

动水条件下油气的二次运移与水动力 遮挡圈闭的形成条件

贺志勇 郝石生

(华东石油学院北京研究生部)

本文从动水条件下流体势分布特征的分析出发,根据视水头梯度的概念,讨论了构造产状对等油势面倾角的影响,提出了动水条件下单斜储层中油气运移方向的判别公式,并得出了构造和地层圈闭在动水条件下毛细管压差可以封存的最大油柱高度的计算公式。作者认为,水动力必须和构造或岩性配合才能封闭油藏,纯粹的水动力圈闭不可能存在。在此基础上,作者从势分布的角度给出了圈闭的定义,这个定义不仅适用于静水环境,也适用于动水环境。

动水条件下油气二次运移及聚集规律的研究,是石油地质学的一个重要领域。虽然前人已进行过较深入的研究,但作者在工作中发现,对于某些问题,以往的文献仍存在一些模糊认识。本文试图从地层中油气势分布的特点出发,对有关问题进行一些探讨。

一、油水界面倾角问题

前人已经证明,在动水条件下,油水界面会发生倾斜,其倾角与测势面(Potentiometric Surface)坡度有关(Hubbert, 1953, Dalhberg, 1982),

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_o} \frac{\Delta h_w}{\Delta x} \quad (1)$$

式中, ρ_w 和 ρ_o 分别为水和油的密度, α 为油水界面倾角, $\Delta h_w / \Delta x$ 为测势面坡度。

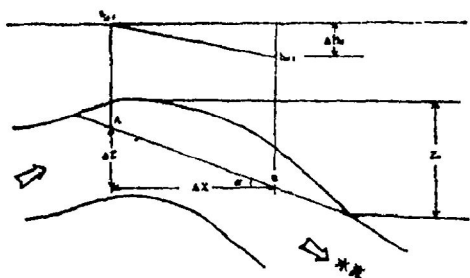


图1 油水界面倾角与测势面坡度的关系

令: $\Phi_{O1} = \Phi_{O2}$

即:

$$\frac{\rho_w}{\rho_o} \cdot g \cdot h_{w1} - \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_o} \cdot g \cdot z_1 = \frac{\rho_w}{\rho_o} \cdot g \cdot h_{w2} - \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_o} \cdot g \cdot z_2$$

事实上, (1) 式可以很容易地从油水界面是油的等势面这一事实出发导出。如图1所示, 假设油水界面上邻近两点 A、B 处的水头分别为 h_{w1} 和 h_{w2} , 则在达到平衡时, A、B 两点的油势 Φ_o 相等。油势和水头的关系为:

$$\Phi_o = \frac{\rho_w}{\rho_o} \cdot g \cdot h_w - \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_o} \cdot g \cdot z \quad (2)$$

式中 Z 为测压点高程。

得:

$$\Delta Z = \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho} \Delta h_w$$

用 Δx 除上式的两端就得到(1)式。

需要指出的是, 在(1)式推导过程中, Δh_w 是油的等势面上两点的水头差。虽然 Hubbert (1953) 是从另一角度推导出(1)式的(原文中 $\Delta h_w / \Delta x$ 为 dh_w / dx), 但他认为“ dh_w 为沿水流线方向上一段距离 ds 内水头的增量, dx 是 ds 在水平方向的投影”, 并认为 dh_w / ds 就是测势面的坡度。由于在油水界面处, 水流线与油水界面(油等势面)平行, 所以, Hubbert 的 dh_w 也是油等势面上两点的水头差。

然而, 我们知道, 在水流方向不是水平的情况下, 同一口井不同深度处测得的水头是不同的。实际工作中, 我们不能希望两个测压点恰好处于同一水流线上或油水界面上(如果如此, 也无需计算其倾角了), 这就使(1)式的应用受到了限制。

