

川中地区震旦系灯影组储层特征及其主控因素

莫 静^{1,2} 王兴志^{1,2} 冷胜远³ 林 刚^{1,2} 熊剑文^{1,2} 谢 林^{1,2} 周 正^{1,2}

(1.西南石油大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室,四川 成都 610500; 2.西南石油大学天然气地质四川省高校重点实验室,四川 成都 610500; 3.长庆油田分公司第三采气厂气田产能建设项目组,内蒙古 鄂尔多斯 017300)

摘要:采用宏观和微观相结合的方法,对川中地区震旦系灯影组地层研究表明,其储集岩类型主要为溶蚀(假)角砾岩、粉晶白云岩、藻白云岩和砂屑白云岩,储集空间以溶蚀孔洞为主,储集物性较差,为低孔低渗型储层,储层类型以裂缝-孔洞型为主。研究区岩溶储层的发育及演化受到沉积作用、成岩作用以及构造作用的共同控制。相对较强水力环境形成藻白云岩、粉晶白云岩和颗粒白云岩,发育原生孔隙,为后期强烈岩溶作用提供了良好的物质基础。两幕铜湾运动使灯影组地层抬升,长时间暴露于地表,接受大气淡水、混合水改造,发生表生期岩溶作用。在近地表处形成风化壳,大气淡水、混合水通过风化壳继续溶蚀下覆地层,局部地层溶蚀强烈,垮塌形成岩溶角砾岩,同时在下覆地层中形成大量溶蚀孔洞等次生孔隙。沉积作用和成岩作用为次生孔隙的形成提供了有利条件,改善了储层的储集性能,而后期多期次构造作用产生大量裂缝,大大提高了储集岩渗透率。

关键词:川中;灯影组;储层;白云岩;古岩溶作用

中图分类号:P618.130.2¹ **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)05-1505-10

近年来,四川地区震旦系灯影组研究取得了重大突破,先后发现威远震旦系气田和资阳震旦系气藏,前人研究表明^[1-5],灯影组碳酸盐岩储层发育受到沉积相、成岩作用和构造作用控制,沉积作用、成岩作用以及构造作用的相互配合是形成质量好储集体的有利条件。与威远、资阳地区具有相似地质条件的川中乐山—龙女寺古隆起平缓区在该套地层内的油气勘探才进入起步阶段,虽然一些专家学者在该区已经做了大量的工作^[6-9],对油气地质条件也取得了一定程度的认识,但是由于该区储集层段埋藏较深,成岩作用复杂,对储层特征及其主控因素等问题的认识仍尚存争议,因此,本文结合区域地质资料和区域构造演化史,对川中地区震旦系灯影组储层进行研究,明确储层特征及其主控因素,希望后期油气勘探提供有益的理论支撑。

1 地质背景

四川盆地是一个面积约 $19 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的大型含

油气叠合盆地,在前震旦系变质岩和火成岩的基底上,沉积了厚达 6000~12000 m 的海相和陆相地层。川中地区位于四川盆地中部,涉及遂宁、南充和安岳等市(县)。研究区在区域构造上隶属于乐山—龙女寺古隆起,位于川中平缓褶皱带(图 1),古隆起震旦系天然气资源丰富^[10-11],区内油气藏类型十分复杂,不仅存在众多的构造型油气藏,还有许多非构造型油气藏,研究区为磨溪、高石梯两个构造带。安静稳定的浅水台坪环境本可以形成连续稳定沉积的灯影组地层,但由于两幕铜湾运动的发生,导致沉积环境变化,成岩作用复杂多样,纵向上从底到顶呈现两次海退沉积旋回特征(图 1)。

