

资阳灯影组二、三段微相组合对储层的控制*

王兴志 侯方浩 方少仙 黄继祥

(西南石油学院勘探系, 四川南充 637001)

资阳灯影组二、三段储层的形成与岩石微相和微相组合密切相关。该段主要由12种岩石微相及5种微相组合叠加而成, 其中浅色的微晶白云岩、亮晶砂屑白云岩、微-亮晶鲕粒白云岩及部分藻叠层白云岩是最有利于储层形成的岩石微相, 它们多分布于各微相组合的中上部。岩石微相及微相组合在垂向上的频繁叠加导致储层在纵向上具有层数多、单层厚度不大的特点; 平面上, 以资3、7井为中心的区块1和以资4井为中心的区块2是有利于储层形成的岩石微相及微相组合地区。

关键词 资阳 灯影组 岩石微相 微相组合 储层

第一作者简介 王兴志 男 33岁 博士后 沉积学及储层地质学

资阳灯影组埋入地表之下4 000 m左右, 主要由一套厚500~ 600 m的富蓝菌藻白云岩组成。

近年来, 区内灯影组二、三段(简称灯二、三段)中高产性天然气的发现为四川盆地内深而古老地层中天然气的勘探展示了良好的前景。对构成天然气产层段沉积相的研究, 是预测储层在纵横向上分布规律的最基础工作。本文是在灯二、三段岩相研究的基础上, 结合物性资料, 分析了岩石微相及微相组合对储层在纵横向上分布规律的控制作用, 以期能对灯影组中天然气的进一步勘探提供理论上的依据。

1 岩石微相类型及储集性

区内灯二、三段是一套浅水台坪环境中的产物, 由于亚环境、微环境的差异性, 导致岩石微相的多样性。根据岩芯、常规及铸体薄片的研究, 并结合物性资料, 划分出以下12种岩石微相类型。岩石微相的不同, 储集性能也有明显的差异。

1.1 灰色藻层纹白云岩(MF1)

由密集的富藻纹层组成, 富屑纹层不发育; 富藻纹层单层厚0.04~ 0.8 mm, 由具隐粒结构的藻丝体、藻球粒粘结少量泥-粉屑白云石组成连续或断续的近水平纹层叠加而成。岩石致密, 孔隙度一般小于1%, 渗透率小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。局部可出现沿藻纹层方向的小溶沟, 宽0.5~ 1.5 cm, 但多被“葡萄花边”纤状白云石、粒状亮晶白云石及沥青充填-半充填, 仅残留少量亮晶白云石胶结物间的晶间孔、晶间溶孔和溶洞。总体上, 该岩石微相储集性能差。

1.2 灰色绵层状藻白云岩(MF2)

由显原始生长状态的泡沫网格状、椭球状、肾状及不规则状的蓝菌藻“格架”组成, 原生藻

* 本文系“石油科技中青年创新基金”资助项目

收稿日期: 1997-09-10

“格架”孔几乎被纤状、叶片状和粒状亮晶白云石全部充填, 局部可残留少量亮晶胶结物间的晶间孔。岩性致密, 孔隙度小于 1% , 渗透率小于 $0.01 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 储集性能较差。

1.3 灰色微晶白云岩(MF3)

主要由微晶白云岩和少量藻迹组成, 具块状或水平层理, 局部可见被亮晶白云石充填的鸟眼孔。微晶白云岩大多发生较强的重结晶作用, 形成粗粉晶-细晶白云岩, 在埋藏溶蚀作用的配合下, 发育较多的晶间孔、晶间溶孔和溶洞, 孔径一般 $0.2 \sim 5 \text{ mm}$, 最大可达 20 mm , 主要分布于灯二段, 以中-薄层状频繁出现, 构成区内重要的储集岩石微相之一。

上述三个微相是开阔静浅水环境下的产物。

1.4 灰黑色颗粒粘连白云岩(MF4)

主要由与蓝菌藻有关的藻粉屑、藻砂屑及藻粘结团块等颗粒再次被蓝菌藻粘连成不规则的层状“格架”组成, 颗粒间和层状“格架”间孔隙被纤状、粒状两期亮晶白云石近乎全部充填, 构成“雪花”状构造。岩性致密, 仅在白云石胶结物间具少量晶间孔、晶间溶孔, 并被沥青半充填, 储集性能差。

