

# MÔ HÌNH LÁT CẮT TỐC ĐỘ VỎ TRÁI ĐẤT VÀ TỐC ĐỘ THỜI GIAN TRUYỀN SÓNG ĐỊA CHẤN LÃNH THỔ VIỆT NAM

NGÔ THỊ LƯU

## 1. Mở đầu

Vấn đề xây dựng mô hình lát cắt tốc độ của vỏ Trái Đất và tính tốc độ thời gian truyền sóng địa chấn đã được đề cập rất sớm từ những năm 1935. Kết quả nhận được là mô hình lát cắt tốc độ trung bình của vỏ Trái Đất và họ các tốc độ thời gian truyền sóng tương ứng [3, 4], được sử dụng phổ biến trên phạm vi toàn cầu. Hiện nay cùng với sự phát triển và tiến bộ không ngừng của khoa học kỹ thuật, đặc biệt là công nghệ tin học, các hệ thống máy ghi địa chấn ngày một hiện đại hơn, cho phép ghi và xử lý các số liệu một cách có hệ thống với độ chính xác cao. Điều đó đòi hỏi các nước và từng khu vực phải có riêng cho mình một mô hình lát cắt tốc độ và họ các tốc độ thời gian truyền sóng khu vực phù hợp nhất. Vì vậy phương pháp nghiên cứu theo hướng này vẫn đang được tiến hành rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới.

Ở Việt Nam, nghiên cứu cấu tạo vỏ Trái Đất nói chung và mô hình lát cắt tốc độ vỏ Trái Đất lãnh thổ Việt Nam nói riêng đã được nhiều tác giả tiến hành nghiên cứu [7-11, 13]. Tuy nhiên, phần lớn những nghiên cứu này đều tiến hành dựa trên các số liệu về thời gian truyền sóng địa chấn, ghi được bởi hệ thống trạm cũ của Việt Nam (chỉ có từ 3-5 trạm ghi bằng máy ghi kiểu cơ học trên giấy ảnh); kết quả cũng đưa ra được một số mô hình lát cắt tốc độ tương ứng. Nhưng đến nay chưa có sự so sánh để khẳng định mô hình nào là phù hợp hơn cả và có thể được sử dụng tối ưu đối với Việt Nam. Mặt khác, hiện nay hệ thống trạm ghi động đất của Việt Nam đã phát triển đến mức độ hiện đại ngang tầm quốc tế (26 trạm ghi số, chương trình xử lý số liệu tự động trên máy tính điện tử). Vì vậy đòi hỏi phải có một mô hình lát cắt tốc độ thực sự phù hợp với điều kiện thực tế Việt Nam để tính toán họ các tốc độ thời gian truyền sóng chuẩn, cho phép xác định chính xác hơn các tham số cơ bản của chấn

tiêu động đất. Chúng là các tài liệu tối cần thiết phục vụ cho việc giải quyết hàng loạt các nhiệm vụ quan trọng trong thực tế địa chấn (phân vùng động đất, đánh giá độ nguy hiểm động đất, dự báo động đất và nhiều nhiệm vụ địa chấn kiến tạo khác...). Vì những lý do nêu trên, vấn đề xây dựng mô hình lát cắt tốc độ của vỏ Trái Đất và tốc độ thời gian truyền sóng địa chấn đối với thực tế địa chấn Việt Nam vẫn là một trong các nhiệm vụ cần được giải quyết. Trong công trình này, chúng tôi sẽ trình bày phương pháp xây dựng thuật toán để giải quyết nhiệm vụ đã nêu.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và xây dựng thuật toán

Có nhiều phương pháp nghiên cứu cấu tạo vỏ Trái Đất và mô hình lát cắt tốc độ của nó. Phương pháp mô hình hoá toán học là một phương pháp đóng vai trò quan trọng. Việc mô hình hoá các quá trình lan truyền các sóng địa chấn trong các môi trường địa chất phức tạp cho phép so sánh các tài liệu thực nghiệm (số liệu quan sát) với các kết quả tính toán lý thuyết, từ đó có thể đưa ra các kết luận về độ chính xác của các mô hình đã được lựa chọn.

