

入字型构造与油气

熊永旭 张福礼

(地质部石油地质综合大队)

入字型构造是李四光教授创立的扭动构造型式的一种^[1]。我们初步剖析了几个典型的含油入字型构造,结合光弹性实验进行构造应力场分析,探讨应力活动对油气运移、聚集的控制作用;试图从入字型构造这样一个侧面,进一步反映扭动构造控制油气移聚的基本特点。

一 入字型构造与油气分布

在国内外的扭动构造中,有相当一批入字型构造含油。按入字型的主干构造与分支构造力学性质及其组合关系,可归四类:即压性兼扭性主干断裂附近具有压性(或兼扭性)分支构造,压性兼扭性主干断裂附近具有张性(或兼扭性)分支构造,张性兼扭性主干断裂附近具有压性(或兼扭性)分支构造和张性兼扭性主干断裂附近具有张性(或兼扭性)分支构造。在含油气盆地的上述四类构造中,油气主要分布在压性(或兼扭性)分支构造内。

川西北中坝含油气构造,是龙门山北东向构造带顺时针扭动作用中拖拉形成的分支褶皱(图1)。主干构造为压性并早期兼具顺扭,晚期兼具逆扭的褶皱断裂带,顺扭主要活动于印支期,限制着晚三叠世—侏罗纪时期盆地的西北部边界。分支构造在印支早期具雏型,晚期定型,并位于生油深凹陷中,所以形成了雷口坡组和须家河组为主产层的背斜构造油气藏。

北美圣安得利亚斯断裂,在中新生代顺时针扭动,其东侧派生出一系列压性分支褶皱。这些大型拖曳褶皱在整个第三纪褶皱。并在第三系内形成了多层油藏(图2)。

华北平原的任丘构造,是一个多字型构造的组成部分。它在发展过程中,又派生出

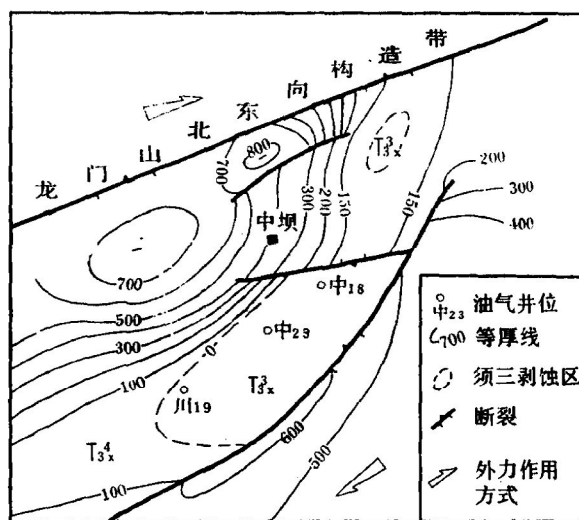


图1 中坝构造上三叠统须四段残厚及印支期古地质示意图(据二普地质队)

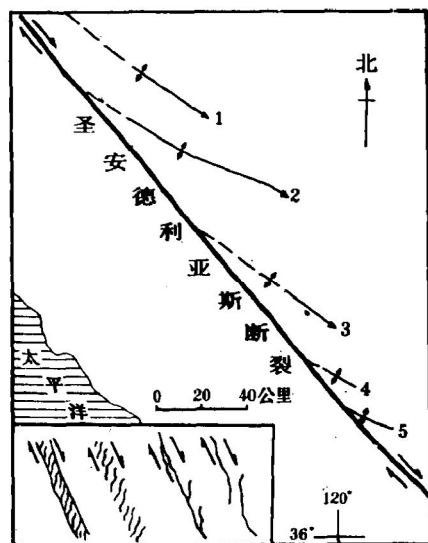


图2 圣安德烈亚斯主干断裂与派生褶皱形成的入字型构造

1. 色尔维背斜; 2. 可令加背斜; 3. 奥卡尔德背斜; 4. 麦克那德背斜; 5. 塞木雷克背斜 (据姆德和希尔)。左下角的插图是1906年4月18日旧金山大地震时, 由于圣安德烈亚斯断裂活动而产生的四种不同形式的羽状裂隙; 半箭头表示羽状裂隙两旁相对平移的方向 (据吉尔伯特)

上述拖曳褶皱成生发展时期在整个第三纪, 它们在第三系所有各个阶的岩层中都有油藏。

(据李四光《地质力学概论》)

