

塔北东段下奥陶统白云石化作用

郭建华

(江汉石油学院, 湖北江陵 434102)

沈昭国

(西南石油学院, 四川南充 637001)

李建明

(江汉石油学院, 湖北江陵 434102)

塔北隆起东段下奥陶统中的白云石化岩石类型可划分为四类:(1)层状藻纹层白云岩,(2)条带状白云质灰岩,(3)残余内碎屑角砾状含灰质白云岩-白云岩及(4)斑块状含白云质灰岩-灰质白云岩。组成以上四种岩石类型的白云石,主要为半自形-它形粒状白云石、自形菱面体细晶白云石及自形菱面体细粉晶白云石。通过对白云石的矿物学、阴极发光及地球化学特征的研究,认为区内白云石化作用均是在有淡水参与的作用下进行的,划分出两期白云石化作用,并相应地提出两个白云石化模式:(1)近地表浅埋藏淡水稀释白云石化及(2)深埋藏压实淡水-孔隙卤水混合白云石化。

关键词 白云石化 岩石类型 成因模式 塔北 下奥陶统

第一作者简介 郭建华 男 36岁 副教授 沉积学

塔里木盆地古老岩层中的白云岩十分引人注目,其一是分布范围广,厚度大,层系多;其二是白云岩岩石类型丰富。更为重要的是近几年来不断地在白云岩中获得了高产的工业油气流,为油气勘探提供了重要场所。由于白云石化作用,往往导致碳酸盐岩孔隙度增加,尤其是白云岩层后期暴露地表,在大气淡水的淋滤溶蚀作用下极易形成高孔高渗的蜂窝状次生溶蚀孔、洞型储层,是极为有利的油气储集场所。近年来,对白云岩的成因问题已取得了很大的研究进展,并提出了众多的白云石化模式。塔北东段下奥陶统中的白云石化以其独特的特征,而不同于塔里木盆地其它各地区的白云岩,其中尤以“豹皮灰岩”最具特色,在勘探初期阶段,应用“豹皮灰岩”的分布特征对本区域的地层划分及区域横向对比上都起了非常重要的作用。笔者近几年来对该区碳酸盐岩储层研究^[1]的基础上,通过大量的岩芯及薄片观察,结合阴极发光、电子探针及碳、氧同位素的分析资料,对研究区的白云石化作用进行了较为详细的研究。

一、白云石化岩石类型与分布特征

依据白云石化岩石的产出特征及构造上所表现出的特征,可划分出四种主要的岩石类型,

1. 层状藻纹层白云岩

灰白至深灰色,层厚0.3—0.8 m,横向上不能进行细层对比。微波状或平直的纹理发育(图版1-1),其明亮纹层(亮带)厚1—3 mm,暗色纹层(暗带)仅厚0.5—1 mm。这种藻

纹层经常受生物的强烈扰动而原始构造遭受破坏。干裂构造也较发育,裂缝宽0.5—2 mm,垂向上延伸约5—30 mm。部分干裂缝中为同期的陆源泥充填(图版 I-2),而另一部分干裂缝中则为菱形晶的白云石充填。后者之所以在干裂期未被陆源物质所充填,可能是与上覆藻席的迅速生长有关,覆盖的藻席阻止了陆源泥向干裂缝中充填。

2. 条带状白云质灰岩

以深灰色含灰质白云岩与浅灰色泥晶灰岩近等厚薄互层产出。前者细层厚5—20 mm,形成典型的白云质条带(图版 I-3)。条带中白云石含量为75%—90%,并含有陆源泥及有机质,与泥晶灰岩薄层界线清楚,薄片往往以低幅的平行层面的微缝合线为界。

3. 残余内碎屑角砾状含白云质灰岩-白云岩

灰至深灰色,残余内碎屑为灰岩角砾或白云石化角砾。角砾呈棱角状至次圆状,以扁平、板条状为主,砾径2—8 mm,从平行排列至杂乱排列。一类基质白云石化,而泥晶灰岩角砾依然故我(图版 I-4, 5);另一类则基质与角砾均已白云石化(图版 I-6)。

4. 斑块状含白云质灰岩-灰质白云岩

外表特征酷似豹斑,深灰色的斑块均已白云石化,这些斑块呈不规则的团块状,含量约为15%—70%(图版 I-7)。斑块内白云石含量70%—95%,周边界线清楚,其原岩结构、构造已遭破坏。

