

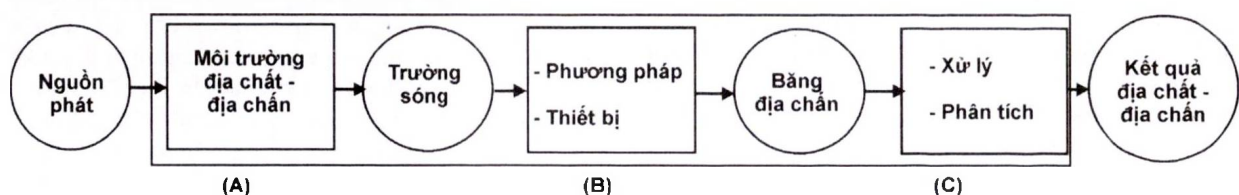
Thăm dò địa chấn

Mai Thanh Tân. Khoa Dầu khí,
Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Hà Nội.

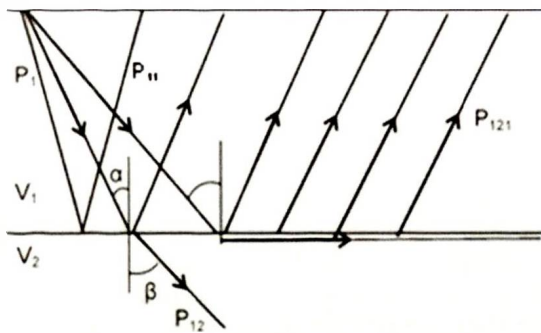
Giới thiệu

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 nôm, rung, đập (khảo sát trên đất liền) hoặc khí nén, nổ hỗn hợp khí, điện - thủy lực (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.



Hình 2. Sự hình thành sóng phản xạ P_{11} , sóng qua P_{121} và sóng khúc xạ P_{12} .

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 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, tương 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 các nhóm phương pháp địa chấn chính - địa chấn phản xạ, địa chấn khúc xạ (đo trên mặt) và tuyến địa chấn thẳng đứng, chiếu sóng (đo trong giếng khoan).

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...

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. Trong trường hợp không chỉ nghiên cứu sóng trực tiếp mà cả các loại sóng thứ cấp khác nhằm xác định bức tranh sóng phục vụ cho quá trình phân tích tài liệu địa chấn trên mặt gọi là phương pháp tuyến địa chấn thẳng đứng (VSP). Phương pháp địa chấn chiếu sóng tiến hành phát và thu ở 2 giếng khoan khác nhau, cho phép xác định đặc điểm môi trường địa chất giữa 2 giếng khoan.

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 khi coi môi trường đó là đồng nhất, 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 mà không phải theo tia sóng, v.v...

Phát và thu sóng địa chấn

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.

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).

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.

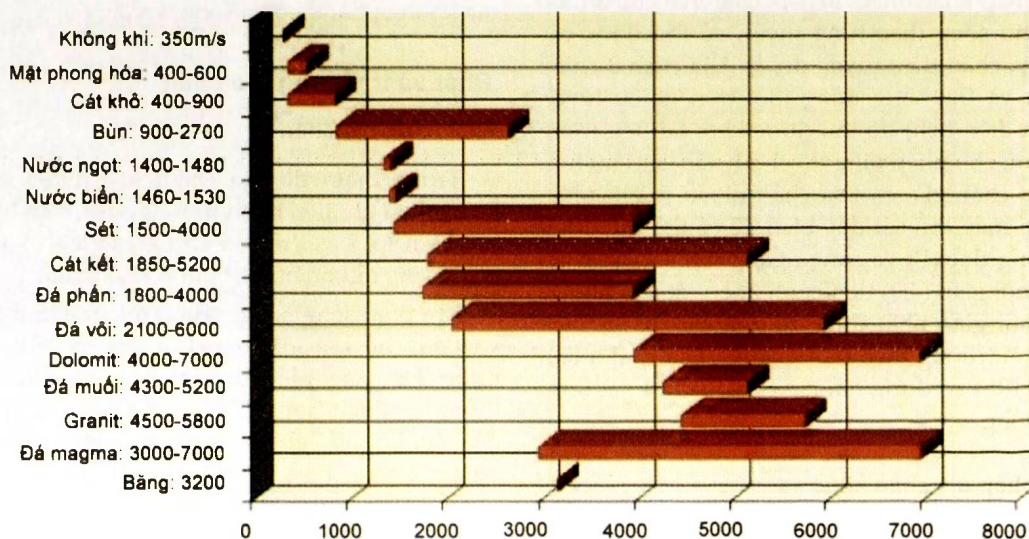
- Chuyển đổi và sắp xếp số liệu từ băng địa chấn thực địa vào máy tính.

