

胶东地区太古宙变质岩的 pTt 轨迹及其意义

厉子龙

(地质矿产部地质研究所)

提要 作者通过对胶东地区太古宙变质岩详细的野外工作和室内研究,用角闪石环带及共生矿物组合两种方法确定了该区变质作用的 pTt 轨迹。并认为,搞清该区的构造序列、变质作用和岩浆作用期次、生长环带与扩散环带的判别标志都很重要。这对研究和确定胶东地区早期地壳的热演化史和构造形变史都具有重要的意义。

一、前言

以玲珑金矿闻名于世的胶东地区,位于华北地块东侧的胶辽地块南部,其西以郯庐断裂与鲁西地体相分隔,出露最老的岩层是胶东群,其上覆地层为荆山群^[1]、粉子山群和蓬莱群,胶东群归属太古宙^[2],其它为元古宙。本区前寒武纪变质、变形作用具有分带性,时代由老到新,变质程度逐渐降低,从高角闪岩相(局部达到麻粒岩相)到低角闪岩相(绿帘角闪岩相),最后到绿片岩相,变形作用也逐渐减弱,由早期的平卧褶皱、紧闭褶皱、透镜体化、韧性变形为主转变为晚期以开阔褶皱、直立褶皱及脆性变形为主。

二、胶东地区太古宙基本地质特征及采样

胶东地区太古宙岩层以胶东群为主,并有岩浆岩出露。山东区调队等(1986)将该群重新划分为四个组,自下而上为唐家庄组、英庄乔组、齐山组和林家寨组,广泛出露于招远、栖霞、牟平等地。下部主要为基性麻粒岩和斜长角闪岩透镜体与黑云变粒岩互层,中部以长英质片麻岩为主,上部以含石墨和矽线石榴云母片岩、薄层钙硅酸盐岩、片岩互层为主。该群原岩:下部为基性火山—火山沉积岩组合,中部以砂屑沉积岩为主,上部为粘土、半粘土质沉积岩组合^[2]。

本文以栖霞地区为重点(图1),将胶东地区太古宙基本地质特征归纳如下:胶东群的时代暂划归中一晚太古代,笔者认为,在中太古代末期存在 NE-SW 向构造变形作用,变质作用达到高角闪岩相,局部达到麻粒岩相,第二次变形作用受 NE-SW 向主应力挤压作

