

文章编号: 1000-0550 (2005) 03-0429-08

# 苏北盆地高邮凹陷阜宁组 储层次生孔隙成因机制探讨

施振飞<sup>1,2</sup> 张振城<sup>1</sup> 叶绍东<sup>2</sup> 蔡晓明<sup>2</sup> 孙建孟<sup>1</sup>

1 (石油大学(华东) 山东东营 257061) 2 (江苏油田 江苏扬州 225265)

**摘要** 高邮凹陷阜宁组储层为低渗透储层,次生孔隙是储集空间的主要组成部分。研究认为,大气等淡水淋滤水、有机质演化形成的有机酸、粘土矿物转化形成的层间酸性水等产生的溶蚀作用是次生孔隙形成的主要原因,各种因素在时间和空间上的有机配置及相互作用对次生孔隙的形成具有重要的影响。在分析次生孔隙成因机制的基础上,利用声波、密度及中子测井对次生孔隙进行建模,编制程序进行了预测。综合分析表明,纵向上阜三段储集层次生孔隙的发育最佳,横向上沙埕南—富民北一带是油气勘探的有利区带,据此进行勘探施工证实了次生孔隙预测的准确性。

**关键词** 高邮凹陷 低渗透 次生孔隙 形成 保存

**第一作者简介** 施振飞 男 1962年出生 高级工程师 石油地质

**中图分类号** P618.130.2<sup>+</sup>1 TE122.2 **文献标识码** A

## 1 前言

在深层油气勘探中,随着成岩作用的增强,次生孔隙在油气储集方面扮演着越来越重要的角色,这使得深层储集层研究的焦点必须从原生孔隙转向对油气储集有利的次生孔隙。Maxwell(1964)及 A Twater and Miler(1965)等有一个原生和次生孔隙的深度分布和演化顺序图<sup>[1,2]</sup>(图 1),充分说明了深层次生孔隙研究的必要性。综合前人的研究成果来看,产生次生孔隙的原因是多样的<sup>[3~5]</sup>。苗建宇及祝总祺等认为有机酸溶蚀、有机质丰度及高地温对次生孔隙的形成有影响,并且指出异常高压对于次生孔隙的保存具有积极作用<sup>[6]</sup>。李义军系统地分析了次生孔隙的成因(有机质、粘土矿物、温度及压力等),并阐述了溶解作用和迁移作用对次生孔隙的影响,指出次生孔隙的形成是一个复杂多元的过程<sup>[2]</sup>。张以明等人认为大气渗滤水及有机酸的溶蚀是导致次生孔隙形成的主要原因<sup>[7]</sup>。王正允认为铝硅酸盐组份和层位石英颗粒的溶解对塔北三叠、侏罗系次生孔隙的形成具有不可忽视的作用<sup>[8]</sup>。李捷从泥岩有机质的热演化、大气水和地表水渗滤作用及火山活动等方面揭示了

东北晚中生代断陷盆地储层次生孔隙成因<sup>[9]</sup>。张琴等认为碳酸盐及长石的溶蚀及粘土矿物的脱水作用是造成东营凹陷下第三系次生孔隙的重要原因<sup>[10]</sup>。刘爱永等在研究吐哈盆地时指出破碎作用及不稳定成分的溶解是次生孔隙形成的主要原因<sup>[11]</sup>。综合来看,次生孔隙的形成及保存机制是一个复杂的过程,既与微观组分有关,又与宏观地质作用和外来流体等相联系。

高邮凹陷地区阜宁组储层为低渗透储层,储层岩性以粉、细砂岩为主,结构成熟度中等。胶结类型以孔隙式胶结为主,颗粒接触类型主要为点、点—线接触。本研究区阜宁组储层中阜一段储层为浅水三角洲沉积,发育分流河道、河口坝、分流间和远端席状等砂体;阜二段为浅水—较深水泥岩和灰泥岩沉积,西部局部有间歇性三角洲前缘砂体,并夹有鲕粒灰岩;阜三段储层主要属水下三角洲沉积。综合来看,次生孔隙是阜宁组储层主要的储集空间,但是长期以来对该区次生孔隙的发育认识不够,本文对高邮凹陷阜宁组储层次生孔隙的成因机制进行了研究,并分析了次生孔隙发育的有利层段和区带,并指明了下一步的勘探开发方向。

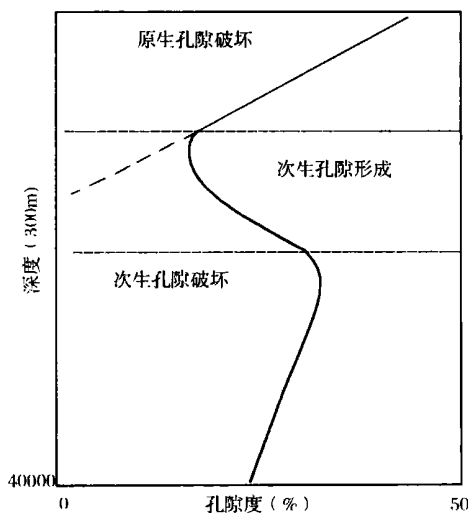


图 1 砂岩孔隙度与埋藏深度的关系示意图 (据李义军)

