

黔中下二叠统碳酸盐岩中的构造-埋藏热液白云化作用

赵锡奎

(成都地质学院石油系)

上扬子地区下二叠统碳酸盐岩中,不同程度地发育一种中-粗晶白云岩或云灰岩,人们俗称为“糖粒状”白云岩。80年代以来,其成因多被解释为淡水透镜体模式形成的混合水白云化。笔者1987—1988年对黔中织金、清镇、黔西等地十余个剖面详细观察和室内薄片、扫描电镜、碳、氧同位素、有序度、包体均一温度的综合研究,结合该区地质演化分析,认为这类白云岩的成因当属埋藏过程中受构造活动影响的热液作用所致。

一、“糖粒状”白云岩的产状与分布规律

黔中地区下二叠统中-粗晶白云岩或云灰岩,多以似层状、巨厚块状(可达40m)、斑块状(粉晶级“豹斑状”云灰岩除外)产出,部分分布在灰岩裂缝、荷叶藻及笔类体腔孔或铸模孔中。所谓似层状白云岩(贵州省地矿局资料称)实际是高镁离子水沿灰岩原始层面流动所引起的白云化作用所致,其证据为:白云岩“层”与灰岩“层”接触界线极不规则,但白云岩“层”内却显示稳定的原始层面(图1);斑块状云灰岩原始层面附近白云化程度亦较高,这均说明产生白云化的水介质主要沿原始层面流动,渗入到层面上、下灰岩中发生的交代作用。之所以有似层状和豹斑状的差异,可能反映了原岩孔渗性能的不均一性或水介质供给量的差别。巨厚块状白云岩,则可能是原岩孔渗性好,水介质供给充分,故白云化程度极高,几乎全由中-粗晶白云石组成,仅野外见有残余的海百合、有孔虫(含量 $<2\%$),其上、下界面均不规则。

这类白云岩分布,纵向上极不稳定,下二叠统栖霞-茅口组各段碳酸盐岩中均有发育,但横向上难以追踪对比。然



图1 织金大喇叭口茅口组二段中的“似层状”白云岩

A-白云岩“层”与灰岩“层”不规则界面;

B-白云岩“层”内稳定的原始层面

Fig. 1 “Stratoid” dolostones in the 2nd member of the Maokou Formation in Dadongkou, Zhi jin

A=irregular boundary between dolostone “bed” and limestone “bed”; B=primary bedding plane within the dolostone “bed”

而,详细调查表明,其分布多与断层、裂缝发育带有关,具代表性者如下:

(1) 清镇县流长至贵阳市公路上,下二叠统地层出露齐全,但未见白云岩,而其西约 2km 处栖霞组二段 (P_1q^2) 中部沿断层发育厚约 20m 的块状中晶白云岩(图 2)。该白云岩体附近约 100m 处的岩头山相应层位见另一白云岩透镜体,恰与构造破碎带相吻合(图 3)。

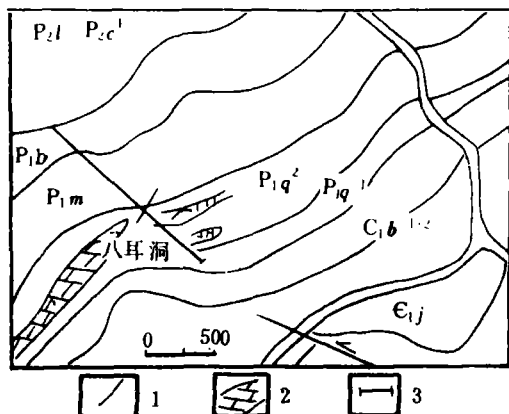


图 2 清镇流长剖面八耳洞栖霞组白云岩与断层关系图

1-断层; 2-白云岩; 3-剖面位置

Fig. 2 Relationship of the faults to dolostones in the Qixia Formation of Ba'erdong in the

