

砂泥岩压实及 油气初次运移 译文集

成都地质学院石油系编译

四川人民出版社

13024

砂泥岩压实及油气初次运移译文集

成都地质学院石油系编译

四川人民出版社

一九八三年·成都

责任编辑：罗孝昌
崔泽海
封面设计：曹辉禄

TE (13) 13024
13

砂泥岩压实及油气初次运移译文集

四川人民出版社出版 (成都盐道街三号)
四川省新华书店发行 灌县印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16印张15.75插页4字数350千
1983年5月第一版 1983年5月第一次印刷
印数：1—1,450册

书号：13118·75

定价：1.76元

SY 62/30

前言

1980年5月在地质部石油局、科技局派员参加、由石油地质中心实验室主持召开的“我国若干大型含油气盆地资源量远景预测”国家项目协调会上，经过充分酝酿协商，提出了有关此项研究的几个攻关项目。其中一个专题，即砂泥岩压实实验及油气初次运移的研究，会议决定由成都地质学院石油系承担。

资源量预测是首先计算出油量，再按运移效率计算资源量，因此这项研究在资源量预测中有着十分重要的意义。

砂泥岩压实及油气初次运移不仅关系到我国油气资源第二轮普查的技术关键，也是石油地质学中长期尚未完全解决的课题。

国内外对这个课题已作过一些初步研究，如胜利油田已经开展过有关方面的研究。在国外，这个课题也处于刚刚开始研究的状态，许多问题尚待解决，有些结论也处于争论阶段。

砂泥岩压实是油气初次运移的动力之一，压实作用是一种成岩作用过程，从沉积物埋藏开始到埋深达9000米以上都继续存在压实作用，压实作用将引起岩石总体密度增加及孔隙度减少。砂岩的压实作用对孔隙度及渗透率的降低较少，主要是弹性可逆变形，泥岩的压实作用对孔、渗的降低较大，主要是塑性不可逆变形，碳酸盐岩的压实程度决定于塑性物质含量的多少，有时类似泥岩，但大多数情况下机械压实作用的影响不及压溶作用大。

压实作用过程引起孔隙间流体排出，孔隙间流体的排出引起油气初次运移。

异常孔隙间流体压力的产生，从而引起油气勘探及开发过程的复杂化。

油气初次运移是指从生油岩运移到渗透层的过程，这种渗透层也就是所谓油气载运层。经过不同距离，不同方向的运移，最后进入油气圈闭，此时载运层即转变为储集层。

为了使这项研究在国内外已经开展的研究工作基础上进行，这样才能不重复前人已作的工作，也可以少走弯路，故决定在开展研究之前，先作国内外文献资料普查。这本译文集就是我们对国外与此课题有关研究的普查内容（当然，还在继续查阅资料）。我们发现Magara, K.是这方面研究工作的知名专家，因此在查阅文献时，主要以他的著作为线索。这本文集中也翻译了较多他的著作。其他有关问题也是查阅及收集的对象，如异常压力形成的渗透率条件，超高压和高温的一些理论，温度对异常压力带的作用，粘土矿物脱水与异常压力及烃类运移的关系，初次运移的相态，有机地球化学，油气的生成、运移及聚集，以及毛细管压力在油气运移及地层圈闭中的作用等。

由于时间仓促，我们查阅的文献及译出的文献还很不够。由于业务水平所限，过去在这方面知识也较少，外文翻译水平也不高，因此这本文集只能算是我们初步努力的成果，

必然存在不少谬误，希望同志们批评指正。我们今后将继续查阅及翻译这方面的文章，但愿能作得更好一些。

本文集是集体劳动的成果，参加译校的同志除成都地质学院石油系部分教师外，还有找矿系、无锡石油地质中心实验室和四川省石油管理局地质勘探开发研究院的同志。原文出处和译校人员的姓名都附在各篇文章之末。

罗蛰潭

一九八二年四月

目 录

一、形成异常压力的渗透率条件·····	(1)
二、压实期间碎屑沉积物的排水方向 和 排水 量·····	(11)
三、日本长冈平原地下流体压力分布·····	(23)
四、日本长冈平原中新统泥岩内流体的压实和 运移·····	(30)
五、页岩的压实作用、离子过滤和渗透作用及 其对初次运移的重要性·····	(66)
六、高温和超压关系的一种理论·····	(75)
七、水热压作用——温度在异压带发育中的作 用·····	(83)
八、墨西哥湾沿岸热水压力效应的重要意义·····	(87)
九、热水效应的流体运移·····	(97)
十、西加拿大盆地西南部沉积岩脱失厚度、古 温度及古孔隙压力·····	(101)
十一、压实中海相泥岩释放流体的机理及其 在石油勘探中的重要性·····	(114)
十二、重新评价蒙脱石脱水作用与异常压力和 烃类运移的关系·····	(130)
十三、油母岩的石油呈油相初次运移的问题·····	(142)
十四、有机地球化学研究成果在油气勘探中的 应用·····	(151)
十五、生成石油的时间——温度关系·····	(168)
十六、美国中西部含磷组黑色页岩段的有机地 球化学、早期变质作用和石油的生成·····	(175)
十七、地层圈闭中的毛细管压力·····	(199)
十八、石油的运移和聚集·····	(221)

