

文章编号: 1009-3850(2004)02-0022-08

过铝花岗岩的研究动向和进展 ——兼论西藏过铝花岗岩

廖忠礼¹, 莫宣学², 潘桂棠¹, 朱弟成¹,

王立全¹, 赵志丹², 江新胜¹

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 本文主要讨论了过铝花岗岩的含义、类型、构造环境以及两种主要过铝花岗岩类的成因。并以西藏过铝花岗岩为例, 阐述和分析其分布特征、主要岩石类型和岩石学、地球化学特征, 初步认为西藏过铝花岗岩的成因是新特提斯洋关闭后印度板块与欧亚板块碰撞造山作用的结果, 主要属同碰撞花岗岩。

关键词: 过铝花岗岩; 类型; 构造环境; 西藏

中图分类号: P588.12⁺1

文献标识码: A

自 1927 年 Shand 提出过铝质花岗岩这一概念后, 对其研究一直备受重视。特别是 20 世纪七八十年代达到研究高潮, Chappell 和 White 提出 S 型花岗岩(强过铝花岗岩)及其成因模式^[1]后, 引起了世界性的对比研究热潮。1980 年在加拿大召开了过铝花岗岩专题讨论会, 并在 1981 年的《Canadian Mineralogist》杂志上出版了相应的专集。IGCP220 项(1984—1988)和 IGCP282 项(1989—1993)分别对过铝系列的稀有金属矿化花岗岩及其成矿作用进行了研究。到目前为止, 对过铝花岗岩的矿物学(Clarke, 1981)、岩石学、实验岩石学(Manning, 1981)、地球化学、熔体包裹体、同位素地质学、成因、形成构造环境、与成矿关系等方面都进行了较深入研究, 取得大量成果^[2~3]。

笔者以近年来国内外有关文献为基础, 结合西藏工作实践, 对过铝花岗岩的研究动向和进展进行讨论。

1 过铝花岗岩含义

对于过铝质有不同的认识, 一种是将过铝质岩用于表示实质上 Al_2O_3 为过饱和的岩石: ① $Al_2O_3 > CaO + Na_2O + K_2O$ ^[4], ② $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O$ ^[7, 8], ③ $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O) = CaO$ (分子数); 另一种是用 Al_2O_3 “绝对量”为划分标准, 要求过剩铝进入原生白云母(Miller 等, 1981)、黄玉、红柱石等, 其矿物学特征是含原生白云母、黑云母、刚玉、电气石、黄玉、铁铝榴石和锰铝榴石, 其化学特征是出现标准矿物分子刚玉而没有紫苏辉石。过铝花岗岩尚未收入权威性的各类地质词典中。虽不是规范化术语, 但也表征了一部分花岗岩的共性, 而且散见文献中。“过铝花岗岩”已有基本明确的定义, 即全岩的 $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ 分子比值大于 1, 其中含有原生白云母、堇青石、石榴子石、电气石、红柱石等

收稿日期: 2003-12-12

第一作者简介: 廖忠礼, 男, 1969 年生, 博士, 副研究员, 从事岩石学及区域地质方面的研究。

资助项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB412600, G1998040800), 中国地质调查局青藏高原南部空白区基础地质调查与研究项目(1212010310102), 青藏高原地质构造及其资源环境效应综合研究项目(200113900069), 中国地质大学“岩石圈构造、深部过程及探测技术”教育部重点实验室开放课题(2003003)。

铝硅酸盐矿物的花岗质岩石。岩石的 $A/CNK \geq 1.1$, 为强过铝性质, 称为 S 型花岗岩。大多数过铝花岗岩色率较低(一般小于 5%), 可称为淡(浅)色花岗岩类^[9]。

2 有关术语

过铝花岗岩类、S 型花岗岩类、弱过铝与强过铝花岗岩类、含堇青石花岗岩类和二云母花岗岩类等术语之间有着不同的涵义。目前广泛应用 S 型和 I 型花岗岩的分类方案, S 型花岗岩代表海西型大陆碰撞造山带环境, I 型花岗岩代表科迪勒拉型和加里东型造山带环境, 国内大量文献也把 $A/CNK > 1$ 的过铝花岗岩类均定为 S 型, 从而均鉴别为大陆碰撞造山带环境。这是一种误解^[10]。

