

地质记录中的海水白云岩化作用

朱同兴 黄志英

(地矿部成都地质矿产研究所)

〔内容提要〕 地质记录中的海水白云岩化作用是广泛存在的。它不仅发育于时代较新的始新世地层内(如太平洋中的 Enewetak 珊瑚岛地区),而且也发育于时代较老的震旦纪灯影期地层内(如云南东北部地区)。在以前的白云岩成因研究过程中,海水白云岩化作用的普遍性和重要性被大大地低估了。自从 Saller(1984)首次报道了正常海水白云岩化的实例以来,海水白云岩化作用的研究已取得了长足的进展,如 Kasner(1984);Land(1985);Smart(1988);Tucker(1990);朱同兴、罗安屏(1993)等。

近年来,作者通过对云南东北部地区震旦系灯影组潮缘沉积物的岩石学、沉积相、古地理格局和沉积地球化学标志等综合研究,认为该套巨厚的白云岩层(400—1000m)的成因不是原生的,而是成岩交代形成的,其主要的形成机制之一就是成岩早期的海水白云岩化作用。

海水白云岩化作用的发育主要受海平面变化、沉积作用类型以及古气候等条件的限制。造成滇东北地区灯影期海水白云岩化作用的主要机制可能是位于其西北部的青藏大洋内的冷洋流向东部沉积物内泵吸,和位于其东南缘的扬子边缘海的海水向西部沉积物内循环对流(柯特对流)。上述的泵吸作用与对流作用的相互叠加可使巨大体积的海水通过扬子海域,尤其是扬子台地西南边缘(滇东北地区)沉积物,从而使其发生巨大规模的海水白云岩化作用。由海水白云岩化作用形成的白云岩的结构有序度中等, $I=0.68-0.82$,其碳、氧同位素组成均显示海水碳酸盐来源, $\delta^{13}C=+1.8-+2.6\%$ (PDB), $\delta^{18}O=+2.1-+2.7\%$ (PDB)(冷洋流来源, Enewetak Atoll, 始新统)或 $-5.1--6.5\%$ (受地热和大气淡水双重影响而偏负值,滇东北地区;灯影组)。

灯影期海水白云岩化作用模式合理地解释了区域巨厚沉积物的块状白云岩化成因、充足的镁离子来源以及多余的钙离子的搬运等白云岩成因研究过程中的关键性问题。

关键词 白云岩化作用模式 海水白云岩化作用 Enewetak Atoll 始新统 云南东北部 灯影组

1 前言

当今沉积地质学领域中,白云岩的成因以及白云岩化作用的研究是一大难题。对它们的研究,虽然有了很大的进展,但是,还有许多悬而未决的问题有待进一步研究和探索,象白云石矿物为什么不能直接从正常海水中沉淀?白云岩在地质记录中为何呈不均匀分布?前寒

武纪白云岩为何远比显生宙发育,而早古生代白云岩层又比晚古生代发育?以及地质记录中的块状白云岩的成因机制和发生白云岩化作用所需的大量镁离子的来源等问题。众所周知,白云岩或白云岩层由于其孔隙度和渗透率均较高而自然成为碳酸盐岩油气勘探中的重要目的层位,同时,也是绝大多数铅锌等多金属硫化物矿化的容矿围岩,因此,对白云石、白云岩层及其白云岩化作用的研究不仅具有学术理论价值,而且也具有重要的经济价值。

2 白云岩的成因及其作用模式

对于地质记录中白云岩的成因,前人报道很多(Goodell & Garman, 1969; Badiozamani, 1973; Land, 1973, 1980, 1985; Morrow, 1982; Saller, 1984; Mazzullo, 1987; Smart, 1988b; Tucker, 1990; 曾允孚等, 1981; 张长俊, 1989; 夏文杰等, 1986)。归纳起来,白云岩主要有两种成因类型:原生沉淀和次生交代。绝大多数沉积地质学家都认为,自然界中从正常海水中直接沉淀的原生白云岩是非常稀少的,它仅仅局限于一些蒸发作用较强的盐质湖泊和潟湖内,如南澳大利亚的库龙潟湖,而地质记录中的大多数白云岩均为次生成岩交代成因。一些在早期或晚期成岩期间从成岩孔隙水体中直接沉淀下来的白云石胶结物也是常见的,但这些白云石胶结构物仍属于成岩交代成因,而不是原生成因。

