

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2023.04.02

# 南蒙古地区晚古生代岩浆岩的地球化学特征

席宏<sup>1</sup>, 李俊建<sup>2\*</sup>, 李华明<sup>1</sup>, 付超<sup>2</sup>, 党智财<sup>2</sup>, 唐文龙<sup>2</sup>

(1.核工业二〇八大队, 内蒙古包头 014010;

2.中国地质调查局天津地质调查中心(华北地质科技创新中心), 天津 300170)

**摘要:**南蒙古晚古生代华力西造山带在中亚造山带中有着极其重要的地位,但受各种因素制约,其碰撞形成时间问题一直存在较大争议。本文收集利用前人的有关岩石地球化学资料,初步总结了南蒙古地区晚古生代岩浆岩的地球化学特征,提出该区泥盆纪开始形成岛弧,早石炭世仍以岛弧为主,但出现了陆缘弧,而晚石炭世则更多的代表为板内岩浆作用,此时南蒙古地区与俯冲相关的岛弧岩浆作用基本停止并转入板内构造阶段,二叠纪时期板内特征更加明显,这时弧火山活动已经停止,这与中亚造山带进入拼合阶段相关,为板内构造环境。如此本文可为南蒙古地区晚古生代构造演化研究提供一些有意义的参考。

**关键词:**岩浆岩;地球化学;晚古生代;南蒙古地区

**中图分类号:** P588.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2097-0188(2023)04-0010-12

蒙古国北部为加里东造山带,南部以华力西造山带为主<sup>[1-3]</sup>。南蒙古地区晚古生代华力西造山带在中亚造山带中具有极为重要的地位<sup>[1]</sup>,形成了一系列岛弧、陆缘弧及与之相伴生的增生楔、弧前和弧后盆地<sup>[3-7]</sup>。前人多认为晚古生代大洋将华北、塔里木和南蒙古地块在地理上分隔开,并在二叠纪时期洋盆闭合形成了准噶尔-贺根山缝合带<sup>[4,7]</sup>;但也有人认为大洋是在中古生代发生闭合并进入陆内造山阶段<sup>[8]</sup>;近年来,吕洪波等提出其碰撞时间由晚古生代推迟到晚白垩世<sup>[9]</sup>。问题的关键是洋壳俯冲形成的岛弧岩浆作用是什么时候开始,又在什么时候结束。本文通过收集分析前人有关南蒙古地区晚古生代侵入岩及火山岩(图1)的地球化学数据,初步总结了该区岩浆岩的地球化学特征,结合区域地质背景,探讨其大地构造演化,以期对南蒙古地区晚古生代的构造演化提供一定约束。

## 1 区域地质背景

华力西造山带处于华北板块、西伯利亚板块与塔里木板块之间,记录了古亚洲洋自显生宙以来俯冲-

增生-碰撞-后碰撞的完整演化历史,不同期次构造事件叠加形成了大量岩浆活动,由此岩浆岩成为了了解南蒙古地区华力西造山带构造演化的关键<sup>[1-11]</sup>。

南蒙古地区泥盆纪侵入岩体多呈东西向线状分布,主要由闪长岩和花岗岩组成,其岩石成分为高、中、低钾的闪长岩到花岗岩以及二长闪长岩到石英正长岩的钾钙碱系列,火山岩主要由玄武岩、安山玄武岩、安山岩和流纹岩组成;石炭纪岩浆活动形成了一些大的火山岩带,其中的侵入岩成分与安山岩和玄武质安山岩组成的火山岩密切相关,早石炭世形成了一些大的花岗岩岩基,如Zambilgekh岩基,具有辉长-闪长-花岗岩的组分,Shuteen杂岩由二长闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩和安山岩组成,晚石炭世侵入岩以辉长闪长岩、二长岩、闪长岩、斜长正长岩和花岗闪长岩为代表,其中主要为高钾钙碱系列花岗岩类岩石;二叠纪岩石主要为环状碱性侵入岩,在侵入岩周围主要分布有火山岩-钠闪碱流岩和碱流岩,其中研究程度最高的二叠纪岩体是产在上覆有上古生界火山沉积物的Khanbodg侵入岩体,该岩体由第一阶段侵入的碱性花岗岩和第二阶段细粒花岗岩

收稿日期:2023-07-17

资助项目:国家重点研发计划政府间国际科技创新合作重点专项“蒙古晚古生代岩浆活动与铜(金铂银)成矿作用”(2022YFE0119900);中国地质调查局项目“中蒙边界重要成矿带1:100万成矿规律图编制与研究”(1212010561510);“中蒙边界地区重要成矿带成矿规律对比研究”(1212011120330);“华北地区区域成矿规律研究与总结”(DD20221695-30);科技部国际科技合作项目“蒙古东方省铅锌多金属资源潜力评价”(2012DFB20220)

作者简介:席宏(1991-),男,工程师,硕士,主要从事铀矿地质学研究工作,E-mail:easilyxi@163.com; \*通信作者:李俊建(1962-),男,研究员,博士生导师,主要从事区域成矿学研究及矿产勘查工作,E-mail:tjljunjian@163.com。

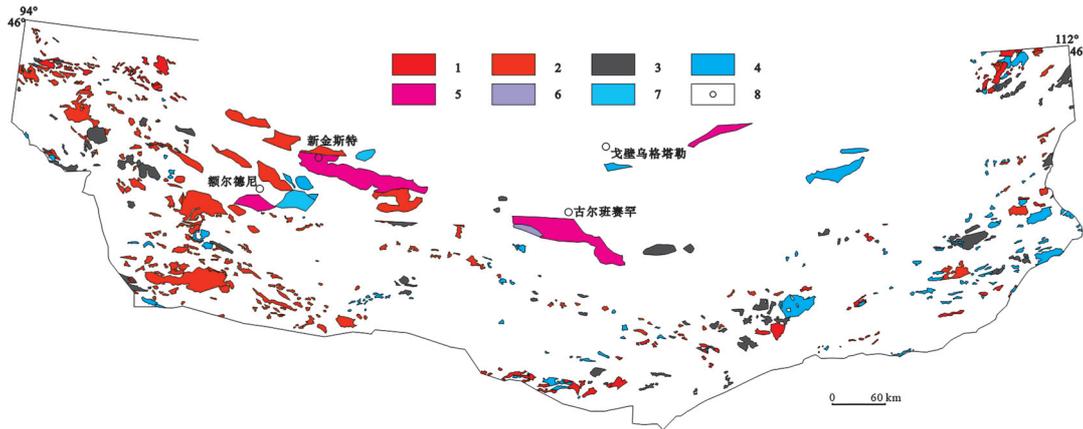


图1 南蒙古地区晚古生代火成岩分布图(据李俊建等,2019;Gerel et al.,1984;2019修改)

Fig.1 Late Paleozoic igneous rock distribution map in Southern Mongolia

1. 泥盆纪侵入岩;2. 早石炭世侵入岩;3. 晚石炭世侵入岩;4. 二叠纪侵入岩;  
5. 泥盆纪火山岩;6. 石炭纪火山岩;7. 二叠纪火山岩;8. 地名

及不同岩脉组成,岩体的北侧为钠闪碱流岩,在碱流岩体核部,变为霓石长英质斑岩、球状斑岩、文像斑岩和细粒的碱性花岗岩<sup>[1-6,11]</sup>。

## 2 泥盆纪岩浆岩

### 2.1 泥盆纪侵入岩

泥盆纪侵入岩体多呈近东西向延伸,零星分布,

规模较小(图1)。侵入岩类主要由辉长岩、闪长岩、二长闪长岩、二长岩、石英长岩、石英二长岩、石英正长岩、花岗闪长岩和花岗岩组成。利用收集到的泥盆纪5个岩体29件岩浆岩的主量元素分析数据(表1)<sup>[6,11]</sup>显示:在TAS岩石分类图解(图2a1)中,泥盆纪侵入岩分别落入了辉长闪长岩、二长闪长岩、二长岩、石英二长岩、花岗闪长岩和花岗岩区内;该期侵

表1 南蒙古地区侵入岩主量元素平均含量(wt%)

Table 1 Average content of major elements of intrusive rocks in Southern Mongolia (wt%)

