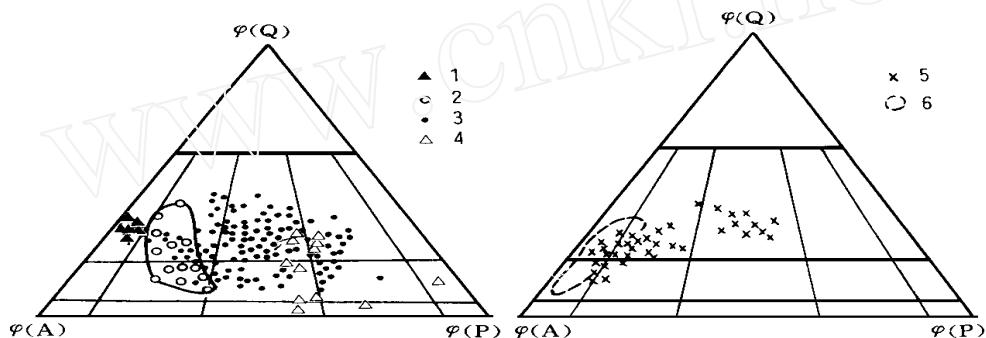


图2 一些非造山A型花岗岩实际矿物的QAP分类图

(据文献14, 22~26, 29, 30 资料总结)

Fig. 2 Classification diagram of QAP modal minerals of some anorogenic granites

1-布什维尔德层状杂岩体中的花岗岩;2-燕山钾质(环斑)花岗岩;3-北美钾质(环斑)花岗岩;
4-加拿大斜长岩-微纹二长岩-紫苏花岗岩-花岗岩;5-印度泛非花岗岩;6-印度泛非正长岩

1.3 亚类 :斜长岩-微纹二长岩-紫苏花岗岩和钾质(环斑)花岗岩类

1 000~1 800 Ma 的中新元古代全球可能曾处于与初生裂谷形成有关的拉张状态,形成了该时期特有的斜长岩-微纹二长岩-紫苏花岗岩和钾质(环斑)花岗岩等类岩石,它们广泛分布于挪威、瑞典、芬兰、波兰北部、拉脱维亚、乌克兰、伏尔加、西伯利亚、加拿大、美国和中国燕山等地(图3),并被作为A型花岗岩考虑^[22~26]。这类岩石的基本特征是:在QAP实际矿物图解的分布范围较大(图2);实际的花岗质岩石中既可以含有角闪石、黑云母,也可以是白云母、石榴石乃至堇青石;环斑结构可以发育或不发育,从而表现出性质与特点多样性。即使如此,这类岩石普遍显示出高钾的性质,同时或具有板内花岗岩特点,或具备A型花岗岩的化学特征,或明显有别于钙碱性与过铝质花岗岩类,或兼而有之。上述诸多特点反映出这类岩石与A型花岗岩的亲缘关系和明显的独特性,故将其单独划出。文献中亦有人将其称之为钾质A型花岗岩。

1.4 类型 :正长岩-花岗岩类

以广泛出露于印度半岛西南部和东部、斯里兰卡、马达加斯加、南极洲东部、澳大利亚西

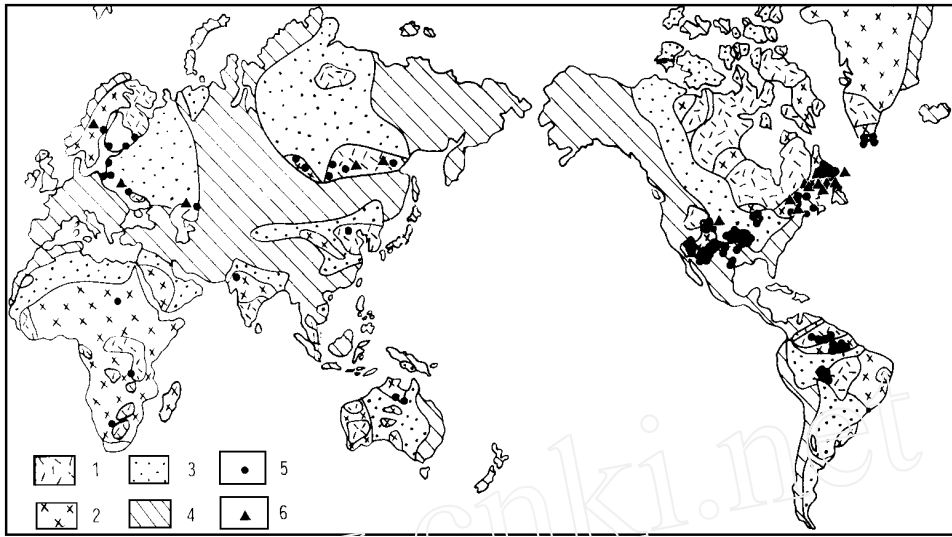


图 3 一些元古代钾质(环斑)花岗岩和斜长岩分布图

(引自 Ramo 等,1993)