Một trong các nhiệm vụ phổ biến hơn cả trong thực tế địa chấn là tính toán các tham số động học của sóng địa chấn. Có rất nhiều chương trình để giải các bài toán động học thuận trong địa chấn, nhưng chúng thường quy tụ để đạt được các mục đích cụ thể và không phải bao giờ cũng thuận tiện để sử dụng. Mặt khác, theo kết quả của các nghiên cứu khác nhau, đã nhận được các mô hình tốc độ khác nhau của vỏ Trái Đất lãnh thổ Việt Nam. Vì vậy trong nghiên cứu này chúng tôi sẽ đề nghị một cách tiếp cận mới để chính xác mô hình lát cắt tốc độ của vỏ Trái Đất đối với lãnh thổ Việt Nam trên cơ sở sử dụng các số liệu mới và áp dụng đồng thời

thời các kết quả nghiên cứu thời gian truyền sóng P và mô hình hóa toán học quá trình lan truyền sóng địa chấn. Đây thực chất là biến thể của hệ phương pháp được đề nghị trong [6]. Nó bao gồm chu trình nhiều giai đoạn nghiên cứu các đặc điểm thời gian truyền sóng P áp dụng để giải bài toán định vị chấn tiêu động đất theo các quan sát địa chấn trong vùng gần để nhận được các tài liệu chi tiết về cấu tạo vỏ Trái Đất. Chu trình này có mối quan hệ ngược: trong kết quả chính xác các tọa độ chấn tiêu động đất cũng chính xác được cả thời gian truyền sóng địa chấn và chính chúng lại cho phép làm sáng tỏ cả các bất đồng nhất trong môi trường địa chất. Đặc thù của hệ phương pháp là ở chỗ nó cho phép sử dụng cả các số liệu về các trận động đất mà độ sâu chấn tiêu chưa được biết. Các bước cơ bản của phương pháp hay là các bước để xây dựng thuật toán như sau:

1. Đối với mỗi trạm sẽ tính được độ lệch về thời gian truyền sóng P ở dạng gần đúng bậc nhất theo quan hệ với tốc độ chuẩn:

$$f_i = t_{pi} - t_p^*$$

trong đó,  $t_{pi}$  - thời gian truyền quan sát,  $t_p^*$  - thời gian truyền được tính theo tốc độ chuẩn. Thực hiện việc lựa chọn nhiều lần các giá trị  $f_i$  đối với các độ sâu chấn tiêu  $h_i$  khác nhau sẽ tìm được giá trị cực tiểu  $f_i^{\min}$  của chúng.

Khi giả thiết hàm phân bố  $f_i^{\min}$  tuân thủ quy luật phân bố Jeffreys [2] và tương tự như trong các công trình [4, 6] sẽ tính được các tham số của nó: các sai số hệ thống đối với tốc độ chuẩn (gọi là số hiệu chỉnh  $\alpha_i$ ) và các sai số ngẫu nhiên.

2. Xây dựng đường cong phụ thuộc  $f_i^{\min} = f(\Delta)$  trên cơ sở trung bình hoá trường độ lệch  $f_i^{\min}$  đối với tất cả các trạm trong sự phụ thuộc vào khoảng cách chấn tâm  $\Delta$ . Kết quả là có thể tìm được các số hiệu chỉnh  $\alpha_{\Delta i}$  trên các khoảng  $\delta\Delta_i$  tương ứng.

3. Tìm thời gian truyền hiệu chỉnh  $t_p'$  bằng cách đưa các số hiệu chỉnh  $\alpha_{\Delta i}$  vào tốc độ chuẩn.

4. Việc tính  $f(\Delta) = t_p'$ ,  $dt_p' / d\Delta$  và  $d^2t_p' / d\Delta^2$  và xác định các điểm uốn của tốc độ cho phép tìm được mô hình tốc độ tương ứng.

Đối với môi trường địa chất phức tạp bao gồm nhiều vùng khác nhau bởi vận tốc truyền sóng và cả kích thước của vùng, việc nghiên cứu trường độ lệch thời gian truyền sóng địa chấn so với tốc độ chuẩn có thể được tiến hành đối với các vùng riêng

biệt của lãnh thổ này. Kết quả sẽ nhận được các đường cong phụ thuộc  $t_{pi}' = f(\Delta)$  tương ứng đối với từng vùng phân chia.