为了解决上述问题, 我们希望找到一个既能反映水动力强度又不受测压点深度影响的量来代替(1)式中的 $\Delta h_w / \Delta x$ 。为此, 我们根据势梯度的概念, 将储层内某一点在水平和铅直方向上的视水头梯度分别记为 $\partial h_w / \partial x$ 和 $\partial h_w / \partial z$ 。假设储层中某部分的水势变化是均匀的(图2), 设两口井的距离为 Δx , 两口井测压点深度差为 Δz , 这两点的水头差为 Δh_w , 则通常所说的测势面坡度为 $\Delta h_w / \Delta x$ 。根据视梯度的概念可以导出:

$$\frac{\partial h_w}{\partial x} = \frac{\Delta h_w}{\Delta x + \Delta z \cdot \operatorname{tg} \theta} \quad (3)$$

$$\frac{\partial h_w}{\partial z} = \frac{\Delta h_w}{\Delta z + \Delta x \cdot \operatorname{ctg} \theta} \quad (4)$$

式中 θ 是水流线与水平面的夹角, 一般情况下可用储层倾角代替。它决定了储层内水势梯度的方向。只有当两口井测压点深度相等或地层水平时, 才有 $\partial h_w / \partial x = \Delta h_w / \Delta x$ 。

引进视水头梯度的概念, 其意义在于消除测压点深度的影响。若仅用 $\Delta h_w / \Delta x$ 判断流向, 有时会得到错误的结论, 如图3左边的两口井由于测压点深度差异, 表面上下游的井2水头大于上游井1的水头。而(3)式中的 $\partial h_w / \partial x$ 是水流场本身的性质, 它与测压点深度及井距均无关系, 储层中一定范围内, 根据任意两点压力计算得到的 $\partial h_w / \partial x$ 应是相等的, 用它判断水流方向更为可靠。

由于储层中聚集的油气会改变水流场, 我们先假设储层内只存在个别油滴或没有油气存在。就油的等势面而言, (1)式仍然成立。由于水头梯度的方向与水流方向平行, 而水流方向一般由地层产状决定, 因此, 水头梯度 $\operatorname{grad} h_w$ 与水平面的夹角为 θ (图

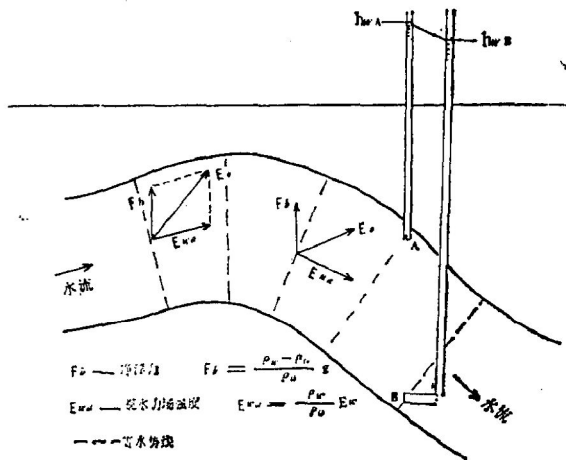


图2 水势面坡度 $\Delta h_w / \Delta x$ 与视水头梯度 $\partial h_w / \partial x$ 的关系

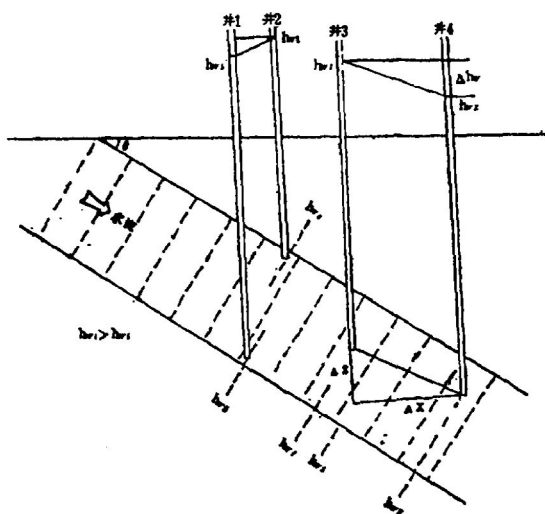


图3 水头梯度 $\text{grad } h_w$ 与其在水平面上的视梯度 $\partial h_w / \partial x$ 及在油等势面上的视梯度 $\partial h_w / \partial L$ 的关系

3), 所以它在水平方向上的视梯度为 $\text{grad } h_w \cdot \cos \theta$, 即 $\partial h_w / \partial x$. 而在油等势面 L 上的视梯度为 $\partial h_w / \partial L = \text{grad } h_w \cdot \cos(\theta - \alpha)$.

