

MÔ HÌNH CẮT LỚP SÓNG ĐỊA CHẤN KHU VỰC THỦY ĐIỆN SÔNG TRANH 2

CAO ĐÌNH TRỌNG, PHẠM NAM HÙNG, ĐÌNH QUỐC VĂN, LÊ QUANG KHÔI

Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

Tóm tắt: Phương pháp cắt lớp sóng địa chấn nông được các tác giả sử dụng trong nghiên cứu này. Kết quả cho thấy:

1/ Vận tốc sóng P khu vực lòng hồ Sông Tranh 2 và kề cận có giá trị biến đổi trong giới hạn từ $5,90 \text{ km/s}^2$ đến xấp xỉ $6,10 \text{ km/s}^2$ ($V_p=5,90-6,10$), $V_s= 3,50-3,60 \text{ km/s}^2$ và $V_p/V_s= 1,63-1,68$.

2/ Độ sâu chấn tiêu động đất vùng hồ Sông Tranh 2 đạt tối đa 10 km, xảy ra chủ yếu tại đới giao nhau của đứt gãy Rào Quán - A Lưới và Trà My - Trà Bồng, nơi có tỷ số vận tốc $V_p/V_s = 1,63-1,67$.

I. MỞ ĐẦU

Công trình thủy điện Sông Tranh 2 (ST2) bắt đầu tích nước đến mực nước dâng 175 m (chiều cao của đập là 180 m), vào tháng 12 năm 2010 thì xuất hiện hoạt động động đất. Động đất lớn nhất quan sát được vào ngày 15 tháng 11 năm 2012 có cấp độ mạnh 4,7. Theo Cao Đình Triều, 2013, [4] động đất xảy ra tại khu vực Bắc Trà My trong thời gian qua là loại động đất kích thích hồ chứa. Đồ thị phân bố động đất theo Quy luật Gutenberg-Richter có hệ số $b=0,8317$, lớn hơn nhiều so với động đất tự nhiên trong khu vực ($b=0,604$). Sau khi thiết lập mạng trạm quan sát động đất khu vực hồ thủy điện ST2, từ năm 2011 đến nay đã quan sát được trên 400 động đất có cấp độ mạnh lớn hơn 1,0.

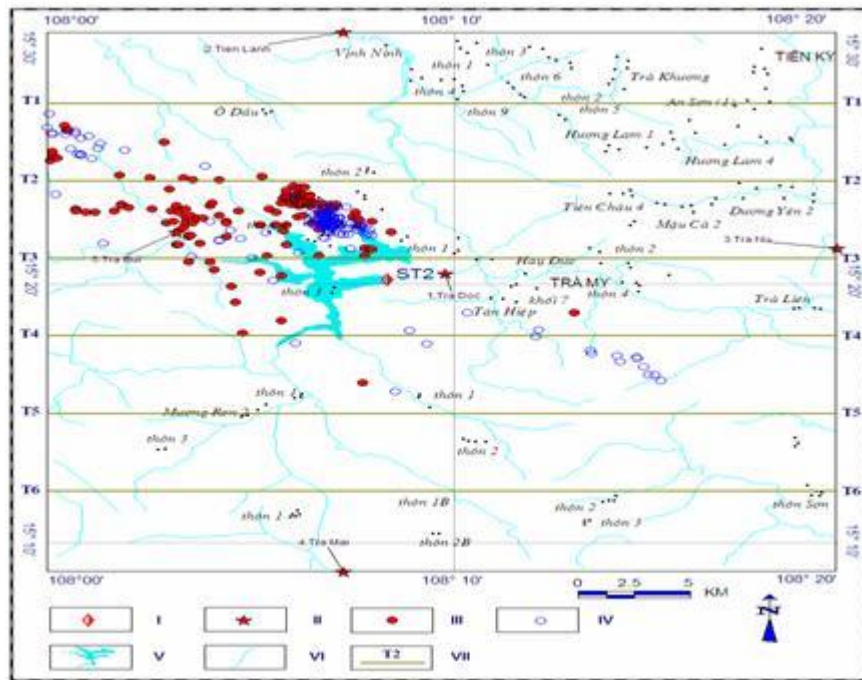
Việc nghiên cứu đặc điểm môi trường sinh chấn phục vụ dự báo động đất kích thích có thể xảy ra trong khu vực lòng hồ thủy điện ST2 và kề cận là hết sức cần thiết và có ý nghĩa khoa học. Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả tiến hành tìm hiểu về phương pháp luận và kết quả nghiên cứu bất đồng nhất môi trường truyền sóng địa chấn khu vực lòng hồ thủy điện ST2 và kề cận. Khung tọa độ nghiên cứu được không chế trong giới hạn: từ kinh tuyến $108^{\circ}00'$ đến $108^{\circ}20'$, độ kinh Đông; từ vĩ độ $15^{\circ}10'$ đến $15^{\circ}30'$, độ vĩ Bắc. Độ sâu nghiên cứu đến 10 km, đây là độ sâu tối đa mà động đất kích thích đã xảy ra trong thời gian qua.

