

沾化凹陷孤北洼陷南斜坡沙三中亚段沉积体系分析

郭玉新

中国石油化工股份有限公司, 胜利油田分公司, 勘探开发研究院, 山东 东营
Email: guoyuxin579.slyt@sinopec.com

收稿日期: 2020年11月2日; 录用日期: 2020年12月24日; 发布日期: 2020年12月31日

摘要

孤北洼陷南斜坡沙三中亚段是该洼陷重要的油气富集层位。本文基于钻井、测井和地震资料, 研究孤北洼陷南斜坡沙三中亚段沉积类型和砂岩储集体分布规律。研究认为, 研究区沉积相类型可划分为2种亚相和5种沉积微相。沉积类型以扇三角洲水下分流河道和分流间湾沉积为主, 自西向东发育4支水道体系。沙河街沉积时期, 南部孤岛凸起不断抬升, 物源供给强烈, 同时南高北低的孤岛鼻状隆起控制沉积形成两种沉积模式。研究区西部第二断阶带及第三断阶带区域扇三角洲前缘分流水道砂体和河口坝砂体发育, 具有良好的油气地质条件, 具备发育构造圈闭和岩性-构造圈闭的地质条件, 勘探潜力较大, 是油气勘探的有利相带。

关键词

沉积体系, 沉积模式, 控藏模式, 沙三中亚段, 孤北洼陷

The Middle Es3 Group Sedimentary System Analysis in Gubei Depression Southern Slope, Zhanhua Sunken

Yuxin Guo

Exploration and Development Research Institute, Shengli Oilfield Company, Sinopec, Dongying Shandong
Email: guoyuxin579.slyt@sinopec.com

Received: Nov. 2nd, 2020; accepted: Dec. 24th, 2020; published: Dec. 31st, 2020

Abstract

The middle Es3 group in southern slope of Gubei sag is oil reservoir development formation.

According to drilling datum, logging datum and seismic datum, the article analyzes sedimentary type and sand reservoir distribution regular in Es3z formation in southern slope. The sedimentation type can be divided into 2 kinds of intrafacies and 5 kinds of microfacies. The sedimentation types are mainly underwater diverter channel and underwater diverter interspace. There are 4 channels on the southern slope. The Gudao bulge continuously uplifts in Shahejie group sedimentation period which provides a great quantity of substance. The Gudao nose uplift dominates sedimentary system distribution and forms 2 types of sedimentary model. The sand reservoirs are well developed in fan delta front edge underwater diverter channel and channel mouth bar located in the second fault bench belt and third fault bench belt in western area. The structural trap and litho-structural trap have great potential capacity and are the next exploration facies belt.

Keywords

Sedimentary System, Sedimentation Model, Reservoir Formed Model, Es3 Middle Group (Es3z), Gubei Depression

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着勘探程度的不断提高,针对孤北地区难度越来越大的勘探形势,需要寻找新的接替阵地。孤北洼陷东部勘探程度高、潜力较小,南部缓坡带探井密度较小,主要为扇三角洲沉积,多条近东西向断裂可作为油源断裂沟通沙三中、下亚段烃源岩,勘探潜力大。但扇三角洲水道纵向上变化较大,但由于目前研究精度较粗,对沉积相和储层展布特征不明确,给勘探部署带来极大困难,需要精细沉积相的展布研究,寻找有利的勘探相带。此次,在通过对孤北洼陷南部缓坡带 30 余口钻井岩心、测井、录井资料的观察与描述,明确沉积微相类型及分布,建立地层对比格架,分析从凸起区-缓坡带-洼陷带沉积相变化并明确扇体展布范围及纵向演化,并结合区带构造特征、储盖组合、圈闭有效性等成藏要素,探讨分析了孤北洼陷南部缓坡带沙中亚段沉积体系展布,建立了沉积发育模式,明确了沉积体系与油气成藏的关系。

2. 区域地质特征

孤北洼陷位于济阳拗陷沾化凹陷东北部,是一个多层系含油的断陷盆地。其北以埕北断层与埕岛潜山披覆构造带相接,向东以长堤断层与长堤潜山构造带相连,向南以孤北断层与孤岛凸起相接,西南方以孤西断层与渤南洼陷相连,向西以埕东断层与埕东凸起相连[1]。南斜坡为缓坡断阶带,面积约 150 km²,南高北低,中央发育孤岛鼻状隆起分割东西两个次洼(图 1)。多条北东向及东西向断裂发育,在南斜坡形成 3 个断阶。孤北洼陷沉积类型丰富,发育冲积扇、水下扇、扇三角洲、滑塌浊积扇等沉积相。

孤北洼陷主要烃源岩为沙三中下亚段及沙四上亚段暗色泥岩。发育多套储盖系统,其中沙中亚段储层较为发育,其盖层主要为同沉积的暗色泥岩及上覆沙三上泥岩,泥岩沉积较厚且南部发育,可作为良好的局部盖层。

