

文章编号: 1009-3850(2004)03-0096-06

储层微观动态地质作用与剩余油研究 ——以胜利油区胜坨油田沙二段为例

王登稳

(胜利油田东胜精攻石油开发集团股份有限公司, 山东 东营 257000)

摘要: 长期注水开发油田的开发流体, 长期对储集层进行浸泡、驱动, 使储集层的众多微观孔隙与喉道的极其微小空间发生风化、剥蚀、溶解和沉积等微观动态地质作用。这些地质作用是由于开发流体打破了地下的动态平衡产生的, 它对储集层的岩石骨架、孔隙和喉道等进行改造和破坏, 进而控制剩余油的形成与分布, 并使得微观剩余油存在多种分布模式。研究指出微观动态地质作用是储集层随开发而发生变化的重要原因, 是控制剩余油形成和分布的基本因素。微观动态地质作用长期持续存在, 并对储集层进行改造和破坏, 使得储集层中的剩余油分布更复杂。

关键词: 微观动态地质作用; 剩余油; 三角洲储层; 胜坨油田; 山东

中图分类号: TE33

文献标识码: A

1 引言

剩余油研究是油田在开发过程中必须考虑和研究的问题。在长期注水开发影响下, 地下储集层的矿物组成、胶结物成分、含量、粒度及孔隙度、渗透率等因素都将发生改变, 从而导致地下储集层中剩余油的分布规律复杂化。储层孔隙度等参数的改变是储层微观内在因素改变的综合反映, 但往往缺乏深层次研究引起这些参数变化的内在机理和因素。由于受资料和认识程度等原因的限制在研究剩余油时往往注重其宏观分布规律^[1~3], 或在实验室中做模拟实验来研究微观剩余油^[4, 5], 较少根据油田现有资料从微观角度, 利用的岩心分析资料研究储集层的微观变化及其与剩余油的关系。本文引入微观动态地质作用的概念, 研究长期注水开发油田的储层变化, 并研究其与剩余油形成和分布的关系。

长期注水开发的油田, 由于开发流体长期对储集层进行浸泡、驱动, 使储集层的众多微观孔隙与喉

道相互连通的微小空间发生风化、剥蚀、溶解和沉积作用。它对储集层的岩石骨架、孔隙和喉道等进行改造和破坏, 这种作用随注水开发动态而发生改变, 笔者将这些长期作用的微观风化、剥蚀、溶解和沉积作用称为微观动态地质作用。这些微观动态地质作用长期持续存在, 使储层的微观属性发生物理、化学变化, 致使储层宏观特征和宏观参数也发生较大变化, 并使剩余油分布更加复杂。

研究选择了资料齐全的胜利油区, 对胜坨油田二区沙二段第8砂组第三小层的(8³)三角洲储集层进行剖析。

2 地质背景

胜坨油田位于济阳坳陷东营凹陷北部的坨庄-胜利村-永安镇二级构造带的中段, 北面为陈家庄古凸起, 东临垦东-青坨子古凸起, 西为利津生油洼陷, 东南临民丰生油洼陷, 具有优质生油区和丰富的物源供给区。胜坨油田是一被断层复杂化的背斜构造

油藏,它是胜北大断层下降盘上的逆牵引背斜构造,具有良好的油气封闭条件,是胜利油区的一个油源、物源均丰富的油气田。其中二区位于胜坨油田(图1),研究目的层 8^3 的沉积相为三角洲前缘相的河口砂坝和远砂坝沉积^[6],砂体连片性好,储层物性以高孔中渗为主,平均孔隙度28%,平均渗透率 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,岩性以中细砂岩为主,主要岩石矿物为长石和石英。具有含油井段长,油层厚,非均质严重等特点。胜坨油田在各个开发阶段均有钻井取心资料,且在二区比较集中,为本文研究提供了资料基础。

