

KẾT QUẢ BƯỚC ĐẦU PHÂN TÍCH TÀI LIỆU ĐỊA CHẤN DÒ SÂU NGHIÊN CỨU CẤU TRÚC VỎ TRÁI ĐẤT MIỀN BẮC VIỆT NAM

ĐINH VĂN TOÀN, STEVEN HARDER, PHẠM NĂNG VŨ,
TRỊNH VIỆT BẮC, ĐOÀN VĂN TUYẾN, LẠI HỢP PHÒNG,
TRẦN ANH VŨ, NGUYỄN THỊ HỒNG QUANG

I. MỞ ĐẦU

Ở Việt Nam các nghiên cứu cấu trúc sâu trong nhiều năm qua chủ yếu tiến hành bằng sử dụng tài liệu trọng lực. Lý do chính là chỉ có tài liệu trọng lực và tài liệu từ hàng không mới phủ được hầu hết diện tích cả nước. Nhiều phương pháp phân tích cả định tính và định lượng đã được các tác giả sử dụng. Thông qua các nghiên cứu, một số tác giả đã xây dựng được sơ đồ cấu trúc sâu vỏ Trái Đất, bao gồm các ranh giới cơ bản của vỏ : móng kết tinh, mặt Conrad và mặt Moho [4, 10, 11, 14, 15]. Do tính đa trị tương đối cao của bài toán ngược trọng lực nên các kết quả nghiên cứu cấu trúc vỏ Trái Đất của các tác giả khác nhau còn có sự khác biệt rất đáng kể. Một số tác giả cũng đã sử dụng kết quả nghiên cứu ít ỏi bằng phương pháp từ Tellua để đối sánh cho xây dựng mô hình ban đầu phục vụ tính toán mô hình mật độ, nhằm nâng cao độ tin cậy của phép phân tích trọng lực. Trong thực tế, bài toán ngược từ Tellua vẫn là bài toán khá đa trị do tác động của nguyên lý tương đương, sai số đo đạc. Do tình trạng chưa có được số liệu đủ độ tin cậy để đối sánh, liên kết nên rất khó đánh giá độ tin cậy của các sơ đồ cấu trúc sâu theo tài liệu trọng lực.

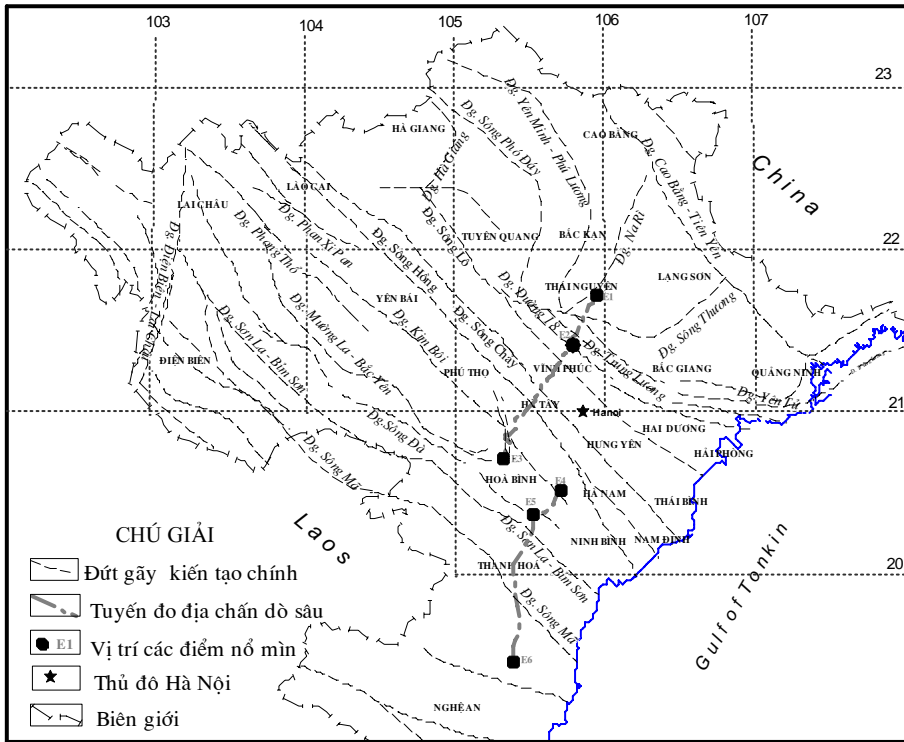
Cho đến nay tài liệu địa chấn dò sâu vẫn được coi là tài liệu có độ tin cậy cao nhất trong nghiên cứu cấu trúc sâu, nhưng việc khảo sát bằng phương pháp này khó khăn hơn nhiều so với phương pháp khác và chi phí cũng rất tốn kém, nên cũng chỉ tiến hành được một khối lượng hạn chế và sử dụng nó vừa để đánh giá độ tin cậy của các kết quả nghiên cứu bằng các phương pháp khác, vừa có thể sử dụng như tài liệu tựa cho xây dựng mô hình cấu trúc vỏ trong xử lý phân tích các tài liệu địa vật lý khác. Trong khuôn khổ đề tài khoa học công nghệ cấp nhà nước : "*Nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ Trái*

Đất miền Bắc Việt Nam bằng địa chấn dò sâu và từ Tellua, nhằm nâng cao độ tin cậy của các dự báo thiên tai địa chất" đã tiến hành được 2 tuyến địa chấn dò sâu, cắt qua phần lớn các đơn vị cấu trúc chính của vùng lãnh thổ phía Bắc, với độ dài mỗi tuyến đo đạt xấp xỉ 130 km. Khối lượng khảo sát như trên vẫn còn quá ít so với nhu cầu nghiên cứu, tuy nhiên đây là loại tài liệu có khả năng cung cấp các thông tin về cấu trúc sâu mang tính định lượng tốt hơn. Thiết bị ghi sóng địa chấn được các nhà khoa học của trường Đại học Texas tại El Paso (Mỹ) cung cấp. Quy trình công nghệ từ khâu khảo sát đến xử lý phân tích tài liệu, trao đổi kinh nghiệm cũng được các nhà khoa học Mỹ tham gia trực tiếp. Thông qua xử lý phân tích tài liệu địa chấn đã xây dựng được mô hình cấu trúc vận tốc truyền sóng trong vỏ Trái Đất. Nội dung bài báo chỉ giới thiệu một số kết quả bước đầu xử lý phân tích tài liệu của tuyến đo Thái Nguyên - Hoà Bình (*hình 1*). Mặc dù mô hình được xây dựng còn khá đơn giản, độ sâu xác định đến các ranh giới trong vỏ còn tương đối thô, những giá trị này có thể coi là giá trị trung bình có cơ sở để tin cậy.

