

Characteristics of the Sinian Dengying Formation Reservoir in Ebianxianfeng Section, Southwestern Sichuan Basin

Xuemei Lin, Xu Wang, Lianqiang Zhu

State Key Laboratory of Oil and Gas Geology and Development Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan

Email: 287022684@qq.com

Received: May 6th, 2019; accepted: May 21st, 2019; published: May 28th, 2019

Abstract

In this paper, the Sinian Dengying Formation of the Pioneer Section of the Leshan Mountain in Sichuan Province is studied. Based on the petrological characteristics, reservoir space type and diagenesis characteristics of the Dengying Formation in this area, using the methods of field exploration and observation of rock fragments, the petrological characteristics, reservoir spatial characteristics and diagenesis characteristics of the area are studied. The main rock types of the Dengying Formation in the study area are: mud-crystal dolomite, sand-grain mud, bright-grained cloud, algae-bonded cloud, algae, cloud, grape-like cloud, silicified muddolomite. The main types of reservoir space are: grid pores, intercrystalline pores, residual pores of grape lace structures, and cracks. The Dengying Formation of the study area is old, with diverse diagenesis and complicated diagenesis process. It has undergone superposition and transformation of various diagenetic fluids to form the current reservoir surface. According to the research, the main diagenesis types of Dengying Group are: compaction and pressure dissolution, cementation filling, dolomitization, dissolution, siliceous metasomatism and recrystallization.

Keywords

Ebianxianfeng, Dengying Formation, Petrological Characteristics, Reservoir Space, Diagenesis

川西南峨边先锋剖面震旦系灯影组储层特征

林雪梅, 王旭, 朱联强

成都理工大学, 油气地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都

Email: 287022684@qq.com

收稿日期: 2019年5月6日; 录用日期: 2019年5月21日; 发布日期: 2019年5月28日

摘要

本文以四川乐山峨边先锋剖面震旦系灯影组为研究对象,基于该区灯影组的岩石学特征、储集空间类型、成岩作用特征等研究,利用野外勘探,岩石薄片观察等方法,研究该地区的岩石学特征、储集空间特征及成岩作用特征。研究区灯影组的主要岩石类型为:泥晶白云岩、砂屑泥亮晶云岩、藻粘结云岩、藻叠层云岩、葡萄花边状云岩、硅化泥晶白云岩。主要的储集空间类型有:格架孔、晶间溶孔、葡萄花边构造残余孔以及裂缝。研究区灯影组时代老,成岩作用多样,成岩过程复杂,经历了各种成岩流体的叠加、改造形成现今的储层面貌。研究认为,灯影组主要的成岩作用类型有:压实压溶作用、胶结充填作用、白云石化作用、溶蚀作用、硅质交代作用、重结晶作用。

关键词

峨边先锋, 灯影组, 岩石学特征, 储集空间, 成岩作用

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

川中古隆起震旦系-下古生界的勘探始于20世纪50年代,1964年发现了位于乐山-龙女寺古隆起西南翼斜坡上的威远震旦系气田,探明储量 $408 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。2012年9月四川盆地安岳构造下寒武统龙王庙测试获工业气流,发现了川中安岳大气田,展示了高石梯-磨溪构造龙王庙组巨大的勘探开发潜力,标志着古隆起震旦系-下古生界勘探进入了新的历史阶段[1]。四川盆地的天然气勘探和开发都将处于发展的黄金时代[2]。

近年来,对四川盆地灯影组储层的研究更是地质学的一大热点,现在对灯影组的研究主要集中在储层特征、沉积相特征、成岩作用特征等方面。刘树根等[3]对四川盆地灯影组储层致密化过程进行了研究,认为研究区灯影组底层老,成岩时间长,演化过程复杂,经多种成岩作用叠加改造,使灯影组储层向着更加致密化演化;赵子豪等[4]对研究了四川盆地震旦系灯影组的沉积相,认为灯影组储集层沉积相主要为碳酸盐台地;单秀琴等[5]和杨威等[6]认为灯影组储层以相控白云岩岩溶储层为主;郝毅等[7]对研究区灯影组主要的成岩作用及特征进行了研究,认为主要的成岩作用有其成岩作用经历了胶结作用、交代作用、白云石化作用、溶蚀作用、压实作用、压溶作用、硅化作用、新生变形作用等;林孝先等[8]、郝毅等[9]等和张杰等[10]对研究灯影组二段的葡萄花边状白云岩的成因做了主要的研究,认为葡萄花边状白云岩是由于海平面反复上升和下降在孔洞中形成的胶结物。

研究区位于四川盆地西南部峨边县先锋村,出露震旦系灯影组剖面。前人对该剖面灯影组特征也进行了研究,冯明友[11]等对峨边震旦系灯影组三段泥页岩的地球化学特征及地质意义进行了研究,认为灯影三段泥页岩硅、铝及钾元素富集,沉积期间气候温暖潮湿、受淡水及陆源物质影响明显。林孝先等[12]对峨边地区灯影组藻白云岩特征及成因进行了研究,认为研究区灯影组藻白云岩为一套在潮坪和潟湖环境下形成的微生物(碳酸盐)岩的岩石类型组合。基于前人的研究结果,笔者认为该地区灯影组地层有一定的研究价值。本次论文以乐山峨边先锋剖面震旦系灯影组剖面为基础,以野外实测剖面及分层,结合室内显微镜下的观察,对峨边先锋剖面灯影组的岩性特征进行了详细的划分,并对该地区的储集空间类型