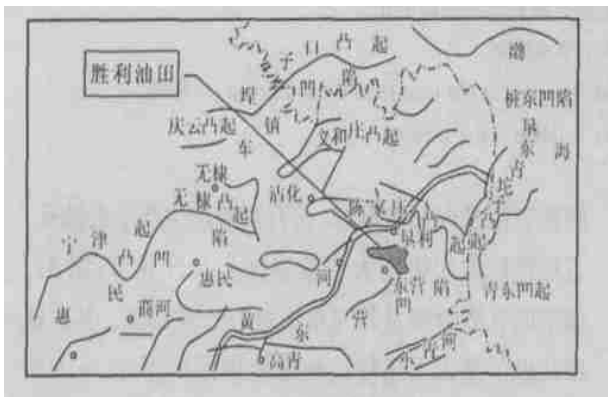


图1 胜坨油田位置图

Fig. 1 Location of the Shengtuo Oil Field

该油田1964年投入开发,开发初期经过短时间天然能量开采后,于1966年进行注水开采。由于开发初期多层位合采,造成地下层间干扰严重,油水运动关系复杂,使得平面和层间水驱差异大,非均质性强,出现了注水见效低等现象。后来经过多次开发调整,目前全油田处于特高含水开发阶段,综合含水高达96%以上。经过近40年的注水开发,地下的储集层在微观动态地质作用下发生巨大变化,生产矛盾日益加剧。探讨微观动态地质作用对三角洲储集层的改造和破坏,并研究这些地质作用对剩余油形成与分布的影响,进而为油田生产开发管理和提高油气采收率提供可靠地质依据。

3 微观动态地质作用的成因类型

油田一旦投入开发,地下油气层的原始平衡状态就被破坏,储集层中发生微观地质作用。长期注水开发的油藏,由于每天有大量的注入量和采出量,注入水和储集层中地层水及油充分混合,这些混合流体在储集层中长期渗流,对储集层进行改造和破坏,这种改造和破坏往往深入到整个储集层中相互

连通的众多极其微小的微观孔隙空间范围。研究表明微观动态地质作用的类型是多样的,它们对剩余油的形成与分布的影响也是多方面的。根据其作用形式和影响效果,可将微观动态地质作用分为物理地质作用和化学地质作用两大类。

1. 微观动态物理地质作用

这类地质作用指由于长期注水开发而使地下储集层发生的各种物理变化。包括物理风化、机械搬运和机械沉积等三种类型。

注水开发油田注入水温度通常比地下储集层中地层温度低。胜坨油田二区 8^3 层的地层温度在油田刚投入开发时一般在 90°C 左右,注水开发初期注入的黄河淡水的平均温度在夏天仅 20°C 左右,而冬天仅 10°C 左右甚至更低,温差高达 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 。即使后来进行污水回注,注入水的温度也仅仅在 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ 左右,温差仍达 $40 \sim 50^\circ\text{C}$ 。这么大的温差长期持续作用使储集层中岩石颗粒的表面和内部产生不协调的收缩与膨胀,导致地下储集层中的岩石颗粒及部分脆性的胶结物在原地产生机械破碎,从而发生物理风化作用。在注水开发初期尽管注入水与地层水的温差大,但此时岩石抗风化能力较强而不易风化;在中含水阶段由于水的浸泡岩石的抗风化能力下降此时物理风化作用强。根据大量的岩心薄片观察,在中含水阶段出现明显的物理风化作用,岩石颗粒开始破裂(图1a);当进入高含水开发阶段,并改为污水回注时,虽然注入水与地层水的温差要小得多,但在前面物理风化的基础上进一步物理风化,此时岩石颗粒破碎严重(图1b)。这种物理风化作用一般使地下储集层的连通孔隙增大,宏观特征的反映是储层孔隙度稍有增大,渗透率略有增加。

由于油田开发不断进行,开发流体在地下储层中沿注水井方向向采油井方向定向流动,对微细粒的碎屑物质产生一个向前的推动力,使得物理风化剥蚀产物和地下储层中微细的长石、粘土、地层微粒等在储集层的连通孔隙中滑动或滚动,被搬运而离开原地。

由于开发流体的流速不稳定,流体将被搬运的物质带到特定的场所后,因周围环境发生改变而停止搬运。其中一部分碎屑由于颗粒细小或因流速较大而被采出地表,在采油井中出现固体颗粒就充分说明这一点。另一部分则因流体流速改变而发生沉积作用(图2)。这种沉积又可分为两种,一种由于颗粒较大而孔隙喉道较小,因此颗粒无法通过喉道而在细小喉道部位停止搬运,从而形成卡堵沉积;另

