

MÔ HÌNH HOÁ SỐ LIỆU VLF BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHƯƠNG TRÌNH TÍCH PHÂN

LẠI CAO KHIÊM, NGUYỄN VĂN GIẢNG

I. MỞ ĐẦU

Phương pháp điện từ tần số rất thấp (VLF) là một trong số các phương pháp địa vật lý được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc địa chất gần mặt đất cũng như tìm kiếm khoáng sản và thăm dò nước ngầm. Giống như phần lớn các phương pháp thăm dò điện từ, VLF ứng dụng nguyên lý cảm ứng điện từ nên khá nhạy cảm trong việc xác định các dị thường có nguồn là những đối cấu trúc có độ dẫn điện cao. Máy đo VLF rất gọn nhẹ, thi công nhanh nên có thể sử dụng được trên những điều kiện địa hình phức tạp. Từ số liệu đo bằng thiết bị VLF ngoài thực địa phải qua một quá trình xử lý, phân tích để đưa ra kết quả dưới dạng sơ đồ hay mặt cắt cấu trúc địa chất của đối tượng nghiên cứu. Bài báo giới thiệu kết quả tính toán bài toán thuận VLF được xây dựng trên mô hình lý thuyết là một số vật thể đặc trưng có dạng vĩa trụ với độ dẫn cao, mô phỏng cho các đối cấu trúc bị phá huỷ hay đứt gãy chứa nước trong môi trường trở kháng gần mặt đất bằng phương pháp phương trình tích phân. Kết quả áp dụng phương pháp trong việc khảo sát đứt gãy A Sơ - Sông Côn, khu vực thủy điện A Vương - Quảng Nam đã minh họa hiệu quả rõ rệt của phương pháp.

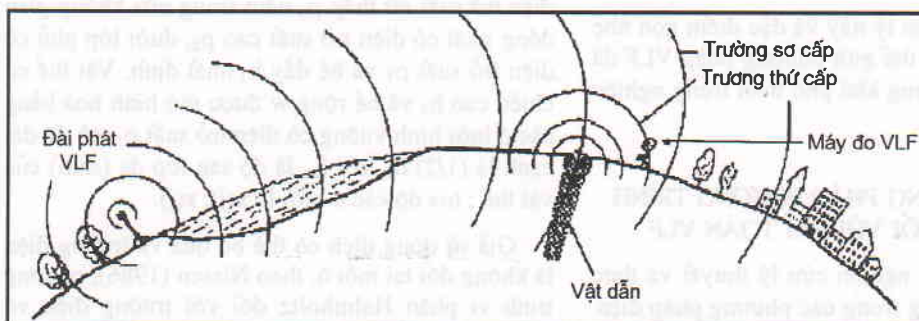
II. TỔNG QUAN VỀ PHƯƠNG PHÁP VLF

VLF ứng dụng nguyên lý cảm ứng điện từ với nguồn phát là những trường sóng điện từ ở dải tần

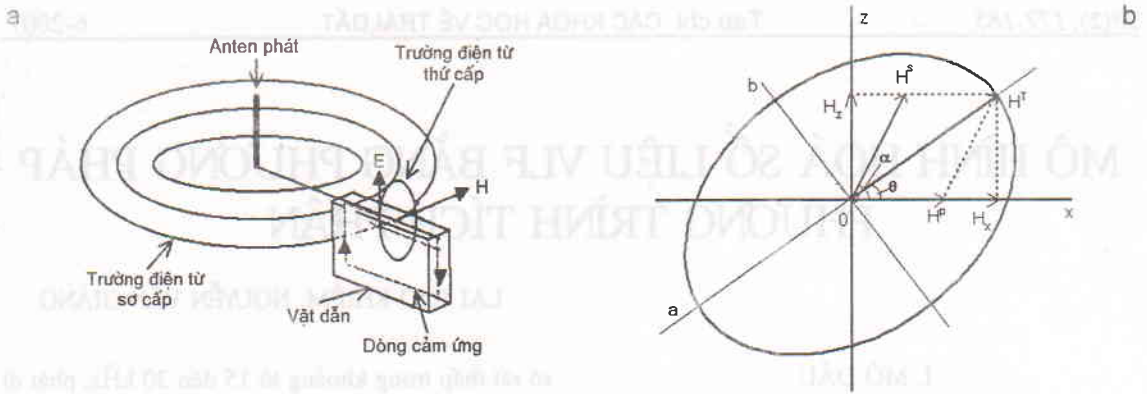
số rất thấp trong khoảng từ 15 đến 30 kHz, phát đi từ những đài phát quân sự công suất lớn nằm rải rác ở nhiều nơi trên thế giới. Những dị thường VLF mà chúng ta thu được thường liên quan đến nguồn là các cấu trúc có độ dẫn cao so với môi trường xung quanh như thân quặng, đứt gãy địa chất, đới phá huỷ kiến tạo chứa nước... Nguyên lý đo VLF được mô phỏng trong hình 1, theo đó trường sóng VLF phát ra từ đài phát; phép đo VLF được thực hiện trên mặt đất cách đài phát một khoảng nhất định mà ở đó sẽ thu được tín hiệu của trường thứ cấp do có vật dẫn tạo ra.

Sự phát xạ sóng điện từ tần số thấp từ các đài phát bao gồm cả thành phần điện và từ dao động với tần số của đài phát và lan truyền theo các phương thức: sóng không gian (spacewave) và sóng đất (groundwave). Trường từ phát đi từ anten của các đài phát có đường sức là những vòng tròn đồng tâm và vector cường độ từ trường gần như song song với mặt đất. Khi sóng điện từ lan truyền, gặp vật dẫn chắn ngang hướng lan truyền của chúng (vuông góc với đường sức) sẽ tạo ra trong vật dẫn đó một dòng điện cảm ứng và dòng điện cảm ứng này sẽ tạo ra trường thứ cấp có hướng chống lại trường sơ cấp (cảm ứng điện từ) và được mô phỏng như hình 2a.

