

河北太行山阜平期变质作用分析^①

张 春 华

(河北省地矿局区调队)

提 要 本文应用施莱纳马克斯分析方法,以变质中基性岩为分析对象,对河北太行山阜平期变质作用进行分析。认为阜平群属递进变质,中压相系;以高角闪岩相为主,在高、低角闪岩相之间有个过渡带,这是阜平群的变质特点;变质相的划分具有经验性归纳的特点;构造热事件同步或具先后交叠发生,不具多旋回叠加。

一、相关问题

阜平期变质作用,旨在阜平运动时期发生的热事件。其年龄值,据已知的同位素资料大约 2800Ma。是华北陆台形成过程中一次重要地质事件。最早的古陆核形成,阜平群即为其一部分。

阜平群出露于太行山阜平和西黄村一带,分上下两个亚群。下亚群为索家庄、团泊口和南营三个组;上亚群为漫山、木厂、四道河和红土坡四个组。西黄村一带为放甲铺、北赛两个组,分别相当于团泊口、南营组。其时代为中太古代。两地实为相连的同一地体,后被井陉壑式断陷所分割(见图1)。

阜平群的岩石组合是以黑云斜长片麻岩或黑云角闪斜长片麻岩为主,夹斜长角闪岩,有的地段夹变粒岩、浅粒岩和磁铁石英岩,各组顶部常出现大理岩。下部斜长角闪岩较多,向上渐减;且愈近底部透辉石递增,而成为透辉斜长角闪岩。底部索家庄组出现麻粒岩。

原岩建造^②为基性火山岩—碎屑岩—镁质碳酸盐岩建造;原始构造环境为早期地壳上的海洋火山盆地或火山岛海,具雏冒地槽性质。上亚群继下亚群之后,地壳稍有上升,显得更稳定些,

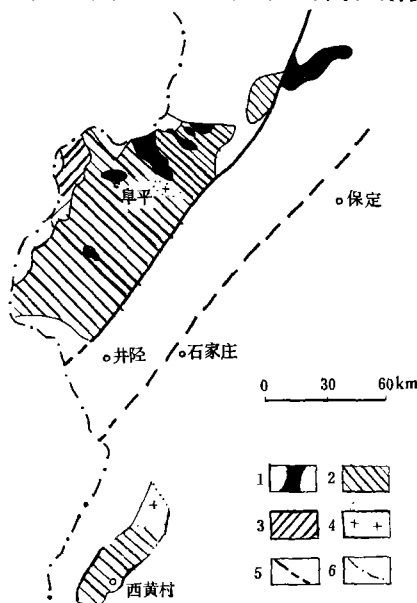


图 1 太行山阜平期变质相略图
(据 1:50 万变质图简化而成)

1. 麻粒岩相 2. 高角闪岩相 3. 低角闪岩相
4. 混合花岗岩 5. 断裂 6. 省界

Fig. 1 Sketch map of the Fupingian metamorphic facies in the Taihang Mountains.

① 本文取材于河北区调队变质编图资料

② 据河北区调队高明文等工作成果

并向陆棚浅海相过渡。

混合岩化作用^①普遍而强烈,呈现区域选择性重熔(溶),分带性不明显。但是往往在短轴背斜核部或同期断裂带附近,混合岩化作用相对强烈些,局部可见原地重熔型混合花岗岩。

褶皱形态为中或中低角度开阔的短轴穹型复式褶皱。褶皱运动与热事件同步或具先后交叠关系。

二、变质相和相系^②

(一)麻粒岩相:为阜平群底部的索家庄组,以阜平附近大柳树一带为典型。在变质中基性岩中出现紫苏辉石为标志。典型组合为 $PL + Hy + Di$ 、 $PL + Hy + Di + Gt$ 、 $PL + Hy + Gt$ 、 $PL + Di + Gt$ 等;大理岩类为 $Cc + Fo + Phl$ 等。在麻粒岩或含紫苏辉石的岩石中,均有大量的角闪石、黑云母等含水矿物共生。但是角闪石多为褐绿或绿褐色;黑云母为棕褐或红棕色。岩石中的榴石基本消失或偶尔见及。 TiO_2 基本上被角闪石黑云母所摄取,使角闪石显褐色,黑云母显棕红色色调的原因之一。斜长石牌号相对较高, $An_{36} \sim 56$, 多为 An_{45} 左右^③。