Fig. 3 Distributed map of some potassic (rapakivi) granites and andorthosites

1-太古宙;2-元古宙;3-前寒武纪地区周围的地台区;4-显生宙;
5-环斑花岗岩及伴生花岗质岩石;6-斜长岩及伴生的镁铁质岩石

部,同位素年龄在 750 ~ 550 Ma 的长英质岩石为代表(图 4)。它们以及围岩普遍受到麻粒岩相到角闪岩相变质作用,被认为是东冈瓦纳超级古陆解体的热事件的产物^[19~20,28~31]。

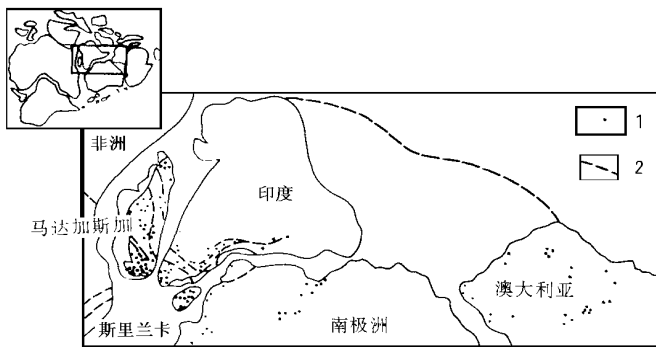


图 4 复原后的冈瓦纳超级古陆及其长英质岩石分布图

(引自 Rajesh 等,1996)

Fig. 4 Map of reconstruction of East Gondwana and distribution of felsic rocks

1-泛非长英质岩体的出露位置;2-主要构造线

有关岩体通常呈圆形、椭圆形或其它近等轴状形态,出露面积不大,印度西南部的岩体一般在 20 ~ 60 km²,东南极洲的为 50 ~ 150 km²。此类岩石的岩石组合和特征有待深入研究,现有的资料表明它们主要由二长-正长-碱长花岗岩为主,并有可能进一步划分为正长岩-碱长花岗岩、二长花岗岩-碱长花岗岩等若干组合(参见图 2)。在马达加斯加,泛非长英质岩石存在碱长花岗岩、正长花岗岩和正长岩三种组合

(参见图 5)。在印度西南部还出露有含钠闪石、霓石和霓辉石的碱性正长岩-花岗岩组合,

东部的 Eastern Ghat 亦存在有由霞石正长岩、正长岩、碱性石英正长岩和碱性花岗岩构成的碱性系列;在东南极洲 MacRobertson Land 和 Princess Elizabeth Land 出现有含石榴石、白云母或二云母的过铝花岗岩类。这些情况表明该亚类的岩石类型范围较大,需进一步研究。

2 造山期后 A 型花岗岩类

指出于造山期后或活动大陆边缘两种构造环境中的高碱质花岗岩类,总体特点是经常与造山期的钙碱性和富铝、过铝花岗岩伴生并形成其后。如:马里 Iforas 造山期后 A 型花岗岩与泛非碰撞前英云闪长岩($> 600 \text{ Ma}$)、构造后期花岗闪长岩、斑状和细粒二长花岗岩($590 \text{ Ma} \pm$)伴生^[32]。阿拉伯地盾造山(俯冲)期岩石包括钙碱性辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、石英二长闪长岩、英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩,并可被归并于英云闪长岩和花岗闪长岩两种岩套(图 5)^[33~34]。阿拉斯加同碰撞期岩石为石英二长岩、二长岩、黑云母花

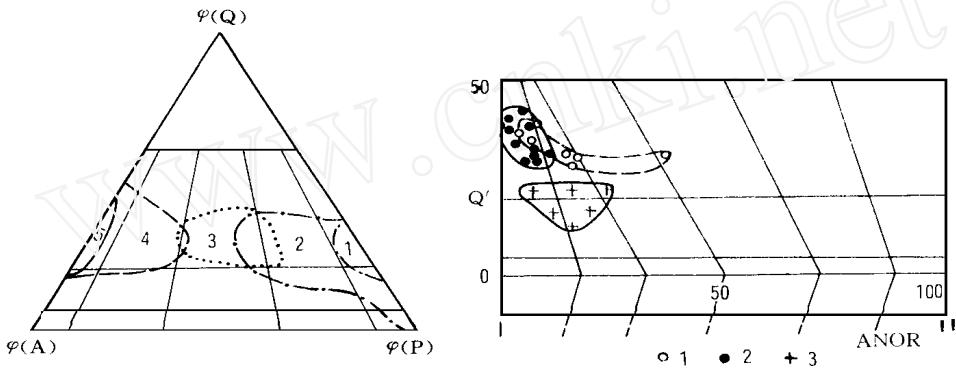


图 5 阿拉伯地盾和马达加斯加花岗岩的岩石组合特征

(引自 Jackson 等, 1984; Nedelec 等, 1995)

Fig. 5 Petrological associations of A-type granites from Arabian shield and Madagascar

左:阿拉伯地盾造山花岗岩类:1-英云闪长岩;2-花岗闪长岩;3-二长花岗岩—花岗闪长岩;

