

白云石及白云石化作用研究 的新进展

叶德胜

(地质矿产部 05 项目工程处)

一. 直接沉淀的白云石

由于常温常压下在实验室不能合成白云石,过去许多学者均认为在地表条件下不能直接沉淀白云石。在一些现代环境中所发现的白云石均被认为是碳酸盐沉积物准同生交代的产物(Shinn 等,1965;Bathurst,1975;Mckenzie,1981,等等)。

然而随着研究的深入,特别是用扫描电子显微镜对现代碳酸盐环境中白云石的仔细观察,近年来在现代碳酸盐潮坪及其它一些环境中陆续发现直接沉淀的原生白云石胶结物。

Mckenzie(1981)研究了波斯湾现代潮坪的白云石,发现自形的针状文石晶体在白云石晶体之上生长,而稍晚的白云石反过来又围绕文石晶体生长,没有交代作用的痕迹。巴哈马安得罗斯全新世白云岩和碳酸盐沉积物中也发现类似的文石—白云石的关系(Gebelein 等,1980),并被解释为白云石在孔隙中作为胶结物直接沉淀的证据。而 Mitchell 等(1987)报道了牙买加发现湾附近裙礁中类似的高镁方解石—白云石的关系,即白云石在高镁方解石胶结物上生长,呈大致等厚的裙边;随后高镁方解石又在白云石胶结物上继续生长。另外那里的白云石晶体常在粒间孔隙和/或骨骼内孔洞中沿着颗粒或骨骼边缘生长。白云石的上述产状清楚地表明它为直接沉淀的胶结物。

最近许多学者报道了许多白云石作为孔隙充填的胶结物存在,如伯利兹(即原英属洪都拉斯)Ambrigus 湾(Mazzullo 等,1987)、佛罗里达岛链 Sugarloaf 岛(Carballo 等,1987)以及巴哈马安得罗斯岛潮坪(Lasemi 等,1987)的白云石。Lasemi 等(1987)指出,“与目前流行的观点相反,巴哈马的白云石(以及其它潮坪环境中的白云石)主要是直接沉淀而形成的。扫描电子显微镜的观察表明,白云石主要是作为充填孔隙的胶结物存在。白云石胶结物通常存在的空间包括有孔虫室、双壳类壳的孔洞、生物钻孔以及球粒和其它颗粒间的孔隙,没有破坏颗粒的原始结构。”

Hardie(1987)在岩石学观察、人工合成白云石实验及物质平衡计算等的基础上进一步

指出,在低温条件下,潮坪白云石只能由直接沉淀形成。所要求的环境条件是:高饱和度的水、高 Mg/Ca 比以及高的 $CO_3^{2-}-HCO_3^-$ 浓度。相反,在低温条件下,交代白云石的形成极为困难,可能需要极长的反应时间(大于 10^4 年)。

国内亦有白云石作为原生的胶结物的报道,如西沙群岛第三系生物礁碳酸盐岩(沙庆安,1986)。那里的原生白云石常发育于生物屑的周围,作为胶结物存在;另外也发育于生物屑受溶蚀后所形成的次生孔隙中,这些生物屑包括有孔虫、腹足类、珊瑚藻及绿藻。

二. 白云石形成的基本条件及白云石化模式

1. 白云石形成的基本条件

白云石的形成主要受热力学及动力学的控制,目前对此问题大部分学者认识基本一致。下列化学条件有利于白云岩的形成(Machel 和 Mountjoy, 1986, 1987)(图 1)。

- (1) 低的 Ca^{2+}/Mg^{2+} 比;
- (2) 低的 Ca^{2+}/CO_3^{2-} 比(即高的碳酸盐碱度);
- (3) 较高的温度($>50^\circ C$);
- (4) 溶液对白云石过饱和。

2. 白云石化模式

自 50 年代末至 60 年代初在现代及更新世碳酸盐沉积物中发现了白云石以来,提出了许多白云石化模式。60 年代提出了回流模式(Adams 和 Rhodes, 1960)、萨勃哈模式(Illing 等, 1965)及蒸发泵模式(Hsu 和 Sichenhalar, 1969)。这些模式均认为白云石是从高盐度水中沉淀的。70 年代提出了混合水模式(Hanshaw 等, 1971; Badiozamani, 1973; Land, 1973)、库龙模式(Von der Borch, 1976)、盐度变动模式

