

博格达陆内碰撞造山带挤压-拉张构造转折期的侵入活动¹

顾连兴 胡受奚 于春水 赵明 吴昌志 李宏宇

GU LianXing, HU ShouXi, YU ChunShui, ZHAO Ming, WU ChangZhi and LI HongYu

南京大学地球科学系, 南京大学成矿作用国家重点实验室, 南京 210093

Department of Earth Sciences, State Key Laboratory of Ore Genesis, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2000-09-10 收稿, 2001-02-10 改回。

Gu LX, Hu SX, Yu CS, Zhao M, Wu CZ and Li HY. 2001. Intrusive activities during compression-extension tectonic conversion in the Bogda intracontinental orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 187-198

Abstract The Bogda orogen is situated between the Jungar and the Turfan-Hami Precambrian blocks, and was an early to middle Carboniferous intracontinental rift, which was closed during the middle to late Carboniferous times. Studies involving petrography, petrochemistry, rare earth elements, trace elements and isotopes indicate that the intrusive bodies of the orogen are dominated by diabasic sills, stocks and dykes with few intermediate to acidic stocks. The olivine tholeiitic primary magma for these intrusives might have been derived from slightly depleted mantle sources, and have formed a stratified magma chamber deep in the crust. The diabases and intermediate-acidic rocks are proposed to represent magmas from the upper and the lower portions of the stratified chamber, which ascent successively and evolved, respectively. Field relations and the Rb-Sr isochron age of 298.4 ± 0.76 Ma of the Shangdaheyan intermediate-acidic intrusion suggest not only that post-Hercynian intrusive activities are not remarkable in the Bogda region, but also that the emplacement of the present intrusives followed closely the intracontinental collision of the Bogda rift and may represent the important conversion from compression to extension in earth dynamics.

Key words Granite, Diabase, Intrusive rocks, Continental rift, Orogen, Bogda

摘要 博格达造山带位于准噶尔与吐鲁番-哈密前寒武纪地块之间, 是一个早-中石炭世的陆内裂谷带, 该裂谷带于中-晚石炭世闭合。岩相学、岩石化学、稀土元素、微量元素和同位素研究表明, 该造山带侵入岩以辉绿岩岩床、岩株和岩墙为主, 仅有少数中-酸性岩岩株。这些侵入岩的橄辉拉斑玄武质原始岩浆可能来自轻度亏损的地幔源区, 并在地壳深部形成过分层岩浆房。辉绿岩和中-酸性岩分别是分层岩浆房的上部和下部层位岩浆先后上侵和演化产物。野外地质关系及上大河沿中-酸性侵入体的 298.4 ± 0.76 Ma Rb-Sr 等时线年龄, 不但表明博格达地区晚于海西期的侵入活动并不重要, 还表明该造山带侵入岩的定位紧随博格达裂谷的陆内碰撞, 并代表了地球动力学环境由挤压变为拉张这个重大转折时期。

关键词 花岗岩; 辉绿岩; 侵入岩; 大陆裂谷; 造山带; 博格达

中图分类号 P588.121; P542.4

1 引言

尽管前人对于天山东部其它地区的侵入岩已作过详细研究(新疆区调队, 1985; 顾连兴等, 1990; 顾连兴和杨浩, 1990; Gu Lianxing *et al.*, 1999), 并报导过大量地球化学和

同位素年代学数据(周汝洪, 1987; 胡霁琴等, 1997; 李华芹等, 1998), 但对于总面积约 20,000 平方公里的博格达造山带, 迄今未作过系统研究。近年来, 作者对于该造山带的火山岩(顾连兴等, 2000)和侵入岩均作了全面研究, 本文旨在探讨该带侵入岩的特征、成因和形成地质环境。

¹ 本文为国家 305 项目(96-915-05-03-01)成果, 并得到南京大学现代分析中心测试基金和南京大学成矿作用国家重点实验室课题资助。

第一作者简介: 顾连兴, 男, 1944 年 9 月生, 教授(博士生导师), 矿床学专业。

2 博格达造山带地质概述

博格达海西造山带位于准噶尔盆地与吐鲁番-哈密盆地之间,其西端止于乌鲁木齐,东端在红柳峡-苏吉一带与

克拉麦里造山带相接(图1),全长约600 km。该带主要出露石炭系双峰式火山-沉积岩系。这套地层于晚石炭世发生褶皱,并被下二叠统陆相磨拉石建造所复盖,其接触关系在东段七角井一带为角度不整合(周济元等,1994),而在西段达坂城地区则为平行不整合(陈哲夫和梁云海,1985)。

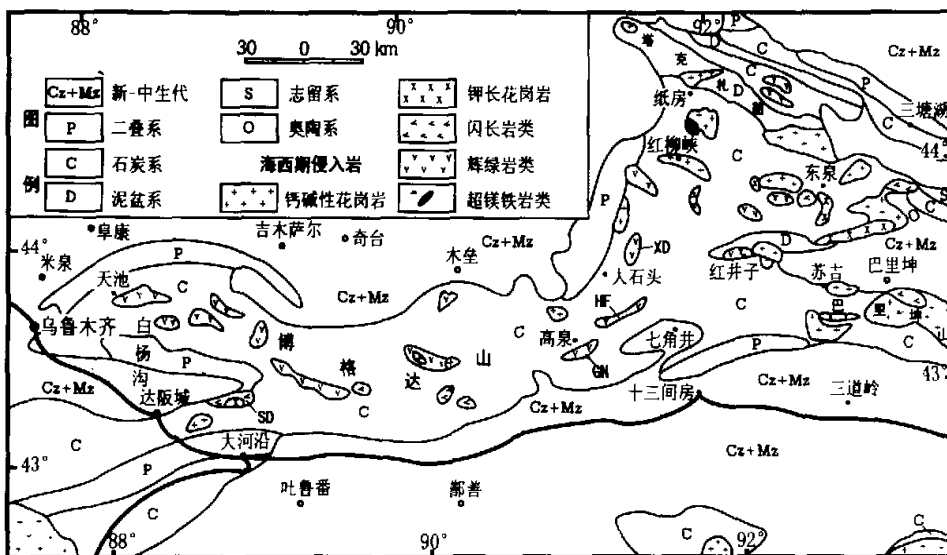


图1 博格达造山带侵入岩分布图 侵入体名称: GN-高泉南; HF-哈萨坎沟; SD-上大河沿; XD-西地
Fig. 1 Distribution of intrusive rocks in the Bogda orogen

博格达岩带的侵入岩均侵入在石炭系地层中,岩性以辉绿岩类为主。辉绿岩类多呈长条状的岩床产出,岩体厚度数米至百余米,延长数百米至数千米;少数岩体呈切割围岩的岩株和岩墙。围岩受不同程度的角岩化。原1:20万区调报告所定的七角井西北哈萨坎沟和高泉南等地的闪长岩体(图1),本文的研究将其岩性也定为辉绿岩类,故中-酸性深成岩在本区仅零星分布于木垒至达坂城一带。闪长岩类同辉绿岩一样也具长条状形态,总体产状与区域构造线一致。在露头上未见到过闪长岩类与辉绿岩的直接接触关系。酸性岩常与中性岩和辉绿岩密切伴生。在木垒西南的阿特扎伊利亚乌一带,二长花岗岩岩株侵入在辉绿岩体中(图1)。上大河沿岩体(图1)中的石英闪长质岩石在与钾长花岗岩的接触带附近受到强烈钾长石化,致使两类岩石之间在露头上无明显界线。这种过渡接触关系与该岩体钾长花岗岩边界清晰地穿插石炭纪玄武岩并胶结其角砾的现象形成了鲜明的对照。

