

胶东昆崙山花岗岩的特征、成因 及其与金矿的关系*

徐洪林 张德全 孙桂英

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

主题词 花岗岩 地质地球化学及成因 金矿 昆崙山 胶东

提 要 昆崙山花岗岩是牟平—乳山金矿成矿带的围岩, 在其成因和定位时代上长期存在争议。本文对岩体地质和地球化学特征进行了系统研究, 并就岩体成因及其与金矿的关系进行了讨论。作者认为, 昆崙山花岗岩是在中生代由岩浆缓慢冷凝结晶形成的大型复式岩基, 并非交代成因。它由垛崙顶片麻状花岗闪长岩(147Ma)、八门邹家斑状花岗闪长岩(135Ma)、瓦善—水道弱片麻状二长花岗岩及五爪山片麻状含榴二长花岗岩(120Ma)组成, 成分具贫铝富碱的特点。岩浆来源于中下地壳中酸性变质火山岩系部分熔融形成的岩浆, 其形成温度为 650—750℃。岩体经历了韧性和脆性变形作用, 不同方向的片麻状构造是岩浆结晶期韧性变形作用的结果。脆性变形形成的断裂和破碎带是本区主要的导矿和容矿构造。花岗岩定位、韧和脆性变形作用与金矿成矿作用有十分密切的关系。

胶东东部的牟平—乳山成矿带中, 已发现有很多石英脉型金矿床(点), 有些已成为开采的工业矿床, 是胶东仅次于其西部招掖成矿带的又一金矿远景区, 但作为该成矿带直接围岩的昆崙山花岗岩体的基础地质问题仍存在很大争议, 主要表现在岩体岩相划分、形成时代和成因等方面。这给金矿成因研究带来很多困难。本文系统研究了岩体地质、地球化学特征和成因, 对岩相划分提出新的认识。作者认为, 昆崙山岩体是由古老基底变质岩系经重熔、抬升上侵冷凝结晶形成, 并非交代成因, 其定位时代为中生代。

1 地质特征及岩相划分

昆崙山岩体位于胶辽台隆胶北地块的东部, 呈南北向展布, 长约 50km, 宽约 20km。岩体与古元古代荆山群变质岩系(锆石 U—Pb 等时线年龄 2484 ± 21.3 Ma) 呈侵入接触关系。在接触带局部可见岩体呈岩枝(脉)状穿切围岩, 界限分明。岩体内亦多处存在围岩捕虏体, 有接触热变质现象存在。其东部和西南部分别被较晚形成的三佛山岩体和招虎山岩体侵入。

昆崙山花岗岩体是一个多期次的复式岩体。岩体的分解对研究其成因和金矿成因有十分重要的意义。关于岩体期次划分前人有多种观点: 徐金方等将岩体分为敦北山、红石头、晒字、垛崙顶等不同期侵入体^[1]; 山东地质志则划分为含石榴石花岗岩、似斑状、中粗粒和片麻状花岗岩等岩相带^[2]; 山东地质三队对岩体中北部进行 1/5 万区调, 划分出玉林店、敦北山、五爪