Máy VLF đo ghi phân thực H_z/H^p và phần ảo $Imag H_z/H^p$ của tỷ số phần trăm (%) giữa thành phần thẳng đứng H_z trên thành phần nằm ngang của trường sơ cấp H^p .



← Hình 1.
Nguyên lý của
phương pháp
VLF



Hình 2. Mô phỏng vật dẫn đặt trong trường sóng VLF (a) và hiện tượng phân cực Elip (b)

Vì trường sơ cấp và thứ cấp lệch pha nhau nên trường tổng sinh ra sẽ có dạng phân cực Elip (hình 2b), lúc đó tỷ số H_z/H^P thu được là một số phức :

$$\frac{H_z}{H^P} = \frac{H_z}{H^P} \cos\Delta\Phi + i \frac{H_z}{H^P} \sin\Delta\Phi = \tan\theta + i\varepsilon \quad (1)$$

$$\text{Phần thực : Real } \frac{H_z}{H^P} (\%) \cong 100 \times \tan\theta \quad (2)$$

$$\text{Phần ảo : Imag } \frac{H_z}{H^P} (\%) \cong 100 \times \varepsilon \quad (3)$$

trong đó : H^T - trường tổng của trường sơ cấp H^P và trường thứ cấp H^S , H_x và H_z - các thành phần thẳng đứng và nằm ngang của H^T , θ , ε - góc nghiêng và tâm sai của Elip phân cực, $\Delta\Phi$ - độ lệch pha của H_z so với H_x

Do vậy một số thiết bị VLF đã được chế tạo để đo ghi 2 tham số phân cực Elip là tâm sai ε và góc nghiêng θ mà chúng được tính theo công thức :

$$\theta = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{2 \left(\frac{H_z}{H_x} \right) \cos\Delta\Phi}{1 - \left(\frac{H_z}{H_x} \right)^2} \right) ; \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{H_x H_z \sin(\Delta\Phi)}{(H_x e^{i\Delta\Phi} \sin\theta + H_x \cos\theta)^2}$$

Trên cơ sở nguyên lý này và đặc điểm gọn nhẹ của thiết bị nên trên thế giới phương pháp VLF đã và đang được ứng dụng khá phổ biến trong nghiên cứu cấu trúc địa chất.

III. CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP PHƯƠNG TRÌNH TÍCH PHÂN ĐỐI VỚI BÀI TOÁN VLF

Nhiều công trình nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm đã chỉ ra rằng trong các phương pháp điện

từ thì các thành phần trường điện và trường từ biến đổi đều tuân theo hệ phương trình Maxwell. Thời gian qua, một số phương pháp số giải phương trình Maxwell ứng dụng trong các bài toán địa vật lý đã được nghiên cứu cho môi trường 2 chiều (2D) như :

- + Phương pháp sai phân hữu hạn [7].
- + Phương pháp phần tử hữu hạn [4].

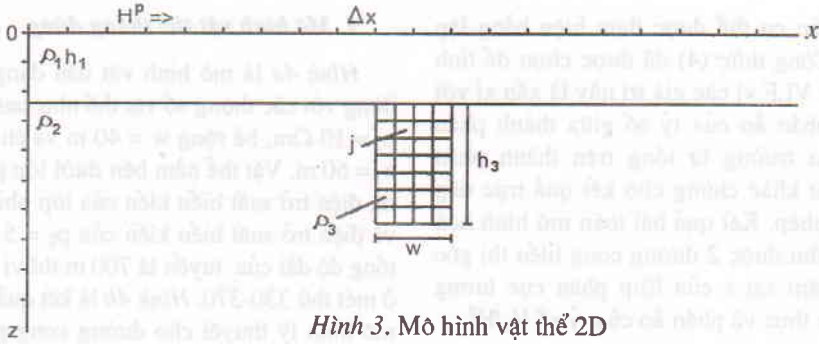
Trong cả 2 phương pháp này toàn bộ mô hình được rời rạc hoá để tính toán.

+ Phương pháp phương trình tích phân, chỉ có vùng dị thường đã giới hạn mới được rời rạc hoá [2, 5].

Với phương pháp VLF, trong trường hợp dị thường là các bất đồng nhất độ dẫn cao dạng trụ đứng, có bề rộng nhỏ hơn nhiều lần độ dài tuyến khảo sát và trường dị thường tập trung chủ yếu quanh vật dẫn thì phương pháp phương trình tích phân là thích hợp hơn cả. Vì vậy chúng tôi tập trung tính toán một số mô hình dị thường VLF bằng phương pháp phương trình tích phân với nguồn phát là sóng phẳng ở dải tần số rất thấp (15 - 30 kHz) lan truyền từ rất xa. Để thực hiện mục tiêu này, chúng tôi đã nghiên cứu ứng dụng và phát triển các thuật toán của Hohmann [2] và Nissen [5] tính cho một số mô hình vật thể 2D.

Mô hình 2D (hình 3) bao gồm một cấu trúc có điện trở suất rất thấp ρ_3 nằm trong nửa không gian đồng nhất có điện trở suất cao ρ_2 , dưới lớp phủ có điện trở suất ρ_1 và bề dày h_1 nhất định. Vật thể có chiều cao h_3 và bề rộng w được mô hình hoá bằng các ô lưới hình vuông có điện trở suất ρ_3 , có độ dài cạnh là $(1/2) \delta_{v1}$ với δ_{v1} là độ sâu lớp da (skin) của vật thể ; toạ độ các ô lưới là $x(j)$, $z(j)$.

Giả sử dòng dịch có thể bỏ qua và trường điện là không đổi tại mỗi ô, theo Nissen (1986), phương trình vi phân Helmholtz đối với trường điện vô



Hình 3. Mô hình vật thể 2D

hướng có thể được biến đổi thành phương trình tích phân rời rạc như sau :

$$E(j) = E^i(j) - (i/\pi) \sum_{\tau=1}^n s(\tau)G(\tau, j)E(\tau) \quad (5)$$

trong đó : $j = 1, \dots, n$ - số thứ tự ô lưới, n - số ô, $i = \sqrt{-1}$, $s(\tau) = (\rho_2/\rho_3) - 1$, $E(j)$ - trường điện tổng (tại ô thứ j), E^i - trường điện tới, G - hàm nhân Green.

