

渤海湾盆地的扭动构造特征 及其对油气的控制作用

蔺殿忠

(北京石油勘探开发科学研究院)

渤海湾盆地属新华夏系第二沉降带的华北沉降区。第三纪以来,在区域性南北直扭应力作用下,产生了大规模的断裂活动,形成了统一应力场控制下的似反“S”形断陷盆地及其各类扭动构造形迹。

其基本的构造特征为北东、北西两组断裂交织。前者具张扭性质,规模大,控制第三系沉积,为盆地的优势构造形迹;后者具压扭性质,规模小,对第三系沉积没有明显控制作用。正是这两组断裂交织,切割盆地成为众多的断块体。由于南北向右旋直扭应力的作用,这些断块体平面上多呈雁行排列。同时,由于重力作用,各断块体或它们之间作不平衡升降运动,沉降的部分形成沉积凹(坳)陷,相对上升的部分形成凸(隆)起。因此,被大断裂所分隔的凸(隆)起、凹(坳)陷在平面上相间且多呈雁行状排列(图1)。这些凸(隆)起、凹(坳)陷及其边界大断裂构成盆地的高一级序扭动构造形迹。在它们的控制和影响下,形成了低一级序和更低级序的扭动构造形迹。正是这些迭次出现的不同级序构造形迹控制着盆地内油气的生成、运移和聚集。具体说来,即高级序的构造形迹控制和影响着油气的生成,低级序的构造形迹控制和影响着油气的运移和聚集,形成油气聚集带和各种类型的油气藏。

一、几种主要扭动构造型式及其对油气的控制作用

尽管盆地受着统一的南北向直扭应力作用,但是由于边界条件、岩体性质等的差异,盆内的不同凹陷或同一凹陷的不同部位会出现不同类型的扭动构造型式。常见的有多字型构造、入字型构造、帚状构造、棋盘格式构造等。这些构造常以断裂构造带的形式出现,石油地质工作者常称之为二级断裂构造带。勘探实践告诉我们,一个二级断裂构造带常常就是一个油气聚集带,因此,对它们应当进行深入的分析研究。

(一)多字型断裂构造带

这是盆内最普遍发育的一种直扭应力作用下形成的扭动构造型式。它常常出现于地堑式的双断陷中央,因此,也称它为中央构造带。如黄骅坳陷的中央构造带,它自南而北有灯明寺断裂构造带、孔店断裂构造带、北大港断裂构造带等。它们组成一个统一的多字型构造,平面上呈左行雁行排列,北北东向展布(图2)。每一次级构造带都为第三纪继承性发育的、被断裂复杂化的地垒(或半地垒)、背斜或鼻状构造带。整个断裂构

