

松辽盆地喜山运动期地应力场演化 对油气运聚的影响

祁林

(西南石油地质局, 成都 610081)

韩广玲 张惠

(吉林油田研究院, 吉林扶余 131200)

据新构造运动、天然地震、钻探、人工地震、地层、构造形迹、卫星遥感等资料, 认为喜山运动各幕在松辽盆地都有表现, 第一、三幕运动主要受印度板块影响, 产生的区域主压应力为 NE-SW 向, 第二幕运动主要受太平洋板块影响, 产生的区域主压应力方向为 NW-SE 或近东西向。现今晚(三)幕期产生 NW 向构造的作用, 对中(二)幕期和燕山晚幕期形成的 NE 向构造圈闭及其中的油气再运移和富集有重要影响。新生的 NW 向含油气构造圈闭或油气聚集带, 是今后油气勘探的重要目标。

关键词 松辽盆地 喜山运动 地应力场 油气运移聚集

第一作者简介 祁林 男 40岁 工程师 地质力学

按板块学说观点, 松辽盆地是自燕山运动以来, 一直遭受来自太平洋板块自东向西的区域挤压作用而形成的弧后拉张沉陷盆地。燕山早、中期, 沉积了四五千米厚的湖相生油岩系。至燕山四幕和五幕运动时, 湖盆开始萎缩, 发生褶皱。大庆长垣及盆地内众多的 NE 向背斜圈闭, 都是该期形成的, 这也是松辽盆地油气运移聚集、形成油气藏的两个最重要时期。

喜山期的区域挤压应力方向没有大的变化, 但作用力要小的多, 对油气运聚是否有影响存在分歧。一些学者认为, 油气是液气态流体矿产, 地下极小的压力平衡变化, 都将导致运移, 造成流体状态或圈闭形态的改变。所以, 越是近代的地应力场对油气运聚的影响越显重要。因此, 喜山运动不容忽视。

一、喜山期地应力场演化及证据

喜山期盆地继续抬升, 第三系、第四系沉积中心部分西移, 沿齐齐哈尔至套保一线的大兴安岭山前拗陷呈 NNE 向展布(图1)。但从图上还可看出, 第三系沉积已开始出现 NW 向的局部隆凹, 并控制着第四系局部沉积展布方向。据刘天革等资料, “在第二松花江凹陷带中, 上第三系至第四系等厚线长轴方向沿 NW 向展布。” NW 走向的“小兴安岭隆起带上 300—

400m 海拔高度上有晚第三纪—第四纪的沉积物,反映小兴安岭至少在晚第三纪以来才开始隆起^[1]。以上说明,喜山一幕运动由此开始,其区域主压应力方向为 NE-SW,并一直可持续至中更新世末 (Q_2) 或更晚。

在此以后,喜山二幕运动的区域构造作用机制发生了重大转化。从吉林省地质图 (1976) 和卫星遥感影象上可以看到,松辽盆地西南边缘隆起区的通榆和长岭以南周缘,发育了一条宽 250km、向 SW 方向突出的弧形构造带,它导致晚更新世 (Q_3) 的沉降和隆起,并控制了全新世 (Q_4) 的沉积和湖沼的展布方向,也是现今松花江水系和辽河水系的主分水岭^{*}。这条大弧形带的存在至少说明,晚更新世时,松辽盆地处于 NW-SE 方向受力缩短状态中。这种挤压作用必然使盆地内,以大庆长垣为代表的 NE 向背斜构造得以继承性隆起加大。也有可能,此次构造运动,是大庆长垣及登娄库、青山口等 NE 向背斜构造圈闭的主要形成期和聚油期。据地表观察和钻井资料揭示,登娄库背斜第四系也卷入褶皱而弯曲,并遭受不同程度的剥蚀。所以,它应是喜山二幕运动在该区的表现。

全新世 (Q_4) 以来,喜山三幕运动继续活动。区域挤压应力方向又发生了变化,其主压应力方向与喜山一幕运动期相似,即变为近 NE-SW 方向。盆地内产生了系列轻微的 NW 向构造形迹线。在卫星遥感图象上可以十分清楚地看到,盆地内的江河流向与湖沼分布都受到了 NW 向构造线性体的控制,如大庆油田及邻区地表的湖泡展布。这些线性体时隐时现地切过了大庆长垣表层第四系 (图 2)。