既然自然界中大多数白云岩为成岩交代成因,那么,在白云岩形成过程中有两个主要的因素必须要考虑:既镁离子的来源和白云岩化流体通过碳酸盐沉积物的作用过程。正常海水中富含镁离子,因此,镁离子理所当然地来自于海水,但是,由于从正常海水中沉淀白云岩有动阻力存在,所以,在大多数白云岩化作用模式中,能提供 Mg^{2+} 的海水在化学组成上都或多或少地被改变了。换句话说,改变了的海水(稀释或浓缩)能够有效地克服正常海水中沉淀白

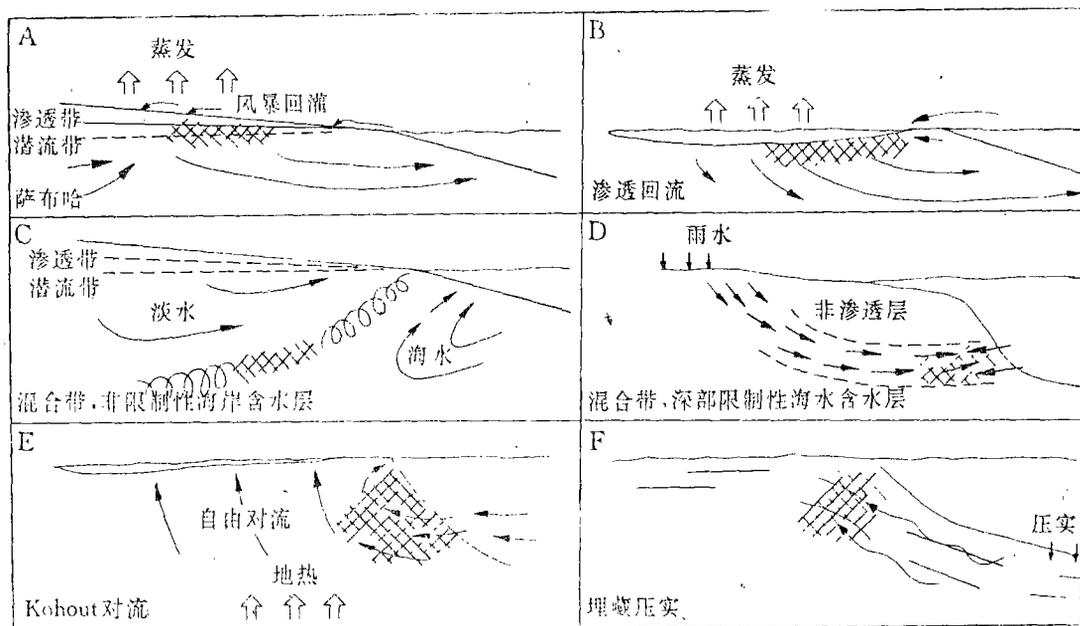


图1 地史时期的白云岩化模式

Fig. 1 Models for dolomitization in geologic history

云石的动阻力,从而使其更具有白云岩化潜力。

在解释古代白云岩的成岩交代成因时,大致有五种有用的白云岩化作用模式:(1)萨布哈蒸发作用模式(图 1A);(2)渗透-回流作用模式(图 1B);(3)混合白云岩化作用模式(图 1C,D);(4)海水白云岩化作用模式(图 1E);(5)埋藏压实作用模式(图 1F)。

上述每一种白云岩化模式都有其不同类型的白云岩化流体成分、流动方式和地质背景。但是,在一种地质背景之下可以有多种白云岩化作用的叠加,因此,在确定所要运用的白云岩化模式之前,必须搞清楚该套白云岩体的上下关系、空间展布、岩石学、地球化学以及沉积相和古地理环境等。

3 海水白云岩化作用过程及其模式

海水白云岩化作用(seawater dolomitization)最早由 A. H. Saller(1984)提出。他在研究了太平洋中的 Enewetak 等环礁的始新世珊瑚藻——有孔虫颗粒岩岩心样品(多位于海平面以下 1250—1400m 深度)之后,发现所有的岩石均已白云岩化(图 2)。这些白云岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值(0.70865—0.70901)表明:白云岩化主要发生在中中新世和现代之间的某个时期或多个时期(图 3)。井下的温度变化与相邻海水的温度变化剖面极为相似(图 4),表明始新世和中中新世碳酸盐地层与现代开放的海洋水体是连通的或是自由循环的。白云岩的碳、氧同位素测定也表明其沉淀于冷的正常海洋水体中(图 5)。 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围为 2.2—2.4‰(PDB),属典型的海水成因的碳酸盐岩,其 $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围为 2.1—2.7‰(PDB),相对富含重氧同位素,属超盐卤水或冷的海水成因。由于本区缺乏超盐卤水存在的证据,因此,白云岩中的重氧同位素是由冷的海水造成的。

