

ĐẶC ĐIỂM HOẠT ĐỘNG ĐỘNG ĐẤT KÍCH THÍCH KHU VỰC BẠC THANG THỦY ĐIỆN SÔNG ĐÀ

CAO ĐÌNH TRỌNG¹, NGUYỄN ÁNH DƯƠNG², THÁI ANH TUẤN¹, CAO ĐÌNH TRIỀU³

¹Viện Vật lý Địa cầu, Viện HL KH&CN Việt Nam; ²Viện Địa chất, Viện HL KH&CN Việt Nam

³Viện Địa vật lý ứng dụng, Liên hiệp các Hội KH&KT Việt Nam

Tóm tắt: Đặc điểm hoạt động động đất kích thích khu vực bắc thang thủy điện Sông Đà được nghiên cứu trong công trình này. Kết quả cho thấy: Động đất kích thích ở Việt Nam xảy ra tại vùng vỏ có phân bố đá biến chất mạnh (gneis, đá hoa), đá xâm nhập hoặc đá vôi đặc sít bị nứt nẻ, đập vỡ mạnh và có tỷ số V_p/V_s biến động trong giới hạn 1,63-1,67. Riêng khu vực bắc thang thủy điện Sông Đà còn thêm chỉ tiêu nữa là với độ cao cột nước trên 100 m; Nguy cơ xuất hiện động đất kích thích khu vực bắc thang thủy điện Sông Đà là tại các đoạn nguồn: Đoạn nguồn Mường La - Bắc Yên liên thông với hồ Sơn La tại khu vực từ hạ du đập Huổi Quảng đến hạ du đập Sơn La với độ lớn tối đa $M_{max.kt} = 5,0-5,1$; Nguồn Sông Đà, đoạn từ cầu Pá Uôn (Quỳnh Nhai) đến đập Sơn La có nguy cơ xuất hiện động đất kích thích với $M_{max.kt} = 5,4-5,7$; Gần như toàn bộ nguồn Mường Tè và một đoạn nguồn Nậm Nhé liên thông với hồ thủy điện Lai Châu là nơi có nguy cơ cao xuất hiện động đất kích thích với $M_{max.kt} = 4,8-5,1$.

I. MỞ ĐẦU

Ngày 23 tháng 5 năm 1989 một trận động đất có độ lớn $M = 4,9$ đã xảy ra tại khu vực Hòa 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. Một đề tài nghiên cứu động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình được tiến hành trong giai đoạn 1990-1995, đánh dấu bước đầu nghiên cứu động đất kích thích ở Việt Nam [1].

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 $M = 0,7$ trở lên, lớn nhất là $M_{4,7}$ xảy ra vào ngày 15/11/2012. Một số nhiệm vụ khoa học được tiến hành và khẳng định động đất Sông Tranh 2 là động đất kích thích [2-4, 6, 9].

Hiện tượng hoạt động động đất tại các hồ thủy điện sau khi tích nước cũng đã xuất hiện tại: hồ thủy điện Đăkrông ngày 19 tháng 11 năm 2013 ($M_{2,7}$) và ngày 15 tháng 5 năm 2014 ($M_{2,2}$); khu vực lòng

hồ công trình thủy điện Đắc Đring trong các ngày 6 và ngày 7 tháng 4 năm 2014 ($M_{2,2-2,7}$); lòng hồ thủy điện A Lưới vào ngày 15 tháng 05 năm 2014, $M = 4,7$. Một đề tài nghiên cứu động đất khu vực thủy điện A Lưới và vùng kế cận đang được tiến hành phê duyệt và có thể được bắt đầu thực hiện trong một tương lai gần.

Trong 03 năm thực hiện nhiệm vụ “Quan trắc biến động môi trường sinh chấn khu vực nhà máy thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ trong quá trình tích nước và hoạt động” thuộc đề tài KC.08.11/11-15, mạng lưới trạm địa chấn vùng hồ thủy điện Khe Bó - Bản Vẽ (gồm 4 trạm) đã ghi được gần 200 trận động đất lớn nhỏ tại khu vực Khe Bó - Bản Vẽ và lân cận [5]. Các động đất ghi được chủ yếu tập trung dọc theo hệ thống đứt gãy Sông Cả và lân cận, chỉ một số ít động đất tập trung ở khu vực hồ thủy điện Khe Bó và hồ thủy điện Bản Vẽ. Từ những số liệu quan trắc động đất năm 2012-2014, Cao Đình Triều và các cộng sự đã tính toán tỉ số V_p/V_s cho trận động đất $M_{3,2}$, ngày 30/6/2012. Kết quả