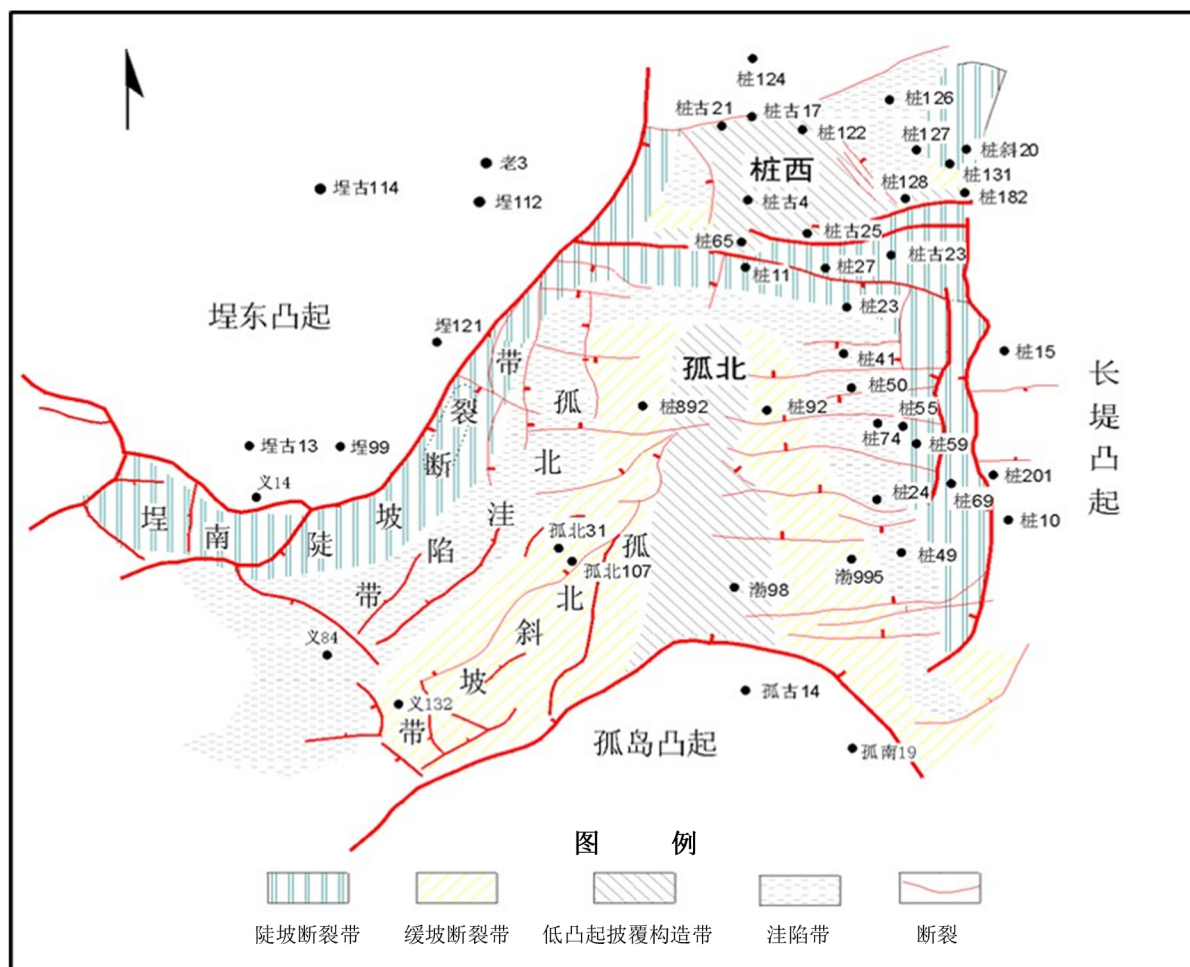


Figure 1. The structure belt, Gubei depression

图 1. 孤北洼陷构造纲要图

3. 沉积环境及储层展布

3.1. 地层发育特征

沙三期盆地发生大幅度沉降，在沙四段浅湖沉积的背景下快速沉降形成湖盆深化沉积。在此条件下形成了具有三期旋回的沙三段地层。沙三段进一步分为沙三下(Es3x)、沙三中(Es3z)、沙三上(Es3s)三个亚段[2]。

其中沙三中亚段(Es3中)：岩性以厚层深灰色泥岩、油页岩为主，夹有多组浅灰色薄层粉砂岩和砂岩或薄层碳酸盐岩。在陡坡洼陷带呈楔状加厚趋势，而向凹陷边缘逐渐变薄或缺失。厚约 200~550 m。视电阻率曲线自下而上逐渐降低，对应含油页岩见高阻尖峰[2]。自然电位曲线为指状或箱状负异常。沙三中亚段依据岩性、沉积环境等可进一步分为 7 个砂组(2~8 砂组)。

针对沙三中油藏主力发育段 4、5 砂组，以沉积旋回为划分基础，测井相标定，细分为 4 个沉积单元($4^1, 4^2, 5^1, 5^2$) (图 2)，并结合非主力砂组(2+3、6+7、8 砂组)将沙三中亚段共划分为 7 个沉积单元。

