

四川盆地雷口坡组三段颗粒滩储层特征及成因分析

丁熊^{1,2,3}, 谭秀成^{1,3}, 李凌¹, 罗冰⁴, 唐青松⁵, 马华灵⁶

(1. 西南石油大学资源与环境学院, 四川成都 610500; 2. 成都理工大学博士后流动站, 四川成都 610059;
3. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川成都 610501; 4. 中国石油西南油气田公司博士后流动站, 四川成都 610051;
5. 中国石油西南油气田公司川中油气矿, 四川遂宁 629001; 6. 中国石油西南油气田公司川西北气矿, 四川江油 621700)

摘要:通过对钻井、录井、测井及岩心等地质资料的综合分析,对四川盆地中三叠统雷口坡组三段颗粒碳酸盐岩储层特征及成因进行研究。结果表明:残余粒间孔保存型储层和同生期岩溶型储层是研究区雷三段颗粒碳酸盐岩储层的两种主要成因类型;残余粒间孔保存型储层以残余粒间孔和粒间溶孔为主要的储集空间,管状喉道和颈缩喉道发育,较好的孔喉配置关系使储层多表现为中孔中渗、储渗能力较好的特征;同生期岩溶型储层以孤立的粒内溶孔和铸模孔为主要储集空间,喉道欠发育,中孔微喉的配置关系导致储层多表现为中孔低渗、渗透性偏低的特征;分别形成于台地边缘和台地内部的颗粒碳酸盐岩为两种颗粒滩储层的形成提供了早期物质基础;单滩体的厚度直接控制着两种颗粒滩储层的储渗形式;成岩演化是两种颗粒滩储层定型的关键。

关键词:残余粒间孔; 同生期岩溶型; 储层; 雷口坡组三段; 四川盆地

中图分类号:TE 122.2

文献标志码:A

Characteristics and genetic analysis of grain shoal reservoirs in Lei 3 member of Middle Triassic Leikoupo formation, Sichuan Basin

DING Xiong^{1,2,3}, TAN Xiu-cheng^{1,3}, LI Ling¹, LUO Bing⁴, TANG Qing-song⁵, MA Hua-ling⁶

(1. College of Resource and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China;
2. Post-Doctor Station, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;
3. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu 610501, China;
4. Post-Doctor Station, Southwest Oil & Gas Field Company, CNPC, Chengdu 610051, China;
5. Chuazhong Oil & Gas Field of Southwest Oil & Gas Field Company, CNPC, Suining 629001, China;
6. Chuanyixi Gas Field of Southwest Oil & Gas Field Company, CNPC, Jiangyou 621700, China)

Abstract: The characteristics and genesis of grain shoal carbonate reservoirs were studied by using the data of drilling, logging and core in Lei 3 member of Middle Triassic Leikoupo formation in Sichuan Basin. The results show that the residual intergranular preservation reservoirs and syngenetic karst reservoirs are the main genetic types of grain shoal carbonate reservoirs. Residual intergranular pores and intergranular dissolved pores are main reservoir space of residual intergranular preservation reservoirs, and tubular throats and neck throats are developed. Relatively good configuration of the pore throat leads to the characteristics of medium porosity and medium permeability and good capacity. The isolate intragranular corroded pores and mould pores are main reservoir space of syngenetic karst reservoirs, and throat is less developed. Configuration of medium pore and micro-throat leads to the characteristics of medium pore and low permeability. The grain carbonate developed in the marginal platform and interior platform provides the early material basis for the two types of grain shoal reservoirs. The thickness of a single shoal body directly controls the reservoir and permeation form of the two types of grain shoal reservoirs. Diagenetic evolution plays a key role in finalizing the shape of the two types of grain shoal reservoirs.

Key words: residual intergranular pore; syngenetic karstification; reservoir; Lei 3 member of Leikoupo formation; Sichuan

收稿日期:2013-01-19

基金项目:中国石油科技创新基金项目(2011D-5006-0105);四川省矿产普查与勘探重点学科建设项目(SZD0414)

作者简介:丁熊(1981-),男,讲师,博士,主要从事储层沉积地质方面的研究工作。E-mail:dingxiong_2007@126.com。

Basin

颗粒滩相碳酸盐岩油气田是全球碳酸盐岩油气资源的重要组成部分之一^[1-2]。近年来,众多学者对颗粒滩相碳酸盐岩储层进行了研究^[3-11],展示了该类储层巨大的勘探潜力。中三叠统雷口坡组三段是四川盆地重要的天然气产层之一,该段碳酸盐岩储层勘探潜力较大,前人对其沉积模式等进行了较系统的研究,得出颗粒滩是储层形成的沉积基础等认识^[12],但缺乏对颗粒滩储层特征的研究,尚不能准确把握颗粒滩储层的成因,严重制约雷口坡组三段气藏的进一步勘探开发。因此,笔者根据钻井、录井、测井及岩心等大量地质资料的综合分析结果,深入研究四川盆地雷口坡组三段颗粒滩储层特征及其成因机制,以期盆地内雷三段气藏下一步勘探开发提供有益的地质依据。

1 区域地质背景

四川盆地是中国西南部一个呈菱形的构造-沉积盆地,面积约 $19 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[13](图1)。中三叠世

