

# MỘT SỐ KẾT QUẢ ĐO SÂU ĐIỆN DÒNG ĐIỆN MỘT CHIỀU VÀ XOAY CHIỀU THEO MÔ HÌNH HAI CHIỀU (2D) TRONG NGHIÊN CỨU ĐIỀU TRA KHOÁNG SẢN, NƯỚC NGẦM VÀ TAI BIẾN ĐỊA CHẤT Ở VIỆT NAM

TẶNG ĐÌNH NAM, NGUYỄN TIẾN PHONG

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Km9, Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội

**Tóm tắt:** Áp dụng phương pháp đo sâu điện theo mô hình một chiều (1D) trong điều tra khoáng sản ở nước ta trong thời gian qua đã đạt được một số kết quả đáng kể. Tuy vậy vẫn còn một số hạn chế, do phương pháp được xây dựng trên cơ sở giả thiết các lớp địa điện trong mặt cắt là song song và nằm ngang, có sự đồng nhất ngang về tính dẫn điện và địa hình trên mặt là bằng phẳng, trong thực tế điều này không thoả mãn bài toán gây sai lệch giữa kết quả lý thuyết và thực tế.

Để khắc phục những tồn tại nêu trên, chúng tôi đã nghiên cứu áp dụng phương pháp đo sâu điện theo mô hình 2D trong điều tra khoáng sản, nước ngầm và tai biến địa chất trên nhiều vùng của lãnh thổ và đã đạt hiệu quả cao. Bài báo sẽ giới thiệu một số kết quả nghiên cứu ở một số vùng trên lãnh thổ Việt Nam.

## I. MỞ ĐẦU

Công tác đo sâu điện theo mô hình một chiều (1D) trong điều tra khoáng sản ở nước ta trong thời gian qua đã thu được một số kết quả đáng kể. Tuy vậy vẫn còn một số hạn chế, do phương pháp được xây dựng trên cơ sở giả thiết các lớp địa điện trong mặt cắt là song song và nằm ngang, có sự đồng nhất ngang về tính dẫn điện và địa hình trên mặt là bằng phẳng. Trong thực tế ở nước ta, trên các diện tích nghiên cứu thường có cấu trúc địa chất và địa hình rất phức tạp, các đối tượng nghiên cứu thường có quy mô kích thước bé, dạng ổ hoặc thấu kính, không thoả mãn các điều kiện nêu trên. Nên quy trình đo đạc và xử lý tài liệu theo mô hình 1D thường có sai lệch so với thực tế và kém tin cậy.

Ngày nay, với các thành tựu mới trong kỹ thuật tính toán và máy tính nên giải các bài toán điện cho mô hình phức tạp 2D đã được cải tiến, các quy trình công nghệ đo đạc, xử lý tài liệu đo điện theo mô hình 2D đã được hoàn thiện và đã được sử dụng có hiệu quả ở các nước tiên tiến.

Phương pháp đo điện dòng một chiều và xoay chiều theo mô hình 2D đã được nghiên cứu áp dụng phục vụ công tác điều tra khoáng sản, nước ngầm, tai biến địa chất... trên nhiều vùng của lãnh thổ nước ta trong thời gian qua đã thu được các kết quả đáng tin cậy. Bài báo xin giới thiệu một số kết quả nghiên cứu thuộc các lĩnh vực nêu trên ở một số vùng của lãnh thổ Việt Nam.

## II. KỸ THUẬT THU THẬP VÀ XỬ LÝ SỐ LIỆU

### 1. Kỹ thuật thu thập số liệu

#### a) Máy đo:

Máy đo được sử dụng để điều tra khoáng sản, nước ngầm và tai biến địa chất là trạm máy đa kênh dòng một chiều của hãng SCINTREX Canada với máy phát TSQ-3 và đầu thu IPR-12, công suất phát của máy là 3 Kw với dòng phát cực đại là 10 A, thế phát cực đại là 1500 V và trạm đo điện dòng xoay chiều của hãng PHOENIX Canada với máy phát T3 và đầu thu V5 với 17 tần số, từ 0,125 Hz đến 8192 Hz để thu thập số liệu cho các vùng nghiên cứu.

#### b) Thiết bị đo:

Công tác đo sâu điện được tiến hành theo quy trình mô hình 2D với hệ thiết bị chủ đạo là lưỡng cực (dipole - dipole), kích thước thiết bị được sử dụng là (A a B na M a N) với a=20 m, n=1 ÷ 3; a= 40 m, n=2 ÷ 4; a=80 m, n=2 ÷ 4. Trong trường hợp vùng khảo sát thể thu được quá bé thì sử dụng hệ thiết bị đối xứng (Wenner - Schlumberger), kích thước thiết bị được sử dụng là (A na M a N na B) với a=20 m, n=1 ÷ 4; a= 40 m, n=2 ÷ 5; a=80 m, n=2 ÷ 5.

