

“GIỚI THIỆU MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP THĂM DÒ ĐỊA VẬT LÝ ÁP DỤNG TRONG KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH, KẾT QUẢ THỰC TIỄN VÀ KIẾN NGHỊ ÁP DỤNG TRONG KHẢO SÁT CÁC CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG.”

ThS. NGUYỄN VŨ THỨC
CÔNG TY CP TVTK - KIỂM ĐỊNH & ĐỊA KỸ THUẬT

I. Đặt vấn đề

Hiện nay công tác khảo sát Địa chất công trình (Địa kỹ thuật) phục vụ thiết kế thi công các công trình giao thông vận tải được áp dụng nhiều phương pháp thăm dò như: khoan, xuyên, cắt cánh, nén trong hố khoan... với các phương pháp ứng dụng phong phú như vậy cho phép người thiết kế có nhiều phương án lựa chọn số liệu đầu vào một cách khách quan và sát thực. Đặc trưng của một đơn nguyên địa chất công trình được thể hiện ở diện phân bố không gian (theo bề rộng và theo chiều sâu) và đặc trưng cơ lý của đất đá thuộc đơn nguyên địa chất công trình đó.

Việc xác định chỉ tiêu cơ lý của đất đá thuộc đơn nguyên sẽ thông qua kết quả thí nghiệm mẫu khoan lấy tại hiện trường hoặc các thí nghiệm hiện trường như xuyên, cắt cánh, nén trong lỗ khoan...

Đối với việc xác định phân bố không gian của các đơn nguyên địa chất công trình có thể được xác định thông qua kết quả khoan và xuyên. Tuy nhiên trong thực tế ranh giới của các đơn nguyên có sự thay đổi theo từng vị trí, mật độ bố trí các lỗ khoan, xuyên cũng khó có thể xác định được ranh giới một cách chính xác, đặc biệt là đối với các thành tạo tàn tích và nơi có địa hình phân cắt mạnh hoặc địa hình đá vôi, karst... thì ranh giới này có sự thay đổi lớn và không theo quy luật.

Phương pháp khảo sát bằng Địa vật lý bản chất là căn cứ vào các thông số địa vật lý của môi trường và các bất thường của các thông số địa vật lý đó để xác định ranh giới, cũng như các đặc trưng địa vật lý

của đơn nguyên địa chất đó. Các kết quả này kết hợp với các kết quả khoan, xuyên tại từng vị trí cụ thể cho phép chúng ta xác định được ranh giới phân bố của các thành tạo địa chất một cách chính xác hơn. Mặt khác dựa vào các bất thường của trường địa vật lý cũng có thể xác định được phân bố không gian của các hang karst ở địa hình đá vôi.

Thiết bị khảo sát Địa vật lý gọn nhẹ, dễ di chuyển, giá thành lại thấp hơn so với các phương pháp khác. Chính vì các nguyên nhân đó mà phương pháp Địa vật lý cần được mở rộng áp dụng trong khảo sát Địa chất công trình cho các công trình dạng tuyến, hầm và địa hình có phân bố hang Karst.

II. Một số phương pháp thăm dò Địa vật lý thường ứng dụng trong khảo sát địa chất công trình.

II.1. Phương pháp điện trường.

Thăm dò điện là tập hợp các phương pháp nghiên cứu điện trường và điện từ trong vỏ trái đất do các quá trình địa chất tự nhiên và nhân tạo tạo ra nhằm giải quyết các nhiệm vụ địa chất khác nhau. Thăm dò điện có nhiều phương pháp khác nhau và cũng có nhiều cách phân loại chúng:

- Dựa vào nguồn gốc hình thành trường điện có thể chia thành các phương pháp điện tự nhiên và nhân tạo.
- Dựa vào sự biến đổi của trường điện có thể chia ra phương pháp dòng điện biến đổi và dòng điện không đổi.
- Dựa vào cách đo có thể phân chia thành phương pháp đo điện trở và phương pháp đo hiệu điện thế.

- Dựa vào khoảng tần số dòng điện có thể chia ra phương pháp tần số thấp ($f < 10$ KHz) và tần số cao ($f > 10$ KHz).

- Dựa vào sự ổn định của trường có thể chia thành trường ổn định và trường chuyển tiếp.

Các tính chất điện của đất đá bao gồm:

a) Điện trở suất:

Là đại lượng đặc trưng độ cản trở dòng điện của đất đá. Điện trở suất của đất đá phụ thuộc vào:

- Hàm lượng các khoáng vật dẫn điện trong chúng.
- Cấu trúc của đất đá như kiểu phân bố, thể nằm, tính dị hướng trong cấu trúc.
- Độ lỗ rỗng, độ khoáng hóa của đất đá nó bao hàm cả độ nứt nẻ và nước chứa trong các khe nứt của đất đá.

b) Hằng số điện môi và độ từ thẩm.

