

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

李永刚 郭敬辉 翟明国 刘文军 关鸿

中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029.

Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029.

1999-03-18 收稿, 1999-07-01 改回.

Li Yonggang, Guo Jinghui, Zhai Mingguo, Liu Wenjun and Guan Hong. 1999. Geochemical differences of basement felsic gneisses in Shandong peninsula and its significance to the boundary between North China plate and Sulu UHP belt. *Acta Petrologica Sinica*, 15 (4): 557~563

Abstract According to the study on the basement gneisses in Shandong peninsula, the basement gneisses, occurring in the Laixi-Qixia area, are characterized by the typical features of Archean tonalitic gneisses, and features of trace elements of the basement gneisses are comparative with the intraplate granite. Different from those occurring in the Qixia area, the basement gneisses in Rongcheng area, Shandong peninsula which belong to part of the Sulu ultra-high pressure metamorphic belt, are of peraluminous granites and characterized by the geochemical features of volcanic arc granites. It is affirmative that Rongcheng area is of the part of Yangtze plate. In correspondence with the features of the major and Trace elements of quartzofeldspathic gneisses in the Qixia area, Wendeng area may be part of the North China plate. Because of the occurrence of coesite-bearing ultra-high pressure block mass in Weihai area, it is proposed that the complicated tectonic processes resulted in the emplacement of ultra-high pressure block mass in the basement area of the North China plate during the process of continental collision.

Key words Felsic gneiss, Trace element geochemistry, Shandong peninsula, North China plate, Sulu ultra-high pressure metamorphic belt

摘要 通过对胶东地区基底长英质片麻岩的地球化学研究发现, 莱西-栖霞一带的基底长英质片麻岩具有太古宙长英质片麻岩的典型特征, 微量元素组成与板内花岗岩类相似。该区应该属于华北陆块的一部分。荣成地区是苏鲁超高压变质带的典型地区, 其基底长英质片麻岩与栖霞一带不同, 是过铝型花岗岩类, 具有火山弧花岗岩类的地球化学特征, 结合普遍存在的 0.8Ga 的同位素年代资料, 可以确定荣成地区原来是扬子陆块的一部分。文登-威海地区的长英质片麻岩的常量和微量元素组成都与栖霞地区相当, 很可能也是华北陆块的一部分。从长英质片麻岩代表的基底岩石的地球化学差异来看, 超高压变质带与华北板块的界线应该在五莲-青岛-荣成断裂。威海一带含柯石英超高压岩块的出现很可能是因为大陆碰撞过程中复杂的构造原因, 使超高压岩片中的一部分进入了华北基底分布区。

关键词 胶东地区; 长英质片麻岩; 微量元素地球化学; 华北板块; 苏鲁超高压变质带

中图分类号 P588.34

1 引言

华北板块与苏鲁超高压变质带的界线及其性质近年来

倍受关注, 学者们提出了许多观点, 但都存在着很大分歧。曹国权等 (1990) 依据地质和地球物理资料提出分界线在五莲-荣成断裂。Ishizaka *et al.* (1994) 根据同位素年代学资料提出分界线在五莲-牟平断裂。王仁民等 (1995) 认为分界线是

* 本文得到国家自然科学基金 (49832030、49872064) 和中科院资环局重点项目 (KZ952-J1-414) 的资助。

第一作者简介: 李永刚, 男, 1955 年出生, 副研究员, 岩石学专业。

从海阳所到威海,并且沿这条带存在一条晚元古代蛇绿岩带。张希道等(1996)认为五莲-海阳所-臧格庄-威海小石岛一带断续出露的麻粒岩代表了分界线。王清晨(1996)则推测分界线就是郯庐断裂带,莱西-栖霞一带的变质杂岩是与北大别类似的组合。翟明国等(1996)综合各种资料认为昆嵛山花岗岩很可能就是苏鲁超高压带与华北板块的分界。

上述研究和论证都没有充分考虑基底片麻岩性质的差异。胶东地区基底片麻岩分布广泛,尤其是长英质片麻岩。片麻岩地球化学性质的差异可以为超高压带和华北板块界线的划分提供新的依据。本文由此出发研究了胶东几个典型地区的长英质片麻岩的地球化学性质的差别,并以此作为依据,综合其他地质资料,分析苏鲁超高压带与华北板块的界