1.5 灰黑色藻团块白云岩(MF5)

主要由蓝菌藻粘结泥屑、粉屑和细砂屑等颗粒构成的不规则状孤立团块组成, 粒径 $1 \sim 3 \text{ mm}$, 含量 $50\% \sim 80\%$, 另可具少量高能核形石; 粒间全被纤状、粒状两期亮晶白云石及少量沥青充填, 具“雪花”状构造, 储集物性差。

1.6 灰色藻叠层白云岩(MF6)

由蓝菌藻粘结泥屑、粉屑及细砂屑等颗粒组成的波状、半球状或柱状纹层垂向叠加而成, 随水动力条件的增强, 藻叠层形态具有从波状 $\rightarrow$ 半球状 $\rightarrow$ 短柱状(柱高小于 10 cm) $\rightarrow$ 长柱状(柱高大于 10 cm) 的变化趋势; 同时, 藻粘结的颗粒变大、数量增多。岩石中常见沿藻纹层方向的溶沟, 但常被多圈层的“葡萄花边”纤状白云石、粒状亮晶白云石、石英及沥青充填-半充填, 因此, 储集性能一般较差; 但在长柱状叠层白云岩中, 沿柱间常发育有半充填的溶沟、溶洞, 储集性能良好。

上述三个微相为开阔微动荡到动荡环境中的产物。

1.7 灰白-灰黑色亮晶砂屑白云岩(MF7)

颗粒由灰白色微晶白云岩砂屑或灰黑色隐藻砂屑组成, 粒径 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$, 含量 $50\% \sim 80\%$, 次圆-圆状, 分选中等-好; 粒间多被纤状白云石组成的栉壳环边和粒状亮晶白云石充填。以灰白色微晶白云岩砂屑组成的浅色亮晶砂屑白云岩, 在成岩过程中, 经过强烈重结晶作用和埋藏溶蚀作用的改造, 形成具残余砂屑结构的粗粉晶-细晶白云岩, 以中-薄层状频繁出现, 发育较多的晶间孔、晶间溶孔和溶洞, 孔隙度一般 $0.54\% \sim 5.33\%$, 渗透率最高可达 $2.23 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 面孔率一般 $1\% \sim 15\%$, 储集性能良好; 相反, 在暗色隐藻砂屑组成的灰黑色亮晶砂屑白云岩中, 原生孔隙被两期白云石胶结后几乎消失, 而有利于次生孔隙发育的埋藏重结晶作用和埋藏溶蚀作用又难于进行, 因此, 岩性致密, 储集性能极差。

1.8 灰白色微-亮晶鲕粒白云岩(MF8)

颗粒含量 $60\% \sim 80\%$, 粒径 $0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$, 多为具密集同心包壳的正常鲕, 少量为表鲕和被粒状白云石充填的铸模鲕; 粒间填隙物中亮晶白云石含量多于微晶白云石。鲕粒白云岩大多发生强烈的重结晶作用, 形成具残余鲕粒结构的粗粉晶-细晶白云岩; 在埋藏溶蚀作用的配合下, 形成大量的晶间孔、晶间溶孔和溶洞, 孔隙度为 $0.66\% \sim 6.74\%$, 渗透率一般大于

$1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 宏观面孔率最大可达 25% 左右, 构成区内灯影组重要的储集岩石微相之一。

1.9 灰色砾屑白云岩(MF9)

砾屑主要由藻白云岩和微晶白云岩组成, 形态以片状、撕裂状、不规则状为主, 分选、磨圆中等-差; 砾屑间微晶-亮晶白云石均有, 但分布不均, 局部层段的砾屑被溶解形成铸模孔, 并被粒状白云石、沥青半充填, 总体储集性能差。

以上三个微相属高能动荡环境下的产物。

1.10 灰褐-灰黑色微晶白云岩(MF10)

主要由富含有机质的微晶白云石组成, 具少量粉屑、细砂屑、黄铁矿和自生石英, 常见水下收缩缝形成边角浑圆的镶嵌状假角砾, 缝间被粒状亮晶白云石全充填, 岩性致密, 为非储集岩石微相类型。

1.11 灰黑色藻球粒白云岩(MF11)