Fig 1 Schematic map showing the relationship between the porosity and the depth of burial(after Li)

## 2 次生孔隙类型及演化特征

生孔隙在研究区较为发育,占全区孔隙的 75.8%。次生孔隙度分布范围在 0.9%~21.3%之间,平均值为 9.4%,最大值出现在韦庄地区阜三段。该区次生孔隙分为以下几类:粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔、特大孔、裂隙、微孔隙等,其中粒间溶孔尤为发育。

次生孔隙是各种作用对岩石各组分的综合反映,是矿物成分、有机质熟化、成岩温度、压力、地下流体性质等诸多因素的敏感性函数<sup>[3~9]</sup>。如图 2 所示,受成岩环境地化性质的旋回性及有机质阶段性熟化过程的影响,阜宁组储层纵向上发育两个次生孔隙发育带:第一溶蚀带分布于 1900~2700 m,对应于阜三段储层;第二溶蚀带介于 3200~4000 m,对应于阜一段储层。

从成岩演化阶段划分来看,第一溶蚀带处于早成岩 B 期的晚期—晚成岩 A 期的早、中期(A<sub>1</sub>亚期)。此间矿物颗粒和碳酸盐胶结物发生了溶蚀,粒间溶孔和粒内溶孔大量形成,次生孔隙开始大量发育,次生孔隙在本期具有一个明显的增大过程,属混合孔隙发育带。第二溶蚀带处于晚成岩 A 期的晚期(A<sub>2</sub>亚期)—晚成岩 B 期,随深度的增加,成岩作用逐渐增强,溶蚀作用减弱,次生孔隙度小于第一溶蚀带,但在此阶段次生孔隙易于保存,形成了另一个次生孔隙发育带。

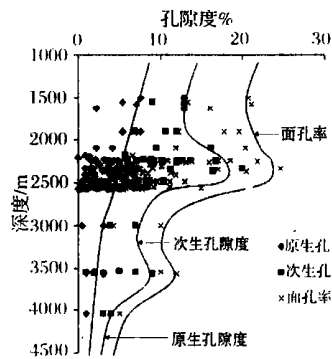


图 2 高邮凹陷阜宁组纵向孔隙演化规律

Fig 2 Pore distribution with depth in Gaoyou Depression

## 3 次生孔隙成因机制分析

形成次生孔隙的因素很多,包括大气水、地表淋滤水的淋滤作用<sup>[9]</sup>,有机质成熟演化中产生的有机酸的溶蚀作用<sup>[9~16]</sup>,粘土矿物转化产生酸性水的溶蚀作用<sup>[2,11]</sup>等。高邮凹陷包括北斜坡、中部凹陷带及南部断阶带三部分。由于受地质宏观及微观因素的综合作用影响,三个区带次生孔隙的形成因素各不相同,往往是多种因素共同作用的结果。其中,北斜坡次生孔隙的形成主要受有机酸溶蚀作用及粘土矿物转化产生的酸性水的溶蚀作用影响;中部凹陷带次生孔隙的形成与大气水、地表淋滤水的淋滤作用及有机酸的溶蚀作用有关;南部断阶带主要受粘土矿物转化产生的酸性水的溶蚀作用及大气水、地表淋滤水的淋滤作用影响。

### 3.1 与大气水、地表水的渗滤作用有关的次生孔隙形成

高邮凹陷阜一段地层水矿化度分析结果表明,高邮凹陷为半咸水—咸水古水介质沉积环境。如图 3 所示,在平面上,各地区地层水矿化度及其分布规律不同。其中码头庄和沙、卸、发地区地层水矿化度较高,平均值分别为 39.016 g/l 和 30.516 g/l;陈堡、韦庄以及竹墩地区矿化度平均值为 24.168 g/l、21.017 g/l 和 22.929 g/l 而真武、许庄地区地层水矿化度最低,为 8.296 g/l,并且随着深度的变化其矿化度变化不明显,其 pH 值小于 7,属于弱酸性环境。岩芯分析表明真武、许庄地区次生孔隙较为发育,大部分在 6.5%~11%之间,这反映了在构造运动中次生孔隙受大气水、地表水淋滤影响较大的特点。除此之外,钠离子和氯离子的毫克当量数比值( $n\text{Na}^+ / n\text{Cl}^-$ )也