* 本文于 1996 年 11 月收到, 1997 年 1 月改回

山、瓦善等不同期次的岩体,将岩体北部原划归元古宙的条带状片麻岩改定为玉林店和敦北山花岗岩。

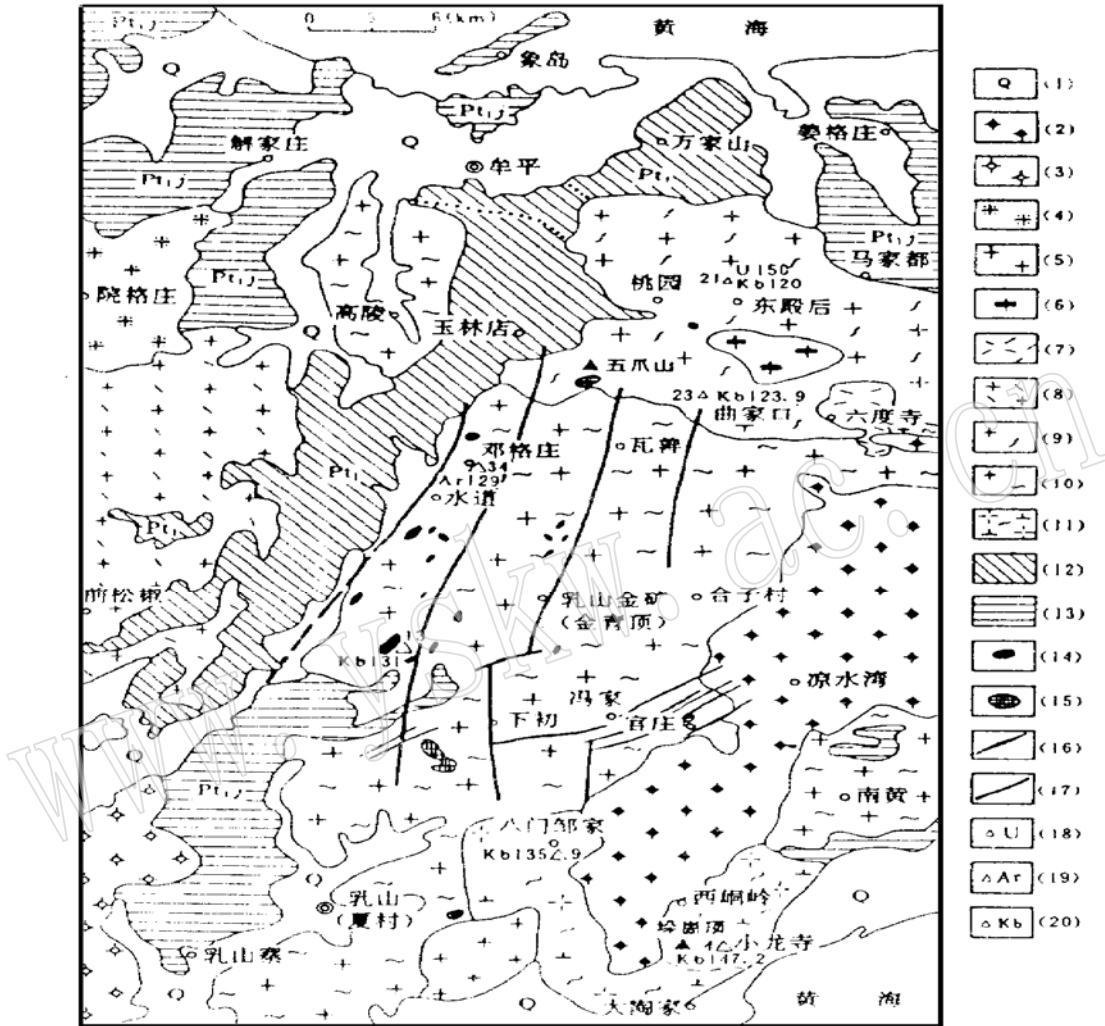


图1 胶东昆崙山花岗岩地质图

Fig. 1 Geological map of Kunyushan granites in Jiaodong

1—第四系; 2—三佛山花岗岩; 3—招虎山花岗岩; 4—院格庄花岗岩; 5—王家庄花岗岩; 6—老帅坟巨斑花岗岩; 7—柳林庄二长岩; 8—鹊山片麻状二长花岗岩; 9—五爪山片麻状二长花岗岩; 10—瓦善-水道片麻状二长花岗岩; 11—八门邹家片麻状花岗闪长岩; 12—元古宙条带状花岗质岩石; 13—元古代荆山群; 14—元古代大理岩残留体或捕虏体; 15—元古代变粒岩或片麻岩残留体或捕虏体; 16—中基性岩墙群; 17—断裂; 18—锆石 U-Pb 年龄; 19—黑云母 Ar-Ar 年龄; 20—黑云母 K-Ar 年龄

笔者经过较为详细的构造-岩相填图,取得了一些新资料,并综合参考前人工作成果,将昆崙山复式岩体(以下简称昆崙山花岗岩)分为三期,按岩性和同位素年龄由老到新依次为:早期包括垛崮顶片麻状花岗闪长岩(147Ma)和八门邹家片麻状巨斑状花岗闪长岩

表 1 山东昆崙山岩体实测矿物含量表

Table 1 Mineral content of Kunyushan granite, Shandong Province

岩体	五爪山片麻状二长花岗岩										瓦善—水道弱片麻状二长花岗岩										*1		*2	
	21-1	23-1	26-1	20-1	17-1	22-1	21-2	76-1	77-1	78-1	7-1	25-1	13-1	34-4	36-6	11-1	24-1	33-1	8-1	9-1	4-1	67-1		
样品号	Q	22.73	34.24	33.55	26.13	22.78	23.64	34.72	23.98	24.4	21.52	23.14	25.86	24.72	38.71	20.54	34.0	21.54	21.07	28.30	19.38	31.43	8.98	
	Kf	32.28	23.04	30.61	32.61	40.05	32.30	28.66	44.69	44.02	50.89	30.58	29.55	19.13	20.40	28.81	31.7	39.0	40.58	33.85	12.99	13.59	34.70	
	Pl	40.70	38.64	32.46	40.39	37.17	41.22	35.62	28.88	30.26	27.5	37.33	37.39	46.29	37.09	46.00	33.4	34.35	31.66	37.85	54.57	46.66	47.94	
	Bi	3.41	3.38	3.38	0.87		2.84	1.0	2.45	1.32	0.09	1.59	5.17	6.99	3.17	3.40	0.8	5.1	5.57		7.68	5.47	7.11	
		Sph	Gar									Ep 3.54	Sph	Sph	Ep	Ep 0.35					Ep	Ep 2.84	Ep	
		0.48	0.69									Sph 0.55	1.32	1.51	0.32	Sph 0.28					2-3	Sph 0.1	1.27	
												Mt 0.14												
岩体平均		Q:26.77 Kf: 35.92 Pl: 35.28 Bi: 1.88										Q:26.43 Kf: 30.51 Pl: 37.92 Bi: 3.53												
相对含量	Q	23.75	35.70	34.72	26.35	22.78	24.34	35.08	24.59	24.73	21.52	25.42	27.87	27.42	40.24	21.54	34.3	22.70	22.58	28.30	21.66	34.28	9.80	
	A	33.73	24.02	31.68	32.90	40.05	33.24	28.95	45.81	44.61	50.89	33.58	31.84	21.23	21.21	30.22	32.0	41.10	43.49	33.85	21.98	14.83	37.88	
	P	42.52	40.28	33.60	40.75	37.17	42.42	35.97	29.60	30.66	27.59	41.0	40.29	51.35	38.55	48.24	33.7	36.20	33.93	37.85	56.36	50.89	52.32	

注: *1—八门郭家片麻状巨斑花岗岩; *2—为梁崮顶片麻状花岗岩; Sph—榍石; Ep—绿帘石; Mt—磁铁矿(或不透明矿物); Q—石英; Kf—钾长石;

Pl—斜长石; Bi—黑云母

(135Ma) 两个岩体; 中期为瓦善—水道弱片麻状二长花岗岩(130Ma) (图1); 晚期为五爪山片麻状含榴二长花岗岩(120Ma)。金矿主要赋存于剥蚀较浅的中期瓦善—水道弱片麻状二长花岗岩中。五爪山二长花岗岩主要分布于北部中山区, 其中的围岩捕虏体罕见, 而瓦善—水道二长花岗岩分布区比较平坦。前者片麻理方向为 NE—SW 向, 而后者多为近 E—W 向。值得指出的是, 前人划为敦北山和玉林店花岗岩的条带状片麻岩, 我们认为其主体部分(中色和深色条带) 三连点结构十分发育, 这是变质岩特别是角闪岩相和麻粒岩相岩石中最常见的一种变晶结构。将这种三连点结构解释成岩浆共结结构是不妥的。经实验和岩相学研究认为, 条带状花岗质岩石中的浅色条带系原地低熔物熔融的产物, 是在昆崙山花岗岩浆侵位和围压影响下有限熔融的结果。因此本区的条带状岩石不应作为昆崙山花岗岩的组成部分, 有关问题将另文讨论。

