

恒山东段新太古杂岩两种 PTt 轨迹的确定及其意义*

吉 成 林

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

李 明 荣

(中国科学院地质研究所, 北京 100029)

王 仁 民

(北京大学地质学系, 北京 100871)

主题词 恒山东段 新太古代 PTt 轨迹 形成和演化

提 要 恒山新太古杂岩指董庄表壳岩和侵入其中的土岭—林场灰色片麻岩体。董庄基性麻粒岩和土岭—林场岩体中的斜长石榴辉石岩包体经历了两种不同的 PTt 轨迹,前者为逆时针轨迹,表现为压力滞后快速升温的进变质轨迹和近等压降温的退变质轨迹;后者为顺时针轨迹,表现为温度滞后快速增厚的进变质轨迹和近绝热减压的退变质轨迹。本文探讨了该杂岩的形成和演化过程。

1 区域地质概况

恒山地区是我国太古界出露的重要地区之一,位于华北地台北缘麻粒岩相带和五台绿岩带的接壤部位,对其区域地质特征的认识分歧较大^{①②}。我们近年来的工作^{〔1〕}表明:该区的主体部分是五台群的底部层位——前庄旺组和朱家坊组两个表壳岩,它们近东西向的带状分布和开阔褶皱控制该区的构造格局;新太古代杂岩(董庄表壳岩和侵入其中的土岭—林场灰色片麻岩体)作为基底杂岩系,呈变质核心构造出露,构造线方向为北西向(图1)。

董庄组表壳岩是该区最古老的地质体,多呈顶垂体和包体状产出,以董庄村和大石头村两处较为集中。主要由基性麻粒岩类和片麻岩类岩石组成,局部夹有少量变粒岩和BIF;它们经历了麻粒岩相变质和抬升剥蚀过程中的角闪岩相退变质改造。

土岭—林场岩体是新太古杂岩的主体部分呈哑铃状出露。属TTG型,内含大量董庄表壳岩包体和一些斜长石榴辉石岩包体。

* 国家自然科学基金资助项目成果。

本文曾被评为北京地质学会青年工作委员会成立大会暨首届学术交流会(1991)优秀论文。

本文于1991年9月收到,1992年1月改回。

① 山西地质矿产局,1971,浑源幅1:20万地质图及说明书。

② 晋北铁矿地质研究队,1983,晋北恒山地区前长城纪变质岩系的地质特征。

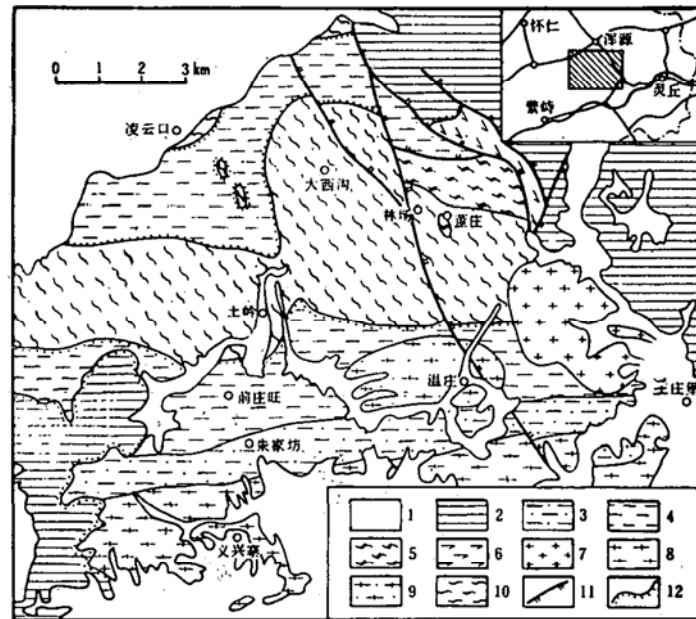


图 1 恒山东段区域地质图

Fig. 1 Regional geological map of eastern Hengshan

1—第四系；2—盖层 (Z-C)；3—朱家坊组；4—前庄旺组；5—董庄组；6—西泥沟组；7—晚期花岗岩；8—义兴寨岩体；9—温庄岩体；10—土岭—林场岩体；11—断裂；12—沉积不整合