由于(1)式中的 $\Delta h_w / \Delta x$ 实际上是油水界面上两点的水头差 Δh_w 与其水平距离 Δx 之比, 所以

$$\begin{aligned} \frac{\Delta h_w}{\Delta x} &= \frac{\partial h_w}{\partial L} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta x} \\ &= \frac{\partial h_w}{\partial L} \cdot \frac{1}{\cos \alpha} \\ &= \text{grad } h_w \cdot \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\cos \alpha} \\ &= \frac{\partial h_w}{\partial x} \cdot \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\cos \theta \cdot \cos \alpha} \end{aligned}$$

$$= \frac{\partial h_w}{\partial x} (1 + \tan \alpha \cdot \tan \theta) \quad (5)$$

我们前面已经讲到, 储层中一定范围内, 根据任意两点压力计算的 $\partial h_w / \partial x$ 总是相等的。既然(5)式成立, 则任意两点(可以不在同一等油势面上)测压算得的 $\partial h_w / \partial x$ 均可代入(5)式求得附近另外两点计算的 $\Delta h_w / \Delta x$, 当然也可以求得等油势面上两点间的 $\Delta h_w / \Delta x$, 所以可将(5)式代入(1)式得:

$$\tan \alpha = \frac{\frac{\partial h_w}{\partial x}}{\frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} - \frac{\partial h_w}{\partial x} \cdot \tan \theta} \quad (6)$$

由于 $(\partial h_w / \partial x) \cdot \tan \theta = \partial h_w / \partial z$, 所以上式与 Hubbert (1953) 的结果:

$$\tan \alpha = \frac{\frac{\partial h_w}{\partial x}}{\frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} - \frac{\partial h_w}{\partial z}} \quad (7)$$

是一致的。式中 θ 为水流方向与水平面的夹角, 而 θ 一般由地层倾角所决定, 可见在背斜圈闭中, 由于构造的不同部位 θ 角及 $\partial h_w / \partial x$ 不同, 油等势面的倾角也是变化的。这一结论还可以从另一角度予以证明: 根据油力场强度 E_o 和水力场强度 E_w 的关系:

$$E_o = -\frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_o} g + \frac{\rho_w}{\rho_o} E_w \quad (8)$$

可知, 在与图1相同的构造背景下(图4), 由于水的流线与储层产状平行, 作用在单位质量石油上的视水力场强度 $E_{wv} = \rho_w / \rho_o E_w$ (陶一川, 1983) 的方向随构造部位而变, 而净浮力 $-(\rho_w - \rho_o / \rho_o) g$ 的大小及方向是不变的; 因此, 二者的合力, 即油的力场强度 E_o 在储层内不同部位是不同的。由于 E_o 的方向垂直于油的等势面, 因此油等势面也不是严格的平面。

事实上, 如果圈闭中已有油藏形成, 水力场的分布将会发生改变, 使油水界面附近水的流线与油水界面平行; 这反过来又会使油力场方向发生相对变化, 直到达到平衡为

止。所以达到平衡时,油水界面倾角可能已不是原来的等油势面倾角。但我们知道,平衡时,水流方向平行于油水界面,即: $\theta = \alpha$, 在(6)式中,令 $\theta = \alpha$ 并解出 α 得:

$$\sin 2\alpha = \frac{2\rho_w}{\rho_o - \rho_w} \frac{\partial h_w}{\partial x} \quad (9)$$

上式还可以从 Hubbert (1953) 得到的式子:

$$\sin \theta_c = \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_o} \text{grad } h_w \quad (10)$$

中推出。式中 θ_c 是 $\theta = \alpha$ 时的临界角。

显然,在测压点距离油水界面较近时,可以用(9)式来计算油水界面的倾角。但是,从另一角度讲,由于油藏内孔隙总不是全为油所占据,特别是油水界面附近含油饱和度更低,并且多为水润湿的,这样,水流仍可从贴近骨架处流过,油水界面并非隔水层。这时水流方向仍大体上受构造产状的控制。此外,在含油体积小于圈闭总容积时或测压点距油水界面较远时,水流方向仍基本与构造产状一致。在没有油水界面附近的资料时,仍需用(6)式近似求得油水界面的倾角。