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU CẮT LỚP SÓNG ĐỊA CHẤN (SEISMIC TOMOGRAPHY)

Hướng phân tích cắt lớp sóng địa chấn trên cơ sở tài liệu động đất đã được các nhà địa chấn đề cập tới từ những năm đầu thập niên 90 của thế kỷ XX [2, 3]. Kết quả nghiên cứu theo định hướng này đã chứng minh khả năng ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu cấu trúc bên trong Trái đất, kiến tạo và địa động lực ở Việt Nam [1].

Đã có một số công trình nghiên cứu cắt lớp sóng địa chấn ở Việt Nam, chủ yếu sử dụng sóng P và nghiên cứu cấu trúc thạch quyển và manti Trái đất [1].

Tính địa chấn khu vực (khu vực rộng lớn) chịu ảnh hưởng bởi tính chất hoạt động của thạch quyển và manti Trái đất. Vì vậy, bài toán nghiên cứu cấu trúc sâu sẽ làm sáng tỏ quan điểm về địa chấn kiến tạo ở phạm vi khu vực. Đối với nghiên cứu chi tiết, khu vực nhỏ, ở độ sâu nhỏ hơn 20 km cho đến nay vẫn chưa có công trình nghiên cứu cắt lớp sóng địa chấn nào ở Việt Nam đề cập đến. Lý do chính là do tính đầy đủ của hệ thống dữ liệu. Sau sự kiện động đất kích thích xuất hiện ở khu vực thủy điện ST2, được sự quan tâm của Chính phủ, các Bộ, Ngành và Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, hệ thống 5 trạm quan sát địa chấn đã được đặt quanh khu vực thủy điện Sông Tranh (Hình 1). Dựa trên tập số liệu động đất này, phương pháp cắt lớp sóng địa chấn nghiên cứu cấu trúc nông của khu vực mới có khả năng thực thi.



Hình 1. Vị trí trạm địa chấn và chấn tâm động đất kích thích khu vực hồ thủy điện ST2 và kề cận.

Trong bài toán nghiên cứu cắt lớp sóng địa chấn người ta sử dụng thời gian truyền sóng P, S từ chấn tiêu động đất đến trạm địa chấn được sử dụng. Đặc biệt quan trọng là thời điểm đến đầu tiên của các sóng địa chấn. Vận tốc của sóng thay đổi theo tính chất của môi trường mà nó truyền qua, chủ yếu phụ thuộc vào mật độ của vật chất môi trường. Do đó, sự thay đổi phương hay vận tốc truyền sóng khối (sóng P và sóng S) là dấu hiệu của bất đồng nhất của môi trường truyền sóng [2, 3].

