

DETERMINAÇÃO DE PERMEABILIDADE RELATIVA GÁS-ÓLEO EM ROCHAS

Método

CONTEC

Comissão de Normas
Técnicas

SC – 30

Reservatórios

Cabe à CONTEC - Subcomissão Autora, a orientação quanto à interpretação do texto desta Norma. O Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma é o responsável pela adoção e aplicação dos itens da mesma.

Requisito Mandatório: Prescrição estabelecida como a mais adequada e que deve ser utilizada estritamente em conformidade com esta Norma. Uma eventual resolução de não segui-la ("não-conformidade" com esta Norma) deve ter fundamentos técnico-gerenciais e deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "dever", "ser", "exigir", "determinar" e outros verbos de caráter impositivo.

Prática Recomendada (não-mandatária): Prescrição que pode ser utilizada nas condições previstas por esta Norma, mas que admite (e adverte sobre) a possibilidade de alternativa (não escrita nesta Norma) mais adequada à aplicação específica. A alternativa adotada deve ser aprovada e registrada pelo Órgão da PETROBRAS usuário desta Norma. É caracterizada pelos verbos: "recomendar", "poder", "sugerir" e "aconselhar" (verbos de caráter não-impositivo). É indicada pela expressão: **[Prática Recomendada]**.

Cópias dos registros das "não-conformidades" com esta Norma, que possam contribuir para o aprimoramento da mesma, devem ser enviadas para a CONTEC - Subcomissão Autora.

As propostas para revisão desta Norma devem ser enviadas à CONTEC - Subcomissão Autora, indicando a sua identificação alfanumérica e revisão, o item a ser revisado, a proposta de redação e a justificativa técnico-econômica. As propostas são apreciadas durante os trabalhos para alteração desta Norma.

"A presente Norma é titularidade exclusiva da PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS, de uso interno na Companhia, e qualquer reprodução para utilização ou divulgação externa, sem a prévia e expressa autorização da titular, importa em ato ilícito nos termos da legislação pertinente, através da qual serão imputadas as responsabilidades cabíveis. A circulação externa será regulada mediante cláusula própria de Sigilo e Confidencialidade, nos termos do direito intelectual e propriedade industrial."

Apresentação

As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas por Grupos de Trabalho – GTs (formados por especialistas da Companhia e das suas Subsidiárias), são comentadas pelos Representantes Locais (representantes das Unidades Industriais, Empreendimentos de Engenharia, Divisões Técnicas e Subsidiárias), são aprovadas pelas Subcomissões Autoras – SCs (formadas por técnicos de uma mesma especialidade, representando os Órgãos da Companhia e as Subsidiárias) e aprovadas pelo Plenário da CONTEC (formado pelos representantes das Superintendências dos Órgãos da Companhia e das suas Subsidiárias, usuários das normas). Uma norma técnica PETROBRAS está sujeita a revisão em qualquer tempo pela sua Subcomissão Autora e deve ser reanalisada a cada 5 (cinco) anos para ser revalidada, revisada ou cancelada. As normas técnicas PETROBRAS são elaboradas em conformidade com a norma PETROBRAS N-1. Para informações completas sobre as normas técnicas PETROBRAS, ver Catálogo de Normas Técnicas PETROBRAS.

DETERMINAÇÃO DE
PERMEABILIDADE RELATIVA GÁS-ÓLEO EM ROCHAS
(método)

1 OBJETIVO

Esta Norma fixa o procedimento para determinação das permeabilidades relativas de uma rocha ao gás (K_{rg}) e ao óleo (K_{ro}), bem como da relação entre ambas as permeabilidades (K_{rg}/K_{ro}).

2 RESUMO

Uma amostra de rocha saturada com óleo e água residual é presa em uma célula de confinamento e submetida a um empuxo de gás (gas-drive). São medidos os volumes de gás e óleo produzidos, bem como os tempos a eles correspondentes. O teste é executado em condições de laboratório, sob pressão e temperatura constantes, segundo o método de Welge. Pelo processamento dos dados obtidos são calculados valores intermediários que permitem a geração dos resultados de permeabilidade relativa.

3 APARELHAGEM

A permeabilidade relativa gás-óleo é executada em aparelhagem cujo diagrama esquemático é dado na fig. 1 do Anexo I. Este equipamento permite a medição simultânea de volumes produzidos de gás e óleo de uma amostra de rocha saturada de óleo e água residual submetida a um empuxo de gás sob pressão diferencial constante. O volume acumulado de gás produzido é indicado pelo deslocamento de água contida em uma bureta e três cilindros calibrados de vidro, enquanto que o volume acumulado de óleo deslocado é medido em pequenas pipetas graduadas. O sistema de medição dos volumes de gás

é previamente calibrado, em incrementos pré-selecionados, de modo a proporcionar uma distribuição relativamente uniforme dos dados coletados; essa distribuição diz respeito à saturação de gás na amostra sob teste.