2 灯影组储层特征

2.1 主要储集岩类型

川中地区灯影组的宏观、微观观察及物性分析表明,岩石类型多样,以碳酸盐岩占绝对优势,少量硅质岩和泥岩,能构成储集体的岩石主要为距两期

收稿日期:2013-01-10;改回日期:2013-06-20

基金项目:教育部“新世纪优秀人才支持计划”(NECT-04-0911);四川省重点建设学科建设项目(SZD0414)。

作者简介:莫静,女,1988年生,硕士生,主要从事沉积学及储层地质学研究;E-mail:495963082@qq.com。

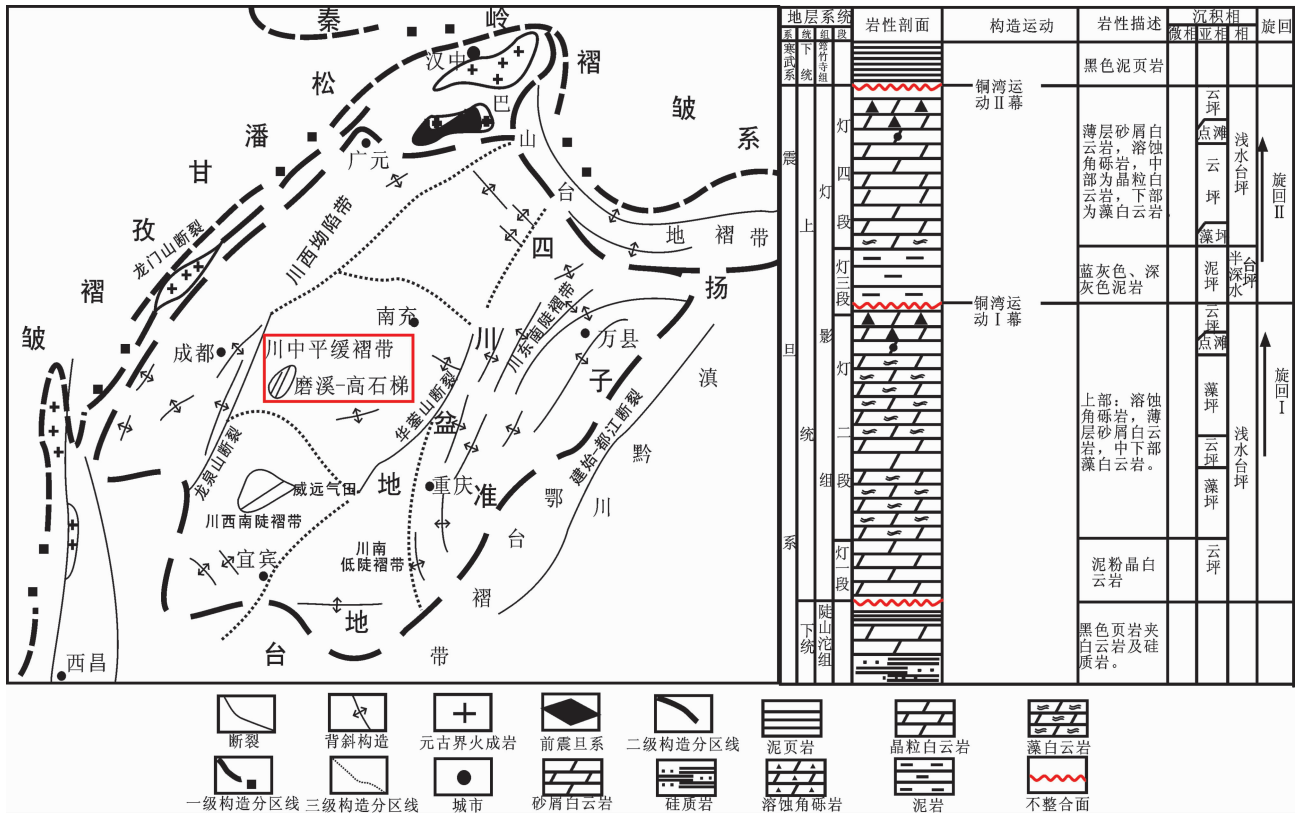


图 1 川中地区构造与川中灯影组地层综合柱状图(构造部分据文献[12],略有修改)

Fig.1 Structure and generalized stratigraphy of Dengying Formation, central Sichuan basin (structure modified after reference[12])

风化壳 0~200 m 范围内的砂屑(颗粒)白云岩、溶蚀(假)角砾岩、粉晶白云岩和藻纹层白云岩,泥岩和硅质岩一般作为盖层或者隔层。

砂屑白云岩呈灰白色、灰黑色,砂屑由灰白色微晶白云岩砂屑或灰黑色微晶藻屑组成,含量 50%~80%,大小 1~1.5 mm,分选、磨圆好(图 2-a)。镜下见粒间纤状或短柱状白云石组成的栉壳环边和粒状亮晶白云岩胶结物。后期强烈重结晶和溶蚀作用使其形成具或不具残余砂屑结构的粗粉晶-细晶白云岩,并产生较多的晶间孔、晶间溶孔和溶洞(图 2-b),宏观上常呈针孔状(图 2-c),面孔率<5%,构储集物性较好,但其纵向厚度一般小于 2 m,横向连通性差,难以形成良好储集岩。

岩溶角砾岩在区内分布较多,呈灰色、杂色,中-薄层状,基岩多由半自形泥粉晶白云石组成。角砾成分杂乱,无分选、磨圆(图 2-d),角砾间充填砂屑、粉屑以及纤状白云石、粒状白云石(图 2-e)。弱溶蚀作用形成岩溶假角砾(图 2-f),强溶蚀作用形

成岩溶角砾岩,并伴随大量溶蚀孔洞发育,局部面孔率为 1%~2%,溶蚀孔洞被晶粒白云石、石英、沥青半充填形成残余空间(图 2-g),储集性能较好。

粉晶白云岩分布广,呈灰白至灰色,晶粒大小为 0.01~0.1 mm,以半自形为主(图 2-h)。微观下见较多的晶间孔、晶间溶孔和溶洞(图 2-i~l),宏观常见蜂窝状溶孔(图 3-a),是区内较好的储集岩类型。

藻纹层白云岩呈深灰、灰色。岩石主要由密集的富藻纹层和富屑纹层组成(图 3-d)。宏观岩心可见层纹状藻白云岩向上过渡为白云质干裂屑角砾岩(图 3-e),表明其形成于海平面附近的沉积环境中,时常暴露于水体之上,岩溶作用明显,发育沿层纹方向分布的小溶沟、溶缝,宽一般 0.5~1.5 cm,但纤状、粒状亮晶白云石、石英及沥青微充填—充填(图 3-b~c、3-f),储集性能一般。