由细粉屑级的藻球粒组成, 灰泥充填, 局部灰泥充填物可重结晶形成粉晶白云石, 其间具少量晶间孔和晶间溶孔, 但多被沥青全充填, 储集性能差。

以上两个微相属局限低能环境下的产物。

1.12 灰白色干裂角砾白云岩(MF12)

角砾一般小于 $1\text{cm} \times 3\text{cm}$, 棱角-次棱角状、板片状、略具定向排列, 其岩性多为藻纹层白云岩; 砾间常被多圈层的“葡萄花边”纤状白云石、粒状亮晶白云石全充填, 储集性能差。

此微相属间歇暴露环境下的产物。

2 微相组合类型及储集性

按照各岩石微相之间的相互组合关系, 特别是它们在纵向上的共生规律, 将 12 种岩石微相划分为 5 种具代表性的微相组合类型。微相组合的不同, 储集性能也有一定的差异。

2.1 微相组合 I

由 MF1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12 组成, 厚 0.4~2.1 m。一个完整的微相组合由 3 部分组成(图 1),

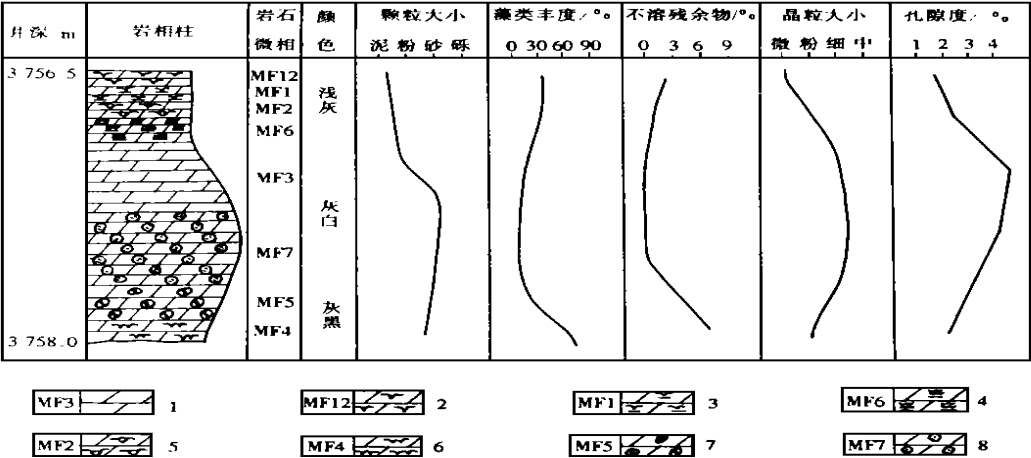


图 1 资 2 井灯二段 3 756.5~3 758.0 m 微相组合特征

1—微晶白云岩; 2—干裂角砾白云岩; 3—藻层纹白云岩; 4—藻叠层白云岩; 5—绵层状藻白云岩; 6—颗粒粘连白云岩; 7—藻团块白云岩;

8—亮晶砂屑白云岩

上部由浅灰色的微波状叠层白云岩(MF6)、绵层状藻白云岩(MF2)和藻层纹白云岩(MF1)等组成,局部可见干裂角砾白云岩(MF12),厚 10~ 35 cm,常见水平纹理和鸟眼构造,干裂少见;中部由灰白色亮晶砂屑白云岩(MF7)和微晶白云岩(MF3)组成(多重结晶为粗粉晶-细晶白云岩),厚 5~ 150 cm;下部由具“雪花”状构造的灰黑色颗粒粘连白云岩(MF4)和藻团块白云岩(MF5)组成,厚 5~ 25 cm,底部与另一个微相组合的顶部呈突变侵蚀接触。上述特征显示该微相组合是平均高潮线至平均低潮线之间潮坪环境中的产物。

该微相组合由下至上具有如下变化规律:(1)颜色由灰黑→灰白→浅灰;(2)颗粒由细→粗→细;(3)藻类丰度由富→贫→富;(4)不溶残余物由多→少→较多;(5)重结晶强度由弱→强→弱;(6)孔隙度由低→高→较低。这种微相组合主要分布于灯二段,平面上分布较为广泛;微相组合中部的岩性在后期重结晶和埋藏溶蚀作用的影响下,常形成储集空间发育的粗粉晶-细晶白云岩,从而构成区内良好的储集微相组合类型。