- Hằng số điện môi (ϵ) và độ từ thẩm (μ) đóng vai trò quan trọng trong thăm dò điện tần số cao. Hằng số điện môi tương đối được tính theo công thức:

$$\epsilon = \frac{\epsilon_d}{\epsilon_o}$$

Trong đó ϵ_d , ϵ_o lần lượt là hằng số điện môi của đất đá và không khí.

- Độ từ thẩm tương đối (μ) được tính theo công thức:

$$\mu = \frac{\mu_d}{\mu_o}$$

Trong đó μ_d , μ_o lần lượt là độ từ thẩm của đất đá và không khí.

c) Hoạt tính điện hóa và sự phân cực.

Hoạt tính điện hóa là khả năng tạo nên trường điện tự nhiên trong đất đá. Ngoài tính điện hóa thì đất đá còn có tính phân cực, đó là khi ta duy trì một hiệu điện thế giữa 2 điểm trong đất đá rồi ngắt dòng điện đi thì hiệu điện thế đó không giảm

một cách tức thời mà giảm dần theo hàm số mũ. Sự giảm này phụ thuộc vào từng loại đất đá khác nhau, hiệu điện thế sau khi ngắt dòng một khoảng thời gian ngắn được gọi là hiệu điện thế phân cực.

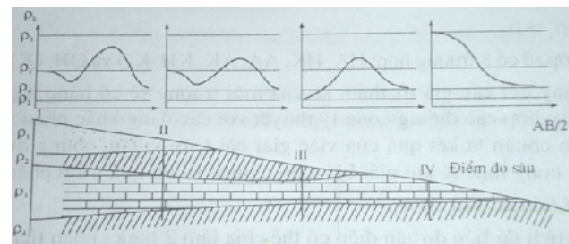
Khả năng phân cực của đất đá được đánh giá bởi hệ số phân cực.

$$\eta_k = \frac{\Delta u_{pc}}{\Delta u_{mn}}$$

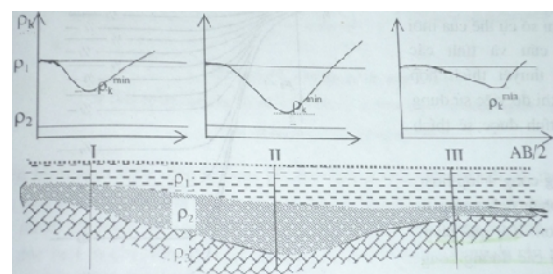
Trong đó Δu_{pc} là hiệu điện thế phân cực, Δu_{mn} là hiệu điện thế giữa điểm M và N. Thông thường trong khảo sát địa chất công trình người ta hay áp dụng hai phương pháp mặt cắt điện và đo sâu điện.

*) Phương pháp đo sâu điện.

nghiên cứu sự thay đổi điện trở suất theo chiều sâu tại điểm đo khi giữ nguyên vị trí điểm đo và tăng khoảng cách giữa các cực phát. Khi khoảng cách giữa các cực phát càng lớn thì dòng điện thấm vào đất đá càng sâu và điện trở suất biểu kiến đo được của đất đá ở chiều sâu tương ứng.



Hình 1: Dạng đường cong đo sâu và lát cắt địa điện



Hình 2: Sự phụ thuộc ρ_k^{\min} vào bề dày lớp giữa với đường cong dạng lớp giữa có điện trở suất thấp. Vì phương pháp đo sâu điện nghiên cứu sự thay đổi ρ_k theo chiều sâu nên nó sẽ chiếm ưu thế

trong việc thăm dò các địa tầng có sự thay đổi điện trở suất theo chiều sâu và phân lớp nằm ngang, khi phân lớp xiên thì cần phải tích hợp các phương pháp đặc biệt bằng phần mềm trên máy tính. Phân tích định lượng đường cong đo sâu điện là giải bài toán ngược để xác định các tham số ρ_i , h_i (điện trở suất và bề dày các lớp), phương pháp đơn giản nhất là sử dụng bản chuẩn so sánh giữa đường cong thực tế và đường cong lý thuyết. Việc phân tích định lượng các đường cong đo sâu trên tuyến cho phép xây dựng được các lát cắt địa điện trên tuyến đo.

*) *Phương pháp mặt cắt điện.*

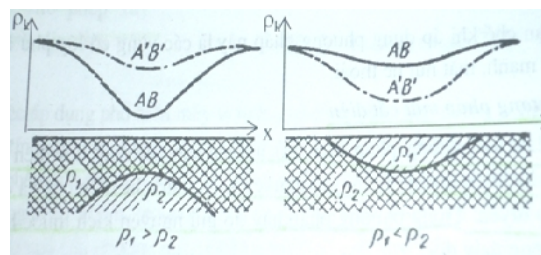
Mặt cắt điện là phương pháp điện trở nghiên cứu sự thay đổi điện trở suất trong môi trường đất đá dọc theo tuyến đo khi giữ nguyên khoảng cách các cực và dịch chuyển toàn bộ hệ cực đó theo tuyến. Trong phương pháp này do giữ nguyên khoảng cách hệ cực nên chiều sâu không thay đổi.

