

威海北部古元古代岩石地层——荆山岩群

于海新 崔书学 林治文

(山东省第六地矿勘查院)

王春亭 兰建国

(山东省招远市地矿局)

提要 出露于威海北部的古元古界荆山岩群,呈包体状零散分布在新元古代晋宁期荣成超单元中,经过区域对比,可将其划分为3个岩组共6个岩段。麻粒岩、石榴夕线黑云片岩、堇青石榴夕线黑云片岩、方镁石镁橄榄石大理岩及透辉石镁橄榄石大理岩等是荆山岩群经历过麻粒岩相变质作用形成的指示性岩石(组合)。麻粒岩相变质作用分为3个阶段:早期阶段 $T=550\sim 600^{\circ}\text{C}$, $P=0.2\sim 0.55\text{GPa}$, 地热梯度平均 $38^{\circ}\text{C}/\text{km}$; 峰期阶段 $T=700\sim 820^{\circ}\text{C}$, $P=0.71\sim 1.0\text{GPa}$, 地热梯度平均 $26^{\circ}\text{C}/\text{km}$; 晚期阶段 $T<700^{\circ}\text{C}$, $P=0.65\text{GPa}$, 地热梯度 $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。属低压区域变质相系。 PTt 轨迹总体呈逆时针形式,表明本区麻粒岩相变质作用发生的大地构造环境靠近大陆边缘的岛弧区。

1 概述

1958年长春地质学院与山东省地质厅在威海地区开展1:20万区调及1968年山东省地质局805队进行1:20万区调修测时,将区内的一套前寒武纪变质杂岩划归为上太古界胶东群。1988~1992年山东省地矿局区调队、1990~1995年山东省地矿局第六地质队,通过新一轮的区调工作,采用新的填图方法,把这套变质杂岩中大面积分布的片麻岩类确定为变质变形的深成侵入体——新元古代晋宁期荣成超单元,将其中呈包体状存在的变质层状岩系,通过区域对比,划归为古元古界荆山岩群,其分布零散,支离破碎,顶底不全,且规模不一。

该区荆山岩群主要分布在大西庄—前双岛、马格村—温泉寨、庙疃—远遥、庙口—林家院、东车门夙—辇子、凤凰山—岚子顶等地,出露总面积约 28km^2 。荆山岩群自下而上划分为禄格庄岩组、野头岩组、陡崖岩组,是区内石墨、大理岩、透辉岩、夕线石等非金属矿产的主要含矿层位(表1)。

2 主要岩类岩石学特征

2.1 含石墨夕线石榴黑云片岩

鳞片变晶结构,片状构造,主要矿物组成为:①黑云母(60.96%),片状,褐色,多色性

① 本文1997-02收到,1997-07改回。

表1 区内荆山岩群组划分及其地质特征
Table 1 Rock associations division and their geologic characteristics

岩组	岩段	厚度(m)	主要岩性组合	接触关系	同位素年龄(Ma)	赋存矿产	分布
陡崖岩组	核桃林片岩段	>308	以石榴夕线黑云片岩、含蓝晶石夕线石榴黑云片岩、夕线黑云片岩、夕线石榴黑云片岩、石榴黑云片岩等高铝片岩组合为主,夹有透闪透辉变粒岩、黑云变粒岩及含方镁石、透闪透辉大理岩透镜体	整合接触	铀石 U-Pb 1743.89; 铀石 U-Pb 1847.8	夕线石(不具有工业价值)	大西庄北东车门布、 辇子、远遥村、小石 岛、凤凰山、夙子顶、 夙子嘴
	徐村含石墨岩系段	>290	以石墨透辉变粒岩、含石墨黑云变粒岩、黑云变粒岩、长石英岩、石英岩为主,夹有黑云片岩、透闪透辉石岩、透辉变粒岩层等。内有石榴透辉斜长麻粒岩透镜体	区内未见直接接触,被侵入体断开		石墨	
野头岩组	定国寺大理岩段	>250	以厚层含方镁石蛇纹大理岩、透闪大理岩、蛇纹石化橄榄透辉大理岩、白色透闪透辉石岩为主,夹有透闪石岩等	整合接触	铀石 U-Pb 1801; 铀石 U-Pb 1965	大理岩 透辉岩	烟墩山、宁阳村
	祥山变粒岩段	>50	以透闪变粒岩、透闪阳起透辉变粒岩、阳起黧帘透辉变粒岩与透辉阳起大理岩薄层互层,厚层状黑云变粒岩与薄层状透闪透辉岩互层,夹少量透闪长石英岩层	区内未见直接接触,被侵入体断开			庙口—林家院、 马格村—温泉寨
禄格庄岩组	安吉村片岩段	>414	以含电气石夕线二云片岩 含电气石夕线黑云片岩、含电气石夕线二云石英片岩 石榴夕线黑云片岩、含石榴二云片岩、黑云片岩、黑云石英片岩等,夹有黑云变粒岩及大理岩透镜体				

