

内蒙古苏尼特左旗东苏岩石系列的成因与演化

罗照华 谌宏伟 柯珊 罗飞

(中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083)

摘要 东苏岩石系列具有高 SiO_2 富碱的特征,各组成单元之间具有明显的脉动型或涌动型侵入接触关系。但是,无论是主元素还是微量元素地球化学特征,均不能用单一的岩浆成因模型得到解释。根据地质学、岩石学与地球化学特征,认为岩浆起源于麻粒岩相下地壳,源区残留矿物组合中含有斜长石,不含石榴石和角闪石。较早形成的芒乃陶勒盖单元可能与钾长石的堆晶作用有关,哈纳音哈达单元有幔源组分的贡献,哈纳音哈达与塔木嘎特两个单元之间具有同源岩浆演化的特征,而最后形成的乌兰哈达单元则可能是更深位岩浆侵入的产物。

关键词 内蒙古;岩石系列;花岗岩;超单元;堆晶作用;岩浆起源与演化

中图分类号 :P581 P588.12⁺¹ **文献标识码** :A **文章编号** :1000-3657(2002)03-0291-06

内蒙古中部苏尼特左旗旧址(贝勒庙)一带出露有一个形成于侏罗纪—白垩纪的花岗岩岩基,面积达230 km²。1:20万区调报告将其命名为东苏岩体,并以相带的变化解释了其内部岩石类型的多样性。在苏尼特左旗等8幅1:5万区调过程中,按照单元—超单元填图方法将其解体为2个超单元7个单元。其中东苏超单元中各单元的排列顺序与成因演化引起了激烈的争论。依据侵入体相互接触关系,各单元形成顺序由老到新依次为芒乃陶勒盖单元、哈纳音哈达单元、塔木嘎特单元和乌兰哈达单元^[1]。区调报告成文过程中,项目负责人依据其对同源岩浆演化理论的理解,将其调整为乌兰哈达—芒乃陶勒盖—哈纳音哈达—塔木嘎特单元^①。造成这种差异的主要原因是对于岩浆作用过程认识不足。

本文在重新审视各种基础地质资料的基础上,对东苏超单元(岩石系列)的岩浆成因、演化及其反映的区域地球动力学过程进行了探讨,认为东苏超单元的岩浆起源于麻粒岩相下地壳贫水环境,并有少量幔源物质的贡献。同时提出,伴随东苏超单元的形成,发生了区域构造抬升。

1 岩石学与矿物学特征

东苏岩石系列的岩石类型以二长花岗岩为主,部分过渡为正长花岗岩,相互区别主要表现为岩石结构的变化,从早到晚其结构依次为多斑状结构、似斑状结构、中粒结构和细粒结构,基质中局部出现文象结构和蠕虫结构等。主要造岩矿物为石英和两种长石,含有少量黑云母,极少见到白云母,副矿物主要为磁铁矿、锆石和磷灰石。

石英:是东苏岩石系列的主要造岩矿物之一,平均含量约25%,各单元大致相近,因受后期构造影响多具波状消光。手标本上,不同单元之间略有不同,如芒乃陶勒盖单元为乳白色,塔木嘎特单元为烟灰色。

斜长石:多呈半自形板状晶体,双晶发育,以聚片双晶和卡钠复合双晶为主,有的颗粒具不明显的环带状构造,晶体中心部位多具绢云母化。斜长石具两个世代,早期的斜长石被钾长石包裹,被包裹的长石常具交代蚕蚀和交代净边结构,表面多具绢云母化;晚期斜长石呈半自形—他形充填在钾长石斑晶之间。东苏岩石系列的斜长石主要以基质形式出现,

收稿日期:2002-01-04;改回日期:2002-03-26

基金项目:国土资源大调查项目 200113900018-5,200113900069-4-3,20001010201资助。

作者简介:罗照华,男,1956年生,教授,主要从事岩石物理化学与区域岩石大地构造的研究。

① 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古苏尼特左旗等8幅1:5万区域地质调查联测报告,1996.

