

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT
-----o0o-----

**BÁO CÁO SINH HOẠT HỌC THUẬT
NĂM HỌC 2024-2025**

**CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ NGHIÊN
CỨU TẦNG NÔNG**

**NGƯỜI BÁO CÁO: TRẦN DANH HÙNG
ĐƠN VỊ: BỘ MÔN ĐỊA VẬT LÝ
KHOA DẦU KHÍ VÀ NĂNG LƯỢNG**

Hà Nội, 01/2025

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT**

-----o0o-----

**BÁO CÁO SINH HOẠT HỌC THUẬT
NĂM HỌC 2024-2025**

**CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ NGHIÊN
CỨU TẦNG NÔNG**

PHÒNG KHCN

BỘ MÔN

NGƯỜI BÁO CÁO

TRẦN DANH HÙNG

Hà Nội, 01/2025

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
Chương 1: THĂM DÒ TỪ	2
1.1 Giới thiệu	2
1.2 Sự từ hóa trong trường lưỡng cực từ của Trái đất.....	2
1.3 Thu thập số liệu từ.....	3
1.4 Xử lý số liệu	5
1.5 Giải thích số liệu thăm dò Từ.....	5
Chương 2: THĂM DÒ TRỌNG LỰC	8
2.1 Giới thiệu	8
2.2 Phương pháp điện – điện từ	8
2.3 Đo trọng lực	10
2.4 Minh giải số liệu	12
2.5 Ứng dụng của thăm dò Trọng lực.....	13
Chương 3: THĂM DÒ ĐIỆN VÀ ĐIỆN TỪ	15
3.1 Giới thiệu	15
3.2 Phương pháp điện – điện từ	15
3.3 Phương pháp từ tellua	16
3.4 Phương pháp Điện trở suất.....	17
3.5 Phương pháp phân cực kích thích.....	18
Chương 4: THĂM DÒ ĐỊA CHẤN	25
4.1 Giới thiệu	25
4.2 Cơ sở thăm dò địa chấn.....	25
4.3 Phát thu sóng địa chấn	27
4.4 Xử lý số liệu	27
4.5 Phân tích số liệu địa chấn.....	29

MỞ ĐẦU

Các tầng nông của vỏ Trái Đất (thường tính đến độ sâu vài chục mét đến vài trăm mét) đóng vai trò quan trọng trong nhiều lĩnh vực như: xây dựng cơ sở hạ tầng, khảo sát địa chất công trình, địa chất môi trường, tìm kiếm tài nguyên nước dưới đất, và nghiên cứu tai biến địa chất. Trong đó, các phương pháp địa vật lý được sử dụng rộng rãi nhờ khả năng khảo sát nhanh, không phá hủy, và cung cấp hình ảnh chi tiết về cấu trúc địa chất dưới bề mặt. Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của nền kinh tế, nhu cầu khảo sát địa chất ở các tầng nông ngày càng tăng nhằm phục vụ xây dựng cơ sở hạ tầng, quy hoạch đô thị, tìm kiếm tài nguyên nước dưới đất và phòng tránh các tai biến địa chất như sụt lún, nứt đất. Địa vật lý tầng nông là một hướng nghiên cứu ứng dụng hiệu quả nhờ khả năng khảo sát nhanh, không xâm lấn và cho phép cung cấp thông tin chi tiết về các cấu trúc dưới bề mặt.

Tại Việt Nam, nhiều khu vực có điều kiện địa chất phức tạp, tầng phủ dày và đa dạng về thành phần, cấu trúc. Trong điều kiện đó, việc ứng dụng các phương pháp địa vật lý hiện đại đã và đang chứng minh vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ điều tra, đánh giá, và xây dựng mô hình địa chất chính xác phục vụ thiết kế, thi công công trình và nghiên cứu khoa học. Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của nền kinh tế quốc dân, việc nghiên cứu địa chất ở nước ta ngày càng đặt ra nhiều nhiệm vụ phong phú và phức tạp, không chỉ trên đất liền mà cả trên vùng biển rộng lớn. Để giải quyết tốt các nhiệm vụ đặt ra, cần áp dụng có hiệu quả các thành tựu mới của khoa học công nghệ, trong đó có các phương pháp địa vật lý.

Trong những năm gần đây, với sự phát triển của công nghệ chế tạo máy (thiết bị ghi số, máy có độ ổn định và độ chính xác cao...), với sự tiến bộ nhảy vọt của công nghệ tin học và xử lý số liệu (rời rạc hoá tín hiệu, tự động hoá quá trình xử lý trên máy tính...) đã cho phép địa vật lý có những bước tiến mạnh mẽ. Ngày nay, địa vật lý không chỉ nghiên cứu hình thái cấu trúc địa chất (xác định các mặt ranh giới, các lát cắt, đứt gãy, đo vẽ bản đồ...) mà còn có khả năng xác định bản chất môi trường (liên kết địa tầng, xác định thành phần thạch học, tướng đá...).

Ở nước ta, việc áp dụng các phương pháp địa vật lý để giải quyết các nhiệm vụ địa chất được tiến hành từ nhiều năm nay và đã có những thành tựu đáng kể trong việc giải quyết các nhiệm vụ địa chất như đo vẽ bản đồ địa chất ở các tỷ lệ khác nhau, nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ quả đất, tìm kiếm khoáng sản rắn (than, sắt, đồng, thiếc, chì, kẽm, vàng, kim loại quý hiếm...), tìm kiếm dầu khí ở vùng thềm lục địa rộng lớn, tìm kiếm nước dưới đất phục vụ cấp nước sinh hoạt và bảo vệ nguồn nước, giải quyết nhiệm vụ địa chất công trình cho các công trình xây dựng trên mặt và công trình ngầm...

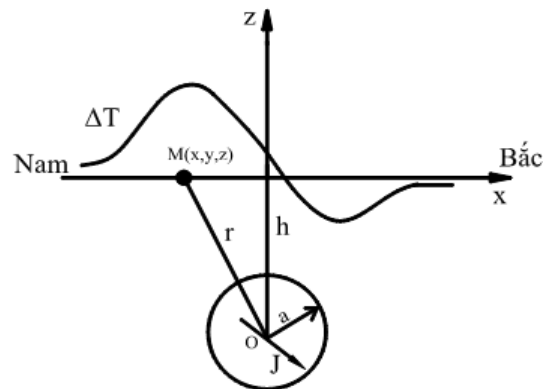
Chương 1. Thăm Dò Từ

1. Giới thiệu:

Thăm dò từ là phương pháp địa vật lý đo cường độ và hướng của trường từ tổng hoặc các thành phần hoặc các gradient của trường từ Trái Đất để phát hiện và xác định vị trí các vật thể có từ tính. Thiết bị đo từ cổ nhất là la bàn đo hướng trường từ. Ban đầu máy đo trường từ, gọi là từ kế, còn thô sơ, chỉ có thể đo từng điểm trên mặt đất; trong đại chiến thế giới thứ hai, từ kế đã được chế tạo để phát hiện tàu ngầm. Ngày nay với sự ra đời của thiết bị định vị toàn cầu (GPS) và những từ kế hiện đại có độ chính xác cao có thể đo từng điểm hoặc liên tục trên bộ, trên biển, trên máy bay, trên vệ tinh và dọc lỗ khoan. Vì vậy nhiệm vụ của thăm dò từ được mở rộng ra rất nhiều phạm vi như vẽ bản đồ địa chất, tìm khoáng sản, trước hết là các loại quặng chứa các khoáng vật có từ tính như quặng sắt, tìm mỏ kim cương, dầu khí, nước dưới đất, nguồn nước nóng, ô nhiễm môi trường, vũ khí, khảo cổ, v.v... Ở Việt Nam thăm dò từ được áp dụng từ 1956, đo từ hàng không tỷ lệ 1: 200 000 trên toàn Miền Bắc, 1: 250 000 toàn Miền Nam và phát hiện ra mỏ sắt Thạch Khê (Hà Tĩnh), Nà Rua, Tòng Bá, v.v... Thăm dò từ là phương pháp dễ sử dụng, máy gọn nhẹ, đo nhanh, chính xác với giá thành rẻ.

2. Sự từ hóa trong trường lưỡng cực từ của Trái Đất

Vật thể có từ tính, như thân quặng sắt, nằm trong trường địa từ T , sẽ bị từ hóa và tạo ra trường từ của riêng mình. Đại lượng đặc trưng cho trường từ riêng là vector từ hóa J và J tỷ lệ với T : $J = \chi T$, trong đó χ là độ cảm từ (xem mục từ Địa từ học). Khi đo qua những thân quặng có từ tính cao trường từ đo được sẽ có những giá trị khác hẳn so với xung quanh. Vùng trường từ đo được có những giá trị khác hẳn (lớn hơn hoặc nhỏ hơn) so với xung quanh được gọi là dị thường từ. Nhiệm vụ của thăm dò từ là đo trường từ, phát hiện dị thường, nghiên cứu xem vật thể nào đã tạo ra dị thường và vị trí của nó.



Hình 1. Đồ thị dị thường từ tổng ΔT theo tuyến x chứa J , hướng Nam Bắc, trên vật thể hình cầu tâm O , bán kính a với độ từ hóa nghiêng J

Trên hình 1 [H.1] là đồ thị trường dị thường từ tổng ΔT của vật thể từ tính dạng hình cầu bị từ hóa theo phương nghiêng (thường gặp ở Việt Nam). Hình dạng của trường dị thường từ phụ thuộc vào góc nghiêng của vector từ hóa J (góc hợp bởi vector J và phương nằm ngang). Khi góc từ hóa $J = 90^\circ$, trường dị thường có dạng đối xứng: một cực đại nằm trên đỉnh vật thể từ tính, khi $J = 0^\circ$, trường dị thường có dạng ngược lại: cực tiểu nằm ngay trên đỉnh vật thể, khi $0^\circ < J < 90^\circ$, hình dạng trường dị thường có một cực đại ở phía nam và cực tiểu ở phần bắc (đối với các khu vực ở bán cầu bắc, Việt

Nam nằm trong khu vực này), với các khu vực ở bán cầu nam thì hình dạng trường dị thường ngược lại.

Theo độ cảm từ, vật thể từ được chia làm ba loại: nghịch từ, thuận từ và sắt từ. Phần lớn các khoáng vật có tính nghịch từ hoặc thuận từ. Vật chất nghịch từ (thạch anh, đá hoa, muối mỏ, thạch cao, graphit, v.v...) có độ cảm từ âm và nhỏ. Vật chất thuận từ (gneis, pegmatit, dolomit, syenit, v.v...) có độ cảm từ dương và nhỏ. Vật chất sắt từ (khoáng vật sắt từ chủ yếu là các oxit sắt và sulfur sắt như magnetit, titanomagnetit, ilmenit, v.v...) có độ cảm từ dương, lớn và các tính chất từ mạnh. Khác với chất nghịch từ và thuận từ, chất sắt từ còn giữ lại được một phần trường từ riêng ngay cả khi trường từ bên ngoài không còn nữa, đó là độ từ dư. Độ cảm từ của đá chủ yếu phụ thuộc vào hàm lượng các khoáng vật sắt từ và thay đổi trong một dải rất lớn và phủ lên nhau, song nhìn chung độ cảm từ của đá trầm tích là thấp nhất, tăng dần lên ở đá biến chất và cao nhất ở đá magma (bảng 1 và 2).

Bảng 1. Độ cảm từ của một số khoáng vật

Khoáng vật	Độ cảm từ $\times 10^3$ (SI)
Calcit	-0.001 - 0.01
Sphalerit	0.4
Pyrit	0.05 - 5
Hematit	0.5 - 35
Ilmenit	300 - 3500
Magnetit	1200 - 19200

Bảng 2. Độ cảm từ của một số loại đá

Đá	Độ cảm từ $\times 10^3$ (SI)	Đá	Độ cảm từ $\times 10^3$ (SI)
Thạch anh	-0.01	Gneis	0.1 - 25
Muối mỏ	-0.01	Đá phân phiến	0 - 35
Đá vôi	0 - 3	Granit	0 - 50
Cát kết	0 - 20	Gabro	1 - 90
Đá phiến sét	0.01 - 15	Basalt (Bazan)	0.2 - 175
Đá phiến	0.3 - 3	Peridotit	90 - 200

3. Thu thập số liệu từ

Việc đo trường địa từ được thực hiện bằng các loại từ kế trên đất liền, ở biển, trên không và dọc lỗ khoan theo những mạng lưới đo nhất định. Đơn vị đo trường từ trong hệ thống đo lường quốc tế (SI) là tesla (T) nhưng thường dùng nanotesla (nT), $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$. Trước đây thường dùng đơn vị cường độ trường từ là gamma (γ) trong hệ đo lường cgs, về giá trị 1γ bằng 1nT (nhưng thứ nguyên khác nhau) nên việc chuyển từ đơn vị cũ (γ) sang đơn vị mới (nT) là dễ dàng.

3.1. Các loại từ kế hiện đại

Từ kế là dụng cụ để đo cường độ, phương và gradien của trường từ. Các từ kế hiện đại thuộc loại từ kế lượng tử (quantum magnetometer), được sáng chế và phát triển trong thế kỷ 20, bao gồm từ kế proton, từ kế Overhauser và từ kế kiềm hơi, chúng có độ nhạy và độ chính xác cao. Dưới đây là các nguyên lý hoạt động cơ bản của một số từ kế đo cường độ trường địa từ tổng T và gradien trường địa từ.

3.1.1. Từ kế proton (proton là hạt nhân của nguyên tử hiđro) được dùng phổ biến để đo ở mặt đất, trên thế giới cũng như ở Việt Nam. Đầu thu của từ kế proton gồm có bình chứa chất lỏng giàu proton (như nước, dầu hỏa và methanol) và cuộn cảm quấn quanh bình. Các proton trong bình quay đảo liên tục nhưng không theo một phương nhất định. Khi cho dòng điện một chiều chạy qua cuộn cảm sẽ tạo ra trường từ phụ T_p lớn gấp

khoảng 100 lần T và có phương tạo với phương của T một góc từ 45° đến gần 90° trường từ T_p sẽ phân cực các proton làm cho chúng phải hướng theo phương của T_p . Khi ngắt dòng điện, trường từ phụ T_p biến mất làm cho các proton quay đảo sắp xếp lại theo phương của trường địa từ T . Tần số f của các proton quay quanh phương trường địa từ T tỷ lệ thuận với cường độ trường địa từ T qua hằng số tỷ số từ hồi chuyển của proton (γ_p). Đo tần số f sẽ tính được T theo biểu thức: $T \text{ (nT)} = (2\pi/\gamma_p) f \text{ (Hz)}$. Có thể dùng ngay cuộn cảm trên để đo tần số. Từ kế proton là loại từ kế rẻ nhất, dễ dùng (không phải định hướng cho máy khi đo), mỗi số đo chỉ mất 1 – 2 giây và độ chính xác cao khoảng 0.1 nT.

3.1.2. Từ kế Overhauser cũng dựa vào việc đo tần số của các proton quay đảo quanh T như từ kế proton, nhưng sự phân cực của các proton được tạo ra bằng sóng điện từ có tần số thích hợp ở dải tần số radio. Từ kế Overhauser có độ chính xác rất cao ($\sim 1 \text{ pT}$; $1 \text{ pT} = 10^{-3} \text{ nT} = 10^{-12} \text{ T}$), đo nhanh (5 số liệu/giây) và nhẹ. Nó được dùng rộng rãi để đo ở biển, đo trên không và trên các vệ tinh Oersted và CHAMP, nhưng máy lại đo sai trong vùng gradien lớn cỡ 500 nT/m (khi ở rất gần vật sắt, thép).

3.1.3. Từ kế kiềm hơi (alkali-vapor magnetometers), còn gọi là từ kế bơm quang học. Nguyên lý hoạt động của từ kế loại này có thể trình bày tóm tắt như sau. Khi trong bình thủy tinh kín có chứa kim loại kiềm như rubidi hay cesi ở thể hơi, các điện tử của các nguyên tử trong bình được kích lên mức năng lượng cao (còn gọi là phân cực) bằng sóng radio thích hợp có liên quan đến cường độ trường từ được đo. Khi chiếu (bơm) chùm photon ánh sáng với tần số thích hợp qua bình, chùm ánh sáng này sẽ bị hấp thụ bởi các điện tử và chúng lại trở về trạng thái ban đầu, mức độ hấp thụ phụ thuộc vào số điện tử ở mức kích thích. Vì vậy bằng cách đo cường độ ánh sáng (được bơm) đi qua bình ta có thể xác định được cường độ trường địa từ. Cũng như từ kế proton, từ kế loại này được dùng đo cường độ trường địa từ tổng, nhưng tốc độ nhanh hơn nhiều, độ chính xác và độ nhạy cao (cỡ 0.01 nT). Do có những ưu điểm vượt trội như vậy nên từ kế kiềm hơi được dùng phổ biến đo trường địa từ T trên không, ở biển và đo gradien trường địa từ trên đất liền.

Gradien kế từ (magnetic gradiometer) gồm hai từ kế cùng loại đặt gần nhau, hiệu số của hai số đo ở hai máy chia cho khoảng cách giữa chúng là giá trị gradien từ ở điểm giữa hai máy theo phương qua hai máy (tính theo nT/m). Gradien kế từ không bị ảnh hưởng của nhiễu biến thiên ngày đêm, giảm ảnh hưởng dị thường khu vực, nhấn mạnh dị thường địa phương. Đo gradien thẳng đứng được dùng trong khảo sát hàng không và mặt đất (khảo cổ, ô nhiễm môi trường, v.v...), đo gradien ngang phổ biến trên đất liền và biển với khoảng cách giữa 2 từ kế ($100 - 200 \text{ m}$).

3.2. Đo và hiệu chỉnh số liệu.

Thăm dò từ được thực hiện trên đất liền, trên không và ở biển. Việc khảo sát trên diện tích lớn lúc ban đầu thường dùng phương pháp từ hàng không với từ kế đặt trên máy bay với các tuyến bay cách nhau $0,1 \text{ km} - 4 \text{ km}$ theo đường hướng vuông góc với

đường phương kéo dài của đối tượng khảo sát. Số liệu đo được cần được hiệu chỉnh cho một vài loại nhiễu trong khi đo. Trong đó có biến thiên của trường địa từ theo chu kỳ ngày đêm, (ở Việt Nam thường chỉ hai ba chục nanotesla). Khi đó trong khảo sát dị thường lớn, như quặng sắt thì không cần phải làm hiệu chỉnh này.

4. Xử lý số liệu

Số liệu đo sau khi đã hiệu chỉnh sẽ được xử lý bằng các kỹ thuật khác nhau để thấy rõ hơn đối tượng khảo sát. Một số kỹ thuật đó được nêu ra dưới đây.

Phân tích phổ: Đường cong dị thường từ có thể phân thành các hài bằng phép biến đổi Fourier. Các hài có chu kỳ lớn (bước sóng dài) tương ứng với các đối tượng khu vực, nằm sâu; các hài có chu kỳ ngắn (bước sóng ngắn) tương ứng với đối tượng địa phương, nằm nông.

Biến đổi trường: Nhằm nhấn mạnh đối tượng tạo ra trường từ cần nghiên cứu và làm giảm ảnh hưởng của các đối tượng khác. Nâng trường khi nghiên cứu các đối tượng khu vực, phân bố sâu; hạ trường khi nghiên cứu chi tiết các đối tượng địa phương, phân bố nông.

Chuyển trường về cực: Các dị thường từ thường có dạng bất đối xứng, đặc biệt những nơi có độ từ khuynh nhỏ như ở Việt Nam, nên thường gặp khó khăn khi xác định vị trí vật thể từ. Để khắc phục khó khăn này, người ta dùng phương pháp tính toán để chuyển trường về cực, nơi có góc từ hóa $J = 90^\circ$, lúc này dị thường từ ban đầu có dạng bất đối xứng, sau khi được chuyển về cực dị thường từ sẽ có dạng đối xứng, một cực đại nằm ngay phía trên vật thể từ.

5. Giải thích số liệu thăm dò từ

Giải thích số liệu thăm dò từ nhằm xác định các thông số của nguồn gây ra dị thường như các tham số hình học, vật lý của vật thể có từ tính và môi trường vây quanh dựa vào các thông tin địa chất và số liệu địa vật lý. Công việc này bao gồm các bước sau: 1) Đánh giá sơ bộ độ sâu, phương từ hóa và ranh giới của nguồn. Đánh giá sơ bộ dựa trên kết quả tính toán cho những trường hợp rất đơn giản (giải bài toán thuận cho mô hình với một vật thể có hình thể đều đặn, tính đối xứng cao để dễ tính và tính được nhanh, độ từ hóa bên trong vật thể là đồng nhất, môi trường vây quanh là không khí). 2) Tiếp đó là ước lượng độ sâu, phương từ hóa và ranh giới của vật thể. 3) Trên cơ sở thông tin địa chất và những kết quả nhận được từ đánh giá sơ bộ (độ từ hóa, độ cảm từ và các tham số hình học) có thể lập mô hình ban đầu của vật thể từ. Tính trường từ của mô hình vừa xây dựng được, đem so sánh với trường từ đo đạc trong thực tế, nếu không trùng nhau thì phải tiếp tục điều chỉnh tham số mô hình sao cho sai khác giữa trường lý thuyết và trường quan sát nằm trong phạm vi sai số cho phép. Khi đạt kết quả sai số cho phép nếu mô hình đó không có ý nghĩa địa chất thì phải xây dựng lại mô hình và lại tính lại cho đến khi tìm được mô hình có ý nghĩa địa chất. Trong thực tế thường phải dùng tổ hợp một số các phương pháp vật lý khác nhau, thí dụ thăm dò từ thường hay kết hợp

với thăm dò trọng lực, khi đó làm mô hình hóa ngược cho cả số liệu từ và trọng lực sẽ tìm ra mô hình có ý nghĩa địa chất xác thực.

6. Ứng dụng của thăm dò từ

Thăm dò từ được dùng rộng rãi trong tìm kiếm các loại khoáng sản rắn chứa khoáng vật sắt từ, như các loại quặng sắt nguồn gốc khác nhau đã được phát hiện ở Việt Nam. Chính mỏ sắt tiếp xúc trao đổi giữa carbonat và granit ở bờ biển Thạch Khê, Hà Tĩnh, đã được phát hiện vào năm 1962 bằng một dị thường từ hàng không có cực trị âm - 16 000 nT ở phía bắc và cực trị dương + 8 000 nT ở phía nam, thân quặng magnetit mỗi bề 300 m dưới lớp cát phủ dày 60 m. Thăm dò từ cũng được dùng trong khảo sát mỏ quặng đồng chalcopyrit Sin Quyền (Lào Cai) chứa magnetit, pyrotin với dị thường từ theo phương thẳng đứng (ΔZ_a) hàng nghìn nanotesla, mỏ quặng chì kẽm sphalerit chứa pyrit, pyrotin dọc theo đứt gãy kiến tạo ở Chợ Điện (Bắc Cạn), mỏ quặng chromit Cỏ Định (Thanh Hóa), quặng bauxit ở Lạng Sơn, quặng titanomagnetit núi Chúa, v.v... Trên thế giới, thăm dò từ đã được dùng trong tìm kiếm kim cương dựa trên việc phát hiện kimberlit.

Phát hiện thể magma ảm (thường có khoáng hóa) do độ cảm từ lớn hơn môi trường vây quanh như quặng titanomagnetit núi Chúa trong khối gabro.

Từ trước, thăm dò từ vẫn được dùng trong tìm kiếm nước dưới đất, bồn địa nhiệt và bồn trầm tích chứa dầu khí (đánh giá chiều dày trầm tích trên đá móng và cấu trúc đá móng). Thời gian gần đây do có những từ kế hiện đại, phần mềm xử lý mới và những kết quả nghiên cứu về khoáng vật học cho thấy magnetit tại sinh, được hình thành do rò rỉ và di chuyển dầu khí trong bồn trầm tích tạo ra trường từ yếu nên thăm dò từ hàng không phân giải cao (HRAM) phát hiện được dị thường từ yếu (khoảng 2 đến 10 nT) của magnetit tại sinh ở đứt gãy trong trầm tích.

Thăm dò từ cũng còn dùng trong tìm kiếm các kho vũ khí, mìn kim loại, bãi thải, di vật khảo cổ có từ tính, v.v...

Khảo cổ từ học là môn khảo sát từ hóa dư của di vật khảo cổ, chủ yếu nhằm xác định niên đại của di vật bằng sét nung chứa khoáng vật sắt từ. Các khoáng vật sắt từ khi bị nung nóng lên khoảng trên 700 °C sẽ bị mất hết các từ dư trước đây, sau đó nguội dần sẽ có từ dư nhiệt với phương của trường địa từ lúc đó và có độ từ hóa tỷ lệ với cường độ trường từ đó. Trường địa từ biến thiên theo thời gian (biến thiên thế kỷ) về phương cũng như về cường độ. Do vậy xác định phương (độ từ thiên D, độ từ khuynh I) hoặc cường độ từ dư hoặc cả hai thứ rồi so sánh với đường biến thiên thế kỷ quy chuẩn đã được xác định cho khu vực (ở Bungari đã xây dựng được đường biến thiên dài nhất, 8 nghìn năm) để tìm ra niên đại của di vật.