明显, N_g —深褐色, N_p —浅黄褐色, N_m —黄褐色, 内有石榴子石包体, 被白云母交代析出铁质物; ②白(绢)云母(7.23%), 片状、鳞片状、交代黑云母, 多数单独形成条带, 沿粒状矿物间隙定向分布, 内有夕线石残余; ③夕线石(2%), 长柱状、毛发状单体, 集合体为束状, 一般呈残余状分布于白云母中, 也有呈集合体分布于黑云母集合体中, 呈断续定向分布; ④石榴子石(1.77%), 他形粒状, 均质体, 微褐色, 切穿黑云母, 而被绢云母围绕; ⑤斜长石(5.47%), 他形板状, 具聚片双晶, 内含圆粒状石英包体, 与石英形成扁豆状集合体, $An=35$, $2V=82^\circ$; ⑥石英(16.85%), 他形粒状, 具波状消光, 在与斜长石构成的扁豆体内呈定向排列; ⑦石墨(1.77%), 片状, 黑色, 不透明, 沿黑云母间隙零星分布。

2.2 黑云斜长变粒岩

鳞片粒状变晶结构, 块状构造, 其中黑云母普遍呈断续定向分布。主要组成矿物为: ①斜长石(29.84%), 他形板状、粒状, 具聚片双晶, 一般形似小扁豆体, 周边常被绢云母交代, $An=38^\circ$, $2VN_p=80^\circ$; ②石英((40.23%), 他形粒状, 具波状消光, 多形成扁豆体状, 断续定向分布; ③黑云母(19.53%), 片状, 褐色, 多色性明显, 被绢云母交代, 断续定向分布; ④微斜长石(4.68%), 他形板状, 不规则板状, 常熔蚀交代斜长石形成净边、蠕虫、缝合线等交代结构; ⑤白(绢)云母(2.63%), 灰色, 片状, 交代黑云母、斜长石, 多数单独形成长条状集合体沿粒状矿物间隙分布; ⑥石墨少量。

2.3 石墨透辉变粒岩

花岗纤状变晶结构、鳞片纤状花岗变晶结构, 块状构造。主要组成矿物: ①斜长石(38%), 呈他形板状, 个体较小, 内含蠕虫状石英, 呈不规则状集合体包于微斜长石集合体之中; ②石英(5%), 呈他形粒状, 波状消光; ③微斜长石(8%), 呈他形板状, 大小不等, 集合体周围有发育的蠕英长石; ④黝帘石(5%), 他形柱状, 无色; ⑤透闪石(8%), 呈长柱状, 无色, 具闪石式解理, 呈断续的定向分布; ⑥透辉石(18%), 呈柱状, 无色, 横断面两组近垂直解理, 多形成长条状集合体定向排列, 沿粒状矿物间隙分布; ⑦石墨(18%), 呈片状, 断续定向分布于主要矿物间隙、裂隙或呈包体分布于石英、微斜长石中。

2.4 透闪透辉大理岩

白色, 纤状花岗变晶结构, 块状构造。岩石中主要矿物: ①方解石(80%~95%), 他形粒状, 不规则粒状, 粒径 1~3mm, 双晶发育, 彼此紧密镶嵌; ②透闪石(5%), 柱状、粒状, 无色, 横切面具闪石式解理, 嵌布在方解石内或晶隙, 常具滑石化; ③透辉石(10%~15%), 短柱状, 可见近四边形的横断面, 并具辉石式解理; 常含有少量橄榄石、方镁石、石墨、金云母等矿物。

2.5 石英岩

粒状变晶结构, 块状构造, 矿物粒径 0.5~3mm, 主要为镶嵌分布。主要矿物成分: ①石英(>85%), 他形粒状, 具明显波状消光, 彼此镶嵌分布; ②斜长石(<10%), 他形粒状, 半自形板状, 发育聚片双晶, 具土化、绢云母化。

3 岩石化学特征

3.1 常量元素特征

荆山岩群各组段主要岩石类型岩石化学特征,列于表2中。采用尼格里四面体图解, $(al+fm)-(c+alk)-si$ 图解及 $K-A$ 等图解,并结合野外产状进行原岩恢复。经判别,云母片岩类原岩为富碳质富铝泥质沉积岩,黑云变粒岩类原岩为陆源泥质杂砂质沉积岩,钙镁硅酸盐类原岩为钙镁质粘土岩,石英岩类的原岩为砂质碎屑沉积岩。大理岩类常含有透闪石、透辉石、橄榄石等副矿物,并显示出富硅、铝、镁,贫钙、碳的特点,其原岩应为含泥白云质灰岩。成岩环境均为陆棚浅海相。

另外,荆山岩群中存在较多的似层状的斜长角闪岩,据其粒度较粗、岩性均一、成层性差的特征,并结合 $MgO-CaO-FeO$ 图解进行判别,区内斜长角闪岩类的原岩绝大部分为基性岩脉或岩床。