过铝花岗岩可分为含白云母过铝质花岗岩类(MPGs)和含堇青石及富黑云母过铝质花岗岩类(CPGs)。对各种类型 CPGs 的研究表明, “S 型花岗岩类”和“过铝质花岗岩类”不是同义词。S 型花岗岩类是特殊类型的 CPGs; 过铝质花岗岩类不仅包含包括 S 型花岗岩类在内的 CPGs, 而且还包含 MPG。所以不能简单地从源岩上划分为 S 型和 I 型花岗岩, 它们的形成有其更深刻的原因。

I 型和 S 型花岗岩的术语在 20 世纪七八十年代曾被广泛采用, 这两类花岗岩不仅地球化学性质不同, 而且其形成的温度、压力、源区的深度和组成均不同: I 型花岗岩应当主要源于下地壳的部分熔融; 而 S 型花岗岩相反, 在中上地壳环境内即可形成。实验研究表明, I 型花岗岩类可能是由镁铁质—中性的变质岩在下地壳源区内极端热的条件下形成的^[4, 11]。

典型的 S 型花岗岩是指含白云母、堇青石、石榴子石等矿物的强过铝(strongly peraluminous)花岗岩类岩石, $A/CNK > 1.1$ ^[12], $C\text{-norm}$ (刚玉标准分子) $> 1\%$ (Miller 和 Bradfish, 1980)。而所谓的 I 型花岗岩类中的一部分可以是弱过铝的(weakly peraluminous), 不含上述强过铝的特征矿物(King 等, 1997)。

构成过铝花岗岩的岩石很多为淡色花岗岩(根据含镁铁质的成分小于 5% 的定义确定), 一些为狭义花岗岩、花岗闪长岩, 甚至有一些英闪石^[13]。

在花岗岩中, 指示强过铝组成的最普通的矿物是白云母; 黑云母可以容纳一定数量的过剩的 Al, 因此, 使得在弱刚玉标准分子的花岗岩中不能出现富 Al 的典型矿物。含黑云母的岩石有两种情况: 如

果有黑云母或与白云母共生, 为 Al_2O_3 过饱和的; 如果黑云母与偏硅酸盐共生, 则为 Al_2O_3 不饱和的。因此, 当花岗岩中只有黑云母时, 花岗岩可以是弱过铝的, 这就是为什么一部分 I 型和 A 型花岗岩亦可以是弱过铝的原因。由此, 区分弱过铝和强过铝十分重要。除化学参数(A/CNK , $C\text{-norm}$)外, 最重要和最简便的方法是识别和描述矿物学及其共生组合的特征。

简而言之, 过铝花岗岩一般为强过铝花岗岩, 多为淡色花岗岩, 且主要为 S 型花岗岩, 但也有幔源花岗岩。

3 过铝花岗岩类型及其构造环境

3.1 Barbarin 分类

Barbarin 根据花岗岩类的矿物组合、野外出露和岩石特性、定位特点、以及地球化学和同位素特征, 将花岗岩类划分为 7 种类型: (1) 含白云母过铝质花岗岩类(MPGs), (2) 含堇青石及富黑云母过铝质花岗岩类(CPGs), (3) 富钾及钾长石斑状钙-碱性花岗岩类(KCGs), (4) 含角闪石钙-碱性花岗岩类(ACGs), (5) 岛弧拉斑玄武质花岗岩类(ATGs), (6) 洋脊拉斑玄武质花岗岩类(RTGs), (7) 过碱性及碱性花岗岩类(PAGs)^[9, 14, 15]。其中将过铝花岗岩分为 MPG 和 CPG 两类。不同类型岩石具有不同的来源和地球动力学环境, 过铝花岗岩的来源为一般为壳源, 地球动力学环境为大陆碰撞。

3.2 不同类型过铝花岗岩类的矿物学、岩石学判别特征

根据 Barbarin 的研究, 不同花岗岩类型的矿物学以及岩石组合特征如表 1 所示。

白云母在许多类型的花岗岩类中可能是副矿物, 但大片的原生(primary)的环带状的白云母仅在 MPG 中大量出现^[16]。这些长英质的富白云母的淡色花岗岩或二云母花岗岩经常含电气石、石榴子石和独居石, 它们通常是侵入的, 而且很少存在包体。在出现包体的地方, 包体通常为围岩捕虏体或冷却边碎块, 很少见到残留体。少数二云母花岗岩可以扎根于变质岩中, 而且含有以包体形式存在的残留体。马纳斯卢峰和另一个高喜马拉雅淡色花岗岩(Le Fort, 1981)以及西欧海西(构造)带的大多数二云母花岗岩(Lameyre 等, 1980; De La Roche 等, 1980)都是这种类型的典型例子。