7. Tài liệu đọc thêm

- Burazer M., Grbović M., and Žitko V., 2001. Magnetic data processing for the purpose of hydrocarbon exploration in the Pannonian Basin, Yugoslavia. *Geophysics*. 66/ 6: 1669-1679. ,
- El Dawi M.G., Tianyou L., Hui S., and Dapeng L., 2004. Depth Estimation of 2-D Magnetic Anomalous Sources by Using Euler Deconvolution Method. *American Journal of Applied Sciences*. 1, N 3 : 209-214.
- Hamoudi M, Quesnel Y, Dymont J, and Lesur V, 2011. Aeromagnetic and Marine Measurements: 57-103. In: Mandeau M., Korte M. (Eds.). Geomagnetic Observations and Models, IAGA Special Sopron Book Series 5, *Springer Science+Business Media*.
- Li X., 2008. Magnetic reduction-to-the-pole at low latitudes. Observations and considerations. *The Leading Edge*: 27/8: 990-1002
- Li, Y., and D. W. Oldenburg, 1996. 3-D inversion of magnetic data. *Geophysics*. 61/2: 394-408.
- Machel H.G. and Burton E.A., 1991. Chemical and microbial processes causing anomalous magnetization in environments affected by hydrocarbon seepage. *Geophysics*. 56/5: 598-605.
- Nguyễn San, 1980. Thăm dò từ. Trong: Địa vật lý thăm dò, Tập II: 7-233. *NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp*. Hà Nội.
- Phan Thị Kim Văn, Trần Cảnh, 1999. Phân bố hệ thống đứt gãy Nam Trung Bộ theo phân tích dị thường từ hàng không. *Tạp chí Các Khoa học về Trái Đất*. 21/4: 282-288..
- Rajaram M, 2008. Recent Developments in Magnetic Method for Hydrocarbon Exploration. *Proceedings of “7th International Conference & Exposition on Petroleum Geophysics”*. Hyderabad. P-212.
- Raymond C.A. and Blakely R.J., 1995. Crustal magnetic anomalies. *Reviews of Geophysics*. 33:, 177 - 183.

Chương 2. Thăm dò Trọng lực

1. Giới thiệu

Thăm dò trọng lực là một trong những phương pháp địa vật lý ứng dụng, nhằm nghiên cứu cấu tạo địa chất các phần trên của Trái Đất, tìm kiếm và thăm dò các khoáng sản. Phương pháp này dựa vào việc nghiên cứu trường hấp dẫn do các khối đất đá gây ra bằng cách đo các thay đổi (biến thiên) của nó. Việc đo đạc thường được tiến hành trên mặt đất hoặc trên mặt biển.

Có thể phân chia lịch sử phát triển phương pháp trọng lực thành hai giai đoạn lớn. Giai đoạn thứ nhất từ trước cho đến sau Đại chiến thế giới lần thứ nhất, là giai đoạn đặt cơ sở cho các vấn đề lý thuyết về phép đo trọng lực. Giai đoạn thứ hai từ sau Đại chiến thế giới lần thứ nhất cho đến nay, là giai đoạn áp dụng rộng rãi phương pháp trọng lực và phát triển chi tiết lý thuyết và thực nghiệm của môn này.

Ở Việt nam trong những năm 30 của thế kỷ trước, một số nhà địa vật lý người Pháp với các dụng cụ con lắc đã tiến hành đo trọng lực tại một số điểm. Từ sau cuộc kháng chiến 1945-1954, các nhà địa vật lý Việt Nam đã bắt đầu sử dụng rộng rãi phương pháp trọng lực. Tại Miền Bắc, bản đồ trọng lực 1:500.000 đã được thành lập và hiện nay bản đồ trọng lực với tỷ lệ này đã được thành lập cho toàn bộ lãnh thổ. Các bản đồ với tỷ lệ lớn hơn đã được thành lập cho một số vùng có triển vọng tìm kiếm dầu khí và một số khoáng sản khác. Phương pháp trọng lực đang được duy trì và phát triển trong sự nghiệp nghiên cứu dầu khí và các khoáng sản ở nước ta.

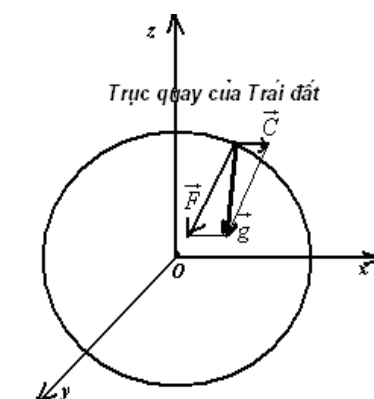
2. Trọng lực của Trái Đất

2.1. Trọng lực của Trái Đất

Tại mỗi điểm trên mặt đất, trọng lực \vec{g} là lực tổng hợp của hai lực: lực hấp dẫn Newton \vec{F} và lực ly tâm \vec{C} do Trái Đất quay xung quanh trục của nó gây ra [H.1]. Lực hấp dẫn tác dụng lên một đơn vị khối lượng chính là cường độ của trường hấp dẫn và về số bằng gia tốc truyền cho đơn vị khối lượng đó.

Trong hệ SI, gia tốc được đo bằng m/s^2 , tuy nhiên trong thăm dò trọng lực, người ta dùng đơn vị cm/s^2 . Đơn vị này được đặt tên là Gal để tưởng nhớ đến công lao của nhà bác học người Italia Galileo Galilei. Các dị thường trọng lực thường được đo bằng đơn vị mGal ($1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ Gal}$)

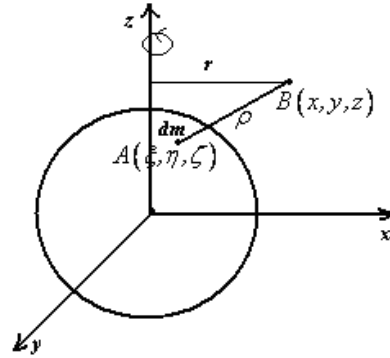
Bằng các lập luận toán học, người ta tìm được biểu thức để tính các thành phần của lực hấp dẫn của toàn bộ Trái Đất lên một đơn vị khối lượng nằm tại một điểm B bất kỳ



Hình 1. Định nghĩa trọng lực

với tọa độ là x, y, z [H.2]. Đồng thời cũng tính được các thành phần của lực ly tâm, kết quả thu được các thành phần của trọng lực của Trái Đất:

$$\begin{aligned} g_x &= F_x + C_x = G \int_V \frac{\xi - x}{\rho^3} dm + \omega^2 x \\ g_y &= F_y + C_y = G \int_V \frac{\eta - y}{\rho^3} dm + \omega^2 y \\ g_z &= F_z + C_z = G \int_V \frac{\zeta - z}{\rho^3} dm \end{aligned} \quad (1)$$



Hình 2. Thể trọng lực

trong đó

$$G = (6,67428 \pm 0,00067) 10^{-11} m^3 / (kg.s^2)$$

2.2. Thế lực hấp dẫn và thế trọng lực

Ta thấy rằng, các thành phần trọng lực (1) là đạo hàm riêng phần theo các tọa độ của một hàm số W với:

$$W = G \int_V \frac{dm}{\rho} + \frac{1}{2} \omega^2 (x^2 + y^2) \quad (2)$$

Hàm W được gọi là hàm thế trọng lực, còn tích phân trong W là thế hấp dẫn, thành phần thứ hai của W là thế lực ly tâm. Từ đó ta có:

$$g_x = \frac{\partial W}{\partial x}; g_y = \frac{\partial W}{\partial y}; g_z = \frac{\partial W}{\partial z} \quad (3)$$

2.3. Geoid

Từ biểu thức của hàm thế trọng lực (2) nếu tiến hành khai triển để tính được gần đúng biểu thức giải tích của nó rồi cho hàm số này bằng các hằng số khác nhau ta thu được các phương trình của các mặt đẳng thế khác nhau (mặt mức). Nếu chọn một hằng số nào đó mà mặt mức trùng với mặt đại dương yên tĩnh thì mặt mức đó được gọi là geoid. Bằng tính toán với mức độ chính xác đến đại lượng bé hạng hai, ta thấy rằng mặt geoid có dạng của một spheroid với độ dẹt bé.

2.4. Các công thức tính trọng lực bình thường trên mặt Trái Đất lý thuyết

Mặt Trái Đất lý thuyết được xem như mặt nước biển trung bình đã bỏ đi các khối núi nâng cao và lấp đầy vật chất các đại dương sâu. Đây là mặt đẳng thế mà trọng lực tại mỗi một điểm đều có hướng pháp tuyến với mặt đó. Nhiều tác giả và công trình khác nhau đã xây dựng được các công thức khác nhau để tính giá trị trọng lực bình thường dựa vào các mô hình spheroid của Trái Đất và các quan sát trọng lực. Công thức tổng quát giá trị trọng lực trên spheroid có dạng:

$$g = g_e (1 + \beta \sin^2 \varphi + \beta_1 \sin^2 2\varphi + \dots) \quad (4)$$

Theo nhiều kết quả quan sát trọng lực, đã có nhiều công thức để tính giá trị trọng lực theo dạng (4) đã được công bố. Một số công thức được sử dụng rộng rãi như Công thức trọng lực quốc tế do Hiệp hội Trắc địa Quốc tế công nhận năm 1967:

$$g = \gamma_0 = 978,0318 \left(1 + 0,0053024 \sin^2 \varphi - 0,0000058 \sin^2 2\varphi \right) \text{Gal} \quad (5)$$

Công thức (5) là một trong các công thức được nhiều nước sử dụng

2.5. Các hiệu chỉnh trọng lực và dị thường trọng lực

Trong thăm dò trọng lực, giá trị toàn phần của trọng lực không cần chú ý, mà chỉ chú ý đến giá trị dị thường Δg của chúng. Dị thường trọng lực Δg là hiệu số giữa giá trị tuyệt đối g_{qs} đo được với giá trị bình thường tại chính điểm quan sát γ , tức là:

$$\Delta g = g_{qs}(\varphi, \lambda, H) - \gamma(\varphi, \lambda, H) \quad (6)$$

trong đó (φ, λ, H) là tọa độ của quan sát P trên mặt vật lý của Trái Đất, còn $\gamma(\varphi, \lambda, H)$ là giá trị trọng lực bình thường tại điểm quan sát P .

- *Hiệu chỉnh độ cao—Dị thường Faye*

$$\Delta g_{Faye}(\varphi, \lambda, H) = g_{qs}(\varphi, \lambda, H) - \gamma_0 + 0,3086H \quad (H \text{ đo bằng } m, \Delta g_{Faye} \text{ đo bằng } m\text{Gal}) \quad (7)$$

- *Hiệu chỉnh Bouguer—Dị thường Bouguer*

Dị thường trọng lực sau khi đã được hiệu chỉnh độ cao và lớp trung gian có mật độ bằng σ được gọi là dị thường Bouguer:

$$\Delta g_{Bouguer}(\varphi, \lambda, H) = g_{qs}(\varphi, \lambda, H) - \gamma_0 + (0,3086 - 0,0418\sigma)H \quad (\sigma \text{ đo bằng } g/cm^3) \quad (8)$$

- *Hiệu chỉnh địa hình*

Các hiệu chỉnh Faye và Bouguer thông thường được tiến hành với giả thiết cho rằng mặt vật lý của Trái Đất tại điểm quan sát bằng phẳng. Tuy nhiên, trong thực tế, địa hình xung quanh điểm quan sát có thể bị lồi lõm nhiều. Địa hình lõm xuống như thung lũng (thiếu vật chất) hay lồi lên như đồi núi (thừa vật chất) đều làm giảm giá trị trọng lực đo được. Vì vậy hiệu chỉnh cho địa hình đều có dấu dương

Để tính được ảnh hưởng của địa hình người ta phải chia các khối tạo nên địa hình thành những yếu tố khối đơn giản để cho tác dụng hấp dẫn của mỗi một yếu tố đó được biểu diễn bằng các biểu thức giải tích.

2.6. Mật độ của đất đá

Nghiên cứu mật độ đá và các khoáng vật có giá trị quan trọng trong khi lập phương án và phân tích các kết quả đo trọng lực. Số đo của mật độ được xác định bằng tỷ số giữa khối lượng m và thể tích V của chúng:

$$\sigma = \frac{m}{V} \quad (\text{đo bằng } kg/m^3) \quad (9)$$

3. Đo trọng lực

3.1. Đo trọng lực

Đo trọng lực được thực hiện trên đất liền, trên mặt biển, trong các lỗ khoan và hầm lò để thực hiện hàng loạt nhiệm vụ khoa học và kỹ thuật đề ra. Đa số các đo đặc trọng lực được sử dụng để nghiên cứu cấu tạo địa chất, tìm kiếm và thăm dò các khoáng sản. Số liệu đo đặc trọng lực là những số liệu không thể thiếu khi nghiên cứu hình dạng Trái Đất. Ngoài ra các số liệu trọng lực cũng còn được sử dụng để phóng vệ tinh nhân tạo của Trái Đất.

Hiện nay trong đo trọng lực, giá trị tuyệt đối và tương đối đều được tiến hành đo. Về nguyên lý đo, các phương pháp xác định trọng lực được phân thành hai nhóm: động và tĩnh.

Các phương pháp vật rơi, phương pháp con lắc thuận nghịch thường được sử dụng để đo giá trị trọng lực tuyệt đối.

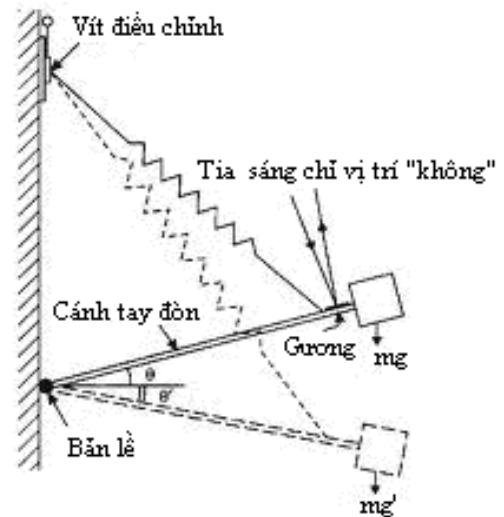
3.2. Đo giá trị tương đối của trọng lực – Trọng lực kế

Ngày nay tất cả các đo đặc trọng lực trong thăm dò địa vật lý đều sử dụng các thiết bị đo tương đối, trọng lực kế. Về nguyên lý để cảm nhận được những thay đổi của Δg , các trọng lực kế đều có một lò xo gắn liền với vật nặng. Mọi sự thay đổi của trọng lực đều làm cho khối nặng dịch chuyển và do đó độ dài của lò xo thay đổi một khoảng Δl . Để đo được sự thay đổi trọng lực $0,01mGal$ thì trọng lực kế phải phát hiện được sự thay đổi độ dài tương đối bằng 10^{-8} . Tuyệt đại đa số các trọng lực kế đều dùng nguyên lý bù không. Lực bù được tạo ra để đưa lò xo về vị trí ban đầu. Lực này tỷ lệ với sự thay đổi của trọng lực. Ví dụ về đo sự thay đổi của trọng lực là trọng lực kế LaCoste-Romberg [H.3].

Vật nặng m cùng cánh tay đòn được giữ bằng lò xo, khi trọng lực thay đổi đến g' vật bị lệch khỏi vị trí xuất phát, nhờ vít điều chỉnh và nhờ hệ thống quang học ta đưa vật về vị trí ban đầu. Sự thay đổi vị trí của vít điều khiển là số đo của sự thay đổi $\Delta g = g' - g$.

3.3. Đo trọng lực ngoài thực địa

Việc đo trọng lực thường được tiến hành theo các tuyến hoặc theo diện. Độ dày đặc của các điểm đo và độ chính xác của các phép đo được quy định theo các quy chế kỹ thuật đo trọng lực. Trong khi đo trọng lực, tại mỗi điểm số gia trọng lực của nó so với điểm xuất phát được xác định. Để thống nhất các đo đặc trọng lực khác nhau vào một hệ thống thống nhất, việc đo trọng lực được tiến hành theo cùng một nguyên tắc như trong trắc địa. Với mỗi một quốc gia, ngoài hệ thống các điểm tựa trọng lực cấp I và cấp II đã được xác định giá trị trọng lực tuyệt đối theo hệ thống trọng lực thế giới



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý của trọng lực kế LaCoste-Romberg

Posdam, trước khi tiến hành đo trọng lực tại một vùng nào đó, thông thường người ta thành lập mạng lưới tựa trọng lực cấp III. Các số liệu đo đạc thu thập được, sau khi chuyển thành giá trị tuyệt đối được hiệu chỉnh để thành lập các bản đồ dị thường Faye (khoảng không tự do) hay dị thường Bouguer.

4. Minh giải số liệu trọng lực

4.1. Biến đổi dị thường trọng lực

Các dị thường trọng lực đo được phản ánh toàn bộ các yếu tố địa chất. Trong trường tổng cộng đó, mỗi một yếu tố địa chất đều có đóng góp một phần nhất định. Để tách được phần trường liên quan đến đối tượng nghiên cứu, cần tiến hành biến đổi trường quan sát được, nhằm tăng cường phần trường liên quan đến đối tượng nghiên cứu và làm yếu đi các phần trường khác.

Tất cả các phép biến đổi trường trọng lực cũng như phương pháp lọc nhiễu trong lý thuyết thông tin về mặt toán học được biểu diễn dưới dạng tích phân chập và có thể ứng dụng các phép biến đổi Fourier để tiến hành tính toán trong thực tế.

4.2. Minh giải số liệu trọng lực

Sau khi đã tu chỉnh số liệu quan sát bằng các dụng cụ đo trọng lực, công việc tiếp theo là lập bản đồ hoặc các đồ thị của các đạo hàm bậc nhất hoặc bậc hai của thể trọng lực (các dị thường trọng lực nói chung). Dựa trên các số liệu trọng lực thu được và các số liệu địa vật lý đã có sẵn, trên cơ sở kinh nghiệm minh giải trọng lực tại các vùng tương đương, những kết luận địa chất về vùng cần nghiên cứu được đề xuất, đáp ứng nhiệm vụ địa chất đề ra trong phương án đã được soạn thảo. Việc minh giải có thể được phân thành định tính và định lượng.

Khi minh giải định tính ta phải xác định:

- Các yếu tố địa chất chắc chắn ảnh hưởng lên trường trọng lực.
- Vị trí của các yếu tố địa chất hoặc các thân quặng.
- Vùng hoặc vùng nhỏ mà trong phạm vi đó cần phải tiến hành nghiên cứu tỷ mỉ hơn.
- Điểm hoặc vùng nhỏ mà tại đó có thể đặt các lỗ khoan hoặc đào các hầm lò.
- Khả năng và điều kiện để phân tích định lượng.

Trong trường hợp tổng quát, có bốn yếu tố địa chất chính gây ra các dị thường trọng lực.

- Cấu tạo của các lớp trầm tích.
- Địa hình mặt móng kết tinh.
- Cấu tạo bên trong của móng kết tinh.
- Các cấu tạo sâu của vỏ Trái Đất.

Trong phân tích định lượng thường có hai cách tiếp cận: Trực tiếp minh giải từ các số liệu thu được hoặc gián tiếp giả thiết các mô hình để tính toán các hiệu ứng trọng lực do các mô hình đó gây ra và đem so sánh các kết quả tính toán với các số liệu thực tế thu được.

Các mô hình của các vật gây nên dị thường trọng lực cần được thiết lập và tiến hành tính toán theo các công thức dị thường trọng lực tương ứng với các mô hình để so sánh. Các tính toán thường được lập trình và tiến hành trên các máy tính điện tử.

5. Ứng dụng của thăm dò trọng lực

Các số liệu đo đặc trọng lực được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc sâu của Trái Đất, phân vùng kiến tạo cũng như được sử dụng trực tiếp khi tìm kiếm và thăm dò dầu mỏ và các khoáng sản khác. Các số liệu đó còn được sử dụng trong địa kỹ thuật cũng như môi trường.

Phương pháp trọng lực chiếm vị trí quan trọng khi nghiên cứu cấu tạo địa chất sâu. Số liệu trọng lực được dùng để thành lập các bản đồ và các mặt cắt địa chất. Những số liệu trọng lực tỷ lệ nhỏ thì có thể sử dụng để xác định ranh giới giữa các vùng địa mảng và vùng nền, nghiên cứu các uốn nếp trước núi, các cấu tạo địa chất lớn (phức nếp lồi và phức nếp lõm), các đứt gãy và các vùng magma hoạt động mạnh.

Để tìm kiếm dầu khí, trong giai đoạn đầu, phương pháp thăm dò trọng lực có nhiệm vụ phát hiện các cấu tạo có khả năng chứa dầu khí. Gần đây, với phương pháp trọng lực chính xác cao, khả năng tìm kiếm trực tiếp các vỉa chứa dầu có nhiều triển vọng phát triển. Với việc sử dụng các trọng lực kế chính xác cao, phương pháp trọng lực được sử dụng trong tất cả các giai đoạn nghiên cứu vùng quặng, từ việc nghiên cứu khu vực, phân chia vùng kiến tạo đến thăm dò trực tiếp. Trong nghiên cứu môi trường, phương pháp trọng lực có thể được sử dụng để tìm kiếm một số vật thể bị chôn vùi. Hình 4 mô tả quang cảnh sử dụng phương pháp trọng lực để tìm các lỗ hổng gần mặt đất [H. 4].

6. Tài liệu đọc thêm

Astier J. L., 1971. *Geophysique appliquée à l'hydrologie*. Masson et Cie. Paris.

Blakely R.J., 1994. *Potential Theory in gravity and magnetic applications*. Cambridge University Press. 420 p.

Reynolds J.M., 1997. *Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. Wiley. 796 p.



Hình 4. Sử dụng trọng lực kế để tìm các lỗ hổng gần mặt đất (nguồn Internet).

- Sharma P. V., 2004. Environmental and Engineering Geophysics. *Cambridge University Press*. 476p.
- Tôn Tích Ái, 2003. Trọng lực và thăm dò trọng lực. *NXB Đại học Quốc gia Hà Nội*. 336 tr.
- Telford W. M., Geldar L. P. and Sheriff R. E., 1987. Applied Geophysics. *Cambridge University Press*. 770 p.
- Андреев Б.А., Клушин И.Г., 1962. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. *Гостотехиздат* Ленинград. 495 стр.
- Гладкий К.В., 1967. Гравиразведка и магниторазведка. *Недра*. Москва. 319 стр.
- Миронов В.С., 1972. Курс Гравиразведки. *Недра*. Ленинград. 512 стр.
- Успенский Д. Г. 1968. Гравиразведка. *Недра*. Ленинград. 315 стр.

Chương 3. Thăm dò Điện và Điện Từ

1. Giới thiệu

Thăm dò điện và điện từ, còn được gọi chung là Thăm dò điện hoặc Phương pháp điện, gồm các phương pháp khảo sát trường điện và điện từ tự nhiên và nhân tạo trong vỏ Trái Đất. Việc áp dụng thăm dò điện trước hết dựa vào sự khác biệt về tính chất điện và điện từ của đối tượng khảo sát với môi trường vây quanh. Vật chất dưới mặt đất có nhiều tính chất điện như điện trở suất, hằng số điện môi, thể phân cực, v.v... trong đó điện trở suất được dùng trong khảo sát của rất nhiều phương pháp điện. Phương pháp khảo sát điện trở suất được Conrad Schlumberger (Đại học Mỏ Paris) nghiên cứu và áp dụng từ 1911, từ đó đến nay thăm dò điện đã phát triển nhanh chóng. Trong vài chục năm gần đây phương pháp này đặc biệt phát triển nhờ công nghệ hiện đại trong thu thập số liệu, mô hình hóa và giải thích số liệu. Thu thập số liệu được đổi mới bằng nhiều bộ thu, bổ sung thiết bị mới như từ kế thể hệ mới dựa trên công nghệ siêu dẫn trong đo trường chuyển trên máy bay trực thăng, máy đo sâu cộng hưởng từ trong khảo sát trực tiếp nước dưới đất. Những tiến bộ trong khoa học và công nghệ mới đã nâng cao hiệu quả của thăm dò điện. Ở Việt Nam nhiều phương pháp điện được dùng trong điều tra mỏ quặng, dầu khí, địa chất thủy văn, địa chất công trình, khảo cổ, môi trường, v.v...

2. Phương pháp điện - điện từ

Có rất nhiều phương pháp điện, chúng thường được phân loại theo đặc điểm của nguồn trường thành trường điện không đổi (như phương pháp điện trở suất dùng nguồn nhân tạo, phương pháp thể tự nhiên dùng nguồn tự nhiên cục bộ) và trường biến đổi theo thời gian. Loại sau lại được chia thành các phương pháp cảm ứng (tần thấp), trường chuyển, radar đất (còn được gọi là radar xuyên đất, sử dụng tần cao) dùng trường nhân tạo, các phương pháp từ-telur, biến thiên từ dùng trường tự nhiên với dải tần số rất rộng. Phương pháp điện và điện từ cũng có rất nhiều loại. Đó là do có nhiều loại nguồn trường, có thể đo các thành phần của trường điện hoặc trường từ, có thể khảo sát trường theo sự biến đổi của tần số hoặc thời gian, và sau nữa còn do tính chất điện của các đối tượng khảo sát rất đa dạng. Do đó có thể chọn cách tạo trường và đo trường một cách thích hợp để khảo sát có hiệu quả cho mỗi đối tượng với tính chất điện khác nhau trong môi trường khác nhau. Trường điện từ truyền trong môi trường đất-đá dẫn điện chủ yếu ở lớp gần bề mặt theo hiệu ứng mặt ngoài (hiệu ứng skin). Do vậy độ sâu khảo sát của các phương pháp điện từ phụ thuộc vào tần số (khi tần số giảm đi thì độ sâu khảo sát tăng lên), vào độ dẫn điện và sự phân bố của các vùng dẫn điện khác nhau trong độ sâu khảo sát. Trong môi trường biển, lớp nước biển dẫn điện tốt, làm tín hiệu giảm nhanh. Ngày nay nhờ công nghệ mới, có độ nhạy cao cho phép ghi được những tín hiệu nhỏ, do đó thăm dò điện được dùng và phát triển trong môi trường biển nhất là trong khảo sát đối tượng có điện trở suất cao như vỉa dầu khí.