2 岩石学及地球化学特征

2.1 岩石学特征

昆崙山花岗岩各期岩体的共同特点是普遍具片麻构造, 它由黑云母断续定向和石英的拉长定向排列显示出来。结构以中粒、中细粒等粒结构为主, 仅八门邹家岩体为巨斑状结构, 斑晶主要为钾长石。各岩体矿物含量列于表1, 岩石分类见图2。

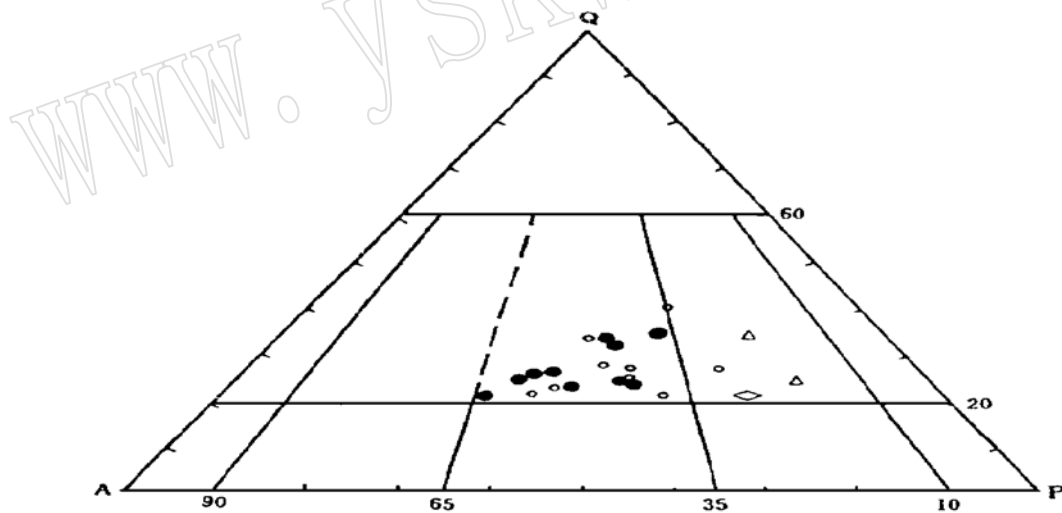


图2 昆崙山花岗岩分类图

Fig. 2 Classification diagram of Kunyushan granite

- 五爪山片麻状含榴二长花岗岩; ○—瓦善—水道片麻状二长花岗岩;
- △—垛崙顶片麻状花岗闪长岩; ◇—八门邹家片麻状巨斑状花岗闪长岩

斜长石偶具环带, 双晶纹细且宽度变化不定, 有不连贯现象, A_n 为 13.7(五爪山) 至~ 29.5(垛崙顶), 有序度 0.50—0.59。同一样品的 A_n 值用 X 光和电子探针测定结果十分接近(表 2.3)。

表 2 昆崙山花岗岩长石化学成分表

Table 2 Chemical composition of feldspar from Kunyushan granites

岩体	五爪山		八门邹家		水道一瓦善		堞崗顶	五爪山 ¹	水道一瓦善 ²
样号(样数)	23- 1	23- 1	9- 1	9- 1	34- 4	34- 4	4- 1	(3)	(4)
SiO ₂	64.42	65.21	61.40	64.07	64.42	64.69	60.86	63.67	64.15
TiO ₂	0.07	0.25	0.06	0.43	0.70	0.00	0.06	0.04	0.03
Al ₂ O ₃	21.10	18.20	22.91	17.96	18.17	21.35	24.06	18.57	18.99
Fe ₂ O ₃									
FeO	0.09	0.05	0.00	0.23	0.19	0.25	0.02		
MnO	0.05	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00		
MgO	0.20	0.20	0.38	0.27	0.15	0.18	0.28	0.53	0.15
Cr ₂ O ₃	0.35	0.03	0.24	0.11	0.00	0.13	0.12		
NiO	0.00	0.14	0.13	0.10	0.19	0.00	0.00		
CaO	2.78	0.07	5.20	0.20	0.00	3.40	6.15	0.36	0.48
Na ₂ O	9.43	1.10	8.45	1.56	1.66	7.71	8.06	2.41	2.91
K ₂ O	0.34	15.18	0.23	14.56	14.43	0.33	0.14	11.72	10.97
总计	98.84	100.43	99.06	99.50	99.91	98.06	99.75	97.41	98.05
Or(%)	2.0	89.8	1.3	85.2	85.2	2.3	0.8	75.6	70.0
Ab(%)	84.3	9.9	73.7	13.8	14.8	78.6	69.7	22.3	28.0
An(%)	13.7	0.3	25.0	1.0	0	19.1	29.5	2.1	2.0
矿物名称	更长石	微斜长石	更长石	微斜长石	微斜长石	更长石	更长石	钾长石	钾长石
其它特征		格子双晶		格子双晶	格子双晶				
形成温度 ³	700		720			735			
X 光 测 定	钾长石	Δρ		0.71	0.72				
	斜长石	Or		0.72	0.63				
	斜长石	An		26		21			
	有序度			0.50		0.59			

1, 2—据徐金方的资料[1]取平均值; 3—斜长石温度计

表 3 昆崙山花岗岩斜长石 X 光粉晶数据及估算变形温度表

Table 3 X-ray powder diffraction data and estimated deformation temperature of feldspar from Kunyushan granite

