

迁安地区早太古代变质温压条件探讨

武汉地质学院 王任民 陈珍珍

河北迁安地区的早太古代结晶基底，构成一个卵形褶皱穹窿，其西南缘的弧形褶皱带是一个含铁岩系。这套地层属于迁西群，主要岩性有斜长辉石岩、角闪二辉斜长片麻岩、紫苏麻粒岩、紫苏黑云变粒岩及二辉磁铁石英岩等。按其原岩乃是一套以中性火山岩系为主体的火山—沉积多旋迴性岩系，并广泛发育早期钾质紫苏混合花岗岩化及晚期的钾质黑云母混合花岗岩化。

变质程度方面的一个突出特征是在空间分布上表现了复杂多变的变质相变。如果把退变质的角闪岩相比作“海洋”的话，麻粒岩相岩石只是其中的“孤岛”，真正够得上辉石麻粒岩亚相的岩石在许多地方甚至应当说是些星罗棋布的“孤舟”。这种变质相变在空间分布上的错综复杂性表现在许多方面，特别是从近年来所开展的同位素测定年龄资料和各种测温测压资料来看，在这个地区范围内，也同样是数字差异颇大、空间变化复杂。对于这种现象，我们一向认为^[1]从多次迭加变质的现象来看，则是正常的、可以解释的。所有这些资料在核算无误的情况下都是有意义的，它们将分别反映变质历史中不同热事件的踪迹。

本世纪六十年代以来，有关元素在平衡共生的矿物对中的分配系数（或平衡常数）与地质过程温压条件之间的函数关系的讨论，取得了突飞猛进的发展。其中二辉石共存体是研究较为深入的一对。本文将主要通

过对迁安地区第一次变质作用的代表性产物斜长二辉岩、二辉斜长片麻岩和二辉磁铁石英岩中的七对二辉石对的初步研究，仅就本区早太古代最早期变质作用（也即第一次变质作用）的温压条件和地热状况作某些探讨。

一、关于温度

二辉石地质温度计无疑是代表麻粒岩相变质高峰温度的公认记录，然而在计算分配系数和温度方面所采用的公式不同，成为目前国内在探讨成岩温度方面显著分歧的主要原因之一。因而有必要对这些方法适当进行一点扼要的评述。

最初，以克雷茨（R. Kretz）1961年和1963年的工作为基础，人们着重利用（Fe，Mg）这一对固溶体组份在两种辉石之间的滑动反应来计算平衡温度。然而所取得的结果往往偏低。我国华北麻粒岩系按此方法计算获得的变质温度为680℃—770℃。

问题在于：二辉石对之间的离子交换反应不是一个简单的Fe-Mg二元系。辉石类是一种复杂硅酸盐，至少包括12个端元物种（Species）。仅考虑其主要物种，可以概括在一个 $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 的三元系之中。Ca所参与的交换程度以及Fe在 M_2 位和 M_1 位上的不确定性等，都会影响Fe-Mg二辉石温度计的可靠性。从而近年来在二辉石地质温度计中人们的注意力转向了Ca-Mg

交换反应。

伍德和坂野 (B. J. wood and S. Banno) 1973 年提出两种辉石都存在 $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ — $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ 的理想二元固溶体系的模式, 并认为该体系在 800—1700 °C 之间的混溶间断的位置主要受温度控制, 而由 $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ 的活度在 Cpx 与 Opx 之间的平衡常数即可以加以标定。并考虑到 Fe^{2+} 存在的影响进行了校正, 从而提出了一个适用于天然含铁复杂体系的二辉石温度计的计算公式。经我们的计算比较表明伍德和坂野 1973 年的公式是比较好的。

尼鲁 (E. Nehru) 和 怀利 (J. Wyllie)

1974 年、林德司利 (H. Lindsley) 和 狄克逊 (S. Dixon) 1976 年的公式适用于含不饱水和水的体系, 我们发现这些公式对不同含铁量的辉石过分敏感, 对略偏镁质的辉石则温度偏低, 而对略偏铁质的辉石则温度偏高, 同一地区差值竟达 250—300 °C, 因此不适用。威尔斯 (A. Wells) 1977 年的公式普遍比伍德和坂野的公式结果高约 50 °C, 仅对强烈富镁辉石 ($X_{\text{Fe}^{2+}} < 0.3$ 者) 威尔斯公式的结果才比伍德和坂野的结果略低。

