

川东飞三段鲕粒 灰岩成岩作用与储集特征

王新建 赵献文

(四川石油管理局地质勘探开发研究院)

内容提要 本文在简述四川盆地早三叠世地质背景的基础上,着重介绍了川东飞三段浅滩鲕粒灰岩相发育特征与储集特征。通过成岩作用与成岩环境对储层改造的分析,认为川东下三叠统飞仙关组飞三段鲕粒灰岩是今后勘探中较有希望的层位,北部大竹—渠平—建南一带为油气勘探的有利地区。

前 言

在东起利川,南至重庆,西止广安,北达开县以北,面积约60000km²内,下三叠统飞仙关组分布广泛。其中飞三段鲕粒灰岩分布面积达52000km²。尽管已见良好的油气显示,并在建南构造获得工业性气藏,但由于对该套地层长期以过路层处理,致以飞三段为目的层的油气勘探迄今未正式展开。1981年,在福成寨构造上于飞三段钻获工业性气流,嗣后又在广安、高峰场、板东、明月场等构造上获得良好的勘探效果。至1984年9月止,全区钻过飞仙关组的井近196口,油气显示井约90口,占总井数的46%。其中,井喷11次,获气井9口。从现有资料来看,油气主要分布在飞三段鲕粒灰岩中。由此,对飞三段油气勘探才逐步引起人们关注,并展开了研究工作。

本文在现有资料基础上,侧重对飞三段鲕粒灰岩储集特征、成岩作用与成岩环境、有利的油气储集岩相带等进行了初步探讨,对该地层今后的研究提供一些依据,并对勘探工作提点建议。

一、四川盆地飞仙关期岩相

古地理概况

四川盆地早三叠世为一广海台地。东部隶属中国西南海盆的北部——上扬子海盆,西部属特提斯海范畴。早三叠世早期(飞仙关期),上扬子海盆东深西浅,主要海进方向由东而西。沉积物自西向东由陆源碎屑岩变为碳酸盐岩。此间康滇古陆剥蚀强烈,为主要物源区。古陆前缘接受了大量的陆源碎

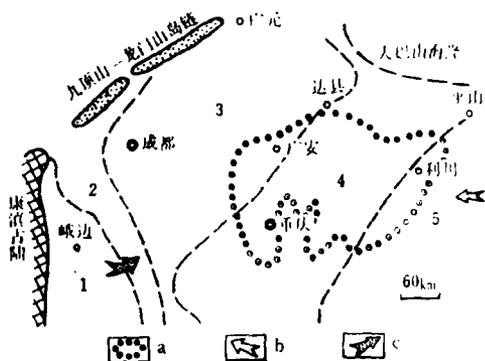


图1 四川盆地早三叠世飞仙关期岩相略图

a 飞三段鲕粒滩分布范围 b 海进方向

c 陆源物供给方向

1—冲积平原相 2—滨海相 3—浅海相

4—浅海-浅滩相 5—半深海相

屑沉积物。自西向东形成一套冲积平原相-滨海相-浅海及浅滩相-半深海相沉积。飞仙关组沉积物厚度一般100~800m。川东地区厚度稳定在500m上下。其中飞三段厚150~200m左右,碳酸盐粒屑浅滩发育,为油气勘探提供了广阔的场所(图1)。

根据航磁资料提供的川东地区基底地形及北部雷2、亭1、梁向1、峰2等井井下剖面,在东吴期喷发玄武岩所揭示的古地貌(图2)及飞四期的古地理分析,反映出飞三沉积期前后,在川东区为自南向北抬升的斜坡地形,于斜坡环境发育飞三碳酸盐浅滩。由于地理环境的差异,导致沉积物、粒屑浅滩厚度、粒屑组分的改变。本区自南向北,由正安经南川、长寿、邻水至大竹蒲包山,粒屑灰岩厚度逐渐加大。沉积特征表明,粒屑灰岩在长寿常呈块状,邻水一带大型交错层理十分发育,蒲包山汉王井则普遍见藻钻孔。南川、长寿一带飞三段下部蠕虫灰岩较多,水平纹层为主。往北叠层石灰岩