本文 1991 年 6 月收到,1992 年 8 月改回。

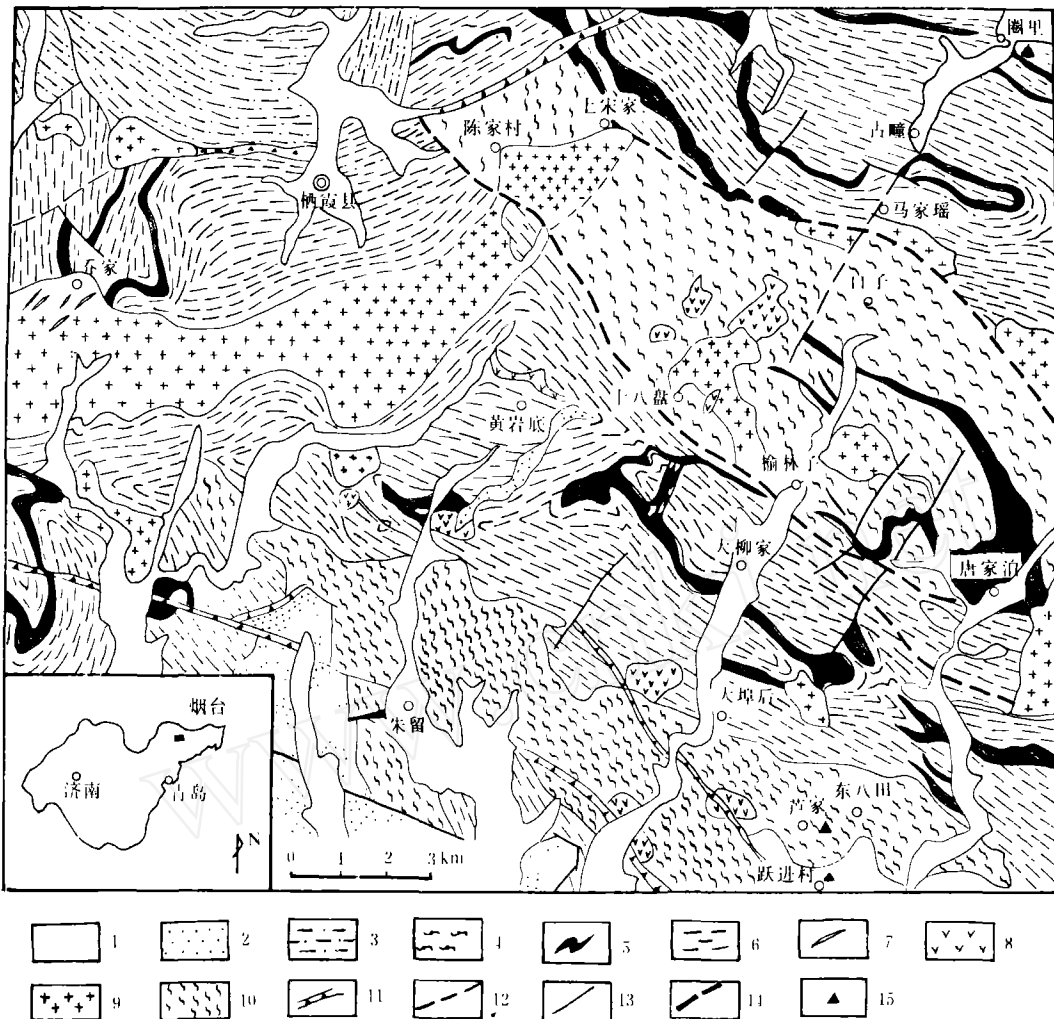


图1 山东省栖霞地区区域地质图

(据山东区调队四分队1:5万栖霞幅地质图经作者修改)

- 1. 第四系; 2. 中生界; 3. 早元古宙粉子山群云母片岩; 4, 5, 6. 为太古宙胶东群; 4. 糜棱岩化黑云(角闪)斜长片麻岩; 5. 斜长角闪岩; 6. 黑云斜长(钾长)片麻岩; 7. 霏细岩、闪长斑岩; 8. 元古宙辉绿岩; 9. 太古宙花岗岩; 10. 太古宙英云闪长岩; 11. 破碎带; 12. 推测断层; 13. 断层; 14. 剪切带; 15. 采样点

用,形成一系列“W”形褶皱,以平卧褶皱、紧闭褶皱、构造透镜体发育为主,方向为NW-SE向,并有同构造期英云闪长岩侵入,NW-SE向大而长的韧性剪切带发育,尔后有老灵山花岗岩的侵入,岩体与围岩(胶东群)呈过渡接触,在岩体内可见糜棱岩化的黑云(角闪)斜长片麻岩捕虏体,而且还发现这条剪切带又切穿老灵山花岗岩,说明其持续时间长。

样品采自胶东栖霞地区,主要为英云闪长岩、胶东群中下部层位的变基性岩。

英云闪长岩(JD8763)采自栖霞连家庄乡芦家村东,面积大,片麻理化强烈,有长英质、超基性岩脉侵入,矿物成分:斜长石 55%,角闪石 25%,石英 10%,黑云母 5—10%,及少量副矿物磷灰石和锆石。

石榴斜长角闪岩(JD8883-3)采自栖霞占瞳乡圈里附近公路边,与斜长角闪片麻岩互层,破碎现象严重,产状近直立,此处金矿就产在该层位的NW和NE向两组石英脉的交汇处,矿物成分:角闪石45%,斜长石33%,石榴石8%,还有绿泥石、绿帘石、黑云母、磁铁矿。

角闪二辉麻粒岩(JD88109-5)采自栖霞连家庄乡跃进村附近河边,与斜长角闪岩互层出现,矿物成分:角闪石10—15%,二辉石20—25%,斜长石65%,粒状结构清楚。

还有采自大柳家乡鸡冠山的二辉斜长角闪岩(JD8753),以及采自莱西朱崔村的二辉麻粒岩(JD8720),同归胶东群下部层位。

三、英云闪长岩(JD8763)和斜长角闪岩(JD8883-3) 两类岩石中角闪石环带的特征

英云闪长岩中矿物组合可分三期:

- I、角闪石(Hb₁) + 斜长石(Pl₁)
- II、角闪石(Hb₂) + 斜长石(Pl₂) + 石英
- III、绿帘石 + 黑云母

角闪石核部呈多色性,六边形,边界清楚,两组解理完全,正交下对称消光;过渡带保留核部光性特征,有石英小颗粒;边部角闪石边界呈锯齿状,石英粒粗,数量也增多。周围有聚片双晶的斜长石与该环带边部的阳起石呈不规则接触,与核部角闪石共生。晚期呈它形的斜长石交代早期斜长石。黑云母呈定向排列,与区域第二期构造线方向一致。

石榴斜长角闪岩,角闪石多呈淡黄—棕绿色多色性,从光性特征上看,角闪石变化不清楚,矿物组合可分两期:

- I、角闪石 + 斜长石(Pl₁)
- II、绿泥石 + 绿帘石 + 石榴石 + 斜长石(Pl₂) + 黑云母

石榴石呈筛孔结构,内有角闪岩、斜长石包裹物,且黑云母呈定向排列,切穿早期角闪石,排列方向也与第二期构造线方向一致。

两类岩石探针分析点见图2a,b,其角闪石矿物、斜长石矿物化学成分特征见表1,两类岩石的角闪石环带中阳离子在不同空间占位及活度、分配系数的计算见表2。英云闪长

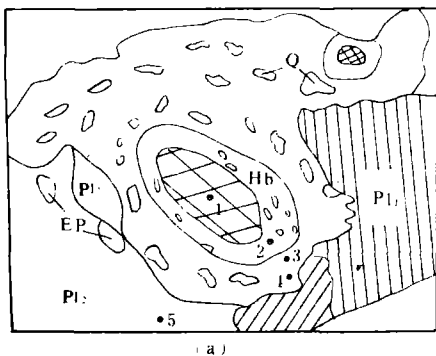


图 2a JD8763 角闪石成分变化测点分布

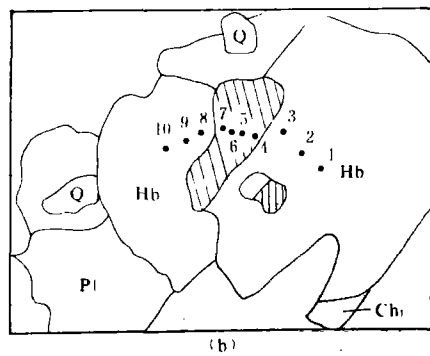


图 2b JD8883-3 角闪石成分变化测点分布

表1 胶东地区太古宙岩石中角闪石、斜长石矿物化学成分

岩 石 测 点 氧 化 物	英云闪长岩(JD8763)				石榴斜长角闪岩(JD8883-3)						JD8883-3			
	1	2	3	4	1	2	3	10	9	8	4	5	6	7
SiO ₂	45.21	46.44	52.82	53.33	41.57	42.49	42.51	42.09	42.47	42.42	65.16	65.38	64.55	65.01
TiO ₂	1.98	1.75	0.19	0.09	1.40	1.41	1.51	1.51	1.52	1.41	0.07	0.07	0.06	0.07
Al ₂ O ₃	9.42	9.79	3.11	3.22	12.63	12.08	11.66	11.76	12.18	12.09	23.21	23.84	23.59	24.51
FeO	15.02	14.04	11.73	11.66	20.09	20.05	20.07	20.65	20.03	19.75	0.05	0.11	0.04	0.1
MnO	0.06	0.12	0.12	0.00	0.19	0.06	0.19	0.21	0.21	0.14	0.04	0.02	0.02	0
MgO	11.55	12.13	16.85	16.08	6.51	6.03	6.34	5.91	5.97	6.12	0.00	0	0.00	0
CaO	11.00	11.24	12.04	11.82	10.24	10.53	10.47	10.99	10.55	10.63	4.90	3.43	3.04	3.98
Na ₂ O	1.74	1.31	0.70	0.66	1.88	1.85	1.69	1.63	1.86	1.75	6.05	6.85	7.53	6.11
K ₂ O	1.16	0.91	0.00	0.00	1.35	1.49	1.51	1.47	1.41	1.56	0.28	0.79	0.33	0.30
Total	97.04	97.73	97.56	96.94	95.84	96.09	95.95	96.22	96.20	95.87	99.76	100.49	99.21	100.08
	按 15 个阳离子计算										按 8(O)计算			
Si	6.8768	6.9188	7.5455	7.6743	6.4200	6.5958	6.5958	6.5652	6.5886	6.6052	2.9623	2.9291	2.9137	2.9409
Al ^N	1.1261	1.0811	0.4544	0.3256	1.5799	1.4041	1.4041	1.4347	1.4113	1.3947	1.0376	1.0708	1.0862	1.059
Al ^M	0.5618	0.6378	0.0691	0.2204	0.7189	0.8059	0.7280	0.7271	0.8156	0.8239	0.2059	0.1879	0.1687	0.2477
Ti	0.2263	0.1960	0.0204	0.0097	0.1625	0.1646	0.1761	0.1771	0.1773	0.1651	0.0023	0.0023	0.0020	0.0023
Fe ³⁺	0.0000	0.0000	0.2773	0.0712	0.3180	0.0000	0.0353	0.000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
Fe ²⁺	1.9098	1.7492	1.1240	1.3319	2.2767	2.6029	2.5689	2.6937	2.5986	2.5718	0.0019	0.0041	0.0033	0.0037
Mn ²⁺	0.0077	0.0151	0.0145	0.0097	0.0249	0.0078	0.0249	0.0277	0.0275	0.0184	0.0015	0.0007	0.0007	0.0000
Mg	2.6179	2.6940	3.5884	3.4495	1.4988	1.4185	1.4664	1.3742	1.3807	1.4206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ca	1.7919	1.7941	1.8427	1.8224	1.6944	1.7513	1.7405	1.8366	1.7535	1.7734	0.2386	0.1646	0.1470	0.1929
Na	0.5129	0.3784	0.2938	0.1841	0.5629	0.5568	0.5084	0.4929	0.5594	0.5283	0.5332	0.5950	0.6590	0.5359
K	0.2249	0.1729	0.0000	0.0000	0.2659	0.2950	0.2988	0.2924	0.2790	0.3098	0.0162	0.0451	0.0190	0.0173

