

地质与矿产

## 鲁东地区早前寒武纪花岗岩类演化及大陆地壳生长

李洪奎<sup>1,2</sup>, 耿科<sup>1,2</sup>, 糕传源<sup>1,2</sup>, 梁太涛<sup>1,2</sup>, 陈莉<sup>1,2</sup>

(1. 山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013; 2. 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南 250013)

**摘要:**通过对太古宙和古元古代花岗岩成分判别分析,提出了鲁东地区早前寒武纪花岗岩类可能分为 3 期,第一期为中太古代 TTG 组合,发育不完全;第二期为新太古代  $T_1T_2G_1$  组合,具有贫  $K_2O$  的奥长花岗岩演化趋势;第三期为古元古代早期  $G_2$  组合,仅富含  $K_2O$  的钙碱性演化趋势。探讨了不同组合花岗岩的形成环境,新太古代  $T_1T_2G_1$  组合为岛弧环境,古元古代早期为大陆碰撞环境;不同的花岗岩类岩石组合分别对应的陆壳成熟度为: $T_1T_2G_1$  组合为新生的初始不成熟陆壳, $G_2$  组合则为最终的成熟陆壳。鲁东早前寒武纪花岗岩类随时间从新太古代至古元古代早期的演化,记录了鲁东大陆地壳形成的完整的地质演化过程。

**关键词:**花岗岩类;岩石组合类型;构造环境;陆壳成熟度;鲁东地区

中图分类号:P588.144

文献标识码:A

## 0 引言

鲁东地区是中国乃至世界著名的金矿集中区,对区内早前寒武纪花岗岩类的研究程度亦较高,有关年代学、岩石学、地球化学、构造环境以及陆壳演化等,陆松年、徐金芳、厉子龙、卢冰、翟明国、李永刚、孙景贵<sup>[1-7]</sup>等专家学者做过深入系统的研究,成果丰富而翔实。近年来该地区开展了大量的区域地质调查工作,取得了一系列新认识,这些新认识集中体现在山东省区域地质总结<sup>[8]</sup>和山东省大地构造格局和地质构造演化<sup>[9]</sup>等研究成果。

一般认为,TTG(英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩)是玄武质岩石熔融的产物,这已为众多的高温高压实验所证实<sup>[10]</sup>。近年来的进一步研究成果表明,在成因机制上存在两类 TTG,一类是俯冲的玄武质洋壳熔出的安山质岩浆,在上升通过地幔楔形区过程中,与橄榄岩发生相互作用之后形成的 TTG 岩类,它们具镁安山质岩浆的性质;另一类则是在陆壳底部玄武质岩石熔出的 TTG 岩类,它们则具正常安山质岩浆的性质,这两类 TTG 的鉴别见邓晋福等的文章<sup>[11]</sup>。该文旨在前人详细研究的

基础上,重点讨论鲁东地区早前寒武纪花岗岩类形成的构造环境和大陆地壳生长过程。

## 1 分布及特点

鲁东早前寒武纪花岗岩主要分布在栖霞一招远、莱州南部和蓬莱南部 3 个地区,是鲁东结晶基底的主体构成部分(图 1),岩性主要为 TTG 花岗岩和 GM 花岗岩类,由西朱崔英云闪长质片麻岩、栖霞 TTG 花岗岩和双顶 GM 花岗岩组成(表 1),分布总面积约 1 521 km<sup>2</sup>。

## 1.1 西朱崔英云闪长质片麻岩

分布于莱西唐家庄西朱崔一带,呈透镜状包于栖霞超单元中,主要有西朱崔、秦家、东石格庄 3 个包体,总出露面积 1.5 km<sup>2</sup>。其内有早期麻粒岩包体。其展布方向与区域片麻理及内部片麻理一致,其本身遭受麻粒岩相变质作用和深层次韧性变形改造。岩性为片麻状细粒含紫苏英云闪长岩,岩石呈灰黑色,细粒花岗变晶结构,片麻状构造,矿物粒径  $\leq 1$  mm,主要矿物成分:石英 24.68%,斜长石 54.72%,钾长石 2.37%,黑云母 1.15%,角闪石

\* 收稿日期:2011-12-30;修订日期:2012-03-12;编辑:曹丽丽

作者简介:李洪奎(1962—),男,山东昌乐人,研究员,主要从事矿产资源勘查、规划研究和深部矿产勘查技术与方法研究工作;E-mail:lhk126@126.com。