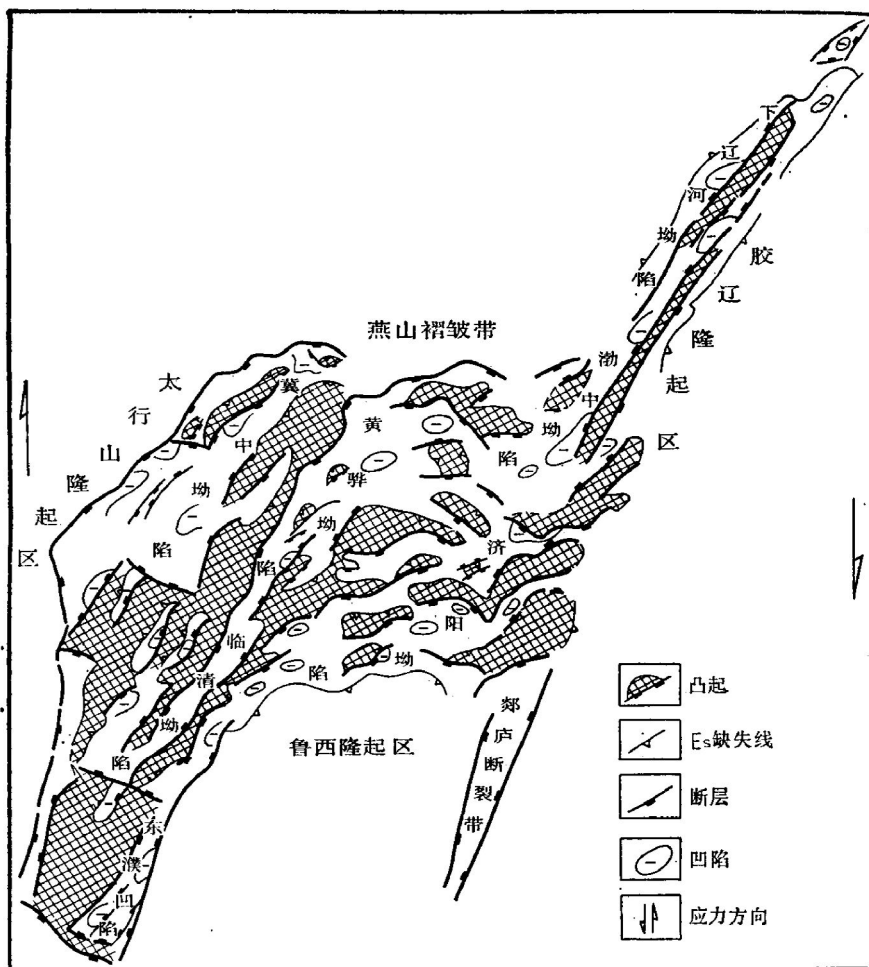


图1 渤海湾盆地区域构造概貌图

造带的延伸方向与沧东大断裂近平行,而每一单体则与大断裂有10度左右的夹角。它们的形成显然与两侧边界大断裂的水平扭动密切相关。但同时也不能忽视边界大断裂差异升降产生的侧向挤压作用。正因为它的成生是受边界大断裂控制的,因此,这类断裂构造带多出现在双断型凹陷的中央。

又如东濮凹陷中央多字型断裂构造带,自南而北由马厂—徐集、桥口、文留、卫城等四个次一级断裂构造带组成(图3)。它们整体沿北北东向延伸,与两侧的边界大断裂近平行,而单体与边界大断裂呈 10° — 20° 夹角,平面上呈左行雁行排列。每一次级断裂构造带都为长期继承性发育的构造带,但因边界条件和本身的岩性、岩相条件差异,它们的发育程度、构造特点、发育期等有一定差异。然而,它们仍然是受边界大断裂活动所控制,平面上的雁行排列是两侧大断裂水平扭动的结果。

上面仅是盆地内众多的多字型构造的两个例子。与之相似的实例,还可以举出很多,如东营凹陷的滨南—利津—坨、胜—永安断裂构造带,冀中坳陷的留路—任丘潜山断裂构造带等。前两例是发育于双断凹陷的中央,后两例是靠深凹陷一侧的大断裂旁侧发育。

