

徂徕山—新甫山地区太古宙杂岩体 地质地球化学特征及生成机制*

王致本 王玉玲 张春池

(山东省地质矿产局第一地质大队)

提要 本文对徂徕山—新甫山地区太古宙杂岩体的地质、岩石、矿物、岩石化学、地球化学特征及形成时代进行了系统而全面的阐述。文中将该区太古宙杂岩归属于三个旋回和两个成因系列。该文探讨了区内岩体生成的构造机制,论述了构造迁移作用。该文还探讨了两个成因系列岩体的生成模式:超基性—中性岩的地幔源成因及酸性岩石的复杂成因。文中还提出了混合交代物质 K,Na,Si 的地幔来源,论述了混合质岩体形成的冲淡模式。

引言

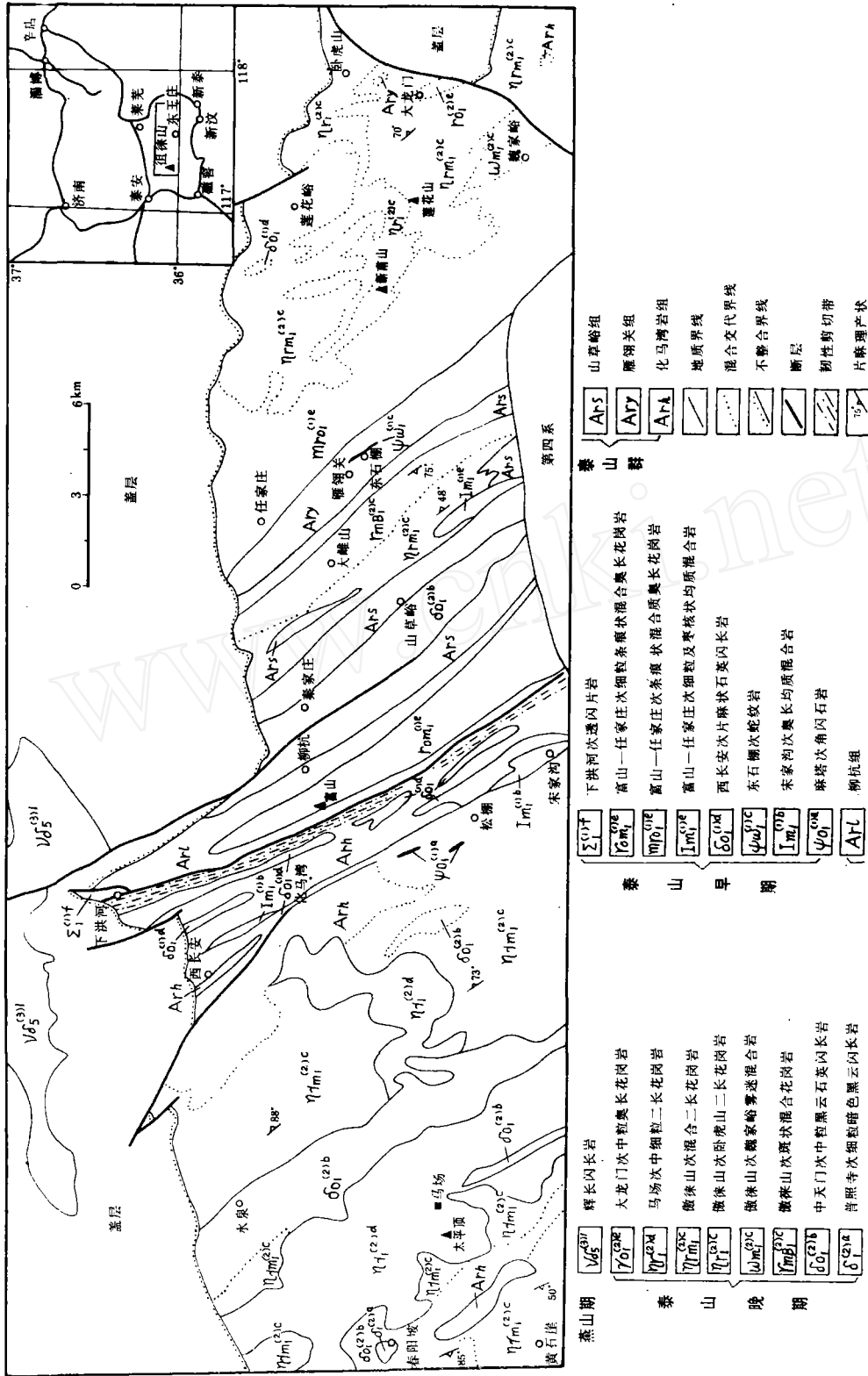
徂徕山—新甫山地区位于山东中部泰安、莱芜、新泰三市交界处(图1)。区内广泛出露基底岩系:太古宙泰山群及泰山期杂岩。本区在1958—1960年开展了1/20万区调,1962年以后程裕洪等对本区的基底岩系进行了一系列的研究,自1984—1988年第一地质大队开展了1/5万徂徕山—东王庄幅区调,对区内的基底岩系进行了详细的工作,本文是在这一区调成果的基础上完成的,不当之处敬请指正。

一、区域地质背景

本区位于华北地台的中部。区内的基底岩系被寒武系不整合覆盖,属于前寒武系。基底地层归属太古宙泰山群,自下而上分为化马湾岩组¹⁾含角闪黑云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩,雁翎关组斜长角闪岩,山草峪组黑云变粒岩,柳杭组角闪黑云变粒岩、斜长角闪岩。基底构造线方向为NW。西部为徂徕山复背斜,中间为富山向斜,东部为新甫山复背斜。在徂徕山复背斜与富山向斜之间为一北西向的牛山—二虎官庄韧性剪切带。杂岩体以花岗质岩体为主,闪长岩体为次。

* 本文为祝贺曹国权高级工程师从事地质科技事业54周年的特约稿件,1989年12月收到,1990年7月改回。

¹⁾ 化马湾岩组为1/5万徂徕山—东王庄幅区调时建立,相当于剔除岩体后的太平顶组、万山庄组。



二、杂岩体概况

本区岩体主要分布在复背斜的核部、韧性剪切带一侧及倒转褶皱由正常翼向倒转翼转变处,呈北西向产出。杂岩体年代为晚太古代,归属泰山期,分为早晚两个亚期 11 个次(图 1),共有 5 个杂岩体(或独立岩体),自西而东依次为徂徕山杂岩体、富山岩体、秦家庄杂岩体、雌山杂岩体和新甫山杂岩体(图 1)。

三、各期次岩体的地质及岩石学特征

(一)地质特征及岩石特征

1. 泰山早期

(1)麻塔次角闪石岩

角闪石岩主要分布在化马湾附近,分东西两个带,断续延长 2—11km,单个岩体长几十至 1100m,宽 20—50m,呈脉状、扁豆体状和岩株状,仅侵入于化马湾岩组中,遭受早期混合岩化作用。角闪石岩常有分带性:一种是边部为斜长角闪岩,中间为角闪石岩;另一种是边部为中粒角闪石岩,中间为伟晶质角闪石岩。

岩性:色黑—深灰绿,粒状变晶结构,块状构造。主要矿物为普通角闪石(90%+)和奥—中长石(10%⁻)。

(2)宋家沟次黑云奥长均质混合岩

该次岩体分布在宋家沟等地化马湾岩组出露区。长数百米,宽 200—300m。混合交代于化马湾岩组中,常见残留的带状构造,有混合二长花岗岩脉穿插。

岩性:灰色白,中粗粒鳞片花岗变晶结构,片麻状构造。主要矿物为奥长石(65—70%)、石英(20—25%)、黑云母(5—10%)。

(3)东石棚次蛇纹岩

主要分布在雁翎关一带,侵入雁翎关组,与层理略斜交,为长透镜状,长约 2000m,宽在 100m 之内。

岩性:色浅绿,鳞片状变晶结构,致密块状构造。以铁质蛇纹石为主,占 93%。

(4)西长安次片麻状石英闪长岩

分布于徂徕山杂岩体东部牛山—二虎官庄构造带的西长安等地及新甫山复背斜核部倾伏端的莲花峪一带。长 4—14km,宽 300—800m。呈带状延伸。侵入化马湾岩组中,少量侵入雁翎关组或柳杭组。在条痕状混合质奥长花岗岩中呈残留体。

岩性:色绿灰;中粗粒、等粒结构,片麻状构造,主要矿物为斜长石(53—65%)、石英(5—17%)、角闪石(5—15%)及黑云母(3—30%)等。

(5)富山—任家庄次细粒条痕状混合奥长花岗岩及条痕状混合质奥长花岗岩。

混合奥长花岗岩组成富山岩体,侵入柳杭组,长达 11.5km,东南宽 1km,向西北呈“A”型尖灭。条痕理及水平线理发育,岩体中有透闪片岩脉穿插。混合质奥长花岗岩组成任家庄岩体,侵入雁翎关组,长 15km,宽 2—3km。

岩性:细粒条痕状混合奥长花岗岩,色灰白,鳞片花岗变晶结构,片麻状构造。主要矿物为斜长石(52—64%)、石英(19—32%)、钾长石(<5%)、黑云母(2—5%)。石英呈长条状集合体,宽0.1—0.5mm。斜长石为奥长石,在与钾长石接触处斜长石出现净边。斜长石中常见蠕英石。条痕状混合质奥长花岗岩,色浅黄,中粒鳞片花岗变晶结构,交代结构发育,见条痕状或片麻状构造。主要矿物为奥长石(52—58%)、微斜长石(10—19%)、石英(23—32%)、黑云母(2.8—5%)。

(6)下洪河次透闪片岩

呈脉状或小岩体状侵入于化马湾岩组及柳杭组。长2.5km,宽150—300m。

岩性:色暗绿,纤状、微鳞片状变晶结构,片状构造。主要矿物为透闪石、阳起石(68—69%)、绿泥石(21—30%)。副矿物有磁铁矿。

2. 泰山晚期

(1)普照寺次细粒暗色黑云闪长岩

分布在徂徕山区的春阳坡等地,岩体宽50—400m,长可达1000m。岩体出露于中粒黑云石英闪长岩分布区,被其侵入或包裹。可见被细粒二长花岗岩侵入、被混合二长花岗岩所混合。

岩性:色灰绿。细粒、变余半自形粒状结构,块状构造。主要矿物为:斜长石(51—54%)、黑云母(22—30%)、普通角闪石(4.6—3.7%)、石英(0.7—3.5%)。斜长石中见有蠕英石,黑云母有被石英穿孔现象,岩石略受混合。

