

Biểu hiện hoạt động động đất kích thích tại một số hồ thủy điện ở Việt Nam

Cao Đình Trọng¹, Thái Anh Tuấn¹, Cao Đình Triều^{2*}, Lê Văn Dũng¹, Nguyễn Đắc Cường¹

¹Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

²Viện Địa vật lý ứng dụng, Liên hiệp các Hội KH&KT Việt Nam

Ngày nhận bài 5/2/2018; ngày chuyển phản biện 9/2/2018; ngày nhận phản biện 14/3/2018; ngày chấp nhận đăng 26/3/2018

Tóm tắt:

Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả tiến hành nghiên cứu đặc trưng hoạt động động đất kích thích tại một số hồ thủy điện ở Việt Nam. Kết quả cho thấy:

- Tại khu vực thủy điện Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La đã xuất hiện động đất kích thích có $M > 4,0$. Các công trình thủy điện này đều có độ sâu lớn nhất của đáy hồ trên 100 m và cấu trúc địa chất là đá gneis, granit hay đá vôi.
- Động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La là loại phản ứng nhanh. Sự thăng giáng độ cao mực nước hồ có liên quan tới tần suất xuất hiện động đất.
- Có thể sử dụng tỷ số V_p/V_s như một đại lượng chủ yếu trong khoanh vùng dự báo nguồn phát sinh động đất kích thích. Nguồn phát sinh động đất tự nhiên liên thông với hồ và có $V_p/V_s = 1,63-1,69$ là nơi có nguy cơ phát sinh động đất cao nhất.
- Hồ thủy điện Hòa Bình không còn có khả năng xuất hiện động đất kích thích. Động đất kích thích thủy điện Sông Tranh 2 tuy vẫn còn hoạt động song sẽ có cấp độ mạnh nhỏ hơn 4,7. Động đất kích thích hồ Sơn La còn tiếp diễn trong thời gian tới và với cấp độ mạnh có thể lớn hơn 4,3, đạt tối đa là 5,0.

Từ khóa: Động đất kích thích, hồ thủy điện, Việt Nam.

Chỉ số phân loại: 1.5

Mở đầu

Những trận động đất xảy ra liên quan với các hoạt động của con người được gọi là động đất kích thích. Một số hoạt động phổ biến dẫn đến kích thích động đất xảy ra là: Các vụ nổ lớn xảy ra trong lòng đất, sự tích nước tại các đập cao như đập chứa nước thủy lợi hay thủy điện, sự bơm chất lỏng vào đất đá ở dưới sâu, sự rút tháo nước từ các thành tạo chứa nước gần mặt đất hoặc trên mặt, khai thác hầm lò trong các mỏ. Các nhà địa chấn thế giới đã phân loại động đất kích thích liên quan đến hồ chứa thành hai nhóm [1-3]: Loại phản ứng nhanh, xảy ra ngay sau khi hồ chứa được tích nước và loại phản ứng chậm, xảy ra sau một số năm khi hồ bắt đầu được tích nước. Trong các trường hợp đã biết về động đất kích thích (chỉ tính $M \geq 4,0$) có thể chia thành ba nhóm sau [3]: Động đất có cấp độ mạnh, $M \geq 6,0$ (4 trường hợp); Động đất có cấp độ mạnh, M từ 5,0 đến 5,9 (10 trường hợp); và Động đất có cấp độ mạnh, M từ 4,0 đến 4,9 (27 trường hợp, trong đó có Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La của Việt Nam, bảng 1).

Bảng 1. Các công trình thủy điện ở Việt Nam đã quan sát được hiện tượng động đất kích thích hồ chứa có cấp độ mạnh trên 4,0.

TT	Nội dung	Đơn vị	Hòa Bình	Sông Tranh 2	Sơn La
1	Trên sông		Sông Đà	Sông Tranh	Sông Đà
2	Tọa độ		105°19'26.00"E 20°48'02.9"N	108°08'52"E 15°19'53"N	103°59'42.00"E 21°29'47.00"N
3	Diện tích lưu vực	km ²	51.700	1.100	43.760
4	Mức nước dâng trung bình	m	117	175	215
5	Dung tích toàn bộ	10 ⁶ m ³	4.871	0.740	9.260
6	Đập dâng		Đất đá hỗn hợp	Bê tông đầm lăn	Bê tông đầm lăn
7	Cao trình đỉnh đập	m	123	170	228,1
8	Chiều cao đập lớn nhất	m	128	96	137
9	Chiều dài đỉnh đập	m	734	640	1.000
10	Công suất lắp máy	MW	1.920	190	2.400
11	Số tổ máy	Tổ máy	6	2	6
12	Năm tích nước đến cao trình tối đa		1988	2010	2011
13	Động đất kích thích lớn nhất đã quan sát thấy		4,9 (năm 1989)	4,7 (năm 2012)	4,3 (năm 2014)

*Tác giả liên hệ: Email: cdtrieu@gmail.com

Expression of triggered earthquakes at some hydropower plant reservoirs in Vietnam

Dinh Trong Cao¹, Anh Tuan Thai¹,
Dinh Trieu Cao^{2*}, Van Dung Le¹, Duc Cuong Nguyen¹

¹Institute of Geophysics, VAST

²Institute of Applied Geophysics, VUSTA

Received 5 February 2018; accepted 26 March 2018

Abstract:

In this paper, the authors present the expression of triggered earthquakes at some hydropower plant reservoirs in Vietnam. The research results indicated that:

- The triggered earthquakes with $M > 4.0$ have occurred at the Hoa Binh, Song Tranh 2 and Son La hydropower plant reservoirs. These reservoirs all have more than 100 m depth and locate on gneiss, granite or limestone rock backgrounds.

