

文章编号:1007-3701(2011)03-0215-06

# 碱质 A 型花岗岩的判别、成因与构造环境

周佐民

(东华理工大学地球科学学院,江西抚州 344000)

**摘要:**碱质 A 型花岗岩(简称 AAG)是 A 型花岗岩的亚类之一。近年来,随着研究的深入,对 AAG 有了新的认识。本文总结了 AAG 独特的岩相学、地球化学特征及产出构造环境,讨论了其判别标志和判别方法,指出对 AAG 的成因和地球动力学机制的认识目前还存在明显分歧,亟待进一步的深入研究。

**关键词:**碱质 A 型花岗岩;判别标志;物质来源;岩石成因;构造环境

**中图分类号:**P548;P581

**文献标识码:**A

1979 年 Loiselle 和 Wones<sup>[1]</sup>在 GSA 年会上提出了 A 型花岗岩这一术语,其中包括碱质 A 型花岗岩(简称 AAG)。迄今为止,AAG 作为 A 型花岗岩的亚类之一,其各方面的研究都取得了很大进展。本文主要就 AAG 的定义、判别标志、物质来源、成因与构造环境等做一综述。

## 1 AAG 的定义

AAG 属于 A 型花岗岩类,毫无疑问,它具备了 A 型花岗岩的所有特征,同时也区别于 A 型花岗岩的其它亚类和其它类型花岗岩。由于对 A 型花岗岩的划分原则与 I、S 型完全不同(A 型花岗岩强调碱性-偏碱性和构造环境,并不强调物质来源,而 I、S 型主要强调源区),致使在地球化学特征上产生了叠加和过渡现象<sup>[2]</sup>。Creaser 等(1991)<sup>[3]</sup>认为 A 型花岗岩传达了与其它的字母分类方法不同的内涵,建议将 A 型花岗岩这个术语摒弃。而 Eby(1992)<sup>[4]</sup>认为 A 型花岗岩虽然与 I、S、M 型分类原则不同,

但至少从地球化学特征上划分这一花岗岩类是有必要的。A 型花岗岩长期被看作环状杂岩体的同义词,但事实上,并不是所有的环状杂岩体包含 A 型花岗岩<sup>[5]</sup>。岩石类型上,现普遍认为 A 型花岗岩包括了从碱性花岗岩经碱长花岗岩到钾长花岗岩,以及石英正长岩、更长环斑花岗岩和紫苏花岗岩等多种类型<sup>[6]</sup>,不仅包括碱性岩类,还扩大到碱钙性、弱碱-准铝、弱过铝甚至强过铝质岩石,几乎包括除 I、S 型花岗岩以外的所有花岗岩或流纹岩<sup>[7,8]</sup>,其中 A 型流纹岩常与同期玄武岩形成双峰式火山岩组合,为 A 型花岗岩喷出相的产物,是下地壳麻粒岩相或古老基底变质岩相部分熔融的产物<sup>[9-10]</sup>。

目前还是将 AAG 限定为“贫水”、“碱性”,但不再局限于“非造山”的构造环境,它可以产出于后造山以及后碰撞的构造环境。无论区域性的大构造背景是拉伸、挤压或剪切走滑,其形成的具体构造环境一定以伸展体制为主。对于“碱性”特征,国内不少学者存在错误的认识:其一,虽然含有碱性暗色矿物的过碱性花岗岩类是典型的 A 型花岗岩类,然而,部分不含碱性暗色矿物的偏铝(准铝),甚至弱过铝的花岗岩类也可以归于 A 型花岗岩类<sup>[3]</sup>,同样,部分不含碱性暗色矿物的准铝质花岗岩可以归于 AAG<sup>①</sup>。其二,严格地讲,碱质 A 型花岗岩与碱性

收稿日期:2011-02-26

基金项目:国家自然科学基金项目(编号 40572053)。

作者简介:周佐民(1986—),男,硕士研究生,主要从事岩石地球化学学习与研究。Email:zzm04013114@163.com

① 谢才富,丁式江,付太安,等. 1:25 万乐东县幅东北角、陵水县幅西北角区域地质调查报告,2004.