在 Enewetak 地区,深部白云岩大量发育的深度,即海平面之下 1317m 处,海水的温度为 10—20℃,大致与氧同位素古温度值相当,它比该区表层太平洋水体温度(28℃)要低(或冷)得多。约为 1000m(Scholee et al., 1983)。在这个深度值附近及其之下,海水对方解石是不饱和的,而对白云石则是过饱和的。这样的海水具有相当强的白云岩化潜力。虽然方解石的饱和深度在中中新世和现代之间有所变化,但是,该深度之下的对方解石不饱和而对白云石则饱和的海水仍然有足够的机会渗透到始新世地层中去,使其发生白云岩化作用。方解石质有孔虫和珊瑚藻的部分溶蚀证实了始新统内有这种对方解石不饱和溶液的通过。在其上覆的未白云石化地层中,有孔虫和珊瑚藻则未被溶蚀,并且完全由低镁方解石组成。由此认为,始新统内的有孔虫和珊瑚、藻在部分溶蚀之前也是低镁方解石组成的。

尽管 Enewetak 地区的海水白云岩化作用发育在较深的水下(1250—1400m),但是,古

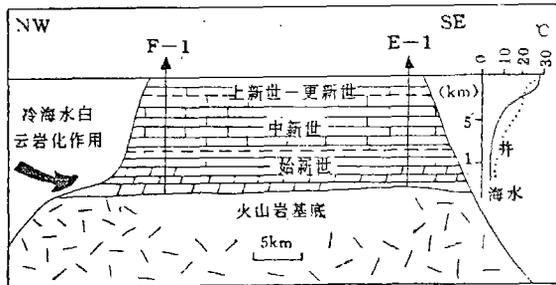


图 2 Enewetak Atoll 地区始新统灰岩的冷海水白云岩化模式(Saller, 1984)。放大后的温度剖面见图 4

Fig. 2 Model for dolomitization of the Eocene limestones on the Enewetak Atoll by the cold sea water (after Saller, 1984). See Fig. 4 for the magnified temperature profiles

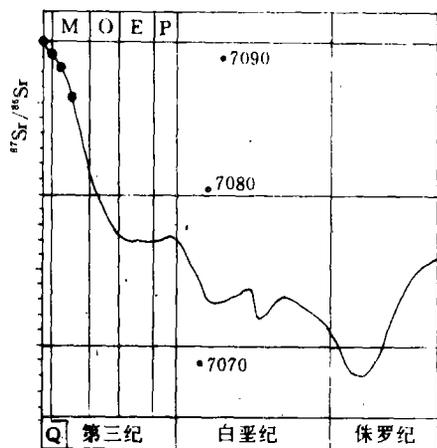


图 3 Enewetak Atoll 地区四个白云岩样品的锶同位素比值(据 Saller, 1984)。海水中的含锶量变化曲线,引自 Burke et al. (1982)
 Fig. 3 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of four Enewetak Atoll dolomite samples (after Saller, 1984). The Sr content curve for the sea water is modified from Burke et al. (1982)

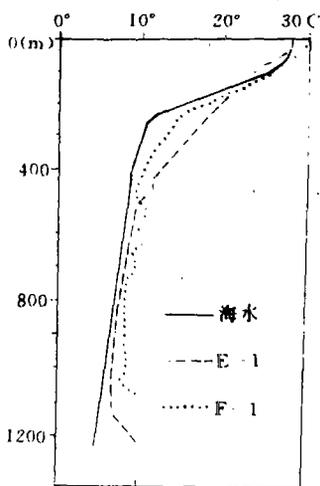


图 4 Enewetak 地区的海洋水体以及钻井 E-1, F-1 内的温度剖面比较 (据 Swartz, 1958)

Fig. 4 Comparison of temperature profiles of E-1 and F-1 wells with oceanic waters in the Enewetak area (after Swartz, 1958)

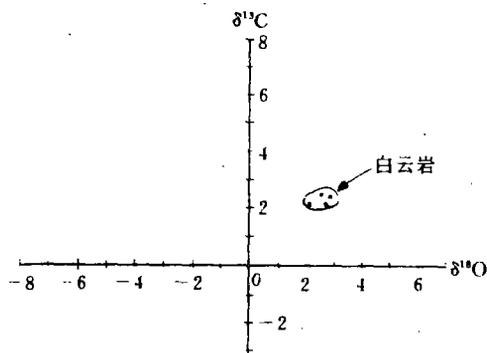


图 5 Enewetak 地区始新统四个白云岩样品的稳定碳、氧同位素组成(单位 PDB) (据 Saller, 1984)

Fig. 5 Stable carbon and oxygen isotopic compositions of four dolomite samples from the Eocene strata on the Enewetak Atoll (after Saller, 1984)