逐渐发育,邻水老龙洞尚见典型的柱状叠层石。由此可见,飞三段沉积时的水体自南向北变浅,表明此期有斜坡的存在。

二、川东飞三段储层特征

(一) 储集空间展布

飞三段储层为浅滩相粒屑灰岩、白云质粒屑灰岩。粒屑组分以鲕粒为主,次为砂屑、生屑、豆粒等。粒屑灰岩1~17层不等,单层厚0.2~16.7m。累厚自南向北由10余米增至70m,蒲包山以北厚度减薄至几米,其展布情况如图3所示。

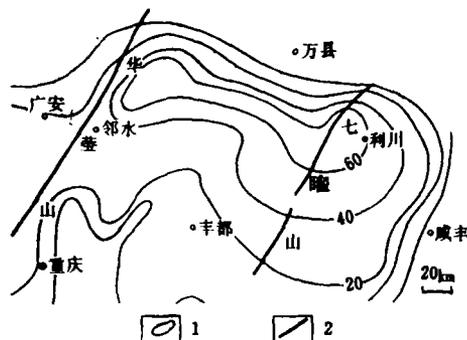


图3 川东地区飞三段鲕粒灰岩等厚图
1—鲕粒灰岩等厚线(m) 2—(深大)断裂

(二) 储集类型及性能

飞三粒屑灰岩为低孔隙度、低渗透率非均质储层。孔隙度一般1%左右,渗透率普遍低于 $9.87 \times 10^{-6} \mu\text{m}^2$ 。据1257块岩样孔隙度分析如表1所示:

飞三段岩性与孔隙度关系 表1

岩 性	样品数	平均孔隙度%
溶孔亮晶鲕粒(砂屑)灰岩	37	5.1
砂砾屑灰岩	373	1.21
亮晶鲕粒灰岩	573	1.26
生物碎屑灰岩	40	1.49
泥粉晶灰岩	234	0.74

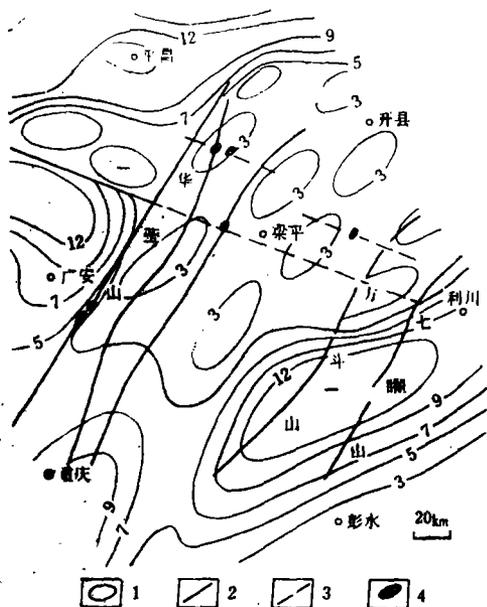


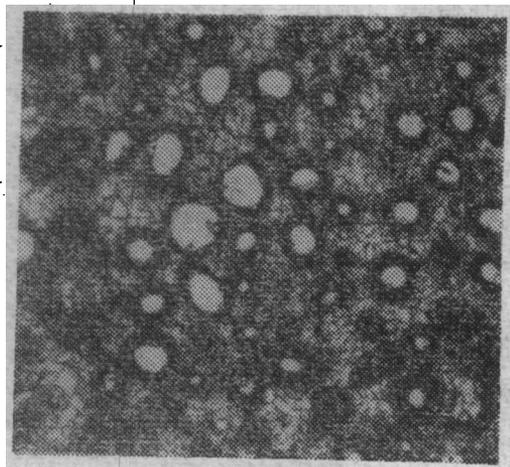
图2 川东地区结晶基底埋藏深度图
1—结晶基底等深线(km) 2—基底断裂
3—推测的东吴期断裂 4—东吴期玄武岩