Chẳng hạn theo kết quả nghiên cứu trường độ lệch thời gian truyền sóng so với tốc độ chuẩn Jeffreys [3, 4] và tính toán thử nghiệm đối với các trận động đất miền bắc Việt Nam giai đoạn 1970 - 1990 khi phân chia vùng nghiên cứu thành 3 khu vực riêng biệt [7] chúng tôi đã nhận được một số đường cong phụ thuộc như sau:

$$t_{p1}' = 0,129 \Delta + 6,5 \quad (1)$$

$$t_{p2}' = 0,128 \Delta + 7,0 \quad (2)$$

$$t_{p3}' = 0,18 \Delta \quad (3)$$

Từ các phương trình trên ta thấy các giá trị tuyệt đối của độ lệch thời gian truyền sóng của ba nhóm hầu như nhỏ hơn đơn vị (<1), vì vậy các thời gian truyền hiệu chỉnh không khác nhiều so với thời gian được tính theo tốc độ chuẩn. Tiếp theo, chúng tôi thử tìm các mô hình tốc độ của vỏ Trái Đất hợp lý hơn, tương thích với các tốc độ thực nghiệm nhận được.

Để làm điều đó, chúng tôi đề nghị một hệ phương pháp, mà điểm nổi bật là ở chỗ nó cho khả năng xác định lát cắt tốc độ đối với môi trường nhiều lớp bất kỳ, thậm chí đối với cả môi trường mà trong đó bao gồm các khối riêng biệt khác nhau bởi tốc độ lan truyền của sóng địa chấn cũng như bởi kích thước. Nội dung cơ bản của phương pháp này là thiết lập một chương trình tính toán cho phép lựa chọn chiều dày của các lớp trong vỏ Trái Đất và tốc độ lan truyền của sóng địa chấn trong các lớp đó, trên cơ sở so sánh thời gian truyền sóng tính theo tốc độ lý thuyết với thời gian truyền quan sát như sau:

Nếu cho trước một mô hình tốc độ bất kỳ và giả thiết chấn tiêu động đất nằm ở độ sâu H nào đó, khi đó tốc độ thời gian truyền sóng địa chấn lý thuyết có dạng:

$$T = T(V, H, \Delta) \quad (4)$$

trong đó, V - tốc độ lan truyền của sóng địa chấn, H - độ sâu chấn tiêu,  $\Delta$  - khoảng cách từ chấn tâm đến trạm địa chấn (gọi là khoảng cách chấn tâm).

Nhiệm vụ đặt ra là cần thay đổi hoặc đồng thời tất cả các biến số  $V_i, h_i, H$  ( $V_i, h_i$  - vận tốc và chiều dày tương ứng của các lớp trong vỏ Trái Đất) và tham số  $\Delta$  hoặc thay đổi riêng mỗi một trong chúng

để sao cho tốc độ lý thuyết  $T = T(V, H, \Delta)$  có thể gần hơn cả với thời gian truyền quan sát. Điều đó có nghĩa là cần phải cực tiểu hoá các độ lệch thời gian, được xác định bởi hàm số :

$$F = \sqrt{\sum_{i=1}^n (T_i - T_{pi})^2} \quad (5)$$

trong đó,  $T_i$  - thời gian truyền của sóng P, nhận được tại điểm  $i$  theo tốc độ lý thuyết,  $T_{pi}$  - thời gian truyền tương ứng của sóng P, được biểu thị bằng quan hệ với khoảng cách chấn tâm  $\Delta$ , có dạng tương tự như (1), (2), (3),  $n$  - số điểm đã cho để cực tiểu hoá hàm  $F$  (hay là số sự kiện sử dụng trong tính toán),  $F$  - hàm mục tiêu, được xác định bởi tốc độ thực nghiệm và tốc độ tính toán.

Phương pháp tối ưu hoá thông thường đối với mục đích này là không phù hợp. Vì vậy, trên cơ sở của thuật toán đã được đề nghị chúng tôi tiến hành tìm cực tiểu của hàm mục tiêu  $F$  theo phương pháp Monte-carlo, là một trong những phương pháp mô hình thống kê, dựa trên ý tưởng điều khiển "ô đen". Nó được áp dụng trong các trường hợp khi việc xây dựng mô hình tương tự là khó khăn hoặc hoàn toàn không thể thực hiện được, ví dụ khi giải quyết các nhiệm vụ lý thuyết phức tạp và hàng loạt nhiệm vụ khác liên quan đến việc nghiên cứu các quá trình ngẫu nhiên.

