

XÂY DỰNG MÔ HÌNH TOÁN HỌC ĐỂ GIẢI BÀI TOÁN NGƯỢC THĂM DÒ ĐIỆN TRÊN MÔI TRƯỜNG HAI CHIỀU NHỜ PHƯƠNG TRÌNH TÍCH PHẦN

Lâm Quang Thiệp

Đại học Khoa học tự nhiên - ĐHQGHN

Nguyễn Kim Quang

Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh

I. MỞ ĐẦU

Việc giải bài toán ngược trong đo sâu điện trên môi trường một chiều (phân lớp ngang) nhờ máy tính điện tử được quan tâm đến cách đây vài thập kỷ đã xem như được giải quyết với các phương pháp và công cụ tính toán hiện đại [1]. Vấn đề hiện nay là xây dựng các phương pháp giải bài toán ngược đo sâu điện trên môi trường hai và ba chiều.

Để giải bài toán ngược đo sâu điện trên môi trường hai chiều cần thực hiện các công đoạn cơ bản : (1) Thu thập các thông tin qua điện trường hay điện thế trên lát cắt điện nhờ một hệ phương pháp xác định; (2) Giải bài toán thuận cho môi trường hai chiều; (3) Dùng phương pháp lựa chọn để giải bài toán ngược đo sâu điện.

Đối với công đoạn (1), nhờ phương pháp đo sâu điện đối xứng và lưỡng cực hợp nhất (CSDS) [2, 3, 4, 5] cho phép thu thập một khối lượng khá lớn thông tin về lát cắt địa điện nhờ một hệ phương pháp khá đơn giản.

Đối với công đoạn (2), việc giải bài toán thuận tính điện trường và điện trở suất trên môi trường hai chiều được tiến hành theo các phương pháp mô hình toán học khác nhau. Trong bài này trình bày việc áp dụng phương pháp phương trình tích phân để giải bài toán trên.

Về công đoạn (3), sẽ được bàn đến trong một bài báo khác.

2. CƠ SỞ CỦA PHƯƠNG PHÁP SỐ GIẢI PHƯƠNG TRÌNH TÍCH PHẦN

Ta sẽ dùng hệ tọa độ Descartes ba chiều xyz . Giả thiết, trong một mặt phẳng $\tau = \text{const}$, lát cắt địa điện biểu diễn nửa không gian vô hạn theo chiều z có các vùng chứa điện trở suất khác nhau, còn theo phương y môi trường hoàn toàn không đổi. Trên mặt môi trường ($z = 0$) có một nguồn phát dòng không đổi cường độ I . Vấn đề là phải tính điện trường trên mặt $z = 0$ của môi trường này.

Trường tại mỗi điểm được xem gồm hai phần: trường bình thường và trường dị thường. Trường bình thường có thể chọn là trường do môi trường đồng nhất hay môi trường phân lớp ngang gây ra. Trường dị thường gây ra bởi các phần bất đồng nhất của môi trường. Do đó, trọng tâm bài toán là thay thế tác động của các bất đồng nhất bởi hệ các nguồn thứ cấp, xác

định cường độ của các nguồn thứ cấp này và tính trường do chúng gây ra [4, 5].

- Điện trường tại điểm $M(x, y, z)$ được giải và biểu diễn thích hợp dưới dạng [6]:

$$E(M) = E^0(M) + \int_{S_a} \text{grad}_M G(P, M) J_s(P) dS_p, \quad (1)$$

với $E^0(M)$: điện trường bình thường,

$G(P, M)$: hàm Green,

S_a : mặt biên của bất đồng nhất,

$J_s(P)$: mật độ dòng thứ cấp tại $P(x', y', z')$ trên mặt S_a .

- $J_s(P)$ được biểu diễn dưới dạng phương trình tích phân Fredholm loại 2:

$$J_s(P) = K \left[E^0(M) - \int_{S_a} \frac{\partial G(P, M)}{\partial n} J_s(P) dS_p \right], \quad (2)$$

với $K = \frac{2(\rho^e - \rho^i)}{\rho^e(\rho^e + \rho^i)}$: hệ số đặc trưng độ tương phản của bất đồng nhất:

Bài toán được giải trên môi trường 2 chiều, nhưng nguồn điểm phát dòng trong không gian ba chiều, được xem là bài toán giả 3 chiều. Để đơn giản bài toán, người ta giảm số chiều của nguồn điểm bằng cách phân tích phổ qua phép biến đổi Fourier theo thành phần y . Bài toán giả ba chiều sẽ được phân tích ra thành một loạt bài toán hai chiều trong không gian tần số đối với những giá trị tương ứng của tần số không gian K_y . Sau những tính toán trong không gian tần số, điện trường trong không gian thực sẽ được tính qua phép biến đổi Fourier ngược.