## 2. Phân tích định lượng tài liệu điện theo mô hình hai chiều (2D)

Mục đích của phân tích định lượng mặt cắt đo sâu điện hai chiều (2D) là xác định các tham số của các phân tử trên toàn bộ mặt cắt sao cho trường quan sát trên mặt cắt trùng với trường tính toán một cách tốt nhất. Thực chất là cực tiểu hóa phiếm hàm độ lệch bình phương trung bình giữa giá trị điện trở suất, phân cực  $f_i$  đo trên toàn bộ tuyến đo với giá trị tính mô hình lý thuyết  $g(x)$ :

$$\nabla F(x + \delta x) = \nabla \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[f_i - g(x + \delta x)]^2}{g_i^2(x)} \right\} \rightarrow 0 \quad (1)$$

Trong đó : x - Tham số mô hình, tọa độ và điện trở suất hay giá trị phân cực của các phân tử điện tích  $S_{ij}$ ;  $\delta x$  - bước thay đổi các tham số x. Khi giá trị  $\delta x$  đủ nhỏ, hàm  $g(x + \delta x)$  được viết lại dưới dạng đa thức:  $g(x + \delta x) = g(x) + J\delta x$

Trong đó: J: Ma trận Jacobi, được xác định cho mỗi lần thay đổi mô hình.

Phiếm hàm (1) sẽ đạt được cực tiểu  $\varepsilon_{\min} \approx J\delta x$ , từ đó ta xác định được bước thay đổi  $\delta x = J^* \varepsilon_{\min}$ , với  $J^*$  ma trận nghịch đảo của J.

Việc cực tiểu hóa phiếm hàm sai số (1) đã có nhiều thuật toán giải khác nhau, với tốc độ hội tụ rất nhanh và có thể đạt đến độ sai số dưới 1 % đối với số liệu tính lý thuyết sau 5-10 lần tính lặp.

Với thuật toán nêu trên, cho phép lập các chương trình tự động hóa quá trình tính. Hiện nay trên thế giới có một số phần mềm phân tích 2D tương đối phổ biến và hiệu quả như phần mềm RES2DINV, RESIX IP2DI. Chúng tôi đã sử dụng chương trình phân tích định lượng theo mô hình 2D bằng phần mềm RESIX IP2DI v4 của hãng INTERPEX Mỹ để phân tích các số liệu đo.

## III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### 1. Kết quả nghiên cứu điều tra khoáng sản

Phương pháp đo sâu điện 2D (đo sâu phân cực kích thích dòng điện 1 chiều và xoay chiều) đã được áp dụng trong nghiên cứu điều tra khoáng sản ở nhiều vùng của lãnh thổ như; điều tra khoáng sản đồng ở Tà Phời (Lào Cai), Cốc Mỹ (Bát Xát, Lào Cai)...; Điều tra chì-kẽm ở các vùng tỉnh Bắc Kạn, Tuyên Quang và Yên Bái, ...; Điều tra vàng ở Quảng Nam, Quảng Bình, Huế và Kon Tum, thiếc ở Nghệ An và Tây Nam Núi Pháo..., kết quả một số vùng cụ thể như sau:

#### a) Kết quả nghiên cứu điều tra quặng đồng ở Vùng Tà Phời, Lào Cai:

Để nghiên cứu xác lập các đặc trưng dị thường phân cực kích thích dòng xoay chiều trên các đới và thân quặng sulfur đồng vùng Tà Phời, đã tiến hành đo sâu phân cực dòng xoay chiều theo mô hình 2D bằng hệ thiết bị Wenner - Schlumberger với tần số 2 Hz; 1 Hz; 0,5 Hz và 0,125 Hz trên 7 tuyến.

Kết quả nghiên cứu phương pháp phân cực kích thích dòng xoay chiều trên các tuyến ở vùng Tà Phời đạt hiệu quả cao. Kết quả khoan trên các dị thường của các tuyến đều gặp quặng, độ sâu gặp quặng khá phù hợp với độ sâu phân bố trong không gian. Các đới và thân quặng đồng có các đặc trưng dị thường phân cực dòng xoay chiều như sau:

- Các đá chứa quặng đồng có đặc trưng phổ phân cực khác với đá phiến chứa graphit và đá không chứa quặng đồng. Quặng đồng có giá trị điện trở suất thấp; giá trị pha, hiệu ứng phân cực tần số và hệ số kim loại lớn; giá trị pha và hiệu ứng phân cực tần số tỷ lệ nghịch với tần số.

- Quặng đồng được phản ánh trên đới dị thường có giá trị phân cực và giá trị pha cao, giá trị điện trở suất trung bình, giá trị hệ số kim loại trung bình và hiệu giá trị pha ở tần số 0,125 Hz và 1 Hz có giá trị dương.