2 2 微相组合 II

该微相组合厚 5~ 25 cm(图 2)。其特点基本同微相组合 I,不同是缺少后者的中部层段,可作为它的特例,常以夹层形式出现于微相组合 I 组成的层序之中,储集性能极差。

井深/m	岩相柱	岩石微相	颜色	颗粒大小	藻类丰度/°	不溶残余物/°	晶粒大小	孔隙度/°
				泥粉砂砾	0 30 60 90	0 3 6 9	微粉细中	1 2 3 4
3 794.0		MF1	浅灰					
MF2								
MF6								
MF5								
MF4								
3 794.5			灰黑					

图 2 资 2 井灯二段 3 794.0~ 3 794.5 m 微相组合特征

1—藻层纹白云岩;2—藻叠层白云岩;3—绵层状藻白云岩;4—藻团块白云岩;5—颗粒粘连白云岩

2 3 微相组合 III

该微相组合厚 0.3~ 3 cm(图 3)。中、上部主要由灰白色亮晶砂屑白云岩(MF7)组成(常

井深/m	岩相柱	岩石微相	颜色	颗粒大小	藻类丰度/°	不溶残余物/°	晶粒大小	孔隙度/°
				泥粉砂砾	0 30 60 90	0 3 6 9	微粉细中	1 2 3 4
3 711.1		MF7	灰白					
MF3								
MF2								
MF1								
3 713.8			灰					

图 3 资 2 井灯三段 3 711.1~ 3 713.8 m 微相组合特征

1—微晶白云岩;2—藻层纹白云岩;3—绵层状藻白云岩;4—亮晶砂屑白云岩

重结晶为具残余颗粒结构的粗粉晶-细晶白云岩),具块状层理;下部为薄层灰色的藻纹层白云岩(MF1)、绵层状藻白云岩(MF2)和微晶白云岩(MF3),见水平层理和鸟眼构造。沉积环境为在藻坪基础上发育起来的内碎屑滩,水体动荡。

该微相组合由下向上具如下变化趋势: (1) 颜色由灰 $\rightarrow$ 灰白; (2) 颗粒由细 $\rightarrow$ 粗; (3) 藻类丰度由富 $\rightarrow$ 贫; (4) 不溶残余物由多 $\rightarrow$ 少; (5) 晶粒由细 $\rightarrow$ 粗; (6) 孔隙度由小 $\rightarrow$ 大。组合的中、上部在重结晶和埋藏溶蚀作用的改造下, 常形成储层空间较为发育的、具残余砂屑结构的粗粉晶-细晶白云岩。这类在藻坪上发育起来的内碎屑滩规模一般较小, 横向上分布不稳, 仅局限于少数井段的灯三段(如资 2 井灯三段), 因此, 该组合仅在局部井段可构成良好的储层。

2.4 微相组合Ⅳ

该微相组合厚 0.5~4 m(图 4), 中、上部以灰白色微-亮晶鲕粒白云岩(MF8)为主, 夹与浅色砂屑白云岩过渡的岩相; 下部常为薄层灰色的绵层状藻白云岩(MF2)和微晶白云岩(MF3), 具水平层理。沉积环境为高出四周地形的鲕粒滩, 水体动荡。微相组合、储集性及变化规律与微相组合Ⅲ相似。鲕粒滩数目在区内分布虽较少, 但滩体厚度较大, 横向延伸也较远, 如分布于资 3 井中的鲕粒滩可延伸至资 7 井附近。因此, 构成区内主要的储集微相组合类型之一。

