

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP ẢNH ĐIỆN ĐỂ NGHIÊN CỨU TÍNH CHẤT BẤT ĐỒNG NHẤT VỀ ĐỘ DẪN ĐIỆN CỦA MÔI TRƯỜNG ĐẤT ĐÁ

Nguyễn Thành Ván⁽¹⁾, Lê Ngọc Thanh⁽²⁾, Nguyễn Minh Anh⁽¹⁾

(1) Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc gia Tp. HCM.

(2) Phân Viện Địa lý tại Tp. HCM, Viện Khoa học & Công nghệ Việt Nam.

(Bài nhận ngày 01 tháng 07 năm 2005, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 15 tháng 08 năm 2005)

TÓM TẮT: Trong những năm gần đây, phương pháp ảnh điện đã được áp dụng rộng rãi và có hiệu quả trong nghiên cứu tính bất đồng nhất về độ dẫn điện của môi trường đất đá. Phương pháp đặt cơ sở trên việc tổ hợp đo sâu điện và mặt cắt điện. Kết quả phân tích cho ta các bức tranh về tính chất dẫn điện hai chiều (2D). Bài báo này giới thiệu sơ lược cơ sở lý thuyết và kết quả áp dụng của phương pháp ảnh điện 2D trong vùng Đồng bằng sông Cửu Long, Đông Nam Bộ và Thành phố Hồ Chí Minh.

1. MỞ ĐẦU

Trong thập niên vừa qua phương pháp ảnh điện, nhất là phương pháp ảnh điện hai chiều (2D) đã phát triển nhanh chóng và rộng khắp trong việc khảo sát cấu trúc địa chất, đặc biệt là tại những nơi có điều kiện địa chất phức tạp, khi đó các phương pháp thăm dò điện truyền thống thường gặp khó khăn trong việc giải đoán. Trong phương pháp ảnh điện 2D việc đo đạc được thực hiện bằng một hệ các điện cực (25 cực hoặc nhiều hơn) xếp theo đường thẳng với khoảng cách không đổi. Số liệu đo đạc được biểu diễn trên mặt cắt đẳng điện trở suất biểu kiến; thuật toán xử lý bao gồm việc chuyển đổi số liệu điện trở suất biểu kiến thành điện trở suất thực (giả định), sau đó dùng phương pháp sai phân hữu hạn hoặc phần tử hữu hạn để tính lại mô hình trên cơ sở số liệu đo đạc được chuyển đổi. Sự sai khác giữa số liệu tính toán (mô hình) và số liệu đo đạc được sử dụng để tìm tương quan sao cho có sự phù hợp giữa mô hình dự kiến với số liệu quan sát.

Bài báo này giới thiệu cơ sở lý thuyết và kết quả áp dụng của phương pháp ảnh điện 2D được chúng tôi thực hiện tại một số khu vực trong nước trong vài năm gần đây.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT CỦA PHƯƠNG PHÁP ẢNH ĐIỆN 2D

a. Phương pháp bình phương tối thiểu Loke – Barker (1995 -1996)

Để giải bài toán ngược điện trở suất 2D, ta xét mô hình bao gồm một số khối hình chữ nhật có điện trở suất không đổi (Barker, 1992; Hình 1). Phương pháp bình phương tối thiểu được sử dụng để xác định điện trở suất của các khối chữ nhật (các tham số mô hình) bằng cách cực tiểu hóa sai số giữa giá trị điện trở suất biểu kiến đo đạc và giá trị tính toán. Sasaki (1994) đã biểu diễn bài toán ngược trong thăm dò điện một chiều bởi phương trình:

$$\Delta d = A \Delta p, \quad (1)$$

trong đó : Δd - vectơ sai phân logarit giữa số liệu mô hình tính toán và số liệu đo đạc, Δp - vectơ hiệu chỉnh đối với tham số mô hình ban đầu p_0 , A - ma trận Jacobi (ma trận đạo hàm riêng phần của mô hình dự kiến theo các tham số của mô hình).