详细的岩芯光面观察与显微镜下薄片的研究,这种斑块的形成与两种作用因素有关,其一是与生物活动迹有关,反映在被生物强烈扰动的斑块、潜穴及钻孔常易白云石化(图版 I-8);其二是与原始沉积物及层理构造有关,表现为白云石化沿层面分布,形成白云石化细脉,这些细脉即是原始沉积的较薄的含泥灰质,在埋藏环境下受压溶作用形成一些低幅度的缝合线^[2],残余物质沿缝合面或缝合线交汇处及溶蚀加宽处富集,这些部位均有利于后期白云石化作用的发生。这种成因的斑块与生物成因的斑块,最显著的差异是前者具水平趋势的分布,以及其间为大致水平的微缝合线相连。生物作用对这种斑块可能也有改造,或者为二者共同作用的结果。

从目前钻井揭示的资料反映出白云石化作用遍布于研究区,垂向上各类白云石化岩石类型的分布特点是:下部以层状藻纹层白云岩和残余内碎屑角砾状含灰质白云岩-白云岩为主,往上则过渡为以斑块状含白云质灰岩-灰质白云岩及条带状白云质灰岩为主,总体上表现为自下而上白云石化程度由强至弱。

二、白云石化作用及模式

(一) 白云石矿物学、地球化学特征

1. 矿物学特征

根据岩石薄片及电镜扫描观察,区内有三种类型的白云石:(1)半自形—它形粒状白云石,粒径30—120的 μm ,颗粒表面较脏,颗粒间呈紧密的镶嵌结构(图版 I-1)。藻纹层白云岩主要由这类白云石组成,其暗带颗粒粒径30—50 μm ,亮带粒径80—120 μm 。(2)自形菱面体细晶白云石,粒径100—240 μm ,最大粒径达300 μm 。晶粒表面常见雾心亮边构造,部分晶体发育有2—3个环带(图版 I-2)。这种白云石主要分布于残余内碎屑白云石化岩类、斑块状白云石化岩类及条带状白云石化岩类中。白云石晶粒间大多见未白云石化的残余灰泥,显

示出“似基质支撑”的结构。(3) 自形菱面体细粉晶白云石，粒径 20—50 μm ，晶粒表面较干净，晶形轮廓部分模糊不清。其分布常以星点状漂浮于泥晶灰岩及颗粒灰岩的灰泥基质中(图版 I-3)，在沿缝合线的白云石化条带中也常见。以上三类白云石以第一、二类为主，是构成白云岩类的主要白云石类型。

X-射线分析表明，第一类白云石具有有序度较低， I_{015}/I_{110} 平均值为 0.73，第二类白云石则具有较高的有序度， I_{015}/I_{110} 平均值为 0.89。但是，由电子探针所分析的这两类白云石的 CaCO_3 克分子百分含量平均值较高，分别为 57.27%和 60.56%，这与后期白云石中星点状的方解石化作用有关，并且在较粗大的晶粒中方解石化更强烈。

不同岩类中的不同类型白云石在电子束轰击下所产生的阴极发光颜色是不同的，第一类白云石往往呈现出粉红色的中心(5—10 μm)与酱紫色或暗紫色的边缘，第二类白云石呈酱紫或暗紫色，白云石中的方解石化斑点及其边缘的方解石化圈呈橙黄及桔黄红色(表 1)。

表 1 八块样品的阴极发光特征鉴定表

编 号	类 型	岩 性	发 光 特 征
Lx2 90-5920	Cl	藻纹层白云岩	白云石阴极发光下呈暗酱红色、酱红色，见粉红色的核心；晶体边缘有呈桔红色的方解石边
LN12 90-5921	Cl	藻纹层白云岩	白云石呈酱红色、暗酱红色，方解石呈橙黄色，沿白云石颗粒缝进行交代
LN12 90-5922	Cl	白云石化斑块	白云石呈暗紫色，晶形较好，边缘发暗红色或晶体中呈星点状暗红色均为方解石
LN12 90-5923	Cl	白云石化斑块	白云石呈暗紫色，晶体中有方解石斑点呈暗红色
LN12 90-5924	Cl	白云石化斑块	白云石呈暗紫色，晶体中稀疏可见发暗红小点者为方解石
LN4 90-5925	Cl	藻纹层白云岩	白云石呈暗紫色，方解石呈暗红和橙黄色
LN5 90-5926	Cl	白云石化斑块	白云石呈暗紫红色
LN5 90-5927	Cl	藻纹层白云岩	白云石为暗紫色，方解石呈暗红色(交代关系，方解石被白云石交代后又被方解石交代)