现将我们对迁安地区七对二辉石对的计算结果列于表 1 (原始资料参看表 2):

由表 1 可见, 本区这些二辉石对虽然取

表 1

	$X_{\text{Opx}}^{\text{Fe}}$	$X_{\text{Cpx}}^{\text{Fe}}$	$a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{Opx}}$	$a_{\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6}^{\text{Cpx}}$	K	lnK	T_1 (°C)	T_2 (°C)
S7—19	0.483	0.363	0.256	0.050	0.196	-1.632	859.8	917.5
CS—01	0.688	0.498	0.079	0.0395	0.5	-0.693	897	1008.9
RZ—01	0.67	0.53	0.094	0.035	0.372	-0.988	864	955
RZ—07	0.493	0.349	0.25	0.026	0.105	-2.25	781	805.3
RZ—08	0.49	0.312	0.288	0.04	0.143	-1.945	835.7	874.4
RZ—12	0.423	0.409	0.319	0.04	0.127	-2.066	835	864.6
RZ—13	0.539	0.398	0.181	0.038	0.209	-1.567	840.4	904
平均值							844.7	904.2

T_1 为按 Wood and Banno 1973 年公式计算结果;

T_2 为按 Wells 1977 年公式计算结果。

自截然不同的母岩, 然而计算的结果是大体类似的。而且取按伍德和坂野方法的计算结果 $845^\circ \pm 60^\circ \text{C}$, 与张儒媛等对迁西太平寨和郭家沟麻粒岩的计算结果 $850^\circ \pm 60^\circ \text{C}$ 是基本相同的。参照宾斯 (R. A. Binns, 1969) 角闪石 + 石英的分解温度, 当压力超过 5 Kb. 时, 温度应超过 800 °C。因此, 虽然一些研究者 (如 Hewins 1975) 认为伍德和坂野的公式计算的温度过高, 我们则认为按伍德和坂野公式计算的温度是基本正确的。

二、关于压力

迁安地区中基性麻粒岩矿物共生的基本

特征是: 斜方辉石 + 单斜辉石 + 斜长石 + 石英, 除个别 SiO_2 不饱和或者高度富铁的岩石之外, 一般不含石榴石。这反映形成压力较低, 按格林和林伍德 1967 年的实验在 900 °C 的温度下压力应不超过 12 Kb.

本区中基性麻粒岩中涉及石榴石的平衡温度均较低, 且从结构特征看, 石榴石属于后期退变质阶段紫苏辉石与斜长石的反应产物, 因此我们认为采用伍德 1974 年提出的石榴石—斜方辉石压力计对于探讨本区早期变质作用的压力状况是不适宜的。

