THUẬT TOÁN TÍNH MẬT ĐỘ ĐIỆN TÍCH THỨ CẤP TRÊN RANH GIỚI BẤT ĐỒNG NHẤT

TẠ QUỲNH HOA, VŨ ĐỨC MINH

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cho đến nay đã có nhiều người đưa ra các phương pháp tính toán thực hiện lời giải bài toán thăm dò điện đối với môi trường phức tạp hai và ba chiều có cấu trúc bất kỳ. Có thể nêu ra hai hướng giải chính là phương pháp phương trình tích phân và phương pháp phương trình vi phân :

1) Phương pháp phương trình tích phân dựa trên mô phỏng tính chất của khối bất đồng nhất bằng một tập hợp nguồn điện thứ cấp tạo ra ở mặt tiếp xúc của khối bất đồng nhất. Phương trình tích phân thiết lập trong trường hợp này gọi là phương trình tích phân bề mặt. Nếu khối bất đồng nhất được mô phỏng bằng tập hợp các điện tích đơn giản hay bằng các thanh lưỡng cực thì kết quả tương ứng được gọi là phương trình tích phân khối. Phương trình tích phân có thể thiết lập cho hàm thế U, cường độ điện trường $\bar{E}$ hay cường độ nguồn thứ cấp Is bao gồm phần hiệu ứng dị thường do bất đồng nhất gây ra và phần bình thường đặc trưng cho môi trường (đồng nhất hay phân lớp xác định).

Phương pháp phương trình tích phân tính toán cố định cho những bề mặt bất đồng nhất nên nếu có sự thay đổi hình dạng mặt bất đồng nhất hay thêm, bớt các ranh giới bất đồng nhất thì các điều kiện biên phải thay đổi và phải tính toán lại từ đầu. Để khắc phục điều đó Khmelevskoi (1988) đã đề xuất phương pháp nguồn lưỡng cực thứ cấp trong đó môi trường được cấu tạo bởi những thanh phân cực kề nhau từ đó cho phép thay đổi cấu trúc bất đồng nhất linh hoạt hơn, thông qua sự thay đổi tính chất của một số lưỡng cực nào đó. Nhưng khi đó phương pháp phương trình tích phân theo bề mặt sẽ mất đi tính ưu việt của nó.

2) Phương pháp phương trình vi phân dựa trên sự diễn giải trực tiếp các phép tính sai phân trong phương trình cho từng phần tử của môi trường có thể tích V_i và độ dẫn σ_i với đặc trưng điện thế U_i do nguồn điểm I phân bố trong môi trường gây ra. Các phép tính tích phân và vi phân sẽ được thực hiện theo sơ đồ sai phân thay thế thông qua mối quan hệ của phần tử V_i (với tính chất σ_i, U_i) và các phần tử V_i ở lân cận. Như vậy, nếu mô phỏng môi trường bằng một tập hữu hạn các phần tử V_i (đồng nhất về tính dẫn điện σ_i có kích thước xác định), và viết phương trình theo sơ đồ sai phân cho mỗi phần tử V_i với các điều kiện cần thiết để đảm bảo sự tồn tại của hàm thế U trong môi trường bất đồng nhất do một nguồn điểm I gây ra ta sẽ nhận được một hệ phương trình đại số tuyến tính với U_i là ẩn số đặc trưng cho trường thế V_i.

Phương pháp phương trình vi phân chỉ thực hiện được trên các máy tính có bộ nhớ đủ lớn và phụ thuộc rất nhiều vào quá trình rời rạc hóa để thiết lập hệ phương trình sai phân hữu hạn. Ngoài ra khi mô hình có bất đồng nhất phức tạp thì mạng lưới đòi hỏi kích thước lớn, chi tiết hơn và số phương trình tăng lên rất lớn, rất khó thực hiện ở máy tính tốc độ chậm và bộ nhớ nhỏ, nhất là mức độ hội tụ của phương pháp phụ thuộc rất nhiều vào đặc trưng phân bố vật lý của mô hình tính toán, đối với phân bố độ dẫn phức tạp thì độ hội tụ kém.