Do bài toán ngược địa vật lý là bài toán không chỉnh nên cần xác định một vài giới hạn cho Δp , và giải pháp ở đây là làm trơn mô hình để thỏa công thức của phương pháp bình phương tối thiểu (Lyth and Dines, 1980; Constable et al, 1987).

Trọng số (mức độ) lỗi lỡm (không nhấn) r của khối chữ nhật thứ j có thể xác định dưới dạng ma trận:

$$r = C\Delta p, \tag{2}$$

trong đó C - toán tử sai phân làm tròn mô hình. được gọi là bộ lọc.

Hàm mục tiêu để xác định cực tiểu được xác định bởi

$$U = \|\Delta d - A\Delta p\|^2 + \lambda\|r\|^2 \tag{3}$$

$\|\cdot\|$: chuẩn Euclide, λ : hệ số thãm.

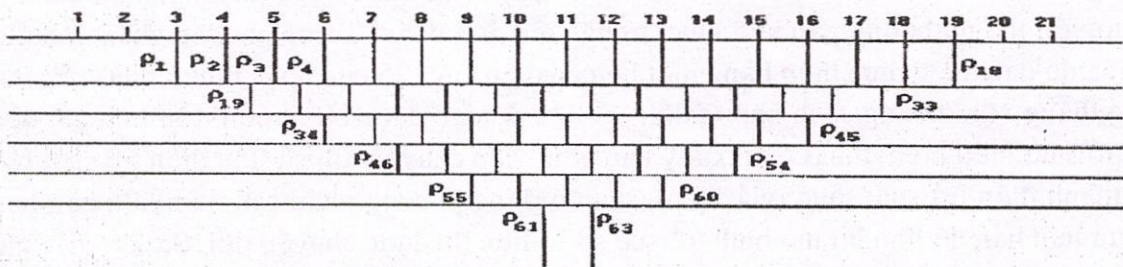
Cực tiểu hóa U cho ta hệ phương trình tuyến tính như sau

$$(A^T A + \lambda C^T C)\Delta p = A^T \Delta d \tag{4}$$

Lời giải này tương đương với lời giải bình phương tối thiểu của hệ

$$\begin{vmatrix} A \\ \sqrt{\lambda}C \end{vmatrix} \Delta p = \begin{vmatrix} \Delta d \\ 0 \end{vmatrix} \tag{5}$$

Phương pháp giải bài toán ngược có thể được chia thành ba bước chính: 1) bước một là tính toán các giá trị điện trở suất biểu kiến cho mô hình giả định, điều này thường được sử dụng bằng phương pháp sai phân hữu hạn hoặc phần tử hữu hạn (Smith và Vozoff, 1994), 2); bước hai là tính ma trận Jacobi các đạo hàm riêng của A (A được tính lại sau mỗi lần lặp và đạo hàm riêng phần có thể tính bằng giải tích cho trường hợp môi trường một chiều đối với mô hình dự kiến ban đầu); 3) bước ba là giải các phương trình tuyến tính trong phương trình (4) hay (5).



Hình 1. Mô hình giải đoán phương pháp ảnh điện 2D

b. Phương pháp Zohdy (1989) và Zohdy – Barker (1995).

Trong phương pháp bình phương tối thiểu đòi hỏi phải tính ma trận Jacobi A các đạo hàm riêng phần của tham số mô hình mỗi lần lặp. Năm 1989, Zohdy đã đưa ra một kỹ thuật mới giúp không phải tính đạo hàm riêng phần và được Barker và Holbs (1992) mở rộng để giải bài toán ngược 2D. Sau đó, bằng thực nghiệm Barker (1995) đã hoàn thiện phương pháp này, được gọi chung là phương pháp Zohdy –Barker.

Phương pháp Zohdy dựa trên hai bước chính: 1) thu thập số liệu đo đạc, thiết lập mô hình dự kiến ban đầu và 2) tính vectơ hiệu chỉnh nhằm giảm thiểu tối đa độ sai lệch giữa số liệu đo đạc và mô hình dự kiến. Các bước tính của phương pháp là

- Độ lệch giữa điện trở suất đo đạc và điện trở suất tính toán theo dự kiến

$$e_i(j) = \log[\rho_0(j)] - \log[\rho_c(j)], \tag{6}$$

trong đó j mô tả lớp thứ j (số lần đo), i - lần lặp thứ i .