cho thấy tỉ số V_p/V_s trung bình cho khu vực nghiên cứu là 1,71. Giá trị này xấp xỉ giá trị trung bình tỉ số V_p/V_s của Bắc Việt Nam. Nó phản ánh tính đập vỡ kém của lớp sinh chấn trong khu vực hồ thủy điện Khe Bô và Bản Vẽ (trong môi trường đồng nhất giá trị V_p/V_s xấp xỉ 7,3). Từ đó cho rằng động đất kích thích không có khả năng xuất hiện tại hồ thủy điện Khe Bô và Bản Vẽ.

Nghiên cứu dự báo động đất kích thích vùng hồ thủy điện Sơn La được tiến hành trong các năm 2009-2011 [10]. Báo cáo tổng kết đề tài này khẳng định rằng động đất xuất hiện tại vùng hồ Sơn La sau khi tích nước là động đất kích thích.

Từ những kết quả nghiên cứu trên đây [2-6, 9-11] cho thấy, không phải hồ thủy điện lớn nào ở Việt Nam cũng gây ra động đất kích thích. Để có được nhận thức đúng đắn về hoạt động động đất kích thích ở Việt Nam, trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả bước đầu tiến hành tìm hiểu đặc điểm hoạt động động đất kích thích tại các hồ thuộc khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà.

II. ĐỘNG ĐẤT KÍCH THÍCH ĐÃ XÂY RA TẠI HỒ THỦY ĐIỆN HÒA BÌNH, SÔNG TRANH 2 VÀ SƠN LA

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

Tháng 5 năm 1988, hồ thủy điện Hòa Bình bắt đầu tích nước. Mực nước lúc đầu tăng từ từ và bắt đầu tăng nhanh vào đầu mùa mưa vào tháng 7 và tháng 8. Vào tháng 12 năm 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 năm 1989 đến tháng 4 năm 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 tháng 4 năm 1989 đã có đến 7 trận động đất xuất hiện, trong đó có 2 trận động đất có $M=3,8$ và $M=3,7$ với độ sâu chấn tiêu 5 km. Sau một khoảng thời gian yên lặng, đến ngày 23 tháng 5 năm 1989

một trận động đất có độ lớn (M) bằng 4,9 đã xảy ra, gây chấn động khu vực Hòa Bình đến cấp 7 (thang MSK-64). Sau đó liên tục xuất hiện các động đất yếu hơn. Đến ngày 27 tháng 5 năm 1989 lại xuất hiện một động đất có $M=4,0$ gây chấn động cấp 5 đến cấp 6 tại khu vực thị xã Hòa Bình. Các chấn động còn xảy ra trong một thời gian dài nhưng rất nhỏ, chỉ cảm nhận được bằng máy. Trong các năm 1990-1996, khi một hệ thống gồm 5 trạm địa chấn có độ nhạy cao được thiết lập tại khu vực Hòa Bình và lân cận cũng chỉ ghi nhận được các chấn động yếu [11].

Động đất $M_{4,9}$ ngày 23 tháng 5 năm 1989 tại Hòa 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 độ lớn 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 chứa tăng lên nhanh một cách đột ngột. $M_{max}=4,9$ cũng là độ lớn cực đại của động đất kích thích hồ Hòa Bình đã quan sát được.

2. Động đất kích thích hồ thủy điện Sông Tranh 2 (ST2)

Sau khi hồ ST2 được tích nước đến cao trình 160 m vào tháng 10 năm 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 năm 2011. Độ lớn tối đa của động đất quan sát được trong đợt đầu tiên sau khi tích nước là 3,4. Từ cuối tháng 8 năm 2012 lại xuất hiện một đợt động đất, trong đó đáng chú ý nhất là động đất $M_{4,6}$ xảy ra vào ngày 22 tháng 10 năm 2012 và động đất $M_{4,7}$ xảy ra vào ngày 15 tháng 11 năm 2012.

Biểu hiện hoạt động động đất hồ thủy điện Sông Tranh 2 khá phức tạp, động đất

xuất hiện liên tục ngay từ sau khi tích nước cho đến nay mà chưa có dấu hiệu giảm dần cường độ xuất hiện (2.637 trận động đất đã xảy ra từ tháng 11/2011 đến tháng 12/2015 với $M \leq 0,5$ 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 [9]. 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, 2013 và 2014 [2-4] chu kỳ lặp lại của động đất M4,7 tại Sông Tranh 2 là 17 tháng. Từ tháng 11/2012 đến nay (5/2016) là đã 42 tháng mà không có động đất M4,7 xảy ra tại đây. Do đó, động đất M4,7 được coi là giá trị độ lớn cực đại của động đất kích thích hồ thủy điện Sông Tranh 2 [4, 7, 8].