堇青石与夕线石、稀少的红柱石和一些小片原生白云母伴生, 是 CPG 花岗岩类类型的鉴别性特

表 1 主要花岗岩类类型的主要特征(据文献^[15] 总结)

Table 1 Mineral assemblages, lithologic and isotopic characteristics of main granites (modified from Barbarin, 1999)			
项 目		含白云母过铝花岗岩类(M PG)	含堇青石过铝花岗岩类(CPG)
主要矿物组合	黑云母	+	+++
	白云母	+++	+
	堇青石	0	++
	夕线石-红柱石	0	+
	角闪石	0	0
	辉石	0	0
	磷灰石	+++	+++
	锆石	+	++
	独居石	+	+
	石榴子石	++	+
	电气石	+++	++
	褐帘石	0	+
	榍 石	0	0
	钛铁矿	+	+
	磁铁矿	0	0
	斜长石(An)	0~20	15~40
主 要 岩 石		淡色花岗岩(花岗岩)	(淡色花岗岩)、花岗岩、花岗闪长岩、(石英闪长岩)
相关的伴生岩石	变质岩的	0	混合岩、深融岩
	火山岩的	0	0
	镁铁质的	0	石英闪长岩(暗色花岗闪岩)
包 体	捕 虏 体	+	0~+
	残 留 体	+	+++
	长英质微晶(粒) 包体	+	0~++
	镁铁质微晶(粒) 包体	0	+
分异作用及过程		分离结晶作用	分离结晶作用或残留体的非混合作用
主要元素和同位素特征	铝饱和指数		≥CNK
	A/CNK 克分子		≥1
	Al ₂ O ₃	+++	+++
	CaO	+	+
	Na ₂ O	++	++
	K ₂ O	++	+++
	TFeO+ MgO+ MnO	+	++
	Fe ³⁺ / (Fe ³⁺ + Fe ²⁺)	+	+
	TFeO/ (TFeO+ MgO)	< 0. 8	< 0. 8
	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0. 706~0. 760	> 0. 708
	ε Nd	- 4~- 17	- 6~- 9
	δ ¹⁸ O / ‰	+ 10~+ 14	+ 10~+ 13
	δ ⁴ S / ‰		- 12~+ 2

注: 0 缺失, + 稀少, ++ 一般, +++ 丰富

征。堇青石可能大量出现^[17] (Zen, 1988; Barbarin, 1992), 它通常以自形柱状产出, 在比较特殊的情况下则以由堇青石和石英矿物组合组成的结核或团块产出(Didier 和 Dupraz, 1985)。富黑云母含堇青石花岗岩和花岗闪长岩也含电气石、石榴子石和独居石, 它们或者是侵入的, 或者是深部的。由许多富云母残留体组成的包体以及一些镁铁质微粒包体(Didier和 Barbarin, 1991) 特别丰富。该类花岗岩类深深扎根在高级变质岩石中, 或者与这些岩石伴生形成深融杂岩。澳大利亚东南的拉克伦褶皱带S型富堇青石花岗岩类是这一类型最好的例子^[14]。法国中央地块的海西构造带(Couturie, 1977) 以及其他

地区贫堇青石的钾长石斑状花岗岩和花岗闪长岩也属于这种类型。这些普通的侵入花岗岩类常与石英闪长岩(暗花岗闪长岩) 伴生。

因此, 只要在野外和室内通过研究矿物组合和岩石学特征、岩体定位特征以及通过地球化学和同位素特征准确确定花岗岩类型, 就能确定这些花岗岩类型所代表的构造环境。

在确定花岗岩构造环境时, 一般遵循以下3个流程或步骤: 第一步, 根据花岗岩类的矿物组合以及它们的野外出露、岩石学和定位特征确定花岗岩类类型; 第二步, 利用化学及同位素资料确定其来源, 包括壳源的过铝质花岗岩类, 还是幔源的拉斑玄武

质的钙碱性和过碱性的花岗岩类,或具有不同比例的地壳及地幔成分的混合来源的偏铝质和钙-碱性花岗岩类;第三步,根据其类型和来源特征,确定其构造环境。

4 两种主要过铝花岗岩类的成因

尽管过铝花岗岩类型和成因多种多样,但主要的、最常见的有两种类型:含白云母过铝质花岗岩类(MPGs)和含堇青石过铝质花岗岩类(CPGs),它们分别代表了两种不同成因^[15]。

