

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 13589-9:2023

Xuất bản lần 1

**ĐIỀU TRA, ĐÁNH GIÁ VÀ THĂM DÒ KHOÁNG SẢN -
ĐỊA VẬT LÝ LỖ KHOAN -
PHẦN 9: PHƯƠNG PHÁP THỂ ĐIỆN PHÂN CỰC**

*Investigation, evaluation and exploration of minerals - Borehole geophysical survey -
Part 9: Induced polarization method*

HÀ NỘI – 2023

Lời nói đầu

TCVN 13589-9:2023 do Cục Địa chất Việt Nam 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.

Bộ TCVN 13589 *Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản – Địa vật lý lỗ khoan* còn các tiêu chuẩn sau:

TCVN 13589-1:2022 Phần 1: Quy định chung

TCVN 13589-2:2022 Phần 2: Phương pháp gamma tự nhiên

TCVN 13589-3:2022 Phần 3: Phương pháp gamma nhân tạo

TCVN 13589-4:2022 Phần 4: Phương pháp phổ gamma

TCVN 13589-5:2022 Phần 5: Phương pháp neutron

TCVN 13589-6:2022 Phần 6: Phương pháp đo nhiệt độ

TCVN 13589-7:2023, Phần 7: Phương pháp vi hệ điện cực

TCVN 13589-8:2023, Phần 8: Phương pháp đo cảm ứng điện từ

TCVN 13589-10:2023, Phần 10: Phương pháp đồng vị phóng xạ gamma

TCVN 13589-11:2023, Phần 11: Phương pháp sóng âm

TCVN 13589-12:2023, Phần 12: Phương pháp đo góc cắm của đá

TCVN 13589-13:2023, Phần 13: Phương pháp hình ảnh trong lỗ khoan

Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản - Địa vật lý lỗ khoan -

Phần 9: Phương pháp thế điện phân cực

*Investigation, evaluation and exploration of minerals - Borehole geophysical survey -
Part 9: Induced polarization method*

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định nội dung kỹ thuật phương pháp đo thế điện phân cực kích thích trong lỗ khoan phục vụ công tác điều tra, đánh giá địa chất về khoáng sản và thăm dò khoáng sản; khảo sát địa chất thủy văn, địa chất công trình; điều tra tài biến địa chất và môi trường.

Tiêu chuẩn này không áp dụng cho điều tra, đánh giá và thăm dò dầu khí.

2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau là cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu viện dẫn ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản được nêu. Đối với các tài liệu viện dẫn không ghi năm công bố thì áp dụng phiên bản mới nhất bao gồm cả các bản sửa đổi, bổ sung (nếu có).

TCVN 13589-1: 2022 Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản - Địa vật lý lỗ khoan - Phần 1: Quy định chung.

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Trong tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa trong TCVN 13589-1:2022 và các thuật ngữ và định nghĩa sau:

3.1

Thế điện phân cực kích thích (induced polarization)

Dạng hiệu điện thế được tạo ra giữa hai điện cực thu MN khi ngắt dòng điện chạy qua các điện cực phát AB trong sơ đồ đo điện trở suất biểu kiến AMNB.

3.2

Thế điện tự phân cực (spontaneous polarization)

hiệu điện thế được tạo ra giữa hai điện cực thu MN di động trong lỗ khoan và điện thế của điện cực đặt cố định ở miệng lỗ khoan.

4 Nguyên lý phương pháp thể điện phân cực kích thích

Khi đo điện trở suất trong giếng khoan quặng hay khoan than thường bắt gặp hiện tượng khi ngắt dòng phát qua các điện cực AB mà vẫn quan sát được hiệu điện thế giữa các điện cực thu MN, giá trị hiệu điện thế tắt dần theo thời gian khác nhau ở các lớp đá khác nhau. Trường điện được tạo ra trong khoảng thời gian ngắt dòng điện này gọi là trường điện phân cực kích thích. Thể điện phân cực kích thích Upp hình thành do sự phân cực của các thành phần dẫn điện điện tử, dẫn điện ion và không dẫn điện trong môi trường mỗi khi bị kích thích bởi dòng phát. Đặc điểm dễ nhận biết của thể điện phân cực kích thích là nó tắt dần theo thời gian và quy luật hàm mũ. Người ta đã chứng minh có hai nhóm quá trình hình thành điện thế phân cực kích thích trong môi trường nghiên cứu là:

- Các quá trình xảy ra trên bề mặt tiếp xúc giữa phần môi trường dẫn điện điện tử và phần môi trường dẫn điện ion.
- Các quá trình xảy ra trên bề mặt tiếp xúc giữa pha lỏng dẫn điện ion và pha rắn không dẫn điện. Nguyên tắc đo thể điện phân cực kích thích trong lỗ khoan cũng giống như phương pháp phân cực kích thích trên mặt đất (đo hiệu điện thế giữa hai cực thu trong khoảng thời gian ngắt dòng phát). Nguyên tắc đo thể điện phân cực kích thích như sau:

Trong sơ đồ đo ΔU_{pp} sử dụng một hệ điện cực A1MA2. Các điện cực phát A1 và A2 nối thông nhau, điện cực M đặt chính giữa để tránh bị kích thích khi phát dòng Ipp. Điện cực B đặt cách xa hệ A1MA2 một khoảng cách đủ lớn để tránh nhiễu cảm ứng khi đo. Nhờ bộ chuyển mạch P, mạch đo thể ΔU_{pp} và mạch phát AB làm việc theo chế độ luân chuyển (mạch này mở, mạch kia đóng) còn mạch đo điện trở Ra thì làm việc đồng bộ với mạch AB. Với sơ đồ đo như trên ta đồng thời đo thể phân cực kích thích ΔU_{pp} và đo điện trở suất biểu kiến Ra. Cường độ dòng phát kích thích được duy trì ổn định và đủ lớn để ảnh hưởng của thể tự phân cực tự nhiên (SP) là không đáng kể.

5 Máy móc, thiết bị, hiệu chuẩn máy

5.1 Máy móc, thiết bị đo địa vật lý lỗ khoan

Máy, thiết bị đo địa vật lý lỗ khoan nói chung gồm 3 bộ phận chính là: Trạm đo; tời – cáp; đầu đo (máy giếng). Trong đó, trạm đo và tời – cáp được thiết kế để dùng chung cho mọi phương pháp đo địa vật lý lỗ khoan; máy giếng được thiết kế riêng theo đặc tính kỹ thuật và mục tiêu của từng phương pháp.

- Trạm đo (control station): bộ phận phối hợp điều khiển các bộ tời, cáp, máy giếng. Cung cấp nguồn và ghi nhận các tín hiệu thu được từ các máy địa vật lý thả xuống dưới lỗ khoan (zond).

Cấu trúc của một trạm đo địa vật lý lỗ khoan hiện nay thường gọn nhẹ, đa năng, đồng bộ, ghi số hoàn toàn, điều khiển hoạt động bằng phần mềm chuyên dụng và có 3 khối chính sau: Khối điều khiển đo ghi số liệu; khối tời cáp; khối thu phát tín hiệu địa vật lý (đầu đo).

- Khối tời cáp: là bộ phận trung gian gồm có tời, cáp đo được nối với máy giếng và bộ phận điều khiển. Khối này có chức năng kéo thả, cung cấp nguồn nuôi cho máy giếng và truyền dẫn tín hiệu lên bảng điều khiển.

- Khối thu phát tín hiệu, gồm các máy đo địa vật lý (máy giếng): máy giếng hiện nay được thiết kế để có thể đo riêng từng phương pháp, hoặc cùng lúc đo nhiều phương pháp hoặc nối tiếp với nhau để đo một số phương pháp có cùng tốc độ kéo cáp nhằm tăng năng suất và chất lượng tài liệu nguyên thủy trong quá trình đo địa vật lý lỗ khoan.

Đầu đo thể phân cực kích thích được chế tạo theo nguyên lý như Phụ lục A và được nối trực tiếp với bộ phận điều khiển trên mặt đất (trạm đo) thông qua bộ phận tời cáp. Hiện nay, phương pháp thể điện phân cực kích thích thường được kết hợp với các thiết bị đo khác như thiết bị đo gamma tự nhiên, thiết bị đo độ lỗ rỗng, thiết bị đo điện trở suất... để tăng hiệu quả và năng suất trong công tác đo địa vật lý lỗ khoan.

5.2 Công tác kiểm tra, đảm bảo chất lượng đo đạc

5.2.1 Trong quá trình thi công, hàng ngày phải kiểm tra đầu đo thể phân cực kích thích ở chế độ "kiểm tra tĩnh" để xác định độ nhạy, độ ổn định của thiết bị đo (kiểm tra trên hộp điện trở chuẩn như các phương pháp đo điện trở suất thông thường).

