

川东北地区下三叠统飞仙关组白云岩成因分析

刘 萍^{1,2}

(1. 成都理工大学 地球科学学院, 成都, 610059; 2. 成都理工大学 研究生院, 成都, 610059)

摘 要: 在川东北地区下三叠统飞仙关组沉积相模式研究成果的基础上, 详细研究了区内鲕粒白云岩、具残余鲕粒结构的粗粉晶- 细晶白云岩、泥微晶白云岩、藻纹层白云岩、粗粉晶- 细晶白云岩的岩石学特征, 并结合碳氧同位素、微量元素、流体包裹体 3 种地球化学特征资料认为: 鲕粒白云岩和具残余结晶鲕粒白云岩为混合水白云石化作用形成; 泥微晶白云岩和藻纹层白云岩为回流渗透白云石化作用形成; 粗粉晶- 细晶白云岩为埋藏白云岩化作用形成。

关键词: 飞仙关组; 白云岩; 成因分析; 岩石学特征; 地球化学特征; 川东北地区

中图分类号: P588.245; P581 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2010)03-0241-05

0 引言

近年来, 随着普光气田的发现, 川东北部下三叠统飞仙关组鲕滩的天然气勘探取得重大突破, 探明天然气地质储量近 $1\ 000 \times 10^8\ \text{m}^3$, 使该地区成为中国石油的重点勘探领域^[1,2]。对白云岩的研究, 特别是对白云岩成因的研究一直作为沉积学研究的难题, 长期为沉积学界所关注^[3,4]。本文主要通过白云岩的沉积相模式、岩石学特征、地球化学特征对川东北地区下三叠统飞仙关组白云岩的成因进行了探讨, 通过分析, 认为该地区飞仙关组白云岩成因主要为混合水白云石化、埋藏白云石化和混流渗透白云石化。

1 沉积相模式及类型

四川盆地北部下三叠统飞仙关组主要分为开阔台地、局限台地、蒸发台地、台缘滩相、斜坡相、陆棚相和盆地相等 7 种相带^[5] (图 1), 本文研究的白云岩所处的位置主要为台缘滩相、局限台地、蒸发台地。

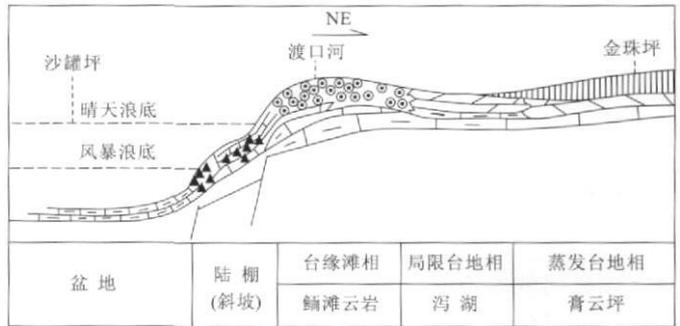


图 1 四川盆地北部飞仙关组沉积相模式图

Fig. 1 Sedimentary facies model of Feixianguan formation in north basin of Sichuan

2 白云岩岩石学特征

鲕粒白云岩中鲕粒虽经白云岩化作用, 但还保留了其原始的微细结构, 如鲕粒的同心纹层 (图 2a)。显然这类白云岩的形成时间比较早^[6]。鲕粒白云岩中有些鲕粒虽然被白云岩化, 但胶结物仍为方解石, 部分鲕粒仅仅是颗粒的核心被选择性交代, 形成晶形完好的白云岩晶体, 而鲕粒的圈层并未交代; 藻纹层白云岩中的藻纹层基本上保留了其原始微细结构, 其特征类似于灰岩中未被白云岩化的藻纹层。泥微晶白云岩中发育水平纹层、微波状水平层理, 同时含石膏假晶 (图 2b)。这类白云岩形成时

