1000-0569/2006/022(12)-2945-56 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

新疆后造山碱性花岗岩的地质特征*

朱笑青[1] 王中刚[1] 王元龙[2] 毕华[3]

ZHU XiaoQing[1], WANG ZhongGang[1], WANG YuanLong[2] and BI Hua[3]

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室，贵阳 550002
2. 中国科学院地质与地球物理研究所，北京 100029
3. 海南师范学院，海口 571158

1. *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang* 550002, *China*
2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029, *China*
3. *Hanan Teachers College, Haikou* 571158, *China*

2005-08-30 收稿，2006-10-08 改回.

Zhu XQ, Wang ZG, Wang YL and Bi H. 2006. Geological characteristics of the post-orogenic alkaline granites in Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 22(12): 2945 – 2956

Abstract The alkaline granites are widely distributed in Xinjiang. They are situated in the island arc, back arc basin and uplifted area, and related to suture line of plate and deep fault . The alkaline granites are associated usually with ophiolite and continental volcanic rock. and can be divided over 10 rock belts. It was indicated by the determine of isotopic ages that the intrusion of alkaline granite followed closely the orogenic movement, they are regarded as post-orogenic granite. So that, the tectonic environment during the forming of them, petrochemical composition, mineral constitutions and feature of trace elements are different from the anorogenic granite (A type of granite). It is a geological characteristics in Xinjiang. that so many alkaline granites concentrate here and it is not usually to see at home and abroad.

Key words Alkaline granite, Orogenic, Petrology, Xinjiang

摘 要 新疆地区碱性花岗岩分布很广泛，可以划分出十条岩带，它们主要分布在古生代岛弧、弧后盆地及隆起区，与板块缝合线、深断裂密切相关，并与蛇绿岩和陆相火山岩相伴生。同位素年代测定表明，本区碱性花岗岩的形成是紧随造山运动之后发生的，属于后造山花岗岩。因此，它们形成时的构造环境、岩石化学成分、矿物组成及微量元素特征等均与非造山花岗岩（A 型花岗岩）有一定的区别。在一个地区有这么多后造山碱性花岗岩分布，国内外并不多见，这是新疆地质的一个特色。

关键词 碱性花岗岩；造山运动；岩石学；新疆

中图法分类号 P588.121

碱性花岗岩，在国际地质科学联合会火成岩命名分类小组提出的 QAPF 分类图解中，与碱长花岗岩处在同一位置，只是它常含有碱性暗色造岩矿物，如钠闪石及霓石，并且在岩石化学成分上以高硅、高碱及低铝为特征。自 A 型花岗岩的概念提出以后，人们已习惯于把碱性花岗岩与 A 型花岗岩等同起来。所谓的 A 型花岗岩，原本有三个含义（Loiselle *et al.*，1982），即碱性的、无水的和非造山的（Alkaline, Anhydrous, Anorogenic）。然而，国内外发现的一些碱性花岗岩除了符合第一个含义外，与第二、三个却不甚一致。所以，近些年来已有不少研究者倾向于把碱性花岗岩再分为非造山的碱性花岗岩和后造山的碱性花岗岩两类（Eby，1990；Bonin，1990；洪大卫等，1995），并提出了一些判别它们的标志。非造山碱性花岗岩和后造山碱性花岗岩虽然都形成于拉张性的断裂构造环境，而前者多属于古大陆裂谷性质，是 Loiselle 等所定义的 A 型花岗岩；后者则是发生在挤压造山之后，断裂由压扭性反弹向拉张性的转化时期，是紧随造山运动之后而发生的，在地质、地球化学特征上有别于 A 型花岗岩。

* 国家 305 项目（编号：96-915-06-05）及中国科学院重点创新项目（编号：KZCX3-SW-125）资助.
第一作者简介：朱笑青，女，研究员，1955 年生，主要从事矿床地球化学与实验地球化学方面的研究工作.

新疆,碱性花岗岩分布很普遍,新疆区调队(1984)在1/20万区域地质测量中就发现了下马崖、阿列瑪勒等多处碱性花岗岩体;邹天人等(1988)撰文论述了新疆造山与非造山花岗岩的区别;在国家305项目执行过程中,在东准噶尔工作的课题组发现了与碱性花岗岩有关的锡矿(毕承思,1992),引起了各方面对碱性花岗岩的注意;刘家远等(1996)对此作了专题研究;贺伯初等(1994)、赵振华等(1996)、韩宝福等(1998)在同位素方面作了较深入的研究;(王中刚等,1993)曾划分出八个碱性花岗岩带,后来,在昆仑-阿尔金山,在大加山等地还有碱性花岗岩的发现(陈丹玲等,2001;Wang ZG *et al.*,2002;王伟健,1996)。在这些碱性花岗岩中,布尔根、萨惹什克、奥莫尔塔格及大加山含钠铁闪石、霓石或黑云母的碱性花岗岩是其典型岩体。由于在萨惹什克及大加山一带看到这种含钠闪石的碱性花岗岩与不含钠闪石的黑云母碱性花岗岩有着密切的过渡相变关系,所以我们相信,一些岩石、地球化学特征与碱性花岗岩一致,但不含碱性暗色矿物的富碱花岗岩亦应称之为碱性花岗岩,从新近获得的锶、钕、铅等同位素资料证明了这一点。在一个地区有这么多碱性花岗岩分布,在国内外均不多见,这也是新疆重要的地质特色之一。

作者等在新疆工作时曾注意到许多岩石的地质特征与原本的定义不甚符合,我们称之为"非典型性"。包括蛇绿岩、含铜镍超基性-基性岩、碱性花岗岩以及一些壳源花岗岩。就含铜镍超基性-基性岩及碱性花岗岩而论,它们不是形成在在古老克拉通地盾上,也不在裂谷环境中发生,铜镍超基性-基性岩中往往不是以辉石为主而是以角闪石为主;碱性花岗岩中不都能见到碱性暗色矿物,甚至还会产生是不是碱性花岗岩的争论。这就是"非典型性"引起的。作者同意现今将碱性花岗岩进一步划分为非造山和后造山两种类型,按洪大卫等(1995)提出的判别标志,新疆已发现的碱性花岗岩属于后造山型。

1 碱性花岗岩的时空分布

在新疆,碱性花岗岩主要分布在古生代岛弧、弧后盆地及其隆起区,它与板块缝合线、深断裂密切相关,与蛇绿岩带耦合,并与热侵位的基性-超基性岩、陆相火山岩相伴出现。作者(王中刚等,1993)曾把碱性花岗岩与基性-超基性岩、陆相火山岩在深断裂带的这种伴生产出关系称作三位一体。

在地形地貌上,已发现的一些碱性花岗岩多在平缓的丘陵地带。

碱性花岗岩具有带状分布的特点,比较确切的就有以下10条碱性花岗岩带(图1):其中,作者对东、西准噶尔及昆仑-阿尔金的岩带做过较多的研究,刘家远等(1995)在东准噶尔地区还对碱性花岗岩做过专题研究,积累的资料比较丰富。天山地区则由新疆区调队(1985)早期作过花岗岩的专题研究。

