

文章编号:1004-7824(1999)03-0021-09

# 资阳地区震旦系灯影组白云岩成因研究

王士峰, 向芳

(成都理工学院 沉积研究所, 四川 成都 610059)

摘要:本文通过实际资料将资阳地区震旦系灯影组划分为四种主要岩石类型及三种主要沉积相。依据最新的白云岩成因理论,结合先进的室内测试手段,对这几类白云岩进行成因分析,证明资阳地区灯影组白云岩具原生和重结晶两种成因类型。

关键词:资阳;灯影组;白云岩;原生;重结晶

中图分类号:P588.24 文献标识码:A

## 1 区域地质概况

资阳地区位于四川盆地的资阳、资中、威远、井研、仁寿等县(市)之间(图1),区域构造上处于威远大型隆起的西北斜坡,与川中古中隆低缓构造区接壤。地表出露中侏罗统沙溪庙组,地层倾角为 $3^{\circ} \sim 5^{\circ}$ ,是一个极为平缓的单斜构造,断层少见。古生代时,本区位于乐山-龙女寺古隆起的南坡肩部;中生代时,随着古隆起轴部向东南偏移,本区转移到了古隆起的轴部附近,并形成背斜圈闭;新生代的喜马拉雅运动对本区进行了强烈改造,使资阳古背斜消失,并形成了现今所见的构造格局。震旦纪晚期,本区处于川黔碳酸盐台地的潮

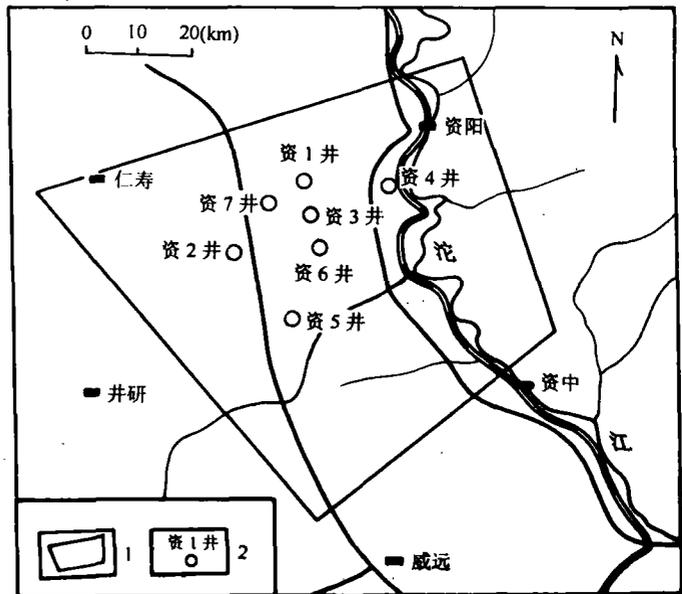


图1 研究区位置及井位图

1. 研究区位置;2. 井位及编号

Fig.1 The location of the study area and wells

1 = location of the study area; 2 = location and number of the wells in the study area

坪环境中,并经历了灯影早期海侵,中期海侵最大,末期海退这样一个海水由浅变深再由深变浅的相对海平面变化过程。

本文研究的目的是层为资阳地区震旦系上部的灯影组,是一套以白云岩为主的地层,富含蓝绿藻。现参考四川石油管理局的地层划分方案,根据岩层中藻类含量的差异,并结合电测解释资料,将本区灯影组由下至上划分为灯一段( $Z_2 dn^1$ )、灯二段( $Z_2 dn^2$ )、灯三段( $Z_2 dn^3$ )和灯四段( $Z_2 dn^4$ )(图2)。其中,灯二段与灯三段之间岩石学特征上的差异不明显,主要靠电测解释来划分。而灯三段与灯四段之间界线清楚,主要以灯四段底部的蓝灰色泥质白云岩、白云质泥岩为分段标志。

