

## 西天山克孜勒扎依劳岩基地球化学特征

梁有为,于海峰,李红梅,潘明臣,王志军,王粉丽,王福君,郭洪方  
(辽宁省地质勘查院 辽宁 大连 116100)

**摘要** 克孜勒扎依劳岩基位于新疆阿拉山口西侧,为石炭纪混源序列花岗岩,包括 8 个侵入序次。主元素地球化学特征是,由较早序次至较晚序次  $\text{SiO}_2$  和  $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$  含量有逐渐增加的趋势,而  $\text{Mg}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Ca}$  和  $\text{TiO}$  含量有逐渐减少的趋势。微量元素中,亲铁元素、亲铜元素和亲石元素在岩浆演化过程中各有不同的演化规律。总体来看,大半径亲石元素相对富集,而高场强元素相对亏损。稀土元素特征是其总量自早至晚有逐渐增加的趋势,轻稀土相对富集,而重稀土相对亏损。轻稀土具有较强的分馏作用,而重稀土分馏作用较弱。岩石地球化学资料综合分析显示,由较早序次至较晚序次,侵位深度越来越浅,岩浆的物质来源主要为玄武岩浆分异,主体具有 I 型花岗岩特征。较早序次形成于阿拉套晚古生代陆缘盆地拉张-聚合阶段,较晚序次形成于阿拉套晚古生代陆缘盆地之闭合-碰撞阶段。

**关键词** 地球化学特征 石炭纪混源序列 主元素 微量元素 稀土元素 克孜勒扎依劳岩基 新疆

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE KEZILEZHAYILAO BATHOLITH IN WEST TIANSHAN

LIANG You-wei, YU Hai-feng, LI Hong-mei, PAN Ming-chen, WANG Zhi-jun, WANG Fen-li,  
WANG Fu-jun, GUO Hong-fang  
(Liaoning Institute of Geological Exploration, Dalian 116100, Liaoning Province, China)

**Abstract :** The Kezilezhayilao batholith, located in the west of Alataw Pass in Xinjiang, belongs to Carboniferous mixed source sequence granite, including eight intrusive sequences. Geochemically, the contents of  $\text{SiO}_2$  and  $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$  tend to increase gradually from early to late sequences, while those of  $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Ca}$  and  $\text{TiO}$  tend to decrease. Among trace elements, the siderophile, chalcophile and lithophile elements each have different evolutional laws in the evolution process of magma. In general, major radius lithophile elements are relatively concentrated while high field strength elements are relatively depleted. The total amount of rare earth elements tends to increase from early to late sequence, with LREE enriched and HREE depleted relatively. The fractional distillation of LREE is strong while that of HREE is relatively weak. Comprehensive analysis of lithogeochemical data suggests that the emplacement depth becomes shallower from early to late sequence. The source of magma is mainly from basaltic differentiation, mostly with characteristics of I-type granite. The early sequences were formed in the extension-convergence stage of the Late Paleozoic Alataw continental margin basin; while the late sequences, in the closure-collision stage.

**Key words :** geochemical characteristics; Carboniferous mixed source sequence; major elements; trace elements; rare earth elements; Kezilezhayilao batholith; Xinjiang

克孜勒扎依劳岩基位于新疆阿拉山口以西至塞里克-亚麻滩一带,出露面积达  $382.20 \text{ km}^2$ 。为石炭纪混源序列花岗岩,包括 8 个侵入序次<sup>[1]</sup>(见表 1)<sup>①</sup>,相

邻序次之间皆为脉动侵入关系<sup>[2]</sup>。通过岩石地球化学综合分析,认为由较早序次至较晚序次侵位越来越浅,与西天山构造带逐渐抬升特征一致;岩浆的物质来源

收稿日期 2012-02-14 修回日期 2012-07-12。编辑 周丽、张哲。

基金项目 中国地质调查项目“新疆博乐市阿拉山口西一带 1:5 万区域地质矿产调查”(XJQDZ2008-04)资助。

作者简介 梁有为(1970—),男,地质工程师,从事区域地质调查和地质研究工作,通信地址 大连市金州区五一路 10 号 辽宁省地质勘查院, E-mail://LYW201010@163.com

<sup>①</sup>于海峰,等.新疆博乐市阿拉山口西一带 1:5 万区域地质矿产调查报告,2008—2010.辽宁省地质勘查院。

表1 克孜勒扎依劳岩基各序次花岗岩岩石单位划分表

Table 1 Rock units of different sequences of the Kezilezhailao batholith

序次	代号	岩石类型	侵入体个数	侵入最新地层(或岩体)	同位素年龄/Ma
8	$\gamma\pi^hH$	肉红色花岗斑岩	2	$\gamma_c^eH$	
7	$\xi\gamma^eH$	肉红色似斑状中细粒钾长花岗岩	2	$\gamma_c^eH$	
6	$\gamma_c^eH$	肉红色似斑状细粒花岗岩	2	$D_3ts^1$	
5	$\gamma_c^eH$	肉红色似斑状中粗粒花岗岩	5	$\eta\gamma_c^eH$	320±30
4	$\eta\gamma_c^eH$	灰白、肉红色似斑状中细粒黑云母二长花岗岩	5	$D_3ts^1$	
3	$\gamma\delta_c^eH$	浅肉红色中细粒含黑云母角闪石花岗闪长	4	$\delta o_c^eH$	
2	$\delta o\beta_c^bH$	灰白色细粒英云闪长岩	1	$\delta ocaH$	
1	$\delta o_c^eH$	灰色细粒含黑云母角闪石英闪长岩	1	$D_3ts^1$	324±30

主要为玄武岩浆分异，仅个别序次有壳源物质加入，具I型花岗岩特征；较早序次形成于阿拉套晚古代陆源盆地拉张向聚合演化的阶段，较晚序次则形成于阿拉套晚古生代陆源盆地的闭合-碰撞阶段。

