

地质力学方法研究

——不同构造力作用下地应力的类型和分布

王 平

(石油勘探开发科学研究院)

提 要

本文指出了重力引起的应力和流体压力在构造发育中的重要作用, 强调在构造力、重力、流体压力共同作用下, 从总应力状态与岩石强度的相对关系上研究构造形变。分析了不同性质构造力作用下含油气盆地的地应力类型和分布规律, 从机理上说明了各类盆地的构造及断裂特点。

关键词: 地质力学 构造应力 重力 流体静压力 含油气盆地 地壳运动
沉积盆地类型

一、前 言

随着我国石油工业的发展, 对各油区的深部构造已揭示出许多地质现象, 其中某些现象用流行的地质力学方法是很难解释的。例如渤海新生代拉张盆地中, 大量发育的是压性剪切断层^[1], 很少见到张性断层, 数万口油井钻遇了数万个断点, 却极少发现在钻到断点处有漏失现象; 油田上广泛分布着断层遮挡油藏; 注水开发过程中断层两侧封隔性良好, 极少发现沿断层有窜流现象, 上述这些现象都说明断层基本上是闭合的。同时上述的现象迫使我们重新考虑地质力学的方法问题。目前流行的构造力学分析方法, 主要是直接寻找构造应力与构造形迹的关系, 而不知道决定构造形变的是多种力作用在岩体上引起的总应力状态。本文针对上述问题, 阐述了地质力学的研究方法, 分析了不同性质构造力作用下含油气盆地的应力状态及其分布特点。

二、多种力共同作用下的应力状态

力使物体产生形变的作用称为力的内效应。物体在受到互相抵消的一对(或几个)外力作用时才产生力的内效应。这时物体内部各质点间的相互作用力发生了改变, 这种改变称为附加内力。附加内力的分布密度称为应力。对于物体内部的某一点来说, 附加内力同时产生于各个方向, 他们数量不同, 但相互间有一定关系, 其总体称为应力张量, 也称应力状态。

几对力同时作用于物体上, 其总的附加内力是每对力所产生的附加内力之和, 其总的应

力张量是每对力产生的应力张量的总和。只要知道每对力所引起的应力张量,就可以研究这些应力的叠加作用。不作应力叠加分析就无法研究几种力对物体的联合内效应。

本文特别强调在多对力共同作用下,岩石形变是由总应力状态与岩石强度的关系决定的,而不是由其中某一对力所引起的应力状态所决定的。举例来说,建筑中经常采用预应力钢筋混凝土梁。这种梁在承重时,其下部不仅承受荷重引起的张应力,还承受钢筋对混凝土施加的压应力(预应力)。只有当这两种应力的代数和超过混凝土抗张强度时梁才断裂,而并不单纯取决于承重引起的张应力。与普通钢筋混凝土梁相比,这种梁可以承受较大的负荷。

三、地壳内几种主要力引起的应力

地壳内使岩石内部产生应力的作用力是很多的,最主要的是构造力、重力、孔隙流体压力。还可能有的力,如温度改变引起的体积力,以及惯性力,磁力等等,一般影响较小,除特殊情况外都可以略去不计。重力引起的应力数值往往很大,有时可以超过构造应力,不可忽略。流体压力在石油地质中也很重要,因为含油岩系都是孔隙性岩石,含有流体。流体压力一般在重力应力的40%以上,也是不可忽视的。

需要强调,与一般地表条件不同的是,地壳内部除特殊情况外,在水平方向上是受限制的。岩体受任何方向外力(相互抵消的一对外力)作用时,除引起作用方向上应力增量外,还必然引起水平及其他方向上应力的增量。地壳内垂直方向上具有有限的自由,这个限度就是上覆物的重量。垂向应力不会大幅度偏离此限度,否则就会引起岩体的上升或下降,导致剥蚀或沉积。

地壳内几种主要的力引起的应力有:

1. 重力应力 实际上是岩体上覆物的重力以及下伏岩层阻止岩体移动的抵抗力这一对大小相同方向相反的力在岩体内部引起的应力,简称重力应力。其垂向主应力(S_{Gz})等于上覆岩柱的压强,即

$$S_{Gz} = 10^{-3} \cdot D_r \cdot h \cdot g$$

式中 S_{Gz} ——垂向主应力(MPa); D_r ——上覆岩柱平均密度(g/cm^3); h ——埋深(m);
 g ——重力加速度($9.80665m/s^2$)。

在横向均质的岩石内,重力引起的水平应力在任何方向上都相同,可取任意两个正交的方向为水平主应力,其值为

$$S_{GH} = S_{Gz} \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^{1/n}$$

式中 ν ——岩石泊桑比(无量纲); n ——与岩石非线性压缩有关的经验常数(略小于1,一般岩石可取2/3)^[8,9]。

2. 构造应力 构造力是地壳运动引起的地质体之间的相互作用力,构造力如果遇到抵抗就在岩石内部产生构造应力。垂向构造力或构造力的垂向分量只能使地壳升降而不会使总的垂向应力大幅度偏离上覆岩柱压力。能引起构造应力的是水平构造力或构造力的水平分量,而构造应力的垂向主应力永远为零。构造应力的另外两个主应力一定是水平的,其中一个水