3. 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 năm 2009-2011 [10]. Một hệ thống 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. Tuy nhiên đề tài ĐTĐL.2009T/09 kết thúc vào cuối tháng 12 năm 2011 và 6 trạm địa chấn tạm thời cũng được dỡ ngay sau đó (tháng 4 năm 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 độ lớn cực đại M4,3 được ghi nhận vào ngày 19 tháng 7 năm 2014.

III. MÔI TRƯỜNG PHÁT SINH ĐỘNG ĐẤT KÍCH THÍCH HỒ THỦY ĐIỆN Ở VIỆT NAM

1. Đặc điểm cấu trúc địa chất khu vực lòng hồ phát sinh động đất kích thích

a) Đặc điểm địa chất vùng hồ thủy điện Sông Tranh 2

Ở vùng hồ thủy điện ST2 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. Chúng bị biến chất nhiệt độ cao dẫn đến nóng chảy tạo ra granit migmatit phức hệ Chu Lai vào Ordovic (khoảng 450 Tr.n). 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 [3, 4].

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

Động đất kích thích vùng 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 bị cả nát, đập vỡ mạnh, tích nước do hiện tượng thẩm 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 [10, 11]. Phần dưới mặt cắt đá vôi hệ tầng Đồng Giao chủ yếu có cấu trúc dạng dải, hạt mịn, chặt sít, dạng men sứ hoặc đường kính, vết vỡ vô trai, 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.

2. Tỷ số vận tốc sóng địa chấn V_p/V_s và khả năng dự báo khu vực có nguy cơ xuất hiện động đất kích thích

Mô hình vận tốc sóng P (V_p), sóng S (V_s) và V_p/V_s khu vực hồ thủy điện Sông Tranh 2 được phân tích theo tuyến và theo

điện [6]. Đối với động đất hồ thủy điện Sông Tranh 2, động đất kích thích xảy ra trong đới dập vỡ của đứt gãy Rào Quán - A Lưới, giao cắt với đứt gãy sinh kèm Trà My - Trà Bồng, nơi có Vp/Vs biến động trong giới hạn 1,63-1,67.

3. Biến động độ cao mực nước hồ và tần suất xuất hiện động đất kích thích

a) 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 [3, 4] và cho thấy: Tháng 10 năm 2010, khi mực nước hồ nâng lên cao trình 160 m thì sau đó 10 tháng, tháng 8 năm 2011 xuất hiện chuỗi động đất đầu tiên, kéo dài trong 4 tháng và với động đất M4,2 lớn nhất; Trong tháng 10 năm 2011 mực nước hồ tăng lên cao trình 175 m thì đến tháng 10 năm 2012 (sau 12 tháng) chuỗi động đất thứ 2 xuất hiện và động đất lớn nhất, M4,7 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 [9].

b) 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 năm 2010, cao trình mực nước hồ từ 125,27 m lên đến 183,6 m vào tháng 10 năm 2010 và giữ ở mức 190 m cho đến tháng 5 năm 2011. Tích nước lần 2 được tiến hành vào mùa lũ năm 2011 đạt tới mức 215 m từ tháng 6 năm 2011, sau đó duy trì liên tục ở mức này trong các năm sau. Nhằm xem xét ảnh hưởng của việc tích nước hồ chứa lên hoạt động động đất, các tác giả của đề tài

nghiên cứu [10] đã chọn 01 diện tích bao quanh đập thủy điện Sơn La với bán kính 10 km để tập hợp số liệu động đất và lập đồ thị phân bố của động đất theo thời gian. Ta thấy, trước thời điểm tích nước lần 1, các động đất nhỏ với $M < 2$ cũng đã có ghi nhận được nhưng tần suất nhỏ. Sau khi tích nước động đất nhỏ đã xảy ra nhiều hơn hẳn và cũng đã xuất hiện một vài động đất có $M = 2,2-2,3$. Một vấn đề đáng lưu ý nữa là 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.

