

渤海湾盆地中、新生代应力场的演化 与古潜山油气藏的形成

王 同 和

(石油工业部地球物理勘探局)

本区中生代中晚期受挤压应力场控制,基岩发育北东向雁列断层和褶皱,并接受风化、淋滤;早第三纪受引张应力场控制,基岩形成北北东至北东向的雁列垒-坳系,并快速堆积生油岩;晚第三纪受右旋剪切运动控制,盆地整体均衡下沉,新的沉积掩覆了早期的垒-坳结构而形成潜山,为油气的生成、运移和聚集提供了温度、压力和圈闭条件。上述应力场的演化过程,与太平洋板块和印度洋板块在不同时期以不同方式向欧亚大陆俯冲和挤压以及地幔上涌有关。

近年来,在渤海湾盆地相继发现一批古潜山油、气藏,特别是任丘高产大油、气藏的发现,引起了广大地质工作者对本区应力场的性质及其演化规律研究的关注。

最近,经分析研究发现,渤海湾盆地中、新生代应力场是有变化的,至少在中生代与早第三纪、早第三纪与晚第三纪之间有过两次重大变化。它与古潜山油、气藏形成过程相一致,彼此间存在因果关系。

一、中生代构造应力场分析

渤海湾盆地是叠置在华北地台基底上从新生代发育起来的张性断块盆地。该区自隐生宙末中岳旋回形成为华北原地台(约17亿年)以后,至二叠纪末地壳处于相对稳定的发展阶段^[1]。中生代早期的印支运动对本区开始有所影响,但三叠纪的沉积体制和构造格局仍继承了晚古生代“南北分异”的特点^[2]。中生代中晚期的燕山运动是本区极为重要的一次构造变动。它波及面广、强度大,断裂、岩浆活动频繁、剧烈,几乎使所有的地台盖层都发生了褶皱和断裂变形。总的来看,渤海湾盆地同其东西两侧的鲁西、胶辽隆起区和山西隆起区共同组成一个巨大的复式断裂隆起区,向西乃与鄂尔多斯盆地相连,但由于基底硬化程度和盖层沉积厚度的差异,其变形特点因地而异,如太行山区发育了由阜平背斜、赞皇-黎城背斜与介于其间的井陘-沁水向斜组成的北东向雁列褶皱带(图1),其背斜轴部出露太古界结晶基底。在盆地边缘地区的构造变形可能受到断裂再活动的影响要大一些,形成了与边界方向大致平行的逆断层,背斜和向斜也较发育,如燕山地区所形成的一系列压性构造,大多逆断层分别向北西和南东倾斜^[3]。在盆地内

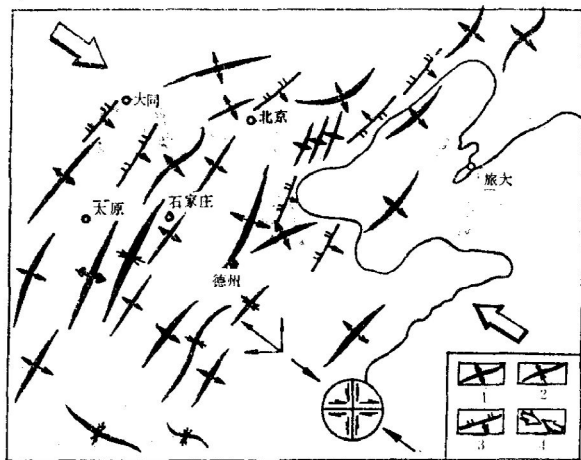


图1 渤海湾盆地中生代构造纲要图
1—背斜, 2—向斜, 3—逆断层, 4—区域挤压应力方向

部主要发育走向北东的短轴背斜, 如黄骅坳陷的北大港背斜、店子徐阳桥背斜等, 而且在冀中、济阳和下辽河等坳陷的一些背斜轴部钻遇到不少太古界和元古界花岗片麻岩。引人注目的是在黄骅坳陷还发现不少前第三纪逆断层, 它不仅在地震剖面上有明显的断面波, 而且被钻井资料所证实。如北大港主断层, 位于断层上升盘的太10井在井深3164—3218 m井段地层重复54 m (图2-A)。另从中生界沿主断层走向方向增厚, 在垂直走向方向向两翼变薄缺失, 说明与挤压