除了在上大河沿岩体(图1)的北缘见到石英闪长质侵入岩与下二叠统地层的断层接触关系之外,研究区内未见各类侵入岩与二叠系地层的直接接触。前人仅根据博格达造山带海西运动的重要性和未见到分布局限的二叠系地层作为侵入体围岩现象,把该带侵入岩确定为海西中期运动的产物。

3 侵入岩岩相学和矿物学特征

辉绿岩在露头上呈暗绿-暗灰色,块状构造,中细粒结构。主要成分为斜长石(45%~55%,电子探针和镜下测得其牌号为An₄₆₋₆₆,主要为An₅₅₋₆₀)、单斜辉石(25%~35%)、石英(0~5%)、磁铁矿(5%~10%)和蚀变矿物绿泥石、碳酸盐、绢云母和高岭石等(5%~20%)。镜下可见斜长石和单斜辉石形成辉绿结构(Hyndman, 1985)和次含长结构(Hyndman, 1985)。

闪长岩类的岩性以上大河沿岩体为代表,可以分为角闪石-二长闪长岩、辉石石英二长闪长岩、辉石石英闪长岩和石英二长闪长岩。该类岩石岩性暗绿灰色,富含钾长石者微带肉红色,中粒等粒结构。主要矿物成分为单斜辉石(0~10%)、斜方辉石(0~10%)、斜长石(50%~65%,电子探针和镜下测得其牌号为An_{31~53})、钾长石(0~15%)、石英(2%~15%)、黑云母(0~5%)。副矿物(<5%)主要为磁铁矿、榍石和磷灰石。蚀变矿物有黑云母、绿泥石、碳酸盐、绢云母和高岭石等(<5%)。次含长结构是两种辉石的特征性结构。镜下常见斜方辉石中含普通辉石出溶叶片,石英和钾长

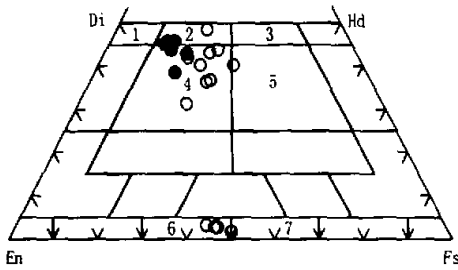


图2 博格达侵入岩辉石分类图

实心圆为辉绿岩类；空心圆为中-酸性岩类。图中各区名称为：2-次透辉石；4-普通辉石；5-低铁普通辉石；6-紫苏辉石；7-低铁紫苏辉石。分类据 Poldervaart (1947)和 Poldervaart and Hess (1951)。

Fig. 2 Classification of pyroxene from intrusive rocks of the Bogda region

石常呈花斑状共生结构。饶有兴味的是，在一块辉石石英闪长岩薄片，有一颗全自形柱状斜方辉石，其长轴达4mm，

可能为深部岩浆房中早期堆晶的捕虏体。

花岗岩类岩石主要有二长花岗岩和钾长花岗岩。二长花岗岩以达坂城东南岩体为代表。钾长花岗岩是上大河沿岩体中的重要岩石类型(图1)，而斜长花岗岩则仅在局部呈宽约1m的脉切割闪长质岩石。钾长花岗岩呈砖红色，块状构造，中粒等粒结构。主要矿物成份为钾长石(~62%)、钠长石(8%~9%，电子探针测得 An_{4-5})和石英(~25%)，并含少量暗色矿物(<5%)斜方辉石、单斜辉石和黑云母。钾长石中富含钠长石出溶条纹，有些薄片可见石英和钾长石的花斑结构。副矿物主要为磁铁矿和榍石，少量磷灰石和锆石，蚀变产物主要为高岭石和绢云母。

西地、铜沟和七角井哈萨坎沟的辉绿岩中均未见斜方辉石，但上大河沿岩体的闪长岩类和钾长花岗岩中普遍存在斜方和单斜两种辉石。斜方辉石含量通常为2%~3%，个别样品可高达10%；单斜辉石含量通常为5%~10%。不同岩体辉石的电子探针分析和计算结果列于表1，辉石的成分分类图解示于图2。由这些图表可见，辉绿岩和闪长岩类中的单斜辉石主要是普通辉石，其次是次透辉石；斜方辉石主要是紫苏辉石。

表1 博格达地区侵入岩辉石电子探针分析结果

Table 1 Electron microprobe analyses of pyroxenes from intrusive rocks in the Bogda region

标本号	样品名称和采地	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Wo	En	Fs
B19-1	辉绿岩,西地	49.23	1.98	4.10	7.67	0.17	14.49	21.55	0.45	0.02	99.66	45.1	42.1	12.8
B19-2	辉绿岩,西地	48.61	1.98	3.54	9.09	0.22	13.10	21.64	0.48	0.01	98.66	45.9	38.7	15.4
B19-3	辉绿岩,西地	48.51	1.96	4.68	8.60	0.18	13.60	21.15	0.39		99.08	45.1	40.3	14.6
B20-1	辉绿岩,哈萨坎沟	49.05	1.46	3.92	8.85	0.18	14.40	21.41	0.38	0.00	99.65	44.2	41.3	14.5
B86-1	辉绿岩,铜沟	50.16	0.95	1.76	11.27	0.37	15.34	19.22	0.14	0.00	99.20	38.7	43.0	18.3
B86-2	辉绿岩,铜沟	47.04	1.82	4.23	11.20	0.27	12.91	20.43	0.25		98.14	43.2	37.9	18.9
B48-1	辉石石英二长闪长岩*	51.56	0.28	0.52	27.13	0.84	18.15	1.36	b.d	b.d.	99.85	2.81	52.11	45.08
B48-2	辉石石英二长闪长岩*	51.42	0.04	0.19	29.43	1.12	17.07	0.90	b.d.	b.d.	100.16	1.85	48.97	49.18
B48-3	辉石石英二长闪长岩*	51.89	0.14	0.36	27.93	0.76	18.09	1.38	0.04	b.d.	100.58	2.81	51.43	45.76
B48-4	辉石石英二长闪长岩*	52.01	0.22	0.63	26.09	0.69	18.92	1.554	0.20	0.04	100.36	3.19	53.96	42.86
B49-1	辉石石英闪长岩*	52.98	0.10	1.16	12.51	0.25	10.85	23.76	0.62	b.d.	102.22	48.68	30.92	20.41
B58-1	辉石石英闪长岩*	49.34	0.51	1.21	15.96	0.57	13.14	17.92	0.14	b.d.	98.78	36.49	37.23	26.28
B58-2	辉石石英闪长岩*	49.12	0.71	1.37	16.69	0.58	12.99	18.47	0.21	0.01	100.16	36.92	36.13	26.95
B62-1	辉石石英二长闪长岩*	49.31	0.06	0.29	15.70	0.57	11.01	22.12	0.25	0.01	99.32	44.11	30.56	25.34
B62-2	辉石石英二长闪长岩*	49.25	0.13	0.88	14.72	0.49	11.74	21.71	0.25	0.01	99.15	43.48	32.73	23.78
B63-1	辉石石英二长闪长岩*	49.66	0.13	0.77	14.56	0.47	13.22	20.48	0.27	b.d.	99.56	40.47	36.35	23.19
B63-2	辉石石英二长闪长岩*	49.92	0.18	0.47	19.07	0.56	10.44	20.15	0.31	b.d.	101.09	40.30	29.05	30.66
B64-1	辉石石英二长闪长岩*	45.17	2.40	8.43	13.02	0.22	13.35	13.26	2.10	0.79	98.741	31.45	44.04	24.51
B64-2	辉石石英二长闪长岩*	51.59	0.27	1.59	12.09	0.37	13.74	20.98	0.24	b.d.	100.85	42.10	38.38	19.52

