

文章编号:0253-9985(2010)02-0219-06

东营凹陷胜坨地区岩性油气藏物理模拟

牟雪梅¹,赵卫卫²,查明¹

(1. 中国石油大学 地球资源与信息学院,山东 东营 257061; 2. 西安石油大学 油气资源学院,陕西 西安 710065)

摘要:砂岩透镜体及构造-岩性油气藏是东营凹陷胜坨地区深层增储上产的重要岩性油气藏类型,通过物理模拟实验对其成藏特征进行研究表明:充足且有效的油气源条件、充注方式、砂岩透镜体自身物性变化及沟通源岩与砂体的断层与砂体的相对构造位置是决定岩性油气成藏的重要条件,其中是否有沟通有效烃源岩的通道是岩性油气藏成藏的关键,砂体物性变化及断层与砂体相对位置是影响油藏含油饱和度的主控因素。研究认为砂岩透镜体中心及构造-岩性油气藏断层面上盘砂体为该区下一步的勘探目标。

关键词:物理模拟;含油饱和度;砂岩透镜体;构造-岩性油气藏;胜坨地区;济阳凹陷

中图分类号:TE122.1 **文献标识码:**A

Physical simulation of lithologic reservoirs in the Shengtuo area of the Dongying Depression

Mu Xuemei¹, Zhao Weiwei², and Zha Ming¹

(1. College of Geo-resource and Information, China University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China;

2. School of Petroleum Resources, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China)

Abstract: Sand lens and structural-lithologic reservoirs are the main types of lithologic reservoirs for growth of reserves and production in the Shengtuo area of the Dongying Depression. We conduct a physical simulation on its accumulation characteristics, and the results show that significant conditions which determine the forming of lithologic reservoirs are sufficient and effective gas sources, charging patterns, changes of physical properties of sand lens, and the relative positions of faults connecting reservoirs with source rocks to sand bodies. Among these conditions, faults connecting effective source rocks and reservoirs are critical to the forming of lithologic oil/gas reservoirs, and the changes of physical properties of sand bodies and the relative positions of faults to sand bodies are the main controlling factors of oil saturation. According to this study, the next exploration targets in this area should be the center of sand lens and the sand bodies in the upper wall of structural-lithologic oil/gas reservoirs.

Key words: physical simulation, oil saturation, sand lens, structural-lithologic reservoir, the Shengtuo area

随着石油地质理论和油气勘探技术的发展及含油气盆地勘探程度的不断提高,新发现的油气藏中隐蔽油气藏占有不可忽视的地位,寻找隐蔽油气藏(尤其是岩性油气藏、地层油气藏)一直是国内外石油地质学家研究和探索的重要内容。近年来东营凹陷取得了岩性油气藏勘探的新发现和

新突破,自2000年以来探明储量的60%~70%属于地层或岩性油气藏^[1],随着勘探程度和资源探明程度的不断提高,勘探难度也不断增加,东营凹陷岩性油气藏的勘探变得日趋重要,已成为增加油气储量的重要方向,特别是胜坨地区古近系沙河街组四段、沙河街组三段是岩性隐蔽油气藏发

收稿日期:2009-06-08。

第一作者简介:牟雪梅(1977—),女,博士研究生,油气成藏机理与分布规律。

基金项目:国家自然科学基金项目(40772081);山东省自然科学基金项目(Y2008E16)。

育的有利地区。加强该区隐蔽油气藏的成藏条件和分布规律研究,对认识该类油气藏有着重要的意义。

20 世纪 80 年代以来,物理模拟实验已成为研究油气成藏过程和成藏机理的重要手段。但目前关于岩性油藏成藏机理的研究主要集中在砂岩透镜体油藏^[2-6],砂岩透镜体和构造-岩性油气藏含油气性差别较大,断层对岩性油气藏的形成和分布作用认识不清,对于不同类型岩性油藏控制因素及聚集分布特点方面缺乏系统分析和认识。本文在东营凹陷胜坨地区深层地质特征基础上建立实验模型,采用物理模拟实验的方法研究砂岩透镜体油藏与构造-岩性油藏的油气运聚过程,探讨这两种油藏成藏过程及控制因素。

