

鲁西地区前寒武纪侵入岩

王世进

(山东省地质矿产局区域地质调查队)

提要 鲁西地区前寒武纪侵入岩占基底变质岩出露面积的90%左右,由晚太古代泰山期TTG质花岗岩、变闪长岩类杂岩体和早元古代傲徕山期二长花岗岩及钾长花岗岩组成,均侵入泰山群。

TTG质花岗岩同位素年龄为2700—2600Ma,岩石具明显的片麻状构造,Na/K比值较高, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 比值较低,稀土元素分布型式为右倾的轻稀土富集型,为硅铝质基底活化并有泰山群地层部分熔融而形成。变闪长岩类杂岩体同位素年龄值为2595—2483Ma,岩浆演化系列完整,为地幔岩浆分异形成。二长花岗岩及钾长花岗岩同位素年龄为2490—2284Ma,块状构造,Na/K比值较低, $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 比值较高,为泰山群、泰山期侵入岩经部分重熔作用形成。

鲁西地区前寒武纪侵入岩广泛分布。前人在该区工作时,曾将其大部分划归泰山群,作为混合岩及混合岩化的地层。我们自1983—1989年开展泰山群专题研究和区调修测工作,不仅重新厘定了泰山群(自下而上划分为:雁翎关组、山草峪组、柳杭组),而且还初步查明了泰山群呈孤岛状出露于前寒武纪侵入岩的汪洋大海中,使鲁西地质面貌发生了根本的改观。

现综合侵入关系、岩石特征、变质程度、同位素年龄等特征,对鲁西地区前寒武纪侵入岩期次进行了初步划分(表1)。主要划分为晚太古代泰山期新甫山阶段TTG质花岗岩(包括英云闪长岩、奥长花岗岩和花岗闪长岩)、中天门阶段变闪长岩类杂岩体(包括变辉长岩、变闪长岩、变石英闪长岩)和早元古代傲徕山期二长花岗岩及钾长花岗岩(图1)。

晚太古代侵入岩主要分布于鲁西地区中西部的峯山、蒙山、新甫山、泰山等地。早元古代侵入岩主要出露于鲁西地区中部、东部,组成凤仙山、四海山、徂徕山、傲徕山、沂山等高山峻岭,均呈北西—南东向展布,与区域构造线方向一致。从图1可看出,由南西往北东靠近郯庐断裂带,晚太古代侵入岩逐渐减少,早元古代侵入岩则逐渐增多。

表 1 鲁西前寒武纪侵入岩期次划分方案

地质时代	期	阶段	符 号	岩 性	典型岩体	岩体穿插关系及 与地层的关系	同位素年龄 (Ma)		
							Rb-Sr	U-Pb	Sm-Nd
中元古代			$\beta\mu_2^2$	辉绿岩	霞峰	被馒头组覆盖			
			$\gamma\tau_2^2$	细晶岩	白马庄	穿插了二长花岗岩			
早元古代	微徕山期	2	$\xi\gamma_2^{1-2}$	钾长花岗岩	柳埠	与二长花岗岩呈过渡关系, 常沿古断裂分布	2331.36		
		1	$\eta\gamma_2^{1-1b}$	中细粒二长花岗岩	调军顶	穿插中粒二长花岗岩	2330 (3)	2206.7 +212.3 -248.5 ⁽⁵⁾	
			$\eta\gamma_2^{1-1a}$	中粗粒二长花岗岩 (含中粒二长花岗岩)	微徕山	侵入泰山期变闪长岩, TTG质花岗岩	2284 2359 2490±50 (2)	2218.9± 4.4 2457.3 +47.2 -42.6	2400±50 (2) 2450± 140 (2)
				$\gamma\delta_1^{2-2}$	变花岗闪长岩	虎山	被二长花岗岩侵入, 内有变闪长岩捕虏体		2580±11 (2) 2593.2 +54.6 -41.8
晚太古代	泰山期	中天门阶段	$\delta\sigma_1^{2-2}$	变石英闪长岩	中天门	被二长花岗岩穿插, 与变闪长岩过渡	2596± 100 (2)	2580±11 (2)	
			δ_1^{2-2}	变闪长岩	普照寺	与变辉长岩呈过渡关系	2549①	2563 (3)	
			ν_1^{2-2}	变辉长岩	桃科	侵入片麻状花岗闪长岩, 与角闪岩过渡	2483.6± 80.6		
			$\psi\sigma_1^{2-2}$	角闪石岩及蛇纹岩	麻塔	沿古断裂带分布			
		新甫山阶段	$\gamma\sigma_1^{2-1}$	片麻状奥长花岗岩	富山	与英云闪长岩过渡关系	2412		
			$\gamma\delta_1^{2-1}$	片麻状花岗闪长岩	新甫山	被变辉长岩侵入, 与英云闪长岩呈过渡关系	[1] 2588 2610 ①	2693.5 +154.3 -121.9	
			$\gamma\sigma\beta_1^{2-1}$	片麻状英云闪长岩	蒙山	侵入泰山群各组, 被变闪长岩侵入	2550 2690±80 (2)	2628.2 +70 -73.6 2700±35 (2)	
			$\varphi\omega_1^{2-1}$	蛇纹岩及角闪石岩	西南峪	顺层侵入泰山群地层中			

注: ①山东省地矿局地质一队, 1988, 1/5万徕徕山幅、东王庄幅区域地质调查报告(打字本)。

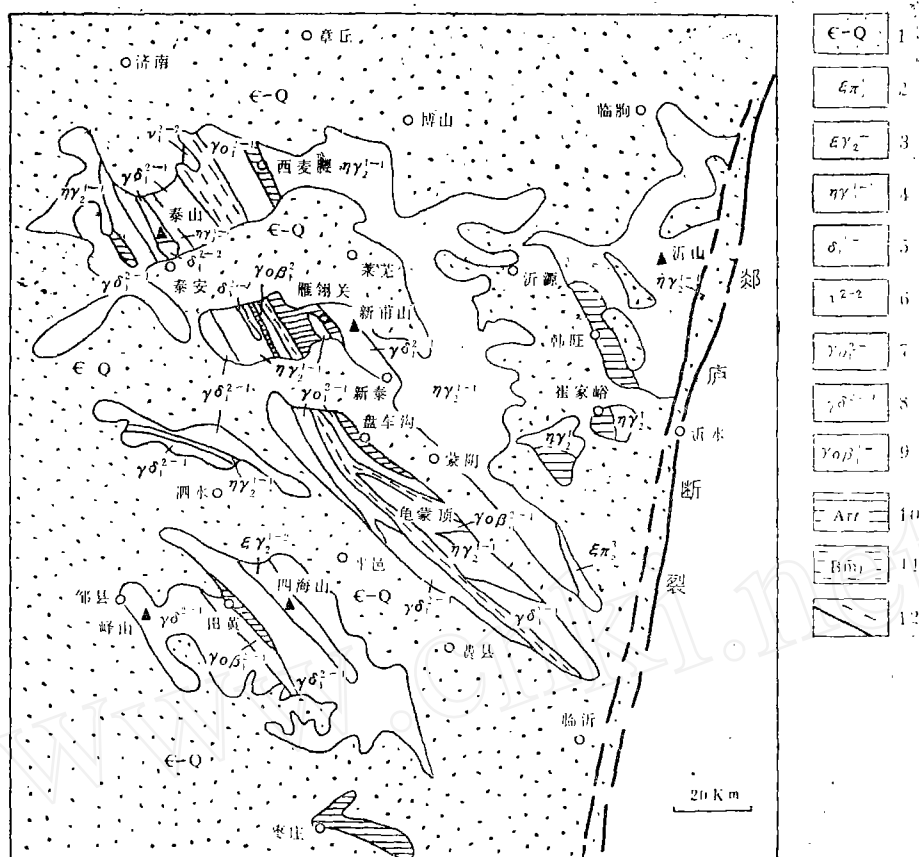


图1 鲁西地区简化地质草图

1. 盖层; 2. 正长斑岩; 3. 钾长花岗岩; 4. 二长花岗岩; 5. 交岗长岩;
6. 变辉长岩; 7. 奥长花岗岩; 8. 花岗闪长岩; 9. 英云闪长岩;
10. 泰山群; 11. 杂岩状混合岩; 12. 断层

一、侵入关系特征

鲁西地区前寒武纪侵入岩约占前寒武纪结晶基底面积的百分之九十以上,其中晚太古代侵入岩约占百分之四十,早元古代侵入岩约占百分之五十。由于遭受强烈挤压、褶皱、变质作用及混合岩化作用,局部还遭受韧性剪切作用,致使岩体间的穿插关系很难确定。尽管如此,我们还是找到几处侵入关系明显的地点,为确定侵入岩的期次提供了充分依据。

1. 早元古代二长花岗岩侵入晚太古代花岗岩长岩。在新泰市河庄, 新甫山片麻状花岗岩长岩 ($\gamma\delta_1^{2-1}$) 被中粗粒二长花岗岩 ($\eta\gamma_2^{1-1a}$) 侵入。后者明显的切穿了前者的片麻理, 局部呈岩枝状穿入片麻状花岗岩长岩中 (图 2)。

在泰安市化马湾南山间公路上,发现中粒二长花岗岩($\eta\gamma_2^{1-1d}$)侵入了片麻状花岗闪长岩($\gamma\delta_1^{2-1d}$)。前者呈中粒块状,结构均匀;后者呈片麻状,含暗色矿物较多。

2. 晚太古代TTG质花岗岩被变闪长岩类侵入。在泗水县圣水峪乡毛沃村西,发现变辉长岩(γ_1^{2-2b})侵入片麻状花岗闪长岩($\gamma\delta_1^{2-1d}$)。侵入界线附近变辉长岩具暗色冷凝边,已变成角闪石富集的细粒暗色边。岩体呈球状风化,切割了片麻状花岗闪长岩的片麻理(图3)。另在徂徕山,可见变闪长岩被早元古代二长花岗岩侵入,呈明显的穿插关系。

