

文章编号: 1000-0550(2000)04-0555-05

青藏高原中生界白云岩特征研究及成因分析

王兴涛¹ 张庆石² 张吉² 周书欣¹ 李景伟³

1(大庆石油学院 黑龙江安达 151400) 2(大庆石油管理局勘探开发研究院 黑龙江大庆 163212)

3(大庆石油管理局采油二厂地质研究所 黑龙江大庆 163414)

摘要 通过对青藏高原羌塘盆地和措勤盆地的白云岩进行野外观察与描述,提出了研究区白云岩的纵、横向分布规律,总结了白云岩的岩石学特征。运用系统的室内分析、化验方法,应用结构标志、阴极发光标志、氧同位素标志有效地进行了白云岩成因判定。认为研究区的白云岩非原生成因,而均属于交代或白云化成因。根据白云岩中所含白云石的晶体大小、形态及内部结构划分了白云化阶段:准同生阶段、成岩阶段和后生阶段,并总结了各阶段白云岩的特征,认为成岩阶段形成的白云岩是油气最有利的储集层。通过选取典型剖面,归纳出研究区白云岩的两种成因模式:毛细管浓缩作用模式和混合水作用模式。

关键词 青藏高原 白云岩 阴极发光 氧同位素 交代作用 白云化阶段 成因模式

第一作者简介 王兴涛 男 1974年出生 硕士 沉积岩与沉积相

中图分类号 P588.24⁺5 文献标识码 A

1 地质概况及地层

青藏高原位于油气产量高、储量丰富的“特提斯构造域”东段,是我国油气勘探的良好远景区之一,地理位置上位于我国版图西南部。研究区羌塘盆地和措勤盆地是近期勘探的重点(E81°~96°,N30°~35°),处于青藏高原中部(图1),分别被拉竹龙—金沙江缝合带、班公湖—怒江缝合带和雅鲁藏布江缝合带所分割。各缝合带所代表的原始洋盆的发生、发展及消亡,始终控制着研究区盆地的沉积演化。在中生代沉积期内,羌塘盆地中部的中央隆起和措勤盆地南缘的冈底斯古陆一直作为物源区。

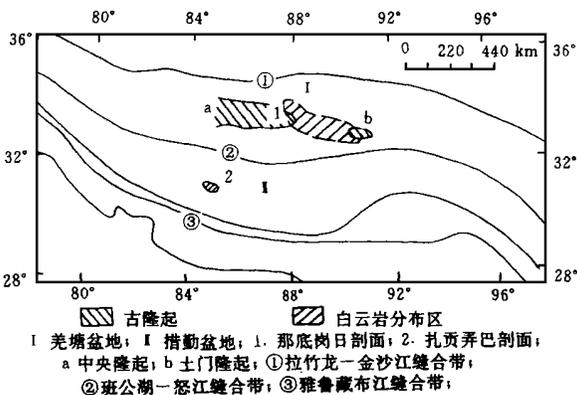


图1 青藏高原构造分区、研究区位置及白云岩分布图

Fig. 1 The map of structural division of Qingzang Plateau and location of study areas and distribution of dolomite

盆地总面积达 $30 \times 10^4 \text{ km}^2$,海相沉积巨厚,生油层总厚度为 1 500~4 000 m,具多处油气苗显示。盆地发育在前泥盆系基底之上。下部泥盆系—中三叠统,属浅变质的浅海和滨海沼泽的砂岩、泥岩;中部上三叠统—下白垩统,属台地、滨浅海至三角洲的碳酸盐岩、碎屑岩及含煤碎屑岩系,厚度大、分布广,是盆地的主体沉积层系;上部上白垩统—第四系为陆相碎屑岩系。中部层系是本文研究的主要目的层,它具有特定的构造背景和良好的成油环境。盆地中生代地层发育如表1。

羌塘盆地是典型的中生界海陆相地层混合沉积盆地,措勤盆地混积现象不明显。肖茶卡期、布曲期、索瓦期和郎山期以灰岩沉积为主,多尼期次之,其余各期以碎屑岩沉积为主。受古气候、沉积物来源、水介质、

