

苏北盆地东南部泰州组砂岩储层 孔隙类型及有利储层评价

朱筱敏¹, 李亚辉², 张义娜¹, 王文军², 张亚雄¹, 杨立干², 王欣¹

(1. 中国石油大学 地球科学学院, 北京 102249; 2. 中国石油化工股份有限公司江苏油田公司 地质研究院, 江苏 扬州 225200)

摘要: 利用 50 余口井的储层实验资料, 对苏北盆地主力勘探地区海安凹陷和高邮凹陷泰州组砂岩储层进行孔隙类型和有利储层评价。综合研究表明: 海安凹陷和高邮凹陷泰州组发育三角洲、浊积扇、扇三角洲等成因类型砂体, 这些砂体由成分和结构成熟度较低的长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩组成, 并且砂岩储层发育次生孔隙, 原生孔隙较少; 海安凹陷泰州组储层第一个次生孔隙发育段为 2 300~2 500 m, 系大量碳酸盐胶结物、长石和岩屑颗粒遭受强烈溶蚀而成, 孔隙度为 12%~25%, 第二个次生孔隙发育段为 2 600~3 200 m; 高邮凹陷泰州组储层孔隙演化与海安凹陷有一定差异, 其只存在 1 个次生孔隙发育段(2 400~2 900 m), 孔隙发育程度与海安凹陷的第一个次生孔隙带相似; 泰州组砂岩储层中次生孔隙的形成主要与沉积物中有机质演化产生的有机酸、酚以及碳酸有关; 大部分次生孔隙是由粒间碳酸盐胶结物溶蚀产生; 海安凹陷有利储层主要分布在西北部和东部三角洲前缘砂体和滑塌浊积扇砂体中, 高邮凹陷有利储层主要分布在南部扇三角洲前缘砂体中, 储层埋藏浅、物性好, 均以 I 和 II 类储层为主, 是有利的勘探地区。

关键词: 砂岩储层; 次生孔隙; 泰州组; 海安凹陷; 高邮凹陷; 苏北盆地

中图分类号: TE122. 2⁺21; P618. 130. 2⁺1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)03-0246-07

Pore Types of Sandstone Reservoir and Evaluation of Favorable Reservoir of Taizhou Formation in Eastern Subei Basin

ZHU Xiao-min¹, LI Ya-hui², ZHANG Yi-na¹, WANG Wen-jun²,
ZHANG Ya-xiong¹, YANG Li-gan², WANG Xin¹

(1. School of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 2. Geological Research Institute, Jiangsu Oilfield Company, China Petroleum and Chemical Corporation, Yangzhou 225200, Jiangsu, China)

Abstract: The pore types of sandstone reservoir and evaluation of favorable reservoir of Taizhou Formation of Haian and Gaoyou Depressions, which are the key regions in Subei Basin, were studied according to the reservoir analytical data from more than 50 wells. The results showed that the sandbodies of delta, turbidite fan and fan-delta, which were composed of feldspatite debris sandstone and rock debris arkose with low maturity of content and texture, were developed, and there were many secondary pores and little primary pores in sandstone reservoir of Taizhou Formation of Haian and Gaoyou Depressions; the first secondary pore zone located in the depth of 2 300-2 500 m in Taizhou Formation of Haian Depression, because many carbonate cement, feldspar and debris dissolved obviously, the porosities of sandstones were 12%-25%, and the second secondary pore zone located in the depth of 2 600-3 200 m; it was different of pore evolution of reservoir in Taizhou Formation between Haian and Gaoyou Depressions, because there was only one secondary pore zone(2 400-2 900 m) in Gaoyou Depression and the porosity of sandstone was similar to that in Haian Depression; the formation of secondary pore of sandstone reservoir in Taizhou Formation was controlled by organic acid, phenol and carbonic acid during the organic evolution; most secondary pores were produced by the dissolution of intergranular carbonate cements; the favorable reservoir in Haian Depression distributed in northwestern and eastern delta front sandstone and turbidite fan sandstone, and the favorable reservoir

收稿日期: 2011-04-21

基金项目: 国家科技重大专项基金项目(2008ZX05001)

作者简介: 朱筱敏(1960-), 男, 江苏江都人, 教授, 博士研究生导师, 工学博士, 从事沉积储层教学与研究。E-mail: xmzhu@cup.edu.cn

in Gaoyou Depression distributed in southern fan-delta front sandstone; physical properties of all the favorable reservoirs were good, and the depths of burial were shallow, so the reservoirs were favorable areas for the further exploration.