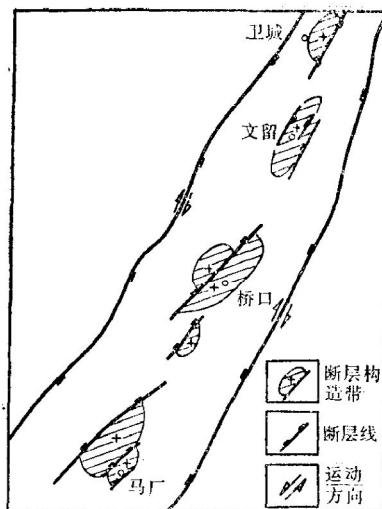
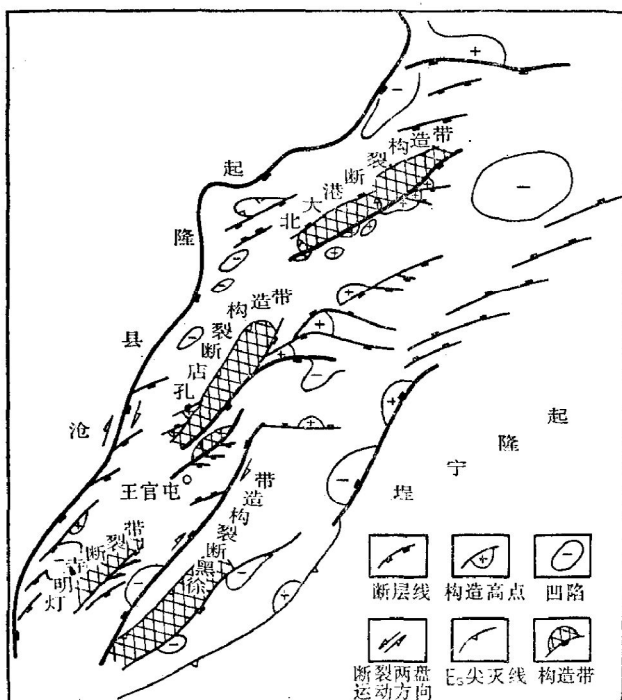


图3 东濮凹陷中央多字型断裂构造带

图2 黄骅坳陷中央多字型断裂构造带

这些多字型断裂构造带常常就是一个或几个油气聚集带，而且往往控制油气富集。其原因在于它们有好的成油条件。因为它们的形成是受长期继承性活动的边界大断裂控制，易于形成规模较大的构造圈闭；又由于它们大都发育于生油凹陷之中，或紧靠生油凹陷，因而有丰富的油源。除了有利的圈闭和油源条件之外，这类构造带因继承发育，长期处于水下低隆起，且往往经历多次升降，故又易于形成多种储集体的空间叠置。加之这类构造带断裂相当发育，它既可以成为油气的圈闭，又是油气运移的通道，而且还可以改善储集体的储集性能。上述诸条件的有机配合，使它成为一个油气聚集带。如黄骅坳陷中央多字型构造带中的北大港次级断裂构造带，它既有大面积的浅层上第三系披覆构造油气藏，又有断裂旁侧的伴生构造油气藏和构造一岩性油气藏、断块油气藏等。这些油气藏空间上的叠置、平面上的连片，形成一个大型的油气藏复合体。该带上的孔店断裂构造带也是一个多种油气藏的复合体。

勘探实践说明，只要在构造带的某些部位（如一个构造或一个次级构造带中）找到了油气，其它部分常常也是含油气的（除了因特殊情况，如缺少储集岩等之外）。如黄骅坳陷中央断裂构造带，在找到北大港油气富集带之后，对孔店构造带坚持勘探，就不断有新的油气藏被发现。又如东濮凹陷中央断裂构造带，在文留构造找到油气之后，再向两端扩大勘探，同样有新的油气藏（田）不断被发现。

（二）入字型断裂构造带

众所周知，入字型构造，它是由一条主干断裂及其分支断裂或构造组合而成。分支断裂或构造可以同时出现，也可以出现其中之一；它们可以出现于主干断裂的一侧，也可以出现在它的两旁。从力学性质来看，分支断裂可以是张扭性的，也可以是压扭性的。总之，这类构造是由于主断裂两侧岩体相对水平扭动造成的结果。它的规模有大有小。

主干断裂可以是一、二级断裂,也可以是三、四级断裂。本文说的入字型断裂构造带,一般系指一、二级断裂为主干的、规模较大的入字型构造。如黄骅拗陷王官屯入字型断裂构造带。它由王官屯主断裂及其派生的数条分支断裂和构造组成(图4)。主干断裂北东向延伸,长度在数十公里以上,为一落差数百米至上千米的正断层。分支断裂一般数公里长,延伸方向近东西,与主断裂夹角 30° — 40° ;分支构造轴线与分支断裂近垂直,与主干断裂所夹锐角顶指向北北东。从这些构造形迹的组合关系及排列方位来看,显然主断裂两盘有过右旋水平扭动。因而其分支断裂具有张扭性质。该入字型断裂构造带为一油气聚集带。主断裂上升盘的反向“屋脊”断块与下降盘的入字型交叉断块、断层伴生构造控制油气聚集。

