第 15 卷第 2 期　　地 质 与 资 源　　Vol. 15 No. 2
2006 年 6 月　　GEOLOGY AND RESOURCES　　June, 2006
文章编号:1671 – 1947(2006)02 – 0098 – 09　　中图分类号:P588. 12　　文献标识码:A

内蒙古大兴安岭北部新元古代花岗岩岩石地球化学特征及构造意义

张　明[1],王　忠[1],孟二根[1],武利文[1,2]
(1. 内蒙古自治区地质调查院,内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 中国地质大学,北京 100083)

摘　要:大兴安岭北部发育有大量的新元古代花岗岩,通过开展 1/25 万莫尔道嘎 – 奇乾幅区域地质调查工作,将其划分为 3 个构造岩浆阶段,共 7 个填图单元. 岩石组合及岩石地球化学特征的研究表明,早期的中基性杂岩 – 花岗闪长岩系列岩浆主要来源于上地幔或下地壳,是俯冲作用和壳幔相互作用的产物;中期似斑状钾长花岗岩 – 二长花岗岩系列岩浆来源于下地壳,是碰撞造山作用的产物;晚期正长岩主要来自下地壳,形成于造山晚期的伸展体制. 整个新元古代岩浆岩的发展演化过程客观地反映了大兴安岭北部西伯利亚板块南缘的运动学特征.

关键词:花岗岩;新元古代;地球化学特征;构造意义;大兴安岭;内蒙古

大兴安岭北部莫尔道嘎 – 奇乾地区,出露有大量的北东向展布的花岗岩. 由于自然条件极其恶劣,前人工作程度很低. 我们在开展 1/25 万莫尔道嘎——奇乾幅区域地质调查工作中,发现了大量的新元古代花岗岩. 它们规模大,发育完整. 通过细致的野外观测和系统的样品分析,通过岩石学、岩石地球化学特征的研究,探讨了新元古代花岗岩的演化特征、成因机制和构造意义.

1　区域地质概况

工作区内以德尔布干深断裂为界,北部属西伯利亚板块南缘新元古代陆缘增生带,南部属晚古生代陆缘增生带新元古代花岗岩出露于深断裂以北,构成北东向展布的新元古代构造岩浆岩带,其上叠加有大量华力西期—印支期中酸性侵入岩,与其伴生的变质地体有古元古代兴华渡口岩群、凤水山片麻杂岩和新元古代南华系加疙瘩组(图 1). 其中加疙瘩组形成于活动陆缘构造环境,其上部有大量的变安山岩(锆石 U – Pb 同位素年龄为 723 Ma)❶.

2　花岗岩宏观地质特征

新元古代岩浆活动强烈,广泛分布于前寒武纪基底隆起区的大新屯、望火楼、乱石山等地,呈北东向带状展布. 划分出 7 个填图单元,分属 3 个构造岩浆活动阶段:早阶段中基性侵入岩多呈岩株状产出,具片麻状构造,由中—基性杂岩、片麻状黑云母石英闪长岩、黑云石英二长闪长岩、片麻状花岗闪长岩组成;中阶段酸性侵入岩规模较大,呈岩基产出,由巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩、含斑中粒黑云母二长花岗岩组成;晚阶段为粗粒黑云母正长岩. 由于后期构造作用的改造,各阶段的地质体均遭受了不同程度的变质变形.

2.1　新元古代早阶段侵入岩

主要分布于大兴屯、八间房、乱石山、奇乾及伊木河一带,出露面积约 600 km^2,单个侵入体规模小,呈岩株状产出或呈规模不等的捕虏体,总体呈北东向展布. 岩体侵入古元古界兴华渡口岩群和新元古代南华系加疙瘩组,又被新元古代中晚期花岗岩侵入及晚古生代岩体侵入. 岩体球形风化明显,内有不等量的围岩捕虏体和暗色闪长质深源包体. 包体形态不规则,大小几厘米—几十厘米,与主岩界线渐变过渡,分布不均匀. 由于后期构造作用,岩体多数具有不均一的片麻状构造和边缘片理化. 中—基性杂岩不同岩石类型之间呈过渡关系.

2.2　新元古代中阶段侵入岩

主要分布于大兴屯、八间房农场及两间房一带,向西北延伸至俄罗斯境内,出露面积约 3500 km^2,呈岩基或较大岩株状产出. 该岩体侵入古元古界兴华渡口岩群黑云石英片岩、新元古界南华系加疙瘩组和新元古代早期岩体,同时被新元古代晚期正长岩侵入. 该期岩体含有特征的钾长石巨斑晶和少量富云母包体. 岩

收稿日期:2004 – 05 – 09;修回日期:2005 – 12 – 19. 李兰英编辑.
❶莫尔道嘎幅 1/25 万区域地质调查报告.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

