

文章编号: 1009-6248(2005) 01-0001-14

天山石炭-二叠纪后碰撞花岗质 岩石地球化学研究

夏祖春, 徐学义, 夏林圻, 李向民, 马中平, 王立社

(西安地质矿产研究所, 陕西 西安 710054)

摘 要: 在对前人研究资料综合的基础上, 重点对天山造山带不同构造单元中石炭—二叠纪后碰撞花岗质岩石地球化学特征进行了对比研究, 认为天山石炭—二叠纪后碰撞花岗质岩石属高钾钙碱—钾玄岩系列, 以钙碱系花岗质岩石类型为主。其中, 发育在裂谷带中的石炭—二叠纪花岗质岩石较发育在古微地块中或其边缘的花岗质岩石富 MgO 、 TiO_2 、 Na_2O , 贫 K_2O 、 Nb 、 Th , 两者具有不同的源区。裂谷带中的花岗质岩石多与火山岩同源, 由含不同程度壳源组分的壳幔混合源岩浆形成, 而古微地块花岗质岩石主要来自壳源。处于同一类构造位置但不同地区的花岗质岩石化学成分也不相同, 如天山西端伊犁地块南缘的托木尔峰花岗质岩石较天山东中段南部的库鲁克塔格花岗质岩石富 Fe 、 Mg 、 K 、 Nb 、 Sr , 而贫 Zr 、 Ba , 它们均是壳源成因, 反映了天山东、西地壳基底组分不同。石炭—二叠纪裂谷带中的花岗质岩石在天山东、西段也有差别, 东段的觉罗塔格和博格达花岗质岩石较天山西段伊犁裂谷中的花岗质岩石明显地富 Nb 、 Th 而贫 Sr 、 Ba , 反映出东、西天山石炭—二叠世花岗岩源区不同。花岗质岩石的正 $\text{E}(\text{Nd})$ 值并不是来源于与基性、超基性岩浆活动有关的幔源组分, 而是来自于幔源火山岩浆活动。

关键词: 后碰撞; 花岗质岩石; 地球化学; 石炭—二叠纪; 天山

中图分类号: P541 **文献标识码:** A

1 引言

位于中国西北部的天山造山带是中亚巨型复合造山系(亦称乌拉尔—蒙古巨型古生代复合造山系)的中国境内部分。它是挟持于北部西伯利亚地块与南部塔里木地块、华北地块(中朝地块)之间的古亚洲洋在形成、演化和消亡过程中伴随诸多陆块拼合、增生—俯冲、碰撞造山的产物。关于天山古生代洋盆闭合即洋陆转换的开始时限, 多年来一直存在不同的认识。大多数学者认为晚泥盆世—早石炭世古亚洲洋最终闭合, 西北利亚板块同中朝板块碰撞拼合, 包括天山造山带在内的兴蒙造山带中

许多花岗质岩石是后碰撞阶段岩浆活动的产物^[1~3]。夏林圻等^[4, 5]、Xia et al^[6, 7]。最新的研究表明, 晚古生代天山地区完成了从大洋向大陆的转化, 经历了晚古生代洋盆的消减、闭合以及古生代洋盆关闭之后的大规模石炭—二叠纪裂谷拉伸事件, 并在二叠纪晚期真正进入到陆内演化阶段。因此, 石炭—二叠纪天山地区应处于一种后碰撞构造环境。后碰撞环境是一个复杂的时期, 它包括了板块之间沿剪切带的大规模运动、合拢、岩石圈拆沉、小型海洋板块的俯冲以及裂谷的生成等等, 各种类型的岩浆作用都发生在这个环境中, 对于花岗质岩石来说, 在这个阶段富钾钙碱性花岗质岩石特别丰

收稿日期: 2004-11-08; 修回日期: 2005-01-11

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(编号: 200313000063)。

作者简介: 夏祖春(1935-), 女, 研究员, 岩石地球化学专业。

富^[8]。天山造山带石炭—二叠纪后碰撞火山岩浆作用十分发育, 年龄为 350~250 Ma 之间的花岗质岩石分布广泛, 它们是这一时期火山喷出- 侵入岩浆活动的重要组成部分。笔者在对前人研究成果综合分析的基础上, 重点对觉罗塔格、博格达、天山西段伊犁石炭—二叠纪裂谷和库鲁克塔格微地块、赛里木微地块北缘、伊犁微古地块南侧等地区出露(图 1) 的石炭—二叠纪花岗质岩石进行岩石地球化学特征对比研究, 以探讨天山造山带不同构造位置花岗岩的成分变化及源区特点。

2 觉罗塔格石炭—二叠纪裂谷带花岗质岩石地球化学特征

觉罗塔格石炭—二叠纪裂谷带中石炭—二叠纪花岗质岩石广泛出现, 但以二叠纪岩体为主, 其中属石炭纪的岩体有红云滩—铁岭岩体 (316 Ma)^[9], 及 10 号岩体 (334~319 Ma, 1:20 万大草滩幅地质图说明书, 1994); 属二叠纪的岩体有: 康古尔塔格 (236~275 Ma)^[10, 11]、石英滩 (293~266 Ma)^[10, 11]、咸水沟—鄯善采石场 (253 Ma)^[12]、骆驼峰 (286 Ma)^[12]、西凤山 (284 Ma)^[10] 等岩体。岩体围岩主要为石炭—二叠纪火山岩系。

2.1 石炭—二叠纪花岗质岩石化学特征

我们以下列图解或参数表示花岗质岩石的主量元素特征: 用 Frost (2001)^[13] 的 $\text{SiO}_2\text{-TFeO}/(\text{TFeO} + \text{MgO})$ 图划分铁质 (ferroan) 和镁质 (magnesian) 花岗岩, Frost (2001)^[13] 论述了铁质花岗质岩石多形成于拉张环境下, 已知的 A 型花岗岩覆盖此区; 而镁质花岗质岩石则常与消减作用有关, Cordilleran 火山弧花岗岩覆盖此区。用 Castro 等 (1999)^[14] 的 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 图划分低钾拉斑玄武岩系列、钙碱性系列、高钾钙碱性系列及钾玄岩系列, 后碰撞期花岗岩主要属于高钾钙碱系及钾玄岩系列。用 Barker 和 Arth (1976)^[15] 的 $\text{K}_2\text{O-Na}_2\text{O-CaO}$ 图区分钙碱花岗岩系列和奥长花岗岩系列岩石类型。用山德的铝饱和指数 ASI 区分偏铝质或过铝质岩石。觉罗塔格地区的岩石化学资料引自参考文献^[9, 11, 12, 16~17] 及本次研究中获得的数据。

觉罗塔格石炭—二叠纪花岗质岩石以铁质岩石占多数, 尤其是二叠纪花岗质岩石多为铁质或靠近

铁质岩石 (图 2A)。图 2B、2C 表明石炭—二叠纪花岗质岩石以基本上属于钙碱系、高钾钙碱系和钾玄岩系。石炭纪—二叠纪花岗质岩石 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均值为 1.04, 绝大多数样品的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值大于 0.5, 按 Turner 等^[18] 的意见 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值大于 0.5 的花岗质岩石属于钾玄岩系范围。石炭纪花岗质岩石 ASI 值在 1 左右, 二叠纪花岗质岩石的 ASI 值变化范围很大, 为 0.8~1.3, 各岩体的平均值范围为 0.94~1.10。

石炭纪与二叠纪花岗质岩石的稀土元素球粒陨石标准化分配图型基本相似 (图 3A、B), 多数是具 Eu 负异常的 LREE 富集型, 少量岩石 Eu 负异常不明显, 它们主要为闪长岩或石英闪长岩。其中二叠纪花岗质岩石较石炭纪岩石更富集 LREE, Eu 负异常明显。二叠纪花岗质岩石微量元素的最大的特点是: 与洋中脊花岗岩相比, 大多数不相容元素是富集的, 但有些样品 Ba 亏损, 与已知的一些板内花岗质岩石^[19] 有相似的特点。

2.2 石炭—二叠纪花岗质岩石与中晚泥盆纪花岗质岩石化学成分对比

在觉罗塔格裂谷带北部出现泥盆纪火山岩系及花岗质岩石, 该花岗质岩石分布在大南湖一带 (383~360 Ma)^[12, 20~21]、土屋—赤湖—延东一带 (369~356 Ma)^[22~23] 图 2A、B、C 表明石炭—二叠纪花岗质岩石与中晚泥盆纪花岗质岩石的化学成分有明显差异, 中晚泥盆纪花岗质岩石大多为镁质、钙碱系和低钾拉斑玄武岩系, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 多小于 0.5, 少数为铁质和高钾钙碱系; 在 $\text{K}_2\text{O-Na}_2\text{O-CaO}$ 图上显示为奥长花岗岩系列岩石类型 (图 2C)。泥盆纪花岗质的高场强元素 Ta、Nb、Zr、Hf 亏损。这些特征都与岛弧岩浆活动中的花岗质岩石相似。