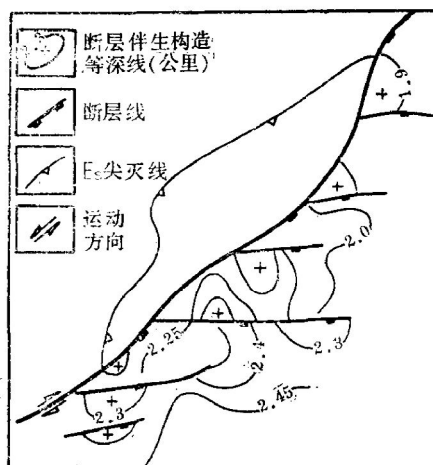


图4 王官屯入字型断裂构造带
(细线系沙三段底面等深线)

济阳拗陷垦利入字型断裂构造带,由北东东向延伸的垦利主断裂及其两盘的分支断裂组成(图5)。分支断裂北西向延伸,与主断裂夹角约 40° ;主断裂延伸长度数十公里,分支断裂长数公里。二者皆为正断层。从分支断裂的正断层性质及其两者的组合关系来看,主断裂两盘曾产生过右旋水平扭动。该入字型断裂构造带为一油气富集带。控制油气富集的主要圈闭是主断裂两侧的反向“屋脊”断块。

黄骅拗陷马头营入字型断裂构造带的主断裂延伸方向北西,分支断裂近东西向;分支构造轴线与主断裂之间所夹锐角顶指向北北西(图6)。这表明主断裂两盘有过左旋水平扭动。该带目前正在勘探,是很有希望的油气聚集带。

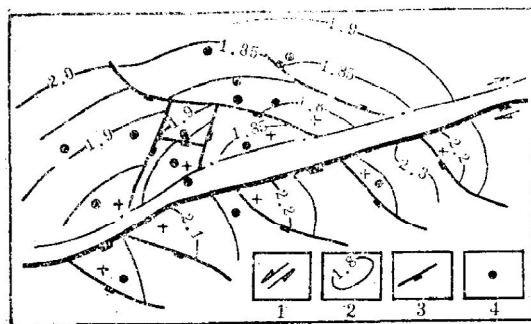


图5 垦利入字型断裂构造带
1.运动方向 2.沙一段底面等深线(公里) 3.断层线 4.井位

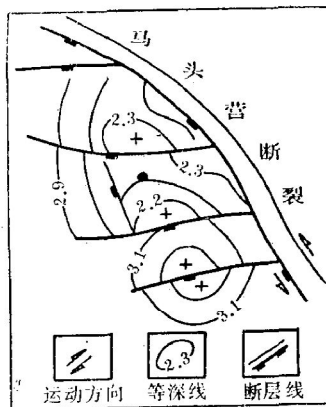


图6 马头营入字型断裂构造带
(细线系沙一段底面等深线,单位:公里)

以上几个入字型断裂构造带,大都证实为油气聚集带。因为断层两盘水平扭动导致分支构造和断裂的发育,形成油气的良好圈闭条件;另一方面,入字型断裂构造带的主断裂常常控制生油凹陷的发育,因此,一般具有好的油源条件;再加上有好的储、盖条件相配合时(这一条件往往是具备的),使得它成为油气聚集带,甚至形成富集带。如果在它的某一支构造或交叉断块里找到了油气,那么就有可能在一连串的分支构造或