表1 青藏高原中生界地层简表

Table 1 Stratum of Mesozoic in Qingzang Plateau

羌塘盆地				措勤盆地			
地层系统				地层系统			
界	系	统	组	界	系	统	组
中生界	白垩系	上统	阿布山组	白垩系		上统	竞柱山组
		下统	雪山组			下统	郎山组
		上统	索瓦组				多尼组
	侏罗系	中统	夏里组	侏罗系		中上统	接奴群
			布曲组			中下统	希湖群
		下统	雀莫错组				
三叠系	上统	肖茶卡组	三叠系	上统	确哈拉群		

沉积环境等因素的影响,在中晚侏罗世羌塘盆地中部($E88^{\circ}\sim 91^{\circ}$, $N32.5^{\circ}\sim 33.5^{\circ}$)和措勤盆地早白垩世早期局部地区发育白云岩。白云岩和灰岩最发育的部位和时期并不完全统一。

2 白云岩时空分布特征

通过野外观察,发现研究区白云岩分布于羌塘盆地雀莫错组、布曲组、夏里组、索瓦组及措勤盆地多尼组。且白云岩时空分布具不均匀性:羌塘盆地多于措勤盆地,而侏罗系多于白垩系。

2.1 羌塘盆地

雀莫错期白云岩主要集中在以那底岗日剖面为中心的中央隆起北侧,最大累计厚度超过130 m。剖面上主要与膏岩层相邻并常构成其底盘。沉积相为蒸发台地亚相。布曲期白云岩的分布区域最大,集中在中央隆起西段经双湖—多涌至土门隆起一带($>150\text{ m}$);在双泉湖—那底岗日一线形成次最大厚度分布区(40~100 m)。主体沉积环境为台地相,白云岩一般不与膏岩层相邻。

夏里期白云岩总体分布较零散。中央隆起的西段北侧($>30\text{ m}$)和土门隆起南侧(18 m)的白云岩产于经常干化的潮坪泻湖相中,多与膏岩层相邻;远离中央隆起的南、北羌塘凹陷内滨浅海相细碎屑岩中的白云岩($<1\text{ m}$)与膏岩层无关。

索瓦期白云岩时空分布广。土门隆起蒸发台地亚相白云岩(48.45 m)与膏岩层相邻;远离中央隆起的台地相中白云岩与一般膏岩层无关。

2.2 措勤盆地

措勤盆地中分布的白云岩很少,仅在扎贡弄巴剖面的白垩系多尼组发现两层含云质岩石。一层为含云泥晶生屑灰岩;另一层为云质粉砂岩。其产出层段的沉积环境为潮坪相和局限台地亚相,没有膏岩层的出现。

3 白云岩岩石学特征

根据原始沉积组构保存状况,将研究区白云岩分为二类:①原始沉积组构基本保留的泥晶砂屑白云岩、泥晶球粒白云岩、生屑泥晶白云岩、球粒泥晶白云岩、泥晶白云岩和泥晶灰质白云岩,为盆地白云岩的主体类型,可直接用来恢复古沉积环境;②原始沉积组构不保留的晶粒状白云岩。此类白云岩根据晶粒大小,分为粉晶、细晶、中晶和粗晶白云岩等,以隆鄂尼地区布曲组粉—中晶白云岩为代表。强烈的重结晶或去白云化作用,损失了大量原始的沉积信息,因而其特征常不直接反映沉积环境,而多反映成岩环境特征^[1]。

系统研究表明,那些产位与膏岩有关的白云岩,一般只局限于第一种类型;而与膏岩层无关的白云岩,则可兼具两种类型。与膏岩有关的白云岩(I型),一般晶粒细小(泥粉晶)、自形程度较低(它形晶为主);而与膏岩无关的白云岩(II型),则一般晶粒稍粗(粉—中晶)、自形程度较高(半自形—自形晶为主)。

4 白云岩成因判定

白云岩的成因问题,是沉积学界长期争论,但迄今尚未彻底解决的一个难题。我们根据多种宏、微观判别标志(其中阴极发光、同位素方法较有效^[2]),判别研究区白云岩的成因。