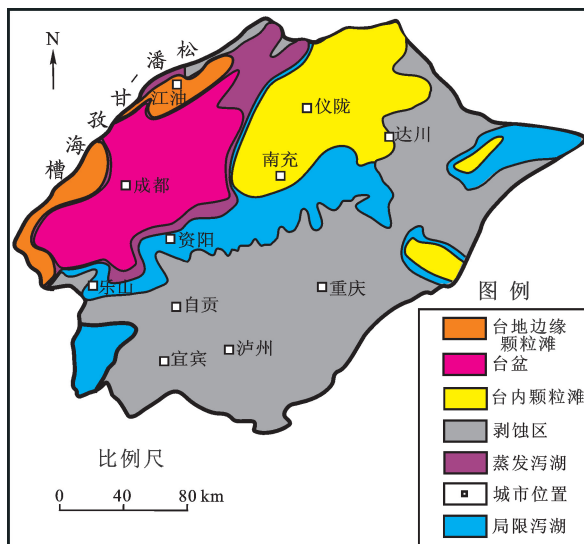


图1 四川盆地雷口坡组三段沉积相平面分布

(据李凌^[12],有修改)

Fig. 1 Distribution of sedimentary facies of Lei 3 member of Leikoupo formation, Sichuan Basin

(After LI Ling, modified)

雷口坡组为海相沉积,可划分为雷一段至雷四段四个岩性段^[13]。其中,雷三段岩性由多旋回的海相碳酸盐岩和蒸发岩组成。受印支运动的构造抬升和剥蚀作用的影响,盆地内雷三段地层保存不全,厚度为 $0 \sim 350 \text{ m}$,地层的剥蚀程度具有向泸州古隆起和向东加剧的特点^[13]。雷三段沉积期盆地内以发育陆

表海碳酸盐岩台地沉积体系为主,可分为局限-蒸发台地相和台地边缘相,储层主要位于盆地西北部和西部的台地边缘颗粒滩、盆地中部、北部和东部部分地区的台内颗粒滩中(图1),是雷口坡组雷三段气藏主要的勘探对象^[12]。

2 储层特征

岩心描述和镜下薄片鉴定结果表明,残余粒间孔保存型储层和同生期岩溶型储层是研究雷三段主要的2种储层类型,其储集岩主要为颗粒碳酸盐岩,岩石类型主要为薄层或中厚层褐灰色、土黄色亮晶砂屑白云岩、砂屑灰岩、亮晶鲕粒白云岩、鲕粒灰岩、砾屑白云岩、藻屑白云岩、生屑白云岩和生屑灰岩等。颗粒成分以砂屑、鲕粒为主,其次为砾屑、生屑、藻屑等,粒径一般为 $0.1 \sim 10 \text{ mm}$,分选和磨圆中等或较好。岩心上可见多种交错层理。尽管储集岩性相同,但这两种成因的颗粒碳酸盐岩储层在物性特征、孔渗关系特征、孔喉结构等储层特征上存在较大的差异。

根据前人的研究,残余粒间孔保存型储层主要分布于盆地西北部和西部的台地边缘颗粒滩中,同生期岩溶型储层主要分布于盆地中部、北部和东部部分地区的台内颗粒滩中^[12]。下面分别对这两类储层的基本特征的差异性进行阐述。

2.1 岩心物性特征

分别对雷三段台缘颗粒滩、台内颗粒滩岩心实测孔隙度和渗透率进行统计(图2,图中 N 为样品个数)。西北地区雷三段台缘颗粒滩的岩心渗透率变化范围较大,为 $(0.052 \sim 23.12) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,总体上呈正态分布,峰值位于 $(0.1 \sim 1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $(1 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,分别占36.63%和37.87%,小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品仅占2.01%。中部地区雷三段台内颗粒滩岩心渗透率均小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,为 $(0.011 \sim 0.9) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,约有98%的样品岩心渗透率小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此,残余粒间孔保存型储层的渗透率值较同生期岩溶型储层高,渗流条件较同生期岩溶型储层好。

2.2 孔渗关系特征

分别对雷三段台缘颗粒滩和台内颗粒滩岩心实测孔隙度与渗透率关系进行分析(图3)。

西北地区雷三段台缘颗粒滩的孔渗关系总体上表现为随孔隙度增大渗透率缓慢增加的线性正相关

性,相关系数 R 为 0.845,结合铸体薄片鉴定结果,表明其孔隙类型主要由砂屑云岩、鲕粒云岩中的残余粒间孔和粒间溶孔组成;孔隙度大于 3% 的样品点渗透率为 $(0.052 \sim 23.12) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中渗透率为 $(0.05 \sim 10) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品点居多;中孔低渗的孤立孔隙样品较少(图 3)。