4-正长—碱长花岗岩;5-碱性花岗岩。右:马达加斯加泛非长英质岩石:

1-正长—碱长花岗岩;2-碱长花岗岩;3-石英正长岩

岗岩和二云母花岗岩等^[35]。上述造山前和晚造山岩石通常显示有明显的变质、变形特点。与此相比,造山期后岩类更为富碱,多为块状,变形、变质的迹象较弱乃至不甚明显。

2.1 类型 :二长-正长花岗岩亚类

以澳大利亚新英格兰和拉克兰褶皱带、阿拉斯加中西部科迪勒拉造山带的岩石为代表^[35~38]。它们主要以简单的小岩体形式出现,岩石类型相对单一,多为 $w(\text{SiO}_2) > 70\%$ 的高硅二长-正长质花岗岩(图 6)。暗色矿物数量少,以富铁云母为主,可以出现白云母,岩浆期的碱性矿物很少出现。在化学上主要表现出准碱、准铝的特点,岩体局部可以出现微过碱、微过铝的情况。

2.2 类型 :碱长-碱性花岗岩亚类

新疆乌伦古河、沙特阿拉伯等地(图 5, 6)发育有此类岩石^[33~34, 39~40]。基本特点与类型相似。主要差别在于岩石碱质含量较高,形成碱长乃至碱性花岗岩。后者中的碱性暗

色矿物可以形成于岩浆后期以及岩浆期后两个时期,在一些岩体中还可以斑晶形式存在,并均匀分布,表明这类岩石具有原始的过碱性特点,而不是岩浆高度演化的结果。

2.3 类型 :碱钙性花岗岩亚类

以我国山东青岛—崂山岩体、福建魁岐岩体和漳州岩体^[9, 41~42]为代表。它们主要由石英二长岩、二长花岗岩、正长花岗岩和碱长花岗岩组成,形成复合的碱钙性杂岩体(图 6)。

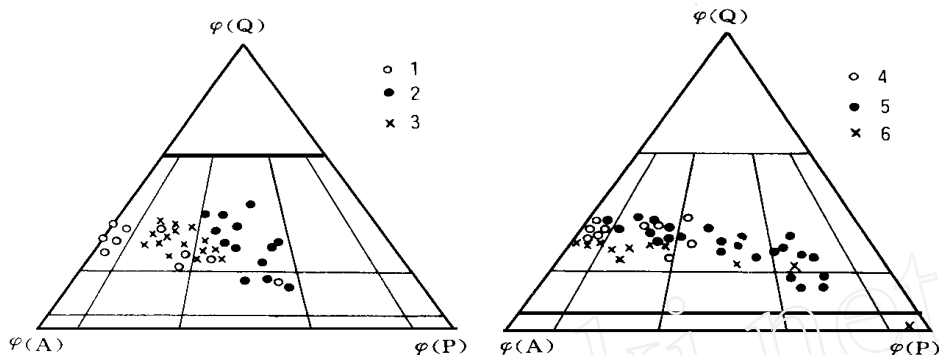


图 6 一些造山期后 A 型花岗岩的实际矿物的 QAP 分类图

(据文献 9, 36, 37, 40~42, 45 中的资料整理)

Fig. 6 Classification diagram of QAP modal minerals of some post-orogenic A-types granites

1-新疆乌伦古河碱长-碱性花岗岩; 2-澳大利亚新英格兰二长-正长花岗岩;
3-拉克兰二长-正长花岗岩; 4-青岛—崂山岩体; 5-漳州岩体; 6-福建魁岐岩体

周珣若将其称之为 I—A 型花岗岩类。碱长花岗岩的局部可演化成为微过铝或微过碱质的岩石变种。这些岩石中的暗色矿物以富铁黑云母为主,较基性部分可以出现角闪石,酸性端员的局部亦可以见到碱性铁镁矿物或白云母。它们或出现于晶洞发育地段的岩石中,或出现于晶洞、裂隙内,或发育于晚期脉岩中,表明它们有可能是岩浆高度演化的结果。

需要注意的是:上述不同的岩石类型既可以单独出现,也可以同时并存,构成复合岩区。图 5 中显示的阿拉伯地盾造山带花岗岩和马达加斯加泛非长英质岩石的情况即是如此。注意这种情况将有助于认识和查明 A 型花岗岩的性质、特征与成因等诸问题。

3 中国及邻区的 A 型花岗岩带

我国及毗邻地区发育有两条 A 型花岗岩带:一条位于东部的广大地区;另一条出露于北部的大兴安岭和新疆乌伦古河地区,向北与俄罗斯、蒙古岩带连接,构成规模宏大的中亚岩带。

中国东部 A 型花岗岩带出露于大兴安岭—太行山—武陵山重力梯度带以东地区,形成于白垩纪,呈北北东向分布,但是在郯庐断裂东西两侧的岩石类型有所不同。西侧的代表性岩体是黑龙江碾子山岩体^[43]、山海关岩体、雾灵山岩体和响山岩体^[4~6, 27],依次向南的岩体有河北南部的洪山碱性正长岩体、山东郯山碱性正长岩体,大别地区的碱性花岗岩岩脉群可能与此有关,这些岩体的中酸性部分通常含有霓石、霓辉石和/或亚铁钠闪石、钠闪石,显示