2 董庄组基性麻粒岩 PTt 轨迹的确定

2.1 岩石学与矿物学特征

董庄组基性麻粒岩类岩石的原岩为 TH_2 型拉斑玄武岩^①。因退变程度不同而出现不同岩种，既有典型的二辉麻粒岩，也有辉石斜长角闪岩、石榴斜长角闪岩等，从而使矿物组成复杂化，组构也多样化，既有麻粒结构，又有复杂的交代反应结构。

主要造岩矿物特征（成分见表 1）

斜方辉石：多色性明显， Np = 淡红， Nm = 淡黄， Ng = 淡绿，呈细粒状产出，发育两组解理，横断面上对称消光，在柱面和轴面上呈平行消光。成分为铁紫苏辉石，含铁度为 55%—65%。

单斜辉石：具弱多色性， Np = 绿， Nm = 浅黄， Ng = 浅绿；呈粒状产出，成分为普通辉石和次透辉石，含铁度为 42%—53%。在共生斜方辉石—单斜辉石成分图（略）上，其成分点位于麻粒岩相趋势线之上，且共生二辉石对的连线在 Wo — En 边上交点比较接近 (Wo 82—86)，说明两种辉石平衡共生。

角闪石：二辉麻粒岩中含量低，为蓝绿色种属；退变的辉石斜长角闪岩中含量高，且为绿色种属，成分为含铁非闪石质角闪石和含镁绿钙闪石质角闪石。

斜长石：与角闪石共生者 An 在 40—45 之间。

矿物共生组合及其反应关系

经岩相学观察，董庄组基性麻粒岩类岩石中有麻粒岩相和角闪岩相两阶段的矿物共生组合，它们之间渐变过渡的退变质关系表现在一系列滑动反应上。

① 吉成林，1991，恒山东段太古代表壳岩研究，北京大学硕士学位论文摘要汇编，理科版 (+)，212—214。

表 1 董庄组矿物化学成分表

Table 1 Chemical composition of related minerals from Dongzhuang Formation

序号	样号	岩石名称	矿物定名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	采样地点	
1	D21-11	角闪二辉麻粒岩	铁紫苏辉石	51.01	0.80	0.09	32.36	0.87	15.02	0.67	0.03	0.00	98.00	大石头村南	
2			次透辉石	49.96	1.70	0.24	13.71	0.40	10.40	22.41	0.50	0.00			
3			含铁韭闪石	42.30	11.15	1.99	19.52	0.19	7.54	12.55	1.20	1.56			
4			斜长石(An 40)	57.46	26.40	0.00	0.12	0.00	0.04	8.81	6.86	0.29			99.98
5	D21-12	石榴斜长辉石岩	普通辉石	49.88	2.13	0.15	16.42	0.59	9.80	20.01	0.38	0.00	101.26	大石头村	
6			铁铝榴石	37.89	21.05	0.00	29.46	2.58	3.78	6.49	0.01	0.00			
7			含镁绿钙闪石	41.35	11.26	2.09	21.64	0.21	7.75	10.68	1.44	1.87			98.29
8			斜长石(An 44)	56.34	27.15	0.00	0.13	0.02	0.03	9.18	6.43	0.21			99.49
9	D21-13	石榴二辉磁铁矿	铁紫苏辉石	48.66	0.98	0.00	36.45	1.89	11.84	0.85	0.03	0.00	0.00	大石头村	
10			普通辉石	49.81	1.47	0.00	17.90	0.84	9.36	19.63	0.39	0.00			
11	D21-16	石榴斜长辉	铁紫苏辉石	48.90	0.86	0.09	34.51	0.95	13.91	0.68	0.05	0.00	97.20	大石头村北	
12			普通辉石	50.14	1.97	0.21	15.43	0.36	10.40	19.51	0.43	0.00			
13			含铁韭闪石	40.58	11.43	2.07	20.61	0.17	8.15	10.97	1.45	1.77			
14	D21-18	石榴二辉麻粒岩	斜长石(An 44)	55.76	27.08	0.00	0.25	0.02	0.02	9.31	6.28	0.44	99.16	大石头村北	
15			含铁韭闪石	42.84	10.72	1.57	20.58	0.38	8.47	10.66	1.47	1.45	98.14		
16			斜长石(An 41)	57.65	26.35	0.00	0.17	0.00	0.04	8.58	6.68	0.27	99.74		

早期为麻粒岩相共生组合,主要有:①CPx+OPx+Pl+Bi; ②CPx+Gt+Pl; ③CPx+OPx+Gt+Q。晚期为角闪岩相共生组合,主要有①CPx+Hb+Pl; ②Hb+Pl+Q。

