文章编号:1673-5005(2016)03-0036-08 doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2016.03.005

# 区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂运移机制及其判别方法

付 广,张博为,吴 伟

(东北石油大学地球科学学院,黑龙江大庆 163318)

**摘要**:依据区域性泥岩盖层内断裂发育特征与油气沿断裂运移的关系和所需条件分析,对盖层阻止油气沿输导断裂运移机制进行研究,通过断接厚度与断裂上下不连接所需的相对最小断接厚度比较,建立一套区域性泥岩盖层阻止油气沿断裂运移的判别方法,并将其应用于南堡凹陷东二段相关研究中。结果表明:区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂向上运移的机制是断裂在其内上下不连接,不能成为油气输导通道;形成条件是盖层断接厚度大于最小断接厚度;南堡凹陷东二段区域性泥岩盖层能够阻止下伏沙三段或沙一段源岩生成的天然气沿输导断裂向上运移的区域主要分布在凹陷西部,少量分布在凹陷东部局部地区,与目前的天然气分布相吻合,新方法可以用于判别区域性泥岩盖层能否阻止油气沿输导断裂运移。

**关键词**:泥岩盖层; 输导断裂; 活动时期; 油气; 封闭机制; 判别方法

**中图分类号**:TE 122.1 **文献标志码**:A

**引用格式**:付广,张博为,吴伟. 区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂运移机制及其判别方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016,40(3):36-43.

FU Guang, ZHANG Bowei, WU Wei. Mechanism and detection of regional mudstone caprock sealing oil and gas migration along transporting fault [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2016,40(3):36-43.

# Mechanism and detection of regional mudstone caprock sealing oil and gas migration along transporting fault

FU Guang, ZHANG Bowei, WU Wei

(*College of Earth Sciences*, *Northeast Petroleum University*, *Daqing* 163318, *China*)

**Abstract**: The mechanism and its detection of mudstone caprock sealing oil and gas migration along transporting fault were studied by analyzing the relation between the fault growth in regional mudstone caprock and oil and gas migration along transporting fault, and the required conditions. Through comparison of fault connecting thickness and the minimum thickness that upper and lower fault cannot connected, a detecting method of regional mudstone caprock sealing oil and gas migration along fault was determined, and was applied to the second member of Dongying Formation in Nanpu Depression. It is found that the condition of active regional mudstone caprock sealing oil and gas migration along fault is that the upper and lower fault cannot be connected, therefore allows a transporting passage of oil and gas. The formation requires that the caprock's fault connecting thickness is larger than the minimum faulting thickness. The area of caprock sealing oil and gas migration along transporting fault in the second member of Dongying Formation is mainly located in the west of Nanpu Depression and a small local area in the east, consistent with the distribution of found gas at present. The proposed method is available to detect whether regional mudstone caprock can seal oil and gas migration along transporting fault.

**Keywords**: mudstone caprock; transporting fault; active period; oil and gas; sealing mechanism; judgement method

油气勘探的实践表明,断裂在含油气盆地下生上储式生储盖组合中对油气的运聚成藏起到了非常

**收稿日期**:2015-12-19

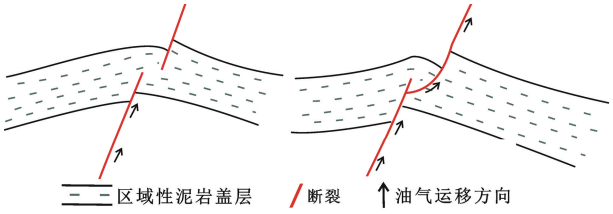
**基金项目**:国家自然科学基金项目(41372153)

**作者简介**:付广(1962-),男,教授,博士,研究方向为油气藏形成与保存。E-mail: fuguang2008@126.com。

重要的作用。其运聚过程通常是下伏源岩生成的油气沿输导断裂向上覆地层中运移,由于受到区域性泥岩盖层阻挡,油气便在此处发生向断裂两侧砂体的侧向分流运移,并在其附近的圈闭中聚集成藏[1-6]。油气并非完全分布在盖层之下,也可分布在盖层之上。表明油气遇到输导断裂错开的盖层时,油气可不穿过盖层向上运移,只在其下聚集分布;也可穿过盖层向上运移,在其上下聚集分布。盖层既可阻止油气沿输导断裂向上运移,也可不阻止油气沿输导断裂向上运移。能否正确认识盖层阻止油气沿输导断裂向上运移机制,是认识含油气盆地下生上储式生储盖组合油气分布规律和指导勘探方向的关键。关于区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂向上运移,前人曾做过研究和探讨,主要是对静止期盖层阻止油气沿断裂向上运移作用的研究[7-10],而对活动时期盖层阻止油气沿断裂向上运移作用的研究,仅仅从断裂断距和盖层厚度的相对数值入手,通过统计盖层断接厚度(断接厚度是指当盖层被断裂错断时,盖层未被错开的厚度,其值等于盖层厚度减去断裂断距)与其上下油气分布关系,确定盖层阻止油气沿断裂运移最小断接厚度,以此判别区域性泥岩盖层对油气沿输导断裂向上运移是否具有阻止作用[11-14]。这一研究成果对指导含油气盆地下生上储式生储盖组合油气勘探起到了重要作用。然而,该方法认为当盖层断接厚度大于最小断接厚度时油气不能沿断裂穿过盖层向上运移,在以往相关研究中均未给出机制解释,使这种盖层阻止油气沿输导断裂向上运移的判别方法的应用明显缺少理论依据,使其应用的普遍性受到了限制,不利于含油气盆地下生上储式生储盖组合油气勘探的深入。笔者依据区域性泥岩盖层内断裂发育特征与油气沿断裂运移的关系和所需条件分析,对盖层阻止油气沿输导断裂运移机制进行研究。

