

膨胀计中去。若 Z_2 是管 C 中的新水银面，则施加在样品上的起始压力等于压力计读数减去 YZ_2 的负压。

当膨胀计充满水银时， C 中水银面由测高计读取，它和标定管液面 W 之间的水银柱体积等于在原始压力下被样品所代替的水银体积。通过 P 导入空气，在每次压力增加后测量水银液面，压力逐渐增加到一个大气压。压力直接从流体压力计 K 中读出，每一次都按管 C 中的正压和负压进行校正。

这些读数就是从 5 cm Hg 到一个大气压范围内所注入样品的水银体积，若采用形状匀称的样品，那么，应用测微计测量计算它们的外表体积是可能的。在零到一个大气压下，注入样品的水银体积是可以测定的。

最后，当达到一个大气压的时候，关闭 F' ，水银上升到高于 B 的某一个点，然后打开 F' 时，在样品上的最终压力应该近似等于当膨胀计为了与高压孔隙计连接时施加于样品的压力。最后读取液面，打开 F ，水银面下降。

在移走膨胀计时，关闭 F ，仪器抽空。打开活塞 D ，水银回到水银池。然后关闭 D 和打开 P 到一个大气压，膨胀计和活塞 F 在 M 处转动和分开，然后与 F 分离，以使膨胀计可以与高压孔隙计接通。

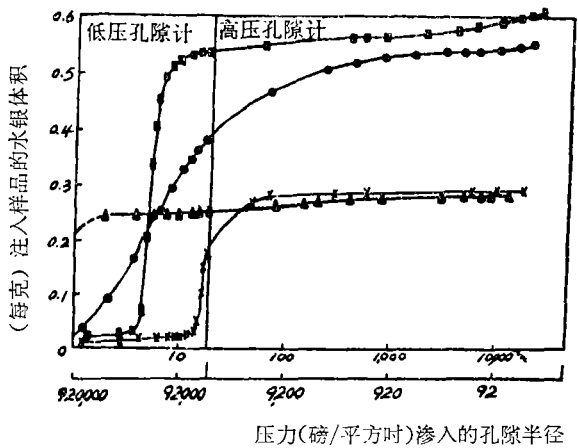


图2 4个炭素物质的低压和高压孔隙计测定结果

- 在 900°C 下制备的焦炭
- ▲▲ 焦炭
- ×× 由破碎的焦炭制成的炭质炼煤(-150+200目)
- 人工石墨。

图2表示4个炭素物质在低压和高压孔隙计中测定的结果，它们是900°C的焦炭，炭质炼煤、焦炭和人工石墨。样品为圆柱形，直径5/8吋(1.6cm)长1吋(1吋=2.54cm)，然而，这一仪器也适用于由小颗粒所构成的物质，微粒之间的间隙应大大超过毛细管孔的直径。

这结果充分显示了低压测定孔隙率的重要性。

(李汉忠译自 *Chemistry and Industry*
1960 No. 9 p222~223)

渗透率测定的影响因素

(美) J.W. 阿密克斯

在渗透率测定技术中，当用气体作为测定流体的时候，必需修正气体滑移的影响，用液体时，必须注意这个液体与岩样颗粒不起反应，由于岩心取样后外加压力的降低而引起的渗透率变化亦需加于校正。

一、渗透率测定中气体滑移的影响

'Klinkenberg 报道了用各种不同气体测得渗透率与惰性液体所测定的不同。这些变化是

由于滑移的影响，这是一个关于气体在毛细管流动的现象，当毛细管的内径接近气体的平均自由路程的时候，就产生了气体滑移现象。一般，气体的平均自由路程是气体分子大小和气体动能的函数，因此“Klinkenberg 效应”是测定多孔介质渗透率所用气体的函数。图1是在不同平均压力下，用氢、氮和二氧化碳作为流体时多孔介质的渗透率。注意由于测得