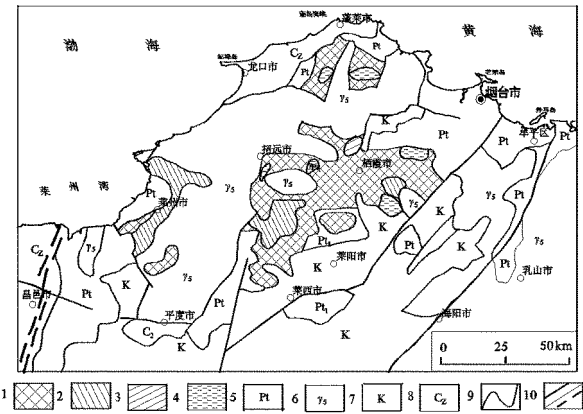


图 1 鲁东地区早前寒武纪花岗岩分布略图

1—新太古代英云闪长岩;2—新太古代奥长花岗岩;3—新太古代花岗闪长岩;4—古元古代花岗岩;5—元古宙变质表壳岩;6—中生代花岗岩;7—白垩纪沉积岩系;8—新生界;9—地质界线;10—主要断裂

表 1 鲁东早前寒武纪花岗岩岩性特征

地质年代	岩石单位		
	组合单位	基本单位(岩体)	岩性
古元古代	双顶片麻岩套	燕子 乔、北照、双顶山	细粒含黑云二长花岗质片麻岩、细粒二长花岗质片麻岩、细粒花岗闪长质片麻岩
新太古代	栖霞片麻岩套	蓝 蔚 乔、牟家、乐土 乔、芦家、新庄、回龙 乔、	细粒含黑云花岗闪长质片麻岩、细粒奥长花岗质片麻岩、细粒含角闪奥长花岗质片麻岩、中细粒黑云角闪英云闪长质片麻岩、中细粒含角闪黑云英云闪长质片麻岩、条带状细粒含角闪黑云英云闪长质片麻岩
		西朱崔	细粒含紫英云闪长质片麻岩

1.78%，紫苏辉石 6.88%，透辉石 8.52% 及少量磁铁矿、磷灰石、锆石等副矿物。

### 1.2 栖霞 TTG 花岗岩

分布于栖霞—招远、莱州南部及蓬莱大辛店等地区，构成鲁东结晶基底的主体，总体呈近 EW 向分布，为 TTG 质灰色片麻岩类，主要由英云闪长岩和奥长花岗岩组成，少量花岗闪长岩，英云闪长岩分布面积约占 TTG 总面积的 61%，奥长花岗岩约占 36%，花岗闪长岩约占 3%，其主要特征见表 1。该类 TTG 花岗岩侵入胶东岩群，被莱州超单元、双顶超单元侵入，与荆山群、粉子山群呈韧性构造接触。

栖霞 TTG 片麻岩为一套以成分演化为主的侵入岩系列，从早期单元至晚期单元其演化趋势表现为：岩性从英云闪长岩→奥长花岗岩→花岗闪长岩，构成 TTG 岩系。矿物成分中石英、钾长石含量呈

上升趋势，斜长石和暗色矿物呈下降趋势。从岩石化学成分看(表 2)，SiO<sub>2</sub> 含量呈上升趋势，TiO<sub>2</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO 呈下降趋势。

### 1.3 双顶 GM 花岗岩

双顶超单元为花岗闪长岩—二长花岗岩系列侵入岩，分布于栖霞 TTG 片麻岩的外部，可分为大辛店、磁山、豹山口、北照、马连庄及上孙家等岩体(图 1)，面积约 182.24 km<sup>2</sup>。

双顶超单元为成分演化序列，侵入岩岩性为花岗闪长岩—二长花岗岩。矿物组成中石英、钾长石、斜长石含量呈递增趋势，黑云母、角闪石呈递减趋势。岩石化学(表 2)中，SiO<sub>2</sub>、MgO、K<sub>2</sub>O 含量呈递增趋势，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO 有明显递减规律。

根据前人<sup>[8,9]</sup>研究成果和作者对山东省成矿地质背景研究成果的基础上，提出鲁东地区早前寒武纪花岗岩类年代格架的初步方案(表 3)。表 3 中的年龄值及其范围均按已有的锆石 U-Pb 同位素年龄值标出，随着研究的进一步深入，其具体数值可能会有改动。

## 2 岩石组合类型

该文采用 O'Conner(1965)的 CIPW An-Ab-Or 三角图解对该区花岗岩类进行分类命名，并按照规定，进入分类的岩石中 Q-norm 必须大于 10%，然后按 CIPW An-, Ab-, Or-norm% 再重新计算其总量为 100% 时的 CIPW An-, Ab-, Or-norm%，最后进行投影<sup>[12]</sup>。文中之所以采用 O'Conner 的分类方案，原因有：①常用的 QAP 实际矿物分类中 5 区为英云闪长岩的名称，奥长花岗岩被看作为英云闪长岩的浅色变种(M<10)，这样，5 区中包括了所需要的 2 种岩石，在 QAP 图解中无法区分开；②O'Conner 图解不仅可清楚地区分和鉴别英云闪长岩(T<sub>1</sub>)和奥长花岗岩(T<sub>2</sub>)，而且可识别和区分花岗闪长岩(G<sub>1</sub>)，花岗岩(G<sub>2</sub>)和石英二长岩(QM)，因此，它在花岗岩类分类、特别是在前寒武纪花岗岩类分类中普遍被使用；③该文是在汇集处理岩石化学数据基础上进行讨论的，O'Conner 的分类方案简单易用，它在同一个分类命名平台上，为对各地段和时段的花岗岩类岩石以及许多学者定名的花岗岩类岩石进行对比提供了可能性，使对比讨论更加有据可依<sup>[13,14]</sup>。由于采用 O'Conner 的分类方