Liuchang section in Qingzhen

1=fault; 2=dolostone; 3=section location

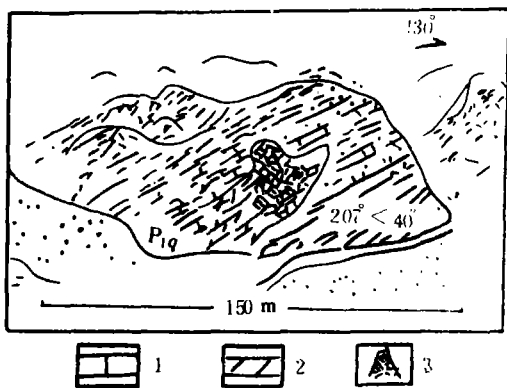


图 3 清镇流长岩头山白云岩透镜体素描图

1-灰岩; 2-白云岩; 3-构造破碎带

Fig. 3 Sketch of dolostone lens in Yantoushan, Liuchang, Qingzhen

1=limestone; 2=dolostone;

3=structural fracture zone

(2) 织金马龙箐茅口组一段 (P_{1m}^1) 中部厚约 40m 的巨厚块状中—粗晶白云岩,距各仲五断层约 1km 处(其间又被剥蚀)。织金岩背后茅口组二段 (P_{1m}^2) 中部发育似层状、条带状(厚 10—15cm,长 3—10m)、斑块状白云岩或云灰岩,该地距大硐口断层约 3km,而大硐口断层附近相应层位全为似层状白云岩。织金县熊家场栖霞组、黔西县雷打岩茅口组中均具这种现象。这说明距断层愈近,白云化程度愈高。

(3) 清镇县流长岩头山白云岩透镜体之上数米处的含有孔虫微晶灰岩中,其燧石结核发育了三组裂缝,镜下鉴定早期裂缝全为粗晶异形白云石充填(图 4)。大方县戛木茅口组二段荷叶藻云灰岩之上的灰岩中,垂直层面的裂缝壁上发育了白云石。这表明它们的形成与较大的白云岩体有成因上的联系,很可能是这些较大的白云岩形成时,高镁离子水溶液沿上述裂缝流动时发生交代或结晶形成的。又如织金小猫场茅口组一段 (P_{1m}^1) 底部的中—粗晶白云岩中,白云化程度较弱的云灰岩斑块中,白云石集中在䇯等生物体腔孔中呈斑点状分布,而薄片观察和将手标本破碎均发现几乎所有的白云石斑点均被充填白云石的微裂缝(宽度 $< 0.5\text{mm}$) 所连通。



图 4 清镇流长岩头山栖霞组灰岩中燧石结核的
裂缝中充填的异形白云石 (图中白色部分)

图中数字表示裂缝或自生矿物形成的次序

Fig. 4 Heteromorphic dolomite (white) filled in the fissures of chert concretions from the limestones of the Qixia Formation in Yantoushan, Liuchang, Qingzhen. The figures in the photograph refer to the order for the formation of the fissures or authigenic minerals

二、白云石的特征

1. 镜下鉴定 这类白云石主要为中—粗晶, 少数为细晶结构, 自形一半自形, 混浊、无环带, 有时解理清楚, 多具弱波状消光, 可见异形白云石和铁白云石 (经铁-氰化钾染色)。

2. 据 X-粉晶衍射资料 这类白云石有序度较高, 范围在 0.71—1.00 之间 (表 1), 说明其成核作用较弱, 不是正常盐度海水和准同生期成岩环境的产物。织金小猫场剖面小-L004 样品为茅口组一段底部厚层—粗晶白云岩中的铁白云石 (经铁-氰化钾染色)。小-L003 样品为同层中白云化较弱的云灰岩斑块中的瓣等生物体腔孔中形成的异形白云石斑点。小-L004 号样品有序度较小-L003 号样品偏低 (表 1), 可能说明高镁离子水溶液渗入生物体腔孔内, 孔隙较大时, 成核作用更弱, 而铁白云石则说明形成于还原环境。