Trong các phương pháp từ-telur, biến thiên từ có khả năng nghiên cứu độ sâu lớn, thực hiện khảo sát ở đáy biển. Phương pháp điện trở suất có khả năng khảo sát chi tiết nhưng đòi hỏi điều kiện tiếp xúc điện cực với môi trường và cần có chiều dài tuyến đo lớn hơn nhiều so với chiều sâu nghiên cứu. Phương pháp phân cực kích thích hơn hẳn các phương pháp điện và điện từ khác trong tìm kiếm quặng dẫn điện không đặc sít, song nó vẫn có những nhược điểm của phương pháp điện trở suất vừa nêu trên. Phương pháp trường chuyển cho độ sâu nghiên cứu lớn mà không cần mặt bằng thi công rộng, các loại hình dùng máy bay trực thăng đang được phát triển mạnh để tìm kiếm quặng dẫn điện tốt trong vùng rừng núi hiểm trở. Đo sâu cộng hưởng từ dùng ở mặt đất để khảo sát trực tiếp nước dưới đất. Phương pháp radar đất có khả năng khảo sát nhanh, chi tiết mặt cắt nông trong môi trường điện trở suất cao. Tùy theo yêu cầu, điều kiện và đối tượng khảo sát cụ thể mà lựa chọn phương pháp điện và điện từ thích hợp nhằm giải quyết nhiệm vụ đạt hiệu quả.

3. Phương pháp từ - telur và biến thiên từ

Phương pháp từ-telur được các nhà khoa học Tikhonov (Nga) và Cagniard (Pháp) đề xuất từ những năm 50 của thế kỷ XX, sau đó tiếp tục phát triển, hoàn thiện ở nhiều nước, hiện nay được phổ biến áp dụng rộng rãi trên thế giới. Ưu việt vượt trội của các phương pháp này là khả năng nghiên cứu độ sâu tới hàng chục kilômét mà không phải dùng các nguồn phát công suất lớn.

3.1. Cơ sở khoa học của phương pháp từ - telur và biến thiên từ

Các biến thiên của trường từ trong không gian quanh Trái Đất là nguyên nhân dẫn đến sự xuất hiện trường cảm ứng điện từ trong lòng đất. Dòng điện của trường cảm ứng này xuất hiện và tồn tại trong lòng đất được gọi là dòng telur (theo tiếng La tin, telluris có nghĩa là đất). Trong phương pháp từ-telur tại mỗi điểm đo, các biến thiên theo tần số (f) của các thành phần điện (E_x, E_y) và các thành phần từ (B_x, B_y, B_z) nằm ngang ở mặt đất theo ba phương vuông góc với nhau (x, y và z), trong đó x và y nằm ngang ở mặt đất, z hướng xuống dưới mặt đất, được đo đồng thời. Mối liên hệ giữa các thành phần điện và từ mang lại thông tin về cấu trúc địa chất theo tính chất điện trở suất của vỏ Trái Đất. Dùng loại nguồn tự nhiên này ta có thể khảo sát mặt cắt địa điện từ vài chục mét đến vài trăm kilômét mà không phải dùng đến nguồn phát điện lớn như trong các phương pháp điện từ khác. Để tăng độ sâu nghiên cứu, theo hiệu ứng skin, chỉ cần ghi được các dao động của các thành phần điện và từ ở tần số giảm đi. Trong phương pháp từ-telur, cho mô hình môi trường phân lớp song song, phẳng ngang, đồng nhất (1D), tại mỗi điểm đo thường sử dụng đồng thời đường cong biên độ (còn gọi là đường cong điện trở suất từ-telur) và đường cong pha từ-telur theo chu kỳ $T (=1/f)$ tăng dần. Chúng chứa thông tin về sự biến đổi điện trở suất của môi trường theo chiều sâu. Trong môi trường bất đồng nhất hai chiều (2D) hoặc ba chiều (3D), thông tin về tính chất và mức độ bất đồng nhất điện trở suất của môi trường chỉ có thể nhận được theo quy trình phân tích số liệu của nhiều điểm đo trên tuyến hoặc từ mạng lưới nhiều tuyến đo.

Phương pháp biến thiên từ chỉ khảo sát các thành phần từ B_x , B_y và B_z theo các biến thiên với chu kỳ lớn. Nó cho thông tin về cấu trúc sâu, dẫn điện tốt của môi trường, xác định được từ phân tích các thành phần từ đo ở mặt đất.

3.2. Ứng dụng phương pháp từ - telur và biến thiên từ

Kết quả áp dụng phương pháp từ-telur và biến thiên từ cho ta thông tin về các cấu trúc có tính dẫn điện tốt liên quan đến các nguồn địa nhiệt, các đới khoáng hóa trong vỏ Trái Đất (magnetit hóa, sulphit hóa, graphit hóa, tái xâm nhiễm nước, v.v...), đới hút chìm, các vùng nâng trời manti, v.v... Phương pháp biến thiên từ còn được khảo sát từ vệ tinh để nghiên cứu tính chất bất đồng nhất về độ dẫn điện của vỏ Trái Đất và manti trên toàn bộ các lục địa cũng như các đại dương.

Ở Việt Nam, từ những năm 1960 đã sử dụng thiết bị từ-telur của Liên Xô để thăm dò dầu khí ở vùng đồng bằng Sông Hồng, từ những năm 1990 sử dụng thiết bị của Pháp để nghiên cứu địa chất - kiến tạo và một số nhiệm vụ ứng dụng khác.

4. Phương pháp điện trở suất

Phương pháp điện trở suất là phương pháp địa vật lý được áp dụng rộng rãi nhất trên thế giới cũng như ở Việt Nam để giải quyết các nhiệm vụ địa chất, tìm kiếm khoáng sản, khảo sát địa kỹ thuật và môi trường. Nó dựa trên mối quan hệ giữa sự phân bố trường điện của các nguồn điểm dòng không đổi đặt trong không gian dẫn điện, tính chất dẫn điện của các vùng khác nhau và sự phân bố các vùng đó trong môi trường. Sau khi phát dòng cường độ I qua các nguồn điểm, người ta đo được hiệu số điện thế ΔU giữa hai điện cực thu, cực tiếp xúc với môi trường, từ đó xác định được tham số điện trở suất (giá trị nghịch đảo của độ dẫn điện) tương ứng: $\rho = K \frac{\Delta U}{I}$, trong đó: K là biểu

thức về mối quan hệ giữa các khoảng cách từ nguồn điểm phát dòng I đến vị trí các điện cực thu hiệu điện thế ΔU . Đơn vị của điện trở suất trong hệ SI là ôm-mét (ký hiệu $\Omega \cdot m$). Tùy thuộc vào đặc điểm môi trường và yêu cầu khảo sát mà có nhiều cách bố trí các hệ cực đo khác nhau, thường dùng nhất là các hệ cực Schlumberger, Wenner, lưỡng cực - lưỡng cực, cực - lưỡng cực. Tham số ρ đo được trên môi trường đồng nhất là điện trở suất của môi trường; trái lại khi môi trường bất đồng nhất thì đó chỉ là giá trị điện trở suất biểu kiến (ρ_a).

Hệ cực Schlumberger gồm 4 điện cực theo thứ tự AMNB cắm vào đất, đặt trên đường thẳng, đối xứng với nhau qua tâm O (ở giữa M và N). Dòng điện I được phát qua điện cực A và B và hiệu điện thế ΔU được đo giữa điện cực M và N . Khoảng cách $L = AB/2$ được gọi là kích thước hệ cực. Khi L tăng lên thì dòng điện thấm sâu hơn vào lòng đất, độ sâu khảo sát tăng lên. Kết quả thực hiện theo quy trình đo sâu điện trở suất tại một điểm O trên mặt đất bằng cách tăng dần L là loạt giá trị điện trở suất biểu kiến ứng với các giá trị L tăng dần ($\rho_a(L)$). Đường cong nối các điểm của các giá trị ρ_a tương ứng với các giá trị L được gọi là đường cong đo sâu điện trở suất $\rho_a(L)$, nó thể hiện một

cách khái quát về sự biến đổi của điện trở suất biểu kiến theo chiều sâu tại mỗi điểm đo. Đo sâu bằng các hệ cực khác cũng được thực hiện bằng cách mở rộng kích thước của hệ cực đó. Đo cắt lớp hai chiều (2D) được thực hiện bằng cách đo nhiều điểm đo sâu điện liên tiếp trên một tuyến đo, nó cho biết sự biến đổi của điện trở suất biểu kiến theo chiều sâu dọc tuyến đo; đó là cách đo thường dùng nhất hiện nay. Sử dụng phần mềm chuyên dụng thích hợp để giải bài toán ngược với toàn bộ các giá trị $\rho_a(L)$ đã đo trên tuyến sẽ thu được mặt cắt phân bố điện trở suất dọc tuyến đo.

Tùy theo nhiệm vụ và yêu cầu chi tiết về tính chất bất đồng nhất điện trở suất của môi trường khảo sát mà thực hiện các cách đo sau: 1) Đo mặt cắt bằng 1-2 kích thước hệ cực để theo dõi đặc điểm biến động môi trường dọc tuyến đo; 2) Vẽ bản đồ, tức là thực hiện mạng lưới tuyến đo mặt cắt nhằm đánh giá về đặc điểm bất đồng nhất môi trường trong diện tích khảo sát; 3) Đo sâu điện trở suất để xác định tham số các lớp từ mặt đất xuống độ sâu cần thiết; 4) Đo cắt lớp cho phép xác định đặc điểm phân bố điện trở suất thể hiện cấu trúc môi trường dưới tuyến đo gọi là phương pháp cắt lớp hai chiều (2D), hay dưới diện tích khảo sát được gọi là phương pháp cắt lớp ba chiều (3D). Một số dạng khác của phương pháp điện trở suất là đo nạp điện, đo trong giếng khoan (carota), v.v...

Thiết bị đo điện trở suất đơn giản và dễ vận chuyển gồm: nguồn phát dòng điện không đổi (hộp pin, ắc quy, v.v...), bộ đo hiệu điện thế, các điện cực và dây dẫn. Thiết bị có bộ nhớ trong, phần mềm điều khiển và cáp nhiều dây dẫn nối với nhiều điện cực để thực hiện tự động các cách đo, ghi số liệu theo yêu cầu được gọi là thiết bị đo đa cực. Thế hệ máy đo hiện đại, cho khả năng ghi và lưu trữ tự động số liệu, đã được sản xuất ở Việt Nam.

Phương pháp điện trở suất có khả năng đáp ứng yêu cầu khảo sát chi tiết nhờ tính định xứ và phân giải cao trong dải điện trở suất từ đơn vị đến hàng trăm ôhm mét, đó cũng là dải điện trở suất thường gặp của hầu hết các đối tượng trong môi trường địa chất và địa kỹ thuật.

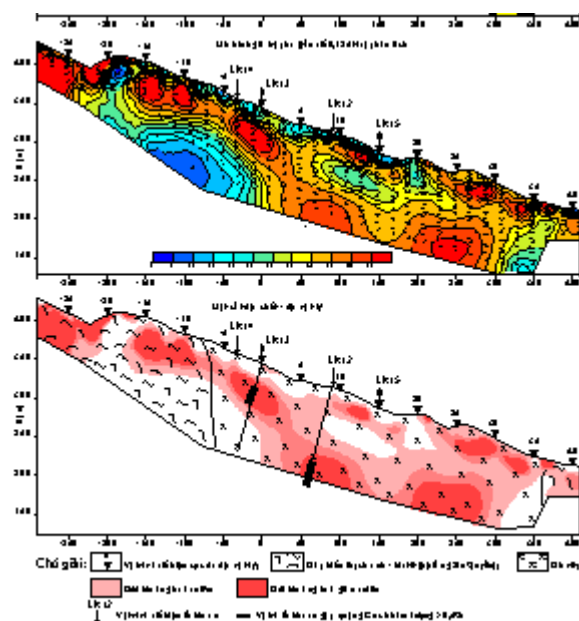
Ở Việt Nam, phương pháp này được phổ biến và ứng dụng sớm trong địa chất từ những năm 50 của thế kỷ trước. Hiện nay, với thiết bị được chế tạo trong nước, phương pháp điện trở suất là công cụ địa vật lý có hiệu quả, được triển khai trên mọi miền đất nước để quyết nhiều nhiệm vụ về điều tra khảo sát thuộc các lĩnh vực địa chất, địa chất thủy văn, khoáng sản, môi trường, khảo sát địa kỹ thuật trong xây dựng, giao thông, thủy điện, thủy lợi, v.v....

5. Phương pháp phân cực kích thích

Schlumberger là người đầu tiên quan sát thấy hiện tượng phân cực kích thích (PCKT) khi đo với phương pháp điện trở suất. Đó là sau khi ngắt dòng điện trong mạch phát điện AB thì hiệu điện thế trong mạch thu MN không giảm về không tức thời mà mới đầu giảm rất nhanh sau giảm chậm dần, kéo dài nhiều giây đến nhiều phút. Khi phát điện vào đất-đá, nó bị phân cực điện, tạo thành bộ ắc quy tích điện và khi ngắt điện, nó phóng điện. Hiện tượng PCKT rất phức tạp, có nhiều nguồn gốc khác nhau và có những ứng dụng khác nhau. Loại nguồn gốc điện hóa, dễ phát hiện. Loại này xuất hiện khi có dòng điện đi qua ranh giới giữa bề mặt khoáng vật dẫn điện điện tử (như pyrit, graphit, v.v...) với chất điện phân (dung dịch khoáng hóa trong lỗ hổng) và được dùng có hiệu quả từ rất sớm để tìm kiếm khoáng sản chứa khoáng vật dẫn điện điện tử không đặc sít (quặng dẫn điện kém). Ngoài ra hiện tượng PCKT cũng quan sát thấy trong môi trường không có khoáng vật dẫn điện điện tử nhưng có các hạt sét, trong trầm tích chứa sét. Trong cát thạch anh sạch hoặc môi trường tương tự mà không có các khoáng vật sét thì không có hiện tượng PCKT. Loại hiện tượng này được dùng trong khảo sát địa chất thủy văn, xác định ranh giới nước mặn và nhạt và điều tra ô nhiễm môi trường. Trong cả hai loại môi trường trên, hiệu ứng PCKT chủ yếu là hiện tượng bề mặt nên hiệu ứng PCKT lớn khi quặng dẫn điện điện tử hoặc sét xâm tán hơn là đặc sít. Chỉ cần có 1 % thể tích các khoáng vật dẫn điện điện tử đủ để phát hiện ra đối tượng bằng phương pháp PCKT. Do vậy đây là phương pháp tìm kiếm chủ yếu nhiều loại mỏ quặng xâm tán dẫn điện điện tử quan trọng, nhất là mỏ đồng porphyr, chì/kẽm phân lớp và vàng liên quan với sulfur.

Cách thi công thực địa tương tự như đối với phương pháp điện trở suất, do vậy thường đo phối hợp điện trở suất với PCKT. Đôi khi cả trường điện tự nhiên, song thiết bị PCKT với nguồn phát điện công suất lớn, phức tạp và đo mất nhiều thời gian hơn nên chi phí lớn hơn nhiều. Việc đo PCKT được thực hiện với phát dòng xoay chiều tần thấp (0.1 đến 10) Hz nhưng phổ biến dùng dòng một chiều.

Ở Việt Nam từ những năm 1970, phương pháp PCKT được dùng với trạm VP-62 của Liên Xô để tìm kiếm pyrit ở Giáp Lai (Vĩnh Phú), đồng ở Sin Quyền (Lào Cai) và Tạ Khoa (Sơn La), chì - kẽm ở Chợ Điện (Bắc Kạn), v.v... Kết quả cho thấy phương pháp có hiệu quả trong tìm kiếm quặng xâm tán. Từ năm 2000, đã nhập các trạm PCKT



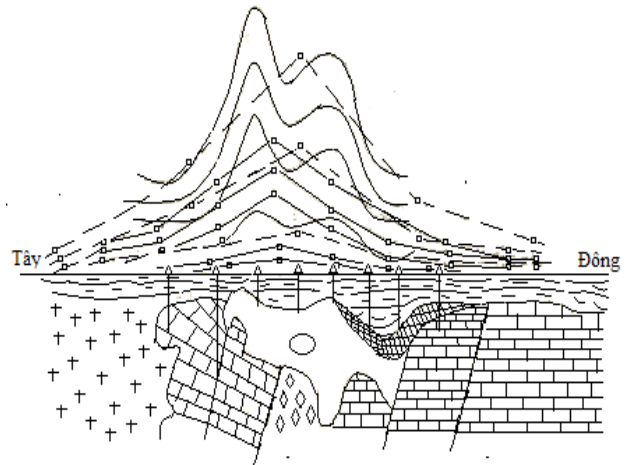
Hình 1. Kết quả đo sâu phân cực dòng xoay chiều trên tuyến T3 vùng Tà Phời (Lào Cai), giá trị pha ở tần số 0.125 Hz. Quặng đồng trong diorit biến đổi có ở LK12 trong khoảng (102-110) m, ở LK13 – (39-52) m với hàm lượng đồng trên 1%.

dòng một chiều của Canada và của Pháp, trạm dòng xoay chiều của Canada. Chúng được dùng có hiệu quả trong tìm kiếm quặng đồng ở Tà Phời [H.1] và vùng Vi kẽm (Lào Cai), thiếc ở Tây Nam Núi Pháo và ở Quỳ Hợp (Nghệ An), chì kẽm ở Bắc Kạn và Tuyên Quang, vàng ở Huế và Quảng Trị.

6. Phương pháp trường chuyển

Phương pháp trường chuyển khảo sát quá trình chuyển tiếp của trường điện từ, khi dòng điện một chiều trong nguồn phát bị ngắt đột ngột. Khi ngắt điện, dòng điện cảm ứng, thứ sinh, được tạo ra trong miền dẫn điện, ban đầu phân bố gần mặt đất, về sau theo thời gian truyền dần xuống sâu đồng thời tắt dần do tiêu hao nhiệt. Sự phụ thuộc độ sâu thâm của trường thứ sinh vào thời gian tạo ra khả năng đo sâu trường chuyển. Đo sâu được thực hiện bằng cách đo sức điện động của trường điện từ thứ sinh theo thời gian kể từ thời điểm ngắt dòng điện trong nguồn phát trường nguyên sinh.

Tuy nhiên, sự truyền trường điện từ thứ sinh phụ thuộc nhiều vào loại nguồn phát. Nguồn phát thường dùng là lưỡng cực điện và khung dây không nối đất. Trong khảo sát bồn chứa dầu khí, điện trở suất cao với môi trường vây quanh điện trở suất thấp, thường dùng loại nguồn phát lưỡng cực ở Liên Xô dùng cho trên đất liền từ những năm 1960, cho dưới đáy biển từ những năm 1970, ở các nước phương Tây từ những năm cuối 1990. Công nghệ trường chuyển giúp phân biệt bồn chứa hydrocarbon điện trở suất cao với bồn chứa nước hoặc đá phiến sét điện trở suất thấp. Phương pháp và công nghệ loại nguồn khung dây không nối đất, trải trên mặt đất để khảo sát đối tượng dẫn điện tốt (như quặng sulfur, graphit, nước dưới đất, v.v...) ở mặt đất và trong giếng khoan được nghiên cứu bắt đầu từ 1958 ở Trường Đại học Địa chất Thăm dò Moskva. Trong đó, sau khi ngắt dòng phát, đo biến thiên của trường từ thứ sinh (sức điện động) được thực hiện bằng chính khung dây phát hoặc bằng khung dây không nối đất nhỏ hơn ở bên trong khung dây phát. Gần đây mới có thể đo trường từ thứ sinh bằng loại từ kế thể hệ mới, đó là từ kế SQUID (Superconducting Quantum Interference Device, linh kiện giao thoa lượng tử siêu dẫn). Từ kế SQUID có độ nhạy rất cao, giúp nhận được ra tín hiệu của thân quặng dẫn điện rất tốt nằm trong môi trường dẫn điện của đá vây quanh hoặc nằm dưới lớp phủ dẫn điện.



Hình 2. Đồ thị $E(t)/I$ ($\mu V/A$) của các khung dây vuông, cạnh 100 (nét vẽ cong), 200 (nét vẽ thẳng liền), và 400 (nét vẽ đứt đoạn) m trên tuyến đông - tây qua trung tâm mỏ sắt Thạch Khê (màu trắng), Hà Tĩnh; trong đó $E(t)$ là sức điện động ở thời điểm t (ms) được ghi bằng số trên các đồ thị, I - cường độ trong nguồn phát của máy MPP-3 do Liên Xô sản xuất.

Phương pháp trường chuyển đã được dùng ở Việt Nam từ 1975 với bộ máy MPP-3 của Liên Xô. Trong hình 2 nêu kết quả đo trường chuyển bằng máy MPP-3 trên mỏ sắt Thạch Khê - Hà Tĩnh [H.2]. Ba đường đồ thị ứng với ba khung dây vuông, cạnh 100 m, 200 m và 400 m, thể hiện ảnh hưởng của các phần thân quặng tăng dần theo chiều sâu.

7. Phương pháp radar đất

Phương pháp radar đất (còn gọi là radar xuyên đất, georadar) dùng sóng điện từ tần số cao, khoảng 10 đến 2000 MHz để khảo sát nông với độ phân giải cao, được phát triển nhanh chóng trong khoảng ba chục năm qua. Nguyên lý cơ bản của radar đất tương tự như radar của bộ đội tên lửa, chỉ có điều radar đất hướng xuống đất để khảo sát dưới mặt đất. Bộ máy radar đất có anten phát và thu. Anten phát truyền xung sóng điện từ tần số cao xuống đất. Khi sóng truyền tới ranh giới giữa hai môi trường có hằng số điện môi khác nhau thì sóng thứ cấp được tạo ra, quay về anten thu, tương tự như truyền sóng đàn hồi trong địa chấn. Có 2 trường hợp xảy ra: 1). Nếu mặt ranh giới phẳng kéo dài (như các lớp trầm tích có hằng số điện môi khác nhau) sẽ có sóng phản xạ, 2) Nếu ranh giới ngắn, bằng hoặc nhỏ hơn bước sóng tới (như trường hợp đường ống, cáp điện, mìn, thùng kim loại, hang hốc, hố sụt, các bất đồng nhất trong đất, v.v...) hoặc tại rìa vát nhọn của vật thể sẽ tạo ra sóng nhiễu xạ.

Hằng số điện môi của không khí là 1, của nước lớn nhất (khoảng 80), của các vật chất khác thường trong khoảng 4 đến 20 phụ thuộc vào độ ẩm. Radar đất dùng có hiệu quả trong môi trường điện trở suất cao, như cát, cuội, sỏi, đá khô; trái lại trong môi trường điện trở suất thấp như sét ẩm, nước mặn thì sóng radar bị hấp thụ mạnh, không thể thu được tín hiệu sâu hơn khoảng một mét. Khi giảm tần số của anten phát thì độ sâu khảo sát tăng lên, nhưng đồng thời độ phân giải lại giảm. Bộ máy radar nhỏ, đo nhanh, hình ảnh mặt cắt sơ bộ thấy ngay khi đo, được dùng trong khảo sát nông tới khoảng một vài chục mét. Nó được dùng ngày càng rộng rãi trong khảo sát nông với độ phân giải cao như khảo sát độ ẩm đất đá và bê tông, cấu trúc đụn cát, trầm tích sông, môi trường ven biển, phát hiện tổ mối, đới khe nứt, hố sụt, công trình ngầm, đường ống, cáp ngầm, xác định chiều dày các lớp dưới mặt đường ô tô, khảo sát ô nhiễm môi trường (mìn, bãi thải, chất gây ô nhiễm hữu cơ lỏng, v.v...), khảo cổ, v.v...

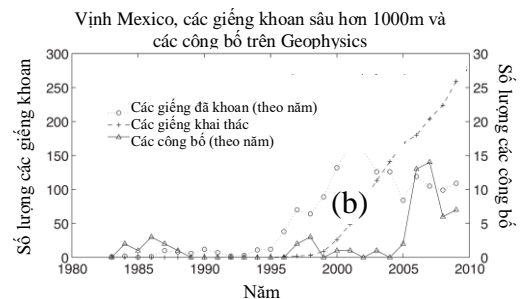
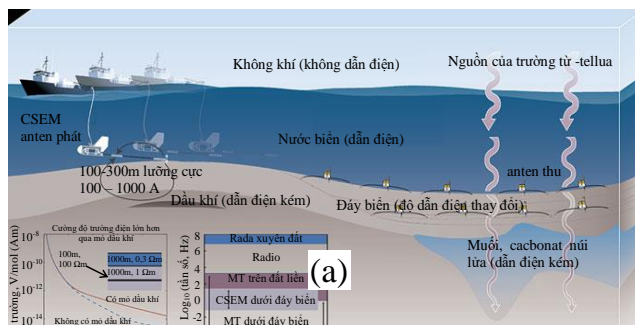
8. Phương pháp điện từ đáy biển

8.1. Các lĩnh vực nghiên cứu ứng dụng

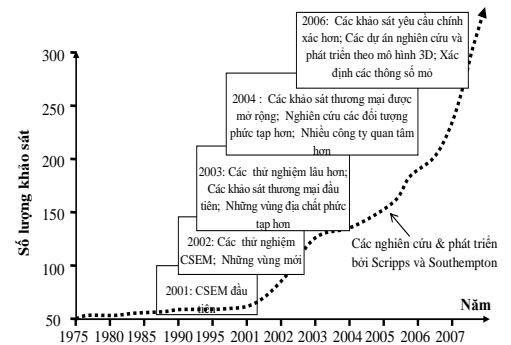
Trước đây các phương pháp thăm dò điện, điện từ không áp dụng được dưới đáy biển, vì môi trường biển dẫn điện rất tốt làm cho việc đo tín hiệu rất nhỏ bằng công nghệ cũ không thực hiện được. Ngày nay, nhờ sự phát triển của khoa học và công nghệ nên các phương pháp thăm dò điện tiến hành trên đất liền đều có thể thực hiện dưới đáy biển. Trên thế giới đã có rất nhiều ứng dụng của các phương pháp này để nghiên cứu vỏ Trái Đất như về kiến tạo, tách giãn đáy đại dương, động đất, núi lửa, thăm dò tìm kiếm

dầu khí, băng cháy (gas hydrate), khoáng sản rắn. Việt Nam có vùng lãnh hải rộng lớn nên việc nghiên cứu ứng dụng các phương pháp thăm dò đáy biển, trong đó có phương pháp điện từ đáy biển là công việc thực tiễn cấp thiết.