- Độ sai lệch giữa hai lần lặp được xác định bởi

$$c_i(j) = \log[\rho_{i+1}(j)] - \log[\rho_i(j)] \tag{7}$$

- Thông qua phương trình

$$c_i(j) = e_i(j) \tag{8}$$

suy ra

$$\rho_{i+1}(j) = \rho_i(j) \frac{\rho_0(j)}{\rho_c(j)} \quad (9)$$

Sau mỗi lần lặp đường cong điện trở suất biểu kiến được tính toán lại, quá trình lặp đi lặp lại được thực hiện cho đến khi sai số của căn quân phương (RMS)

$$\text{RMS}(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \frac{\bar{\rho}_0(j) - \bar{\rho}_c(j)}{\bar{\rho}_0(j)}}{N}} \cdot 100 \quad (10)$$

giữa đường cong đo đạc và đường cong điện trở suất tính toán là tối thiểu (thường chọn bé hơn 5%).

Trong phương pháp Zohdy độ hội tụ được cải tiến bằng cách nhân thêm hệ số $f_i(j)$ vào $e_i(j)$ như sau

$$c_i(j) = f_i(j) \cdot e_i(j) \quad (11)$$

trong đó $f_i(j)$ ban đầu được lấy là 1,0 cho hai bước lặp đầu, sau đó hiệu chỉnh độ chênh lệch logarit $e_i(j)$ cho các bước lặp kế tiếp và đưa đến biểu thức hiệu chỉnh sau

$$f_i(j) = f_{i-1}(j) \left[1.0 + \frac{e_i(j)}{e_{i-1}(j)} \right] \quad (12)$$

Trong thực tế, giá trị $f_i(j)$ được giới hạn từ 1,0 đến 3,0 nhằm làm cho ảnh hưởng của quá trình giải bài toán ngược lên độ ổn định là thấp nhất, nghĩa là biểu thức trên chỉ được áp dụng khi độ sai lệch $e_i(j)$ và $e_{i-1}(j)$ lớn hơn 0,1%. Ngoài ra, trong số liệu thu thập thường có nhiều ngẫu nhiên, do đó để cho phương pháp có hiệu quả hơn ta tiến hành làm trơn đường cong thông qua biểu thức

$$e_i(j) = C_1 \cdot e_i(j-1) + C_2 \cdot e_i(j) + C_3 \cdot e_i(j+1), \quad (13)$$

nghĩa là thay vì sử dụng độ sai lệch tại một điểm số liệu (để tính toán sự thay đổi của lớp thứ j), có thể sử dụng giá trị trung bình của độ thay đổi điểm thứ j với hai điểm kế cận của nó; các hằng số trong biểu thức (13) được xác định là: $C_1 = 0,25$; $C_2 = 0,50$; $C_3 = 0,25$. Trong trường hợp này giá trị chênh lệch trung bình của 3 điểm bằng không, điện trở suất của lớp không thay đổi, vì vậy ảnh hưởng của nhiễu ngẫu nhiên lên điện trở suất các lớp được giảm tối đa.

Nhằm cải tiến phương pháp Zohdy, Barker (1992,1995) đã sử dụng các khối chữ nhật (Hình 1) hai chiều, số khối tương ứng với số liệu đo đạc. Theo phương ngang mỗi khối được đặt tại vị trí điểm giữa của hệ thiết bị đo điện trở suất biểu kiến, độ sâu đến giữa khối bằng độ sâu nghiên cứu tương ứng với kích thước của hệ thiết bị (bằng 0,5 lần khoảng cách điện cực trong hệ thiết bị Wenner). Cần lưu ý là bên trái và bên phải khối được kéo dài ra vô hạn theo phương ngang; phần đáy của dây khối được kéo dài xuống vô hạn, bề dày và bề rộng của mỗi khối là phân số bằng 0,5 đến 1,0 lần kích thước thiết bị nhỏ nhất.