注：(1)标有*的样品均采自上大河沿岩体；(2)在南京大学成矿作用国家重点实验室作电子探针分析。

4 地球化学特征

4.1 主元素

博格达侵入岩的全岩主元素分析数据列于表2。辉绿岩的碱-硅投影图和SiO₂-全铁投影图示于图3。中-酸性岩的Shand指数图示于图4。

由上述数据和图解可知,本区基性岩投影于碱性玄武岩与拉斑玄武岩的过渡区,即Hyndman(1985)所称的过渡玄武岩区,这与岩石中普遍含有少量石英而不含碱性暗色矿物和硅不饱和矿物的特征相一致。上大河沿中-酸性杂岩体包含

了一个适度富碱的、SiO₂变化于58.63%到73.60%的岩石系列,其ACNK值在0.63~1.03之间,ANK值在1.06~1.79之间。在Shand指数图(图4)上,除了晚期的斜长花岗岩脉以外,投影点均落入准铝质岩石区域,这与CIPW计算结果中除斜长花岗岩脉(C=0.78)外均未出现刚玉标准分子的特征一致。钾长花岗岩的显著特征是贫钛、钙、磷和富碱,这与昆士兰北部高度分异的I-型花岗岩特征相一致(Chappell, 1999)。这反映了岩浆结晶作用过程中镁铁矿物、斜长石和磷灰石的显著分离。磷灰石的分离与岩浆向富硅方向演化过程中P₂O₅溶解度的显著降低有关(Harrison and Watson, 1984)。

表2 博格达侵入主元素分析数据(%)

Table 2 Minor element analyses of intrusive rocks from the Bogda region

采地	刺梅沟	西地	哈萨坎沟	铜沟	高泉南	上大河沿			
岩性	辉绿岩					辉石石英二长闪长岩			辉石石英闪长岩
样号	B18	B19	B20	B86	B136	B47	B59	B148	B49
SiO ₂	48.52	44.78	50.06	46.61	49.27	58.53	59.75	62.14	63.97
TiO ₂	1.20	1.52	1.00	1.55	1.08	1.21	1.12	1.00	0.99
Al ₂ O ₃	16.00	15.72	19.21	16.43	17.96	14.41	14.49	14.32	14.68
Fe ₂ O ₃	3.22	2.85	2.25	2.92	4.71	2.90	2.85	2.46	0.70
FeO	5.19	6.61	4.49	8.10	4.08	5.83	5.32	4.04	2.13
MnO	0.16	0.15	0.13	0.43	0.14	0.18	0.18	0.15	0.10
MgO	7.19	9.81	5.01	7.04	5.03	3.08	1.91	2.14	1.78
CaO	11.25	8.97	10.89	10.19	11.40	5.63	4.73	4.25	5.17
Na ₂ O	2.16	2.83	3.36	2.16	3.00	3.14	3.43	3.40	8.32
K ₂ O	0.70	0.52	0.65	0.30	0.33	3.27	3.31	4.07	0.14
P ₂ O ₅	0.17	0.24	0.23	0.38	0.15	0.41	0.42	0.31	0.35
灼失	4.48	5.34	2.78	3.17	2.61	0.74	1.50	0.92	1.36
Total	100.24	99.34	100.06	99.28	99.76	99.33	99.01	99.20	99.69

采地	上大河沿							
岩性	角闪二长闪长岩		石英二长闪长岩			钾长花岗岩		斜长花岗岩
样号	B155	B45	B54	B146	B152	B43	B65	B158
SiO ₂	58.94	63.29	60.27	63.64	63.42	73.60	70.56	65.72
TiO ₂	1.11	0.95	1.15	0.97	0.96	0.26	0.52	0.86
Al ₂ O ₃	15.81	14.67	14.47	14.67	14.57	12.56	12.99	19.14
Fe ₂ O ₃	1.86	2.47	3.51	2.86	1.52	2.62	1.89	0.48
FeO	5.09	3.67	4.20	2.90	4.08	0.10	1.43	1.33
MnO	0.20	0.09	0.16	0.11	0.12	0.08	0.11	0.09
MgO	2.81	1.52	1.81	1.63	1.67	0.32	0.55	0.30
CaO	6.35	2.93	3.86	3.50	3.79	0.58	0.95	3.26
Na ₂ O	3.74	5.16	3.68	4.80	4.53	3.45	3.40	6.90
K ₂ O	2.46	3.45	3.72	3.88	4.03	5.43	5.97	1.17
P ₂ O ₅	0.46	0.29	0.40	0.31	0.31	0.05	0.12	0.09
LOI	0.67	0.93	1.93	0.83	0.80	0.97	0.89	0.83
Total	99.50	99.42	99.16	100.10	99.80	100.02	99.38	100.17

注:由南京大学现代分析中心作X-荧光测定。

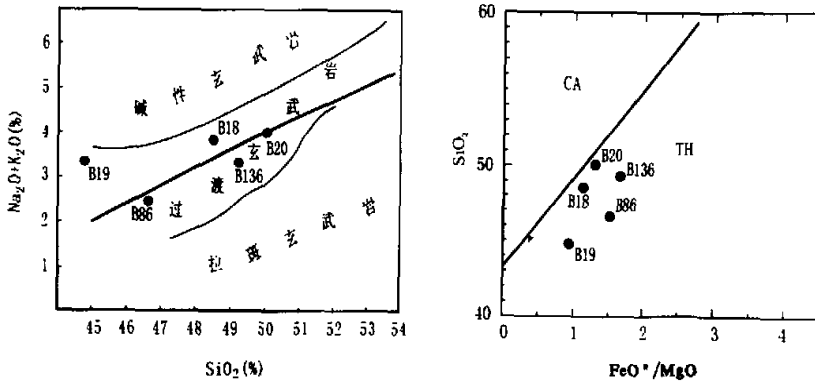


图3 博格达辉绿岩的碱-硅投影图(左)和 SiO₂-FeO*/MgO 投影图(右)(仿 Hyndman, 1985; Miyashiro, 1974)
Fig. 3 Plots of chemical compositions of diabasic rocks from the Bogda region

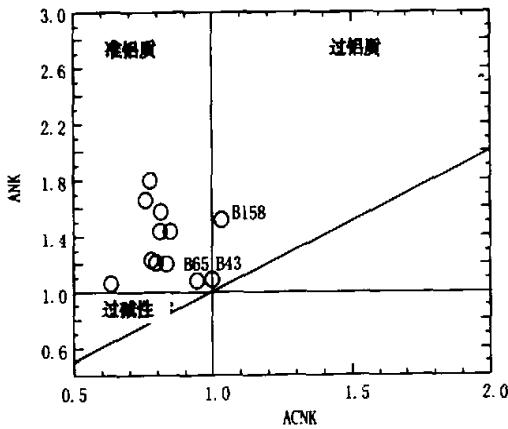


图4 博格达中-酸性侵入岩化学成分投影图
ANK = Al₂O₃/(Na₂O+K₂O);
ACNK = Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O)
Fig. 4 Plots of chemical compositions of intermediate-acidic intrusive rocks from the Bogda region

4.2 稀土元素

由博格达地区侵入岩的稀土元素含量(表3)和经球粒陨石标准化的分配曲线(图5)可知,辉绿岩的特征是轻稀土适度富集,轻-重稀土适度分馏,稀土总量变化于55~82 μg/g之间,La_N/Lu_N为3.1~9.2,δEu为0.88~1.20,具有大陆拉斑玄武岩的特征(Cullers and Graf, 1984)。这些特征表明,辉绿岩的原始岩浆可能来自未亏损的源区,或者虽然其源区有轻度的亏损,但是原始岩浆曾在深部岩浆房中发生过辉石(和/或橄辉石的分离结晶作用)。铕的异常不明显表明深部岩浆房中斜长石的分离结晶并不显著。

