

KHẢO SÁT MÔI TRƯỜNG ĐẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP ẢNH ĐIỆN 2D-3D, NGHIÊN CỨU CỤ THỂ TẠI CÁC TUYẾN ĐƯỜNG QUẬN NGŨ HÀNH SƠN, TP. ĐÀ NẴNG

GEOLOGICAL SURVEY VIA ELECTRICAL GRAPHICS 2,3-DIMENSIONAL METHOD, A CASE STUDY AT NGU HANH SON DISTRICT, DANANG CITY

Lê Phước Cường¹, Lương Văn Thọ²

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; lpcuong@dut.udn.vn

²Trường Đại học Sư phạm - Đại học Đà Nẵng; tho.luong@gmail.com

Tóm tắt - Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu đặc điểm, thành phần môi trường đất tại ba tuyến đo tại khu vực dân cư mới thuộc quận Ngũ Hành Sơn, thành phố Đà Nẵng. Có khoảng 231 điểm dữ liệu được thu thập trên 3 tuyến đo có chiều dài khoảng 22 m, trên diện tích khoảng 220 m², tại khu vực góc hướng Đông-Nam ngã tư trục đường Đoàn Khuê và Lê Hữu Khánh, thuộc quận Ngũ Hành Sơn. Kết quả phân tích cho thấy, tại khu vực này ở độ sâu nghiên cứu cấu trúc địa chất cơ bản phân thành hai lớp với các đặc điểm phân bố nước ngầm và các thành phần vật chất khác nhau. Cụ thể, tại vị trí ở độ sâu khoảng 3 m theo trục Oz, theo trục Oy khoảng 8 m và theo trục Ox khoảng 10 m có mật độ nước ngầm lớn hơn so với các vị trí khác, tại vị trí của tuyến đo 2 thì lớp địa chất san lấp gồm đất đỏ bazan, đất sét xám đen, trộn lẫn với cát và sa thạch vụn dày hơn so với hai tuyến đo còn lại.

Từ khóa - địa chất; ảnh điện 2D; ảnh điện 3D; giải đoán; quận Ngũ Hành Sơn

Abstract - This article presents the study results of soil characteristics at three sites in the new residential area of Ngu Hanh Son district, Da Nang city. About 231 data points were collected on three lines measuring 22 m in length, on an area of about 220 m², at the South-East corner of Doan Khue and Le Huu Khanh streets of Ngu Hanh Son district. Analytical results show that in this area in depth study, the basic geological structure is divided into two classes with the characteristics of groundwater distribution and different material composition. Specifically, at a depth of about 3 m along the Oz axis, along axis Oy of about 8 m and along the axis Ox of about 10 m, the groundwater density is greater than that at other locations. At the location of line 2, geological layer is filled with red basalt, black gray clay, mixed with sand and crushed sandstone thicker than that at the other two lines.

Key words - geology; electrical graphics 2D; electrical graphics 3D; interpretation; Ngu Hanh Son district

1. Đặt vấn đề

Trong giai đoạn hiện nay, trước những ảnh hưởng của cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ tư, sự phát triển khoa học công nghệ ứng dụng trong thực tiễn môi trường xã hội đang diễn ra khắp toàn cầu, và Việt Nam cũng không nằm ngoài sự ảnh hưởng đó. Tại thành phố Đà Nẵng, trong những năm gần đây đã và đang phát triển mạnh mẽ cơ sở hạ tầng, kiến trúc thượng tầng trong quá trình đô thị hóa. Để có sự ổn định, bền vững, cũng như đảm bảo sức khỏe môi trường, sức khỏe công trình thì cần phải áp dụng các công nghệ, máy móc kỹ thuật vào đo đạc, khảo sát nền địa chất để đưa ra các thông số cơ bản trước khi xây dựng các hệ thống ngầm. Hiện nay, các phương pháp phổ biến thường được sử dụng đó là khoan lấy mẫu, nén thủy lực cơ học đất,... Tuy nhiên, các phương pháp này không cho cái nhìn bao quát và tổng thể về khu vực địa chất khảo sát, bên cạnh đó, ở góc độ tác động thì nó có thể phá vỡ cấu trúc địa chất tự nhiên của khu vực, điều này cũng có thể ảnh hưởng rất lớn đến sức khỏe môi trường đất [1], [2]. Trước tình hình đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu, áp dụng phương pháp ảnh điện 2D-3D vào việc đo đạc, khảo sát bức tranh tổng thể của nền địa chất ban đầu và đã triển khai thực hiện nghiên cứu: “Khảo sát môi trường đất bằng phương pháp ảnh điện 2D-3D, nghiên cứu cụ thể tại các tuyến đường quận Ngũ Hành Sơn, Tp. Đà Nẵng”.

2. Đối tượng và phương pháp

2.1. Đối tượng

Tham số quan trọng nhất trong nghiên cứu ảnh điện 2D-3D là giá trị điện trở suất của đất đá (trong hệ đo lường SI, điện trở suất được ký hiệu là ρ , thứ nguyên là $\Omega.m$).

Tham số điện trở suất đặc trưng về tính chất dẫn điện của môi trường và tính chất này phụ thuộc vào thành phần khoáng vật, thạch học, cấu trúc, điều kiện lịch sử tạo thành và thể nằm của đất đá. Để có cái nhìn khách quan về tính chất dẫn điện của đất, đá dưới mặt đất, Keller, Frischknecht (1966) và Daniels, Alberty (1966) đã đưa ra bảng số liệu thực nghiệm điện trở suất được trình bày trong Bảng 1 [3].

Điện trở suất của các đá xâm nhập và biến chất thường có giá trị rất cao, giá trị điện trở suất của các loại đá này phụ thuộc nhiều vào độ nứt nẻ và mức độ chứa nước trong các đới nứt nẻ đó. Giá trị của điện trở suất ứng với mỗi loại đất đá có thể thay đổi trong một giới hạn khá rộng, từ hàng triệu $\Omega.m$ đến nhỏ hơn một $\Omega.m$. Các đá trầm tích thường có độ xốp và độ chứa nước cao hơn nên có giá trị điện trở suất thấp hơn so với các đá xâm nhập và đá biến chất, giá trị điện trở suất của các đá này thường thay đổi trong khoảng từ 10 $\Omega.m$ đến 10.000 $\Omega.m$, hầu hết đều có giá trị nhỏ hơn 1.000 $\Omega.m$, giá trị của điện trở suất phụ thuộc rất lớn vào độ xốp, độ chứa nước của đá và đặc biệt là độ khoáng hóa của nước chứa trong các lỗ rỗng [4].

Các trầm tích bờ rời không gắn kết thường có giá trị điện trở suất thấp hơn các đá trầm tích với giá trị thay đổi từ vài $\Omega.m$ đến nhỏ hơn 1.000 $\Omega.m$. Giá trị điện trở suất của chúng phụ thuộc vào độ xốp (các trầm tích chứa nước bão hòa) và hàm lượng các khoáng vật sét, đất sét thường có giá trị điện trở suất thấp hơn đất cát. Giá trị điện trở suất của nước dưới đất dao động trong khoảng từ 10 đến 100 $\Omega.m$, phụ thuộc vào hàm lượng các muối hoà tan có trong đất. Chú ý rằng, điện trở suất của nước biển rất thấp (khoảng 0,2 $\Omega.m$) do hàm lượng muối cao. Điều này giúp cho phương pháp thăm dò điện trở thành một kỹ thuật khá

lý tưởng trong việc đo vẽ bản đồ xác định ranh giới nhiễm mặn ở các vùng duyên hải [5].

Bảng 1. Điện trở suất của một số đất, đá, khoáng vật và hóa chất phổ biến [3]

Vật liệu	Điện trở suất (Ωm)	Độ dẫn điện ($1/\Omega\text{m}$)
Nham thạch và đá biến chất:		
- Granite (đá granit)	$5.10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 2.10^{-4}$
- Basalt (đá bazan)	$10^3 - 10^6$	$10^{-6} - 10^{-3}$
- Slate (đá phiến)	$6.10^2 - 4.10^7$	$2,5.10^{-8} - 1,7.10^{-3}$
- Marble (đá cẩm thạch)	$10^2 - 2,5.10^8$	$4.10^{-9} - 10^{-2}$
- Quartzite (thạch anh)	$10^2 - 2.10^8$	$5.10^{-9} - 10^{-2}$
Trầm tích:		
- Sandstone (sa thạch)	$8 - 4.10^3$	$2,5.10^{-4} - 0,125$
- Shale (đá phiến sét)	$20 - 2.10^3$	$5.10^{-4} - 0,05$
- Limestone (đá vôi)	$50 - 4.10^2$	$2,5.10^{-3} - 0,02$
Đất và nước:		
- Clay (đất sét)	$1 - 100$	$0,01 - 1$
- Alluvium (đất phù sa)	$10 - 800$	$1,25.10^{-3} - 0,1$
- Goundwater (nước ngầm)	$10 - 100$	$0,01 - 0,1$
- Sea water (nước biển)	$0,2$	5
Hóa chất:		
- Iron (sắt)	$9,074.10^{-8}$	$1,102.10^7$
- 0,01 phân tử gam KCl	$0,708$	$1,413$
- 0,01 phân tử gam NaCl	$0,843$	$1,185$
- 0,01M axit Axetic	$6,13$	$0,163$
- Xylene	$6,998.10^{16}$	$1,429.10^{-17}$

Giá trị điện trở suất của một số loại vật liệu hoặc hóa chất ô nhiễm công nghiệp cũng đã được trình bày trong Bảng 1. Một số kim loại như sắt có giá trị điện trở suất rất thấp. Các hoá chất điện phân mạnh như KCl và NaCl có thể làm giảm một cách đáng kể điện trở suất của nước dưới đất đến một giá trị nhỏ hơn $1\Omega\cdot\text{m}$ ngay cả khi các hóa chất này có hàm lượng tương đối thấp, đó là những đặc tính giúp ta có thể khảo sát khả năng tích tụ và sự dịch chuyển ô nhiễm về các hóa chất công nghiệp trong nền địa chất trong khảo sát về môi trường [6, 7].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Nghiên cứu thuyết ảnh điện 2D

Trong thăm dò ảnh điện 2D, định luật Ohm chi phối sự truyền dẫn trong dòng điện môi trường địa chất. Dạng vi phân của định luật Ohm trong môi trường liên tục:

$$\vec{J} = \sigma(-\vec{\nabla}U) = \sigma\vec{E} \quad (1)$$

Trong phương pháp thăm dò điện, người ta thường dùng $\sigma = \frac{1}{\rho} > 0$ là điện dẫn suất (hay độ dẫn điện) của môi trường, $\vec{J}$ là mật độ dòng điện dẫn tại một điểm đang xét trong môi trường, $\vec{E}$ là cường độ điện trường tại một điểm đang quan sát trong môi trường.

Trong hầu hết các phương pháp thăm dò điện, nguồn điện thường có dạng nguồn điểm. Trong trường hợp này, xét một phần tử có thể tích DV bao quanh một nguồn dòng điện I tại vị trí (x_I, y_I, z_I) , khi đó phương trình mô tả quan hệ giữa cường độ dòng và mật độ dòng có dạng:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = \frac{I}{DV} d(x - x_I) d(y - y_I) d(z - z_I) \quad (2)$$

(2) là công thức mà Dey và Morrison sử dụng trong thăm dò ảnh điện 2D năm 1979, trong đó, δ là hàm Delta Dirac với các tính chất sau:

$$\bullet \delta(x) = \begin{cases} +\infty, x = 0 \\ 0, x \neq 0 \end{cases}; \delta(-x) = \delta(x).$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(x) dx = 1; \int_{-\infty}^{+\infty} U(x) \delta(x) dx = U(0), \forall U(x).$$

$$\bullet \int_{-\infty}^{+\infty} U(x) \delta(x - x_I) dx = U(x_I), \forall U(x).$$

(1) và (2) ta viết lại:

$$-\vec{\nabla} \cdot [\sigma(x, y, z) \vec{\nabla} U(x, y, z)] = \frac{I}{\Delta V} \delta(x - x_I) \delta(y - y_I) \delta(z - z_I) \quad (3)$$

Phương trình (3) là phương trình cơ bản mô tả sự phân bố điện thế trong môi trường do một nguồn dòng điểm gây ra. Có nhiều kỹ thuật phát triển để giải phương trình này cho bài toán thuận và bài toán ngược trong thăm dò trường điện không đổi.

2.2.2. Nghiên cứu thực nghiệm

a. Nghiên cứu cấu hình thiết bị Wenner-alpha đo điện trở suất biểu kiến

Sự phân bố điện trở suất cũng như đặc điểm và cấu trúc địa chất của môi trường bên dưới mặt đất sẽ tạo ra một dáng điệu hay trường điện riêng bên trên bề mặt của nó. Do đó, trong phương pháp thăm dò ảnh điện 2D của trường điện không đổi, muốn biết được thông tin về môi trường địa chất bên dưới ta phải tiến hành các phép đo điện trở suất biểu kiến trên bề mặt của nó. Phép đo được thực hiện bằng cách phát dòng điện không đổi có cường độ I vào môi trường địa chất cần khảo sát thông qua điện cực. Đối với cấu hình thiết bị Wenner-alpha bốn cực đối xứng (theo Hình 1), hiệu điện thế giữa hai điện cực thu thế P_1, P_2 được tính như sau:

$$\Delta U = U(P_1) - U(P_2) = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_{C_1 P_1}} - \frac{1}{r_{C_2 P_1}} - \frac{1}{r_{C_1 P_2}} + \frac{1}{r_{C_2 P_2}} \right) \quad (4)$$

Trong đó, $r_{C_1 P_1}, r_{C_1 P_2}, r_{C_2 P_1}, r_{C_2 P_2}$ là khoảng cách từ các điện cực thu thế P_1, P_2 , đến các điện cực dòng C_1, C_2 .

Từ công thức (4), ta có thể xác định được điện trở suất biểu kiến của môi trường địa chất bên dưới:

$$\rho_a = k \frac{\Delta U}{I} \quad (5)$$

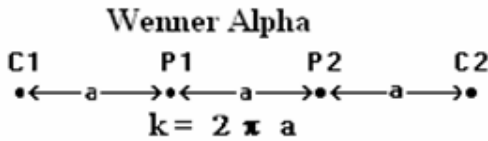
Trong đó:

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_{C_1 P_1}} - \frac{1}{r_{C_2 P_1}} - \frac{1}{r_{C_1 P_2}} + \frac{1}{r_{C_2 P_2}} \right)}$$

là tham số hình học phụ thuộc vào sự sắp xếp của 4 điện cực.

Điện trở suất biểu kiến không phải là điện trở suất thật

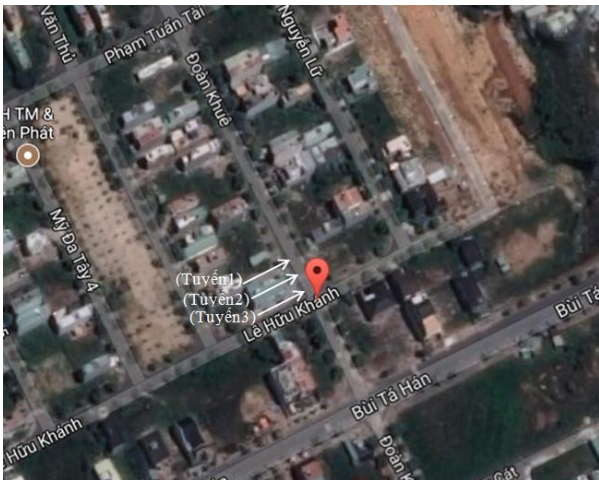
của môi trường địa chất bên dưới. Liên hệ giữa giá trị điện trở suất biểu kiến và giá trị điện trở suất thật bên dưới của môi trường địa chất là mối liên hệ phức tạp. Việc xác định điện trở suất thật từ giá trị điện trở suất biểu kiến quan sát được là vấn đề của bài toán ngược trong thăm dò ảnh điện 2D, dựa vào thuật toán sai phân hữu hạn.



Hình 1. Cấu hình thiết bị Wenner-alpha

b. Nghiên cứu quy trình đo ngoài thực địa của cấu hình thiết bị Wenner-alpha

- Vị trí tuyến đo



Hình 2. Vị trí của 3 tuyến đo tại khu vực thuộc quận Ngũ Hành Sơn, Tp. Đà Nẵng

Theo khảo sát thực địa, để có cơ sở đánh giá đặc điểm địa chất, ba tuyến đo với chiều dài là 22 m được lập tại khu vực góc ngã tư (hướng Đông-Nam) đường Đoàn Khuê và Lê Hữu Khánh, thuộc Quận Ngũ Hành Sơn, được trình bày trên Hình 2.

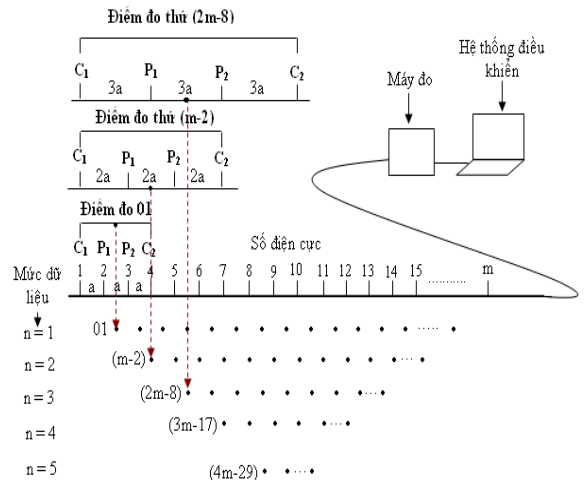
- Quy trình đo thực địa

Để thực hiện đo ảnh điện 2D-3D tại khu vực này, ta đi dây cáp và tiến hành cắm $m = 23$ điện cực cách đều nhau $a = 1\text{ m}$ trên tuyến đo như Hình 3, khoảng cách giữa các điện cực C_1, P_1, P_2, C_2 được giữ không đổi đối với mỗi mức đo sâu ($C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2 = na (m)$). Số phép đo (số điểm đo) trên mỗi mức đo sâu được tính theo công thức tổng quát là $(m - 3n)$ ứng với bước nhảy của các điểm dữ liệu trên tuyến đo theo khoảng cách điện cực đơn vị $a = 1\text{ m}$, trong đó n là thừa số của mức đo.

Đối với mức đo sâu thứ nhất của thiết bị thứ nhất ($n = 1$) ứng với khoảng cách giữa các điện cực là " $a = 1\text{ m}$ " ($C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2 = 1\text{ m}$), ta sẽ thực hiện 20 điểm đo dọc theo tuyến khảo sát. Phép đo thứ nhất được thực hiện với các điện cực 1, 2, 3 và 4, được sử dụng tương ứng như các điện cực C_1, P_1, P_2 và C_2 . Tiếp theo, phép đo thứ hai được thực hiện với các điện cực 2, 3, 4 và 5 có chức năng tương ứng như là các điện cực C_1, P_1, P_2 và C_2 . Cứ tiếp tục tính tiến phép đo như vậy (với bước tịnh tiến là " $a = 1\text{ (m)}$ ") dọc theo tuyến đo cho đến khi các điện cực 20, 21, 22 và 23

được sử dụng cho phép đo cuối cùng.

Tiếp theo, đối với mức đo sâu thứ hai của thiết bị thứ hai ($n = 2$), ứng với khoảng cách giữa các điện cực là " $2a = 2\text{ m}$ " ($C_1P_1 = P_1P_2 = P_2C_2 = 2\text{ m}$), ta tiến hành 17 phép đo dọc theo tuyến khảo sát. Đối với mức đo sâu thứ hai, phép đo đầu tiên được thực hiện với các điện cực 1, 3, 5, 7. Phép đo thứ hai các điện cực 2, 4, 6 và 8 được sử dụng, quy trình được lặp lại dọc theo tuyến khảo sát cho đến khi các điện cực 17, 19, 21 và 23 được sử dụng cho phép đo cuối cùng.



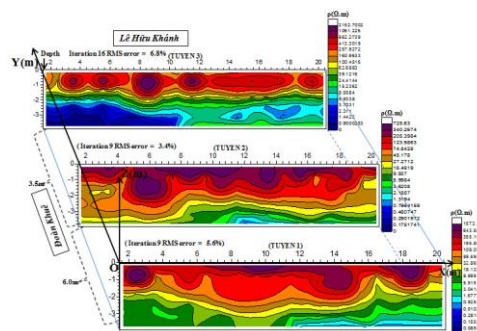
Hình 3. Sơ đồ cách sắp xếp các điện cực trong thăm dò ảnh điện 2D-3D và trình tự các phép đo để xây dựng một mặt cắt 2D-3D cho hệ thiết bị Wenner-alpha

Quy trình được lặp lại tương tự cho các mức đo sâu thứ ba, thứ tư, thứ năm và thứ sáu, tương ứng với khoảng cách giữa các điện cực là " $3a = 3\text{ m}$ ", " $4a = 4\text{ m}$ ", " $5a = 5\text{ m}$ ",... phép đo được tiến hành cho đến khi đạt khoảng mở cần thiết. Thiết bị Wenner-alpha là một trong những loại thiết bị có cường độ tín hiệu mạnh nhất, nhạy đối với cấu trúc phân bố ngang và được sử dụng đầu tiên bởi nhóm nghiên cứu của Đại học Birmingham (Griffiths và Turnbull, 1985; Griffiths, Turnbull và Olayinka, 1990).

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Kết quả nghiên cứu

Sau khi tính toán dữ liệu của 3 tuyến đo với sự hỗ trợ của phần mềm Res2Dinv (trên thuật toán sai phân hữu hạn) và Surfer8, kết quả ảnh điện tại khu vực khảo sát (tuyến 1: với 9 vòng lặp, sai số 5,6%; tuyến 2: với 9 vòng lặp, sai số 3,4%; tuyến 3: với 16 vòng lặp, sai số 6,8%) được biểu diễn như Hình 4:



Hình 4. Kết quả ảnh điện 2D-3D tại khu vực khảo sát

3.2. Thảo luận và giải đoán kết quả

Qua quan sát kết quả ảnh điện theo Hình 4, thì cấu trúc địa chất ở đây về cơ bản phân thành hai lớp:

- Lớp thứ nhất phân bố ở trên có độ dày khoảng 3m, giá trị điện trở suất vào khoảng từ 32,86 Ωm đến 2152,70 Ωm . Đây là lớp địa chất sang lấp từ nơi khác đến, thành phần chủ yếu là đất bazan, đất sét xám đen trộn lẫn với cát và sa thạch vụn, lớp này dày nhất tại vị trí tuyến 2.

- Lớp thứ hai phân bố bên dưới (ở độ sâu khoảng 3m trở xuống), có giá trị điện trở suất vào khoảng 0,086 Ωm đến 160,96 Ωm , đây có thể là lớp địa chất gốc tại khu vực này. Thành phần vật chất chủ yếu là đất cát phủ sa trộn lẫn với bùn sét đen và một ít sạn đá vụn, trong lớp này có mật độ chứa nước cao. Tại khu vực của vị trí tuyến 3, mật độ nước phân bố ở độ sâu khoảng từ 2,5 m trở xuống và chiều dài khoảng từ 0 m đến 12 m (dọc theo tuyến đo) và chiều dài từ 14 m đến cuối tuyến đo; còn tại khu vực tuyến đo 1 và 2 phân bố ở độ sâu khoảng 3 m trở xuống và chiều dài trong khoảng từ 10 m đến 19 m (dọc theo tuyến đo).

3.3. Kiến nghị

Như vậy, qua kết quả phân tích thì bức tranh địa chất đến độ sâu khảo sát được phân thành 2 lớp, lớp trên cứng chắc hơn lớp dưới. Lớp dưới có mật độ chứa nước cao hơn lớp trên, đặc biệt là tại vị trí tuyến 3 (trong khoảng 10 m (dọc theo trục Ox), ở độ sâu khoảng 2 m trở xuống). Dọc theo trục Oy (trong khoảng từ vị trí 14 m đến 22 m (dọc theo tuyến đo), ở độ sâu khoảng 2,5 m trở xuống) có hệ thống các mạch nước ngầm với mật độ lớn. Do đó, để có độ ổn định và bền vững nền móng, công trình phải tiến hành xử lý hút hoặc hạ mực nước ngầm và đổ các thành phần đá hộc, đá phiến hay các loại đất đá xà bần cứng chắc vào các vị trí có mật độ phân bố nước ngầm cao như đã trình bày ở trên. Trong xây dựng công trình dân dụng, nếu đặt hệ thống móng băng trong lớp địa chất thứ nhất thì về lâu dài sẽ đạt được độ ổn định và bền vững cho công trình, đảm bảo sức khoẻ môi trường địa chất và sức khoẻ công trình.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã thể hiện rõ phương pháp ảnh điện 2D-3D là một công cụ hữu hiệu dùng để khảo sát, đánh giá và đưa ra bức tranh tổng quát về môi trường địa chất khu vực nghiên cứu. Thông qua đó, ta có thể biết được thành phần đất đá, nước ngầm, đặc điểm cấu trúc, cũng như điều kiện hình thành kiến tạo của môi trường địa chất tại đây. Hơn nữa,

phương pháp còn cho phép giải đoán được các thông tin hữu ích phục vụ cho các lĩnh vực khác có liên quan như môi trường, các thành phần hoá học môi trường đất, địa chất công trình, vấn đề về tìm kiếm nguồn nước ngầm và xây dựng nền móng cơ sở hạ tầng... Bên cạnh đó, phương pháp ảnh điện 2D-3D nghiên cứu trường điện không đòi hỏi không xâm thực hay phá hủy môi trường địa chất trong quá trình nghiên cứu, đó là một trong các đặc tính ưu việt của phương pháp. Trong giai đoạn hiện nay, với sự hỗ trợ đắc lực về các kỹ thuật tính toán (phần mềm và các chương trình tính toán có tốc độ xử lý nhanh) đã giúp cho phương pháp ảnh điện 2D-3D có thể đo đạc và xử lý đến hàng trăm, hàng ngàn điểm dữ liệu trong một thời gian ngắn. Quy trình thu thập dữ liệu ngoài thực địa đơn giản cùng với thiết bị máy móc gọn nhẹ giúp cho phương pháp ảnh điện 2D-3D có thể linh hoạt thực hiện khảo sát môi trường địa chất ở các địa hình khác nhau, có được thông tin của đối tượng nghiên cứu ở phạm vi sâu hơn và rộng hơn. Cuối cùng, giá thành của một đợt khảo sát ảnh điện 2D-3D thấp hơn so với các hướng thăm dò khác trong tổ hợp các phương pháp địa vật lý. Cụ thể, phương pháp ảnh điện 2D-3D có giá thành bằng 1/2 giá thành của phương pháp khoan thăm dò và bằng 1/2,5 giá thành của phương pháp radar nên cần được triển khai mở rộng ứng dụng nhiều hơn nữa trong lĩnh vực khảo sát thành phần hoá học môi trường đất, địa chất công trình và xây dựng dân dụng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Ngọc Thu, *Phương pháp thăm dò điện 2D*, Liên đoàn Bản đồ Địa chất miền Nam, 2006.
- [2] Nguyễn Thành Văn, Lê Ngọc Thanh, Nguyễn Minh Anh, “Áp dụng phương pháp ảnh điện để nghiên cứu tính chất bất đồng nhất của môi trường đất đá”, *Tạp chí phát triển Khoa học Công nghệ, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh*, Tập 8, 2005, trang 35-42.
- [3] Dey, A. and Morrison, H. F, “Resistivity modelling for arbitrary shaped two dimensional structures”, *Geophysical Prospecting*, No.2 7, 1979, pp. 1020-1036.
- [4] Loke M.H. and Barker R.D., Improvements to the Zohdy method for the inversion of resistivity sounding and pseudosection data, *Computers and Geosciences*, Vol. 21, No. 2, 1995, pp. 321-322.
- [5] Olayinka A.I and Yaramanci U, “Use of block Inversion in the 2D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion”, *Journal of Apply Geophysics*, 45, 2000, pp. 403-416.
- [6] McGillvray P.R and Oldenburg D.W, “Methods for calculating Frechet derivatives and sensitivities for the non-linear inverse problem”, *A comparative study, Geophysical Prospecting*, 38, 1990, pp. 499-524.
- [7] Sasaki Y., “Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation”, *Geophysical Prospecting*, 40, 1992, pp. 453-464.

(BBT nhận bài: 08/11/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 01/12/2017)