资阳地区共钻井7口(图1),根据钻井资料研究灯影组的主要岩石类型为①藻粘结云岩类:泡沫绵层云岩(图版I-1)、层纹云岩、叠层石云岩(图版I-2)、核形石云岩(图版I-3)、藻团块云岩(图版I-4)、藻鲕云岩;②藻粒屑云岩类:砾屑云岩(图版I-5)、砂屑云岩(图版I-6);③泥—微晶云岩;④粉—细晶云岩(图版I-7)。在灯四段还可见深灰色、蓝灰色泥岩、泥质白云岩。本区灯影组的主要沉积相类型及对应的岩石类型归纳如下(图2)。

**潮下亚相** 主要由灰白色、浅灰色及深灰色泥晶核形石云岩、浅灰—灰白色藻团块云岩及灰白色柱状叠层石云岩构成。可见柱状叠层构造。该亚相主要出现在灯二及灯三段。

**潮间亚相** 主要由灰—灰黑色砾屑云岩、灰白色亮晶砂屑云岩、灰—深灰色亮晶泡沫绵层云岩夹泥晶云岩组成。可见纹层状构造、冲刷侵蚀面和水平层理。根据砂屑云岩、泡沫绵层云岩在岩层中所占的比例不同,又可细分出砂屑滩和绵层藻坪两个微相。潮间亚相主要出现在灯二段及灯三段。

**潮上亚相** 主要以深灰色层纹云岩、灰白色粉—细晶云岩为主,并夹有深灰色、蓝灰—浅蓝灰色云质泥(页)岩、泥(页)岩和少量泥晶灰岩,可见纹层状构造、鸟眼构造、干裂构造等。该亚相主要出现在灯四段。

从剖面图(图2)可看出,从灯二段到灯四段,总体为一套潮坪变浅序列,其相序呈现出从潮间带到潮下带再到潮间带,最后变为潮上带这样一种变化趋势,反映了水体从浅到深,再由深到浅的变化过程,这正好与区域上灯影早期为海侵,中期海侵最大,末期发生海退这样一种海水深浅变化特点相吻合。同时,灯二段砂屑滩与绵层藻坪的交替出现,灯三段潮下亚相与潮间亚相的反复交替,又反映出水动力变化较为频繁,这导致形成了多种具韵律性特点的岩石类型组合,并且海水深浅的频繁变化也是使沉积物间歇性暴露地表遭受准同生溶蚀的重要原因。

## 2 资阳地区灯影组白云岩成因探讨

从60年代第一个白云岩成因模式提出开始,时至今日,已形成了多种白云岩成因模式。这些模式总的可以分为两类:①原生沉淀模式,该模式由化学作用、生物化学作用直接从海水中沉淀出白云石,然后经成岩固结作用形成白云岩的过程;②交代模式,该模式的灰岩母岩或方解石沉积物在白云石饱和溶液的作用下,其中的方解石被白云石交代而形成次生白云岩的过程。交代的机理有如下几种<sup>[1]</sup>:渗透回流机制、潮坪蒸发泵机制、混合白云石化作用、调整白云石化作用、生物白云石化作用、埋藏白云石化作用、海水白云石化作用、构造热液白云石化、火山热液白云石化和变质热液白云石化等。

在过去对白云岩的研究中,普遍认为白云石的形成需要特殊的环境,比较严格的条件:

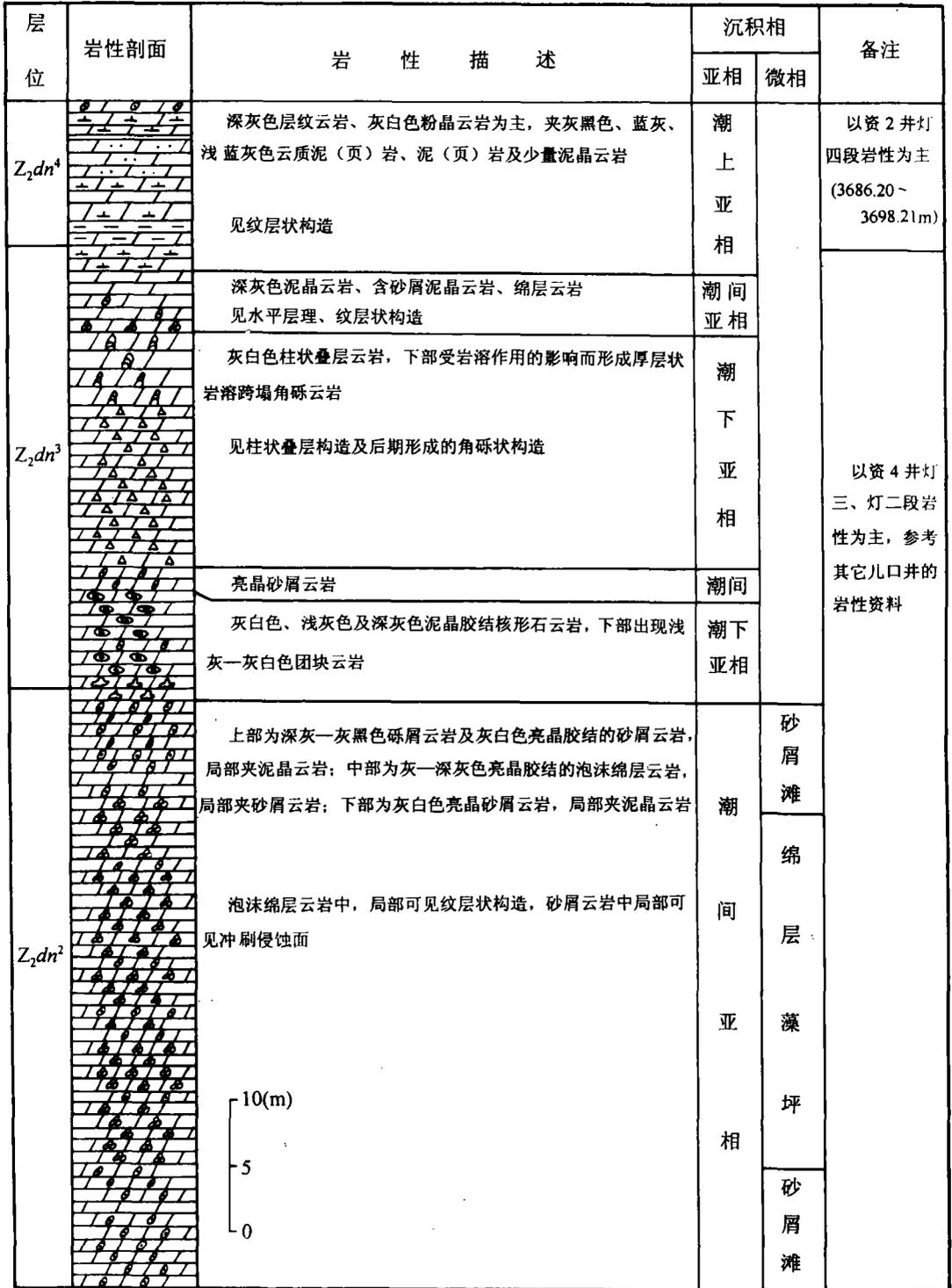


图2 资阳地区岩石类型、沉积相综合柱状图

Fig.2 Column showing the rock types and sedimentary facies in the Ziyang district, Sichuan

