吴远坤，刘成林，于春勇. 松辽盆地双城断陷深层原油成藏模式.吉林大学学报(地球科学版)，2024，54(5)：1443－1456. doi：10.13278/j.cnki.jjuese.20230021.

Wu Yuankun，Liu Chenglin，Yu Chunyong. Main Controlling Factors and Accumulation Mode of Deep Oil in Shuangcheng Fault Depression of Songliao Basin. Journal of Jilin University (Earth Science Edition)，2024，54(5)：1443－1456. doi：10.13278/j.cnki.jjuese.20230021.

# 松辽盆地双城断陷深层原油成藏模式

吴远坤[1,2]，刘成林[1]，于春勇[3]

1.中国石油大学(北京)地球科学学院，北京 102249

2.昆仑数智科技有限责任公司，北京 100043

3.中国石油天然气集团渤海钻探工程有限公司第一录井分公司，天津 300280

**摘要**：针对松辽盆地双城断陷深层原油认识程度低、成藏主控因素和深层原油成藏模式不明确的问题，本文利用岩石热解、氯仿沥青“A”和包裹体均一温度等测试资料，结合埋藏史-热史模拟、平衡剖面恢复等手段，通过对烃源岩厚度、排烃强度、圈闭形成、断-砂配置、超压与充注阻力耦合关系等成藏主控因素进行了系统分析。结果表明：1)双城断陷深层可分为登三段背斜、断背斜、断层-岩性油藏和营四段致密油等4种类型。2)登三段构造油藏受烃源岩、断裂和有效圈闭联合控制，高丰度的湖相泥岩是其物质基础；主成藏期前各类圈闭即已形成，断层是油气运移的重要目标；断-砂配置关系决定圈闭有效性。3)营四段致密油受岩性圈闭、排烃强度和超压影响，其中，排烃强度影响致密油宏观分布，生烃增压形成的超压是致密油充注主要动力。综合致密油成藏条件和成藏主控因素，建立西部构造带“源储分离、断层长距离输导、高点富集”、东部断阶“源储紧邻、断砂匹配短距离运移、有效圈闭聚集”和中央洼槽“源储共生、超压驱动裂缝运移、甜点富集”3种成藏模式。

**关键词**：深层原油；致密油；成藏条件；主控因素；双城断陷；松辽盆地

**doi**：10.13278/j.cnki.jjuese.20230021 **中图分类号**：TE12 **文献标志码**：A

# Main Controlling Factors and Accumulation Mode of Deep Oil in Shuangcheng Fault Depression of Songliao Basin

Wu Yuankun[1,2], Liu Chenglin[1], Yu Chunyong[3]

1. *College of Geosciences, China University of Petroleum (Beijing), Beijing* 102249, *China*

2. *Kunlun Digital Technology Co., Ltd., Beijing* 100043, *China*

3. *No.*1 *Mud Logging Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Co., Ltd., Tianjin* 300280, *China*

**Abstract**: For the problem of low awareness of deep oil, the main control factor of different kinds of

**收稿日期**：2023－02－09

**作者简介**：吴远坤(1984—)，男，博士研究生，主要从事非常规油气地质方面的研究，E-mail：w.yuankun@163.com

**通信作者**：刘成林(1970—)，男，教授，博士生导师，主要从事油气地球化学与资源评价、非常规油气地质方面的研究，E-mail：lclzgx@126.com

**基金项目**：国家自然科学基金项目(41572099，41872127)

Supported by the National Natural Science Foundation of China (41572099, 41872127)

reservoirs and deep crude oil accumulation model in Shuangcheng fault depression of Songliao basin, we make sure the main controlling factors such as the thickness of source rock, the hydrocarbon expulsion intensity, the formation of entrapment and its relationship with the main accumulation period, the sand-source configuration, the overpressure and filling resistance, on the base of rock-eval, chloroform asphalt "A" and homogenization temperature of inclusion. The result is that: 1) There are four kinds of reservoirs, such as fault-anticline, anticline and fault-lithologic reservoir in the 3rd Member of Denglouku Formation in the west structure and the east fault bench, tight reservoir in the 4th Member of Yingcheng Formation within the central sub-sag. 2) The structure reservoir in the 3rd Member of Denglouku Formation is controlled by the union of mudstone, oil-source fault and effective trap. The abundant source rock is the material base for oil reservoir, and the structure trap in the 3rd Member of Denglouku Formation is almost complete before the hydrocarbon expulsion, fault is the main target for oil migration, the configuration relationship of sandstone and source determine the effective of structure trap. 3) The tight oil in the 4th Member of Yingcheng Formation is under the control of lithologic trap, source and overpressure. The tight oil is controlled by the hydrocarbon expulsion intensity, while overpressure is the main power for tight oil charging. We set up three kinds of accumulation models in different regions based on forming condition and main controlling factors of tight oil, such as "reservoir and source separate, migration along the fault in long distance and enrichment in the high point" in west structure, "reservoir and source nearby, long distance transmission of faults and connected sandstone in short distance, accumulate in effective trap" in east fault bench, and "reservoir superpose on source, overpressure drive and migrate along the fissure, enrichment in sweet points" in the central sub-sag.

**Key words**: deep oil; tight oil; forming condition; controlling factor; Shuangcheng fault depression; Songliao basin

## 0 引言

近年来,中浅层常规油气资源潜力日渐衰竭,以非常规油气、深层油气和海洋油气为代表的"三新"开发正成为中国油气勘探的新领域[1]。随着钻井工艺的发展,地球深部古老地层中的油气资源逐渐成为我国油气勘探的新热点[2-3],在塔里木盆地、四川盆地和松辽盆地等地先后发现了塔河油田、顺北油田、安岳气田和徐深气田等39个深层油气田[4-5]。截止2020年,我国深层油气剩余资源量高达671×$10^8$ t,占全国油气资源量的34%,深层油气资源已成为我国未来油气勘探的重要领域[6]。松辽盆地是我国东北最重要的含油气盆地,但长期以来,油气勘探一直聚焦于中浅层地层,例如大庆长垣、古龙凹陷和三肇凹陷等油气田的勘探[7]。近年来,随着盆地深层油气勘探的持续进行,徐深气田、长岭气田等多个高产气田相继被开发,证实松辽盆地深层亦具有丰富的油气资源潜力[8-9]。松辽盆地深层是由39个复杂小断陷组成的断陷群,具有埋藏深度大、油气藏类型多、成藏条件复杂的特点[10],其深层油气勘探难度大。已知的徐家围子断陷、长岭断陷、德惠断陷等含油气断陷均以产气为主,断陷早期沉积的沙河子组煤岩是深层天然气主要的烃源岩,使盆地深层整体呈现出"缺油富气"的特征[11]。因此,松辽盆地深层是否存在泥质烃源岩及规模油藏、深层原油的成藏条件和有利勘探方向已成为松辽盆地深层油气地质研究的焦点。

双城断陷是盆地北部较早开展油气勘探的深层断陷,前人[12]早在1980年即发现三站、五站、涝州等5个由深层气藏调整改造形成的浅层次生气藏,2013年又在Ys1、Ys2和Ys5井发现多个深层火山岩气藏。2018年印长海等[13]首次在盆地S59井深层营城组四段中发现饱含原油的岩心,并获0.24 t/d的低产油流,随后S70、S72、S68和S73等多口探井相继在盆地深层钻遇高产工业油流,这不仅证实松辽盆地深层可发育规模油藏,也实现了盆地深层原油勘探的突破。前人对双城断陷开展了大量研究,如:易士威等[14]通过双城断陷结构研究,构建了7种成藏模式,提出中央断裂潜山构造带、斜坡断裂潜山构造带、陡坡断裂潜山构造带和走滑背斜带是研究区的有利勘探靶区;孙立东等[15]通过岩心热解和分子地球化学研究,认为营四段发育高丰度的Ⅱ型

成熟烃源岩，可直接为深层油藏供烃；印长海等[16]通过对登娄库组储层特征分析，认为登娄库组三角洲河道砂体储集条件好，是盆地深层的有利勘探目标。双城断陷深层油藏类型多样，总体呈规律性分布[17-18]，各类油藏的成藏条件和成藏模式各具特色。明确不同类型油藏成藏主控因素的差异并建立相应的成藏模式，已成为差异化勘探方案设计和提高深层原油勘探效率的关键。本次研究通过对 63 个烃源岩采取热解、氯仿沥青“A”、泥岩抽提物饱和烃色谱、包裹体均一温度测试和高压压汞等实验，结合埋藏史-热史模拟、平衡剖面恢复等手段，在油藏分类和分布特征研究的基础上，系统分析了各类油藏的成藏主控因素，分别建立了西部构造带、东部断阶、中央洼槽等 3 种成藏模式，以期为松辽盆地深层原油精细勘探提供地质依据。

