

四川盆地奥陶系储层发育特征与勘探潜力

郭彤楼

(中国石化 勘探南方分公司,四川 成都 610041)

摘要:四川盆地自震旦系到侏罗系,奥陶系是唯一一个未取得商业性天然气发现的层系。下奥陶统桐梓组和红花园组具有类似寒武系龙王庙组和三叠系嘉陵江组的沉积环境,后两者在台内颗粒滩相碳酸盐岩中都发现了大气田。通过钻井、地震和区域地质资料的分析,提出:①下奥陶统具有形成滩相异常体的地质条件,川东南等地震剖面上发现地层增厚呈丘状反射,是桐梓组-红花园组颗粒碳酸盐岩与膏盐、泥岩等互层的综合反映;②下奥陶统发育下生上储和上生下储两种成藏组合;③借鉴川中寒武系和三叠系的勘探经验,深入开展奥陶系沉积相、古地貌和以输导体系为重点的成藏演化史研究,在异常体发育区实施一口区域探井,有望实现奥陶系勘探的重大突破。

关键词:颗粒滩;成藏组合;下奥陶统;四川盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Characteristics and exploration potential of Ordovician reservoirs in Sichuan Basin

Guo Tonglou

(SINOPEC Exploration Southern Company, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: The Ordovician has been the only strata with no commercial gas discoveries from the Sinian to Jurassic in Sichuan Basin. The Honghuayuan Fm. and the Tongzi Fm. of the Lower Ordovician share a similar sedimentary environment with the Longwangmiao Fm. of the Cambrian and the Jialingjiang Fm. of the Triassic, and the latter two formations were proven to contain large gas fields in their carbonates of grain beach facies. Based on an integrated analysis of drilling, seismic and regional geological data of the basin, we obtained the following conclusions. 1) The lower Ordovician had the geological conditions needed for forming grain beach. The mound reflections on seismic profiles of southeastern Sichuan Basin are the responses of grain carbonate interbedded with gypsum and mudstone in the Tongzi Fm and the Honghuayuan Fm. 2) There are two types of source rock-reservoir combinations in the Lower Ordovician, namely lower source rock-upper reservoir combination and upper source rock-lower reservoir combination. 3) According to the exploration experiences in the Cambrian and Triassic of central Sichuan Basin, study should be performed in respects of sedimentary facies, paleogeomorphology and hydrocarbon accumulation and evolution history with carrier system as the focus for exploration in the Ordovician. An exploration well should be emplaced in area with prominent anomaly reflections.

Key words: grain beach, source rock-reservoir combination, Lower Ordovician, Sichuan Basin

2011年以来,四川盆地在龙王庙组颗粒滩白云岩取得重大突破,发现了磨溪龙王庙组大气田^[1-2]。这是继嘉陵江组之后又一个台内滩相领域的大发现。由此,除奥陶系之外,从震旦系到侏罗系都取得了商业性发现。在川中威远、磨溪和盆地周缘有大量钻井钻遇奥陶系,仅在川西北的河深1井、川中女基井和川东南东深1井分别试获 1.88×10^4 、 3.6×10^4 和 $21.97 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 油气^[3],但都未能展开勘探发现规模储量。本文从野外露头、钻井和地震资料出发,提出在四川盆地及邻区下奥陶统存在局部高能滩相发育区。根据其

他层系滩相储层发育特点,认为滩相异常体有利于早期白云岩化和岩溶发育,是有利的勘探目标,有望实现奥陶系勘探的重大突破。

1 奥陶纪地层特征

早奥陶世,四川盆地属于被动大陆边缘,跨越台地、台地边缘斜坡及盆地等相区,自西向东碎屑岩减少,碳酸盐岩增加。以桐梓组为例,盆地外的贵州省桐梓县南红花园附近为桐梓组命名地,前人根据露头资

收稿日期:2014-04-19。

作者简介:郭彤楼(1965—),男,教授级高级工程师,构造与石油地质综合研究。E-mail:guotl.ktnf@sinopec.com。

基金项目:国家油气重大专项(2011CX05005-003);国土资源部油气专项(2009GYXQ15-06)。

料表现的岩性组合特征划分为同期异相的桐梓组、南津关组和分乡组,其他各组也有类似现象^[4-5]。本文研究重点为四川盆地中南部地区,依据丁山 1 井、东深 1 井和建深 1 井实钻资料。奥陶系分为下奥陶统桐梓组、红花园组、湄潭组和牯牛潭组,中奥陶统十字铺组和宝塔组以及上奥陶统涧草沟组和五峰组。奥陶系与下伏上寒武统洗象池组及上覆下志留统龙马溪组皆为整合接触,其内部各组也为整合接触(表 1)。

奥陶系的岩性组合大体可以分为 4 套:上奥陶统

五峰组灰黑色粉砂质泥(页)岩可与下志留统龙马溪组划作一套泥页岩组合;上奥陶统涧草沟组、中奥陶统宝塔组和十字铺组与下奥陶统牯牛潭组为一套浅灰色生屑灰岩、泥灰岩组合;下奥陶统湄潭组为一套粉砂质泥岩夹石英砂岩、灰色泥岩组合;而下奥陶统红花园组和桐梓组为一套鲕粒灰岩、生屑灰岩、砂屑灰岩、灰质白云岩组合。这 4 套组合与盆地内东深 1 井、合 12 井和池 7 井奥陶系岩性组合特征基本相当,除五峰组外,主要表现为局限台地-开阔台地沉积(图 1)。