交叉断块里找到油气。

(三) 棋盘格式断裂构造带

棋盘格式断裂构造带(网状断裂构造带)通常是由两组共轭扭裂面成生发展起来的断裂系统。它可以由挤压(或者拉张)作用所产生。也可以由剪切作用产生(图7a),当岩体受一剪切作用力时,沿AA方向产生一次级压应力,对称于AA产生两组扭裂面 S_1 和 S_2 。理论分析和试验都告诉我们,与初次剪切作用力近乎平行的一组扭裂面,即顺扭向裂面,一般发育较好,而接近垂直的一组,即逆扭向裂面,一般发育较差。但是,在沉积岩覆盖区的自然状态下,由附加重力和其它因素(如边界条件、岩体结构等)的影响,有时这两组裂面都发育良好,成为具有一定规模的断裂带,即网状断裂系。如滨南棋盘格式断裂构造带(图7b)。它主要由两组断裂构成,一组与滨南主断裂近乎平行(约 10° 左右夹角)的顺扭向断裂;另一组与之接近垂直的逆扭向断裂。这显然是滨南主断裂左旋扭动造成的结果。滨南油田就是这两组断裂互相交切形成的断块圈闭控制的油气藏。

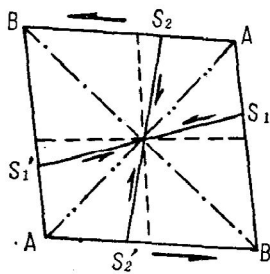


图7a 在剪切作用下出现的两组扭裂面 S_1 和 S_2

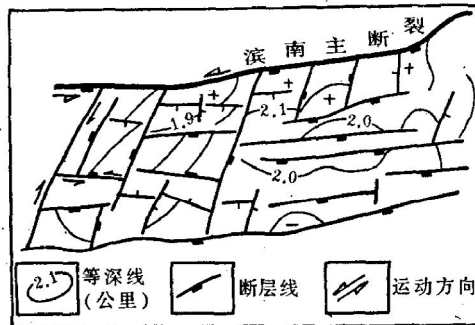


图7b 滨南棋盘格式断裂构造带
(细线为沙二段等深线)

盘河棋盘格式断裂构造带(图7c)。它由盘河主断裂及其伴生的两组呈网状交织的断裂组成。伴生断裂一组与主断裂近乎平行,另一组有较大的夹角(约 $50^\circ-60^\circ$)。它的成因可能是盘河主断裂曾发生右旋扭动造成的结果。盘河油田就是这两组网状断裂交织切割形成的“屋脊”断块控制的油气藏。

东营凹陷的纯化镇油田的网状断裂系,冀中拗陷的安次网状断裂系等亦属此类。

这种构造型式控油的特点是,两组断裂切割成的反向“屋脊”断块控制油气聚集。一般分割性强,常常是每一个断块有自己的独立油水系统,这给油田勘探和开发带来一定困难。它的另一特点是这种断裂带一般规模不大,常常是构成某

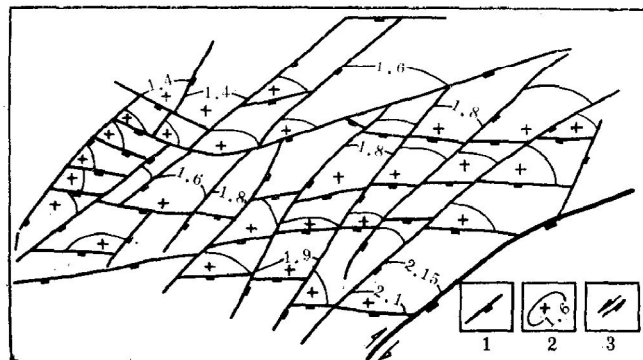


图7c 盘河棋盘格式断裂构造带

(图例同图7b, 细线为沙四段等深线, 单位: 公里)