2.2 储渗空间类型及特征

研究区灯影组储层的储渗空间成因复杂,类型较多,以次生的孔、洞、缝为主,主要包含以下几种类型。

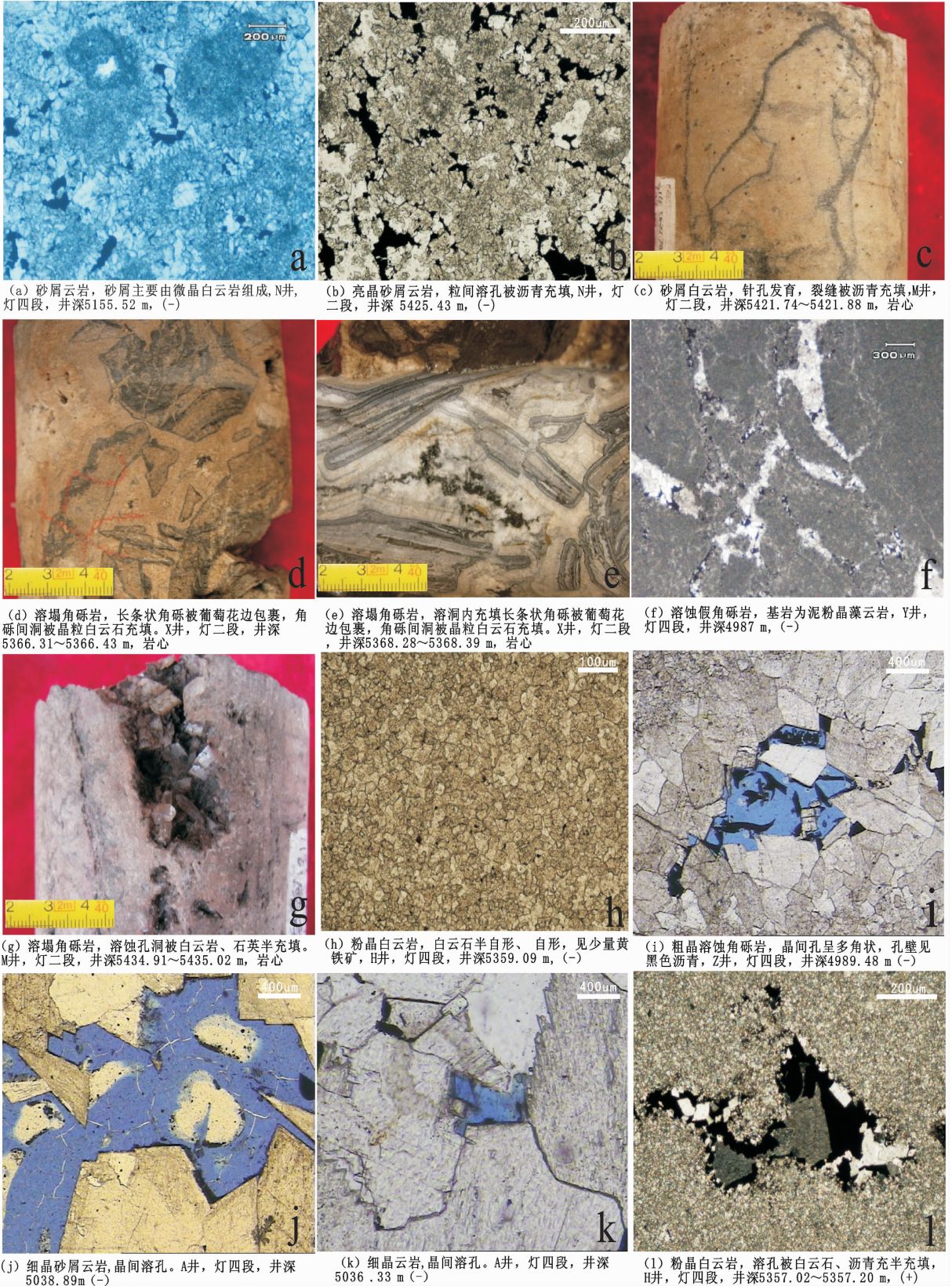


图 2 川中地区灯影组储集岩类型及储集空间类型图

Fig.2 Type graphs of reservoir rocks and space of Dengying Formation in central Sichuan