## 1 地质概况

阿拉山口西侧位于天山构造带的北缘，一级构造单元属于哈萨克斯坦-准噶尔板块，二级构造单元属于伊犁-伊塞克湖微板块，三级构造单元为阿拉套晚古生代陆缘盆地<sup>[3-4]</sup>。古亚洲洋于早古生代末期收缩聚合，新疆统一克拉通形成，准噶尔地区随之成为陆地。到泥盆纪末至石炭纪早期，南准噶尔再次裂解成洋（但其规模比古亚洲洋小得多）<sup>[3]</sup>，阿拉套地区变成岛弧及弧后盆地。石炭纪晚期，南准噶尔洋盆收缩闭合，阿拉套晚古生代陆源盆地也随之发生聚合-碰撞作用，岩浆活动较剧烈，形成克孜勒扎依劳岩基中各序次花岗岩。

## 2 地球化学特征

克孜勒扎依劳岩基中各序次主元素、微量元素及稀土元素含量见表2。

### 2.1 主元素

该岩基中各侵入序次  $SiO_2$  平均含量从早到晚依次为 63.82、66.08、72.04、72.76、75.01、74.43、75.74 和 74.14，有明显增加的趋势（第八序次花岗斑岩除外）。( $K_2O+NaO$ ) 与  $SiO_2$  的演化趋势一致，自第一序次的 6.38 增至第七序次的 8.93，增加趋势明显。 $FeO$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $TiO_2$  和  $SiO_2$  相反，从早到晚有减少的趋势。 $FeO$  自第一序次的 3.68 降至第七序次的 0.87， $CaO$  自第一序次的 4.40 降至第七序次的 1.43， $MgO$  自第一序次的 2.28 降至第七序次的 0.23， $TiO_2$  自第一序次的 0.74 降

至第七序次的 0.12。从而反映出，克孜勒扎依劳岩基各序次自早至晚化学成分的演化是从中酸性到酸性，与岩石的结构特征和矿物成分特征完全吻合。各序次里特曼指数为 1.88~2.50，均属于钙碱性，碱度指数为 1.99~3.78，表明克孜勒扎依劳岩基各序次属于强—正常太平洋型。

### 2.2 微量元素

克孜勒扎依劳岩基中各序次微量元素含量、相关参数以及上地幔、地壳中微量元素平均含量列入表2中。该序列各个侵入序次微量元素中铁族元素 Cr、Ni、Co、V 均显著比陆壳平均值偏低，其中的每种元素在岩浆演化中的变化规律十分明显。Cr、Ni、Co、V 在第一序次和第二序次中明显偏高，可能与这两个序次更偏向中性有关，亲铜元素中 Cu 较陆壳平均值低，唯第一侵入序次灰色细粒含黑云母角闪石英闪长岩 ( $\delta o_c^eH$ ) 的平均值与陆壳接近；亲铜元素中的 Zn 唯最晚的第八序次肉红色花岗斑岩 ( $\gamma\pi_c^hH$ ) 高于陆壳平均值，其他序次均低于陆壳平均值；亲铜元素中的 Pb 则高于陆壳平均值，只有个别样品稍微偏低；亲石元素中的 Rb 和 Sr 在岩浆演化中的行为不尽相同，Rb 在早期第一序次和第二序次偏中性岩浆中比地壳平均值偏低，较晚的其他序次均比地壳平均值 (78.0) 高，Sr 则没有这种规律，它比地壳平均值 (480.0) 明显偏低；亲石元素中 Zr 在整个岩浆演化过程未见明显规律，但是第八序次肉红色花岗斑岩 ( $\gamma\pi_c^hH$ ) 明显高于地壳平均值；亲石元素中 Hf 的平均含量比地壳平均值明显高。

从微量元素蛛网图看，石炭纪混源序列 8 个侵入次十分相似（图1），总体向右倾斜，显示出大半径亲石元素相对富集而高场强元素相对亏损的特点。表现出 Sr、Ba、Nb、Ta、Zr、Ti、Cr 等明显亏损，K、Rb、Th、Ce、Hf 等明显富集，其中尤以 Rb、Th 更为富集。

### 2.3 稀土元素

克孜勒扎依劳岩基中各序次稀土元素含量见表2<sup>①</sup>，稀土配分模式见图2。

①于海峰 等. 新疆博乐市阿拉山口西一带 1:5 万区域地质矿产调查报告 2008—2010. 辽宁省地质勘查院.

表 2 克孜勒扎依劳岩基中各序次主元素、微量元素及稀土元素含量表

Table 2 Contents of major elements, trace elements and rare earth elements in the Kezilezhaylao batholith by sequences