根据已知的冀东迁西群资料^{〔④⑤⑥〕}和冀西迁西群(原桑干群)资料^⑦,从冀西到冀东的麻粒岩相的 $P-T$ 条件为 $7 \sim 11 kb$, $800 \sim 920^\circ C$, 相当地壳深度 $20 \sim 30 km$, 属中压相系。然而我们将迁西群与阜平群下亚群相对比,两群均属同期同热源变质,变质作用基本特征一致,阜平群仅体现纵向的垂直分带性,横向并无变化而均匀,混合岩化作用亦都均匀,褶皱形态相同,均具平缓的重磁正异常和火山—沉积的旋回性。尚据物探和钻孔资料^⑧,沧州断裂以西平原的结晶基底亦相当阜平群,这就更证实了两群成为相通的地体。仅是两群的原始构造环境的差异,即由迁西群(含原桑干群)到阜平群(含平原部分)则由雏优地槽性质向雏冒地槽性质转化,火山活动减弱而富沉积成分的原岩建造的差异。因而致使阜平群的地热梯度低于迁西群。从阜平群麻粒岩相中紫苏辉石出现的几率和麻粒岩所占岩石组合的比例($< 1/3$)远逊于迁西群($2/3$ 左右)亦说明了这一点。再据 $Hb + Q = Hy + PL$ 在 $700^\circ C$ 以上;在 $8 \sim 10 Kb$, $Hy + PL = Di + Gt + Q$ 变成互相稳定^⑨,而且此类组合在阜平群麻粒岩相中屡见不鲜,两群组合特征雷同,故此阜平群麻粒岩相的 $P-T$ 条件应在 $7 \sim 10 kb$, $750 \sim 850^\circ C$ 。

(二)高角闪岩相:为团泊口、南营、漫山、木厂组和西黄村一带的放甲铺、北赛组。在变质中基性岩中普遍出现透辉石为标志。与之共生的角闪石多为深绿、暗绿或褐绿

- ① 据河北区调队李增龙工作成果。
- ② 贺高品, 1981, 《区域变质相和变质相系的划分标志》。
- ③ 均系岩矿组油浸法测定
- ④ 兰玉琦 1983《河北迁西太古代变质岩与混合杂岩的实验研究》
- ⑤ Bernard Auvray 《中国冀东太古代麻粒岩片麻岩》
- ⑥ 孙大中主编 1984《冀东早前寒武地质》天津科技出版社
- ⑦ 河北区调队编图资料二辉石对计算
- ⑧ 据天津冶金地质所基岩地质图
- ⑨ 温克勤 1980《变质岩成因》科学出版社

张

色, 黑云母多为深褐色或暗褐色, 榍石可见, 斜长石为 An_{32-44} , 多为 An_{37} 左右。在变质泥质岩石中出现 $Sil + Kf$ 为标志, 谓之第二矽线石带。在镁质大理岩中也可出现镁橄榄石。其组合为: $Q + Kf + Sil + Bi$ 、 $Q + Bi + Alm + Sil$ 、 $PL + Hb + Bi + Ky + Q$ 、 $Ky + Alm + Bi + PL$ 、 $PL + Bi + Cor$ 、 $PL + Di + Hb + Q$ 、 $PL + Hb + Di + Alm + Q$ 、 $Cc + Dol + Fo + Tr(End) + Phl$ 、 $Cc + Di + Hb + Sep$ 等。