进行了详细的分类, 结合宏观现象与微观现象对该地区震旦系灯影组的成岩作用特征进行详细研究。

2. 区域地质概况

四川盆地是位于四川省龙门山断裂东缘, 从构造位置上来看, 是扬子准地台上的一个次级构造单元处于扬子地台的西北侧, 是在中新生代以后发育起来的一个大型构造沉积盆地。四川盆地是在前震旦系的火山岩以及变质岩形成的基底上, 堆积了一套 6000~12,000 m 厚的海陆相地层[13]。目前很多地质学家对四川盆地都做了深刻的研究, 已在盆地内发现了安岳大气田, 可知四川盆地具有丰富的油气资源, 有很好的勘探前景。

本次所研究的震旦系灯影组野外露头, 整体出露较好、层序比较完整。研究区位于四川盆地西南缘的乐山峨边县(图 1), 该地区出露的地层有上震旦系灯影组、寒武系、奥陶系及二叠系地层。本次重点研究的震旦系灯影组在研究区先锋村出露完整。灯影组形成是在全球海平面上升时期, 主要为碳酸盐台地和潮坪沉积, 灯影组二段及灯影组四段沉积时为高水位体系域时期, 这种环境有利于藻白云岩发育, 所以灯影组二段和四段发育藻白云岩。其上覆地层为下寒武系麦地坪组, 岩性为黑色泥页岩, 下伏地层为陡山沱组, 岩性为黑色页岩夹灰色泥质粉砂岩。在晚震旦 - 早寒武时期, 研究区受区域性桐湾抬升运动 I 幕和 II 幕的影响, 形成了多期的平行不整合面或是风化壳, 导致寒武系筇竹寺组与灯影组平行不整合接触[11]。

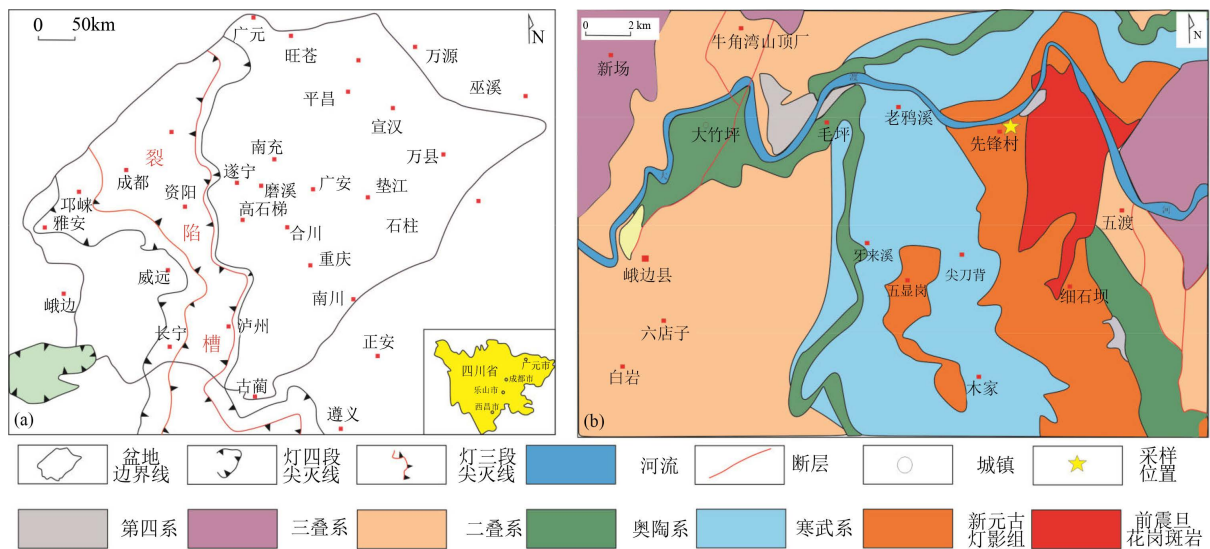


Figure 1. (a) Ancient map of the border area; (b) Regional geological map (according to Feng Mingyou, 2017, revised)

图 1. (a) 峨边古地理位置图; (b) 区域地质图(据冯明友, 2017, 修改)

3. 储层岩石学特征

峨边先锋剖面震旦系灯影组野外露头较好, 地层出露比较完全, 通过对该剖面进行野外踏勘及地层实测, 野外分层共划分了 99 层, 实测剖面总厚度为 855.3 m (如图 2)。

3.1. 剖面地层划分

从岩性的区别上, 从下到上共划分为 99 层, 1~20 层为灯影组一段、21~58 层为灯影组二段、59~61 层为灯影组三段, 62~99 层为灯影组四段。灯一段实测厚度为 336.49 m, 主要岩性为: 泥晶白云岩, 砂

屑泥亮晶云岩，纹层状泥晶云岩；灯二段实测厚度为 311.3 m，主要岩性为：葡萄花边状白云岩，藻叠层云岩，凝块石云岩；灯三段厚度为 3.34 m，主要岩性为：凝灰岩，泥页岩；灯四段实测厚度为 204.23 m，主要岩性为：泥晶白云岩，硅化泥晶白云岩，藻叠层云岩，纹层状泥晶白云岩。

