

胶东半岛艾山岩体岩石地球化学特征及成因意义

杨 宽¹, 王建平^{1, 2}, 林进展¹, 郑加行¹, 杨国志¹, 吉 海¹

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质大学, 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

[摘要] 艾山岩体位于胶东半岛的栖霞和蓬莱之间, 主要岩性为二长花岗岩。岩石(地球)化学特征表明, 艾山岩体为高硅($\text{SiO}_2 = 68.01\% \sim 75.85\%$)、高钾($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$)、高镁和铁($\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{TiO}_2 > 2\%$)、准铝-过铝质($\text{A/CNK} = 0.916 \sim 1.012$)的钙碱性花岗岩, 属I型花岗岩。Rb、Ba、K、Sr等大离子亲石元素(LILE)明显富集, Y、Hf、Zr、Yb、Nb、Ta等较不活泼的高场强元素(HFSE)相对亏损, 显示负的Nb异常和高的正Pb异常, 表明岩浆起源于下地壳, 且地幔物质参与了岩浆作用过程。轻稀土元素相对富集, 具弱的Eu异常, SiO_2 与 ΣREE 、 δEu 相关性表明岩石主要受部分熔融控制。构造环境图解判别显示, 艾山岩体的形成与岩石圈的消减和古太平洋板块俯冲有密切的联系。

[关键词] 艾山岩体 岩石地球化学 胶东半岛

[中图分类号] P582.5 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2012)04-0693-11

Yang Kuan, Wang Jian-ping, Lin Jin-zhan, Zheng Jia-xing, Yang Guo-zhi, Ji Hai. Petrogeochemical characteristics and genetic significance of the Aishan pluton in the Jiaodong Peninsula [J]. Geology and Exploration, 2012, 48(4):0693-0703.

0 引言

艾山岩体位于蓬莱与栖霞之间(图1), 艾山是其主峰, 故得名。艾山岩体是胶东地区晚燕山期侵位于玲珑复式岩体的一个花岗岩体(徐金方, 1991), 整体呈岩枝侵入郭家岭岩体(玲珑复式岩体的一部分)之中, 郭家岭岩体呈顶盖残留体产出(图1)。其长轴近南北向, 将郭家岭岩体切割为东西两部分(山东省区域地质志, 1991)。由于玲珑复式岩体是胶东西北部金矿区的主要赋矿围岩, 前人对其开展过系统深入的研究(万天丰等, 2000; 杨进辉等, 2003; 邱连贵等, 2008; 戴雪灵, 2011)。而对于晚燕山期花岗岩体, Sarah C. Goss等(Sarah C. Goss Whalen et al., 2010)进行了一定的研究, 但关于艾山岩体的专门研究目前还很少。本文通过对艾山岩体进行主量、微量元素的定量分析, 探索艾山岩体的形成机制、岩石学成因类型及其地质背景, 对认识研究区晚燕山侵入岩的地质背景具有重要意义。

1 区域地质背景

胶东半岛位于太平洋板块与欧亚板块活动的交汇处, 胶东半岛位于华北克拉通东缘。东邻太平洋板块, 西界为郯庐断裂带, 东南界为五莲-荣成断裂带, 是华北克拉通与苏鲁造山带的分界断裂段(胡受奚等, 1998), 北邻渤海湾(图1)。区域内断裂构造非常发育, 如三山岛断裂、焦家-新城断裂、招远-平度断裂等。区内广泛出露前寒武纪变质岩系和燕山期花岗岩(刘俊等, 2009)。胶东地区岩浆侵入活动频繁, 具有多期多阶段的特点, 侵入岩以中酸性岩类为主, 其规模大、分布广(山东省区域地质志, 1991)。早燕山期侵入岩以玲珑花岗岩、昆嵛山岩体为典型。晚燕山期早期侵入岩以郭家岭岩体为典型, 晚燕山期较晚的侵入岩以艾山、牙山、三佛山、崂山岩体为典型。郭家岭岩体形成于130~126 Ma之间(Wang et al., 2010), 稍晚的艾山岩体形成于 116 ± 1 Ma之间(Sarah C. Goss et al., 2010), 其呈岩枝侵入郭家岭岩体之中。

[收稿日期] 2011-11-13; [修订日期] 2012-02-05; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 国家自然科学基金项目“胶东玲珑花岗岩杂岩的隆升剥蚀及对其中金矿形成后变化保存的制约”(No. 40602010)、教育部“111”计划(批准号: B0711)。

[第一作者] 杨 宽(1988年-), 男, 2011年毕业于中国地质大学, 获学士学位, 在读硕士生, 主要从事有色金属矿床地质研究工作。E-mail: yangbin_1115@qq.com。

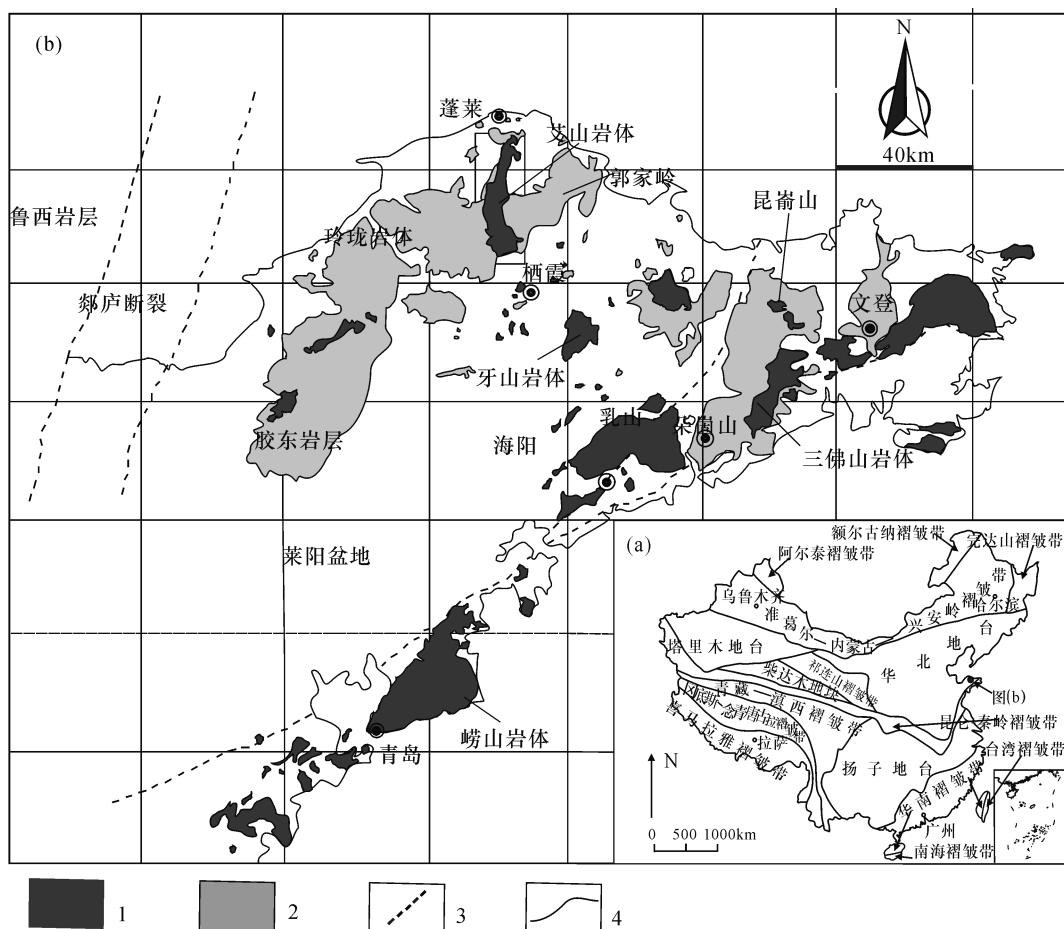


图1 胶东半岛燕山花岗岩分布及艾山岩体位置示意图(据 Sarah C. Goss et al. , 2010)