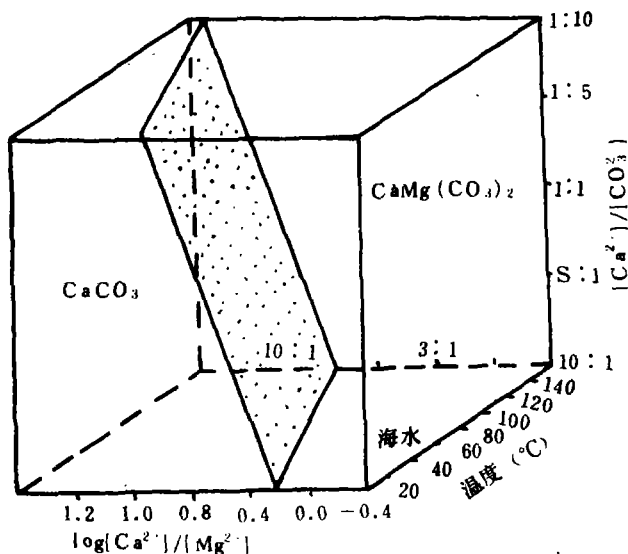


图 1 方解石-白云石-水体系的三元热力学稳定图(据 Machel 和 Mountjoy, 1986)

(Folk 和 Land, 1975)。这些模式均认为白云石是从低盐度水中沉淀的。这是至今普遍流行的两种白云石化模式。尽管当时有人提出埋藏白云石化模式(Illing, 1959; Jodry, 1969),但未得到应有重视。80 年代以来有人重新强调埋藏白云石化的重要性(Mattes 和 Mountjoy, 1980; Zenger, 1983; Machel 和 Mountjoy, 1986, 1987),并提出了一些新的模式。

Baker 和 Kastner(1981)在高温条件下($200^\circ C$)进行的白云石化实验表明,在溶液中存在少量 SO_4^{2-} 离子时会抑制方解石转变为白云石。因而他们指出,在现代沉积环境中白云石仅能在硫酸盐浓度比现代海水低得多的水中形成。当海水或来源于海水的卤水中所含硫酸盐被硫酸盐还原细菌大为降低时,有利于白云石的形成。其反应式为 $2CH_2O$ (有机物质) +

SO_4^{2-} $\xrightarrow{\text{细菌作用}}$ $\text{H}_2\text{S} + 2\text{HCO}_3^-$ 。因而被称为“硫酸盐还原模式”。但近年来,一些学者提出不同看法,认为白云石不必在硫酸盐浓度非常低的水中沉淀(Hardie, 1987)。

Saller(1984)提出正常海水白云石化模式,指出正常盐度海水的热循环引起了太平洋中 Enewetak 环礁之下始新世沉积物(海平面之下 1250—1400m)的白云石化,并且这一作用至今仍在进行。岩石学以及锶、氧等稳定同位素资料有力地支持这一结论。

Mullins(1985)对巴哈马台地边缘斜坡早更新世至中新世沉积物中的白云石进行了详细研究,认为白云石的形成是通过文石的完全溶解,然后白云石沉淀。该作用是通过层间海水和/或通过高镁方解石向方解石转化而获得 Mg^{2+} 离子的。因而他得出结论:台地边缘碳酸盐的白云石化能在正常海水条件下进行,不需要硫酸盐的还原、高盐度的卤水以及大气淡水与海水的混合等条件。

Carbollo 等(1987)详细研究了佛罗里达岛链中 Sugarloaf 岛全新世潮上沉积物中的白云石化。通过岩石学、同位素及水文资料的分析,指出那里的白云石化作用不是原来认为那样通过蒸发泉模式形成。而是通过佛罗里达海湾正常海水循环(受活跃的潮汐泵的作用)而形成的。虽然并不排出 5—10% 的海水蒸发作用和/或硫酸盐的还原对加速白云石化是有帮助的,但这些作用并不是必要的。

通过以上模式的提出,目前已基本取得一致意见,即白云石化作用不需要特别的水。白云石可以在白云石饱和的任何盐度的水中形成。如高盐度的水(泻湖、萨勃哈及某些潮坪环境),正常盐度到盐度稍高的水(潮下环境),低盐度的水(淡水与海水的混合带以及其它盐度变动环境)以及埋藏环境等。

三. 块状白云岩的成因

所谓“块状白云岩”是指古代(特别是下古生界)广泛分布的、厚度较大的、与台地碳酸盐岩伴生的、交代成因的白云岩。目前对块状白云岩形成的基本条件认识一致,即:

- (1) 充足的 Mg^{2+} 和 CO_3^{2-} 离子的来源;
- (2) 长期、有效的输送这些离子的水流系统;
- (3) 有利于白云石沉淀的环境。

但对块状白云岩的形成环境尚有较大分歧,主要有两种意见

1. Land(1982, 1985)和 Morrow(1982)等认为块状白云岩的形成需要充足的镁离子来源和有效的泵连续地输入 Mg^{2+} 及 CO_3^{2-} 离子,并输出钙离子。

据计算要使一单位体积含 6.3 摩尔 % MgCO_3 的现代碳酸盐沉积物(孔隙度为 40%)完全白云石化,需要 807 单位体积的海水。由于海水是地表唯一富含镁离子的流体,因此海水及变化的海水(如超盐度的海水、与淡水混合的海水等)必定是块状白云石化的基本介质。另外块状白云石化还需要活跃的泵将海水或变化的海水不断地通过多孔的、渗透的碳酸盐沉积物。活跃的泵包括高程头、密度头(高盐度水)、淡水头(混合水),而这些泵均存在于地表附近。

因而他们认为,块状白云石化仅能在地表附近进行(通过萨勃哈及混合水模式),而埋藏白云石化尽管也能生成少许白云石,但不能形成块状白云岩。这是因为,首先地下缺乏足够

的镁离子的来源,如通常来源于海水的地下流体贫镁,常常处于方解石与白云石的平衡状态,因而几乎没有过剩的、白云石化所需要的镁离子。另外地下缺乏有效的泵输送白云石化所需要的镁离子。

上述观点仍然是当前普遍流行的观点。

2. 80年代以来一些学者认为许多块状白云岩是在地下埋藏成岩过程中形成的(Mattes 和 Mountjoy, 1980; Zenger, 1983; Machel 和 Mountjoy, 1986, 1987; Hardie, 1987 等)。

Zenger(1983)指出,在埋藏环境下列一些因素有利于白云石化。

- a. 当温度升高时,较少的热力学和动力学因素限制白云石的形成;
- b. 随埋深增加,温度升高使水化镁离子的比例降低,而使白云石化的反应速度增加;
- c. 在较高的温度范围,大部分地下水(可能为各种类型的混合水)的 Mg/Ca 比虽然较低但仍为白云石稳定的范围;
- d. 与地表环境相反,深埋环境的稳定性和较少的时间限制有利于白云石化,尽管其 Mg 离子浓度较低且流体的流动速度较低。

Machel 和 Mountjoy(1986)认为在地下有各种流体可以作为白云石化的介质,如压实流体、地下卤水及热液流体等。已报道了大量的不同类型的白云石和白云岩形成于地下环境。各种交代结构、白云石与缝合线的伴生、异形白云石等均为埋藏环境所形成的白云石的证据。在地下有三种流动类型能形成块状白云岩。

A. 埋藏压实流体

在埋藏过程中细粒沉积物的压实作用将不断地排出孔隙水,这种孔隙水往往含镁离子。当这些含镁离子的压实水通过相邻的石灰岩时,就引起白云石化。

加拿大阿尔伯达泥盆纪米特礁组合是一个埋藏压实白云石化的很好实例。那里礁核及礁前已全部白云石化了,白云石化的程度向礁后降低。有几个特征表明埋藏压实白云石化,如:白云石的形成晚于石灰岩的石化,白云石与缝合线伴生以及其地球化学特征与埋藏压实成因一致(Mattes 和 Mountjoy, 1980)。

近来有资料表明,在早期及晚期成岩白云石化过程中,断裂可能起了积极的作用,特别是在埋藏压实过程中。在压实盆地中这可能是一种相当常见的现象(Vian 和 Oldershaw, 1984)。

B. 地形(重力)驱动水流

地形驱动水流可发生于所有沉积盆地。其流动速度,深度及侧向距离(可达数百至数千公里)主要取决于水头(供水区高程)和地下岩层渗透性的分布。随时间延伸大量流体可通过地下(图2),因此当这些流体具有形成白云石的化学潜力时,块状白云岩即可在那些地方形成(Garven 和 Freeze, 1984)。