Như vậy việc nghiên cứu các phương pháp, các thuật toán giải bài toán thuận mô hình hai hoặc ba chiều để đạt được các yêu cầu về tốc độ tính, độ chính xác vẫn còn là yêu cầu bức thiết. Năm 1981, trong công trình [2] Alpin đã đưa ra công thức tổng quát tính mật độ điện tích thứ cấp cho môi trường bất đồng nhất có dạng là phương trình tích phân. Phương pháp tuy đơn giản, nhưng các phương trình tích phân dẫn đến các hệ phương trình đại số tuyến tính rất lớn. Có lẽ cũng vì lý do đó cho đến nay ở nước ta chưa có công trình nào tiếp tục nghiên cứu, đề xuất thuật toán giải bài toán thuận dựa trên cơ sở của phương pháp này. Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu việc nghiên cứu, xây dựng thuật toán, hệ chương trình tính đối với một số mô hình đồng nhất từng phần dựa trên cơ sở vật lý là phương pháp điện tích thứ cấp nhằm đạt mục tiêu nêu trên.

II. PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TÍCH THỨ CẤP

Khi phát dòng vào môi trường có độ dẫn σ xác định, tại những nơi môi trường bất đồng nhất, do tác động của nguồn phát sẽ xuất hiện các điện tích gọi là các điện tích thứ cấp.

Trong trường hợp môi trường đồng nhất từng phần, với nửa không gian vô hạn có điện trở suất ρ^e, chứa các bất đồng nhất ρ^i, được phân chia bởi các mặt ranh giới $S_{\alpha\beta}$ có dạng bất kỳ. Điện trường tại mỗi điểm là tổng của trường sơ cấp và thứ cấp.

Thế và trường sơ cấp sinh từ nguồn điểm hay hệ nguồn điểm của hệ cực phát tại điểm P được tính theo công thức :

$$U_0(P) = \sum_Q \frac{I_Q \rho_Q}{4\pi r_{QP}} ; \qquad (1)$$

$$E_0(P) = \frac{11}{4\pi} \sum_Q \frac{I_Q \rho_Q}{r_{QP}^3} \vec{r}_{qp}$$

Mật độ điện tích mặt, cường độ điện trường, thế của các điện tích thứ cấp trên mặt ranh giới giữa các miền $\gamma = 1/\rho$ có giá trị γ_α và γ_β gây nên tại điểm quan sát P, là nghiệm của phương trình Fredolm loại 2 được xác định theo công thức :

$$\sigma_P = \frac{K_{\alpha\beta}(P)}{2\pi}\left[\int_{S\alpha\beta} \frac{\sigma_Q}{r_{QP}^3}(\vec{r}_{qp}.\vec{n}_P)dS_Q + \frac{1}{4\pi}\sum \frac{I_Q\rho_Q}{r_{QP}^3}(\vec{r}_{QP}.\vec{n}_P)\right] \qquad (2)$$

$$U_{tc}(P) = \int_{S\alpha\beta} \frac{\sigma_Q}{r_{QP}} dS_P \quad ; \quad \vec{E}_{tc}(P) = \int_{S_{\alpha\beta}} \frac{\sigma_Q}{r_{QP}^3}(\vec{r}_{QP}.\vec{n}_P)dS_P \qquad 3)$$

trong đó : $\vec{r}_{QP}$ là khoảng cách từ yếu tố điện tích thứ cấp có diện tích dS_Q tại Q đến P, $\vec{n}_P$ là pháp tuyến tại điểm P của mặt phân chia $S_{\alpha\beta}$, σ_Q là mật độ điện tích mặt tại điểm Q của yếu tố dS_Q, ρ_Q là điện trở suất thật tại lân cận điểm Q, I_Q là dòng do điện cực phát gây ra tại P, $K_{\alpha\beta}(P)$ là giá trị hệ số của bề mặt tiếp xúc tại P :

$$K_{\alpha\beta}(P) = \frac{\gamma_\alpha - \gamma_\beta}{\gamma_\alpha + \gamma_\beta} = \frac{\rho_\beta - \rho_\alpha}{\rho_\beta + \rho_\alpha} \qquad 4)$$

Từ đó ta xác định được giá trị điện trở suất biểu kiến :

$$\rho_{bk}(r) = K(r)\frac{\Delta U}{I} \qquad (5)$$

với : K(r) là hệ số hệ cực đo, I là cường độ dòng phát, ΔU là hiệu điện thế giữa cặp cực thu.