IV. DỰ BÁO NGUY CƠ XUẤT HIỆN ĐỘNG ĐẤT KÍCH THÍCH KHU VỰC BẠC THANG THỦY ĐIỆN SÔNG ĐÀ

1. Về phương pháp luận nghiên cứu xác định nguồn và đánh giá độ lớn động đất tự nhiên khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà

Trong nghiên cứu này, nguồn phát sinh động đất tự nhiên (đoạn nguồn phát sinh động đất tự nhiên liên thông với hồ chứa nước sẽ có nguy cơ phát sinh động đất kích thích) được các tác giả sử dụng là nguồn đường. Có rất nhiều công thức thực nghiệm phục vụ tính toán M_{max} , song việc lựa chọn công thức cho phù hợp với điều kiện Việt Nam là cần thiết. Các tác giả ủng hộ cách tiếp cận của Cao Đình Triều và nnk, 2012 [2] về cách thức lựa chọn công thức thực nghiệm phục vụ tính toán động đất cực đại cho các vùng nguồn. Qua việc kiểm chứng động đất lớn nhất tại đoạn Tuần Giáo của đứt gãy Sơn La là 6,7 (đã phát hiện cổ động đất tại đây có M6,7 vào khoảng 420 năm trước và có chiều dài phá hủy trong chấn tiêu động đất Tuần Giáo), các tác giả này đã đưa ra chỉ tiêu phân đoạn nguồn (đoạn đứt gãy hình thành trong động đất) theo lý luận sau: Việc phân đoạn đứt gãy phải được thực hiện trên cơ sở tổ hợp các dấu hiệu về địa chất, địa vật lý và địa hình; Đoạn đứt gãy được phân định phải đóng vai trò là ranh giới các khối cấu trúc vỏ Trái đất

có biểu hiện khác biệt về thành phần, đặc tính vật lý và khác biệt về mức độ và hướng vận động địa động lực hiện đại; Đoạn đứt gãy được biểu hiện rõ nét bởi hàng loạt dấu hiệu địa chất, địa vật lý và địa hình như là ranh giới phân chia các trường trọng lực và từ có biên độ khác nhau; là ranh giới của sự thay đổi đột ngột về độ sâu và thể nằm của các mặt ranh giới cơ bản trong vỏ Trái đất và các lớp trầm tích, đặc biệt là trầm tích trẻ; thể hiện rõ nét trên địa hình hiện đại, trên ảnh vệ tinh hoặc bản đồ DEM; gây ra sự biến đổi các yếu tố địa hình, địa mạo hoặc không chế sự phân bố và hình thái các thung lũng, trũng tích tụ trầm tích Đệ tứ hoặc trầm tích Hiện đại; và có các biểu hiện biến dạng Tân kiến tạo và Hiện đại dọc theo đới đứt gãy.

Từ những lý luận trên, trong bài báo này các tác giả tiến hành phân đoạn nguồn, đánh giá M_{max} và bề rộng của nguồn phát sinh động đất khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà như sau:

a) Phân đoạn nguồn phát sinh động đất được tiến hành trên cơ sở dấu hiệu

Có biểu hiện rõ nét là ranh giới phân chia trường trọng lực và từ; Có sự thay đổi đột ngột về độ sâu và thể nằm của các mặt ranh giới trong vỏ Trái đất (như mặt Moho, mặt Conrad, mặt kết tinh, các lớp trầm tích, đặc biệt là trầm tích trẻ); Thể hiện rõ nét trên địa hình hiện đại (các vách địa hình kéo dài theo tuyến, chuỗi các thung lũng hoặc thung lũng hẹp kéo dài, sự định hướng kéo dài theo một phương của các dòng chảy); Thể hiện rõ nét trên DEM dưới dạng các cấu trúc dạng tuyến (lineament) kéo dài liên tục hoặc đứt đoạn trên một chiều dài lớn đi qua các cấu trúc khác nhau; Sự biến đổi các yếu tố địa hình, địa mạo như sự dịch chuyển đột ngột của các dạng địa hình (chẳng hạn, núi sang thung lũng), thay đổi đột ngột hướng dòng chảy sông suối, hướng kéo các dãy núi, sự dịch chuyển đột ngột hướng dòng chảy (các suối, khe

bậc 1, 2 theo cùng một hướng), sự chia cắt và dịch chuyển đột ngột các dãy núi, sự dịch chuyển hoặc phá hủy các bậc thềm, nón phóng vật, các bậc địa hình hoặc sự biến đổi đột ngột các độ dốc sườn; Không chế hình thái và sự phát triển của các thung lũng, trũng tích tụ trầm tích Đệ tứ, trầm tích Hiện đại; Có các biểu hiện hoạt động xuất lộ nước nóng, trượt - lở đất hoặc nứt-sụt đất tự nhiên, biến dạng Tân kiến tạo và kiến tạo Hiện đại dọc theo đới đứt gãy.