碱性岩的特点。其中研究程度较高的山海关岩体、雾灵山岩体和响山岩体的岩石组合特点与尼日利亚情况类似^[4~6,27],显示有碱性系列特点(参见图1)。东侧岩体的代表除了前述的山东青岛—崂山岩体、福建魁岐岩体和漳州岩体外,还包括吉林岗山岩体^[44]和江苏苏州岩体^[45]。这些岩体总体上显示有碱钙性特点,酸性端员以碱长质岩石为主,碱性和/或准铝至微过铝变种只出现在局部地段。岩石组合与西侧岩石明显有别,类似于造山晚期岩类。两者间的差异暗示出中国东部中生代岩浆-构造活动有可能分属于两种动力学环境。

中亚岩区:位于中朝—塔里木准地台和西伯利亚地台之间,分别出现于中古生代、晚古生代和早中生代三个时期(图7)。中古生代岩石出现于蒙古西北部与俄罗斯交界的局部地区,主要是正长岩-碱性花岗岩;同期出现的有钙碱性到亚碱性的火山岩和花岗岩、正长岩、霞石正长岩、碱性辉长岩以及碱性火山岩类。晚古生代岩浆活动强烈,成带状分布于阿勒泰—蒙古北部—过渡贝加尔、东准噶尔—蒙古中南部—大兴安岭、戈壁—天山一线,构成三个亚带,以钙碱性到亚碱性的火山岩和花岗岩类为主,同时发育碱性花岗岩。早中生代岩浆作用集中于蒙古东北部与俄罗斯交界的局部地区,主要以淡色花岗岩和花岗闪长岩-花岗岩组合为主,同时出现碱性花岗岩-正长岩组合^[39~40,46~49]。

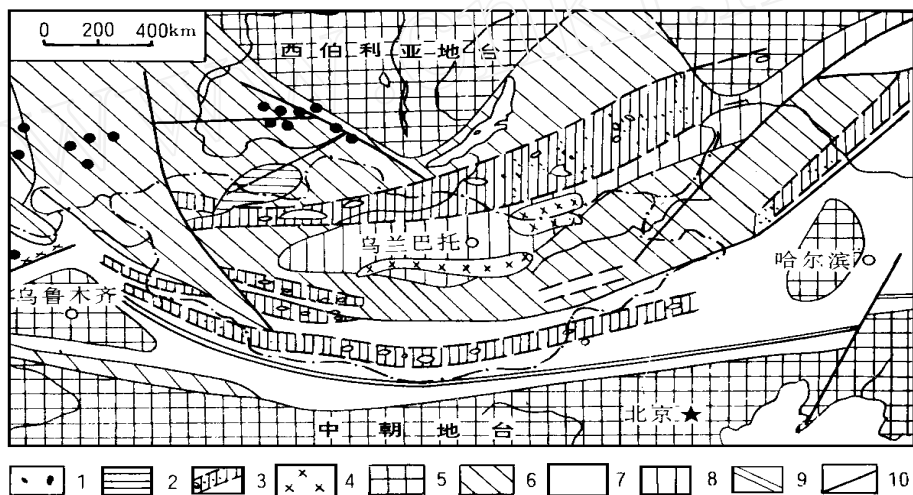


图7 中亚古生代—早中生代 A 型花岗岩分布纲要图

(引自洪大卫等,1995,并据 Kovalenko 1995 年资料补充)

Fig. 7 Geological sketch map of Central Asia indicating the location of A-type granites in the Paleozoic to early Mesozoic

1-分散的碱性花岗岩体;2-中古生代 A 型花岗岩分布区;3-晚古生代 A 型花岗岩分布区;
4-早中生代 A 型花岗岩分布区;5-地台区;6-加里东活动带;7-海西活动带;
8-海西隆起区;9-构造缝合带;10-断裂

Kovalenko 等^[48]认为该带中古生代属安第斯型活动陆缘环境,晚古生代为与裂谷有关的加里福尼亚活动陆缘型。不过,从岩浆的空间分布和岩石组合考虑,中古生代和晚古生代的构造环境则分别类似于陆内裂谷和造山期后类型,我国新疆的晚古生代花岗岩即属于造山期后类型^[39~40]。

4 物质来源探讨

A 型花岗岩岩石类型的差异性要求它们物质来源和成因解释的多样性,目前流行的幔源岩浆的分异或部分熔融^[3,5,7~8,11~17,20~21,50~52]、壳-幔物质的混合熔融^[53]、壳源物质的部分熔融和再熔模式^[1,36~37,41,54]和壳源物质的混染作用^[55]等诸多成因学说的存在正是这种情况的体现。与上述情况相同,这类岩石的 Sm-Nd, Rb-Sr 同位素组成比常见花岗岩的变化范围大得多,从而为涉及幔源、壳-幔混合源和壳源等多种物质来源的成因模式提供了有力证据。