- Các đới đá phiến có khoáng hóa sulfur và chứa graphit được phản ánh trên dị thường, giá trị điện trở suất nhỏ, giá trị phân cực và pha lớn, giá trị hệ số kim loại lớn, hiệu giá trị pha ở tần số 0,125 Hz và 1 Hz có giá trị âm.

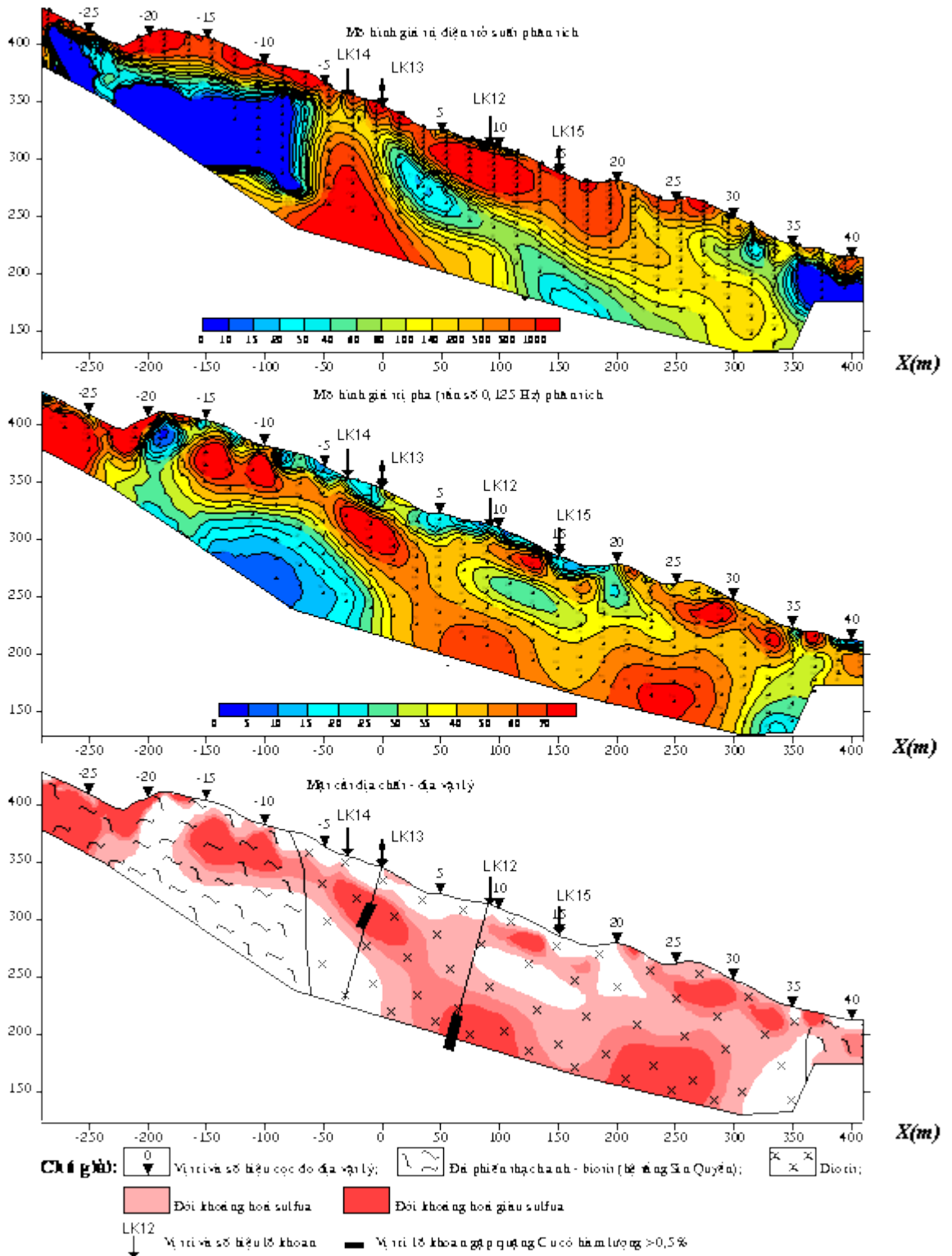
Kết quả phân tích định lượng tài liệu đo phân cực trên tuyến T3 ở tần số 0,125 Hz, từ cọc -28 đến cọc 40, được thể hiện trên Hình 1 cho thấy:

- *Mô hình điện trở suất*: có giá trị điện trở từ vài  $\Omega\text{m}$  đến trên 4000  $\Omega\text{m}$ , được chia thành 2 đới khá rõ rệt: Từ cọc -5 của tuyến về đến cuối cánh âm có giá trị điện trở suất chủ yếu nhỏ hơn 10  $\Omega\text{m}$ , liên quan với đá phiến có chứa graphit; phần còn lại có giá trị điện trở suất chủ yếu lớn hơn 100  $\Omega\text{m}$ , chúng liên quan với đá diorit bị biến đổi chứa quặng đồng.