平主应力与水平构造力的方向一致,数值相等,符号相同。也就是说,拉张构造力方向上构造主应力(S_x)为负值,挤压构造力方向上构造主应力(S_{cx})为正值。

与构造力正交的水平构造主应力为

$$S_{ty} = S_{tx} (\nu)^{1/n}$$

$$S_{cy} = S_{cx} (\nu)^{1/n}$$

x 与 y 方向上构造主应力的符号相同。

岩体受到水平力偶(即扭性构造力)作用且遇到抵抗的时候,所引起的构造应力的两个水平主应力的符号是相反的,一个是挤压应力(S_{cy}),一个是拉张应力(S_{tx})。他们的方向与力偶指向斜交。二者的绝对值相近时为单纯扭性构造力;当 $|S_{cy}| \gg |S_{tx}|$ 时为压扭构造力;当 $|S_{cy}| \ll |S_{tx}|$ 时为张扭构造力。

3. 流体压力 地壳内的流体压力主要也是重力引起的。静止的流体内部不存在剪应力。在某一点的任意方向上的正应力都是相同的。在开启环境中,一般有

$$P = 10^{-3} \cdot D_L \cdot h \cdot g$$

式中 P ——流体压力(MPa); D_L ——流体密度(g/cm^3)。

特殊情况下流体压力超过或低于计算值,称为异常流体压力。孔隙流体压力的作用是抵消岩石所承受的压应力。实际上,岩石的变形取决于正应力与流体压力的差值,这个差值称为有效应力(σ)。在下文的讨论和摩尔图解中都将以有效应力(σ)代替正应力(S)。

关于流体压力的影响,Gretener进行过系统的阐述^[7],本文不再赘述。

四、应力状态的类型及断裂系统

地应力的分布,即地应力在纵横方向的变化是非常复杂的。图1是一个假想的例子,表示在一定的挤压构造力作用下,岩性不同的地层剖面上应力叠加的结果。 σ_z 为总应力张量的垂向主应力, σ_x 、 σ_y 分别为 x 、 y 方向上的水平主应力。可以看出随着深度和岩性的不同,三个主应力都在变化, σ_x 和 σ_y 还会随着构造力的性质和大小而变化。

如果略去主应力值而只看地应力类型,即最大、最小主应力的空间方位,则事情要简单一些。地应力类型不外以下三类四种,他们是决定断裂系统特点的控制因素。

1. 第一类地应力状态(I类) 最大主应力取垂直方向(即 $\sigma_z > \sigma_y > \sigma_x$),包括I_a和I_b两种亚类。

I_a类: σ_y 和 σ_x 都是正值,达到破裂条件时,出现正断层,其走向平行 σ_y ,原始倾角为60°左右。有共轭的两组断层,但往往只有一组比较发育(图2, I_a)。

I_b类: σ_y 是负值(张应力),产生的断裂是近于直立的平行于 σ_y 的张断裂或张性剪切断层(图2, I_b)。

2. 第二类地应力状态(II类) 最小主应力取垂直方向(即 $\sigma_x > \sigma_y > \sigma_z$),产生逆断层,其走向平行 σ_y ,原始倾角30°左右。有共轭的两组断层,但一般只有一组占优势(图2, II)

3. 第三类地应力状态(III类) 中间主应力取垂直方向(即 $\sigma_x > \sigma_z > \sigma_y$)。主要断裂为平移(走滑)断层,断面近直立,走向与最大主应力轴夹角约30°左右。可能有共轭的两

