

(中国海洋石油总公司海洋石油勘探开发研究中心)

东海盆地西南部地质特征与盆地中、北部有很大的差异：前者前上第三系为海相沉积环境，其断裂为雁行展布，始新世末期的区域抬升长达 $15-20 \times 10^6$ a。文中首次提出该区存在正的反转构造，并对其形成机制进行了分析。正的反转构造下伏高压泥岩是有利的生油岩系，预测东海盆地西南部正的反转构造分布区为有利的含油气区。

一、地质背景

1. 前上第三系海相沉积环境

白垩纪-古新世海退期 研究区与台湾近岸的钻井揭示本套地层中含有孔虫类：*Dislocyclina*, *Assilina*, *Miliolidae*, *Astrocoenia*, *Elephantaria*。岩性为灰岩、生物灰岩、海相泥岩及煤层和砂岩，灰岩厚达 60—70 m。推断海侵由东南向西北推进。

始新世为海侵高潮期 始新世是晚中生代以来东海海侵范围最大时期，面积达 60000 km² 以上。东海盆地内，杭州湾-冲绳岛一线以南广大地区为浅海—半深海相；以北地区为陆相。在海相区，岩性为灰岩、页岩、泥岩和砂岩；生物礁发育，碳酸盐岩台地广泛分布；指相矿物海绿石从台湾到研究区的砂岩中普遍存在，并呈层分布；研究区见到沟鞭藻类 70 多种、属，如：*Achomosphaera ramulifera* (Deflandre) Evitt, *Crdosphaeridium fibrospinosum* Davey and williams。超微化石如：*Discoaster barbadensis*, *Discoaster saipanensis*。

渐新世为海退期 渐新世时全球海平面下降。当时研究区大部分在海平面以上，只有局部地区是滨海或浅海环境（钓北坳陷、彭佳屿低凸起等构造单元上的井孔揭示）。

上第三系沉积前，东海盆地广大地区均是煤系沉积建造，即所谓的煤盆，唯独盆地西南部不是煤盆，而是海相沉积环境。

2. 雁行式的断裂展布格局

研究区的北部界线是杭州湾-冲绳岛大断裂，南界是闽江口东大断裂（图1）。它们都是北西向走向的左旋扭断层（wrench fault），在重、磁、地震资料上反映都很清楚，特别是杭州湾-冲绳岛大断裂，长达 1200 km 以上，使两侧的地质特征完全不同。闽江口东断裂长度也在 600 km 以上，使得东海盆地地质特征与台西盆地差异甚大。

在这二条大断裂的制约下，研究区内发育了一系列北东向雁行展布的正断层。这些

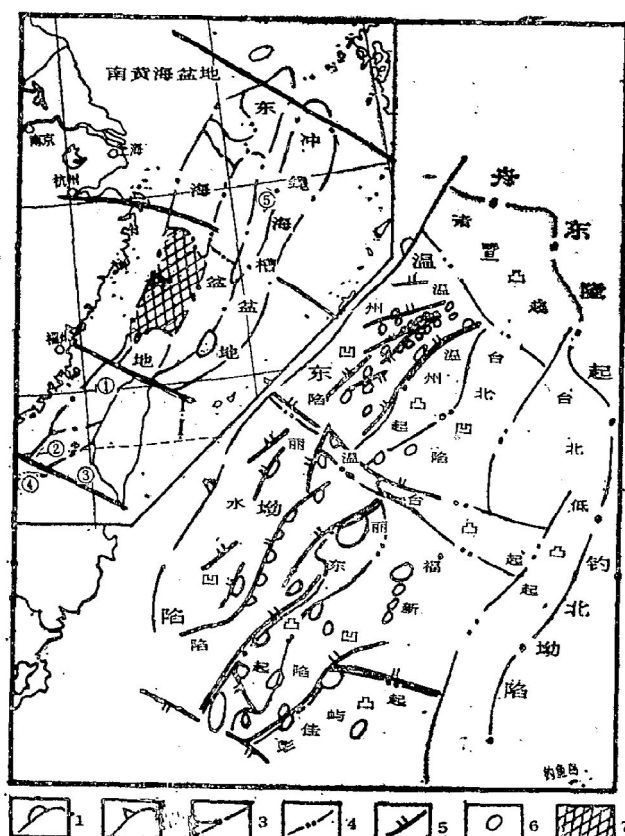


图1 东海盆地西南部构造区划图

- ①—台西盆地, ②—东沙北港隆起, ③—台西南盆地,
④—珠江口盆地, ⑤—东海陆架外缘隆起
1—下第三系超覆线, 2—下第三系剥蚀线, 3—拗陷分界线,
4—凹凸分界线, 5—断层, 6—局部构造, 7—研究区