时代	岩性	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
泥盆纪	花岗岩	72.13	0.28	13.82	1.02	1.30	0.04	0.46	1.41	3.75	4.04	0.09
	花岗闪长岩	65.06	0.56	16.25	2.31	2.73	0.07	2.10	2.91	4.33	2.40	0.18
	石英二长岩	64.50	0.54	16.70	2.68	1.71	0.10	0.87	2.63	4.89	3.57	0.18
	二长闪长岩	50.90	1.56	20.65	3.29	3.89	0.14	3.30	8.95	4.44	1.12	0.12
	二长岩	56.85	0.89	17.87	3.22	2.39	0.07	2.75	5.04	4.80	2.40	0.23
早石炭世	辉长岩	50.92	0.65	16.90	4.00	4.65	0.02	6.24	9.40	2.92	0.97	0.13
	花岗岩	73.67	0.24	13.36	1.12	0.94	0.07	0.47	1.42	4.23	3.45	0.06
	花岗闪长岩	66.76	0.78	14.94	2.08	2.32	0.07	1.91	4.20	3.46	3.06	0.10
	石英二长岩	64.50	0.78	15.36	3.01	1.93	0.08	1.57	1.94	4.67	3.50	0.24
	闪长岩	58.40	0.65	16.98	3.82	3.09	0.07	2.81	5.59	3.82	1.13	0.23
	正长岩	64.27	0.45	15.87	2.26	0.97	0.04	0.88	1.78	5.10	5.11	0.47
	二长闪长岩	51.04	1.10	20.26	5.17	1.82	0.09	4.03	7.98	4.04	1.21	0.36
	二长岩	58.03	0.77	18.48	3.58	2.53	0.08	2.16	4.85	4.33	2.34	0.23
晚石炭世	二长辉长岩	48.48	0.77	19.24	6.00	3.74	0.01	4.83	8.90	3.20	1.75	0.47
	辉长闪长岩	54.02	0.99	16.70	3.93	4.50	0.09	4.69	7.48	3.09	1.12	0.50
	花岗岩	71.86	0.27	14.22	1.08	1.23	0.11	0.66	1.53	3.77	4.04	0.14
	花岗闪长岩	64.97	0.52	15.49	1.82	3.72	0.08	2.73	2.36	3.24	3.08	0.25
	石英二长岩	65.21	0.46	14.92	2.68	2.45	0.07	2.02	3.17	4.59	3.49	0.20
	闪长岩	56.9	0.68	15.04	3.62	5.12	0.19	4.7	6.48	3.46	2.4	0.13
	二长岩	58.03	0.89	18.04	2.56	2.93	0.12	3.37	5.63	4.01	2.77	0.23
	辉长闪长岩	54.00	1.05	17.10	4.44	4.43	0.13	4.36	7.45	3.16	1.36	0.36
二叠纪	辉长岩	52.64	0.68	16.45	3.15	0.69	0.18	6.71	7.2	3.36	1.54	0.22
	花岗岩	73.60	0.23	12.71	1.36	1.24	0.10	0.44	1.21	3.91	4.21	0.14
	花岗闪长岩	66.85	0.60	15.10	2.18	2.16	0.13	1.50	2.59	3.64	3.19	0.45
	石英二长岩	65.17	0.48	15.82	3.19	1.76	0.11	0.83	2.41	4.56	4.17	0.18
	闪长岩	60.36	0.54	17.70	3.32	3.30	0.09	2.24	5.81	4.01	1.59	0.23
二叠纪	二长岩	57.68	1.00	13.75	3.65	1.94	0.06	2.70	4.71	4.60	2.06	0.18
	辉长闪长岩	52.52	0.85	17.70	6.01	1.33	0.06	5.19	9.23	3.67	1.21	0.10

注:原数据来源于Gerel et al., 1984; Lamb., 2001, 以上数据均为平均数据。

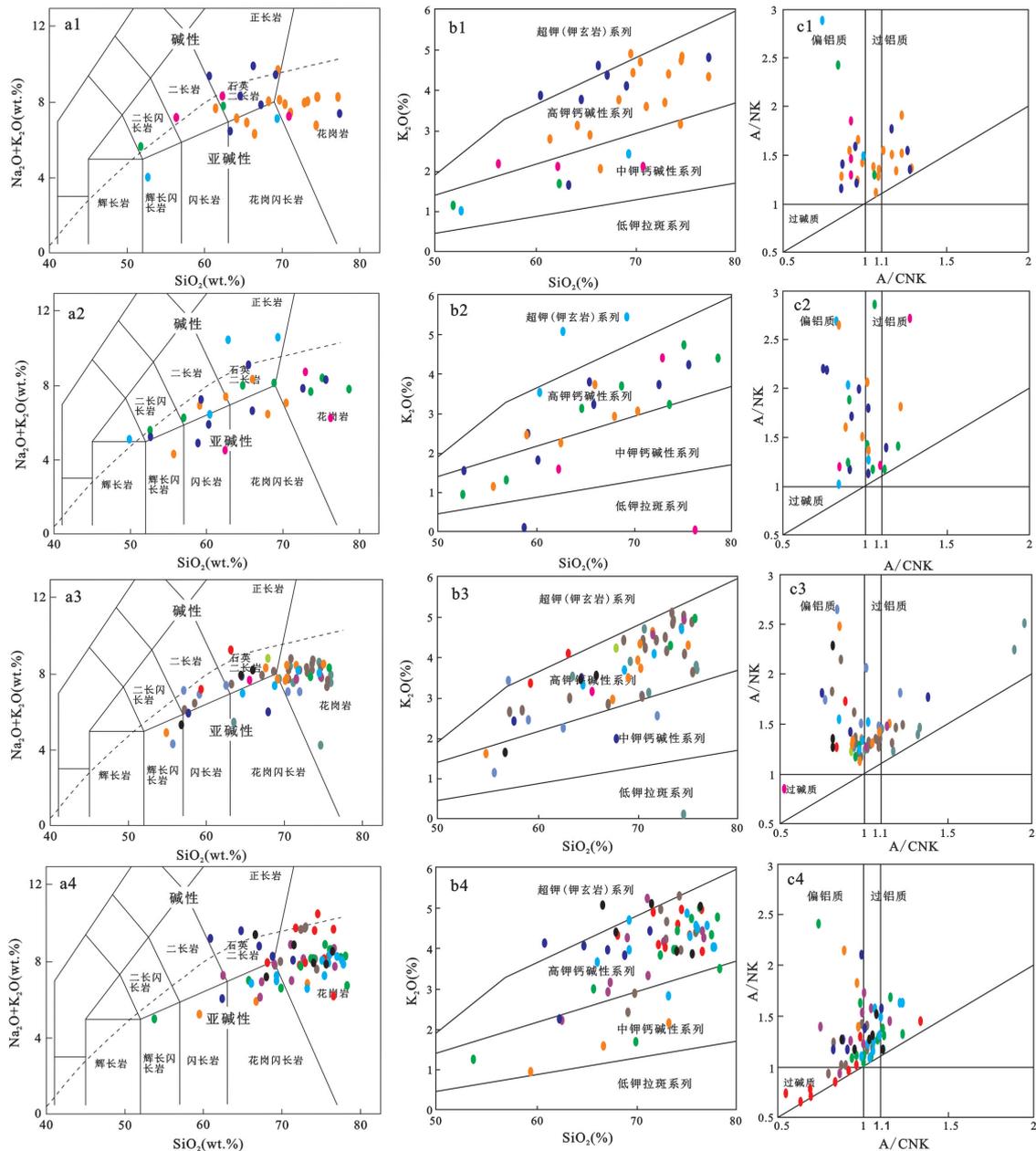


图2 南蒙古地区侵入岩类  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 、 $\text{A/CNK-A/NK}$  图解

Fig.2 Diagram of  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  and  $\text{A/CNK-A/NK}$  of intrusive rocks in southern Mongolia

(a1、b1、c1. 泥盆纪; a2、b2、c2. 早石炭世; a3、b3、c3. 晚石炭世; a4、b4、c4. 二叠纪)  
(底图分别据 Middlemost et al., 1994; 张艳斌等, 2016; 不同颜色代表不同的岩体)

入岩石的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量 (11.85~20.65) wt%, 平均 15.76 wt%;  $\text{CaO}$  含量 (0.3~9.4) wt%, 平均 2.83 wt%;  $\text{MgO}$  含量 (0.3~6.24) wt%, 平均 1.32 wt%;  $\text{TFe}_2\text{O}_3$  含量 (1.16~10.61) wt%, 平均 4.04 wt%。计算结果表明, 岩石分异指数 (DI) 为 32.63~94.96, 多数样品分异指数大于 75, 说明该区泥盆纪侵入岩石的分异程度差别较大, 且多数侵入岩石的分异程度较高。在  $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$  图解 (图 2b1) 中, 投影点大多落在高钾钙碱性系列, 部分点落在中钾钙碱性系列, 少量点落在超钾系列区内。

在  $\text{A/CNK-A/NK}$  图解 (图 2c1) 中, 该区侵入岩石在偏铝质和过铝质区均有分布, 未出现过碱质岩石。

泥盆纪侵入岩体总体上较为富硅、高钾、富碱, 贫铁、镁、钙和钛,  $\text{A/CNK}$  为 0.737~1.287, 在偏铝质和过铝质区内均有分布 (图 2c1)。在  $\text{A/MF-C/MF}$  图解 (图 3a1) 中, 大多泥盆纪岩体的源岩为基性岩, 部分源岩为变沉积岩。在 Patino<sup>[15]</sup> 的花岗岩源岩判别图解 (图 3b1) 中, 大多数泥盆纪岩体落入富含黑云母和角闪石的源岩范围, 与富含沉积岩的壳源岩石相