线的位置和性质及其构造意义。

2 地质背景

胶东地区一般指郯庐断裂以东、莱阳盆地以北的胶东半岛地区。该区突出的构造特征是与郯庐断裂有关的一系列NNE向断裂和同方向延展的巨大花岗岩体(图1)。根据翟明国等(1996)的分析,从岩石组合、构造特征、甚至金矿的分布等标志来看,昆嵛山花岗岩和五莲-荣成断裂是最重要的两个界线,本文采用这种划分,将胶东地区分为三个构造单元,即莱西-栖霞地块、文登-威海地块和荣成地块,分别介绍它们的新组合特征。

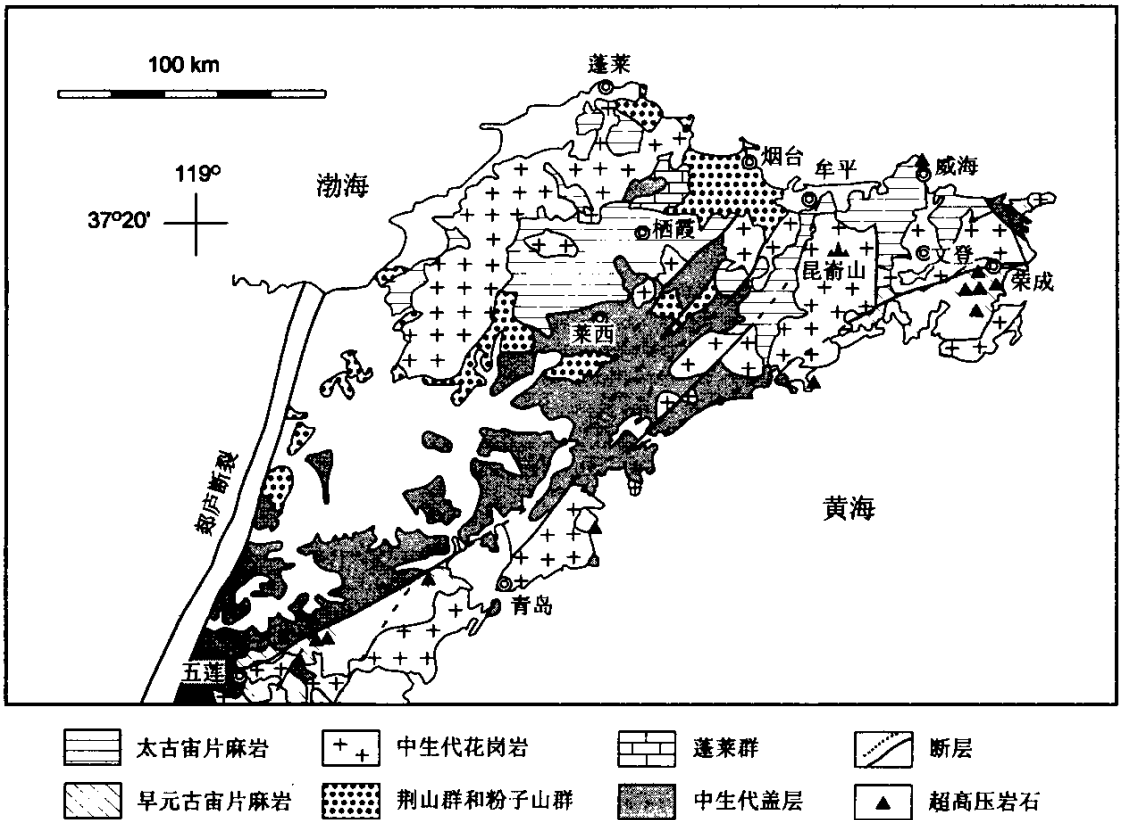


图1 胶东地区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Jiaodong peninsula

1) 昆嵛山花岗岩以西是典型的华北克拉通早前寒武纪基底片麻岩的分布区,有太古宙的胶东群(曹国权等,1990;裘有守等,1988),早元古代的荆山群和粉子山群(王得洪等,

1991;林润生等,1988)以及晚元古代的蓬莱群(张文起,1995)。其中胶东群分布最为广泛。除胶东群的一部分是变质火山-沉积系外,其它几个群主要是变质沉积岩。这些基底片