III. THIẾT LẬP THUẬT TOÁN

Các phương trình (2) và (3) có các tích phân được tính theo các mặt ranh giới bất đồng nhất $S_{\alpha\beta}$. Vì vậy, chúng tôi nghiên cứu thực hiện : rời rạc hóa các phương trình theo các ranh giới đó dẫn đến thiết lập hệ phương trình đại số tuyến tính. Giải hệ phương trình đã thiết lập sẽ tìm được mật độ điện tích thứ cấp trên ranh giới bất đồng nhất, từ đó có thể tính điện trường, điện thế và điện trở suất tại mọi điểm quan sát.

Trong trường hợp tổng quát, mặt ranh giới bất đồng nhất $S_{\alpha\beta}$ có dạng bất kỳ, không biểu diễn được bằng biểu thức giải tích. Do đó để tính tích phân (2) bằng phương pháp số phải chia các mặt biên này thành N phần tử (yếu tố) ΔS_i sao cho trên đó có thể xem hàm dưới dấu tích phân là không đổi. Mỗi phần tử mặt ΔS_i có vị trí xác định bởi tọa độ của tâm phần tử, biểu diễn theo ba thành phần (x_i, y_i, z_i) và có hướng xác định bởi vecto pháp tuyến đơn vị $\vec{n}_i$.

Tích phân theo mặt $S_{\alpha\beta}$ trong phương trình (2) được rời rạc hóa dẫn đến hệ phương trình đại số tuyến tính với ẩn là mật độ điện tích thứ cấp σ_i.

Xuất phát từ (2), ta có :

$$\sigma_P - \frac{K_{\alpha\beta}(P)}{2\pi}\int_{S_{\alpha\beta}} \frac{\sigma_Q}{r_{QP}^3}(\vec{r}_{QP}.\vec{n}_P)dS_Q = \qquad (6)$$

$$= \frac{K_{\alpha\beta}(P)}{2\pi}.\frac{1}{4\pi}\sum \frac{I_Q\rho_Q}{r_{QP}^3}(\vec{r}_{QP}.\vec{n}_P)$$

hay :

$$\sigma_i - \frac{(K_{\alpha\beta})_i}{2\pi}\sum_{j=1(j\neq i)}^{N} \frac{\sigma_j}{r_{qjpi}^3}(\vec{r}_{qjpi},\vec{n}_{pi})\Delta S_j =$$

$$= \frac{(K_{\alpha\beta})_i}{2\pi.4\pi}\sum_q \frac{I_q\rho_q}{r^3_{qjpi}}(\vec{r}_{qjpi}, \vec{n}_{pi}) \tag{7}$$

$(j \neq i\ ;\ i=1,2, \dots N)$

Ta đặt :

$$\sigma_i^0 = \frac{1}{4\pi}\sum_q \frac{I_q\rho_q}{r^3_{q_j p_i}}\left(\vec{r}_{q_j p_i}, \vec{n}_{p_i}\right) = \tag{8}$$

$$= \frac{1}{4\pi}\sum_q \frac{I_q\rho_q}{r^3_{ji}}\left(\vec{r}_{ji}, \vec{n}_i\right)$$

là mật độ điện tích thứ cấp do trường sơ cấp tạo nên. Ta có thể đưa (7) về dạng :

$$\sigma_i - \frac{K_i}{2\pi}\sum_{j=1(j\neq i)}^{N} \frac{\sigma_j}{r^3_{ji}}\left(\vec{r}_{ji}, \vec{n}_i\right)\Delta S_j = \frac{K_i}{2\pi}\sigma_i^0 \tag{9}$$