在实际工作中,更多的情况则是并不知道油藏是否已经形成,而是需要通过水动力研究预测油水界面倾角,判断某个构造是否能够形成圈闭。为此目的,(6)式可能更适用。更加简便可行的办法是利用 UVZ 作图法 (Hubbert, 1953, Dalhberg, 1982) 来判断油气聚集的可能性及可能位置。

至此,我们的结论是,用什么办法要视具体情况而定,但是在背斜圈闭中,由于 θ 角和 $\partial h_w / \partial x$ 总是随构造部位变化的,油水界面也将发生弯曲,这一点已被 Hubbert (1953) 的实验所证实。

二、单斜储层中的势分布与油气运移

在储层性质均一,即不考虑储层内的毛细管作用的单斜地层内,如果水流指向下倾方向,水势的分布如图 5-a 所示。根据水力场的强弱及油水密度的变化,油势的分布及油的运移方向可分为三种情况 (图 5-b, 5-c, 5-d)。由图可见,不论在何种情况下,储层内部都不存在封闭的低油势区,亦即不可能有油气的聚集。

Berg (1975) 曾根据图 6 导出:

$$\Delta Z_o = \frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_o} \frac{dh}{dx} x_o \quad (11)$$

但他认为式中 Δz_o 就是单纯水动力所能封闭的油柱高度,这显然是错误的。因为(11)式中 dh/dx 指的是油柱顶底两点间的水头差与 x_o 之比,而油柱高度未知之前是不可能知道其顶底的水头的。而且式(11)中 x_o 又是油柱顶底两点间的水平距离 (甚至有些文献称之为油藏宽度),也是一个未知数。显然(11)式在实际工作中是无法应用的。

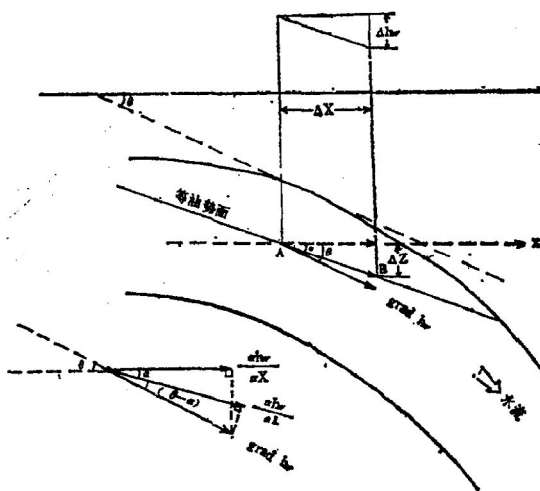


图4 在弯曲的储层中,不同部位油力场方向及大小不同;同一口井不同深度的水头也不同

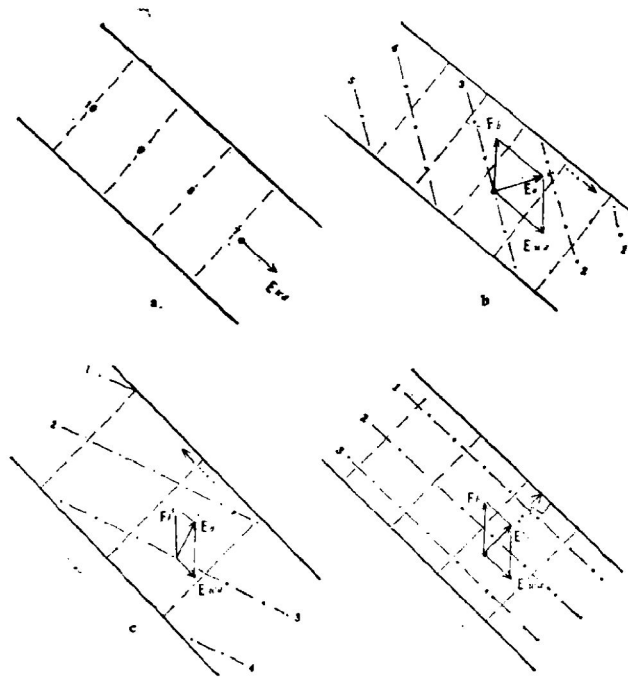


图5 单斜储层内水势与油势的分布及油的运移方向
(示意图, 图中等水势线线和等油势线的数值是人为给定的)