1 研究区概况

胜坨地区位于渤海湾盆地济阳坳陷东营凹陷北部二级构造断裂带中段,北靠陈家庄凸起,南接中央背斜带,西南为利津洼陷,东南为民丰洼陷,是一个被断层复杂化的背斜构造油藏,勘探面积为 230 km²(图 1)。自 1966 年钻探以来,相继发现了古近系沙河街组一段、二段、三段、四段,东营组、新近系馆陶组和明化镇组等 7 套含油层系,累积探明控制储量 5 亿多吨^[7]。胜坨地区是胜利油区已发现的最大油田,自 1964 年发现至今已历经 40 年,油田开发已进入中后期,油田的勘探也由早期的构造油气藏转向隐蔽油气藏。

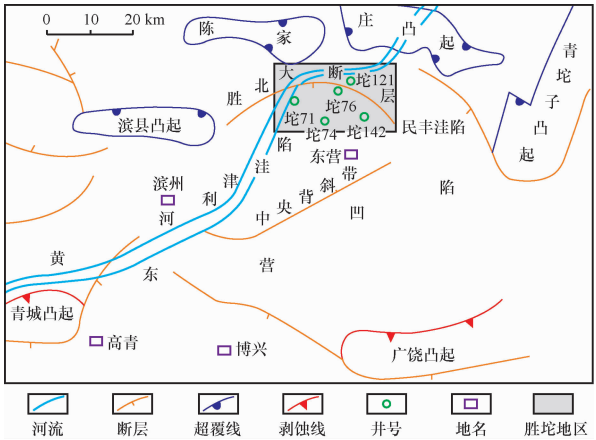


图 1 区域构造位置

Fig. 1 Regional structure locations in the Shengtuo area

胜坨地区靠近利津和民丰洼陷,均为一类生油洼陷,其沙河街组三段一四段主要烃源岩厚度分别为 300 ~ 1 400 m 和 200 ~ 800 m,油源岩主要有沙河街组四段上亚段、三段下亚段和三段中亚段 3 套。其中沙河街组四段上亚段为一套咸水-半咸水湖相沉积,岩性以灰褐色钙质页岩、油页岩和灰色至深灰色泥岩为主,夹有碳酸盐岩和含膏泥岩;沙河街组三段下亚段为一套淡水至微咸水湖相沉积,岩性以深灰色页岩、油页岩、纹层泥岩夹块状泥岩为主;沙河街组三段中亚段为一套淡水湖相沉积,主要岩性为巨厚层块状泥岩和粉砂质泥岩,缺乏油页岩沉积。有机质类型为 I - II₁ 型,有机碳含量为 1.5% ~ 7.5%,因此具有丰富的油源条件。又由于研究区多数圈闭位于烃源岩的边缘,处于烃源岩优势指向区,非常有利于油气的运移聚集^[8-10]。

胜北大断层是胜坨油田最重要的断层,走向近东西,倾向近南北平面上呈弧型展布,形成于沙河街组四段,沙河街组三段进入鼎盛发育期,之后活动减弱。它控制了胜坨地区古近系的沉积体系和油气成藏过程^[11]。胜坨地区深层的复杂隐蔽油藏按成因可以划分为 3 个带^[12]:北带以胜北大断层上升盘沙河街组四段、三段的斜坡冲积扇油藏为主;中带以靠近胜北大断层的水下扇或陡坡滑塌扇油藏为主,岩性以砾岩、含砾砂岩为主,扇中储集物性最好,多形成构造-岩性油气藏;南带以沙河街组四段、三段的深水浊积扇油藏为主,岩性以砂岩为主,储集性能好,但砂体薄,多形成砂岩透镜体油气藏(图 2)。