收稿日期: 2009-09-22; 修回日期: 2010-04-30

作者简介: 刘萍 (1978-), 男, 四川自贡人, 讲师, 硕士, 研究方向为沉积岩石学和储层矿物岩石学。通信地址: 四川省成都市二仙桥东三

路 1 号, 成都理工大学研究生院, 邮政编码: 610059; E-mail: liuping@cdu.edu.cn

间早,白云岩化发生于准同生期,使得原始结构得以保存;粗晶-细晶白云岩主要由粗粉晶和细晶白云石组成,局部含有少量的中晶白云石。白云石晶体以半自形为主,晶体表面较脏,富含包裹体。白云石

晶体普遍具雾心亮边结构(图 2c),少部分具环带构造,有时可见各种沉积组构(如鲕粒、核心石)的残余(图 2d)。

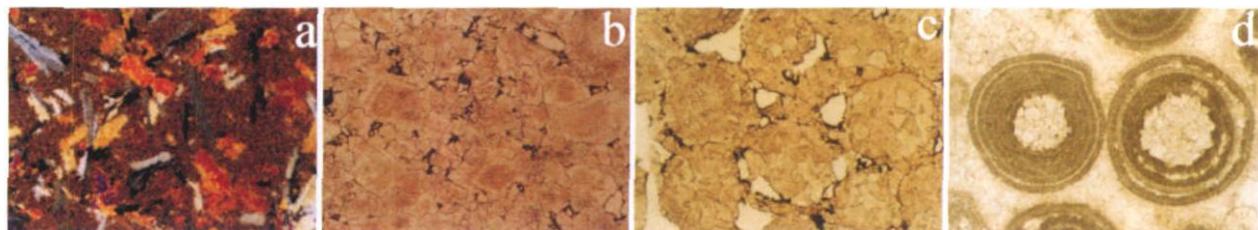


图 2 白云岩的显微照片

Fig. 2 Microscopic photo of dolomite

- a. 鲕粒含云灰岩,选择性白云岩化,鲕粒被白云石交代, $4 \times 10(-)$, 铁山 11 井, B04, 2 909.5 m
 b. 膏质泥晶云岩,石膏假晶发育, $4 \times 10(+)$, 鹰 1 井, 2 791.8 m
 c. 细-中晶白云岩,白云石晶体具环带构造和雾心亮边结构,晶间孔充填有沥青, $4 \times 10(-)$, 罗家 6 井, B3, 3 928 m
 d. 具残余颗粒结构的粉-细晶白云岩,具残余鲕粒结构,溶孔发育, $4 \times 10(-)$, 罗家 2 井, B9, 3 286.5 m

3 白云岩地球化学特征

3.1 碳氧同位素特征

由表 1 可以看出,泥微晶白云岩、藻纹层白云岩的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = 1.0 \times 10^{-3} \sim 2.4 \times 10^{-3}$, 平均为 1.8×10^{-3} 。氧同位素 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -4.4 \times 10^{-3} \sim -3.1 \times 10^{-3}$, 平均 -3.7×10^{-3} 。这与三叠系海相碳酸盐岩的原始碳氧同位素值较为接近

(Zempolich et al, 1988)。这表明它们是在准同生期由海水影响而白云岩化的。鲕粒、砂屑白云岩的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -1.3 \times 10^{-3} \sim 3.6 \times 10^{-3}$, 氧同位素 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}} = -6 \times 10^{-3} \sim -3.5 \times 10^{-3}$, 与泥微晶白云岩和藻纹层白云岩相比,鲕粒白云岩明显变化范围加大,向低负值方向偏移(图 3),表明与大气淡水的影响有关,为近地表混合水成岩环境的产物。与泥微晶白云岩相比,粗粉晶-细晶白云岩的碳同位素分布稳定,且明显为正值,而氧同位素值明显偏低,这可能与埋藏环境中较高的碳同位素值有关。