样号	9- 1	34- 4	39- 3- A	39- 3- B	9- 1	34- 4	39- 3- A	39- 3- B
岩石名称	片麻状巨斑 花岗闪长岩	弱片麻状 二长花岗岩	弱红化 二长花岗岩	强红化 二长花岗岩	片麻状巨斑 花岗闪长岩	弱片麻状 二长花岗岩	弱红化 二长花岗岩	强红化 二长花岗岩
采样位置	八门邹家	邓格庄矿区	邓格庄五中段		八门邹家	邓格庄矿区	邓格庄五中段	
20 ₁₃₁	29.9625	29.9575	29.9995	29.7075	29.9675	29.9425	29.8725	30.2550
20 ₁₃₁	31.5975	31.5125	31.6550	31.4225	30.9025	30.5425	30.0475	31.4400
d ₁₃₁	2.9799	2.9803	2.9767	3.0048	2.9794	2.9818	2.9886	2.9517
d ₁₃₁	2.8293	2.8367	2.8321	2.8446	2.8859	2.9246	2.9716	2.8431
Δd ₍₁₃₁₎₋₍₁₃₁₎	0.1506	0.1436	0.1446	0.1602	0.0935	0.0572	0.0170	0.1086
变形温度 ℃	410 ℃	400 ℃	400 ℃	380 ℃				
An(%)	26	21	22	25				3
Or(%)					72	63	72	
Δρ	0.50	0.59	0.56	0.42	0.71	0.72	0.21	1.35

钾长石仅八门邹家岩体中巨斑为自形晶, 其它岩石中为它形, 普遍具格子双晶和钠长石条

纹,条纹少而细,一般占1%—2%,电子探针测定主晶的Or为85.2%—89.8%,Ab为9.9%—14.8%,An为0%—1%,X光测定有序度为0.71—0.72,属微斜长石。

黑云母具棕褐色—淡黄色多色性,属铁质黑云母或镁质黑云母, M' ($Mg \times 100\% / (Mg + Fe + Ti + Mn + Al^{VI})$)15.4%—46.6%,成分变化较大,五爪山岩体的 M' 低(15.4—23.97),八门邹家岩体的最高(表4),这可能与镁质大理岩捕虏体和围岩残留体的同化混染作用有关。其TiO₂的含量变化也较大。黑云母成分显示出贫铝的特点, Al' 值为18.8%—21.3%($Al' = Al \times 100\% / (Al + Si + Ti + Fe^{3+} + Fe^{2+} + Mg + Mn)$),比南岭S型花岗岩(23%—26%)低,但比燕辽地区的I型系列花岗岩(10%—18%)略高。

表4 昆崙山花岗岩黑云母化学成分表

Table 4 Chemical composition of biotite from the Kunyushan granites

岩体 样号(样数)	五爪山			水道—瓦善				八门邹家
	21-2	23-1	(3)	13-1	34-4	36-6	(6)	9-1
SiO ₂	35.56	34.89	35.81	35.94	35.93	35.13	35.86	36.14
TiO ₂	3.71	4.08	3.27	3.09	3.09	1.58	3.17	2.19
Al ₂ O ₃	14.48	14.28	15.13	14.10	15.49	15.19	15.28	14.31
Fe ₂ O ₃			10.31					6.59
FeO	24.70	27.61	15.00	19.84	23.86	22.61	15.81	18.28
MnO	1.47	1.05	0.80	0.68	0.48	0.61	0.60	0.75
MgO	5.61	3.54	5.54	10.57	6.94	7.66	8.62	11.58
Cr ₂ O ₃	0.00	0.12		0.00	0.05	0.25		0.04
NiO	0.01	0.00		0.29	0.00	0.00		0.03
CaO	0.21	0.04	0.39	0.03	0.00	0.07	0.92	0.07
Na ₂ O	0.76	0.43	0.34	0.34	0.64	0.72	0.26	0.50
K ₂ O	9.52	9.14	7.64	9.59	9.72	9.41	7.37	9.37
AuO	0.00	0.00		0.00	0.00	2.16		0.00
MF(%)	28.8	18.6	28.7	48.7	34.1	37.7	41.3	53.0
Al'(%)	19.9	21.3	20.9	18.8	20.9	21.0	20.5	19.1
Al ^{IV}	2.3988	2.3922	2.25	2.3966	2.4142	2.378	2.30	2.2888
Al ^{VI}	0.2896	0.3116	0.61	0.1950	0.4238	0.488	0.56	0.3468
M'(%)	23.97	15.4	23.2	43.2	28.9	32.3	34.2	46.6
矿物名称	铁质黑云母			镁黑云母		铁质黑云母		
形成温度/℃	600	600		750	730	700		
资料来源	本文		[1]	本文				[1]

石榴石仅在五爪山二长花岗岩中发现,为淡粉红色的锰铁铝榴石。绿帘石分布普遍,属热液蚀变矿物。

2.2 地球化学特征

昆崙山花岗岩岩石化学成分列于表5,成分分析表明,昆崙山花岗岩具有贫铝富镁的特点。在ACF图上,绝大多数分布于Pl—Bi—Hb区(图3),从早期、中期至晚期,岩石化学成分呈有规律变化,SiO₂由低变高,FeO+Fe₂O₃、MgO和CaO则降低,K/Na值升高。

