

阿尔泰额尔齐斯带东段酸性岩墙群地球化学特征及其地质意义^{*}

宫红良¹ 陈正乐¹ 胡远清² 李丽¹ 赖新荣³ 马庆佑⁴ 李玉英⁴ 胡博⁴ 张文贵⁴
GONG HongLiang¹, CHEN ZhengLe¹, HU YuanQing², LI Li¹, LAI XinRong³, MA QingYou⁴, LI YuYing⁴, HU Bo⁴ and ZHANG WenGui⁴

1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081
2. 湖北地矿局鄂东北地质大队, 孝感 432100
3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037
4. 中国地质大学研究生院, 北京 100083

1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China*
2. *Geological Team of Northeastern Hubei, Geological and Mineral Bureau of Hubei, Xiaogan, 432100, China*
3. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*
4. *Graduate School of Chinese University of Geosciences, Beijing 100083, China*

2007-03-18 收稿, 2007-05-10 改回.

Gong HL, Chen ZL, Hu YQ, Li L, Lai XR, Ma QY, Li YY, Hu B and Zhang WG. 2007. Geochemical characteristics of acidic dike swarm from the eastern segment of the Ertix tectonic belt, Altai orogeny and its geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5):889–899

Abstract Field investigation revealed series of undeformed acidic dike swarm developed between the Ertix active fault and the Fuyun-Xibodu fault in the eastern segment of the Ertix tectonic belt, southern Altai orogeny, where Hercynian gneissic granites and the Upper Carboniferous Ertix Formation outcropped. The content of SiO₂ in the dike is 70.9% ~ 75.38%, and that of K₂O + Na₂O is 7.55% ~ 8.99%. For most of samples, the content of Na is larger than that of K. The Rittmann index (δ) varies from 1.8 to 2.5. The content of Al₂O₃ equals to 12.8% ~ 14.53%. The value of A/CNK is 0.9 ~ 1.1, and that of NK/A ranges from 0.7 to 0.9, suggesting that the dike should be attributed to A-type granitoids and sub-alkaline rock with metaluminous-low peraluminous character and lower Magnesium, higher Kalium and Natrium, lower Calcium and Strontium, and higher (Fe/Mg)_{mol}. Analyses of trace and rare earth elements showed that these rocks are rich of light rare earth elements and relatively rich of great ion lithophile elements with obviously middle minus-Eu abnormality, indicating obviously fountainhead of crust resource. The U-Pb dating of zircon by Second Ion Microprobe revealed that the dike formed between 277 ~ 286Ma. Therefore, it was suggested that acidic dike swarm resulted from the partial melting of crustal material in regional extensional surrounding after the end of the Hercynian Altai orogenesis.

Key words Acidic dike swarm, Geochemistry, A-type granitoids, Ertix tectonic belt, Altai orogeny

摘 要 野外地质调查发现阿尔泰南缘额尔齐斯构造带东段、额尔齐斯活动断裂与富蕴-锡泊渡断裂之间发育了一套未变形的酸性岩墙群。岩墙群侵位于海西期片麻岩化花岗岩和上石炭统深变质的额尔齐斯组岩层中,薄片鉴定和岩石地球化学分析确定为具有细晶结构的纹纹斑岩。岩石的SiO₂含量为70.9% ~ 75.38%, K₂O + Na₂O含量为7.55% ~ 8.99%;大部分样品Na₂O > K₂O,里特曼指数为1.8 ~ 2.5之间, Al₂O₃ = 12.80% ~ 14.53%, A/CNK = 0.9 ~ 1.1, NK/A = 0.7 ~ 0.9,具有准铝质—弱过铝质、低镁、高钾钠、低钙和锶、高(Fe)_{mol}/(Mg)_{mol}特点,具A型花岗岩类特点,属于亚碱性脉岩。岩石轻稀土富集,大离子亲石元素相对富集,具有明显的中等负铈异常,壳源特征明显。锆石U-Pb二次粒子微探针测年显示岩墙群形成于277 ~ 286Ma。推断岩墙是阿尔泰海西期造山运动结束后,在拉张构造环境下的地壳局部熔融产物。

^{*} 国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号: 2001CB409808 和 2001CB7110013)和国家自然科学基金项目(编号: 40572116)资助。

第一作者简介: 宫红良, 男, 1980年生, 在读硕士研究生, 构造地质学, E-mail: gonghongliang880@sina.com

关键词 酸性岩墙群; 地球化学; A 型花岗岩; 额尔齐斯构造带; 阿尔泰造山带

中图法分类号 P588.132

1 引言

中亚造山系是全球显生宙大陆地壳明显增生的地区之一,蕴藏丰富的矿产资源。阿尔泰造山带是中亚造山系的重要组成部分,前人主要通过区域构造演化、变形特征及其岩浆岩等多方面研究(王式洸等,1994;张前锋等,1994;洪大卫等,1995;赵振华等,1996;韩宝福等,1998;袁旭音和周化平,1998;袁峰等,2001,2003;Xiao *et al.*, 2004;肖庆辉等,2005;徐学纯等,2005;李锦轶等,2006),阐述了阿尔泰造山带甚至中亚造山系的形成机制,但是该造山带构造演化阶段的划分、构造属性等仍存在较大的争议(李锦轶和徐新,2004;Xiao *et al.*, 2004)。王京彬和徐新(2006)认为新疆北部在早石炭世就已经进入后碰撞阶段,但肖文交等(2006)认为在晚石炭世一二叠纪仍存在活动陆缘。

大量的事实表明(卢秋霞等,1989;王式洸等,1994;赵振华等,1996;王润民等,1991;李华芹等,1998;Chen and Jahn, 2004;Chen and Arakawa,2005;韩宝福等,1998),晚石炭世一二叠纪期间在阿尔泰地区发生了强烈的壳幔相互作用,导致了大规模的花岗岩类侵入和基性-超基性杂岩带的形成以及大规模的成矿作用(王京彬和徐新,2006)。陆相火山断陷盆地的发育表明在二叠纪早期阿尔泰地区为后碰撞的伸展构造环境(赵振华等,1996;汪劲草和夏斌,2005;王京彬和徐新,2006)。阿尔泰地区金矿成矿年代学数据也集中在 320~270Ma 之间(魏春生,1996;程忠富和芮行健,1996;李华芹等,1998;闫升好等,2004),与镁铁质杂岩及其铜镍硫化物矿床、富碱花岗岩的成岩、成矿时代显著吻合,表明金矿的成矿动力学背景与造山带后碰撞构造演化阶段的伸展构造环境有关(闫升好等,2006)。但是,海西晚期阿尔泰构造带是否存在局部的拉张构造环境仍缺乏足够的地质证据。

在 2004 年的野外地质考察中,笔者在富蕴县城西南的额尔齐斯构造带内,发现了一套变形微弱、超浅成侵位的岩墙群。由于岩墙群的侵位代表了特定的区域构造背景,因此本文通过岩墙群的地球化学测试分析,结合 U-Pb 锆石测年,探讨岩墙群的岩浆物质来源与形成环境,这对研究额尔齐斯构造带海西晚期的构造属性、完善阿尔泰造山带地质演化阶段的划分等都具有重要意义。

2 区域地质概况

额尔齐斯构造带位于西伯利亚板块南缘的阿尔泰古生代造山带内,是北疆地区重要的大地构造界线,也是重要铜金铁多金属成矿带。对该构造带变形特点的认识比较多,曲国胜和张进江(1991)以及曲国胜和何国琦(1992)最早提出“挤压

带”,而后被认为是大型韧性剪切带(芮行健等,1993;刘悟辉等,1999;陈华勇等,2000)。在额尔齐斯构造带的东段,依断层为界可分为以下四个次级构造单元^①(图 1)。单元 I 为克孜勒别特褶皱带,北以乌恰-库尔提断裂(F3)为界,南以富蕴-锡泊渡断裂(F2)为界;单元 II 为乌恰山背斜构造带,NE 以阿什塔乌恰-科克什勒断裂(F5)为界,SW 以乌恰-库尔提断裂(F3)为界,该构造单元属于可可托海褶皱带的一部分;单元 III 为喀喇额尔齐斯挤压带,北以富蕴-锡泊渡断裂(F2)为界,南以额尔齐斯断裂(F1)为界;单元 IV 为南部北西西构造扩展带,以额尔齐斯断裂(F1)为界以南地区。

