

后，研究了在混合物中煨燒的菱鐵礦顆粒與其他碳酸鹽的接觸關係。最後，研究了含有菱鎂礦—菱鐵礦和白云石—鉄白云石的碳酸鹽系列的碳酸鹽岩石和礦物。

按以下方法進行了研究。取大小為 2×2 公分的一小塊碳酸鹽岩石(礦物)。用它做成 $2-3$ 公厘厚的薄板。把這塊薄板或許多這種薄板，放在坩堝爐內于試驗溫度下煨燒。在試驗的同時要測定溫度。使薄板逐漸變熱到試驗溫度，並在它完全冷卻後從坩堝爐中取出。在顯微鏡下研究時會見到，在煨燒之後一種碳酸鹽改變了原來的顏色，其他仍舊未變。經煨燒後，在礦物顏色上有了顯著差別，就可能研究其構造及結構的相互關係。為了詳細研究碳酸鹽岩石(礦物)，用煨燒過的薄板製成薄片，以便在顯微鏡下檢查。

用所提出的方法研究碳酸鹽岩石和礦物中的Ca、Mg、Fe的碳酸鹽類表明，在菱鐵礦分解的溫度($500-550^{\circ}\text{C}$)時，僅是菱鐵礦—菱鎂礦的鎂鉄碳酸鹽系列分解。它的分解產物呈黑褐色。在薄片中的他們也是這種顏色，並且是不透明的。菱鎂礦、鉄白云石、含鉄白云石在這種溫度下不分解。其顯著的光學性質不變。菱鎂礦主要是在 $600-650^{\circ}\text{C}$ 溫度下分解。在煨燒之後的細小菱鎂礦變為淺玫瑰—白色或淡黃色。在煨

燒之後的淺玫瑰—白色菱鎂礦中的鉄($\text{FeO}=0.45\%$)幾乎是很微了。決定其玫瑰色色調的，顯然是錳的混合物。含鉄混合物在 $3-5\%$ 的菱鎂礦已經染成淡黃色。菱鉄礦在薄片中變為暗灰色，幾乎是不透明的，均質體。白云石、含鉄白云石和鉄白云石在這種溫度下依然不變。據此，在薄片中就很容易把白云石—鉄白云石的含鉄碳酸鹽系列與菱鎂礦—菱鉄礦的含鉄碳酸鹽系列區別開。以作者經驗確定，使碳酸鹽岩石加熱必須不引起其結構的顯著破壞。最近有研究碳酸鹽結構關係的可能性。在煨燒時，分解礦物和未變化礦物留有清晰界限。被分解的含鉄碳酸鹽染色深度，決定于礦物中鉄的百分含量。

從上述中可見，為測定Ca、Mg、Fe的碳酸鹽類所提出的方法較之染色法有許多優點。但也還有些缺點。其主要缺點是碳酸鹽分解的溫度不僅決定于它本身的性質，雖然這是主要的，而還決定于它的分散程度、混合物的混雜程度等等。在許多情況下必須注意這些。但為了鑒別是哪一類碳酸鹽，這些缺點就不存在，因為按其本身分解的溫度，他們有着顯著的差別。

(王振波摘譯自“Физические Методы Исследования Осадочных Порода И Минералов” 1962.)

岩石有效孔隙度、滲透率及碳酸鹽測定方法的某些問題

M. K. 卡林柯

測定岩石有效孔隙度、滲透率大小的重要性為眾所周知。計算石油及天然氣這種礦產儲量時，有效孔隙度是原始數據之一。在所有流體力學計算中都要涉及及到滲透率的大小，據此確定鉆井間距、它的工作制度，殘余石油數量等等。

總之，知道岩石滲透率的實際大小是具有很大的科學意義，因為油氣田的形成甚至石油成因的一系列假說也往往都是建立在它的基礎上。因此很顯然地，改進物理性質的研究方法主要是為了提高測定的精確度，以便使被測定的數值能尽可能反映出岩石內部所具有的物理性質。