b) Đánh giá M_{max} của đoạn nguồn

Các tác giả đã sử dụng các công thức của Wells và Copersmith [14]: $M = 4,38 + 1,49 \log L$

và của Cao Đình Triều [2]: $\log L \text{ (km)} = 0,6 M_{S_{max}} - 2,5$ trong đánh giá giá trị động đất cực đại cho phân đoạn đứt gãy sau khi đã nhận dạng và phân chia theo tổ hợp tài liệu địa chất, địa vật lý và địa hình cho nhiều đới đứt gãy hoạt động trên khu vực nghiên cứu.

c) Xác định bề rộng của vùng nguồn

Trên cơ sở công thức [2]: $W \text{ (km)} = H \cdot \tan \alpha + w$; hay: $\log W \text{ (km)} = 0,25 M_{S_{max}} - 0,35$,

trong đó: $W \text{ (km)}$: bề rộng vùng nguồn chấn tiêu, $M_{S_{max}}$: cấp độ mạnh động đất, H : độ sâu của đứt gãy và α : góc cắm của đứt gãy, w : đới động lực đứt gãy.

2. Về khả năng sử dụng "độ dốc đồ thị lặp lại" (hay còn gọi là hệ số b hàm Gutenberg-Richter) trong nghiên cứu dự báo độ lớn cực đại động đất kích thích

Nhằm dự báo độ lớn cực đại động đất kích thích ($M_{max.kt}$) các tác giả 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.

$$b_{tn} \times M_{max.tn} = b_{kt} \times M_{max.kt} \quad (1)$$

Trong đó: b_{tn} : hệ số b hàm Gutenberg-Richter của động đất tự nhiên; b_{kt} : hệ số b hàm Gutenberg-Richter của động đất kích thích; $M_{max.tn}$: giá trị độ lớn cực đại của

động đất tự nhiên xảy ra tại nguồn được xác định và $M_{max.kt}$: 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.

a) Hàm Gutenberg - Richter của động đất tự nhiên (1976-2010) khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà

$$\text{có dạng: } \log \frac{N(M)}{T} = 3,923 - 0,935M \quad (2)$$

Động đất kích thích Hòa Bình có hàm phân bố Gutenberg - Richter như sau:

$$\log \frac{N(M)}{T} = 4,688 - 1,2474M \quad (3)$$

Động đất kích thích cực đại ($M_{max.kt}$) quan sát thấy tại hồ Hòa Bình là 4,9.

Động đất tự nhiên cực đại ($M_{max.tn}$) đánh giá theo công thức thực nghiệm của Cao Đình Triều, 2002 [1] (hoặc công thức Coppersmith, 1994 [12]) đối với nguồn phát sinh này là 6,5.

b) Quy luật phân bố hàm Gutenberg-Richter đối với động đất tự nhiên khu vực miền Trung

$$\log \frac{N(M)}{T} = 2,9544 - 0,6041M \quad (4) [4, 5]$$

Động đất kích thích hồ Sông Tranh 2 có dạng phân bố hàm Gutenberg-Richter như sau [4, 5]:

$$\log \frac{N(M)}{T} = 3,838 - 0,8317M \quad (5)$$

Động đất kích thích cực đại ($M_{max.kt}$) hồ Sông Tranh 2 là 4,7.

Động đất tự nhiên cực đại ($M_{max.tn}$) đối với nguồn phát sinh này là 6,3.

Từ các giá trị: hệ số b trong các công thức (2), (3), (4), (5); $M_{max.tn}$ và công thức (1) ta có thể xác định được giá trị độ lớn cực đại của động đất kích thích có nguy cơ xảy ra tại các đoạn nguồn liên thông với hồ chứa và có đủ điều kiện phát sinh động đất kích thích khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà.

3. Nguy cơ xuất hiện động đất kích thích khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà

Quy trình xác định nguồn và nguy cơ xuất hiện động đất kích thích có độ lớn cực đại tại các hồ thủy điện chủ yếu trên bậc thang Sông Đà được tiến hành như sau [1, 4, 12]:

Bước 1: Trên cơ sở nguồn phát sinh và giá trị độ lớn cực đại động đất tự nhiên khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà 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: Việc dự báo giá trị độ lớn cực đại động đất kích thích được tiến hành trên cơ sở công thức (1) và với các thông số: hệ số b_m hàm phân bố Gutenberg-Richter động đất tự nhiên khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà (có giá trị bằng 0,935); giá trị hệ số b_{kt} động đất kích thích; và giá trị độ lớn cực đại động đất tự nhiên ($M_{max.tn}$) được tính toán theo công thức Coppersmith (1994) hoặc Cao Đình Triều (2002) trên cơ sở tiêu chí phân đoạn đứt gãy hoạt động như trong [1, 14].