案,该文鉴别了奥长花岗岩趋势(Tdj)和钙碱性 (Tdj)演化趋势。  
(CA)趋势,鲁东新太古代 TTG 具奥长花岗岩

表 2 鲁东早前寒武纪花岗岩化学成分(%)

典型产地	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>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Los
燕子乔	72.04	0.12	15.15	0.45	0.55	0.03	0.39	1.03	3.82	4.17	0.04	0.8		0.89
	73.68	0.07	14.64	0.34	0.58	0.02	0.12	1.29	3.85	4.56	0.02	0.1		1.17
	74.47	0.24	11.65	1.85	2.16	0.06	0.05	0.51	2.62	5.65	0.04			
	75.59	0.15	13.12	0.79	1.12	0.02	0.31	0.68	2.63	3.7	0.07	1.45	0.1	
	73.62	0.15	14.29	0.64	1.14	0.03	0.72	0.95	2.05	5.02	0.13	0.25	0.98	
北照	71.66	0.72	13.06	1.83	2.76	0.05	0.31	0.5	2.55	3.51	0.09			1.76
蓝蔚乔	73.24		15.28	0.98	1.65	0.02		0.92	2.72	2.28	0.02			2.98
	67.93	0.34	15.93	0.64	2.52	0.04	1.52	3.8	4.33	1.18	0.09			1.37
	70.58	0.17	15.61	1.1	1.84	0.03	0.76	2.36	3.53	1.73	0.06			2.18
牟家	73.93	0.1	13.5	1.01	1.54	0.03	0.27	1.46	5.73	1.29	0.03	0.95		0.99
	73.1	0.12	14	1.02	1.26	0.02	0.24	1.32	3.54	4.34	0.05	0.54	0.1	0.61
	71.28	0.14	15.03	0.35	1.05	0.02	0.42	1.67	3.23	5.19	0.08	0.79	0.1	0.73
	72.29	0.17	15.07	0.74	1.2	0.02	0.51	2.4	4.21	2.4	0.14	0.82	0.11	0.82
	68.24	0.38	15.91	1.24	1.79	0.03	1.21	2.67	4	2.67	0.07	1.21	0.08	1.39
	70.44	0.28	16.17	0.92	1.32	0.03	0.71	2.3	4.92	1.63	0.07	0.8	0.08	1.2
	71.37	0.2	15.92	1.06	1.48	0.02	0.45	1.15	3.51	3.3	0.64	1.22		1.24
	66.58	0.46	16.53	1.48	2.59	0.02	1.58	3	3.88	1.17	0.12			2.52
	71.88	0.2	15.39	0.84	1.22	0.02	0.59	1.9	4.56	1.87	0.08			1.2
	67.8	0.3	17.83	0.89	1.34	0.02	0.71	2.73	4.3	2	0.05			1.89
	73.04	0.09	15.66	0.67	0.87	0.02	0.55	1.39	4.08	3.31	0.07			0.98
70.94	0.22	15.55	1	1.39	0.02	0.66	1.99	4.18	2.65	0.13	0.9	0.09	1.23	
新庄	73.12	0.18	14.07	1.02	1.38	0.03	0.15	2	3.62	3.3	0.03	0.8	0.05	0.69
	66.79	0.5	15.23	1.08	3.59	0.08	2.26	2.39	1.98	4.68	0.1	0.81	0.1	0.75
	65.8	0.43	15.14	1.73	2.52	0.07	2.33	3.46	2.57	4.17	0.19	0.99	0.11	1
	63	0.56	16.57	1.97	3.09	0.07	1.91	4.1	4.71	1.56	0.23	1.45	0.1	1.41
	60.73	0.8	16.59	2.53	4.19	0.08	2.44	1.83	4.54	1.38	0.2	3.59		3.71
	71.12	0.2	14.42	1.1	1.65	0.03	0.45	2.09	3.46	2.67	0.14			0.78
	66.28	0.5	15.74	1.46	2.45	0.05	1.42	3.27	4	1.48	0.07			2.3
	71.9	0.3	14.87	0.55	1.88	0.04	0.79	2.94	4.74	1.28	0.07		0.1	0.34
	70.63	0.3	15.75	0.83	1.06	0.02	0.79	1.94	4.64	2.92	0.16			0.84
	72.76	0.2	15.84	0.85	1.59	0.02	0.35	0.34	1.07	3.04	0.16			3.8
	67.13	0.52	15.92	1.71	3.15	0.04	1.69	2.17	3.3	1.29	0.19			2.56
	64.92	0.34	17.75	1.94	1.94	0.06	0.25	0.98	6.07	4.16	0.07			0.76
70.45	0.36	15.58	0.77	2.11	0.04	1.22	2.1	4.96	1.53	0.17			0.36	
回龙乔	66.2	0.58	15.48	1.79	3.2	0.07	1.16	4.36	4.18	1.08	18	1.38	0.69	
	69.55	0.16	14.14	0.6	2.37	0.07	0.54	2.39	3.78	2.57	0.05	1.52		
	68.2	0.28	15.92	1.38	2.17	0.05	1.26	3.15	4.58	1.32	0.18	1.66		1.56
	61.64	0.64	16.68	2.33	3.76	0.07	2.95	3.37	3.82	2.26	0.23	2.36		2.44
	63.1	0.5	11.3	1.14	2.71	0.05	1.74	4.69	4.81	1.27	0.15	1.54		2.05
	71.15	0.2	15.94	0.01	4.49	0.03	0.76	1.8	4.76	1.41	0.05	1.2		1.32
	61.53	0.75	16.75	2.31	4.44	0.07	2.61	5.05	3.89	1.29	0.18			0.99
	66.83	0.68	16.02	1.59	2.87	0.06	1.56	4.92	3.8	0.96	0.15			0.68
	69.66	0.28	15.28	0.92	2.21	0.04	1.25	3.54	4.2	1.44	0.1			0.36
	69.89	0.36	15.51	1.04	1.53	0.04	1.5	1.81	4.96	1.41	0.09			1.43
	70.35	0.18	15.04	0.71	1.93	0.05	0.65	2.1	4.27	1.99	0.05	1.36		
	61.09	0.52	15.98	1.85	2.94	0.07	3.6	5.46	4.17	2.09	0.25	0.73		
	67.53	0.41	15.37	1.23	2.93	0.21	1.36	3.68	4.23	1.73	0.12	1.06		
68.77	0.39	15	1.16	3	0.05	1.03	2.76	3.95	2.54	0.17	0.86			