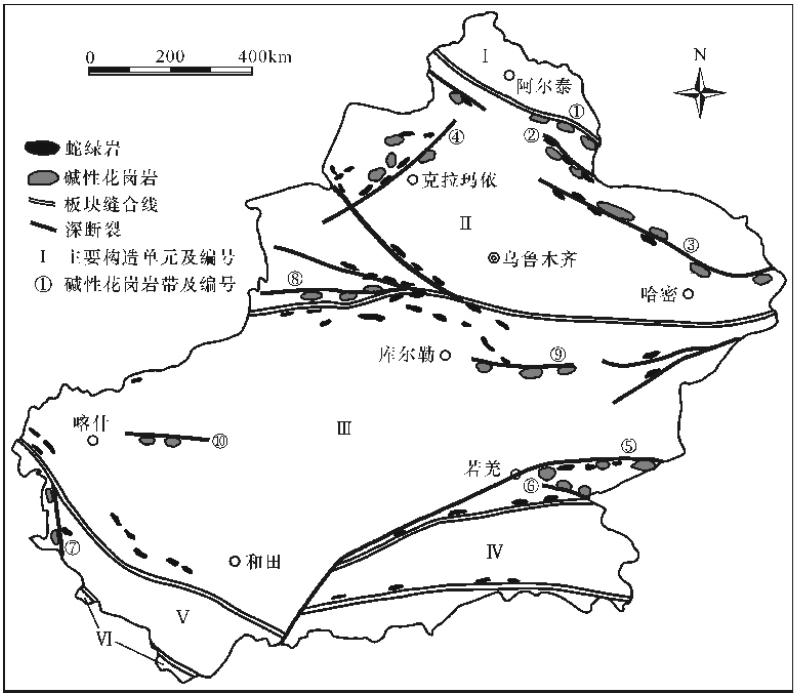

图1 新疆的碱性花岗岩带分布简图(构造单元及蛇绿岩据何国琦等,1994)

Ⅰ-西伯利亚板块;Ⅱ-哈萨克斯坦板块;Ⅲ-塔里木板块;Ⅳ-华北板块;Ⅴ-华南板块;Ⅵ-藏北板块 ①-额尔齐斯岩带;②-阿尔曼泰岩带;③-卡拉麦里-哈尔里克岩带;④-达拉布特岩带;⑤-阿尔金岩带;⑥-祁曼塔格岩带;⑦-塔什库尔干岩带;⑧-那拉提岩带;⑨-兴地岩带;⑩-塔西北岩带

Fig. 1 Sketch map showing the distribution of the alkaline granite belts in Xinjiang

(The tectonic units and ophiolites are from He *et al.*, 1994)

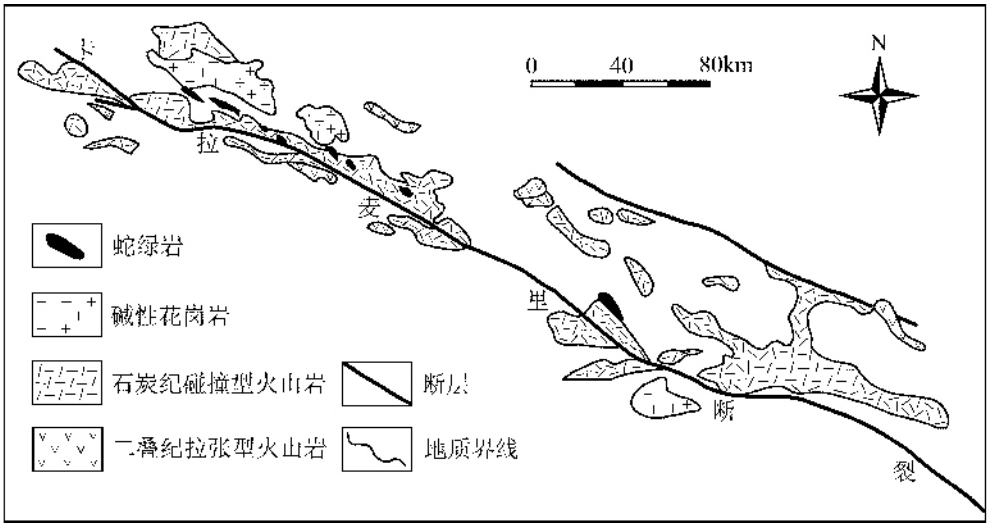

图 2 卡拉麦里-哈尔里克碱性花岗岩岩带

示碱性花岗岩与蛇绿岩、陆相火山岩同处在深断裂带

Fig. 2 Kalamaili-Harlike alkaline granite belt showing the alkaline granites, ophiolites and continental volcanic rocks occured in deep fault together

额尔齐斯碱性花岗岩带：主要分布在额尔齐斯断裂以南的狭长地带，西起哈巴河、布尔津，经富蕴至布尔根向东延入蒙古国境内。其中又以青河县的布尔根一带和富蕴县的扎河坝西北一带岩体分布较多，主要有布尔根、二台北、二台西北、1970 高地北、1751 高地东（布尔根河北）、1639 高地（布尔根河南）、扎河坝西北、喀腊安、富蕴南等岩体，其岩性主要为石英碱性正长岩、碱性花岗岩和斑状碱性花岗岩等三类（王中刚等，1993；刘家远等，1995）。对布尔根岩体测定的 Rb-Sr 等时年龄分别为 253Ma（张杰，1992）及 315.9Ma（刘家远等，1995），另据刘家远报导，对早于碱性花岗岩的偏碱性花岗岩的单粒锆石测定的 U-Pb 年龄值为 287Ma，推测此岩带岩体形成的年龄在 250～280Ma 间。

额尔齐斯蛇绿岩带（曹荣龙，1990；何国琦等，1994）与中、晚石炭世的陆相火山岩带（于学元等，1993）与本带碱性花岗岩在空间分布上一致。

阿尔曼泰碱性花岗岩带：在东准噶尔阿尔曼泰断裂以南沿乌伦古河南岸分布，从西向东出露有扎河坝、萨铁列克、塞铁列克、恰库尔特、塔斯嘎克、阿尔曼泰及也布山等岩体，这是新疆碱性花岗岩体出露较多、成带性也较为明显并且也是碱性花岗岩与碱性正长岩组合在一起的一条岩带，延伸约 120km（王中刚等，1993；刘家远等，1995）。此带向西可推至吉木乃以南，阔依塔斯等几个碱性花岗岩体亦应归入此带，向东则出了国境，实际延伸在 400km 以上。已获得的同位素年龄测定值在 300Ma 左右（刘家远等，1995；王式洸等，1994；韩宝福等，1998；周刚，1999）。

在空间上与科克森他乌-阿尔曼泰蛇绿岩带（何国琦等，1994）及中、晚石炭世（碰撞型）和早二叠世（拉张型）陆相火山岩耦合。

卡拉麦里-哈尔里克碱性花岗岩带：从东准噶尔喀拉萨依、卡姆斯特、老鸦泉经双井子、巴里坤、沿哈尔里克山直至下马崖，全长 500km。在东准噶尔分布的岩体有：喀拉萨依、卡姆斯特、老鸦泉-红土井子、贝勒库都克、干梁子、黄羊山、巴勒巴尕依、苏吉泉、萨惹什克；其东端，东天山哈密以北有奥莫尔塔格、八大石岩体。卡拉麦里-哈尔里克碱性花岗岩带是新疆已知最长的、碱性花岗岩体最多的，同时也是成矿（Sn，水晶，石墨）最好的一条岩带，测定的同位素年龄数据大多变化在 290～310Ma 的范围内。（王中刚等，1993；刘家远等，1995；王伟健，1996）。与本带耦合的蛇绿岩带亦呈北西西-南东东向展布，西起清水泉向东经平顶山、苦水泉、苏吉泉、南明水延至塔克扎勒。耦合的陆相火山岩带与蛇绿岩带一致（图 2）。

达拉布特碱性花岗岩带：分布在西准噶尔达拉布特大断裂之两侧，包括有红山、哈图、庙儿沟、阿克巴斯套、铁厂沟等岩体，岩体多呈椭圆形。碱性花岗岩属于海西晚期，据金成伟（1993）的资料，阿克巴斯套岩体为 256Ma；红山岩体为 245Ma；庙儿沟为 277Ma，它们的年龄与东准噶尔的碱性花岗岩大体相当。在地质图上与著名的达拉布特蛇绿岩带一致分布，石炭纪碰撞型陆相火山岩带也与此重合（图 3）。

阿尔金（红柳沟）碱性花岗岩带：沿阿尔金断裂南侧分布，自东向西分布有拉配泉岩体、大通沟岩体、东山（伊吞布拉克）岩体及吐拉东岩体，已测得拉配泉碱性花岗岩钾长石的 K-Ar 年龄为 120.7Ma（崔军文，1996）①，全岩 K-Ar 年龄为 134.4Ma（王中刚，2002），因此碱性花岗岩带的时代定为燕山晚期。

① 崔军文. 1996. 阿尔金断裂系.