断层均表现为西降东升的特征, 最长达100km, 断面倾角 35° — 45° , 基岩落差100—6000m。这些断层主要分布在温东拗陷内, 而其以东地区断层少且缺少规律性(图1)。

按断裂发育期可分为四种: ①早期发育后期衰退(中生代发育, 后期消失)。②始新世发育(后来不发育至消失)。③晚第三纪发育。④长期发育。始新世发育的断层大部分分布在温东拗陷以东地区。

断层类型, 基本上都是正断层, 这与盆地中、北部是不同的(盆地中、北部逆断层发育, 见图4);但受火成岩侵入影响, 也有个别的小逆断层出现。

3. 始新世末期的构造运动

研究区内近30000km地震剖面反映出始新统受剥蚀, 与上覆地层呈角度不整合, 在温东拗陷的西部表现最明显, 有的地方上第三系直接与白垩系不整合接触。研究区大部缺少渐新统。这种缺失不是后期抬升剥蚀, 而是

因隆起没有沉积。这一点可以从地震剖面解释证实。地震 T_3^0 反射层(相当渐新统底界)从钓北拗陷进入研究区后与地震 T_2^2 反射层(相当中新统底界)合并。 T_3^0 层以下为角度不整合, 以上为超覆关系, 进一步说明始新世末期长时间隆起。

据P.R.Vail研究^[9], 大约 30×10^6 a前有一次最大的世界性海平面下降。Taylor和Hayes(1980)指出, 这种全球性海平面下降, 在很大程度上影响了太平洋西海岸地区。前 $17-32 \times 10^6$ a时(中渐新世—早中新世)正好是中国南海海底扩张。台湾地区在中晚渐新世时正处在海平面以上, 局部地区下渐新统、始新统、白垩系剥蚀殆尽。从地震反射资料可以明显看到, 上、中始新统剥蚀地区面积: 温东拗陷约13000 km², 福新凹陷约4000 km², 研究区内沉积间断达 $15-20 \times 10^6$ a。钻井揭示缺少始新统上部、渐新统和中新统下部。地震剖面解释丽水凹陷始新统剥蚀逾600 m, 温州凹陷剥蚀约250 m, 福新凹陷剥蚀近400 m。这次运动称玉泉运动(或钱塘运动)。台西盆地及东沙—北港隆起受剥蚀约40000 km², 台湾地区称这次运动为浦里运动。南海珠江口盆地内始新统恩平组受剥蚀逾500 m, 在盆地140000 km²范围内均受这次运动影响, 称为南海运动。始新世末期, 这次构造运动对我国南海、东海南部影响较大, 在本区地质发展史上是一次极为重要的事件。

二、正的反转构造

正的反转构造 (positive inverted structures) 是一种特殊的形变类型, 在西北欧和东南亚一些盆地中表现的比较明显, 且形成了一些重要油气圈闭。正的反转构造, 有人称为“盆地反转”、“反向活动”或“泥岩构造”。总之, 它原是盆地最凹处, 后来在此处叠置了正向构造——构造形态发生了相反的变化。笔者通过近二年的研究, 认为我国大陆架 (四个海域) 都存在正的反转构造。它在地震剖面上有以下特征:

1. 下伏“盆形”基底

从渤海、黄海、东海、南海等四个海域地震剖面上均证实有正的反转构造 (图 2, 4)。渤海、东海的地震剖面上基底波明显地呈“盆状”, 南海 (珠江口盆地) 资料略差, 但基本上反映其上叠置了正向构造。

2. 地腹地震反射为“丘状”

从地震反射特征上看, 正的反转构造下面的反射同相轴不可追踪, 均为“丘状”或“空白带”, 表现出岩性单一, 可能与塑性岩层有关。如南海珠江口盆地某井区地震 T_8 反射层是微弱的“丘形”, T_8 层以下是杂乱反射, 后来钻井证实该套岩层为始新世文昌组高压泥岩。

3. 下伏巨厚的沉积层

地震剖面上表现出正向构造是一次性形成的, 由顶部到翼部各地层为等厚层, 其下伏地层呈透镜状, 即中间厚向两侧变薄以至消失。如东海区中间最厚可达 2100 m, 向两侧延伸 15 km 就消失了。特别是渤海区更为明显 (已被钻井证实为泥拱)。