- Triggered earthquakes at the Hoa Binh, Song Tranh 2 and Son La hydropower plant reservoirs are the rapid ones. The earthquake frequency has close ties with the water level change.

- V_p/V_s ratio can be used as the main factor determining the triggered earthquake source. The natural earthquake sources linking with the reservoir and having the V_p/V_s ratio of 1.63-1.69 have the highest risk of triggered earthquake occurrence.

- There is no risk of triggered earthquake occurrence at Hoa Binh hydropower plant's reservoir. Triggered earthquakes in the Song Tranh 2 reservoir continue occurring with the magnitude of smaller than 4.7. In the Son La reservoir, triggered earthquakes continue occurring in the coming time with the magnitude of more than 4.3 and may reach a maximum of 5.0.

Keywords: Hydropower plant reservoir, triggered earthquake, Vietnam.

Classification number: 1.5

Động đất kích thích không xảy ra ở mọi vùng hồ. Nó chỉ xảy ra ở những vùng hồ có điều kiện địa chất, kiến tạo thuận lợi: Là vùng hoạt động, ứng suất kiến tạo trong đá đã đạt đến giới hạn, tồn tại các đứt gãy đủ lớn liên quan với hồ về mặt thủy văn. Trong điều kiện ứng suất đã đạt tới hạn thì ứng suất gia tăng gây nên bởi cột nước trong hồ tuy rất nhỏ nhưng có thể đóng vai trò cơ cấu thúc đẩy. Còn nước thấm sâu theo khe nứt và đứt gãy làm thay đổi áp suất lỗ rỗng, giảm ma sát mặt trượt, thúc đẩy quá trình xảy ra động đất [1-3].

Động đất kích thích cũng đã xuất hiện tại một số hồ thủy điện ở Việt Nam, trong đó đáng lưu ý nhất là: Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La:

- Ngày 23/5/1989 một trận động đất có độ lớn $M = 4,9$ đã xảy ra tại khu vực Hoà Bình. Động đất này được Nguyễn Đình Xuyên và đồng nghiệp cho là động đất kích thích. Nó xảy ra sau khi hồ thủy điện Hòa Bình được tích nước đến cao trình tối đa [4].

- Sau khi hồ thủy điện Sông Tranh 2 tích nước không lâu thì bắt đầu xuất hiện động đất. Từ đó đến nay đã quan sát được trên 2.500 động đất có $M \geq 0,7$, lớn nhất là $M = 4,7$ xảy ra vào ngày 15/11/2012 [5-7].

- Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước mã số ĐTDL.2009T/09 khẳng định rằng động đất xuất hiện tại vùng hồ Sơn La sau khi tích nước là động đất kích thích [8, 9].

Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả tiến hành nghiên cứu đặc điểm động đất tại các hồ Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La, nơi đã xảy ra các động đất kích thích có cấp độ mạnh lớn hơn 4,0.

Động đất kích thích có cấp độ mạnh $M > 4,0$ đã xảy ra tại hồ thủy điện Sông Đà, Sông Tranh 2 và Sơn La

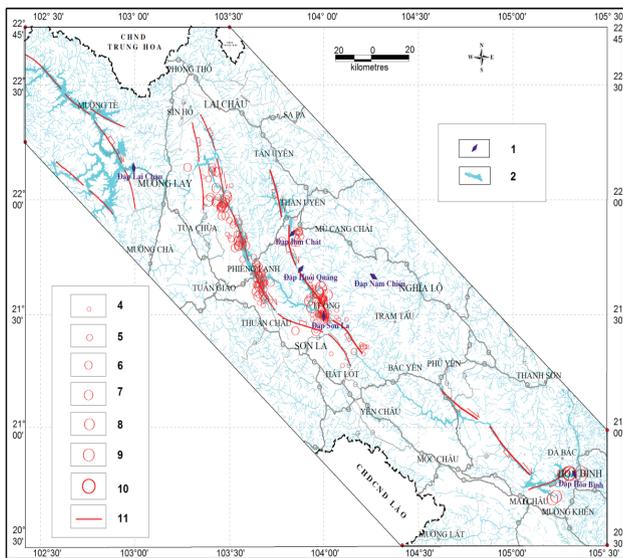
Động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình đã liên tiếp xảy ra trong thời kỳ 1989-1991

Tháng 5/1988 hồ thủy điện Hoà Bình bắt đầu tích nước. Mực nước lúc đầu tăng từ từ, sau đó tăng nhanh vào đầu mùa mưa, tháng 7 và tháng 8. Tháng 12/1988, khi mực nước lòng hồ đạt đến độ cao trên 80 m, quan sát thấy một số trận động đất yếu ($M < 2,0$) xuất hiện ở khu vực gần đập. Từ tháng 1/1989 đến tháng 4/1989, nhiều trận động đất có $M = 2,4-2,8$ ghi nhận được ở khu vực quanh đập. Đặc biệt, chỉ trong ngày 14/4/1989 có đến 7 trận động đất xuất hiện, trong đó có 2 trận động đất có $M = 3,8$ và $3,7$ với độ sâu chấn tiêu 5 km. Sau một khoảng thời gian yên lặng, đến ngày 23/5/1989 một trận động đất có cấp độ mạnh ($M = 4,9$) đã xảy ra, gây chấn động khu vực Hoà Bình đến cấp 7 (thang MSK-64). Sau đó liên tục xuất hiện các động đất yếu hơn. Đến ngày 27/5/1989 lại xuất hiện một động đất có $M = 4,0$ gây chấn động cấp 5 đến cấp 6 tại khu vực thị xã Hoà Bình. Các chấn động còn xảy ra trong một thời gian dài nhưng rất nhỏ, chỉ cảm nhận được bằng máy [4] (hình 1).