高  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  比,高  $CO_3^{2-}/Ca^{2+}$  比(高的碳酸盐碱度),较高的温度( $>50^{\circ}C$ ),溶液对白云石过饱和。由于常温常压下在实验室没能合成有序的白云石,许多学者认为在地表条件下不能直接沉淀出白云石,对一些发现于现代环境中的白云石,均认为是碳酸盐沉积物发生准同生交代的产物<sup>[1]</sup>。然而,随着研究的不断深入以及多种新型研究手段的使用,在现代沉积物中陆续发现了原生沉淀白云石的存在(如阿拉库司湾、波斯湾、波纳利岛、巴哈马安德鲁斯岛、青海小柴旦盐湖、南澳库龙地区米尔恩湖的全新世沉积物中;牙买加湾裙礁、西沙群岛第三系生物礁碳酸盐岩中),从而证实在自然界中是可以形成原生白云石的。现在,大多数学者都认为白云石化不需要特别的水,在埋深前的超盐度水、正常海水、低盐度水中以及在埋藏环境中都可形成白云石。白云岩可以是原生沉淀白云石固结形成的,也可为交代灰岩而成的。

资阳地区灯影组为一套富含藻类的白云岩,成层产出,层位稳定,规模大,地层中不见灰岩夹层或灰岩透镜体。组成该地层的主要岩石类型有:藻团块(粒)云岩、绵层云岩、层纹云层、叠层云岩、核形石云岩、藻鲕云岩、藻砾-砂屑云岩及微-泥晶云岩、粉-细晶云岩。其中,前7种岩石是和藻类有着密切关系的隐藻白云岩类。微-泥晶云岩在偏光显微镜下晶体微小,光性弱;在电子显微镜下,见岩石中含菌藻类生物遗迹或蓝藻丝状体和球状体,有时含量相当丰富,白云石不见菱形晶体<sup>[2]</sup>。粉-细晶白云岩由晶粒状白云石构成,肉眼下结构单一,偏光显微镜下有时可见不同程度的残余结构,具有与前两类白云岩明显不同的特点。关于资阳及相邻地区灯影组白云岩的成因,一直存在着争议,归纳起来有三种观点:①交代高镁方解石和文石而成<sup>[3]</sup>;②原生沉淀及交代作用共同形成<sup>[4]</sup>;③原生成因<sup>[5]</sup>。

根据本次所做的研究,认为资阳地区灯影组白云岩具有两种成因,现分别讨论如下。

### 2.1 隐藻白云岩及微-泥晶白云岩的成因

通过对资阳七口取心井的岩样做多种测试分析(表1、2)及对其它相关资料进行分析研究后认为,隐藻云岩及微-泥晶云岩为原生成因的,其证据如下:

根据国内外许多学者的研究资料,震旦纪晚期具有较特殊的沉积环境<sup>[4]</sup>:①大气圈中  $CO_2$  分压比现在高 100 倍左右,造成海水也具有高的  $CO_2$  分压,从而保证海水具有高的  $CO_3^{2-}/Ca^{2+}$  比,高的碳酸盐碱度;②水圈中的  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  值比现在大得多,可保证较充足的  $Mg^{2+}$  供给;③具有比现在更高的温度;④海水中具有较低的  $SO_4^{2-}$  浓度,使得  $SO_4^{2-}$  对白云石结晶的阻碍作用减小;⑤月球距地球近,潮汐作用强烈,潮坪环境非常发育;⑥早震旦世,我国南方广大地区火山活动强烈,堆积了大量火山物质。火山物质的分解,可增加海洋中的 Ca、Mg 浓度,并提供了源源不断的  $Mg^{2+}$ ,且陡山沱期  $CaCO_3$  的广泛沉淀,将导致海水中  $Mg/Ca$  比值进一步增加;⑦藻类生长茂盛,特别是蓝绿藻大量发育。研究发现,蓝绿藻为一种富镁生物,且具有浓集镁的功能,能使其间隙水中的  $Mg/Ca$  增高到正常海水的 3~4 倍;⑧ Hardie(1987)在岩石学观察、人工合成白云石实验及物质平衡计算等的基础上指出,在地表(低温)条件下,潮坪白云石只能由直接沉淀形成,所要求的环境条件是:高饱和度的水、高  $Mg/Ca$ 、高  $CO_3^{2-}-HCO_3^-$  浓度。相反,在低温条件下,交代白云石的形成极为困难,可能需要极长的反应时间(大于  $10^4$  年)。由此可见,在震旦纪晚期,存在着有利于原生白云石沉淀的条件。