在额尔齐斯挤压带中,出露的上石炭统喀喇额尔齐斯群为一套杂岩体^①,包括了硅质岩、片麻岩、混合岩夹变质酸性火山岩和侵入其中的花岗岩,挤压变形强烈,构造变动复杂,多为紧密线状褶皱,地层遭受强烈动力变质作用。对喀喇额尔齐斯群杂岩体的成因有很多争议,有人认为该火山-沉积岩系形成于岛弧环境(梅厚均等,1993;于学元等,1993;牛贺才等,1999;许继峰等,2001),有可能为古岛弧的残片(李锦轶等,2006);有人认为形成于裂谷环境(韩宝福和何国琦,1991;王登红等,2002);也有学者认为是前陆盆地逆冲形成的增生体(Xiao *et al.*, 2004);还有人称之为额尔齐斯剪切带型构造带(Laurent-Charvet *et al.*, 2003)。挤压带中出露的侵入岩主要为花岗岩,包括两套,一套为具片麻理、带状一条带状浅肉色中一细粒花岗岩,同位素年龄为 448Ma (Briggs *et al.*, 2007),另一套为未变形的花岗岩,同位素年龄为 275~278Ma(童英等,2006;Briggs *et al.*, 2007)。

该构造带形成于海西中晚期,一直到喜马拉雅期活动仍很强烈,为北部和南部不同时代增生过程的分界线(Xiao *et al.*, 2004)。其演化过程是阿尔泰碰撞造山一后造山演化历史的缩影,因此,额尔齐斯构造带也是研究阿尔泰造山带后碰撞阶段构造特征的关键区域。本文所讨论的酸性岩墙群就出露在该构造带中。

3 酸性岩墙野外和岩石学特征

3.1 野外地质特征

酸性岩墙群侵位的围岩包括了硅质岩、片麻岩、混合岩和变质酸性火山岩、及其片麻状花岗岩。

岩墙在野外成群、成带出现,分布于 E89°02′~E89°30′, N46°55′~N47°05′之间,可以划分为 4 个岩墙群,呈近似等间距(≈8km)展布,单个岩墙宽 1~3m,东部走向近似 NS,往西走向逐渐发生偏转,走向变化为 N5°E→N15°E→N35°E→N50°E。

^① 新疆维吾尔自治区地质局. 1978. 中华人民共和国区域地质调查报告-富蕴幅(1:20万)。

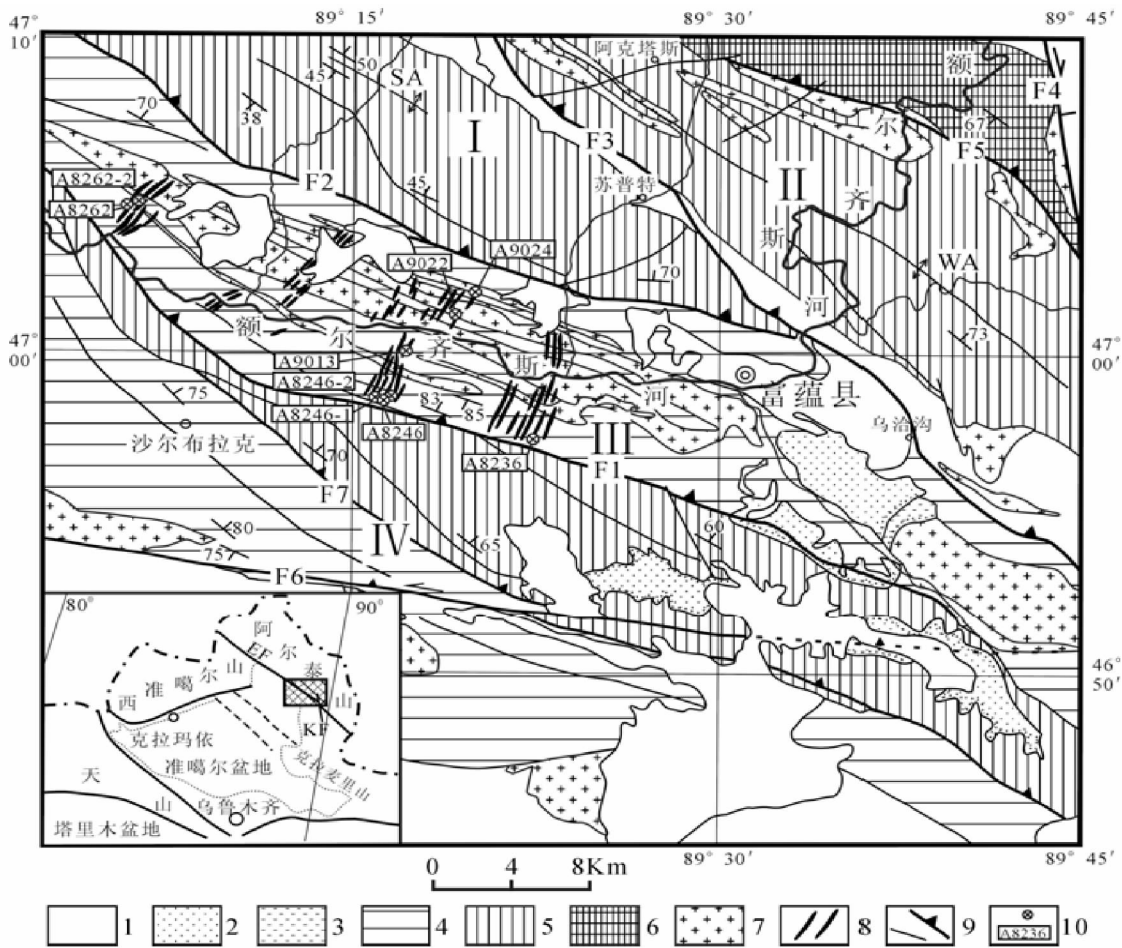


图1 阿尔泰额尔齐斯构造带富蕴地区地质构造简图(根据1:20万区调资料简化)
图中: 1-第四纪; 2-古近系; 3-侏罗系; 4-石炭系; 5-泥盆系; 6-志留系; 7-花岗岩; 8-酸性岩墙; 9-断层; 10-采样点及编号; F1(EF)-额尔齐斯活动断裂; F2-富蕴-锡泊渡断裂; F3-乌恰-库尔提断裂; F4(KF)-可可托海-二台断裂; F5-阿什塔乌恰-科克什勒断裂; F6-几列克库都克-伊德克断裂; F7-伊德克-杰尔台断裂; SA-苏普特背斜; WA-乌恰山背斜; I-克孜勒别特褶皱带; II-乌恰山背斜构造带; III-喀喇额尔齐斯挤压带; IV-南部北西西构造扩展带

Fig.1 Simplified geological map of the Fuyun area in eastern segment of the Ertix tectonic belt, Altai orogeny, Xinjiang(modified from 1:200,000 regional geological map)
In this map: 1-Quaternary, 2-Paleogene, 3-Jurassic, 4-Carboniferous, 5-Devonian, 6-Silurian, 7-granitoids, 8-acidic dike, 9-fault, 10-sample location and number, F1(EF)-Ertix active fault, F2-Fuyun-Xibodu fault, F3-Wuqia-Kuerti fault, F4-Keketuohai-Ertai fault, F5-Ashitawuqia-Kekeshile fault, F6-Jiliekekuduke-Yideke fault, F7-Yideke-jiertai fault, SA-Supute Anticline; WA-Wuqiashan Anticline, I-Kezilebielte fold belt, II-Wuqiashan anticline tectonic belt, III-KalaErtix-compressed belt, IV-Southern NWW tectonic enlarged belt

有多组方向的节理发育,将岩墙切割成砖块状。结构致密,风化程度低,与围岩之间的风化差异表现在地貌上为带状突起(图2A),遥感影像呈现明显的密集条带。野外地质调查和区调资料证实,在额尔齐斯河活动断裂南侧和富蕴-锡泊渡断裂北侧,都没有这套酸性岩墙侵位。

3.2 岩石学特征

岩石以细晶岩脉形式产出,手标本灰白色或浅黄色,块状构造,主要由石英、斜长石、钾长石组成。显微镜下观察主要显示斑状-似斑状结构,斜长石斑晶较好,发育环带构造

(图2B),含有少量黑云母、角闪石等暗色矿物。除部分长石略显半自形长条状外,多数矿物为它形近等轴状,反映了主要矿物在较短的时限内近于同时结晶。基质多为它形显微粒状结构或隐晶质。岩石显示细晶结构,部分样品可见霏细结构。

4 酸性脉岩的岩石地球化学特征

4.1 主量元素地球化学

全岩化学分析结果(表1)显示,岩石的SiO₂含量在70.9%~75.38%之间,K₂O+Na₂O含量介于7.55%~8.99%

表 1 酸性岩墙主化学成分分析结果 (wt%)