花岗岩是两个不同的概念,通常所谓的碱性花岗岩是含碱性暗色矿物的花岗岩,几乎不含斜长石或含量极微,碱性暗色矿物与长石同时或晚于长石结晶。所以,一般来讲,碱性花岗岩的实质是过碱质花岗岩,其中的碱性暗色矿物常呈他形晶,并包含或嵌有长石和石英等浅色矿物或充填于浅色矿物的空隙中。目前对碱质 A 型花岗岩还没有一个统一的定义,岩相学上,典型的 AAG 常见铁橄榄石、霓石、钠闪石、钠铁闪石等碱性暗色矿物。化学成分上,高硅富碱贫钙低镁,强烈富集 REE (Eu 除外)和高场强元素 HFSE (Zr、Ga、Y、Zn 等)、贫氯富氟而强烈亏损耐熔元素 (Cr、Co、Ni 等)和 Sr、Ba、P、Ti、Eu, 高的  $FeO^*/MgO$ 、 $Y/Nb$ 、 $Ga/Al$ , 低的  $Nb/Ta$ 、 $Eu/Eu^*$ 、 $LREE/HREE$ , 高  $R_1$  低  $R_2$  以及异常高的锆石饱和温度。

## 2 AAG 的判别标志

Eby (1992)<sup>[6]</sup>将 A 型花岗岩分为  $A_1$ 、 $A_2$  两个亚类,而  $A_2$  包括碱质 A 型花岗岩 (AAG) 和铝质 A 型花岗岩 (简称 ALAG) 两类, AAG 的从属关系也决定了实际应用中判别的过程,即先将 A 型花岗岩区别于其它类型花岗岩类,再判别  $A_1$ 、 $A_2$  两个亚类,最后区别 AAG 和 ALAG。当然具体运用不能程序化,应灵活处理。近年来,一些研究者还提出了“还原型”和“氧化型”A 型花岗岩分类,该分类也逐渐引起重视<sup>[11-13]</sup>,但是  $A_1$ - $A_2$  分类仍然是目前普遍得到认可的 A 型花岗岩分类方法。

### 2.1 判别 A 型花岗岩与其它类型花岗岩

A 型花岗岩在岩石学特征、地球化学特征、形成的构造环境上都与 I、S 型有明显的不同。岩相学特征见上文,进一步判别需要依赖各种地球化学图解。Collins 等 (1982)<sup>[14]</sup>认为高  $Ga/Al$  比值是判定 A 型花岗岩最有效的方法,Whalen 等 (1987)<sup>[15]</sup>提出  $10^4 \times Ga/Al=2.6$  作为划分 A 型花岗岩的标准,在  $10^4 \times Ga/Al-Zr(Nb、Ce、Y$  等 HFSE,也可以  $Zr+Nb+Ce+Y$  代表 HFSE)、 $10^4 \times Ga/Al-FeO^*/MgO$  [或  $(K_2O+Na_2O)/CaO$ 、 $K_2O/MgO$ 、 $(K_2O+Na_2O)$  等] 地球化学判别图解中,以  $10^4 \times Ga/Al$  值作横坐标,以 2.6 数值作为分界点,纵坐标为高场强元素 HFSE、各种特征氧化物或特征氧化物比值。但值得注意的

