

文章编号:1000-0550(2004)04-0588-09

# 黔东南地区寒武系碳酸盐岩成岩作用分析

邓长瑜<sup>1</sup> 张秀莲<sup>1</sup> 陈建文<sup>2</sup> 王 贤<sup>3</sup>

1(北京大学地质系 北京 100871)2(大庆油田公司第二采油厂 黑龙江大庆 163459)

3(新疆油田公司勘探开发研究院 乌鲁木齐 830011)

**摘 要** 黔东南地区寒武系地层是典型的碳酸盐岩地层。分布广泛且有较好的储层。为了更好地了解该地层的岩性、孔隙状况等地质特征,以贵州东部三都—丹寨剖面寒武系地层为例,分析了各组段的岩石学特征,确定了其沉积环境,在此基础上对形成现有岩石孔隙等特征的相应的成岩作用进行了分析。指出白云化作用是该区的主要成岩作用,主要表现在中寒武统都柳江组—在准同生白云化作用下形成大套厚层的白云岩。埋藏溶解作用形成的次生溶孔是该区中上寒武统的典型特征,有利于改善碳酸盐岩的储层物性。重结晶作用、压溶作用等对储层孔隙的形成也起到重要作用,并列出了黔东南地区寒武系地层各层组的成岩演化史。

**关键词** 黔东南 寒武系 碳酸盐岩 体系域 滑塌 白云化 溶孔

**第一作者简介** 邓长瑜 女 1972 年出生 硕士 岩石学、矿物学及矿床学

**中图分类号** P588.24<sup>+</sup>5 **文献标识码** A

## 1 引言

碳酸盐岩成岩作用控制了沉积物的结构和组分的转化,决定了岩石中孔隙的形成和演化,对碳酸盐岩改造较大。成岩作用类型取决于碳酸盐岩的成岩环境,而成岩环境与沉积环境是紧密继承并衔接的,也就是说成岩环境在一定程度上是受制于沉积环境的;此外成岩环境与地层的埋藏及抬升暴露亦密切相关。因此,从沉积环境入手,进而分析与其密切相关的成岩环境和在该成岩环境中发生的成岩作用有利于全面准确地掌握碳酸盐岩的岩石学特征和地层的储层物性。

滇黔桂三省区是典型的碳酸盐岩分布区。对于该区碳酸盐岩的分布特征、构造演化、地层及岩相特征等前人已作了大量的研究,但对其成岩作用、成岩环境做详尽而深入的研究尚不多见。本文以三都—丹寨剖面为例,对黔东南地区寒武系碳酸盐岩的层序、沉积环境和成岩作用进行了较为深入的分析。

## 2 地层

### 2.1 概述

滇黔桂地区包括滇东地块、川黔地块、云开地块和湘桂地块。在地质历史中,经历了晋宁—加里东期

各地块拼合的大陆增生阶段、海西—印支期槽—台和盆地形成阶段、燕山、喜山期板体间挤压和整体抬升阶段。晋宁事件后,滇东地块和川黔地块合并,组成扬子地块。晚震旦世开始,形成滇黔桂海盆,沉积了从内陆架盆地到边缘盆地持续发育的寒武系碳酸盐岩和盆地相泥质岩序列,沉积相具有显著的东西分带特征。从西向东由台地相过渡到盆地相。位于黔东南地区的三都—丹寨剖面位于由台地向盆地过渡的斜坡相带<sup>[1]</sup>(图 1)。

本地区早寒武世发生地壳拉张活动,海平面上升,古地形西高东低,水体西浅东深。早期物源供给不足,沉积了一套黑色泥质岩,中期海底坡度增大,西部是碎屑为主的砂坪沉积,黔东一带出现藻屑滩,桂东南地区发育了深水环境下的砂泥岩快速堆积,晚期西部古陆平原化,陆源物质减少,碳酸盐岩台地形成。中晚寒武世海域缩小,碳酸盐岩台地向东南拓展,环境闭塞,沉积了一套含膏盐的白云岩。

总体来说,寒武纪经历了早期海平面上升,中晚期海平面下降两个大的阶段。

### 2.2 地层岩石学特征

上寒武统三都组,厚 230.3 m。基本上由灰岩组成,上部有少量云质、含云质灰岩。以砂砾屑灰岩为主,泥晶灰岩次之,陆源砂、泥常见,形成粉砂质灰岩、

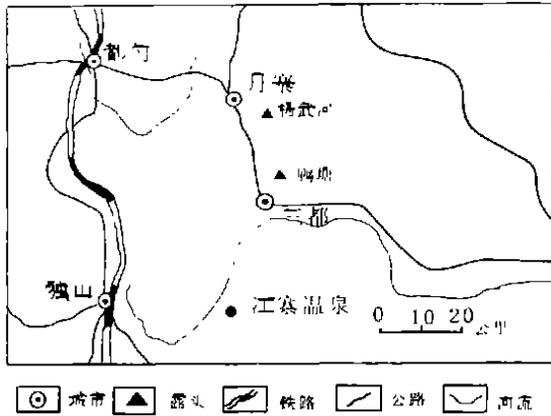


图 1 工区位置图

Fig. 1 The location of the study area

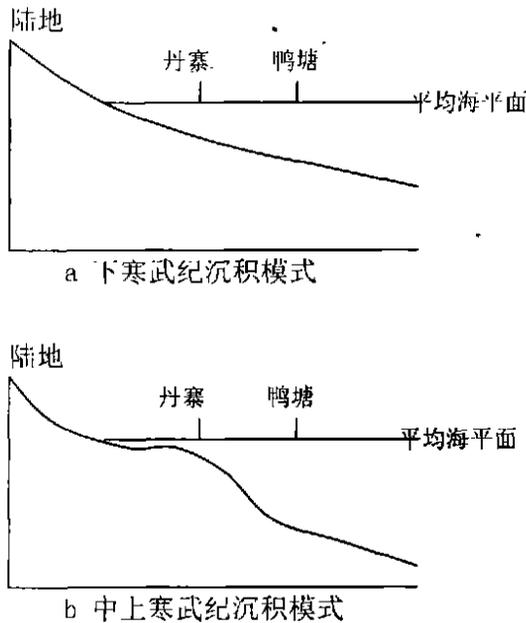


图 2 黔东南地区海盆变迁和沉积演化示意图

Fig. 2 The variety of sea basin and evolution of deposition in the southeast of Guizhou province