表3 博格达地区侵入岩稀土元素丰度(μg/g)

Table 3 REE contents of intrusive rocks from the Bogda region (μg/g)

采样地	西地 哈萨坎沟 铜沟 上大河沿							
	样号	B19	B20	B86	B47	B45	B43	B158
La		8.93	8.62	10.66	18.15	22.54	20.30	8.28
Ce		26.35	17.25	23.31	39.01	44.25	46.48	16.33
Pr		3.90	3.20	4.59	6.80	6.85	6.55	2.19
Nd		14.13	12.65	18.98	27.60	27.72	25.72	8.76
Sm		3.55	2.85	4.53	5.958	6.09	5.15	1.64
Eu		1.329	1.16	1.39	1.24	1.42	0.545	0.895
Gd		4.37	3.08	5.09	6.16	6.43	5.19	1.60
Tb		0.720	0.434	0.776	0.954	1.01	0.858	0.232
Dy		3.68	3.05	5.46	6.08	6.67	6.08	1.44
Ho		0.708	0.528	1.06	1.24	1.35	1.29	0.296
Er		1.51	1.32	3.01	3.54	3.91	3.94	0.854
Tm		0.194	0.122	0.365	0.491	0.536	0.575	0.120
Yb		0.818	0.808	2.56	3.37	3.76	4.32	0.836
Lu		0.116	0.100	0.366	0.520	0.579	0.632	0.128
ΣREE		70.28	55.18	82.13	121.1	133.1	127.6	43.58
L/H		4.80	4.84	3.40	4.42	4.49	4.58	6.92
δEu		1.03	1.20	0.88	0.62	0.69	0.32	1.67
La _N /Lu _N		8.27	9.21	3.12	3.74	4.17	3.44	6.91

注: 样品由南京大学成矿作用国家重点实验室作 ICP/AS 分析, 样品岩性见表2; 球粒陨石值取自 Boynton (1984)。

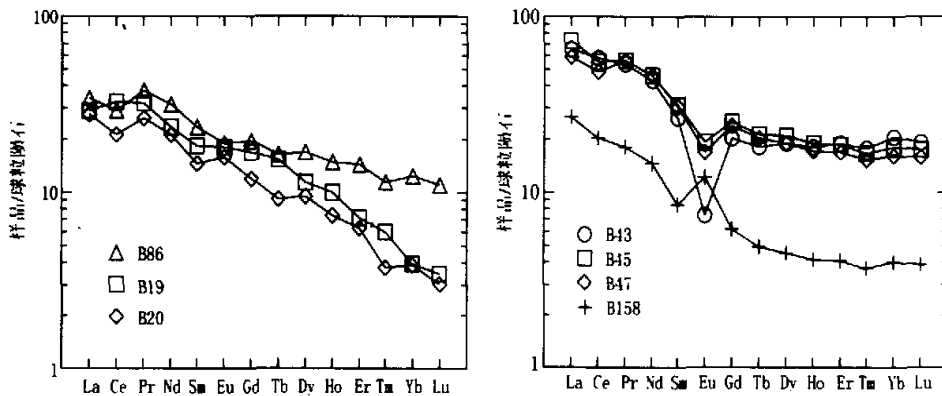


图5 博格达辉绿岩(左)和中-酸性岩(右)稀土元素球粒陨石标准化曲线

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of diabasic (left) and intermediate-acidic rocks (right) from the Bogda region

表4 博格达地区侵入岩微量元素丰度(μg/g)

Table 4 Trace element contents of intrusive rocks from the Bogda region (μg/g)

岩性	样号	U	Rb	Th	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Hf	Cu	Bi
辉绿岩	B18	1.0	9.0	2.0	265	20.9	60	3.2	0.3	2.9	77	1.0
	B19	1.0	7.1	1.0	351	24.6	111	5.9	0.5	4.7	48	1.0
	B20	1.0	8.0	2.0	446	20.4	92	5.1	0.5	4.0	29	1.0
	B86	1.0	10.0	1.0	299	33.6	155	6.3	0.5	6.1	170	1.6
中-酸性岩	B43	5.9	239	18.0	64	39.4	218	9.7	0.5	6.0	4	1.0
	B47	3.3	120	10.1	275	41.3	258	8.9	0.2	8.4	49	1.0
	B49	3.0	6.2	5.8	103	47.5	317	10.2	0.5	9.4	8	1.0
	B54	3.2	135	5.0	274	43.0	293	8.0	0.4	8.6	74	4.7
	B65	4.9	169	17.3	125	20.4	413	9.1	1.1	11.4	21	1.0
辉绿岩	B18	72	2.6	0.3	250	189	119	38	75	5.0	14.8	1.8
	B19	75	3.0	0.8	217	232	199	61	91	5.0	15.2	4.9
	B20	61	5.6	1.0	165	44	42	29	161	5.0	18.6	1.0
	B86	681	5.3	1.0	273	135	56	46	72	5.0	20.4	1.0
中-酸性岩	B43	18	5.4	2.0	23	86	5.5	6.3	259	5.0	15.4	6.0
	B47	93	14.5	0.3	165	87	18.0	26.0	440	5.0	16.7	3.5
	B49	17	2.5	1.6	35	5	4.3	10.0	61	5.0	17.9	5.3
	B54	126	18.7	4.0	115	5	11.0	21.0	483	5.0	18.3	1.5
	B65	63	9.2	1.9	30	26	6.8	13.0	544	5	17.2	1.0

注: 由南京大学现代分析中心作 X-荧光定量分析。

上大河沿中-酸性杂岩体主体相不同岩石类型为—组形态及丰度相近的右倾曲线, 稀土总量为 121~133 μg/g, La_N/Lu_N 为 3.44~4.17; δEu 为 0.32~0.69。与辉绿岩相比, 其稀土总量增高和铕亏损更加显著, 这似乎表明该中-酸性岩在成因上与基性岩浆的分离结晶有关。铕亏损表明斜长石曾在地球壳层次的低压下作为堆晶相出现。与辉绿岩相比, 中-酸性岩的重稀土含量也显著增高, 这可能与分离结晶残浆中强

烈富集重稀土的锆石的含量增高趋势有关。中-酸性岩与辉绿岩全岩锆含量(表 4、图 6)的显著差异即反映了这种趋势。穿插于石英二长闪长岩中的具有显著铕正异常的斜长花岗岩脉, 似乎代表了富含堆晶斜长石的岩浆晚期活化产物。斜长花岗岩(B158)稀土总量较低, 并具有铕正异常, 这与斜长石的稀土元素含量特征(Henderson, 1984)相一致。

与辉石石英二长闪长岩(B47)和石英二长闪长岩(B45)

相比,钾长花岗岩的 LREE/HREE 比值增高而钕亏损更加显著。这表明在中性岩类向钾长花岗岩岩浆演化的过程中发生了辉石、角闪石和斜长石的分离结晶作用(Hanson, 1978)。

4.3 微量元素

将表 4 中辉绿岩的微量元素测定结果相对于洋中脊玄武岩(MORB)的含量(Pearce, 1982)进行标准化后,所得的

配分曲线(图 6 左)表明,本区辉绿岩中 Rb 和 Ba 适度富集,而高场强不相容元素 Zr、Hf、Nb、Y 适度亏损。这与许多地区板内拉斑玄武岩的特征(Dupuy and Dostal, 1984; Holm, 1985; Jolly, 1987; 李昌年,1992; Pegram, 1990; Pin and Marini, 1993)基本符合。在 Pearce (1982)的 Zr-Zr/Y 投影图(图 6 右)上,本区辉绿岩基本投于板内玄武岩区,与上述微量元素配分曲线的特征相一致。