是,由于 Ga 相对于 Al 而言更容易被富钙斜长石排出矿物晶格,所以当富钙斜长石残留或分离时, Ga 与生俱来的特性可使  $Ga/Al$  比值升高。而在高温和有足够平衡离子  $Na^+$ 、 $K^+$  条件下, F 和 Ga 在熔体中能形成稳定的高配位的络合物, F 与 Al 只有在水 (接近) 饱和的铝硅酸盐中稳定,换句话说,  $AlF_6^{3-}$  八面体在熔体中是不稳定的,所以 F 的存在也可以造成熔体中  $Ga/Al$  的高比值;其次, Ga 与 F 并不总是呈现良好的正相关关系。对于  $A_1$  型花岗岩不存在富钙斜长石的分离结晶,而且  $A_1$  型花岗岩富氯贫氟,也就没有或很少 Ga、Al 的分馏,部分  $A_1$  型花岗岩的  $10^4 \times Ga/Al < 2.6$ , 就如同刘昌实等 (2003)<sup>[2]</sup> 指出的那样,高的  $Ga/Al$  比值只能出现在 AAG 和 ALAG 内。另外,由于  $10^4 \times Ga/Al-(Zr+Nb+Ce+Y)$  的 Zr 含量所占比例较大,所以对高度分异的花岗岩类 (高度分异使锆石或其它副矿物如褐帘石结晶分离) 或分异的 A 型花岗岩,该判别图解是无效的。改进的  $Rb/Ba-(Zr+Ce+Y) \times 10^{-6}$ 、 $10^4 \times Ga/Al-Y (Zr、Nd、Ce)$ 、 $(K_2O+Na_2O)/CaO-(Zr+Nb+Ce+Y) \times 10^{-6}$ 、 $Ga/Al-Eu/Eu^*$ 、 $FeO^*/MgO-(Zr+Nb+Ce+Y) \times 10^{-6}$  也对分异的 A 型花岗岩无能为力<sup>[6]</sup>。另外,针对  $SiO_2$  含量很高的 A 型花岗岩,由于与其它各种类型花岗岩具有相似的  $(K_2O+Na_2O)$  和 CaO 含量,所以无法区分 A、S、I 型,鉴于此, Eby (1990)<sup>[17]</sup> 提出  $FeO^*/MgO-SiO_2$  判别图解,但也要求 I、S 型花岗岩花岗岩不能高度分异。

高分异的 S 型花岗岩相对于 A 型花岗岩具有更高的  $P_2O_5$  含量和更低的  $Na_2O$  含量,且随着分异程度的增加,  $P_2O_5$  含量也增加,表现出与 A 型花岗岩相反的趋势,再者,高分异的 S 型花岗岩通常落于同碰撞花岗岩区域,所以区分二者较为容易<sup>[18]</sup>。难点在于如何将 A 型花岗岩与高分异的 I 型花岗岩区分。

King 等 (1997)<sup>[19]</sup> 提出区分 A 型花岗岩与高分异 I 型花岗岩,必须以同一岩石组合中更基性的端元组分为依据进行判别。王强等 (2000)<sup>[20]</sup> 提出区分高分异 I 型花岗岩和 A 型花岗岩的几点标志: (1) A 型花岗岩全铁含量高,一般  $> 1.00\%$ , 而高分异 I 型花岗岩一般  $< 1.00\%$ ; (2) 高分异的 I 型花岗岩具有高的 Rb 含量,  $> 270 \times 10^{-6}$ , 相对低 Ba、Sr、 $Zr+Y+Ne+Ce$ 、Ga 含量和  $Ga/Al$  值; (3) 高分异 I 型花岗岩的形成温度较低,而 A 型花岗岩一般较高,通常  $> 800^\circ C$ 。