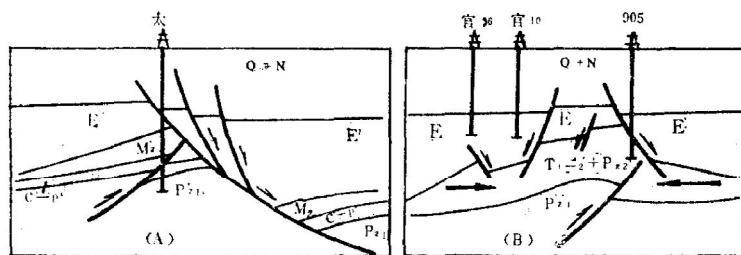


图2 黄骅坳陷地震地质解释剖面图 (据李志文等)
(A)—北大港断层剖面, (B)—孔店断块 78—59 剖面

应力场有关¹⁾。又如孔店构造带的孔西、孔东断层也有类似的挤压结构面特征 (图2-B)。前第三系的中下三叠统和石千峰组, 在构造顶部905井附近厚达2600 m, 在东西两翼厚约1500 m; 在下古生界中有逆断层存在。这个现象说明在第三系沉积前, 中生界和上古生界在水平压应力场作用下, 沿层间软弱面滑移、缩短、增厚, 当超过岩层强度时破裂逆冲。另外在冀中、东濮和济阳等坳陷也发现前第三纪挤压构造的存在^[4]。如济阳坳陷孤北潜山逆掩断层和平卧褶皱等。因受新地层掩覆, 特别是后期的拉张和右旋剪切应力场的改造, 面目不很清楚, 而又很少研究, 常常被忽视。但随着研究工作深入和勘探深度增加, 必将发现越来越多的挤压构造。此外, 反映深部作用的重力梯度带亦呈北东向分布。沿同方向分布的燕山期岩体以中酸性侵入岩为主, 也反映了本区中生代为挤压环境。

中生代的渤海湾盆地十分类似于美国西部落基山弧后压缩区, 由岩石圈板块应力传递而形成的构造现象²⁾, 即由于基底块体的压缩, 使其上覆盖层产生“断褶隆起”, 在隆起的顶部挤压强烈, 断裂发育, 块体破碎, 剥蚀严重。而在隆起的围斜低洼区, 却超

1) 李志文等, 1984, 黄骅块断盆地演化特征与油气分布。

2) J·盖拉格赫, 1984, 以地震和露头资料对被覆褶皱构造与地层解释, 王同和译, 石油物探论文集。

覆充填了侏罗白垩系碎屑岩建造和含煤建造。这就易于解释在渤海湾盆地有的坳陷出露元古界乃至太古界,而有的则被巨厚的中生界沉积所覆盖。正是由于在中生代北西—南东向挤压应力场作用下,使渤海湾盆地内部各构造单元的沉积作用、构造变动和剥蚀作用产生了显著差异,决定了在形成潜山油、气藏中起着储集体作用的地层保存、埋藏状况也很不相同。如冀中坳陷为厚度很大的元古界和下古生界分布区,而上古生界和中生界在坳陷中部零星分布或缺失。自印支—燕山运动以来,元古界和下古生界经历了长期的风化、淋滤和溶蚀作用,发育良好的孔、洞、缝系统。特别在任丘周围,在沙四—孔店时期古岩溶体仍暴露于地表,这正是任丘古潜山形成具有工业价值的油、气藏的优越条件之一;临清坳陷主要处于复式向斜部位,大部分地区剥蚀幅度很小,三叠系和古生界被3000—6000 m的侏罗白垩系广泛覆盖,储集体性能欠佳;济阳坳陷在各个凹陷内部中生界的厚度达3000 m,其下伏的古生界保存完整,只有在凸起之上见有元古界,斜坡基岩为古生界和中生界组成,古岩溶作用不发育;黄骅坳陷处于复式向斜部位,中生界和上古生界广泛分布,剥蚀、溶蚀作用不强烈;渤海海域基岩剥蚀幅度较大,大部分地区上古生界剥蚀殆尽,在隆起或凸起之上广泛出露元古界和下古生界,只有少数凸起之上被中生界覆盖;辽河坳陷处于复式背斜区,剥蚀强烈,大部分为元古界分布和中生界覆盖区,元古界经历了长期风化溶蚀作用,特别是处于阴山纬向复杂构造带与新华夏系构造带复合部位的大民屯凹陷,其构造作用强烈,断裂错综复杂,太古界混合变质岩裂隙发育,已成为很好的储集体。