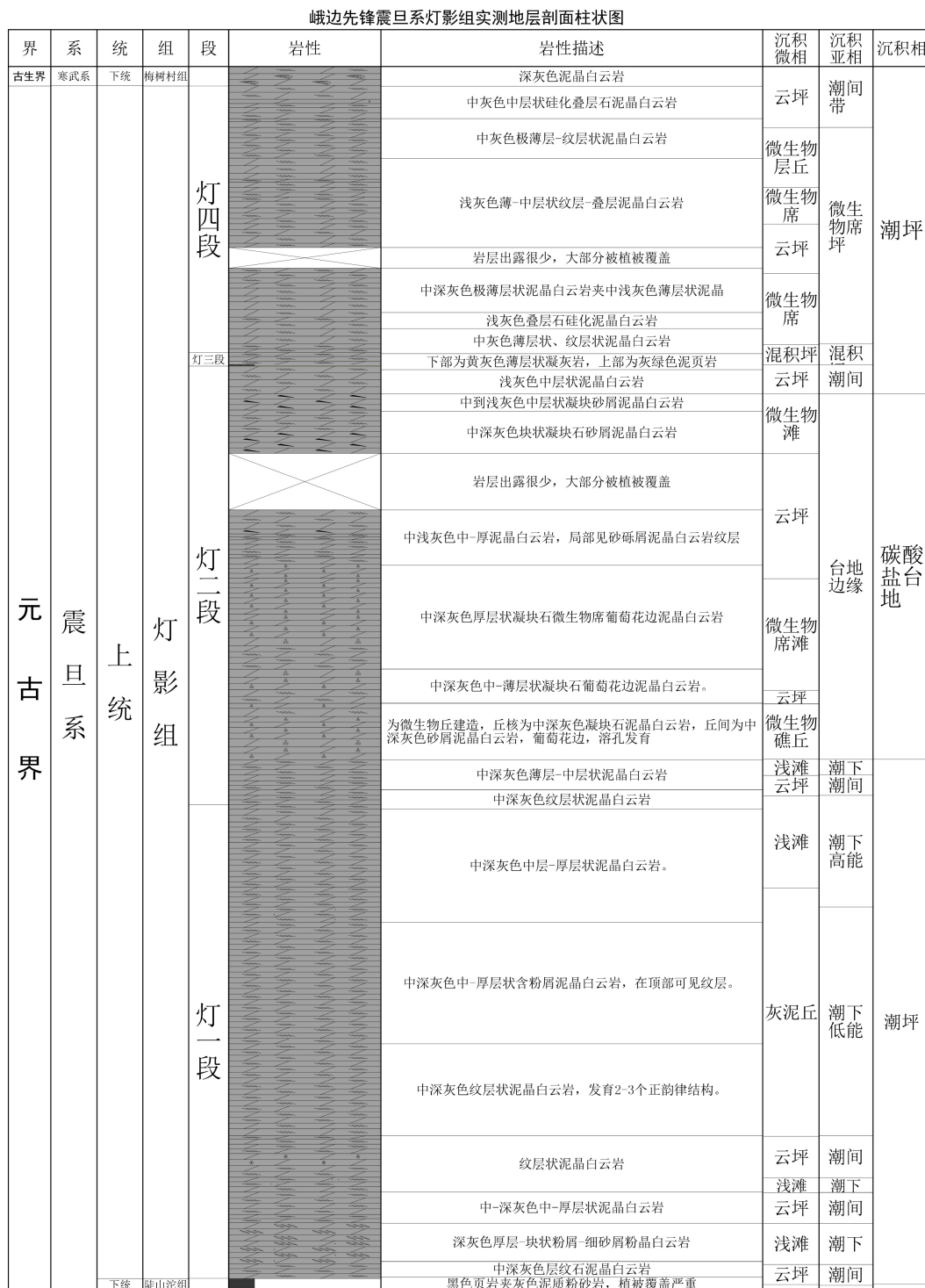


Figure 2. The histogram of the measured stratigraphic section of the Leshan Pioneer section
图 2. 乐山峨边先锋剖面实测地层剖面柱状图

3.2. 主要岩石类型及沉积环境

通过对峨边先锋剖面野外露头 and 岩石薄片的详细观察, 发现研究区灯影组岩石类型多样, 主要的岩石类型有: 泥晶云岩、砂屑云岩、藻叠层云岩、葡萄花边状云岩、纹层状云岩、凝块石云岩。

① 泥晶云岩(图 3(A)), 该区有泥晶白云岩、硅化泥晶白云岩。主要发育在灯一段和灯四段。泥晶白云岩和硅化泥晶白云岩, 一般是在云坪环境中形成的; 泥晶白云岩与藻纹层云岩共生时, 一般为微生物层丘沉积环境; 若是泥晶白云岩沉积时混合了陆源碎屑, 则为混积坪环境, 这种岩性在灯三段发育[14]。