## 1　区域性泥岩盖层内输导断裂发育特征及其所需条件

当区域性泥岩盖层遭到输导断裂(输导断裂是指在油气运移期活动的断裂,是油气垂向运移的输导通道,通常情况为长期发育的断裂)破坏时,由于其塑性较强、厚度大,输导断裂在其内并非上下生长连接形成贯通性断裂,而是在其内逐渐分段生长[15]。首先,在输导断裂破坏区域性盖层的早期,由于输导断裂活动强度弱,断距相对较小,盖层断接厚度相对较大,输导断裂在其内上下不连接生长(图 1(a))。随着输导断裂累积活动,断距逐渐增大,盖层断接厚度逐渐变小,其内部上下输导断裂逐渐生长连接,当断裂断距增大(或盖层断接厚度减小)到某一定值时,盖层内输导断裂上下连接生长形成贯通性断裂[16](图 1(b))。盖层内输导断裂的这种分段生长连接现象在地下应是普遍存在的,这可以从钻井剖面、地震剖面、野外露头和物理模拟(图 2,据王海学[15])等多方面得到证实。

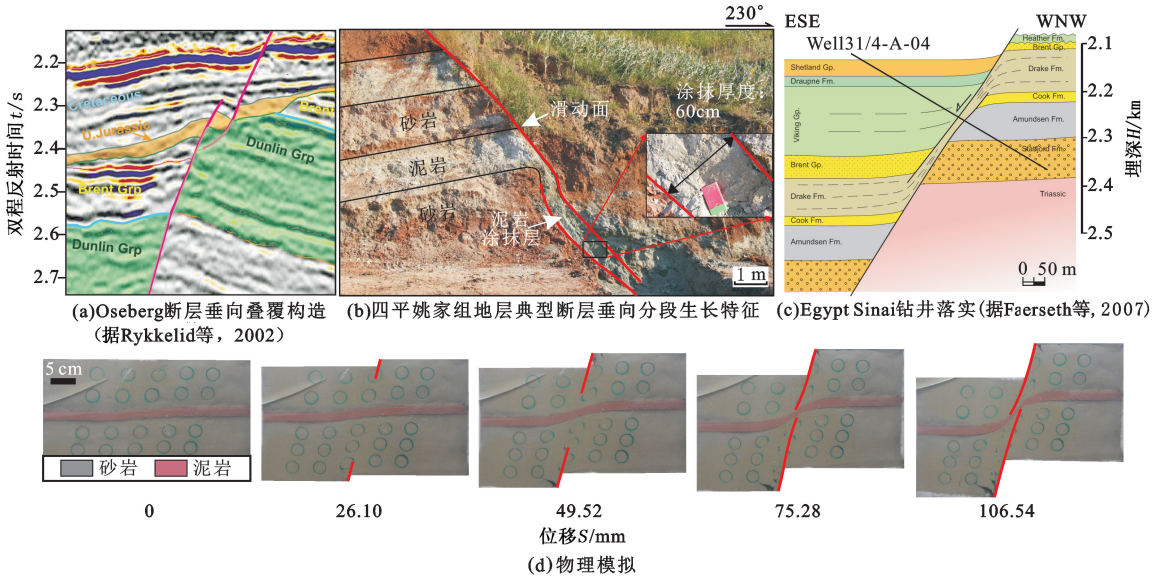



(a)输导断裂呈上下不连接分布　　(b)输导断裂呈上下连接分布

**图 1　区域性泥岩盖层内输导断裂生长发育特征示意图**

**Fig. 1　Transporting fault growth features in regional mudstone caprock**

由上述区域性泥岩盖层内输导断裂分段生长发育机制分析可以看出,由于受到盖层本身发育特征和断裂活动强度等因素的影响,并非所有的盖层内输导断裂分段生长最终均可上下连接形成贯通性断裂,仍会有一部分断裂在盖层内上下不连接(图 2)。如松辽盆地三肇凹陷青一段泥岩盖层,厚度大(最大厚度可大于 100 m),在整个盆地均有分布,是其中下部含油气组合扶余油层油气的区域性泥岩盖层。其被大量 $T_2$ 断裂所错断,如图 3 所示。由图 3 中可以看出,在肇 114 井—徐 22 井地震剖面上的肇 114 井、肇 113 井、芳 136 井西侧、芳 481 井、徐 22 井处,由于青一段泥岩盖层厚度相对较大,而 $T_2$ 层的 6 条输导断距相对较小,在盖层内呈上下不连接分布。在芳 136 井东侧和徐深 22 井东侧,由于 $T_2$ 层 2 条输导断裂断距相对较大,盖层厚度相对较小,其内 2 条输导断裂呈上下连接分布(图 3,据王海学[15])。由此看来,输导断裂在盖层内是否上下连接分布的关键取决于断裂对盖层的破坏程度,即盖层断接厚度,如果断裂断距相对较小,而盖层厚度相对较大,所形成的盖层断接厚度也就相对较大,其内断裂的上下生长程度相对较差,不易连接生长形成贯通断裂分布在盖层内。相反,如果断裂断距相对较大,而盖层厚度相对较小,所形成的盖层断接厚度也就相对较小,其内输导断裂的上下生长程度相对较好,易连接生长形成贯通断裂分布在盖层内。