Key words: sandstone reservoir; secondary pore; Taizhou Formation; Haian Depression; Gaoyou Depression; Subei Basin

0 引言

近年来,储层研究在孔隙成因与识别、成岩环境与定量成岩相、储层孔隙综合预测、储层物理和数值模拟、不同尺度成岩作用、层序地层格架与有利储层分布等方面取得了许多新成果^[1-14]。前人对苏北盆地泰州组沉积储层有过一系列研究^[15-16],取得了一些认识成果,认为深部储层质量受复杂沉积相带类型、深埋藏、强成岩作用等因素的影响,表现出低孔、低渗的特点,深度大于 2 400 m 的储层存在次生孔隙带等。

苏北盆地包括盐阜拗陷、建湖隆起和东台拗陷 3 个次级构造单元,面积约 $3.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。苏北盆地充填厚逾 6 000 m 的上白垩统泰州组—第四系。本文中研究层段上白垩统泰州组可分为上部泰二段和下部泰一段,总厚 150~520 m。泰一段主要为砂砾岩、块状砂岩夹泥岩的扇三角洲、辫状河三角洲(浊积扇)粗碎屑沉积,其底部与下伏不同地层(下白垩统、中生界或古生界)不整合接触;泰二段顶部为棕红色泥岩夹灰黑色泥岩和薄层粉砂岩,中、下部以灰黑色较深水湖相泥岩为主,与上覆地层假整合接触。

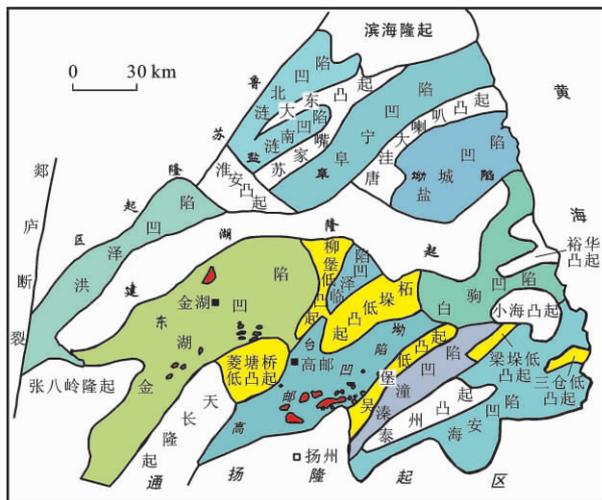


图 1 苏北盆地构造区划图

Fig. 1 Tectonic Units of Subei Basin

由于勘探程度比较低,钻井资料少,对上白垩统泰州组储层成岩作用以及孔隙演化、次生孔隙形成机理、有利储层预测研究较为薄弱,不能满足泰州组

深化勘探的需要。笔者主要依据最新的 53 口井 310 余块储层分析资料,针对苏北盆地海安、高邮凹陷(图 1)上白垩统泰州组砂岩储层孔隙类型及其形成机理开展研究,分析有利孔隙发育主控因素,预测有利储层分布。

1 不同成因储集砂体储层特征对比

苏北盆地东南部泰州组储集砂体的成因类型有曲流河三角洲和辫状河三角洲砂体、浊积扇砂体、扇三角洲砂体、冲积扇和滨浅湖砂坝砂体。这些砂体储层岩石成分成熟度和结构成熟度较低,主要为长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩,泥质杂基和填隙物质量分数近 10%,颗粒分选不好,次棱—次圆状。海安凹陷泰州组储层以长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩为主,其中石英质量分数为 39%~56%;长石质量分数为 21%~41%,其中碱性长石含量占绝对优势,平均质量分数达到 27.5%;岩屑质量分数为 16%~33%,以变质岩岩屑为主,平均 15.8%。岩石中泥质杂基质量分数平均为 1.68%。填隙物成分以方解石(质量分数为 3.55%)和白云石(质量分数为 3.29%)为主,黏土矿物质量分数稍低,平均 1.41%。高邮凹陷泰州组储层岩石以长石岩屑砂岩和岩屑长石砂岩为主,其中石英质量分数为 36%~51%;长石质量分数为 24%~29%,其中碱性长石质量分数占绝对优势,平均达到 20.6%;岩屑质量分数为 25%~35%,以变质岩岩屑为主。岩石中泥质杂基平均质量分数为 1.94%。填隙物成分以方解石(质量分数为 5.23%)和白云石(质量分数为 3.29%)为主。

受沉积环境和成岩作用的综合影响,高邮凹陷泰州组东南部发育的浅埋(浅于 2 500 m)扇三角洲砂体物性好于海安凹陷三角洲砂体物性,尤其是在高邮凹陷东南部周庄地区扇三角洲前缘成因砂体,埋深为 1 600~1 900 m,具有较好的储层物性(表 1、图 2)。

