

牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层特征及油气富集规律

崔杰^{1,2}, 张伟³

1. 中国石油大学(北京)地球科学学院, 北京 102249
2. 中石化胜利工程有限公司钻井工艺研究院, 东营 257017
3. 中石化胜利油田分公司现河采油厂, 东营 257068

摘要 综合利用钻井岩心、测录井、试油等资料,通过岩心观察、薄片鉴定、物性测试、流体包裹体分析等技术方法,对牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层特征、油气分布特征进行研究,总结油气富集规律。牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层主要为岩屑质长石砂岩,以细砂岩为主,主要发育中高孔低渗特低渗透储层,储集空间类型以原生孔隙为主,次生孔隙较发育;压实作用中等,碳酸盐胶结为主,硅质胶结较发育,长石溶蚀最为常见。储层含油性物性之间没有明显的对应关系,而是受埋深、地层压力和储层物性的综合控制。平面上油层围绕生烃中心和油源断层呈环带式分布,地层压力高值区与油源断层发育区是油气富集的有利场所。油气富集受烃源岩与储层的空间配置和烃源岩热演化与储层物性演化时间上的配置决定,不同埋深浅部储层不含油,深部储层易含油;相同埋深低物性储层不含油,高物性储层易含油;断层和地层超压发育区储层易含油。

关键词 储层特征;油气富集;浊积岩;牛庄洼陷

中图分类号 TE122

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.15.004

Characteristics and oil and gas enrichment pattern of turbidite reservoir in the middle of third member of the Shahejie formation in Niuzhuang sub-sag

CUI Jie^{1,2}, ZHANG Wei³

1. College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing 102249, China
2. Research Institute of Drilling Technology, SINOPEC Petroleum Engineering & Construction Shengli Corporation, Dongying 257017, China
3. Xianhe Production Factory, Shengli Oilfield Company, SINOPEC, Dongying 257068, China

Abstract The characteristics of turbidite reservoir and oil and gas distribution and enrichment pattern in the middle of third member Shahejie formation in Niuzhuang sub-sag have been investigated through core observation, thin section identification, property test and fluid inclusion analysis using drilling core, logging and oil testing data. The turbidite reservoirs in the study area are mainly lithic arkoses, containing fine sandstone, with middle-high porosity and low permeability. The space types in the reservoir are mainly primary pores, and secondary pores also develop, with moderate compaction dominated by carbonate cementation and siliceous cementation in the secondary place, and feldspar dissolution is the most common dissolution. The oil content has no apparent corresponding relationships with physical properties of the reservoir, but is controlled comprehensively by buried depth, formation pressure and physical properties of the reservoir. In plane, oil layers have a ring type distribution around hydrocarbon generation center and oil source fault, and areas with high formation pressure and oil source fault development are the favorable places for oil and gas enrichment. Oil and gas accumulation is determined by the spatial allocation relationship of hydrocarbon source rocks and

收稿日期:2015-04-02;修回日期:2015-05-14

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA09A215)

作者简介:崔杰,高级工程师,研究方向为石油地质学、钻井行业模型,电子信箱:guidestars@sohu.com

引用格式:崔杰,张伟.牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层特征及油气富集规律[J].科技导报,2015,33(15):32-37.

reservoirs, and the timing allocation relationship of thermal evolution of hydrocarbon source rock and physical evolution of the reservoir. Reservoirs of shallow buried depth are oil-free, whereas those in deep areas tend to be oily. Reservoirs of similar buried depth tend to be oil-free in areas with poor physical properties and oil-rich in areas with good physical properties, and oil is likely to accumulate in fault-abundant and overpressured formation areas.

Keywords reservoir characteristics; oil and gas enrichment; turbidite; Niuzhuang sub-sag

随着油气勘探程度的不断加深,岩性油气藏成为现阶段油气勘探的重点目标^[1]。浊积岩由于被烃源岩包裹,成藏条件优越,成为现阶段岩性油气藏勘探的首选对象^[2]。东营凹陷牛庄洼陷沙三中亚段沉积时期,湖盆水体深度大,物源充足,在东营三角洲前缘形成了大量的滑塌浊积岩沉积。洼陷带浊积岩作为东营凹陷一种重要的岩性油气藏类型,已累计上报探明石油地质储量 2.6×10^8 t^[3],勘探开发潜力巨大。前期勘探实践表明,浊积岩储层含油分布规律复杂,储层物性与含油性之间并不存在明显的对应关系^[4];不同埋深储层含油差异性明显,相同埋深储层含油性也存在较大差异^[5,6]。针对浊积岩油藏的含油性差异性问题,前人主要从砂体分布^[7]、断层输导^[8]、古流势^[9]、成藏动力^[6,9]、储层物性^[9]等方面开展了大量研究,但是并未探讨储层成岩储集特征对浊积岩储层含油性的影响。本研究以牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层为例,在浊积岩储层成岩储集特征研究的基础上,根据储层现今含油分布特征,总结储层成岩储集特征对浊积岩储层含油性的影响,明确浊积岩储层的油气富集规律。