表 1 四川盆地中南部地区丁山 1 井奥陶系地层简表

Table 1 stratigraphic profile of the Ordovician in well Dingshan-1 of central and southern Sichuan Basin

界	系	统	组	代号	厚度/m	岩性简述
古生界	志留系	下统	石牛栏组	S ₁ sh	223.2	上部为灰色粉砂质灰岩、灰色-深灰色泥灰岩、生屑灰岩、珊瑚灰岩;中部为浅灰色灰岩、泥质灰岩;下部为灰黑色瘤状灰岩、泥岩、钙质泥岩互层
			龙马溪组	S ₁ l	144.2	灰色-深灰色灰质泥岩、云质泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、深灰-黑色炭质泥岩
	奥陶系	上统	五峰组	O ₃ w	3.5	灰黑色粉砂质泥(页)岩;顶部为深灰色泥灰岩
			涧草沟组	O ₃ j	5.5	深灰色泥灰岩
		中统	宝塔组	O ₂ b	30.2	浅灰色生屑灰岩、介屑灰岩、泥灰岩
			十字铺组	O ₂ sh	10.8	灰白色泥灰岩;下部夹深灰色灰质泥岩
		下统	牯牛潭组	O ₁ g		
			湄潭组	O ₁ m	215.5	灰色粉砂岩、粉砂质泥岩夹石英砂岩、绿灰色-灰色泥岩;近顶部夹深灰色生屑灰岩;下部夹生屑含云质灰岩
			红花园组	O ₁ h	47.0	上部为深灰色砂(生)屑灰岩,局部夹鲕粒灰岩;下部为深灰色-灰色鲕粒灰岩、生屑灰岩、砂屑灰岩
			桐梓组	O ₁ t	147.5	上部为深灰色鲕粒灰岩、砂屑灰岩;中部为灰色-深灰色砂屑白云岩、灰质白云岩;下部为深灰色-灰色白云岩夹生屑灰岩;底部为灰色云质灰岩
	寒武系	中上统	娄山关群	Є ₂₋₃ ls	675.0	上部为灰色-深灰色砂屑白云岩、泥质白云岩;中-下部为灰色砂质白云岩、粒屑含膏质白云岩,局部夹深灰色鲕粒白云岩及泥质白云岩薄层;底部为砂质白云岩、砂屑白云岩

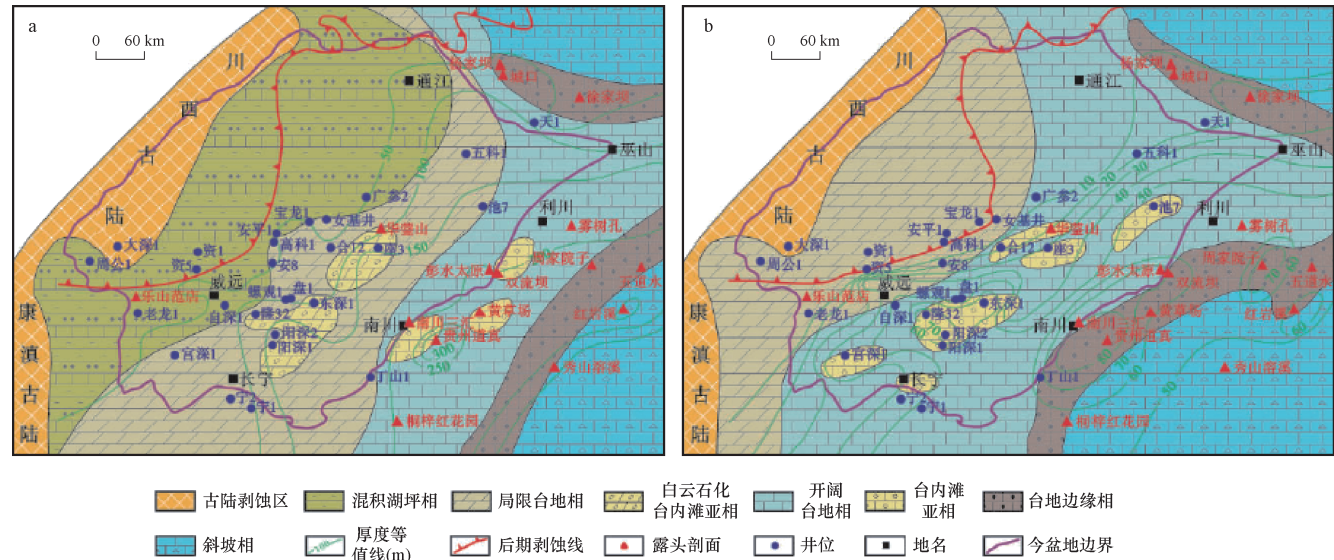


图 1 四川盆地奥陶纪桐梓期和红花园期沉积相(据文献[6],有删减)