II. XÂY DỰNG MẶT CẮT SÓNG DƯỚI TUYẾN ĐO THÁI NGUYÊN - HOÀ BÌNH

1. Xử lý số liệu trường sóng địa chấn

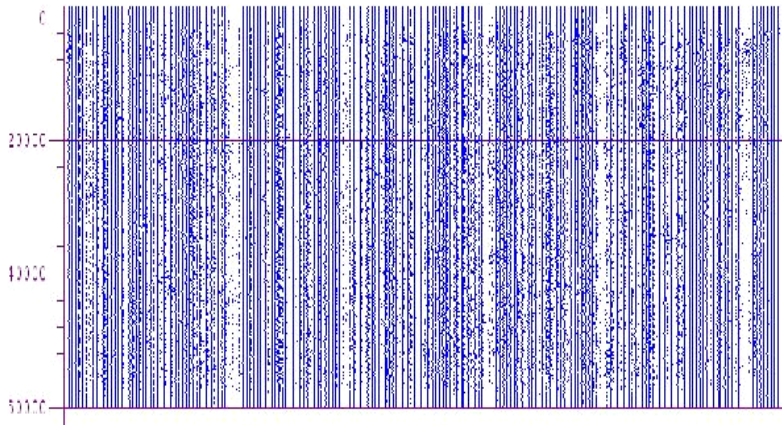
Tuyến đo này bắt đầu từ khu vực đông bắc huyện Võ Nhai - Thái Nguyên chạy theo hướng tây nam qua lân cận Phổ Yên, Vĩnh Phúc, Hà Tây cũ và kết thúc tại khu vực tây nam thành phố Hoà Bình, dài xấp xỉ 130 km. Từ đông bắc xuống tây nam, tuyến cắt qua hệ thống đứt gãy vòng cung duyên hải đông Bắc Bộ, tiếp đến là hệ đứt gãy Sông Hồng và đoạn tây nam cắt qua đứt gãy Nghĩa Lộ - Ninh Bình (*hình 1*).



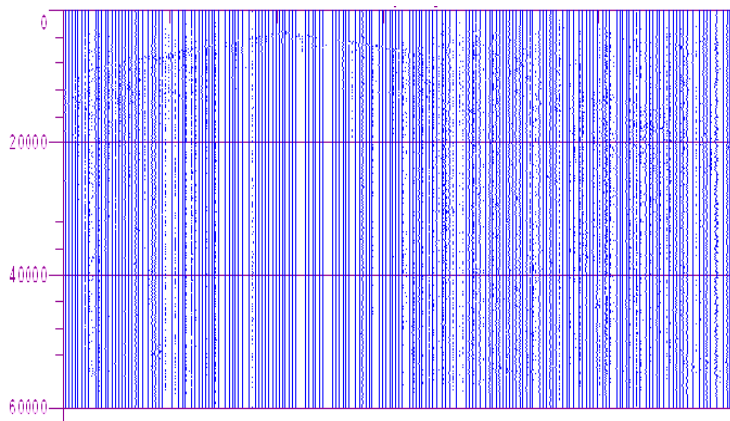
Hình 1. Phân bố tuyến đo địa chấn dò sâu

Thiết bị sử dụng trong nghiên cứu này là máy địa chấn chuyên dụng Reftek-125 do hãng Refraction Technology (Mỹ) chế tạo và được phòng thí nghiệm Địa vật lý J. Miller thuộc trường Đại học Texas ở El Paso cung cấp trong khuôn khổ hợp tác giữa Viện Địa chất với phòng thí nghiệm này. Có 200 máy được bố trí dọc tuyến đo với khoảng cách thay đổi trung bình trong khoảng từ 500 m đến 1.000 m, phụ thuộc vào điều kiện địa phương. Đây là loại máy gọn nhẹ, có dải động học đến 24 bit và không cần dây cáp nối giữa các máy thu. Mật độ ghi tín hiệu được thực hiện là 250 mẫu/giây. Để tạo sóng địa chấn trên tuyến đo đã tiến hành 6 vụ nổ mìn tại 3 vị trí, mỗi vị trí có 2 vụ nổ trong các lỗ khoan đường kính lớn từ 220 mm đến 300 mm, sâu từ 26 đến 32 m. Do phân bố dân cư dọc theo tuyến đo không cho phép tiến hành các vụ nổ theo khoảng cách đều trên tuyến, nên giữa điểm nổ đầu mút bắc với điểm nằm phía trong tuyến đo đạt xấp xỉ 50 km và giữa điểm này với điểm đầu mút tây nam xấp xỉ 80 km. Lượng thuốc nổ sử dụng cho các vụ nổ thay đổi từ 550 đến hơn 850 kg. Số liệu thu được từ các máy ghi sau đó được chuyển vào máy tính liên kết thành một tệp thống nhất cho cả tuyến và được biến đổi về định dạng SEG-Y để có thể sử dụng các phần mềm phổ

biến hiện nay cho khâu xử lý phân tích; tọa độ các điểm đo cũng được kết nối với tài liệu ghi sóng. Để giảm bớt ảnh hưởng của các tín hiệu nhiễu, đã dùng bộ lọc dải tần số. Sau nhiều lần thử nghiệm lọc với các dải tần số khác nhau đã lựa chọn được dải tần số < 1 - 2 đến khoảng từ 14 đến 20 Hz tỏ ra khả dĩ hơn. Phép lọc như trên được tiến hành cho các vụ nổ riêng rẽ, đối với tuyến Thái Nguyên - Hoà Bình có đến 6 vụ nổ tại 3 vị trí. Do việc tạo sóng và ghi sóng đều phải thực hiện trong thời gian ban ngày, có nhiều hoạt động của con người nên các băng ghi sóng đều có nhiễu khá cao. Có thể thấy, tín hiệu sóng địa chấn phản ánh khá mờ trên băng ghi sóng do các vụ nổ tại điểm La Hiên tạo ra (hình 2). Các băng sóng thu được từ nguồn nổ tạo sóng ở Phố Yên phản ánh chất lượng tốt hơn (hình 3). Trong khi đó, các băng sóng thu được do nguồn nổ tại điểm Hoà Bình có chất lượng kém hơn so với tín hiệu sóng ghi được do các vụ nổ tại La Hiên và Phố Yên. Việc xử lý số liệu tiến hành cho cả các băng sóng tạo ra bởi các vụ nổ riêng rẽ lẫn các băng tổng do 2 vụ nổ tại mỗi điểm nổ trên tuyến đo. Nhằm tăng khả năng theo dõi tốt hơn các sóng phản xạ từ các tầng sâu hơn đã tiến hành hiệu chỉnh biên độ theo những khoảng thời gian truyền sóng. Dựa trên kinh nghiệm của các nhà