表 2 胶东地区太古宙角闪石环带

岩石名称 测点号		英云闪长岩(JD8763)				石榴斜长角闪岩(JD8883-3)					
		1	2	3	4	1	2	3	10	9	8
T ₁	Si	2.8738	2.9188	3.5455	3.6743	2.4200	2.5958	2.5958	2.5652	2.5886	2.6052
	Al ^N	1.1262	1.0812	0.4545	0.3257	1.5799	1.4041	1.4041	1.4347	1.4113	1.3947
	Si	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
M ₂	Al ^N	0.5617	0.6377	0.0690	0.2203	0.7189	0.8059	0.7280	0.7271	0.8156	0.8239
	Ti	0.2263	0.1960	0.0204	0.0097	0.1625	0.1646	0.1761	0.1771	0.1773	0.1651
	Mg	0.6963	0.6980	1.2327	1.2185	0.3080	0.5592	0.3550	0.3604	0.3274	0.3529
	Fe ³⁺	0.0000	0.0000	0.2773	0.0712	0.3180	0.0000	0.0353	0.0000	0.0000	0.0000
	Fe ²⁺	0.5080	0.4532	0.3861	0.4706	0.4678	0.6613	0.6093	0.7073	0.6162	0.6397
	Mn	0.0077	0.0151	0.0145	0.0097	0.0248	0.0078	0.0249	0.0277	0.0275	0.0184
M _{1.3}	Fe ²⁺	1.4018	1.2961	0.7378	0.8615	1.8088	1.9417	1.9317	1.9866	1.9590	1.9334
	Mg	1.9216	1.9959	2.3558	2.2308	1.1909	1.0580	1.0683	1.0134	1.0410	1.0664
M ₄	Mg+Fe ²⁺	0.3234	0.2930	0.0935	0.0923	0.0000	0.0000	0.0252	0.0002	0.0357	0.0000
	Ca	1.7919	1.7941	1.8427	1.8224	1.6944	1.7513	1.7405	1.8366	1.7535	1.7734
	Na	0.0000	0.0000	0.0637	0.0853	0.3056	0.2481	0.2343	0.1634	0.2465	0.2266
A	Na	0.5129	0.3784	0.1301	0.0988	0.2573	0.3081	0.2741	0.3295	0.3129	0.3017
	K	0.2249	0.1729	0.0000	0.0000	0.2659	0.2950	0.2988	0.2924	0.2790	0.3098
	□	0.2622	0.4487	0.8699	0.9012	0.4768	0.3969	0.4771	0.3781	0.4081	0.3885
a _{prg}		4.85E-6	5.6E-4	1.2E-5	1.3E-5	1.17E-4	7.63E-5	6.3E-5	3.7E-5	3.51E-5	8.1E-5
a _{Tr}		0.0018	0.0033	0.0419	0.0813	6.8E-5	1.85E-5	8.17E-5	6.74E-5	6.16E-5	7.67E-5
a _{MgHb}		6.33E-6	0.00112	0.0006	0.0013	2.67E-4	1.83E-4	1.82E-4	7.62E-5	8.39E-5	1.95E-4
lnK _D Tr/Ed		0.266	0.6930	3.912	4.605	0.8250	0.8750	1.0610	0.7197	0.8714	0.8790
lnK _D Ed/MgHb		-3.74	-4.516	-9.68	-9.946	-2.8674	-3.1040	-4.068	-4.4974	-4.5061	-3.7839