Table 1 Analyses results of major elements (wt%) for acidic dikes

氧化物	酸性岩脉样品号								
	A8236	A8246	A8246-1	A8246-2	A8262	A8262-2	A9013	A9022	A9024
SiO ₂	75.38	72.67	71.48	72.65	70.9	70.98	72.71	74.08	75.27
TiO ₂	0.1	0.23	0.22	0.18	0.29	0.29	0.21	0.12	0.08
Al ₂ O ₃	13.13	14.37	13.64	13.51	14.53	14.38	13.85	13.35	12.8
Fe ₂ O ₃	0.07	0.4	0.49	0.24	0.52	0.35	0.64	0.53	0.32
FeO	1.17	1.63	1.53	1.38	1.89	2.07	1.15	0.81	0.75
MnO	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03
MgO	0.27	0.57	0.54	0.5	0.79	0.74	0.54	0.43	0.13
CaO	0.68	1.29	1.79	1.36	1.76	1.96	0.82	0.5	0.33
K ₂ O	4.85	3.98	4.31	3.92	4.08	3.98	4.53	5.42	4.88
Na ₂ O	3.51	3.72	3.73	3.63	3.67	3.62	3.94	3.14	4.11
P ₂ O ₅	0.04	0.09	0.08	0.06	0.11	0.1	0.07	0.04	0.04
H ₂ O ⁺	0.62	0.84	1.32	1.28	1	0.86	0.8	0.95	0.72
CO ₂	0.09	0.09	0.26	0.32	0.09	0.18	0.26	0.23	0.09
LOI	0.47	0.67	1.41	1.56	0.88	0.61	0.85	0.9	0.53
总量	100.42	100.6	99.84	98.62	100.56	98.17	100.42	100.55	100.08

实验方法：在国家地质实验室测试中心采用 X 荧光光谱 (XRF)、土壤碳酸盐测定法和森林土壤分析法测定。

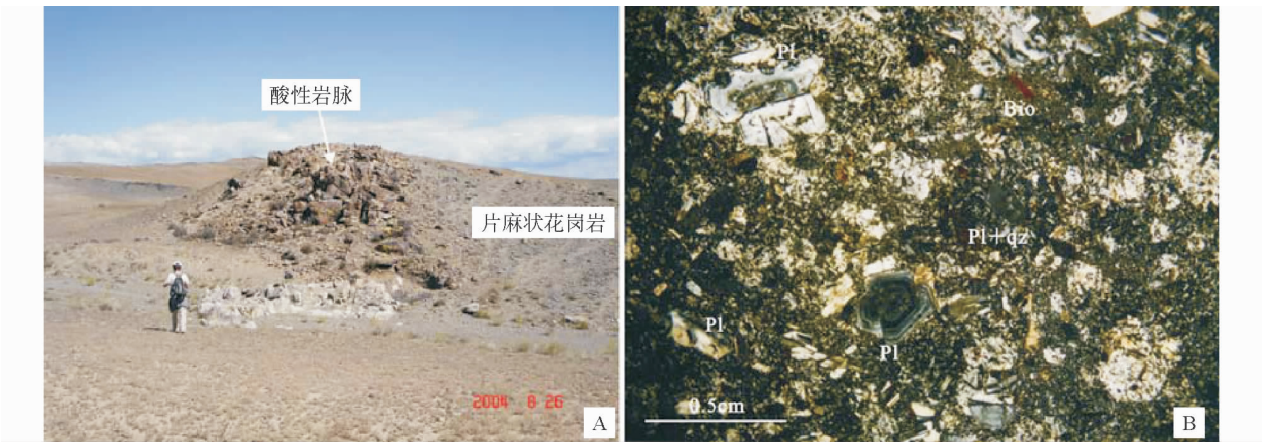


图 2 酸性岩墙群的野外露头 (A) 和显微 (B) 照片

图中：Pl-长石, Bio-黑云母, qz-石英

Fig. 2 Outcrop (A) and microphotograph (B) of the acidic dike in this picture, Pl-feldspar, bio-biotite, qz-quartz

之间。除 A9022 样品的 $N/K = 0.88$ 外, 其余样品 $Na_2O > K_2O$, Na_2O/K_2O 值介于 $1.09 \sim 1.42$ 之间, 里特曼指数值变化范围为 $1.8 \sim 2.5$, $Al_2O_3 = 12.80\% \sim 14.53\%$ 。 $A/CNK = 0.9 \sim 1.1$, $NK/A = 0.7 \sim 0.9$ (A、C、N、K 为 Al_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 的摩尔分子数)。具有准铝质-弱过铝质、富硅、低镁、低钙、高钾和钠、高 $(Fe)_{mol}/(Mg)_{mol}$ 的岩石化学特点 (mol 表示摩尔含量), 属于钙碱性脉岩。根据 Collins *et al.* (1982) Na_2O - K_2O 图解, 样品均落在 A 型花岗岩区域内 (图 3)。

根据 Le Maitre *et al.* (1989) (图 4) 的全碱-硅图解 (TAS) 进行侵入岩的化学分类和命名, 样品均落在流纹岩中的亚碱性区域内, 结合岩石学特征, 属于具细晶结构的亚碱性流纹斑岩。由 K_2O - SiO_2 图解对亚碱性系列进一步划分, 样品均落在高钾钙-碱性区域内 (图 5)。

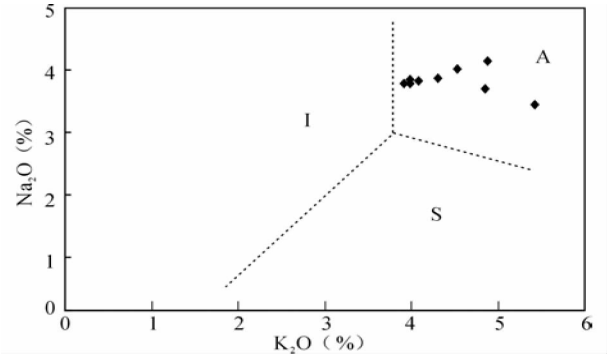


图 3 K_2O - Na_2O 图解 (据 Collins *et al.*, 1982 简化)

图中：I 为 I 型花岗岩; S 为 S 型花岗岩; A 为 A 型花岗岩

Fig. 3 K_2O - Na_2O diagrams for acidic dikes (simplified after Collins *et al.*, 1982)

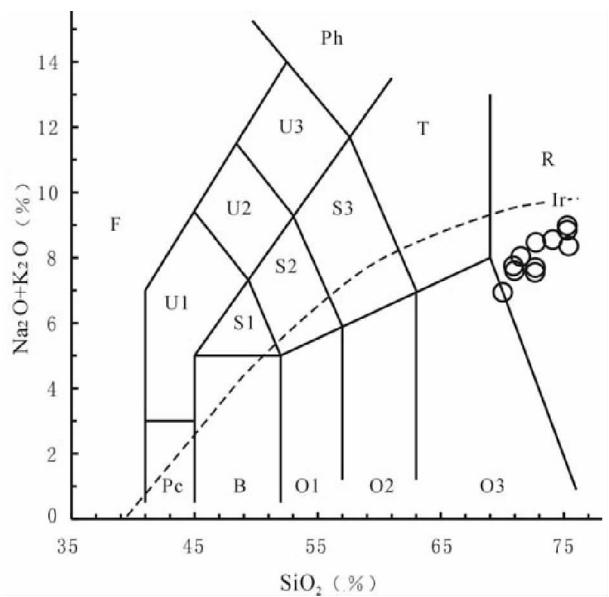


图4 全碱-硅图解(TAS)分类(据 Le Maitre *et al.* ,1989) 图中:Ir 为 Irvine 分界线,其下为亚碱性,其上为碱性;F-似长岩;U1-碱玄岩、碧玄岩;U2-响岩质碱玄岩;U3-碱玄响岩;Ph-响岩;S1-粗面玄武岩;S2-玄武质粗面安山岩;S3-粗面安山岩;T-粗面岩、粗面英安岩;Pc-苦橄质玄武岩;B-玄武岩;O1-玄武质安山岩;O2-安山岩;O3-英安岩;R-流纹岩。
Fig.4 Classic diagram of TAS for aplitic dikes (after Le Maitre *et al.* , 1989)