Tùy thuộc vào cách bố trí các hệ cực mà có thể phân loại các phương pháp mặt cắt điện khác nhau.

Tùy thuộc vào cách bố trí điện cực có thể phân loại các phương pháp mặt cắt điện khác nhau.

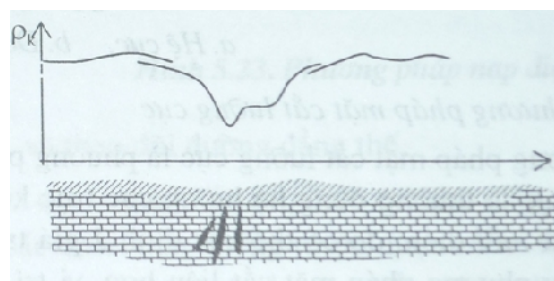
- Phương pháp mặt cắt 4 cực đối xứng:

Hệ 4 cực AMNB được bố trí đối xứng qua điểm đo 0. Bước dịch chuyển sau mỗi điểm đo thường bằng MN. Kết quả đo thường được biểu diễn dưới dạng đồ thị theo tuyến hoặc bằng bình đồ đồ thị trên hệ thống tuyến đo. Trong trường hợp địa chất phức tạp, có nhiều đối tượng nằm ở chiều sâu khác nhau thì có thể sử dụng hệ cực đối xứng kép, nghĩa là ngoài điện cực AB còn có điện cực A'B'. Tại mỗi điểm đó sẽ có 2 hoặc 3 giá trị điện trở suất ρ_k tương ứng với các chiều sâu khác nhau.



Hình 3: Phương pháp đối xứng kép

- Phương pháp Gradient trung gian: đây là phương pháp đo điện trở suất ρ_k có kích thước $MN \ll AB$ và nằm ở khoảng giữa của các điện cực phát AB.



Hình 4: Phương pháp Gradient trung gian

Ngoài các phương pháp trên còn có các phương pháp mặt cắt liên hợp, phương pháp mặt cắt lưỡng cực tuy nhiên các phương pháp này thường ít được sử dụng trong khảo sát địa chất công trình.

II.2. Phương pháp địa chấn.

Thăm dò địa chấn là phương pháp địa vật lý nghiên cứu đặc điểm trường sóng giao động đàn hồi trong môi trường đất đá nhằm giải quyết các nhiệm vụ địa chất khác nhau trong đó có địa chất công trình. Nhìn chung phương pháp địa chấn là dùng một năng lượng cơ học nào đó (rung, nổ, đập...) tạo các giao động đàn hồi trong đất đá, dùng một bộ phận để thu các sóng giao động phản xạ lại từ đó có thể nhận biết được các đặc điểm của môi trường đất đá. Có hai phương pháp địa chấn chính là phương pháp phản xạ và khúc xạ. Phương pháp này có thể áp dụng trên đất liền, trên biển hoặc trong các giếng khoan. Cơ sở vật lý của phương pháp

địa chấn đó là mỗi một loại đất đá đều có một module đàn dọc (Young Module) đặc trưng bởi một tốc độ truyền sóng nhất định.

Để thực hiện công tác thăm dò địa chấn người ta dùng máy đo địa chấn, thiết bị này có thể dự trên đặc điểm phản xạ và khúc xạ sóng địa chấn trong môi trường đất đá và khái quát được đặc điểm thành tạo cũng như một số chỉ tiêu vật lý của môi trường địa chất. Trong khảo sát địa chất công trình, phương pháp địa chấn được sử dụng rộng rãi từ những năm 1960 của thế kỷ XX để xác định các mặt cắt địa chấn trên bằng phương pháp đo trên mặt đất và trong lỗ khoan.

III. Mục đích áp dụng các phương pháp thăm dò Địa vật lý trong khảo sát địa chất công trình.

Các phương pháp địa vật lý có thể áp dụng trong khảo sát địa chất công trình để giải quyết những nhiệm vụ khác nhau như:

- Nghiên cứu bề dày và đặc điểm lớp phủ.
- Xác định đặc điểm đá gốc, các đứt gãy, các đới yếu, nứt nẻ...
- Xác định một số chỉ tiêu cơ lý của đất đá.

Nghiên cứu các quá trình và hiện tượng địa chất ảnh hưởng đến việc xây dựng các công trình như karst, trượt...

- Phát hiện các khu vực phân bố vật liệu xây dựng khoáng tự nhiên.

Tài liệu địa vật lý là cơ sở định hướng cho công tác đo vẽ và bố trí các công trình thăm dò khi khảo sát địa chất công trình.

III.1. Xác định một số tính chất cơ lý của đất đá.