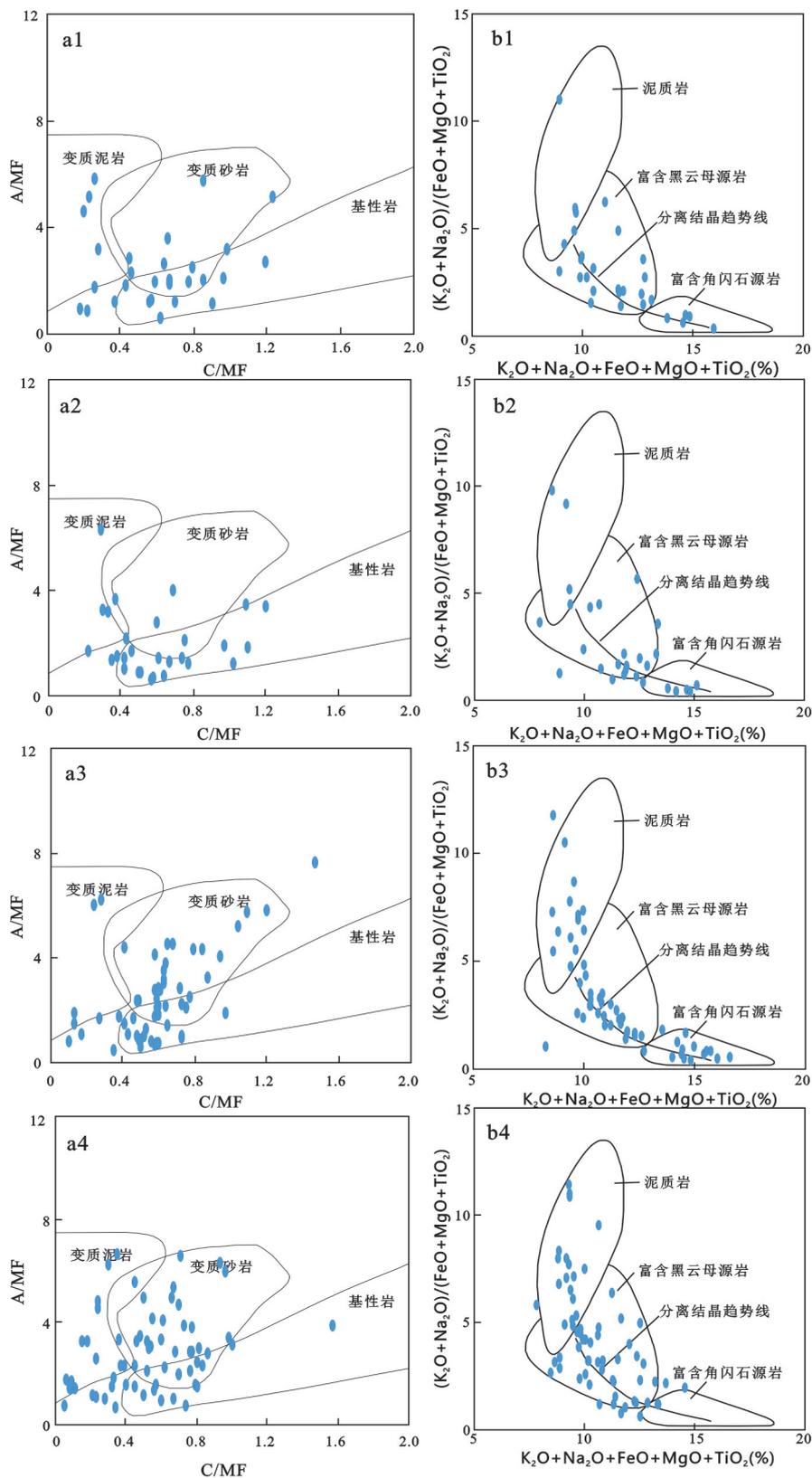


图3 南蒙古地区侵入岩类源岩判别图解

Fig.3 Source rock discrimination diagram of intrusive rocks in southern Mongolia

(a1、b1. 泥盆纪; a2、b2. 早石炭世; a3、b3. 晚石炭世; a4、b4. 二叠纪)

(底图分别据 Xiao Qinghui et al., 2002; Patino., 1999)

比,富含黑云母和角闪石的岩石部分熔融或分离结晶所产生的花岗质熔体( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )/( $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ )值较低,而 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{FeO}+\text{MgO}+\text{TiO}_2$ 值较高,且泥盆纪花岗质源岩的演化与分离结晶趋势线一致,表明南蒙古地区泥盆纪花岗质岩石的源岩为富含黑云母和角闪石的岩石,反映其岩浆源区有着较多幔源岩浆的加入。

在 $R_1$ - $R_2$ 构造判别图解(图4a)中,泥盆纪花岗岩类在板块碰撞前、同碰撞期、碰撞后抬升期均有分布,可能代表的是一种岛弧构造背景。

## 2.2 泥盆纪火山岩

本文收集了南蒙古地区14件泥盆纪火山岩石的地球化学数据<sup>[6]</sup>,利用全岩硅碱分类图(图5a)对其进行了岩石分类,可见泥盆纪火山岩主要为玄武岩、安山玄武岩、安山岩、粗面玄武岩、玄武质粗面安山岩和粗面安山岩。

在 $\text{SiO}_2$ -ALK图解(图6a1)中,7件泥盆纪火山岩样品落入碱性系列,7件样品落入亚碱性系列。在AFM图解(图6b1)中,亚碱性系列岩石属拉斑系列。在 $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 图解(图6c1)中,所有亚碱性样品均投到了中低钾系列范围,因此泥盆纪火山岩主要包括有碱性系列和中低钾拉斑系列。

泥盆纪火山岩的 $\text{SiO}_2$ 含量变化范围较大,为(47.85~57.83) wt%,平均52.3 wt%; $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量(10.22~18.2) wt%,平均15.67 wt%; $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量(10.24~15.110) wt%,平均12.34 wt%; $\text{CaO}$ 含量(2.75~14.79) wt%,平均7.53

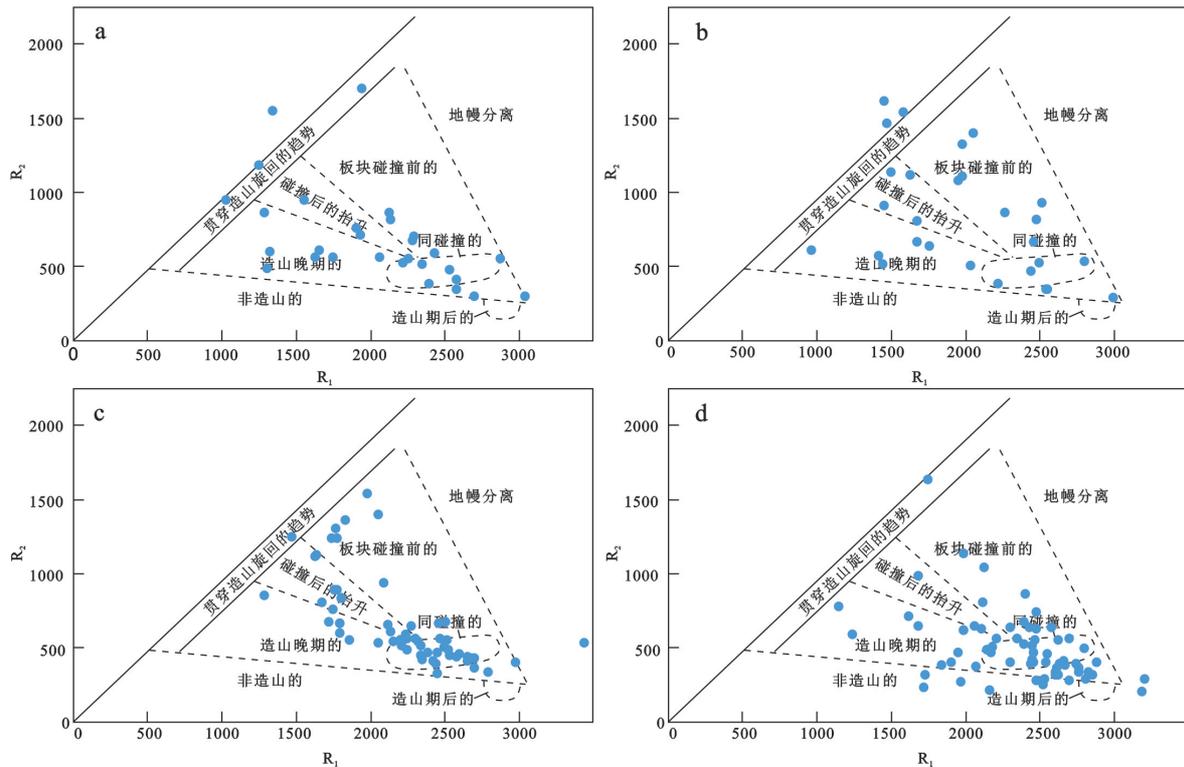


图4 南蒙古地区侵入岩类 $R_1$ - $R_2$ 构造判别图解

Fig.4  $R_1$ - $R_2$  structure discrimination diagram of intrusive rocks in southern Mongolia

a. 泥盆纪; b. 早石炭世; c. 晚石炭世; d. 二叠纪

(底图据 De la Roche., 1980)