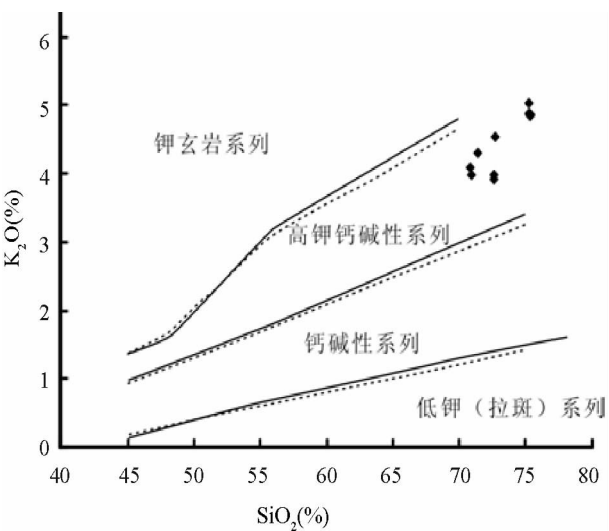


图5 K₂O-SiO₂ 图解(据 Le Maitre *et al.* , 1989 和 Richwood, 1989)
Fig. 5 Diagram of K₂O-SiO₂ for aplitic dikes (after Le Maitre *et al.* , 1989 and Richwood, 1989)

4.2 稀土元素和微量元素地球化学

该区酸性岩墙群稀土和微量元素分析结果如表 2 所示。其中稀土总量变化较大,为 $82.91 \times 10^{-6} \sim 157.2 \times 10^{-6}$, LREE/HREE 为 2.73 ~ 4.20, $(La/Yb)_N = 1.93 \sim 2.31$, $(La/Sm)_N = 1.44 \sim 1.68$, $(Gd/Yb)_N = 1.15 \sim 2.46$, $Y/Nb = 1.06 \sim 2.57$, $Th/Ta = 15.95 \sim 23.85$, $\delta(Eu) = 0.75 \sim 0.98$, 结果表明样品都具有负铕异常, δCe 值基本上近似于 1,无铈异常。由稀土元素球粒陨石标准化配分来看(图 6),具有右倾的轻稀土富集特征,轻稀土部分的斜率大于重稀土部分,富集亲石元素,Eu 出现明显的中等负异常。样品按照元素不相容一相容程度进行的原始地幔标准化蛛网图(图 7)呈明显

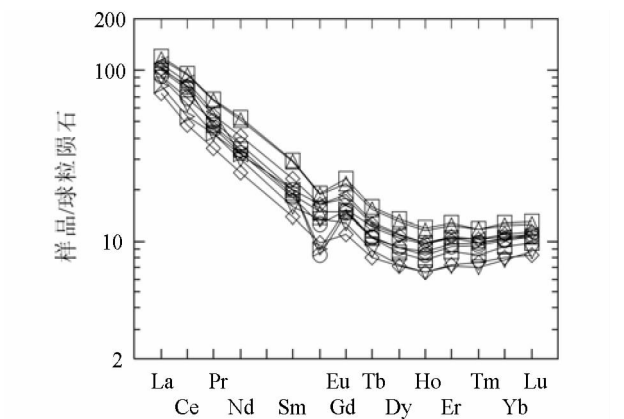


图6 稀土元素配分图(图中球粒陨石标准化值引自 Nakamura,1982)
Fig. 6 REE patterns for the aplitic dikes (in this illustration: Chondrite-normalized values refers to Nakamura, 1982)

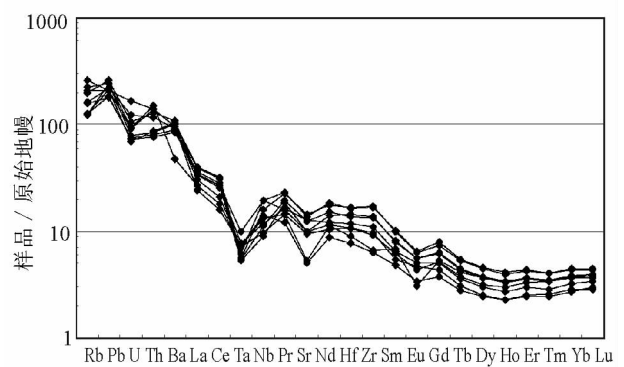


图7 酸性岩脉的原始地幔标准化蛛网图(原始地幔标准化值引自 McDonough *et al.* , 1994)
Fig.7 Primitive mantle normalized trace spider diagram of aplitic dikes (Primitive mantle-normalized values refers to McDonough *et al.* , 1994)

表 2 酸性岩脉的微量元素和稀土元素分析结果($\times 10^{-6}$)
Table 2 Trace and rare earth element abundances($\times 10^{-6}$) of aplitic dikes

元素	酸性岩脉样品号								
	A8236	A8246	A8246-1	A8246-2	A8262	A8262-2	A9013	A9022	A9024
La	19.0	25.5	24.1	21.5	28.3	27.6	23.7	24.3	17.2
Ce	32.8	51.6	49.1	38.4	58.3	57.5	47.1	48.8	28.9
Pr	4.00	5.44	5.13	4.01	6.40	6.27	4.53	4.39	3.33
Nd	14.9	20.1	19.0	14.0	24.5	23.6	16.0	15.2	11.7
Sm	3.05	3.60	3.52	2.42	4.53	4.41	2.85	2.74	2.12
Eu	0.52	0.95	0.94	0.78	1.10	1.07	0.85	0.73	0.57
Gd	3.14	3.79	3.63	2.60	4.70	4.40	3.04	3.06	2.24
Tb	0.45	0.48	0.47	0.33	0.59	0.57	0.39	0.40	0.30
Dy	2.67	2.79	2.72	1.85	3.41	3.31	2.19	2.34	1.80
Ho	0.54	0.55	0.55	0.37	0.67	0.65	0.44	0.49	0.37
Er	1.73	1.73	1.77	1.19	2.11	2.03	1.45	1.58	1.21
Tm	0.25	0.26	0.26	0.18	0.30	0.30	0.21	0.25	0.19
Yb	1.77	1.80	1.85	1.31	2.16	2.10	1.57	1.74	1.37
Y	16.4	16.3	16.4	11.3	19.8	19.1	13.4	14.8	11.4
Lu	0.27	0.28	0.29	0.22	0.33	0.32	0.25	0.28	0.21
Hf	2.74	4.22	4.40	3.27	5.08	5.14	3.64	3.29	2.40
Ta	0.53	0.40	0.39	0.53	0.45	0.41	0.57	0.74	0.54
Zr	73.8	149	155	109	189	193	123	102	70.2
Nb	9.48	7.97	6.37	6.85	13.7	11.3	8.43	13.9	9.92
Li	30.9	14.5	17.5	13.7	21.5	16.4	11.9	14.2	9.02
Be	2.00	1.37	1.38	1.22	1.66	1.69	1.37	1.79	1.23
Sc	3.98	4.25	4.71	3.52	6.07	5.90	4.21	2.39	2.78
V	14.4	31.1	31.0	26.2	42.4	40.9	29.2	18.4	15.7
Cr	7.39	10.3	9.34	8.07	13.7	14.6	9.33	6.97	8.29
Co	3.45	4.95	5.00	3.59	5.52	6.36	4.85	3.17	2.06
Ni	5.15	5.93	5.75	5.10	7.38	8.56	6.46	3.62	3.41
Cu	17.8	19.3	42.8	10.2	33.3	26.8	12.3	10.6	13.2
Zn	23.6	34.2	28.8	31.8	48.4	53.4	32.0	23.0	33.6
Ga	14.9	15.3	14.9	14.6	18.2	18.9	15.7	14.8	12.5
Rb	143	80.0	101	102	79.8	77.2	125	167	133
Sr	111	263	209	199	287	302	270	206	107
Cd	0.12	0.14	0.10	0.12	0.12	0.14	0.14	0.06	0.08
Cs	2.30	1.17	1.36	1.95	0.73	1.11	1.26	1.84	1.08
Ba	337	594	628	637	724	702	759	670	672
Pb	17.2	13.1	12.7	15.6	15.0	17.2	18.5	14.7	14.6
Th	12.7	6.41	6.81	9.89	7.29	7.20	10.9	11.8	11.7
U	1.95	1.55	1.56	2.58	1.47	1.63	2.21	1.91	3.49
L/H	2.73	3.83	3.64	4.20	3.61	3.67	4.15	3.85	3.34
δEu	0.75	0.91	0.92	0.98	0.90	0.90	0.95	0.90	0.90
(La/Yb) _N	1.93	2.05	2.00	2.31	1.93	1.94	2.15	2.06	2.14
(La/Sm) _N	1.50	1.51	1.50	1.68	1.44	1.44	1.62	1.65	1.68
Y/Nb	1.73	2.05	2.57	1.65	1.45	1.69	1.59	1.06	1.15
Th/Ta	23.85	16.15	17.46	18.59	16.38	17.52	19.09	15.95	21.77
Ta/Hf	0.19	0.09	0.09	0.16	0.09	0.08	0.16	0.23	0.22