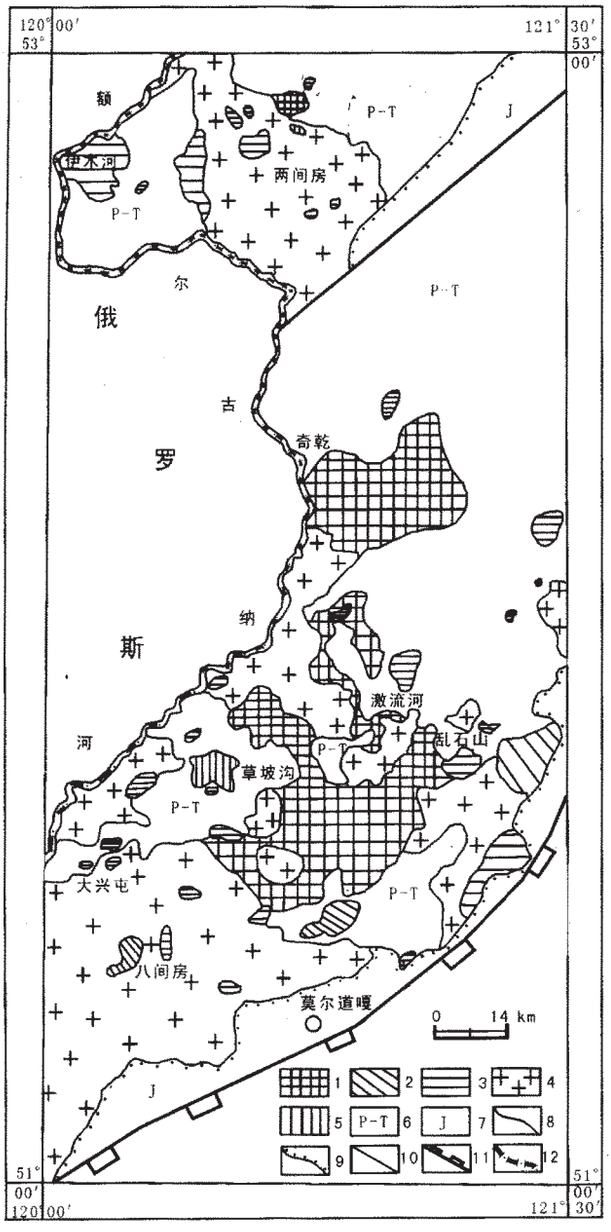


图 1　新元古代侵入岩分布图

Fig. 1　Distribution of Neoproterozoic intrusive rocks

1—前寒武纪变质地层 (Precambrian metamorphic strata); 2—古元古代片麻杂岩 (Paleoproterozoic gneiss complex); 3—新元古代早期侵入岩 (Early Neoproterozoic intrusive rock); 4—新元古代中期侵入岩 (Middle Neoproterozoic intrusive rock); 5—新元古代晚期侵入岩 (Late Neoproterozoic intrusive rock); 6—二叠—三叠纪侵入岩 (Permian-Triassic intrusive rock); 7—中生代火山岩、沉积岩 (Mesozoic volcanic rock and sedimentary rock); 8—侵入界线 (intrusive boundary); 9—不整合界线 (uncomformable boundary); 10—断层 (fault); 11—深大断裂 (deep-large fault); 12—国界 (national boudary)

体与加疙瘩组外接触带,热接触变质现象发育,形成角岩类岩石并伴有云英岩化蚀变现象. 岩体内部围岩捕虏体较多且与主岩界线模糊,导致岩石局部基性成分增加. 同化混染作用表现明显,钾质交代现象普遍,形成大量花岗质混染岩. 深成岩体边部岩石组构不均一,斑杂状构造发育.

2.3　新元古代晚阶段侵入岩

集中分布于测区西南草坡沟一带,出露面积约 40 km^2,由 2 个侵入体组成,呈近椭圆状岩株产出,侵入中—基性杂岩和巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩. 岩石呈球形风化外貌,岩体内可见 (20 ~ 300) × (50 ~ 1400) m 的灰色石英岩捕虏体和暗色闪长质包体. 暗色包体呈椭圆状或透镜状沿北东向展布,长宽比约 1∶1 ~ 8∶1,与主岩界线清晰. 岩体同化混染作用明显.

3　花岗岩岩相学特征

新元古代侵入岩岩石矿物组成及含量见表 1.

3.1　新元古代早阶段侵入岩

主要为一套中基性岩石组合,少量酸性岩,岩性有辉长岩、辉长闪长岩、片麻状中细粒闪长岩、石英闪长岩、石英二长闪长岩和花岗闪长岩 (表 1). 该阶段岩石以暗色矿物 (特别是角闪石) 含量高、石英含量低、矿物粒径较细为主要特征. 岩石普遍发生绿帘石化、绿泥石化,且多具片麻状构造. 斜长石多为半自形粒状,为更长石—拉长石 (An = 20 ~ 45),环带构造、聚片双晶发育. 暗色矿物种类有辉石、角闪石及黑云母. 角闪石多色性为褐色—浅褐色,反映其物源深、形成温度高. 微斜长石呈他形粒状. 石英呈他形粒状、填隙状分布. 黑云母呈红褐色.

3.2　新元古代中阶段侵入岩

为一套酸性岩石组合,岩性为巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩和含斑中粒黑云母二长花岗岩,以似斑状结构为特征. 岩石基本不含角闪石,黑云母含量少,石英含量高. 斑晶为微斜条纹长石,少量为石英,粒径 10 ~ 40 mm,呈自形板状,部分熔蚀呈卵圆形,含有斜长石、石英、黑云母等矿物细粒包裹体. 晶体周边常有斜长石、石英嵌入,呈不规则状,斑晶排列具定向性. 基质由微斜条纹长石、斜长石、石英、黑云母及少量角闪石组成. 斜长石呈半自形板状、粒状,An = 3 ~ 15,为钠、更长石,具绢云母化. 与斜长石接触处可见无明显轮廓的围岩捕虏体,其成分为微细粒的斜长石、黑云母和石榴石,有高岭土化、黝帘石化现象. 微斜条纹长石呈半自形板状,交代早期斜长石,由于交代不彻底形成交代条纹结构、蠕虫结构和交代残留结构. 石英呈他形粒状. 黑云母呈鳞片状,具绿泥石化,褪色析出铁质.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 侵入岩矿物特征一览表

Table 1 Mineralogic characteristics of intrusive rocks

新元古代	填图单元	岩性	结构	构造	矿物组合及含量/%							矿物粒径
					Pl	Di	Hy	Hb	Q	Bi	Kf	/mm
早阶段	中—基性杂岩	蚀变辉长岩	变余辉长结构	片理化构造	50	45		5				0.5 ~ 3
		斑状紫苏辉绿辉长岩	斑状结构、辉绿含长结构	块状构造	斑晶 5 基质 40	15	30		2	10		1 ~ 4
		细粒辉长闪长岩	细粒辉长结构	块状构造	60	10	20		少量	10		0.25 ~ 1.0
		片麻状中细粒闪长岩	中细粒半自形粒状结构	片麻状构造	70			20	5	5		1 ~ 2
	片麻状黑云母石英闪长岩	片麻状中细粒黑云石英闪长岩	中细粒半自形粒状结构	片麻状构造	62			10	10	15		0.3 ~ 5
	黑云石英二长闪长岩	细中粒黑云石英二长闪长岩	细中粒半自形粒状结构	块状 – 片麻状构造	45			3	15	15	22	0.6 ~ 3
	片麻状花岗闪长岩	片麻状细粒花岗闪长岩	变余细粒花岗结构	片麻状构造	40			2	23	10	25	0.1 ~ 0.5
中阶段	巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩	巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩	似斑状结构、基质中粒花岗结构	块状 – 片麻状构造	25				25	5	斑晶 23 基质 20	3 ~ 5
	含斑中粒黑云母二长花岗岩	含斑中粒黑云母二长花岗岩	似斑状结构、基质中粒花岗结构	块状 – 片麻状构造	35				25	5	斑晶 5 基质 30	2 ~ 4
晚阶段	中粗粒黑云母正长岩	中粗粒黑云母正长岩	中粗粒半自形粒状结构	块状 – 片麻状构造	5			少量	< 5	15	75	3 ~ 8