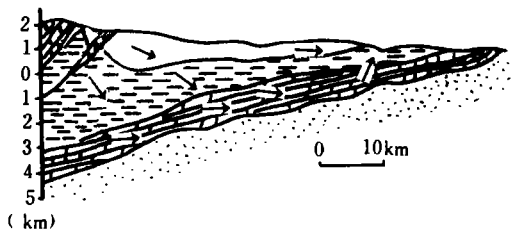


图2 沉积盆地地下重力驱动水流的理想模式
其潜水面形态和地下渗透率的分布控制水流系统(箭头)的几何形态 (据 Garven 和 Freeze, 1984)

Gregg(1985)研究了密苏里州南部寒武纪的白云岩。指出这是一个由地形驱动的地下水流所引起的、区域上广泛分布的块状交代白云岩。此白云岩层平均厚6m,分布面积大于16600km²。该白云岩下伏一渗透性的砂岩层。在地层、岩石学和地球化学(主要是氧、碳同位素)资料的基础上, Gregg(1985)指出该白云岩的形成是由于来自盆地的、海水成因的卤水在重力驱动下长距离的侧向运移,通过下伏的砂岩含水层,然后向上运移,发生白云石化而形成。很有趣的是该白云岩上倾方向的铅锌矿化可能也与此水流系统有关。

需要强调区别由于埋藏压实和由于地形驱动水流所形成的白云岩。大部分埋藏压实水流发生于盆地演化历史的早期阶段(埋藏深度大约1000m),而典型的地形驱动水流可能发生于压实作用停止后很久,并发生于大得多的深度。由于埋藏压实水流所形成的白云岩通常下伏有巨厚的页岩,而由地形驱动水流所形成的白云岩不具此特征。

C. 热对流模式

Kohout 等(1977)描述并用数字及实验室模拟等手段研究了佛罗里达含水层中海水的热对流(图3),指出这种热对流能引起埋藏白云石化,形成块状白云岩。Simms(1984)对此作了进一步解释,指出这种热对流是由陆棚内部(水温大于40°C)与周围的海水(5—10°C)间明显的水平密度梯度所引起的。

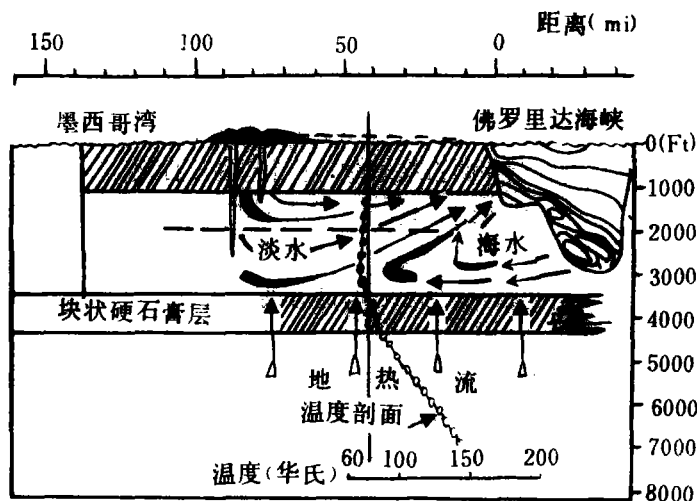


图3 佛罗里达地下的水流系统。推测的水流(黑色箭头)是由淡水透镜体水流及热对流的叠加所引起 (据 Kohout 等, 1977)

近来一些学者认为目前普遍接受和运用的白云石化模式(萨勃哈模式及淡水与海水混合模式)实际上不能形成块状的交代白云岩。

A. 淡水与海水的混合模式

在详细分析了许多古代和现代的混合带后, Machel 和 Mountjoy(1986)指出:大部分现代和古代的混合带不形成白云石(世界上数千个溶洞、淡水和海水混合带没有白云石足以证明这一点),仅少数混合带生成一些白云石。其原因是:

a. 许多淡水与海水混合带的水对白云石不是过饱和,而对方解石是过饱和(例如百慕大和巴巴多斯等地)。在此情况下,即使混合带不断波动并具非常高的水流速度也不会形成白

云石。

b. 在白云石确实沉淀的地方,混合带是不稳定的,而不能长期形成白云石。因此无论是现代和古代,在混合带要生成多于百分之八的白云石是极少见的。而且这些白云石主要为胶结物,而不是交代类型。很明显,在混合带要形成大量的、块状的交代白云岩是非常困难的。