泥质灰岩等。

中上寒武统杨家湾,厚 555.88 m。上部多为泥晶灰岩、云泥质泥晶灰岩、砂砾屑灰岩、云质砾屑灰岩,中部多为砂砾屑白云岩、颗粒含云灰岩、砾屑灰岩、砾屑云质灰岩、残余颗粒细晶云岩、砾屑粉晶云岩,夹有泥晶灰岩、泥质灰岩,下部多为砾屑灰岩、云泥质条带泥粉晶灰岩、砂泥质泥粉晶灰岩、颗粒灰岩、砂屑灰岩、砂砾屑云质灰岩,残余砂屑细晶云岩、条带状泥晶灰岩。

中寒武统都柳江组,厚 733.30m。中上部以白云岩为主,如泥粉晶白云岩、(含)砾屑白云岩、粉砂质白云岩、(含)砾屑灰泥质白云岩、灰质白云岩、砂泥质白云岩、粉屑白云岩等,间夹一些泥晶灰岩、颗粒(砾屑、砂屑)泥晶质岩及一些云质灰岩,底部为页岩、泥岩、粉砂岩<sup>[2]</sup>。

下寒武统渣拉沟组为灰黑色粉砂质、炭质泥岩,含分散状黄铁矿。

丹寨杨武河剖面杨家湾组和三都组为上斜坡沉积,都柳江组为下斜坡沉积,三都鸭塘剖面为下斜坡沉积。

### 2.3 层序划分

海平面的相对变化直接影响碳酸盐岩的沉积特征和早期成岩作用特征,进而间接影响碳酸盐岩的后期成岩作用。所以搞清楚地层的层序划分,也就知道了地层的沉积演化史,并为进一步分析其沉积、成岩环境奠定了基础。

本地区各段地层沉积时的海平面变化为,渣拉沟组沉积时海平面上升,都柳江组沉积时海平面上升后期缓慢下降,杨家湾组沉积时海平面快速下降,三都组早期上升,后期下降。

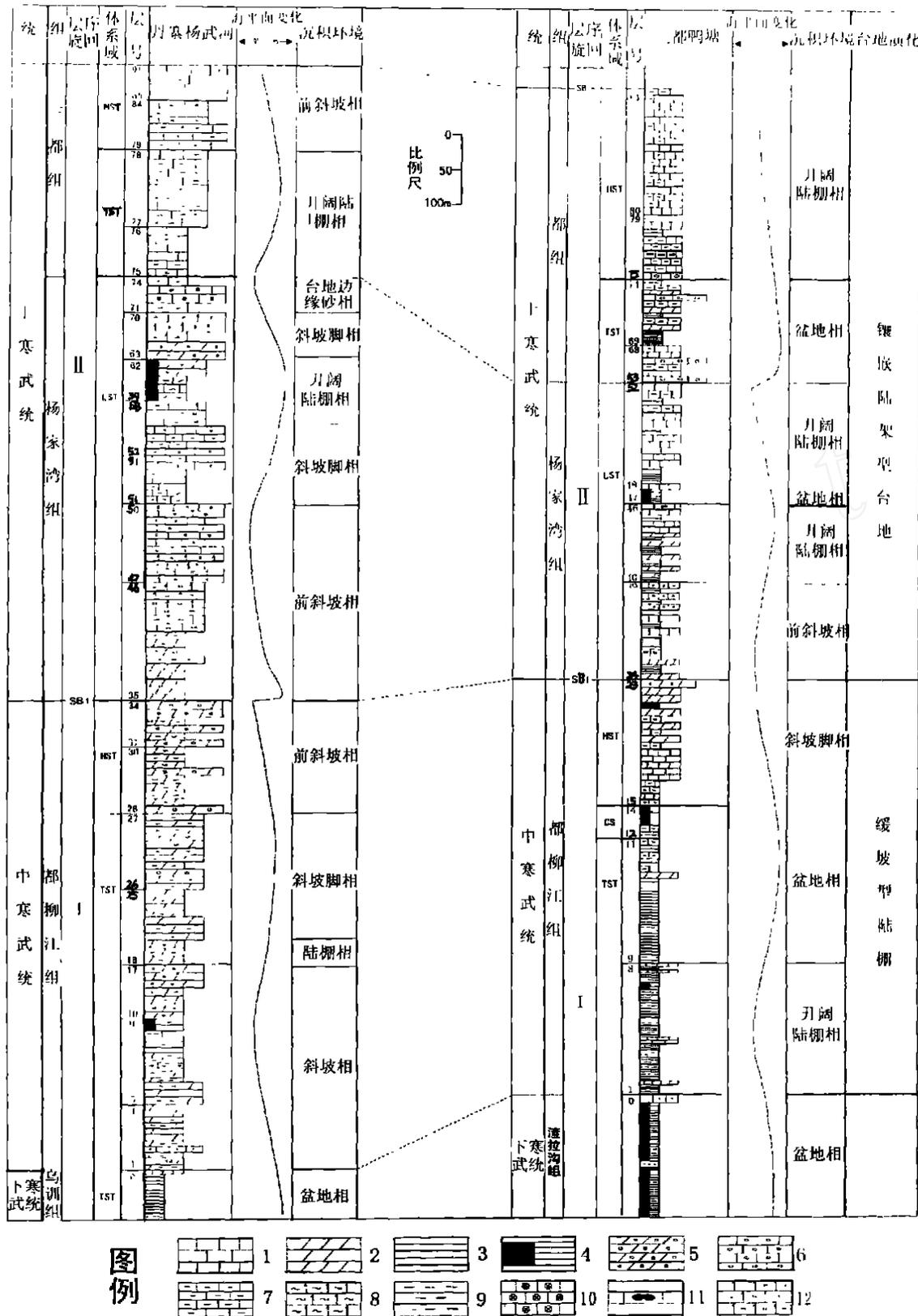
与海平面变化相对应,寒武系共分两套层序。下寒武统的渣拉沟组和中上寒武统的都柳江组为第一套层序(层序 I),中上寒武统的杨家湾组和上寒武统的三都组为第二套层序(层序 II)。其中,第一套层序中渣拉沟组为海平面上升期的海侵体系域,都柳江组灰岩和白云岩段构成高水位体系域,扬子地块在中晚寒武世已形成了相当规模的台地,沉积了巨厚的白云岩,说明碳酸盐岩台地形成过程中海平面持续下降。层序 II 底部无明显的低水位体系域沉积,可认为是不太完整的一个层序。第二套层序中杨家湾组为低水位体系域,三都组下部为海侵体系域,上部为高水位体系域。第二套层序中低水位体系域特征较明显,且低水位期杨家湾组沉积的大量砾屑是斜坡相沉积的典型特征。本层序杨家湾组低水位体系域与下伏体系域接触面构成 I 型边界(图 3)。