Chỉ các thiết bị đo đã được hiệu chuẩn định kỳ và kiểm tra chất lượng hàng ngày theo quy định của nhà sản xuất mới được phép sử dụng.

5.2.2 Nội dung và trình tự kiểm tra được tiến hành theo đúng hướng dẫn trong lý lịch từng loại máy.

5.2.3 Kết thúc đo trong lỗ khoan, phải tháo rời các khối ráp nối trạm đo và đưa vào hộp bảo quản riêng theo quy định.

5.2.4 Vị trí điện cực đặt trên miệng lỗ khoan "điện cực N" cần đặt vào hố dung dịch khoan hoặc thay thế bằng ống chống lỗ khoan để giảm tối đa nhiễu do thể điện cực thay đổi trong quá trình đo.

5.2.4 Trạm đo địa vật lý lỗ khoan luôn phải được bảo quản ở nơi khô ráo, thoáng mát, đúng theo hướng dẫn bảo quản và an toàn thiết bị của nhà sản xuất.

5.3 Quy định về công tác hiệu chuẩn

5.2.1 Đầu đo thể phân cực kích thích trong lỗ khoan phải được hiệu chuẩn định kỳ một năm một lần và sau mỗi lần sửa chữa, thay thế linh kiện trong máy giếng. Việc hiệu chuẩn được thực hiện theo quy định hiện hành.

5.3.2 Tất cả các thiết bị đo thể phân cực kích thích trong lỗ khoan, trước khi hiệu chuẩn phải được kiểm tra, xác định độ nhạy, độ ổn định, độ tuyến tính đáp ứng các tiêu chuẩn kỹ thuật của nhà sản xuất.

5.2.3 Nội dung và trình tự hiệu chuẩn phải được tiến hành theo quy trình thống nhất và đúng theo hướng dẫn trong lý lịch từng loại máy.

6 Công tác thực địa

Trong quá trình thi công thực địa phải tuân thủ đầy đủ các yêu cầu chung, yêu cầu kỹ thuật thi công thực địa nêu tại TCVN 13589-1:2022. Ngoài ra, đối với phương pháp thể phân cực kích thích trong lỗ khoan cần lưu ý các yêu cầu sau:

6.1 Chuẩn bị lỗ khoan

6.1.1 Cán bộ kỹ thuật địa chất theo dõi khoan hoặc tổ trưởng tổ khoan có trách nhiệm cung cấp cho người phụ trách trạm đo cột địa tầng lỗ khoan tỷ lệ 1:200 có ghi tỷ lệ lấy mẫu hoặc cột địa tầng tỷ lệ 1:50 và trạng thái thực tế của lỗ khoan trước khi tiến hành đo địa vật lý.

6.1.2 Lỗ khoan phải đảm bảo để thả các thiết bị đo địa vật lý lỗ khoan thông suốt từ miệng đến đáy. Lỗ khoan không có chỗ tắc nghẽn hoặc đường kính bé hơn đường kính danh định của thiết bị thả trong lỗ khoan.

6.1.3 Trong lúc đang tiến hành đo địa vật lý lỗ khoan không được tiến hành các việc sau:

- Sửa chữa thiết bị khoan;
- Nổ máy khoan;
- Hàn điện trong phạm vi bán kính nhỏ hơn 100m.

6.1.4 Không được tiến hành đo địa vật lý lỗ khoan trong những trường hợp sau:

- Dung dịch trong lỗ khoan có độ nhớt tương đối $> 90s$;
- Dung dịch khoan chứa quá 5% cát và dăm vụn của đá cứng;
- Lỗ khoan phun nước, sủi khí, bọt, lỗ khoan hút nước, hạ mức nước với tốc độ lớn hơn 15 m/h.

6.1.5 Việc chuẩn bị lỗ khoan theo yêu cầu kỹ thuật đã nêu trên, phải được tổ trưởng khoan và cán bộ địa chất theo dõi khoan đảm bảo và xác nhận bằng văn bản cho người phụ trách trạm đo trước khi đo địa vật lý.