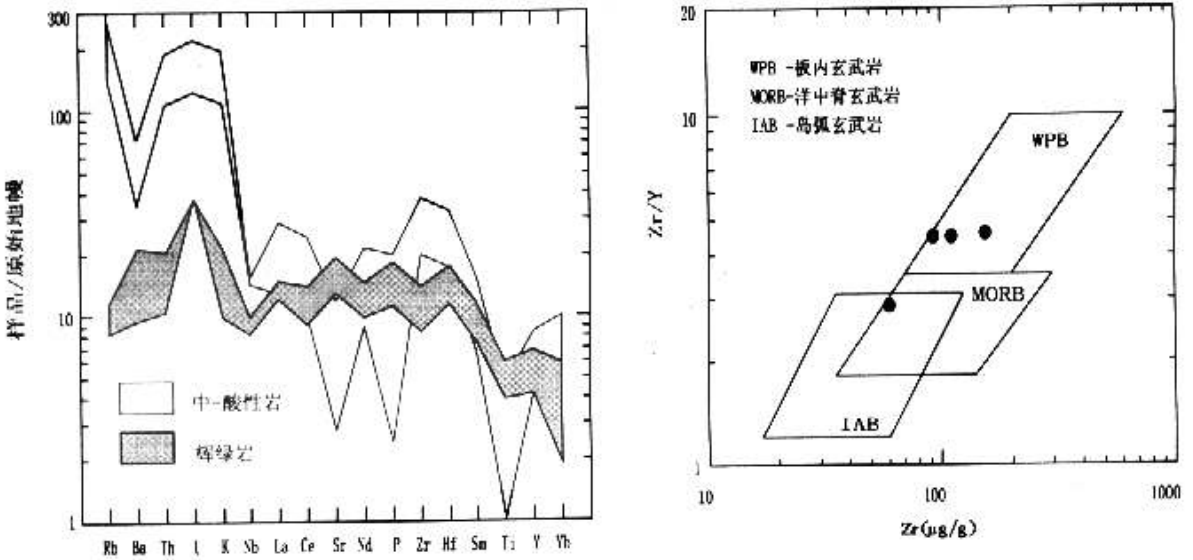


图 6 博格达侵入岩微量元素 MORB 标准化曲线图(左)及辉绿岩产出构造环境的 Zr/Y~Zr 判别图(右)。MORB 值取自 Pearce (1982)

Fig. 6 MORB-normalized trace element distribution patterns (left) for intrusive rocks and Zr/Y-Zr discrimination diagram for tectonic settings of diabases from the Bogda region

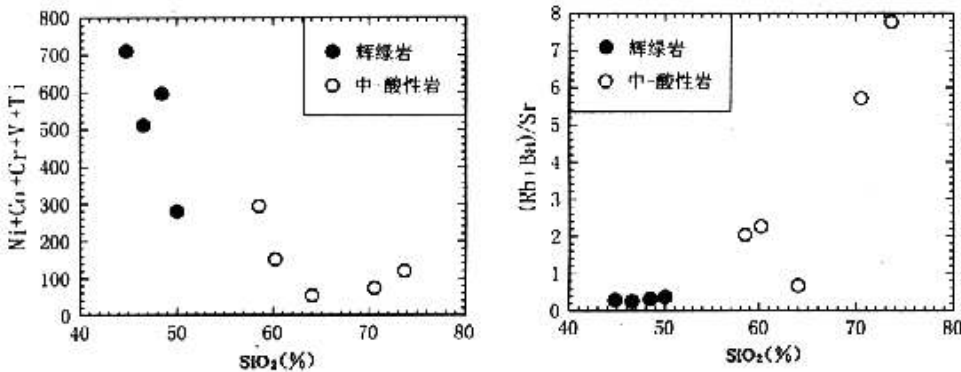


图 7 博格达侵入岩全岩微量元素与 SiO₂ 含量关系图

Fig. 7 Relation between whole-rock SiO₂ and trace elements in intrusive rocks from the Bogda region

据不同岩石类型微量元素与 SiO₂ 含量关系图(图 7)可知,从辉绿岩经中性岩至酸性岩,随着 SiO₂ 含量的增加,岩石中过渡元素 Ni+Co+Cr+V+Ti 系统降低,而(Rb+Ba)/Sr 比值系统地增加,表明上大河中-酸性杂岩体可能是基性岩浆分异演化的产物,而在基性岩浆演化过程中,斜长石和辉石的分离结晶可能起了重要作用。钾长花岗岩中 Eu、Sr、Ti、V、Ni、Co 和 P 尤其显著地亏损,反映了斜长石、辉石、钛铁氧化物、榍石和磷灰石等矿物的大量分离。

4.4 同位素

按照 Yang Jiedong 等(1986)和王银喜等(1988)所报导的方法,在南京大学现代分析中心同位素质谱室对上大河沿岩体作了 Rb-Sr 和 Sm-Nd 同位素测定,并用 ISOPLLOT 程序对所获数据作了计算,其结果(表 5,图 8)表明,该岩体的年龄为 298.4±0.76 Ma,铷同位素初始比 I=0.7041。表 5 还表明,辉绿岩和石英二长闪长岩的 ε_{Na}(t) 均为正值,而辉绿岩

的正值高于石英二长闪长岩;两类岩石的 ε_{Sr}(t) 为负值,但石英闪长岩类的值高于辉绿岩类。这些特征说明,这两类岩石可能是来自亏损地幔的岩浆分异的产物,壳内物质的污染可能并不重要。

华南、长江中下游、澳大利亚东南部及世界其它地区花岗岩的 ε_{Sr}(t) 主要为正值,而 ε_{Na}(t) 通常为负值(Chen J.-F. and Jahn B.-M. 1998; McCulloch and Chappell, 1982),但是,上大河沿钾长花岗岩的 ε_{Na}(t) 和 ε_{Sr}(t) 均为不大的正值(表 5)。实际上,准噶尔地块南、北缘的许多显生宙花岗岩都具有正的 ε_{Na}(t) 值(周泰禧等,1996; Han Baofu *et al.*, 1999)。据周泰禧等(1996)的总结,世界各地高 ε_{Na}(t) 的花岗岩主要形成于拉张构造环境,并常与基性岩浆岩共生,上大河沿岩体中花岗岩的特征也与此一致。Han Baofu 等(1999)认为,对那些后碰撞花岗岩来说,ε_{Na}(t) 的正值表明它们是基性岩浆的分异产物。

表 5 上大河沿岩体 Rb-Sr、Sm-Nd 同位素数据

Table 5 Rb-Sr and Sm-Nd isotope analyses for the Shangdaheyan intrusion

样号	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _t	ε _{Sr} (t)	(¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd) _t	ε _{Na} (t)
B19	0.703797	0.05967	0.512839	0.15187	0.7035	-8.48	0.512500	8.87
B86	0.704513	0.09866	0.512808	0.14449	0.7040	-0.99	0.512486	5.59
B43	0.750843	11.016	0.512697	0.12148	0.7045	4.29	0.512462	4.00
B65	0.721011	3.9884	0.512724	0.13352	0.7042	0.86	0.512465	4.07
B146	0.708604	1.0657	n. d.	n. d.	0.7041	-0.57	n. d.	n. d.
B149	0.704015	0.002061	0.512688	0.12004	0.7040	-2.14	0.512455	3.87
B152	0.708213	0.97148	n. d.	n. d.	0.7041	-0.49	n. d.	n. d.