Whalen 等(1987)<sup>[15]</sup>认为可以依据高分异 I 或 S 型花岗岩和 A 型花岗岩各自在相关的岩石组合中所占比例的差异进行区分。

## 2.2 判别 A<sub>1</sub> 与 A<sub>2</sub> 亚类或“还原型”和“氧化型”A 型花岗岩亚类

由上文可知, A 型花岗岩富 HFSE, 但 A<sub>1</sub> 亚类更富 Nb(Ta), A<sub>2</sub> 亚类更富 Y(Yb), 可用 Nb-Y-3Ga、Nb-Y-Ce、Y/Nb-Yb/Ta、Rb/Nb-Y/Nb 或 Nb-Ta-Nb 图解判别, 一般来讲, Y/Nb < 1.2 时为 A<sub>1</sub> 亚类, Y/Nb > 1.2 时为 A<sub>2</sub> 亚类。对幔源派生的花岗岩如 A<sub>1</sub> 亚类, 其 Nb/Ta 接近原始地幔, 而对于壳-幔混源花岗岩(如 A<sub>2</sub> 亚类), 其 Nb/Ta 比值主要受地幔金红石、钙质角闪石和富 F 流体作用的影响会有所降低。另外, 还可应用 R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> 和 R<sub>1</sub>-Ga/Al 判别, 因为据刘昌实等(2003)<sup>[2]</sup>统计, A<sub>1</sub> 与 A<sub>2</sub> 亚类 R<sub>1</sub> 因子数值相差若干个数量级。在原始地幔微量元素蛛网图上, A<sub>1</sub> 无 Nb 亏损或亏损极不明显, 而 A<sub>2</sub> 亚类普遍具有较强的 Nb 亏损。稀土配分模式图上, A<sub>1</sub> 亚类的轻重稀土分馏极为明显, La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> > 12, Eu 负异常不明显, 而 A<sub>2</sub> 亚类轻重稀土分馏相对不明显, La<sub>N</sub>/Yb<sub>N</sub> < 10, Eu 亏损极为明显。虽然上述分类方法得到广泛的应用, 但其本质上是一种化学分类, 随着研究的深入, 其不足之处逐渐显示出来, 如不能囊括所有的 A 型花岗岩类、A<sub>1</sub>-A<sub>2</sub> 过渡区或重叠区判别困难等<sup>[5]</sup>。实际应用中, 必须了解图解的应用范围和条件, 结合地质背景综合分析。

“还原型”和“氧化型”A 型花岗岩亚类分类体系中不包括过碱质岩石, 过碱质花岗岩是独立的一套 A 型花岗岩类型<sup>[2]</sup>, 且对于“还原型”和“氧化型”而言, 它们之间有时并无明显的界限, 存在着过渡的组分。通常“还原型”A 型花岗岩具有高的全岩及黑云母/角闪石 FeO<sup>T</sup>/(FeO<sup>T</sup>+MgO)值(>0.88)、以钛铁矿为主要的铁-钛氧化矿物相, 铁-钛氧化矿物比例 < 1.0%、低氧逸度 (< NNO<sup>-</sup>) 和低的磁率值 (MS < 1.0 × 10<sup>-3</sup>); 而“氧化型”A 型花岗岩具有较低的全岩及黑云母/角闪石的 FeO<sup>T</sup>/(FeO<sup>T</sup>+MgO)值(0.8~0.94)、以磁铁矿和榍石为主要的铁-钛氧化矿物相, 铁-钛氧化矿物占 0.5%~2.0%、高的氧逸度(常 > NNO+0.5)、高的磁化率值(MS > 5.0 × 10<sup>-3</sup>)<sup>[11-13]</sup>。“还原型”A 型花岗岩通常具有典型的环斑结构, 相当于环斑花岗岩, 但目前仍不清楚“氧化型”A 型花岗岩数据

与环斑花岗岩的关系<sup>[13]</sup>。实际应用过程中可以通过以下图解加以区分, 如 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-FeO<sup>T</sup>/(FeO<sup>T</sup>+MgO)和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O)-FeO<sup>T</sup>/(FeO<sup>T</sup>+MgO)<sup>[13]</sup>。