Fig. 1 Sedimentary facies of the Tongzi and Honghuayuan Formations in the Ordovician of Sichuan Basin^[6]

a. 层序 O_{SQ1} (桐梓组) 沉积期; b. 层序 O_{SQ2} (红花园组) 沉积期

2 滩相异常体地质与地震反射特征

四川盆地在寒武系龙王庙组和三叠系飞仙关组、嘉陵江组、雷口坡组都有大、中型气田发现,主要为一套台地相碳酸盐岩和蒸发岩沉积,储层为颗粒滩相砂屑白云岩、鲕粒灰岩等。奥陶系与上述地层相比,是否具备形成颗粒滩的沉积条件,是奥陶系能否成藏的关键。本文根据前人对区域露头资料的分析和几口重点钻井、地震剖面的分析,提出下奥陶统具备形成颗粒滩的地质条件,并在地震剖面上发现了丘状异常体。

2.1 早奥陶世为局限台地—开阔台地沉积

桐梓组和红花园组沉积期,上扬子碳酸盐岩台地继承了晚寒武世的碳酸盐岩台地格局,其面积和形状均变化不大,仅西部边界向东有所收缩,四川盆地西部为滨岸—潮坪相、东部为局限台地相,鄂西和渝东地区为开阔台地相(图1)。冯增昭^[7]主要依据露头资料在扬子地台早奥陶世划分出11个滩、7个云坪,如四川盆地东部的城口滩、巫溪滩、武隆—南川滩和贵州的毕节云坪、贵阳云坪等。四川盆地南部座3、阳深2、自深1、东深1、临7和丁山1等钻井揭示,桐梓组和红花园组发育颗粒岩,为碳酸盐岩台地内部中、高能环境下形成。合12井下奥陶统下部为碳酸盐岩与泥页岩互层;上部为白云质膏岩、鲕粒灰岩、砂屑灰岩、细晶白云岩互层。东深1井下奥陶统下部为白云质膏岩、鲕粒灰岩、砂屑灰岩、细晶白云岩互层,可见膏盐层;上部则为碳酸盐岩与泥页岩互层。而丁山1井下奥陶统桐梓组和红花园组则以鲕粒灰岩、砂屑灰岩、砂屑白云岩、灰质白云岩等为主,未见泥页岩和膏岩。因此,在四川盆地中、南部地区早奥陶世局限台地发育时期,存在类似寒武系龙王庙组的沉积环境,在瀉湖周边高地也会发育颗粒灰岩、白云岩储层。

2.2 下奥陶统异常体特征

在四川盆地东南部重庆与南川之间,2013年采集完成的二维地震剖面上,连续几条测线奥陶系底部反射变弱或中断,志留系底部发射层与奥陶系底部反射层之间地层加厚,具有明显的底平顶凸的丘状特征,丘状隆起两侧地震反射特征、地层厚度基本相当,反映是台内礁滩异常体,在鄂西地区也可见到同样的加厚异常,表明非盆内奥陶系的个别现象(图2)。依据座3和东深1等已钻井结合露头资料分析,早奥陶世沉积时期,本区为局限台地—开阔台地,东深1井、座3井和丁山1井3口井下奥陶统岩性组合大体一致,红花园组主要为鲕粒灰岩、白云岩组合,桐梓组和红花园组

之间都是以泥页岩、灰岩互层过渡到鲕粒灰岩、白云岩,只是在桐梓组略有差异。桐梓组上、下部主要为鲕粒灰岩、白云岩组合,东深1井中部为白云岩夹黑色页岩、薄层膏盐;而座3井中部则发育了厚10 m左右的膏盐(图3);丁山1井则主要为鲕粒灰岩、白云岩组

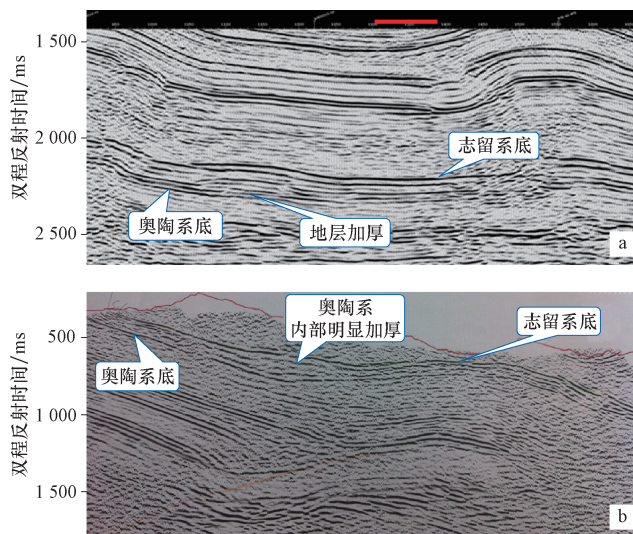


图2 二维地震剖面上的异常体特征

Fig. 2 Features of anomalies on 2D seismic profiles

a. 四川盆地(红色线段代表1 000 m); b. 鄂西地区(红线曲线代表地表高程)