3.2 微量元素特征

荆山岩群中不同岩类微量元素含量见表3。由表中可以看出,大理岩类及石英岩类的微量元素含量远远低于云母岩类、钙镁硅酸盐类及变粒岩类。

3.3 稀土元素特征

荆山岩群各组段不同岩类稀土元素含量详见表4,分布型式曲线见图1。

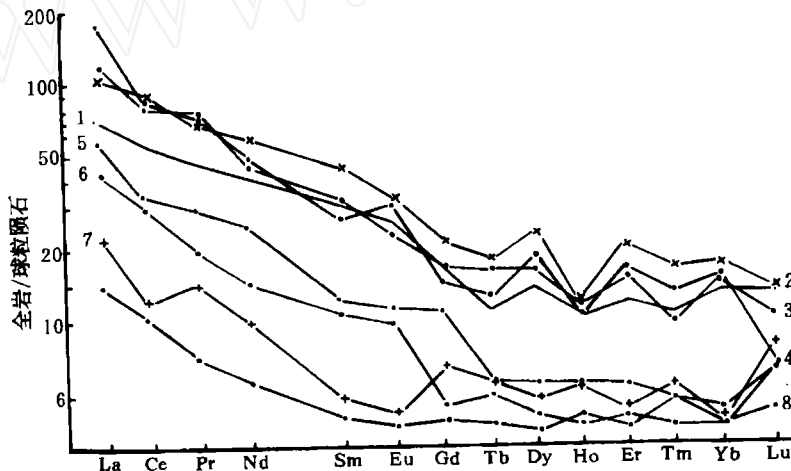


图1 荆山岩群不同岩类稀土元素分布型式
样品序号同表4

Fig. 1 Distribution types of rare earth elements in different rock types of Jinshan group

从表4中可以看出,石英岩类和大理岩类的稀土总量相近;云母片岩类和钙镁硅酸盐类的稀土总量亦相近,但其高于石英岩类及大理岩类(高出4~6倍)。轻重稀土比值由大到小依次为石英岩类、云母片岩类、钙镁硅酸盐类、大理岩类,反映出轻稀土富集程度以石英岩类最高,大理岩类最低。稀土分布型式均为右倾较平滑曲线,均为轻稀土富集型。石英岩类两条曲线均具较明显的Eu谷,岩石中的Eu具负异常,钙镁硅酸盐类两条曲线具较明显的Eu峰,岩石中Eu具正异常,云母片岩类及大理岩类曲线Eu的峰、谷不明显,岩石中Eu稍显负异常。

表 2 荆山岩群各段主要岩石类型岩石化学特征
Table 2 Petrochemical characteristics of major type rocks in Jinsan group

岩组	岩段	岩性	样品数	化 学 成 分 (wt%)											尼 格 里 数 值								
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	H ₂ O	合计	al	fm	c	alk	si	c/fm
陡	水蜜桃林片岩段	(含石墨、夕线、石榴夕线)黑云片岩	11	58.17	0.76	18.63	3.80	4.84	0.13	1.20	3.22	1.19	3.76	0.06	0.08	3.90	99.73	39.94	42.18	4.83	13.05	237	0.15
	疙瘩状夕线二云片岩		1	62.44	0.53	16.85	1.29	6.49	0.11	1.24	3.21	1.59	2.56	0.06	0.02	3.46	99.85	38.63	43.86	5.17	12.35	243	0.12
崖 岩 组	(含石墨)黑云变粒岩		4	60.54	0.62	13.89	4.16	1.24	0.17	5.85	3.64	1.94	1.84	0.07	0.29	96.82	32.09	35	20.74	12.17	297	0.59	
	(含透辉、透闪、蛇纹、橄橄)大理岩		3	11.37	0.05	1.52	0.61	0.69	0.04	38.62	12.52	0.11	0.09	0.03	33.04	99.44	1.45	31.02	67.24	0.29	180	7.02	
	(含石墨、透闪、透辉)石英岩		4	86.58	0.08	2.42	0.64	1.42	0.09	3.97	3.01	0.26	1.42	0.09	0.45	100.43	195.60	51.60	22.21	10.57	1421	0.48	
	(透闪石墨、石墨透辉、透闪、石墨透闪、透辉石墨)变粒岩		4	53.56	0.67	13.39	3.52	1.69	0.10	9.72	5.38	1.67	1.63	0.08	0.51	98.26	24.16	36.14	31.39	8.31	164	0.88	
野 头 岩 组	定大寺段	(含方镁、蛇纹、透闪、透辉)大理岩	5	24.55	0.12	2.47	0.98	1.12	0.06	25.45	19.49	0.18	0.14	0.04	25.57	100.34	2.65	50.81	46.04	0.50	42.17	3.15	
	祥粒山岩段	(透闪阳起、阳起、透辉、石墨透辉、透闪)变粒岩	4	58.72	0.46	12.02	2.77	2.05	0.23	8.27	5.67	2.50	3.47	0.10	0.24	98.38	16.21	35.65	27.91	14.48	177	0.85	
禄 椿 庄 岩 组	安片岩村段	(夕线)黑云片岩	3	70.41	0.81	14.24	3.63	4.27	0.04	0.73	1.19	0.86	2.50	0.27	1.28	100.23	29.95	41.93	4.10	13.18	578	0.10	