麻岩的主体是长英质的片麻岩，王来明等（1992）从其中区分出一些典型的太古宙 TTG 岩体，形成年龄从 2.5~2.8Ga 不等。

2) 五莲-荣成断裂以南是苏鲁超高压变质带的典型部分，含有大量超高压变质岩块。超高压变质岩石有榴辉岩、超镁铁质岩和变质沉积岩（叶凯等，1993；张儒媛等，1993；Harjima *et al.*, 1993），多含有柯石英。超高压岩块的围岩主要是长英质片麻岩，曾被归属为胶南群（曹国权等，1990）。但在胶东半岛昆嵛山花岗岩体以东的所谓的胶南群中，实际上真正的变质表壳岩很少，广泛分布的都是长英质的片麻岩，其中主要的热事件发生在 0.8Ga（Ishizaka *et al.*, 1994）。

3) 昆嵛山花岗岩和五莲-荣成断裂之间的文登-威海地区也发现有超高压变质岩，但比较特殊，是含柯石英的麻粒岩（Wang *et al.*, 1993），围岩是复杂的长英质片麻岩。这套岩石的归属最不确定，目前对华北克拉通与苏鲁超高压带的界线的观点的分歧很大程度上是由于对这套长英质片麻岩认识不同所引起的。

本文对上述三个构造单元中具有代表性的长英质基底片麻岩进行了系统的采样，试图比较这三个构造单元中长英质片麻岩的地球化学差异，从中找出华北克拉通和苏鲁超高压变质带界线的证据。

3 长英质片麻岩的地球化学

对三个构造单元内长英质基底片麻岩的样品作了常量、微量元素组成的分析测试。荣成地区的数据采用 XRF 方法测定，其他数据采用 Jarrell-Aes9000 型等离子直读光谱仪测定，测定结果列于表 1。

3.1 常量元素

三个构造区的长英质片麻岩的常量元素变化范围大致相当。当 SiO_2 含量小于 70% 时， Al_2O_3 含量大于 15%，当 SiO_2 含量大于 70% 时， Al_2O_3 含量小于 15%。随着 SiO_2 含量的增加， Al_2O_3 、 $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 TiO_2 、 CaO 呈下降的趋势，与 SiO_2 呈反相关，而 K_2O 呈上升趋势，与 SiO_2 呈正相关， Na_2O 则变化不大。在依据常量元素所作的各种岩石分类图中，三个地区的片麻岩都落在同样的分布区。在标准矿物 An-Ab-Or 分类图（图 2）中，三个构造区的片麻岩样品点的分布比较一致，大部分都落在英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗岩区。

但是，长英质片麻岩的 Al_2O_3 含量还是显示出了一定程度的差异。从铝饱和度-碱饱和度图和 $\text{A}/\text{CNK}-\text{SiO}_2$ 图（图 3a，图 3b）上，栖霞地区和文登地区片麻岩投点大部分落在了铝中等饱和区，文登个别样品落在了过碱性区，岩石类型以准铝质为主，少数过碱性。荣成地区片麻岩则有所不同，投

点大部分落在过铝质区，少数准铝质区。但 Al 含量的差别比较有限，所有样品的 $\text{A}/\text{CNK}<1.1$ ，都属于 I 型花岗岩的范围。另外在 $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}$ 图解（图略）中，这些岩石的化学成分显示出钙碱性演化趋势。

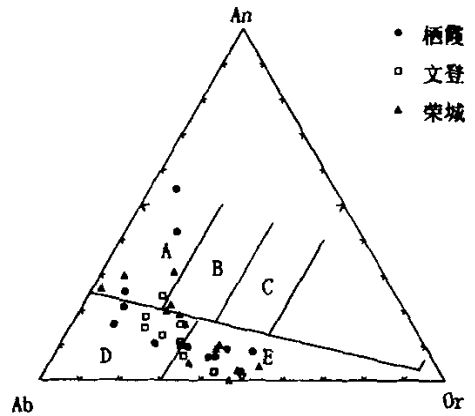


图 2 标准矿物 An-Ab-Or 分类图

A 为英云闪长岩；B 为花岗闪长岩；C 为石英二长岩；
D 为奥长花岗岩；E 为花岗岩

Fig. 2 Normative An-Ab-Or classification

3.2 微量元素

各类长英质片麻岩的微量元素组成都表现出大离子亲石元素富集和高场强元素亏损的特征。例如，与洋中脊型花岗岩比较，Rb 的丰度为 33~346 $\mu\text{g}/\text{g}$ ，是大洋中脊花岗岩（Rb 的标准数值为 4 $\mu\text{g}/\text{g}$ ，据 Pearce *et al.*, 1984）的 8~86 倍，Zr、Y、Yb 丰度低于大洋中脊花岗岩，应属造山花岗岩类。由于这些片麻岩都不同程度地经历了变质变形作用，因此采用 Rb/Sr 的比值来对变质变形的影响加以鉴别，由图 4 可见，几乎所有的片麻岩的 Rb/Sr 比值都大于 0.2，因此不存在 Rb 相对的以及 Sr 明显的亏损，也就是说这些片麻岩的微量元素组成受到变质变形作用的影响不强。