- *Mô hình giá trị pha*: Ứng với tần số 0,125 Hz đã xác định đới dị thường được khống chế từ cọc -5 đến cọc 30, tồn tại đến độ sâu trên 100 m, với giá trị điện trở suất 50÷1000  $\Omega\text{m}$ ; giá trị pha lớn hơn 35 mrad, liên quan với các thân quặng số 4, 5, 6, 7 và 8, đã được khống chế ở trên mặt bằng công trình hào, vết lộ và dưới sâu bằng công trình khoan LK12 tại cọc 9, LK13 tại cọc 0 và LK15 tại cọc 15. Kết quả 3 lỗ khoan trên đều gặp quặng hóa, trong đó lỗ khoan 13 gặp quặng ở độ sâu từ 39 đến 52 m, lỗ khoan 12 gặp quặng ở độ sâu từ 102 m đến 110 m với hàm lượng đồng của các mẫu đều đạt trên 1 %.

Theo tài liệu địa chất thì từ cọc -6 đến cọc 25 tồn tại 5 thân quặng (số 4, 5, 6, 7 và số 8) dạng vỉa cắm về hướng tây. Theo tài liệu địa vật lý, quặng ở đây có hình thù phức tạp, không tách ra các thân quặng riêng biệt, có thể thân quặng 5 lỗ khoan 13 đã gặp và thân quặng 6 lỗ khoan 12 là cùng một thân quặng kéo dài liên tục.

H H H  
(m) (m) (m)



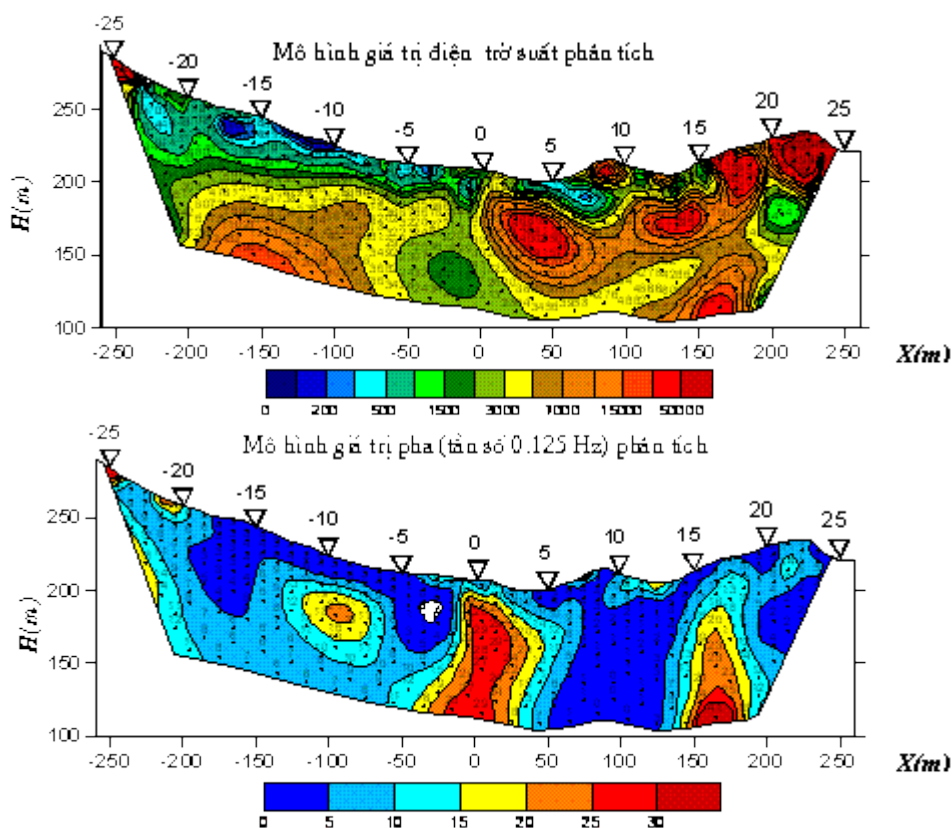
Hình 1. Kết quả phân tích định lượng tài liệu đo sâu phân cực dòng xoay chiều ở tần số 0,125 Hz Tuyến T3 – vùng Tà Phời, Lào Cai.

b) Kết quả nghiên cứu điều tra quặng chì-kẽm vùng Ba Xứ - Yên Sơn, Tuyên Quang:

Công tác đo sâu phân cực dòng xoay chiều theo mô hình 2D để đánh giá quặng chì-kẽm ở vùng Ba Xứ - Yên Sơn, Tuyên Quang đã xác định được quy mô phân bố trong không gian và độ sâu phát triển của các đới, thân quặng, là cơ sở để thiết kế các lỗ khoan đánh giá quặng một cách có cơ sở khoa học và tin cậy. Tất cả các lỗ khoan đều gặp quặng.