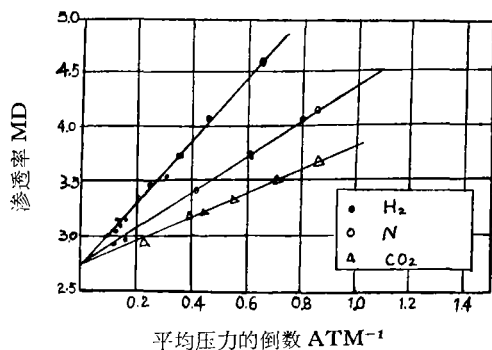


图1 岩样 L 对 H_2 、 N 和 CO_2 在不同压力下的渗透率值 (from Klinkenberg) 异辛烷渗透率为 2.55 MD

的渗透率是测定时平均压力的函数，因此，对每个气体都可得到一条直线。用分子量最小的气体测出的渗透率给出斜率最大的直线，表明有较大的滑移效应。

所有直线当平均压力向无穷大 ($1/p=0$) 延伸时与渗透率轴 (y 轴) 交于一个点，此点称为 K_L 或称等液体渗透率点。

Klinkenberg 和另一些学者证实了多孔介质对一个惰性的均匀的单相液体渗透率等于等液体渗透率，测得的渗透率和平均压力倒数成线性关系，可表示如下：

$$K_L = \frac{K_g}{1 + (b/p)} = K_g - m \frac{1}{p}$$

$$b = \frac{m}{K_L} \quad (2-48)$$

这里

K_L = 介质对一个完全充满介质的孔隙的液相渗透率

K_g = 介质对一个完全充满介质的孔隙的气体渗透率

p 在测定 K_g 时气体平均动态压力

b 在给定介质中对给定气体的常数

m 曲线的斜率

式中常数 b 取决于气体平均自由路程和多孔介质的孔径的大小，由于渗透率实际上是多孔介质孔隙大小的度量，因此， b 是影响渗透率的因数。

图2表示了 b 和 K_L 的相互关系，是从175个试样的测定中取得的。常数 b 随渗透率降低而增大，因为对于较小的孔隙，滑移效应变得按比例增大。

为了取得正确的小岩心试样的渗透率测定，约须进行12个试验，即在四个流速下测定，每一个在三个不同平均压力下，使可获得在粘滞流动状态下三个平均压力下的三个渗透率

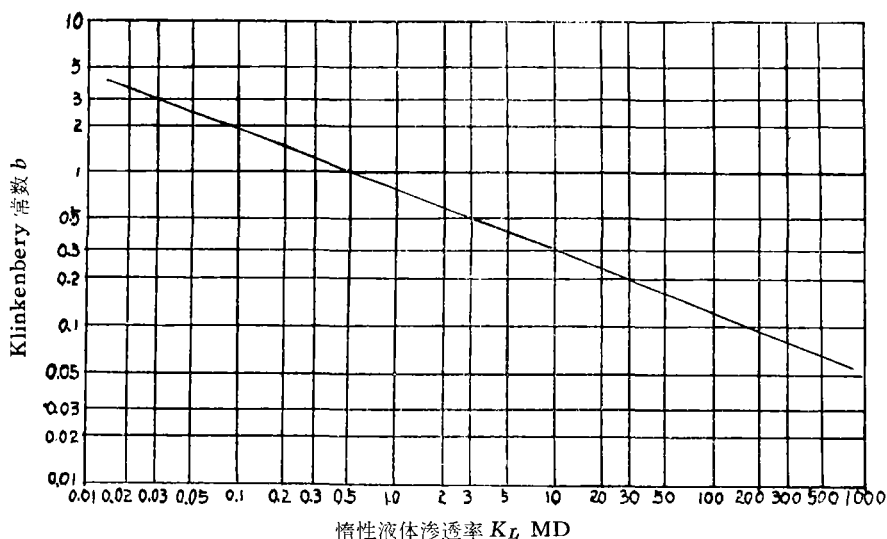


图2 Klinkenberg 常数 b 和渗透率相互关系 (根据美国 A.P.I.)