Động đất M = 4,9 ngày 23/5/1989 tại Hoà Bình có các đặc điểm của động đất kích thích hồ chứa. Động đất xảy ra sau khi hồ chứa tích nước được một khoảng thời gian không lâu (8 tháng sau khi tích nước), độ sâu chấn tiêu không lớn (khoảng 5 km), trước khi chấn động chính xảy ra có xuất hiện tiền chấn và cấp độ mạnh của dư chấn xấp xỉ chấn động chính. Sự suy giảm hoạt động địa chấn từ từ và thường có biểu hiện cao vào những thời kỳ sau khi mực nước hồ tăng lên nhanh một cách đột ngột. Mmax = 4,9 cũng là cấp độ mạnh lớn nhất của động đất kích thích hồ Hoà Bình đã xảy ra.

Động đất kích thích hồ Hoà Bình có hàm phân bố Gutenberg-Richter như sau [9]:

$$\log \frac{N(M)}{T} = 4,688 - 1,2474M \quad (1)$$



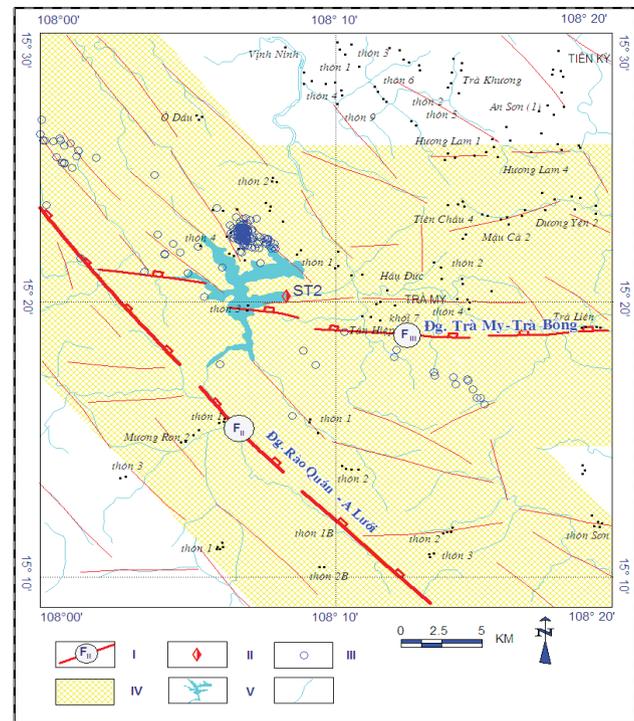
Hình 1. Phân bố chấn tâm động đất kích thích hồ thủy điện Hoà Bình và Sơn La. 1/ Đập thủy điện; 2/ Vùng hồ; 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 - Chấn tâm động đất và cấp độ mạnh tương ứng (M = 1,0-1,4; M = 1,5-1,9; M = 2,0-2,4; M = 2,5-2,9; M = 3,0-3,4; M = 3,5-3,9; M = 4,0-4,4; M = 4,5-4,9); 11/ Phân đoạn nguồn có nguy cơ phát sinh động đất kích thích.

Động đất kích thích đã xảy ra tại hồ thủy điện Sông Tranh 2

Sau khi hồ Sông Tranh 2 được tích nước đến cao trình 160 m vào tháng 10/2010 và nhà máy đi vào hoạt động thì bắt đầu xuất hiện động đất. Từ đầu năm 2011 người dân huyện Bắc Trà My bắt đầu nghe thấy những tiếng nổ trong lòng đất. Hiện tượng này gia tăng trong tháng 11/2011. Cấp độ mạnh tối đa của động đất quan sát được trong đợt đầu tiên sau khi tích nước là 3,4. Từ cuối tháng 8/2012 lại xuất hiện một đợt động đất, song đáng chú ý nhất là động đất M = 4,6 xảy ra vào ngày 22/10/2012 và động đất M = 4,7 xảy ra vào ngày 15/11/2012.

Biểu hiện hoạt động động đất hồ thủy điện Sông Tranh 2 khá phức tạp (hình 2), Động đất xuất hiện liên tục ngay từ sau khi tích nước cho đến nay mà chưa có dấu hiệu giảm cường độ xuất hiện (2.637 động đất đã xảy ra từ tháng 11/2011 đến tháng 12/2015 với M ≥ 0,5 và độ sâu chấn tiêu không vượt quá 10 km). Có 10 trạm địa chấn được thiết lập từ năm 2012 chỉ phục vụ riêng cho nghiên cứu động đất Sông Tranh 2. Các trạm này có thể phải tiếp tục hoạt động cho đến khi không còn xuất hiện động đất kích thích.

Theo Cao Đình Triều [5] thì chu kỳ lặp lại của động đất M = 4,7 tại Sông Tranh 2 là 17 tháng. Từ tháng 11/2012 đến tháng 5/2016 là đã 42 tháng mà không có động đất M = 4,7 xảy ra tại đây. Do đó, động đất M = 4,7 được coi là giá trị độ lớn cực đại của động đất kích thích hồ thủy điện Sông Tranh 2.