Rb-Sr 相关图还显示出这些片麻岩的差别，对应于相同的 Sr 含量，荣成地区的片麻岩 Rb 含量明显高于栖霞地区的片麻岩，而文登-威海地区的片麻岩则主要与栖霞地区的片麻岩一致，仅少数样品 Rb 含量较高，与荣成地区的片麻岩相当。

荣成地区片麻岩与栖霞地区和文登-威海地区片麻岩在 Pearce *et al.* (1984) 的微量元素构造环境判别图 Rb-(Yb+Nb) 和 Nb-Y 图解（5a，5b）中，前者投在火山弧+同碰撞环境区，后者均投在板内环境区。

稀土元素的资料揭示出片麻岩成因的明显不同。据王来明等（1992）的研究，栖霞地区的长英质片麻岩类表现为

表 1 胶东地区长英质基底片麻岩的常量(%) 和微量元素($\mu\text{g/g}$) 分析结果Table 1 Major (%) and trace element ($\mu\text{g/g}$) analyses of the quartzofeldspathic gneisses in Jiaodong peninsula

地区	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	总和	Rb	Nb	Sr	Zr	Y	Ni
	96MP01	70.1	0.36	13.92	0.97	2.24	0.13	1.52	0.56	4.81	4.23	0.3	99.14	107.4	302.8	509.9	29.5	9	6.6
	96MP03	73.43	0.19	12.47	0.47	1.53	0.096	1.08	0.3	5.43	3.62	0.27	98.886	164.7	215.7	300.8	9.4	20.4	4.7
	96MP06	70.45	0.25	14.51	0.1	2	0.084	1.65	0.35	5.15	4	0.25	98.794	189.3	161.5	1020	10.7	5.5	6.7
	96MP09	59.99	0.43	15.27	2.82	2.52	0.17	1.17	1.6	0.58	2.34	0.58	87.47	191.2	240.5	697.7	10.6	11.8	28.4
栖霞地区	96MP12	71.55	0.17	13.85	0.08	1.82	0.088	1.63	0.28	4.6	4.35	0.26	98.678	198.4	158.1	665	10.7	10.4	1.5
	96QX01	72.41	0.17	13.67	0.11	1.85	0.11	2.2	0.49	2.65	4.97	0.16	98.79	189.6		265.9	9.2	1.6	
	96QX02	62.9	0.61	15.81	1.19	4.39	0.11	4.87	1.84	1.22	5.46	0.31	98.71	202.6	71.7	478.9	11.2	13.9	9.5
	96QX03	56.79	0.71	16.27	2.2	4.52	0.16	7.31	3.65	1.01	5.21	0.3	98.13	213.4	95.6	484.8	11.2	19.5	47.4
	96QX19	64.17	0.41	15.64	3.69	3.57	0.08	0.97	1.35	3.07	1.82	0.27	95.04	263.7		160.9	2	6.6	18.4
	96QX20	66.48	0.6	17.38	1.59	2.18	0.07	3.35	2.83	0.73	1.73	0.32	97.26	267.4	120.6	98.1	12.8	6.4	22.6
	96QX21	67.08	0.57	17.66	1.2	4.87	0.096	0.87	0.95	1.37	1.69	0.29	96.646	346	98.9	164.8	8.6	6.7	50.9
	96QX28	70.98	0.14	14.4	0.11	1.53	0.09	3.57	0.57	1.18	5.56	0.26	98.39	314.7	93.2	251.5	5.9	3.1	6.9
	96WD08	73.14	0.3	12.27	0.39	1.7	0.14	1.13	0.4	2.91	5.71	0.23	98.32	314.7	228.9	170	10.6	35.2	6.9
	96WD09	73.54	0.29	12.27	0.88	1.42	0.15	1.14	0.38	3.28	5.7	0.26	99.31	325.5	235.6	180	11.2	37	4.9
	96WD10	73.83	0.21	12.15	0.48	1.25	0.11	0.55	0.29	3.86	4.9	0.26	97.89	302.9	211.5	156.6	9.2	11.1	7
	96WD11	75.78	0.1	12.01	0.35	1.4	0.16	0.72	0.13	4.54	3.96	0.14	99.29	33.3	237	106.4	9.4	9.5	13.9