2.3 石炭—二叠纪花岗质岩石与石炭纪火山岩的关系

将石炭—二叠纪花岗质岩石与土屋地区石炭纪火山岩^[7] 的化学成分相比, 二者化学成分呈规律性分布: 图 4A、B、C、D、E、F 示火山岩与花岗质岩石随 SiO_2 升高, TiO_2 、 Al_2O_3 、 TFeO 、 MgO 、 CaO 降低, 而 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 升高, 样品点基本分布在同一斜线趋势上。在相容元素与不相容元素相关的 Ba-Cr 图上 (图 4G), 可见花岗质岩石的绝大部分样品与火山岩呈结晶分异或部分熔融关系, 有几个样品

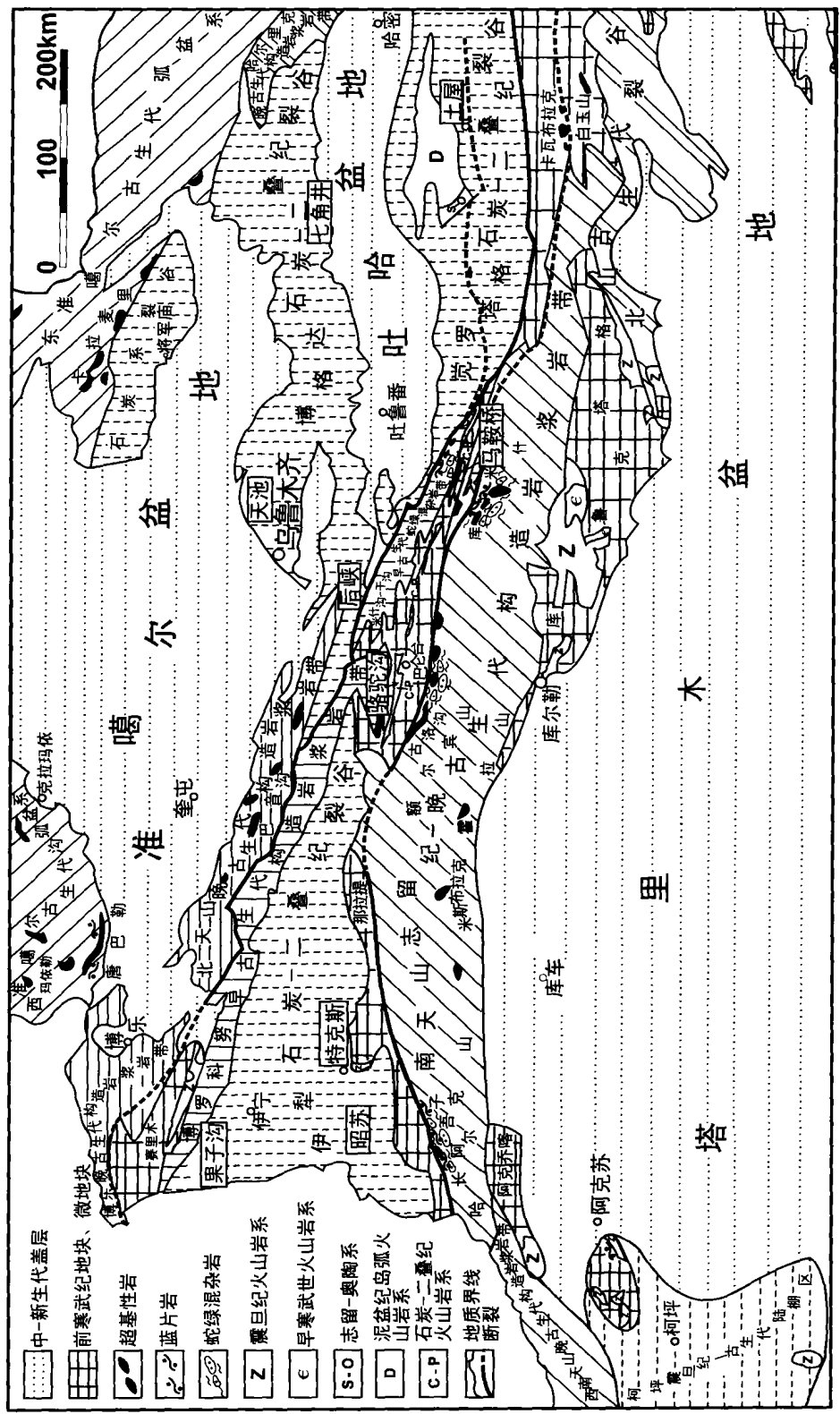


图 1 天山造山带地质构造单元分区略图

Fig. 1 Sketch map of geologic tectonic units of the Tianshan orogenic belt

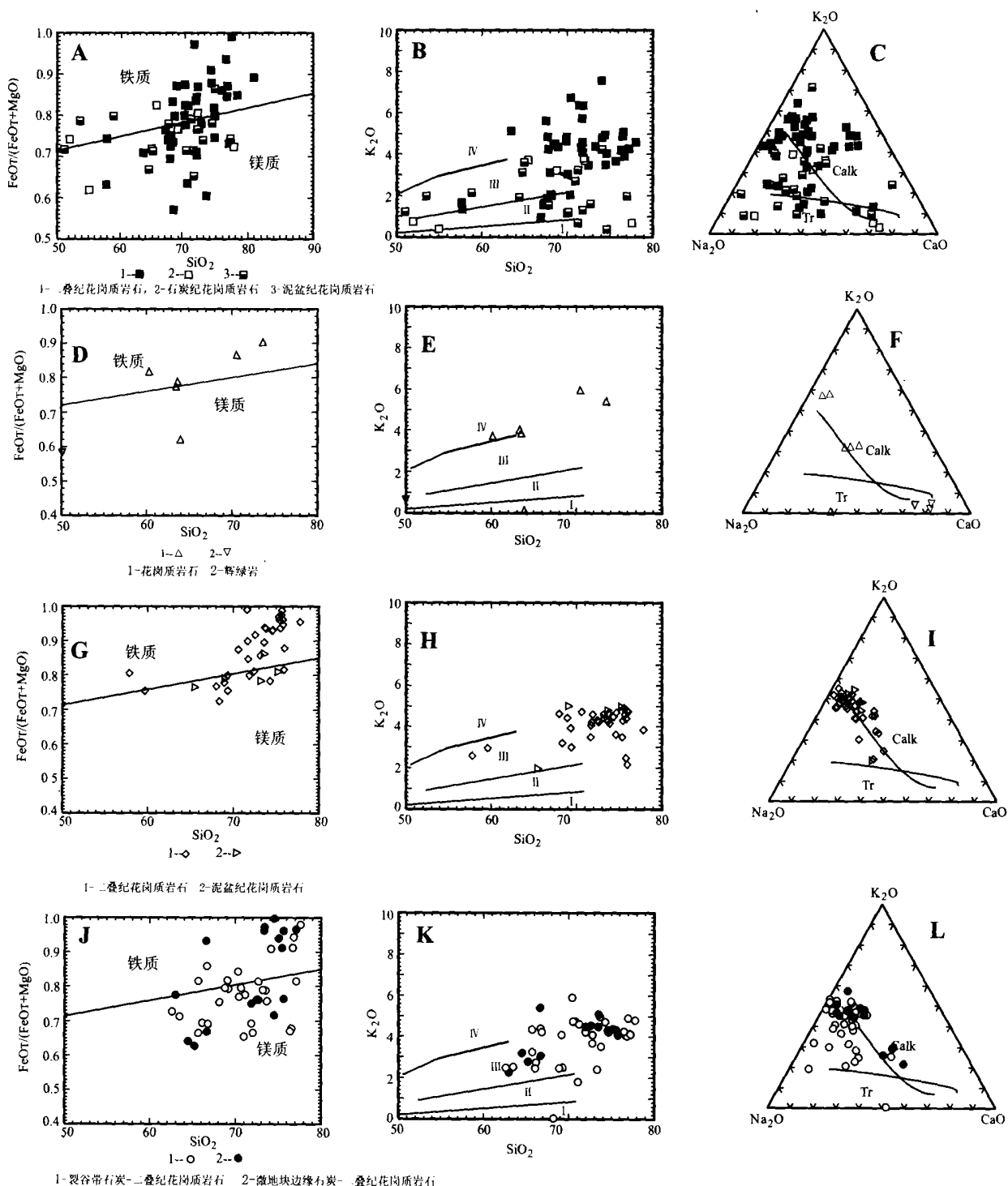


图2 花岗岩岩石主量元素相关图

Fig. 2 The variation diagrams of major elements for granitic rocks

A、D、G、J: SiO_2 - $\text{FeOT}/(\text{FeOT} + \text{MgO})$ 图 (据 Frost, 2001); B、E、H、K: SiO_2 - K_2O 图 (Castro 等, 1999); E: 低钾拉斑玄武岩系; F: 钙碱性系列; G: 高钾钙碱性系列; H: 钾玄岩系列; I、J、L: K_2O - Na_2O - CaO 图 (Barker 和 Arth, 1976); Calk-钙碱性花岗岩系列岩石类型; Tr-奥长花岗岩系列岩石类型; 觉罗塔格: A-C; 博格达: D-F; 库鲁克塔格: G-I; 天山西段: J-L