A amostra de rocha a ser testada deve estar contida em uma célula de confinamento, (cujo corpo é de aço e a qual se ajusta um separador gás-óleo de acrílico. Ver Fig. 2 do Anexo I), capaz de suportar altas pressões, provida de uma camisa interna de borracha à qual se aplica a pressão de confinamento. A camisa de borracha destina-se a vedar a amostra lateralmente, deixando livres as faces da amostra destinadas à injeção e produção de fluidos.

4 EXECUÇÃO

4.1 Preparação dos Fluidos

4.1.1 Da água

A água utilizada nos ensaios deverá ser uma água sintética, desaerada, de composição similar à água de formação. Não sendo conhecida a composição da água de formação, utilizar uma água com salinidade equivalente àquela obtida através de perfis elétricos. Em último recurso, caso se desconheça qualquer informação sobre a água de formação, utilizar uma água com 100.000 ppm de NaCl. A água deve conter 0,5%, em volume, de bactericida (formaldeído 40%) para preservar suas características ao longo do tempo de ensaio.

4.1.2 Do óleo

O óleo utilizado nos ensaios é um óleo sintético, desaerado, mistura de aguarrás e parafina líquida, combinadas em proporções tais que a mistura apresente viscosidade na faixa de 15 a 25 cP, à temperatura ambiente.

Nota: Os produtos NUJOL e PUROL atendem as especificações da parafina líquida.

4.1.3 Do gás

O gás normalmente utilizado é o nitrogênio industrial, podendo ser utilizado contudo qualquer outro gás inerte.

4.2 Preparação das Amostras (Ver Anexo II)

Os testes são realizados em amostras de rocha, cortadas em forma de cilindro reto, com 1 ou 1 1/2 polegadas de diâmetro e comprimento de uma a duas vezes o diâmetro.

Tais amostras dispensam cuidados especiais de preservação e, sempre que possível, devem ser horizontais, ou seja, paralelas ao plano de estratificação. De modo geral, as amostras que apresentarem heterogeneidade marcante, sob análise visual, devem ser descartadas.

As amostras são escolhidas à partir de resultados obtidos em análises de rotina (porosidade e permeabilidade absoluta) e da descrição litológica.

As amostras selecionadas devem ser submetidas a novo processo de extração, para remoção de sal e óleo trapeado.

As amostras, limpas e secas, seguem o seguinte procedimento de preparação.

4.2.1 Pesar a(s) amostra(s).

4.2.2 Saturação da(s) amostra(s) com água de formação

- (a) Amostra(s) friável(is) - Colocar a(s) amostra(s) num dessecador e fazer vácuo durante 3 horas. Admitir, em seguida, a água sintética, de forma a cobrir todas as amostras, durante, no mínimo, 24 horas.
- (b) Amostra(s) consolidada(s) - Colocar a(s) amostra(s) numa garrafa de pressão. Fazer vácuo durante 3 horas. Admitir água sintética até encher a garrafa. Pressurizar lentamente a garrafa até uma pressão máxima de 2000 psi, a depender da litologia da amostra. Despressurizar a garrafa lentamente após um período mínimo de 24 horas.

4.2.2.1 Pesar a(s) amostra(s) saturada(s) com água.

4.2.2.2 Calcular o volume poroso da(s) amostra(s) utilizando a seguinte expressão:

$$VP = \frac{P \text{ saturado} - P \text{ seco}}{d_{H_2O}}$$

onde: VP - volume poroso da amostra (cm³);

- P saturado - massa da amostra saturada c/água (g);
P seco - massa da amostra seca (g);
 d_{H_2O} - massa específica da água sintética à temperatura ambiente (g/cm³).

4.2.2.3 Comparar o valor obtido com o volume poroso conhecido pelos testes de rotina (ϕ e K) dentro da tolerância máxima admitida de 10%. Caso essa tolerância seja ultrapassada, seguir a ou b, observando visualmente possível perda de grãos. Em caso de perda apreciável, descartar a amostra.

- (a) Volume poroso calculado maior que o volume conhecido pelos testes de rotina - Prosseguir o teste e determinar, no fim, o volume poroso, para novo cheque dos valores já conhecidos.
- (b) Volume poroso calculado menor que o valor conhecido pelos testes de rotina - Ressaturar a(s) amostra(s) com água sintética, de acordo com 4.2.2.