## 1　区域地质概况

双城断陷位于松辽盆地东部断陷带，西以太平庄断裂为界与莺山断陷分隔，东以朝阳断裂为界与青山口凸起相接，是一个由多条基底断裂围限的近 NS 向箕状断陷[19]。双城断陷形成时经历了拉张断陷、断坳转化、稳定坳陷和挤压反转等多个演化阶段，形成了“下断上坳”的二元结构，深层的营城组和登娄库组是双城断陷主要含油层位。双城断陷自西向东分为西部构造带、中央洼槽和东部断阶，形成“西陡东缓、凹凸相间”的构造格局（图 1）。

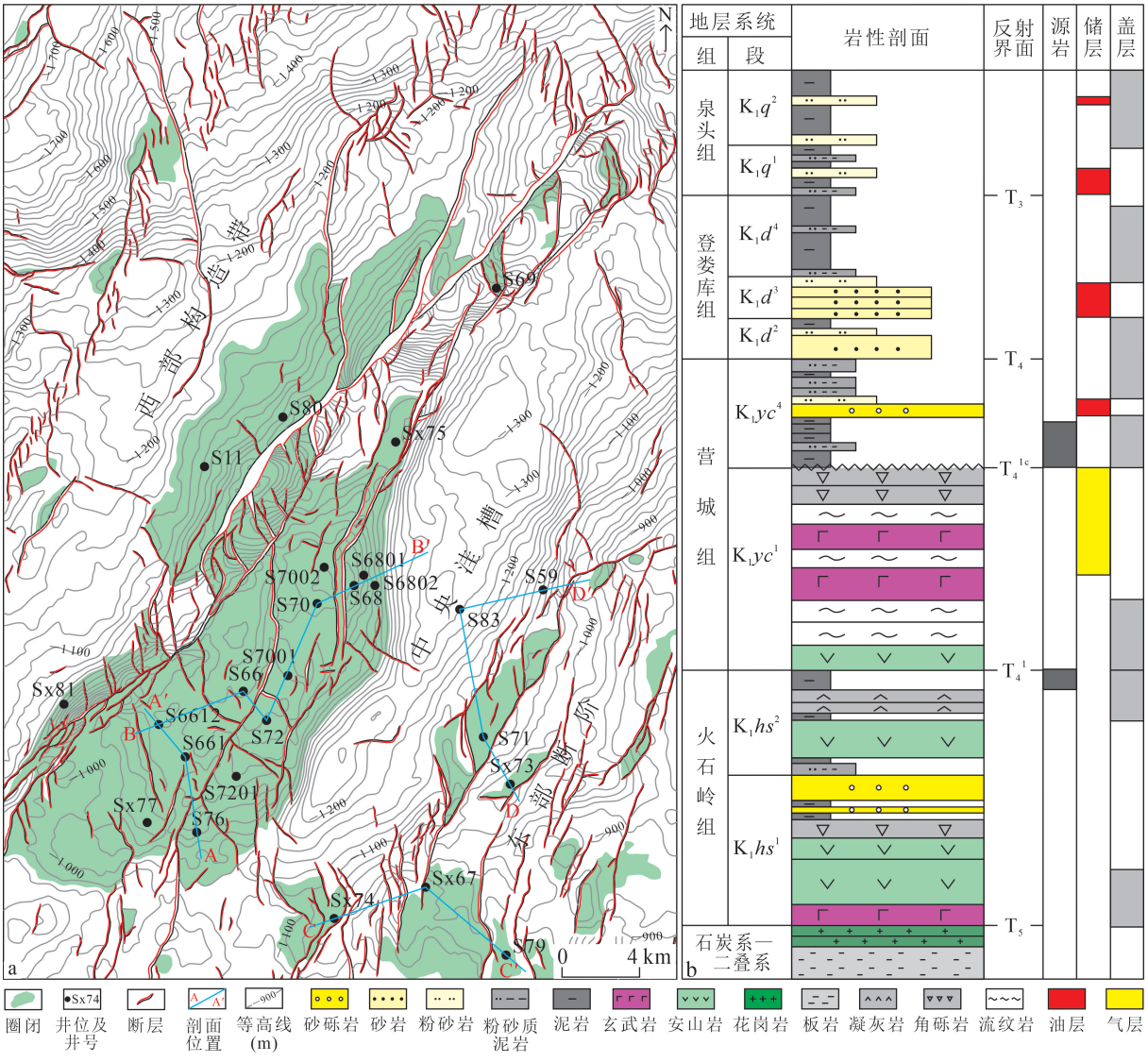



**图 1　双城断陷构造位置（a）与登娄库组顶面构造（b）**

**Fig.1　Location of Shuangcheng fault depression (a) and top structure of Denglouku Formation (b)**

## 2 双城断陷深层储层特征与油藏类型

### 2.1 双城断陷深层储层特征

双城断陷深层发育登娄库组三段(登三段)和营城组四段(营四段)两套储层。登三段属浅水三角洲沉积,储层粒度较细,主要为粉砂岩(体积分数33.57%)、细砂岩(33.20%)、中砂岩(18.28%)和粗砂岩(6.85%)。碎屑颗粒分选和磨圆较好,为次棱角—次圆状,以长石(44.13%)和石英(31.80%)为主,岩屑仅有16.34%,属长石砂岩、岩屑长石砂岩(图2a)。营四段以扇三角洲前缘沉积为主,储层粒度较粗,以粗砂岩(体积分数39.13%)和含砾砂岩(32.66%)为主,同时含少量细砂岩(15.28%)和粉砂岩(6.14%),碎屑颗粒分选和磨圆中等—较差,以棱角状—次棱角状为主,以岩屑(40.08%)和长石(28.68%)为主,同时含少量石英(16.34%),为长石岩屑砂岩(图2a)。

272个薄片统计表明:登三段面孔率为3.0%~15.0%,平均值为9.2%,以残余粒间孔、晶间孔隙等原生孔为主,占全部孔隙的79.6%,长石、岩屑次生溶孔仅占19.6%,物性较好;孔隙度和渗透率分别集中在10.0%~20.0%和$1\times10^{-3}$~$100\times10^{-3}$ $\mu m^2$之间(图2b、c),平均值分别为13.7%和$14.3\times10^{-3}$ $\mu m^2$,为中孔、中—低渗储层。营四段面孔率为1.0%~9.1%,平均值为7.5%,以长石、岩屑粒内溶孔和粒间溶孔最为常见,占全部孔隙的62%,残余粒间孔、晶间孔等原生孔隙孔径小、连通性差;相应地,营四段物性差,孔隙度和渗透率平均仅有11.4%和$0.8\times10^{-3}$ $\mu m^2$(图2b、c),为典型致密油储层。

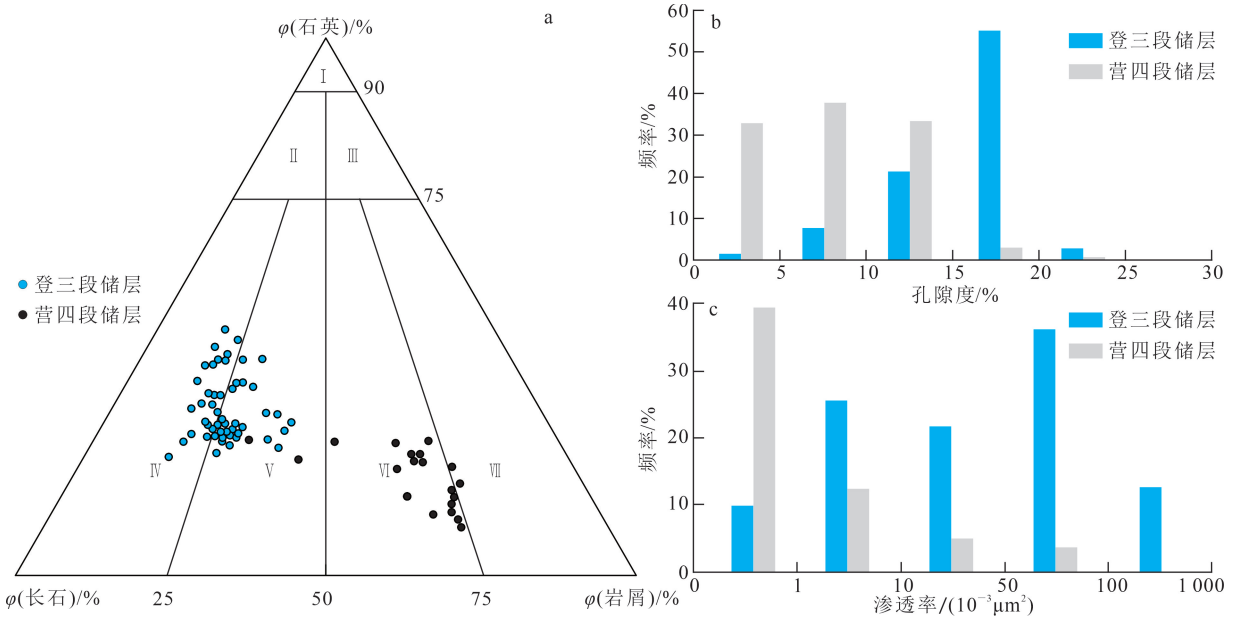
### 2.2 双城断陷深层油藏类型

双城断陷深层油藏类型复杂,登三段为构造-构造岩性油藏,其中,东部断阶以断层构造岩性油藏为主,西部构造带以背斜、断背斜圈闭构造油藏为主;营四段致密油则集中在中央洼槽的砂岩透镜体圈闭,为典型的岩性油藏。西部构造带为一个NE向延伸的背斜构造,NWW、NE向断层切割将其复杂化,形成多个背斜、断背斜油藏(图3a),其中登三段油水分异明显,油层和油水同层集中在埋深1 030 m以上(图3b);在东部断阶登三段受NE向断层遮挡形成一系列断块,不同断块间具有独立的油水界面,为构造岩性油藏(图3c);中央洼槽内扇三角洲砂砾岩体被半深湖-深湖相泥岩包裹,形成砂岩透镜体,具有"一体一藏、无统一油水界面"的特征(图3d)。