一、形成异常压力的渗透率条件

摘 要

在页岩——砂岩层系中异常流体压力一般出现在层系比较深的部分。这种异常压力产生的原因可以由与压实有关的页岩渗透率以及流体排出机理来解释。

要保持压实平衡（或静水压力）条件，页岩中单位时间内排出的流体体积应当随沉积速率及层系的总厚度两者的增大而增加。因此，保持静水压力条件所必须的最小渗透率也必须随沉积速率及总厚度的增加而增大。当地下的实际渗透率小于平衡条件所要求的最小渗透率时，部分流体将残留在页岩中。在这种情况下，不可能形成压实平衡条件，而且将导致异常压力的产生。

从墨西哥湾岸地区的资料分析所得到的结果有支持这一理论的趋势。

（一）序 言

如果页岩或泥岩中的孔隙水能够很容易地流出，则压实速率快而且是以静水压力条件为主的。但是如果孔隙水的流出受到了低渗透率的阻碍，则压实速率变慢，并且孔隙水必须支持一部分上覆地层的重量。换句话说，要出现异常压力。根据托米（Thomeer）和博特玛（Bottema）的说法：在较年轻的沉积盆地内，在大面积上很厚的页岩较快速的沉积下来，这对于要达到静水压力平衡条件的时间来说太短了。于是在页岩柱以下就能出现异常压力的有利环境。

关于在埋藏较深的页岩层系中一般异常压力的出现，鲁比（Rubey）和休伯特（Hubbert）提出如下的解释：当沉积速率略快时，在浅的以及中等深度孔隙较多的泥岩中孔隙水仍然可以快速的流出，并足以保持必要的静水压力。但在较大深度受到进一步压实因而是低渗透的岩石中，则孔隙水不能迅速流出，静水压力不能保持。在最近一篇值得注意的文献中，鲍威尔（Power）应用粘土胶体化学和粘土矿物学的近代知识，提出了深部地下异常流体压力起因的一种新的解释。按照鲍威尔的说法：在大约6000呎的深度，蒙脱石开始向伊利石转化，并且转化速率持续增大，直到深度一般约在9000到10000呎为止，在这个深度上不再有蒙脱石存在了。转化出现的机理是由于在粘土中束缚水的最后几层解析并转移到成为自由水的位置上。束缚水的最后几层水的密度比自由水的密度要大得多，从而，水从各单元层之间解析后体积就要增大。由于水的膨胀，它使孔隙流体压力增大到异常高的水平〔同见伯尔斯特（Burst）〕。

在本文中，对比较深的沉积层系中的异常流体压力提出了另一种定性和定量的解释。这种解释是以与压实作用有关的页岩渗透率和流体——排出机理为依据的。

(二) 沉降期间页岩中流体的排出

假定一个粘土或页岩层系中的粘土或页岩已经达到压实平衡, 且内含的流体压力是静水压力 (图1—1的阶段 A)。附加的沉积物是在海洋条件中添加到这个层系的上面, 并且该层系在时间间隔 t 中沉降了 l 。在沉降 l 之后, 如果整个页岩达到一种新的压实平衡条件, 则如图1—1中阶段 B 所示的这样一种孔隙度分布将会成立。在阶段 A 和 B (压实平衡条件) 上, 页岩孔隙度和深度之间可以建立起一种指数函数关系。

假定流体排出的出口仅存在于表面, 并且流体是向上排出的。在这种情况下, 从阶段 A 到阶段 B 页岩的压实将从层系的较浅部位到较深的部位发生 (图1—2)。图1—2图解表明孔隙度从较浅的部位到较深的部位发生减少 (从1~5)。在这种情况下来讨论流体运移, 就一定要确定阶段 A 和 B 之间的流体压力梯度。图1—3是为此目的绘制的。在图1—3所示的情况下, 阶段 B 线 (静水压力) 上的深度 z 以及阶段 A 线 (异常压力) 上深度 $z + l$ 之间的压力差为

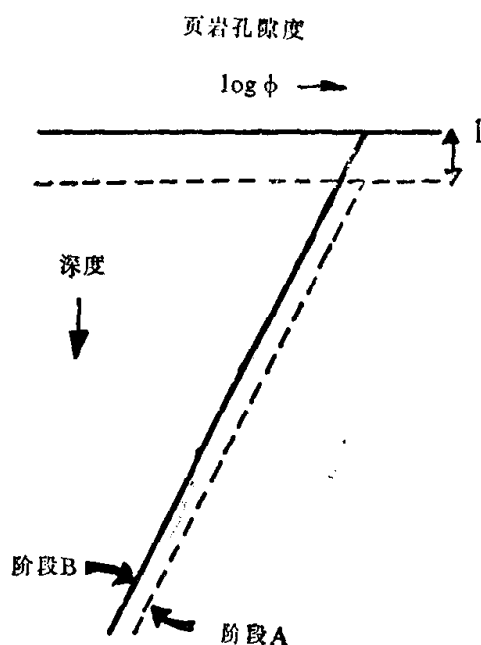


图1—1 压实平衡条件下页岩的垂直的孔隙度分布示意图

$$p_1 = s_1 = \rho_{bw_0} \cdot g \cdot l \quad (1)$$

式中: s_1 是这种情况下的上覆层压力增量; ρ_{bw_0} 是表面 (海平面以下的) 已饱和水的页岩的总体密度; g 是重力加速度。当流体压力分解成两个分量时

$$p_1 = [p_1]_n + [p_1]_a$$

或者

$$[p_1]_a = p_1 - [p_1]_n \quad (2)$$

式中 $[p_1]_n$ 是正常的或者静水压力增量, $[p_1]_a$ 是叠加上的异常压力增量。 $[p_1]_n$ 值在这种情况下可表示为

$$[p_1]_n = \rho_w \cdot g \cdot l \quad (3)$$

式中 ρ_w 是地层水的密度。通过公式1—3, $[p_1]_a$ 能表达成下式

$$[p_1]_a = (\rho_{bw_0} - \rho_w) g \cdot l \quad (4)$$

或者

$$\frac{[p_1]_a}{l} = (\rho_{bw_0} - \rho_w) g \quad (5)$$

这样, 图1—3表示的异常压力梯度可由公式(5)给出。

这种情况下的流体运动可由达西公式描述

$$q = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{[p_1]_a}{l} \quad (6)$$