孤岛凸起存在 3~5 个持续供给物源的通道，自下而上，储层横向连通性由较强分隔变为较强连续，各期砂体推进距离或波及范围差异大(图 3)。从垂物源剖面分析，纵向上， 5^2 - 4^1 砂组储层较为发育，厚度大，叠合连片，以侧积为主。沿物源剖面分析，砂体在 8~6 砂组主要以退积为主， 5^2 - 4^1 砂组，砂体以加积为主。2+3 砂组则主要表现为进积(图 4)。

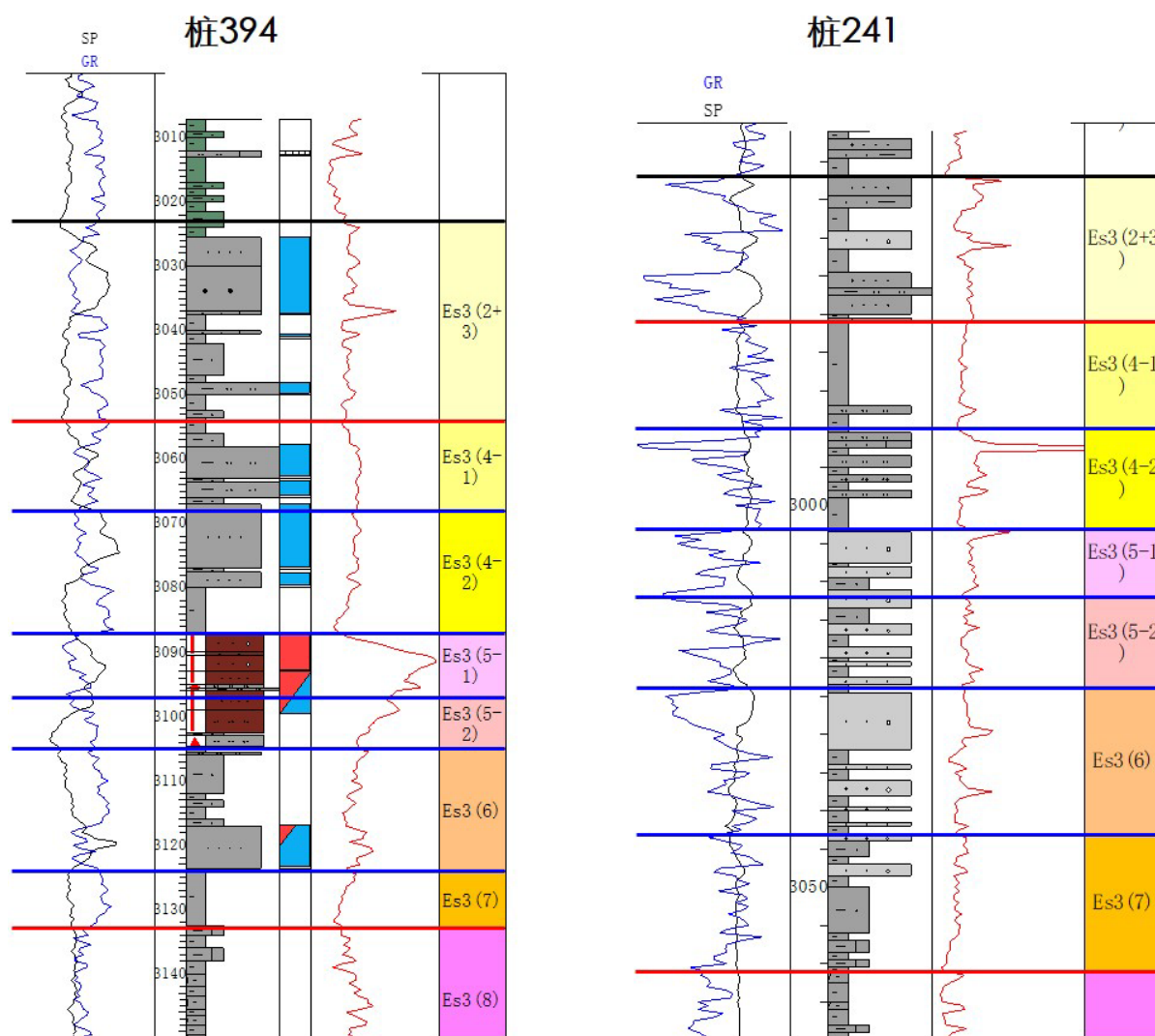


Figure 2. The single well level division chart, Es3z

图 2. 沙三中亚段单井层位划分图

3.2. 泥岩颜色特征

孤北洼陷沙三中亚段以厚层深灰色泥岩、油页岩为主南部斜坡带地层厚度约 150~350 m, 暗色泥岩(灰色、深灰色)泥岩所占地层厚度百分比一般为 31.5%~61.2%, 自西向东逐渐增加; 而褐色(灰褐色、黄褐色、棕褐色)泥岩所占地层厚度比例变化较大, 为 1.5%~64.7%, 自西向东减小且主要分布于第一及第二断阶带。这种颜色的变化表明南部斜坡带沙三中亚段沉积时, 水体总体由西向东、由南向北不断加深, 说明沉积时, 水体由西部的半干旱气候条件下的浅水氧化环境逐渐过渡到东部浅水-半深水还原环境[3]。