在单斜储层中如不考虑毛细管的作用, 油在储层顶面静止不动的条件是油力场的方向垂直指向盖层(图5-d)而与油柱的长度无关。在图7中, 上述条件实际上要求储层顶面上任意两点的油势相等: $\Phi_{oA} = \Phi_{oB}$ 。

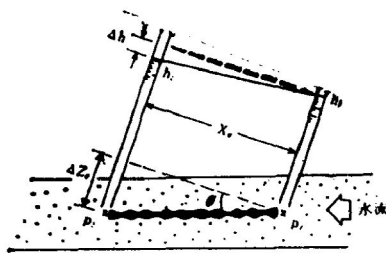


图6 下倾水流所“保持”的油柱
(据Berg, 1975)

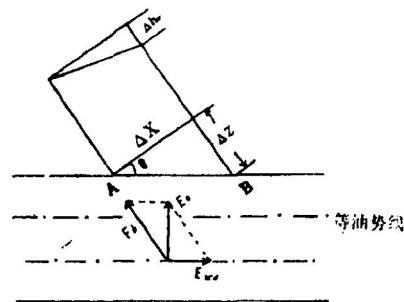


图7 动水条件下“油柱”在单斜均一储层内的平衡条件 (任意长度的“油柱”都不发生运移)

根据(2)式就有:

$$\frac{\Delta h_w}{\Delta Z} = \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} \quad (12)$$

由于:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta h_w}{\Delta Z} &= \frac{\partial h_w}{\partial L} \cdot \frac{L}{\Delta Z} \\ &= \frac{\partial h_w}{\partial L} \cdot \frac{1}{\sin \theta} \end{aligned}$$

$$= \frac{\partial h_w}{\partial x} \cdot \frac{1}{\sin\theta \cdot \cos\theta}$$

所以, (12) 式的平衡可以写成

$$\frac{\partial h_w}{\partial x} = \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad (13)$$

可见这是一种水动力、地层倾角和油水密度成一定关系的特殊动态平衡, 与油柱高度和长度无关。所以它并不能引起油气的聚集(图5-d)。

我们不妨令:

$$F = \frac{\partial h_w}{\partial x} - \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta \quad (14)$$

当 $F=0$ 时, 就得到 (13) 式所描述的动态平衡。当 $F>0$ 时, 油将向下倾方向运移(图5-b)。当 $F<0$ 时, 油将向上倾方向运移(图5-c)。因此, (14) 式可以用来判断动水条件下的油气运移方向。静水时, $\partial h_w / \partial x = 0$, $F<0$, 油向上倾方向运移。

由 (14) 式可知: 当水动力强度和地层倾角及水的密度一定时, 油密度的改变将会影响其运移方向, 只有某一特定密度的油才会达到 (13) 式的平衡。在一定条件下, 不同密度的烃类(如油和气)可以向相反的方向运移。

若水流指向上倾方向并无其它阻力, 油气必向上倾方向运移。由此可见, 在动水条件下, 若要形成油气的聚集(即要有封闭的油气低势区), 储盖层界面就不能是平面而必须是弯曲的上凸界面。水动力必须和构造或岩性配合才能形成圈闭, 单纯的水动力圈闭是不存在的。至此我们可以给圈闭一个新的定义——具有储集条件的封闭低烃势区。它可以是一侧由构造或岩性遮挡, 另一侧由较高的等烃势线围成。这个定义包括了构造或岩性不能完全遮挡, 但适当的水动力可以造成遮挡的情形。

三、水动力-构造圈闭

如图8所示, 在盖层条件很好时, 适当的水动力条件可以增加含油范围和高度。但这还与构造产状有关, 如果是对称的背斜, 水动力只能减少圈闭的含油气体积。因此我们只讨论构造条件充足时, 水动力对盖层遮挡能力的影响。