Trong các phương pháp điện từ đáy biển thì hai phương pháp từ-telur đáy biển (MMT) và điện từ nhân tạo đáy biển (MCSEM) được sử dụng phổ biến nhất. Chúng đã và đang được sử dụng và nghiên cứu, phát triển ở nhiều nơi trên thế giới, đặc biệt là ở Viện Hải dương Scripps (Mỹ), Đại học Toronto (Canada), Đại học Cambridge, và Trung tâm Hải dương học Southampton (Anh). Các phương pháp này đang được nghiên cứu và phát triển mạnh mẽ trong tổ hợp các phương pháp địa vật lý tìm kiếm thăm dò dầu khí [H. 3b].



Hình 3. (a) Mô hình minh họa thăm dò điện từ đáy biển. Phía trên bên trái là tàu tiến hành MCSEM kéo anten phát (lường cực điện) sát đáy biển, anten thu ghi trường điện từ là hàm của khoảng cách anten phát – thu. Bên phải thể hiện các trạm đo MMT. Bên dưới góc trái biểu diễn kết quả mô hình hoá và dải tần số sử dụng trong các phương pháp thăm dò điện từ, kết quả này cho thấy hiệu quả của phương pháp MCSEM phát hiện mỏ dầu khí. (Hình này được vẽ lại theo Satinder C. C. *et al.*, 2007). (b) Bên trên biểu diễn số lượng các giếng khoan sâu hơn 1000m ở vịnh Mexico và số lượng các công bố liên quan đến MCSEM trên tạp chí Geophysics từ năm 1980 (Steven C., 2010). Bên dưới biểu diễn sự phát triển của MCSEM (Satinder C. C. *et al.*, 2007).



8.2. Nguyên lý và quy trình áp dụng

Đặc điểm áp dụng các phương pháp điện từ đáy biển

Cơ sở lý thuyết của các phương pháp điện từ đáy biển cũng tương tự như các phương pháp thăm dò điện áp dụng trên đất liền. Tuy nhiên, khác biệt lớn nhất so với các phương pháp điện từ trên đất liền là ảnh hưởng của lớp nước biển. Nước biển đóng vai trò như bộ lọc tần số thấp làm cho tín hiệu giảm nhanh theo khoảng cách, do đó đòi hỏi kỹ thuật và công nghệ đo ghi có độ nhạy cao cũng như tính toán lý thuyết, xử lý số liệu với độ chính xác cao hơn.

Quy trình áp dụng

Các trạm đo MMT được neo cố định dưới đáy biển, đo 5 thành phần trường điện từ tự nhiên, gồm: 2 thành phần trường từ và hai thành phần trường điện đặt vuông góc, nằm ngang và 1 thành phần trường từ thẳng đứng. Trong phương pháp MCSEM, anten phát (lưỡng cực điện nằm ngang) và các anten thu (lưỡng cực điện hoặc từ thẳng đứng hoặc nằm ngang) có khoảng cách cố định đặt sát đáy biển. Quá trình đo được thực hiện liên tục và di chuyển hệ thiết bị đo bằng một tàu kéo. Nguồn phát sử dụng trường điện từ biến đổi theo thời gian hoặc theo tần số [H.3a]. Tùy theo mục đích nghiên cứu có thể thực hiện phép đo đáp ứng yêu cầu xử lý phân tích tài liệu theo quy trình một chiều (1D), hai chiều (2D) và ba chiều (3D) như các phương pháp điện từ trên đất liền.

Quy trình xử lý và phân tích tài liệu của các phương pháp điện từ đáy biển tương tự như các phương pháp trên đất liền. Tuy nhiên phương pháp điện từ đáy biển đòi hỏi các tính toán có độ chính xác và chi tiết cao về tham số của lớp nước biển, địa hình đáy biển, ranh giới giữa không khí và mặt biển.

9. Phương pháp đo sâu cộng hưởng từ

Hiện nay đo sâu cộng hưởng từ (ĐSCHT) là phương pháp địa vật lý duy nhất để khảo sát trực tiếp nước dưới đất từ mặt đất, dựa trên hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân. Muốn thực hiện đo sâu, trước hết phải đo giá trị trường địa từ B_0 bằng từ kế proton. Dưới tác dụng của B_0 các momen từ của proton thuộc nguyên tử hidro (như trong phân tử nước) quay đảo quanh phương của trường địa từ với tần số Larmor (f_L) theo biểu thức f_L (Hz) = $(\gamma/2\pi) B_0$ (nT), trong đó γ là tỉ số từ hồi chuyển, có giá trị khác nhau đối với các hạt nhân khác nhau. Sau đó phát xung dòng xoay chiều vào khung dây điện (thường có hình vuông cạnh 37,5 m, 75 m hoặc 150 m trải trên mặt đất, với tần số đúng bằng f_L để tạo ra cộng hưởng. Cuối cùng, sau khi ngắt xung dòng điện, các momen từ dao động với tần số f_L , hồi phục trở lại trạng thái ban đầu, tạo ra trường từ hồi phục; điện áp (tín hiệu) của nó cũng được đo bằng khung dây nói trên. Điện áp suy giảm với thời gian theo quy luật hàm mũ với hằng số T_2^* . Điện áp đo được ngay sau ngắt xung càng lớn khi proton càng nhiều. Proton có trong phân tử nước, dầu khí và trong phân tử ở thể rắn, chúng được phân biệt dựa vào đặc điểm hồi phục khác nhau, hằng số thời gian suy giảm khác nhau do mức độ linh động khác nhau. Proton trong phân tử chất rắn suy giảm rất nhanh (T_2^* quá nhỏ). Trong đất-đá lỗ hổng các proton trong phân tử chất lỏng khi dao động luôn va chạm với bề mặt chất rắn, tiêu hao năng lượng nhanh, hạt nhân ở trong lỗ hổng lớn hơn có T_2^* lớn hơn. Tín hiệu cộng hưởng từ rất nhỏ, còn nhiều điện từ thường lớn và ở đâu cũng có. Đó là khó khăn lớn nhất cho việc áp dụng ĐSCHT với công nghệ hiện nay; do vậy không thể dùng nó ở vùng có nhiều điện từ mạnh như gần đường dây tải điện, khu công nghiệp, thị trấn, v.v... Độ sâu khảo sát của ĐSCHT khoảng chừng bằng cạnh khung dây vuông, không quá 150 m. Máy NUMIS^{Plus} để ĐSCHT đã có ở Việt Nam từ cuối năm 2005, được dùng trong khảo sát nước khe nứt – karst ở Lai Châu.

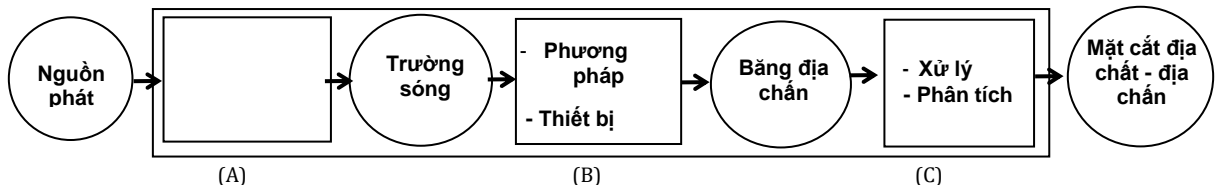
Tài liệu đọc thêm

- Jol H.M.(Editor), 2009. Ground Penetrating Radar_Theory and Applications. *Elsevier*. 543 p.
- Key K., 2012. Marine electromagnetics studies of seafloor resources and tectonics. *Surveys in Geophysics*: 135-167. Springer.
- Loke M., 2009. Tutorial : 2-D & 3-D electrical imaging surveys. 153 p. www.geoelectrical.com.
- Ngô Văn Bru, Tăng Đình Nam, 2010. Ảnh hưởng của các tham số nghịch đảo tới kết quả đo sâu cộng hưởng từ trong khảo sát nước khe nứt – karst tương đối sâu ở Nậm Loỏng, Lai Châu với nhiễu điện từ lớn. *Địa chất*. A/317-318: 81-93. Hà Nội.
- Ngô Văn Bru, Nguyễn Trần Tân, 1985. Những khả năng của phương pháp trường chuyển đổi với vùng mỏ sắt Thạch Khê - Hà tĩnh. *Vật lý Địa chất*. 3: 97-100. Tổng cục Địa chất, Liên đoàn Vật lý Địa chất, Hà Nội.
- Nigel E., 2005. Marine controlled source electromagnetics: Principles, methodologies, future commercial applications. *Surveys in Geophysics*: 675-700. Springer.
- Satinder C. C., Kurt S., Cengiz E., and Norman A., 2007. Introduction to this special section: CSEM. *The Leading Edge*: 323-325.
- Spichak V. V. (Editor), 2006. Electromagnetic sounding of the Earth's interior. *Methods in Geochemistry and Geophysics*. Volume 40: 380 p. Elsevier.
- Steven C., 2010. Ten years of marine CSEM for hydrocarbon exploration. *Geophysics*. Vol. 75, No. 5: 75A67-75A81.
- Thakur N.R. and Rajput S., 2011. Exploration of gas hydrates: Geophysical techniques. *Springer*. 293 p.
- Yaramanci U., Müller-Petke M., 2009. SNMR - A unique tool for hydrogeophysics. *The Leading Edge*. 28/10: 1240-1247.
- Zhdanov M.S., 2010. Electromagnetic geophysics: Notes from the past and the road ahead. *Geophysics*. 75/5: 75A49–75A66.
- Zhdanov M. S., 2009. Geophysical Electromagnetic Theory and Methods. *Methods in Geochemistry and Geophysics*, Volume 43: 831. Elsevier.
- Комаров В. А, 1980. Электроразведка методом вызванной поляризации. 392стр. Ленинград “Недра”. Ленинградское отделение.
- Якубовский Ю. В., Ренард И. В., 1991. Электроразведка. *Высшее Образование. Ленинградское отделение. Москва “Недра”*. 360 стр.

Chương 4. Thăm dò Địa chấn

1. Giới thiệu

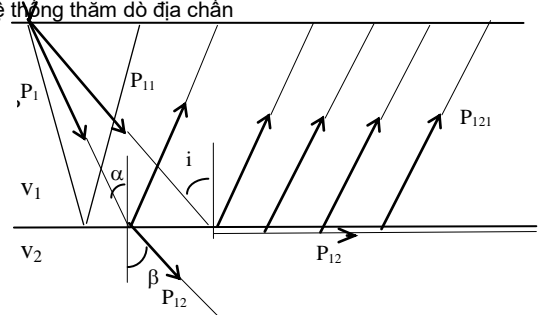
Thăm dò địa chấn là phương pháp địa vật lý nghiên cứu quá trình truyền sóng đàn hồi trong lòng đất khi tiến hành phát và thu sóng ở trên bề mặt, nhằm xác định đặc điểm cấu trúc và bản chất môi trường địa chất. Để tiến hành thăm dò địa chấn, cần phát dao động đàn hồi bằng nổ mìn, rung, đập (khảo sát trên đất liền) hoặc ép hơi (khảo sát trên biển). Các dao động này truyền trong môi trường dưới dạng sóng đàn hồi. Khi gặp các mặt ranh giới có khác biệt về tính chất đàn hồi thì sẽ hình thành các sóng thứ sinh (sóng phản xạ, khúc xạ, tán xạ, v.v...). Bằng hệ thống máy móc đặt ở trên mặt có thể thu nhận và ghi lại các dao động sóng trên các băng địa chấn. Qua quá trình xử lý và phân tích tài liệu có thể tạo ra các mặt cắt, các bản đồ và các thông tin khác phản ánh đặc điểm hình thái và bản chất môi trường vùng nghiên cứu. Mô hình khái quát hệ thống địa chấn được thể hiện trên hình 1 [H.1]. Sự hình thành sóng phản xạ (P_{11}) và sóng khúc xạ (P_{121}) trong môi trường 2 lớp có tốc độ v_1 và v_2 được thể hiện trên hình 2 [H.2].



Hình 1. Sơ đồ khái quát hệ thống thăm dò địa chấn

2. Cơ sở thăm dò địa chấn

Thăm dò địa chấn nghiên cứu quá trình truyền sóng đàn hồi trong đất-đá. Do lực tác dụng của sóng nhỏ và thời gian tác dụng ngắn nên có thể coi đất-đá là môi trường đàn hồi và có thể sử dụng các cơ sở của lý thuyết đàn hồi. Trong thăm dò địa



Hình 2. Sự hình thành sóng phản xạ P_{11} và sóng khúc xạ P_{121}

chấn, các đặc điểm động học của trường sóng (thời gian, quãng đường, tốc độ truyền sóng, v.v...) thường được sử dụng để xác định hình thái cấu trúc (đặc điểm các mặt ranh giới, đứt gãy, cấu trúc địa chất, v.v...). Tuy nhiên, để xác định các tham số liên quan đến bản chất môi trường (địa tầng, thạch học, tướng đá, v.v...) cần sử dụng cả các đặc điểm động lực của trường sóng (hình dạng, biên độ, phổ tần số, v.v...). Hiện nay có 2 nhóm phương pháp địa chấn chính là địa chấn phản xạ và địa chấn khúc xạ.

2.1. Phương pháp địa chấn phản xạ

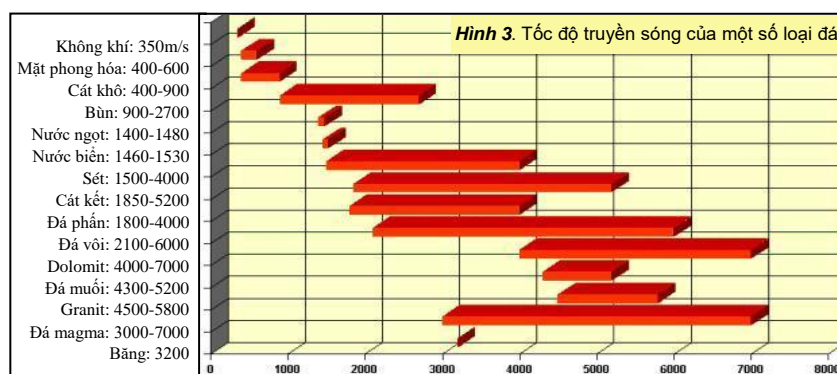
Phương pháp địa chấn phản xạ nghiên cứu sóng phản xạ từ các mặt ranh giới có khác biệt về mật độ (ρ) và tốc độ truyền sóng (v): ($\rho_i v_i \neq \rho_{i+1} v_{i+1}$). Tùy thuộc vào mục

đích và đối tượng khảo sát, có các phương pháp khác nhau: *a*). Địa chấn hai chiều (2D) phát và thu sóng theo từng tuyến để thu được các mặt cắt địa chấn theo tuyến đó; *b*). Địa chấn 3 chiều (3D) phát và thu sóng đồng thời trên nhiều tuyến (hoặc trên diện tích) để thu được khối tài liệu trong không gian, cho phép tăng độ chính xác và tỉ mỉ hơn so với địa chấn 2D; *c*). Địa chấn nhiều thành phần (4C) bố trí máy thu sát đáy biển để có thể thu đồng thời cả sóng dọc (P) và sóng ngang (S); *d*). Địa chấn lặp theo thời gian (4D) tiến hành khảo sát sau những khoảng thời gian nhất định để nghiên cứu sự biến đổi của môi trường theo thời gian; *e*). Địa chấn phân giải cao (HRS) sử dụng dải tần cao để khảo sát tỉ mỉ các tầng nông, v.v...

2.2. Phương pháp địa chấn khúc xạ

Phương pháp địa chấn khúc xạ nghiên cứu sóng khúc xạ từ các mặt ranh giới có tốc độ truyền sóng lớp dưới lớn hơn lớp trên ($v_{i+1} > v_i$), quay trở về bề mặt quan sát do hiện tượng phản xạ toàn phần khi quan sát cách nguồn nổ một khoảng nhất định. Phương pháp này dùng để nghiên cứu cấu trúc sâu khi sử dụng dải tần thấp và nghiên cứu các mặt ranh giới khúc xạ nông khi sử dụng dải tần cao.

Ngoài các phương pháp địa chấn trên mặt, khi tuyến quan sát được bố trí dọc theo giếng khoan thì có phương pháp địa chấn giếng khoan nghiên cứu sóng trực tiếp từ nguồn phát đến máy thu nhằm xác định tốc độ truyền sóng và kiểm tra độ sâu các



mặt ranh giới phản xạ. Một phương pháp khác nữa là phương pháp tuyến địa chấn thẳng đứng (VSP) nghiên cứu các loại sóng khác nhau đến máy thu nhằm xác định bức tranh sóng phục vụ cho quá trình phân tích tài liệu địa chấn trên mặt.

2.3. Tốc độ truyền sóng địa chấn

Tốc độ truyền sóng địa chấn là tham số rất quan trọng trong thăm dò địa chấn. Các loại đá khác nhau có tốc độ truyền sóng khác nhau phụ thuộc vào thành phần thạch học, điều kiện thành tạo, tuổi, độ sâu, thể nằm, độ rỗng, độ ngậm nước, v.v... Trên hình 3 [H.3] thể hiện giá trị tốc độ của một số loại đá. Để phục vụ cho các nhiệm vụ khác nhau, ngoài tốc độ thực của các loại đá có thể sử dụng nhiều khái niệm tốc độ khác như tốc độ lớp (v_l) là tốc độ trung bình của một lớp địa chất, tốc độ trung bình (v_{tb}) là tốc độ được tính từ mặt quan sát đến một độ sâu nào đó, tốc độ điểm sâu chung (v_{DSC}) là tốc độ được xác định bằng phân tích tài liệu địa chấn DSC, tốc độ ranh giới (v_{rg}) là tốc độ của loại đá tạo nên mặt ranh giới khúc xạ, tốc độ biểu kiến (v^*) là tốc độ được tính theo tuyến quan sát, v.v...

3. Phát và thu sóng địa chấn

3.1. *Phát sóng địa chấn*

Trong thăm dò địa chấn, tùy thuộc điều kiện khác nhau khi tiến hành trên đất liền, trên biển, sông hồ, hầm lò, v.v... mà sử dụng các loại nguồn phát sóng bằng nguồn nổ và nguồn không nổ.

Khi phát sóng bằng nguồn nổ, quả mìn được đặt vào đáy hố khoan trong lớp đất mềm dẻo, ngậm nước. Để tăng hiệu quả phát sóng cần chọn các thông số thích hợp như lượng thuốc nổ, chiều sâu đặt nguồn nổ, ghép nhóm nguồn nổ, v.v... Các nguồn không nổ gồm va đập, rung, ép hơi, v.v... Loại nguồn va đập phát sóng bằng việc nện búa lên mặt đất, được sử dụng khi khảo sát chiều sâu không lớn. Nguồn rung dựa vào các lực điện từ sinh ra trong cuộn cảm khi dòng điện xoay chiều chạy qua trong trường từ của nam châm điện. Khi tiến hành thăm dò địa chấn trong môi trường nước (biển, sông, hồ, v.v...), cần dùng nguồn không nổ như khí nén, nổ hỗn hợp khí, điện - thủy lực, v.v... Nguồn nén khí (súng hơi) giải phóng một lượng khí nén với áp lực cao trong một buồng chứa khí qua một lỗ thoát nhỏ vào môi trường nước. Nguồn Sparker hoạt động qua quá trình phóng năng lượng điện được phóng từ một tổ hợp điện cực cho độ sâu khảo sát đến vài trăm mét. Nguồn Boome là loại nguồn cơ điện hoặc điện động cho độ sâu khảo sát vài chục mét.

3.2. *Thu sóng địa chấn*

Hệ thống máy thu được bố trí theo các tuyến nhằm thu nhận các dao động cơ học, biến đổi ra tín hiệu điện để chuyển về các trạm địa chấn. Các tín hiệu địa chấn được khuếch đại, lọc tần số, điều chỉnh biên độ và ghi lên các băng từ. Hiện nay các trạm địa chấn có nhiều mạch và thực hiện theo nguyên tắc ghi số.

Trong thăm dò địa chấn trên đất liền, máy thu được chế tạo theo nguyên tắc cảm ứng điện từ, biến đổi dao động cơ học thành các tín hiệu điện. Trong thăm dò địa chấn trên sông và biển, máy thu được sử dụng dựa trên cơ sở biến đổi trực tiếp áp suất cơ học của môi trường thành dòng điện nhỏ bằng các phần tử áp điện (như tinh thể bari titanat, bari zircon).

4. Xử lý số liệu địa chấn

Xử lý số liệu địa chấn là quá trình áp dụng hệ thống các thiết bị máy tính và các chương trình phần mềm chuyên dụng nhằm khai thác và biến đổi thông tin nhận được từ các băng địa chấn thu được ngoài thực địa thành các mặt cắt địa chấn (hoặc các khối địa chấn 3D) có chất lượng tốt phản ánh trung thực đặc điểm môi trường và đối tượng cần nghiên cứu. Quá trình xử lý số liệu có các nội dung chính như sau.

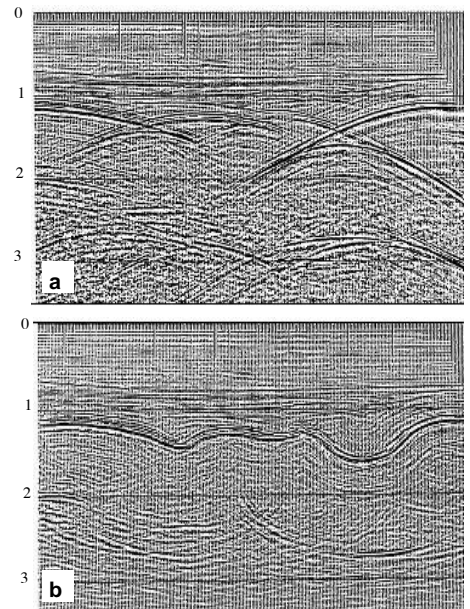
- Chuyển đổi và sắp xếp số liệu từ băng địa chấn thực địa vào máy tính.

- Hiệu chỉnh tĩnh để loại bỏ ảnh hưởng của các yếu tố bất đồng nhất ở trên mặt có liên quan đến điều kiện thu và phát sóng.

- Sử dụng các bộ lọc khác nhau để hạn chế nhiễu, tăng độ phân giải. Với các loại nhiễu ngẫu nhiên cần sử dụng hiệu ứng thống kê (ghép nhóm nguồn phát, nhóm máy thu, cộng sóng giữa các mạch khác nhau v.v...). Với các loại nhiễu có quy luật (sóng mặt, sóng lặp nhiều lần, sóng khúc xạ v.v...) cần lọc sóng theo từng mạch hoặc nhiều mạch. Việc lọc sóng theo từng mạch, chủ yếu dựa vào sự khác biệt về tần số giữa sóng có ích và nhiễu. Khi phổ tần số của tín hiệu và nhiễu tách biệt nhau thì sử dụng các bộ lọc với dải tần số phù hợp (bộ lọc tần cao, lọc tần thấp, lọc dải). Khi phổ tín hiệu và nhiễu không tách biệt rõ ràng thì phải chọn các tiêu chuẩn tối ưu cho từng bộ lọc (bộ lọc phát hiện, bộ lọc Wiener, bộ lọc nén xung, bộ lọc tiên đoán và sai số tiên đoán, bộ lọc chỉnh dạng, v.v...). Việc lọc sóng theo nhiều mạch chủ yếu dựa vào sự khác biệt về tốc độ truyền sóng như các bộ lọc: Randon, Tau-P, F-K, v.v...

- Hiệu chỉnh động, phân tích tốc độ và cộng sóng. Hiệu chỉnh động là quá trình hiệu chỉnh ảnh hưởng khoảng cách thu phát nhằm chuyển máy thu ở các vị trí khác nhau về tại nguồn phát; nói cách khác là biến đổi các trục đồng pha của sóng phản xạ có dạng hypebon (hyperbole) về đường thẳng để cộng sóng đồng pha nhiều mạch khác nhau. Quá trình cộng sóng cho phép tăng cường sóng phản xạ và hạn chế nhiễu. Để hiệu chỉnh động chính xác cần phải xác định được đúng quy luật biến đổi tốc độ theo chiều sâu (bằng phân tích tốc độ trên mặt cắt địa chấn).

- Dịch chuyển địa chấn. Các tín hiệu địa chấn mang các thông tin về các yếu tố phản xạ trong môi trường địa chất thường bị sai lệch khi thể hiện trên mặt cắt địa chấn do các yếu tố khác nhau. Các sai lệch về vị trí và hình ảnh thực của các yếu tố phản xạ thường xảy ra như xuất hiện các đường cong tán xạ tại các đứt gãy hoặc đới vật nhọn, sự sai lệch vị trí và độ nghiêng ở các sườn nghiêng của nếp lồi, nếp lõm, v.v... Dịch chuyển địa chấn là quá trình biến đổi trường sóng ghi được trên bề mặt để có hình ảnh thực của các yếu tố phản xạ trên mặt cắt. Đây là bước xử lý quan trọng nhằm làm cho các mặt cắt địa chấn phản ánh tốt nhất đặc điểm địa chất. Trên hình 4 [H.4] thể hiện ví dụ so sánh mặt cắt địa chấn trước và sau dịch chuyển địa chấn. Quá trình dịch chuyển có thể thực hiện theo thời gian hay theo chiều sâu. Quá trình hiệu chỉnh động và cộng sóng thường làm trung bình hóa các bất đồng nhất theo chiều ngang liên quan đến sự biến đổi thành phần thạch học, do đó ngoài dịch chuyển sau khi cộng sóng, để tăng độ chính xác có thể phải dịch chuyển trước khi cộng sóng. Hiện nay có các phương pháp



Hình 4. So sánh mặt cắt địa chấn trước (a) và sau dịch chuyển địa chấn (b)

dịch chuyển khác nhau như dịch chuyển Kirchhoff (hay biến đổi tán xạ), dịch chuyển tần số - số sóng F-K, dịch chuyển vi phân hữu hạn. Dịch chuyển Kirchhoff được sử dụng rất phổ biến và còn được thực hiện theo chùm tia sóng. Dịch chuyển địa chấn đòi hỏi khối lượng tính toán lớn, vì vậy việc lựa chọn phương pháp dịch chuyển phụ thuộc vào mức độ phức tạp của cấu trúc địa chất và kinh phí xử lý.