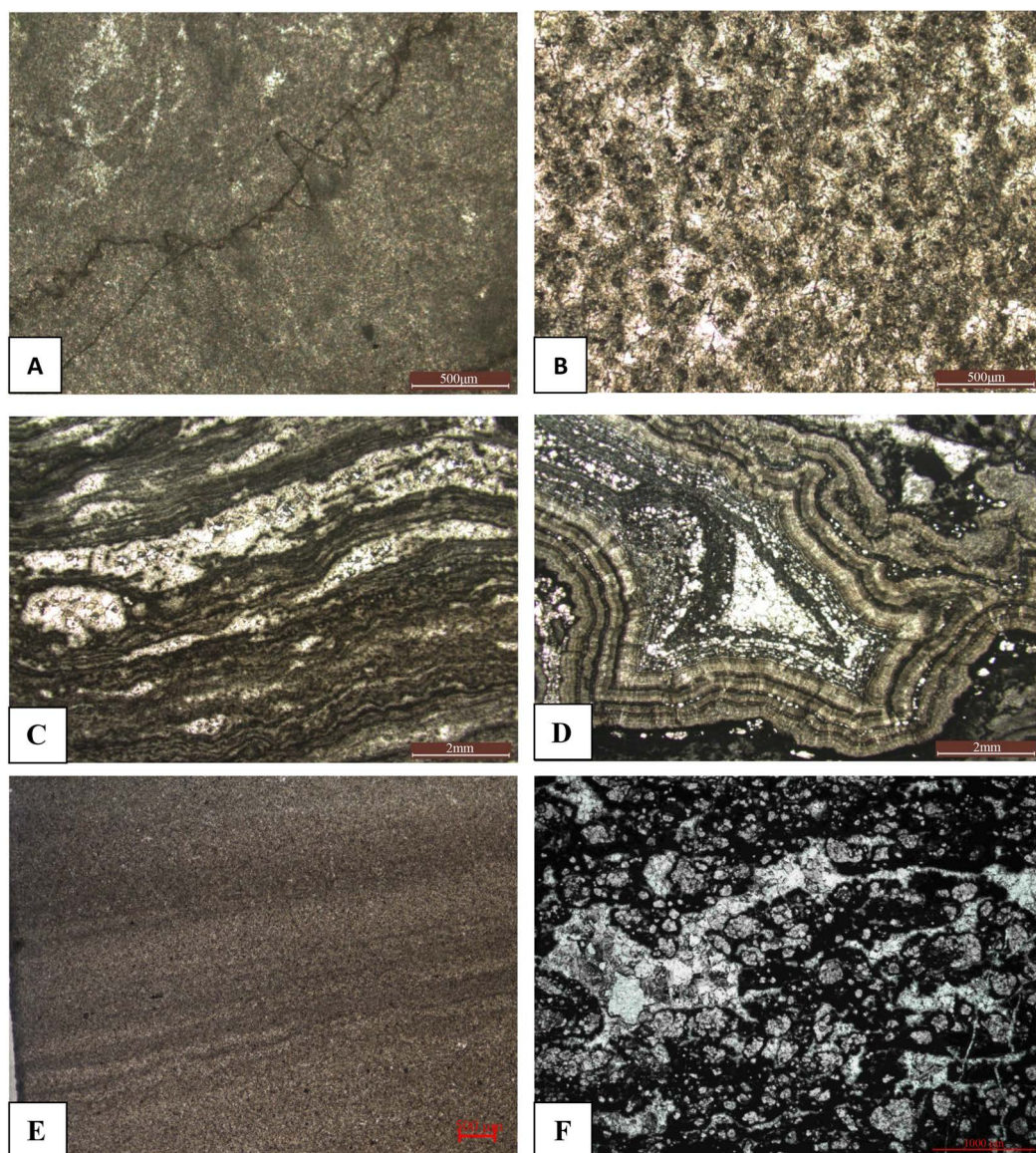


Figure 3. Main lithology of the Dengying formation in the study area; (A) mud crystal dolomite, 5X, PPL, first section of Dengying group, XF11-2; (B) sand mud bright crystal cloud, 5X, PPL, first section of Dengying group, XF3-2; (C) algae stratified cloud rock, 1.25X, PPL1, second section of Dengying group, XF22-1; (D) grape lace-like cloud rock, 1.25X, PPL, the second section of Dengying group, XF27-1; (E) stratified cloud rock, 5X, PPL, first section of Dengying group, XF20-3; (F) clot stone cloud, 2X, PPL, the second section of Dengying group, XF39-1

图 3. 研究区灯影组主要岩性; (A) 泥晶白云岩, 5X, PPL, 灯一段, XF11-2; (B) 砂屑泥亮晶云岩, 5X, PPL, 灯一段, XF3-2; (C) 藻叠层云岩, 1.25X, PPL1, 灯二段, XF22-1; (D) 葡萄花边状云岩, 1.25X, PPL, 灯二段, XF27-1; (E) 纹层状云岩, 5X, PPL, 灯一段, XF20-3; (F) 凝块石云岩, 2X, PPL, 灯二段, XF39-1

② 砂屑云岩(图 3(B)), 研究区有砂屑泥亮晶云岩, 粉屑泥亮晶云岩, 一般形成于水动力条件较强的潮下带浅滩沉积。

③ 藻叠层云岩(图 3(C)), 主要发育在灯二段和灯四段, 藻叠层云岩是富藻层和富屑层两种纹层交互出现形成, 一般为微生物席沉积环境。

④ 葡萄花边状云岩(图 3(D)), 为灯二段的标志性岩性, 野外露头观察像一颗颗“葡萄”, 在镜下观察由围岩, 葡萄花边状胶结物和充填物三部分组成, 从而由岩石形态定名为葡萄花边状云岩。葡萄花边的围岩可以是灯二段的其它类型的云岩, 如泥晶云岩, 藻叠层云岩, 颗粒云岩等, 葡萄花边胶结物是灰色—深灰色的海底环境下形成的等厚纤状胶结物颜色越深, 说明形成时藻类较为繁盛, 一般为台地边缘沉积环境。

⑤ 纹层状云岩(图 3(E)), 主要发育在灯一段和灯四段, 一般为云坪沉积环境。

⑥ 凝块石云岩(图 3(F)), 主要发育在灯二段, 一般与葡萄花边状云岩共生, 为微生物席滩沉积环境。

4. 储集空间类型

通过对研究区野外样品的观察及岩石薄片鉴定, 发现研究区灯影组储集空间类型丰富, 大部分储集空间都被后期的胶结物充填, 很难保存有效的孔隙空间。

4.1. 主要储集空间类型

前人研究认为, 四川盆地灯影组主要的储集空间类型有: 格架孔, 粒内、粒间溶孔, 砾间溶孔、大规模溶孔、溶洞, “葡萄花边”构造残留孔, 裂缝六大类储集空间[15][16]。研究区灯影组储层进行镜下铸体薄片观察发现, 研究区灯影组主要的储集空间类型有: 格架孔、晶间溶孔、葡萄花边构造残余孔以及裂缝。