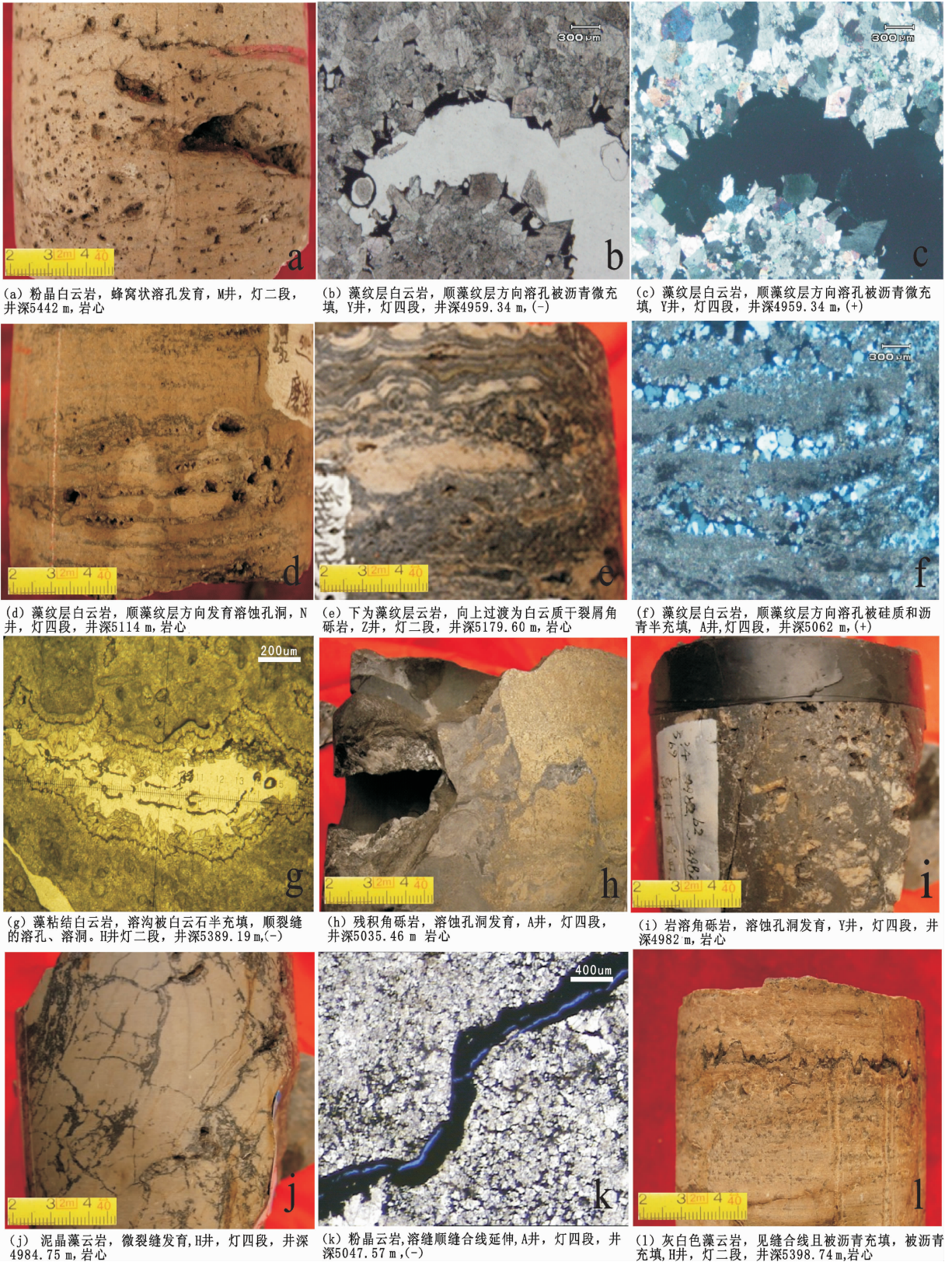


图3 川中地区灯影组储集岩类型及储集空间类型图

Fig.3 Type graphs of reservoir rocks and space of Dengying Formation in central Sichuan

(1)粒间溶孔。粒间溶孔是颗粒沉积物间的原生粒间孔被多期亮晶胶结物或基质充填后又被溶蚀形成的孔隙(图2-a~c),多形成于成岩晚期,溶解作用沿最后一期胶结后残留的空隙进行,孔隙中的沥青是液态烃热裂解后的残留物,表明溶蚀作用发生于烃类进入之前,并受控于裂缝发育程度和分布范围,故其非均质性强。这种孔隙发育在区内灯二段、灯四段顶部砂屑云岩、藻粘结云岩(少量)中,面孔率一般2%~5%,孔径0.05~0.20 mm,但由于其分布局限,为区内次要储集空间类型。

(2)晶间(溶)孔。区内晶间孔多为微晶白云岩经重结晶转变为较粗晶粒白云岩的过程中,由细小晶间孔重新调整而成(图2-i)。孔径一般较大,多为0.05~0.5 mm,位于自形、半自形白云石晶体间,呈不规则多边形,分布不规则,连通性较差;晶间溶孔是在晶间孔基础上,经溶蚀扩大而成。孔隙不规则,边缘具明显的溶蚀痕迹(图2-j~l)。晶间溶孔集中分布于灯四段晶粒白云岩储层中,面孔率2%~5%,孔径0.03 mm左右,是区内常见孔隙类型。

(3)顺藻纹层方向溶孔。区内特有的孔隙,形成于成岩晚期,溶解作用沿富藻纹层和富屑纹层交界面作用于富含有机质的富藻纹层,形成顺层溶蚀孔洞(图3-b~d,3-f),该类孔隙集中发育于灯二段富藻层段,但多被后期白云石、石英和沥青半充填—全充填,为区内灯影组次要储集空间,面孔率1%~2%。

(4)孔隙性溶洞和裂缝性溶洞。孔隙性溶洞是在晶间孔和晶间溶孔等孔隙基础上的进一步溶蚀扩大。洞径大小一般2~10 mm,最大可达50 mm以上,形态多为不规则椭圆状,常沿层纹方向分布,局部形成蜂窝状(图3-a),连通性较好。这类空隙常被白云石、石英、沥青半充填,局部面孔率为5%~20%,最高可达25%以上。孔隙性溶洞主要分布于晶粒较粗的白云岩中,是区内重要的储集空间类型之一;裂缝性溶洞多出现于易破裂和易溶解的白云岩中。质纯、性纯的白云岩在裂缝形成后,大气淡水或地层水沿裂缝运移并发生溶解,溶解作用一方面将局部裂缝溶蚀扩大,形成宽窄不一的裂缝性溶洞、溶沟,宽一般0.2~1 cm,呈定向分布,连通性极好;另一方面,溶解作用也可在裂缝两侧围岩中进行,形成与裂缝产状近一致的拉长状、串球状溶孔、溶洞(图3-g)。区内一组35°~45°走向的张性和张扭性裂缝有助于这类

溶洞的形成,裂缝性溶洞是区内灯影组中较常见的储集空间类型。

(5)岩溶洞。主要出现于白云质的岩溶角砾岩、风化残积角砾岩和构造角砾岩中,常沿角砾间分布,大小为2~20 mm。白云质岩溶角砾岩中岩溶洞发育,形态不规则,是区内一种重要的储集空间类型(图3-h、3-i)。

此外,对研究区储渗有贡献的裂缝主要是构造缝、岩溶缝和压溶缝。据前人研究^[12],在加里东期、印支期及以后研究区仍为断裂存在且相对活跃的地区,可作为油气运移通道(图3-j),在合适的圈闭条件下聚集成藏。而岩溶缝规模一般,多不规则,缝壁极不平整,有明显的溶蚀现象(图3-k)。压溶缝呈锯齿状,幅度在0.01~2 cm,缝合缝中常被粘土泥和沥青等不溶残余物充填(图3-l),局部出现溶蚀孔隙。

2.3 储层物性特征

为研究区内灯影组储层物性特征^[13-15],选取区内8口井,总计102个样品进行分析表明,灯影组孔隙度为0.09%~9.88%,平均1.66%,小于2%的样品出现频率为79.41%。其中孔隙度在0~4%的样品占样品总数的96.08%,大于4%的样品占样品总数的3.92%;渗透率大于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占样品总数的7.84%,渗透率小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品占样品总数的92.16%。从区内孔隙度和渗透率直方图分析可知(图4),各样品孔隙度值和渗透率值的大小存在明显差别,大部分样品物性较差,反映研究区灯影组储层具低孔、低渗特征。根据区内孔渗散点图(图5)分析可知,储层孔渗关系存在明显的分区性:A区孔渗关系不存在正相关性,具孔隙度增大,渗透率基本不变的趋势,且渗透率密集分布在 $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,属较好的渗透率,表明裂缝亦或溶蚀扩大缝在储层渗流中起到一定的作用;B区孔渗关系存在一定的线性关系,即有随孔隙度增加,渗透率变大的趋势,但渗透率总体小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这充分表明该区孔隙结构复杂,溶蚀孔洞、溶洞对储集层孔隙度影响较大。储层的成因不具单一性,受多种因素的控制。总体来说,研究区灯影组储集性能一般,多为低孔、低渗的裂缝-孔洞型储层。