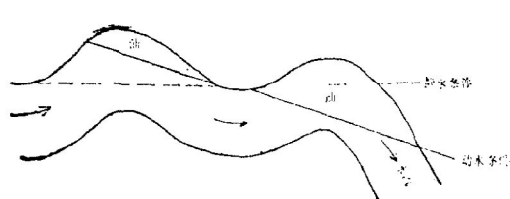


图8 动水和静水条件下油藏的可能范围

在图9所示的情况下, ΔZ 是通常所说的油藏高度。但由于油力场强度的方向垂直于油水界面(油的等势面), 在整个油藏中只有在E.方向上投影最长的油柱对盖层的作用最大。因此, 盖层最可能被穿过的部位不在A点而在B点。这样, 盖层的实际封闭能

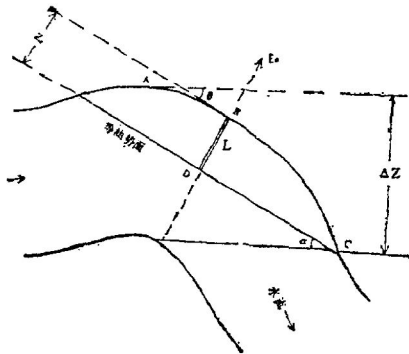


图9 动水条件下构造圈闭油柱高度与盖层遮挡能力的关系

力与油柱高度 ΔZ 没有绝对的关系了。

在没有油气时, B点是圈闭中油势最小点, 它到同一油等势面上不同部位的距离虽然不等, 但其势差却相等, 也就是说, B点到该等油势面上任意一点所构成的油柱对B点盖层的作用力是相等的。因此, 为研究盖层封存能力受水动力的影响, 可以选择通过B点并与油等势面垂直的油柱 L , 单位截面积的油柱 L 所受的油力场作用在 L 方向上的分力为:

$$\begin{aligned} F &= -\frac{\partial \Phi_o}{\partial L} \cdot \rho_o \cdot Z_o \\ &= -\frac{\partial \left[\frac{\rho_w}{\rho_o} \cdot g \cdot h_w - \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_o} \cdot g \cdot z \right]}{\partial L} \cdot \rho_o \cdot Z_o \\ &= \left[(\rho_w - \rho_o) \frac{\partial Z}{\partial L} - \rho_w \cdot \frac{\partial h_w}{\partial L} \right] \cdot g \cdot Z_o \end{aligned} \quad (15)$$

式中 Z_o 是该油柱的长度。由于水等势面与层面垂直, L 恰处于等水势面上(油聚集后水流方向平行于油水界面、垂直于 L), 故:

$$\frac{\partial h_w}{\partial L} = 0$$

因此:

$$\begin{aligned} F &= (\rho_w - \rho_o) \cdot g \cdot \frac{\partial Z}{\partial L} \cdot Z_o \\ &= (\rho_w - \rho_o) \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot Z_o \\ &= (\rho_w - \rho_o) \cdot g \cdot Z_o \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}} \end{aligned} \quad (16)$$

式中, α 为等油势面的倾角, 考虑到盖层和储层之间的毛管压差:

$$F_c = 2\sigma \left[\frac{1}{\gamma_i} - \frac{1}{\gamma_p} \right] \quad (17)$$

令 $F=F_c$ 就得到:

$$Z_o = \frac{2\sigma \left[\frac{1}{\gamma_i} - \frac{1}{\gamma_p} \right]}{g \cdot (\rho_w - \rho_o)} \cdot \sqrt{1 + \tan^2 \alpha} \quad (18)$$

式中的 $\tan \alpha$ 和水动力强度 $\partial h_w / \partial x$ 有关, 可以通过(6)式或(9)式求得。

由(18)式可见, 水动力条件增强时, 由于 α 角增大, 故而 Z_o 增加, 有利于盖层对油柱的封闭作用。静水时, $\tan \alpha = 0$, 就得到静水条件下毛管压差封闭油柱的公式:

$$Z_o = \frac{2\sigma \left[\frac{1}{\gamma_i} - \frac{1}{\gamma_p} \right]}{g \cdot (\rho_w - \rho_o)} \quad (19)$$