3.3. 累计概率曲线特征

孤北洼陷南斜坡沙三中亚段粒度累计概率曲线表现为 3 种形式(图 5): 两段式、过渡两段式和多段式, 反映了水动力环境存在较大差别。两段式: 主要特点是跳跃总体含量在 73%~91%, 分选中等, 斜率 55°~71°; 悬浮总量为 9%~27%, 交切点 ϕ 值为 1.5~2 之间, 反应平水期强度较高的牵引流沉积特征。过渡两段式: 主要特点是跳跃总体含量为 68%~75%, 分选中等, 斜率 54°~68°; 悬浮总体由两个次总体组成, 含量为

25%~32%，粗悬浮次总体斜率 $15^{\circ}\sim 26^{\circ}$ ，分选中等较差，细悬浮总体斜率为 $8^{\circ}\sim 16^{\circ}$ ，分选较差，与跳跃总体交切点 ϕ 值为 2.3~5.1，反应河水水动力较强，以牵引流为主，变化较大的水动力特征。多段式：跳跃总体由 2 个次总体组成，含量在 51%~63%，斜率为 $40^{\circ}\sim 62^{\circ}$ ，分选较差；悬浮总体含量为 37%~49%，分选较差，交切点 ϕ 值为 2.9~3.8，反映了洪水期高能量河水携带大量粗碎屑物质入湖，河口区河流受阻，水体动荡和沉积物快速沉积的水动力环境。

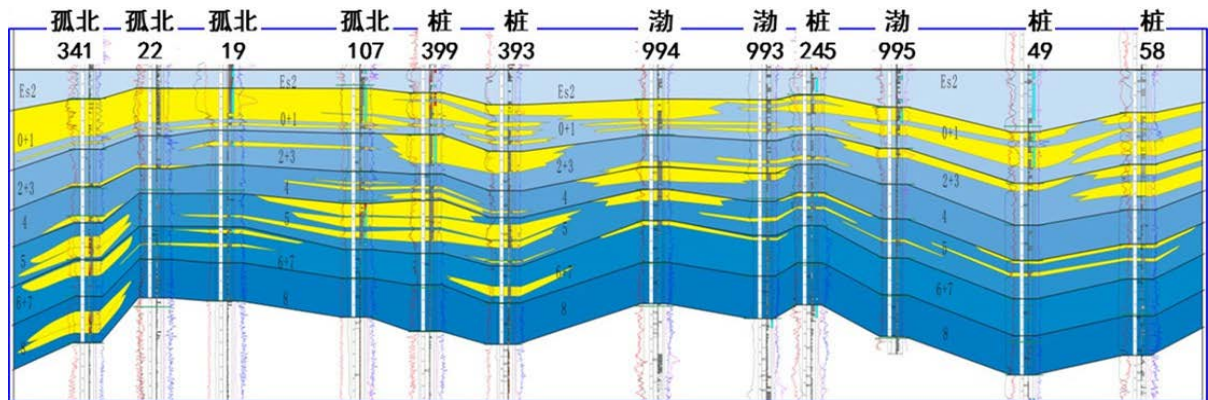


Figure 3. The Es3z reservoir comparison chart from Gubei341 well to Zhuang58 well, south slope in Gubei depression
图 3. 孤北洼陷南斜坡孤北 341 井 - 桩 58 井沙三中上亚段近东西向储层对比图

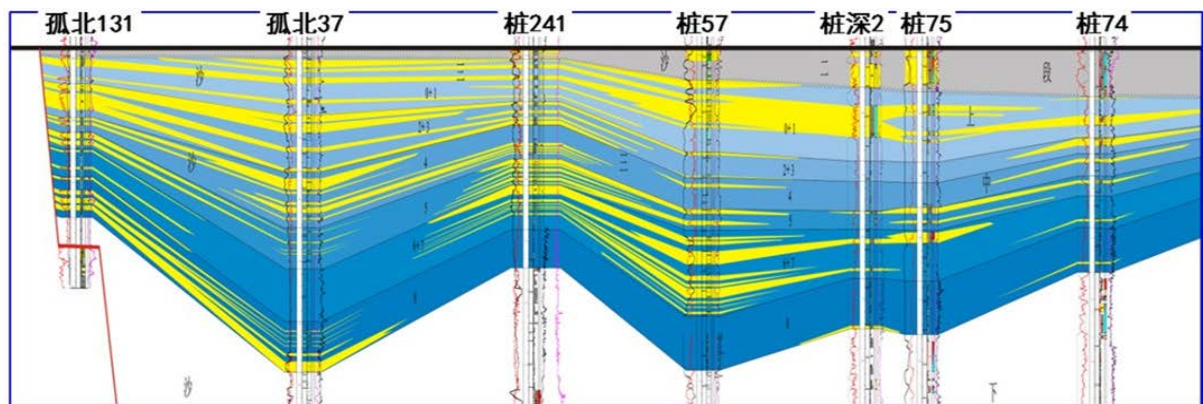


Figure 4. The Es3z reservoir comparison chart from Gubei131 well to Zhuang74 well, south slope in Gubei depression
图 4. 孤北洼陷南斜坡孤北 131 井 - 桩 74 井沙三中上亚段近南北向储层对比图