3. 前寒武纪侵入岩与泰山群呈侵入接触关系。在新泰市东牛家庄村南一公里处,可见到蒙山太平顶英云闪长岩($\gamma\phi\beta_1^{2-1c}$)侵入泰山群柳杭组绢云/白云石英片岩中(图4)。在章丘县西麦腰村西约一公里的山沟里,英云闪长岩侵入柳杭组下部斜长角闪岩,上部地层缺失。在新泰市羊流镇桃花峪村北,新甫山片麻状花岗闪长岩($\gamma\delta_1^{2-1}$)侵入了泰山群雁翎关组下亚组斜长角闪岩,造成泰山群底部地层缺失(图5)。

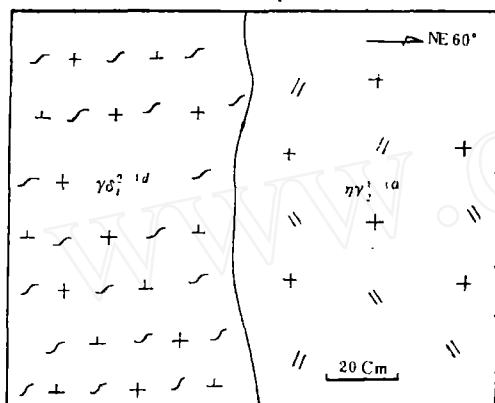


图2 二长花岗岩侵入片麻状花岗闪长岩
(新泰渭河庄)

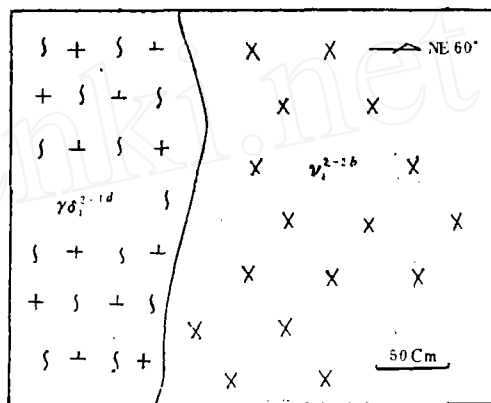


图3 变角闪辉长岩侵入片麻状花岗闪长岩
(泗水毛沃)

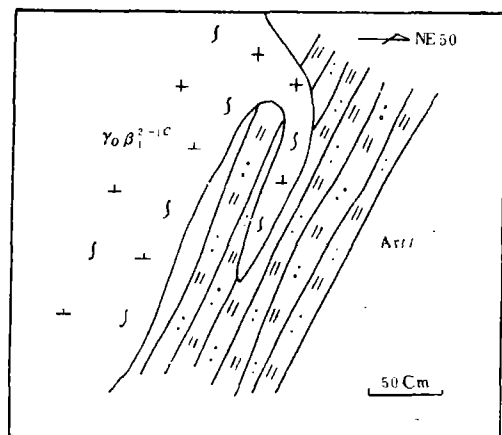


图4 英云闪长岩侵入柳杭组绢云石英片岩
(新泰东牛家庄)

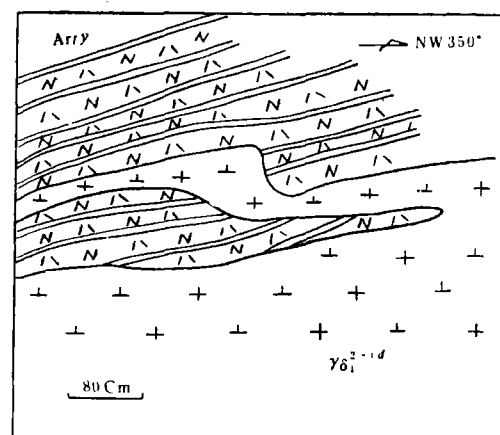


图5 新甫山花岗闪长岩侵入雁翎关组斜长角闪岩
(新泰桃花峪)

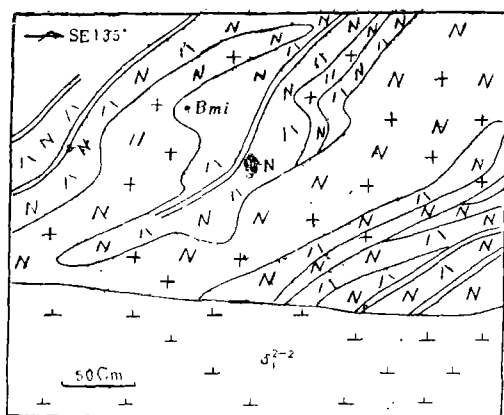


图6 变闪长岩侵入斜长角闪质条带状混合岩
(泰安石柳埠)

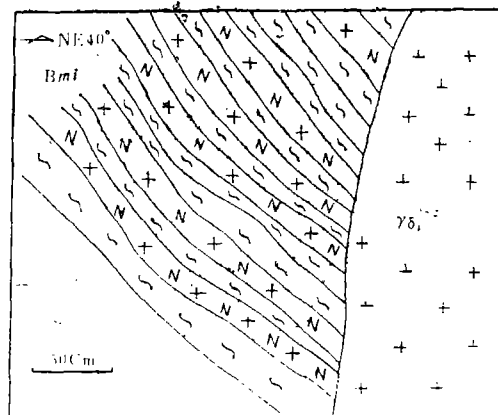


图7 变花岗闪长岩侵入英云闪长质条带状混合岩(泰安砚池庄)

4. 前寒武纪侵入岩与混合岩的关系。在泰安市黄前镇砚池村,发现泰山期中天门阶段变花岗闪长岩($\gamma\delta_1^{2-2}$)侵入英云闪长质条带状混合岩(Bmi)。前者呈NW325°方向延伸,切割了后者的条带及片麻理(图7)。另在泰安市徂徕山西黄石崖与石柳埠之间的山沟里,可清楚的见到泰山期中天门阶段变闪长岩(δ_1^{2-2})侵入斜长角闪质条带状混合岩(Bmi)(图6)。该地还见到傲徕山期二长花岗岩既侵入混合岩又穿插于变闪长岩中。

正由于前寒武纪侵入岩的大规模侵入,才造成泰山群变质地层大量缺失。

二、岩石学特征

泰山期侵入岩,斜长石、铁镁质矿物含量较高,钾长石及石英含量低于傲徕山期侵入岩。

泰山期新甫山阶段侵入岩主要为TTG质花岗岩,普遍具明显的片麻状构造,矿物定向排列,此类岩体似为典型的“灰色片麻岩”。岩体含斜长角闪岩、黑云变粒岩及绢云石英片岩残留体。主要矿物成分为斜长石、石英、黑云母,少量钾长石、角闪石(表2)。在QAP国际分类中的投影点落入花岗闪长岩及英云闪长岩、石英闪长岩区,三件采于韧性剪切带中的样品落于二长花岗岩区(图8,投影点号见表3顺序号)。岩体保留变余斑状结构,经历中等程度的区域变质作用。中天门阶段侵入岩具弱片麻状构造,显示球状风化特征,由变闪长岩类杂岩体组成,中基性岩石为主,出露范围较少。

傲徕山期侵入岩主要为二长花岗岩,少量钾长花岗岩,具花岗结构,块状构造。主要由微斜长石、斜长石、石英组成,基本不含或含少量暗色矿物(表2)。在QAP国际分类中的投影点落入二长花岗岩区(图8,投影点即表4顺序号)。少量样品落入花岗闪长岩区靠近二长花岗岩区一侧,反映二者成因关系密切。

表 2 前寒武纪侵入岩矿物成分测定结果

期	岩 性	岩体	实测矿物含量(%)					C·I·P·W标准矿物主要含量(%)			
			石 英	钾长石	斜长石	黑云母	角闪石	Q	Ab	An	Or
傲 徕 山 期	钾长花岗岩	四海山	21.3	51.6	21.6	4.5					
		孟常峪	26.5	45.4	22.0	3.90	1.4	24.65	35.66	4.45	25.05
	二长花岗岩	雪野	30.0	42.9	25.4	1.6		22.91	32.15	5.45	32.73
		徂徕山	26.9	36.6	33.9	2.5		31.68	29.37	5.56	28.95
		新泰 两县	21.0	33.2	38.2	6.9		17.76	27.24	7.50	36.51
			30.2	30.9	34.0	4.4		32.26	30.42	2.78	27.83
		蒋峪	20	25	39	7	8	19.37	31.99	10.29	23.38
		傲徕山	30.9— 27.9	36— 34.7	29.2— 33.0	3.6— 4.0					
	变闪长岩	秦家庄	5.3		58.3	11.3	24.3				
		草茨	3.5		62.2	23.6	7.4				
泰 山 期	变辉长岩	圣水峪			24.2	2.9	72.1				
	片麻状 奥长花岗岩	富山	22.0	1.5	58.3	7.7					
			22.6	11.3	66.8	2.5					
		上港	23.7		69.3	6.3		26.2	39.77	14.45	6.97
	片麻状 花岗闪长岩	新甫山	25.6	19.7	50.6	3.8		25.64	45.62	8.25	15.03
			25.3	14.7	57.7	2.0		28.06	45.63	8.07	13.92
		峰山	15.4	15.5	60.4	4.1	3.4				
			20.1	16.5	54.9	6.0	1.2	19.31	40.90	10.29	18.37
		凤仙山	19.6	18.7	52.2	6.3	2.7				
		泰安城西	26.1— 25.2	6.8— 19.9	51.9— 59.2	7.8— 3.1					
	片麻状 英云闪长岩	下长安	17.7— 19.7	0— 0.6	58.0— 58.3	17.5— 21.1	4.6— 0				
		蒙山	20		64	6	10	20.89	41.95	18.92	3.90
		律庄	20.6	0.1	64.4	2.5	11.3				