表 1 研究区不同类型白云岩氧碳同位素分布统计表

Table 1 Statistics of O and C isotopes distribution in different dolomite in the study area

白云岩类型	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}/10^{-3}$		$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}/10^{-3}$		样品数
	范围	平均	范围	平均	
泥晶白云岩、藻纹层白云岩	1.0~2.4	1.8	-4.4~-3.2	-3.7	8
鲕粒白云岩	-1.3~3.6	0.8	-6~-3.5	-4.6	4
粗粉-细晶白云岩	0~3.1	1.9	-5.7~-2.8	-4.6	15
具残余鲕粒结构粉细晶白云岩	2.6~3.0	2.9	-5.4~-4.7	-5.1	6

3.2 微量元素特征

微量元素特征能反映沉积环境及沉积流体方面的特征,Fe 和 Mn 是判别氧化还原的敏感元素,Na 可以判断盐度的大小,进而判断沉积环境^[7]。研究区不同类型白云岩的常量及微量元素分析结果见表 2。从表 2 中可以看出,区内泥粉晶白云岩中元素

Sr 较低,B,Na,K 的质量分数高,反映了盐度较高的准同生回流渗透白云岩化作用,同时受到了后期淡水作用的影响,鲕粒白云岩和粗粉晶-细晶白云岩中 Sr 元素有质量分数较高,B,Na,K 的质量分数较低,反映出受埋藏白云岩化作用形成的特征。

表 2 研究区不同类型白云岩常量和微量元素分析结果

Table 2 Analysis of normal and micro elements in dolomite in the study area

岩性	Sr	Na	K	B	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ca	Mg	样品数
泥晶白云岩	590	0.076	0.095	8.96	0.095	0.12	31.1	15.78	11
鲕粒白云岩	434.5	0.053	0.032	4.83	0.086	0.071	32.59	16.77	16
粗粉晶-细晶白云岩	201.1	0.043	0.075	5.76	0.093	0.13	26.46	12.78	8

量的单位: $w(\text{Sr}, \text{B}) / 10^{-6}$, $w(\text{Na}, \text{K}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ca}, \text{Mg}) / \%$ 。

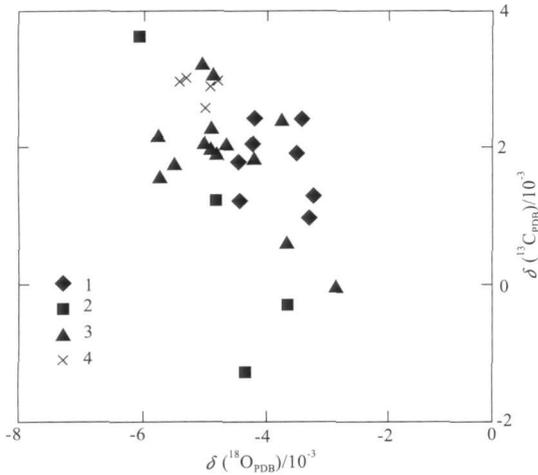


图 3 研究区不同类型白云岩氧碳同位素分布图

Fig. 3 Map showing O and C isotopes

distribution in different dolomite

- 1. 泥晶、藻纹层白云岩 2. 鲕粒、砂屑白云岩
- 3. 粗粉晶白云岩 4. 具残余鲕粒结构粉晶白云岩

3.3 流体包裹体分析

四川盆地下三叠统飞仙关组粗粉晶-细晶白云岩和具残余鲕粒结构的粉-细晶白云岩包裹体均一温度如图 4 所示,从图中可以看出:该区粗粉晶-细晶白云岩包裹体均一温度变化范围较大,在 74~148℃之间,结晶白云岩均一温度最低,为 74℃,最高为 148℃,主要分布在 100~130℃之间,并且明显呈正态分布。一般说来,均一温度的低端范围反映白云岩的最低结晶速度,因此,假设地表平均温度为 10~15℃,古地温为 3℃/100 m,则白云岩的最低深度为 2 000~2 100 m,主要形成于 3 000 m 左右,显然结晶白云岩属于埋藏白云岩化产物。