1 浊积岩储层特征

1.1 储层岩石学特征

根据岩石薄片鉴定结果等资料统计表明,牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层以岩屑质长石砂岩为主,少量长石质岩屑砂岩。研究区砂岩碎屑颗粒中,石英含量为34%~60%,平均为42.85%;长石含量为25%~43%,平均为32.93%,其中钾长石含量平均为16.57%,斜长石含量平均为16.36%;岩屑含量为9%~36%,平均为23.78%,其中火山岩岩屑占5.53%,变质岩岩屑占16.42%,沉积岩岩屑占1.88%。岩石类型以细砂岩和粉砂岩为主,少量中粗砂岩;颗粒磨圆呈次棱角状-次圆状,分选中等-差;杂基含量中等,颗粒以点-线接触为主,胶结物类型多样,主要为高岭石、方解石、铁方解石、铁白云石和硅质胶结物,孔隙式胶结为主。整体上,储层岩石成分成熟度和结构成熟度均较低。

1.2 储层储集特征

通过对研究区实测物性统计,孔隙度平均为15.67%,其中孔隙度在10%~15%(低孔)的储层占23.04%,15%~25%(中孔)的储层占60.73%,两类储层占总储层的80%以上。渗透率分布平均为 $18.84 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,其中渗透率在 $0.1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (超低渗)的储层占25.63%, $1 \times 10^{-3} \sim 10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (特低渗)的储层占40.09%, $10 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (低渗)的储层占25.57%,三类储层占总储层的80%以上,以中低孔-低渗特低渗储层为主。

通过岩石铸体薄片分析,浊积岩储层储集空间类型包括原生孔隙、混合孔隙和次生孔缝。以原生孔隙为主,主要为压实剩余原生孔隙(图1(a))、胶结剩余原生孔隙以及杂基间微孔。混合孔隙主要为粒间溶扩孔隙(图1(b)),以长石颗粒边缘的溶蚀扩大最为常见,可见石英及其加大边的溶蚀扩大。次生孔缝类型多样,次生孔隙主要包括碎屑颗粒内部溶蚀孔隙(图1(b))和胶结物内部溶蚀孔隙(图1(g));还可见到强烈溶蚀作用形成的铸模孔隙和超大孔隙;此外,由长石溶蚀作用形成的大量高岭石晶间孔隙发育(图1(c))。次生裂缝包含构造和超压成因微裂缝及成岩收缩缝。由于浊积岩属重力流沉积,储层原始沉积杂基含量较高,故杂基微孔含量较高;加之在相对封闭环境下大量长石溶蚀转化为晶间孔发育的高岭石集合体,这些微孔的存在使得在相同的孔隙度下渗透率大大降低^[10],因而在中高孔低渗储层中最为发育。

1.3 储层成岩特征

研究区储层成岩作用事件类型主要有压实作用、胶结作用、交代作用和溶解作用(图1(b)~(h))。压实作用中等,颗粒以点接触和线接触为主(图1(d));由于浊积岩储层超压发育,储层压实作用整体受到抑制,在相同的深度,相较其他沉积相类型的储层压实作用偏弱。胶结作用以碳酸盐胶结为主,根据胶结物类型和产状,可以将其划分为不同的期次。同沉积期以泥晶碳酸盐胶结和菱铁矿胶结为主,泥晶碳酸盐呈团块状和星点状分布,晶粒状菱铁矿可见团块状(图1(e))或颗粒包壳状分布。早期碳酸盐以基底式和孔隙式胶结方解石为主;晚期碳酸盐以孔隙式胶结铁方解石和铁白云石胶结为主(图1(f)、(i)),铁方解石多为连晶状,铁白云石多为晶粒状。硅质胶结以石英次生加大为主(图1(a)、(h)、(i)),石英次生加大可见两期;黏土矿物胶结以高岭石胶结最为常见,单晶体呈假六方板状,集合体呈蠕虫状,晶间孔发育(图1(c)、(l))。溶解作用主要表现为长石(图1(b)、(d)、(k))、岩屑颗粒及碳酸盐胶结物(图1(g)、(j))等酸性不稳定矿物的溶解,多形成粒内溶孔及溶扩孔,此外可见少量石英及其次生加大边的溶蚀。交代作用普遍发育,主要为碳酸盐胶结物之间的交代和碳酸盐胶结物对碎屑颗粒及其他胶结物的交代、高岭石对长石的交代等,其中胶结物之间的交代常见白云石交代方解石、铁方解石交代方解石、铁白云石交代方解石、及铁白云石交代铁方解石(图1(f))、铁白云石交代石英加大边(图1(h))等。整体上,有利的沉积条件是优质储层发育的基础,长石和碳酸盐胶结物的溶蚀等建设性成岩作用的发育是储层后期物性增加的有利条件,良好的沉积条件和建设性的成岩作用是储层发育的主控因素。