(a)Oseberg断层垂向叠覆构造(据Rykkelid等，2002)　(b)四平姚家组地层典型断层垂向分段生长特征　(c)Egypt Sinai钻井落实(据Faerseth等, 2007)

(d)物理模拟

**图 2　区域性泥岩盖层内输导断裂分段生长在地震、钻井、野外和物理模拟试验中的表现特征**

**Fig. 2　Performance characteristics of transporting fault growth form simulation test of seismic, drilling, field and physical in regional mudstone caprock**

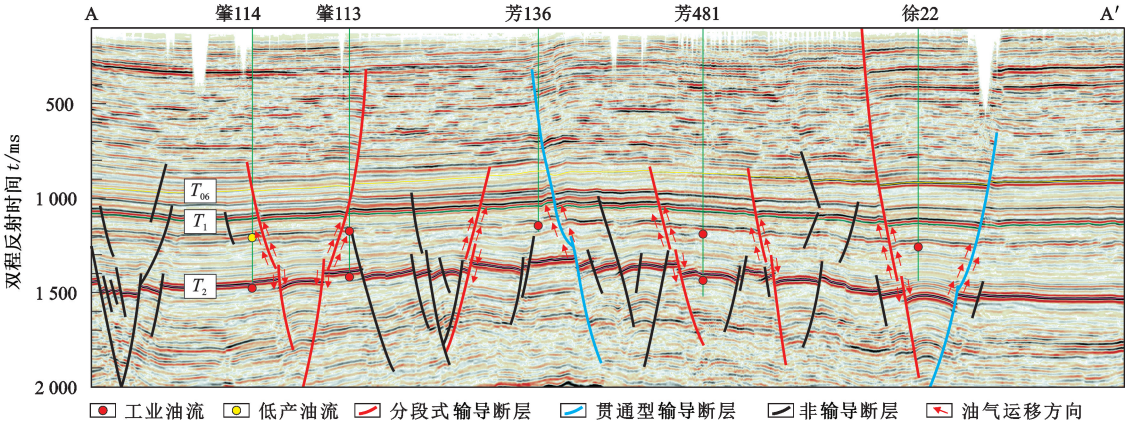



**图 3　三肇凹陷青一段泥岩盖层内输导断裂发育特征**

**Fig. 3　Features of transporting fault growth form in mudstone caprock of Qingshankou Formation member Ⅰ in Sanzhao Depression**

## 2　区域性泥岩盖层阻止油气沿断裂运移机制及其判别方法

由以上分析可知,区域性泥岩盖层遭到输导断裂破坏后,通常情况下输导断裂在其内分布有两种情况,一种情况是输导断裂在盖层内上下不连接分布(图 1(a))。这种情况下盖层对油气沿输导断裂运移可以起阻止作用,油气不能沿输导断裂穿过盖层向上运移,因为盖层内输导断裂上下不连接,为 2 条断裂,不能成为油气穿过盖层向上运移的输导通道。这种情况下油气仅分布在盖层之下,其上无油气分布。另一种情况是输导断裂在区域性盖层内上下连接,可以成为油气穿过盖层向上运移的输导通道(图 1(b))。这种情况下盖层不能对油气沿输导断裂运移起阻止作用,油气可以沿输导断裂穿过盖层向上运移,油气既可以在盖层之下分布,也可以在其上分布。由此可见,区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂运移机制应是输导断裂在其内上下不连接,不能成为油气运移的输导通道。

由上可知,判断盖层能否阻止油气沿输导断裂运移,必须确定输导断裂在盖层内是否上下连接。然而受目前地震资料品质的限制,通过地震方法研究输导断裂在盖层内是否上下连接是困难的,只能通过统计含油气盆地下生上储式生储盖组合中某一区域性泥岩盖层的断接厚度与其上下油气分布之间的关系以确定盖层内输导断裂上下是否连接(图 4)。具体方法是将盖层的断接厚度从小到大排列,根据其上下油气的分布特征,将仅在盖层之下有油气分布和其上下