2 泰州组储层孔隙类型及其演化

2.1 泰州组储层孔隙类型

2.1.1 原生孔隙

原生孔隙是指与沉积作用同时形成的、在成岩

表 1 苏北盆地泰州组不同成因砂体储层特征

Tab. 1 Characteristics of Different Sandstone Reservoirs of Taizhou Formation in Subei Basin

| 地区 | 砂体成因类型 | | 岩石体积分数/% | | | 泥质杂基/% | 填隙物/% | 物性特征 | | 成岩作用和孔隙类型 |
|------|--------|----|----------|------|------|--------|-------|-------|------------------------------|-------------------------------|
| | 相 | 亚相 | 石英 | 长石 | 岩屑 | | | 孔隙度/% | 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ | |
| 海安凹陷 | 曲流河三角洲 | 前缘 | 45.7 | 30.6 | 23.6 | 1.7 | 6.8 | 17.8 | 155.8 | 中成岩阶段 A 期, 发育次生孔隙和 2 个次生孔隙发育段 |
| | 辫状河三角洲 | 前缘 | | | | | | 15.2 | 116.5 | |
| 高邮凹陷 | 扇三角洲 | 前缘 | 13.9 | 27.2 | 28.9 | 1.9 | 8.5 | 21.5 | 802.2 | 中成岩阶段 A 期, 发育次生孔隙和 1 个次生孔隙发育段 |
| | | 前缘 | | | | | | 14.0 | 20.5 | |
| | 辫状河三角洲 | 前缘 | | | | | | 13.3 | 46.8 | |

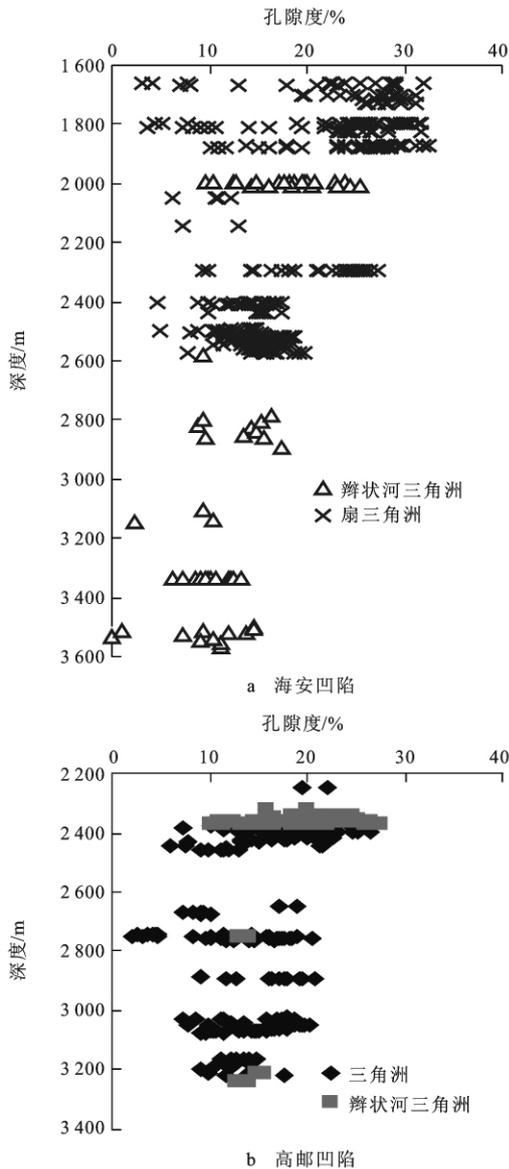


图 2 海安和高邮凹陷泰州组不同成因储层孔隙度与深度关系
Fig. 2 Plots of the Porosity and Depth in Different Reservoirs of Taizhou Formation in Hai'an and Gaoyou Depressions

作用阶段保存下来的粒间孔隙,即为压实剩余的原生粒间孔隙和胶结剩余的粒间孔隙。铸体薄片分析

表明,苏北盆地泰州组储层原生孔隙并不发育,但在高邮凹陷 1 500~1 800 m 深度段储层发育原生孔隙(图 3)。

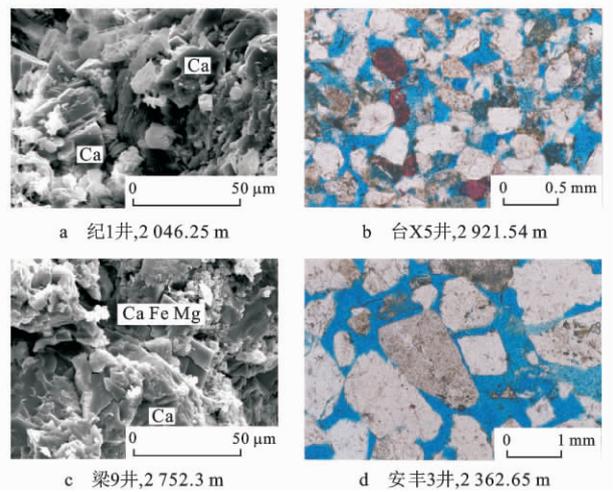


图 3 苏北盆地泰州组原生孔隙和次生孔隙类型
Fig. 3 Types of Primary and Secondary Pores of Taizhou Formation in Subei Basin