实验条件: 在国家地质实验室测试中心采用电感耦合等离子质谱(ICP-MS)测定; L/H 为 Σ LREE / Σ HREE

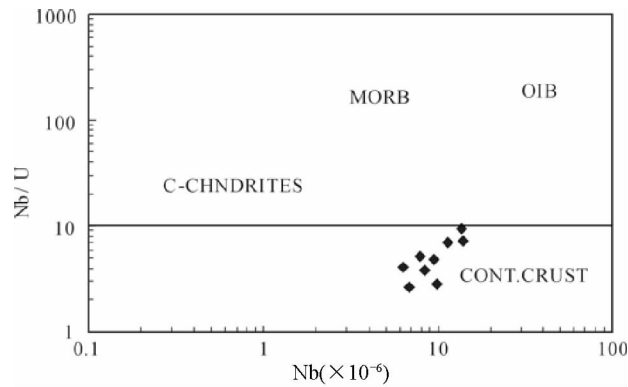


图8 酸性岩脉 Nb/U-Nb 图解 (据 Hofmann *et al.*, 1986)

图中: MORB -洋中脊玄武岩; OIB -洋岛玄武岩; C-CHNDRITES-球粒陨石; CONT. CRUST -大陆地壳

Fig. 8 Diagram of Nb/U-Nb for acidic dikes (after Hofmann *et al.*, 1986)

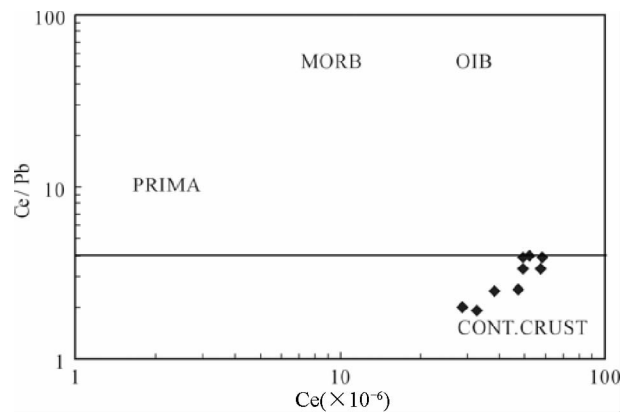


图9 酸性岩脉 Ce/Pb-Ce 图解 (据 Hofmann *et al.*, 1986)

图中: MORB -洋中脊玄武岩; OIB -洋岛玄武岩; PRIMA-原始地幔; CONT. CRUST -大陆地壳

Fig. 9 Diagram of Ce/Pb-Ce for acidic dikes (after Hofmann *et al.*, 1986)

右倾,岩墙岩石明显富集不相容元素,亏损相容元素,具有 Ta-Nb 低异常, Sr 元素有低异常。Hofmann *et al.* (1986) 用 Nb/U-Nb 和 Ce/Pb-Ce 图解来限定地幔演化过程,指出 Nb/U = 10 和 Ce/Pb = 4 是区分地壳和其他地质体的主要界线,该区酸性脉岩均落在地壳源区范围内 (图 8,9)。

5 酸性脉岩年代学

样品年代学由 Briggs Stephanie 博士在美国加利福尼亚大学洛杉矶分校 (UCLA) SIMS 实验室采用锆石 U-Pb 方法测得,共测试了两个样品 (A8236、A9013),其中样品 A8236 测

年结果已经发表 (Briggs *et al.*, 2007)。

测试结果见表 3。测得的两个样品的年代学结果分别是: 样品 A8236 的平均年龄为 $286 \pm 12\text{Ma}$, MSWD = 1.9; 样品 A9013 平均年龄为 $277 \pm 10\text{Ma}$, MSWD = 0.58。年龄谱和图如图 10 所示。结果显示,酸性脉岩形成年龄在 277 ~ 286Ma 之间,为早二叠世时期。

6 讨论

从岩石地球化学特点分析,本区酸性岩脉为亚碱性流纹斑岩脉,具有富硅、准铝质-弱过铝质、低镁、高钾和钠、低钙、高 (Fe/Mg)_{mol} 的岩石化学特点,具有 A 型花岗岩特征,根据 Collins *et al.* (1982) 的 Na₂O-K₂O 图解也显示了 A 型花岗岩的特征 (图 3)。稀土元素球粒陨石标准配分图呈明显右倾型,富集轻稀土元素,亏损重稀土元素,中等负铕异常,说明物质主要来源于上地壳;富集不相容元素 Rb、Ba 及产热元素 U、Th,高场强元素 Zr、Hf 也相对富集的特点 (图 7) 说明幔源物质参与较少,与地壳物质关系密切。Nb/U 和 Ce/Pb 值也同样说明了物质来源于地壳 (图 8、图 9)。

按照洪大卫等 (1995) 对碱性花岗岩的划分标准,该区酸性脉岩属于后造山花岗岩类,生成于碰撞作用之后、活动时间比较短暂并具有局部拉张性质的部位,这种类型的花岗岩类常与蛇绿岩带伴生,库车提晚古生代蛇绿岩的发现 (许继峰等, 2001) 和其它沿额尔齐斯断裂带发现有蛇绿岩的报道 (Mileyev *et al.*, 1980; Rotarash *et al.*, 1982; Buslov *et al.*, 2004) 也从侧面说明后造山花岗岩类存在的可能性。洪大卫等 (2005) 认为从 300Ma 左右开始,阿尔泰地区古老地壳物质积极参与了微陆块上的花岗岩浆活动,同时碰撞后的拆沉作用促使由俯冲洋壳形成的先存年轻地壳同部分古老陆壳泥质物质一起部分熔融。刘伟 (1991) 通过岩石化学组成和初始熔体部分熔融程度的定量模拟也揭示出额尔齐斯构造-岩浆带的源区岩石混合部分陆壳物质。因此推断该区酸性岩脉可能是地壳局部熔融作用的产物。

同样, Eby (1990, 1992) 提出 Y/Nb 比值是划分 A 型花岗岩的重要标志, Y/Nb < 1.2 主要同板内裂谷有关, Y/Nb > 1.2 主要生成于后造山环境。本区酸性脉岩除了 A9022 为 1.1 外,其余 Y/Nb 在 1.2 ~ 2.6 之间,大部分样品都表现为后造山环境。Wyllie (1984) 通过试验证明,在大陆地壳岩石部分熔融时岩浆的 SiO₂ 含量随着压力减小将愈来愈高。AA 型花岗岩则标志着大陆岩石圈早已稳定之后的拉张,其规模和深度均较大,并且随着时间演化,拉张的深度愈来愈大,因而 SiO₂ 不饱和的正长岩愈来愈发育,直至出现岩浆碳酸岩。而 PA 型花岗岩标志着造山作用结束之后不久就开始的拉张,其规模和深度均较小。本区细晶岩墙群具有较高的 SiO₂ 含量,同时岩墙群的出现代表着拉张环境,从区域上来看岩墙群产生的规模也不大,与 Wyllie (1984) 所指出的 PA 型花岗岩类似,是造山作用结束时局部出现拉张环境下的产物。

表 3 酸性岩脉锆石 U – Pb 同位素数据

Table 3 SIMS U-Pb data for Zircons of acidic dikes

样品	点号	原子比值(± 标准误差)				年龄 ± 1σ (Ma)			平均年龄 (Ma(± 2 σ)) _{MSWD}	资料来源
		²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb	Th/U ²⁰⁶ Pb* (%)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		
A8236	1	0.046(± 0.001)	0.329(± 0.011)	0.052(± 0.001)	0.061 99.9	289.9 ± 8.96	288.8 ± 8.11	280.3 ± 28.4	286 (± 12)1.9	Briggs <i>et al.</i> (2007)
	2	0.047(± 0.001)	0.333(± 0.010)	0.051(± 0.001)	0.846 99.7	296.6 ± 8.56	292.2 ± 7.86	257.2 ± 23.7		
	3	0.047(± 0.001)	0.331(± 0.011)	0.051(± 0.001)	0.023 99.9	293.5 ± 8.7	290.1 ± 8.53	262.5 ± 30		
	4	0.043(± 0.001)	0.313(± 0.011)	0.052(± 0.001)	0.670 99.3	274 ± 7.31	276.3 ± 8.11	296.2 ± 42.3		
	5	0.043(± 0.001)	0.299(± 0.012)	0.050(± 0.001)	0.640 98.8	273.6 ± 7.83	265.8 ± 9.4	197.4 ± 58.8		
	6	0.047(± 0.001)	0.334(± 0.010)	0.052(± 0.001)	1.233 99.6	296.4 ± 8.01	292.8 ± 7.4	264.4 ± 23.1		
A9013	1	0.045(± 0.002)	0.323(± 0.017)	0.053(± 0.001)	0.491 98.4	281.5 ± 12.5	284.4 ± 12.6	308.4 ± 54	277(± 10)0.58	本文
	2	0.044(± 0.002)	0.294(± 0.021)	0.048(± 0.002)	0.343 98.8	278.3 ± 13.5	261.9 ± 16.1	118.1 ± 107		
	3	0.047(± 0.002)	0.329(± 0.021)	0.050(± 0.002)	0.355 99.2	297.9 ± 14.9	288.8 ± 16.3	215.4 ± 89.6		
	4	0.043(± 0.002)	0.286(± 0.056)	0.049(± 0.009)	0.533 92.7	269.7 ± 12	255.4 ± 44.4	126 ± 423		
	5	0.043(± 0.002)	0.293(± 0.027)	0.050(± 0.004)	0.623 91.9	270.2 ± 12.4	261 ± 21.2	179 ± 181		
	6	0.043(± 0.002)	0.305(± 0.018)	0.051(± 0.001)	0.456 99.7	271.9 ± 13.7	270 ± 14	253.3 ± 57.2		