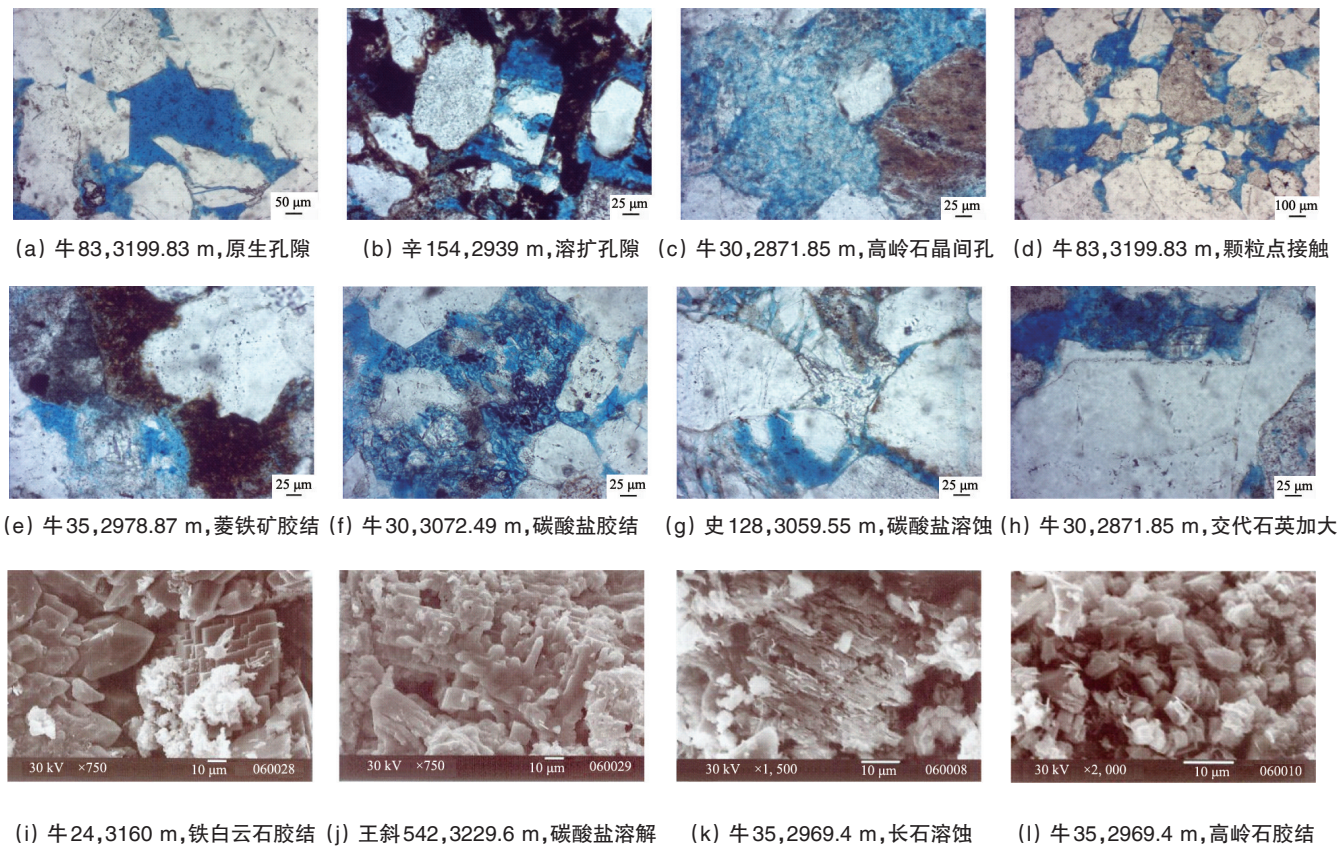


图1 牛庄洼陷浊积岩储层成岩作用及储集空间特征

Fig. 1 Diagenesis and pore characteristics of turbidite reservoirs in Niuzhuang sub-sag