2.1.2 次生孔隙

次生孔隙是指沉积作用之后,通过不同的岩石成岩作用或其他地质因素如构造作用、脱水收缩作用等所形成的孔隙。海安凹陷泰州组储层以次生孔隙为主,主要为碳酸盐胶结物溶蚀形成的粒间溶孔、岩屑溶蚀形成的粒内溶孔以及少量的铸模孔和高岭石晶间微孔(图 3)。

2.2 泰州组储层孔隙演化史

铸体薄片、扫描电镜、物性、碳酸盐含量等多方面的资料研究表明:苏北盆地泰州组储层孔隙经历了由原生孔隙到次生孔隙的演化过程,但海安和高邮凹陷储层孔隙演化过程存在差异(图 4)。

2.2.1 海安凹陷泰州组

海安凹陷泰州组储层以次生孔隙发育为特征,原生孔隙较少。对于西北部梁垛和安丰地区,2 200 m 之下大量的碳酸盐胶结物、长石和岩屑颗粒遭受强烈

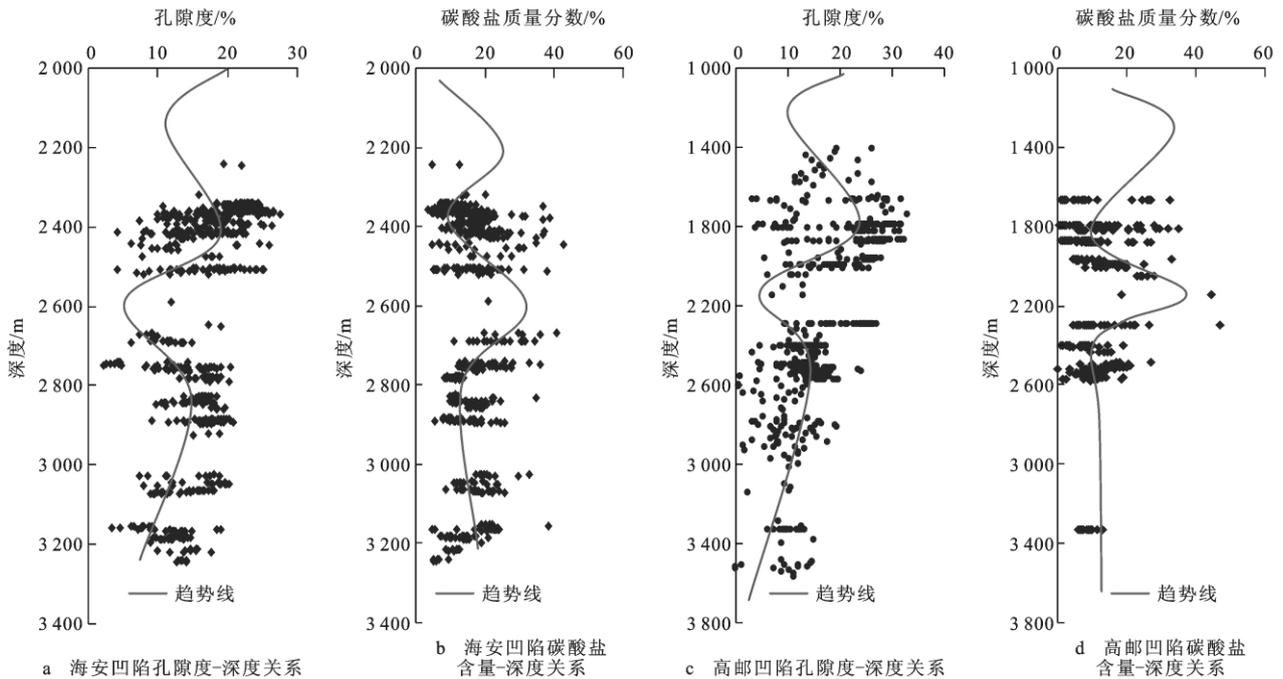


图4 海安凹陷和高邮凹陷孔隙度与深度、碳酸盐含量与深度关系

Fig. 4 Plots of Porosity-depth and Carbonate Content-depth in Hai'an and Gaoyou Depressions

的溶蚀,形成大量的粒间溶孔和粒内溶孔;埋深达到2 400 m左右时,溶蚀作用表现最强,形成泰州组第一个发育的次生孔隙带,显著改善了该区的储层质量;此后,溶蚀作用变缓慢,胶结作用又加强,减少了部分孔隙空间;埋深到2 800 m左右时,溶蚀作用又开始占据主要地位,形成了泰州组第二个次生孔隙带(图4)。凹陷北部和东南部海中和新井地区、北陵和曲塘地区存在类似的孔隙演化规律,只是次生孔隙带发育的深度和程度存在一定差异(图4)。