Giá trị vận tốc sóng P, sóng S và tỷ số V_p/V_s đặc trưng cho tính chất của môi trường sinh chấn được tính toán trong nghiên cứu này. Quy trình giải bài toán cắt lớp sóng địa chấn được tiến hành hai bước: từ đơn giản đến phức tạp (từ 1D đến 3D). Thông số đầu vào là tọa độ các trạm ghi địa chấn, thời gian đến của sóng P, sóng S và mô hình cấu trúc đơn giản ban đầu của khu vực theo vận tốc truyền sóng. Việc tính toán được thực hiện theo các vòng lặp (iteration), khi hàm tối ưu (GF) đạt ngưỡng giá trị sai số tối thiểu nào đó thì quy trình dừng lại. Trong quá trình tính toán, vị trí chấn tâm động đất của vùng nguồn cũng được chỉnh hóa bằng giá trị của hàm tối ưu giữa thời gian truyền sóng thực tế và thời gian theo mô hình lý thuyết. Trong phương pháp này, giá trị sai số RMS của hàm tối ưu, phương pháp tính tối ưu hóa LSQR, thuật toán bending và quy trình xoay góc được sử dụng. Các bước chỉnh lý số liệu đầu vào và xây dựng mô hình cắt lớp sóng địa chấn được tiến hành như sau:

1. Chuẩn hóa vị trí chấn tiêu động đất

Vị trí tối ưu của nguồn điểm được xác định bằng nhận định tại vị trí đó thời gian truyền sóng theo tính toán có giá trị sát nhất với thời gian thực tế đưa vào. Tại vòng lặp thứ N, giá trị thời gian dư được tính theo công thức:

$$dt_y^N = dt_y^{N-1} - \frac{\left\{ \sum_{j=1}^{M_i^{N-1}} A_{pj} dt_y^{N-1} \right\}}{M_i^{N-1}} \quad (1)$$

Trong đó, M_i^{N-1} số điểm tốt (tại các điểm này giá trị thời gian thỏa mãn điều kiện nhỏ hơn hoặc bằng giá trị dt^{max}); A_{ps} - giá trị trọng số, đánh giá trị số quan trọng trong bài toán sóng P hoặc sóng S. Sử dụng giá trị sóng P để xác định vị trí nguồn thì kết quả bài toán chuẩn xác hơn so với sử dụng giá trị sóng S [1-3].

Đối với sóng P, giá trị trọng số gấp đôi so với sóng S. Tại vòng lặp đầu tiên ($N=1$) $t_{ij}^0 = t_{ij}^{obs} - t_{ij}^{ref}$; $M_i^0 = M_i$. Trong đó, t_{ij}^{obs} thời gian thực quan sát được; t_{ij}^{ref} thời gian truyền sóng tính toán theo nguồn i và trạm j . M_i - tổng số băng ghi sóng cho nguồn i .

Thuật toán tối ưu LSQR. Giá trị A và b cho trước, tìm giá trị $\min \|b - Ax\|$.

Đặt giá trị theo hệ (2), giá trị cần xác định được chuyển hóa bằng vector y_k :

$$\begin{aligned} x_k &= V_k y_k, \\ r_k &= b - Ax_k, \\ t_{k+1} &= \beta_1 e_1 - B_k y_k, \end{aligned} \quad (2)$$

Khi đó, mật độ và giá trị cần tính được xác định bằng hệ phương trình $r_k = U_{k+1} t_{k+1}$. Với mục tiêu giá trị $\|r_k\|$ đạt giá trị nhỏ, và do hàm U_{k+1} bị giới hạn, nên bài toán dẫn đến việc lựa chọn y_k để tối thiểu hóa giá trị $\|t_{k+1}\|$, tức là thỏa mãn điều kiện $\min \|\beta_1 e_1 - B_k y_k\|$, đây chính là nền tảng cơ bản của bài toán LSQR. Để tối ưu hóa quy trình tính toán, ta sử dụng giá trị cơ sở factor QR của B_k , có dạng:

$$Q_k [B_k \quad \beta_1 e_1] = \begin{bmatrix} R_k & f_k \\ & \phi_{k+1} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{cccc|c} \rho_1 & \theta_2 & & & \phi_1 \\ & \rho_2 & \theta_3 & & \phi_2 \\ & & \ddots & \ddots & \vdots \\ & & & \rho_{k-1} & \theta_k & \phi_{k-1} \\ & & & & \rho_k & \phi_k \\ \hline & & & & & \phi_{k+1} \end{array} \right] \quad (3)$$