Việc khoanh định vùng nguồn và đánh giá độ lớn cực đại của động đất kích thích được tiến hành đối với hồ Hòa Bình, nhóm hồ Sơn La - Huội Quảng - Bản Chát và hồ Lai Châu.

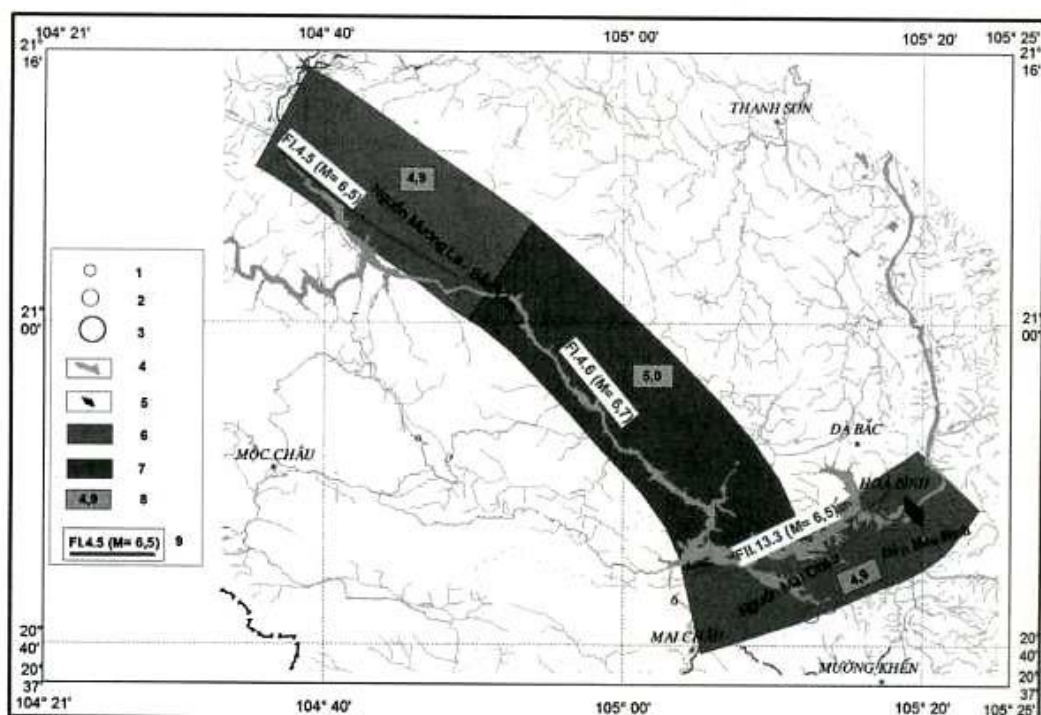
a) Động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình

Đoạn nguồn có nguy cơ phát sinh và độ lớn động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình được trình bày trong Hình 1, Bảng 1 và cho thấy:

Có 2 nguồn phát sinh động đất khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà liên thông với hồ Hòa Bình và được dự báo có nguy cơ phát sinh động đất, đó là đoạn 5 và

đoạn 6 của nguồn Mường La - Bắc Yên và đoạn 3 nguồn Mai Châu (Hình 1 và Bảng 1). Tuy vậy, chỉ có đoạn 3 (khu vực Hòa Bình) nguồn Mai Châu đã xuất hiện động đất kích thích trong giai đoạn năm 1989-1991. Tại hai đoạn còn lại thuộc nguồn Mường La - Bắc Yên tập thể tác giả đã không quan sát thấy hiện tượng động đất kích thích. Lý giải cho hiện tượng này có lẽ là do tác động của cột nước hồ thủy điện. Ta thấy đoạn nguồn Mai Châu liên thông với vùng mở

rộng và sâu nhất của hồ Hòa Bình (nơi có độ cao của cột nước trên 100 m) nên chịu tác động lớn áp lực của nước, gây nên thấm thấu mạnh của nước vào đới dập vỡ kiến tạo làm thay đổi ứng suất lỗ hổng theo chiều hướng thúc đẩy phát sinh động đất sớm hơn. Diện tích ngập nước của nguồn Mường La - Bắc Yên ít hơn nhiều và chịu áp lực nhỏ hơn do độ cao của cột nước nhỏ hơn (dưới 90 m) vì vậy tác động của cột nước lên độ thấm thấu xuống sâu bị hạn chế hơn.