**Bảng 1. Mặt cắt vận tốc sóng P trong vỏ Trái Đất ở Việt Nam [13]**

Mức độ sâu (km)	0-2	2-7	7-12	12-18	> 20	> 40
Vận tốc của sóng P (km/s)	5,17	5,83	6,05	6,29	6,82	8,04
Vận tốc ranh giới	5,73-5,93		5,93-6,13		6,13-6,37	

phù hợp với cấu tạo môi trường 3 lớp :

Mặt phân cách : Móng kết tinh    Conrad    Moho  
 Độ sâu (km) :            2            20            40

Khi đó, áp dụng phương pháp nêu trên với 196 trận động đất khu vực Tây Bắc năm 1998. Số liệu về các trận động đất này nhận được theo [12]. Kết quả đã xác định được đường cong phụ thuộc của thời gian truyền sóng P (đã được hiệu chỉnh theo quan hệ với tốc độ chuẩn [13]) vào khoảng cách chấn tâm  $\Delta$  như sau :

$$t_p' = 0,138 \Delta + 6,35 \quad (6)$$

Trên cơ sở sự phụ thuộc (6), áp dụng chương trình chỉ ra để tìm cực tiểu của hàm mục tiêu  $F$

Để ổn định công việc của thuật toán đã sử dụng giới hạn tuyến tính đối với tốc độ và chiều dày của các lớp, nhưng số lượng các lớp không thay đổi (giới hạn tuyến tính là giới hạn của mô hình được cho ở dạng phương trình hoặc bất phương trình tuyến tính) với các đại lượng chưa biết (ẩn số) ở dạng bậc nhất. Để đánh giá hàm mục tiêu  $F$  đã sử dụng tiêu chuẩn  $\chi^2$  [1]. Áp dụng chương trình nói trên có thể xác định được mô hình tốc độ với các tham số  $V_i, h_i, H$  ( $V_i, h_i$  - vận tốc và chiều dày tương ứng của các lớp trong vỏ Trái Đất).

Cần chú ý, việc cực tiểu hoá hàm mục tiêu  $F$  có thể tiến hành theo các phương án khác nhau tùy thuộc vào việc lựa chọn nhiều lần hoặc đồng thời tất cả các tham số  $V_i, h_i, H$  hoặc riêng biệt từng tham số ; kết quả nhận được sự trùng hợp hơn cả giữa các tốc độ thực nghiệm và tốc độ lý thuyết.

### 3. Một số kết quả thử nghiệm bước đầu

Theo phương pháp đã trình bày ở trên, chúng ta có thể thực hiện việc nghiên cứu trường độ lệch về thời gian truyền sóng theo quan hệ với tốc độ chuẩn bất kỳ để tìm được một mô hình tốc độ phù hợp nhất với các tài liệu quan sát.

Chẳng hạn, nếu ta chọn tốc độ chuẩn theo kết quả của công trình [13] (bảng 1) :

dạng (5) bằng cách thay đổi và lựa chọn các tham số  $V_i, h_i, H$  sẽ được mô hình tốc độ phù hợp nhất với các số liệu quan sát trong khu vực nghiên cứu.

Theo phương pháp đã trình bày ở trên, rõ ràng các kết quả nhận được sẽ phụ thuộc nhiều vào tập hợp các số liệu được sử dụng trong tính toán. Do hạn chế về số lượng các trận động đất được sử dụng nên trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi chỉ trình bày nội dung phương pháp và ví dụ minh họa. Chúng tôi sẽ tập hợp đầy đủ hơn các số liệu về thời gian truyền sóng P để áp dụng phương pháp này theo các mô hình lát cắt tốc độ chuẩn đã nhận được bởi các tác giả khác nhau để so sánh, lựa chọn nhiều lần nhằm đưa ra một mô hình tốc

độ phù hợp nhất với các số liệu quan sát, cho phép xác định các tham số động học của động đất Việt Nam với độ chính xác cao trong các công trình nghiên cứu tiếp theo.