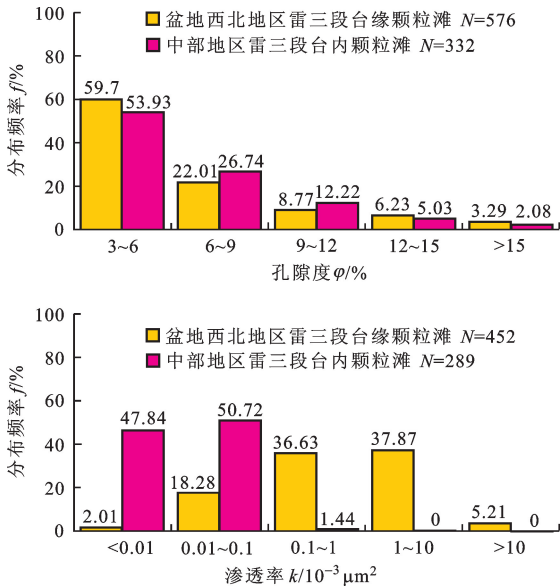


图2 雷三段颗粒滩岩心孔隙度和渗透率频率分布直方图

Fig. 2 Histogram showing frequency distribution of porosity and permeability of cores in Lei 3 member

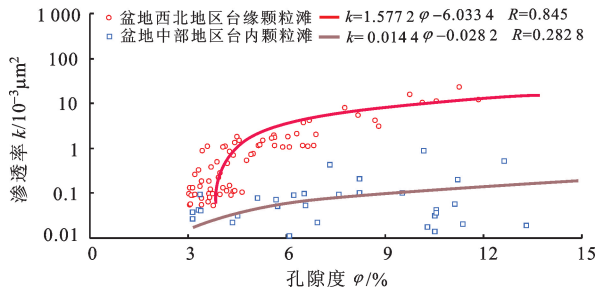


图3 雷三段颗粒滩岩心孔渗关系

Fig. 3 Relationship between porosity and permeability of cores in Lei 3 member

与台缘颗粒滩相比较,中部地区雷三段台内颗粒滩的孔渗关系线性相关性较差,相关系数 R 为 0.2828,随着孔隙度增大,渗透率变化不大,中孔低渗的孤立孔隙样品是中部地区雷三段台内颗粒滩主要的样品,铸体薄片鉴定结果表明,这些样品主要储集空间为砂屑云岩、鲕粒云岩中的粒内溶孔、铸模孔组成;孔隙度大于 3% 的样品渗透率为 $(0.011 \sim 0.9) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中渗透率在 $(0.01 \sim 0.2) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品居多,大部分样品渗透率值小于 $0.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;大于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 的样品主要为残余颗

粒晶粒云岩,以发育晶间孔为主;总体上表现为渗透率明显低于西北地区雷三段台缘颗粒滩(图 3)。

综上所述,残余粒间孔保存型储层的孔渗关系较同生期岩溶型储层好,储集空间主要由残余粒间孔和粒间溶孔组成,具有中孔中渗储层特征;同生期岩溶型储层以中孔低渗的粒内溶孔和铸模孔等孤立孔隙为主。

2.3 孔喉结构特征

将 25 个台缘颗粒滩和 22 个台内颗粒滩岩心压汞分析样品分别进行统计,西北地区雷三段台缘颗粒滩样品的压汞孔隙度为 3.54% ~ 11.08%,平均值为 5.98%;压汞渗透率为 $(0.18 \sim 13.1) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均值为 $5.49 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;排驱压力值较低,一般为 0.004 ~ 11.78 MPa,平均值为 2.62 MPa;中值喉道半径较大,一般为 0.004 ~ 7.64 μm ,平均值为 3.01 μm ;退汞效率较高,一般为 8.33% ~ 40.47%,平均值为 27.39%。

中部地区雷三段台内颗粒滩样品的压汞孔隙度分布范围和西北地区雷三段台缘颗粒滩大致相当,一般为 3.89 ~ 12.14%,平均值为 5.92%;压汞渗透率明显低于西北地区雷三段台缘颗粒滩,一般为 $(0.023 \sim 10.3) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $0.77 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;排驱压力值较西北地区雷三段台缘颗粒滩高,一般为 0.6 ~ 177.01 MPa,平均值为 44.31 MPa;中值喉道半径明显较西北地区雷三段台缘颗粒滩小,一般为 0.0001 ~ 0.98 μm ,平均值为 0.03 μm ;退汞效率较西北地区雷三段台缘颗粒滩低,一般为 0.8% ~ 31.23%,平均值为 8.58%。

由图 4 可知,西北地区雷三段台缘颗粒滩中亮晶颗粒白云岩以发育残余粒间孔、粒间溶孔为主,喉道类型主要为管状喉道、缩颈状喉道(图 4(a));中部地区雷三段台内颗粒滩中亮晶颗粒白云岩以发育粒内溶孔为主,喉道欠发育(图 4(b))。将两者(孔隙度同为约 8.2%)分别做压汞曲线分析,结果表明,西北地区雷三段台缘颗粒滩样品的渗透率值为 $5.39 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 4(c)),远大于中部地区雷三段台内颗粒滩样品的 $0.206 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 4(d)),进一步说明其喉道较中部地区雷三段台内颗粒滩样品粗,孔喉连通性比盆地中部地区雷三段台内颗粒滩好。

综上所述,残余粒间孔保存型储层的孔喉配置关系较同生期岩溶型储层好,具有孔隙间喉道发育,以管状喉道和缩颈喉道为主的特征;同生期岩溶型储层孔隙间喉道欠发育,以微喉为主,具有中孔微喉