注：样品由石油勘探开发研究院实验中心分析

2. 地球化学特征

氧、碳同位素特征表明， $\delta^{18}\text{O}$ 的变化范围为-4.98‰至-9.84‰(PDB 标准，下同)，平均为-7.89‰。层状藻纹层白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为-7.39‰，其它三类白云石化岩石的白云石 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值为-8.17‰，与其共存的泥晶斑块及砂屑颗粒胶结物的 $\delta^{18}\text{O}$ 为-8.47‰。 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化范围为-1.25‰至-3.14‰，平均为 1.91‰，白云石化岩类与灰岩类的 $\delta^{13}\text{C}$ 值基本相似(表 2)。

电子探针化学成分及微量元素分析结果反映在表 3 及表 4 中。第一类白云石的 Fe、Mn 含量平均值分别为 0.19%和 0.0303%，Fe/Mn 为 6.304。第二类白云石的 Fe、Mn 含量平均值分别为 0.1307%和 0.0661%，Fe/Mn 为 1.977。Fe、Mn 元素在白云石颗粒中的分布无明显的规律，Fe 含量似乎有自中心向边缘增高之趋势。

表2 部分样品岩石学特征与氧、碳同位素值

样品编号	岩石类型	岩石组构	沉积环境	$\delta^{13}\text{C}$ PDB (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ PDB (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ SMOW (‰)
Lx ₂ -1	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-2.1	-8.42	22.19
Lx ₂ -2	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-1.47	-6.66	24.00
LN ₁₂ -4	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-2.65	-8.24	22.37
LN ₁₂ -6	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-1.71	-4.98	25.73
LN ₁₂ -9	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-1.56	-8.00	22.62
Lx ₄ -10	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-1.41	-7.25	23.40
LN ₅ -14	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-2.54	-6.95	23.70
LN ₅ -15	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-2.47	-8.42	22.19
LN ₂ -201*	层状白云岩	半自形—它形晶白云石	潮间带上部—潮上带	-1.58	-7.58	23.05
LN ₁₂ -5	白云石化斑块	自形晶白云石	潮间带	-1.17	-7.71	23.33
LN ₁₂ -8	白云石化斑块	自形晶白云石	泻湖	-1.65	-8.88	21.71
LN ₅ -11	白云石化斑块	自形晶白云石	泻湖	-2.10	-8.85	21.74
LN ₅ -13	白云石化斑块	自形晶白云石	潮间带	-3.14	-9.84	20.72
LN ₁ -23*	白云石化斑块	自形晶白云石	泻湖	-1.44	-7.09	23.56
LN ₁₂ -16	泥晶灰岩	泥晶	泻湖	-1.88	-8.65	21.95
LN ₁₂ -18	泥晶灰岩	泥晶	泻湖	-1.25	-8.78	21.82
LN ₅ -19	砂屑灰岩	亮晶颗粒	潮间—泻湖	-2.15	-8.27	22.34
LN ₅ -20	砂屑灰岩	亮晶颗粒	潮间—泻湖	-2.75	-8.01	22.61
LN ₁ -3*	泥晶灰岩	泥晶	泻湖	-1.32	-8.17	22.44
LN ₁ -18*	砂屑灰岩	亮晶颗粒	潮间—泻湖	-1.93	-7.14	23.51