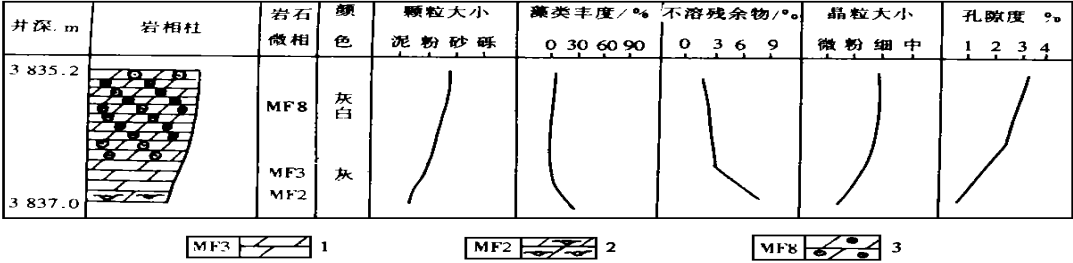


图 4 资 3 井灯三段 3 835.2~3 837.0 m 微相组合特征

1—微晶白云岩; 2—绵层状藻白云岩; 3—微-亮晶鲕粒白云岩

2.5 微相组合Ⅴ

该微相组合厚 0.35~7.5 m(图 5), 中、上部主要由灰色长柱状叠层石白云岩(MF6)组成; 下部由灰黑色的藻团块白云岩(MF5)和亮晶砂屑白云岩(MF7)等组成, 具块状层理和“雪花”状构造。沉积特征表明属藻滩之上发育起来的藻丘沉积, 水体能量较高。

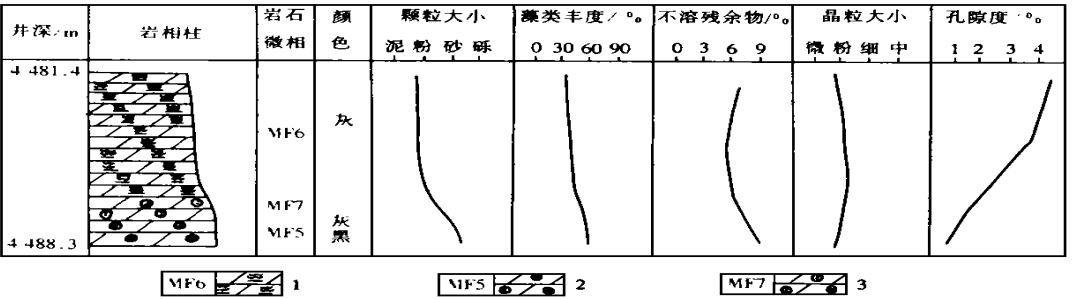


图 5 资 4 井灯三段 4 481.4~4 488.3 m 微相组合特征

1—藻叠层白云岩; 2—藻团块白云岩; 3—亮晶砂屑白云岩

微相组合由下向上具有如下变化规律: (1) 颜色由灰黑 $\rightarrow$ 灰; (2) 颗粒由粗 $\rightarrow$ 细; (3) 孔隙度由小 $\rightarrow$ 大。组合中、上部长柱状叠层石间, 在后期岩溶作用的影响下, 形成宽 0.5~5 cm 的近垂向溶沟, 在“葡萄花边”纤状白云石和粒状亮晶白云石充填后, 仍残留较多的储集空间。但由于这种组合类型仅分布于局部地区的部分层段中(如资 4 井灯三段中部), 因此, 仅能在少数地区形成有利的储集微相组合类型。