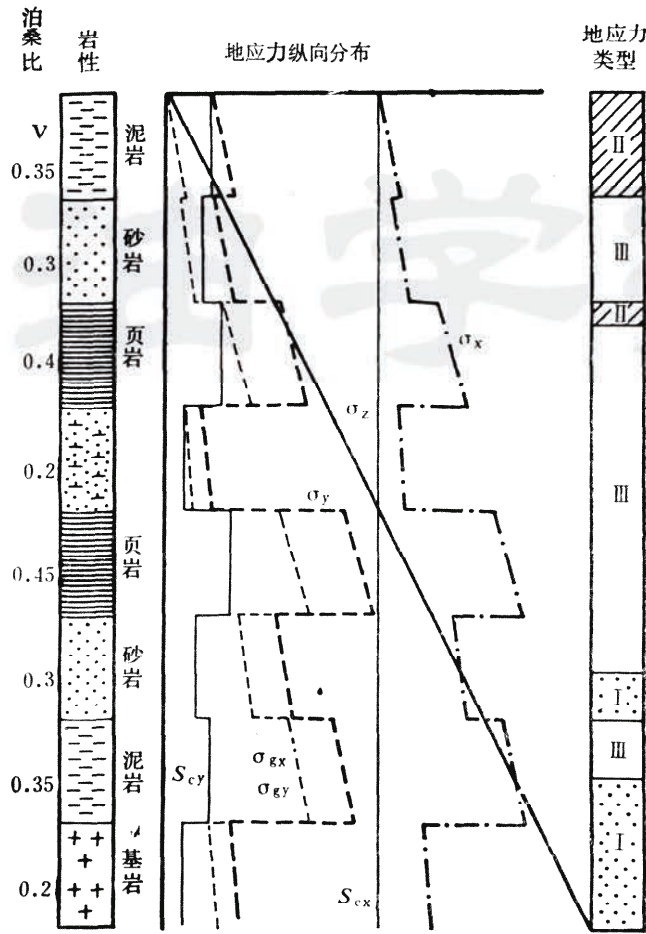


图 1 地应力纵向变化示意图

Fig. 1 Sketch showing the vertical distribution of stress environment

σ_z —总垂向主应力(有效); σ_x, σ_y —x、y方向总水平主应力(有效);
 σ_{gx}, σ_{gy} —重力水平主应力; S_{cx} —构造水平主应力(x方向);
 S_{cy} —构造水平主应力(y方向); I、II、III—地应力类型

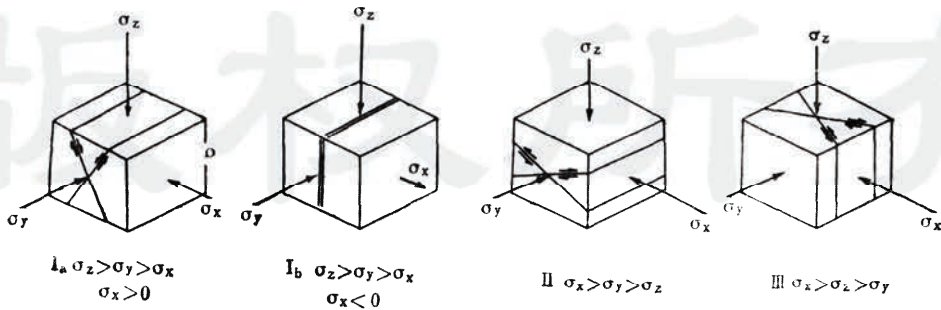


图 2 地应力类型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of stress types

σ_z —垂向主应力; σ_x, σ_y —水平主应力(x、y方向)

组断层，但往往只有一组占优势（图2，Ⅲ）。

地应力类型的分布规律在很大程度上受构造力性质的控制。不同性质构造力作用区域内优势的地应力类型和次要的、局部的地应力类型，有不同的组合关系和分布特点。所谓局部地应力类型就是由岩性和局部因素引起的附加应力叠加到区域应力上之后，出现的不同于区域应力类型的地应力。所产生的构造就是一般说的低序次构造现象。局部附加应力一般小于区域应力值，所以应力状态的局部变化是有限度的。

五、拉张盆地

1. 拉张盆地地应力类型以 I₀ 类为主，局部可出现 I₁ 类 未受构造力作用时（以下简称初始状态），水平应力 σ_{GH} (σ_{GX} 与 σ_{GY} 相等，合称 σ_{GH}) 小于垂向主应力 σ_z ，其摩尔圆称为初始摩尔圆（图3 $\sigma_z - \sigma_{GH}$ 圆）。有拉张构造力 S_{Tx} 作用时，水平应力减小，因而 σ_z 始终是最大主应力，构造力作用方向上 σ_x 为最小主应力。随着拉张构造力增加， σ_x 减小到 σ_x' 时摩尔圆与包络线相切就产生断裂（图3）。这时的拉张构造力为极限值 S_{Txmax} 。 σ_x' 仍保持正值，属于 I₀ 类地应力，所产生的断层为正断层。特殊情况下可以出现 I₁ 类地应力，产生直立的张裂隙。

I₀ 类型出现的条件是：

(1) 地层埋藏较浅 据帕斯凯波砂岩实测摩尔包络线^[7]测算，在浅于700 m处可能出现 I₀ 类地应力，在快速沉积区成岩很浅的沉积物中，I₀ 类的出现一般深度不会超过 100~200 m 的范围。

(2) 泊桑比较小的薄层夹于泊桑比较大的厚层内 构造力作用下薄层已达到 I₀ 类破裂条件，但被上下未达到破裂条件的厚层所限，不能断开，使薄层内 σ_x 进一步降为负值，形成裂缝性储层。

拉张盆地很难出现 III 类应力状态，更难出现 II 类应力状态。

2. 拉张盆地的断层以走向多变为特征 拉张构造力不可能很大，($\sigma_y - \sigma_x$) 差值的绝对值也很小，一般深度内只有几个兆帕，叠加局部应力后很容易改变水平主应力的方向，所以拉张盆地正断层以走向多变为特征^[11]。断层容易发生不规则的拐弯，小断层的走向各不相同，可出现与主断层近于正交的断层组。当然断层优势走向还是垂直于区域拉张构造力方向，如

