

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ РАСТВОРЕНИЯ

Н.Ф. Красюк, Г.А. Фортунатов

Научный руководитель профессор А.Н. Земсков  
ООО «ЗУМК-Инжиниринг», г. Пермь, Россия

Ведение горных работ на калийных и соляных месторождениях осложнено газовыделениями горючих и ядовитых газов в горные выработки и газодинамическими явлениями (внезапные выбросы соли и газа, обрушения пород кровли и т.д.)

Данные о газоносности и выбросоопасности пород являются основным исходным материалом для определения газообильности горных выработок, расчета потребного количества воздуха для их проветривания по газовому фактору и разработки профилактических мероприятий при проведении горнопроходческих работ [1]. Таким образом, для снижения возможных издержек и обеспечения безопасной разработки месторождения необходимо иметь информацию по газоносности уже на стадии проектных работ. Частично ее можно получить посредством извлечения и анализа микровключенных газов из керна геологоразведочных скважин.

Существует большое число способов дегазации горных пород (измельчение, растворение, плавление, вакуумирование, химическое разрушение и их сочетания), каждый из которых обладает своими преимуществами и недостатками. Для соляных пород, хорошо растворимых в воде с незначительным образованием нерастворимого остатка (менее 10%), как правило, применяется метод растворения.

Нами была разработана установка (рис. 1) и методика определения газоносности способом растворения. Установка состоит из сосуда 2, в котором происходит растворение образцов, воронки 3 служащей для сбора выделяющихся пузырьков газа и направления их через резиновый шланг 4 и кран-тройник 5 в мерную емкость 6. Емкость имеет двойные стенки и представляет собой сосуд Дьюара. В его верхней части устанавливается термометр 7 и дифференциальный манометр 9 для регистрации температуры и давления газовой смеси во время эксперимента и измерения объема выделившихся газов. Нижняя часть емкости соединяется резиновым шлангом с колбой 11, понижением уровня раствора в которой можно перепускать раствор и газ в мерную емкость. Электронагреватель 1 служит для подогрева раствора и поддержания заданной температуры во время эксперимента. Насос 12 поддерживает постоянную циркуляцию жидкости в системе.

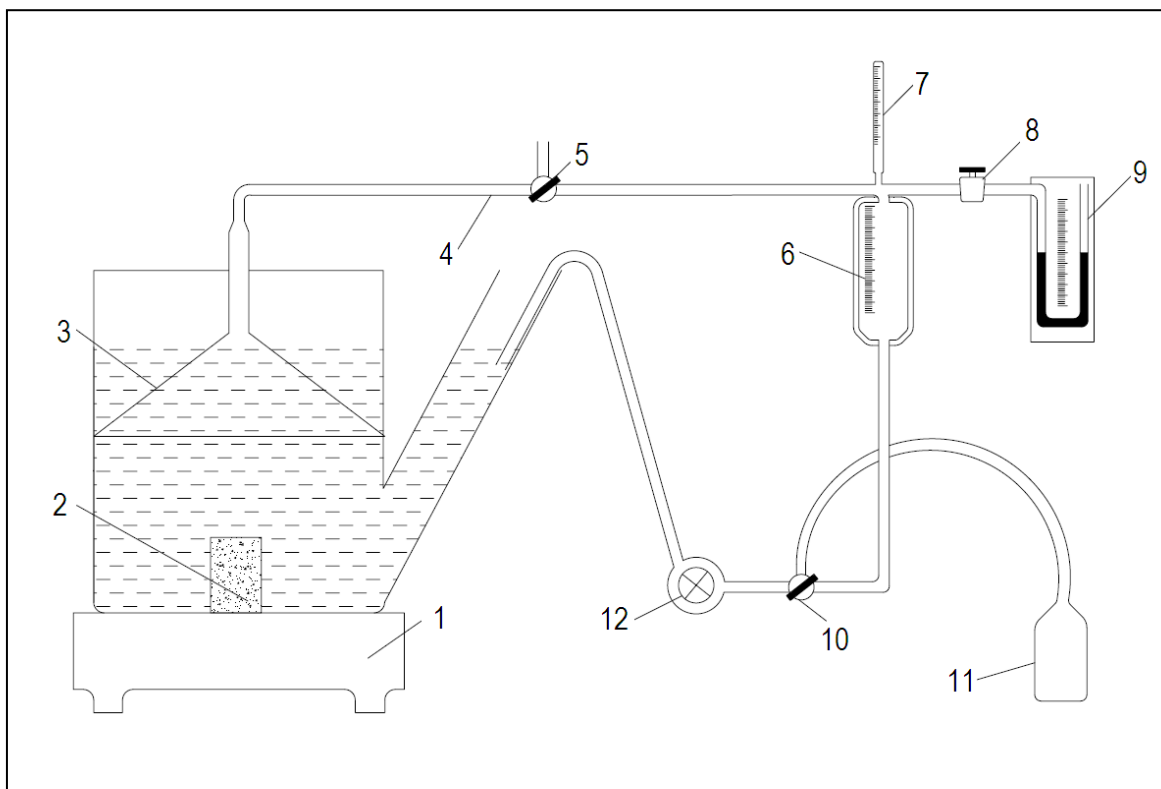


Рис. 1. Схема установки для дегазации керна

При разработке методики было учтено влияние всех возможных факторов на результат измерения. Так, во избежание явления "сжатия объема" при растворении солей в воде, поверхность растворителя свободно перемещалась и сообщалась с атмосферой. Учитывалась также растворимость газов в воде и растворе.