从现有资料来看,溶孔粒屑灰岩主要发育在大竹蒲包山至利川建南一带,次在邻水、长寿等地,孔隙度一般 $>3\%$,最高达 15.12% 。

应用斯仑贝谢测井公司提供的部分资料,结合岩心观察及区域地质资料分析,在大竹福成寨、蒲包山地区北西-南东向张裂缝发育,缝宽 $<0.1\text{cm}$ 。成20井及蒲包山汉王井这组裂缝中均见有轻质油充填。同时沿缝合线、裂缝发育了许多溶蚀孔、洞,它们是油气的主要储集空间。福成寨、建南气田飞三段产层的次生孔隙是油气的主要储集场所,裂缝是重要的渗透通道。

川东地区飞三储层按孔、缝主次可划分为两种储集类型,即“裂缝-孔隙型”和“孔隙-裂缝型”。前者主要分布在大竹蒲包山-利川建南及邻水、长寿等地,储集空间以次生粒内溶孔为主。后者主要分布于福成寨、张家场等地的低孔隙度的粒屑灰岩区,储集空间以沿裂缝、缝合线发育的成岩晚期非组构溶孔为主。其主要孔隙结构类型有以下几种。

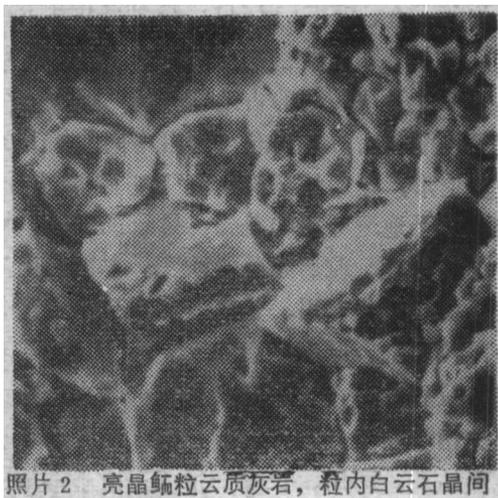
(1) 粒内溶孔 主要见于鲕粒灰岩、鲕粒白云岩、砂屑灰岩中,为鲕粒、砂屑在早期成岩阶段的选择性溶蚀孔(照片1)。



照片1 亮晶砂屑灰岩粒内溶孔(针孔)
邻水老龙洞 T_{11}^3 单 $\times 30$

孔径在 $0.3\sim 0.5\text{mm}$ 左右,个别可达 1mm ,成密集针孔状。以蒲包山、建南、邻水、长寿等地区较发育。

(2) 晶间孔 包括粒内晶间孔及粒间晶间孔(照片2)。以白云石胶结物胶结的粒屑灰岩中出现的几率为多,部分孔隙见沥青充填。



照片2 亮晶鲕粒云质灰岩,粒内白云石晶间孔,片状物为有机质
蒲包山汉王井 T_{11}^3 电镜扫描单 $\times 700$

(3) 粒间孔 主要见于粒屑灰岩、粒屑白云岩的颗粒间,普遍见两个世代胶结物,孔隙常被沥青占据。福成寨、张家场等地较常见(照片3)。



照片3 亮晶粒屑灰岩粒间孔,黑色为沥青
福成寨20井 T_{11}^3 单 $\times 30$

(4) 缝孔 指沿裂缝、缝合线发育的非结构溶蚀孔洞。这些孔隙是晚期溶蚀的产物,其分布以“孔隙-裂缝型”为主要储集类型的地区为多。如福成寨、张家场、丰都太运等地较发育(照片4)。



照片4 亮晶粒屑灰岩,沿缝合线发育缝孔
福成寨20井 T₁f⁹单×15

(5) 裂缝及缝合线 该类空间在飞三中普遍发育。缝宽1~10余mm, >3mm者常为方解石充填或半充填,其间见许多晶洞,部分连通性较好,有的见沥青残留(如福成寨地区)。

三、成岩作用对鲕粒灰岩储集性能的改造

据报道,现代鲕粒碳酸盐沉积物实测孔隙度可达35~45%。本区飞三鲕粒灰岩孔隙度仅在1~15%,且大部分在1%左右。由此可见从沉积物到现今的岩石,由于经历了漫长的地质历史和复杂的物理、化学作用,致使碳酸盐岩孔隙度以逐渐消亡的总趋势发展变化。现有资料表明,不同的成岩环境、成岩作用,孔隙发育程度也不一致。分布于川东斜坡高部位的飞三段鲕粒灰岩,在大竹—梁平—建南一带不仅厚度大,并且次生孔隙

