

生长逆断层与油气生成、运移和聚集

——以柴达木盆地尕斯断陷为例

邹华耀

(江汉石油学院, 湖北江陵 434102)

胡文义

(青海石油勘探开发研究院, 甘肃敦煌 736202)

尕斯断陷第三系由于生长逆断层发育, 形成了以牵引背斜、生长背斜和断鼻构造为主要类型的圈闭。断层下盘生油岩比上盘的成熟度和转化率高、过剩孔隙流体压力大且储层物性优; 断层又是油气运移的通道。生长逆断层为油气生、储、运、聚的良好配置提供了地质基础。

关键词 生长逆断层 柴达木盆地 尕斯断陷 牵引背斜 生长背斜 有机质成熟度 过剩孔隙流体压力 油气运移 石油聚集

第一作者简介 邹华耀 男 28岁 硕士 石油地质

边沉降、边沉积、边断裂、边变形, 这是沉积盆地及其次级构造单元演化的普遍型式。即沉积盆地内的断裂和褶皱往往不同程度地具有和沉积同期发育的特点。生长构造发育在离散型板块边界部位以及板内的张性沉积盆地中, 表现为断块和断鼻构造、张性及张扭性正断层; 而在聚敛型或转换型板块边界部位的沉积盆地中也有发育, 表现为同沉积的紧密褶皱和同生逆断层^[1]。世界上大油田中相当大的一部分和生长构造有直接关系, 因而受到人们的重视。但是, 有关生长逆断层以及其在油气形成、运移和聚集中的作用却极少见有报道, 因此, 总结这两者之间的关系对指导油气勘探具有重要意义。

一、地质背景

柴达木盆地主要是印支运动以后发展起来的一个中、新生代山间盆地。基底属于地槽褶皱基底, 海西运动使昆仑地槽褶皱回返, 导致了盆地内大面积缺失三叠系。盆地的演化大致可分为四个阶段: 侏罗、白垩纪断陷期; 古新世—渐新世早期的断拗过渡期; 渐新世晚期—上新世中期的断陷期; 上新世晚期—早中更新世褶皱期。尕斯断陷位于盆地西南部, 是盆内的一个二级构造带, 北西接阿尔金山, 南邻昆仑山, 东以狮子沟—油砂山大断裂与茫崖凹陷分界。该断陷主要经历了盆地演化的后三个阶段, 白垩期末期的晚燕山运动, 使这个地区先期花岗岩和变质岩基底上的断裂再次活化, 从而形成了一系列自基底发育的断裂构造(图1)。尕斯断陷的生油岩形成于盆地发展的断陷期, 主力生油层为下干柴沟组上部(E_3xg^2)。储集层主要形成于断拗过渡期和断陷期, 主要储集层有下干柴沟组下部(E_3xg^1)、上干柴沟组上部(N_1sg^2)和油砂山组(N_2y)。

二、生长逆断层

生长逆断层是尕斯断陷的主要断裂型式。其特点是：断层两盘地层厚度有较大差异，下降盘厚度大，上升盘厚度薄；断距自下而上由大到小（这与上部年轻地层沉积时断裂活动产生的落差与下部较老地层的落差累积叠加有关）。尕斯断陷的几条主要断层均有这种特点（表1、2）。