3.3 新元古代晚阶段侵入岩

岩性为中粗粒角闪黑云正长岩，灰红、灰白色，风化面灰黄色．主要矿物组成：钾长石为微斜长石、微斜条纹长石，半自形板状，轻度泥化，交代斜长石，以交代不均匀结构为主；斜长石多呈交代残留状，An = 17 ~ 21，为更长石，部分为团块状集合体；石英呈他形粒状；暗色矿物由黑云母和角闪石组成，呈不规则状、柱状和鳞片状，零散分布．

4 岩石化学及地球化学特征

4.1 岩石化学特征

各岩体化学成分及相关参数见表 2.

4.1.1 新元古代早阶段侵入岩

SiO_2 含量较低，属中基性岩范畴，少数为酸性岩．Fe_2O_3、FeO、TiO_2、CaO 和 MgO 含量较高．Na_2O/K_2O = 0.92 ~ 2.77，富钠贫钾，$K_2O + Na_2O$ 总量低．铝指数（A/CNK）= 0.64 ~ 1.17．绝大多数小于 1．里特曼指数（σ）= 1.60 ~ 3.70．总体属偏铝质低钾钙碱性岩．在 AFM 图解中，除个别样品落入拉斑玄武岩区外，多数落入钙碱性岩区，并有向富铝方向演化的趋势．在 $Na_2O - K_2O$ 图解中，均落入 I 型花岗岩区（图 2、3）．黑云石英二长闪长岩的岩石化学特征显示岩浆侵位过程受地壳物质混染强烈．

4.1.2 新元古代中阶段侵入岩

SiO_2 含量 67.01% ~ 73.78%，属酸性岩范畴．Na_2O/K_2O = 0.37 ~ 0.94，富钾贫钠，$K_2O + Na_2O$ 总量高．铝指数（A/CNK）= 1.01 ~ 1.22，里特曼指数（σ）= 1.89 ~ 3.04，绝大多数属过铝质高钾钙碱性岩．在 AFM 图解中，样品落入钙碱性岩区；并明显向富钾方向演化；巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩在 $Na_2O - K_2O$ 图解中落入 S 型花岗岩区；含斑黑云母二长花岗岩在 $Na_2O - K_2O$ 图解中落入 I、A、S 型花岗岩区界线附过（图 2、3）．

4.1.3 新元古代晚阶段侵入岩

SiO_2 含量 58.61% ~ 59.83%，属中性岩范畴．Na_2O/K_2O = 0.63 ~ 0.68，富钾贫钠，$K_2O + Na_2O$ 总量高．铝指数（A/CNK）= 0.98 ~ 1.01，里特曼指数（σ）= 5.27 ~ 5.81，属过铝 – 偏铝质碱性岩．在 AFM 图解中，样品落入钙碱性岩区；在 $Na_2O - K_2O$ 图解中，均落入 A 型花岗岩区（图 2、3）．

4.2 稀土元素地球化学特征

各岩体稀土元素含量及相关参数见表 3.

4.2.1 新元古代早阶段侵入岩

稀土元素含量相对较低，稀土总量 ΣREE =

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　侵入岩岩石化学分析结果

Table 2　Chemical analysis results of intrusive rocks

阶段	岩性	样品号	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	TiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	P_2O_5	MnO	H_2O^+	LOI	Σ	σ	A/CNK
早阶段	细粒闪长岩	2Gs6097	52.83	17.42	4.65	5.82	1.45	1.54	3.68	6.8	3.53	0.4	0.18	1.52	0.15	99.79	2.77	0.85
	细粒闪长岩	2Gs7118－1	53.14	16.64	3.08	6.68	1.2	2.06	3.4	7.01	5.28	0.36	0.12	1.12	0.16	100.25	2.94	0.79
	紫苏辉长岩	$2P_{23}GS15-4$	52.59	14.83	1.96	7.1	2.09	1.1	3.05	8.97	6.86	0.41	0.16	0.34	1.14	100.6	1.80	0.64
	辉长闪长岩	$2P_{20}GS19-1$	50.37	15.44	1.04	6.82	1.38	2.34	2.88	8.91	6.12	0.27	0.1	1.23	1.51	98.41	3.70	0.64
	中细粒黑云	2Gs7082－1	56.64	17.52	3.63	4.38	1.1	2.16	3.58	5.68	3.52	0.28	0.14	1.42	0	100.05	2.42	0.93
	石英闪长岩	2Gs3058－1	53.8	14.91	5.84	9.27	1.62	1.1	3.34	5	3.3	0.56	0.3	1.62	0	100.66	1.83	0.93
	黑云石英二长闪长岩	2P22Gs6－2	63.08	16.14	1.23	3.63	0.94	3.17	2.91	2.99	2.7	0.17	0.07	1.06	2.58	100.67	1.84	1.17
	片麻状细粒	2Gs2081	69.96	14.94	2	0.57	0.45	2.82	3.74	3.32	0.52	0.09	0.04	0.5	0	98.95	1.60	0.97
	花岗闪长岩	2Gs3029－1	70.64	15.03	1.84	1.54	0.32	2.72	3.92	2.3	0.77	0.09	0.07	0.5	0	99.74	1.60	1.10
中阶段	巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩	2Gs2047－1	70.64	14.09	2.05	1.87	0.36	5.76	3.36	1	0.64	0.07	0.05	0.58	0	100.47	3.01	1.04
		2Gs5015	69.78	14.49	1.3	2.26	0.38	5.97	3.06	1.52	0.43	0.1	0.04	0.78	0.05	100.16	3.04	1.01
		2P6Gs6－2	73.78	13.13	2.72	1.15	0.3	6.08	2.24	0.28	0.4	0.05	0.06	0.84	0	101.03	2.25	1.22
		2P6Gs6－3	71.88	13.25	0.52	2.01	0.25	5.78	3.08	0.66	0.32	0.07	0.03	0.48	1.4	99.73	2.72	1.06
	含斑中粒黑云母二长花岗岩	2Gs5073－1	70.96	14.5	1.95	0.72	0.32	4.52	3.44	1.34	0.44	0.08	0.03	0.92	0.94	100.16	2.27	1.11
		2Gs7079－1	67.01	15.94	2.84	1.33	0.38	4.47	3.72	2.22	0.69	0.1	0.16	0.54	0.13	99.53	2.79	1.06
		2Gs4006	71.6	14.43	1.42	1.72	0.35	3.8	3.56	2.34	0.88	0.07	0.06	0.38	0.26	100.87	1.89	1.01
晚阶段	中粗粒黑云正长岩	2Gs7045	58.61	18.44	2.94	3.77	0.65	5.68	3.89	3.08	0.88	0.18	0.06	0.86	0.67	99.71	5.87	1.01
		2Gs4049	59.83	18.38	2.42	3.45	0.73	5.74	3.62	3.45	1.6	0.02	0.13	0.94	0	100.31	5.21	0.98