式中 q 是单位时间内流过正交于流动方向的单位面积内的流体体积。 k 是页岩的渗透率， μ 是流体^①的粘度。在一个页岩柱中单位时间内流过深度 z_1 的流体体积 q_1 由公式(5)和(6)表示成

$$q_1 = -\frac{k_1}{\mu_1} \cdot \frac{[p_1]_a}{l} = -\frac{k_1}{\mu_1} (\rho_{bwo} - \rho_w)g \quad (7)$$

式中：下标 1 表示深度为 z_1 ； q_1 是流过位于深度 z_1 处渗透率为 k_1 的页岩的流体体积。在时间间隔 t 内所流过流体的体积 Q_1 可由下式给出

$$Q_1 = q_1 \cdot t = -\frac{k_1}{\mu_1} (\rho_{bwo} - \rho_w)g \cdot t \quad (8)$$

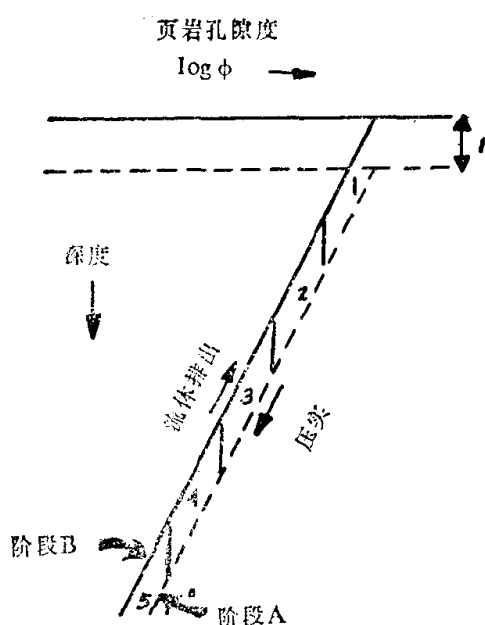


图1—2 在附加沉积的情况下页岩的压实与流体排出的示意图

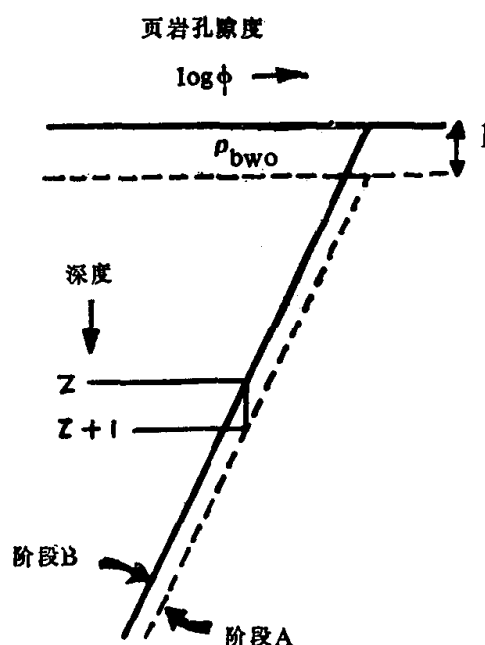


图1—3 在压实平衡条件下页岩的垂直孔隙度分布示意图

假定页岩的压实完全是由于页岩的流体排出而发生的，则图1—3中孔隙度的差将表示在达到新的压实平衡时，阶段A和B之间所排出的流体总量。假定这种情况下流体排出的方向是向上的，那么在深度 z_1 处应当通过页岩的流体总量能够计算出来。

在压实平衡条件下，页岩孔隙度和深度之间的指数函数已由鲁比和休伯特根据阿瑟 (Athlet) 的孔隙度—深度曲线 (图1—4) 在他们的公式15中提出如下

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-cz} \quad (9)$$

式中 ϕ 是在深度 z 处页岩孔隙度值， ϕ_0 是 $z = 0$ 时的孔隙度， e 是自然对数， c 是因次

① 假定页岩中是一相 (液体) 和一种成份 (水) 的流体运动。

(长度)⁻¹的常数。图1—3中阶段A的线在数学上能够用公式(9)表示。假定时间间隔 t 中发生沉降 l 并且页岩达到一个新的压实平衡条件 (图1—3中阶段B)。在这种情况下孔隙—深度关系可表示为

$$\phi + \phi_1 = \phi_0 \cdot e^{-c(z+l)} \quad (10)$$

式中 ϕ_1 是在深度 z 处阶段A和B之间的孔隙度差。从公式(9)和(10), 得

$$\phi_1 = \phi_0 \cdot e^{-cz} (e^{-cl} - 1) \quad (11)$$

这种情况下, 在具有单位基面面积的页岩柱中孔隙度降低的总量可由公式(11)的积分给出如下

$$\int \phi_1 dz = \phi_0 (e^{-cl} - 1) \int e^{-cz} dz \quad (12)$$

这一孔隙度降低的总量在这里可看作是在达到新的平衡时从页岩柱中应当排出的流体体积。由于该流体体积在这种情况下被认为是向上排出的, 所以对于达到新的平衡条件时应当流过深度 z_1 的流体体积可表示成①

$$\int_{z_1}^z \phi_1 dz = \phi_0 (e^{-cl} - 1) \int_{z_1}^z e^{-cz} dz \quad (13)$$