Hình 2. Trường sóng quan sát với điểm nổ La Hiên



Hình 3. Trường sóng quan sát với điểm nổ Phổ Yên

nghiên cứu trong lĩnh vực địa chấn dò sâu [1-3, 5-8], khoảng thời gian truyền sóng được lựa chọn trong phép hiệu chỉnh này là cửa số 5 - 6 giây. Để thuận tiện hơn cho việc liên kết đặc điểm của băng sóng với các yếu tố cấu trúc vỏ Trái Đất dưới tuyến đo đã tiến hành hiệu chỉnh thời gian truyền sóng giữa điểm thu và phát sóng theo công thức :

$$T = T_0 - X/6.0 \quad (1)$$

trong đó T - thời gian truyền sóng từ nguồn phát đến máy thu, T_0 - thời gian truyền sóng pháp tuyến ngay dưới điểm nổ, trường hợp này T_0 chỉ tính cho sóng đi thẳng ; X - khoảng cách giữa nguồn phát và thu sóng ; $V = 6,0$ km/s được coi là vận tốc truyền sóng P trung bình trong lớp vỏ lục địa phần phía trên vỏ Trái Đất. Giá trị vận tốc như trên nhiều khi cũng không thật phù hợp cho những vùng cụ thể, bởi vậy trong xử lý số liệu địa chấn người ta thường sử dụng phương pháp quét vận tốc, với nhiều giá trị vận tốc khác nhau, theo công thức tổng quát hơn :

$$T^2 = T_0 + X^2/V^2 \quad (2)$$

Các mặt phản xạ và khúc xạ sóng thường được phản ánh bằng những khoảng giá trị vận tốc đặc trưng, nên khi lựa chọn được giá trị vận tốc phù hợp với một ranh giới nào đó, kết quả quét vận tốc sẽ cho mặt cắt sóng phản ánh tốt hơn các yếu tố cấu trúc liên quan đến mặt ranh giới này. Do

vận tốc truyền sóng trong vỏ Trái Đất tăng dần theo chiều sâu nên khi quan sát các mặt cắt thời gian lần lượt là kết quả quét vận tốc từ nhỏ đến lớn, các sóng địa chấn ở tầng nông mờ dần, trong khi các sóng ở tầng sâu lại rõ dần lên. Phương pháp quét vận tốc tương đối hiệu quả đối với các vùng có cấu trúc địa chất phức tạp, bởi nó cho ta khả năng lựa chọn gần như trực tiếp giá trị vận tốc phù hợp với từng ranh giới địa chấn tồn tại trong vùng nghiên cứu. Bằng phương pháp quét vận tốc, đặc điểm phân dị trường sóng theo phương nằm ngang trong nhiều trường hợp cũng được phản ánh tốt hơn. Lãnh thổ Bắc Việt Nam là vùng có điều kiện địa chất - kiến tạo phức tạp, bình đồ cấu trúc bị cắt xẻ bởi các hệ thống đứt gãy sâu khá phát triển, một số vùng đất đá trong vỏ Trái Đất còn có mức độ biến dạng, dập vỡ cao như đới Sông Hồng [16], việc quét vận tốc cũng rất cần thiết. Do độ chênh cao địa hình chỉ đạt xấp xỉ 100 m giữa các điểm đo trên toàn tuyến nên không tiến hành hiệu chỉnh địa hình cho số liệu đo đạc. Công việc xử lý số liệu như trên đã được thực hiện bằng sử dụng các phần mềm chuyên dụng như : Seismic Unix, Ixseg2seg và Reflex được các nhà khoa học Mỹ và Đức phát triển.

2. Kết quả xử lý số liệu

Trong số các mặt cắt sóng thu được, trường sóng do các vụ nổ tại điểm Phổ Yên phản ánh rõ hơn cả.

Tuy không theo dõi được liên tục trên toàn tuyến nhưng có thể quan sát được cả sóng thẳng và sóng khúc xạ khá tin cậy trên băng sóng chưa qua xử lý cho những vụ nổ riêng rẽ (hình 3). Theo mặt cắt trường sóng thu được do các vụ nổ tại La Hiên và Hoà Bình chỉ quan sát được tương đối rõ sóng thẳng dọc theo một đoạn tuyến gần với điểm nổ. Sóng khúc xạ cũng xuất hiện ngay sau đó nhưng cũng rất khó theo dõi trên trường sóng quan sát (hình 2). Điều này cũng dễ hiểu, bởi lượng thuốc nổ dùng tạo sóng tại điểm Phổ Yên vượt trội hơn hẳn hai điểm còn lại, mặt khác đất đá xung quanh khu vực lỗ khoan nổ mìn cũng tồi xấp hơn, là điều kiện thuận lợi cho tạo sóng biên độ lớn hơn. Lượng thuốc nổ sử dụng tạo sóng tại hai điểm La Hiên và Thống Nhất - Hoà Bình tuy tương đương nhau nhưng đất đá thành tạo carbonat tuổi Permi - Carbon rắn chắc vây quanh khu vực lỗ khoan nổ mìn tại Hoà Bình là nguyên nhân chính làm cho trường sóng không có biên độ lớn ở vùng xa [12, 13]. Bằng áp dụng các phép xử lý số liệu như trình bày ở trên đã xây dựng được nhiều mặt cắt sóng, cả sóng phản xạ và khúc xạ phản ánh tốt hơn nhiều các yếu tố cấu trúc trong vỏ Trái Đất .

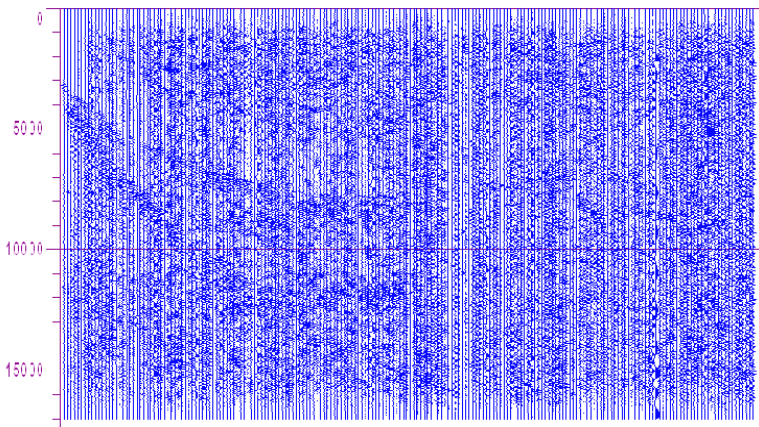
Bằng việc sử dụng các phần mềm Ixseg2segy và Reflex kết quả sử dụng bộ lọc dải với tần số lựa chọn cho các băng sóng tuy có khác nhau nhưng chỉ dao động trong khoảng từ 0,7 đến khoảng 16,5 Hz và quét vận tốc với các giá trị khác nhau đã làm cho các sóng khúc xạ hiện lên rõ nét hơn khá nhiều so với trường quan sát. Có thể thấy điều này trong trường sóng quan sát với điểm nổ tại La Hiên và trường sóng sau khi lọc và quét với vận tốc $V = 6,2$ km (hình 2, 4). Nếu nhìn vào trường sóng quan sát chỉ có thể quan sát được tín hiệu của sóng thẳng xuất hiện ở đoạn cuối tuyến (bên phải) trên một đoạn ngắn của tuyến đo. Mặt cắt sóng dưới tuyến này sau xử lý phản ánh khá tốt các yếu tố cấu trúc vỏ Trái Đất (hình 4). Trong khi đó việc tiến hành lọc dải bằng phần mềm Seismic Unix với khoảng tần số được lựa chọn từ 1 đến 20 Hz, kết hợp với hiệu chỉnh biên độ theo cửa sổ thời gian 5 - 6 giây và hiệu chỉnh vận tốc theo công thức (1) đã thu được các băng sóng, trong đó các sóng phản xạ được phản ánh rõ nét hơn (hình 5). Như vậy, phép xử lý như trên cho ta đến ba loại mặt cắt trường sóng gồm : các mặt cắt phản ánh rõ hơn các sóng thẳng và sóng khúc xạ, các mặt cắt có sóng phản xạ được phản ánh rõ hơn và các mặt cắt sau khi lọc và quét vận tốc. Phân tích đặc điểm trường sóng nhận được từ kết quả trên và liên kết với tài liệu nghiên cứu về đứt gãy có thể thấy, trong tất cả các mặt cắt sóng