## 2.3 区分 AAG 和 ALAG

岩相学上: AAG 以碱性花岗岩为主, 以碱性暗色矿物为标志, 大多数云母富氟贫羟基, 条纹长石中钾长石的 Ab 组分较高; ALAG 以二长花岗岩、碱长花岗岩为主, 暗色矿物以黑云母为主, 普遍含有石榴石和白云母等 Al 过饱和矿物。主量元素上: AAG 富碱, ALAG 富铝, 全碱(ALK)含量和碱铝指数(NK/A)AAG > ALAG。微量元素(包括稀土元素)上: AAG 的 Eu 负异常更明显, Sr、Ba 含量更低, LREE/HREE 比值更小, REE 尤其 HREE 更高(主要与岩浆分异程度和副矿物随岩浆演化在早晚期选择性分异有关)。AAG 的 F 含量一般 ≥ 1 000 × 10<sup>-6</sup>, ALAG 一般 ≤ 1 000 × 10<sup>-6</sup>, 致使 AAG 的 HFSE 较 ALAG 高; A 型花岗质岩浆一般无残留岩, 形成温度较高<sup>[9]</sup>, 虽然李小伟等<sup>[22]</sup>认为 AAG 不符合锆石饱和温度计测温条件, 但是刘昌实等(2003)<sup>[2]</sup>还是建议用 Watson 等(1983)<sup>[23]</sup>锆石饱和温度近似代表 A 型花岗岩浆近液相线温度, 且测出 A 型花岗岩的所有亚类中, AAG 最高, ALAG 最低, 所以形成温度也是判别 AAG 与 ALAG 以及 I、S 型花岗岩的重要指标。

## 3 物质来源与岩石成因

A 型花岗岩可能是多源多成因的, 这一点现在似乎已经达成了共识, 而对于 AAG 的物质来源, 目前普遍认为是壳-幔混源成因, Sr、Nd、Pb、O 等同位素无疑提供了最好的证据。AAG 的 I<sub>Sr</sub> 变化较大, εNd(t) - εSr(t) 图解上显示富集地幔趋势, Zr/Hf、Nb/Ta 比值低(一般低于原始地幔值而高于大陆地壳平均值), 原始地幔标准化微量元素蛛网图上有明显的 Nb 亏损, Y/Nb、Yb/Ta 比值高, 具有岛弧玄武岩(IAB)亲缘性, 以上种种事实都说明 AAG 是壳-幔混源的。实际应用中, 可结合 Zartman 等(1981)<sup>[24]</sup>和 Zinder 等(1986)<sup>[25]</sup>的钾长石<sup>206</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb - <sup>207</sup>Pb/<sup>204</sup>Pb 图解加以判别。由于 A 型花岗岩岩浆分异过程主要依赖于系统的水逸度(αH<sub>2</sub>O)和氧逸度(fO<sub>2</sub>), 因此一些研究者认为结晶分异可能是 A 型花岗岩岩

浆主要演化机制<sup>[3,14-15,19,26]</sup>。Harker 图解上,各种氧化物( $K_2O$ 、 $Na_2O$  除外)与  $SiO_2$  具有良好的负相关关系; $Sr$ 、 $Ba$ 、 $P$ 、 $Ti$ 、 $Eu$  的明显亏损,说明岩浆结晶分异在演化过程中的主导作用。而根据现有理论,无论是 Collins 等(1982)<sup>[14]</sup>的残余源成因假说、Creaser 等(1991)<sup>[15]</sup>的无水部分熔融说,还是幔源碱性岩浆跟地壳反应的正长质衍生物再分异或正长岩浆进一步与石英质地壳岩石反应生成物<sup>[27]</sup>,有一点是一致的:富钙斜长石( $A_1 > Ca$ )的分离结晶,使残余岩浆演化为碱质 A 型花岗岩。另外针对以上残余源说和幔源说,吴福元等(2007)<sup>[28]</sup>提出了不同的观点:其一,实验岩石学资料和锆石饱和温度计算已经证明,A 型花岗岩是高温的,这一基本的形成条件暗示该类型岩石不可能是 I 型花岗岩分异而来,这也是 A 型花岗岩可作为一种独立成因类型存在的原因。其二,无论高分异还是未分异的类型,A 型花岗岩都表现出低  $Sr$ 、 $Eu$  和富集  $Nb$ 、 $Zr$  等元素的特点,反映其源区存在斜长石的残留(形成的压力较低),因此它也不可能是幔源岩浆分异而来,或来源于铁镁质源岩的部分熔融。鉴于 AAG 以上种种地球化学特征,苏玉平等(2005)<sup>[29]</sup>认为 AAG 可以由与之伴生且同源的 ALAG 经过结晶分异作用形成。理论上成立不代表与实际相吻合,AAG 的成因模式和实际证据还有待进一步研究和完善。