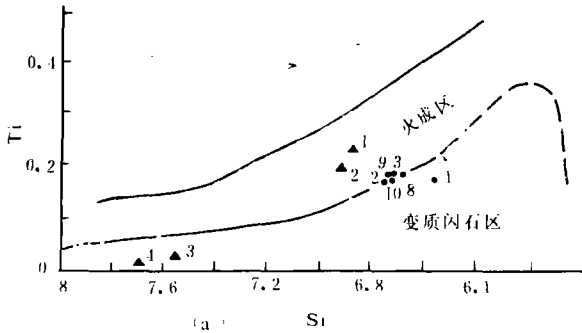


图 3a 角闪石 Si-Ti 变异图
(Leake, 1965)
● JD8883-3; ▲ JD8763, 下同

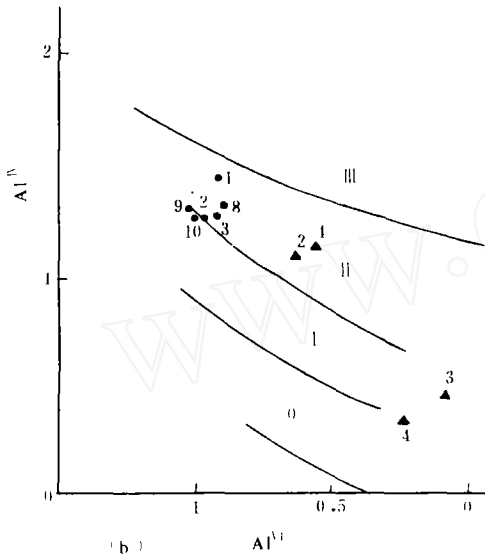


图 3b 角闪石中 Al^{VI}-Al^{IV} 的变异图
(Закруткин, 1968)
I、绿帘石-角闪岩相;
II、角闪岩相; III、麻粒岩相

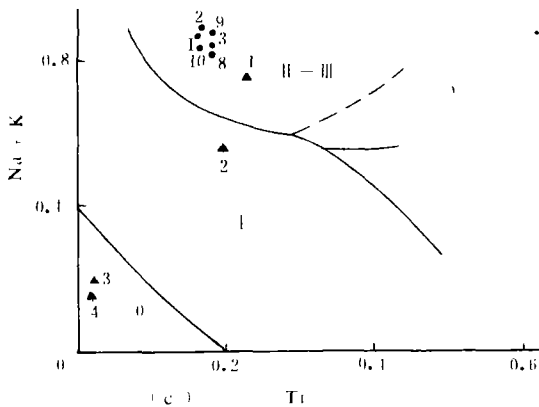


图 3c 角闪石中 (Na+K)-Ti 的变异图
(图例说明同图 3b)

岩中角闪石从核部→边部, SiO₂ 不断升高, MgO 升高, FeO、Al₂O₃ 则明显降低, 成分出现突变; 而石榴斜长角闪岩的角闪石环带, 化学成分从核部→边部 SiO₂ 增加, 但不明显, CaO、MgO、FeO、Al₂O₃、Na₂O 也有变化, 是连续变化的过程。在 B. E. Leake (1978) 角闪石分类图上, 英云闪长岩的角闪石环带, 核部为普通角闪石, 而边部为阳起石、透闪石; 而石榴斜长角闪岩的角闪石环带, 则位于普通角闪石区, 斜长石与之共生, 也呈现成分环带现象(表 1, 2), 从表中可知, 从核部到边部 An % 增加。

英云闪长质片麻岩中角闪石环带, 从核部→边部的成分, 投在 Si-Ti 图上(图 3a), 由火成岩区→变质闪石区, 在 Al^{VI}-Al^{IV}、Ti-(Na+K) 图上, 表明由高角闪岩相区→低角闪岩相→绿帘岩相区的变化(图 3b, c), 在 Si-Al^{VI} 图上, 则位于中压区(图 3d); 而石榴斜长角闪岩中角闪石, 在 Si-Ti 图上, 则落在火成区和变质闪石的边界上, 其中一个点(位于角闪石环带边部)明显落在变质闪石区, 在 Al^{VI}-Al^{IV}、Ti-(Na+K) 图上, 皆位于高角闪岩相区。

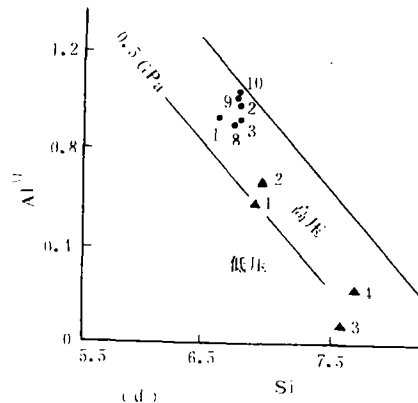


图 3d 角闪石压力型的 Al^{VI}-Si 变异图
(Rease, 1971)

甚至接近麻粒岩相区,在 Si-Al^{IV} 图上,均投在高压区内^[3]。

四、用矿物环带法、共生矿物组合法确定该区太古宙变质岩的动力学机制—— pTt 轨迹

用矿物环带法计算并确定 pTt 轨迹已有一些地质学家论述过(如 Jo. Laird, 1981^[4]; F. S. Spear, 1984^[5]), 尤其是用石榴石环带法确定 $p-T$ 轨迹在近几年比较盛行, 用变质角闪石环带法研究 pTt 轨迹, 并探讨大地构造环境也有介绍(如 J. B. Holland and J. W. Richardson, 1979^[6]; CL. Triboulet, 1985^[7]; J. Tournon, 1989^[8])。具体应用角闪石环带法确定 pTt 轨迹, 是基于 pT 值与矿物成分间的关系, 可得:

$$dT = \sum \left(\frac{dT}{dx_i} \right) x_i \neq dx_i$$

$$dp = \sum \left(\frac{dp}{dx_i} \right) x_i \neq dx_i$$

这里 d_i 为矿物环带剖面所记录的矿物化学成分变化。本文采用 CL. Triboulet 的计算方法, 由四个角闪石端元组分(Prg、MgHb、Tr、Ed)两两配对确定一系列平衡反应:

$$\begin{aligned} \Delta G^0 = -RT \ln K_D(i, j) = \Delta H^0 - T \Delta S^0 + \Delta V^0 (p-1) \\ + \int_{298}^T \Delta C_p^0 dT - T \int_{298}^T \frac{\Delta C_p^0}{T} dT + nRT \ln f_{H_2O} \end{aligned}$$

i, j 为配对的角闪石端元组分, ΔC_p^0 为标准态等压热容, f_{H_2O} 为标准态下水分压。用 $K_D(i, j)$ 两个值即可在 $p-T$ 图解上确定一个 pT 空间点^[7], 代表角闪石变质反应过程中结晶生长的 pT 条件。

在角闪石环带的 pT 图解上(图 4)可以看出, 这两类岩石中角闪石从核部到边部成分的变化, 体现了升温升压的过程。英云闪长岩中角闪石成分点拉得开, 应该是比较理想的曲线, 而石榴斜长角闪岩中角闪石成分点比前一类集中, 但还能明显地看出变化过程, 具体解释见结论和讨论一节。

用共生矿物组合法确定 pT 条件, 具体是应用矿物对温度计和压力计^[9, 10]。在莱西西朱崔村的角闪二辉麻粒岩中, 早期的角闪岩相中角闪石—斜长石矿物对温度计(别尔丘克, 1969, 下同)计算结果为 780 C, 进变到二辉石, 其温度计(Wood 和 Banno, 1973, 下同)计算为 871 C。在栖霞连家庄乡跃进村的角闪二辉麻粒岩中出现的变质反应: $Hb + Q \rightarrow Cpx + Opx + Pl + H_2O$ 。用温度计计算结果(二辉石温度计)达到 904 C 和 918 C (各是三个值平均), 即达到了变质顶峰的温度。在大柳家乡鸡冠山含石榴二辉斜长角闪岩中, 早期共生矿物组合角闪石—斜长石矿物对温度计计算为 660—680 C, 进变升温后, 出现二辉石, 其矿物对温度计计算为 887 C。前述圈里的石榴斜长角闪岩中共生矿物组合, 从核部到边部角闪石—斜长石温度计计算结果从 470—500 C \rightarrow 530—570 C, 显示一个进变过程, 且压力从 0.3 GPa \pm \rightarrow 0.5 GPa \pm , 甚至更高。该斜长石 $An\%$ 从核部到边部增高, 代表温度也升高(表 3)。

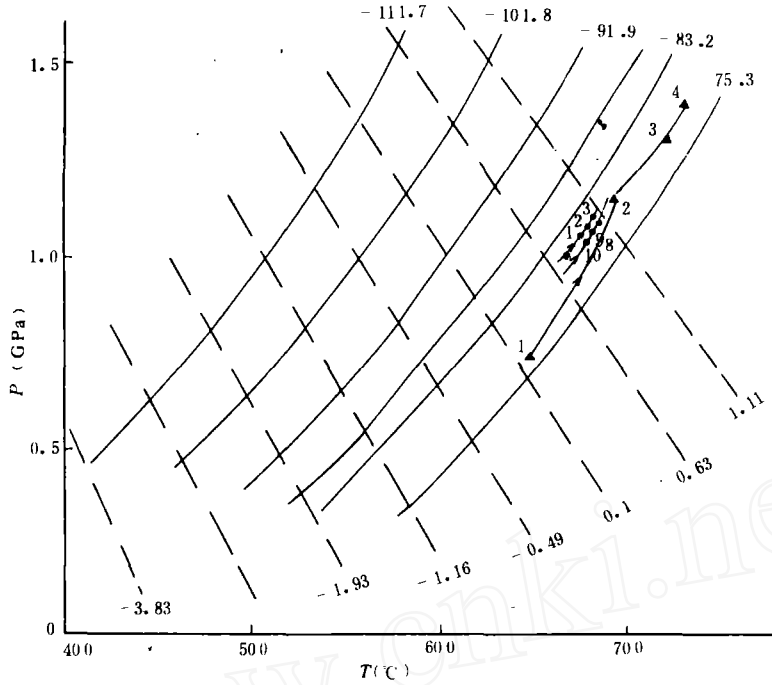


图4 胶东地区太古宙两类岩石中角闪石环带 pTt 轨迹

●JD8883-3; ▲JD8763; 实线等值线 $-\ln K_{Ed/MgHb}$; 虚线等值线 $-\ln K_{Tr/Ed}$; 箭头表示核部到边部

表3 斜长石成分环带

端元	JD8883-3			
	边	核	核	边
An	30.281	20.457	17.82	25.854
Ab	67.658	73.932	79.876	71.825
Or	2.06	5.609	2.303	2.32

从以上所做的工作表明:该区晚太古代变质作用 pTt 轨迹是沿反时针方向演化的过程。

五、对胶东地区太古宙变质岩确定 pTt 轨迹的几点结论和讨论

1. 胶东地区太古宙变质作用的 pTt 轨迹为反时针方向演化,这种趋势表明岩石的变质作用过程:在压力显著上升以前温度明显升高,并达到变质顶峰状态,接着压力达到高峰,然后发生近等压的冷却过程。胶东地区太古宙变质热—构造演化史可作如下解释。

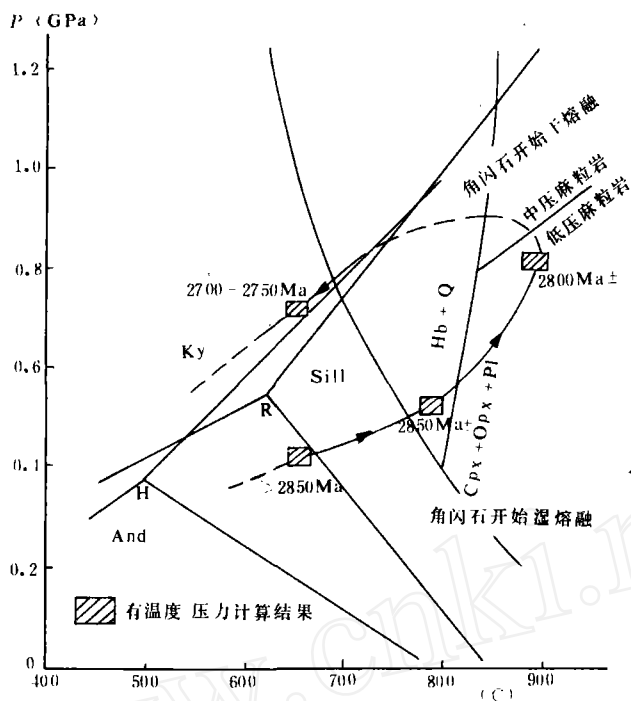
大约在中太古代($>2850\text{Ma}$, 见表 4)^D, 形成的火山沉积表壳岩, 在中太古代末期发生了一次区域性变质作用, 在其以前已有 NE-SW 向构造变形作用发生。来自地下深部的热流通过热传导方式传递给胶东群这套沉积表壳岩, 进变质作用开始(升温的结果), 达到变质顶峰时, 温度可高达 900C , 变质作用达到高角闪岩相, 局部达到麻粒岩相, 显示温度上升快, 压力滞后的进变过程。英云闪长岩的侵入是在 $2700-2750\text{Ma}$ (表 4), 为第二期区域性大规模变形作用所形成的 NW-SE 向构造的同构造侵入岩, 与胶东群一起遭受变形改造, 并发生退变作用, 近于等压降温的过程, 这是由于此时深部热流的供给远小于热扩散所致^[11]。作者通过对胶东太古宙岩石的野外和室内研究认为, 早期的进变过程和晚期的退变作用过程代表一期变质作用过程中两个完全不同的演化阶段, 反映了晚太古代时经历了一个动态、连续的热演化过程(图 5)。

表 4 胶东太古宙变质岩年龄测定一览表

顺序号	样号	测定单位	采样地点及岩性	采样人	测定对象	年龄值(Ma) (2σ)	测定日期
1	JD8875	地科院地质所	栖霞口子英云闪长岩	房子龙等	单颗粒锆石	2712 ± 11	1990
2	JD8866	地科院地质所	栖霞老灵山花岗岩	房子龙等	单颗粒锆石	2711 ± 7	1989
3	JD8744	地科院地质所	栖霞圈里浅粒岩	房子龙等	单颗粒锆石	2525 ± 13	1989
4	(JD8745) 870032	地科院地质所	栖霞黄岩底黑云变粒岩	山东地矿局区调队	锆石 U-Pb 一致线	2817^{+44}_{-29}	1986
5	(JD8765) 870009	地科院地质所	栖霞响东岔糜棱岩	山东地矿局区调队	锆石 U-Pb 一致线	2858^{+56}_{-39}	1986
6			莱西朱崔唐家庄组变质岩	山东冶金三队	Pb-Pb 一致线	2945	
7		地科院地质力学所	栖霞唐家泊乡十八盘角闪黑云变粒岩	余汉茂	锆石 U-Pb、Pb-Pb	2670	1985

2. 用角闪石环带法确定变质作用 pTt 轨迹的研究方法值得推广, 但要注意其适用范围。中国深变质地区较多, 尤其华北地块, 角闪石广泛出露, 加上方法简便易行, 便于进行区域性的 pTt 轨迹的对比, 还有它记录了一个动态的、连续的 pTt 轨迹, 这是用石榴石环带法和共生矿物组合法所不能替代的。其不足之处是, 对低角闪岩相、绿片岩相低变质级岩石应用比较合适, 但对高角闪岩相是否可行, 还需要由实验来验证。作者对胶东地区太古宙岩石应用角闪石环带法确定其 pTt 轨迹是一种大胆的尝试。用变基性岩中角闪石环带来确定 pTt 轨迹比较可靠, 而用岩浆岩经变质形成的角闪石环带来确定 pTt 轨迹则要慎重。前述用英云闪长岩中角闪石环带法确定 pTt 轨迹是升温升压过程, 但这与事实不符, 矿物化学成分的变化, 矿物从核部到边部由普通角闪石变为阳起石、透闪石, 应是退变