少量构成斑晶。斜长石牌号An一般为20左右。

钾长石:多呈半自形板状晶体,构成斑晶,基质中一般为不规则状他形—半自形,有条纹长石、微斜长石和正长石。条纹长石有两类,一种是占主导地位的分解条纹长石,条纹多呈页片状,平行排列,为固溶体在低温下的出溶结构;另一种呈斑片状,条纹呈不规则片状,具斜长石聚片双晶残留,是交代作用的产物。斑晶主要出现于芒乃陶勒盖和哈纳音哈达2个单元,斑晶相的钾长石中Or=83~93,基质中Or的成分为90~98。各单元钾长石的成分无明显差异。据探针分析,条纹长石中的钠长石出熔叶片成分为Ab=88.6%~95.2%,An=0.1%~1.2%,Or=4.7%~10.3%;钾长石主晶的成分为Ab=3.7%~8.1%,An=0.9%~1.2%,Or=91.3%~95.4%。早期单元中的钠长石出熔叶片含较高的Or分子,晚期几乎为纯的钠长石,分解条纹长石的形成温度为440~490℃。

黑云母:片状,半自形—他形,具浅黄—深褐色多色性,早期单元中云母因受应力而发生解理缝弯曲,部分具绿泥石化、帘石化。据化学成分分类图解,除芒乃陶勒盖单元为铁叶云母外,其余各单元均为铁质云母。黑云母中四面体Si含量为2.916%~3.107%,接近或略高于理论含量3.0%,而Al^{IV}则变化于0.84%~0.893%间,接近或略低于理论值1.0%,Al^{IV}/Si变化于0.287%~0.372%间。八面体位置中最主要阳离子为Fe²⁺、Fe³⁺、

Mg和Al^{VI},以Al^{VI}含量较高为特征,Mg绝大部分小于1.0%,Mg/(Fe²⁺+Mg)变化范围为0.076~0.41,绝大多数小于0.38。从黑云母的种属及八面体阳离子占位和MF值看,东苏花岗岩具S型花岗岩特征。

此外,东苏花岗岩中副矿物较丰富。除芒乃陶勒盖单元外,均有较高含量的独居石,在较晚期侵入的塔木嘎特单元中,含挥发分的副矿物萤石的含量甚高,为岩浆演化晚期阶段的产物。整个岩体的独居石含量较高,反映了岩体比一般花岗岩具有较高的氧逸度。

东苏岩体中也见有少量暗色微粒包体。包体一般呈扁平状或椭圆状,大小不等,一般2~5 cm×10~15 cm,最大可达30 cm×40 cm。它们主要分布于岩体的顶部或边部,总含量小于1%,其岩性为花岗闪长质—闪长质包体,主要矿物成分为石英20%,钾长石15%~20%,斜长石40%~45%,黑云母15%。据电子探针分析,钾长石为Or大于89%的正长石和条纹长石,与寄主岩石相近,斜长石的An=35%左右,比寄主岩石的An高;黑云母的种属为铁质黑云母。其化学成分与寄主岩石成分相比具有较低的SiO₂、K₂O及挥发分,而Al₂O₃、FeO*、MgO、CaO、Na₂O较高。这表明,包体比其寄主岩石具有偏基性的化学组成。