测试单位:内蒙古地质矿产研究所. 含量单位:% (质量分数).

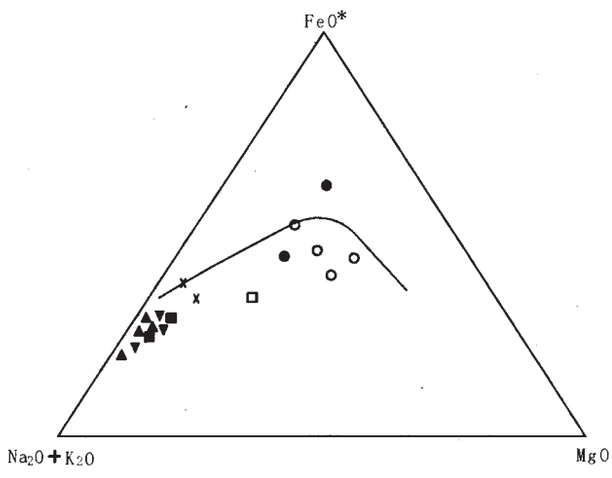


图 2　新元古代侵入岩 A－F－M 图解

Fig. 2　A-F-M diagram of Neoproterozoic intrusive rocks

○—中－基性杂岩 (basic-intermediate complex); ●—黑云母－石英闪长岩 (biotite-diorite); □—黑云母－石英二长闪长岩 (biotite-quartz monzodiorite); ■—花岗闪长岩 (granitic diorite); ▲—黑云母钾长花岗岩 (biotite moyite); ▼—黑云母二长花岗岩 (biotite adamellite); ×—黑云母正长岩 (biotite syenite)

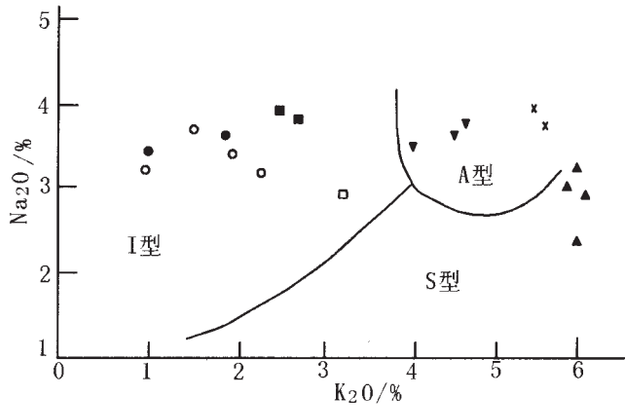


图 3　新元古代侵入岩 Na_2O-K_2O 岩石类型图解

Fig. 3　Na_2O-K_2O diagram of rock types

图例同图 2 (The legend same as that in Fig. 2)

$132.7\times10^{-6}\times258.92\times10^{-6}$, $\delta Eu=0.56\sim1.16$, 正负铕异常均不明显. $(La/Yb)_N=3.92\sim23.70$, 轻稀土相对富集, 重稀土相对亏损. 稀土配分模式曲线(图 4A、B、C)总体显示左高右低, 但具相对平缓的特征. 不同岩石类型稀土配分曲线特征的相似性, 反映杂岩具有相同或相似的岩浆来源和演化历史. 黑云石英二长闪长岩中暗色闪长质包体同寄主岩石相比, 二者稀土配分模式曲线变化趋势一致, 包体重稀土元素含量高, 铕异常较明显(由于包体富含暗色矿物和斜长石), 而主岩轻稀土元素丰度值高, 铕负异常不明显, 显示二者具