据南营组 $Gt - Hb$ 对 $\bullet$ 计算(别尔立克1967)为 $710^{\circ}C$; 北赛组 $Gt - Bi$ 对计算(别尔立克1970)为 $700^{\circ}C$, 萨克斯纳(1969)法计算为 $705^{\circ}C$, Fe^{2+} 分配系数(萨克斯纳1968) KD 为7.61。又据 $\bullet$ $Ms + Q = Sil + Kf$ 其反应条件为 $3 \sim 5Kb$, $650 \sim 730^{\circ}C$; $Fo + Tr + Cc + Dol$ 的平衡条件为 $5Kb$, $680 \sim 700^{\circ}C$ 。结合中压型矿物蓝晶石出现, 铁铝榴石又极普遍和局部刚玉的富集, 其 $P-T$ 条件应 $>5Kb$, $650 \sim 750^{\circ}C$ 。

根据变质中基性岩中透辉石出现几率的趋势分析, 其垫流值西黄村低于阜平, 阜平一带的高层位低于低层位。同样说明了同期同热源变质因部位不同而差异以及纵向上变化的特点。

(三) 低角闪岩相: 为四道河、红土坡组。常见组合: $PL + Hb + Q$ 、 $PL + Hb + Alm + Q$ 、 $PL + Bi + Hb + Q$ 、 $PL + Hb + Bi + Alm + Q$ 、 $Cc + Di + Hb + Sep + Q$ 等。邻区山西尚有 $Ky + St + Alm + Bi + Ms + Q$ 等。在变质基性岩中, 尚可见到透辉石, 但是原岩多系富钙岩石, 或常与大理岩过渡。其角闪石多为浅绿或兰绿色; 黑云母多为褐或浅褐; 榍石普遍; 斜长石牌号亦低, An_{20-35} , 多为 An_{27} 左右。

据 $Ch + Ms = St + Bi + Q + H_2O$, $Ch + Alm + Ms = St + Bi + Q + H_2O$ 的 $P-T$ 条件为 $4Kb$, $540^{\circ}C$; $7Kb$, $565^{\circ}C$; $Ctd + Q = Alm + St + H_2O$ 的 $P-T$ 条件 $10Kb$, $600^{\circ}C$; $St + Q = Alm + Ky + H_2O$ 的 $P-T$ 条件为 $2 \sim 10Kb$, $575 \sim 700^{\circ}C$ 。故此相带的 $P-T$ 条件约 $4 \sim 10Kb$, $540 \sim 700^{\circ}C$ 。

综上述, 由于典型中压型矿物蓝晶石和矽线石的出现, 铁铝榴石亦普遍; 麻粒岩相中 $Di + Hy + PL + Gt + Q$ 互相稳定; 以及 $P-T$ 条件的估算和相关地质特征, 无疑属中压相系。其各相带相对 $P-T$ 图解如图2。

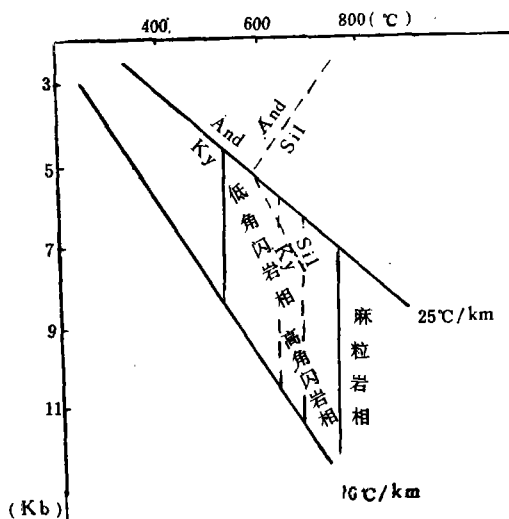


图2 相带相对 $P-T$ 图解

Fig.2 Facies zone vs. $P-T$ diagram.