地层方面,灯影组白云岩在我国川、滇、黔、湘、鄂等省都有分布,且在岩石性质、沉积类型、结构构造及生物特征等方面都很相似<sup>[2]</sup>。地层中宏观上不见灰岩,微观上,经化学分析

表1 资阳地区灯影组中几种主要白云岩的地球化学特征<sup>[6]</sup>

Table 1 Geochemical signatures of the dolostones from the Dengying Formation, Ziyang district, Sichuan

岩性	$\delta^{18}\text{C}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/\text{‰}$	$w(\text{CaCO}_3)/\%$	Mg/Ca	有序度	Z值
藻层纹白云岩	0.774	-7.714	48.84	1.0489	0.7644	125.04
粒云岩	0.350	-8.190	50.67	0.9736	0.7857	122.94
蓝灰色泥质白云岩	0.168	-8.053	53.27	0.8792	0.6660	123.63
藻砂屑白云岩	-0.330	-8.088	55.11	0.8230	0.5883	122.60
粉—细晶白云岩	0.753	-7.662	50.67	0.9736	0.8652	125.03

表2 资阳地区灯影组中具残余结构白云岩的地球化学特征<sup>[6]</sup>

Table 2 Geochemical signatures of the dolostones with residual textures from the Dengying Formation, Ziyang district, Sichuan

岩性		$w(\text{Na}_2\text{O})/10^{-6}$	$w(\text{SrO})/10^{-6}$	Mg/Ca	阴极发光
灰黑色微—细粉晶云岩	粉晶白云岩雾心	300	580	1.0208	中等橙红
	粉晶白云岩亮边	170	390	0.9537	暗红
粉—细晶云岩	砂屑幻影	450	750	1.0477	
	亮边白云岩	0	10	0.9796	
	亮晶白云岩	60	90	1.0537	
鲕粒云岩	藻鲕粒自生加大边	780	0	0.9719	橙红
		0	0	1.0423	橙红
鲕状云岩	鲕粒中心 鲕粒加大亮边	710	100	0.9939	橙红
		540	0	1.0313	

证实,地层中相当于标准白云石 $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ 的成分达96%以上,并且大多数可达99%左右,而计算所得的 $\text{CaCO}_3$ 仅约占2%。由此可见,这种分布如此广泛、成分如此纯净的白云岩是难以用交代成因来进行解释的。

经岩石薄片观察,隐藻白云岩及微—泥晶白云岩中少见残余结构,大部分岩石都保持着原始沉积结构和构造(图版I-6,8)。对具有残余结构的薄片进行茜素红染色后,未见新成分与残余成分之间存在颜色差异,说明这种残余成分非方解石质的。

本区隐藻云岩、泥—微晶云岩的稳定同位素具有如下特征; $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值介于 $-0.330\text{‰}$ ~ $0.774\text{‰}$ 之间, $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$ 在 $-7.714\text{‰}$ ~ $-8.191\text{‰}$ 间波动。陈荣坤等<sup>[5]</sup>(1994)指出,在海水成岩环境中形成的碳酸盐岩,其 $\delta^{13}\text{C}$ 为低正值或接近于零的负值,而 $\delta^{18}\text{O}$ 为较高负值,并绘制出 $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ 图来区分不同成岩环境中形成的碳酸盐岩(图3)。将本区白云岩的氧、碳同位素值投影于图3中,正好位于海水成岩环境范围内,说明这几种白云岩形成于海水环境中。Keith和Weber<sup>[7]</sup>(1964)曾提出,可利用碳酸盐岩的氧、碳同位素值来求得岩石形成时介质的盐度,从而推断其形成的环境,并总结出如下盐度计算公式: $Z = 2.048(\delta^{13}\text{C} + 50) + 0.498(\delta^{18}\text{O} + 50)$ (PDB标准)(当 $Z > 120$ 时,为海水型; $Z < 120$ 为淡水型; $Z$ 接近于120为未定型)。陈荣坤等将此法更推进一步,用 $\delta^{13}\text{C}$ -Z值来进行成岩环境的判断,从而充分利用碳同位素较稳定、受后生因素影响小的优势。将本区白云岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 和Z值投影到图4中后发现,点也落在海水成岩环境区,这进一步证实了区内白云岩是在海水中形成的。