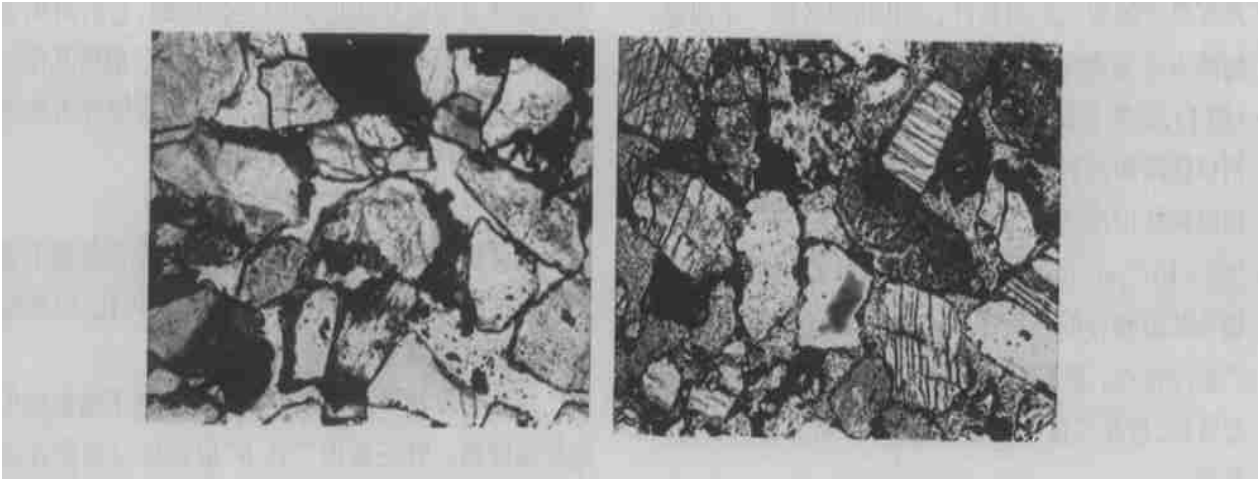


图 2 长期注水开发油田的储层微观动态物理风化
a. 中含水阶段; b. 高含水阶段

Fig. 2 Microdynamic physical weathering of the reservoir rocks in the long-term waterflooding oil fields
a. Moderate water content; b. High water content

一种由于开发流体从相对细小的喉道流入相对粗大的孔隙时流速突然减小, 致使被搬运的微细粒碎屑颗粒因推动力减小而沉积于大孔隙中形成充填式沉积。沉积作用往往使得储集层的连通孔隙减小, 宏观特征的反映是储集层的渗透率减小。

2. 微观动态化学地质作用

这类地质作用是由于长期注水开发而使得地下储集层物质发生化学改变, 并导致物理特征发生变化的作用。它包括化学风化、化学搬运和化学沉积。由于长期注水开发, 开发流体对地下储层的微观动态化学地质作用是明显的, 大量的岩心薄片与电镜资料证明了这点。

胜坨油田在 1965 ~ 1979 年 9 月间长期注入黄河淡水。这些地表淡水的矿化度较低并含有丰富的氧, 平均氧含量为 3 ~ 8mg/l。1979 年 10 月至今一直采取污水回注, 污水中氧的含量一般为 0.01 ~ 0.6mg/l。这些低矿化度并富含氧的注入水进入储层的孔隙空间中, 直接与基质、胶结物及地下流体发生作用。首先这些流体作用使地下储层发生化学风化作用, 导致储层的基质和胶结物中易溶矿物溶蚀, 并使储层中粘土矿物的成分发生变化, 使粘土的总含量减少。表 1 可以看出长期注水开发后高岭石减少, 伊利石相对含量增加。由于储层中的基质和胶结物溶蚀, 使储层的骨架颗粒与注入水接触, 进一步深化储层中骨架矿物的溶蚀, 使长石、石英和岩屑的

颗粒表面及内部被溶蚀, 长石颗粒产生次生溶蚀孔, 石英颗粒的次生加大边被溶蚀呈犬牙状等(图 3), 储层的孔喉骨架及其充填物被改造或破坏。其次这些长期的注入水还使得地层流体发生改变, 一方面由于注入水的矿化度较低, 它与地层流体混合后使得混合流体的矿化度降低, 另一方面由于注入水富含氧, 对地层流体进行氧化, 使得原油的粘度增大。这些变化都对剩余油的形成和分布产生影响。