I- Đứt gãy; II- Đập thủy điện; III- Động đất sau khi xử lý; IV- Nguồn phát sinh động đất; IV- Vùng hồ; V- Sông suối

Hình 2. Nguồn phát sinh động đất khu vực thủy điện Sông Tranh 2.

Động đất kích thích hồ Sông Tranh 2 có dạng phân bố hàm Gutenberg-Richter như sau [5]:

$$\log \frac{N(M)}{T} = 3,838 - 0,8317M \quad (2)$$

Động đất kích thích hồ thủy điện Sơn La

Nghiên cứu động đất kích thích hồ thủy điện Sơn La được tiến hành thông qua đề tài độc lập cấp nhà nước mã số ĐTĐL.2009T/09 giai đoạn 2009-2011 [8]. Một hệ thống



Ảnh 1. Đá vôi hệ tầng Đồng Giao phát triển phổ biến tại khu vực lòng hồ thủy điện Hòa Bình và Sơn La.



Ảnh 2. Đá gneis hệ tầng Khâm Đức - Núi Vú phát triển phổ biến tại khu vực lòng hồ thủy điện Sông Tranh 2

trạm quan trắc động đất tạm thời (gồm 6 trạm) được lắp đặt vào đầu năm 2009, hoạt động đến hết năm 2011 nhằm giám sát hoạt động động đất hồ chứa trong giai đoạn đầu tích nước. Trong thời gian này đã quan sát được khoảng 400 trận động đất có $M = 1,0-3,0$ và với độ sâu chấn tiêu nhỏ hơn 10 km. Các động đất này chủ yếu tập trung tại khu vực ngập nước của đứt gãy Mường La - Bắc Yên và đứt gãy Sông Đà. Rất đáng tiếc là đề tài ĐTDL.2009T/09 kết thúc vào cuối tháng 12/2011 và 6 trạm địa chấn tạm thời cũng được dỡ ngay sau đó (tháng 4/2012) nên quan trắc động đất chi tiết bị gián đoạn từ đó đến nay. Tuy vậy, trong phạm vi hồ thủy điện Sơn La còn tồn tại 3 trạm địa chấn cấp quốc gia nên các động đất có $M = 1,0$ xảy ra trong lòng hồ cũng có thể ghi nhận được. Động đất lớn nhất tại lòng hồ thủy điện Sơn La có cấp độ mạnh 4,3 được ghi nhận vào ngày 19/7/2014.

Hàm phân bố Gutenberg-Richter động đất kích thích vùng hồ thủy điện Sơn La như sau [9]:

1. Cụm động đất kích thích từ hạ du Huội Quảng đến hạ du Sơn La:

$$\log \frac{N(M)}{T} = 3,6603 - 1,2008M \quad (3)$$

2. Cụm động đất từ cầu Pá Uôn đến đập Sơn La:

$$\log \frac{N(M)}{T} = 2,9917 - 1,0716M \quad (4)$$

Đặc điểm cấu trúc địa chất tại các khu vực xảy ra động đất kích thích

Đặc điểm địa chất vùng hồ thủy điện Hòa Bình và Sơn La

Động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình và Sơn La chủ yếu tập trung tại các đới đứt gãy sâu liên thông với

hồ. Đá vôi hệ tầng Đồng Giao (T_2a_{dg}) bị càn nát, đập vỡ mạnh, tích nước do hiện tượng thấm thấu gây nên bởi áp lực của cột nước đã làm thay đổi trạng thái ứng suất theo chiều hướng kích thích động đất xuất hiện sớm hơn (ảnh 1). Phần dưới mặt cắt đá vôi hệ tầng Đồng Giao chủ yếu có cấu trúc dạng dải, hạt mịn, chặt xít, dạng men sứ hoặc đường kính, vết vỡ vô trại, thường sáng màu (trắng, vàng nhạt, hồng, xám phớt lam và xám sáng). Có cả đá vôi bitum đen và đá vôi silic sáng màu. Phần giữa mặt cắt của hệ tầng chủ yếu là đá vôi dạng khối [9].

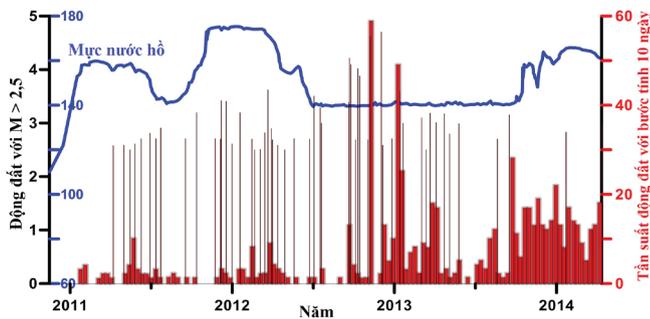
Đặc điểm địa chất vùng hồ thủy điện Sông Tranh 2

Vùng lòng hồ và dưới nền đập thủy điện Sông Tranh 2 phân bố nhiều loại đá biến chất bao gồm các gneis, metagabro, metadiorit, metagranodiorit, metaplagiogranit của phức hệ xáo trộn kiến tạo Khâm Đức - Núi Vú (ảnh 2). Chúng bị biến chất nhiệt độ cao dẫn đến nóng chảy tạo ra granit migmatit phức hệ Chu Lai vào Ordovic (khoảng 450 triệu năm). Đá gneis hạt nhỏ và đều, phân phiến (foliation) dạng dải đặc trưng, bị nứt nẻ, đập vỡ mạnh do chịu tác động của các pha hoạt động kiến tạo về sau. Có một khối granit phức hệ Chu Lai khá rộng nằm trong lòng hồ. Phía thượng lưu lòng hồ cũng quan sát thấy phân bố của đá hoa theo dạng dải.