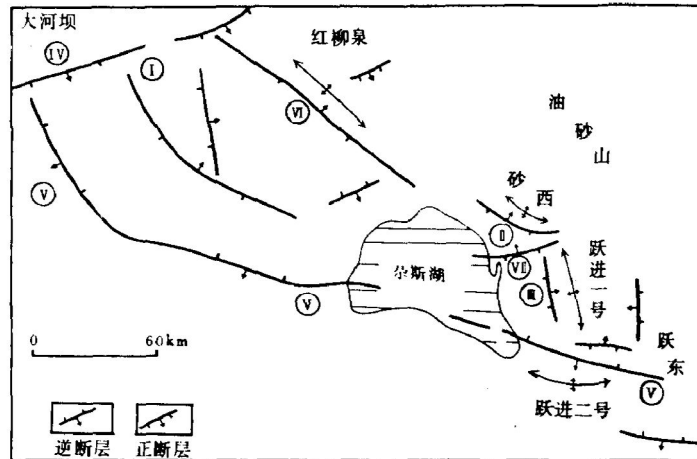


图1 尕斯断陷构造略图

表1 生长逆断层两盘地层厚度变化

断层编号	断盘及其地层厚度 (m)							
	上盘	下盘	上盘	下盘	上盘	下盘	上盘	下盘
V	$E_{1+2}r^l - E_{3xy}^1$		$E_{3xy}^2 - N_1shg$		$N_2xy^1 - N_2shy^2$			
	580	910	500	1680	150	1140		
VI	$E_{1+2}r^l$		E_{3xy}^1		E_{3xy}^2		$N_1shg - N_2shy^2$	
	960	950	530	660	430	520	250	520
II	720	1200	1500	2240	840	1400		
I	1440	1580	1640	1780	900	1070		
I	900	900	$E_{3xy}^2 - N_2shy^2$					
			380	520				
N	700	1080			220	320		

表2 生长逆断层深浅断距变化

断层编号	各地层界面的断距 (m)					
	$\frac{E_{1+2}r^l}{M\tau}$	$\frac{E_{3xy}^1}{E_{1+2}r^l}$	$\frac{E_{3xy}^2}{E_{3xy}^1}$	$\frac{N_1shg}{E_{3xy}^2}$	$\frac{N_2xy^1}{N_1shg}$	$\frac{N_2shy^2}{N_2shy^1}$
V	3360		3120		1770	480
VI	1260	1120	860	880		650
II	1920		1230		320	90
I	680		450		170	160
I	480		450			140
N	320		60			20

这些生长逆断层的活动程度在各地质时期不同，可用生长指数（下盘地层厚度/上盘地层厚度）表示（表3）。根据生长指数，可将断层活动大致分为三个时期，即发生期、活动期和

停止期,与断陷发展的三个阶段相对应。

表3 生长逆断层各时期的生长指数

断层编号	各地质时期的生长指数			
	$E_{1+2r1}-E_{3xg}^1$	$E_{3xg}^2-N_{1shg}$	$N_{2xy}^1-N_{2shg}^2$	N_{2shz}^3- 现今
V	1.57	3.36	7.60	1.0
Ⅱ	1.67	1.49	1.67	1.0
Ⅲ	1.10	1.09	1.19	1.0
I	1.10	1.33	1.07	1.0
N	1.40	$E_{3xg}^2-N_{2shg}^2$		
		1.45		
VI	E_{1+2r1}	E_{3xg}^1	E_{3xg}^2	$N_{1shg}-N_{2xy}^2$
	1.0	1.24	1.21	2.10
活动性分期	发生期	活动期		停止期

三、生长构造与生长逆断层的关系

尕斯断陷存在一系列自基底发育的生长逆断层,控制了该区三级构造的格局,其主要型为生长构造。其特征是褶皱顶部的地层薄,翼部地层厚;褶皱上部地层缓,下部地层陡(表4)。为了说明生长构造与生长逆断层活动期之间的关系,计算了各构造的生长指数值(翼部地层厚度/顶部地层厚度)(表5)。根据这些数据可将构造的生长期分为:发生期、生长期和停止期三个阶段。这三个阶段与生长逆断层的活动期是一致的,说明二者之间存在着成因

表4 尕斯断陷几个生长构造地层厚度及倾角变化

构造名称	地层厚度(m)				地层倾角				
	Mz	E_{1+2r1}	$E_{3xg}^1-E_{3xg}^2$		E_{1+2r1}	E_{3xg}^1	E_{3xg}^2	N_{1shg}	N_{2xy}^1
红柳泉	顶部	650	610	300	11°30'	10°	8°	6°	5°
	翼部	870	680	470					
跃进一号	顶部	E_{1+2r1}	$E_{3xg}^1-E_{3xg}^2$	N_{1shg}	N_{2xy}^1	11°30'	10°	6°	4°
		540	680	550	480				
翼部	540	840	720	760					
跃进二号	顶部	$E_{1+2r1}-E_{3xg}^1$	$E_{3xg}^1-E_{3xg}^2$	$N_{2xy}^1-N_{2shg}^2$					
		450	480	120					
翼部	850	800	400						
砂西	顶部	$E_{1+2r1}-E_{3xg}^1$	$E_{3xg}^2-N_{1shg}$	$N_{2xy}^1-N_{2shg}^2$	N_{2shz}^3-Q	8°	3°		
		1420	1640	880	1070				
翼部	1420	1740	940	1140					