综上所述,在中生代北西—南东向挤压应力场作用下,渤海湾盆地的构造面貌为之一新,使盆地前第三系“基岩”储集体的分布呈现出一幅复杂的图案,也为古潜山油、气藏的形成奠定了“储集”条件。

二、早第三纪构造应力场分析

中生代末—早第三纪初,为渤海湾盆地应力场变化的主要时期。表现为在大规模隆起的背景上普遍发生块断破裂。早第三纪盆地构造追踪和迁就以北东—北北东向断裂为主,伴以北西—北西西向断裂,北东—北北东向盆地构造被后者截切或封闭,共同围限与发育了一系列地堑、地垒或阶梯式的断块。组成盆地的断裂方位与中生代无多大改变,但其力学性质发生了根本变化,往往多期活动具有明显的张性,属于正断层和低角度的拆离构造。它们多是在早第三纪同沉积过程中形成的,当时的沉积充填记录断层差异活动幅度可达3—6 km。如济阳坳陷的胜北断层垂直落差为3100 m;冀中坳陷的马西断裂的垂直落差与任丘潜山块体上升幅度合计为2900 m。此外,从渤海湾盆地各坳陷的沉积厚度亦反映出早第三纪垂直运动的幅度,如下第三系在冀中坳陷为5800 m,黄骅坳陷为4200 m,渤中坳陷为5500 m,济阳坳陷为4400 m,下辽河坳陷为2900 m。这些资料说明,早第三纪的构造运动是以垂直运动占主导地位。块体升降运动在地震剖面上显得十分清楚,其幅度之大是十分罕见的。各坳陷沉积速率平均为0.42—0.64 mm/year,沙三段为最大,如廊固坳陷为0.89 mm/year。此外,伴同断块破裂与陷落有大体同步强烈的火山活动,玄武岩沿北东向裂隙式喷发,其属于拉斑玄武岩系,表明盆地具有大陆裂