实际观察到的滑动反应主要有①CPx+OPx+Pl+H₂O→Hb+Q; ②CPx+Gt+H₂O→Hb+Pl+Mt; ③CPx+H₂O→Hb+Q。根据 Wells (1979) 编制的成岩格子图^[2], 可以确定该类岩石的退变过程为一降温过程。

2.2 变质作用温压条件的估算

(1) 麻粒岩相的温压条件

选择两组二辉石对用四种方法(Wood-Banno, Wells, Nehru & Wylie 及 Lindsley & Dixon)^[3]处理得到温度为 1123±20°K。压力由一组单斜辉石—石榴石对确定为 1.0±0.05 GPa; 从三个单斜辉石中钙契尔马克分子数(0.06—0.07)和与钙长石、石英共存的单斜辉石中钙契尔马克分子数与 P、T 关系图解(B. J. Wood, 1976)上可确定其变质压力为 0.8—1.0 GPa (设定温度值为 1123°K)

(2) 角闪岩相的温压条件

采用波留斯尼娜(1983)^[4]和别尔丘克(1966)^[3]两种图解确定其温度为 908±45°K,

压力为 0.4 ± 0.05 GPa (见表 2)。

表 2 角闪岩相的变质条件(K, GPa)

Table 2 Metamorphic conditions for amphibolite facies (K, GPa)

序号	样号	岩石名称	X_{Ca}^{Hb}	X_{Ca}^{Pl}	$\Sigma Al_{\text{化合物单位}}^{Hb}$	T_1	T_2	P_2
1	D21-12	石榴斜长辉石岩	0.69	0.44	2.03	953	898	0.40
2	D21-16	黑云母角闪二辉麻粒岩	0.70	0.44	2.07	948	898	0.45
3	D21-18	同上	0.70	0.41	1.91	923	873	0.35
4	D21-11	角闪二辉麻粒岩	0.71	0.40	2.03	873	863	0.40

注: T_1 据别尔丘克图解, T_2 、 P_2 据波留斯尼娜图解, 表中温度已换算成绝对温标。

2.3 PTt 轨迹

前面主要讨论了该类岩石的退变质过程, 其进变质过程和其它地区 (S. L. Harley, 1989^[5]; S. R. Bowen, 1991^[7]) 一样难以直接观测到。根据 S. R. 波伦 (1987, 1991)^[6,7] 和 S. L. 哈里 (1989)^[5] 等的讨论, 这种以等温为主, 压力变化不大的退变质轨迹的基性麻粒岩的进变质轨迹应为压力滞后快速增温过程。因为该区没有发现呈亚稳态存在的蓝晶石, 从而排除了先增厚、再升温, 经蓝晶石域稳定在矽线石域的进变质轨迹的可能性。另外在本区作为围岩的董庄组麻粒岩和作为包体的斜长石榴辉石岩的成因明显不同, 它们的轨迹也应有区别, 所以董庄基性麻粒岩的演化过程为一逆时针轨迹 (见图 2)。

3 土岭—林场岩体中斜长石榴辉石岩包体的 PTt 轨迹的确定

3.1 包体的矿物及岩石学特征

该类包体出露比较零散, 主要见于乔沟—桥沟一带。在大西沟岩体中孤立产出, 边界清楚。岩性因退变程度不同而复杂化, 一般内部为块状斜长石榴辉石岩, 边缘为石榴斜长角闪岩。主要组成为石榴石 (25%)、单斜辉石 (40%)、斜长石 (20%)、紫苏辉石 (5%)、角闪石 (10%)、棕红色黑云母 (<2%); 副矿物为磁铁矿和金红石。矿物成分见表 3。

该类包体中可区分出三阶段的矿物共生组合, 它们之间的转变也体现在一系列滑动反应上。

高压麻粒岩阶段以石榴石和早期单斜辉石 (CPx_1) 共生为特征。 CPx_1 颗粒细小、颜色较浅、蚀变强烈, 具交代残余结构, 部分残余 CPx_1 呈蠕虫状围在石榴石周边。

二辉麻粒岩阶段以晚期单斜辉石 (CPx_2) 和紫苏辉石及早期斜长石 (Pl_1) 共生为特点。这三种矿物常呈蠕虫状组成后成合晶, 分布于石榴石周围; 紫苏辉石与石榴石从不接触。