发育较好,明显地表现出斜坡地形不仅控制着沉积相带的展布,同时控制了成岩环境的变迁及成岩作用的类型。纵观飞三鲕粒灰岩的成岩变化,主要成岩作用的类型有以下几种:

(一) 溶解作用

据大量薄片观察,鲕粒灰岩曾经历了早期成岩阶段选择性溶蚀和晚期成岩阶段非选择性溶蚀。前者由于滩体暴露,孔隙处于开放系统,大气淡水选择性溶蚀颗粒(鲕粒、砂屑、生屑),形成许多粒内溶孔(针孔)和大量铸模孔。后者则由于岩石受地静压力和构造作用产生许多裂缝和压溶缝合线,地下水沿裂缝、缝合线流动而无选择性溶蚀岩石,因而形成了许多缝孔。同时也改造粒间、粒内孔,提高了岩石的渗储性能。早期溶蚀及所产生的孔隙以大竹蒲包山、利川建南、邻水等地较发育,次为长寿、广安等地,晚期溶蚀及发育的孔隙主要见于福成寨地区。

(二) 白云石化作用

以较早期的和晚期白云石化为明显。蒲包山、建南等地以早期白云石化为主。白云石交代方解石,通常分布于颗粒中呈较好的菱面体晶形,晶间片状及楔状孔隙发育,其间常见沥青充填。鲕粒灰岩化学分析白云石含量在10~15%左右,对应的孔隙度一般为2~3%。晚期白云石化主要以充填物方式分布于裂缝和缝合线孔洞及部分残余粒间孔隙中,不规则交代方解石或在孔隙中呈较粗大亮晶。鲕粒灰岩化学分析白云石含量一般大于20%,最高达50%以上,但相应的孔隙度一般小于1%。因此,早期白云石化对飞三鲕粒灰岩储层孔隙空间的发育起了有利作用,而晚期白云石化则使许多孔隙被充填,导致孔隙度降低。

(三) 胶结作用

这种作用在飞三鲕粒灰岩中最明显的有

三期：早期成岩海底胶结以等厚环边柱纤状、纤维状、刃状方解石胶结物为其特征；其后在区域地下水成岩阶段产生以粒状为主少量刃状方解石胶结；深埋成岩阶段，形成粗大嵌晶状方解石或少量白云石胶结物，它们具有明显的向心增大现象。这种现象在以“孔隙-裂缝型”为主的储集类型地区如福成寨、张家场等地区较普遍。

(四) 压实和压溶作用

飞三鲕粒灰岩被埋藏后，由于上覆地层造成的地静压力及构造作用，岩石遭受压实以至压溶程度逐渐增强。镜下鉴定表明，鲕粒常被压扁呈定向排列，颗粒互相嵌入并多见破碎现象。同时压溶作用还产生大量的缝合线，其间以后发育的孔隙常被沥青质充填。微裂缝及缝合线的发育，为晚期溶蚀缝孔的发育提供了物质基础。

四、有利的储集岩相带分布

由上述分析可以看出，飞三碳酸盐岩层孔隙性较好的地区，基本上分布在北部大竹一建南等地区。这种储集相带的展布与其沉积岩相带——斜坡浅滩粒屑碳酸盐沉积物的分布具有较大的吻合性。其成岩环境试作如下初析：

北部斜坡地带，为浅滩粒屑灰岩相展布

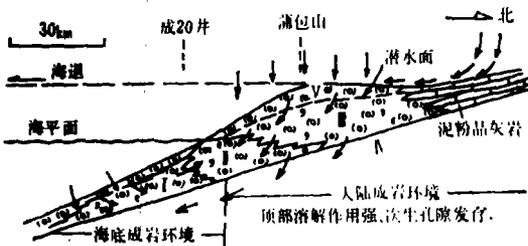


图4 福成寨—潘包山飞三段碳酸盐粒屑浅滩早期成岩环境示意图

I 海水潜流带 $Mg/Ca > 1$ II 海水淡水混合带 $Mg/Ca > 1$ III 淡水潜流带 $Mg/Ca < 1$ IV 区域地下水活动带 $Mg/Ca < 1$ V 淡水渗流带