资料来源:1:25 万烟台市幅、威海市和青岛市市区调报告。

表 3 鲁东早前寒武纪变质花岗岩类划分

年代	岩石组合	形成年龄 (Ma)	群 (岩套)	构造环境	陆壳成熟度
Pt <sub>1</sub>	G <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	1860~2370	双顶	大陆碰撞	成熟
Ar <sub>3</sub>	T <sub>1</sub> T <sub>2</sub> G <sub>1</sub>	2439~2726	栖霞	岛弧	不成熟
Ar <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	2600	西朱崔	岛弧	不成熟

2.1 新太古代 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合

新太古代西朱崔细粒含紫英云闪长质片麻岩由于呈包体分布于栖霞 TTG 花岗岩中,对它的演化缺少足量的数据来探讨,故该文暂不涉及。新太古代晚期为典型的 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合(图 2),具典型的奥长花岗岩演化趋势(图 3)。图 2 展示的 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合中,以 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub> 为主,G<sub>1</sub> 次之。需要说明的是,文献中共收集 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 岩石化学样品 40 个,原命名为英云闪长岩的样品有 24 个,奥长花岗岩的样品有 12 个,花岗闪长岩的样品有 4 个,经 OConner An - Ab - Or 三角图解统一分类修正后,属英云闪长岩的样品有 23 个,其中,14 个样品的命名是正确的,9 个样品原名为奥长花岗岩;属奥长花岗岩的样品有 11 个,其中 4 个样品是原名称,7 个样品原名为英云闪长岩;属花岗闪长岩的样品有 6 个,其中,4 个样品是原名称,2 个样品原名为英云闪长岩,这与原命名存在差异,其原因是由于 CIPW 标准矿物计算之后 Q - norm 为零,因而在区域岩石学研究时,统一平台的分类命名十分重要,它可使区域对比研究更趋合理性<sup>[13,14]</sup>。

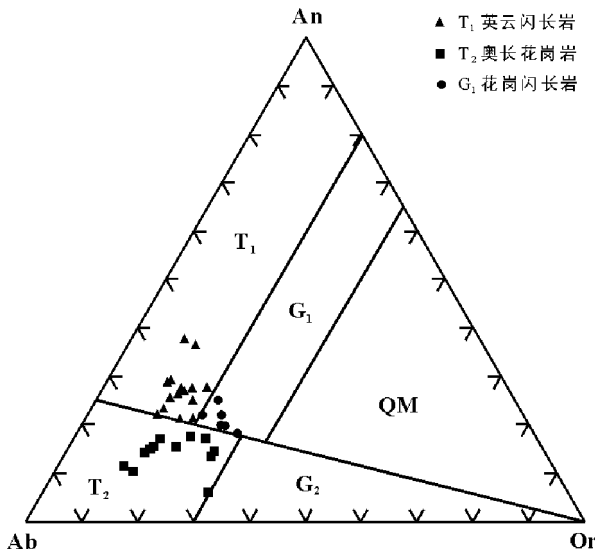


图 2 新太古代栖霞岩套 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合 An - Ab - Or 图解

