

第五节 油藏岩石的渗透性

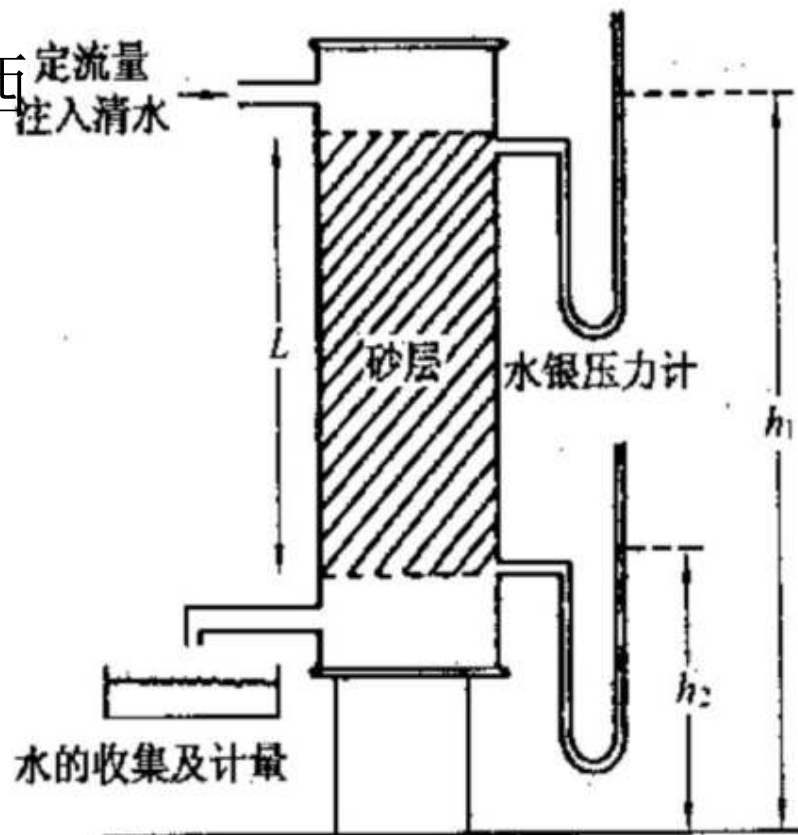
一、达西定律

1856年、法国人、亨利·达西

未胶结砂充填模型

水流渗滤试验

$$Q = K_{\phi} \frac{\Delta h}{L} A$$



达西实验装置

通用达西公式

渗透率

$$K = \frac{Q\mu L}{A(P_1 - P_2)}$$

渗透率单位的物理意义为：

粘度为 $1\text{mPa} \cdot \text{s}$ 的流体，在 0.1MPa 的压差下，通过截面积为 1cm^2 ，长为 1cm 的岩石，当流量为 $1\text{cm}^3 / \text{s}$ 时，该岩石的渗透率为 $1 \mu \text{m}_2$ 。

达西实验的条件：

- ★岩石孔隙100%为某种流体饱和；
- ★流体在岩石孔隙中的渗流保持为层流；
- ★流体与岩石不发生反应。

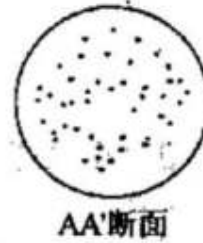
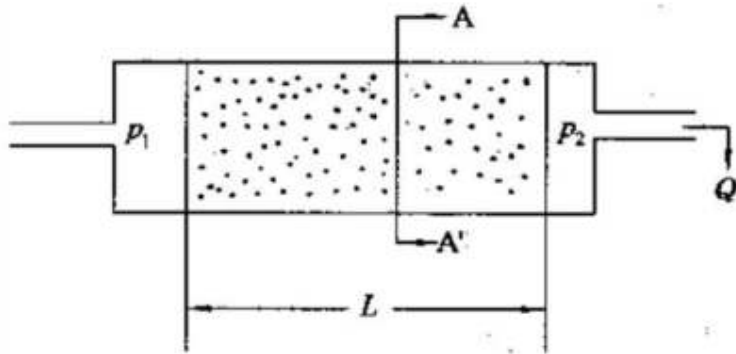


K是仅与岩石自身性质有关的参数，
与所通过的流体性质无关
它只决定于岩石的孔隙结构。



K为岩石的**绝对渗透率**

(1) 水平线性稳定渗流的达西公式



$$Q = -\frac{kA}{\mu} \frac{dp}{dx}$$

图 2.3.3 水平线性稳定渗流示意图(Amyx, 1960)