区，沉积时处于潮下至潮间下部的高能环境，其成岩环境模式如图4所示。当沉积物沉积以后，由于海水的频繁涨落，滩体时常暴露。因此，海退时总是先暴露，海进时又后被淹没，使得该区长期处于有利于孔隙形成与保存的有利环境。

海退时，滩体在大气淡水淋滤下，颗粒被选择性溶蚀。由于滩体基底自北向南倾斜，前期底层又为渗透性差的泥粉晶灰岩、泥质灰岩等阻隔水体渗透，因而利于富含 CO_2 的水体沿坡流动。大量以文石质生屑为核心的鲕粒被溶蚀，形成大量负鲕。斜坡下部的 $CaCO_3$ 浓度不断增大，当至饱和状态时，溶解作用便趋于停止。继而开始方解石的沉淀胶结作用。这样，滩体上部便形成了有利于孔隙形成的环境地带。

海进时，海水淹没整个滩体，非渗透性的泥粉晶灰岩沉积物覆盖了粒屑滩。当整个地质体进入区域地下水成岩作用环境时，由于上、下非渗透层的阻隔作用，加之斜坡上部临近潮间灰岩，因而形成开启性差的水文地质条件，使孔隙空间被大量保存下来，从而形成针状孔发育、连通性较好的较厚孔隙层段。一般平均孔隙度在3%左右。在斜坡滩体下部，开启条件相对较好，胶结作用较强，前期形成的孔隙多被充填，使孔隙度大大降低，一般平均孔隙度在1%左右。

综上所述可以认为，有利的沉积环境控制下的沉积岩相带分布与有利的成岩环境控制下的成岩作用——造孔作用的叠加是控制飞三段碳酸盐岩储集性能、储层发育及其展布的重要因素。因此，川东地区飞三段的油气勘探应着眼于北部斜坡地带。

五、飞三段油气勘探前景展望及建议

从现有的勘探情况和研究程度来看，在

天然气的成熟度

张子枢

(四川石油管理局地质勘探开发研究院)

内容提要 利用气态烃的碳同位素差值 ($\delta^{13}C_n - \delta C_1$) 可直接确定天然气的成熟度, 然后利用它与储层及邻层中有机质成熟度的对比, 可识别原生气及外源气。本方法改进了James的方法, 一是成熟度由 LOM 改为 R_0 表征, 二是用同位素逆转现象建立过成熟期指标, 并从此法探索川南Tc及川西Jc的气源。

传统方法是用沉积岩石中固态有机质微粒组分—镜质组的反射率 (R_0), 推测气层中天然气的成熟度, 若 $R_0 < 0.6$, 视为未成熟的生化甲烷; $0.6 \sim 1.3$ 划为成熟的热力成因气; $1.3 \sim 2.0$ 划为高成熟的气; > 2.0 则为过成熟的裂解气。然而天然气是流体, 储层及邻层固态有机质的成熟度, 不一定是天然气本身的成熟度, 尚有新生古储及古生新储型的外源气。

天然气成熟度研究现状

丹尼尔-小凯里 (1980)、斯科尔 (Scholl, 1980)^[1] 克莱普尔 (Claypool) 及莱斯 (Rice, 1983)^[2], 曾用天然气烃类组分的干燥系数 ($C_1/C_1 \sim C_5$, C_2^+ , $C_1/$