表5 尕斯断陷几个生长构造的生长指数

生长构造	各地质时期的生长指数			
	$E_{1+2}r_l-E_{3}xg^1$	$E_{3}xg^2-N_1shg$	$N_2xy^1-N_2shy^2$	N_2shz^3 —现今
红柳泉	1.20	1.5 ($E_{3}xg^2$)	3.0 ($N_1shg-N_2shy^2$)	1.0
跃进一号	1.47	1.29	1.48	1.0
跃进二号	1.89	1.70	3.33	1.0
砂西	1.0	0.94	1.07	1.07
构造生长分期	发生期		生长期	停止期

上的联系。也就是构造运动导致生长逆断层的形成，而生长逆断层则控制生长构造的发育。尕斯断陷的生长构造主要有三种类型。

1. 生长背斜

生长背斜的特点是发育在两条生长逆断层之间，闭合高度一般不大，闭合面积视两断层的规模而定，如跃进一号构造（图2-a）。这一生长背斜的形成，与通常由于基底隆起造成两侧沉积层增厚，并在成岩过程中经差异压实作用而形成的生长背斜不同。它主要是由于两侧生长逆断层下盘的不断下降使地层发生下弯所致；其次是由于下盘下降使隆起两侧断层面附近地层厚度大于中间地层厚度，而在成岩阶段中差异压实也起一定的作用。

2. 牵引背斜

牵引背斜发育在生长逆断层的上盘，一般规模小，闭合高度和闭合面积不大，如跃进二号构造（图2-b）。其形成的主要原因是由生长逆断层在活动时的拖曳作用形成的。

3. 断鼻构造

其构造特征与形成机制同牵引背斜相似，如砂西断鼻构造（图2-c）。

四、生长逆断层与油气的生成、运移和聚集之间的关系

1. 影响生油岩与储集岩

生油岩：通常是生长逆断层下盘的生油岩比

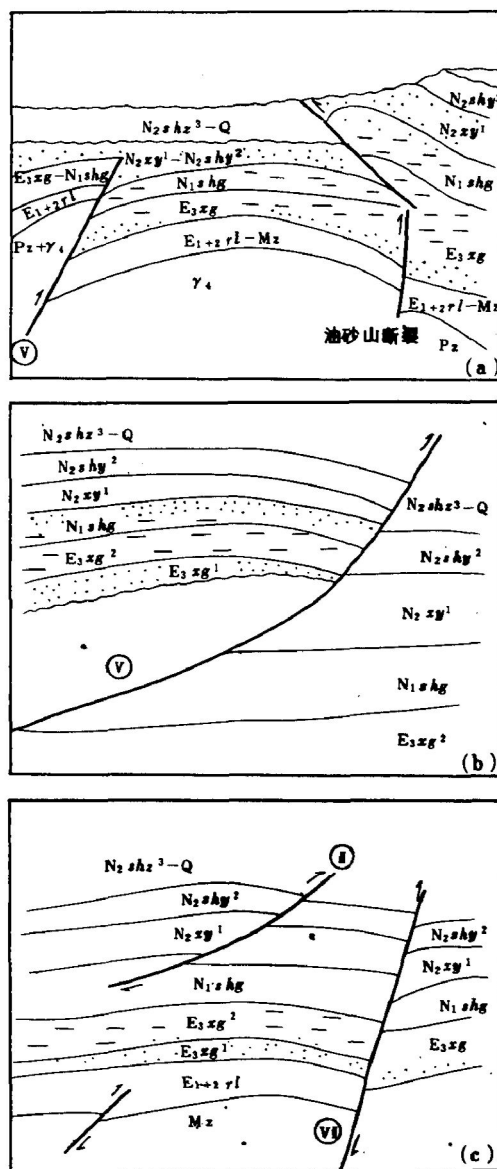


图2 尕斯断陷生长构造的三种主要类型

上盘的厚度大、有机质成熟度及其转化率高；并且下盘生油岩在埋藏过程中比上盘的容易形成过剩孔隙流体压力，从而有利于初次运移的进行。为了说明这一结论，笔者选择了跃进一号（断层下盘）跃110井和跃进二号（断层上盘）跃67井（图3），对其中的生油层（E₃²）进行有机质成熟度和过剩孔隙流体压力的模拟。有机质成熟度的模拟是用阿仑尼斯方程的时-温指数法^[2]进行的。结果（表6）表明，有机质成熟度、转化率和生油岩的含油饱和度等方面，跃进一号都好于跃进二号。尽管这两个构造中的有机质类型和有机碳含量相似，但由于受生长逆断层活动的影响，位于下降盘的跃进一号生油岩具有较高的埋藏速率，有利于有机质的转化。如果将5%的含油饱和度作为初次运移发生的临界值^[3]，那么跃进一号中的初次运移排烃系数也大于跃进二号中的排烃系数。另一方面，从目前初次运移发生的机制看，普遍接受的观点是，只有当含油饱和度达到某一临界值时，初次运移才能发生，且初次运移发生的驱动力与过剩孔隙流体压力有关^[3,4]。上述两口井的孔隙流体压力模拟是根据 Gibson 提出的在运动边界条件下孔隙介质压实过程理论偏微分方程进行的^[5]：