斜长角闪岩阶段以角闪石和晚期斜长石 (Pl_2) 的共生为特点。角闪石有两种产状: 一部分呈结晶出溶状分布于晚期单斜辉石和紫苏辉石中或其边部; 另一部分呈蠕虫状后成合晶包围在石榴石周围。

该类岩石中发育的变质反应主要有: ① $Gt + CPx_1 + Pl_0 \rightarrow Pl_1 + Hy + CPx_2$ (Pl_0 为最早期

表 3 斜长石石榴石岩包体的矿物成分

Table 3 Chemical composition of minerals from inclusions of plagioclase-garnet rocks

序号	样号	岩石名称	矿物定名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	采样地点	
1			铁铝榴石	36.72	21.30	0.00	28.54	0.87	3.46	8.81	0.11	0.02	99.84		
2	21-9		普通辉石	50.69	1.56	0.16	15.82	0.17	11.71	18.39	0.61	0.12	99.23		
3			铁铝榴石	37.44	21.45	0.06	24.74	1.31	5.20	8.73	0.07	0.00	98.60		
4	8870901*	斜长石石榴石岩 ↓ 石榴斜长角闪岩	易变普通辉石	52.68	1.76	0.10	11.75	0.35	13.91	19.96	0.39	0.00	100.91		
5	16-21		普通辉石	50.72	2.54	0.23	12.36	0.35	13.31	18.83	0.54	0.02	98.91		
6	16-21		普通辉石	50.43	2.59	0.16	12.09	0.31	13.36	18.61	0.83	0.08	98.46		
7	C-1*		普通辉石	49.99	2.30	0.21	12.90	0.37	12.74	21.12	0.47	0.01	100.17	乔沟— 桥沟— 一带 东北山 脊上	
8			铁紫苏辉石	48.27	1.28	0.08	32.12	0.85	18.12	0.63	0.19	0.01	101.57		
9	B-300		次透辉石	50.30	2.59	0.19	10.50	0.19	12.21	21.61	0.47	0.00	98.08		
10			铁紫苏辉石	50.10	1.08	0.02	29.64	0.50	17.76	0.64	0.01	0.00	99.75		
11			镁绿钙闪石	42.58	11.20	1.43	17.59	0.12	10.06	11.31	1.64	0.74	96.67		
	B 227		质角闪石												
12			斜长石 (An 47)	55.72	28.86	0.00	0.24	0.01	0.00	9.59	5.97	0.07	0.00		100.45
13			镁绿钙闪石	42.21	10.71	1.53	20.68	0.11	8.41	11.14	1.52	0.66	0.00		96.97
	B 217		质角闪石												
14			斜长石 (An 51)	53.64	28.60	0.00	2.80	0.00	0.04	9.73	5.02	0.28	0.00		100.06
15			镁绿钙闪石	41.40	12.89	1.64	17.99	0.17	10.73	9.93	1.76	1.20	0.00		97.72
	C-5*		质角闪石												
16			斜石长 (An 49)	52.81	29.96	0.00	0.31	0.00	0.02	9.87	5.59	0.24	0.00		98.80

* 陈飞, 晋北恒山地区太古代大西沟灰色片麻岩体及包体的岩石学研究, 北京大学地质系硕士论文, 1989。

斜长石, 但薄片中没有找到); ② $CPx_2 + Hy + Pl_1 \rightarrow Hb + Pl_2 + Q$; ③ $Gt + CPx_1 \rightarrow Hb + Pl_2$ 。

根据 Wells (1979)^[2] 编制的成岩格子图, 可以确定该类包体从相当于榴辉岩温压范围的高压麻粒岩阶段, 经降压过程演变至二辉麻粒岩阶段, 再经降温过程退变至斜长角闪岩阶段。

3.2 变质作用温压估算

(1) 高压麻粒岩阶段的温度用两种方法 (Ellis-Green 和 Saxena)^[3] 处理两组单斜辉石—石榴石对, 得到较为一致的结论, 为 $1108 \pm 25^\circ K$; 压力则用 R. C. Neuton & D. Perkins (1982)^[3] 提出的公式计算, 进行活度校正后的压力为 1.3 ± 0.2 CPa。