6.1.6 Khi đo địa vật lý lỗ khoan phải có mặt cán bộ địa chất theo dõi lỗ khoan và tổ trưởng (kíp trưởng) tổ khoan.

6.2 Yêu cầu kỹ thuật đo trong lỗ khoan

Đo thể phân cực kích thích được thực hiện liên tục trong quá trình kéo thiết bị đo từ đáy lên miệng lỗ khoan. Trong quá trình đo ghi phải luôn giữ cho tốc độ kéo cáp không đổi từ đáy lên miệng lỗ khoan. Quan sát đồ thị đường cong đo trên phần mềm đo - ghi số liệu trong khi thả đầu đo xuống đáy lỗ khoan, xác định các vị trí có ống chống, vị trí có các dị thường để định hướng cho công tác đo và chọn lựa các vị trí đo kiểm tra và đo chi tiết dị thường ở tỷ lệ lớn hơn. Ghi kết quả đo khi bắt đầu kéo cáp từ đáy lên miệng lỗ khoan. Tại những đoạn đường cong đo điện thể phân cực kích thích có sự nhảy vọt đột ngột hoặc xê dịch không ngừng thì phải đo lại.

6.3 Tỷ lệ ghi

Tỷ lệ ghi của phương pháp đo thể điện phân cực kích thích được quy định bằng số điểm ghi số liệu trên một mét chiều sâu dọc thành lỗ khoan. Thông thường tỷ lệ ghi là 0,1m/điểm ghi số liệu.

6.4 Tốc độ kéo cáp

Thông thường chọn tốc độ kéo cáp từ 300 - 600m/h. Chọn tốc độ kéo cáp theo hồ sơ kỹ thuật của máy đo.

Khi đo đồng thời nhiều phương pháp phải đảm bảo nguyên tắc tốc độ kéo cáp không được lớn hơn tốc độ tối đa cho phép của một trong số các phương pháp tham gia.

6.5 Kiểm tra thực địa

6.5.1 Công tác đo kiểm tra được thực hiện trong cùng thời gian đo lỗ khoan (trước khi kết thúc đo địa vật lý trong lỗ khoan).

6.5.2 Khối lượng đo kiểm tra được thực hiện bằng cách đo lặp lại 7-10% chiều sâu đo địa vật lý lỗ khoan, nhưng không ít hơn 10m trong mỗi lỗ khoan. Việc đo kiểm tra phải thực hiện trên đoạn lỗ khoan có sự thay đổi lớn nhất về số liệu đo với cùng tốc độ kéo cáp và bước ghi số liệu.

6.5.3 Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng tài liệu đo thể phân cực kích thích trong lỗ khoan:

- Sự lặp lại của đường cong đo và đường cong đo kiểm tra phải đồng dạng;
- Sai số tương đối giữa số đo và số đo kiểm tra trên cùng chỉ số chiều sâu lỗ khoan phải nằm trong giới hạn cho phép.

6.6 Yêu cầu tài liệu thực địa

Tài liệu thực địa (tài liệu nguyên thủy) gồm: các phai ghi số liệu đo, phai đo kiểm tra, nhật ký ghi chép tại lỗ khoan, biên bản thi công địa vật lý lỗ khoan và các tài liệu liên quan khác. Toàn bộ tài liệu thực địa phải được lưu giữ một cách hệ thống theo từng vùng đo, tuyến đo trên máy tính điện tử. Nghiêm cấm can thiệp vào các phai số liệu nguyên thủy.

7 Phân tích, giải đoán kết quả

7.1 Công tác văn phòng địa vật lý lỗ khoan

7.1.1 Chuyển đường cong thể phân cực kích thích từ phần mềm đo ghi số liệu sang phần mềm xử lý số liệu phù hợp với yêu cầu của phần mềm xử lý số liệu.

7.1.2 Nội dung văn phòng địa vật lý lỗ khoan thực hiện theo Mục 4.3 của TCVN 13589-1:2022.

7.1.3 Tất cả các phai đo nguyên thủy, phai xử lý trên từng lỗ khoan phải được sắp xếp một cách khoa học, hệ thống, theo quy luật thống nhất trong từng vùng đo và được ghi chép cụ thể về hệ thống đường dẫn trong nhật ký đo địa vật lý lỗ khoan.

TCVN 13589-9:2023

7.2 Đánh giá chất lượng tài liệu:

7.2.1 Chất lượng tài liệu đo thể phân cực kích thích trong lỗ khoan được đánh giá bằng sai số giữa hai lần đo theo hình thức đo lặp. Nội dung và phương pháp đánh giá sai số thực hiện theo công thức thống nhất tại Mục 4.3.2 của TCVN 13589-1: 2022.