- 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, 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...

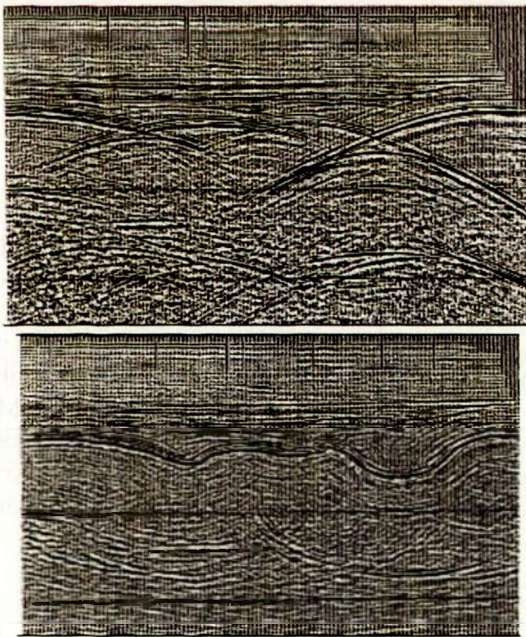
- Hiệu chỉnh động, phân tích tốc độ và cộng sóng. Hiệu chỉnh động là quá trình hiệu chỉnh ảnh hưởng khoảng cách thu phát nhằm chuyển máy thu ở các vị trí khác nhau về tại nguồn phát; nói cách khác là biến đổi các trục đồng pha của sóng phản xạ có dạng hypebol về đường thẳng để cộng sóng đồng pha nhiều 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



Hình 3. Tốc độ truyền sóng của một số loại đá.

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 phân 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 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 phân 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 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.



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

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 gồm phân tích cấu trúc, phân tích địa tầng trầm tích.

Phân tích cấu trúc

Phân tích cấu trúc nhằm xác định các mặt ranh giới địa tầng, bề dày các dãy 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, chổng 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 tương, 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.

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 tương, môi trường trầm tích, v.v... phục vụ đắc lực cho giải quyết các nhiệm vụ địa tầng dây.

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 nguồn vật liệu 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, dãy trầm tích. Vì mối quan hệ chặt chẽ của 2 lĩnh vực này nên ngày nay người ta thường sử dụng thuật ngữ chung "dãy địa chấn địa tầng" (seismic sequence stratigraphy).

Lời của Chủ biên BKT ĐC. Một số tác giả dùng cụm từ "địa tầng phân tập" để chuyển ngữ thuật ngữ Sequence stratigraphy của tiếng Anh. Cụm từ "địa tầng phân tập" có thể ứng với hình thái các dãy trầm tích được tư liệu địa chấn phản ánh, nhưng không đáp ứng nội hàm và yêu cầu chặt chẽ về địa chất - địa tầng học và không ứng hợp với tư nguyên học của Sequence stratigraphy. Do đó trong Bách khoa thư địa chất, thuật ngữ địa tầng dãy được sử dụng nhất quán ở mọi mục từ liên quan. (Xem thêm mục từ "Địa tầng dãy" của chủ đề Tương đả - Cổ địa lý).

Nguyên tắc và quan điểm về Địa tầng dãy

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

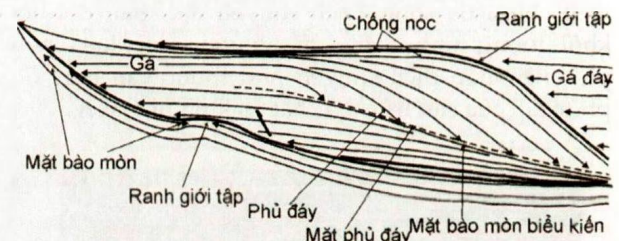
Nhiệm vụ quan trọng của địa chấn địa tầng là phải nhận dạng để xác định loại mô hình dãy phù hợp, phát hiện các mặt ranh giới địa tầng phân chia các dãy trầm tích và các hệ thống trầm tích như mặt bất chỉnh hợp bào mòn (Subaerial Unconformity/SU), mặt chỉnh hợp liên kết (Correlative Conformity/CC), mặt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

Nhận dạng dãy trầm tích trên tài liệu địa chấn

Việc phân tích các dãy 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 dãy cần dựa trên cơ sở xác định đặc điểm các ranh giới có liên quan bằng các dấu hiệu của địa chấn địa tầng. Mặt ranh giới cần xác định gồm mặt bất chỉnh hợp gián đoạn trầm tích và các mặt ranh giới khác như mặt biến tiến, mặt ngập lụt cực đại, v.v.... Mô hình phân tích dãy trầm tích theo tài liệu địa chấn được minh họa trên hình 5 [H.5].