Mối liên quan giữa thăng giáng mực nước hồ và hoạt động động đất kích thích

Mối liên quan chặt chẽ giữa biến động độ cao mực nước hồ thủy điện Sông Tranh 2 và tần suất xuất hiện động đất kích thích hồ chứa

Về quan hệ giữa biến động độ cao mực nước hồ thủy điện với tần suất hoạt động động đất kích thích được đề cập chi tiết trong [5] và cho thấy (hình 3):



Hình 3. Quan hệ giữa độ cao mực nước hồ (trục thẳng đứng, đơn vị tính theo m) và biểu hiện hoạt động động đất (trục nằm ngang) hồ thủy điện Sông Tranh 2 từ năm 2010 đến 2015 [5, 7].

- Tháng 10/2010, khi mực nước hồ nâng lên cao trình 160 m thì sau đó 10 tháng (tháng 8/2011) xuất hiện chuỗi động đất đầu tiên, kéo dài trong 4 tháng và với động đất $M = 4,2$ là lớn nhất.

- Trong tháng 10/2011 mực nước hồ tăng lên cao trình 175 m thì đến tháng 10/2012 (sau 12 tháng) chuỗi động đất thứ 2 xuất hiện và động đất lớn nhất, $M = 4,7$ xảy ra vào ngày 15/11/2012.

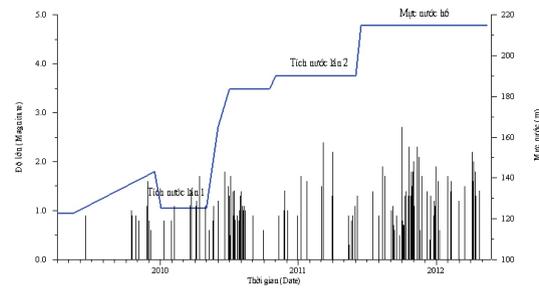
Sự thăng giáng độ cao mực nước với xuất hiện các chuỗi động đất vẫn còn được phát hiện cho đến hiện tại, song do biến động độ cao không lớn nên độ lớn động đất có vẻ như không thay đổi nhiều [7].

Thay đổi độ cao mực nước hồ thủy điện Sơn La và tần suất xuất hiện động đất kích thích hồ chứa

Việc tích nước hồ thủy điện Sơn La được chia thành 2 giai đoạn. Bắt đầu tích nước hồ vào tháng 5/2010, cao trình mực nước hồ từ 125,27 m lên đến 183,6 m vào tháng 10/2010 và giữ ở mức 190 m cho đến tháng 5/2011. Tích nước lần 2 được tiến hành vào mùa lũ năm 2011 đạt tới mức 215 m từ tháng 6/2011, sau đó duy trì liên tục ở mức này trong các năm sau [8]. Sau khi tích nước, động đất nhỏ đã xảy ra và cũng đã xuất hiện một vài động đất có $M = 2,2-2,3$. Ngay sau mỗi đợt tích nước trong khoảng 2 tháng tần suất xuất hiện động đất cũng tăng hơn nhiều so với trước và sau đó (xem hình 4).

Mô hình vận tốc sóng địa chấn (V_p), tỷ số vận tốc V_p/V_s tại các vùng nguồn phát sinh động đất kích thích

Phần mềm LOTOS [10, 11] được sử dụng trong tính toán với lưới chia 1×1 km và độ sâu thay đổi từ 1 đến 10 km (cách nhau 1 km) được sử dụng trong nghiên cứu cắt lớp sóng địa chấn vùng hồ Sông Tranh 2 [10] và Sơn La [11]. Dừng ở độ sâu nghiên cứu tối đa 10 km vì động đất kích thích hồ chứa chủ yếu có độ sâu nhỏ hơn 10 km [5-11]. Giá trị vận tốc sóng P (V_p), sóng S (V_s), tỷ số V_p/V_s được tính toán. Đặc biệt là tỷ số V_p/V_s , phản ánh trực tiếp sự thay đổi

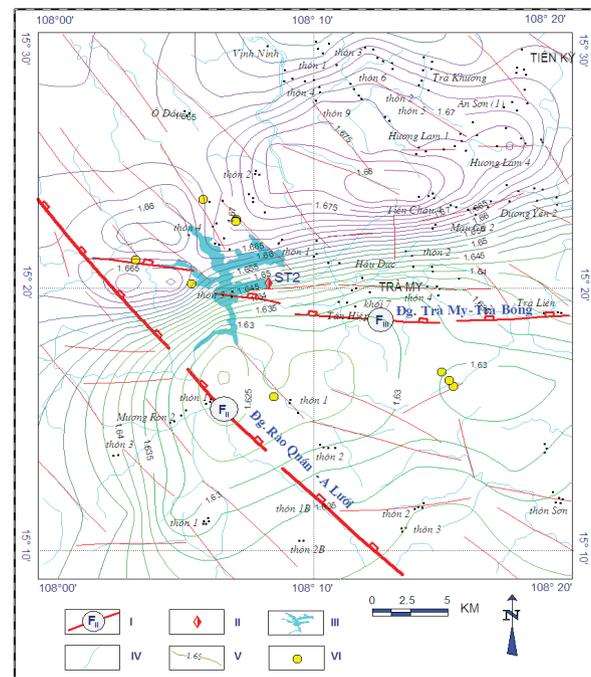


Hình 4. Đồ thị biểu diễn hoạt động động đất tại vùng đập thủy điện Sơn La theo thời gian từ 6/2009 đến 4/2012. Hai thời điểm tích nước hồ: 5/2010 và 5/2011. Sau mỗi lần tích nước tần suất động đất tăng [8].