## 3 登三段成藏主控因素

### 3.1 高丰度湖湘泥岩为物质基础

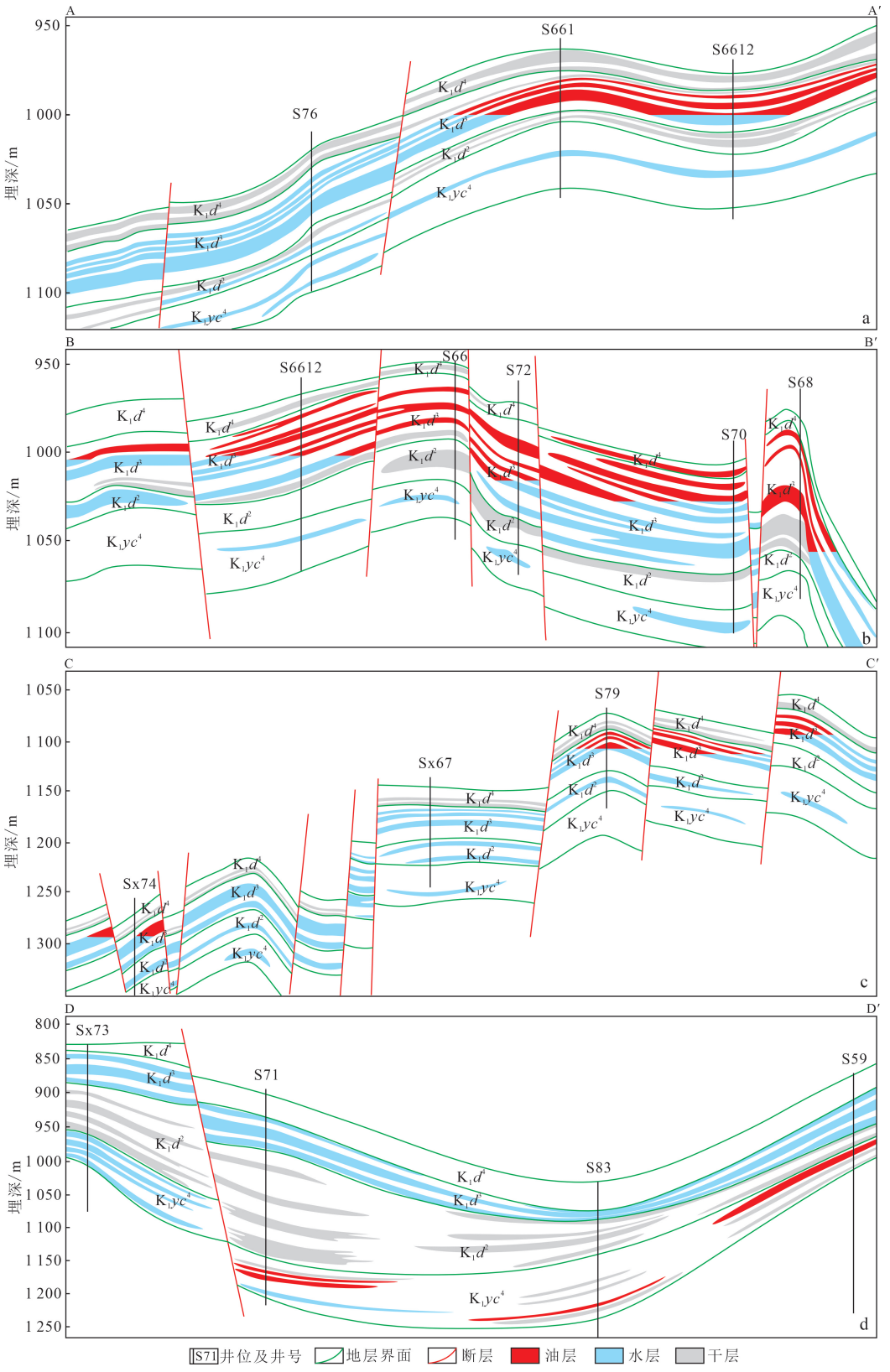
高丰度的营四段湖相泥岩是深层原油物质基础,控制登三段油藏宏观展布。营四段沉积时期双




Ⅰ. 石英砂岩;Ⅱ. 长石石英砂岩;Ⅲ. 岩屑石英砂岩;Ⅳ. 长石砂岩;Ⅴ. 岩屑长石砂岩;Ⅵ. 长石岩屑砂岩;Ⅶ. 岩屑砂岩。

**图2 双城断陷深层储层岩石类型(a)与物性分布直方图(b、c)**

**Fig.2 Type of sandstone (a) and physical property distribution histogram (b, c) of deep reservoir in Shuangcheng fault depression**




a. 剖面 AA′；b. 剖面 BB′；c. 剖面 CC′；d. 剖面 DD′。剖面位置见图 1。

**图 3　双城断陷深层油藏类型及特征**

**Fig.3　Type and characteristic of deep oil layer in Shuangcheng fault depression**

城断陷发育扇三角洲-湖泊沉积体系,其中中央洼槽内沉积了25～125 m的深灰色、灰黑色湖相泥岩和黑褐色油页岩,是双城断陷深层最主要的烃源岩[20]。营四段烃源岩 $w$(TOC)分布在0.94%～30.26%之间,平均值为2.87%,$w$(氯仿沥青"A")集中在0.05%～0.51%之间,平均值为0.18%,为好—很好烃源岩。营四段泥岩饱和烃色谱是以 $C_{15}$、$C_{16}$ 为主峰的单高前峰型,$\sum C_{21}^{-}/\sum C_{22}^{+}$ 普遍大于1,主要分布在0.90～1.92之间,$C_{21+22}/C_{28+29}$ 为0.95～1.46,规则甾烷为"L"型分布,同时荧光镜下见大量藻类、腐泥组分和少量壳质体、惰质体,反映了营四段烃源岩的母质以低等水生生物为主,并含部分高等植物,表明营四段烃源岩有机质类型为Ⅱ型,这与岩石热解的结果一致(图4)。

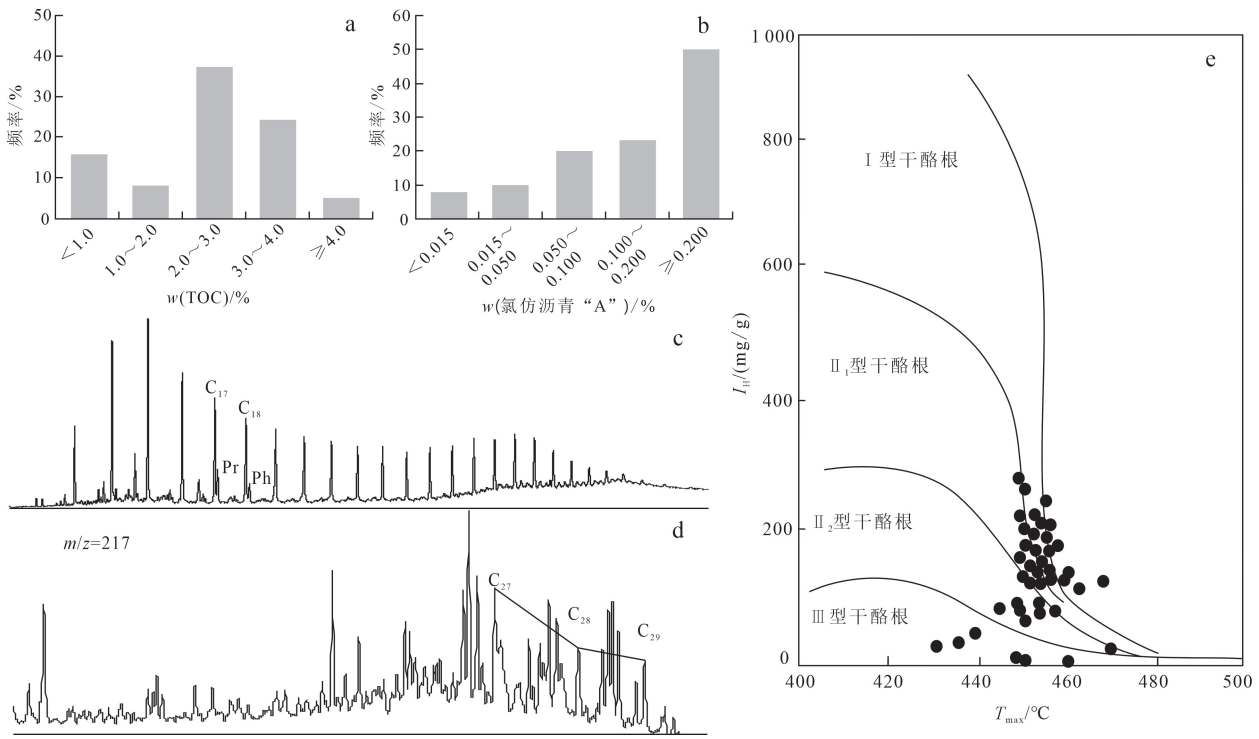
中央洼槽内烃源岩厚度大,有机质丰度高,镜质体反射率($R_o$)为0.8%～1.1%,平均值为0.9%,正处于大规模排烃的成熟阶段。成熟的高丰度湖相泥岩作为双城断陷深层原油物质基础[21],控制了登三段油藏宏观展布。试油结果(图5)也表明:靠近生烃洼槽的圈闭含油性好,如S72、S7001、S68、S70等高产油井均位于 $w$(TOC)大于2.0%的范围内;远离生烃洼槽含油性迅速变差,如S80、S11井虽然圈闭和砂体发育,但 $w$(TOC)普遍小于1.0%,基本无含油显示。