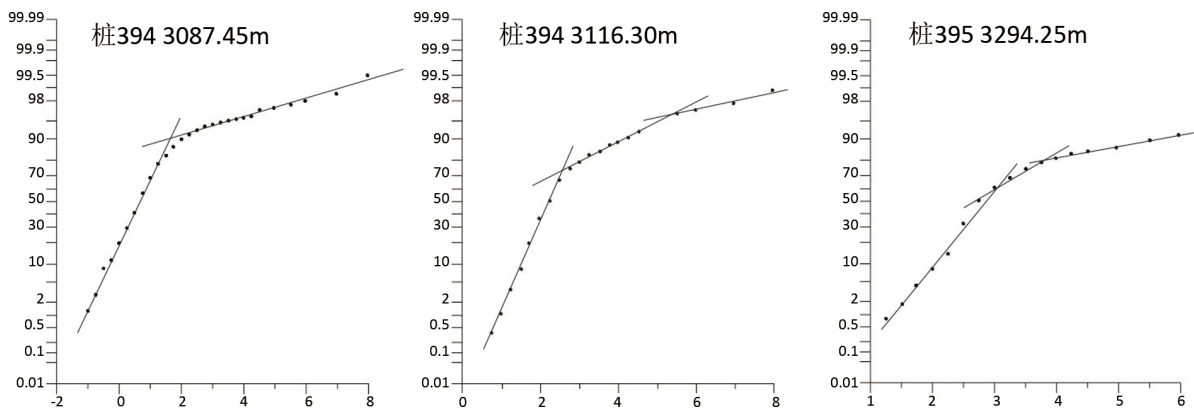


Figure 5. The Es3z Delta granularity probability characteristics, south slope in Gubei depression
图 5. 孤北洼陷南斜坡沙三中亚段三角洲粒度概率特征

微相	测井曲线	岩性剖面	岩性描述	测井曲线形态	岩心照片特征
	SP GR				
水下分流河道			灰白色、浅灰色细砂岩、粉砂岩、泥岩构成正粒序。泥岩以深灰色为主。	箱型、齿化箱型及钟形；底部突变	 河床底部滞留沉积 含砾粗砂岩
水下分流间湾			灰绿色、深灰色泥岩为主,厚度变化较大。	自然电位靠近基线,自然伽马高值,曲线锯齿状	 灰绿色泥岩
水下分流河口砂坝			灰色、灰绿色细砂岩、粉砂岩、泥岩构成逆粒序。垂向上位于泥岩之上。	漏斗型或齿化漏斗型	 反序 浪成交错层理
远砂坝			薄层灰色、灰绿色粉砂岩夹在泥岩之间	指状或齿化	 冲洗层理 浪成交错层理
滨浅湖			灰黑色泥岩夹薄层粉砂质泥岩或泥灰岩	较平直	 灰黑色泥岩 水平层理

Figure 7. The Es3z logging phase, south slope in Gubei depression

图 7. 孤北洼陷南斜坡沙三中亚段测井相

充填有砂、粉砂和粘土级物质,有些可由含砾的砂、粉砂组成。扇顶部分以砾、砂岩为主,扇缘粉砂、泥质增多,扇体与平原过渡带以粘土沉积为主。岩石粒度粗,分选差,成熟度低,磨圆不好,砂、砾为主,扇三角洲平原类似辫状河沉积,向陆方向紧邻冲积扇,整个扇三角洲常呈短而粗的厚碎屑楔状体。层理发育中等,在山顶常见冲刷充填构造,细粒泥质沉积物可见平行层理,砂质沉积物局部可见水流波浪痕,砾石向源的定向排列等。还有可能发育交错层理、浪成交错层理、波状层理等[2](图6)。

桩 394 井位于南斜坡中西部,其中沙三中亚段 5 砂组沉积相类型为扇三角洲,亚相类型为扇三角洲前缘亚相(图6)。

- ① 5 砂组底部发育灰色泥岩、泥质砂岩及粉砂岩,中部及上部则主要发育棕红色粉砂岩、细砂岩及含砾砂岩[4]。
- ② 5 砂组上部含砾砂岩及细砂岩中可见紫红色泥砾及滑塌变形构造。中部细砂岩、粉砂岩中出现脉状层理、透镜状层理、波状复合层理、低角度楔状交错层理等[5]。
- ③ 上部主要为水下分流河道沉积,中部及下部则主要发育分流河口砂坝、远砂坝及支流间湾微相。
- ④ 水下分流河道呈正旋回,以含砾砂岩为主,向上粒度变细,见滑塌变形构造,局部出现反序特征[5][6]。
- ⑤ 河口砂坝呈反旋回,下部发育泥岩,向上逐渐过渡为粉砂岩、细砂岩,可见脉状层理及波状复合层理。
- ⑥ 水下分流河道对应粒度累计概率曲线主要为两段式,自下而上 ϕ 值逐渐减小,跳跃总体含量减小,反映了水动力逐渐减小的特征。河口砂坝对应的粒度累计概率曲线均为多段式,跳跃总体含量先增加后减小,反应水动力先逐渐增强后减小的过程[7]。