	96WD15	73.59	0.11	13.32	0.08	1.7	0.31	1.13	0.18	3.68	4.63	0.14	98.87	55.9	121	123.1	1.9	8.1	13
文登威海地区	96WD16	68.78	0.38	15.2	0.86	2.24	0.14	1.96	0.87	3.82	5.05	0.29	99.59	81.7	203.7	448.9	10.7	14.9	8.3
	96WD17	76.14	0.08	11.54	0.04	1.86	0.1	0.58	0.09	4.5	4.16	0.17	99.26	93.7	390.1	14.8	10.7	65.1	3
	96WD18	75.19	0.23	11.66	0.82	1.52	0.14	0.8	0.28	4.4	3.87	0.19	99.1	102.7	99.31	123.7	8.8	36.2	4.9
	96WD28	63.78	0.56	15.16	2.24	2.79	0.2	3.89	1.11	2.26	5.31	0.36	97.66	101.2	158.8	418.4	10.7	28.7	3.3
	96WD29	69.46	0.31	13.05	1.54	2.29	0.16	2.55	0.82	3.19	4.27	0.27	97.91	83.1	184.7	308.4	10.7	22.9	6.6
	96WD30	75.62	0.19	11.68	1.08	0.66	0.12	0.4	0.11	3.84	4.78	0.16	98.64	116.8	85.5	37.2	4.4	6.2	
	96WD31	68.1	0.44	13.09	2.27	1.91	0.21	5.14	1.22	2.79	3.92	0.36	99.45	108	190.2	551.9	10.7	26.3	11.3
	96WD33	65.41	0.54	15.01	0.56	3.13	0.12	3.53	1.32	2.94	5.1	0.36	98.02	118.4	161.2	603.4	10.7	17.3	3.9
	96WD22	63.95	0.46	14.75	2.17	3.44	0.19	4.08	1.49	1.96	4.91	0.36	97.76	130.1	196.6	398.8	10.7	26.3	8
	MYD4	77.12	0.16	12.36		1.41	0.12	0.03	0.30	5.15	3.86	0.02	100.53	180	19	47	111	17	2
	MYD5	77.50	0.13	11.90		1.53	0.11	0.48	0.19	5.24	2.90	0.02	100	98	20	134	115	21	4
	MYD6	60.65	0.78	16.05		6.37	0.18	4.53	2.61	2.63	4.56	0.30	98.66	79	14	570	232	30	15
	94MY01	70.73	0.38	14.77		2.58	0.07	2.29	0.79	3.20	4.19	0.11	99.11	97	12	310	187	27	5
荣成地区	94MY08	78.13	0.13	12.16		0.56	0.05	0.39	0.14	4.96	3.42	0.01	99.95	123	10	71	91	15	0
	94BC05	68.10	0.52	15.15		3.58	0.09	2.98	1.25	2.49	4.51	0.19	98.86	89	12	455	171	29	3
	94BC11	76.37	0.15	12.63		0.77	0.03	1.23	0.28	4.06	3.42	0.02	98.96	88	5	315	103	6	0
	BC2	67.45	0.51	15.24		4.06	0.15	2.83	1.15	2.91	4.30	0.19	98.79	68	8	430	191	26	1
	LH6	67.70	0.55	16.57		4.16	0.12	3.84	1.35	0.61	4.33	0.17	99.4	15	5	568	252	8	6
	94WB5	73.21	0.36	14.06		1.88	0.04	1.25	0.37	4.31	3.78	0.07	99.33	121	12	271	219	30	0
	94MJY1b	69.87	0.43	14.86		3.47	0.06	4.53	1.06	0.24	5.12	0.09	99.73	1	5	471	147	9	8
	94TJP1	64.68	0.47	15.88		4.65	0.06	4.31	2.57	1.98	3.79	0.17	98.56	57	6	545	100	17	30
	94GJG02	74.80	0.14	14.37		0.80	0.01	0.70	0.11	3.91	4.52	0.04	99.4	91	6	153	97	5	0