注：* 样品由石油勘探开发研究院实验中心分析，其余样品均由国家海洋局第一海洋研究所分析

表3 半自形—它形晶白云石电子探针分析结果

点号	FeO (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	FeCO ₃ (%)	MnCO ₃ (%)	CaCO ₃ (%)	MgCO ₃ (%)
2-1-1	0.044	0	30.635	19.748	0.071	0	54.683	41.313
2-1-2	0.087	0.166	36.539	13.719	0.140	0.269	65.222	28.700
2-1-3	0.131	0	36.612	15.615	0.211	0	65.352	32.667
2-2-1	0.305	0.083	31.742	20.898	0.492	0.134	56.659	43.719
2-2-2	0.087	0.041	31.504	20.938	0.140	0.066	56.235	43.802
2-2-3	0.044	0	32.369	19.721	0.071	0	57.779	41.256
4-2-1	0.087	0	32.653	18.777	0.140	0	58.286	39.281
4-2-2	0	0	34.184	18.428	0	0	61.018	38.551
4-2-3	0	0.041	33.804	17.949	0	0.066	60.340	37.549
7-2-1	0	0.041	30.045	21.064	0	0.066	53.630	44.064
7-2-2	0.044	0	29.481	21.095	0.211	0	52.624	44.131
7-2-3	0.087	0.041	30.173	21.045	0.071	0.066	53.859	44.020
7-3-1	0.087	0	30.217	20.694	0.140	0	53.937	43.292
7-3-2	0	0	30.825	20.327	0	0	55.023	42.524
7-3-3	1.866	0.041	30.449	20.986	3.008	0.066	54.351	43.903
平均	0.1910	0.0303	32.082	19.400	0.313	0.049	57.267	40.580

注：样品由石油勘探开发研究院实验中心分析

表4 自形细晶白云石电子探针分析结果

点号	FeO (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	FeCO ₃ (%)	MnCO ₃ (%)	CaCO ₃ (%)	MgCO ₃ (%)
4-3-1	0.131	0.083	32.638	18.780	0.211	0.134	58.259	39.288
4-3-2	0.044	0.041	33.116	18.690	0.071	0.066	59.112	39.099
4-3-3	0	0	33.280	18.273	0	0	59.405	38.227
6-1-1	0.131	0.041	36.143	14.092	0.211	0.066	64.515	29.480
6-1-2	0.217	0.248	42.993	7.077	0.350	0.402	76.742	14.805
6-1-3	0.174	0.083	32.850	17.516	0.280	0.134	58.637	36.643
6-2-1	0.348	0	33.128	17.525	0.561	0	59.133	36.662
6-2-2	0.044	0	32.724	19.488	0.071	0	58.412	40.769
6-2-3	0.087	0	32.339	19.224	0.140	0	57.725	40.217
6-3-1	0.521	0.454	39.446	11.072	0.840	0.735	70.411	23.163
6-3-2	0.044	0	33.046	19.270	0.071	0	58.987	40.313
6-3-3	0.044	0.041	32.170	19.104	0.071	0.066	57.423	39.966
8-3-1	0.131	0	32.391	19.299	0.211	0	57.818	40.373
8-3-2	0	0	31.697	19.789	0	0	56.579	41.399
8-3-3	0.044	0	30.956	20.259	0.071	0	55.249	42.382
平均	0.1307	0.0661	33.927	18.549	0.211	0.107	60.560	36.186

注：样品由石油勘探开发研究院实验中心分析

(二) 成因分析

1. 白云石化环境

已有资料表明^[3]，白云石的矿物学特征与其形成环境有关。晶粒小于10—20 μm的白云石被解释为原生的或极“早期的”埋藏前交代成因的产物；较粗的白云石被认为是次生的或“晚期交代”成因的，它常具有良好的晶形及较高的有序度^[3]。区内第一类白云石的特征反映出两期白云石化作用的结果，阴极发光呈暗粉红色的晶骸是在Mg²⁺浓度相对较高及结晶速度较快的“早期”条件下形成的，而暗紫色的边缘则代表了埋藏环境下“晚期”的交代成因白云石化作用，即第二期白云石化作用叠加于第一期之上，重结晶形成粉晶—细晶级具镶嵌状的白云石。第二类白云石是埋藏期交代成因的产物，其结晶速度慢，晶形好，有序度高。第二类白云石与第一类白云石晶骸属同一期的产物。