## 4 构造环境

通过以上的讨论,可以看到:AAG 的高  $Y/Nb$ 、 $Yb/Ta$  比值,与岛弧玄武岩(IAB)类似,原始地幔标准化微量元素蛛网图上  $Nb$ 、 $Ta$  的“下沉”以及作为壳-幔体系地球化学作用指标的  $Nb/Ta$  比值<sup>[30]</sup>,都显示 AAG 为壳-幔混源花岗岩,那么它究竟产于哪种构造背景之下呢?事实上,花岗岩主要是在拉伸环境下形成的,挤压环境下形成的花岗岩可能性较小。现在普遍认为,虽然 AAG 形成的具体构造环境都是伸展、拉伸体制,但所处的大的构造背景可以是伸展、挤压或剪切走滑。洪大卫等(1995)<sup>[31]</sup>认为拉伸规模和深度的差异是产生不同类型的 A 型花岗岩的重要原因。实际判别 AAG 的构造环境时,可以用以下方法:①传统的 Pearce 等(1984)<sup>[32]</sup>构造环境判别图解,如  $Nb-Y$  和  $Rb-(Y+Nb)$  图解;②

Batchelor 等(1985)<sup>[33]</sup>的  $R_1-R_2$  判别图解;③Bowden 的  $Q'-ANOR$  构造判别图解;④Rittmann 的  $Log \tau - Log \sigma$  判别图<sup>[34]</sup>。需要指出的是,对构造环境的判定,不能完全依赖判别图解,而应采取综合的方法,防止遗漏,比如采用构造阶段的特征性产物、典型的岩浆岩组合、侵入岩体构造、分布情况以及侵入接触关系等作为划分依据。

A 型花岗岩属高温花岗岩,而碱质 A 型花岗岩又是其中温度最高的,那么它的热源又是怎么来的呢?研究发现,板片断裂、拆沉作用引发的软流圈地幔上涌、对流减薄等,大陆壳伸展产生高的地温梯度以及岩浆结晶释放的热量都是 AAG 良好的热源。岩石圈减薄导致软流圈、幔源熔体运移、上涌,致使形成高地热梯度,上涌过程中,以地幔岩浆为主体,伴有地壳物质的加入。高温蕴含高动力,这也促使 AAG 成为高侵位岩体,常见晶洞构造和(或)文象结构。

## 5 总结与展望

AAG 在 A 型花岗岩的基础上得到了继承和发扬,以含他形碱性暗色矿物的过碱性花岗岩为典型,还包括不含碱性暗色矿物的准铝质花岗岩类。AAG 的判别就目前而言,侧重甚至依赖于地球化学特征,它具有与其他花岗岩类不同的特征:高硅、富碱、贫  $Ca$ 、 $Mg$ ,高  $FeO^*/MgO$ 、 $Ga/Al$ 、 $Rb/Ba$ ,明显富集  $F$ 、 $HFSE$  和  $REE$ ( $Eu$  除外)而强烈亏损  $Ba$ 、 $Sr$ 、 $Eu$ 、 $P$ 、 $Ti$  和耐熔元素  $Cr$ 、 $Co$ 、 $Ni$ ,呈右倾海鸥式  $REE$  配分模式。