4.1 含白云母过铝质二长花岗岩和淡色花岗岩

MPGs 成分接近花岗岩最低点的熔融,主要由淡色花岗岩即富含钾长石和钠质斜长石的、含镁铁质矿物不到 5% 的长英质花岗岩类及二长花岗岩组成。

最特征矿物为原生白云母,它是 MPG_s 中的一种岩浆结晶的矿物相,颗粒粗,可与其它明显为岩浆相的粒度相比,具清晰自形形态。晶体没有被诸如钾长石或堇青石(其中的白云母是由固相线之下蚀变所形成的分解产物)等任何矿物包裹或不规划地包裹,存在光学屡变环带,出现次要和主要熔蚀面、生长结构以及黑云母、磷灰石和锆石包裹体的特征性分布(通常平行于白云母晶面)。与固相线之下的白云母相比,岩浆成因白云母还始终富含 Ti、Na 和 Al,而贫 Mg 和 Si。

MPGs 中包体相对贫乏,由边缘细晶岩相和区域性岩石捕虏体或岩屑碎块组成的包体通常聚集在边缘附近,镁铁质岩浆包体及暗残体例外。局部存在有与析离体有关的云母包体。

4.2 含堇青石过铝质英闪岩到二长花岗岩

CPGs 由英闪岩、花岗闪长岩和二长花岗岩组成,含有大量黑云母。其镁铁质成分通常比 MPG_s 多,堇青石是特征矿物,其分布变化很大;堇青石通常作为自形柱体出现,一般因发生“块云母化”而转变成次生白云母和绿泥石,但大都具有岩浆矿物的特征。原生白云母稀少或不存在,但可与固相线之下白云母骸晶共存。

CPGs 岩石的演化程度不如 MPG_s (图 1)。此外,随着 CPG_s 中分异作用的进行,过铝性或者大大减弱,或者略有增强,而在 MPG_s 中过铝性则大大增强。图 1 着重表示 3 组过铝质花岗岩类的成分和演化途径的差异。图中的典型过铝花岗岩类组合大致可以分为 3 组。第一组(线 1、2、3)过铝程度随分异作用进行急剧降低,这种特征接近于澳大利亚拉

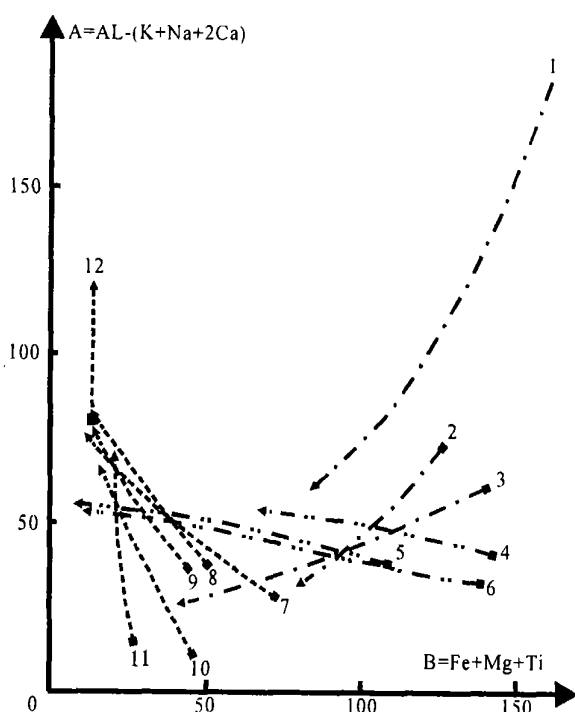


图 1 某些典型过铝质花岗岩类组合的演化(据 Debon 和 Le Fort, 1983, 转引自文献^[15])

指数 $A = Al - (K + Na + 2Ca)$, 反映花岗岩类的含铝特征, 指数 $B = Fe + Mg + Ti$, 反映花岗岩类央的演化程度, 单位为每 100 克物质中每种元素的克-原子数 $\times 10^3$ 。

Fig. 1 The evolution of representative peraluminous granites (after Debon and Le Fort, 1983)

The index $A = Al - (K + Na + 2Ca)$ represents the aluminum contents in granites; the index $B = Fe + Mg + Ti$ represents the evolutionary degrees of granitic magmas

克兰褶皱带 S 型富堇青石花岗岩类,如科修斯科岩基;第二组(线 4、5、6)过铝程度随分异程度进行轻度增加,这是其他含堇青石花岗岩类的特征,如尼泊尔-印度-巴基斯坦低喜马拉雅花岗岩带;第三组(线 7—12)过铝程度随分异程度进行强烈增加,这是与富黑云母花岗岩类共生的二云母淡色花岗岩岩基和岩体的特征,如英格兰康瓦尔岩基、尼泊尔高喜马拉雅淡色花岗岩带的马纳斯卢峰岩体等。