3 储层的主控因素

控制川中灯影组储层的因素有很多^[16-18],主要

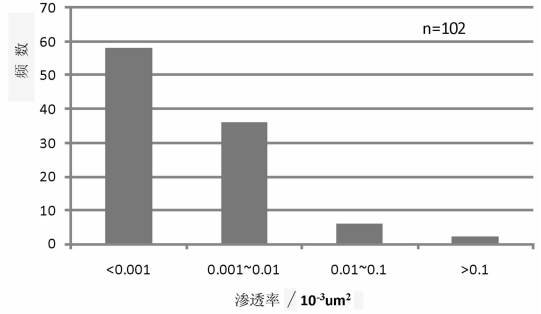
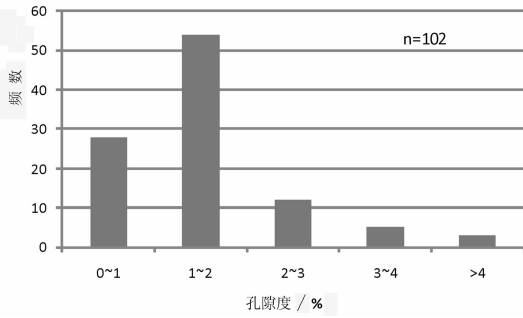


图 4 川中地区灯影组岩心孔隙度、渗透率分布直方图

Fig.4 Distribution histogram of core porosity and permeability of Dengying Formation in central Sichuan

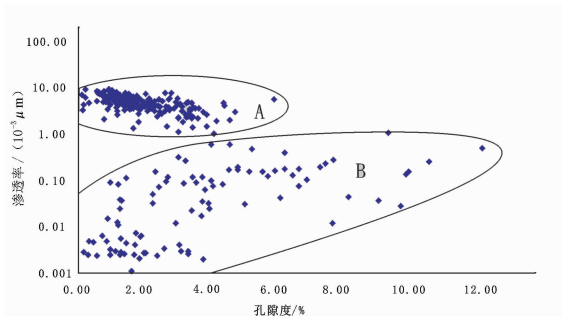


图 5 川中灯影组岩心孔渗散点图

Fig.5 Core porosity and permeability scatter diagram of Dengying Formation in central Sichuan

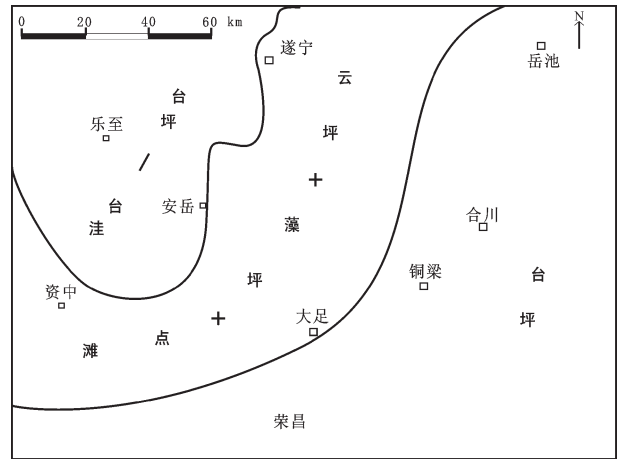


图 6 川中地区震旦系灯影组灯四段沉积相平面图 (据郝毅,2012^①,略有修改)

Fig.6 Sedimentary facies plane distribution map of Dn⁴ member of Sinian Dengying Formation(modified after Hao Yi,2012)

以沉积作用、成岩作用以及构造作用为主。

3.1 沉积作用的影响

通过前人的研究表明^[9],经过早震旦世的长期剥蚀,四川盆地及周边古陆逐渐夷平,随着早震旦世南沱期冰川的融化,海平面上升,海侵范围扩大。到陡山沱期,四川盆地开始接受沉积,沉积环境为一陆表海,沉积产物以泥岩和白云岩为主。晚震旦世灯影期,川黔地区在陡山沱期古地理基础上进一步发展、演化,形成一个耸立于海洋之中的浅水碳酸盐台地。虽然盆地内沉积环境水体深度能量变化均不是很大,但水动力相对较强区域仍可形成点滩沉积体、藻坪沉积体以及较粗的云坪沉积体。另外后期铜湾运动导致灯影组地层被两次抬升,长时间暴露于地表,接受大气淡水、混合水改造,发生表生期岩溶作用。点滩沉积体(砂屑云岩为主)又靠近不整合面的顶部,并富含丰富的原生孔隙,利于后期溶蚀作用的进行,但其分布局限,难以形成良好储集体。藻坪沉积

体中纹层富含有机质,可加速溶蚀作用进行;云坪沉积体中富含原生孔隙,更容易接受后期成岩作用的改造,为储层的发育演化提供物质基础。因此,川中地区相对较强水动力为藻坪沉积体、较粗的云坪沉积体以及点滩沉积体提供了条件,有利于后期成岩作用的进行,为储层发育提供了良好的物质条件(图6)。相对低能水体沉积泥坪沉积体以及较细粒的云坪沉积体,不利于储层的发育。

3.2 成岩作用的影响

虽然压实作用、胶结作用和硅化作用等破坏性成岩作用,使得灯影组储层的孔隙变差(图3-f,3-1),但是后期岩溶作用极大地改善了储层性质,特别

①郝毅.四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦系沉积相研究项目汇报材料[R].中石油勘探开发研究院杭州地质研究院,2012.