另外, 有些计算压力的公式也误差较大。而精确掌握矿物学特征及某些标型矿

表 2

编 号	S7-19		CS-01		R2-01		R2-07		R2-08		R2-12		R2-13	
	斜长辉石岩		二辉铁英岩		二辉铁英岩		二辉铁英岩		黑云二辉 斜长片麻岩		二辉铁英岩		磁铁辉英岩	
岩石名称	Opx	Cpx	Opx	Cpx	Opx	Cpx	Opx	Cpx	Opx	Cpx	Opx	Cpx	Opx	Cpx
SiO ₂	50.81	52.09	50.86	52.36	52.25	54.05	48.07	54.05	50.73	52.78	51.35	52.81	50.29	52.22
Al ₂ O ₃	0.70	1.56	0.14	0.21	0.27	0.30	0.06	0.13	0.91	1.12	0.0	1.11	0.10	0.59
TiO ₂	0.03	0.15	0.02	0.0	0.002	0.001	0.06	0.0	0.0	0.11	0.04	0.0	0.11	0.0
FeO	0.0	0.0	1.06	1.71	2.85	1.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
FeO	30.43	12.86	35.60	17.28	33.76	16.26	32.06	11.56	28.23	10.93	26.93	14.57	31.68	13.89
MgO	18.13	12.65	9.83	8.55	8.60	9.20	18.50	12.10	19.26	13.54	20.57	11.82	15.16	11.78
MnO	0.82	0.28	0.71	0.45	0.23	0.16	0.32	0.18	0.89	0.33	0.76	0.51	3.07	1.09
CaO	0.47	21.15	1.49	18.01	1.80	18.60	0.47	22.28	0.42	22.31	0.47	21.18	0.84	20.83
Na ₂ O	0.0	0.23	0.10	0.37	0.03	0.20	0.0	0.28	0.0	0.25	0.0	0.27	0.0	0.23
K ₂ O	0.0	0.05	0.07	0.11	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
总和	101.39	101.02	100.29	99.69	100.04	100.76	99.54	100.58	100.44	101.37	100.12	100.27	101.25	100.63
Si	1.933	1.947	2.061	2.064	2.136	2.093	1.859	2.029	1.928	1.952	1.945	1.963	1.953	1.977
Al ^{IV}	0.032	0.053	0.0	0.0	0.0	0.0	0.005	0.0	0.041	0.048	0.0	0.037	0.005	0.023
Al ^{VI}	0.0	0.014	0.007	0.009	0.012	0.014	0.0	0.007	0.0	0.001	0.0	0.01	0.0	0.002
Ti	0.0009	0.004	0.0007	0.0	0.0	0.0	0.002	0.0	0.0	0.002	0.001	0.0	0.002	0.0
Fe ³⁺	0.0	0.0	0.032	0.050	0.086	0.047	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Mg _{Si} ⁺	0.526	0.625	0.307	0.425	0.26	0.449	0.54	0.636	0.558	0.686	0.592	0.585	0.469	0.60
Fe _{Si} ⁺	0.491	0.356	0.623	0.482	0.574	0.444	0.526	0.342	0.457	0.311	0.434	0.405	0.551	0.397
Mg _{Si} ⁺	0.502	0.08	0.287	0.077	0.263	0.081	0.527	0.04	0.533	0.060	0.568	0.069	0.408	0.064
Fe _{Si} ⁺	0.469	0.046	0.582	0.086	0.58	0.081	0.51	0.021	0.437	0.027	0.416	0.048	0.476	0.042
Ca	0.018	0.847	0.066	0.76	0.079	0.772	0.021	0.897	0.016	0.884	0.018	0.847	0.035	0.844
Mn	0.027	0.009	0.024	0.014	0.007	0.005	0.009	0.007	0.030	0.011	0.025	0.016	0.10	0.034
Na	0.0	0.016	0.007	0.028	0.002	0.014	0.0	0.02	0.0	0.018	0.0	0.02	0.0	0.016
K	0.0	0.002	0.004	0.005	0.0	0.0009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

注：编号 R 起头者为首钢地质公司李风月同志提供。无 Fe₂O₃ 者为电子探针结果，全铁作为 FeO 处理。

物，可以获得对成岩压力的近似估计值。

斜方辉石在本区主要是紫苏辉石或铁紫苏辉石（个别为易熔石），含铁量一般较高（ $X^{\text{Fe}} \cdot 0.4-0.8$ ）。在与磁铁矿共生的情况下，这反映氧逸度较低。

同时，斜方辉石中的 Ca/Ca + Mg 偏低。按尼鲁 1976 年对无铁的 CaMgSi₂O₆-Mg₂-Si₂O₆ 体系的实验结果，与透辉石共生的贫铁的斜方辉石中的 Ca/Ca + Mg 比值与温度有正相关关系而与压力有负相关关系（图 1）。本区 $X^{\text{Fe}} < 0.5$ 的贫铁斜方辉石中 Ca/Ca + Mg 比值为 0.017、0.019、0.014 和 0.015。这个比值都很接近，反映在温度低于 900℃

时压力 < 5Kb。因为这个图解仅适用于无铁体系，有铁的存在可使估算的温度压力值偏低，考虑到 Fe 的校正，本区二辉石共存体的压力应在 5—10Kb 之间。

单斜辉石在本区主要是普通辉石和低钙次透辉石，含 Na₂O 不高，重量 0.25% 左右，Jd/Ts 平均为 0.48。这也反映压力较低。

据伍德 1976 年对 CaMgSi₂O₆-CaAl₂SiO₆ 体系的实验结果，与钙长石和石英共生的单斜辉石中的钙契尔马克分子分数（即 Ca-Ts / Ca-Ts + Di 分子 %，一般可以用晶体化学式中的 Al^{IV}/Ca 比值来计算）与温度的关系不大，而与压力有正相关关系（图 2）。本区