4 白云岩成因机理分析

综合白云岩岩石学、地球化学及白云岩形成环境和分布特征可以看出,研究区白云岩主要存在下面几种成因:

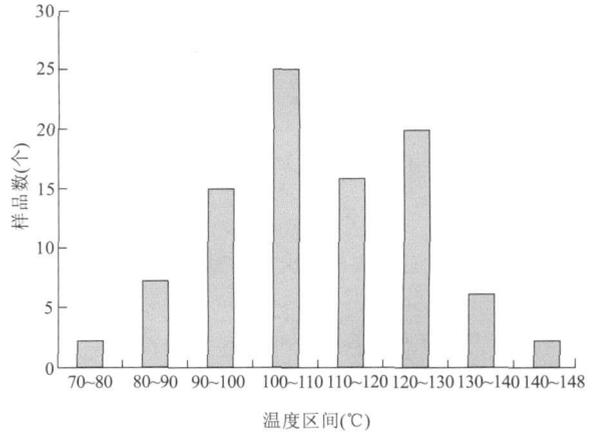


图 4 研究区晶粒白云岩包裹体均一温度分布直方图

Fig. 4 Histogram of homogenization temperature distribution of fluid inclusion in dolomite

4.1 混合水白云石化作用

川东北地区台缘鲕滩主要为颗粒白云岩,颗粒白云岩类型主要有鲕粒白云岩和具残余结晶鲕粒白云岩,鲕粒结构保存完好,胶结物明显具有两个世代,第一世代为细小粒状,且不完全围绕颗粒共生,第二世代胶结物为粗大粒状晶体,其胶结环境为大气淡水潜流成岩环境。根据颗粒含量高、亮晶胶结为主、少见泥晶等特征,可知沉积时水动力较强,属浅滩沉积环境^[8-10]。

工作区的颗粒白云岩遭受白云石化作用之后,颗粒的形态都保存得比较好,颗粒本身均由泥晶白云石组成。这说明硬化速度快,白云石化作用较早。胶结物则由细-中晶白云石晶体组成,白云石晶体中心较污浊,而边缘干净,其原生包裹体的均一温度为 193~220℃,表明白云石化作用一直延续到成岩晚期深埋藏阶段。

川东北地区台缘鲕滩沉积于浅滩环境,这说明该地区当时为一沉积高地(图 5),有小规模的海进海退。在海退时,该地区暴露于海平面之上,成为淡水补给区和混合白云石化区,从而发生混合白云石化作用。换言之,颗粒白云岩可以用混合水白云石

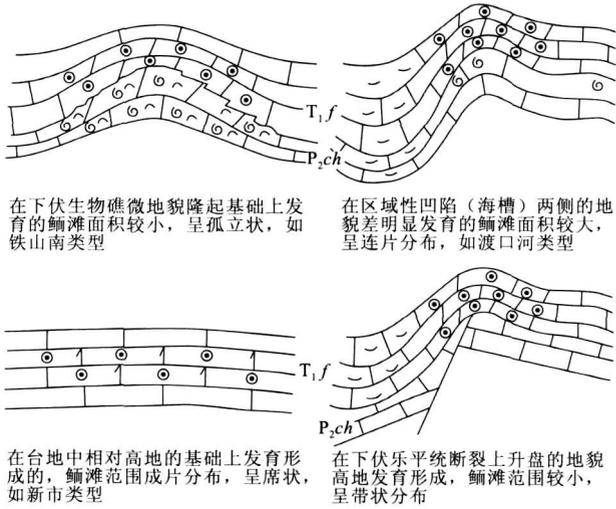


图5 飞仙关组鲕滩沉积主要微地貌特征
Fig. 5 The main micro-geomorphy of oolite bedch in Feixiansuan formation