在图9所示的构造条件下, 油水界面倾角增加时, 由于D点的水力场方向 E_o 始终与油柱 L 垂直, 因而 E_o 随水动力增强反而减小(图10)。

但是, 由于油水界面的倾角增加, 这就要求在下游一翼的构造倾角足够大才能使油气不致于因等油势面倾角大于构造倾角而被冲出构造。因此, 在任何情况下都不是水动力越强越好。

当储盖层的毛细管力差等于零时, 由(18)式知 $Z_o = 0$ 。当然我们不能想象图9中B点盖层没有遮挡能力时油藏还会存在。显然, 知道了构造产状, 用(18)式确定 Z_o 之

后,就可预测可能的最大油藏高度 ΔZ 。

值得讨论的是,在油聚集成油藏后,油藏体内的油势处处相等,油藏实际上是一个等油势体。静止油体中 E_o 是不存在的,但这并不影响(18)式的推导过程,因为油柱对盖层的作用力取决于油柱顶部的油压与没有油时该点的水压之差,用该方法推导出的 F [(16)式]正是这个压差。正如在静水条件下的浮力对盖层顶面的作用,用油柱代替油体,结论是一样的。动水和静水的差别仅在于油力场方向的改变。

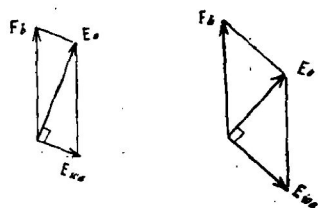


图10 图9中油柱 L 方向的油力场强度 E_o 与视水力场强度 E_{w0} 的关系

四、水动力-地层圈闭

Berg (1975) 将(11)式与静水条件下毛细管压差所能封闭的最大油柱高度[(19)式]相加得到:

$$Z_o = \frac{2\sigma \left[\frac{1}{\gamma_i} - \frac{1}{\gamma_p} \right]}{g \cdot (\rho_w - \rho_o)} \pm \left(\frac{\rho_w}{\rho_w - \rho_o} \right) \frac{dh_w}{dx} x_o \quad (20)$$

他认为上式就是动水条件下地层圈闭所能封闭的最大油柱高度。上式的问题不仅在于其右端 dh_w/dx 是油柱顶底两点的水头差与油柱水平长度之比, x_o 是该油柱的水平宽度,二者均无法预先知道;而且从上式可以推出:当毛细管压差为零时,单纯水动力仍可封闭一定的油柱。这与我们前面对图5的分析结论相矛盾。

事实上,在图11中,AB段渗透率降低。对于长度为 L 、截面积为1的油柱,油场作用力沿 L 上倾方向的分力为:

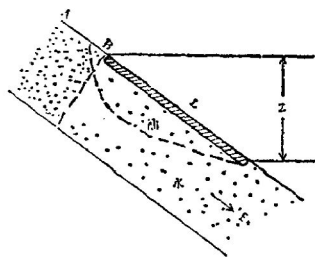


图11 地层圈闭遮挡能力与水动力强度的关系

$$F = - \frac{\partial \Phi_o}{\partial L} \cdot L \cdot \rho_o$$

$$\begin{aligned} &= \left[(\rho_w - \rho_o) \cdot \frac{\partial Z}{\partial L} - \rho_w \cdot \frac{\partial h_w}{\partial L} \right] \cdot g \cdot L \\ &= \left[g \cdot (\rho_w - \rho_o) - \rho_w \cdot g \cdot \frac{\partial h_w}{\partial x} \cdot \frac{1}{\sin \theta \cdot \cos \theta} \right] \cdot Z_o \end{aligned} \quad (21)$$

考虑到毛管压差 F_c 就得:

$$Z_o = \frac{2\sigma \left[\frac{1}{\gamma_i} - \frac{1}{\gamma_p} \right]}{g \cdot (\rho_w - \rho_o) - \frac{\partial h_w}{\partial x} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\sin \theta \cdot \cos \theta}} \quad (22)$$

上式便是动水条件下地层圈闭中毛细管压差、水动力强度及地层倾角与最大油柱高度之间的关系。静水条件下, $\partial h_w / \partial x = 0$, 便得到(19)式。

令(21)式等于零,就得到(13)式。说明当(22)式的分母由于水动力增强或是地层倾角太小而小于零时,油将被水带向下游,圈闭就不存在了。Berg(1975)公式[(20)式]的另一个错误推论就在于,当水动力强度无限增大时,油柱高度也无限增大,却不会被水冲向下游。