下面结合海平面的相对变化,对本地区各个层序中的地层的沉积环境进行分析。

## 3 各层序的沉积环境分析

### 3.1 层序 I 及其沉积环境

早寒武世的地壳拉张活动导致海平面上升,渣拉沟组沉积了炭质页岩、粉砂质页岩、硅质岩,为还原环



1. 灰岩 2. 白云岩 3. 粘土岩 4. 炭质页岩 5. 砾屑白云岩 6. 砾屑灰岩 7. 泥质灰岩 8. 纹层状云质灰岩 9. 泥岩 10. 鲕粒灰岩  
11. 瘤状灰岩 12. 含粉砂云质灰岩 SB<sub>1</sub> I型层序界面 SMST. 陆架边缘体系域 TST 海侵体系域 HST. 高水位体系域 CS 凝缩层

图3 丹寨杨武河—三都鸭塘中上寒武统层序地层划分

Fig. 3 The sequence stratigraphy division of upper and middle Cambrian in Danzhai, Yangwuhe and Sandu, Yatang

境,是海侵体系域的特征。地层发育水平层理、纹层。渣拉沟组与下伏震旦世为不整合接触,沉积层为低速沉积的薄层页岩,为海平面上升时期的海侵体系域凝缩层。

中晚寒武世都柳江组沉积时,海平面迅速上升而后缓慢下降。迅速上升后,沉积一套页岩、泥岩、粉砂岩为主的碎屑岩。随着海平面下降,由于障壁作用海水偏咸,发生回流渗透云化形成云泥质条带泥晶灰岩、粉晶灰岩、白云质泥岩薄层、深灰色粉晶灰岩夹钙质泥岩。随着水体继续变浅,白云质砾屑和灰岩砾屑相对减少,纹层发育。都柳江组上段沉积物的沉积环境主要为蒸发台地环境很少被海水覆盖,准同生白云化作用较强。由于该带陆源物质丰富,所以形成的准同生白云岩中含有较多的粘土泥。

### 3.2 层序 及其沉积环境

中上寒武统的杨家湾组为低水位沉积体系域。由砾屑灰岩、泥质条带微晶灰岩、泥质灰岩组成。砂、砾屑混杂,分选、圆度差。厚层块状层理,多为角砾状灰岩、砾屑云岩,夹有角砾状白云岩、灰质云岩或云质灰岩,砾屑灰(云)岩较下伏岩层明显增多,砂、砾屑多无分选,杂乱堆积。薄层条带状以及少量中层者多为粉砂质(或砂质)白云岩,少数为粉晶云岩及粉晶灰质云岩。岩石中见到大型滑塌构造崩塌作用是低水位期陆架边缘到大陆坡的典型特征。大陆坡的崩塌作用在海相环境中普遍,在碳酸盐岩大陆坡上可发生巨大的侵蚀作用,导致大陆坡和陆架边缘大量沉积物顺坡向下,重新沉积。野外宏观岩石的大型角砾及室内微观岩石的细碎角砾说明本区寒武系杨家湾组为斜坡相沉积。本地区杨家湾组的某些砾屑是由碳酸盐台地上同期异相的白云岩滑落到台缘的灰岩中,被灰岩包裹,共同滑到斜坡带而形成的。

杨家湾组的沉积环境主要为台地前缘斜坡相,后期由于相对海平面快速下降,地层暴露或接近于水面,演化为淡水成岩环境。杨家湾组的淡水成岩环境可由

同位素分析得出。

$^{13}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}$ 受沉积水体盐度的影响较大,一般情况下,随着盐度的增大, $^{13}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}$ 值趋于增大。所以可以通过 $^{13}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}$ 值判断沉积水体的古盐度。

$^{13}\text{C}$ 、 $^{18}\text{O}$ 值随盐度增大而增大,其主要原因是蒸发作用优先带走了 $^{12}\text{C}$ 、 $^{16}\text{O}$ 轻的同位素。另外, $^{13}\text{C}$ 值与沉积水中 $\text{CO}_2$ 的来源有关:比如,淡水中的 $\text{CO}_2$ 多来自土壤和腐质,其碳酸盐沉积物的 $^{13}\text{C}$ 值是高负值,多介于 $-5\text{‰} \sim -15\text{‰}$ (PDB)之间,而海相石灰岩的 $^{13}\text{C}$ 直介于 $-5\text{‰} \sim +5\text{‰}$ (PDB)之间。