注: (1) B149 为磷灰石,其余均为全岩,岩性见表 2; (2) n. d. 表示未测定; (3) 计算所用参数如下: (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_{UR}=0.7045, (⁸⁷Rb/⁸⁶Sr)_{UR}=0.0816, (¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}=0.512638, (¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd)_{CHUR}=0.1967; (4) 由南京大学现代分析中心同位素质谱室测定。

5 成岩地质环境

关于博格达造山带晚古生代的构造属性,迄今仍存在着裂谷(Han Baofu *et al.*, 1999; 吴庆福,1986; 王利利等,1986; 何国琦等,1994)与岛弧(成守德等,1986; 方国庆,1993; 马瑞士等,1997; Coleman, 1989)之争。近年来,我们在详细研究该造山带早、中石炭世双峰式火山岩的基础上,进一步论证了其大陆裂谷的构造属性(顾连兴等,2000)。博格达裂谷自早石炭世开始伸展和沉积,晚石炭世碰撞闭合。由于迄今未在该造山带中发现石炭纪洋壳的标志(Gao Jun *et al.*, 1998),因而博格达造山带是一些研究者(Sawkins, 1990; 崔盛芹,1999; 宋鸿林,1999)所称的陆内碰撞造山带。

在大量同位素年龄测定的基础上,胡霭琴等(1997)认为新疆北部的板块碰撞和造山运动主要发生在 300±10 Ma 左右。今次测得的上大河沿岩体的年龄(298.4±0.76 Ma)在误

差范围内与王觉富^①测得的柴窝铺辉绿岩中锆石的 ²⁰⁶Pb/²³⁸Pb 表面年龄(288.9±4.7Ma)一致,也与邻区哈尔里克造山带碰撞后碱性花岗岩的年代(289.9±6.2 Ma, 顾连兴等,1990; Gu Lianxing *et al.*, 1999)相近。这些年龄数据与上述的地质证据相结合,表明本区侵入岩同哈尔里克辉绿岩-钾长花岗岩-碱性花岗岩组合一样,也是紧随碰撞的岩浆活动产物,在成因上可能与碰撞后的岩石圈拆沉(Bird, 1978, 1979; 杨坤光和杨巍然,1997; 王德滋和周金城,1999)有关,并代表着由挤压到拉张这个地球动力学环境的重大转折时期。

博格达地区未出现含霓石标准矿物的典型碱性基性岩,也未见到典型的石英拉斑玄武岩。该区辉绿岩的化学成分均投影在碱性玄武岩和拉斑玄武岩的过渡区,这表明本区侵入

① 王觉富, 1998. 吐哈地体裂谷系基本特征与构造演化. [硕士学位论文]. 南京: 南京大学.

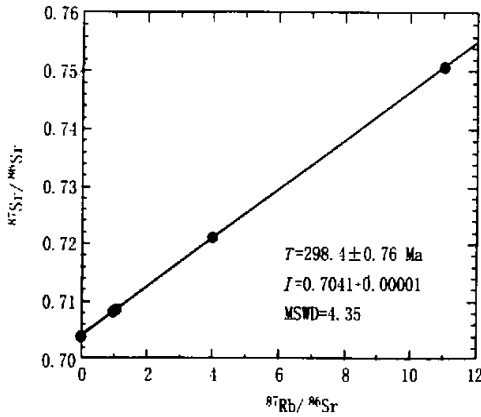


图8 上大河沿岩体 Rb-Sr 等时线
Fig. 8 Rb-Sr isochron for the shangdaheyan intrusion

岩的原始岩浆可能为橄榄拉斑玄武质成分。在碰撞后拉张环境下,轻度亏损的地幔可以发生底辟上升(Kay and Kay, 1993; Tatsumi, 1991),在岩石圈较浅部位发生较高级度的部分熔融,形成橄榄拉斑玄武质的原始岩浆。这种岩浆保留了源区 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 的正值特征。倘这种原始岩浆在深部岩浆房中发生橄榄石、辉石和钛氧化物等的分离结晶,便会形成博格达地区的拉斑玄武质岩浆。本区辉绿岩中少量石英实际矿物的普遍存在、轻稀土和强不相容元素的适度富集,为深部岩浆房中的强烈分离结晶提供了证据。在七角井东北 30 公里处所出露的富含铁质的辉石橄榄岩(王超等,1992),可能代表了深部岩浆房中的早期堆晶相。

辉绿岩是博格达造山带侵入岩的主要类型,而中-酸性岩数量较少。前已述及,本区的中性岩,甚至酸性岩均普遍含有两种辉石,中-酸性岩的稀土和大离子亲石元素比基性岩更为富集,表明中-酸性岩可能是基性岩浆的演化产物。然而,两类岩石在矿物学上又有显著差异,即斜方辉石在中-酸性岩中普遍存在,而在辉绿岩中则未曾发现。因此,中-酸性岩不应当是辉绿岩连续分异的直接产物。较为合理的解释似乎是,原始岩浆首先在深部岩浆房中发生堆晶作用,形成下部富含斜方辉石而上部缺乏斜方辉石的分层岩浆房(Cox *et al.*, 1979)。分层岩浆房中可能发生过两幕岩浆上升,首先,上部层位的岩浆上升,形成本区广泛分布的辉绿岩;随后,下部层位的岩浆上升,并发生辉石的分离结晶,形成含有斜方辉石堆晶捕虏体、稀土总量增高的中-酸性岩浆。本区辉绿岩未出现铈负异常,表明分层岩浆房中未发生斜长石的分离结晶,这与该岩浆房的较大深度相一致(邓晋福等,1996)。然而,无论辉绿岩还是中-酸性岩,其斜长石的结晶都早于两种辉石,表明这两种岩浆的最终定位均发生于浅部低压环境之下。

中-酸性岩浆上升到地壳浅部后,水和其它挥发份的散失导致斜长石的优先结晶,并发生斜长石、镁铁矿物和副矿

物的分离结晶,使岩浆进一步向富硅、富碱的方向演化。结晶产物从闪长岩变为石英二长闪长岩。最终的残留岩浆形成钾长花岗岩。对于岩体中普遍存在的花斑结构,尽管可有多种成因假说,但多数人认为这是分离结晶残留岩浆的标志(Hyndman, 1985)。上述不同岩性的中-酸性岩在微量元素和稀土元素特征等方面的变化规律,进一步佐证了分离结晶的重要作用。

世界各地的碰撞造山带,无论是威尔逊旋回碰撞造山带(Pitcher, 1983; 胡受奚等,1988 1990; Barbarin,1999; 陈衍景,1996)还是陆内碰撞造山带(Kroner, 1980; Sawkins, 1990),往往以发育大量花岗岩类为特征。然而,在博格达造山带却只有零星分布的花岗岩体。这是因为博格达是陆内裂谷带,其张裂过程中未出现具有一定规模的洋壳,因而衰亡过程中也没有发生洋壳的大规模俯冲以及由此而产生的大量岩浆弧钙碱性花岗岩。同时,博格达是个短命的裂谷,从其早石炭世的裂陷到 300 Ma 前后的闭合,其寿命只有 60 Ma 左右。因为裂谷发育时间短,陆壳伸展规模小,沉积物厚度薄,基底软化程度低,其碰撞造山机制主要是水平挤压,而不是两个陆壳的叠置(邓晋福等,1996),所以陆壳的加厚未能达到足以诱发大规模部份熔融的程度,致使本区缺乏可与中欧海西(Pitcher, 1993)和南非 Damara (Kroner, 1980; Sawkins, 1990)等造山带对比的碰撞型花岗岩。在碰撞之后,可能是由于岩石圈底部折沉过早,当大量辉绿岩浆上侵时壳内挤压应力场尚未完全消失,故而博格达山的岩体多呈长条状顺层侵位,等轴状的或切割区域构造线的岩体较少出现。大河沿岩体 298.4 ± 0.76 Ma 这一年龄,不但表明博格达造山带晚于海西期的侵入活动并不重要,还表明该造山带的折沉拉张可能紧随挤压碰撞而起,而该造山带中广泛分布的辉绿岩和少量中-酸性岩恰代表了由挤压变为拉张这一短暂而重要的地球动力学环境转折时期。