代的海水白云岩化作用界面可能要浅得多,因为古代的方解石饱和溶度比现代的要浅。一般来说,时代越老,方解石饱和深度越浅,反之,时代越新,方解石饱和深度亦越深。

继 A. H. Saller(1984)提出海水白云岩化作用之后,Kastner(1984)也认为,如果海水中的 SO_4^{2-} 含量很低,那么,这种海水则具有相当强的白云岩化潜力,并且推测前寒武纪海水中的 SO_4^{2-} 也是很低的。Baker & Kastner(1981)通过实验表明:在方解石或文石的白云石化过程中, SO_4^{2-} 含量是一个重要的控制因素。对方解石来说,海水中只要有少量的 SO_4^{2-} (5%±) 存在,就会强烈地阻碍它的白云化作用,而文石却能在较高含量的 SO_4^{2-} 海水中被白云石化。在某些情况下,随 SO_4^{2-} 含量降低,白云化作用则加强。其机理是富含有机质的沉积物中微生物的还原作用。白云岩可以形成于缺氧的深海环境(如加利福尼亚湾的 DSDP 岩心),也可以形成在潮缘环境(如滇东北地区的灯影组)。生物还原作用的另一个效应是随着有机质的降解作用,产生大量的 CH_4 , HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 等气体使溶液碱度增加,从而有助于白云化作用。

Land(1985)认为,只要有足够的驱动力使正常海水泵吸到附近的碳酸盐沉积物中,那么,这些碳酸盐沉积物则完全能够发生海水白云岩化。

Smart(1988b)通过对现代巴哈马台地的最新研究,也得出了海水白云岩化的结论。他们认为巴哈马台地内确有海水(如 Gulf Stream 洋流)被泵吸到更新世碳酸盐沉积物中,从而使其发生白云岩化。发生白云岩化的深度在混合水带(区域地下水带)之下的循环咸水中。这种循环咸水对 CaCO_3 不饱和或刚饱和,但对白云石则过饱和。海水白云岩化的主要机理为具白云化潜力的冷水洋流的泵吸作用(dolomitizing cold ocean current pumping)和热对流作用(thermal convection, Swartz, 1958)。它们可使巨大体积的海水(白云化流体)通过碳酸盐台地,从而使碳酸盐沉积物发生白云岩化。

海水大规模循环对流进入碳酸盐台地边缘的直接驱动力之一是柯特对流作用(Kohout convection, Kohout, 1967; Simms, 1984),而造成柯特对流的原因是冷的海水和碳酸盐台地沉积物之间的密度差和温度差。在一定深度下,冷的海水通过碳酸台地边缘时,则置换出台地沉积物内的温暖的、低密度孔隙水流体。多数开放的对流体系均形成在水深 1—3km 处(Simms, 1984)。在该深度下,冷的海水对高镁方解石和文石不饱和而对低镁方解石则饱和,或者对前三种碳酸钙矿物均不饱和而仅对白云石饱和。因此,当这种冷的海水被泵吸到台地碳酸盐沉积物中,便会出现强烈的白云岩化作用或低镁方解石替代高镁方解石和文石。柯特对流作用的另一个显著特点是长期性,因此,从白云岩化潜力上讲,它也是海水白云岩化的一个重要机理。

将海水大规模泵吸到碳酸盐台地内的驱动力还有洋流泵吸作用(oceanic tides/ocean current pumping)、海水的渗透回流作用(seepage-reflux)和潮汐泵吸作用(tidal pumping)。

上述三种作用在碳酸盐台地沉积物中发生的部位是不同的。洋流泵吸作用或 Kohout 对流作用多发育在较深的水下,碳酸盐台地沉积物的下部;海水的渗透回流作用多发育在浅水碳酸盐台地的内部;而潮汐泵吸作用则发育在潮缘环境内。浅水碳酸盐台地内的海水盐度通常比正常的洋流水体要高一点,这是由于此类台地的坡度较小,或具台缘礁滩相,使得海水较为局限、循环较差,尤其是在夏季,强烈的蒸发作用可使海水盐度急剧增加之故。如巴哈马台地上,水体盐度为 42—45‰,局部竟高达 80‰。Simms(1984)通过实验证实,如果台地沉积物孔隙水为正常海水(35‰),那么,其上覆的超盐海水(42‰)就会向下部沉积物中发生渗