$(j \neq i; i = 1,2, \dots N)$

với $\vec{r}_{ij} = (x_i - x_j)\vec{i} + (y_i - y_j)\vec{j} + (z_i - z_j)\vec{k}$

Hệ phương trình đại số từ (9) viết dưới dạng ma trận có dạng sau:

$$[A][\sigma] = [B] \tag{10}$$

trong đó :

[A] là ma trận vuông cấp N, có phần tử :

$$A_{ij} = -\frac{K_i}{2\pi}\frac{\left(\vec{r}_{ji}, \vec{n}_i\right)}{r^3_{ji}}\Delta S_j \tag{11}$$

$(j\neq i\ i = 1,2, \dots N)$

[σ] là ma trận cột - mật độ điện tích thứ cấp

[B] là ma trận cột, có phần tử :

$$B_i = \frac{K_i}{2\pi}\sigma_i^0 \tag{12}$$

$(j\neq i,\ i = 1,2, \dots N)$

Hệ phương trình đại số (3.5) viết dưới dạng triển khai có dạng sau :

$$\begin{cases} \sigma_1 - \dfrac{K}{2\pi}\left[\dfrac{\sigma_2}{r^3_{21}}(\vec{r}_{21},\vec{n}_1)\Delta S_2 + \dfrac{\sigma_3}{r^3_{31}}(\vec{r}_{31},\vec{n}_1)\Delta S_3 + \dots \dfrac{\sigma_n}{r^3_{n1}}(\vec{r}_{n1},\vec{n}_1)\Delta S_n\right] = \dfrac{K_1}{2\pi}\sigma_1^0 \\ \sigma_2 - \dfrac{K_2}{2\pi}\left[\dfrac{\sigma_1}{r^3_{12}}(\vec{r}_{12},n_2)\Delta S_1 + \dfrac{\sigma_3}{r^3_{32}}(\vec{r}_{32},\vec{n}_2)\Delta S_3 + \dots \dfrac{\sigma_n}{r^3_{n2}}(\vec{r}_{n2},\vec{n}_2)\Delta S_n\right] = \dfrac{K_2}{2\pi}\sigma_2^0 \\ \sigma_N - \dfrac{K_2}{2\pi}\left[\dfrac{\sigma_1}{r^3_{1n}}(\vec{r}_{1n},\vec{n}_n)\Delta S_1 + \dfrac{\sigma_2}{r^3_{2n}}(\vec{r}_{2n},\vec{n}_n)\Delta S_2 + \dots \dfrac{\sigma_{n-1}}{r^3_{(n-1)N}}(\vec{r}_{(n-1)},\vec{n}_N)\Delta S_{n-1}\right] = \dfrac{K_1}{2\pi}\sigma_N^0 \end{cases} \tag{13}$$

Việc giải hệ phương trình đại số tuyến tính (13) cho phép tính được mật độ điện tích thứ cấp tại các điểm của mặt phân chia, từ đó xác định được thế và cường độ của trường thứ cấp do các điện tích trên mặt phân chia gây ra tại điểm quan sát P :

$$U_{tc}(t) = \sum_{j=1}^{N}\frac{\sigma_j}{r_{pj'}}\Delta S_j\ ;\ E_{tc}(t) = \sum_{j=1}^{N}\frac{\sigma_j}{r^3_{pj'}}\left(\vec{r}_{pj'}, \vec{n}_p\right)\Delta S_j \tag{14}$$

Do điện cực phát đặt tại điểm A trên mặt môi trường nửa không gian, kết hợp (1) và (14) suy ra:

$$\begin{cases} U(P) = U_0(P) + U_{tc}(P) = \sum\limits_Q \dfrac{I_Q\rho_Q}{2\pi r_{QP}} + \sum\limits_{j=1}^{N}\dfrac{\sigma_j}{r_{Q_jP}}\Delta S_j \\ E(P) = E_0(P) + E_{tc}(P) = \sum\limits_Q \dfrac{I_Q\rho_Q}{2\pi r^3_{QP}}\vec{r}_{QP} + \sum\limits_{j=1}^{N}\dfrac{\sigma_j}{r^3_{Q_jP}}\left(\vec{r}_{Q_jP}, \vec{n}_p\right)\Delta S_j \end{cases} \tag{15}$$

Từ đó ta xác định được giá trị điện trở suất biểu kiến theo công thức (5).