注：本表样品由我队实验室分析鉴定。

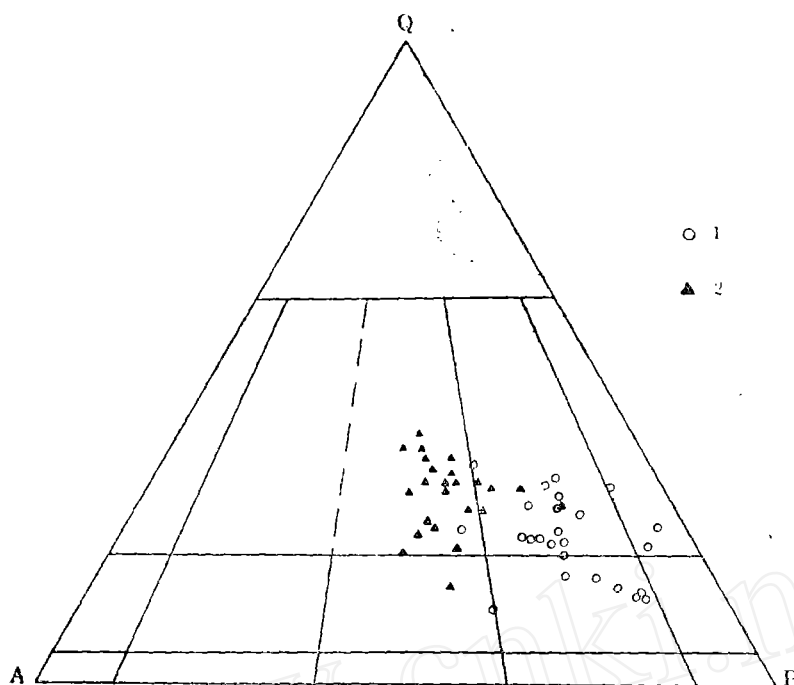


图8 鲁西前寒武纪花岗岩类在AQF图解上的分布

1.泰山期TTG质花岗岩; 2.微徕山期花岗岩

从表2可看出,泰山期英云闪长岩、花岗闪长岩的矿物含量变化较大。蒙山英云闪长岩由岩体中心到边缘,石英含量减少,暗色矿物及斜长石增多。律庄英云闪长岩也有此现象。花岗闪长岩的矿物成分及含量变化更显著:峰山岩体石英含量低于新甫山岩体,暗色矿物则略多些,说明两者形成时的地质构造环境的差异。微徕山期侵入岩矿物成分比较均匀,石英、钾长石、斜长石含量大致相等,说明岩浆形成时重熔作用较彻底。

三、岩石化学、微量元素、稀土元素及重矿物特征

(一) 岩石化学特征

泰山期侵入岩化学分析结果(表3),TTG质花岗岩 SiO_2 平均含量为68%,含量变化区间在59.51—74.32%间; Na_2O 含量变化区间在5.60—3.75%,平均为4.55%; K_2O 平均含量为2.21%,含量变化区间在4.96—0.7%间; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 为2左右。其中英云闪长岩 SiO_2 平均含量为63%,花岗闪长岩 SiO_2 平均含量为70%,由英云闪长岩到花岗闪长岩, SiO_2 含量逐渐增加。由测区西南峰山往北东到新甫山,TTG质花岗岩 SiO_2 含量有增加的趋势。如律庄英云闪长岩 SiO_2 含量仅59.54%,到蒙山英云闪长岩 SiO_2 平均含量为63.6%;峰山花岗闪长岩 SiO_2 平均含量为66.77%,到新甫山花岗闪长岩 SiO_2 平均含量为72.30%。显示岩浆演化愈来愈偏酸性。

表 3 鲁西晚太古代TTG质花岗岩化学成分表

顺序号	野外编号 (GS)	岩性	岩体	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	CO ₂	H ₂ O ⁺	总量
1	TD 571	英云闪长岩	蒙山	59.51	0.51	17.30	2.10	3.60	0.103	3.13	5.58	4.44	1.74	0.25		0.93	100.01
2	TD 532		"	62.93	0.41	16.12	1.89	2.85	0.081	2.42	4.53	3.88	2.82	0.30	0.69	0.66	100.70
3	TD 575		"	59.94	0.56	17.32	1.96	4.21	0.103	3.25	4.64	4.04	2.08	0.20		1.18	100.58
4	TP-B-13		"	68.92	0.43	15.92	1.19	1.10	0.04	1.06	2.05	4.57	3.08	0.26	0.05	0.84	100.59
5	TP-A-72		"	65.24	0.54	15.84	1.57	3.25	0.075	1.71	4.78	4.96	0.70	0.28		0.66	100.03
6	TD 555		"	62.88	0.40	17.51	1.84	2.90	0.063	2.01	5.31	4.38	1.18	0.32	0.06	0.83	100.42
7	4D1735-1		"	65.48	0.44	15.47	1.59	2.64	0.047	2.10	3.76	4.50	2.54	0.18	0.03	0.47	99.25
8	4D3506	奥长花岗岩	律庄	59.54	0.53	17.51	2.63	3.59	0.082	2.49	5.53	4.77	1.64	0.26	0.08	0.89	99.54
9	34D650		上港	67.02	0.47	15.56	1.70	2.11	0.043	1.29	3.71	4.70	1.18	0.15	0.44	1.55	99.92
10	TD 580		新甫山	72.12	0.16	15.05	0.60	1.12	0.036	0.44	1.78	5.60	2.23	0.12		0.56	100.36
11	TD 579	花岗岩	"	71.65	0.20	15.27	0.71	1.08	0.031	0.55	1.86	5.41	2.58	0.11		0.39	100.10
12	TP ₃ -38		"	73.13	0.18	14.90	0.62	1.20	0.036	0.38	1.96	5.37	2.36	0.05	0.27	0.45	100.48
13	4P ₇ -70		"	68.62	0.35	15.13	1.04	3.32	0.035	1.10	2.91	4.78	2.08	0.18	0.04	0.25	99.84
14	34D2217		泰安西	71.90	0.20	14.30	0.73	2.02	0.06	0.58	2.46	4.65	2.48	0.04	0.01	0.48	99.91
15	4D3310		尧山	65.11	0.43	15.92	0.72	3.80	0.063	1.90	3.06	3.97	3.26	0.19	0.14	0.78	99.34
16	4D3167		"	69.12	0.55	14.16	1.74	1.61	0.043	0.78	1.91	3.75	4.96	0.10	0.05	0.36	99.13
17	4D3308		峰山	66.77	0.38	15.30	1.67	2.16	0.063	1.54	3.70	4.46	2.84	0.16	0.16	0.40	99.6
18	4P ₅ -12	闪长岩	"	70.16	0.34	14.30	2.79	0.56	0.037	1.28	1.44	4.76	2.29	0.07	0.02	1.45	99.5
19	2D 506		"	67.87	0.40	15.11	1.52	2.46	0.052	1.22	2.79	4.56	3.27	0.19	0.10	0.46	100
20	2D 39		"	67.32	0.35	15.13	1.74	2.38	0.063	1.35	2.87	4.86	3.11	0.18	0.13	0.55	100.03
21	2D 500		"	63.17	0.44	15.61	2.53	2.45	0.079	2.34	3.93	4.71	2.96	0.25	0.48	0.97	99.92
22	4D 3506		"	61.52	0.45	16.30	2.57	3.17	0.08	2.34	4.86	4.52	2.16	0.23	0.05	1.36	99.61
23	4P ₈ -25		"	68.80	0.34	14.50	0.01	3.85	0.061	1.14	2.27	4.08	3.33	0.10	0.02	0.05	98.55
24	4D3359		"	68.74	0.54	14.66	1.82	1.33	0.057	0.89	2.28	3.88	4.83	0.19	0.01	0.50	98.95
25	4D3376	奥长花岗岩	丰阳	74.32	0.14	13.8	0.77	0.47	0.018	0.24	1.25	3.96	4.16	0.02	0.00	0.45	99.6
26	4D2407		老牛沟	68.62	0.35	15.13	1.04	3.32	0.035	1.10	2.91	4.78	2.08	0.18	0.04	0.25	99.84

注: 本批样品由我队实验室分析。

表 4 鲁西早元古代二长花岗岩化学成分表

顺序号	野外编号 (GS)	岩 体	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	CO ₂	H ₂ O ⁺	总 量
1	TP28-32	雪 野	72.16	0.22	14.78	1.19	1.32	0.03	0.44	1.10	4.41	3.84	0.05	0.06	0.71	100.31
2	TP28-104	"	70.42	0.24	15.06	0.72	2.45	0.04	0.55	2.47	4.96	2.44	0.08	0.12	0.19	99.74
3	TP28-20	"	73.20	0.10	14.44	0.49	1.30	0.024	0.38	1.68	4.70	3.24	0.02	0.01	0.27	99.85
4	TD2343	"	73.36	0.18	13.66	0.65	1.12	0.022	0.23	1.26	3.55	5.17	0.08	0.01	0.5	99.79
5	34P8-99	"	72.15	0.24	14.20	1.13	0.71	0.034	0.34	0.96	3.60	5.62	0.05	0.01	0.71	99.80
6	34P8-53	"	69.66	0.38	14.81	1.47	1.23	0.03	0.59	1.41	3.80	5.54	0.13	0.11	0.51	99.67
7	34D2211-1	傲徕山	72.60	0.18	13.50	0.71	1.80	0.043	0.22	1.66	3.80	4.53	0.08	0.05	0.49	99.66
8	34D2211-2		72.78	0.17	13.37	0.71	1.83	0.04	0.30	1.46	3.72	4.57	0.05	0.04	0.46	99.50
9	地质一队	徂徕山	72.79	0.28	12.63	0.98	1.90	0.06	0.46	1.67	2.8	4.70	0.13			99.59
10	TP2-187		73.87	0.13	13.08	0.68	1.23	0.024	0.07	1.41	3.46	4.93	0.09	0.03	0.53	99.95
11	TD802	雕 山	72.57	0.23	14.00	0.58	1.62	0.031	0.44	1.70	3.58	4.79	0.05	0.03	0.31	100.17
12	4D3504	四海山	69.73	0.40	13.51	1.13	3.01	0.065	0.85	1.95	4.18	3.88	0.15	0.07	0.49	99.415
13	4D3505		68.86	0.35	14.71	1.09	2.70	0.06	0.54	1.40	4.23	5.16	0.14	0.03	0.36	99.63
14	2D333	($\xi_1\eta_2^{1-2}$)	70.26	0.37	13.14	1.54	2.49	0.064	0.87	1.65	4.21	4.21	0.18	0.12	0.27	99.374
15	4D3313	凤仙山	75.82	0.14	12.59	0.65	0.43	0.01	0.05	0.88	3.05	5.22	0.00	0.02	0.56	99.42
16	4D3377	余粮店	73.66	0.17	13.84	0.80	0.79	0.035	0.41	1.48	4.11	3.91	0.05	0.01	0.38	99.545
17	4D1723	新泰两县	75.20	0.04	12.82	0.44	1.87	0.015	0.12	1.41	3.72	4.29	0.08	0.01	0.00	100.015
18	4D1725		66.04	0.82	14.74	2.11	3.01	0.053	1.01	1.88	3.22	6.18	0.25	0.03	0.34	99.683
19	4P7-20		75.04	0.06	12.00	0.40	2.92	0.033	0.21	0.70	3.59	4.71	0.03	0.01	0.13	99.833
20	4P7-92		62.70	0.49	14.65	2.05	5.15	0.102	1.97	2.76	3.72	5.04	0.25	0.15	0.47	99.502
21	TD3037	临朐蒋峪	66.43	0.35	14.24	1.46	3.01	0.079	1.95	3.13	3.80	3.92	0.18	0.03	0.47	99.60
22	TD3046		69.49	0.53	13.78	1.43	2.46	0.035	1.13	2.33	3.04	4.27	0.18	0.07	0.53	99.69
23	TD3076		68.27	0.64	13.85	1.96	2.44	0.046	0.98	2.17	3.70	5.09	0.21	0.06	0.51	99.93
24	TP22-36	崔家峪	77.08	0.09	12.21	0.88	0.53	0.024	0.02	0.41	3.62	4.72	0.03	0.02	0.32	100.25