根据交代作用和溶蚀充填作用反应的成岩矿物之间形成的先后顺序,综合烃类充注与成岩矿物之间形成顺序研究,总结牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层的成岩演化序列为:早期菱铁矿、泥晶碳酸盐胶结→第1期长石溶蚀→第1期烃类充注开始→石英加大/自生高岭石充填→中期方解石/白云石/含铁方解石/含铁白云石胶结→第1期烃类充注结束→石英加大边溶蚀/长石次生加大→第2期长石溶蚀/碳酸盐溶蚀→第3期烃类充注开始→石英加大/自生高岭石充填→晚期铁方解石/铁白云石胶结/黄铁矿胶结,压实作用贯穿于整个埋藏演化过程(图2)。根据研究区储层埋藏演化史及有机质热演化史研究,结合不同成岩矿物的成岩环境指征意义,认为研究区储层成岩环境整体经历了由弱碱性到酸性到碱性到现今弱酸性的演化过程。早期主要受沉积水弱碱性环境控制^[11],持续时间为42~38 Ma;随着埋深增大,下部沙三下亚段与沙四上亚段优质烃源岩有机质演化产生大量有机酸^[12],地层环境变为酸性,地层温度在80~120℃之间,持续时间为38.0~28.0 Ma;埋深持续增大,有机酸脱羧分解,下部沙四下亚段膏岩层碱性流体控制成岩环境为碱性^[13],持续时间为28.0~16.4 Ma;东营运动使得地层抬升,有机酸再次生成,地层环境变为酸性,持续时间为16.4~5.0 Ma;5.0 Ma至今沙三中亚段烃源岩开始生成有机酸,地层环境持续弱酸性。

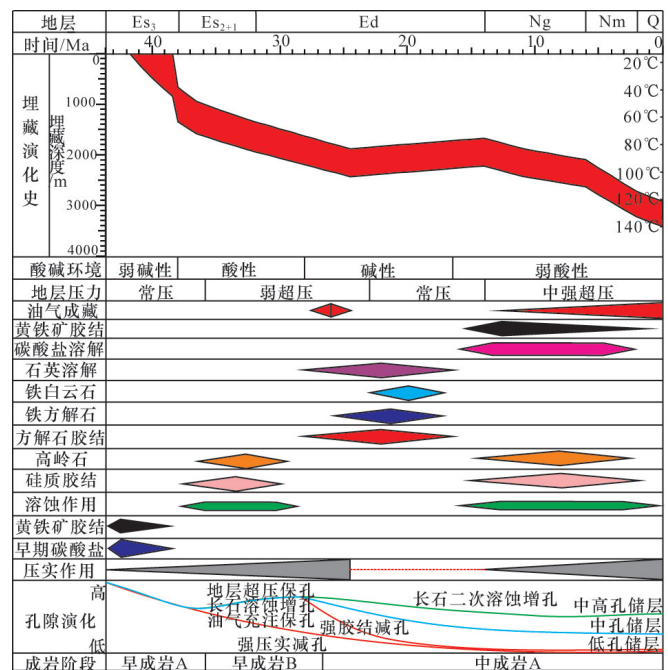


图2 牛庄洼陷浊积岩储层成岩演化过程及特征

Fig. 2 Diagenetic evolution and characteristics of turbidite reservoirs in Niuzhuang sub-sag