Đây là công thức tính trường điện tổng tại ô thứ j bằng trường điện tới trừ tổng các thành phần trường điện gây ra bởi các ô τ liền kề.

Theo Hohmann [2], để thuận lợi hơn trong tính toán ta chia hàm nhân Green thành 2 phần sơ cấp G^P và phần thứ cấp G^S : $G = G^P + G^S$. Giới hạn tính các thành phần trường phản hồi trong khoảng độ sâu skin của môi trường $\delta = 503(\rho_2/f)$ và nếu các ô vuông được xấp xỉ bằng các hình tròn trên cùng một diện tích thì phần sơ cấp G^P được tính theo công thức :

$$G^P(\tau, j) = \pi a^2 K_0(\gamma r) 2I_1(\gamma a) \frac{1}{\gamma a} \quad \text{với } \tau \neq j, \quad (6)$$

$$G^P(\tau, \tau) = \frac{2\pi}{\gamma} \left[\frac{1}{\gamma} - aK_1(\gamma a) \right] \quad \text{với } \tau = j$$

trong đó : a - bán kính của ô τ , $\gamma = 1+i$, r - khoảng cách giữa các ô τ và j .

Các hàm Bessel biến đổi K_0, K_1, I_1 có thể được biểu diễn trong trường hợp này bằng hàm Kelvin với đối số thực, chúng có thể được xác định rất nhanh bằng các đa thức xấp xỉ với độ chính xác lớn hơn 10^{-7} .

Hàm nhân Green thứ cấp G^S được tính bằng tích phân cosin Fourier

$$G^S(\tau, j) = 2\pi A(\tau) \int_0^{\infty} \frac{R(\lambda)}{u_2} e^{-u_2 d} \cos(2\pi \lambda x_{\tau j}) d\lambda \quad (7)$$

trong đó $A(\tau)$ = diện tích của ô thứ τ , $x_{\tau j} = [x(\tau) - x(j)]$, $d = z(\tau) + z(j) - 2h_1$, $u_0 = |2\pi\lambda| u_1^2 = (2\pi\lambda)^2 + 2i(\rho_2/\rho_1)$,

$$u_2^2 = (2\pi\lambda)^2 + 2i, \quad R(\lambda) = \frac{(u_2 - u_e)}{(u_2 + u_e)}, \quad u_e = \frac{u_1 [u_0 + \tanh(u_1 h_1)]}{[u_2 + u_0 \tanh(u_1 h_1)]}$$

với $x(\tau), x(j), z(\tau), z(j)$ là các tọa độ x, z của các ô τ, j .

Phần hàm nhân Green thứ cấp G^S là nhỏ hơn nhiều lần so với phần sơ cấp G^P . Đối với trường sóng phẳng ở đời xa thì thành phần trường điện tới tại ô thứ j (tọa độ x, z) là $E^i(j)$ được tính theo công thức :

$$E^i(j) = C e^{-u_2 [z - h_1]} \quad (8)$$

với C - một hằng số phức phụ thuộc vào môi trường nghiên cứu, $z = (z(j)/\delta)$ (độ sâu ô thứ j /độ sâu skin), h_1 - độ sâu lớp phủ.

Giải hệ phương trình (5) với các ô lưới ta tính được thành phần trường điện tổng E tại từng ô lưới.

Tiếp đó các thành phần trường điện từ tại các điểm đo cách đều nhau một khoảng Δx trên bề mặt ở vị trí thứ k (k là số nguyên) được tính bởi công thức :

$$E_y(k\Delta x) = Z - i \sum_{\tau=1}^n E(\tau) s(\tau) A(\tau) G^{E_x}(\tau, k) \quad (9)$$

$$H_x(k\Delta x) = 1 - i \sum_{\tau=1}^n E(\tau) s(\tau) A(\tau) G^{H_x}(\tau, k) \quad (10)$$

$$H_z(k\Delta x) = -i \sum_{\tau=1}^n E(\tau) s(\tau) A(\tau) G^{H_z}(\tau, k) \quad (11)$$

trong đó : $E(\tau)$ trường điện tổng tại ô thứ τ (như đã tính ở trên), $A(\tau)$ - diện tích ô thứ τ , Z - trở kháng sóng phẳng.

Các hàm nhân Green $G^{E_y}, G^{H_x}, G^{H_z}$ biểu diễn phân bố của các thành phần trường E_y, H_x, H_z tại điểm đo thứ k từ các ô thứ τ . Với các thành phần trường điện từ tại từng điểm đo tính được bằng công thức (9-11) ở trên thay vào công thức (4) ta tính được góc nghiêng và tâm sai của Elip phân cực.

Trên đây là toàn bộ lý thuyết tổng quát về bài toán mô hình hoá số liệu VLF, các thuật toán trung