陈丽华等对白云石的阴极发光的颜色与其元素成分含量作过对应的分析^{*}，认为Fe/Mn比值小于0.13—6.5时其发光颜色为橙红—黄色，当Fe/Mn比大于13时则不发光，在2.4—10.7之间发褐—暗褐色光。Richter和Zinkernagel^[4]对白云石—铁白云石系列的阴极发光特征研究之后认为，FeCO₃含量（克分子百分含量）小于4.5%时呈桔红色，4.5%—10%时呈暗红褐色，大于10%则为黑褐色至不发光。研究区内第一、二类白云石Fe/Mn比平均值是6.304及1.977，FeCO₃的含量平均为0.313和0.211，其发光颜色以暗紫红至酱紫色为主，与上述标准值相比发光颜色偏深。Fe²⁺的存在反映了白云石的形成环境为埋藏还原环境。田洪均的研究表明，在埋藏环境下发较亮的黄—桔黄色光的白云石与海水成因有关，而玫瑰—浅紫色光的白云石与淡水成因有关^[5]。区内白云石的发光特征表明，为淡水—海水混合成因，发粉红色的第一类白云石晶骸可能受海水影响较多。

* 陈丽华，储层实验测试技术，石油科技专辑（4），储层评价研究进展，1990.169—196

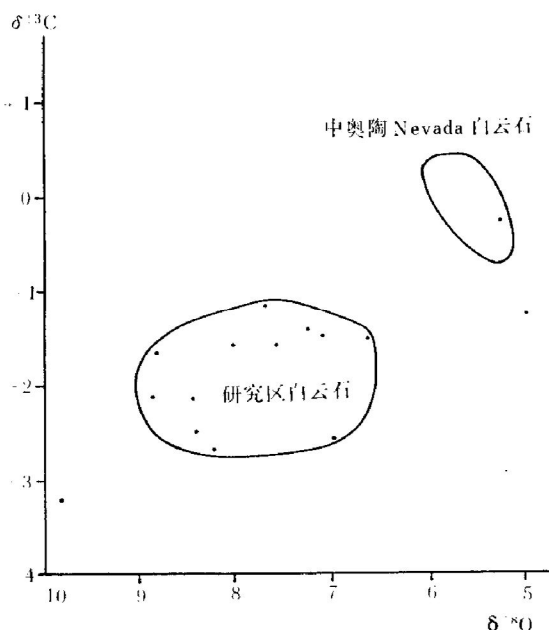


图1 研究区白云石氧、碳同位素值分布特征

雾心亮边的白云石及具环带构造的白云石是成岩作用的重要标志^[8],它反映了成岩孔隙流体随成岩环境及与淡水混合程度的变化而变化。在埋藏成岩环境中,超盐度及高Mg/Ca的孔隙流体受到富Ca²⁺的陆表淡水的不断稀释,导致Mg/Ca比值逐渐下降,结晶速度则随之变缓,形成这种雾心亮边或环带构造。电子探针所分析的Fe²⁺含量表明,部分具环带构造的白云石其中心Fe²⁺含量较低,向边缘含量逐渐增加。这可能反映了埋藏深度的增加或稀释程度的加大。

氧、碳同位素分析结果也反映出区内白云石的形成均与淡水的参与有关,其氧、碳同位素特征与前人所研究过的淡水-海水混合成因的实例相比^[7],其值更偏负(图1)。

综上所述,区内的白云石由两期白云石化作用形成,第一期是以近地表的淡水-海水混合白云石化,形成晶粒较小的白云石或晶骸;第二期是深埋藏作用下的淡水-海水混合白云石化,形成区内最为广泛的第一、二类白云石。第二期白云石化作用可叠加在第一期白云石化之上^[3]。

2. 白云石化的温度及深度

许多学者研究认为 $\delta^{18}\text{O}$ 与其形成的温度有关,并提出了很多应用 $\delta^{18}\text{O}$ 值与其形成温度之间的关系式。笔者分别采用公式(1)^[8]: $T=14.8-5.41\times\delta^{18}\text{O}\text{‰}$ 及公式(2)^[8,9]: $1000\ln\alpha=3.09\times10^6\times T^{-2}-3.29$ (其中 $1000\ln\alpha=\delta^{18}\text{O}_{\text{样品}}-\delta^{18}\text{O}_{\text{海水}}$, $\delta^{18}\text{O}_{\text{海水}}$ 取 $+4\text{‰SMOW}$)计算出表2中16个白云石样品的形成温度(表5)。由公式(1)求得的温度范围为41.7—68℃,公式