注: 本批样品由我队实验室分析。

做徕山期侵入岩化学分析结果(表4)表明, SiO_2 含量平均为71.42%, 含量变化区间为77.08—62.70%, 大部分集中在68—73%之间。 Na_2O 平均含量为3.78%, 含量变化范围为4.96—2.8%, 集中在3.5—4.2%之间。 K_2O 含量变化范围为5.62—2.44%, 集中在4—5%之间, 平均含量为4.58%。除新泰两县岩体中有较多地层残留体, 造成 SiO_2 含量变化较大外, 其余各岩体 SiO_2 含量均在70%左右。反映本期侵入岩钾、硅质含量较高, 是变质—变形晚期深熔岩浆的结晶作用产物^[7]。

综上所述, 从泰山期到做徕山期侵入岩, SiO_2 含量愈来愈高, Na_2O 含量减少, K_2O 含量增加, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比值明显减少。反映随地壳演化, 钾质、硅质含量有增加的趋势。

(二) 微量元素及稳定同位素特征

泰山期侵入岩微量元素 Sr 含量 200—400ppm, Co 含量 10—25ppm, Ni 含量 16—86ppm, Ba 含量 750—940ppm, 均高于地壳中的克拉克值。其它元素变化较大, 不稳定(表5)。花岗闪长岩 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 含量为7.555, 英云闪长岩 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 含量为7.244, 初始($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) 比值在0.7008—0.7036之间(表6)。

做徕山期侵入岩微量元素 Sr、Co、Cu、V、Ti、Ni、Cr、P 含量均较低, Pb、Ga 含量高些(表5)。 $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 含量为8.144, I_{Sr} 为0.7038—0.7077(表6)。

表5 鲁西前寒武纪侵入岩微量元素含量表

期	岩石符号	岩体	样品件数	微量元素平均含量(ppm)														
				Ba	P	Mn	Pb	Ga	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Zr	Zn	Ti	Co	Sr
做徕山期	$\xi\gamma_2^{1-2}$	四海山	1	800	<1000	700	30	10	50	<10	<1	50	10	500	<100	2000	<10	200
	$\eta\gamma_2^{1-2}$	徂徕山	12	500		641	20	10	30	10	17	21	10	204		1375	<10	200
		新泰	10	360	<1000	240	39	20	<10	10	4.9	20	56	150	<100	1060	<10	100
泰山期	$\delta\alpha_1^{2-2}$	草茨	7	940	5857	929	15	20	44	39	15	81	36	403	<200	9714	16	371
	ν_1^{2-2}	圣水峪	11	773	2455	595	10	20	135	86	<1	104	175	239	170	4000	23	336
	$\gamma\alpha_1^{2-1}$	富山	9	811		389	<10	10	34	21	14	56	20	155		3278	<10	367
	$\gamma\delta_1^{2-1}$	新甫山	10	870		250	10	<10	<10	<5	1.6	14	100	110		1500	<10	400
	$\gamma\delta_1^{2-1}$	峰山	10	870	1000	520	20	15	42	20	2	80	85	240	100	2000	15	300
	$\gamma\alpha\beta_1^{2-1}$	蒙山	19	1805	1000	443	20	<10	23	16	5	74	23	250	138	4523	12	337
		律庄	2	750	1000	550	15	10	75	35	1	115	25	175	100	1500	25	200

注: 本表样品为半定量全分析基岩光谱样, 由我队实验室测定。

表6 鲁西前寒武纪侵入岩测试结果表

时代	期	阶段	岩性	岩体	Rb-Sr 年龄 (Ma)	初 始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比 值	$\delta^{18}\text{O}\%$	光轴角 ($^{\circ}$) 2V	斜长石 牌号 (An)	有序度 (δ)
早元古代	微徕山期	2	钾长花岗岩	四海山	2331.36	0.7073			20	0.85
		1	二长花岗岩	临朐蒋峪	2282.26	0.7077				
				徂徕山	2230			84 $^{\circ}$	22	0.92
				微徕山	2490 \pm 50	0.7028				
				新泰 鲁家庄	2359	0.7038	8.144	82 $^{\circ}$ -84 $^{\circ}$	25-30	0.6-0.95
晚太古代	泰山期	中天门阶段	变花岗岩闪长岩	虎山				84 $^{\circ}$	23	0.9
			变闪长岩类	中天门 〔2〕	2595 \pm 100	0.7003		84 $^{\circ}$	23-31	0.8-0.9
			变辉长岩	圣水峪	2483.4 \pm 80.6	0.7013			30-37	
		新甫山阶段	片麻状奥长花岗岩	上港	2412.6	0.7015			16-26	0.95
			片麻状花岗岩闪长岩	新甫山 〔1〕	2586	0.7062		84 $^{\circ}$	21-23	0.9-1
				峰山	2349.5	0.7036	7.555	86 $^{\circ}$ -88 $^{\circ}$	20-31	0.85-0.9
				平邑丰阳	2539.04	0.7003				
			条带状混合质 花岗岩闪长岩	平邑 三官庙	1187.6 \pm 1.34	0.7162	8.384	86 $^{\circ}$	31	0.8
			片麻状英云闪长岩	蒙山	2550.25	0.7020	7.244	82 $^{\circ}$	26	1

注: 氧同位素由地矿部矿床地质研究所测试, 其余项目由我队实验室分析。

微量元素的含量变化说明, 泰山期侵入岩较微徕山期侵入岩偏中酸性, 并有一些中基性岩体(中天门阶段侵入岩), 故Sr、Ni等元素含量较高。泰山期侵入岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值较低, 在7.244—7.555‰, 与地幔衍生出来的辉长岩、玄武岩和斜长岩的 $\delta^{18}\text{O}=5.5-7.4$ 的上限数值相一致。微徕山期侵入岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值较高, 可能是岩浆形成时混染了大陆壳物质所致。而Isr值的变化则反映, 泰山期侵入岩Isr值低于0.7036, 新甫山岩体所测的Isr=0.7062, 代表从花岗岩闪长岩到二长花岗岩的混合样值, 韧性剪切带中的花岗岩闪长岩Isr值升高达0.7162。微徕山期花岗岩Isr值较高, 则说明受部分熔融作用越强, 熔体中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值增加越大。微徕山期侵入岩愈往北东分布愈广泛, Isr值越高。从晚太古代到早元古代, 随时间的变新和岩浆演化, Isr值从0.702 \rightarrow 0.707, 岩浆活动向东迁移。

(三) 稀土元素特征

稀土元素分析结果(表7), 泰山期TTG质花岗岩稀土总量(ΣREE)平均为153.47ppm, 含量变化区间为87.43—304.89ppm, 大部分在115.95—189.4ppm之间。LREE/HREE平均比值为7.23, 变化范围为5.251—10.394, 集中在6.076—9.976之

表 7 鲁西前寒武纪侵入岩稀土元素全分析结果表 (ppm)