$$\frac{K}{S_v} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial Z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot \omega,$$

计算结果（表7）表明，跃进一号下干柴沟组上部生油层发育了较高的过剩孔隙流体压力，从而有利于烃类的排驱。过剩孔隙流体压力的形成主要与沉积速率有关，跃进一号下干柴沟组上部生油层有较高的过剩孔隙流体压力显然是生长逆断层下盘下降所致。

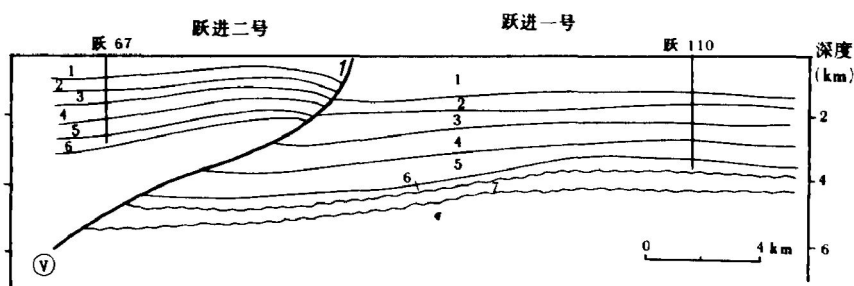


图3 跃进67井与跃进110井位置图

1—N₂shz³—Q, 2—N₂shy², 3—N₂xy¹, 4—N₁shg, 5—E₃xy², 6—E₃xy¹, 7—E₁+zr¹

表6 跃进一号跃110井与跃进二号跃67井E₃生油层指标对比

项目 构造	层位	深度 (m)	干酪根类型	有机碳含量 (%)	时-温指数 E _{TTIARR}	可成油有机质转化率 (%)	含油饱和度 (%)	排烃系数
跃进一号 (跃110井)	E ₃ xy ² 底	3200	I _B	0.5	67.5	49.08	9.37	0.4664
跃进二号 (跃67井)	E ₃ xy ² 底	2300	I _B	0.5	59.0	44.56	6.48	0.2284

* 据 Hunt 等 (1991)^[2]

储集层：通常位于下盘的砂岩层数增多，单层厚度增大，且储层物性也优于上盘。如位于下降盘的跃进一号构造与上升盘的砂西构造的下干柴沟组下部储集层的对比就可说明这一

点。它们同属于破坏性三角洲的砂岩储集层^{*}, 但从砂岩储层的累积厚度和储层物性(表8)看, 跃进一号优于砂西构造, 造成这一结果的原因可能与生长逆断层控制沉积分布有关。

表7 跃进一号跃110井与跃进二号跃67井E₃生油层过剩流体压力对比

构造 \ 项目	层位	深度 (m)	沉积速率(ω) (m/a $\times 10^{-4}$)	时间 (10 ⁶ a)	过剩水压头 (m)
跃进一号(跃110井)	E ₃ xg ² 底	3200	0.744	43	580.84
跃进二号(跃67井)	E ₃ xg ² 底	2300	0.53	43	135.77

表8 跃进一号E₃储集层与砂西E₃储集层的对比

构造 \ 项目	相带	平均砂岩累积厚度 (m)	渗透率 $\bar{K}$ ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)	孔隙度 Φ (%)	孔隙中粘土矿物产状
跃进一号	破坏性三角洲	57.00	59.094	11.1	桥状
砂西	破坏性三角洲	39.35	10.762	9.1	分布于粒间、粒表