5. Phân tích tài liệu địa chấn

Phân tích tài liệu địa chấn là quá trình xác định mối quan hệ giữa đặc điểm của trường sóng (thời gian, tốc độ truyền sóng, tần số, biên độ, năng lượng sóng, v.v...) với các đặc điểm địa chất (các yếu tố cấu kiến tạo, đứt gãy, đặc điểm địa tầng, môi trường trầm tích, v.v...) nhằm giải thích ý nghĩa địa chất từ tài liệu địa chấn. Nội dung phân tích tài liệu địa chấn bao gồm phân tích cấu trúc, phân tích địa tầng trầm tích.

5.1. Phân tích cấu trúc

Phân tích cấu trúc nhằm xác định các mặt ranh giới địa tầng, bề dày các tập trầm tích, các đứt gãy, các yếu tố cấu trúc kiến tạo, v.v... từ đó thành lập các loại bản đồ (đẳng sâu, đẳng dày, v.v...), liên kết với tài liệu các giếng khoan và các tài liệu địa chất khác để rút ra các kết luận về địa chất. Quá trình phân tích cấu trúc bao gồm các công đoạn sau đây.

- *Phân tích mặt cắt địa chấn.* Xác định ranh giới phân chia các phân vị địa tầng trên cơ sở nhận dạng các dấu hiệu trường sóng liên quan như ranh giới đáy (gá đáy, phủ đáy, bao bọc), ranh giới nóc (bào mòn cắt xén, chống nóc, đào khoét, v.v...). Xác định các đặc điểm cấu tạo, kiến tạo (đứt gãy, nếp lồi, nếp lõm, đới phá hủy) trên cơ sở các dấu hiệu biến đổi trường sóng.

- *Liên kết tài liệu địa chấn với tài liệu giếng khoan.* Từ tài liệu giếng khoan có thể xác định được ranh giới địa tầng, sự phân bố của tốc độ, mật độ và hệ số phản xạ, nếu tích chập hệ số phản xạ với dạng xung sóng sẽ thành lập được băng địa chấn tổng hợp. So sánh băng địa chấn thực tế và băng địa chấn tổng hợp cho phép kiểm tra và tăng độ chính xác các kết quả phân tích tài liệu địa chấn trên mặt (ranh giới địa tầng, phát hiện nhiễu, v.v...).

- *Thành lập bản đồ.* Trên cơ sở liên kết các mặt cắt địa chấn có thể thành lập các bản đồ (đẳng thời, đẳng sâu, đẳng dày, phân bố tướng, v.v...). Bản đồ đẳng sâu được chuyển từ bản đồ đẳng thời với mối quan hệ $h = v(t)t/2$, trong đó quy luật tốc độ $v(t)$ đã được xác định.

5.2. Địa chấn địa tầng

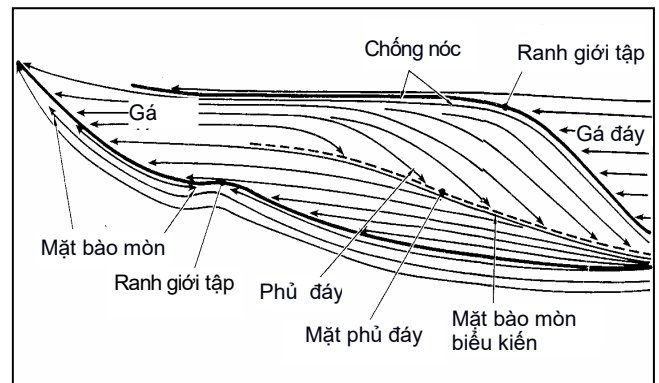
Địa chấn địa tầng là quá trình phân tích tài liệu địa chấn nhằm làm sáng tỏ đặc điểm địa tầng của môi trường địa chất như các phân vị địa tầng, sự phân bố tướng, môi trường trầm tích, v.v... phục vụ đắc lực cho giải quyết các nhiệm vụ địa tầng dầu .

Địa tầng dây là lĩnh vực nghiên cứu địa tầng cho phép làm sáng tỏ quá trình phát triển địa chất, xác định mối quan hệ giữa các yếu tố về đặc điểm trầm tích, hoạt động kiến tạo và chu kỳ thay đổi mực nước biển. Điều này cho phép xác định nguồn gốc, đặc điểm tương, quy luật chu kỳ phát triển của các hệ thống trầm tích, dây trầm tích.

Vì mối quan hệ chặt chẽ của 2 lĩnh vực này nên ngày nay người ta thường sử dụng thuật ngữ chung “địa chấn địa tầng dây” (seismic sequence stratigraphy).

5.1.1. Nguyên tắc và quan điểm về Địa tầng dây

Sự thay đổi mực nước biển tương đối (nâng lên và hạ xuống) mang tính chu kỳ và có mối quan hệ với chu kỳ trầm tích trong quá trình biển tiến (đường bờ dịch về phía đất liền) và biển lùi (đường bờ dịch ra biển) để hình thành những dây trầm tích. Quá trình biển tiến chỉ xảy ra khi mực nước biển nâng lên, trong khi đó quá trình biển lùi có thể xảy ra không chỉ khi mực nước biển hạ xuống (biển lùi bắt buộc) mà cả khi mực nước biển nâng lên với tốc độ trầm tích nhỏ (biển lùi bình thường). Một dây trầm tích hoàn chỉnh phải có đầy đủ một chu kỳ với cả quá trình biển tiến - biển lùi và bao gồm các hệ thống trầm tích đặc trưng cho các giai đoạn biển tiến và biển lùi như hệ thống trầm tích biển thấp (Lowstand System Tract/ LST), hệ thống trầm tích biển cao (Highstand System Tract/HST), hệ thống trầm tích biển tiến (Transgressive System Tract/TST), hệ thống biển lùi bắt buộc (Forced Regressive system tract/FRST), v.v... Tùy thuộc mức phân chia dây trầm tích khác nhau của các loại bồn trầm tích mà có các loại mô hình dây khác nhau như dây cùng nguồn gốc (Genetic Sequence/GS), dây biển tiến - biển lùi (Transgressive - Regressive Sequence/T-RS, dây tích tụ (Depositional Sequence/DS).



Hình 5. Mô hình phân tích dây trầm tích theo tài liệu địa chấn

Nhiệm vụ quan trọng của địa chấn địa tầng là phải nhận dạng để xác định loại mô hình dây phù hợp, phát hiện các mặt ranh giới địa tầng phân chia các dây trầm tích và các hệ thống trầm tích như mặt bất chỉnh hợp bào mòn (Subaerial Unconformity/SU), mặt chỉnh hợp đối sánh (Correlative Conformity/CC), mặt ngập lụt cực đại (Maximum Flooding Surface/MFS), mặt biển tiến (Transgressive Surface/TS), v.v..., xác định đặc điểm tương trầm tích trong các dây, v.v...

5.1.2. Nhận dạng dây trầm tích trên tài liệu địa chấn

Việc phân tích các dây liên quan đến một chu kỳ trầm tích có vai trò rất quan trọng trong phân tích địa chấn địa tầng. Để phân tích các dây cần dựa trên cơ sở xác định đặc điểm các ranh giới có liên quan bằng các dấu hiệu của địa chấn địa tầng. Các mặt ranh giới cần xác định bao gồm các mặt bất chỉnh hợp gián đoạn trầm tích và các mặt ranh

giới khác như mặt mặt biển tiến, mặt ngập lụt cực đại, v.v.... Thí dụ mô hình phân tích dây trầm tích theo tài liệu địa chấn được minh họa trên [H.5].

5.1.3. Nhận dạng hệ thống trầm tích

Để phân tích các hệ thống trầm tích trên mặt cắt địa chấn cần sử dụng các dấu hiệu về trường sóng địa chấn và hình thái các mặt ranh giới phản xạ, đặc biệt là vị trí phân bố các hệ thống trầm tích. Hệ thống trầm tích biển thấp có các dấu hiệu quạt đáy bẻ, quạt sườn, v.v... trong quá trình biển lùi bắt buộc, các nêmlấn trong quá trình biển lùi bình thường. Hệ thống trầm tích biển tiến có trường sóng liên quan đến nêmlấn chonglùi vào bờ trong quá trình biển tiến vào bờ, ra xa bờ tồn tại các dây trầm tích sét mỏng đặc sít, v.v... Điểm đặc trưng của trầm tích bãi bồi và cửa sông là có trường sóng phản xạ nằm ngang, không liên tục, xiên chéo, kém ổn định và chứa những dấu tích của sóng lạch đào khoét. Điểm đặc trưng của hệ thống trầm tích biển cao là có các nêmlấn dạng xicma trong quá trình biển lùi bình thường khi mực nước biển ở mức cao, các nêmlấn này nằm trên nóc hệ thống trầm tích biển tiến có ranh giới là mặt ngập lụt cực đại. Nóc của hệ thống trầm tích biển cao là mặt bào mòn với sự xuất hiện các thành tạo bãi bồi phát triển rộng khắp trên phần thềm mở rộng.

5.1.4. Phân tích tương trầm tích

- *Phân tích đặc điểm trường sóng địa chấn.* Để phân tích đặc điểm tương địa chấn, cần xác định các đặc điểm trường sóng như hình thái và tính phân lớp của các yếu tố phản xạ (đơn giản, phức tạp, độ thừa, mau, v.v...); tính ổn định của trường sóng (sự liên tục hay gián đoạn, độ uốn lượn của các trục đồng pha, v.v...); cường độ và tần số của sóng phản xạ. Mỗi hình dáng riêng của đường ghi sóng phản xạ và kiểu cách xếp lớp của chúng đều phản ánh một quá trình lắng đọng trầm tích, hay nói cách khác là phản ánh phương thức lắng đọng.

- *Phân tích tương và dự báo môi trường trầm tích.* Tương địa chấn là một phần của dây địa chấn bao gồm tập hợp các yếu tố phản xạ có đặc điểm tương tự nhau, có sự khác biệt so với các phần xung quanh. Sự khác biệt về trường sóng địa chấn của tương địa chấn phản ánh sự thay đổi tương trầm tích. Để phân tích sự biến đổi tương, cần dựa vào đặc trưng trường sóng như đặc điểm phân lớp phản xạ, tốc độ truyền sóng, biên độ và phổ tần số, v.v... Ngoài ra còn phải sử dụng các thông tin địa chất từ các số liệu khoan và địa chất có liên quan. Trên các mặt cắt địa chấn, tương được xác định chủ yếu dựa vào hình thái các mặt phản xạ và tính năng phản xạ sóng. Có thể phân chia tương địa chấn có đặc điểm khác nhau như tương lục địa, tương chuyển tiếp và tương biển.

6. Các kỹ thuật đặc biệt trong thăm dò địa chấn.

Trong những năm gần đây, việc nâng cao hiệu quả của phương pháp thăm dò địa chấn nhằm xác định trực tiếp đặc điểm và bản chất của đối tượng nghiên cứu có những bước phát triển đáng kể. Những thành tựu đạt được cho phép khai thác triệt để các

thông tin của trường sóng (tốc độ sóng dọc và sóng ngang, biên độ, tần số, sự suy giảm năng lượng, v.v...) liên quan đến bản chất của đối tượng nghiên cứu.

6.1. Nghiên cứu sự biến đổi biên độ sóng phản xạ theo khoảng cách thu phát (Amplitude Versus Offset – AVO)

Trong thăm dò địa chấn, khi quan sát ở gần nguồn phát, có thể coi các tia sóng phản xạ đến máy thu gần như thẳng góc (góc đổ $\theta = 0$) và hệ số phản xạ được xác định là một hằng số $R(0) = (I_2 - I_1) / (I_2 + I_1)$, trong đó trở kháng âm học $I = \rho v$, với v là tốc độ và ρ là mật độ. Tuy nhiên khi quan sát ở các khoảng cách xa nguồn với $\theta \neq 0$, do các mặt ranh giới phản xạ có trở kháng âm học (I) và hệ số Poisson (σ) khác nhau sẽ dẫn tới sự thay đổi biên độ sóng phản xạ theo khoảng cách (hay là theo góc đổ). Khi đó có thể biểu diễn bằng công thức gần đúng: $R(\theta) = P + G \sin^2(\theta)$, với $P=R(0)$ là hệ số không đổi khi góc đổ $\theta = 0$, G là hệ số biến đổi.

Nghiên cứu sự biến đổi biên độ theo khoảng cách cho phép làm sáng tỏ đặc điểm trở kháng âm học và hệ số Poisson. Các tham số này xác định bản chất của tầng chứa dầu khí, các mặt ranh giới tiếp xúc dầu/khí, khí/nước, v.v...

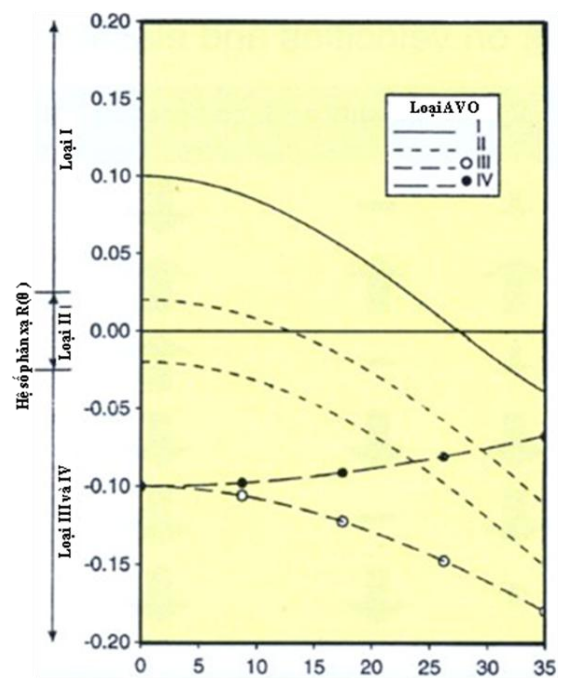
Có thể phân chia bất thường AVO ra các loại khác nhau [H.6]:

- AVO loại I: có biên độ dương cao ở gần nguồn phát và giảm dần theo khoảng cách, có thể phân cực trở thành âm ở khoảng cách xa. AVO loại I đại diện tương đối cho mối liên hệ của vỉa cát chặt sát với hydrocarbon, đây là những loại khó phát hiện từ tài liệu địa chấn.

- AVO loại II: có biên độ nhỏ (dương hoặc âm) ở gần nguồn phát và càng âm dần theo khoảng cách. Nếu biên độ dương ở gần nguồn phát thì khi giảm dần theo khoảng cách có thể phân cực trở thành âm. AVO loại II đại diện cho loại cát sạch chứa hydrocarbon, thường xuất hiện như là mặt phản xạ âm yếu.

- AVO loại III: có giá trị biên độ âm lớn ở gần nguồn phát và càng âm hơn theo khoảng cách, dị thường này thể hiện các vỉa cát kết chứa khí có độ rỗng lớn và có thể dễ thấy trên tài liệu địa chấn.

- AVO loại IV: có giá trị biên độ âm lớn ở gần nguồn phát nhưng mức độ âm giảm dần theo khoảng cách (hệ số $G > 0$). Dị thường AVO loại IV hiếm gặp nhưng xuất hiện khi cát kết chứa khí có độ rỗng cao, chắn bởi các tầng sét cứng có tỷ số V_p / V_s cao hơn chút ít so với đá chứa.



Hình 6. Phân loại AVO

Phân tích AVO bao gồm phân tích định tính và định lượng. Phân tích định tính được sử dụng để tìm ra dị thường AVO liên quan đến các vỉa dầu khí, gồm các phương pháp khác nhau như phân tích băng điểm giữa chung với khoảng cách thu nổ khác nhau, phân tích hệ số cố định P và hệ số biến đổi G, phân tích đồ thị, v.v...

Phân tích định lượng cần xác định các tham số địa chấn (tốc độ, mật độ, v.v...) phục vụ phân tích thạch học nhằm xác định trực tiếp các dấu hiệu dầu khí. Phân tích AVO định lượng gồm 2 bước chính: mô phỏng AVO thuận và nghịch đảo AVO.

6.2. Địa chấn lặp theo thời gian (*Time lapse seismic – 4D*)

Trong quá trình khai thác và phát triển mỏ, các điều kiện tự nhiên như áp suất, nhiệt độ, độ bão hoà, ranh giới chất lỏng và chất khí trong các tầng sản phẩm, v.v... có sự biến đổi. Sự biến đổi này dẫn tới sự biến đổi của các tham số vật lý như trở sóng âm học, hệ số Poisson, độ truyền sóng, v.v... vì vậy sau một thời gian khai thác, bức tranh sóng địa chấn có sự thay đổi phản ánh sự thay đổi của mô hình mỏ. Phương pháp khảo sát địa chấn ở các thời gian khác nhau của quá trình khai thác phục vụ cho việc đánh giá chính xác mô hình mỏ, nâng cao hiệu quả phát triển và quản lý mỏ được gọi là “địa chấn lặp theo thời gian” hoặc “địa chấn 4D”.

Để áp dụng có hiệu quả phương pháp này cần bảo đảm điều kiện thực địa và xử lý tài liệu đồng nhất trong các lần khảo sát khác nhau. Cần hạn chế đến mức thấp nhất những sai khác do điều kiện thu nổ, trắc địa định vị, chương trình xử lý, v.v... cho phép khai thác tốt các thông tin về sự thay đổi đặc điểm tầng chứa.

6.3. Địa chấn nhiều thành phần (*Multicomponent seismic – 4C*)

Trong thăm dò địa chấn biển, cáp thu đặt trong môi trường nước nên chỉ thu được sóng dọc (sóng P). Khi cần xác định thành phần thạch học, đặc điểm chất lỏng chứa trong lỗ rỗng của đá, xác định các tham số đàn hồi, v.v... thì việc chỉ sử dụng sóng dọc dẫn đến kết quả bị hạn chế. Điều này cho thấy cần đưa cáp thu xuống đáy biển nhằm thu đồng thời cả sóng dọc và sóng ngang (sóng S). Phương pháp này được gọi là địa chấn nhiều thành phần hoặc địa chấn 4C. Ở đáy biển có thể ghi được dao động theo 3 chiều nên có thể ghi đồng thời cả sóng dọc và sóng ngang. Cách ghi này còn được gọi là ghi vector về cả hướng dịch chuyển và cường độ dịch chuyển.

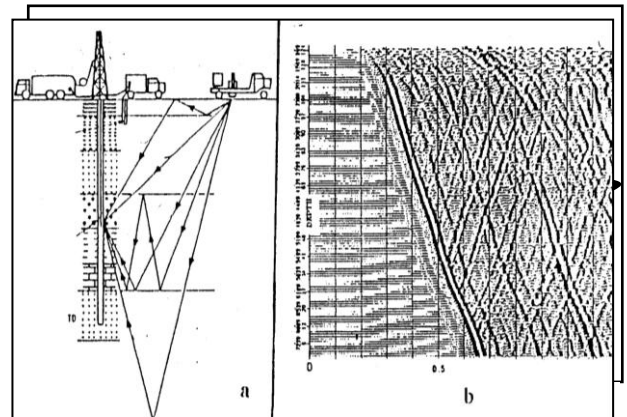
Việc sử dụng đồng thời sóng dọc (P) và sóng ngang (S) cho phép tăng độ phân giải, có khả năng khảo sát được các đối tượng có kích thước nhỏ, môi trường phân lớp mỏng, xác định các tham số đàn hồi, dự báo áp suất vỉa, xác định đặc điểm thạch học và chất lưu trong vỉa chứa, khảo sát chính xác sự biến đổi của độ rỗng và sự phát triển của hệ thống nứt nẻ.

6.4. Tuyến địa chấn thẳng đứng (*Vertical Seismic Profile – VSP*)

Tuyến địa chấn thẳng đứng (VSP) là phương pháp địa chấn tiến hành phát sóng trên mặt nhưng tuyến thu sóng đặt dọc theo thành giếng khoan vì vậy có thể xác định tốc độ truyền sóng và ghi cả các sóng phản xạ và khúc xạ để làm sáng tỏ hình ảnh trường sóng trong môi trường [H.7]. Tùy theo mục đích thu nổ, đặc điểm địa chất, hình thái giếng khoan mà có thể thiết kế các nguồn nổ và máy thu khác nhau.

Với sự thay đổi về cách bố trí hệ thống thu nổ, có các phương pháp thu nổ như sau:

- Phương pháp địa chấn giếng khoan xác định tốc độ (Checkshot VSP),
- Phương pháp nguồn phát gần giếng khoan (Zero-offset VSP),
- Phương pháp nguồn phát xa giếng khoan (Offset VSP),
- Phương pháp dịch chuyển nguồn phát theo GK nghiêng (Walk – above VSP),
- Phương pháp cố định máy thu và dịch chuyển nguồn phát (Walk-Away VSP),
- Phương pháp đo chéo các giếng khoan (Crosswell VSP),
- Phương pháp tuyến địa chấn thẳng đứng ba chiều (3D VSP).



Hình 7. Phương pháp tuyến địa chấn thẳng đứng (VSP).
a. Sơ đồ tia sóng, b. Bảng địa chấn VSP

Quá trình xử lý tài liệu VSP gồm các giai đoạn:

- Chuẩn bị tài liệu trước khi xử lý,
- Phân tách trường sóng: tách trường sóng đi xuống, trường sóng đi lên và các loại nhiễu.
- Áp dụng các bộ lọc để xác định sóng phản xạ nhiều lần và tách chúng ra khỏi trường sóng, cũng như đưa hình dạng xung của trường sóng về dạng mong muốn.
- Tạo băng địa chấn VSP (Corridor Stack).

6.5. Nghịch đảo địa chấn

Trong thăm dò địa chấn, việc ghi nhận các sóng phản xạ từ các mặt ranh giới cho phép xác định được đặc điểm các mặt ranh giới đó. Điều này được phản ánh qua quá trình tính mô hình thuận của băng địa chấn tổng hợp, nghĩa là từ mô hình địa chất theo tài liệu giếng khoan có thể xác định các thông số tốc độ, mật độ, từ đó tính được trở kháng âm học $I(t)$, hệ số phản xạ $R(t)$. Sau khi tích chập với dạng sóng $W(t)$ sẽ cho mạch địa chấn $S(t)$ [H.8]. Các xung sóng phản xạ mặt cắt địa chấn thường chỉ thể hiện đặc điểm các mặt ranh giới mà chưa xác định rõ được bản chất các loại đá và chất lưu nằm giữa các mặt ranh giới đó. Để giải quyết vấn đề này cần thực hiện mô hình ngược hay còn gọi là nghịch đảo địa chấn. Nghĩa là từ mặt cắt địa chấn cần biến đổi ngược để xác định trở kháng âm học phản ánh đặc điểm các loại đá nằm giữa các mặt ranh giới

trong môi trường trầm tích [H.8]. Để thực hiện quá trình này cần thiết phải liên kết với tài liệu giếng khoan để kiểm tra.

Trở kháng âm học có mối quan hệ chặt chẽ với môi trường địa chất vì mật độ và tốc độ phụ thuộc vào một loạt các thông số như thành phần thạch học, nhiệt độ và áp suất vỉa, chất lỏng chứa trong vỉa, độ rỗng, v.v... Trên cơ sở đó có thể sử dụng trở kháng âm học để chính xác hoá các thông số của đá chứa như độ rỗng, độ thấm, tỷ lệ cát sét, v.v... Về bản chất, mặt cắt trở kháng âm học phản ánh đặc điểm địa chất tỉ mỉ hơn so với mặt cắt địa chấn thông thường vì trong mặt cắt địa chấn, hệ số phản xạ thường phản ánh mặt ranh giới còn trở kháng âm học liên quan đến bản thân của lớp đá đó. Ngày nay, để xác định đầy đủ hơn tính chất đàn hồi, ngoài trở kháng âm học liên quan đến tốc độ sóng dọc người ta còn sử dụng trở kháng trượt liên quan đến tốc độ sóng ngang, trở kháng đàn hồi liên quan đến cả tốc độ sóng dọc và sóng ngang, v.v...

Các kết quả nghịch đảo địa chấn cho phép tăng độ tin tưởng liên kết các giếng khoan và minh giải địa tầng, dự báo định lượng các đặc điểm tầng chứa như độ rỗng, độ dày hiệu dụng.

Nghịch đảo địa chấn có thể tiến hành trước hoặc sau quá trình cộng sóng. Nghịch đảo sau cộng gồm nghịch đảo hồi qui (hoặc nghịch đảo băng hữu hạn), nghịch đảo dựa vào mô hình, nghịch đảo dựa vào so sánh phổ biên độ băng địa chấn và phổ đường cong DVL giếng khoan. Nghịch đảo trước cộng được quan tâm trong thời gian gần đây với việc sử dụng cả sóng dọc và sóng ngang như nghịch đảo trở kháng đàn hồi, nghịch đảo sử dụng các tham số đàn hồi λ , μ , ρ trong quá trình phân tích AVO.

Tài liệu đọc thêm

- Dobrin M. B., Savit C. H., 1991. Introduction to Geophysical Prospecting. *Mc Graw-Hill*, New York. 867 p.
- Gupta H. K. (Editor), 2011. Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. *Springer*. 1539 p.
- Kearey P., Brooks M., 1991. An introduction to Geophysical Exploration. *Blackwell Scientific Publications*. 254 p.
- Mai Thanh Tân, 2011. Thăm dò Địa chấn. *NXB Giao thông vận tải*. Hà Nội. 524 tr.
- Sheriff R. E., 1991. Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics. *Society of Exploration Geophysicists*. 376 p.
- Sheriff R. E., Geldart L. P., 1999. Exploration Seismology. *Cambridge University Press*. 628 p.
- Telford W. M., Geldart L. P. and Sheriff R. E., 1987. Applied Geophysics. *Cambridge University Press*. 770 p.
- Yilmaz O., 2001. Seismic Data Analysis (Investigations in Geophysics No.10) (2 Volumes). *Society of Exploration Geophysicists*. 2027 p.