2 物理模拟实验

2.1 实验模型及实验条件

胜坨地区沙河街组四段、三段是岩性隐蔽油气藏发育的有利地区,在该区深层油藏地质特征基础(图 2)上设计了实验模型(图 3)。实验设计基于以下考虑:①为对比相同的静水、相同充注条件下油气运聚过程的控制因素,在同一模型内设计了孤立的砂岩透镜体 A 及被断层切割砂体 B;②为对比研究在静水条件下充注方式对烃源岩之上砂岩透镜体及构造-岩性油藏中油气聚集过程的影响,研究设计了两种充注方式:一种为单次连

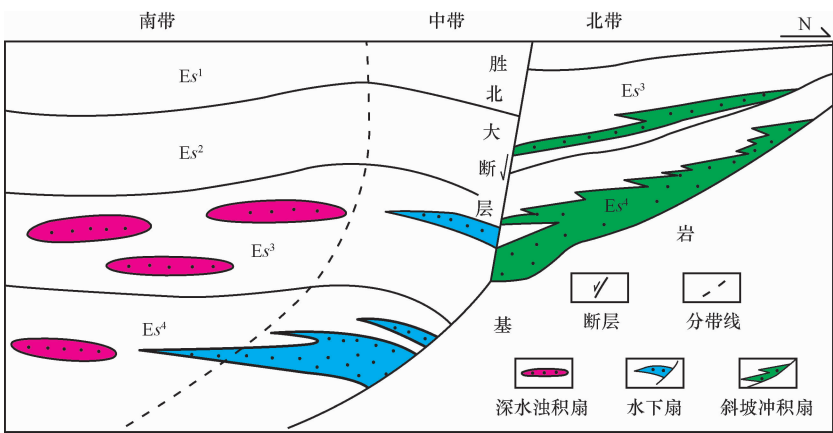


图2 胜坨地区深层主要油藏分布示意图(据朱强)

Fig. 2 Sketch map showing the distribution of major reservoirs in deep of the Shengtuo area(according to Zhu Qiang)

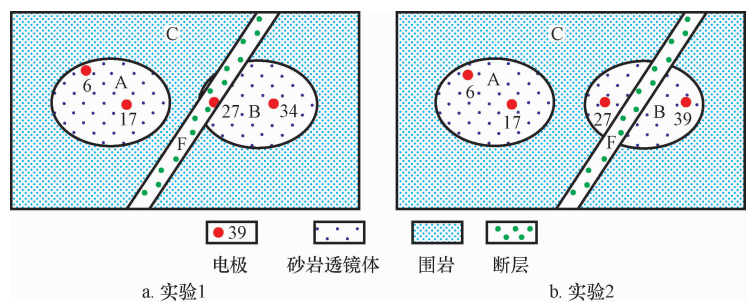


图3 实验模型示意图

Fig. 3 Sketch map showing experimental models

续注入方式,即单一油相在某一注油速率下连续充注;另一种为多期注入方式,即单一油相在某一注油速率下有间断多次充注;③为研究断层位置对构造-岩性油藏的控制作用,设计了砂体与断层不同的相对位置,如图3所示。④为了定量描述砂体内含油饱和度随时间变化情况,在砂层内安装若干电极(可测出含油饱和度变化),电极位置如图3所示。

本次实验应用中国石油大学(华东)油气成藏机理实验室自行研制的油气成藏机理模拟实验二维装置,模型前面为透明玻璃板,可以直接观察到油气的充注情况。实验用砂为各种粒度的纯白色石英砂。石英砂亲水性强,润湿角近于0°。运载层内石英砂被NaCl盐水(密度1.0 g/cm³、浓度800×10⁻⁶)饱和,实验用油为中性煤油[密度为0.75 g/cm³,粘度(25℃)约为42 mPa·s],为便于观察,用油红将煤油染成红色。砂岩透镜体、断层和围岩的孔隙度相差不