表 1 白云岩 C、O 同位素, 有序度, 原生包体均一温度数据表

Table 1 Oxygen and carbon isotopes, ordering and homogenization temperatures of the primary inclusions from the dolostones in the study area

样品号	岩石名称	层位	稳定同位素 (PDB 标准‰)		有序度	包体均一温度 (°C)
			$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}$		
小-L004	灰色厚层中—粗晶白云岩	P_{1m^1}	3.969	-8.565	0.71	160—180
小-L003	灰色厚层微—粗晶云灰岩	P_{1m^1}	3.865 3.289 Δ	-7.672 -6.155 Δ	0.77	130
岩-L013	深灰色厚层细—粗晶荷叶藻灰云岩	$P_{1m^2\beta}$	2.875	-9.604		155 (60—80)
号-L029	深灰色块状中—粗晶白云岩	P_{1m^1}	2.780 3.228 Δ	-10.263 -10.002 Δ	1.00	150 (50—70)
流-L006	深灰色块状细—中晶白云岩	P_{1q^2}	2.574	-8.592	0.92	142

注 * 为全岩样品; Δ 为白云岩宿主灰岩样品; () 为白云石晶间孔充填方解石样品; 余者为白云石样品。有序度为成都地院测试中心分析, 余者为成都地矿所实验室分析

3. 碳、氧同位素分析 (表 1) 无论白云岩全岩、白云石、宿主灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 均为正值 (2.574—3.969), 反映无淡水或有机质参与, 至少它们的作用不强。而 $\delta^{18}\text{O}$ 均为负值

(-6.155—-10.263)。对这种现象,有人解释为淡水作用的结果。但淡水加入显然是介质条件的改变,即使考虑到淡水作用时淬取了原地灰岩中的 ^{13}C ,也难以设想 $\delta^{13}\text{C}$ 可以保持这么高的正值。Y. L. 费里德曼和 G. M. 费里德曼在解释德克萨斯州西部和新墨西哥州南部奥陶系深埋白云化作用时,就曾指出 $\delta^{18}\text{O}$ 偏负可能是温度较高的地层水中氧同位素分馏系数增大,贫同位素 ^{18}O 所致。而碳同位素对温度效应稳定,故变化不大。表 1 所示,白云岩全岩或宿主灰岩尽管 $\delta^{18}\text{O}$ 稍高,但仍为负值(-6.155—-10.002),而白云石 $\delta^{18}\text{O}$ 则为-7.672—-10.263,说明它们都经历了较高温度的影响。

4. 原生包体均一温度测定 白云石形成温度在 130—180℃ 间(表 1),而白云石晶间孔内充填的方解石包体均一温度为 50—80℃。这说明它们均是埋藏条件下的产物,而非近地表形成的。形成较晚的方解石(白云石晶间孔充填物)比形成较早的白云石包体温度低得多,说明白云石形成受到了特殊热事件的影响。

三、白云岩成因探讨

1. 淡水透镜体模式的混合水白云化成因说之否定

前人曾将四川、云南等地的同类白云岩用淡水透镜体模式的混合水白云化来解释,或与东吴运动抬升遭受剥蚀时的淡水作用相联系。目前研究成果表明,这种解释是不足为据的。

首先,上述有序度资料表明,白云石成核作用较弱,尽管人们将这种特征与沉积环境相联系,并归因于淡水加入之故,但若白云化作用较晚,也可形成成核作用弱的条件。如果这点尚有多解性,那么 130℃ 以上的高温 and $\delta^{13}\text{C}$ 保持较高正值显然不能与淡水透镜体的成岩环境相关。