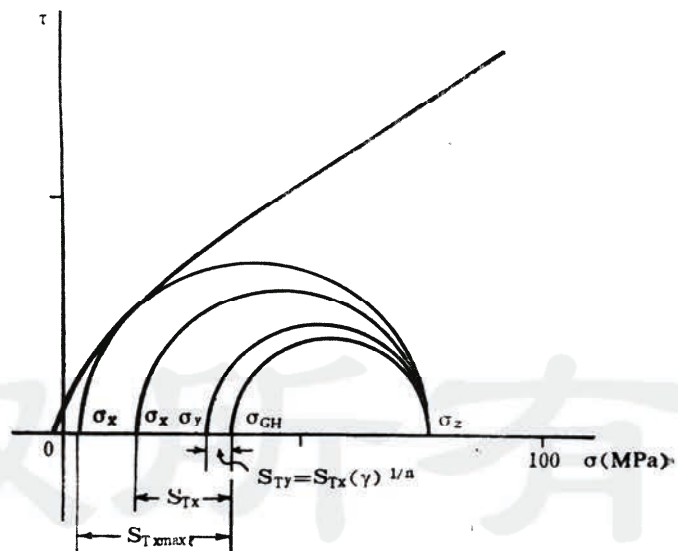


图3 拉张构造力作用前后关键摩尔圆示意图
 (摩尔包络线借用Gretener1979年资料,帕斯凯波砂岩实测)
 Fig. 3 Diagram showing the change of Mohr circle under the action of structural extension (Mohr envelope of Paskapoo sandstone, modified from Gretner, 1979)

活动时间长, 落差大的主断层。正断层愈小, 走向愈多变。

3. 拉张盆地内断层占主导地位, 而褶曲比较微弱 从图3可以看出拉张构造力作用下关键摩尔圆(指最大与最小主应力值组成的摩尔圆)在 σ_2 左侧, 在包络线很低的地方。产生剪切断裂所需剪应力很小, 这是拉张盆地断层多而密集的原因。由于应力差小, 剪应力也小, 所以褶曲很不发育, 很少见到强烈褶曲, 局部构造往往与相邻抬升区的牵拉、倾侧或基底抬升有关。断块内部倾角在很多情况下与滚动现象有关。

拉张构造力是在围岩压力背景上发生作用的。虽然作用力不大, 但传导性好, 衰减比较慢, 影响范围广, 能达到拉张盆地的各个部位, 使断层广布于全盆地。

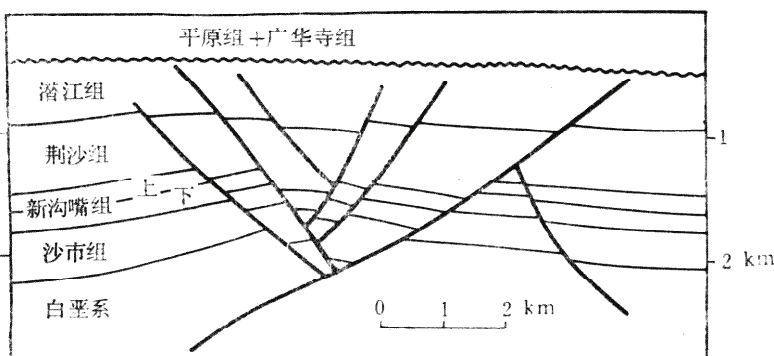


图4 江汉盆地拖市油田示意剖面图(王典敷资料, 1989)

Fig. 4 Profile of Tuoshi oil field, Jiangnan Basin (From Wang Dianfu, 1989)

膏和欠压实泥岩, 剖面中砂岩不到10%。这套地层的泊桑比很大, 应力差很小, 所以盆地中部地层平缓, 断层很少, 形成少数盐背斜。盐背斜虽然两翼很陡, 但很少断层。该盆地油气储量主要集中于背斜油藏中, 也有少数岩性油藏, 尚未发现断块油藏, 潜江组在盆地北缘有一个砂岩发育带, 盐岩极少, 正断层很多, 断裂发育带正好与砂岩发育带相符, 形成许多小断块油田。盆地内部潜江组含盐地层下面的荆沙组和新沟咀组都是砂页岩互层, 发育大量断层。图4是拖市油田的横剖面, 新沟咀组内有六条落差200m以上的断层, 形成断块油田, 与浅部潜江组构造形成鲜明对比。

4. 拉张盆地不同岩性(以泊桑比为表征)的地层内构造特征有重大差异 岩性对地应力也有一定影响。在泊桑比较大的地层中, 初始的水平应力比较大, 而初始的应力差很小。叠加拉张构造力后, 应力差仍很小, 所以褶曲、断层都不发育。江汉盆地潜江坳陷的潜江组, 在盆地中部厚达4000m, 盐岩占45%, 还有硬石