2 地球化学

东苏花岗岩以富SiO₂、Al₂O₃、K₂O为特征(表1),

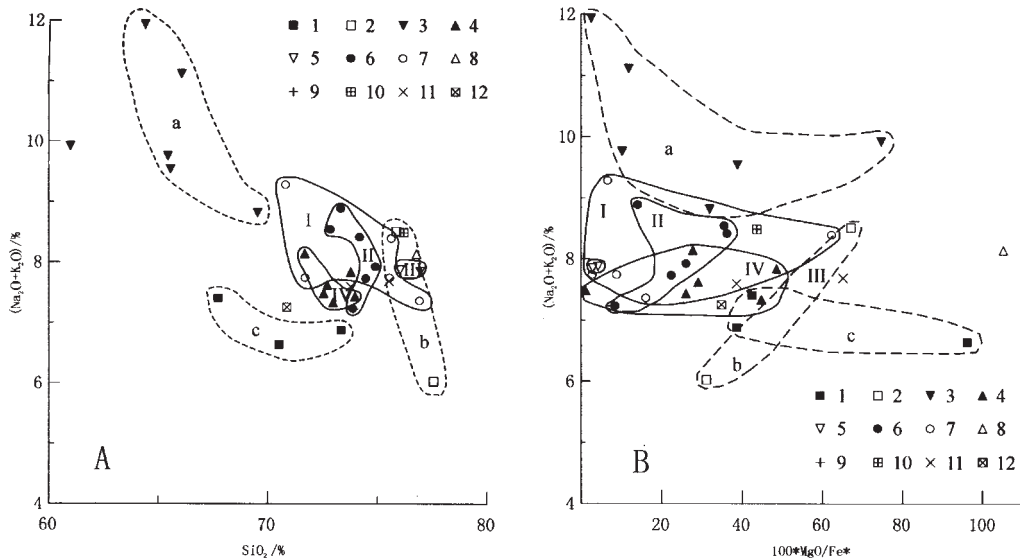


图1 东苏岩体的元素变异图解

Fig. 1 Element variation diagram of the Dongsu intrusion

1—满都拉图敖包单元 2—永红大队单元 3—乌拉音敖包单元 4—乌兰哈达单元 5—塔木嘎特单元 6—哈纳音哈达单元;

7—芒乃陶勒盖单元 8—永红大队中岩脉 9—乌拉音敖包中岩脉 10—塔木嘎特中岩脉 11—哈纳音哈达中岩脉 12—暗色微粒包体

图中圈定范围为东苏岩石系列(罗马数字)与沙尔塔拉系列(英文字母)各岩石单位排列顺序

SiO₂含量71.71%~76.95%,平均达74.43%,标准矿物成分上Q和Or分子的含量较高,普遍出现刚玉标准矿物。全碱含量平均为7.93%,略高于一般花岗岩,且K₂O>Na₂O。Al₂O₃的平均含量为13.42%,略低于一般同类花岗岩。除乌兰哈达单元外,CaO的含量低于花岗岩的全国平均值,Cl的含量较高,而在塔木嘎特单元中,则F的含量较高,与其中的副矿物萤石的含量较高相一致,说明在岩浆演化的晚期发生过流体相的富集。

通常,在讨论同源岩浆系列演化的过程中都要用到元素或化合物含量的变异曲线、相关图解等。在这类图解中,复式岩基各组成部分的投点一般分布在一个狭窄的区带,似乎为我们简单地利用结晶分异理论提供了支持。然而,考虑到不同岩石单元形成的先后顺序以及元素在矿物和熔浆之间的分配,发现一些与同源岩浆演化理论相矛盾的现象。由图1可见,全碱随SiO₂(图1A)和镁值(图1B)的变化呈现出‘杂乱’的信息,超单元内部各岩性单位在元素相关图解中的排列顺序与根据地质研究确定的顺序相矛盾。这表明岩石系列的形成可能经历了比较复杂的过程,而不仅仅是同源岩浆演化。

东苏花岗岩的稀土元素含量特征见表2。从早到晚,东苏各单元的稀土总量平均值分别为137.31×10⁻⁶、110.23×10⁻⁶、130.66×10⁻⁶和103.72×10⁻⁶,总体变异趋势不明显。特征是负Eu异常明显,从早到晚δEu依次为0.04~0.3、0.15~0.31、0.02、0.13~0.8,但轻重稀土的分馏并不特别明显(图2)。这种特征和一般花岗岩的配分模式是有区别的。一般认为,元素的丰度取决于熔浆/矿物平衡热力学,国内学者多数将火成岩中出现的Eu异常归因于斜长石的结晶分异。但是,分离结晶的首要条件是被分离的矿物是熔浆的液相线矿物,且其密度大于或者小于残余熔浆的密度。东苏岩石系列中斑晶矿物主要为钾长石的岩相学特征表明,其液相线相是钾长石而不是斜长石。因此,岩石出现强烈的负Eu异常可能表明岩浆来源于斜长石稳定的岩浆源区,而不是由于斜长石的结晶分异^[1]。同样,重稀土的富集则可能表明岩浆源区不存在石榴石、角闪石等重稀土的矿物。