IV. KẾT QUẢ ÁP DỤNG

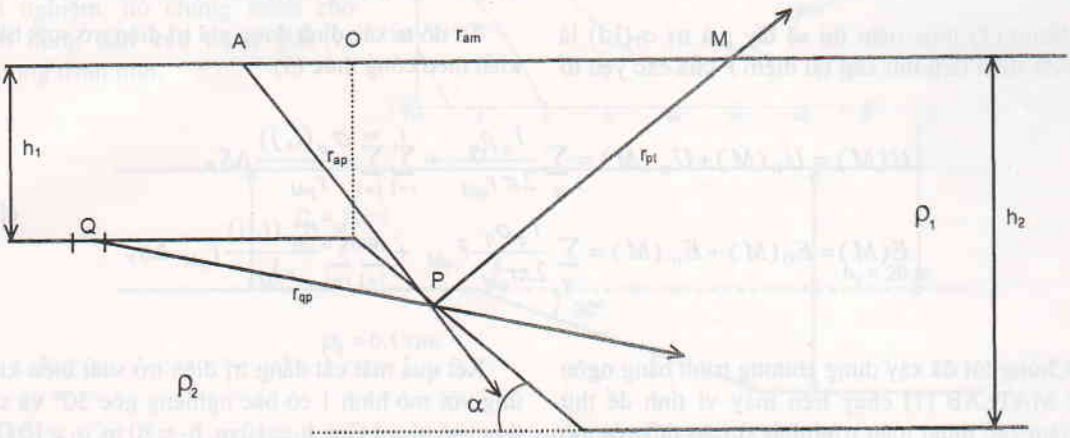
Dưới đây chúng tôi trình bầy một ví dụ áp dụng thuật toán nêu trên cho mô hình nửa không gian có một mặt phân chia môi trường thành 2 lớp có điện trở suất tương ứng là ρ1, ρ2 (*hình 1*).

Mặt phân chia gồm 3 phần :

- Phần thứ nhất nằm song song với mặt môi trường có độ sâu h_1, gọi là mặt h_1.

- Phần thứ hai nằm nghiêng với mặt môi trường một góc α gọi là mặt nghiêng.

- Phần thứ ba cũng nằm song song với mặt môi trường có độ sâu h_2, gọi là mặt h_2.



Hình 1. Mô hình môi trường đồng nhất từng phần

Sử dụng hệ tọa độ Đề các với gốc tọa độ O đặt ở hình chiếu giao điểm giữa hai mặt $h_1$và mặt nghiêng lên mặt môi trường, trục z hướng xuống dưới. Giả sử tại một điểm $A(x_A,y_A,0)$ trên mặt môi trường có một nguồn điểm (điện cực phát điểm) phát dòng I. Khi đó tại một điểm $P(x_P,y_P,z_P)$ bất kỳ trên mặt phân chia xuất hiện yếu tố điện tích thứ cấp do tác dụng của điện cực phát và chịu tác động của các điện tích thứ cấp tại các điểm $Q(x_Q,y_Q,z_Q)$ còn lại trên mặt phân chia, xuất hiện nhờ tác động của điện cực phát.