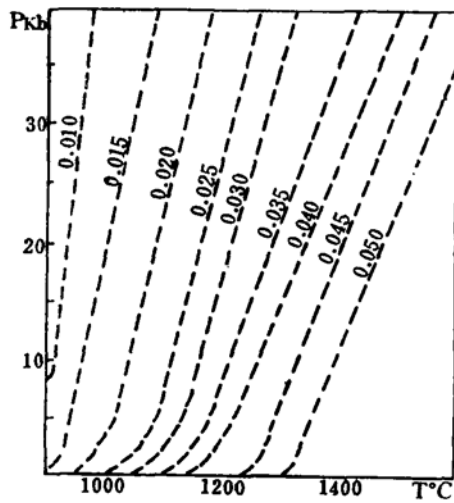


图 1 与透辉石共存的贫铁斜方辉石中的 Ca/Ca + Mg 与 P、T 关系图解 (据 C. E. Nehru 1976)

与斜长石和石英共生的单斜辉石中钙契尔马克分子分数为 0.063、0.054、0.044 和 0.027。数值也较为接近，反映在 900℃ 温度下压力应为 7—8Kb。

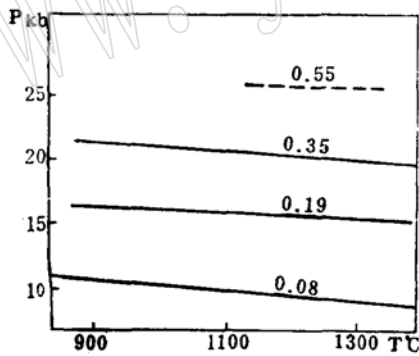


图 2 与钙长石、石英共生的单斜辉石中的钙契尔马克分子数与 P、T 关系图解 (据 B. J. Wood 1976)

最近，首钢地质公司岩矿室的同志在迁安南矿区岩芯薄片已经发现了早期堇青石，这也说明压力较低。在与铁铝榴石、矽线石和石英共存时，据柯里 (K. L. Currie 1971) 在 900℃ 的温度下压力不超过 9Kb。

再联系到紫苏花岗岩的发育，看来是和

当时当地的地热梯度密切相关的。这是一种特殊的高温的混合花岗岩，代表麻粒岩相变质作用之后不久的一次重要热事件，但是在我国华北麻粒岩带之中它的分布是不均匀的。迁安以东广泛分布，而遵化以西则极少发现。萨克森纳 (S. K. Saxena 1977) 曾认为紫苏花岗岩的出现反映 70—100℃/公里这样特别高的地热梯度。看来，这样高的地热梯度是估计偏高了。然而无论如何紫苏花岗岩的发育可以作为高温而相对低压的佐证之一。从世界各地紫苏花岗岩的形成条件来看：在挪威的罗弗敦群岛，奥玛森 (Ormaasen) 1977 年定为 800℃、10Kb；在印度马德拉斯，郝威 (Howie) 1955 年定为 850℃、9—10Kb；在阿尔及利亚的霍加尔，史密斯 (Smith) 1971 年定为 800℃、9.5—10Kb；在加拿大的格林威尔，马丁诺尔 (Martignole) 1979 年定为 880±20℃、7±1Kb。紫苏花岗岩的发育与地热梯度的关系如图 3 所示。

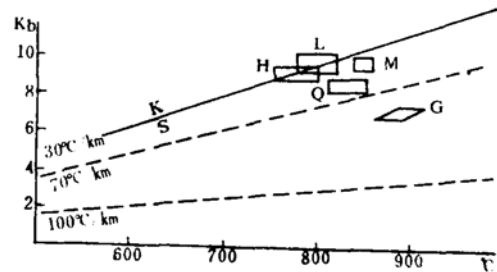


图 3 世界各地紫苏花岗岩与地热梯度的关系

L 为罗弗敦地区；M 为马德拉斯地区；H 为霍加尔地区；G 为格林威尔地区；Q 为我们估算的迁安地区。K/S 为 $Ky \rightleftharpoons Sil$ (据 M. J. Holdaway, 1971)。