Debon 和 Le Fort 认为,第一组花岗岩类即典型的 CPG 由于含有丰富的残留体,它们的演化趋势主要是由于残留体的逐渐分离所致;第二组花岗岩类由于其中含少量的残留体,故其演化趋势可能是残留体分离和岩浆结晶分异同时起作用的结果;第三组花岗岩即典型的 MPG,其过铝指数迅速而极端地升高,标志了明显的岩浆分异作用特征。

4.3 两种过铝花岗岩类的成因

由上所述,MPGs 与 CPGs 花岗岩特征明显不同(表 2)。

对各种类型 CPG 的研究表明,“S 型花岗岩类”和“过铝质花岗岩类”不是同义词。正如在拉克伦褶皱带中所定义的那样,S 型花岗岩类是特殊类型的 CPGs。过铝质花岗岩类不仅包含包括 S 型花岗岩类在内的 CPGs,而且还包含 MPG_s,所以不能简单地从源岩上划分为 S 型和 I 型花岗岩,它们的形成有其更深刻原因。主要表现为:(1) MPG_s和 CPG_s通常产在相同造山带中;(2) 原生白云母和堇青石结晶时岩浆水含量不一样,说明 MPG_s和 SPGs 形成环境不一样。

5 西藏过铝花岗岩的初步研究

过铝花岗岩的岩浆活动在青藏高原有一定分布,是强烈岩浆活动的一种重要形式。其中西藏广泛分布过铝花岗岩,喜马拉雅地区是闻名世界的过铝花岗岩研究基地^[10,18~20]。

5.1 过铝花岗岩分布及岩石类型

西藏过铝花岗岩主要呈带状分布于班公湖—改则—安多怒江带一线以南,在构造背景上属于冈底斯—喜马拉雅构造区。在构造-岩浆带上,主要涉及冈底斯-念青唐古拉和喜马拉雅构造岩浆带,主要为喜马拉雅构造-岩浆旋回的产物,其延展方向大体与区域构造线^[21]一致。

喜马拉雅-拉轨岗日花岗岩带从察隅向西延至克什米尔地区,呈向南突出的近东西向的弧形带,带内过铝花岗岩类多以出露面积较小的岩株产出,主要过铝花岗岩岩体有佩枯错、克玛、加措拉、康马、告乌、洛扎等。

冈底斯花岗岩带沿印度河-雅鲁藏布江结合带北侧分布,主要过铝花岗岩岩体有朗那、罗扎、羊八井、宁中等。

藏北-念青唐古拉花岗岩带平行于冈底斯岩带的北侧分布,主要过铝花岗岩岩体有文部、甲岗山、班戈、巴木错等。

西藏过铝花岗岩的岩石类型主要有:

(1) 电气石花岗岩。这是喜马拉雅-拉轨岗日花岗岩带典型的岩石类型,在大多数岩体中都能见到。根据次要矿物可以划分电气石白云母二长花岗岩、电气石二云母花岗岩、含电气石二云母花岗岩以及石榴子石电气石花岗岩等变种。岩石中含有丰富的黑色电气石是其典型特征。岩石的副矿物具电气石-石榴子石-磷灰石-锆石组合,局部地区还可见萤石和黄玉。

(2) 白云母花岗岩。岩石具中—细粒花岗结构,块状构造。岩石中主要矿物成分有石英、钠长石、正长石、白云母、黑云母以及少量的电气石、磷灰石、锆石等。岩中矿物粒径为 3~10mm,为中—粗粒柱状半自形晶结构,钾长石柱状晶体形成二长结构。有的钾长石中可见到格状双晶,聚片双晶不十分发育。少数斜长石晶体测得 An₂₉,接近中长石。白云母和电气石的存在,表明该岩石受到较轻微高温热液蚀变。

(3) 二云母花岗岩。岩石中矿物主要成分有石英、中长石、正长石、黑云母、白云母以及少量的磷灰石、锆石等副矿物。岩石具斑状结构,斑晶由斜长石和正长石组成,斜长石呈自形宽板状外形,聚片双晶较发育,环带构造也很发育,斜长石牌号为 An₄₂号(中长石)。正长石呈自形长板状外形,卡斯双晶发育。

表 2 两种主要过铝质花岗岩类的判别标志(据文献^[15])

