

# 岩屑孔隙率、渗透率测定的试验

**编者按：**随着石油普查勘探的迅速发展，岩屑录井已成为深井的主要录井项目；过去用大块岩心测定油层物性的，现在要用岩屑测定。64年来，岩屑孔隙率与渗透率测定方法已在进行试验（石油地质实验1965年第四期等），并已用于生产。其中孔隙率测定从“人为”岩屑比较来看，偏差较岩心大得不多，但渗透率问题较大。因之就有人提出要重新考虑允许偏差。我们认为这个问题要考虑，但更重要的是岩屑测得的物性参数一般偏大还是偏小，其趋向与岩性有何关系，偏差幅度多大，应用价值如何，应用时应注意些什么。今后还应进行不同类型储油岩人为岩屑的测定工作，探明岩屑测定方法对各类储油岩的适应性。

六普与一普实验室均介绍了他们的工作经验与看法。六普实验室还整理了某井岩屑物性资料，对于这些资料能不能用提出了看法。一普实验室经验这里我们全文介绍；六普的在66年通县局双革展览会上已将资料普发，这里仅摘要介绍。此外，还介绍了中心实验室的工作。

最后希望野外井队在岩屑录井中尽量采取大岩屑，在送样时挑选具有代表性的岩屑，以便提高岩屑孔隙率与渗透率数据的可靠程度。

## 利用岩屑测定渗透率孔隙率的实验

### 第一普查勘探大队实验室

#### 岩屑渗透率实验方法与操作过程

1. 实验中所用的仪器设备均是原苏式“КИП”厂出产的气体渗透率仪测定的。在实验室中选择了34个岩心样品，先加工成长度为3cm直径3cm的圆柱体后，进行岩心渗透率测定。然后将每个岩心样沿着垂直层理方向锯成数块，代替岩屑样，并将每个锯开的岩心样品磨成2~6块直径为0.6~1cm长度0.2cm以上的圆片状体的岩屑试样，平行测定，然后取它们的平均值与岩心渗透率对比。在实验中三分之二的岩屑试样用封胶法测定，三分之一不封胶，用胶皮套放入钢筒中测定。二者所测定的结果除个别外，基本上一致。

#### 2. 操作规程：

岩屑渗透率的操作过程除个别手续稍有差别外，其它均和岩心渗透率的操作过程一样，简述如下：

#### 操作前的准备工作：

(1) 将加工好的试样放入烘箱中在100~105℃下烘干后，放入干燥器中冷却(含油样品应先将油提取干净后再烘干)。

(2) 准备好钢筒、短玻璃管、牛皮纸以及配制好的门捷列耶夫胶等。

(3) 用微分卡尺量好试样的长度与直径记录在原始记录上。

#### 操作过程：

(1) 先将试样放在25平方公分见方的牛皮纸上，仔细地多次的焊胶，逐步使胶密封于试样周围。

(2) 用一短玻璃管(其长度小于钢筒，内径略大于试样的直径)插在试样上面，并用胶焊牢，然后分2~3次将胶倾入钢筒内冷却。

(3) 将已封胶并冷却的试样去掉钢筒底下的纸，检查是否严密不漏气，试样截面沾胶与否。如有沾胶现象，在不影响质量下轻轻修饰。

(4) 将钢筒放在岩心夹持器内，上下垫好胶皮垫圈固紧。

(5) 轻轻打开氧气井和夹持器的阀门，每个样测定 3~4 次，每次测定前后压力差应待稳定后才读数。

(6) 测定完后，关好夹持器阀门，然后松开夹持器，取出试样，记录下当时测定下的大气压和温度。

3. 计算公式:

$$K = \frac{2 \cdot \mu P_b^2 l \cdot Q}{\Delta P \cdot F(P_1 + P_2 + 2P_b)} \cdot \frac{293}{273 + t} \cdot 10^6$$

4. 不封胶利用胶皮套测定法，其操作过程与计算公式和岩心测定的方法完全一样。在此不再重述。

根据实验的结果，岩屑渗透率平均值与岩心渗透率对比，基本上相符，除少数几个样超出误差范围外，绝大部分都在误差范围之内，而且误差很小。在 34 个样中，其中有 31 个在规定的误差范围之内，百分比合格率达到 92.2% (见表 1)

在表 2 中两种方法的测定下，同一个岩心样分成数小块岩屑试后，各小块的结果有的误差很大，有的接近误差。两种方法测定的各小块的平均值均与岩心渗透率对得起来，误差一般很小。其主要影响因素是岩性组成、结构和胶结物的均匀程度(见 2 表)。