透-回流作用。而且盐度差别越大,这种回流作用就越强。因此,回流作用是泵吸海水通过浅水碳酸盐台地沉积物的另一个重要机理。超盐海水不仅改变了海水的化学性质,如较高的Mg/Ca比值、 Co_3^{2-} , 较低的 SO_4^{2-} , 而且也降低了白云石沉淀的动阻力。因此,通过超盐海水的回流作用,可造成浅水碳酸盐台地沉积物浅部的白云岩化作用。

在非蒸发环境背景下,潮坪白云岩的形成机理为潮汐泵吸作用。潮汐泵吸作用的过程就是海水通过潮坪沉积物。典型例子如现代佛罗里达的Sugarloaf珊瑚礁和伯利兹的Ambergris珊瑚礁岛岸地区。在这两个地区,白云石结壳都是形成在上部潮间带—潮上泥坪带。下伏岩石为多孔的更新世鲕粒岩。以前,人们多把Sugarloaf白云岩描述为蒸发作用的结果(Shinn, 1968b),后来的研究则认为是潮汐泵吸作用形成的,泵吸的海水来自于佛罗里达海湾。由于蒸发作用或硫酸盐的还原作用使佛罗里达海湾的海水性性质发生了稍许的变化(Carballo et al., 1987)。伯利兹地区的Ambergris白云岩则为原始高镁方解石颗粒和灰泥早期白云岩化的结果(Mazzullo et al., 1987)。尽管有季节性的大气淡水影响(刻蚀白云岩和溶蚀文石颗粒),但是,白云石的氧同位素数据($\delta^{18}\text{O} = +1.2 - +2.2\text{‰PDB}$)仍表明其来源于近于正常的海洋水体,而不是超盐水体或咸水体。

近年来,通过对滇东北地区上扬子台地西南缘灯影组白云岩的岩石学、沉积相和地球化学研究,以及灯影期中大比例尺岩相古地理研究,作者认为上扬子台地西南缘灯影组巨厚的潮缘白云岩(400—800m,最厚达1200m)的成因是次生成岩交代作用。其中,最重要的形成机制之一就是海水白云岩化作用。此外,还有早期的混合水白云岩化、渗透-回流白云岩化、晚期的埋藏压实白云岩化和热液白云岩化等。因此,灯影组白云岩的形成是多期次和多成因的(朱同兴, 1992)。

对晚前寒武纪灯影组潮缘白云岩来说,地层几乎全由不同结构的白云岩组成(图6),不发育灰岩层或灰岩透镜体。显微镜下也难见方解石残余物。但从灯影组某些白云岩样品中,鉴定和识别出许多成岩早期被白云石交代了的原始沉积的高镁方解石或文石颗粒及其结构。尽管以前有些证据表明前寒武纪白云岩为原生沉淀成因,但是,我们相信,大多数灯影组白云岩象显生宙白云岩一样,为成岩交代成因。只不过是,灯影期的海水化学特征更利于白云岩化作用的形成,这些海水化学特征包括高Mg/Ca比(数据来自泥质岩的地球化学, Schwab, 1978)、高 PCO_2 (数据来自大气圈演化的一般理论, Mizutan1 & Wada, 1982; Holland, 1984)、高温(数据来自同位素数据, Perry & Ahmad, 1983); 低 SO_4^{2-} 浓度(Schopf, 1980)以及古海水的有机地球化学效应等。

控制海水地球化学的另一个重要因素为大陆风化作用的速率,它不仅控制着大气圈内的 CO_2 分压,而且也控制了一些常量元素与微量元素在海水中的分布,如Si、Ca、Sr和C等(Raymo et al., 1988),灯影期—早寒武世,大陆风化速率较低,表明其造山运动较弱,全球海平面为上升时期或趋于高位时期。在这样一种古地质环境、古水文条件和古构造背景下,碳酸盐矿物可能首先被沉淀在海底,然后被具有较高白云化潜力的古海水通过,使之发生海水白云岩化作用。事实上,地质记录中白云岩含量基本上是与全球海平面高位时期一致的(Given, Wilkinson, 1987)。也就是说,地质记录中的白云岩层位分布在全球海平面高位期间最为广泛。其主要原因是,在全球海平面高位时期,碳酸盐沉积物的海水白云岩化作用可以大规模进行。

最新研究资料表明,滇东北地区震旦纪灯影期沉积环境为镶边型潮缘陆表海,区内自西

组	段	岩性柱	厚度 (m)	沉积相	层序	体系域	时限 (Ma)	矿化特征	岩性	海面升降
Є _{1m}	I			TF	第二层序	SB ₂	590	Pb, Zn 四层矿	小壳骨屑白云岩 窗孔、层孔状粉晶白云岩	海面升降 上升 下降
	I	P		SR		CS		600	P	
	I	P							硅质结核与条带状白云岩	
	I	P						粉晶白云岩		
Zbdn	IV		7	SS	第一层序	TST	650	层纹石	层纹石白云岩	
	III		10	SS		SB ₂		层纹石白云岩		
	I		>180	TF	第一层序	HST		Renalcis Pb, Zn 二层矿	肾形藻白云岩	
	I			ReM				含藻白云岩		
	I			SS				含藻白云岩		
	I		>90	SS	第一层序	HST			硅质结核与条带状 泥质泥晶白云岩	
	I			SLa				硅质结核与条带状 泥质泥晶白云岩		
		未见底				CS				