Chú giải: 1/ Chấn tâm động đất kích thích với độ lớn $M \leq 3,0$; 2/ $M = 3,7-3,9$; 3/ $M = 4,0-4,9$; 4/ Vùng hồ; 5/ Đập thủy điện Hòa Bình; 6/ Đoạn nguồn được dự báo có độ lớn cực đại động đất tự nhiên $M_{max.tn} = 6,5$; 7/ Đoạn nguồn được dự báo có độ lớn cực đại động đất tự nhiên $M_{max.tn} = 6,7$; 8/ Giá trị độ lớn cực đại động đất kích thích có nguy cơ xảy ra tại đoạn nguồn được xác định; 9/ Ký hiệu tên nguồn, đoạn nguồn và giá trị độ lớn cực đại động đất tự nhiên (FL.4 là nguồn Mường La - Bắc Yên, 5 là đoạn thứ 5 từ trên xuống; FIL.13 là nguồn Mai Châu, 3 là đoạn thứ 3).

Hình 1. Vùng nguồn và độ lớn cực đại động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình

Bảng 1. Dự báo độ lớn cực đại động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình ($M_{max.kt}$)

STT	Nguồn phát sinh động đất	Đoạn nguồn	Hệ số b_{tn}	Hệ số b_{kt}	$M_{max.tn}$	$M_{max.kt}$
1	Mường La - Bắc Yên (FL.4)	FL.4.5	0,935	1,2474	6,5	4,9
2	và Mai Châu (FIL.13)	FL.4.6	0,935	1,2474	6,7	5,0
3		FIL.13.3	0,935	1,2474	6,5	4,9

Độ lớn cực đại động đất kích thích hồ thủy điện Hòa Bình được xác định có giá trị $M_{\max.kt} = 4,9$. Động đất kích thích xảy ra tại hồ Hòa Bình xuất hiện chỉ sau khi tích nước không lâu nên được xếp vào loại động đất kích thích phản ứng nhanh [7, 8]. Thời gian hoạt động động đất kích thích ngắn, chỉ xuất hiện tập trung trong khoảng 3 năm (từ năm 1989 đến năm 1991), sau đó giảm nhanh.

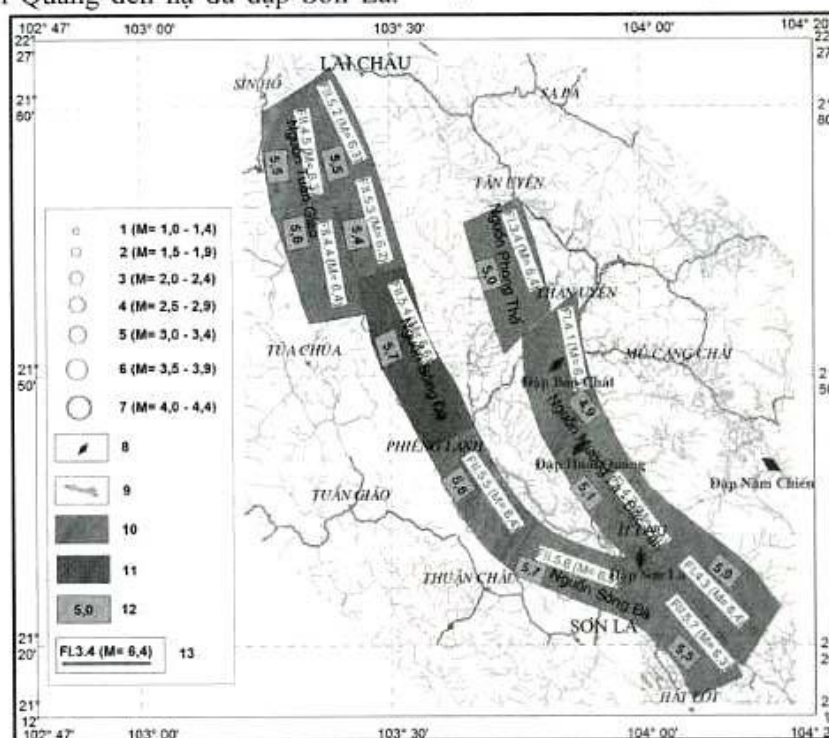
b) Động đất kích thích hồ thủy điện Sơn La, Huội Quảng và Bản Chát

Trên thực tế, động đất kích thích hồ thủy điện Sơn La - Huội Quảng - Bản Chát trong thời gian qua tập trung chủ yếu thành hai cụm (Hình 2, Bảng 2):

Đoạn nguồn Mường La - Bắc Yên liên thông với hồ Sơn La tại khu vực từ hạ du đập Huội Quảng đến hạ du đập Sơn La.