格架孔主要发育在凝块石云岩和叠层石云岩这类藻类丰富的白云岩中, 一般呈窗格状或叠层状(图 4(A))。这类孔隙多是早期有机易溶的蓝细菌类被溶蚀后形成的格架孔, 再被早期的胶结物充填, 因此这类孔隙中很难见到有效孔隙。

晶间溶孔为研究区主要的有效孔隙类型, 主要为在藻粘结云岩或葡萄花边状云岩中大的格架孔洞被埋藏期白云石充填后的残余孔隙。这类孔隙有可能是未被埋藏期白云石充填的残余孔洞, 也可能是由于埋藏期溶蚀作用溶蚀后形成的有效孔隙(图 4(B))。

葡萄花边构造残余孔, 是一种特殊的储集空间类型, 仅仅发育在葡萄花边状白云岩, 在研究区中主要发育在灯影组二段。“葡萄花边”构造的形成时由于溶蚀作用以及多期次的白云石胶结充填而形成的, 在野外剖面上能明显观察到葡萄花边构造形成的残余孔洞(图 4(C))。

在野外剖面上以及镜下观察中发现, 研究区的裂缝主要发育在灯影组一段的泥晶白云岩中, 灯影组的裂缝主要分为两期, 分别为早期裂缝和晚期裂缝。其中早期裂缝多被白云石充填, 无法形成有效的储集空间, 而晚期裂缝则更有可能形成有效裂缝。通过镜下观察发现, 研究区灯影组的裂缝多为早期裂缝, 被白云石充填(图 4(D)), 少见有效裂缝, 但裂缝可以有效的连通整个储层段, 对改善储层有关键性的作用。

4.2. 影响储集空间的因素

从镜下薄片观察可知, 研究区灯影组的有效储集空间主要发育在灯二段。灯二段的储集空间类型主要由格架孔、葡萄花边残余孔以及裂缝。格架孔主要形成于准同生期-早成岩时期, 而裂缝主要是构造运动的影响下形成的。葡萄花边残余孔是研究区灯影组最主要的储集空间横向分布广, 纵向跨度大。葡萄花边构造残余孔的形成演化是在海平面相对下降时期, 已经固结的岩石暴露地表, 在大气淡水的溶蚀作

用下形成溶蚀孔洞和缝洞, 相对海平面再上升时, 溶洞和缝洞内开始充填多期次的胶结物, 从而形成葡萄花边构造, 后期随着胶结作用的时间越长, 形成的胶结物越多, 残余的有效孔洞越少, 直到深埋藏环境下, 中-粗晶白云石形成后, 剩余的空间才是葡萄花边构造的残余孔洞, 作为灯影组有效的储集空间, 由此可知, 胶结作用是影响研究区灯影组储层最重要的因素。