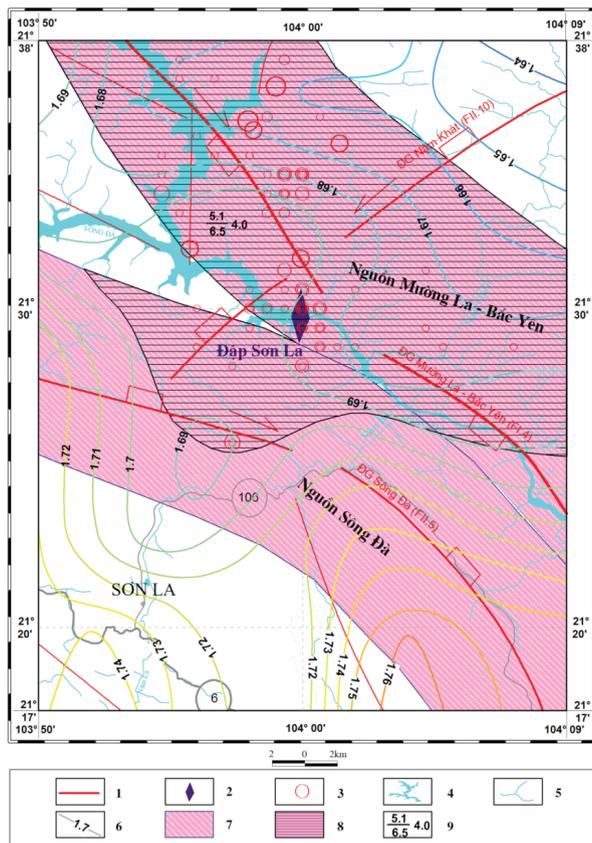
môi trường của đới đập vỡ kiến tạo trước và sau khi thấm nước, là nguyên nhân gây nên động đất kích thích.

Luận giải kết quả nghiên cứu cắt lớp sóng địa chấn tại vùng hồ Sông Tranh 2 (ví dụ về V_p/V_s tại hình 5) và vùng đập thủy điện Sơn La (ví dụ về V_p/V_s tại hình 6) được xác định theo tài liệu động đất kích thích cho thấy [10, 11]:

a. Về cơ bản, vận tốc sóng P vẫn tuân thủ theo quy luật tăng dần theo độ sâu. Tại độ sâu 1 km V_p biến đổi trong giới hạn từ 5,42 đến 5,74 km/s. Trong khi đó, tại độ sâu 7 km giá trị V_p nằm trong khoảng 5,74-5,94 km/s. Cấu trúc dị thường vận tốc V_p cao, lớn hơn 5,6 km/s tại độ sâu 3 km và lớn hơn 5,64 km/s tại độ sâu 7 km, trùng với khu vực tập trung chấn tiêu động đất kích thích.



Hình 5. Tỷ số V_p/V_s tại khu vực Sông Tranh 2 [10].



Hình 6. Tỷ số Vp/Vs và sơ đồ dự báo vùng có nguy cơ xảy ra động đất kích thích khu vực Sơn La [11]: 1 - Đứt gãy; 2 - Đập thủy điện; 3 - Vị trí chấn tâm động đất; 4 - Vùng hồ; 5 - Sông suối; 6 - Tỷ số Vp/Vs; 7 - Vùng nguồn có nguy cơ xảy ra động đất tự nhiên; 8 - Vùng nguồn có nguy cơ xảy ra động đất kích thích; 9 - M_{max} động đất kích thích có khả năng xảy ra (5,1), M_{max} động đất tự nhiên có khả năng xảy ra (6,5), M động đất kích thích đã xảy ra (4,0).

b. Tỷ số vận tốc sóng địa chấn Vp/Vs vùng đập thủy điện Sông Tranh 2 và Sơn La có giá trị biến động trong giới hạn từ 1,64 đến 1,74. Tỷ số Vp/Vs không có biểu hiện biến đổi theo độ sâu. Điều này chứng tỏ hệ số tăng dần của Vp và Vs theo độ sâu là tương đồng.

c. Đối sánh phân bố tỷ số Vp/Vs với phân bố chấn tâm động đất kích thích vùng đập thủy điện Sông Tranh 2 và Sơn La cho thấy (hình 5, 6):

- Thẩm thấu nước vào đới khe nứt dập vỡ làm thay đổi trạng thái ứng suất lỗ rỗng, tạo hiệu ứng xuất hiện động đất kích thích. Thông thường, đối với môi trường đồng nhất vật chất (nguyên khối) tỷ số Vp/Vs xấp xỉ 1,74. Đối cả nát, dập vỡ kiến tạo (nơi vật chất không còn nguyên khối, đồng nhất) giá trị Vp/Vs giảm, thường chỉ nằm trong giới hạn từ 1,70 đến 1,72 [1-3].

- Thực tế nghiên cứu môi trường phát sinh động đất Sông Tranh 2 cho thấy động đất kích thích chỉ xuất hiện tại nơi có tỷ số Vp/Vs thấp, biến động trong giới hạn 1,63-1,67 (hình 5) [10], trùng với đới dập vỡ, ngầm nước của đá gneis phức hệ Khâm Đức - Núi Vú.