Table 2 The diagnostic criteria for two types of peraluminous granites (after Barbarin, 1996)

类 型	野外产状	特征矿物	岩石组合	分异作用	过铝性	构造环境	成 因
含白云母过铝质二云母二长花岗岩(MPG _s)	呈巨大深成岩体侵入	白云母	淡色花岗岩类、二云母花岗岩包体少	分异演化程度最高	过铝性随分异作用大大增强,并以快速或极快速度变化	产在地壳加厚的横切造山带的横推断层或者逆掩型的韧性剪切带中,由地壳加厚热引起的深熔作用形成	地壳岩石“湿”的深熔作用和岩浆的结晶分离作用产生
含堇青石的过铝质英闪岩到二长花岗岩(CPG _s)	以深成岩体或岩盘式深熔杂岩体产出	堇青石(含大量黑云母)	英闪岩、花岗闪长岩和二长花岗岩包体多,包括暗残体和镁铁质微粒包体	分异演化程度不如 MPG _s	过铝性随 S 型花岗岩分异而大大降低或略有升高	产在地壳减薄地区,由地幔源岩浆底侵或贯入使地壳发生熔融形成	地壳岩石发生“干”的深熔作用产生

此外,在仁布县曲珍见及红柱石花岗岩。在乃东县叶腊香波、仁布县曲珍分布石榴子石花岗岩。这些岩石类型,按 Barbarin 的分类,均属于 MPG_s。

5.2 岩石化学及地球化学特征

主要岩体的化学成分变化不大, SiO₂ 含量为 71.90%~75.86%, TFeO+MgO 含量为 0.417%~2.371%, 平均为 1.11%; CaO 变化于 0.34%~2.07% 间, 平均 0.88%; Na₂O+K₂O 含量在 7.26%~8.81% 间, 平均为 8.16%, 且绝大多数样品 K₂O>Na₂O。与中国花岗岩的平均值相比, 其特点是富硅、总碱量高, 钾和铝含量高, 而镁、铁、钛含量低。铝饱和指数 A/CNK 为 1.11~1.59, 均大于 1.1; 刚玉标准分子为 1.07~6.31, 均大于 1。这些具典型的(强)过铝花岗岩特征。

虽然在常量元素上过铝花岗岩具很窄的变化范围, 在稀土元素特征上却显示出较明显的变化, 同时还具有一些不同于一般花岗岩的异常特征, 主要可归纳为以下方面: (1) 具较大的稀土含量变化, 总量变化在 $(33.93 \sim 229.74) \times 10^{-6}$ 之间, 出现稀土总量异常低的样品, 平均含量为 98.39×10^{-6} , 均明显低于世界上酸性岩的平均含量 (288×10^{-6}) 。(2) 轻重稀土分馏程度低, 稀土配分曲线为平坦型和缓右倾型, $(La/Sm)_N$ 介于 1.59~7.89 之间, 重稀土平坦。个别样出现花岗质岩石中罕见的轻稀土亏损重稀土富集的配分型式, 分析其应与岩石中含石榴子石这类副矿物有关。(3) 岩石的 δEu 为 0.05~0.99, 均小于 1, Eu 负异常明显。岩石的 $(La/Yb)_N$ 为 2.14~64.77, $(La/Sm)_N$ 为 3.05~7.89, LREE/HREE 为 2.13~18.71, 稀土分配模式图右倾斜滑, 轻稀土富集, Eu 略有亏损, Eu 处低谷明显, 显示轻稀土分馏明显, 重稀土分馏不太明显。此外, $\delta^{18}O$ 值较高, 为 8.9‰~18.79‰^[20~24], 反映出岩石的主要物质来源于上地壳, 为 MPG_s, 属 S 型花岗岩。

5.3 西藏过铝花岗岩的年龄约束

西藏过铝花岗岩分布广泛, 呈带状分布, 主要为喜马拉雅构造-岩浆旋回的产物, 其延展方向大体与区域构造线一致。在时代演化方面, 有从北往南、从东到西由老变新的趋势。

西藏过铝花岗岩测定的年龄值^[22~24] 主要在 20~10Ma 之间, 属喜马拉雅期, 反映其岩浆活动主要集中于新近纪, 而且主要在 23Ma 及其以后侵位的, 岩浆活动强度基本呈增强趋势。