4. 顶部发育对偶正断层

在地震剖面上表现为在正的反转构造顶部发育一系列的对偶正断层, 有的为“负花构造” (指由正断层断开的扭断层向上延伸而分叉部分, 组成浅层向斜构造) [7]。如图 2 的渤海区剖面。有的像“开花馒头” (指背斜顶部对偶正断层夹持背斜构造), 如东海、南海区剖面。这些断层的落差很小, 一般不超过 100 m, 断层走向与构造的长轴方向一致; 构造消失, 断层也消失。

5. 断层一般不断至基底

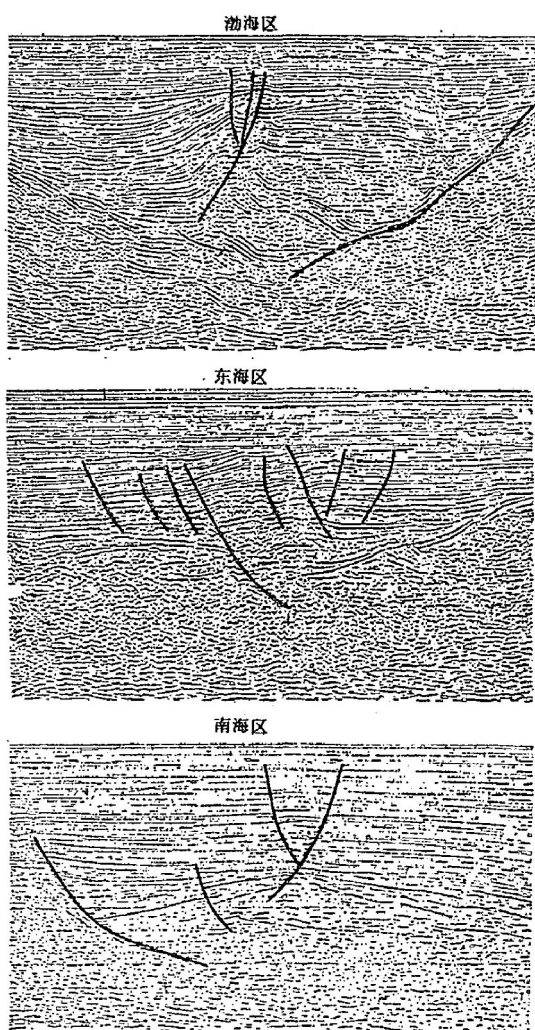


图 2 地震剖面上正的反转构造

正的反转构造上发育的断层,一般只出现在与正的反转构造有关的地层中。如东海区只在始新统和古新统内,不向下延伸(即很少断至白垩系或基岩内)。渤海区一般发育在下第三系的东营组、沙一段,很少断至沙三段或以下地层内。南海区一般在下第三系珠海组和恩平组,很少断至始新世的文昌组。黄海区一般在渐新世的三垛组和戴南组,很少断至古新世的阜宁组和泰州组(见图4下)。这主要是因为沙三段、文昌组、阜宁组是塑性地层,为大套泥岩,不易断裂。据东海区钻井揭示,白垩系及古新统下部也是以泥岩为主的塑性岩层。

6. 顶部地层一般受剥蚀

正的反转构造一般都是渐新世末或始新世末期一次性形成的构造,多数情况下,上隆较高,受到剥蚀。因构造运动的强烈程度不同,剥蚀的多少也不同。

7. 地腹有低速层

正的反转构造腹部地层一般比其上、下地层的层速度要低。如东海区某构造1号点,2.125秒深处层速度为3574 m/s,2.310秒处为2915 m/s,2.900秒处为2531 m/s,3.350秒处为4428 m/s。2号点1.925秒处层速度为3013 m/s,2.225秒处为2943 m/s,2.900秒处为3893 m/s,3.600秒处为7113 m/s,均说明中间为低速层。又如南海珠江口盆地某井4590 m以上层速度为4700 m/s,以下为超压泥岩,其层速度为4250 m/s。

8. 地腹有高压异常层

钻井测试和地震预测均表明,正的反转构造下伏地层一般为超压层。如渤海区某井所钻正的反转构造下伏地层在3192m以下泥浆比重采用1.39—1.54,地层压力系数为1.50—1.545。说明为高压异常层,