大,在32%~35%之间。砂体A、B粒径为0.25~0.40 mm,渗透率为7 800×10⁻³ μm²;断层F粒径为0.7~0.8 mm,渗透率为41 600×10⁻³ μm²,为高渗透传导层;围岩粒径为0.05~0.10 mm,渗透率为416×10⁻³ μm²,代替泥岩。共完成两组实验。

2.2 实验过程及现象

2.2.1 单次连续充注方式下的油聚集过程(实验1)

以0.5 mL/min的恒流速度向模型中注油,实验至2 h,断层靠近注油口,油进入断层底部(图4a),随着注油量增加,在注油压力作用下油继续向上运聚。注油时间至3 h,注油口附近扇形含油前锋面积增大,油主要沿断层向上运移,部分油进入砂体B中并在其上部聚集,砂岩透镜体A底部有少量油进入(图4b)。继续注油至6 h,油注入砂岩透镜体A,在A内沿大孔道垂向运移,受围岩

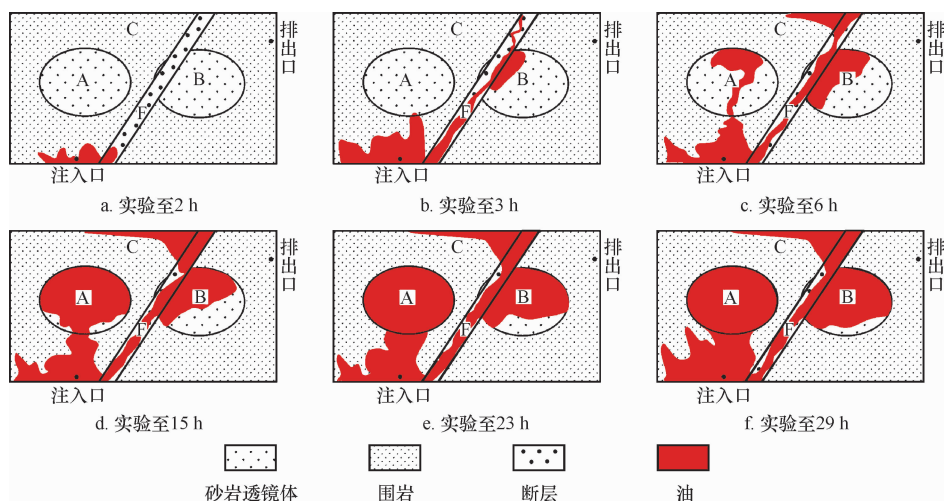


图4 实验1单次连续充注条件下油气成藏过程示意图

Fig. 4 Sketch map showing oil accumulation under single continuous charging in the first experiment

遮挡后在砂岩透镜体A上部聚集,油注入砂岩透镜体A后,砂体B中含油面积变化不大,油在断层顶部大量聚集(图4c)。注油至10h,砂岩透镜体A含油面积增大,占总砂体面积的1/3,砂岩透镜体B中靠近断层侧大量聚油,油主要通过断层F垂向上运移,在断层顶部与模型边界处聚集。至15h,砂岩透镜体A含油面积从上向下逐渐扩大,占砂体A总面积的3/4,颜色也变深,砂体B含油面积略有增大,在断层F顶部聚集油量较多(图4d)。至23h,砂岩透镜体A被油完全充满,砂体B含油面积变化不大,断层顶部裂隙处充满油(图4e)。至29h,砂岩透镜体A红色变深,显示含油饱和度继续增大,砂体B含油面积增大,占透镜体面积的3/4,颜色也变深,断层上部有大量油聚集(图4f),注油口注油量与排出口排油量相同,实验基本稳定,实验结束。

2.2.2 多期充注方式下的油气聚集过程(实验2)

