

岩石矿物研究及其地质应用

关于有效孔隙率大于总孔隙率及其测定中若干问题的探讨

中心实验室 李汉忠

在油层物性孔隙率的测定中，部分岩样产生了有效孔隙率大于总孔隙率的不合理现象，这是不符定义的，目前各兄弟室正在探讨其倒大的原因。这里略述一下本人的看法。

在孔隙率倒大的例子中普遍发现三种情况：(1)岩性不均匀的岩样占90%以上。(2)在岩样无明显不均匀时一般相差不大，多数在误差范围之内。比较致密和疏松的砂岩较易发生这一问题。(3)凡是换算的岩石视比重，大于有效孔隙率测定的视比重时，一般都发生倒大现象。

从上述情况看来，我们认为孔隙率倒大主要是由岩样不均匀所引起，由于取样时，所取部分不同，受到局部位置变化的影响，另一方面，也受到实验条件的影响，如加工、仪器精度等分析上的误差，目前总孔隙率一般都采用岩样真比重和视比重之间的关系即 $m\% = \frac{D-\delta}{D}$ 式来计算，因此真比重 D 和视比重 δ 的测定误差，也影响到总孔隙率的变化，但一般此种影响是次要的。现就岩样，加工和分析方法三个方面分述如下：

一、岩 样

(一) 岩性不均匀的岩样：

岩样岩性的均匀与否，直接影响到孔隙率的测定，尤其是总孔隙率的测定，因取双样不可避免的受到位置变化的影响，大部分倒大是由此引起的，部分岩样。采样间距较大，岩性不一，变化较大，肉眼明显可见的如砾石分布、泥砂互层和结核等，肉眼不明显的如矿物和胶

结物等，表1是由于岩样不均匀所引起的总孔隙率的变化。

表 1

样号	岩 性	真比重	视比重	孔 隙 率	
				有效	总
1	泥质粉砂岩	2.66	1.97~2.00	25.4	26.0~24.8
2	泥质粉砂岩	2.68	1.98~2.22	20.6	26.1~17.2
3	含油细砂岩	2.71	1.97~2.17	23.4	27.3~19.9
4	含油砂岩	2.62	1.78~1.98	27.1	32.1~24.4

从表1可知，以4号为例，视比重从1.78变化到1.98，变化0.2，约11%，而总孔隙率也从32.1变化到24.4，变化7.7，约24%，因此，对于不均质岩样，如何使所取试样代表岩样的实际情况及考虑到总孔隙率和有效孔隙率的一致性，还有待在今后工作中加于注意和研究。

岩样一般变化不大，看上去比较均匀，虽然位置变化影响较小，也会引起孔隙率的倒大，在孔隙率很大时或对于有效孔隙率接近于总孔隙率的岩样来说，真比重和视比重变化0.01~0.03是经常发生的，由此而引起的孔隙率倒大亦是可能的(表2和3)在这种情况下，有时我们取另一块样品，真比重和视比重相应变化0.01~0.03，则总孔隙率大于有效孔隙率，从而符合实际情况。

表 2 由视比重引起的总孔隙率的变化

样号	岩 性	m 有	第一次		第二次	
			δ	m 总	δ	m 总
5	泥质粉砂岩	13.6	2.31	13.2	2.29	13.9
7	含少量细砾-中细砂岩	27.5	1.95	27.2	1.94	27.6

表3 由真比重引起的总孔隙率的变化

样号	岩性	m _有	第一次		第二次	
			D	m _总	D	m _总
9	灰白砂岩	16.8	2.66	16.5	2.68	17.2
10	砂岩	16.4	2.69	16.0	2.71	16.6

(二) 含重矿物的岩样

重矿物的分布均匀与否, 是影响总孔隙率测定的一个因素。重矿物比重在2.86以上, 最大可大于5, 而岩样比重一般在2.66~2.70之

间, 在重矿物多时, 取样稍不均匀, 即可在视比重和真比重测定上引起很大的偏差, 而在砂岩和粉砂岩中, 重矿物如黄铁矿等还是经常存在的, 表4是二队送来的外检样品中, 由于FeS₂分布而引起孔隙率倒大, 因FeS₂比重在4.95~5.20之间, 因而易引起视比重值的偏大, 由于来样较少, 未能进行真比重测定, 表中暂按经验数据2.68计算, 是偏小的, 经过抽提后测定的有效孔隙率数据基本一致, 略为偏小。从表4中可以看出重矿物存在时对测定的影响。