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 mực nước biển thấp có các dấu hiệu quạt đáy bể, quạt sườn, v.v... trong quá trình biến lùi bắt buộc, các nêmlấn trong quá trình biến lùi bình thường. Hệ thống trầm tích biến tiến có trường sóng liên quan đến nêmlấn vào bờ trong quá trình biến tiến, tồn tại các dãy 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 sông lạch đào khoét. Điểm đặc trưng của hệ thống trầm tích mực nước biển cao là có các nêmlấn dạng sigma trong quá trình biến lùi bình thường khi mực nước biển ở mức cao, các nêmlấn này nằm trên nóc hệ thống trầm tích biến tiến có ranh giới là mặt ngập lụt cực đại. Nóc của hệ thống trầm tích mực nước biển cao là mặt bào mòn với sự xuất hiện các bãi bồi phát triển rộng khắp trên phần thềm mở rộng.



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

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 thưa, 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 dãy địa chấn gồm dãy 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 biên.

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.

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 độ $\theta = 0$) 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 độ). 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 độ $\theta = 0$, 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 môi liên hệ của vỉa cát chặt sét với hydrocarbon, đây là loại khó phát hiện từ tài liệu địa chấn.

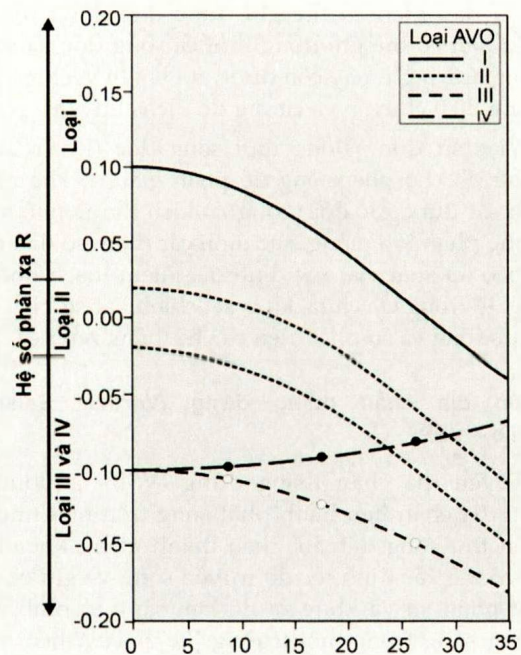
- AVO loại II: có biên độ nhỏ (dương hoặc âm) ở gần nguồn phát và càng âm dần theo khoảng cách. Nếu biên độ dương ở gần nguồn phát thì khi giảm dần theo khoảng cách có thể phân cực trở thành âm. AVO loại II đại diện cho loại cát sạch chứa hydrocarbon, thường xuất hiện như là mặt phản xạ âm yếu.

- AVO loại III: có giá trị biên độ âm lớn ở gần nguồn phát và càng âm hơn theo khoảng cách. Loại 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 $G > 0$). 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.

Phân tích AVO 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 bằng 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.



Hình 6. Phân loại AVO.

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 hòa, 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.

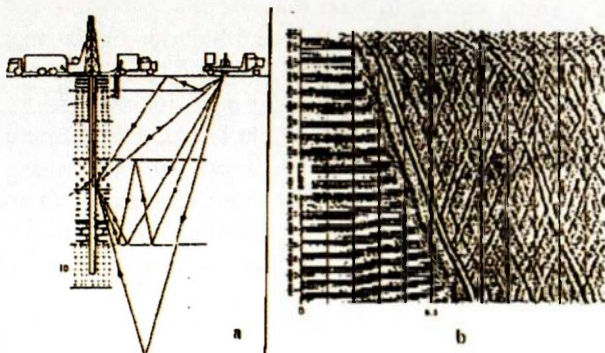
Địa chấn nhiều thành phần (Multicomponent seismic – 4C)

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.