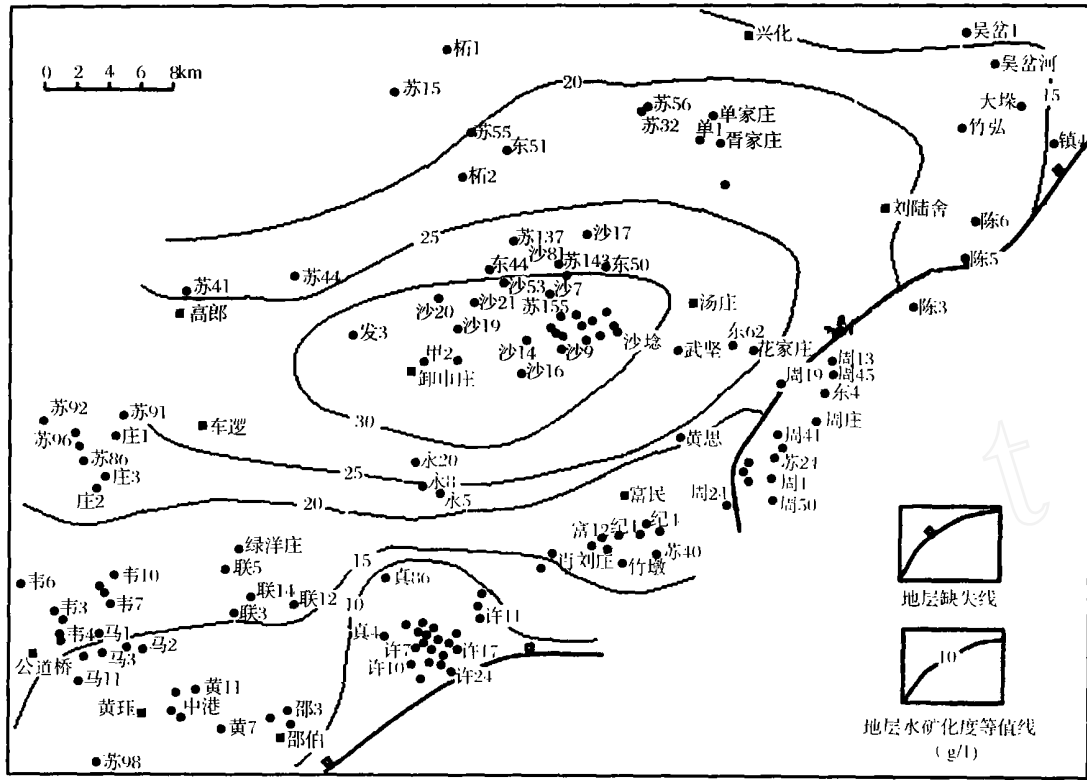


图 3 高邮凹陷阜一段地层水矿化度分布图

Fig 3 The distribution of salinity of Fu 1 Member in Gaoyou Depression

反映了地层水的类型和成因。沙埝地区、陈堡、码头庄、韦庄地区阜一段的  $nNa^+ / Cl^-$  值皆小于 1.0, 属于沉积水; 而真武、许庄地区该层位的地层水  $nNa^+ / Cl^-$  值平均为 1.24, 表现为大气水、地表淋滤水的特点。在淋滤作用水文地质期, 随着地壳上升发生了水退现象, 含水层裸露地表遭受淋滤剥蚀, 这种酸性淡水的渗滤作用对储层产生溶蚀, 形成了次生孔隙<sup>[9]</sup>。

除此之外, 真 43 井中发现的菱铁矿的褐铁矿化及大量的自生高岭石的产出都证实了偏酸性大气水、地表淋滤水作用的存在。李捷认为自生高岭石有两个来源: 一是钾长石溶蚀的产物; 二是从渗入的大气水、地表淡水淋滤中沉淀形成的<sup>[9]</sup>。真武、许庄地区阜宁组阜一段含有大量的自生高岭石, 同时普遍存在钾长石的溶蚀, 这说明自生高岭石是钾长石溶蚀变化后的产物。但是, 经过大量薄片统计分析发现, 部分井段中这种长石溶蚀产生的粒内溶孔的数量 (5.8%) 小于自生高岭石的含量 (7% ~ 11.2%, 薄片点计法统计)。这说明阜一段地层中钾长石溶蚀作用产生的自生高岭石只是来源之一, 而在多期构造断

陷作用下, 弱酸性的地表淡水、地表水通过渗滤沉淀形成的自生高岭石是另一个重要来源。

### 3.2 与有机质成熟有关的次生孔隙形成

有机质在成熟过程中产生大量的  $CO_2$  和有机酸, 对长石和碳酸盐等矿物均具有很强的溶蚀作用, 从而形成了次生孔隙。

#### 3.2.1 长石溶蚀

镜下薄片观察发现阜宁组储层中相当多的长石 (斜长石及钾长石等) 被溶蚀, 如图 4 所示, 形成的次生孔隙主要为粒内溶孔、铸模孔、特大孔等。在扫描电镜下, 多数粒间孔隙中都不同程度地存在长石被溶蚀之后的高岭石晶体。长石的溶蚀多发生在埋深达到生烃门限深度的阜宁组中上部储层中, 这可以从长石被溶蚀后形成的高岭石含量间接地得到证实。高岭石在整个阜宁组地层中普遍发育, 主要分布于 1000 ~ 2600 m 的深度范围内, 其含量随着埋藏深度的增加呈现正态分布的特征, 如图 5 所示, 即浅层少, 中层多, 深层少, 其中尤以阜三段中的高岭石含量最高。可见在 1000 ~ 2600 m 层段中相当部分的长石与有