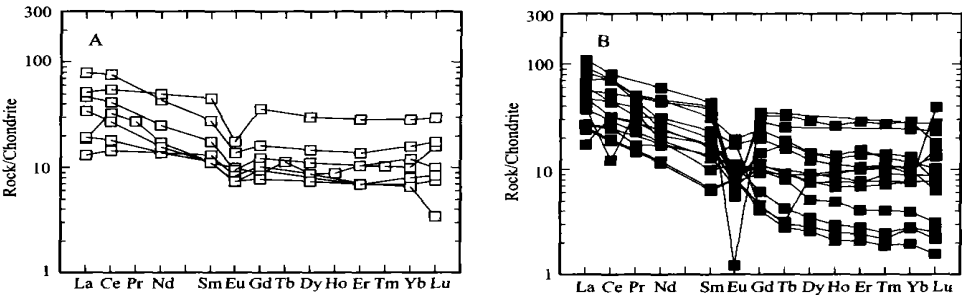


图 3 觉罗塔格石炭-二叠纪花岗岩稀土元素球粒陨石标准化分配型式

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns for Carboniferous-Permian granitic rocks from Jueltag
(标准化值据 Boynton 等, 1984)

A. 石炭纪花岗岩岩石; B. 二叠纪花岗岩岩石
(数据来源见文字说明)

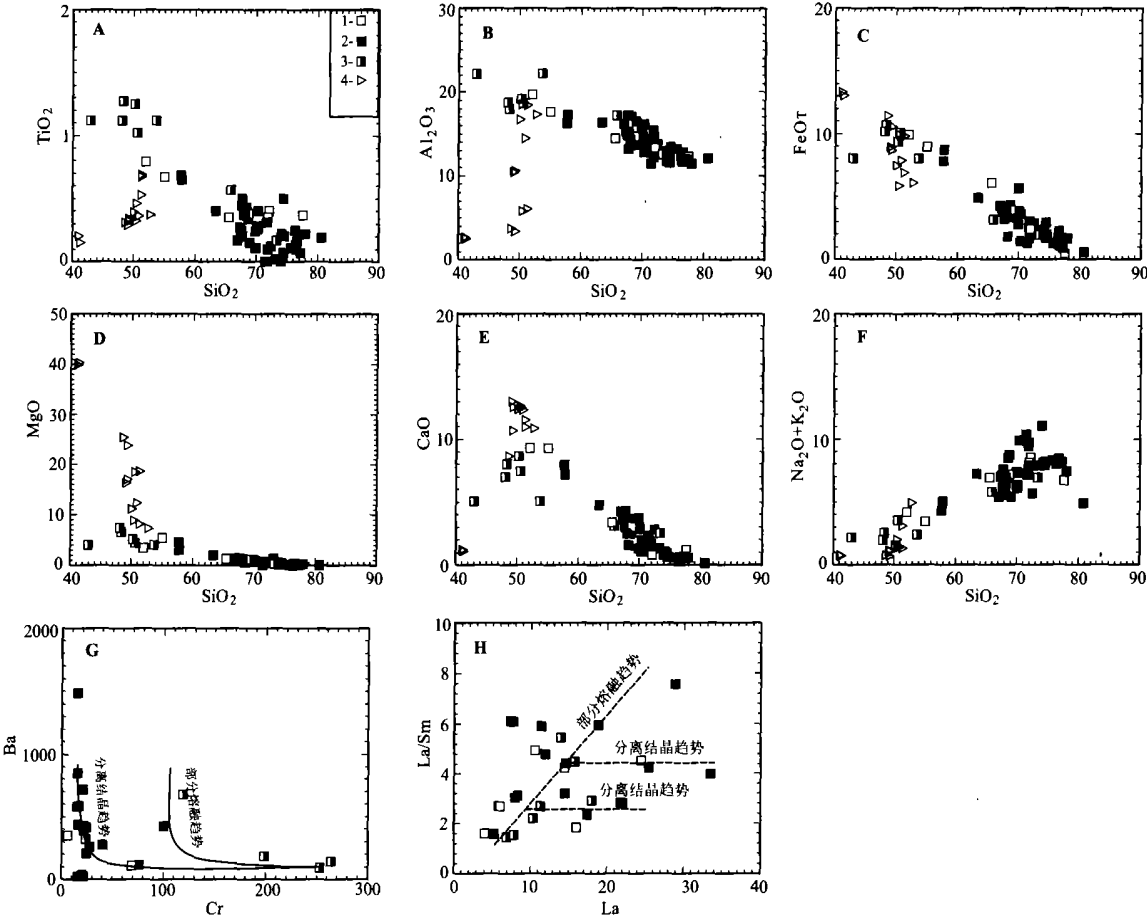


图 4 石炭二叠纪花岗岩岩石、火山岩及基性超基性岩岩石化学相关图

Fig.4 The geochemical coherent diagrams for Carboniferous-Permian
granitic rocks, volcanic rocks and ultrabasic-basic rocks

1. 石炭纪花岗岩岩石; 2. 二叠纪花岗岩岩石; 3. 石炭纪火山岩; 4. 黄山基性-超基性岩

A. SiO₂-TiO₂ 图; B SiO₂-Al₂O₃ 图; C、SiO₂-FeOT 图; D. SiO₂-MgO 图; E. SiO₂-CaO 图; F. SiO₂-(Na₂O+ K₂O) 图; G. Ba-Cr 图;
H. La/Sm-La 图; (数据来源见文字说明)

在界外。在 La/Sm-La 图 (图 4H) 上亦可看出二者间有部分熔融及结晶分异关系, 同样也有少数样品在界外。岩石化学表明同时代的花岗质岩石与火山岩有密切的成因关系, 夏林圪等^[6,7]已对石炭纪火山岩进行了较深入的研究, 提出东天山的石炭纪基性熔岩来源于相似于 OIB 的软流圈地幔源, 源区位于石榴石二辉橄榄岩与尖晶石二辉橄榄岩的过渡带, 同时微量元素特征又指示有岩石圈地幔和地壳组分的参与。觉罗塔格的石炭—二叠纪花岗质岩石现有的 Sr 同位素初始值为 $0.7039 \sim 0.7128^{[9 \sim 11]}$, 多数大于 0.7054, 参考前述各岩体 ASI 平均值为 0.94~1.10, 说明花岗质岩石中有以地幔组分为主的, 也有以地壳成分为主的。不相容元素与相容元素化学成分变化关系已表明花岗质岩石与火山岩有结晶分异一部分熔融关系(图 4G)。可以认为花岗质岩石基本上与火山岩浆具有同源关系, 一些岩体的地幔组分来源应与火山岩浆相同。同时, 花岗质岩浆中又加入了石炭纪火山岩浆活动所引发的大量地壳熔融

体, 形成了石炭—二叠纪花岗质岩石。

3 博格达石炭-二叠纪裂谷花岗质岩石化学特征

博格达裂谷带中的侵入岩以辉绿岩为主, 其次有闪长岩、钾长花岗岩、二长花岗岩、石英二长岩等中性侵入岩, 顾连兴等^[24]报道大河沿一带侵入岩组合同位素年龄为 298 Ma, 并且提出基性-酸性岩石是原始橄榄拉斑玄武质岩浆经过一系列结晶分离作用形成的。

根据顾连兴等^[24]提供的数据, 博格达花岗质岩石的主量元素特征在图 2D、E、F 上显示为铁质、高钾钙碱系-钾玄岩系, 属钙碱花岗岩系列岩石类型, K_2O/Na_2O 值均大于 0.5。稀土元素球粒陨石标准化分配图型为 LREE 富集型, 与 ORG 相比, 本区花岗岩富集不相容元素, 高场强元素数值与 ORG 相比为弱富集或弱亏损。