4.1 结构标志

在不纯白云岩以及含云或云质灰岩中,几乎总能见到白云石直接交代方解石的现象。其交代方式主要有包裹、截切及蚕食三种。在较纯的白云岩内却不易见到。但在高倍扫描电镜下,可见白云石晶体发育蜂窝状的微孔,推测此为交代时体积收缩所致。因为由理论计算可知,灰质沉积物或灰岩在被白云石(岩)完全取代后,体积会缩小6%~13%。而且白云岩内部结构常不均一,在一块薄片内常可见到自形程度不一、大小相差悬殊的白云石共(伴)生,这种现象解释为多期白云化叠加的结果是最理想的。

4.2 氧同位素标志

在自然界中原生沉积的白云石,其 $\delta^{18}\text{O}$ 值应比与其共生的方解石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值高6%~10%,而交代成因的白云石则与伴生的方解石的 $\delta^{18}\text{O}$ 值相等或相近^[3]。在研究中,比较白云岩和石灰岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值的差异,发现: $\delta^{18}\text{O}$ 差值均小于6‰。如达卓玛剖面索瓦组纯白云岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值为-2.55‰,与其上下相邻的纯石灰岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值分别为-6.23‰和-6.98‰,差值分别为3.68‰和4.43‰(都小于临界值6‰),说明白云岩为交代成因。

4.3 阴极发光标志

较系统的阴极发光显微镜观察鉴定表明,研究区灰岩一般发光色鲜艳,以各种色调的黄色为主;白云岩一般较暗,以深浅不等的紫色、紫红色为特点。我们对均一泥晶纯白云岩进行了阴极发光显微镜观察,结果发现在大面积的紫色基底之上,仍然残留有云雾状的黄色斑团,说明并非原生沉淀成因,还应属交代成因。

因此,综合以上分析认为,研究区的白云岩均属交代或白云化成因。

5 白云化阶段及其特征

研究区不同白云岩中所含白云石无论晶体大小、

形态, 还是内部结构都常存在着一定的差异。研究表明, 造成这些差异的重要原因就是白云石处于不同的白云化阶段^[4]。根据本区的白云石特征划分白云化阶段如下。

5.1 准同生阶段

该阶段的白云石(岩)是由刚沉积下来的钙质沉积物, 在被沉积埋藏之前, “与底层盐水或与暴露大气下的蒸发盐水作用”而形成。白云石晶粒为泥晶, 呈它形粒状。岩石类型属于 I 型白云岩, 呈致密块状。主要分布于中央隆起的西段北侧。

5.2 成岩阶段(浅埋阶段)

本阶段的沉积物埋藏浅, 尚未发生明显的胶结作用, 因而, 白云化作用基本上是在孔隙水作用下完成的。白云石一般为粉—细晶, 它形粒状到自形菱面体。此阶段白云石可以破坏原始沉积物的某些细微结构(如鲕粒的同心圆包层), 出现直接的交代残余现象, 也可保存原始的总体结构格架(如颗粒和灰泥的分布状况及层理特征)。包括 I 型的部分和 II 型的全部, 各剖面中均有分布, 以羌塘盆地布曲期宽大的中央分布带最为典型。

5.3 后生阶段(深埋阶段)

此阶段的沉积物埋藏较深, 已发生了明显的胶结作用, 因而孔隙水呈隔绝状态。白云化作用多沿构造裂隙或成岩孔隙发生。白云石为细至粗晶、半自形至自形晶, 交代结构极发育。此类白云岩在本区的分布较分散, 一般不成层成带。岩石类型属 II 型白云岩。

研究区上述三阶段白云化作用除了以某一阶段单独出现或起主导作用外, 有时还出现叠加现象。常见的叠加方式为: ①准同生白云化+成岩白云化, 从而形成各类泥—粉晶白云岩; ②成岩白云化+后生白云化, 从而形成各类粉—粗晶白云岩。

6 白云化作用机理(模式)

白云化作用机理(模式)多种多样。经研究认为 I 型白云岩以毛细管浓缩作用^[5](或蒸发泵作用^[6])为主; 而 II 型白云岩应以混合水白云化作用(模式)为主。