图6 云南金沙厂震旦系灯影组白云岩结构及其沉积相、层序分析

TF—潮坪相;SR—浅水缓坡;SS—浅水潮下坪相;ReM—肾形藻泥丘相;SLa—浅水潮下潟湖相;
SB₂—第二类型层序界面;HST—高位体系域;CS—凝缩层沉积;TST—海侵体系域

Fig. 6 Textures, sedimentary facies and sequences of the dolostones
from the Sinian Dengying Formation in Jinshachang, Yunnan

TF=tidal flat facies;SR=shallow-water ramp facies;SS=shallow-water subtidal flat facies;

ReM=Renalcis mud-mound facies;SLa=shallow-water subtidal lagoon facies;

SB₂=type 2 sequence boundary;HST=highstand systems tract;

CS=condensed sediments;TST=transgressive systems tract

南至东北再转至东南,依次发育潮坪相带、浅水潮下坪相带、台地边缘浅滩相带和台地边缘盆地相带,其中,潮坪潟湖相和浅水潮下坪相内分别发育有肾形藻泥丘相和表附-肾形藻泥丘相(朱同兴、罗安屏,1992)。

灯影期原始的镶边型潮缘陆表海沉积环境对沉积物的堆积速率和早期白云岩化作用起到了十分重要的控制作用。

灯影期巨厚白云岩的形成至少经历了五次白云岩化事件:沉积-成岩早期,发育早期混合水白云岩化和渗透-回流白云岩化;成岩早期的海水白云岩化;成岩中期的区域混合水白云岩化;成岩晚期的埋藏白云岩化以及热液白云岩化。

对于滇东北地区灯影组巨厚白云岩来说,成岩早期的海水白云岩化可能是较有影响的成岩事件之一。由海水白云岩化作用形成的白云石粒度变化较大,但以微晶—细晶为主,有时尚发育不等晶结构。其结构有序度中等, $I_m = 0.68 - 0.82$, 碳、氧同位素组成(图7)分别为: $\delta^{13}C = +1.8 - +2.6\%$ (PDB)(明显地为海水碳酸盐来源), $\delta^{18}O = -5.1 - -6.5\%$ (PDB)(受成岩晚期热液作用和后期大气淡水作用的双重影响而偏负)。

综合分析滇东北地区灯影期岩相古地理演化、巨厚白云岩的沉积旋回、白云岩的结构以

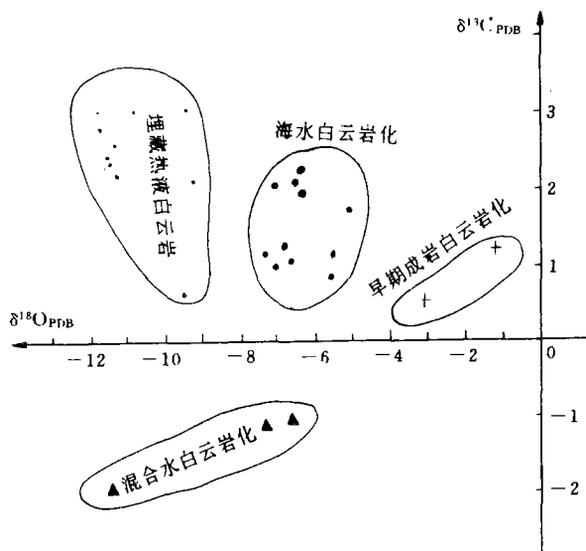


图7 滇东北地区灯影组潮缘白云岩的碳、氧同位素组成及其成因解释(据朱同兴、罗安屏,1993)

Fig. 7 Stable carbon and oxygen isotopic compositions and genetic interpretation of the peritidal dolostones from the Sinian Dengying Formation in northeastern Yunnan
(after Zhu Tongxing & Luo Anping, 1993)