4.2. 测井相特征

在碎屑岩沉积相研究中,我们通常采用对岩性变化比较敏感的测井曲线来进行分析,主要以自然电

位(SP)和自然伽马(GR)为主。有时我们也配合电阻率(Rt), 和反应孔隙度变化的声波时差(AC)来综合研究。在本次研究中, 主要以自然电位(SP)曲线为主, 并结合上述其他曲线(图 5)。在测井相的建立过程中, 本次研究主要考虑测井曲线的幅度大小、形态特征、接触关系、组合特征等要素来分析岩性及其垂向序列的变化特征[2]。

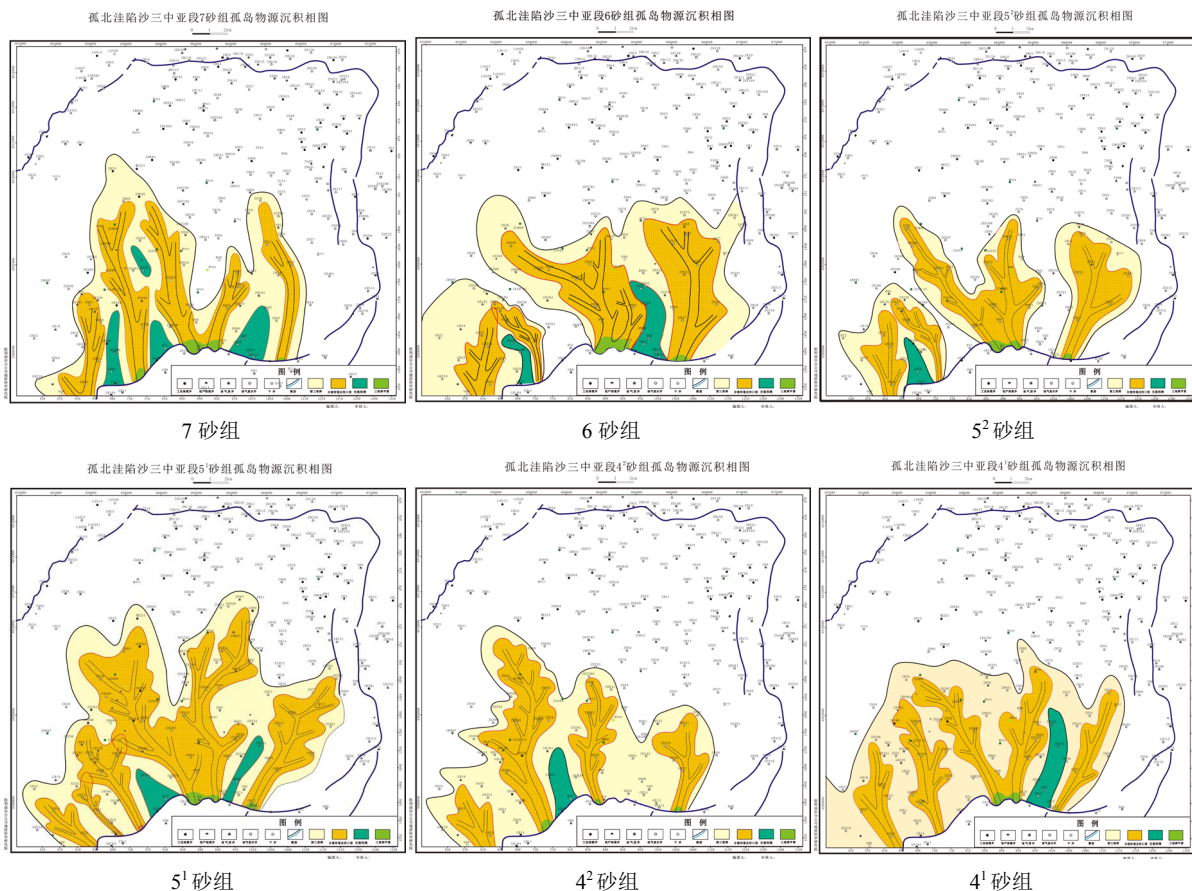


Figure 8. The Es3z sediment phase (different sand group), south slope in Gubei depression
 图 8. 孤北洼陷南斜坡沙三中亚段沉积相平面图(分砂组)