已有的研究成果揭示:大洋中脊玄武岩和大陆溢流玄武岩的 (Nd) 平均为 +10 和 0 左右,以金伯利岩、金云火山岩、杆辉白榴斑岩等为代表的碱性岩的 (Nd) 通常具有负值特征,可达 -15 乃至更大,它们分别代表了亏损、原始、富集三种地幔类型,并与 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 结合构成地幔演化趋势。与此不同,现今平均陆壳的 (Nd) 为 -15,由陆壳花岗岩所代表的 (Nd) 与 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 趋势线亦明显独立于地幔岩石,可作为区别于富集地幔源的标志^[56~57]。以此为依据,可以在 A 型花岗岩中识别出亏损、原始、富集幔源和壳-幔、壳源等多种物源类型(参见图 8)。

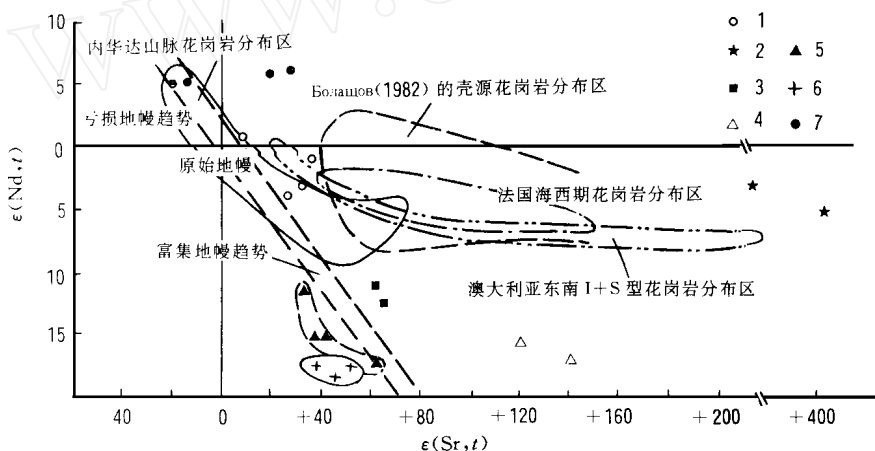


图 8 一些 A 型花岗岩的 Nd-Sr 同位素关系图

(据文献 41, 50~51, 53 资料整理)

Fig. 8 Diagram of Nd-Sr isotope of some A-type granites

1-尼日利亚乔斯高原环状杂岩体;2-尼日利亚乔斯高原里瓦依杂岩;3. 燕山地区;4-崂山碱性岩套;
5-山东基底岩石;6-崂山钙碱性岩套;7-新疆乌伦古河碱性花岗岩

新疆乌伦古河 A 型花岗岩类的 Nd 同位素组成显示有亏损物质的特点, Nd-Sr 同位素位于地幔趋势线附近, 表明它们与亏损地幔有成因联系^[50~51]。尼日利亚乔斯高原环状杂岩体中多数岩石的 (Nd, t) 变化于 +0.9 ~ -5.6 之间, 较该地区基底 -8.30 ~ -24.3 的数值明显为高。(Sr, t) 值, 除了里瓦依杂岩较高而被解释为地壳物质混染外; 其余值变化于 +9 ~ +37 之间。两者的投影点十分接近“原始”地幔值和演化趋势线, 表明它们可能

主要由原始幔源物质衍生而来^[53]。燕山地区 A 型花岗岩的 (Nd, t) 和 (Sr, t) 分别为 $-20 \sim -22$ 和 $-45 \sim -50$, 有关投影点落于地幔同位素演化趋势线附近, 表明它们有可能主要来源于富集型地幔物质^[51]。

壳源型的可能例证是山东青岛—崂山 A 型花岗岩。赵广涛等^[41]将其划分为钙碱性岩套和碱性岩套两部分。两个岩套的 (Nd, t) 值与胶南群基底岩石相似(图 8), 被认为是壳源物质熔融的标志, 两个岩套之间的 Sr 同位素差别被解释为两次熔融事件的结果。壳-幔物质混合的典型示例来自于苏格兰 Arran Island 碱性侵入岩。Dickin^[53]对苏格兰 Arran Island 第三纪侵入岩 Nd, Sr 同位素测试结果表明: 从硅不饱和岩石经较小的基性和酸性侵入体到花岗岩, $N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd})$ 连续递减, $w(\text{SiO}_2)$ 和 $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 逐渐升高, 构成系统的变化关系(图 9)。它们被解释为地壳混染的结果, 而不是岩石圈地幔不均一性的产物。