Fig. 1 Map showing Yanshanian granite distribution and position of the Aishan pluton

in Jiaodong Peninsula (after Sarah C. Goss et al. ,2010)

1—晚燕山花岗岩;2—早燕山花岗岩;3—主要断裂;4—地层界线

1—late Yanshanian granitoids;2—early Yanshanian granitoids;3—major fault;4—stratigraphic boundary

2 岩石学特征

艾山岩体主要由似斑状中粗粒二长花岗岩组成,还含有少量的花岗闪长岩。花岗岩新鲜面主要呈浅色、淡粉红色,风化面主要呈灰白色,斑状结构,块状构造。组成岩石的矿物成分主要由石英(20.39%~32.61%)、斜长石(37.1%~50.17%)和钾长石(18.52%~28.85%)组成(表1)。

样品中的二长花岗岩,钾长石和斜长石含量大致相等,斑晶主要为钾长石,一般粒度为0.5~3.0mm,基质为斜长石和石英,基质粒度为0.5~3.0mm,一般斑晶和基质的界限不太清楚,暗色矿物主要为黑云母、角闪石。副矿物为不透明矿物(0.5%~1%),常见的副矿物有榍石、磁铁矿、钛铁矿、磷灰石和锆石等,石英波状消光明显。花岗闪长

岩中斜长石含量明显多于钾长石,并且暗色矿物含量较二长花岗岩多,主要以角闪石为主,少量黑云母。

3 地球化学特征

3.1 样品采集及测试方法

岩石地球化学测试样品均为未风化、未蚀变的新鲜岩石,采自岩体地表。样品在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所国土资源部地球化学勘查监督检测中心测试,首先将要测试的样品粉碎,研磨至200目以下的粉末备用,样品前处理采用酸溶法,主要元素测试方法为熔片法X-射线荧光光谱法(XRF),微量元素测试方法为ICP-MS法。氧化物相对标准样品的偏差低于2%,微量元素分析数据相对标准样品的偏差低于5%。地球化学相关分析图件由GeoKit软件完成(路远发,2004)。

表1 艾山岩体岩石主量元素含量、CIPW 标准矿物

Table 1 Major element contents and CIPW standard minerals of the Aishan pluton

	序号	样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂	LOI	CO ₂	总和	TFe ₂ O ₃
样品 岩石 主量 元素 含量 ω _B %	1	S01	69.29	14.08	1.08	1.32	1.32	2.45	3.33	4.82	0.04	0.16	0.34	0.56	0.48	99.77	2.55
岩石	2	S02	75.85	12.44	0.61	0.12	0.08	0.66	4.29	4.7	0.01	0.01	0.11	0.69	0.39	99.57	0.74
主量 元素	3	S03	70.39	15.88	0.83	1	0.48	2.89	4.29	3.12	0.08	0.06	0.21	0.48	0.14	99.70	1.94
元素 含量	4	S04	67.9	15.06	1.52	1.36	1.6	2.98	3.99	4.14	0.04	0.19	0.38	0.49	0.35	99.66	3.04
ω _B %	5	S05	68.1	15.29	1.19	1.67	1.56	2.82	3.88	4.53	0.05	0.19	0.39	0.39	0.33	100.04	3.05
	序号	样品号	石英 (Q)	钙长 石 (An)	钠长 石 (Ab)	正长 石 (Or)	刚玉 (C)	透辉 石 (Di)	紫苏 辉石 (Hy)	钛铁矿 磁铁矿 (Il)	磷灰 石 (Ap)	锆石 (Zr)	铬铁 矿 (Cm)	方解 石 (Cc)	合计		
CIPW 标准 矿物	1	S01	25.65	8.58	28.52	28.85	0.28	0	4.4	0.64	1.59	0.36	0.03	0.01	1.11	100.02	
	2	S02	32.61	0.8	36.54	27.99	0.01	0	0.41	0.22	0.5	0.03	0.02	0	0.89	100.02	
	3	S03	26.58	13.7	36.47	18.52	0.46	0	2.26	0.4	1.15	0.15	0.03	0	0.33	100.05	
	4	S04	21.05	11.02	33.88	24.56	0	0.67	4.96	0.73	1.87	0.45	0.03	0.01	0.8	100.03	
	5	S05	20.39	10.95	32.77	26.73	0	0.22	5.32	0.73	1.72	0.43	0.03	0.01	0.76	100.05	
	序号	样品号	分异 指数 (DI)	δ43	A/CNK	A/NK	R1	R2	AR	K ₂ O/ Na ₂ O	K ₂ O+ Na ₂ O	FeO+MgO+ Fe ₂ O ₃ +TiO ₂					
	1	S01	83.02	2.51	0.929	1.31	2261	612	2.44	1.45	8.15	4.06					
	2	S02	97.14	2.45	0.933	1.02	2428	321	2.37	1.10	8.99	0.92					
	3	S03	81.57	1.99	1.012	1.52	2396	648	2.3	0.73	7.41	2.52					
	4	S04	79.49	2.64	0.916	1.36	2062	696	2.34	1.04	8.13	4.86					
	5	S05	79.89	2.81	0.932	1.35	2014	678	2.43	1.17	8.41	4.81					

注:测试在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所国土资源部地球化学勘查监督检测中心完成。DI(分异指数)= Qz+Or+Ab+Ne+Le+Kp; δ₄₃(组合指数)=(Na₂O+K₂O)²/(SiO₂-43); A/CNK(铝饱和指数)=Al₂O₃/(Ca₂O+Na₂O+K₂O)(分子比); A/NK=Al₂O₃/(Na₂O+K₂O)(分子比); AR(碱度率)=(Al₂O₃+CaO+(Na₂O+K₂O))/((Al₂O₃+CaO-(Na₂O+K₂O))(%); R1=4Si-11(Na+K)-2(Fe+Ti); R2=6Ca+2Mg+Al。

3.2 主量元素特征

如表1所示,艾山岩体岩石的主量化学成分,SiO₂含量高(67.9%~75.85%,平均为70.31%)。碱含量较高(K₂O+Na₂O=7.41%~8.99%,平均为8.22%),K₂O含量大于Na₂O含量(K₂O/Na₂O=0.73~1.45,平均为1.10),属于富钾型花岗岩。高镁和铁(MgO+Fe₂O₃+FeO+TiO₂=0.92%~4.86%,平均为3.43)。在CIPW标准矿物中,刚玉标准分子和透辉石标准分子都不全为零,显示壳幔源的特点。

从Q(石英)-A(碱性长石)-P(斜长石)实际矿物三元图解(图2)中可见,艾山岩体主要落在花岗闪长岩-二长花岗岩区域内,岩石类型主要为二长花岗岩。将主量元素投影到SiO₂-AR(碱度率)图解(图3)中可见,其主要岩石类型为钙碱性系列。A/CNK(铝饱和指数)为0.916~1.012(表1),其平均值为0.944,并且A/CNK-A/NK图解(图4)中可

见,都表明样品岩石为准铝质,属于铝饱和型,显示地壳源特点(Barbarin B, 2004)。在A-C-F判别图解(图5)中可见,艾山岩体为I型花岗岩,表明岩石物源为火成岩,构造环境可能为活动大陆型边缘弧(马鸿文,2004)。有的样品落在与I和S型花岗岩分界线比较近的区域,说明可能发生不同程度的熔融,艾山岩体花岗岩壳源组分占主导地位,含有一定幔源组分。

从Harker图解(图6)中可以看出,CaO、MgO、FeOt、P₂O₅和TiO₂与SiO₂呈明显的负相关,K₂O和Na₂O正相关趋势,表明岩浆具有一致的演化趋势。P₂O₅对SiO₂(图6)为一个强烈的相反趋势,而Pb对SiO₂是小的正相关趋势,也表明岩石为I型花岗岩,而不是S型花岗岩(Chappell B W et al., 1992)。K₂O和Na₂O,它们整体随着SiO₂的增加而增加,但是Na₂O的趋势不太明显,K₂O随SiO₂的正相关性较明显。各氧化物与SiO₂总体上呈一定线性关

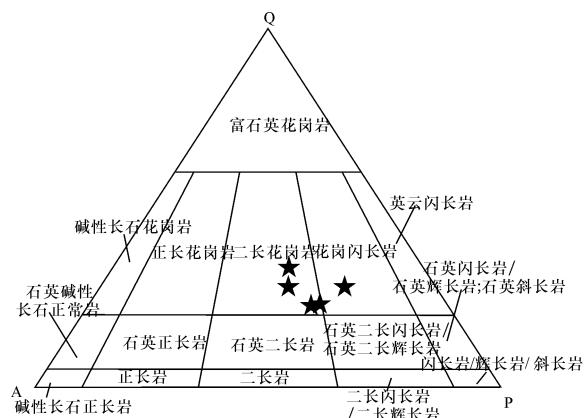


图 2 胶东半岛艾山岩体 Q(石英)-A(碱性长石)-P(斜长石) 实际矿物三元图解 (Le Maitre R W, 1989)

Fig. 2 QAP diagram showing composition of the Aishan pluton in Jiaodong Peninsula (base diagram from Le Maitre R W, 1989)

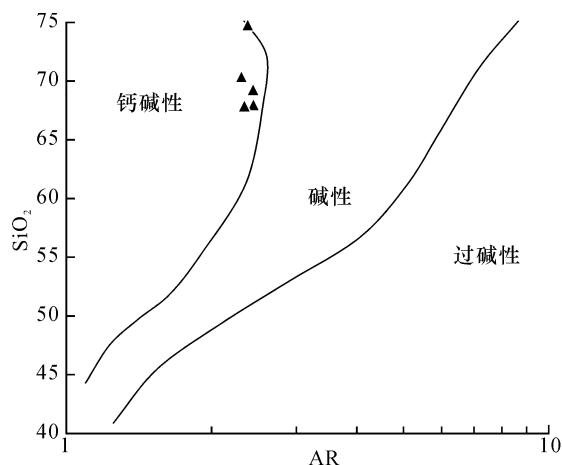


图 3 胶东半岛艾山岩体 SiO_2 -AR(碱度率)

图解 (Wright J B, 1989)

Fig. 3 SiO_2 -AR (alkalinity rate) diagram for the Aishan pluton in Jiaodong Peninsula (base diagram from Wright J B, 1969)

系, 表明随着岩浆演化, 有些矿物(如辉石、角闪石等)发生了一定的分离结晶作用(李昌年, 1992), 但总体上各组分与 SiO_2 总体相关性不是特别高, 这说明岩浆的演化过程中以部分熔融为主, 分离结晶程度不高(李昌年, 1992)。

3.3 微量元素特征

由表 2 可见, 艾山岩体岩石的 Nb/Ta 值(10.31 ~ 14.52, 平均为 12.07) 略高于正常花岗岩值(11), 而 Zr/Hf 值(17.01 ~ 31.42, 平均为 24.05) 明显低于正常花岗岩值(33 ~ 40) (Green T H, 1995; Dostal J et al., 2000), Zr/Hf 值略低于 25, 指示岩

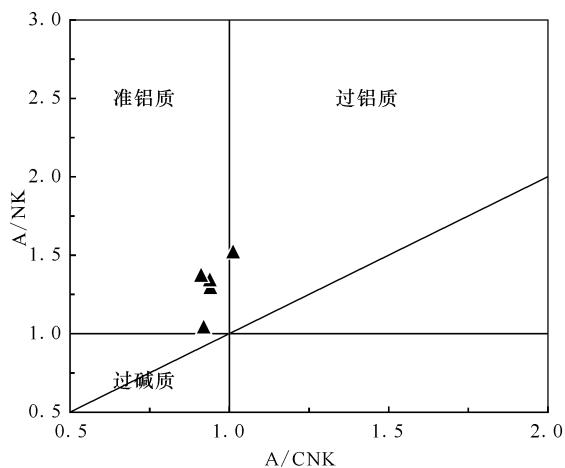


图 4 胶东半岛艾山岩体 A/NK-A/CNK 图解
(Maniar P D et al., 1989)

Fig. 4 A/NK versus A/CNK diagram for the Aishan pluton in Jiaodong Peninsula (base diagram from Maniar P D et al., 1989)

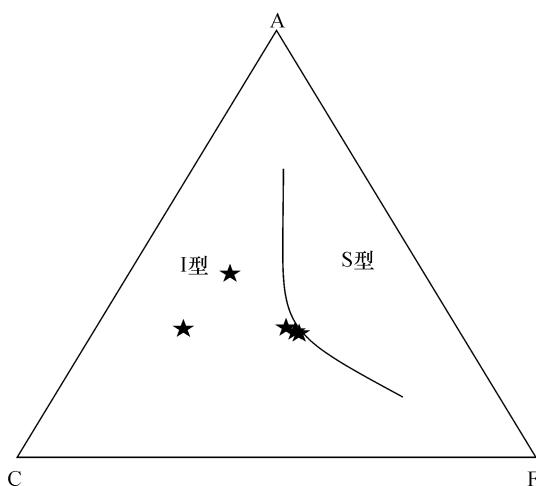


图 5 胶东半岛艾山岩体 A-C-F 图解 (邱家骥, 1991)

Fig. 5 A-C-F diagram for the Aishan pluton in Jiaodong Peninsula (after Qiu, 1991)

浆演化过程中存在流体作用, 反映岩浆主要来源于地壳物质, 并且含有地幔物质(Irber W, 1999)。

艾山岩体的 Rb/Sr 值(0.11 ~ 1.53, 平均为 0.43) 和 Rb/Ba 值(0.05 ~ 1.01, 平均为 0.26) 大部分样品的比值接近于下地壳值(0.17, 0.07) (McDonough W F et al., 1995), 而明显高于地幔 Rb/Sr (0.03)、 Rb/Ba (0.09) (McDonough W F et al., 1995), 说明艾山岩体物质来源于下地壳。

由原始地幔标准化的微量元素蛛网图解(图 7)可见, 蛛网图解曲线表现出向右陡倾的特征, 表明随着元素不相容性的增加, 岩石的富集度逐渐增加。

Rb、K、Ba、Sr 等大离子亲石元素(LILE)在岩石中明显富集,在蛛网图解上多表现为波峰,而 Y、Hf、Zr、Yb、Nb、Ta 等较不活泼的高场强元素(HFSE)则在岩石中相对亏损,在蛛网图解上多表现为波谷。样品显示负的 Nb 异常和高的正 Pb 异常,Ta、Nb 的亏损和 Pb 的强烈富集表明具有岛弧岩浆岩的特征,同时 Nb、Ta 的亏损暗示岩浆源区曾遭受地壳物质的混染或俯冲残留洋壳流体的交代(Fitton J G et al., 1991)。大多数样品具有正的 Sr 异常表明为长石富集。岩体为典型的高 Ba、Sr 花岗岩,表明其是壳源物质的高程度部分熔融的产物。样品微量元素地球化学特征表明,艾山岩体形成于大陆组分的混染及成岩后一定的流体活动,岩浆来源于下地壳,并且有较老的大陆地壳物质参与到岩浆源区中。

3.4 稀土元素特征

艾山岩体岩石的稀土元素含量见表 2,稀土元

素经球粒陨石标准化图解见图 8,由图表可见,各样品的稀土元素特征十分相似,稀土元素总量(Σ REE = 76.98×10^{-6} ~ 199.35×10^{-6})均低于火成岩的平均含量(290×10^{-6}),LREE/HREE 值介于 9.55 ~ 28.98,(La/Yb)_N = 8.37 ~ 41.93,表明轻稀土富集和轻、重稀土元素的分馏相对明显,稀土元素配分曲线显示向右倾斜的平滑曲线,且轻稀土元素配分形式为逐渐降低,重稀土元素则近于水平。Eu 弱亏损(δ Eu = 0.60 ~ 0.98),反映岩浆演化过程中,斜长石分离结晶不明显,以熔融为主,同时这种轻稀土富集,弱铕异常的一般被认为是壳幔混源型岩浆的特点。(Ce/Yb)_N 比值的范围是 7.60 ~ 30.80,其平均值为 22.97(Green T H, 1995),这些比值较接近陆壳的比值,表明岩石是地壳衍生的或者广泛的地壳混染作用形成的。

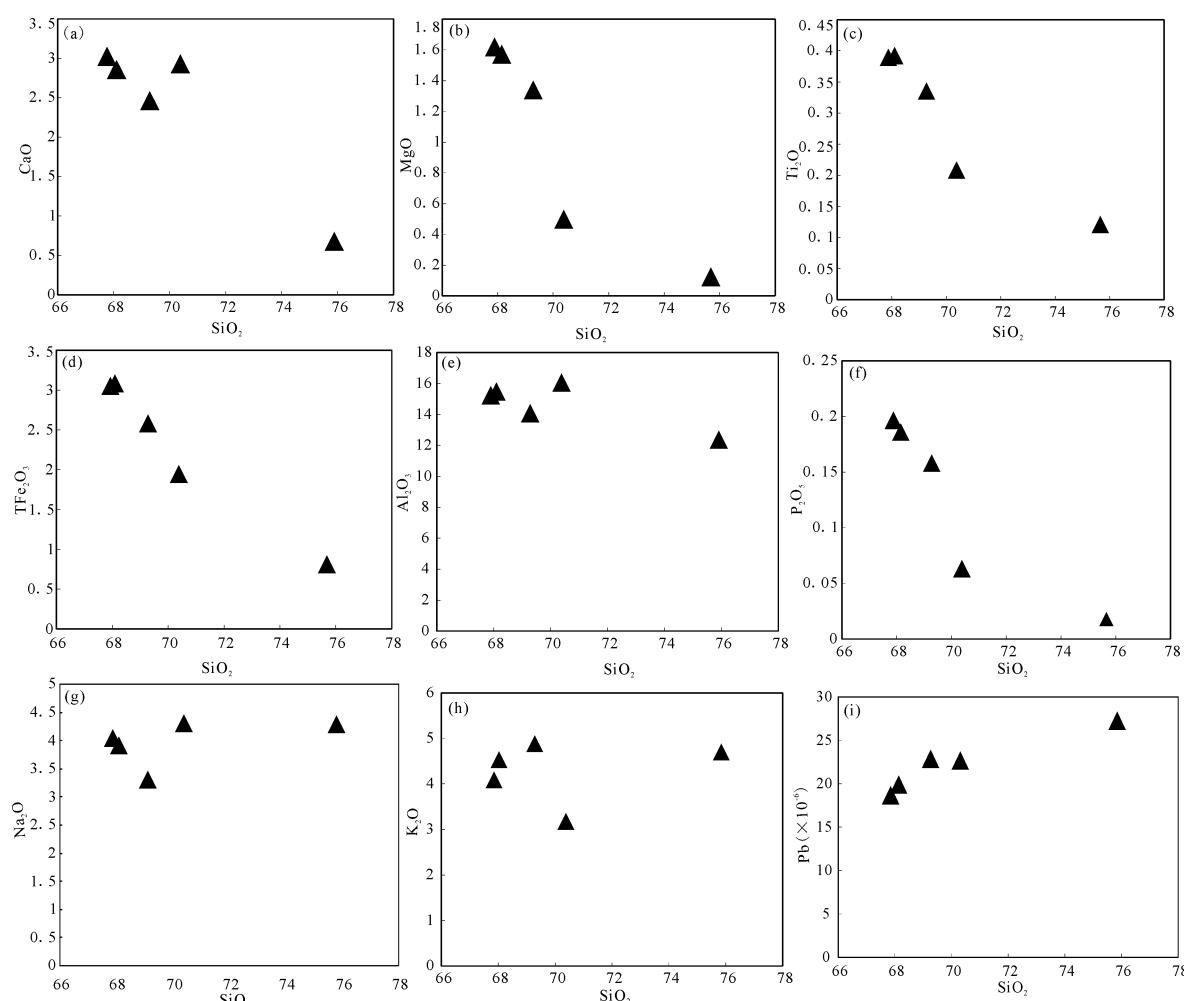


图 6 胶东半岛艾山岩体 Harker 图解

Fig. 6 Harker diagram for the Aishan pluton in Jiaodong Peninsula

表 2 艾山岩体岩石微量元素、稀土元素组成 ($\omega_B/10^{-6}$)Table 2 Trace elements and REE composition of the Aishan pluton ($\omega_B/10^{-6}$)

序号	样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Ba	Cr
1	S01	49.43	94.71	9.82	32.77	4.3	1.1	2.8	0.35	1.74	0.31	0.91	0.14	0.85	0.13	9.27	969	27.3
2	S02	37.82	55.17	5.44	15.81	1.98	0.34	1.3	0.19	0.95	0.17	0.57	0.09	0.65	0.11	5.52	128	3
3	S03	14.58	34.19	3.94	13.99	2.33	0.66	2.02	0.33	1.79	0.36	1.15	0.2	1.25	0.2	12.06	1735	3
4	S04	44.53	93.08	10.12	35.31	4.82	1.26	3.3	0.41	1.95	0.34	0.99	0.15	0.92	0.14	10.43	1484	24.2
5	S05	29.84	68.24	7.79	27.9	3.96	1.11	2.71	0.35	1.61	0.28	0.83	0.13	0.77	0.12	8.73	1705	29.7
序号	样品号	Cs	Hf	Li	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sc	Sr	Ta	Th	U	V	Zn	Zr	K
1	S01	2.09	7.4	19.84	0.32	10.22	12.77	22.82	123.6	4.19	569.4	0.94	14.87	1.97	37	43.76	140.03	40019.83
2	S02	1.25	3.6	3.45	0.15	9.18	1.77	27.25	129.11	0.49	84.3	0.89	42.62	3.51	9	9.89	103.36	39015.74
3	S03	1.13	4.4	8.4	0.11	8.86	3.23	22.4	82.94	2.4	742.9	0.61	3.62	0.43	23.2	52.02	138.23	25865.98
4	S04	1.45	6.4	12.38	0.3	9.04	10.44	18.8	99.47	4.93	717.6	0.75	14.43	2.04	46.4	41.31	154.85	34354.08
5	S05	1.97	8.5	16	0.27	9.57	11.77	19.5	118.37	4.86	696.2	0.76	13.26	4.31	43.1	47.53	144.59	37565.56
序号	样品号	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	La_N/Yb_N	δEu	δCe	(La/Yb) _N	(Gd/Yb) _N	(Ce/Yb) _N	(Sm/Eu) _N	Rb/Sr	Rb/Ba	Nb/Ta	Zr/Hf		
1	S01	199.35	192.12	7.23	26.58	41.52	0.91	0.99	7.43	2.71	41.52	30.8	1.49	0.22	0.13	10.87	18.92	
2	S02	120.57	116.55	4.02	28.98	41.93	0.6	0.83	12.34	1.66	41.93	23.69	2.24	1.53	1.01	10.31	28.71	
3	S03	76.98	69.69	7.29	9.55	8.37	0.9	1.08	4.04	1.34	8.37	7.6	1.35	0.11	0.05	14.52	31.42	
4	S04	197.32	189.12	8.2	23.07	34.77	0.91	1.03	5.96	2.97	34.77	28.15	1.46	0.14	0.07	12.05	24.20	
5	S05	145.63	138.83	6.8	20.42	27.78	0.98	1.07	4.87	2.91	27.78	24.6	1.35	0.17	0.07	12.59	17.01	

注: 测试在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所国土资源部地球化学勘查监督检测中心完成。球粒陨石数值引自 Sun and McDonough, 1989。

