

Влияние объема пробы на точность определения пористости и остаточной водонасыщенности пористых сред

И. Йорданов, И. Добрилов

Высший горно-геологический институт, 1156 София

I. Jordanov, I. Dobrilov — Influence of sample volume on the accuracy of determination of porosity and residual water saturation in porous media. The paper treats questions concerning the accuracy of single determinations of the porosity and the residual water saturation of porous media.

In laboratory conditions the parameter porosity is determined most commonly through the method of saturation and the residual water saturation — by means of the method of centrifuging. The values of the relative error depend on a number of factors amongst which the initial mass of the dried sample is of definite significance. Based on the analysis of the error equation the optimal values are calculated which ensure the determination of capacity of 1, 3, 5, 10, 15 and 20% with a relative error of $\pm 2\%$. Similar calculations are presented for water saturation with values 5, 10, 15, 20, 40, 60 and 80%.

Надежность оценки запасов нефти и газа на современном этапе определяется степенью достоверности значений отдельных параметров, используемых при подсчете одним или другим методом (Жданов и др. 1967). Следовательно, оценка и категоризация запасов могут быть уверенно выполнены только после детального всестороннего геологического изучения залежи, а также привлечения данных различных методов исследования (лабораторные, геофизические, промысловые и др.), достигая таким образом максимальной точности значений используемых для этих целей количественных параметров. В связи с этим в настоящей работе обсуждаются некоторые вопросы точности разовых лабораторных определений параметров пористости и остаточной водонасыщенности, участвующих во всех начальных этапах подсчета запасов нефти и газа. Точность их определения лимитирует в значительной степени достоверности оценки общих запасов углеводородов залежи, в связи с чем осуществление определенного объема исследовательских работ, направленных к изучению влияния отдельных факторов на точность их значений, является вполне целесообразным.

Чаще всего пористость образцов в лаборатории определяют насыщением смачивающей жидкостью, а остаточную насыщенность — методом центрифугирования (Кобранова и др., 1977). Эти методы обеспечивают высокую точность определения упомянутых параметров только при

качественном выполнении насыщения проб образцов, которое достигается соблюдением ряда указаний, касающихся полноты насыщения и режимов центрифугирования (Балинов, 1970; Балинов и Трошанова, 1969; Гороян и Коцеруба, 1970; Кобранова и др., 1977; Куртев и Коцева, 1965; Куртев и др., 1968; Николова и др., 1978; Тенчов, 1975). В обратном случае, даже при использовании весов очень высокого класса точности, ошибка будет значительной, и что важнее, практически не поддается надежной аналитической оценке. Однако соблюдение только рекомендаций, указанных в цитированных и некоторых других работах (Въчев и Найденова, 1965), еще не обеспечивает достижения оптимального уровня относительной погрешности, которая на современном уровне оборудования лабораторий колеблется в пределах $\pm 0,5-5\%$. Используя основные формулы определения пористости и остаточной водонасыщенности указанными методами, выполним этот анализ последовательно для рассматриваемых параметров.

Методом насыщения пористость определяется уравнением (1) (Кобранова и др., 1977):

$$(1) \quad m_0 = \frac{G_n - G_c}{G_n - G_r}$$

и относительная ошибка вычислится следующей формулой:

$$(2) \quad \frac{\Delta m_0}{m_0} = \frac{1}{G_n - G_c} \left[\frac{G_c - G_r}{G_n - G_r} \Delta G_n + \Delta G_r \frac{G_n - G_c}{G_n - G_r} \right] = \Delta G_c,$$

где m_0 — открытая пористость; G_r — гидростатически взвешенная масса образца; G_c — масса сухого образца; G_n — масса насыщенного образца; ΔG_n , ΔG_c , ΔG_r — абсолютная ошибка определения отдельных видов массы; Δm_0 — абсолютная ошибка определения пористости.

Из уравнения (2) видно, что $\frac{\Delta m_0}{m_0}$ формируется влиянием как ошибок измерения отдельных видов массы, так и их абсолютными значениями, т. е. начальная масса исследуемой пробы оказывает определенное влияние на точность разовых замеров. Таким образом, снижение значений погрешностей можно осуществлять оперируя, с одной стороны, весами высокой точности, и, с другой, — оптимальным объемом материала исследуемых образцов. Используемые в лаборатории аналитические весы вполне удовлетворяют требованиям, т. к. максимальная ошибка измерения G_c и G_r ими составляет лишь $\pm 0,0001$ г. Однако в результате испарения (до и во время взвешивания), а также отсутствия дефинированной методики осуществления подсушки проб, абсолютная ошибка измерения массы насыщенного образца заметно выше. Некоторые авторы (Куртев и др., 1968) соблюдением ряда условий опыта принимают при определении G_n абсолютную ошибку $\Delta G_n \pm 0,0002$ г. Предлагаемую ими технологию целесообразно применять в случае решения каких-либо методических задач, но в массовой практике осуществление требуемых условий затруднительно. Чаще всего допускаемая абсолютная ошибка определения G_n не меньше $\pm 0,005$ г. Принимая максимальные абсолютные ошибки для ΔG_n , ΔG_c , ΔG_r на уровне указанных значений, определим объем пробы, который при различных значениях пористости обеспечивает относительную погрешность ее определения не более $\pm 0,5-2\%$. Выразим для этого все параметры правой части формулы (1) массой сухого образца. Обозначим плотность породы с γ_n : объем пробы при этом составит $\frac{G_c}{\gamma_n}$, и тогда общий объем пор определится как $\frac{G_c}{\gamma_r} m_0$, а масса