(2)中天门次中粒黑云石英闪长岩

分布在水泉及秦家庄等地,长9—14km,宽1—2km。

岩性:色灰绿。半自形等粒结构,在秦家庄岩石常具似斑状结构。块状构造。主要矿物为斜长石(48%)、角闪石(6.5%)、石英(12%)、黑云母(23%)、微斜长石(0—15%)。微斜长石为混合产物,可见角闪石被黑云母交代,辉石残存于角闪石中。

(3)傲徕山次混合二长花岗岩、雾迷混合岩、二长花岗岩

分布于徂徕山杂岩体的边部、雌山杂岩体的东部、新甫山杂岩体的东部。长10—15km,宽2—10km,岩体不太规则,被马场次中细粒二长花岗岩侵入,内部有中天门次石英闪长岩残留体,局部见化马湾岩组、雁翎关组、山草峪组残留。内部常可划出相带,相带界线为渐变过渡,各相带由不同混合程度岩石组成,一般西部混合较弱,东部混合较强。

岩性:色灰白—黄白。中粒花岗变晶结构,有时呈似斑状结构,交代结构发育,常见蠕英、净边、港湾、岛屿、穿孔等交代结构。片麻状构造,二长花岗岩接近块状构造,雾迷混合岩含较多的残留体、残影体,见雾迷构造。主要矿物有斜长石(30—50%)、微斜长石(20—40%)、石英(20—30%)、黑云母(1—10%)。

(4)马场次中细粒二长花岗岩

分布在徂徕山区,呈不规则宽带状延伸,北宽南窄,剖面呈蘑菇状。岩体长12km,宽3—4km,岩体明显的侵入围岩。

岩性:色灰白。中细粒花岗变晶结构,常见交代结构。块状构造。主要矿物为斜长石(30%)、微斜长石(35%)、石英(25%),次要矿物有黑云母(45%)。

(5)大龙门次中粒奥长花岗岩

仅分布在大龙门等地。与围岩呈渐变或侵入接触。

岩性: 色灰白。中、细粒花岗变晶结构, 常见交代结构。块状构造。主要矿物为斜长石 (65—70%)、石英 (25—30%)。次要矿物有微斜长石及黑云母。

(二) 副矿物特征

对比各期次副矿物有如下规律:

1. 早期的混合岩或受混合的石英闪长岩常含铁铝榴石, 说明富铝。
2. 部分闪长岩的榍石、磁铁矿、磷灰石含量甚高, 其原岩可能为基性侵入岩。
3. 泰山早期花岗质岩体的锆石晶形多为较简单的 {100}、{111} 和 {100}、{110}、{111} 聚形, 它们与岩体含 Na 高、含 K 低有关, 晚期花岗质岩体的锆石, 除简单晶形外, 常含具 {100}、{110}、{111}、{131}、{311} 的复杂聚形, 它们与含 K 较高有关。
4. 闪长岩及超镁铁岩的锆石颜色简单, 主要为紫褐, 为岩浆成因。二长花岗岩及奥长花岗岩类锆石颜色复杂, 说明其成因复杂。
5. 多数锆石具熔蚀及气化膜, 晶形完整, 金刚光泽, 说明它们多数经历过岩浆阶段。

四、杂岩体的岩石化学及地球化学特征

(一) 岩石化学特征及对比 (表 1—3, 图 2—7)

1. 根据岩石化学的 C·I·P·W 标准矿物分子计算投影在巴克爾分类图 (图 2) 上可看出, 早期的混合岩及奥长花岗岩均投影在奥长花岗岩区, 而晚期的花岗质岩石则投影在花岗岩区, 有由早至晚, 由奥长花岗岩向花岗岩演化的趋势。由于 An 相对于 Ab 较低, 所以, 不出现英云闪长岩或花岗闪长岩。

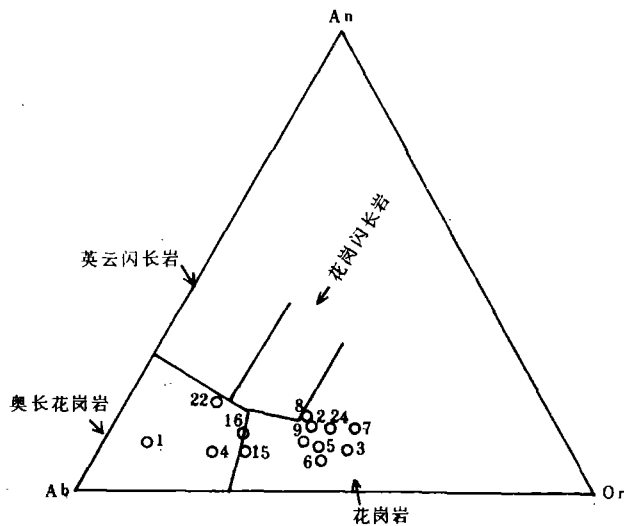


图 2 An—Ab—Or 巴克爾分类图解 (限岩石中 SiO₂ > 63%)

2. 从 A-C-F 图解 (图 3) 投影来看, 晚期的花岗质岩石多为 S 型, 与地壳的改造有关, 而早期的混合岩多为 I 型, 说明基体来源于岩浆岩。

3. 从 Na-K-Ca 图解 (图 4) 投影来看, 奥长质的花岗岩或混合岩类投影到交代花岗岩区, 而二长花岗岩类则投影到岩浆花岗岩区。

表1 徂徕山—新甫山地区太古宙

期	次	岩性	样数	序号	化学分析结果									
					SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
晚 期 泰 山	大龙门	中粒奥长花岗岩	1	1	75.06	0.06	13.70	0.48	1.22	0.01	0.59	1.08	5.46	0.83
	马场	细粒二长花岗岩	1	2	72.56	0.13	13.91	0.33	3.12	0.025	0.81	1.70	3.413	3.963
	傲	二长花岗岩	2	3	72.56	0.07	13.85	0.65	2.24	0.031	0.48	1.16	3.33	5.22
		雾迷混合岩	1	4	71.07	0.13	14.66	0.46	3.06	0.02	0.59	1.89	5.85	2.675
	徂	混合二长花岗岩①	2	5	73.07	0.15	13.87	0.39	1.57	0.03	0.33	1.20	3.76	4.66
		斑状混合二长花岗岩	3	6	72.07	0.16	13.97	0.45	1.66	0.05	0.69	1.35	3.67	4.76
		混合二长花岗岩②	7	7	71.88	0.20	14.16	0.52	1.56	0.037	0.69	1.55	3.74	4.88
	山	混合二长花岗岩③	1	8	71.61	0.25	14.77	0.04	2.42	0.025	0.74	1.89	3.263	3.763
		傲徂山次平均	16	9	72.04	0.16	14.21	0.418	2.085	0.032	0.587	1.51	3.936	4.326
	中 天 门	中粒石英闪长岩③	2	10	56.6	1.14	15.88	4.22	4.69	0.093	3.11	5.39	4.02	2.461
		中粒石英闪长岩④	2	11	53.58	0.85	15.47	2.33	7.64	0.14	5.32	7.76	3.19	0.93
		中天门次平均	4	12	55.09	0.995	15.68	3.28	6.17	0.117	4.22	6.58	3.605	1.696
	普照寺	细粒暗色闪长岩③	2	13	53.07	1.77	16.27	3.77	5.32	0.13	3.59	6.04	4.48	2.72
早 期 泰 山	下洪河	透闪片岩	1	14	47.61	0.13	6.68	1.64	9.11	0.075	20.53	8.60	0.00	0.013
	富 山 — 任 家 庄	细粒条痕状混合奥长花岗岩	2	15	73.16	0.11	14.51	0.52	1.95	0.03	0.38	0.96	4.38	2.83
		条痕状混合质奥长花岗岩	3	16	71.97	0.13	15.60	0.83	1.16	0.027	0.41	1.81	4.64	2.81
		富山—任家庄次平均	5	17	72.57	0.12	15.06	0.58	1.56	0.028	0.39	1.39	4.51	2.82
	西 长 安	片麻状石英闪长岩③	1	18	53.76	0.60	19.40	2.09	3.58	0.08	4.40	7.12	5.00	1.38
		片麻状石英闪长岩①	1	19	54.22	1.28	15.91	3.55	5.39	0.14	3.07	4.62	4.45	2.8
		西长安次平均	2	20	53.99	0.94	17.66	2.82	4.49	0.11	3.74	5.87	4.73	2.09
	东石棚	蛇纹岩	3	21	38.45	0.14	3.10	6.39	2.20	0.048	36.73	0.30	0.18	0.034
	宋家沟	条痕状混合岩	1	22	72.06	0.13	14.94	1.49	0.81	0.02	0.68	2.27	4.32	1.88
	麻塔	角闪石岩	1	23	52.07	0.35	5.14	2.09	6.94	0.18	16.96	12.39	0.64	0.38
		前寒武纪花岗岩		24	71.06	0.48	14.10	1.46	1.63	0.18	0.59	1.97	3.24	4.50
		闪长岩(戴里)		25	56.77	0.84	16.67	3.16	4.40	0.13	4.17	6.74	3.39	2.12
		超基性岩(黎饶)		26	43.67	0.90	4.53	4.22	7.77	0.25	25.34	8.79	0.90	0.41