的配置关系特征。表 1 中对比了雷三段残余粒间孔 保存型储层与同生期岩溶型储层的基本特征。

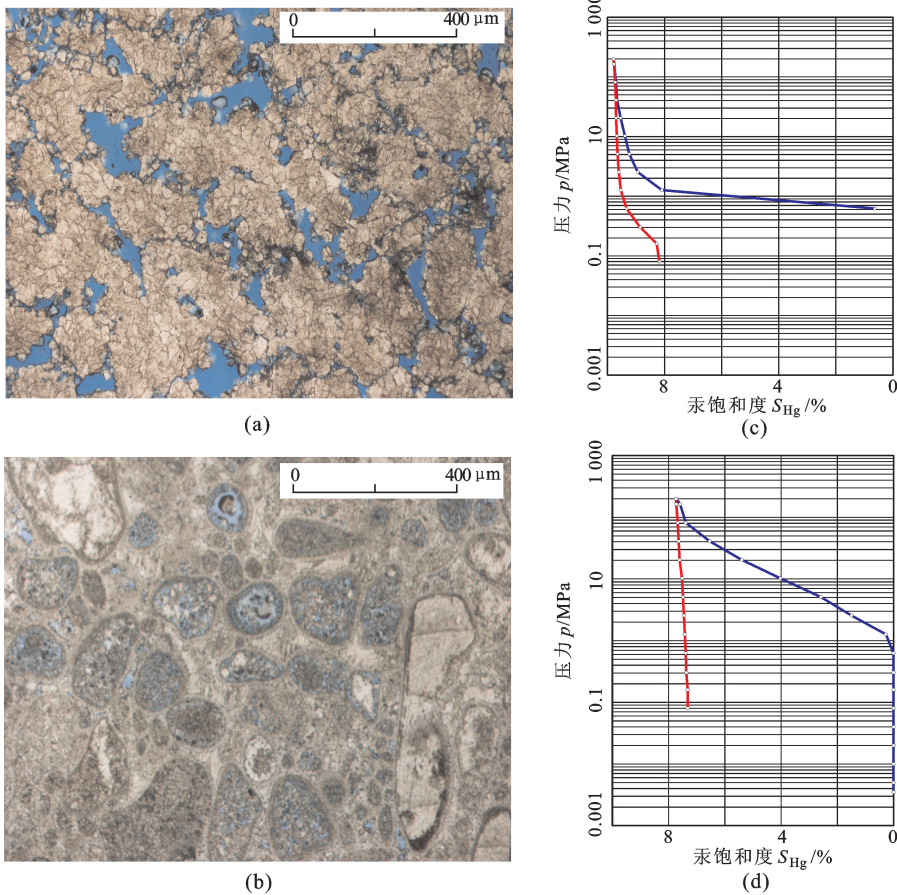


图 4 四川盆地西北地区与中部地区雷三段储集岩铸体薄片显微照片及压汞曲线

Fig. 4 Microstructural blue cast thin sections and curves of pressure mercury of reservoir rocks in Lei 3 member of the northwestern Sichuan Basin and the central Sichuan Basin

表 1 四川盆地雷三段残余粒间孔保存型储层与同生期岩溶型储层特征对比

Table 1 Comparison characteristics between residual intergranular preservation reservoirs and syngenetic karst reservoirs in Lei 3 member, Sichuan Basin

基本特征	残余粒间孔保存型储层	同生期岩溶型储层
岩性	亮晶砂屑白云岩、亮晶鲕粒白云岩、藻屑白云岩	亮晶砂屑白云岩、亮晶鲕粒白云岩、藻屑白云岩
孔隙类型	残余粒间孔和粒间溶孔为主	粒内溶孔和铸模孔为主
岩心孔隙度 φ /%	3.02 ~ 16.84	3.12 ~ 15.32
岩心渗透率 $k/10^{-3} \mu\text{m}^2$	0.052 ~ 23.12	0.011 ~ 0.9
岩心孔渗关系	孔渗线性正相关较好	孔渗线性正相关差
孔喉结构	连通性较好,残余粒间孔、粒间溶孔和管状喉道、缩颈状喉道为主的孔喉配置关系	连通性差,粒内溶孔、铸模孔和喉道欠发育为特征,孔喉配置关系差

3 储层成因分析

3.1 不同沉积环境的颗粒滩为储层提供了早期物质基础

中三叠统雷口坡组沉积期,四川盆地西侧存在松潘-甘孜海槽^[12-13],在紧邻该海槽的盆地西北部 and 西部地区位于碳酸盐台地与斜坡-海槽间过渡的台地边缘沉积环境,而其他区域则处于碳酸盐台地

内部的沉积环境(图 5)。台地边缘颗粒滩和台内颗粒滩分别为残余粒间孔保存型储层和同生期岩溶型储层的形成提供了早期物质基础。

台地边缘面临广海,水动力和波浪能量高、浪基面较深,发育的颗粒滩处于高能环境,沉积物淘洗较干净,颗粒含量高,泥质含量较少,在初期压实后极易形成较坚固的颗粒支撑格架,使原生粒间孔在成岩过程中比台内滩更容易保存下来,后期埋藏溶蚀

改造更易形成粒间溶孔,形成以残余粒间孔和粒间溶孔为主的残余粒间孔保存型储层。由于台地边缘的阻隔,台地内部的波浪作用大大减弱,浪基面也较浅,发育于台地内水下高地的台内颗粒滩体可迅速