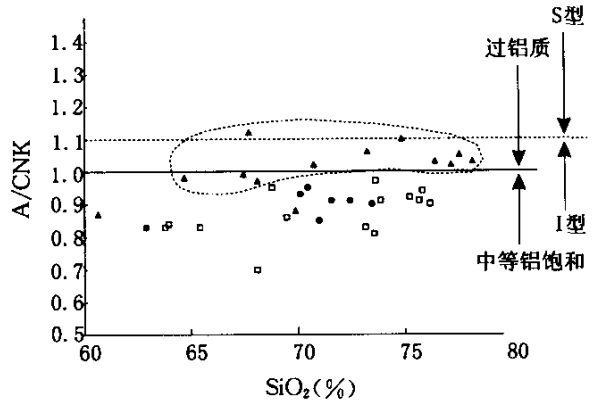
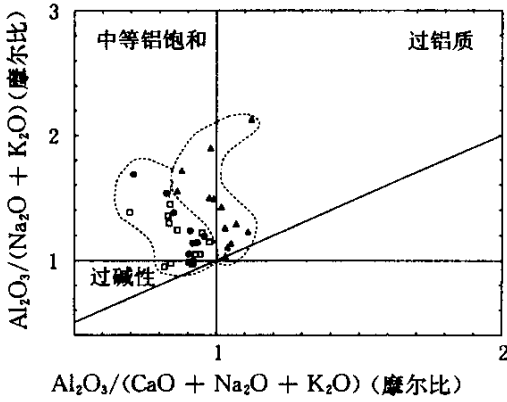


图3 胶东基底长英质片麻岩的铝饱和度-碱饱和度(a)(据 Maniar and Piccoli, 1989)和 SiO₂-铝饱和度(b)图解
(据 Clarke, 1992)

图例同图 2; $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$

Fig. 3 $Al_2O_3 / (K_2O + Na_2O)$ vs. $Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ (a) and SiO_2 vs. A/CNK (b) diagrams for basement felsic gneisses from Jiaodong

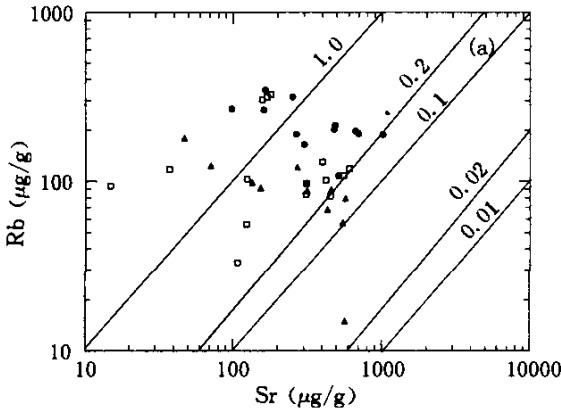


图4 Rb-Sr 相关图

图例同图 2

Fig. 4 Correlation chart of Rb-Sr

轻稀土富集型, 轻稀土部分较陡, 重稀土含量低, 并且较为平缓。Eu 的正负异常都存在, 但都很弱。这种配分模式是很明显的太古宙 TTG 成分的陆壳片麻岩的稀土元素分配特征。从宋明春等 (1995) 报道的资料, 荣成地区长英质片麻岩虽然也同样为轻稀土富集型, 但相比之下, 稀土总量较高, 并且显示很强的负 Eu 异常, 是太古宙以后的火山弧型花岗

岩类的 REE 分配特征。需要说明的是, 因为荣成地区的片麻岩类可能形成于 > 0.8Ga (Ishizaka *et al.*, 1994), 而不是在 0.22Ga 的超高压碰撞过程中形成的, 因此, 这些岩石有可能是火山弧环境形成的。

4 结论

依据上述片麻岩的地球化学研究, 综合已有的各类资料, 对于胶东地区的构造格局可以得出如下主要结论:

(1) 莱西-栖霞一带的片麻岩具有太古宙长英质片麻岩类的典型特征, 微量元素组成与板内花岗岩类相似, 与火山弧型明显不同。结合 2.5~2.8Ga 的同位素年代资料认为该区是华北陆块的一部分。

(2) 荣成地区是苏鲁超高压带的典型地区, 其片麻岩与栖霞一带不同, 是过铝型花岗岩类, 具有火山弧花岗岩类的地球化学特征, 结合普遍存在的 0.8Ga 的同位素年代资料, 可以确定荣成地区是扬子陆块的一部分。