Hardie(1987)指出,如果考虑到白云石的有序度,白云石和方解石在混合水中的饱和状态不是象 Badiozamani(1973)所描述的那样:当海水为 10—40% 时,混合水对白云石过饱和,而对方解石不饱和,因而有利于白云石沉淀。因 Badiozamani 是用有序白云石计算的,而实际上混合带所形成的白云石是无序的。用无序白云石计算,仅当海水为 30—40% 时的混合水对白云石过饱和而对方解石不饱和,而此范围要比 Badiozamani(1973)所指出的要小得多(图 4)。

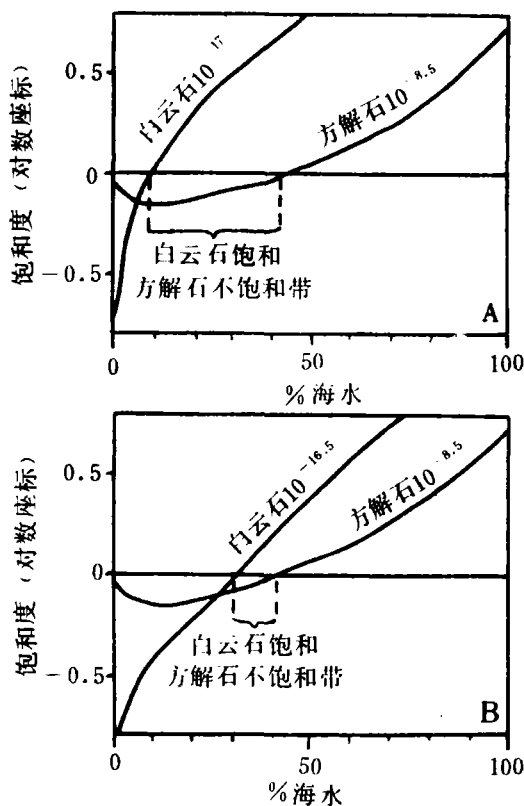


图 4 在 25°C 时海水与大气水混合带中白云石与方解石理论饱和度的关系 (据 Hardie, 1987)

A. 白云石的 $K=10^{-17}$ 时,白云石饱和、方解石不饱和带

B. 白云石的 $K=10^{-16.5}$ 时,白云石饱和、方解石不饱和带。

而不利于形成白云石或不利于长期形成白云石。很重要的一点,没有一个萨勃哈在 1—1.5m 以下深度形成白云石。因此萨勃哈也不能形成块状白云石。

3. 除上述两种主要观点外,最近还有人提出浅潮下环境也能形成块状白云岩(Land, 1986; Machel 和 Mountjoy, 1986)。

此外按混合水白云石化理论,在混合带的水对白云石过饱和而对方解石不饱和,但许多混合带并非如此。在许多混合带白云石沉淀,但方解石并不溶解。例如 Land(1973)和 Sibley(1980)描述了更新世的混合带白云石,那里白云石作为胶结物围绕方解石胶结物上生长,而没有任何方解石溶解的证据。因而混合带模式的理论基础动摇了。

B. 萨勃哈模式

Hardie(1987)指出在低温条件下潮坪白云石只能由直接沉淀形成。巴哈马安德罗斯潮坪、佛罗里达岛链中的 Sugerlaof 岛的潮坪以及牙买加发现湾附近裙礁中的白云石的详细研究证实了这一点。显然这种方式是不能形成古代地层中的块状交代白云岩的。

Machel 和 Mountjoy(1986)指出,萨勃哈和类似的超盐度环境仅生成少量的、晶体极细的原白云石,呈薄层状或结核状。它们常与各种蒸发矿物(特别是硫酸钙)和结构伴生。许多萨勃哈由于各种物理和化学条件的相互作用

尽管在现代浅海环境,目前仅报道4个例子,其中形成自生白云石。但在古代地层中已证实了在浅潮下环境中发生的较大规模的白云石化。例如以色列及其邻近地区的白垩系 Soreg 组为 130m 厚的成层白云岩与页岩和泥灰岩互层(Sass 和 Katz, 1982)。白云石主要为细晶,是交代浅水生物碎屑石灰岩的产物。据各种岩石学和地球化学标准,证实此白云岩是在潮下环境中准同生形成的,并指出其盐度从正常海水到盐度稍高的蒸发海水。Bein 和 Land(1983)认为美国二叠纪盆地二叠系 San Andres 组代表盐度大于上述 Soreg 组的浅潮下环境。岩性以骨骼泥粒灰岩、鲕粒颗粒岩、泥粒状灰岩以及泥状灰岩为主。成岩作用(包括白云石化)发生于向高盐度的卤水演化的海水作为孔隙水的条件下。骨骼铸模的形成,高镭方解石、白云石、天青石和石膏的沉淀是共生的,是这种卤水与岩石相互作用的产物。

