TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 9433 : 2012

ĐIỀU TRA, ĐÁNH GIÁ VÀ THĂM DÒ KHOÁNG SẢN – PHƯƠNG PHÁP ẢNH ĐIỆN

Investigation, Evaluation and exploration of minerals – Electrical imaging method

Lời nói đầu

TCVN 9433 : 2012 – Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản - Phương pháp ảnh điện– do Tổng Cục Địa chất và khoáng sản biên soạn, Bộ Tài nguyên và Môi trường đề nghị, Tổng Cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

ĐIỀU TRA, ĐÁNH GIÁ VÀ THĂM DÒ KHOÁNG SẢN – PHƯƠNG PHÁP ẢNH ĐIỆN

Investigation, Evaluation and exploration of minerals – Electrical imaging method

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này áp dụng cho các tổ chức và cá nhân khi tiến hành phương pháp ảnh điện để giải quyết các nhiệm vụ:

- Phát hiện, đánh giá và dự báo vị trí, quy mô, kích thước và các yếu tố thế nằm của các đới, thân quặng có sự khác biệt về tính chất điện với đất đá vây quanh trong nghiên cứu, điều tra, đánh giá và thăm dò các loại khoáng sản có ích.

- Phát hiện, đánh giá và dự báo vị trí, quy mô, kích thước các đối tượng chứa nước trong điều tra, đánh giá và thăm dò nước dưới đất, nước nóng, nước khoáng.

- Xác định và dự báo tính bền vững của các tầng đất đá trong nghiên cứu địa chất công trình, các bất đồng nhất trong thân đê, đập thủy lợi, thủy điện; nền móng các công trình giao thông, xây dựng. v.v…

- Khoanh vùng ô nhiễm trong nghiên cứu địa chất môi trường, các ranh giới địa chất gây trượt lỡ đất,…

2 Thuật ngữ, định nghĩa

Các thuật ngữ sử dụng trong tiêu chuẩn được hiểu như sau:

2.1 Mặt cắt địa điện (electro- geological cross-section)

Là mặt cắt địa chất được xây dựng theo các tham số điện mà thường là tham số điện trở suất.

2.2 Mô hình địa điện một chiều (1D) (1 dimension model – 1D):

Là mô hình mặt cắt địa điện gồm 2 trường hợp:

- Mặt cắt phân lớp nằm ngang: là mô hình giống như môi trường trầm tích gồm các lớp nằm ngang có điện trở suất và chiều dày $\rho 1$, h1; $\rho 2$, h2;… ρn, hn với hàm điện trở suất phụ thuộc vào chiều sâu $\rho = \rho i(z)$, i là chỉ số lớp.

- Mặt cắt phân lớp thẳng đứng: là mô hình tương tự như môi trường đất đá bị bóc mòn chỉ còn đá gốc có ranh giới dốc đứng, có hàm điện trở suất phụ thuộc vào các lớp thay đổi theo chiều ngang $\rho = \rho i(x)$.

2.3 Mô hình địa điện 2 chiều (2D) (2 dimension model – 2D):

Là mặt cắt địa điện gồm các lớp có tham số điện thay đổi theo 2 chiều (chiều ngang và chiều sâu), còn 1 chiều không thay đổi, hàm điện trở suất $\rho = \rho i(x,z)$ và không thay đổi theo phương y.

2.4 Mô hình địa điện 3 chiều (3D) (3 dimension model – 3D):

Là khối địa điện có các tham số điện thay đổi theo cả 3 chiều x,y, z gần đúng với môi trường thực tế. Trong mô hình này, hàm điện trở suất $\rho = \rho i(x,y,z)$.

2.5 Điện trở suất của đất đá và quặng

Là điện trở của một khối hộp đất đá hoặc quặng có hình lập phương với chiều dài mỗi cạnh là 1đơn vị dài m hoặc cm. Điện trở suất của đất đá hoặc quặng thường ký hiệu là ρ có thứ nguyên là Ωm.

2.6 Hệ số thiết bị điện cực

Là hệ số phụ thuộc vào cách sắp xếp các điện cực phát và thu cắm trên mặt đất. Hệ số thiết bị điện cực thường được ký hiệu là K và có thứ nguyên đơn vị chiều dài m hoặc cm.

2.7 Điện trở suất biểu kiến

Là tham số điện trở suất được đo và tính toán bởi một hệ thiết bị điện cực nào đó trên mặt đất. Điện trở suất biểu kiến thường được ký hiệu là ρk và có thứ nguyên là Ωm.

2.8 Độ phân cực biểu kiến của đất đá và quặng

Là tham số điện đặc trưng cho khả năng hình thành trường điện thứ cấp trong đất đá và quặng sai khi ngắt dòng điện một chiều hoặc xoay chiều tần số số thấp phóng qua chúng. Độ phân cực biểu kiến được tính toán bởi tỷ số giữa hiệu điện thế đo được giữa hai điện cực thu ở thời điểm t nào đó sau khi ngắt dòng phát với hiệu điện thế đo được giữa hai cực thu trong khi phát dòng điện qua đất đá và quặng. Độ phân cực biểu kiến thường được ký hiệu là ηK và có thứ nguyên là %.

2.9 Điện cực (Electrical pole)

Là một vật dẫn điện được chế tạo dạng thanh có một đầu nhọn cắm vào đất để đưa dòng điện nhân tạo từ nguồn phát vào trong đất đá thông qua dây dẫn điện hoặc dẫn dòng điện nảy sinh trong đất đá tới các máy đo điện. Trong phương pháp ảnh điện thì điện cực phát và thu thường làm bằng kim loại có điện thế phân cực điện cực rất nhỏ để có thể sử dụng đồng thời là điện cực thu và phát.

2.10 Lưỡng cực điện (Electrical dipole)

Là mạch điện có hai điện cực có kích thước L rất nhỏ so với khoảng cách tới điểm quan sát trường điện gọi là lưỡng cực phát, hoặc tới điểm phát dòng điện thì gọi là lưỡng cực thu.

2.11 Hệ điện cực (Electrical array)

Là thiết bị dùng để tạo ra trường điện trong đất, đá hoặc đối tượng nghiên cứu và thu các tín hiệu trường điện để dẫn tới máy đo điện. Mỗi hệ điện cực gồm có ít nhất hai điện cực phát và hai điện cực thu. Tùy theo cách bố trí vị trí và khoảng cách giữa các điện cực mà tạo thành các hệ điện cực có tên gọi khác nhau và có hệ số thiết bị điện cực K khác nhau.

3 Nguyên tắc của phương pháp

Phương pháp ảnh điện (Electrical Imaging Method hoặc Electrical Tomography Method) là phương pháp đo sâu điện có các điểm nghiên cứu thay đổi tăng dần theo 2 hướng: theo chiều sâu và theo tuyến đo, hoặc 3 hướng: theo chiều sâu, theo tuyến đo và vuông góc với tuyến đo (hướng X, Z và X, Y, Z trong hệ tọa độ Decac). Khi di chuyển hệ thiết bị điện cực để có điểm nghiên cứu tăng dần theo chiều sâu và theo hướng tuyến đo, gọi là ảnh điện 2D và theo cả hướng vuông góc với tuyến đo gọi là ảnh điện 3D.

Thực chất của phương pháp ảnh điện là nghiên cứu sự thay đổi tính chất điện trong môi trường 2D và 3D dựa trên nguyên lý giải các bài toán thuận và ngược các tham số trường điện của mô hình địa điện 2D và 3D là môi trường gần đúng với môi trường thực tế, nên chúng có độ phân giải cao hơn các phương pháp đo sâu điện 1D (đo sâu điện trở).

4 Thiết bị, dụng cụ

4.1 Yêu cầu máy và thiết bị

4.1.1 Các máy và thiết bị dùng trong phương pháp ảnh điện là các máy thu và nguồn phát gồm: ác quy, máy phát điện dòng một chiều, xoay chiều được chỉnh lưu thành một chiều hoặc xoay chiều tần số thấp; các trạm thăm dò điện có máy thu và máy phát điện dòng một chiều hoặc xoay chiều tần số thấp và các thiết bị, dụng cụ kèm theo như: điện cực các loại, các đồng hồ đo lường, dây điện, bàn tời, máy bộ đàm, điện thoại, máy tính, nguồn nuôi máy v.v…

4.1.2 Các máy dùng để đo đạc trong phương pháp ảnh điện phải có khả năng đo gián tiếp hoặc trực tiếp các tham số điện trở suất và độ phân cực kích thích.

4.1.2.1 Các máy đo gián tiếp là các máy có tính năng đo được các tham số trung gian để từ đó tính được tham số điện trở suất hoặc đồng thời cả tham số điện trở suất và tham số độ phân cực kích thích, gồm: Hiệu điện thế giữa 2 điện cực thu khi phát dòng điện qua 2 điện cực phát, hiệu điện thế giữa 2 điện cực thu ở những thời điểm khác nhau sau khi ngắt dòng phát, thời gian phát và cường độ dòng điện chạy qua 2 điện cực phát.

4.1.2.2 Các máy đo trực tiếp là các máy có tính năng đo các tham số trung gian nêu trong 4.1.2.1 và tự động tính toán kết quả là các tham số điện trở suất hoặc điện trở suất và độ phân cực kích thích để hiển thị, lưu giữ trên máy đo hoặc máy tính.

4.1.3 Chỉ được phép sử dụng các máy thu và máy phát dòng đúng chức năng của nó. Mọi dạng công việc có liên quan tới máy, thiết bị như: sử dụng, sửa chữa, kiểm tra, thử máy, vận chuyển v.v… đều phải tuân thủ nghiêm túc các yêu cầu ghi trong hướng dẫn kỹ thuật của nhà máy và quy định về vận chuyển, bảo quản và kiểm định máy thăm dò điện hiện hành.

4.1.4 Ngoài các máy thu và máy phát, các đơn vị thực địa còn phải được cung ứng các loại nguồn nuôi máy, điện cực, dây điện, các thiết bị phụ trợ, dụng cụ và vật liệu theo thiết kế trong đề án công tác đã được cấp có thẩm quyền phê chuẩn.

4.1.5 Khi tiến hành phương pháp ảnh điện phải tuân thủ nghiêm ngặt các quy định về an toàn lao động hiện hành cho người, máy và thiết bị.

4.2 Kiểm tra, đánh giá chất lượng máy

4.2.1 Các máy đo (máy thu và máy phát) dùng trong phương pháp ảnh điện kể cả máy mới chế tạo và sau khi đại tu đều phải được kiểm định, kiểm tra theo định kỳ hoặc trước khi đưa vào sản xuất theo các quy định hiện hành. Các số liệu kiểm định và kiểm tra phải ghi vào sổ theo dõi máy; các giấy chứng nhận kiểm định phải được lưu giữ trong hồ sơ kèm theo máy.