Trong địa chất công trình, việc xác định tính chất cơ lý của đất đá như độ lỗ rỗng, độ ẩm, mật độ, module đàn hồi... thường được tiến hành trong phòng thí nghiệm

với các mẫu đất đá kích thước nhỏ và không ở thế nằm tự nhiên. Việc áp dụng các phương pháp địa vật lý nhằm khắc phục các hạn chế này.

a) *Xác định độ lỗ rỗng (n)*: để đo độ lỗ rỗng của cát chứa nước (nằm dưới mực nước ngầm) người ta tiến hành đo điện trở suất của cát (ρ_c) và nước chứa trong cát (ρ_0) bằng địa vật lý giếng khoan, từ các kết quả của ρ_c , ρ_0 đo được có thể xác định được độ lỗ rỗng n theo đồ thị biểu diễn mối quan hệ:

$$\rho_c / \rho_0 = f(n)$$

Đồ thị này được thiết lập bằng các thí nghiệm trong phòng, trong thực tế thường kết hợp giữa phương pháp đo sâu điện với các giếng khoan chuẩn và lấy mẫu thí nghiệm để xác lập một cách chính xác mối quan hệ này.

b) *Xác định độ ẩm của đất đá (w)*: để xác định độ ẩm người ta dùng phương pháp điện dung. Điện dung của tụ điện phụ thuộc vào sự thay đổi điện môi của đất đá xung quanh nhờ điều kiện phòng thí nghiệm sẽ xác định được mối liên hệ giữa hằng số điện môi (ϵ) và độ ẩm (w). Ta có thể sử dụng đồ thị này để xác định độ ẩm của đất đá khi biết hằng số điện môi của chúng. Do hằng số điện môi ít phụ thuộc vào độ khoáng hóa của nước nên phương pháp này có độ chính xác khá cao, xấp xỉ với việc xác định trên mẫu trong phòng thí nghiệm nhưng chi phí rẻ hơn.

c) *Xác định mật độ của đất đá (σ)*: người ta thường dùng phương pháp phóng xạ gamma để xác định đặc trưng này của đất đá. Phương pháp này có thể thực hiện trong các giếng khoan địa chất.

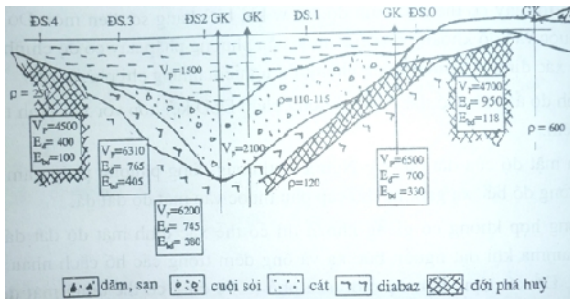
d) *Xác định các tham số đặc trưng cho tính biến dạng của đất đá.*

Bằng phương pháp địa chấn có thể xác định được module đàn hồi (E), hệ số Poisson (μ) qua giá trị vận tốc truyền sóng dọc (V_p) và vận tốc truyền sóng ngang (V_s)

$$\mu = \frac{1 - 2(V_s / V_p)^2}{2[1 - (V_s / V_p)^2]}$$

$$E = 2V_s^2(1 + \mu) = V_p^2 \sigma \cdot \frac{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{(1 - \mu)}$$

Để xác định đồng thời V_p và V_s có thể dùng phương pháp địa chấn bằng việc gây dao động theo phương đứng và phương ngang, ngoài ra có thể dùng phương pháp siêu âm trên mẫu trong phòng thí nghiệm.



Hình 5: Sự phân bố module đàn hồi, module biến dạng và tốc độ truyền sóng trên một mặt cắt địa vật lý.

II.2. Nghiên cứu các hiện tượng địa chất động lực công trình.

a) Nghiên cứu hiện tượng Karst.

Việc nghiên cứu hiện tượng Karst có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong địa chất công trình. Có thể sử dụng các phương pháp địa vật lý để xác định phương, quy mô, độ sâu phát triển, vật liệu chứa trong các hang karst (nước, không khí, các vật liệu trầm tích...) tùy thuộc vào đặc điểm địa chất tại từng vị trí mà lựa chọn phương pháp địa vật lý để thăm dò hang karst phù hợp.

b) Nghiên cứu hiện tượng trượt lở.

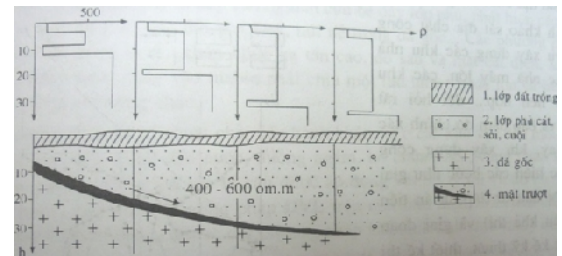
- Trong thực tế, chuyển động trượt lở đất đá thường liên quan đến thành phần, tính chất, cấu tạo của đất đá cũng như địa hình, và điều kiện thủy văn, địa chất thủy văn tại khu vực cụ thể. Nước ngầm thường chảy theo mặt trượt, khi đó mặt trượt thường có điện trở suất thấp nhất,

đây là cơ sở để áp dụng các phương pháp điện (mặt cắt, đo sâu, điện trường thiên nhiên).