又如南海某井所钻正的反转构造下伏地层压力梯度为1.4,反映也为高压异常层。东海研究区通过速度谱的计算和分析,在正的反转构造下伏地层也为高压异常层。说明这套地层是以塑性岩层为主的快速堆积封闭系统。在快速沉积厚层粘土的地方,间隙水被禁锢起来,沉积物不能被压实,导致地层具有异常流体压力。

三、形成机制

1. 扭断裂的存在

东海盆地西南部在走向北西的杭州湾-冲绳岛(渔山-久米断裂)和闽江口东两条左旋走向扭断裂夹持的地区,其内部发育了一系列雁行式排列西倾正断层(图3)。正

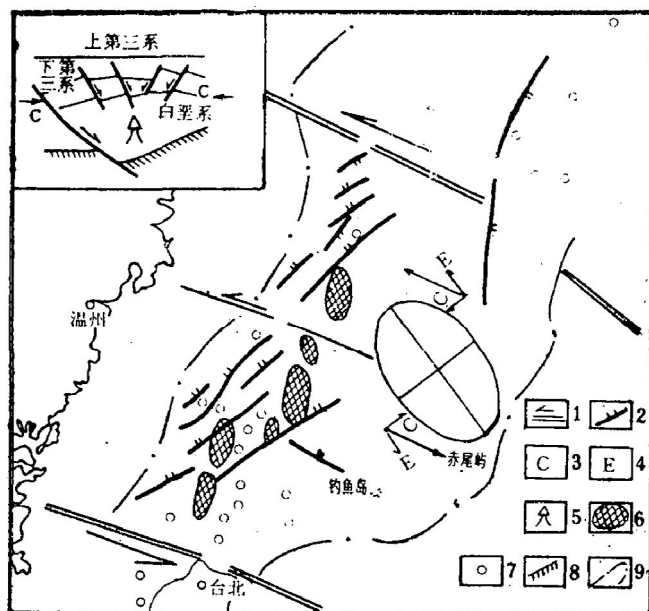


图3 东海盆地西南部正的反转构造形成机制及分布

1—扭断层, 2—盆地内主要正断层, 3—挤压力, 4—拉力, 5—拱升力, 6—反转构造带, 7—已钻井, 8—盆地基底, 9—盆地边界

的反转构造是在主应力轴呈 45° 角剪切应力作用下形成的(图3中应变椭球体)。

渤海区正的反转构造与郯庐断裂的活动密切相关。“辽东凸起”的中段,下第三系是凹陷最低部分(辽东凹陷)。在渐新世末期,郯庐断裂的活动为其形成提供了应力。

南海珠江口盆地大量地震和钻井资料表明其构造特征,无论在平面上还是在剖面上,均表现出了相当明显的平移剪切性质。

总之,由于扭断层的存在而产生剪切应力,该应力作用在塑性的岩层上(厚层的),使之产生与应力轴成 45° 角的褶皱, M. P. 毕令斯(1956)称之为剪裂褶皱。

2. 塑性岩层的存在

东海盆地西南部正的反转构造下伏白垩系,通过钻井与地震速度分析,认为是塑性岩层为主。如钻井揭示,古新统下部到白垩系上部泥岩厚逾 800 m。研究区南部白垩系上部有 200 m 厚泥岩。台湾西海岸某井白垩系中上部有二层页岩厚度分别为 78 m 和 27 m,下部有 500 m 的暗色和黑色页岩。台西南盆地 CFC-1 井揭示白垩系泥岩厚 350 多米。

类似的情况也见于渤海和南海。渤海区“辽东凸起”中段已被钻井证实塑性岩层为泥岩。某井 3025—3300 m 井段,泥岩占 80%; 3300—3514 m 井段,泥岩占 85%。

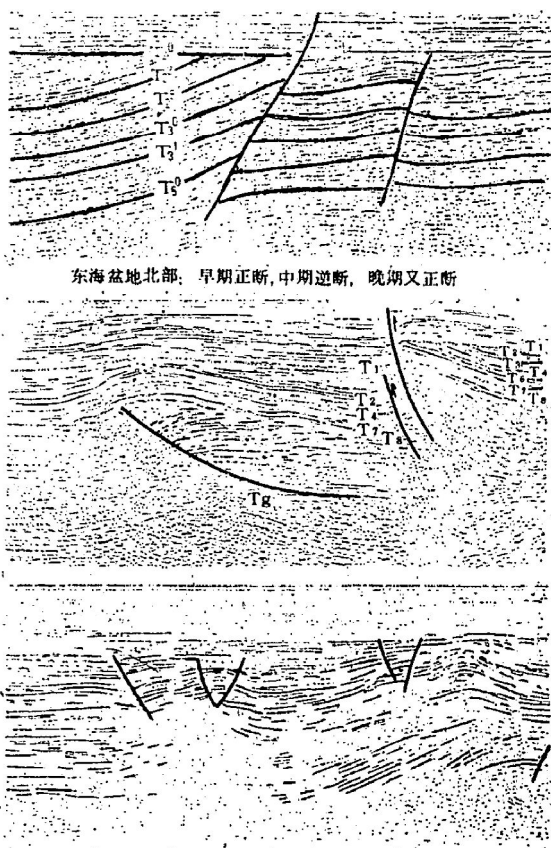
南海珠江口盆地文昌凹陷中某井揭示 3267—3331 m 井段,全部是泥岩。恩平凹陷某井 4470—4868 m 井段,泥岩占 71%; 惠州凹陷某井 4130.5—4456 m 井段,泥岩占 83.4%。