Biểu thức phổ của mật độ dòng thứ cấp:

$$J(x, K_y, z) = K \left[E_n(x, K_y, z) - \int_{L_a} \frac{\partial}{\partial n} G(x, x', K_y, z, z') J_s(x', K_y, z') dl' \right], \quad (3)$$

với

$$\frac{\partial}{\partial n} G(x, x', K_y, z') = \frac{\rho^e}{2\pi} \left[\{(x - x')(i.n) - z'(k.n)\} \int_0^\infty \frac{\cos(K_y \cdot y)}{(R^2 + y^2)^{3/2}} dy + \{(x - x')(i.n) + z'(k.n)\} \int_0^\infty \frac{\cos(K_y \cdot y)}{(R^2 + y^2)^{3/2}} dy \right]$$

trong đó i, k, n là các vector đơn vị của các trục x, z và pháp tuyến phân tử diện tích của biên; L_a : đường cong của biên bất đồng nhất trong mặt phẳng (x, z) .

Tích phân trong (3) chỉ lấy theo đường L_a nên làm giảm rất đáng kể lượng tính toán. Biểu thức (3) được rời rạc hóa theo đường L_a thành hệ phương trình đại số tuyến tính chứa ẩn là mảng các giá trị phổ của mật độ dòng thứ cấp $(J)_i$ ứng với các trị tương ứng tần số K_y

$$(J)_i + K_i \sum_{j=1}^N c_{ij} (J)_j = -K_i (E_n)_i, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

hoặc dưới dạng ma trận:

$$C \cdot J = B$$

trong đó :

J : ma trận cột các giá trị J_i ;

B : ma trận cột thành phần còn lại: $B = -K_i(E_n)_{i;}$

C : ma trận vuông các phần tử c_{ij} cấp N , với N là số phần tử trên biên L_n :

$$c_{ij} = \int_{(L_n)_j} \frac{\partial}{\partial n} G(x_i, x_j, K_y, z_i, z_j) dl_j$$

hoặc dưới dạng rời rạc:

$$c_{ij} = \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial G}{\partial n} \right)_{ij} \cdot \Delta l_j$$

Giải hệ phương trình này ta sẽ có bộ giá trị J_i ứng với mỗi K_y , từ đó ta có thể tính phổ của điện trường gây ra bởi phần dị thường ứng với K_y :

$$E_x(x, K_y, z) = - \int_{L_n} \frac{\partial}{\partial x} G(x - x', K_y, z, z') \cdot J(x', K_y, z') dl'$$

hoặc dưới dạng rời rạc:

$$E_i = - \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial G}{\partial n} \right)_{ij} J_j \cdot \Delta l_j .$$

Điện trường dị thường trong không gian thực:

$$E_x(x, y, z) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} E_x(x, K_y, z) \cdot \cos(K_y \cdot y) dK_y .$$

- Tại những điểm tính trường trên mặt môi trường

$$y = 0 \text{ và } z = 0 = \cos(K_y \cdot y) = 1 ; E_y = 0 ; E_z = 0 .$$

Biểu thức để tính điện trường tại điểm $M(x, 0, 0)$ trên mặt môi trường được biểu diễn:

$$E_x(x, 0, 0) = E_x(x, 0, 0) - \sum_k E_x(x, 0, 0) \cdot \Delta K_y .$$

Từ đó có thể tính các giá trị điện trở suất biểu kiến ứng với từng loại hệ cực đo

3. CẤU TRÚC CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN VÀ CÁCH THỨC SỬ DỤNG

Dù đã có nhiều công trình mô tả phương pháp và chương trình tính cho bài toán trên đây, đặc biệt là chương trình IE2DP của Bộ môn Địa vật lý Trường đại học Quốc gia Moskva [6], nhưng các chương trình đó vẫn còn những hạn chế nhất định. Chúng tôi xin giới thiệu việc xây dựng chương trình tính điện trở suất biểu kiến RES2P trên các môi trường bất đồng nhất 2 chiều,

ùng những biện pháp nâng cao hiệu quả tính toán và những thủ thuật viết chương trình nhằm
ạo thuận lợi trong việc khảo sát các dạng mô hình.