总体来说,我们可以通过下面的公式求解Z值来判断沉积水体盐度,

$$Z = 2.048 \times (^{13}\text{C} + 50) + 0.498 \times (^{18}\text{O} + 50)$$

$Z > 120$  时为海相石灰岩

$Z < 120$  时为淡水石灰岩

由表1可知,杨家湾组碳酸岩盐沉积为海相沉积, $^{13}\text{C}$ 值介于 $-2\text{‰} \sim -0.4\text{‰}$ (PDB)之间。但也有样品 $^{13}\text{C}$ 值近于 $-5\text{‰}$ ,如 $^{13}\text{C}$ 值为 $-4.92\text{‰}$ (PDB)的砾屑云岩(W-12砾屑灰岩),但仅仅根据该样品的 $^{13}\text{C}$ 值近于 $-5\text{‰}$ (PDB),就认为其是淡水沉积是不妥的,一般说来该砾屑云岩是淡水沉积的可能性是非常小的,可能是在成岩阶段受到淡水作用的影响造成其 $^{13}\text{C}$ 值偏低,这些岩石可称为“海相淡成石灰岩”,即岩石的颗粒组份是海相成因的,在成岩过程中被大气淡水胶结。说明杨家湾组地层曾受淡水淋滤作用。

表1中的温度值由下式计算:

$$t = 16.9 - 4.38(^{13}\text{C} - ^{18}\text{O}_w)$$

其中, $^{13}\text{C}:3\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_3\text{PO}_4$ (100%) =  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ 中的 $\text{CO}_2$ 的 $^{13}\text{C}$ 值

$^{18}\text{O}$ 值随温度的增大而减小,但该值受成岩作用的影响很大,所以该公式计算出的温度值不能准

表1 杨家湾组岩石样品同位素分析

Table 1 Isotopic composition of rock samples in Yangjia wan Formation

样品编号	W-7	W-9	W-10	W-12	W-13	W-14	W-15	W-16
岩石名称	砾屑灰岩	砾屑灰岩	砂屑云岩	砾屑云岩	砾屑云岩	云岩	砾屑云岩	细晶云岩
$^{13}\text{C}$ (PDB)/ ‰	-0.97	-0.83	-1.17	-4.92	-2.02	-1.25	-2.82	-1.30
$^{18}\text{O}$ (PDB)/ ‰	-9.61	-10.08	-8.84	-10.41	-10.51	-9.25	-8.97	-9.46
t/	54.103	57.228	49.086	59.451	60.129	51.741	49.924	53.105
Z值	120.528	120.580	120.502	112.040	117.929	120.134	117.058	119.927

确地代表古温度,但可以指示成岩强度。成岩强度越强, $t$ 值越高。淡水淋溶作用也是成岩作用,但其作用多发生在地表的渗流带,其计算温度较低,表中计算出的 $t$ 值偏小,可以判断杨家湾组经历过淡水淋滤成岩环境<sup>[3]</sup>。(表1中碳、氧同位素分析数据来自石油勘探开发科学研究院中心实验室。岩石样品为全岩样,受成岩作用影响较强。)

晚寒武世三都组下部为云质灰岩,属海侵体系域,下段底为厚层泥质云岩,局部见云泥质条带,见有小砾屑灰岩,砾屑分布不均匀。上段为薄层泥质白云岩。有硅质碎屑的输入,但输入量不大,难以形成页岩密集段。三都组中段底为块状灰岩,是高水位期沉积。灰岩中偶见砾屑,夹薄层泥质灰岩,中段底部有漂砾混和斑块透镜体,上段为白云岩。晚寒武统三都组沉积时海水盐度正常,多形成灰岩。当沉积环境为开阔台地时,由于海水流动受到局限,且不断的蒸发致使海水盐度偏高,形成少量云岩。

从上述可知,黔东南地区寒武系的岩石类型十分丰富,其中都柳江组以白云岩为主,杨家湾组以灰岩为主,三都组以灰岩为主。

综上所述,不同的岩石类型形成于一定的沉积环境,都柳江组主要形成于咸化海水的开阔台地相,杨家湾组是在以台地前缘斜坡为主的沉积环境中沉积的,且海水盐度正常,三都组沉积时相对海平面由高到低渐变,沉积环境为台地斜坡。

而这些沉积环境必然制约着其后的成岩环境,进而决定了各岩层段的成岩作用<sup>[5]</sup>。

## 4 成岩作用分析

### 4.1 概念及研究方法

碳酸盐岩是形成于不同沉积环境的碳酸盐沉积物在其后的成岩环境中经历各种复杂成岩作用的综合产物,其组构、成分和岩层宏观特点均与其所处成岩环境和成岩作用类型、强度密切相关。海相碳酸盐岩分布广泛,在漫长的地质演化历史中,岩石遭受各类成岩作用,形成了海相碳酸盐岩的独特的地质特点。碳酸盐岩的成岩类型随成岩环境的变迁而不断改变<sup>[4]</sup>,比如台地边缘浅滩的海底成岩环境经常发生具有世代的栉壳状胶结,而开阔台地的海底成岩环境(低能海水)则易发生等厚环边胶结;淡水渗流带常见新月型、重力胶结,而淡水潜流带则常见三向近等长的粒状胶结。此外,不同成岩阶段也有其典型的成岩作用,如沉积物脱离介质,进入地表成岩环境到深埋

藏期之前,主要发生准同生白云石化作用、压实作用、溶解作用、胶结作用。深埋藏阶段主要成岩作用包括压溶作用、白云岩重结晶作用、埋藏云化作用、埋藏溶解作用等<sup>[6,7]</sup>。

成岩作用使沉积物的矿物成份、结构组分、沉积构造等发生程度不同的变化,并可使原岩的储集性能发生较大的改变,对原生孔隙或堵塞、或残留、或扩大,并且可产生一系列的成岩孔缝,从而对岩石储集性能给予了改善,这种改善对碳酸盐岩的储层物性是至关重要的<sup>[8,9]</sup>。本区最大的成岩变化是咸水云化,其它的成岩作用有压实作用、重结晶作用、压溶作用、有机溶解作用、埋藏云化作用、胶结作用及硅化作用。