表 5 昆崙山花岗岩化学成分

Table 5 Chemical composition of Kunyushan granites

岩体	五爪山片麻状二长花岗岩			水道-瓦善弱片麻状二长花岗岩			八门邹家			桑园顶片麻状花岗岩				
	21-1 帽山	n=10* 晒字	n=6* 将军石	23-1 曲家口	13-1 磨石山	34-4 邓格庄	36-6 邓格庄	n=10* 红石头	9-1 八门邹家	4-1 小龙寺	n=7* 桑园顶	D.G.	D.Gd.	n=13
样品号	73.41	73.22	74.13	75.25	68.19	70.17	70.87	71.45	67.99	67.83	67.87	70.18	65.01	71.06
Al ₂ O ₃	13.55	14.28	13.96	13.61	16.64	15.30	15.69	14.89	16.25	16.37	16.68	14.47	15.94	15.12
TiO ₂	0.06	0.15	0.08	0.07	0.39	0.28	0.24	0.21	0.33	0.27	0.26	0.39	0.57	0.23
Fe ₂ O ₃	0.21	0.51	0.78	0.09	0.76	0.47	0.25	0.49	0.90	0.49	1.20	1.57	1.74	0.49
FeO	0.93	1.15	0.84	1.00	1.56	1.78	1.71	1.49	1.94	2.08	1.58	1.78	2.65	1.53
MnO	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03	0.04	0.07	0.07	0.08	0.12	0.07	0.04
MgO	0.16	0.22	0.61	0.05	0.46	0.39	0.40	0.53	0.87	0.63	0.83	0.88	1.91	0.50
CaO	1.15	1.41	1.04	1.14	2.48	1.89	2.01	1.89	3.60	3.78	3.48	1.99	4.42	1.94
Na ₂ O	4.48	4.13	4.21	4.33	5.39	4.76	4.88	4.19	5.18	4.70	4.48	3.48	3.70	4.38
K ₂ O	4.54	4.30	4.16	4.62	3.77	4.27	3.85	4.02	2.24	2.55	2.63	4.11	2.7	4.01
H ₂ O ⁺	0.64	0.33	0.18	0.74	0.64	0.52	0.46	0.49	0.28	1.36	0.48	0.19	0.17	0.50
CO ₂	0.15	0.14	0.16	0.02	0.28	0.28	0.16	0.15	0.42	0.10	0.22	0.19	0.20	0.16
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.16	0.10	0.10	0.10	0.10	0.20	0.16
Σ	99.31	99.93	100.23	100.96	100.60	100.13	100.55	100.00	100.07	100.23	99.89	0.19	0.20	100.13
A/CNK	0.94	1.02	1.05	0.96	0.95	0.96	0.99	1.01	0.94	0.94	0.98	1.51	1.47	1.47
A. R.	3.93	3.33	3.52	4.09	2.84	3.21	2.95	2.78	2.19	2.77	2.09	2.71	1.93	1.89
σ	2.68	2.36	2.25	2.48	3.33	3.02	2.74	2.19	2.20	2.12	2.03	2.12	1.89	1.89
DI	92.63	89.6	90.9	92.5	83.7	86.4	85.4	85.3	77.3	75.6	76.7	79.2	59.3	59.3
K/Na	1.13	1.04	0.99	1.19	0.78	1.00	0.88	0.96	0.48	0.60	0.59	1.18	0.74	0.74
An	7.8	9.3	9.3	17.3	17.3	15.4	17.8	23.7	23.7	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5

注: D.G, D. Gd. 分别为戴里花岗岩和花岗岩长岩, 标“*”为引用徐金方的数据, “n”为样品数。

表6 昆崙山花岗岩稀土元素含量(ug/g)

Table 6 REE contents of Kunyushan granites

序号	1	2	3				4
样品号	4- 1	21- 1	23- 1	34- 4	36- 6	13- 1	9- 1
La	31.0	10.9	9.80	44.2	46.6	75.7	29.5
Ce	57.1	20.2	17.9	76.9	80.3	131.0	55.0
Pr	6.16	2.23	2.06	7.78	7.26	13.8	6.16
Nd	22.4	8.31	8.20	27.3	27.5	47.8	23.4
Sm	3.21	1.59	1.66	3.83	3.78	6.21	3.85
Eu	0.94	0.46	0.48	0.94	1.16	1.67	1.09
Gd	2.35	1.44	1.41	2.68	1.83	3.77	3.18
Tb	0.36	< 0.3	< 0.3	0.48	< 0.3	0.38	0.49
Dy	1.47	1.03	1.03	1.65	1.42	2.43	2.56
Ho	0.30	0.21	0.30	0.37	0.27	0.51	0.49
Er	0.55	0.40	0.41	0.84	0.74	1.11	1.29
Tm	< 0.1	0.1	< 0.1	0.15	0.11	0.15	0.17
Yb	0.59	0.46	0.61	0.90	0.63	1.08	1.27
Lu	0.11	< 0.1	< 0.1	0.27	0.15	0.14	< 0.1
Y	6.62	5.27	5.87	8.31	6.23	11.1	12.9
ΣREE	126.64	47.73	44.36	168.29	172.05	285.55	128.55
LREE	120.81	43.69	40.1	160.95	166.6	275.98	119.0
HREE	5.83	4.04	4.26	7.34	5.45	9.57	9.55
Sm/Nd	0.143	0.191	0.202	0.14	0.137	0.130	0.165
LREE/HREE	20.72	10.81	9.41	21.93	30.57	28.84	12.46
(La/Yb) _N	31.20	14.07	9.54	29.16	43.92	41.62	13.79
δEu	1.09	1.00	1.02	0.93	1.28	1.06	1.01

1—垛崙顶片麻状花岗岩闪长岩; 2—五爪山片麻状含榴二长花岗岩; 3—瓦善—水道片麻状二长花岗岩;

4—八门邹家片麻状巨斑花岗岩闪长岩

稀土元素地球化学总的特点是无负铕异常(表6), δEu 0.93—1.28, 富轻稀土, LREE/HREE 为 9.41—30.57, Sm/Nd 0.130—0.202, 与地壳岩石 Sm/Nd 平均值(0.21)十分接近或略低, 而与地幔岩石 Sm/Nd 值相差较大, 由于各期岩体的岩性差异, 反映在稀土元素特征上亦有不同特点, ΣREE 以五爪山岩体(44.36—47.73)最低, 水道—瓦善岩体(168.29—285.55)最高, 花岗岩闪长岩中等(ΣREE = 126.64—128.55), LREE/HREE 亦遵循上述规律, 这可能与水道—瓦善岩体富含榍石、锆石、褐帘石等矿物有关。稀土元素模式(图4)为右倾的、相互平行的平滑曲线。

3 岩体定位时代

关于昆崙山花岗岩的定位时代长期存在争议。前人多将其归属元古宙^[1,8-9], 有少数文献认为属印支期和燕山期。本次工作主要采用黑云母 K—Ar 和 Ar—Ar 法测定岩体年龄, 并对前人已有的锆石 U—Pb 一致曲线、全岩 Rb—Sr 等时线、全岩 Sm—Nd 法及黑云母 K—Ar 年龄测定结果进行了全面分析, 有关问题在文献^[18]中已有讨论, 本文不再重述。笔者认为岩体归属元古宙不妥, 测试结果表明: (1) 八门邹家—垛崙顶片麻状花岗岩闪长岩定位年龄为