Trong mô hình trên, ta chia mặt ranh giới thành các yếu tố diện tích ΔS, các điểm P và Q nằm ở giữa các yếu tố diện tích đó. Gọi số yếu tố diện tích ΔS theo chiều trục x là l, còn số yếu tố theo trục y là m, ta có số yếu tố trên toàn bộ mặt ranh giới là : N = l × m, phương trình (6) trở thành :

$$\sigma_p(i,k) = \frac{K_{12}(P)}{2\pi}\left[\sum_{i=1}^{l}\sum_{j=1}^{m}\frac{\sigma_p(i,j)}{r_{pq}^3}\left(\vec{r}_{pq},\vec{n}_p\right)\Delta S_p + \frac{1}{4\pi}\cdot\frac{I\rho_1}{r_{ap}^3}\left(\vec{r}_{ap},\vec{n}_p\right)\right];\ k \neq j\ (k = 1 \ldots m) \qquad (16)$$

ở đây : K_{12} là hệ số của bề mặt tiếp xúc tại điểm P, r_{QP} là khoảng cách từ điểm Q đến điểm P, r_{ap} là khoảng cách từ điểm A đặt điện cực phát tới điểm P, $\vec{n}_P$ là vecto pháp tuyến của mặt phân chia tại điểm P, $|\vec{n}_P| = 1$.

Công thức (16) cho thấy muốn xác định được $\sigma_P(i,k)$ phải tính được các tích vô hướng $(\vec{r}_{pq},\vec{n}_p)/r_{pq}^3, (\vec{r}_{ap},\vec{n}_p)$ khi các điểm P và Q thay đổi trên các phần của mặt phân chia và xác định được các $\sigma_Q(i,j)$. Có thể áp dụng phương pháp xấp xỉ liên tiếp giải hệ phương trình (16) để xác định các σ_P.

- Mặt phân chia được chia thành mạng lưới "động" gồm các yếu tố diện tích ΔS_{ij} không đều nhau.

- Muốn xác định $\sigma_P(I,J)$ là mật độ điện tích thứ cấp tại điểm P của yếu tố diện tích ΔS_{ij}, cần xác định được $\sigma_Q(I,J)$ tại các điểm Q là điểm giữa của các yếu tố diện tích ΔS_{ij} còn lại trên mặt phân chia.

Đầu tiên tính tất cả các $\sigma_0 = [K_{12}(P)] / (1/4\pi) \times (I\rho_1 / r_{ap}^3)(\vec{r}_{ap}, \vec{n}_p)$ là mật độ điện tích tại yếu tố diện tích (I,J) do trường sơ cấp tạo nên. Bằng phương pháp xấp xỉ liên tiếp gán $\sigma_Q(I,J) = \sigma_0(I,J)$ để tính $\sigma_P(I,J)$ theo (16), chúng ta sẽ tính được tất cả các $\sigma_P(I,J)$. Sau đó dùng phép kiểm tra sai số tương đối :

$$\frac{|\sigma_P(I,J) - \sigma_0(I,J)|}{|\sigma_0(I,J)|} \le 10^{-6} \qquad (17)$$

Nếu (17) thỏa mãn thì sẽ lấy giá trị $\sigma_P(I,J)$ là mật độ điện tích thứ cấp tại điểm P của các yếu tố diện tích $\Delta S(I,J)$. Nếu (17) không thỏa mãn thì ta lại gán $\sigma_Q(I,J) = \sigma_P(I,J)$ để tính giá trị $\sigma_P(I,J)$ mới. sau đó lại dùng phép kiểm tra như trên, quá trình tiếp tục cho đến khi thỏa mãn điều kiện kiểm tra.

Sau khi đã tính được các $\sigma_P(I,J)$, ta sẽ tính được hàm thế $U_K(M)$ rồi $\rho_K(M)$ tại điểm đo M theo (4).