各期次岩体岩石化学数值一览表

果 (%)				C、I、P、W 标准矿物数值													备注	
CO ₂	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	总量	Ap	Ilm	Mt	Or	Ab	An	Hy			En	Hm	Q	C		Di
										En	Fs	Hy						
	0.04	0.82	99.8	0.09	0.11	0.70	4.91	41.20	5.10			3.23			37.93	1.95		
	0.048	0.42	100.42	0.11	0.24	0.47	23.40	28.90	8.10			7.30			34.00			
	0.033	0.29	99.914	0	0	0.92	30.61	27.79	5.57	1.107	3.56				28.94	0.71		
	0.073	0.24	100.7	0.34	0.15	0.69	16.14	49.8	5.60			4.52			20.70		2.65	
	0.05	0.37	99.45	0	0.15	0.46	27.27	31.46	5.84	0.70	2.37				29.72	0.51		
0.02	0.067	0.57	99.95	0	0.15	0.70	28.38	31.46	3.89	1.61	2.64				28.16	1.12		
0.03	0.089	0.47	99.92	0	0.46	0.70	28.38	23.07	7.79	1.61	1.98				32.36	1.53		
	0.128	0.73	99.629	0.30	0.47	0.06	22.30	27.60	8.50			5.90			39.50			
0.008	0.073	0.445	99.83	0.34	0.31	0.70	25.60	33.03	7.24	1.31	3.04				27.44	0.31		
	0.756	1.74	100.1	0.34	2.13	6.02	13.92	34.08	18.08	2.55	1.05	7.62			8.46		7.08	
	0.24	1.34	98.79	0.34	1.52	3.24	5.57	26.74	25.03	2.60	2.49	18.81			5.22		10.31	
	0.498	1.54	99.471	3.03	1.67	4.63	9.46	30.41	21.69	1.90	1.31	13.60			9.48		6.58	
	1.01	1.17	99.24	1.02	3.34	5.33	16.15	38.19	16.13	1.90	0.79	9.80			1.86		5.59	
4.52	0.018	4.08	102.98	0	0.15	2.31	0	0	18.07	7.30	1.97	56.82			-2.94		19.50	
	0.039	0.67	99.539	0	0.15	0.69	16.70	36.71	4.45	0.70	2.94				33.45	2.65		
	0.05	0.7	100.137	0	0.15	1.16	16.70	38.80	8.90	0.10	1.19				29.96	1.70		
	0.045	0.69	99.863	0	0.15	0.93	16.70	38.28	6.68	0.70	2.11				31.14	2.04		
0.08	0.17	1.91	99.57	0.40	1.10	3.00	8.15	42.30	26.40			13.30			4.60			
	1.61	1.99	98.51	3.81	2.47	5.15	16.55	37.65	12.40			12.79			12.27	1.01		
0.04	0.89	1.95	99.32	1.01	1.67	3.94	11.69	39.84	21.14	0.60	0.39	12.82			2.82		1.11	
	0.007	11.96	99.539	0	0.15	9.03	0	1.05	7.79	91.00	0.92				2.70			
0.06	0.07	1.18	99.91	0	0.15	2.08	10.57	36.18	10.86	1.51	0.40				34.50	1.80		
0.04	0.04	1.22	99.28	0	0.61	4.17	1.67	5.24	10.29	15.60	3.54	32.62			2.94		40.30	
0.69		0.10	100.00	0.20	0.90	2.10	26.6	27.40	9.10			2.80			29.60	0.60		
	0.25	1.36	100.00	0.60	1.60	4.60	12.50	28.70	24.00			11.70			8.70		6.30	
0.27	0.11	2.84	100.00	0.25	1.71	6.12	2.42	7.61	7.11			5.68					26.93	
																		OL 38.71
																		CC 0.61

表 2 岩石化学参数表 (一)

期	次	岩 性	样 数	序 号	$\frac{Al_2O_3}{Na_2O+K_2O+CaO}$	$\frac{C}{ACF}$	$\frac{K}{K+Na}$	$\frac{K}{Na}$	$\frac{K_2O+Na_2O}{Al_2O_3}$	$\frac{Fe^{3+}}{Fe^{3+}+Fe^{2+}}$	岩石类型
晚 秦 山 期	大龙门 马 场	中粒奥长花岗岩	1	1	1.15	0.22	0.09	0.10	0.72	0.26	铝过饱和
		细粒二长花岗岩	1	2	1.07	0.23	0.43	0.76	0.71	0.09	铝过饱和
		二长花岗岩	2	3	1.05	0.22	0.51	1.02	0.80	0.21	铝过饱和
	傲 徕 山	雾迷混合岩	1	4	0.91	0.30	0.23	0.31	0.86	0.12	正 常
		混合二长花岗岩(莲花山)	2	5	1.02	0.29	0.45	0.82	0.82	0.21	铝过饱和
	中 天 门	斑状混合二长花岗岩	3	6	1.10	0.18	0.46	0.85	0.81	0.21	铝过饱和
		混合二长花岗岩(雌山)	7	7	0.99	0.30	0.46	0.87	0.81	0.21	正 常
		混合二长花岗岩(黄石崖)	1	8	1.14	0.25	0.43	0.76	0.64	0.03	铝过饱和
		傲徕山次平均	16	9	1.00	0.28	0.43	0.76	0.78	0.17	正 常
	普照寺 下洪河	中粒石英闪长岩(水泉)	2	10	0.83	0.32	0.29	0.40	0.58	0.44	正 常
		中粒石英闪长岩(寨家庄)	2	11	0.76	0.30	0.16	0.19	0.41	0.21	正 常
		中天门次平均	4	12	0.79	0.31	0.23	0.30	0.50	0.33	正 常
		细粒暗色闪长岩	2	13	0.78	0.32	0.28	0.40	0.64	0.40	正 常
	富 山 一 任家庄	透闪片岩	1	14	0.43	0.18	1.00	0.40	0.0075	0.14	正 常
		细粒条痕状混合奥长花岗岩	2	15	1.19	0.19	0.30	0.42	0.71	0.18	铝过饱和
		条痕状混合质奥长花岗岩	3	16	1.12	0.30	0.29	0.40	0.69	0.38	铝过饱和
富山一任家庄次平均		5	17	1.16	0.25	0.30	0.41	0.70	0.28	铝过饱和	
片麻状石英闪长岩(西长安)		1	18	0.85	0.28	0.16	0.19	0.51	0.34	正 常	
西 长 安	片麻状石英闪长岩(桂子铺)	1	19	0.85	0.29	0.29	0.42	0.65	0.38	正 常	
	西长安次平均	2	20	0.85	0.29	0.23	0.31	0.58	0.36	正 常	
东石棚 宋家沟	蛇纹岩	3	21	3.00	0.006	0.14	0.17	0.12	0.72	铝过饱和	
	条痕状混合岩	1	22	1.11	0.33	0.22	0.28	0.63	0.62	铝过饱和	
麻 塔	角闪石岩	1	23	0.22	0.29	0.29	0.40	0.28	0.21	正 常	
	前寒武纪花岗岩	24	24	1.03	0.31	0.48	0.92	0.73	0.44	铝过饱和	
	闪长岩(戴里)	25	25	0.84	0.32	0.29	0.41	0.46	0.40	正 常	
	超基性岩(蒙碓) 成因类型	26	26	0.25	0.17	0.21	0.27	0.43	0.32	正 常	
秦 山 期	重溶型花岗岩			1.03-1.07	0.23-0.28	0.47-0.51	1.10	0.78-0.88	0.27-0.39	铝过饱和	
				0.92-1.02	0.25-0.32	0.37-0.47		0.57-0.74	0.29-0.41	正常-铝过饱和	
	交代型花岗岩			0.99	0.24-0.25	0.42	0.16	0.95-0.96	0.52-0.55	正 常	
				1.03-1.19	0.20-0.35	0.22-0.58	2.20	0.50-0.70	0.13-0.39	正常-铝过饱和	

表3 岩石化学参数表(二)

期	次	岩性	样数	序号	组合指数 (b)	碱度率 (A·R)	含铝性	酸度	基度	钠钾比	氧化率	分异指数 (DI)	
晚	大龙门 马场	中粒奥长花岗岩	1	1	1.23	2.48	1.31	37.97	2.54	9.78	0.39	84.04	
		细粒二长花岗岩	1	2	1.84	2.79	1.30	20.93	4.71	1.31	0.11	86.30	
		二长花岗岩	2	3	2.47	3.65	1.19	27.96	3.71	0.98	0.29	87.34	
	徂徕山	微	霞石混合岩	1	4	2.58	3.13	1.19	26.63	4.75	3.27	0.15	86.64
			混合二长花岗岩(莲花山)	2	5	2.36	3.53	1.16	38.28	2.73	1.22	0.25	88.00
		山	斑状混合二长花岗岩	3	6	2.45	3.45	1.17	30.91	3.13	1.18	0.28	88.00
			混合二长花岗岩(雌山)	7	7	2.57	3.43	1.16	31.58	3.20	1.15	0.33	88.00
			混合二长花岗岩(黄石崖)	1	8	1.73	2.46	1.43	26.5	3.78	1.33	0.02	89.40
			微徂山次平均	16	9	2.35	3.21	1.20	28.34	3.55	1.39	0.20	86.07
			中粒石英闪长岩(水泉)	2	10	3.09	1.88	1.36	5.79	13.16	2.50	0.90	56.46
早	中天门	中粒石英闪长岩(秦家庄)	2	11	1.60	1.43	1.58	3.82	16.51	5.20	0.31	37.53	
		中天门次平均	4	12	2.32	1.66	1.46	4.81	14.84	3.22	0.53	49.35	
	普照寺 下洪河	细粒暗色闪长岩(春阳坡)	2	13	5.15	1.95	1.24	5.21	13.81	2.52	0.72	56.20	
		透闪片岩	1	14	0.000037	1.00	1.69	1.21	25.31	0	0.18	87.76	
	富山— 任家庄	细粒条痕状混合奥长花岗岩	2	15	1.72	2.75	1.35	33.81	3.14	2.37	0.27	87.76	
		条痕状混合质奥长花岗岩	3	16	1.92	2.50	1.35	39.14	3.10	2.50	0.72	85.46	
		富山—任家庄次平均	5	17	1.82	2.63	1.36	36.48	3.12	2.43	0.44	86.12	
	西长安	片麻状石英闪长岩(西长安)	1	18	3.78	1.64	1.98	5.88	11.43	5.40	0.58	55.05	
		片麻状石英闪长岩(洼子铺)	1	19	4.69	2.09	1.27	5.67	12.785	2.40	0.66	66.47	
		西长安次平均	2	20	4.24	1.87	1.40	5.78	12.11	3.46	0.63	54.35	
期	东石棚 宋家沟	蛇纹岩	3	21	-0.01	1.13	6.00	0.63	27.11	3.00	2.91	81.25	
		条痕状混合岩	1	22	1.32	2.13	1.44	30.09	3.78	3.45	1.84	81.25	
	麻塔	角闪石岩	1	23	0.12	1.12	0.73	1.65	23.71	2.50	0.30	9.85	
		前寒武纪花岗岩	24	24	2.14	2.86	1.27	24.71	4.37	1.08	0.90	83.60	
		闪长岩(戴里)	25	25	2.21	1.62	1.55	5.36	13.02	2.50	0.72	49.90	
		超基性岩(黎晓)	26	26	2.56	1.22	0.76	0.97	29.06	3.75	0.54	83.60	