东苏各单元的微量元素除Th含量明显高于一般花岗岩之外,其他元素多数低于同类岩石的平均值。从早到晚,微量元素的含量变化无明显的规律,但Co、Cr、V、Zr等元素略有降低趋势,不相容元素略有升高。Th的正异常和岩体的高放射性强度及富含独居石类

副矿物的特征是一致的。值得注意的是,在痕量元素MORB标准化蛛网图上,Ba、Nb、Sr、Eu、Cr呈明显的负异常,而Rb、Th、K、Y、Yb、Sm则表现为正异常(图3)。这也表明源区可能存在含斜长石的矿物组合而缺乏石榴石和角闪石,可能还有尖晶石类矿物存在。

3 岩浆成因类型和演化

综上所述,东苏岩石系列各组成单位的成分相

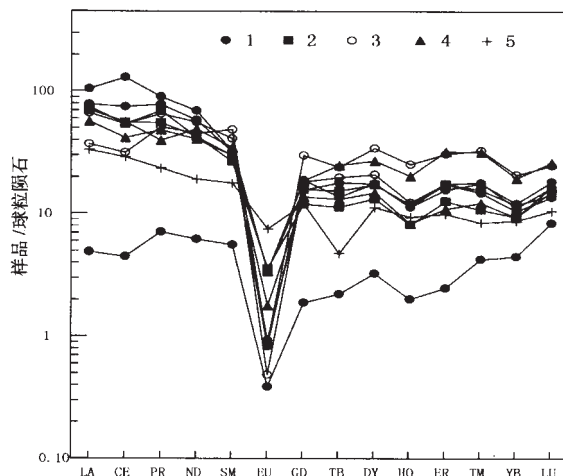


图2 东苏岩石系列的稀土元素配分形式

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns of the Dongsu rock series

1—芒乃陶勒盖单元 2—哈纳音哈达单元 3—塔木嘎特单元
4—乌兰哈达单元 5—晚期岩脉

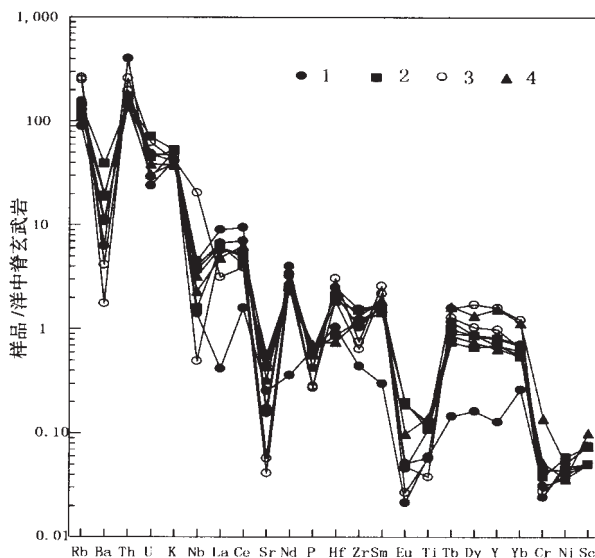


图3 东苏岩石系列的痕量元素蛛网图

Fig. 3 MORB-normalized trace element spidergram of the Dongsu rock series

1—芒乃陶勒盖单元 2—哈纳音哈达单元 3—塔木嘎特单元
4—乌兰哈达单元

表 1 东苏岩石系列的化学分析及 CIPW 标准矿物组成(%)
Table 1 Chemical analysis of the Dongsu granite series and its CIPW norm(%)