各种判别图解的建立,无非是在区别于其它花岗岩的地球化学特征上建立的,但地球化学图解往往具有多解性,所以应结合实际区别对待,同时了解图解的内涵和应用范围。另外,对于分异的 A 型花岗岩与分异或未分异的 I、S 型的判别亟待完善。

目前普遍认为碱质 A 型花岗岩为壳-幔混源成因,与富  $Ca$  斜长石的分离结晶有密切关系,但缺乏确切的地质证据。AAG 可形成于各种大地构造背景,具体产出环境为伸展体制,但实际属于哪种伸展背景,还应结合各种地球化学判别图解,采用综合的方法加以制约。另外,促使软流圈地幔上涌的动力学机制也有待进一步研究,有必要开展多学

科的深入研究和相互融合。

### 参考文献:

- [1] Loiselle M C, et al. Characteristics of anorogenic granites [A]. Geological society of America abstracts with Programs, 1977,10:468.
- [2] 刘昌实,陈小明,陈培荣,等. A 型岩套的分类、判别标志和成因[J].高校地质学报,2003, 9(4):573-587.
- [3] Creaser R A, Price R C, Wormald R J. A-type granites revisited: Assessment of a residual-source model [J]. Geology, 1991, 19:163-166.
- [4] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications [J]. Geology, 1992, 20: 641-644.
- [5] Bonin B. A-type granites and related rocks: Evolution of a concept, problems and prospects [J]. Lithos, 2007,97:1-29.
- [6] 韩宝福,洪大卫.新疆乌伦古河碱性花岗岩的地球化学及构造意义[J].地质科学,1994,29(4):373-383.
- [7] 廖忠礼,莫宣学,潘桂棠,等.过铝花岗岩锆石群型的成因信息[J].大地构造与成矿学,2006,30(1):63-71.
- [8] 李鹏春,陈广浩,许德如,等.湘东北新元古代过铝质花岗岩的岩石地球化学特征及其成因讨论[J].大地构造与成矿学,2007,31(1):126-136.
- [9] Li X H, Li Z X, Zhou H, et al. U-Pb zircon and Nd geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: Implications for the initial rift of Rodinia [J]. Precambrian Res, 2002, 113:135-154.
- [10] Li W X, Li X H, Li Z X. Neoproterozoic bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance [J]. Precambrian Res, 2005,136:51- 66.
- [11] Dall' Agnol R, Scaillet B, Pichavant M. An experimental study of a Lower Proterozoic A-type granite from the eastern Amazonian Craton. Brazil [J]. J Petrol, 1999, 40 (11): 1673-1698.
- [12] Dall' Agnol R, Teixeira N P, R m O T, et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic rapakivi A-type granites of the Archean Carajás metallogenic province, Brazil [J]. Lithos, 2005, 80: 101-129.
- [13] Dall' Agnol R, de Oliveira D C. Oxidized magnetite series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: Implications for classification and petrogenesis A-type granites [J]. Lithos, 2007,93:215-233.
- [14] Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to south-eastern Australia[J]. Contrib Mineral Petrol,1982, 80: 189-200.
- [15] Whalen J B, Carie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. Contrib Mineral Petrol, 1987, 95: 407-419.
- [16] 吴锁平,王梅英,戚开静. A 型花岗岩研究现状及其述评[J].岩石矿物学杂志,2007,26(1):57-64.
- [17] Eby G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculation on their petrogenesis[J]. Lithos,1990,26(1/2):115-126.
- [18] 贾小辉,王 强,唐功建.A 型花岗岩的研究进展及意义[J].大地构造与成矿学,2009,33(3):465-479.
- [19] King P L, White A J R, Chappell B W. Characterization and origin of aluminous A type granites of the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia[J]. J Petrol, 1997, 36:371-391.
- [20] 王 强,赵振华,熊小林,桐柏 - 大别造山带燕山晚期 A 型花岗岩的厘定 [J]. 岩石矿物学杂志,2000,19 (4): 297-306.
- [21] Patino Douce A E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In:Castro A, Fern á ndez C, Vigneresse J L (eds.), Understanding Granites [J]. Special Publications, Geol Soc London, 1999,168:55-75.
- [22] 李小伟,莫宣学,赵志丹,等.关于 A 型花岗岩判别过程中若干问题的讨论[J].地质通报,2010,29(2-3):278-283.
- [23] Watson E B, Harrison T M. Zircon saturation revised: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types [J]. Earth Planet Sci Lett, 1983, 64:295-304.
- [24] Zartman R E and Doe B R. Plumb tectonics: the model. In: Zartman R E and Taylor S R (eds). Evolution of the Upper Mantle [J]. Tectonophysics, 1981, 75: 135-162.
- [25] Zinder A, Hart S R. Chemical geodynamics [J]. Ann Rev Earth Planet Sci, 1986,14: 493-573.
- [26] King P L, Chappell B W, Allen C M, et al. Are the A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suit [J]. Aust J Earth Sci, 2001, 48:501-514.
- [27] 陈培荣,章邦桐. A 型花岗岩类研究综述[J].国外花岗岩类地质与矿产,1994,(4):9-13.
- [28] 吴福元,李献华,杨进辉,等.花岗岩成因研究的若干问题 [J].岩石学报,2007,23(6):1217-1238.
- [29] 苏玉平,唐红峰.A 型花岗岩的微量元素地球化学[J].矿物岩石地球化学通报,2005,24(3):245-249.
- [30] Green T H. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust-mantle system [J].Chem Geol, 1995, 120:347-359.
- [31] 洪大卫,王式洗,韩宝福,等.碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志[J].中国科学,1995,25(4):418-426.
- [32] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of