地层组	井深(m)	岩性剖面	沉积相		岩性综述
			相	亚相	
大湾组	4 400		陆棚	内陆棚	大湾组: 4 385.5~4 576 m, 厚190.5 m, 深灰色页岩, 间夹泥晶生屑灰岩、浅灰色含泥质砂岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩
	4 450				
	4 500				
	4 550				
红花园组	4 600		滩相		红花园组: 4 576~4 611 m, 厚35 m, 浅灰色亮晶砂屑灰岩, 夹鲕粒灰岩、页岩
桐梓组	4 650		潟湖相		桐梓组: 4 611~4 769 m, 厚156 m, 顶部为绿灰色页岩夹灰色亮晶砂屑灰岩、砂屑泥晶含泥质灰岩、泥质灰岩; 整体岩性杂, 上部由灰岩、亮晶鲕粒灰岩、生屑泥晶含云质灰岩、砂质泥晶云岩、含泥质云岩组成, 中部为浅灰色细-粉晶含泥质、膏质云岩、膏质岩、含泥质砂岩, 下部为灰色-深灰色泥晶生屑灰岩、砂屑灰岩、含灰质云岩夹深灰色页岩; 碳酸盐岩结构细、岩性杂, 裂缝欠发育, 少数溶孔也多数被次生矿物所充填, 储集条件不佳
	4 700		潮坪	潮上坪	
	4 750		潟湖	潟湖	
			潟湖	潟湖	

图3 四川盆地座3井下奥陶统地层综合柱状图

Fig. 3 Stratigraphic column of the Lower Ordovician from well Zuo-3 in Sichuan Basin

合,桐梓组顶部和中部有薄层泥岩。因此,判断是颗粒滩与泥页岩、膏盐等地层互层分布形成的台内滩组合。

3 勘探潜力

在四川盆地这样一个富气盆地进行油气勘探,除盆地边缘和高陡构造外,寻找储层是油气发现的关键。奥陶系曾在一些探井试获工业气流,之所以未能展开勘探,主要原因是未发现能形成大气田的规模性储层。奥陶系是否具有磨溪嘉陵江组和龙王庙组类似的颗粒滩相储层,是其能否取得规模储量的关键。前文通过对区域沉积相、钻井和地震相分析,发现在川东南地区存在滩相异常体。下文着重探讨奥陶系是否具备有利于成藏的生、储、盖组合。

3.1 台内滩相可形成规模储层

四川盆地钻井及周缘露头区资料显示,奥陶系碳酸盐岩储层普遍致密。以建深1井为例,红花园组(O_1h)地层厚度 20.5 m,岩性为灰岩、泥质灰岩,储层岩性致密,局部砂屑发育,未见孔、缝(图 4a);分乡组(O_1f)地

层厚度 58.5 m,鲕粒灰岩、泥质灰岩、灰岩厚度 34.6 m,储层岩性致密,局部砂屑及鲕粒发育,未见孔、缝(图 4b);南津关组(O_1n)地层厚度 116.5 m,主要为白云质灰岩、灰岩和灰质白云岩(其中灰岩类 65.1 m,白云岩类 40.4 m,砂岩类 1.0 m),储层岩性致密,未见孔、缝(图 4c,d)。

但具有相似背景的龙王庙组和嘉陵江组都有好的储层发育,并探明了大气田。

四川盆地寒武统龙王庙组天然气勘探近期取得重大发现,探明地质储量 $4\,403.85 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的海相碳酸盐岩气藏,这是我国迄今发现的单体规模最大的特大型整装气藏^[1]。龙王庙组主要为一套台地相碳酸盐岩和蒸发岩,储层与颗粒滩相密切相关,颗粒滩的发育受海平面变化和古构造的控制,并围绕膏盐湖周缘大面积分布(图 5,图 6)^[8-9]。颗粒滩的主要岩性包括颗粒白云岩、晶粒白云岩和斑状白云岩,颗粒白云岩主要是砂屑白云岩和鲕粒白云岩。

四川盆地另一个台内滩气田为磨溪嘉陵江组气田,主力产层为三叠系嘉陵江组二段(嘉二段)。气藏勘探始于 1979 年,于 2004 年勘探取得突破,至 2005 年底探