7.2.2 Sai số đo được quy định như sau: sai số trung bình tương đối trong mỗi lỗ khoan: $\sigma_{tb} \leq 15 \%$;

7.2.3 Sai số đo độ sâu lỗ khoan được quy định như sau:

Từ 0 đến 100m, sai số cho phép là $\pm 0,5$ m;

Từ 0 đến 200m, sai số cho phép là $\pm 0,7$ m;

Từ 0 đến 300m, sai số cho phép là ± 1 m;

Từ 0 đến 500m, sai số cho phép là $\pm 1,2$ m;

Từ 0 đến 1000m, sai số cho phép là $\pm 1,5$ m;

> 1000m, sai số cho phép là $\pm 2,5$ m.

7.3 Phân chia ranh giới lớp đá dọc trục lỗ khoan

7.3.1 Xây dựng đường cong đo thể phân cực kích thích trong lỗ khoan:

Trong giếng khoan, đồ thị đo thể phân cực kích thích là 02 đường cong liên tục biểu diễn điện trở suất biểu kiến và độ phân cực của lát cắt địa chất dọc thành lỗ khoan. Các lớp đá khác nhau trong lát cắt thể hiện khác nhau về hình dáng, biên độ và dấu của dị thường trên từng đồ thị. Căn cứ vào dáng điệu đồ thị đường cong dọc trục lỗ khoan thành lập đồ thị theo 2 trục là trục đứng tương ứng là chiều sâu lỗ khoan, trục nằm ngang là tỷ lệ tham số vật lý đo được (lựa chọn tỷ lệ hợp lý sao cho đường cong không cắt khung biểu diễn).

7.3.2 Phân tích kết quả đo

Cùng một giá trị dòng phát kích thích không đổi khi tiến hành đo phân cực kích thích nhưng trường điện kích thích thay đổi theo điện trở suất của môi trường. Thể phân cực kích thích thì phụ thuộc vào cường độ của trường kích thích nên số đo ΔU_{pp} chịu ảnh hưởng của điện trở suất của vỉa nghiên cứu. Vì thế trong các đá có điện trở cao, các đường cong đo thể phân cực về mặt định tính có dạng tương tự như đường cong đo điện trở suất biểu kiến và như vậy không bổ sung thông tin gì trong phân tích địa chất so với đường cong điện trở suất.

Các ảnh hưởng của điện trở suất có thể bị hạn chế đi rất nhiều nếu ta đo giá trị hệ số tương đối của thể phân cực kích thích η_{pp} sau đây:

$$\eta_{pp} = \frac{\Delta U_{pp}}{\Delta U_{Ra}}$$

Trong đó:

ΔU_{pp} – thể điện tự phân cực kích thích;

ΔU_{Ra} – thể điện giữa hai điện cực thu M và N khi có dòng phóng trong môi trường (chính là điện trở suất biểu kiến khi đo điện trở suất).

Hệ số phân cực kích thích tương đối η_{pp} sẽ không còn chịu ảnh hưởng do sự thay đổi điện trở của môi trường xung quanh giếng khoan. Vì thế, nó thuận tiện hơn thể phân cực kích thích khi nghiên cứu lát cắt thăm dò các đới quặng hóa.

Khi gặp các đới quặng hóa, trên đường cong η_{pp} có dị thường lớn hơn đường cong ΔU_{pp} rất nhiều vì ở đó, giá trị ΔU_{Ra} là rất nhỏ.

7.4 Xây dựng lát cắt địa chất dọc lỗ khoan

Lát cắt được xây dựng trên cơ sở kết quả phân chia các lớp đá nêu ở mục 7.3.2 và các tài liệu địa chất, địa vật lý liên quan khác. Lát cắt được thành lập ở tỷ lệ 1:200.

Trên thực tế, việc đo thể phân cực kích thích thường được thực hiện với tổ hợp các phương pháp khác, do vậy, lát cắt xây dựng trên cơ sở tổng hợp các kết quả của từng phương pháp, trong đó có kết quả của phương pháp thể phân cực phối kết hợp với tất cả các phương pháp khác trong tổ hợp để thiết lập lát cắt địa chất dọc thành lỗ khoan.

7.5 Biểu diễn thiết đồ địa vật lý lỗ khoan

Kết quả phương pháp đo thể phân cực được biểu diễn trong thiết đồ địa vật lý lỗ khoan gồm:

- Các đường cong đo và đường cong đo kiểm tra;
- Kết quả xây dựng lát cắt địa chất dọc thành lỗ khoan;
- Thiết đồ địa vật lý lỗ khoan phải được thể hiện đầy đủ tổ hợp phương pháp địa vật lý lỗ khoan, cột địa tầng địa vật lý, cột địa tầng địa chất, các giá trị dị thường địa vật lý và thống nhất trong toàn vùng đo.