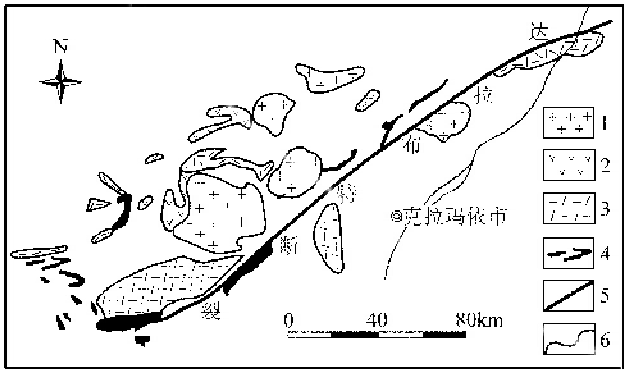

图 3 达拉布特碱性花岗岩带(图例说明同图 2)示碱性花岗岩与蛇绿岩、陆相火山岩同处在深断裂带

Fig. 3 Dalabute alkaline granite belt showing the alkaline granites, ophiolites and continental volcanic rocks occured in deep fault together

与之相耦合的是阿尔金断隆南北两侧存在两条蛇绿岩带,北为红柳沟蛇绿岩带,南带位于阿尔金山的西段,以产蛇纹石石棉著名。本带有中生陆相火山岩分布于伊吞布拉克东山。作者认为这些火山岩具有碱性流纹岩的特征①,是碱性花岗岩的次火山岩相。

祁漫塔格碱性花岗岩带:或称别里赛-阿布拉斯岩带(王中刚等 2002),位于东昆仑山,沿祁漫塔格主脊断裂分布。已确定的富碱侵入岩体有别里赛上游碱性花岗岩、阿布拉斯赛阿特恩碱性花岗斑岩、卡那达阿勒安达坂碱性花岗岩,祁漫塔格乡石英正长岩,小红山碱性花岗岩(陈丹玲,2001),全长约 200km。这是一条碱性花岗岩与碱性正长岩共生的富碱侵入岩带。更值得指出的是本岩带是一套富碱的火山-次火山-浅成侵入岩的组合②。岩体的侵入时代,崔军文(1996)将其定为燕山期。西北大学地质系测定小红山岩体全岩 Rb-Sr 年龄为 212 ± 7Ma,陈丹玲等(2001)将其定为印支期。

已知在鸭子泉一带有蛇绿岩的分布,上三叠统为一套陆相喷发的中酸性火山岩系。值得注意的是,本带碱性花岗岩与碱性岩含金高,与金的矿化有密切关系(迟国彬,1995)②。

塔什库尔干碱性花岗岩带:从盖孜口南下,经塔什库尔干,红其拉甫山口,绕乔戈里峰西侧,直入西藏班公湖境内,这条断裂是羌塘-唐古拉微板块与帕米尔微板块的分界线,在本区称为塔什库尔干带断裂。断裂带上的富碱侵入体有盖孜西碱性花岗岩、苦子干碱性正长岩、赞坎碱性正长岩、班公湖碱性花岗岩及狮泉河碱性花岗岩等。苦子干及赞坎正长岩的同位素年龄测定值变化在 10.6 ~ 54Ma 间(在 $E_2 \sim N_1$ 时限内)这是最年轻的新生代碱性花岗岩带。

已知在班公湖、日土、狮泉河有蛇绿岩分布。

那拉提碱性花岗岩带:分布在那拉提缝合带与特克斯大断裂之间。出现的碱性花岗岩体由西向东有昭苏幅的克克苏岩体、阿登套岩体、新源幅的阿列玛勒岩体,巴音布鲁克幅的恰可布岩体及巴音布鲁克北岩体,在乌拉斯台还有正长岩的分布。

那拉提断裂带的南侧是长阿吾子蛇绿岩带,被认为是哈萨克斯坦板块与塔里木板块间志留纪-泥盆纪的缝合线。带内伊什基里克山南坡有中石炭统陆相火山岩。

此外还可以划出的碱性花岗岩带有:

兴地碱性花岗岩岩带,沿库鲁克塔格断裂的阔克苏发现有碱性岩、碱性花岗岩及与其有关的铌钽矿床(新疆区调队,1985)。

塔西北碱性花岗岩带,位于塔里木地块西北缘深断裂带,以阿图什巴什索贡碱性正长岩及塔木碱性花岗岩为代表(新疆区调队,1985)。

对以上两带本文作者未做详细研究,资料不详。

2 岩石学特征、岩石类型及组合关系

碱性花岗岩或呈浅灰紫色(布尔根、阿列玛勒)或呈深肉红色(红山、萨惹什克、拉配泉),多为中(粗、细)粒等粒结构,少数具有斑状、似斑状结构、文象结构,有的岩体能见到晶洞构造。主要造岩矿物为钾长石(微斜长石、正长石、条纹长石)(40% ~60%)、石英(20% ~30%)、钠长石(10 ~20)、普通角闪石或钠闪石、透辉石或霓石(0 ~10%)、或黑云母(0 ~10%),常见的副矿物为磁铁矿、锆石、磷灰石及萤石,有的能见到锡石、褐钇铌矿、褐帘石等,其中尤以大量的锆石及萤石出现为特征。

碱性花岗岩的岩石化学成分如表 1 所示,并可以归纳出以下两点主要的特征:

(1) 高硅、富碱、低铝。SiO_2 含量多数在 75 ~76% 的范围内;($K_2O + Na_2O$)在 8 ~9% 之间;Al_2O_3 以 11 ~12.5% 者居多,因而有别于碱长花岗岩及其它花岗岩;

(2) 从 CIPW 标准矿物计算结果看,多数不出现 c(刚玉分子);也不出现 ne(霞石分子),因为本区碱性花岗岩的 Na_2O 含量与 K_2O 接近。在 ab-or-an 三组分中,an 分子所占的比例很小,多在 5% 以下。此外,q 值也比较高。

根据造岩矿物组分以及岩石结构的差异,再可进一步划分为以下几类不同的碱性花岗岩:霓石(或霓辉石)碱性花岗岩;钠闪石(或钠铁闪石)碱性花岗岩;透辉石碱性花岗岩;角闪石碱性花岗岩;黑云母碱性花岗岩。如若具有显著的斑状或似斑状结构,则加在上述岩石名称之前冠以斑状或似斑状的称谓。尤其需要指出的是,上述各类岩石之间是一种演化过渡的关系,并没有截然的界限。例如,不同的辉石是霓石-霓辉石-透辉石矿物的演化系列,不同的角闪石是钠闪石、钠铁闪石、镁铁闪石与铁浅闪石矿物的演化系列,在霓石花岗岩中常含有钠闪石,在角闪石花岗岩中常含有黑云母。上述各个碱性花岗岩带的岩石类型及组合关系如表 2 所示;