加积而频繁出露海面,极易暴露于大气成岩环境中(图5),接受大气淡水的淋溶改造,形成的粒内溶孔、铸模孔奠定了同生期岩溶型储层的基础。

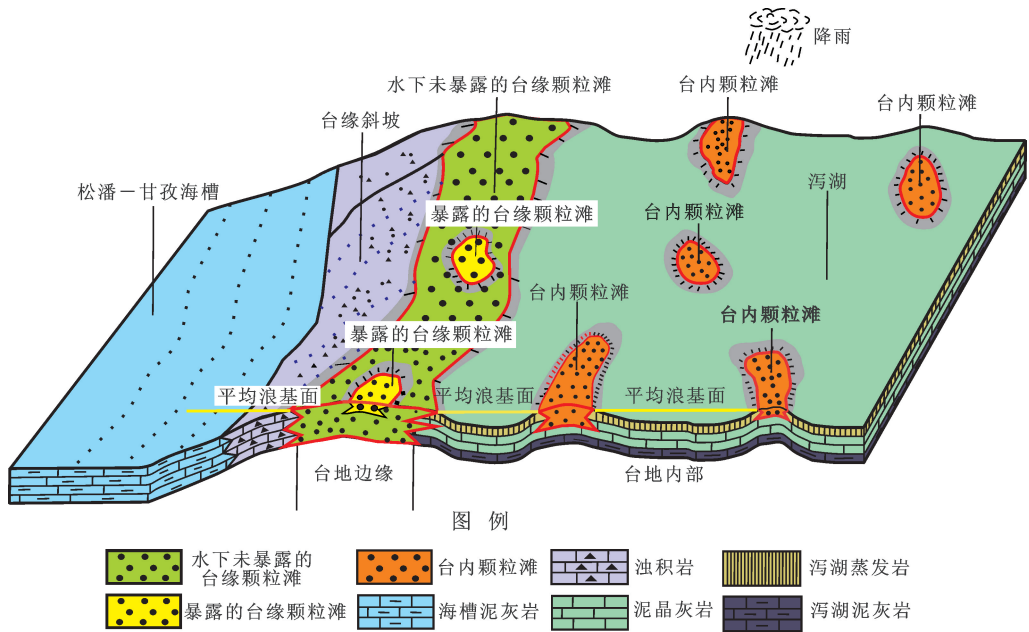


图5 四川盆地雷口坡组雷三段沉积环境示意图

Fig. 5 Sketch map showing sedimentary environment in Lei 3 member, Leikoupo formation, Sichuan Basin

3.2 单滩体的厚度控制着颗粒滩储层的储渗形式

分别对西北地区雷三段台缘颗粒滩、中部地区雷三段台内颗粒滩的岩心单滩体厚度和岩心平均渗透率关系进行统计。结果表明,西北地区雷三段台缘颗粒滩的22个岩心单滩体厚度为0.4~20.2 m,有12个单滩体厚度大于3 m,岩心平均渗透率随岩心单滩体厚度增大而缓慢增加。中部地区雷三段台内颗粒滩的岩心单滩体厚度一般为0.2~1.8 m,岩心平均渗透率也随岩心单滩体厚度增大而缓慢增加(图6)。

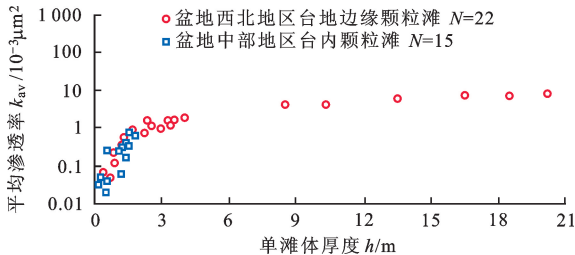


图6 雷三段颗粒滩岩心单滩体厚度和岩心平均渗透率关系

Fig. 6 Relationship between single shoal body thickness and permeability of core in Lei 3 member

单滩体较厚的颗粒滩有利于原生粒间孔的保存^[14],保存下来的残余粒间孔及喉道奠定了残余粒间孔保存型储层的先期孔渗基础,后期埋藏溶蚀流

体更易在先期孔隙和喉道中流动、扩溶,形成以发育残余粒间孔、粒间溶孔和管状喉道、缩颈状喉道发育为特征的残余粒间孔保存型储层;由于台地内部的波浪作用大大减弱,浪基面的深度很浅,发育于台地内水下高地的颗粒滩体可迅速加积而频繁出露海面,具有向上变浅沉积序列的颗粒体极易暴露于大气成岩环境中,大气淡水胶结物极易充填单滩体较薄的颗粒滩中原生粒间孔及喉道,不利于原生粒间孔的保存,后期埋藏溶蚀流体流动不畅,但可接受同生期大气淡水的组构选择性淋溶改造,形成以粒内溶孔、铸模孔为主,喉道欠发育为特征的同生期岩溶型储层。因此,颗粒滩单滩体的厚度控制着储层的储渗形式。

3.3 成岩演化是两种颗粒滩储层定型的关键

作为碳酸盐岩储层的载体,颗粒滩的成岩演化对储层特征影响强烈^[15-18]。依据颗粒滩经历的成岩演化阶段,可将其分为同生—早成岩期、浅埋藏期及深埋藏期等阶段,下面对其分别阐述。