5.4 过铝花岗岩的成因类型和构造环境

西藏过铝花岗岩是与青藏高原隆升过程相伴生

的产物, 因此, 对这套花岗岩的研究也是目前颇受国际地学界关注的问题。笔者初步认为这套花岗岩的成因是新特提斯洋关闭后印度板块与欧亚板块碰撞造山作用的结果。其地质证据是: (1) 二云二长花岗岩和白云二长花岗岩中常发育有大量沿裂隙侵位的电气石白云母伟晶花岗岩脉和细晶花岗岩脉, 表明岩体晚期存在张应力环境; (2) 过铝花岗岩体规模不等, 含白云母和电气石, 有时可见在其中含有富黑云母的残留体, 这些特征表明它们实际上就是原地重熔的产物。而岩石学依据有: (1) 岩相学、岩石化学特征上, 这套花岗岩富铝高钾, 含原生白云母、石榴子石和电气石等富铝矿物, 具典型熔融成因的 S 型花岗岩的特征; (2) 过铝花岗岩在 Q-Ab-Or 相图上的投点均落在低温槽附近, 表明是源区初始熔融的产物; (3) 微量元素分布型式有关花岗岩的构造环境判别图解显示, 过铝花岗岩主要属同碰撞花岗岩, 有向板内花岗岩演化的趋势。

6 小 结

(1) 过铝花岗岩的基本含义可概括为: 全岩的 $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ 分子比值大于 1, 其中含有原生白云母、堇青石、石榴子石、电气石、红柱石等铝硅酸盐矿物的花岗质岩石。岩石的 $A/CNK \geq 1.1$, 为强过铝性质, 称为 S 型花岗岩。大多数过铝花岗岩色率较低(一般小于 5%), 可称为淡(浅)色花岗岩类。

(2) 过铝质花岗岩类、S 型花岗岩类、弱过铝与强过铝花岗岩类、含堇青石花岗岩类和二云母花岗岩类等术语之间有不同的涵义。过铝花岗岩一般为强过铝花岗岩, 多为淡色花岗岩, 且主要为 S 型花岗岩, 但也有幔源花岗岩。除化学参数(A/CNK , C_{norm}) 外, 识别过铝花岗岩最重要和最简便的方法是识别和描述矿物学及其共生组合的特征。

(3) 根据花岗岩类的矿物组合、野外出露和岩石特性、定位特点、以及地球化学和同位素特征, 将过铝花岗岩类划分为含白云母过铝质花岗岩类(MPG_s) 和含堇青石及富黑云母过铝质花岗岩类(CPG_s) 两类型。在野外和室内通过研究矿物组合和岩石学特征、岩体定位特征以及通过地球化学和同位素特征准确确定花岗岩类型, 就能确定这些花岗岩类型所代表的构造环境。

(4) MPG_s 的成因为地壳岩石“湿”的深熔作用和岩浆的结晶分离作用产生的, 而 CPG_s 为地壳岩石发生“干”的深熔作用产生的。

(5) 西藏过铝花岗岩主要呈带状分布于班公湖—改则—安多怒江带一线以南, 其延展方向大体与区域构造线一致; 其矿物组合、岩石学、岩石化学及岩石地球化学特征具典型的过铝花岗岩特征; 其年龄值反映其岩浆活动主要集中于新近纪, 而且岩浆活动强度基本呈增强趋势, 为喜马拉雅构造-岩浆旋回的产物。西藏过铝花岗岩是新特提斯洋关闭后印度板块与欧亚板块碰撞造山作用的产物。

致谢: 本文参考了在西藏新近完成的 1:25 万区调成果和青藏高原地质研究综合项目及有关子课题的最新成果, 承蒙陈智梁、罗建宁、颜仰基、喻学惠、巴登珠、沈敢富等人的指导。

参考文献:

- [1] CHAPPELL B W, WHITE A J R. Two contrasting granite types [J]. *Pacific Geology*, 1974, 8(1): 173—174.
- [2] WONISCH et al. Melt inclusions in quartz from an evolved peraluminous pegmatite: Geochemical evidence for strong tin enrichment in fluorine-rich and phosphorus-rich residual liquids [J]. *Cosmochimica Acta*, 1997, 61(13): 2589—2604.
- [3] 廖忠礼, 莫宣学, 等. 从 31 届地质大会看火成岩石学的研究动向[J]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(3): 360—366.
- [4] 涂绍雄, 汪雄武. 20 世纪 90 年代国外花岗岩类研究的某些重大进展[J]. *岩石矿物学杂志*, 2002, 21(2): 107—119.
- [5] 林广春, 马昌前. 过铝花岗岩的成因类型与构造环境研究综述[J]. *华南地质与矿产*, 2003, (1): 65—70.
- [6] LE MAITRE R W et al. A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1989, 103.
- [7] BOWES D R. The Encyclopedia of Igneous and Metamorphic Petrology [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989, 230.
- [8] 吴树仁. 岩石学词典[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 209.
- [9] BARBARIN B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. *Lithos*, 1999, 46(3): 605—626.
- [10] 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. 1—50.
- [11] ROBERTS M P, CLEMENS J D. Origin of high-potassium, calc-alkaline, I-type granitoids [J]. *Geology*, 1993, 21(9): 825—828.
- [12] SYLVESTER P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 1998, 45(1): 29—44.
- [13] CHAPPELL B W, WHITE A J R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. *Earth Sci.*, 1992, 83(1): 1—26.
- [14] BARBARIN B. Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting [J]. *The Journal of Geology*, 1990, 25(2): 227—238.
- [15] BARBARIN B. Genesis of the two main types of peraluminous granitoids [J]. *Geology*, 1996, 24(3): 295—298.
- [16] ROYCRFT P D. Magmatically zoned muscovite from the two-mica granites of the Leinster batholith [J]. *Southeast Ireland Geology*, 1991, 19(5): 437—440.
- [17] ZEN E-A. Phase relations of peraluminous granitic rocks and their petrogenetic implications [J]. *Annual Review: Earth Planetary Science*, 1988, 16(1): 21—51.
- [18] 邓晋福, 赵海玲, 等. 白云母/二云母花岗岩形成与陆内俯冲作用[J]. *地球科学*, 1994, 19(2): 139—147.
- [19] 廖忠礼, 莫宣学, 潘桂棠, 等. 西藏南部过铝花岗岩分布特征及其意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 2003, 23(3): 12—20.
- [20] 童劲松, 钟华明, 夏军, 等. 藏南洛扎地区过铝花岗岩的地球化学特征及构造背景[J]. *地质通报*, 2003, 22(5): 308—318.
- [21] 潘桂棠, 李兴振, 王立全, 等. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分[J]. *地质通报*, 2002, 21(11): 701—707.
- [22] 刘振声, 王洁民. 青藏高原南部花岗岩地质地球化学[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1994.
- [23] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [24] BLATTNER P A, CHRIS J. Oxygen isotope trends and anomalies in granitoids of the Tibetan plateau [J]. *Journal of Asian Earth Science*, 2002, 21(3): 241—250.
- [25] 涂光灿, 张玉泉. 西藏南部花岗岩类地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1982.
- [26] SORKHABI R B, STUMP E. Rise of the Himalayas: A geochronologic approach [J]. *GSA Today*, 1993, 3(4): 87—92.

Peraluminous granites: insights from recent developments with discussions on the peraluminous granites in Xizang

LIAO Zhong-li^{1,2}, MO Xuan-xue², PAN Gui-tang¹, ZHU Di-cheng¹, WANG Li-quan¹, ZHAO Zhi-dan², JIANG Xin-sheng¹

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The present paper deals with the terminology, type, tectonic setting and genesis of peraluminous granites, with the emphasis on the peraluminous granites in Xizang, southwestern China. The preliminary study demonstrates that the peraluminous granites in Xizang may be assigned to the syncollisional granites, and resulted from collision and mountain building caused by the collision between the Indian and Eurasian plates following the closure of the Neo-Tethyan Ocean.

Key words: peraluminous granites; type; tectonic setting; Xizang

资料简介

西南三江中段(石渠—甘孜—理塘)地区遥感综合矿产地质调查

完成单位: 四川省地质调查院

内容简介: 通过本次遥感综合矿产地质调查, 进一步查明了区内主要的断裂构造, 提出了本区主要断裂具有两期多次成矿作用的新观点, 为该区找矿及成矿预测提供了新的思路。以此观点为基础, 建立了遥感找矿模型和以遥感为主的矿产综合预测系统, 结合地质矿产、物化探资料的综合分析, 对全区进行了成矿远景预测, 划分出 7 个成矿带, 新圈定遥感远景区及遥感找矿靶区 55 处, 查证 23 处, 新发现矿点 6 处, 矿化点 17 处, 并在夏塞隆、兰达、莫仁达靶区取得了找矿重要突破。创建的图像数字剖面分析方法, 在本区地质填图、成矿远景区划和找矿靶区圈定等方面的应用效果良好, 在地质条件复杂地区填图中有很大的应用潜力。

(由中国地质调查局西南资料分馆提供)