6.1 典型 I 型白云岩成因分析

研究区的 I 型白云岩以那底岗日剖面雀莫错组下石膏段(图 2)最具代表性。剖面共 8 层, 总厚 72.05 m。白云岩 6 层, 累计厚度 62.68 m。层序上白云岩和石膏呈互层产出。白云岩成层性较好, 缺乏生物化石、白云石晶粒较小(泥晶)且自形程度较差(它形粒状), 反映其形成环境蒸发作用强、盐度高、水体浅或暴露。

根据剖面的相序特点, 归纳出毛细管浓缩作用白云化模式(图 3)。该模式的关键因素为(近)暴露环境

和干旱气候。钙质沉积物中的孔隙水在毛细作用下背海向上运动。随着孔隙水不断向空气中散发, 近地表处的含盐度随之而升高, 正常的海水就变成了盐水。从盐水中首先沉淀出来的是石膏。由于石膏为富含 Ca 的矿物, 它的沉淀必然使孔隙水与表层积水的 Mg/Ca 比值大大提高。这种高镁的孔隙水或表层水若与钙质沉积物(多为文石或高镁方解石)长期接触, 将不可避免地使之被交代、被白云化, 使文石或高镁方解石变为白云石^[7]。这种潮上带经常是干的, 但在低洼处也可积水成为沼泽, 即膏坪微环境。这种由毛细管浓缩作用所形成的白云石, 一般是在原钙质沉积物刚沉积不久尚未脱离沉积环境就被交代而生成的, 故其白云化阶段为准同生阶段。

综上所述, 由毛细管浓缩作用形成的白云岩的特点为常与膏岩互层或共(伴)生; 结晶(交代)速度太快, 白云石晶粒细小且自形程度较差。研究区 I 型白云岩多具有这两个基本特点, 因而认为毛细管浓缩作用(模式)为其形成的主导作用机理。

层号	岩性剖面	各层基本特征	沉积相	
			微相	亚相相
8		浅灰色中层状泥—粉晶白云岩	潮间至潮上云坪	局限台地
7		浅灰色中层生屑泥—粉晶白云岩		
6		杂色膏溶角砾岩, 角砾成分多为泥晶白云岩	潮上云坪	台地蒸发岩
5		薄至中层状石膏岩, 夹极薄层泥晶白云岩	潮上膏坪	
4		浅灰色薄—中层状泥晶白云岩, 夹含灰泥晶白云岩	潮上云坪	
3		灰白色中—厚层状石膏岩, 偶夹泥晶白云岩	潮上膏坪	
2		浅灰色薄层状泥晶白云岩	潮上云坪	局限台地
1		浅灰色中层状砂屑泥—粉晶白云岩, 见透镜状层理	潮间云坪及潮道	

图 2 那底岗日剖面雀莫错组白云岩特征图

Fig. 2 Feature of dolomite of Quemocuo Formation in Nadigangri section

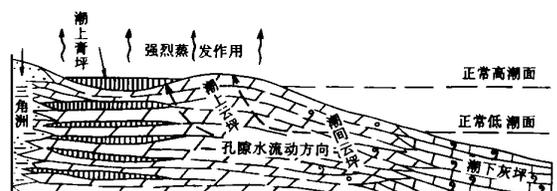


图 3 毛细管浓缩作用模式图

Fig. 3 The diagram of capillary concentration model

6.2 典型 II 型白云岩成因分析

研究区的 II 型白云岩分布较广, 以隆鄂尼西剖面布曲组最为发育。实测剖面共分 29 层, 总厚 218.66 m。白云岩累计厚度 202.91 m (图 4)。由两种基本的沉积层交互叠置构成: ①白云化层形成于浅水至暴露环境, 而钙结壳的出现则说明成岩环境中有大气淡水的加入; ②灰岩层形成于低能的稳定海洋环境, 水体含盐度基本正常或略偏高。相分析表明, 该沉积序列形成于局限台地, 前者微环境为潮间至潮上坪, 后者为潮间至潮下泻湖。