$C_2 + C_3$) 确定天然气本身的成熟度; 施塔尔 (Stahl, 1977) 及斯科尔 (Schell, 1980) 也曾利用甲烷的碳同位素 ($\delta^{13}C$) 值划分天然气成熟度, 当 $\delta^{13}C_1$ 值 $< -58\%$ 时为未成熟的生物气, $-58 \sim -40\%$ 为成熟气, $> -36\%$ 为过成熟气。然而无论天然气的干燥系数或是甲烷的 $\delta^{13}C$ 值均是成熟度及生气母质两者的函数, 即使在成熟度一致时, 腐殖型有机质生的气 (煤型气) 也与腐泥型有机质成因的气 (油型气) 有明显差别。虽然斯科尔曾提出进行有机质类型校正, 即对腐泥质成因的甲烷用 $\delta^{13}C_1 = 14.81gR_0 - 41$; 对腐殖质成因的甲烷用 $\delta^{13}C_1 = 8.61gR_0 - 28$ 公式校正 $\delta^{13}C_1$ 值, 然而任何源岩中的有机质类型并非单纯, 故仍不能完全消除有机质类型的影

大竹经由梁平—建南一带飞三段储集条件较好, 油气显示也很丰富; 汉王井粒屑灰岩中油浸厚度达49m; 蒲1井发生6次井涌, 并于4处共76m厚钻井岩屑中具凝析油味或油浸; 蒲3井含油层厚35.4m; 广深1井发生强烈气喷; 张3井砾粒灰岩井喷高达30m……目前, 板桥、福成寨、明月场、高峰场、雷音铺等构造均已获得工业性气流; 建南构造已成为工业气藏。因此, 本区飞三段的油气勘探是

大有前途的。

现已探明的构造中, 如云和寨、高峰场、石宝寨、沙河铺、龙坛子、观音桥、双家坝、邻北、大坪板桥、新市、双龙等潜伏构造 (断鼻) 及福成寨北部等构造均处于有利的储集岩相带之上, 建议在这些构造上布署一批探井, 以期尽快在飞仙关组获得大量油气, 增加更多的后备储量。

(本文收到日期 1985年3月11日)

23 Characteristics of Gas Accumulation in Yangxin Series in Zhu—Lu—Rong—Ba Region of South Sichuan and Its Exploration Method

On the basis of summarizing the seismic exploration in Zhu-Lu-Rong-Ba region, by use of the result of multiple layer amplitude ratio and in combination with the data of drilling and structure, a new understanding about the characteristics of gas accumulation in Yangxin Series in this region is presented in this paper, and some concrete opinions about the second exploration of gasbearing fracture zone of low hill structure in the old south Sichuan gas-bearing region are proposed also.

Liu Kaishi

28 Diagenesis and Reservoir Characteristics of the Oolitic Limestone of Fei-3 Member in Eastern Sichuan

This paper briefly introduces the geological background of early Triassic in Sichuan basin, and emphasizes the development characteristics and reservoir properties of the shallow beach oolitic limestone facies of the Fei-3 Member in eastern Sichuan. Through the analysis of diagenesis and diagenetic environments reworking on the reservoir rock, it is recognized that the oolitic limestone of Fei-3 Member early Triassic in eastern Sichuan is a better prospecting formation in future exploration, and the favourable area for oil and gas exploration are Dazhu-Liangping-Jiannan in the north part of eastern Sichuan.

Wang Xinjian, Zhao Xianwen

33 Maturation of Natural Gas

The maturation of natural gas can be directly determined by using the difference of carbon isotopes ($\delta^{14}C_n - \delta^{13}C_1$) of gaseous hydrocarbons. Contrasting it to the organic maturation of the reservoir and its adjacent rocks may recognize the gas is whether original or not. In this article, James' method had been modified, first, the maturation is expressed by Ro instead of LOM; second, the indication of super maturation period is created by use of isotopic reverse phenomenon. This method was used for searching the gas source in Te of southern Sichuan and Jc of western Sichuan.

Zhang Zishu

39 Characteristics of pressure Build-up Curve and Interpretation of Well Test of Fractured Gas Field in Sichuan

Based on a lot of data of pressure build-up of gas fields in Sichuan, the types and characteristics of pressure build-up curve of fractured reservoirs are discussed in this paper. Through systematic study of the theory of gas filtration and well testing data in practice, the author points out that the flow coefficient of formation, permeability, skin effect and binomial equation of gas well can be estimated by using the conventional well test method after the type of pressure build-up curve has been determined and the correct straight section on it has been judged.

Gao Manping