在扶余幅的卫星图象上,不仅可以看到乾安周缘大大小小星罗棋布的湖泡呈 NW 向串珠状排列,还可以看到靠近农安附近呈 NW 向展布的波罗泡群及其一带的全新统 (Q_4) 沉积,切割并覆盖了盆地东南隆起区中的 NE 向构造群;在通榆幅卫片上,还可以解译出, NW 向的构造线性体,斜穿了弧形构造带,可见其形成时间最晚 (图 3, 表 1)。

除此而外,对现今或喜山三幕区域应力场表现最为敏感和直观的,莫过于近代地震。毫无疑问,垂直于 NE-SW 区域主压应力作用方向发育的 NW 向构造线和断裂面,是地应力不断

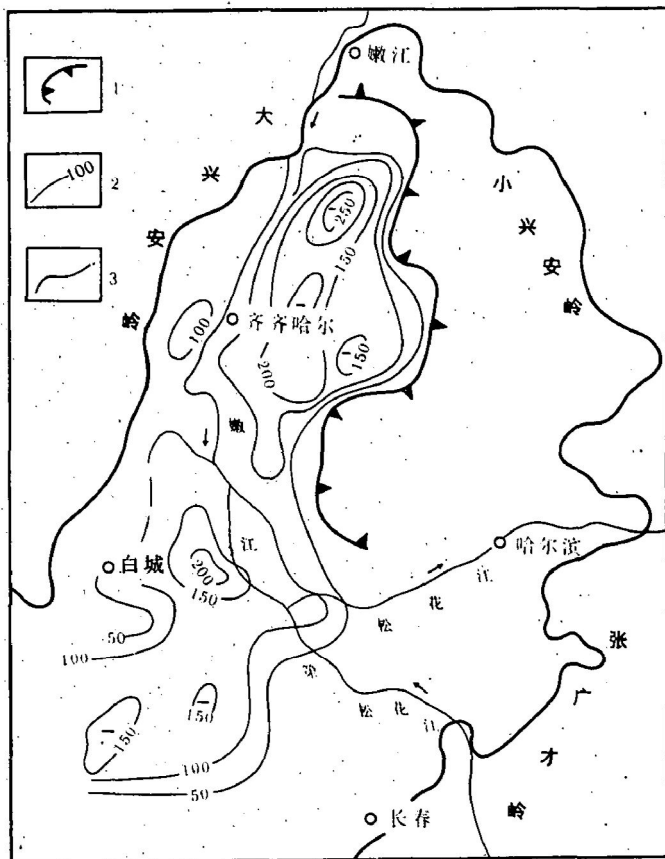


图 1 松辽盆地第三系厚度分布图

(据杨继良等, 1985, 修改)