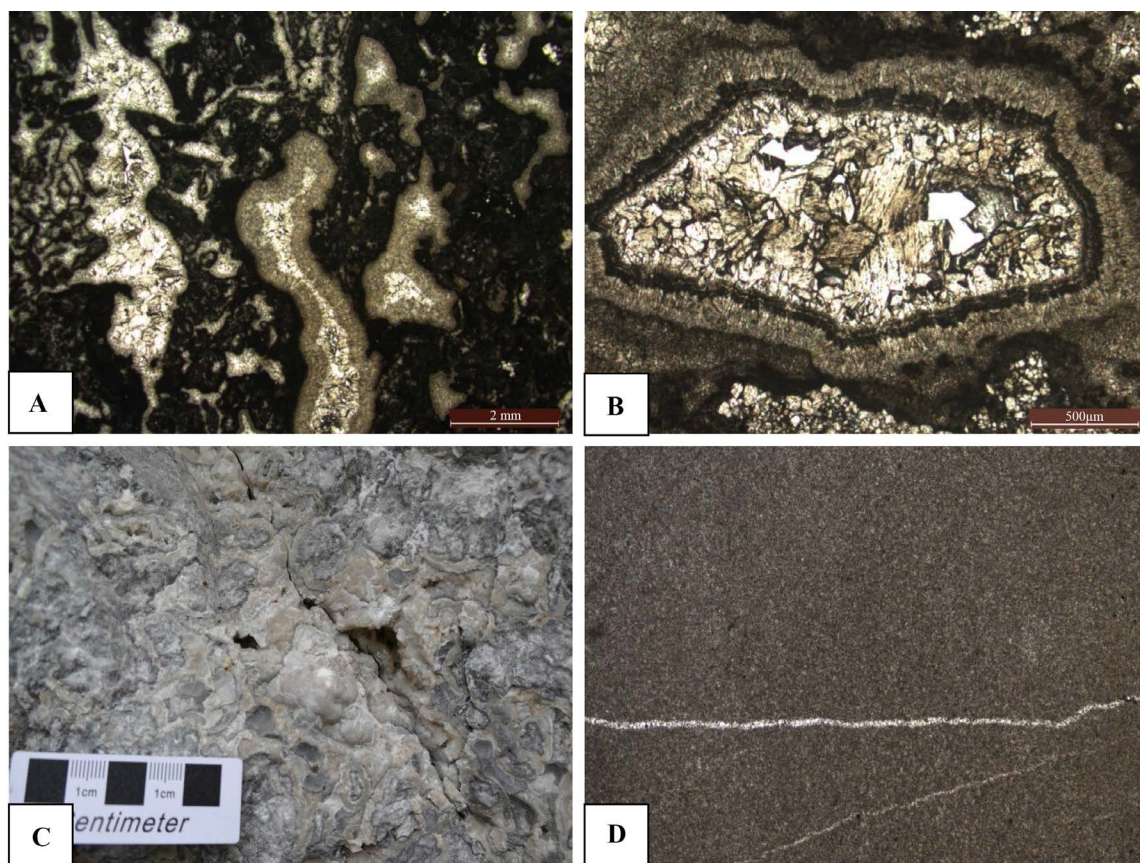


Figure 4. The main types of reservoir space in the study area; (A) clot rock cloud, grid hole in clot rock cloud, 1.25X, PPL, second section of Dengying formation, XF36-2; (B) grape lace-like cloud rock, intercrystalline dissolved pores, 5X, PPL, second section of Dengying formation, XF25-3; (C) grape lamellar dolomite, residual hole in grape lace structure, second section of Dengying formation, XF28; (D) Mud crystal dolomite, crack, first section of Dengying group, XF12-1

图 4. 研究区主要的储集空间类型; (A) 凝块石云岩, 凝块石云岩中的格架孔, 1.25X, PPL, 灯二段, XF36-2; (B) 葡萄花边状云岩, 晶间溶孔, 5X, PPL, 灯二段, XF25-3; (C) 葡萄花边状白云岩, 葡萄花边构造残余孔洞, 灯二段, XF28; (D) 泥晶白云岩, 裂缝, 灯一段, XF12-1

5. 成岩作用特征

成岩阶段划分为三个阶段: 同生成岩阶段、成岩阶段(早成岩、中成岩、晚成岩)和表生成岩阶段。通过野外剖面的系统观察及岩石显微薄片观察发现, 峨边先锋剖面震旦系灯影组成岩作用类型主要有: 压实压溶作用, 胶结充填作用, 白云石化作用, 硅质交代作用, 溶蚀作用, 重结晶作用等。

5.1. 压实压溶作用

压实压溶作用是一种破坏性成岩作用, 主要发生在同生期 - 准同生期以及成岩早期, 是导致岩石的原生孔隙大量减少的一种成岩作用。压实作用下, 沉积物表现为内部颗粒破裂、位移、变形等, 使得颗粒进行重新排列及内部结构发生改变。压实作用是研究区储层物性变差, 原始孔隙减少的重要因素之一。

压实作用继续发展则是压溶作用，随着埋藏深度的增加，上覆地层的压力和构造作用的应力变大，颗粒之间接触的溶解度变高，晶格会发生溶解或变形，随着埋藏深度不断增加，压力不断变大，颗粒的接触方式由漂浮状变为点接触 → 线接触 → 凹凸接触 → 缝合线。研究区灯影组一段的泥晶白云岩中多见缝合线(图 5(A))，说明压实压溶作用发育。