(2) 二辉麻粒岩阶段的温度用两种方法 (Wells 和 Wood-Banno)^[3] 处理两组二辉石对后, 得到温度为 $1148 \pm 25^\circ K$; 据 J. Wood 的图解 (1976), 从晚期单斜辉石中钙契尔马克分子数 (0.085 和 0.09) 确定 $1148^\circ K$ 时的压力为 1.0 ± 0.05 GPa。

(3) 斜长角闪岩阶段的温压则从两种图解^[3,4] 上求得, 选择三组斜长石—角闪石对所得结果为 $923 \pm 50^\circ K$ 和 0.4 ± 0.05 GPa (见表 4)。

3.3 PTt 轨迹

本区包体的高压变质发生于土岭—林场岩体侵位之前; 向二辉麻粒岩的降压转变则与岩体的侵位有关; 最后的降温退变质则作为恒山新太古杂岩的一部分, 一起因抬升而剥蚀。其进变质轨迹, 按 S. R. 波伦 (1987、1981)^[6,7] 和 S. L. 哈里 (1989)^[5] 的讨论应为温度滞后

表 4 角闪岩相变质作用条件 (K, GPa)

Table 4 The metamorphic conditions of amphibolitefacies (K, GPa)

序号	样号	岩石名称	X_{Ca}^{Hb}	X_{Ca}^{Pl}	$\Sigma Al_{\text{化合物式单位}}^{Hb}$	T_1	T_2	P_2
1	B 227	石榴斜长角闪岩	0.75	47	2.0 ¹	913	858	0.40
2	B 217	同上	0.76	51	1.94	923	898	0.35
3	C-5	同上	0.68	49	2.29	993	918	0.40

注: T_1 据别尔丘克图解, T_2 、 P_2 据波留斯尼娜, 其中温度已换成绝对温标。

快速增厚的轨迹。这样该类包体的 PTt 轨迹就确定为一顺时针轨迹(见图 2)。

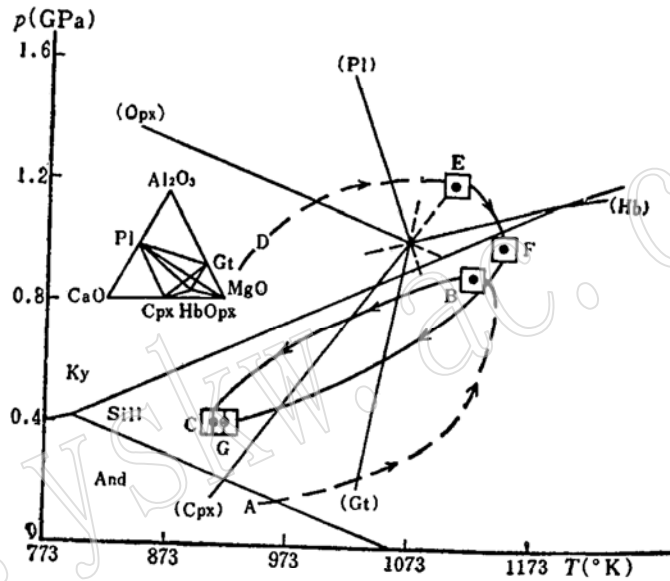


图 2 PTt 轨迹示意图

Fig. 2 Schematic PTt path

ABC 为董庄组轨迹; DEFG 为斜长石榴辉石岩包体的轨迹; 放射状实线为 Wells (1979) 据碱性麻粒岩的含铁度校正后的碱性变质岩的成岩格子图

4 恒山杂岩的形成与演化的讨论

根据现有年代学资料^①和区域地质关系, 该杂岩的形成与演化限定在 28—25 亿年间, 即新太古代^[8]。 PTt 轨迹表明该杂岩在此期间经历了四阶段演化。

28 亿年前, 董庄表壳岩形成于活动大陆边缘环境, 一方面有成熟度低的杂砂岩(现为中性片麻岩类)堆积, 另一方面有富集型拉斑玄武岩(现为基性麻粒岩)喷出^②。在这种不稳定环境中快速沉降增厚的同时, 下伏另外的基性岩(现为斜长石榴辉石岩包体)发生高压麻粒岩相变质。

① 范嗣昆、朱炳泉、陈毓蔚、田永清、梁英芳, 1991, 恒山杂岩的年代学及钕同位素演化, 中国北方前寒武纪同位素地质年代学学术讨论会论文摘要(汇编), 5—6。