2 浊积岩储层含油性特征

2.1 浊积岩储层油气成藏期次

根据烃类包裹体的颜色及荧光颜色,可以把样品中的烃类包裹体分为3期:第1期烃类包裹体发暗黄色-黄色荧光,代表了较低的成熟度,这类烃类包裹体透射光下颜色呈深褐色-褐色,个体较大;第2期烃类包裹体发黄绿色-蓝绿色荧光,成熟度较高,透射光下多为淡褐色或浅灰色,样品中此类包裹体发育最多,代表了主成藏期的流体活动;第3期烃类包裹体发蓝色荧光,代表了高的成熟度,此类包裹体透射光下无色,有气液两相的,也有单一液相的,且气液两相包裹体有的能够均一,有的不能均一,说明油气成藏时流体性质的非均一性或油气分布的差异性。综合各井的测温数据,牛庄洼陷沙中亚段浊积砂体中共发育了3期流体包裹体,第2期烃类包裹体最为发育,1期和3期烃类包裹体相对较少。由均一温度可知,第1期烃类包裹体均一温度介于50~90℃,集中于60~70℃,盐水包裹体均一温度介于90~110℃,集中于100~110℃;第2期烃类包裹体均一温度介于50~100℃,集中于60~90℃,盐水包裹体均一温度介于90~120℃,集中于100~110℃;第3期烃类包裹体均一温度分布较为分散,说明当时不同地区成藏条件的差异性,盐水包裹体均一温度介于100~120℃之间,多在110℃以上。通过不同成藏期包裹体均一温度测试及埋藏史分析确定油气成藏的时间:第1期27.5~24.6 Ma,第2期14.0~5.0 Ma,第3期5.0~0 Ma,主要的成藏期为第2期,如图3所示。

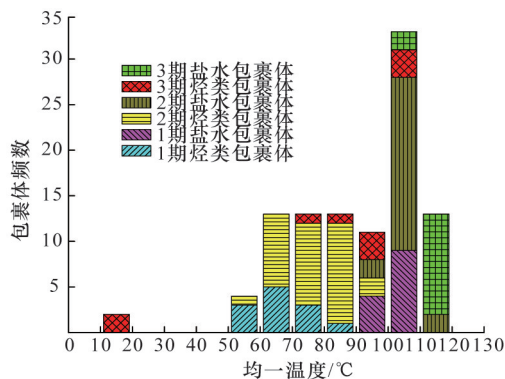


图3 牛庄洼陷浊积岩储层流体包裹体均一温度分布

Fig. 3 Homogenization temperature histograms for fluid inclusions of turbidite in Niuzhuang sag

2.2 浊积岩储层油气分布特征

1) 不同物性储层油气分布特征。

通过统计东营凹陷沙中亚段浊积岩不同含油级别储层的孔隙度、渗透率,根据不同含油级别储层孔隙度-渗透率交汇图(图4(a))发现不同含油级别的储层孔渗关系及其大小没有显著差异。油层、油水同层、含油水层、水层及干层中孔隙度小于10%储层物性数据点分别占该类储层总物性数据点的8.17%、6.41%、7.07%、14.89%和49.72%,渗透率小于

$1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 储层物性数据点分别占该类储层总物性数据点的18.92%、14.18%、22.60%、23.91%和71.84%。油层、油水同层、含水层、水层及干层孔隙度大于15%储层物性数据点分别占该类储层总物性数据点的71.82%、81.80%、72.83%、59.57%和19.55%,渗透率大于 $50 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 储层物性数据点分别占该类储层总物性数据点的10.65%、23.05%、11.86%、4.35%及6.90%。浊积岩储层含油性与物性对应关系不明显,含油储层中低物性储层占一定比例,含油储层与水层物性差异不明显,相同物性的储层含油性差异明显。

2) 不同埋深储层油气分布特征。

分别统计沙中亚段浊积岩储层大于3 km和小于3 km深度段内油层、油水同层、含水层、水层和干层占储层的比例。埋深小于3 km的储层中水层的比例明显高于埋深大于3 km的储层中水层的比例,而埋深大于3 km的储层中油层比例明显增多,随埋深的增加,含油储层的比例逐渐增大,且含油性变好。根据东营凹陷沙中亚段浊积岩镜质体反射率值 R_o ,对沙中亚段进行成岩阶段的划分,在3 km左右, R_o 值达到0.5%,进入中成岩开始生烃阶段;并且3 km以下烃源岩靠近沙三下优质烃源岩,以 II_2 及 II_1 型有机质为主,有机质丰度高,成熟度高;3 km以上烃源岩以 III 及 II_2 型有机质为主,有机质丰度低,成熟度低。大规模生烃深度(3 km)以上以干层、水层为主,大规模生烃深度(3 km)以下以油层为主(图4(b))。

3) 油气平面分布特征。

浊积岩储层含油性在平面上的分布主要受断层和地层压力的控制。3 km以上的储层,断层不发育时基本不含油,油气主要围绕断层分布;3 km以下的储层,断层发育含油饱和度,含油分布面积大,断层不发育时在高层压力区含油饱和度高且含油面积大。整体上油气围绕生烃中心和油源断层,呈环带式分布,地层压力高值区与油源断层发育区是油气富集的良好场所(图4(c))。