六、挤压盆地

挤压盆地地应力类型的分布比较复杂。在一定的挤压构造力作用下存在两个临界深度。图5中圆 $\sigma_z \sim \sigma_{GH}$ 为主平面 $x-z$ 和 $y-z$ 的初始摩尔圆。当X方向上受到的挤压构造力很小(S_{cx1})时, 属于I类地应力。挤压构造力较大(S_{cx2})时, $\sigma_{x2} > \sigma_z$, 转变为III类地应力。挤压构造力进一步增加(S_{cx3})时, $\sigma_{y3} > \sigma_z$, 又转变为II类地应力。

可以证明, 对于一定深度的一定岩性来说, 存在两个临界挤压力, 超过他们时地应力类型就发生转变。

$$\text{III/II 临界挤压力} \quad S_c \text{ III/II} \Rightarrow \sigma_z \left[\frac{1}{\nu^{1/n}} - \frac{1}{(1-\nu)^{1/n}} \right]$$

$$\text{I/III 临界挤压力} \quad S_c \text{ I/III} = \sigma_z \left[1 - \left(\frac{\nu}{1-\nu} \right)^{1/n} \right]$$

假设挤压力一定 (S_c)，上式可以改写为

$$\text{II/III 临界垂向主应力} \quad \sigma_z \text{ II/III} = S_c \left[\frac{1}{\frac{1}{(\nu)^{1/n}} - \frac{1}{(1-\nu)^{1/n}}} \right]$$

$$\text{III/I 临界垂向主应力} \quad \sigma_z \text{ III/I} = S_c \left[\frac{(1-\nu)^{1/n}}{(1-\nu)^{1/n} - (\nu)^{1/n}} \right]$$

垂向主应力是与一定深度对应的。因此，在一定的挤压力下存在两个临界深度。

从图5可看出两个临界挤压力都达不到破裂条件，需要更大的挤压力才能发生断裂。可以证明，在一定的挤压力下，不稳定带的底界浅于II/III临界深度。

由于挤压构造力的传播伴随着压缩吸收能量和褶曲、断裂释放能量的过程，所以挤压构

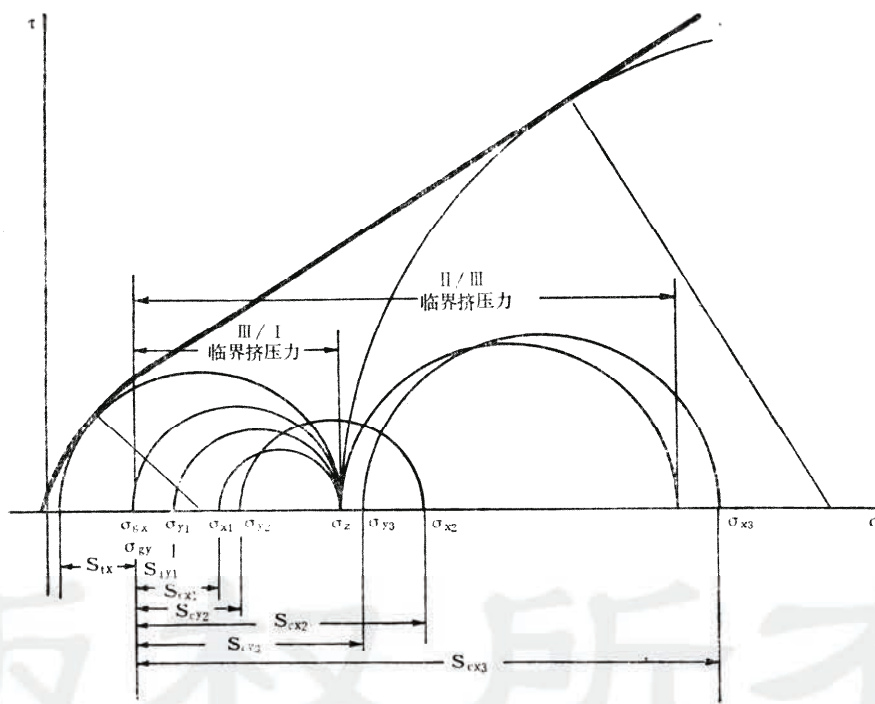


图 5 挤压构造力增加过程中主应力值变化及关键摩尔圆示意图
(摩尔包络线Gretener 1979年资料，帕斯凯波砂岩实测)

Fig. 5 Diagram showing the change of main stresses and Mohr circles under the action of increasing structural compression

(Mohr envelope of paskapoo sandstone, modified from Gretener, 1979)

造力向前衰减比较快。随着挤压构造力的减小，两个临界深度和不安定带底界都会变浅。三个界面沿作用方向的变化及主体地应力类型的分布如图6。

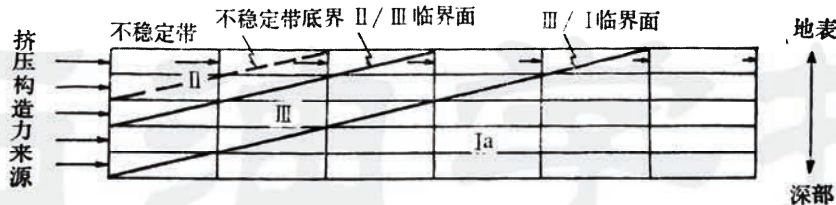


图 6 沿挤压构造力作用方向上地应力类型分布示意图
(水平箭头长短表示作用方向上挤压构造主应力相对大小)
Fig. 6 Schematical diagram showing the distribution
of stress types along the direction of structural
compression
(The length of horizontal arrows show the relative
magnetudes of compressive structural stress)