### 3.2 大规模构造圈闭

大规模成藏前圈闭即已形成,多类型圈闭是油气运移研究的重要目标,9条平衡剖面恢复表明,双城断陷经历了断陷期($K_1hs$—$K_1yc^1$)、断坳转期换($K_1yc^4$—$K_1d$)、稳定坳陷期($K_1q$—$K_2n$(嫩江组))和挤压反转期(E)等4个演化阶段,强烈的构造活动在断陷内形成数量众多、类型多样的构造圈闭,是登三段油气运聚成藏的重要目标。具体分述如下。

1)断陷期($K_1hs$—$K_1yc^1$),受区域伸展作用影响双城断陷持续拉张,大规模火山活动使断陷两侧持续抬升,断陷中部则强烈下陷形成中央洼槽(图6a、b)。

2)断坳转期换($K_1yc^4$—$K_1d$)伸展作用减弱、构造相对平静,中央洼槽发育半深湖—深湖沉积,西部构造带和东部断阶等高部位基本无沉积(图6c);登娄库组时期中央洼槽持续沉降,形成"西高东低、隆凹相间"的构造格局,强烈的断层活动在断陷两侧形成大量背斜、断背斜和断层圈闭,深层的构造格局也基本定型(图6d)。




a. 烃源岩 $w$(TOC)分布图;b. 烃源岩 $w$(氯仿沥青"A")分布图;c. 烃源岩饱和烃色谱;d. 烃源岩 $m/z=217$ 质谱图;e. 烃源岩 $I_H$ 与 $T_{max}$ 关系。$I_H$.氢指数。

**图4 双城断陷营四段烃源岩特征**

**Fig.4 Characteristic of source rock in $K_1yc^4$ in Shuangcheng fault depression**

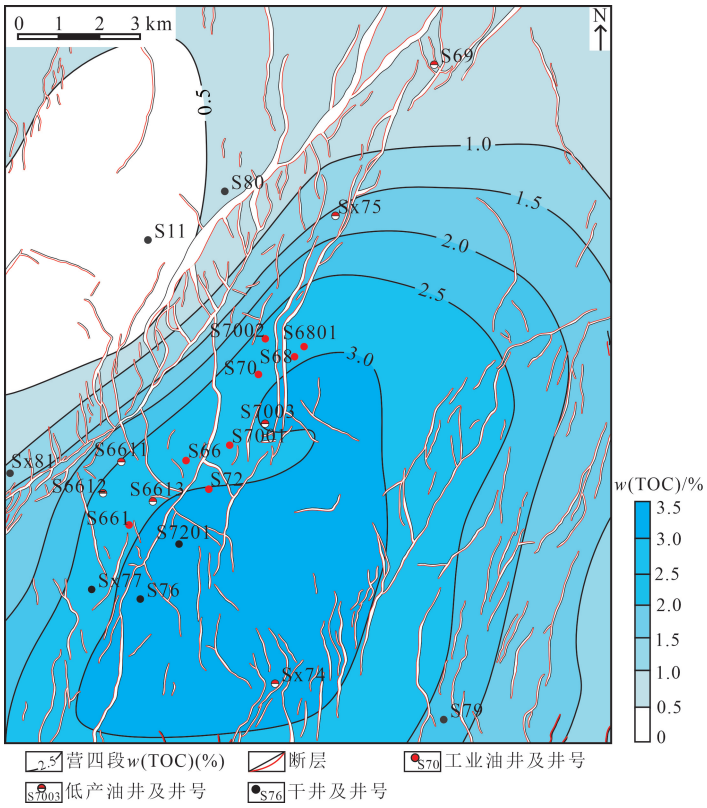



**图 5　双城断陷营四段烃源岩 $w$(TOC)与登三段油气分布**

**Fig.5　$w$(TOC) of source rock in $K_1yc^4$ and oil and gas distribution in $K_1d^3$ of Shuangcheng fault depression**

3)稳定坳陷期($K_1q$—$K_2n$)随松辽盆地整体沉降，双城断陷进入稳定坳陷阶段，此时构造活动较弱，发育河流—三角洲沉积(图 6e)。

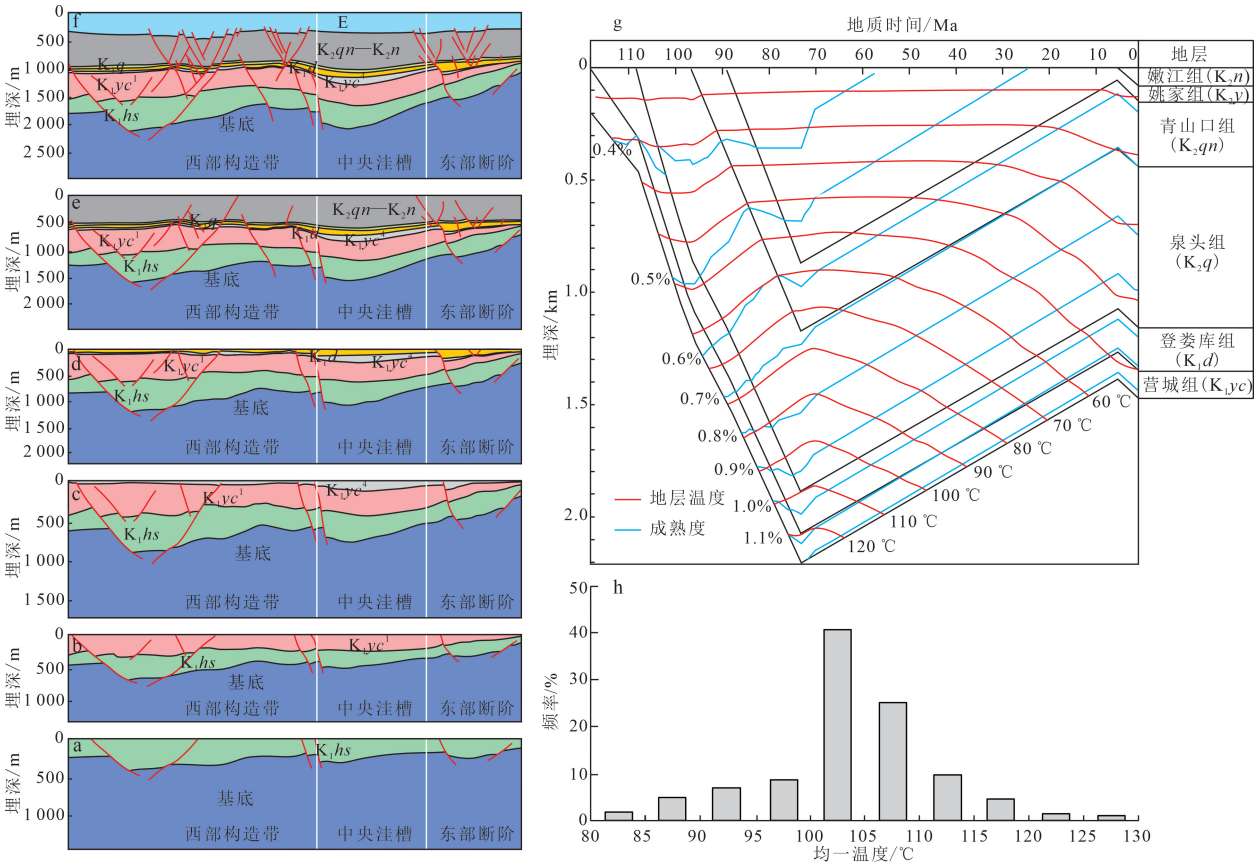
4)挤压反转期(E)，受区域挤压应力影响，双城断陷挤压反转，导致嫩江组、四方台组和明水组等中浅层地层抬升剥蚀，而深层地层未发生褶皱变形，对深层构造圈闭无明显影响(图 6f)。