Trong đó, $Q_k = Q_{k,k+1} \dots Q_{2,3} Q_{1,2}$ là kết quả của quy trình xoay (plane rotations) được thiết kế để loại trừ những tiết diện nhỏ (subdiagonals) β_2, β_3, \dots của B_k . Các vector y_k và t_{k+1} được xác định từ hệ phương trình (4) có dạng:

$$\begin{aligned} R_k y_k &= f_k, \\ t_{k+1} &= Q_k^T \begin{bmatrix} 0 \\ \phi_{k+1} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (4)$$

Tuy nhiên, y_k sẽ không có thành phần nào giống với y_{k-1} . Đồng thời giá trị $\begin{bmatrix} R_k & f_k \end{bmatrix}$ sẽ giống với $\begin{bmatrix} R_{k-1} & f_{k-1} \end{bmatrix}$ chỉ bổ sung thêm dòng và cột mới. Để việc tính toán được đơn giản, ta sử dụng $x_k = V_k R_k^{-1} f_k \equiv D_k f_k$, với

$D_k = [d_1 \quad d_2 \dots d_k]$, thông số được xác định từ hệ phương trình $R_k^T D_k^T = V_k^T$. Nếu $d_0 = x_0 = 0$. Từ đó ta có

$$d_k = \frac{1}{p_k} (v_k - \theta_k d_{k-1}), x_k = x_{k-1} + \phi_k d_k$$

và chỉ có vòng lặp tốt nhất được giữ lại.

2. Xây dựng mô hình vận tốc truyền sóng P và S

Nhằm mục đích xây dựng mô hình truyền sóng địa chấn khu vực nghiên cứu chúng tôi đã tiến hành sử dụng thuật toán Bending kết hợp quy trình xoay góc của lưới tính toán.

Thuật toán Bending: tìm kiếm đường đi ngắn nhất cho sóng (thời gian truyền sóng là ngắn nhất). Thuật toán được sử dụng tối ưu với các mô hình cấu trúc địa chất, vận tốc truyền sóng khác nhau. Sóng được ưu tiên qua các lớp cấu trúc thuận lợi cho việc truyền sóng để mang lại thời gian truyền là ngắn nhất. Biết điểm đầu và cuối của quá trình truyền sóng, chúng ta chia nhỏ các bước truyền sóng trung gian theo điểm chia (quy tắc phân chia đi từ trung tâm đường truyền sóng ra xung quanh) [3].

Quy trình xoay góc: để chính xác hơn trong bài toán cắt lớp sóng địa chấn (seismic tomography) ta tiến hành quy trình xoay góc trong bước tính toán giá trị truyền sóng theo từng đường truyền. Việc đầu tiên là xác định các điểm giao nhau (node) hay các khối (block) có sóng đi qua. Do thời gian truyền sóng giữa các khối có thể khác nhau nên ta tiến hành quay theo góc với độ quay khác nhau, và lấy trung bình giá trị thời gian [2].