化模式来解释。

4.2 回流渗透白云石化作用

泥微晶白云岩和藻纹层白云岩主要形成于局限台地潮坪-蒸发台地相带，该类白云岩中石膏假晶发育，白云石晶粒细小，晶形差，碳、氧同位素值相对较高，微量元素 Sr, B, Na 质量分数高，反映出高盐度海水特征。泥晶白云岩和藻屑白云岩都由泥晶白云石晶体组成。白云石晶粒细小，晶形差，说明白云岩形成时间早，结晶速度快，在准同生期就发生了白云石化作用。该类白云岩中石膏假晶发育，反映高盐度、高 Mg/Ca 比值的海水特征，该类白云岩是与蒸发泵作用有关的回流渗透白云岩化的产物^[6]。

4.3 埋藏白云石化作用

粗粉晶-细晶白云岩主要分布在局限台地相泻湖亚相中，该类白云岩晶粒分布范围大，部分具雾心亮边结构。阴极发光显微镜下可见交代残余结构。它以细-中晶为主，晶粒呈自形、半自形或他形，有的晶体具雾心结构或环带构造，其中具鞍形白云石的结晶白云岩是典型的深埋藏白云石化的产物。其地球化学特征与前述二者有明显的区别，Sr, Ba 的质量分数 $< 100 \times 10^{-6}$ ，B 则 $< 1 \times 10^{-6}$ 。X 衍射分析表明，结晶白云岩有序度高 ($\delta = 0.88 \sim 0.95$)。其原因可能是，在深埋藏阶段白云石化作用很缓慢，以致形成的白云石晶体自形程度好，为近似有序的白云石晶体。研究区各类白云岩形成途径如图 6 所示。

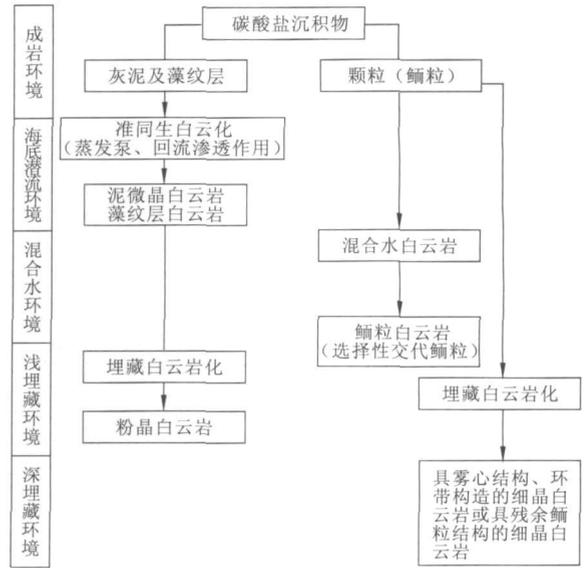


图6 四川盆地东北部下三叠统飞仙关组白云岩形成途径示意图

Fig. 6 Sketch showing hint of formation of dolomite in Lower Triassic Series in northeast Sichuan basin

5 结论

川东北地区白云岩主要为鲕粒白云岩、具残余鲕粒结构的粗粉晶-细晶白云岩、泥微晶白云岩、藻纹层白云岩、粗粉晶-细晶白云岩，分别分布在台缘滩相、局限台地潮坪-蒸发台地相、局限台地相泻湖亚相中，其成因分别为：鲕粒白云岩和具残余结晶鲕粒白云岩为混合水白云石化作用形成；泥微晶白云岩和藻纹层白云岩为回流渗透白云石化作用形成；粗粉晶-细晶白云岩为埋藏白云岩化作用形成。对这三种白云岩成因的研究有利于该地区进一步的油气勘探，具有重要的意义。

参考文献:

[1] 冉辉隆, 陈更生, 张健, 等. 四川盆地东北部飞仙关鲕滩储层分布研究与勘探潜力分析[J]. 中国石油勘探, 2002, 7(1): 16-33.