8 Báo cáo kết quả trong lỗ khoan:

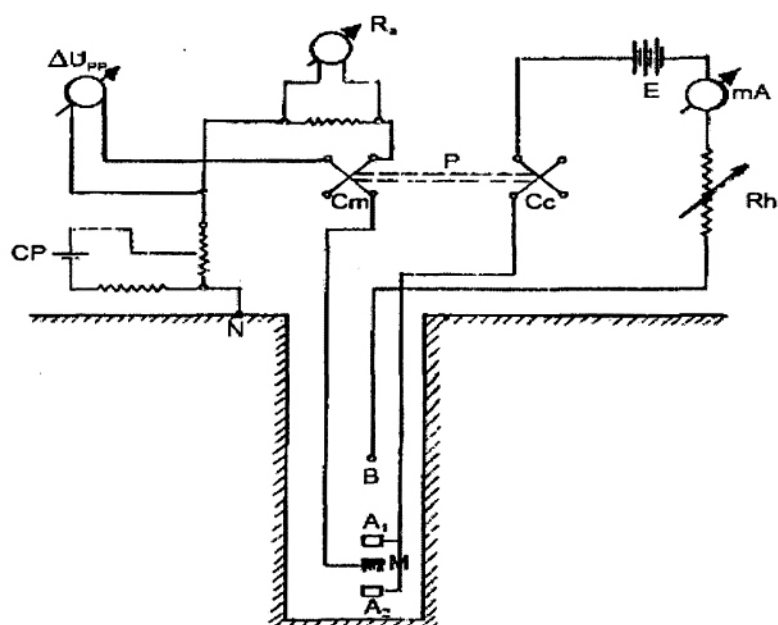
Báo cáo kết quả đo thể phân cực kích thích trong lỗ khoan được lồng ghép chung trong công tác đo địa vật lý lỗ khoan của toàn vùng đo, thường gồm các dạng tài liệu sau:

- Các file đo và đo kiểm tra được quản lý và lưu trữ hệ thống trên máy tính.
- Các thiết đồ địa vật lý lỗ khoan hoàn chỉnh.
- Các mặt cắt liên kết địa tầng các lỗ khoan trong vùng đo theo các phương khác nhau.
- Các mặt cắt địa chất - địa vật lý luận giải từ kết quả đo địa vật lý lỗ khoan.
- Các nhật ký đo và các tài liệu liên quan khác.
- Báo cáo thuyết minh được lập chung với tổ hợp phương pháp địa vật lý lỗ khoan khác, thường có các nội dung chính như sau:
 - + Phương pháp và kỹ thuật đã sử dụng.
 - + Chất lượng tài liệu, khối lượng công việc.
 - + Các phương pháp xử lý, giải đoán tài liệu.
 - + Giải thích địa chất kết quả địa vật lý.
 - + Đánh giá mức độ giải quyết nhiệm vụ.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Sơ đồ nguyên lý cấu tạo trạm đo thể điện phân cực kích thích



Hình A.1 - Sơ đồ nguyên lý cấu tạo trạm đo thể điện phân cực kích thích

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] Bộ Tài nguyên và Môi trường, TT 02/2011/TT-BTNMT), *Thông tư Quy định kỹ thuật đo địa vật lý lỗ khoan*.
 - [2] Lê Hải An (2005), *Địa vật lý giếng khoan (giáo trình điện tử)*, Hà Nội.
 - [3] Nguyễn Văn Phơn (1997), "*Địa vật lý giếng khoan - Một số vấn đề lý thuyết và phạm vi ứng dụng*" - Tài liệu bồi dưỡng nghiên cứu sinh và giảng dạy cho các lớp cao học chuyên ngành địa vật lý, Hà Nội.
 - [4] Nguyễn Văn Phơn, Hoàng Văn Quý (2004), *Địa vật lý giếng khoan*, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội.
 - [5] A.G. Kalinin, R.A. Gandzumian (2006) *Cẩm nang kỹ sư công nghệ khoan giếng sâu*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
 - [6] International Atomic Energy Agency (IAEA) (1982), *Borehole logging for uranium exploration*, Vienna.
 - [7] Philip Kearey and Michael Brooks (1991), *An introduction to Geophysical exploration*, Blackwell Scientific Publications.
 - [8] Philippop (1973), *Địa vật lý hạt nhân* (bản tiếng Nga), Nhà xuất bản Nauka, Novosibirsk.
 - [9] Robertson geologging, *Borehole logging systems and services*.
-