表 3 荆山岩群不同岩类微量元素含量 (10^{-6})
Table 3 Microelements contents of different rock types in Jinshan group

岩类	样号	岩性	Pb	Li	Be	Sr	Ba	Co	Cr	Ni	Cu	Zn	Mo	Rb
云母片岩类	PlaG-3	夕线黑云片岩	26.90	18.30	4.64	214	773	24.50	139	39.70	25.00	109	1.71	78.80
	-2	疙瘩状石榴夕线黑云片岩	32.50	22.80	6.91	157	913	30.70	183	75.10	47.90	137	0.71	134
	PleG-4	夕线黑云片岩	16.80	23.80	6.60	111	840	19.40	212	44.80	74.30	130	1.51	137
	-6	石榴夕线黑云片岩	16.80	36.20	4.72	96.40	707	29.80	188	59.20	41.90	911	1.41	167
	5G ₉₂ -3002	含石墨黑云片岩	22.00	36.20	0.96	97	570	27.00	152	39.30	-	114	0.54	178
类	PleG-4	含石墨石榴夕线黑云片岩	15.60	30.20	5.54	147	659	18.60	150	34.70	58.40	125	1.41	99.50
	P ₂ G-1	石榴夕线黑云片岩	15.50	3.47	7.70	197	1233	3.01	187	13.40	81.10	40.90	1.29	82.60
	-5	夕线石榴黑云片岩	21.80	8.92	5.21	173	805	32.3	167	69.40	48.80	122	0.98	70.70
	PlaG-1	含石墨透辉透闪变粒岩	13.10	5.94	19.00	591	205	26.30	150	63.90	100	184	2.02	21.70
	PleG-3	石墨透辉变粒岩	22.50	0.59	18.30	1905	1632	45.90	141	59.10	91.90	155	2.48	20.70
变粒岩类	PleG-5	透辉透闪变粒岩	15.20	0.50	6.80	983	83.00	18.40	94.90	43.90	35.10	1020	2.02	2.17
	5G ₉₂ -1005	透闪石墨变粒岩	25.00	12.50	0.96	242	100	14.00	87.60	67.30	-	108	30.60	40.10
	5G ₉₂ -3001	含石墨黑云斜长变粒岩	10.00	17.50	1.04	190	368	20.00	148	25.20	-	67	4.55	45.90
	-3004	黑云变粒岩	21.00	32.50	1.45	85	617	19	64.30	18.10	-	61	1.96	96.40
	PleG-3	含石墨黑云变粒岩	31.20	10.90	4.79	282	845	11.70	117	33.20	43.10	75.70	0.80	44.00
大理岩类	P ₂ G-4	蛇纹石化大理岩	7.30	0.74	3.81	216	35.90	2.83	44.40	11.50	3.62	688	0.83	2.72
	PleG-2	石墨金云大理岩	12.20	0.80	3.57	2174	103	4.29	15.60	10.80	16.40	58.70	0.93	1.09
	PleG-2	蛇纹大理岩	7.00	1.24	3.35	89.50	23.70	0.69	8.52	2.46	7.07	17.00	0.77	1.35
石英岩类	5G ₉₂ -1008	透闪石英岩	9.00	5.00	0.26	17.00	64.00	2.00	12.60	7.00	-	36.30	1.00	4.00
	P ₂ G-4	透辉石英岩	13.70	0.56	1.66	27.00	140	1.89	24.20	5.96	6.81	41.70	2.68	96.20

表 4 荆山岩群不同岩类稀土元素含量(10^{-6})
Table 4 Rare earth elements contents of different rock types in Jinshan group

岩类	岩组	序号	n	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ REE	$\frac{\Sigma$ LREE}{ Σ HREE}	δ Eu
钙镁硅 酸盐类	陡崖岩组	1	4	22.38	45.98	5.81	24.68	5.99	2.00	4.39	0.59	5.24	0.86	2.99	0.38	3.18	0.41	124.86	5.93	1.15
	野头岩组	2	3	32.83	74.33	8.77	35.97	9.00	2.55	5.43	0.90	8.64	0.94	4.37	0.45	3.94	0.45	188.49	6.47	1.00
片岩类	陡崖岩组	3	9	40.58	67.04	9.18	28.47	6.20	1.74	4.61	0.87	6.21	0.93	3.69	0.39	3.78	0.39	188.40	5.85	0.95
	禄格庄岩组	4	3	18.20	26.67	3.67	15.60	2.61	0.87	3.02	0.35	2.40	0.50	1.37	0.20	1.03	0.27	76.77	22.17	0.81
大理岩 类	陡崖岩组	5	2	6.80	10.30	1.89	5.88	1.24	0.32	1.93	0.34	1.88	0.51	1.01	0.23	0.68	0.28	33.26	8.18	0.53
	野头岩组	6	4	4.76	8.91	1.03	4.21	0.70	0.21	1.12	0.13	0.77	0.30	0.57	0.19	0.53	0.17	23.58	5.26	0.85
石英岩 类	陡崖岩组	7	2	4.55	10.15	0.95	4.35	0.63	0.08	0.67	0.11	0.67	0.15	0.39	0.06	0.41	0.06	23.20	8.28	0.72
		8	1	8.72	16.5	1.31	6.08	2.47	0.38	1.86	0.29	1.89	0.29	0.29	1.48	0.31	1.42	0.33	36.37	38.97