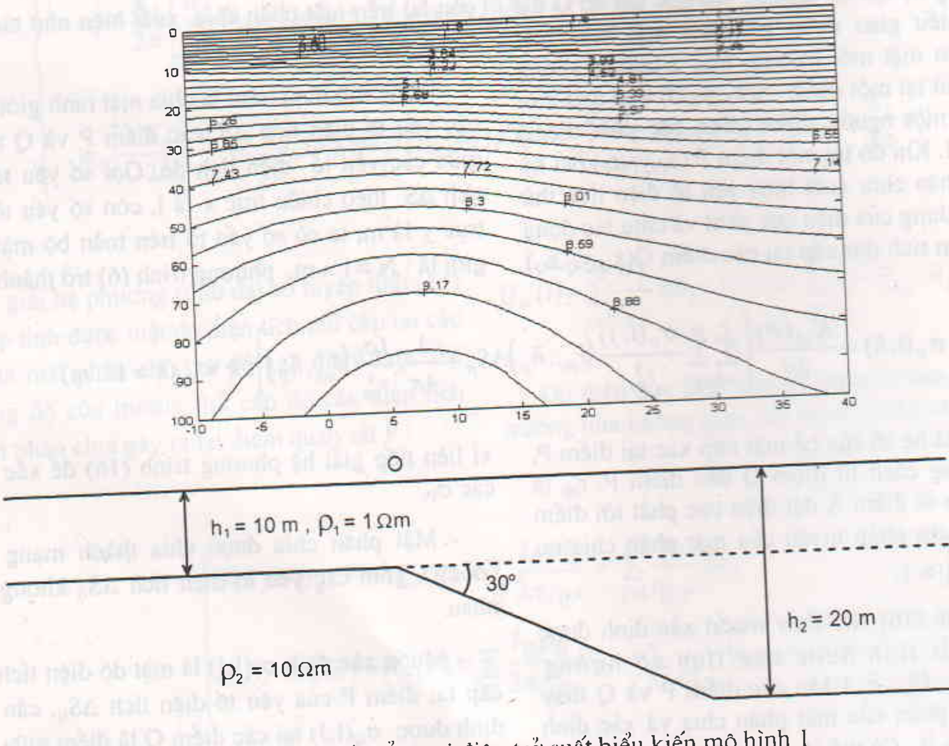
Sau khi tính được các $\sigma_P(I,J)$ - mật độ điện tích thứ cấp tại các điểm P, có thể xác định thế và cường độ của trường gây ra tại điểm quan sát M (18) :

Từ đó ta xác định được giá trị điện trở suất biểu kiến theo công thức (5).

$$\begin{cases} U(M) = U_0(M) + U_{tc}(M) = \sum_q \dfrac{I_q \rho_q}{2\pi r_{qM}} + \sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{m} \dfrac{\sigma_p(i,j)}{r_{pM}} \Delta S_P \\ E(M) = E_0(M) + E_{tc}(M) = \sum_q \dfrac{I_q \rho_q}{2\pi r_{qM}^3} \vec{r}_{qM} + \sum_{i=1}^{l} \sum_{j=1}^{m} \dfrac{\sigma_p(i,j)}{r_{pM}^3} \vec{r}_{pM} \Delta S_P \end{cases} \qquad (18)$$

Chúng tôi đã xây dựng chương trình bằng ngôn ngữ MATLAB [1] chạy trên máy vi tính để thử nghiệm các thuật toán trình bày ở trên đối với mô hình môi trường đồng nhất từng phần. Dưới đây là một số kết quả ví dụ minh hoạ.

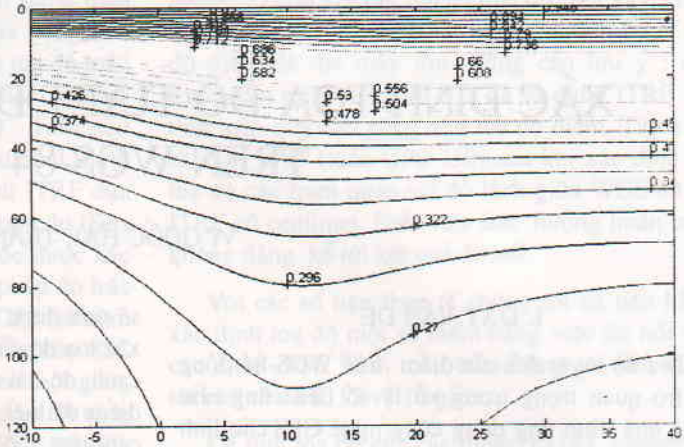
Kết quả mặt cắt đẳng trị điện trở suất biểu kiến ứng với mô hình 1 có bậc nghiêng góc 30° và các tham số $\rho_1 = 1\,\Omega m$, $h_1 = 10$ m, $h_2 = 20$ m, $\rho_1 = 10\,\Omega m$ được biểu diễn trên *hình* 2. Trong trường hợp này cực phát đặt tại điểm O và lấy làm gốc toạ độ.