- granitic rocks [J]. *J Petrol*, 1984, 25: 956–983.
- [33] Batchelor R A, and Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters [J]. *Chemical Geology*, 1985, 48(1–4): 43–55.
- [34] 谢才富. 海南岛海西期同逆冲侵入岩组合的厘定及其构造意义[D]. 南京: 南京大学. 2007.

## Discrimination, Genesis and Tectonic Setting of Alkaline A-type Granite

ZHOU Zuo-min

(School of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Fuzhou 344000, Jiangxi, China)

**Abstract:** Alkaline A-type granite (AAG) belongs to a subtype of A-type granitoids. The unique petrological feature, geochemical characteristics and formation tectonic setting of AAG is summarized to discuss the method for discriminate the AAG from other type granitoid, which are also making for the different opinions for the genesis and geodynamics of AAG, what need deeply research in the future.

**Key words:** alkaline A-type granites; discrimination criteria; material source; petrogenesis; tectonic setting

(上接第 190 页)

## Geological Characteristics and Metallogensis of Dishui Sandstone-type Copper Deposit, Xinjiang

HAN Wen-wen, TAO Xiao-feng, YUE Xiang-yuan

(College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Dishui sandstone-type copper deposit, Xinjiang province, locates at Kuche foreland fault basin which lays northern margin of Tarim Basin. The copper ore-bodies are occurred in inter-bedded lacustrine and fluvial gypsum-bearing sandstone formations, and are composition of three main ore-bearing strata, which contains more than  $40 \times 10^4$  t copper reserve in total. Dishui copper deposit is a typical strata-bound deposit which in formed by “sedimentation-diagenesis-alteration” process: the ore source is concentrated by biological and chemical process in the sedimentary stage; and then the ore-forming materials are removed to the favorable space in the diagenesis process; lastly, the ore-bodies are formed by re-enriched process in the alteration stage. Copper ore-bodies are occurred in multiple sedimentary environment of inter-bedded deep-lake facies, delta facies and fluvial facies, where existing the effective metal precipitation geochemical barrier, organic material-rich reducing barrier and sulfide-rich sulfuration barrier.

**Key words:** sandstone-type copper deposit; geological characteristics; strata-bound deposit; ore genesis; Dishui area, Xijiang province