临界深度与岩性有关，泊桑比较小的岩性，临界深度较小。由于一般地层大多是互层，所以临界问题很复杂，本文不作更多讨论。

上述情况，可以看出挤压盆地地应力类型和构造特征的分带性很强。

1. **不安定带总体上属于Ⅱ类地应力** 达到破裂条件后产生的断层是逆掩断层，走向垂直于挤压力方向，原始倾角 30° 左右，以向挤压力来源方向倾斜的一组为主。如果地层倾角与不安定带底界上升趋势一致，可能沿软弱层产生断层倾角小于 30° 的推复体。如果主体岩性强度大，使挤压构造力向前衰减很慢，不安定带底界上升坡度就很小。如果这个坡度与地层倾角一致，就可能形成断面极平、规模很大的推复体。

2. **不安定带内可以出现局部的Ⅲ类地应力** 主要出现在泊桑比较小的地层内以及在 y 方向上存在局部拉张应力之处，例如背斜轴部、倾没部位和近轴翼部。愈向下前方Ⅲ类地应力出现机会愈多。

3. **不安定带内褶曲占主导地位，断层相对较少** 不安定带内挤压构造力数值很大，可以达到极限拉张构造力的数十倍（用实测岩石摩尔包络线测算）。由于关键摩尔圆位于 σ_x 的右侧，包络线位置很高，产生断裂所需应力差 $(\sigma_x - \sigma_y)$ 很大，据测算，超过相同条件下拉张盆地应力差的五倍。由于塑性变形条件与断裂条件有一个重要不同，就是断裂条件受围限压力的影响很大，而塑性变形条件与围限压力无关，只与偏应力有关^[4]。因此在不稳定带里，在断裂发生前塑性变形的机会大得多。所以这里褶曲明显，倾角大，幅度大，与拉张盆地相比断层较少，断块较大。除断裂带内部外，断层密集程度远低于拉张盆地。

4. **不安定带构造线走向比较稳定** 这是 $\sigma_x - \sigma_y$ 差值大造成的。局部应力很难改变 σ_x 的方向，所以这里相同性质的断层走向比较固定。如果弯曲，则相邻的几排构造和断层都作相应的弯曲，平行性好，很少见到与主要逆断层成大角度斜交的逆掩断层系统。

5. **Ⅰ带下部与Ⅲ带的地应力有一个递变过程** Ⅰ带下部，即不安定带底界到Ⅱ/Ⅲ临界

面间,基本上还是Ⅱ类地应力,存在局部的Ⅲ类地应力。两个临界面之间,总体上以Ⅲ类地应力为主,也可能出现局部Ⅱ类地应力。总的趋势是愈向下前方,Ⅱ类地应力愈来愈让位于Ⅲ类地应力,而且应力差愈来愈小。不仅褶皱强度愈来愈小,而且一般达不到破裂条件。当然由于局部应力集中,和岩石强度的变化,不能排斥较小断层出现的可能。逆掩断层和平移断层都可能出现,愈向下前方逆掩断层愈来愈少,落差也愈来愈小。鄂尔多斯盆地西缘的马家滩到沙井子一带,就是Ⅱ带下部与Ⅲ带的较好实例。这里存在走向南北的一系列含油穹窿背斜构造。位置偏西接近推复体的构造,两翼倾角在 15° 左右,构造两翼往往有内倾逆掩断层,落差一般只有 $100\sim 200\text{m}$ 。构造高部位往往有一系列断距很小彼此平行的平移断层。这个带实际上应该向西延伸到推复体下面,是寻找潜伏构造油田的有利地带。

6. I带内以I类地应力为主 I带内,即Ⅲ/I临界面的下前方,以I类地应力为主。这里应力差小于未受挤压力作用时,挤压力起着稳定作用,所以这里可以称为超稳定区。超稳定区应包括Ⅲ/I临界面以上的一定范围,虽然这里以Ⅲ类地应力为主。超稳定区内沉积层呈大范围的平缓产状,断层极少,构造和断层主要由局部因素引起。