公式(13)中的 z 看作是在这种情况下页岩层系的底部深度, 而在 z 以下存在着一个不渗透层。

当这一体积等于或小于公式(8)中的 Q 时, 页岩中将有充分的流体排出并将建立静水压力环境。反之, 当这一体积大于 Q 时, 某些流体将残留下来, 并将出现异常压力条件。在这一体积与公式(8)中的 Q 相等的情况下, 存在下列关系

$$\begin{aligned} Q &= - \frac{k_1}{\mu_1} (\rho_{bw_0} - \rho_w) g \cdot t \\ &= \phi_0 (e^{-cl} - 1) \int_{z_1}^z e^{-cz} dz \end{aligned} \quad (14)$$

这一公式中的 k_1 被认为是要达到新的压实平衡时的最小渗透率, k_1 的等式如下

$$k_1 = \frac{\mu_1 \phi_0}{(\rho_{bw_0} - \rho_w) g \cdot t} (1 - e^{-cl}) \int_{z_1}^z e^{-cz} dz \quad (15)$$

如果时间间隔 t 中平均沉降或沉积速率为 Δl , 则存在下列关系

$$l = t \cdot \Delta l \quad (16)$$

当我们对公式(15)和(16)取某一时间间隔 t (例如 1 秒) 时, 我们能够计算出好几种沉积速度的 k_1 。

① 由于温度改变而引起流体(水)体积的影响在这种情况下不予考虑。

(三) 墨西哥湾湾岸地区页岩中的流体排出

为了讨论墨西哥湾湾岸区沉积过程中的流体运移,使用了狄克金森 (Dickinson) 的页岩孔隙度—深度曲线 (图1—4), 图1—5是在半对数坐标纸上绘出的同一曲线。

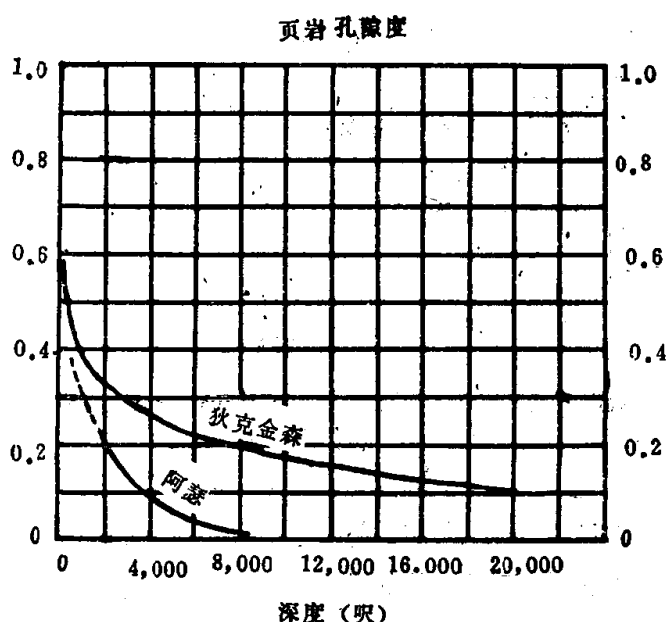


图1—4 奥克拉荷马 (阿瑟) 和墨西哥湾湾岸 (狄克金森) 的页岩孔隙度—深度关系的比较

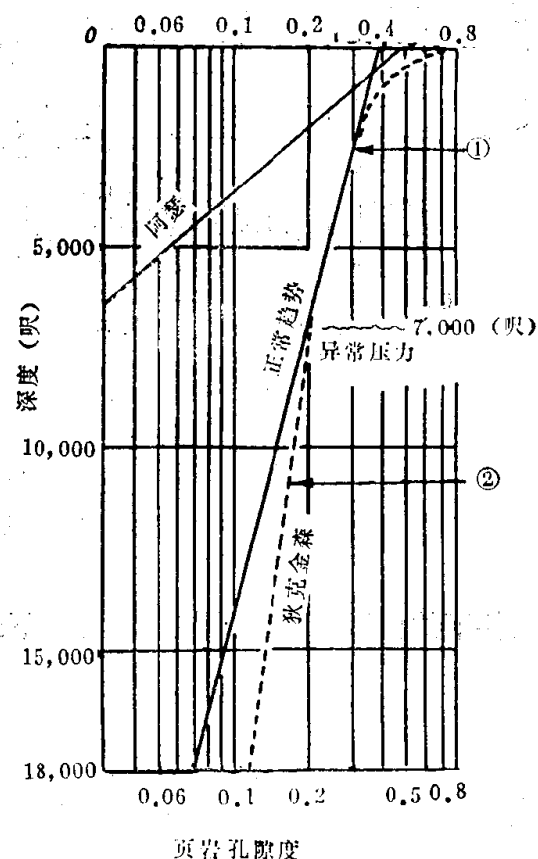


图1—5 半对数坐标纸上的奥克拉荷马 (阿瑟) 和墨西哥湾湾岸 (狄克金森) 的页岩孔隙度—深度关系

- ① $\phi = 0.39 \times e^{-0.00095z(\text{呎})}$ 或者 $\phi = 0.39 \times e^{-0.0000031z(\text{厘米})}$
 ② $\phi = 0.30 \times e^{-0.000054z(\text{呎})}$ 或者 $\phi = 0.30 \times e^{-0.0000018z(\text{厘米})}$

狄克金森还报导了有关墨西哥湾湾岸区的储层压力同深度关系的资料 (图1—6)。按照图1—6, 异常压力大约在7000呎以下发生, 换句话说, 在这一深度以上, 流体压力是静水压力。同时页岩可看作为已经达到压实平衡条件。

在压实平衡条件下页岩孔隙度和深度之间的指数函数是在狄克金森曲线 (图1—5) 的7000呎以上 (实际上是2000到7000呎的间隔) 引出一条平均直线来确定的。压实平衡

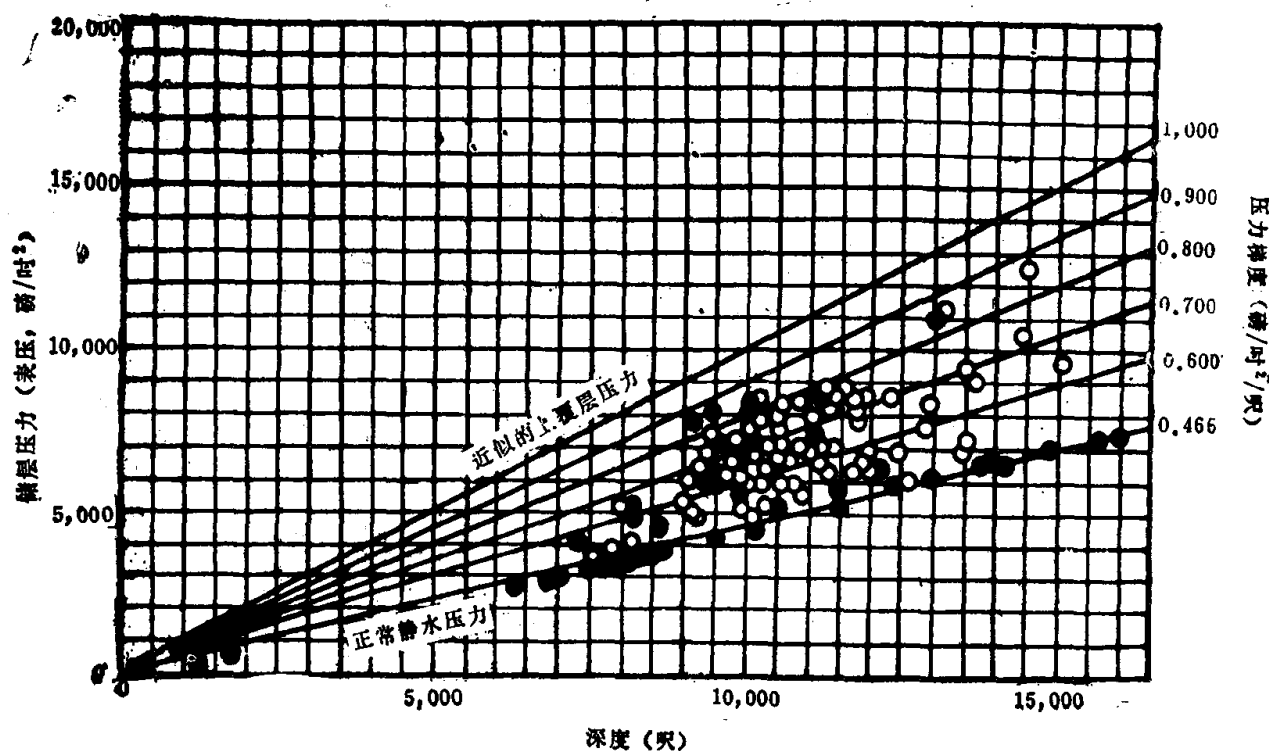


图1—6 墨西哥湾湾岸的储层压力对深度的关系
黑点圆为测量的压力
空圆圈为估算的压力(根据狄克金森)

条件下的函数(正常的趋势)可按下式

$$\phi = \phi_0 \cdot e^{-cz} = 0.39 \times e^{-0.000095z} \text{ (呎)} \quad (17a)$$

(z ≥ 2000呎)

或者

$$\phi = 0.39 \times e^{-0.000031z} \text{ (厘米)} \quad (17b)$$

(z ≥ 610米)

狄克金森曲线中在2000呎以上时,并不适合于公式17a或17b所示的函数。因为在2000呎以上的异常压力出现的概率看来似乎很小,所以不讨论2000呎以上最浅深度的异常压力。

利用公式15和17a或17b,可以计算出达到新的压实平衡时的最小渗透率 k_1 。在墨西哥湾湾岸区域,大约在6000万年中沉积了约六哩(10公里)厚度的沉积物,即平均沉积速率为 1.7×10^{-2} 厘米/年左右,相当于 $\Delta l = 5.4 \times 10^{-10}$ 厘米/秒。地层水的粘度主要是随温度改变。假定这个地区的平均地热梯度是每100呎深度 1.4°F ,平均地表温度是 74°F (见尼科尔斯Nichols),则这里地层水的粘度就可确定了(皮尔逊 Pirson)。这种情况下,压实平衡的最小渗透率 k_1 的数值如图1—7中弯曲的实线所示($\rho_{tw_0} = 1.4$ 克/厘米³, $\rho_w = 1.08$ 克/厘米³)。

图1—7指出了当沉积速率稳定不变(5.4×10^{-10} 厘米/秒)时,要保持压实平衡,

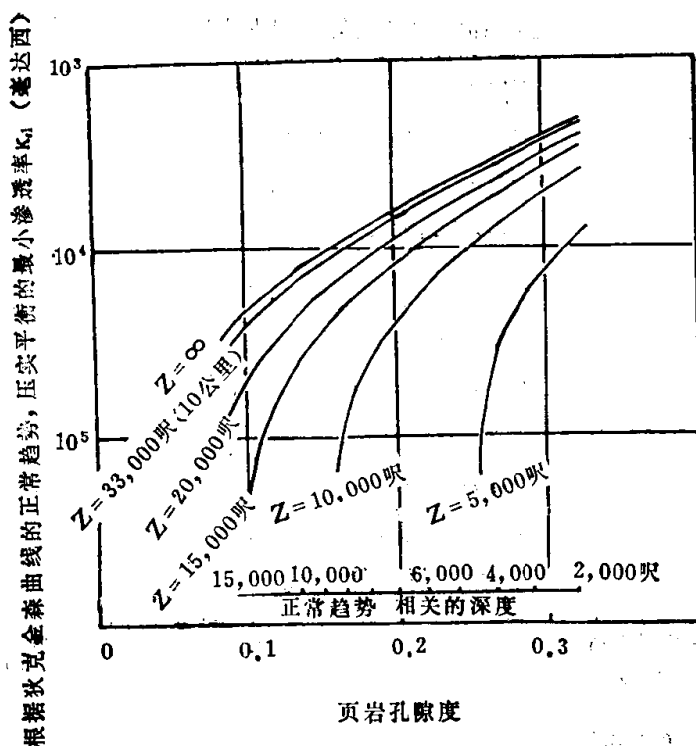


图1—7 墨西哥湾岸中页岩层系的底部深度为 $z=5000$ 呎、 10000 呎... ∞ 时,压实平衡的最小渗透率同深度(或页岩孔隙度)之间的关系

情况下平衡所需的最小渗透率必定增大。图1—8表示在几种沉积速率 Δl 值时的各个 k_1 值。

总结起来,异常压力出现的概率随沉积速率以及沉积物总厚度的增大而增大。如果有效渗透率大于或等于 k_1 ,则在任何深度都不会产生异常压力。只要保持着这种正常的压实性质以及正常的流体排出情况,则在图1—7和图1—8中的最小渗透率对于进一步保持压实平衡就是必须的。但是,一旦在某一深度出现异常压力时(某些流体将残留在非压实的页岩中),那么向上排出的流体体积就会减少。按照图1—5和1—6,墨西哥湾岸区中异常压力存在于7000呎以下,而这里7000呎以下的页岩孔隙度却比正常

则必须的最小渗透率 k_1 应随着沉积物总厚度 z 的增加而增大。如果地下的有效渗透率大于或等于 k_1 ,则流体充分地向上排出,同时能建立静水压力条件。如果有效渗透率小于 k_1 ,则有些流体将残留在页岩中同时会有异常压力产生。因此,当沉积速率稳定不变时,异常压力出现的概率将随沉积物总厚度 z 的增大而增加,如象图1—7所示那样。换句话说,异常压力在任何深度处出现的概率将在持续而稳定的沉积作用(z 很大)的后期增大。