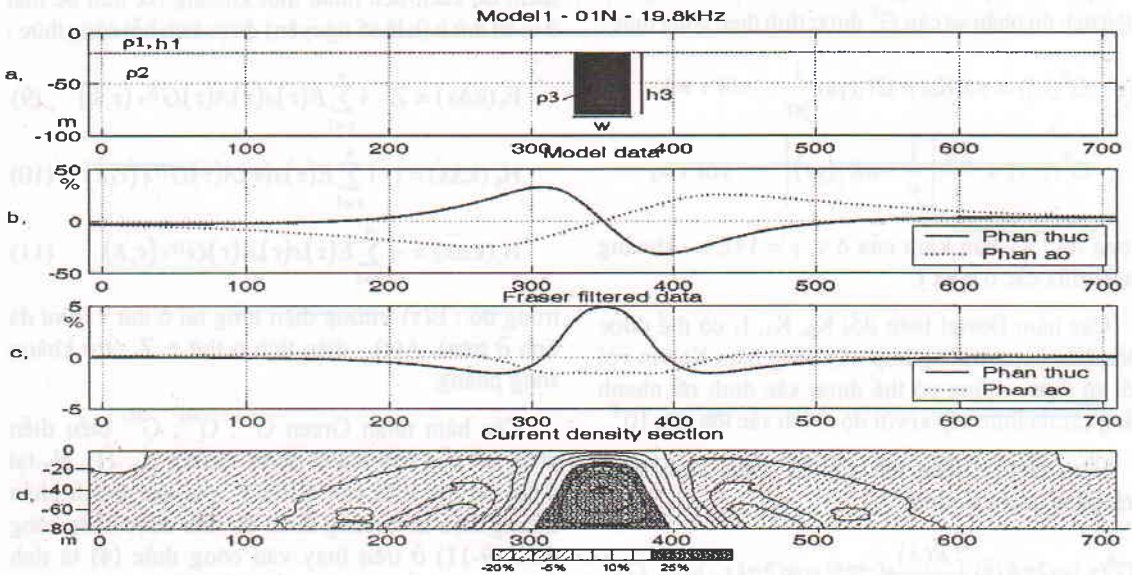
gian và tính toán cụ thể được thực hiện bằng lập trình Fortran. Công thức (4) đã được chọn để tính số liệu mô hình VLF vì các giá trị này là xấp xỉ với phần thực và phần ảo của tỷ số giữa thành phần thẳng đứng của trường từ tổng trên thành phần nằm ngang, mặt khác chúng cho kết quả trực tiếp với sai số cho phép. Kết quả bài toán mô hình hoá số liệu VLF ta thu được 2 đường cong biểu thị góc nghiêng θ và tâm sai ϵ của Elip phân cực tương đương với phần thực và phần ảo của tỷ số H_z/H^p .

IV. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN MÔ HÌNH 2D CHO MỘT SỐ VẬT THỂ BẰNG SỐ LIỆU VLF

Chúng tôi đã sử dụng các kết quả nghiên cứu trên để tính hiệu ứng VLF từ mô hình 2D cho một số vật thể đặt trong môi trường địa chất có lớp phủ với độ dày và điện trở suất biểu kiến xác định, nửa không gian bên dưới là môi trường có điện trở suất cao. Tần số đài phát sử dụng là 19,8 kHz, với tuyến đo theo hướng nam \rightarrow bắc. Từ kết quả số liệu mô hình này tác giả kết hợp tính lọc số liệu VLF bằng các thuật toán tính đạo hàm theo phương ngang của Fraser [1, 10] và thuật toán tính mật độ dòng tương đương theo chiều sâu z của Karous - Hjelt (K-H) [3, 9]. Các thuật toán phân tích, minh giải được lập trình tính toán bằng phần mềm Matlab.

1. Mô hình vật thể thẳng đứng

Hình 4a là mô hình vật dẫn dạng vĩa trụ thẳng đứng với các thông số vật thể như sau : điện trở suất $\rho_3 = 10 \Omega\text{m}$, bề rộng $w = 40 \text{ m}$ và chiều sâu tới đáy $h_3 = 60 \text{ m}$. Vật thể nằm bên dưới lớp phủ đáy $h_1 = 20 \text{ m}$, điện trở suất biểu kiến của lớp phủ $\rho_1 = 500 \Omega\text{m}$ và điện trở suất biểu kiến của $\rho_2 = 5.000 \Omega\text{m}$. Trên tổng độ dài của tuyến là 700 m thì vị trí vật thể nằm ở mét thứ 330-370. Hình 4b là kết quả tính toán theo mô hình lý thuyết cho đường cong phần thực (góc nghiêng θ) và đường cong phần ảo (tâm sai ϵ). Ở đây ta thấy tâm của dị thường là điểm uốn tại vị trí mét thứ 350 với giá trị của θ cực đại bên trái và cực tiểu bên phải vật dẫn, đồng thời phần ảo cũng có biểu hiện tương tự nhưng có dấu ngược lại. Kết quả lọc bằng thuật toán Fraser thể hiện trên hình 4c đã làm nổi bật vị trí và độ nghiêng của dị thường. Với trường hợp vật dẫn thẳng đứng thì cực đại và cực tiểu của phần thực có giá trị tuyệt đối bằng nhau, do đó đường cong số liệu lọc Fraser có dạng đối xứng qua trục thẳng đứng đi qua tâm của vật thể và đỉnh cực đại lọc nằm ngay tại tâm của vật thể. Kết quả tính toán mật cắt mật độ dòng tương đương bằng thuật toán Karous - Hjelt trên toàn tuyến đo được thể hiện trên hình 4d với bước lọc là 1 m. Giá trị mật độ dòng lớn tập trung trong khoảng từ mét 330 - 370, các đường đẳng trị có xu hướng đối xứng



Hình 4. Mô hình một vật thể 2D thẳng đứng

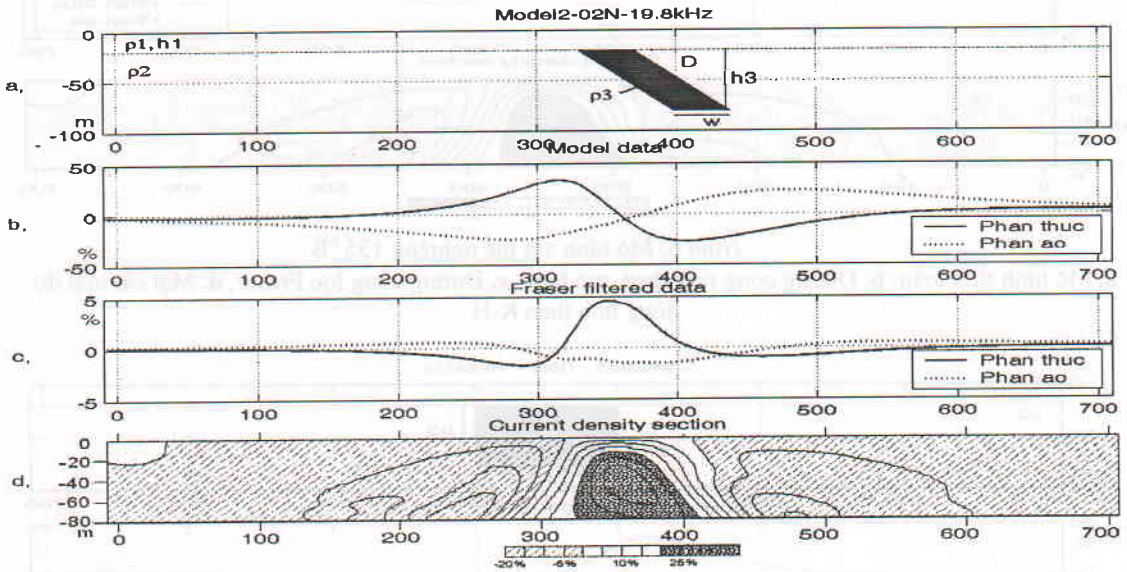
- a. Mô hình tính toán, b. Đường cong tính theo mô hình, c. Đường cong lọc Fraser, d. Mật cắt mật độ dòng tính theo K-H