在浅潮下环境,下述条件有利于流体的运动,即有利于 Mg^{2+} 及 CO_3^{2-} 离子的供应:a. 潮汐泵;b. 风和波浪作用;c. 在受限的盆地或在开阔陆棚上的回流;d. 在沉积物上部由于地表水蒸发,浓度的增加所引起的重力驱动的对流,这种对流也可能在较大规模发生,另外这种对流也可以由来自下面的热流所引起,e. 上述各种因素的结合。在非常细的颗粒沉积物中, Mg^{2+} 离子可能主要是由扩散作用供应。

四. 白云石化与储集性的关系

对白云石化与孔隙的关系这一重要问题,至今仍有争议,尚无统一认识。

一种意见认为白云石化是等体积交代,孔隙度不会增加。如 Machel 等(1986)指出:“以前就已清楚地表明白云石化过程中孔隙的生成仅发生于没有外来碳酸盐来源,并随后没有压实作用的条件下。七十年代的研究表明,许多白云石化的台地碳酸盐岩呈现相当好的结构保存,没有孔隙的增加或减少”。又如 Mountjoy(1987)研究了加拿大阿尔伯达泥盆系的白云石化,指出一半以上的碳酸盐岩被白云石化,而这些白云岩的孔隙与其石灰岩母岩相似(6—10%),但渗透率一般均增加。

另一种意见认为白云石化确实增加了岩石的孔隙度并改善其渗透性,这也为许多实例所证实。但对白云石化引起孔隙增加的因素有几种不同的解释:

(1)最早的解释是认为白云石交代方解石时,体积减少 12—13%,因而孔隙度增加。

(2)Schmoker 和 Halley(1982)研究了佛罗里达台地碳酸盐岩孔隙随埋深的变化(图 5)。在近地表白云岩的孔隙度比同时代和同深度的石灰岩低;在 1700m 深处,两者孔隙度相近;更深,则白云岩的孔隙度比石灰岩好。从这种关系,他们认为白云岩孔隙度好,常可作为烃类储集岩;与白云石化过程本身或白云石形成的成岩环境关系不大,而主要是由于在埋藏成岩过程中白云岩较石灰岩有更大的抵抗压实、压溶等使孔隙减少的因素的能力。

(3)Land(1986)指出,如果富钙的白云石转变为更稳定的化学计量的白云石时,没有外来的镁来源,并且没有强烈的压实(在浅埋环境或在超压带),白云石中过量的 $CaCO_3$ 将被带走,在此过程中会产生相当数量的孔隙。他认为这是一种使白云岩中晶间孔隙非常发育的可能机理。

(4)还有人认为白云石化本身不能增加孔隙度,白云岩孔隙度较好的原因是白云石化后,白云岩中残余方解石被溶蚀的结果。近来有许多报道支持这一观点,如蒙大那州 Cabin Creek 油田奥陶系红河组白云岩储集层。

该油田红河组白云岩平均孔隙度 13%，最大达 33%。主要有四种孔隙类型：晶洞、铸模、晶间及粒间。控制孔隙发育的成岩作用包括：白云石化；蒸发硫酸盐矿物及残余方解石在白云石化后的溶蚀；在原生及次生孔隙中次生石膏及硅质的局部沉淀。由此可见，几种孔隙均与白云石化后的溶蚀作用密切有关(图 6)。

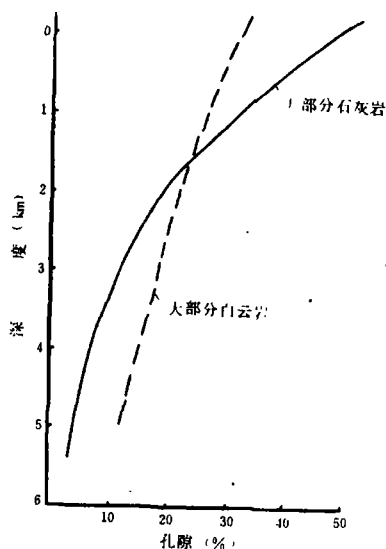


图 5 佛罗里达南石灰岩和白云岩的平均孔隙与埋深的关系 (据 Schmoker 和 Halleg, 1982)