序次 样品号	1		2		3		4		5		6		7		8						
	P <sub>12·5</sub>	P <sub>12·11·5</sub>	P <sub>12·11·11</sub>	P <sub>6·4</sub>	P <sub>7·7·6</sub>	P <sub>12·3·1</sub>	P <sub>6·29·2</sub>	P <sub>11·3·1</sub>	P <sub>6·13·2</sub>	P <sub>7·9·4</sub>	P <sub>6·27·4</sub>	P <sub>6·12·1</sub>	P <sub>6·22·1</sub>	P <sub>13·1·3</sub>	P <sub>7·19·1</sub>	P <sub>10·1</sub>	P <sub>7·27·8</sub>	P <sub>10·2·5</sub>	P <sub>10·6·6</sub>		
SiO <sub>2</sub>	64.94	64.94	65.32	66.83	73.23	73.79	69.1	72.95	73.16	72.16	71.96	77.59	75.48	74.57	75.4	73.32	73.34	70.52	75.54	76.36	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.76	1.52	1.09	1.04	1.36	0.78	1.72	0.82	1.94	2.19	1.81	0.51	0.79	0.67	0.51	1.16	2.44	1.3	1.24	1.05	
FeO	4.4	2.95	2.3	0.35	1.55	3.04	1.6	0.5	0.55	0.35	0.8	0.5	0.75	0.71	0.79	1.1	1.1	3	0.97	0.88	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.23	14.87	14.8	15.49	13.68	12.44	12.97	12.51	13.03	12.79	13.13	11.42	12.81	12.75	11.25	10.82	11.17	11.43	11.17	10.59	11.01
Cao	4.09	4.71	5.14	3.87	0.84	1.35	3.19	1.51	0.95	1.01	1.23	0.79	1.01	0.9	3.85	4.09	1.44	4.77	2.78	1.51	
MgO	2.46	2.1	1.92	1.45	0.28	0.56	1.12	0.52	0.2	0.4	0.4	0.16	0.24	0.32	0.11	0.76	0.21	0.21	0.39	0.2	0.32
K <sub>2</sub> O	2.23	2.31	2.24	5.26	4.2	2.59	4.25	4.6	4.84	5.24	4.36	4.69	4.53	4.36	4.1	4.51	4.51	3.49	4.47	4.46	
Na <sub>2</sub> O	4.1	3.84	4.43	4.14	4.09	3.71	4.43	3.91	4.12	4.12	3.8	3.54	3.43	3.97	3.85	4.16	3.66	4.33	3.4	3.18	
MnO	0.18	0.14	0.09	0.13	0.06	0.05	0.13	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.06	0.07	0.05	0.05	0.11	0.07
TiO <sub>2</sub>	0.95	0.53	0.24	0.39	0.09	0.3	0.36	0.36	0.21	0.25	0.21	0.17	0.13	0.14	0.02	0.04	0.14	0.14	0.28	0.14	0.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.17	0.14	0.1	0.14	0.04	0.09	0.1	0.11	0.04	0.07	0.05	0.06	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01
总量	97.26	98.05	98.39	98.05	99.28	98.82	98.75	98.59	98.79	98.42	98.21	99.43	99.16	98.66	100.13	99.32	98.08	98.08	99.41	99.4	98.93
δ	2.03	1.72	2.04	1.72	2.89	2.03	1.89	2.22	2.52	2.75	2.82	1.8	2.03	2.29	2.08	2.25	2.2	2.08	2.22	1.9	1.75
ACNK	1.37	1.37	1.25	1.51	1.34	1.34	1.27	1.94	1.35	1.28	1.28	1.05	1.4	1.36	0.93	0.88	0.83	1.13	0.57	0.68	0.86
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1.84	1.66	1.92	1.86	0.78	0.88	1.71	0.92	0.89	0.85	0.72	0.81	0.73	0.88	0.88	1.01	1.23	0.75	1.24	0.76	0.71
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	6.5	6.26	6.84	6.53	9.4	7.99	7.1	8.26	8.81	9.09	9.19	7.93	8.17	8.6	8.19	8.3	8.5	8.34	7.86	7.9	7.71
AOR	2.1	1.9	2	2	3.6	3.3	2.5	3.5	3.9	4	3.3	3.8	3	3.8	3.1	3.5	3.77	3.3	2.9	3.1	
K/V/A	0.44	0.41	0.46	0.41	0.68	0.64	0.54	0.65	0.67	0.7	0.69	0.69	0.63	0.67	0.73	0.76	0.73	0.7	0.74	0.69	
Li	22.31	21.2	34.44	27.73	73.8	75.1	13.47	58.75	9.13	7.65	14.72	34.7	10.32	11.5	115.5	5.1	11.27	27.06	18.58	13.81	11.03
Be	2.08	1.86	1.68	2.09	7.52	4.79	2.27	4.71	4.37	4.08	3.32	4.22	5.05	7.83	6.59	4.45	4.22	4.4	3.07	3.1	2.72
Ti	3928	3091	2585	2211	411	1492	4856	1309	337	516	668	637	385	3.14	282	1143	481	923	3369	1442	1236
Cr	61.31	41.71	59.99	21.69	6.9	10.09	17.53	11.41	12.16	4.12	5.39	11.1	4.05	7.14	7.73	8.11	3.08	8.23	8.72	7.06	27.46
CO	10.03	11.3	8.18	6.92	0.32	2.35	9.03	2.27	0.24	0.48	0.59	0.23	0.06	0.66	1.16	1.11	1.43	2.64	1.29	1.16	
Ni	13.92	13.01	11.55	10.24	1.54	3.18	10.93	3.21	1.8	1.21	3.8	1.89	1.09	1.21	3.14	4.3	2.68	3.77	3.54	2.98	10.5
Rb	52.8	70.5	66.83	66.94	344	224	58.5	220	210	186	180	205	244	367	409	111	169	239	105	129	104
Sr	238.8	242.6	294.2	264.5	11.79	60.7	189.7	92.51	41.95	17.78	30.8	49.33	22.45	7.28	6.81	47.46	34.23	45.7	123.3	100.3	50.44
Zr	262.5	177.5	48.33	162.7	110.4	203.5	141	183.6	83.7	165	166	129	142	131.4	98.41	303.8	113	138.2	552.2	226.8	192.3
V	78.21	83.11	46.52	37.65	5.82	13.26	81.76	14.24	2.69	14.73	3.6	4.52	2.69	1.56	1.69	4.04	4.6	8.4	23.03	15.39	7.18
Cu	24.08	44.16	19.42	21.13	4.24	5.9	14.94	4.55	11.82	8.93	5.45	6.53	6.25	5.17	4.96	7.39	5.56	8.85	16.98	16.95	15.57
Nb	7.42	5.43	5.33	4.61	16.5	14.87	9.63	12.3	8.98	12.76	10.32	10.76	15.27	20.45	14.95	10.81	4.89	11.9	13.52	9.57	9.01
Th	7.49	6.19	7.08	6.82	47.55	29.28	6.3	28.03	20.31	20.19	30.67	20.18	22.98	52.31	43.73	8.94	11.03	23.64	9.28	11.69	0.72
Ba	508.5	443.7	336.3	449.1	264.5	171.1	649.2	261	49.85	44.25	152.4	174.7	147	23.62	8.44	636	230.6	168.4	607.4	760.6	717.8

续表(Continued)