4.2.2 Trước và sau khi đưa máy ra thực địa để thi công phương pháp ảnh điện hoặc định kỳ mỗi tháng một lần nếu máy được lưu giữ trong kho, phải tiến hành kiểm tra máy theo các chỉ tiêu kỹ thuật đã ghi trong hướng dẫn kỹ thuật của nhà máy sản xuất. Các kết quả kiểm tra máy phải được ghi vào sổ theo dõi máy.

4.2.3 Hàng ngày, trong thời gian thi công tại thực địa, máy đo ảnh điện phải được thử máy theo các chỉ tiêu kỹ thuật cỉa nhà máy chế tạo trước và sau khi tiến hành đo đạc trên tuyến đo.

5 Công tác thực địa

5.1 Công tác chuẩn bị

5.1.1 Nhân lực cần thiết cho một tổ máy đo phương pháp ảnh điện tại thực địa gồm từ 09 đến 13 người, trong đó có 01 kỹ sư địa vật lý là tổ trưởng chịu trách nhiệm chung, 01 kỹ sư địa vật lý đo máy, 01 kỹ sư địa vật lý ghi chép và tính toán kết quả, 04 đến 08 công nhân kỹ thuật cắm cực trên tuyến đo gồm: 01 công nhân phụ trách máy phát điện. 01 công nhân liên lạc giữa máy đo và công nhân cắm cực.

5.1.2 Căn cứ vào các yêu cầu kỹ thuật cụ thể của đề án công tác đã được cấp có thẩm quyền phê duyệt về đối tượng trong nghiên cứu, độ sâu nghiên cứu, độ chính xác yêu cầu và hệ thiết bị điện cực sử dụng mà lựa chọn loại máy đo, nguồn phát điện, số lượng nhân lực và các thiết bị phụ trợ thích hợp.

5.1.3 Tùy thuộc vào việc sử dụng phương pháp ảnh điện đo điện trở suất hay độ phân cực kích thích (PCKT) dòng một chiều hoặc xoay chiều tần số thấp mà lựa chọn loại máy đo ảnh điện thích hợp.

- Máy thu dùng để đo giá trị hiệu điện thế phát hoặc phân cực kích thích giữa hai điện cực thu (ΔU_p, ΔU_{pc}) và cường độ dòng điện phát qua đất đá đo ảnh điện bằng phương pháp điện trở suất hoặc bằng phương pháp phân cực kích thích dòng một chiều hay xoay chiều tần số thấp.

- Máy phát dùng để phát và đo thời gian phát và ngắt dòng điện một chiều được lấy từ nguồn pin khô, ắc quy, máy phát điện một chiều hoặc máy phát điện xoay chiều có tần số công nghiệp đã được chỉnh lưu thành một chiều; tần số và cường độ của dòng điện xoay chiều tần số thấp phát qua đất đá.

- Máy đo ảnh điện có thể là các máy chỉ thị kim đo các đại lượng gián tiếp để tính ra các tham số điện trở suất và PCKT như: ΔU_p, ΔU_{pc} ở các thời điểm và tần số khác nhau sau khi ngắt dòng phát, cường độ dòng phát, thời gian phát và ngắt dòng… ; và có thể là các máy hiện đại có khả năng đo, tính toán, hiển thị, vẽ đồ thị tự động các tham số điện trở suất và độ PCKT, lưu giữ các kết quả trong bộ nhớ của máy đo hoặc trong máy tính.

5.1.4 Chỉ với những người đã nghiên cứu và nắm vững kỹ thuật sử dụng máy mới được phép làm việc với máy.

5.1.5 Chỉ những người làm công tác sửa chữa hoặc được công nhận có trình độ chuyên môn về điện tử và sửa chữa mới được mở máy và sửa chữa ở thực địa. Các số liệu về mở máy để kiểm tra, sữa chữa phải được ghi vào sổ theo dõi máy và lập thành biên bản để lưu trong hồ sơ của máy.

5.1.6 Nguồn phát.

Nguồn phát dòng điện qua môi trường dưới mặt đất thường dùng là máy phát điện một chiều hoặc máy phát điện xoay chiều tần số công nghiệp 50Hz có bộ phận chỉnh lưu thành một chiều, máy phát điện xoay chiều tần số thấp (khoảng từ 0,0833Hz đến 8192Hz), pin hoặc ắc-qui.

- Khi dùng máy phát điện xoay chiều, cần phải có bộ phận chỉnh lưu dòng điện xoay chiều thành dòng điện 1 chiều, bộ phận điều chỉnh điện thế phát, bộ phận điều chỉnh độ rộng các xung dòng theo yêu cầu kỹ thuật để phát dòng vào môi trường.

- Khi dùng pin khô hoặc ắc-qui thì chúng được đấu nối tiếp hoặc song song với nhau để tạo ra nguồn điện có hiệu thế và cường độ đủ lớn, đáp ứng yêu cầu của mỗi dạng phương pháp áp dụng.

- Khi dùng máy phát điện xoay chiều tần số thấp, thì phải có bộ phận điều chỉnh cường độ, điện thế và tần số phát vào môi trường.

5.1.7 Các điện cực dùng trong phương pháp ảnh điện gồm các điện cực phát dòng (được làm bằng sắt được tôi cứng để có thể đóng sâu qua lớp bề mặt rắn chắc) và các điện cực thu (được làm bằng đồng hoặc bằng chì, nếu đo điện trở suất hoặc điện cực không phân cực, nếu đo độ phân cực).

Khi thực hiện đo ảnh điện bằng máy đo điện cực đa cực theo cách cắm sẵn hàng loạt các điện cực trên tuyến thì phải dùng tất cả các điện cực được làm bằng đồng, bằng chì hoặc bằng các kim loại đặc biệt, có độ trơ cao, có điện thế phân cực tự nhiên của các điện cực rất nhỏ để đo được cả tham số điện trở suất và độ PCKT.

5.1.8 Dây dẫn điện dùng trong phương pháp ảnh điện là loại dây dẫn lõi đồng nhiều sợi, có vỏ bọc cách điện.

Khi thi công theo cách cắm sẵn hàng loạt các điện cực trên tuyến thì dây dẫn nối các điện cực với máy thu và máy phát được chuẩn bị sẵn thành các bó dây, được đánh dấu bằng các ký hiệu riêng của từng điện cực để thuận lợi cho việc chuyển đổi dây trên tuyến và tránh bị nhầm lẫn khi lựa chọn cấu hình đo và mở rộng khoảng cách giữa các điện cực.

5.1.9 Mọi công tác chuẩn bị phải được hoàn tất trước khi tiến hành thi công phương pháp ảnh điện tại thực địa.

5.2 Mạng lưới tuyến đo

5.2.1 Tỷ lệ, mạng lưới tuyến đo trong phương pháp ảnh điện được xác lập theo các nhiệm vụ địa chất, tính chất và các điều kiện sản trạng của đối tượng nghiên cứu, cũng như bởi tỷ lệ của các công tác điều tra địa chất đang tiến hành trong vùng. Tỷ lệ này phải tương ứng với tỷ lệ đo vẽ địa chất, địa chất thủy văn, địa chất công trình,…

Trong điều kiện địa chất, khoáng sản, địa hình trên mặt phức tạp, tỷ lệ này phải lớn hơn tỷ lệ đo vẽ địa chất, địa chất thủy văn,…một bậc.

5.2.2 Khoảng cách giữa các tuyến và điểm đo được xác định theo tỷ lệ đo vẽ, nhiệm vụ địa chất cụ thể, các đặc điểm cấu trúc địa chất và khả năng của phương pháp ảnh điện. Thông thường, khoảng cách các tuyến và điểm đo của phương phép ảnh điện 2D được quy định theo bảng sau:

Bảng 1 – Tỷ lệ và mạng lưới đo đạc phương pháp ảnh điện

Tỷ lệ đo vẽ	**Bậc tỷ lệ**	**Khoảng cách tuyến đo** (m)	**Khoảng cách điểm đo** (m)
1:50.000	Lớn	500	50 – 100
1:25.000	Lớn	250	15 – 50
1:10.000	Chi tiết	100	19 – 40
1:5.000	Chi tiết	50	5 – 20
1:2.000	Chi tiết	20	2,5 – 10

Đối với phương pháp ảnh điện 3D thì mạng lưới tuyến và điểm đo thực hiện theo mạng lưới tuyến ô vuông (hoặc gần vuông) có cạnh là khoảng cách giữa các điểm đo.

5.2.3 Khi lựa chọn tỷ lệ và mạng lưới các tuyến và điểm đo trong phương pháp ảnh điện 2D, thì khoảng cách giữa các tuyến phải đảm bảo đối tượng nghiên cứu (thân quặng, cấu tạo và các đối tượng khác…) có kích thước nhỏ nhất được thể hiện ít nhất trên ba tuyến và trên ba điểm đo ở mỗi tuyến cắt qua đối tượng.

Đối với phương pháp ảnh điện 3D thì mạng lưới điểm đo phải bao trùm và vượt ra ngoài diện tích phân bố đối tượng, sao cho có thể đo đạc được các tín hiệu trường điện của các đối tượng ở chiều sâu mong muốn.

5.2.4 Trên các vùng dị thường phải tiến hành công tác chi tiết hóa ở tỷ lệ lớn hơn tỷ lệ đo vẽ ít nhất một bậc để cùng với các số liệu của các phương pháp khác (nếu có) dự kiến vị trí các lỗ khoan và công trình khai đào kiểm tra dị thường địa vật lý.

5.2.5 Phương pháp ảnh điện 2D có thể được tiến hành theo diện tích hoặc theo tuyến; phương pháp ảnh điện 3D chỉ tiến hành theo diện tích.

- Khi tiến hành phương pháp ảnh điện 2D theo diện tích thì mạng lưới tuyến đo được xác định theo tỉ lệ điều tra, đánh giá địa chất và khoáng sản (từ 1:25.000 đến 1:10.000) và lớn hơn; với phương pháp ảnh điện 3D thì thường được tiến hành ở tỷ lệ lớn và theo mạng lưới ô vuông có cạnh bằng chiều dài bước đo.

- Tiến hành phương pháp ảnh điện 2D theo tuyến khi cần tìm hiểu các vết lộ quặng, kiểm tra các dị thường của các phương pháp thăm dò điện, địa vật lý và địa chất khác.

5.2.6 Việc đưa mạng lưới tuyến đo ảnh điện từ thiết kế ra thực địa được thực hiện bởi công tác trắc địa. Nội dung và yêu cầu kỹ thuật cụ thể của công tác trắc địa được thực hiện theo TCVN9434:2012" Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản – Công tác trắc địa phục vụ địa vật lý" hiện hành.