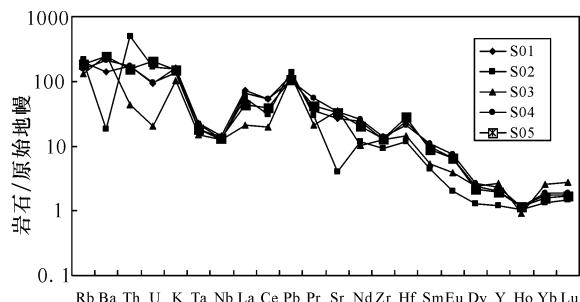


图 7 微量元数的原始地幔标准化蛛网图
(原始地幔, Sun and McDonough, 1989)

Fig. 7 Primitive mantle normalized trace element spider diagram (primitive mantle, Sun and McDonough, 1989)

在 SiO_2 与 ΣREE 、 δEu 相关性图(图 9)中可见, SiO_2 与 ΣREE 、 δEu 有一定的相关性, 表明岩浆演化和斜长石结晶分异控制稀土元素的演化。其 LREE 的富集主要反映为岩浆作用后期阶段的富集。

La 是强亲石元素, 而 Sm 是弱亲石元素, 因此可以利用 (La/Sm-La) 图解来讨论岩浆岩的成岩方式。

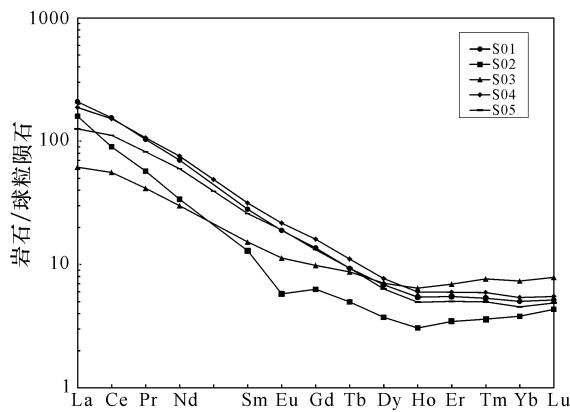


图 8 稀土元素球粒陨石标准化曲线图
(球粒陨石引自 Sun and McDonough, 1989)

Fig. 8 Chondrite-normalized REE-patterns
(chondrite from Sun and McDonough, 1989)

部分熔融的轨迹是一斜率为 K 的斜线, 而分离结晶作用则为一水平线。我们所研究的艾山岩体岩石样品的 La/Sm 与 La 呈现较一定的正相关关系(图 10), 并且线性关系较好, 说明岩浆演化过程主要受部分熔融作用控制。

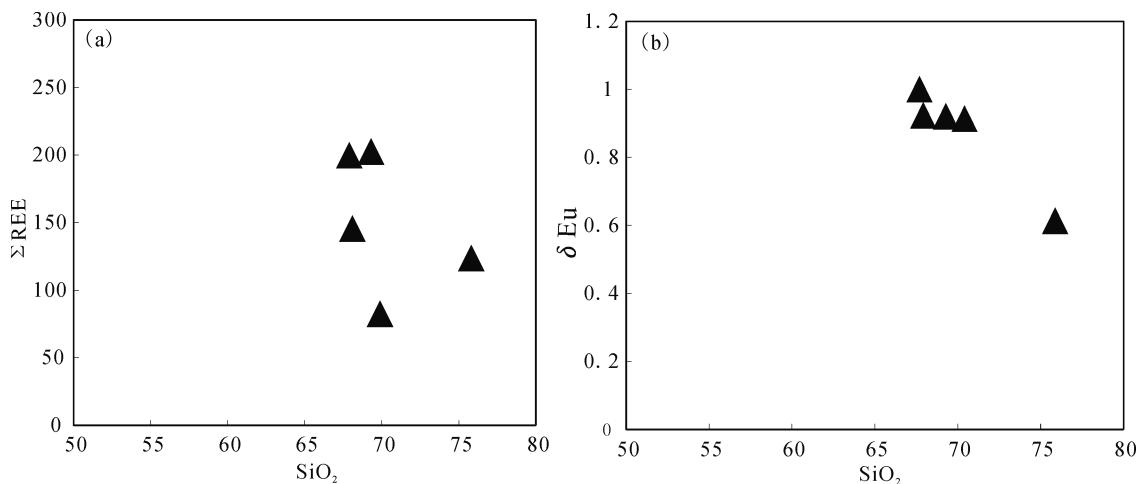
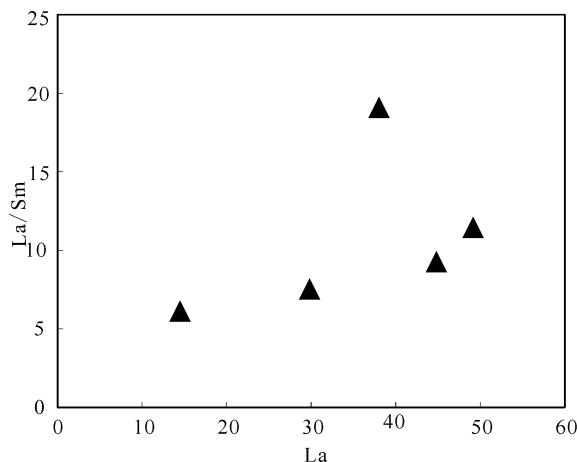
图9 艾山岩体岩石样品 SiO₂ 与 ΣREE、δEu 相关性图Fig. 9 Correlation between SiO₂ and ΣREE or δEu of rock samples from the Aishan pluton

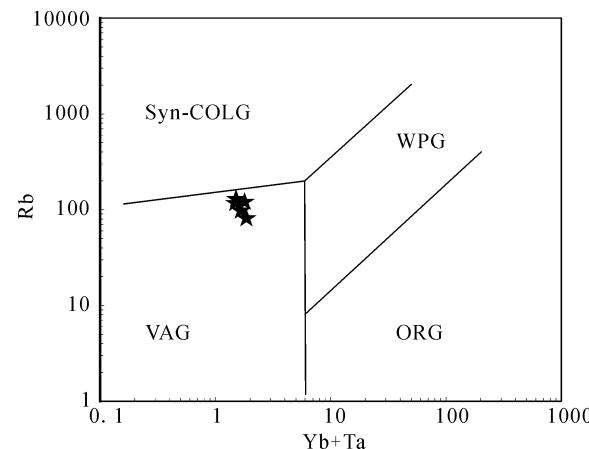
图10 艾山岩体岩石样品 La/Sm-La 图解

Fig. 10 La/Sm-La diagram of rock samples from the Aishan pluton

3.5 大地构造环境判别

元素 Rb、Y (Nb)、Hf、Nb (Ta) 是区分洋脊花岗岩 (ORG)、火山弧花岗岩 (VAG)、板内花岗岩 (WPG)、碰撞花岗岩 (Syn-COLG) 等类型最为有效的判据。将艾山岩体的样品点投影到 Rb-Y-Nb (Prarce *et al.*, 1984) (图 11) 和 Rb/30-Hf-3Ta (Harris *et al.*, 1986) (图 12) 双变量协变图解上可见, 在 Rb-Y-Nb 图解中, 岩石落在火山弧花岗岩区域内, 并且靠近钙碱性火山弧花岗岩; 在 Rb/30-Hf-3Ta 图解(图 12)中, 大多数岩石落在火山弧花岗岩区域内, 个别样品落在火山弧与碰撞后的交界线上。

主量元素地球化学特征可知岩石为高钾钙碱性

图11 艾山岩体岩石样品(Y+Nb)-Rb 图解(Prarce *et al.*, 1984)Fig. 11 (Y+Nb)-Rb diagram of rock samples from the Aishan pluton (Prarce *et al.*, 1984)

VAG—火山弧花岗岩; syn-COLG—同碰撞花岗岩;
 ORG—洋中脊花岗岩; WPG—板内花岗岩
 VAG—volcanic arc granite; syn-COLG—syn-collisional granite;
 ORG—ocean ridge granite; WPG—within plate granite

花岗岩, 而高钾钙碱性花岗岩形成于洋壳俯冲作用或同碰撞环境。华北克拉通与扬子板块之间碰撞的年龄在 240 ~ 220 Ma, 大别-苏鲁造山带西段地区在 170 Ma 左右大规模花岗岩浆活动和成矿作用, 中国东部在 130 Ma 左右才出现最强烈的花岗岩浆活动和成矿作用 (陈衍景等, 2004), 古太平洋板块向西俯冲, 又势必引起大范围而强烈的弧后伸展, 陆陆碰撞晚期的减压伸展与大洋板块俯冲引发的弧后伸展叠合在中国东部 (陈衍景等, 2004), 这是形成

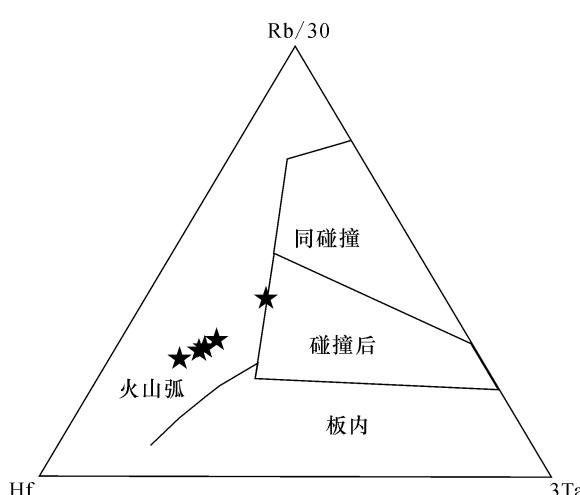


图 12 艾山岩体岩石样品的 Rb/30–Hf–3Ta 图解 (根据 Harris *et al.*, 1986)

Fig. 12 Rb/30–Hf–3Ta diagram of rock samples from the Aishan pluton (after Harris *et al.*, 1986)

晚燕山期花岗岩的主要大地动力环境,同时它们之间的碰撞带的位置远离胶东半岛 1000km,很难解释它如何产生这一系列的影响 (Liu *et al.*, 2007),所以华北克拉通和扬子板块之间碰撞很难解释胶东地区晚燕山期花岗岩的形成。而大离子亲石元素 Rb、Sr、Ba、Th 富集,高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf 和重稀土 Y、Yb 亏损, $w(\text{Th}) > w(\text{Ta})$ (表 2),以及 Nb、Ta 相对于 Th、La 亏损(图 7)都表明是俯冲环境的火山岩最突出的地球化学特征 (张旗等, 1999; 李武显等, 2001; 肖庆辉等, 2007)。

主量元素、微量元素地球化学特征显示岩体具火山弧花岗岩类的特征,其成岩背景为活动大陆边缘,与太平洋板块俯冲有着密切联系。

4 讨论

中生代华北克拉通与扬子板块的碰撞造山在 240~220 Ma, 大别–苏鲁造山带西段地区在 170 Ma 左右大规模花岗岩岩浆活动和成矿作用 (陈衍景等, 2004), 中国东部大规模成矿和岩浆作用出现在 200 Ma~160 Ma, 140 Ma 左右和 120 Ma 左右三个高峰期, 分别是后碰撞造山过程、构造体制大转折晚期和岩石圈大规模快速减薄 (毛景文等, 2005)。第一个时期连续而紊乱的多陆块碰撞使得中国东部长期处于强烈的挤压环境, 陆壳强烈缩短、增厚 (陈衍景等, 2004), 但在 180~98 Ma 之间, 没有明显的碰撞事件发生, 减压和固体物质的弹性回跳属性势必导致增厚的碰撞带岩石圈快速而强烈伸展 (陈衍景等, 2004); 第二个时期古太平洋板块向西俯冲, 引起大范围而强烈的弧后伸展, 陆陆碰撞晚期的减压伸展与大洋板块俯冲引发的弧后伸展叠合在中国东部 (陈衍景等, 2004), 并且受扬子板块深俯冲交代改造影响 (周新华, 2005), 岩石圈呈现出伸展特点, 构造体制总体上是由挤压构造体制转化为伸展构造体制 (翟明国等, 2004); 第三个时期岩石圈大规模快速减薄期, 早白垩纪时期华北克拉通东部的构造环境是扩张期之一和岩石圈消减期 (Zhou *et al.*, 2000), 岩石圈消减期一般认为从 180 Ma 开始。在 135~110 Ma 达到最高峰 (吴福元等, 2003; 吴福元等, 2008), 120~130 Ma 的早白垩世是中国东部岩浆、成矿等作用最为强烈的时期 (陶奎元等, 1999; 华仁民等, 1999), 对应岩石圈减薄的最大时期。

岩石圈消减一般归因于太平洋板块对华北克拉通的俯冲 (吴福元等, 2003; Sarah C. Goss *et al.*, 2010), 岩石圈的消减和扩张导致了软流圈上升, 在华北克拉通东部可见地温的升高和广泛的岩浆活动 (Sarah C. Goss *et al.*, 2010)。同时受扬子板块深俯冲交代改造影响 (周新华, 2005), 华北中生代构造体制总体上是由挤压构造体制转化为伸展构造体制 (翟明国等, 2004), 加上岩石圈减薄, 发生岩石圈和地幔的相互置换, 俯冲板块物质的软流圈热流上涌, 并发生底侵等作用 (李武显, 2001)。艾山岩体出露于华北克拉通东缘的胶东半岛, 空间上与钙碱性系列晚燕山花岗岩共生, 形成于岩石圈大规模快速减薄期, 因此其形成、演化与太平洋板块对华北克拉通俯冲发展演化及构造体制的转化密切相关。

在侏罗纪时期, 太平洋板块俯冲到华北克拉通下方形成了挤压层, 大洋板块俯冲熔融和变质脱水诱发上覆仰冲板块地幔楔熔融而产生具有陆壳成分特征的中酸性岩浆, 大量岩浆上涌, 冷凝而形成新的陆壳 (Groves D I *et al.*, 1998), 因而导致了大量的 I 类型亲和力的早燕山花岗岩的产生 (Wu *et al.*, 2005), 而俯冲板块的脱水导致流体上升到上覆的岩石圈地幔, 导致水化和弱化 (牛耀龄, 2008)。早白垩世中晚期, 中国东部岩石圈大规模的减薄时期, 中国东部构造体制总体上是由挤压构造体制转化为伸展构造体制 (翟明国等, 2004), 是大陆裂谷作用的高峰期 (邱连贵等, 2008)。随着构造环境的不断变化, 导致太平洋板块后退, 加剧了岩石圈的消减, 导致岩石圈地幔与板块分离、软流圈上凸和温度上升 (周新民等, 2000; 李武显等, 2001), 岩浆的底侵反过来促使岩石圈的消减 (翟明国等, 2005) 及使已

经富集的地幔岩石圈部分熔融，并且俯冲到胶东半岛的岩浆活动，为地壳融化提供了主要热源，不断的壳幔相互作用，地幔源的基性岩浆和酸性地壳岩浆之间继续混合和混染作用，同时发生下地壳、中地壳的融化，形成了物质来源于下地壳（张华锋等，2008）、富钾的艾山岩体等最晚的晚燕山花岗岩。

太平洋板块的俯冲，加上中国东部构造环境由挤压变为伸展体制，地壳的快速隆升和随后伸展拉张，导致断离的俯冲板块与软流圈相互作用的俯冲板块物质的软流圈热流上涌，对岩石圈地幔底部进行交代、侵蚀和熔融，形成的岩浆上升到地壳底部发生底侵，并引起了地壳底部岩石的部分熔融（李武显，2001），从而形成了艾山岩体等晚燕山期花岗岩。俯冲作用使相对富集 LREE 的地壳物质和含大量大离子不相容元素（Rb、Ba、Sr、K）的流体注入到地幔中，与地幔岩交代和混染，致使岩浆富集 LREE 和大离子不相容元素。

5 结论

（1）岩石学、岩石地球化学特征反映艾山岩体为富钾、富镁和铁、钙碱性、准铝质的 I 型花岗岩，其主要物质来源为壳源。在其形成过程中发生同化混染作用，含有一定的幔源成分，属于壳幔混源型花岗岩。

（2）微量元素、稀土元素地球化学特征表明，岩浆起源于下地壳，且地壳物质参与了岩浆作用过程，可能具有广泛的地壳混染作用，主要受部分熔融控制。

（3）构造判别图解表明，其形成于活动大陆边缘的火山弧构造环境。太平洋板块的俯冲引起软流圈热流上涌，对岩石圈地幔底部进行交代、侵蚀和熔融，形成的岩浆上升到地壳底部发生底侵，并导致地壳底部岩石的部分熔融从而形成了艾山岩体。

[References]

Barbarin B. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and geodynamic environments [J]. *Lithos*, 46: 605–626

Bureau of geology and mineral Resources in Shandong Province. 1991. Regional geology of Shandong Province [M]. Beijing: Geological Publishing Press: 6–387 (in Chinese)

Chappell B W, White A J R. 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. *Trans. R. Soc. Edinb. Earth Sci.*, 83: 1–26

Chen Yan-jing, Chen Hua-yong, K. Zaw4, F. Pirajno, Zhang Zeng-jie. 2004. The geodynamic setting of large-scale metallogenesis in Maini and China exemplified by skarn type gold deposits [J]. *Earth*

Science Frontiers, 11 (1): 57–83 (in Chinese with English abstract)

Dai Xue-ling, Deng Xiang-wei, Peng Sheng-lin, Yang Bin. 2011. Significance of the Linglong Granite in the metallogenic system of the Dayingezhuang gold deposit in Eastern Shandong Province [J]. *Geology and Exploration*, 47 (3): 370–379 (in Chinese with English abstract)

Dostal J, Chatterjee A K. 2000. Contrasting behaviour of Nb/Ta and Zr/Hf ratios in a peraluminous granitic pluton (Nova Scotia, Canada) [J]. *Chem Geol*, 163: 207–216

Fitton J G, James D, Leeman W P. 1991. Basic magmatism associated with the late Cenozoic extension in the western United States, compositional variations in space and time [J]. *Lithos*, 120 (3): 221–241

Green T H. 1995. Significance of Nb/Ta as an indicator of geochemical processes in the crust–mantle system [M]. *Chemical Geology*, 120: 347–359

Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Ma M, Hagemann S G, Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore Geology Reviews*, 13: 7–27

Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collisionzone magmatism. In: Coward M P, Reis A C (Eds.), *Collision Tectonics* [J]. Special Publication of Geological Society: 67–81

Hu Shou-xi, Wang He-nian, Wang De-zi. 1998. *Geology and geochemistry of gold mines in eastern China* [M]. Beijing: Science Press: 27–49 (in Chinese)

Hua Ren-min, Mao Jing-wen, 1999. A Preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China [J]. *Mineral Deposits*, 18: 300–308 (in Chinese with English abstract)

Irber W. 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 63 (324): 489–508

Le Maitre R W. 1989. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms* [M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications: 1–193

Li Chang-nian. 1992. *Trace Elements in Igneous Petrology* [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press: 1–195 (in Chinese)

Li Wu-xian, Zhou Xin-min. 2001. Subduction of the Paleo-Pacific Plate and Origin of Late Mesozoic Igneous Rocks in Southeastern China—Some supplement evidences for the model of lithosphere subduction and underplating of mafic magma [J]. *Geotectonica et Metallogenesis*, 25 (1): 55–63 (in Chinese with English abstract)

Liu Jun, Wang Jian-ping. 2009. Research on transformation, preservation and depth of magmatism and mineralization of gold deposits in northwest of Jiaodong [D]. Beijing: China University of Geosciences: 1–40 (in Chinese)

Liu Shen, Zou Haibo, Hu Rui-zhong. 2007. Mesozoic mafic dikes from the Shandong Peninsula, North China Craton: Petrogenesis and tectonic implications [J]. *Geochemical Journal*, 40 (2): 181–195

Lu Yuan-fa. 2004. Geokit: A geochemical tool package composed of VBA [J]. *Geochemistry*, 33 (5): 459–464 (in Chinese with English abstract)

- Ma Hong-wen. 1992. Discriminant analysis on genetic types of granite [J]. *Lithos*, 8(4): 17–23 (in Chinese with English abstract)
- Maniar P D, Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geol Soc Am Bull*, 101: 635–643
- Mao Jing-wen, Xie Gui-qing, Zhang Zuo-heng, Li Xiao-feng, Wang Yi-tian, Zhang Chang-qing, Li Yong-feng. 2005. Mesozoic Large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169–188 (in Chinese with English abstract)
- McDonough W F, Sun S S. 1995. The composition of the Earth [J]. *Chemical Geology*, 120: 223–253
- Niu Yao-lin. 2005. Some basic concepts on origin and evolution of basaltic magma and new thoughts of Mesozoic–Cenozoic mafic volcanic rock in eastern China [J]. *Geology University News*, 11(01): 9–46 (in Chinese with English abstract)
- Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *J. Petrol*, 25: 986–983
- Qiu Jia-xiang. 1991. Practical igneous petrology [M]. Beijing: China Geological Publishing Press; 1–276 (in Chinese)
- Qiu Lian-gui, Ren feng-lou, Cao zhong-xiang, Zhang yue-qiao. 2008. Late Mesozoic magmatism and its restriction of geotectonics in Jiaodong district [J]. *Geotectonica et Metallogenesis*, 32(1): 117–123 (in Chinese with English abstract)
- Sarah C Goss, Simon Wilde, Wu Fu-yuan, Yang jin-hui. 2010. The age, isotopic signature and significance of the youngest Mesozoic granitoids in the Jiaodong Terrane, Shandong Province, North China Craton [J]. *Lithos*, 120: 309–326
- Sun S S, McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.) [M]. *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society London; 313–345
- Tao Kui-yuan, Mao Jian-ren, Xing Guang-fu, Yang Zhu-liang, Zhao Yu. 1999. Strong Yanshanian volcanic magmatic explosion in east China [J]. *Mineral Deposits*, 18: 316–322 (in Chinese with English abstract)
- Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J. 1998. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U – Pb zircon studies of granitoids [J]. *Ore Geol. Rev.*, 13: 275–291
- Wang Tain-feng, Tyssier C, Zeng Hua-lin, B. Tikoff. 2000. Emplacement mechanism of granitic rock mass in Linglong, Shandong province [J]. *Science in China*, 30(4): 337–344 (in Chinese with English abstract)
- Wright J B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to question of non-orogenic granite genesis [J]. *Geol Mag*, 106(4): 370–384
- Wu Fu-yuan, Lin J Q, Wilde S A. 2005. Nature and significance of the Early Cretaceous giant igneous event in eastern China [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 233: 103–119 (in Chinese with English abstract)
- Wu Fu-yuan, Ge Wen-chun, Sun De-you, Guo Chun-li. 2003. discussions on the Lithospheric thinning in Eastern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 10 (3): 51–60 (in Chinese with English abstract)
- Wu Fu-yuan, Xu Yi-gang, Gao Shan, Zheng-Jian-ping. 2008. Lithospheric thinning and destruction of the North China Craton [J]. *Acta Petrologica Sinica* 24(6): 1145–1174 (in Chinese with English abstract)
- Xiao Qin-hui, Qiu Rui-zhao, Xing Zuo-yun, Zhang Yu, Wu Guang-ying, Tong Jin-song. 2007. The understanding the Forefrontgenesis of granite (Z1) [J]. *Geology and Exploration*, 43(08): 18–29 (in Chinese with English abstract)
- Xu Jin-fang. 1991. Composition and formation time of multiple granitic batholiths in the Linglong [J]. *Lithos*, 7(2): 43–49 (in Chinese with English abstract)
- Yang Jin-hui, Zhu mei-fei, Liu wei, Zhai ming-guo. 2003. Geochemical characteristics and cause of Guojialing granodiorite in Jiaodong district [J]. *Lithos*, 19(14): 692–700 (in Chinese with English abstract)
- Zhai Ming-guo, Fan Qi-cheng, Zhang Hong-fu, Sui Jian-li. 2005. Lower crust processes during the lithosphere thinning in eastern China: magma underplating, replacement and delamination [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(1): 1509–1526 (in Chinese with English abstract)
- Zhai Ming-guo, Meng Qing-ren, Liu Jian-ming, Hou Quan-lin, Hu Sheng-biao, Li Zhong, Zhang Hong-fu, Liu Wei, Shao Ji-an, Zhu Ri-xiang. 2004. Geological features of Mesozoic tectonic regime inversion in Eastern North China and implication for geodynamics [J]. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 285–297 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Hua-feng, Zhai Ming-guo, Tong Ying, Peng Peng, Xu Bao-liang, Guo Jin-hui. 2006. Sanfoshan high Ba–Sr granite genesis in Jiaodong Peninsular [J]. *Geological Review*, 52(01): 43–53 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Qian Qing, Wang Yan. 1999. Research on chemistry of igneous rock in orogenic belt [J]. *Sichuan Geological Science and Technology Information*, 6(03): 6–10 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Tai-he, Lu Gu-xian. 2000. Tectonics, granitoids and mesozoic gold deposits in East Shandong, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 16(1–2): 71–90
- Zhou Xin-hua, Zhang Hong-fu, Ying Ji-feng, Chen Li-hui. 2005. Geochemical records of subsequent effects of continental deep subduction: discussion of mantle source variations of the Mesozoic lithospheric mantle of the North China Craton [J]. *Acta Petrologica Sinica* 21(4): 1225–1263 (in Chinese with English abstract)
- Zhou Xin-min, Li Wu-xian. 2000. late Mesozoic Igneous rock formation, cut and basalt invasion of lithosphere combination of mode of Southeast China [J]. *Progress in natural science*, 10(3): 240–246 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 陈衍景, 陈华勇, K. Zaw, F. Pirajno, 张增杰. 2004. 中国陆区大规模成矿的地球动力学:以夕卡岩型金矿为例 [J]. 地学前缘, 11(1): 57–83

- 戴雪灵, 邓湘伟, 彭省临, 杨 斌. 2011. 玲珑花岗岩在大尹格庄金矿成矿系统中的作用[J]. 地质与勘探, 47(03): 370-379
- 胡受奚, 王鹤年, 王德滋. 1998. 中国东部金矿地质学及地球化学[M]. 北京:科学出版社; 27-49
- 华仁民, 毛景文. 1999. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 18: 300-308
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社; 1-195
- 李武显, 周新民. 2001. 古太平洋岩石圈消减与中国东南部晚中生代火成岩成因—岩石圈消减与玄武岩底侵相结合模式的补充证据[J]. 大地构造与成矿学, 25(1): 55-63
- 刘 俊, 王建平. 2009. 胶东西北部金矿床成岩成矿深度及变化保存研究[D]. 北京: 中国地质大学; 1-40
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 33(5): 459-464
- 马鸿文. 1992. 花岗岩成因类型的判别分析[J]. 岩石学报, 8(4): 17-23
- 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 李晓峰, 王义天, 张长青, 李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 21(1): 169-188
- 牛耀龄. 2005. 玄武岩浆起源和演化的一些基本概念以及对中国东部中-新生代基性火山岩成因的新思路[J]. 高校地质学报, 11(1): 9-46
- 邱家骥. 1991. 实用岩浆岩岩石学[M]. 北京: 中国地质出版社; 1-276
- 邱连贵, 任凤楼, 曹忠祥, 张岳桥. 2008. 胶东地区晚中生代岩浆活动及对大地构造的制约[J]. 大地构造与成矿学, 32(1): 117-123
- 山东省地质矿产局. 1991. 山东省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社; 6-387
- 陶奎元, 毛建仁, 邢光福, 杨祝良, 赵 宇. 1999. 中国东部燕山期火山岩浆大爆发[J]. 矿床地质, 18: 316-322
- 万天丰, Teyssier C, 曾华霖, 周伟新, B. Tikoff. 2000. 山东玲珑花岗岩体侵位机制[J]. 中国科学, 30(4): 337-344
- 吴福元, 葛文春, 孙德有, 郭春丽. 2003. 中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题[J], 地学前缘, 10(3): 51-60
- 吴福元, 徐义刚, 高 山, 郑建平. 2008. 华北岩石圈减薄与克拉通破坏研究的主要学术争论[J]. 岩石学报, 24(6): 1145-1174
- 肖庆辉, 邱瑞照, 邢作云, 张 昱, 伍光英, 童劲松. 2007. 花岗岩成因研究前沿的认识(增刊)[J]. 地质与勘探, 43(08): 18-29
- 徐金方. 1991. 玲珑复式花岗岩基的构成及其形成时代[J]. 岩石学报, 7(2): 43-49
- 杨进辉, 朱美妃, 刘 伟, 翟明国. 2003. 胶东地区郭家岭花岗岩闪长岩的地球化学特征及成因[J]. 岩石学报, 19(14): 692-700
- 翟明国, 樊祺诚, 张宏福, 隋建立. 2005. 华北东部岩石圈减薄中的下地壳过程: 岩浆底侵、置换与拆沉作用[J]. 岩石学报, 22(1): 1509-1526
- 翟明国, 孟庆任, 刘建明, 侯泉林, 胡圣标, 李 忠, 张宏福, 刘 伟, 邵济安, 朱日祥. 2004. 华北东部中生代构造体制转折峰期的主要地质效应和形成动力学探讨[J]. 地学前缘, 11(3): 285-297
- 张华锋, 翟明国, 童 英, 彭 澎, 许保良, 郭敬辉. 2006. 胶东半岛三佛山高 Ba-Sr 花岗岩成因[J]. 地质论评, 52(1): 43-53
- 张 旗, 钱 青, 王 焰. 1999. 造山带火成岩地球化学研究[J]. 四川地质科技情报, 6(3): 6-10
- 周新华, 张宏福, 英基丰, 陈立辉. 2005. 大陆深俯冲后效作用的地学记录—华北中生代岩石圈地慢源区特征变异的讨论[J]. 岩石学报, 21(4): 1225-1263
- 周新民, 李武显. 2000. 中国东南部晚中生代火成岩成因, 岩石圈消减和玄武岩底侵相结合的模式[J]. 自然科学进展, 10(3): 240-246

Petrogeochemical Characteristics and Genetic Significance of the Aishan Pluton in Jiaodong Peninsula

YANG Kuan¹, WANG Jian-ping^{1,2}, LIN Jin-zhan¹, ZHENG Jia-xing¹, YANG Guo-zhi¹, JI Hai¹

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083;

2. National key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: The Aishan pluton is located between the Qixia and Penglai cities in Jiaodong Peninsula. It mainly consists of monzogranites, and is a typical late Yashanian granite pluton. Petrochemical characteristics indicate that it is calcium alkaline granite with high silicon ($\text{Si}_2\text{O} = 68.01 \sim 75.85$), high potassium ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$), high magnesium and iron ($\text{MgO}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}+\text{TiO}_2 > 2\%$), and metaluminium–peraluminium ($\text{A/CNK} = 0.916 \sim 1.012$). It belongs to type-I granite, and originates from the crust. The LILE elements, including Rb, K, Ba and Sr, are significantly enriched, while depleted for those inactive HFSE elements including Y, Hf, Zr, Yb, Nb and Ta. Generally, the rocks display negative Nb and positive Pb anomalies. This may imply that the magma originated from upper mantle or lower crust with crust substance involved in. The light REE is apparently enriched with weak Eu anomalies. Correlation between SiO_2 and ΣREE or δEu indicates it is mainly controlled by partial melting. Combined with tectonic background, the Aishan pluton has a very close relation with the subduction of lithosphere and the underthrusting of the ancient Pacific plate. Strong mantle metasomatism partial melting caused by asthenosphere upwelling is the main reason for the generation of the Aishan pluton.

Key words: Aishan pluton, petrogeochemistry, Jiaodong Peninsula