谷性质。这些资料均明显反映了本区早第三纪形成的北东向坳陷是受北西—南东向强烈拉张应力控制的(图3)。文献中也有不少这方面的报道^[3-6]。

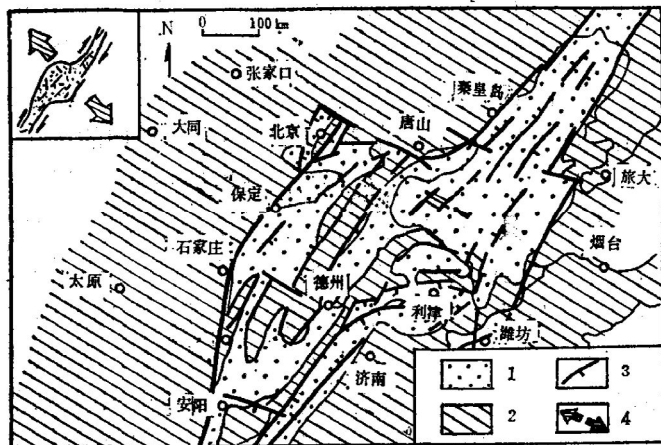


图3 渤海湾盆地早第三纪地壳构造图
1—盆地, 2—隆起区, 3—正断层, 4—区域拉张应力场

在上述拉张应力场作用下, 造成的断块差异活动, 不仅增大了下第三系生油岩与古潜山储集层之间的接触面积, 而且也增大了潜山的高度或隆起幅度。由于盆地各构造单元所处的构造位置不同, 其受力大小、方向和介质的不均一性, 所以古潜山类型和发育程度除与岩层有关外, 还取决于控制断块差异活动的断裂的产状变化和活动时期, 如在冀中坳陷, 控制凹陷早期发育的大型拆离型断裂, 其断面上陡下缓, 凹面向上, 主要顺基底滑脱, 虽然被巨厚的沙四—孔店组所覆盖, 但不利于形成潜山油藏。如太行山断裂下降盘的廊固、徐水、保定和石家庄等凹陷至今未发现潜山油藏, 而控制任丘古潜山断层是在沙四段以后强烈活动并切入基底的高角度正断层, 沙三段沉积前幅度仅有400 m, 至东营期末幅度可达1300 m, 在渐新世时期大约增长了900 m。任丘潜山油藏的含油高度近900 m, 这主要是在盆地拉张的鼎盛时期由块断剧烈差异活动造成的, 而太行山断裂是在盆地拉张初期形成的拆离构造, 此后垂直差异活动性减弱, 不易形成潜山油、气藏。由上述可见, 断裂的类型及其形成时期对古潜山油、气藏的形成也起着不可忽视的作用。又如东营凹陷以整体下拗为主, 其内部缺乏大型基底断裂, 没有形成次一级正向断块, 因此古潜山油、气藏不发育。而沾车凹陷内部基底断裂较发育, 为古潜山油、气藏的形成提供了有利的条件。

总之, 本区的潜山油、气藏, 不管它处于什么样的构造部位, 归属于哪一种油、气藏类型, 但均与早第三纪在拉张应力场条件下形成的正断层所引起的基岩断块差异活动有关。

三、晚第三纪以来的应力场分析

晚第三纪以来, 渤海湾盆地的沉积区结构和分布范围与早第三纪相比已发生了显著的变化。年轻的松散沉积覆盖了早第三纪的垒堦结构, 显示出大型沉积平原地貌。尽管其内部主要断层仍保持继承性活动特点, 但与早第三纪相比, 其倾滑分量减小, 走向分量明显增大。据对断层产状和断距统计表明, 即使晚第三纪以来继承性活动的断裂, 其倾角明显由缓变陡, 断距由大变小, 而新生的断层一般倾角均较陡, 多大于 65° 。在平面上多呈雁列展布, 显示出扭性断裂的基本特征。因此, 潜山断块活动也相应有所改变, 以大幅度垂直升降运动变为水平扭动, 如任丘潜山在早第三纪时期相对上升幅度较大, 而

在晚第三纪相反下降 300 m。根据对渤海湾盆地各凹陷扩张量和扩张速率的计算表明¹⁾, 晚第三纪时期的扩张量与早第三纪相差 3—7 倍, 扩张速率相差 2—6 倍, 沉积速率相差 3—5 倍, 充分说明早期的北西—南东向的强烈扩张至晚期已大大减弱。位于山西隆起上的自晚第三纪以来右旋剪切形成的渭汾裂谷系^[7], 与本区处于相似的构造环境, 则是有力的佐证。另对地堑边界断裂小构造分析, 断面擦痕倾角小于 30° 的占主导地位, 表明北东—北东向断裂为右旋走滑性质。此外, 石咀山附近北东向断裂切过明代长城水平错距 1.45 m, 垂直断距 0.95 m, 为右旋平移—正断层²⁾。在渤海盆地内部, 近年来引人注目的地震活动提供了直接分析研究应力场的良好机会。如唐山地震断层为北东向, 右旋错距 2—3 m, 垂直错距 0.7—1 m; 邢台地震断层震前、震后水平位移值达 70 cm, 比它的垂直形变量大 2 倍; 北京市八宝山北东向断裂, 水平形变量为每年 0.4—1.0 mm, 垂直形变量为每年 0.3 mm, 亦为右旋剪切性质 (图 4)。可见, 新构造运动的表现亦说明晚第三纪右旋剪切应力场的存在, 并且一直延续至今。

由于北东—北东向断裂的右旋剪切活动, 使临清拗陷第三系发生强烈扭动变形; 下辽河拗陷还出现不少逆断层, 总体表现为由东部凹陷带向西部凹陷带逆冲。这在地震剖面上显得十分清楚, 并已被石油钻井资料所证实。