Kết quả đo sâu phân cực trên tuyến T85 hệ thiết bị lưỡng cực trực liên tục đều được thể hiện trên Hình 2, kết quả cho thấy:

Mô hình giá trị pha với tần số 0,125 Hz phản ánh hai đới dị thường có giá trị pha lớn hơn 20 mrad, liên quan với thân quặng 14 ở cọc 0 và mạch quặng số 6 ở cọc 15 của tuyến.



Hình 2. Kết quả phân tích định lượng tài liệu đo sâu phân cực xoay chiều - giá trị pha ở tần số 0,125 Hz - Hệ thiết bị lưỡng cực Tuyến 85 - Khu vực Ba Xứ - Yên Sơn.

### c) Kết quả nghiên cứu điều tra quặng thiếc vùng Suối Bắc - Quỳnh Hợp, Nghệ An:

Với mục đích theo dõi sự phát triển và khoanh định các thân quặng thiếc ở khu vực Suối Bắc - Quỳnh Hợp, Nghệ An theo chiều sâu, đã đo sâu phân cực theo mô hình 2D bằng hệ thiết bị Wenner - Schlumberger. Kết quả đo sâu đã khoanh định được 3 dải dị thường phát triển đến độ sâu trên 250 m, liên quan đến các đới, thân quặng thiếc trong vùng. Theo tài liệu địa vật lý, vùng suối Bắc có quy mô quặng thiếc rất lớn, và phát triển đến độ sâu trên 250 m, bị phân cắt phức tạp, phù hợp với kết quả địa chất ở các công trình lò đang khai thác quặng.

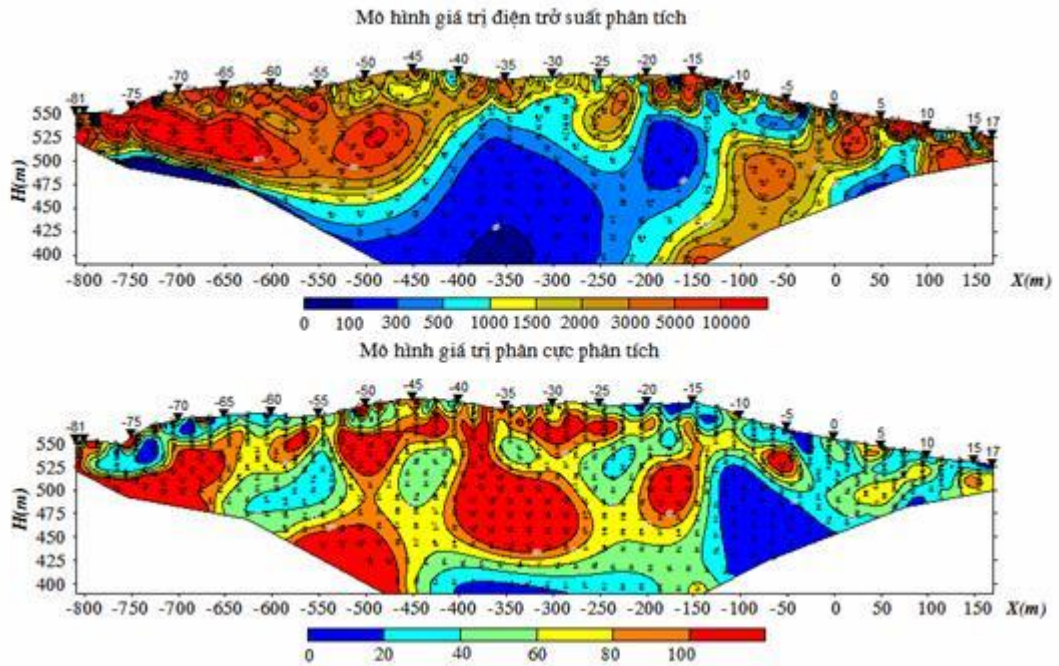
Kết quả phân tích định lượng tài liệu đo sâu phân cực trên tuyến T7 từ cọc -81 đến cọc 17 được thể hiện trên Hình 3, cho thấy giá trị hệ số phân cực thay đổi từ 0,2 đến 20,8 % và chủ yếu là lớn hơn 4 %; giá trị điện trở suất trên tuyến đo biến đổi trong phạm vi rộng, thay đổi từ 19 đến 4254  $\Omega\text{m}$ , chủ yếu lớn hơn 1000  $\Omega\text{m}$ . Đã khoanh định được 3 đới dị thường chính có giá trị phân cực lớn hơn 8 %, các đới dị thường này liên quan với đới khoáng hóa sunfua chứa quặng thiếc, cụ thể là:

Đới số 1, được khống chế từ cọc -70 đến cọc -65, phát triển từ độ sâu khoảng 25 m và mới khống chế đến độ sâu khoảng 150 m.