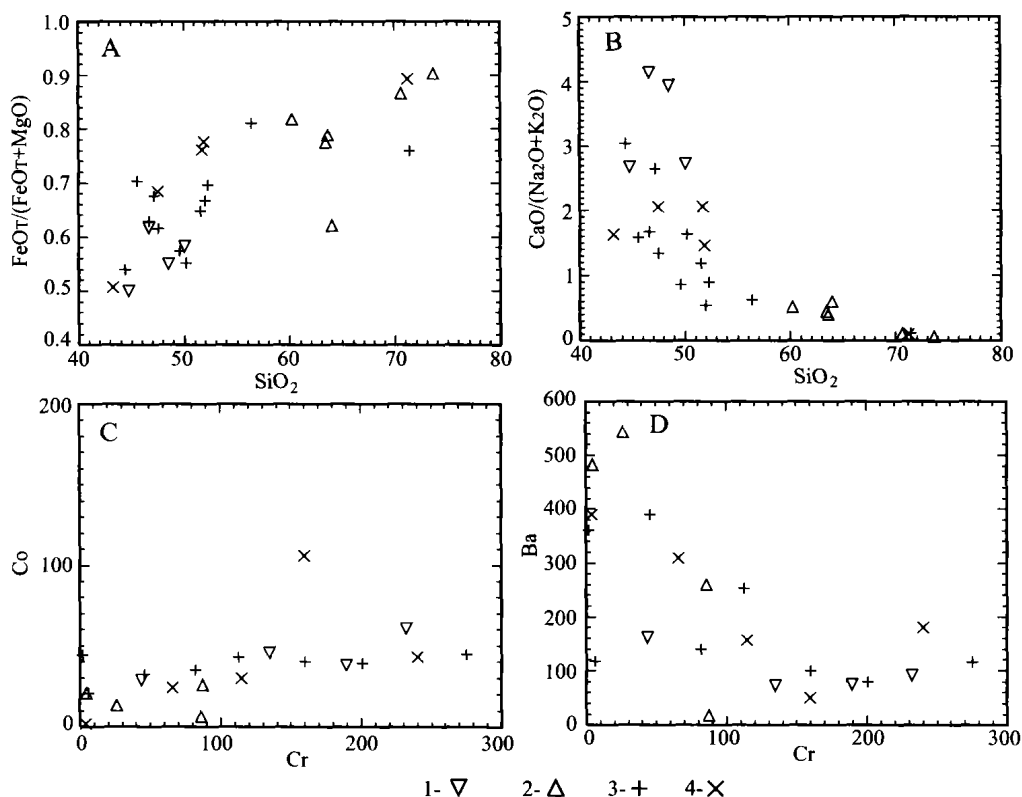


图 5 博格达辉绿岩、花岗质岩石及石炭—二叠纪火山岩岩石化学相关图

Fig. 5 Variation of major elements for diabase, granitic rocks and Carboniferous-Permian volcanic rocks from Bogda

1. 二叠纪辉绿岩; 2. 二叠纪花岗质岩石; 3. 石炭纪火山岩; 4. 二叠纪火山岩

A. SiO₂-FeO/(FeO+MgO) 图; B. SiO₂-CaO/(Na₂O+K₂O) 图; C. Co-Cr 图; D. Ba-Cr 图

(数据来源见文字说明)

如图 5A、B、C、D 所示, 不论是主元素还是微量元素之间的相关关系都指示辉绿岩与花岗质岩石具结晶分异关系。辉绿岩和花岗岩的 Sr 同位素初始值和 $\text{ENd}(t)$ 值分别为 $0.7035 \sim 0.7040$ 、 $0.7042 \sim 0.7045$, 和 $5.59 \sim 5.87$ 、 $4.00 \sim 4.07^{[24]}$, 二者 Sr、Nd 同位素为同一系统, 并表明其来源于地幔。在 Nb/Zr-Nb/Ba (图 6) 上, 辉绿岩落于大陆岩石圈地幔附近, 其源区应以岩石圈地幔组分为主。

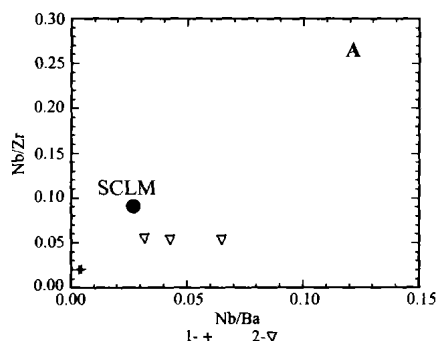


图 6 博格达辉绿岩与石炭纪基性火山岩 Nb/Zr-Nb/Ba 图

Fig. 6 Nb/Ba vs. Nb/Zr plot of the Carboniferous-Permian basic volcanic rocks and diabase

1. 石炭纪火山岩; 2. 二叠纪辉绿岩

A. 软流圈地幔; SCLM-大陆岩石圈地幔

(据 Hopper 和 Hawkesworth, 1993)^[27]

(图例同图 5, 数据来源见文字说明)

博格达侵入岩的围岩为石炭—二叠纪火山岩系, 用祁家沟、天池、车轱辘泉等地的石炭—二叠纪火山岩化学数据^[7, 25~26]与辉绿岩-花岗质岩石对比, 图 5A、B、C、D 表明它们之间有连续演化的关系。顾连兴等^[24]计算了早石炭世玄武岩的 Sr 同位素初始值和 $\text{ENd}(t)$ 值分别为 $0.7045 \sim 0.7062$ 和 $5.14 \sim 6.03$, 与侵入岩基本一致, 但有稍高的 Sr 同位素初始值, 通过对天池火山岩的微量元素研究, 夏林圻等^[7]指出火山岩浆源曾有地壳组分的加入。在图 6 上, 天池玄武岩类相对靠近大陆岩石圈地幔, 但落于左下角, 与辉绿岩有一些距离, 可能表示地壳组分的增加。

4 库鲁克塔格微地块中的二叠纪花岗质岩石化学特征

在库鲁克塔格微地块上的二叠纪花岗质岩石同

位素年龄为 $298 \sim 260$ Ma, 从老至新有四种岩石类型, 依次为闪长岩、似斑状花岗岩、二云母花岗岩和碱长花岗岩。其中, 二云母花岗岩中出现白云母和铁铝榴石^[28]。除二叠纪花岗质岩石外, 在地块北缘还有一条辉长岩-闪长岩-花岗岩带, 同位素年龄为 363 Ma, 属晚泥盆世^[27]; 地块东北缘还分布有辉绿岩墙群, 同位素年龄为 287 Ma, 也属二叠纪^[28]。文中所用岩石化学及同位素数据引自姜常义等, 刘玉琳等^[28~29]。

二叠纪花岗质岩石的主量元素特征在图 2G、H、L 中表现大多为铁质岩石, 部分镁质样品的位置也靠近铁质, 为高钾钙碱系及钾玄岩系, 属于钙碱花岗岩系列岩石类型, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值均大于 0.5 。本区从老至新 4 类岩石的铝饱和指数平均值分别为 0.84 、 1.01 、 1.03 、 1.17 , 总平均值为 1.05 。稀土元素球粒陨石标准化分配图型为 LREE 富集型, 且有明显的 Eu 负异常 (图 7A)。微量元素洋中脊花岗岩标准化后表明, 不相容元素富集, 但 Ba 出现凹槽, 甚至亏损, 大部分样品 Nb、Ta 富集, Hf、Zr 等元素弱富集或弱亏损 (图 7B), 这些特点与一些已知的板内花岗岩或同造山花岗岩^[19]相似。二叠纪花岗质岩石的 Sr 同位素初始值为 $0.7089 \sim 0.7276$, $\text{ENd}(t)$ 值为 $-4.06 \sim -6.51$, 这组数据加之岩石中出现白云母、铁铝榴石以及较高的铝饱和指数, 均表明它们来自壳源。

库鲁克塔格泥盆纪花岗质岩石与二叠纪花岗质岩石相比, 泥盆纪花岗质岩石以镁质为主 (图 2G), 铝饱和指数较低, 平均值为 0.92 。微量元素在 Rb-Y-Nb 及 Nb-Y 等构造位置判别图^[19]上全落于 VAG+SYN-COLG 区, 而二叠纪花岗质岩石除在 VAG+SYN-COLG 区外, 约有 $1/2$ 的样品位于 WPG 区。泥盆纪花岗质岩石的 Sr 同位素初始值为 $0.7040 \sim 0.7080$, $\text{ENd}(t)$ 值为 $-2.32 \sim -10.84$, 显示壳幔混合源的特点。在区域上, 泥盆纪处于洋盆消减、闭合时期, 同时依据泥盆纪花岗质岩石以镁质为主, 有钙碱系和高钾钙碱系岩石, 为壳幔混合源以及微量元素的一些特点, 推测泥盆纪花岗质岩石很可能形成于会聚环境的大陆活动边缘位置。

在库鲁克塔格微地块东北缘出露辉绿岩岩墙

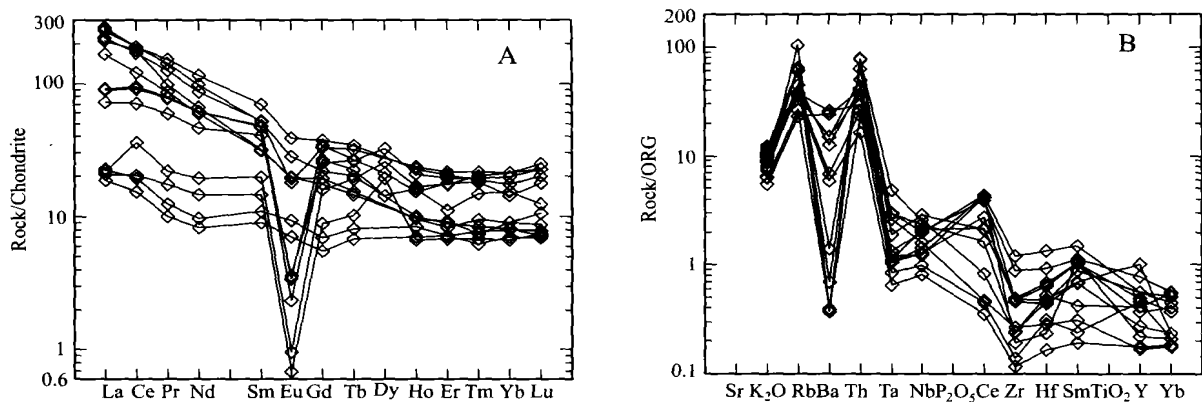


图7 库鲁克塔格花岗质岩石稀土元素球粒陨石标准化分配图型 (A 图)
及微量元素洋中脊花岗岩标准化分配图型 (B 图)

Fig.7 Chondrite-normalized REE patterns (A) and ORG-normalized trace elements patterns (B) for granitic rocks from Kuluketage
(数据来源见文字说明)

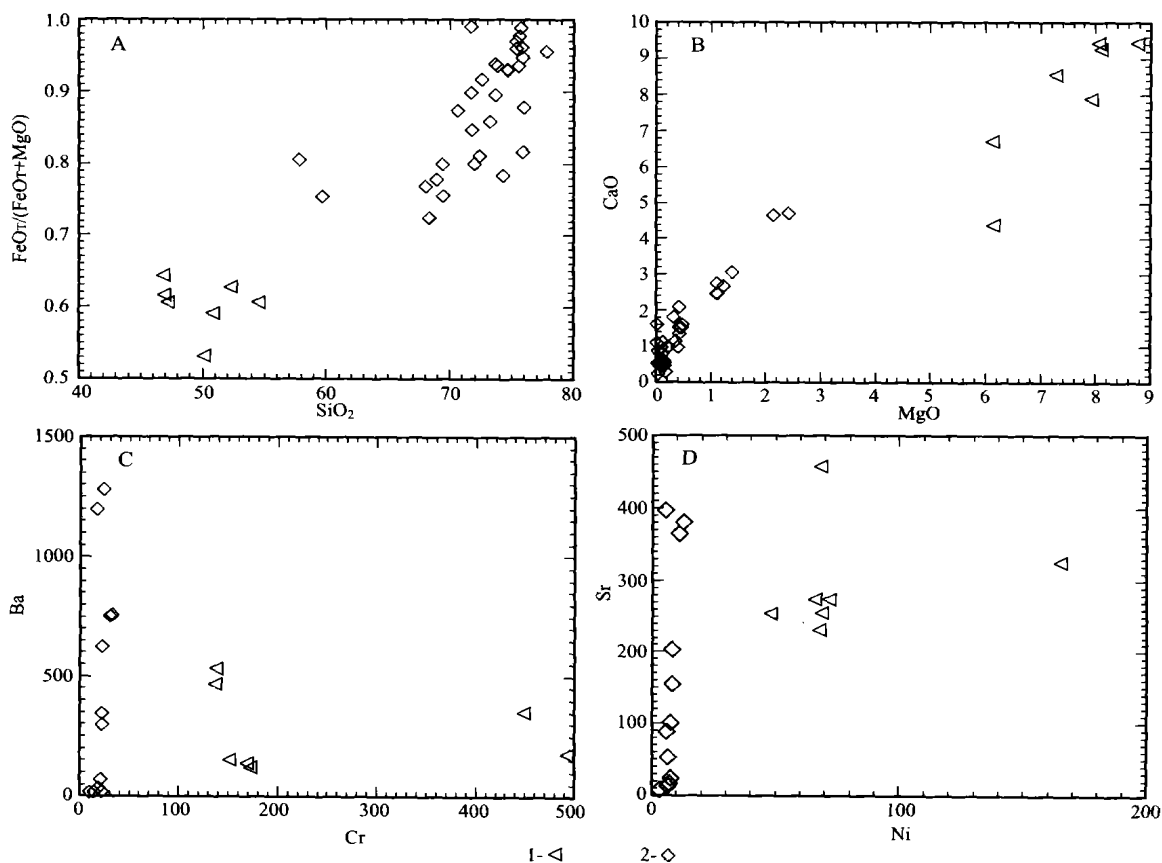


图8 库鲁克塔格二叠纪花岗质岩石和辉绿岩化学成分相关图

Fig.8 SiO_2 vs. $\text{FeO}_T / (\text{FeO}_T + \text{MgO})$ (A), CaO vs. MgO (B), Ba vs. Cr (C)
and Sr vs. Ni (D) diagram for Permian granitic rocks and diabase

1. 二叠纪辉绿岩; 2. 二叠纪花岗质岩石 A. SiO_2 - $\text{FeO}_T / (\text{FeO}_T + \text{MgO})$ 图; B. CaO - MgO 图; C. Ba - Cr 图; D. Sr - Ni 图
(数据来源见文字说明)

群, 总数达数千条, 时代为二叠纪^[28], 同位素年龄与二叠纪花岗岩类岩石相同, 岩石化学特征显示它们构成双峰式岩浆岩组合, 图 8A、B、C、D 均表明二者之间成分上的间隔: SiO_2 含量 55%~67% 之间的岩石甚少, 缺少 MgO 含量 2.5%~6% 的岩石; 同时各图均显示二者成分分布各成系列。前已述及, 二叠纪花岗岩类岩石来自壳源, 而辉绿岩的 Nb/Zr - Nb/Ba 图 (图 9) 指示它们源于岩石圈地幔。大量基性岩墙群及双峰式岩浆岩组合的出现均表明, 二叠纪时已进入大陆板内裂谷拉张阶段。

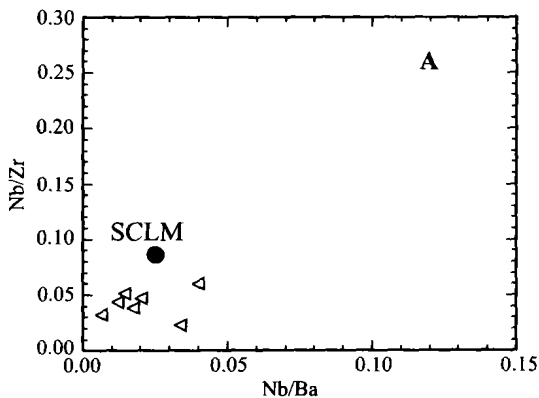


图 9 库鲁克塔格二叠纪辉绿岩 Nb/Zr - Nb/Ba 图
(说明见图 6)

Fig. 1 Nb/Ba vs. Nb/Zr diagram for Permian diabase

5 天山西段石炭-二叠纪花岗岩类岩石化学特征

天山西段包括从东部那拉提到西部国界以外地区, 这里分布了许多石炭-二叠纪花岗岩类岩石, 从构造位置上可分为两类, 一类花岗岩类岩石出现在伊犁石炭-二叠纪裂谷带中, 以侵入体或浅成侵入体出现, 如尼勒克一带的钠长斑岩、石英钠长斑岩等浅侵位岩体以及昭苏、新源一带的花岗岩侵入体, 围岩为石炭纪和二叠纪火山-沉积岩系, 同位素年龄在 337~260 Ma 之间^[10, 30~31]。另一类花岗岩类岩石出现在古微地块的边缘, 如赛里木微地块北缘的阿拉套山及伊犁地块南缘的托木尔峰岩体, 除个别岩体年龄属泥盆纪外, 大多数岩体的同位素年龄值范围为 344~259 Ma^[32~34], 属石炭-二叠纪。

两类花岗岩类岩石的主量元素特征基本相似^[30, 31, 34~37], 都是铁质-镁质岩石, 为高钾钙碱系-钾玄岩系, 属钙碱质花岗岩系列岩石类型 (图 2J、K、L), $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值均大于 0.5; 但裂谷带中的花岗岩类岩石 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 多小于 1, 而古微地块边缘的花岗类岩石 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 多大于 1 (图 10A)。天山西段花岗岩类岩石的微量元素数据较少, 从现有数据对比可知: 古微地块边缘的花岗类岩石较裂谷带中的富集 Nb、Ta、Th、Y, 而 Rb、Sr 含量低 (图 10B、C、D、E、F)。这种差别可能反映了二者岩浆源区物质的差异, 古微地块的边缘的花岗类岩石源中地壳的组分较多。