Như trong mô hình một chiều, giá trị điện trở suất ban đầu gán cho mỗi khối là giá trị điện trở suất biểu kiến tại các điểm biết trước trên đường cong khảo sát môi trường một chiều, chỉ khác ở chỗ biểu thức mô tả các bước lặp là

$$c_1(l,n) = e_1(l,n) \quad (14)$$

trong đó l là số khối chữ nhật hoặc số điểm đo bắt đầu từ phía tay trái theo phương ngang của mô hình; n - mức của các khối chữ nhật hoặc các điểm đo theo phương thẳng đứng; $e_1(l,n)$ - độ sai lệch lôgarit giữa giá trị tính toán và giá trị đo đạc của điện trở suất biểu kiến; $c_1(l,n)$ - độ sai lệch lôgarit của điện trở suất trong khối (l,n) từ lần lặp thứ i đến lần lặp thứ $(i+1)$.

Độ hội tụ của mô hình được mô tả theo biểu thức

$$c_i(l,n) = f_i(l,n) \cdot e_i(l,n), \quad (15)$$

trong đó $f_i(l,n)$ là hệ số bổ sung vào để tăng sự hội tụ của phương pháp, $f_i(l,n)$ có giá trị ban đầu là 1,0 cho lần lặp đầu tiên và dùng để hiệu chỉnh độ sai lệch của logarit $e_i(l,n)$ cho các bước lặp kế tiếp. Biểu thức hiệu chỉnh được tính bởi

$$f_i(l,n) = f_{i-1}(l,n) \left[1,0 + \frac{e_i(l,n)}{e_{i-1}(l,n)} \right] \quad (16)$$

Độ sai lệch bình quân logarit của điện trở suất biểu kiến được biểu diễn qua biểu thức

$$c_i(l,n) = C_0 e_i(l,n) + C_s \left\{ \begin{array}{l} e_i(l-1,n) + e_i(l+1,n) + e_i(l+1,n-1) \\ + e_i(l+2,n-1) + e_i(l-2,n+1) + e_i(l-1,n+1) \end{array} \right\} \quad (17)$$

trong đó e_i là độ sai lệch lôgarit của điện trở suất đo đạc và tính toán; C_0 - trọng số của điểm giữa; C_s - trọng số của các điểm chung quanh.

Tổng cộng các giá trị trọng số thông thường là 1,0 và C_0 từ 0,5 đến 0,15 (thực tế từ 0,2 đến 0,3). Cần chú ý rằng nếu bộ lọc hai chiều được mô tả qua biểu thức (16) áp dụng cho số liệu cấu trúc một chiều, thì ta sẽ thu được kết quả tương tự như đã thực hiện với bộ lọc một chiều. Khi đó ta xem như sử dụng bộ lọc một chiều tương đương đã có thêm vào các trọng số $2C_s$, $(C_0 + 2C_s)$ và $2C_s$. Vì vậy, bộ lọc 2 chiều mang trọng số trung tâm C_0 tương đương với bộ lọc một chiều mang các trọng số 0,25; 0,5 và 0,25 khi được dùng cho các bài toán ngược với mặt cắt giả định từ cấu trúc một chiều của môi trường đất đá.