các đứt gãy được phản ánh bằng ranh giới, tại đó biên độ của trường sóng thay đổi rõ rệt. Những vùng có biên độ lớn hơn có màu sẫm hơn trên các mặt cắt sóng (hình 4-9). Tại một số vị trí quan sát thấy sự thay đổi đột ngột thời gian sóng tới các ranh giới phản xạ hay khúc xạ cũng là những vùng tồn tại đứt gãy. Đáng lưu ý các mặt cắt sóng được tạo ra do quét vận tốc còn cho khả năng tốt hơn trong xác định vị trí và hướng nghiêng của đứt gãy. Việc lọc và quét với các giá trị vận tốc khác nhau đã thực hiện cho tất cả các băng sóng là tổng của hai vụ nổ tại các điểm nổ ở cả La Hiên, Hoà Bình và Phổ Yên. Do khi quét với vận tốc càng lớn trường sóng phản ánh các đối tượng sâu hơn nên qua liên kết trường sóng được quét với vận tốc khác nhau đã đánh giá được hướng nghiêng của một số đứt gãy, theo đó, đứt gãy Sông Thương có xu thế nghiêng về phía bắc, đứt gãy Sông Lô và đứt gãy Vĩnh Ninh đều nghiêng về tây nam. Tuy nhiên, góc đổ của đứt gãy Sông Lô thoải hơn, còn đứt gãy Vĩnh Ninh gần phương thẳng đứng. Trên tất cả các mặt cắt sóng, đứt gãy Sông Chảy và Sông Hồng đều phản ánh nghiêng về phía bắc khá rõ.

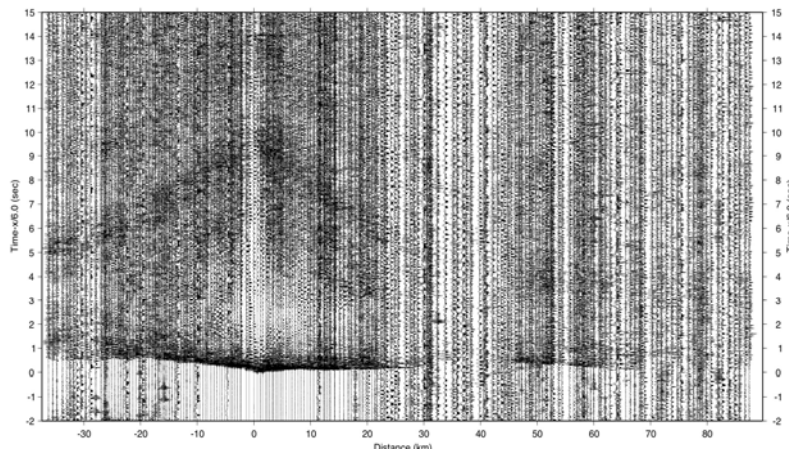
Trên các băng sóng phản ánh rõ hơn các mặt phản xạ đã tiến hành liên kết pha sóng và vẽ được các ranh giới phản xạ, tương ứng với ba ranh giới cơ bản của vỏ Trái Đất là móng kết tinh, mặt Conrad và mặt Moho. Trong số ba mặt cắt sóng, mặt cắt tạo ra bởi nguồn nổ tại Phổ Yên cho phép theo dõi được cả ba ranh giới liên tục trên cả chiều dài tuyến đo (hình 8). Hai mặt cắt sóng còn lại, mặt cắt do nguồn nổ tại La Hiên tạo ra cũng phản ánh được ba ranh giới phản xạ liên quan đến ba ranh giới cơ bản trong vỏ nhưng không được liên tục trên cả chiều dài tuyến. Đáng tiếc là mặt cắt sóng được tạo do nguồn nổ tại Hoà Bình phản ánh không thật rõ các ranh giới phản xạ.

Sóng khúc xạ trong các băng sóng sau khi lọc phản ánh rõ nét hơn, qua liên kết sóng cũng đã xác định được mối liên hệ giữa trường sóng và các lớp cơ bản trong vỏ Trái Đất, trong đó băng sóng do các vụ nổ tại Phổ Yên vẫn có trường sóng phản ánh rõ nét nhất (hình 6). Băng sóng tạo ra do nguồn nổ tại Hoà Bình rất khó xác định các mặt phản xạ, nhưng theo sóng khúc xạ vẫn có thể theo dõi được tính phân lớp trong vỏ tuy không thật rõ nét.

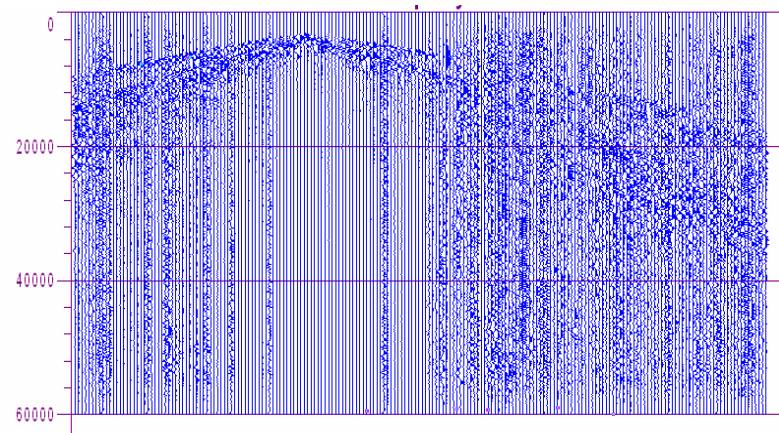
Như vậy, với việc tiến hành một số phép lọc và hiệu chỉnh có thể thấy các số liệu địa chấn dò sâu đã phản ánh được các yếu tố cấu trúc cơ bản trong vỏ Trái Đất dưới tuyến đo.