5.3 Đo đạc thực địa

5.3.1 Đo đạc thực địa phương pháp ảnh điện 2D

5.3.1.1 Phương pháp ảnh điện 2D còn được gọi là phương pháp mặt cắt nhiều kích thước thiết bị trong các tài liệu của Liên Xô cũ. Thực chất của phương pháp ảnh điện 2D là sự kết hợp giữa hai phương pháp thăm dò điện truyền thống là đo sâu điện và mặt cắt điện (cho cả điện trở suất và phân cực kích thích). Do có sự kết hợp đó nên phương pháp ảnh điện 2D chẳng những giữ nguyên được các ưu điểm của phương pháp đo sâu điện truyền thống mà còn cho phép khai thác khả năng phân giải cao hơn trong mặt cắt phân lớp theo chiều ngang để phát hiện các bất đồng nhất địa phương dạng ổ, thấu kính, vỉa cắm đứng,…

5.3.1.2 Các điều kiện áp dụng phương pháp ảnh điện 2D là:

- Trong mặt cắt địa chất cần nghiên cứu có mặt các bất đồng nhất địa phương là đối tượng nghiên cứu có sự khác biệt về tính chất điện (điện trở suất, độ phân cực) với môi trường vây quanh đủ để ghi nhận được bằng các thiết bị hiện có; các đối tượng nghiên cứu có dạng ổ, thấu kính, vỉa cắm dốc.

- Địa hình vùng nghiên cứu có thể lồi, lõm nhưng không quá phức tạp để có thể dịch chuyển được các điện cực trên tuyến. Khi có các số liệu độ cao địa hình tại các vị trí quan trắc, thì có thể sử dụng các phần mềm chuyên dụng để hiệu chỉnh tự động độ cao địa hình cho kết quả mặt cắt ảnh điện theo dạng địa hình thực tế.

- Phương pháp ảnh điện 2D được áp dụng tốt nhất khi sử dụng các máy đo điện đa cực cùng với các thiết bị đồng bộ kèm theo.

- Phải đảm bảo cho dòng phát điện qua đất đá đủ lớn và có sự đồng bộ giữa máy thu và máy phát để ghi nhận chính xác các số liệu đo (đặc biệt là khi sử dụng hệ điện cực dipol-dipol).

5.3.1.3 Thi công thực địa bằng phương pháp đo ảnh điện 2D được tiến hành trên các tuyến bố trí vuông hoặc gần vuông góc với đường phương kéo dài của đối tượng nghiên cứu.

Chiều dài tuyến đo phải đủ lớn để đối tượng nghiên cứu nằm trọn trong vùng có số liệu đo đạc bằng hệ điện cực đã chọn.

Số lượng tuyến đo phải được bố trí phù hợp với tỷ lệ nghiên cứu sao cho có ít nhất 3 tuyến cắt qua đối tượng cần nghiên cứu.

Khoảng cách giữa các điểm đo phải chọn phù hợp với khoảng cách a của hệ thiết bị điện cực đã lựa chọn.

5.3.1.4 Trong thi công phương pháp ảnh điện 2D, việc mở rộng khoảng cách các điện cực đồng nghĩa với việc làm giảm đi phạm vi nghiên cứu trên tuyến đo.

Khi mở rộng khoảng cách điện cực từ a lên 2a để tăng chiều sâu nghiên cứu lên 2 lần với hệ điện cực Wenner và hơn 2 lần với hệ điện cực Wenner – Schlumberger, thì chiều dài của hệ điện cực tăng từ 3a lên 6a với Wenner và từ 3a lên 5a với Wenner – Schlumberger; đồng thời phạm vi nghiên cứu cũng giảm đi một khoảng là 3a với Wenner và 2a với Wenner – Schlumberger.

Cùng với việc bao trùm không gian khảo sát theo phương nằm ngang tốt hơn của hệ điện cực Wenner – Schlumberger thì chiều sâu nghiên cứu của nó cũng cao hơn 15% so với hệ Wenner (hệ điện cực Wenner chính là hệ điện cực Wenner – Schlumberger khi n = 1).

5.3.1.5 Khi tiến hành đo đạc bằng hệ điện cực lưỡng cực trục (dipol – dipol) thì phải thực hiện các yêu cầu sau:

- Dòng phát I_{AB} phải đủ lớn để đảm bảo ghi nhận các hiệu điện thế ΔU_p và ΔU_{pc} chính xác bằng các máy đo hiện có ở các cự ly đầu tiên và cuối cùng của mỗi loạt đo. Khi lớp trên mặt khô, cứng có điện trở suất cao thì phải đóng sâu các cực phát qua lớp khô cứng hoặc phải dùng điện cực chùm (gồm 2-3 điện cực) hay phải đổ nước để giảm điện trở tiếp địa.

- Khi đo đạc ở vùng có điện trở suất thấp cỡ hàng chục Ω.m thì hiệu điện thế sẽ giảm rất nhanh ở các cự ly sau và thậm chí không thể đo được ở những cự ly cuối, nên phải mở rộng khoảng cách của các lưỡng cực và thu lên 2,3,4,… lần khoảng cách a ban đầu.

- Đo đạc ảnh điện 2D với hệ điện cực lưỡng cực trục thì mỗi khi tăng hệ số n để tăng chiều sâu nghiên cứu thì phạm vi khảo sát ở phần sâu sẽ bị giảm đi nhưng không lớn bằng hệ điện cực Wenner.

5.3.1.6 Khi đo ảnh điện 2D với các máy đo chỉ thị kim thì kết quả đo được ghi vào sổ ghi chép in sẵn theo như trong phụ lục A của tiêu chuẩn này; với các máy đo điện đa cực thì kết quả đo có thể được ghi vào sổ ghi chép hoặc ghi và lưu giữ tự động trong máy nên phải chuyển sang máy tính, in ra giấy để xử lý tiếp theo và lưu giữ lâu dài theo quy định.

5.3.1.6 Trong trường hợp tiến hành khảo sát bằng phương pháp ảnh điện 2D trên biển, trên sông, hồ có chiều sâu lớp nước không lớn (trên dưới 3m nước để có thể cắm được các điện cực phát và thu xuống đáy sông, biển, hồ một cách chính xác từ trên thuyền, bè hoặc mảng ở trên mặt nước). Khi đo đạc trên mặt nước, cần phải thực hiện các yêu cầu sau:

- Các điện cực phát dòng và điện cực thu cũng như dây cáp điện nối các điện cực với máy đo được chế tạo chuyên dụng cho việc đo ảnh điện trên biển, sông hoặc hồ phải có điện trở cách điện đảm bảo không có hiện tượng rò điện vào lớp nước.

- Xác định tuyến đo ảnh điện bằng máy GPS và cắm các cọc tiêu có khoảng cách đều nhau và bằng n.a để thuận lợi cho việc di chuyển hệ điện cực.

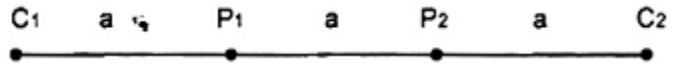
- Máy đo phải được đặt trên thuyền, bè, mảng chắc chắn và tránh mưa nắng và ẩm ướt.

- Phải có máy định vị GPS để định vị các điện cực theo đúng sơ đồ đo ảnh điện đã lựa chọn như khi đo ảnh điện trên mặt đất.

- Việc di chuyển hệ thiết bị điện cực có thể thực hiện bằng cách kéo theo tàu (nếu sử dụng hệ điện cực chuyên dụng) hoặc di chuyển bằng thuyền, bè, mảng theo sơ đồ của phương pháp (nếu sử dụng hệ điện tự chế). Mỗi lần di chuyển phải theo đúng hướng tuyến định sẵn và dùng GPS để xác định tọa độ của các điện cực và của điểm đo.

5.3.1.7 Các hệ thiết bị điện cực thường được sử dụng trong phương pháp ảnh điện 2D là:

a) Hệ thiết bị điện cực *Wenner Alpha*:

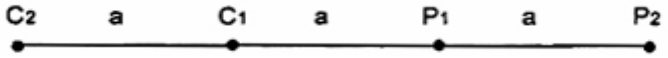


Hình 1 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Wenner Alpha

Hai điện cực thu P_1, P_2 bố trí ở giữa hai điện cực phát dòng C_1 và C_2. các điện cực cách đều nhau một khoảng là a. Hệ điện cực này có ưu điểm là tỷ số tín hiệu trên nhiễu lớn hơn nên có thể sử dụng trên vùng có lớp trên mặt dẫn điện kém hoặc các vùng mặn sâu trong trầm tích bở rời.

Hệ số thiết bị điện cực $K = 2.\Pi.a$ [m] (1)

b) Hệ thiết bị điện cực *Wenner Beta:*

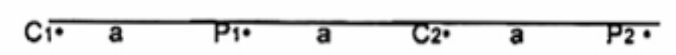


Hình 2 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Wenner Beta

Hai điện cực phát dòng bố trí ở phía trái, hai điện cực thu ở phía phải. Các điện cực cách đều nhau một khoảng là a. Thực chất đây là hệ điện cực lưỡng cực trục khi hệ số n=1.

Hệ số thiết bị điện cực $K = 6\Pi a$ [m] (2)

c) Hệ thiết bị điện cực *Wenner Gamma*:

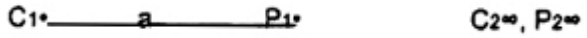


Hình 3 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Wenner Gamma

Các điện cực phát dòng và điện cực thu được bố trí xen kẽ nhau với các điện cực C_1 và P_1 ở phía trái; C_2, P_2 ở phía phải. Khoảng cách giữa các điện cực thu và phát gần nhất đều bằng nhau.

Hệ số thiết bị K = 3Π.a [m] (3)

d) Hệ thiết bị điện cực *Pole – Pole (cực – cực):*

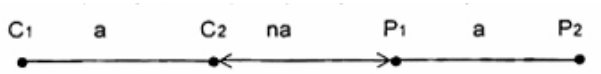


Hình 4 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Pol – Pol (cực – cực)

Điện cực phát C_1 và điện cực thu P_1 bố trí trên tuyến đo và cách nhau một khoảng là a; còn điện cực phát C_2 và điện cực thu P_2 bố trí ở xa vô cùng.