### 4.2 寒武系各层段成岩作用分析

早寒武世渣拉沟期海水较深,为还原沉积环境。沉积物以碎屑岩为主,不在本文的成岩作用研究之列。

下面结合寒武系各层组的成岩环境对其成岩作用进行分析。

#### 4.2.1 中寒武统都柳江组

中寒武世都柳江期开始沉积碳酸盐岩。都柳江期主要经历海侵期和高水位期。海侵期水体较深,不适于碳酸盐岩发育,沉积细粒碎屑岩,高水位期由于本地区的基底构造抬升变形,形成开阔台地,随着海平面持续下降,本区沉积环境演变为蒸发台地环境,上覆地层沉积后,都柳江组处于埋藏及深埋藏阶段,其成岩作用的序次为咸化海水环境下的准同生白云化作用,淡水潜流环境下的胶结作用、溶解作用,埋藏环境下的溶解、充填作用、压溶作用。这一演化序列的岩性表现是:泥粉晶白云岩 灰质云岩 细晶云岩、残余颗粒细晶云岩(图版 -1)。

准同生云化作用:

都柳江组的白云岩形成于成岩阶段早期,成岩作用为准同生云化作用(图4)。在受局限的开阔台地的海底环境,海水能量低,且因闭塞水流不畅而使海水偏咸,沉积的灰泥在尚未脱离沉积水体时,在沉积物与水体的界面处发生了沉积水体中的 $Mg^{2+}$ 置换组成沉积物的 $CaCO_3$ 矿物晶体(文石、高镁方解石、方解石)中的 $Ca^{2+}$ ,使其晶格和化学成份发生变化,从而变成配比理想、严格有序的白云石。回流渗透云化作用是该类白云化作用方式之一,其作用过程是高盐度、高 $Mg/Ca$ 比值的重盐水在向广海方向沿底部回流时,在重力的作用下向下渗透,在渗透过程中对松散沉积物进行交代,即 $Mg^{2+}$ 交代 $Ca^{2+}$ ,从而发生白

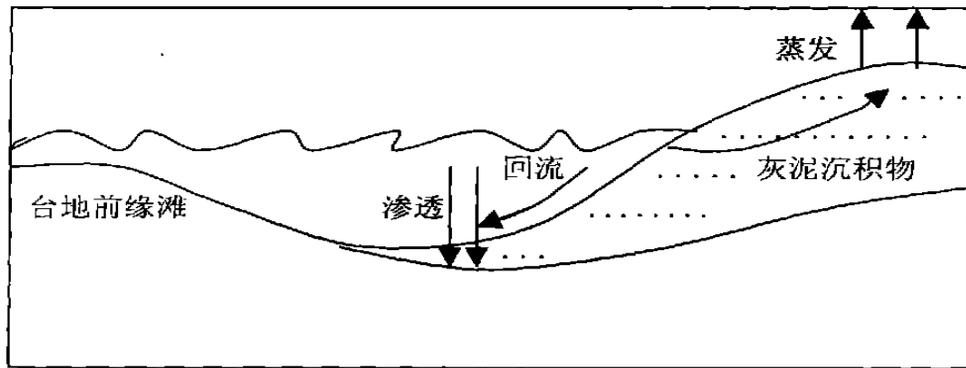


图4 准同生云化作用图解

Fig. 4 Model of penecontemporaneous dolomitization

云石化,该种机制形成的粉晶白云岩含陆源砂泥较多,该相带水流不畅,且存在于氧化界面之下,常形成黄铁矿晶体,本区颗粒云质灰岩的形成机理与粉晶白云岩大致相同,但粉晶白云岩是灰泥沉积物发生准同生白云化,而当向下回流渗透的高盐度海水穿过颗粒沉积物时,也会发生白云岩化,但只是在颗粒内部发生白云石交代,而粒间未被作用。在蒸发潮坪沉积环境,沉积物虽已基本脱离了沉积水体,但灌流于质点之间的成岩流体仍然来自于原始沉积水体,原始沉积水体的运移动力是蒸发泵吸。潮上坪沉积物的粒间水不断被蒸发消耗,海水从侧下方不断供给,使粒间水高度浓缩,盐度变大, $Mg/Ca$  比值随之增大,致使  $Mg^{2+}$  交代  $Ca^{2+}$  持续进行,形成层理薄、分布广泛的泥粉晶白云岩<sup>[2,10]</sup>。本区的准同生白云岩含有较多的陆源物质(粉砂和泥),具有水平纹层,藻席较发育,腐烂后形成还原微环境,使黄铁矿沿层发育(图版 -2)。准同生云化的结果是晶间微孔,进入埋藏成岩阶段后,这些微孔经重结晶作用扩张为晶间孔,再经埋藏溶解作用形成晶间溶孔。

#### 压溶作用:

都柳江组岩石中缝合线构造发育(图版 -3),是压溶成岩作用的典型标志。压溶作用是压实作用的进一步演化,既有物理作用,又有化学作用。产生压溶作用的压力主要是上覆沉积物的静压力,压力垂直于层面,其压溶面平行于层面,在应力作用下,压溶面的碳酸盐岩发生溶解作用,形成缝合面,因为界面处的矿物组分不同或颗粒的溶解度不同而在垂直于缝合面的断面上形成齿状形态的压溶缝,在可溶组分被溶解迁移的同时,一些不溶组分(如铁泥质)便残积

于缝合线附近,使缝合线清晰可辨<sup>[11]</sup>。本区所见的缝合线规模有大有小,多是在静水压力作用下形成的水平缝合线。

#### 4.2.2 中寒武统杨家湾组

中寒武世杨家湾期地壳构造运动造成海底坡度增大,水体较深,为台地前缘斜坡沉积环境。随着沉积物的堆积,相对海平面迅速下降,形成淡水潜流成岩环境。低水位体系域沉积物沉积后,便发生海平面上升后的海侵,沉积物被上覆地层埋藏。