насыщающего его керосина $-\frac{G_c}{\gamma_n} m_0 \gamma_k$. Следовательно, масса насыщенного образца будет $G_n = G_c \left(1 + \frac{m_0 \gamma_k}{\gamma_n}\right)$, и т. к. известен объем пробы, гидростатически взвешенная масса определится как

$$G_r = G_c \left(1 + \frac{m_0 \gamma_k}{\gamma_n}\right) - \frac{G_c}{\gamma_n} \gamma_k.$$

Задаваясь значениями плотности породы $\gamma_n \pm 1,8; 2,2; 2,4 \text{ г/см}^3$, вычислим объем (сухой вес) пробы, обеспечивающий $\pm 0,5; 1; 2\%$ относительной погрешности, для породы пористости в 1, 3, 5, 10, 15, 20% (табл. 1). Характер зависимости между рассматриваемыми параметрами показан на рис. 1.

Аналогичным образом проанализировано влияние объема пробы на точность определения водонасыщенности, определяемую следующим равенством (К о б р а н о в а и др., 1977):

$$(3) \quad \rho_{\text{ост.}} = \frac{G_0 - G_c}{G_n - G_c}.$$

Относительная погрешность определения вычислится уравнением (4):

$$(4) \quad \frac{\Delta \rho_{\text{ост.}}}{\rho_{\text{ост.}}} = \frac{1}{G_0 - G_c} \left[\Delta G_0 + \frac{G_n - G_0}{G_n - G_c} \left(\Delta G_c + \frac{G_0 - G_c}{G_n - G_c} \Delta G_n \right) \right].$$

где $\rho_{\text{ост.}}$ — остаточная водонасыщенность; G_c — масса сухого образца; G_n — масса насыщенного образца; G_0 — масса образца с остаточной водой; ΔG_n , ΔG_c , ΔG_0 — абсолютная погрешность измерения отдельных видов массы; $\Delta \rho_{\text{ост.}}$ — относительная погрешность определения остаточной водонасыщенности.

Как и в предыдущем случае, ошибка определения ΔG_c составляет $\pm 0,0001 \text{ г}$, а ΔG_n и ΔG_0 — не менее $\pm 0,005 \text{ г}$.

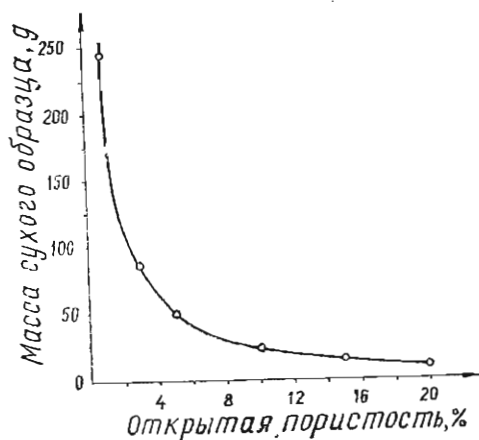
Чтобы оценить влияние начальной массы образца на точность определения $\rho_{\text{ост.}}$, выразим аналогичным образом все параметры правой части формулы (3) массой сухой пробы — G_c ; $G_n = G_c \left(1 + \frac{m_0}{\gamma_n} \gamma_k\right)$, $G_0 = \frac{G_0}{\gamma_n} m_0 \gamma_k \rho_{\text{ост.}} + G_c$ где γ_k — плотность насыщающей жидкости. Так как плотность породы не, сказывается существенно на величину начального объема пробы, расчеты выполнены только для $\gamma_n = 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Задаваясь значениями пористости 3, 5, 10, 20 и 30%, определяется минимальная масса сухой пробы, обеспечивающая относительную погрешность не более $\pm 2\%$ для различных значений остаточной водонасыщенности (5, 10, 15, 20, 40, 60, 80%) (табл. 2). Видно, что объем пробы влияет существенно на точность замеров, возрастая с уменьшением пористости и остаточной водонасыщенности.