qua tâm mét 350. Như vậy vùng dị thường với đặc trưng mật độ dòng cao là khá trùng hợp với vị trí vật thể trên mô hình.

2. Mô hình vật thể nghiêng 45°

Đối với mô hình vật dẫn dạng vĩa trụ nghiêng một góc 45° cũng được tính toán và thể hiện trên hình 5a với các thông số như sau : $\rho_1 = 10 \Omega m$, $w = 40 m$, $h_3 = 60 m$. Vật thể nằm dưới lớp phủ dày $h_1 = 20 m$ với điện trở suất biểu kiến của lớp phủ là ρ_1

$= 500 \Omega m$ và điện trở suất biểu kiến của $\rho_2 = 5.000 \Omega m$. Kết quả tính toán cho mô hình được trình bày trên hình 5b-d. Trong trường hợp này, vật dẫn với góc nghiêng 45° thì vị trí cực đại có trị số lớn hơn so với cực tiểu, do đó trên số liệu lọc Fraser đỉnh cực đại lọc có hướng nghiêng về phía cuối tuyến. Các đường đẳng trị mật độ dòng có xu hướng kéo dài theo hướng nghiêng của vĩa. Từ các kết quả lọc Fraser và Karous-Hjelt (K-H) trên có thể xác định được một số thông số của vật thể như vị trí, góc nghiêng và độ sâu tới nguồn.



Hình 5. Mô hình vật thể nghiêng 45°B

a. Mô hình tính toán, b. Đường cong tính theo mô hình, c. Đường cong lọc Fraser, d. Mặt cắt mật độ dòng tính theo K-H

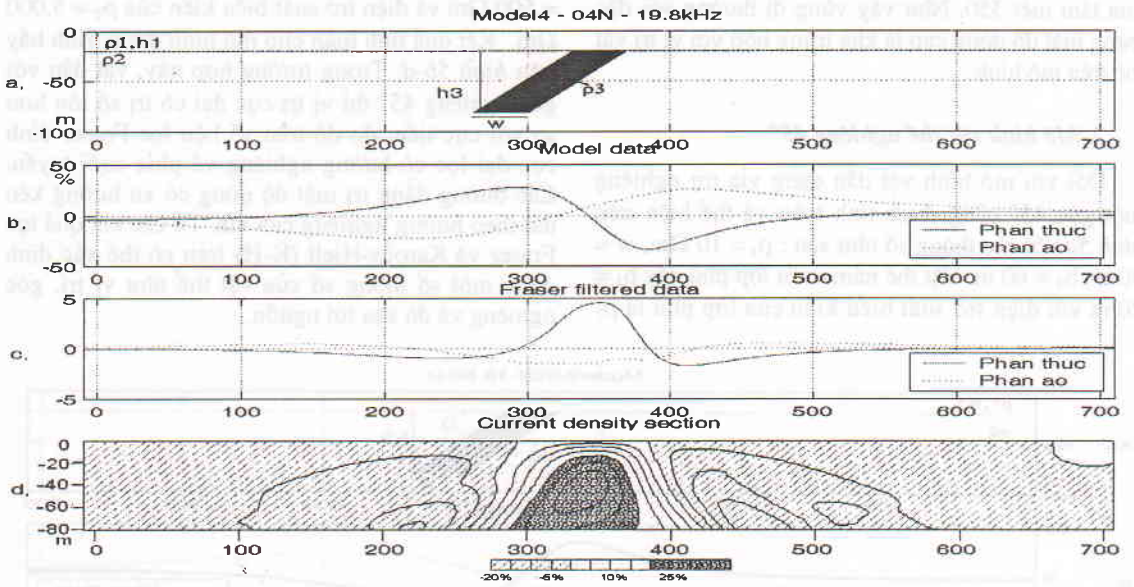
3. Mô hình vật thể nghiêng 135°

Mô hình vật dẫn dạng vĩa trụ nghiêng về hướng bắc một góc 135° (nghiêng về phía cuối tuyến) và các kết quả tính toán được thể hiện trên hình 6a. Mô hình này có các thông số như sau : $\rho_3 = 10 \Omega m$, $w = 40 m$, $h_3 = 60 m$. Vật thể nằm dưới lớp phủ dày $h_1 = 20 m$ với điện trở suất biểu kiến của lớp phủ là $\rho_1 = 500 \Omega m$, $\rho_2 = 5.000 \Omega m$. Độ dài tuyến là 700 m, vị trí vật thể từ mét 330 đến 370. Kết quả tính toán mô hình và kết quả lọc được trình bày trên hình 6b-d. Trong trường hợp vật dẫn nghiêng về phía bắc 135° thì cực đại có trị số nhỏ hơn so với cực tiểu, do đó trên đường cong Fraser và trên mặt cắt mật độ dòng tương đương đỉnh cực đại lọc có hướng nghiêng về phía đầu tuyến. Từ hai kết quả lọc số liệu trên có thể đánh giá được các thông số của vật thể như độ sâu đến nóc của vật thể là xấp

xỉ 20 m, góc nghiêng của vật thể khoảng 129°.