4 变质作用研究

古元古界荆山岩群经历了麻粒岩相变质作用,它是区内较早的一次区域变质作用。麻粒岩、石榴夕线黑云片岩、堇青石榴夕线黑云片岩、方镁石镁橄榄石大理岩及透辉石镁橄榄石大理岩等是荆山岩群经历过麻粒岩相变质作用的指示性岩石(组合)。

4.1 麻粒岩相变质作用的确定

4.1.1 麻粒岩

作为经历麻粒岩相变质作用的重要标志是在荆山岩群中出现了石榴角闪二辉麻粒岩,它的共生矿物组合是紫苏辉石+透辉石+铁铝榴石+斜长石+石英,这5相矿物共存有着特殊的指示意义。格林和林伍德(1967)通过实验证明温度在700℃,压力在0.8~1GPa时,上述5相矿物稳定共存。本区麻粒岩中还含有棕黄色的角闪石,经电子探针分析证明,该棕黄色角闪石中的TiO₂含量为1.69%~1.89%,其亦属于麻粒岩相共生矿物。

4.1.2 石榴夕线黑云片岩及堇青石榴夕线黑云片岩

此类黑云片岩是组成荆山岩群的主要岩石类型之一,也是泥质原岩经麻粒岩相变质而成的代表性岩石,特别是堇青石榴夕线黑云母片岩,其共生矿物组合为夕线石+堇青石

+铁铝榴石+黑云母+石英,其中堇青石和铁铝榴石的共生是有重要意义的。该岩石中堇青石多生长在铁铝榴石周围,显示着堇青石是由铁铝榴石转变而成的。但是将这两矿物的 x_{Fe} ($x = FeO/MgO + FeO$) 投在 $P-x$ 图解上,其连线与其它标准连线平行,故两者应为一共生矿物对。另外,本区堇青石榴夕线黑云片岩的 $FeO/(MgO + FeO) = 0.81$,将其投影在与全岩成分有关的各种 $FeO/(MgO + FeO)$ 比值的堇青石+铁铝榴石+夕线石+石英共存的 $P-T$ 图解中(图2),正好落在堇青石和铁铝榴石的共生区,也表明区内堇青石与铁铝榴石为一共生矿物对。G·H·F温

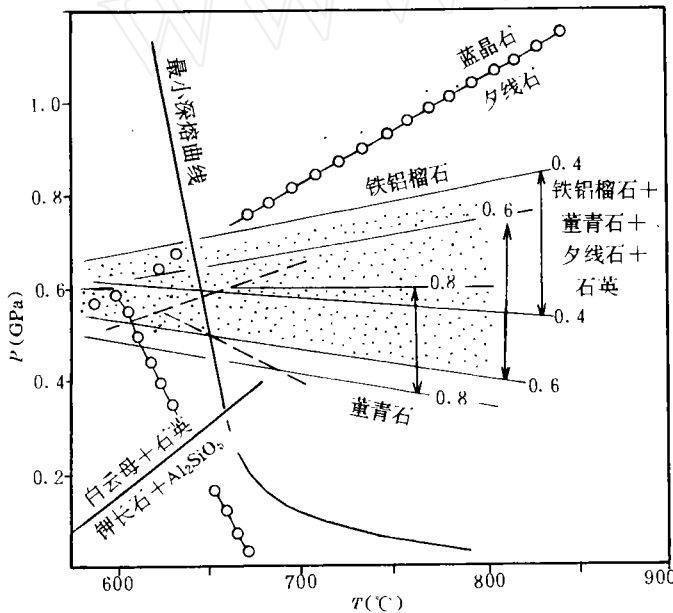


图2 与全岩成分有关的各种 $FeO/(MgO+FeO)$ 比值的堇青石+铁铝榴石+夕线石+石英共存的 $P-T$ 图解
Fig. 2 $P-T$ diagram of cordierite, almandine, sillimanite and quartzite under different ratio of $FeO/(MgO+FeO)$ related to rocks compositions

克勒(1975)认为,堇青石+铁铝榴石这对矿物,仅限于高级变质中区域紫苏辉石带(麻粒岩相)的一个特殊的 $P-T$ 范围内。柯里(1971,1974)通过实验证明,这对共生矿物的形成

应在 0.4~0.8GPa 和 600℃ 以上,即这种共存只有在高温和中压范围内才有可能。

石榴夕线黑云片岩,其特征与堇青石榴夕线黑云片岩相似,唯独缺少堇青石,这是因为岩石中 MgO 含量相对较低、FeO/(MgO+FeO) 比值小有关。

上述岩石中有两期夕线石。第一期夕线石晶体粗大,长柱状,多以自形的单体出现,与堇青石、铁铝榴石等矿物共生,它是麻粒岩相变质作用的产物;第二期夕线石晶体细小,多为毛发状、细针状,并常以集合体方式产出,其属于叠加的角闪岩相变质作用的产物。

