

不纯碳酸盐岩的变质作用

张 翊 钧

(天津地质矿产研究所)

主题词: 二氧化碳分压; 渗滤作用; 缓冲作用; 宿松群; 红旗营子群; 板峪口组

提 要: 不纯碳酸盐岩中的矿物共生组合与变质时的总压和二氧化碳分压密切相关。总压增高促使透闪石、透辉石和橄榄石等矿物生成温度增高。变质过程中岩石中流体成分的变化有两种极端情况, 即渗滤作用和缓冲作用。渗滤作用下变质反应、变质矿物界线和变质矿物特征等均与缓冲作用下有所差异, 以此可以区别它们。湖北宿松群和河北红旗营子群不纯大理岩是在渗滤作用下变质的。山西五台群板峪口组不纯大理岩是在缓冲加渗滤作用下变质的。

不纯碳酸盐岩变质作用的研究近十年来在国内外得到迅速的发展^{〔1,2〕}。其进展主要体现在以下三个方面: 1. 变质矿物组合与温压, 尤其是与压力的关系, 2. 反应时流体成分是由渗滤作用还是缓冲作用控制, 3. 变质反应中所通过的流体数量。这些领域的新进展不但深化了我们对碳酸盐岩变质作用的认识, 而且也推动了对变质作用的基础理论的研究^{〔3〕}。本文将对上述前两个方面的基本观点作一初步介绍, 并结合我国的一些地区的实际资料进行说明, 以供有关同志参考。关于变质反应中所通过的流体数量的计算将另文介绍。

一、变质作用与压力的关系

不纯碳酸盐岩在变质时产生的变质矿物虽然不很复杂, 但这些矿物的稳定范围与压力有着非常紧密的关系。在不同的压力条件下, 同一变质矿物可以在不同的变质相内出现。不熟悉这一点就可能将碳酸盐岩的变质相定错, 进而使该区的变质地层得不到正确的划分。

不纯大理岩中的白云石与石英可以反应产生透闪石。温度升高后透闪石可进一步反应产生透辉石。这些反应和不纯大理岩中其它反应一样, 它们的反应温度在不同的压力和二氧化碳分压下有很大的变化。透闪大理岩通常仅在次绿片岩相和绿片岩相条件下稳定。在低压条件下(压力小于 500 MPa, 即硅铝矿物出现红柱石或夕线石, 而不出现蓝晶石。), 绿片岩相的含石英的白云大理岩变为透闪大理岩, 在角闪岩相变为透辉大理岩。当压力增大至 600 MPa, 且 $X_{CO_2} = 0.4-0.7$ 条件下, 透闪大理岩可在角闪岩相条件下稳定。

在胶东地区绿片岩相变质的粉子山群中可见到透闪大理岩、滑石大理岩和蛇纹大理岩。在角闪岩相变质的胶东群中就见不到透闪大理岩, 而出现透辉橄榄大理岩。胶东群中硅铝矿物主要以夕线石形式出现。这说明该地区在变质时属低压条件。陕西秦岭群中硅铝矿物为红柱石和夕线石, 在角闪岩相变质条件下也出现了透辉大理岩和橄榄大理岩, 可参考图 1 和表 1。由于这些矿物的生成温度还取决于二氧化碳分压, 因此表 1 所列数值为近似值。