- Trong khi đó, động đất kích thích hồ Sơn La xuất hiện nơi có Vp/Vs = 1,67-1,69. Đáy hồ Sơn La được xác định tồn tại đá vôi hệ tầng Đồng Giao [11]. Dựa vào phân bố tỷ số Vp/Vs, các tác giả đã khoanh vùng được khu vực có nguy cơ xảy ra động đất kích thích vùng đập Sơn La (hình 6). Động đất kích thích cấp độ mạnh 4,0 đã xảy ra vào ngày 20/8/2014 tại khu vực được dự báo. Nếu kết quả dự báo trong [11] là chính xác thì đây chưa phải là động đất kích thích lớn nhất (lớn nhất được dự báo là có cấp độ mạnh 5,0-5,1).

Về khả năng dự báo động đất kích thích cực đại

Nhằm dự báo độ lớn cực đại động đất kích thích ($M_{max, kt}$), chúng tôi sử dụng quan hệ giữa đại lượng M_{max} và hệ số b đồ thị lặp lại động đất (hay còn gọi là độ dốc đồ thị lặp lại hoặc là hệ số b của hàm Gutenberg-Richter) tự nhiên và động đất kích thích. Theo [9]:

$$b_m \times M_{max, tn} = b_{kt} \times M_{max, kt} \tag{5}$$

Trong đó: b_m là hệ số b hàm Gutenberg-Richter của động đất tự nhiên; b_{kt} là hệ số b hàm Gutenberg-Richter của động đất kích thích; $M_{max, tn}$ là giá trị độ lớn cực đại của động đất tự nhiên xảy ra tại nguồn được xác định và $M_{max, kt}$ là độ lớn cực đại của động đất kích thích có nguy cơ xảy ra tại vùng nguồn đó nếu liên thông với hồ chứa nước và đáp ứng điều kiện phát sinh động đất kích thích.

Quy trình xác định nguồn và nguy cơ xuất hiện động đất kích thích có độ lớn cực đại tại các hồ thủy điện Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La được tiến hành như sau [9]:

Bước 1 - Xác định nguồn động đất kích thích: Trên cơ sở nguồn phát sinh và giá trị độ lớn cực đại động đất tự nhiên ta xác định được đoạn nguồn động đất liên thông với hồ thủy điện sau khi tích nước. Các động đất xuất hiện trong đoạn nguồn được phân định sau khi hồ chứa tích nước đáp ứng đầy đủ điều kiện là động đất kích thích thì đoạn nguồn đó được xác nhận là đoạn nguồn động đất kích thích.

Bước 2 - Dự báo giá trị độ lớn cực đại động đất kích trên cơ sở công thức (5) và với các thông số:

- Xác định hệ số b_m hàm phân bố Gutenberg-Richter động đất tự nhiên khu vực hồ thủy điện cần nghiên cứu và lân cận. Kết quả cho thấy: Đối với thủy điện Sông Tranh 2, $b_m = 0,6041$ [5]; tại bậc thang thủy điện Sông Đà (bao gồm thủy điện Hòa Bình, Sơn La, Lai Châu, Bản Chát và Huổi Quảng - hình 4) $b_m = 0,935$ [9].

- Giá trị hệ số b_{kt} động đất kích thích hồ Hòa Bình là $b_{kt} = 1,2474$ (1). Đối với hồ thủy điện Sông Tranh 2 $b_{kt} = 0,8317$

(2). Trong khi đó, tại hồ Sơn La có 2 đoạn nguồn (hình 1), với công thức (3) và công thức (4): Từ hạ du Huồi Quảng đến hạ du Sơn La, $b_{kt} = 1,2008$; và từ cầu Pa Uôn đến đập Sơn La. $b_{kt} = 1,0716$.

- Động đất tự nhiên cực đại ($M_{max.tn}$) tại nguồn phát sinh động đất kích thích trên cơ sở phân đoạn đứt gãy [12]. Kết quả cho thấy: Tại Hòa Bình $M_{max.tn} = 6,5$; tại Sông Tranh 2, $M_{max.tn} = 6,1$; từ hạ du Huồi Quảng đến hạ du Sơn La (hồ Sơn La), $M_{max.tn} = 6,5$; và từ cầu Pa Uôn đến đập Sơn La (hồ Sơn La), $M_{max.tn} = 6,7$.

- Động đất kích thích cực đại ($M_{max.kt}$) có nguy cơ xảy ra tại các hồ: Hòa Bình, $M_{max.kt} = 4,9$; Sông Tranh 2, $M_{max.kt} = 4,7$; từ hạ du Huồi Quảng đến hạ du Sơn La (hồ Sơn La), $M_{max.kt} = 4,9$; và từ cầu Pa Uôn đến đập Sơn La (hồ Sơn La), $M_{max.kt} = 5,0$.

Kết luận

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu đánh giá tổng quan về biểu hiện hoạt động động đất kích thích tại một số hồ thủy điện ở Việt Nam trong thời gian qua cho phép rút ra một số nhận định sau:

1. Động đất kích thích có cấp độ mạnh trung bình trở lên ($M \geq 4,0$) đã xảy ra tại các hồ thủy điện Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La, nơi có độ sâu lớn nhất của đáy hồ trên 100 m. Cấu trúc địa chất khu vực lòng hồ là các đá biến chất (bao gồm các gneis, metagabro, metadiorit, metagranodiorit, metaplagiogranit), đá granit hoặc đá vôi đặc xít bị cà nát, đập vỡ mạnh. Khi hồ được tích nước, hiện tượng thấm thấu vào các đới cà nát đập vỡ kiến tạo gây nên bởi áp lực của cột nước đã làm thay đổi trạng thái ứng suất theo chiều hướng kích thích động đất xuất hiện sớm hơn.