这二个方法各有其缺点:

1. 封胶法: 其缺点主要是工作效率低，不能满足目前生产的需要。此外，质量不易掌握，胶的温度过高了造成试样周围表面浸胶，影响试样面积缩小，使结果偏低；温度过低则胶与试样或钢筒脱开，造成漏气，使结果偏高。

2. 胶皮套筒法: 该法工作效率虽较前者高，但也有缺点。如夹持器固得太紧，试样周围陷入胶皮圈内，同样使面积缩小，结果偏低。固得过松，造成漏气，结果偏高。为此上述两种方法均有待改进，或另找更好的方法。

表一

样品号	岩心渗透率 MD	岩屑胶皮套筒法测定渗透率 MD	岩屑封胶法测定渗透率 MD
1	2.862		2.186
2	1.800	2.369	
3	7.500	7.092	5.476
4	8.552		9.354
5	10.090	9.907	9.762
6	10.302		10.216
7	12.828		15.353
8	20.650	21.343	
9	20.270		22.714
10	33.389		32.396
11	31.553		28.293
12	53.880		53.015
13	66.817	67.342	70.518
14	79.130	52.557	79.533
15	101.932	90.870	90.123
16	101.550		95.624
17	91.883		102.260
18	120.883	119.076	130.807
19	136.800	112.790	139.983
20	160.106		151.773
21	163.626		158.278
22	263.480	270.108	
23	276.795		276.602
24	303.602		304.469
25	549.124	584.400	543.500
26	593.950		599.295
27	656.338		668.733
28	668.167		685.695
29	1052.763		1024.664
30	1062.186		1061.896
31	1131.000		1115.800
32	1597.299		1707.414
33	2236.464		2267.219
34	6.790	6.411	

表二

样编 品号	岩心渗透率 MD	岩心平均 渗透率 MD	岩屑渗透率 MD			样编 品号	岩心渗透率 MD	岩心平均 渗透率 MD	岩屑渗透率 MD					
			胶皮套筒 法测定	平均值	封胶法 测定				平均值	胶皮套筒 法测定	平均值	封胶法 测定	平均值	
1	2.862	2.862			2.001	12	53.880	53.880			50.221	53.015		
					1.937						2.186		64.716	
					2.621								44.107	
2	1.800	1.800	2.369			13	66.817	66.817	67.342		44.300	43.050		
											2.184		65.820	74.810
											2.250		106.230	112.175
											2.495		53.020	52.038
											2.670			
3	7.500	7.500	7.092			14	79.130	79.130	52.557		50.046	79.533		
											2.245		51.565	
											8.010	5.790	46.700	55.775
											6.270	5.810	58.700	105.910
											5.965	5.476		100.746
											5.085			80.003
4	8.552	8.552				15	101.932	101.932	90.870		104.570	90.123		
											7.770	4.977	76.820	73.000
5	10.090	10.090	9.907								82.651			
											6.320	5.231		129.084
6	10.302	10.302				16	101.550	101.550			49.425			
											7.575	9.762		73.654
7	12.828	12.828									140.000	95.624		
											12.238	9.762		131.933
8	20.650	20.650	21.343								63.375			
											10.250	10.216		94.870
											10.183			
9	20.270	20.270				18	120.883	120.883	119.076		102.260	102.260		
											15.161	15.356		141.325
											15.552			142.300
											27.708			118.242
10	33.389	33.389									121.359			
											14.859			120.000
											21.203			112.971
11	31.553	31.553				19	136.800	136.800	112.790		139.983	139.983		
												32.396	32.396	112.610

(续表)

样编 品号	岩心渗透率 MD	岩心平均渗透率 MD	岩屑渗透率 MD				样编 品号	岩心渗透率 MD	岩心平均渗透率 MD	岩屑渗透率 MD				
			胶皮套筒法测定	平均值	密封胶测定	平均值				胶皮套筒法测定	平均值	密封胶测定	平均值	
20	160.106	160.106			163.255	151.773	27	656.338	656.338			623.141	668.733	
					103.834							556.191		
					186.143							826.866		
21	163.626	163.626			153.278	153.278					592.384			
22	263.480	263.480	285.867	270.108			28	668.167	668.167			792.989	685.695	
												303.367		596.881
												221.091		800.993
23	280.330	276.795			271.727	276.602	29	1052.763	1052.763			645.231	1024.664	
					207.430							978.863		
					286.152							1069.013		
	366.024	1026.115												
	273.260	356.893			1044.659									
		171.387			1079.133									
24	303.602	303.602			367.175	304.469	31	1131.000	1131.000			1115.800	1115.800	
					292.927							1693.404		
					274.293							1708.015		
					283.482							1720.823		
25	549.124	549.124	533.208	634.400	502.833	543.500	32	1597.299	1597.299			1984.850	1707.414	
			625.545		584.167									
			593.448		2259.953									
26	593.950	593.950			521.555	599.295	33	2236.464	2236.464			2556.855	2267.219	
					623.576									
					629.825									
					622.225									
26	593.950	593.950					34	6.790	6.790	8.581	6.411			
										4.241				