石炭纪火山岩^[36]和二叠纪火山岩^[31]的主量元素与两类花岗岩类岩石主量元素的 SiO_2 与 TiO_2 、 Al_2O_3 、 TFEO 、 MgO 、 CaO 均呈规律性分布 (图 11), 但图 10 的一系列图均显示本区石炭纪-二叠纪火山岩与裂谷带中的花岗岩类岩石化学成分有关联性, 如图 10A 示它们大多都是 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 小于 1 的岩石; 图 10B、C、D、E、F 示它们的微量元素特征比较一致, 分布也有大致相同的趋势, 这些都与古微地块边缘的花岗类岩石有很大差别。从同位素数据看, 石炭-二叠纪火山岩与裂谷带中的二叠纪浅侵位花岗岩类岩石也比较相近, 如 Sr 同位素初始值分别为 0.705 0~0.705 7, 和 0.705 1~0.705 4, $\text{E}(\text{Nd}(t))$ 值分别为 +5.8~-3.5 和 +3.26~-0.8^[10, 30~31]; 古微地块边缘的花岗类岩石数值是: 托木尔峰花岗岩类岩石 Sr 同位素初始值为 0.706 7~0.720 8, $\text{E}(\text{Nd}(t))$ 值为 -3.84~-9.36^[35], 阿拉套山花岗岩类岩石 Sr 同位素初始值除 306 Ma 的闪长岩和二长花岗岩为 0.704 5 外, 二叠纪花岗岩类岩石为 0.706 7~0.714 7, $\text{E}(\text{Nd}(t))$ 值范围为 +2.8~3.2^[33]。化学与同位素数据都指示石炭-二叠纪火山岩与裂谷带中的石炭-二叠纪花岗岩类岩石的岩浆源区是一致的, 据夏林圪等^[4, 7]研究, 西天山石炭纪火山岩来源于地幔石榴石-二辉橄榄岩的熔融, 并有地壳组分的参与。花岗岩类岩石 $\text{E}(\text{Nd}(t))$ 值较火山岩低, 应有更多的地壳物质加入花岗岩类岩浆。托木尔峰和阿拉套山的花岗类岩石的 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ 、富 Nb、Th 等特点以及同位素特征都表明其岩浆应主要来自壳源, 阿拉套山早期花岗岩类岩浆可能有幔源组分参加。

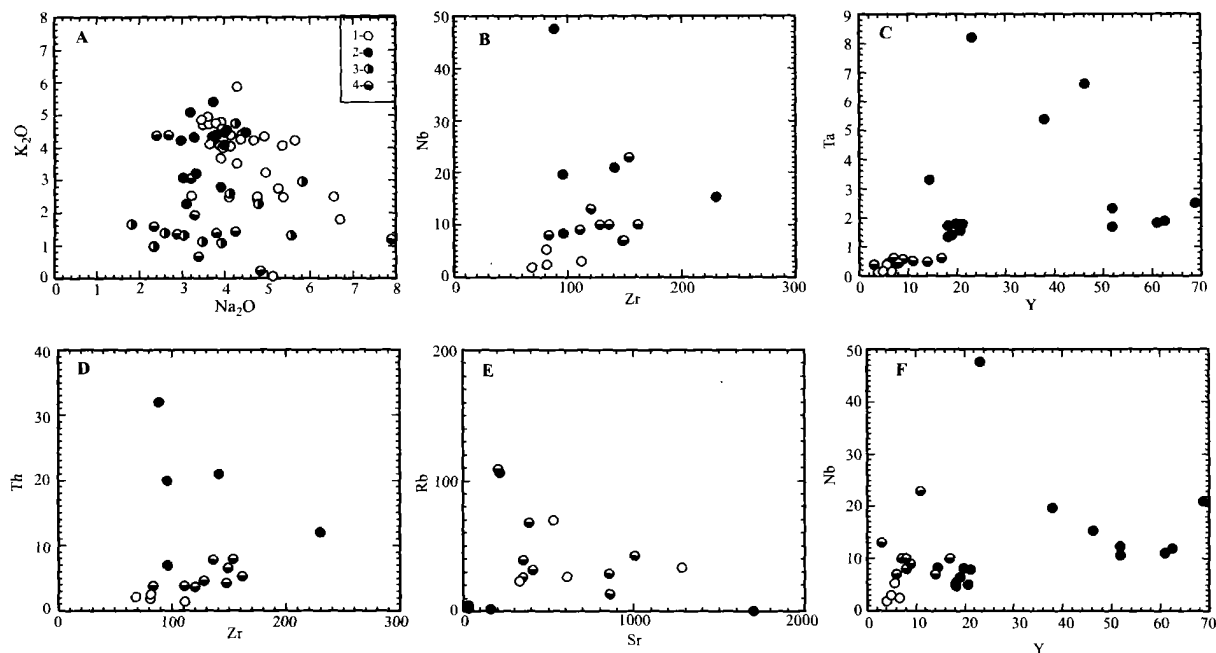


图 10 天山西段花岗质岩石及石炭-二叠纪火山岩化学成分相关图

A. K_2O - Na_2O 图; B. Nb-Zr 图; C. Ta-Y 图; D. Th-Zr 图; E. Rb-Sr 图; F. Nb-Y 图

Fig. 10 The variation of major and trace elements for granitic rocks from the western part of Tianshan and Carboniferous-Permian volcanic rocks

1. 裂谷带中石炭—二叠纪花岗质岩石; 2. 古微地块边缘石炭—二叠纪花岗质岩石; 3. 二叠纪火山岩; 4. 石炭纪火山岩
(数据来源见文字说明)

6 讨论

6.1 天山石炭—二叠纪后碰撞花岗质岩石岩石化学特征

通过上述对各地区石炭—二叠纪花岗质岩石化学的论述, 可以看出虽然各地有区别, 但大多数都具有后碰撞花岗质岩石的化学特征: 属于高钾钙碱系-钾玄岩系, 是钙碱花岗岩系列岩石类型, 多数为铁质花岗质岩石。也有部分岩体为镁质、钙碱系, 这可能反映了在后碰撞期既有拉张也有局部剪切挤压运动的特点。前述觉罗塔格和库鲁克塔格石炭—二叠纪与泥盆纪花岗质岩石的对比研究表明, 后碰撞花岗质岩石与岛弧花岗质岩石有明显区别, 后者大多属镁质, 而且在利用微量元素进行构造位置判别的有关图 (如 Nb-Y、Nb-Rb+Y、Ta-Yb、Rb-Y+Ta 等图) 上几乎都在 SYN-COLG、VAG 区内, 石炭—二叠纪花岗质岩石在微量元素方面反映出多样性, 可以投在 SYN-COLG、VAG、WPB 等区内, 甚至个别在 ORG 内, 与 Pearce 等^[19]对一些已知后碰

撞花岗岩投图结果相似。

6.2 不同构造位置花岗质岩石化学成分对比

天山造山带中石炭—二叠纪花岗质岩石出现的构造位置可分为两大类, 一类为构造活动带, 如觉罗塔格石炭—二叠纪裂谷、博格达石炭—二叠纪裂谷、伊犁石炭—二叠纪裂谷等; 一类为古微地块中或边缘, 如库鲁克塔格微地块、伊犁微地块北缘、赛里木微地块南缘等。这两大类除具上述共有特点外, 还有一些明显的差别, 表 1 列出不同构造位置花岗质岩石 ($SiO_2 > 60\%$) 主要成分的平均值。

由对比可知, 活动带中的花岗质岩石 MgO 、 TiO_2 、 Na_2O 含量比微地块的高, 而微地块花岗质岩石的 K_2O 、Nb、Th 以及 K_2O/Na_2O 比活动带的高。结合上述活动带中的花岗质岩石多与火山岩同源的特点, 可以认为活动带中岩浆源由不同比例的壳幔组组成, 而古微地块花岗质岩石主要来自壳源。

6.3 不同地区花岗质岩石化学成分的对

同一类构造位置但不同地区的花岗质岩石化学成分也不相同, 如天山西端伊犁地块北缘的托木尔

峰花岗质岩石比天山中东段南部的库鲁克塔格花岗质岩石富 Fe、Mg、K、Nb、Sr 而低 Zr、Ba (表 1)。如前所述, 这两个地区花岗质岩石都主要来自壳源, 周泰禧等^[34]通过对托木尔峰岩体的 Sr、Nd、Pb、O 同位素研究, 认为其源区为伊犁地块地壳岩

石, 年龄为 729~645 Ma^[34], 相当现在所划 (全国地层委员会, 2002) 的新元古代南华群。库鲁克塔格有从太古代到新元古代等老地层, 据姜常义等^[27]计算, 二叠纪花岗质岩石的 Nd 同位素模式年龄为 0.955~0.656 Ga, 多数样品在 0.744~0.656 Ga,

表 1 天山造山带不同构造位置石炭—二叠纪花岗质岩石化学成分对比

Tab. 1 Comparison of components of Carboniferous-Permian granitic rocks in different tectonic settings

位 置	觉罗塔格裂谷	博格达裂谷	伊犁裂谷	库鲁克塔格微地块	赛里木微地块北缘 (阿拉套山)	伊犁微地块南缘 (托木尔峰)
TFeO (%)	3.32 (51)	4.90 (6)	2.53 (31)	2.68 (31)	2.26 (18)	3.98 (7)
MgO (%)	1.08 (51)	1.29 (6)	0.81 (31)	0.50 (31)	0.73 (18)	0.67 (7)
TiO ₂ (%)	0.29 (51)	0.81 (6)	0.31 (31)	0.23 (31)	0.26 (18)	0.27 (6)
Na ₂ O (%)	3.58 (51)	4.70 (6)	4.46 (31)	3.83 (31)	3.54 (18)	3.27 (7)
K ₂ O (%)	3.73 (51)	3.86 (6)	3.72 (31)	4.01 (31)	4.15 (18)	4.50 (7)
K ₂ O/Na ₂ O	1.04 (51)	0.82 (6)	0.83 (31)	1.05 (31)	1.17 (18)	1.44 (7)
Ba (10 ⁻⁶)	375 (23)	326 (4)	585 (4)	451 (12)		329 (4)
Zr (10 ⁻⁶)	96 (20)	310 (4)	85 (4)	110 (12)		93 (2)
Nb (10 ⁻⁶)	10.5 (13)	9.3 (4)	3.2 (4)	17.7 (12)		21.7 (6)
Th (10 ⁻⁶)	8.51 (20)	11.5 (4)	1.97 (4)	37.1 (12)		20.5 (2)
Sr (10 ⁻⁶)	240 (22)	142 (4)	687 (4)	150 (12)		202 (6)