1—盆地边界, 2—地层厚度 (m), 3—剥蚀零线

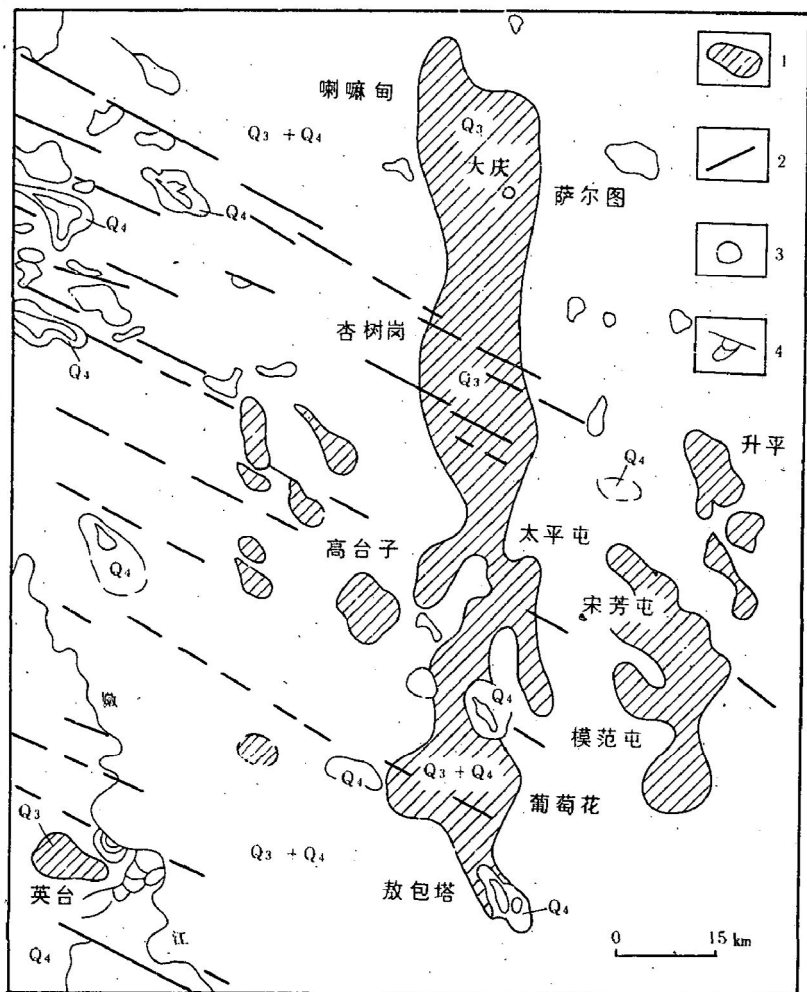


图2 大庆油田及邻区卫片解译简图

1—油气田, 2—构造线性体, 3—水泡或湖沼, 4—古河道

合^[2]。这就是说,每一次大的区域构造运动变迁或应力场转化的应力积累高峰期,都可能造成强烈而频繁的火山爆发和地震活动。全新世以来,由于NW向小兴安岭构造带的活动,导致在与NE向大兴安岭的交切地带上火山频频喷发,形成了五大连池新期玄武岩及老黑山、火烧山等玄武岩,从全新世中期直到近代都有多期分布。

积累的地带,而成为应力集中带。因此,NW向断裂就是引发地震的主要因素。刘天革等^[1]对东北地区地震活动的研究结果得出,整个东北地区大于4级以上的地震共发生60多次,其中32次是沿着NW方向迁移发震或成对出现。其余20多次则发生在NW向断裂与NE向断裂的交切点上。这些强震的特点是余震分布往往呈NW向展布,等震线形状往往呈NE、NW双轴型。显然,东北地区发震机制是由于NW向断裂应力积累而活动,或者是由此诱发了NE向断裂共同参与活动而发震。

另外,通过对第四纪以来火山岩的时代和分布层序对比得出,东北地区火山喷发活动大致集中发生在四个时期:早更新世、中更新世早期、晚更新世、全新世(表2)。所有的火山活动高峰期,均与本文建立的喜山运动幕的高潮期相近或吻