- Nếu mặt trượt là mặt tiếp xúc giữa các loại đá khác nhau thì có thể áp dụng phương pháp từ, mặt cắt điện đối xứng kép.

- Nếu mặt trượt là ranh giới tiếp xúc giữa các phân lớp trong cùng một loại đá thì thường áp dụng phương pháp mặt cắt điện đối xứng kép kết hợp với đo sâu điện.

- Nếu mặt trượt là ranh giới giữa lớp phủ phong hóa và đá gốc thì có thể áp dụng phương pháp đo sâu điện để xác định độ sâu mặt trượt, hướng cắm, góc cắm.



Hình 6: Áp dụng đo sâu điện xác định mặt trượt

IV. Kết quả một số phương pháp địa vật lý đã được áp dụng trong thăm dò địa chất công trình.

Trong quá trình khảo sát Địa chất công trình phục vụ xây dựng nhà máy xi măng Đồng Lâm – huyện Phong Điền – Thừa Thiên – Huế, Công ty CP TVTK – Kiểm định & Địa kỹ thuật đã áp dụng các phương pháp khảo sát địa vật lý như: đo mặt cắt điện, đo sâu điện và đo địa chấn kết hợp với các phương pháp khảo sát địa chất công trình truyền thống như khoan, xuyên, nén tĩnh nền... Các phương pháp địa vật lý đã đưa lại các kết quả có độ tin cậy cao và nâng cao chất lượng của công tác khảo sát.

a) Đo mặt cắt điện.

Tiến hành đo mặt cắt điện MC1; MC2; MC3. Thiết bị sử dụng là máy thăm dò điện 1 chiều GESKA của Cộng hòa Czech. Căn

cứ vào điện trở xuất của đất đá (hình 7) có thể chia đất nền thành các lớp:

- Lớp đất tàn tích, lớp phủ gần bề mặt có điện trở suất thấp ($\rho < 600 \text{ Ohm.m}$). Điện trở suất càng giảm khi độ chứa nước càng cao.

- Lớp đá phong hóa trung bình yếu: lớp này có điện trở suất cao hơn lớp trên (màu phổ đậm hơn) nhưng thấp hơn lớp bên dưới.

- Lớp đá gốc rắn chắc: nằm ở phía bên dưới có điện trở suất $\rho > 1200 \text{ Ohm.m}$ phổ có màu đậm nhất.

Với kết quả phân lớp như trên, kết hợp với địa tầng các lỗ khoan xen kẽ đã xác định và kết quả thí nghiệm mẫu ta lập được mặt cắt địa chất công trình chi tiết theo các tuyến (hình 8). Các ranh giới giữa lớp phủ và mặt đá phong hóa, giữa đá phong hóa và đá gốc ở khoảng giữa 2 lỗ khoan được căn cứ vào kết quả địa vật lý. Mặt khác thông qua thang điện trở suất và giá trị điện trở xuất đo được cũng như các chỉ tiêu cơ lý đất đá được xác định theo kết quả thí nghiệm trong phòng cho phép lập tương quan các giá trị này.

b) Đo địa chấn.

Áp dụng phương pháp đo sóng địa chấn đi từ trên xuống, sử dụng thiết bị GEODE của hãng GEOMETRICS do Mỹ sản xuất. Kết quả đo được thể hiện tại bảng 1, 2 và các hình vẽ 9, 10 (lấy ví dụ kết quả đo tại lỗ khoan CH-39)

V. Một số kết luận và kiến nghị.

V.1 Kết luận

Phương pháp khảo sát địa vật lý đã từ lâu được áp dụng trong khảo sát địa chất công trình phục vụ xây dựng các công trình thủy điện, thủy lợi, xây dựng và cho hiệu quả cao về kỹ thuật và kinh tế. Việc áp dụng kết quả phương pháp khảo sát địa vật lý trong khảo sát địa chất công trình

mang tính chất bổ trợ và chi phối lẫn nhau trong kết quả khảo sát, cho phép lập được những tương quan so sánh cụ thể cho những khu vực cụ thể trong phạm vi khảo sát.

Có thể căn cứ vào yêu cầu cụ thể của công tác khảo sát địa chất công trình ở các giai đoạn khảo sát cụ thể mà bố trí các phương pháp khảo sát địa vật lý kết hợp nhằm cung cấp đủ thông tin về địa kỹ thuật phục vụ thiết kế đồng thời đáp ứng yêu cầu về tiến độ và giảm chi phí khảo sát.

V.1 Kiến nghị.