一大型扭动构造的一部分。

(四) 帚状断裂构造带

帚状断裂构造带主要是由于应力作用的不均衡,而使岩体发生旋扭运动造成的结果。如临邑帚状断裂构造带,它由一组向西南收敛、向东北撒开、向北凸出的弧形断裂组成(图8)。这组弧形断裂的内侧形成一近椭圆形的深洼陷,亦即帚状构造的旋涡。组成该帚状构造的每一条主断裂(即帚状构造的旋回面)皆为北升南降的正断层,其落差一般数百米。每一大断裂旁侧,尤其是内侧,往往形成一连串的伴生构造,它们大都与主断裂略成锐角相交。根据上述特点,该帚状构造形成时的应力作用方式及其方向为北侧相对向西南、南侧相对向东北的旋扭运动。断裂带的发育与旁侧洼陷的形成是同步的,具有成生联系。也可以说是互相制约的,没有旁侧的深洼陷就不可能有发育良好的、具有一定规模的断裂构造带。在油气的生成、运移、聚集过程中,它们同样是一个整体,洼陷中生成的油气通过断裂通道运移至断裂带内各圈闭中储集起来。该帚状断裂构造带规模较大,面积约900平方公里,发育有各种类型的圈闭,有断层伴生构造、网状交叉断块、入字型交叉断块等等。它是一个含油气非常丰富的断裂构造带,尤其是断层下降盘一侧的断层伴生构造和入字型交叉断块,控制着油气的富集。

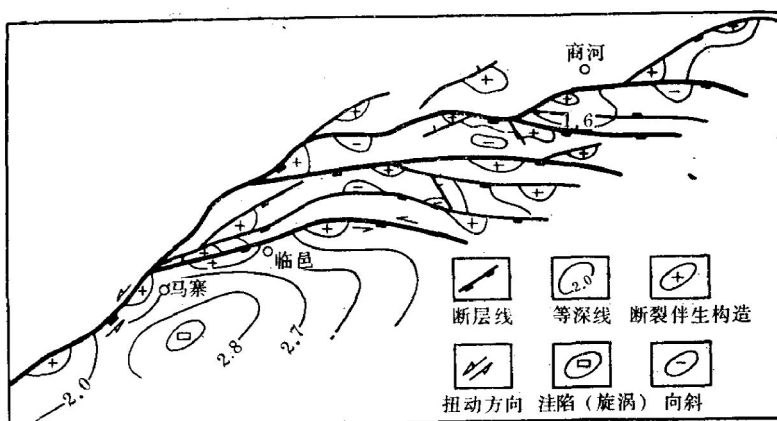


图8 临邑帚状断裂构造带 T₂ 构造图

另一实例是东营凹陷的利津帚状断裂构造带(图9)。它是由一组向西南收敛、向东北撒开的断裂组成。以向北凸出、向南弧形弯曲的、北升南降的正断层作为它的旋回面。在断层的下降盘一侧发育有断层伴生构造。根据它的旋回面为正断层的特点,判断其应力作用方式应为左旋扭动。在该断裂带形成的同时,其南侧形成了利津洼陷。其断层伴生构造和入字型交叉断块控制着油气聚集。在勘探过程中,由于没有及早认清帚状断裂构造的特点及控油关系,致使油气的勘探延续了多年。当认识到上述特点之后,就迅速拿下了油田。

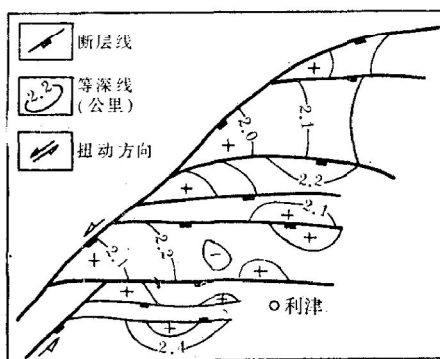


图9 利津帚状断裂构造带
(细线为沙二段等深线)

帚状断裂构造带也是盆地内一种主要的油气聚集带。它常常靠生油深洼陷一侧发育,有充足的油源;又有多种类型的圈闭,尤其是断层下降盘一侧成串珠状发育的背斜、半背斜伴生构造,是油气富集的良好场所。此外,它所派生的入字型交叉断块也常常控制油气富集。