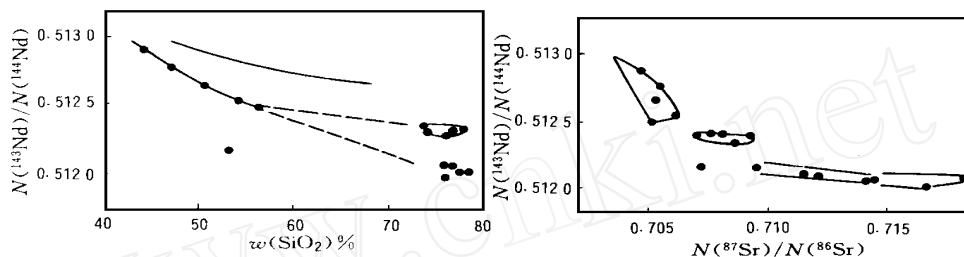


图 9 苏格兰 Arran Island 第三纪侵入岩 $N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd})$ 与 $w(\text{SiO}_2)\%$, $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ 的变化关系图
(引自 Dickin, 1994)

Fig. 9 Diagram of $N(^{143}\text{Nd})/N(^{144}\text{Nd})$ vs. $w(\text{SiO}_2)\%$ and $N(^{87}\text{Sr})/N(^{86}\text{Sr})$ of Tertiary igneous from Arran Island, Scotland

需要指出: A 型花岗岩的形成应该是一种十分复杂的过程, 源区的物质组成、岩浆的演化行为、上升过程中所发生的各种作用都有可能影响到这类岩石的性质、特征, 正像岩石成因学讨论中常见的情况一样。与此相比, 本节所作的讨论过于简单, 目的仅在于说明这类岩石物质来源的多样性, 并试图勾画出一个概要性的轮廓, 有关认识尚需进一步的证据支持。

5 主要认识

通过上述分析和讨论可以看到:

(1) 目前被作为 A 型考虑的花岗岩几乎囊括了除钙碱性和过铝质, 或 S 和 I 型以外的各类花岗质岩石, 它们可以出现于非造山以及造山期后两种环境。与原有的碱性和非造山概念相比, 它们在岩石学类型和构造含义两个方面都存在扩大化的倾向。

(2) 根据现有资料, 可以将非造山以及造山晚期环境中的花岗岩划分为以下几种岩石学类型: 碱性及伴生的准碱-准铝质 A 型花岗岩类; 斜长岩-微纹二长岩-紫苏花岗岩和钾质(环斑)花岗岩类; 层状杂岩体中的花岗岩类; 正长岩-花岗岩类; 二长-正长花岗岩类; 碱长-碱性花岗岩类; 碱钙性花岗岩类。

(3) 上述花岗岩的差异反映其物质来源的不同, 它们有可能分别来自于亏损地幔、原始

地幔、富集地幔、壳-幔和地壳多种物质。

(4) 加强 A 型花岗岩亚类划分方面的研究工作势在必行,它将有助于正确了解不同岩石类型的性质、特征、成因及其所代表的大地构造环境、地球动力学意义。

参 考 文 献

- 1 Loisel M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol Soc Am Prog Abstr*, 1979, 11: 468
- 2 Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib Mineral Petrol*, 1987, 95: 407 ~ 419
- 3 Pearce J A. Trace element discrimination diagram for tectonic interpretation of granitic rocks. *J Petrol*, 1984, 25: 656 ~ 682
- 4 许保良, 黄福生. A 型花岗岩的类型、特征及其地质意义. *地质探索*, 1990(A. 3): 113 ~ 120
- 5 许保良, 黄福生, 王式洸. 山海关碱性(A 型)花岗岩岩石学和地球化学特征及其成因类型. *岩石圈地质科学*. 北京: 北京大学出版社, 1990. 158 ~ 170
- 6 Xu Baoliang, Huang Fusheng, Wang Shiguang. Petrology, geochemistry and tectonic signification of the Shanhaiguan alkaline granitic complex in Hebei Province, China. In: Tu Guangzhi, Xu Keqin, eds. *Petrogenesis and Mineralization of Granitoids—proceedings of 1987 Guangzhou International symposium*. Beijing-New York: Science Press, 1992. 420
- 7 Eby G N. The A-type granitoids: a review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. *Lithos*, 1990, 26: 115 ~ 134
- 8 Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 1992, 20: 641 ~ 644
- 9 周珣若, 吴克隆, 严炳全, 等. 漳州 I-A 型花岗岩. 北京: 科学出版社, 1994
- 10 洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 等. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. *中国科学(B 辑)*, 1995, 25: 418 ~ 426
- 11 Woolley A R, Jones G C. The Petrochemistry of the Northern part of the Chilwa alkaline province, Malawi. In: Fitton J G, Upton B G J, eds. *Alkaline Igneous Rocks*. Oxford-London: Blackwell Scientific Publication, 1987. 335 ~ 356
- 12 Bonin B. Les granites des complexes annulaires. *Bureau de recherches géologiques et minières*, France: [s. n.], 1982
- 13 周伯弗, 施泽民, 张元才, 等. 攀西裂谷带 A 型花岗岩. 见: 张云湘主编. *中国攀西裂谷文集*. 北京: 地质出版社, 1985. 201 ~ 226
- 14 Kleemann G J, Twist D. The compositionally-zoned sheet-like granite pluton of the Bushveld complex: evidence bearing on the nature of A-type magmatism. *J Petrol*, 1989, 30: 1383 ~ 1414
- 15 Bowden P, Turner D C. Peralkaline and associated ring-complexes in the Nigerian Niger Province, West Africa. In: H Sorensen, ed. *The Alkaline Rocks*. London: John Wiley & Sons, 1974. 330 ~ 354
- 16 Bowden P, Kinnaird J A. Younger granites of Nigeria—a zinc-rich tin province. *Trans Section B Inst Min Metall*. 1978, 87: 66 ~ 69
- 17 Bowden P, Kinnaird J A. The petrology and geochemistry of alkaline granites from Nigeria. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1984, 35: 199 ~ 211
- 18 Eby G N. The Monteregean Hills and White Mountain alkaline igneous provinces, eastern North America. In: Fitton J G, Upton B G J, eds. *Alkaline Igneous Rocks*. Oxford-London: Blackwell Scientific Publication, 1987. 433 ~ 447
- 19 Rajesh H M, Santosh M, Yoshida M. The felsic magmatic province in East Gondwana: implications for Pan-African tectonics. *J Southeast Asian Earth Sci*, 1996, 14: 275 ~ 291
- 20 Harris N B S, Bartlett J M, Santosh M. Neodymium isotope constraints on the tectonic evolution of East Gondwana. *J Southeast Asian Earth Sci*, 1996, 14: 119 ~ 125.
- 21 Fletcher C J N, Litherland M. The geology and tectonic setting of the Velasco alkaline province, eastern Bolivia. *J Geol Society*, 1981, 138: 541 ~ 548
- 22 Anderson J L, Dengder E E. Nature and origin of Proterozoic A-Type granitic magmatism in the southwestern United States of America. *Lithos*, 1989, 23: 19 ~ 52