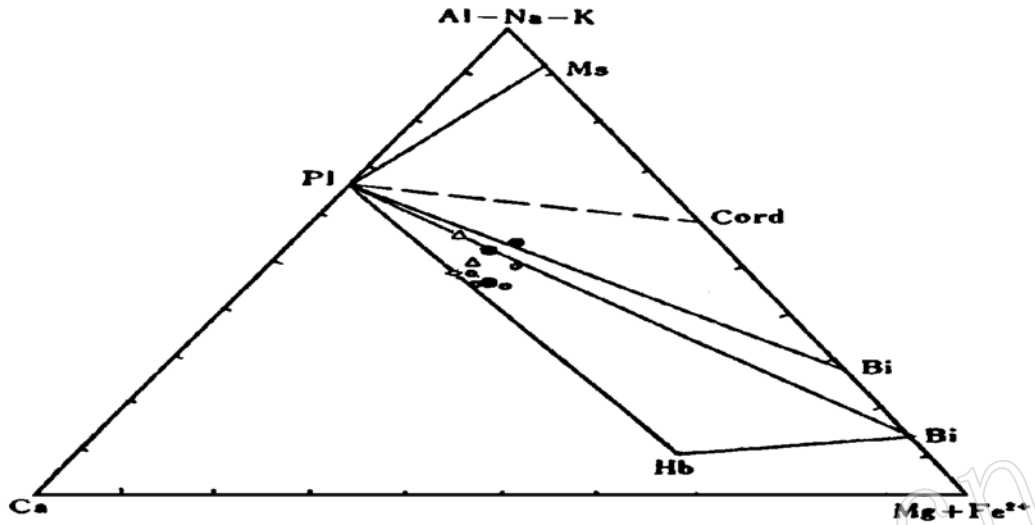


图 3 昆嵛山花岗岩 (Al- Na- K) -Ca -(Mg/ Fe²⁺) 图

Fig. 3 (Al- Na- K) -Ca -(Mg/ Fe²⁺) diagram of Kunyushan granites
(图例同图 2)

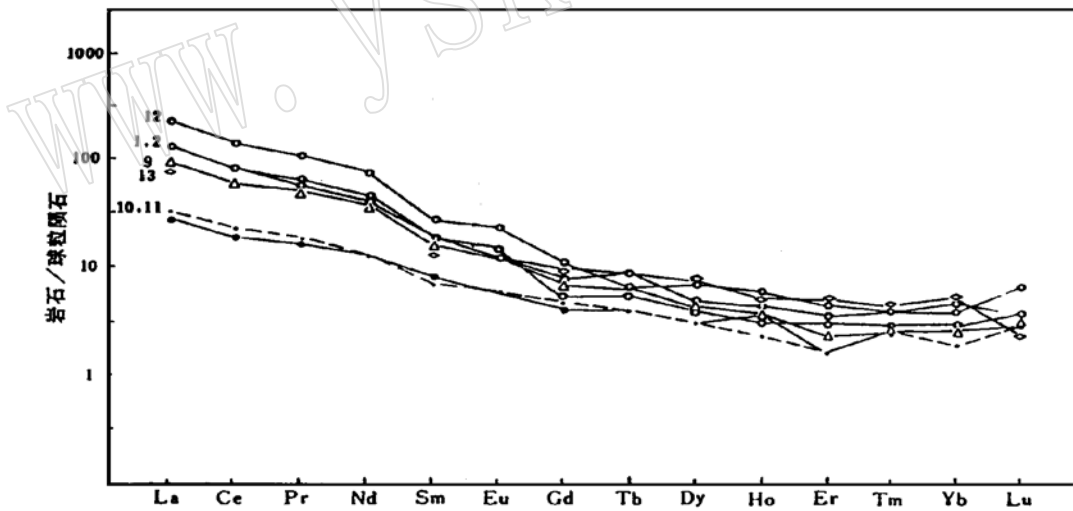


图 4 昆嵛山花岗岩稀土模式图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns of Kunyushan granites
(图例同图 2)

135Ma—147Ma; (2) 瓦善—水道弱片麻状二长花岗岩定位于 126—131Ma; (3) 五爪山片麻状含榴二长花岗岩定位于 120—123Ma。这些大体代表岩浆冷凝至 350℃时的年龄值。而石英脉型金矿的形成起始年龄为 118 ± 9Ma (绢英岩全岩 Rb- Sr 等时线)。由此认为昆嵛山花岗岩的形成时间为中生代。

4 岩体成因讨论

关于昆崙山花岗岩的成因众说纷纭, 争议较大, 归纳起来可分为三类: (1) 交代成因, 认为是元古宙由原地半原地花岗岩化作用形成的混合花岗岩; (2) 以交代作用为主, 伴随局部重熔形成; (3) 地壳部分熔融形成的岩浆花岗岩。岩体成因争议不可避免地引起对赋存其中的金矿成因的争议, 多数学者认为牟乳金矿为交代-重熔岩浆热液或岩浆期后热液矿床。我们认为昆崙山花岗岩是由壳源岩浆缓慢冷却形成, 主要依据如下:

(1) 如前所述, 岩体斜切围岩片理, 呈不和谐的侵入接触特点。岩体内存在大型大理岩捕虏体, 在大理岩中发现呈放射状的透闪石等热变质矿物, 岩体与围岩界限分明, 并无渐变现象。

(2) 岩石具典型的熔体结晶形成的半自形粒状结构。至于蠕英石的形成也是熔体结晶的产物^[11], 即在结晶作用晚期, 出现富含 Kf 的液体相, 残余熔体富含 P1 和 Q, 当平衡被打破, 残余熔体迅速结晶形成蠕英石。