包裹体是一个天然的封闭容器，包裹体内捕获的流体包含其形成时的温度和组分信息，被广泛应用于成藏期次划分和运移路径示踪等方面[22]。镜下观察表明，双城断陷含烃包裹体在切穿石英的微裂隙和石英、方解石胶结物中呈线状、群状分布，与原油伴生的盐水包裹体均一温度在 82～130 ℃均有分布，主要集中在 100～110 ℃，呈单峰型分布，表明双城断陷深层经历了一期充注[23]，将其投影到 59 井埋藏史-热史图上，对应的主成藏期为青山口组末—姚家组初(80～78 Ma)，此时双城断陷正处于稳定坳陷阶段(图 6g、h)，深层的断背斜、背斜和断层圈闭早已形成，是深层原油运移的重要目标。

### 3.3　断层是油气运移重要通道

断层是登三段油藏远距离运移的主要通道[24]，断-砂配置关系决定圈闭有效性。双城断陷断层数量多、延伸距离长且普遍处于开启状态，部分断层自西部构造带、东部断阶延伸入中央洼槽，营四段烃源岩生成的油气沿这些断层向外排驱，进入两侧高部位的构造圈闭聚集，位于油源断层附近的圈闭含油性较好，远离油源断层的圈闭则为空圈闭。

断层两侧砂、泥配置关系决定了圈闭有效性[25]，其也是影响登三段油藏富集的重要因素。对于断层倾向与砂体走向相反的反向断层，断层两侧为砂泥对接，断层封闭性好，可形成有效圈闭(图 7a)，如 S68、S661、S70 和 S66 等井处的反向断层断距均大于油层厚度，形成砂泥对接的有效圈闭，试油也全部为工业油井。而断层倾向与砂体走向相同的同向断层，只有当断层完全断开储集砂体时，断层两侧才能形成砂泥的对接关系，如 S72 和 S7001 井处同向断层断距大于砂体厚度，此时断层侧向遮挡条件好，形成了有效圈闭，相应地，S72 和 S7001 井试油结果分别为油层和差油层，而 Sx77、S76 和 S71 井处同向断层断距小于砂体厚度，断层两侧为砂砂对接，断层的侧向遮挡条件差，为无效圈闭，Sx77、S76 和 S71 井试油也为干层或水层(图 7b)。




a. 初始断陷期($K_1hs$)；b. 强烈断陷期($K_1yc^1$)；c. 断坳转换期($K_1yc^4$)；d. 断坳转换期($K_1d$)；e. 稳定坳陷期($K_1q$—$K_2n$)；f. 挤压反转期(E)；g. 双城断陷埋藏史图；h. 营四段含烃流体包裹体均一温度直方图。

**图6 双城断陷构造演化阶段**

**Fig.6 Tectonic evolution stage of Shuangcheng fault depression**

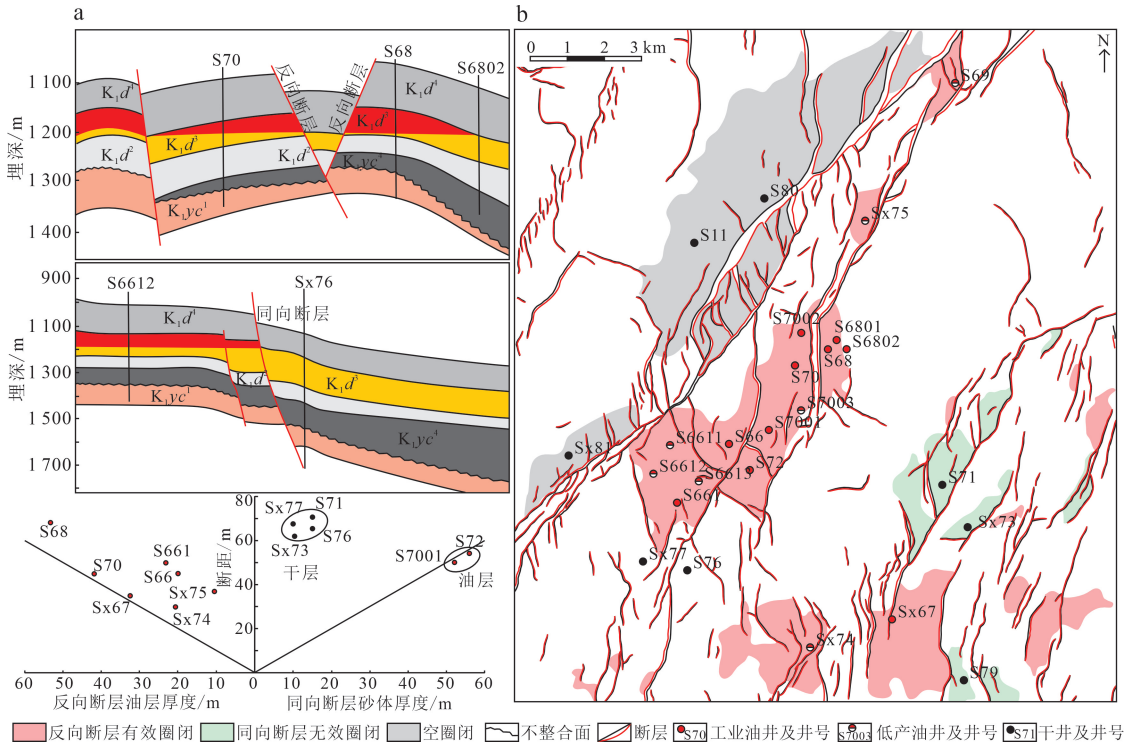
## 4 营四段成藏主控因素

### 4.1 裂缝与砂体联合控制致密油侧向运移

营四段沉积时双城断陷为扇三角洲-半深湖沉积。地震属性反演和S83、S71井岩心观察表明，西部构造带和东部断阶有多个扇三角洲砂砾岩体延伸入湖、被中央洼槽内半深湖相泥岩包裹形成“源内”岩性圈闭(图8a)。由于中央洼槽内营四段断层不太发育，致密油难以通过断层垂向运移。S59井的营四段岩心上见多条高角度裂缝，且裂缝内充填沥青质，荧光下裂缝内有明显的含油显示，S83、S59、S6802和S71井等油井的FMI(全井眼微电阻率扫描成像测井)图像上均见到大量裂缝，表明裂缝是营四段致密油重要的运移通道，这也明显区别于登三段构造油藏。垂向上多期扇三角洲叠加形成连续的厚层状砂体，也是营四段致密油重要的运移通道。致密油分布与砂体关系表明，致密油受砂体发育控制明显，砂体连续、厚度大于20 m的区域含油性较高，如S83井均钻遇高产油流，而S71、Sx73和Sx74砂体厚度较薄、含油性变差(图8b)，营四段砂岩向断陷两侧厚度减薄、致密油含油性也随之迅速变差，如S6802井处砂体开始上倾、尖灭，试油结果也由油层变为油水同层和含油水层。