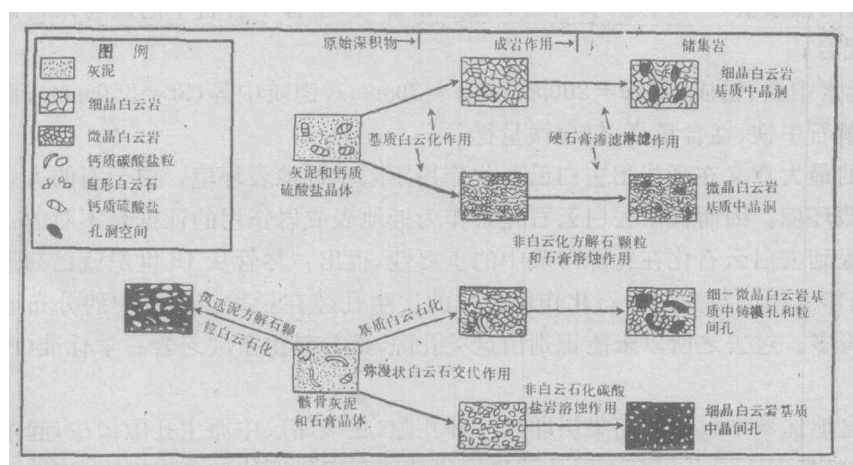


图 6 红河组上部成岩作用过程形成的孔隙系统略图

第Ⅰ类孔隙是细晶白云石质中的晶洞；第Ⅱ类是微晶白云石基质中的晶洞；第Ⅲ类是细晶—微晶白云石基质中的铸模孔和粒间孔；第Ⅳ类是细晶白云石基质中的晶间孔 (据 Ruzyla 等, 1985)。

另外最近报道了一种白云岩中新发现的孔隙类型——白云石晶内孔隙。晶内孔隙即空心的白云石晶体，其形成也与溶蚀作用有关，即当交代白云石晶体核心的石膏被溶蚀后形成。在美国二叠盆地中二叠系及得克萨斯州侏罗系白云岩中已发现相当数量的这种孔隙，而

在二叠系白云岩层段,这种孔隙是主要的储集类型。

五. 去白云石化作用

沉积碳酸盐序列中白云石的方解石化(去白云石化作用)通常被解释为近地表作用的结果。按这种解释,它反映一个序列中的侵蚀不整合,或反映埋藏期后的晚期风化作用。然而近年来的研究成果却提出了在不同成岩条件下可以发生去白云石化作用。如 Margaritz 和 Kafri(1981)报道了两个海相环境之间的盐度变动带的去白云石化,并解释为海水与大气水混合的产物。Land 和 Preshindowski(1981)报道了 Gula 海岸白垩系 Edwards 组中由于热的、富含钙的卤水沿上倾方向运动到白云岩储层中所产生的去白云石化。Back(1983)指出北达科他州麦迪逊层中的去白云石化是地下水运动时白云石与石膏溶解的结果。Budai 等(1984)报道了怀俄明州和犹他州冲断层带密西西比系麦迪逊灰岩的去白云石化作用,明确提出此作用发生于埋藏条件的高温环境中。麦迪逊组的去白云石化作用可以划分为 3 种主要类型:与裂隙有关去白云石化;石膏结核中的白云石的去白云石化;与缝合线有关去白云石化。

与裂隙有关去白云石化被解释为浅埋成因,其氧同位素值低(-6.3 至 -9.6‰ , PDB, 以下同),碳同位素值较高(1.0 至 -2.6‰);微量元素中锰值变化较大($290-540\text{ppm}$),铁质中等($120-170\text{ppm}$),锶值极低。与缝合线共生的去白云石化为深埋成因,其证据包括:

- (1)它们与缝合线及烃类残余密切共生;
- (2)其氧同位素值很低(-8.0‰)反映形成于温度升高的埋藏环境;
- (3)低的碳同位素值(-8.6‰)表明碳具混合来源,即富含于岩石中的碳与来自烃类的 CO_2 中的碳的混合;
- (4)痕量元素中铁、锰质低($\text{Fe}=200\text{ppm}$, $\text{Mn}=30\text{ppm}$),锶质中等($\text{Sr}=350\text{ppm}$);而其它环境的交代方解石中铁、锰含量高,仅含微量锶。