D) 年代学工作详见《华北陆台早前寒武纪物质组成、地壳演化论文集》, 1992(待刊)。

图5 胶东地区太古宙变质岩 pTt 轨迹

H — Holdaway, 1971; R — Richardson, 1969

的过程,所以这条轨迹不能用。

3. 生长环带与扩散环带该如何区分? 这个问题对于应用矿物环带法来做 pTt 轨迹的人来说很关键。有个先决条件是:两种环带都是处于封闭体系,在没有外来物质加入的系统中,两者区别如下(表5):

表5 变质岩中矿物生长环带和扩散环带的区别

生长环带	扩散环带
1. 可有不连续面和(或)显示光性环带	无不连续面,一般无光环
2. 与晶体对称一致,尤其晶形完好时环带发育完好	可显示同心环状,但局部环带也常见,受邻近矿物分布影响
3. 成分变化在各种元素上有反映	仅扩散元素显示变化(与相互接触矿物中共有的元素)
4. 主要反映主晶生成的历史	主要反映主晶形成后的历史
5. 低温、中温下结晶生成	高温条件下冷却产生

胶东地区太古宙岩石中角闪石环带研究表明,它们皆为生长环带,肖龙^[12](1990)谈及生长环带表示进变过程,据作者工作认为,并非完全如此,本区英云闪长岩中角闪石环带的生长过程就不表示进变过程,而是退变的过程。

4. 对 pTt 轨迹中 t 的问题。胶东地区太古宙变质岩经历变质、变形、岩浆作用, pTt 轨迹显示长达 7—8 亿年的变质作用热演化过程,时间是相当长的,这与国外不少学者研究造山带的 pTt 轨迹不同,而且显生宙造山带形成的时间都很短,确需进一步研究。

致谢:承蒙伍家善研究员、徐惠芬副研究员在百忙之中给予多方面的指导,并得到了沈其韩研究员的细心指正,才使本文得以圆满完成,在此一并深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 林润生、于志臣,1988,山东胶北隆起区荆山群。山东地质,第4卷,第1期,第1—21页。
- [2] 伍家善、耿元生等,1990,华北地台早前寒武纪重大地质事件研究及年龄确定。地质出版社(待刊)。
- [3] 靳是琴,1985,成因矿物学(下册)。吉林大学出版社,第318页。
- [4] Jo. Laird and Arden L. Albee, 1981, Pressure, temperature and time indicators in mafic schist; their application to reconstructing the polymetamorphic history of Vermont. American Journal of Science, Vo. 281, P. 127-175.
- [5] Spear, F. S., et al, 1984, P - T paths from garnet zoning: a new technique for deciphering tectonic processes in crystalline terranes. Geology, 12, 87-90.
- [6] T. J. B. Holland and J. W. Richardson, 1979, Amphibole zonation in metabasites as a guide to the evolution metamorphic conditions. Contributions to mineralogy and petrology, Vo. 70, P. 143-148.
- [7] Triboulet, CL. & Audren, CL., 1985a, Continuous reactions between Biotite, Garnet, Staurolite, Kyanite/Sillimanite/Andalusite and P - T -time deformation path in the mica-schists from the estuary of the river Vilaine, South Brittany, France. Journal of Metamorphic Geology 3, 91-105.
- [8] J. tounnon, C. Triboulet, J. Azema, 1989, Amphibolites from Panama; anticlockwise P - T paths from a pre-upper Cretaceous metamorphic basement in Isthmian Central America. J. Metamorphic Geol., No. 7, P. 539-546.
- [9] 张儒媛等, 1983, 矿物温度计和压力计。地质出版社, 第280页。
- [10] 李有柱, 1986, 评价角闪岩相变质作用 P - T 条件的最新地质温度计。矿物岩石, 第6卷, 第3期, 第180-189页。
- [11] 石宏仁, 1987, 区域变质作用的压力-温度-时间(pTt)轨迹及其在造山带构造和变质作用研究中的应用。国外地质科技, 第8期, 第30-36页。地矿部情报所编, 地质出版社。
- [12] 肖龙, 1990, 确定变质作用 pTt 轨迹的几种岩石学方法。地学探索, 第2期, 第27-32页。

***p-T-t* PATHS OF THE ARCHEAN METAMORPHIC ROCKS IN EASTERN SHANDONG AND THEIR SIGNIFICANCE**

Li Zilong

(Institute of Geology, MGMR)

Abstract

The *pTt* paths of metamorphism in eastern Shandong were determined from amphibole zoning and paragenetic mineral assemblages based on detailed field investigation in-house research work on the Archean metamorphic rocks there. Also, it is very important to find out the structural sequence, the episodes of metamorphism and magmatism, and the discriminant signs of growth zoning and diffusion zoning. This is of vital significance for studying and determining the history of thermal evolution and tectonic desormation of the early crust in the region.