注: 数据来源见 1、2、3、4 节文字说明, 括号内为样品数。

也相当于新元古代南华群。二者年代相当, 但通过其部分熔融产生的花岗质岩石成分有明显差异, 结合区域火山岩的研究成果^[6,7], 可以推论, 天山东、西地壳基底组分是不同的。

同处于石炭—二叠纪裂谷带中的花岗质岩石在不同地区亦有差别, 如天山东段的觉罗塔格和博格达花岗质岩石较天山西段伊犁裂谷中的花岗质岩石明显地富 Nb、Th 而低 Sr、Ba。如前所述, 裂谷系中的花岗质岩石都与石炭-二叠纪火山岩系有密切的成因关系, 天山东、西段花岗质岩石化学成分的差别也从花岗质岩石研究方面印证了夏林圻等^[6~7]对东、西天山石炭—二叠世火山岩源区不相同的结论。

6.4 花岗质岩石与同时代沿深断裂侵入的基性、超基性岩关系

天山造山带中发育东、西向的深断裂带, 有些深断裂带中分布石炭—二叠纪基性—超基性岩体, 如天山东段觉罗塔格裂谷带中沿黄山-康古尔深断裂分布的黄山基性—超基性岩体年龄为 309 Ma^[10], 香山基性—超基性岩体年龄为 285 Ma^[23]; 天山西段沿那拉提深断裂分布的菁布拉克、琼阿乌孜等基性-超基性岩体群年龄为 324~314 Ma^[38], 都属于石炭—二叠纪。前人研究认为黄山岩体和琼

阿乌孜岩体都是通过岩浆结晶分异作用形成了各种类型的基性和超基性岩^[39~40]。天山石炭—二叠纪同时代出现的花岗质岩石、火山岩、基性—超基性岩三者之间有什么关系呢? 前述在裂谷带中花岗质岩石与火山岩系有亲缘关系, 花岗质岩石与基性、超基性岩是否也有亲缘关系?

将觉罗塔格裂谷带的石炭-二叠纪花岗质岩石、火山岩及黄山基性-超基性岩^[38]化学成分投于 SiO₂ 与 TiO₂、Al₂O₃、TFeO、MgO、CaO、Na₂O+K₂O 的相关图上 (图 4A、B、C、D、E、F), 可见花岗质岩石与火山岩的投点分布在同一趋势线上, 而基性—超基性岩则呈另一趋势。伊犁石炭—二叠纪裂谷带中的石炭—二叠纪花岗质岩石、火山岩及琼阿乌孜基性—超基性岩^[40]在同类图上也有相同的表现 (图 11A、B、C、D、E、F)。两图均说明花岗质岩石和火山岩与沿深断裂侵入的基性—超基性岩不具有同源结晶分异或部分熔融的关系, 它们应来自不同的源区, 从侵入岩的角度看, 花岗质岩石与基性、超基性岩形成了石炭—二叠纪双峰式岩浆岩套。花岗质岩石的正 ENd 值并不是来源于与基性、超基性岩浆活动有关的幔源组分, 而是与石炭—二叠纪火山岩浆活动息息相关。当然关于这一命题尚待进一步加强研究。

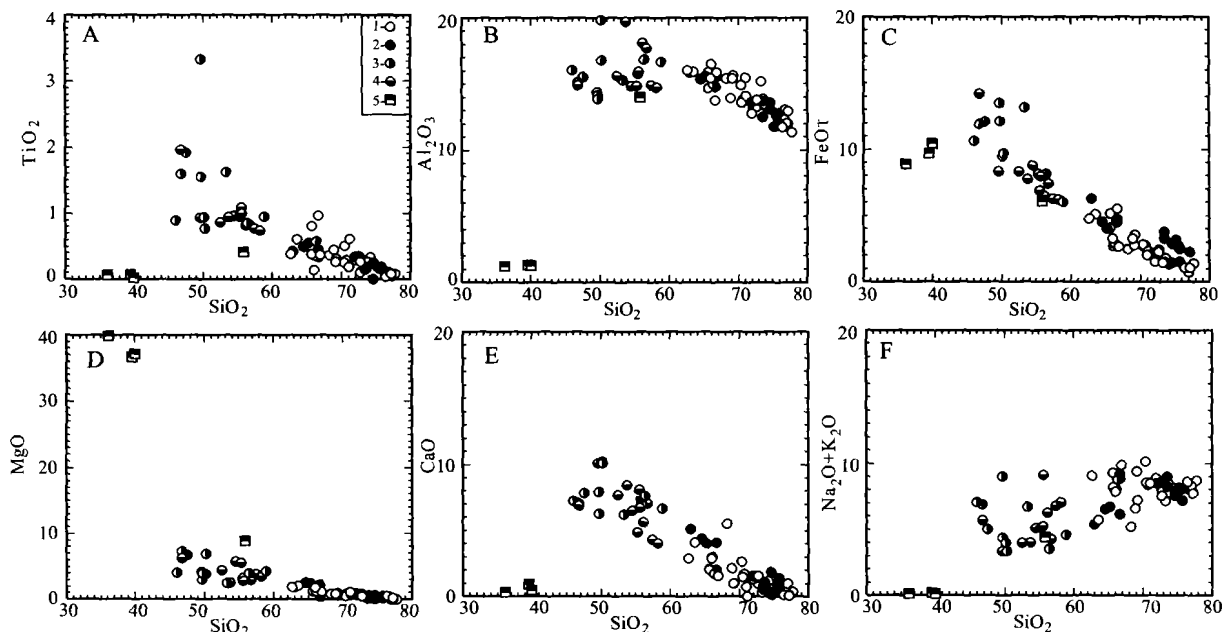


图 11 伊犁裂谷带石炭—二叠纪花岗质岩石、火山岩、
基性-超基性岩岩石化学成分相关图

A. SiO_2 - TiO_2 图; B. SiO_2 - Al_2O_3 图; C. SiO_2 - FeO_T 图; D. SiO_2 - MgO 图; E. SiO_2 - CaO 图; F. SiO_2 - $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 图

Fig. 11 The variation of major elements for Carboniferous-Permian granitic rocks,
volcanic rocks and basic-ultrabasic intrusive rocks from Yili rift

1. 裂谷带中石炭—二叠纪花岗质岩石; 2. 古微地块边缘石炭—二叠纪花岗质岩石; 3. 二叠纪火山岩;
4. 石炭纪火山岩; 5. 琼阿乌孜基性超基性岩

(数据来源见文字说明)

7 结论

天山石炭—二叠纪后碰撞花岗质岩石属高钾钙碱-钾玄岩系列, 多数为铁质, 总体均为钙碱系花岗质岩石类型。

出现在天山造山带中石炭—二叠纪裂谷带中的石炭—二叠纪花岗质岩石较出现在古微地块中或边缘的花岗质岩石富 MgO 、 TiO_2 、 Na_2O , 贫 K_2O 、 Nb 、 Th 。化学成分的差异是由于裂谷带中的花岗质岩石多与火山岩同源, 岩体由壳幔混合源岩浆形成, 而古微地块花岗质岩石主要来自壳源。

天山同一类构造位置但不同地区的花岗质岩石化学成分也不相同, 处于天山西端伊犁地块北缘的托木尔峰花岗质岩石较处于天山东段南部的库鲁克塔格花岗质岩石富 Fe 、 Mg 、 K 、 Nb 、 Sr 而低 Zr 、 Ba 。这两个地区花岗质岩石都主要来自古地块地壳元古代变质岩石, 与通过其部分熔融产生的花岗质

岩石成分的明显差异, 可以推论, 天山东、西地壳基底组分是不同的。

同处于石炭—二叠纪裂谷带中的花岗质岩石在天山东、西段也有差别, 东段的觉罗塔格和博格达花岗质岩石较天山西段伊犁裂谷中的花岗质岩石明显地富 Nb 、 Th 而低 Sr 、 Ba ; 裂谷系中的花岗质岩石都与石炭—二叠纪火山岩系有密切的成因关系, 天山东、西段花岗质岩石化学成分的区别也从花岗质岩石研究方面印证了夏林圪等^[6,7]对东、西天山石炭—二叠世火山岩源区不相同的结论。