以0.5 mL/min的恒流速度从注入口向模型中注油,共分3期充注,第一次充注12h,停止充注9h;第二次充注14h,停止充注10h;第三期充注12h,观察10h。第一期充注至2h,注油口附近含油前锋呈扇形不断扩大,少量油进入距离注油口近的砂岩透镜体A,断穿砂体B的断层距离注油口较远,没有油进入(图5a)。第一期充注至4h,油大量进入砂岩透镜体A(图5b),注油口附近扇形注油前峰变化不明显。第一期充注至7h,油几乎充满

整个砂岩透镜体A,随后,注油口附近扇形注油前锋范围不断扩大至断裂带,油开始进入断裂带(图5c)。第一次充注至12h后停止充注,静置9h后观察,静置期间,油沿断层向上运移,注油口含油范围扩大,颜色变浅(图5d)。第2期充注至3h,油沿断裂带向上运移贯穿砂体B,砂岩透镜体A含油面积不变。第2期充注至7h断层断穿的砂体B颜色加深,显示含油饱和度增大,砂岩透镜体A变化不大,包裹砂岩透镜体A的低渗透围岩砂层含油面积扩大。随着充注的继续,砂体B含油面积不断增大,第2期充注至12h,砂体B含油面积占其总面积3/4,颜色不断加深,砂岩透镜体A含油面积及颜色变化不大(图5e)。第2期充注至14h后停止充注,静置10h观察砂岩透镜体B及断穿其的断层整体均含油,颜色深红。第3期充注后,砂岩透镜体A及砂体B内颜色加深。注入口注油量与排出口排油量相同,实验基本稳定,实验结束。(图5f)。

3 实验结果及讨论

3.1 油源条件对油气成藏的影响

在实验1中,注油口与断层距离较近,小于与砂岩透镜体A之间的距离。油被注入模型后,油先注入距离注油口较近的高渗透的断层F,断层F沟通源岩,由于断层的输导作用,离注油口较远的砂体B内有油注入;此时注油口注入的油与砂岩透镜体A较远,砂岩透镜体A内无油气聚集(图

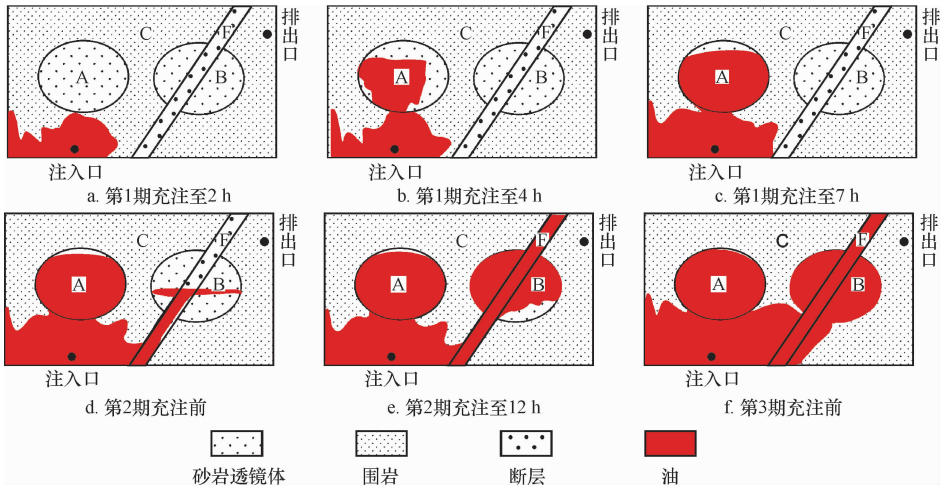


图 5 实验 2 多期充注条件下油气成藏过程示意图

Fig. 5 Sketch map showing oil accumulation under multiple charging in the second experiment

4b)。实验 2 中注油口与砂岩透镜体 A 距离较近,断层与注油口距离较远。油先注入砂岩透镜体 A 并聚集,此时,断层不沟通源岩,砂体 B 中无油气显示(图 5b)。实验证实砂岩透镜体能否成藏的关键是是否有沟通烃源岩的通道。没有沟通烃源岩的通道,透镜体不可能成藏,距离烃源岩生油中心越近越容易成藏。