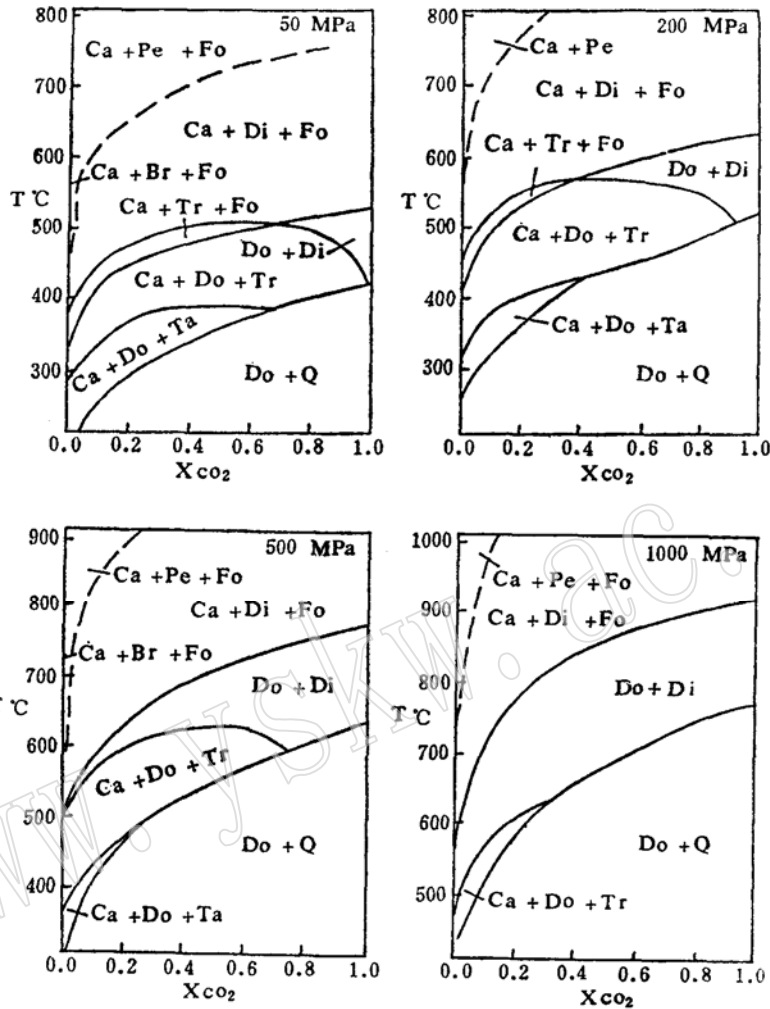


图 1 不同压力下MgO-CaO-SiO₂-H₂O-CO₂体系平衡图
 Fig. 1 Equilibrium diagram of the system MgO-CaO-SiO₂-H₂O-CO₂ at different pressures

——表示 $m_{SiO_2}/m_{MgO} < 0.5$ 时相的界线 (据 [3] 修改而成)
 Ca—方解石; Do—白云石; Q—石英; Pe—方镁石; Br—水镁石; Fo—橄榄石; Di—透辉石;
 Tr—透闪石; Ksp—钾长石; Phl—金云母; Ep—帘石; An—钙长石 (以下各图符号与此相同)

表 1 不纯大理岩中主要变质矿物的出现温度与压力的关系

Table 1 The relationship between production temperature and pressure in impure carbonate rocks

温度(°C) (近似值)	总压	压				
		50MPa	150MPa	200MPa	500MPa	1000MPa
透闪石		400	430	440	500	500
透辉石		430	490	520	620	630
橄榄石		520	550	570	700	800

二、渗滤作用或缓冲作用

1. 外界流体还是反应流体

从图 1 可明显看出, 变质矿物的生成温度与二氧化碳分压有关。变质反应中的二氧化碳分压有时可以通过分析现有矿物共生组合来确定。变质过程中二氧化碳分压的变化有两种极端情况。第一种变质过程中流体的二氧化碳分压保持不变, 它等同于外界流体的二氧化碳分压, 此种作用称为渗滤作用。第二种变质过程中流体成分由岩石中所发生的变质反应决定, 此种作用称为缓冲作用。自然有许多变质反应是介于这两种极端情况之间的。

在渗滤作用过程中, 岩石中的一些变质反应虽然也会吸收或放出一定数量的水或二氧化碳, 但相对变质时经过岩石的所有流体而言, 它们所占的比例非常之小, 因而其影响是微乎其微的, 可以忽略不计。这样变质反应时的二氧化碳分压就是外界流体的二氧化碳分压, 也即是外来流体的成分决定了变质时的流体成分。这种变质反应实质上是溶液占优势的变质反应。在这种变质过程中组分随溶液的迁移而迁移。

在缓冲作用过程中, 外来的流体基本没有或数量极少。这样变质过程中的流体成分主要是由岩石中的变质反应决定。如反应中吸收水放出二氧化碳则二氧化碳分压就不断增高; 如反应中吸收二氧化碳放出水则二氧化碳分压不断降低。这种变质反应实质上是岩石占优势的反应。在这种变质过程中, 组分是靠扩散作用迁移。