淡水透镜体成因观点依据之一是下二叠统中碳酸盐滩相环境的发育。实际上,八十年代初我们用 J. 威尔逊的模式解释上扬子地台二叠系沉积环境时,对其不同点认识是不够的。当时划分的开阔海台地或半局限海台地中的滩,并非小于十几米的极浅水高能环境的产物。笔者对川南下二叠统 12 口钻井 300 余块薄片和黔中 20 余个剖面 300 余块薄片观察,川南地区真正代表高能环境的淀晶生屑灰岩仅有一块薄片。前人鉴定的亮晶胶结物(据矿区鉴定资料),无栉壳状或栅状消光特征,与颗粒界限不清;透明度、清洁度不高,应为湿态新生变形的假亮晶。刘宝珪教授等(1986)将这些“滩”定为陆棚砂坝,其沉积水深大于 20—30m,这种“滩”或陆棚砂坝不是经常暴露,遭受淡水淋滤的环境。黔中地区确有三处发育淀晶生屑灰岩(织金岩背后、独店子茅口组二段、熊家场茅口组一段)的高能滩,但它们既无早期遭受淡水淋滤的特征,其本身和下伏灰岩亦未发生白云化。若用东吴运动古剥蚀面淡水作用解释,则相当于调整白云化。然而,无论淡水透镜体还是调整白云化都需要一个淡水淋滤过的灰岩岩帽,但黔中近十个剖面的中—粗晶白云岩和云灰岩之上均无这种岩帽,确有淡水作用的地方(如织金岩背后茅口组二段顶部),白云岩化至少发育在淋滤过的灰岩之下 20 余米,且为致密的微晶灰岩所隔。

当然,我们还难以解释为何该区淡水作用对下二叠统白云化作用影响不大。东吴运动(我们已称之为峨眉地裂运动)期本区抬升遭受剥蚀,即使没有保留普遍的淡水淋滤带,或淡水作用被已成岩的致密层段所隔,而当时形成的古断裂作为地表淡水下渗的通道,使淡

水与地层水混合循环成热液的可能性似乎也不能排除。但前述分析表明,白云石、白云岩及宿主灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 均保持较高正值的事实却与之相左。因此,这种成因和淡水透镜体模式、调整白云化模式的白云化作用即使发生过,也不占主导地位。

2. 构造-埋藏热液白云化作用

“糖粒状”白云石有序度较高、晶形较好、晶体粗大及铁白云石的存在,均反映其形成于成核作用弱或还原条件的晚期——后生期成岩阶段,是埋藏过程中的产物。碳、氧同位素,包体均一温度特征,白云石弱波状消光乃至异形白云石的存在,表明其形成于较高温条件下。其产出状态与断层分布密切相关及白云石解理缝裂开等特点,又指示其受断裂活动控制或影响。这都证明,它们是构造-埋藏条件下的热液白云化产物。

从另一角度亦可证明构造活动、热液作用的效应。若用白云石包体温度 ($130-180^{\circ}\text{C}$) 结合古地温 (该区印支期末古地温梯度为 $3.84^{\circ}\text{C}/100\text{m}$,地表恒温取 24.40°C ①) 推算古埋深,至少在 $2750-4050\text{m}$,这不仅超过茅口组之上龙潭组 (包括玄武岩) 至中三叠统连续沉积厚度 (最大厚度累加为 2682m ,最小厚度累加为 1869m),而且超过上覆现存地层总厚度 (最大厚度累加为 3517m ,最小厚度累加为 2261m)②,显然是不可能的。而且,白云石晶间孔及晶间充填的方解石残余孔内常见碳质沥青,说明白云石在大量石油运移前就形成了,故若无特殊热事件的影响,白云石形成时的区域古地温不会超过 130°C ,即白云石包体均一温度不能用来推测古埋藏深度。如认为白云石形成受特殊热事件的影响,白云石形成后,随着局部高温的均恒调整和热散失,地温梯度达到正常状态。因此,白云石晶间孔内充填的方解石包体均一温度 ($50-80^{\circ}\text{C}$),大致可代表方解石形成时下二叠统古埋藏深度的温度,用这组数据推算古埋深为 $700-1450\text{m}$,相当于中、下三叠统沉积期。那么,先于这种方解石充填物的白云石应该形成于茅口组沉积后至上二叠统或下三叠统沉积期,最迟在中三叠统沉积初。当然,这只是粗略地估计。如何解释这类白云石形成的局部高温条件呢?笔者认为,以下三个因素可能起了主要作用。