在相同的地层条件下,当水流指向上倾方向时,式(22)中 $\partial h_w/\partial x$ 项小于零,结果使分母两项相加, z_0 小于静水条件下毛管压差所能封闭的油柱高度。所以(22)式也可以写成:

$$Z_0 = \frac{2\sigma \left[\frac{1}{\gamma_l} - \frac{1}{\gamma_p} \right]}{g \cdot (\rho_w - \rho_o) \pm \left| \frac{\partial h_w}{\partial x} \right| \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\sin\theta \cdot \cos\theta}} \quad (23)$$

式中分母的后一项在下倾水流时取负号,上倾水流时取正号。

若(22)式的分母等于零,并不能认为会有无限大的油柱,因为这时恰成为(14)式等于零的特殊平衡状态,油不会发生运移,也就不会聚集了。

五、结 语

本文从动水条件下储层中势分布的特征分析入手,根据视水头梯度的概念,讨论了油水界面倾角随构造倾角的变化,提出了动水条件下油气在倾斜地层中运移方向的判别公式,给出了构造和地层圈闭在动水条件下毛管压差封油高度的公式。正如Hubbert(1953)所说,静水条件只不过是动水条件的一个特例,所以我们的公式与结论同样适用于静水条件。我们认为,如果没有毛细管力的作用,单纯水动力因素不可能形成油藏,水动力必须和构造或岩性配合才能封闭油藏。单纯的水动力圈闭是不存在的。

致谢:在本文撰写和修改过程中,华北石油学院北京研究生部机械系黄思、张宏、苑以民等同志曾给予热情的指导,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 陶一川, 1983, 石油与天然气地质, 第4卷, 第3期。
- [2] Hubbert, M.K., 1953, AAPG Bul., Vol. 37, P. 1954—2026.
- [3] Berg, R.R., 1975, AAPG Bul., Vol. 59, No. 6.
- [4] Dalhberg, E.C., 1982, Applied Hydrodynamics in Petroleum Exploration, Springer-Verlag, New York Inc.

SECONDARY MIGRATION AND ENTRAPMENT OF PETROLEUM UNDER HYDRODYNAMIC CONDITIONS

He Zhiyong Hao Shisheng

(Graduate School of East China Petroleum Institute)

Abstract

Through the analysis of fluid potential distribution under hydrodynamic conditions, this paper discusses the conditions for petroleum migration and entrapment.

The angle of inclination of oil-water interface (α) is a function of the dip angle (θ) of the aquifer, which confines the water flow direction,

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{\partial h_w}{\partial x}}{\frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} - \frac{\partial h_w}{\partial x} \cdot \operatorname{tg} \theta} \quad (1)$$

where $\partial h_w / \partial x$ is the horizontal component of water head gradient within the aquifer, and θ is the dip angle of the aquifer.

In an anticlinal aquifer, the maximum height of the oil column perpendicular to the oil water interface is given by,

$$Z_o = \frac{2\sigma \left[\frac{1}{\gamma_t} - \frac{1}{\gamma_p} \right]}{g \cdot (\rho_w - \rho_o)} \cdot \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} \quad (2)$$

where $\operatorname{tg} \alpha$ can be obtained by solving equation (1), assuming that $\alpha = \theta$.

In an updip pinchout reservoir, the maximum height of oil column may be,

$$Z_o = \frac{2\sigma \left| \frac{1}{\gamma_t} - \frac{1}{\gamma_p} \right|}{g \cdot (\rho_w - \rho_o) - \frac{\partial h_w}{\partial x} \cdot \frac{\rho_w \cdot g}{\cos \theta \cdot \sin \theta}} \quad (3)$$

A F function] is derived to determine the direction of oil and gas migration in a monoclinal aquifer with a downdip flow,

$$F = \frac{\partial h_w}{\partial x} - \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (4)$$

A hydrocarbon globule will migrate updip when F is negative. It will be flushed down the dip if F is positive.

It is concluded that without the closure of structure and lithological variation, hydrodynamic factor alone can not trap hydrocarbons.