② 吉成林, 1991, 恒山东段太古代表壳岩研究, 北京大学硕士学位论文摘要汇编, 理科版(+), 212—214。

随着沉降的发生,大地构造环境渐趋稳定,区域热流值升高,高压麻粒岩逐渐发生部分熔融,即形成土岭—林场岩体的原始岩浆。董庄表壳岩也因此发生高温麻粒岩相变质。

原始岩浆的不断聚集、向上侵位即形成现今的岩体,而其中部分未熔的高压麻粒岩则呈包体出现。在此同时或稍后,温压状态的改变导致该类包体降压并转变至二辉麻粒岩阶段。这大概发生于27—26亿年间,至此恒山杂岩便告形成。

区域抬升过程中,恒山杂岩做为一个整体发生剥蚀,温压状态再度活化,董庄表壳岩和土岭—林场岩体,以及其中的包体一起发生退变质,从而出现角闪岩相的矿物共生组合。

最后需要指出的是,文中关于董庄表壳岩的进变质轨迹推测性大,这只是现有认识水平,不妥之处请批评指出。

参 考 文 献

- 1 王仁民,陈珍珍,陈飞.恒山灰色片麻岩和高压麻粒岩包体及其地质意义.岩石学报,1991,(4):36—45.
- 2 Wells P R A. Chemical and thermal evolution of Archean sialic crust, southern west Greenland. J. Petr. 1979, 20(2): 187—226.
- 3 张儒瑗,丛柏林.矿物温度计和矿物压力计.北京:地质出版社,1983.
- 4 李有桂.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,1986,6(3): 180—189.
- 5 Harley S L. The origins of granulites; a metamorphic perspective. Geol. Mag. 1989, 126(3): 215—247.
- 6 Bohlen S R. On the formation of granulites. J. Metamorphic Geol. 1991, 9: 223—229.
- 7 波伦 S R. 压力—温度—时间轨迹与麻粒岩演化的构造模式.石宏仁摘译.地质科技动态,1988,(14): 3—7.
- 9 孙大中.太古宙的时代划分及其有关问题——参加国际前寒武纪地层分会第九次会议纪要.国外前寒武纪地质.1991,(1): 1—6.

Determination and Significance of Two PTt Paths in the Neoproterozoic Complex of Eastern Hengshan

Ji Chenglin

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences)

Li Mingrong

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Wang Renmin

(Department of Geology, Peking University)

Key words: granulite; PTt path; Neoproterozoic complex

Abstract

The Neoproterozoic complex in eastern Hengshan is composed of Dongzhuang

supracrustal rocks and Tuling-Linchang TTG gneisses. Mafic granulites of Dongzhuang Formation contain two-stages of mineral assemblages, with the second assemblage (M_3) of Hb+Pl mantling the first assemblage (M_2) of OPx+Cpx+Pl±Gt and often occurring as symplectic coronas passing between OPx and Gt. After the earliest metamorphism (M_1), the plagioclase-garnet-two pyroxene rocks occurring as inclusions in the TTG gneisses formed two-stage symplectic coronas around garnet. An outer corona of Hb+Pl mantles a finer-grained inner corona of OPx+Pl.

Preferred P - T estimates for M_1 based on garnet-OPx pairs in the inclusions of Tuling-Linchang TTG gneisses are P about 1.1–1.5 GPa at 1108°K. There exist some differences in P - T conditions for M_2 and M_3 between the inclusions and the host rocks of Tuling-Linchang TTG gneisses, with P - T for M_2 and M_3 being respectively 1.0 GPa at $1148 \pm 25^\circ\text{K}$ and 0.4 GPa at $923 \pm 50^\circ\text{K}$ in the inclusions, and 0.9 GPa at $1123 \pm 20^\circ\text{K}$ and 0.4 GPa at $908 \pm 45^\circ\text{K}$ in Dongzhuang Formation.

According to pressure, temperature and textures indicating mineral reactions, they have experienced different evolutionary processes. The PTt path of the inclusions is a 'clockwise' path in which the barometric maximum precedes the thermal maximum, and initial retrograde path has large initial dP/dT , exhibiting isothermal decompression (ITD), whereas the PTt path of Dongzhuang mafic granulites is an "anticlockwise" path in which heating occurs prior to during the thickening, and initial retrograde path has small positive dP/dT , exhibiting isobaric cooling (IBC). Such differences are of great importance in discussing the evolution of the Neoproterozoic complex in this area.