一系列压扭性分支断裂, 切割背斜使之形成几个断块。在分支断裂附近油气富集高产 (图3)。

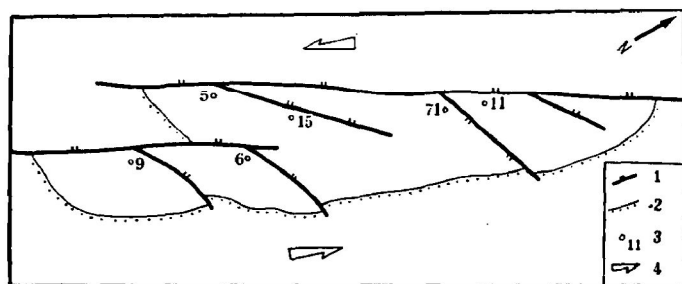


图3 任丘构造入字型与高产油气井关系示意图

1. 断裂 2. 油水界线 3. 高产油气井 4. 扭动方向

江汉盆地潜江凹陷西缘的张性兼扭性的洪宋断裂, 经扭动拖曳形成一个近南北向的分支褶皱。同时经洪宋断裂扭动作用, 在此褶皱范围内, 又派生出几条近东西向的张扭性分支断裂。它们均形成于早第三纪。油气严格受分支褶皱控制。几条张扭性分支断裂, 对油气分布无明显影响, 仅原油的比重、粘度愈近分支张扭性断裂愈有增大的趋势 (图4)。

综上所述, 入字型构造控制油气分布的特点是: 均在具有分支褶皱或断裂的一侧形成油气聚集, 其中尤以压性兼扭性的分支褶皱或断裂对油气储集更为有利。那些张性兼扭性的分支断裂, 一般对油气储集不利。但是, 若有褶皱伴生, 有封闭的空间形成, 油气可有越过张断面在新的储集空间内得以保存。可见张性兼扭性分支断裂, 一方面由

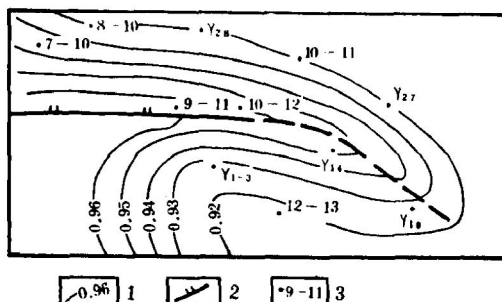


图4 某油田6号断层与原油比重关系示意图

1. 原油比重等值线 2. 断层 3. 井位与井号

于本身的开启性, 不利于油气储存, 或使原油性质变差; 另一方面又可以形成利于油气运移的通道, 为油气进一步富集创造条件。

二 光弹性实验确定的入字型构造应力场

既然入字型构造控制油气分布具有重要作用, 则应该深入分析入字型构造形成的力学机理和形成后的构造应力场特点, 并在此基础上进一步探讨入字型构造控制油气移聚的内在原因。

我们以 $892 \times 682 \times 10\text{mm}$ 的环氧树脂板作为模型材料。在模型板内事先划好一个入字型构造。对模型东西两侧施加北西西—南东东方向的压力。根据应力转换原则, 这个力系和南北直扭与东西挤压应力复合作用相仿。利用试制的仿 409—2 型光弹仪, 进行了主干构造和分支构造均为压扭性断裂的入字型光弹实验。研究入字型构造形成之后, 在上述外力继续作用下, 局部构造应力场分布特征。经过前后近半年实验工作, 取得了初步成果, 对认识入字型构造控油机理有所启发。

工作后编制了有关图件四张: 其中, 应力轨迹图, 可以明确地反映入字型构造应力场中各点的主应力方向; 最小主应力 (或称主压应力) 等值线图 and 最大主应力 (或称主张应力) 等值线图, 分别反映了各点最小主应力和最大主应力的相对数值和平面分布特点; 平面应变图 (即最大主应力 p 与最小主应力 q 代数和 $p+q$ 等值线图), 反映各点的平面应变状态^[2,3]。

由应力轨迹图 (图 5) 看出: 最大主应力轨迹线 (与压性结构面走向一致) 和主干断裂斜交, 其锐角尖指向对盘相对扭动方向; 而最小主应力轨迹线 (与张性结构面走向一致) 也与主干断裂斜交, 其锐角尖指向所在盘的相对扭动方向。这与入字型构造实际状况吻合。更有意义的是, 在主干断裂和分支断裂夹持的锐角区内, 主应力轨迹线与外围的轨迹线比较, 其方位有一个角度差。此方位角差反映轨迹线方位具有沿逆时针方向旋扭特点。说明在局部边界条件改变后, 分支断裂所在一侧的应力活动状况较另一侧更加复杂和多样。