① 王中刚等. 2000. 昆仑-阿尔金岩浆活动及成矿作用

② 迟国彬等. 1995. 阿尔金-东昆仑地区金矿找矿远景研究

表 1 碱性花岗岩的岩石化学成分及 CIPW 值(%)*

Table 1 Petrochemical composition and CIPW values(%) of alkaline granites

序号	1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
样品号	8725	8753	YM-1	QK-14	QK-16	JH-11	QK-3	8743	8761	8762	KHS-8	ABS-1	LP-8	LPDR-1	TLD-1
产地	布尔根	布尔根	野马泉	塔斯嘎克	塔斯嘎克	扎河坝	萨铁列克	黄羊泉	萨惹什克	萨惹什克	红山	阿克巴斯	拉配泉	拉配泉	土拉东
SiO_2	75.25	74.27	77.20	75.05	76.21	72.50	75.37	76.28	74.90	75.08	72.22	77.07	75.18	76.82	75.84
TiO_2	0.17	0.22	0.17	0.05	0.17	0.21	0.27	0.65	1.31	0.96	0.27	0.10	0.05	0.04	0.09
Al_2O_3	11.89	11.90	11.55	13.21	11.68	12.69	12.18	11.95	11.95	12.39	12.49	12.01	11.70	11.26	11.57
Fe_2O_3	1.17	2.51	0.35	2.29	1.80	3.16	1.68	0.71	1.10	1.06	1.26	0.41	0.86	1.00	1.07
FeO	1.04	0.76	0.68	0.07	0.57	0.60	0.46	0.82	1.47	1.27	1.14	0.76	0.78	0.33	0.30
MnO	0.07	0.13	0.05	0.15	0.14	0.15	0.21	0.04	0.05	0.05	0.11	0.05	0.05	0.03	0.06
MgO	0.05	0.05	0.10	0.10	0.20	0.20	0.13	—	0.48	0.41	0.30	0.30	0.10	—	0.30
CaO	0.92	0.54	0.40	0.40	0.71	1.10	0.18	0.73	0.81	0.85	0.80	0.60	0.60	—	0.20
Na_2O	4.15	4.09	3.78	4.06	4.14	4.59	4.88	3.52	3.27	4.01	4.68	3.16	4.05	3.94	3.75
K_2O	4.41	5.00	4.57	4.34	4.28	3.95	4.63	4.61	4.04	4.02	3.79	5.12	3.94	4.34	4.48
P_2O_5	—	—	0.03	0.06	0.10	0.42	0.12	0.09	0.09	0.08	0.07	0.14	—	—	0.04
H_2O^+	—	—	0.40	0.16	0.14	0.20	0.29	0.39	0.30	0.12	2.00	0.16	1.78	1.59	1.41
其它	—	—	—	—				0.17							
Σ	99.12	99.47	99.28	99.94	100.14	99.77	100.40	99.87	99.77	100.30	99.13	99.88	99.09	99.35	99.85
CIPW															
q	32.94	31.15	37.03	34.07	34.70	29.43	30.04	37.08	38.43	34.11	29.36	37.42	35.94	38.16	36.98
or	26.29	29.70	27.30	25.70	25.29	23.44	27.32	27.40	24.00	23.71	23.05	30.33	23.92	26.23	27.09
ab	35.42	33.55	32.34	34.43	35.03	39.00	36.83	29.96	28.77	26.81	40.77	26.81	35.21	34.10	32.48
an	0.80	0.00	1.06	1.60	0.65	2.37	0.00	3.05	3.45	3.69	1.93	2.07	2.17	0.00	0.75
c	0.00	0.00	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.06	0.94	0.09	0.00	0.51	0.00	0.08	0.29
mt	1.71	2.25	0.51	0.57	1.80	1.82	0.90	0.89	1.11	1.47	1.88	0.60	1.28	1.07	0.92
il	0.33	0.42	0.33	0.10	0.32	0.40	0.51	1.24	2.50	1.82	0.53	0.19	0.10	0.08	0.17
ap	0.00	0.00	0.07	0.14	0.23	0.98	0.28	0.21	0.21	0.19	0.17	0.33	0.00	0.00	0.09
ac	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	0.00	3.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
di	2.52	1.25	0.64	0.00	1.43	0.28	0.09	0.00	0.00	0.00	1.39	0.00	0.76	0.00	0.00
hy	0.00	0.00	0.70	0.25	0.00	0.37	0.28	0.00	1.20	1.02	0.91	1.74	0.62	0.00	0.76
hm	0.00	0.59	0.00	1.90	0.56	1.92	0.00	0.10	0.34	0.04	0.00	0.00	0.00	0.29	0.46
ns	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
or'	42	47	45	42	42	36	43	45	43	44	35	51	39	43	45
ab'	57	53	53	56	57	60	57	50	51	49	62	45	57	57	54
an'	1	0	2	2	1	4	0	5	6	7	3	4	4	0	1
有关参数															
DI	95	94	97	94	95	92	94	94	91	85	92	95	95	98	96
AR	5.03	6.43	5.64	4.22	5.24	4.25	7.67	4.57	3.68	4.08	4.51	4.82	4.71	6.56	5.65
R_1	2443	2234	2697	2480	2538	2173	2142	2694	2780	2549	2191	2778	2602	2666	2633
R_2	334	293	274	306	314	376	264	312	344	354	345	314	298	220	263

or',ab',an' 为 or,ab,an 三者加和为 100% 后各自所占的百分数

* 本表的分析由地球化学研究所分析实验室李荪蓉用湿化学法完成

表 2 新疆各碱性花岗岩带岩石类型、岩石组合及矿化特征

Table 2 Rock type, rock assemblage and mineralization characteristics of each alkaline granite belts in Xinjiang

岩 带	岩 石 类 型	伴生岩石(不包括蛇绿岩与火山岩)	矿 化 种 类
额尔齐斯岩带	钠铁闪石碱性花岗岩； 斑状钠铁闪石碱性花岗岩；	辉长-闪长岩；英云闪长岩；花岗闪长岩； 钾长花岗岩；正长岩；	
阿尔曼泰岩带	钠铁闪石(晶洞)碱性花岗岩； 霓石碱性花岗岩；斑状钠铁闪石碱性花岗岩	石英正长岩；正长花岗岩；花岗斑岩 石英二长岩；辉长玢岩	Au
卡拉麦里-哈尔里克岩带	钠闪石碱性花岗岩；钠铁闪石碱性花岗岩； 黑云母碱性花岗岩；斑状钠闪石花岗岩；	钠长斑岩；斜长花岗岩；石英闪长岩； 辉石-辉长岩	Sn 水晶,石墨
达拉布特岩带	角闪石碱性花岗岩；黑云母碱性花岗岩	闪长岩；石英闪长岩；花岗闪长岩； 二长花岗岩	
祁漫塔格岩带	钠闪石碱性花岗岩；碱性花岗斑岩	碱性正长岩；石英正长岩；英安玢岩	Au
阿尔金岩带	透辉石碱性花岗岩；黑云母碱性花岗岩	石英闪长岩；英云闪长岩；花岗闪长岩； 二长花岗岩；钾长花岗岩	
塔什库尔干岩带	辉石碱性花岗岩	辉石正长岩；黑云母二长花岗岩； 二云母钾长花岗岩	
那拉提岩带	钠铁闪石碱性花岗岩	辉长岩；正长岩；花岗闪长岩； 二长花岗岩；钾长花岗岩	Nb,Ta
兴地岩带	霓辉石碱性花岗岩	辉长岩；霓石正长岩；钠闪石正长岩； 黑云母二长花岗岩；钾长花岗岩	Nb,Ta
塔西北岩带	钠铁闪石碱性花岗岩	碱性正长岩	

3 碱性花岗岩成岩地质环境与成岩条件

3.1 成岩的地质构造环境

新疆这一地质块体是由六个板块的一部分组装起来的。这六个板快是西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块、塔里木板块、华北板块、华南板块及藏北板块,其中,除塔里木板块是以新疆地区为主体外,其余均为几个大板块的局部,甚至一小角。板块地体多,板块之间的深断裂、缝合线也多,因而,新疆的蛇绿岩带就有 24 条之多(何国琦等,1994),是国内其他地区难以见到的。这个地质特征,一方面反映新疆地区深断裂带的广泛存在,一方面说明地球深部物质的来源占了较大的比例。这为本文中论述的多条碱性花岗岩的发生提供了成岩物质条件与运移和储存的空间。但是,新疆却没有典型的裂谷构造的地质环境,所以主要发生在裂谷环境中的非造山碱性花岗岩,在新疆地区却还没有见到。而是以后造山碱性花岗岩为主要特征。