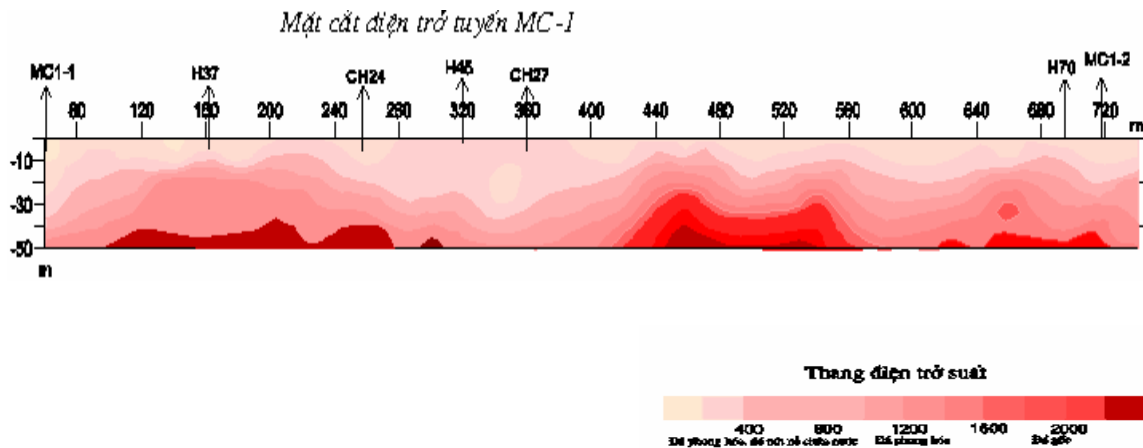
Với cơ sở lý thuyết và kết quả thực tiễn của các phương pháp địa vật lý, kiến nghị xem xét áp dụng các phương pháp địa vật lý trong khảo sát địa chất công trình phục vụ thiết kế xây dựng các công trình giao thông vận tải, trước mắt kiến nghị áp dụng trong các trường hợp cụ thể như sau:

- Áp dụng trong công tác khảo sát địa chất công trình cho hầm và tunel trên cơ sở kết hợp với các phương pháp khảo sát khác nhằm xác định ranh giới lớp phủ, đá phong hóa và đặc điểm đá gốc.

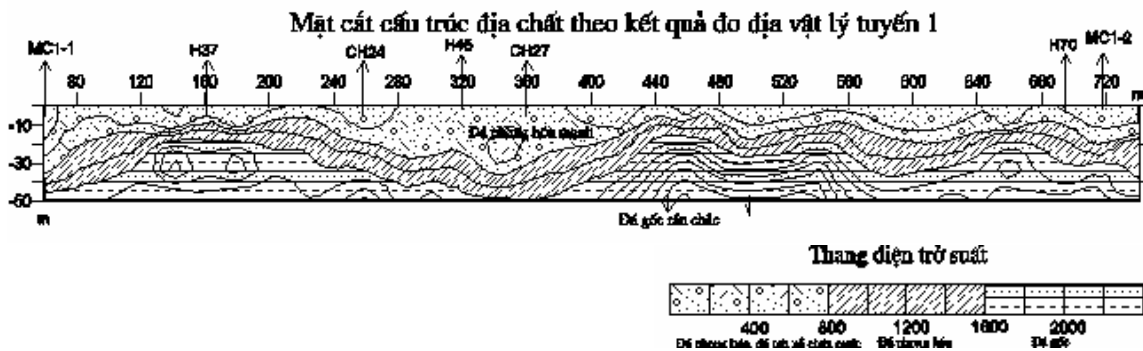
- Áp dụng trong công tác khảo sát tuyến đi qua các khu vực có phát triển vỏ phong hóa và các khu vực sụt trượt nhằm xác định chính xác bề dày lớp phủ, ranh giới đá phong hóa đá gốc cũng như mặt trượt.

- Áp dụng trong khu vực địa hình đá vôi có phát triển đới Karst nhằm xác định phạm vi phân bố cũng như đặc điểm của đới karst.

Sau khi áp dụng các phương pháp địa vật lý trong khảo sát địa chất công trình cần phải có sự phân tích so sánh và rút ra kết luận về các kết quả thu được.



Hình 7: Mặt cắt cắt lớp điện trở theo kết quả đo sâu điện khu vực nhà máy xi măng vùng Lâm – Phong Điền – Thừa Thiên – Huế



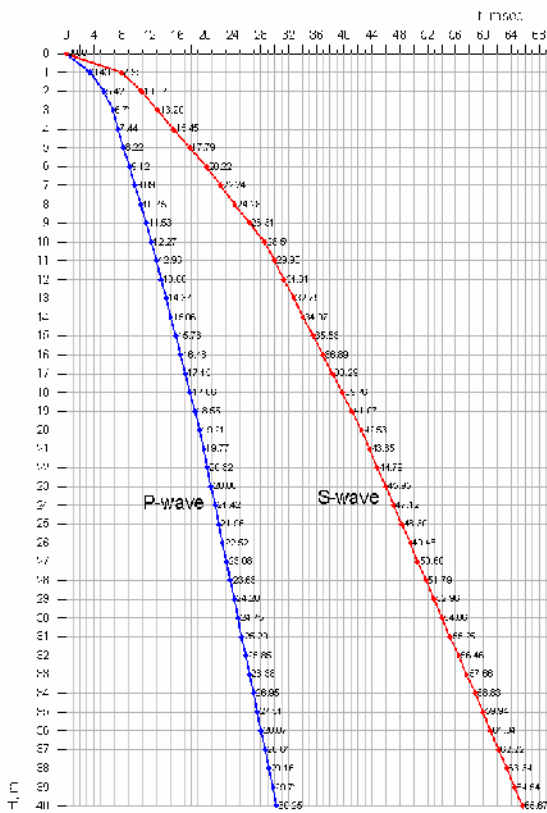
Hình 8: Mặt cắt cắt lớp điện trở theo kết quả đo sâu điện kết hợp kết quả khoan và lấy mẫu khu vực nhà máy xi măng vùng Lâm – Phong Điền – Thừa Thiên – Huế