实验 1 中,随着注油量增加,油继续通过断层带 F 向砂体 B 运移,同时注油口附近围岩 C 的含油范围扩大至砂岩透镜体 A 底部,油注入砂岩透镜体 A。此后,随着注油量持续增加,油以在砂岩透镜体 A 中的聚集为主,砂体 B 中有少量油聚集,直到砂岩透镜体 A 表面聚满油,油再次向砂体 B 注入(图 4d,e)。实验 2 中,油先注入与注油口距离较近的砂岩透镜体 A,当砂岩透镜体 A 表面均含油后,油才通过断层 F 向砂体 B 注入(图 5d)。实验表明,在相同油源条件下,与油源直接接触的砂岩透镜体为油气优先聚集对象,通过断层沟通油源的砂体为次要充注对象。

3.2 油气运移动力对成藏过程的影响

实验条件下,油气运移动力主要表现为注油压力和浮力的共同作用。实验 1 中,油同时向砂岩透镜体 A 和通过断层 F 向砂体 B 注入。砂岩透镜体 A 中油受到部分注油压力和浮力的共同作用,以浮力作用为主,在砂岩透镜体 A 内以较窄的通道垂向上运移,遇到遮挡后在顶部聚集(图 4)。

实验 2 中,油向砂岩透镜体 A 单独注入,油受到全部注油压力和浮力的共同作用,以砂岩透镜体 A 下部的注油压力为主,油进入砂岩透镜体 A 后在砂岩透镜体 A 底部大面积含油,油气运移整体向上推进(图 5)。

3.3 充注方式对砂岩透镜体含油饱和度的影响

我们主要对比具有相同的实验条件的砂岩透镜体 A(粒度相同以及和注油口距离相同)在不同的充注方式下的含油饱和度。油源充足条件下,实验达到稳定状态后,单次连续充注方式下,砂岩透镜体 A 平均含油饱和度为 70%,在多期不连续充注方式下,砂岩透镜体 A 的平均含油饱和度为 44%。砂岩透镜体在单次连续充注下含油饱和度高于多期不连续充注下含油饱和度。

3.4 砂岩透镜体物性变化对含油饱和度的影响

当砂岩透镜体与泥岩接触时,由于泥岩较细,导致砂体边缘的储层物性变差(孔隙度、渗透率低)。为了定量对比单砂岩透镜体内物性变化对含油饱和度的影响,选取砂岩透镜体 A 边缘电极 6 和中部电极 17 测试出的含油饱和度进行对比。实验 1 达到稳定后,砂岩透镜体边缘电极 6 的含油饱和度为 80%,中部电极 17 的含油饱和度高达 100%(图 6)。实验 2 达到稳定后,砂体边缘电极 6 的含油饱和度为 70%,砂体中部电极 17 的含油饱和度为 100%(图 7)。两组实验中砂体边缘的