3 浊积岩储层油气富集规律

在明确储层特征及含油分布特征的基础上对浊积岩储层的油气富集规律进行探讨,认为烃源岩与储层的空间配置和烃源岩热演化与储层物性演化时间上的配置是决定储层油气富集与否的根本原因。

浅层高物性储层不含油主要是由于距成熟烃源岩较远,加之地层压力较小,在没有油源断层输导的情况下,油气很难运移到浅层形成油气藏(特别是第1期油气);相反,在断层发育的情况下,浅部储层也可以形成油气藏,但整体上浅层以水层为主,油层较少。深层低物性储层含油主要是由于油气成藏时期储层物性较好(第1期油气)^[4],油气成藏以后经历了复杂的成岩演化过程,导致储层物性降低;此外,随着埋深增加,距烃源岩较近,地层压力增加,油气成藏动力变大(第2、3期油气),使得相对浅层物性较低的储层也能成藏;整体上深层以油层为主。

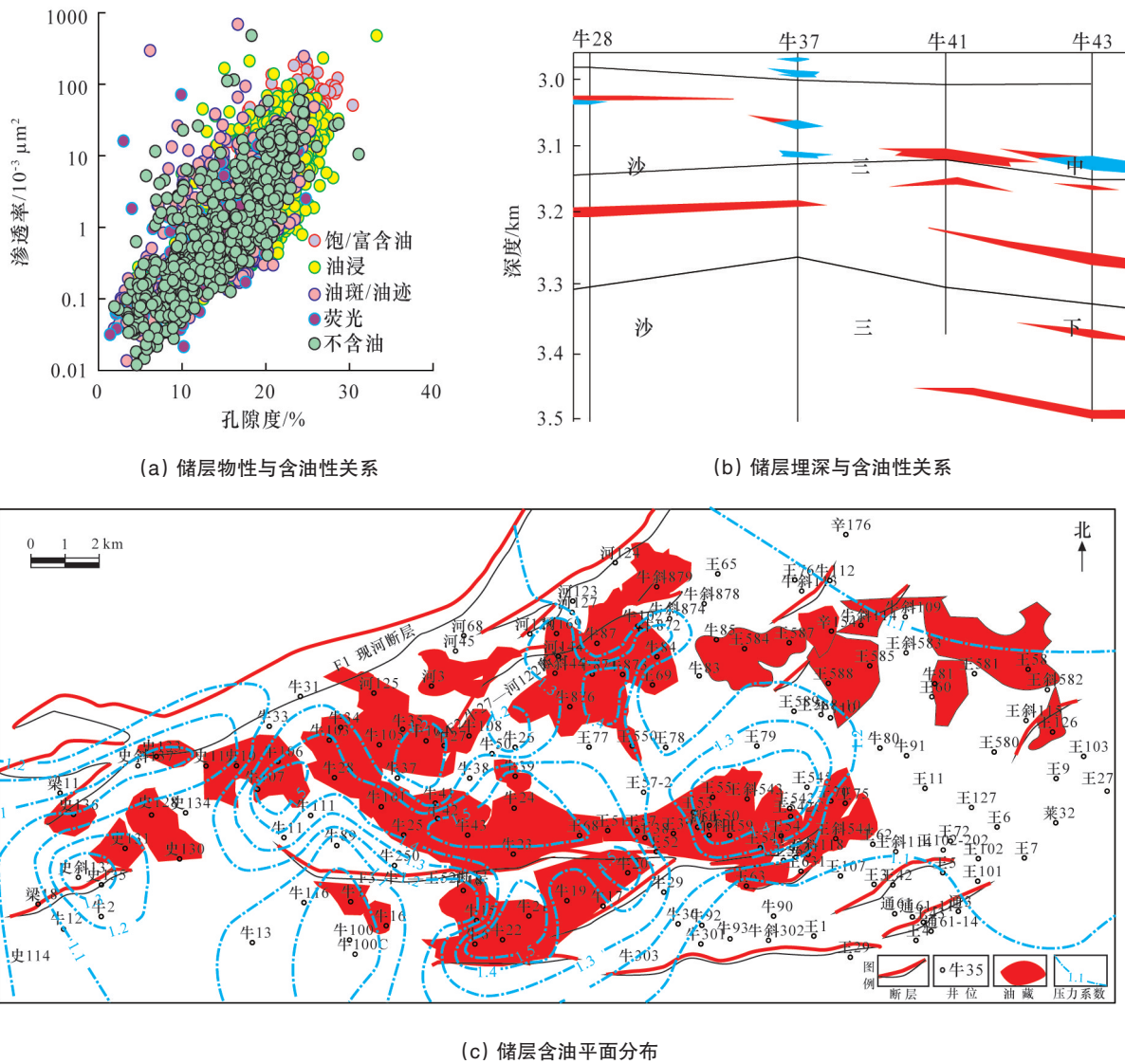


图4 牛庄洼陷浊积岩储层油气分布规律示意

Fig. 4 Oil and gas distribution of turbidite reservoirs in Niuzhuang sub-sag

相同埋深储层含油差异性主要受储层物性控制,由于沉积条件和成岩作用的差异,导致相同埋深的储层也存在明显的差异。薄层砂体由于受泥岩高矿化度孔隙水影响显著,并且沉积时水动力较弱,泥质含量较高,储层以强压实和强胶结作用为主,溶蚀作用不发育,储层物性较差。