三、变质作用分析

应用施莱纳马克斯(Sch - reinmakers)分析方法 $\bullet$, 以变质中基性岩为分析对象, 在此

- $\bullet$ 由伍家善提供资料
- $\bullet$ 贺同兴等1979《变质岩石学》地质出版社
- $\bullet$ 李树勋1981《矿物共生分析和相图编制方法》

类岩石中除石英外,组合中共六种变质矿物: PL、Bi、Hb、Alm、Di、Hy 等。首先将这六种矿物的标准分子式分解成氧化物,经组分分析确定: Al_2O_3 、 CaO 、 $(\text{Fe},\text{Mg})\text{O}$ 三组分为有效惰性组分,按比例投到 ACF 化学关系图解上(见图3)①

根据相律 $F = C - P + 2$,在三组分体系中最大相数(即 $F = 0$, $P = C + 2 = 5$)应为五种矿物。既有六种矿物,则应属复式体系。分别设 Bi、Hy 为不出现矿物相,以 $[\text{Bi}]$ 、 $[\text{Hy}]$ 表示之。按照 ACF 化学关系图解,以消元几何法得单变反映式($F = 1$, $P = C + 1 = 4$)为:

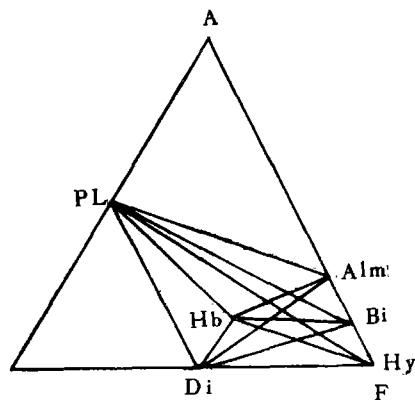
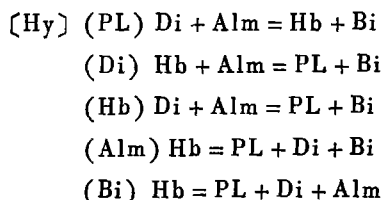
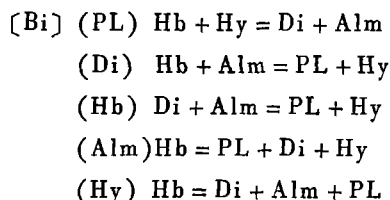


图 3 化学关系图解

Fig. 3. Diagram showing the chemical relationships.



按单变法,分别以 $[\text{Bi}]$ 、 $[\text{Hy}]$ 为零变点,按照单变反应的相对关系和顺序,求出 P—T 图解,得图 4、5。

从图 4、5 中可以看出,每两条单变线构成的变区($F = 2$, $P = 3$)内,相数为三,构成每个双变区内理论稳定和亚稳定组合(见表 1、2)。

然后将图 4、5 合并成成因网系图。其中单变线(Hy)、(Bi)的单变反应式相同,以其共线相联,再以同一消失相的单变线相交得 $[\text{Hy}]$ 、 $[\text{Bi}]$ 、 $[\text{PL}]$ 、 $[\text{Hb}]$ 属稳定相交,即稳

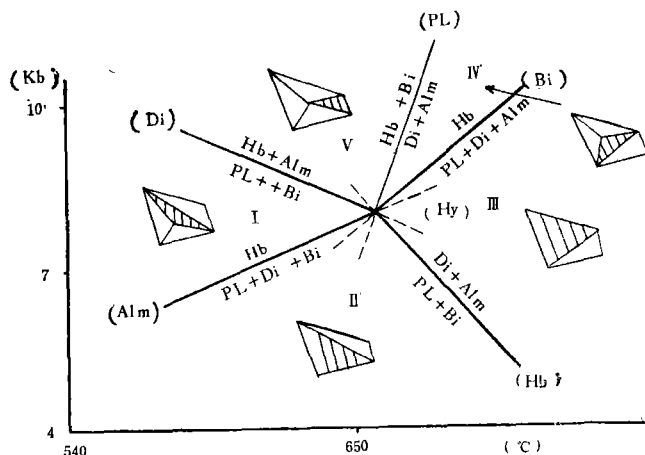


图 4 P—T 图解

Fig. 4. P—T diagram.