### 4.2 泥岩排烃强度影响致密油的宏观分布

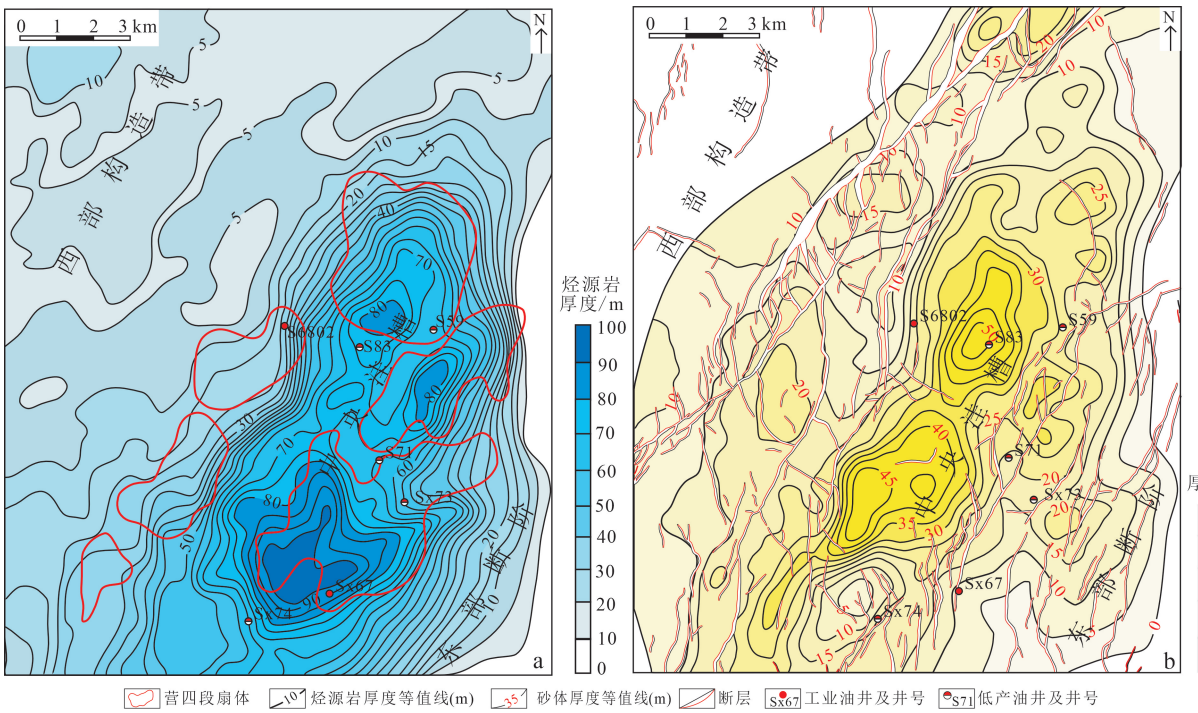
中央洼槽内深灰色、灰黑色泥岩和黑褐色油页岩厚度大，有机质丰度高，生、排烃强度分别在$20\times10^4\sim100\times10^4$ t/km$^2$和$5\times10^4\sim45\times10^4$ t/km$^2$之间，尤其是S83井处生、排烃强度最大，分别为$300\times10^4$ t/km$^2$和$53\times10^4$ t/km$^2$，营四段致密油也围绕生、排烃中心呈环状分布[26]。营四段致密油侧向运移距离短，高产油井集中在排烃强度大于$25\times10^4$ t/km$^2$的区域(图9)，表明具有较高排烃强度的




a. 断层两侧砂泥对接关系与含油气性；b. 登三段有效圈闭、无效圈闭。

**图 7　双城断陷断砂配置关系、有效圈闭与含油显示**

**Fig.7　Relationship of fault and sand, effective trap and oil display in Shuangcheng fault depression**




a. 扇体与烃源岩分布；b. 砂体厚度、断裂与油气显示。

**图 8　双城断陷营四段扇体与烃源岩厚度、砂体厚度和致密油分布**

**Fig.8　Source rock and sand body thickness and tight oil distribution in $K_1yc^4$ of Shuangcheng fault depression**

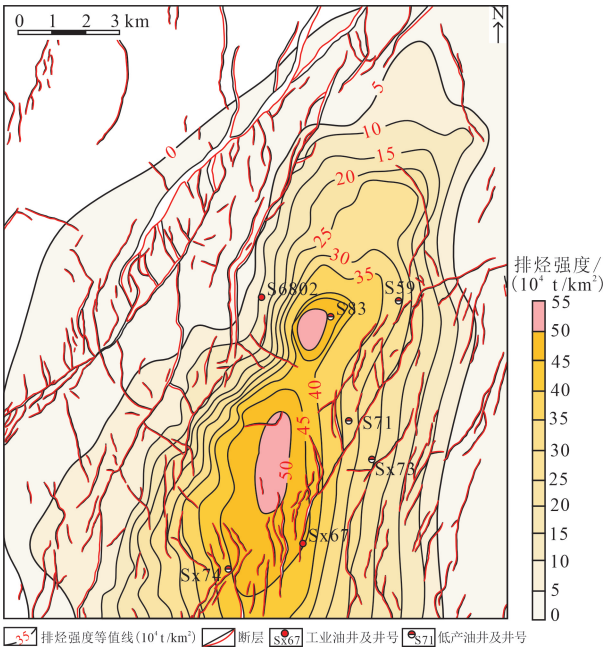


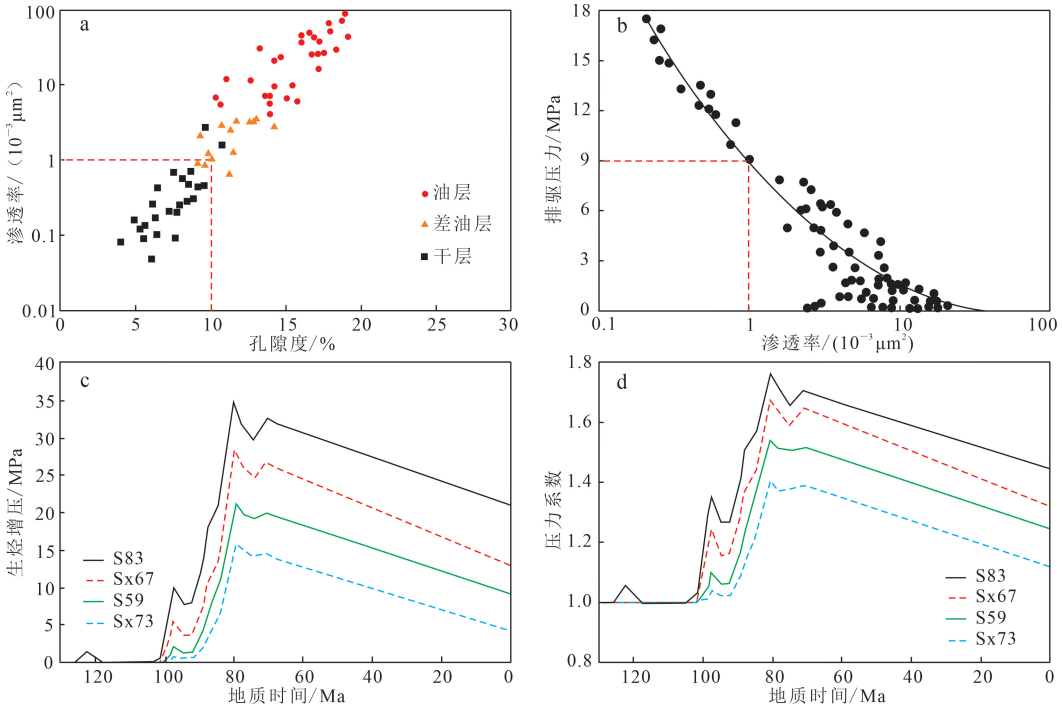

**图 9 双城断陷营四段烃源岩排烃强度与致密油分布**

**Fig. 9 Hydrocarbon expulsion intension and tight oil distribution in $K_1yc^4$ of Shuangcheng fault depression**

泥岩不仅是营四段致密油良好物质基础，也是控制致密油分布的重要因素。

### 4.3 超压是致密油充注主要动力

储层物性是控制致密油含油性的重要因素[27]，随孔隙度、渗透率减小，致密油储层的含油性也迅速变差，当孔隙度≥10%和渗透率≥$1\times10^{-3}$ μm²时为差油层或油层，孔隙度＜10%和渗透率$1\times10^{-3}$ μm²时，由于储层致密、原油难以充注成藏，基本为干层(图10a)。营四段作为典型的源内岩性油藏，储层致密、毛细管阻力大[28]，仅依靠浮力油气难以运移成藏，生烃增压形成的超压就成为营四段致密油充注成藏的主要动力[29]。62块样品高压压汞测试表明，营四段致密油储层的排驱压力与渗透率呈明显的线性关系，渗透率为$1\times10^{-3}$ μm²时对应的排驱压力为9 MPa(图10b)，也即营四段致密油充注成藏的门限为9 MPa。4口井生烃模拟实验表明，营四段烃源岩大规模成熟时地层压力为16.3～35.2 MPa(图10c)，对应的压力系数为1.42～1.76(图10d)，可形成5.3～15.6 MPa的超压，是营四段