以上实例,都是盆地内平面上的扭动构造特征。而盆地内的扭动构造不但表现在平面上,而且在剖面上也有表现,如图10的入字型构造、图11的棋盘格式构造、图12的帚状构造等。正是它们形成的正向和反向“屋脊”断块,控制着油气的聚集和富集。

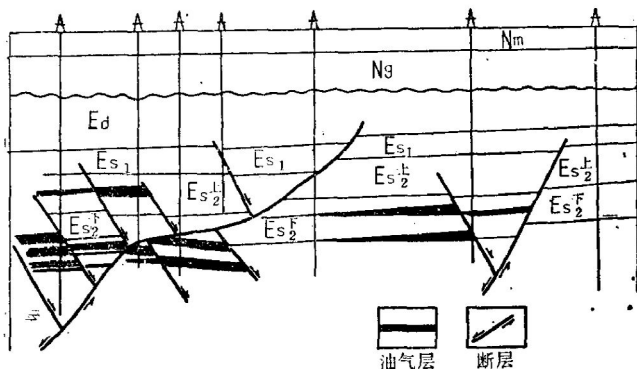


图10 剖面上入字型断层组合

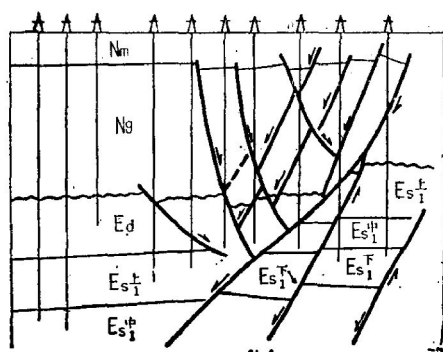


图11 剖面上棋盘格式断层组合

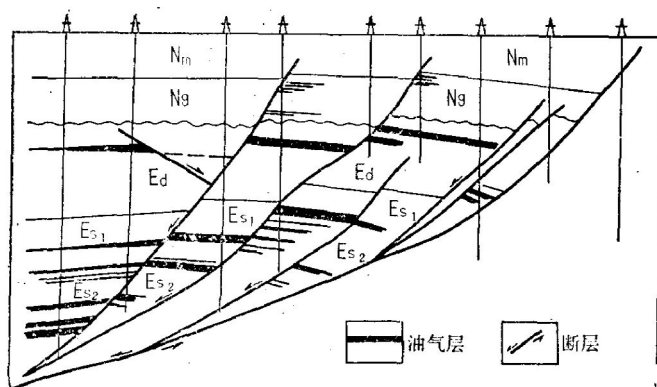


图12 剖面上帚状断层组合

二、区域应力作用方式的探讨

如上所述,盆地内无论是高级序构造形迹还是低级序构造形迹,都普遍具有扭动构造特征。它们平面上的组合关系及其展布方向,反映出是受南北右旋直扭应力作用的结果(帚状构造反向可能与局部边界条件有关)。是否这与新华夏系左旋直扭应力作用有矛盾呢?作者认为,渤海湾盆地乃至华北地区,在印支一早燕山运动时期,是受左旋直扭应力作用,形成了一系列北北东向左列褶皱及压扭性断裂,同时伴随以北西向张扭性断裂,二者平面上构成多字型构造。燕山运动末到早第三纪,该区应力作用方向由左旋转为右旋,北西—南东向派生的挤压转化为拉张。北东与北西两组配套断裂的力学性质

发生了相应的转化,前者由压扭转变为张扭,后者由张扭转变成压扭。在这两组断裂的控制下,形成了渤海湾断陷盆地。北东向张扭性断裂成为控制盆地发育的主导构造形迹。

我们说第三纪盆地所受之区域应力为右旋直扭应力,这由盆地的扭动构造特征及其平面展布规律可以明显反映出来。

1.北东向高级序张扭性正断裂呈左行雁行斜列,说明这是右旋直扭应力作用下形成的。表现最明显的是从辽河坳陷到莱洲湾一线左行雁行排列的张扭性大断裂及其控制下的凸起、凹陷,即郑—庐断裂带往东北延伸段(图1)。它显然是右旋南北向直扭应力作用的结果。