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 侵入岩稀土元素分析结果

Table 3 REE analysis results of intrusive rocks

阶段	岩性	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	(La/Yb)	δEu
早阶段	中细粒闪长岩	2XT6097	23.95	47.62	6.06	29.06	5.54	1.78	4.78	0.75	4.39	0.87	2.1	0.31	2.21	0.29	21.88	151.99	6.14	1.16
	辉长闪长岩	2P20XT19-1	31.86	70.45	9.43	36.68	8.51	2.55	8.7	1.49	8.29	1.65	3.84	0.6	3.88	0.53	44.32	232.79	4.65	1.02
	紫苏辉长岩	2P23XT15-4	22.91	53.65	6.79	27.39	6.68	1.94	6.81	1.11	6.84	1.41	3.47	0.52	3.31	0.47	41.61	184.91	3.92	0.99
	斑状细粒闪长岩	2XT7118-1	29.57	81.05	8.28	24.99	5.72	0.95	4.61	0.7	4.44	0.82	1.98	0.35	2.31	0.32	21.56	187.65	7.25	0.62
	中细粒黑云	2XT7082-1	41.07	85.05	10.54	45.15	9.44	1.82	8.05	1.22	7.4	1.48	3.94	0.57	4.15	0.54	38.5	258.92	5.61	0.7
	石英闪长岩	2XT3058-1	30.05	62	6.87	33.17	5.8	1.18	5.06	0.72	3.58	0.72	2.21	0.36	2.36	0.34	21.57	175.99	7.22	0.73
	黑云石英	2P22XT6-2	38.71	85.14	8.71	29.01	5.8	1.49	5.14	0.8	4.42	0.85	2.25	0.34	2.23	0.32	40.44	225.65	9.84	0.92
	二长闪长岩	闪长质包体	30.23	60.32	8.97	37.48	8.41	1.71	8.53	1.58	9.42	1.94	4.89	0.75	4.73	0.67	54.62	234.25	3.62	0.69
	片麻状细粒	2XT3029-1	24.71	46.33	5.76	20.5	3.86	0.58	3.12	0.49	2.89	0.68	1.99	0.32	2.27	0.27	18.96	132.73	6.17	0.56
	花岗闪长岩	2XT2081	46.42	76.35	7.74	24.7	3.76	1.07	2.44	0.3	1.58	0.33	0.94	0.17	1.11	0.15	9.14	176.2	23.7	1.13
中阶段	巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩	2XT2047-1	61.17	129.5	14.39	57.04	11.91	1.34	10.76	1.64	9.44	1.79	5.06	0.74	5.6	0.71	51.73	362.82	6.19	0.4
		2XT5015	98.32	201.1	23.57	88.74	17.16	1.38	13.97	2.2	13.7	2.73	7.59	1.16	7.44	1.11	75.5	555.67	13.04	0.3
		2P6XT6-2	38.02	109.5	9.4	30.24	5.78	0.46	5.48	0.88	5.42	0.98	2.94	0.52	3.65	0.49	29.64	243.4	5.9	0.28
		2P6XT6-3	42.83	88.28	10.95	36.8	7.65	0.7	6.88	1.02	5.55	1.14	3.02	0.51	3.37	0.47	31.86	241.03	7.2	0.33
	含斑中粒黑云母二长花岗岩	2XT7079-1	24.72	46.68	6.49	22.65	4.42	0.8	3.76	0.65	4.62	1.08	3.22	0.56	3.92	0.53	29.7	153.8	3.57	0.66
		2XT4006	16.8	34.06	3.73	13.7	3.35	0.58	2.51	0.38	2.33	0.6	1.6	0.25	1.72	0.22	15.41	97.24	5.8	0.66
		2XT5073-1	28.99	60.92	6.53	18.86	3.4	0.62	2.36	0.3	1.73	0.35	0.82	0.14	1.04	0.11	9.47	135.64	15.8	0.71
晚阶段	中粗粒黑云母正长岩	2XT7045	56.21	102.2	13.52	59.26	9.97	1.61	7.56	1.1	6.01	1.24	2.97	0.42	2.82	0.38	33.8	299.07	11.3	0.61
		2XT4049	23.04	40.61	4.22	20.86	4.34	2.72	3.6	0.54	3.1	0.63	2.04	0.34	2.24	0.31	18.39	126.98	5.83	2.3

测试单位 北京大学地质系测试中心稀土室. 含量单位 :10^{-6}

同源性和互补性. 这种变化特点符合岩浆分异演化原理，说明岩石是岩浆分异物作用的产物. 该阶段侵入岩随岩石类型由基性到酸性曲线斜率增大、负铕异常增强,显示同源岩浆演化特点.

4.2.2 新元古代中阶段侵入岩

该阶段岩石稀土总量变化范围宽，在 $97.24\times10^{-6}\sim555.67\times10^{-6}$ 之间，$(La/Yb)_N=3.57\sim15.80$，稀土分馏程度高，轻稀土相对富集，重稀土相对亏损，曲线斜率较大，$\delta Eu=0.28\sim0.71$，具明显铕负异常. 稀土配分曲线差别明显（图 4D、E），但均呈左高右低，向右倾斜，铕处呈“V”字型深谷，具造山带钙碱性花岗岩的普遍特征，说明岩石是由成熟度较高的陆壳物质部分融形成的，而且源区物质组成明显不同. 稀土元素反映的是源区物质组成特征，一些样品稀土总量较低可能与部分熔融过程中富集稀土元素的副矿物在源区残留有关[1].

4.2.3 新元古代晚阶段侵入岩

稀土元素总量 ∑REE 较低，为 $126.98\times10^{-6}\sim299.07\times10^{-6}$，$(La/Yb)_N=5.83\sim11.3$，稀土分馏程度高，轻稀土相对富集，重稀土相对亏损. $\delta Eu=0.61\sim2.30$，2XT4049 样品具明显正异常. 从稀土元素配分模式曲线（图 4F）可以看出两个样品的总体变化趋势是一致的，而铕的差别较大，呈尖峰或低谷状，这种变化可能与岩浆结晶过程中富含钙的矿物不均衡结晶有关,同时反映岩浆物质来源是非单一的.

4.3 微量元素地球化学特征

各阶段侵入岩微量元素分析结果见表 4.

4.3.1 新元古代早阶段侵入岩

在以 ORG 标准化的微量元素配分型式图（图 5）中,该阶段侵入岩具有相似的微量元素组成,曲线吻合较好，反映其形成于相近的构造环境和具有相似的物质来源. 其 Nb、Ce、Sm、Zr、Y、Yb 含量低,均低于标准洋脊花岗岩，Ba、Th 略有富集；K 丰度值较低，介于洋脊花岗岩与碰撞花岗岩之间，总体显示火山弧花岗岩特点[2]. Rb/Sr 值在 0.07～1.54 之间变化，且绝大多数小于 0.5,显示 I 型花岗岩 Rb/Sr 特征[3].

4.3.2 新元古代中阶段侵入岩

该阶段侵入岩以 Rb 明显富集为特征，K、Th 含量亦高,Ba 相对亏损,但 Ce、Zr、Sm、Y、Yb 明显低于洋脊花岗岩. 以 ORG 标准化的微量元素配分型式图(图 6)与富集 Rb、Th，不同程度地贫 Ba、Nb 的同碰撞花岗岩的配分曲线特征相似. Rb/Sr 值在 0.47～10.20 之间变化,且绝大多数大于 0.5,显示 S 型花岗岩 Rb/Sr 特征[3].