2.2.2 高邮凹陷泰州组

高邮凹陷泰州组储层亦以次生孔隙发育为特征,但在1 500~1 800 m深度段常见原生孔隙,形成了混合孔隙发育带。高邮凹陷泰州组只存在1个次生孔隙发育带。东南部吴堡低凸起储层埋深在1 400 m之下时,大量的碳酸盐胶结物、长石和岩屑颗粒遭受强烈的溶蚀,形成大量的粒间溶孔和粒内溶孔,同时由于埋藏较浅,还存在一定的原生孔隙;埋深达到1 800 m左右时,形成泰州组原生与次生孔隙共同发育的孔隙带,显著改善了该区的储层质量;此后,溶蚀作用变缓,胶结作用得到加强,又减少了部分孔隙空间;而到2 300 m左右时,溶蚀作用又开始占据主要地位,形成了泰州组第一个次生孔隙带(图4)。

3 储层次生孔隙形成机理与发育规律

深部储层中次生孔隙的形成主要与沉积物中

有机质演化产生的有机酸、酚和碳酸有关。苏北盆地泰州组泰二段大量的烃源岩在热演化过程中产生了大量的有机酸等流体,这些流体向下渗入到下部泰一段砂岩中,对其中的粒间胶结物、岩石颗粒、杂基等进行溶蚀,形成并发育了次生孔隙(图4)。

3.1 泰州组储层次生孔隙形成机理

3.1.1 碳酸盐溶蚀形成次生孔隙主体

根据镜下铸体薄片观察,大部分次生孔隙是由粒间碳酸盐胶结物溶蚀产生,被溶蚀的碳酸盐有成岩早期形成的方解石和成岩晚期形成的铁方解石和铁白云石(图3、4)。图4表明,次生孔隙的形成主要与碳酸盐胶结物的溶蚀有关,孔隙度较高的井段碳酸盐胶结物含量较低,如海安凹陷2 800 m处,孔隙度约15%,碳酸盐胶结物质量分数较低,为10%。镜下薄片资料表明,在相应深度段碳酸盐胶结物发生了较明显的溶蚀(图3)。

3.1.2 长石和岩屑的溶蚀形成部分次生孔隙

部分次生孔隙是由长石、岩屑和杂基溶蚀形成的,这类次生孔隙主要为粒内溶孔、铸模孔、超大孔(图3)。

3.1.3 矿物的脱水作用有助于次生孔隙形成

泰州组储层中蒙脱石已经基本消失,黏土矿物伊利石-蒙脱石混层比小于30%。综合分析认为,在中成岩阶段,蒙脱石脱出矿化度较低的、富含 H^+

的层间水促使碳酸盐、长石和岩屑的溶蚀。

3.2 泰州组储层次生孔隙发育规律

3.2.1 海安凹陷泰州组储层存在 2 个次生孔隙发育段

据煤的镜质体反射率和黏土混层比资料,海安凹陷泰州组储层整体已进入中成岩 A 阶段,受溶蚀作用影响,次生孔隙发育在两个深度段。第一个次生孔隙发育段为 2 300~2 500 m,孔隙度为 12%~25%,次生孔隙发育;第二个次生孔隙发育段为 2 600~3 200 m,孔隙度为 10%~20%(图 4)。

海安凹陷 3 个沉积区(即西北部梁垛和安丰地区、北部海中和新井地区、东南部北陵和曲塘地区)在次生孔隙发育的深度范围和发育程度上存在差别。梁垛和安丰地区第一个次生孔隙发育段位于 2 300~2 380 m 井段,孔隙度主要为 15%~30%;相应的第二个次生孔隙发育段深度也浅,为 2 700~2 800 m,孔隙度为 10%~20%。海中和新井地区第一个次生孔隙发育段为 2 440~2 500 m,孔隙度为 10%~25%;第二个次生孔隙发育段为 2 850 m 左右,孔隙度为 10%~18%。北陵和曲塘地区第一个次生孔隙发育段为 2 400 m 左右,孔隙度为 10%~20%;第二个次生孔隙发育段为 2 700~3 200 m,孔隙度为 10%左右。

海安凹陷有利储层主要发育在西北部梁垛和安丰地区,储层质量受沉积相带类型和沉积物埋深的影响,次生孔隙最为发育;其次为海中和新井地区。

3.2.2 高邮凹陷泰州组储层存在 1 个次生孔隙发育段

高邮凹陷泰州组储层处于早成岩 B—中成岩 A 阶段,1 500~1 800 m 是原生孔隙与次生孔隙共同混合发育的深度段,孔隙度为 15%~30%。次生孔隙发育段为 2 400~2 900 m。孔隙发育程度与海安凹陷的第一个次生孔隙发育段相似,孔隙度为 10%~20%(图 4)。