Để tiến hành tính toán, biên bất đồng nhất L_a được phân thành N phần tử (đoạn) đủ nhỏ.
Việc rời rạc các biên bất đồng nhất phụ thuộc độ tương phản K_1 , khoảng cách đến những nguồn
phát và điểm đo, cụ thể khi độ tương phản lớn hay khi phần tử nằm ở gần nguồn phát hoặc điểm
lo phải chia biên này với mật độ cao hơn. Những phần biên kéo dài vô hạn đi xa điểm đo và
nguồn phát do ảnh hưởng của chúng yếu nên có thể chia thành những đoạn lớn. Như vậy, đối với
hững mô hình phức tạp và có biên rộng N có thể rất lớn. Chương trình tính RES2D được viết
ằng ngôn ngữ PASCAL cho phép chọn số N khá lớn, phụ thuộc bộ nhớ RAM trên máy tính.
Khả năng này cũng cho phép nâng cao độ chính xác tính toán. Tuy nhiên, khi N quá lớn thời
gian tính toán sẽ tăng.

- Số điểm đo đường cong điện trở suất biểu kiến theo tuyến, cũng như số khoảng mở của
ác loại thiết bị để có thể khảo sát nhiều độ sâu nghiên cứu cần thiết là đủ lớn so với các yêu cầu
hực tiễn (số điểm đo có thể lớn hơn 20 và số khoảng mở có thể lớn hơn 30).

- Chương trình cho phép tính cùng lúc nhiều đường cong đo sâu và đo mặt cắt điện đối với
hiều loại hệ cực đo khác nhau, tiện so sánh những đặc điểm của chúng ứng với cùng một mô
hình địa điện.

- Kết quả điện trở suất biểu kiến của hệ cực đo theo phương pháp CSDES được tính đồng
hời với các loại hệ cực khác để so sánh cho thấy rõ sự phản ánh của các đường cong ứng với các
ệ cực khác nhau trên mỗi kiểu mô hình.

- Mô hình được xây dựng theo các cách thức giản đơn và tiện lợi, hoặc bằng bảng số liệu
ay bằng cách vẽ trực tiếp trên màn hình bởi con chuột.

- Kết quả tính toán được biểu thị dưới dạng các bảng số, các file dữ liệu biểu thị trên màn
ình, hoặc trực tiếp dưới dạng các sơ đồ lát cắt địa điện hay các đường cong điện trở suất biểu
iến có thể quan sát trên màn hình đồ họa theo từng điểm trên tuyến. Khả năng này cho phép
hanh chóng rút những kết luận bổ ích hướng đến việc phân tích kết quả đo sâu và đo mặt cắt
liên trên các mô hình lát cắt địa điện bất đồng nhất khác nhau.

4. KẾT QUẢ MINH HỌA

Trên hình 1 có minh họa kết quả tính toán theo chương trình RES2D trên một mô hình lát
cắt điện hai chiều với phân bố điện trở suất được mô tả ở phần dưới hình vẽ. Trên mặt lát cắt
nô hình có tiến hành đo 5 điểm CSDES. Các đường cong điện trở suất biểu kiến từ trên xuống
lưới tương ứng theo thiết bị VES ρ_{s1} , thiết bị lưỡng cực trái hệ ρ_{rL} , thiết bị lưỡng cực phải
 ρ_{rR} và thiết bị hợp nhất ρ_F . Các đường cong được in trực tiếp từ màn hình của máy vi tính.
Các chữ số trên đường cong biểu diễn giá trị điện trở suất biểu kiến ứng với khoảng mở đầu và
choảng mở cuối của mỗi đường cong. Qua các đường cong thu được từ phương pháp CSDES [4]
ó thể nêu mấy nhận xét sau đây:

- Có sự khác biệt rõ giữa các đường cong ρ_{rL} và ρ_{rR} khi điểm đo sâu tiến gần đến vùng biến
ổi ở giữa lát cắt điện.

- Độ sâu nghiên cứu tăng dần lần lượt theo các đường cong ρ_r , ρ_S , ρ_F (đường cong tách
thời tiệm cận trái ngày càng chậm hơn theo thứ tự trên).