- 23 郁建华,付会芹,张凤兰,等. 北京及其附近古元古宙裂谷槽中环斑花岗岩套的地球化学. 地质学报, 1990, 64: 322 ~ 336
- 24 郁建华,付会芹,张凤兰,等. 环斑花岗岩套的赤城—古北口深成岩带及元古代裂谷作用. 华北地质矿产杂志, 1994, 9: 34 ~ 46
- 25 Cullers R L, Stone J, Anderson J L, et al. Petrogenesis of Mesoproterozoic Oak Creek and West McCoy Gulch plutons, Colorado: an example of cumulate unmixing of a mid-crustal, two-mica granite of anorogenic affinity. *Precambrian Research*, 1993, 62: 139 ~ 169
- 26 Higgins M D, Breemen O V. Three generations of anorthosite-mangerite-charnockite-granite (AMCG) magmatism, contact metamorphism and tectonism in the Saguenay-Lac-Saint-Jean region of the Grenville province, Canada. *Precambrian Research*, 1996, 79: 327 ~ 346
- 27 许保良,王式洸,阎国翰,等. 燕山地区碱性-过碱性 A 型花岗岩系——岩石学、岩石成因学及其地球动力学意义. 见:许保良,阎国翰主编. 岩石圈地质科学. 北京:地震出版社, 1994. 1 ~ 20
- 28 Miller J S, Santosh M, Pressley R A, et al. Pan-African thermal event in southern India. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1996, 14: 127 ~ 136
- 29 Santosh M, Iyer S S, Vasconcellos M B A, et al. Late precambrian alkaline plutons in southwest India: geochronologic and rare-earth element constraints on Pan-African magmatism. *Lithos*, 1989, 24: 65 ~ 79
- 30 Nair N G K, Santosh M, Thampi P K. Geochemistry and petrogenesis of the alkali granites of Munnar, Kerala (India) and its bearing on rift-tectonics. *Neues Jahrbuch Miner Abh*, 1983, 148: 223 ~ 232
- 31 Nedelec A, Stephens W E, Fallick A E. The Panafrican stratoid granites of Madagascar: alkaline magmatism in a post-collisional extensional setting. *J Geol Society of London*, 1995, 152: 1 367 ~ 1 391
- 32 Liegeois J P, Black R. Alkaline magmatism subsequent to collision in the Pan-African belt of the Adrar des Iforas (Mali). In: Fitton J G, Upton B G J, eds. *Alkaline Igneous Rocks*. Oxford & London: Blackwell Scientific Publications, 1987. 381 ~ 402
- 33 Jackson N J, Ramsay C R. Post-orogenic felsic plutonic, mineralization and chemical specialization in the Arabian shield. *Institution of Mining and Metallurgy Transactions*, 1986, 93: 83 ~ 93
- 34 Jackson N J, Walsh J N, Pegram E. Geology, geochemistry and petrogenesis of late Precambrian granitoids in the central Higaz region of the Arabian shield. *Contrib Mineral Petrol*, 1984, 87: 205 ~ 219
- 35 Sylvester P J. Post-collisional alkaline granites. *J Geol*, 1989, 97: 261 ~ 280
- 36 Collins W J, Beams S D, White A J, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia. *Contrib Mineral Petrol*, 1982, 80: 189 ~ 200
- 37 Landenberger B, Collins W J. Derivation of A-type granites from a dehydrated charnockitic lower crust: evidence from the Chaelundi complex, Eastern Australia. *J Petrol*, 1996, 37: 145 ~ 170
- 38 Ashley P M, Cook N D J, Fanning C M. Geochemistry and age of metamorphosed felsic igneous rocks with A-type affinities in the Willyama Supergroup, Olary Block, South Australia, and implications for mineral exploration. *Lithos*, 1996, 38: 167 ~ 184
- 39 王式洸,韩宝福,洪大卫,等. 新疆乌伦古河碱性花岗岩的地球化学及其构造意义. 地质科学, 1993, 29: 273 ~ 283
- 40 刘家远,袁奎荣. 新疆乌伦古富碱花岗岩带碱性花岗岩成因及其形成构造环境. 高校地质学报, 1996, 2: 257 ~ 272
- 41 赵广涛,王德滋,曹钦臣. 崂山花岗岩岩石地球化学与成因. 高校地质学报, 1997, 3: 1 ~ 15
- 42 洪大卫,郭文歧,李戈晶,等. 福建沿海晶洞花岗岩带的岩石学和成因演化. 北京:北京科学技术出版社, 1987
- 43 李培忠,于津生. 碾子山晶洞碱性花岗岩同位素地球化学. 同位素地球化学研究. 杭州:浙江大学出版社, 1994. 269 ~ 286
- 44 方文昌. 吉林省花岗岩类及成矿作用. 长春:吉林科学技术出版社, 1992
- 45 周珣若. 苏州地区 I - A 型花岗岩特征与成因的对比研究. 地球科学, 1996, 22: 240 ~ 246
- 46 Zanzvilevich A N, Litvinovsky B A, Wickdam S M, et al. Genesis of alkaline and peralkaline syenite-granite series: the Kharitonovo pluton (Transbaikalia, Russia). *J Geol*, 1995, 103: 127 ~ 145