Подготовка к эксперименту заключается в следующем. В сосуд 2 заливают 7 л воды, нагревают ее до кипения и кипятят в течение 10-15 мин. Этим достигается частичная дегазация воды от растворенного в ней

воздуха. В кипящей воде растворяют 1500-1600 г NaCl, чем достигается дополнительная дегазация раствора от растворенного воздуха, так как растворимость газов в соляном растворе значительно ниже. После того как вся система заполняется раствором включается электронасос, создающий непрерывную циркуляцию раствора в системе, остаточный выделившийся воздух выпускается в атмосферу через кран-тройник 5, в системе устанавливается постоянная температура 75°C. Установка готова к работе.

Растворимость соли NaCl в воде при  $t = 75^\circ\text{C}$  составляет порядка 375 г на литр. Таким образом, для полного насыщения 7 литров воды в ней нужно растворить 2625 г соли. Следовательно, до полного насыщения раствора можно растворить образец каменной соли, сильвинита или карналлита весом около 1 кг.

После ввода установки в режим через отвод сосуда 2 в раствор опускают исследуемый образец. Каждый образец предварительно описывается и взвешивается на электронных весах. Выделяющийся при растворении газ поступает через воронку 3 и соединительный шланг 4 в мерную емкость. После полного растворения пробы, которое занимает 60 – 90 мин., производятся замеры объема выделившегося газа, его давления и температуры. Выделившийся газ из мерной емкости отбирается в вакуумированную бутылку или шприц для последующего хроматографического анализа.

Задачей интерпретации результатов является нахождение по измеренному объему полученной газовой пробы и ее составу истинного количества и состава газа, выделившегося из образца. Для этого необходимо рассмотреть процессы, происходящие с газовой смесью при проведении опыта.

Несмотря на высокую температуру рассола и его концентрацию, он содержит некоторое количество растворенного воздуха, который при дополнительно увеличении концентрации NaCl, вызванном растворением образца, переходит в свободную фазу и выделяется в пробу. С другой стороны, часть выделившегося из образца природного газа растворяется в рассоле. Приблизительно оценить количество газа, способного раствориться в рассоле при проведении опыта можно с помощью уравнения Сеченова:

$$s' = s \cdot 10^{-kc}, \quad (1)$$

где,  $s'$ ,  $s$  – растворимость газа в воде, соответственно, содержащей электролит и не содержащей его, мг/л;

$k$  – коэффициент Сеченова (коэффициент высаливания);

$c$  – концентрация электролита (NaCl) в воде, г-экв/л.

Так, по литературным данным, коэффициент Сеченова для метана при температуре 75°C равен 0,101, а его растворимость в воде при этой температуре – порядка 7,5 мг/л. Таким образом, количество метана, которое теоретически может раствориться в 7 литрах рассола с концентрацией 6,35 г-экв/л составит:

$$V_{CH_4} = V \cdot s \cdot 10^{-kc} = 7 \cdot 0,0075 \cdot 10^{-0,101 \cdot 6,35} = 0,01197 \text{ г} = 16,76 \text{ см}^3 \text{ при Н.У.}$$

Аналогично определяется количество растворенного воздуха, выделяющегося в пробу при растворении образца массой 1 кг (т.е. при повышении концентрации электролита с 3,91 до 6,35 г-экв/л):

$$V_{возд.} = V \cdot s \cdot (10^{-kc_1} - 10^{-kc_2}) = 7 \cdot 0,0091 \cdot (10^{-0,1 \cdot 3,91} - 10^{-0,1 \cdot 6,35}) = 8,5 \text{ см}^3$$

Однако, уравнение Сеченова, фактически, является предельным, и точное его соблюдение обеспечивается при достаточно низкой концентрации электролита, а также при подчинении растворимости газа в воде закону Генри в термодинамической формулировке [3], поэтому применение его для определения растворимости широкого спектра газов в насыщенном растворе не корректно. Тем не менее, оно позволяет оценить величину ожидаемых ошибок при определении состава газовой смеси и сделать вывод о том, что состав газа «искажается» тем больше, чем меньше количество газа, содержащегося в образце.

Другим фактором, искажающим результаты измерений, является наличие паров рассола в мерной емкости. Их объем можно определить по уравнению:

$$V_{II} = \frac{V_2 P_{II}}{P_1 - \Delta P}, \quad (2)$$

где,  $V_2'$  – объем газа в мерной емкости, мл;

$P_1$  – атмосферное давление, мм рт.ст;

$\Delta P$  – разряжение в установке, мм рт.ст.;

$P_{II}$  – давление паров воды рассола.

Давление насыщенных водяных паров зависит от температуры и концентрации рассола. При температуре 75°C и концентрации соли, близкой к насыщенному раствору, объем паров составит около 1/3 объема пробы.

Таким образом, обработка результатов измерений сводится к удалению из пробы попавшего в нее воздуха, водяных паров и введению поправки на потерю газа в рассоле.

#### Литература

1. Земсков А.Н., Кондрашев П.И., Травникова Л.Г. Природные газы калийных месторождений и меры борьбы с ними. – Пермь, 2007. - 414 с.
2. Красюк Н.Ф. Исследование газоносности солевых пород и ее роли во внезапных выбросах. Дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛГИ, 1975. - 185 с.
3. Намиот А.Ю. Растворимость газов в воде. Справочное пособие. – М.: Недр, 1991. – 167 с.