由此相序特点归纳出混合水白云化模式 (图 5)。该模式假定沉积区为水下隆起区 (双湖—多涌一带布曲期确为水下隆起区), 在海平面上升期, 沉积区被海水淹没。由于水动能较弱, 从而沉积了低能的富泥的泻湖相钙质沉积 (图 5A); 而在海平面下降期, 沉积区部分或全部露出水面, 在大气淡水和海水的混合作用带, 就会发生白云化作用。此时, 从上到下分布着三个孔隙水带 (图 5B)。上带为大气水成因的淡水透镜体, 其间有钙结壳形成, 白云化作用较弱; 中带为海水和大气淡水混合的半咸水带, 由于含盐度降低而 Mg/Ca 比值基本未变, 从而使得白云石大规模交代钙质沉积物 (岩); 下带为海水充填的咸水带, 原钙质沉积物 (岩) 只发生胶结作用而无白云化。

Folk 和 Land 提出控制白云石结晶作用的主要因素为溶液的含盐度、Mg/Ca 比值和结晶速度^[8]。有利于白云石结晶的条件为低的含盐度、高的 Mg/Ca 比值

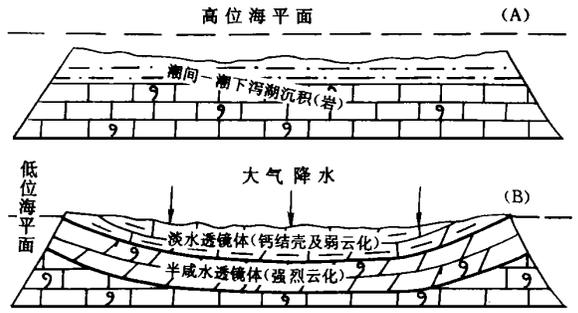


图 5 混合水作用模式图

Fig. 5 The diagram of mixed water model

和慢的结晶速度。对于淡水透镜体而言, 虽然介质具低盐度 (矿物结晶速度必然慢), 但 Mg/Ca 比值也较低, 因而少有白云石形成; 在咸水带, 虽具有不低的 Mg/Ca 比值, 但因其含盐度较高 (结晶速度也快), 故也不利于白云石结晶; 而在半咸水透镜体中, 海水因同大气淡水混合而稀释, 含盐度降低 (结晶速度也慢), 且 Mg/Ca 比值几乎未变 (因大气淡水中各种离子含量都很低), 从而白云化作用强。

综上所述, 由混合水白云化作用形成的白云岩, 多产于古水下隆起等正性单元, 且海平面又具明显的升降变化; 因环境中有大气淡水作用, 故不与蒸发岩相邻或共 (伴) 生, 而常伴有钙结壳; 因介质被稀释, 矿物结晶 (交代) 速度较慢, 故此类白云岩中的白云石一般晶粒较粗 (细—中晶为主)、自形程度也较高 (半自形)。研究区 II 型白云岩多具这三个特点, 因而认为混合水白云化作用 (模式) 为其生成的主导作用机理。混合水白云化阶段一般较毛细管浓缩作用白云化阶段要稍晚一些, 多为成岩阶段。

7 结论

通过对研究区白云岩的 74 个样品的岩性、岩性组合、氧同位素、结构特征、阴极发光特征、白云化阶段和白云化作用模式等方面的讨论, 获得以下认识:

- (1) 研究区白云岩时空分布具不均匀性; 羌塘盆地多于措勤盆地, 侏罗系多于白垩系。
- (2) 研究区白云岩岩石学特征为: 与膏岩有关的白云岩 (I 型) 晶粒细小, 自形程度低; 而与膏岩无关的白云岩 (II 型) 则晶粒粗大, 自形程度较高。
- (3) 通过系统的镜下观察、分析, 应用结构标志、氧同位素标志和阴极发光标志, 判定研究区白云岩非原生成因, 而均属于交代或白云化成因。
- (4) 根据白云石的晶体大小、形态及内部结构特征划分白云化阶段为准同生阶段、成岩阶段和后生阶段。