化学风化的产物一般呈胶体溶液或真溶液形式, 这些溶液可以随采油井采出的液体而被带出到地表, 也可以在环境发生改变的情况下在特定地方

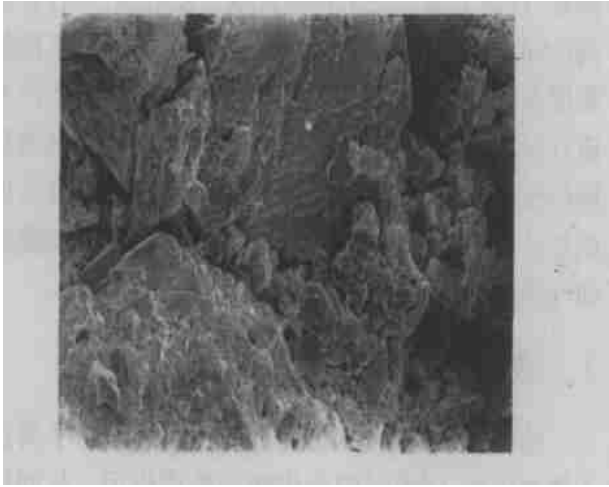


图 3 长期注水开发油田的储层微观动态物理沉积
Fig. 3 Microdynamic physical deposition of the reservoir rocks in the long-term waterflooding oil fields

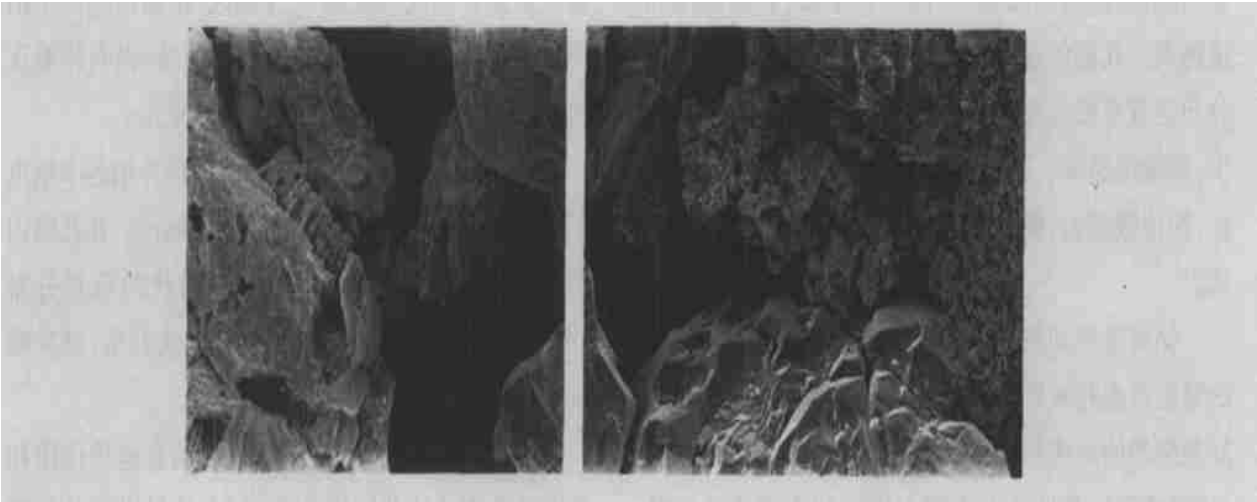


图 4 长期注水开发油田的储层微观动态溶蚀作用
a. 长石溶孔; b. 石英的次生加大边被溶蚀

Fig. 4 Microdynamic erosion of the reservoir rocks in the long-term waterflooding oil fields
a. Solution openings of feldspar ; b. Dissolution of quartz overgrowths

表 1 8³ 层粘土矿物含量统计表

发阶段	平均粘土 含量/ %	粘土矿物组分相对含量/ %			
		伊蒙混层比	高岭石	伊利石	绿泥石
开发初期	8. 1	40. 1	86. 2	2. 4	5. 0
中含水	7. 2	38. 0	85. 5	2. 8	5. 0
高含水	6. 7	33. 2	77. 3	4. 0	5. 1
特高含水	5. 4	24. 5	71. 4	5. 5	5. 2