Hệ số thiết bị điện cực K = 2Πa [m] (4)

e) Hệ thiết bị điện cực *Dipole – Dipole (lưỡng cực – lưỡng cực):*

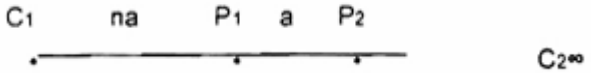


Hình 5 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Dipol – Dipol (lưỡng cực – lưỡng cực):

Hai điện cực phát C_1 và C_2 cách nhau một khoảng là a bố trí ở phía trái, hai điện cực thu P_1 và P_2 ở phía phải; khoảng cách giữa điện cực phát C_2 và điện cực thu P_1 cách nhau một khoảng bằng bội số của a tức là na. Trong hệ điện cực này hệ số n được khuyến cáo không nên lớn hơn 7 để có thể ghi nhận được hiệu điện thế giữa hai điện cực thu. Khi n=1 thì hệ cực này là hệ điện cực Wenner Beta.

Hệ số K = 2Π.n(n+1) (n+2)a [m] (5)

f) Hệ thiết bị điện cực *Pole – Dipole (cực – lưỡng cực):*

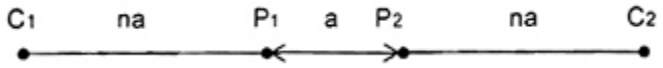


Hình 6 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Pol – Dipol (cực – lưỡng cực)

Hai điện cực thu P_1, P_2 cách nhau một khoảng là a được bố trí ở phía phải; điện cực phát C_1 bố trí ở phía trái và cách điện cực thu P_1 một khoảng là n.a, còn điện cực phát C_2 ở xa vô cùng.

Hệ số K = 2Π.n(n+1)a [m] (6)

g) Hệ thiết bị điện cực *Wenner – Schlumberger*

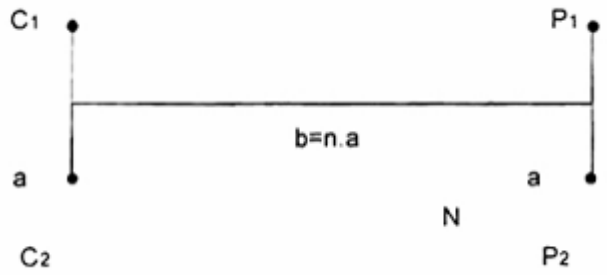


Hình 7 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Wenner – Schluberger

Hai điện cực thu P_1, P_2 cách nhau một khoảng là a được bố trí ở giữa, hai điện cực phát C_1 và C_2 bố trí về hai phía của tuyến đo và cùng có khoảng cách tới điện cực thu gần nhất khoảng cách là na.

Hệ số K = Π.n(n+1)a [m] (7)

h) Hệ thiết bị điện cực *Dipole – Dipole xích đạo (hệ điện cực lưỡng cực xích đạo):*



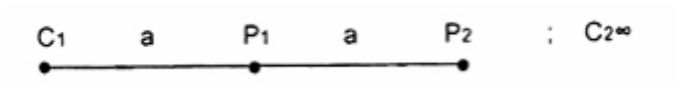
Hình 8 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực Dipol – Dipol xích đạo

Hai cặp điện cực phát C_1, C_2 và điện cực thu P_1, P_2 bố trí vuông góc với tuyến đo và hai tâm điểm của chúng cách nhau một khoảng là b = n.a.

Hệ số K = 2ΠbL/(L – b) [m] (8)

Với L = $\sqrt{a2+b2}$ [m]

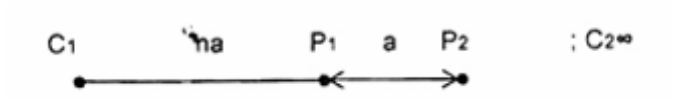
i) Hệ thiết bị điện cực *nửa Wenner*: là hệ điện cực Wenner Alpha có 3 điện cực phân bố trên tuyến còn điện cực phát thứ hai đặt ở xa vô cùng, Hệ điện cực này cho phép đo được ở những vùng mà đối tượng nghiên cứu phân bố ở gần sát với nơi có địa hình dốc đứng.



Hình 9 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực nửa Wenner

Hệ số thiết bị K = 4Πa [m] (9)

k) Hệ thiết bị điện cực *nửa Schlumberger*: là hệ điện cực Schlumberger có 3 điện cực phân bố trên tuyến còn điện cực phát thứ hai ở xa vô cùng.



Hình 10 – Sơ đồ bố trí hệ thiết bị điện cực nửa Schlumberger

Hệ điện cực này cũng được dùng để đo ở những nơi mà đối tượng nghiên cứu ở gần sát với địa hình dốc đứng.

Hệ số K = 2Πa(n+1).n [m] (10)

5.3.1.8 Đo thử nghiệm lựa chọn hệ thiết bị điện cực và kích thích thiết bị

5.3.1.8.1 Ở mỗi vùng công tác, cần lựa chọn 2 – 3 đoạn tuyến đo thử nghiệm, để chọn ra kiểu thiết bị điện cực và kích thước thiết bị hợp lý. Yêu cầu của đoạn tuyến đo thử nghiệm cần thỏa mãn các điều kiện sau:

- Có chiều dài cắt qua hết các đối tượng cần nghiên cứu, sao cho dị thường phản ánh đối tượng, thể hiện đầy đủ và rõ ràng trên các kết quả đo.

- Có các công trình hoặc vết lộ tự nhiên gặp đối tượng nghiên cứu.

- Có địa hình trên mặt không quá phức tạp và đặc trưng cho địa hình của vùng khảo sát.

5.3.1.8.2 Lựa chọn 2 hoặc 3 kiểu thiết bị có khả năng phản ánh rõ đối tượng nghiên cứu để đo thử nghiệm. Thông thường có thể lựa chọn trong số các hệ thiết bị điện cực kiểu Wenner, hệ điện cực lưỡng cực trục hoặc hệ thiết bị điện cực kiểu Wenner – Schlumberger để đo thử nghiệm.

5.3.1.8.3 Lựa chọn kích thước thiết bị (đại lượng a) và hệ số giãn cách điện cực (n), cần căn cứ vào yếu tố kích thước và thế nằm của đối tượng để chọn khoảng cách a, sao cho đối tượng được phản ánh rõ ràng trên kết quả đo; hệ số giãn cách điện cực n, được lựa chọn phụ thuộc vào chiều sâu cần nghiên cứu.

Trường hợp đối tượng có bề dày nhỏ và chiều sâu phát triển lớn thì khoảng cách **a** phải chọn nhỏ lại và hệ số n phải có giá trị lớn. Đối với những khảo sát phục vụ địa chất thủy văn, địa chất công trình thì đại lượng a thường có các giá trị dao động từ 1, 2 đến 50m hoặc lớn hơn, còn giá trị của hệ số giãn cách n là bội số của dãy các giá trị trên tùy thuộc vào nhiệm vụ và đặc điểm địa chất khoáng sản cụ thể của vùng nghiên cứu.

Khi cần phải xác định các khoảng mở cụ thể của thiết bị phát và thiết bị thu thì có thể chọn bội số là các số thập phân như 1,5; 2,5, v.v…

5.3.1.8.4 Kết quả đo thử nghiệm phải được xử lý, phân tích theo chương trình, phần mềm chuyên dụng RES2DINV được cài đặt trên máy tính.

Kết quả đo với hệ thiết bị điện cực có kích thước a và hệ số giãn cách n nào phản ánh rõ nhất đối tượng nghiên cứu sẽ được lựa chọn để thi công trên toàn vùng nghiên cứu.

5.3.1.9 Lựa chọn phương pháp khảo sát kết hợp để giảm chi phí và tăng hiệu quả của phương pháp ảnh điện 2D.

Khi thực hiện một số lượng điểm đo ảnh điện 2D lớn trên nhiều đoạn tuyến dài hoặc một vùng có diện tích lớn, cần phải lựa chọn phương pháp khảo sát kết hợp để làm giảm chi phí khảo sát bằng cách sử dụng các phương pháp địa vật lý (thông thường chọn các phương pháp mặt cắt điện) có năng suất cao, chi phí thấp để đo đạc trước trên toàn tuyến hoặc toàn diện tích nhằm khoanh các vùng nhỏ có triển vọng tồn tại các đối tượng nghiên cứu để đo ảnh điện.

5.3.1.10 Trên các điện tích, đoạn tuyến có triển vọng, tiến hành đo đạc bằng phương pháp ảnh điện 2D với hệ điện cực, kích thước a và hệ số n đã lựa chọn trong công tác đo thử nghiệm.

5.3.1.11 Đo đạc thực địa theo hệ điện cực kiểu Wenner

a) Xác định chiều dài tuyến đo: Chiều dài tuyến đo được xác định căn cứ vào số lượng điểm đo sâu cần thực hiện và khoảng mở lớn nhất.

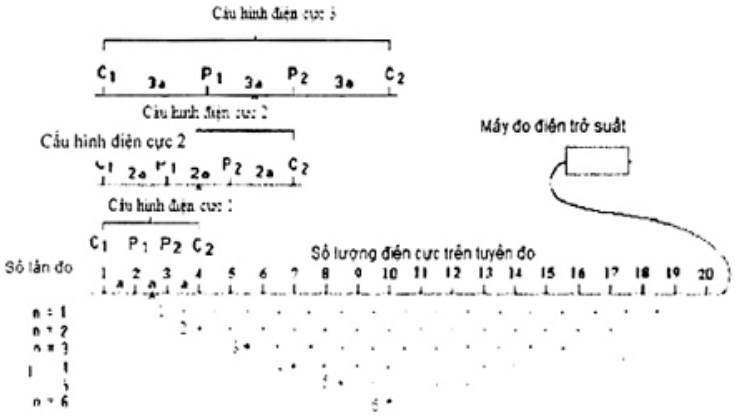
Cần bố trí số lượng điểm đo ảnh điện 2D phân bố vào đúng tâm vùng dị thường (cao, thấp) cần quan tâm và mở rộng về hai phía của đới dị thường theo tài liệu đo địa vật lý đã thực hiện.

b) Khi thực hiện đo ảnh điện 2D bằng các máy đo thông thường chỉ thị kim hoặc hiện số theo phương pháp thủ công, có thể tiến hành đo theo hai cách sau:

• Cách 1: Bắt đầu từ cọc đầu tuyến, bố trí sơ đồ đo theo hình 1 dưới đây và tiến hành đo với cấu hình điện cực 1 cho đến cuối tuyến.

Giữ nguyên điện cực phát C2 ở vị trí cuối tuyến, tăng khoảng cách giữa các điện cực lên gấp 2 lần và tiến hành đo với cấu hình điện cực 2 từ cuối tuyến về đầu tuyến.

Giữ nguyên điện cực phát C1 ở vị trí đầu tuyến, mở rộng khoảng cách giữa các điện cực lên 3 lần, tương ứng với cấu hình điện cực 3 và tiếp tục đo tới cuối tuyến. Cứ vậy, tiếp tục gia tăng khoảng cách giữa các điện cực cho tới khi đạt được hệ số giãn cách n đã ấn định thì dừng lại (xem hình 11).