顺序号	野外编号 (XT)	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Er	Dy	Ho	Tm	Yb	Lu	Y
1	2D333	钾长花岗岩	62.74	142.4	13.36	59.55	10.95	1.3	9.78	1.45	2.93	6.67	1.52	0.43	2.79	0.47	27.15
2	SD191		40.6	80.6	7.2	27.9	4.6	0.57	5.2	0.55	1.9	3.1	0.73	0.3	2.1	0.26	17.2
3	4D3377	二长花岗岩	22.04	46.91	5.23	17.67	3.15	0.78	2.19	<0.3	0.6	1.14	0.27	0.11	0.78	0.14	7.09
4	SD153		42.2	74.2	6.5	23.3	3.3	0.59	1.7	0.24	0.76	1.5	0.29	0.12	0.74	0.13	6.3
5	4D1725		95.68	18.97	17.67	56.25	7.44	1.43	5.27	0.57	1.14	3.45	0.57	0.17	1.21	0.19	13.63
6	4D407		112.78	233.24	24.75	84.29	12.95	2.57	8.57	0.9	1.35	4.39	0.75	0.2	1.3	0.2	18.29
7	2D39		26.56	56.24	5.25	22.18	3.63	0.9	2.87	0.39	0.76	1.69	0.25	0.11	0.74	0.26	6.79
8	SD187		34	74.5	7.6	33.4	8	1.6	4.3	0.72	2.3	3.7	0.85	0.3	1.6	0.23	16.3
9	4D3359	片麻状花岗岩闪长岩	62.61	135.01	14.37	51.57	7.82	1.62	5.71	0.7	1.43	3.45	0.68	0.22	1.65	0.27	17.78
10	SD146		19.4	36.5	3.4	14.1	2.3	0.62	1.6	0.28	0.76	1.7	0.32	0.12	0.64	0.09	5.6
11	SD147		19.8	38.7	3.6	14.1	2.5	0.69	1.8	0.21	0.73	1.8	0.41	0.14	0.67	0.1	4.4
12	4D3375		28.33	60.26	5.5	18.44	3.08	0.59	1.96	<0.3	0.49	1.19	0.26	<0.1	0.57	<0.1	6.21
13	4D1735	片麻状英云闪长岩	31.63	61.38	6.55	23.2	3.91	0.92	2.72	0.32	0.58	1.5	0.31	<0.1	0.54	<0.1	6.62
14	SD128		15.3	34.8	4.0	20.2	4.6	1.5	4.5	0.69	2.5	4.2	0.89	0.35	2.1	0.32	20
15	SD130		35.5	79.1	7.3	32.8	5.7	1.6	3.9	0.42	1.5	2.6	0.63	0.19	7.2	0.17	13
16	SD134		33	65.8	6.5	29.6	5.5	1.6	3.9	0.6	1.5	2.9	0.56	0.23	1.1	0.18	12.4

注: 本表样品由核工业部北京第三研究所测试。

间。 δEu 值平均为0.941。稀土分布型式(图9、10),为轻稀土富集型,分配曲线右倾,无明显Eu异常。在ACF图解中,岩石大部分落于“1”型花岗岩区。与徐克勤教授所划分的同熔型花岗岩特征相似。与世界太古代TTG质花岗岩、冀东迁安英云闪长岩的稀土分布型式一致。 δEu 值较高,说明晚太古代岩浆分异作用不太强。

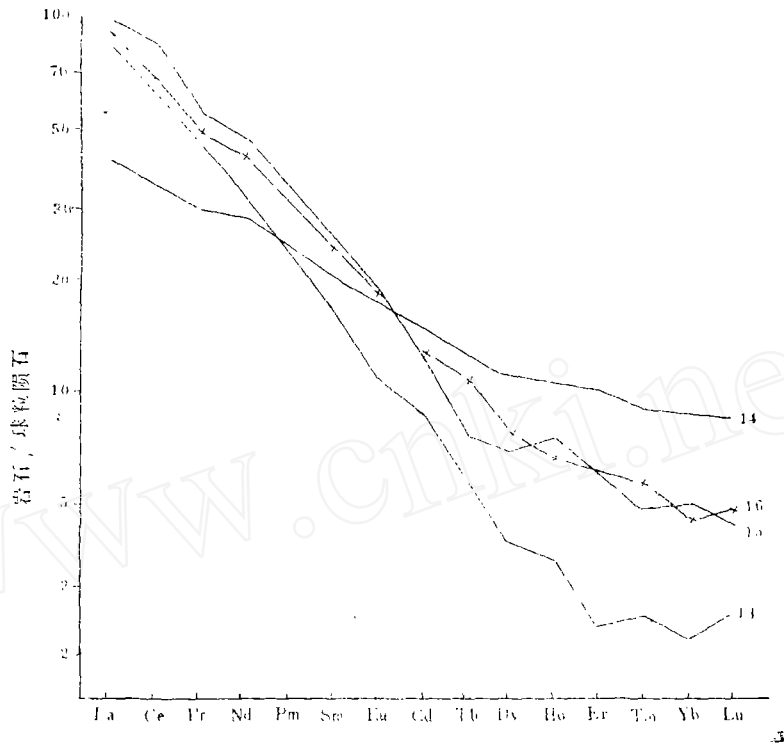


图9 晚太古代片麻状英云闪长岩稀土球粒陨石标准化分布型式

做隸山期主要为二长花岗岩,少量钾长花岗岩,稀土总量(REE)变化较大,在388.64—109.21ppm区间,平均为239ppm。LREE/HREE比值平均为8.87,变化范围为13.834—5.169。 δEu 值平均为0.61,变化范围为0.33—0.87。稀土分布型式变化很大,具明显的负Eu异常(图11)。本期侵入岩稀土总量及LREE/HREE比值均高于泰山期侵入岩, δEu 值低于泰山期侵入岩,说明岩浆分异作用较强;稀土分布型式具明显的负Eu异常,表示岩浆是地壳重熔作用形成的。

从以上可看出,从泰山期侵入岩至做隸山期侵入岩,稀土含量有增加的趋势, δEu 值则有减少的趋势,稀土分布型式由无明显Eu异常至具明显的Eu异常,岩浆岩由同熔型到改造型,由幔壳混合型到壳源型,反映地壳成熟程度不断提高。

(四) 重矿物锆石特征

人工重砂分析结果,泰山期侵入岩锆石特征(表8)为:以浅玫瑰色为主,柱状,主要为由柱面(100)、(110),偏锥面(311)、(131)和锥面(111)组成的聚形。

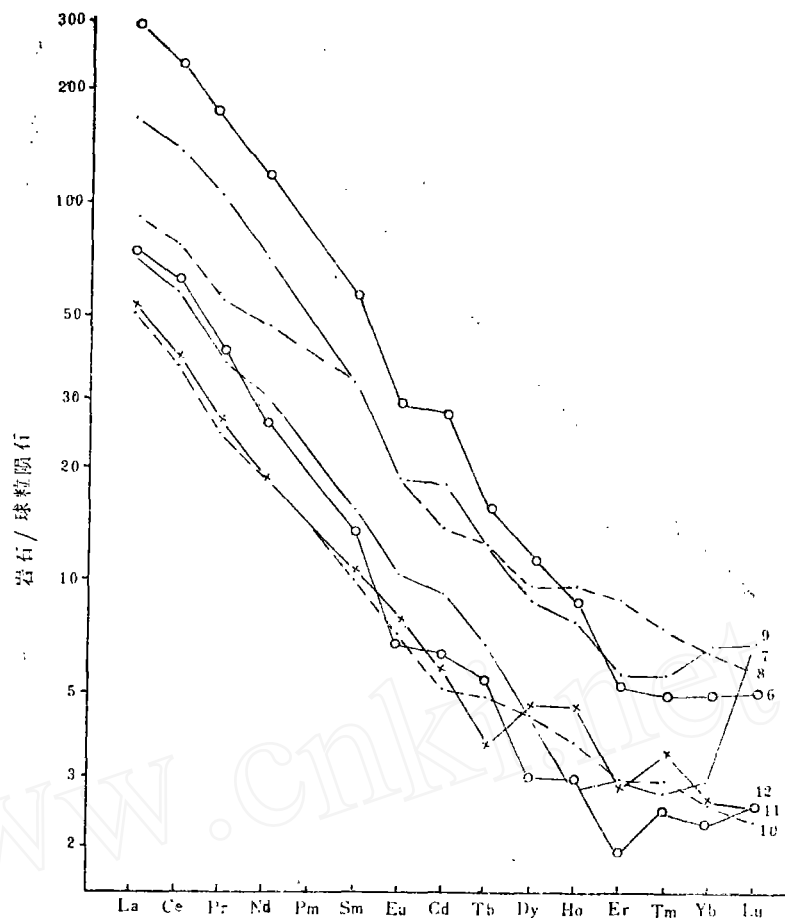


图10 晚太古代片麻状花岗闪长岩稀土元素分布型式

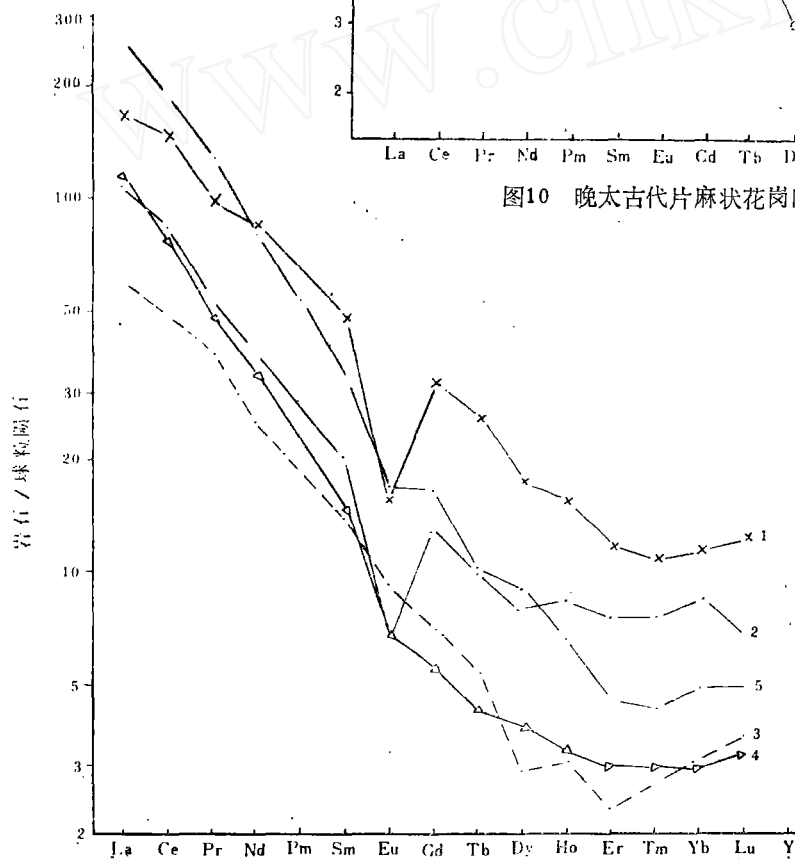

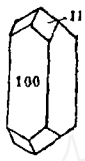

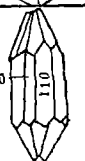
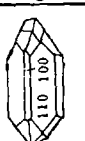
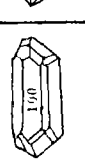


图11 早元古代侵入岩
稀土元素标准化
分布型式

表8 鲁西前寒武纪侵入岩重矿物特征表

时代	岩性	岩体及样品号(RZ)	重矿物成分及含量	特征					
				颜色	形状	晶形	粒径(mm)	长宽比	主要晶形
元古代	早	钾长花岗岩 (2D333)	磷灰石 60 % 锆石 38 % 榍石微量	浅肉红色	长柱状, 受熔蚀	由柱面 (110)、锥面 (111) 组成之聚形	0.1 0.35	3:1 4:1, 少数 2:1	
		雪野 (34P8-99) 余粮店 (4D3377) 崔家峪 (TP22-36)	磷灰石 97 % 锆石 1 % 榍石微量	黄色为主, 乳白色、浅玫瑰色次之	正方柱状、长柱状、柱状及短柱状	由柱面 (110) 和正锥面 (111) 组成之聚形	0.1 - 0.25 部分 < 0.1	2:1 - 4:1 个别 5:1 - 6:1	
	中	凤仙山 (4D3313)	磷灰石 92 % 锆石 6 %	浅黄色, 乳白色及棕红色, 较杂	短柱状及长柱状, 棱角不清晰	由柱面 (100) (110) 和锥面 (111) 组成之聚形	< 0.1 部分 0.1 - 0.3	1.5:1 3:1, 少数 4:1	
		徂徕山 (TP2-187)	磷灰石 50 % 榍石 40 % 锆石 8 %						
		新泰 (4D1725)	磷灰石 79 % 锆石 20 %	浅玫瑰及黄色、红褐色	柱状、长柱状, 部分棱角不清, 受熔蚀	由柱面 (100) (110)、正锥面 (111) 及偏锥面 (311) (131) 组成的聚形	< 0.1 部分 0.1 0.25	2:1 10:1	
		马鞍山 (34P8-54)	磷灰石 98 % 榍石少量 锆石微量						
	晚	变闪长岩 (TP1-63)	磷灰石 79 % 锆石 3 % 榍石 2 %	浅紫色为主、浅棕色、褐黄色次之	长柱状、柱状	由柱面 (110) (100) 和锥面 (111)、复锥面 (311) (131) 组成之聚形	0.1 0.3	4.5:1 6:1, 部分 3.5:1	
		片麻状花岗岩闪长岩	峰山 (2D39)	磷灰石 77 % 锆石 15 % 榍石 6 %	肉红色	正方柱状	由柱面 (100) 和正锥面 (111)、偏锥面 (311) (131) 组成之聚形	< 0.1 为主, 0.2 - 0.3 次之	1.5:1 - 2:1, 个别 3:1, 4:1
新甫山 (TP3-38)			磷灰石 98 % 锆石微量 榍石微量	浅玫瑰色为主, 浅黄色次之	晶体完整	由柱面 (100) (110)、和偏锥面 (311) (131)、正锥面 (111) 组成之聚形	0.1	1.5:1 - 2:1, 个别 3:1	
太古代	英云闪长岩 (TP7-33)	磷灰石 88 % 锆石 7 % 榍石 3 %	浅玫瑰色	短柱状、柱状, 少数长柱状	由柱面 (100) (110)、偏锥面 (311) (131)、锥面 (111) 组成之聚形	0.01 0.45	2:1 - 2.5:1, 部分 4:1, 个别 8:1		

注: 本表人工重砂样品由我队实验室鉴定。

大部分锆石粒径 $\leq 0.1\text{mm}$, 少部分为 $0.1\text{—}0.3\text{mm}$; 长宽比为 $1.5:1\text{—}3:1$, 部分为 $4:1\text{—}8:1$ 。充分显示了岩浆结晶作用形成的特点。

傲徕山期侵入岩锆石特征(表8): 锆石以黄色、浅黄色为主, 浅玫瑰色次之, 还有其它颜色者, 显得颜色较杂。晶体呈长柱状及短柱状, 普遍受熔蚀。大部分锆石由柱面(110)、(100)和锥面(111)组成的简单聚形, 及由柱面(110)、锥面(111)组成的简单聚形, 见于徂徕山、凤仙山、四海山、崔家峪等岩体。而新泰两县及雪野岩体之锆石晶形为由柱面(110)、(100)和锥面(111), 偏锥面(311)、(131)组成的聚形, 与泰山期TTG质花岗岩之锆石特征一致。锆石粒径大部分 $< 0.1\text{mm}$, 部分为 $0.1\text{—}0.25\text{mm}$, 长宽比一般 $2:1\text{—}4:1$, 部分达 $6:1\text{—}10:1$ 。以上资料说明, 傲徕山期侵入岩锆石晶形比泰山期者简单, 还保留后者部分特征。

四、同位素地质年龄特征

(一) 前寒武纪侵入岩形成时代的确定

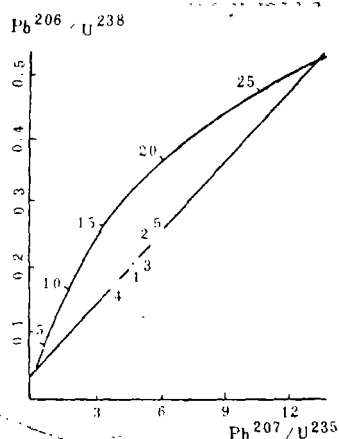
本区前寒武纪侵入岩, 曾进行过大量钾—氩法同位素地质年龄测定, 一般 2000Ma 前后, 不能代表其形成时代。我们在搞清岩体间的侵入关系之后, 采用了不同方法进行同位素地质年龄测定。根据锆石U—Pb等时线年龄测定结果, 确定泰山期侵入岩的形成年龄在 $2700\text{—}2500\text{Ma}$ 间, 属晚太古代; 傲徕山期侵入岩的形成年龄在 $2457\text{—}2200\text{Ma}$ 间(表9、10和图12)。与江博明教授^[2]、董义杰同志^[1]在泰山地区、同王致本同志在徂徕山地区^[2]、刘德正同志在韩旺地区^[4]等前寒武纪侵入岩中取得的同位素年龄数据相吻合(表1)。

1. 泰山期侵入岩的形成年龄

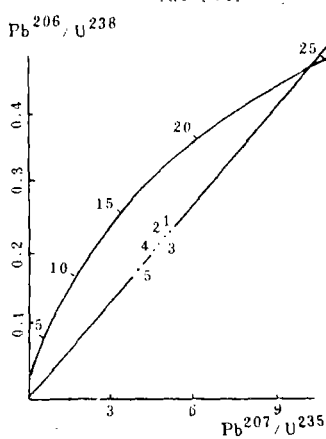
本期侵入岩之TTG质花岗岩的锆石U—Pb一致曲线及Pb—Pb等时线年龄集中在 $2700\text{—}2600\text{Ma}$ 之间。其中峰山花岗闪长岩为 $2693.5^{+1.5}_{-1.3}\text{Ma}$, 蒙山英云闪长岩为 $2628^{+7.0}_{-6.0}\text{Ma}$, 望府山英云闪长岩为 $2700 \pm 35\text{Ma}$ ^[2]。该类侵入岩Rb—Sr等时线年龄值也接近或大于 2600Ma ; 蒙山英云闪长岩为 2550Ma ; 徂徕山黄石崖花岗闪长岩为 2610Ma ^[2]; 新甫山花岗闪长岩为 2586Ma ^[1]。由西南往东北年龄有变新的趋势。泰山期中天门阶段侵入岩的形成年龄则在 $2600\text{—}2500\text{Ma}$ 间; 普照寺变闪长岩U—Pb年龄为 2563Ma ^[1]; 水泉变闪长岩Rb—Sr等时线年龄为 2549Ma ^[2]; 中天门变石英闪长岩U—Pb年龄为 $2560 \pm 11\text{Ma}$ ^[2], Rb—Sr等时线年龄为 $2595 \pm 100\text{Ma}$ ^[2]; 虎山变花岗闪长岩U—Pb年龄为

1) 董义杰等, 1989, 泰山地区太古宇杂岩体的初步划分, 庆祝山东地质学会成立三十周年学术讨论会论文摘要汇编。

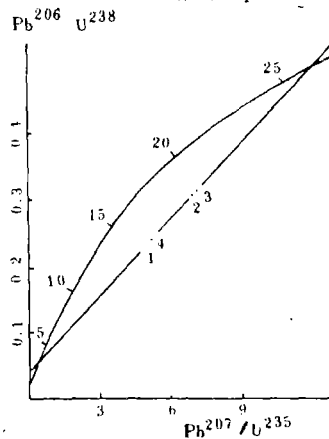
2) 王致本等, 1988, 1:5万徂徕山幅、东王庄幅区调报告。



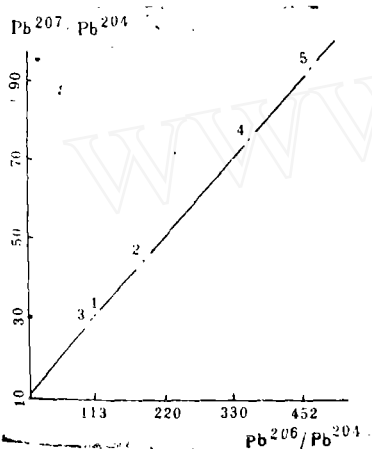
峰山片麻状花岗闪长岩锆石
(4D2759-2764Tm₁) U-Pb
一致曲线CT=2693.8Ma



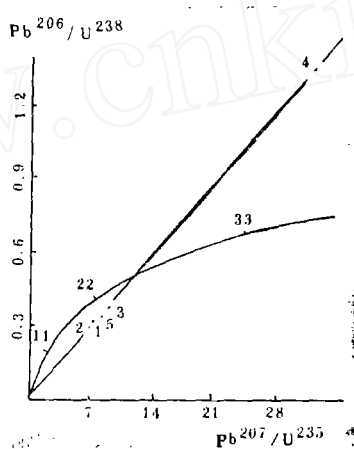
蒙阴杨柱子二长花岗闪长岩锆石
(4D1721-1726Tm₁) U-Pb
一致曲线的CT=2457.3Ma



新泰市老牛沟变花岗闪长岩
锆石(4D2407Tm₁₋₄) U-Pb
一致曲线的CT=2593.1Ma



新泰市太平顶组片麻状英云闪长岩锆石(TP₇-33.34Tm) U-Th-Pb
年龄分析结果。左侧为Pb-Pb等时线, 年龄值2628.2Ma; 右侧为U-Pb
一致曲线的CT=2574.7Ma。



注: 本图中U-Pb 一致曲线上
交点年龄和下交点年龄见表
9、10, 图中样品号为顺序号与表
9、10 中的样品野外编号顺序
一致

图12 前寒武纪侵入岩U-Pb一致曲线及Pb-Pb等时线

2560±11Ma^[2]; 楼德老牛沟变花岗闪长岩U-Pb等时线年龄为2593.2^{+5.4}_{-4.8}Ma, 圣水峪变辉长岩的Rb-Sr等时线年龄为2483.6±80.6Ma, 虽偏低也接近2500Ma。

2. 微徕山期侵入岩的形成时代

微徕山期侵入岩采用Rb-Sr、U-Pb、Sm-Nd三种方法测定结果, 其年龄均集中在2490-2206Ma之间, 最高不超过2500Ma, 属早元古代。其中微徕山岩体Rb-Sr等时线年龄为2490±50Ma, Sm-Nd等时线年龄为2450±140Ma、2400±60Ma, 均由法国

学者江博明先生测定^[2]。我们获得新泰两县岩体U—Pb等时线年龄为 $2457.3^{+47.2}_{-46.6}\text{Ma}$, U—Pb 锆石单样年龄为 $2218.9 \pm 4.4\text{Ma}$ 的资料,新泰鲁家庄岩体Rb—Sr等时线年龄为2359Ma,临朐蒋峪岩体Rb—Sr等时线年龄为2284Ma,平邑孟常峪岩体Rb—Sr等时线年龄为2331.36Ma。王致本等同志在徂徕山马场测得二长花岗岩Rb—Sr等时线年龄为2330Ma¹⁾,刘德正等^[4]在韩旺二长花岗岩测得U—Pb等时线年龄为 $2206.7^{+212.3}_{-248.3}\text{Ma}$ 。

从测区西或西南往东或东北,二长花岗岩的同位素年龄有减少的趋势。如徂徕山和新泰岩体U—Pb等时线年龄值在2450Ma左右,而往东到韩旺岩体U—Pb等时线年龄仅2206Ma。再如西部地区岩体的Rb—Sr等时线年龄一般在2300—2400Ma,而东部临朐蒋峪一带的二长花岗岩Rb—Sr等时线年龄为2284Ma。说明,本期岩浆活动随时间变新由西往东迁移。

(二) 前寒武纪侵入岩变质作用时代的确定

泰山期TTG质花岗岩大致是在泰山群形成之后发生挤压褶皱及变质作用的同时或稍晚些时期侵入形成的。而变闪长岩类杂岩体则是在TTG质花岗岩遭受断裂混合岩化作用之后侵入的。到距今2450Ma前后,遭受本区第二期变质作用,泰山期侵入岩形成片理或片麻理。程裕琪教授在平邑万山庄和新泰太平顶地区,采自受到不同程度的混合岩化黑云斜长片麻岩(即文中的英云闪长岩),测得其钾氩年龄为2324Ma和2445Ma^[1]。中国科学院地化所杨学昌同志曾在蒙阴地区斜长片麻岩中(即英云闪长岩),测得两个角闪石单矿物钾氩年龄,一个为2148Ma,另一个两次测定的平均值为2445Ma^[1]。我们测得上港奥长花岗岩的Rb—Sr等时线年龄为2412Ma,圣水峪变辉长岩的Rb—Sr等时线年龄为 $2483.6 \pm 80.6\text{Ma}$,均代表本期变质作用的年龄。

徂徕山侵入岩则是在泰山期侵入岩及泰山群遭受本区第二期变质作用的后期发生部分熔融、分异作用形成的。之后,前寒武纪侵入岩与泰山群一起遭受本区第三期变质作用,距今约2000—1800Ma,主要表现为退变质作用,并局部形成韧性剪切带,岩石发生糜棱岩化。本期变质作用的年龄资料,主要由程裕琪教授^[1]、应思淮研究员^[3]在泰山杂岩中的黑云母,做过12个样品的钾氩年龄测定,以1900—2000Ma最多。我们在靠近韧性剪切带附近的泰山群中,测得Rb—Sr等时线年龄在1800—2000Ma,如西南峪柳杭组变质砾岩胶结物—黑云变粒岩为2087Ma,界首雁翎关组斜长角闪岩为1897Ma,下长安雁翎关组斜长角闪岩为1789Ma。

前寒武纪侵入岩局部遭受本区最后一期动力变质作用,距今约1300—1200Ma。如平邑三官店条带状糜棱岩化花岗闪长岩的Rb—Sr等时线年龄为1180Ma,该岩体为泰山期侵入岩。沂水县崔家峪韧性剪切带,使二长花岗岩遭受糜棱岩化,其附近的雁翎关组斜长角闪岩的Rb—Sr等时线年龄为1364Ma,显然代表最晚变质作用的年龄。

从图14可看出,变质岩体的锆石U—Pb一致曲线年龄,各样品都位于直线上,样点

1)同74页2)。

表9 晚太古代侵入岩锆石铀—钍—铅同位素地质年龄测定结果表

岩性	样品编号 (Tm)	U	Th	Pb	铅同位素组成(%)				测定年龄(10 ⁶ 年)				采用年龄值 (10 ⁶ 年)
		(ppm)			204	206	207	208	206 238	207 235	207 206	208 232	
片麻状英云闪长岩	TP7—34—3	238.7	143.0	114.84	0.149	67.83	13.83	18.191	2014.2	2329.8	2619.1	2271.3	Pb-Pb等时线 年龄 T=2628.2 +70.0 -73.6 r=0.999301 b=0.17735 ±0.00766 a=11.269063 ±2.157123
	TP7—34—2	245.9	148.3	443.78	0.136	66.973	13.865	18.977	5472.7	3539.9	2574.6	7128.9	
	TP7—34—1	252.4	155.2	158.31	0.528	54.6	15.997	28.874	1895.7	2235.9	2563.8	2408.3	
	TP7—33—1	341.4	201.7	174.68	0.505	55.207	15.811	28.477	1609.1	2066.9	2560.4	2115.5	
	TP7—33—2	265.6	169.8	119.97	0.33	63.399	14.447	21.821	1699.8	2066.8	2455.5	1584.8	
片麻状花岗岩闪长岩	D445—1	235.9	103.0	78.83	0.172	68.79	12.762	18.321	1450.6	1918.9	2471.0	2218	T=2471
	(4)D2759—1	370.84	286.89	99.04	0.049	70.793	11.899	17.262	1268.4	1781.7	2450.1	1189.9	U-Pb等时线 年龄 CT=2693.8 R=0.992224
	(4)D2760—1	317.51	93.62	96.82	0.029	69.834	12.135	18.003	1416.9	1933.2	2543.1	3647.3	
	(4)D2761—1	390.06	201.26	102.24	0.04	71.162	11.891	16.909	1254.9	1774.6	2455.8	1720.3	
	(4)D2762—1	490.21	329.89	107.81	0.043	70.397	11.828	17.734	1057.3	1621.9	2459.0	1173.8	
	(4)D2763—1	368.96	214.11	115.95	0.012	69.791	12.018	18.182	1450.8	1970.6	2559.6	2079.7	
	(4)D2764—1	454.95	258.26	119.84	0.032	70.912	11.647	17.209	1258.3	1783.9	2469.6	1631.3	
变花岗岩闪长岩	(4)D2407—1	312.54	0	88.83	0.0593	71.955	11.915	16.072	1359.2	1822.5	2402.6		U-Pb等时线
	(4)D2407—2	165.41	0	60.54	0.036	73.454	12.377	14.136	1741.7	2104.7	2481.0		年龄
	(4)D2407—3	221.41	0	80.44	0.020	73.183	12.313	14.486	1729.4	2111.1	2506.9		CT=2593.1
	(4)D2407—4	382.27	0	106.44	0.036	72.091	11.611	16.262	1342.2	1808.4	2398.0		R=0.999163

注:本批样品由核工业部北京第三研究所分析测定。

落入上下交点之间的位置。从样点在一组曲线上的分布情况来看,似曾遭受过二阶段以上铅的丢失。这与本区前寒武纪侵入岩经历两期以上变质作用及混合岩化作用是有一定关系的。花岗岩闪长岩类下交点一致曲线年龄为 340—380Ma,可能与华北地壳在加里东—海西期间的抬升运动有关。二长花岗岩、英云闪长岩下交点年龄偏低,无地质意义。

表10 早元古代侵入岩U—Pb年龄测定结果

岩体	样品编号 (Tm)	U	Th	Pb	铅同位素组成(%)				测定年龄(10^6 年)				采用年龄值 (10^6 年)
		(ppm)			204	206	207	208	$\frac{206}{238}$	$\frac{207}{235}$	$\frac{207}{206}$	$\frac{208}{232}$	
新泰二长花岗岩	(4)D1721	535.91	62.2	144.21	0.069	75.777	12.849	11.305	1354.7	1835.3	2434.6		U-Pb 等时线 CT=2457.3 R=0.998833
	(4)D1722	957.29	127.62	256.08	0.094	74.907	13.102	11.898	1327.3	1821.2	2444.6		
	(4)D1723	837.62	245.86	201.37	0.006	76.902	12.149	10.944	1253.4	1757.9	2424.2		
	(4)D1724	678.62	140.26	167.09	0.04	76.80	12.60	10.56	1271.0	1770.6	2424.0		
	(4)D1725	818.62	135.37	167.09	0.04	76.80	12.60	10.56	1271.0	1770.6	2424.0		
	(4)D1726	768.85	114.54	179.95	0.04	78.213	12.795	8.954	1235.3	1745.3	2425.6		
徂徕山	(4)P ₇₋₂₀	1574.06		271.71	0.217	66.889	12.158	20.735	774.1	1257.8	2218.9		2218.9
	TP ₂₋₁₈₇	1549.35		193.23	0.280	62.399	11.557	25.764	520.8	911.9	2034.5		2034.5

注：本批样品由核工业部北京第三研究所测试。

五、前寒武纪侵入岩岩浆演化旋回探讨

前寒武纪侵入岩大致可划分为三个岩浆旋回。第一岩浆旋回由泰山期新甫山阶段侵入岩组成，早期表现为基性—超基性岩脉顺层侵入泰山群，岩浆作用很弱；之后为大规模TTG质岩浆以底辟形式上侵，可能是泰山群以前更深层次的硅铝质基底的再活化并有泰山群的部分熔融而形成的TTG质花岗岩。该岩浆旋回由超基性、基性岩与中酸性岩石组成，缺少中间成分，成为双峰式岩套。该旋回末期形成的奥长花岗岩，有可能是早先形成的英云闪长岩、花岗闪长岩局部重熔形成，故分布范围有限。

第二个岩浆旋回由泰山期中天门阶段侵入岩组成。自老往新由角闪石岩—变辉长岩—变闪长岩—变石英闪长岩—变花岗闪长岩组成。演化特点由超基性—基性—中性—中酸性，组成一个较完整的岩浆旋回。其中角闪石岩主要沿古断裂带分布，显然来源于上地幔。变辉长岩至变花岗闪长岩常组成变闪长岩类杂岩体，出露于中天门、草茨、水泉、秦家庄、桃科、圣水峪等地，分布面积不大，岩体之间呈过渡接触关系，表现为亲密的同源岩浆演化关系，可能由上地幔岩浆分异作用形成。

第三个岩浆旋回由徂徕山期侵入岩组成，主要为二长花岗岩，少量钾长花岗岩，分布广泛，越往东规模越大。该岩浆旋回由酸性岩石组成，与前两个旋回显然不同，但关系密切。可能是中天门阶段以中基性为主的岩浆上升带来的热量及随后发生的第二期区域变质作用引起由TTG质花岗岩及泰山群组成的地壳下部发生重熔作用分离结晶形成。

上述各旋回侵入岩组成北西—南东方向的岩带,规模宏大,表明鲁西地区早前寒武纪岩浆活动强烈,并受北西向基底构造控制。从西南峰山往东北到沂山,晚太古代侵入岩减少,早元古代侵入岩增多,说明岩浆活动随时间变新作有规律的迁移。

到中元古代,鲁西地区有辉绿岩脉(墙)群呈近南北方向穿插,其K—Ar同位素年龄值在1700—1100Ma间,被土门群及寒武系地层覆盖。这种区域基性岩墙群的产出,代表了基底构造活动的结束而转化为稳定地块。

六、前寒武纪侵入岩与地壳演化、构造运动、变质作用的关系

华北地台的古老基底有大于3000—2500Ma的岩石记录,而鲁西地区显然属于这一基底的重要组成部分,只不过它是以泰山期侵入岩为主而已,且有少量泰山群地层残留。太古代末期大规模花岗岩化和岩浆侵入作用,形成大量TTG质花岗岩,促进了硅铝壳进一步发展演化和增厚。这些钠质花岗岩的成因,可能是那个时期泰山群形成之后,受迁西运动影响挤压褶皱发生变质作用、形成基底褶皱的同时,硅铝质基底活化并有泰山群地层的部分熔融,形成TTG质岩浆底辟式上升,侵入于绿岩带之间的背斜区而形成^[6]。

TTG质花岗岩形成以后,受地壳运动影响,鲁西地区中部发生的深大断裂,形成了北西—南东方向延伸长达上百公里,宽2—5公里的下港—化马湾—南涝坡古断裂带,英云闪长岩等岩体被破坏呈巨大岩块残存。角闪石岩等超基性、基性岩脉沿古断裂穿插,并与TTG质花岗岩及泰山群地层一起遭受断裂带混合岩化作用,形成条带状混合岩。造成本区早期断裂带型混合岩化作用的热力条件,一方面是断裂作用摩擦产生,另一方面沿断裂从上地幔侵入的超基性—基性岩浆带来的热量也不容忽视。热力作用的结果,使断裂附近的TTG质花岗岩及泰山群地层发生变质分异,形成大量钠质含量较高的石英钠长石脉组成混合岩的脉体,而斜长角闪岩、英云闪长岩的部分岩石则成为基体残留。

中天门阶段变闪长岩类杂岩体的侵入,与古断裂有一定的关系,分布其中或附近。根据变闪长岩、变花岗闪长岩侵入条带状混合岩这一事实,认为是古断裂形成之后又一次发生活动的结果,该类岩体具地幔岩浆分异形成的特点,岩浆由基性—中性—中酸性演化系列完整。

早元古代大规模的钾质花岗岩的侵入,可能是早先形成的地壳受阜平运动的影响,发生距今2450Ma前后的区域变质作用,使TTG质花岗岩及泰山群发生部分熔融,熔体与母岩分离、结晶形成^[6]。这期岩浆活动还与中天门阶段中基性岩浆岩由地幔岩浆分异上侵时带来的巨大热量引起地壳重熔有关。本期岩体侵入时对围岩发生的钾质为主的交代作用,形成了鲁西晚期边缘型混合岩。根据程裕洪教授的研究结果^[11],以钾交代为主的混合岩化作用距今约 2230 ± 30 Ma,与微徕山期侵入岩的最终形成时间一致。这次规模巨大的泛造山运动,使鲁西前寒武纪结晶基底最终克拉通化。

早元古代末,受五台运动影响,早前寒武纪侵入岩、泰山群受到强烈的动力变质作用,形成韧性剪切带,岩石遭糜棱岩化,普遍发生了退变质作用。

中元古代岩浆活动微弱,仅有少量辉绿岩、辉长岩、伟晶岩、细晶岩等沿南北方向断裂及古断裂带穿插,被晚元古代土门群及古生代寒武系覆盖。

七、结 论

前寒武纪侵入岩与泰山群呈侵入接触关系,以及岩石具岩浆岩的结晶结构、锆石特征等事实,表明为岩浆侵入结晶的产物。岩石—地球化学研究表明,TTG 质花岗岩可能由硅铝质基底活化并有泰山群地层部分熔融形成,变闪长岩类杂岩体可能由上地幔岩浆分异而成,傲徕山期钾质花岗岩则可能是由泰山期侵入岩及泰山群组成的地壳部分熔融形成。

岩石学、岩石化学及同位素年龄资料研究表明,鲁西前寒武纪侵入岩具有随时间变新,岩浆活动由西南往东北作有规律性的迁移,可能同大陆边缘的横向增生有关。岩浆形成与变质作用关系密切,表明变质作用与深熔作用密切联系。混合岩化作用受侵入岩的成分变化控制。

由泰山期侵入岩到傲徕山期侵入岩,岩浆活动性由弱到强,TTG 质花岗岩具整合深成岩体特征,傲徕山期二长花岗岩则具不整合深成岩体特征。前者钠质含量较高,后者则相反,前者 SiO_2 含量较稳定,后者则变化较大,反映重熔作用局部不彻底。总之,随地壳演化,钾质、硅质含量明显增加,初始 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值、 $\delta^{18}\text{O}$ 值也增大,稀土分布型式由无明显负Eu异常到出现明显的负Eu异常,花岗岩由同熔型到改造型,由幔壳混合型到壳源型,锆石晶形由复杂到简单,反映地壳成熟程度的不断提高。

本文是笔者参加鲁西地区泰山群专题研究及随后的区调修测工作取得的地质认识,工作中得到省地矿局曹国权、艾宪森总工程师及张成基、张自桓、吕发堂、郑良峙高级工程师的指导,吕发堂高级工程师审阅了全文,曹国权总工程师对本文提出了宝贵修改意见,文中插图由于淑芝、张曰田同志清绘,英文摘要由张淑芳翻译,在此一并表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 〔1〕程裕祺、沈其韩、王泽九,1977,山东新泰雁翎关一带泰山群变质岩系的初步研究,地质矿产研究,3期。
- 〔2〕江博明,1988,中国太古代壳演化,泰山杂岩由长期亏损的地幔成长新生地壳的证据。前寒武纪研究(国外刊物)。
- 〔3〕应思淮,1980,泰山杂岩。科学出版社。
- 〔4〕刘德正,1989,韩旺混合花岗岩体的铅—铅等时线年龄。山东地质,1期。
- 〔5〕E.E.Milanosky,1989,断裂作用的演化过程。国外地质,3期。
- 〔6〕李恒新,1988,鲁西太古代徕山杂岩体花岗岩岩石成因探讨。辽宁地质,第3期。
- 〔7〕林强,1988,鲁西地区太古代花岗岩质岩石的三个成因系列。全国第三届矿物岩石地球化学学术交流会议论文摘要汇编。中国科学技术文献出版社重庆分社。

THE PRECAMBRIAN INTRUSIVE ROCKS IN THE WEST SHANDONG, CHINA

Wang Shijing

(*Regional Geological Survey Brigade, Shandong Bureau of Geology
and Mineral Resources*)

Abstract

The Precambrian intrusive rocks in the west Shandong region consist of the late Archaean Taishanian TTG granites and the metadioritoid complex, and the early Proterozoic Aolaishanian monzogranites and potassium-feldspar granites, which cover an outcrop area accounting for 90 percent of the basement metamorphic rocks and intruded into the Taishan Group.

TTG granites yield isotopic ages of 2700—2586 Ma with relatively high Na/K and low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios. They show gneissic structure and LREE-enriched patterns, which was formed by the reactivation of sialic basement and partial melting of the Taishan Group. The metadioritoids give isotopic ages of 2595—2483Ma which suggest that they were derived from the mantle magma differentiation and their magma evolution series is complete. The monzogranites and potassiumfeldspar granites yield isotopic ages of 2490—2284Ma with relatively low Na/K and high $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios. They exhibit massive structure and obviously negative Eu anomalies in REE patterns which means that they were formed by partial remelting of the Taishanian intrusive rocks.