(1) 茅口晚期至晚二叠世早期,该区为峨眉地裂运动高潮期,玄武岩强烈喷发必然导致局部地温的升高并对围岩发生烘烤。

(2) 断裂活动过程中产生的动力热可能对白云石形成的局部高温条件起一定的作用。

(3) 断裂活动促使下伏地层中的热液上涌,也有利于增加介质温度。

上述作用与沉积物埋藏所形成的地温升高,可能是导致这类白云石形成于较高温环境的原因。

导致“糖粒状”白云岩形成的富镁离子热液确切来源尚难定论,但下述事实可给我们一定启示。其一,下二叠统,尤其茅口组二段尽管富含高镁方解石质生物 (红藻、棘皮等),但如前述,既使明显遭受淡水淋滤的层段之下,也没见有这类生物引起的广泛白云化 (局部发育棘皮被压溶而在棘屑周围或缝合线周围形成的白云石)。这类生物在埋藏成岩过程中必然析出镁离子,它们是否在地层水中局部富集,而成为形成“糖粒状”白云岩的主

① 杨武旭, 1984, 滇、黔、桂地区上二叠统古地温及其主要控制因素, 石油地质论文集, 滇、黔、桂石油地质科研究所 (内刊)。

② 据贵州省地矿局, 中华人民共和国区域地质调查报告 (1:20 万贵阳幅、毕节幅、安顺幅、息峰幅) 资料统计。

要介质成分呢?这是可供考虑的因素之一;其二,二叠系下伏地层中发育准共生一早成岩期白云岩(如石炭系),其残留地层水中可能含较高浓度的镁离子;其三,火山喷发可能增加了海水和岩浆溢出通道以及当时与火成岩体有连通性的断裂附近地层水中的镁离子浓度。如该区较深水台槽相内广泛发育的暗色薄层泥云灰质硅质岩中,贫硅硅质的碳酸盐纹层(一般1mm)中发育粉晶白云石,其镁离子来源显然是沉积期就赋存的,而这种硅质岩发育与火山喷发旋回极为一致,说明火山喷发可以提高沉积物中的镁离子浓度。进而也可考虑火山活动的岩浆汽、液中镁离子通过古断裂运移富集,提供了产生白云岩的主要介质成分。当然,究竟哪种因素起主导作用,还有待进一步研究。因此,本文并未提出热液的确切性质和热液循环的模式。

总之,这类晶粒粗大、晶形较好,具弱波状消光甚至达异形白云石程度的无环带白云石,是在埋藏过程中,由于古断裂活动、火山作用导致温度升高,富镁离子的地下热液沿断裂带附近运移,渗入到孔渗性较好的灰岩中,或沿原岩层面流动顺层交代而形成的,并造成愈近断层白云化程度愈高的分布状态。它们是上述作用系统动态平衡的产物。这是目前对这类白云岩成因令人较为信服的解释。它与淡水作用无关或受其影响较小,而是构造-埋藏条件下的热液白云化。陈明启高工对四川下二叠统同类白云岩成因研究取得了与笔者相似的认识,但过分强调了淡水作用。

四、构造-埋藏热液白云化作用与油气储集性能的关系

这类白云石镜下面孔率为1.5—5%,扫描电镜观察有许多连通晶间孔、晶内孔、溶孔和溶“沟”等(图5),煤油法孔隙度为1.22—3.24%。虽未达到良好储层的标准,但与四川盆地地下二叠统碳酸盐平均孔隙度<1%对比,显然改善了储集性能,与四川盆地及建南气田长兴组生物礁灰岩白云化形成的孔隙型储层(孔隙度2.30—5.15%)对比,基本达到了储层条件。若与裂缝或深部岩溶孔洞搭配,则更为有利。该区下二叠统现今多已出露地表,但这类白云岩孔隙中常富含碳质沥青,说明其曾作为油气储集层。

四川盆地地下二叠统同类白云岩,尽管成因尚有争论,但已有著者认为其分布与古断裂有关。按笔者观点,寻找地腹下二叠统白云岩孔隙或裂缝-孔隙型天然气储层,应引起有关单位重视和予以验证。