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

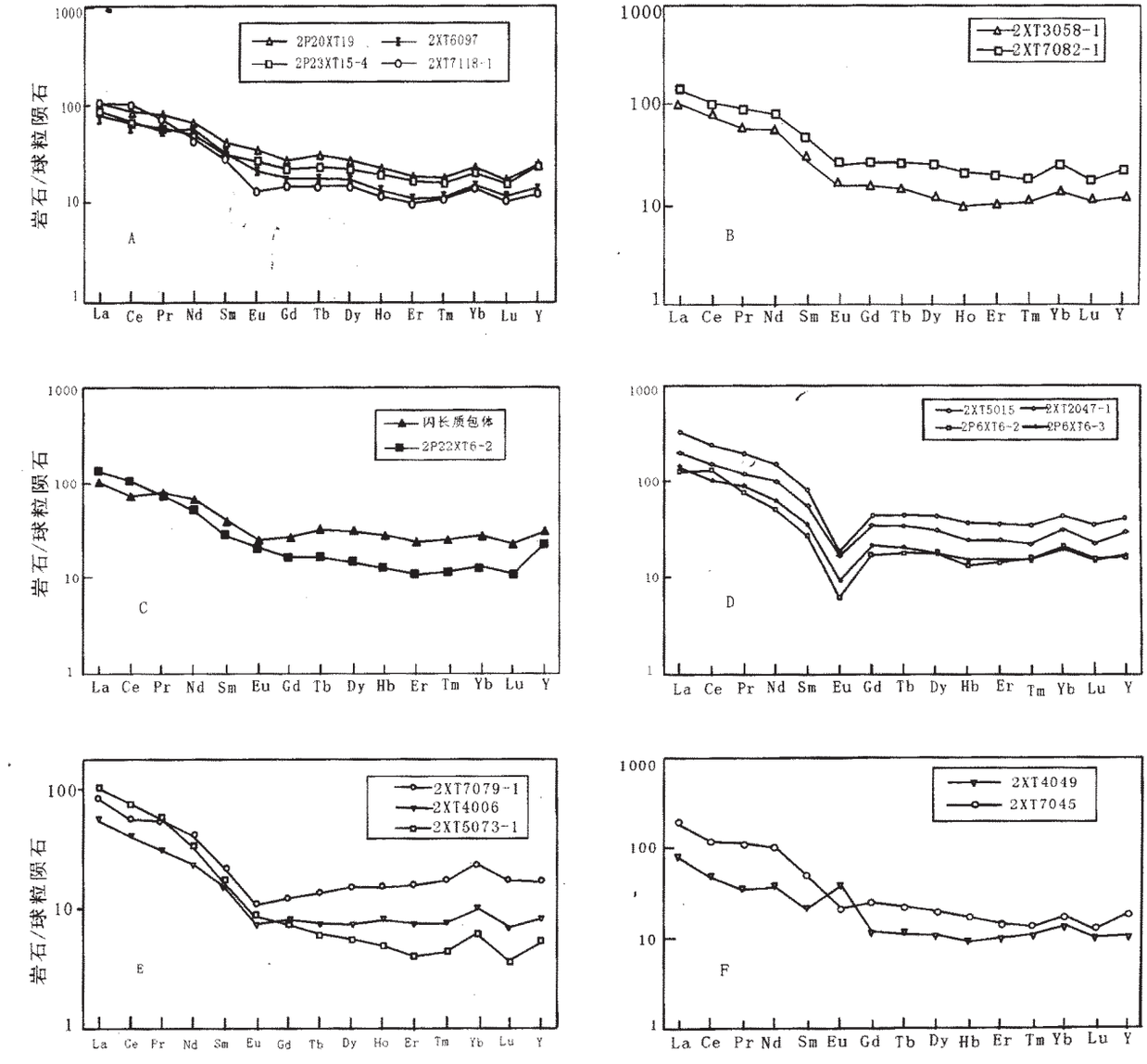


图 4　新元古代侵入岩稀土元素配分图

Fig. 4　REE distribution patterns of thd Neoproterozoic inrusive rocks

4.3.3　新元古代晚阶段侵入岩

黑云母正长岩以 Ba、Zr 明显富集为特征，K、Rb、Th 含量相对较高，Nb 相对亏损；但 Ce、Sm、Y、Yb 明显低于新元古代早期侵入岩．其 ORG 标准化的微量元素配分型式图(图 7)具有洋脊花岗岩富 Ba 特点，又具有火山弧花岗岩 Rb、Th 相对较高的特征．Rb/Sr = 0.19，显示 I 型花岗岩 Rb/Sr 特征[3].

5　成因及构造环境分析

上述特征表明，新元古代早阶段中基性杂岩是上地幔玄武质岩浆直接分异的产物．石英闪长岩－花岗闪长岩系列岩浆形成演化较为复杂．岩浆来源深，岩浆主体由上地幔－下地壳硅镁质岩石通过分离结晶作用形成，并与地壳物质发生混合，是多阶段演化的产物，岩石中大量的暗色微细粒闪长质包体是有力的证据．最终形成具有岛弧拉斑玄武质－钙碱性岩浆特征的熔浆，运移到地壳浅部层次形成一套含角闪石的低钾钙碱性花岗岩(ACG)[4]．按 Barbarin 观点，含角闪石的低钾钙碱性花岗岩类(ACG)是前造山俯冲作用的直接产物．在 $R_1 - R_2$ 图解(图 8)中，由板块碰撞前到碰撞后均有分布，表明岩浆形成环境复杂，但以板块碰撞前俯冲期为主，岩石地球化学特征显示形成于岛弧－