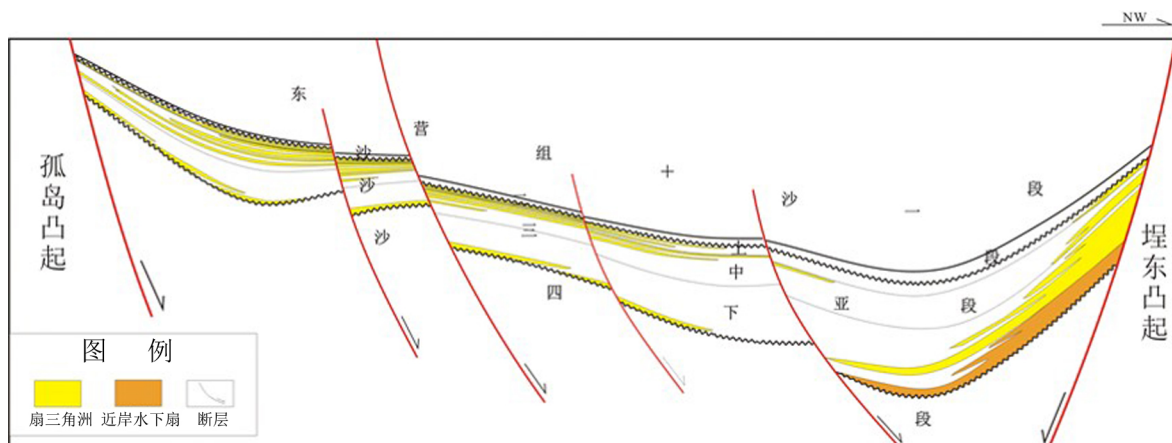


Figure 9. The sedimentary pattern of the western Es3z, south slope in Gubei depression
 图 9. 孤北洼陷南斜坡西部沙三中亚段沉积模式图

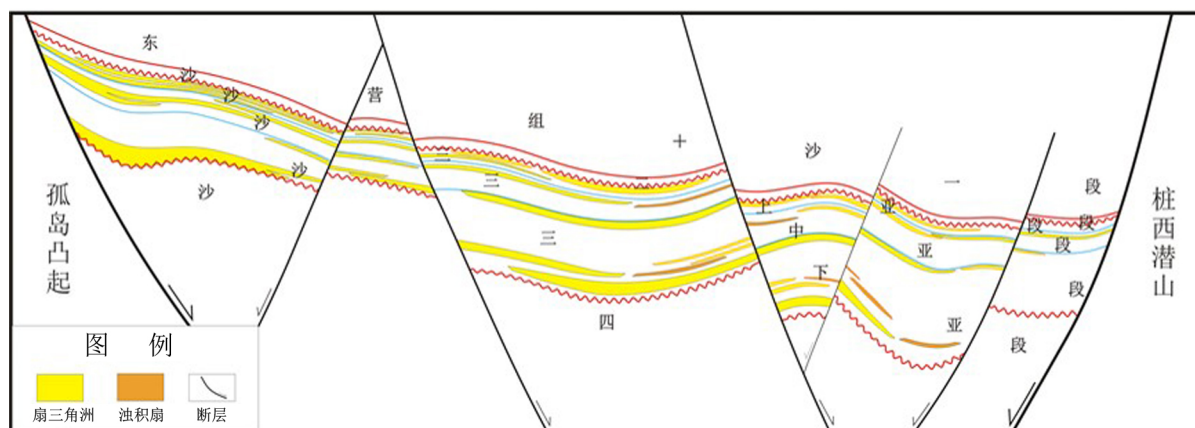


Figure 10. The sedimentary pattern of the eastern Es3z, south slope in Gubei depression
图 10. 孤北洼陷南斜坡东部沙三中亚段沉积模式图

在岩心观察描述的基础上, 根据岩心与测井的对应关系, 综合分析研究区内钻井的测井曲线特征, 对南部孤北物源体系扇三角洲沉积微相进行了精细刻画, 制作了测井相模板(图 4)。南部物源扇三角洲共发育四种沉积微相类型, 水下分流河道、分流河口砂坝、远砂坝和支流间湾[8] [9] [10], 水下分流河道的 SP 曲线呈现钟形的特征, 岩心上一般出现冲刷面和正序等现象, 分流河口砂坝和远砂坝的测井曲线一般均呈现漏斗形特征, 分流河口砂坝一般岩心上会出现反序、交错层理等现象, 远砂坝与分流河口砂坝的区别在于, 远砂坝由于受波浪改造作用, 会出现波状层理等特征, 岩性上表现为砂泥互层。支流间湾测井曲线一般较平直, 呈线形, 岩性上以泥岩、粉砂质泥岩为主[2] (图 7)。

5. 沉积体系展布

5.1. 沉积相演化规律

研究区沙三中亚段处于扇三角洲 - 滨浅湖沉积环境。扇三角洲自下而上主要发育进积。砂体发育从东向西整体变差。扇三角洲展布具有迁移性, 5^1 砂组储层规模最大, 推进距离最远, 西翼储层较为发育。孤北鼻状构造带在沙三中沉积期分隔沉积作用总体不强, 自下而上逐渐减弱, 储层横向连通性在 5^1 砂组最强。

