

SIMULAÇÃO DE PERFIS NUCLEARES DO POÇO EM FORMAÇÕES COMPLEXAS

Silva, J. da C. da

Tese de Doutorado em Geofísica

Data da Aprovação: 15.06.93 (CG/UFPA)

Orientador: Dr. Hilton Bernard Evans

A identificação e descrição dos caracteres litológicos de uma formação são indispensáveis à avaliação de formações complexas. Com este objetivo, tem sido sistematicamente usada a combinação de ferramentas nucleares em poços não-revestidos. Os perfis resultantes podem ser considerados como a interação entre duas fases distintas:

. fase de transporte da radiação desde a fonte até um ou mais detectores, através da formação;

. fase de detecção, que consiste na coleção da radiação, sua transformação em pulsos de corrente e, finalmente, na distribuição espectral destes pulsos.

Visto que a presença do detector não afeta fortemente o resultado do transporte da radiação, cada fase pode ser simulada independentemente uma da outra, o que permite introduzir um novo tipo de modelamento que desacopla as duas fases. Neste trabalho, a resposta final é simulada combinando soluções numéricas do transporte com uma biblioteca de funções resposta do detector, para diferentes energias incidentes e para cada arranjo específico de fontes e detectores. O transporte da radiação é calculado através do algoritmo de elementos finitos (FEM), na forma de fluxo escalar 2-D, proveniente da solução numérica da aproximação de difusão para multigrupos da equação de transporte de Boltzmann, no espaço de fase, dita aproximação P, onde a variável direção é expandida em termos dos polinômios ortogonais de Legendre. Isto determina a redução da dimensionalidade do problema, tornando-o mais compatível com o algoritmo FEM, onde o fluxo dependa exclusivamente da variável espacial e das propriedades físicas da formação. A função resposta do detector NaI(Tl) é obtida independente pelo método Monte Carlo (MC), em que a reconstrução da vida de uma partícula dentro do cristal cintilador é feita simulando, interação por interação, a posição, direção e energia das diferentes partículas, com a ajuda de números aleatórios aos quais estão associados leis de probabilidades adequadas. Os possíveis tipos de interação (Rayleigh, Efeito fotoelétrico, Compton e Produção de pares) são determinados similarmente. Completa-se a simulação quando

as funções resposta do detector são envolvidas com o fluxo escalar, produzido como resposta final o espectro de altura de pulso do sistema modelado. Neste espectro serão selecionados conjuntos de canais denominados janelas de detecção. As taxas de contagens em cada janela apresentam dependências diferenciadas sobre a densidade eletrônica e a litologia. Isto permite utilizar a combinação dessas janelas na determinação da densidade e do fator de absorção fotoelétrico das formações. De acordo com a metodologia desenvolvida, os perfis, tanto em modelos de camadas espessas quanto finas, puderam ser simulados. O desempenho do método foi testado em formações complexas, principalmente naquelas em que a presença de minerais de argila, feldspato e mica produziram efeitos consideráveis capazes de perturbar a resposta final das ferramentas. Os resultados mostraram que as formações com densidade entre 1,8 e 4,0 g/cm³ e fatores de absorção fotoelétrico no intervalo de 1,5 a 5 barns/e, tiveram seus caracteres físicos e litológicos perfeitamente identificados. As concentrações de potássio, urânio e tório puderam ser obtidas com a introdução de um novo sistema de calibração, capaz de corrigir os efeitos devidos à influência de altas variâncias e de correlações negativas, observadas principalmente no cálculo das concentrações em massa de urânio e potássio. Na simulação da resposta da sonda CNL, utilizando o algoritmo de regressão polinomial de Tittle, foi verificado que, devido à resolução vertical limitada por ela apresentada, as camadas com espessuras inferiores ao espaçamento fonte-detector mais distante tiveram os valores de porosidade aparente medidos erroneamente. Isto deve-se ao fato do algoritmo de Tittle aplicar-se exclusivamente a camadas espessas. Em virtude desse erro, foi desenvolvido um método que leva em conta um fator de contribuição determinado pela área relativa de cada camada dentro da zona de máxima informação. Assim, a porosidade de cada ponto em subsuperfície pode ser determinada envolvendo estes fatores com os índices de porosidade locais, porém, supondo cada camada suficien-