皆有油气分布之间的断接厚度范围(图 4 中的 $H_{f9}$ ~ $H_{f10}$)认为是该盖层内输导断裂上下不连接的最小断接厚度。如果盖层断接厚度大于此值,表明其内输导断裂上下不连接,油气不能沿输导断裂穿过盖层向上运移,盖层对油气沿输导断裂运移起阻止作用,油气只能在其下聚集分布;反之,如果盖层内输导断裂上下连接分布,油气可以沿输导断裂穿过盖层向上运移,盖层对油气沿输导断裂运移无阻止作用,油气可以在其上聚集分布,也可以在其下聚集分布。利用上述确定的最小断接厚度,可以判别区域性泥岩盖层对油气沿断裂运移是否起阻止作用。

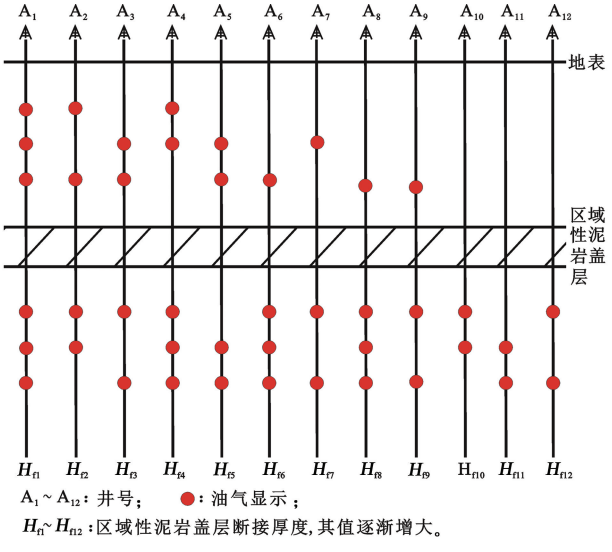



**图 4　区域性泥岩盖层内输导断裂上下不连接的最小断接厚度厘定示意图**

**Fig. 4　Sketch map of determination of minimum faulted thickness with transport fault inconnected from up to down in regional mudstone caprock**

## 3　实例应用

以南堡凹陷古近系东营组二段区域性泥岩盖层为例,利用上述方法判别其对天然气沿输导断裂运移是否起阻止作用,并通过判别结果与天然气分布关系分析,验证该方法用于判别区域性泥岩盖层对油气沿输导断裂运移是否起阻止作用的可行性。

油气勘探的结果表明,南堡凹陷目前已在东二段泥岩盖层下储层中找到了大量天然气,是该凹陷各层位中天然气量最大的(图 5)。气源对比结果表明,南堡凹陷东二段泥岩盖层之下储层中天然气主要来自下伏沙河街组三段或一段源岩。由于东二段泥岩盖层之下储层与下伏沙三段或沙一段源岩之间被多套泥岩层相隔,源岩生成的天然气不能通过地层岩石孔隙直接向上覆储层中运移,只能通过断裂才能运移至上覆储层中。三维地震资料解释结果表明,东二段泥岩盖层之下储层内发育有大量不同类型的断裂,但并不是所有断裂均可成为源岩生成的天然气向上覆东二段泥岩盖层之下储层运移的输导断裂,只有连接源岩和上覆储层,且在源岩大量排烃期——东营组沉积末期或明化镇组沉积中晚期[12]活动的断裂才能成为输导断裂。南堡凹陷按照断裂活动时期相对早晚和成因可将其划分为 6 套系统(图 6),由图 6 可以看出,能够成为沙三段或沙一段源岩生成的天然气向上覆东二段泥岩盖层之下储层运移的输导断裂主要是 V 型和 VI 型断裂,这两类输导断裂在南堡凹陷全区分布,主要呈北东东向展布,凹陷东部和南北发育,凹陷东北部相对不发育(图 7)。