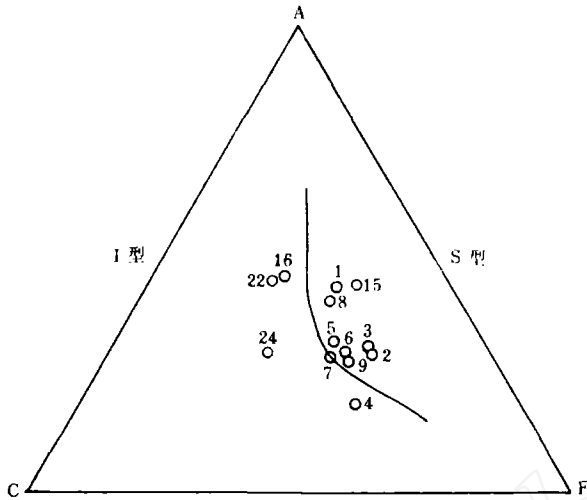


图3 A—C—F图解

西长安次闪长岩属碱性系列外, δ 均 < 3.3 , 为钙碱系列。

6. 从碱度率及 $K_2O + Na_2O$ 来看, 有由早到晚增加的趋势。以角闪石岩、蛇纹岩、透闪片岩为起点形成三个小旋回。

7. 从 $\frac{K}{K+Na}$ 、 $\frac{K}{Na}$ 来看, 由老至新逐渐增加, 显示岩体中 K 含量逐渐增高的趋势。

8. 酸度值, 按三个旋回由下而上逐渐增高, 而基度值、钠钾比则相反。

9. 氧化率及 $Fe^{3+}/(Fe^{3+} + Fe^{2+})$ 表现为由老到新逐渐变小。

10. 分异指数 DI 显示有三个小旋回, 各自由下而上逐渐增加。

11. 从 $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO)$ 来看, 每个旋回下部铝常为正常(不饱和), 而上部则

4. 从 Mg' -DI 图解(图 5)或 MgO -DI 图解(图 7)投影来看, Mg' 或 MgO 与 DI 为负相关, 随着 Mg' 或 MgO 的下降, DI 值逐渐增大, 岩石由中性→酸性演化, 分为两个不连续的投影区, 二者无过渡性, 说明它们是在不同的物理、化学条件下, 在不同的阶段形成的, 它们不具连续演化过程。

5. 从组合指数 δ 来看, 除普照寺次及

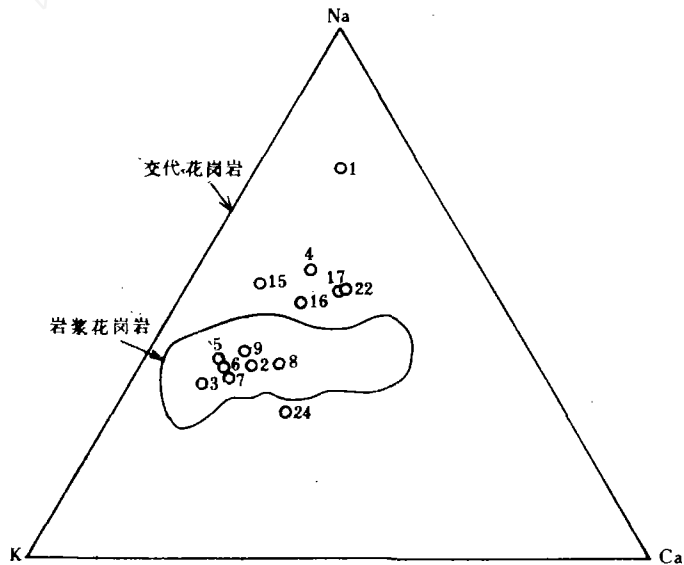


图4 Na—K—Ca 图解

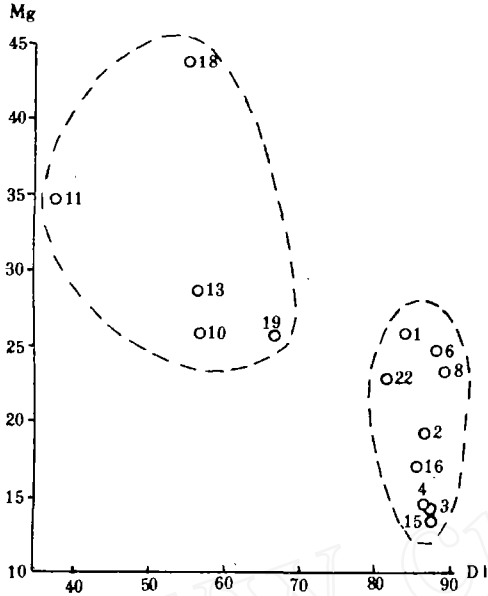


图 5 Mg'-DI 图解

常为铝过饱和。

12. 绝大多数花岗质岩石的 $Al_2O_3 / (Na_2O + K_2O + CaO) > 1$, 而 $(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$ 没有 > 0.9 的, 因此推论它们的成因为交代型和深熔型, 由于早期 $(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$ 低 (0.63—0.71), 而晚期的较高 (0.64—0.86), 故推论早期多为交代成因, 而晚期则以深熔型为主, 交代型为次。

13. 从 $\delta^{18}O-SiO_2$ 图解 (图 6) 投影来看, 二者成负相关, 闪长岩类及花岗岩类各自形成一个独立的分布区或一条分布线, 二者是在不同的物理化学环

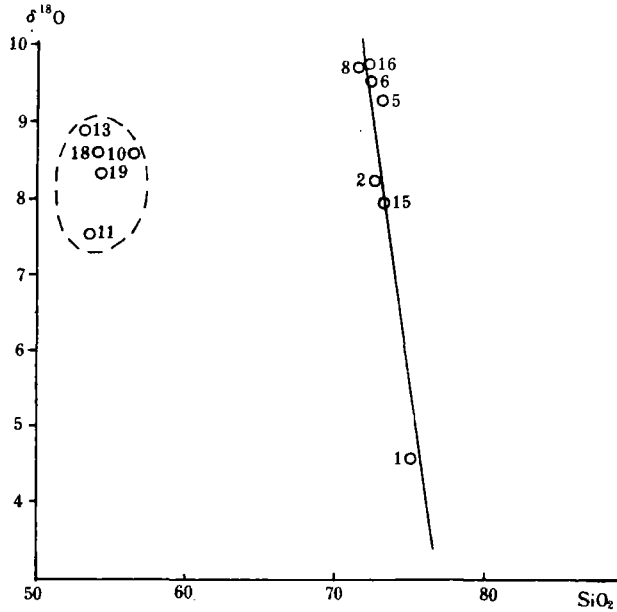


图 6 $\delta^{18}O-SiO_2$ 图解

境演化来的, 二者不具连续演化特征, 不是分异作用产物, 二者无成因联系。

表4 徂徕山—新甫山地区各期

时代	期	次	岩性	样数	序号	元素					
						Ba	Be	As	P	Mn	Pb
晚太古代	泰山晚期	大龙门	奥长花岗岩	2	1	575	1.75	3.0	<500	425	26
		马场	细粒二长花岗岩	1	2	4000	2.0	3.0	<500	500	40
		徂徕山	二长花岗岩(卧虎山)	4	3	1475	3.75	<3.0	320	362.5	50
			混合二长花岗岩(黄石崖)	3	4	1516.7	2.4	2.7	886.7	583.3	20
			混合二长花岗岩(莲花山)	1	5	1500	2.0	3.0	500	800	25
			斑状混合二长花岗岩(雌山)	1	6	1500	4.0	3.5	500	420	30
			雾迷混合岩(魏家峪)	2	7	1450	2.25	3.25	875	575	33.5
			徂徕山次平均	11	8	1488	2.88	2.79	616.3	548.2	31.7
		中天门	中粒黑云石英闪长岩(水泉)	1	9	4500	2.4	3.0	4500	1100	20
			中粒黑云石英闪长岩(秦家庄)	4	10	800	<2.0	3.0	1875	800	9.5
	中天门次平均		5	11	2650	1.7	3.0	3187.5	950	14.75	
	普照寺	细粒暗色黑云闪长岩	1	12	2000	2.3	4.0	3200	1100	11	
	泰山早期	富山一任家庄	细粒条痕状混合奥长花岗岩	1	13	700	<2.0	3.0	500	400	8.0
			条痕状混合质奥长花岗岩	4	14	1775	2.375	3.0	445	525	25.5
			富山一任家庄次平均	5	15	1237.5	1.69	3.0	472.5	462.5	16.75
		西长安	片麻状石英闪长岩	2	16	675	<2.0	3.0	925	1000	6.5
			世界酸性岩		17	830	5.5	1.5	700	600	20
			世界中性岩		18	650	1.8	2.4	1600	1200	15
			世界基性岩		19	300	0.4	2.4	1400	2000	8
			世界超基性岩		20	1	0.2	0.5	170	1500	0.1

续表4 徂徕山—新甫山地区各期

时代	期	次	岩性	样数	序号	元素					
						Zn	Co	Sr	Sb	W	Nb
晚太古代	泰山晚期	大龙门	奥长花岗岩	2	1	20	4.0	640	<0.5	<3.0	8.5
		马场	细粒二长花岗岩	1	2	150	3.0	250	<0.5	<3.0	13
		徂徕山	二长花岗岩(卧虎山)	4	3	33.75	2.875	192.5	<0.5	<3.0	10.25
			混合二长花岗岩(黄石崖)	3	4	85	6.3	156.7	<0.5	<3.0	11.7
			混合二长花岗岩(莲花山)	1	5	40	8.0	800	<0.5	<3.0	<10
			斑状混合二长花岗岩(雌山)	1	6	45	4.0	150	<0.5	<3.0	10
			雾迷混合岩(魏家峪)	2	7	35	11	500	<0.5	<3.0	<10
			徂徕山次平均	11	8	47.75	6.44	359.8	<0.5	<3.0	8.39
		中天门	中粒黑云石英闪长岩(水泉)	1	9	200	13	800	<0.5	<3.0	10
			中粒黑云石英闪长岩(秦家庄)	4	10	68.75	11.75	487.5	<0.5	<3.0	<10
	中天门次平均		5	11	134.38	12.38	643.75	<0.5	<3.0	7.5	
	普照寺	细粒暗色黑云闪长岩	1	12	140	17	550	<0.5	<3.0	12	
	泰山早期	富山一任家庄	细粒条痕状混合奥长花岗岩	1	13	25	3.5	700	<0.5	<3.0	<10
			条痕状混合质奥长花岗岩	4	14	52.5	4.5	1175	<0.5	<3.0	<10
			富山一任家庄次平均	5	15	38.75	4.0	937.5	<0.5	<3.0	<10
		西长安	片麻状石英闪长岩	2	16	90	13.5	900	<0.5	<3.0	<10
			世界酸性岩		17	60	5	300	0.26	1.5	20
			世界中性岩		18	72	10	800	0.2	1	20
			世界基性岩		19	130	45	440	1	1	20
			世界超基性岩		20	30	200	10	0.1	0.1	1