Đới số 2 được khống chế từ cọc số -55 đến cọc -45, phát triển từ độ sâu khoảng 20 m đến trên 250 m;

Đới số 3 được khống chế từ cọc số -40 đến cọc -15, phần trên tồn tại từ trên mặt đến độ sâu khoảng 50 m, phát triển đến độ sâu thay đổi từ 100 đến khoảng 200 m.



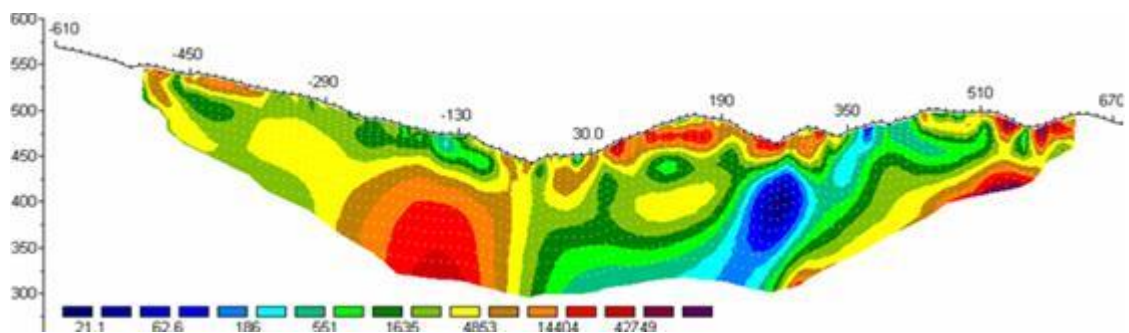


Hình 3. Kết quả phân tích định lượng tài liệu đo sâu phân cực tuyến T7  
Khu vực suối Bắc - Châu Hồng, Châu Thành, Quỳnh Hợp, Nghệ An.

## 2. Kết quả nghiên cứu điều tra địa nhiệt

Phương pháp đo sâu điện 2D đã được nghiên cứu áp dụng để đánh giá tiềm năng địa nhiệt ở nhiều vùng của lãnh thổ như Sơn Kim, Hà Tĩnh, Bon Lót, Điện Biên, Bó Đưót - Vị Xuyên, Hà Giang.... Kết quả đo sâu điện 2D đã khoan định được đứt gãy, đới dập vỡ nứt nẻ trong đá gốc có khả năng chứa nước nóng tốt cũng như quy mô phân bố trong không gian và độ sâu tồn tại của tầng nước nóng.

Để xác định quy mô phân bố và độ sâu tồn tại của đới dập vỡ nứt nẻ có thể liên quan với tầng nước nóng ở vùng Bó Đưót - Vị Xuyên, Hà Giang đã tiến hành đo sâu điện trên tuyến T0A, kết quả phân tích định lượng tài liệu đo sâu điện từ cọc -51 đến cọc 63 được thể hiện trên Hình 4 cho thấy, giá trị điện trở suất trên tuyến đo biến đổi trong phạm vi rộng, thay đổi từ 32 đến 2467  $\Omega\text{m}$ , chủ yếu lớn hơn 2000  $\Omega\text{m}$ , đã khoan định được 1 đới dị thường có giá trị điện trở suất nhỏ hơn 500  $\Omega\text{m}$ , chủ yếu nhỏ hơn 200  $\Omega\text{m}$  với bề rộng ở dưới sâu gần 300 m (ở độ sâu khoảng 250 m đới dị thường này được khống chế từ cọc -3 đến cọc 25). Tương ứng với vị trí xuất lộ nước nóng, nằm ở độ sâu khoảng 100 m, chính vì vậy mà nước nóng ở đây chỉ xuất lộ ở dạng suối tắm chứ không thành dòng chảy (nguồn nước nóng ở đây nằm ở dưới sâu trên 100 m và xuất lộ lên trên mặt theo áp lực đi theo khe nứt nhỏ, điều này được phản ánh rõ nét trên kết quả đo sâu điện trên tuyến T0A).

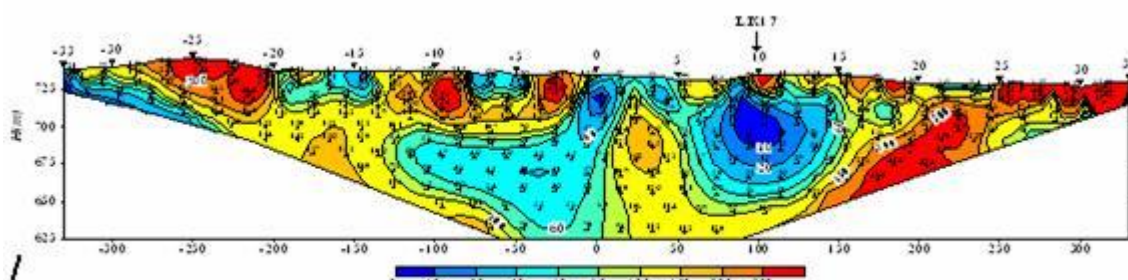


Hình 4. Kết quả phân tích định lượng tài liệu đo sâu điện tuyến T0A  
Khu vực Bó Đưót - Thượng Sơn, Vị Xuyên, Hà Giang.