图 6 综合反映了区内灯二、三段沉积相模式、微相-微相组合分布规律以及与储集空间的发育关系。

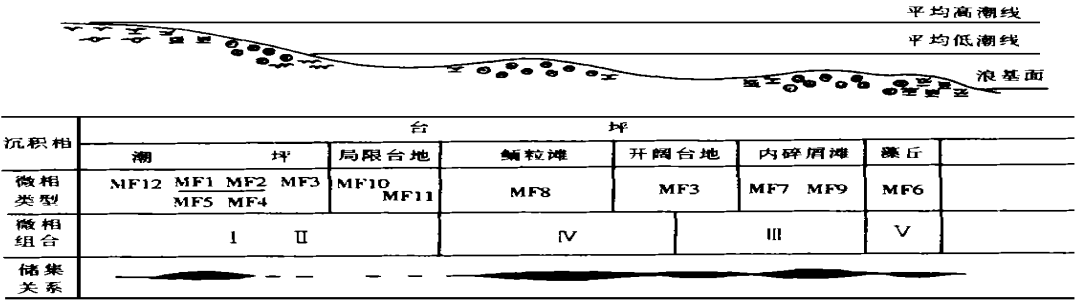


图 6 资阳地区灯二、三段沉积相模式与储集关系示意图

3 微相及其组合对储层空间展布的控制

3.1 对储层纵向分布的控制

资阳灯二、三段是浅水台坪环境下的产物,在低级海平面变化(可能为五级,持续周期为 0.1~1 Ma)的影响下^[1],使岩石微相在纵向上形成规律性变化。资 2 井灯二、三段纵向上的微相序列剖面(图 7)基本反映了区内多旋回的米级—亚米级厚的微相组合变化规律。很显然,不同层段的地层由不同的微相及微相组合构成,从而控制和决定了不同层段中储层在纵向上的分布规律。从图 7 中可知,灯二段主要由微相组合 I 和微相组合 II 构成的频繁互层韵律组成,其中最有利于储层发育的浅色亮晶砂屑白云岩(MF7)和浅色微晶白云岩(MF3),单层厚 5~150 cm,总厚度占该段地层厚度的 15%~30%;灯三段底部由一套厚 12 m 的灰色黑微晶白云岩组成,岩性致密,构成非储层,中部主要由微相组合 III 构成的频繁韵律层,其中有利于储层发育的浅色亮晶砂屑白云岩(MF7)单层厚 0.3~3 m,总厚度占该段地层厚度的 25%~60%,顶部主要由一套厚约 6 m 的灰黑色微晶白云岩(MF10)组成,岩性致密,属非储层段。

以上这种储层在纵向上层数较多、单层厚度不大的特征在区内灯二、三段中表现极为明显。各井之间储层发育的差异仅表现在构成储层的岩石微相、微相组合类型及厚度上有所不同。

3.2 对储层横向分布的控制

在各单井岩石微相组合分析的基础上,以亚段为基本单位勾画出各微相组合类型的相对发育区,结合各微相和微相组合的储集特征,就能得出各亚段中有利微相和微相组合发育区。下面就以灯二段 A 亚

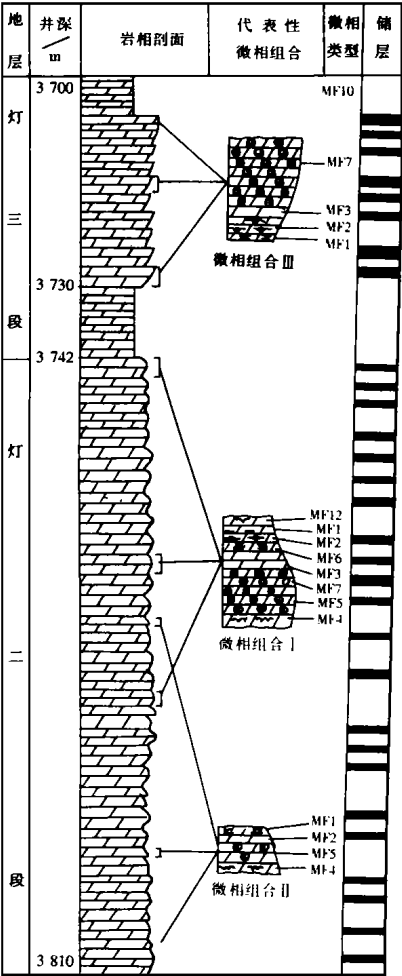


图 7 资阳灯二、三段微相演化示意图

下面就以灯二段 A 亚

段为例来说明微相或微相组合对储层在横向发育不均的控制作用。

灯二段 A 亚段厚 24~ 30 m, 是一重要储集层段。从其微相组合展布图(图 8)上可以看出区内有三个不同的区块: 区块 1 以资 3、7 井为代表, 其浅色微-亮晶鲕粒白云岩(MF8)的出现频率大于 70%, 构成以微相组合 IV 占优势的发育区, 属最有利于储层发育的鲕粒滩相沉积, 方向近 NE; 区块 2 以资 4 井为代表, 其浅色亮晶砂屑白云岩(MF7)的出现频率大于 65%, 构成微相组合 III 占优势的发育区, 属有利于储层发育的内碎屑滩相沉积, 方向近 NE; 其余地区构成区块 3, 以资 1、2 井为代表, 其有利于储层发育的浅色亮晶砂屑白云岩(MF7)和浅色微晶白云岩(MF3)的出现频率仅为 20%~ 30%, 构成微相组合 I、II 发育区, 属较为有利于储层发育的潮坪沉积。