為了解決該項任務必須查出引起測定數值與實際數值之間產生偏差的原因。這些原因如下：

(1)斷續性的觀察；(2)被測定的岩樣較小；(3)當岩石由地下采出及準備分析樣品的過程中，由於周圍條件的改變而引起岩石性質的變化；(4)測定時的條

件與礦藏所處的(壓力、溫度)條件有很大的差別；(5)分析精度。

在這個報導中我們不能停留在所有這些原因上，如所周知，其中某些影響是可以通过數學統計法來解決。

對厚層狀岩層來說，在測定了較小的樣品的情況下，所獲得的資料可靠程度問題是值得特別研究的，可惜，這個問題還沒有充分地研究過。

當岩石由深部提升到地面時由於壓力、溫度條件的很大改變，而影響岩石物理性質的問題，也需要專門研究。我們首先要研究準備測定有效孔隙度和滲透率分析樣品所用方法的影響。

如所周知，根據一般標準，在樣品分析前要在 105°C 溫度下把岩石中的水份烘干。但是在這過程中引起了岩石結構和構造的某些變化，從而導致了岩石物理性質的變化。可見所測定出的數值已不能代表在

自然条件下岩石的性质，而是在分析前的准备过程中就已变化了的性质。

这些变化特点取决于岩石的成分和结构。在那些组分没紧密联系的那种岩石内，当烘干后能够发生构造变化，其中，改变这些组份的相互配置，从而出现新的裂隙和孔隙空间。在粘土质岩石中由于水蒸汽的失去作用更为厉害，这种类似的过程，进行得非常强烈。实际上，这种岩石的结构在很大的程度上是取决于水份蒸发作用比自然作用更强。

许多研究者都曾指出，泥岩在烘干后其孔隙度增加，测得的同类型岩石的有效孔隙度不能认为是正确的(A. A 哈宁, A. И. 克里纳里等)。但是，最近在正式手册中有这种情况，由于在许多实验室里继续使用所說的方法测定泥质岩石的有效孔隙度，结果是使孔隙度数值偏高，所以我们大家都认为必须让研究者们注意到这种情况。对于坚硬的孔隙岩石烘干作用过程的影响不大。因为饱和在岩石中的地层水含有盐类，后者在烘干岩样时沉淀在孔隙壁上，从而使孔隙容积减小。进行计算的结果表明，沉淀出的盐类占据孔隙容积的百分数，是取决于岩石的总孔隙度和地层水的

矿化度(表1)。

表1. 由于包含在孔隙中的NaCl溶液的沉淀而引起岩石总孔隙的变化
(对孔隙总体积的百分比)

溶液浓度 %	溶液密度 d_{20}°	总孔隙度 %		
		10	20	30
1	0.005	0.05	0.10	0.15
2	1.012	0.09	0.18	0.27
4	1.027	0.19	0.36	0.55
10	1.071	0.47	0.95	1.42
20	1.480	0.95	1.90	2.85
26	1.197	1.24	2.48	3.72

由表1中可看出，对具有很大孔隙度的岩石来说，仅仅是在溶液浓度比较高的情况下，沉淀出的盐份对测定精度按1%计算的孔隙度总值才有影响。偏差的最大值显然是不应超过4%。