Chương 5. Thăm dò Phóng xạ và Địa vật lý hạt nhân

Giới thiệu

Hiện tượng phóng xạ đã được Becquerel phát hiện vào năm 1896 và đã mang lại nhiều ứng dụng quan trọng trong nhiều lĩnh vực, trong đó có Địa chất học. Từ đầu thế kỷ 20 tính chất phóng xạ bắt đầu được ứng dụng trong nghiên cứu địa chất và đã phát huy tác dụng to lớn trong điều tra thăm dò mỏ urani, các mỏ khoáng sản khác cộng sinh với các chất phóng xạ, trong xác định tuổi địa chất của các thành hệ đất đá và trong nghiên cứu các nguồn địa nhiệt, nghiên cứu môi trường, v.v... Ngày nay nhờ sự phát triển của kỹ thuật hạt nhân, công tác thăm dò phóng xạ và địa vật lý hạt nhân được áp dụng có hiệu quả để giải quyết hàng loạt nhiệm vụ của nghiên cứu địa chất.

- Tìm kiếm các mỏ phóng xạ urani, thori và kali.
- Tìm kiếm các quặng không phóng xạ có quan hệ cộng sinh hoặc không cộng sinh với các khoáng vật giàu các nguyên tố phóng xạ.
- Phục vụ cho công tác vẽ bản đồ địa chất.
- Phục vụ cho công tác địa chất thủy văn, địa chất công trình, địa chất môi trường.
- Phục vụ cho công tác thăm dò và đánh giá trữ lượng dầu khí.
- Phục vụ cho công tác thăm dò và đánh giá trữ lượng than.
- Xác định thành phần và hàm lượng các nguyên tố phóng xạ và không phóng xạ của các mẫu thổ nhưỡng, đá, khoáng thạch, v.v...
- Xác định tuổi địa chất tuyệt đối.
- Xác định các tham số mật độ, độ ẩm, độ rỗng của các mẫu đá.
- Dự báo động đất, v.v...

2. Cơ sở thăm dò phóng xạ và địa vật lý hạt nhân

Phóng xạ là hiện tượng tự phân rã của hạt nhân nguyên tử hay thay đổi trạng thái năng lượng của nó và phát xạ bức xạ alpha hoặc beta và có thể kèm theo bức xạ điện từ như tia gamma hay tia X. Một nguyên tố có thể có nhiều đồng vị, những đồng vị có tính chất phóng xạ gọi là đồng vị phóng xạ. Sự phân rã phóng xạ mang tính chất ngẫu nhiên, nó xảy ra theo một xác suất nhất định gọi là hằng số phân rã và ký hiệu là λ . Hằng số này đặc trưng cho đồng vị phóng xạ và không phụ thuộc vào bất kỳ điều kiện ngoại cảnh nào. Đơn vị của λ là nghịch đảo của thời gian (1/giây, 1/phút, 1/giờ, 1/ngày, v.v...). Chu kỳ bán rã với ký hiệu $T_{1/2}$ là khoảng thời gian cần thiết để lượng đồng vị phóng xạ giảm đi một nửa do phân rã phóng xạ. Sự liên quan giữa chu kỳ bán rã và hằng số phân rã được biểu thị bằng công thức: $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$.

Tùy thuộc vào nguồn gốc, các đồng vị phóng xạ được chia thành các đồng vị phóng xạ tự nhiên, đồng vị nhân tạo và đồng vị phóng xạ có nguồn gốc vũ trụ. Các đồng vị phóng xạ tự nhiên chủ yếu ở trong ba dãy phóng xạ, đó là dãy urani đứng đầu là đồng vị U-238 ($T_{1/2} = 4,5.10^9$ năm); dãy artino - urani đứng đầu là đồng vị U-235 ($T_{1/2} = 7.1 \times 10^8$ năm) và dãy thori đứng đầu là đồng vị Th-232 ($T_{1/2} = 1.4 \times 10^{10}$ năm). Đặc điểm của các dãy phóng xạ tự nhiên là trong mỗi dãy đều có các đồng vị có phân rã alpha (α), có các đồng vị có phân rã β và kết thúc của mỗi dãy là các đồng vị chì bền vững. Trong mỗi dãy đều có đồng vị ở thể khí, các đồng vị ở thể khí đều là các khí trơ và chúng bị phân rã alpha. Một số đồng vị khi phân rã phát ra hạt alpha hoặc hạt beta và có thể phát ra tia gamma.

2.1. Tương tác của bức xạ với vật chất

Bức xạ phóng xạ có thể là các hạt mang điện, tia gamma, tia X hay neutron; mỗi loại bức xạ tương tác với vật chất dưới những hình thức khác nhau. Đối với các hạt mang điện như hạt nhân nặng mang điện, alpha, proton hay beta khi tương tác với vật chất, chúng chủ yếu gây ra ion hóa. Khi tương tác với vật chất, các bức xạ điện từ có thể tương tác với các điện tử hoặc với hạt nhân của nguyên tử. Có nhiều dạng tương tác, nhưng trong thăm dò phóng xạ và Địa vật lý hạt nhân, ba loại tương tác chính được quan tâm là hiệu ứng quang điện, tán xạ Compton và hiệu ứng tạo cặp.

Tương tác của neutron với vật chất phụ thuộc rất nhiều vào năng lượng của neutron. Vì neutron là hạt không mang điện nên nó không chịu tương tác Coulomb của hàng rào điện tử và dễ dàng tương tác với hạt nhân nguyên tử. Có nhiều dạng tương tác giữa neutron với vật chất, nhưng trong địa vật lý hạt nhân các tương tác chủ yếu sau đây được quan tâm – va chạm không đàn hồi, va chạm đàn hồi, bắt giữ phát xạ và phản ứng hạt nhân.

2.2. Máy móc thiết bị

Nguyên tắc của tất cả các đầu dò bức xạ phóng xạ đều dựa trên cơ sở tương tác của bức xạ với vật chất. Tùy thuộc vào bản chất của các đầu dò, người ta chia các đầu dò thành hai loại: loại thụ động và loại tích cực. Loại thụ động là những đầu dò không có nguồn điện cung cấp như đầu dò nhiệt quang, đầu dò vết, phim, v.v... Loại tích cực là các loại ống đếm cần có nguồn điện nuôi như ống đếm chứa khí, ống đếm nhấp nháy, ống đếm bán dẫn.

Các máy thu bức xạ phóng xạ thường bao gồm đầu dò bức xạ, bộ khuếch đại và bộ ghi.

2.3. Cơ sở của các phương pháp thăm dò phóng xạ

Hàm lượng các nguyên tố phóng xạ tự nhiên phụ thuộc vào loại đá, điều kiện địa chất. Tất cả các phương pháp phóng xạ dựa vào việc xác định hàm lượng của các đồng vị phóng xạ tự nhiên, đặc biệt là hàm lượng của một hay nhiều đồng vị như: U-238, U-235, U-234, Th-232, Ra-228, Ra-226, Ra-224, Rn-222, Rn-220, Pb-210, Po-210 hay K-

40 trong các đối tượng nghiên cứu như đá, nước, không khí, v.v... để phục vụ các mục đích địa chất đưa ra như: tìm kiếm thăm dò quặng phóng xạ, đất hiếm và các khoáng sản có hàm lượng urani và thori cao, vẽ bản đồ địa chất, xác định tuổi đá, hoặc các nhiệm vụ khác có liên quan đến các nguyên tố phóng xạ.

2.4. Cơ sở của các phương pháp địa vật lý hạt nhân

Các phương pháp địa vật lý hạt nhân dựa vào việc nghiên cứu trường phóng xạ thứ cấp sinh ra khi chiếu luồng phóng xạ sơ cấp vào đối tượng nghiên cứu. Thông thường trong Địa vật lý hạt nhân các bức xạ sơ cấp và thứ cấp thường là tia gamma hay neutron. Sự phân bố các bức xạ thứ cấp trong môi trường phụ thuộc vào các thông số vật lý, địa chất và thành phần hóa học của môi trường. Trong Địa vật lý hạt nhân chủ yếu sử dụng các nguồn phát ra bức xạ gamma là Cs-137, Co-60, Ba-133, còn các nguồn phát neutron là Po-Be, Am-Be, Cf-252 hoặc các máy phát neutron. Trong Địa vật lý hạt nhân còn có các phương pháp địa chất thủy văn đồng vị (ĐCTVĐV). Các phương pháp ĐCTVĐV được áp dụng rất rộng rãi trong Địa chất thủy văn và dầu khí.

3. Thăm dò phóng xạ

Có nhiều phương pháp thăm dò phóng xạ, sau đây mô tả tóm tắt các phương pháp thăm dò phóng xạ phổ dụng ở Việt Nam và trên thế giới.

3.1. Phương pháp phổ gamma hàng không

Đo vẽ phổ gamma hàng không là phương pháp dùng máy phổ gamma có ống đếm nhấp nháy với kích thước 10 cm x 10 cm x 40 cm, thể tích tổng cộng tới 50 lít hoặc lớn hơn. Khi đo vẽ, tiến hành bay ở độ cao từ 40 m tới 130 m để phát hiện nhanh các dị thường phóng xạ và bản chất của nguồn gây ra dị thường, cho phép địa phương hoá các diện tích triển vọng để khảo sát mặt đất. Hiện nay phương pháp này cũng được dùng để vẽ bản đồ địa chất - địa hoá và tìm kiếm các khoáng sản phi phóng xạ (TR, Ta, Nb, P, Mo, Au, Al, Sn, v.v...) có quan hệ cộng sinh hoặc quan hệ không gian với các đới phân bố dị thường của U(Ra), Th và K.

3.2. Phương pháp gamma mặt đất (phương pháp gamma đường bộ)

Trong phương pháp này máy đo bức xạ gamma xách tay được dùng để đo bức xạ gamma của đất đá, quặng, phát hiện dị thường phóng xạ, xác định hàm lượng các nguyên tố phóng xạ và giải quyết các vấn đề địa chất hữu quan. Các phương pháp gamma mặt đất được phân thành phương pháp gamma tổng và phương pháp phổ gamma.

Phương pháp gamma tổng là phương pháp đo cường độ bức xạ gamma phát ra từ các đồng vị phóng xạ tự nhiên mà không để ý đến năng lượng của các bức xạ gamma ghi được (năng lượng bức xạ gamma ghi được thường từ trên 50 keV đến 3 MeV).

Dựa vào năng lượng và hiệu suất phát tia gamma của các đồng vị trong ba dãy phóng xạ tự nhiên và của đồng vị kali-40, người ta đã xác định được các mức năng lượng của các tia gamma phát ra đặc trưng cho mỗi dãy phóng xạ. Như tia gamma có

năng lượng 1,46 MeV đặc trưng cho kali-40, tia gamma có năng lượng 1,76 MeV đặc trưng cho dãy urani còn tia gamma có năng lượng 2,61 MeV đặc trưng cho dãy thori. Phương pháp phổ gamma mặt đất là phương pháp đo cường độ bức xạ gamma ở các mức năng lượng khác nhau. Chính vì thế mà ta có thể xác định bản chất của nguồn gây ra trường bức xạ gamma là do urani, thori hay kali hoặc cả ba gây ra. Thông tin này sẽ phục vụ trực tiếp cho điều tra địa chất, tìm kiếm thăm dò khoáng sản và nghiên cứu môi trường.

3.3. Phương pháp gamma và phổ gamma công trình

Phương pháp gamma và phổ gamma công trình là đo gamma và phổ gamma trên các vỉa lộ hoặc công trình khai đào. Phương pháp này được dùng để xác định trực tiếp hình dạng và kích thước thân quặng ở các vỉa lộ bề dày và hàm lượng các nguyên tố phóng xạ của vật thể hay thân quặng gây ra dị thường phóng xạ.

3.4. Các phương pháp đo khí phóng xạ

Có hai kỹ thuật đo khí phóng xạ là kỹ thuật đo tức thời và kỹ thuật đo tích lũy. Kỹ thuật đo tức thời có tên gọi là phương pháp khí phóng xạ còn các kỹ thuật đo tích lũy gồm phương pháp đo vết alpha và phương pháp than hoạt tính.

Sau đây là vài nét cơ bản về các phương pháp đã kể ở trên.

3.4.1. Phương pháp khí phóng xạ (phương pháp eman)

Phương pháp khí phóng xạ là phương pháp đo tức thời nồng độ khí phóng xạ trong đất (tại các hố sâu từ 60cm đến 80 cm bằng máy đo khí phóng xạ nhằm mục đích phát hiện các thân quặng urani, thori dưới đất phủ, xác định các đới cấu tạo hoặc các đới dập vỡ, vạch ra ranh giới tiếp xúc của các đá. Độ sâu khảo sát của phương pháp khí phóng xạ từ vài mét đến hàng chục mét. Các máy dùng phổ biến ở Việt Nam là máy RAD-7 (Mỹ), AB-5 (Canada).

3.4.2. Phương pháp đo tích lũy

3.4.2.1. Phương pháp đo vết

Phương pháp đo vết là phương pháp đo tích lũy nồng độ khí phóng xạ, đầu thu làm bằng nhựa từ chất dẻo đặc biệt. Khi hạt nhân của khí radon (toron) phân rã sẽ phát ra hạt alpha, hạt này tương tác với miếng nhựa để lại ở đó vết tích, sau khi xử lý, ta đếm được các vết trên miếng nhựa, trên cơ sở đó có thể xác định nồng độ khí phóng xạ. Vì phương pháp này có giá thành cao, thời gian đo dài do vậy phương pháp đo vết chỉ tiến hành trong những trường hợp cần thiết.

3.4.2.2. Phương pháp than hoạt tính

Phương pháp than hoạt tính gồm có đầu thu là một thỏi than hoạt tính được để trần trong khoảng không khí có radon. Các nguyên tử khí radon bị than hoạt tính hấp thụ, sau đó dùng các dung dịch hữu cơ (toluene, xăng) để tách các nguyên tử radon ra khỏi thỏi than và trộn dung dịch đó với chất nhấp nháy ở thể lỏng và đo bằng máy đếm nhấp nháy. Bằng cường độ bức xạ đo được và đường cong chuẩn ta có thể xác định được hàm lượng

radon trong không khí. Phương pháp này thường dùng để đo radon trong không khí trong phòng, và các nơi ở, làm việc v.v...

4. Địa vật lý hạt nhân

Các phương pháp địa vật lý hạt nhân chủ yếu dùng các nguồn phát tia gamma và neutron. Các nguồn đồng vị gamma thường dùng xesi (cesi) – 137 (Cs-137) phát tia gamma đơn năng với năng lượng 660 keV và nguồn coban (cobalt) – 60 (Co-60) phát tia gamma có năng lượng 1117 keV và 1333 keV.

Các nguồn phát neutron dựa vào phản ứng alpha - neutron. Tùy thuộc vào phương pháp sản sinh ra neutron, các nguồn được chia thành các loại đồng vị và máy phát neutron. Các nguồn đồng vị thường ở dạng bột hỗn hợp của nguyên tố berili và một đồng vị phát tia alpha như radi, poloni, hay americium. Ngoài các nguồn trên còn có nguồn californi (Cf-252), đồng vị Cf-252 là đồng vị có hai dạng phân rã, phân rã alpha với xác suất 0.97 và phân tách với xác suất 0.03, khi phân tách thì phát ra neutron. Máy phát neutron dựa vào phản ứng (d,n). Các ion deuteri được gia tốc đập vào bia triti và bắn ra neutron, các hạt neutron phát ra từ máy phát có năng lượng 14 MeV. Sau đây giới thiệu tóm tắt các phương pháp địa vật lý hạt nhân.

4.1. Phương pháp gamma - gamma mật độ

Phương pháp gamma - gamma mật độ dựa vào sự tương tác Compton của bức xạ gamma với vật chất. Khi chiếu vào đối tượng nghiên cứu (môi trường địa chất) chùm bức xạ gamma có năng lượng trên 500 keV và thu được các bức xạ tán xạ gamma có năng lượng trên 200 keV. Cường độ bức xạ gamma tán xạ ghi được phụ thuộc chủ yếu vào số điện tử trong một đơn vị thể tích, số điện tử này lại phụ thuộc vào mật độ của môi trường nên có thể đo được mật độ của môi trường nghiên cứu. Thiết bị chính trong phương pháp gamma - gamma mật độ gồm có nguồn phát bức xạ gamma và ống thu bức xạ gamma. Giữa nguồn và ống thu có vật chắn bằng chì để ngăn các bức xạ gamma đi thẳng từ nguồn đến ống thu. Nguồn phát là nguồn Cs-137 hay Co-60.

4.2. Phương pháp gamma - gamma chọn lọc

Khác với phương pháp gamma - gamma mật độ, phương pháp gamma - gamma chọn lọc lại dựa vào hiệu ứng hấp thụ quang điện xảy ra khi bức xạ gamma tương tác với vật chất. Trong phương pháp gamma - gamma chọn lọc ta cũng phát bức xạ gamma nhưng chúng có năng lượng thấp và thu bức xạ gamma tán xạ. Nhưng cường độ bức xạ gamma tán xạ lại phụ thuộc chủ yếu vào số Z của môi trường, số Z lại tỷ lệ với hàm lượng các nguyên tố nặng như sắt, chì, v.v... có trong môi trường nghiên cứu. Nguồn gamma được dùng trong phương pháp gamma-gamma chọn lọc thường là nguồn có năng lượng không cao. Trong Địa vật lý hạt nhân, chủ yếu dùng nguồn Cs-137.

4.3. Phương pháp phân tích huỳnh quang

Tương tự như phương pháp gamma - gamma chọn lọc, phương pháp phân tích huỳnh quang cũng dựa vào hiệu ứng hấp thụ quang điện khi bức xạ gamma hay tia X

tương tác với vật chất. Nguồn phát bức xạ gamma hay tia X có năng lượng thấp thường dưới 100 keV, bức xạ thu được là bức xạ đặc trưng phát ra khi các nguyên tử của các nguyên tố trong môi trường bị kích thích. Năng lượng đặc trưng phụ thuộc vào số Z của nguyên tố bị kích thích và tuân theo định luật Mosley (năng lượng của bức xạ đặc trưng X tỷ lệ với bình phương của số Z của nguyên tố bị kích thích phát ra). Nguồn gamma thường được sử dụng trong phương pháp huỳnh quang thường là nguồn cadimi ($Cd-109$) phát ra bức xạ gamma có năng lượng 88.03 keV.

4.4. Phương pháp neutron - neutron (n-n)

Cơ sở của phương pháp này dựa vào quá trình làm chậm neutron nhanh, khi di chuyển trong môi trường, neutron va đập với các nguyên tử của môi trường sẽ mất dần năng lượng và trở thành neutron nhiệt. Độ mất mát năng lượng lớn nhất khi neutron va đập với các hạt nhân của nguyên tố hydro (vì khối lượng của hydro bằng khối lượng của neutron). Nguồn phát neutron thường dùng là nguồn Pu-Be hay Am-Be.

4.5. Phương pháp neutron - gamma (n- γ)

Cơ sở của phương pháp này cũng tương tự như phương pháp n-n, chỉ khác là phát neutron nhanh và ghi bức xạ gamma.

4.6. Phương pháp neutron - xung

Cơ sở của phương pháp neutron-xung là dựa vào việc phát ra các xung neutron và đo thời gian sống của neutron. Neutron phát ra từ máy phát có năng lượng 14 MeV, khi neutron di chuyển trong môi trường sẽ bị va chạm không đàn hồi, sau đó lại va chạm đàn hồi và cuối cùng bị hấp thụ bởi các hạt nhân. Khoảng thời gian kể từ khi neutron phát ra đến khi bị hấp thụ phụ thuộc vào độ chứa nước và các hàm lượng các nguyên tố có tiết diện động hấp thụ cao như clo, bo, v.v... vì vậy phương pháp neutron - xung được sử dụng rộng rãi trong thăm dò dầu khí.

4.7. Phương pháp kích hoạt neutron

Phương pháp này chủ yếu được sử dụng trong phòng thí nghiệm. Phương pháp kích hoạt neutron dựa vào việc đưa nguyên tố phân tích thành đồng vị phóng xạ nhân tạo bằng cách chiếu mẫu phân tích bằng chùm neutron nhiệt và ghi bức xạ (thường là bức xạ gamma) do đồng vị được thành tạo phát ra.

Ngoài những phương pháp trên, trong địa vật lý hạt nhân còn dùng những phương pháp khác như: phương pháp hấp thụ neutron cộng hưởng, phương pháp Mossbauer, những phương pháp này hiện nay chưa phát triển mạnh mẽ.

5. Ứng dụng các phương pháp thăm dò phóng xạ và địa vật lý hạt nhân

5.1. Thăm dò các mỏ quặng urani, thori và các khoáng sản cộng sinh đồng hành với các chất phóng xạ

Phương pháp gamma hàng không là phương pháp rất có hiệu quả và kinh tế cho việc thiết kế mạng lưới tìm kiếm khoáng sản và vẽ bản đồ địa chất, khoanh các vùng dị

thường phóng xạ và định hướng cho các công tác tìm kiếm thăm dò tiếp theo. Phương pháp gamma đường bộ dùng để xác định trực tiếp ranh giới các vỉa và khoanh những dị thường phóng xạ. Phương pháp phổ gamma đường bộ xác định trực tiếp hàm lượng urani, thori và kali của các lớp đất-đá trong hào, lò và các vết lộ địa chất.

Phương pháp đo nồng độ khí radon hay thoron trong khí đất có hiệu quả cao trong thăm dò các thân quặng urani và thori, đặc biệt trong những trường hợp thân quặng có lớp phủ dày mà phương pháp gamma đường bộ không có hiệu quả. Việc đo nồng độ radon trong khí đất còn giúp cho việc xác định các đới đứt gãy, các đới vỡ vụn bổ xung cho công tác nghiên cứu cấu tạo địa chất của vùng nghiên cứu. Sự thay đổi hàm lượng khí radon trong khí đất còn có thể có liên quan đến động đất.

Trong Địa vật lý lỗ khoan phương pháp gamma tự nhiên dùng để xác định các lớp đất-đá đã được khoan. Đối với công tác tìm kiếm thăm dò khoáng sản phóng xạ, phương pháp phổ gamma tự nhiên dùng để xác định hàm lượng urani, thori và kali của các lớp đất-đá và quặng phóng xạ.

5.2. Thăm dò và khai thác dầu khí

Phương pháp gamma tự nhiên dùng để xác định mặt cắt địa chất lỗ khoan, trên cơ sở đó xác định các lớp chứa dầu khí. Phương pháp gamma - gamma mật độ kết hợp với phương pháp neutron - neutron dùng để xác định mật độ, độ rỗng của các thành hệ chứa dầu. Trong tìm kiếm dầu khí các nguồn gamma thường dùng là nguồn Co-60 hay Cs-137. Các nguồn neutron thường là Cf-252 hoặc Pu-Be hay Po-Be. Phương pháp neutron - xung phục vụ cho việc xác định ranh giới dầu - khí, dầu - nước. Thời gian sống của neutron phụ thuộc vào hàm lượng hydro và của các nguyên tố có tiết diện động hấp thụ neutron nhanh (như clo, bo) và neutron nhiệt cao có trong môi trường nghiên cứu. Trong mỏ dầu khí thì thời gian sống của neutron dài nhất ở các thành hệ chứa khí, trung bình ở thành hệ chứa dầu và ngắn nhất ở thành hệ chứa nước. Trong phương pháp neutron xung phải dùng máy phát neutron.

5.3. Thăm dò và khai thác than

Phương pháp gamma tự nhiên xác định vị trí, bề dày các vỉa than và các vỉa đá vây quanh. Bằng phương pháp phổ gamma tự nhiên ta có thể xác định độ tro của than, tổ hợp các phương pháp gamma tự nhiên, gamma mật độ ta có thể xác định độ tro, độ ẩm và qua đó xác định được nhiệt năng của than. Trong các ống đo mật độ, nguồn Cs-137 hoặc nguồn Co-60 với ống đo BGO thường được dùng.

5.4. Thăm dò và khai thác khoáng sản kim loại

Trong thăm dò và khai thác khoáng sản kim loại các phương pháp gamma - gamma chọn lọc, phương pháp gamma hấp thụ và phương pháp phân tích huỳnh quang được sử dụng một cách rộng rãi để xác định hàm lượng các kim loại như chì, sắt, đồng ở các đới chứa quặng và các mẫu quặng.

Phương pháp kích hoạt dùng để xác định thành phần hóa học của mẫu đá, đặc biệt trong việc xác định hàm lượng nickel thì chỉ có phương pháp bắt giữ neutron-gamma là có hiệu lực. Trong thăm dò mangan cả hai phương pháp bắt giữ neutron- gamma và kích hoạt neutron đều có hiệu quả.

5.5. Ứng dụng địa vật lý hạt nhân trong một số lĩnh vực khác

5.5.1. Ứng dụng trong xác định tuổi tuyệt đối bằng phương pháp phóng xạ

Việc xác định tuổi tuyệt đối của các thể địa chất bằng phương pháp phóng xạ dựa vào quy luật của sự phân rã phóng xạ và tỷ số giữa số lượng của đồng vị mẹ (có tính phóng xạ) và số lượng của đồng vị con (thường là đồng vị bền được sinh ra do sự phân rã trực tiếp của đồng vị mẹ hay do sự phân rã của các đồng vị con có trong dãy của đồng vị mẹ). Tỷ số này được biểu thị bằng công thức: $N_c(t)/N_m(t) = (e^{\lambda t} - 1) = (e^{(\ln 2/T_{1/2})t} - 1)$, trong đó t là tuổi của thể nghiên cứu, $N_c(t)$, $N_m(t)$ là số lượng (số hạt nhân) của đồng vị con và đồng vị mẹ ở thời gian t , λ và $T_{1/2}$ là hằng số phân rã và chu kỳ bán rã của đồng vị mẹ. Điều kiện áp dụng các phương pháp xác định tuổi tuyệt đối bằng các phương pháp phóng xạ là: 1). Sự thay đổi về số lượng của tất cả các đồng vị của dãy phóng xạ trong thể địa chất chỉ do sự phân rã phóng xạ gây ra mà không bị tác động của bất cứ quá trình địa chất nào; 2). Số lượng của các đồng vị của dãy trong thể địa chất ở thời điểm đầu tiên (lúc thành tạo) đều được biết; 3). Hằng số bán rã của tất cả các đồng vị không bị thay đổi trong suốt thời gian địa chất.