**Bảng 1: Số liệu thí nghiệm địa chấn ghi được tại lỗ khoan CH-39
CÔNG TRÌNH: NHÀ MÁY XI MĂNG ĐÔNG LÂM**

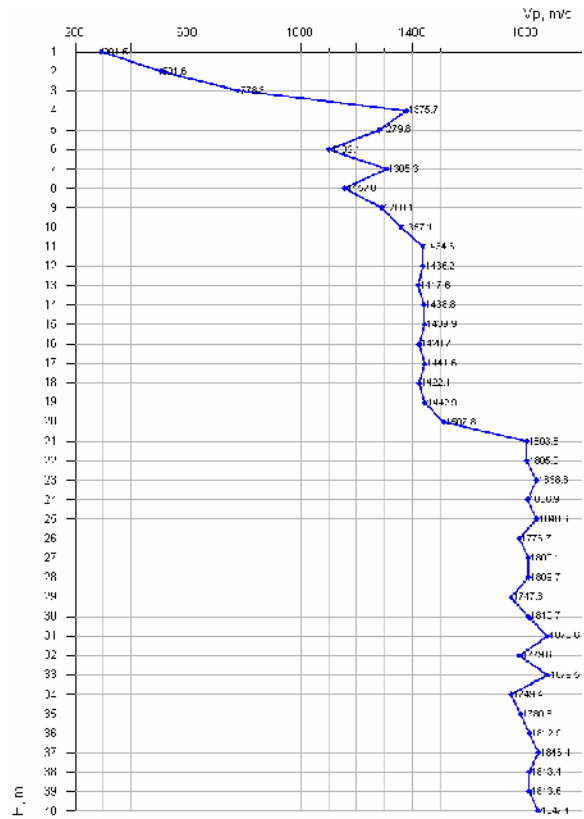
Độ sâu (m)	K/cách từ nguồn đến máy thu (m)	Thời gian tới của sóng P msec.	Thời gian tới của sóng S msec.	Thời gian hiệu chỉnh sóng P msec.	Thời gian hiệu chỉnh sóng S msec.	Vp (m/s)	Vs (m/s)
0	1.04	2.10	5.00	0.00	0.00		
1	1.22	2.81	6.51	3.43	7.95	291.54	125.84
2	1.97	5.50	11.02	5.42	10.87	501.55	342.35
3	2.88	6.99	13.75	6.71	13.20	778.35	429.35
4	3.83	7.76	16.12	7.44	15.45	1375.66	444.54
5	4.81	8.55	18.51	8.22	17.79	1279.82	426.83
6	5.79	9.46	20.96	9.12	20.22	1102.11	411.99
7	6.77	10.22	22.98	9.89	22.24	1305.31	494.40
8	7.76	11.08	25.02	10.75	24.28	1157.80	488.95
9	8.76	11.85	27.04	11.53	26.31	1288.06	493.39
10	9.75	12.58	29.27	12.27	28.54	1357.13	448.11
11	10.75	13.27	30.67	12.96	29.96	1434.58	703.64
12	11.74	13.96	32.00	13.66	31.31	1436.20	740.63
13	12.74	14.66	33.46	14.37	32.79	1417.64	677.84
14	13.74	15.35	34.72	15.06	34.07	1438.82	782.86
15	14.73	16.04	36.17	15.76	35.53	1439.89	683.93
16	15.73	16.74	37.52	16.46	36.89	1420.69	733.90
17	16.73	17.43	38.91	17.15	38.29	1441.61	713.92
18	17.73	18.13	40.37	17.86	39.76	1422.11	680.90
19	18.73	18.82	41.67	18.55	41.07	1442.91	763.25
20	19.73	19.48	43.12	19.21	42.53	1507.85	686.23
21	20.72	20.03	44.23	19.77	43.65	1803.82	891.98
22	21.72	20.58	45.36	20.32	44.79	1804.98	877.23
23	22.72	21.12	46.51	20.86	45.95	1838.80	862.86
24	23.72	21.67	47.67	21.42	47.12	1806.92	856.06
25	24.72	22.21	48.85	21.96	48.30	1840.63	842.23
26	25.72	22.77	50.02	22.52	49.48	1776.69	849.67
27	26.72	23.32	51.13	23.08	50.60	1809.12	895.19
28	27.72	23.87	52.32	23.63	51.79	1809.71	836.26
29	28.72	24.44	53.48	24.20	52.96	1747.59	857.83
30	29.72	24.99	54.58	24.75	54.06	1810.71	904.21
31	30.72	25.52	55.76	25.29	55.25	1878.58	843.99
32	31.72	26.08	56.97	25.85	56.46	1779.63	823.52
33	32.72	26.61	58.16	26.38	57.66	1879.47	837.36
34	33.71	27.18	59.33	26.95	58.83	1749.42	851.67
35	34.71	27.74	60.43	27.51	59.94	1780.59	905.37
36	35.71	28.29	61.53	28.07	61.04	1812.88	905.57
37	36.71	28.83	62.71	28.61	62.22	1846.37	844.99
38	37.71	29.38	63.82	29.16	63.34	1813.41	897.83
39	38.71	29.93	65.02	29.71	64.54	1813.64	831.29
40	39.71	30.47	66.15	30.25	65.67	1847.12	882.37