七、扭性盆地

1. 单扭盆地 即 $|S_{ix}|\sim|S_{ey}|$ 的情况。受单纯扭性构造力作用时应力差一开始就增加,不存在超稳定的情况。当构造力较小时 x 、 y 方向分别叠加 S_{ix1} 与 S_{ey1} ,得到水平主应力 σ_{x1} 、 σ_{y1} (图7)关键摩尔圆为 $\sigma_{x1}\sim\sigma_z$,仍为I类地应力。当扭性构造力增加到 S_{ix2} 与 S_{ey2} 时, $\sigma_{y2}<\sigma_z$,这时 $\sigma_{x2}\sim\sigma_{y2}$ 组成关键摩尔圆,转变为Ⅲ类地应力(图7)。达到破裂条件时可能是I类地应力,也可能是Ⅲ类地应力,取决于岩性与 $|S_{ix}|$ 和 $|S_{ey}|$ 的相对大小。在扭性盆地达到破裂条件时的地应力类型对岩性比较敏感,大体上泊桑比大的地层内较易出现Ⅲ类地应力(图7),而泊桑比小的地层内易出现I类(图8)。扭性构造力的压性主应力(S_{ey})愈大,出现Ⅲ类地应力机会愈多。地应力类型对深度的敏感程度较低。总之,单扭盆地中既能出现大型平移(走滑)断层,伴随雁行褶皱;又能出现正断层系统。二者共存于一个盆地之中。这里的正断层系统与张性盆地不同的是往往呈雁行式排列,排列方向平行主要构造线,断层走向与主要构造线以较大的角度斜交。

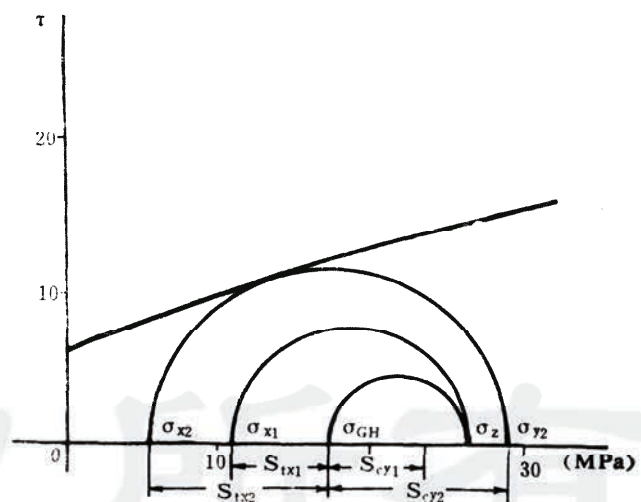


图7 单扭构造力增加过程中主应力值变化及关键摩尔圆示意图($\nu=0.43$) (摩尔包络线,黄荣樽1987年大庆油田含水泥岩实测资料)

Fig. 7 Diagram showing the change of main stresses and Mohr circle under the increasing action of structural pure wrench force($\nu=0.43$) (The Mohr envelope of Daqing wet clay modified from Huang rongzun, 1989)

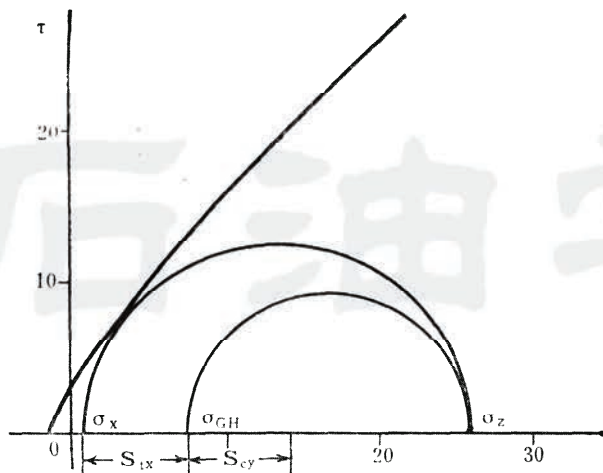


图8 单扭构造力作用下主应力及关键摩尔圆示意图
($\nu=0.3$) (摩尔包络线, Gretener 1979年对帕斯凯
波砂岩实测资料)

Fig. 8 Diagram showing the change of main stresses and Mohr circle under the action of structural pure wrench force
(The envelope of Paskapoo sandstone modified from Gretener, 1979)

直立节理, 节理面平直易裂, 表明曾处于Ⅲ类应力状态。张扭盆地内的正断层系统与拉张盆地不同处, 在于主要断裂往往由雁行式紧密排列, 逐个接替的若干条断层组成。东濮拗陷的主要断裂, 大都是这种复式断裂带。除以上特点外, 张扭盆地构造特点与拉张盆地十分相似。

3. 压扭盆地 $|S_{cy}| \gg |S_{ix}|$ 的扭性构造力属压扭构造力。在压扭构造力作用下Ⅲ类地应力占优势, 形成大规模的走滑断层和伴生的雁行排列的背斜和倾没半背斜, 其轴向相当固定。可能出现局部的Ⅰ类地应力, 但正断层的规模小, 都是低序次的断层。偶尔也能出现Ⅱ类地应力。

S_{cy} 向盆地内部衰减较快, 因而构造特征分带性比较强, 向盆地内逐步过渡为单扭性构造。也可观察到压性较强的构造向盆地内部逐渐推进的历史。同一构造内不同层位的轴线位置往往不一致。哈丁 (Harding) 对圣华金 (San Joaquin) 盆地西南部构造特征和发育史的研究, 所得结果完全符合上述特点和过程^[12]。