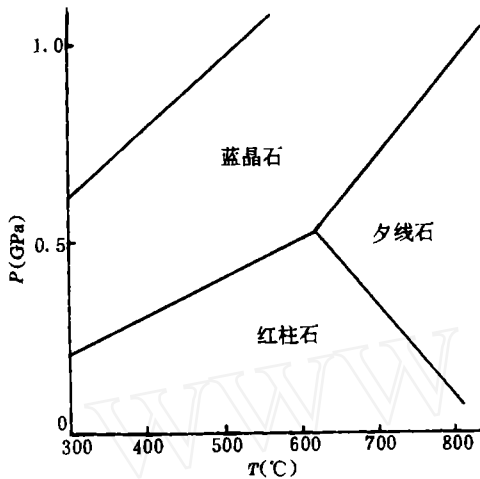


图3 Al_2SiO_5 多型体转变的平衡曲线 (Richardson et al., 1969)

Fig. 3 Equilibrium curve of Al_2SiO_5 polytypism conversion

此外,在夕线黑云片岩中,发现有蓝晶石和夕线石共存的现象。蓝晶石晶形较完整,看不到变形迹象,明显切割早期由夕线石构成的片理,表明蓝晶石形成比夕线石稍晚。夕线石处于一种过稳定状态,或正处于二者的单变线上。夕线石向蓝晶石转变并非突然事件,因为夕线石仍可在蓝晶石稳定区内继续保持一段时间。实验证明 Al_2SiO_5 三相矿物共存大致在 0.6GPa 和 600℃ 为中心的周围(图3)。从相图上可知,蓝晶石和夕线石的共生线所示的温压均在三相点以上,夕线石呈现的过稳定状态,也说明压力是较高的。所以本区蓝晶石和夕线石共存所标志的温压条件至少在 $P=0.6GPa, T=600℃$ 以上。

4.1.3 方镁石镁橄榄石大理岩和透辉镁橄榄石大理岩

大理岩也是组成荆山岩群的主要岩石类型,其矿物共生组合同样表明其曾经历了麻粒岩相变质,如透辉石+镁橄榄石+方解石+白云石。P·梅茨(1973)实验研究证明其形成于 $P=0.5GPa$ 和 $T=700℃$ 以上。在富镁的大理岩中还出现了方镁石。一般认为方镁石是由白云石分解而成的,白云石的分解需要较高的温度,压力为 0.1GPa 时,温度需要 820℃ (温克勒,1975)。大理岩中常有透闪石出现,多交代麻粒岩相矿物,属后期叠加变质的产物。

综上所述,区内荆山岩群经历了麻粒岩相变质作用,根据各代表性岩石所指示的温压范围综合推断,本区麻粒岩相变质的形成条件是 $P=0.5\sim 0.8GPa, T=700℃ \pm$ 。

4.2 麻粒岩相变质作用的温压条件

4.2.1 峰期阶段

本区麻粒岩相变质作用的主期阶段的温压条件是根据角闪石榴二辉麻粒岩(样品号为 93-569)、黑云角闪二辉麻粒岩(4422-4)中的二辉石(opx-cpx)地质温度计和石榴子石-斜方辉石(gt-opx)矿物地质压力计以及特征变质矿物方镁石等计算的。见表5。

上述矿物对所在第1种岩石(93-569)是含有含水矿物角闪石或黑云母的二辉麻粒岩,因此采用内赫鲁和威利的计算方法比较合适,温度在 700~800℃,压力在 0.71~0.85GPa。根据方镁石的形成温压条件(820℃),确定本区麻粒岩相变质作用的峰期二辉

石阶段温度在 700~820℃,压力在 0.71~0.85GPa。

表 5 麻粒岩相矿物对地质温压计估算的 $P-T$ 条件

Table 5 Estimated $P-T$ condition according to the geothermometer of granulite facies mineral pair

样品号	$Al_2Si_2O_6$	$Al_2Si_2O_6$	$X_{Fe^{2+}}$	$(1-y)_g$	ΔV_T	X_{Al}	$T_1(^\circ C)$	$T_2(^\circ C)$	$T_3(^\circ C)$	$P_1(GPa)$	$P_2(GPa)$	$P_3(GPa)$
93-569	0.336	0.034	0.371	0.405	-7.935	0.0274	835	699	730	1.36	0.71	0.85
93-569	0.297	0.045	0.411	0.405	-7.90	0.02	865	766	826	1.85	1.33	1.64
4422-4	0.276	0.062	0.432				905	846	948			
4422-4	0.312	0.047	0.392				873	771	832			
93-85	0.393	0.102	0.288	0.482	-8.14	0.0655	1030	981	1125	1.48	1.28	1.87
93-85	0.378	0.110	0.320	0.482	-7.998	0.0396	1021	990	1147	2.07	1.93	2.66