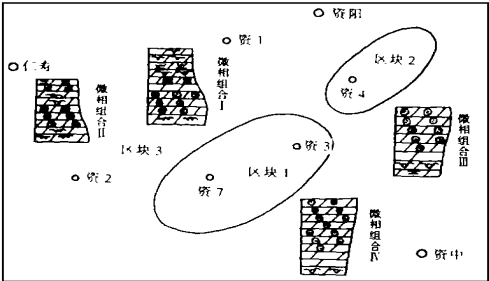


图 8 资阳地区灯二段 A 亚段微相组合分布图

综上所述, 对区内灯二、三段岩石微相、微相组合及微相组合序列的研究表明: 一方面, 由于各有利微相及微相组合类型在纵向上的频繁叠加, 导致储层具有层数多、单层厚度不大、非均质性较强的特征; 另一方面, 各井段在纵横向上微相组合类型的差异, 导致单一储层在横向上不能长距离追踪对比, 分别构成以资 3、7 井和以资 4 井为中心的、有利于储层发育的分布区, 展布方向近 NE, 向其周围的资 1、2 井, 有利储集层厚度明显变薄。

值得注意的是区内储层的发育受到多种因素的控制^[2], 沉积相及所属各微相组合是最基本的控制因素, 它控制着有利储集体在区域上的走向及总体展布, 所属岩石微相是后期各种成岩作用的物质基础。区内有利岩石微相及微相组合发育区也是后期重结晶作用和埋藏溶蚀作用发育区^[3], 因此, 沉积相与后期各种成岩作用的相互配合就决定了现今区内有利储集空间和有利储集层的具体分布。

参 考 文 献

1 Goldhammer P K, Dunn P A. Depositional cycles, composite sea level changes, cyclic stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing: examples from Alpine Tertiary platform carbonate. Geological Society of American Bulletin, 1990, 102: 535 ~ 562

2 王兴志, 黄继祥, 侯方浩. 影响四川资阳地区震旦系灯影组储集空间的主要因素, 见: 王英华, 鲍志东, 朱筱敏, 编. 沉积学及岩相古地理学新进展. 北京: 石油工业出版社, 1995. 561~ 564

3 王兴志, 黄继祥, 侯方浩. 四川资阳及邻区灯影组古岩溶特征与储集空间. 矿物岩石, 1996, 16(2): 47~ 54

MICROFACIES ASSEMBLAGES OF 2ND AND 3RD MEMBERS OF DENGying FORMATION, ZIYANG AND THEIR CONTROL ON RESERVOIRS

Wang Xingzhi Hou Fanghao Fan Shaoxian Huang Jixiang
(Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan)

Abstract

The formation of the reservoirs of the second and third numbers of Dengying Formation in Ziyang, Sichuan Province, is closely connected with lithological microfacies and their assemblages. The strata are composed of 12 kinds of lithological microfacies and 5 microfacies assemblages. Among them light micrite dolomite, sparry dolarenite, micrite sparry oolite dolomite and some stromatolitic dolomite, distributed in the middle and upper part of each microfacies assemblage, are favourable for the formation of the reservoirs. The high frequent overlap of the microfacies and their assemblages in vertical direction result in lots of thin reservoir layers. In lateral, Block 1 centering well Zr 3 and Zr 7 and Block 2 centering well Zr 4 have the best lithological microfacies and assemblages for the formation of the reservoirs.

(上接第 247 页)

LAYER-GLIDING SYSTEMS IN EASTERN SICHUAN AND THEIR SIGNIFICANCE FOR PETROLEUM GEOLOGY

Li Benliang Sun Yan

(*Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing*)

Chen Wei

(*Department of Exploration, Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan*)

Abstract

The depositional covers in the eastern Sichuan region could be classified into four layer-gliding systems according to the differences in rock features, rock mechanic parameters, rock physical parameters and seismic reflective characteristics. The Lower Cambrian, Upper Ordovician Lower Silurian, Upper Permian and Middle-Lower Triassic Systems in the studied area are the major gliding systems. These systems are composed of mudstone, shales, gypsum and coal beds, and characterized by low apparent resistivity competent, lower physical parameters, strong seismic reflective, lower apparent resistivity. The mechanical metamorphic and the rheologic deformation of the outcrops and computer restored balanced cross profiles proved the existence of the gliding systems. Combining it with petroleum geology, it is found that almost all glided layers are hydrocarbon source rocks and regional caprocks of gas and oil reservoirs.