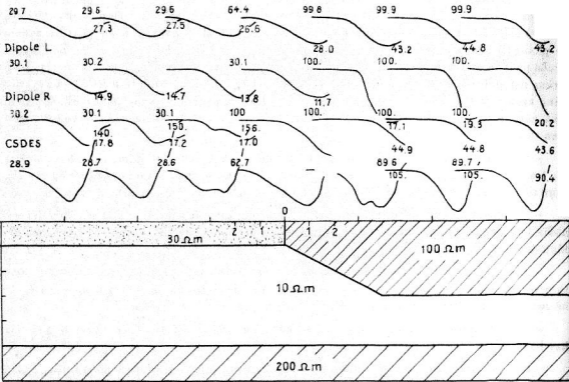
- Các đường cong ρ_F có độ sâu nghiên cứu lớn nhất và độ phân giải cao nhất.

Chương trình RES2D cho phép tính các đường cong điện trở suất biểu kiến nhanh chóng và
iểu diễn trực tiếp trên màn hình để quan sát và giải thích rất tiện lợi.

ĐIỆN TRỞ SUẤT BIỂU KIẾN

Khoảng mô thiết bị : từ 0.5 đến 12.5 h

Schlumberger



Hình 1. Minh họa kết quả tính toán theo chương trình RES2D trên một mô hình lát cắt địa điện hai chiều

5. KẾT LUẬN

Phương pháp phương trình tích phân đã được ứng dụng hiệu quả cho mô hình địa điện bất đồng nhất 2 chiều. Chương trình tính được áp dụng đối với nhiều dạng mô hình và cho kết quả phù hợp với các kết quả đã được công bố trong các công trình trước đây. Kết quả của thiết bị đo theo phương pháp CSDES làm thể hiện nổi bật những bất đồng nhất của mô hình. Thời gian tính toán theo chương trình RES2D được rút ngắn nhiều với chương trình IE2DP. Những ưu điểm nêu trên làm cho chương trình RES2D trở thành công cụ phục vụ tốt cho việc nghiên cứu các mô hình toán học cũng như việc phân tích tài liệu thực địa trong thăm dò điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Lâm Quang Thiệp, Lê Viết Dư Khương. Ứng dụng những thành tựu mới về xử lý và phân tích số liệu đo sâu điện trong thăm dò địa chất. Tạp chí Địa chất, Việt Nam, (1988), 187 - 189.
2. Lâm Quang Thiệp, Lê Viết Dư Khương. Các phương pháp đo sâu và đo mặt cắt điện bằng hệ cực đối xứng và lưỡng cực hợp nhất. Tạp chí Địa chất, Việt Nam, No. 167 (1984), 1 - 4.
3. Lâm Quang Thiệp, Lê Viết Dư Khương. Phương pháp đo sâu điện đối xứng vì lưỡng cực hợp nhất. Patent, No. 052, 28/2/1989, Cục Sáng chế Việt Nam.

4. Lâm Quang Thiệp, Lê Viết Dư Khương. Về việc phân tích kết quả đo sâu điện bằng phương pháp đối xứng và lưỡng cực hợp nhất (tiếng Nga). "Thông báo của Viện Hàn lâm Khoa học Liên Xô, Phần Vật lý Trái đất", No. 6 (1990), 86 - 92.
5. Lam Quang Thiệp, Le Viet Du Khuong. A new electric sounding method and its application in the geological surveys in Vietnam. "Proceeding of the First International Conference of Indochinese Geology (CGI), Dec. 5-7, 1986, Hochiminh City.
6. B. K. Khmelovskoe, V. A. Sevnin. Đo sâu điện trên môi trường địa chất (tiếng Nga), NXB Đại học Moskva (MGU) (1988).
7. A. Dey and Morrison. Resistivity modeling for arbitrarily shaped three-dimensional structures. *Geophysics*, 44 (1979), 153.
8. Charles S. Williams. *Designing digital filters*, Prentice-Hall International, 1985.

VNU. JOURNAL OF SCIENCE, NAT. SCI., t. XI, n^o4, 1995

**BUILDING MATHEMATICAL MODELS FOR SOLVING INVERSE PROBLEMS
OF ELECTRICAL PROSPECTING ON TWO-DIMENSIONAL MEDIA
BY THE INTEGRAL EQUATION METHOD**

Lam Quang Thiệp
College of Natural Sciences - VNU
Nguyen Kim Quang
Polytechnique Univ. HCM City

Numerical techniques have been developed to solve direct problems for arbitrarily two-dimensional media using integral equation method. The program is available for computing electrical sounding curves, an important phase for the procedure for resolving inverse electrical prospecting problems. An illustration is given for combined symmetrical and dipole electric sounding method.