及沉积地球化学等特点,我们认为,研究区灯影期巨厚沉积物经历了广泛的海水白云岩化作用,包括沉积物表层的潮汐泵吸作用和海水的渗透-回流作用。为了进一步搞清古代沉积物的块状白云岩化(massive dolomitization)的成因,还必须考虑到地质体中的三维白云岩化(three dimensional dolomitization)的可能性。换句话说,要充分考虑到白云岩化流体的古流动型式及方向。滇东北地区海水白云岩化模式的建立不仅解释了灯影期巨厚沉积物的块状白云岩化和进行大规模白云岩化的动力机制以及 Mg^{2+} 来源,而且也表明了海水白云岩化过程中具白云岩化潜力的流体的流动型式及其进行白云岩化的方向。灯影期海水白云岩的主要机制为,其西北部青藏洋中具白云岩化潜力的冷洋流向东南部沉积物泵吸,而其东南部扬子边缘海的海水则大规模地向西北部沉积物内对流(称柯特对流),进行柯特对流的直接驱动力是海水和沉积物之间的密度差和温度差。西北部的冷洋流泵吸作用和东南部的柯特对流作用可使巨大体积的海水通过扬子海域尤其是扬子海域边缘地区,从而使灯影期巨厚沉积物发生大规模的海水白云岩化作用(图8)。

需要指出的是,滇东北地区灯影组成岩早期虽然是以海水白云岩化作用为主,但在成岩初期,盐度稍高的潟湖水体的回流作用以及潮缘地带的潮汐泵吸作用也是极其重要的。此外,图8中海水白云岩化可能仅发育于灯影组下部地层,而其上部地层的海水白云岩化可能主要发育在寒武纪或早古生代。

本文重点强调了滇东北地区灯影组沉积物发生了海水白云岩化作用。至于其规模、产

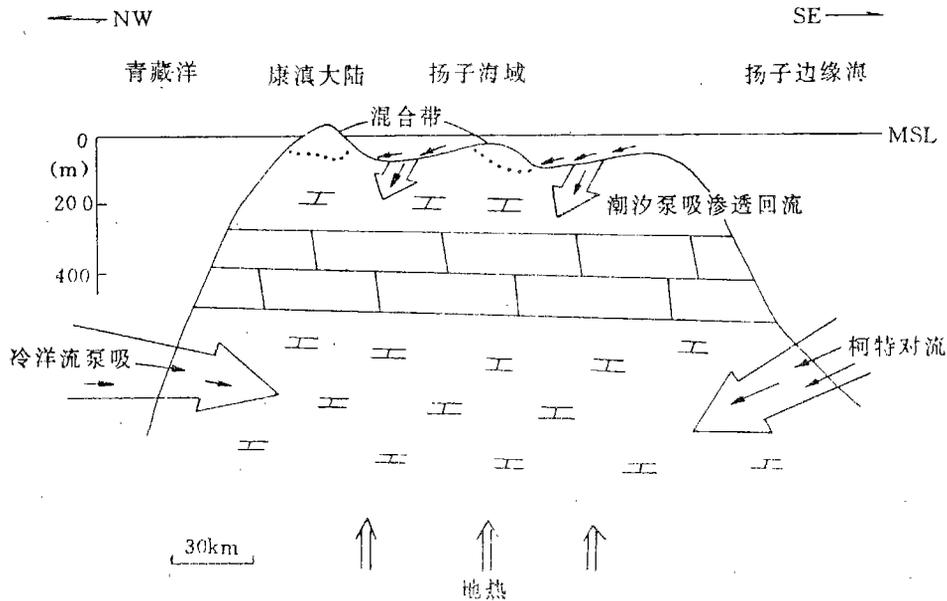


图8 滇东北地区灯影期海水白云岩化作用模式

Fig. 8 Model for the seawater dolomitization in northeastern Yunnan during the Dengyingian (Sinian)

状、结构及其他鉴定标志尚有待于进一步研究。本文仅起抛砖引玉作用,以期引起国内同行的广泛注意。文中欠妥部分,敬请指正。

4 主要结论

(1)海水白云岩化不仅发育于时代较新的始新世地层内(如太平洋 Enewetak 珊瑚岛地区),而且也发育于时代较老的震旦纪灯影期碳酸盐地层内(如云南东北部地区)。在以前的白云岩成因研究过程中,海水白云岩化作用的重要性被大大地低估了。

(2)通过对滇东北地区以及邻区白云岩地层的岩石学、沉积相和古地理格局、沉积地球化学等综合研究,建立了灯影期海水白云岩化模式。该模式的最大优点是合理地解释了区域巨厚的块状白云岩成因和白云岩化过程中大量镁离子的来源问题,并进一步指出,造成海水白云岩化的主要机制为西北部青藏大洋内冷洋流的泵吸作用以及东南部扬子边缘海的柯特对流作用。上述两种作用的叠加可使巨大体积的海水通过扬子海域尤其是扬子西南边缘沉积物,从而使其发生大规模的海水白云岩化作用。