Hình 4. Mặt cắt sóng do nổ tại La Hiên sau khi quét với vận tốc $v = 6,2$ km/s



Hình 5. Các ranh giới phản xạ trên mặt cắt sóng do nổ tại Phổ Yên



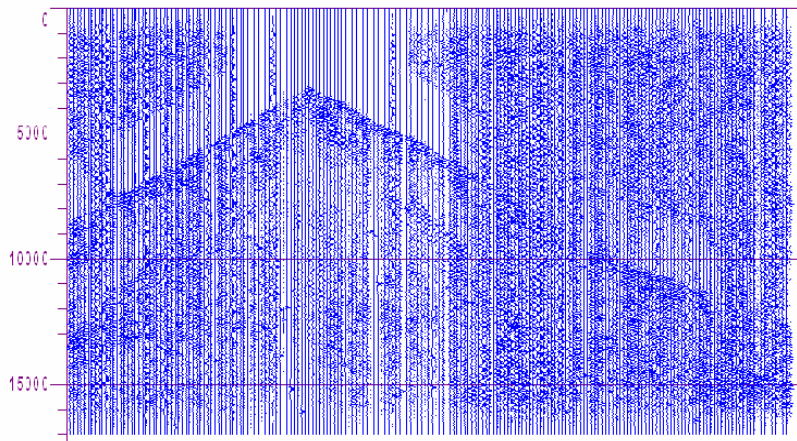
Hình 6. Mặt cắt sóng nổ tại Phổ Yên sau khi lọc với dải tần số 0,7-16,25 Hz

III. KẾT QUẢ BƯỚC ĐẦU PHÂN TÍCH BẰNG MÔ HÌNH HOÁ TÀI LIỆU ĐỊA CHẤN DÒ SÂU TUYẾN THÁI NGUYÊN - HOÀ BÌNH

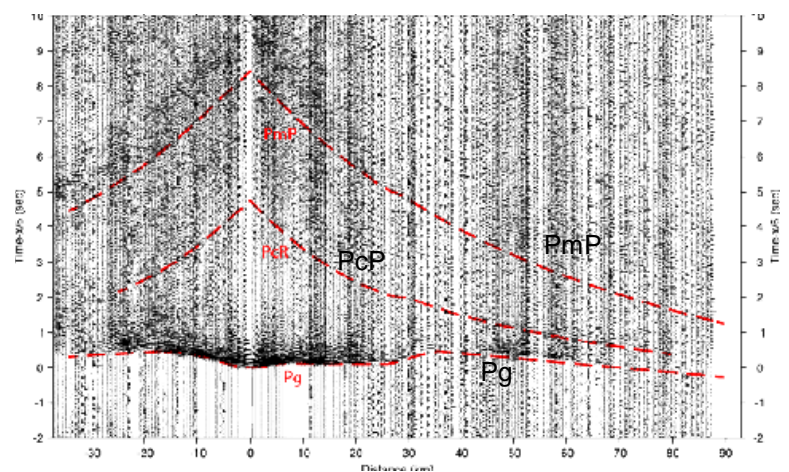
Mặc dù phương pháp địa chấn dò sâu cho đến nay vẫn được coi là phương pháp cho độ tin cậy cao nhất trong nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ Trái

Đất, nhưng mức độ chi tiết và độ chính xác phụ thuộc khá nhiều vào chất lượng tài liệu khảo sát. Hệ quan sát sóng bao gồm : phân bố các nguồn phát sóng, phân bố các máy thu trên tuyến đo, độ lớn của nguồn phát sóng. Đó là những thông số rất quan trọng có ý nghĩa quyết định đến chất lượng tài liệu. Ngoài ra, phong nhiễu trong vùng tiến hành khảo sát, mức độ phức tạp của môi trường truyền sóng cũng là những yếu tố ảnh hưởng không nhỏ đến kết quả thu và phát sóng. Trong công tác địa chấn dò sâu, kết quả chính cần đạt là mô hình vận tốc truyền sóng trong các lớp cấu trúc bên trong Trái Đất. Để đạt mục tiêu này, thường người ta tiến hành giải bài toán ngược hoặc mô hình hoá tài liệu địa chấn, trong đó bài toán ngược là hướng ưu tiên dành cho phân tích các tập số liệu có chất lượng tốt, bởi nó thường cho kết quả có độ tin cậy cao [2, 6, 7,17]. Tuy nhiên, số liệu đầu vào cho giải bài toán ngược đòi hỏi phải có đủ các băng sóng là thành phần của một hệ quan sát sóng đầy đủ trong địa chấn và cũng phải có độ tin cậy đảm bảo, theo đó, trường sóng quan sát phải phản ánh rõ các yếu tố cấu trúc cần quan tâm và tập số liệu cũng phải đáp ứng yêu cầu về mặt kỹ thuật cho giải bài toán ngược đạt kết quả tốt, như phải đủ các biểu đồ thời khoảng xuôi và ngược... Do nhiều nguyên nhân, trong quá trình khảo sát cũng hay gặp những trường hợp không thể thu được tập số liệu đủ điều kiện cho bài toán ngược,

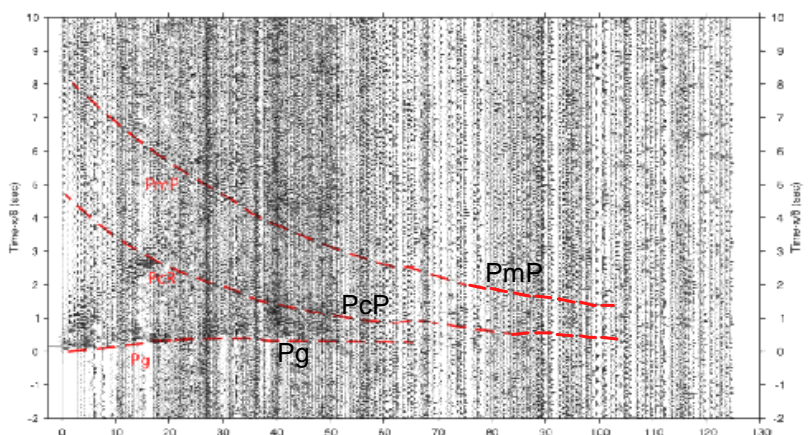
nhưng ở nhiều băng sóng vẫn phản ánh được các yếu tố cấu trúc cần quan tâm, thay vì giải bài toán ngược người ta thường sử dụng bài toán mô hình hoá. Mặc dù không đủ cơ sở lý thuyết chặt chẽ như giải bài toán ngược, mô hình hoá trong nhiều trường hợp vẫn cho các kết quả đáng tin cậy trong nghiên cứu cấu trúc sâu [6, 7, 9, 17]. Có nhiều cách tiếp cận để xây dựng bài toán ngược dựa trên mối quan hệ giữa các tham số trường sóng với các yếu tố cấu trúc như dựa vào đặc điểm hình dạng và biên độ sóng, dựa vào phân bố thời gian sóng tới tại các máy thu... Tuy đa dạng trong cách tiếp cận nhưng các bài toán ngược vẫn có những điểm chung trong các bước thực hiện, đó là tính toán lý thuyết tham số trường sóng cần quan tâm theo mô hình môi trường truyền sóng do người phân tích xây dựng, gọi là bài toán thuận trong khâu phân tích ; so sánh giá trị tham số lý thuyết với thực tế, nếu độ lệch không đủ nhỏ tiến hành thay đổi các tham số mô hình và lặp lại quá trình tính cho đến khi đạt được độ lệch đủ nhỏ. Nói thì đơn giản nhưng giải bài toán ngược thực sự là một hệ thống tính toán rất công kềnh. Trước hết mô hình ban đầu được người phân tích xây dựng làm sao có được phiên bản càng gần với môi trường thực càng tốt. Điều này đảm bảo cho giải bài toán ngược không những nhanh mà còn hiệu quả hơn, bởi vậy khi xây dựng mô hình, người phân tích cần tận dụng các thông tin về môi trường, kết hợp với khai thác sơ bộ các thông tin trong trường sóng thu được. Để các tham



Hình 7. Mặt cắt sóng nổ tại Phổ Yên sau khi quét với vận tốc $v = 7,0 \text{ km/s}$



Hình 8. Thời gian sóng tới các mặt phản xạ do nổ tại Phổ Yên : PmP - Moho, PcP - Conrad, Pg - sóng thẳng



Hình 9. Mặt cắt sóng nổ tại La Hiên và thời gian sóng tới các mặt phản xạ tương ứng

số của trường sóng lý thuyết tiến nhanh về tham số thực, người ta sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu cực tiểu hoá phiếm hàm trong phép

so sánh, với các thuật toán quy hoạch tối ưu được sử dụng. Các tham số mô hình mỗi lần được thay đổi đều tuân thủ theo nguyên tắc này và được lựa chọn tự động trong quá trình tính.