编号	代号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	CO ₂
hf-09	1	75.66	0.07	12.78	0.48	0.48	0.03	0.57	0.73	3.21	5.18	0.04	0.31	0.00
hf-10	1	76.95	0.14	11.35	0.42	1.23	0.04	0.26	1.33	2.73	4.63	0.03	0.44	0.00
hf-11	1	75.58	0.10	12.81	0.56	0.62	0.03	0.10	1.48	3.47	4.27	0.07	0.54	0.00
Bb0355-1	1	70.86	0.30	14.01	0.69	1.75	0.06	0.16	1.45	3.85	5.43	0.14	0.55	0.17
hf-07	2	74.93	0.16	13.65	0.42	0.96	0.05	0.35	0.70	3.09	4.83	0.05	0.45	0.00
hf-08	2	74.51	0.21	13.62	0.23	1.35	0.07	0.35	1.00	3.04	4.69	0.05	0.39	0.00
Bb06-1	2	72.88	0.17	13.87	0.71	0.96	0.06	0.57	1.54	3.84	4.70	0.06	0.42	0.15
Bb2365-1	2	74.22	0.14	13.34	0.36	0.94	0.05	0.46	1.16	3.73	4.68	0.08	0.54	0.11
Bb1682-1	2	73.36	0.17	13.80	0.69	0.65	0.03	0.18	0.99	3.71	5.17	0.08	0.70	0.09
hf-03	3	76.06	0.05	13.62	0.14	0.81	0.05	0.04	0.49	3.56	4.32	0.01	0.51	0.00
hf-04	3	76.97	0.07	12.88	0.13	0.88	0.04	0.03	0.57	3.22	4.63	0.01	0.37	0.00
hf-05	4	74.00	0.17	14.71	0.58	0.86	0.07	0.36	0.77	3.20	4.24	0.06	0.52	0.00
hf-06	4	73.81	0.18	13.92	0.39	1.07	0.07	0.69	0.88	3.01	4.83	0.06	0.53	0.00
B1710-16	4	73.01	0.22	13.10	0.72	1.16	0.05	0.81	2.19	3.43	3.91	0.05	0.67	0.00
Bb1647-1	4	71.71	0.21	14.49	0.54	1.24	0.05	0.48	2.02	4.31	3.84	0.09	0.64	0.17
Bb1627-1	4	72.73	0.19	13.85	0.72	1.21	0.05	0.54	1.97	3.87	3.76	0.08	0.70	0.14
B3801-22	5	75.54	0.09	12.88	0.53	0.32	0.02	0.52	0.41	2.64	5.05	0.00	1.08	0.00
V-1-1	5	73.81	0.16	13.34	0.50	1.18	0.07	0.63	1.02	3.43	4.17	0.08	0.69	0.41
B3801-27	5	76.22	0.08	12.49	0.54	0.59	0.02	0.47	0.33	3.28	5.21	0.01	0.58	0.00
B3805-7	6	70.90	0.32	14.16	0.96	2.00	0.07	1.00	1.63	3.53	3.73	0.18	0.93	0.00