93-569 为角闪石榴二辉麻粒岩;4422-4 为二辉麻粒岩;93-85 为石榴二辉麻粒岩。计算公式采用:伍德和坂野(1973)、内赫鲁和威利(1974)、林斯和迪克松(1974)、伍德(1974)等。

4.2.2 峰期前阶段

麻粒岩相变质作用峰期前阶段,在基性麻粒岩中未发现早期矿物组合残留,但在夕线石片岩中发现有早期红柱石残晶(荣成俚岛)。从岩相学观察存在红柱石→夕线石的早期变质反应,以及黑云母不稳定分解形成堇青石和夕线石(毛发状)的现象,均表明在麻粒岩相峰期前阶段确实存在低压升温的变质过程。根据堇青石的 X_{Mg} 与压力的线性关系(阎月华,1991)估算的压力在 0.55GPa,据 gt-cord 温度计估算温度在 550~600℃(表 6)。结合红柱石转变为夕线石的温压条件,可推断麻粒岩相变质早期阶段的 $P-T$ 条件, $T=550\sim 600^\circ C$, $P=0.2\sim 0.55GPa$ 。

表 6 富铝片岩石榴子石-堇青石及堇青石估算的 $P-T$ 条件

Table 6 Estimated $P-T$ condition according to schist garnet-cordierite of allitic and cordierite

样品号	$[Mg/(Mg+Fe^{2+}+Mn)]^{gt}$	$[Mg/(Mg+Fe^{2+}+Mn)]^{cord}$	$[Mg/(Mg+Fe^{2+})]^{cord}$	$T(^\circ C)$	$P(GPa)$
B4458-2	0.10 0.13	0.59 0.57	0.59 0.58	550 600	5.5 5.4

4.2.3 峰期后阶段

麻粒岩相变质作用的峰期后阶段,在基性麻粒岩、石榴二辉麻粒岩中的斜方辉石、斜长石不稳定,存在石榴子石的反应边,表明麻粒岩相变质作用峰期后温度变化不大而压力升高,出现降温升压或近等温升压过程。前已述及,在富铝变质上壳岩中也多处出现夕线石转变为蓝晶石的现象,反映麻粒岩相峰期后阶段压力较高。

麻粒岩相变质作用的更晚期阶段,在两种辉石的外边缘出现黄绿色角闪石退变反应

边,或褐色黑云母退变边,出现较多含水矿物。根据包裹在辉石外围的退变角闪石及斜长石的地质温压计估算的 $P-T$ 值见表 7。

表 7 麻粒岩相变质作用晚期阶段 $P-T$ 条件估算
Table 7 Estimated $P-T$ conditions in the late period of granulite facies metamorphism

样品号	$x_{\text{An}}^{\text{Pl}}$	$x_{\text{An}}^{\text{Kfs}}$	$T(^{\circ}\text{C})$	$P_1(\text{GPa})$	$P_2(\text{GPa})$	$P_3(\text{GPa})$
93-569	0.67	0.47	700	0.81	0.88	0.67
93-569	0.72	0.54	700	0.88	0.95	0.73

4.3 麻粒岩相变质作用 PTt 轨迹

综上所述研究,本区麻粒岩相变质作用各阶段的 $P-T$ 条件如下:早期阶段 $T=550\sim 600^{\circ}\text{C}$, $P=0.2\sim 0.55\text{GPa}$,地热梯度平均 $38^{\circ}\text{C}/\text{km}$;峰期阶段 $T=700\sim 820^{\circ}\text{C}$, $P=0.71\sim 1.0\text{GPa}$,地热梯度平均 $26^{\circ}\text{C}/\text{km}$;晚期阶段 $T<700^{\circ}\text{C}$, $P=0.65\text{GPa}$,地热梯度平均 $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。变质相系属低压区域变质相系,只是峰期阶段压力较高,接近中压区域变质相系的临界线。

荆山岩群形成于古元古代,至古元古代末期(t_1),随着地壳拉伸减薄,热流值的不断升高,麻粒岩相变质作用(早期阶段)开始发生,到中元古代(t_2)到达峰期,持续至新元古代末(t_3)则进入了晚期阶段。晚期阶段属于新元古代普遍发生的角闪岩相变质作用的前期阶段,二者是一个连续的变质作用演变过程。

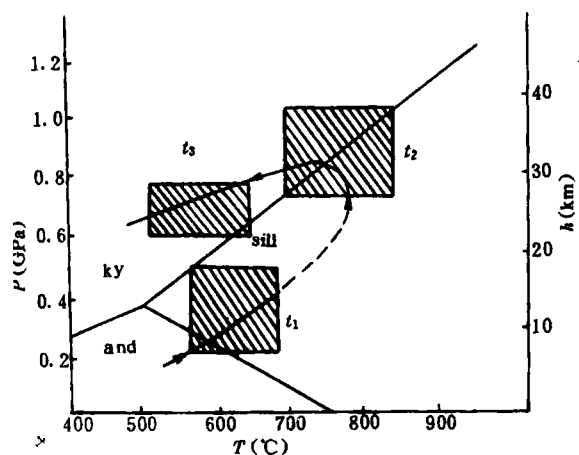


图 4 威海地区麻粒岩相变质作用 PTt 轨迹

Fig. 4 PTt trace of granulite facies metamorphism in north weihai area

变质反应 Al_2SiO_5 三相点据 Holdaway(1971);斜线部分为变质作用各阶段的 $P-T$ 范围; t_1, t_2, t_3 分别代表早期、峰期、晚期 3 个阶段