Có nhiều phương pháp xác định tuổi tuyệt đối, việc áp dụng phương pháp nào tùy thuộc vào tuổi của đối tượng địa chất và các điều kiện của phòng thí nghiệm. Hiệu quả của phương pháp tốt nhất khi tuổi của đối tượng nghiên cứu khoảng từ dưới một đến bốn lần $T_{1/2}$ của đồng vị mẹ. Ví dụ để xác định tuổi của đá có tuổi trên một tỷ năm thì các phương pháp có hiệu quả là urani - chì (U-238 - Pb-206), kali-argon (K-40 - Ar-40) hay rubidi - stronti (Rb-87 - Sr-87). Các đồng vị mẹ của các nhóm phóng xạ nói trên đều có $T_{1/2}$ trên 4 tỷ năm. Đối với những đối tượng có chứa các chất hữu cơ có tuổi không quá 20000 năm thì phương pháp C-14 ($T_{1/2} = 5700$ năm) được sử dụng. Đồng vị C-14 cùng với hạt proton được tạo ra do phản ứng hạt nhân của neutron với nitơ N-14 có trong không khí, sau khi thành tạo thì C-14 lại kết hợp với oxi tạo thành $^{14}\text{CO}_2$ và cũng như các phân tử của các CO_2 khác được hấp thụ bởi các quá trình trao đổi của các sinh vật và thực vật. Sau khi các cơ thể này chết đi thì lượng các hạt nhân C-14 giảm dần theo quy luật phân rã phóng xạ. Bằng cách so sánh giữa số lượng hạt nhân C-14 với số lượng C-14 có trong không khí ta có thể tính được tuổi của đối tượng có chứa chất hữu cơ đó.

5.5.2. Ứng dụng trong địa chất thủy văn

Trong địa chất thủy văn đồng vị triti (ký hiệu H-3) ($T_{1/2} = 12.32$ năm) hay được quan tâm. Đồng vị này cùng với đồng vị C-12 được tạo ra một phần do phản ứng hạt nhân của neutron với N-14, một phần do phản ứng neutron với Li-6. Hàm lượng trung

bình của triti trong nước mưa ở đất liền là 10 UT, nước mưa ở đại dương chỉ là 1 UT. Như vậy bằng cách xác định hàm lượng H-3 trong nước ta có thể xác định được nguồn nước là nước lục địa hay nước đại dương hoặc nước pha trộn. UT là đơn vị để biểu diễn hàm lượng của triti có trong nước và được tính từ tỷ số giữa số hạt nhân của nguyên tử triti (ký hiệu H-3) với số nguyên tử hydro (ký hiệu H-1) có trong nước. Hàm lượng của triti trong mẫu nước là 1UT khi trong mẫu nước đó cứ có 10^{18} nguyên tử hydro (ký hiệu H-1) thì có một nguyên tử triti (ký hiệu H-3). 1 UT tương đương với hoạt tính của một lít nước, bằng 0,12 Bq với giả thiết là trong mẫu nước đó chỉ có các phân tử nước mà không có những đồng vị phóng xạ khác ngoài triti.

Một trong những phương pháp xác định vận tốc nước dưới đất là phương pháp đồng vị phóng xạ. Trong phương pháp này, những dung dịch chứa các đồng vị phóng xạ nhân tạo có đời sống ngắn như I-131 ($T_{1/2} = 8.02$ ngày) hay S-35 ($T_{1/2} = 87$ ngày) thường được sử dụng. Dung dịch có chứa các đồng vị phóng xạ được thả vào lỗ khoan và sau đó đo hàm lượng các chất phóng xạ trong nước ở các lỗ khoan khác. Bằng việc xác định khoảng cách giữa các lỗ khoan và nồng độ đo được của chất phóng xạ trong nước theo thời gian ở các lỗ khoan quan sát ta có thể tính được vận tốc chảy của nước dưới đất.

5.5.3. Ứng dụng trong xây dựng

Xác định hàm lượng các nguyên tố phóng xạ trong các nguyên vật liệu xây dựng có thể hạn chế được liều lượng phóng xạ có hại cho người và vật. Xác định nồng độ khí radon trong khí đất phục vụ cho việc dự đoán tiềm năng khí radon trong nhà ở. Ở các nước Châu Âu đã có luật phòng tránh tác hại do radon gây ra, bằng cách hạn chế nồng độ radon trong không khí. Vì vậy trước khi xây các công trình cho người ở hay làm việc, phải xác định nồng độ khí radon trong khí đất và dùng các biện pháp phòng trừ khí radon trong không khí nhà ở.

Phương pháp gamma - gamma mật độ còn được dùng trong kiểm tra công trình xây dựng như kiểm tra nền móng sân bay, chân cầu v.v...

6. An toàn phóng xạ

6.1. Một số khái niệm cơ bản trong an toàn phóng xạ

Khi bức xạ phóng xạ tương tác với vật chất thì chúng bị mất năng lượng làm cho các nguyên tử bị ion hóa gây ảnh hưởng đến các tế bào sống. Để biểu thị mức độ tương tác của bức xạ với cơ thể và đánh giá độ nguy hiểm khi làm việc với bức xạ phóng xạ, khái niệm về liều lượng bức xạ phóng xạ được xác lập. Trong an toàn phóng xạ, ta có các loại liều lượng như: liều chiếu, liều hấp thụ, liều tương đương, liều hiệu dụng và liều gán.

- *Liều chiếu (X)* là tổng điện tích của các ion cùng dấu sinh ra trong không khí khô khi tương tác với bức xạ phóng xạ (đại lượng này thường dùng cho các bức xạ điện từ). Đơn vị của liều chiếu là C/kg.

- *Liều hấp thụ (D)* là năng lượng của bức xạ bị hấp thụ khi tương tác với vật chất. Đơn vị của liều hấp thụ là Gy (grey). Gy là liều lượng hấp thụ bằng 1J/kg.

- *Liều tương đương*. Liều tương đương (H) là đại lượng bằng tích của liều hấp thụ D với trọng số bức xạ W_R , ($H = D.W_R$), đơn vị của liều tương đương là siver (ký hiệu là Sv).

- *Liều hiệu dụng* – cùng một liều tương đương, nhưng khi tác động với mỗi cơ quan của cơ thể thì độ nguy hiểm lại khác nhau. Để đánh giá được độ nguy hiểm người ta đưa ra khái niệm liều hiệu dụng H_E : $H_E = \sum W_T.H_T$, trong đó W_T là trọng số của cơ quan T trong cơ thể, H_T – Liều tương đương mà cơ quan T nhận được. Đơn vị của liều hiệu dụng cũng là Sv.

- *Liều gánh* là sự tích liều hiệu dụng trong một thời gian nhất định (τ), cơ thể sống có thể bị chiếu do các nguồn ở ngoài (chủ yếu là nguồn gamma) và cũng có thể bị tác động của nguồn bên trong cơ thể có trong thức ăn, nước uống và trong không khí. Vì

vậy, ta có liều chiếu trong, được tính như sau: $H_{E\tau} = \int_t^{t+\tau} H_E(t)dt$

- *Liều hiệu dụng tổng cộng* là tổng của liều chiếu ngoài (H_n) và liều chiếu trong (H_t); ta có $H_\Sigma = H_n + H_t$ và $H_t = H_p + H_d$; trong đó: H_p – liều chiếu trong qua đường hô hấp và H_d là liều chiếu trong qua đường tiêu hóa. Đơn vị của liều gánh và liều hiệu dụng tổng cộng thường là Sv/năm.

6.2. Một số định mức về an toàn phóng xạ

Phông bức xạ tự nhiên là những bức xạ ion hóa gồm bức xạ vũ trụ và bức xạ của các chất phóng xạ tự nhiên (có ở lớp đất-đá bề mặt của Trái Đất, ở lớp khí quyển gần mặt đất, trong thực phẩm, nước uống, trong cơ thể con người).

- Theo “Tiêu chuẩn an toàn Quốc tế cơ bản” của IAEA 1996 và tiêu chuẩn an toàn bức xạ của Việt Nam giới hạn liều (liều hiệu dụng giới hạn) đối với nhân viên bức xạ (đối tượng loại A) là 20 mSv/năm còn đối với dân chúng (đối tượng C) là 1 mSv/năm không kể phông bức xạ tự nhiên.

6.3. Hệ phương pháp nghiên cứu môi trường phóng xạ

Hệ phương pháp nghiên cứu môi trường phóng xạ phải đảm bảo đủ để xác định được giá trị tổng liều tương đương bức xạ.

- Xác định liều chiếu ngoài: phương pháp đo suất liều tương đương, đo suất liều bức xạ gamma hay còn gọi là đo cường độ bức xạ gamma.

- Xác định liều chiếu trong do các chất phóng xạ xâm nhập qua đường hô hấp: đo nồng độ khí phóng xạ trong không khí bằng phương pháp khí phóng xạ, phương pháp đo vết alpha.

- Xác định liều chiếu trong do các chất phóng xạ xâm nhập qua đường tiêu hóa: thu thập và phân tích hàm lượng các nguyên tố phóng xạ trong các mẫu nước ăn, các mẫu thực phẩm.

Tài liệu đọc thêm

- Quy phạm kỹ thuật thăm dò phóng xạ, 1998. *Bộ công nghiệp, 1998*. Hà Nội. 100 tr.,
- Czubek Jan, 1975. Geofizyka Jądrowa [trong *Zarys Geofizyki Stosowanej* (Fajklewicz Z.)]. *Wyd. Geologiczne*: 654-731. Warszawa. [tiếng Ba lan].
- IAEA, 1996. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. Vienna. 379 pgs,
- International Atomic Energy Atomic, 1999 . Nuclear Geophysics and its applications. *Technical Reports Series*. 393 pgs.
- Lê Khánh Phồn. 2011. Phóng xạ mỏ và phóng xạ môi trường. *Đại học Mỏ Địa Chất xuất bản*. Hà Nội. 56 tr.
- Lê Khánh Phồn, 2004. Thăm dò phóng xạ. *Nhà xuất bản Giao thông Vận tải*. Hà Nội. 288 tr.
- Luật năng lượng nguyên tử. Luật số 18/2008/QH12. 30 tr.
- Новиков Г.Ф. , 1989 . Радиометр. Радиометрическая разведка. *Недра*. Ленинград. 406 стр.

Chương 6. Địa vật lý giếng khoan

1. Giới thiệu

Phương pháp địa vật lý giếng khoan (ĐVLGK), còn gọi là carota, bao gồm các phương pháp carota đo trong giếng thân trần và trong giếng đã chống ống. Chúng là các phương pháp chủ đạo và thông dụng trong tìm kiếm, thăm dò và khai thác dầu khí, khoáng sản, nước dưới đất, v.v.... Người ta thường sử dụng tổ hợp một số phương pháp địa vật lý giếng khoan nhằm xác định và giải quyết các bài toán địa chất khác nhau như xác định thành phần thạch học, tướng trầm tích và môi trường thành tạo của đá; nghiên cứu và đánh giá các tầng sinh, chứa, chắn dầu; xác định hàm lượng các nguyên tố nặng, tính toán các tham số vật lý thạch học, v.v ...

2. Carota trong giếng thân trần

Các phương pháp địa vật lý được khảo sát trong giếng thân trần để nghiên cứu đá xung quanh thành giếng khoan, xác định thành phần thạch học, tướng, môi trường trầm tích của đá, xác định các tầng chắn, chứa dầu khí, xác định các tham số vật lý thạch học của tầng chứa như hàm lượng sét, độ rỗng, độ bão hòa dầu/nước, xác định tổng chiều dày hiệu dụng của các vỉa chứa dầu khí, dự báo dị thường áp suất và xác định tổng hàm lượng hữu cơ (TOC) nghiên cứu tầng sinh, xác định trạng thái kỹ thuật của giếng khoan, vị trí của thân giếng khoan, v.v ...



Hình 1. Xe tải chuyên dụng đo Địa vật lý giếng khoan của hãng Schlumberger (theo www.slb.com)

Giếng khoan thân trần có hình trụ chứa dung dịch khoan, xung quanh thành giếng là các lớp đá có thành phần thạch học, lỗ rỗng, bão hòa các chất lưu khác nhau. Ở trong giếng khoan, áp suất thủy tĩnh của cột dung dịch được duy trì cân bằng hoặc lớn hơn áp suất của thành hệ. Tổ hợp các phương pháp địa vật lý cơ bản nghiên cứu giếng khoan thân trần bao gồm các phương pháp đo trường tự nhiên (thể tự nhiên, gamma tự nhiên, phổ gamma), đo trường nhân tạo (các phương pháp điện, các phương pháp lỗ rỗng) và các phương pháp đo kiểm tra kỹ thuật thành giếng khoan. Sau khi thả máy giếng xuống đáy giếng khoan, các phương pháp địa vật lý được đo ghi trong quá trình kéo máy giếng lên [H.1]. Dữ liệu được đo bằng cách ghi tương tự hoặc ghi số.

Trong những năm gần đây, phương pháp địa vật lý còn được đo ngay trong khi khoan (LWD) cho phép xác định nhanh theo thời gian thực sự có mặt của vỉa dầu khí, quản lý an toàn trong khi khoan, nâng cao hiệu quả và tối ưu quá trình khoan, v.v...

Hệ thiết bị đo địa vật lý trong giếng khoan bao gồm: 1) máy giếng (zôn đo) cho từng phương pháp, hoặc một tổ hợp các phương pháp, được thả vào giếng khoan, 2) trạm đo ghi trên mặt đất được đặt trên xe tải chuyên dụng hoặc trên cabin ở các giàn khoan và 3) cáp chuyên dụng nối chúng với nhau.

2.1. Các phương pháp đo trường tự nhiên

Phương pháp thế tự phân cực đo ghi điện thế chênh lệch giữa một điện cực ở trong giếng khoan và điện cực đặt trên mặt đất, điện thế này thay đổi từ lớp đá này sang lớp đá khác. Điện thế tự phân cực xuất hiện chủ yếu do có sự chênh lệch về độ khoáng hóa giữa phần lọc dung dịch khoan và nước vỉa tại các vỉa có độ rỗng và độ thấm tốt, làm cho các ion dịch chuyển từ nơi có độ khoáng hóa cao đến nơi có độ khoáng hóa thấp và các ion dịch chuyển tạo ra dòng điện tự nhiên. Tại vỉa không thấm, các ion không dịch chuyển được, do đó không có điện thế tự nhiên và do vậy tạo sự chênh lệch về điện thế so với vỉa có thấm. Đường cong SP được sử dụng để xác định vỉa có thấm, thạch học, môi trường trầm tích và điện trở suất của nước vỉa.

Phương pháp gamma tự nhiên (Natural Gamma Ray Log) đo ghi cường độ bức xạ gamma tự nhiên từ các lớp đá xung quanh thành giếng khoan. Cát kết, đá vôi và dolomit thường có cường độ bức xạ nhỏ còn sét lại có bức xạ gamma lớn do các đồng vị phóng xạ U, Th và K tích tụ trong sét. Biểu đồ gamma tự nhiên (GR) cho phép xác định thạch học, môi trường trầm tích, phát hiện các thân quặng phóng xạ và tính độ sét trong đá chứa.

Phương pháp phổ gamma (Spectral Gamma Ray Log) được thiết kế đo cả cường độ bức xạ gamma và mức năng lượng của các tia gamma. Theo đặc trưng phổ năng lượng của các bức xạ gamma có thể đánh giá được hàm lượng của các nguyên tố K, U, Th trong đá. Trong đo đặc người ta chọn các phổ năng lượng đặc trưng cho mỗi dãy phóng xạ như sau: K có phổ duy nhất 1.46 MeV; Th được chọn phổ đặc trưng 2.62 MeV và đối với U chọn phổ đặc trưng 1.76 MeV. Đường cong phổ gamma (SGR) được kết hợp với các phương pháp khác để xác định thành phần khoáng vật, nhận biết các loại sét và tính hàm lượng của chúng.

Phương pháp gamma và phổ gamma còn sử dụng trong các giếng khoan đã chống ống để kiểm tra chính xác chiều sâu bắn vỉa, xác định các đới mất sản phẩm trong xi măng.

2.2. Các phương pháp lỗ rỗng

Các phương pháp lỗ rỗng được sử dụng chính để xác định độ rỗng của thành hệ gồm có phương pháp mật độ, phương pháp neutron và phương pháp âm học.

Phương pháp mật độ (Density Log) dựa trên nguyên lý đo ghi tia gamma tán xạ sau khi tương tác với môi trường vật chất. Thiết bị đo mật độ chứa nguồn Cs-137 phát tia gamma có mức năng lượng 662 keV, các tia gamma này tương tác với các điện tử dưới dạng va chạm Compton của thành hệ và mất năng lượng. Khi mức năng lượng của các

tia gamma xuống dưới 100 keV, chúng bị hấp thụ bởi hiện tượng hấp thụ quang điện. Cường độ gamma tán xạ Compton đo được phụ thuộc vào số điện tử trong một đơn vị thể tích của thành hệ (mật độ của điện tử tỉ lệ với mật độ nguyên tử) và tỉ lệ với mật độ khối của thành hệ đối với hầu hết các loại đá. Độ rỗng của thành hệ xác định được khi biết mật độ của chất lưu chứa trong lỗ rỗng và mật độ khối đo ghi được bằng phương pháp mật độ.

Phương pháp neutron (Neutron Log) dựa trên nguyên lý đo ghi mật độ của neutron nhiệt sau khi tương tác với môi trường vật chất. Thiết bị đo neutron chứa nguồn americium-berylli, phát chùm neutron vào thành hệ. Neutron mất năng lượng do các tán xạ đàn hồi và không đàn hồi với hạt nhân của các nguyên tố trong thành hệ, bị làm chậm đến mức năng lượng nhiệt và cuối cùng bị hấp thụ bởi hạt nhân. Hạt nhân của H có khối lượng bằng khối lượng của neutron nên làm neutron mất năng lượng nhiều nhất sau mỗi va chạm, và làm cho sự dịch chuyển của neutron không xa so với nguồn phát. Trong máy giếng, khoảng cách giữa nguồn và đầu dò lớn (zôn đo nghịch) nên mật độ neutron đo được ở đầu dò tỉ lệ nghịch với lượng H có trong thành hệ, chủ yếu là H có trong chất lưu trong lỗ rỗng (nước, hydrocarbon) và số đo ở đầu dò được chuyển thành giá trị độ rỗng biểu kiến.

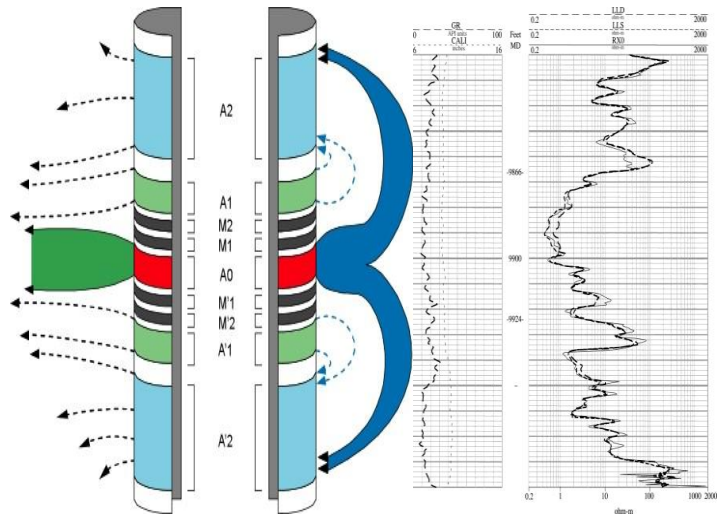
Phương pháp âm học (Sonic Log) dựa trên nguyên lý đo ghi thời gian truyền sóng đàn hồi ở tần số âm thanh từ chấn tử phát đến chấn tử thu (Δt) qua các lớp đá trong môi trường giếng khoan. Thời gian truyền sóng phụ thuộc vào tốc độ của sóng âm truyền trong xương đá và tốc độ sóng âm truyền trong chất lưu chứa trong lỗ rỗng. Với cùng một loại đá, thời gian truyền sóng tỷ lệ với độ rỗng. Phương pháp âm học được sử dụng chính để xác định độ rỗng của thành hệ vì vậy nó còn được gọi là phương pháp lỗ rỗng, ngoài ra còn sử dụng để xác định dị thường áp suất, xây dựng biểu đồ tổng hợp trong minh giải địa chấn.

Kết hợp hai phương pháp mật độ và neutron cho phép xác định các vỉa chứa khí. Các vỉa khí có mật độ nhỏ hơn chất lỏng dẫn đến chỉ số độ rỗng theo đường cong mật độ quá lớn và chứa ít H hơn nhiều so với chất lỏng dẫn đến chỉ số độ rỗng theo đường cong neutron quá nhỏ. Khi biểu diễn hai đường cong mật độ và neutron trên tỷ lệ tương ứng, chúng sẽ phủ đè lên nhau ở những khoảng thành hệ chứa chất lỏng và phân tách rộng ở những khoảng thành hệ chứa khí.

2.3. Các phương pháp điện

Có nhiều phương pháp điện khác nhau để xác định giá trị điện trở suất/độ dẫn điện của thành hệ xung quanh thành giếng khoan. Điện trở suất của thành hệ phụ thuộc vào điện trở suất của nước trong thành hệ, lượng nước và cấu trúc của lỗ rỗng. Các phương pháp điện hiện đại được phân thành hai nhóm: các phương pháp đo bằng hệ điện cực hội tụ dòng và các phương pháp cảm ứng.

Phương pháp hệ điện cực hội tụ phát dòng điện vào trong thành hệ từ điện cực phát và sử dụng các điện cực màn chắn để ép dòng phát đi sâu vào thành hệ, các điện cực cho dòng quay trở về được thiết kế trên máy giếng. Thiết bị hệ điện cực hội tụ kép (Dual Laterolog/DLL) có 9 điện cực được bố trí như hình 2 [H.2] và có thể đo ở 2 chế độ luân phiên nhau cho 2 số đo điện trở suất phản ánh các vùng nghiên cứu nông (LLS) và sâu (LLD). Phương pháp hệ điện cực hội tụ chỉ đo ghi được trong giếng khoan dùng dung dịch cơ sở gốc nước và cho số đo chính xác khi điện trở suất của dung dịch khoan nhỏ hơn so với điện trở suất của thành hệ (dung dịch mặn).



Hình 2. Hai chế độ đo của thiết bị hệ điện cực hội tụ kép (DLL) và các đường cong điện trở suất nông LLS và sâu LLD tương ứng. Các đường LLS và LLD (ngắt đoạn ngắn và dài) trên cột đồ thị bên phải hình vẽ).

Thiết bị hệ điện cực hội tụ kép (Dual Laterolog/DLL) có 9 điện cực được bố trí như hình 2 [H.2] và có thể đo ở 2 chế độ luân phiên nhau cho 2 số đo điện trở suất phản ánh các vùng nghiên cứu nông (LLS) và sâu (LLD). Phương pháp hệ điện cực hội tụ chỉ đo ghi được trong giếng khoan dùng dung dịch cơ sở gốc nước và cho số đo chính xác khi điện trở suất của dung dịch khoan nhỏ hơn so với điện trở suất của thành hệ (dung dịch mặn).

Phương pháp cảm ứng (IL) nghiên cứu mặt cắt giếng khoan thông qua việc nghiên cứu trường điện từ cảm ứng xuất hiện trong môi trường nghiên cứu do bị kích thích bởi trường điện từ nguyên sinh. Thiết bị đo cảm ứng trong giếng khoan sử dụng các ống dây để phát trường điện từ biến đổi vào trong thành hệ, hiện tượng cảm ứng điện từ sẽ tạo ra một dòng điện cảm ứng trong thành hệ có độ lớn phụ thuộc vào độ dẫn điện của phần thành hệ mà dòng này đã đi qua. Đến lượt nó, dòng cảm ứng gây ra trường điện từ cảm ứng, có cùng tần số với trường nguyên sinh nhưng ngược pha và được đo ở các ống dây thu. Từ số đo cảm ứng (độ dẫn điện) sẽ tính được điện trở suất của thành hệ. Phương pháp cảm ứng cho số đo chính xác khi điện trở suất của dung dịch khoan lớn hơn so với điện trở suất của thành hệ (dung dịch nhạt). Trong các giếng khoan khô và các giếng khoan dung dịch cơ sở gốc dầu, phương pháp cảm ứng là lựa chọn duy nhất.

3. Carota trong giếng đã chống ống

Trước khi đưa vào khai thác (bơm hút hoặc bơm ép) giếng khoan phải qua các công đoạn hoàn thiện: đặt ống chống, bơm trám xi măng, đặt thùng thành giếng, lắp đặt các thiết bị, v.v... Trong quá trình hoạt động, giếng khai thác được đo định kỳ bằng các

phương pháp địa vật lý để nghiên cứu, theo dõi sự ổn định của giếng, thành phần chất lưu trong tầng chứa, ranh giới dầu/nước, khí/nước, v.v... Các phép đo địa vật lý trong trường hợp này gọi là địa vật lý trong giếng khoan có ống chống hay địa vật lý trong giếng khoan khai thác, nhưng thực ra trong nghiên cứu giếng khai thác còn bao gồm thêm nhiều thao tác dịch vụ khác nữa như đo lưu lượng dòng chảy, nhiệt độ áp suất vỉa, lượng nước và khí đồng hành trong dòng khai thác, v.v...