编号	代号	F	q	c	or	ab	an	Cpx			Opx		mt	ilm	ap
								wo	en	fs	en	fs			
hf-09	1	0.01	34.42	0.67	35.89	22.34	3.40	0.00	0.00	0.00	1.43	1.63	0.00	0.14	0.09
hf-10	1	0.09	40.06	0.00	34.95	15.95	5.09	0.56	0.16	0.43	0.50	1.35	0.61	0.27	0.08
hf-11	1	0.12	36.04	0.00	36.65	18.42	6.83	0.04	0.01	0.03	0.24	0.56	0.82	0.19	0.18
Bb0355-1	1	0.13	24.33	0.00	40.72	24.78	4.98	0.58	0.09	0.53	0.31	1.76	1.01	0.58	0.34
hf-07	2	0.08	36.32	2.20	33.55	21.56	3.19	0.00	0.00	0.00	0.88	1.27	0.61	0.31	0.11
hf-08	2	0.09	35.74	1.86	35.29	18.61	4.69	0.00	0.00	0.00	0.88	2.09	0.34	0.40	0.12
Bb06-1	2	0.07	28.43	0.00	39.42	21.22	6.78	0.21	0.12	0.08	1.31	0.92	1.04	0.32	0.15
Bb2365-1	2	0.04	31.37	0.23	37.06	22.65	5.27	0.00	0.00	0.00	1.16	1.29	0.53	0.27	0.19
Bb1682-1	2	0.04	29.24	0.49	38.30	24.40	4.46	0.00	0.00	0.00	0.45	2.14	0.00	0.33	0.18
hf-03	3	0.22	37.46	2.25	28.50	27.61	2.35	0.00	0.00	0.00	0.09	1.41	0.02	0.09	0.04
hf-04	3	0.10	38.85	1.58	31.43	23.46	2.75	0.00	0.00	0.00	0.08	1.50	0.19	0.13	0.04
hf-05	4	0.06	37.08	3.64	31.05	21.58	3.46	0.00	0.00	0.00	0.91	0.97	0.85	0.33	0.14
hf-06	4	0.07	34.79	2.31	35.05	19.54	4.02	0.00	0.00	0.00	1.74	1.50	0.57	0.35	0.14
B1710-16	4	0.00	32.60	0.00	36.87	15.96	8.93	0.72	0.42	0.26	1.62	1.01	1.06	0.42	0.13
Bb1647-1	4	0.06	26.84	0.00	21.31	38.44	8.94	0.25	0.11	0.14	1.10	1.45	0.79	0.40	0.21
Bb1627-1	4	0.06	30.71	0.02	20.36	35.16	9.37	0.00	0.00	0.00	1.36	1.42	1.05	0.36	0.18
B3801-22	5	0.00	39.42	2.38	32.69	20.57	2.06	0.00	0.00	0.00	1.32	1.38	0.00	0.16	0.01
V-1-1	5	0.00	34.84	1.55	33.19	21.33	4.61	0.00	0.00	0.00	1.60	1.65	0.74	0.31	0.19
B3801-27	5	0.00	35.86	0.89	31.41	27.56	1.59	0.00	0.00	0.00	1.18	0.55	0.79	0.16	0.02
B3805-7	6	0.00	30.97	1.81	34.50	18.18	7.01	0.00	0.00	0.00	2.53	2.51	1.41	0.62	0.43

注:1—芒乃陶勒盖单元中粗粒多斑黑云母二长花岗岩;2—哈纳音哈达单元中粒斑状黑云母二长花岗岩;3—塔木嘎特单元中粒黑云母正长花岗岩;4—乌兰哈达单元细粒黑云母二长花岗岩;5—脉岩;6—包体;q—石英;c—刚玉;or—钾长石;ab—钠长石;an—钙长石;wo—硅灰石;en—顽火灰石;fs—斜铁灰石;Cpx—单斜辉石;Opx—斜方辉石;mt—磁铁矿;ilm—钛铁矿;ap—磷灰石

表 2 东苏岩石系列的稀土元素及微量元素分析(10^{-6})
Table 2 Rare earth element and trace element analysis of the Dongsu gneiss series(10^{-6})