(3) 岩体的形成温度高, 已属熔体结晶的范畴。林景任等在研究昆崙山岩体时, 将岩石标准矿物分子投影于 Q-Ab-Or 成分图上^[11], 绝大多数点位于 $P_{H_2O} = 5 \times 10^8 \text{ Pa}$ 等压共熔线上, 这种岩石成分点集中的特点说明昆崙山花岗岩属岩浆结晶成因。按 Winkler 等 $P_{H_2O} = 5 \times 10^8 \text{ Pa}$ 的实验资料, 上述共熔成分的花岗质岩浆在饱和水的条件下的生成温度约为 650°C 。表 2 中利用斜长石温度计估算的岩体形成温度为 $700-735^\circ\text{C}$, 在标准矿物 Q-Ab-Or 图上(图 5) 估算的形成温度多数位于 $700-750^\circ\text{C}$ 区域内, 这与昆崙山花岗岩的熔化温度 720°C (初熔) 至 740°C (大部分熔融, 压力 $2 \times 10^8 \text{ Pa}$) 十分吻合^[11], 文献[5]中估算的温度为 $665-700^\circ\text{C}$, 与此也非常接近, 说明岩石形成经历了熔体结晶的过程。大量的实验岩石学研究也表明, 天然岩石在 $2 \times 10^8 \text{ Pa}$, 600°C 的条件下, 石英、钾长石和酸性斜长石都会发生熔融^[12]。计算的矿物结晶温度与熔融实验温度十分相近, 这些证据有力地说明了昆崙山花岗岩是由熔体结晶形成。

至于一些支持花岗岩化成因观点的人认为岩体与围岩接触带附近存在的所谓“混合岩化带”, 笔者认为, 实际上无论是岩浆大位移侵位或原地半原地重熔岩浆侵位形成的岩体, 在其与围岩的接触带附近, 围岩中穿插大量长英质脉体和岩体中含较多围岩难熔物质捕虏体是普遍现象。岩体以较高的热动力, 富含挥发组分和较强的化学活动性, 使围岩包体发生热变质或者使围岩中低熔物质(主要是长英质物质)发生重熔是必然的, 这种现象不是围岩与岩体渐变接触的标志, 而是岩浆侵入作用的表现。

昆崙山花岗岩的地质特征和岩石学特征均表明, 它的形成经历了岩浆结晶作用阶段, 并非交代成因, 岩体在形成过程中明显经受了塑性-半塑性状态的变形作用影响, 石英和少量长石有重结晶和拉长定向排列现象, 甚至可以看到部分长石具机械双晶, 双晶纹错断或扭曲现象, 这是岩体塑性变形的标志, (表 3 中根据斜长石 X 光粉晶测定值估算的斜长石韧性变形温度在 $380-410^\circ\text{C}$) 说明在岩浆作用同时, 伴随着构造运动的发生, 岩体经历了同构造变形。复式岩体北部(五爪山岩体)表现为 NNE 向片麻理, 而中南部(瓦善-水道岩体)以 E-W 向为主, 这可能与区域构造作用早期以 E-W 向为主, 而稍晚有左旋应力场的影响有关。

昆崙山花岗岩 I_{Sr_0} (Sr 初始值) 较低(约为 $0.707-0.709$), Al/CNK 为 $0.94-1.05$, 总平

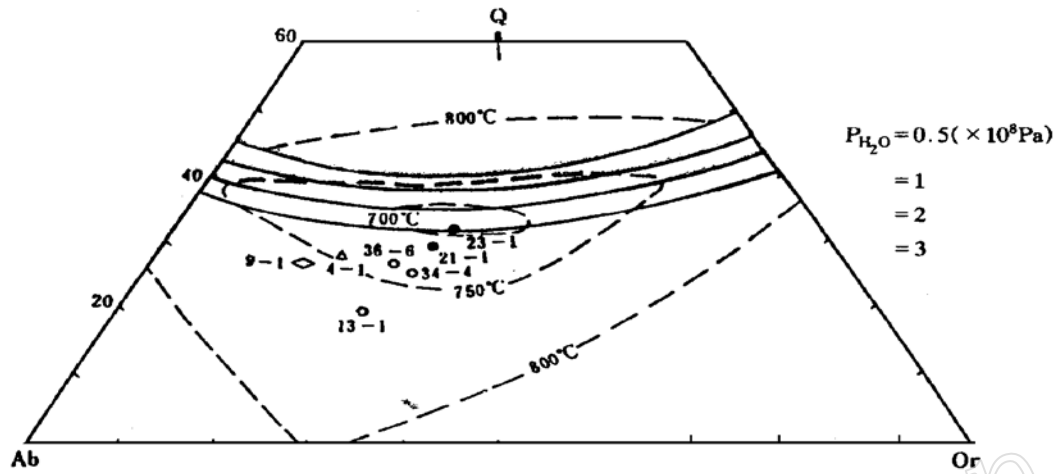


图5 昆嵛山花岗岩 Q—Ab—Or 图

Fig. 5 Q—Ab—Or diagram of Kunyushan granites

(据 Tuttle 和 Bowen, 1958, 图例同图 2)

均值 < 1.0, 成分表现为高硅、富碱、贫铝、钙、镁、铁的特点, 有较高的铷异常值 (0.93—1.28), Sm/Nd 低于地壳岩石的平均值, 其成分特点较多地继承了区域角闪岩相变质中酸性火山岩系 (包括部分变沉积岩) 的成分特点, 结合区域地质情况分析, 源岩浆可能是由先已形成的胶东群或荆山群变质岩系发生部分熔融形成的。不同层位地壳物质部分熔融形成的岩浆, 上侵结晶形成了昆嵛山复式岩体, 各岩体间成分上的差异可能与源岩性质略有差异或岩浆分异作用有关。而造成区域地壳硅铝层熔融的因素, 主要是中生代胶北地块增厚, 以及强烈的隆升构造作用, 同时该区大规模花岗岩浆上侵对胶东地区中生代以来迅速抬升及相邻陆相断陷盆地的形成起了积极作用。

5 岩体与金矿的关系

牟乳成矿带的主要控矿构造为近南北向断裂带, 这些断裂带的主要性质为压扭张性。这些断裂主要发育在瓦善—水道二长花岗岩中, 石英脉型金矿多数赋存于近南北向断裂带的次级张性断裂中。这些断裂先由剪切作用形成, 后伴随张性作用, 含金热液沿有利部位上升充填。