序次	样品号	1		2		3		4		5		6		7		8					
		P <sub>0-5</sub>	P <sub>0-10-5</sub>	P <sub>0-11-10</sub>	P <sub>0-13</sub>	P <sub>6-4</sub>	P <sub>7-7-6</sub>	P <sub>9-13-1</sub>	P <sub>6-20-2</sub>	P <sub>11-3-1</sub>	P <sub>11-5</sub>	P <sub>6-13-2</sub>	P <sub>7-9-4</sub>	P <sub>6-22-4</sub>	P <sub>7-27-4</sub>	P <sub>6-12-1</sub>	P <sub>7-19-1</sub>	P <sub>7-27-8</sub>	P <sub>0-1-1</sub>	P <sub>0-2-5</sub>	P <sub>0-6-6</sub>
Ta	0.55	0.47	0.71	0.44	3	1.46	0.66	1.48	0.96	1.04	1.07	1.36	2.01	3.13	2.11	0.88	0.64	1.68	0.91	0.77	0.72
Hf	8.29	5.62	2.21	5.34	7.34	8.9	4.16	8.02	5.2	8.3	7.66	6.1	7.82	9.35	6.09	9.76	4.34	6.26	14.26	7.27	6.35
Rb/Sr	0.22	0.29	0.23	0.25	29.17	3.71	0.31	2.38	5.02	10.4	5.86	4.16	10.8	50.4	60.2	2.36	4.96	5.24	0.86	1.29	2.07
Ba/Sr	2.13	1.83	1.14	1.7	2.24	2.82	1.19	2.49	4.95	3.54	6.55	1.78	1.24	13.4	6.74	3.68	4.93	7.58	14.23		
Zn/Hf	31.68	31.59	21.85	30.46	15.04	22.86	34.08	22.88	16.09	19.89	21.71	21.29	18.15	14.06	16.16	31.14	26.02	22.09	38.72	31.2	30.28
Ia	20.11	15.45	7.19	16.96	14.19	39.86	10.09	31.85	11.46	32.28	32.32	37.24	18.01	20.9	15.92	28.97	18.94	31.3	29.56	32.7	28.74
Ce	45.73	33.82	14.09	34.79	41.64	88.88	48.5	71.54	26.88	77.62	87.17	79.61	54.2	55.68	47.98	76.56	44.66	65.2	71.47	79.38	65.15
Pr	5.67	3.98	1.84	3.89	5.42	10.53	6.65	8.4	3.55	8.94	8.7	9.89	5.26	7.37	6.5	8.61	5.29	8.47	8.83	8.92	8.14
Nd	25.62	17.55	7.47	16.12	24.06	41.83	30.06	33.91	15.6	37.86	35.15	40.35	21.63	31.63	27.08	34.08	20.51	32.6	38.3	36.32	33.52
Sm	5.87	3.81	1.75	3.06	7.24	8.88	7.91	7.39	3.62	8.31	7.7	8.69	4.97	9	8.1	7.27	4.19	7.19	8.78	7.78	7.39
Eu	1.12	0.86	0.66	0.8	0.068	0.38	1.53	0.51	0.07	0.14	0.3	0.33	0.03	0.35	0.06	0.74	0.31	0.32	1.52	0.85	0.68
Gd	6.5	4.12	1.92	2.97	8.82	9.19	8.79	7.76	3.69	8.47	7.89	9.12	5.05	10.65	8.96	7.2	4.15	7.27	9.41	7.81	7.52
Tb	1.13	0.73	0.33	0.52	1.81	1.59	1.53	1.36	0.73	1.39	1.42	1.56	0.97	2.07	1.82	1.32	0.71	1.32	1.58	1.3	1.24
Dy	6.94	4.3	2.15	2.89	12.71	10	9.76	8.64	4.61	8.28	8.93	9.82	6.26	14.2	12.43	8.67	4.38	8.42	9.93	8.09	7.78
Ho	1.39	0.83	0.45	0.53	2.79	2.03	1.93	1.77	0.97	1.57	1.82	2	1.29	3.13	2.64	1.74	0.84	1.7	1.97	1.61	1.52
Er	4.01	2.51	1.35	1.64	8.95	6.23	5.58	5.39	3.222	4.51	5.47	5.91	4.15	10.1	8.71	5.37	2.54	5.35	5.79	4.82	4.52
Tm	0.54	0.33	0.22	0.21	1.43	0.94	0.82	0.8	0.51	0.62	0.78	0.85	0.65	1.63	1.47	0.83	0.38	0.86	0.89	0.74	0.66
Yb	3.8	2.53	1.52	1.81	9.5	6.26	5.11	5.35	3.93	4.29	5.15	5.66	4.73	10.97	10.03	5.39	2.5	5.83	5.86	4.92	4.3
Lu	0.56	0.358	0.252	0.254	1.496	0.963	0.775	0.828	0.602	0.613	0.768	0.863	0.713	1.76	1.519	0.824	0.36	0.86	0.921	0.731	0.658
Y	41.57	26.06	13.19	17.82	85.66	63.05	55.01	54.22	27.52	44.08	52.45	60.48	39.45	97.82	79.96	48.29	22.41	49.3	56.06	42.77	42.59
$\Sigma$ REE	154.7	84.3	40.99	86.21	138.6	226.6	147.3	184.7	78.87	194.3	202.8	211.1	127.4	177.4	151.7	186.8	109.4	176	194.1	195.3	171.2
$\Sigma$ L	132.9	69.7	33.03	75.63	92.62	190.4	113.8	153.6	61.19	165.2	171.3	176.1	104.3	124.6	105.7	156.2	93.92	145	158.5	166	143.6
$\Sigma$ H	21.8	14.6	7.96	10.58	46.02	36.26	33.54	31.09	17.68	29.15	31.47	34.94	23.12	52.78	46.06	30.52	15.52	30.8	35.63	29.3	27.57
L/H	6.1	3.56	4.14	7.15	2.01	5.25	3.39	4.94	3.46	5.67	5.44	5.04	4.51	2.36	2.29	5.12	6.05	4.72	4.45	5.66	5.21
(La/Yb) <sub>n</sub>	3.14	7.92	2.8	3.78	0.89	3.78	2.22	3.35	1.73	4.46	3.72	3.9	2.26	1.13	0.94	3.19	4.5	3.18	2.99	3.94	3.96
(Ce/Yb) <sub>n</sub>	2.43	0.96	1.87	3.87	0.89	2.87	1.92	2.7	1.38	3.65	3.42	2.84	2.31	1.03	0.97	2.87	3.61	2.26	3.26	3.06	
(La/Sm) <sub>n</sub>	2.14	3.24	2.57	3.46	1.22	2.8	1.51	2.69	1.98	2.43	2.62	2.68	1.45	1.23	2.49	2.82	2.72	2.1	2.62	2.43	
(Gd/Yb) <sub>n</sub>	1.05	1.58	0.77	1	0.57	0.9	1.05	0.89	0.58	1.21	0.94	0.99	0.65	0.6	0.55	0.82	1.02	0.76	0.98	0.97	1.07
Sm/Nd	0.23	0.26	0.23	0.19	0.3	0.21	0.26	0.22	0.23	0.22	0.22	0.23	0.28	0.3	0.21	0.22	0.2	0.23	0.21	0.22	
$\delta$ Eu	0.61	0.62	1.22	0.89	0.03	0.14	0.62	0.23	0.07	0.06	0.13	0.13	0.14	0.01	0.03	0.34	0.25	0.15	0.56	0.36	0.16