大且均匀程度越来越好, 孔喉形态逐渐变得规则, 孔隙与孔隙之间的连通程度增加。而沉积作用的存在使得储层的部分孔喉被堵塞且越来越不均匀, 孔喉的迂曲程度增加, 孔隙与孔隙之间越来越不连通。这些微观孔喉特征的改变对剩余油的形成与分布产生很大影响。从胜坨油田二区的资料来看, 目前 8³ 层的风化作用略占上风, 使得储层的宏观总体特征是孔隙度和渗透率略有增加, 从而有利于油田开发。

4 微观动态地质作用与剩余油分布

持续的微观动态地质作用使储层的骨架和孔喉都发生了巨大的变化, 并控制了剩余油形成和分布。

1. 剩余油形成与分布的影响因素

剩余油的微观分布受到孔喉大小、孔喉均匀程度、孔喉形态、孔喉连通度等诸多因素的控制, 这些因素的改变与微观动态地质作用特征密切相关。

一般认为油润湿性储层喉道中的油比孔隙中的油不易卡断^[7], 因而更难驱出, 孔喉比越小则驱油效率越高, 孔隙中的剩余油越少; 孔喉比越大驱油效率越低, 剩余油越富集。由于目前 8³ 层的微观动态地质作用使得孔喉比整体呈减小趋势, 因此剩余油在细孔喉中以及细喉与其它孔隙连通的孔隙中分布, 这可从大量的含油薄片上反映出来(图 6)。孔喉均质程度越高, 注入水的推进阻力就越小, 驱油效

沉积下来, 产生次生加大边等化学沉积, 如图 5 所示为石英次生加大而形成的不规则集合体, 从而改造和破坏储层的孔隙特征。

长期持续的注水开发导致地下储层的水介质中矿物组分和可溶物质长期处于不饱和状态, 使微观动态化学地质作用长期持续地不断进行, 并不断地深化发展, 不断对储层进行改造和破坏。

由于长期注水开发过程中注入量和采出量是动态变化的, 注入水的渗流强度等也是动态变化的, 因此产生的微观动态地质作用是很复杂的, 各种类型往往同时作用, 使得地下储层性质发生较大变化, 并对剩余油的形成和分布产生重大影响。

3. 微观动态地质作用对孔喉特征的改变

长期持续发生的微观动态地质作用对地下储层的孔喉特征产生很大影响。由于注入水及混合流体不断对储层进行风化作用, 使得储层的孔喉逐渐增

率就越高, 剩余油的富集程度越差。孔喉形态越复杂, 孔喉的迂曲程度越大, 油不易驱出, 剩余油饱和度越高。孔隙的连通程度对剩余油在储层中的微观分布起着重要的控制作用, 孔隙连通程度高则孤孔少, 剩余油越少。孔隙连通程度一般用配位数来表征, 配位数越大, 驱油效率越高, 剩余油富集程度越低。

储层微观动态地质作用使得长期注水开发油田的储层微观孔喉特征发生很大变化, 从而影响和控制剩余油的形成与分布。根据胜坨油田二区 83 层目前的资料, 微观动态地质作用有利于驱油效率提高, 有利于提高油田的采收率,

2. 剩余油微观分布模式

通过大量含油薄片观察和分析, 油水在孔喉网络中分布的形态各异, 注水开发初期孔喉中剩余油富集。注水开发后期孔喉中的流体大部分为油水混相, 部分孔喉中剩余油富集。在储层微观动态地质作用下, 微观剩余油有多种分布模式, 8³ 层主要有以下几种模式存在。

网状剩余油: 在孔喉中大部分空间被剩余油充满, 形成网状(图 7a), 这种剩余油的存在可能由于微观动态地质作用对储层的改造和破坏, 使得一定范围的孔隙空间与其它孔隙分隔, 其孔隙中的油

不能被很好驱替, 从而形成剩余油。宏观上这种剩余油多见于水淹较差部位, 偶尔也在强水淹部位出现。该类剩余油可以通过加大注水量、提高排驱压力, 使得孔隙连通, 将其中的剩余油采出。

斑状、孤滴状: 由于微观动态地质作用的卡堵沉积的影响, 使得部分孔隙与其它孔隙分离, 在孔隙内部充满剩余油, 呈斑块状或不规则状的形态分布(图 7b)。该类剩余油较难用常规方法开采, 须采取一定的特殊措施。