### 3. Kết quả nghiên cứu điều tra nước dưới đất

Phương pháp đo sâu điện 2D đã được nghiên cứu áp dụng để đánh giá tiềm năng nước dưới đất ở nhiều vùng của lãnh thổ, đặc biệt trong đề án điều tra đánh giá nguồn nước dưới đất khu vực trung du và miền núi phía bắc ở các tỉnh Hòa Bình, Sơn La, Điện Biên và Lai châu. Kết quả đo sâu điện 2D đã khoanh định được đứt gãy, đới dập vỡ nứt nẻ các hang karst có khả năng chứa nước tốt ở các khu vực khảo sát, là cơ sở tin cậy để xác định vị trí và thiết kế độ sâu các lỗ khoan ĐCTV một cách hợp lý. Kết quả khoan về cơ bản là phù hợp với kết quả đo địa vật lý và đạt hiệu quả.

Hình 5 là kết quả phân tích tài liệu đo sâu điện 2D bằng hệ thiết bị Wenner – Schlumberger trên tuyến T2 ở bản Mường Và, xã Mường Và, huyện Sốp Cộp, tỉnh Sơn La, kết quả đo sâu điện đã phát hiện được đới có giá trị điện trở suất nhỏ hơn 50  $\Omega\text{m}$ , chúng liên quan với đứt gãy, đới dập vỡ nứt nẻ có khả năng chứa nước tốt.

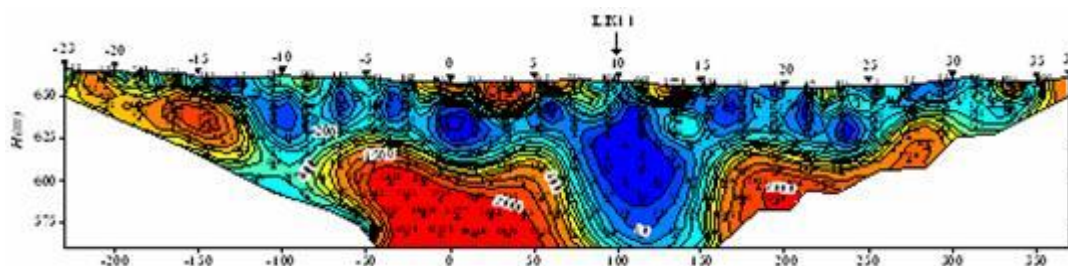


Hình 5. Kết quả phân tích tài liệu đo sâu điện trở Tuyến 2 - Khu vực Mường Và - Sốp Cộp, Sơn La Hệ thiết bị Wenner - Schlumberger.

Kết quả khoan tại cọc 10 tuyến T2 đến độ sâu 101 m cho thấy: Lưu lượng 4,21 l/s; mực nước hạ thấp 18,09 m; đất đá tầng chứa nước đá sét kết, bột kết màu đen có tuổi T<sub>3</sub> n-rsb.

Hình 6 là kết quả phân tích tài liệu đo sâu điện 2D bằng hệ thiết bị lưỡng cực trực liên tục đều trên tuyến T1 ở Bản Mơn - Chiềng Lươn - Mai Sơn, tỉnh Sơn La, kết quả đo sâu điện đã phát hiện được đới có giá trị điện trở suất nhỏ hơn 100  $\Omega\text{m}$ , chúng liên quan với đứt gãy, đới dập vỡ nứt nẻ có khả năng chứa nước tốt.

Kết quả khoan tại cọc 10 tuyến T1 đến độ sâu 100 m cho thấy: Lưu lượng 8,5 l/s; mực nước hạ thấp 3,86 m; đất đá tầng chứa nước là đá sét vô định khối màu xám xanh, hạt mịn có tuổi T<sub>2</sub> đđg bị dập vỡ nứt nẻ mạnh.



Hình 6. Kết quả phân tích tài liệu đo sâu điện trở tuyến T1 Khu vực Bản Mơn - Chiềng Lươn - Mai Sơn, Sơn La Hệ thiết bị lưỡng cực trực liên tục đều.