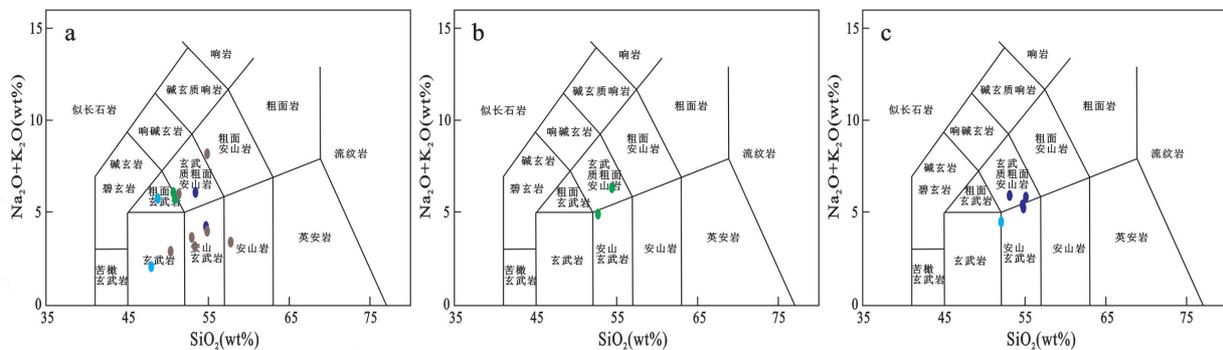


图5 南蒙古地区火山岩类TAS图解

Fig.5 TAS diagram of volcanic rocks in southern Mongolia

(a. 泥盆纪; b. 石炭纪; c. 二叠纪)

(底图据 Le Bas et al., 1986; 不同颜色代表不同的岩体)

wt%;MgO 含量(4.24~8.1)wt%,平均5.81 wt%;K<sub>2</sub>O 含量(0.02~4.34) wt%,平均0.96 wt%;Na<sub>2</sub>O 含量(1.61~6.09) wt%,平均3.87 wt%;TiO<sub>2</sub> 含量(0.34~1.5) wt%,平均1.05 wt%;P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量(0.07~0.54) wt%,平均0.23 wt%;MnO 含量(0.13~0.27) wt%,平均0.19 wt%。

南蒙古泥盆纪火山岩主量元素含量与其它地区相比(表2),同Tonga 岛弧和Ascension 洋岛玄武岩的氧化物含量均较为接近,具有Tonga 岛弧和Ascension 洋岛玄武岩相似的主量元素地球化学特征,可能暗示其

岩浆源区的多样性或形成于相似的大地构造背景中。

采用稳定的不相容或强不相容元素Ti、Zr、Y等及其比值<sup>[6,11]</sup>对玄武安山岩类及安山玄武岩类岩石进行构造环境示踪分析:在Pearce 和Gale Zr/Y-Ti/Y 图中(图7a1),几乎所有泥盆纪样品均落入板缘玄武岩区,只有一件样品落入板内玄武岩区,但也很接近板缘玄武岩区;在Shervais(1982)的V-Ti 图中(图7b1),可分为两类样品,一类落在岛弧拉斑玄武岩区,其V/Ti 比值与汤加岛弧中的基性拉斑玄武岩最为相似;另

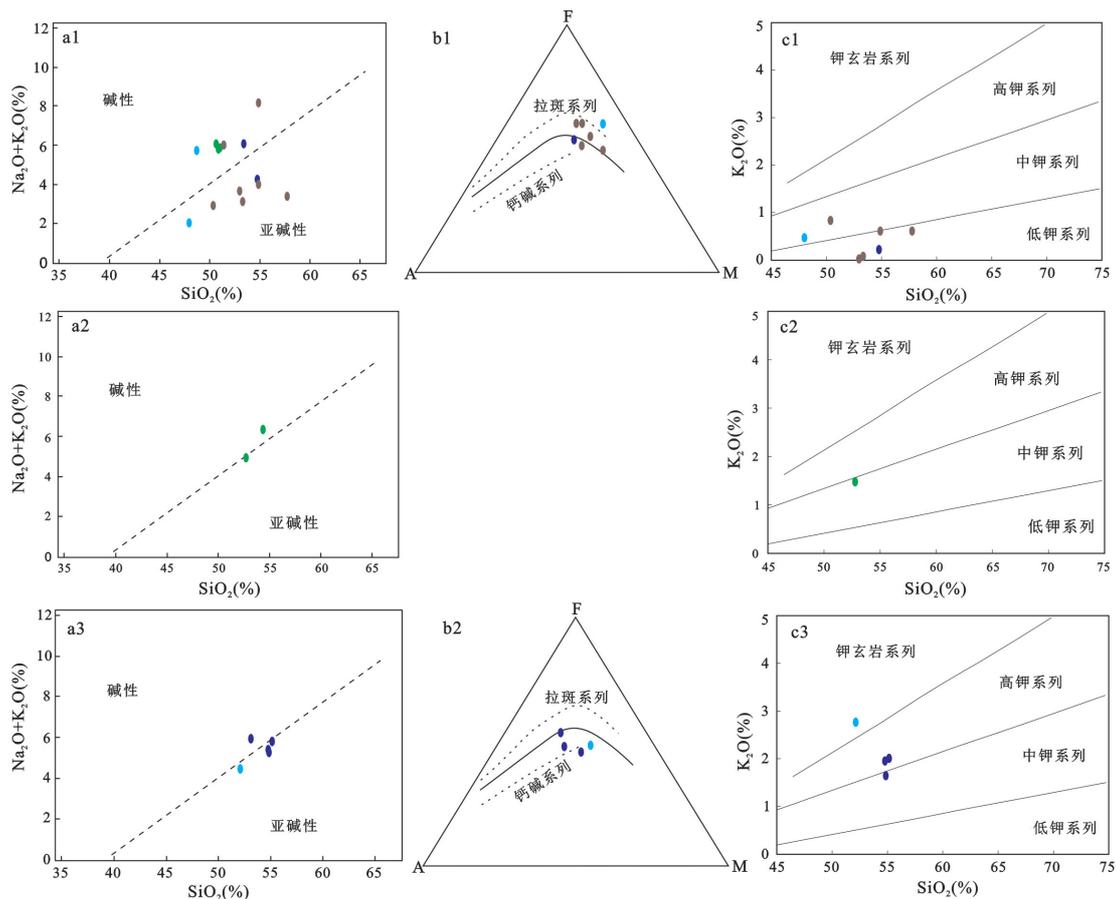


图6 南蒙古地区火山岩类 SiO<sub>2</sub>-ALK, AFM 和 SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O 图解

Fig.6 Diagram of SiO<sub>2</sub>-ALK, AFM and SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O of volcanic rocks in southern Mongolia

a1、b1、c1. 泥盆纪; a2、c2. 石炭纪; a3、b2、c3. 二叠纪

(底图分别据 MacDonal d et al., 1968; Irvine et al., 1971; Rickwood P C., 1989; 不同颜色代表不同的岩体)

表2 南蒙古地区泥盆纪火山岩与其它地区火山岩主量元素对比

Table 2 Comparison of major elements between Devonian volcanic rocks in southern Mongolia and those in other areas

主量元素 (wt%)	泥盆纪火山岩氧 化物含量范围	平均值	大西洋洋中脊 玄武岩	Tonga 岛弧	N-MORB	Ascension 洋岛玄武岩 (Hawaiite)
SiO <sub>2</sub>	47.85 ~ 57.83	52.3	49.2	51.05	49.51	51.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.22 ~ 18.2	15.67	16.1	15.54	16.75	15.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.24 ~ 15.11	12.34	10.2	10	8.05	11.04
CaO	2.75 ~ 14.79	7.53	10.5	10.95	12.5	8.60
MgO	4.24 ~ 8.1	5.81	6.44	7.6	9.74	5.30
Na <sub>2</sub> O	1.61 ~ 6.09	3.87	3.01	2.87	2.18	3.67
K <sub>2</sub> O	0.02 ~ 4.34	0.96	0.14	0.33	0.065	1.36
TiO <sub>2</sub>	0.34 ~ 1.5	1.05	2.03	1.28	--	2.61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07 ~ 0.54	0.23	0.23	0.12	0.095	0.43
MnO	0.13 ~ 0.27	0.19	0.18	0.25	0.14	0.21

注:大西洋洋中脊玄武岩数据引自 Carmichael I.S.E et al., 1974; Tonga 岛弧数据引自 Trevor J. Falloon et al., 2014; N-MORB 数据引自 Presnall DC et al., 1987; Ascension 洋岛玄武岩数据引自 Wilson, 1989.

Mushgai Hudag 地区的泥盆纪样品全部落入洋中脊和弧后盆地区内,表明该区样品具有岛弧玄武岩和 MORB 的共同特征,其弧后盆地背景可以解释岛弧、MORB 和弧后盆地地球化学特征同时出现的现象。以上研究表明泥盆纪时期该区已出现了弧岩浆活动。

### 3 石炭纪岩浆岩

#### 3.1 早石炭世侵入岩

早石炭世岩浆岩主要分布在南蒙古西部,形成了一些大的侵入岩带,具有辉长-闪长岩和花岗岩组

合特征,最具代表性的就是Zambilgekh岩基。本文收集利用早石炭世5个岩体28件样品的岩石化学分析数据(表1)<sup>[6,11]</sup>,在TAS岩石分类图解(图2a2)中,早石炭世侵入岩石分别落入了二长辉长岩、辉长闪长岩、二长闪长岩、二长岩、闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩和花岗岩区,多为亚碱性岩。其岩石化学成分,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量(11.97~23.85)wt%,平均16.06wt%;CaO含量(0.3~8.9)wt%,平均3.73wt%;MgO含量(0.22~5.81)wt%,平均1.85wt%;TF<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量(0.84~9.74)wt%,平均4.82wt%。计算结果表明岩石的分异指数(DI)为38.53~95.47,多数样品的分异指数小于75,说明早石炭世南蒙古地区岩浆分异程度差别较大,花岗质岩浆分异程度较低。在SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解(图2b2)上,投影点大多落入高钾钙碱性系列和中钾钙碱性系列,个别落入超钾系列和低钾拉斑区,其中SiO<sub>2</sub>含量高于65%的样品大多属于高钾钙碱性岩系,部分落在了超钾系列区内,而SiO<sub>2</sub>含量低于65%的样品大多为中钾钙碱性系列,SiO<sub>2</sub>含量与K<sub>2</sub>O含量呈较明显正相关性。在A/CNK-A/NK图解(图2c2)中,本区岩体在偏铝质和过铝质区均有分布,但较泥盆纪花岗岩过铝质样品偏少,偏铝质样品增多,未出现过碱质样品。

本区早石炭世侵入岩体总体富碱,铁、镁、钙和钛较泥盆纪更高,硅含量较泥盆纪更低,A/CNK为0.747~1.268,在偏铝质和过铝质区均有分布。在A/MF-C/MF图解(图3a2)中,多数早石炭世岩体的源岩为基性岩,部分源岩为变沉积岩。在Patino(1999)的花岗岩源岩判别图解(图3b2)中,大多数早石炭世岩体落入富含黑云母和角闪石的源岩范围,与富含沉积岩的壳源岩石相比,富含黑云母和角闪石的岩石部分熔融或分离结晶所产生的花岗质熔体(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/(FeO+MgO+TiO<sub>2</sub>)值较低,而Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+FeO+MgO+TiO<sub>2</sub>值较高,且其花岗质源岩的演化与分离结晶趋势线一致,表明南蒙古地区早石炭世花岗类岩石的源岩为富含黑云母和角闪石的源岩,与泥盆纪的花岗岩类相比,早石炭世的源岩更为基性,反映的是其岩浆源区有着更多幔源岩浆的加入。

在R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub>构造判别图解(图4b)中,早石炭世花岗岩类在板块碰撞前、同碰撞期和碰撞后抬升期均有分布,代表的是一种岛弧或弧后盆地构造背景。

### 3.2 晚石炭世侵入岩

晚石炭世侵入岩主要为辉长岩-二长岩-斜长正

长岩系列,分布于蒙古南戈壁省的火山凹陷边部及大断裂带中,以长形的岩体或岩墙出现,东西走向,部分长可达50 km,宽1~10 km。岩性为辉长闪长岩、二长岩、闪长岩、斜长正长岩和花岗闪长岩,其中以辉长闪长岩和二长岩为主,呈斑状及细粒状结构,含有捕虏体,偶见次火山岩特征。其它晚石炭世侵入岩以长英质花岗质岩石为主,岩性主要有花岗闪长岩,黑云角闪花岗岩和黑云母花岗岩。

利用收集的晚石炭世12个岩体59件样品岩石化学分析数据(表1)<sup>[6,11]</sup>,在TAS岩石分类图解(图2a3)中,晚石炭世侵入岩分别落入辉长闪长岩、二长岩、石英二长岩、花岗闪长岩和花岗岩区,其中以花岗岩、石英二长岩和二长岩为主,几乎全部为亚碱性岩,只有两个样品落入碱性岩区。晚石炭世侵入岩体Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为(9.09~20.45)wt%,平均14.99wt%;CaO含量(0.3~7.48)wt%,平均2.68wt%;MgO含量(0.08~6.71)wt%,平均1.6wt%;TF<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量(0.75~11.46)wt%,平均3.71wt%。CIPW计算结果表明,全部样品均含有石英,且不含霞石与橄榄石。分异指数(DI)为42.37~93.57,多数样品分异指数大于75,说明晚石炭世南蒙古地区岩浆分异程度差别较大,花岗质岩浆分异程度较高。在SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O图解(图2b3)中,投影点大多落入高钾钙碱性系列,部分落入中钾钙碱性系列,个别落入超钾系列和低钾拉斑区内,SiO<sub>2</sub>含量与K<sub>2</sub>O含量呈较明显正相关性。在A/CNK-A/NK图解(图2c3)中,岩石在偏铝质和过铝质区均有分布,但偏铝质样品明显多于过铝质,且有一个样品为过碱质。

晚石炭世侵入岩体总体富硅、富钾、富碱,而铁、镁、钙和钛较早石炭世低,A/CNK为0.766~1.954,在偏铝质和过铝质区内均有分布。A/MF-C/MF图解(图3a3)表明,大多晚石炭世岩体的源岩为基性岩和变质砂岩,部分源岩为变质泥岩,源岩为变质砂岩和变质泥岩的岩体明显增多。在Patino的花岗岩源岩判别图解(图3b3)中,大多数晚石炭世岩体落入富含黑云母和角闪石的源岩范围内,部分也落入了泥质岩区内,与早石炭世岩体相比,富含黑云母源岩和泥质岩明显增多,且晚石炭世花岗质源岩的演化与分离结晶趋势线一致,表明南蒙古地区晚石炭世花岗类岩石的源岩为泥质岩和富含黑云母和角闪石的源岩,与早石炭世的花岗岩类相比,晚石炭世的源岩更为酸性,反映的是来源于更多壳源岩浆源区,可能代

表示了陆缘弧或板内构造背景。

在 $R_1$ - $R_2$ 构造判别图解(图4c)中,晚石炭世花岗岩类在板块碰撞前、造山晚期、同碰撞期和碰撞后抬升期均有分布,但主要集中在同碰撞期,可能代表了板内构造背景或是构造转换期。

### 3.3 晚石炭世火山岩

利用收集到的2件南蒙古地区晚石炭世火山岩岩石化学数据<sup>[6,11]</sup>,在TAS图解(图5b)中落入了安山玄武岩和玄武质粗面安山岩区。在 $\text{SiO}_2$ -ALK图解(图6a2)中,一件样品落入碱性系列区,另一件样品落入亚碱性系列;在 $\text{SiO}_2$ - $\text{K}_2\text{O}$ 图解(图6c2)中,样品落入中钾系列区,因此该类火山岩为碱性系列和中钾亚碱性系列。晚石炭世火山岩的 $\text{SiO}_2$ 含量分别为54.21 wt%、52.99 wt%,平均53.6 wt%; $\text{Al}_2\text{O}_3$ 含量