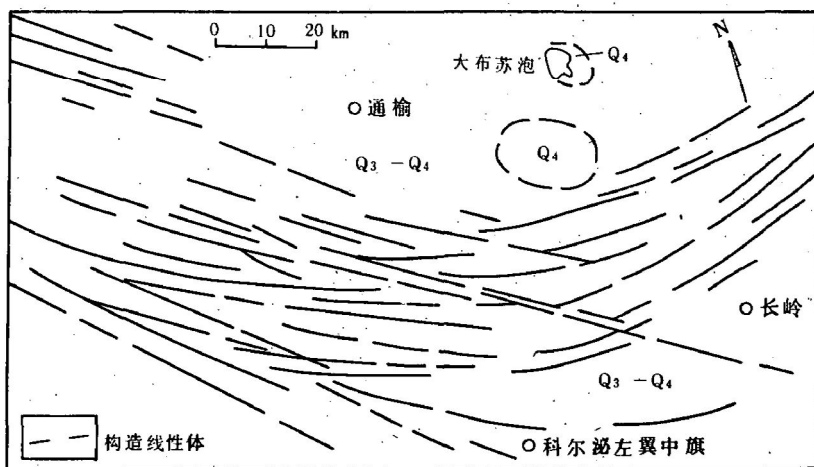


图3 松辽盆地西南隆起区卫片解译简图

表1 松辽盆地沉积与构造运动简表

时 代		层 序 及接触关系	油 层	沉积相	区域构造运动 及接触关系	主压应力 方向	产 生 形 迹		
第四系	Q ₄	近代沉积		河沼	喜山三幕	NE-SW	盆地抬升。小兴安岭上隆并形成盆地西南隆起。盆内产生北西向构造带，带内沉积了上第三系一下第四系，可能形成北西构造雏形		
	Q _{3g}	顾乡屯组		↑	--喜山二幕 ² --	NW-SE			
	Q _{2h}	荒山组		河沼	--喜山二幕 ¹ --	NE-SW			
	Q _{1b}	白土山组		↑	--喜山一幕 ² --				
第三系	N _{2L}	泰康组		湖沼	~喜山一幕 ¹ ~	NW-SE		形成东北向的大兴安岭、张广才岭和松辽坳陷，坳陷内沉积了约7000m厚的中生界。明水期后坳陷开始抬升，同生产生大庆长垣及其它东北向构造线形	
	N _{1d}	大安组		↑	~燕山五幕~				
	Ei	(依安组)		↑	~燕山四幕~				
白垩系	K _{2m}	明水组		滨湖					
	K _{2s}	四方台组		泛平原					
	K _{1n}	嫩江组	黑帝庙	滨湖					
	K _{1y}	姚家组	萨尔图	深湖					
			葡萄花	滨浅湖					
	K _{1qn}	青山口组	高台子	泛平原					
	K _{1q}	泉头组	扶余	深湖					
杨大城子			滨浅湖						
农安									
K _{1d}	登娄库组		河流						
上侏罗统	J ₃			河沼	~燕山三幕~	?			
				滨湖	~燕山一、二幕~				
古生界	C P			河沼					
				浅湖					

二、现今应力场作用机制

上述事例说明,喜山晚幕运动区域应力挤压方向以 NE-SW 方向为主。如果这个推论正确,那么松辽盆地内每一个早期形成的 NE 和 NNE 向的构造圈闭和油气藏,都必然或多或少地受到改造作用,其局部构造圈闭形态及相互组合关系所反映的受力方式,也应与区域应力场协调一致。为此,我们以大庆油田长垣构造为典型代表,进行探讨。

从长垣上局部背斜油气圈闭轴线雁行排列组合方式可以看出,首先最明显的是它受到了一对南北向的顺时针扭应力力偶(a)的作用。按固体力学和材料力学理论,若设大庆长垣构造为一受力质点的话,那么其“平面应力状态”为:在上述力偶作用的同时,还存在一对东西向反时针扭应力力偶(a')与其共同作用。此时,两对力偶的对角线方向,即为主拉应力(σ_1)方向,与其垂直的对角线方向,即为主压应力(σ_3)方向(图4)。从图4可以看出,大庆长垣现今受到了NE-SW方向的挤压缩短,和NW-SE方向上的伸展拉长形变作用,与区域大地构造作用方向完全一致。

表2 东北地区第四系火山岩层序与新构造运动关系简表

时代	大兴安岭部分地区		松辽盆地部分地区		小兴安岭部分地区		长白山部分地区		火山岩年龄	区域构造运动
	黑龙江省地层表 (1979)	王淑芳 (1988)	东北地层表 (1979)	开鲁小区	王淑芳 (1988)	初本君等 (1979)	吉林地层表 (1978)	王淑芳 (1988)		
	额尔古纳和 乌奴尔小区		克山、林甸小区		小兴安岭— 张广才岭		浑江小区			
第四系	全新统 (Q ₁)	老黑山玄武岩 湖沼沉积 河床河漫滩 堆积	老黑山玄武岩 风积砂 冲积层 温泉河组	现代冲积层 黑土 风积砂 温泉河组	老黑山玄武岩 冲积层 龙门市玄武岩	老黑山玄武岩 高低漫滩冲积层 龙门市玄武岩	河床冲积砂 砾石 冰场组	河床冲积砂砾石 新石器遗迹亚 砂土 冰场组	40 — 390 — 7000年 左右	喜山三幕
	上更新统 (Q ₂)	雅鲁河组 乌兰黄土冲积层 大黑沟玄武岩	顾乡屯组 诺敏河组 哈尔滨组 五大连池组 玄武岩 冰水冲积层	顾乡屯组	五大连池组 冰碛层 玄武岩 冲积层 冰碛层	五大连池组 尾山玄武岩 含砾亚粘土 冲积层 含砾亚粘土	新黄土 南坪玄武岩 二道岗冰碛层	白头山冰碛层 南坪玄武岩 二道岗冰碛层	2 — 3 — 9 — 18万年	喜山二幕 ²
	中更新统 (Q ₂)	绰纳河组 冲积层 四道沟组	林甸组 荒山组	大青沟组	铁泊早期玄武岩 冰碛层 东焦得布山 玄武岩	药泉山玄武岩 含砾亚粘土 东焦得布山 玄武岩	上老黄土 干沟子冰碛层 下老黄土 布拉克冰碛层	白头山粗面岩 上老黄土 布拉克冰碛层 下老黄土 玄武岩	20 — 100万年 左右	喜山二幕 ¹
	下更新统 (Q ₁)	白土山组 东华组 合山冰碛层	白土山组 罗家窝棚组 秦康组	白土山组 玄武岩 第一冰碛层	白云山组 玄武岩 东华组	白土山组 玄武岩 东华组	岗头组 军粮山玄武岩 四等房冰碛层	腰岭冰碛层 上玄武岩岗头组 四等房冰碛层 玄武岩	120 — 166 — 300万年 — ?	喜山一幕 ²
前第四系	五叉沟玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩	玄武岩		喜山一幕 ¹