高邮凹陷东南部吴堡低凸起与周庄—陈堡地区类似,其第一个次生孔隙发育段为 2 300 m 左右,孔隙度值为 15%~30%。

南部富民地区泰州组储层埋藏较深,第一个次生孔隙发育段为 2 400~2 600 m,孔隙度为 10%~20%。高邮凹陷北斜坡地区储层埋藏深度范围大,次生孔隙发育段为 2 400~2 800 m,孔隙度为 10%~15%。

高邮凹陷有利储层发育明显受沉积相带和埋深的影响。南部吴堡低凸起发育扇三角洲成因砂体,

次生孔隙带埋藏相对最浅,孔隙度也最高;其次为北斜坡地区。

4 泰州组有利储层评价

4.1 海安凹陷泰州组储层综合评价

海安凹陷泰州组主力储层处于泰一段,自下而上分为 III 砂组、II 砂组(低位体系域)和 I 砂组(高位体系域)(图 5)。参照《碎屑岩成岩阶段划分》(SY/T 5477—2003)^[17],将研究区泰州组储层划分成 I、II、III 类储层。

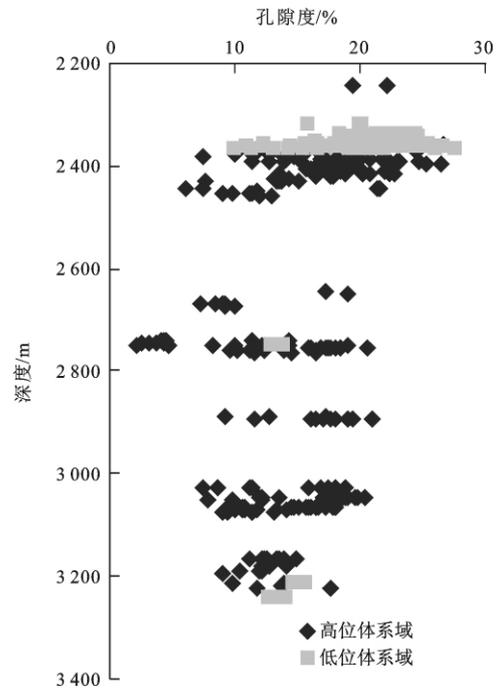


图 5 海安凹陷泰州组不同砂组(体系域)储层孔隙度与深度关系

Fig. 5 Plot of Porosity-depth in Different Sandstone Layers of Taizhou Formation in Haian Depression

4.1.1 III 砂组与 II 砂组储层评价

海安凹陷泰州组 III 砂组与 II 砂组沉积储层在西北部安丰地区物性较好,以 I 类储层为主。三角洲沉积砂体孔隙度最小值为 10%,最大值 27.6%,平均值为 20.76%,其中孔隙度为 20%~30%的值占 70%左右,另有 20%以上为 7%~12%;渗透率为 $(0.9 \sim 4 146.7) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中有 60%以上的值大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。储层物性好以及埋藏相对较浅(2 400 m 左右)与处于泰州组第一个次生孔隙发育段有关。

4.1.2 I 砂组储层评价

海安凹陷泰州组 I 砂组三角洲和浊流成因储层发育在西北部安丰和梁垛地区,三角洲和浊流砂体

孔隙度最小值 2.1%, 最大值 26.7%, 平均值 15.44%, 其中孔隙度为 12%~20% 的值占 55% 左右。渗透率为 $(0.13 \sim 537.3) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 其中有 50% 以上的值为 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这些物性较好的储层埋藏浅且处于次生孔隙发育段。

海安凹陷西北部梁垛和安丰地区泰一段以三角洲沉积为主, 储层孔隙度以 12%~20% 与 20%~30% 为主, 分别占总样品的 45% 和 40%, 平均值为 17.83%, 渗透率以 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主, 占样品总数的 50% 左右。因此, 安丰和梁垛地区储层以 I 和 II 类储层为主。

海安凹陷东南部北陵及曲塘地区泰州组储层孔隙度以 7%~12% 与 12%~20% 占优势, 分别为 40%、55%, 平均孔隙度 12.23%, 渗透率以小于 $1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 和 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 占优势, 总体来说北陵及曲塘地区储层以 II 和 III 类储层为主, II 类储层稍多。

海安凹陷北部海中和新井地区的砂体物性较好, 储层孔隙度以 12%~20% 为主, 达到 60%, 平均值 15.21%; 渗透率以 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 为主, 占 55% 左右, 此外还有 20% 左右的值大于 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值 $116.45 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。因此, 海中和新井地区储层以 II 类储层为主, I 类储层较北陵和曲塘地区多。