是位于灯二段和灯四段顶部的表生期古岩溶作用。从目前已有资料分析表明,有利于飞仙关组储层形成的成岩作用主要为两期表生期古岩溶作用。表生期古岩溶作用发生在成岩作用表生期,对改善储层的储集性能有重要的作用^[20-23],是区内储层次生孔隙形成的重要条件。前人研究表明,表生期溶解作用与构造抬升形成的不整合面有着密切的关系^[20],与构造作用的幕次相对应,说明构造作用对后期岩溶作用的发生起着一定的控制作用。区内灯影组表生期岩溶作用主要有两期:第一期发生于灯二段中上部,由于铜湾运动 I 幕使得灯二段和灯一段地层抬升,相对海平面下降,灯二段顶部地层长时间出露于水体之上,受到大气淡水和混合水的影响,发生表生期溶蚀作用。在近地表处形成风化壳,大气淡水和混合水通过风化壳中裂缝或孔洞向下覆地层渗流,使下覆地层经受岩溶改造,局部地层溶蚀强烈,垮塌形成溶蚀角砾岩,同时在下覆地层中形成大量溶蚀孔洞、溶蚀缝和溶沟,成为储层发育有利区。第二期与第一

期成因机理相似,但发育部位为灯四段中上部。两期岩溶作用的溶蚀能力都较强,岩溶分带性明显(图 7)。垂直渗流带中垂向溶沟、溶蚀孔洞和高角度溶蚀扩大缝发育,但多被机械碎屑物、化学沉淀物充填,残余储集空间较少,对储层形成贡献次于水平潜流带。水平潜流带中椭圆状水平溶蚀孔洞、溶蚀扩大缝和少量溶沟被机械碎屑物、化学沉淀物充填后仍旧残留一定的储集空间,在后期埋藏岩溶作用和褶皱期岩溶作用的溶蚀和改造下,进一步形成孔渗性较好的储层段,对储层形成贡献最大,为工作区最有利储集带。深部缓流带由于溶蚀作用弱,个别层段形成的小规模溶孔、溶缝多被全充填,对形成储层意义不大。

3.3 构造作用的影响

区内灯影组经历了桐湾运动、加里东运动、印支运动、燕山运动和喜山运动等构造运动,特别以喜山期为主。该期构造运动是四川盆地地层全面褶皱阶段,产生了大量的断层、裂缝,导致地层水进入和大气淡水的下渗,进而引发了溶蚀作用,形成溶蚀扩大

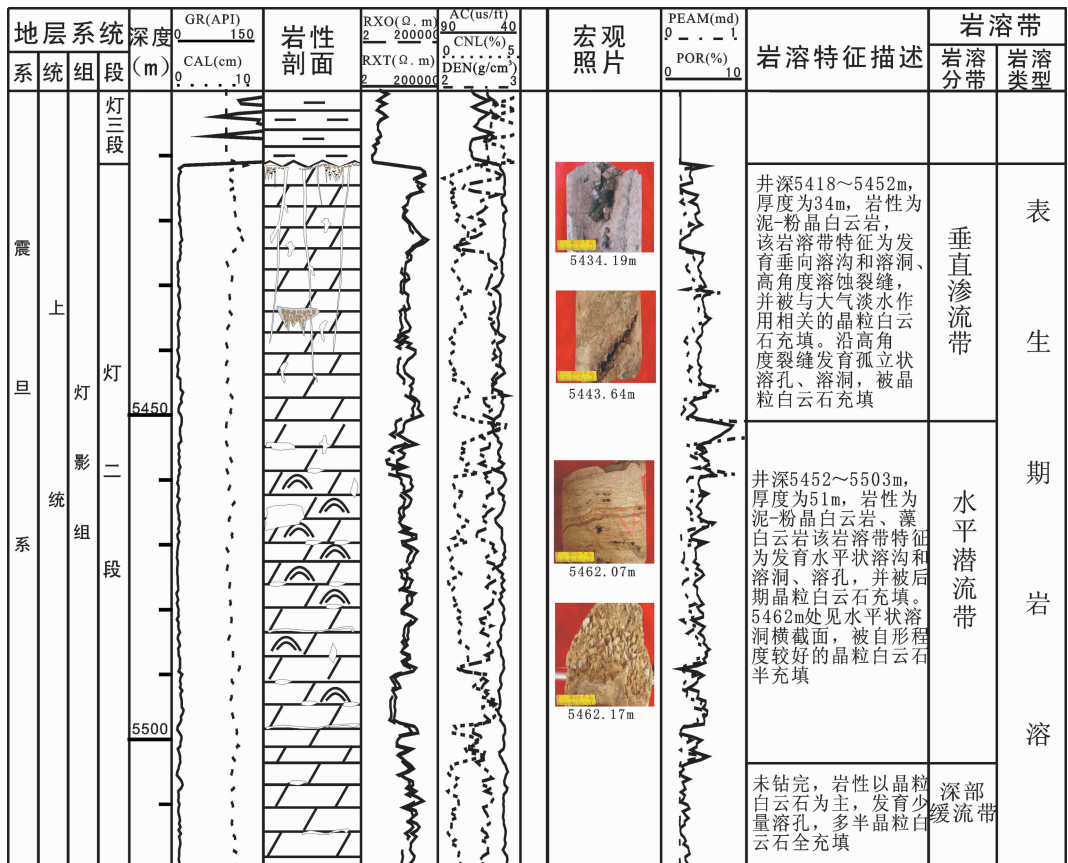


图 7 m 井灯二段岩溶分带特征
Fig.7 Karst zone features of Dn² member of M well

缝。裂缝及溶蚀扩大缝大大提高了研究区储集岩的渗透率。

综上所述,在沉积作用、成岩作用和构造作用的共同配合下,区内储层主要分布于距两次旋回顶部风化壳 0~200 m 范围内的地层。

4 结 论

(1)灯影组储层主要储集岩类有藻白云岩、粉晶白云岩、岩溶角砾岩和颗粒云岩,储集空间以次生孔隙为主,储集性能较差,多为低孔、低渗的裂缝-孔隙型储层,裂缝、溶蚀扩大缝有助于提高储渗性能。