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 4 侵入岩微量元素分析结果

Table 4 Results of trace elements of intrusive rocks

新元古代	岩性	样品号	Sr	K	Rb	Ba	Th	Nb	Ce	Zr	Sm	Y	Yb	Rb/Sr
早阶段	细粒闪长岩	2Y7118-1	241.8	17923	39.2	372	6.3	11.3	81.05	73.5	5.72	21.56	2.31	0.16
	辉长闪长岩	2P20Y19-1	61.1	38835	93.9	371	10.5	16	70.45	471.3	8.51	44.33	3.88	1.54
	紫苏辉长岩	2P23Y15-4	335.5	18255	39.2	353	7.7	13.8	53.65	135	6.68	41.61	3.31	0.12
	中细粒黑云石英闪长岩	2Y3058-1	503.8	9127	33	647	7.1	19	62	730.4	5.8	21.57	2.36	0.07
	黑云石英二长闪长岩	2P22Y6-2	812.6	32361	114.6	959	11.2	7.4	85.14	220.5	5.8	40.44	2.23	0.14
	片麻状细粒	2Y2081	270.7	23400	103.2	980	7.8	11.7	76.35	241.2	3.76	9.14	1.11	0.38
	花岗闪长岩	2Y3029-1	235.4	22570	86.9	1160	7.5	12.3	46.33	153.6	3.86	18.96	2.27	0.37
中阶段	巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩	2Y2047-1	118.2	47795	225.5	779	26.5	28.2	129.5	420.5	11.91	5.73	5.60	1.91
		2P6Y6-3	79	47961	264	407	25	13.3	88.28	172.3	7.65	31.86	3.37	3.34
		2Y5015	146.4	49538	231.3	841	37.7	15.9	182.8	309.3	11.04	25.38	2.16	1.46
		2P6Y6-2	43.5	50782	443.8	742	27.1	15.9	109.5	109.3	5.78	29.64	3.65	10.20
	含斑中粒黑云母二长花岗岩	2Y4006	269.2	31531	127.7	461	11.9	12.3	34.06	137.2	3.35	15.41	1.72	0.47
		2Y7079-1	337.7	37091	203.8	1184	19.7	23.3	46.68	204.4	4.42	29.7	3.92	0.60
		2Y5037-1	179.6	37506	158.7	813	20.3	12.5	60.92	164.8	3.4	9.47	1.04	0.88
晚阶段	中粗粒黑云母正长岩	2Y4049	514.8	47629	96.8	3432	10.7	11.6	40.61	661.5	4.34	18.39	2.24	0.19

测试单位:内蒙古地质矿产研究所. 含量单位:10^{-6}

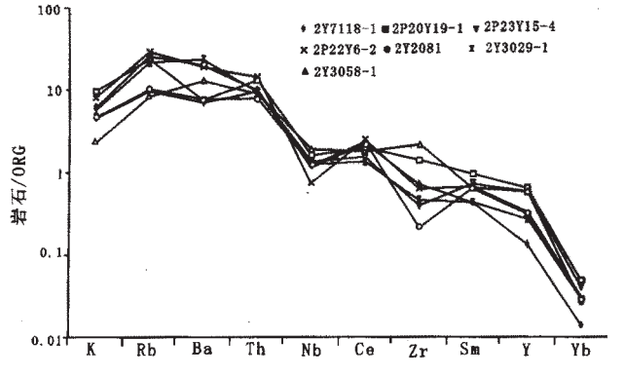


图 5 新元古代早期侵入岩微量元素 ORG 标准化配分型式

Fig. 5 ORG-normalized trace element dictribution patterns of the Early Neoproterozoic intrusive rocks

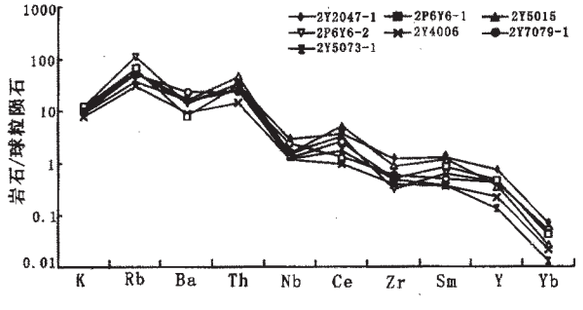


图 6 新元古代中期侵入岩微量元素 ORG 标准化配分型式

Fig. 6 ORG-normalized trace element dictribution patterns of the Middle Neoproterozoic intrusive rocks

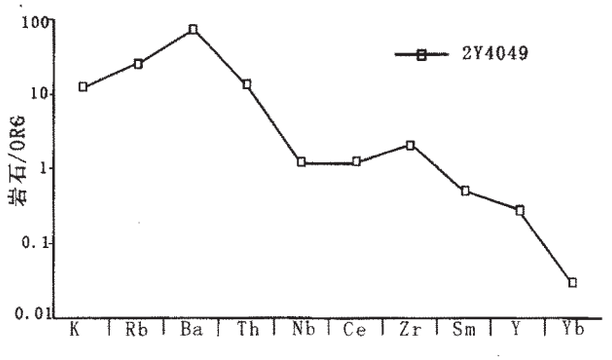


图 7 新元古代晚期侵入岩微量元素 ORG 标准化配分型式

Fig. 7 ORG-normalized trace element dictribution patterns of the late Neoproterozoic intrusive rocks

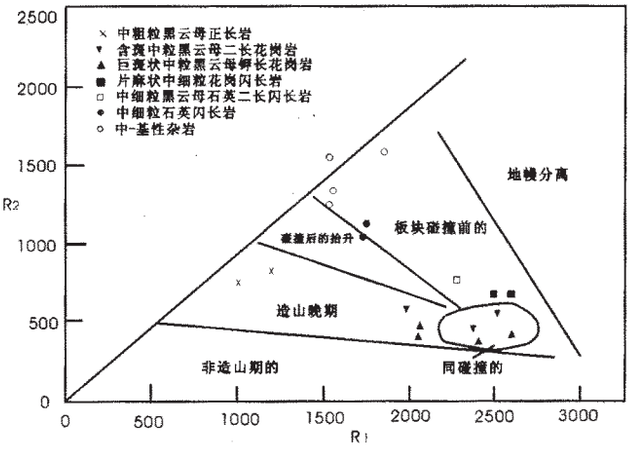


图 8 新元古代侵入岩 R_1-R_2 相关图解

Fig. 8 R_1-R_2 diagram of Neoproterozoic intrusive rocks

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

活动陆缘环境，这与工作区新元古界加疙瘩组岛弧型变安山岩的存在相吻合.