a. 物性与含油性关系；b. 排驱压力与渗透率关系；c. 烃源岩生烃增压演化特征；d. 烃源岩压力系数演化特征。

**图 10 双城断陷营四段物性与含油性、烃源岩生烃增压演化特征**

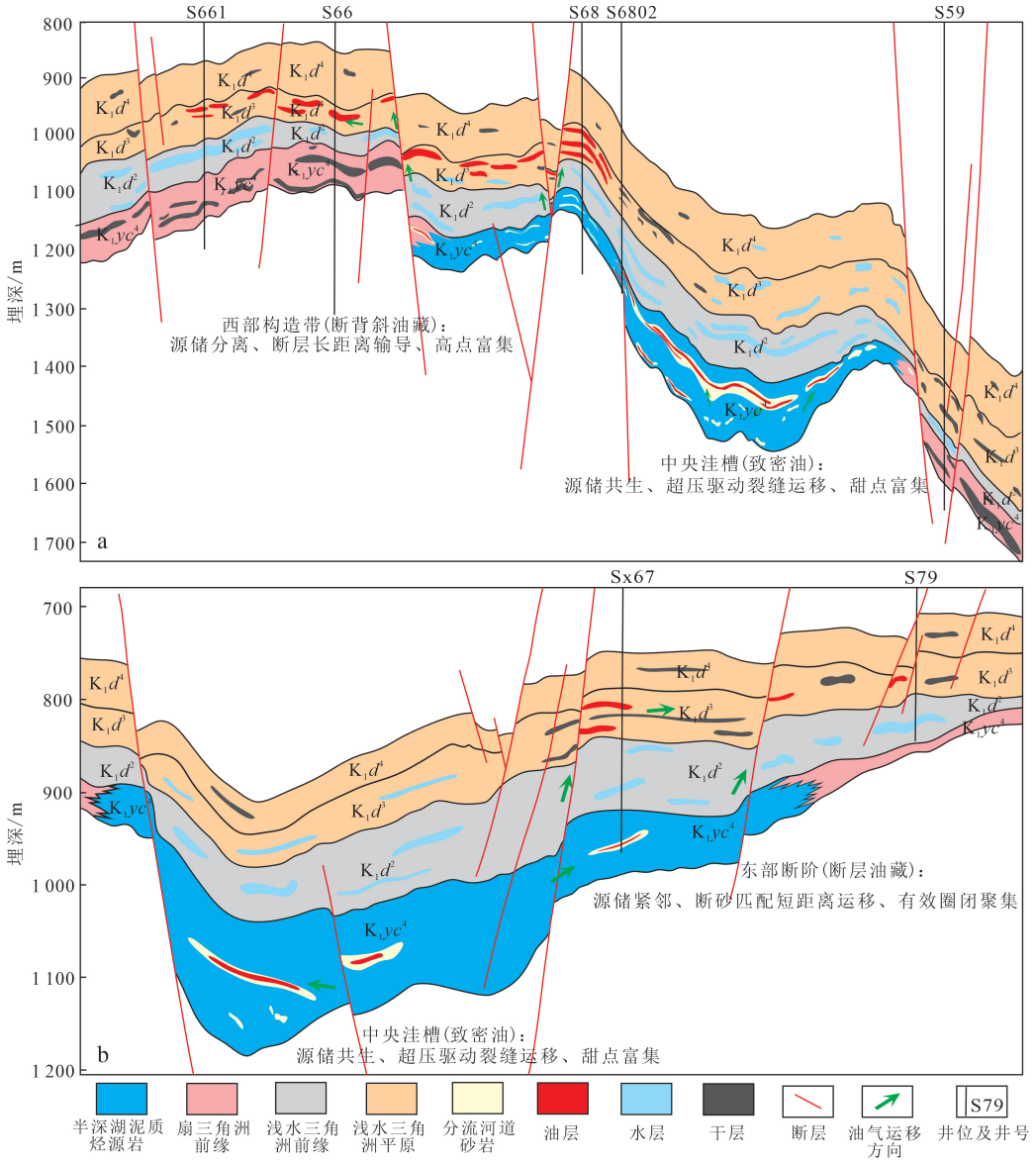
**Fig.10 Relationship between reservoir quality and oil display, hydrocarbon generation pressurization evolution of $K_1yc^4$ in Shuangcheng fault depression**

致密油充注成藏的有利保障。

## 5　深层原油成藏模式

在双城断陷深层油藏类型、主控因素及其差异性研究基础上，本次研究建立西部构造带“源储分离、断层长距离输导、高点富集”、东部断阶“源储紧邻、断砂匹配短距离运移、有效圈闭聚集”和中央洼槽“源储共生、超压驱动裂缝运移、甜点富集”等 3 种成藏模式。

西部构造带是一个被断层复杂化的背斜，发育大量断背斜、背斜和断层圈闭。虽然西部构造带远离生烃中心，油源条件较差，但其有多条断层延伸至中央洼槽，是油气长距离运移的重要通道。其油气分布受到烃源岩距离和油源断裂联合控制，靠近油源断裂的圈闭优先捕获油气，并在高点聚集形成断背斜、断层油藏，远离油源断裂的圈闭则无油气显示。从 S6802 井到 S68、S66 井，随运移距离增加，油气柱高度和圈闭充满度也逐渐降低（图 11a）。东部断阶紧邻中央洼槽生烃中心，油源条件好，NE 向断层不仅形成一系列小型断层圈闭，断裂和砂体组成的运移通道更促进了油气向东部断阶的运移。油气富集程度受圈闭有效性控制，只有断层两侧为砂




a. 西部构造带成藏模式；b. 东部断阶和中央洼槽成藏模式。

**图 11　双城断陷深层原油成藏模式**

**Fig.11　Hydrocarbon accumulation mode of deep oil in Shuangcheng fault depression**

泥对接时,才能形成有利于油气聚集的有效圈闭,如S67井;而断裂两侧为砂砂对接时,其封闭性较差,无油气聚集,如S79井(图11b)。

中央洼槽内断裂不发育,油气难以通过断层垂向运移,导致上覆的登三段未能成藏。中央洼槽内营四段扇三角洲砂砾岩被半深湖-深湖相烃源岩包裹形成营四段"源储共生"的致密油藏。营四段内广泛发育的裂缝是致密油主要的运移通道,在超压作用下的油气沿砂体内裂缝进行短距离运移,在局部甜点内聚集。油气富集受排烃强度、超压大小和储层物性联合控制,排烃强度大于$25\times10^4$ t/km$^2$、超压大于9 MPa范围内的甜点区是致密油有利勘探目标。

## 6 结论

1)双城地区深层分为西部构造带登三段背斜、断背斜油藏,东部断阶登三段断层岩性油藏和中央洼槽营四段致密油等4种类型。

2)登三段油气成藏受烃源岩、断裂和圈闭有效性联合控制,高丰度的湖相泥岩是登三段油藏的物质基础;主成藏期前各类圈闭即已形成,断层是油气运移重要目标;断-砂配置关系决定圈闭有效性。营四段致密油则受岩性圈闭、排烃强度和超压影响,排烃强度影响致密油宏观分布;生烃增压形成的超压是致密油充注主要动力,裂缝与砂体联合控制致密油侧向运移。

3)建立了西部构造带"源储分离、断层长距离输导、高点富集"、东部断阶"源储紧邻、断砂匹配短距离运移、有效圈闭聚集"和中央洼槽"源储共生、超压驱动裂缝运移、甜点富集"等3种成藏模式。

**参考文献(References):**


[1] 王兆明,温志新,贺正军,等. 全球近10年油气勘探新进展特点与启示[J].中国石油勘探,2022,27(2):27-37.
Wang Zhaoming, Wen Zhixin, He Zhengjun, et al. Characteristics and Enlightenment of New Progress in Global Oil and Gas Exploration in Recent Ten Years [J]. China Petroleum Exploration, 2022, 27(2): 27-37.

[2] 窦立荣,温志新,王建君,等.2021年世界油气勘探形势分析与思考[J].石油勘探与开发,2022,49(5):1033-1044.
Dou Lirong, Wen Zhixin, Wang Jianjun, et al. Analysis of the World Oil and Gas Exploration Situation in 2021 [J]. Petroleum Exploration and Development, 2022, 49(5): 1033-1044.

[3] 郭旭升.我国陆上未来油气勘探领域探讨与攻关方向[J].地球科学,2022,47(10):3511-3523.
Guo Xusheng. Discussion and Research Direction of Future Onshore Oil and Gas Exploration in China[J]. Earth Science, 2022, 47(10): 3511-3523.

[4] Ding Z W, Wang R J, Chen F F, et al. Origin, Hydrocarbon Accumulation and Oil-Gas Enrichment of Fault-Karst Carbonate Reservoirs: A Case Study of Ordovician Carbonate Reservoirs in South Tahe Area of Halahatang Oilfield, Tarim Basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2020, 47(2): 306-317.

[5] Chen J X, Guo X W, Han Y J, et al. Combination of Basin Modeling and Carbazoles to Investigate Secondary Oil Migration Pathways in the Dongying Depression of Bohai Bay Basin, China[J]. Marine and Petroleum Geology, 2021, 131: 105163.

[6] 何海清,范土芝,郭旭杰,等.中国石油"十三五"油气勘探重大成果与"十四五"发展战略[J].中国石油勘探,2021,26(1):17-30.
He Haiqing, Fan Tuzhi, Guo Xujie, et al. Major Achievements in Oil and Gas Exploration of Petro China During the 13th Five-Year Plan Period and Its Development Strategy for the 14th Five-Year Plan[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(1): 17-30.

[7] 李斌,张欣,郭强,等.塔里木盆地寒武系超深层含油气系统盆地模拟[J].石油学报,2022,43(6):804-815.
Li Bin, Zhang Xin, Guo Qiang, et al. Basin Modeling of Cambrian Ultra-Deep Petroleum System in Tarim Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2022, 43(6): 804-815.