三、对油气运聚的影响

喜山晚幕运动以来, 松辽盆地主要受印度板块向 NE 方向挤压影响, 盆地内的区域主压应力在 NE-SW 方向上占主导地位。但是这个力作用的时间毕竟较短, 尚不能对燕山期和喜山中幕期形成的 NE 向构造圈闭和油气藏, 产生彻底的改造。然而, 在大多数情况下, 会使早期的 NE 向构造长轴缩短或短轴加宽; 或在其上形成新的局部小圈闭高点, 造成大圈闭形态的某些改变; 或产生 NW 向压性、压扭性断裂, 切割早期的构造圈闭, 形成背斜断块油气圈闭; 或形成 NW 向低缓的、新的油气聚集隆起带和小背斜油气圈闭, 并可与早期的油气圈闭发生复合叠加作用。无论何种作用, 都将对油气藏或油气再度运移聚集产生重要影响。

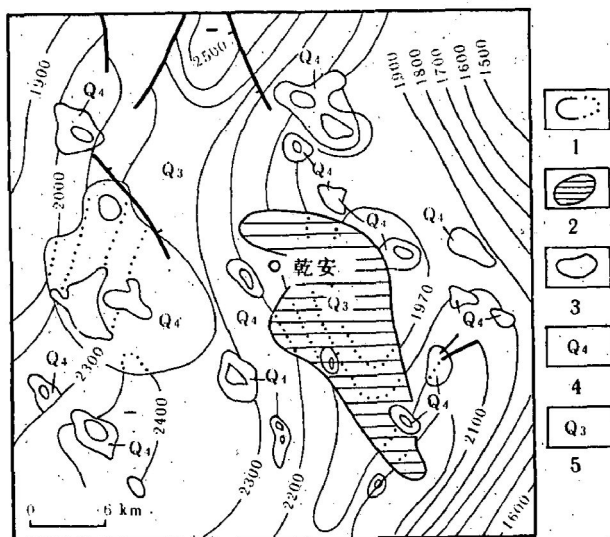


图5 乾安油田地腹构造与表层卫片解译叠合图

1—构造等值线, 2—油田, 3—泡子, 4—全新统, 5—晚更新统

在现今 NE-SW 方向挤压应力作用下, 早期的 NE 向古构造圈闭向 NW 方向偏转, 其中的油气也随之运移, 并在与 NW 向新圈闭复合叠加地带重新聚集。该油田地表大面积分布着顾乡屯组 (Q_{3g}), 最新的全新统 (Q_4) 仅限于 NW 向展布的泡子内。油田周围所有的泡子都逐渐干涸或消亡, 说明该 NW 向新构造圈闭仍处于隆起状态中 (图 5)。

(3) 位于吉林乾安-前郭两县境内的新-扶油气聚集带, 是由向 NW 方向突出的巨大鼻状低缓隆起所构成。已发现有新立、木头、扶余等一系列油田。经过 30 年的勘探证明, 其上几十个含油区块越来越趋于构成一个大的 NW 向油气田, 现在已很难区分它们之间的界线 (图 6)。从图上可以看出, 这个新的油气圈闭聚集带, 是在继承和改造早期的各局部古构造圈闭