油包水与水包油: 在储层微观动态地质作用和地下混合流体的共同影响下, 剩余油呈厚环状包裹着一团水, 或大面积的水中间包裹着星点状的剩余油(图 7c)。该类剩余油可在开采过程中随油水一起采出, 但往往经济效益较差。

5 结论与认识

注水开发油田的微观动态地质作用是长期持续存在的, 它使储层的微观属性发生物理、化学变化, 致使储层特征和储层参数都发生较大变化, 它是使储层发生变化的根本原因。微观动态地质作用对储层的长期改造和破坏, 使剩余油的分布更加复杂, 它是控制剩余油形成和分布的根本因素。储层微观动态地质作用的研究, 对我国成熟油田剩余油分布规律, 进而提高采收率, 具重要实际意义。

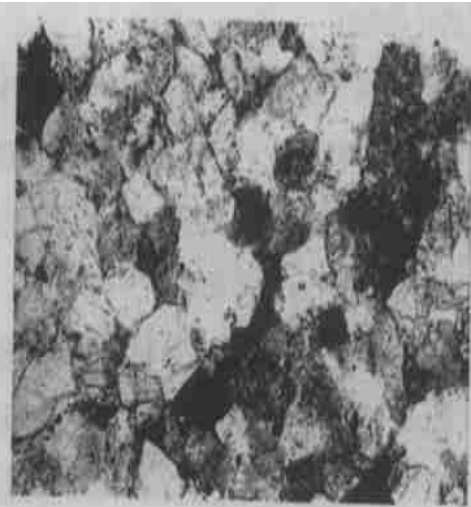


图 5 长期注水开发油田的储层微观动态化学沉积
Fig. 5 Microdynamic chemical deposition of the reservoir rocks in the long-term waterflooding oil fields

图 6 微观孔喉特征控制剩余油分布
Fig. 6 Distribution of residual oil controlled by micropore throats

图 7 8^3 层剩余油分布模式

(a). 网状; (b) 斑状、孤滴状; (c) 包裹状。黑色部分为油, 灰色部分为油水混相 白色部分为岩石颗粒

Fig. 7 Model showing the residual oil distribution in 8^3 beds. (a) netted; (b) porphyritic and drop-like; (c) included. The black fractions represent oil; grey ones mixed oil and water, and white ones rock grains

参考文献:

- [1] 俞启泰. 注水油藏大尺度未波及剩余油的三大富集区[J]. 石油学报, 2000, 21(2): 45—50.
- [2] 岳登台. 综述老油田改善开发效果及提高采收率技术[J]. 石油学报, 1998, 19(3): 46—51.
- [3] 徐安娜, 等. 我国不同沉积类型储集层中的储量和可动剩余油分布规律[J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(5): 41—44.
- [4] 胡雪涛, 等. 随机网络模拟研究微观剩余油分布[J]. 石油学报, 2000, 21(4): 46—51.
- [5] 朱九成, 等. 指进剩余油形成与分布的物理模拟[J]. 新疆石油地质, 1998, 19(2): 154—158.
- [6] 杨家福. 胜坨油田砂体沉积类型与储层特征[J]. 石油学报, 1988, 9(2): 43—56.
- [7] JADHUNANDAN P P et al. Effect of wettability on waterflood recovery for crude-oil/ brine/ rock systems [J]. SPE Reservoir Engineering, 1995, (2): 40—46.

Microdynamic geological processes and residual oil distribution: An example from the second member of the Shahejie Formation in the Shengtuo Oil Field of the Shengli Oil Province

WANG Deng-wen

(Dongsheng Petroleum Exploration and Development Cor., Ltd., Dongying 257000, Shandong, China)

Abstract: The etching and triggering of the development fluids in the long-term waterflooding oil fields are responsible for the microdynamic geological processes such as weathering, erosion, dissolution and deposition in the micropores of reservoir rocks. These geological processes originated from the destruction of the subsurface dynamic equilibrium by the fluids for recovery often give rise to the reworking and destruction of the reservoir framework, porosity and pore throats which have exerted an important effect on the generation and distribution of residual oil.

Key words: microdynamic geological process; residual oil; deltaic reservoirs; Shengtuo Oil Field; Shandong