综合上述资料及有关的变质反应资料编绘于图 4。迁安地区早太古代最早期麻粒岩相变质作用的温度为 845±60℃，压力为 8Kb 左右。当时的古地热梯度应接近于而不超过 30℃/公里。按都城秋穗属于麻粒岩相中压亚相的低压部分，氧逸度较低。本区

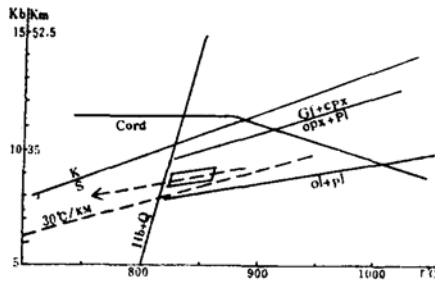


图 4 与本区变质作用条件有关的 P-T 图解

Ky \rightleftharpoons Sill据 M. J. Holdaway 1971; Cord 的上限据 B. J. Hensen and D. H. Green 1971; 在 $Fe^{2+}/Fe^{2+} + Mg = 0.4$ 的石英拉斑玄武岩中 $2opx + Pl \rightleftharpoons Gt + Cpx + Q$ 及 $Ol + Pl$ 的上限据 D. H. Green and A. F. Ringwood 1967; Hrb + Q 的上限据 R. A. Binns 1969。虚线表示 30°C/公里的地热梯度线; 小方框和矢量线表示迁安地区早太古代的 P-T 条件以及后来的退变质变化。

黑云母—石榴石的平衡温度为 575 | 694°C, 表明全区在麻粒岩相变质作用之后又蒙受一次角闪岩相区域变质作用的迭加与改造, 这点将在另文中再作介绍。

参 考 文 献

〔1〕 王仁民、陈珍珍: 北京密云沙厂地区前震旦系的多相变质作用。中国地质学会第一届岩石、矿物、地球化学专业学术会议论文选集(岩石部分)第 370 页。

〔2〕 张儒媛、从柏林: 冀东迁西地区早太古代麻粒岩的矿物学和结晶的 P-T 条件。《中国科学》, 1981 年第 7 期, 855—868 页。

〔3〕 B. J. Wood and S. Banno 1973: Garnet-Orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex Systems. *Contr. Miner. and Petrol.* 42. 109-124.

〔4〕 P. R. A. Wells 1977: Pyroxene thermometry in simple and complex systems. *Contr. Miner. and Petrol.* 62. 129-139.

〔5〕 C. E. Nehru 1976: Pressure dependence of enstatite limb of the enstatite-diopside solvus. *Am. Miner.* 61. 578-581

〔6〕 B. J. Wood 1976: Mixing properties of tschermakitic clinopyroxenes. *Am. Miner.* 61. 599-602.

〔7〕 J. Martignole 1979: Charnockite genesis and Proterozoic crust. *Precambrian Research* 9. 3-4. 303-310.

A Discussion of the Temperature-Pressure Condition of Early-Archean Metamorphism in Qianan, Eastern-Hebei

Wang Rimin

Chen Zhenzhen

Abstract

Seven pairs of coexisting ortho- and clino-pyroxene from granulites of various chemical series in Qianan county have been researched, and the temperature-pressure condition of Early-Archean granulite facies metamorphism of this area is discussed.

The equilibrium temperatures of coexisting twopyroxene calculated according to Wood and Banno's methods (1973) and to Well's method (1977) were very close to each other, with an average value of $845 \pm 60^\circ\text{C}$. The pressure estimated by Ca/Ca + Mg of ortho-pyroxene coexisting with diopside (Nehru 1976) and by the tschermakite content of clino-pyroxene coexisting with anorthite and quartz (Wood 1976) were about 8Kb at that temperature. Corre-

sponding to a geothermal gradient of $30^{\circ}\text{C}/\text{Km}$, early-Archean metamorphism of Qianan is approaching to a low pressure metamorphic facies series. The equilibrium temperature of coexisting Garnet-biotite was $575\text{-}694^{\circ}\text{C}$. It is implied that these rocks have also undergone the superimposed retrograde metamorphism of amphibolite facies.

www.yskw.ac.cn