层号	岩性剖面	各层基本特征	沉积相		
			微相	亚相	相
5		浅灰—深灰色中—厚层状粉—中晶白云岩、生屑灰质白云岩、生屑云质灰岩, 藻席白云岩, 见钙结壳。	潮间至潮上坪		局限台地 碳酸盐台地
4		灰—深灰色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、生屑泥晶灰岩、灰质白云岩。	潮间至潮下泻湖		
3		浅灰—深灰色中—厚层状粉—中晶白云岩、云质灰岩、灰质白云岩、生屑灰质白云岩、生屑云质灰岩, 夹水平及波状藻纹层, 偶见钙结壳。	潮间至潮上坪		
2		灰、灰紫及灰黑色薄层状泥质泥晶灰岩、生屑泥晶灰岩, 夹钙质泥页岩。	潮间至潮下泻湖		
1		灰—深灰色中—厚层状粉—中晶白云岩、生屑灰质白云岩, 夹生屑泥晶灰岩、云质灰岩, 偶见钙结壳。	潮间至潮上坪		

图 4 隆鄂尼西剖面布曲组白云岩特征图

Fig. 4 Feature of dolomite of

Buqu Formation in Long'enixi section

(5) 通过观察各剖面, 选取典型剖面, 归纳出研究区白云岩的两种成因模式: 毛细管浓缩作用模式和混合水作用模式。

(6) 通过沉积相分析认为: 羌塘盆地双湖—多涌地区在布曲期为水下隆起, 覆水浅, 常出露水面。受大气淡水淋滤作用, 形成厚层粒状白云岩(属于成岩阶段白云岩), 孔渗性较好, 是极佳的储集层(隆鄂尼西古油藏和日尔尔保古油藏已在此区发现, 证实了观点的正确性)。因此, 该区是最有利的勘探靶区。

参 考 文 献

1 Longman N W. Carbonate diagenetic textures from near surface diagenetic environment[J]. AAPG Bull. 1980, 64: 461~487

2 冯增昭等. 中国沉积学[M]. 北京: 石油工业出版社. 1994. 10. 212~224

3 Degens E T, Epstein S. Oxygen and carbon isotope ratios in coexisting calcites and dolomites from recent and ancient sediments[J]. Geochim. Cosmochim. Acta 1964, 28: 23~44

4 冯增昭. 华北地台早古生代岩相古地理研究[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 95~113

5 弗里德曼 G M, 桑德斯 J E. 白云岩的成因及产状[M]. 冯增昭译. 第一版. 北京: 石油工业出版社, 1978. 1~39

6 Hsu K J, Siegenthaler C. Preliminary experiments on hydrodynamic movement induced by evaporation and their bearing on the dolomite problem[J]. Sedimentology, 1969, 1~2: 11~25

7 Bathurst R G C. Carbonate sediments and their diagenesis. Developments in sedimentology[M]. Els. Publ. Com. 1971, 12: 1~7

8 福克 R L, 兰德 L S. 控制白云石结晶的两个因素: Mg/Ca 比值和盐度[A]. 王尧译. 国外地质. 1977. 10: 105~136

Character Study and Analysis of Dolomite of Mesozoic in Qingzang Plateau

WANG Xing-tao¹ ZHANG Qing-shi²

ZHANG Ji² ZHOU Shu-xin¹ LI Jing-wei³

1(Daqing Petroleum Institute, Anda Heilongjiang 151400)

2(Research Institute of Exploration and Development, Daqing Petroleum Administration Bureau, Daqing Heilongjiang 163212)

3(Institute of Geology, No. 5 Oil Production Plant, Daqing Petroleum Administration Bureau, Daqing Heilongjiang 163414)

Abstract

After dolomites of Qiangtang Basin and Cuoqin Basin in Qingzang Plateau are observed and described in the field, vertical and horizontal distribution rules of dolomite in the study area are reduced. Applying structure index, cathode shining index and oxygen isotope index, genesis of dolomite are effectively judged by use of systematically indoor analysis and laboratory test method. Then it is concluded that dolomites of the study area are all produced by metasomatism or dolomitization, not originally. According to size and shape of crystals and inner structure of dolomites, dolomiting phase are divided into three phases: quasi-contemporaneous phase, diagenesis and catagenesis. Features of each phase are introduced. It is found that dolomites formed in diagenesis can be a good reservoir rock. Through selecting typical sections, two kinds of genetic models of dolomite in the study area are put forward, i. e. capillary concentration model and mixed water model.

Key words Qingzang Plateau dolomite oxygen isotope cathode shining metasomatism dolomiting phase genetic model