(2)川中地区震旦系灯影组储层的发育受到沉积作用、成岩作用和构造作用的共同控制,相对较强水动力环境形成藻白云岩、粉晶白云岩和颗粒白云岩,发育原生孔隙,为后期岩溶作用程度提供了良好的物质基础。由于颗粒白云岩分布过于局限,难以形成良好储集体,但其储集物性较好;两幕铜湾运动使灯影组地层抬升,灯二段、灯四段地层长时间暴露于地表,接受大气淡水、混合水改造,发生表生期岩溶作用。在近地表处形成风化壳,大气淡水、混合水通过风化壳继续溶蚀下覆地层,局部地层溶蚀强烈,垮塌形成岩溶角砾岩,同时在下覆地层中形成大量溶蚀孔隙等次生孔隙。沉积作用与成岩作用为研究区次生孔隙的形成提供了有利条件,改善了储层的储集性能,构造作用为裂缝形成提供了条件,大大提高了储集岩的渗透率。

参考文献(References):

- [1] 王兴志,穆曙光,方少仙,等.四川盆地西南部震旦系白云岩成岩过程中的孔隙演化[J].沉积学报,2000,18(4):660-667.
Wang Xingzhi, Mu Shuguang, Fang Shaoxian, et al. Porosity evolution in the dolomite diagenesis process of Sinian in the Southwest Sichuan Basin [J]. Journal of Deposit, 2000, 18 (4):660-667(in Chinese with English abstract).
- [2] 张若祥,王兴志,蓝大樵,等.四川盆地资阳地区震旦系灯影组油气成藏条件分析 [J].重庆科技学院学报(自然科学版),2006,8(1):14-17.
Zhang Ruoxiang, Wang Xingzhi, Lan Dajiao, et al. Analysis of hydrocarbon accumulation conditions of Dengying Formation of Sinian in Ziyang area of Sichuan Basin [J]. Journal of Chongqing Institute of Technology(Natural Science Edition), 2006, 8(1):14-17 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王兴志,穆曙光,方少仙,等.四川资阳地区灯影组滩相沉积及储

集性研究[J].沉积学报,1999,17(4):578-583.

Wang Xingzhi, Mu Shuguang, Fang Shaoxian, et al. Study on beach deposition and reservoir performance of Dengying Formation in Ziyang area of Sichuan Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinca, 1999, 17(4):578-583(in Chinese with English abstract).

- [4] 王兴志,黄继祥,侯方浩,等.四川资阳及邻区灯影组古岩溶特征与储集空间[J].矿物岩石,1996,16(2):47-54.
Wang Xingzhi, Huang Jixiang, Hou Fanghao, et al. Karst feature and reservoir space of Dengying Formation in Ziyang and its adjacent regions in Sichuan [J]. Mineral Petrology, 1996, 16(2):47-54(in Chinese with English abstract).
- [5] 刘家洪,杨平,汪正江,等.黔北震旦系灯影组顶部古风化壳特征及油气意义[J].中国地质,2012,39(4):931-938.
Liu Jiahong, Yang Ping, Wang Zhengjiang, et al. Paleo-weathering crust at the top of Sinian Dengying Formation in northern Guizhou and its petroleum exploration significance [J]. Geology in China, 2012, 39(4):931-938(in Chinese with English abstract)
- [6] 徐燕丽.川中地区震旦系—寒武系成藏条件研究[D].成都理工大学,2009.
Xu Yanli. The Study of Accumulation Conditions of Sinian - Cambrian System in Central Sichuan [D]. Chengdu University of Technology, 2009(in Chinese with English abstract).
- [7] 袁海锋,徐国盛,王国芝,等.川中地区震旦系油气成藏过程的相态演化与勘探前景[J].成都理工大学学报(自然科学版),2009,36(6):662-668.
Yuan Hanfeng, Xu Guosheng, Wang Guozhi, et al. Phase evolution of hydrocarbon accumulation process and future exploration of Sinian in Central Sichuan [J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science of Technology Edition), 2009, 36(6):662-668 (in Chinese with English abstract).
- [8] 姚建军,陈孟晋,华爱刚,等.川中乐山—龙女寺古隆起震旦系天然气成藏条件分析[J].石油勘探与开发,2003,30(4):7-9.
Yao Jianjun, Chen Mengjin, Hua Aigang, et al. The analysis of natural gas accumulation conditions of ancient uplift of Leshan - Longnvisi in Central Sichuan [J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(4):7-9(in Chinese with English abstract).
- [9] 天工.四川盆地乐山—龙女寺古隆起高石梯构造震旦系勘探重大发现[J].天然气工业,2001,13(8):5.
Tian Gong. Important discoveries of Sinian system of Leshan-Longnvisi ancient uplift in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2001, 13(8):5(in Chinese).
- [10] 宋文海.对四川盆地加里东期古隆起的新认识 [J].天然气工业,1987,7(3):6-11.
Song Wenhai. To recognize Caledonian ancient uplift in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 1987, 7(3):6-11 (in Chinese with English abstract).