同生期—早成岩期是两种颗粒滩储层形成的基础阶段。单滩体厚度较大的颗粒滩一般位于台地边缘,属于台地边缘颗粒滩,颗粒岩沉积后,由于滩体较厚并常位于水下很少暴露,未受大气成岩环境影响,不发育大气成岩胶结物,滩核中颗粒以点接触为

主,部分原生粒间孔得以保存(图 7)。单滩体较薄的颗粒滩一般位于台地内部的地貌高地,属于台内颗粒滩,由于台地边缘的阻隔,台地内部沉积水体受限、交换不畅,加上干旱少雨,蒸发作用强烈,泻湖内以沉积石膏岩等蒸发岩为主,海水中携带的 Mg^{2+} 通

过蒸发作用将先期沉积的颗粒灰岩等体积交代成颗粒云岩。这种厚度较薄的暴露型浅滩,极易受大气成岩胶结物影响,充填部分原生粒间孔,但向上变浅序列的中上部也易受到同生期大气淡水的选择性溶蚀,形成粒内溶孔和铸模孔(图 7)。

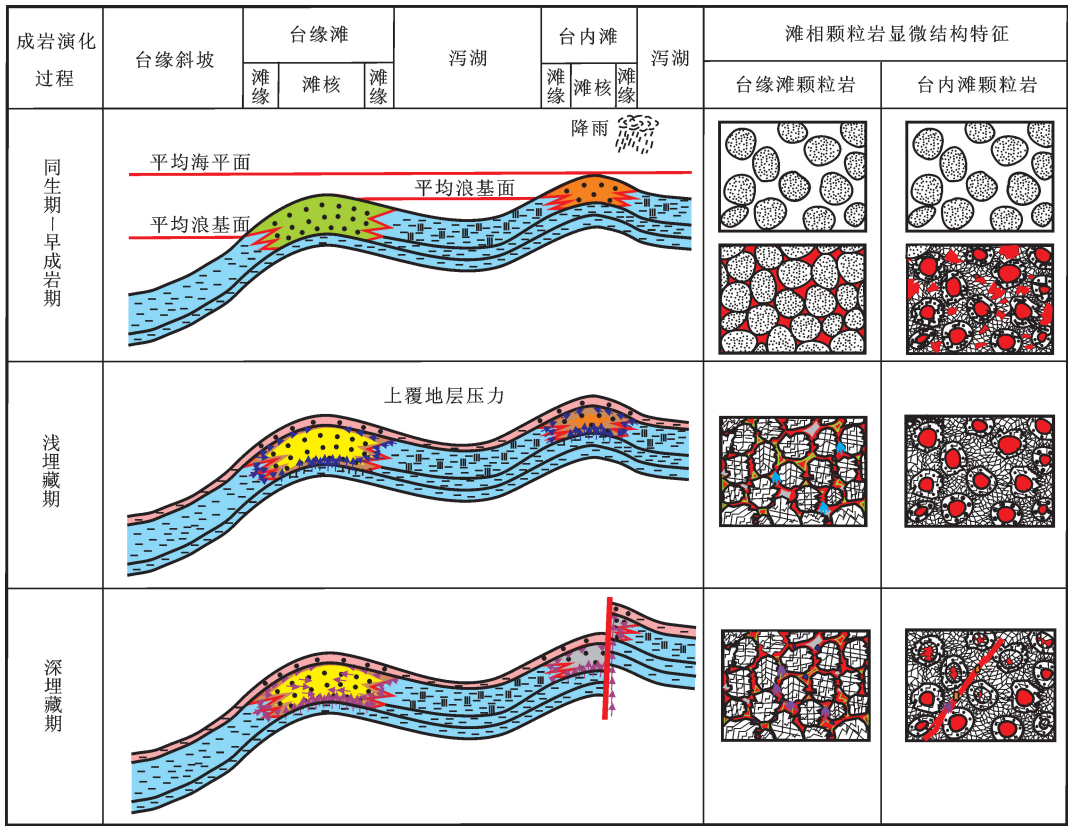


图 例

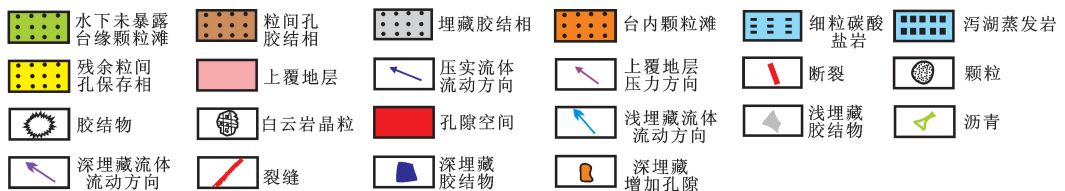


图 7 四川盆地雷三段残余粒间孔保存型储层与同生期岩溶型储层的成岩演化示意图

Fig.7 Sketch map showing diagenetic evolution of residual intergranular preservation reservoirs and syngenetic karst reservoirs in Lei 3 member, Sichuan Basin