但是，沉淀出的盐份对有效孔隙度的数值有着大得多的影响。在图1中表明，在105°C 温度下烘干后的砂岩在饱和前、后平行测定的有效孔隙度结果。

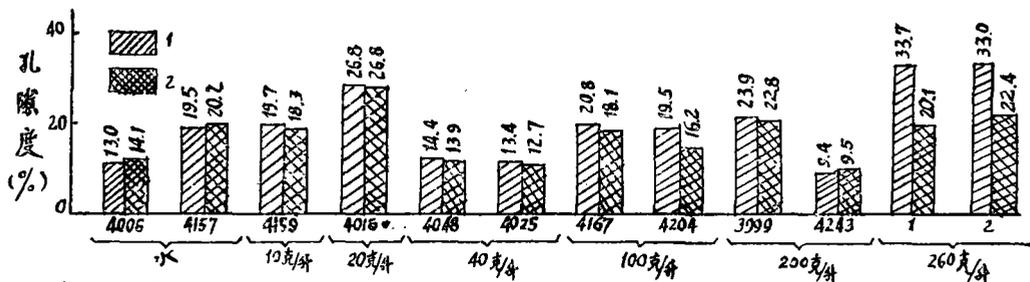


图 1. 在105°C下烘干后，以不同浓度的NaCl溶液饱和了的样品的有效孔隙度变化。

1——饱和前的有效孔隙度
2——饱和后的有效孔隙度

从图1中看出，溶液浓度越大，孔隙度绝对值越高，则测定值与实际值之间的偏差就越大。对有效孔隙度达33%的样品来说，曾出现了最大偏差；以NaCl饱和溶液浸泡过的并烘干后，其孔隙度则下降了26%。

当盐份烘干时对岩石渗透率也有显著影响。图2是表明在不同浓度的NaCl溶液饱和前、后并烘供干过的砂质岩石的气体渗透率的平行测定结果。

从这些资料中看出，只有当溶液浓度超过100克/升时岩石气体渗透率才开始显著减小。对所描述岩样的有效孔隙度和渗透率测定结果对比，就不难看出，沉淀出的盐份对这些数值的影响是不一样的：当溶液浓度较小时，只对孔隙度有影响，仅在浓度较大

时，才对渗透率有影响。

类似的规律性显然同这些有关，即当溶液浓度较小时，盐份主要是在岩石孔道的扩大部位或在封闭孔道内沉淀下来，只有当溶液浓度较大时，盐类的沉淀才开始影响到岩石孔道的连通断面。

因此完全可以看出，在采用标准的方法准备岩石分析样品时，所测得的孔隙度和渗透率与实际数值相差很多。这种偏差程度决定于岩石的成分；结构和构造以及包含在岩石内的流体成分。