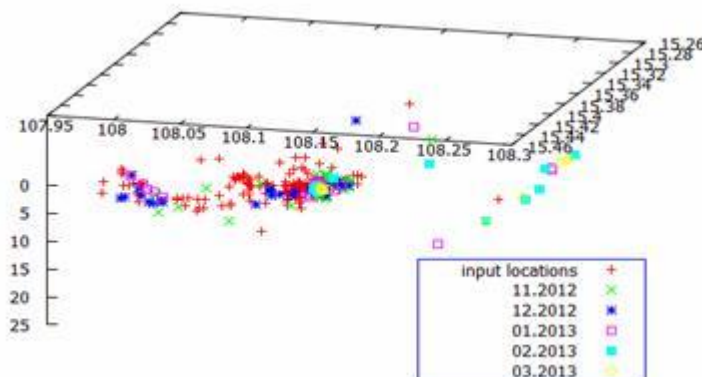
III. ĐẶC ĐIỂM CẤU TRÚC VẬN TỐC TRUYỀN SÓNG ĐỊA CHẤN TẠI KHU VỰC HỒ THỦY ĐIỆN ST2 VÀ KÈ CẬN

1. Độ sâu chấn tiêu động đất khu vực hồ ST2 và kè cận

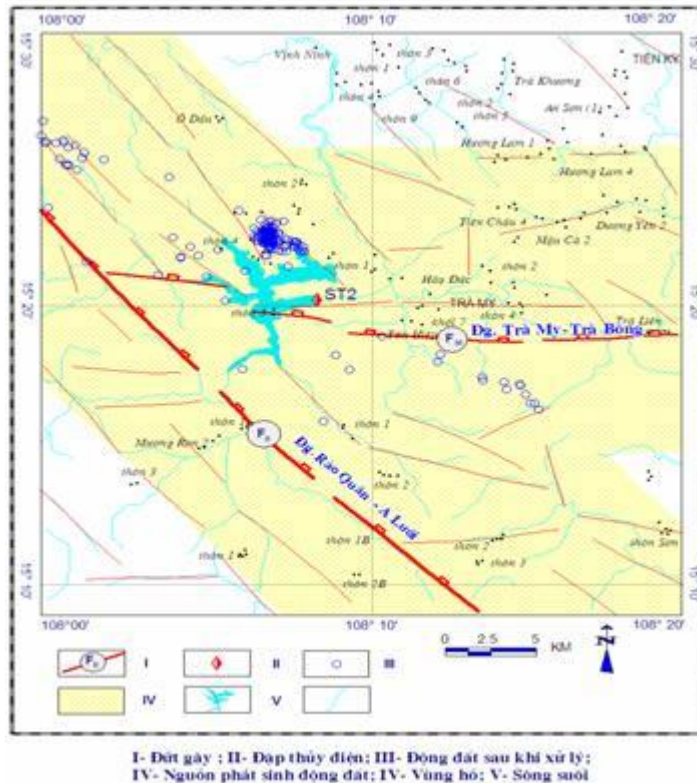
Vị trí chấn tiêu động đất được xác định với tối thiểu 3 trạm địa chấn, số trạm càng lớn thì độ chính xác trong xác định vị trí chấn tiêu càng cao. Việc chính xác hóa vị trí chấn tiêu động đất trong xây dựng mô hình cắt lớp sóng địa chấn là hết sức quan trọng. Quá trình chỉnh lý, chính xác hóa vị trí chấn tiêu động đất đã được tiến hành nghiên cứu và đo đạc. Kết quả phân tích được trình bày trong Hình 1 (theo diện), Hình 2 (theo độ sâu) và Hình 3. Số liệu đầu vào cho quá trình chỉnh lý là danh mục động đất do Viện Vật lý Địa cầu cung cấp. Kết quả phân tích cho thấy:

- Có sự thay đổi đáng kể vị trí chấn tâm (Hình 1) và vị trí chấn tiêu (Hình 2) động đất trước và sau khi chỉnh lý lại theo thuật toán như được trình bày ở phần trên [2, 3]. Lý giải cho sự thay đổi này, có lẽ là do việc sử dụng mô hình vận tốc ban đầu trong định vị động đất chưa tính đến bất đồng nhất vận tốc truyền sóng trong môi trường địa phương, chịu tác động nhiều của thẩm thấu nước qua đới dập vỡ kiến tạo.

- Vị trí chấn tiêu động đất chủ yếu tập trung trong đới giao nhau của đới đứt gãy Rào Quán – A Lưới và đứt gãy Trà My – Trà Bồng (Hình 3) [1].