浅埋藏期是两种颗粒滩储层演化的关键阶段。在上覆地层的垂向加积后,地层静压使先期沉积物受到初期压实,位于泻湖中的细粒碳酸盐沉积物的过饱和和流体排出,从颗粒滩周缘向滩核流动。这一时期,富含 Mg^{2+} 的埋藏流体将单滩体厚度较大的颗粒滩原生颗粒灰岩等体积交代成颗粒云岩。由于滩体较厚,过饱和流体只对颗粒滩滩缘、滩体顶部、底部影响较大。滩核因初期压实使粒间孔空间减小、喉道变细,过饱和流体从滩的周缘向核部流动过程中因胶结损耗,胶结能力逐渐下降,伴随着浅埋藏烃

类的进入占位,直接阻碍了过饱和压实流体在其中流动,使胶结停止,残余原生粒间孔得以保存(图 7)。对于厚度较薄的颗粒滩,过饱和流体可以在先期粒间孔、喉道内顺利流动,并能完全影响整个颗粒滩滩体,发育的胶结物使粒间孔隙损失殆尽(图 7)。

深埋藏期成岩改造使两种颗粒滩储层最终定型。深埋藏流体可分为烃源岩热演化中产生的未饱和酸性流体和过饱和的地层水。单滩体厚度较大的颗粒滩先期的粒间孔隙、喉道得以保存,深埋藏流体在储集空间内流动顺畅,未饱和酸性流体可在粒间

孔隙内扩溶,过饱和的地层水也可在粒间孔隙内沉淀、胶结,在溶蚀发育层段,强烈的溶蚀改造使粒间孔扩溶后形成粒间溶孔(图7)。厚度较薄的颗粒滩,深埋藏流体只能在构造破裂产生的裂缝内流动,未饱和和酸性流体只能沿裂缝扩溶,并且过饱和的地

层水在裂缝内沉淀、胶结会阻碍未饱和酸性流体在其流动,因此溶蚀增加的孔隙十分有限,仅能分布于裂缝周围,对单个储渗体的孔渗增加贡献较小(图7)。表2中对比了雷三段残余粒间孔保存型储层与同生期岩溶型储层的成因机制。

表2 四川盆地雷三段残余粒间孔保存型储层与同生期岩溶型储层成因机制对比

Table 2 Comparison genesis between residual intergranular preservation reservoirs and syngenetic karst reservoirs in Lei 3 member, Sichuan Basin

特征		残余粒间孔保存型储层	同生期岩溶型储层
沉积环境	发育环境	台地边缘	台地内部地貌高地
	水体能量	高	低
单滩体厚度		0.4~20.2 m	0.2~1.8 m
成岩演化	同生期~早成岩期	不发育大气成岩胶结物,部分原生粒间孔得以保存	蒸发白云岩化、大气成岩胶结物充填部分原生粒间孔、粒内溶孔和铸模孔发育
	浅埋藏期	埋藏白云岩化、滩核内粒间孔得以保存	粒间孔隙损失殆尽
	深埋藏期	粒间孔扩溶后形成粒间溶孔	沿裂缝扩溶,溶蚀增加的孔隙十分有限

4 结论

(1)残余粒间孔保存型储层以残余粒间孔和粒间溶孔为主要的储集空间;同生期岩溶型储层以孤立的粒内溶孔和铸模孔为主要储集空间。

(2)台地边缘颗粒滩、台地内部颗粒滩分别是残余粒间孔保存型储层和同生期岩溶型储层的早期物质基础。

(3)颗粒滩单滩体的厚度控制着储层的储渗形式。单滩体较厚的颗粒滩易形成残余粒间孔保存型储层;单滩体较薄的颗粒滩易形成同生期岩溶型储层。

(4)滩体厚度较大的颗粒滩更易保存原生粒间孔,并受理藏溶蚀扩溶形成粒间溶孔,最终形成残余粒间孔保存型储层;厚度较薄的颗粒滩常受到大气淡水的选择性溶蚀促使其更易形成粒内溶孔和铸模孔,埋藏溶蚀增孔有限,最终形成同生期岩溶型储层。

参考文献:

[1] 罗平,张静,刘伟,等.中国海相碳酸盐岩油气储层基本特征[J].地学前缘,2008,15(1):36-39.
LUO Ping, ZHANG Jing, LIU Wei, et al. Characteristics of marine carbonate hydrocarbon reservoirs in China[J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(1): 36-39.

[2] 白国平.世界碳酸盐岩大油气田分布特征[J].古地理学报,2006,8(1):241-250.
BAI Guo-ping. Distribution patterns of giant carbonate field in the world[J]. Journal of Paleogeography, 2006, 8(1): 241-250.

[3] CHARLES Kerans, JERRY Lucia F. Depositional con-

trols on reservoir quality in isolated greenhouse carbonate shoals and swells, Lower Cretaceous, Bab Basin, Middle East[J]. AAPG Bulletin, 2000, 84(9): 1447.

[4] NEAL Donald W, HARTSOOK Alan D. Characterization of an oolite shoal reservoir, North Carterville Field, Bossier Parish, Louisiana[J]. Geological Society of America, 2003, 35(1): 54-55.