厚层砂体边部受泥岩高矿化度孔隙水影响形成钙质包壳^[4],储层中间砂体胶结作用弱,溶蚀作用强,储层物性较高,利于油气的储集。在埋深相同,成藏动力相同的情况下,由于储层物性级差的存在^[4],使得油气沿断层或微裂缝等运移通道优先进入溶蚀作用发育、物性较好的储层。导致相对高物性储层含油性较好,低物性储层不含油。

以浊积岩储层与烃源岩空间配置关系为基础,以储层物性演化与烃源岩热演化时间配置为核心,探究浊积岩储层成岩成藏过程,能够为现阶段浊积岩储层的含油分布特征提供

合理的解释,明确储层含油分布规律。

4 结论

1) 牛庄洼陷沙三中亚段浊积岩储层主要为岩屑质长石砂岩,以细砂岩为主,主要发育中高孔低渗透储层,储集空间类型以原生孔隙为主,次生孔隙较发育;压实作用中等,碳酸盐胶结为主,硅质胶结较发育,长石溶蚀最为常见。

2) 牛庄浊积岩储层经历了3期油气成藏,油气分布复杂,储层物性与含油性之间不存在明显对应关系;埋深小于3 km以水层为主,埋深大于3 km以油层为主;平面上油层围绕生烃中心和油源断层呈环带式分布,压力高值区与油源断层发育区是油气富集的有利场所。

3) 牛庄洼陷烃源岩热演化与浊积岩储层物性演化在时空上的匹配关系是决定浊积岩储层油气富集的根本原因。

参考文献 (References)