何国琦等(1994)在以活动论大地构造基本原则演绎新疆各地质单元的发展时,主要归结为老陆壳、拉张型过渡壳、洋壳、汇聚型过渡壳及新陆壳五个历史阶段。在新陆壳阶段,随着汇聚阶段挤压的中止,地应力转为拉张,由于反弹作用,导致弛张性深断裂发生。这种深断裂可达岩石圈底部,致使上地幔物质减压、分熔、上侵,在浅部地壳生成沿断裂分布的热侵位的基性-超基性岩以及碱性花岗岩。这与王中刚等(1993)曾指出的在深断裂带中存在基性-超基性岩、碱性花岗岩及陆相火山岩三位一体共生的事实相一致,从而也说明了新疆碱性花岗岩形成的地质环境与条件。

3.2 来自同位素的证据

同位素地球化学的研究主要提供了两个方面的证据:(1) 碱性花岗岩成岩物质来源于地幔;(2) 碱性花岗岩是紧接着造山运动之后发生而形成的。

(1) $\varepsilon_{Nd}(T)$ 值提供的岩浆源区的信息

本区碱性花岗岩普遍具有正的 $\varepsilon_{Nd}(T)$ 值(0.60～6.40)(表3)，表明岩浆来源于比 CHUR(球粒陨石均一储源)的 Sm/Nd 比值高的源区，一般认为是亏损地幔源区，这个结论基本已经取得比较一致的意见(王中刚等①，1990；Kwon，1993；贺伯初，1994；刘家远，1996；韩宝福，1997)。不仅如此，Sr 同位素的研究结果也支持这个结论。鉴于本区碱性花岗岩 $\varepsilon_{Nd}(T)$ 值还低于其演化阶段(300Ma 前)亏损地幔源的 $\varepsilon_{Nd}(T)$ 值，说明受到一定程度老地壳物质的混染。

张湘炳等计算阿尔泰橄榄岩的 $\varepsilon_{Nd}(T) = +6.35 \sim +7.60$、$T_{DM} = 710 \sim 737$，我们测得布尔根花岗闪长岩的 $\varepsilon_{Nd}(T) = +3.40$、$T_{DM} = 633$；二台的碱性辉长岩 $\varepsilon_{Nd}(T) = +7.26$、$T_{DM} = 329$，与碱性花岗岩的 ε_{Nd} 及 T_{DM} 值接近。

东、西准噶尔地区碱性花岗岩的大量产出，说明在显生宙中亚造山带曾经发生大规模的地壳生长，这种生长是幔源物质经过高度分异演化后添加到陆壳内完成的(韩宝福等，1997)。碱性花岗岩的正 $\varepsilon_{Nd}(T)$ 值是显生宙时期有大量幔源新生物质添加到陆壳的最好证据。这与一些典型的显生宙造山带的地壳演化有明显的不同，例如华南和喜马拉雅山区，那里的花岗岩以负的 $\varepsilon_{Nd}(T)$ 为特征，它们来源于再循环的地壳物质(见图4)。

(2) Sr 同位素的证据

对阿尔曼泰碱性花岗岩的 Sr 同位素的测定比较系统，$(^{87}Sr/^{86}Sr)_I$ 值变化在 0.6985～0.7080 的范围内(王中刚等，1990；刘伟，1993；贺伯初，1994；刘家远，1995；赵振华等，1996；韩宝福，1998)，结合 Nd 同位素的数据所编制的图解(图4)可以圈画出本区碱性花岗岩的位置，它位于地幔趋势线附近，临近亏损地幔，与地壳(上地壳、古老地壳、年轻地壳)相距甚远，它不同于其它地区和其它类型的花岗岩。

(3) 同位素年龄的信息

洪大卫(1995)认为，非造山碱性花岗岩的发生与区域造山运动结束的时间相距甚远，如尼日利亚的 Shira、Liruei 以及 Amo 等碱性花岗岩岩体形成时代在 165～186Ma 间，苏丹的 Red ed Dom 碱性花岗岩形成时代在 236Ma，而那里的造山作用(泛非运动)在 600～590 间就结束了，加拿大的 Labrador 碱性花岗岩在 1260Ma 形成，而区域的造山运动在 1900～1600Ma 间结束。后造山碱性花岗岩则是紧随区域造山运动的结束而发生的。如沙特阿拉伯在 715～630Ma 由于岛弧与岛弧碰撞、汇聚到一起形成阿拉伯地盾，随即碱性花岗岩就在 650～530Ma 间形成；我国福建沿海，太平洋板块从中侏罗世晚期到早白垩世向欧亚大陆俯冲(137～112Ma)，而碱性花岗岩形成在 97～91Ma，众所周知，新疆除昆仑-阿尔金山外大部分地区主要造山运动发生在海西期(曾称天山运动)，而大多数碱性花岗岩的形成发生在海西晚期。所以后造山碱性花岗岩的出现，标志着区域造山运动的结束。也是在形成时间上判别非造山与后造山花岗岩的一个依据。

表3 准噶尔碱性花岗岩的 Sm-Nd 同位素数据*

Table 3 Sm-Nd isotope data of the alkaline granites in Junggar

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
样 号	BG-6	BG-28	XC1	XC2	JR2	SW2	B68	70-Ap	70-Sp
产 地	布尔根	布尔根	也布山	也布山	乌伦古	乌伦古	吉木乃	阿克巴斯	阿克巴斯
Sm(10^{-6})	6.46	11.74	7.06	5.52	13.49	14.74	5.063	551	712
Nd(10^{-6})	30.37	56.07	32.10	26.187	70.58	76.43	23.921	3560	3112
Sm/Nd	0.21	0.21	0.22	0.21	0.19	0.19	0.21	0.15	0.23
fSm/Nd	−0.35	−0.36	−0.32	−0.35	−0.41	−0.41	−0.34	−0.52	−0.29
$^{147}Sm/^{144}Nd$	0.1287	0.1267	0.133	0.1275	0.1155	0.1166	0.1280	0.0935	0.1402
$^{143}Nd/^{144}Nd$	0.512735	0.512535	0.512811	0.512816	0.512792	0.512806	0.5127791	0.512727	0.512831
$\varepsilon_{Nd}(T)$	+1.40	+0.62	+5.54	+5.84	+6.1	+6.4	+5.7	+0.60	+6.1
T_{DM}^{Nd}(Ma)	566	856	641	590	557	541	663	647	834

* 3-6 据韩宝福；7 据贺伯初；8-9 据 Kwon，Ap 为磷灰石；Sp 为榍石

① 王中刚等，1990，阿尔泰花岗岩类及其与成矿关系的研究

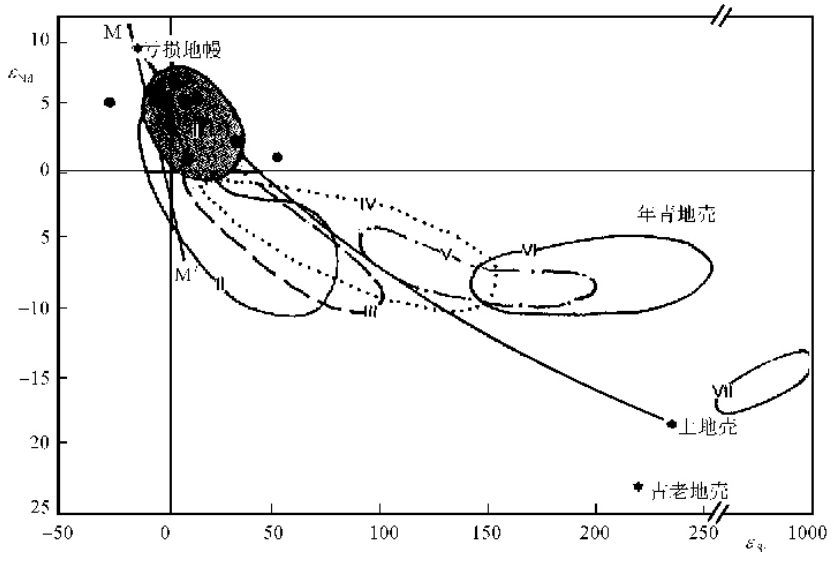

图 4 本区碱性花岗岩的 Nd-Sr 同位素图解

M-M'- 地幔趋势线；Ⅰ-新疆碱性花岗岩；Ⅱ-美国塞拉内华达花岗岩；Ⅲ-澳大利亚Ⅰ型花岗岩；Ⅳ-法国海西花岗岩；Ⅴ-澳大利亚S型花岗岩；Ⅵ-马来西亚S型花岗岩；Ⅶ-喜马拉雅浅色花岗岩