现有岩石化学数据表明, 天山石炭—二叠纪的花岗质岩石——火山岩与沿深断裂侵入的基性—超基性岩不具有同源结晶分异或部分熔融的关系, 它们应来自不同的源区。花岗质岩石的正 En_d 值并不是来源于与基性、超基性岩浆活动有关的幔源组分, 而是来自于幔源火山岩岩浆活动。

参考文献:

- [1] 韩宝福, 何国琦, 王式, 等. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长 [J]. 地质论评, 1998, 44 (4): 396-406.
- [2] 洪大卫, 王式, 谢锡林, 等. 从中亚正 ENd 值看超大陆演化和大陆地壳生长的关系 [J]. 地质学报, 2003, 77 (2): 203-209.
- [3] 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.
- [4] 夏林圻, 夏祖春, 徐学义, 等. 天山古生代洋陆转化特点的几点思考 [J]. 西北地质, 2002, 35 (4): 9-20.
- [5] 夏林圻, 张国伟, 夏祖春, 等. 天山古生代洋盆的岩石学约束-来自震旦纪、石炭纪火山岩的证据 [J]. 地质通报, 2002, 21 (2): 55-62.
- [6] Lin-Qi Xia, Xue-Yi Xu, Zu-Chun Xia, et al. Petrogenesis of Carboniferous rift-related volcanic rocks in the Tianshan, northwestern China [J]. GSA Bulletin, 2004, 116 (3): 419-433.
- [7] Xia Linqi, Xu Xueyi, Xia Zuchun, et al. Carboniferous Post-collisional Rift Volcanism of the Tianshan Mountains, Northwestern China [J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77 (3): 338-360.
- [8] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. Lithos, 1999, 46 (19): 605-626.
- [9] 王碧香, 李兆鼎, 赵光赞, 等. 新疆天山东段花岗岩类地球化学特征 [J]. 地质学报, 1989, 63 (3): 236-245.
- [10] 李华芹, 谢才富, 常海亮, 等. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [11] 姬金生, 张连昌, 曾章仁, 等. 东天山康古尔塔格金矿带年代学研究 [J]. 地质科学, 1996, 31 (1): 80-89.
- [12] 李文明, 任秉琛. 东天山中酸性侵入岩浆作用及其地球动力学意义 [J]. 西北地质, 2002, 35 (4): 41-64.
- [13] Forst B R, Barnes C G, Collins W J, et al. A Geochemical Classification for Granitic Rocks [J]. J. Petro., 2001, 42 (11): 2033-2048.
- [14] Castro A, Patino Douce A E, Corretge L G, et al. Origin of peraluminous granites and granodiorites, Iberian massif, Spain: an experimental test of granite petrogenesis. Contrib. Mineral Petro., 1999, 135: 255-276.
- [15] Barker F and Arth J G. Generation of trondhjemitic-tonalitic liquids and Archean bimodal trondhjemitic-basalt suites [J]. Geology, 1976, 4: 596-600.
- [16] 张传林. 新疆康古尔地区花岗岩地质、地球化学特征及地质意义 [J]. 新疆地质, 1993, 11 (1): 55-62.
- [17] 张连昌, 秦克章, 英基丰, 等. 东天山土屋-延东斑岩铜矿带及其与成矿作用的关系 [J]. 岩石学报, 2004, 20 (02): 259-268.
- [18] Turner S, Arnaus 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. Petro., 1996, 37 (1): 45-71.
- [19] Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. Trace element discrimination diagram for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. J. Petro., 1984, 25 (4): 956-83.
- [20] 周汝洪. 新疆同位素地质年代学研究的进展 [J]. 新疆地质, 1987, 5 (4): 5-15.
- [21] 宋彪, 李锦轶, 李文铅, 等. 吐哈盆地南缘克孜尔卡拉萨依和大南湖花岗岩岩基锆石 SHRIMP 定年及其地质意义 [J]. 新疆地质, 2002, 20 (4): 342-345.
- [22] 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 新疆东天山斑岩铜矿带及其大地构造格局 [J]. 地质学报, 2002, 76 (1): 83-94.
- [23] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究 [J]. 新疆地质, 2002, 20 (4): 302-308.
- [24] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 博格达陆内碰撞造山带挤压-拉张构造转折期的侵入活动 [J]. 岩石学报, 2001, 17 (02): 187-198.
- [25] 顾连兴, 胡受奚, 于春水, 等. 东天山博格达造山带石炭纪火山岩及其形成地质环境 [J]. 岩石学报, 2000, 16 (03): 305-316.
- [26] 周济元, 茅燕石, 黄志勋, 等. 东天山古大陆边缘火山地质 [A]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994.
- [27] Hooper P R, Hawkesworth C J. Isotopic and geochemical constraints on the origin and evolution of the Columbia River Basalts [J]. J. Petrol., 1993, 34: 1203-1246.
- [28] 姜长义, 吴文奎, 李良辰, 等. 南天山东段显生宙构造演化 [A]. 北京: 地质出版社, 2001.
- [29] 刘玉琳, 张志诚, 郭召杰, 等. 库鲁克塔格基性岩墙群 K-Ar 等时线年龄测定及其有关问题讨论 [J]. 高校地质学报, 1999, 5 (1): 54-58.
- [30] 熊小林, 赵振华, 白正华, 等. 兴蒙造山带西天山阿吾拉勒埃答克质岩石成因: Nd 和 Sr 同位素组成的限制 [J]. 岩石学报, 2001, 17 (04): 514-522.
- [31] 赵振华, 白正华, 熊小林, 等. 西天山北部晚古生代火山-浅侵位岩浆岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素定年 [J]. 地球化

学, 2003, 32 (4): 317-327.

- [32] 陈江峰, 陈道公, 李学明, 等. 新疆阿拉套花岗岩类的 K-Ar 和 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素定年 [J]. 岩石学报, 1994, 10 (2): 184-192.
- [33] 周泰禧, 陈江峰. 新疆阿拉套山花岗岩类高 ENd 值的成因探讨 [J]. 地质科学, 1996, 31 (1): 72-78.
- [34] 中国科学院登山科学考察队. 天山托木尔峰地区的地质和古生物 [A]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1985.
- [35] 周泰禧, 陈江峰. 天山托木尔峰花岗岩质岩石的同位素地球化学特征 [J]. 岩石学报, 2000, 16 (2): 153-160.
- [36] 周泰禧, 陈江峰. 新疆阿拉套山花岗岩带的主要特征及形成构造环境 [J]. 岩石学报, 1995, 11 (4): 386-

396.

- [37] 车自成, 刘良. 论伊犁古裂谷 [J]. 岩石学报, 1996, 12 (03): 478-489.
- [38] 陈江峰, 满发胜, 倪守斌. 西天山菁布拉克岩带基性超基性岩的同位素地球化学 [J]. 地球化学, 1995, 24 (2): 121-126.
- [39] 钟应先. 新疆黄山含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的岩石学特征及其形成演化规律 [J]. 成都地质学院学报, 1989, 16 (3): 50-58.
- [40] 倪守斌, 满发胜, 陈江峰. 西天山琼阿乌孜超基性岩体的稀土元素和 Sr、Nd 同位素研究 [J]. 岩石学报, 1995, 11 (01): 65-70.

Geochemistry of the Carboniferous-Permian post-collisional granitic rocks from Tianshan

XIA Zu-chun, XU Xue-yi, XIA Lin-qi, LI Xiang-min,
MA Zhong-ping, WANG Li-she

(Xi'an Institute of Geology and Mineral Resource, Xi'an 710054, China)

Abstract: The geochemical study of Carboniferous-Permian post-collisional granitic rocks from different tectonic units in Tianshan reveals that they belong to high-K calc-alkalic or shononitic series and are dominated by calc-alkalic granitic rocks. Compared to granitic rocks developed within or along the margin of paleo-microplate, the Carboniferous-Permian granitic rocks developing in rift setting are rich in MgO , TiO_2 and Na_2O and poor in K_2O , Nb, Th, indicating they are derived from different sources, maybe the former dominantly derived from the mantle and crust mixture sources and the latter mainly from the crust sources. The granitic rocks occurred on same tectonic units but in different sites also are different in geochemistry. For example, those from Temuer summit in the western end of Yili microplate have higher Fe, Mg, K, Nb, Th and lower Zr, Ba than those from Kuluketage microplate in the middle-eastern stage of Tianshan mountains, which shows the difference of the basement in eastern and western Tianshan mountains. On the other hand, the granitic rocks in Carboniferous-Permian rift belt have different geochemical characteristics in western and eastern Tianshan, those from Jueltag and Bodga in eastern Tianshan have higher Nb and Th and lower Sr and Ba, strongly suggests the different sources for granitic rocks of the western and eastern Tianshan. The granitic rocks and the ultrabasic-basic intrusive consist of the carboniferous-Permian bi-modal intrusive suite and the positive ENd values of granitic rocks can not be derived from the same mantle sources as the ultrabasic-basic rocks derived, but can be explained forming from the mantle sources which the Carboniferous-Permian volcanic rocks derived.

Key words: post-collisional; granitic rocks; geochemistry; Carboniferous-Permian; Tianshan