Bài toán mô hình hoá vẫn bao gồm phần giải bài toán thuận như ở bước đầu tiên của bài toán ngược, các giá trị tham số lý thuyết cũng được so sánh với giá trị quan sát và mô hình sau đó cũng phải thay đổi để tính lặp. Tuy nhiên việc thay đổi tham số mô hình được tiến hành phần lớn dựa trên cơ sở đối thoại người - máy. Phép cực tiểu hoá phiếm hàm bằng phương pháp bình phương tối thiểu nếu có sử dụng cũng rất hạn chế và thường chỉ sử dụng thay thế đối thoại người - máy ở đoạn khi độ lệch giữa giá trị tham số lý thuyết và thực tế quá lớn. Tập số liệu khảo sát địa chấn độ sâu trên tuyến Thái Nguyên - Hoà Bình chỉ có ba điểm phát sóng, lại phân bố không đều, hơn nữa như đã phân tích ở phần trên, trường sóng có thể thiết lập được mối quan hệ với các yếu tố cấu trúc vỏ Trái Đất rõ ràng chỉ có băng sóng với điểm nổ Phổ Yên. Băng sóng do nguồn nổ tại La Hiên tạo ra, phản ánh mối quan hệ với các ranh giới cơ bản nhưng cũng không thật rõ trên cả chiều dài tuyến. Riêng trường sóng gây ra bởi điểm nổ Hoà Bình chỉ cho ta theo dõi rõ sóng thẳng trên một đoạn ngắn, liên quan đến ranh giới phía trên. Do đặc điểm vừa nêu, phương pháp mô hình hoá theo thời gian sóng tới được lựa chọn cho phân tích tuyến địa chấn này, theo đó, trên cơ sở lý thuyết tia [6, 7, 9,17], thời gian sóng tới các máy thu theo đường truyền tia L được tính theo công thức :

$$t_i^0 = \sum_{i=1}^n (L_i / V_i) \quad (3)$$

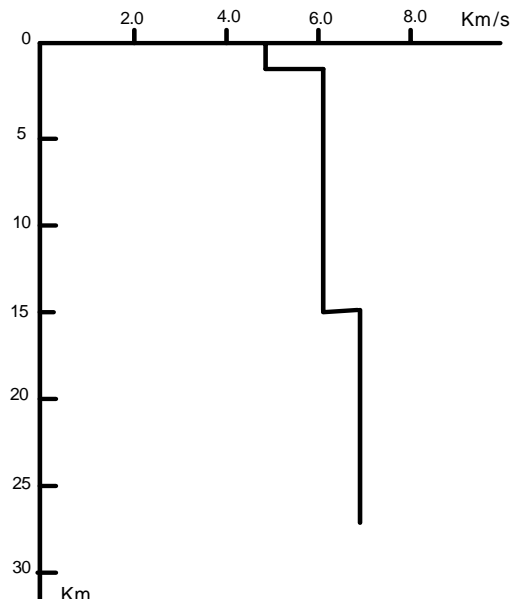
trong đó, t_i^0 - thời gian truyền sóng từ nguồn phát đến máy thu, L_i và v_i - độ dài đoạn tia và vận tốc sóng P trong khối cấu trúc thứ i của mô hình cấu trúc, n - số khối của mô hình.

Mặc dù đối thoại người - máy là công cụ chủ yếu trong thay đổi các tham số mô hình cho mỗi lần tính lặp, phương pháp bình phương tối thiểu vẫn cần sử dụng trong những trường hợp cần thiết của phép mô hình hoá, theo đó, thời gian truyền sóng lý thuyết từ nguồn phát đến máy thu được điều chỉnh theo công thức :

$$t_i = t_i^0 + \sum_{j=1}^m \frac{\partial t_i}{\partial m_j} \quad (4)$$

Trong công thức trên, m là số tham số mô hình (độ sâu đến các mặt phản xạ, vận tốc truyền sóng

trong các lớp). Để xây dựng mô hình ban đầu phục vụ cho giải bài toán thuận dọc theo cả chiều dài tuyến, ngoài sử dụng các thông tin sẵn có về cấu trúc môi trường, người ta còn tiến hành bài toán mô hình hoá 1D tại các điểm nổ, có băng sóng thu được với chất lượng tốt. Kết quả sẽ là những thông tin bổ ích, đảm bảo cho mô hình ban đầu được xây dựng không quá xa với môi trường thực tế. Đây cũng là biện pháp để nâng cao hiệu quả sử dụng phương pháp mô hình hoá. Đối với tuyến đo Thái Nguyên - Hoà Bình, băng sóng thu được do các vụ nổ tại Phổ Yên tạo ra có chất lượng tốt nhất, phản ánh khá rõ ba ranh giới phản xạ trong vỏ Trái Đất đã được sử dụng tính toán theo bài toán 1 chiều, theo đó, thời gian pháp tuyến từ điểm nổ đến mặt phản xạ lớp trên cùng là 0,38 s, đến mặt giữa vỏ là 4,45 s và đến mặt sâu nhất dự đoán là Moho đạt 6,56 s. Bằng sử dụng phần mềm Seismic Unix theo phương thức đối thoại người - máy đã xác định được chiều dày và vận tốc sóng P trong các lớp lần lượt là lớp trầm tích, lớp granit và lớp basalt tương ứng : $h_1 = 0,9$ km, $v = 5,0$ km/s ; $h_2 = 14$ km, $v = 6,2$ km/s ; $h_3 = 12,3$ km, $v = 6,7$ km (hình 10). Việc mô hình hoá sau đó được tiến hành cho cả ba băng sóng, tuy nhiên băng sóng tạo ra từ các vụ nổ ở khu vực Tp Hoà Bình chỉ sử dụng được thời gian tới của sóng thẳng trên một đoạn tuyến gần điểm nổ, hai băng sóng còn lại có đủ thời gian sóng tới của ba ranh giới (hình 7-9). Mô hình truyền sóng được mô phỏng bằng các tia sóng trong môi trường gradient vận tốc