[5] 曾伟,黄先平,杨雨,等.川东北地区飞仙关组储层中的埋藏溶蚀作用[J].天然气工业,2007,26(11):4-6.
ZENG Wei, HUANG Xian-ping, YANG Yu, et al. Burial dissolution of Feixian-guan formation reservoirs in northeast Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry. 2007, 26(11): 4-6.

[6] 陈景山,李忠,王振宇,等.塔里木盆地奥陶系碳酸盐岩古岩溶作用与储层分布[J].沉积学报,2007,25(6):858-868.
CHEN Jing-shan, LI Zhong, WANG Zhen-yu, et al. Paleokarstification and reservoir distribution of Ordovician carbonates in Tarim Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(6): 858-868.

[7] 艾合买提江·阿不都热和曼,钟建华,李阳,等.塔河油田奥陶系缝合线特征及石油地质意义[J].中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(1):7-11.
AHMATJAN Abdurahaman, ZHONG Jian-hua, LI Yang, et al. Stylolite characteristics and petroleum geology significance of Ordovician carbonate rocks in Tahe Oilfield [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(1): 7-11.

[8] 刘伟,张兴阳,顾家裕.塔里木盆地台盆区中西部中下奥陶统鹰山组沉积环境研究[J].沉积学报,2009,27(3):425-441.
LIU Wei, ZHANG Xing-yang, GU Jia-yu. Sedimentary environment of lower-middle Ordovician Yingshan forma-

- tion in Mid-Western Tarim Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(3):425-441.
- [9] 谭秀成,邹娟,李凌,等.磨溪气田嘉二段陆表海型台地内沉积微相研究[J]. *石油学报*, 2008, 29(2):219-225.
- TAN Xiu-cheng, ZOU Juan, LI Ling, et al. Research on sedimentary microfacies of the epicontinental sea platform of Jia 2 member in Moxi gas field[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2008, 29(2):219-225.
- [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:自然科学版*, 2007, 29(4):30-33.
- ZHOU Yan, TAN Xiu-cheng, LIU Hong, et al. Oolitic limestone reservoir characteristics and its genetic mechanism of Jia-2 member in Moxi gas field[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2007, 29(4):30-33.
- [11] 张满郎,谢增业,李熙喆,等.四川盆地寒武纪岩相古地理特征[J]. *沉积学报*, 2010, 28(1):128-139.
- ZHANG Man-lang, XIE Zeng-ye, LI Xi-zhe, et al. Characteristics of lithofacies paleogeography of Cambrian in Sichuan Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2010, 28(1):128-139.
- [12] 李凌,谭秀成,丁熊,等.四川盆地雷口坡组台内滩与台缘滩沉积特征差异及对储层的控制[J]. *石油学报*, 2011, 32(1):70-75.
- LI Ling, TAN Xiu-cheng, DING Xiong, et al. Difference in depositional characteristics between intra-platform and marginal-platform shoals in Leikoupo formation, Sichuan Basin and its impact on reservoirs[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2011, 32(1):70-75.
- [13] 黄东,张健,杨光,等.四川盆地中三叠统雷口坡组地层划分探讨[J]. *西南石油大学学报:自然科学版*, 2011, 33(3):89-95.
- HUANG Dong, ZHANG Jian, YANG Guang, et al. The discussion of stratum division and stratum for the Leikoupo formation of Middle Triassic in Sichuan Basin[J]. *Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition)*, 2011, 33(3):89-95.
- [14] 谭秀成,罗冰,李卓沛,等.川中地区磨溪气田嘉二段砂屑云岩储集层成因[J]. *石油勘探与开发*, 2011, 38(3):268-273.
- TAN Xiu-cheng, LUO Bing, LI Zhuo-pei, et al. Jia-2 member dolarenite reservoir in the Moxi gas field, middle Sichuan Basin[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2011, 38(3):268-273.
- [15] 李阳.塔河油田奥陶系碳酸盐岩溶洞型储集体识别及定量表征[J]. *中国石油大学学报:自然科学版*, 2012, 36(1):1-6.
- LI Yang. Ordovician carbonate fracture-cavity reservoirs identification and quantitative characterization in Tahe Oilfield[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2012, 36(1):1-6.
- [16] 陈金勇,李振鹏.碳酸盐岩储层的主要影响因素[J]. *海洋地质动态*, 2010, 26(4):19-24.
- CHEN Jin-yong, LI Zhen-peng. Major controlling factors of carbonate rock reservoirs [J]. *Marine Geology Letters*, 2010, 26(4):19-24.
- [17] 李凌,谭秀成,夏吉文,等.海平面升降对威远寒武系滩相储层的影响[J]. *天然气工业*, 2008, 28(4):19-22.
- LI Ling, TAN Xiu-cheng, XIA Ji-wen, et al. Influences of eustatic movement on the Cambrian reservoirs of bank facies in Weiyuan gas field [J]. *Natural Gas Industry*, 2008, 28(4):19-22.
- [18] 罗冰,谭秀成,刘宏,等.蜀南地区飞仙关组鲕滩储层成因机制分析[J]. *沉积学报*, 2009, 27(3):404-409.
- LUO Bing, TAN Xiu-cheng, LIU Hong, et al. Genetic mechanism analysis on oolitic reservoir of lower Triassic Feixianguan formation in the Shunan area, Sichuan Basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2009, 27(3):404-409.

(编辑 徐会永)