Fig. 4 Nd-Sr isotope diagram of the alkaline granites in this region

3.3 岩石化学与稀土元素地球化学的判别

(1) 岩石化学因子的判别：在岩石化学成分上碱性花岗岩虽然都有富硅、富碱、低铝的特点，但亦有微细的差别，例如，非造山的 R_1 因子变化在 900 ~ 3000 的范围内，而后造山的 R_1 因子变化范围很窄，限于 2000 ~ 3000 的范围(图 5)，此外，计算的 AR 值表明，非造山的 AR 值高，一般都 > 8，而后造山的多数 < 8(表 1)。作者认为，将 R_1 和 AR 值综合起来是区别非造山与后造山碱性花岗岩的有效标志。

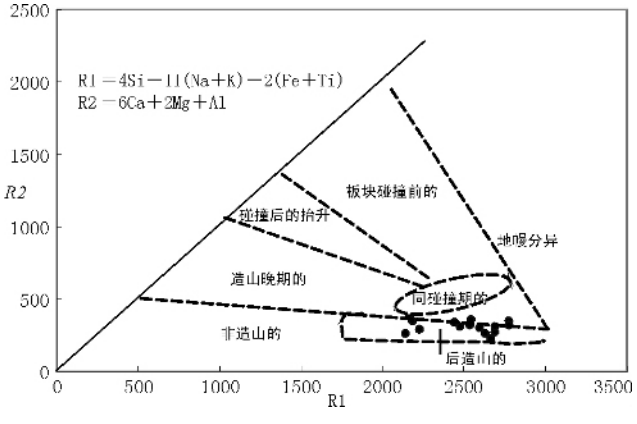

图 5 判别非造山与后造山碱性花岗岩的 R_1-R_2 图解(图式据洪大卫等，1995)

Fig. 5 R_1-R_2 diagram to distinguish the anorogenic from post-orogenic alkaline granites (diagram form are from Hong *et al.*, 1995)

(2) 选择了某些比较系统测定过微量和稀土元素的样品列于表 4 中，所作的稀土元素球粒陨石标准化分布模式(图 6)显示了碱性花岗岩的特征，它们共同的特征是铕的负异常明显甚至很强烈，并且轻稀土部分(La-Sm)曲线呈陡倾斜，而重稀土部分(Gd-Lu)则作水平状，从而有别于其他各类花岗岩。

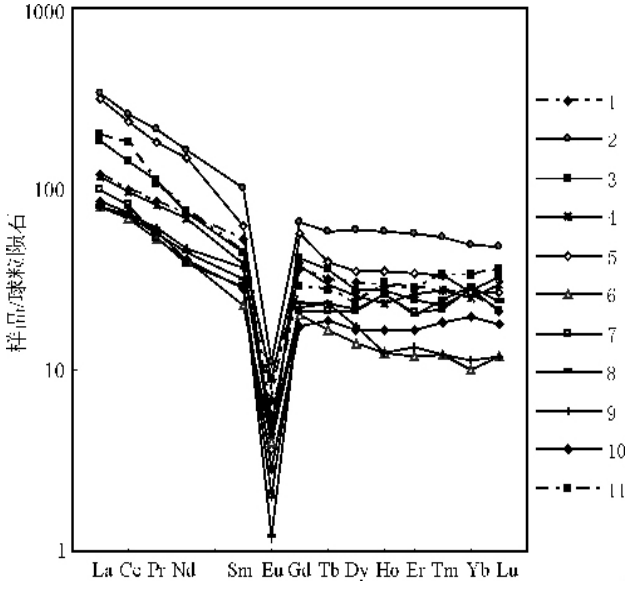

图 6 碱性花岗岩的稀土元素球粒陨石标准化分布模式(样品编号为表 4 中的顺序号)

Fig. 6 Chondrite-normalized rare earth element distribution patterns of the alkaline granites

表4 碱性花岗岩的微量及稀土元素含量($\times10^{-6}$)

Table 4 REE and trace element contents($\times10^{-6}$) of alkaline granites

序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
样品号	BG-23	QK	ML	HT	ABS-4	KHS-8	LP-8	LPDR-1	TLD-2	TLD-1	DS-7
产地	布尔根	恰库尔	庙儿沟	哈图	阿克巴斯	红山	拉配泉	拉配泉	土拉东	土拉东	东山
Li	103						0.7	—	17.4	31.3	12.2
Be	10						4.2	6.3			7.9
Sc		4	5	4	1.5	6.3			0.9	1.2	
V	—	1					3.1	—	0.1	1.2	6.7
Cr	18	17	19	28	35	22.7	20.9	16.6	7.2	11.4	17.3
Co	—	1	3	2	1.4	3.4	0.3	—	1.1	2	—
Ni	4	59	18	54	46.4	67.9	1.1	—	5.7	6.9	1.6
Cu	9						4.5	4.7	19.2	23	7.2
Zn	111	117	5	111	107	32.4	36.2	18.0	22.6	22.2	37.4
Ga							31.4	23.2	10.9	13.7	25.7
Rb	144	157	113	113	80.4	135	289	330	221	326	386
Sr	3	27	36	46	26.3	107	6.3	21.0	31.8	25.3	27.5
Zr	743	298	177	174	199	215	209	173	109	115	197
Nb	73	30					105	59	21	26	96
Mo		0.5	0.5	0.5	0.4	0.5			2.5	4	
Sn	16						5.1	5.2			5.8
Ba	—	48	520	282	166	616	78.6	173	169	76.6	225
Cs		2	3	6	1.7	2.2			5.1	11.7	
Hf		15	12	8	8	9	7.3	5.6	4.9	6	8.5
Ta	8	1.5	0.8	0.7	0.3	0.8	8.1	6.9	1.8	3.55	12
W	2	1	3	1	1.2	1.5	4.8	1.8	1.7	2.8	4.6
Pb	12						10.6	8.6	32.9	36	27.7
Th	10	16	11	10	6.6	12.4	20.1	65.8	27.2	41.7	189
U		3	2.4	1	1.6	1.9	3.5	6.8	4.8	6.9	19.3
La	57.0	106	37.2	36.8	98.2	24.8	30.4	24.9	24.6	26.3	61.9
Ce	114.2	255	79.4	78.3	190.2	55.2	66.8	57.6	58.2	59.4	145
Pr	13.8	21	10.5	9.9	22.1	6.4	6.7	7	7.5	7.2	13
Nd	44.6	98	43.7	41.6	88.6	24.2	23.4	27.0	27.9	24.6	45.6
Sm	8.7	20	10.3	7.6	12.3	3.7	5.7	6.3	7.2	5.6	8.7
Eu	0.7	0.8	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	0.4
Gd	10.7	17	9.4	9.7	14.6	5.3	5.5	6.1	5.8	4.5	7.6
Tb	1.72	2.8	1.5	1.4	1.9	0.8	1.0	1.1	1.1	0.9	1.3
Dy	8.9	19.4	9.8	8.3	11.3	4.5	6.8	7.0	5.7	5.4	7.6
Ho	2.0	4.2	2.1	1.7	2.5	0.9	1.9	1.9	0.9	1.0	2.2
Er	5.2	12.0	5.9	5.5	7.2	2.5	4.4	4.3	2.8	3.5	5.9
Tm	0.8	1.8	0.9	0.9	1.1	0.4	0.7	0.8	0.4	0.6	1.1
Yb	5.8	12.1	5.5	5.2	5.7	2.1	5.9	6.1	2.4	4.1	9.9
Lu	1.1	1.4	0.7	1.0	0.9	0.4	0.7	0.8	0.4	0.6	1.5
Y	42.3	107		43.6	57.4	24.3	39.9	39.4	26.5	29.5	51.2