表4

样号	岩性	真比重	视比重	孔隙率		备注
				有效	总	
17	泥岩(含FeS ₂)	2.68	2.58	15.1	3.70	} 2.68经验数据偏小, 视比重(饱和法)
27	砂岩(含FeS ₂)	2.68	2.68	2.50	—	
408	灰白色砂岩(含少量FeS ₂)	2.68	2.24~2.29	15.9	16.4~14.5	
21	灰白色砂岩(含少量FeS ₂)	2.70	2.21~2.29	13.5~16.4	18.2~15.2	

(三) 含生物遗体的岩样:

含生物遗体多的岩样, 由于其生物比重、结构不同于岩样颗粒, 且往往含有丰富的有机质, 如灰岩和砂岩等, 常给真比重测定带来一定的困难, 我们认为, 在真比重测定中一般有偏低的现象, 从而导致了总孔隙率的减少。

生, 从而影响原始孔隙度的测定。在石油地质实验文摘1963年第四期中曾指出“: 岩样烘烤的脱水过程, 对胶结物是有破坏作用的, 有时会引起岩石结构和构造的某些变化, 从而导致物理性质的变化, 在粘土质岩石中, 由于剧烈的脱水作用, 在烘干后其孔隙度增加, 测得的有效孔隙度数据有偏高的现象, 而对于坚硬的岩石, 烘干作用影响较小”。

二、岩样加工

岩样分析前的准备工作, 包括取样, 抽提, 研磨和烘样, 这是测定中的必要步骤。加工的目的在于砸取小块样品, 便于测定, 为此, 必须保持岩样的原始代表性, 尽量减少在加工过程中的人为影响, 但在目前测定中, 不可避免受到抽提, 敲击及烘烤等影响, 岩样在砂轮机上磨圆, 去棱角后, 部分颗粒充填孔隙开口, 易造成视比重的偏大。在抽提, 砸取和烘烤过程中, 胶结差的岩样胶结物易受到破坏, 尤以泥岩和疏松砂岩较为显著, 有裂隙的常沿自然界面裂开, 部分泥岩在烘干后常有新的裂隙产

根据工作证明, 岩样测定有效孔隙度或视比重后, 经过抽提再测, 普遍发现有效孔隙度减小而视比重偏大的现象。表5是岩样有效孔

表5

样号	岩性	抽提前		抽提后	
		δ(饱和法)	有效m	δ(饱和法)	有效m
15	砂岩	1.89	29.0	1.91	28.3
16	砂岩	2.04	23.6	2.06	22.5
17	砂岩	1.77	34.1	1.79	33.2
18	砂岩	2.13	20.4	2.16	19.3
19	砂岩	2.20	17.3	2.24	16.2

隙度和视比重(饱和法)抽提前后的比较。含油岩样的抽洗不净,也是其影响因素之一。

岩样水份的烘干程度与视比重测定有着密切的关系,问题在于我们不知道什么时候烘干到恒重,操作规程上为4~5个小时,对部分岩

样来说是不够的,根据苏联沉积岩研究法介绍,测定体重(视比重)烘样时间约24小时。为此对于泥岩或含水份略多的岩样适当增加烘样时间是必要的。

表6 是烘样时间与岩样重量损失的比较

样号	岩性	原重	烘样时间(小时)				
			2	4	6	8	14
A-16	砂岩	10.28		10.16		10.16	
A-9	粉砂岩	13.08		12.92		12.92	
A-20	粉砂岩	9.03		8.95		8.95	
51	泥岩	12.83	11.97	11.78		11.75	
51	泥岩	5.31	4.94	4.90		4.89	
58	泥岩(生物)	11.17	10.59	10.43		10.39	
58	泥岩(生物)	19.58	18.63	18.33		18.25	
58	泥岩(生物)	9.96		9.30	9.30		9.28
58	泥岩(生物)	14.29		13.30	13.30		13.25
33	粉砂质泥岩	18.58		17.81	17.81		17.79
33	粉砂质泥岩	15.23		14.65	14.62		14.60

从上表可知,砂岩含水份较少,烘样4~5个小时基本到达恒重,而对于水份多,岩块大及渗透性差的岩样,尚须增加烘样时间。

其次,岩样的孔隙体积从真比重和视比重之间差数中求得,因此,在测定真比重时,尽可能不要把颗粒粉碎,而又要把相互之间颗粒分开,目前在将岩样通过60~80目孔筛时,部分颗粒粉碎,致使在测定时空气不易排净,而造成测定时真比重值的偏小。