3.1. Sự khác nhau giữa giếng khoan thân trần và giếng khoan có ống chống

Thành giếng khoan thân trần là một “vết lộ địa chất” xuyên qua các lớp đá do mũi khoan tạo ra. Giếng có hình trụ chứa dung dịch khoan, xung quanh thành giếng là các lớp đá có thành phần lỗ rỗng khác nhau, áp suất thủy tĩnh cột dung dịch cân bằng hoặc lớn hơn áp suất vỉa. Tổ hợp các phương pháp địa vật lý nghiên cứu giếng khoan thân trần thường không hạn chế số phép đo.

Sau khi đặt ống chống và trám xi măng, dung dịch trong giếng khoan được thay rửa, áp suất của cột dung dịch nhỏ hơn áp suất vỉa chứa. Do ống chống bằng thép và vành xi măng tạo nên sự phân bố không đồng nhất theo phương bán kính ở giếng khoan phức tạp hơn, hạn chế khả năng áp dụng một số phương pháp địa vật lý, như nhóm các phương pháp điện từ trường. Do đó tổ hợp các phép đo địa vật lý trong giếng khoan có ống chống ít hơn trong giếng khoan thân trần.

3.2. Nghiên cứu mặt cắt địa chất, thành phần chất lưu trong tầng chứa ở giếng khoan có ống chống

Các nghiên cứu này có thể tiến hành đo bằng các phương pháp phóng xạ và hạt nhân. Khi đo trong các giếng khoan có ống chống, tín hiệu đo của các phương pháp phóng xạ hạt nhân yếu đi nhiều nhưng độ phân giải của các biểu đồ này vẫn cao, thể hiện sự thay đổi thành phần khoáng vật, vì cấu trúc của các lớp đá trong mặt cắt.

Phương pháp gamma tự nhiên (GR) và phổ gamma tự nhiên (SGR)

GR là phép đo cường độ bức xạ tự nhiên do sự phân rã các nguyên tố đồng vị của các dãy phóng xạ K, Th và U trong đá ở xung quanh giếng khoan. Cường độ bức xạ gamma tự nhiên phụ thuộc thành phần, độ hạt, nguồn gốc thành tạo của đá. Ứng dụng của phép đo GR là để phát hiện các thân quặng phóng xạ và tính độ sét trong tầng đá chứa dầu khí.

Theo đặc trưng phổ năng lượng của các bức xạ gamma có thể đánh giá được hàm lượng của các nguyên tố K, U, Th trong đá. Năng lượng của các tia bức xạ này tính bằng đơn vị MeV (triệu điện tử von). Trong đo đạc người ta chọn các phổ năng lượng đặc trưng cho mỗi dãy phóng xạ như sau: kali có phổ duy nhất 1.46 MeV ; thori với phổ đặc trưng 2.62 MeV và urani với phổ 1.76 MeV, đây chính là cơ sở vật lý của phép đo SGR.

Hàm lượng các nguyên tố này khác nhau trong các đá khác nhau, thể hiện thành phần khoáng vật, môi trường thành tạo, nguồn gốc của các đá trong mặt cắt.

Phương pháp xung neutron (TDT)

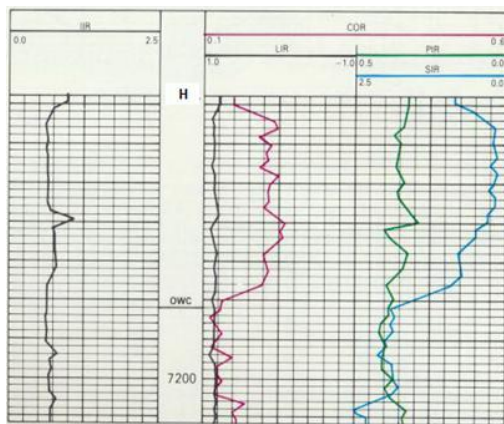
Dùng máy phát các xung neutron nhanh vào môi trường. Đi trong môi trường đá thì neutron mất dần năng lượng do các va chạm hay tán xạ đàn hồi và không đàn hồi với các hạt nhân. Khi tán xạ không đàn hồi với hạt nhân, neutron nhanh không chỉ mất năng lượng mà còn gây phản ứng ngưỡng có phát xạ gamma. Cuối cùng neutron sẽ mất gần hết năng lượng và biến thành các neutron nhiệt. Ở trạng thái nhiệt các neutron rất dễ bị một số hạt nhân bắt giữ. Khi bắt giữ neutron nhiệt hạt nhân tăng thêm một đơn vị khối lượng và ở trạng thái kích thích rồi phát xạ tia gamma chiếm giữ, có phổ năng lượng đặc trưng cho hạt nhân. Vậy là đi trong môi trường đá các neutron nhanh mất dần năng lượng biến thành neutron nhiệt, cuối cùng bị bắt giữ. Trong quá trình đó có hai trường hợp phát xạ ra tia gamma, đó là tán xạ không đàn hồi giữa neutron nhanh với các hạt nhân nặng phát ra tia gamma tán xạ và neutron nhiệt bị một số các hạt nhân trong môi trường bắt giữ phát xạ tia gamma chiếm giữ.

Phép đo TDT xác định sự suy giảm (theo hàm mũ) mật độ neutron nhiệt trong môi trường ở thời điểm giữa hai xung phát liên tiếp, bằng cách đếm các tia gamma chiếm giữ. Phân tích kết quả đo TDT để xác định độ rỗng, độ bão hòa, v.v... của đá chứa.

Phương pháp phổ gamma (GST)

Trong va chạm không đàn hồi với hạt nhân nặng, neutron mất bớt năng lượng và phát xạ tia gamma tán xạ, còn khi bắt giữ neutron nhiệt, khối lượng hạt nhân tăng thêm một đơn vị và rơi vào trạng thái kích thích, phát xạ tia gamma chiếm giữ đều có phổ

năng lượng đặc trưng. Xác suất để một hạt nhân bắt giữ neutron nhiệt phụ thuộc vào tiết diện chiếm giữ của nó. Trong môi trường đá thường gặp các nguyên tố có tiết diện chiếm giữ lớn như Cl, Si, Ca, H, Mg, O, v.v....



Hình 3. Thí dụ các biểu đồ đo GST

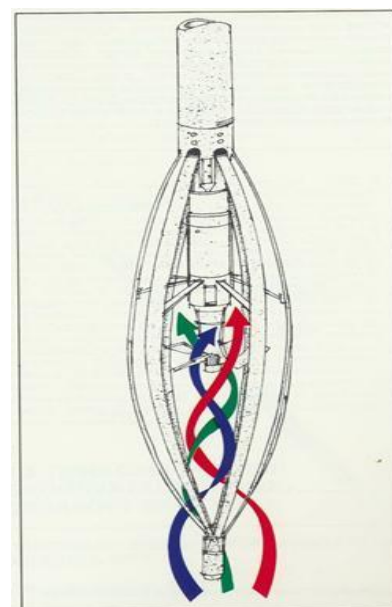
Phép đo GST [H.3] cho phép tách biệt các tia gamma chiếm giữ và gamma tán xạ, phát xạ từ các hạt nhân của các nguyên tố khác nhau theo phổ năng lượng đặc trưng của chúng; do đó có thể đánh giá hàm lượng của từng nguyên tố trong môi trường đá. Nhằm tránh hoặc giảm thiểu ảnh hưởng từ môi trường, như độ sét, độ khoáng hóa, ống chống, vành xi măng, v.v... lên kết quả đo, trong các chương trình phân tích tài

liệu thường tính tỷ số hàm lượng giữa các nguyên tố như C/O, Cl/H, H/(Si+Ca), Fe/(Si+Ca), S/(Si+Ca), Si/(Si+Ca), v.v... thuận tiện cho đánh giá các tham số của đá chứa bên ngoài ống chống. Trong đó tỷ số C/O, ký hiệu theo Schlumberger – (COR), không phụ thuộc độ khoáng hóa, trong loại xương đá sạch thuần nhất (vôi, dolomit hay cát), tỷ số này có mối liên hệ chặt chẽ với độ rỗng. Biểu đồ COR có giá trị thay đổi đột

ngọt tại ranh giới dầu/nước (OWC). Trong đá có độ sét thấp (<5%), độ khoáng hóa và độ rỗng ít thay đổi, tỷ số $Cl/H - (SIR)$, dùng để xác định độ bão hòa S_w và ranh giới dầu/nước. Độ sét Vcl có quan hệ rất chặt chẽ với tỷ số $Fe/(Si+Ca) - (IIR)$. Trong giếng khoan thân trần tỷ số $Si/(Si+Ca) - (LIR)$, sẽ bằng 1,0 trong đá cát, bằng không (0) trong đá cacbonat; còn trong giếng khai thác, do có ống chống và vành xi măng nên tỷ số này < 1,0 ở đá cát kết, và lớn hơn không (0) trong đá cacbonat. Tỷ số $S/(Si+Ca) - (AIR)$, đặc biệt nhạy với anhydrit trong thành phần khoáng vật của đá chứa, còn tỷ số $H/(Si+Ca) - (PIR)$, trong trường hợp đá sạch, là hàm số của độ rỗng toàn phần $PHIT$ chia cho thể tích xương đá $- PHIT/(1-PHIT)$, thể hiện độ thông thoáng của hệ thống lỗ rỗng, có vai trò quyết định cho khả năng thấm của đá chứa.

3.3. Các phép đo khác trong giếng khoan khai thác

Ở chế độ khai thác, giếng được lắp đặt các thiết bị đầu giếng: các van đối áp kiểm tra an toàn, vòng đệm thủy lực, ống bao, v.v... Các thiết bị đo trong giếng khai thác đều thuộc loại có đường kính nhỏ [H.4]. Những tham số đo dịch vụ trong trường hợp này thường là lưu lượng dòng chảy, hàm lượng nước trong chất lưu, nhiệt độ, độ khoáng hóa, mật độ chất lưu, áp suất khi mở và đóng giếng, v.v... Mỗi tham số được đo nhờ một cảm biến phù hợp. Đo tốc độ dòng chảy được tính theo số vòng quay của bộ cánh quạt (đặt ở trục giếng khoan) trong đơn vị thời gian, hàm lượng nước xác định qua hằng số điện môi của dòng chất lưu đa pha. Cảm biến đo nhiệt độ là một cầu điện trở nhạy nhiệt, áp kế gradien cung cấp số liệu để tính gradien áp suất và mật độ chất lỏng. Độ mặn được tính theo điện trở suất của nước vỉa, v.v...



Hình 4. Thiết bị đo trong giếng khai thác

Các tham số hoặc được đo trong một thao tác riêng rẽ hoặc kết hợp đo đồng thời liên tục nhiều tham số cùng lúc tại một vị trí chiều sâu trong giếng khai thác.

4. Các phương pháp ĐVLGK trong khảo sát khoáng sản rắn

Các giếng khoan thăm dò than - khoáng sản rắn thường có cấu trúc đơn giản: thân trần, đường kính trung bình (100 tới 135) mm, chiều sâu không quá 1000 m, dung dịch khoan là dung dịch nước ngọt hoặc không khí.

Áp dụng địa vật lý trong các giếng khoan than và các khoáng sản là để phát hiện vị trí, chiều dày và đánh giá chất lượng các vỉa than hoặc thân khoáng để đánh giá trữ lượng của nó.

Than. Tích tụ than là loại hình khoáng sản ngoại sinh. Than có cấu trúc thấu kính, lớp hoặc vỉa có chiều dày khác nhau. Thành phần tích tụ than gồm những vật liệu hữu cơ trong các nhóm vitrinit, exinit và enectinit. Căn cứ vào mức độ biến đổi chất, than có tên gọi khác nhau: lignit, than bùn, than nâu, than đá, than mỡ, nửa antracit, antracit. Các tính chất vật lý hóa học của than cũng thay đổi theo mức độ biến chất của than. Mọi quan sát đều thấy mật độ khối (ρ_b) của than thay đổi tăng dần theo độ biến chất của than, điện trở suất (R) tăng từ than biến chất thấp (than bùn) đến than có độ biến chất trung bình (than đá) và giảm dần từ biến chất trung bình cao đến rất cao (antracit) vì xuất hiện khả năng dẫn điện điện tử trong antracit. Dù ở mức độ biến chất cao hay thấp, đa số các trường hợp than có điện trở suất cao hơn các lớp đá vây quanh, rất ít gặp than có điện trở suất thấp như trường hợp antracit ở dải than Bảo Đài - Yên Tử trong bể than Đông Bắc Việt Nam.

Độ phóng xạ tự nhiên của than không thay đổi theo mức độ biến chất và thấp hơn so với các đá vây quanh như sét, bột kết, sét kết. Chỉ khi than chứa khoáng vật phóng xạ uranit (U_3O_8) trong quá trình thứ sinh thì than mới có độ phóng xạ tự nhiên cao, như trường hợp các vỉa than ở vùng Nông Sơn (Quảng Nam).

Có thể phát hiện các vỉa than trong mặt cắt giếng khoan dễ dàng bằng một tổ hợp các phép đo như thể tự nhiên (SP), điện trở suất (R), gamma (GR), mật độ (ρ_b), đường kính giếng khoan (Caliper) [H.5], v.v...; ngoài ra cũng có thể bổ sung thêm một trong hai phép đo độ rỗng khác là âm học hoặc neutron.

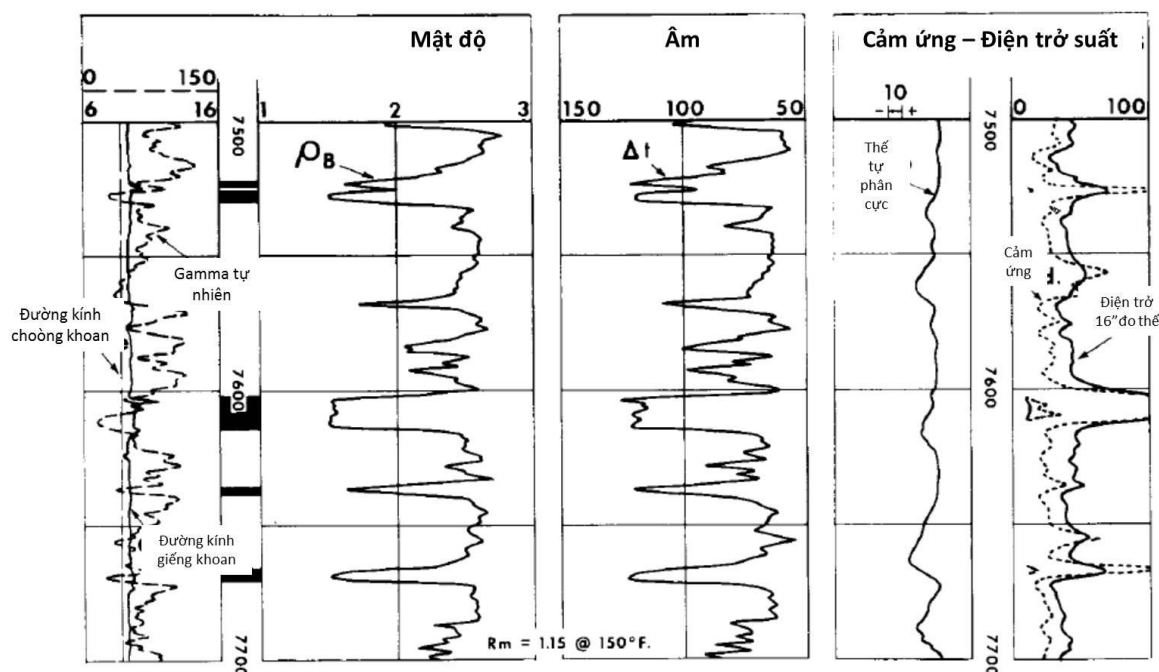
Để đánh giá chất lượng than, tham số quan trọng nhất cần xác định là độ tro của than. Tro là phần vô cơ không cháy được, còn lại sau khi đốt than ở nhiệt độ trong lò cao, thường là các khoáng vật sét, pyrit, các oxit sắt, v.v... Sự có mặt của các khoáng vật này trong than làm thay đổi các tính chất vật lý của nó, vì vậy có thể xác định được độ tro nhờ một tổ hợp phép đo để xây dựng một hệ phương trình tuyến tính được thành lập từ các giá trị đo địa vật lý ở vỉa than.

Urani. Urani là nguyên tố trong nhóm kim loại nặng, thường gặp trong tự nhiên ở dạng oxit (U_3O_8). Ở điều kiện cân bằng phóng xạ thì việc phát hiện các thân quặng phóng xạ urani trong mặt cắt giếng khoan không phức tạp, chỉ cần đo biểu đồ GR là đủ.

Trường hợp hay gặp trong thực tế, không có cân bằng phóng xạ, để có thể xác định hàm lượng U_3O_8 trong quặng thì thực hiện phép đo neutron muộn sau khi các neutron nhiệt va chạm với hạt nhân urani (DFN - Delayed Fission Neutron). Chỉ số của phép đo này tỷ lệ với hàm lượng U_3O_8 trong đá.

Quặng kim loại. Khoáng vật quặng kim loại hay gặp là những khoáng vật trong nhóm sulfur và oxit. Các khoáng vật quặng đa kim được hình thành trong các quá trình nội sinh (nhiệt dịch, biến chất trao đổi, v.v...). Thân quặng ở dạng khối hoặc xâm tán. Ở dạng khối, các thân quặng có độ dẫn cao (điện trở suất thấp), mật độ cao từ 4.1 đến

7.5) g/cm^3 tùy từng loại, trong khi mật độ của đá không chứa quặng rất thấp, độ cảm từ rất thấp ở nhóm các khoáng vật sulfur, rất cao ở nhóm các oxit sắt.



Hình 5. Phát hiện các vỉa than trong mặt cắt giếng khoan (Theo Society of Exploration Geophysicists)

Ở dạng xâm tán, tùy hàm lượng quặng trong đá, các tính chất vật lý có thể thay đổi, riêng hệ số phân cực kích thích thì không thay đổi hoặc tăng cao.

Dựa vào các đặc điểm trên, để phát hiện các thân quặng kim loại trong mặt cắt giếng khoan cần tiến hành tổ hợp các phép đo GR, R, mật độ, IL (trong giếng khoan không dung dịch), IP (với trường hợp quặng xâm tán), độ cảm từ (trường hợp quặng sắt).

Các khoáng vật phi kim loại. Những khoáng vật phi kim loại như lưu huỳnh, thạch cao, phosphat, sylvit (KCl), muối mỏ (NaCl), có mật độ từ (2,0 đến 3,2) g/cm^3 , điện trở suất rất cao, độ phóng xạ tự nhiên thấp (trừ phosphat và sylvit), độ rỗng neutron Φ_N rất thấp từ (-3 đến +5) % (trừ thạch cao có $\Phi_N \geq 60\%$).

Lưu huỳnh (S) thường nằm trong lỗ rỗng hang hốc hay khe nứt của carbonat như đá vôi. Lưu huỳnh có mật độ thấp (2,03 g/cm^3), độ rỗng neutron thấp, tốc độ truyền sóng âm vào loại thấp (2,5 km/s) so với đá vây quanh. Để phát hiện khoáng vật này thường chỉ cần đo ghi các giá trị mật độ ρ_b và Δt .

Thạch cao thường có cấu trúc khối lớn, độ phóng xạ luôn luôn thấp, điện trở suất cao, độ rỗng neutron thường rất cao (0,6).

Phosphat có tỷ trọng lớn (3,15), độ phóng xạ tự nhiên cao khi chứa kali (300 đến 1500) API, điện trở suất cao.

Sylvit (KCl) có tỷ trọng thấp (1,86), điện trở suất cao, cường độ phóng xạ tự nhiên tỷ lệ với hàm lượng kali.

Muối mỏ (NaCl) có tỷ trọng thấp (2,03), điện trở suất rất cao, gần như không có tính phóng xạ tự nhiên. Đặc điểm khá nổi bật của khoáng vật này là giòn, dễ hòa tan trong dung dịch khoan nên các lớp muối thường đánh dấu bằng dấu hiệu đường kính giếng khoan rộng đột ngột.

Căn cứ vào các đặc điểm của các khoáng vật nêu trên, người ta chọn các tổ hợp phép đo phù hợp để phát hiện và đánh giá chất lượng của chúng.

5. Các phương pháp ĐVLGK trong địa chất thủy văn

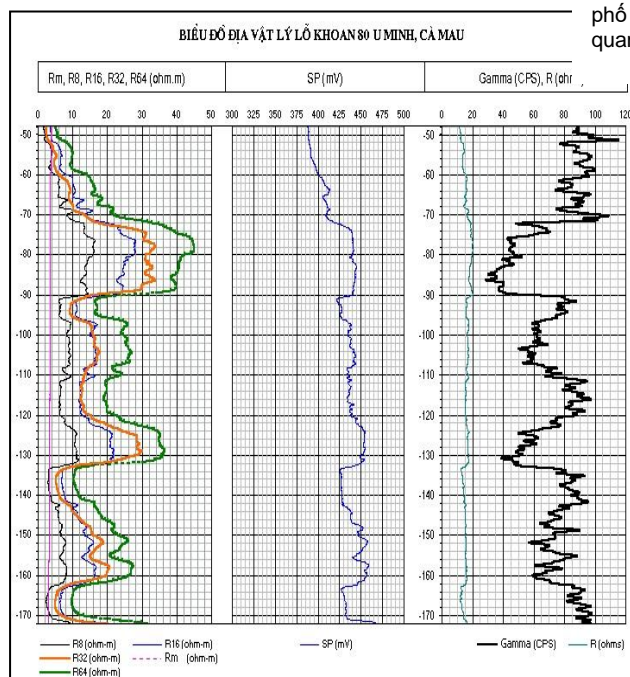
ĐVLGK được áp dụng trong nghiên cứu địa chất thủy văn để đo các đặc tính vật lý của đá xung quanh với máy đo được thả trong giếng khoan. Số liệu đo ĐVLGK là hàm của độ sâu. Kết quả đo carota làm tăng giá trị của giếng khoan cho người phân tích, do khả năng cung cấp thông tin trực tiếp về thạch học, bề dày lớp, độ rỗng, lượng nước chứa trong tầng, độ mặn nhạt của nước, độ thấm và nhiệt độ. ĐVLGK được sử dụng rộng rãi trong các giếng khoan khảo sát, thăm dò nước dưới đất,



Hình 6. Trạm đo carota MATRIX của hãng Mount Sopris, Mỹ.



Hình 7. Trạm MGX-II đang thực hiện đo carota giếng khoan tại xã Thốt Nốt, thành phố Cần Thơ. Trạm đo được điều khiển và quan sát trên máy tính.



Hình 8. Sự phân dị của các đường cong điện trở suất R8, R16, R32, R64 (trái) phù hợp với địa tầng theo gamma (phải) và SP (giữa).

đặc biệt các vùng châu thổ như đồng bằng sông Cửu Long, đồng bằng sông Hồng.

Tổ hợp tiêu chuẩn các phương pháp carota trong nghiên cứu địa chất thủy văn ở đồng bằng sông Cửu Long sử dụng các thiết bị trạm đo kỹ thuật số: MGX-II, MATRIX [H.6; H.7] của hãng Mount Sopris, Mỹ gồm: Phương pháp gamma tự nhiên (GR), phương pháp điện trở suất hệ điện cực thể (R8, R16, R32, R64), phương pháp thể tự phân cực (SP), phương pháp điện trở suất dung dịch (Fres), phương pháp nhiệt độ (T).

Đi kèm các trạm này có phần mềm điều khiển và xử lý số liệu chuyên biệt. Khi hoạt động tại thực địa, trạm đo được nối với máy đo thả xuống giếng khoan, đồng thời kết nối với máy tính và máy in [H.6]. Các đường cong carota R8, R16, R32, R64 phản ánh biến đổi điện trở suất ở các đới thấm quanh giếng khoan do có sự thấm dung dịch vào vỉa chứa nước [H.8]. Từ đó, có thể tính toán, đánh giá độ mặn nhạt của nước vỉa và kết hợp với GR phân tầng địa chất thủy văn giếng khoan.

Công tác ĐVLGK trong nghiên cứu địa chất thủy văn, đặc biệt ở các vùng phức tạp về địa tầng trầm tích và thủy hóa như đồng bằng sông Cửu Long, đồng bằng sông Hồng, được thực hiện xuyên suốt từ giai đoạn lập bản đồ, tìm kiếm thăm dò đến khai thác. Ngoài các phương pháp trong tổ hợp tiêu chuẩn, tùy theo mục tiêu cụ thể, có thể áp dụng bổ sung phương pháp đường kính giếng khoan (CAL) hoặc phương pháp gamma mật độ (GG). ĐVLGK ít được sử dụng đo giếng khoan nghiên cứu trong đới đập vỡ, nứt nẻ.

6. Tài liệu đọc thêm

- Nguyễn Hồng Bằng, 2005. Nghiên cứu xác định hệ số thấm, hàm lượng sét và tổng độ khoáng hoá của nước dưới đất khu vực Đồng bằng Nam bộ theo tài liệu địa vật lý lỗ khoan. *Bộ Tài nguyên và Môi trường*. Hà Nội. 139 tr.
- Nguyễn Văn Phon, Hoàng Quý, 2004. Địa vật lý giếng khoan. *NXB Giao thông vận tải*. Hà Nội. 299 tr.
- Chapellier D., 1992. Well Logging in Hydrogeology. *A.A Balkema Publishers, USA*. 184 p.
- С. С. Итенберг, 1987. Интерпретация геофизических исследований скважин. *Недра*. Москва. 375 стр.
- В.М.Запорожца, 1983. Геофизические методы исследования скважин - Справочник геофизика. *Недра*. Москва. 591 стр.
- Schlumberger, 1989. Log Interpretation Principles/Applications. *Schlumberger Education and Training Services*. 241 p.
- Schlumberger, 1989. Cased Hole Log Interpretation Principles/Applications. *Schlumberger Education and Training Services*. 203 p.
- Robert Desbrands (1985). Encyclopedia of Well Logging. *Edition Technip*. Paris: 584 p.
- M. P. Tixer, R. P. Alger (1970). Log evaluation of nonmetallic mineral deposits. *Geophysics Vol. 35. February 1970*: 124-142.