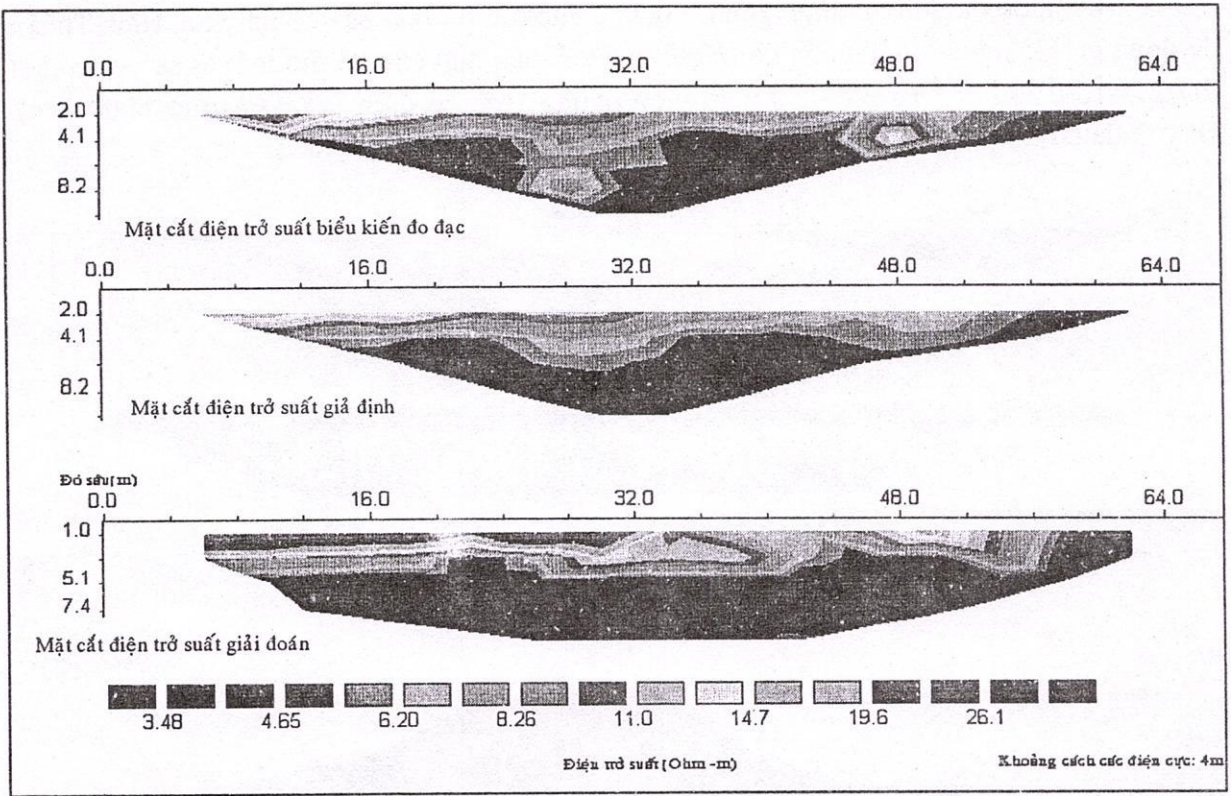
3. KẾT QUẢ ÁP DỤNG CỦA PHƯƠNG PHÁP ẢNH ĐIỆN 2D.

Chúng tôi đã áp dụng của phương pháp ảnh điện 2D để khảo sát tại 4 khu vực:

- a. Bờ sông Sài Gòn, bán đảo Thanh Đa, Tp.Hồ Chí Minh (mặt cắt LH).
- b. Bờ sông Tiền, Thị xã Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp (mặt cắt SĐ).
- c. Mỏ đá Núi Một, huyện Ninh Sơn, tỉnh Ninh Thuận (mặt cắt NM).
- d. Bãi rác Đông Thạnh, Hóc Môn, Tp.Hồ Chí Minh (mặt cắt ĐT).

a. Mặt cắt LH.