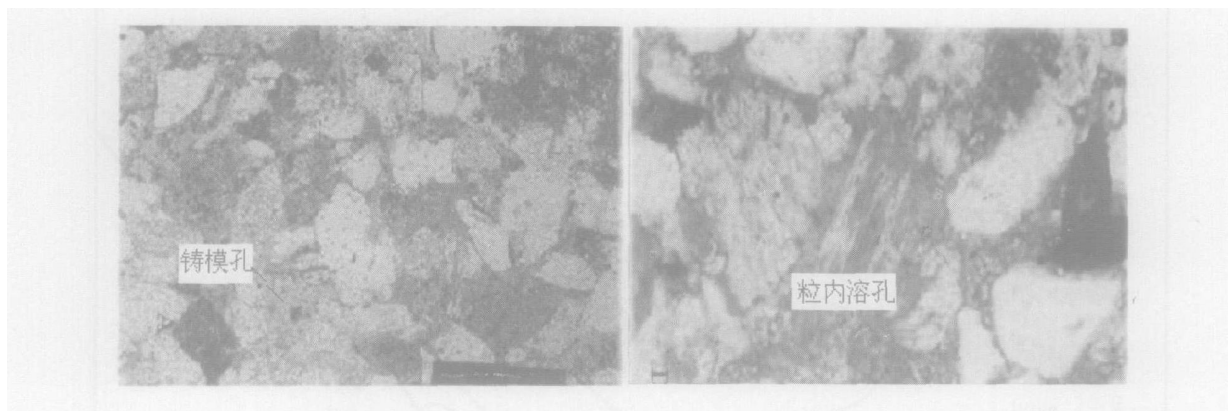


图 4 孔隙微观特征

Fig 4 Pore types displayed by microscope

A 铸模孔,沙 15 井,2483.68m; B 粒内溶孔,韦 5 井,1046.65 m;

机酸及  $\text{CO}_2$  发生了溶蚀作用,随后产生了自生高岭石。

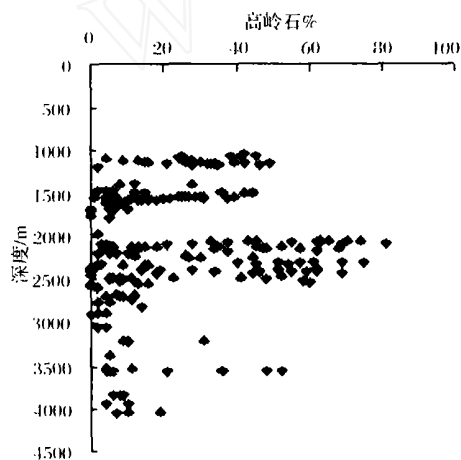


图 5 阜宁组高岭石含量随深度变化关系图

Fig 5 Changes of the feldspar content with depth in Funing Formation

### 3.2.2 碳酸盐矿物溶蚀

在烃源岩和砂岩储层中均存在碳酸盐矿物,二者所发生的溶蚀作用对次生孔隙的形成都具有不可忽视的影响。

#### 烃源岩中碳酸盐矿物溶蚀

当烃源岩中碳酸盐矿物含量高时,烃源岩热解形成的有机酸首先与烃源岩中的碳酸盐矿物发生反应,导致水介质 pH 值升高, Ca、Mg 离子含量增大,同时也抑制了草酸从泥岩排出,这样进入储层的水介质的 pH 值相对较高。有机酸中草酸含量低,其在储层中溶解碳酸盐矿物和硅酸盐矿物的能力也相对较弱,而

且若水介质相对于  $\text{CaCO}_3$  饱和时,其进入储层后与孔隙水混合还会发生碳酸盐沉淀反应。当烃源岩中碳酸盐矿物含量低时,烃源岩热解形成的有机酸在泥岩中与之反应弱,这样进入储层的水介质 pH 值相对较低,草酸的含量也较高,对储层的碳酸盐矿物和硅酸盐矿物具有较强的溶解能力,必然会形成大量的次生溶蚀孔隙。在富深 X1 井阜二段烃源岩生烃能力很强的部位取心做了全岩分析(表 1),结果表明阜二段烃源岩碳酸盐矿物含量(最高可达 49%)高于阜三段,因此阜二段砂岩中碳酸盐矿物的溶蚀作用很弱。对该层段 3 845 ~ 3 860 m 所做的薄片实验分析显示,阜二段次生孔隙度在 1.2% ~ 8.3% 之间,平均值为 4.9%,次生孔隙发育程度不高。另外,阜二段烃源岩生成的油气在初次排烃中还发生向下倒灌,因此使得阜一段储层碳酸盐胶结物的溶蚀作用也较弱,这说明了阜一段次生孔隙不发育的另一个原因。