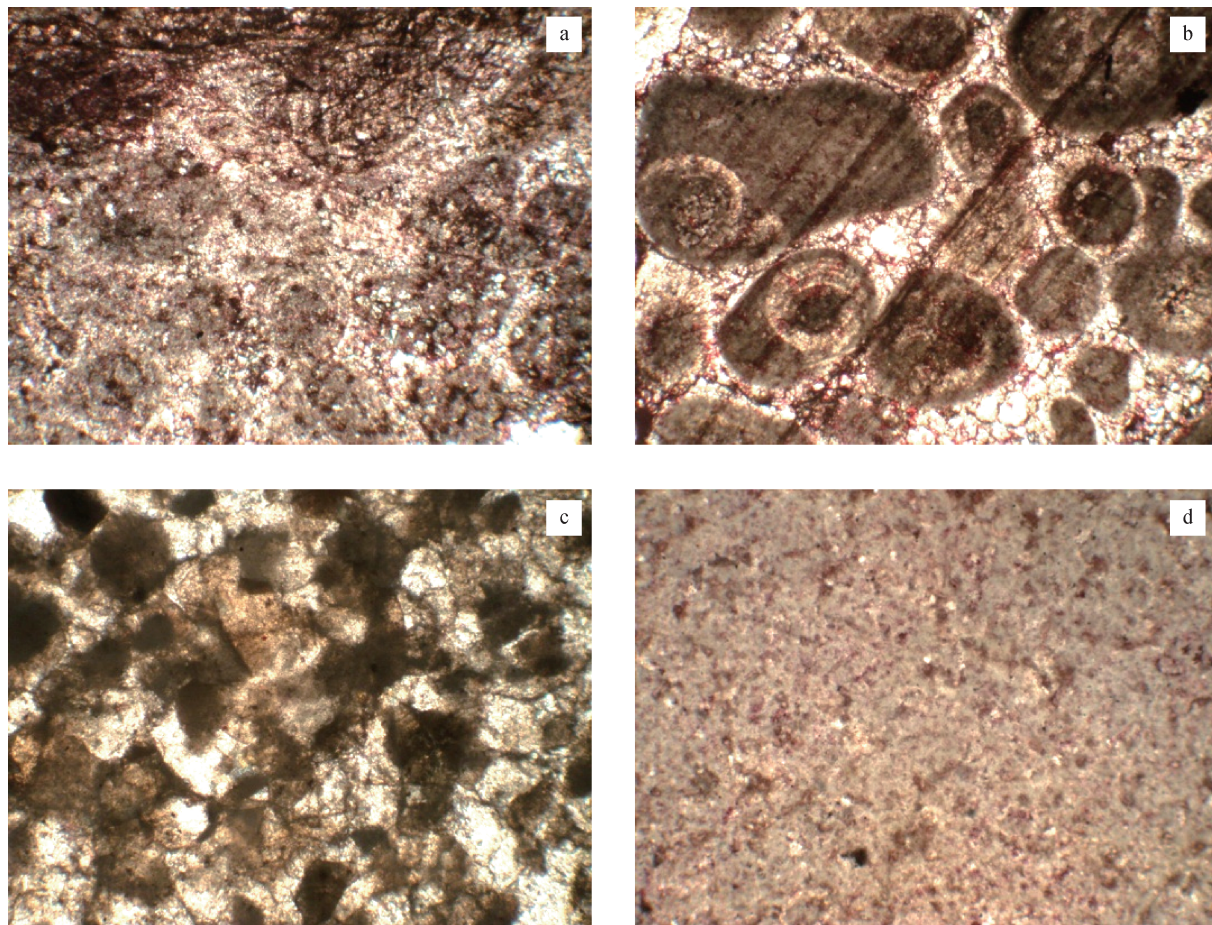


图4 四川盆地建深1井奥陶系碳酸盐岩储层显微照片

Fig.4 Micrographs of the Ordovician carbonate core samples from well Jianshen-1 in Sichuan Basin

- a. 亮晶砂屑灰岩, O_1h ,埋深 5 155 m,单偏光;b. 亮晶含鲕粒砂屑灰岩, O_1f ,埋深 5 190 m,单偏光;
c. 白云质粉砂岩, O_1n ,埋深 5 231 m,单偏光;d. 泥晶含灰白云岩, O_1n ,埋深 5 250 m,单偏光

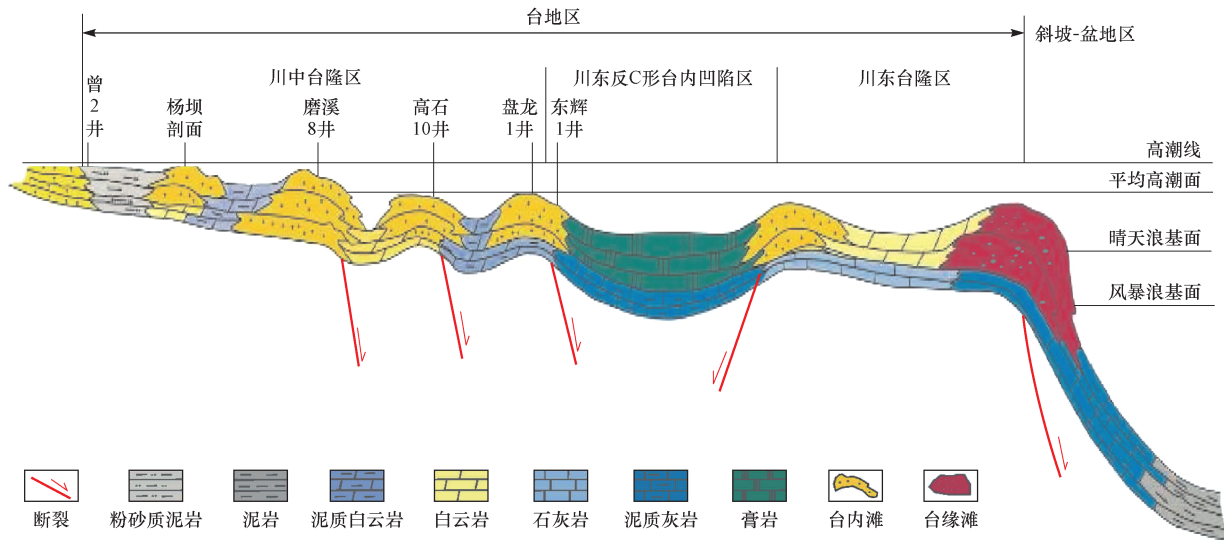


图 5 四川盆地寒武系龙王庙组沉积剖面示意图^[8]

Fig. 5 Sedimentary profile of the Longwangmiao Formation in the Cambrian of Sichuan Basin^[8]

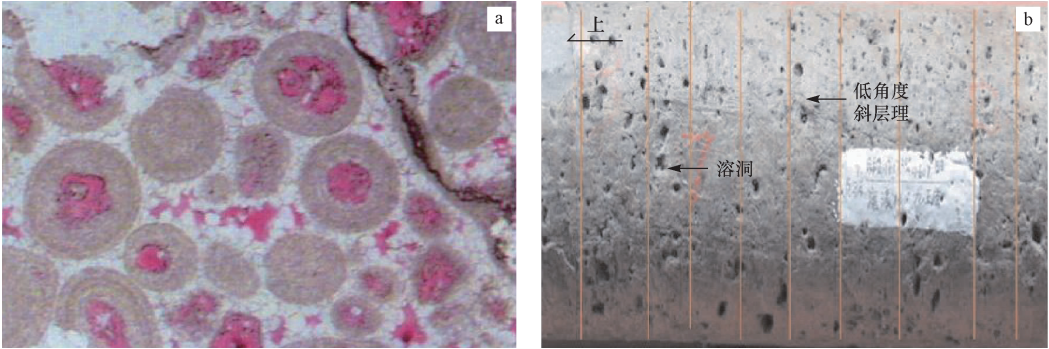


图 6 四川盆地磨溪 13 井嘉陵江组和龙王庙组岩心、薄片显微照片

Fig. 6 Micrographs of cores and thin sections from the Jialingjiang and Longwangmiao Formations in well Moxi-13, Sichuan Basin

- a. 亮晶鲕粒灰岩, 两期方解石胶结, 具有粒内溶孔及残余粒间孔, 磨溪 13 井, 埋深 3122.20 m, 铸体薄片, 单偏光^[10];
b. 颗粒白云岩, 滩主体微相, 发育低角度斜层理, 溶洞顺层理发育, 磨溪 13 井, 埋深 4607.54m, 岩心^[9]

明地质储量为 $326.59 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[8]。磨溪气田嘉二段储层沉积期为局限海-蒸发海台地碳酸盐岩微相, 嘉二²亚段以发育台内颗粒滩亚相为特征, 主要包括滩核及滩缘微相。滩核微相主要由鲕粒灰岩组成, 具有颗粒岩累计厚度和单滩体厚度较大的特点, 是本期沉积最有利的储集微相带。鲕粒灰岩由于准同生期大气淡水的选择性溶蚀而形成粒内溶孔和铸模孔等溶蚀孔隙, 局部层段的鲕粒灰岩保存了较多的残余粒间孔, 如磨溪嘉陵江组气田滩顶常因同沉积期的短暂暴露形成大气淡水淋溶改造成因的孔隙性储层(图 6, 图 7)。鲕粒灰岩储层总体以低孔、低渗为主, 但局部井段也存在相对高孔段。其孔隙度为 0.11%~26.75%, 平均为 5.31%^[10]。

从四川盆地龙王庙组和嘉陵江组储层的分布来看, 储层都发育在颗粒滩相, 都有围绕膏质潟湖展布的特点。这也为寻找台内颗粒滩储层发育区指明了方向, 即在碳酸盐岩台地内部水下古隆起有利于台内颗粒滩的生长, 可以通过在台地内寻找古隆起来预测滩相碳酸盐岩储层的分布。东深 1 井和座 3 井桐梓组中部都连

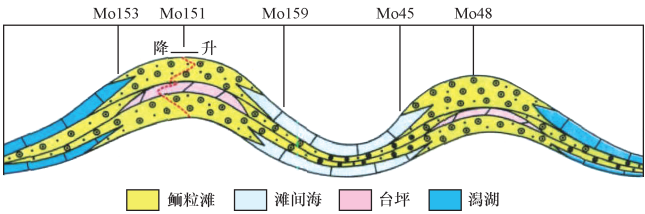


图 7 四川盆地三叠系嘉陵江组二段鲕粒滩体迁移模式示意图^[10]

Fig. 7 Diagram showing the migration pattern of the grain beach in the second member of the Jialingjiang Formation in the Triassic of Sichuan Basin^[10]

续发育数米膏盐和膏质白云岩, 下部发育泥页岩、生屑灰岩组合, 表现为潟湖-湖坪沉积。桐梓组和红花园组都发育鲕粒灰岩、白云岩, 因此具备发育颗粒滩储层的条件。中、下奥陶统碳酸盐岩发育颗粒滩相, 乐山-龙女寺地区下奥陶统桐梓组(南津关组、分乡组)和红花园组储层主要为粒屑云岩、鲕粒云岩和晶粒云岩, 主要储集空间类型以粒内溶孔、晶间孔和粒间溶孔组合为主, 面孔率约 6%^[11]。座 3 井红花园组滩相灰岩粒屑含量

在60%以上,次生溶蚀斑发育,斑中见溶孔,孔隙率6.3%,局部构造裂缝发育。威远川中古隆起斜坡区发育与岩溶有关的储层,MS1井南津关组为粒屑云岩储层,孔隙度为1.05%~6.33%,平均3.04%,孔隙度大于3%的样品占总样品数的40%;渗透率为 $0.002\ 84 \times 10^{-3} \sim 6.56 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均 $0.25 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这表明奥陶系尤其是下奥陶统在古地貌高发育的颗粒滩相有可能形成好的储层,比如在川东南发现的丘状反射。