① 其中 Hb 具体位置由化学全分析计算后确定

定零变点; 而〔Alm〕、〔Di〕为亚稳定相交, 属亚稳定零变点。可构成10个区域, 各分区理论组合见表3。

在成因网系图中可以明显看出, 随着温度压力的变化, 矿物组合亦随之变化。由于阜平群属于中压相系, 因而变质相带的变化主要取决于温度的变化, 从网系中可以得到证实。网系图各区域的理论组合与相应各相带的实际组合是一致的 (见表3)。

低角闪岩相当成因网系图中的 I、II 区。其稳定组合: I PL + Hb + Bi; II Hb + Bi + Alm, 温度在540~700℃。II 区上方出现 Di, 组合为 Di + Bi + Hb, 向高角闪岩相过渡。随着温度升高, 由 I、II 区进入 III、IV 区出现 Di, 进入高角闪岩相。其稳定组合: III PL + Di + Bi; IV Di + Alm + Bi (IV₁ Di + Alm + Bi、PL + Di + Alm; IV₂ Di + Alm + Bi、Di + Alm + Hb)。温度在650℃以上。III、IV 区随着温度升高, 分别进入 V、VI 区出现 Hy, 进入麻粒岩相。其稳定组合: V PL + Hy + Bi; VI Hy + Di + Alm (VI₁ Hy + Di + Alm、PL + Di + Alm; VI₂ Hy + Di + Alm、Di + Alm + Hb)。II 区上方的高角闪岩相过渡区亦随之进入 VII 区, 亦即麻粒岩相区, 组合为: VII Hy + Hb + Bi。VIII、IX、X 区亦属麻粒岩相, 稳定组合: VIII PL + Hy + Di (下部 PL + Hy + Alm); IX Hy + Hb + Alm; X PL + Hy + Hb。麻粒岩相的温度在750℃以上。

归结起来, 网系图中随着温度升高的演化序列为: Hb + Bi—Di + Bi—Hy + Di 与其由低角闪岩相—高角闪岩相—麻粒岩相递增变质带相对应; 而且大致控制在压力约6~9Kb, 主要由〔Hy〕、〔Hb〕、〔Bi〕三个零变点所控制的 I—IV—VI—VIII 区; 且以高角闪岩相为主; 高低角闪岩相之间有个过渡带。谓之阜平群变质特点。

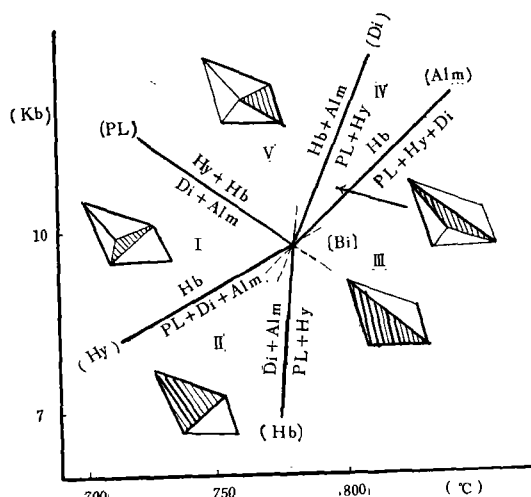


图5 P-T图解

Fig. 5. P-T diagram.

〔Hy〕为零变点

表1

〔Bi〕为零变点

表2

(Di, Alm) PL + Hb + Bi I PL + Hb + Di PL + Alm + Bi Hb + Di + Bi	(Bi, PL) Hb + Di + Alm IV PL + Hb + Di PL + Hb + Alm Di + Alm + Bi	(PL, Hy) Hb + Di + Alm I PL + Hb + Di PL + Hb + Alm Di + Alm + Hy	(Alm, Di) PL + Hb + Hy VI PL + Hb + Di Hb + Di + Hy PL + Hy + Alm
(Alm, Hb) PL + Di + Bi II PL + Alm + Bi	(PL, Di) Hb + Bi + Alm V PL + Hb + Alm PL + Hb + Di Hb + Di + Bi	(Hy, Hb) PL + Di + Alm II Di + Alm + Hy	(Di, PL) Hb + Alm + Hy V PL + Hb + Di Hb + Di + Hy PL + Hb + Alm
(Hb, Bi) PL + Di + Alm III Di + Bi + Alm		(Hb, Alm) PL + Di + Hy III PL + Alm + Hy	