2. 固定温度还是变化温度

在一定的总压下, 渗滤作用下的每一个变质反应是在固定温度下发生的; 缓冲作用下的每一个变质反应是在变化温度下发生的。这是因为在渗滤作用下二氧化碳分压保持不变, 因

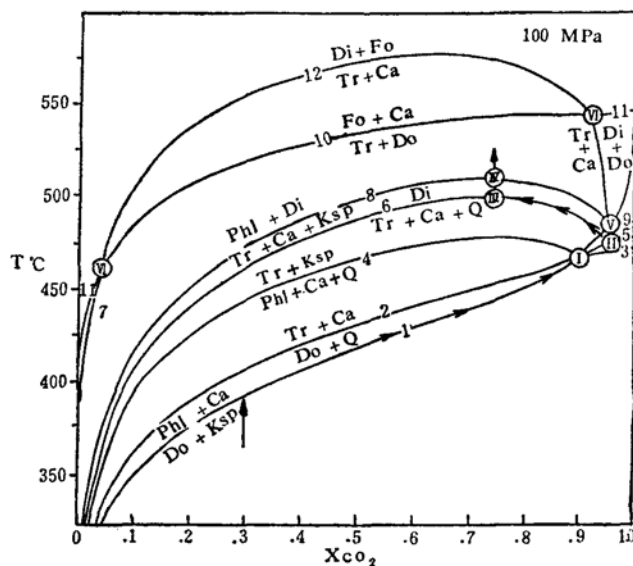


图 2 方解石、白云石、石英、钾长石、CO₂、H₂O 之间反应的温度流体成分相图 (据(5))

Fig. 2 Temperature-fluid composition phase diagram for reactions within the phase volume calcite-dolomite-quartz-K-feldspar-CO₂-H₂O

而反应温度保持不变；而在缓冲作用条件下，由于二氧化碳分压不断变化，因而反应温度也不断变化。

现以不纯大理岩中产生透闪石的反应为例，对上述特点加以说明。如在总压为100MPa的条件下，假设初始流体的二氧化碳分压为0.3， $X_{\text{CO}_2} = 0.3$ ，白云石与石英反应产生透闪石的温度为415℃（图2）。此时如果有大量的 $X_{\text{CO}_2} = 0.3$ 的外界流体渗滤岩石，虽然在产生透闪石的过程中吸收了水，放出了二氧化碳，但由于外来的流体数量很大， X_{CO_2} 仍然保持在0.3不变，该反应则继续在415℃的温度下进行，直至岩石中白云石或石英消耗尽，反应才告结束。

如果没有外来流体，由于该反应中产生二氧化碳而吸收水，因而反应过程中流体的二氧化碳分压不断升高。这样后续的反应就会在高于415℃温度下发生。随着反应不断进行，二氧化碳分压不断升高，反应温度也不断升高。因此在缓冲作用条件下的矿物反应温度是变化的。

3. 同一二氧化碳分压还是不同二氧化碳分压

同一地区不同地点的矿物组合如果显示流体中二氧化碳具有同样的分压，这表明它们同属统一的外界渗滤流体的控制。矿物组合的不同是由于原始成分的差异。

同一地区不同地点的矿物组合如果显示流体中二氧化碳具有不同的分压，这表明流体成分受缓冲作用控制，或者至少有缓冲作用参加。

4. 间断反应还是跳跃反应

在渗滤作用条件下，不纯碳酸盐岩内的各个矿物反应将按低温至高温顺序间断地发生；在缓冲作用条件下，某些反应可能被跳跃过而没有发生。

现以含石英29.1%，方解石18.9%，白云石33.0%和钾长石13.9%的不纯大理岩为例说明这一问题^[9]。假设总压为100MPa， $X_{\text{CO}_2} = 0.3$ ，其反应见图2。在渗滤作用条件下，岩石中随着温度升高而相继发生的反应为：①白云石和钾长石反应产生金云母和方解石，②白云石和石英反应产生透闪石和方解石，③金云母、方解石和石英反应产生透闪石和钾长石，④透闪石、方解石和石英反应产生透辉石，⑤透闪石、方解石和钾长石反应产生金云母和透辉石，⑥透闪石和白云石反应产生方解石和橄榄石，⑦透闪石和方解石反应产生透辉石和橄榄石。