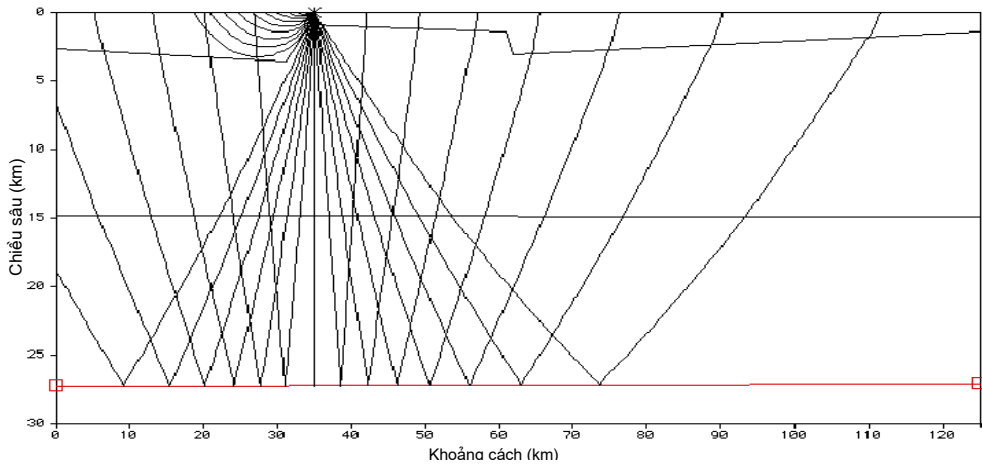


Hình 10. Vận tốc sóng P trong vỏ theo bài toán 1D

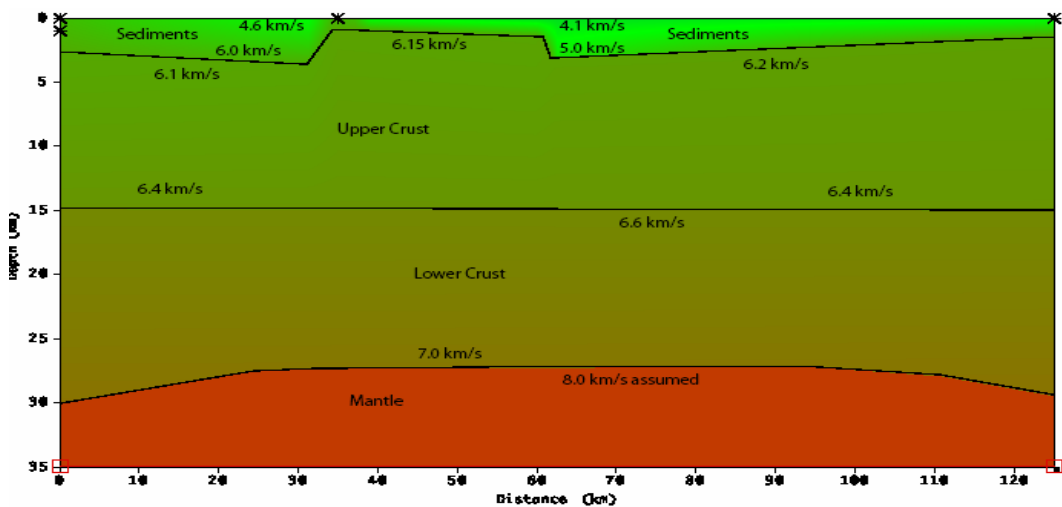
đơn giản cho lớp trầm tích phía trên và lớp dưới không phân chia (hình 11). Giá trị gradient vận tốc trong các lớp cũng được thay đổi trong quá trình tính. Vận tốc lớp bề mặt Manti ngay dưới vỏ được giả thiết là 8,0 km/s. Việc tính toán thực hiện theo sơ đồ thuật toán hiệu hữu hạn với số điểm nút lưới có thể đến hàng triệu. Kết quả đã xây dựng được mô hình cấu trúc vận tốc sóng P dưới tuyến đo với độ lệch về thời gian truyền sóng lý thuyết và quan sát tương đối nhỏ 0,32 s. Toàn bộ khâu tính toán mô hình đều do GsTs Steven Harder, trưởng phòng thí nghiệm Địa vật lý J. Miller, Đại học Texas (Mỹ) thực hiện bằng sử dụng phần mềm Seismic Unix.

Kết quả tính toán cho thấy, dưới tuyến đo Thái Nguyên - Hoà Bình (hình 12) độ sâu bề mặt móng kết tinh tăng dần từ La Hiên khoảng 2,6 km đến

khoảng 4 km tại khu vực thị xã Sông Công. Vận tốc truyền sóng trong phần trên của lớp trầm tích tại đây đạt 4,6 km/s, còn tại phần dưới của lớp đạt đến xấp xỉ 6,0 km/s. Tiếp theo đoạn từ Phổ Yên đến km 64 dọc theo tuyến đo thuộc huyện Tam Dương (Vĩnh Phúc) bề mặt móng kết tinh nâng lên rất nhanh tại điểm Phổ Yên đến xấp xỉ 1 km. Vị trí này chính là đới đứt gãy vòng cung Đường 18 chạy qua. Tiếp về phía nam tuyến, bề mặt móng kết tinh chìm rất từ từ và đạt đến độ sâu 1,5 km ở khu vực Tam Dương. Ngay sau điểm này chỉ vài kilomet tiếp về phía nam, móng kết tinh lại sụt rất nhanh đến xấp xỉ 3,5 km. Vị trí sụt lún này tương ứng với phần không gian phân bố đới đứt gãy Vĩnh Ninh. Kể từ đây về phía nam mặt móng kết tinh lại nâng lên từ từ và độ sâu chỉ còn khoảng 1,5 km tại khu vực thành phố Hoà



Hình 11. Sơ đồ tia dưới tuyến đo sử dụng cho mô hình hóa



Hình 12. Mô hình cấu trúc vận tốc sóng P dưới tuyến đo

Bình. Vận tốc truyền sóng trung bình trong phần trên và phần dưới của lớp trầm tích tại đoạn này đều nhỏ hơn so với đoạn phía bắc, đạt 4,1 km/s và 5,0 km/s tương ứng. Dưới móng kết tinh là lớp granit với bề dày trung bình đạt xấp xỉ 14 km. Phần phía trên của lớp granit vận tốc truyền sóng tăng nhẹ dần từ 6,1 km/s ở phía bắc đến 6,15 km/s tại khu vực dưới khối nhô Phổ Yên - Tam Đảo và 6,2 km/s tại đoạn phía nam tuyến đo. Phần dưới của lớp granit vận tốc trung bình đạt 6,4 km/s trên toàn tuyến. Bề mặt Moho tại khu vực La Hiên đạt 30,6 km, nâng dần lên về phía nam và đạt đến 28,5 km tại khu vực thành phố Thái Nguyên. Vùng có mặt Moho nâng lên cao nhất đến xấp xỉ 27 km là đoạn từ khu vực đứt gãy Vĩnh Ninh tại huyện Tam Dương đến lân cận phía nam của đứt gãy Sông Hồng tại huyện Phúc Thọ (Hà Nội). Tại đoạn phía nam tuyến đo, mặt này lại tiếp tục chìm dần đến 29,7 km tại khu vực nam Tp Hoà Bình. Vận tốc truyền sóng trong lớp basalt phản ánh đồng nhất ở phần trên là 6,6 km/s, còn phần dưới đạt đến 7,0 km/s tại bề mặt Moho.