随着沉积速率的增加,单位时间内排出量必定更多,或者是这种

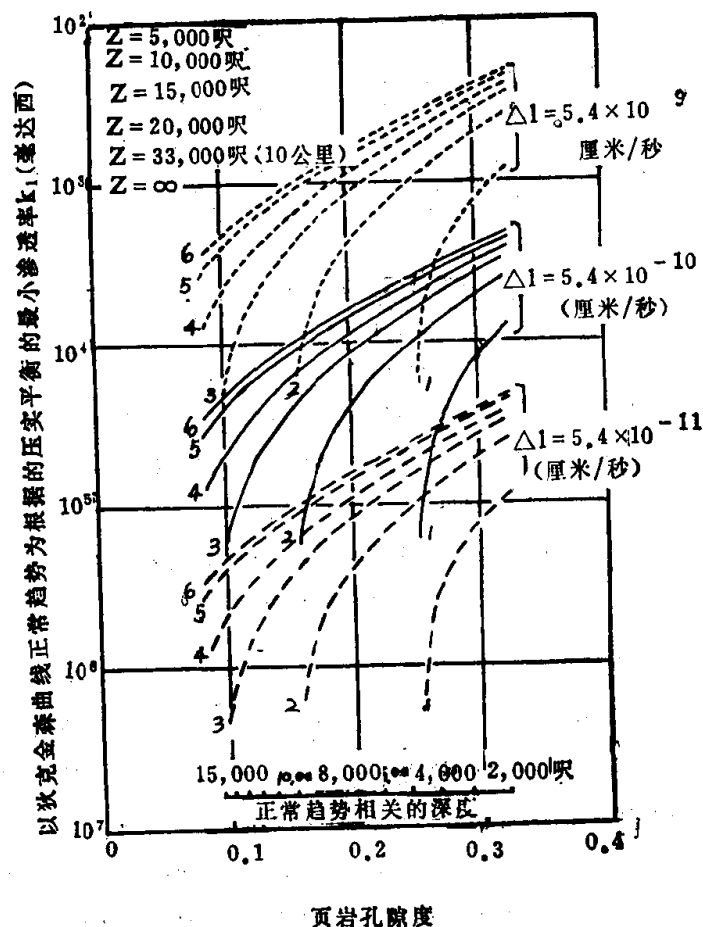


图1—8 在几种沉积速率下,压实平衡的最小渗透率同深度(或页岩孔隙度)之间的关系

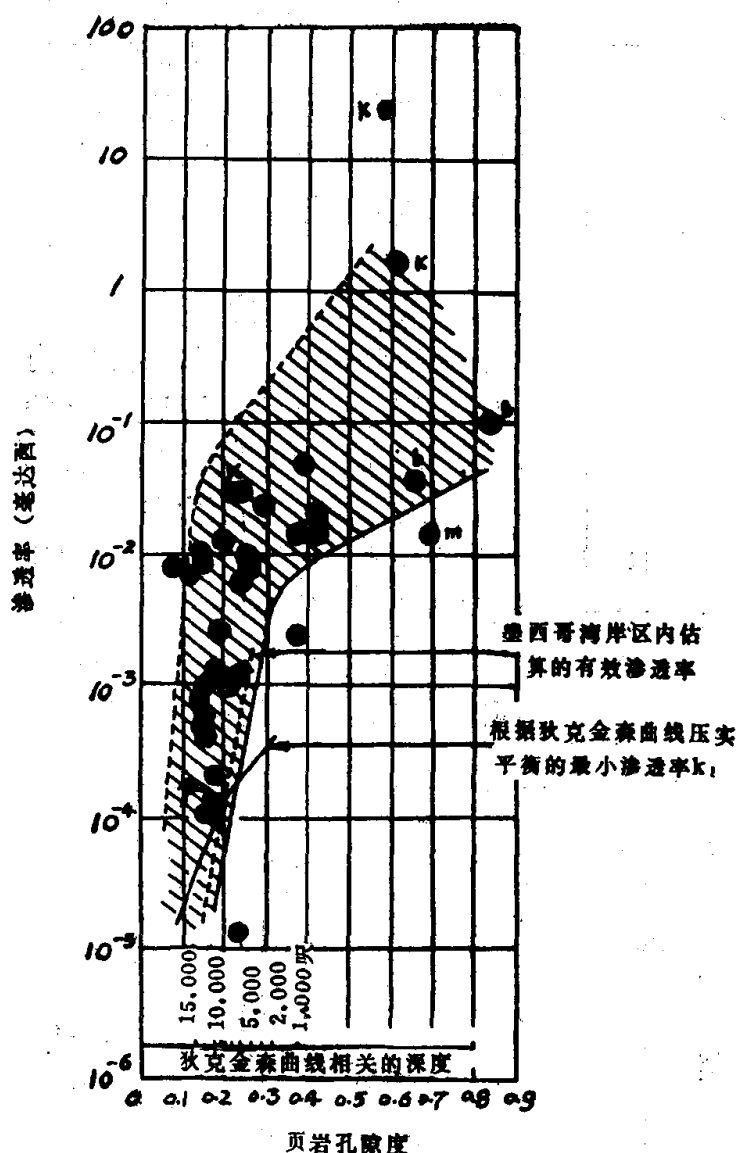


图1—9 墨西哥湾岸中深部存在压实不足的页岩时，估算的有效渗透率同最小渗透率 k_1' 的对比

k. 高岭石; b. 膨润土; m. 蒙脱石; 其他的黑点圆为粘土或页岩

地层中得到的，但大多数资料都落在图 1—9 中打斜线的区间中。

根据前面 k_1' 在 7000 呎处等于有效渗透率的假定。通过图 1—9 中的 p 点可以作一条平行于这一区间的虚线。这样，这条虚线所指出的所有渗透率数值都可以认为是墨西哥湾岸区中所估算的有效渗透率值。

由于所估算的有效渗透率在 7000 呎以上是大于 k_1' ，在 7000 呎以下是小于 k_1' 的，所以可以认为前面的假定已经得到证实。换句话说，实际渗透率在 7000 呎以上是大于 k_1' ，在 7000 呎以下是小于 k_1' 的。这种低渗透率就是造成墨西哥湾岸地区深部地下产生异常压力的原因。

趋势所指示的孔隙度（位于压实的页岩区下面）要高。因此，这一区域中向上运移的流体体积就小于前面所讨论过的假定值（图 1—7 和 1—8）。当本区的深处存在有压实不足的页岩时， k_1' 的值应当根据有效孔隙度——深度关系来计算，而不是根据正常趋势外推来计算。

根据狄克金森曲线计算出来的 k_1' 值，在图 1—9 中用一条弯曲的实线表示。如前面所提到的，地下的有效渗透率在静水压力区中（浅于 7000 呎）应当大于或等于 k_1' ，而在异常压力区（深于 7000 呎）则应小于 k_1' 。此外，还可以合理地认为，在 7000 呎处或者在静水压力区和异常压力区二者之间的交界面处其有效渗透率是等于 k_1' 。这一渗透率值在图 1—9 中用 p 标示。

有关页岩的渗透率—孔隙度关系方面的资料目前十分贫乏。布雷迪霍夫特 (Bredehoeft) 和汉肖 (Hanshaw) 搜集了若干这种资料。日本地质调查所对日本第三系地层中所钻的几口地层研究井的泥岩孔隙度和渗透率作过测定。这些资料在图 1—9 中的用黑点圆表示。虽然图 1—9 中的渗透率—孔隙度资料是在不同地区不同

(四) 结 论

本文是根据流体从页岩中的释放机理来讨论异常流体压力产生的原因。讨论是从墨西哥湾岸区中的异常压力作为例子，因为这一区域内的页岩孔隙度和地层压力方面的许多资料均已发表。但是，这里讨论的异常压力产生的原理同样可以适用于大面积地、十分迅速沉积巨厚而较年青页岩的其他许多地区。