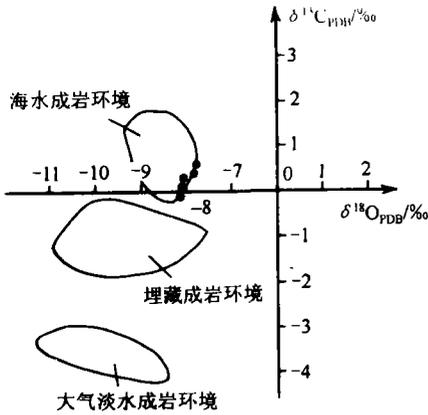


图3 不同环境中碳酸盐岩的氧、碳同位素值<sup>[5]</sup>

Fig.3 Oxygen and carbon isotopic values for the carbonate rocks from distinctive environments

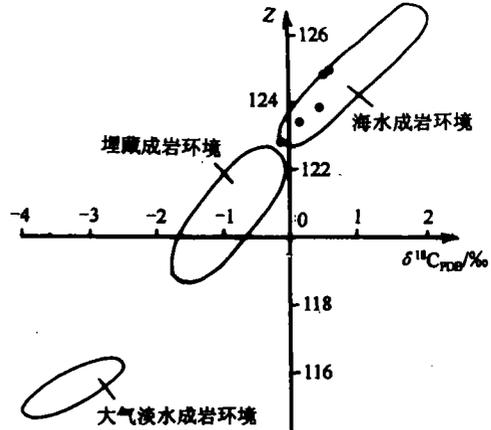


图4 不同环境中碳酸盐岩的碳同位素及 Z 值<sup>[5]</sup>

Fig.4 Carbon isotopic and Z values for the carbonate rocks from distinctive environments

微量元素方面,代表原岩成分的粉晶白云石雾心部分、砂屑幻影及鲕粒的中心部分,  $w(\text{Na}_2\text{O})$  含量高,为  $(300 \sim 780) \times 10^{-6}$ ,反映了生成时的介质具有较高盐度,少有淡水加入。对于 Sr 来讲,Bebvent、Land 及 Annori<sup>[8]</sup>认为  $\text{Sr}^{2+}$  是高盐度流体产物,当成岩流体为海水时,白云石中  $\text{Sr}^{2+}$  的含量在  $215 \times 10^{-6}$  以上;若为淡水,  $\text{Sr}^{2+}$  含量小于  $75 \times 10^{-6}$ ;若为混合水,则  $\text{Sr}^{2+}$  含量介于两者之间。对于古代白云岩来说,因其  $\text{Sr}^{2+}$  受长期成岩消减,其界线值应更低一些。相比之下,本区白云岩具有高的  $\text{Sr}^{2+}$  含量,大多大于  $215 \times 10^{-6}$ ,这证明了岩石生成时介质为高盐度的。

经 X 射线衍射测试发现,本区白云岩的 Mg/Ca 比值大于或接近于 1,说明形成时溶液具有较高浓度的 Mg 含量。而有序度值低,最大也仅为 0.7644(粉—细晶云岩除外),与现代自然界中原生沉淀白云石的特征相似。