上述岩石在缓冲作用过程中的化学反应将是：①白云石和钾长石反应产生金云母和方解石，②石英、方解石、白云石和金云母反应产生透闪石和钾长石，③白云石和石英反应产生透闪石和方解石，④白云石、透闪石、方解石和石英反应产生透辉石，⑤透闪石、方解石和石英反应产生透辉石……。与上述渗滤作用时的反应相比，金云母、方解石和石英作用产生透闪石和钾长石的反应没有发生而跳跃过去了。

5. 最终点位置

在渗滤作用条件下，不纯碳酸盐内的各个矿物反应将按低温至高温的顺序间断地发生。这样岩石变质时达到的最高温度，它在 TX_{CO_2} 图上的位置正巧处在反应线上的可能性很小。在极大部分场合下它将处在反应线之间的区域内。

在缓冲作用条件下，不纯碳酸盐内的各个反应将沿着反应线进行。这样岩石变质所达到的最高温度，它处在 TX_{CO_2} 图上的位置将在反应线上。

6. 渐变界线还是突变界线

渗滤作用所产生的矿物共生组合,在野外将较难发现矿物的反应界线。所有产生新矿物的界线都是渐变的。在野外达到某变质矿物带时,首先在岩石中出现该变质矿物,然后其含量朝地温增高方向逐渐增多。接着达到另一变质矿物带,出现另一变质矿物,然后其含量也逐渐增多。如图2反应中依次出现金云母和方解石,然后是透闪石、钾长石、透辉石等。

缓冲作用所产生的矿物共生组合在野外会发现突然的明显的变化。如图2的反应在野外就能在某处见到突然出现较多的透闪石和钾长石。这一变化可以作为明显的变质界线。

7. 矿物特征

在渗滤作用下岩石变质时有大量流体通过,因此组分迁移比较剧烈。在矿物内某些微量元素可以有相对较大的富集或贫化。矿物的粒度可以有较大的差异。在缓冲作用下组分迁移靠的是扩散作用。这样矿物内的组分只是从该矿物周围迁移来的,因而很难有微量元素较大的富集或贫化。矿物粒度比较均匀。

在碳酸盐岩内目前还没有找到典型的实例来说明这一问题。因此只能举其它岩类为例。如日本长崎县岛甲地区蚀变超基性岩内磁铁矿的特点可以说明这一点⁽⁶⁾。超基性岩在缓冲作用条件下蚀变形成滑石,在渗滤作用条件下形成滑石菱镁岩。滑石岩内有双晶的磁铁矿与不具双晶的磁铁矿几乎是同样大(粒径0.35mm)。磁铁矿内含大量滑石包裹体。含 Cr_2O_3 0.03%。滑石菱镁岩内有双晶的磁铁矿显著地比没有双晶的磁铁矿大(粒径前者为0.54mm,后者为0.30mm)。磁铁矿内几乎不含其它矿物包裹体。含 Cr_2O_3 0.98%。矿物的这些特点说明滑石岩内的磁铁矿是在缓冲作用条件下生长的,滑石菱镁岩内的磁铁矿是在渗滤作用条件下生长的。

在滑石岩内组分的迁移不明显,磁铁矿晶芽生成后,物质供应以扩散作用为主。供应的铁仅来自晶芽周围,因而有双晶晶芽和无双晶晶芽所能获得的铁数量大体一致,这样它们的粒度也就一致。由于迁移慢,矿物内有大量的包裹体,并且没有铬的富集。在滑石菱镁岩内组分迁移明显,铁的供应较充分,这样有双晶的磁铁矿晶芽因其生长快就能长得大,粒度就粗。由于有强烈迁移,因而磁铁矿内有铬的富集,并且不含包裹体。