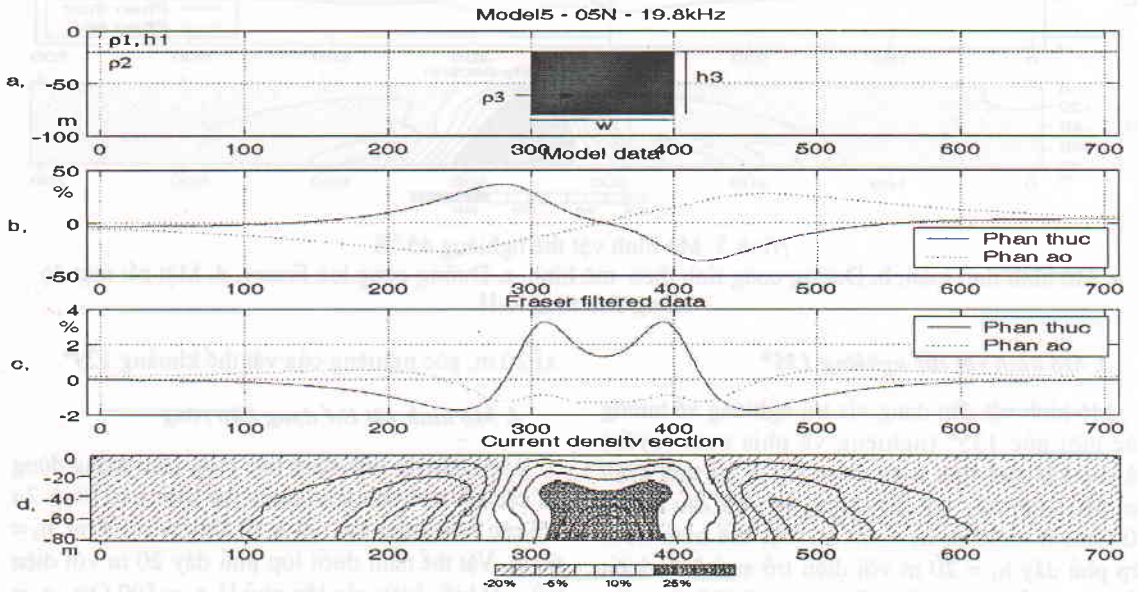
4. Mô hình vật thể dạng hào rộng

Mô hình vật dẫn dạng hào rộng nằm thẳng đứng và các kết quả tính toán được thể hiện trên hình 7a với các thông như sau : $\rho_3 = 10 \Omega m$, $w = 100 m$, $h_3 = 60 m$. Vật thể nằm dưới lớp phủ dày 20 m với điện trở suất biểu kiến của lớp phủ là $\rho_1 = 500 \Omega m$, $\rho_2 = 5.000 \Omega m$. Độ dài tuyến là 700 m, vị trí vật thể từ mét 300 đến 400. Kết quả tính toán cho thấy cực đại và cực tiểu của phân thực có trị số bằng nhau. Kết quả lọc Fraser xuất hiện 2 đỉnh cực đại dạng đối xứng qua tâm và nằm về 2 biên của vật thể. Từ hai kết quả lọc số liệu trên có thể đánh giá được các thông số của vật thể như độ sâu đến đỉnh của nguồn là 20 và độ sâu đến đáy của nguồn là 80 m, góc nghiêng là 90° và độ rộng của vật thể $\approx 100 m$.



Hình 6. Mô hình vật thể nghiêng 135 °B

a. Mô hình tính toán, b. Đường cong tính theo mô hình, c. Đường cong lọc Fraser, d. Mặt cắt mật độ dòng tính theo K-H



Hình 7. Mô hình vật thể dạng hào rộng

a. Mô hình tính toán, b. Đường cong tính theo mô hình, c. Đường cong lọc Fraser, d. Mặt cắt mật độ dòng tính theo K-H

V. KẾT QUẢ ÁP DỤNG THỰC TẾ

Trong những năm gần đây phương pháp VLF và thiết bị VLF-Wadi đã được ứng dụng trong khảo sát cấu trúc địa chất nông cùng với một số phương pháp địa vật lý khác và đã thu được nhiều

kết quả rất đáng khích lệ. Với đặc điểm thiết bị gọn nhẹ, quy trình thu thập số liệu đơn giản nên phương pháp này đã thu được hiệu quả tốt khi sử dụng để khảo sát ở những điều kiện địa hình phức tạp. Dưới đây chúng tôi xin giới thiệu kết quả sử

dụng VLF trong khảo sát đứt gãy địa chất tại khu vực thủy điện A Vương.