从阴极发光特点来看,主要为橙红色,说明岩石中  $\text{Mn}^{2+}$  含量多,  $\text{Fe}^{2+}$  含量少,即少有大气水补给  $\text{Fe}^{2+}$ ,且成岩环境为非还原条件的。

总结以上这些特征,可知:

(1)从岩石的碳氧同位素、Z 值、Na 和 Sr 含量及阴极发光特征等可判断其成岩环境为盐度值较高的海水环境,从而排除了混合水交代及埋藏条件下各种交代成因的可能。

(2)岩石的  $\delta^{13}\text{C}$  值在零值附近,  $\delta^{18}\text{O}$  为较高负值,与强烈蒸发条件下潮坪水具有的  $\delta^{13}\text{C}$  偏正,  $\delta^{18}\text{O}$  为低—中高正值的特征相异。并且,从宏观和微观方面都没有找到交代的证据,因而排除了存在与强烈蒸发作用相关的潮坪蒸发系或回流渗透准同生交代成因的可能。

(3)本区白云岩所具有的 Mg/Ca 比值大于 1 或接近于 1,白云石晶体细小及有序度低的特征与现代原生白云石的特点相似。

(4)震旦纪末期存在有利于原生白云石形成的各种条件。

由此得出结论:本区的隐藻云岩、泥—微晶云岩为原生成因的。

### 2.2 粉—细晶白云岩的成因

薄片鉴定发现,粉—细晶白云岩有两种类型:①全由纯净、明亮、大小均匀的自形—半自

形白云石晶体组成;②具残余结构(图版 I-4,9,10),如残余藻鲕粒、藻砂屑、藻团粒、藻纹层等,且残余程度有小有大,有的残余组构仅隐约可辨。从表 1 可知,粉—细晶白云岩具有比藻白云岩、微—泥晶白云岩更高的有序度(0.8653)。但其氧、碳同位素值却与后两者相似( $\delta^{13}\text{C}$  在零值附近, $\delta^{18}\text{O}$  为  $-7.661\text{‰} \sim -8.191\text{‰}$ );表 2 反映出,粉—细晶白云岩中残余成分仍是白云质的(Mg/Ca 变化范围为  $0.9779\text{‰} \sim 1.0477\text{‰}$ ),和亮边相比具有更高的 Mg/Ca 比值,更高的  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Sr}^{2+}$  含量。这些特征表明,粉—细晶白云岩不具交代特点,因为:①交代作用的发生必需有与原岩成分迥异的溶液存在,这势必造成交代产物具有与原岩不同的同位素特征,特别是氧同位素值。②交代作用常是由晶体或颗粒的外部向内进行的,一般内部常残存有较多原岩的成分,对于白云石化作用来说,即内部保留有更多方解石成分。但现在却出现了颗粒或晶粒内部比白云质的外部或次生加大边更富 Mg 的现象。③在前面已经讨论过隐藻云岩、泥晶—微晶云岩的成因,认为是原生沉淀成因的。这样,对于具有残余结构的白云岩来说,就不会存在后期白云石交代原有白云石的可能。而对于纯净的粉—细晶云岩来说,因无法分析其原岩成分又找不到交代证据,所以即使难以证实是重结晶形成的,也不能轻易定其为交代成因的。同时,此种岩石又显示出与岩层中其它残余程度不同的白云岩呈递变关系的特点,由此认为纯净的粉—细晶白云岩与具残余结构的粉—细晶白云岩成因相同。④据 Fuchtbauer 和 Goldschmidt(1965)、Lumsden 和 Chimahusky<sup>[9]</sup>(1980)、黄翠蓉、张光荣<sup>[10]</sup>(1987)、雷怀彦、朱莲芳<sup>[4]</sup>(1992)等的研究发现,随着白云石晶体的增大,Ca/Mg 更趋近于 1:1,且向更有序的方向发展,即重结晶作用具有改善白云石内部结构的功能,而测试结果也正好与此吻合。根据这些分析认为粉—细晶白云岩不是白云石化形成的,而是原有白云岩发生重结晶作用的结果。同时,根据其稳定同位素与原岩相比变化不大,微量元素( $\text{Na}^+$ 、 $\text{Sr}^{2+}$ )比原岩偏小等特征,认为粉—细晶白云岩主要形成在浅—中深埋藏条件下,有少量大气淡水的加入,而缺少深部高盐度热液和高温作用对原岩微量元素含量及稳定同位素值的影响。岩石中白云石晶体的特征、残余结构的有无等,则主要和发生重结晶作用的原岩性质及重结晶作用进行的程度有关。