* 数据7-11由地球化学研究所ICP-Ms实验室测定，其余由湖北宜昌地矿所实验室测定

4 碱性花岗岩与成矿的关系

本区碱性花岗岩与六种类型的矿化有关：

(1) 稀有金属矿化：新疆区调队(1985)在西天山及塔里木盆地东北缘均发现了含铌钽的碱性花岗岩(见《天山花岗岩地质》)，前者属那拉提岩带，为含褐钇铌矿的碱性花岗岩及其派生的伟晶岩脉；后者属兴地岩带，为含烧绿石、褐钇铌矿的碱性岩及其派生岩。

(2) 金矿化：例如吉木乃地区(乌伦古岩带)的碱性花岗岩发育了后期蚀变作用，伴随有金的矿化；东昆仑祁漫塔格岩带的金矿也与碱性花岗岩有密切的关系。

(3) 锡矿化：本区碱性花岗岩含 Sn 量普遍都比较高，在岩体顶部或边缘转弯处等有利地段，若发育有晚期自交代蚀变作用，如云英岩化、钠闪石化、钠长石化及黄玉化等，锡得以富集，以含锡石云英岩(贝勒库都克)或含锡石石英脉(黄羊泉)的形式成为矿床。

(4) 寻找水晶与宝石的对象：碱性花岗岩中已发现有水晶晶洞(东准噶尔)；与碱性岩有关的伟晶岩中的巨晶锆石可以作为宝石材料。

(5) 特殊的石墨矿化：苏吉泉碱性花岗岩中产生出的球状石墨是一种特殊的矿化现象，据初步研究，是岩浆夹持的碳质岩石被改造的结果。

5 结论

(1) 新疆地域辽阔，地质构造形式多样，显生代以来尤以多个板块之间的汇聚、碰撞以及拉张等为主导的动力学机制，造就了各种类型的花岗岩，其中，后造山碱性花岗岩的广泛分布是一个重要的地质特色。本文从地质构造演化历史、空间展布、岩石组合关系、岩石学与岩石化学性质、微量稀土元素以及同位素地球化学特征等方面，论述了后造山碱性花岗岩的发生、形成的条件以及判别的依据。

(2) 在地质构造位置上，它们与板块缝合线、深断裂带密切相关。在板块运动过程中，随着汇聚造山阶段挤压的中止，由于反弹作用，地应力转为拉张，导致弛张性深断裂发生。这种断裂深达岩石圈底部，致使上地幔物质减压、分熔、上侵，在浅部地壳生成沿断裂分布的热侵位的基性-超基性岩以及碱性花岗岩。由于碱性花岗岩紧随着造山作用的结束而发生，因此属于后造山的碱性花岗岩。

(3) 鉴于上述原因，碱性花岗岩具有带状分布的地质特征，在新疆可以划分出额尔齐斯岩带、阿尔曼泰岩带、卡拉麦里-哈尔里克岩带、达拉布特岩带、阿尔金岩带、祁曼塔格岩带、塔什库尔干岩带、那拉提岩带、兴地岩带以及塔西北岩带等十条碱性花岗岩带。

(4) 本区碱性花岗岩带与蛇绿岩带耦合，是本区后造山碱性花岗岩的一个重要特征，也是区别于非造山碱性花岗岩的一个标志。碱性花岗岩还与同期陆相火山岩以及热侵位的基性-超基性岩伴生，我们称其为深断裂带中的三位一体，这也是在后造山过程发生的。

(5) 本区碱性花岗岩在岩石化学成分上不仅具有高硅、低铝、富钾的特点，计算得到的 R_1 因子在 2000 ~ 3000 间，R_2 因子则小于 500，AR 值多小于 8，这也是区别于非造山碱性花岗岩的重要参数。

(6) Nd、Sr 同位素地球化学数据表明，成岩物质主要来源于亏损地幔；稀土元素的球粒陨石标准化模式，除了显示大的负铕异常外，其 $(La/Sm)_N$ 值也较大，因而其曲线的左部(La-Sm)的倾斜角度较大；这也是区别于其他花岗岩类，包括地壳重熔型的碱长花岗岩的一个特征。

(7) 后造山碱性花岗岩与锡、金、稀有金属以及水晶、石墨的矿化有成因联系，其中锡与金的成矿比较重要。

致谢 赵振华、洪文兴、胡霭琴、邹天人、吴柏青、董振生、吴明清等参加了部分工作。周云生研究员与作者多次进行有益的讨论并提出了宝贵的修改意见。

References

Batchelor RA and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multication parameters. Chem. Geol., 48：43 – 53

Bi H, Wang ZG, Wang YL and Zhu XQ. 1999. History of tectono-magmatic evolution in the Western Kunlun orogen. Science in China (D), 42(6)：604 – 619

Bi CS, Sheng XY, Xu QS, Ming KH, Sun HL, and Zhang CS. 1993. Geological characteristics of stanniferous Granites in the Beilekuduk tin metallogenic belt, Xinjiang. Acta Petrologica et Mineralogica, 12(3)：213 – 223 (in Chinese with English abstract)

Bonin B. 1990. From orogenic to anorogenic settings：evolution of granitoid suites after a major orogenesis. Geol. J., 25：261 – 270

Boynton WV. 1984. Geochemistry of the rare earth elements：meteorite studies. In：Henderson P (ed.). Rare earth element geochemistry. Elservier, 63 – 114

Bulan JR and Waff MS. 1979. Mechanical and thermodynamic constrains on fluid distribution in melts. J. Geophys. Res., 84：6102 – 6108

Cao RL, Zhu SH, Zhu XK and Guan YB. 1993. Plate and terrain tectonics of Northern Xinjiang. In：Tu GZ (ed.). New improvement of solid geosciences in Northern Xinjiang. Beijing：Science Press, 11 – 26 (in Chinese)

Chen DL, Liu L, Che ZC, Luo JH and Zhang YX. 2001. Determination and preliminary study of Indosinian aluminous A-type granites in the Qimantag area, southeastern Xinjiang. Geochimica, 30(6)：540 – 546. (in Chinese with English abstract)

Eby G N. 1990. The A-type granitoids：A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26：115 ~ 134

He BC, Tan KR and Wu QH. 1994. Ages and Sr, Nd isotopic evidences of Mantle source magmatite in the Bu's gold deposit, Jimunai county, northern Xinjiang. Geotectonia et Metallogenia, 18(3)：219 – 228 (in Chinese with English abstract)

He GQ, Li MS, Liu DQ, Tang YL and Zhou RH. 1994. Pleozoic crustal

evolution and mineralization in Xinjiang of China. Xinjiang people's publishing house, 31 – 220 (in Chinese with English abstract)

Hong DW, Wang SG, Han BF and Jing MY. 1995. Kind of tectonic settings of alkaline granite and discrimination indicator. Science in China (B), 25: 418 – 426 (in Chinese)

Jin CW and Zhang XQ. 1993. A geochronology and geneses of the western Junggar granitoids, Xinjiang, China. Scientia Geologica. Sinica, 28 (1): 28 – 36 (in Chinese with English abstract)

Kwon ST, Tilton GR and Coleman RG. 1989. Isotopic studies bearing on the tectonics of the West Junggar region, Xinjiang, China. Tectonics, 8: 719 – 727

Liu JY and Yuan KR. 1995. A study on Alkali-rich granitoids and related mineralization in Eastern Junggar, Xinjiang, China. Changsha, Zhongnan University of Industry Press, 1 – 140 (in Chinese)