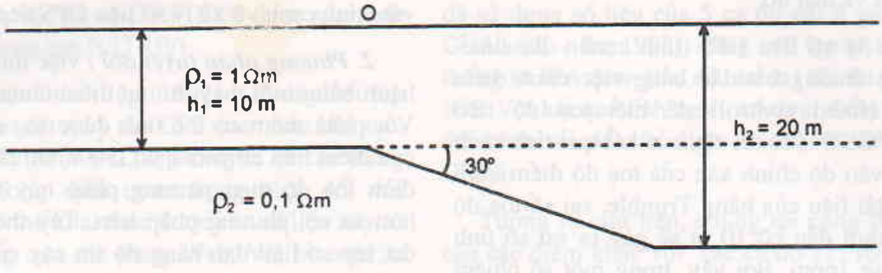


Hình 2. Mặt cắt đẳng trị điện trở suất biểu kiến mô hình 1

Kết quả mặt cắt đẳng trị điện trở suất biểu kiến ứng với mô hình 2 có bậc nghiêng góc 30° và các tham số ρ_1 =10 Ωm, h_1 = 10 m, h_2 =20 m, ρ_1 =0,1 Ωm được biểu diễn trên *hình 3*, cực phát đặt tại điểm O và lấy làm gốc toạ độ.

Nhìn vào kết quả thu được ta thấy chúng phù hợp với mô hình thử nghiệm, nó chứng minh cho tính đúng đắn của thuật giải và chương trình tính.





Hình 3. Mặt cắt đẳng trị điện trở suất biểu kiến mô hình 2

KẾT LUẬN

Trong phương pháp điện tích thứ cấp, trường tổng hợp được tách thành trường sơ cấp và thứ cấp, công sức tính toán chủ yếu ở phần thứ cấp gây ra do các điện tích thứ cấp nằm trên ranh giới bất đồng nhất của mô hình nên có nhiều ưu điểm về tốc độ tính toán, thực hiện hiệu quả trên máy vi tính, nhất là đối với các mô hình bất đồng nhất cục bộ có kích thước hữu hạn. Việc xây dựng các thuật toán cho phép tính nhanh một số mô hình bài toán thuận bằng phương pháp điện tích thứ cấp sẽ giúp cho việc phát triển các hệ phần mềm xử lý, giải thích tài liệu đo sâu điện môi trường địa điện bất đồng nhất và nâng cao vai trò của phương pháp đo sâu điện còn hạn chế hiện nay.

Chúng tôi sẽ tiếp tục nghiên cứu thuật toán tính mật độ điện tích thứ cấp của phương pháp điện tích thứ cấp áp dụng cho môi trường bất đồng nhất gradient (có các điện tích thứ cấp khối) và tối ưu quá trình rời rạc hóa các mặt ranh giới có dạng bất kỳ đối với các mô hình hai, ba chiều phức tạp hơn để tính đủ nhanh, đủ chính xác các bài toán đó. Đồng thời sẽ áp dụng đối với các loại hệ điện cực đo trong thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] D.M. ETTER, 1999 : Engineering Problem Solving with Matlab. Prentice International, Inc. University of Colorado Boulder, 423 p.

[2] Л.М. Альпин 1981 : Метод вторичных зарядов. Прикладная геофизика Вып, 99, М.

SUMMARY

The Algorithm for calculating density of secondary electrics on the unhomogeneous boundary

This article introduces the algorithm for calculating density of secondary electrics on the unhomogeneous boundary. On this base, we build a set of algebraic equations, find the formula of density of secondary electrics charge for partially - unhomogeneous model from the salvation of Fredholm integral equation category 2.

Ngày nhận bài 10-11-2003

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGH