

北京地区中元古代与中生代火山岩的酸度、 系列、构造环境及岩浆成因

邱家骧 廖群安

(中国地质大学, 武汉 430074)

主题词 北京 中元古代与中生代火山岩 酸度 系列 构造环境 岩浆成因

提要 本文对北京地区中元古代及中生代火山岩的地质学、岩石学、矿物化学、地球化学、岩石成因学及构造环境学进行了综合研究。对火山岩的时空分布及成分变化进行了论述,对酸度频率及岩浆系列进行了分析,对构造环境及拉张距离进行了估算,对岩浆的来源及演化机理进行了探讨。

北京地区是燕山运动典型地区,又是火山活动发育地区,以中元古代与中生代火山活动强烈、岩浆成分复杂与构造环境特殊为特征,深受地学界的瞩目^[1-15]。本文试图对北京地区中元古代、中生代火山岩中研究少、争论多的酸度、系列、构造环境及岩浆成因等问题进行综合分析和论述。

1 时空分布与成分变化

北京地区地壳厚度约34—43km,山脉排列、大型断裂、岩浆活动的方向均与莫氏面等深线方向一致,东部近EW向,西部近NE向,反映了本区的深部构造—断裂作用是控制区内岩浆活动的主要因素(图1)。

本区火山岩的酸度、系列、分类、命名(图2)统一以化学成分法予以划分^[16-18]。为了保证火山岩成分的可靠性,本文精选新鲜岩石样品进行测试,结合惰性元素、单斜辉石成分验证等方法进行研究^[18]。通过火山岩地质学、年代学、岩石学等资料的综合分析,可以看出本区火山岩时空分布、盆地类型、岩石组合及岩相、酸度、系列等(表1)具有以下特点和规律:

(1) 中元古代与中生代的火山岩有不同的特征:中元古代火山岩喷出于内蒙地轴南缘EW向拗拉谷(Aulacogen)型的断陷海槽之中,以溢流相为主,分布长度大而厚度小,酸度较低而碱度较高,以碱性玄武岩系列与钾玄岩系列共生,尤以前者发育为特征;而中生代火山岩产于环太平洋西缘活动陆缘NE向小型断陷陆盆之中,溢流相与爆发相为主,分布长度小而厚度大,酸度较高而碱度较低,以钾玄岩系列与高钾钙碱性系列共生,尤以前者发育为主。

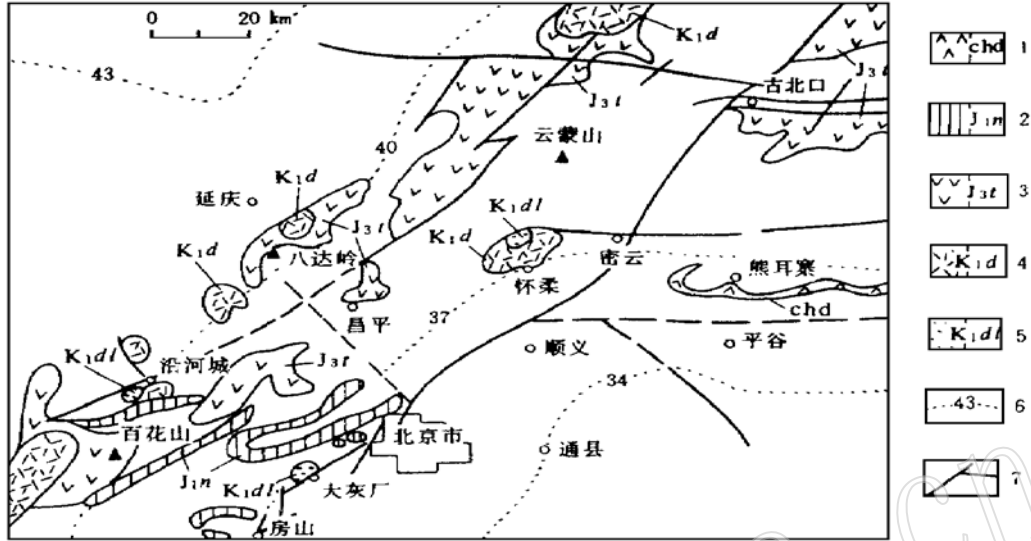


图1 北京地区构造-火山岩分布简图(据郁建华等, 1990, 简化)^[4]

Fig. 1 Geological sketch map of Beijing area, showing distribution of structures and volcanic rocks
 1—中元古代大红峪组火山岩(Chd); 2—中生代早侏罗世南大岭组火山岩(J_{1n}); 3—中生代晚侏罗世髫髻山组火山岩(J_{3t}); 4—中生代早白垩世东岭台组火山岩(K_{1d}); 5—中生代早白垩世东狼沟组火山岩(K_{1dl}); 6—莫氏面等深线; 7—重要断裂

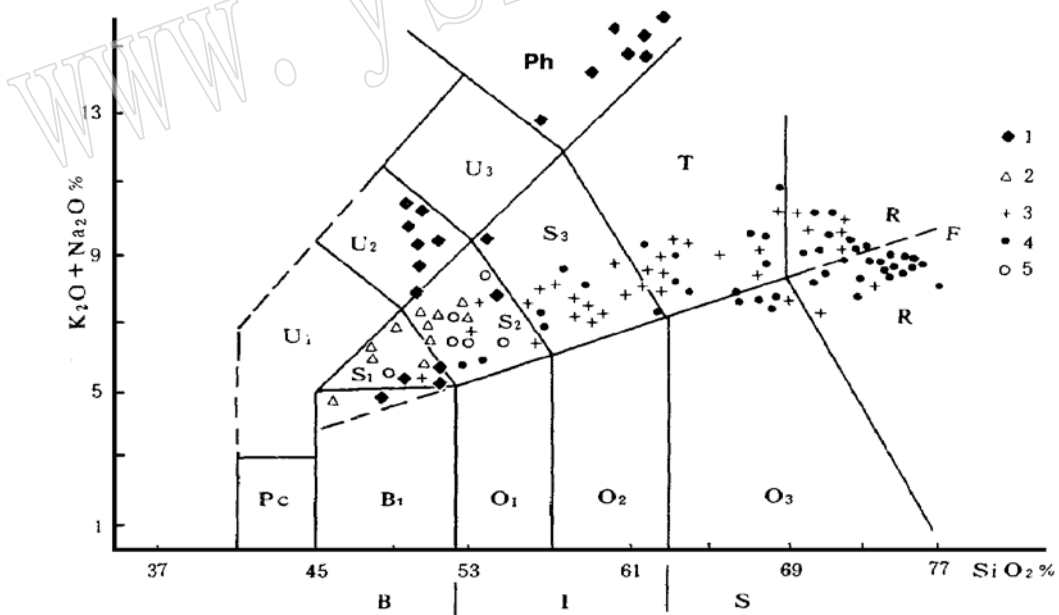


图2 北京地区中元古代及中生代火山岩 TAS 图(IUGS, 1989)

Fig. 2 TAS diagram of middle Proterozoic and Mesozoic volcanic rocks in Beijing area
 1—大红峪组; 2—南大岭组; 3—髫髻山组; 4—东岭台组; 5—东狼沟组; F—亚碱性与碱性系列火山岩分界线; B—基性; I—中性; S—酸性; B₁—玄武岩; S₁—粗面玄武岩; S₂—玄武粗安岩; S₃—粗安岩; T—粗面岩、粗面英安岩; O₃—英安岩; R—流纹岩; U₂—响岩质碱玄武岩; Ph—响岩

(2) 中生代火山活动强度由老到新有稳定→活跃→稳定的变化趋势, 断陷陆盆从 NEE 向继承式→NE 向继承式+ 上叠式→NNE 向上叠式; 火山盆地面积、宽度与火山岩系厚度: 从小→大→小; 岩石系列: 从钾玄岩系列→钾玄岩+ 高钾钙碱性系列→钾玄岩系列; 酸度从低→高→低; 火山岩相: 从溢流为主→溢流+ 爆发为主→溢流为主。

表 1 北京地区火山岩系时空分布、盆地特点及酸度、系列、组合表

Table 1 Spatial distribution of volcanic rocks in Beijing area as well as basin characteristics, acidity, series and associations

地层年代	组名(代号)	岩相	溢流指数	同位素年龄(Ma)	走向	火山盆地(单个)				SiO ₂ 含量	主要系列	主要组合
						面积(km ²)	宽度(km)	厚度(m)	类型			
中元古代	大红峪(Chd)	海相	86	1543—1325	EW	750—3000	1	454	继承式	49%—63% (基、中性, 以基性为主)	碱性玄武岩系列及钾玄岩系列(前者为主)	碱性玄武岩—响岩质碱玄武岩—粗面玄武岩—钾玄岩—安粗岩组合
中生代	南大岭(J _{1n})	陆相	94	195—170	EW—NEE	200	20	1242	继承式	45%—53% (基、中性, 以基性为主)	钾玄岩系列	夏威夷岩—橄榄粗安岩—粗安岩组合(多钠化产物)
	髻髻山(J _{3f})		67	160—137	EW	200—500	36	2622	继承式及上叠式	51%—75% (基、中、酸性, 以中性为主)	钾玄岩系列及高钾钙碱性系列(前者为主)	粗面玄武岩—钾玄岩—安粗岩—粗面岩组合(为主)
	东岭台(K _{1d})		52	134—110	NE—NNE	< 100	14	1622	上叠式	53%—78% (中、酸性, 以酸性为主)	钾玄岩系列及高钾钙碱性系列(后者为主)	钾玄岩—安粗岩—粗安岩组合, 高钾英安岩—流纹岩组合(为主)
	东狼沟(K _{1dl})		84	105—100	NNE	5	3	460	上叠式	48%—54% (基、中性, 以中基性为主)	钾玄岩系列	夏威夷岩—橄榄粗安岩组合(多钠化产物)

2 酸度频率与岩浆系列

关于本区火山岩的酸度及系列的研究虽多, 但争论也较多。

2.1 酸度频率

以火山岩中 SiO₂ 频率曲线表示。本区中元古代大红峪组^[12] 及中生代髻髻山组、东岭台组^[7] 火山岩均以双峰式为特征。

(1) 大红峪组 SiO₂ 双峰值为 49% 与 61% (图 3), 其“硅谷”值为 55%。“硅谷”两侧的火山岩不仅 SiO₂ 含量不同, K₂O 含量也不同。低硅者 SiO₂ < 55%, K₂O = 1.17%—9.07%, 岩石组合以碱性玄武岩、粗面玄武岩、响岩质碱玄武岩、钾玄岩、粗安岩为主; 高硅者 SiO₂ > 55%, K₂O = 11.70%—15.90%, 岩石以响岩为主。故“硅谷”为中基性与中酸性火山岩的分界线, 也是含钾量低与高的分界线。

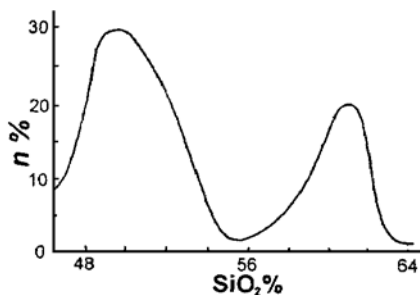


图3 大红峪组火山岩 SiO_2 频率曲线
Fig. 3 SiO_2 frequency curve of volcanic rocks from Dahongyu Formation

(2) 髫髻山组、东岭台组 二者酸度频率相似(图4),但髫髻山组 SiO_2 双峰值为 59% 与 69%,“硅谷”值为 66%,而东岭台组 SiO_2 双峰值为 63% 与 73%,”硅谷”值为 67%。反映晚期岩浆比早期酸度升高,主要表现在 SiO_2 的峰值增大,而谷值增加很小或近于不变。于学元等(1980)在统计我国东部中生代火山岩 SiO_2 频率时,也证实“谷”值为 67%—69%,与本区相似。本区 $\text{SiO}_2 < 66\%$ 者为典型钾玄岩系列的粗面玄武岩—钾玄岩—安粗岩—粗面岩组合;而 $\text{SiO}_2 > 67\%$ 者,主要为高钾钙碱性系列的英安岩—流纹岩组合。因此,“硅谷”应为钾玄岩系列与高钾钙碱性系列岩石的分界线。

我国东部中生代火山岩带为环太平洋中、新生代火山岩带的重要组成部分,而北京地区火山岩又是我国东部中生代火山岩带的一个重要地区。与环太平洋地区的火山岩 SiO_2 频率曲线进行对比(图5)后不难发现,火山岩的酸度与构造环境有关:位于活动大陆边缘近太平洋一侧者(如我国东南大陆边缘、俄罗斯远东及美国西部西带),均以酸性火山岩的峰值最高为特征;而位于岛弧或活动大陆边缘近内陆一侧者(如太平洋西南岛弧、安第斯山、美国西部东带),均以中、基性火山岩的峰值较高为特色。我国东南大陆边缘位于中生代活动陆缘之外侧,故酸性火山岩很发育。而北京地区则位于中生代活动陆缘之内侧,其位置介于大洋一侧与内陆一侧之间,因此,火山岩兼有酸性与中基性均较多的特点。

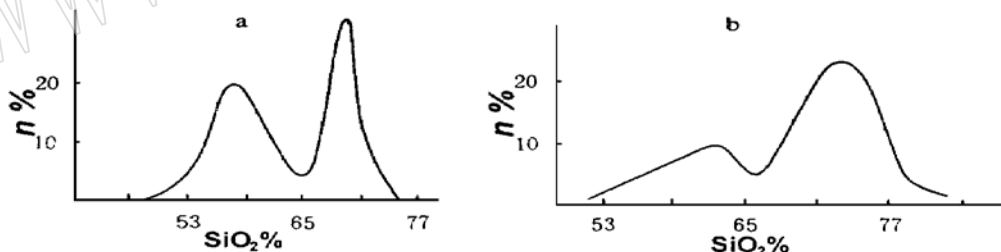


图4 髫髻山组(a)与东岭台组(b)火山岩 SiO_2 频率曲线

Fig. 4 SiO_2 frequency curves of volcanic rocks from Tiaojishan Formation (a) and Donglingtai Formation (b)

2.2 岩浆系列

火山岩浆系列的确定主要以 Irvine 等^[17]及 Morrison^[20]为基础,而作者^[18]把碱性系列进一步分为碱流岩亚系列(碱硅均过饱和)、钾玄岩亚系列(硅基本饱和)、碱性玄武岩亚系列(硅不饱和、有标准副长石分子)、副长岩亚系列(硅强不饱和,不出现标准长石分子,而只见标准副长石)的方案,则是本文碱性火山岩进一步划分的依据。

(1) 中元古代大红峪组 火山岩中有标准矿物副长石及标准长石分子,但未见实际矿物副长石,因此,应以碱性玄武岩系列的碱性玄武岩—响岩质碱玄岩—响岩组合为主,也存在少量钾玄岩系列的粗面玄武岩—钾玄岩—安粗岩组合。

(2) 中生代火山岩 可分为两种类型,即早期与晚期喷出的南大岭组与东狼沟组为一

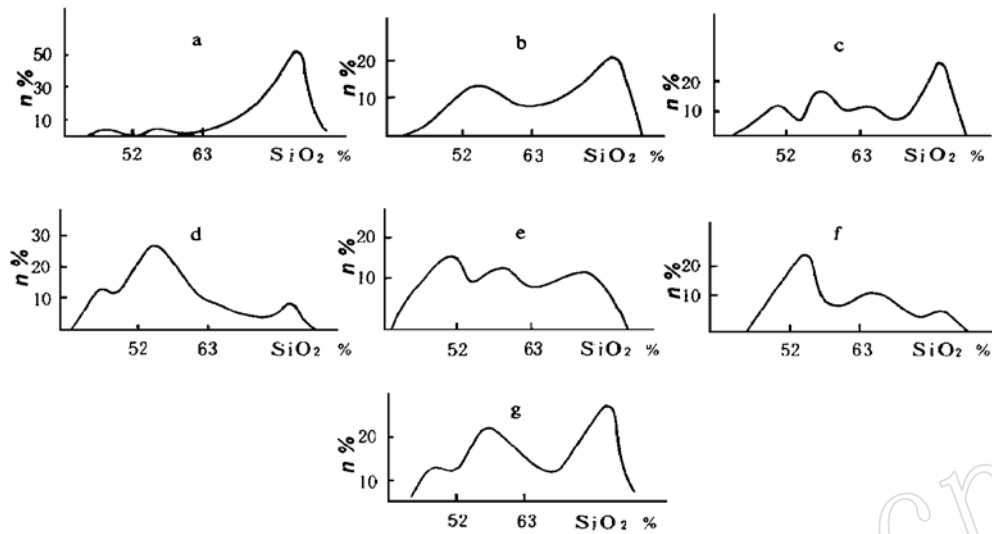


图5 我国北京、东南大陆中生代火山岩与环太平洋其他中生代火山岩带 SiO_2 频率曲线对比图

Fig. 5 Comparison of SiO_2 frequency curves between Mesozoic volcanic rocks from Beijing and southeast continent of China and rocks from other circum-Pacific Mesozoic-Cenozoic volcanic zones

a—中国东南大陆边缘(1455个); b—俄罗斯远东(123个); c—美国西部西带(542个); d—太平洋西南岛弧(1484个); e—美国西部东带(635个); f—安第斯山(271个); g—北京(189个); a-f 资料据南京地质矿产研究所(1997)^[19]改绘

类,主要为钾玄岩一个系列;中间两期喷出的髻髻山组与东岭台组为另一类,主要为钾玄岩与高钾钙碱性两个系列。

①南大岭组、东狼沟组 火山岩酸度小,易受淋滤、交代、区域变质等影响,原岩类似细碧岩化^[5],矿物多已绿泥石化、绿帘石化、钠长石化、碳酸盐化。但通过惰性元素^[21]、单斜辉石残晶^[22]及尽量新鲜的火山岩化学成分投点的综合研究表明,它们主要应为粗面玄武岩—钾玄岩—安粗岩等组合,应属钾玄岩系列,只是由于钠化使钠质增高,变为现在的成分,近似于夏威夷岩—橄榄粗安岩—粗安岩组合。

②髻髻山组、东岭台组 火山岩成分介于钙碱性系列与碱性玄武岩系列之间,而且高钾,因此对其系列的认识不一,有钙碱性、高钾钙碱性、碱性、粗安岩等等系列之争。本文认为除有高钾钙碱性系列外,其它主要为钾玄岩系列:

A. 由图2投点及类型确定可知,本区火山岩多位于F线之上的碱性系列范围,低硅部分位于 S_1-S_3 等区的 SiO_2 饱和的碱性系列之内,又属于钾质类型($\text{Na}_2\text{O}-2<\text{K}_2\text{O}$)的粗面玄武岩—钾玄岩—安粗岩—粗面岩组合,应为典型的钾玄岩系列。

B. 由图6投点可知,本区火山岩 K_2O 多高于钙碱性系列,与碱性玄武岩系列中 K_2O 低者相近,但其又与碱性玄武岩系列不同:碱性玄武岩系列 SiO_2 与 K_2O 均为正相关;钾玄岩系在低硅时, SiO_2 与 K_2O 为正相关,在高硅时, SiO_2 与 K_2O 则为负相关。

C. 由图7投点可知,本区火山岩 FeO^* 低于碱性玄武岩系列,与钙碱性系列相似;且 $\text{Fe}_2\text{O}_3>\text{FeO}$, $\text{TiO}_2<1\%$ 。这些特点也与钾玄岩系列符合。

D. 由图2投点范围与中国东部中生代钾玄岩系列岩石TAS投点图(图8)对比,不难看

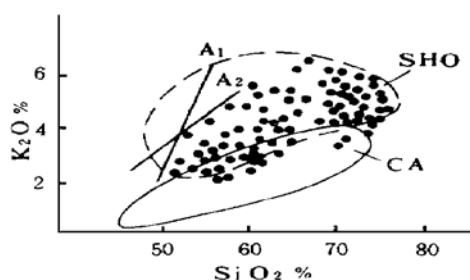


图 6 K_2O-SiO_2 图(Morrison, 1980)^[20]

Fig. 6 K_2O-SiO_2 diagram

A_1, A_2 —Azores 及 Gough 洋岛碱性玄武岩系列岩石变化线; CA —钙碱性系列岩石变化范围(实线圈); SHO —岛弧、活动陆缘钾玄武岩系列岩石变化范围(断线圈); 黑点为本区髻髻山组、东岭台组火山岩投点

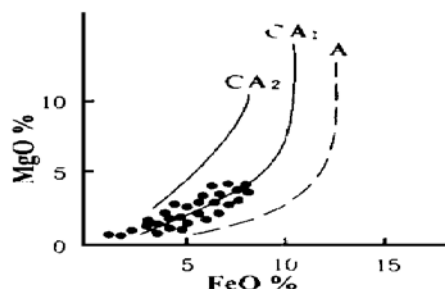


图 7 $MgO-FeO^*$ 图(Morrison, 1980)^[20]

Fig. 7 $MgO-FeO^*$ diagram

A —碱性玄武岩系列岩石变化线; CA_1, CA_2 —Lesser Anlilles 及 Cascades 钙碱性系列岩石变化线; 黑点同图 6

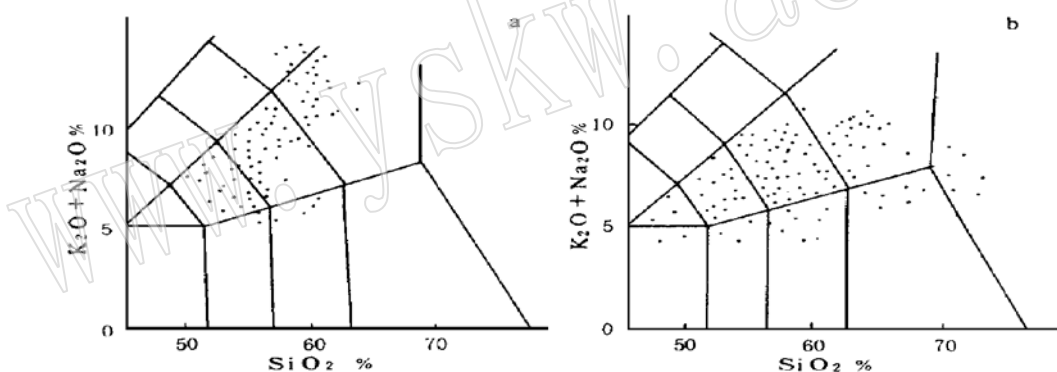


图 8 中国东部中生代钾玄武岩系列岩石在 TAS 图上的投点

Fig. 8 Plotted points of rocks of Mesozoic potash basalt series in eastern China on TAS diagram

a—宁芜、庐枞地区; b—山东西部及郯庐断裂内部地区

出, 它们成分范围相似, 证明本区火山岩也应为钾玄武岩系列为主, 而且愈向大陆内部, 一般碱度及钾量愈大。

总之本区髻髻山组、东岭台组火山岩除高钾钙碱性系列外, 还具有钾玄武岩系列的 AlK 中等、高钾、高硅时与 K_2O 负相关及低 FeO^* 等特征, 因此, 应有钾玄武岩存在。

我国东部中生代火山岩中钾玄武岩系列多以中-酸性为主(国外多以中-基性为主), 具有自己的特色。

3 构造环境与拉张宽度

构造环境是火山岩研究中的关键问题之一。火山岩产出的海槽、陆盆的形成,均有拉张问题,但拉张的距离(宽度)、速度历来缺乏估算,在此提出自己的认识与估算如下:

3.1 构造环境

(1) 中元古代火山岩、侵入岩的成分均能反映其产出的构造环境。

从北京市平谷县北山—天津市蓟县,向北到古北口,在南北约 70km 距离上,有三条东西向分布的中元古代火山—侵入杂岩带,它们顺三条深断裂分布(表 2)。北带为断陷海槽的北界,与内蒙地轴相邻;南带近断陷海槽中心,以大红峪组火山岩分布为主体;中带则过渡于北带与南带之间。从北带到南带,火成岩的酸度从高变低,岩相从深成变为喷出,反映本区断裂深度从北到南逐渐变大,而后期剥蚀程度则从北到南变小。

表 2 本区中元古代火山—侵入杂岩带

Table 2 Middle Proterozoic volcanic—intrusive complex zones of Beijing area

岩带位置	断裂名称	火山—侵入杂岩带岩石组合	岩浆岩相
北带	古北口	辉长岩—斜长岩组合, 石英正长岩—富钾花岗岩组合	深成相
中带	沙厂	碱性辉长岩—球斑花岗岩组合, 伟晶岩—细晶岩组合	深—浅成相
南带	平谷北山—蓟县	辉绿岩—正长斑岩组合, 碱性玄武岩—响岩组合	火山相(潜火山—火山通道—喷出相, 以喷出相为主)

火山岩与侵入岩同位素年龄相似: 火山岩为 1543—1325Ma, 侵入岩为 1790—1078Ma, 但侵入的时间范围可能比火山喷出的时间范围略大些。火山岩与侵入岩 SiO₂ 频率曲线也相似: 火山岩的“硅谷”为 55% (图 3), 侵入岩(35 个统计)的“硅谷”也略大, 为 54%。中元古代火山岩与侵入岩产出的构造环境一致:

①通过基性火山岩 Cpx 的矿物化学^[25]及中酸性火山岩、侵入岩微量元素^[26]投点(图 9—10)可知, 中元古代火山岩与侵入岩均为板块内部产物。

②本区中元古代侵入岩主要组合为辉长岩—斜长岩组合及石英正长岩—富钾或球斑花岗岩组合, 其中最主要、典型的侵入岩则为斜长岩—球斑花岗岩类。而世界上同时代的侵入岩中最主要、最特征的岩石类型, 也是斜长岩—球斑花岗岩类^[4, 27], 其常见侵入时代有两期: 早期约 20—16 亿年为主, 分布于欧、美北部, 呈 EW 向分布, 与陆缘或陆内裂谷拉张有关; 晚期以 15—10 亿年为主, 分布于加拿大、美国, 近于 SN 向分布, 与大陆解体的大洋化有关。二者交汇于北美, 造成北美地区时代杂乱, 岩体较多。因此斜长岩、球斑花岗岩的分布是裂谷拉张及大洋早期慢速拉张成为初始洋槽(盆)阶段(Anderson, 1983; Hrapala, 1985; Emslie, 1978; Flower, 1984)的重要标志, 本区构造环境也应与之相似。

③我国中元古代火成岩不仅有侵入岩, 而且以大量喷发的大红峪组火山岩为特色。据中元古代火山岩的基、中、酸性直方图(11a)、基性火山岩种属直方图(11b)及火山岩中 K/(K+Na) = 0.58 等成分资料, 与 Barberi^[28]不同类型裂谷火山岩对比可知, 本区断陷槽与贝

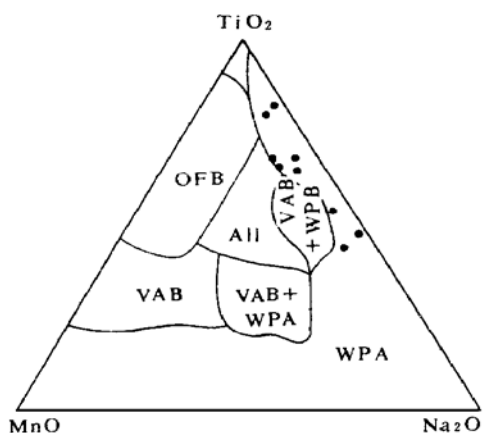


图 9 玄武岩类 Cpx 化学图(Nisbet 等, 1977)

Fig. 9 Cpx diagram of basalts

WPA—板内碱性玄武岩; WPB—板内玄武岩;
VAB—火山弧玄武岩; OFB—洋底玄武岩; All—所有玄武岩; 投点为大红峪组玄武岩类中 Cpx

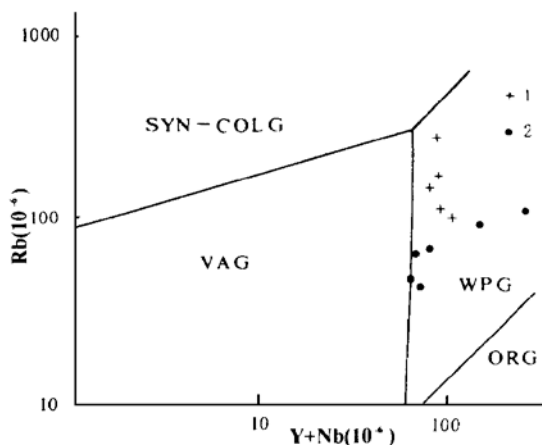


图 10 Rb 与 Y+ Nb 关系图(Pearce 等, 1984)

Fig. 10 Rb versus Y+ Nb diagram

WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; ORG—洋脊花岗岩; SYN-COLG—同碰撞花岗岩; 1—花岗岩; 2—火山岩(中酸性)

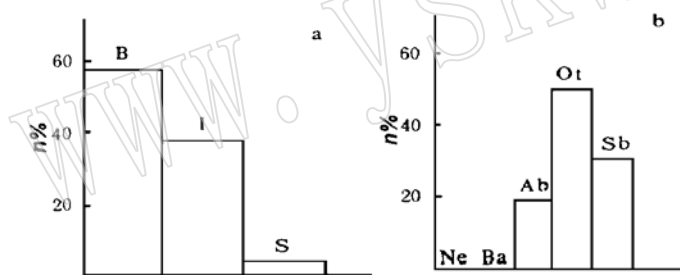


图 11 岩石酸度与基性岩种属直方图

Fig. 11 Histogram showing acidity of rocks and species of basic rocks

a 酸度直方图: B—基性; I—中性; S—酸性 b 种属直方图: Ne—霞石岩; Ba—碧玄岩; Ab—碱性玄武岩; Ot—橄榄拉斑玄武岩; Sb—石英拉斑玄武岩

b 加尔湖型裂谷有相似之处。

总之, 本区中元古代为板内克拉通拉张的断陷海槽, 它近东西向分布于内蒙地轴南缘, 是以火山岩为中轴的陆间初始裂谷。由于拉张不大, 故仅为浅海、滨海相的海槽, 是陆间裂谷, 无蛇绿岩套。

(2) 中生代 火山岩产出的构造环境有与消减带有关的火山弧(岛弧、陆缘)和与板块内部有关的断陷盆地之争, 也有造山带与裂谷带之争。本文分析如下:

①地球化学投点分析 为免除火山岩由于交代、变质、风化作用引起成分变化的影响, 我们尽量以惰性元素、Cpx 矿物化学分析为主, 而以主要元素为辅进行研究。由图 12—15 投点表明: 本区每组火山岩产出的构造环境并不单一, 而是随着时间的变化而变化: 早期火山岩产于板内、裂谷等稳定构造环境——拉张(开)环境; 晚期火山岩产于火山弧(岛弧、活动陆缘)造山带等活动构造环境——挤压(合)环境。不同组的开、合程度是不同的: 南大岭组与东狼沟组火山岩碱度较高, 酸度较低, 以拉张环境产出为主, 挤压则相对较弱; 髻髻山组与东岭台组火山岩碱度较低, 酸度较高, 则以挤压环境产出为主, 拉张则相对较弱。

①地球化学投点分析 为免除火山岩由于交代、变质、风化作用引起成分变化的影响, 我们尽量以惰性元素、Cpx 矿物化学分析为主, 而以主要元素为辅进行研究。由图 12—15 投点表明: 本区每组火山岩产出的构造环境并不单一, 而是随着时间的变化而变化: 早期火山岩产于板内、裂谷等稳定构造环境——拉张(开)环境; 晚期火山岩产于火山弧(岛弧、活动陆缘)造山带等活动构造环境——挤压(合)环境。不同组的开、合程度是不同的: 南大岭组与东狼沟组火山岩碱度较高, 酸度较低, 以拉张环境产出为主, 挤压则相对较弱; 髻髻山组与东岭台组火山岩碱度较低, 酸度较高, 则以挤压环境产出为主, 拉张则相对较弱。

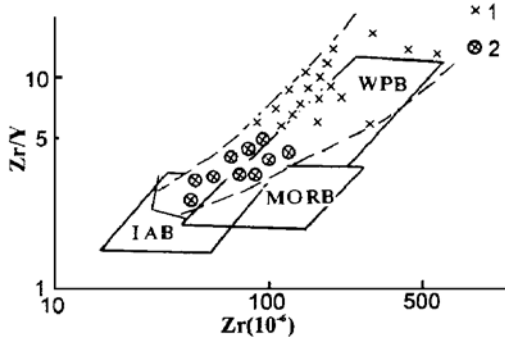


图 12 Zr/Y—Zr 图(Pearce 等, 1982)^[29]

Fig. 12 Zr/Y—Zr diagram

1—每组早期火山岩; 2—每组晚期火山岩; WPB—板内玄武岩; MORB—洋中脊玄武岩; IAB—岛弧玄武岩

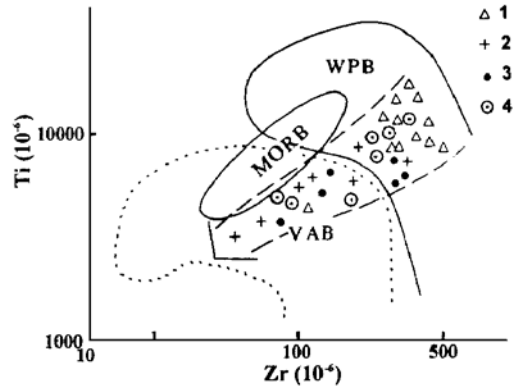


图 13 Ti—Zr 图(Pearce 等, 1982)^[29]

Fig. 13 Ti—Zr diagram

1—南大岭组; 2—髻髻山组; 3—东岭台组; 4—东狼沟组; VAB—火山弧玄武岩

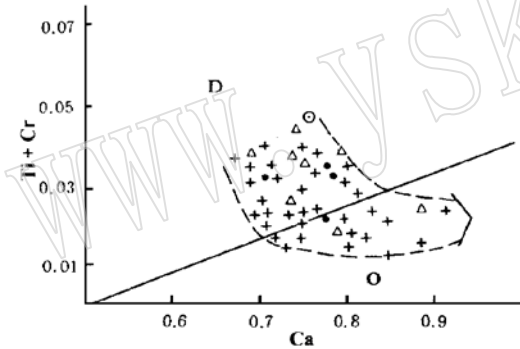


图 14 Cpx 的 Ti+Cr 与 Ca (O=6) 图(Laterrier 等, 1982)^[22]

Fig. 14 Ti+Cr and Ca(O=6) of Cpx diagram

D—非造山带; O—造山带(投点图例同图 13)

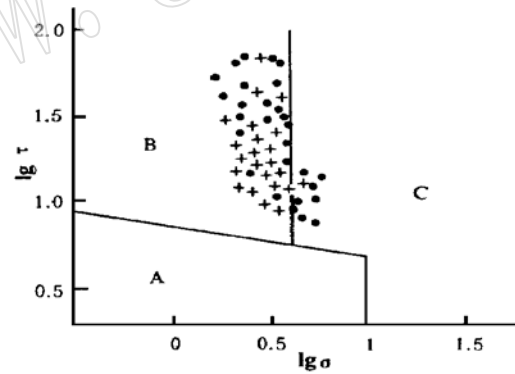


图 15 lg τ —lg σ 图(Rittmann, 1973)^[30]

Fig. 15 lg τ —lg σ diagram

B—造山带; A—稳定区; C—由 B、A 火山岩浆演化的碱性岩(投点图例同图 13)

②西太平洋板块分析 我国东部中生代时, 欧亚板块与太平洋板块相邻, 在 < 120Ma 时, 日本列岛与欧亚板块相连, 因此我国东部属于活动陆缘环境(市川浩一郎, 1970; 顾知微, 1980)^[2]。北京隶属华北地块, 中生代时受到两大动力影响^[31]: 印支期华南与华北地块 SN 向碰撞; 燕山期太平洋板块向欧亚板块俯冲, 俯冲方向从 NNW → NW → NWW 变化^[32]。拉张(断陷)与挤压(褶皱)作用是共生、交替的, 从而先后顺序形成 NEE → NE → NNE 向(J₁ → J₃ → K₁) 的裂谷造山带。开时断陷、火山喷出, 合时褶皱、岩浆侵入。由于本区是大陆板内再活动, 故构造开合较小, 岩浆碱度较高。

3. 2 拉张距离

中元古代、中生代的海槽、陆盆均为断陷拉张产物, 拉张的宽度(D)、速度(V)^[18]估算

如下:

(1) 中元古代 已知大红峪组火山岩喷发年龄差值 $T = 1543 - 1325 = 218$ (Ma)。反映拉张速度的碱性玄武岩 K_2O 平均值(16 个) = 3.19%, $Zr = 147(10^{-6})$, $Zr/Y = 8.2$, 投于图 16, 确定其拉张速度不大, $V = 0.005$ cm/a。由公式 $D = 2TV$ 可求出海槽的拉张距离(D)。因为海槽向南、北反方向拉张, 距离应加倍。估算结果, 海槽的宽度为 305km, 这个宽度与现代的红海宽度相似, 证实了该海槽相当于初始洋盆, 它是慢速拉张的陆间裂谷型的海槽。从古北口—大红峪距离约 70km, 推测其拉张宽度大致为 140km, 但它仅是原始海槽宽度 305km 的一半还不够, 这是由于海槽拉张后还经过挤压收缩作用, 使海槽褶皱造山, 宽度变小。从本区中元古代地层南倾、倾角 $20 - 52^\circ$ (平均达 45°) 及地层褶皱重复也可得到佐证。

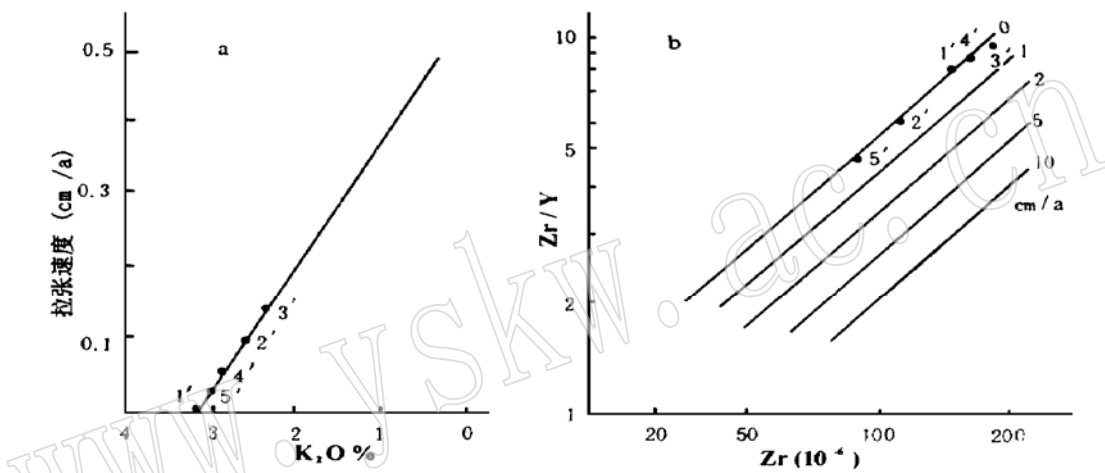


图 16 玄武岩类 K_2O 或 $Zr - Zr/Y$ 与拉张速度关系

Fig. 16 Relationship between K_2O or $Zr - Zr/Y$ and pull-apart speed for basalts

a—据邱家骧(1994)^[18,33]; b—据 Pearce (1971)^[34]; 1'—大红峪组; 2'—南大岭组; 3'—髻髻山组; 4'—东岭台组; 5'—东狼沟组

(2) 中生代 用上法可估算出断陷陆盆的宽度、速度(表 3)。不难看出, 从老到新盆地的拉张速度与距离为小→大→小的变化, 这与本区构造环境从稳定到活动, 又到稳定的规律一致。现在所见盆地宽度均小于原盆地宽度, 也应是后期挤压的结果。

表 3 中生代火山岩不同组玄武岩喷出年龄、 K_2O 含量、拉张速度及距离

Table 3 Eruption ages of basalts from different Mesozoic formations as well as K_2O contents, pull-apart speeds and distances

火山岩组名	火山喷发年龄及差值 (Ma)	玄武岩类 K_2O 含量 (平均个数) (%)	盆地拉张速度 (cm/a)	盆地拉张距离 (宽度, km)	现在盆地宽度 (km)
南大岭组	195- 170= 25	2.62 (4)	0.08	40	20
髻髻山组	160- 137= 23	2.19 (3)	0.16	74	36
东岭台组	134- 110= 24	2.81 (2)	0.06	29	14
东狼沟组	105- 100= 5	3.01 (3)	0.04	4	3

4 岩浆来源与演化机理

本区火山岩浆的来源、演化机理问题,是岩石学研究中值得探讨的问题。

4.1 岩浆的来源

(1) 岩浆源区 由大红峪组火山岩有 55% 的“硅谷”存在, 髫髻山组与东岭台组火山岩有 66%—67% 的“硅谷”存在, 而“硅谷”又是岩石成分与系列截然不同的分界线, 不难分析, 本区至少有 SiO_2 低于 55% 的基性岩浆与 SiO_2 高于 66% 的酸性岩浆, 还有介于基性与酸性岩浆之间的中性岩浆。基性与酸性火山岩中 La/Sm 呈正相关^[35] 反映它们多为幔、壳部分熔融的原始岩浆产物; 而从基性与酸性火山岩同位素的不同特征, 可知基性岩浆与酸性岩浆分别来自上地幔与下地壳; 介于二者之间的中性岩浆则为幔源与壳源混合、混染及分离结晶产物。

(2) 来源深度 以中元古代与中生代幔源玄武岩类在 $\text{Ol}'-\text{Ne}'-\text{Q}'$ ^[36] 上投点及岩石中 Cpx 中 $\text{Al}(\text{O}=6)$ 代入地质压力计^[37], 可估算出幔源基性岩浆来源于 1.6—1.4GPa 压力、深约 53—46km 的上地幔(中元古代比中生代来源深)。从髫髻山组、东岭台组中壳源流纹岩类在 $\text{Ab}-\text{Or}-\text{Q}-\text{H}_2\text{O}$ 系图(图 17)上投点可以看出, 酸性岩浆来源于下地壳, 其平均深度: 髫髻山组 38km (1.15GPa), 东岭台组 32km (0.98GPa); 而酸性岩浆房则位于上地壳, 平均深度: 髫髻山组约 10km (0.31GPa), 东岭台组约 5km (0.15GPa)。岩浆酸度与深度呈反相关。

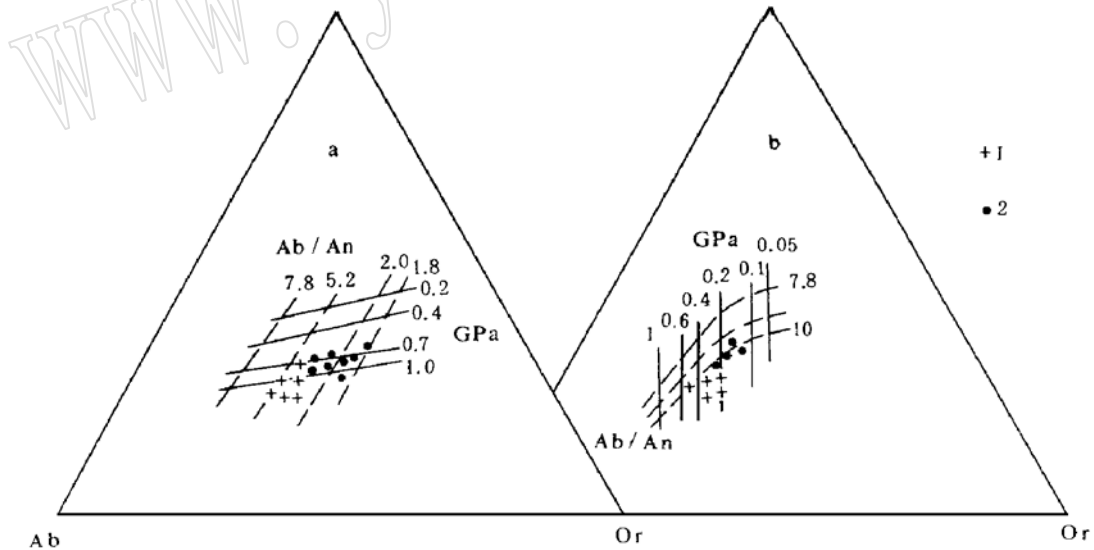


图 17 $\text{Ab}-\text{Or}-\text{Q}-\text{H}_2\text{O}$ 系图(据参考文献^[38,39])

Fig. 17 Diagram of $\text{Q}-\text{Ab}-\text{Or}-\text{H}_2\text{O}$ system

a—酸性岩浆源区压力; b—酸性岩浆房压力; 1—髫髻山组; 2—东岭台组

4.2 岩浆的演化

(1) 同化混染与混合作用 中性岩浆为幔壳物质混染或混合产物, 即或为幔源岩浆同化

混染了地壳围岩, 或为幔源岩浆与壳源岩浆的混合, 从而变为中性岩浆。本区中性岩中 $\lg SI$ 与 MgO 等氧化物的投点分散, 线形关系不清, 由此可知同化混染作用的存在。幔源与壳源岩浆混合作用也是存在的, 主要表现为火山岩中长石成分呈双峰式, 变化大。大红峪组碱性玄武岩中斑晶为拉长石, 微晶中则拉长石与更长石共生及钙歪长石、钠透长石共生; 斑晶中心为中长石, 而环边为钾拉长石。髫髻山与东岭台组的安粗岩中斑晶为 8—49 号, 变化很大, 而且斑晶常比微晶小(3—7 号), 均反映存在基性与酸性岩浆的混合。

(2) 分离结晶作用 由图 18 投点可知, 本区火山岩还存在分离结晶作用。大红峪组火山岩从基性到中性, 由于先是 Cpx 与 Pl 结晶, 后来 Cpx 又单独结晶, 从而使岩浆的碱度、酸度增大, 尤其 K_2O 增加明显, 形成了碱性玄武岩系列, 从低钾、基性的碱性玄武岩—响岩质碱玄武岩岩浆, 突变为高钾、中性的响岩岩浆。髫髻山与东岭台组火山岩, 以“硅谷”($SiO_2 = 66\% - 67\%$) 为界, 低硅岩浆中分离结晶了 Cpx、Pl, 形成了钾玄武岩系列的粗面玄武岩—钾玄武岩—安粗岩—粗面岩组合, 而高硅岩浆中分离结晶 Pl, 形成了高钾钙碱性系列的英安岩—流纹岩组合。

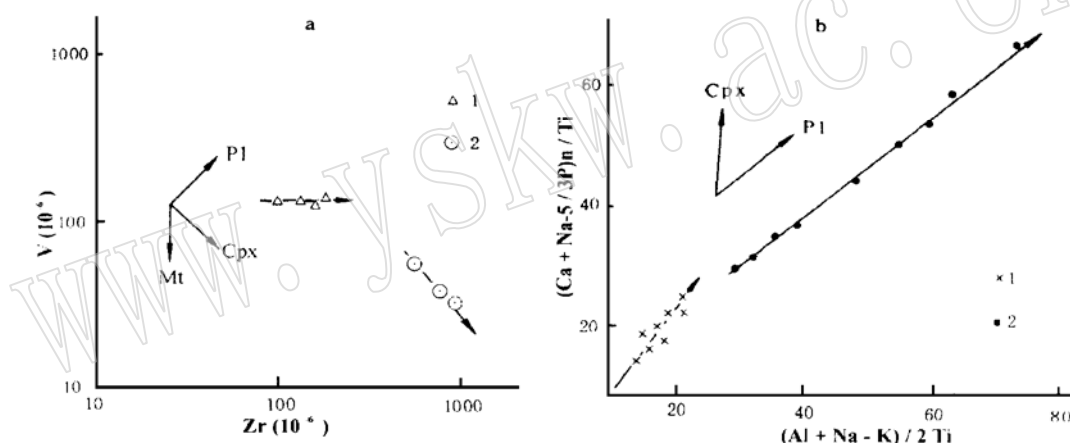


图 18 微量、主要元素与分离结晶矿物关系图^[40,41]

Fig. 18 Relationship of trace elements and major elements to minerals of fractional crystallization

a—中元古代大红峪组火山岩: 1—基性; 2—中性 b—中生代髫髻山与东岭台组火山岩: 1—低硅岩浆; 2—高硅岩浆

岩浆的来源、演化也与构造环境有关: 拉张时岩浆来源深、酸度低、分离结晶较强; 挤压时岩浆来源浅, 酸度高, 混染(合) 较强。在岩浆演化中, 岩浆的分离结晶与同化混染作用也是相互促进的: 混染作用使岩浆降温, 促进分离结晶; 而分离结晶放出结晶潜热, 才能使岩浆同化混染继续进行。因此, 同化混染作用与分离结晶作用是共生的。不难分析, AFC (Assimilation fractional crystallization) 作用在本区岩浆演化中意义重大, 也说明本区岩浆是开放体系下的演化产物。而开放体系在岩浆演化中, 是具有普遍性的。

参 考 文 献

1 鲍亦岗等. 论北京地区燕山运动. 地质学报, 1982, (2): 195—204.

- 2 吴利仁. 华东及邻区中生代火山岩. 北京: 科学出版社, 1984, 1—220.
- 3 王鸿祯、乔秀夫. 中国元古代构造单元及其边界性质. 国际晚前寒武纪地质讨论会论文选集 第3号 前寒武纪地质. 地质出版社, 1987, 7.
- 4 郁建华. 北京地区岩浆作用及构造发展史. 北京: 地质出版社, 1990.
- 5 王人镜等. 北京西山东北岭向斜早侏罗世细碧岩及成因. 见“北京西山地质研究”. 北京: 中国地质大学出版社, 1990.
- 6 北京地质矿产局. 北京区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991.
- 7 廖群安等. 北京地区中生代钾玄岩—高钾钙碱性系列的识别及成因分析. 岩石学报(增刊), 1993, 14—24.
- 8 李昌年、邱家骧、杨眉. 北京地区元古代火山作用及其构造环境讨论. 见李兆鼐、王碧香主编“火山岩、火山作用及有关矿产——第二届火山岩会议论文集”. 北京: 地质出版社, 1993, 154—162.
- 9 周先勇. 蓟县大红峪期火山岩的基本特征. 见李兆鼐、王碧香主编“火山岩、火山作用及有关矿产——第二届火山岩会议论文集”. 北京: 地质出版社, 1993, 122—127.
- 10 鲍亦岗等. 北京燕山地质及火山岩. 北京: 地质出版社, 1995, 4—162.
- 11 孙善平等. 北京西山中生代火山活动特征及构造环境分析. 见李东旭等著“北京西山地质构造系统分析”. 北京: 地质出版社, 1995, 65—75.
- 12 杨眉、邱家骧. 北京地区元古宙大红峪火山岩岩石学特征. 矿物学岩石学论丛, 1995, (10): 73—83.
- 13 董国臣. 论燕山地区燕山运动. 河北地质学院学报, 1996, (6): 660—667.
- 14 王德滋等. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩与成矿作用. 地质学报, 1996, (1): 23—34.
- 15 邓晋福等. 大陆根—柱构造—大陆动力学的钥匙. 地质出版社, 1996, 30—39.
- 16 Le Maitre R W (Editor). A classification of igneous rocks and glossary of terms—recommendations of the IUGS sub-commission on the systematic of igneous rocks. London: Blackwell Scientific Publications, 1989.
- 17 Irvine T N. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Can. J. Earth Sci., 1971, 8: 532—548.
- 18 邱家骧、陶奎元、赵俊磊等. 火山岩. 地质出版社, 1998, 35—46, 118—129.
- 19 陆志刚、陶奎元、谢家莹等. 中国东南大陆火山地质及矿产. 地质出版社, 1997, 396—411.
- 20 Morrison C W. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. Lithos, 1980, 13: 97—108.
- 21 Winchester J A and Floyd P A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chem. Geol., 1977, 20: 325—342.
- 22 Leterrier J et al. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of palaeo-volcanic series. Earth Planet. Sci. Lett., 1982, 59: 139—154.
- 23 Joplin G A. The shoshonite association: A review. J. Geol. Aust., 1968, 15(2): 275—294.
- 24 Pecerrillo A et al. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern turkey. Contr. Miner. Petro., 1976, 58: 63—81.
- 25 Nisber E G et al. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. Contr. Miner. Petro., 1977, 63: 149—160.
- 26 Pearce J A et al. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petro., 1984, 25: 956—983.
- 27 Lawford 等. 美国西南部元古代 A 型花岗质岩浆作用的性质和成因. 国外花岗岩类地质与矿产, 1990, (2): 33.
- 28 Franco Barberi, Roberto Santacroce and Jacques Varet. Geodynamics series, 1982, 8: 223—258.
- 29 pearce J A. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Andersites(ed. by Thorps R S). Chichester J. Wiley & Sons, 1982: 525—548.
- 30 Rittmann A. Note to contribution by Gottni on the "Serial character of the volcanic rocks of pantelleria". Boll. Volcanol., 1970, 33: 979—981.
- 31 Wang Dezi and Ren Qijiang et al. The mesozoic volcanic-intrusive complexes and their metallogenic relations in east China. Beijing: Science Press, 1996: 1—96.
- 32 Hilde H. The evolution of western pacific plate and its margin. Tectonophysics, 1977, 38: 115—165.
- 33 邱家骧等. 北秦岭早古生代海相火山岩. 河南地质, 1994, (4): 263—274.

- 34 Pearce J A et al. Ophilitic origin investigated by discrimination analysis using Ti, Zr and Y. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1971, 12: 339—349.
- 35 Allegre C J et al. Quantitative models of trace elements in igneous petrology. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1978, 38: 1—25.
- 36 Yoder H S Jr. *Generation of basaltic magma*. Washington D C: National Academy of Science, 1976: 265.
- 37 邱家骧、曾广策. 中国东部新生代玄武岩中低压单斜辉石的矿物化学及其岩石学意义. *岩石学报*, 1987, 4: 1—9.
- 38 Tuttle O F et al. Origin of granite in light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Min. Geol. Soc. Am.*, 1958: 74.
- 39 Lipman P W. Water pressure during differentiation and crystallization of some ash-flow magma from southern Nevada. *Am. J. Sci.*, 1966, 264: 810—826.
- 40 James D and Pearce J A et al. The Geochemistry of the lower proterozoic-winyana complex volcanics. New South Wales: Broken Hill Block; Pharaoh T C et al. (ed.). *Geochemistry and Mineralization of proterozoic volcanic suites*. Geological Society Special Publication, 1987, 33: 391—408.
- 41 Ernst R E et al. Modeling of igneous fractionation and other process using Pearce diagram. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1988, 100: 12—18.

The Acidity, Series, Tectonic Settings and Magmatic Origin of Middle Proterozoic and Mesozoic Volcanic Rocks from Beijing Area

Qiu Jiexiang, Liao Qunan

(China University of Geosciences, Wuhan 430070)

Key words: Beijing; Middle Proterozoic and Mesozoic volcanic rocks; acidity; series; tectonic setting; origin of magma

Abstract

In this paper, the authors has studied the geology, petrology, mineral chemistry, geochemistry, petrogenesis, tectonic environment of Middle Proterozoic and Mesozoic volcanic rocks from Beijing area, discussed the spatial and temporal distribution and compositional variation of volcanic rocks, analysed the acidity frequency and magma series, estimated the tectonic settings and pull-apart distance, and evaluated sources and evolutionary mechanism of magma.