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:



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

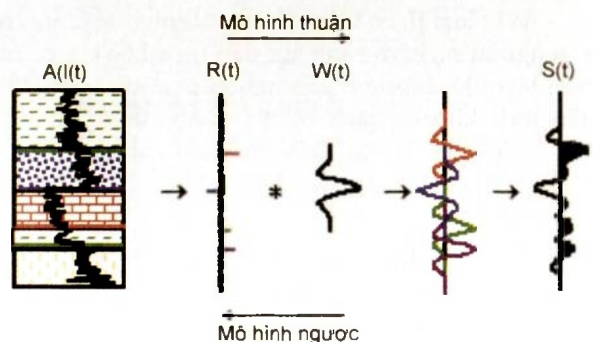
- Phương pháp địa chấn giếng khoan xác định tốc độ (Checkshot VSP),
- Phương pháp nguồn phát gần giếng khoan (Zero - offset VSP),
- Phương pháp nguồn phát xa giếng khoan (Offset VSP),
- Phương pháp dịch chuyển nguồn phát theo giếng khoan nghiêng (Walk - above VSP),
- Phương pháp cố định máy thu và dịch 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).

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).

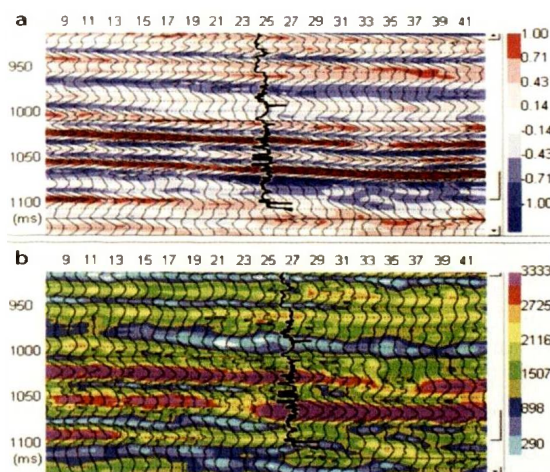
Nghịch đảo địa chấn (Seismic Inversion)

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



Hình 8. Nghịch đảo địa chấn.

tích [H.9]. Để thực hiện quá trình này cần thiết phải liên kết với tài liệu giếng khoan để kiểm tra.



Hình 9. So sánh mặt cắt địa chấn (a) và mặt cắt thuộc tính biên độ (b), (Yilmaz, 2001).

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 địa chấn thường phản ánh các mặt ranh giới còn mặt cắt trở kháng âm học liên quan đến đặc điểm thạch học của lớp nằm giữa các ranh giới 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 quy (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 địa vật lý 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.

Các thuộc tính địa chấn

Trong minh giải tài liệu địa chấn, để xác định đặc điểm cấu trúc địa chất, địa tầng trầm tích, đặc biệt là trực tiếp xác định đặc điểm thạch học và tính chất các vỉa chứa (dầu, khí, nước) cần khai thác tối đa các đặc điểm của trường sóng địa chấn. Tập hợp các đặc điểm của trường sóng địa chấn (như biên độ, tần số, pha, độ phân cực, độ dốc, độ cong, v.v...) kể cả các kết quả biến đổi toán học của chúng được gọi là các thuộc tính địa chấn (Seismic Attributes). Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ xử lý số liệu, ngày nay có thể xác định được số lượng lớn các loại thuộc tính khác nhau và xác định mối quan hệ của chúng với đối tượng địa chất. Tùy vào nhiệm vụ cần giải quyết mà có nhiều cách phân loại và cách lựa chọn các thuộc tính thích hợp, có hiệu quả. Trên hình 9 là một thí dụ cho thấy mặt cắt thuộc tính biên độ (b) thể hiện đặc điểm tầng chứa rõ hơn so với mặt cắt địa chấn (a).

Tài liệu tham khảo

- Dobrin M. B., Savit C. H., 1991. Introduction to Geophysical Prospecting. *Mc Graw-Hill*, New York. 867 pgs.
- Gupta H. K. (Editor), 2011. Encyclopedia of Solid Earth Geophysics. *Springer*. 1539 pgs.
- Kearey P., Brooks M., 1991. An introduction to Geophysical Exploration. *Blackwell Scientific Publications*. 254 pgs.
- 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 pgs.
- Sheriff R. E., Geldart L. P., 1999. Exploration Seismology. *Cambridge University Press*. 628 pgs.
- Telford W. M., Geldart L. P. and Sheriff R. E., 1987. Applied Geophysics. *Cambridge University Press*. 770 pgs.
- Yilmaz O., 2001. Seismic Data Analysis (Investigations in Geophysics No.10) (2 Volumes). *Society of Exploration Geophysicists*. 2027 pgs.