假定墨西哥湾岸区中在大约六千万年中沉积了约六哩（10公里）厚的沉积物，即平均沉积速度为大约 5.4×10^{-10} 厘米/秒，并且从页岩中所排出的流体体积相等 于 页岩孔隙度的减少量，则在单位时间每单位基面面积中排出的流体体积可由这一地区的狄克金森的页岩孔隙度—深度曲线来确定。当流体的这一体积等于单位时间中流过页岩横截面的流体体积时，页岩的渗透率可根据达西定律来确定。这一渗透率被认为是要保持压实平衡条件的最小渗透率。对于达到平衡所要求的计算的这个最小渗透率是随沉积速率的增加以及沉积物的总厚度的增加而增大，这就表明在这种情况下达到平衡所必须的渗透率要高。换句话说，当沉积速率和总厚度都增加时，异常压力出现的概率将要增大。

在静水压力区，有效渗透率将大于或等于这个计算的最小渗透率，而在异常压力区，则小于该计算的最小渗透率。由此可见，这一渗透率值至少在异常压力区和静水压力区二者的交界面处（墨西哥湾岸区是位于7000呎深度）是表示了页岩的真实渗透率。在其它深度上的各最小渗透率值是根据实验室对页岩所测定的几个渗透率—孔隙度资料来估算的。

在墨西哥湾岸地区，把压实平衡所必需的最小渗透率值和这个估算的（有效）渗透率值进行对比，可以看出在静水压力区，该估算的渗透率值要比必需的最小渗透率值大，而在异常压力区，则比必需的最小渗透率值要小。这个比所必需的最小渗透率值要低的渗透率，就是墨西哥湾岸区产生异常压力的一个主要原因。

术 语 表

c = 常数，厘米⁻¹

e = 自然对数的底

g = 重力加速度

k = 页岩的渗透率，毫达西

k_1 = 在深度 z_1 处的页岩渗透率，毫达西

l = 在时间间隔 t 中页岩层系的沉降量，厘米

Δl = 平均沉降量或沉积速度，厘米/秒

p_1 = 由于 l 的沉积所引起的流体压力增量

$(p_1)_n$ = 由于 l 的沉积所引起的静水压力增量

$(p_1)_a$ = 由于 l 的沉积所引起的叠加的异常压力增量

q = 在单位时间内流过正交于流动方向的页岩单位面积的流体体积，厘米³/厘米²/秒

q_1 = 在单位时间内流过正交于流动方向的页岩单位面积的流体体积，在深度 z_1 处，厘米³/厘米²/秒

Q_1 = 在时间间隔 t 中流过正交于流动方向的页岩单位面积的流体体积, 厘米³/厘米²

s_1 = 由于 l 的沉积所引起的上覆层压力增量

t = 时间间隔, 秒

z = 深度, 厘米

z_1 = 深度, 厘米

ρ_{tw_0} = 在海平面以下的表面处被水饱和的页岩的总体密度, 克/厘米³

ρ_w = 地层水的密度, 克/厘米³

μ = 地层水的粘度, 厘泊

μ_1 = 地层水的粘度, 在深度 z_1 处, 厘泊

ϕ = 深度 z 处的页岩孔隙度

ϕ_0 = 地表的页岩孔隙度

ϕ_1 = 由于 l 的沉积所引起的孔隙度减少

王允诚译自 Soc. Petrol. Engineers J., (1971), V.11, 236—42

何开华校

原文作者 Magara, K. (真柄钦次)

二、压实期间碎屑沉积物的 排水方向和排水量

摘 要

在砂岩页岩互层的层序中，绝大多数压实出的水是从盆地中央，侧向运动到它的边缘的。从沉积物中排出水的累积数量随侧向运移的距离而增加。对于同一侧向距离累积水量则随着埋藏深度或压实作用的增加而增加。

在夹有不连续砂岩条带的厚层页岩中，水的主要运动方向是垂直向上的。在垂直运动的模式中，累积水量随着深度逐渐增加，在中间深度达到最大值，然后向沉积柱底部逐渐减少。在这种情况下，累积水量要比在较长距离内侧向运移的小。

湾岸区的第三系层序可能与第三种模式相似，它综合了其他两种模式的特点，其上部为砂岩、页岩互层的层序（侧向运移），下部为单一的页岩层序（垂直运移）。这两种层序的界限深度可以变化在3000呎到15000呎（900到4600米）。相应于侧向和垂直运移模式的累积水量综合曲线图，可模拟本区水运动的总量：累积水量向互层带底部迅速增加，然后在下伏页岩带中减少。有意义的是这些曲线与帕斯特（Burst）所作的该区产油频率曲线相似。该相似性可以说明在沉积物中水的排出和运移与烃的形成有重要关系。

（一）前 言

目前对烃类的初次运移了解得仍不多（威尔逊 Wilson, 1975）。已经提出的几个因素是：（a）由沉积物压实而产生的静水压力；（b）渗透作用；（c）蒙脱石脱水作用；（d）毛细管压力；（e）由于温度升高而引起的排水；（f）浮力效应。然而，这些因素在初次运移中的相对重要性尚未明确。

与初次运移有关的几个不同类型的问题是：（1）携带烃类运移的机理；（2）影响水运移的因素；（3）水量和特性的变化。

本文的前提是：由沉积物压实作用所排出的水是引起烃类从生油岩运移到储集岩的最重要因素。这里要讨论的问题是：（a）在砂岩页岩互层层序中和块状页岩层序中，水运动的主要方向；（b）从沉积物中排出和流过的累积水量。在了解烃类在地下运移和积聚过程中，研究上述排水量和排水方向是重要的。

（二）在沉积作用期间地下水的运动方向

假定有一达到压实平衡的页岩层序（图 2—1 阶段 A），它里面的孔隙压力为静水压