References

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46: 605-626

Bird P. 1978. Initiation of intracontinental subduction in the Himalaya. *J. Geophys. Research*, 83(B10): 4975-4987

Bird P. 1979. Continental delamination and the Colorado plateau. *J. Geophys. Research*, 84 (B13): 7561-7571

Boynnton W V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies. In: Henderson P(ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam; Elsevier Science Publishers, 63-114

Chappell B W. 1999. Aluminium saturation in I- and S-type granites and characterization of fractionated haplogranites. *Lithos*, 46: 535-551

Chen Yanjing. 1996. Mineralization during collisional orogenesis

- and its control of the distribution of gold deposits in Junggar Mountains, Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 70(3): 253–261 (in Chinese with English abstract)
- Chen Zhefu and Liang Yunhai. 1985. Research on several problems of structural geology in Tianshan, Xinjiang *Geology*, 3(2): 1–13 (in Chinese with English abstract)
- Cheng Shoude, Wang Guangrui and Yang Shude. 1986. The Palaeoplate tectonics of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 4(2): 1–26 (in Chinese with English abstract)
- Coleman R G. 1989. Continental growth of northwest China. *Tectonics*, 8(1): 621–635
- Cox K G, Bell J D and Pankhurst R J. 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. London: George Allen & Unwin, 1–450
- Cui Shengqin. 1999. On global Meso-Cenozoic intracontinental orogenesis and orogenic belts. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 283–293 (in Chinese with English abstract)
- Cullers R L and Graf J L. 1984. Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust; predominantly basic and ultrabasic rocks. In: Henderson P (ed), *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier Science, 137–274
- Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, Wu Zongxu and Luo Zhaohua. 1996. *Continental Roots-Plume Tectonics of China—Key to the Continental Dynamics*. Beijing: Geological Publishing House, 1–110 (in Chinese with English abstract)
- Dupuy C and Dostal J. 1984. Trace element geochemistry of some continental tholeiites. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 67: 61–69
- Fang Guoqing. 1993. Sedimentological evidence of late Palaeozoic Bogda island arc. *Acta Sedimentologica Sinica*, 11(3): 31–36 (in Chinese with English abstract)
- Gao Jun, Li Maosong, Xiao Xuchang, Tang Yaoqing and He Guoqi. 1998. Palaeozoic tectonic evolution of the Tianshan Orogen, northwestern China. *Tectonophysics*, 287: 213–231
- Gu Lianxing and Yang Hao. 1990. Rb-Sr geochronology and the tectonic evolution of the east section of the Middle Tianshan Mountains. *Journal of Guilin College of Geology*, (1): 49–55 (in Chinese with English abstract)
- Gu Lianxing, Chu Qiang, Hu Shouxi and Yan Zhenfu. 1990. Geological features and origin of the Kelameili-Haerlike alkali granite belt, Xinjiang Province. *Geoscience of Xinjiang*, edited by The Editorial Committee of Geoscience of Xinjiang of Project 305, (2): 47–55 (in Chinese with English abstract)
- Gu Lianxing, Hu Shouxi, Chu Qiang, Yu Chunshui and Xiao Xinjian. 1999. Pre-collision granites and post-collision intrusive assemblage of the kelameili-Harlik Orogenic Belt. *Acta Geologica Sinica*, 73(3): 316–329
- Gu Lianxing, Yu Chunshui, Hu Shouxi and Li Hongyu. 2000. Carboniferous volcanites in the Bogda orogenic belt of eastern Tianshan: Their Tectonic Implications. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3): 305–316 (in Chinese with English abstract)
- Han Baofu, He Guoqi and Wang Shiguang. 1999. Postcollisional mantle-derived magmatism, underplating and implications for basement of the Junggar basin. *Science in China (Series D)*, 42(2): 113–119
- Hanson G N. 1978. The application of trace elements to petrogenesis of igneous rocks of granitic compositions. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 7: 93–98
- Harrison T M and Watson E B. 1984. The behaviour of apatite during crustal anatexis; equilibrium and kinetic considerations. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48: 1468–1477
- He Guoqi, Li Maosong, Liu Dequan, Tang Yanling and Zhou Ruhong. 1994. *Paleozoic Crustal Evolution and Mineralization in Xinjiang of China*. Urumqi and Hongkong: Xinjiang People's Publication House and Educational and Cultural Press LTD, 1–437 (in Chinese with English abstract)
- Henderson P. 1984. General geochemical properties and abundances of the rare earth elements. In: Henderson P (ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1–32
- Holm P E. 1985. The Geochemical fingerprints of different tectonomagmatic environments using hydromagmatophile element abundances of tholeiitic basalts and basaltic andesites. *Chem. Geol.*, 51: 303–323
- Hu Aiqin, Wang Zhonggang and Tu Guangchi. 1997. *Geological Evolution, Petrogenesis and Metallogeny of North Xinjiang*. Beijing: Science Press, 1–246 (in Chinese)
- Hu Shouxi, Guo Jichun, Gu Lianxing, Yan Zhenfu and Yanhao. 1990. Geology of the Caledonian orogenic belt and its importance to the framework of East Tianshan (E85°–95°). *Geoscience of Xinjiang*, edited by The Editorial Committee of Geoscience of Xinjiang of Project 305. (1): 32–45 (in Chinese with English abstract)
- Hu Shouxi, Lin Qianlong. 1988. *The Geology and Metallogeny of the Amalgamation Zone between Ancient North China Plate and South China Plate (Taking Qinling-Tongbai as an Example)*. Nanjing: Nanjing University Press, 1–558 (in Chinese)
- Hyndman D W. 1985. *Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks*. New York: McGraw-Hill Company (2nd ed.), 1–786
- Jiangfeng Chen and Bor-ming Jahn. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284: 101–133
- Jolly W T. 1987. Geology and geochemistry of Huronian rholites and low-Ti continental tholeiites from the Thessalon region, central Ontario. *Can. J. Earth Sci.*, 24: 1360–1385
- Kay R W and Kay S M. 1993. Delamination and delamination magmatism. *Tectonophysics*, 219 (1-3): 177–189
- Kroner A. 1980. Pan African crustal evolution. *Episodes*, 2: 3–8
- Li Changnian. 1992. *Minor Element Petrology of Igneous Rocks*. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 1–195 (in Chinese)
- Li Huaqin, Xie Caifu and Chang Hailiang. 1998. Study on Metallogenetic Chronology of Nonferrous and Precious Metallic Ore Deposits in North Xinjiang, China. Beijing: Geological

- Publishing House, 1-263 (in Chinese with English abstract)
- Ma Ruishi, Shu Liangshu and Su Jiaqi. 1997. Tectonic Evolution and Metallogeny of Eastern Tianshan Mountains. Beijing: Geological Publishing House, 1-202 (in Chinese with English abstract)
- McCulloch M T and Chappell B W. 1982. Nd isotopic characteristics of S- and I-type granites. *Earth and Planetary Science Letters*, 58: 51-64
- Miyashiro A. 1974. Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, 274: 321-355
- Pearce J A. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe R S (ed.), *Andesites*. New York: John Wiley & Sons, 525-548
- Pegram W J. 1990. Development of continental lithosphere as reflected in the chemistry of the Mesozoic Appalachian Tholeiites. *U. S. A. Earth Planet. Sci. Lett.*, 97: 316-331
- Pin C and Marini F. 1993. Early Ordovician continental break-up in Variscan Europe: Nd-Sr isotope and trace element evidence from bimodal igneous associations of the Southern Massif Central, France. *Lithos*, 29: 177-196
- Pitcher W S. 1983. Granite type and tectonic environment. In: Hsu, K. (ed.), *Mountain Building Processes*, London: Academic press, 19-40
- Pitcher W S. 1993. The nature and origin of granites. London: Blackie Academic & Professional, 1-321
- Poldervaart A. 1947. The relationship of orthopyroxene to pigeonite. *Min. Mag.*, 28: 164-172
- Poldervaart A and Hess H H. 1951. Pyroxenes in the crystallization of basaltic magmas. *J. Geol.*, 59: 472-489
- Regional Geological Survey, Bureau of Geological and Mineral Resources, Xinjiang Uygur Autonomous Region (RGS). 1985. Granite Geology of the Tianshan Mountains. Beijing: Geological Publishing House, 1-247 (in Chinese)
- Sawkins F J. 1990. Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. Second edition, Berlin: Springer-Verlag, 1-461
- Song Honglin. 1999. Characteristics of Yanshan type intraplate orogenic belts and a discussion on its dynamics. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 309-316 (in Chinese with English abstract)
- Tatsumi Y. 1991. Origin of subduction zone magmas based on experimental petrology. In: Perchuk L L and Kushiro I (eds.), *Physical chemistry of magmas*. Berlin: Springer-Verlag, 268-301
- Wang Chao, Ma Ruishi, Ye Shangfu, Guo Chaojie, Guo Lingzhi and Shi Yangshen. 1992. Research on the plate tectonics of eastern Tianshan, NW China. In: Li Qingbo, Dai Jinxin, Liu Ruqi, Li Jiliang (eds.), *Symposium of the Researches on Modern Geology*. Nanjing: Nanjing University Press, Volume 1, 30-38 (in Chinese with English abstract)
- Wang Dezi and Zhou Jincheng. 1999. Look back and look forward to granite research. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 161-169 (in Chinese with English abstract)
- Wang Lili, and Zhang Kai. 1986. Characteristics of structural evolution and oil-gas potential prediction in southern margin area of Junggar Basin. *Xinjiang Petroleum Geology*, 7(2): 1-9 (in Chinese)
- Wang Yinxi, Yang Jiedong, Tao Xiangchong and Li Huimin. 1998. A study of the Sm-Nd method for fossil mineral rock and its application. *Journal of Nanjing University (Natural sciences edition)*, 24(2): 297-308 (in Chinese with English abstract)
- Wu Qingfu. 1986. Structural evolution and prospects of Junggar Basin. *Xinjiang Geology*, 4(3): 1-19 (in Chinese with English abstract)
- Yang Jiedong and Wang Yinxi. 1986. Rb-Sr dating on the Cambrian-Ordovician interval. In: Chen Junyan (ed.), *Aspects of Cambrian-Ordovician boundary in Dayangcha, China*. Beijing: China Prospect House, 72-78
- Yang Kunguang and Yang Weiran. 1997. Post-collisional orogeny and the origin of a great volume of granites in orogenic belts. *Geological Science and Technology Information*, 16(4): 16-22. (in Chinese with English abstract)
- Zhou Jiuyan, Mao Yanshi and Huang Zhixun. 1994. Volcanic geology of Palaeocontinental margin in East Tianshan Mountains. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1-280 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Ruhong. 1987. The advance of isotope geochronology, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 5(4): 5-15 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Taixi, Chen Jiangfeng and Li Xueming. 1996. Origin of high ϵ_{Nd} granites from Alatao Mountain, Xinjiang. *Scientia Geologica Sinica*, 31(1): 71-79 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈衍景. 1996. 准噶尔造山带碰撞体制的成矿作用及金等矿床分布规律. *地质学报*, 70(3): 253-261
- 陈哲夫, 梁云海. 1985. 新疆天山地质构造几个问题的探讨. *新疆地质*, 1985, 3(2): 1-13
- 成守德, 王广端, 杨树德等. 1986. 新疆古板块构造. *新疆地质*, 1986, 4(2): 1-26
- 崔盛芹. 1999. 论全球性中-新生代陆内造山作用与造山带. *地学前缘*, 6(4): 283-293
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 吴宗崇, 罗照华. 1996. 中国大陆根-柱构造. 北京: 地质出版社, 1-110
- 方国庆. 1990. 博格达山晚古生代坳拉谷(Aulacogen)的初步研究. *新疆地质*, 8(2): 133-141
- 顾连兴, 褚强, 胡受奚, 严正富. 1990. 新疆克拉美丽-哈尔里克碱性花岗岩带地质特征及成因. *新疆地质科学*, 北京: 地质出版社, 2: 47-55
- 顾连兴, 杨浩. 1990. 中天山东段花岗岩类铷-锶年代学及其构造演化. *桂林冶金地质学院学报*, 10(1): 49-55
- 顾连兴, 于春水, 胡受奚, 李宏宇, 肖新建, 严正富. 2000. 博格达造山带石炭纪火山岩及其裂谷构造演化. *岩石学报*, 16(3): 305-316

- 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. 新疆人民出版社和香港文化教育出版社,1-437
- 胡霭琴,王中刚,涂光炽. 1997. 新疆北部地质演化及成岩成矿规律. 北京:科学出版社,1-246
- 胡受奚,郭继春,顾连兴. 1990. 加里东造山带在东天山(E85°-95°)构造格架中的重要地位及其地质特征. 新疆地质科学,北京:地质出版社,第1辑:32-45
- 胡受奚,林潜龙. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质与成矿. 南京:南京大学出版社,1-558
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学. 武汉:中国地质大学出版社,1-195
- 李华芹,谢才富,常海亮. 1998. 新疆北部主要有色、贵金属矿床成矿期同位素年代学研究. 北京:地质出版社,1-263
- 马瑞士,舒良树,孙家齐. 1997. 东天山构造演化与成矿. 北京:地质出版社,1997,1-202
- 宋鸿林. 1999. 燕山板内造山带基本特征与动力学探讨. 地学前缘,6(4):309-316
- 王超,马瑞士,叶尚夫,郭召杰,郭令智,施央申. 1992. 东天山板块构造研究. 见:李清波,戴金星,刘如琦,李继亮主编,现代地质学研究文集(上). 南京:南京大学出版社,30-38
- 王德滋,周金城. 1999. 我国花岗岩研究的回顾与展望. 岩石学报,15(2):161-169
- 王利利,张恺,高明远. 1986. 准噶尔盆地南缘的构造演化特征及含油气预测. 新疆石油地质,7(2):1-9
- 王银喜,杨杰东,陶仙聪. 1988. 化石、矿物和岩石样品的 Sm-Nd 同位素实验方法研究及其应用. 南京大学学报(自然科学版),24(2):297-308
- 吴庆福. 1986. 准噶尔盆地构造演化及含油气远景. 新疆地质,4(3):1-19
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局区域地质调查队(新疆区调队). 1985. 天山花岗岩地质. 北京,地质出版社,1-247
- 杨坤光,杨巍然. 1997. 碰撞后的造山过程及造山带巨量花岗岩的成因. 地质科技情报,16(4):16-22
- 周济元,茅燕石,黄志勋,何大伦,王道水,肖渊甫. 1994. 东天山古大陆边缘火山地质. 成都:成都科技大学出版社,1-280
- 周汝洪. 1987. 新疆同位素地质年代学研究的进展. 新疆地质,5(4):5-15
- 周泰禧,陈江峰,李学明. 1996. 新疆阿拉套山花岗岩类高 ϵ_{Nd} 值的成因探讨. 地质科学31(1):71-79