另一个引人注目的事实是, 由于北东向断裂右旋剪切, 在北京—青岛一线叠加了次级北东—南西向拉张应力场 (图 5), 使早第三纪的沉降带由北东向转变为北西向, 表现为整个盆地从南北两头向北京—

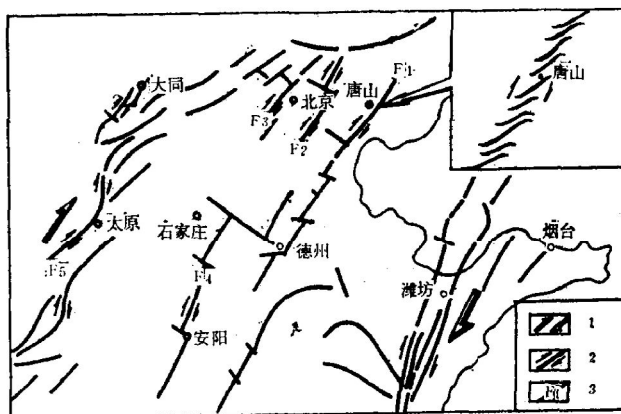
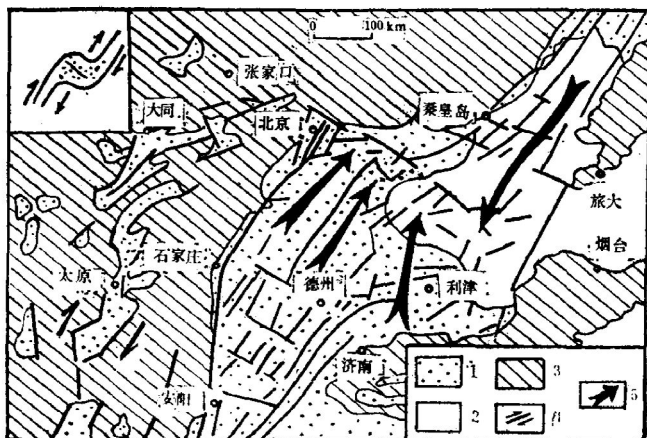


图4 渤海湾盆地及其周围地区晚第三纪以来应力场示意图

1—剪切应力方位, 2—活动断层, 3—断层编号;
F₁—唐山地震断层, F₂—夏垫断层, F₃—八宝山断层,
F₄—邢台地震断层, F₅—晋祠—文水断层



青岛一线下倾, 即下辽河拗陷的沉积中心由北往南迁移, 而冀中、黄骅和济阳等拗陷的沉积中心各自由南向北迁移, 形成北京—青岛北西向串珠状晚第三纪沉降带。如北京凹陷上第三系厚 1400 m, 武清凹陷 3300 m,

图5 渤海湾盆地及其周边晚第三纪以来的断陷盆地分布图

1—断陷盆地, 2—海域, 3—隆起区,
4—右旋剪切应力场, 5—沉积中心迁移方向

1, 2) 张步春, 王同和等, 1982, 华北板内地震构造及其形成机制, 伦敦国际构造会议论文 (英文版)。

岐口凹陷 3200 m, 渤海凹陷一般为 2000—3000 m, 最大为 3600 m。这一巨厚的上第三系沉积在本区其它凹陷是罕见的。

从以上构造变动、沉降带变化和沉积中心迁移等事实表明, 早、晚第三纪之间应力场有一个明显的变化, 进一步说明晚第三纪以来右旋剪切扭动控制了本区的断块活动。在这一应力场作用下, 不仅使早期的垒坳结构得到了上第三系沉积的披覆, 为烃类转化、运移提供了温度、压力条件, 而且使决定潜山幅度的张性断层转变为扭性, 对油、气向潜山进一步运移、聚集和保存起到了重要的驱动和遮挡作用。