2.盆地内北东向一、二级主断裂及其派生的分支断裂和构造组成的入字型断裂构造带反映的右旋直扭运动(图2、3、4、5、6),也表明是受南北向右旋直扭应力作用的结果。

大量存在着的构造特征都表明盆地的这一应力作用方式和方向。然而,在整个第三纪,盆地内的区域应力是否一成不变呢?根据盆地内存在的另一些地质现象,说明应力作用可能有过几次反向,它可能是引起盆地几次升降运动的主要原因,这有待继续进一步工作来证实。

上面我们着重论述了盆地的扭动构造特点。与之相伴随的张性构造特点在盆地内表现的也非常突出。盆地内几乎所有断层均为正断层(目前认识到的),它反映了盆地的拉张特征。这一特征同样可以看成是南北向直扭应力作用下派生的张应力与重力联合作用的结果。

结 束 语

在南北向右旋直扭应力作用下,形成了似反“S”形的渤海湾第三纪断陷盆地及内部各种扭动构造型式。正是这些不同级序的各类扭动构造形迹控制着盆地内油气的生成、运移和聚集。形成了丰富多采的油气藏类型及各类不同规模的油气聚集带。充分认识盆地的扭动构造特征和各类扭动构造的发育特点、分布规律以及它们的成因,这对于该盆地和同类盆地的油气勘探和开发都有重要意义。认识了这些构造的发育规律及其控油特点,就能有的放矢地进行勘探部署。实践经验证明,只要是按照构造体系控油特点进行勘探和开发的部署,就会有好的效果(不管是自觉或者不自觉地这样做了),否则往往会事倍功半,甚至会造成大的浪费。

本文在编写过程中得到了胡见义、童晓光、徐树宝等同志的指导和帮助,张绍维同志对本文的改写给了具体的指导和帮助,作者在此表示感谢。

(收稿日期 1981年4月16日)

主 要 参 考 文 献

- [1] 李四光,1962,地质力学概论。科学出版社,1975。
- [2] 曾庆丰,1980,矿脉雁行规律及其意义。地质科学,第1期。
- [3] 孙殿卿,1976,地质力学简介。力学,第2期。

THE SHEAR STRUCTURE FEATURES IN BOHAI BAY OIL AND GAS-BEARING BASIN

Lin Dianzhong

(*Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing*)

Abstract

Bohai Bay Basin is a Tertiary oil and gas-bearing fault basin of the 2nd subsiding belt of Neocathaysian in eastern China. Its basic outline is a reversed S-shape. Two groups of major faults, striking in NE and NW, have divided the basin into fault blocks in different size. These fault blocks, their unequilibrium shearing movements in space, control the formation of source sags (depressions) and the development of structural traces in different order. The repetition of these structural traces in different order have formed shear structure patterns in different type and size, among which the most common ones are ξ -type structure, λ -type structure, check-form structure, broom-like structure, etc. Those shear structure patterns are the main types of secondary structural belts which control the oil and gas accumulation within the basin. The major structural belts of ξ -type faults and broom-like faults are especially favorable to accumulation of oil and gas, and very often they turned into oil and gas-enriched belts. On the one hand the structural belts normally occurred together within the source sags or at the side of the source sags, with sufficient oil source, on the other hand they themselves not only have varied type of good traps but also have good reservoirs. So, some of the major fields within the basin are mainly located in these faulted structural belts.

The generation of the shear structure patterns mentioned above results from the mechanism of regional right lateral shear stress of NS trend. To recognize the above-mentioned features of various shear structures, their development law and their control of oil and gas occurrence will be of great value for guiding exploration and development of oil and gas in this basin or similar basins.