分别为16.61 wt%、17.26 wt%,平均16.94 wt%; $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量分别为9.47 wt%、9.69 wt%,平均9.58 wt%;CaO含量分别为6.03 wt%、7.69 wt%,平均6.86 wt%;MgO含量分别为4.71 wt%、5.19 wt%,平均4.95 wt%; $\text{K}_2\text{O}$ 含量分别为2.61 wt%、1.5 wt%,平均2.06 wt%; $\text{Na}_2\text{O}$ 含量分别为3.72 wt%、3.5 wt%,平均3.61 wt%; $\text{TiO}_2$ 含量分别为1.57 wt%、1.73 wt%,平均1.65 wt%; $\text{P}_2\text{O}_5$ 分别为0.5 wt%、0.67 wt%,平均0.59 wt%;MnO含量分别为0.15 wt%、0.16 wt%,平均0.155 wt%。CIPW计算结果表明样品均含石英,为3.66%~4.04%,且均不含有标准矿物霞石和橄榄石。

采用稳定的不相容或强不相容元素Ti、Zr、Y等及其比值<sup>[6,11]</sup>对其火山岩类进行构造环境示踪分析。在Pearce和Gale Zr/Y-Ti/Y图(图7a2)中,所有晚石

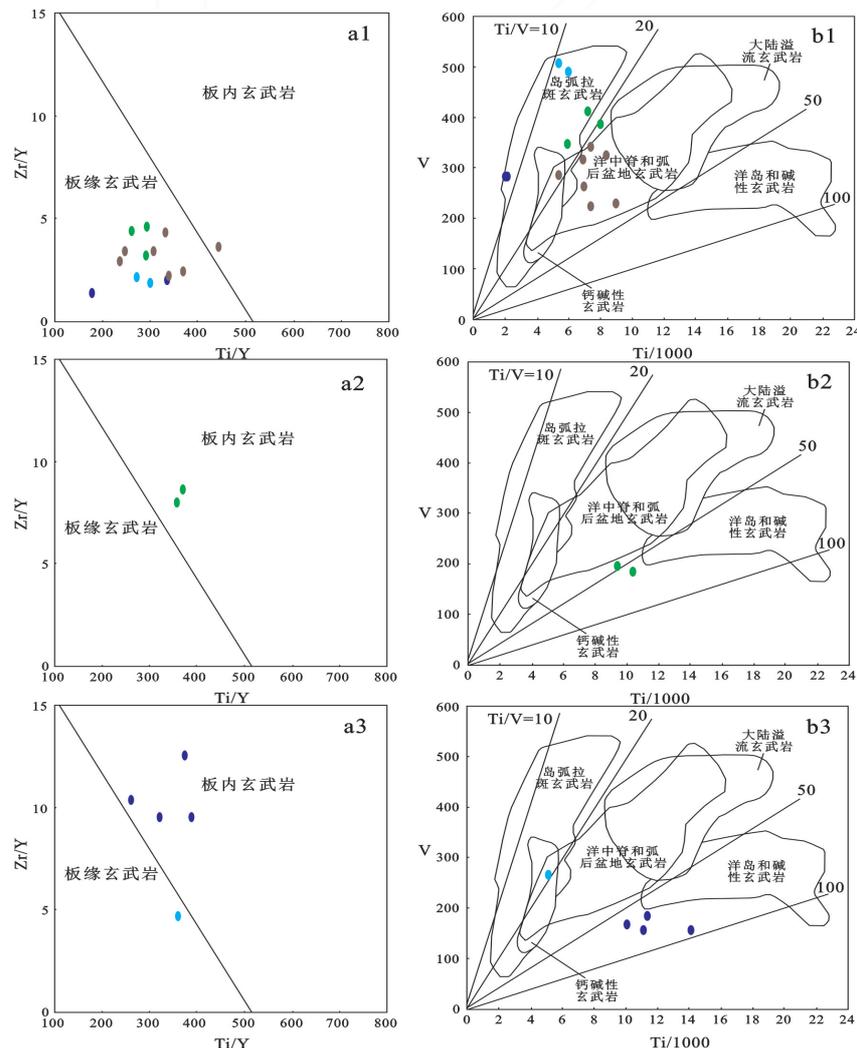


图7 南蒙古地区火山岩构造环境判别图解

Fig.7 Tectonic environment discrimination diagram of volcanic rocks in southern Mongolia

(a1、b1.泥盆纪;a2、b2.石炭纪;a3、b3.二叠纪)

(底图分别据Pearce et al., 1977;Shervais,1982;不同颜色代表不同的岩体)

炭世样品均落入板内玄武岩区,但也比较接近板缘玄武岩区;在Shervais(1982)的V-Ti图(图7b2)中,样品的Ti/V比值约为50,与碱性玄武岩范围较为接近,同样显示为板内特征。

## 4 二叠纪岩浆岩

### 4.1 二叠纪侵入岩

二叠纪侵入岩岩性主要为辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩,以花岗岩和花岗闪长岩为主,可见环型碱性侵入岩,周围分布有钠闪碱流岩和碱流岩,环型碱性花岗岩可能是火山岩通道<sup>[1]</sup>。

利用收集的南蒙古地区二叠纪8个岩体66件样品的岩石化学分析数据(表1)<sup>[6,11]</sup>,在TAS岩石分类图解(图2a4)中二叠纪侵入岩分别落入辉长闪长岩、闪长岩、石英二长岩、花岗闪长岩和花岗岩区,以花岗岩和花岗闪长岩为主,大多数落入亚碱性岩区,只有五个样品落入碱性岩区。二叠纪侵入岩体 $Al_2O_3$ 含量为(7.97~19.37) wt%,平均13.57 wt%;CaO含量0.22~9.23 wt%间,平均1.83 wt%;MgO含量(0.04~5.19) wt%之间,平均0.79 wt%; $TFe_2O_3$ 含量(0.78~8.31) wt%,平均3.33 wt%。CIPW计算结果表明全部样品均含有石英,且不含霞石与橄榄石。分异指数(DI)为39.79~96.04,多数样品分异指数大于85,说明南蒙古地区二叠纪岩浆分异程度差别较大,其中花岗质岩浆分异程度很高。在 $SiO_2-K_2O$ 图解(图2b4)中,投影点大多落入高钾钙碱性系列,部分落入中钾钙碱性系列,个别落入超钾系列区, $SiO_2$ 含量与 $K_2O$ 含量呈较明显正相关性。在A/CNK-A/NK图解(图2c4)中,样品在偏铝质、过铝质和过碱质区均有分布。

南蒙古地区二叠纪侵入岩体总体更加富硅、富钾、富碱,而铁、镁、钙和钛较晚石炭世更低,A/CNK为0.545~1.333,在偏铝质、过铝质和过碱质区内均有分布。A/MF-C/MF图解(图3a4)表明,大多二叠纪的源岩为变沉积岩,少部分源岩落入基性岩区。在Patino的花岗岩源岩判别图解(图3b4)中,大多数二叠纪岩体落入富含黑云母的源岩范围内,部分也落入沉积岩区,与晚石炭世岩体相比,富含黑云母源岩和沉积源岩明显增多,与富含角闪石的源岩相比,富含黑云母的源岩岩石或沉积源岩部分熔融所产生的花岗质熔体 $(Na_2O+K_2O)/(FeO+MgO+TiO_2)$ 值较高,而 $Na_2O+K_2O+FeO+MgO+TiO_2$ 值较低,且二叠纪花岗质源岩的演化与分离结晶趋势线一致,表明南

蒙古地区二叠纪花岗质岩石的源岩为富含黑云母的源岩和沉积岩,与晚石炭世的花岗岩类相比,二叠纪的源岩更为酸性,反映的是岩浆源区为更多的更为酸性的壳源岩浆。在 $R_1-R_2$ 构造判别图解(图4d)中,二叠纪花岗岩类虽然在板块碰撞前、同碰撞期和碰撞后抬升期均有分布,但主要集中在同碰撞期,可能代表板内构造背景。

### 4.2 二叠纪火山岩

收集利用了5件二叠纪火山岩岩石地球化学数据(表3)<sup>[6,11]</sup>,在TAS图解(图5c)中分别投到了玄武岩、安山玄武岩和玄武质粗面安山岩区。在 $SiO_2-ALK$ 图解(图6a3)中,只有一件样品落入碱性系列区;在AFM图解(图6b2)中,亚碱性样品显示为钙碱性系列;在 $SiO_2-K_2O$ 图解(图6c3)中,几乎所有亚碱性样品均投入中高钾系列区,其中一件样品投入钾玄岩系列区。可见该二叠纪火山岩包括碱性系列、中高钾拉斑系列和钾玄岩系列。二叠纪火山岩的 $SiO_2$ 含量均大于50 wt%,介于(52.24~55.04) wt%,平均为53.96 wt%; $Al_2O_3$ 含量(14.63~16.45) wt%,平均15.49 wt%; $Fe_2O_3$ 含量(9.38~10.48) wt%,平均9.85 wt%;CaO含量(6.4~8.66) wt%,平均7.27 wt%;MgO含量(3.5~6.6) wt%,平均5.26 wt%; $K_2O$ 含量(1.65~2.89) wt%,平均2.256 wt%; $Na_2O$ 含量(1.74~3.82) wt%,平均3.158 wt%; $TiO_2$ 含量(0.86~2.36) wt%,平均1.732 wt%; $P_2O_5$ 含量(0.35~1.21) wt%,平均0.774 wt%;MnO含量(0.14~0.18) wt%,平均0.162 wt%。CIPW计算结果表明样品均含石英,为2.51%~10.25%,且不含霞石和橄榄石。

本区二叠纪火山岩主量元素含量与其它地区相比(表3),同Ascension的洋岛玄武岩的氧化物含量最为接近,具有洋岛玄武岩相似的主量元素地球化学特征,暗示与其有着较为相似地幔源区或相似大地构造背景。

采用稳定的不相容或强不相容元素Ti、Zr、Y等及其比值<sup>[6,11]</sup>对其火山岩类进行构造环境示踪分析。在Pearce和Gale Zr/Y-Ti/Y图(图7a3)中,几乎所有二叠纪样品均落入板内玄武岩区,只有一个样品落入板缘玄武岩区,但也较接近板内玄武岩区;在Shervais的V-Ti图(图7b3)中,只有一个样品落入洋中脊和弧后盆地玄武岩区,其它4件样品均落入Ti/V比值在50~100区内,与碱性玄武岩区较为接近,显示为板内特征。

表3 南蒙古地区二叠纪火山岩与其它地区火山岩主量元素对比  
Table 3 Comparison of major elements between Permian volcanic rocks in southern Mongolia and other areas

主量元素 (wt%)	二叠纪火山岩氧 化物含量范围	平均值	大西洋洋 中脊玄武岩	Tonga Arc	N-MORB	Ascension 洋岛玄武岩 (Hawaiiite)
SiO <sub>2</sub>	52.24 ~ 55.04	53.96	49.2	51.05	49.51	51.42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.63 ~ 16.45	15.49	16.1	15.54	16.75	15.66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.38 ~ 10.48	9.85	10.2	10	8.05	11.04
CaO	6.4 ~ 8.66	7.27	10.5	10.95	12.5	8.60
MgO	3.5 ~ 6.6	5.26	6.44	7.6	9.74	5.30
Na <sub>2</sub> O	1.74 ~ 3.82	3.158	3.01	2.87	2.18	3.67
K <sub>2</sub> O	1.65 ~ 2.89	2.256	0.14	0.33	0.065	1.36
TiO <sub>2</sub>	0.86 ~ 2.36	1.732	2.03	1.28	--	2.61
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.35 ~ 1.21	0.774	0.23	0.12	0.095	0.43
MnO	0.14 ~ 0.18	0.162	0.18	0.25	0.14	0.21

注:大西洋洋中脊玄武岩数据引自 Carmichael I.S.E et al.,1974; Tonga 岛弧数据引自 Trevor J.Falloon et al.,2014;N-MORB 数据引自 Presnall DC et al.,1987;Ascension 洋岛玄武岩数据引自 Wilson,1989.

## 5 南蒙古地区晚古生代大地构造演化讨论

前人研究表明在奥陶纪和志留纪<sup>[6]</sup>,南蒙古地区发育一个或多个海盆,这些洋盆接收最可能来自北方的陆源成熟硅质碎屑沉积物。奥陶纪和志留纪构造研究表明,这一时期构造活动较弱,较老地层的抬升可能是由于泥盆纪收敛边缘发育过程中受到的早期挤压导致的结果,并没有发现火山活动的证据<sup>[1-3,6,11]</sup>。

研究区泥盆纪沉积物主要由海洋火山碎屑岩、改造过的灰岩和局部夹有熔岩流的远洋沉积物组成。Mushgai Hudag 地区上部沉积了一层较厚的枕状熔岩层和硅质岩层,其代表较深的海相环境,该沉积记录了中泥盆世至晚泥盆世从浅水到深水相的转变,弧后盆地的伸展和下沉作用可以解释水环境由浅变深的这一变化,以及提供数百米枕状玄武岩和熔岩流所需的空间<sup>[6]</sup>;在 Shin Jinst 地区,早泥盆世镁铁质火山岩以岛弧玄武岩为主,但其沉积序列中也含有许多流纹岩单元,这种厚层的熔岩流和与之相关的超基性、变质和增生物质的出现,往往代表构造变形和抬升之后受到侵蚀作用,该构造现象为典型的弧相特征<sup>[37]</sup>。综上研究表明,泥盆纪在南蒙古形成了一个复杂的存在于奥陶纪和志留纪沉积之上或附近的岛弧,并随着其时空的转变,泥盆纪岩浆岩体记录了从相对构造平静期向构造活跃期的一个转变。

至石炭纪,弧活动区域可能集中在南部,部分形成于泥盆纪弧系统之上。在 Shin Jinst、Gurvan Sayhan 及 Mushgai Hudag 地区均保存有早石炭世海相沉

积物,包括火山沉积物和砂岩沉积物,其物源表明,该时期仍有弧火山活动现象<sup>[6]</sup>。石炭纪的岩石地球化学研究表明早石炭世主要发育岛弧岩浆作用,但较泥盆纪的岛弧岩浆作用则形成了更多的陆缘弧,可能为中国博格达山脉向东和天山石炭纪弧向北的延伸,该时期弧系统包括了多个横跨蒙古南部的陆相火山中心<sup>[6]</sup>;而晚石炭世时期则更多的代表板内岩浆作用,此时南蒙古地区与俯冲相关的岛弧岩浆作用基本停止,相继进入了板内构造环境。

南蒙古地区二叠纪只记录了局部的山间或前陆盆地非海相沉积物,Shin Jinst 是唯一拥有二叠纪非海相沉积物记录的地区<sup>[6]</sup>。二叠纪岩体较晚石炭世的岩体碱性更强,板内特征更加明显。这一时期弧火山活动已停止,但构造活动仍在继续,岩石地球化学研究表明该时期主要为大陆火山活动,这可能与中亚陆块的拼合相关。多数研究认为,二叠纪或早三叠纪,蒙古南部、华北和塔里木地块发生了碰撞拼合,随后古亚洲洋闭合<sup>[26-36,38]</sup>,也有研究表明新疆东部准噶尔海盆关闭后,华北地块与蒙古南部发生了碰撞<sup>[27,28,33]</sup>,Zorin 等<sup>[32]</sup>认为这是一个简单的由西到东的连续碰撞,沿着整个华北和蒙古南部的边界进行闭合。而 Melissa A. Lamb<sup>[6]</sup>等则认为是华北板块最初在晚石炭世与蒙古南部弧系的东南角相撞,将古亚洲洋一分为二,随着碰撞的发生,洋的东部由西向东封闭,而其西半部则可能形成了一个小的有限洋盆,在二叠纪晚期至三叠纪早期由东向西进行封闭,这时泥盆纪和石炭纪的地层被抬升,局部为盆地沉积提供物质来源,这一时期沉积岩由海相向非海相转变,反映了华北、塔里木和蒙古南部碰撞拼合后古亚

洲洋的完全闭合。

## 6 结论

(1) 泥盆纪侵入岩体总体上富硅、高钾、富碱, 多属高钾钙碱性系列, 其岩浆源区有较多幔源岩浆的混入, 多形成于岛弧构造背景; 火山岩主要包括碱性系列和中低钾拉斑系列, 具有 Tonga 岛弧和 Ascension 洋岛玄武岩相似的主量元素地球化学特征, 微量元素判别图解同样指示其多形成于岛弧构造背景。

(2) 早石炭世侵入岩体较泥盆纪贫硅、碱, 而富铁、镁、钙和钛, 多属中高钾钙碱性系列, 源岩多为基性岩, 可能反映的是其岩浆源区有着更多幔源岩浆的混入, 多形成于岛弧构造背景; 晚石炭世侵入岩体较早石炭世富硅、高钾、富碱, 贫铁、镁、钙和钛, 多属高钾钙碱性系列, 源岩多为基性岩和变质砂岩, 反映的是有更多壳源物质的加入, 可能代表的是一种板内构造背景; 晚石炭世火山岩包括碱性及亚碱性系列, 微量元素判别图解指示其具板内构造背景。

(3) 二叠纪侵入岩体更加富硅、高钾和富碱, 贫铁、镁、钙和钛, 多属高钾钙碱性系列, 多为壳源岩浆源区, 形成于板内构造背景; 二叠纪火山岩包括有碱性系列、中高钾拉斑系列和钾玄岩系列, 与 Hawaii 洋岛玄武岩主量元素地球化学特征相似, 微量元素判别其具典型板内构造特征。