Hình 2. Mô hình 3D vị trí chấn tiêu động đất trước (input) và sau (output) chỉnh lý.



Hình 3. Nguồn phát sinh động đất khu vực thủy điện ST2 [1].

- Chấn tiêu động đất kích thích hồ thủy điện ST2, quan sát được trong thời gian qua, có độ sâu không vượt quá 10 km.

- Có biểu hiện của dịch chuyển vị trí chấn tiêu động đất theo độ sâu và lan tỏa từ khu vực trung tâm lòng hồ về phía tây bắc và đông nam. Tuy có biểu hiện như vậy song đây chỉ là nhận định ban đầu, cần được chứng minh cụ thể hơn trong các nghiên cứu tiếp theo.

2. Mô hình vận tốc: sóng P, sóng S và V_p/V_s khu vực hồ thủy điện ST2 và kề cận

Sau khi chỉnh lý danh mục động đất, loại bỏ những trận ghi nhận được ở ít hơn 5 trạm địa chấn, còn lại 167 trận được sử dụng trong xây dựng mô hình cắt lớp sóng địa chấn theo diện và theo tuyến. Đối tượng tính toán được tiến hành gồm vận tốc sóng P, vận tốc sóng S và tỷ số vận tốc V_p/V_s . Việc tính toán được tiến hành như sau:

- Xây dựng mô hình V_p , V_s và V_p/V_s dọc theo tuyến (mô hình 2D) nằm ngang (theo vĩ độ), cách nhau 2 phút ($T_1- 15^0 10'$, $T_2- 15^0 12'$, ..., $T_{11}- 15^0 30'$). Tổng cộng có 11 tuyến được tính toán.

- Xây dựng mô hình V_p , V_s và V_p/V_s theo diện (mô hình 3D) ở các độ sâu từ 0 km đến 10 km, mỗi lớp cách nhau 2 km. Tổng cộng có 6 lớp mô hình được tính toán.

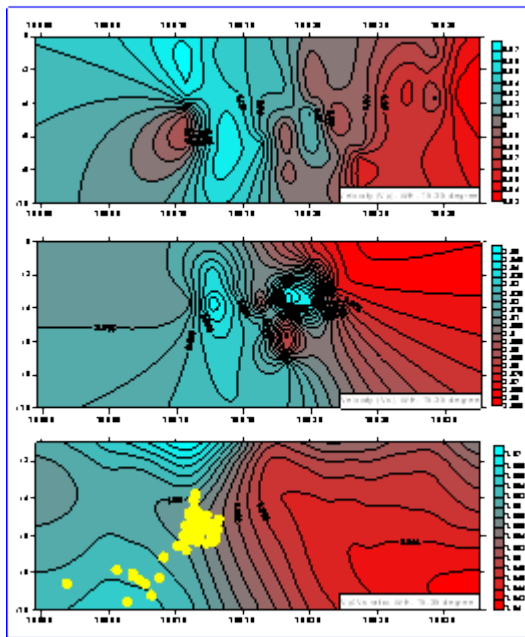
- Khối hộp vuông có các cạnh bằng nhau: $3 \times 3 \times 3$ km được sử dụng trong tính toán mô hình cắt lớp sóng địa chấn.

Kết quả phân tích cắt lớp sóng địa chấn theo diện và theo mặt cắt được trình bày ví dụ trong các hình, từ Hình 4 đến Hình 7. Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu này cho thấy:

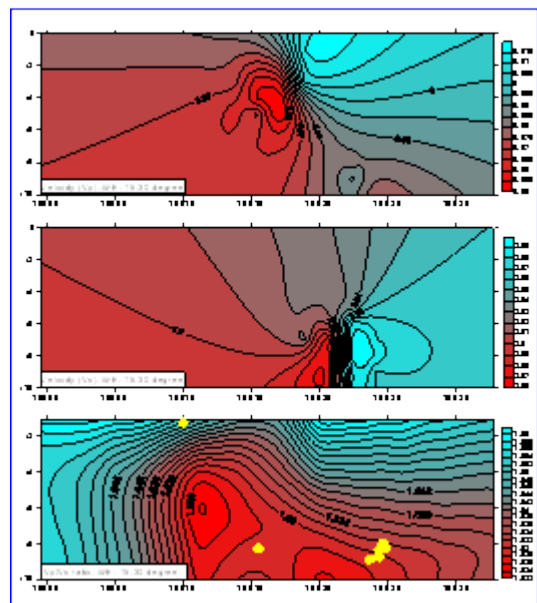
- Vận tốc sóng P khu vực nghiên cứu có giá trị biến đổi trong giới hạn từ $5,90 \text{ km/s}^2$ đến $6,10 \text{ km/s}^2$ ($V_p=5,90-6,10$). Giá trị vận tốc này thấp hơn khá nhiều so với giá trị vận tốc trung bình của đá gneis ở Việt Nam ($6,30-6,90 \text{ km/s}^2$) [1]. Điều này chứng tỏ tính chất đập vỡ khá mạnh của đá tại khu vực hồ thủy điện ST2 và kề cận.

- Vận tốc sóng S biến đổi trong giới hạn từ 3,50 đến 3,60 km/s². Tỷ số Vp/Vs có giá trị từ 1,63 đến 1,68. Theo lý thuyết thì trong môi trường đồng nhất, giá trị tỷ số này là 1,70-1,74 [2, 3]. Giá trị tỷ số Vp/Vs thấp tại khu vực nghiên cứu có thể được lý giải bởi hiện tượng bất đồng nhất của môi trường và mức độ chứa nước khác nhau của môi trường đá bị đập vỡ.

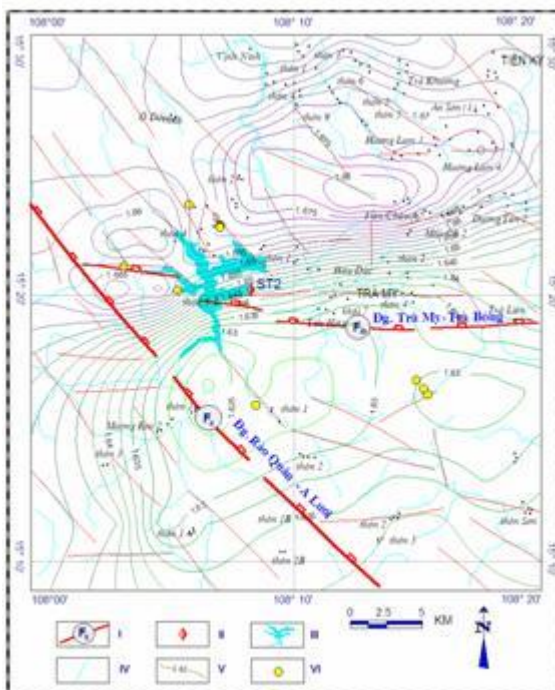
- Động đất chủ yếu xảy ra tại khu vực có tỷ số vận tốc Vp/Vs nằm trong giới hạn 1,63-1,67, gắn liền với nơi giao cắt của đới dập vỡ Rào Quán – A Lưới và Trà My – Trà Bồng, liên thông với hồ chứa (Hình 4-7). Điều này có thể lý giải bằng hiện tượng thẩm thấu nước qua khe nứt làm thay đổi môi trường sinh chấn, làm cho động đất xuất hiện sớm hơn (động đất kích thích).