表5 根据样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值计算出的白云石形成温度

样品编号	Lx ₂ -1	Lx ₂ -2	LN ₁₂ -4	LN ₁₂ -6	LN ₁₂ -9	Lx ₄ -10	LN ₅ -14	LN ₅ -15	LN ₂ -201	LN ₁₂ -5	LN ₁₂ -8	LN ₅ -11	LN ₅ -13	LN ₁ -23	平均(℃)
T_1 (℃)	60.4	50.8	59.4	41.7	58.1	54.0	52.4	60.4	55.8	56.5	62.8	62.7	68.0	53.2	56.9
T_2 (℃)	111.5	96.3	109.9	83.3	107.7	101.2	98.7	111.5	99.8	105.1	115.8	115.5	125.3	99.8	105.8
$\frac{1}{2}(T_1+T_2)$	86.0	73.6	84.7	62.5	82.9	77.6	75.6	86.0	77.8	80.8	89.2	89.3	96.7	76.5	81.4

(2)求得的温度范围为83.3—125℃。很显然,公式(2)求得的温度比公式(1)求得的温度高得多。一、二类白云石三个样品的矿物包体均一法测温的结果表明,其温度范围为82—105℃。在此,取 $\frac{1}{2}(T_1+T_2)$ 的平均值作为形成温度的低值,以 T_2 的平均值为高值,则白云石的形成温度范围为81.4—105.8℃,这个温度范围值与包体测得的温度范围值非常接近。取

地表温度为 20°C ，地温梯度为 $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}^*$ ，则形成时的埋藏深度为 $2047\text{—}3527\text{m}$ ，显然属深埋藏白云石化。根据塔东槽盆地、上奥陶统的厚度向塔北隆起的变化趋势，估计其厚度至少大于 1500m ，加下奥陶统上部未白云石化的第一岩性段的厚度，推算出开始白云石化的顶界面至上奥陶统顶界面厚度已达 2000m 之多。因此，主要的白云石化作用时期（第二期）应在晚奥陶世末至志留纪末。

（三）白云石化模式

根据以上研究，建立起区内的白云石化模式。

1. 近地表浅埋藏淡水稀释白云石化模式

潮坪沉积物及泻湖沉积物的粒间

孔隙水是超盐度的高 Mg/Ca 比值的流体，并随着上覆沉积物的堆积而不断被埋藏。此时，以北的阿克苏-兴地古陆**大量的陆表淡水沿斜坡向研究区内的近地表沉积物渗流，在这里，低盐度与低 Mg/Ca 比的大气降水与高盐度、高 Mg/Ca 的孔隙流体混合，使

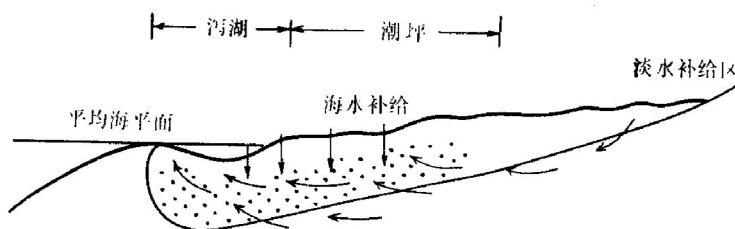


图2 近地表浅埋藏淡水稀释白云石化模式

得这种孔隙水被稀释，盐度迅速下降，但 Mg/Ca 比值却变化不大，由此导致白云石化（图2），形成晶形完好的细粉晶—微晶级的菱形晶白云石，被稀释的孔隙水的 Mg/Ca 比低至 $1:1$ 时仍可发生白云石化^[3]。但是，这一作用时期并不太长，随着上覆沉积物的增厚而被埋藏得更深，以致脱离这种淡水渗入的稀释环境。 Mg 的来源主要是孔隙水中所含的镁及高潮或特大潮时海水补给所带来的镁。因此，这期白云石化作用仅只能形成少量的白云岩，并且白云石化的强度与原始沉积物及其孔隙度有关。根据白云石颗粒大小的特征，它不同于现代地表准同生期白云石化的产物，普遍表现为晶体较大，据此可推断这期白云石化作用是在具有一定的埋藏深度下进行的。