我们认为测定条件对孔隙度和渗透率的影响首先是温度，其次是压力。

在理论上说温度条件不应当影响到渗透率的大

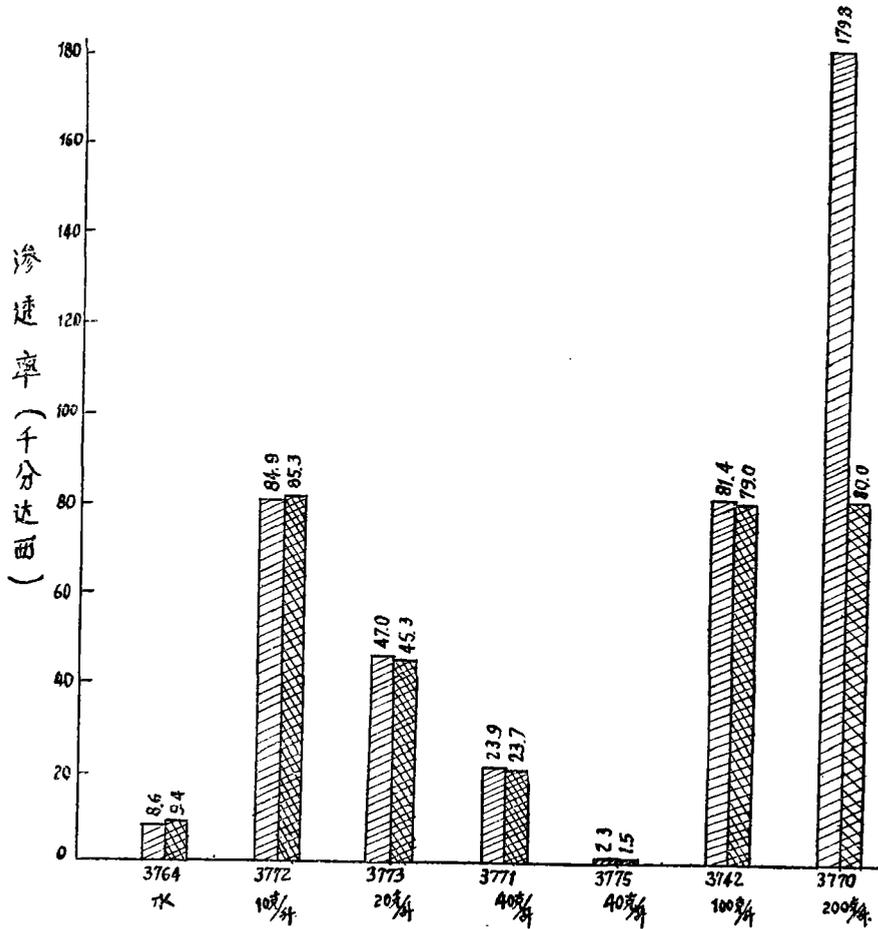


图 2. 在饱和各种浓度 NaCl 溶液后并在 105°C 下烘干过的样品的渗透率变化
图例参见图 1

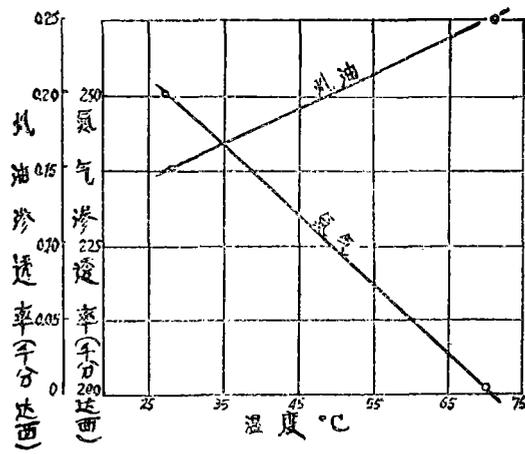


图 3 各种流体在不同温度下样品渗透率的变化

小,但正如大家所知道的,计算是根据达西公式,由于温度影响到流体粘度,而粘度又是达西公式中的一个参数。

但实验工作结果证明,实际上温度条件的变化导致了渗透率的变化。在图3中说明对同一样品在各种温度下所测得的气体渗透率和煤油渗透率的结果。

从图3可以看出,气体渗透率随温度升高而降低,而煤油渗透率则升高。同时变化的程度是相当大的:当温度升高到44°C(从27°C到71°C)时气体渗透率几乎减低了20%(从250到202千分达西),而煤油渗透率(在同样情况下)则增加了17%。

类似的图解是很明显的,如果考虑气体受到高温则它的粘度也增加。煤油也和任何其他液体一样,随着温度上升粘度降低。

我们了解压力影响对所测定数值的意义。根据I. 法特(Fatt)的资料,由于受到各方面的压力作用使

砂岩中的孔隙体积减小,并且在压力增高由1到280公斤/公分²时,这种作用最强烈,压力由280公斤/公分²到460公斤/公分²时,这种变化很微弱,而压力由460公斤/公分²到740公斤/公分²时则几乎没有有什么变化。

外部压力对渗透率的影响更大。有关这方面的某些资料在H. C 古多克和M. M 库萨柯夫的著作中曾引用过。我们研究所引用的资料表明,对所确定的储油岩类型,符合于在外部压力下所测定的气体渗透率变化曲线(图4)。例如,中粒砂质储油岩的特征是渗透率的变化为较缓的曲线(II),这时,渗透率的大小可以在比较大的范围内变化。