实验条件: 在美国加州大学洛杉矶分校(UCLA)SIMS 实验室采用 Cameca IMS 1270 二次离子微探针测定

- 1) ²⁰⁷Pb/²³⁵U-²⁰⁶Pb/²³⁸U correlation coefficient of Ludwig (1989)
- 2) analysis not included in the weighted mean age calculation
- 3) Initial common Pb compositions (²⁰⁶Pb; ²⁰⁷Pb; ²⁰⁸Pb; ²⁰⁴Pb); Best fit equation of a line defined by standard calibration; Range of UO/U values measured with zircon standard AS3.
- 4) These analyses were corrected for common Pb with a 208 correction

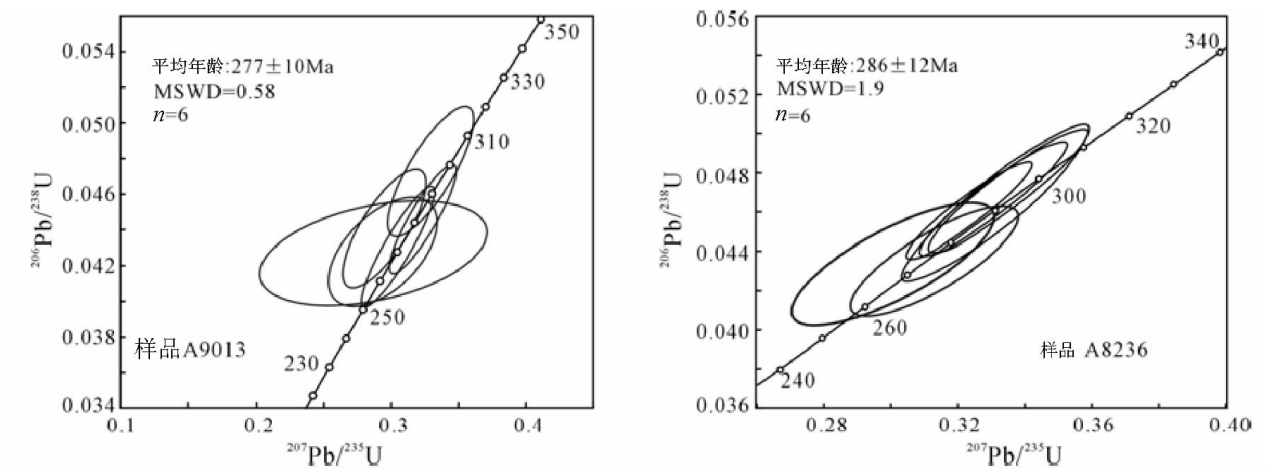


图 10 锆石 U-Pb 定年谐和图
Fig. 10 U-Pb concordia diagrams for zircons of acidic dikes

从出露情况分析,本区岩墙群被南北两侧的额尔齐斯断裂和富蕴-锡泊渡断裂所限制,因此岩墙群的出现应该受到了额尔齐斯断裂推覆构造的制约。额尔齐斯构造带现今的构造格局总体上表现为一系列构造岩片自 NE 向 SW 的冲断堆叠(李志纯,2002),岩墙群在走向上与区域推覆构造甚至整个阿尔泰山造山带近直交,总体与区域构造应力场主压应力

方向一致,受平行于主压应力方向的张性裂隙控制。酸性岩墙群基本上未发生变形,推断它应是额尔齐斯挤压带抬升到浅层次时侵位的产物。

因此,在早二叠世,阿尔泰山造山带出现了局部拉张环境,导致地壳局部熔融,在地表导致了近似等间距侵位的酸性岩墙群。

7 结论

根据以上研究得到以下结论:

(1) 本区酸性岩墙群具有高 SiO_2 、准铝质-弱过铝质、低镁、低钙和锶、高钾和钠、高 $n(\text{Fe})/n(\text{Mg})$ 的岩石化学特点, 为亚碱性流纹斑岩脉, 属于 A 型花岗岩类。

(2) 岩墙群岩石轻稀土富集, 具有明显的中等负铕异常, 大离子亲石元素相对富集, 富集不相容元素 Rb、Ba 和产热元素 U、Th 以及高场强元素 Zr、Hf。亏损 Nb、Sr 及 Cr、Ni, 表现出壳源物质特征。

(3) 锆石 U-Pb 测年结果显示, 酸性岩墙群侵位于 277 ~ 286Ma 之间, 对应于早二叠世。

(4) 阿尔泰地区海西期造山运动结束后, 在早二叠世存在局部拉张构造环境。

(5) 本区酸性岩墙群是地壳局部熔融的产物, 是阿尔泰海西期造山作用结束出现局部拉张环境的标志。

致谢 对审稿专家袁超研究员、杨天南研究员、刘伟研究员以及肖文交研究员细致认真的审阅及启发性的修改意见表示衷心谢忱! 同时样品的同位素测年工作得到了 Briggs Stephanie 博士的帮助, 在此一并致以衷心的感谢!

References

Briggs MS, Yin A, Manning CE, Chen ZL, Wang XF and Grove M. 2007. Late Paleozoic tectonic history of the Ertix Fault in the Chinese Altai and its implications for the development of the Central Asian Orogenic System. *Geological Society of America Bulletin*, (in press)

Buslov MM, Watanabe T, Fujiwara Y, Iwata K, Smirnova LV, Safonova IY, Semakov NN and Kiryanova AP. 2004. Late Paleozoic faults of the Altai region, Central Asia: Tectonic pattern and model of formation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(5): 655–671

Chen B and Jahn B. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 691–703

Chen B and Arakawa Y. 2005. Elemental and Nd-Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar foldbelt (NW China), with implications for Phanerozoic continental growth. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69: 1307–1320

Chen HY, Chen YJ and Liu YL. 2000. Xinjiang Ertix golden deposit metallogenic process and the relation with middle Asia orogenics. *Science in China (Series D)*, 30(suppl.): 38–44 (in Chinese)

Chen HY, Chen YJ and Liu YL. 2001. Metallogenesis of the Ertix gold belt, Xinjiang and its relationship to Central Asia-type orogenesis. *Science in China (Series D)*, 44(3): 245–255

Cheng ZF, Rui XJ. 1996. Metallogenetic characteristics of Saidu gold deposit in Habahe County. *Xinjiang Geology*, 14(3): 247–254 (in Chinese)

Collins WJ *et al.* 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to South-eastern Australia. *Contrib. Miner. Petro.*, 80: 189–200

Eby GN. 1990. The A-type granitoids: A review of the occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis.