2. 深埋藏压实淡水-孔隙水混合白云石化模式

碳酸盐台地沉积物埋藏不断加深时，紧邻台地的塔东槽盆地寒武至奥陶系巨厚的灰泥及泥质细粒沉积物也被深埋藏并被压实。通常，这些细粒沉积物的埋藏深度大于 2000m 时，蒙脱石则转变为伊利石，并伴随着 Si^{4+} 、 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子的释放而进入孔隙水中，并随孔隙水一起被挤压出来。由于埋藏深，所受压力大，孔隙水温度高，导致这种孔隙流体趋向于向压力减低及温度变低的地区运移。一部分可能作垂向上的运移，而另一部分则沿着层面侧向由盆地向碳酸盐台地运移。另一方面，阿克苏-兴地古陆之上的大气降水，不断地通过古陆边缘的轮台深大断裂^[1]，在重力作用下向地下深部碳酸盐岩渗滤，当这两种不同性质的水体相遇时，则产生淡水-孔隙卤水混合水白云石化条件，即来自于地表富含 CO_2 的淡水与来自于深部泥页岩富含镁的孔隙水相遇。二者的混合溶液使 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 达到饱和或过饱和，并且，在这种深埋藏高温度的环境中极有利于白云石化。淡水被混合后向下运移至一定深度，则逐渐与向上运移的孔隙流体性质一致停止继续向下运移。相反，孔隙流体混合后向上运移至一定

* 童晓光，梁狄刚等，塔里木盆地油气分布规律与勘探方向，1991

** 石油工业部塔里木盆地综合研究联队，塔里木盆地油气资源评价，1986

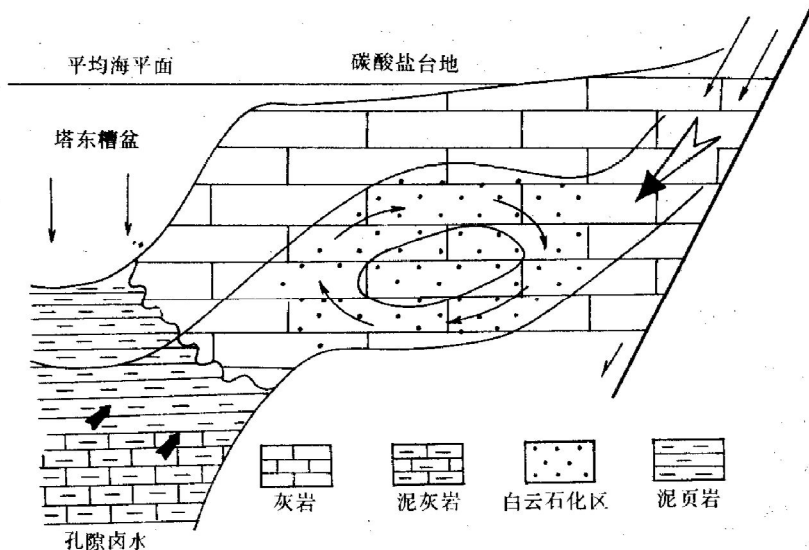


图3 稀释作用下的白云石化图解

白云石化作用时间均不充足,形成区内独特的、不完全白云石化及不均匀白云石化的白云岩类。

三、促进白云石化的有利岩石学因素

不均匀白云石化作用与白云石化程度有关。但是,在现有白云石化程度的基础上,优先选择白云石化作用的岩石学因素主要有以下几点。

1. 缝合线化作用 大量的白云石化是沿缝合线进行的。区内缝合线主要分布于细颗粒的碳酸盐岩中,以水平微起伏(低幅)为主(图版Ⅰ-4,5)。有的学者认为^[2],这种低幅度的缝合线主要形成于较深埋藏的成岩早期,缝合线的存在提高了岩石的渗透性能,是发生白云石化作用流体运移的通道。因此,沿缝合线是白云石化的有利场所。

2. 岩性因素 主要有三种岩石类型优先白云石化。

(1) 与藻有关的灰岩:如藻叠层石,富藻碎屑(图版Ⅰ-6)等,藻是富含 Mg^{2+} 的生物,大量藻的存在导致沉积物原生孔隙度较大,其孔隙中超盐度卤水的数量也多,能为白云石化作用提供较多的镁,另一方面,藻丝体的腐烂与细菌的作用也有利于白云石生成。