Выполненный анализ предоставляет возможность для оценки ошибок массовых лабораторных определений упомянутых параметров. Расчеты осуществлены для определенного уровня относительной погрешности. В практике, однако, очень часто предъявляют требования, главным образом, к абсолютной ошибке, которая по мнению некоторых авторов (Н и к о л о в а и др., 1969) составляет величину порядка 0,02 для открытой пористости и 0,02 — для остаточной водонасыщенности (в частях единицы). В некоторых случаях это соответствует более высокому уровню относительных единиц, что позволяет определять их на значительно меньших по объему пробах,

Таблица 1

Минимальная масса высушенной пробы для определения ее открытой пористости с относительной ошибкой $\pm 0,5$; 1 и 2 %

Открытая пористость, %	Минимальная масса пробы в г при плотности породы $\gamma_{п}$ в Mg/m^3								
	Относительная погрешность $\pm 0,5$ %			относительная погрешность ± 1 %			относительная погрешность ± 2 %		
	$\gamma_{п}=1,8$	$\gamma_{п}=2,2$	$\gamma_{п}=2,4$	$\gamma_{п}=1,8$	$\gamma_{п}=2,2$	$\gamma_{п}=2,4$	$\gamma_{п}=1,8$	$\gamma_{п}=2,2$	$\gamma_{п}=2,4$
1	220	247	330	110	124	165	55	62	83
3	75	88	97	38	44	49	19	22	24
5	42	50	56	21	22	28	11	11	14
10	20	24	27	10	12	13	5	6	7
15	13	16	17	6	8	8	3	4	4
20	9	11	12	5	6	6	2	3	3



Фиг. 1. Зависимость массы сухой пробы от пористости, определенной по методу насыщения жидкостью, с относительной погрешностью $\pm 0,5\%$ (плотность пробы $2,2 \text{ Mg/m}^3$)

Таблица 2

Минимальная масса высушенной пробы для определения ее остаточной водонасыщенности с относительной погрешностью ± 1 %

Остаточная водонасыщенность, %	Минимальная масса пробы в г, при открытой пористости в m_0 %					
	$m_0=3\%$	$m_0=5\%$	$m_0=10\%$	$m_0=15\%$	$m_0=20\%$	$m_0=30\%$
5					135	89
10			138	95	71	46
15			96	67	49	33
20			75	50	39	25
40	139	88	44	29	22	15
60	116	67	33	22		
80	96	41	28			

а также на шламовом материале, как это показано в работе Куртева и др. (1968).

Результаты проведенных исследований могут быть обобщены в следующих выводах:

1. Описана зависимость погрешности определения пористости и остаточной водонасыщенности от начального объема исследуемой пробы образца.

2. Установлен оптимальный объем пробы, при котором обеспечивается достижение заданной точности определения пористости и остаточной водонасыщенности.

Л и т е р а т у р а

- Б а л и н о в, В. 1970. Към методиката на центрофугиране за определяне на съдържанието на свързаната вода в скалите и някои капиларни характеристики. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 31, 2, 126—133.
- Б а л и н о в, В., В. Т р о ш а н о в. 1969. Влияние на някои фактори върху степента на насищане на скалните образци при определяне на тяхната открита вместимост. — *Сп. Бълг. геол. д-во*, 29, 3, 337—342.
- В ъ ч е в, В., А. Н а й д е н о в а. 1965. Върху откритата порестост и оптимальното тегло на образците за нейното определяне по метода на насищане. — *Изв. Геол. инст., БАН*, 14, 223—229.
- Г о р о я н, В., Л. К о ц е р у б а. 1970. Определение открытой пористости пород-коллекторов и методом насыщения жидкостью. — *Тр. ВНИГНИ, вып. 90*, 10—32.
- Ж д а н о в, В., В. Л и с у н о в, Ф. Г р и ш и н. 1967. *Методика и практика подсчета запасов нефти и газа*. М., Недра. 400 с.
- К о б р а н о в а, В., В. И з в е к о в, С. П а ц е в и ч, М. Ш в е р ц м а н. 1977. *Определение петрофизических характеристик по образцам*. М., 432 с.
- К у р т е в, Т., Н. К о ц е в а. 1965. К исследованию пористости карбонатных пород по керну и по шламу. — *Докл. VII конгр. КБГА, IV*, 113—117.
- К у р т е в, Т., Н. К о ц е в а, Г. Ц в е т а р с к и. 1968. Определение открытой и абсолютной пористости по шламу. — *Изв. Геол. инст. при БАН и КГ, Юб. геол. сб.*, 213—221.
- Н и к о л о в а, Й., Р. В е н е в а, Н. К о ц е в а, З д р. Д а ч е в а, Ю. Ш и м а н о в. 1969. Изследване на съдържащите нефт и газ коллектори от горнотриаската карбонатна задруга в долнодъбнишката структура. — *Изв. Геол. инст. при БАН, сер. прил. геоф.*, 18, 59—94.
- Н и к о л о в а, Й., М. Б о я д ж и е в а, Р. А н т о н о в а, Ц. Д и м и т р о в а. 1978. Към изучаването на остатъчната водонаситеност на скалите по метода на центрофугирането. — *Нефт. и въгл. геология*, 8, 45—52.
- Т е н ч о в, Г. 1975. Факторът време при водонасищане на образци от изотропни глинести пясъчници. — *Нефт. и въгл. геология*, 2, 13—32.

(Постъпила на 12. III. 1979 г.)