可见,正的反转构造下面均存在塑性岩层,并且它们都具有异常高压的特点,这些塑性层是正的反转构造形成的物质基础。由于横向上的挤压力、剪切力等应力不均衡,高压塑性岩层就要向释放应力方向流动、拱升,再加之区域构造升、降运动的诱导作用,就产生了中国大陆架的、正的反转构造。国外正的反转构造模式为早期在正断层作用下,晚期又逆向反转。在我国这样的情况也有,如黄海北坳及东海盆地北部(图4)。

3. 跷板活动

东海盆地西南部,以台北低凸起为支点,在始新世前后发生此升彼降的“跷板活动”。该凸起以西地区(温东坳陷和福新凹陷,见图1)在白垩纪和古新世沉积厚度大

于 4000 m,以东的钓北坳陷可能处于上升阶段没有沉积。始新世时该凸起以西沉积厚度大于 2000 m,而其东部钓北坳陷可能缺少始新统下部地层(没有沉积),说明早始新世台北低凸起以西地区是强烈沉降区。到始新世中,晚期至渐新世时产生明显的逆转,西部



东海盆地北部: 早期正断, 中期逆断, 晚期又正断

图4 黄海北坳及东海盆地北部的正反转构造

逐渐抬升,东部却大幅度下沉,致使钓北坳陷始新统中、上部和渐新统厚度逾6000m,第四系和上第三系厚逾3000m。在始新世末期的玉泉运动影响下,台北低凸起以西地区整体抬升。这种抬升的不均衡性和局部地区塑性岩层流动相结合,可产生正的反转构造。

南海珠江口盆地也有类似的“跷板活动”。使上、下第三系厚度出现此厚彼薄的倒置现象。“跷板”的支点可能是东沙隆起。这种活动使始新统恩平组和文昌组的泥岩得以流动形成正的反转构造(泥岩构造)。

上述跷板活动主要受控于以升、降为主的应力,这种应力作用,使原来发育于低凹处的塑性岩层上拱而逆转,形成正的反转构造。此外,地腹塑性岩层在重力作用下形成的底辟构造,一般也属于正的反转构造。

4. 水平挤压力

始新世中、晚期,东海盆地西湖坳陷-钓北坳陷正经历弧后拉张期,它对西部的温东坳陷及福新凹陷必然产生侧向挤压(见图3左上角),这种挤压力使古新统下部和白垩系的塑性岩层上拱,加上区域跷板活动的上升力作用,共同产生拱张应力而形成正的反转构造。

南海珠江口盆地挤压褶皱构造分布普遍,其最发育的部分大多在凹陷中部或坳陷带内。挤压使凹陷中最深部位的文昌组塑性岩层产生流动,进而使上覆地层上拱而形成正的反转构造(泥岩构造)。

上述四种因素是相互联系又相互制约的。首先塑性岩层是产生正的反转构造的物质基础,目前所发现的正的反转构造腹部地层无一不是以塑性岩层为主。而“跷板作用”的拱升力是形成正的反转构造的主要应力,特别是东海、南海区主要是始新世末期的区域抬升运动一次性地形成了正的反转构造。东海盆地在扭断裂的存在下产生剪切力,在弧后拉张下产生了挤压力,这二个力又可以派生出拱升力,使塑性岩层流动上拱导致原始地层产状逆转而形成正的反转构造。