(2) 泥质含量较高的碳酸盐岩:主要是由含泥的灰岩与较纯的灰岩组成的薄互层岩类。研究证明,含泥质较高的灰岩比纯的灰岩易于白云石化,主要是因为泥质对镁具有较强的吸附力,在一定条件下(埋深大于2000m),镁离子被释放出来,引起白云石化作用。

(3) 干裂破碎的内碎屑灰岩:由于破裂作用,使碎屑颗粒间有泥质的混入,并作为基质的一部分;另外,岩石的破裂也使其孔渗性能得到提高,有利于白云石化。

3. 生物活动因素 表现在两个方面,即生物的扰动、潜穴或钻孔。有人提出潜穴充填物白云石化作用,就是由于生物作用导致厌氧细菌使硫酸盐还原生成 CO_3^{2-} ,在发生白云石化作用初期,酸碱度(pH值)增高将会促使白云石形成。这种作用可发生在许多埋藏环境中,从沉积物-水界面以下不足1米至几百米深处^[4]。

高度,其性质则逐渐与淡水一致(向上稀释)停止继续向上运移,从而导致这种混合水在一定深度范围内周而复始地作循环运动(图3)。循环带厚度可能达数百米,流体在台地内的运移距离则可达数十公里或上百公里。随着埋藏深度的增加,这种循环带则在地层中不断上移。白云石化作用中的镁来自于盆地内的泥晶灰岩及泥页岩类的孔隙卤水,及由粘土矿物所释放出来的镁。孔隙流体的排出及运移则是镁离子的重要运输机制。正是由于这种白云石化机制,导致 Mg^{2+} 的来源及

参 考 文 献

- 1 郭建华. 塔北轮南下奥陶统裂缝-溶洞系统. 江汉石油学院学报, 1991, 13 (4): 1—10
- 2 Kaufman J *et al.* Dolomitization of the Swan Hills Formation, Alberta. *Marin Geology*, 1991, 38: 41—66
- 3 Morrow D W. 白云石化模式和古代白云岩. 国外地质科技, 1984, (6—7): 1—13
- 4 Richter D K, *et al.* Zur anwendung der kathodenlumineszenz in der karbonatpetrographie. *Geologische Rundschau*, 1981, 70: 1276—1302
- 5 田洪均等. 川西北甘溪上泥盆统白云石化作用研究. 成都地质学院学报, 1987, 14 (4): 50—63
- 6 余志伟. 江西萍乐坳陷西部中石炭统黄龙组白云岩成因探讨. 沉积学报, 1988, 6 (3): 60—67
- 7 Dunham J B, *et al.* shallow Subsurface dolomitization of subtidally deposited carbonate sediments in the Hanson Creek Formation (Ordovician—Silurian) of central Nevada in Zenger. *SEPM Special Publication*, 1980, 28: 139—161
- 8 刘宝珩, 曾允孚. 岩相古地理基础与工作方法. 北京: 地质出版社, 1985. 323
- 9 曾允孚等. 四川龙门山唐王寨地区中上泥盆统白云岩成因. 地质论评, 1991, 37 (1): 1—11

DOLOMITIZATION OF LOWER ORDOVICIAN IN EASTERN SECTOR OF NORTH TARIM REGION

Guo Jianhua

(*Jiangnan Petroleum Institute, Jiangling, Hubei*)

Sheng Zhaoguo

(*Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan*)

Li Jianming

(*Jiangnan Petroleum Institute, Jiangling, Hubei*)

Abstract

Four types of dolomitized rocks have been found in the eastern sector of North Tarim uplift: 1. bedding stromatolite dolostone; 2. ribboned dolomitic limestone; 3. remaining intraclastic breccoid calciferous dolomite-dolomite and 4. lumpy dolomitic limestone-calcic dolostone. The dolomites forming the above mentioned rocks are mainly a. subhedral-allotriomorphic granular dolomite; b. euhedral rhombohedron fine crystalline dolomite; c. euhedral rhombohedron fine silt-sized crystalline dolomite. The features of their mineralogy, cathodoluminescence and geochemistry show that the dolomitization in the area are all resulted from the mixing of fresh water and sea water. In consideration of the basic features of the sediments and texture, two periods of dolomitization and consequently two models of dolomitization are proposed in this paper: 1. shallow-buried fresh water dilution in near surface and 2. deep-buried fresh water-pore bittern mixing.