次岩体微量元素一览表

含 量 (ppm)											
Sn	Th	Ga	Cr	Ni	Ti	Bi	Mo	V	Cu	Zr	Ag
1.6	35	13	18.5	11	1125	<0.3	0.35	13	32.5	220	0.04
1.2	40	14	25	13	2500	<0.3	0.4	14	30	250	0.05
0.95	32.5	10.5	22.5	10	2362.5	<0.3	0.875	17.5	22.6	176.25	0.065
0.9	21.7	13	17.3	12.3	3916.7	0.2	0.47	25	60	153.3	0.05
2.5	12	14	100	12	3800	0.3	0.3	12	25	30	0.05
3.0	12	12	30	12	3100	4.0	0.4	17	35	75	0.06
3.0	16.5	12.5	17.5	14	1700	0.3	0.35	24	25	175	0.04
2.07	18.94	12.4	37.5	12.1	2975.8	0.99	0.48	19.1	33.5	121.9	0.053
1.2	12	11	<15	13	11000	<0.3	0.5	75	60	220	0.07
1.425	7.5	13	52.5	32	6925	0.35	0.575	28.75	23.75	57.5	0.026
1.31	9.75	12	30	22.5	8962.5	0.25	0.538	51.88	41.88	138.75	0.048
1.1	10	12	23	18	9500	<0.3	0.6	80	60	210	0.04
1.2	15	14	15	12	1300	<0.3	0.4	15	10	70	0.03
2.25	17.5	12.75	16.25	11.75	2300	0.19	0.4	11.5	26.25	100	0.059
1.725	16.25	13.38	15.63	11.88	1800	0.17	0.4	13.25	18.13	85	0.045
1.4	7.5	13	17.5	11	6000	0.23	0.5	37.5	15	40	<0.03
3	18	20	25	8	2300	0.01	1	40	20	200	0.05
—	7	20	50	55	8000	0.01	0.9	100	35	260	0.07
1.5	3	18	200	160	9000	0.007	1.4	200	100	100	0.1
0.5	0.005	2	2000	2000	300	0.001	0.2	40	20	30	0.05

次岩体微量元素一览表

含 量 (ppm)											(ppb)	备 注
La	Li	Y	Sc	Cd	Tl	Ge	In	B	U	Yb	Au	
30.0	15	8.5	35	<0.5	0.75	0.75	<0.1	<10	3.5	1.0	0.8	光 谱 全 定 量
100	20	16	<5.0	<0.5	1.5	0.8	<0.1	<10	3.0	1.0	0.95	
45	27.5	13.5	<5.0	<0.5	1.375	0.675	<0.1	9.75	3.875	0.8	0.925	
36.7	26.7	14	4.7	<0.5	1.0	0.7	<0.1	<10	3.3	0.77	0.87	
60	50	<10	<5.0	<0.5	2.0	0.7	<0.1	<10	3.5	<0.5	0.85	
30	180	10	3.0	<0.5	3.0	0.6	<0.1	<10	3.0	1.2	3.00	
30	30	<10	4.75	<0.5	1.75	0.7	<0.1	<10	3.0	1.65	0.85	
40.34	62.84	9.5	3.49	<0.5	1.83	0.68	<0.1	5.95	3.34	0.93	1.299	
45	35	15	8.0	<0.5	1.2	0.7	0.3	<10	3.2	1.5	0.8	
<30	27.5	<10	16.75	<0.5	<1.0	0.85	0.075	80	3.0	2.0	0.9	
30	31.25	10	12.38	0.38	0.85	0.78	0.188	42.5	3.1	1.75	0.85	
45	40	14	14	0.5	<1.0	0.7	0.3	<10	3.0	1.5	0.85	
<30	20	<10	<5.0	<0.5	<1.0	0.7	<0.1	10	3.5	1.0	0.9	
23.75	40	<10	<5.0	<0.5	1.2	0.625	<0.1	<10	3.125	0.725	0.9	
19.38	30	<10	<5.0	<0.5	0.85	0.66	<0.1	7.5	3.31	0.86	0.9	
<30	20	<10	15	<0.5	0.75	0.8	<0.1	10	3.0	2.25	1.00	
60	40	34	3.0	0.1	1.5	1.4	0.26	15	3.5	4	4.5	维 诺 格 拉 多 夫
—	20	—	2.5	—	0.5	1.5	—	15	1.8(?)	—	—	
27	15	20	24.0	0.19	0.2	1.5	0.22	5	0.5	2	4	
—	0.5	—	5.0	0.05	0.01	1	0.013	1	0.003	—	5	

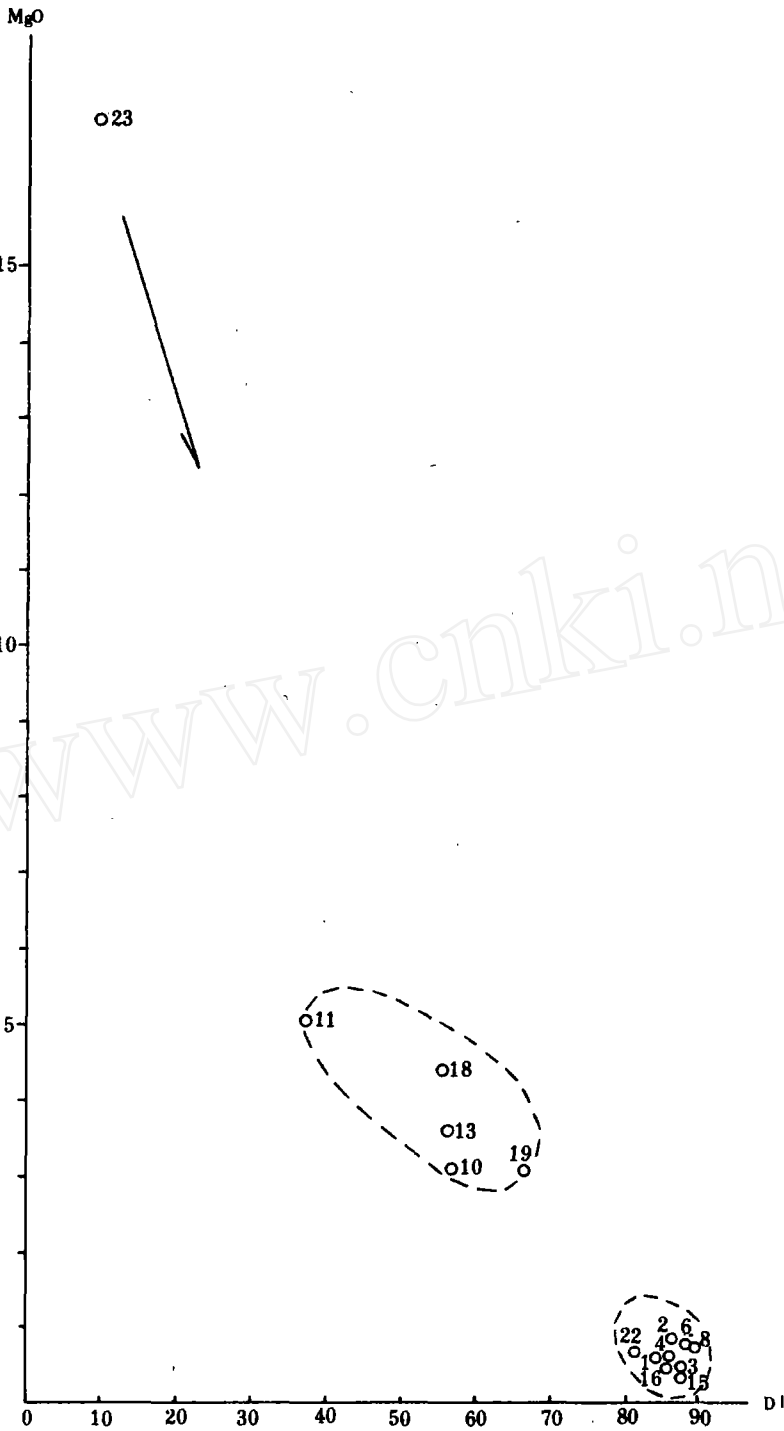


图7 MgO—DI 图解

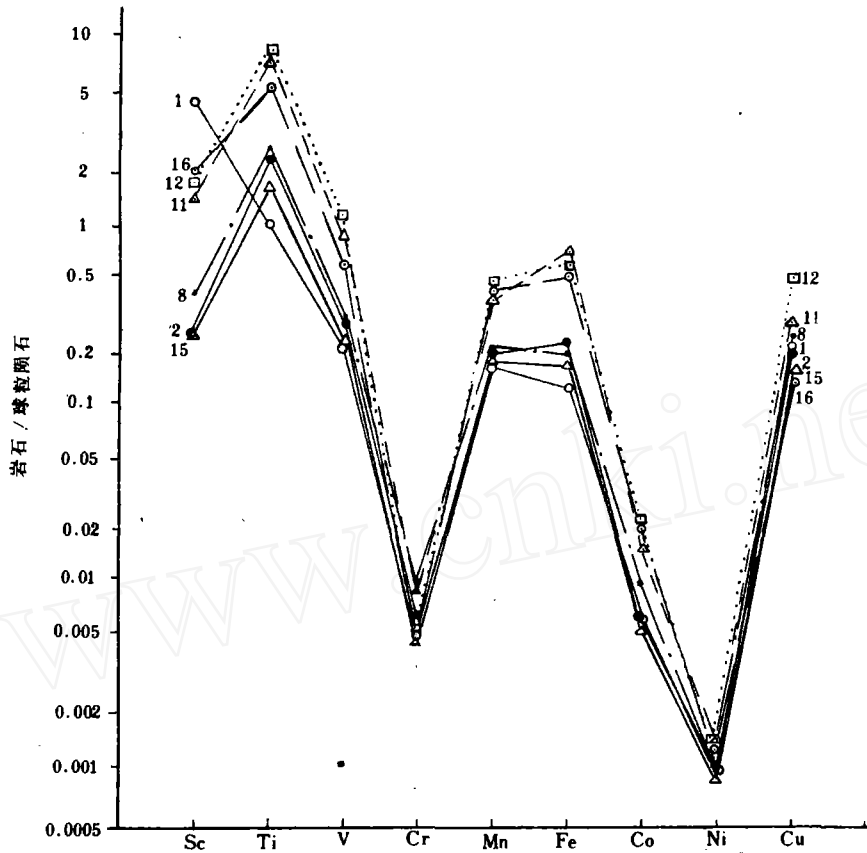


图 8 徂徕山—新甫山地区杂岩体科里尔图解

(二) 微量元素特征及对比(表 4, 图 8)