分离变量并积分得：

$$Q = K \frac{A(P_1 - P_2)}{\mu L} \quad \text{或} \quad K = \frac{Q\mu L}{A(P_1 - P_2)}$$

(2) 垂直线性稳定渗流的达西公式

$$\Delta p = \rho g (h - L)$$

$$\Delta p = \rho g L$$

$$\Delta p = \rho g h$$

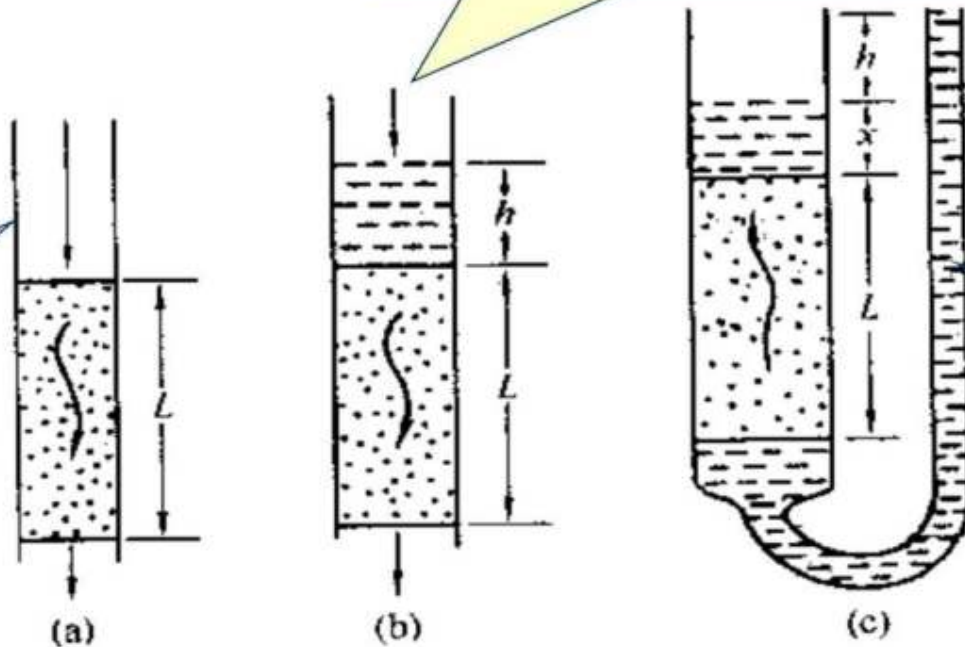


图 2.3.4 垂直线性稳定渗流示意图 (Amyx, 1960)

(a) 无压头自由渗流; (b) 具有压头 h 的向下渗流; (c) 具有压头 h 的向上渗流

关键：确定 $p_1 - p_2$

(3) 平面径向渗流的达西公式:

在距井轴半径为 r ，宽度为 dr ，厚度为 h 的微元上，由定义得:

$$Q = \frac{kA}{\mu} \frac{dP}{dr} = \frac{k \cdot 2\pi r h}{\mu} \cdot \frac{dp}{dr}$$

边界条件 $\begin{cases} P|_{r=r_w} = P_w \\ P|_{r=r_e} = P_e \end{cases} \rightarrow Q = \frac{2\pi Kh(P_e - P_w)}{\mu \ln(r_e/r_w)}$

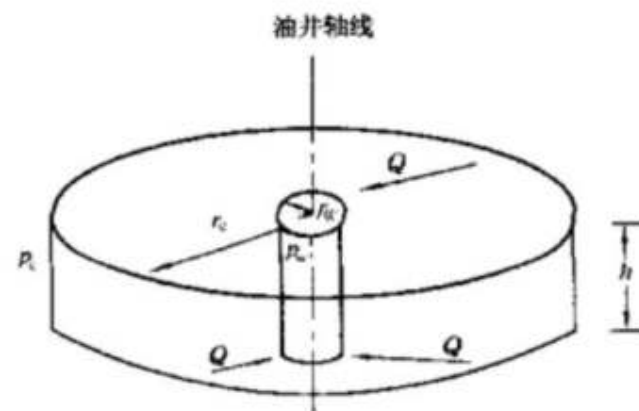
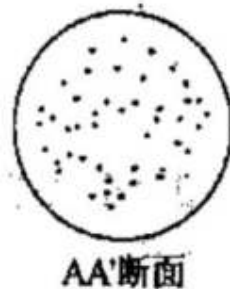
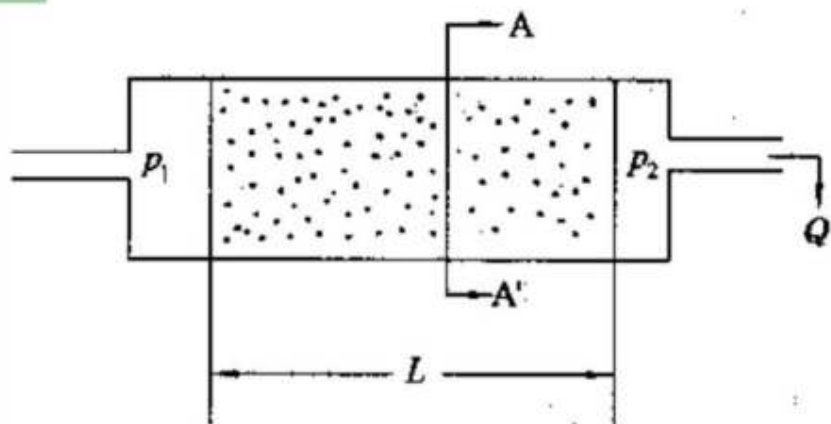


图 2.3.5 平面径向渗流示意图

二、气测渗透率



$$Q = -\frac{K_g A}{\mu} \frac{dP}{dx}$$

图 2.3.3 水平线性稳定渗流示意图(Amyx, 1960)

在岩石长度 L 的每一断面的压力不同，气体体积流量在岩石内各点上是在变化的，是沿着压力下降的方向不断膨胀。

玻义尔— 马略特定律

$$QP = Q_0P_0 = Q_1P_1 = Q_2P_2 = \text{常数}$$

则：
$$Q = \frac{Q_0P_0}{P}$$

$$Q = -\frac{K_g A}{\mu} \frac{dP}{dx}$$



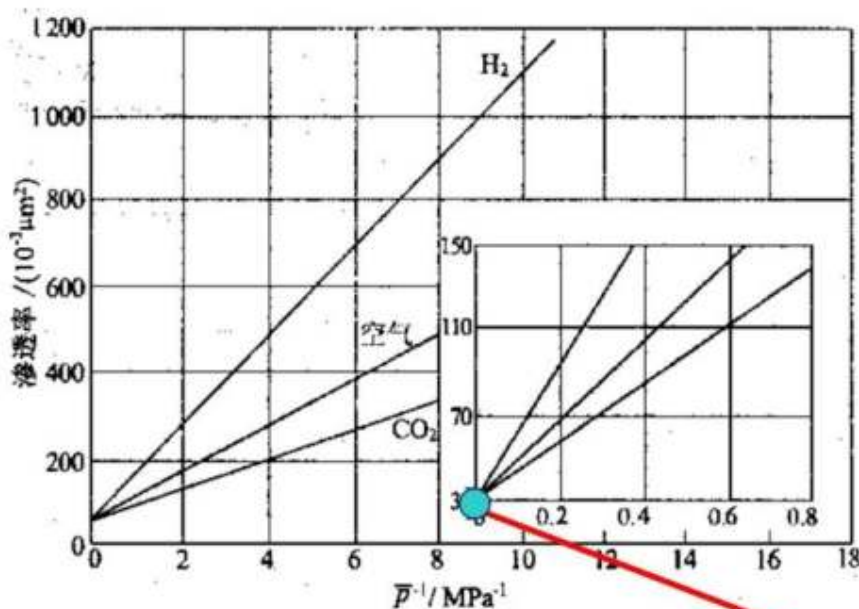
气测渗透率的
计算公式

分离变量并积分，则：

$$\int_{P_1}^{P_2} K_g P dP = -\int_0^L \frac{Q_0 P_0 \mu}{A} dx \quad K_g = \frac{2Q_0 P_0 \mu L}{A(P_1^2 - P_2^2)}$$

三、克林肯伯格效应

实践发现：同一岩石，气测渗透率总比液测渗透率高。



- (1) 不同平均压力下测得的气体渗透率不同；
- (2) 不同气体测得的渗透率不同；
- (3) 不同气体测得渗透率和平均压力呈直线关系，当平均压力趋于无穷大时，交纵坐标于一点。

Klinkenbeger实验结果

等价液体渗透率 或 Klinkenberg渗透率

Klinkenberg渗透率:
$$K_{\infty} = \frac{K_g}{1 + b/P}$$

式中 b — 与岩石孔隙结构及气体分子平均自由程有关的系数, 亦称 Klinkenberg 系数。

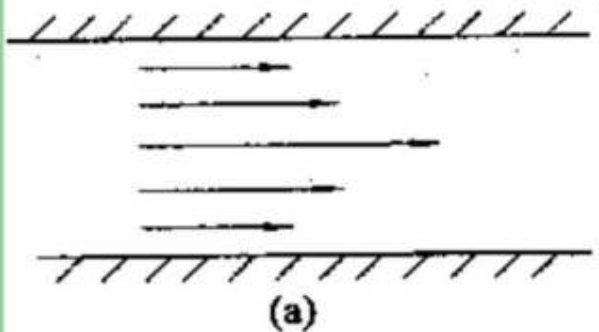
$$b = \frac{4c\lambda\bar{P}}{r}$$

c — 比例系数;

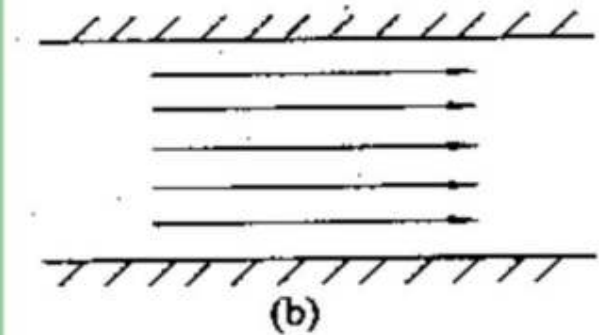
λ — 气体分子平均自由程;

\bar{r} — 岩石孔隙半径;