#### 砂岩储层中碳酸盐矿物溶蚀

碳酸盐矿物在阜宁组储层中广泛存在,含量 3% ~ 28% 不等,多以孔隙充填的形式存在。对碳酸盐矿物的溶解有两种溶蚀机理:一是有机酸经脱羧作用产生  $\text{CO}_2$ ,从而使碳酸盐矿物溶解;二是有机酸离解出  $\text{H}^+$  对碳酸盐矿物产生溶解作用<sup>[2,7,8,11]</sup>。储层中碳酸盐矿物与孔隙度的相关性可以评价碳酸盐矿物的被溶蚀情况<sup>[10]</sup>。如图 6 所示,沙 9 井进行的统计表明孔隙度与碳酸盐矿物的含量成反比关系。碳酸盐矿物含量越高,表明碳酸盐矿物的溶蚀量少,物性就越差,次生孔隙度较低;相反,碳酸盐矿物含量越低,表明次生孔隙越发育。例如阜一段储层碳酸盐矿物含

表 1 富深 X1 井烃源岩全岩分析成果表

Table 1 The analysis of organic-carbon-rich in Fushen X1

层位	深度 /m	石英 /%	斜长石 /%	碳酸盐矿物 /%		黄铁矿 /%	粘土 /%
				方解石 /%	铁白云石 /%		
阜三段	3322.9	19	4	14	21	1	39
阜三段	3326.65	33	16	10	12	2	27
阜三段	3329.27	27	11	18	3	6	34
阜二段	3845.04	18	18	19	30	2	13
阜二段	3846.74	17	20	8	35	2	18
阜二段	3850.54	20	27	13	20	2	18

量普遍较高,岩心分析孔隙度平均为 7.68%;而阜三段储层碳酸盐矿物含量较低,平均为 4.03%,其岩心分析孔隙度平均为 10.47%,高于阜一段储层的分析孔隙度。这反映了阜三段储层次生孔隙相比于阜一段储层较为发育的原因。

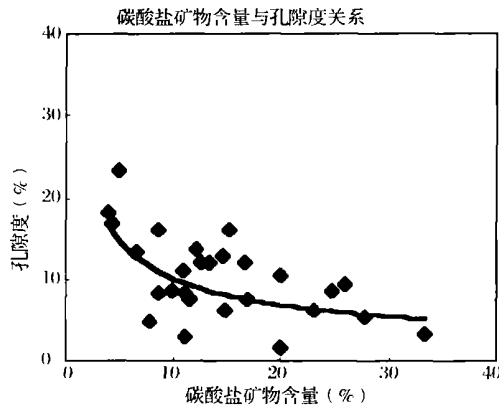


图 6 沙 9 井碳酸盐矿物含量与孔隙度之间的关系

Fig 6 The relationship between porosity and carbonate content in Well Sha 9

### 3.3 与粘土矿物转化有关的次生孔隙形成

阜宁组中普遍存在蒙脱石、伊利石、高岭石及绿泥石等粘土矿物。随着埋深的增加,条件适宜时各粘土矿物会发生转化<sup>[17,18]</sup>。在此过程中,粘土矿物脱出的层间水及 H<sup>+</sup> 的酸性混合液对碳酸盐矿物和长石等的溶蚀作用增强,促进了次生孔隙的发育。本区最主要的是蒙脱石向伊利石转化。扫描电镜下,伊/蒙混层多以孔隙充填和孔隙衬垫的形式出现,这多是由孔隙衬垫蒙脱石和碎屑粘土的成岩演化而形成的。如图 7 所示,纵向上,蒙脱石主要发育于浅部地层,随深度的增加逐渐减少;而伊利石随着深度的增加而逐渐增多。该区存在三个伊/蒙混层转化带:北斜坡地区第一迅速转换带出现在 2 300 m 左右,伊/蒙间层

中 S% 由 50% ~ 80% 下降到 30% ~ 50%;第二迅速转化带在 3 200 m 左右,伊/蒙间层中 S% 下降到 20% ~ 30%;第三迅速转换带出现在 3 700 m 以下,伊/蒙间层低于 20%。在这期间,蒙脱石脱出的层间酸性地层水产生溶蚀作用,使得次生孔隙进一步发育。这也与前述次生孔隙的发育深度段是相互对应的,说明粘土矿物的脱水作用对次生孔隙的形成具有相当的贡献。

### 4 次生孔隙预测及有利区带分析

通过对各种因素进行分析,选取与次生孔隙相关性较好的地层水矿化度、声波时差<sup>[19]</sup>及碳酸盐含量进行次生孔隙度建模,通过多元统计回归得到了次生孔隙度计算公式:

$$\phi_r = 9.390 - 0.585 \text{ ppm} + 0.012 t - 29.87V_{ca}$$

式中:  $\phi_r$ —次生孔隙度 (%);

$t$ —声波时差 ( $\mu\text{s/m}$ );

$\text{ppm}$ —地层水矿化度相对值,

$$\text{ppm} = (\text{ppm}_{\max} - \text{ppm}) / (\text{ppm}_{\max} - \text{ppm}_{\min}), \%$$

$V_{ca}$ —碳酸盐含量 (%).