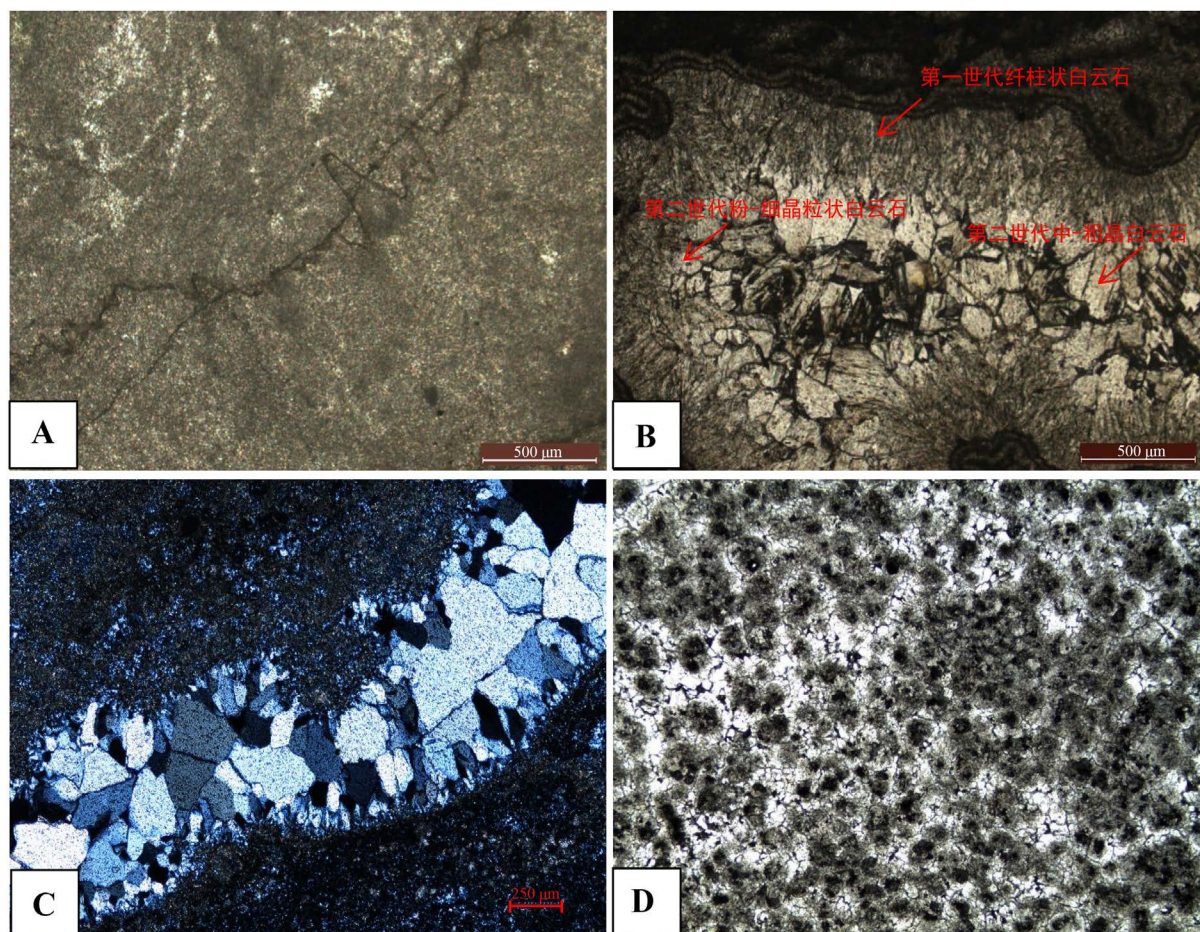


Figure 5. Characteristics of the lithology of the lampshade in the study area; (A) Muddy dolomite, suture development, 5X, PPL, first section of the Dengying group, XF11-2; (B) Grape lace-like cloud rock, multi-stage dolomite cement filling hole, 5X, PPL, the second section of Dengying group 2, XF32-1; (C) Silicified muddy dolomite, silicidation, four thescctin of Dengying group, XF81-1; (D) Sand-grained muddy dolomite, recrystallization, first section of Dengying group, XF3-2

图 5. 研究区灯影组成岩作用特征; (A) 泥晶白云岩, 缝合线发育, 5X, PPL, 灯一段, XF11-2; (B) 葡萄花边状云岩, 多期白云石胶结物充填孔洞, 5X, PPL, 灯二段, XF32-1; (C) 硅化泥晶白云岩, 硅化作用, 灯四段, XF81-1; (D) 砂屑泥晶白云岩, 重结晶作用, 灯一段, XF3-2

5.2. 胶结充填作用

胶结充填作用是指沉积物沉积之后的成岩过程中, 由于自生矿物在孔隙中沉淀而导致沉积物固结的作用。胶结充填作用主要发生在灯影组二段的藻粘结云岩中, 存在于整个成岩过程中, 包括了对岩石原生孔隙的充填作用, 还包括对次生孔隙以及裂缝等的胶结作用。胶结充填作用是使储层孔隙减少的主要成岩作用。以灯影组二段的藻粘结云岩为例(图 5(B)), 在藻格架孔中一般可以观察到 3 个世代的胶结物。第一世代胶结物为同生期形成的纤状白云石胶结物; 第二世代是在第一期的基础上, 对孔洞进行继续充填的粉-细晶粒状白云石胶结物; 第三世代为中-粗晶白云石胶结物, 越到孔洞中间, 白云石胶结物的

晶粒越大。

5.3. 硅化作用

研究区灯影组四段中硅化作用发育,是一种破坏储层的成岩作用。该地区硅化作用主要有两种类型:一是在同生-准同生期,灯四段中的泥晶白云岩被整体硅化,发生的时间早;第二种是石英对孔洞或裂缝进行充填或交代(图 5(C)),也是主要发育在灯四段中,并且在镜下可见自形的石英晶体。硅化作用对白云石储层的破坏性作用非常强烈,一是减少了储层的有效储集空间,二是使储层变得非常致密,连通性变差。

5.4. 溶蚀作用

溶蚀作用是酸性地下水或大气降水使碳酸盐岩发生的选择性或非选择性溶解作用,并产生孔洞的有利于储层发育的成岩作用。根据溶蚀作用发生的时间和环境的不同,研究区灯影组储层经历的溶蚀作用可以划分成三期:同生期大气淡水溶蚀作用、表生期大气淡水岩溶作用、深埋藏期溶蚀作用。同生期溶蚀作用是指碳酸盐岩在沉积期,由于海平面反复升降或是地层抬升暴露,受大气淡水淋滤发生的溶蚀作用。表生期溶蚀作用是指沉积体受构造运动影响整体抬升,地层长期受大气淡水淋滤作用,地表被改造为岩溶型地貌,并形成风化壳的岩溶作用。埋藏期溶蚀作用是指有机质成熟或烃类裂解过程中释放酸性地层水对储层的溶解作用。研究区的溶蚀作用主要包括同生期溶蚀作用,表生岩溶作用以及埋藏期溶蚀作用。

灯影组二段末期及灯影组四段末期发生了两次大的构造运动,分别对应桐湾 I 幕和桐湾 II 幕,海平面反复升降使灯影组储层遭受溶蚀,并且在灯影组二段顶部和灯影组四段顶部,溶蚀作用非常发育。表生岩溶作用是改善灯影组储层最主要的溶蚀作用,灯二段储层和灯四段储层是研究区灯影组最好的储集层。

5.5. 重结晶作用

重结晶作用是指在成岩过程中,矿物的晶体形状以及大小发生变化,但主要矿物成分不发生改变的作用。EzatHeydari 等[17]认为与烃类生成相关有机酸可导致重结晶作用。重结晶作用虽然不能改变原岩的总孔隙度,但可以改变岩石的孔隙结构。比如重结晶作用可以是泥晶白云岩中的孤立的小孔隙重新组合形成较大的白云石晶间孔,也可以使晶间孔的喉道变的较为平滑,由此增加白云岩的孔隙度和渗透率,并为后期溶蚀性流体提供通道,因此对储集层来说是一种建设性的成岩作用。重结晶作用一般在富含泥质、藻类、有机质的泥晶白云岩中较弱,结构不容易改变;而在不含不溶残余物的泥晶云岩、砂屑云岩中,重结晶作用较强,重结晶作用后原岩的结构会发生较大的变化,形成具残余结构的白云岩。

研究区灯影组白云岩重结晶现象普遍发育,白云岩中灰白色砂屑白云岩、颗粒白云岩和泥晶白云岩,由于菌藻类、有机质及泥质含量少,很容易发生重结晶作用。常形成具有颗粒幻影或颗粒残留结构的粉晶、中晶白云岩[18]。在灯一段中可见,砂屑泥亮晶白云岩发生重结晶作用后,形成具残余结构的砂屑泥晶白云岩(图 5(D))。

6. 结论

本次对峨边先锋剖面震旦系灯影组的研究,主要是在野外地质剖面的基础上,结合薄片观察等分析方法,从微观上对研究区灯影组的岩石学特征、储集空间特征、成岩作用特征进行研究。

取得的成果和认识如下:

1) 乐山峨边先锋剖面灯影组地层的野外露头较好,野外地层从灯一段-灯四段发育完整。研究区灯影

组主要岩性有：泥晶白云岩、砂屑泥亮晶云岩、藻叠层云岩、凝块石云岩、藻粘结云岩、葡萄花边状云岩以及硅化泥晶白云岩；从灯一段为潮坪沉积，发育的沉积微相有浅滩、云坪、灰泥丘；灯二段为碳酸盐台地沉积，发育的沉积微相有云坪、微生物滩、微生物席滩、微生物礁；灯三段为混积坪；灯四段为潮坪沉积，发育的沉积微相云坪、微生物席、微生物层丘。

2) 研究区灯影组的储集空间类型主要有：藻格架孔、晶间溶孔、葡萄花边构造残余孔以及裂缝，其中葡萄花边构造残余孔洞以及晶间溶孔为研究区灯影组的主要储集空间，但由于后期胶结物充填葡萄花边构造孔，有效孔隙非常少。

3) 研究区灯影组主要成岩作用有：压实压溶作用、胶结充填作用、溶蚀作用、重结晶作用、硅质交代作用；其中压实压溶作用、胶结充填作用、硅质交代作用为破坏性成岩作用，溶蚀作用和重结晶作用为建设性成岩作用。灯影组二段和灯影组四段为研究区灯影组主要的优质储层。

参考文献

- [1] 徐春春, 沈平, 杨跃明, 等. 乐山——龙女寺古隆起震旦系——下寒武统龙王庙组天然气成藏条件与富集规律[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 1-7.
- [2] 马新华. 四川盆地天然气发展进入黄金时代[J]. 天然气工业, 2017, 37(2): 1-10.
- [3] 刘树根, 马永生, 黄文明, 等. 四川盆地上震旦统灯影组储集层致密化过程研究[J]. 天然气地球科学, 2007(4): 485-496.
- [4] 赵子豪, 李凌, 孟庆龙, 等. 四川盆地灯影组沉积相及演化规律[J]. 地质调查与研究, 2016, 39(4): 241-248.
- [5] 单秀琴, 张静, 张宝民, 等. 四川盆地震旦系灯影组白云岩岩溶储层特征及溶蚀作用证据[J]. 石油学报, 2016, 37(1): 17-29.
- [6] 杨威, 魏国齐, 赵蓉蓉, 等. 四川盆地震旦系灯影组岩溶储层特征及展布[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 55-60.
- [7] 郝毅, 周进高, 陈旭, 等. 四川盆地灯影组“葡萄花边”状白云岩成因及地质意义[J]. 海相油气地质, 2015, 20(4): 57-64.
- [8] 林孝先, 彭军, 闫建平, 等. 四川盆地震旦系灯影组葡萄状白云岩成因讨论[J]. 古地理学报, 2015, 7(6): 755-770.
- [9] 郝毅, 王宇峰, 杨迅, 等. 四川盆地震旦系灯影组白云岩成岩作用研究[J]. 四川地质学报, 2016, 36(3): 367-371.
- [10] 张杰, Brian Jones, 潘立银, 等. 四川盆地震旦系灯影组葡萄状白云岩成因[J]. 古地理学报, 2014, 16(5): 715-725.
- [11] 周正. 川中地区震旦系灯影组储层研究[D]: [博士学位论文]. 成都: 西南石油大学, 2016.
- [12] 冯明友, 伍鹏程, 鄢晓荣, 等. 四川峨边震旦系灯影组三段泥页岩地球化学特征及地质意义[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2017, 36(3): 493-501.
- [13] 林孝先, 彭军, 侯中健, 韩浩东, 李旭杰, 马春疆. 四川汉源——峨边地区上震旦统灯影组藻白云岩特征及成因研究[J]. 沉积学报, 2018, 36(1): 57-71.
- [14] 黄新翠. 川西南震旦系灯影组优质储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都理工大学, 2012.
- [15] 王文之, 杨跃明, 张玺华, 等. 四川盆地震旦系灯影组储层特征及成因[J]. 东北石油大学学报, 2016, 40(2): 1-10+121.
- [16] 姚根顺, 郝毅, 周进高, 等. 四川盆地震旦系灯影组储层储集空间的形成与演化[J]. 天然气工业, 2014, 34(3): 31-37.
- [17] Heydari, E. and Wade, W.J. (2002) Massive Recrystallization of Low-Mg Calcite at High Temperatures in Hydrocarbon Source Rocks: Implications for Organic Acids as Factors in Diagenesis. *AAPG Bulletin*, **86**, 1285-1303. <https://doi.org/10.1306/61EEDC7E-173E-11D7-8645000102C1865D>
- [18] Klein, C., Hurlbut, C.S. and Dana, J.D. (1998) *Manual of Mineralogy (after James D. Dana)*. John Wiley & Sons, Hoboken.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org