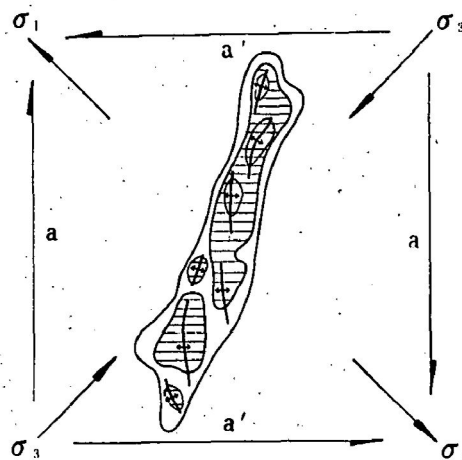


图4 大庆长垣受力状态示意图

a—顺扭应力力偶, a'—反扭应力力偶,

σ_1 —主拉应力方向, σ_3 —主压应力方向

注: 横线部分表示油气田

(1) 大庆油田 NNE 向的长垣已经缩短, 造成嫩江组顶面以下的局部构造层面起伏差达 200m 左右, 同时形成了大量的 NW 向压扭性小断裂。在卫星图像上甚至也可以看到地表局部高点也有起伏现象。由此产生的一系列局部构造圈闭, 导致长垣中的油气进一步集中, 富集于小圈闭内。不仅如此, NW-SE 方向上的伸展作用, 也使长垣中各局部地带油气也呈 NW-SE 向运移富集的趋势。如萨尔图以北为一富集带, 杏树岗和大平屯各为一富集带; 葡萄花以南又为一富集带。这种特点在其东部邻区的宋芳屯、模范屯 NW 向低背斜油田上尤为突出 (图 2)。

(2) 位于松辽盆地南部地区的乾安油田

的基础上,油气经过重新运移调整形成的,一些油田边界在某种程度上仍受到早期构造线所制约。但井下压裂和生产注水结果显示,沿NW向长轴方向上的压力系统和井间连通性最好,表明NW向新构造作用控制因素占主导地位。

(4) 处于盆地西部斜坡区的英台油田,据钻井资料,该构造的姚家组顶面在嫩江期末以前就形成NW向的穹隆构造。因此,大多数学者都认为该构造成型于第四纪。卫片显示,该油田表层顾乡屯组(Q_3)不断隆起,已迫使嫩江水道频频东移后撤(图2)。

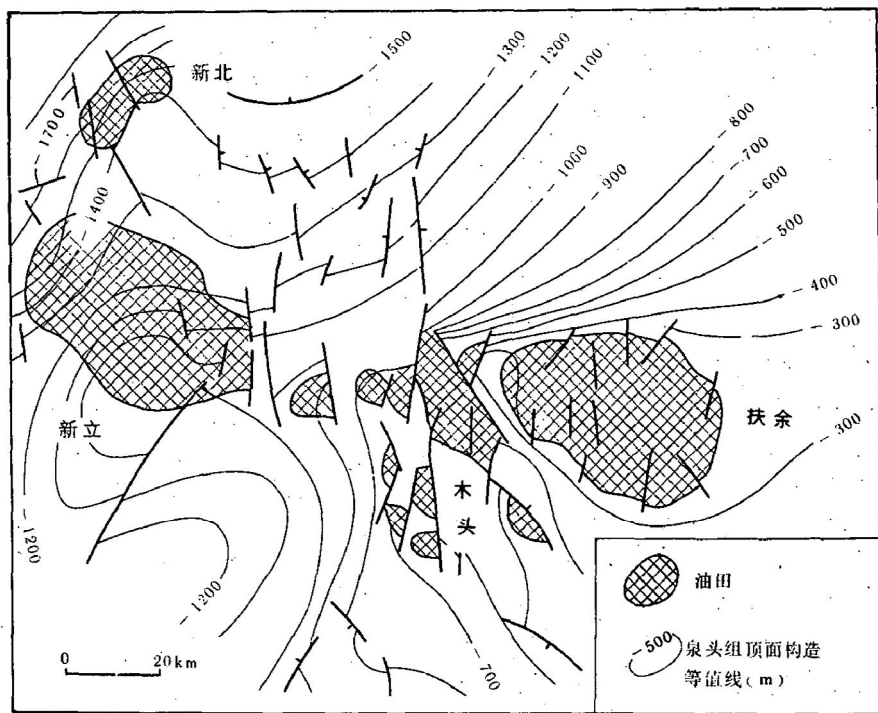


图6 新立-扶余油气聚集带

由于该构造实际上主要是受现今地应力场直接挤压而成,故圈闭内保持着较高的压力,其萨尔图油层中部(深1400m)原始地层压力为14.5 MPa。英124井、英123井都是松辽盆地(边缘区)自喷高产井。由于现今地应力的作用导致圈闭内流体处于不平衡的运聚状态,所以,英台油田产层中的油气水同居一个砂体而未能分异,往往油气、油水同时产出。而且,所有的高产井都分布于构造圈闭内,储集范围并不完全受砂体的展布状态所控制。