表 3 理论组合与实际组合对照

Table 3. Comparison between Theoretical Association and Actual Association

分 区	理 论 组 合	实 际 组 合	变 质 相	相 系
I	PL+Hb+Bi PL+Hb+Di PL+Alm+Bi Hb+Di+Bi	PL+Hb+Bi+Q PL+Hb+Di+Bi PL+Alm+Bi+Q PL+Hb+Di+Bi	低 角 闪 岩 相	中 压 相 系
II	Hb+Alm+Bi PL+Hb+Alm PL+Hb+Di Hb+Di+Bi	PL+Hb+Alm+Bi+Q PL+Hb+Alm+Q PL+Hb+Di+Bi PL+Hb+Di+Bi		
III	PL+Di+Bi PL+Di+Alm	PL+Di+Bi PL+Bi+Alm+Q	高 角 闪 岩 相	
IV	PL+Alm+Bi PL+Di+Alm	PL+Di+Alm+Bi+Hb PL+Di+Alm		
V	PL+Hy+Bi PL+Alm+Bi PL+Hy+Di	PL+Hy+Bi+Hb+Q PL+Bi+Alm+Q PL+Hy+Di+Hb	麻 粒 岩 相	(蓝 晶 石— 矽 线 石 型)
VI	Hy+Di+Alm PL+Di+Alm	Hy+Di+Alm+Q PL+Di+Alm+Q		
VII	Hy+Hb+Bi Hb+Alm+Bi Hy+Di+Hb	PL+Hy+Hb+Bi+Q PL+Hb+Alm+Bi PL+Hy+Di+Hb		
VIII	PL+Di+Hy PL+Hy+Alm	PL+Hy+Di+Hb PL+Hy+Alm+Di+Q		
IX	Hd+Alm+Hy Hb+Di+Hy PL+Hb+Di PL+Hb+Alm	Hb+Alm+Hy+Q PL+Hy+Di+Hb PL+Hb+Di+Q PL+Hb+Alm+Bi		
X	PL+Hy+Hb PL+Hb+Di PL+Alm+Hy Di+Hb+Hy	PL+Hy+Hb PL+Hb+Di+Q PL+Hy+Alm+Di+Q PL+Hy+Di+Hb		

四、几点归纳和认识

1. 区域变质作用尚受起始状态的制约, 即是同期同热源同一原始构造区, 其部位不同或原建造的差异, 变质亦会有差异。但基本特征不变, 阜平群和迁西群即为其例。

2. 阜平群麻粒岩相次于迁西群, 究其原因: 热流并不十分高; 或高温持续时间短; 抑或原建造沉积成分多而富水, 且富斜长石等导致重熔温度降到 620℃ 以下发生重熔作用, 产生流体相, CO₂、OH 挥发份增加反而影响高温或不含水矿物的出现和稳定; 或因混合岩作用而退变。

3. 变质相的划分, 除利用已知的典型矿物或组合之外, 对某些矿物或特征, 尚具统计上的量变—质变的趋势分析和相对性概念, 其界线往往是渐变的。属经验性归纳^①。例如变质中基性岩中的透辉石, 在低—高角闪岩相中则由零星出现到普遍出现以及某些矿物光学变化的规律。

4. 阜平群的构造热事件同步或先后交叠发生, 不存在多旋回叠加。岩相中的各种交代现象以及褶皱不同轴向的展布, 均说明同旋回发展演化的复杂性阶段性或幕次关系的反映。同样, 区内灰白色、肉红色混合岩—花岗伟晶岩亦均属同旋回深熔作用的不同发展阶段。