编号	hf-09	hf-10	hf-11	hf-07	hf-08	hf-03	hf-04	hf-05	hf-06	5-1-1
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
La	1.65	35.5	26.4	23.9	25.2	12.5	22.5	23.9	19.2	11.2
Ce	4.04	117.3	67.8	50.5	48.9	28.4	48.9	50.7	37.7	26.1
Pr	0.849	10.8	9.33	6.63	8.3	6.12	7.86	4.77	5.8	2.82
Nd	3.94	43.9	37	27.2	26.8	28.9	35.4	31.2	25.7	12.1
Sm	1.08	6.23	6.18	5.12	5.77	9.38	7.94	6.72	5.77	3.43
Eu	0.028	0.06	0.067	0.258	0.25	0.063	0.035	0.246	0.129	0.542
Gd	0.485	4.85	4.02	3.09	4.07	7.71	4.68	4.78	3.54	3.1
Tb	0.103	0.64	0.833	0.528	0.713	1.12	0.919	1.16	0.611	0.221
Dv	0.969	5.25	5.21	3.95	5.14	10.2	6.2	8.04	4.42	3.35
Ho	0.156	0.878	0.873	0.629	0.914	1.96	0.954	1.57	0.643	0.729
Er	0.492	3.46	3.11	2.5	3.44	6.12	3.48	6.38	2.17	1.97
Tm	0.135	0.468	0.561	0.342	0.495	1.04	0.568	1.01	0.388	0.268
Yb	0.977	2.29	2.64	2.05	2.57	4.54	2.44	4.26	2.04	1.92
Lu	0.283	0.46	0.616	0.511	0.48	0.832	0.549	0.883	0.56	0.354
Y	4.37	23.6	28.1	23.9	27.3	54.4	33.7	53.1	22	18.1
ΣREE	15.187	232.086	164.64	127.208	133.042	118.885	142.425	145.619	108.671	68.104
δEu	0.1028	0.0322	0.0386	0.1838	0.1502	0.022	0.0162	0.1265	0.0811	0.4989
Li	19	71	20	61	97	27	31	50	78	33
Sr	31	21	19	69	52	5	7	40	59	117
Ni	5	7	0	6	8	0	0	0	5	14
Co	2	2	1	3	3	0	0	3	3	14
V	16	19	10	19	28	12	22	25	132	
Ba	153	161	89	556	271	25	59	267	281	641
Cr	9	7	13	13	11	7	8	40	15	37
Sc	2	3	2	2	3	0	2	3	4	10
Mn	179	224	150	271	346	130	132	283	378	1089
Ti	535	969	522	969	1142	341	510	1100	1255	5673
P	333	221	320	323	306	143	148	301	375	1359
Nb	5.04	16.2	14.5	5.66	13.4	72.86	1.76	11.5	8.22	18.1
Ta	1.17	1.41	2.63	0.9	2.81	1.24	0.15	5.06	2.5	2.33
U	3.6	2.17	1.78	5.3	3.35	4.66	3.64	2.9	2.29	1.03
Th	26.4	27.6	73.5	26.9	32	47.57	36.1	33.2	25.3	18.8
Zr	39.7	139	94.1	107.4	135.3	68.2	57.8	119.2	107.5	77
Hf	2.98	7.19	6.2	2.49	5.25	8.78	5.36	6.33	2.17	
Ga	16.4	17.5	23	12.6	18.4	23.3	17.8	19.38	12.1	15.1
Rb	98.8	139.4	173.5	157.3	120.6	279.2	291.4	156.2	154.8	285.5

注:1~3—芒乃陶勒盖单元;4~5—哈纳音哈达单元;6~7—塔木嘎特单元;8~9—乌兰哈达单元;10—脉岩

近,岩石组合主要为二长花岗岩,具有S型花岗岩的特征,原生白云母(极少)的出现成为将其确定为S型花岗岩的重要证据,但是,岩石中 K_2O 略高于 Na_2O ,副矿物特征显示富磁铁矿且独居石的含量很高,似乎又属于磁铁矿-独居石系列或I型花岗岩;暗色微粒包体的出现也从一个侧面证明它们应当归属于I型花岗岩,具有壳幔岩浆混合作用的印记^[1];不过,铁质黑云母的存在反映了S型花岗岩的特征。因此,东苏岩石系列实际上同时显示了I型与S型的特征,表明其成因类型为I—S过渡型。锶初始比为0.708 2^①是佐证之一,同时也表明岩浆来源于下地壳。

S型花岗岩一般认为是铝过饱和花岗岩^[1],其形成依赖于纯地壳物质的部分熔融^[1],而I型花岗岩的形成则多少有幔源物质的贡献。哈纳音哈达单元中暗色微粒包体的产出意味着东苏岩体形成时有另一个岩浆源存在,这个岩浆源区应当位于花岗质岩浆的源区下方,可能是幔源物质。因此,结合野外地质、岩石学和地球化学特征,可以认为东苏岩石系列的前3个岩石单位属于同源岩浆演化系列,它们的形成与结晶分异作用有关,早期受到了幔源物质的混染。就岩石结构关系而论,从芒乃陶勒盖经哈纳音哈达到塔木嘎特,岩石中钾长石斑晶不断减

① 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古苏尼特左旗等八幅1:5万区域地质调查联测报告,1996.