KẾT LUẬN

- Mô hình cấu trúc vận tốc sóng P bước đầu được xây dựng còn khá đơn giản nhưng nhìn chung nó vẫn phản ánh tương đối trung thực chiều sâu trung bình từng đoạn của các ranh giới cơ bản trong vỏ Trái Đất dưới tuyến đo.

- So với kết quả nghiên cứu bằng sử dụng tài liệu trọng lực trong vài năm gần đây thì vỏ Trái Đất theo kết quả địa chấn mỏng hơn từ hơn 2 km đến khoảng hơn 4 km tại một số vị trí dưới tuyến đo.

- Theo đặc điểm trường sóng nhận được từ kết quả xử lý bằng sử dụng các phép lọc, quét vận tốc... có thể xác định được phân bố và một số thông số như hướng nghiêng của các đứt gãy lớn.

- Phân tích các băng sóng địa chấn sau khi xử lý cũng cho thấy, ngoài sóng phản xạ sử dụng tính toán mô hình nêu trên, nhiều mặt cắt sóng phản ánh khá tốt sóng khúc xạ. Có thể hy vọng nhận được mô hình cấu trúc vận tốc chi tiết hơn nhờ phân tích kết hợp đồng thời cả sóng khúc xạ và phản xạ.

TÀI LIỆU DẪN

[1] URI S. TEN BRINK, ABDALLAH S. AL-ZOUBI, CLAUDIA H. FLORES, YAIR ROSTEIN, ISAM QABBANI, STEVE HARDER, G. RANDY KELLER,

2006 : Seismic imaging of deep low-velocity zone beneath the Dead Sea basin and transform fault: Implications for strain localization and crustal rigidity. *Geophysical Research letters*, Vol. 33, L234214.

[2] G.A. GAMBURXEP, 1960 : Địa chấn dò sâu vỏ Trái Đất. Các công trình chọn lọc của Gamburxep, Nxb Viện HLKH Liên Xô 1960 (Nga văn).

[3] I.I. GURVICH, 1970 : Địa chấn thăm dò, Nxb Nhedra, Moskva. (Nga văn).

[4] ĐẶNG THANH HẢI, 2003 : Nghiên cứu một số đặc điểm cấu trúc sâu vỏ Trái Đất và phân vùng địa chấn kiến tạo miền Bắc Việt Nam. Luận án tiến sĩ - 2003, Viện VLĐC.

[5] S. HARDER and G.R. KELLER, 2001 : Crustal structure determined from a new wide-angle seismic profile in Southwestern Mexico. *University of Texas at El Paso*, 12-24.

[6] JAMES G. BERRYMAN, 1990 : Lecture Note on Nonlinear Inversion and Tomography. Pub. of Massachusetts Institute of Technology, 173pp.

[7] THORNE LAY, TERRY C. WALLACE, 1995: *Modern global Seismology*. Academic Press. Inc., San Diego, California, 521 pp.

[8] SONGLIN LI and WALTER D. MOONEY, 1998 : Crustal structure of China from deep seismic sound-đing profiles, *Tectonophysics*, 288, Issues 1-4, 30 March 1998, 105-113.

[9] HESHAM MOHAMED, KAORU MIYASHITA, 2001 : One-dimentional P-wave velocity structure in the northern Red Sea area, deduced from the travel time data, *Earth Planets Space* 2001, 53, 695-702.

[10] BÙI CÔNG QUẾ, 1982 : Về một số đặc điểm cấu trúc sâu vỏ Trái Đất ở Việt Nam theo các tài liệu địa vật lý, *Tc Địa chất*, 154, 9-12.

[11] BÙI CÔNG QUẾ, 1983 : Về những kết quả mới trong nghiên cứu cấu trúc sâu lãnh thổ Việt Nam. *Tc CKHVTD*, T. 5, 1, 17-27.

[12] DINH VAN TOAN, STEVEN HARDER, PHAM NANG VU, TRINH VIET BAC, DOAN VAN TUYEN, LAI HOP PHONG, TRAN ANH VU, NGUYEN THI HONG QUANG, 2008 : The first deep

seismic investigations in North Viet Nam, J. of Geology, Series B. **31-32**, 213-219.

[13] DINH VAN TOAN (V.T. DINH), STEVEN HAR-DER, 2008 : Near-vertical Moho reflections Under the Hanoi Basin, Vietnam. EOS Trans. 89(53), AGU fall meet. Suppl. abstract S13D-03.

[14] CAO ĐÌNH TRIỀU, 1998. Phân vùng cấu trúc lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở trường trọng lực và từ. Tạp chí CKHvTĐ, T.20, **4**, 204-313.

[15] CAO ĐÌNH TRIỀU, ĐINH VĂN TOÀN, 1999 : Mô hình cấu trúc vỏ Trái Đất lãnh thổ Việt Nam và kế cận trên cơ sở phân tích tài liệu trọng lực. Tuyển tập báo cáo HNKH biển toàn quốc, Nxb Thống kê 1999, Tập II, 854 - 863.

[16] ĐOÀN VĂN TUYẾN, ĐINH VĂN TOÀN, 2001 : Đặc điểm cấu trúc sâu và biểu hiện địa động lực đới Sông Hồng trên cơ sở tài liệu từ Tellua. Tạp chí Địa chất, Loạt A, **267**, 21 - 28.

[17] C.A. ZELT and S.B. SMITH, 1992 : Seismic travel time inversion for 2D crustal structure. Geophys. J. Int. 1992, **108**, 16-34.

SUMMARY

Preliminary results on the study of the earth crustal structure in Northern Vietnam by deep seismic data analysis

Until now, geological structures in Vietnam were studied mainly by gravity and magnetic methods. At

limited locations, magnetotelluric investigations have been carried out. From these methods, it is difficult to estimate reliably different models for the crustal structure in Vietnam. The first two profiles of deep seismic investigation carried out in northern Vietnam are intersected mostly the main tectonic units in the study region with the purpose to provide more reliable information about the earth crustal structures. This paper present the results of the data processing by applying the different filtering techniques as well as the techniques for seismic wave travel time modeling for the data collected along the Thai Nguyen — Hoa Binh northern profile.

The filtered seismic sections produced by the explosions at Pho Yen and La Hien locations are well revealed the reflection and refraction interfaces in the earth crust. The main tectonic faults can be seen on the processed seismic sections, especially on the velocity sweeping sections. On the seismic sections produced by the explosions at Hoa Binh City can be seen clearly only the direct wave interface. The preliminary seismic velocity section obtained from the seismic modeling is provided relatively the reliable average depths in the different sections of the profile to the main crustal interfaces, such as the crystalline basement, Conrad and Moho. The comparison of the results with the recent study by using gravity data indicated the crustal thickness obtained in this study is thinner from more than 2 km to more than 4 km in a numeric locations.

Ngày nhận bài : 25-10-2009

Viện Địa chất

(Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam)

Đại học Texas (Mỹ)