图 3 展示的 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 岩石演化呈明显的向奥长花岗岩的演化趋势,随 Q - norm 的增加,Ab 和 Or 的比值大体上保持不变,它与图 2 展示的相对富 An 组分的 T<sub>1</sub>G<sub>1</sub> 与相对贫 An 组分的 T<sub>2</sub> 之间在 Ab 和 Or 的比值上差异不大的特征是符合的。图 2 和图 3 所表明新太古代晚期 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合的形成,可能主要源于玄武质源岩的局部熔融程度不同,An 组分的高低可能分别对应局部熔融程度的高低。由上可知,奥长花岗岩演化趋势的实质在于不显现富 K<sub>2</sub>O、富 Or 的演化趋势,这是典型 TTG 组合演化趋势的特征,具有贫 K<sub>2</sub>O 的奥长花岗岩演化趋势。

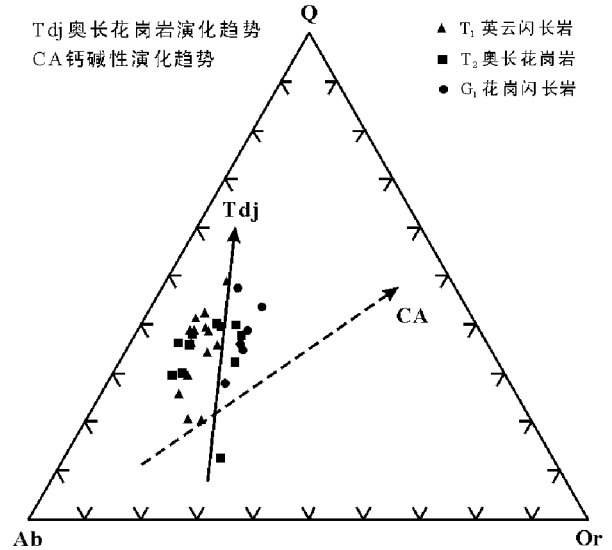


图 3 新太古代栖霞岩套 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合 Q - Ab - Or 图解

在图 4 所表达的新太古代晚期 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 岩石组合在 SiO<sub>2</sub> - MgO 图解中指示其具镁安山质岩石系列(MA)的性质,而非原来认为的玄武质岩浆的熔融,这与前人<sup>[8,9]</sup>研究成果不同,也说明鲁东新太古代晚期 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合是洋壳俯冲环境下形成的岩浆,是太古宙不成熟陆壳的主要增生机制。这与 SiO<sub>2</sub> - TFeO/MgO 图解中(图 5)落入 LF - CA 和 CA 区,只有少量的点落入 TH 区,亦反映是洋壳俯冲环境下形成的,指示不成熟陆壳的俯冲增生特点。

2.2 古元古代早期 G<sub>2</sub>M 组合

古元古代由于数据较少,其代表性较差。在图 6 中其数据投点仅为 G<sub>2</sub> 组合,显示钙碱性演化趋势(图 7)。古元古代双顶岩套在 Q - Ab - Or 三角图解中仅具有富 K<sub>2</sub>O 的钙碱性演化趋势,形成于大陆

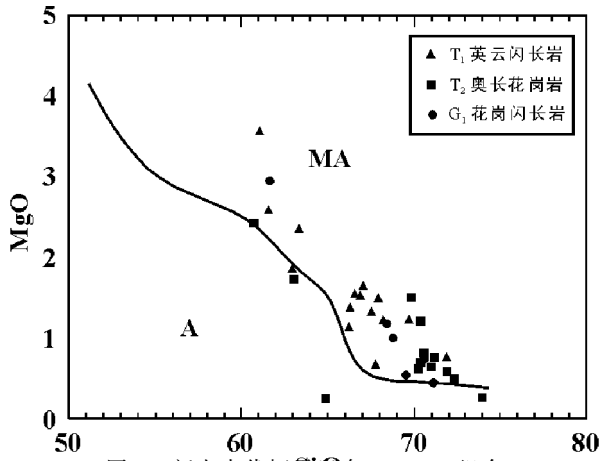


图 4 新太古代栖霞岩套 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合 w(SiO<sub>2</sub>)-w(MgO)图解