Liu S and Yuan KR. 1995. The geological characteristics of Wulungu high-alkaline granite belt, Xinjiang. Journal of Guilin College of Industry 15(3): 243 – 257 (in Chinese with English abstract)

Liu W. 1990. Petrogenetic epochs and peculiarities of genetic types of granitoids in the Altay Mts, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China. Geotectonica et Metallogenia, 14(1): 43 – 56 (in Chinese with English abstract)

Loiselle MC and Wones DR. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. Geol. Soc. Am. Abstr. Program, 11: 468

Mitchell RH. 1990. A review of the compositional variation of amphiboles in alkaline plutonic complexes. In: Woolley and Ross (ed.): Alkaline igneous rocks and carbonatites (Special Issue), Lithos, 26: 135 – 150

Pearce JA, Harris NB and Tindle AG. 1984. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol., 25(4): 956 – 983

Shen YC, Liu TB, Zeng QD and Li GM. 2001. Theories and methods for gold deposits prediction. Beijing: Science Press, 66 – 99 (in Chinese with English abstract)

Streckeisen A. 1973, Plutonic Rocks – Classification and Nomenclature by an IUGS Subco-missin. Geotimes, 18: 10

Streckeisen A. 1976. Classification of common igneous rocks by means of their chemical composition: A provisional attempt. New Jahr b. Mineral, 1807: 1

Wang SG, Han BF, Hong DW, Xu BL, and Sun YY. 1994. Geochemistry and tectonic significance of alkali granites along Ulunguar River, Xinjiang. Scientia Geologica Sinica, 29(4): 373 – 383 (in Chinese with English abstract)

Wang WJ. 1996. The features and tectonic setting of alkali granites from Dajiashan region, Barkol county. Xinjiang Geology, 14(2): 159 – 169 (in Chinese with English abstract)

Wang ZG, Chen YL, Dong ZS, Wu MQ and Zhang J. 1993. The high-alkaline intrusive rock belts in Northern Xinjiang: their geology, geochemistry and genesis. In: Tu GZ (ed.). New improvement of solid geosciences in Northern Xinjiang. Beijing: Science Press, 163 – 173 (in Chinese)

Wang ZG, Wang YL, Bi H and Zhu XQ. 2002. Three alkali-rich intrusive rock belts newly discovered in the Mt. Kunlun – Mt. Altun Region, Xinjiang, China. Chinese Journal of Geochemistry, 21(2): 244 – 251

Wyllie SA and Tuttle OF. 1964. Experimental investigation of silicate systems containing two volatile components. Part II. : The efforts of NH3 and HF, in addition to H_2O on the melting temperatures of albite and granite. Am. J. Sci., 259(2): 128 – 141

Xinjiang Regional Survey Party. 1985. Geology of granites in Tianshan Mt. Beijing: Geological Publishing House, 22 – 180 (in Chinese)

Xu JF. 1993. Studies of essential minerals in alkaline rocks of Micangshan area and their genetic information. Acta Petrologica et Mineralogica, 12(3): 269 – 278 (in Chinese with English abstract)

Xu KQ, Sun N, Wang DZ, Hu SX, Liu YJ and Ji SY. 1984. Genesis and mineralization of granites in South China. In: Xu KQ and Tu GZ (eds.). Granite geology and metallogenesis. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1 – 20 (in Chinese)

Zhang J. 1989. Geochemical Characteristics and evolutional process of alkaline granites in Bulgan, Xinjiang. M. Sc. Thesis. Guiyang: Institute of geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 5 – 28 (in Chinese)

Zhao ZH, Wang ZG, Zou TR and Masuda A. 1996. Study on petrogenesis of alkali-rich intrusive rocks of Ulungur, Xinjiang. Geochimica, 25(3): 205 – 220 (in Chinese with English abstract)

Zhou TX, Chen JF, Zhang X and Bao GB. 1997. Pb isotopic study of Granitoids along the Bortala River, Xinjiang. Acta Geoscientia Sinca, 18(Sup): 89 – 91 (in Chinese with English abstract)

Zou TR, Cao HZ and Wu BQ. 1988. Orogenic and anorogenic granites and their indicate standard in Altay, Xinjiang. Acta Geologica Sinica, 60(3): 228 – 243 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

毕承思，沈湘元，徐庆生. 1992. 我国与海西期 A 型花岗岩有关锡矿床的新发现. 中国科学(B)，5：632 – 638

曹荣龙，朱寿华，朱祥坤，管云彬. 1993. 新疆北部板块与地体构造格局. 见：涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京：科学出版社，11 – 26

陈丹玲，刘良，车自成，罗金海，张云翔. 2001. 祁漫塔格印支期铝质 A 型花岗岩的确定及初步研究. 地球化学，30(6)：540 – 546

韩宝福，王式洸，孙元林，洪大卫. 1998. 正 $\varepsilon_{Nd}(T)$ 值的准铝-过铝花岗岩：新疆也布山岩体. 科学通报，43(12)：1323 – 1328

贺伯初，谭克仁. 1994. 北疆吉木乃布氏金矿幔源岩浆岩时代及 Sr，Nd 同位素证据. 大地构造与成矿学，18(3)：219 – 228

何国琦，李茂松，刘德权，唐延龄，周汝洪. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐：新疆人民出版社，31 – 220

洪大卫，王式洸，韩宝福，靳满元. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. 中国科学(B)，25：418 – 426

金成伟，张秀棋. 1993. 新疆西准噶尔花岗岩类的时代及其成因. 地质科学，28(1)：28 – 36

刘生，袁奎荣. 1995. 新疆乌伦古富碱花岗岩带的地质特征. 桂林工学院学报，15(3)：243 – 251

刘伟. 1990. 新疆阿尔泰花岗岩类源区物质的定量模拟. 大地构造与成矿学，15(3)：199 – 208

刘家远，袁奎荣. 1995. 新疆东准噶尔富碱花岗岩类及其成矿作用. 长沙：中南工业大学出版社，1 – 140

沈远超，刘铁兵，曾庆栋，李光明. 2001. 中国金矿床成矿预测的理论与方法. 北京：科学出版社，66 – 99

王式洸,韩宝福,洪大卫,许宝良,孙亚芸. 1994. 新疆乌伦古碱性花岗岩的地球化学及其构造意义. 地质科学,29(4):373 – 383

王伟健. 1996. 新疆巴里坤县大加山一带碱性花岗岩的特征及构造环境探讨. 新疆地质, 14(2):159 – 169

王中刚, 陈岳龙, 董振生等. 1993. 新疆北部富碱侵入岩带地质、地球化学特征及成因. 见:涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京:科学出版社, 163 – 173

新疆区调队. 1985. 天山花岗岩地质. 北京:地质出版社, 22 – 180

许继锋. 1993. 米仓山碱性岩中主要矿物研究及其成因信息. 岩石矿物学杂志, 12(3):269 – 278

徐克勤, 孙鼐, 王德滋, 胡受奚, 刘英俊, 季寿元. 1984. 华南花岗岩成因与成矿. 见:花岗岩地质和成矿关系国际学术会议论文集. 南京:江苏科学技术出版社, 1 – 20

张杰. 1989. 新疆布尔根碱性花岗岩地球化学特征及其形成演化过程. 中国科学院地球化学研究所硕士论文, 5 – 28

赵振华,王中刚,邹天人,增田彰正. 1996. 新疆乌伦古富碱侵入岩成因探讨. 地球化学, 25(3):205 – 220

周泰禧,张巽,陈江峰,鲍高斌. 1997. 新疆博尔塔拉河流域花岗质岩石的 Pb 同位素组成. 地球学报. 18(增刊):89 – 91

邹天人,曹惠志,吴柏青. 1988. 新疆阿尔泰造山花岗岩和非造山花岗岩及其判别标志. 地质学报, 60(3):228 – 243