诚然,岩样加工过程中部分影响因素是相互抵销一部分的,但这些因素只有在孔隙率倒大时才能引起测定者的重视。

三、实验方法

一、真比重

真比重的测定,一般都采用比重瓶法,并在真空中排除空气,在测定中存在以下几个问题(1)真空抽气法和煮沸法不能完全排除吸附在颗粒表面上的空气,因而使比重值偏小。(2)在粘土质岩石颗粒表面有张力,使颗粒周围的水层发生收缩。(3)在粘土矿物含量较多

时,特别是胶岭石(蒙脱石)存在时遇水膨胀,引起颗粒体积增大而使比重值偏小,限于目前实验条件,在测定中发生0.01~0.02误差是可能的,则总孔隙率也相应变化0.3~0.6,对于孔隙率接近的岩样来说,由此引起孔隙率倒大是完全可能的。(见表7)

表7

样号	岩性	m _有	第一次		第二次	
			D	m _B	D	m _B
20	砂质泥岩	22.3	2.68	22.0	2.69	22.3
21	含砾中-细砂岩	24.2	2.65	24.2	2.66	24.4
22	含细砾中-细砂岩	27.5	2.67	27.4	2.68	27.6
23	粉细砂岩	28.4	2.68	28.4	2.70	28.9

测定中的几个问题:

(一)经验数据2.68的应用:采用苏联恒比重法中的真比重=2.68来换算总孔隙率是不够的,它只适合于均质的石英砂岩,一般砂岩由石英、长石、云母及少量轻重矿物组成,而以石英为主,石英比重为2.65~2.66,因此

一般岩样真比重在2.66~2.70之间;平均2.68,泥岩为2.71,但真比重是随着矿物相对含量而变化,尤其是当轻重矿物含量变化时,若仍取2.68,那肯定会产生偏大和偏小的现象,为此,必须从中国复杂多变的陆相油层出发,以实测来测定真比重,表8是采用经验数据2.68和实测数据的比较。

表 8

样号	岩 性	m _有	真比重	总 孔 隙 率		
				2.68	实测	误差
24	灰色泥岩	20.3	2.75	18.7	20.8	±2.1
25	泥质粉砂岩	20.4	2.64	22.8	21.6	±1.2
26	泥质粉砂岩	25.4	2.66	26.5	25.9	±0.6
41	生物灰岩	6.9	2.82	2.2	7.1	±4.9

(二) 比重瓶和称样重量的关系

从理论上说,比重瓶的体积与岩样重量的多少没有什么关系,但从实际测定中是有影响的,由于试样过多,在抽气过程中不能抽净和外溢。为此,我们认为一般比重瓶以100ml数量约15克,50 ml的称量约10克,25 ml的称量约7克为宜。

(三) 液体的选择

根据局颁操作规程及参阅工程地质和土工试验等有关书籍,一般都采用蒸馏水测定,而对含盐土(可溶性盐)及粘土矿物较多的岩样,用中性有机试剂(如煤油)效果较好,因它可以防止粘土矿物的膨胀和减少可溶性盐及表面张力的影响,尤其是对于泥岩,更是如此,但由于我们一般测定的都是以砂岩为主,且用水较为方便,故被一般实验室所采用,我们认为,对于砂岩其影响较小,故在测定砂岩时用蒸馏水,而在测定泥岩或粘土质较多的岩样时采用煤油。

二、视比重

视比重一般都采用封腊法测定,也有采用油浸饱和法的,在封腊法测定中,常受到岩石水份的烘干程度、腊的温度等影响,但和油浸

法比较起来,有其明显的优点,鉴于目前实验条件,和真比重测定一样,由于视比重变化0.01~0.03,对于孔隙率接近的岩样来说,由此引起孔隙率倒大是完全可能的。表9是由视比重而引起的总孔隙率的变化。

表 9

样号	岩 性	m _有	第一次		第二次	
			δ	m _总	δ	m _总
28	粉细砂岩	28.3	1.93	28.0	1.92	28.4
29	泥质砂岩	22.3	2.10	21.9	2.09	22.3

上述二方法测定视比重,从理论上说是一致的,但在测定中,饱和法数据不够稳定,偏差较大,那肯定是由于实验方法不当所引起的,按照擦油不净的影响,应该是有效孔隙率偏高,而视比重偏小,在我们测定中发现,饱和法视比重小于封腊法视比重,那是擦油不净所引起的,在总孔隙率换算中,凡是封腊法视比重大于油浸饱和法视比重时,一般都发生倒大现象,反之则符合实际情况。