Hình 11 – Sơ đồ minh họa trình tự đo và bố trí các điện cực trên tuyến để thiết lập một mặt cắt ảnh điện điện trở suất

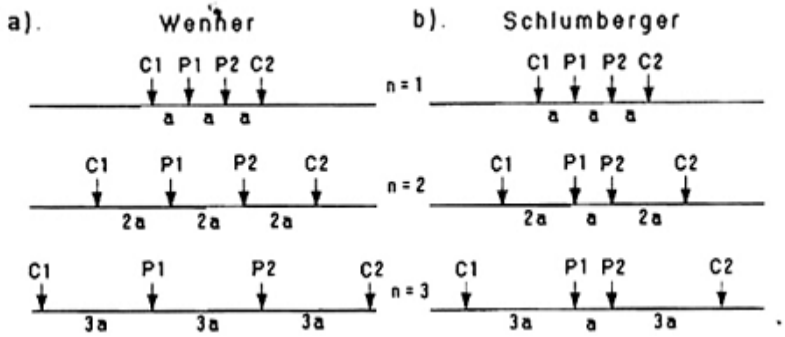
Cách 2: Tiến hành đo lần lượt với các cấu hình điện cực từ 1 trở đi cho đến cấu hình điện cực cuối cùng tương ứng với hệ số giãn cách đã ấn định, khi vẫn giữ nguyên cực phát C_1 ở đầu tuyến. Kết quả này là một đường cong đo sâu điện có tâm đo sâu dịch chuyển trên tuyến theo các cấu hình điện cực đã thực hiện.

Kết thúc một điểm đo sâu ảnh điện, tiến hành di chuyển các điện cực ra một khoảng, tương ứng với bước đi trên tuyến và đo trở vào từ cấu hình điện cực lớn nhất cho tới cấu hình điện cực nhỏ nhất. Tiếp tục như vậy cho đến khi nào kết thúc số lượng điểm đo ảnh điện 2D đã lựa chọn trước.

5.3.1.12 Đo đạc thực địa theo hệ thiết bị điện cực kiểu Wenner – Schlumberger

Đo ảnh điện 2D với hệ thiết bị Wenner – Schlumberger, trước tiên cũng tiến hành đo với cấu hình các điện cực 1, 2, 3, 4 cho đến hết tuyến như với cách đo 1 với thiết bị Wenner Alpha trên đây. Sau khi kết thúc lượt đo với cấu hình điện cực 1 ở chiều ra, tiến hành gia tăng khoảng cách giữa các cực phát và cực thu gần nhất lên 2a, giữ nguyên vị trí cực phát C_2 ở cuối tuyến và đo theo chiều đo ngược lại đến đầu tuyến thì dừng (Hình 12)

Tiếp tục tăng khoảng cách giữa các điện cực phát và điện cực thu gần nhất lên 3, 4, 5 đến n lần cho đến khi đạt được chiều sâu nghiên cứu theo yêu cầu.



Hình 12 – Các bước thay đổi cự ly tương ứng với các hệ thiết bị Wenner (a) và Wenner – Schlumberger (b) để tăng chiều sâu nghiên cứu.

5.3.1.13 Sau mỗi kích thước đo hoặc mỗi loạt đo, phải tính toán kết quả, vẽ đồ thị kết quả đo trên giấy hoặc trên màn hình máy tính trước khi chuyển sang kích thước đo hoặc loạt đo tiếp theo.

5.3.1.14 Các kết quả đo ảnh điện 2D bằng các máy đo chỉ thị kim và hiện số được ghi vào sổ ghi chép theo mẫu của phương pháp điện trở và PCKT tương ứng. Khi sử dụng các máy đo điện đa cực thì kết quả đo đạc phải được in ra giấy để sử sụng và lưu giữ lâu dài.

5.3.1.15 Sau mỗi ngày đo đạc trên tuyến đo, phải tiến hành công tác văn phòng thực địa gồm:

a) Kiểm tra lại tất cả các số liệu đo được trong ngày trên sổ ghi chép hoặc trên máy vi tính nếu đo bằng máy đo tự động ghi và vẽ đồ thị trong bộ nhớ của máy hoặc máy vi tính.

b) Tính toán lại các thông số cần thiết đã quy định trong mẫu sổ ghi chép và các đồ thị biểu diễn kết quả đo trong ngày.

c) Lựa chọn các đoạn tuyến có đồ thị kết quả không phù hợp quy luật và thiếu tin cậy để đo lại vào ngày đo tiếp theo.

5.3.2 Đo đạc thực địa phương pháp ảnh điện 3D

5.3.2.1 Trong phương pháp đo ảnh điện 3D thì hệ điện cực đo và quy trình thu thập số liệu phải được thiết kế phù hợp với thuật toán của bài toán 3 chiều (3D).

Trong bài toán 3D, các phương trình vi phân được xây dựng trên các nút của lưới rời rạc (x, y, z). Các giá trị hàm thế được xác định trên từng mắt lưới này, nên việc thiết kế hệ điện cực đo trên thực địa phải bảo đảm trùng với các nút lưới tính toán của mô hình lý thuyết.

Trên thực địa, mạng lưới rời rạc theo phương x được chia thành các khoảng đều nhau trong khoảng mở của hệ điện cực đo đạc và lớn dần về phía ngoài.

Trong một diện tích đo đạc đối với bài toán 3D, các hệ điện cực thường được thiết kế sao cho khoảng cách giữa các điện cực luôn ở trong một khoảng cách đều (na). Như vậy, có thể cắm sẵn các điện cực trên toàn bộ vùng nghiên cứu cùng một lúc và sử dụng các máy đo điện đa cực để đo đạc trên toàn bộ mạng lưới hoặc vùng khảo sát.

5.3.2.2 Thi công thực địa bằng phương pháp đo ảnh điện 3D phải tiến hành theo mạng lưới tuyến ô vuông có chiều dài các cạnh là n.a được bố trí phủ kín diện tích khảo sát. Các nút của mạng lưới ô vuông là các vị trí cắm các điện cực để đo bằng hệ điện cực được chọn trong giai đoạn thử nghiệm để lựa chọn các hệ điện cực và kích thước a tối ưu có khả năng phản ánh đối tượng nghiên cứu rõ ràng nhất.

5.3.2.3 Việc nghiên cứu chi tiết các đối tượng có điện trở suất và độ phân cực khác biệt so với môi trường vây quanh trong đánh giá, thăm dò khoáng sản, địa chất thủy văn, địa chất công trình, địa kỹ thuật,…bằng phương pháp ảnh điện 3D, thường sử dụng các hệ điện cực pole-pole (cực-cực), pole-dipole (cực-lưỡng cực), dipole-dipole (lưỡng cực – lưỡng cực) và phối hợp từ 2 kiểu thiết bị điện cực trở lên. Riêng đối với hệ điện cực phối hợp thường được áp dụng cho phương pháp PCKT dòng một chiều do điện cực phát thường làm bằng sắt (bãi cực) nên không thể dùng làm điện cực thu là các điện cực không phân cực.

5.3.2.4 Điều kiện áp dụng của phương pháp ảnh điện 3D là:

- Đối tượng nghiên cứu phải có kích thước giới hạn theo cả 3 chiều x, y, z (chiều ngang, chiều dài và chiều sâu) và phải có điện trở suất, độ phân cực hoặc cả điện trở suất và độ phân cực khác biệt với môi trường vây quanh.

- Địa hình trên mặt phải tương đối bằng phẳng hoặc không quá phức tạp để có thể dễ dàng xác định chính xác các vị trí cắm điện cực cách đều nhau theo mạng lưới ô vuông như mô hình tính toán.

- Trường hợp phải tiến hành trên vùng có địa hình không bằng phẳng dẫn đến khả năng mạng lưới đo đạc không hoàn toàn vuông thì phải định dạng dữ liệu dành cho mạng lưới không vuông hoặc lưới hình thang. Khi đó phải biết được các tọa độ ngang thực của tất cả các điện cực.

5.3.2.5 Khi đo đạc ảnh điện 3D bằng hệ thiết bị điện cực pole – pole (cực – cực), giá trị điện trở suất biểu kiến tính như sau:

$$\rho_K = 2.\Pi.a.R\ [\Omega m] \qquad (11)$$

Ở đây R là điện trở đo được; a là khoảng cách giữa điện cực phát A điện cực thu M.

Hệ thiết bị điện cực này có số lần đo độc lập lớn nhất và được tính theo công thức sau:

$$N_{max} = N_e\ (N_e - 1)/2 \qquad (12)$$

Với N_e là số lượng điện cực.

5.3.2.6 Đo đạc ảnh điện 3D bằng hệ thiết bị pole-pole thì mỗi điện cực phải lần lượt được sử dụng làm điện cực phát và đo đạc với tất cả các điện cực còn lại như các điện cực thu (xem phụ lục A1). Do tác dụng của nguyên lý tương hỗ thì chỉ cần đo các giá trị điện thế tại các điện cực có chỉ số cao hơn điện cực phát để giảm bớt đáng kể số lần đo (với mạng lưới 5x5 điện cực sẽ có 300 điểm dữ liệu; lưới 7x7 có 1176 điểm dữ liệu và lưới 10x10 sẽ có 4500 điểm dữ liệu…).

Để giảm bớt số điểm dữ liệu theo yêu cầu mà không làm sai lệch nhiều đến chất lượng của mô hình, có thể áp dụng theo cách đo "khảo sát mặt cắt chéo", trong đó các số đo chỉ cần thực hiện dọc theo chiều dọc, chiều ngang và theo các đường chéo góc 45° qua vị trí điện cực phát dòng.

5.3.2.7 Khi đo đạc trên những diện tích lớn với số lượng điện cực hạn chế và máy đo sử dụng là máy đo điện đa cực thì nên sử dụng cách đo cuốn chiếu (phụ lục A2).

Theo cách đo này thì đầu tiên tiến hành đo trên một nửa của lưới với các tuyến dài theo hướng trục X. Các số đo được thực hiện lần đầu theo chiều trục X và một số theo đường chéo. Sau đó chuyển sang đo nửa còn lại của lưới theo hướng trục Y như đã làm với nửa trên.