\bar{P} — 平均气体压力。



液体 在孔道中心的液体分子比靠近孔道壁表面的分子流速要高；而且，越靠近孔道壁表面，分子流速越低；



气体 靠近孔壁表面的气体分子与孔道中心心的分子流速几乎没有什么差别。

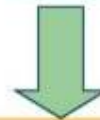
气体滑动效应示意图

- a-孔道中的液体流动；
- b-同一孔道中气体流动

滑动效应

或

Klinkenberg效应



气体渗透率大于液体渗透率的根本原因

第五节 油藏岩石的渗透性

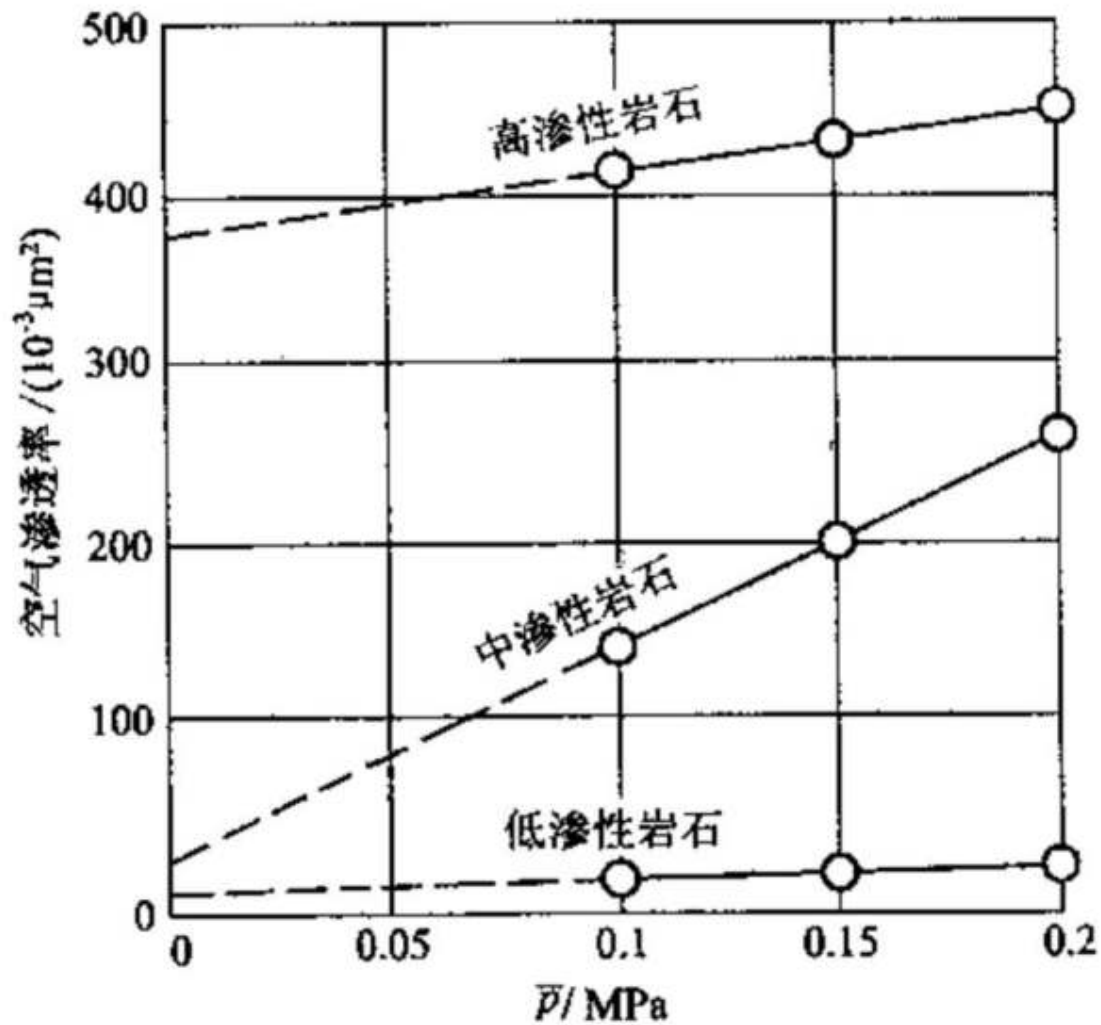


图 2.3.9 不同岩石在不同压力下的空气渗透率

第五节 油藏岩石的渗透性

四、储层岩石渗透率的求取



实验室方法测定

★常规小岩心渗透率测定

★全直径岩心渗透率测定

★径向渗透率测定

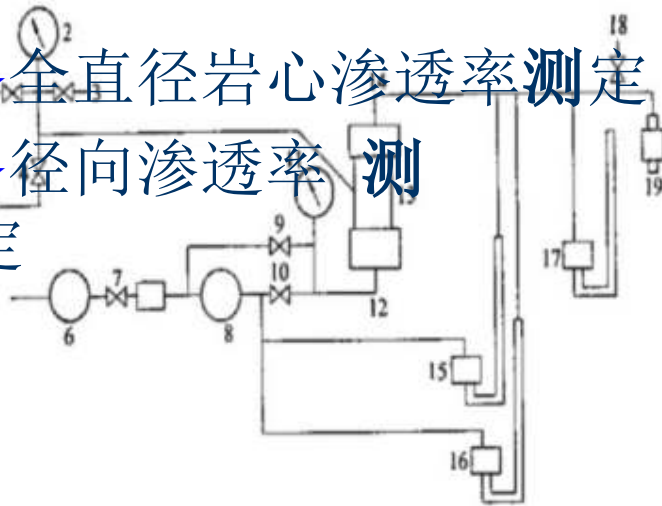


图 2.3.6 气测渗透率仪流程图

1, 3, 4, 7, 9, 10, 18 - 阀门; 2, 11 - 压力表; 5 - 气源; 6, 8 - 压力调节阀; 12 - 进口;
13 - 岩心夹持器; 14 - 出口; 15, 16, 17 - 压力计; 19 - 孔板流量计

测井方法或油藏工程方法测定

式中 C ——称“C值”，为该仪器上读数;



第五节 油藏岩石的渗透性

五、渗透率的影响因素

1. 沉积作用

(1) 岩石结构和构造特征

岩石结构

$$K = Cd^2 e^{-1.35a}$$

C — 常系数, 具体数值与岩石粒度有关;

d — 岩石平均颗粒直径, μm ;

a — 岩石颗粒的标准偏差;

K — 岩石渗透率, $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$

岩石渗透率与平均颗粒直径的平方成正比, 与颗粒的标准偏差成反比。

砂岩的粒度分布范围越广, 颗粒分选性越差, 胶结物质含量越多, 其渗透率就越低。

粒度序列

层理和纹理的发育程度, 沉积旋回、韵律等。

● 层理的方向性、递变性等构造, 导致砂岩渗透率的方向性。

渗透率序列

● 沉积旋回、韵律特征导致岩石渗透率在纵向上的差异。

一般正韵律沉积的砂岩其渗透率明显上低下高, 而反韵律沉积刚好与之相反。

图 7-13 粒度序列与渗透率序列类型

- (a) 正韵律; (b) 反韵律; (c) 正反复合韵律; (d) 反正复合韵律;
- (e) 均匀韵律; (f) 薄互层韵律; (g) 均匀—正韵律; (h) 反—均匀韵律

第五节 油藏岩石的渗透性

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/026231113113010201>