三、实 例

1. 湖北宿松群

湖北省宿松群变质时的总压为550MPa,温度为400℃⁽⁷⁾。根据其中不纯碳酸盐岩的共生组合为方解石+白云石+滑石,方解石+透闪石+滑石,方解石+透闪石+石英,这些共生组合说明其所处的条件应在图3中反应2与反应3的区间之内。在温度为400℃时,其 $X_{\text{CO}_2} = 0.016 - 0.036$ 。

根据图3可以看出,假如反应是按缓冲作用原理发生的,则反应将按照图内反应1的曲线进行,所产生的矿物组合为白云石+石英+方解石+滑石。而现在反应连续进行,经过了反应1与反应2的曲线,反应3由于温度不够高而没有发生。最终 TX_{CO_2} 点的位置不在反应线上,说明它是渗滤作用的结果。

2. 河北红旗营子群

河北省张北县红旗营子群碳酸盐岩共生组合为方解石+石英+帘石+透辉石。该地区变

质为绿片岩相，残留有部分角闪岩相。详细的变质温压条件尚缺乏。参考图4可以知道这一

共生组合的位置在透闪石+方解石+石英产生透辉石反应线之上；透闪石+白云石产生橄榄石和方解石反应线之下；方解石+钙长石产生帘石反应线之左方。

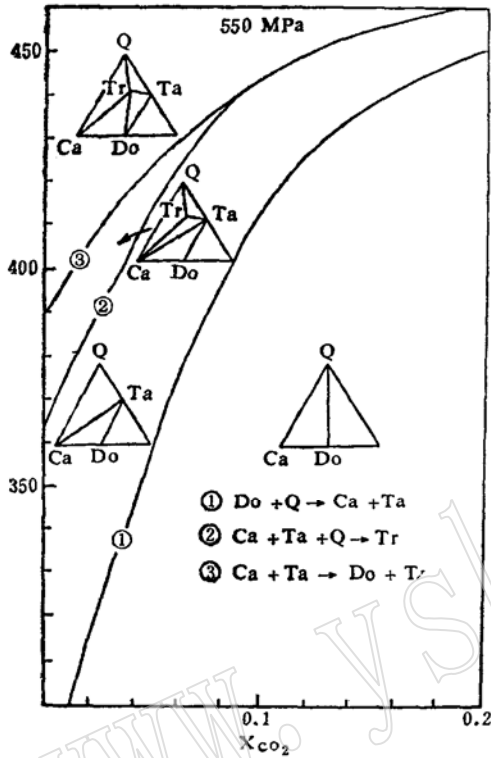


图3 550MPa下MgO-CaO-SiO₂-H₂O-CO₂体系平衡图(据[3]推算而成)

Fig.3 Equilibrium diagram of the system MgO-CaO-SiO₂-H₂O-CO₂ at 550 MPa

如为缓冲反应则与方解石、石英、透辉石共生的还应有透闪石，或者与帘石共生的有方解石和钙长石。现在没有见到此种共生组合，说明最终TX_{co2}点不在反应线上。这里也是一种渗滤作用。

3. 山西五台群

山西五台山区五台群板峪口组的温度为600℃左右，总压为600MPa⁽¹⁾。板峪口组的总体矿物组合为透闪石、金云母、白云石、方解石、微斜长石和石英。岩石变质时属缓冲作用控制，其共生组合处在不变点Ⅲ上(见图4)。此点X_{co2}为0.7左右，温度为600℃左右。

在口泉主沟内大理岩的共生组合为金云母、透闪石、方解石和白云石(此外还有斜长石)。在大理岩的近中心部位有透闪石脉体，在边缘靠近黑云变粒岩处有绿帘石脉体。从图4可以看出金云母、透闪石、方解石和白云石组合在600℃时，其X_{co2}在0.2—0.7之间。在透闪石脉内X_{co2}也为0.7左右。在帘石脉内X_{co2}小于0.1，如果X_{co2}大于0.1，则帘石将变为方解石和钙长石。通过帘石脉的溶液是贫二氧化碳的水溶液，而且在变质过程中没有什么变化，保持了贫二氧化碳的特性。这表明它属渗滤作用控制。