值, 由此作图可求得液体渗透率。

二、能产生反应的液体对渗透率的影响

虽然, 水在一般情况下通常作为惰性液体, 但在很多储油岩组份中存在着膨胀性粘土, 从而在渗透率测定中, 水变为常见的产生反应的液体, 它改变了多孔介质的内部几何形状。这些现象虽然不破坏达西定律, 但是形成了一个新的介质, 其渗透率取决于这一新介质内部的

几何形态。

在含水状态下, 粘土膨胀的影响对于美国墨西哥湾致密的砂岩和在加利福尼亚州的 arkocai 沉积物的渗透率测定特别明显。粘土水化作用的程度是水的含盐量的一个函数, 可以看到用空气测得的与用淡水测得的渗透率, 相差可达 50 倍或更大。

表 2—6 是水含盐量对岩样渗透率的影响。

表 1 水含盐量对天然岩心渗透率的影响 (以每加仑中氯离子含量克/加仑来表示)

地区	层位	K_a	K_{1000}	K_{500}	K_{300}	K_{200}	K_{100}	K_w
S	34	4080	1445	1380	1290	1190	885	17.2
S	34	24800	11800	10600	10000	9000	7400	147
S	34	40100	23000	18600	15300	13800	8200	270
S	34	39700	20400	17600	17300	17100	14300	1680
S	34	12000	5450	4550	4600	4510	3230	167
S	34	4850	1910	1430	925	736	326	5.0
S	34	22800	13600	6150	4010	3490	1970	19.5
S	34	34800	23600	7800	5460	5220	3860	9.9
S	34	27000	21000	15400	13100	12900	10900	1030
S	34	12500	4750	2800	1680	973	157	2.4
S	34	13000	5160	4640	4200	4150	2790	197
S	34	7640	1788	1840	2010	2540	2020	119
S	34	11100	4250	2520	1500	866	180	6.2
S	34	6500	2380	2080	1585	1230	794	4.1
T	36	2630	2180	2140	2080	2150	2010	1960
T	36	3340	2820	2730	2700	2690	2490	2460
T	36	2640	2040	1920	1860	1860	1860	1550
T	36	3360	2500	2400	2340	2340	2280	2060
T	36	4020	3180	2900	2860	2820	2650	2460
T	36	3090	2080	1900	1750	1630	1490	1040

这里 K_a 指空气平均渗透率

K_w 淡水平均渗透率

K_{500} 岩样对于每加仑水溶液中氯离子含量 500 克时液体渗透率。

淡水由于水化作用而引起的岩石胶结物质的膨胀是一个可逆过程。含盐量很高的水, 可以来回流经岩心, 使渗透率恢复到原来的大小。图 3 是各种可以产生反应的液体的可逆效应。

必须注意实验室所测定的渗透率值, 要利

用与岩层水盐度相应的水测得的液体渗透率来校正。图 4 是岩样空气渗透率和层间水渗透率的关系曲线, 美国墨西哥湾和加利福尼亚州的砂岩的岩层渗透率, 通常显得比在实验室用空气测定的渗透率低。

岩样在地层中承受的超载压力, 当岩心从岩层中取到地面上时, 所有外加压力消失了, 岩石的构架可向各个方向膨胀, 部分地改变了岩心内流体流动通道的形状。由于超载压力造

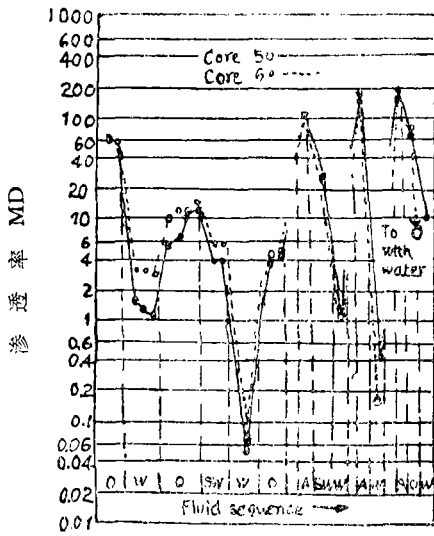


图3 两个 Staven 砂岩按序在多种液体中测得的渗透率的变化情况。

O 油 A 空气 Sw 盐水
W 淡水 岩心 5 —— 岩心 6 - - - -

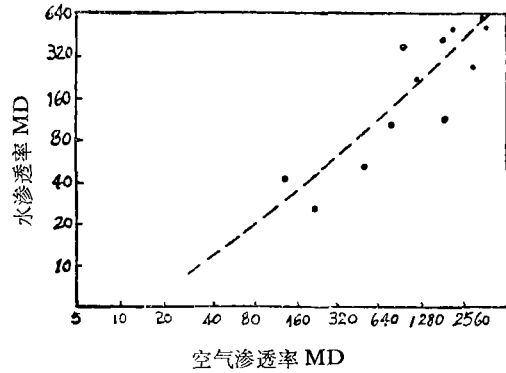
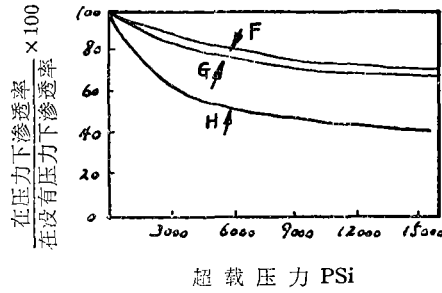
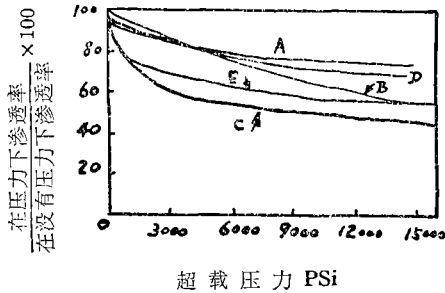


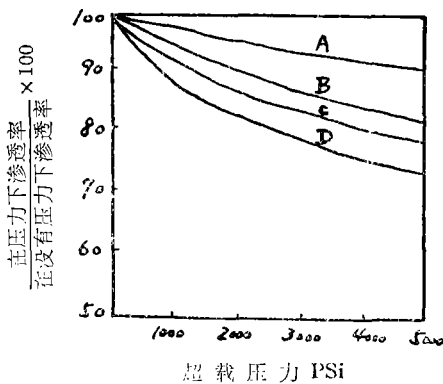
图4 空气和盐水渗透率的相互关系
水中氯化物浓度为 2,0000~2,5000 ppm
即(2%~2.5%)

成岩心压实，在不同岩层的渗透率中，甚至可以降低到 60%。

图 5 说明了这些变化



(a)



(b)

- (a) A 科罗拉多 3.96 MD
- B 加利福尼亚州南部海岸 40.9 MD
- C 加利福尼亚 Saw Joaguin Valiey 45 MD
- D Arigona 4.36 MD
- E Arigona 632 MD
- F 加利福尼亚州 Saw Joaguin Valley 40.5 MD
- G 加利福尼亚州 Saw Joaguin Valley 55.5 MD
- H 加利福尼亚州南部海岸 318.8 MD
- (b) A 密西西比 Tuscalose 229 MD (孔隙率 15%)
- B 密西西比下 Tuscaloss 163.24 MD
- C 加利福尼亚州南部海岸 335.25
- D 加利福尼亚州落山机盆地 110.22 MD

图 5 渗透率在超载压力下的变化

可以看出，某些比别的岩层更易压缩的岩层要求测得很多数据来定出经验校正值，从而可以将地面测得的渗透率校正到超载压力下的渗透率。

渗透率与孔隙率一样，是一个变数，对每个岩样都是可测的。为了更好地了解岩石中液

体流动的情况和减少岩样渗透率测定次数，必须作出孔隙率、渗透率，表面积，孔隙大小和别的参数的相互关系曲线，进行研究。

(李汉忠译自 Petroleum Reservoir
Engineering Physical Properties)

毛主席语录

什么叫工作，工作就是斗争。那些地方有困难、有問題，需要我們去解决。我們是为着解决困难去工作、去斗争的。越是困难的地方越是要去，这才是好同志。

《关于重庆谈判》