四、讨论与认识

产生渤海湾盆地应力场演化的背景, 从板块观点出发, 可作如下讨论: 库拉-太平洋板块在中生代对欧亚大陆作北北西向运动, 二者之间产生的左旋剪切运动是造成渤海湾盆地乃至中国东部广大地区产生一系列北北东—北东向断裂褶皱的主要动力, 这与李四光教授所论述的中生代以来, 亚洲东部存在着亚洲大陆向南、太平洋相对向北运动而产生的新华夏系是一致的^[8]。包尔赛涅夫 (Борсеньев, 1972) 在分析太平洋滨海地区中生代构造成因时, 也发现这一北西—南东的挤压作用, 亦说明上述运动程式的存在。

按照上田和都城的研究^[9], 太平洋板块大约在四千万年以前的早第三纪时期, 对欧亚大陆的作用方向已由原来的北北西向变为北西西向, 同时板块的运动方式也有所改变, 即前者向欧亚大陆俯冲及其导生的地幔对流或上涌, 使本区地壳遇热拉张变薄。无论是地幔上涌或是深部底辟作用, 都可能导致地壳产生引张应力场。渤海湾盆地下凹与莫霍面的上凸的倒影关系 (图6), 以及伴随块断破裂有大体同步的频繁的火山活动和相应的高热流值 (1.5—2.0 HFU), 均说明本区曾发生过显著的热活动或地幔上涌。据此认为,

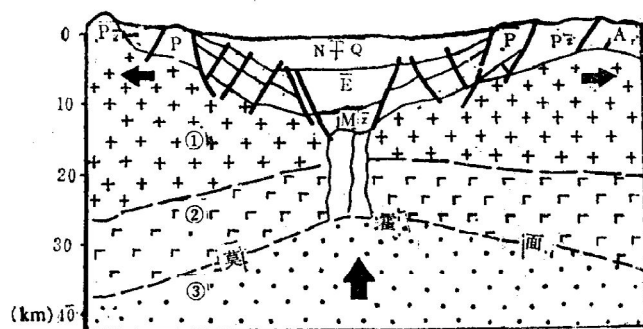


图6 渤海湾盆地形成机制图

①—上地壳, ②—下地壳, ③—上地幔

为, 地幔上涌不仅是产生早第三纪浅层盆地拉张应力场的动力源, 也是各种地球物理场的深部背景和火山活动的物质来源, 同时也是烃类转化的热力来源。

但也要考虑到, 此时期虽然中国西南部印度板块与欧亚板块碰撞, 但其影响范围小, 因此, 早第三纪本区主要受太平洋板块作用力的影响。

晚第三纪以来, 由于印度板块与欧亚大陆碰撞的挤压应力继续加强, 前者以每年 5 cm 的速度向北东向推挤, 势必对华北地区施加影响, 导致了渭汾裂谷系的形成和渤海湾盆地北东向断层的右旋走滑活动。Molnar 和 Tapponnier 也曾论述过印度板块向北东向推挤对本区的影响^[10]。但他们只强调了板块传递应力, 否定深部作用, 显然是值得商榷的。事实上, 晚第三纪以来的火山活动虽然有所减弱, 但还没有完全停息, 说明此时期深部作用垂直应力减小或地幔上涌减弱, 地壳发生弹性回跳, 浅层盆地构造为适应这种

深部作用，势必重新进行均衡调整。因此，使早第三纪断陷盆地向坳陷转化，并逐步演化为现今的大型平原地貌形态。这表明晚第三纪的太平洋板块对本区俯冲不如早第三纪那么强烈。主要与来自印度板块对欧亚大陆碰撞的水平挤压应力有关，从而使早第三纪具有明显张性的北东向断层转变为具有扭性结构面的特点，这从很多正断层对油气起遮挡作用得以证实。