根据上述预测模型编制程序,对单井次生孔隙进行了计算,划分出了次生孔隙的有效发育层段。然后结合区内储层砂体的空间展布、沉积及成岩特征,从纵向和横向两个方面对高邮凹陷地区次生孔隙有利区带进行了预测评价。图 8 为高邮凹陷阜三段储层次生孔隙预测平面图。

在纵向上,根据现有低渗透领域的研究和钻探结果,认为阜三段储集层次生孔隙的发育条件优于阜一段储集层。阜三段储层在沉积时,砂体成分、结构成熟度都优于阜一段,更利于流体的进入而形成次生溶蚀孔隙。因此形成的阜三段储集层物性明显好于阜一段,纵向上深层低渗透储层的勘探以阜三段为主。对阜一段储集层而言,3 700 m 以下已经处于孔隙演

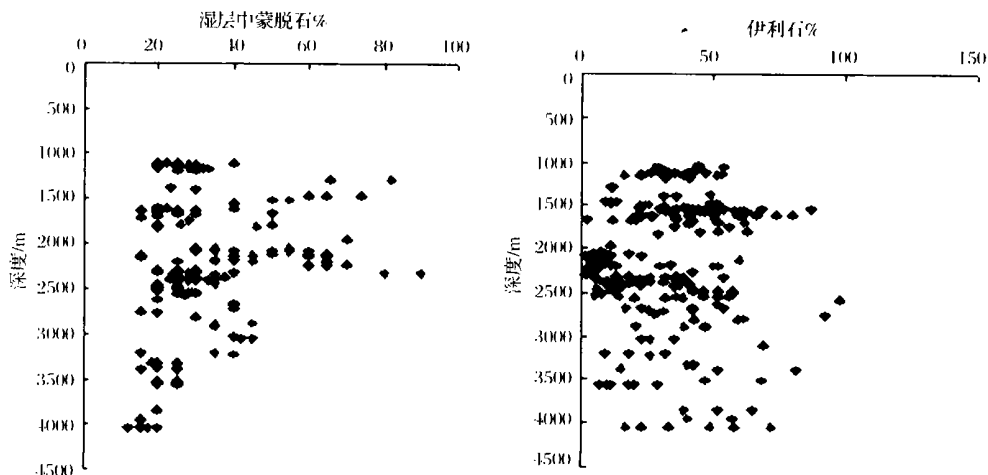


图 7 蒙脱石和伊利石分布特征

Fig 7 The distribution of smectite and illite

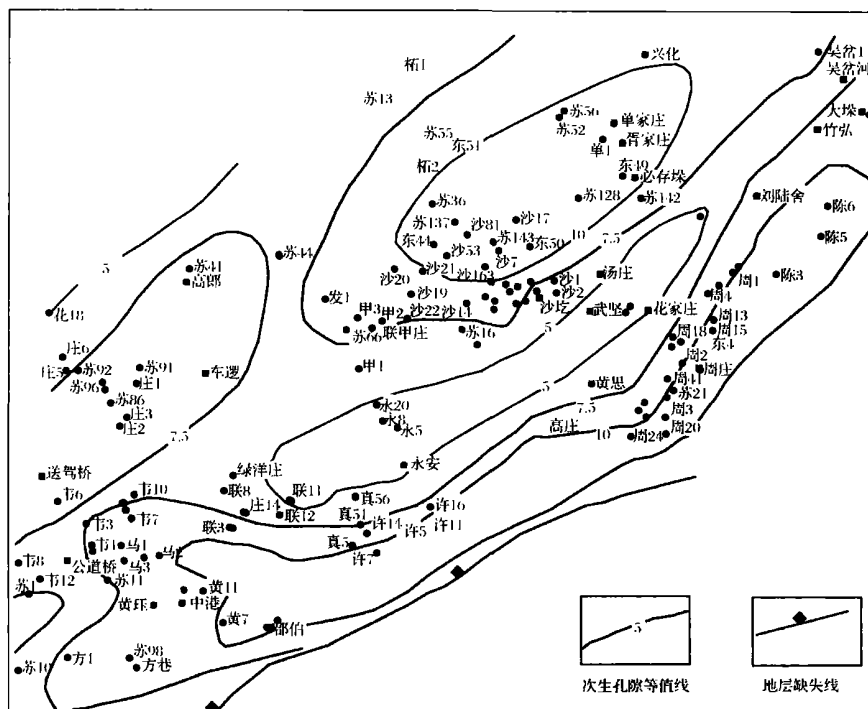


图 8 高邮凹陷阜三段储层次生孔隙平面预测

Fig 8 The prediction of secondary pores of Fu 3 Member in Gaoyou Depression

化的致密段,孔隙度小于 8%,而 8%的孔隙度是目前低渗透储层的临界值,难以试出工业油流。

在横向上,如图 8 所示,阜三段沙埕南—富民北一带(包括沙埕南深层、富民深层以及花庄一带)存在南北双向物源供给,砂体相对发育,是近期勘探的

首选区带。主要依据是:这些地区阜三段烃源岩分布广泛;水下分流河道和河口砂坝较发育,它们直接覆盖于烃源岩以上,甚至有的被烃源岩所包围,非常适于次生孔隙的形成;另外,流体封存箱作用、油气的早期注入作用等为次生孔隙的保存起到了积极的作用。