2. Động đất kích thích các hồ Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La là loại phản ứng nhanh, có nghĩa là chúng xảy ra ngay sau khi quá trình tích nước hồ chứa được tiến hành. Sự thăng giáng độ cao mực nước hồ có liên quan tới tần suất xuất hiện động đất. Khoảng thời gian từ biến động mực nước với xuất hiện các chuỗi động đất có biểu hiện khác nhau tại hồ Sông Tranh 2 và Sơn La, tương ứng là 10-12 tháng và 2-3 tháng.

3. Động đất kích thích hồ Hòa Bình, Sông Tranh 2 và Sơn La chỉ xuất hiện tại nơi có tỷ số V_p/V_s thấp, biến động trong giới hạn 1,63-1,69, trùng với đới đập vỡ, ngậm nước của đá gneis, granit hoặc đá vôi đặc xít. Dựa vào phân bố tỷ số V_p/V_s ta có thể khoanh vùng được khu vực có nguy cơ xảy ra động đất kích thích hồ chứa.

4. Động đất kích thích lớn nhất đã quan sát được tại hồ Hòa Bình có $M = 4,9$. Đây cũng là giá trị động đất kích thích cực đại được dự báo. Điều này có nghĩa là hoạt động động đất kích thích tại hồ Hòa Bình đã đạt giá trị tối đa. Từ sau 1996 đến nay không quan sát thấy động đất kích thích hồ Hòa Bình, cho nên có thể nói rằng tại hồ này không còn

động đất kích thích nữa mà chỉ có động đất tự nhiên mà thôi.

5. Hồ thủy điện Sông Tranh 2 tuy động đất kích thích vẫn còn hoạt động một thời gian nữa song sẽ có cấp độ mạnh nhỏ hơn 4,7. Động đất kích thích hồ Sơn La còn tiếp diễn trong thời gian tới và với cấp độ mạnh có thể lớn hơn 4,3, đạt tối đa là 5,0.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.W. Simpson and T.N. Narasimhan (1990), "Inhomogeneities in rock Properties and their influence on reservoir induced seismicity", *Gerlands Beitrage zur Geophysik*, **99**, pp.205-219.
- [2] H.K. Gupta, B.K. Rastogi, H. Narain (1972), "Common features of the reservoir associated seismic activities", *Bulletin, Seismological Society of America*, **62**, pp.481-492.
- [3] H.K. Gupta (2012), *Reservoir Triggered seismicity and Earthquake recurrence at Koyna, India*, Abstract book, The 19th General Assembly of Asian Seismological Commission, Ulaanbaatar, pp.10-12.
- [4] Nguyễn Đình Xuyên (1996), *Cơ sở dữ liệu cho các giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất ở Việt Nam - Phần thứ ba: Động đất kích thích ở khu vực công trình thủy điện Hòa Bình*, Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp nhà nước, lưu tại Viện Vật lý địa cầu, 182 trang.
- [5] Cao Dinh Trieu, Cao Dinh Trong, Le Van Dung, Thai Anh Tuan, Dinh Quoc Van, Ha Vinh Long (2014), "Triggered earthquake study in Tranh River No.2 (Vietnam) Hydropower Reservoir", *Journal of the Geological Society of India*, **84(3)**, pp.319-325.
- [6] Lê Huy Minh (chủ nhiệm) và nnk (2016), *Nghiên cứu tác động địa chấn kiến tạo đến sự ổn định công trình thủy điện Sông Tranh 2, khu vực Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam*, Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp nhà nước mã số ĐTĐL.2013G, lưu tại Viện Vật lý địa cầu, 402 trang.
- [7] Thai Anh Tuan, N. Purnachandra Rao, Kalpna Gahalaut, Cao Dinh Trong, Le Van Dung, Cao Chien, K. Mallika (2017), "Evidence that earthquakes have been triggered by reservoir in the Song Tranh 2 region, Vietnam", *Journal of Seismology*, doi: 10.1007/s10950-017-9656-2.
- [8] Lê Từ Sơn (chủ nhiệm) và nnk (2012), *Nghiên cứu dự báo động đất kích thích vùng hồ thủy điện Sơn La*, Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp nhà nước mã số ĐTĐL.2009T/09, lưu tại Viện Vật lý địa cầu, 271 trang.
- [9] Cao Đình Trọng, Nguyễn Ánh Dương, Thái Anh Tuấn, Cao Đình Triều (2016), "Đặc điểm hoạt động động đất kích thích khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà", *Tạp chí Địa chất*, loạt A, số **361-362 (11-12)**, tr.80-92.
- [10] Cao Đình Trọng, Phạm Nam Hưng, Đình Quốc Văn, Lê Quang Khôi (2014), "Mô hình cắt lớp sóng địa chấn khu vực thủy điện Sông Tranh 2", *Tạp chí Địa chất*, Loạt A, số **341-345 (3-8/2014)**, tr.291-298.
- [11] Cao Đình Trọng, Thái Anh Tuấn, Đình Quốc Văn, Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Nguyễn Đắc Cường (2017), "Mô hình vận tốc sóng địa chấn (V_p , V_s , V_p/V_s) khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà", *Tạp chí Khoa học và công nghệ Việt Nam*, **22(11)**, tr.24-31.
- [12] Cao Đình Triều, Nguyễn Đức Vinh (2012), "Phân đoạn đứt gãy trong đánh giá động đất cực đại ở Việt Nam", *Tạp chí Địa chất*, số **331-332**, tr.59-68.