岩屑孔隙率试验方法与操作过程

1. 试验中所用的仪器设备也都是原苏式“КИП”厂出产的孔隙率测定仪。选择了30个胶结物和岩石颗粒较为均匀的岩心样品，每个样分成两半，一半测岩心整块的孔隙率，重量6~8克；一半加工成岩屑试样，每块重量在0.2克以上。然后在已加工的试样中选取数块

集合一起，其重量为2~6克，进行测定。采用的方法，仍然是真空煤油饱和法。岩屑实验后的结果与岩心整块所测定的结果对比，均在允许误差范围内，合格率达到100%（见表3）。

岩屑孔隙度其结果全部与岩心孔隙率对得起来，但系统偏低，除个别样的结果在允许误差内略大一点外，其它误差都很小，比岩屑渗透率的合格高。因此初步认为岩屑孔隙率在岩石

表三

样品 编号	岩心孔隙度 %	岩屑孔隙度 %	误差	允许误差
1	28.861	29.838	0.977	1.500
2	34.787	34.423	0.364	2.000
3	31.317	31.100	0.217	2.000
4	33.632	32.737	0.895	2.000
5	23.713	23.752	0.039	1.500
6	33.794	33.671	0.123	2.000
7	20.154	19.706	0.448	1.500
8	26.053	25.452	0.601	1.500
9	28.116	28.077	0.039	1.500
10	32.087	31.325	0.762	2.000
11	27.556	26.690	0.866	1.500
12	27.537	26.792	0.745	1.500
13	21.420	21.725	0.305	1.500
14	19.351	18.391	0.960	1.200
15	26.115	25.192	0.923	1.500
16	38.485	36.546	1.939	2.000
17	33.065	31.994	1.071	2.000
18	33.676	32.376	1.300	2.000
19	32.415	31.266	1.149	2.000
20	33.430	32.245	1.185	2.000
21	35.933	34.985	0.948	2.000
22	32.215	30.773	1.442	2.000
23	32.832	32.524	0.308	2.000
24	24.750	23.673	1.077	1.500
25	18.060	17.638	0.422	1.200
26	24.891	25.890	0.999	1.500
27	24.452	23.930	0.522	1.500
28	30.839	29.447	1.392	2.000
29	30.168	29.544	0.624	2.000
30	35.750	36.622	0.872	2.000

组成、颗粒结构与胶结物较为均匀的情况下，完全可以代替岩石孔隙率。系统偏低原因可能有二：

1. 每个样的测定需要若干小块岩屑。为此试样在吸饱煤油后在空气中称量之前，需擦掉试样表面上的煤油。因而在这一过程中，每小块样均擦一次，所擦掉的煤油可能要比岩心测定单块样擦掉得多。虽按技术操作进行，但误差是难以避免的。

2. 在擦煤油过程中所损失的颗粒（特别是胶结差的试样）也可能要比岩心测定单块时损失得多。

## 初步认识

通过实验，对岩屑渗透孔隙率与岩心渗透率孔隙率的对比情况以及从钻井中实际所采取的岩屑样，及井中各方面条件影响，初步提出下列几点不成熟的意见：

1. 在岩石组成、结构和胶结物较为均匀的情况下，岩屑渗透率，孔隙率完全可以代替岩心渗透率、孔隙率。虽结果略有偏低或偏高，但影响不大。实验的结果是岩屑渗透率合格率为92.2%，孔隙率合格率为100%。

2. 自井中取出来的岩屑其测定的结果，只能作为地质上的参考。因从钻井中取出的岩屑经泥浆冲洗后，常出现两种情况，一是有效孔隙通道被泥浆堵塞，二是有泥浆冲洗后破坏了原来的孔道，以致岩屑孔隙率、渗透率失去了它原有的性能，所测定的结果不是它的真正实际的结果。

3. 取样深度不准确，在多层岩层下，各层厚薄不一，同时各层组成结构也不一样，在颜色和结构无显著的区别下，虽按采样岩石描述取样测定，但很难确切。此外，无法区别岩屑的垂直与平行方向。