[8] 何登发,马永生,刘波,等.中国含油气盆地深层勘探的主要进展与科学问题[J].地学前缘,2019,26(1):1-12.
He Dengfa, Ma Yongsheng, Liu Bo, et al. Main Advance and Key Issues for Deep-Seated Exploration in Petroliferous Basins in China [J]. Earth Scienc Frontiers, 2019, 26(1): 1-12.

[9] 周翔,李绍虎.基于层序地层格架的成岩作用研究:以徐家围子断陷沙河子组为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(6):1800-1812.
Zhou Xiang, Li Shaohu. Diagenesis in Sequence Stratigraphical Framework: A Case Study on Shahezi Formation in Xujiaweizi Fault Depression[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2022, 52(6): 1800-1812.

[10] 张东东，刘文汇，王晓峰，等.深层油气藏成因类型及其特征[J].石油与天然气地质，2021，42(5)：1169－1180.
Zhang Dongdong，Liu Wenhui，Wang Xiaofeng，et al. Genetic Types and Characteristics of Deep Oil and Gas Plays[J]. Oil & Gas Geology，2021，42(5)：1169－1180.

[11] 白雪峰，梁江平，张文婧，等.松辽盆地北部深层天然气地质条件、资源潜力及勘探方向[J].天然气地球科学，2018，29(1)：1443－1454.
Bai Xuefeng，Liang Jiangping，Zhang Wenjing，et al. Geologic Conditions，Resource Potential and Exploratory Direction of Deep Gas in the Northern Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience，2018，29(1)：1443－1454.

[12] 张姣，辛朝坤，张军勇.火山喷发机构、期次及其控藏作用：以松辽盆地北部莺山凹陷营一段为例[J].石油与天然气地质，2018，39(2)：291－299.
Zhang Jiao，Xin Chaokun，Zhang Junyong. A Study on Volcanic Eruption Edifices and Stages and Their Control over Hydrocarbon Accumulation：A Case Study of the First Member of the Yingcheng Formation in Yingshan Sag，Northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology，2018，39(2)：291－299.

[13] 印长海，孙立东，刘超，等.松辽盆地双城地区原油成藏条件与主控因素[J].大庆石油地质与开发，2018，37(6)：1－6.
Yin Changhai，Sun Lidong，Liu Chao，et al. Conditions and Master Controlling Factors for the Petroleum Accumulation in Shuangcheng Area of Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing，2018，37(6)：1－6.

[14] 易士威，李明鹏，徐淑娟，等.松辽盆地双城断陷结构特征及控藏模式[J].天然气地球科学，2020，31(6)：761－772.
Yi Shiwei，Li Mingpeng，Xu Shujuan，et al. Structural Characteristics and Hydrocarbon Models of Shuangcheng Sag[J]. Natural Gas Geoscience，2020，31(6)：761－772.

[15] 孙立东，印长海，刘超，等.松辽盆地营城组优质烃源岩地质特征及勘探意义[J].石油学报，2019，40(10)：1171－1179.
Sun Lidong，Yin Changhai，Liu Chao，et al. Geological Characteristics and Exploration Significance of High-Quality Source Rocks in Yingcheng Formation，Songliao Basin[J]. Acta Petroleum Sinica，2019，40(10)：1171－1179.

[16] 印长海，孙立东，刘超，等.松辽盆地双城地区登娄库组储层特征及控制因素[J].大庆石油地质与开发，2019，38(2)：1－7.
Yin Changhai，Sun Lidong，Liu Chao，et al. Reservoir Characteristics and Controlling Factors of Denglouku Formation in Shuangcheng Area of Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing，2019，38(2)：1－7.

[17] 庞振宇，赵习森，孙卫，等.致密气成藏动力及成藏模式：以鄂尔多斯盆地 L 区块山 1 储层为例[J].吉林大学学报(地球科学版)，2017，47(3)：674－684.
Pang Zhenyu，Zhao Xisen，Sun Wei，et al. Study on Dynamics and Models of Hydrocarbon Accumulation of Tight Sandstone Gas Reservoir：Taking Shan 1 Formation of Block L in Ordos Basin as an Example[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition)，2017，47(3)：674－684.

[18] 陈静，陈军，李卉，等.准噶尔盆地玛中地区二叠系—三叠系叠合成藏特征及主控因素[J].岩性油气藏，2021，33(1)：71－80.
Chen Jing，Chen Jun，Li Hui，et al. Characteristic and Main Controlling Factors of Permian-Triassic Superimposed Reservoirs in Central Mahu Sag，Junggar Basin[J]. Lithologic Reservoir，2021，33(1)：71－80.

[19] 印长海，冉清昌，齐景顺.双城断陷地质结构与主控断裂形成机制[J].天然气工业，2009，29(11)：13－15.
Yin Changhai，Ran Qingchang，Qi Jingshun. Geological Structure and Formation Mechanism of the Major Faults in Shuangcheng Fault Depression，Northern Songliao Basin[J]. Natural Gas Industry，2009，29(11)：13－15.

[20] Zhou X，Sun L D. Control Factors in the Formation and Evolution of Source Rocks in the Shahezi Formation，Xujiaweizi Fault Depression，Songliao Basin[J]. Energy Geoscience，2023，4：1－16.

[21] 蔡来星，卢双舫，肖国林，等.论优质源储耦合关系的控藏作用：对比松南致密油与松北致密气成藏条件[J].吉林大学学报(地球科学版)，2018，48(1)：15－28.
Cai Laixing，Lu Shuangfang，Xiao Guolin，et al. Controlling Action of Space-Time Coupling Relation Between High-Quality Source Rocks and High-Quality Reservoirs：Contrasting Accumulation Conditions of Tight Oil in the Southern Songliao Basin with Tight Gas in the Northern Songliao Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Scienc

Edition),2018,48(1):15-28.

[22] 刘学珍,杨迎春,周翔.鄂尔多斯盆地代家坪地区延长组原油成因及成藏期次[J].新疆石油地质,2019,40(4):414-421.
Liu Xuezhen, Yang Yingchun, Zhou Xiang. Genesis and Accumulation Periods of Oil in Yanchang Formation of Daijiaping Area, Ordos Basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2019,40(4):414-421.

[23] 李艳霞,吴雨威,王巧玲,等.陆相页岩气富集主控因素:以鄂尔多斯盆地延安探区山西组为例[J].地质通报,2023,42(9):1423-1431.
Li Yanxia, Wu Yuwei, Wang Qiaoling, et al. Main Controlling Factors of Continental Shale Gas Enrichment: A Case Study of Shanxi Formation in Yan'an Exploration Area, Ordos Basin [J]. Geological Bulletin of China, 2023, 42(9): 1423-1431.

[24] 牛成民,王飞龙,何蒋启,等.渤海海域渤中19-6潜山气藏成藏要素匹配及成藏模式[J].石油实验地质,2021,43(2):259-267.
Niu Chengmin, Wang Feilong, He Jiangqi, et al. Accumulation Factor Matching and Model of Bozhong 19-6 Buried Hill Gas Reservoir, Bohai Sea Area[J]. Petroleum Geology & Experiment,2021,43(2):259-267.

[25] 周翔,于士泉,张大智,等.松辽盆地徐深气田致密火山岩气藏气水分布特征及主控因素[J].石油与天然气地质,2019,40(5):1038-1047.
Zhou Xiang, Yu Shiquan, Zhang Dazhi, et al. Characteristics and Major Controlling Factors of Gas-Water Distribution in Tight Volcanic Gas Reservoir in Xushen Gas Field, Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2019,40(5):1038-1047.

[26] 汪少勇,黄福喜,宋涛,等.中国陆相致密油"甜点"富集高产控制因素及勘探建议[J].成都理工大学学报(自然科学版),2019,46(6):641-650.
Wang Shaoyong, Huang Fuxi, Song Tao, et al. Enrichment and Prolific Factors of "Sweet Spots" of Terrestrial Tight Oil in China and Its Exploration Suggestion[J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2019, 46(6):641-650.

[27] 周淋,杨文敬,谢题志,等.苏里格气田南区莲102井区盒8段储层微观孔隙结构及气-水渗流特征[J].地质通报,2022,41(4):682-691.
Zhou Lin, Yang Wenjing, Xi Tizhi, et al. Reservoir Micropore Structure and Gas-Water Percolation in He 8 Member of Well Lian 102 in South Area of Sulige Gas Field[J]. Geological Bulletin of China, 2022, 41(4): 682-691.

[28] Jiu B, Huang W H, Mu N N, et al. Effect of Hydrothermal Fluids on the Ultra-Deep Ordovician Carbonate Rocks in Tarim Basin, China[J]. Journal of Petroleum Scienc and Engineering, 2020, 194: 107445.

[29] 姚泾利,赵彦德,邓秀芹,等.鄂尔多斯盆地延长组成藏控制因素[J].吉林大学学报(地球科学版),2015,45(4):983-992.
Yao Jingli, Zhao Yande, Deng Xiuqin, et al. Controlling Factors of Tight Oil Reservoir in Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin[J]. Journal of Jilin University (Earth Scienc Edition), 2015, 45(4): 983-992.