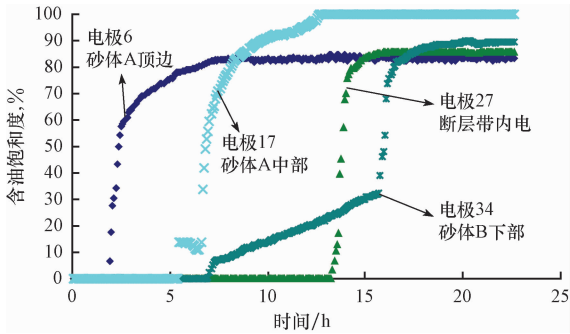


图 6 单期连续充注条件下含油饱和度随时间变化

Fig. 6 Oil saturation vs. time under single continuous charging

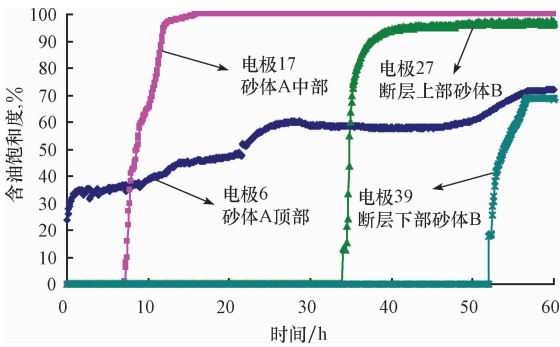


图 7 多期充注条件下含油饱和度随时间变化

Fig. 7 Oil saturation vs. time under multiple charging

含油饱和度均低于砂体中部含油饱和度。表明砂岩透镜体物性变化控制了其内含油饱和度的分布,物性较好的部位含油饱和度高于物性差的部位。

3.5 断层与砂体的相对位置对砂体饱和度的影响

实验 1 中,砂岩透镜体 B 与断裂带接触,砂岩透镜体 B 位于断层下盘,油沿断裂带向上运移至砂岩透镜体 B 后,部分油遇到遮挡在此聚集成藏。以砂岩透镜体 B 中电极 34 为例,含油饱和度变化缓慢,至 18 小时增长到 80% 以上。到实验结束时,远离输导源(断层)的砂岩透镜体 B 下部没有完全充满油。实验 2 中,砂体 B 中部被断层 F 切割成断层上下两块砂体。为了定量描述油在其中含油饱和度情况,分别选取了砂体 B 断层上盘砂体内电极 27 和砂体 B 内断层下盘砂体内电极 39 含油饱和度变化情况进行对比,这两个电极在模型内高度相同,电极位置如图 3 所示。实验进行到 34 h 时,电极 27 含油饱和度开

始上升,41 h 时,电极含油饱和度达 95% 以上;实验进行到 52 h 时,电极 39 含油饱和度开始上升,最终实验结束时,最高含油饱和度为 70% (图 7)。在断层沟通有效源岩的条件下,油气具有近源性成藏的特点,油气优先充注于断层上盘砂体,断层上盘砂体含油饱和度大于断层下盘砂体含油饱和度。

3.6 围岩含油气性影响油气充满度

围岩含油性是影响砂体含油的重要因素,围岩中的油向岩性圈闭中运聚时向上、向下及侧向都有运移,开始时油的进入量少,砂体含油饱和度很低,随着充注的不断进行,围岩含油饱和度逐渐增加,进入砂体的油量也不断增加,砂体含油饱和度逐渐升高,即围岩含油性越好,砂体的含油性也好(图 4,图 5)。

油源充足、封闭条件好的条件下,断层上盘砂体也能具有较高含油饱和度。以实验 1 单次连续充注方式下砂体 B 内电极 34 及断层带内电极 27 含油饱和度随时间变化为例说明(图 6)。油气最初以断层带为运移通道,在断层带内以较窄的运移通道向上运移,并在砂体 B 中聚集油气,实验进行到 7 h,电极 34 含油饱和度开始增加,增加速度非常缓慢,含油饱和度较低,仅为 30%,此时断层带内电极 27 含油饱和度无变化;随时油气注入量增大(即油源充足条件下),断层不仅仅充当油气运移通道,断层带内也聚集油气。实验进行到 14 h,断层带内电极 27 含油饱和度迅速增加至 85%,油气开始大量向砂体 B 中运移,注油 16 h 时,电极 34 含油饱和度速度上升到 90%。

4 结论

1) 砂岩透镜体能否成藏的关键在于是否有沟通烃源岩的通道,没有沟通烃源岩的通道,砂岩透镜体不可能成藏。在相同油源条件下,距离烃源岩生油中心越近越容易成藏,与油源直接接触的砂岩透镜体为油气优先聚集对象,通过断层沟通油源的砂岩透镜体为次要充注对象;