结 论

1. 黔中地区下二叠统中-粗晶白云岩不是淡水透镜体模式形成的混合水白云化产

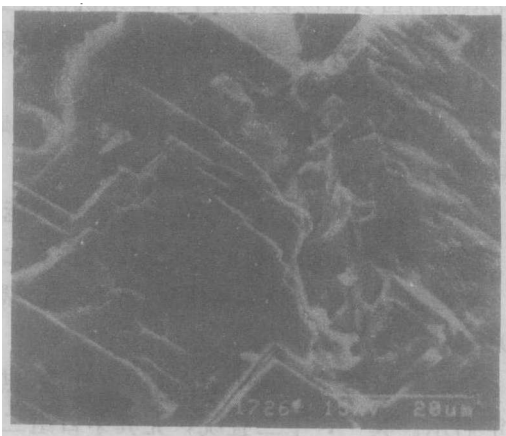


图5 织金马龙箐茅口组一段灰色块状中-粗晶白云岩中的扫描电镜照片可见连通良好的溶“沟”

Fig. 5 SEM photograph of grey massive medium- to coarse-grained dolostones from the 1st member of the Maokou Formation in Malongqing, Zhijin, showing well-connected solution "groove"

物,而是构造—埋藏条件下的热液白云化的产物。

2. 这类白云岩纵向上不稳定,横向也难以对比,但往往和古断裂分布有关。

3. 这类白云岩具一定储集能力,是下二叠统天然气勘探的新领域。

感谢罗志立教授精心培育。刘宝珺教授审阅文稿并提出宝贵意见,曾允孚、冯增昭教授、**李南豪**、金以钟、李秀华副教授,吴葆青、陈明启、陈文一、张荫本高工,张哨楠,沈昭国、谭文斌讲师等在工作中给予指导或帮助,成都地院测试中心分析了样品,在此一并致谢。

主要参考文献

- 张荫本, 1982, 四川盆地二叠系中的白云岩化, 石油学报, 1 期。
- 卢武长等, 1986, 川南大湾剖面栖霞、茅口灰岩古岩溶的氧、碳同位素研究, 矿物岩石, 3 期。
- 张继庆等, 1986, 四川盆地早二叠世碳酸盐沉积相及风景沉积作用, 重庆出版社。
- 刘宝珺等, 1986, 四川兴文四龙下二叠统碳酸盐岩风暴沉质作用, 地质学报, 1 期。
- 罗志立等, 1988, 试论上扬子地台的峨眉地裂运动, 地质论评, 34 卷, 1 期。
- 陈明启, 1989, 川西南下二叠统新统白云岩成因探讨, 沉积学报, 7 卷, 2 期。
- 李文平, 1989, 川东、鄂西长兴组礁的成岩作用与白云岩化, 天然气工业, 9 卷, 1 期。
- Y. L. Li and G. M. Friedman, 1983, Deep burial dolomitization in the Ordovician Ellondwrgar Group Carbonates west Texas and Southeastern Mexic, Journal of Sedimentary Petrology.

STRUCTURAL-BURIAL HYDROTHERMAL DOLOMITIZATION IN THE LOWER PERMIAN CARBONATE ROCKS IN CENTRAL GUIZHOU

Zhao Xikui

(Department of Petroleum, Chengdu College of Geology)

Abstract

It is suggested that thick massive, stratoid and patched medium- and coarse-grained dolostones result from structural processes and hydrothermal dolomitization rather than the products of mixed-water dolomitization formed according to the current fresh-water lens model on the basis of field occurrences and microscopic and eletron microscopic analyses, oxygen and carbon isotopes, ordering and homogenization temperatures of the inclusions, in conjunction with geological evolution. The porosity of this kind of the dolostones may be great enough to serve as the oil reservoirs. It is expected to prospect and explore oil and gas deposits of porosity and porosity-fissure types in the sub-surface Lower Permian dolostones.