同时在具有裂隙的岩石中流体流量沿曲线很快减低(I),并且数值的变化是比较大的。

顺便指出,这样一来就有可能查明在裂隙孔隙储油岩中裂隙所起的作用。

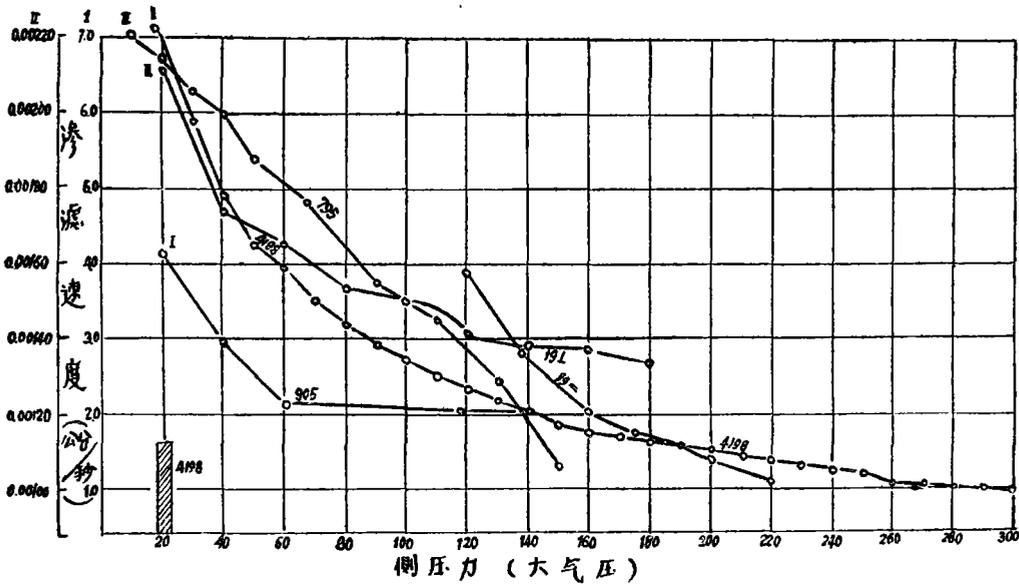


图4 氮气通过岩石样品后在УПН-IV设备中测定了由侧压力大小所决定的渗透率变化
细斜线条表明通过ГК-5型仪器所测定的4198号样品的渗透率

同时,从所引用的资料可以看出,渗透率的大小主要是取决于外部压力的大小。因为在标准岩心中,不调整对岩样的外部压力,为了要知道压力大小,我们对同一样品用标准岩心和 УИПК-IV 型仪做了气体渗透率的平行测定,其结果表示在图4中,

由图4中可看出,在标准岩心中压力几乎等于120公斤/公分²。如果认为在矿藏内岩石所承受的压力等于扣除0.85地层压力后的地质静压力,那么在标准岩心中所测得的气体渗透率,它可能代表在830公尺深度下岩石所具有的特性①。在更大的深度下岩石

① 数学是按如下方式确定。承受压力 $P_{сж} = 120$ 公斤/公分²。若以 x 表示深度,则地层压力 $P_{пл} = 0.1x$, 而地质静压力 $P_{госст} = 0.23x$, 那么 $P_{госст} - 0.85 P_{пл} = P_{сж}$ 或 $0.23x - 0.85x = 120$, $x = 830$ 公尺

的滲透率更小，而在較淺時岩石滲透率較大。

因為對岩樣作用的壓力大小取決於在夾持器中使其壓緊時的應力，塞子的磨損程度，那麼，很顯然，每一次都可能獲得不同的結果。

由於這個原因，對同一樣品所進行的氣體滲透率測定，在各種儀器和不同的實驗室中，其結果是彼此不同的。

由此可見，由於實驗室測定條件與地層條件的差別，因而所測定的孔隙度和滲透率的大小與地層條件下的實際數值能有很大的差別。

甚么方法能克服這些缺點呢？為了使所測定的數據能充分說明在深處的岩石所具有的特性，方法應如何改變？

首先使研究前的樣品必須保持原有濕度。為此，在提升岩心後對應當研究孔隙度和滲透率的所有樣品應該立即封閉起來。用特殊的裝置把樣品放在帶有金屬蓋子的玻璃罐里進行封閉是既迅速而又方便的方法。例如，在庫姆達格（土爾克明尼亞）已鉆穿試驗鉆岩心所選取的樣品就進行了封閉。正如本文所指出，在一年期間內雖然在較高溫度下，但放在那種罐子裡的岩石完全保持了原來的濕度。大概，在今後組織製造為封閉樣品用的專門的塑料瓶。