[2] 王一刚, 刘划一, 文应初, 等. 川东飞仙关组鲕滩储层分布规律勘探方法与远景预测[J]. 天然气工业, 2002, 22(增刊): 14-19.

[3] 蔡毅, 熊琦华. 尕斯库勒油田 E₃ 白云岩成因及储集性[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(5): 30-33.

[4] 田景春, 陈洪德, 侯明才, 等. 右江盆地晚古生代白云岩与层序

- 地层的关系及储集性[J]. 成都理工大学学报, 2004, 31(1): 34-39
- [5] 胡明毅. 四川盆地北部地区下三叠统飞仙关组沉积体系和层序地层学研究[J]. 石油与天然气地质, 2002, 11(3): 50-55.
- [6] 杨雨, 王一刚, 文应初, 等. 川东北飞仙关组沉积相与鲕滩气藏的分布[J]. 天然气勘探与开发, 2001, 24(3): 18-21.
- [7] 赵俊兴, 陈洪德, 张锦泉, 等. 鄂尔多斯盆地中部马五段白云岩成因机理研究[J]. 石油学报, 2005, 26(5): 38-41.
- [8] 胡明毅, 李建明, 翟永红, 等. 湖北随州灯影组白云岩成岩作用及储层特征[J]. 江汉石油学院报, 1997, 19(1): 45-48.
- [9] 胡明毅, 肖传桃. 湖北随州上震旦统灯影组白云岩成因[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(1): 83-84.
- [10] 赵澄林, 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.

GENETIC ANALYSIS OF DOLOMITE OF FEIXIANGUAN FORMATION OF LOWER TRIASSIC SERIES IN NORTHEAST SICHUAN

LIU Ping^{1,2}

(1. Collage of Earth Sciences of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Collage of graduate student of Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on the research of sedimentary facies model of Feixianguan formation of the Lower Triassic Series in northeast Sichuan this paper mainly deals with the petrological characteristics of oolitic dolomite, coarse crystal powder dolomite-fine crystal dolomite with residual oolitic texture, micritic dolomite, alga-laminated dolomite and coarse crystal powder-fine crystal dolomite. Combined with data of C, O isotopic, microelement and fluid inclusion researches the author thinks that oolitic dolomite, coarse crystal powder dolomite-fine crystal dolomite with residual oolitic texture are the result of mixed water dolomitization, micritic dolomite, alga-laminated dolomite the result of seepage reflux dolomitization and coarse crystal powder dolomite-fine crystal dolomite the result of burial dolomitization.

Key Words: Feixianguan formation; dolomite; genetic analysis; petrological character; geochemical character; the northeast Sichuan

(上接第 227 页)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND EXPLORATION POTENTIALITY FOR THE DEEP LEVELS IN QIANGMA GOLD DEPOSIT, HENAN LINGBAO

YANG Xi-feng¹, SUN Zhi-ming¹, WANG Ji-yuan¹,

LV Zeng-wang², LI Man-jun², GUO Xiao²

(1. Sinasteel Tianjin Geological Academy Co. Ltd., Tianjin 100181, China;

2. Lingbao Gold Co. Ltd., Lingbao 472500, Henan, China)

Abstract: Qiangma gold deposit is located in Xiaoqinlign region, Lingbao, Henan. Taihua group meta-morphic suites, magmatic rock and tectonics control the occurrences of the gold deposit. The quartz vein is main type of the gold ore and then altered cataclastic rock type. The gold ore body is characterized by repeated pinching-out and re-appearance both along dip and strike and by pitch to southeast. The ore-forming process is displayed to depth and it is potential for further exploration in Qiangma mine area.

Key Words: Qiangma gold deposit; quartz vein type; geological characteristic of deposit; exploration potentiality for the deep levels; Henan province