2. 在油气运移中起通道作用

在生长逆断层的上盘可形成圈闭(图2-b、c), 它们形成时间早, 位于生油岩的上方, 但如前所述, 上盘中的生油岩从有机质成熟度和初次运移的进行都不及下盘有利。在这种情况下, 如果生长逆断层可以作为油气运移的通道, 就可增加上盘圈闭含油的可能性。Hooper^[6]在收集了大量资料的基础上提出, 流体沿同生断层的运移具有周期性, 即当断层活动时, 对流体起通道作用; 而当断层停止活动时, 则对流体起阻碍作用。由于断裂活动与沉积物的堆积速度有关, 因此, 往往是沉积速率最大时, 沿断层运移的流体体积最大。实验表明在砂泥岩剖面中, 发生变形作用时沿断层面孔隙度与渗透率增加^[6], 这是由于在断裂活动发生前形成微裂缝的开启膨胀作用造成的。这些微裂缝的形成是由于应力作用引起的, 在断裂活动发生前最发育。由于应力作用主要是集中在断层带, 因此, 膨胀作用所引起的孔隙度和渗透率的增加也主要分布在沿断层带的附近, 从而使生长逆断裂可作为流体运移的通道。但是, 应力一旦释放即断裂活动过后, 膨胀作用随之消失, 孔隙度和渗透率也随即降低。尕斯断陷的生长逆断层自形成起到第三纪末一直在频繁地活动, 大部分的生油岩在中新世都已进入了成熟阶段, 因而这些生长逆断层很可能作为油气运移的通道, 从而使上盘中的圈闭更具含油性。勘探证明象跃进二号、砂西这样的位于生长逆断层上盘的圈闭是含油的圈闭, 其油气来源就有可能通过生长逆断层运移而来的。

3. 与油气聚集的关系

从圈闭与油气形成和运移的时、空匹配看, 区内的生长构造圈闭有利于聚集油气。其主要依据是: (1) 距油源近, 特别是生长背斜构造(图2-a), 往往形成下生上储或上生下储式油藏, 如跃进一号; (2) 圈闭形成时间早, 且随着生长逆断层的发育而生长, 因而接受油气供给时间长, 期次多; (3) 多层系提供油气, 油源充足, 这是因为生长逆断层可以为油气的运移提供通道, 使下部多层系生油岩与上部的圈闭联系起来。因此, 生长逆断层为生、储、盖、

* 据何金平, 柴达木盆地西部地区第三系沉积相及有利储层分布地区, 1991.

运、聚的良好配置提供了地质基础,在油气藏的形成过程中起到了重要作用。尕斯断陷形成了多个油田即为例证。

致谢:本文在完成过程中得到了中国地质大学(武汉)陈建渝副教授的指导,在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 王雙培等. 石油勘探构造分析, 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 21—84
- 2 邹华耀, 吴时国. 有机质热成熟度指数理论与应用研究的新进展, 天然气地球科学, 1992; 3 (6): 1—8
- 3 Ungerer P *et. al.* Basin evaluation by integrated two-dimensional modeling of heat transfer, fluid flow, hydrocarbon generation, and migration. *AAPG. Bull.* 1991; 74 (3): 309—335
- 4 Özkaya I. Computer simulation of primary oil migration in Kuwait. *JPG.* 1991; 14 (1): 37—48
- 5 Sharp J M, Domenico P A. Energy transport in thick sequences of compacting sediment. *Geol. Soc. America Bull.* 1976; 87: 390—400
- 6 Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compaction sediments. *JPG.* 1991; 14 (2): 161—180

GROWTH THRUSTS AND OIL GENERATION, MIGRATION AND ACCUMULATION: TAKING GASI FAULT-SUBSIDENCE IN QAIDAM BASIN AS AN EXAMPLE

Zhou Huayao

(Jiangnan Petroleum Institute, Jiangling, Hubei)

Hu Wenyi

(Qinghai Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Dunhuang, Gansu)

Abstract

Growth thrusts that were widespread in Tertiary deposits of Gasi fault subsidence in Qaidam Basin controlled the structural framework of the three main kinds of structures, and formed growth anticlines, drag anticlines and fault noses. The tectonic evolution process could be divided into formation stage, growth stage and stagnation stage. As for the source rocks, that in the footwall of the thrust are characterized by high maturity and transformation ratio of organic matter, high oil saturation and excess pore-fluid pressures. The growth thrusts might act as the passage path for hydrocarbon migration. The growth structural traps derived from the thrusts generally have following favourable conditions: 1. close to oil source, especially the growth anticlines which usually form hydrocarbon pools of lower formation generated-upper formation reserved type; 2. long time and multi-stage of hydrocarbon supply due to early formed traps; 3. abundance of oil source and multi-layer of oil supply.