(3) 文登-威海地区的长英质片麻岩的常量和微量元素含量与栖霞地区相当, 很可能也是华北板块的一部分。至于威海一带含柯石英超高压岩块的出现很可能是因为构造原因, 大陆碰撞作用使超高压岩片中的一部分向北逆冲得更远, 而进入了华北基底分布区, 但这一逆冲岩片规模并不大, 没有对文登-威海这一地区基底的性质造成彻底的改变, 这一基底还保留了华北陆块的特点。

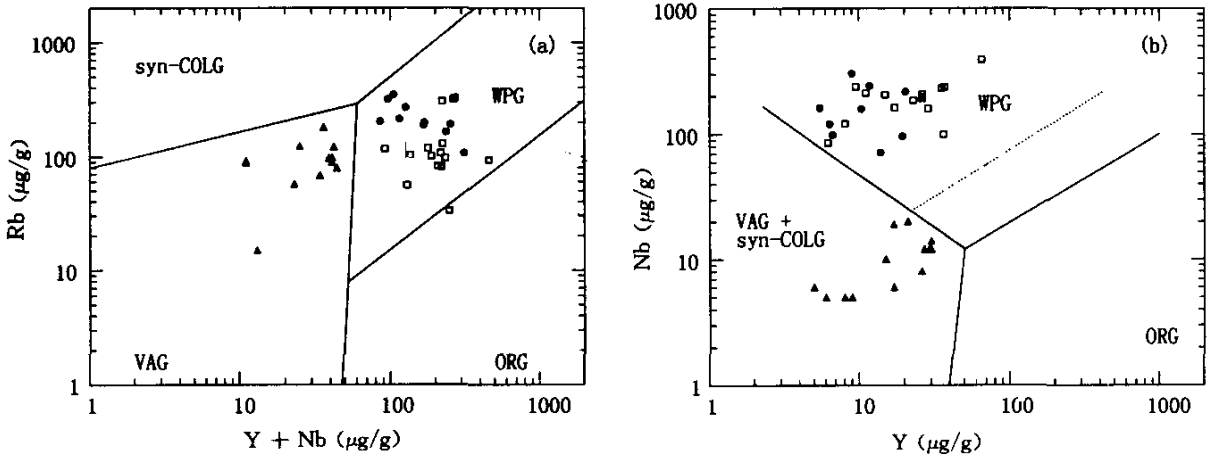


图5 Rb-(Yb+Nb)(a)和Nb-Y(b)相关图(据Pearce *et al.*, 1984)

图例同图2;ORG为洋脊花岗岩;VAG为火山弧花岗岩;Syn-COLG为碰撞花岗岩;WPG为板内花岗岩

Fig. 5 Correlation chart of Rb-(Yb+Nb)(a) and correlation chart of Nb-Y (b)

致谢 野外工作得到了山东地矿局张希道工程师的帮助,在此致谢。

References

- Cao Guoquan, Wang Zhibe and Zhang Chengji. 1990. Jiaonan terrane in Shandong province and the tectonic significance of the Wulian-Rongcheng fracture. *Geology of Shandong*, 6 (1): 1~15 (in Chinese)
- Clarke D B. 1992. *Granitoid Rocks*. Chapman and Hall
- Harizima T, Walis S R, Zhai M G and Ye K. 1993. Eclogitized metagranitoid from the Su-Lu ultra-high pressure (UHP) province, eastern China. *Proceedings of the Japan Academy*, 69 (B) 10: 149~154
- Ishizaka K, Hirazima T and Zheng X S. 1994. Rb-Sr dating for the Jiaodong gneiss of the Su-Lu ultra-high pressure province, eastern China. *The Island Arc*, 3: 232~241
- Lin Runsheng and Yu Zhichen. 1988. Jingshan Group in north Shandong peninsula. *Geology of Shandong*, 4 (1): 1~21
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 635~643
- Pearce J A, Harris B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Petrology J.*, 25, Part. (4): 956~983
- Qiu Youshou, Wang Konghai *et al.* 1988. Conditions of regional mineralization of gold in the area of Zhaoyuan-Yexian, Shandong province. Liaoning Press of Science and Technology
- Song Mingchun, Wang Laiming, Wang Lanzhong and Zhang Jingxin. 1995. Ludong Rongcheng gneiss suite and its origin. *Geology of Shandong*, 11 (2): 32~44 (in Chinese)
- Wang Dehong and Lin Runsheng *et al.* 1991. Characteristics of metamorphism of Jingshan Group in area of Pingdu, Shandong province. *Geology of Shandong*, 7 (2): 1~16 (in Chinese)
- Wang Laiming and Yan Yimin. 1992. The Archaean tonalites in Qixia area, Shandong. *Geology and Shandong*, 8 (1): 80~86 (in Chinese)
- Wang Q C, Ishiwatari A, Zhao Z Y, Hirazima T, Enami M, Zhai M G, Li J J and Cong B L. 1993. Coesite-bearing granulite retrograded from eclogite in Weihai, eastern China. *Eur. J. Mineral.*, 5: 141~152
- Wang Qingchen and Cong Bolin. 1996. Geodynamic significance of ultra-high pressure metamorphic rock in Dabie mountains. *Science in China, series D*, 26 (3): 271~276 (in Chinese)
- Wang Renmin, An Jiatong and Lai Xingyun. 1995. The Discovery of an ophiolite suite in eastern part of Shandong Peninsula and its significance. *Acta Petrologica Sinica*, 11 (Suppl.): 221~240 (in Chinese with English Abstract)
- Ye Kai. 1993. Metamorphism and tectonic significance of the eclogite and related rock in northeast Shandong province. Ph. D thesis. Institute of geology, Chinese Academy of Sciences (in Chinese)
- Zhai Mingguo and Cong Bolin. 1996. Petrotectonics in Sulu-Dabie metamorphic belt. *Science in China series D*, 26 (3): 258~264 (in Chinese)
- Zhang Ruyuan, Cong Bolin and Liu Zhongguang. 1993. Su-Lu ultra-high-pressure metamorphic terrane and explanation of its origin. *Acta Petrologica Sinica*, 9 (3): 211~225 (in Chinese with English Abstract)
- Zhang Wenqi. 1995. Components of Pb isotope in Fenzishan Group and Penglai Group, Jiaodong peninsula. *Geology of Shandong*, 11 (1): 18~24 (in Chinese)
- Zhang Xidao and Wang Laiming. 1996. The discovery of granulite facies rock and initial study in Weihai-Lushan Jiaodong. *Chinese Regional Geology*, 58 (3): 213~21 (in Chinese)

附中文参考文献

曹国权, 王致本, 张成基. 1990. 山东胶南地体及其边界断裂五莲

- 荣城断裂的构造意义. 山东地质, 6 (1): 1~15
- 林润生, 于志臣. 1988. 山东胶北隆起区荆山群. 山东地质, 4 (1): 1~21
- 裘有守, 王孔海等. 1988. 山东招远-掖县地区金矿区域成矿条件. 沈阳: 辽宁科学技术出版社
- 宋明春, 王来明, 王兰中, 张京信. 1995. 鲁东荣城片麻岩套及其成因. 山东地质, 11 (2): 32~44
- 王德洪, 林润生等. 1991. 山东省平度地区下元古界荆山群变质作用特征. 山东地质, 7 (2): 1~16
- 王来明, 鄢毅民. 1992. 山东栖霞地区太古宙英云闪长岩. 山东地质, (1): 80~87.
- 王清晨, 从柏林. 1996. 大别山超高压变质岩的地球动力学意义. 中国科学 (D) 辑, 26 (3): 271~276
- 王仁民, 安家桐, 赖兴运. 1995. 胶东蛇绿岩套的发现及其地质意义. 岩石学报, 11 (增刊): 221~240
- 叶凯. 1993. 山东东北部榴辉岩及有关岩石的变质作用及大地构造意义. 中国科学院地质研究所 [博士论文]
- 翟明国, 从柏林. 1996. 苏鲁-大别山变质岩带岩石大地构造学. 中国科学 (D) 辑, 26 (3): 258~264
- 张儒媛, 从柏林, 刘中光. 1993. 苏鲁超高压变质地体及其成因解释. 岩石学报, 9 (3): 211~226
- 张文起. 1995. 胶东地区粉子山群及蓬莱群地层铅同位素组成探讨. 山东地质, 11 (1): 18~24
- 张希道, 王来明. 1996. 胶东威海-乳山麻粒岩相岩石的发现及初步研究. 中国区域地质, 58 (3): 213~221