今後的研究工作應當按岩石的成分和結構進行。

較松軟的粘土岩的總孔隙度—— K_n ，應用間接的方法進行計算。即通過測定岩石應以具有自然濕度的岩石體積重量—— δ_n ，濕度—— W_n 和真比重—— δ_u 的測定結果，用間接方法來計算，其計算公式如下：

$$K_n = \left[1 - \frac{\delta_n}{\delta_u \left(1 + \frac{W_n}{100} \right)} \right] 100\%$$

因此，岩石的體積重量取決於岩石的自然濕度，則所計算出來的數值將真正代表岩石的自然性質。

對於膠結的岩石來說，在測定孔隙度和滲透率之前應當測定岩石中所含水分的總礦化度。如果水的礦化度高於10%（比重>1.074），那麼應先用溫的蒸餾水將樣品洗淨。為此，適當利用恆溫器中的溫水，使它經夾持器從裝有岩樣的ЛП-1儀通過①。

很明顯的必要性已被闡明，只有在УИПК-IV儀中進行滲透率的測定，才有可能使進行測定時的條件接近於地層情況。誠然，大量測定工作時這種裝置的方案需要極重要的修改和補充。改裝УИПЛ-IV型

儀器的詳細報導已載於我們的著作中。在這本著作中描述了某些儀器，是為了測定有效孔隙度和滲透率時提高勞動生產效率。

最後應當稍敘述一下岩石碳酸鹽含量的測定。在所有的指導手冊和教科書中，研究岩石物理性質時，為了把CO₂的體積（公分³）換算成重量單位（毫克），常引用表格。

如果仔細分析這表格的資料，那麼就不難看出，組成它的各個部分是不同的：在大气壓力為760毫米水銀柱的那一行的左邊，即小於760毫米水銀柱的部分，在相鄰兩行間的差值是0.007毫克。右邊的，即大气壓力大於760mm水銀柱高時（顯見，是由於計算成三位小數的原因），相似的差值是0.005毫克②。企圖找出計算這表格的公式是不可能的。僅僅能查明瞭這個表首先是出現在1914年出版的德國土壤學家F·華許薩菲（Wahuschaffe）的著作中，同時這個表是由工程師P·芬肯涅爾為賽布列爾儀而引証的。在這種情況下說明在編制表時已考慮到CO₂在HCl溶液中的溶解度，並在賽布列爾儀中測定時，經常採用固定體積為20cm³的HCl。

但是在以後，因為這時用任何數量的HCl，在任何儀器中計算CaCO₃的含量，這個表都發生變化了，因此不能認為它是正確的。

因為裝在儀器中的HCl數量不同，所以在原則上不可以編制把CO₂的體積數變成重量的換算表。這時可以按照如下公式進行換算：

$$P = \frac{(V+al)(B-W) \times 273 \times 1.977}{760(273+t)} \text{ 毫克,}$$

式中：P——CO₂含量（毫克）；

V——留在儀器中的CO₂量（公分³）；

a——在該溫度下CO₂在HCl溶液中的溶解度（公分³/公分³）；

l——HCl溶液在儀器中反應後生出的數量（公分³）；

B——大气壓力（毫米水銀柱）；

W——在實驗溫度下水蒸氣的彈性（毫米水銀柱）；

t——溫度（℃）；

有關CO₂的溶解度和水蒸氣彈性的全部必須資料可以在化學參考書中找到。

（郭和榮譯自“Физические методы исследования осадочных пород и минералов”1962）

① 據А.И.克里納里的情緒報導，用乙醚或四氯化碳在索克斯列特儀中提取岩石時，也獲得良好結果。

② П.Л.安東諾夫提醒我們注意這種情形。