- [11] 罗启后, 等. 乐山—龙女寺古隆起震旦寒武奥陶系与上三叠统含气性评价研究[R]. 成都:四川石油管理局, 1990.
Luo Qihou, et al. The Study of Hydrocarbon Evaluation of Upper Triassic, Ordovician and Sinian of Leshan—Longnvsi Ancient Uplift [R]. Chengdu: Petroleum Administration Bureau of Sichuan, 1990.
- [12] 汪泽成, 赵文智, 张林. 四川盆地构造层序与天然气勘探[M]. 北京:地质出版社, 2002.
Wang Zecheng, Zhao Wenzhi, Zhang Lin. Structural sequence and Gas Exploration of Sichuan Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002 (in Chinese).
- [13] 袁海峰. 四川盆地震旦系—下古生界油气成藏机理[D]. 成都:成都理工大学, 2008.
Yuan Haifeng. Oil and Gas Accumulation mechanism of the Sinian—Palaeozoic in Sichuan Basin [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2009 (in Chinese with English abstract).
- [14] Ehrenberg S N, Nadeau P H. Sandstone vs. carbonate petroleum reservoirs: A global perspective on porosity—depth and porosity permeability relationships[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(4):435–445.
- [15] Tanguay L H, Friedman G M. Petrophysical characteristics and facies of carbonate reservoirs: The Red River Formation (Ordovician), Williston basin[J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(3):491–523.
- [16] 刘思思, 牛滨华, 孙春岩, 等. 饱水白云岩临界点、骨架和流体弹性参数的数值计算[J]. 现代地质, 2011, 25(1):129–136.
Liu Sisi, Niu Binhua, Sun Chunyan, et al. Numerical calculation of Saturated dolomite tipping point, skeleton and fluid elastic parameter [J]. Geoscience, 2011, 25(1):129–136 (in Chinese with English abstract).
- [17] 杨晓萍, 赵文智, 邹才能, 等. 低渗透储层成因机理及优质储层形成与分布[J]. 石油学报, 2004, 28(4):57–64.
Yang Xiaoping, Zhao Wenzhi, Zou Caineng, et al. Formation mechanism of reservoir with a low permeability and the formation and distribution of high quality reservoirs [J]. Acta Petrolei Sinica, 2004, 28(4):57–64 (in Chinese with English abstract).
- [18] 焦伟伟, 李建交, 田磊. 中国海相碳酸盐岩优质储层形成的地质条件[J]. 地质科技情报, 2009, 28(6):64–68.
Jiao Weiwei, Li Jianjiao, Tian Lei. Geological conditions of high quality reservoir of marine carbonate in china [J]. Geological Science and Technology Information, 2009, 28(6):64–68 (in Chinese with English abstract).
- [19] 徐世琦, 张光荣, 等. 四川盆地资阳地区震旦系气藏分布及控制因素[J]. 天然气勘探与开发, 1999, 22(3):1–5.
Xu Shiqi, Zhang Guangrong, et al. Gas reservoir distribution and its controlling factors of Sinian in Ziyang area in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Exploration and Development, 1999, 22 (3):1–5 (in Chinese with English abstract).
- [20] 赵瞻, 刘波, 刘建清. 重庆彭水地区震旦系灯影组沉积地质新认识[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30 (1):32–39.
Zhao Zhan, Liu Bo, Liu Jianqing. To recognize sedimentary geology of Dengying Formation of Sinian in Pengshui area of Chongqing [J]. The Sedimentary and Tethys Geology, 2010, 30(1):32–39 (in Chinese with English abstract).
- [21] 向芳, 陈洪德, 张锦泉. 资阳地区震旦系古岩溶作用及其特征讨论[J]. 沉积学报, 2001, 19(3):421–424.
Xiang Fang, Chen Hongde, Zhang Jingquan. The ancient Karstification and its features in Ziyang area [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (3):421–424 (in Chinese with English abstract).
- [22] 杨国臣. 碳酸盐岩溶储层的基本类型及其主要控制性因素[J]. 内蒙古石油与化工, 2009, 3:108–111.
Yang Guocheng. Basic types of carbonate reservoir and its controlling factors [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2009, 3:108–111 (in Chinese with English abstract).
- [23] 陈学时, 易万霞, 卢文忠, 等. 中国油气田古岩溶与油气储层[J]. 沉积学报, 2004, 22(2):244–253.
Chen Xueshi, Yi Wanxia, Lu Wenzhong, et al. The ancient karst and oil and gas reservoir of oil and gas fields in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (2):244–253 (in Chinese with English abstract).

Reservoir characteristics and control Factors of Sinian Dengying Formation in central Sichuan

MO Jing^{1,2}, WANG Xing-zhi^{1,2}, LENG Shengyuan³, LIN Gang^{1,2},

XIONG Jian-wen^{1,2}, XIE Lin^{1,2}, ZHOU Zheng^{1,2},

- (1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;
2. Sichuan Provincial University Key Laboratory of Natural Gas Geology, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan, China;
3. The project team of capacity construction of the third gas recovery plant of Changqing Oilfield Branch, Ordos 017300 Inner Mongolia, China)

Abstract: Research on Sinian Dengying Formation in central Sichuan by adopting combined macroscopic and microscopic methods shows that the main reservoir rocks are dolarenite, karst breccia, grained dolomite and algae dolomite, the reservoir space is dominated by emposieu and karst caves, and the reservoir is of relatively low quality, appearing as fracture-cavity type with low porosity and low permeability. The reservoir of Dengying Formation in the study area was formed by deposition and diagenesis. Dolarenite, grained dolomite and algae dolomite were deposited in a strong hydropower environment with the development of primary pores, which provided favorable material base for later strong karstification. 2nd member and 4th member were uplifted by Tongwan movement; hence the strata were exposed at the land surface for a long time and received atmospheric water together with mixed water reformation, leading to karstification. Through the weathering crust formed by karstification near the land surface, atmospheric fresh water and mixed water continued seeping into and dissolving the lower part of the formation. Strong karstification could create karstic collapse breccias and a great quantity of dissolution pore-caves in the lower part of the formation. Deposition and diagenesis provided favorable conditions for secondary porosity and improved the properties of reservoir rocks, while tectonic action in the later time formed a lot of cracks, providing the permeability for the reservoir.

Key words: central Sichuan; Dengying Formation; reservoir; dolomite; karstification

About the first author: MO Jing, female, born in 1988, master candidate, majors in sedimentology and reservoir geology; E-mail: 495963082@qq.com.