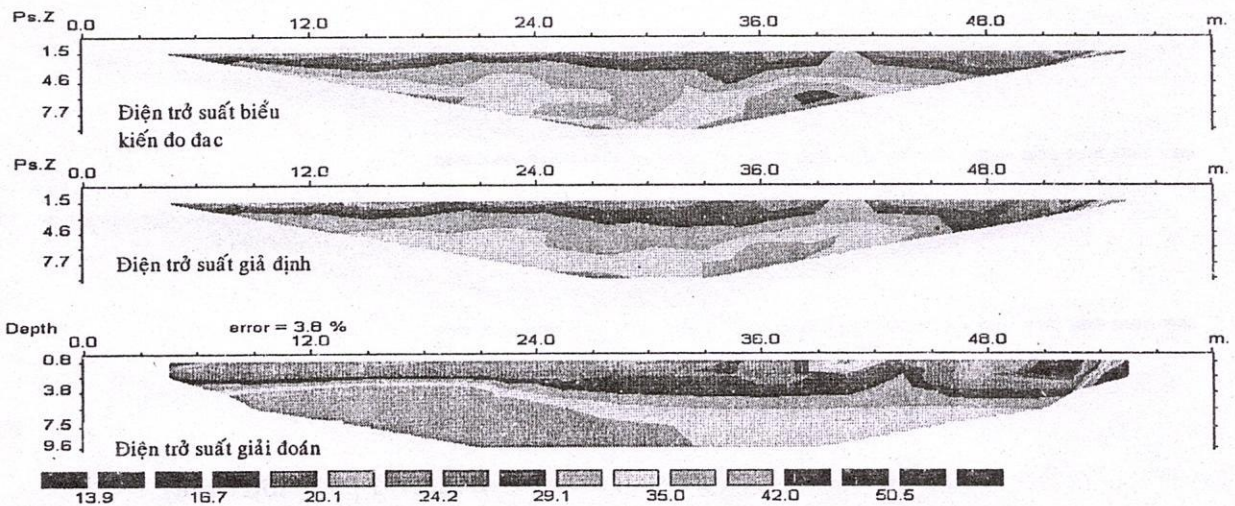
Trong khu vực sân Tennis thực hiện 1 tuyến đo LH (Hình 2). Điểm đầu tuyến đo ngay nhà ông Trần Đổm và kết thúc ngang hàng rào khu vực quán Lý Hoàng. Trên tuyến đo ở vị trí mét thứ 4 – 32, từ độ sâu 1 – 3 m là lớp cát san lấp. Từ độ sâu 5 mét trở xuống đến 10 m là lớp sét bùn, dễ sạt lở khi có tác động khác chẳng hạn như dòng chảy. Kết quả được xác nhận bằng lỗ khoan.



Hình 2. Mặt cắt ảnh điện 2D tuyến LH.

b. Mặt cắt SD

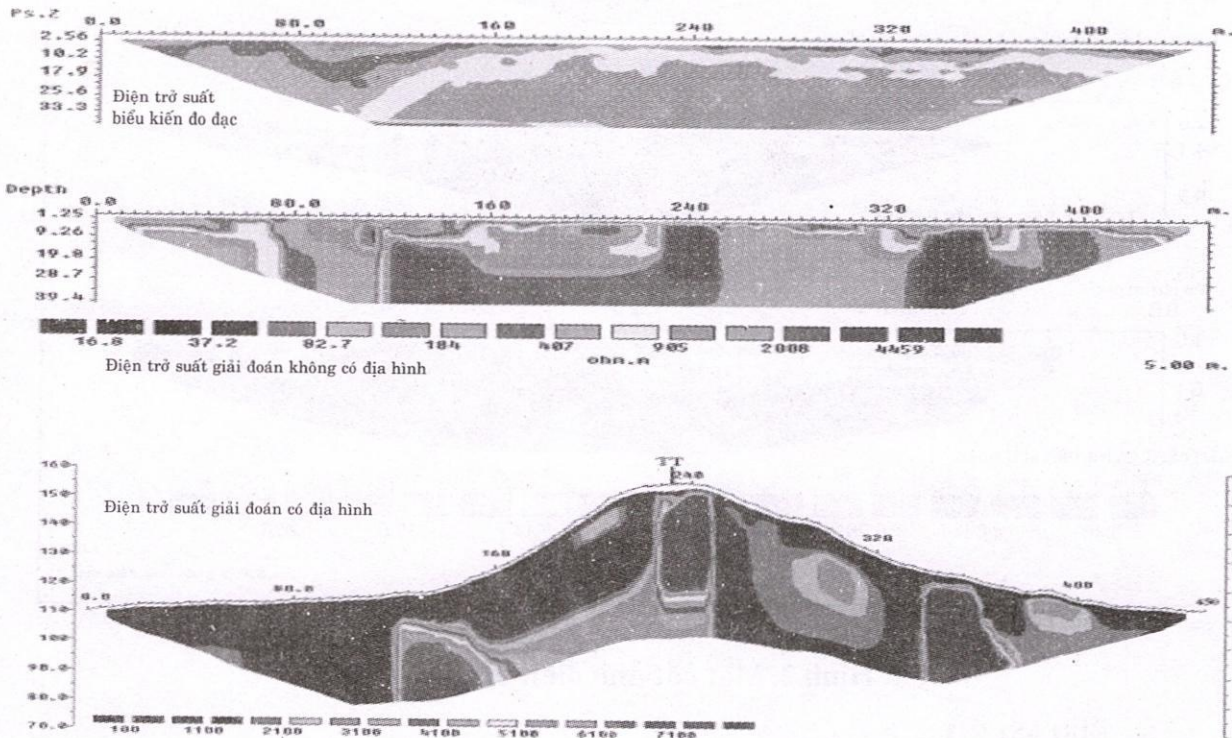
Tuyến đo bố trí song song bờ sông Tiền, dài 51m, khoảng cách điện cực 3m (Hình 3). Mặt cắt kết quả minh giải thể hiện môi trường cho đến độ sâu 4 m, cấu trúc địa chất phân lớp ngang khá rõ với điện trở suất dưới 30 Ω . Lớp thứ ba thể hiện dị thường ở độ sâu 4 - 10 m giá trị điện trở suất trên 35 Ω , thành phần thạch học chúng tôi dự đoán chủ yếu là cát, dễ sạt lở khi có tác động khác chẳng hạn như dòng chảy.



Hình 3. Mặt cắt ảnh điện 2D tuyến SD

c. Mặt cắt NM.

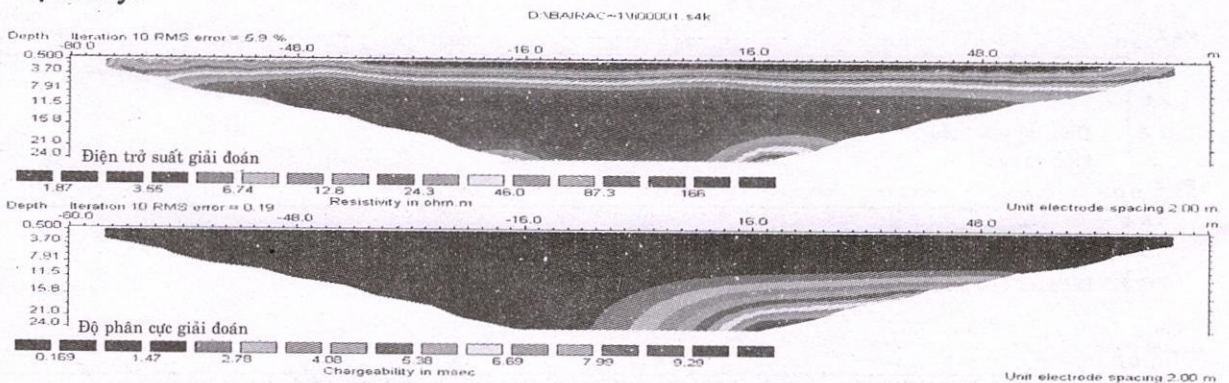
Tuyến đo dài 450 m thực hiện trong khu vực Mỏ đá Núi Một, Ninh Sơn, Ninh Thuận để đánh giá độ nguyên khối của đá (Hình 4). Dọc theo mặt cắt, có thể thấy ở các vị trí mét thứ 115-160, 230-245 và 340-370 xuất hiện những khối có điện trở rất cao (> 5000 Ωm). Đây là đá có độ nguyên khối tốt và đã được kiểm chứng bằng lỗ khoan.



Hình 4. Mặt cắt ảnh điện 2D tuyến NM

d. Mặt cắt ĐT.

Tuyến đo dài 160m song song với rạch Tra chảy ra sông Sài Gòn, cách rạch khoảng 400m, cách ranh bãi rác khoảng 50 m, được tiến hành để góp phần nghiên cứu lan truyền ô nhiễm của bãi rác vào nước mặt và nước ngầm chung quanh khu vực. Trên Hình 5 có thể nhận thấy:



Hình 5. Mặt cắt ảnh điện 2D tuyến ĐT.