3.2 成藏组合

奥陶系总体上以发育碳酸盐岩组合为主,仅在顶部五峰组发育数米至十几米的黑色页岩;但向上与其连续沉积的志留系龙马溪组则发育大套黑色页岩层系,厚度可达几十米。这两套页岩既是很好的盖层,又是很好的烃源岩。长宁—阳深1井—座3井—华蓥山—五科1井一带为局限台地灰云坪沉积,主要岩性为泥粉晶白云岩、灰质白云岩和少量介壳灰岩,其中东深1井和座3井等地区沉积了鲕粒滩;南川—利川—巫山等地区为开阔台地沉积,主要岩性为灰色生屑灰岩、鲕粒灰岩夹白云质灰岩、白云岩及少量页岩^[6]。因此,存在类似磨溪嘉陵江组二段同沉积期短暂暴露因大气淡水淋溶改造形成孔隙性储层的可能。

下奥陶统和中、上寒武统之下,发育下寒武统泥页岩,这是四川盆地主力烃源岩之一,也是威远气田的主要气源^[12]。寒武系烃源岩在重庆—南充这一北西向区域的分布,由于缺少可靠的钻井资料支撑,存在分歧,可能缺失或烃源岩变差,但在盆地其他地区认识基本一致^[13-14]。但也有人认为川东南地区不仅存在烃源岩,且厚度和生烃强度都支撑形成大气田的需要^[15]。

奥陶系只有少量探井进行了试气,多为低产气流^[3];只有重庆西南部的东深1井试获较高产量:中奥陶统宝塔组,井深3 497~3 542 m,产气 $22 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$;下奥陶统湄潭组顶,测试产气 $29 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,产水 $33 \text{ m}^3/\text{d}$ 。二者都为致密灰岩,但只要断裂沟通烃源,也能获工业气流^[16]。

综上所述,以下奥陶统为主要储层发育两种成藏组合,即:①以五峰组—龙马溪组作为烃源岩,下奥陶统颗粒碳酸盐岩为储层的上生下储油气成藏组合;②以下寒武统泥页岩为烃源岩,下奥陶统颗粒碳酸盐岩为储层的下生上储油气成藏组合(图8)。这两种成藏组合在威远震旦系气田及磨溪雷口坡组和嘉陵江组气田都得到了证实,能够形成大气田。

4 结论与建议

1)下奥陶统具有形成滩相异常体的地质条件。地震剖面上发现了地层明显加厚,具透镜状或丘状的反

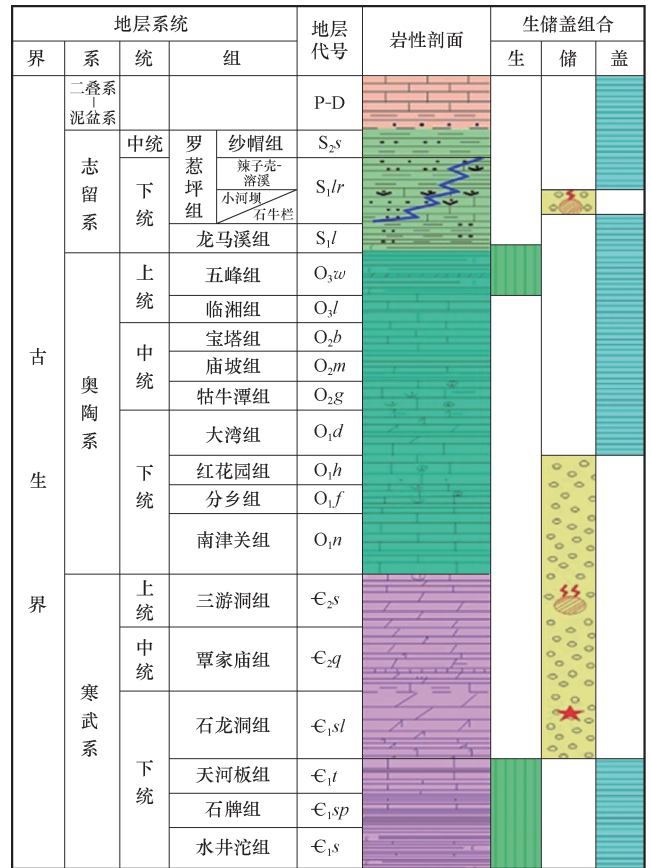


图8 四川盆地下奥陶统成藏组合综合柱状图

Fig. 8 Histogram of the Lower Ordovician reservoirs in Sichuan Basin

射,是桐梓组—红花园组颗粒碳酸盐岩与膏盐、泥岩等互层的综合体现。

2)下奥陶统发育两种成藏组合。类似威远震旦系气田及磨溪雷口坡组和嘉陵江组气田都有成功的实践,证实能够形成大气田。

3)借鉴川中寒武系和三叠系的勘探经验,深入开展奥陶系沉积相、古地貌和以输导体系为重点的成藏演化史研究。在类比研究的同时,更要注意差异性研究。

4)寻找具有构造背景的滩相异常体发育区作为勘探突破口。目前发现的川东南异常体埋深约5 500 m,建议实施一口区域探井,可以兼探二叠系和评价深层龙马溪组页岩气勘探潜力,并有望实现奥陶系勘探的重大突破。

参考文献

- [1] 杜金虎,邹才能,徐春春,等. 川中古隆起龙王庙组特大型气田战略发现与理论技术创新[J]. 石油勘探与开发,2014,41(3): 1-10.
Du Jinhu, Zou Caineng, Xu Chunchun, et al. Theoretical and technical innovations in strategic discovery of huge gas fields in Longwang-miao Formation of central Sichuan paleo-uplift, Sichuan Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 1-10.