海安凹陷泰一段 3 个砂组的物性特征也存在一定的差别。与西北部安丰地区 3 个砂组的物性相比来说, 海安地区最好, III 砂组又是安丰地区最好; 其次为安丰地区的 I 砂组和 II 砂组以及梁垛地区的 I 砂组; 再次为北部海中和新井地区的 I 砂组。东南部北陵和曲塘地区储层埋深较大, 相对来说, III 砂组和 II 砂组物性好于 I 砂组, 但整体上不如海中和新井地区。

4.2 高邮凹陷泰州组储层综合评价

高邮凹陷泰州组储层物性受沉积相带和埋藏深度的控制, 储层物性变化较大。整个泰一段以厚层砂岩为主, 夹薄层泥岩; 在纵向上, 随埋深的增加, 孔隙度和渗透率明显降低(图 4)。

4.2.1 III 砂组与 II 砂组储层评价

III 砂组与 II 砂组储层平均孔隙度为 14.8%, 平均渗透率为 $12.8 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 以 II、III 类储层为主, 主要为辫状河三角洲砂体, I 类储层来自于扇三角洲前缘的砂体。

4.2.2 I 砂组储层评价

高邮凹陷 I 砂组储层以 II 类储层为主, 主要为

辫状河三角洲和扇三角洲前缘成因砂体, 常见 I 类储层, 在不同地区储层质量存在较大差异。

高邮凹陷南部周庄到陈堡地区埋深在 2400 m 之上的泰州组储层物性最好, 平均孔隙度为 21.50%, 平均渗透率为 $100 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为扇三角洲前缘砂体成因的 I 类储层。

高邮凹陷西部大仪集、韦庄、码头庄一带储层埋深基本上在 2000 m 之上, 储层物性好, 平均孔隙度为 15%, 平均渗透率为 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 以 II 类储层为主, 也见 III 类储层。

高邮凹陷东部富民地区的泰州组储层埋深大多为 2400~2600 m, 孔隙度较西部低, 但渗透率与西部相差不大, 因此储层物性较好; 扇三角洲前缘砂体平均孔隙度为 14.03%, 平均渗透率为 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 以 II 类储层为主。

高邮凹陷北部沙埕—单家庄一带泰州组储层埋深为 2000~3000 m, 储层物性较富民地区稍差; 辫状河三角洲成因的泰州组 3 个砂组均较发育, 平均孔隙度为 25.5%, 平均渗透率则为 $(1 \sim 100) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 并以 II 类储层为主, 同时还有部分 II、III 类储层。

4.3 泰州组有利储层综合评价

泰州组泰一段 II、III 砂组以及 I 砂组是储层发育层段(表 2)。苏北盆地成烃成藏分析和油气勘探实践表明, 海安凹陷泰州组 I 砂组普遍见油气显示, 说明泰二段生油层就近排烃的特点, 而 II、III 砂组油气显示不普遍, 只有当存在调节断层且调节断层断距合适的时候油气才能进入。海安凹陷厚 10 m 以上的湖侵泥岩可以作为良好盖层, 而高邮凹陷泰州组湖侵泥岩较薄, 盖层质量较差。

综合研究表明, 海安凹陷泰州组有利储层主要分布在西北部和东部的三角洲前缘和滑塌浊积扇成因砂体中, 高邮凹陷泰州组有利储层主要分布在南部扇三角洲前缘成因砂体中(表 2)。

5 结语

(1) 受沉积环境和成岩作用综合影响, 高邮凹陷泰州组东南部发育的浅埋(浅于 2500 m)扇三角洲砂体储层物性较好, 特别是在高邮凹陷东南部周庄地区发育的浅埋(1600~1900 m)扇三角洲前缘成因砂体, 储层质量较好。高邮凹陷泰州组储层亦以次生孔隙发育为特征, 但在 1500~1800 m 深度段常见原生孔隙与次生孔隙混合的孔隙发育段, 在埋深 2300 m 左右时, 形成泰州组次生孔隙段。

表 2 苏北盆地海安凹陷和高邮凹陷泰州组储层综合评价

Tab. 2 Comprehensive Evaluation of Taizhou Formation in Haian and Gaoyou Depressions, Subei Basin