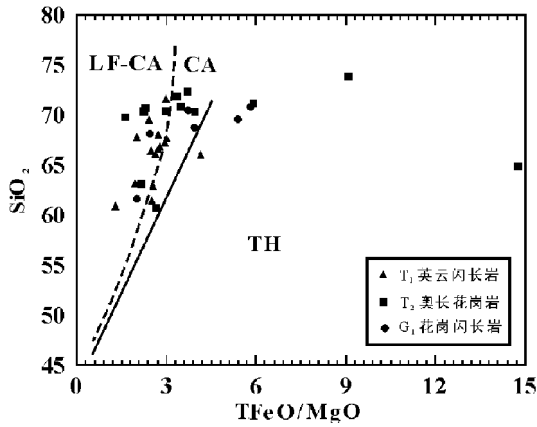


图 5 新太古代栖霞岩套 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合 w(SiO<sub>2</sub>)-w(TFeO)/w(MgO)图解

碰撞环境,指示其为下地壳底部形成的岩浆,陆壳成熟度较高。与此相对应的是,奥长花岗岩演化趋势已消失,仅发育钙碱性演化趋势。它表明,地壳演化的成熟度进一步增加,这是“质”的又一次变化,在地质演化过程中具有重要意义。

上述新太古代晚期和古元古代花岗岩类,分别发育相对应的不同岩石组合,即 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合和 G<sub>2</sub>QM 组合,为进一步讨论该区地质演化过程提供了最重要的岩石学记录。

### 3 讨论

#### 3.1 鲁东地区早前寒武纪花岗岩类形成的构造环境

关于太古宙能否采用板块构造机制,一直存在争议。一部分学者认为,太古宙不能采用板块构造机制<sup>[15]</sup>。一部分学者认为,可用板块构造机制进行解释<sup>[16]</sup>,该文的讨论支持后者。

Maniar&Piccoli(1989)<sup>[17]</sup> 基于花岗岩类的岩石组合,提出它们形成于不同的构造环境:岛弧环境为 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub>;大陆边缘弧为 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub>G<sub>2</sub>;大陆碰撞则发育 G<sub>2</sub>。按照这一分类,鲁东地区新太古代的 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合(图 2)形成于岛弧环境,古元古代的 G<sub>2</sub> 组合(图 6)则形成于大陆碰撞环境。

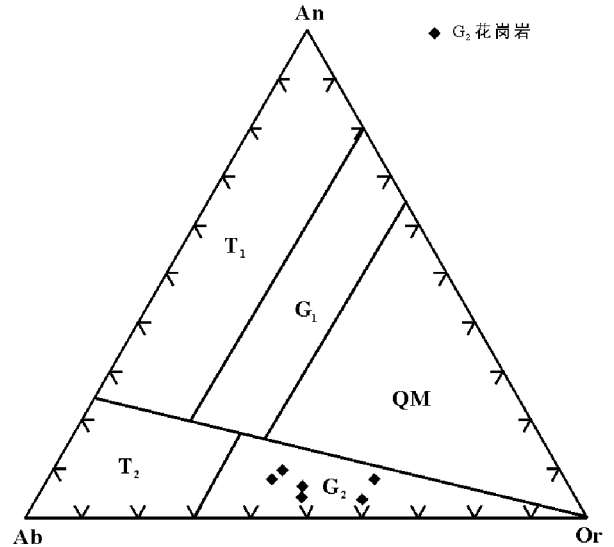


图 6 古元古代双顶岩套 G<sub>2</sub> 组合 An - Ab - Or 图解

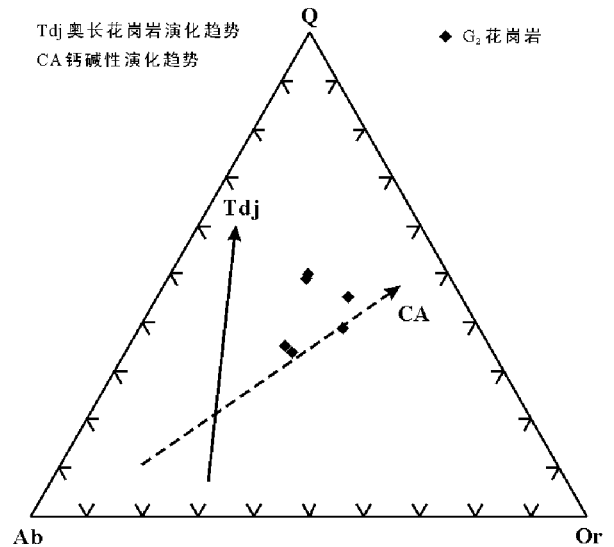


图 7 古元古代双顶岩套 G<sub>2</sub> 组合 O - Ab - Or 图解

关于 T<sub>1</sub>T<sub>2</sub>G<sub>1</sub> 组合的形成,近年来已有较明确的认识,认为它们可形成于不同的构造环境,如洋壳俯冲环境或下地壳玄武质岩石的局部熔融,对它们的鉴别可由 SiO<sub>2</sub> - MgO 图解和 SiO<sub>2</sub> - TFeO/MgO