- 47 洪大卫, 王式洸, 黄怀曾. 中国北疆及其邻区晚古生代—三叠纪碱性花岗岩带及其地球动力学意义初探. 见: 中国北方花岗岩及其成矿作用论文集. 北京: 地质出版社, 1991. 40~48
- 48 Kovalenko V I, Tsaryeva G M, Gorechlyad A V, et al. The peralkaline granite-related Khaldzan-Buregtey rare metal (Zr, Nb, REE) deposit, Western Mongolia. *Economic Geology*, 1995, 90: 530~547
- 49 Kovalenko V I, Yarmolyuk V V. Endogenous rare metal oreformations and rare metal metallogeny of Mongolia. *Economic Geology*, 1995, 90: 520~529
- 50 Han Baofu, Wang Shiguang, Borming Jahn, et al. Depleted mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: Geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth. *Chemical Geology*, 1997, 138: 135~159
- 51 许保良, 王式洸, 韩宝福, 等. 富集型与亏损型 A 型花岗岩——以燕山和新疆乌伦古河地区岩石为例. 北京大学学报, 1998, 34: 352~362
- 52 Kerr A, Fryer B J. Nd isotope evidence for crust-mantle interaction in the generation of A-type granitoid suites in Labrador, Canada. *Chemical Geology*, 1993, 104: 39~60
- 53 Dickin A P, Halliday A N, Bowden P. A Pb, Sr and Nd isotope study of the basement and Mesozoic ring complexes of the Jos plateau, Nigeria. *Chemical Geology*, 1991, 94: 23~32
- 54 Creaser R A, Price R C, Wormald R J. A-type granites revisited: assessment of residual-source model. *Geology*, 1991, 19: 163~166
- 55 Dickin A P. Nd isotope chemistry of Tertiary igneous from Arran, Scotland: implications for magma evolution and crustal structure. *Geological Magazine*, 1994, 131: 329~333.
- 56 Depaolo. Nd isotopic study of some new perspectives on earth structure and evolution. *EOS*, 1981, 62: 137~140
- 57 Anderson D L. Hotspot magmas can form by fractionation and contamination of MORB. *Nature*, 1985, 318: 145~149

PETROLOGICAL SUBDIVISION AND SOURCE MATERIAL OF A-TYPE GRANITES

Xu Baoliang Yan Guohan Zhang Chen

(Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871)

Li Zhitong

(Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang, 110032)

He Zhongfu

(Department of Geology, Peking University, Beijing, 100871)

Abstract Petrological characteristics of A-type granites are reviewed and summarized in this paper. Seven subdivisions of them occurring in two setting of anorogenic and post-orogenic tectonic environment are suggested. They include: alkaline and accompanied granites, which are metalkaline to metaluminium, in ring-complex; anorthosite-mangerite-charnockite and potassic (rapakivi) granites; granites in mafic layered complex; syenite granites; monzogranites and syenogranites; alkaline-feldspar and alkaline granites; alkali-calcic granites. Petrological diversity of A-type granites indicates the difference of source materials of these rocks, the authors think it is possible that the granites are derived respectively from the depleted, primary and enriched mantle, crust-mantle and crust materials.

Key words A-type granites, petrological subdivision, source materials