由最小主应力等值线图及最大主应力等值线图 (图 6、7) 看出, 在主干构造的附近, 由于存在断裂及新的微破裂的出现, 材料的模量骤降, 出现了较大的位移和较低的应力值, 也就是常说的应力释放作用。造成了最小主应力的低值和最大主应力的 高 值 区, 又以分支断裂附近最大主应力值最高 (或称主张应力值最大)。

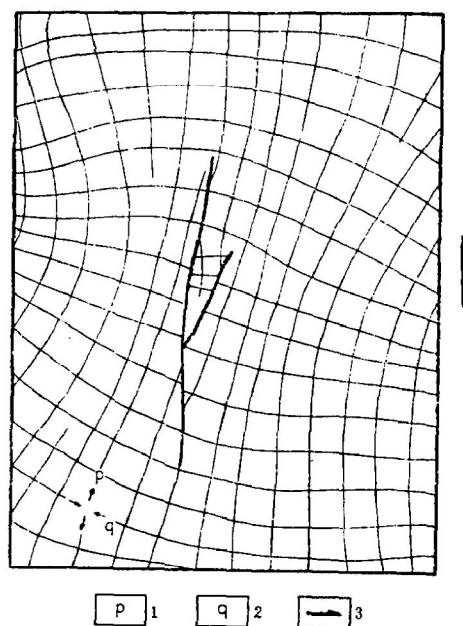


图 5 应力轨迹图

1. 最大主应力 2. 最小主应力
3. 外力作用方式

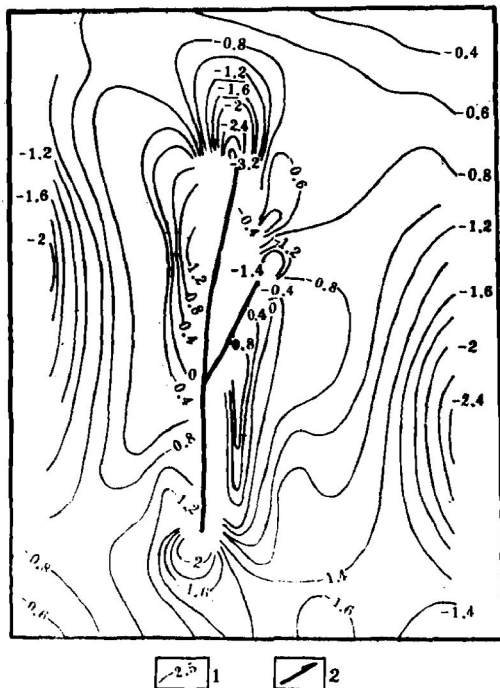


图6 最小主应力等值线图

1. 最小主应力等值线 (负数的绝对值愈大, 表示挤压力愈强) 2. 外力作用方式

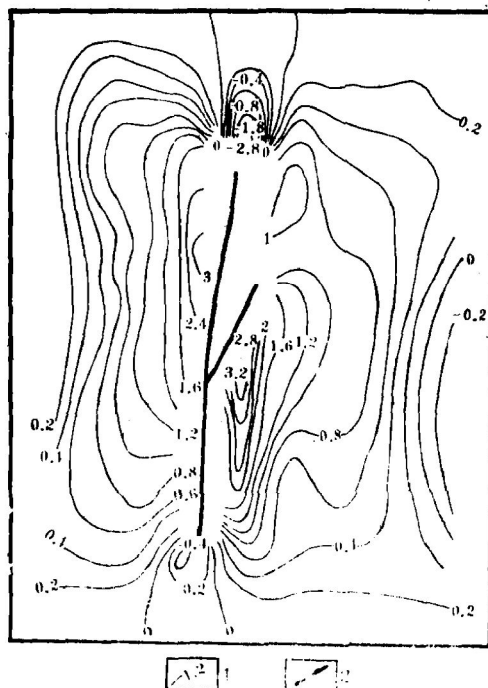


图7 最大主应力等值线图

1. 最大主应力等值线 (数值愈大, 表示拉张力愈强) 2. 外力作用方式

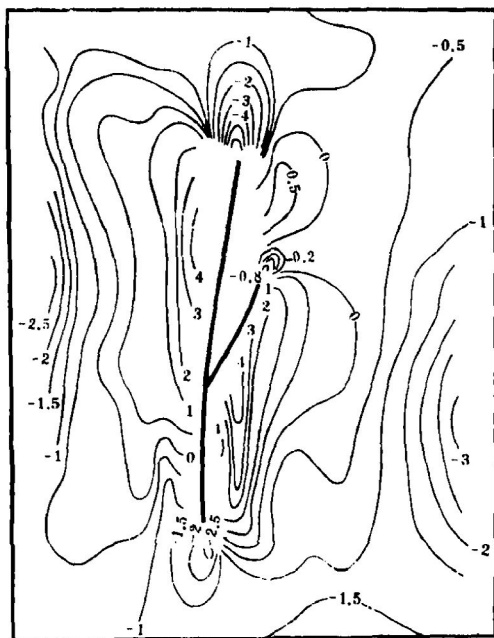


图8 平面应变图

说明: 正值区表示应变后的膨胀区, 数值愈大, 膨胀愈大; 负值区表示应变后的收缩区, 负值的绝对值愈大表示收缩愈强。

最大主应力值较高是因为该分支断裂是压扭性的, 仅释放了较多的主压应力; 而最大主应力的方向和分支断裂走向大体一致, 所以释放较少或没有释放。

同时, 在主干断裂和分支断裂的端点及平行主干断裂的两侧受力边界附近, 形成主压应力相对高值区。这样, 即由入字型构造外围向内部 (即分支构造部位), 形成明显的地应力梯度。

从弹性应力、应变理论计算证明, 挤压应力相对集中区, 是平面压缩区 (或称体积收缩区); 而拉张应力相对高值区, 则是平面扩张区 (或称体积膨胀区)。平面应变图则可以直观的反映这种平面变化特点, 其 $(p+q)$ 数值的大小, 可表示物体受力后的应变是扩张, 或是缩小。当 $(p+q)$ 值大于零,