三、有效孔隙率

饱和法有效孔隙率测定,目前尚不是一个完善的方法,在擦油过程中,油擦净与否,只凭主观的推断,我们说表面无油渍为止,但是总附有一小层煤油薄膜,从而影响着有效孔隙率的测定,对于几乎没有孔隙的岩样来说,显得较为明显,在擦油称量时发生0.02克左右的误差是完全可能的,则有效孔隙率相应偏高0.4~0.8,这就增加了孔隙率倒大的可能性。

初步结论

孔隙率倒大原因除了岩样岩性不均匀外,也还由于在测定工作中有效孔隙率偏高或总孔隙率偏低,对于总孔隙率来说,一般都发生真比重的偏小和视比重的偏大,反之可能性是很少的,上述影响因素,如若单独来看,往往不太明显,但在孔隙率测定中,往往几个同时发生,加起来就形成不可忽视的影响因素。

然而，更重要的是，在总孔隙率和有效孔隙率的比较以及视比重和真比重的计算时，其数据都当作在同一个试样上测定的数据来处理，实际上极均匀的岩样基本上是没有的。考虑到岩性局部位置变化时，只要总孔隙率大于有效孔隙率，总认为是对的，至于偏高和偏低一些，这里就不作讨论的必要，只有在倒大时，才引起测定者的重视。

解决目前孔隙率倒大，最好是采用同一块

试样，但这是不现实的，故首先要解决不均匀岩心的取样问题。其次，提高分析精度，在改进和提高目前测定方法的基础上，开展新方法的试验。气体法测定孔隙率是使一个试样可作几次分析的一种方法，虽然这一方法尚在试验阶段，但可以作为今后的一个研究方向。

上述看法，由于水平有限，不妥之处尚望批评和指教。

峨边震旦系中的静水豆鲡状岩

成都石油科研所 张蔭本

由于震旦系地层的高产气量，打开了既往石油地质工作者们对它的沉默。

震旦系地层在某区主要是一大套白云岩，以它特有的岩石构造和结构而一眼能够识别出来——肾状、葡萄状、玛瑙状、花纹状、筛筛状、迭层状和各种形态的蓝绿藻结构。但更为独特的是在峨边金口河剖面的震旦系洪桩坪组下段，发现了一层静水成因的豆鲡状岩。

大概一提到豆鲡粒，岩石工作者很自然地会联想到：近岸、滨岸、强烈搅动和不断滚动的沉积环境。可是，在静水环境中，只要具备了静水豆鲡粒生成的条件，同样会有豆鲡粒的造成。

某区震旦系时的海水特别浅，因而阳光充足，氧气充沛，适合于大量低等植物的繁殖——藻类的繁盛。尽管某些同志还不承认，可是经专门研究藻类的中外专家，已经鉴定出了不少科、种，而且，熟悉沉积岩鉴定的同志，当他们看到震旦系的岩石薄片时，他们至少会说不是化学沉淀作用或者机械作用所能具有的结构。

在海底丛生大量藻类的环境下，反映出海水较平静，这也可以从 200 多个薄片未发现内碎屑得到证明。退一步说，即使有些风浪的搅动，也难以影响到颗粒的上抛、滚动，因为底面有大量藻丛的铺盖。因此，所发现的豆鲡

粒是属于静水成因的。另外，它还可以从豆鲡粒的本身构造得到证实。

1. 豆鲡直径一般在 2~2.5 mm，有些在 1 mm 左右，同心核全部是偏心状，因为其核心与底面的接触处，接受沉淀的物质最少，所以造成了豆鲡粒的高度不对称性，使成为大环套小环的迭环状（见图 1）。而搅动成因的豆鲡粒的同心层必定是高度的对称，像打靶的靶环一样。



图 1 静水沉淀的豆鲡粒偏心，高度不对称，结晶极为细小。（推断的原始面貌）

2. 豆鲡的“弧形面”方向一致，并朝向层面。这能够说明是在固着不动的条件下产生的。

从图 1, 2a、b 可以看出，豆鲡在安静水介质环境下，单靠周期性的化学沉淀，由于固定不动，就造成了高度的不对称性。

安静的环境，使得陆原物质也缺乏，所以豆鲡的核心不是陆原小沙粒，而是与核心周围