杨家湾组从沉积到埋藏成岩经历了胶结、压实、充填、压溶、重结晶、埋藏溶解等成岩作用。岩性演化序列是:泥晶灰岩 泥粉晶灰岩、细晶云岩、残余颗粒细晶云岩。

#### 重结晶作用:

对杨家湾组影响较大的成岩作用是重结晶作用,在各个成岩变化阶段中都可以发生。在准同生阶段,泥晶基质不发生重结晶,随着埋藏不断加深,泥晶重结晶为细粉晶结构,此时沉积物已处于成岩早期,成岩作用进行相当长的时间后,各种成岩作用在岩石中均有明显的效应,重结晶的晶体已生长得较粗大,结晶成粗粉晶-细晶,对原始结构破坏较剧烈,只见一些残余结构<sup>[12]</sup>。杨家湾组重结晶作用主要表现为白云石晶体的长大,从粉晶到细晶,发生于深埋藏阶段。岩石类型为细晶白云岩、残余颗粒细晶云岩及中晶白云岩等。此种细晶白云岩比起重结晶前的粉晶白云岩,其晶间孔要大得多,晶间孔中多见沥青,说明这些孔隙曾是油气的运移和聚集场所<sup>[13]</sup>。

#### 埋藏溶解作用:

埋藏溶解作用是造成杨家湾组岩石物性改善的

最主要的成岩作用。这种溶解作用是由深埋藏成岩环境中存在的酸性—弱酸性的成岩流体溶解灰、云岩形成的。本区是斜坡相沉积,富藻台地相碳酸盐岩在斜坡上再次沉积后被迅速埋藏,因埋藏较快,有机质保存较好,在高温下易发生脱羧基作用,形成酸性介质及具溶蚀能力的成岩流体,发生有机溶解作用,即造成灰、云岩的  $\text{CaCO}_3$ 、 $(\text{Ca}, \text{Mg})(\text{CO}_3)_2$  成分被溶解,形成埋藏次生溶孔<sup>[14, 15]</sup>。

#### 4.2.3 上寒武统三都组

晚寒武世三都期海平面上升,沉积环境为盆地斜坡。随后海平面下降,沉积物处于淡水渗流带(发生重力胶结)和淡水潜流带;而后地层下降进入埋藏期,发生压实、破碎、变形、嵌入、应变重结晶、压溶、调整云化等成岩作用。其导致的岩性演化序列是:颗粒沉积物或尚无第二世代胶结物的颗粒灰岩—淡水胶结或海水与淡水混和胶结—灰岩重结晶、埋藏云化斑块。三都组中部见压溶作用形成的缝合线,埋藏溶解作用也是该层组的主要成岩作用。

## 5 结论

由以上分析可得出如下结论:

(1) 黔南地区寒武系地层有两大套层序,五个体系域。其中,都柳江组为相对海平面上升时的海侵体系域和高水位体系域沉积,杨家湾组为低水位体系域沉积,三都组为海侵和高水位体系域沉积。杨家湾组和三都组共同构成一套层序,杨家湾组与下伏地层之间为 *型* 边界。

(2) 主要沉积环境有正常海水的台地前缘斜坡(杨家湾组和三都组中期沉积)和咸化海水的开阔台地、蒸发台地沉积环境(都柳江组和三都组后期沉积)。

表2 寒武系成岩环境和孔隙演化

Table 2 The diagenetic environment and porosity evolution in Cambrian strata

	埋藏	埋藏溶解	溶孔晶间孔
三都组 3 <sup>s</sup>	大气淡水潜流	胶结作用、溶解作用	粒间溶孔
	正常海水	胶结作用	
杨家湾组 2-3 <sup>y</sup>	埋藏	重结晶作用	溶孔晶间孔
	大气淡水潜流	胶结作用、溶解作用	粒间溶孔
	正常海水	胶结作用	
都柳江组 2 <sup>d</sup>	埋藏	埋藏溶解、重结晶作用、压实作用	溶孔晶间孔
	咸化海水	准同生作用	晶间微孔

(3) 本地区的成岩环境有:海水渗流、潜流环境,大气淡水的渗流、潜流环境,埋藏环境<sup>[16]</sup>,本区主要的成岩作用有准同生白云化作用、胶结作用、重结晶作用、埋藏溶解作用。其中,都柳江组的准同生白云化作用是本区最为典型的成岩作用。本区淡水潜流带胶结作用较强,多为粒状的淡水方解石胶结(图版-4)。重结晶在中上寒武统杨家湾组地层中作用较强。埋藏溶解作用是本区埋藏成岩阶段典型的成岩作用,多发生于中上寒武统。

(4) 准生白云化作用形成的泥粉晶白云岩具晶间微孔,细晶白云岩具晶间孔。重结晶作用在中上寒武统杨家湾组地层中形成的晶间孔(图版-5)中见沥青,是较好的油气聚集场所。埋藏溶解作用是形成晶间溶孔(图版-6)的主要成岩作用。中上寒武统杨家湾组压实、压溶作用形成的缝合线较发育。