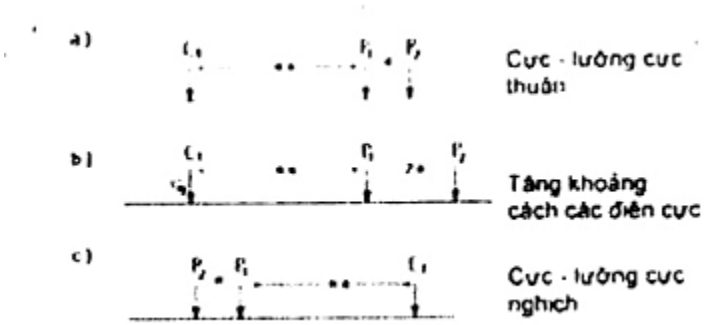
5.3.2.8 Khi đo đạc ảnh điện 3D bằng hệ thiết bị điện cực pole-pole thì 1 điện cực phát và 1 điện cực thu thứ hai phải đưa ra xa "vô cùng" với khoảng cách ít nhất gấp 10 lần khoảng cách giữa các điện cực đang sử dụng.

Do có khoảng cách lớn giữa hai điện cực thu, nên hệ thiết bị điện cực này rất nhạy cảm với nhiễu gây nên bởi dòng điện đất (dòng điện tellua).

5.3.2.9 Đo đạc ảnh điện 3D bằng hệ thiết bị điện cực pole – dipole (cực-lưỡng cực) thì có thể sử dụng các kiểu thiết bị điện cực sau:

- Kiểu thiết bị cực-lưỡng cực thuận:

Kiểu này có 1 điện cực phát C_1 đặt ở phía trái, 2 điện cực thu P_1 và P_2 ở phía phải và cách nhau một khoảng là a; điện cực phát C_1 đặt cách điện cực thu P_1 một khoảng là n.a (H.13).



Hình 13 – Sơ đồ bố trí các điện cực trong phép đo với hệ thiết bị pol-dipol

a) theo chiều thuận; b) tăng khoảng cách các điện cực thu; c) theo chiều nghịch

- Kiểu thiết bị cực - lưỡng cực thuận có tăng khoảng cách các điện cực:

Kiểu thiết bị này có khoảng cách giữa các điện cực thu là 2,3,… lần khoảng cách a và khoảng cách giữa điện cực phát C1 và P1 cũng là số nguyên lần của a tức là n.a.

- Kiểu thiết bị cực – lưỡng cực nghịch

Các điện cực trên tuyến được bố trí ngược lại so với kiểu thuận, nghĩa là các điện cực thu được bố trí ở phía trái và điện cực phát ở phía phải.

Trong các kiểu thiết bị điện cực trên thì điện cực phát thứ hai (C_2) phải đặt ở xa "vô cùng".

Hệ thiết bị điện cực này có ưu điểm hơn hệ 2 cực là ít bị nhiễu gây ra bởi dòng điện đất và tín hiệu thu được lớn hơn đáng kể. Khi sử dụng phối hợp các kiểu hệ thiết bị 3 cực thuận và nghịch thì sẽ hoàn toàn khắc phục được tính bất đối xứng của hệ thiết bị gây nên.

5.3.2.10 Điện trở suất biểu kiến ρ_K khi đo đạc với thiết bị 3 cực tính theo công thức sau:

$$\rho_K = 2.\Pi.n.(n+1).a.R\ [\Omega m] \qquad (13)$$

Với R là điện trở đo được; a là khoảng cách giữa hai điện cực thu và n là tỷ số khoảng cách từ cực phát C_1 đến cực thu P_1 với khoảng cách của hai điện cực thu.

5.3.2.11 Hiệu điện thế đo được giữa hai điện cực thu sẽ giảm rất nhanh theo bình phương của n dẫn đến tỷ số tín hiệu trên nhiễu cũng giảm tương ứng và không thể đo được với những cự ly có n lớn.

Để tăng độ mạnh của tín hiệu cần phải tăng khoảng cách giữa hai điện cực thu theo cách: Thực hiện tất cả các đo đạc khả thi với khoảng cách giữa hai điện cực thu P_1, P_2 là 1a; sau đó thực hiện các đo đạc với khoảng cách P_1, P_2 là 2a. Cách làm này sẽ làm tăng mật độ điểm dữ liệu và cải thiện được độ phân giải của mô hình giải bài toán ngược trong vùng có nhiễu.

5.3.2.12 Đo đạc ảnh điện 3D bằng hệ thiết bị điện cực dipole – dipole (lưỡng cực – lưỡng cực) thường chỉ được tiến hành với lưới có kích thước lớn hơn 12 x 12 điện cực do khả năng bao trùm dữ liệu theo phương nằm ngang kém hơn các hệ điện cực khác tại các vùng rìa đầu và cuối tuyến. Trong hệ thiết bị điện cực này, có thể sử dụng các kiểu sau:

- Kiểu thiết bị lưỡng cực – lượng cực: trong kiểu này, cả 2 điện cực phát và 2 điện cực thu đều bố trí trên tuyến thẳng. Chiều dài lưỡng cực phát C_1, C_2 bằng chiều dài lưỡng cực thu P_1, P_2. Khoảng cách giữa cực phát và thu gần nhất bằng n.a (thiết bị lưỡng cực trục đều trong đo sâu điện).

Hình 14 – Sơ đồ bố trí đo ảnh điện 3D theo hệ điện cực lưỡng cực-lưỡng cực:

a) hệ lưỡng cực-lưỡng cực với độ dài lưỡng cực là a;

b) tăng khoảng cách lưỡng cực.

- Kiểu thiết bị lưỡng cực – lưỡng cực có tăng khoảng cách các lưỡng cực phát và thu: kiểu này giống như kiểu trên chỉ khác là chiều dài của các lưỡng cực tăng lên n lần.

5.3.2.13 Điện trở suất biểu kiến ρ_K khi đo với hệ thiết bị lưỡng cực-lưỡng cực tính theo công thức sau:

$$\rho_K = \Pi.n(n+1).(n+2).a.R\ [\Omega m] \qquad (14)$$

trong đó: R, a đã được chỉ dẫn trong công thức (13).

Hệ thiết bị điện cực này có ưu điểm là có độ phân giải theo phương nằm ngang rất tốt, nhưng hiệu điện thế đo được của lưỡng cực thu giảm tỷ lệ nghịch theo lập phương của hệ số n, nên thường chỉ tiến hành được với n không lớn hơn 6.

Để tăng chiều sâu nghiên cứu, cần phải tăng khoảng cách của lưỡng cực phát và lưỡng cực thu kết hợp với thay đổi hệ số n một cách hợp lý.

5.3.2.14 Các kết quả đo đạc bằng phương pháp ảnh điện 3D thường được đo, ghi tự động với các máy đo điện đa cực, sau đó chuyển sang máy tính để tiếp tục sử dụng và lưu giữ trong bộ nhớ. Các số liệu này cần phải được in ra giấy để sử dụng và lưu giữ lâu dài theo quy định.

Khi đo đạc ảnh điện 3D phải thực hiện ghi chép các nội dung, khối lượng, tên file số liệu đo đạc hàng ngày ở thực địa và đặc điểm địa chất, địa hình, thời tiết khi đo vào sổ nhật ký thực địa để thuận lợi cho việc kiểm tra, chỉnh lý và xử lý, phân tích tiếp theo.

5.4 Kiểm tra thực địa

5.4.1 Công tác kiểm tra để đánh giá chất lượng tài liệu phải thực hiện theo cách đo lặp trên các đoạn tuyến, tuyến (ảnh điện 2D) hoặc một mạng lưới ô vuông (ảnh điện 3D) có kích thước phù hợp với mạng lưới đo chính với khối lượng không nhỏ hơn 5% tổng khối lượng đo đạc.

5.4.2 Việc đo kiểm tra do đơn vị tự tiến hành trước hết trên các tuyến, đoạn tuyến hoặc diện tích có dấu hiệu không đáng tin cậy hoặc những nơi có dị thường triển vọng đối tượng nghiên cứu.

5.4.3 Khi tiến hành công tác trên một vùng bằng các máy đo khác nhau, cần phải kiểm tra đối chiếu các chỉ số của chúng một cách hệ thống tại các điểm, tuyến và diện tích kiểm tra. Số liệu đo kiểm tra đối chiếu phải được ghi vào sổ thực địa và vào biên bản kiểm tra.

5.4.4 Các cơ quan quản lý kỹ thuật cấp trên đơn vị phải tiến hành đo kiểm tra ít nhất 1 lần trong mỗi bước thi công thực địa của một vùng công tác. Khi đó cần lựa chọn một vài đoạn tuyến (hoặc diện tích) một cách ngẫu nhiên hoặc các đoạn tuyến, diện tích có dị thường triển vọng của đối tượng nghiên cứu để tiến hành đo kiểm tra có sự giám sát của cán bộ kỹ thuật cấp trên đơn vị thi công. Khối lượng đo kiểm tra kỹ thuật của đơn vị cấp trên được phép tính trong tổng khối lượng đo kiểm tra trong đề án được duyệt và phải được lập thành biên bản để lưu giữ trong hồ sơ công tác thực địa của đơn vị.

6 Thống kê, xử lý số liệu

6.1 Đánh giá chất lượng tài liệu nguyên thủy

6.1.1 Các tài liệu nguyên thủy trong phương pháp ảnh điện gồm: các sổ sách ghi chép kết quả đo đạc tại thực địa; các sổ sách, biểu mẫu tính toán kết quả đo; các mặt cắt đẳng giá trị các tham số đo đạc và tính toán; các mặt cắt kết quả đo kiểm tra; các bảng kết quả tính toán sai số đo kiểm tra thực địa; các sơ đồ, bản đồ thiết kế và thi công mạng lưới tuyến đo ảnh điện; các đĩa từ, băng từ và thiết bị ghi các kết quả đo, tính toán, vẽ các kết quả đó; các hồ sơ kiểm định, kiểm tra máy và các biên bản kiểm tra thực địa của cấp trên đơn vị.

6.1.2 Công tác trong phòng (còn gọi là xử lý văn phòng) phải do một nhóm cán bộ kỹ thuật thực hiện theo theo đề án công tác được duyệt.

Nhóm văn phòng phải kiểm tra xác suất các sổ ghi chép kết quả đo đạc, cách tính toán các tham số ảnh điện với khối lượng khoảng (5 ÷ 10%); tính toán lại sai số đo đạc thực địa; hoàn chỉnh các sổ thực địa, băng, đĩa từ ghi kết quả; hiệu chỉnh hoặc vẽ lại các mặt cắt đẳng giá trị các tham số ảnh điện của các tuyến, đoạn tuyến, diện tích và các tài liệu nguyên thủy khác.

6.1.2.1 Khi đo đạc bằng phương pháp ảnh điện 2D, cần phải hoàn chỉnh và hệ thống lại toàn bộ tài liệu thực địa bao gồm: Sổ ghi kết quả (điện trở suất biểu kiến, độ phân cực biểu kiến,…), lập các file dữ liệu theo các định dạng phù hợp với các kiểu thiết bị điện cực đã áp dụng trong vùng công tác để đưa vào phân tích định lượng bằng phần mềm chuyên dụng RES2DINV.

6.1.2.2 Nếu tài liệu trên tuyến đo cắt qua những nơi có sự thay đổi của địa hình thì vị trí các cọc đo trên tuyến tại những vị trí có độ cao địa hình thay đổi cần phải được ghi nhận và được nhập

vào trong file số liệu ở phần cuối của file, bắt đầu từ vị trí kết thúc ghi các điểm dữ liệu điện trở suất biểu kiến hoặc độ cao phân cực biểu kiến.

Độ cao địa hình tại vị trí các điện cực trên tuyến được xác định bằng máy đo GPS hoặc có thể đồ giải từ các mốc có độ cao biết trước trên bản đồ địa hình tỷ lệ lớn.

6.1.2.3 File số liệu của ảnh điện 2D bao gồm 3 phần chính: Phần mở đầu, phần thân file và phần kết thúc.

- Phần mở đầu bao gồm thông tin về kiểu thiết bị điện cực áp dụng, vùng công tác,số lượng điểm dữ liệu, cách thể hiện vị trí điểm dữ liệu trên mặt cắt, mã quy ước ứng với từng kiểu thiết bị, vv.

- Phần thân file bao gồm các vị trí (khoảng cách) điện cực trên tuyến, các khoảng mở giữa các điện cực ứng với số lần đo, các giá trị điện trở suất biểu kiến ứng với hệ số giãn cách, v v.

- Phần kết thúc gồm các thông tin về độ cao địa hình tại các vị trí điện cực (nếu có) và 5 hàng số 0 liên tiếp như là các giá trị mã quy ước giúp chương trình nhận dạng file số liệu. Trường hợp đo trên tuyến có địa hình bằng phẳng, có thể bỏ qua các yếu tố địa hình.

6.1.3 Chất lượng tài liệu nguyên thủy được đánh giá căn cứ vào độ chính xác đo đạc thực địa và sự đúng đắn, chính xác của các tài liệu nguyên thủy như đã nêu trên.

- Độ chính xác đo đạc thực địa ở từng điểm riêng biệt được xác định theo sai số tương đối, %:

$$\delta = \frac{1}{n}\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|X_i - X_{tb}\right|}{\left|X_{tb}\right|}\right]\times 100\% \ [\%] \qquad (12)$$

Trong đó δ - sai số tương đối.

x_i – giá trị của đại lượng đo

x_{tb} – giá trị trung bình số học của các giá trị đo

n – số lần đo trên điểm đo.

- Sai số trung bình tương đối trên toàn vùng được tính bằng giá trị trung bình số học của các sai số đo đạc trên từng điểm. Trong các điều kiện đo đạc bình thường thì sai số trung bình tương đối không được quá 10% đối với tham số PCKT và 7% đối với tham số điện trở suất.

6.1.4 Trong các trường hợp độ chính xác của tham số PCKT không đạt yêu cầu, nhưng các kết quả vẫn được dùng để giải quyết các nhiệm vụ địa chất thì chất lượng công tác được phép đánh giá với sai số tương đối tới 12%.

6.2 Thành lập các dạng tài liệu phục vụ công tác giải đoán kết quả

6.2.1 Các kết quả đo đạc và tính toán các tham số ảnh điện 2D được biểu diễn ở dạng các mặt cắt đẳng trị theo các tuyến hoặc đoạn tuyến đo.

6.2.2 Các kết quả đo ảnh điện 3D được biểu diễn ở dạng các mặt cắt đẳng trị theo các hướng X, Y, Z và theo mô hình không gian 3 chiều.

Theo mỗi hướng của các trục X, Y, Z có thể thể hiện các mặt cắt kết quả đo theo từng phần khác nhau.

6.2.3 Các mặt cắt đẳng tri được thể hiện bằng các đường đồng giá trị hoặc bằng các màu khác nhau theo thang màu quy ước nhất định được chú giải ở dưới mặt cắt.

6.2.4 Trên mặt cắt đẳng trị phải ghi rõ số tuyến, phương vị tuyến đo, các điểm mốc, yếu tố địa hình, nguồn nhiễu công nghiệp và đặc điểm địa chất nếu có. Dưới mặt cắt cần ghi rõ người đo máy, người ghi chép và thời gian thực hiện.

7 Giải đoán kết quả

7.1 Trình tự giải đoán

7.1.1 Giải đoán kết quả phương pháp ảnh điện 2D và 3D (còn gọi là giải thích địa chất các kết quả đo ảnh điện) là quá trình tìm các mối liên quan giữa đối tượng cần nghiên cứu với các tài liệu đo ảnh điện đã được xử lý bằng các phương pháp phân tích thích hợp.

7.1.2 Các phương pháp xử lý tài liệu đo ảnh điện nhằm làm tăng độ phân giải của phương pháp trong việc tìm kiếm, phát hiện các đối tượng nghiên cứu nằm sâu dưới mặt đất và xác định vị trí, hình dạng, kích thước và bản chất của chúng.

7.1.3 Trước khi giải đoán địa chất các kết quả đo ảnh điện, nhất thiết phải tiến hành xử lý các kết quả đo theo hai bước là phân tích định tính và phân tích định lượng.

7.2 Các phương pháp phân tích định tính và định lượng

7.2.1 Khi phân tích định tính các tài liệu đo ảnh điện, phải tiến hành phân tích, so sánh, liên kết các mặt cắt đẳng trị các tham số điện trở suất và độ PCKT với các kết quả đo thử nghiệm trên các đối tượng nghiên cứu đã biết, nhằm:

- Phát hiện các dị thường có liên quan đến đối tượng nghiên cứu;

- Liên kết các dị thường đơn lẻ thành các dải hoặc đới phản ánh các đối tượng nghiên cứu (thân quặng, đới biến đổi chứa quặng, đới đập vỡ hoặc hang hốc cacstơ chứa nước ngầm và các đối tượng nghiên cứu khác);

- Dự báo sơ bộ về vị trí, quy mô, kích thước, độ sâu, hướng cắm và hướng phát triển của đối tượng nghiên cứu theo diện tích và theo chiều sâu, v.v…

7.2.2 Phân tích định lượng tài liệu đo ảnh điện 2D

- Tiến hành phân tích định lượng các file số liệu đã được hiệu chỉnh bằng phần mềm chuyên dụng RES2DINV theo đúng hướng dẫn của nhà sản xuất để có được mặt cắt mô hình kết quả đo ảnh điện 2D của tuyến đo.

- RES2DINV là chương trình giải các bài toán ngược chạy trực tiếp từ các số liệu thu thập ngoài thực địa mà không cần cung cấp mô hình khởi động ban đầu.

- Thành lập mặt cắt địa – điện

Khi đã có mặt cắt mô hình kết quả, căn cứ vào các thông tin tiên nghiệm trong vùng về chiều dày lớp phủ (trầm tích, vỏ phong hóa các loại đá) và vào kết quả đo tham số (điện trở suất, độ phân cực,…) để thành lập các mặt cắt địa – điện tổng hợp phục vụ công tác giải đoán địa chất kết quả.

7.2.3 Phân tích định lượng tài liệu đo ảnh điện 3D

Các kết quả đo đạc bằng phương pháp ảnh điện 3D phải được xử lý theo phương pháp thống kê nhằm:

- Xác định các đặc điểm của đối tượng nghiên cứu so với mô hình tính toán bài toán thuận 3D để có các điều chỉnh mô hình hợp lý;

- Xử lý bằng phương pháp tương quan để tìm ra các quan hệ của các cặp số liệu đo và quan hệ của chúng với các thông số liên quan đến bản chất của đối tượng nghiên cứu.

7.2.4 Các kết quả đo ảnh điện 3D, sau khi đã chỉnh lý được đưa vào phân tích định lượng bằng phần mềm chuyên dụng RES3DINV nhằm xác định chi tiết hình dạng, kích thước và các yếu tố thế nằm của đối tượng.

7.2.5 Khi sử dụng phần mềm RES3DINV để phân tích tài liệu phương pháp ảnh điện 3D; phải thực hiện theo đúng hướng dẫn kỹ thuật của nhà sản xuất.

7.2.6 Kết quả xử lý, phân tích của phương pháp ảnh điện 3D được biểu diễn tự động trên máy tính bằng các mặt cắt tham số điện trở suất và tham số độ PCKT theo các hướng trục X, Y, Z và bằng mô hình địa điện 3 chiều trong hệ tọa độ Decac.

7.3 Các yêu cầu giải đoán địa chất kết quả

7.3.1 Giải đoán địa chất tài liệu đo ảnh điện là tìm mối liên quan giữa đối tượng cần nghiên cứu với các tài liệu đã được xử lý Quá trình giải đoán gồm có 2 bước: định tính và định lượng.

7.3.2 Yêu cầu của giải đoán định tính tài liệu đo ảnh điện là phát hiện các dị thường, dải dị thường và vùng dị thường có liên quan đến đối tượng nghiên cứu bằng cách so sánh, liên kết các dị thường các tham số ảnh điện với các dị thường chuẩn có được từ kết quả đo thử nghiệm trên các vị trí đã xuất lộ đối tượng nghiên cứu và các tài liệu địa chất, khoáng sản hiện có.

7.3.3 Yêu cầu của giải đoán định lượng các tài liệu ảnh điện là xác định chiều sâu, bề dày, hướng cắm và dự báo bản chất của đối tượng bằng cách so sánh, đối chiếu các mặt cắt kết quả mô hình địa – điện với các kết quả đo thử nghiệm, kết quả đo mẫu tham số và tài liệu địa chất, khoáng sản hiện có.

8 Báo cáo kết quả

8.1. Các sản phẩm của phương pháp ảnh điện gồm: các tài liệu đo đạc thực địa sau khi đã chỉnh lý ở trong phòng; các mặt cắt đẳng trị, mặt cắt địa – điện sau khi đã chỉnh lý; các mặt cắt kết quả sau khi đã phân tích định tính, định lượng và giải đoán địa chất kết quả phương pháp ảnh điện; báo cáo tổng kết kết quả của phương pháp.

8.2 Các tài liệu đo đạc thực địa sau khi đã chỉnh lý ở trong phòng gồm: các sổ sách ghi chép, các băng, đĩa từ và thiết bị lưu giữ kết quả đo đạc sau khi đã in ra giấy, các số liệu đo đạc và tính toán kết quả đo tham số ảnh điện thực địa và mẫu ở trong phòng; các sơ đồ, bản đồ mạng lưới tuyến đo lập trên trên bản đồ địa hình có đơn giản bớt chi tiết, các mặt cắt đo kiểm tra và kết quả tính sai số đo đạc.