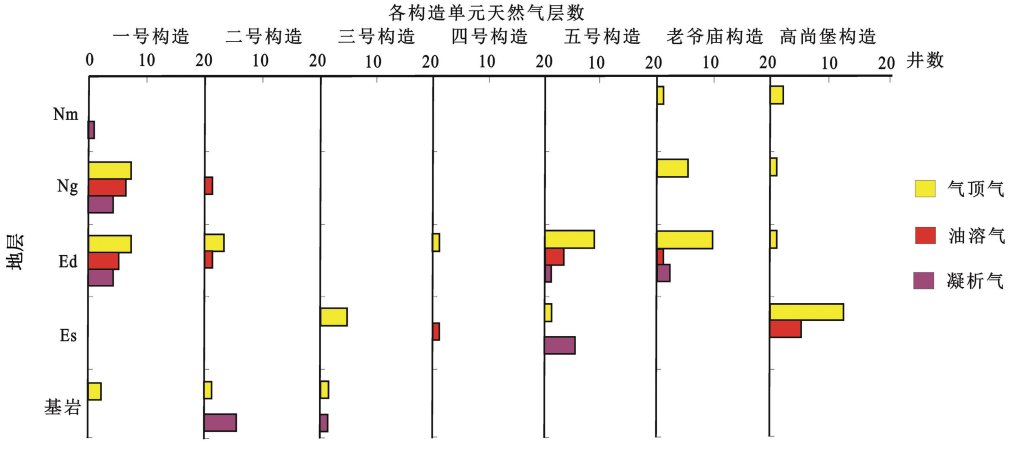



**图 5　南堡凹陷不同构造天然气分布层位**

**Fig. 5　Gas distribution layers in different structures in Nanpu Depression**

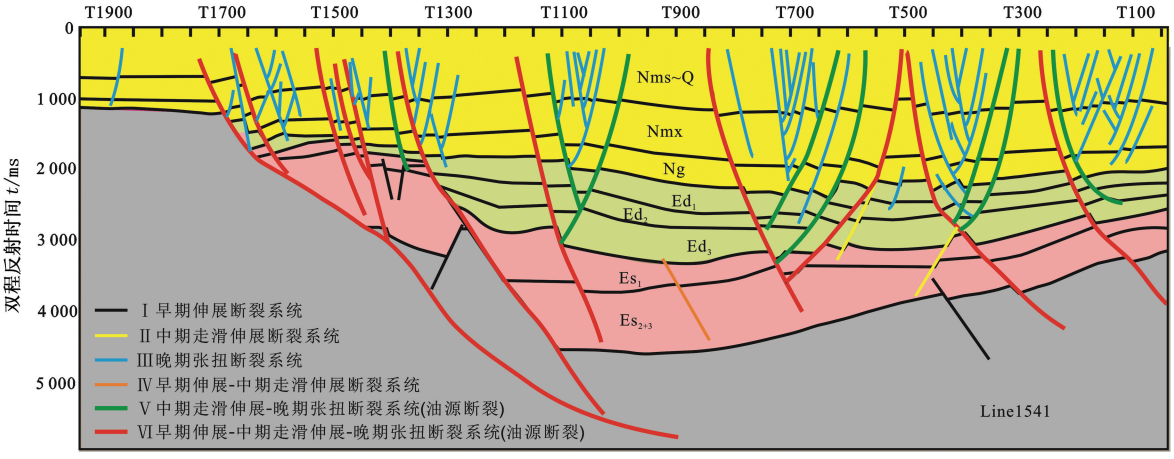



**图 6　南堡凹陷典型剖面断裂系统划分**

**Fig. 6　Division of fault types in typical section of Nanpu Depression**

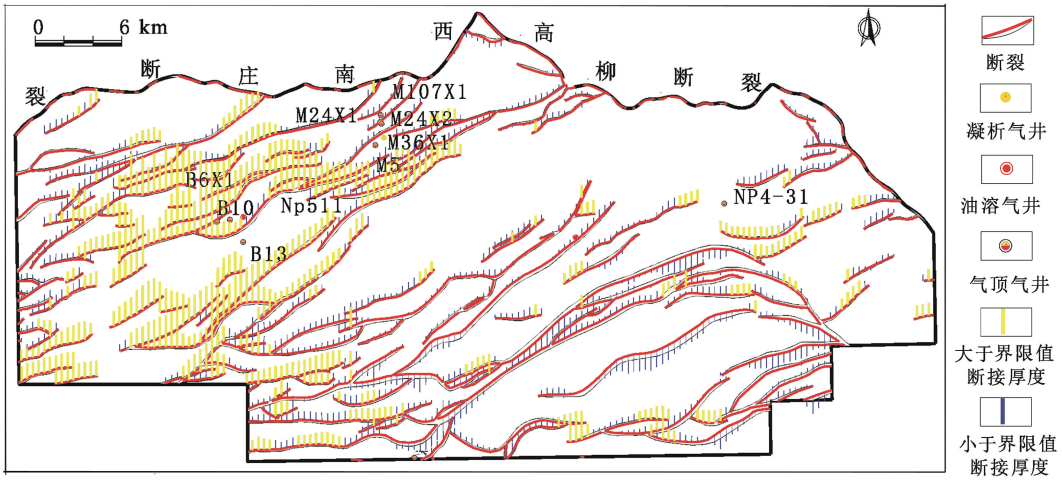



**图 7　南堡凹陷东二段泥岩盖层断接厚度分布**

**Fig. 7　Distribution of mudstone caprock faulted thickness in the second member of Dongying Formation in Nanpu Depression**

沙三段或沙一段源岩生成的天然气沿Ⅴ型和Ⅵ型输导断裂向上运移,进入到东二段泥岩盖层之下储层后,必然受到东二段泥岩盖层的阻挡。由图 8 中可以看出,南堡凹陷东二段泥岩盖层全区分布,厚度最大可达到 350 m,主要分布在凹陷西部,凹陷东南部出现局部厚度高值区,厚度大于 250 m,由凹陷西部和东南部向其四周盖层厚度逐渐减小,在凹陷边部盖层厚度减小至 100 m。由此看出,东二段泥岩盖层应属于一套区域性泥岩盖层,其能否阻止沙三段或沙一段源岩生成天然气沿输导断裂向上运移,对于研究其下东二段泥岩盖层之下储层中天然气聚集与分布具有重要意义。

通过南堡凹陷 57 口探井所得到的东二段泥岩盖层厚度值和地震资料得到的断穿其的 Ⅴ 型和 Ⅵ 型输导断裂断距,计算各井处东二段泥岩盖层断接厚度,将其由小到大排列,并统计各井盖层上下天然气分布特征(图 9),按照上述图 4 中确定区域性泥岩盖层内上下输导断裂不连接的最小断接厚度的方法,由图 9 可以得到东二段泥岩盖层内输导断裂上下不连接的最小断接厚度为 120 ~ 140 m。若东二段泥岩盖层断接厚度大于 120 ~ 140 m,输导断裂在其内上下不连接分布,不能成为天然气穿过盖层向上运移的输导通道,天然气不能沿输导断裂向上穿过东二段泥岩盖层向上运移,使天然气在其下聚集分布;相反,如果东二段泥岩盖层断接厚度小于 120 ~ 140 m,输导断裂在其内上下连接,成为天然气向上的输导通道,天然气可沿输导断层穿过东二段泥岩盖层向上运移,使天然气在其上下聚集分布。

通过统计南堡凹陷断穿东二段泥岩盖层内所有输导断裂的断距和盖层厚度,计算盖层断接厚度,并作出平面分布图(图 7),并按照上述东二段泥岩盖层内输导断裂上下连接的最小断接厚度,对其能否

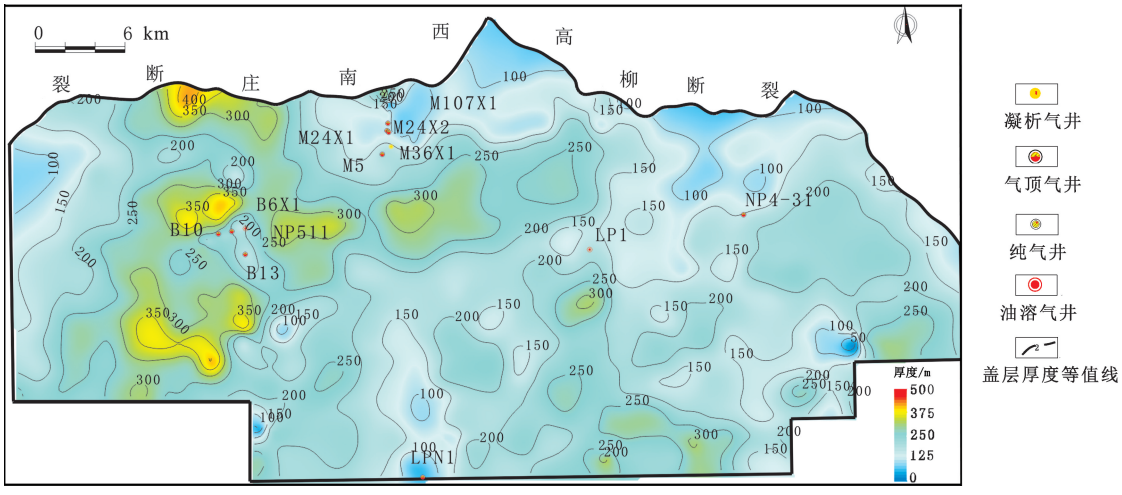



**图 8　南堡凹陷东二段泥岩盖层厚度分布**

**Fig. 8　Distribution of mudstone caprock thickness in the second member of Dongying Formation in Nanpu Depression**

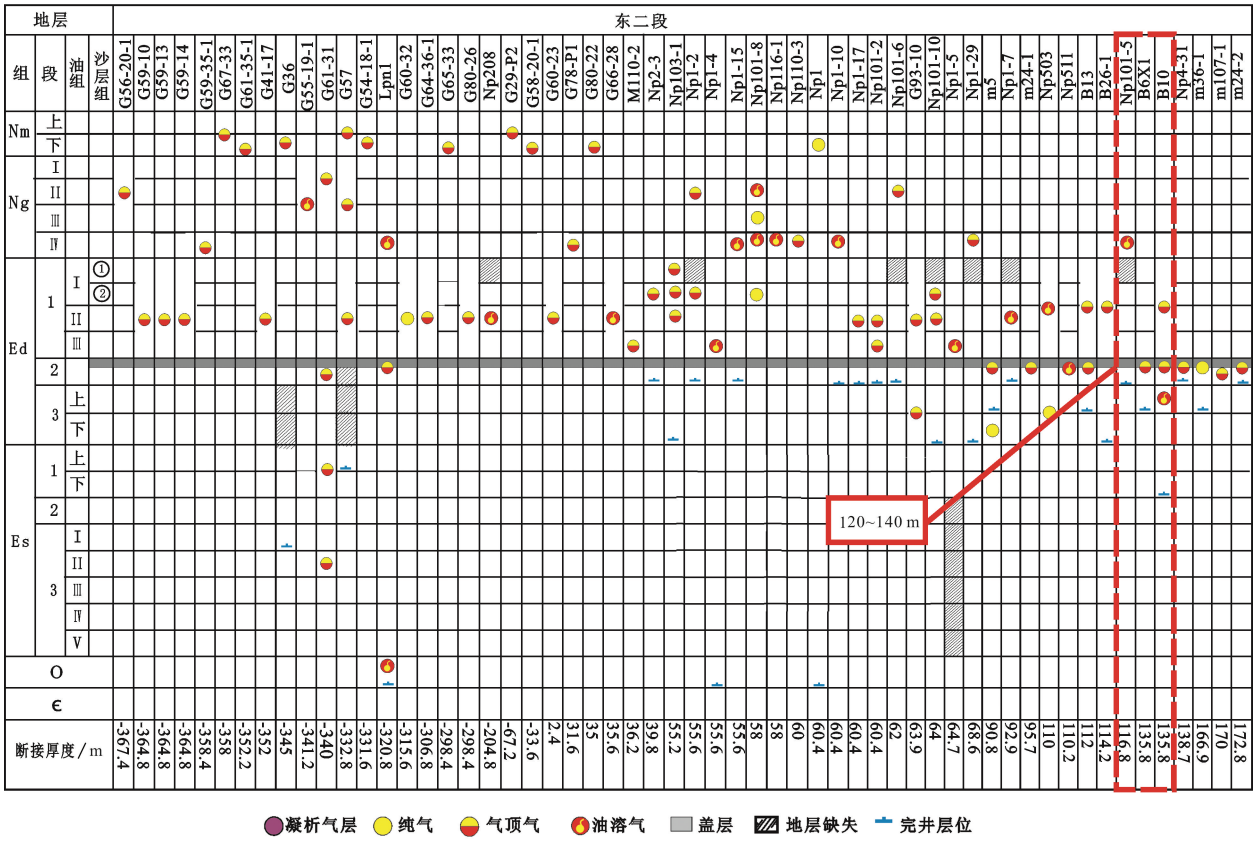



**图 9　南堡凹陷东二段泥岩盖层内上下断裂不连接所需要最小断接厚度厘定**

**Fig. 9　Determination of minimum faulted thickness upper and lower fault cannot connect distribution required in mudstone caprock of the second member of Dongying Formation in Nanpu Depression**

阻止天然气沿输导断裂向上运移的区域进行了预测。由图 7 中可以看出,南堡凹陷西部和东部局部地区东二段泥岩盖层断接厚度相对较大,大于其内输导断裂上下不连接的最小断接厚度(120 ~ 140 m)。盖层内输导断裂上下不连接,不能成为下伏源岩生成天然气穿过东二段泥岩盖层向上运移的输导通道,有利于天然气在其下聚集。东二段泥岩盖层之下储层目前已经发现的天然气主要分布在凹陷西部和东部,位于盖层断接厚度大于其内输导断裂上下不连接布的最小断接厚度区内,这是因为下伏源

岩生成的天然气不能沿输导断裂穿过东二段泥岩盖层向上运移,只能在其下的圈闭中聚集与分布。南堡凹陷东二段泥岩盖层之下储层内只有少量天然气分布在盖层断接厚度小于其内输导断裂上下不连接的最小断接厚度区内,这是因为下伏源岩生成的天然气沿输导断裂可穿过东二段泥岩盖层向上运移,仅有少量天然气在其下合适圈闭聚集成藏。

## 4 结 论

(1)输导断裂在区域性泥岩盖层内分布主要有两种情况,一种是输导断裂呈上下不连接分布,另一种是输导断裂呈上下连接分布。以何种形式出现主要受到输导断裂对区域性泥岩盖层破坏程度的影响,而输导断裂对区域性泥岩盖层破坏程度又受到盖层断接厚度的影响,盖层断接厚度越大,其内输导断裂越不易上下连接分布;反之越易上下连接分布。

(2)区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂向上运移机制是其内输导断裂上下不连接,不能成为油气穿过盖层向上运移的输导通道;否则油气将沿输导断裂穿过盖层向上运移。

(3)通过盖层断接厚度与其内输导断裂上下不连接的最小断接厚度的比较,建立一套区域性泥岩盖层阻止油气沿输导断裂向上运移的判别方法,并将其应用于南堡凹陷东二段泥岩盖层是否阻止下伏沙三段或沙一段源岩生成天然气沿输导断裂向上运移的判别中。东二段泥岩盖层能够阻止天然气沿输导断裂向上运移的区域主要分布在凹陷西部,少量分布在凹陷东部局部地区,这与目前天然气分布相吻合,表明本文中方法可用于判别区域性泥岩盖层能否阻止油气沿输导断裂向上运移。

**参考文献:**

[1] 刘安英,包丽. 徐家围子断陷断裂对盖层及天然气分布的影响[J]. 天然气工业,2009,29(8):8-11.
LIU Anying, BAO Li. The impacts of faults on seal and gas distribution in Xujiaweizi fault depression[J]. Natural Gas Industry, 2009,29(8):8-11.

[2] 刘哲,付广,吕延防,等. 南堡凹陷断裂对油气成藏控制作用的定量评价[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2013,37(1):27-34.
LIU Zhe, FU Guang, LÜ Yanfang, et al. Quantitative evaluation for control of faults on hydrocarbon accumulation in Nanpu sag[J]. Journal of China University of Petroleum(Edition of Natural Science),2013,37(1):27-34.

[3] 范柏江,刘成林,庞雄奇,等. 渤海湾盆地南堡凹陷断裂系统对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2011,32(2):192-198,206.
FAN Bojiang, LIU Chenglin, PANG Xiongqi, et al. Control of fault system on hydrocarbon accumulation in Nanpu sag, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(2):192-198,206.

[4] 付晓飞,董晶,吕延防,等. 海拉尔盆地乌尔逊-贝尔凹陷断裂构造特征及控藏机理[J]. 地质学报,2012,86(6):877-889.
FU Xiaofei, DONG Jing, LÜ Yanfang, et al. Fault structure characteristics of Wuerxun-Beier depression in the Hailaer Basin and their reservoir-controlling mechanism [J]. Acta Geologica Sinica, 2012,86(6):877-889.

[5] 历玉英,付晓飞,张明学. 松辽盆地徐家围子断陷断裂变形特征及控藏机理[J]. 天然气地球科学,2012,23(6):979-988.
LI Yuying, FU Xiaofei, ZHANG Mingxue. Fault deformation features and reservoir-controlling mechanisms of Xujiaweizi fault depression in Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2012,23(6):979-988.

[6] 孙永河,漆家福,吕延防,等. 渤中坳陷断裂构造特征及其对油气的控制[J]. 石油学报,2008,29(5):669-675.
SUN Yonghe, QI Jiafu, LÜ Yanfang, et al. Characteristics of fault structure and its control to hydrocarbon in Bozhong Depression[J]. Acta Petrolei Sinica, 2008,29(5):669-675.

[7] 付广,吕延防,薛永超,等. 泥岩盖层压力封闭的演化特征及其研究意义[J]. 石油学报,2000,21(3):41-44,109.
FU Guang, LÜ Yanfang, XUE Yongchao, et al. Evolution characteristics of pressure sealing of mudstone caprock and its research significance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2000,21(3):41-44,109.

[8] 付广,吕延防,付晓飞. 泥岩盖层浓度封闭演化特征:以松辽盆地下白垩统泥岩为例[J]. 地质科学,2003,38(2):165-171.
FU Guang, LÜ Yangfang, FU Xiaofei. Evolutional stages of hydrocarbon concentration seal in mudstone caprocks [J] Scientia Geologica Sinica, 2003,38(2):165-171.

[9] 付广,苏玉平. 泥岩盖层抑制浓度封闭形成与演化及其研究意义[J]. 沉积学报,2006,24(1):141-147.
FU Guang, SU Yuping. Recovering to formation and evolution of restraining concentration seal of mudstone caprock and its significance[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2006,24(1):141-147.

[10] 付广,吕延防,薛永超. 泥岩盖层封气性演化阶段及其研究意义[J]. 中国海上油气(地质),2001,15

(2):61-65.
FU Guang, LÜ Yanfang, XUE Yongchao. Gas confining evolution of mudstone seals and its significance[J]. China Offshore Oil and Gas(geology),2001,15(2):61-65.

[11] 吕延防,许辰璐,付广,等. 南堡凹陷中浅层盖-断组合控油模式及有利含油层位预测[J]. 石油与天然气地质,2014,35(1):86-97.
LÜ Yanfang, XU Chenlu, FU Guang, et al. Oil-controlling models of caprock-fault combination and prediction of favorable horizons for hydrocarbon accumulation in middle-shallow sequences of Nanpu sag[J]. Oil & Gas Geology, 2014,35(1):86-97.

[12] 付广,历娜,胡明. 盖层断接厚度封气下限及其对天然气分布的控制:以松辽盆地徐家围子断陷为例[J]. 天然气地球科学,2014,25(7):971-979.
FU Guang, LI Na, HU Ming. Gas Sealing limit of faulted thickness of caprock and its controlling effect on gas distribution: an example from Xujiaweizi depression of Songliao Basin[J]. Natural Gas Geoscience,2014,25(7):971-979.

[13] 吕延防,万军,沙子萱,等. 被断裂破坏的盖层封闭能力评价方法及其应用[J]. 地质科学,2008,43(1):162-174.
LÜ Yanfang, WAN Jun, SHA Zixuan, et al. Evaluation method for seal ability of cap rock destructed by faulting and its application[J]. Chinese Journal of Geology, 2008,43(1):162-174.

[14] 付广,杨敬博. 断盖配置对沿断裂运移油气的封闭作用:以南堡凹陷中浅层为例[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2013,38(4):783-791.
FU Guang, YANG Jingbo. Sealing of matching between fault and caprock to oil-gas migration along faults: an example from middle and shallow strata in Nanpu depression[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2013,38(4):783-791.

[15] 王海学,付晓飞,付广,等. 三肇凹陷断层垂向分段生长与扶杨油层油源断层的厘定[J]. 地球科学——中国地质大学学报,2014,39(11):1639-1646.
WANG Haixue, FU Xiaofei, FU guang, et al. Vertical segmentation growth of fault and oil source fault determination in Fuyang oil layer of Sanzhao depression[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences,2014,39(11):1639-1646.

[16] 孙永河,赵博,董月霞,等. 南堡凹陷断裂对油气运聚成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2013,34(4):540-549.
SUN Yonghe, ZHAO Bo, DONG Yuexia, et al. Control of faults on hydrocarbon migration and accumulation in the Nanpu Sag[J]. Oil & Gas Geology,2013,34(4):540-549.

(编辑　徐会永)