表示应变后扩张。其数值愈大,表示扩张愈剧。而当 $(p+q)$ 值小于零,表示应变后是收缩,当负数的绝对值愈大,表示收缩愈强¹⁾。从图8看出,入字型构造中的分支构造附近,是平面扩张最剧烈区,而外围则是平面压缩区。

综上所述,光弹性实验揭示了入字型构造应力场如下特点:一是分支构造一侧应力活动具有多样性和复杂性,区域上的均匀直扭应力,在这里变为旋扭应力作用强烈和明显。二是分支构造与外围形成明显的应力梯度,其应力差为外围指向入字型构造分支部位。第三,另从应力、应变关系计算得出,分支构造附近应变后具有膨胀扩大特征,而外围则表现为收缩。

上述入字型构造具有的应力、应变特征与油气的分布和移聚显然是密切相关的。如果我们把入字型构造的整个成生发展过程与油气的运移聚集过程联系起来分析,就可以看出构造应力场的成生发展特点对油气移聚具有十分有利的控制作用。

三 形成含油入字型构造的基本地质条件

首先,含油入字型构造的分布要与主要生油范围一致。换句话说,只有那些位于或邻近主要生油区的入字型构造,才有可能成为油气田(藏)。

其次,含油入字型构造的成生发展时期,应该与油气生成时期协调一致。即高级别初序次的沉降区控制生油岩的展布,尔后低级别再序次的入字型构造随之产生。这时形成的构造刚好与主要生油期大体同时,油气在运移过程中才有可能聚集在这一扭动构造之中。前述的中坝等构造符合这一要求,故成油气田。而在龙门山北东向构造带东侧的一系列显示逆时针扭动的入字型分支构造,虽近中坝构造,但钻井证明不含油气或含油气甚微。乃因这些分支褶皱的成生时期在晚白垩世到第三纪,对于晚三叠—侏罗纪时期的油气生成、运移、聚集过程来讲已是太晚了。由此还可以推断与中坝构造同期形成、显示同一方式扭动(顺时针)的其它入字型构造,才可能是真正的含油入字型构造。