同一地点的脉体和围岩中变质溶液具有不同的X_{co2}，这说明溶液成分不纯属渗滤作用控

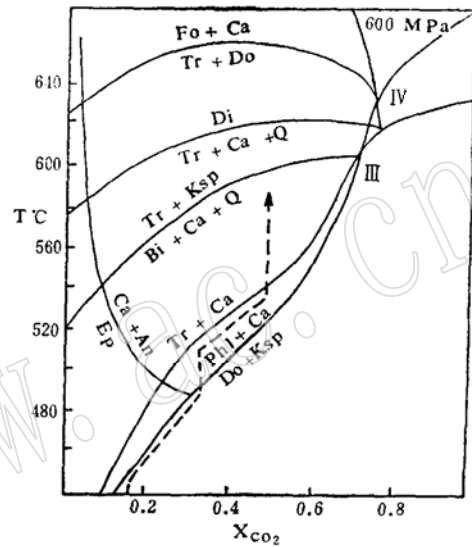


图4 总压600MPa下，帘石-方解石-白云石-石英-钾长石-CO₂-H₂O之间反应的温度流体成分相图(据[1])

Fig.4 Temperature-fluid composition phase diagram for reactions within the phase volume epidote-calcite-dolomite-quartz-K-feldspar-CO₂-H₂O at 600 MPa

制。可以认为绿帘石脉体内溶液成分属渗滤作用控制，而围岩内溶液成分就受到缓冲作用的很大影响。本地区总体的溶液成分是一种典型的缓冲作用加渗滤作用的综合结果。

参 考 文 献

- [1] 张翊钧, 1989, 板峪口组大理岩中的变质流体, 岩石矿物学杂志, 第8卷, 第二期, 131—138,
- [2] Rice, J.M. and Ferry, J.M., 1982, Buffering, infiltration, and the control of intensive variables during metamorphism, *Reviews in Mineralogy*, Vol. 10, Characterization of metamorphism through mineral equilibria, 263—326.
- [3] Мельник, Ю. П. и др., 1984, Физико-химические условия метаморфизма карбонатных пород докембрия, *Наукова думка*, Киев.
- [4] 张翊钧, 1988, 五台山区的板峪口组, *中国区域地质*, 88—4, 336—340,
- [5] Rice, J.M., 1977, Progressive metamorphism of impure dolomitic limestone in the Marysville aureole Montana, *Am. J. Sci.*, 277, 1—24.
- [6] Iwasaki, R. and Aoki, Y., 1983, Growth of twinned magnetite crystals in talc and talc-magnesite rock at Torika, Nega saki Prefecture, Japan, *Lithos*, Vol. 16, 125—133.
- [7] Sang Longkang and You Zhendong, 1988, The metamorphic petrology of the Susong Group and the origin of the Susong phosphorite deposits, Anhui Province, *Precam. Research*, Vol. 39, 65—76.

Metamorphism of Impure Carbonate Rocks

Zhang Yijun

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS)

Key words: partial pressure of CO_2 ; infiltration; buffering; Susong Group; Hongqiyingzi Group; Banyukou Formation

Abstract

The mineral assemblage of impure carbonate rocks is closely connected with the total pressure and partial pressure of CO_2 . The production temperature of tremolite, diopside and olivine is raised with the rising of total pressure. There are two extreme types of fluid behavior during metamorphism, i.e. infiltration and buffering. During infiltration metamorphic reaction takes place at certain determined temperature and all reactions will occur discontinuously. All mineral assemblages in closely spaced outcrops are stable at same partial pressure of CO_2 . The point of infiltration metamorphism on TX_{CO_2} diagram is rarely on the reaction curve. In the field there is no abrupt boundary between different mineral assemblages. Minerals controlled by infiltration metamorphism are enriched or deprived in some elements with uneven grain size and without inclusions. Based on above mentioned characteristics metamorphism controlled by buffering could be distinguished from metamorphism controlled by infiltration. (下转第116页)

www.yskw.ac.cn

~~~~~  
(上接第123页)

The impure carbonate rocks of Susong Group, Hebei and Hongqiyingsi Group, Hebei are metamorphosed under infiltration. The impure dolostone of Banyukou Formation, Wutai Group, Shanxi is metamorphosed by combination of infiltration and buffering.