成岩环境和相应的成岩作用及孔隙演化的关系见表2<sup>[17]</sup>。

#### 参考文献(References)

- 杨惠民,等. 滇黔桂海相碳酸盐地区最佳油气保存单元的评价与选择. 贵阳:贵州科技出版社,1999. 163~177 [Yang Huimin, et al. The Evaluation and Choice of the Best Oil and Gas Reserve Unit in Dian Qian Gui Marine Carbonate Rocks Area. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1999. 163~177]
- 张秀莲. 论斜坡相碳酸盐岩的含油气性. 见:李茂松. 北京大学国际地质科技学术研讨会论文集. 北京:地震出版社,1988. 684~692 [Zhang Xiulian. The Discussion of Petroliferous Characteristics for Carbonate Rocks of Slope Facies In: Li Maosong. The Thesis Collection of International Geology Science and Technology Academic Symposium in Peking University. Beijing: Earthquake Press, 1988. 684~692]
- 张秀莲. 碳酸盐岩中氧、碳稳定同位素与古盐度、古水温的关系. 沉积学报, 1985, 3(4): 17~28 [Zhang Xiulian. Relationship between carbon and oxygen stable isotope in carbonate rocks and paleosalinity and paleotemperature of seawater. Acta Sedimentologica Sinica, 1985, 3(4): 17~28]
- 王英华, 黄志诚, 王国忠, 梁百和. 中、下扬子区海相碳酸盐岩成岩作用研究. 北京: 科学技术文献出版社, 1991. 4~11 [Wang Yinghua, Huang Zhicheng, Wang Guozhong, Liang Baihe. The Study of Diageneses of Marine Carbonate Rocks in the Lower-Middle Yangtze Region. Beijing: Science Technology Reference Press, 1991. 4~11]
- 张秀莲, 于德龙, 王贤. 湖北宜昌地区寒武系碳酸盐岩岩石学特征及沉积环境. 古地理学报, 2003, 5(2): 152~161 [Zhang Xiulian, Yu Delong, Wang Xian. The petrographic characteristics and sedimentary environments of carbonate rocks of the Cambrian in Yichang area, Hubei Province. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(2): 152~161]
- 王英华, 张秀莲, 杨承运. 华北地区早古生代碳酸盐岩岩石学. 北京: 地震出版社, 1988. 73~101 [Wang Yinghua, Zhang Xiulian, Yang

- Chengyun. The Petrographic of Carbonate Rocks of earlier Palaeozoic in Hua Bei Area. Beijing: Earthquake Press, 1988. 73 ~ 101]
- 7 Zhang Xiulian. Types and spatio-temporal distribution of the shoal facies in the lower middle Yangtze area, China. *Scientia Geologica Sinica* 2000, 9, 71 ~ 79
  - 8 Zhang Xiulian, Jiang Lingzhi. Diagenesis and reservoir characteristics of shoal facies in the Middle and Lower Yangtze Area. *Scientia Geologica Sinica*. 2000, 9: 295 ~ 302
  - 9 Zhang Xiulian, Jiang Lingzhi. Research on diagenesis of Cambrian shoal facies carbonate rocks in the Xidong Area, Hubei Province. *Acta Geologica Sinica*, 2001, 75: 161 ~ 174
  - 10 翟永红, 郭建华, 刘生国. 塔中地区石炭系碳酸盐岩成岩作用与储层评价. 江汉石油学院学报, 1995, 17(3): 13 ~ 18 [Zhai Yonghong, Guo Jianhua, Liu Shengguo. Diagenesis and reservoir evaluation of Carboniferous carbonate reservoirs in Tazhong area. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 1995, 17(3): 13 ~ 18]
  - 11 杜森官. 中国南方东部震旦系碳酸盐岩成岩作用. 安徽地质, 1997, 7(2): 2 ~ 6 [Du Senguan. The character of diagenesis of the Sinian carbonate rock in the eastern part of south China. *Anhui Geology*, 1997, 7(2): 2 ~ 6]
  - 12 胡明毅, 高振中, 李建明. 中上扬子区古生界深水斜坡及台地边缘碳酸盐岩成岩作用. 石油实验地质, 1998, 20(3): 241 ~ 247 [Hu Mingyi, Gao Zhenzhong, Li Jianming. Diagenesis of carbonate rocks on platform margin and deep water slope in the Upper Sinian-Ordovician in the middle to upper Yangtze area. *Experimental Petroleum Geology*, 1998, 20(3): 239 ~ 247]
  - 13 翟永红, 郭成贤. 中扬子台地北缘灯影组碳酸盐岩成岩作用序列及成岩模式. 地质地球化学, 1997, 2(2): 45 ~ 52 [Zhai Yonghong, Guo Chengxian. The carbonate diagenetic model and sequence of the Dengkying Formation (Upper Sinian) on the northern margin of the middle Yangtze Platform. *Geology-Geochemistry*, 1997, 2(2): 45 ~ 52]
  - 14 胡恒, 陈景山. 塔北地区下奥陶统碳酸盐岩成岩作用及孔隙演化. 成都理工学院学报(增刊), 1996, 23: 104 ~ 110 [Hu Heng, Chen Jingshan. Diagenesis of the Lower Ordovician carbonate in the North of Tarim Basin. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 1996, 23: 104 ~ 110]
  - 15 Zhang Xiulian, Wang Yinghua, Chen Xiaolong. Diagenesis and porosity of the Cambrian-Ordovician carbonate shoal facies at Yangjiaping, Shimmen, Hunan. *Acta Geologica Sinica*, 2000, 74: 29 ~ 45
  - 16 朱梅湘, 张秀莲, 王英华. 中下扬子区三叠纪海相碳酸盐岩成岩作用和成岩环境. 古地理学报, 2000, 2(4): 43 ~ 50 [Zhu Meixiang, Zhang Xiulian, Wang Yinghua. The diageneses and diagenetic environments of marine carbonate rocks of the Triassic in the Lower-Middle Yangtze region. *Journal of Palaeogeography*, 2000, 2(4): 43 ~ 50]
  - 17 张秀莲. 碳酸盐岩成岩研究的新方法: 成岩综合柱状图. 地质科学, 1995, 30(4): 402 ~ 413 [Zhang Xiulian. A new method in the study of carbonate diagenesis—Composite column of diagenesis. *Scientia Geologica Sinica*, 1995, 30(4): 402 ~ 413]

## The Analysis of Sequence Stratigraphy and Diagenesis for the Carbonates of Cambrian in the Southeast of Guizhou Province

DENG Chang-yu<sup>1</sup> ZHANG Xiu-lian<sup>1</sup> CHEN Jian-wen<sup>2</sup> WANG Xi-an<sup>3</sup>