temente espessa, a fim de adequar-se ao algoritmo de Tittle. Por fim, as limitações adicionais impostas pela presença de minerais perturbadores foram resolvidas supondo a formação como que composta por um mineral base totalmente saturada com água, sendo os componentes restantes conside-

rados perturbações sobre este caso-base. Estes resultados permitem calcular perfis sintéticos de poço, que poderão ser utilizados em esquemas de inversão com o objetivo de obter uma avaliação quantitativa mais detalhada de formações complexas.

ABSTRACT

The identification and description of lithological parameters of a formation are essential in the evaluation of complex formations. Based on this, the combination of the nuclear tool response in uncased wells has been used systematically. The resultant logs can be considered as the interaction between two distinct phases: (i) the radiation transport phase from a source to one or more detectors through the formation; (ii) the detection phase that consists of the collection of radiation, its transformation into current pulses, and the spectral distribution of these pulses. As the presence of the detector does not strongly affect the radiation transport result, each phase can be simulated independent of the other, which allows us to introduce a new type of model in which the transport phase and the detection phase are uncoupled. In this work, the final response is simulated combining transport numerical solutions with a library of the detector responses to different incident energies and for each specific source-detector array. The radiation is calculated by the Finite Elements Method (FEM), as a 2 1/2-D scalar flux derived from the numerical solution of the multigroup diffusion approximation of the Boltzmann transport equation in phase space. This is known as P1 approximation, where the variable direction is expanded in terms of the Legendre orthogonal polynomials, leading to the dimensionality reduction of the problem in such a way as to let it be more consistent with the FEM, where the flux depends only on the spatial variable and the physical properties of the formation. The NaI(Tl) response function is obtained separately by the Monte Carlo method (MC) where the life of a particle within the scintillator crystal is reconstructed simulating interaction by interaction the position, direction and energy of the different particles using a random number technique with associated appropriate probabilities laws. Each type of interaction (e.g., Rayleigh, Photo-electric, Compton and Pair production) is determined similarly and the simulation is concluded when the detector response functions are convolved with the scalar flux. The final response is the pulse-height spectrum of the simulated

system. From this spectrum, a set of channels called detection windows are then selected. The count rates in each window show different dependencies on density and lithology. This fact allows one to use a combination of these windows in determining the density and photoelectric absorption factor of the formation. According to the method developed in this work, the logs in both thin and thick layers can be simulated. The performance of the method has been tested in complex formations, mainly where the presence of clay minerals, feldspars and micas have produced considerable effects sufficient to perturb the final response of the sonde. The results show that it is possible to identify physical and lithological parameters in formations having densities between 1.8 and 4.0 g/cm³ and photoelectric absorption factors in the interval of 1.5 to 5.0 barns/e-. The concentrations of potassium, uranium and thorium can be obtained through the introduction of a new system of calibration which corrects the effects due to high variances and negative correlations observed on the mass concentration of uranium and potassium. In the simulation of the CNL response using the Tittle polynomial regression algorithm, it is verified that due to the limited vertical resolution of this sonde, the porosity value is poorly measured for most layers of thickness less than the source-far detector spacing, thus it has application only in thick layers. A new method was developed to solve this problem; the contribution of the relative area of each layer with the maximum information zone is determined. Thus, this neutron porosity makes possible an in-depth evaluation of expected CNL porosity-lithology response, convolving that area factor with the local formation porosity index, considering only thick layers. The presence of perturbing minerals is solved by considering the formation as formed by a predominant base matrix mineral, totally saturated by fresh water; the rest of the components are then considered as a perturbation of this base case. These results enable the calculation of synthetic well logs that can be used in inversion schemes in order to get a more detailed quantitative evaluation of complex formations.