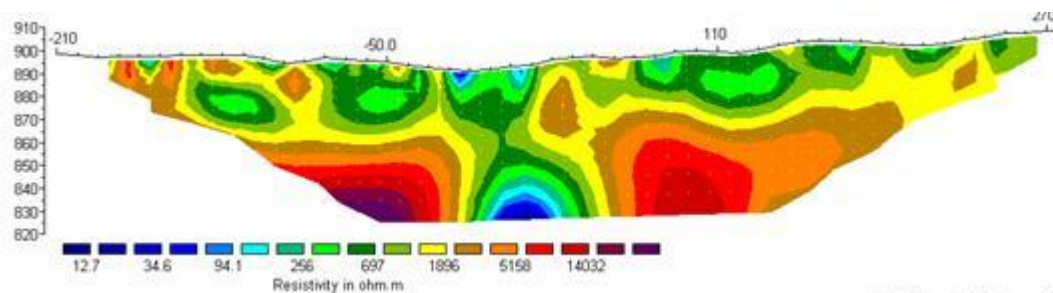
### 4. Kết quả nghiên cứu điều tra tại biến trượt lở, hang karst ngầm

Phương pháp đo sâu điện 2D cũng đã được áp dụng có hiệu quả trong lĩnh vực nghiên cứu tại biến trượt lở, đánh giá tại biến địa chất liên quan đến hệ thống không gian karst ngầm ở nhiều vùng của lãnh thổ và đã thu được các kết quả khả quan.

Để xác định các hệ thống không gian karst ngầm ở khu vực thị xã Lai Châu, đã tiến hành đo sâu điện theo mô hình 2D bằng hệ thiết bị lưỡng cực, kết quả đã xác định được các hệ thống đứt gãy, các đới dập vỡ, các hố sụt liên quan với hệ thống hang karst ngầm.

Hình 7 là kết quả phân tích định lượng tài liệu đo sâu điện bằng hệ thiết bị lưỡng cực trực liên tục đều trên tuyến T1-3 ở khu vực xã Nậm Loỏng, thị xã Lai Châu. Giá trị điện trở suất của hệ thiết bị lưỡng cực biến đổi trong phạm vi rộng hơn, thay đổi từ 18 đến 11.651  $\Omega\text{m}$ , chủ yếu biến đổi trong khoảng từ 1000 đến 10.000  $\Omega\text{m}$ .

Kết quả đo sâu điện trở đã xác định được 3 dị thường điện trở suất nhỏ hơn 500  $\Omega\text{m}$  liên quan với các hố sụt - hang karst ngầm nằm ở độ sâu thay đổi từ 10 đến 30 m, kích thước thay đổi từ 20 đến 30 m. Bên cạnh các hang karst ngầm nằm nông còn xác định được đới dị thường điện trở suất chủ yếu nhỏ hơn 500  $\Omega\text{m}$ , mới không chế đến độ sâu 100 m, liên quan với đứt gãy, đới dập vỡ nứt nẻ sâu, và có thể có hang karst ở độ sâu khoảng 60-80 m.



Hình 7. Kết quả phân tích tài liệu đo sâu điện trở tuyến T1-3 khu vực xã Nậm Loỏng, thị xã Lai Châu bằng hệ thiết bị Lưỡng cực.

#### IV. KẾT LUẬN

Qua kết quả áp dụng phương pháp đo sâu điện dòng một chiều và xoay chiều theo mô hình 2D trong điều tra khoáng sản, nước ngầm và tai biến địa chất trên nhiều vùng của lãnh thổ, đã được kiểm chứng bằng các công trình khoan, đạt hiệu quả cao đồng thời khắc phục được hạn chế của đo sâu điện theo mô hình 1D.

Hệ thiết bị lưỡng cực có tính phân dị cao và định xứ tốt hơn so với thiết bị đối xứng.

Kết quả đo sâu điện dòng xoay chiều có tính phân dị và định xứ tốt hơn so với dòng một chiều, dựa vào các giá trị pha và giá trị hiệu ứng tần số của đo sâu phân cực dòng điện xoay chiều có khả năng phân biệt được dị thường quặng đồng với graphit hay quặng chì kẽm với bùn sét tốt hơn so với hệ số phân cực của dòng điện một chiều.

#### VĂN LIỆU

1. **Pelton W.H., Ward H., Hallof P.G., Sill W.R., Nelton P.H., 1978.** Mineral discrimination and Removal of Inductive coupling with multifrequency ip. *Geophysic, vol 43, N<sup>o</sup> 3, pp 588-609.*

2. **Philip Hallof G., 1974.** The IP phase measurement and inductive coupling. *Geophysic, vol 39, N<sup>o</sup>.5.*

3. **Tăng Đình Nam và nnk, 2003.** Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học: Nghiên cứu thử nghiệm các phương pháp với thiết bị, công nghệ và kỹ thuật mới của địa vật lý có khả năng phát hiện các thân quặng ẩn sâu. Nơi Lưu trữ: Viện Khoa học Địa chất và khoáng sản.

4. **Tăng Đình Nam và nnk, 2007.** Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học: “Nghiên cứu xác lập các đặc trưng dị thường phân cực kích thích dòng xoay chiều trên các đới và thân quặng sulfur đa kim phục vụ công tác điều tra đánh giá khoáng sản sulfur đa kim ở Việt Nam”. Nơi Lưu trữ: Viện Khoa học Địa chất và khoáng sản.

5. **Weller A., 1996.** Measurements of spectral induced polarization for environmental purposes. *Environment Geology 27: 329-334.*