主元素含量单位 % 微量元素、稀土元素含量单位 ‰.

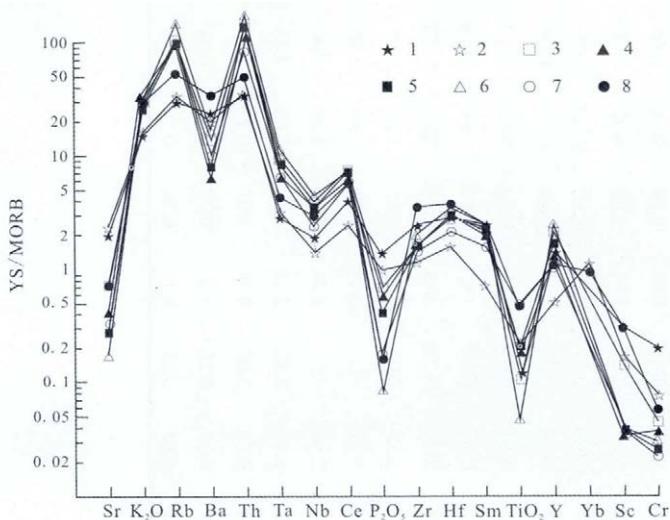


图 1 微量元素蛛网图

(据 Pearce, 1982)

Fig. 1 Spider diagram of trace elements  
(after Pearce, 1982)

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)

稀土元素总量自早至晚有逐渐增加的趋势,从各序次平均含量来看,第一序次(119.5)和第二序次(79.36)都低于地壳中的平均丰度(183.48),第七序次与地壳中的平均丰度接近。其他序次均高于地壳平均值。

LREE/HREE 比值:石炭纪混源序列岩石由第一至第八序次,LREE/HREE 比值的平均值分别为 4.83、5.65、3.55、4.68、5.0、3.25、7.89、5.10,此参数在一定程度上反映了稀土元素的分异程度。

轻稀土元素分馏( $\text{La}/\text{Sm}$ )<sub>N</sub>比值越大表明分馏程度越好,轻稀土越富集。石炭纪混源序列由第一至第八序次( $\text{La}/\text{Sm}$ )<sub>N</sub>平均值分别为 2.69、3.01、1.845、2.366、2.521、1.723、3.248、2.386,皆大于 1,均属轻稀土富集型,具有较强的分馏作用,说明石炭纪混源序列主要来自幔源物质,很可能有壳源的混合作用,主体具 I 型花岗岩特征<sup>[2]</sup>。

( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub>比值:石炭纪混源序列由第一至第八序次( $\text{La}/\text{Yb}$ )<sub>N</sub>平均值分别为 5.53、4.17、2.293、3.241、3.294、1.754、6.03、3.632,比值小于 20,形成环境与岛弧相似,其源岩为与地幔作用有关或地壳成熟度较低的下地壳岩石。

岩浆分异度  $\delta\text{Eu}$  值:石炭纪混源序列由第一至第八序次  $\delta\text{Eu}$  平均值分别为 0.62、1.05、0.26、0.12、0.13、

0.13、0.15、0.41,除了第二序次接近 1 之外,其他序次均明显小于 1,即除了第二序次  $\delta\text{Eu}$  负异常不明显之外,其他序次  $\delta\text{Eu}$  负异常均十分明显。同样,在稀土配分曲线图(图 2)上,Eu 呈“V”谷状。前人研究表明  $\delta\text{Eu}$  的值愈小,亏损愈强烈,岩浆分异程度也就愈高。

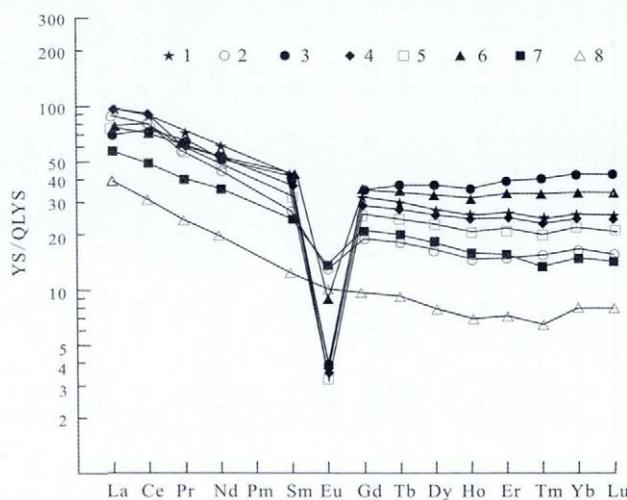


图 2 石炭纪混源序列稀土配分曲线图

(据 Coryell, 1963)

Fig. 2 REE distribution patterns of the Carboniferous mixed source sequence rare earth  
(after Coryell, 1963)

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)

### 3 花岗岩的形成环境和成因探讨

#### 3.1 成岩压力及深度

克孜勒扎依劳岩基中各序次的岩石均为粒状结构或似斑状粒状结构,并且似斑状结构之岩石斑晶亦为钾长石、斜长石和石英。因此,在这些岩石中主要造岩矿物可以视为基本同时结晶的(仅有第八序次可以视为二期结构除外)。将岩石化学成分计算出的标准矿物<sup>①</sup>投到 Q-Ab-Or-H<sub>2</sub>O 相图(图 3)中,大致估算出,第一序次形成压力为 0.53 GPa 左右,即形成深度约为 19.3 km 左右;第二序次形成压力为 0.54 GPa,相当于 19.6 km;第三序次形成压力为 0.53 GPa,相当于 19.3 km;第四序次形成压力为 0.5 GPa,相当于 18 km;第五序次形成压力为 0.49 GPa,相当于 17.8 km;第六序次形成压力 0.28 GPa,相当于 10.2 km;第七序次形成压力为 0.1 GPa,相当于 3.6 km;第八序次形成压力为 0.05 GPa,相当于 1.8 km。总地来看,较早序次形成的

<sup>①</sup>于海峰,等.新疆博乐市阿拉山口西一带 1:5 万区域地质矿产调查报告 2008—2010.辽宁省地质勘查院.

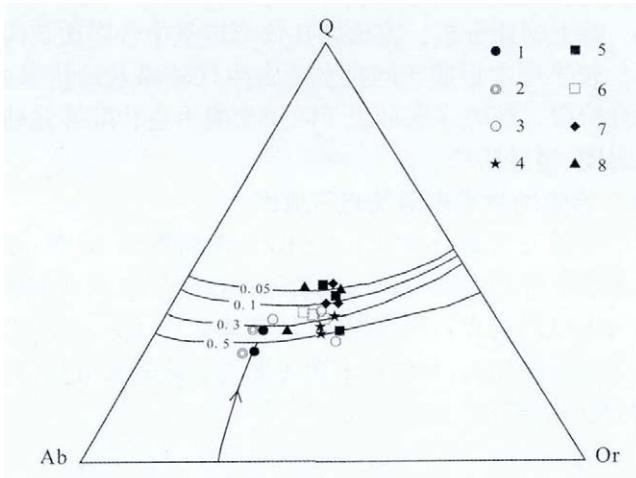


图3 Q-Ab-Or-H<sub>2</sub>O 关系图解  
(据 Tuttle 等, 1958)

Fig. 3 Q-Ab-Or-H<sub>2</sub>O relationship diagram  
(after Tuttle et al., 1958)

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)

深度较深 较晚序次形成的深度较浅. 第八序次就位深度只有 1.8 km ,与其结构和岩性完全对应,该序次为肉红色花岗斑岩.

总地来看,由第一序次至第八序次侵位越来越浅,表明地壳在逐渐抬升,此时正是阿尔套晚古生代陆缘盆地聚合-碰撞抬升时期. 这一特点与西天山构造带整体演化特征完全吻合.

### 3.2 岩体形成温度

克孜勒扎依劳岩基中各序次岩石化学成分计算出的 CIPW 标准矿物含量<sup>①</sup>投到 Q-Or-Ab-H<sub>2</sub>O 体系( $P_{H_2O}=0.5$  GPa)的两个投影图(图 4)上,可以估算出,第一序次形成温度为 650~720 °C, 第二序次形成温度为 680~820 °C, 第三序次形成温度为 650~680 °C, 第四序次形成温度为 665~675 °C, 第五序次形成温度为 655~685 °C, 第六序次形成温度为 652~672 °C, 第七序次形成温度为 652~685 °C, 第八序次形成温度为 650~660 °C.

### 3.3 构造环境分析

克孜勒扎依劳岩基中各序次的化学成分在 FAM 图解(图 5)中的投影表明,较早序次花岗岩多投到活动陆缘区,较晚序次花岗岩多投到同碰撞区.

克孜勒扎依劳岩基中各序次微量元素在 Rb-Hf-Ta 图解(图 6)上,多落于火山弧花岗岩区,有少部分点投到碰撞后区和同碰撞区.

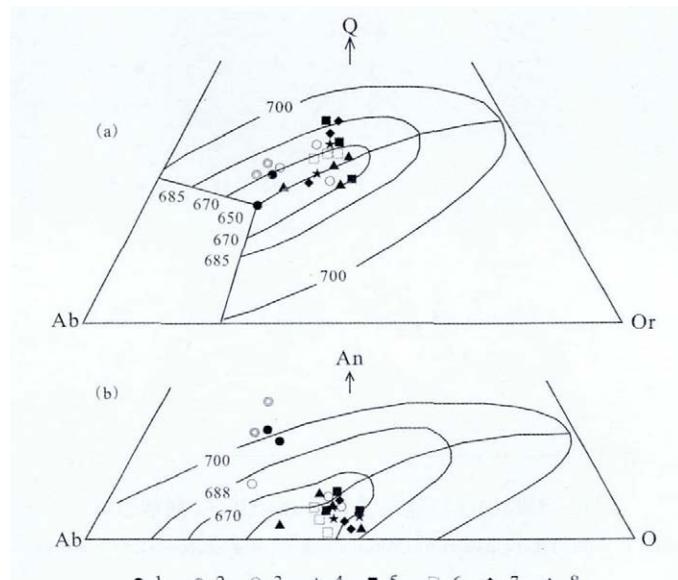


图4 Q-Or-An-H<sub>2</sub>O 体系

(据 Twinkler, 1967)

Fig. 4 Q-Or-An-H<sub>2</sub>O system  
(after Twinkler, 1967)

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)  $P_{H_2O}=0.5$  GPa

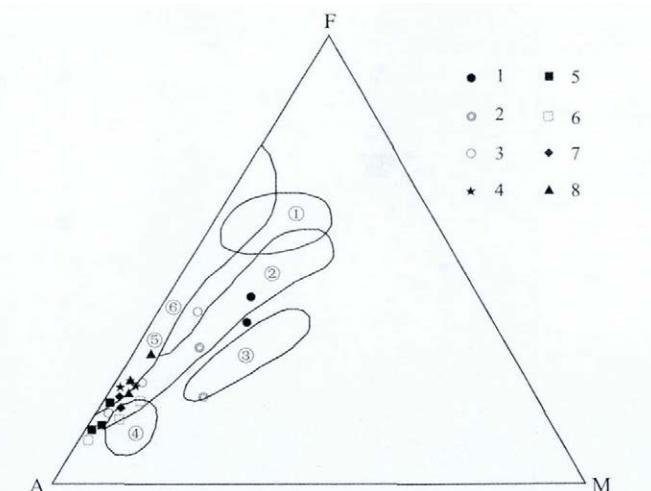


图5 F-A-M 图解

(据 Bowden 等, 1982)

Fig. 5 F-A-M diagram  
(after Bowden et al., 1982)

①—幔源(mantle source); ②—I型(活动陆缘)(I-type, active continental margin); ③—I型(碰撞隆起)(I-type, collision uplift); ④—S型(同碰撞)(S-type, syn-collision); ⑤—造山后 A型(post orogenic A-type); ⑥—非造山 A型(non-orogenic A-type); 1—第一序次(the 1st sequence); 2—第二序次(the 2nd sequence); 3—第三序次(the 3rd sequence); 4—第四序次(the 4th sequence); 5—第五序次(the 5th sequence); 6—第六序次(the 6th sequence); 7—第七序次(the 7th sequence); 8—第八序次(the 8th sequence)

<sup>①</sup>于海峰 等. 新疆博乐市阿拉山口西一带 1:5 万区域地质矿产调查报告 2008—2010. 辽宁省地质勘查院.

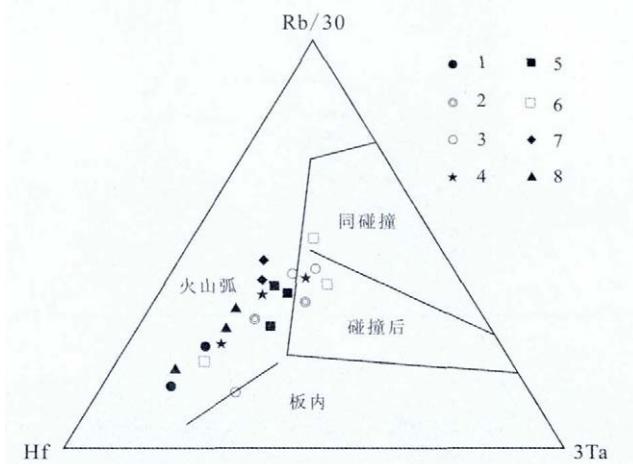


图 6 不同构造环境花岗岩的 Rb-Hf-Ta 判别图解

Fig. 6 Rb-Hf-Ta discrimination diagram of granites with different tectonic environments

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)

克孜勒扎依劳岩基各序次岩石相关元素在 Rb-(Yb+Nb) 图解(图 7)上 ,多数点投到火山弧区 ,还有部分点投到同碰撞区 .

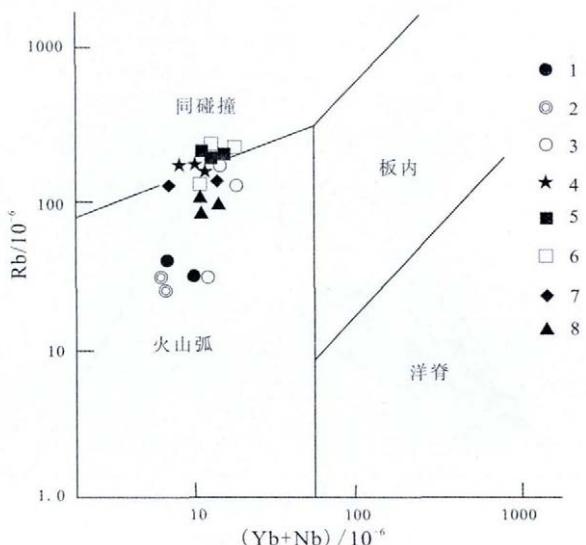


图 7 Rb-(Yb+Nb) 图解

(据 Pearce 等, 1984)

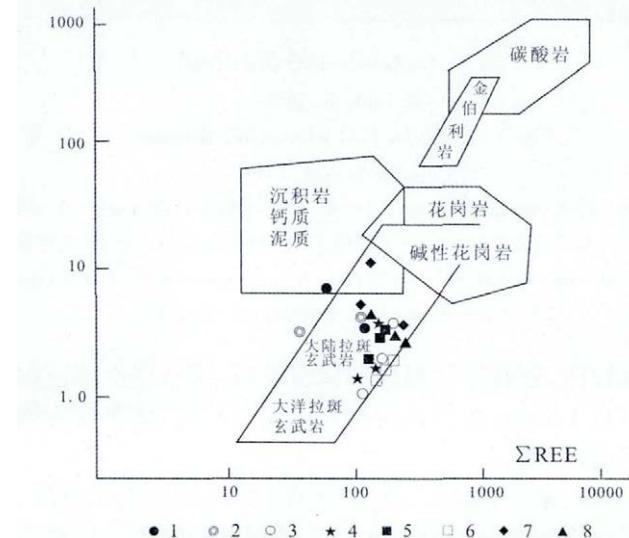
Fig. 7 Rb-(Yb + Nb) diagram  
(after Pearce et al., 1984)

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)

综上所述分析 , 克孜勒扎依劳岩基中各序次花岗岩 , 较早序次形成于阿拉套晚古生代陆缘盆地拉张 - 聚合阶段 , 较晚序次形成于阿拉套晚古生代陆缘盆地之封闭 - 碰撞阶段 .

### 3.4 岩浆的物质来源及岩石成因

在稀土元素  $(La/Yb)_N - \Sigma REE$  图解<sup>①</sup>(图 8) 中 , 绝大多数点投到大陆拉斑玄武岩区 , 仅个别点投到沉积岩与大拉斑玄武岩的叠加区 . 从整体来看 , 除个别序次有壳源物质加入 , 其物质来源主要为玄武岩浆分异 , 具 I 型花岗岩特征 .

图 8  $(La/Yb)_N - \Sigma REE$  图解

(据 C·J·阿利格里等, 1974)

Fig. 8  $(La/Yb)_N - \Sigma REE$  diagram  
(after C. J. Alighieri et al., 1974)

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)

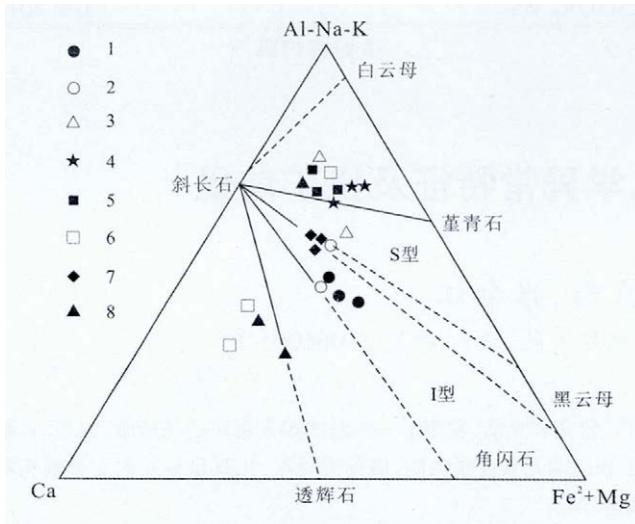
克孜勒扎依劳岩基中各序次岩石化学成分投到  $(Al-Na-K)-Ca-(Fe^{2+}+Mg)$  图解<sup>①</sup>(图 9) 中 , 大部分点落在 I 型花岗岩区 , 另一部分点落在 S 型花岗岩区 .

综上所述 , 克孜勒扎依劳岩基 , 以 I 型为主 , 仅是个别序次有壳源物质混入 .

### 4 结语

通过以上分析 , 可以看出位于阿拉山口西侧克孜勒扎依劳岩基中各序次花岗岩具有如下成因演化特征 :

<sup>①</sup>于海峰, 等. 新疆博乐市阿拉山口西一带 1:5 万区域地质矿产调查报告 2008—2010. 辽宁省地质勘查院.

图9 (Al-Na-K)-Ca-(Fe<sup>2+</sup>Mg)图解

(据 R. Hine 等, 1978)

Fig. 9 (Al-Na-K)-Ca-(Fe<sup>2+</sup>+Mg) diagram  
(after R. Hine et al., 1978)

1—第一序次(the 1st sequence) 2—第二序次(the 2nd sequence) 3—第三序次(the 3rd sequence) 4—第四序次(the 4th sequence) 5—第五序次(the 5th sequence) 6—第六序次(the 6th sequence) 7—第七序次(the 7th sequence) 8—第八序次(the 8th sequence)

1)自第一序次至第八序次,侵位越来越浅.这一特点与西天山构造带整体在逐渐抬升相吻合.

2)物质来源主要为玄武岩浆分异,仅仅是个别序

次有壳源物质加入.

3)以 I 型为主,部分序次由于有壳源物质的加入而显 S 型特征.

4)较早序次形成于阿拉套晚古生代陆缘盆地之拉张-聚合阶段,较晚序次形成于阿拉套晚古生代陆缘盆地之闭合-碰撞阶段.

致谢: 在野外地质调查期间得到辽宁省地质勘查院新疆项目组同仁的鼎力相助,在此表示衷心感谢!

### 参考文献:

- [1] 梁有为,于海峰,王福君,等. 阿拉山口西侧侵入岩的解体及克孜勒扎依劳大岩基就位机制分析[J]. 地质与资源, 2011, 20(2): 149—154.
- [2] 高秉章, 洪大为, 郑基俭, 等. 花岗岩类区 1:5 万区域地质填图方法指南[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 94—121.
- [3] 董连慧, 李卫东, 张良臣. 新疆大地构造单元划分及其特征[A]// 第 6 届新疆天山地质矿产资源学术会议讨论会论文集. 乌鲁木齐: 中国青少年出版社, 2008: 27—32.
- [4] 肖序常, 何国琦, 成守德, 等. 中国新疆及邻区大地构造图[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [5] 新疆维吾尔自治区地质矿产局. 新疆维吾尔自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 488—491.
- [6] 李永军, 杨高学, 郭文杰, 等. 西天山阿吾拉勒阔尔库岩基的解体及地质意义[J]. 新疆地质, 2007, 25(3): 233—236.
- [7] 杨高学, 周继兵, 栾新东, 等. 西天山阿吾拉勒阔尔库岩基解体的地球化学证据及意义[J]. 新疆地质, 2008, 26(2): 129—132.

(上接第 198 页 /Continued from Page 198)

### 参考文献:

- [1] 聂振声. 本溪太子河流域早寒武世馒头期岩相古地理特征与石膏普查[J]. 辽宁地质学报, 1984(1): 69—80.
- [2] 丁杰. 辽西早寒武世老庄户期岩相古地理及其地球化学特征[J]. 辽宁地质, 1986(1): 23—34.
- [3] 宋天锐. 古地震记录与岩相古地理[J]. 沉积学报, 2009(5): 872—879.
- [4] 辽宁省地质矿产局. 辽宁省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 1—856.
- [5] 高振家, 陈克强. 新疆的南华系及我国南华系的几个地质问题[J]. 地质调查与研究, 2003, 26(1): 8—14.
- [6] 曲洪祥, 鲍庆忠, 董万德, 等. 辽宁南华系的划分及其特征[J]. 地质与资源, 2011, 20(6): 430—433.