目前该区阜三段共解释圈闭 10 个,面积 15.2 km<sup>2</sup>,资源量为 1 832 万吨,其中富民深层 1 号块、沙 22 块阜三段以及花庄 3 号块阜三段已经钻探,全部获得成功。其中对沙 22-1 井 2879.4 ~ 2902.0 m 井段进行了试油作业,日产油 3.6 t,日产气 65 m<sup>3</sup>,有利证实了预测结论。

## 5 结束语

(1) 在埋藏深度不大时,储集层的孔隙度和渗透率主要受压实作用的影响,但当储集层埋深达到一定深度之后,溶蚀作用对储层物性的影响将会超过压实作用,所形成的次生孔隙是储集空间的主要组成部分。

(2) 次生孔隙的发育受各种因素的综合控制,是各因素在时间、空间上的共同控制和有机结合。大气水、地表淋滤水、烃源岩分解产生的有机酸以及粘土矿物转化产生的层间酸性混合水是溶蚀作用发生的主要诱因。

(3) 研究表明,纵向上阜三段储层次生孔隙的发育优于阜一段储集层,因此总体上深层低渗透储层的勘探以阜三段为主。横向上沙埕南—富民北一带存在南北双向物源供给,砂体相对发育,利于次生孔隙形成和保存,是近期油气勘探的有利区带。

### 参考文献 (References)

- 林壬子,张金亮. 陆相储层沉积学进展. 北京:石油工业出版社, 1998 [Lin Renzi, Zhang Jinliang. The Development of Sedimentology in Terrigenous Formation. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998]
- 李义军. 浅述次生孔隙的成因. 西北地质, 2002, 35 (1): 65 ~ 69 [Li Yijun. The discussion about the genesis of secondary porosity. Northwestem Geology. 2002, 35 (1): 65 ~ 69]
- 陈国俊,马宝林. 塔里木盆地柯坪地区下二叠统的成岩作用及次生孔隙. 沉积学报, 1990, 8 (1): 91 ~ 98 [Chen Guojun, Ma Baolin. The diagenesis and secondary pores of the lower Permian of Keping areas in the northwestern edge of the Tarim Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8 (1): 91 ~ 98]
- 杨宝星,李南豪. 松辽盆地北部深部储层的次生孔隙发育机制和控制因素. 沉积学报, 1991, 9 (4): 34 ~ 42 [Yang Baoxing, Li Nanhao. Generation mechanism of secondary porosity and control factors in deep sandstone hydrocarbon reservoirs, northern Songliao Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1991, 9 (4): 34 ~ 42]
- 徐志强,陈永武,熊明. 影响深层碎屑岩次生孔隙发育的因素——冀中拗陷与塔里木盆地实例讨论. 沉积学报, 1997, 15 (增刊): 102 ~ 105 [Xu Zhiqiang, Chen Yongwu, Xiong Ming. Factors affecting on dissolution porosity in deep burial clastic reservoirs: examples from Jizhong Depression and Tarim Basin. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, 15 (增刊): 102 ~ 105]
- 苗建宇. 济阳凹陷下第三系温度、压力与深部储层次生孔隙关系. 石油学报, 2000, 21 (3): 36 ~ 40 [Miao Jianyu. Relationship between Temperature - pressure and secondary pores of deep reservoir in Eogene of Jiyang Depression. Acta Petrolei Sinica. 2000. 21 (3): 36 ~ 40]
- 张以明,侯方浩,方少仙,等. 冀中饶阳凹陷下第三系沙河街组第三段砂岩次生孔隙形成机制. 石油与天然气地质, 1994, 15 (3): 208 ~ 215 [Zhang Yiming, Hou Fanghao, Fang Shaoxian, et al. Secondary pore formation mechanism of Third Member of Shahejie Formation, Raoyang Depression. Oil & Gas Geology, 1994, 15 (3): 208 ~ 215]
- 王正允,王方平,林小云,等. 塔北三叠、侏罗统孔隙类型及次生孔隙的成因. 石油与天然气地质, 1995, 16 (3): 203 ~ 210 [Wang Zhengyun, Wang Fangping, Lin Xiaoyun, et al. Pore Types and origin of secondary pores of Triassic and Jurassic in North Tarim. Oil & Gas Geology, 1995, 16 (3): 203 ~ 210]
- 李捷,王海云. 东北晚中生代短陷盆地储层次生孔隙形成机制. 沉积学报, 1999, 17 (4): 591 ~ 595 [Li Jie, Wang Haiyun. The development mechanism of the secondary pores in the reservoirs of the down-faulted basins of the Late Mesozoic Era in the Northeast of China. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (4): 591 ~ 595]
- 张琴,钟大康,朱筱敏,等. 东营凹陷下第三系碎屑岩储层孔隙演化与次生孔隙成因. 石油与天然气地质, 2003, 24 (3): 281 ~ 285 [Zhang Qin, Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, et al. Pore evolution and genesis of secondary pores in Paleogene clastic reservoirs in Dongying Sag. Oil & Gas Geology, 2003, 24 (3): 281 ~ 285]
- 刘爱永,陈刚,刘林玉,等. 吐哈盆地三叠系砂岩的孔隙类型及次生孔隙形成机理探讨. 石油实验地质, 2002, 24 (4): 345 ~ 353 [Liu Aiyong, Chen Gang, Liu Linyu, et al. Discussion on the pore types of the Triassic sandstone in the Tūpan-Hami Basin and the formation mechanism of secondary pores. Petroleum Geology & Experiment, 2002, 24 (4): 345 ~ 353]
- 刘林玉,陈刚,柳益群,等. 碎屑岩储集层溶蚀型次生孔隙发育的影响因素分析. 沉积学报, 1998, 16 (2): 97 ~ 101 [Liu Linyu, Chen Gang, Liu Yiqun, et al. Analysis on influencing factors of solution-type secondary pore-evolution in clastic reservoirs. Acta Sedimentologica Sinica. 1998, 16 (2): 97 ~ 101]
- 李忠,李任伟. 东濮凹陷深部次生孔隙成因与储层演化研究. 地质科学, 1994, 29 (3): 267 ~ 274 [Li Zhong, Li Renwei. An approach to genesis and evaluation of secondary porosity in deeply buried sandstone reservoirs, Dongpu Depression. Scientia Geologica Sinica, 1994, 29 (3): 267 ~ 274]
- 刘林玉. 吐鲁番—哈密盆地中生界砂岩次生孔隙研究. 石油实验地质, 1996, 18 (3): 317 ~ 324 [Liu Linyu. A study on secondary pores of the Mesozoic sandstones in the Tūpan-Hami basin. Petroleum Geology & Experiment, 1996, 18 (3): 317 ~ 324]
- 余家仁,等. 二连盆地低渗透储集层研究. 北京:石油工业出版社, 2001 [Yu Jiaren, et al. Study on Low-permeability Reservoir in Erlian Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 2001]
- 钟大康,朱筱敏,蔡进功. 沾化凹陷下第三系次生孔隙纵向分布规律. 石油与天然气地质, 2003, 24 (3): 286 ~ 290 [Zhong Dakang, Zhu Xiaomin, Cai Jingong, et al. Vertical distribution of second-

- ary pores in Paleogene sandstones in Zhanhua depression. *Oil & Gas Geology*, 2003, 24 (3): 286 ~ 290 ]
- 17 裘怿楠,等. 油气储层评价技术. 北京:石油工业出版社, 2001 [ Qiu Yinan, *et al*. Technology of Evaluation of Oil and Gas. Beijing: of Petroleum Industry Press, 2001 ]
- 18 彭仕宓,等. 油藏开发地质学. 北京:石油工业出版社, 1998 [ Pen Shimi, *et al*. Geology in Exploitation of Oil Formation. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998 ]
- 19 张小莉, 沈英, 陈文学, 等. 利用测井资料分析成岩作用对储集层的影响. *沉积学报*, 2000, 18 (1): 127 ~ 131 [ Zhang Xiaoli, Shen Ying, Chen Wenxue, *et al*. Application of well logging information to analysis on the effect of diagenesis in reservoirs. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18 (1): 127 ~ 131 ]

## The Mechanism of Secondary Pores in the Reservoir of Funing Formation in Gaoyou Depression of Subei Basin

SHI Zheng-fei<sup>1,2</sup> ZHANG Zhen-cheng<sup>1</sup>  
YE Shao-dong<sup>2</sup> CAI Xiaoming<sup>2</sup> SUN Jian-meng<sup>1</sup>

1 (University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061) 2 (Jiangsu Oilfield, Yangzhou, Jiangsu 225265)

**Abstract** The secondary pores that account for a great proportion of the Funing Formation in Gaoyou Depression is the main part of reservoir spaces. The development mechanism of secondary pores may have three types: the first is the leakage of water from ground; the second is dissolution from the thermal evolution of organic matter in mudstones; the third is dissolution related to the clays. The interactions of all factors have important effect on secondary pores. Based on the analysis of mechanism of secondary pore, the method used to calculate secondary pore is got from the datum of *AC*, *EDN*, and *CNL*. Above of all, the formation of Fu 3 Member is the best in Funing Formation and the secondary porosity is the highest, so the area to be explored should be located in the region from the south of Shanian to the north of Fumin.

**Key words** Gaoyou depression, low permeability, secondary pores, formation, preservation