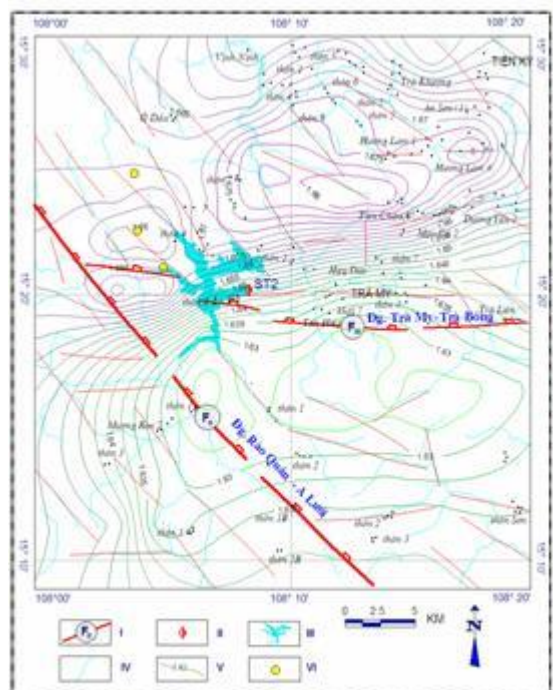
Hình 4. Giá trị vận tốc sóng P, vận tốc sóng S và tỷ số Vp/Vs (từ trên xuống) dọc tuyến 3.



Hình 5. Giá trị vận tốc sóng P, vận tốc sóng S và tỷ số Vp/Vs (từ trên xuống) dọc tuyến 4.



Hình 6. Tỷ số Vp/Vs tại độ sâu 8 km.



Hình 7. Tỷ số Vp/Vs tại độ sâu 10 km.

IV. KẾT LUẬN

1/ Động đất kích thích xảy ra tại khu vực lòng hồ thủy điện ST2 chủ yếu tập trung trong đới giao nhau giữa đứt gãy Rào Quán - A Lưới và Trà My - Trà Bồng. Độ sâu chấn tiêu động đất nhỏ hơn 10 km và có biểu hiện sâu dần, lan tỏa từ trung tâm lòng hồ về phía tây bắc và đông nam theo thời gian.

2/ Vận tốc sóng P khu vực nghiên cứu có giá trị biến đổi trong giới hạn từ 5,90 km/s² đến xấp xỉ 6,10 km/s² ($V_p=5,90-6,10$). Vận tốc sóng S biến đổi trong giới hạn từ 3,50 đến 3,60 km/s² ($V_s=3,50-3,60$). Tỷ số V_p/V_s có giá trị từ 1,63 đến 1,68.

3/ Có thể lý giải sơ bộ về nguyên nhân xảy ra động đất kích thích tại hồ thủy điện ST2 như sau: Hồ thủy điện ST2 nằm trên cấu trúc địa chất được cấu tạo bởi đá bị đập vỡ mạnh. Khi hồ được tích nước, áp lực của nước gây nên sự thấm thấu nhanh của nước theo đới đập vỡ xuống sâu, làm thay đổi môi trường sinh chấn theo chiều hướng giảm tỷ số vận tốc V_p/V_s (chỉ đạt giá trị 1,63-1,67), và tạo điều kiện giải phóng năng lượng thông qua động đất.

VĂN LIỆU

1. **Cao Đình Triều, 2010.** Seismic hazards in Vietnam. *Sci. and Techn. Publ. House, Hà Nội.* 182. pp.

2. **Ivan Koulakov, Stephan V., Sobolev, Gunter Asch, 2006.** P- and S-velocity images of the lithosphere–asthenosphere system in the Central Andes from local-source tomographic inversion. *Geophys. J. Int.* (2006) 167, 106-126.

3. **Ivan Koulakov, 2009.** LOTOS Code for Local Earthquake Tomographic Inversion: Benchmarks for Testing Tomographic Algorithms. *Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 99, No. 1, pp. 194-214, February 2009.*

4. **Cao Đình Triều, Đinh Quốc Văn, Bùi Anh Nam, Hà Vĩnh Long, 2013.** Một số kết quả nghiên cứu bước đầu về động đất kích thích hồ Thủy điện Sông Tranh 2. *TC Địa chất, A/333:1-14.*
Hà Nội.

Người biên tập: PGS. TS. Cao Đình Triều.