经研究发现, 伴随金成矿作用的发生, 矿脉两侧的花岗岩有较强的蚀变现象。成矿热液与花岗岩间的水—岩反应使花岗岩蚀变为绢英岩等蚀变岩, 且矿脉两侧蚀变带宽度与矿脉宽度有一定的相关性。绢英岩形成温度为 300—310 °C, Rb—Sr 等时线年龄为 118Ma, 可见, 容矿岩体遭受韧性变形 (冷凝至 350 °C) 与金矿成矿作用发生间隔 12Ma, 温度差约 100 °C。据含金石英脉石英包裹体水盐度中间值 4.4N (NaCl) 和成矿温度 300 °C 估算金矿形成深度小于 1km。而岩体大规模韧性变形所需要深度一般都大于 10km。岩体形成后由于抬升作用, 迅速冷却, 并发生脆、韧性变形作用, 不仅为成矿热液提供了运移通道和容矿空间, 也为岩石中金的活化迁移提供了有利条件。在脆、韧性变形作用中形成的微晶糖粒状石英集合体成为金矿富集的

有利载体。研究表明,成矿热液是由花岗岩侵位并发生抬升的过程中使地下水加热并和深源含金热液混合形成的混合热液,它富集深源成矿元素并不断萃取花岗岩、变质岩系及煌斑岩中金等成矿元素,并由于抬升、减压,约在1—0.7km深处断裂带有利部位富集成矿,可见昆崙山花岗岩体与金矿有十分密切的成因关系。

6 结论

(1) 昆崙山花岗岩为燕山期大型复式岩基。它是由来源于中地壳下部或下地壳上部的岩浆缓慢冷却结晶形成,并非交代成因。源岩为中酸性变质火山岩系(太古宙—元古宙)。

(2) 岩体具有的片麻状构造是岩体定位过程中韧性变形的同构造产物,不是交代作用的结果。岩浆上侵定位是造成胶北地块中生代抬升的主要动力。

(3) 含金石英脉是在昆崙山花岗岩抬升固结和发生韧、脆性变形之后沿断裂带形成的,成矿与成岩作用发生时间有一定间隔,花岗岩浆上侵和岩体形成以及伴随的韧、脆性变形作用与金矿形成有十分密切的关系。

本文是“八五”攻关项目“中国花岗岩—绿岩地体金矿特征、矿床模式及远景预测”专题研究成果的一部分。工作中得到冶金部天津地质研究院、山东地矿局地质三队和牟平县金矿等单位有关同志的热情支持,特此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 徐金方、沈步云、牛良柱等. 胶北地块与金矿有关的花岗岩类研究. 山东地质, 1989, 5(2).
- 2 山东地质矿产局. 山东地质志. 地质出版社, 1990.
- 3 安家桐、丁东斌、沈昆等. 山东牟平—乳山地区金矿控矿条件的研究. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集(5). 地质出版社, 1988.
- 4 王德滋、王赐银、于津海. 昆崙山混合杂岩体的地质特征及成因. 南京大学学报, 1989, 25(4).
- 5 于津海. 胶东东部昆崙山混合杂岩体的形成时代及成因. 地质论评, 1989, 35(4).
- 6 徐景奎、杨惠芳、赵伦山等. 胶东昆崙山复式花岗岩体的地质地球化学研究. 长春地质学院学报, 1990, 21(2).
- 7 求有守、王孔海、杨广华等. 山东牟平乳山地区变质岩和花岗岩含金性及与金矿关系. 中国金矿主要类型区域成矿条件文集(5). 地质出版社, 1988.
- 8 汤立成. 山东东部花岗岩特征和成因的几点认识. 山东地质, 1991, 7(2).
- 9 林景任、谭东娟. 山东半岛中生代多系列花岗质岩浆的起源. 地质学报, 1990, (4).
- 10 张德全、徐洪林、孙桂英. 山东邓格庄金矿与昆崙山花岗岩的定位时代及其地质意义. 地质论评, 1995, 41(5).
- 11 穆克敏、林景任、邹祖荣等. 华北地台区花岗质岩石的成因. 吉林科学技术出版社, 1989.
- 12 Pivinskil A J. Studies of batholithic feld spars Sierra Nevada. California, Contr. Mineral Petrol. 1968, 17(204).

Characteristics and Genesis of Kunyushan Granite and Its Relation with Gold Deposits in Jiaodong

Xu Honglin Zhang Dequan Sun Guiying

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words granite; geology-geochemistry and genesis; gold deposit; Kunyushan; Jiaodong

Abstract

Kunyushan granite distributed in Muping-Rushan area of Jiaodong is a multiphase gneissic complex intrusion. It is composed of Duoguding gneissic granodiorite (147 Ma), Bamenzhoujia gneissic porphyritic granodiorite (135 Ma), Washan-Shuidao monzonitic granite and Wuzhaoshan gneissic garnetiferous monzonitic granite (120 Ma), and is geochemically characterized by poor aluminium and rich alkali. According to our work, it was emplaced mainly in Jurassic and, instead of being formed by metasomatism, was formed by condensed crystallization from magma derived from melting of Proterozoic intermediate-acid metamorphosed volcanic rocks situated in the lower-middle crust or the upper part of the lower crust, as a result of sudden decrease in pressure and temperature in the pliable lower crust. The granite was formed by crystallization and later it underwent plastic and brittle deformation. The different directions of gneissosity of the intrusion resulted from plastic deformation of melt as a result of different directions of stress. Faults and shatter zones formed by brittle deformation constitute the main passageways and host structures.

There is a close relation between the emplacement and deformation of granite and the ore-forming process of the gold deposits. In the process of brittle deformation of the intrusion, the silica-rich hydrothermal solution crystallized and the recrystallization of quartz provided the carrier (quartz veins) for the concentration of mineralized materials. The main ore-forming solution was the mixture of deep source auriferous hydrothermal solution and heated circulated groundwater. It extracted gold from metamorphic rocks, granite and lamprophyre, and caused its mobilization, migration and enrichment to form gold orebodies.