5.2. 沉积相平面分布特征

研究区沙三中亚段沉积相具有以下特征: ① 主要发育扇三角洲 - 湖泊沉积体系。② 孤北鼻状构造带古地貌控砂作用明显, 东西分别发育扇三角洲[9]。③ 物源主要来自于南部孤岛凸起, 自西向东发育 4~5 个主要物源口, 西部扇三角洲发育范围大, 前缘向西北方延伸至孤北西次洼桩 25 井附近, 东部扇三角洲范围较小, 延伸距离也较短, 前缘边缘在桩 78 井附近。④ 西部物源水流方向总体表现为 NNW 方向, 东部物源水流方向表现为 NNE-NE 方向。⑤ 受物源供给影响, 扇三角洲自下而上规模逐渐增大再减小, 其中西部扇三角洲在 5^2 - 5^1 砂组规模最大, 东部扇三角洲在 5^2 砂组规模最大(图 8)。

6. 沉积模式

孤北鼻状构造带西翼: 孤岛物源的储层主要发育在沙三中亚段顶部 4^1 - 5^1 , 最远推进至孤北洼陷西部次洼中部[11] [12] (图 9)。孤北鼻状构造带东翼: 孤岛物源的储层同样发育在沙三中亚段顶部 4^1 - 5^1 , 孤岛物源扇三角洲推进距离较小, 但受到垦东物源影响, 东部扇三角洲推进距离长, 储层厚度大, 孤北洼陷东次洼内部沙三中储层较为发育[13] (图 10)。

7. 沉积相控藏因素

研究认为, 孤北洼陷南斜坡沙三中亚段西部扇三角洲推进距离远, 水下分流河道及远砂坝发育, 且西部沙三中亚段埋深较大, 高于生烃门限, 能够形成砂岩透镜体油藏[14][15]。桩 89-桩 39 井区位于西部断阶带, 发育扇三角洲前缘亚相, 水下分流河道砂体和河口坝砂体发育, 且多被北东向断层所切割, 断层下降盘砂体增厚, 储层物性变好, 具有形成构造油藏及岩性-构造油藏的地质条件, 近期钻探的桩 898 井在沙三中亚段钻遇多套油斑、油迹砂岩, 勘探潜力大, 是沙三中亚段下一步油气勘探的重要接替区域。

8. 结论

- 1) 孤北洼陷南斜坡沙三中具备中间高、东西低的宽缓断阶斜坡背景, 储层主要发育在沙三中亚段 4¹、4²、5¹、5² 砂组。
- 2) 沙三中亚段沉积时, 孤北洼陷南斜坡为浅水还原环境, 发育扇三角洲-滨浅湖沉积体系。
- 3) 孤北洼陷南斜坡西部第二、三断阶带为油气勘探有利区带, 扇三角洲水下分流河道及河口砂坝砂体发育, 与断裂配置关系良好, 具有较好的油气地质条件, 勘探潜力较大。

参考文献

- [1] 颜文远. 桩西滩海地区沙四上亚段层序地层及沉积体系研究[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学(华东), 2014.
- [2] 孟庆修. 孤北洼陷沙三段沉积及储层特征研究[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学(华东), 2016.
- [3] 赵淑贤, 张馥珍. 对陕西卤泊滩地层岩土、盐碱矿物及生成环境的初步探讨[J]. 西北建筑工程学院学报, 1994(3): 12-19.
- [4] 翟慎德, 李云新, 周玉洁, 等. 孤北洼陷孔店组与沙河街组四段的多重地层划分[J]. 地层学杂志, 2007, 31(12): 520-526.
- [5] 刘诗奇, 朱筱敏, 王瑞, 等. 陆相湖盆浅水三角洲沉积体系研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2012, 31(5): 93-104.
- [6] 张在鹏, 寇静, 滕宝刚, 等. 孤北洼陷沙三段储层物性控制因素探讨[J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2017, 31(4): 1-4.
- [7] 贾超超, 刘腾. 孤北地区沙三段沉积环境粒度概率曲线特征[J]. 地下水, 2017, 39(2): 209-221.
- [8] 张悦. 孤北洼陷沙三段储层物性特征及其影响因素[J]. 地质科技情报, 2017, 36(2): 215-221.
- [9] 孙相灿. 冀中坳陷深县凹陷东营组沉积特征研究与岩性圈闭预测[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学, 2010.
- [10] 杨晓敏, 张本华, 朱之锦, 等. 孤北地区低渗透储层测井评价[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(2): 26-28.
- [11] 剧永涛, 刘豪, 辛仁臣, 等. 黄河口凹陷西北部滑塌浊积扇沉积特征[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2011, 33(6): 31-38.
- [12] 李启涛. 孤北洼陷西部沙三段沉积体系与油气富集关系[J]. 新疆石油地质, 2012, 33(5): 520-522.
- [13] 石世革. 孤北洼陷浊积水道砂体预测与岩性油气藏勘探[J]. 特种油气层, 2016, 23(3): 16-20.
- [14] 杨剑萍, 赵卫卫, 姜在兴. 沾化凹陷孤北油田古近系沙三段扇三角洲沉积特征及油气储层意义[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(2): 157-161.
- [15] 秦永霞, 尚延安, 方旭庆, 等. 孤北洼陷西斜坡沙三段中亚段储集体特征[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(4): 10-11.