| 凹陷 | 区块(沉积类型) | 孔隙度/% | | | 渗透率/ $10^{-3} \mu\text{m}^2$ | | | 综合评价 |
|------|-----------------------|-------|-------|-------|------------------------------|----------|--------|------------------------|
| | | 最小 | 最大 | 平均 | 最小 | 最大 | 平均 | |
| 海安凹陷 | 梁垛和安丰(三角洲前缘) | 2.10 | 27.60 | 17.83 | 0.900 | 4 146.7 | 155.81 | I类和II类储层 |
| | 北陵和曲塘(三角洲前缘和浊积扇) | 3.30 | 21.30 | 12.23 | 0.900 | 152.1 | 15.00 | II和III类储层为主,有少量I类储层 |
| | 海中和新井(三角洲前缘) | 6.10 | 25.20 | 15.21 | 0.120 | 1 767.6 | 116.45 | II类储层,有部分I类储层 |
| 高邮凹陷 | 周庄—陈堡(扇三角洲近端前缘) | 0.54 | 33.04 | 21.50 | 0.010 | 19 764.6 | | I类储层为主 |
| | 富民(扇三角洲远端前缘) | 4.50 | 19.80 | 14.03 | 0.001 | 345.1 | | II类储层 |
| | 西部大仪集、韦庄、码头庄等(辫状河三角洲) | 9.09 | 27.30 | 15.00 | 1.630 | 42.9 | 11.64 | II类储层为主,III类储层常见 |
| | 沙墟—单家庄(辫状河三角洲) | 2.30 | 25.50 | 12.93 | 1.330 | 829.0 | | II类储层为主,部分为II—III类储层 |
| | 吴岔河(辫状河三角洲) | 0.10 | 24.18 | 12.02 | 0.010 | 200.7 | | II—III类储层为主,还有部分III类储层 |

(2)海安凹陷泰州组储层以发育次生孔隙为特征,系大量的碳酸盐胶结物、长石和岩屑颗粒遭受强烈的溶蚀,形成了大量的粒间溶孔和粒内溶孔。在埋深 2 400、2 800 m 左右深度段,分别形成泰州组 2 个次生孔隙段。

(3)苏北盆地泰州组储层质量明显受沉积相带类型和储层埋深的影响。海安凹陷有利储层主要发育在西北部梁垛和安丰地区三角洲前缘砂体中,次生孔隙发育。高邮凹陷南部吴堡低凸起发育扇三角洲成因砂体,次生孔隙带埋藏相对最浅,孔隙度也较高,为有利储层发育区。

参考文献:

- [1] 李忠,陈景山,关平. 含油气盆地成岩作用的科学问题及研究前沿[J]. 岩石学报, 2006, 22(8): 2113-2122.
- [2] 毛凤鸣,张金亮. 高邮凹陷油气成藏地球化学[M]. 北京:石油工业出版社, 2002.
- [3] 寿建峰,张惠良,斯春松. 砂岩动力成岩作用[M]. 北京:石油工业出版社, 2005.
- [4] 赵澄林,陈丽华,涂强,等. 中国天然气储层[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
- [5] 朱筱敏,董艳蕾,郭长敏,等. 歧口凹陷沙河街组一段层序格架和储层质量分析[J]. 沉积学报, 2007, 25(6): 934-941.
- [6] 朱筱敏,王英国,钟大康,等. 济阳拗陷古近系储层孔隙类型与次生孔隙成因[J]. 地质学报, 2007, 81(2): 197-204.
- [7] 朱筱敏,刘长利,张亚雄,等. 苏北盆地上白垩统泰州组砂岩成岩序列和储集层质量主控因素分析[J]. 古地理学报, 2008, 10

(5): 439-446.

- [8] 张响响,邹才能,朱如凯,等. 川中地区上三叠统须家河组储层成岩相[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 257-264.
- [9] 张荣虎,姚根顺,寿建峰,等. 沉积、成岩、构造一体化孔隙度预测模型[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(2): 145-151.
- [10] 连承波,钟建华,杨玉芳,等. 松辽盆地龙西地区泉四段砂岩成岩序列及孔隙演化特征[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(2): 155-160.
- [11] Baccar M B, Fritz B. Geochemical Modeling of Sandstone Diagenesis and Its Consequences on the Evolution of Porosity [J]. Applied Geochemistry, 1993, 8(3): 285-295.
- [12] Franks S G, Forester R W. Relationships Among Secondary Porosity, Pore-fluid Chemistry and Carbon Dioxide, Texas Gulf Coast[C]//McDonald D A, Surdam R C. Clastic Diagenesis. Tulsa: AAPG Memoir, 1984: 63-76.
- [13] Pittman E D. Recent Advances in Sandstone Diagenesis[J]. Annual Review of Earth and Planetary Science, 1979, 7: 39-62.
- [14] Surdam R C, Crossey L J, Hagen E S, et al. Organic-inorganic and Sandstone Diagenesis[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(1): 1-23.
- [15] 钱基. 东台凹陷泰州组成岩作用及储层特征[R]. 扬州:中国石油化工股份有限公司江苏油田公司勘探开发研究院, 1987.
- [16] 颜琳. 浅析海安凹陷泰一段储集层的孔隙结构[R]. 扬州:中国石油化工股份有限公司江苏油田公司勘探开发研究院, 1987.
- [17] SY/T 5477—2003, 碎屑岩成岩阶段划分[S].