4. 岩屑试样直径0.6~1cm，长度0.2cm，比岩心试样直径小2~5倍，长度小15倍。加上操作中难以避免的误差等，误差较岩心为大。

5. 岩屑之间岩性结构与胶结物差异较大，垂直与平行方向不明。一般虽是垂直；但地下情况复杂，也可能出现平行方向。同时深度不准，各岩层不易分开，加上受泥浆冲洗等，所以代表性低于岩心。

6. 为了提高岩屑渗透率、孔隙率测定的质量和精度，以及较全面的代表性，在今后工作中应配合电测和根据地质岩性描述，选择试样。每个样品需测定数块，然后取它们之间的平均值，供地质上参考。

## 存在問題

1. 封胶法工作效率低，仍然赶不上快速

钻探的需要。且在封胶中胶的温度掌握不好时,易使结果偏高或偏低。不封胶,利用岩心的操作方法测定,因试样较薄,同样产生结果偏高或偏低。

2. 岩屑被泥浆冲洗后,原来有效孔隙通道受到破坏,使孔通增大或充填堵塞,造成失

去原有的渗透和孔隙性能,今后应设法解决。

3. 取样深度不准。各岩层厚度不一,岩屑试样混淆不清,虽以岩性描述为依据,但类似的岩性特征很多,如何区别。另外垂直与平行方向也应设法分开。

## 岩屑物性测定方法试验小结

### 第六普查勘探大队实验室

自某孔岩屑样孔隙率、渗透率测定结果来看,碳酸岩岩屑的孔隙率、结果尚理想;渗透率,每个样取4~5块岩屑进行测定,结果大部分不一致,只能将几个数据一併提出,供地质上参考应用。渗透率不一致的原因可能有二。其一是实验工作中选样未注意层理,加工时截面不平,封胶不牢或胶沾污截面,岩屑直径厚度测量不准;其二是采样中问题,如岩屑过小,假岩屑,间距过宽,泥浆冲刷以及所谓假岩屑等问题。

岩屑物性资料整理后的认识。

初步整理,见附表3。

在数据整理过程中,考虑影响因素颇多,尤其是渗透率,可能主要是假岩屑,层理不清,分析误差三方面的影响,对待 $\bar{K}$ 值采取最大、最小,平均三数尝试整理。整理后有下面一些认识:

A) 渗透率、孔隙率参数的变化同样与岩块一样,影响因素复杂。

1. 在N层中,共7块样,上下部各三块,中部一块,参数各不相同。上部三块 $\bar{K}$ 最大480 md±最小165 md±,平均304 md±; $\bar{m}$  26~29%±;下部三块 $\bar{K}$ 最大455 md±,最小147 md±,平均238 md±; $\bar{m}$  19~24%±;中部一块 $\bar{K}$  < 1 md  $\bar{m}$  13%±。

它们的影响因素:上部下部、胶结类型均属孔隙式;但磨圆度上部三块次圆为主,下部三块次稜角为主;中值系数(md)及分选系数

( $S_0$ ),上部三块md为0.055, $S_0$ 属好,下部三块md有二个是0.044,一个是0.077; $S_0$ 属中等,中部一块,md 0.014, $S_0$ 属坏,机分粒级0.1~0.01及<0.01百分含量高,胶结类型属基底式。故 $\bar{m}$ 、 $\bar{K}$ 值上部三块好,下部三块次于上部三块,中部一块基本不渗透。

2. 在E层中, $\bar{K}$ 值最大169.06 md,最小<1 md,平均50 md±, $\bar{m}$  16~23%。不如N层理想。影响因素:md均在0.07以上偏高,个别为0.05及0.03; $S_0$ 好一中一坏均有;胶结类型基底式—孔隙式—混合式均有,比N层混杂,因此N层 $\bar{m}$ 、 $\bar{K}$ 参数比E层好,从现有资料分析来看,尚为合理。

B) 评价一个油层,仅靠以上参数是不全面的,还要结合地质情况进行整理,从整个大段来说,基本合乎规律,N层砂岩比E层砂岩好,但由于我们是第一次整理,第一次测定,不能更有力说明之。

体会与问题:

1. 目前操作规程所规定的岩屑物性参数测定方法基本是符合当前要求的。

2. 要取得较正确的物性参数,取样必须要井场地质、综研、实验三结合。

3. 对待参数问题,要实事求是全部报出数据,供地质应用参考。在实验与地质密切配合下,根据初步整理结果,所求岩屑物性参数基本可在石油地质上应用。

4. 同一包岩屑测得的岩屑渗透率各不相