Lithos, 26: 115–134

Eby GN. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology*, 20: 641–644

Han BF and He GQ. 1991. Tectonic signification of Devonian volcano belt in southern margin of Altai Mountain, China. *Xinjiang Geological Science*, (3): 89–100 (in Chinese with English abstract)

Han BF, He GQ, Wang SG and Hong DW. 1998. Postcollisional mantle-derived magmatism and vertical growth of the continental crust in north Xinjiang. *Geological Review*, 44(4): 396–406 (in Chinese with English abstract)

Han BF, Ji JQ, Song B, Chen LH and Li ZH. 2004. Zircon U-Pb SHRIMP age of basic-ultrabasic complex with cuprum and nickel mine its geological significance in Kalatoka and eastern Huangshan, Xinjiang. *Chinese Science Bulletin (Series B)*, 49(22): 2324–2328 (in Chinese with English abstract)

Han BF, Wang SG, Jahn BM *et al.* 1997. 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*, 138: 135–159

Hofmann AW, Jochum KP, Seufert M and White WM. 1986. Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 79: 33–45

Hong DW, Wang SG, Han BF and Ji MY. 1995. Tectonic classify of alkaline granite and its distinguish symbol. *Science in China (Series B)*, 25(4): 418–426 (in Chinese with English abstract)

Hong DW, Wang SG, Xie XL, Zhang JS and Wang T. 2003. Metallogenic province derived from Mantle sources: a case study of Central Asian Orogenic Belt. *Mineral Deposits*, 22(1): 41–55 (in Chinese with English abstract)

Laurent-Charvet S, Charvet J, Monie P and Shu L. 2003. Late Paleozoic strike-slip shear zones in eastern central Asia (NW China): new structural and geochronological data. *Tectonics*, 14(4): 249–256

Le Maitre RW *et al.* 1989. A classification of igneous rocks and glossary of terms, recommendations of the International Union of Science Subcommission on the systematics of igneous rocks. London: Blackwell Scientific Publications

Li HQ, Xie CF, Chang HL *et al.* 1998. Study on metallogenetic chronology of nonferrous and precious metallic ore deposits in North Xinjiang, China. Beijing: Geol. Pub. House. 26–133 (in Chinese with English abstract)

Li JY, He GQ, Xu X and Li HQ *et al.* 2006. Crustal tectonic framework of Northern Xinjiang and Adjacent regions and its formation. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 148–168 (in Chinese with English abstract)

Li JY and Xu X. 2004. Major problems on geologic structures and metallogenesis of northern Xinjiang, northwest, China. *Xinjiang Geology*, 22(2): 119–124 (in Chinese with English abstract)

Li ZC. 1996. Several problems of tectonic evolution studies of the Altai orogenic belt. *Geotectonica et Metallogenia*, 20(4): 283–297 (in Chinese with English abstract)

Li ZC and Zhao ZZ. 2002. Creation of the Altai orogenic belt and the Altai MTS tectono-metallogenic province. *Chinese Journal of Geology*, 37(4): 483–490 (in Chinese with English abstract)

Liu W. 1991. Quantitative modeling of source rocks for granitoids in the Altai MTS., Xinjiang Uyghur autonomous region, China. *Geotectonica et Metallogenia*, 15(3): 199–208 (in Chinese with English abstract)

Liu W, Zhao ZH and Zhang FQ. 1999. Oxygen and hydrogen isotopic compositions of coexistent minerals of the Tasigake alkali granite pluton, northern Xinjiang: constraints upon the cause of $\sim(18)\text{O}$ -D depletion and the $\sim(18)\text{O}/\sim(16)\text{O}$ exchange kinetics. *Chinese Science Bulletin*, 44(12): 1086–1093

Liu WH, Liao QL, Dai TG and Zhao XX. 1999. Preliminary analyses on minerogenetic characteristics of gold deposits related to ductile shear zone in southern margin-area of Altay. *Contributions To Geology and Mineral Resources Research*, 14(3): 42–49 (in Chinese with English abstract)

- McDonough WF and Bennett VC. 1994. Progressive growth of the Earth's continental crust and depleted mantle. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 58: 4717 – 4738
- Mei HJ, Yang XC, Wang JD, Yu XY, Liu TG and Bai ZH. 1993. In: Tu GZ (ed.). *New advance of solid earth science in northern Xinjiang*. Beijing: Science Press, 199 – 126 (in Chinese with English abstract)
- Mileyev VS, Rotarash IA and Samygin SG. 1980. The Irtysh crush belt. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 255(2): 413 – 416
- Nakamura N, Unrich DM, Tatsumoto M. 1982. Origin and evolution of the Nakhla meteorite inferred from the Sm-Nd and U-Pb systematics and REE, Ba, Sr, Rb and K abundances. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 46: 1555 – 1573
- Niu HC, Xu JF, Yu XY, Chen FR and Zheng ZP. 1999. Detecting of Mg-rich volcanics and its geological signification in Altai, Xinjiang. *Chinese Science Bulletin*, 44(9): 1002 – 1004 (in Chinese with English abstract)
- Qin YX, Dong ZY and Zhang FZ. 1991. Irtysh-Mayinebe fault belt-an important tectonic coalescence zone. *Bull. Nanjing Inst. Geol. M. R., Chinese Acad. Geol. Sci.*, 12(1): 69 – 76
- Qu GS and Zhang JJ. 1991. *Ertishi tectonic belt*. Xinjiang Geosciences (3), Beijing: Geological Publishing House, 115 – 131 (in Chinese)
- Qu GS and He GQ. 1992. Tectonics movement of Altay orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 66(3): 193 – 205 (in Chinese with English abstract)
- Rotarash AI, Samygin SG, Gredyushko AY, Keyl'man GA, Mileyev VS and Perfil'yev AS. 1982. The Devonian active continental margin in the southwestern Altay. *Geotectonics*, 16(1): 31 – 41
- Rui XJ, Zhu SH and Liu KJ. 1993. Original golden deposit characters and regional metallogenetic model. *Geological Review*, 39(2): 138 – 148 (in Chinese with English abstract)
- Tong Y, Hong DW, Wang T, Wang SG and Han BF. 2006. TIMS U-Pb zircon ages of Fuyun post-orogenic linear granite plutons on the southern margin of Altay orogenic belt and their implications. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(2): 85 – 89
- Wang DH, Chen YC, Xu ZG, Li TD and Fu XJ. 2002. Metallogenetic types and regularity of metallogenetic region in Altai. Beijing: Atomic Energy Press. 1 – 498 (in Chinese)
- Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional Tectonic Evolution and Metallogenesis in Northern Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 23 – 31 (in Chinese with English abstract)
- Wang JC and Xia B. 2005. Geological Evidences for Post-Orogenic Extensional Collapse in Altaides, NW China. *Journal of Guilin University of Technology*, 25(3): 267 – 273 (in Chinese with English abstract)
- Wang RM, Zhao CL *et al.* 1991. Karatungk Cu-Ni sulfide No. 1 ore deposit in Xinjiang. Beijing: Geol. Pub. House. 113 – 126 (in Chinese with English abstract)
- Wang SG, Han BF, Hong DW, Xu BL and Sun YY. 1994. Geochemistry and tectonic significance of alkali granites along Ulungur River, Xinjiang. *Scientia Geologica Sinica*, 29(4): 373 – 383 (in Chinese with English abstract)
- Wei CS. 1996. Study on fluid evolution and ore-forming mechanics of hydrothermal gold deposits related to epimetamorphism in Altay, Xinjiang. *Geology-Geochemistry*, 6: 85 – 87 (in Chinese with English abstract)
- Wyllie PJ. 1984. Constraints imposed by experimental petrology on possible and impossible magma sources and products. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A310: 439 – 456
- Xiao QH, Qiu RZ, Deng JF, Li TD, Mo XX, Hong DW, Wang T, Lu XX, Wu FY and Xie CF. 2005. Granitoids and continental crust growth modes in China. *Geology in China*, 32(3): 343 – 352 (in Chinese with English abstract)
- Xiao WJ, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li J, Qin K and Wang Z. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaides: Implications for the growth of Central Asia. *Journal of the Geological Society of London*, 161(3): 339 – 342
- Xiao WJ, Han CM, Yuan C, Chen HL, Sun M, Lin SF, Li ZL, Mao QG, Zhang JE, Sun S and Li JL. 2006. Unique Carboniferous-Permian tectonic-metallogenetic framework of Northern Xinjiang (NW China): Constraints for the tectonics of the southern Paleosian Domain. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1062 – 1076 (in Chinese with English abstract)
- Yan SH, Chen W, Wang YT, Zhang ZC and Chen BL. ⁴⁰Ar/³⁹Ar Dating and Its Significance of the Ertix Gold Metallogenetic Belt in the Altay Orogen, Xinjiang. *Acta Geologica Sinica*, (4): 500 – 506 (in Chinese with English abstract)
- Yan SH, Wang YT, Zhang ZC, Chen BL and Chen W. 2006. Metallogenetic type, tectonic setting, and resource potential of Ertixgold ore belt in northern Xinjiang. *Mineral Deposits*, 25(6): 693 – 704 (in Chinese with English abstract)
- Xu XC, Zheng CQ and Zhao QY. 2005. Metamorphic types and crustal evolution of Hercynian orogenic belt in Altai region, Xinjiang. *Journal of Jili University (Earth Science Edition)*, 35(1): 7 – 11 (in Chinese with English abstract)
- Xu JF, Mei HJ, Yu XY, Bai ZH, Niu HC, Chen FR, Zheng ZP and Wang Q. 2001. Result from part melting of subduction segment: Adakite lava of late-Paleozoic island arc in northern margin of Junggur. *Chinese Science Bulletin*, 46(8): 684 – 688 (in Chinese)
- Xu JF, Chen FR, Yu XY, Niu HC and Zheng ZP. 2001. Kuerti Ophiolite in Altay area of north Xinjiang: Magmatism of an ancient back arc basin. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 344 – 352 (in Chinese with English abstract)
- Yu XY, Mei HJ, Yang XC and Wang JD. 1993. Lavas and tectonic evolution of Ertix. In: Tu GZ (ed.). *New progress of solid earth science in northern Xinjiang*. Beijing: Science Press, 185 – 198 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF and Yue SC. 2001. The ages and the genetic types of the granites in the Nurt area, Altay. *Xinjiang Geology*, 19(4): 292 – 296 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF and Yue SC. 2003. Study on mechanism of formation of volcanic rock in north Altay bu using rare earths. *Journal of the Chinese Rare Earth Society*, 21(3): 343 – 347 (in Chinese with English abstract)
- Yuan XY and Zhou HP. 1998. Two different volcanic formations and associated mineralization of late Paleozoic in Altay. *Xinjiang Geology*, 16(2): 125 – 133 (in Chinese with English abstract)
- Zhang QF, Hu AQ, Zhang GX, Fan SK and Pu ZX. 1994. Evidence from isotopic age for presence of Mesozoic-Cenozoic Magmatic activities in Altai region, Xinjiang. *Geochimica*, 23(3): 269 – 280 (in Chinese with English abstract)
- Zhao ZH, Wang ZG, Zou TR and A Masuda. 1996. Study of petrogenesis of alkali-rich intrusive rocks of Ulungur, Xinjiang. *Geochimica*, 25(3): 205 – 220 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈华勇, 陈衍景, 刘玉林. 2000. 新疆额尔齐斯金矿带的成矿作用及其与中亚型造山作用的关系. *中国科学(D辑)*, 30(增刊): 38 – 44
- 程忠富, 芮行健. 1996. 哈巴河县赛都金矿成矿特征. *新疆地质*, 14(3): 247 – 254
- 韩宝福, 何国琦. 1991. 中国阿尔泰山南缘泥盆纪火山岩带的大地构造性质. *新疆地质科学*, (3): 89 – 100
- 韩宝福, 何国琦, 王式洸, 洪大卫. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆活动与陆壳纵向生长. *地质论评*, 44(4): 396 – 406
- 韩宝福, 季建清, 宋彪, 陈立辉, 李宗怀. 2004. 新疆喀拉通克和黄山东含铜镍矿镁铁-超镁铁杂岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. *科学通报*, 49(22): 2324 – 2328
- 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辑), 25(4): 418-426

洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 张季生, 王涛. 2003. 试析地幔来源物质成矿域——以中亚造山带为例. 矿床地质, 22(1): 41-55

李华芹, 谢才富, 常海亮等. 1998. 新疆北部有色贵金属矿床成矿作用年代学. 北京: 地质出版社. 26-133

李锦轶, 何国琦, 徐新, 李华芹等. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨. 地质学报, 80(1): 148-168

李锦轶, 徐新. 2004. 新疆北部地质构造和成矿作用的主要问题. 新疆地质, 22(2): 119-124

李志纯. 1996. 阿尔泰造山带构造演化研究中的几个关键问题剖析. 大地构造与成矿学, 20(4): 283-297

李志纯, 赵志忠. 2002. 阿尔泰造山带和阿尔泰山构造成矿域的形成. 地质科学, 37(4): 483-490

刘伟, 赵振华, 张福勤. 1999. 新疆塔斯嘎克碱性花岗岩体矿物-大气水相互作用的氢、氧同位素制约. 科学通报, 44(7): 704-710.

刘伟. 1991. 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.

刘悟辉, 廖启林, 戴塔根, 赵晓霞. 1999. 阿尔泰南缘与韧性剪切带有关金矿床成矿特征浅析. 地质找矿论丛, 14(3): 42-49

卢秋霞, 刘显凡. 1989. 新疆东准噶尔含锡花岗岩带的同位素地质年代学研究. 见: 第四届全国同位素地质年代学、同位素地球化学学术讨论会论文集汇编. 杭州.

梅厚均, 杨学昌, 王俊达, 于学元, 刘铁庚, 白正华. 1993. 额尔齐斯河南侧晚古生代火山岩的微量元素地球化学与构造环境变迁史. 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, 199-216

牛贺才, 许继锋, 于学元, 陈繁荣, 郑作平. 1999. 新疆阿尔泰富镁火山岩系的发现及其地质意义. 科学通报, 44(9): 1002-1004

秦元喜, 董志远, 张福振. 1991. 额尔齐斯—玛因鄂博断裂带——新疆一个重要的构造结合带. 中国地质科学院南京地质矿产研究所刊, 12(1): 69-76

曲国胜, 张进江. 1991. 额尔齐斯构造带. 新疆地质科学(3), 北京: 地质出版社, 115-131

曲国胜, 何国琦. 1992. 阿尔泰造山带的构造运动. 地质学报, 66(3): 193-205

芮行健, 朱韶华, 刘抗娟. 1993. 阿尔泰南缘原生金矿基本特征及区域成矿模式. 地质论评, 39(2): 138-148

童英, 洪大卫, 王涛, 王式洸, 韩宝福. 2006. 阿尔泰造山带南缘富蕴后造山线形花岗岩体锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 25(2): 85-89

王登红, 陈毓川, 徐志刚, 李天德, 傅旭杰. 2002. 阿尔泰成矿省的形成矿系列及成矿规律. 北京: 原子能出版社, 1-498

王京彬, 徐新. 2006. 新疆南部后碰撞构造演化与成矿. 地质学报, 80(1): 23-31

王润民, 赵昌龙等. 1991. 新疆喀拉通克一号铜镍硫化物矿床. 北京: 地质出版社. 113-126

王式洸, 韩宝福, 洪大卫, 许保良, 孙亚芸. 1994. 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, 29(4): 373-383

汪劲草, 夏斌. 2005. 中国阿尔泰山后造山伸展垮塌的地质证据. 桂林工学院学报, 25(3): 267-273

魏春生. 1996. 新疆阿尔泰有限相系浅变质热液金矿床流体演化与成矿机理研究. 地质地球化学, 6: 85-87

肖庆辉, 邱瑞照, 邓晋福, 李廷栋, 莫宣学, 洪大卫, 卢辛洋, 王涛, 吴福元, 谢才富. 2005. 中国花岗岩与大陆地壳生长方式初步研究. 中国地质, 32(3): 343-352

肖文交, 韩春明, 袁超, 陈汉林, 孙敏, 林寿发, 厉子龙, 毛启贵, 张继恩, 孙枢, 李继亮. 2006. 新疆北部石炭纪一二叠纪独特的构造-成矿作用: 对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约. 岩石学报, 22(5): 1062-1076

许继锋, 梅厚均, 于学元, 白正华, 牛贺才, 陈繁荣, 郑作平, 王强. 2001. 准噶尔北缘晚古生代岛弧中与俯冲作用有关的 adakite 火山岩: 消减板块部分熔融的产物. 科学通报, 46(8): 684-688

许继锋, 陈繁荣, 于学元, 牛贺才, 郑作平. 2001. 新疆北部阿尔泰地区库尔提蛇绿岩: 古弧后盆地系统的产物. 岩石矿物学杂志, 20(3): 344-352

徐学纯, 郑常青, 赵庆英. 2005. 阿尔泰海西造山带区域变质作用类型与地壳演化. 吉林大学学报(地球科学版), 35(1): 7-11

闫升好, 陈文, 王义天, 张招崇, 陈柏林. 2004. 新疆额尔齐斯金成矿带的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义. 地质学报, (4): 500-506

闫升好, 王义天, 张招崇, 陈柏林, 陈文. 2006. 新疆额尔齐斯金矿带的成矿类型、地球动力学背景及资源潜力. 矿床地质, 25(6): 693-704

于学元, 梅厚均, 杨学昌, 王俊达. 1993. 额尔齐斯火山岩及构造演化. 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, 185-198

袁峰, 周涛发, 岳书仓. 2001. 阿尔泰诺尔特地区花岗岩形成时代及成因类型. 新疆地质, 19(4): 292-296

袁峰, 周涛发, 岳书仓. 2003. 北阿尔泰火山岩形成机制的稀土判别. 中国稀土学报, 21(3): 343-347

袁旭音, 周化平. 1998. 阿尔泰晚古生代两类火山岩建造及成矿特征. 新疆地质, 16(2): 125-133

张前锋, 胡蒿琴, 张国新, 范嗣昆, 蒲志平. 1994. 阿尔泰地区中、新生代岩浆活动的同位素年龄证据. 地球化学, 23(3): 269-280

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