1. 从过渡元素的科里尔图解(图 8)来看, 曲线呈明显的 W 型, 形成 Cr, Ni 两个波谷, Ni 谷更低。第二旋回闪长岩与奥长花岗岩, 虽然曲线相似, 但离的较远, 说明在形成过程中, 过渡元素被贫化。第三旋回从闪长岩到花岗岩也有相似的现象, 曲线相似, 但花岗岩的过渡元素被大大贫化, 这种作用是由混合交代造成的。

2. 微量元素金在中酸性岩中含量为 0.8—1ppb, 大大低于世界酸性岩平均值 4.5ppb, 显示太古宙花岗岩金处于贫化状态。

3. 从 Th/U 比值来看, 基本稳定在 2.5—6.6 之间, 但有向晚期逐渐增高的趋势(变为 8.4—13.3), 因 U 在富 Si 岩石中集中, Th 在高碱岩石中集中, 比值的增高说明在花岗质

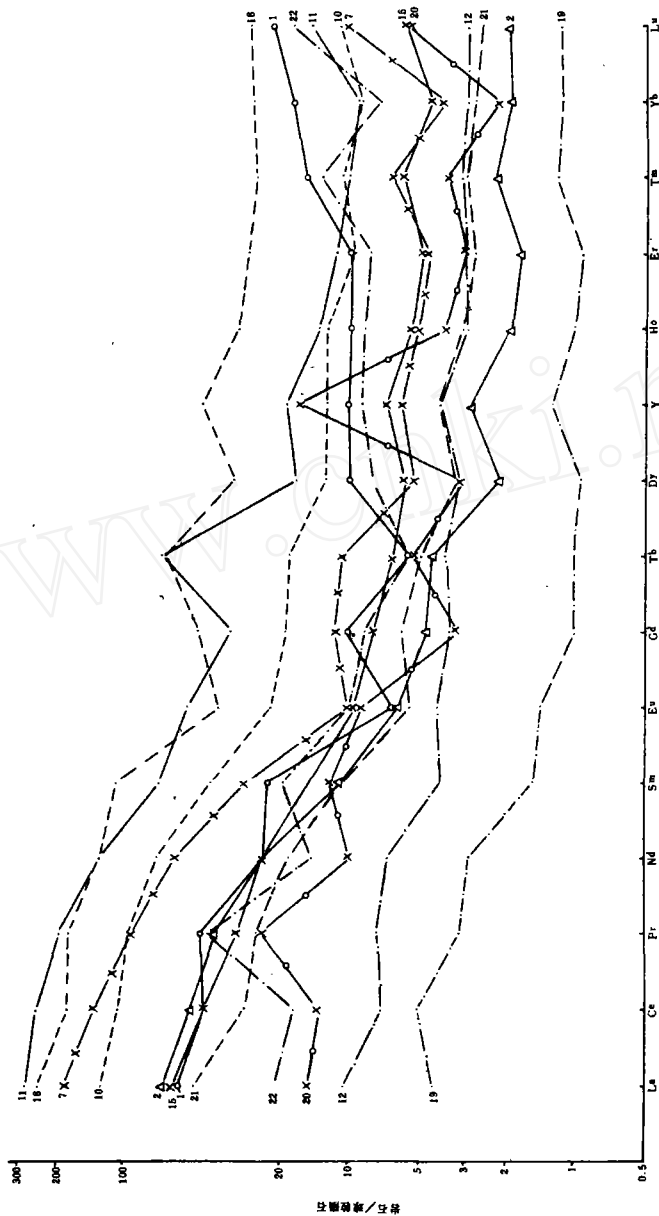


图9 徂徕山—新甫山地区杂岩体稀土分配曲线图

岩石的演化过程中,有碱质逐渐增加的趋势。也即形成花岗质岩石的混合交代作用,是由碱质的增加来完成的。

(三) 稀土配分特征及对比(表 5, 图 9—11)

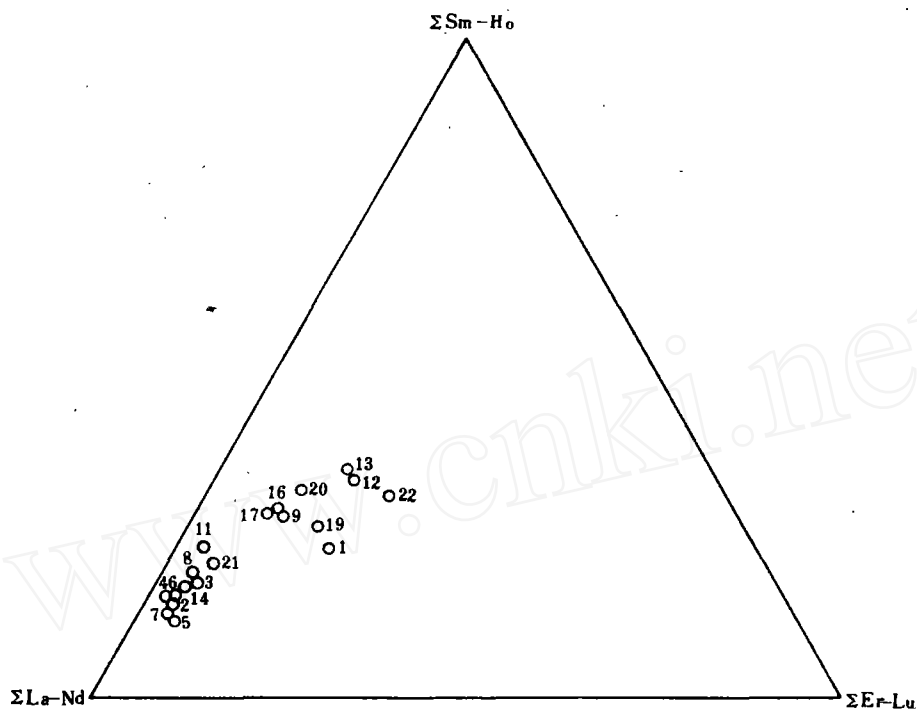


图 10 $\Sigma\text{La-Nd}-\Sigma\text{Sm-Ho}-\Sigma\text{Er-Lu}$ 图解
(序号同表 5)

1. 从稀土配分曲线(图 9)可以看出:条痕状混合岩的配分曲线与角闪石岩的曲线两端相似、平行,而中部曲线及 Eu 为互补,说明它们有成因上的联系,可能是通过变质分异作用产生中稀土元素的分馏从而形成上述曲线的差异。

2. 宋家沟次奥长花岗岩为较明显的 Eu 负异常,属深熔产物。

3. 任家庄—富山次奥长花岗岩,具平缓的凹形曲线,为混合产物。

4. 蛇纹岩与西长安次闪长岩,后段曲线相似,前段曲线及 Eu 为互补,说明它们有成因上的联系,通过岩浆分异作用,轻稀土及 Eu 产生分馏。

5. 透闪片岩与细粒暗色黑云闪长岩 Eu 由弱正异常逐渐变为弱负异常,成为互补,它们有成因上的联系,为岩浆分异作用产物,分异时 Eu 产生分馏。

6. 晚期的花岗质岩石多数具有明显的负 Eu 异常,为深熔作用产物,而部分平缓的凹形曲线为花岗质化作用的结果。

7. 从 $\Sigma\text{La-Nd}$ 、 $\Sigma\text{Sm-Ho}$ 、 $\Sigma\text{Er-Lu}$ 图解(图 10)投影来看,由早期岩体向晚期岩体发展时,稀土组成由富集中、重稀土向富集轻稀土演化。

表5 徂徕山—新甫山地区各期

年代	期	次	岩石名称	样品数	序号	分析结果 (ppm)		
						La	Ce	Pr
太 古 代	晚 山 期	大龙门	细粒奥长花岗岩	1	1	18	34	5.3
		马场	中细粒二长花岗岩	1	2	20.69	40.94	4.50
		徂 徕 山	二长花岗岩	2	3	50.18	103.83	10.88
			雾迷混合岩	1	4	32.99	60.34	6.92
			斑状混合二长花岗岩	1	5	97	170	13.5
			混合二长花岗岩(黄石崖)	1	6	49.52	90.71	10.66
			徂徕山次平均	5	7	57.42	106.22	10.49
		中 天 门	中粒黑云石英闪长岩(水泉)	1	8	57.87	119.16	14.50
			中粒黑云石英闪长岩(秦家庄)	1	9	22	52	7.5
			中天门次平均	2	10	39.94	85.58	11.00
	普照寺	细粒暗色黑云闪长岩	1	11	85	197	22	
	古 山 早 期	下洪河	透闪片岩	1	12	3.31	5.82	0.87
		富山— 任家庄	细粒条痕状混合奥长花岗岩	1	13	6.32	13.26	1.78
			条痕状混合质奥长花岗岩	3	14	31.73	57.57	5.59
			富山—任家庄次平均	4	15	19.03	35.42	3.69
			片麻状石英闪长岩(西长安)	1	16	24	44	6.9
		西长安	片麻状石英闪长岩(洼子铺)	1	17	125	245	33
			西长安次平均	2	18	74.5	144.5	19.95
		东石棚	蛇纹岩	1	19	1.34	4.06	0.37
		宋家沟	条带状混合岩	1	20	4.8	11	2.8
			奥长花岗岩(砾石)	1	21	15.45	23.34	3.16
			角闪石岩	1	22	6.7	14	3.9
李德球粒陨石值						0.315	0.813	0.115