四、勘探方向讨论

油气运移、聚集规律虽然与多种地质因素有关,但说到底还是压力问题。而压力的变化又主要受地应力场或应力作用方式所造成的应力梯度所控制。在任何一个含油气盆地或含油气地层中,与其褶皱变形互相依存的正向应力梯度和负向应力梯度所造成的低压带都必然存在。只是在褶皱平缓的含油气盆地或含油气地层中,其相关性不很明显,而使高孔隙的砂岩体与油气藏的关系显得相对突出一些^[3]。既然地应力或压力是决定油气运聚的主要因素,那么松辽盆地现今地应力场的作用方向、方式及强弱,就决定了现今油气运聚的规律,从而也决定和明确了勘探目标和方向。当前,应注重以下几个方面的勘探领域:

(1) 寻找新产生的 NW 向油气圈闭或油气聚集带。采用遥感、地震等多手段和多学科综合方法进行。

(2) NW 构造圈闭与早期 NE 向构造圈闭的复合叠加区, 随着构造继承性增生发展和圈闭空间的不断再扩大, 更有利于油气的再富集而形成大油气藏。这种地区往往在卫星影象上有显示, 也容易被地震信息所圈定, 是寻找和发现 NW 向油气田和油气聚集带的突破点。

(3) 注意研究和开发被 NW 向断裂切割或复杂化的早期 NE 向背斜断块油气田或含油气构造圈闭。

一些规模较小和封闭条件好的纯北四间圈闭, 其油层压力一般要高于静水压力。央谷油田虽然地温偏低, 又偏离生油凹陷, 但油井自喷能力和产出仍然较佳; 加之原油低比重、低粘度、高凝固点和天然气为干气等特点, 表现出经过运移了的油气及晚期成藏的特征, 都说明地应力对油气运移起关键作用。盆地内的大庆、红岗、大安等油田的浅部都发现有混源气藏; 农安背斜为次生油气藏。都说明在现今地应力场作用下, 油气的运移一直没有停止过。

另外, 现今区域地应力场的 NE-SW 方向的挤压和同时伴生的 NW-SE 方向的拉张作用, 导致松辽盆地基底和盖层的断裂力学性质和运动方向发生改变, 现今都表现为正断或犁或正断层, 盆地两侧断面都向盆中央方向倾斜。松辽盆地呈现 NW-SE 方向的伸展状态, 这种现象是造成部分专家认为是太平洋板块发生 (弧后拉张) 作用的主要原因。

由于缺少高精度的卫星遥感资料, 未能对盆地内 NW 向构造存在多期和多方向变化问题深入探讨。也不能排除一些 NW 向构造雏形产生于喜山早幕运动期的可能。文中的论点, 也

EVOLUTION OF CRUSTAL STRESS FIELD IN SONGLIAO BASIN DURING HIMALAYA MOVEMENT: EFFECT ON OIL-GAS MIGRATION AND ACCUMULATION

Qi Lin

(Southwest Bureau of Petroleum Geology, Chengdu)

Han Guanglin Zhang Hui

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Jilin Oilfield)

Abstract

Three episodes of Himalaya movement had considerable appearances in Songliao Basin. The first one happened between Late Tertiary and Early Quaternary. The regional compressive stress of NE-SW direction resulted by the effect of Indian Plate led to the formation of Xiao Hingganling Mountains and the second Songhuajiang-Nenjiang depressed zone. The second one took place between Middle and Upper Pleistocene. The compressive stress of NW-SE or nearly EW direction resulted by the effect of Pacific Plate led to a large scale of hydrocarbon migration and accumulation, forming a number of anticline trapped hydrocarbon pools represented by Daqing placanticline. The third episode in Holocene restored the NE-SW compression that occurred in the first episode, resulting in a series of new hydrocarbon traps or hydrocarbon zones of NW-direction, and seriously reformed the NE-directional anticline trapped hydrocarbon pools. It is suggested that the main target of oil and gas exploration in Songliao Basin is to find new structural traps or hydrocarbon enriched zones of NW-direction.