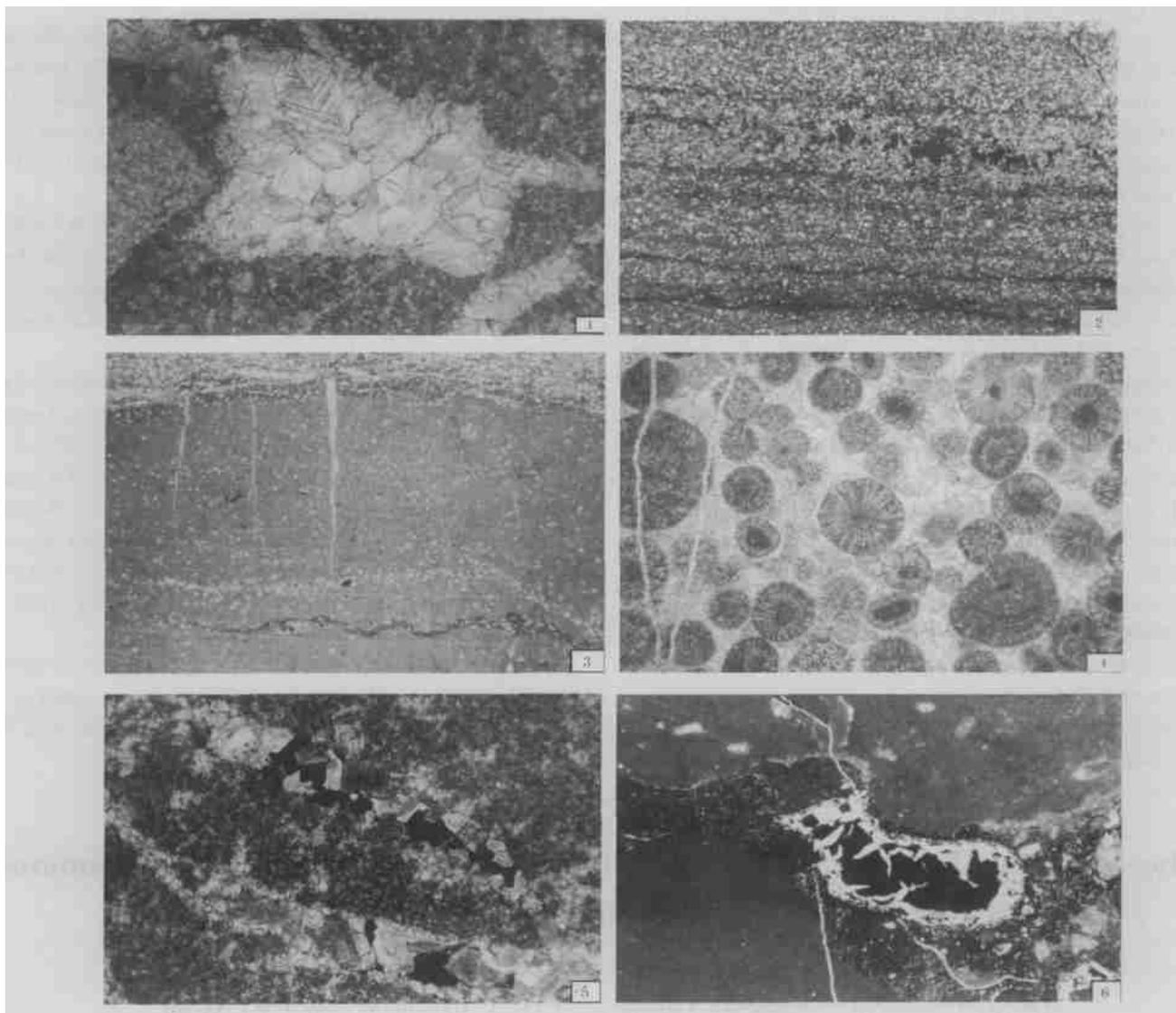
1 (Department of Geology, Peking University, Beijing 100871)

2 (The Second Oil Extraction Factory, Daqing Petroleum Company, Daqing Heilongjiang 163459)

3 (The Exploration and Development Institute of Xinjiang Petroleum Company, Wulumuqi 830011)

**Abstract** The Cambrian in the southeast of Qian is composed of typical carbonate rocks, which are widespread and better reservoirs. In order to understand the lithology, porosity and so on, in this paper, we took the Cambrian in Sandu-Danzhai to analyze petrographic feature in each layer and concluded the diagenetic environment of every formation of the Carbonate. Based on these study, we obtain the corresponding diagenesis which is responsible for producing the porosity of the rock, point out dolomitization is the main diagenesis in Duliujiang Formation of the mid Cambrian—forming the larger and thicker carbonate rock, and dissolution pores produced by the burial dissolution is typical characters of the mid and upper Cambrian in the study area, burial dissolution is favorable for improving the reservoir physical properties. Recrystallization and compaction dissolution have also positive effect in producing porosity within the reservoir. This paper shows clearly the diagenetic evolution history of each formation within the Cambrian in the southeast of Guizhou province.

**Key words** the south-east of Guizhou province, Cambrian, carbonate rock, system tract, slump, dolomitization, solution pore



图版 说明:1. 残余细晶砾屑云岩。贵州丹寨,  $2d$ , 单偏光,  $4 \times 5$ ; 2. 泥粉晶白云岩。示沿层发育的黄铁矿假晶, 贵州丹寨,  $2d$ , 单偏光,  $4 \times 5$ ; 3. 泥粉晶白云岩。示缝合线, 并且见垂直溶缝, 贵州丹寨,  $2d$ , 单偏光,  $4 \times 5$ ; 4. 亮晶砂屑含云灰岩。示粒状淡水胶结, 贵州丹寨,  $2-3y$ , 单偏光,  $4 \times 10$ ; 5. 残余砂砾屑细晶云岩。示晶间孔, 晶间孔内见沥青(箭头所示), 贵州丹寨,  $2-3y$ , 单偏光,  $4 \times 4$ ; 6. 泥粉砂砾屑灰岩。示溶孔, 溶孔内见沥青(箭头所示), 贵州丹寨,  $2-3y$ , 单偏光,  $4 \times 5$