#### 参考文献:

- [1] 叶德胜. 白云石及白云石化作用研究的新进展[J]. 岩相古地理, 1989, 9(2).
- [2] 唐天福, 薛耀松, 俞从流. 中国南方震旦纪藻碳酸盐岩的特征及环境意义[J]. 科学通报, 1980, (18).
- [3] 朱同兴, 黄志英. 地质记录中的海水白云岩化作用[J]. 岩相古地理, 1993, 13(5).
- [4] 雷怀彦, 朱莲芳. 四川盆地震旦系白云岩成因研究[J]. 沉积学报, 1992, (2).
- [5] 陈荣坤. 稳定同位素在碳酸盐岩成岩环境研究中的应用[J]. 沉积学报, 1994, (4).
- [6] 西南石油学院碳酸盐岩研究室. 四川盆地资阳地区震旦系气藏岩性、岩相与成岩作用研究报告[R]. 1995.
- [7] 刘岫峰. 沉积岩实验室研究方法[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- [8] 魏菊英, 王关玉. 同位素地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- [9] 叶德胜. 国外碳酸盐岩成岩作用研究现状[J]. 矿物岩石, 1985, (4).
- [10] 黄翠蓉, 张光荣. 我国部分地区白云岩岩石矿物学研究及其意义[J]. 地质评论, 1985, (5).

# The origin of the dolostones from the Sinian Dengying Formation in the Ziyang district, Sichuan

WANG Shi-feng, XIANG Fang

(*Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China*)

**Abstract:** The Sinian Dengying Formation in the Ziyang district, Sichuan contains a succession of dolostones with abundant blue-green algae. Four rock types have been distinguished. They are algae-binding dolostone, algal dolostone, dolomicrite and dolosiltite, which are arranged into subtidal subfacies, intertidal subfacies and supratidal subfacies, respectively. The additional types include dark grey and bluish grey mudstones and muddy dolostones. According to latest theory and approach to the origin of dolostones, the dolostones from the study area are interpreted to be partly primary in origin or originated from recrystallization.

**Key words:** Ziyang; Dengying Formation; dolostone; primary; recrystallization

## 图 版 I 说 明

1. 资 6 井, 浅色绵层云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>3</sup>
2. 资 5 井, 浅灰色叠层云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>3</sup>
3. 资 5 井, 浅灰色核形石云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>3</sup>
4. 资 2 井, 粉晶化藻团云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>3</sup>, 10 × 5 (-)
5. 资 4 井, 深灰黑色砾屑云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>2</sup>
6. 资 2 井, 亮晶藻砂屑云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>2</sup>, 10 × 5 (-)
7. 资 2 井, 粉晶云岩, 黑色物质为泥质及有机质。Z<sub>2</sub> dn<sup>4</sup>, 10 × 20 (-)
8. 资 2 井, 灰白色藻粘结云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>2</sup>, 10 × 5 (-)
9. 资 1 井, 局部重结晶的泥晶云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>3</sup>, 10 × 8 (-)
10. 资 2 井, 具残余结构的粉-细晶云岩。Z<sub>2</sub> dn<sup>2</sup>, 10 × 8 (-)

图版 I