本文系1984年中国石油学会“基岩油藏”学术讨论会论文。马杏垣、田在艺老师等审阅了全文或提出宝贵意见，李志文、英勇等提供资料，在此谨表谢意。

参 考 文 献

- [1] 马杏垣等, 1983, 中国东部中、新生代裂陷作用和伸展构造。地质学报, 第1期。
- [2] 张 抗, 1983, 华北断块区中生代大型沉积盆地的发育特征。石油与天然气地质, 第2期。
- [3] 张裕明等, 1980, 华北断块区中、新生代构造特征及其动力学问题。华北断块区的形成与发展, 科学出版社。
- [4] 刘明义, 1984, 东濮凹陷油、气聚集模式。石油学报, 第4期。
- [5] 李德生, 1980, 渤海湾盆地的地质和构造特征。石油学报, 第1期。
- [6] 阎敦实等, 1980, 渤海湾盆地断块活动与古潜山油、气藏的形成。石油学报, 第2期。
- [7] 王同和, 1982, 太原、临汾盆地活动构造与地震。研究生论文摘要, 地震出版社。
- [8] 李四光, 1962, 地质力学概论。地质出版社。
- [9] Uyeda, S. and Miyashiro, A., 1974, Plate tectonics and Japanese Islands Geol. Soc. Am. Bull. Vol. 85 (7), No. 7.
- [10] Molnar, P. and Tapponnier P., 1975, Cenozoic Tectonics of Asia, Effects of a Continental Collision. Science, Vol. 189, No. 4201.

EVOLUTION OF MESO - CENOZOIC STRESS FIELD AND THE FORMATION OF BURIED - HILL HYDROCAR- BON POOLS IN BOHAI BAY BASIN

Wang Tonghe

(Geophysical Exploration Bureau, Ministry of Petroleum Industry)

Abstract

According to a comprehensive analysis of available new data including geological, geophysical, drilling, satellite images and various evidences of neotectonic movement in the Bohai Bay Basin and the adjacent areas, it is found that this region was controlled by NW-SE trend compressive stress field during the middle and late stages of the Mesozoic, thus resulted the reactivation of the platform, developed a series of NE trend compressed fractures and folds in echelon arrangement, the outcrops of which developed into favourable reservoir rocks with plenty of pores and fractures after long time weathering and leaching. In the Eocene, the basin was controlled by tensile stress field in

NW-SE direction, the basement rocks were tilted, leading to a series of ranges and depressions in NNE-NE echelon arrangement filled with rapid deposited source rocks, as a compensation of the continuously subsided space. In the Neogene, the whole basin depressed in balance due to the clockwise shear movement. The range and depression structures then were covered by Neogene sediments, thus formed the buried hills and provided necessary pressure and temperature for the generation of oil and gas. The rotational-shearing movement made the oil and gas to migrate towards the buried hills. The evolution of the stress field in the area is related to the subduction and compression of the Pacific-Kura Plate and the Indian Ocean Plate towards the Eurasian Plate in different times and directions. The gushing of the mantle materials, on the other hand, can be considered as the dynamic source of the tensile-stress field and the thermal source for the evolution of hydrocarbon.

东海陆架盆地两口探井分别试获工业油气流

由地质矿产部海洋地质调查局“勘探二号”、“勘探三号”钻井平台在东海陆架盆地施工的“平湖二井”、“天外天一井”，最近分别试获了工业油气流。

由“勘探二号”施工的“平湖二井”，位于东海陆架盆地浙东坳陷西湖凹陷的平湖构造上，距我国舟山群岛约260km。该井于4月19日钻至4105m，完成设计任务，经对主要含油气层段进行测试，获工业油气流。

由我国自行设计建造的“勘探三号”半潜式钻井平台施工的“天外天一井”，位于东海陆架盆地浙东坳陷西湖凹陷的天外天构造上，距舟山群岛约280km。5月10日，该井钻至5000.3m，完成设计任务，经测试，获工业气流。

地质矿产部海洋地质调查局从1974年起，开始东海的石油普查工作，至1985年基本完成了东海油气的区域评价工作，并转向重点构造的详查评价。其间钻探的五口井，都不同程度地试获了油气，其中“平湖一井”试获了工业油气流，取得了东海油气普查勘探的首次重大突破。

为了进一步探索平湖构造而钻探的油气探井——“平湖二井”，于新的高点上、新的层位中试获工业油气流，为“平湖构造”探明一定规模的油气田奠定了基础。“天外天一井”为我国海上钻探最深的一口石油普查井，该井试获工业气流，对于扩大东海油气远景评价和进一步选定重点勘探区域具有重要意义。

(姜海平)