- Lớp đất mặt có điện trở suất thấp (< 10 Ωm) và phân lớp ngang.
- Cho đến độ sâu 20m điện trở suất tăng cao, dự đoán là lớp cát pha.
- Ở độ sâu khoảng 20m, ở vị trí mét thứ 16, xuất hiện khối điện trở suất thấp, nhưng độ phân cực lớn, dự đoán là thấu kính sét.

4. Kết luận

Với một số khảo sát thực tế đã trình bày ở trên, có thể nhận thấy là phương pháp ảnh điện 2D đã cho các kết quả khá phù hợp với thực tế, ở những cấu trúc địa chất khác nhau. Điều đó cho thấy phương pháp này đóng vai trò quan trọng triển khai ứng dụng, đặc biệt là trong một số lĩnh vực địa kỹ thuật, địa vật lý môi trường.

THE APPLICATION OF ELECTRICAL IMAGING METHOD TO STUDY THE INHOMOGENEITY OF ELECTRIC CONDUCTIVITY IN GEOENVIRONMENT

Nguyen Thanh Van⁽¹⁾, Le Ngoc Thanh⁽²⁾, Nguyễn Minh Anh⁽¹⁾

(1) Faculty of Physics, University of Natural Sciences
Vietnam National University – Ho Chi Minh City

(2) Sub-Institute of Geography in Ho Chi Minh city
Vietnamese Academy of Science and Technology

ABSTRACT: *In recent years, the electrical imaging method is largely and effectively applied to study the inhomogeneity of electric conductivity in rocky soil environment. It is based on the combination of two vertical electrical sounding(VES) and electrical profiling (EP) methods. The interpretation results give the 2-D conductivity pictures. This paper presents the theoretical fundamentals and the results of application of electrical imaging methods to the Mekong Delta, South-East Vietnam and Ho Chi Minh City.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.S. Abdul Nassir, M.H. Loke, C.Y. Lee and M.N.M. Nawawi. *Salt-water intrusion mapping by geoelectrical imaging surveys*. Geophysical Prospecting, 2000, 48, 647±661.
- [2] Kampke, A., 1999: Focused imaging of electrical resistivity data in archaeological prospecting. *Journal of Applied Geophysics* 41, 215-227.
- [3] Le Ngoc Thanh, Nguyen Thanh Van, 2004. *Application of geophysical methods to study geological structures of Mekong river bank to determine the weak zones capable of erosion*. Proceedings of the International Symposium on Shallow Geology and Geophysics, Hanoi, April 12-14,2004.
- [4] Le Ngoc Thanh, Nguyen Thanh Van, 2005. *Application of electrical imaging method to study the inhomogeneity of electric conductivity in geoenvironment*, International Conference on Deltas (Mekong venue), Geological Modeling and Management, Ho Chi Minh City, Vietnam.
- [5] Loke M.H. and Barker R.D. 1995. *Improvements to the Zohdy method for the inversion of resistivity sounding and pseudosection data*, Computers & Geosciences Vol. 21, No. 2, pp. 321-332.

- [6] Loke M.H. and Barker R.D. 1996. *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosection by a quasi-Newton method*, Geophysical Prospecting 44, 131±152.
- [7] Nguyễn Thành Vấn, Lê Ngọc Thanh. 2004. *Áp dụng phương pháp ảnh điện để nghiên cứu tính chất bất đồng nhất về độ dẫn điện của môi trường đất đa.*, Hội nghị Khoa học Trường Đại Học Khoa học Tự nhiên 10/2004.
- [8] Xu, B. & Noel, M., 1993. *On the completeness of data sets with multi-electrode systems for electrical resistivity survey*. Geophys. Prospect. 41, 791-801.
- [9] Zohdy, A. A. R. 1989. *A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner Sounding curves*, Geophysics. Vol. 54, No. 2, pp. 245-253.