续表5 徂徕山—新甫山地区各期

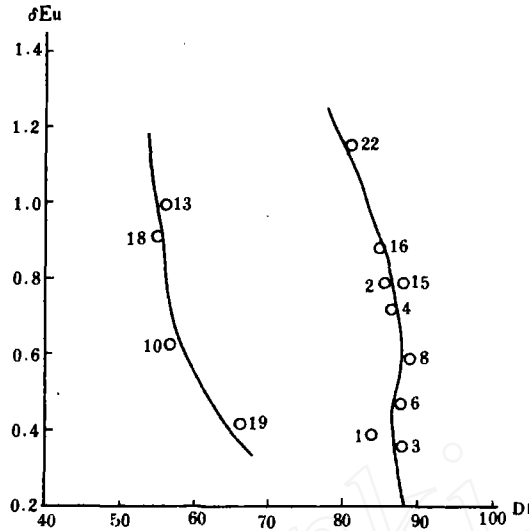
年代	期	次	岩石名称	样品数	序号	分析结果 (ppm)		
						$\sum_{(REE)}^{TR}$	$\sum_{(LREE)}^{Ce}$	$\sum_{(HREE)}^{Y}$
太 古 代	晚 山 期	大龙门	细粒奥长花岗岩	1	1	160		
		马场	中细粒二长花岗岩	1	2	108.26	99.28	8.98
		徂 徕 山	二长花岗岩	2	3	279.04		
			雾迷混合岩	1	4	163.50	151.34	12.16
			斑状混合二长花岗岩	1	5	320		
			混合二长花岗岩(黄石崖)	1	6	249.87	228.96	20.91
			徂徕山次平均	5	7	253.1		
		中 天 门	中粒黑云石英闪长岩(水泉)	1	8	344.10	302.34	41.76
			中粒黑云石英闪长岩(秦家庄)	1	9	240		
			中天门次平均	2	10	292.05		
	普照寺	细粒暗色黑云闪长岩	1	11	470			
	古 山 早 期	下洪河	透闪片岩	1	12	29.78	17.88	11.90
		富山— 任家庄	细粒条痕状混合奥长花岗岩	1	13	63.12	36.35	26.77
			条痕状混合质奥长花岗岩	3	14	162.15		
			富山—任家庄次平均	4	15	112.64		
			片麻状石英闪长岩(西长安)	1	16	200		
		西长安	片麻状石英闪长岩(洼子铺)	1	17	910		
			西长安次平均	2	18	555		
		东石棚	蛇纹岩	1	19	13.17	9.47	3.70
		宋家沟	条带状混合岩	1	20	110		
			奥长花岗岩(砾石)	1	21	78.84	66.22	12.62
			角闪石岩	1	22	130		
李德球粒陨石值								

次岩体稀土含量及数值表

分 析 结 果 (ppm)												
Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	Sc
14	4.3	0.46	2.6	<0.5	3.2	0.72	2.1	0.51	2.5	0.71	15.3	
14.02	2.08	0.438	1.161	0.201	0.692	0.136	0.376	0.075	0.396	0.064	4.26	
31.34	5.2	0.487	2.92	0.96	1.603	0.336	0.96	0.209	1.014	0.304	9.79	
21.60	3.59	0.698	2.158	0.317	1.143	0.194	0.432	0.075	0.348	0.060	5.29	
52	8.3	0.99	3.9	<0.5	2.0	0.54	1.4	0.41	0.83	0.84	10	
33.77	5.37	0.827	2.879	0.463	1.876	0.359	0.944	0.166	0.929	0.142	9.43	
34.68	5.62	0.75	2.96	0.503	1.66	0.357	0.934	0.215	0.78	0.337	8.63	
50.18	8.87	1.525	5.687	0.842	3.837	0.712	1.822	0.300	1.615	0.238	19.26	
32	6.3	1.6	4.1	0.87	4.1	1.09	2.1	0.41	2.0	0.48	18	
41.09	7.59	1.563	4.894	0.856	3.969	0.901	1.961	0.355	1.806	0.359	18.63	
76	13.3	3.7	8.6	3.2	5.5	0.95	2.4	0.34	1.85	0.48	28	
3.94	0.74	0.303	0.917	0.176	1.032	0.215	0.640	0.109	0.614	0.096	5.93	
6.78	1.76	0.468	1.941	0.364	2.289	0.469	1.324	0.208	1.265	0.177	13.82	
21.55	3.98	0.91	2.14	0.232	1.31	0.312	0.729	0.179	0.5	0.192	7.25	
14.17	2.87	0.689	2.041	0.298	1.799	0.391	1.027	0.194	0.883	0.185	10.54	
30	6.2	1.6	4.2	0.91	4.1	0.072	2.0	0.38	1.7	0.40	18	
≈120	35	3.8	18.5	5.1	17	3.7	1.0	1.3	9.2	1.35	113	
75	20.6	2.7	11.35	3.01	10.55	2.21	6	0.84	5.45	0.88	65.5	
1.72	0.29	0.102	0.259	0.047	0.300	0.072	0.195	0.040	0.236	0.037	1.84	
5.8	2.3	0.64	0.87	<0.5	1.0	0.27	0.64	0.12	0.44	0.17	25	
10.97	2.03	0.386	1.507	0.2281	1.109	0.212	0.588	0.100	0.567	0.084	5.96	
8.6	3.7	0.72	2.2	<0.5	2.5	0.6	1.7	0.44	1.5	0.57	13	
0.597	0.192	0.0722	0.259	0.0473	0.325	0.0723	0.213	0.0333	0.208	0.0323	1.5	

次岩体稀土含量及数值表

(La/Yb) _N	Sm/Nd	Eu/Sm	Eu/Eu*	∑Ce/∑Y	La/Sm
4.75	0.307	0.107	0.393		4.19
34.57	0.148	0.211	0.793	11.056	9.95
32.64	0.166	0.094	0.352		9.65
62.71	0.166	0.194	0.716	12.446	9.19
77.18	0.160	0.119	0.470		11.69
35.17	0.159	0.154	0.586	10.950	9.22
48.61	0.162	0.133	0.511		10.21
23.67	0.177	0.172	0.620	7.240	6.52
7.26	0.197	0.254	0.911		3.49
14.61	0.185	0.206	0.741		5.26
30.35	0.175	0.278	1.000		6.39
3.56	0.188	0.409	1.137	1.503	4.47
3.30	0.260	0.266	0.778	1.358	3.59
41.97	0.185	0.229	0.869		7.99
14.21	0.203	0.240	0.836		6.63
9.33	0.207	0.258	0.914		3.87
8.97	0.291	0.108	0.415		3.57
9.03	0.275	0.131	0.495		3.62
3.76	0.169	0.352	1.124	2.559	4.62
2.90	0.397	0.278	1.155		2.09
17.97	0.185	0.190	0.659	5.247	7.61
2.95	0.43	0.195	0.718		1.81
					1.64

图 11 $\delta\text{Eu}-\text{DI}$ 图解

(序号同表 5)

8. 从 $\delta\text{Eu}-\text{DI}$ 图解(图 11)来看,闪长岩与花岗岩分别形成曲线排列在图的左右两边,说明它们不相过渡,有不同的成因。

(四)从($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)。与年龄值图解(图 12)判断成因

从投影来看闪长岩与徂徕山的混合二长花岗岩、任家庄的痕状混合质奥长花岗岩来自玄武岩源区,而马场细粒二长花岗岩为大陆壳产物。徂徕山混合二长花岗岩和任家庄混合质奥长花岗岩是混合岩,这就要求其脉体和基体均来自玄武岩源区。

五、杂岩体的生成时代

1. 杂岩体均被寒武系不整合覆盖,其生成时代属前寒武纪。

2. 麻塔次角闪石岩侵入于化马弯岩组,但不侵入雁翎关组,化马弯岩组的 Sm-Nd 等时年龄为 27—29 亿年,雁翎关组的 Sm-Nd 同位素年龄为 26.84 ± 1.65 亿年,因之角闪石岩生成时代介于二者之间为 26.84—29 亿年。宋家沟次奥长均质混合岩使角闪石岩受混合,但不影响雁翎关组,因之其生成时代亦为 26.84—29 亿年,较角闪石岩略晚。

3. 东石棚次蛇纹岩侵入于雁翎关组,其生成时代在 26.84 ± 1.65 亿年之后,被片麻状石英闪长岩($\text{Pb}-\text{Pb}$ 年龄 $26.282 \pm \begin{matrix} 0.700 \\ 0.736 \end{matrix}$ 亿年)侵入,其年龄值在 26.84 ± 1.65 与 $26.282 \pm \begin{matrix} 0.700 \\ 0.736 \end{matrix}$ 亿年之间。

4. 西长安次片麻状石英闪长岩侵入柳杭组,其 $\text{Pb}-\text{Pb}$ 等时年龄为 $26.282 \pm \begin{matrix} 0.700 \\ 0.736 \end{matrix}$ 亿

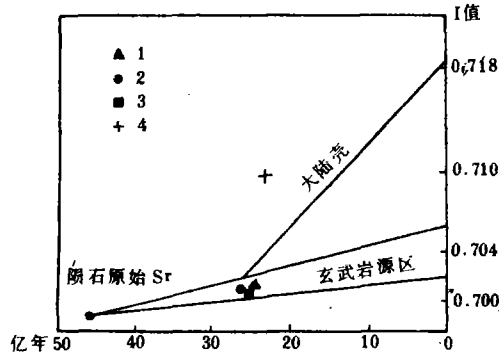


图 12 花岗岩成因分类的 I 值图解

1. 条痕状混合质奥长花岗岩(任家庄); 2. 中粒石英闪长岩;
3. 混合二长花岗岩(徂徕山); 4. 细粒二长花岗岩(马场)

年。

5. 任家庄混合质奥长花岗岩的 Rb—Sr 等时年龄为 25.86 亿年, 略低于较其更晚的徂徕山混合二长花岗岩 26.10 ± 0.14 亿年。任家庄次岩体俘虏西长安次片麻状石英闪长岩, 因之其生成时代当在 $26.282 \pm \begin{matrix} 0.700 \\ 0.736 \end{matrix}$ — 26.10 ± 0.14 亿年间, 略晚于片麻状石英闪长岩。

6. 水泉石英闪长岩 Rb—Sr 同位素年龄为 25.49 ± 1.67 亿年, 低于 26.10 ± 0.14 亿年的黄石崖混合二长花岗岩, 但闪长岩被混合二长花岗岩混合, 因之其生成时代也在 $26.282 \pm \begin{matrix} 0.700 \\ 0.736 \end{matrix}$ — 26.10 ± 0.14 亿年间, 略晚于任家庄次而早于徂徕山次岩体。

7. 徂徕山次混合二长花岗岩 Rb—Sr 同位素年龄为 26.10 ± 0.14 亿年。

8. 雌山混合二长花岗岩的 U—Pb 同位素年龄为 23.96 亿年。

9. 马场中细粒二长花岗岩的 Rb—Sr 同位素年龄为 23.30 ± 0.90 亿年。

综上所述, 泰山期杂岩体的生成时代, 早期为 29—26.10 亿年间, 晚期为 26.10—23.30 亿年间, 因之早期为晚太古代, 晚期可能延续到早元古代。

六、杂岩体的生成机制

(一) 构造机制

1. 徂徕山杂岩体

(1) 化马弯岩组受挤压形成 NW 向复背斜之后, 有角闪石岩侵入, 再受变质分异形成条带状混合岩, 受深溶形成均质混合岩。

(2) 徂徕山复背斜进一步发展出现纵张裂隙, 有细粒暗色闪长岩及中粒石英闪长岩侵入, 由于这两种闪长岩不单独侵入化马湾岩组, 可以推断: 中粒闪长岩侵入细粒闪长岩是