少。野外观察表明,形成较早的芒乃陶勒盖单元具有多斑的特点,斑晶矿物为钾长石。该单元的岩石散布于哈纳音哈达单元中,具有捕虏体或顶盖的特征。鉴于钾长石先结晶和具有比重小的特点以及该单元具有最大的Ba、Nb、Sr、Eu负异常(图3),说明芒乃陶勒盖单元有可能是钾长石堆晶作用的产物。塔木嘎特单元的岩浆演化晚期特征及其与哈纳音哈达单元的涌动接触关系和过渡性质,已经清楚地表明了它的形成与哈纳音哈达单元的岩浆演化密切相关。然而,形成最晚的乌兰哈达单元则具有较低的SiO₂和较高的MgO、CaO,其细粒结构说明岩浆定位较浅、活动能力相对较强,因此是相对高温的岩浆。由此推测,乌兰哈达单元可能是更深源区岩石部分熔融作用的产物,而与较早形成的3个单元的岩浆房分异作用无关,因而不是同源岩浆演化的产物。

4 讨 论

源区的组成与热力学性质是被关注的问题之一。根据源区存在斜长石和缺乏石榴石、角闪石类矿物的特点,进一步可以推论源区相当于麻粒岩相的缺水环境,其埋深不会超过55 km。东苏岩石系列中只有哈纳音哈达单元含有少量暗色微粒包体,显然,在岩浆形成与演化过程中,幔源物质的贡献是比较小的,岩浆的形成主要依赖于地壳的深熔作用。联系到暗色微粒包体与乌兰哈达单元的偏中性特点以及后期出现闪长岩脉,可以构成一个简单的岩石成

因模型。下地壳基性麻粒岩的部分熔融导致与其相邻的花岗闪长质麻粒岩的选择性熔融,后者导致了东苏岩体主体的形成,而前者只有部分注入花岗岩岩浆中形成暗色微粒包体,或在造山抬升之后侵位于地壳浅部。最晚侵位的乌兰哈达单元具有细粒或中细粒结构,成分上相对略偏基性,不仅表明它不是前3个单元岩浆演化的产物,而且预示着在东苏岩石系列形成过程中伴随有区域构造抬升与剥蚀。

由此表明,岩浆的形成与演化应当是一个开放体系,在整个构造岩浆演化旋回中,不断地有物质的带入与带出。

本文是集体工作的成果,参加过野外和室内研究工作的主要有邓晋福、李玉文、曹永清,在此表示感谢。

参考文献:

- [1] 罗照华,邓晋福,罗飞,等. 内蒙古中部深成侵入岩谱系单位及构造岩浆活动初探[J]. 现代地质, 1995, 9(2): 189~202.
- [2] 罗照华,邓晋福,韩秀卿. 太行山造山带岩浆活动及其造山过程反演[M]. 北京:地质出版社, 1999. 1~124.
- [3] 王涛. 花岗岩混合成因研究及大陆动力学意义[J]. 岩石学报, 2000, 16(2): 161~168.
- [4] 邓晋福,赵海玲,赖绍聪,等. 白云母/二云母花岗岩形成与陆内俯冲作用[J]. 地球科学, 1994, 19(2): 139~147.
- [5] Castro A, Patino Douce A E, Corretge L G et al. Origin of peraluminous granites and granodiorites, Iberian massif, Spain: an experimental test of granite petrogenesis[J]. Contrib. Mineral Petrol. 1999, 135: 255~276.

Petrogenesis and evolution of the Dongsu granite series in Sonid Zuoqi, Inner Mongolia

LUO Zhao-hua, CHEN Hong-wei, KE Shan, LUO Fei

(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: The Dongsu granite series has high-SiO₂ and alkali-rich features and the various component units show distinct pulsating or surging intrusive contact relationships. However, neither major element nor trace element geochemical characteristics can be explained by a simple model of magmatic origin. Based on the geological, petrological and geochemical characteristics, it is believed that magma originated from the granulite-facies lower crust. The relict mineral assemblage in the provenance contains plagioclase but no garnet or amphibole. The early-formed Mangnai Tolgoi unit is likely to be related to K-feldspar cumulation, the Hanayinhada unit contains mantle-derived components, the Hanayinhada and Tamugate units have the features of comagmatic evolution, and the last-formed Wulanhada unit may be the product of emplacement of magma at the deeper level.

Key words: Inner Mongolia; rock series; granite; super-unit; cumulation; origin and evolution of magma