- [1] 李丕龙, 庞雄奇, 陈冬霞, 等. 济阳拗陷砂岩透镜体油藏成因机理与模式[J]. 中国科学: D辑, 2004, 34(增 1): 143-151.
Li Peilong, Pang Xiongqi, Chen Dongxia, et al. Hydrocarbon accumulation conditions and model of lenticular sandbody reservoirs in the Jiyang depression[J]. Science in China: Series D, 2004, 34(Suppl 1): 143-151.
- [2] 郝雪峰. 古油势和低序次断层与砂岩透镜体圈闭含油性的关系——以东营凹陷牛庄洼陷沙三段中亚段为例[J]. 油气地质与采收率, 2012, 19(3): 6-10.
Hao Xuefeng. Relationship between paleo-fluid potential and sub-seismic faults and hydrocarbon saturation in lenticular sand body traps: Case of lithological reservoirs in Niuzhuang sag, Dongying depression [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2012, 19(3): 6-10.
- [3] 张鹏飞. 东营凹陷洼陷带沙三段中亚段浊积岩成藏条件分析[J]. 岩性油气藏, 2012, 24(3): 61-65.
Zhang Pengfei. Hydrocarbon accumulation conditions of turbidite in the middle sub-member of the third member of Shahejie formation in sub-depression belt of Dongying sag[J]. Lithologic Reservoirs, 2012, 24(3): 61-65.
- [4] 刘明洁, 刘震, 王标, 等. 成藏期砂岩孔隙度对油气分布的控制作用——以东营凹陷牛庄洼陷沙三段中亚段岩性油藏为例[J]. 地质科学, 2014, 49(1): 147-160.
Liu Mingjie, Liu Zhen, Wang Biao, et al. The controls of sandstone paleo-porosity in accumulation period to hydrocarbon distribution: A case study from Es₃^{Md} in Niuzhuang sag, Dongying depression[J]. Chinese Journal of Geology, 2014, 49(1): 147-160.
- [5] 张善文, 曾溅辉, 肖焕钦, 等. 济阳拗陷岩性油气藏充满意度大小及分布特征[J]. 地质论评, 2004, 50(5): 365-369.
Zhang Shanwen, Zeng Jianhui, Xiao Huanqin, et al. Oil-gas filling degree and distribution characteristics of the lithological oil-gas reservoir in the Jiyang depression[J]. Geological Review, 2004, 50(5): 365-369.
- [6] 庞雄奇, 陈冬霞, 姜振学, 等. 隐伏砂岩透镜体成藏动力学机制与基本模式[J]. 石油与天然气地质, 2007, 28(2): 216-228.
Pang Xiongqi, Chen Dongxia, Jiang Zhenxue, et al. Mechanism and basic modes of petroleum accumulation dynamics in subtle sandlens reservoir[J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 216-228.
- [7] 李虎山, 吴云桐, 吕义军, 等. 牛庄地区沙三段远岸浊积扇发育与分布规律[J]. 油气地质与采收率, 2003, 10(2): 11-13.
Li Hushan, Wu Yuntong, Lü Yijun, et al. Development and distribution rule of far bank turbidite fan in Es₃ of Niuzhuang area[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2003, 10(2): 11-13.
- [8] 蔡李梅, 陈红汉, 李纯泉, 等. 济阳拗陷东营凹陷沙三段中亚段流体包裹体古流体势场恢复[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(1): 17-25.
Cai Limei, Chen Honghan, Li Chunquan, et al. Reconstruction of the paleo-fluid potential field of Es₃ in the Dongying sag of the Jiyang depression with systematic fluid inclusion analysis[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(1): 17-25.
- [9] 陈冬霞, 庞雄奇, 邱楠生, 等. 砂岩透镜体成藏机理[J]. 地球科学, 2004, 29(4): 3-12.
Chen Dongxia, Pang Xiongqi, Qiu Nansheng, et al. Accumulation and filling mechanism of lenticular sandbody reservoirs[J]. Earth Science, 2004, 29(4): 3-12.
- [10] Giles M R, De Boer R B. Origin and significance of redistributional secondary porosity[J]. Marine and Petroleum Geology, 1990, 7(4): 378-397.
- [11] 漆滨汶, 林春明, 邱桂强, 等. 山东省牛庄洼陷古近系沙河街组沙三段中亚段储集层成岩作用研究[J]. 沉积学报, 2007, 25(1): 99-109.
Qi Binwen, Lin Chunming, Qiu Guiqiang, et al. Reservoir diagenesis of the intermediate section in member 3 of Shahejie Formation (Paleogene) in Niuzhuang sub-sag, Shandong Province[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(1): 99-109.
- [12] Surdam R C, Crossey L J, Hagen S E, et al. Organic-inorganic interactions and sandstone diagenesis[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(1): 1-12.
- [13] 王艳忠. 东营凹陷北带古近系次生孔隙度发育带成因机制及演化模式[D]. 青岛: 中国石油大学(华东), 2010.
Wang Yanzhong. Genetic mechanism and evolution model of secondary pore development zone of paleogene in the north zone in Dongying depression[D]. Qingdao: China University of Petroleum, 2010.
- [14] 漆滨汶, 林春明, 邱桂强, 等. 东营凹陷古近系沙河街组砂岩透镜体钙质结壳形成机理及其对油气成藏的影响[J]. 古地理学报, 2006, 8(4): 519-530.
Qi Binwen, Lin Chunming, Qiu Guiqiang, et al. Formation mechanism of calcareous incrustation in lenticular sandbody of the Shahejie formation of paleogene and its influence on hydrocarbon accumulation in Dongying sag[J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 8(4): 519-530.

(责任编辑 刘志远)

 科技导报
SCIENCE & TECHNOLOGY REVIEW

《科技导报》“卷首语”栏目征稿

“卷首语”栏目每期邀请一位中国科学院院士和中国工程院院士就重大科技现象、事件,以及学科发展趋势、科学研究热点和前沿问题等,撰文发表个人的见解、意见和评论。本栏目欢迎院士投稿,每篇文章约2000字,同时请提供作者学术简历、工作照和签名电子文档。投稿邮箱:kjdbbjb@cast.org.cn。