- [2] 邹才能,杜金虎,徐春春,等.四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J].石油勘探与开发,2014,41(3):11-24.
Zou Caineng, Du Jinhui, Xu Chunchun, et al. Formation, distribution, resource potential, prediction and discovery of Sinian - Cambrian super-giant gas field, Sichuan basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(3): 11 - 24.
- [3] 罗志立,韩建辉,罗超,等.四川盆地工业性油气层的发现、成藏特征及远景[J].新疆石油地质,2013,34(5):504-514.
Luo Zhili, Han Jianhui, Luo Chao, et al. The discovery, characteristics and prospects of commercial oil and gas layers/reservoirs in Sichuan Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2013, 34(5): 504 - 514.
- [4] 四川省地质矿产局.四川省区域地质志[M].北京:地质出版社,1991:80-96.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Sichuan Province. Regional geology of Sichuan province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 80 - 96.
- [5] 黄文明,刘树根,马文辛,等.四川盆地奥陶系油气勘探前景[J].石油与天然气地质,2014,32(3):461-473.
Huang Wenming, Liu Shugen, Ma Wenxin, et al. Petroleum exploration potential of the Ordovician in the Sichuan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2014, 32(3): 461 - 473.
- [6] 杨威,谢武仁,魏国齐,等.四川盆地寒武纪—奥陶纪层序岩相古地理、有利储层展布与勘探区带[J].石油学报,2012,33(S2):21-34.
Yang Wei, Xie Wuren, Wei Guoqi, et al. Sequence lithofacies paleogeography, favorable reservoir distribution and exploration zones of the Cambrian and Ordovician in Sichuan Basin, China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(S2): 21 - 34.
- [7] 冯增昭,彭勇民,金振奎,等.中国南方早奥陶世岩相古地理[J].古地理学报,2001,3(2):13-21.
Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies Palaeogeography of the Early Ordovician in South China[J]. Journal of Palaeogeography, 2001, 3(2): 13 - 21.
- [8] 姚根顺,周进高,邹伟宏,等.四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩特征及分布规律[J].海相油气地质,2013,18(4):1-8.
Yao Genshun, Zhou Jingao, Zou Weihong, et al. Characteristics and distribution rule of Lower Cambrian Longwangmiao grain beach in Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2013, 18(4): 1 - 8.
- [9] 徐春春,李俊良,姚宴波,等.四川盆地磨溪气田嘉二气藏的勘探与发现[J].海相油气地质,2006,11(4):54-61.
Xu Chunchun, Li Junliang, Yao Yanbo, et al. Triassic T_3^2 reservoir of Moxi gas field in Sichuan Basin[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2006, 11(4): 54 - 61.
- [10] 周彦,谭秀成,刘宏,等.磨溪气田嘉二段鲕粒灰岩储层特征及成因机制[J].西南石油大学学报,2007,29(4):30-33.
Zhou Yan, Tan Xiucheng, Liu Hong, et al. Oolitic limestone reservoir characteristics and its genetic mechanism of Jia2 Member in Moxi gas field[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(4): 30 - 33.
- [11] 代宗仰,徐世琦,尹宏,等.乐山—龙女寺寒武和奥陶系储层类型研究[J].西南石油大学学报,2007,29(4):16-20.
Dai Zongyang, Xu Shiqi, Yin Hong, et al. Reservoir types of Cambrian and Ordovician in Leshan-Longnusi paleo-uplift area[J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(4): 16 - 20.
- [12] 戴金星,于聪,黄士鹏,等.中国大气田的地质和地球化学若干特征[J].石油勘探与开发,2014,41(1):1-13.
Dai Jinxing, Yu Cong, Huang Shipeng, et al. Geological and geochemical characteristics of large gas fields in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(1): 1 - 13.
- [13] 梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等.中国南海相生烃成藏研究的若干新进展(一):南方四套区域性海相烃源岩的分布[J].海相油气地质,2008,13(2):1-16.
Liang Digang, Guo Tonglou, Chen Jianping, et al. Some progresses on studies of hydrocarbon generation and accumulation in marine sedimentary regions, southern China (Part 1): geochemical characteristics of four suits of regional marine source rocks, South China[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2008, 13(2): 1 - 16.
- [14] 戴鸿鸣,王顺玉,王海清,等.四川盆地寒武系—震旦系含气系统成藏特征及有利勘探区块[J].石油勘探与开发,1999,26(5):16-20.
Dai Hongming, Wang Shunyu, Wang Haiqing, et al. Formation characteristics of natural gas reservoirs and favorable exploration areas in Sinian-Cambrian petroleum system of Sichuan Basin. [J]. Petroleum Exploration and Development, 1999, 26(5): 16 - 20.
- [15] 徐春春,沈平,杨跃明,等.乐山—龙女寺古隆起震旦系一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.
Xu Chunchun, Shen Ping, Yang Yueming, et al. Accumulation conditions and enrichment patterns of natural gas in the Sinian - Lower Cambrian Longwangmiao Formation reservoirs of the Leshan-Longnusi Paleohigh, Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2014, 34(3): 1 - 7.
- [16] 陈宗清.论四川盆地奥陶系天然气勘探[J].天然气工业,2010,30(1):23-30.
Chen Zongqing. A discussion on gas exploration in the Ordovician of the Sichuan Basin[J]. Natural Gas Industry, 2010, 30(1): 23 - 30.

(编辑 李 军)