在深部进行。

(3)第二阶段花岗物质沿纵张裂隙对闪长岩进行注入交代,使闪长岩酸度增加直至形成混合二长花岗岩。

(4)混合二长花岗岩固结后,随着纵张裂隙及水平节理的发展而有马场中细粒二长花岗岩的侵入,形成磨菇状侵入体。

2. 新甫山杂岩体

(1)在新甫山复背斜形成后,先后有莲花峪片麻状石英闪长岩沿复背斜倾伏部位侵入及任家庄条痕状混合质奥长花岗岩沿纵张裂隙侵入。

(2)沿张裂隙形成傲徕山次的岩体。以卧虎山二长花岗岩为中心形成混合岩带向西依次为:莲花山混合二长花岗岩带、魏家峪雾迷混合岩带和任家庄条痕状混合质奥长花岗岩带。卧虎山为溶融带,向西温度逐渐降低。

(3)西长安片麻状石英闪长岩体、富山细粒条痕状混合奥长花岗岩体、秦家庄石英闪长岩体和雌山混合二长花岗岩的生成机制。

西长安岩体北宽南窄,富山岩体南宽北窄,雌山岩体又是北宽南窄。在狭窄处都有糜棱岩发育,是应力集中点,共有两处:一是西长安—西南峪一线,应力方向由西向东,造成中间压两边张。另一处则在安乐庄—贾庄一线,应力方向由东向西,造成南压北张。二者合为一对顺时针扭向的力偶。由于纵张是由西向东逐渐裂开,因此岩体的生成也由西向东,由老到新,依次为:西长安次片麻状石英闪长岩、富山次细粒条痕状混合奥长花岗岩、中天门次秦家庄中粒石英闪长岩、傲徕山次雌山混合二长花岗岩。表现出了明显的构造迁移作用。

(二)两个系列岩体的生成模式

本区的岩体可分为两个系列:超镁铁质岩—中性岩浆岩系列和花岗质岩系列。

1. 超镁铁质岩—中性岩浆岩系列

一般认为,超镁铁质岩为源于地幔的侵入岩。本区闪长岩较戴里闪长岩的 SiO_2 低而Fe、Ti含量高,角闪石中可见辉石残留,推测其原岩为基性岩,由于受交代作用而变为中性岩。超镁铁质岩及中、基性岩体与绿岩关系密切,为其超基—基性喷发岩的侵入相。超镁铁质岩与中性岩的稀土配分曲线相似, Eu 异常为互补,应为分异作用产物,石英闪长岩投影于玄武岩源区,它们应为地幔分异产物。

2. 花岗质岩石系列

这类岩石的成因要复杂得多,早期的花岗质岩石为高Na,低K的奥长花岗岩类,晚期以含K较高的二长花岗岩类为主,最后又有少量Na质交代形成奥长花岗岩,兹探讨成因如下:

(1)早期的条带状混合岩:在Na—K—Ca投影图(图4)上,投影在交代花岗岩区,在A—C—F投影图(图3)上,投影在I型花岗岩区。这类岩石的稀土配分曲线表现为Eu的弱正异常, Eu 及中稀土部分曲线与角闪石岩的有互补特征,说明在成因上它们是有联系的,可能有共同的岩源。推测:是变质分异并伴有交代作用的产物。

(2)任家庄—富山次的奥长花岗岩:镜下常见斜长石和石英组成的小条痕状注入交代脉。这种岩石在An—Ab—Or投影图(图2)上,投影在奥长花岗岩与花岗岩与分界线附近,

在 Na—K—Ca 投影图(图 4)上,投在交代花岗岩区。任家庄岩体在 A—C—F 投影图上,投影在 I 型花岗岩区,在 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)。一年龄图解上,投影入玄武岩源区,这种岩石可能是由基性岩受幔源 K, Si 物质交代而成。而富山岩体在野外可见黑云变粒岩、浅粒岩残留,在 A—C—F 图解上,投影入 S 型花岗岩区。上述说明,无论是岩浆岩区还是火山—沉积岩区通过交代作用都可产生这类奥长花岗岩。从石英—奥长石(有时还有钾长石)注入交代小条痕状脉的普遍生成可以看出,这类岩石是由 Na, Si(有时还有 K)交代生成。据残留体分析,在富山岩体,原岩可能为变粒岩、浅粒岩,而在任家庄岩体,原岩可能为中、基性岩体(闪长岩、辉长岩或斜长角闪岩类)。

(3) 徂徕山次岩体: 这期岩体岩石类型较多,一般含 K_2O 较高。含 Th 也较高,尤其是后期,较世界酸性岩平均值高出近一倍,说明这类岩石含丰富的放射性元素。它们在 Na—K—Ca 图解中,投影于岩浆岩区,在 A—C—F 图解中,投影入 S 型花岗岩区或 I 型与 S 型交界处,其原岩可能为泰山群火山—沉积变质岩,也可能是闪长岩类。基体含 K, Th 低(K_2O 1—2%, Th 10ppm),而混合二长花岗岩含 K, Th 高(K_2O 4.3%, Th \approx 20ppm,各约为变质岩基体的一倍)。二长花岗岩类的 SiO_2 含量为 72% \pm ,而泰山群火山—沉积岩或闪长岩含 SiO_2 仅 53%—60%,加之镜下见有大量的交代结构,因之推测是由 Si, K 对火山沉积岩或闪长岩进行交代而成。在 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)。一年龄图解上,交代闪长岩而形成的混合二长花岗岩投影在玄武岩源区,这说明交代这类岩石的 Si, K 等物质可能来自玄武岩源区,所以,交代闪长岩后形成的混合二长花岗岩仍保留玄武岩源特征。

(4) 马场次细粒二长花岗岩: 这次岩体的岩浆性更强,镜下可见花岗结构,但仍有一定数量的交代结构,岩体穿插于围岩中,为高侵位岩体。在 A—C—F 图解中,投影到 S 型花岗岩区,在 Na—K—Ca 图解中,投影到岩浆岩区,在 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)。一年龄图解中,投影到大陆壳区,看来这是大陆壳变质火山—沉积岩重熔形成。

(5) 大龙门次奥长花岗岩: 为脉状或岩株状,侵入或交代侵入于徂徕山次二长花岗岩中,交代结构发育,在 Na—K—Ca 图解中,投影到交代花岗岩区,在 A—C—F 图解中,投影到 S 型花岗岩区。是晚期 Na, Si 质注入交代的产物。

3. 综上所述不难看出,每个旋回的中、下部为超镁铁质岩至中性岩,属幔源或幔源分异产物,而每个旋回上部的花岗质岩石则属混合交代(包括变质分异)或重熔产物。

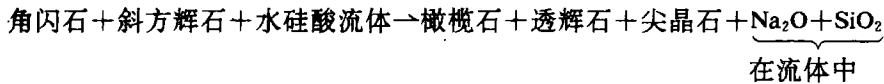
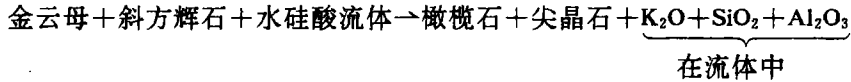
(三) 花岗岩的物质来源

泰山群岩石多偏中基性,它们不会重熔成酸性的花岗岩,因之花岗岩的形成必须有物质来源。早期花岗岩为奥长花岗岩类,为混合成因。按交代理论,从较基性的基体形成酸性的花岗岩,应有 SiO_2 , Na(及 K)的带入和 Ca, Mg, Fe 的带出,由于没有见到大规模的基性前锋,可以设想一个混合岩化的冲淡模式。从徂徕山杂岩体的石英闪长岩受混合交代形成混合二长花岗岩来看,注入的脉状体(原为流体)中 SiO_2 , K_2O 高,而 CaO, MgO, Fe_2O_3 , FeO 低,这就要求在花岗岩化过程中,基体逐渐增加 SiO_2 , K_2O , 而流体则逐渐增加 CaO, MgO, Fe_2O_3 , FeO, 直到达到平衡为止。所以交代终极产物的化学成分既不相当于注入的流体也不相当于基体,而是介于二者之间,但由于流体大大超过被消化的基体,所以还是形成接近流体化学成分、碱度中等的二长花岗岩。

这种冲淡模式要求有一个膨胀的地球,目前对珊瑚及迭层石的研究都证明,地球在元

古、古生代阶段每年 >365 天,即地球比现在要小,这确切的证实了地球是膨胀的,因之用冲淡模式来解释混合交代作用是符合客观实际的。

混合交代形成的徂徕山的混合二长花岗岩及任家庄混合质奥长花岗岩,在($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)—年龄图解上,均投影于玄武岩源区,说明其脉状体的Si, K, Na也来自玄武岩源区。中村等人的实验证实,在高温高压下,地幔矿物与处于平衡状态的水硅酸流体进行作用,可导出含 SiO_2 , K_2O 和 Na_2O 的流体。反映式如下:



当有构造沟通了含有K, Na, Si, Al流体的地幔时,这些流体就上升,交代中、基性岩,可产生徂徕山型混合花岗岩。若进入地层区交代其中的火山—沉积岩,则产生富山型混合花岗岩。

参 考 文 献

- [1] B·A·扎里科夫, 1988, 花岗岩形成问题。国外地质科技, 1988年7期。
 [2] B·E·Leake, 1985, 超变质作用、混合岩、熔融作用和花岗岩类的形成。国外矿床地质, 85年1—2合刊。

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND FORMATION MECHANISM OF THE ARCHAEOAN COMPLEX ROCK BODIES IN THE CULAISHAN—XINFUSHAN AREA

Wang Zhiben, Wang Yuling and Zhang Chunchi

*(The 1st Geological Brigade, Shandong Bureau
of Geology and Mineral Resources)*

Abstract

The formation time of the Archaean complex rock bodies around the Culaishan—Xinfushan area and their characteristics in terms of geology, petrology, mineralogy, petrochemistry and geochemistry are elaborated in a systematic and comprehensive way. The Archaean complex rock bodies are divided into two genetic series with three cycles. Herewith are discussed the tectonism by which the rock bodies were formed, the dilution model by which the migmatitic rocks were formed, the structural immigration and the genetic models of the two genetic series of the rocks, i. e., a mantle source of the ultrabasic—intermediate rocks and a complex origin of the acidic rocks. In addition, a mantle origin of the migmatitic—metasomatic K, Na and Si is proposed.