(3)成岩早期主要发育海水白云岩化,但在成岩初期,还发育有潮汐泵吸和渗透回流两种作用,而在成岩晚期则叠加有深埋白云岩化和热液白云岩化。因此,整个灯影组白云岩的形成是多期次和多成因的。

(4)海水白云岩化的发育需要一定的古地理格局、古沉积环境和古海水地球化学性质等条件,而其他的鉴定标志,尤其是微观标志尚有待于进一步研究和完善。

主要参考文献

- 朱同兴,1992,滇东北地区震旦系灯影组潮缘沉积物的多期白云岩化作用。矿物岩石,第12卷,第2期。
- 朱同兴、罗安屏,1993,云南东部层控铅锌矿床,成都科技大学出版社。
- 朱同兴、罗安屏,1992,一个最古老的肾形藻泥丘相的首次发现及其意义。岩相古地理,第4期。
- Carballo, J. D., Land, L. S. and Miser, D. E., 1987. Holocene dolomitization of supratidal sediments by active tidal pumping at Sugarloaf key, Florida. *J. Sed. Petrology*, Vol. 57, pp. 153—165.
- Saller, A. H., 1984. Petrologic and geochemical constraints on the origin of subsurface dolomite, Enewetak Atoll; An example of dolomitization by normal seawater. *Geology*, Vol. 12, pp. 217—220.
- Scholl, P. A. et al., 1983. Pelagic environment. In: Carbonate Depositional Environments. AAPG Memoir 33, pp. 620—691.
- Tucker M. E., 1990. Dolomites add dolomitization models. In: Models and Sedimentations of Carbonate Platform. pp. 366—400.

SEAWATER DOLOMITIZATION IN GEOLOGIC RECORDS

Zhu Tongxing Huang Zhiying

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources)

ABSTRACT

The seawater dolomitization is extensively developed in geologic records not only in younger Eocene strata (e. g. Enewetak Atoll in the Pacific), but also in older Sinian Dengying Formation (e. g. northeastern Yunnan). The importance and universality of the seawater dolomitization were greatly underestimated in the past research of dolostone origins. Since Saller (1984) firstly reported the example of normal seawater dolomitization on the Enewetak Atoll, considerable progress has been made in the research of the seawater dolomitization (Kastner, 1984; Land, 1985, Smart et al., 1988b; Tucker, 1990; Zhu & Luo, 1993).

On the basis of the comprehensive research on petrology, sedimentary facies, palaeogeographic framework and sedimentary geochemical signatures of the peritidal sediments in the Sinian Dengying Formation in northeastern Yunnan in recent years, the authors suggest that the thicker dolostone beds (400—1000m thick) in the study area are not primary but have a diagenetic replacement origin. One of the main mechanisms for the formation of the dolostones is the seawater dolomitization in early diagenetic stage.

The seawater dolomitization is mainly controlled by eustatic sea level, depositional patterns and palaeoclimates. The main mechanisms giving rise to the seawater dolomitization of the Dengying stage in northeastern Yunnan include: (1) the pumping of the cold oceanic currents in the northwestern Qinghai—Xizang Ocean into the eastern sediments and (2) the Kohout convection of the sea water in the southeastern Yangtze marginal sea toward the western sediments. The mutual superim-

position of the above-mentioned pumping and convection permits the huge volumetric sea water to pass through the sediments in the Yangtze sea area, especially those on the southwestern margin of the Yangtze platform, thus resulting in the large-scale seawater dolomitization in these sediments.

The textural order index (I) of the dolomite resulted from the seawater dolomitization ranges between 0.68 and 0.82. The carbon and oxygen isotopic compositions indicate a marine carbonate origin. $\delta^{13}\text{C} = +1.8 - +2.6\text{‰}$ PDB (sources of seawater CO_3^{2-}); $\delta^{18}\text{O} = +2.1 - +2.7\text{‰}$ PDB (sources of cold oceanic currents, Eocene, Enewetak Atoll) or $\delta^{18}\text{O} = -5.1 - -6.5\text{‰}$ (influenced by geothermal fluids and meteoric waters, Sinian Dengying Formation, northeastern Yunnan).

The seawater dolomitization model gives a reasonable explanation for the key problems about dolomite origins such as the massive dolomitization origin of the regional thicker carbonate sediments, abundant Mg^{2+} source and the transport of the excessive Ca^{2+} .

Key words: dolomitization model, seawater dolomitization, Eocene strata on the Enewetak Atoll, Dengying Formation in NE Yunnan