(4) 研究表明南蒙古地区泥盆-二叠纪岩浆作用相继发育于岛弧、弧后盆地和板内构造背景中。泥盆纪开始形成岛弧; 早石炭世仍以岛弧为主, 但出现了陆缘弧, 晚石炭世则更多代表为板内岩浆作用; 二叠纪板内特征更加明显, 弧火山活动已经停止, 这与中亚造山带进入拼合阶段相关, 为板内构造环境。

### 参考文献:

- [1] DERGUNOV A B. Tectonics, magmatism, and metallogeny of Mongolia[M]. Routledge, 2001, 287.
- [2] 李俊建, 等. 蒙古地质矿产概况[M]. 天津: 天津科学技术出版社: 2013, 1-273.
- [3] 李俊建, 刘新秒, 等. 蒙古地质矿产研究进展[M]. 天津: 天津科学技术出版社: 2013, 1-265.
- [4] ZHANG Z M, LIOU J G, COLEMAN R G. An outline of the plate tectonics of China: Geological Society of America Bulletin[M]. 1984.
- [5] COLEMAN R G. Continental growth of northwest China: Tectonics[M]. 1989.
- [6] MELISSA A LAMB. Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: New geochemical and petrographic constraints. Geological Society of America Memoirs[J]. 2001, 117-149.
- [7] BADARCH G. Tectonics of the Southern Mongolian foldbelts, Ulaanbaatar[M]. 1990, 239.
- [8] XU B, CHARVET J, CHEN Y, et al. Middle Paleozoic convergent orogenic belts in western Inner Mongolia (China): Framework, kinematics, geochronology and implications for tectonic evolution of the Central Asian Orogenic Belt[J]. Gondwana Research. 2013, 23(4): 1342-1364.
- [9] 吕洪波, 冯雪东, 王俊, 等. 狼山发现蛇绿混杂岩-华北克拉通与中亚造山带碰撞边界的关键证据[J]. 地质论评, 2018, 64(4): 777-805.
- [10] 李俊建, 等. 中蒙边界地区 1:100 万系列地质图[M]. 北京: 地质出版社: 2019.
- [11] OCHIR GEREL, SAMBUU OYUNGEREL, CHULUUN MINJIN. Intrusive Magmatism of South Mongolia[J]. SGA Meeting, 2005.
- [12] MIDDLEMOST EAK. Naming materials in the magma/igneous rock system[J]. Earth-Science Reviews, 1994, 37(3): 215-224.
- [13] 张艳斌, 吴福元, 杨正赫, 等. 朝鲜半岛北部显生宙花岗岩成因研究及地质意义[J]. 岩石学报, 2016, 32(10): 3098-22.
- [14] XIAO QINGHUI, DENG JINFU, MA DASHUAN. Research idea and means of granite[M]. Beijing: Publication of Geology: 2002, 53-63.
- [15] PATINO D A E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: Castro A, Femndez C, Vignereese J L, eds. Understanding granites: Intergrating new and classical techniques[J]. Geological Society, London, Special Publications, 1999, 168: 55-75.
- [16] DE LA ROCHE H, LETEEIER J, GRANDE-CLAUDE P. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses: Its relationships and current nomenclature[J]. Chemical Geology, 1980, 29: 183-210.
- [17] LE BAS M J, R W LEMAITRE. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram[J]. Petrol, 1986, 27: 745-750.
- [18] MACDONALD G A. Composition and origin of Hawaiian lavas[J]. In R. R. Coats, R. L. Hay, C. A. Anderson (eds), Studies in Volcanology: A Memoir in Honor of Howel Williams Geol. Soc. Memoir, 1968, 116.
- [19] RICKWOOD P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22: 247-263.
- [20] CARMICHAEL I S E, F J TURNER, J VERHOOGEN. Igneous Petrology[M]. McGraw-Hill. New York, 1974, 32-50.
- [21] PRESNALL D C, HOOVER J D. High pressures phase equilibrium constraints on the origin of mid-ocean ridge ba-

- salts, in: B.O.Mysen, Magmatic Processes: Physicochemical Principles[J]. Special Publication—Geochemical Society, 1987, 1:75–89.
- [22] WILSON. Igneous Petrogenesis[M]. Published by Springer, 1989.
- [23] TREVOR J FALLOON. Creaceous fore-arc basalts from the Tonga arc :Geochemistry and implications for the tectonic of history of the SW Pacific[J]. Tectonophysics, 2014, 21–32.
- [24] PEARCE J A, GALE G H. Identification of ore-deposition environment from trace-element geochemistry of associated igneous host rocks, in Volcanic processes in ore genesis: London[J]. Institution of Mining and Metallurgy, 1977, 14–24.
- [25] SHERVAIS J W. Ti–V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1982, (59):101–118.
- [26] RUZHENTSEV S V, POSPELOV I I, BADARCH G. Tectonics of the Mongolian Indosinides[J]. Geotectonics, 1989, (23):476–487.
- [27] NIE SHANGYOU, ROWLEY D B, ZIEGLER A M. Constraints on the location of the Asian microcontinents in Palaeo-Tethys during the late Palaeozoic, in McKerrow, W.S., and Scotese, C. R., eds., Palaeozoic palaeogeography and biogeography[J]. Geological Society [London] Memoir, 1990, (12): 397–409.
- [28] ZHAO XIXI, COE R S, ZHOU YAOXIU, et al. New paleomagnetic results from northern China: Collision and suturing with Siberia and Kazakhstan[J]. Tectonophysics, 1990, (181): 43–81.
- [29] MUELLER J F, ROGERS J J W, JIN YUGAN, et al. Late Carboniferous to Permian sedimentation in Inner Mongolia, China, and tectonic relationships between north China and Siberia[J]. Journal of Geology, 1991, (99): 251–263.
- [30] PRUNER P. Palaeomagnetism and palaeogeography of Mongolia from the Carboniferous to the Cretaceous[J]. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1992, (70):169–177.
- [31] DORJNAMJAA D, BADARCH G, OROLMAA D. The geodynamic evolution of the mobile fold belts of the territory of Mongolia, in Coleman, R.G., ed., Reconstruction of the palaeo-Asian ocean[J].The Netherlands, VSP International Science Publishers, 1993, 63–76.
- [32] ZORIN Y A, BELICHENKO V G, TURUTANOV E K, et al. The South Siberia–Central Mongolia transect[J]. Tectonophysics, 1993, (225): 361–378.
- [33] ZORIN Y A, BELICHENKO V G, TURUTANOV E K, et al. Baikal–Mongolia transect[J]. Russian Geology and Geophysics, 1994, (35):78–92.
- [34] TOMURTOGOO O. A new tectonic scheme of the Paleozoics in Mongolia[J]. The Netherlands, 1997, 75–82.
- [35] 李俊建, 唐文龙, 付超, 等. 中蒙边界地区成矿区带划分[J]. 地质通报, 2016, 35(4):461–487.
- [36] 李俊建, 张锋, 任军平, 等. 中蒙边界地区构造单元划分[J]. 地质通报, 2015, 34(4):636–662
- [37] MITCHELL A H G. Facies of an early Miocene volcanic arc, Malekula is-land, New Hebrides[J]. Sedimentology, 1970, (14): 210–243.
- [38] 付超, 李俊建, 张帅, 等. 中蒙边界地区侵入岩时空分布特征及对构造演化的启示[J]. 华北地质, 2023, 46(1):1–19.

## Geochemical characteristics of Late Paleozoic magmatic rocks in southern Mongolia

XI Hong<sup>1</sup>, LI Junjian<sup>2\*</sup>, LI Huaming<sup>1</sup>, FU Chao<sup>2</sup>, DANG Zhicai<sup>2</sup>, TANG Wenlong<sup>2</sup>

(1. CNNC Geologic Party No.208, Baotou, Inner Mongolia 014010, China;

2. Tianjin Center, China Geological Survey (North China Center for Geoscience Innovation), Tianjin 300170, China)

**Abstract:** The late Paleozoic Variscan orogenic belt in southern Mongolia plays an important role in the Central Asia orogenic belt, but the formation time of the collision has been controversial due to various factors. In this paper, the geochemical characteristics of the late Paleozoic magmatic rocks in southern Mongolia are preliminarily summarized by collecting and using the previous geochemical data. It is suggested that island arc began to form in Devonian in this area, and island arc was still dominant in Early Carboniferous, but continental margin arc appeared, while intraplate magmatism was more typical in Late Carboniferous. At this time, island arc magmatism related to subduction in southern Mongolia basically stopped and turned into intraplate tectonic stage, and the intraplate characteristics were more obvious in Permian, at this time, volcanic activity had stopped, which was related to the formation of Central Asia. The mountain belt is related to the stage of amalgamation, which is the intraplate tectonic environment. So this paper can provide some meaningful references for the late Paleozoic tectonic evolution framework in southern Mongolia.

**Key words:** Magmatic rocks; geochemistry; Late Paleozoic; southern Mongolia