四、与油气关系

1. 正的反转构造下伏塑性岩层一般都是较好的生油岩

研究区内钻井揭示白垩系泥岩的有机碳含量高。地震反射资料所确定正的反转构造位于低磁异常区,一般小于100 nT,个别在200 nT。这表明大部分下伏塑性岩层可能不是火成岩(低层速度、低磁性),而是以泥岩为主的砂、泥岩地层。台湾沿岸钻井揭示白垩系地化指标为:有机质富集度(TOC%)为0.808, S_1 为28 ppm, S_2 为604 ppm, T_{max} 为510。台西南盆地某井白垩系有机碳含量为1.13%,这些井均获得油气。

南海珠江口盆地正的反转构造下伏塑性岩层是文昌组、恩平组泥岩,渤海区正的反转构造下伏渐新统沙三段、沙二段泥岩,均已被证实为主要生油岩。

总之,各海区正的反转构造下伏塑性岩层的时代虽然有别,但它们一个共同的特点是都为有利的生油岩。就东海盆地而言,除了始新统、古新统生油外,白垩系也是值得重视的生油岩。能够找到好的生油凹陷及好的相带就能尽快地发现油气田,所以正的反转

构造形成的背景也是凹陷评价的一个重要参数。

2. 良好的圈闭

正的反转构造圈闭类型一般都是背斜型。它的形成一般不直接受断层控制。在海上进行钻探，这种圈闭类型的风险系数小（影响圈闭的因素少，不象断块圈闭那样受断层的开启影响，也不象地层、岩性圈闭那样很难圈准），尽管它形成一般较晚，但在构造内断层发育可与下伏塑性生油层连通，而与上覆盖层一般不连通（断层不向上延伸），这些已被钻探程度较高的南海珠江口盆地和渤海湾盆地所证实。

3. 有利地区预测

东海盆地西南部正的反转构造是成带分布的（见图3）。主要在温州凸起-丽东凸起的东部，台北凹陷和福新凹陷内。有六个构造带呈右行雁行式展布，最大的正的反转构造带面积约1200km²，其上分布有若干个正的反转构造。最小的正反转构造带面积约1000km²。目前初步识别出正的反转构造带面积约3000 km²。这些地区具有良好的石油地质条件，是最有油气远景的地区之一，但限于资料，目前的认识只是初步的，还有待今后钻探验证和进一步研究充实。

在研究工作过程中得到王燮培教授的帮助，在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 王国纯, 1985, 石油地震地质, 第1卷, 第2期。
- [2] 王国纯, 1986, 石油勘探与开发, 第13卷, 第6期。
- [3] 王国纯, 1987, 石油学报, 第8卷, 第4期。
- [4] 王国纯, 1987, 石油实验地质, 第9卷, 第1期。
- [5] 王国纯, 1988, 海上油气, 第2卷, 第2期。
- [6] M.P. 毕令斯, 1956, 构造地质学, 张炳燊等译, 1959, 地质出版社。
- [7] Harding, T.P., 1985, Bull. AAPG V. 69, No.4.
- [8] Keru and John D. Pigott, 1986, Bull. AAPG V.70, No.9.
- [9] C.E. 佩顿编, 1977, 地震地层学, 牛毓荃等译, 1980, 石油工业出版社。
- [10] Jenyon, M.K., 1988, Jour. Petrol. Geol., 11(3), P.309-324.

POSITIVE INVERTED STRUCTURES IN SOUTHWEST OF THE EAST CHINA SEA BASIN

Wang Guochun

(Research Center of Offshore Oil Exploration and Development,
China National Offshore Oil Corporation)

Abstract

Geological characteristics in southwest of the East China Sea Basin differ greatly from those of other parts. 1. It was marine environment before the Neogene; 2. The faults are distributed in echelon pattern; 3. Regional uplift in the end of the Eocene resulted in sedimental lacunae and erosion for about 15-20 million years in the west part of the area.

This article firstly proposed the existence of positive inverted structures. The main proofs are:

1. There is a "basin" shape basement beneath the positive inverted structures;
2. Seismic reflection is "dune" shape;
3. Sediments of great thickness spread under the structures;
4. The fault texture on top of the structures is "flower" shape;
5. The faults usually do not cut the basement;
6. The upper parts of the structures are generally eroded;
7. Formations beneath the structures have abnormal high-pressure;
8. Low vilocity.

The existence of wrench faults, plastic formations, seesaw motion and horizontal compression are considered to be the formation factors of this kind of structures.

It has been proved by well drilling in both Bohai and the South China Sea that high-pressure mudstones beneath the structures are the most favourable source rocks. Thus, the structures under which there are plastic formations are favourable places for the enrichment of hydrocarbon in the East China Sea Basin.