本文曾蒙李树勋教授指导, 伍家善同志审阅并提出宝贵意见, 插图石晓兰同志清绘, 在此一并致谢。

矿物代号: PL—斜长石、Bi—黑云母、Hb—角闪石、Di—透辉石、Alm—铁铝榴石、Hy—紫苏辉石、LT—石榴石、Si—矽线石、Ky—蓝晶石、St—十字石、Kf—钾长石、Ms—白云母、Fo—镁橄榄石、Phl—金云母、Sep—方柱石、Tr—透闪石、End—透闪石、Co—方解石、Dol—白云石、Cor—刚玉、Ctd—硬绿泥石。

参 考 文 献

- (1) 董申保, 1983, 变质作用类型划分初议, 《中国区域地质》第三辑。
- (2) 贺同兴等, 1979, 变质岩岩石学, 地质出版社。
- (3) 温克勤, 1980, 变质岩成因, 科学出版社。
- (4) 都城秋穗, 1979, 变质作用与变质带, 地质出版社。
- (5) 孙大中主编, 1984, 冀东前寒武地质, 天津科技出版社。
- (6) 国际前寒武纪地壳演化讨论会, 1983, 论文摘要汇编。

An ANALYSIS OF FUPINGIAN METAMORPHISM IN THE TAIHANG MOUNTAINS, HEBEI PROVINCE

Zhang Chunhua

Abstract

Fupingian metamorphism is a thermal event that took place in the Fupingian movement. The metamorphic age is about 2800 Ma. When the earliest continental nucleus of the North China platform was formed, the Fuping Group was its component part.

The protoliths of the Fuping Group are represented by a formation of basic volcanic rocks-clastic rocks-magnesian carbonate rocks; the original tectonic environments are marked by an oceanic volcanic basin or volcanic island sea on the early event, exhibiting the nature of an embryonic miogeosyncline.

① 董申保1981《变质作用类型和变质相系》

Migmatization is intense and homogeneous. Folds are open domal composite anticlines.

The Fuping Group belongs to the progressive metamorphic medium-pressure facies series. Granulite facies is marked by the appearance of Hy, a pressure of 7-10 kb and a temperature of 750—850°; higher amphibolite facies is marked by the appearance of Di in metamorphic intermediate-basic rocks and Sil + Kf in metamorphic pelite, a pressure of greater than 5 kb and a temperature of 650—750°C; lower amphibolite facies is marked by the appearance of Ky + St in metamorphic pelite, Pl + Hb ± Alm in metamorphic basic rocks and rare Di, a pressure of 4-10 kb and a temperature of 540—700°C.

Analysing by use of the Schreinemakers method, the author has come to the conclusion that at a controlled temperature of 6-9 kb and with rising temperature, the evolutionary sequence is as follows: Hb + Bi — Di + Bi — Hy + Di correspond to their metamorphic facies belt, with higher amphibolite facies predominating and there is a transitional belt between higher and lower amphibolite facies.

Regional metamorphism was controlled by its initial state; or various causes might lead to anatexis below 620°C, thus influencing the appearance or stability of high-temperature minerals. The Fuping Group may also be distinguished from the Qianxi Group by its low heat flow value or a short duration of high temperature. Some minerals change with their optical properties of the facies zones. The classification of metamorphic facies has the features of empirical induction. The tectono-thermal events occurred synchronously or alternatively in succession or even overlapped, showing no cyclic superimposition.

(上接第 103 页)

xi Province which yields Cu (Mo-W) porphyries distributed along both the Limits and South China plates. Four such zones maybe distinguished within the boundaries of the province.

More distally from the destructive margins W-Sn-F (U-Nb-REE) granites are intruded in the central zones of both plates, and these are also associated with major ore deposits, especially where the granites are intruded into lower Palaeozoic low-grade metamorphic basement which provided abundant fluids for hydrothermal circulation systems.

The Sino-Korean-Yangtse-South China Plate boundaries are therefore essentially of Andean type and they can also be closely compared with those previously proposed to account for the magmatism and metallogeny of the British Caledonides by Simpson et al, Plant et al and British Hercynides by Watson, Fowler and Simpson.