上述解释的最大意义在于指出去白云石化作用不限于近地表环境。白云石的方解石化可以发生于埋藏环境。因而仅用去白云石化来作为近地表成岩作用的证据是不对的。

最近有人提到去白云石化在孔隙形成中的重要性,提出:“尽管从 19 世纪就已知道去白云石化作用,但作者相信与去白云石化作用伴生的次生孔隙在烃类储集层中的分布要比原来认为的普遍得多。过去之所以未能识别出这类孔隙,部分是由于缺乏岩石学标准(Purser, 1985)。”

法国巴黎盆地侏罗系碳酸盐储集层即具这种孔隙。在该储层中原生孔隙极少,起主要作用的是次生孔隙(与去白云石化有关的孔隙)。储集性能与白云石的转化程度间接有关,而与随后这些去云化方解石的淋滤直接有关。

美国肯达基州志留系白云岩也具这种孔隙。储层岩性为细晶白云岩及内碎屑白云岩,孔隙一般较差。但在某些地段可达 9% ,有两种孔隙,一种为大小 $50\mu\text{m}$ 的微孔隙;另一种孔隙为铸模,大小可达 5mm 。去白云化方解石具微晶结构,其本身并不增加孔隙,但随后部分去云化方解石被淋滤,而形成了该储层的大部分孔隙。

由于白云岩是重要的油气储集岩,也是铅锌等矿床的重要母岩,因而研究白云岩具有重要的经济意义。但由于在常温常压下不能在实验室人工合成白云石,所以白云石的生成机理是

碳酸盐岩中最复杂、最难解决的问题之一。八十年代以来,由于在许多现代碳酸盐环境发现直接沉淀的白云石胶结物,并提出或重申了“正常海水白云石化模式”以及“埋藏白云石化模式”,这为解决白云石成因提供了新的依据和途径,是白云石化学说的重大进展。目前已基本取得一致意见,白云石化不需要特别的水,白云石可以在超盐度水(萨勃哈等环境)、低盐度水(海水与淡水的混合带等环境)、正常海水中形成,也可以在埋藏环境中形成。但对块状白云岩的成因仍有较大分歧。

六十年代,白云石和白云岩的研究主要限制于地层及岩石学方面,至七十年代,就普遍利用了地球化学资料,而八十年代则应用了水文学模式。为了解决白云石问题,必需综合考虑白云石化的动力学、热力学因素,白云石化环境的多样性,基本的水文学模式等等。然而这仍然是一条漫长的困难的路。

主 要 参 考 文 献

- [1] Baker, P. A., and Kastner, M., 1981, Constraints on the formation of sedimentary dolomite, *Science*, v. 213, p. 214-216.
- [2] Bein, A., and Land, L. S., 1983, Carbonate sedimentation and diagenesis associated with Mg-Ca-Chloride brines: The Permian San Andres Formation in the Texas Panhandle, *J. S. P.*, v. 53, p. 243-260.
- [3] Carballo, J. D., Land, L. S., and Miser, D. E., 1987, Holocene dolomitization of Supratidal sediments by active tidal pumping, Sugarloaf Key, Florida, *J. S. P.*, v. 57, p. 153-165.
- [4] Hardie, L. A., 1987, Dolomitization: a critical view of some current views, *J. S. P.*, v. 57, p. 166-183.
- [5] Land, L. S., 1982, Dolomitization, AAPG Educ. Course Ser., 24, 20pp.
- [6] Land, L. S., 1985, The origin of massive dolomite, *J. Geol. Educ.*, v. 33, p. 112-125.
- [7] Machel, H. G., and Mountjoy, E. W., 1986, Chemistry and environments of dolomitization — A reappraisal, *Earth-Science Reviews*, v. 23, p. 175-222.
- [8] Morrow, D. W., 1982, Dolomite-Part II: dolomitization models and ancient dolostones, *Geosci. Can.*, v. 9, p. 95-107.
- [9] Mullins, H. T., Wise, S. W., Land, L. S., 1985, Authigenic dolomite in Bahamian peri-platform slope sediment, *Geology*, v. 13, p. 292-295.
- [10] Saller, A. H., 1984, Petrologic and geochemical constraints on the origin of subsurface dolomite, Enewetak Atoll, an example of dolomitization by normal seawater, *Geology*, v. 12, p. 217-220.