**Bảng 2: Kết quả thí nghiệm địa chấn lỗ khoan CH-39
CÔNG TRÌNH: NHÀ MÁY XI MĂNG ĐÔNG LÂM**

Độ sâu (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Mật độ (g/cm ³)	Modul cắt (Kg/cm ²)	Modul Young (Kg/cm ²)	Modul đàn hồi khối (Kg/cm ²)	Hệ số Poisson
0							
1	291.54	125.84	1.90	306.81	850.18	1237.68	0.386
2	501.55	342.35	1.93	2306.63	4907.62	1875.18	0.064
3	778.35	429.35	1.95	3665.53	9393.44	7159.21	0.281
4	1375.66	444.54	2.00	4030.24	11620.80	33221.39	0.442
5	1279.82	426.83	2.00	3715.52	10681.56	28450.64	0.437
6	1102.11	411.99	2.03	3513.57	9969.97	20458.71	0.419
7	1305.31	494.40	2.00	4985.01	14120.11	28101.87	0.416
8	1157.80	488.95	2.00	4875.71	13568.84	20837.66	0.391
9	1288.06	493.39	2.00	4964.67	14040.29	27216.64	0.414
10	1357.13	448.11	2.00	4095.23	11784.58	32101.99	0.439
11	1434.58	703.64	1.93	9744.01	26145.25	27510.89	0.342
12	1436.20	740.63	1.930	10795.41	28475.34	26200.54	0.319
13	1417.64	677.84	1.93	9042.55	24447.58	27495.27	0.352
14	1438.82	782.86	1.93	12061.60	31112.38	24660.54	0.290
15	1439.89	683.93	1.96	9348.86	25322.85	28972.40	0.354
16	1420.69	733.90	1.960	10764.88	28376.37	25986.65	0.318
17	1441.61	713.92	1.96	10186.72	27250.13	27954.30	0.338
18	1422.11	680.90	1.96	9266.21	25042.58	28065.56	0.351
19	1442.91	763.25	1.96	11643.11	30405.84	26087.40	0.306
20	1507.85	686.23	1.96	9411.85	25776.92	32892.27	0.369
21	1803.82	891.98	2.40	19471.56	52112.30	53667.96	0.338
22	1804.98	877.23	2.40	18832.91	50674.75	54621.94	0.345
23	1838.80	862.86	2.40	18220.96	49517.73	58453.78	0.359
24	1806.92	856.06	2.50	18682.19	50639.63	58323.73	0.355
25	1840.63	842.23	2.50	18083.43	49461.34	62256.65	0.368
26	1776.69	849.67	2.50	18404.32	49755.68	55932.50	0.352
27	1809.12	895.19	2.50	20429.13	54663.52	56197.28	0.338
28	1809.71	836.26	2.50	17827.97	48643.47	59719.91	0.364
29	1747.59	857.83	2.50	18759.52	50323.68	52844.43	0.341
30	1810.71	904.21	2.60	21676.61	57828.62	58024.00	0.334
31	1878.58	843.99	2.60	18885.45	51880.45	68384.11	0.374
32	1779.63	823.52	2.60	17980.47	49670.00	69695.37	0.381
33	1879.47	837.36	2.60	18589.90	51165.80	68866.84	0.376
34	1749.42	851.67	2.60	19230.71	51718.65	55500.15	0.345
35	1780.59	905.37	2.60	21732.26	57619.02	55081.94	0.326
36	1812.88	905.57	2.60	21741.86	57996.82	58145.48	0.334
37	1846.37	844.99	2.60	18930.22	51775.48	65143.40	0.368
38	1813.41	897.83	2.60	21371.79	57175.29	58689.86	0.338
39	1813.64	831.29	2.60	18321.36	50091.24	62779.22	0.367
40	1847.12	882.37	2.60	20642.11	55823.11	62934.33	0.352



Hình 9: Biểu đồ thời gian sóng tới của sóng P và S



Hình 10: Biểu đồ vận tốc của sóng P.