Công trình được hoàn thành với sự hỗ trợ về kinh phí của đề tài nghiên cứu cơ bản thuộc lĩnh vực Các Khoa học về Trái Đất.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I.N. BRONSTEIN, K.A. SEMENDIAEV, 1986 : Cẩm nang toán học dành cho các kỹ sư và sinh viên. Moskva. Nxb "Nauka". 460 - 462. (Nga văn).
- [2] H. JEFFREYS, 1935 : On travel times in Seismology. Publ. Du Bureau international de seismologue Ser. A travaux Scient. Fast., **11**, 1-10.
- [3] H. JEFFREYS, K.E. BULLEN, 1940 : Seismological Tables. Brit. Ass. Gray. Milne Trust. 1-30.
- [4] H. JEFFREYS and K.E. BULLEN, 1958 : Seismological Tables. Office of the British Association. London.
- [5] N.V. KONDORSKAIA, L.B. SLAVINA, 1969 : Một số các kết quả nghiên cứu thời gian truyền sóng dọc P. Tin tức Viện HLKH Liên xô. Vật lý địa cầu. **2**, 19-36.
- [6] N.V. KONDORSKAIA, A.A. SAAKIAN, 1984 : Các đặc điểm động học của sóng P đối với các trận động đất vùng cao nguyên Armian. Tin tức Viện HLKH LX. Tập Vật lý địa cầu. **2**, 67-71.
- [7] NGÔ THI LU, 1990 : Các tham số động học và động lực học của chấn tiêu động đất miền Bắc Việt Nam. Luận án PTS toán-lý, chuyên ngành Địa vật lý. Viện Vật lý Địa cầu - Viện Hàn lâm Khoa học Liên Xô. Moskva. 134 tr.
- [8] NGÔ THI LU, 1999 : Các đặc điểm của tính địa chấn và các đặc trưng cơ bản của động đất mạnh khu vực Đông Nam Á từ quan điểm làm sáng tỏ các cấu trúc kiến tạo mới. Luận án tiến sĩ khoa học toán-lý, chuyên ngành Vật lý Trái Đất.

Viện Vật lý Địa cầu - Viện Hàn lâm Khoa học Nga. Moskva. 342 tr.

[9] LÊ TỬ SƠN, 1996 : Hoàn thiện một bước cơ sở phương pháp xử lý số liệu động đất gần ở Việt Nam. Luận án tiến sĩ. Viện Vật lý Địa cầu - TTKHTN&CNQG. Hà Nội.

[10] VŨ NGỌC TÂN, 1979 : Thời gian truyền sóng dọc P dưới các trạm Phủ Liễn, Bắc Giang và Sa Pa. Các kết quả nghiên cứu của Viện các Khoa học về Trái Đất năm 1977-1978. Tập Vật lý Địa cầu. Viện khoa học Việt Nam. Hà Nội, 214-224.

[11] VŨ NGỌC TÂN, NGUYỄN ĐÌNH XUYỀN, 1980 : Các tốc độ thời gian truyền sóng địa chấn của các trận động đất gần miền Bắc Việt Nam và các vùng lân cận. Các kết quả nghiên cứu Vật lý Địa cầu năm 1979. Viện Khoa học Việt Nam. Hà Nội, 101-118.

[12] NGUYỄN VĂN YÊM, NGUYỄN THỊ CẨM, LÊ QUỐC DŨNG, TRẦN THANH SƠN, 1998 : Động đất khu vực Tây Bắc Việt Nam năm 1998 và việc xác định tính phù hợp của thang magnitud động đất. Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội, 18 tr.

[13] NGUYỄN ĐÌNH XUYỀN, 1999 : Seismic Velocity Structure in North Vietnam. Some seismotectonic features of the Red river fault and the velocity structure in north Vietnam. Chung-li, 18-33.

### SUMMARY

**The algorithm for improvement of velocity model of earth's crust and hodographs of travel times of seismic waves in the territory of Vietnam**

The new approach to specification of velocity model of earth's crust in the territory of Vietnam is developed and realized on the basis of new data about travel times of P-wave and velocity model of earth's crust. The algorithm for account of travel times of P-wave and simultaneous application of mathematical simulation of propagation of seismic waves was discussed. By comparison of experiment with theoretical hodographs, the specified approach was applied as an example in some variants to data of earthquakes of Vietnam.

Ngày nhận bài : 06-8-2004

Viện Vật lý Địa cầu - Viện KH&CN VN