新元古代中阶段似斑状钾长－二长花岗岩系列主要形成于中下地壳,岩浆来源较浅,早期岩浆多与角闪石处于平衡熔融状态，晚期则多与斜长石处于平衡熔融状态[5]. 岩石中交代残余、蠕虫结构发育,巨斑晶中的矿物包裹体比基质中同类矿物粒径要小得多，表明它们在其结晶早期已被包裹进去. 钾长石巨斑晶具卡氏双晶,而且巨斑晶大小随基质粒径大小改变而变化,表明钾长石巨斑晶是火成的，同时巨斑晶的出现说明部分熔融的岩浆富含挥发份. 岩石中见有细小石英、微斜长石和钠长石构成的微粒交生体，显示了岩浆部分熔融的痕迹. $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.718$,接近现代大陆壳平均铷锶比值. 在 La/Sm－La 图解中(1/25 万莫尔道嘎幅区域地质调查报告)显示部分熔融趋势,说明岩浆演化以部分熔融为主，分离结晶作用为辅. 该阶段岩石相当于 Barbarin 的富钾和钾长石斑晶钙碱性花岗岩(KCG),同时又具有富黑云母过铝质花岗岩(CPG)的特征[4]. 按 Barbarin 的研究,富钾和钾长石斑晶钙碱性花岗岩类是构造体制转换(由挤压－拉张)下岩浆活动产物；而富黑云母过铝质花岗岩主要形成于同碰撞环境. 在 $R_1 - R_2$ 图解中(图 8),主体落入同碰撞花岗岩区，少数落入造山晚期与同碰撞花岗岩过渡区域. 以上特征表明该阶段岩石形成于碰撞造山过程，是陆壳叠置增厚,引起下地壳岩石(早期的变质地层和片麻状花岗质杂岩)广泛熔融的产物.

新元古代晚阶段正长岩体规模小,岩石强烈富碱,按 Barbarin 对花岗岩的分类，属于碱性花岗岩类(PAG)，其形成常是大陆造山带稳定后的伸张标志. $(^{87}Sr/^{86}Sr)_i = 0.707$,为锶中等偏低的花岗岩类,表明岩浆来源于下地壳. 在 $R_1 - R_2$ 图解(图 8)中,落入造山晚期花岗岩区域. 岩石化学特征显示 A 型花岗岩特点，岩浆形成以分离结晶作用为主. 本区正长岩在时间、空间上与造山钙碱性花岗岩——巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩紧密共生，相当于 Eby(1990) 造山后环境的 A 型花岗岩区 (A_2 型)，形成于造山晚期构造垮塌阶段[6].

6　岩浆－构造演化

新元古代岩浆活动伴随板块由俯冲－碰撞－拉张过程，早期形成分布广泛但规模较小的俯冲期侵入岩组合;中期岩浆活动强烈,形成规模巨大的碰撞期酸性侵入岩组合；碰撞晚期－碰撞后伴随构造体制的转变形成一定规模的碱性侵入岩. 新元古代岩浆活动峰期中阶段巨斑状中粒黑云母钾长花岗岩石颗粒锆石 U－Pb 蒸发法年龄为 863 ± 15 Ma、654 ± 46 Ma(宜昌地质矿产研究所同位素测试中心);早阶段岛弧型杂岩是板块俯冲消减的地质记录，说明本区新元古代可能存在俯冲作用，并且时间应早于 863 Ma. 因此，新元古代早、中阶段侵入岩可能与新元古代超大陆拼合事件有关，晚阶段侵入岩可能与新元古代超大陆裂解事件有关.

参考文献：

[1]伍家善,耿元生,沈其韩,等. 中朝古大陆太古宙地质特征及构造演化[M]. 地质出版社,1998.

[2]高秉璋,等. 花岗岩类 1/5 万区域地质调查方法指南[M]. 武汉,中国地质大学出版社,1991.

[3]邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京 地质出版社,1990.

[4]肖庆辉,邓晋福,马大铨,等. 花岗岩研究思维方法[M]. 北京 地质出版社,2002.

[5]许继锋,王强,徐义刚,等. 宁镇地区中生代安基山中酸性侵入岩的地球化学[J]. 岩石学报,2001,17(4):576－584.

[6]冯益民,曹宣锋,张二朋,等. 西秦岭造山带结构造山过程及动力学[M]. 西安:西安地图出版社,2002.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND TECTONIC SIGNIFICANCE OF THE NEOPROTEROZOIC GRANITES IN NORTHERN DAXINGANLING, INNER MONGOLIA

ZHANG Ming[1], WANG Zhong[1], MENG Er-gen[1], WU Li-wen[1,2]

(1. *Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot* 010020, *Inner Mongolia, China*; 2. *China University of Geosciences, Beijing* 110083, *China*)

Abstract: The well-developed Neoproterozoic granites, broadly distributed in Northern Daxinganling, Inner Mongolia, were formed in three tectono-magmatic stages, with seven rock units. Study on the rock assemblage and geochemistry of the granites shows that, the magma of intermediate-basic complex-granodiorite series in the early stage was derived mainly from upper mantle or lower crust, as the result of subduction and crust-mantle interaction. The magma of porphyritic moyite-monzogranite series in the middle stage mainly originated from the lower crust, being the product of collision-orogeny. The magma of syenite series in the late stage, mainly from the lower crust, was formed in the extensional system in the later of orogenic period. The development and evolution of the Neoproterozoic magmatic rocks has reflected the dynamic characteristics of the south margin of Siberian plate in Northern Daxinganling.

Key words: granite; Neoproterozoic; geochemistry; tectonic significance; Daxinganling; Inner Mongolia

作者简介:张明(1971—),男,工程师,1993 年毕业于中国地质大学(武汉),长期从事区域地质调查工作,通讯地址 内蒙古呼和浩特市金桥开发区世纪五路北侧 内蒙古自治区地质调查院,邮政编码 010020.

(上接第 97 页)

DISTRIBUTION AND HORIZONS OF THE PRECIOUS MESOZOIC FOSSILS IN WESTERN LIAONING AND ADJACENT AREAS

YANG Ya-jun, ZHANG Li-dong, ZHANG Li-jun, GUO Sheng-zhe

(*Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources, Shenyang* 110033, *China*)

Abstract: Since 1990s, a large amount of precious zoolite and plant fossils have been found in the strata from Haifangou formation to Fuxin formation of Mesozoic era in Western Liaoning Province and the adjacent Daohugou area of Inner Mongolia. These fossils were reported and described separately in different literatures both in China and abroad. It is inconvenient for people to gather the data in their researching, studying and teaching. On the basis of field survey, this paper sorts out the reported data and catalogs the fossils in 109 genera of 124 species, with their Latin names, localities, horizons and times, trying to show a full view of the fossils in the area.

Key words: Middle-Late Mesozoic; precious fossil; Western Liaoning Province

作者简介:杨雅军(1962—),女,高级工程师,1984 年毕业于武汉地质学院地层及古生物专业,从事地层及古生物研究工作,通讯地址 沈阳市北陵大街 25 号,邮政编码 110033,E-mail//yang-yajun@163.com

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net