图解(图 4、图 5)来判定<sup>[14]</sup>。俯冲的玄武质洋壳熔出的岩浆在上升达地表之前,在经过上覆的地幔楔形区时,必与橄榄岩发生相互作用,其结果是使岩浆在给定的  $\text{SiO}_2\%$  条件下富  $\text{MgO}\%$  和贫  $\text{TFeO}/\text{MgO}$ ,在图 4 和图 5 中分别落入镁安山质岩石系列(MA)区和低铁钙碱性(LF-CA)区。需要说明的是,镁安山质岩石系列(MA)不是一种岩石,而是可包括从玄武安山质、安山质、英安质、流纹质的一个系列的岩石,因此 MA 实际上为镁安山质岩石系列的名称。

由图 4、图 5 可以看出,鲁东地区新太古代晚期的绝大多数  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  岩石具 MA 性质,属于洋壳俯冲环境下形成的岩浆。古元古代的  $\text{G}_2\text{M}$  岩石不具 MA 性质,它们是下地壳底部形成的岩浆。这样,岩石学和岩石化学特征指示的构造环境与上面讨论的 Maniar & Piccoli 基于岩石组合反演的构造环境是大体一致的。

关于  $\text{T}_1\text{T}_2$  岩浆的原岩主要有两种不同观点<sup>[18]</sup>,一是由地壳的玄武质源岩经局部熔融产生,这种源岩或是角闪岩或是榴辉岩;二是由地幔橄榄岩局部熔融产生,主要依据是同位素锶和钆的初始比值类似的地幔岩石。对于钾质花岗岩  $\text{G}_2$  源自陆壳硅铝质岩石的局部熔融,这一点已达共识<sup>[18]</sup>。

邓晋福指出<sup>[18]</sup>:胶东中太古代岩石分布区为核心,周围被新太古代岩石环绕,这种陆壳水平增长的模式,是太古宙大陆增生的基本特点。但由于对中太古代的测试数据偏少,其演化特征未在有关图解中做出。

### 3.2 鲁东地区早前寒武纪花岗岩类与陆壳成熟度

$\text{K}_2\text{O}$  的富集程度和  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值可看作为陆壳成熟度的标志之一<sup>[11]</sup>。一般来说,地壳自洋中脊处形成玄武质洋壳开始,在洋壳俯冲带玄武质洋壳熔融产生低  $\text{K}_2\text{O}$  的  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$ ,  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  在陆壳底部熔融产生富  $\text{K}_2\text{O}$  的花岗岩类,  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  属于新生的(juvenile)初始不成熟陆壳,富  $\text{K}_2\text{O}$  的  $\text{G}_2$  为最终形成的成熟陆壳。鲁东地区以栖霞片麻岩为代表的  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  是新生的初始陆壳,而古元古代  $\text{G}_2$  花岗岩则代表了成熟陆壳(表 3)。

如果把鲁东地区早前寒武纪花岗岩类岩石组合类型与其形成的构造环境、陆壳成熟度相对应地结合起来便可知,新太古代  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  组合,形成于岛弧

环境,为新生的初始不成熟陆壳,是俯冲洋壳熔融形成  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  组合。古元古代早期的大陆碰撞时期,洋壳俯冲作用已停止,则形成更多的  $\text{G}_2$  组合,陆壳最终形成,达成熟程度。结合表 3 中的分析,则可以进一步推测,岛弧-岛弧碰撞产生的变质事件,是  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  组合形成事件的结束,导致面积和体积较大的初始大陆块体的形成,从原来的岛弧环境转变为大陆边缘弧的环境。进入陆-陆碰撞造山,形成古元古代早期的  $\text{G}_2$  组合,标志着更大面积和体积的大陆地壳块体的最终形成,陆壳达成熟程度。

## 4 结论

(1)鲁东地区早前寒武纪花岗岩类可能分为 3 期,第一期为中太古代 TTG 组合,发育不完全;第二期为新太古代  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  组合,具富  $\text{K}_2\text{O}$  的奥长花岗岩演化趋势;第三期为古元古代早期  $\text{G}_2$  组合,仅具富  $\text{K}_2\text{O}$  的钙碱性演化趋势。

(2)新太古代  $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  组合为岛弧环境,古元古代早期为大陆碰撞环境,陆壳水平增长的模式,是太古宙大陆增生的特点。

(3)不同的花岗岩类岩石组合分别对应的陆壳成熟度为: $\text{T}_1\text{T}_2\text{G}_1$  组合为新生的初始不成熟陆壳, $\text{G}_2$  组合则为最终的成熟陆壳。