由于对国内扭性盆地的资料了解的局限, 这里只能作一个简单讨论。

八、小 结

1. 理论分析和实际应用证明重力和流体压力对地壳内应力状态的影响是不可忽视的。地质力学必须研究多种力联合作用下总应力状态与岩石物性的关系, 才能从机理上说明许多构造现象。忽视这种关系, 简单地将构造应力与构造形迹相联系就很难解释许多地质现象。

2. 构造形迹的力学性质问题, 包含有三个层次的问题: (1) 构造力的性质; (2) 地应

洛杉矶盆地是一个较好的例子, 英格尔伍德构造断裂带是走滑断层贯穿于全带的若干雁行褶曲所组成。但相邻的东威明顿油田上出现雁行排列的正断层系统。

单扭盆地中应力差大于张性盆地而小于挤压盆地的不稳定带, 所以褶曲比较明显, 但很少强烈褶曲。构造走向比较固定。相同性质的断层走向也较固定。单扭盆地可能出现Ⅰ类地应力, 但很难出现Ⅱ类地应力。

2. 张扭盆地 $|S_{ix}| \gg |S_{cy}|$ 的扭性构造力属张扭构造力。这时Ⅰ类地应力占绝对优势, 但可能出现局部的Ⅲ类地应力特别在泊桑比大的地层内。例如东濮拗陷内, 广泛发育正断层系统, 但在沙三段油源层的泥岩内可以见到近于正交的两组

力状态及其类型，(3) 构造形迹本身承受的应力性质。三个层次的问题互相有关而又有本质的区别。混淆了不同层次的问题必然要引起认识上的混乱和自相矛盾。

3. 本文概要地阐述了不同构造力作用下优势地应力类型和可能伴生的局部地应力类型以及他们的分布规律。相应地阐明了各类盆地主要、次要断层系统的分布规律，褶曲，断层的相对地位，构造线走向的稳定性等等特点。研究这些现象可以判别构造活动时期地应力类型的分布，构造力性质，以及构造断裂的发育规律。

4. 岩石力学性质对应力状态也有一定影响。在具体对象的地质力学研究中，取得岩石力学性质数据是十分重要的。

5. 许多因素能影响地应力与构造关系的研究。构造形迹产生以后产状还可能变动；老的构造形迹能对上覆层起牵制作用；不同时期不同应力类型下产生的构造形迹可能叠合在一起难以分辨等等。注意这些干扰因素，由简到繁才能找出规律。从这个意义上讲，构造发育历史相对简单的含油盆地正是研究构造应力、地应力和构造形迹关系的有利场合。

(本文收到日期1990年元月三日)

(编辑 何锦兰 康剑)

参 考 文 献

- (1) 王平, 拉张型盆地内的压性剪切断裂——渤海湾盆地第三系断层力学性质小议, 石油勘探与开发, 1986, 13: 卷3期
- (2) 李四光, 地质力学概论, 地质力学研究所出版
- (3) 潘力宙, 地质力学的力学知识, 地质出版社, 1977
- (4) 蒋泳秋等, 塑性力学基础, 机械出版社, 1981
- (5) 国家地震局, 地壳应力研究所情报室编译, 地应力测量理论研究与应用, 地质出版社, 1987
- (6) 黄荣椿等, 泥岩层蠕变流动条件的试验研究, 1986
- (7) Gretener P. E., Pore Pressure, Fundamentals, General Remifications and Implications for Structural Geology, AAPG Continuing Education Course Note Series No.4, 1979
- (8) Van der Knapp, W., Nonlinear Behavior of Elastic Porous Media, Tran. AIME Vol. 216 1979, p. 179~187
- (9) Dirk Teeuw, Prediction of Formation Compaction from Laboratory Compressibility Data, SPE Sep. 1955, p. 263~271
- (10) Hobbs B. E., et al., An Outline of Structural Geology, 1976
- (11) Harding T. P., et al., Structural styles, Their Plate-Tectonic habitats and Hydrocarbon Traps in Petroleum Province, AAPG Vol. 63 No. 7, 1979
- (12) Harding T. P., Tectonic Significance and Hydrocarbon Trapping Consequence of Sequential Folding Synchronous with San Andreas Faulting, San Joaquin Valley, California, AAPG Vol. 60 No. 7, 1976

A GEOMECHANICAL TECHNIQUE ——TYPES AND DISTRIBUTION OF GEOSTRESS UNDER VARIOUS TECTONIC FORCES

Wang Ping

(Research Institute of Petroleum Exploration & Development)

Abstract

Gravity and fluid pressure play rolls as important as those played by tectonic force, in structural deformation. The author emphasized that, an investigation of the relationship between rock strength and total stress environment under the combining action of tectonic force, gravity and fluid pressure is most important in the study of structural deformation. For basins under the action of different tectonic forces, types of stress environment, their distribution and the genetic mechanics of main structural characters have been studied.

版权所有