4.2.3 Saturação da(s) amostra(s) c/óleo de laboratório, em presença de água residual

- (a) Por deslocamento - Injetar óleo na amostra até não se produzir mais água. Durante essa etapa, deve-se interromper o fluxo, tantas vezes quantas forem necessárias, por períodos de 10 minutos, mantendo a amostra pressurizada, de forma a evitar formação de caminhos preferenciais de fluxo e conseqüente retenção de água. A água deslocada é recolhida num recipiente graduado, para determinação.
- (b) Por centrifugação - Centrifugar a amostra com óleo deslocando água. A água deslocada é recolhida num recipiente graduado para determinação de seu volume.

Nota: As alíneas (a) ou (b) devem ser repetidas, com a(s) amostra (s) em posição invertida.

4.2.4 Determinar a permeabilidade da amostra ao óleo, na presença de água residual, através da lei de Darcy. Repetir essa etapa invertendo a amostra. O sentido que apresentar maior permeabilidade deverá ser usado para o teste de permeabilidade relativa gás/óleo propriamente dito.

4.3 Preparação dos Sistemas de Medição dos Volumes de Gás e Óleo (Ver Figura 1 do Anexo I)

4.3.1 Do sistema de medição dos volumes de gás

4.3.1.1 Conectar um recipiente contendo água à válvula 8 (3 vias), que deve estar fechada.

4.3.1.2 Girar as válvulas 9 (3 vias), 10 e 11 de modo a conectar os cilindros calibrados à linha de descarga C. Fechar as válvulas 12 e 13.

4.3.1.3 Abrir a válvula 8 para que a água do recipiente flua para os cilindros calibrados, purgando todas as bolhas de ar.

4.3.1.4 Fechar as válvulas 10 e 11 após a água ter enchido completamente os dois cilindros menores e ter começado a fluir para a linha de descarga C. Assim que o cilindro maior encher, girar a válvula 9 de 90°, no sentido horário. Abrir a válvula 13 de modo que a água flua para a bureta, purgando todas as bolhas de ar. Manipular a válvula 13 de modo a colocar o nível de água numa posição de cerca de 0,5 cm acima do zero de graduação da bureta. Fechar a válvula 13.

4.3.1.5 Girar a válvula 8 de 90° no sentido horário, interrompendo a alimentação de água e conectando o sistema à linha de drenagem de água.

4.3.1.6 Zerar o medidor de gás (Wet Test Meter) e verificar se a linha D está a ele conectada.

4.3.2 Do sistema de medição dos volumes de óleo

4.3.2.1 Zerar o sistema de medição de óleo, mantendo o separador gás-óleo imerso num bequer de óleo. Conectar a linha de óleo, ligada ao separador gás-óleo, à pipeta nº I, abrindo as válvulas 14 e 15. Zerar a pipeta nº I. Manipular as válvulas 15 e 16 de modo a zerar as pipetas II e III. A zeragem das pipetas I, II e III pode ser conseguida estabelecendo-se um processo de vasos comunicantes entre elas e o separador.

4.3.3 Do separador (Gás-Óleo) (Ver Fig. 2 do Anexo I)

4.3.3.1 Remover a tela e o papel de filtro. Limpar o separador gás-óleo com éter de petróleo e lavar, em seguida, com água e sabão. Usar ar seco para remover a água de todas as passagens do separador.

4.3.3.2 Remover os resíduos de cola com acetona tendo cuidado para não deixar a acetona penetrar nas passagens nem permanecer em contato prolongado com o separador.

4.3.3.3 Cortar o papel de filtro de modo a deixar exposto somente o sulco existente no lado correspondente à passagem de gás, deixando sobrar um excesso ao longo do perímetro do separador. Para facilitar, usar um gabarito de cartolina.

4.3.3.4 Distribuir uma fina camada de cola plástica ao longo da borda do recesso coletor de óleo. Colocar o papel-filtro, já cortado, sobre esta camada, tendo cuidado para que a cola não penetre nas passagens de óleo e de gás do separador. Pressionar uniformemente o papel-filtro contra o separador. Cortar as sobras do papel-filtro. Caso necessário, dar arremate com cola para evitar qualquer vazamento possível.

4.3.3.5 Recortar um círculo completo de tela metálica, de 40 a 80 mesh, com o diâmetro igual ao da face do separador e - somente em alguns pontos - colar sobre o papel-filtro, de modo a protegê-lo.