本区建立的麻粒岩相变质作用的 PTt 轨迹,见图 4。总体呈一逆时针演化形式,早期升温速率大于升压速率,首先温度达到峰期,稍后压力达到峰期,峰后则开始冷却近等压降温,晚期冷却速率大于降压速率。总体特征类似于大陆岛弧区或大陆边缘造山带的变质作用 PTt 轨迹(据 Bohlrn, 1987)。据 Wells(1980)研究,这种 PTt 轨迹起因于地壳底部的岩浆垫托作用,岩浆侵入地壳内或岩浆穿过地壳运移。本区在新元古代确实发生了大规模的岩浆侵位(荣成超单元)。荆山岩群麻粒岩的形成机制就是地壳负荷增大之前或期间受到明显的加热作用,导致荆山岩群中与麻粒岩共生的岩石中广泛分布有夕线石。此外,退化变质的 PTt 轨迹通过蓝晶石区,这与在荆山岩群麻粒岩相区的某些变质岩石中蓝晶石的存在是吻合的。

此外,退化变质的 PTt 轨迹通过蓝晶石区,这与在荆山岩群麻粒岩相区的某些变质岩石中蓝晶石的存在是吻合的。

5 形成时代

荆山岩群明显被荣成超单元侵入、切割而呈零散包体状分布在其中。荣成超单元岩性为片麻状花岗闪长岩类及片麻状二长花岗岩类,形成于新元古代(682~797Ma),由此证明荆山岩群形成于新元古代以前,大量同位素测年年龄值均集中在古元古代末期范围(表8),由此可确定区内荆山岩群形成于古元古代末期。

表8 荆山岩群同位素年龄值测定结果
Table 8 Determined isotopic ages of Jinshan group

序号	层位	岩性	采样位置	测试时间	测试方法	年龄值 (Ma)
1	安吉村片岩段	黑云片岩	牟平莱山	1989年	锆石 U-Th-Pb 一致曲线	2484±21.34
2	水桃林片岩段	石榴黑云片岩	南水桃林	1990年	锆石 U-Pb	1847.8
3	祥山变粒岩段	黑云变粒岩	单顶	1991年	锆石 U-Pb 一致曲线	1801
4	祥山变粒岩段	角闪斜长变粒岩	南北山	1991年	锆石 U-Pb 单颗粒	1965
5	水桃林片岩段	含石墨石榴夕线黑云片岩	前双岛	1994年	锆石 U-Pb 一致曲线	1743.89±5.75

1,2 据山东省地矿局第三地质队;3,4 据山东地矿局区调队;5 据山东地矿局第六地质队。

本文是集体工作成果,在成文过程中参考了山东省地矿局第六地质队 1:5 万威海等 9 幅(1995)及山东省地矿局区调队 1:20 万威海等 4 幅区调报告。文稿编写过程中又得到了山东地勘局地科处高级工程师张成基先生的指导,在此一并表示谢意。

主要参考文献

王仁民等. 变质岩图解判别法. 北京:地质出版社,1987

PALEOPROTEROZOIC LITHOSTRATA IN THE NORTH WEIHAI – JINSHAN GROUP

Yu Haixin, Cui Xueshu and Lin Zhiwen

(No. 6 Geological Exploration Institute of Shandong)

Wang Chunting and Lan Jianguo

(Zhaoyuan Bureau of Geology and Mineral Resources of Shandong)

Abstract

Paleoproterozoic Jinshan group overcropped in the north Weihai distributes sporadically in the Rongcheng intrusive superunit in the Jinning period of Neoproterozoic. According to the regional comparison, it can be divided into three rock formations, including six rock sections altogether. Granulite, Garnet and sillimanite biotite gneiss, periclase and forsterite marble and diopside forsterite are indicative rock formations of Jinshan group to show its forming history of granulite facies. The granulite facies metamorphism can be divided into three stages: early stage, $T=550\sim 600^{\circ}\text{C}$, $P=0.2\sim 0.55\text{GPa}$, and the average geothermal gradient is $38^{\circ}\text{C}/\text{km}$, Peak stage, $T=700\sim 820^{\circ}\text{C}$, $P=0.71\sim 1.0\text{GPa}$, and the average geothermal gradient is $26^{\circ}\text{C}/\text{km}$. Later stage, $T<700^{\circ}\text{C}$, $P=0.65\text{GPa}$, and the geothermal gradient is $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$. It belongs to low pressure regional metamorphic facies. The PTt trace general is wiseclock. It shows that the geotectonic environment where the granulite facies metamorphism took place belongs to island arc near the continental edge.