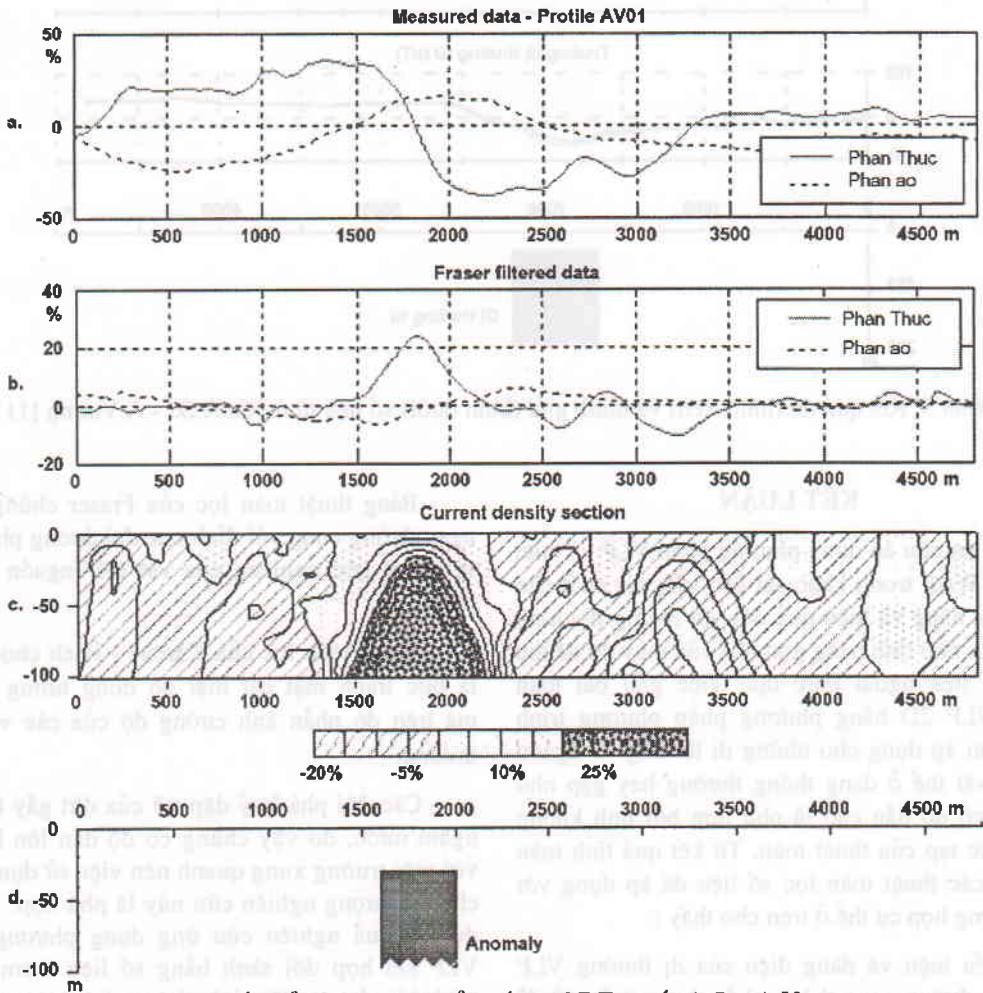
Đặc điểm địa chất khu vực A Vương - Quảng Nam

Công trình thủy điện A Vương nằm trên sông A Vương, cách thị trấn Hiền (Quảng Nam) khoảng 14 km về phía tây. Theo các kết quả nghiên cứu địa chất kiến tạo [11], công trình nằm trên rìa bắc khối nhô KonTum thuộc phức hệ uốn nếp Việt - Lào. Công trình nằm trực tiếp trên các thành tạo đá biến chất thuộc hệ tầng A Vương và các đá granit thuộc các phức hệ Đại Lộc và Bản Chiêng. Thành phần thạch học gồm cuội kết dạng tuf, cát kết đa khoáng hạt lớn, bột kết, sạn kết dạng tuf thuộc phân dưới của hệ tầng Sông Bung ($T_{1.2 sb_1}$). Đá khá rắn chắc và ít bị phong hoá, độ sâu phong hoá ở những vị trí dự kiến hai vai đập khoảng 10 - 30 m. Vị trí

tuyến đập chính nằm gần ranh giới các đới kiến trúc là đứt gãy A Sơ - Sông Côn có các hoạt động kiến tạo mạnh có thể tạo nên các đới phá huỷ đập vỡ ảnh hưởng đến đập chính.

Để góp phần làm sáng tỏ cấu trúc địa chất ở vị trí gần tuyến đập, chúng tôi đã sử dụng một số phương pháp đo địa vật lý trên mặt nhằm xác định đới đứt gãy A Sơ - Sông Côn và các đới phá huỷ đập vỡ, xung yếu tồn tại trong khu vực. Do địa hình rất phức tạp nên các phương pháp đo VLF và thăm dò từ được lựa chọn.

Hình 8 trình bày kết quả đo đạc, phân tích minh giải số liệu VLF của tuyến A Sơ dài 4.800 m. Tần số của sóng VLF thu được ở đây là 19,8 kHz từ đài phát JJI của Nhật Bản. Hình 8a biểu diễn số liệu VLF đo ghi ngoài thực địa. Hình 8b là kết quả



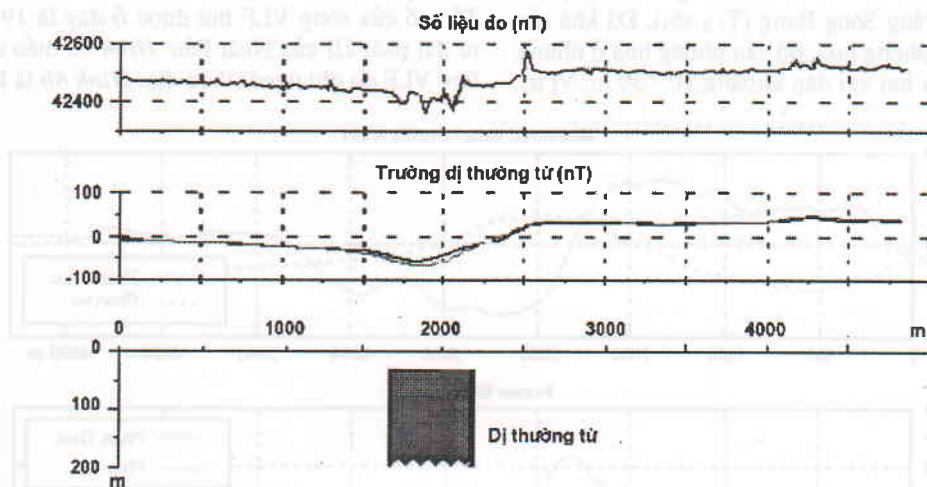
Hình 8. Kết quả đo và minh giải số liệu VLF tuyến A Sơ - A Vương

a. Số liệu VLF đo ngoài thực địa, b. Đường cong lọc Fraser, c. Mật cắt mật độ dòng tính theo K-H, d. Kết quả mô hình hoá vật thể

lọc số liệu bằng thuật toán lọc Fraser. Hình 8c là kết quả tính toán mật cắt mật độ dòng trên toàn tuyến đo bằng thuật toán lọc Karous - Hjelt. Kết quả minh giải xác định được một dị thường VLF với độ dẫn lớn có tâm tại mét thứ 1.800, nằm tương đối thẳng đứng. Độ sâu tới đỉnh của nguồn vật thể gây dị thường là 20 m. Hình 8d là kết quả mô hình hoá vật thể theo số liệu đo VLF.