入字型构造之所以能成为良好的含油构造型式,是因为它的成生发展与油气的整个形成过程,即包括生成、运移、聚集的三部份内容,都是在统一的总体构造应力场中完成的。当外力作用不通过被作用整体的重心时,必然发生各种扭动现象。大型或巨型的扭动构造,其早、中期高级别、初序次的构造成分,多表现为大型的隆起、凹陷。形成有利的生油坳陷。在扭动外力继续作用的条件下,当有机质转化为石油后,必然在动力驱动下发生运移。不管运移过程中油气的状态如何,运移的通道是何种形式,总的趋向是从压强高向压强低的方向驱动。而这时在总体应力场中,由于边界条件的改变,导生出一系列入字型构造。它的分支构造在未成生前,是应力相对集中的部位,当应力作用超过弹性限度而达到塑性变形阶段,相应产生分支褶皱构造。如果超过塑性变形阶段而达到挤压极限强度,则相应产生分支断裂。具有重要意义的是,当分支构造形成,应力得以释放之后,在继续扭动作用中,已经形成的分支构造又成为新的局部边界条件,又

1) 石油地质综合大队二分队, 1980, 入字型光弹性实验小结。

进一步改变原有的应力分布状态,在压扭性分支构造部位附近,却与原来的挤压应力集中区相反,跟着出现张应力区,各点的应变也由原来的压缩状态变为扩张。这样,紧接分支构造形成后的继续扭动作用,分支构造部位对于外围地区,就造成显著的应力梯度和水动力压差,促成油气水由外围向分支构造部位移聚。应该说这是入字型构造压扭性分支构造部位控制油气分布的内在原因。

应指出的是,上述三个地质因素,只是一个含油入字型构造必须具备的基本条件。在漫长的地质历史时期中,由于地壳变动的多期性,可造成多期的油气形成过程,含油入字型构造也可以具有多期成生发展特点。另一方面,不同地质时期构造间的复合,也经常使早期含油入字型构造被后期各种构造所改造,或后期形成的入字型构造对前期含油构造进行复合改造,形成更为复杂的入字型构造和其它构造复合控油类型。所以,对含油入字型构造的研究应该包括:同一构造体系成生发展过程与各地质时期不同构造体系的复合作用,以及引起原有油气聚集的改造和重新聚集特点的研究。

通过对含油入字型构造若干特点的分析,从一个方面反映了构造型式控制油气具有规律性这一重要命题。它在石油地质的理论上和普查勘探工作实践方面都具有重要意义。从含油入字型构造研究中,迄今可以认识到构造型式控制油气具有规律性的表现为:油气的空间分布在构造型式中具有一定部位性;在油气生成时间上与构造型式的成生发展具有一致性和连续性;在油气生成、运移、聚集的整个过程与产生构造型式所需要的构造应力作用的统一性。按照上述认识,近年来对多字型、各种旋卷构造及复合构造控制油气的研究中,也取得了令人鼓舞的进展。随着研究工作的深入及实验方法的改进和完善,认识还会不断加深。指导找油实践一定会更好地见到成效。并且期望通过这方面的研究,为解决地应力活动对油气运移过程的驱动作用和意义,作出确切的评价。

本文在编写过程中,曾得到潘绍泰、邬象隆、熊林森等同志热情帮助,在此表示感谢。

(收稿日期 1980年4月5日)

参 考 文 献

- [1] 李四光, 1962, 地质力学概论。科学出版社。
- [2] M.M. 弗罗赫特著, 1946, 陈森译, 光测弹性力学。科学出版社, 1964。
- [3] 王仁等编, 1979, 固体力学基础。地质出版社。

ON THE RELATION OF λ -TYPE STRUCTURE TO OIL AND GAS MIGRATION AND ACCUMULATION

Xiong Yongxu Zhang Fuli

(*Comprehensive Research Institute of Petroleum Geology, Ministry of Geology**)

Abstract

The λ -type structure is one of shear-form. The authors, proceeding from a study of some oil-bearing λ -type structures such as Zhongba, Sichuan, elucidate the characteristics of oil and gas distribution in the λ -type structure, analyse the tectonic stress field of the λ -type structure in connection with photo-elastic experiments, discuss the effects of the stress activity on the migration and accumulation of oil and gas and the inner cause of controls, analyse the fundamental geological conditions for the formation of the oil-bearing λ -type structure, and approach the controlling effects of the λ -type structure on the distribution of oil and gas. In this paper an attempt is made to further reflect the major features of the control on oil and gas by the shear structure from such an aspect as the λ -type structure.

* It was translated "Comprehensive Brigade of Petroleum Geology, Ministry of Geology"