8.3 Các mặt cắt đẳng trị và mặt cắt địa điện được thành lập sau khi đã chỉnh lý, phân tích và phải có tỷ lệ phù hợp với tỷ lệ nghiên cứu hoặc lớn hơn một bậc. Các mặt cắt cần được vẽ theo mặt địa hình thực tế khi có các số liệu về độ cao và tọa độ của các điểm đo trên tuyến.

Các bản vẽ phải thể hiện đầy đủ các hình thức và nội dung theo quy định hiện hành.

8.4 Các bản đồ, mặt cắt và bản vẽ kết quả gồm:

- Sơ đồ vùng công tác trên cơ sở bản đồ địa chất tỷ lệ nhỏ có cơ sở địa hình, trên đó khoanh định vùng công tác, vị trí các tuyến trục, các tuyến đo có đánh mã số và mã số các điểm mút của các tuyến (với ảnh điện 2D), mạng lưới tuyến và điểm đo (với ảnh điện 3D).

- Bình đồ công tác đo ảnh điện theo tỷ lệ đo đạc (hoặc lớn hơn 1 bậc), trên đó có ghi tọa độ, mạng lưới tuyến trục và tuyến đo, các điểm đo trên các tuyến (đánh số tuyến, đánh số các điểm đo cứ qua 5 hoặc 10 điểm một), lỗ khoan, công trình khai đào.

- Bản đồ (sơ đồ) kết quả phương pháp ảnh điện được thành lập ở tỷ lệ đo đạc và đưa lên bản đồ này các đới dị thường có liên quan đến đối tượng nghiên cứu, ranh giới đất đá và đứt gãy địa chất được xác định và phân chia theo tài liệu ảnh điện, v.v… Trên bản đồ phải đánh dấu các cọc mốc ghi rõ vị trí các điểm dị thường cần tiến hành mở công trình khoan, khai đào kiểm tra kết quả địa chất của phương pháp ảnh điện.

Tất cả các tài liệu nêu trên phải ghi rõ họ tên người thành lập, người kiểm tra và thủ trưởng đơn vị. Các tài liệu ở từng vùng đều phải được đánh số thứ tự và lưu trong cặp hồ sơ chuyên dụng.

8.5 Báo cáo kết quả

Báo cáo kết quả phương pháp ảnh điện được viết riêng nếu được tiến hành độc lập hoặc được viết là một phần hoặc một mục trong báo cáo tổng kết chung của công tác thăm dò điện hoặc công tác địa vật lý, địa chất.

Trong báo cáo cần nêu rõ khối lượng công tác đã hoàn thành bằng số điểm đo đã thực hiện, năng suất công tác, số phần trăm kế hoạch đã hoàn thành, chất lượng công tác; phương pháp kỹ thuật đo đạc thực địa, chỉnh lý và phân tích định tính, định lượng cũng như giải đoán địa chất kết quả; lý do của các phát sinh khác với đề án và những kết quả chủ yếu trong việc giải quyết các nhiệm vụ đặt ra trong phương pháp.

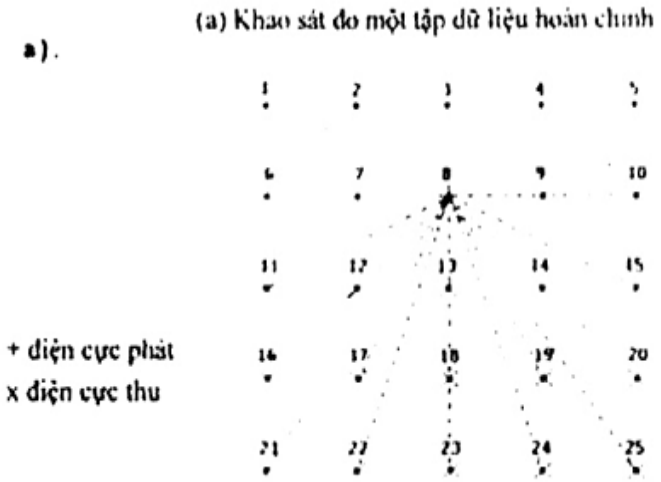
Kèm theo báo cáo phải có các bản vẽ kết quả đo đạc và phân tích tài liệu, các văn bản chuyển giao những đới dị thường có triển vọng cho các đơn vị địa chất và kết quả các công trình khai đào kiểm tra dị thường phương pháp ảnh điện./.

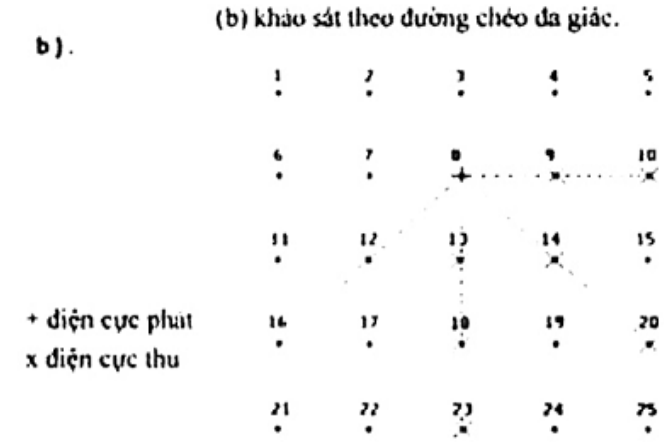
Phụ lục A

(Tham khảo)

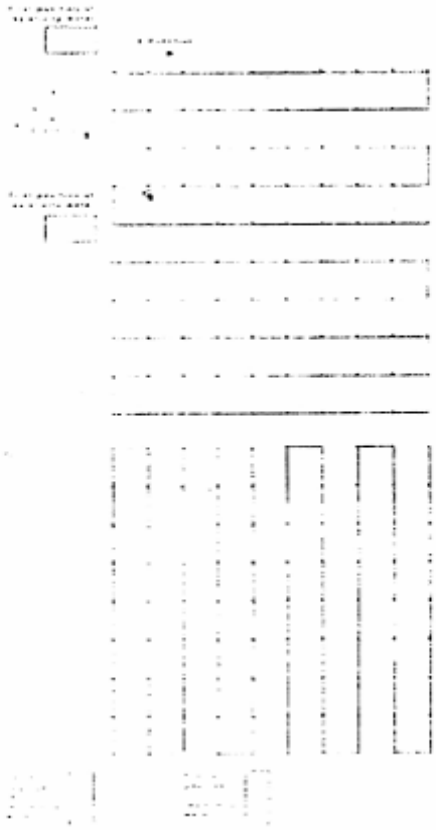
Sơ đồ mạng lưới đo ảnh điện 3D

A.1 Sơ đồ bố trí các điện cực thế tương ứng với một điện cực dòng.





A.2 Sơ đồ đo cuốn chiếu tiến hành theo mạng lưới 10 x 10 với máy đo đa cực.



a) Đo đạc lưới 10 x 10 với 2 lưới 10 x 5 các tuyến theo trục X;

b) Đo đạc lưới 10 x10 với 2 lưới 10 x 5 các tuyến theo trục Y.

Phụ lục B

Thư mục tài liệu tham khảo

[1] Tổng cục Địa chất và Khoáng sản – Bộ Tài nguyên và Môi trường – *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về tham dò điện. Hà Nội – 2010.*

[2] M.H.Loke *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies.*

A practial guide to 2-D and 3-D surveys.Copyright (1997, 1999, 2000). Thăm dò ảnh điện cho nghiên cứu môi trường và công trình. Hướng dẫn thực tế cho thăm dò 2D và 3D.

[3] M.H.Loke*. Tutorial: 2D and 3D electrical imaging surveys. Copyright (1996 – 2004). Giáo trình: Thăm dò ảnh điện 2D và 3D.*

[4] V.A.Komarov. *Elektrorazvedka metodom vưzvannoi poliarizasii – Thăm dò điện bằng phương pháp phân cực kích thích (bản Tiếng Nga). NXB Lòng đất – Leningrad – 1980.*

[5] Trần Bình Trọng, *Luận chứng hiệu quả áp dụng phương pháp phân cực kích thích trong tìm kiếm quặng đồng, vàng, chì-kẽm ở Việt Nam. Luận án Tiến sỹ địa chất. Lưu trữ thư viện quốc gia. Hà Nội – 2008.*

[6] Hoàng Ngọc Cừ. *Nghiên cứu áp dụng phương pháp ảnh điện (electrical topography) trong tìm kiếm nước dưới đất và điều tra địa chất công trình, địa chất môi trường. Ứng dụng trên vùng bazan. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ. Năm 2006.*

[7] Nguyễn Trọng Nga. *Thăm dò điện trở và điện hóa. NXB GTVT Hà Nội – 2006.*

[8] Nguyễn Ngọc Loan. *Đánh giá dự báo triển vọng các thân quặng sulfur đa kim ẩn theo các đặc trưng dị thường phân cực kích thích dòng một chiều. Luận án Phó tiến sỹ khoa học địa lý-địa chất. Lưu trữ Thư viện quốc gia. Hà Nội – 1996.*

[9] Tăng Đình Nam và n.n.k. *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. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ. Hà Nội – 2007.*

[10] Trần Bình Trọng. *Luận chứng hiệu quả áp dụng phương pháp phân cực kích thích trong tìm kiếm quặng đồng, vàng, chì-kẽm ở Việt Nam. Luận án Tiến sỹ địa chất. Lưu trữ thư viện quốc gia. Hà Nội – 2008.*

MỤC LỤC

Lời nói đầu

Phạm vi áp dụng

2 Các thuật ngữ, định nghĩa

3 Nguyên tắc của phương pháp

4 Thiết bị, dụng cụ

4.1 Yêu cầu máy và thiết bị

4.2 Kiểm tra, đánh giá chất lượng máy

5 Công tác thực địa

5.1 Công tác chuẩn bị

5.2 Mạng lưới tuyến đo

5.3 Đo đạc thực địa

5.3.1 Đo đạc thực địa phương pháp ảnh điện 2D

5.3.2 Đo đạc thực địa phương pháp ảnh điện 3D

5.4 Kiểm tra thực địa

6 Thống kê, xử lý số liệu

6.1 Đánh giá chất lượng tài liệu nguyên thủy

6.2 Thành lập các dạng tài liệu phục vụ công tác giải đoán kết quả

7. Giải đoán kết quả

7.1 Trình tự giải đoán

7.2 Các phương pháp phân tích định tính và định lượng

7.3 Các yêu cầu giải đoán địa chất kết quả

8. Báo cáo kết quả

9 Phụ lục A

10 Phụ lục B thư mục tài liệu tham khảo