Để có cơ sở đánh giá tính chính xác của dị thường VLF, trên tuyến này chúng tôi cũng đã tiến hành đồng thời đo thăm dò từ bằng từ kế Proton với

bước đo đúng bằng bước đo của VLF. Kết quả phân tích và minh giải số liệu đo từ trên tuyến này cũng xác định một dị thường từ có biên độ lớn tới 90 nT ở vị trí khá trùng hợp với vị trí của dị thường VLF và được trình bày trên hình 9 [11]. Kết quả minh giải tổ hợp của tài liệu VLF và thăm dò từ cho thấy dị thường địa vật lý được xác định này là một đới cấu trúc đập vỡ liên quan đến vị trí của đứt gãy địa chất A Sơ - Sông Cồn. Đứt gãy này nằm tương đối gần đập chính của thủy điện A Vương nên rất cần chú ý trong công tác đánh giá độ nguy hiểm động đất và độ an toàn bền vững của công trình.



Hình 9. Kết quả đo (hình trên) và minh giải (hình dưới) số liệu từ tuyến A Sơ - A Vương [11]

KẾT LUẬN

Nghiên cứu áp dụng phương pháp VLF và thiết bị VLF-Wadi trong khảo sát cấu trúc địa chất cho thấy khả năng và hiệu quả đối với những địa hình khó khăn nhờ tính năng gọn nhẹ của máy đo để thu thập số liệu ngoài thực địa. Việc giải bài toán thuận VLF 2D bằng phương pháp phương trình tích phân áp dụng cho những dị thường có nguồn gốc là vật thể ở dạng thông thường hay gập như vĩa trụ có độ dẫn cao là phù hợp bởi tính không quá phức tạp của thuật toán. Từ kết quả tính toán này và các thuật toán lọc số liệu đã áp dụng với các trường hợp cụ thể ở trên cho thấy :

- Biểu hiện và dáng điệu của dị thường VLF trên các đường cong thành phần thực và ảo rất dễ nhận biết bằng những điểm uốn mà ở đó cũng chính là tâm của vật thể gây ra dị thường.

- Bằng thuật toán lọc của Fraser chúng ta có ngay đường cong với đỉnh cực đại dương phản ánh vị trí và góc nghiêng của vật thể (nguồn của dị thường).

- Thuật toán lọc của Karous - Hjelt cho chúng ta bức tranh mật cắt mật độ dòng tương đương mà trên đó phản ánh cường độ của các vùng dị thường.

- Các đới phá huỷ đập vỡ của đứt gãy thường ngậm nước, do vậy chúng có độ dẫn lớn hơn so với môi trường xung quanh nên việc sử dụng VLF cho đối tượng nghiên cứu này là phù hợp. Một ví dụ kết quả nghiên cứu ứng dụng phương pháp VLF kết hợp đối sánh bằng số liệu thăm dò từ trình bày ở trên đã minh chứng tính hiệu quả của VLF trong nghiên cứu đứt gãy và cấu trúc địa chất gần mặt đất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] D.C. FRASER, 1969 : "Contouring of VLF-EM data", *Geophysics*, **34**, 958-967.

[2] G.W. HOHMANN, 1971 : Electromagnetic scattering by conductors in the earth near a line source of current, *Geophysics*, **36**, 101-131.

[3] M. KAROUS, and S.E. HJELT, 1983 : Linear filtering of VLF dip-angle measurements. *Geophysical Prospecting*, **31**, 782-794.

[4] P. KAIKKONEN, 1979 : Numerical VLF modeling, *Geophysical Prosp.*, **27**, 815-834.

[5] J. NISSEN, 1986 : A versatile electromagnetic modeling program for 2-D structures, *Geophysical Prospecting*, **34**, 1099-1110.

[6] R.D. OGILVY, A.C. LEE, 1991 : Interpretation of VLF-EM in-phase data using current density pseudosections, *Geophysical Prospecting* **39**, 567-580.

[7] O. OLSSON, 1983 : Computation of VLF response over half - plane and wedge models, *Geophysical Prospecting*, **31**, 171-191.

[8] N.R. PATERSON, and V. RONKA, 1971 : Five Year of Surveying with the Very Low Frequency - Electromagnetic Method, *Geoexploration*, **9**, 7- 26.

[9] L.B. PEDERSEN, and M. BECKEN., 2005 : Equivalent images derived from very low frequency (VLF) data, *Geophysics*, **70**, G43 - G50.

[10] W.J. PHILLIPS, W.E. RICHARDS, 1975 : A study of the effectiveness of the VLF method for

the location of narrow-mineralized fault zones, *Geoexploration*, **13**, 215 - 226.

[11] NGUYỄN NGỌC THỦY (chủ biên), 2002 : Đánh giá nguy hiểm động đất khu vực đập thủy điện A Vương - tỉnh Quảng Nam. Báo cáo lưu thư viện Viện Vật lý Địa cầu.

SUMMARY

Numerical modeling of VLF-EM data using integral equation method

Very low-frequency (VLF) electromagnetic (EM) is an inductive exploration method which is based on measuring variations in components of EM fields set up by communication stations operating in the 15 to 30 kHz frequency range. The paper presents a method to calculate the VLF electromagnetic response of some two - dimensional conductors buried underground using the integral equation solution. The anomalous conducting body is modeled by a number of square cells with individual size and arbitrary position in the resistive host medium. Linear filtering of VLF data by Karous and Hjelt is useful in processing and interpreting to fault location and geological exploration. The application of VLF for studying geological structure have been successfully in Vietnam recently. The result of geophysical exploration in A Vương hydropower area by VLF and magnetic prospecting is one of history cases presented in this paper. This case has shown one of the typical forms of VLF anomalies and the good effect of VLF method for conductive fractures and faults location.

Ngày nhận bài : 23-5-2007

Viện Vật lý Địa cầu