(4)鲁东早前寒武纪花岗岩类随时间从新太古代至古元古代早期的演化,记录了鲁东大陆地壳形成的完整地质演化过程。

## 参考文献:

- [1] 陆松年. 鲁东前寒武纪结晶基底的年代学及 Sm-Nd 同位素地球化学[J]. 地质前缘, 1998, (4): 94-102.
- [2] 徐金方, 沈步云, 牛良柱, 郑文深. 胶东地块与金矿有关的花岗岩类研究[J]. 山东地质(专辑), 1989, 5(2): 1-125.
- [3] 房子龙. 胶东地区太古宙变质岩的 PTt 轨迹及其意义[J]. 山东地质, 1993, 9(1): 34-35.
- [4] 卢冰, 胡受奚, 周顺之, 等. 山东半岛的地体构造及金矿成矿的区域地质背景[J]. 地质论评, 1995, 41(1): 9-16.
- [5] 翟明国, 杨进辉, 刘文军. 胶东大型黄金矿集区及大规模成矿作用[J]. 中国科学, 2001, 31(7): 545-552.
- [6] 李永刚, 郭敬辉, 翟明国, 等. 胶东地区基底长英质片麻岩的地球化学特征及其构造归属[J]. 岩石学报, 1999, 15(4): 66-72.
- [7] 孙景贵, 胡克. 胶东东部地区元古宙花岗岩类的地球化学及岩石成因[J]. 岩石学报, 1997, 13(3): 168-171, 173-179.
- [8] 宋明春, 王沛成. 山东省区域地质[M]. 济南: 山东省地图出版社, 2003.

- [9] 宋明春,徐军祥,王沛成,等.山东省大地构造格局和地质构造演化[M].北京:地质出版社,2009.
- [10] Johannes W & Holtz F. Petrogenesis and experimental Petrology of granitic rocks, Springer - Verlag, 1996.
- [11] 邓晋福,刘翠,冯艳芳,等.高镁安山岩/闪长岩(HMA)和镁安山岩/闪长岩类(MA):与洋壳俯冲作用相关的两类典型的火成岩类[J].中国地质,2010,37(4):1113 - 1118.
- [12] Rollinson H, 1993, Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation, Longman Sci. & Tech. .
- [13] 冯艳芳,邓晋福,肖庆辉,等. TTG 岩类的识别:讨论与建议[J].高校地质学报,2011,17(3):406 - 410.
- [14] 冯艳芳,邓晋福,王世进,等.鲁东地区早前寒武纪花岗岩类中镁安山质岩石系列(MA)的识别及大陆地壳生长[J].中国地质,2010,37(4):1119 - 1129.
- [15] 曹国权.鲁西早前寒武纪地质[M].北京:地质出版社.1996:48 - 93.
- [16] Condie, K C, & Been K, 2006, Archean geodynamics: similar to or different from modern geodynamics? AGU Geophysical Monograph Series 164, Archean Geodynamics and Environments:47 - 59.
- [17] Maniar P D & Piccoli P M, 1989, Tectonic discrimination of granitoids, GSA. Bull, 101:635 - 643.
- [18] 邓晋福,罗照华,苏尚国,等.岩石成因构造环境与成矿作用[M].北京:地质出版社,2004:137 - 145.

## Evolution and Continental Crust Growth of Early Precambrian Granitoids in Eastern Shandong Province

LI Hongkui<sup>1,2</sup>, GENG Ke<sup>1,2</sup>, ZHUO Chuanyuan<sup>1,2</sup>, LIANG Taitao<sup>1,2</sup>, CHEN Li<sup>1,2</sup>

(1. Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Provincial Key Laboratory of Geological Processes of Metallic Resources and Resource Utilization, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Through analysis and discrimination of the granite compositions in Archean and Paleoproterozoic period, granitoids in early Precambrian period in eastern Shandong province can be divided into three stages. The first stage is Archean TTG combination with incomplete development; the second stage is Neoproterozoic  $T_2G_1T_1$  combinations with the trend of poor  $K_2O$  trondhjemitic evolution; the third stage is the early Paleoproterozoic  $G_2$  combination with rich  $K_2O$  calc - alkaline evolutionary trend. Forming environment of different granites combinations have been studied. The Neoproterozoic  $T_1T_2G_1$  combination is island - arc environment, while the environment of the early Paleoproterozoic is continental collision. Different combination of granitoid rocks correspond to different maturity of the continental crust;  $T_1T_2G_1$  combination is new initial immature continental crust, while  $G_2$  combination is a final maturity of continental crust. Evolution of the early Precambrian granitoids over time from Neoproterozoic to Paleoproterozoic early has recorded the geological evolution of continental crust in eastern Shandong completely.

**Key words:** Granitoids; rock assemblage types; tectonic environment; the maturity of the continental crust; eastern Shandong province