Hàm phân bố Gutenberg-Richter động đất kích thích tại cụm này có dạng công thức (6) và hệ số $b = 1,2008$. Độ lớn cực đại của động đất kích thích tại cụm động đất này được dự báo là có $M_{\max.kt} = 5,1$ đối với khu vực hạ du đập Huội Quảng (nơi có độ cao của cột nước hồ trên 100 m) và $M_{\max.kt} = 5,0$ đối với hạ du đập thủy điện Sơn La.

Cụm động đất kích thích thứ 2 kéo dài theo dọc lòng hồ sâu nhất của Sông Đà (trùng với nguồn Sông Đà), có độ cao của cột nước trên 100 m, từ cầu Pá Uôn (Quỳnh Nhai) đến tận đập Sơn La. Hàm phân bố Gutenberg-Richter của động đất kích thích tại cụm này có dạng công thức (7) và hệ số $b = 1,0716$. Độ lớn cực đại của động đất kích thích tại cụm này có thể đạt tối đa $M_{\max.kt} = 5,7$.



Chú giải: 1/ Chấn tâm động đất kích thích với độ lớn $M = 1,0-1,4$; 2/ $M = 1,5-1,9$; 3/ $M = 2,0-2,4$; 4/ $M = 2,4-2,9$; 5/ $M = 3,0-3,4$; 6/ $M = 3,4-3,9$; 7/ $M = 4,0-4,4$; 8/ Vị trí đập thủy điện; 9/ Vùng hồ; 10/ Đoạn nguồn được dự báo có độ lớn cực đại động đất tự nhiên $M_{\max.tn} = 6,0-6,4$; 11/ Đoạn nguồn được dự báo có độ lớn cực đại động đất tự nhiên $M_{\max.tn} = 6,5-6,9$; 12/ Giá trị độ lớn cực đại động đất kích thích có nguy cơ xảy ra tại đoạn nguồn được xác định; 13/ Ký hiệu tên nguồn, đoạn nguồn và giá trị độ lớn cực đại động đất tự nhiên (FI.3 là nguồn Phong Thổ, 4 là đoạn thứ 4 từ trên xuống; FI.4 là nguồn Mường La - Bắc Yên, 1,2,3 là đoạn 1,2,3 từ trên xuống; FI.5 là nguồn Sông Đà).

Hình 2. Vùng nguồn và độ lớn cực đại động đất kích thích hồ thủy điện Sơn La - Huội Quảng - Bản Chát

Bảng 2. Dự báo độ lớn động đất kích thích hồ thủy điện Sơn La - Huội Quảng - Bản Chát

STT	Nguồn phát sinh động đất	Đoạn nguồn	Hệ số b_{cn}	Hệ số b_{kt}	Mmax.tn	Mmax.kt
1	Phong Thổ (FI.3) và Mường La - Bắc Yên (FI.4)	FI.3.4	0,935	1,2008	6,4	5,0
2		FI.4.1			6,3	4,9
3		FI.4.2			6,5	5,1
4		FI.4.3			6,4	5,0
5	Tuần Giáo (FII.4) và Sông Đà (FII.5)	FII.4.4	0,935	1,0716	6,4	5,6
6		FII.4.5			6,3	5,5
7		FII.5.2			6,3	5,5
8		FII.5.3			6,2	5,4
9		FII.5.4			6,6	5,7
10		FII.5.5			6,4	5,6
11		FII.5.6			6,5	5,7
12		FII.5.7			6,3	5,5

Hàm phân bố Gutenberg - Richter động đất kích thích vùng hồ thủy điện Sơn La - Huội Quảng - Bản Chát:

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

$$\log \frac{N(M)}{T} = 3,6603 - 1,2008M \quad (6)$$

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

$$\log \frac{N(M)}{T} = 2,9917 - 1,0716M \quad (7)$$

c) Động đất kích thích hồ thủy điện Lai Châu

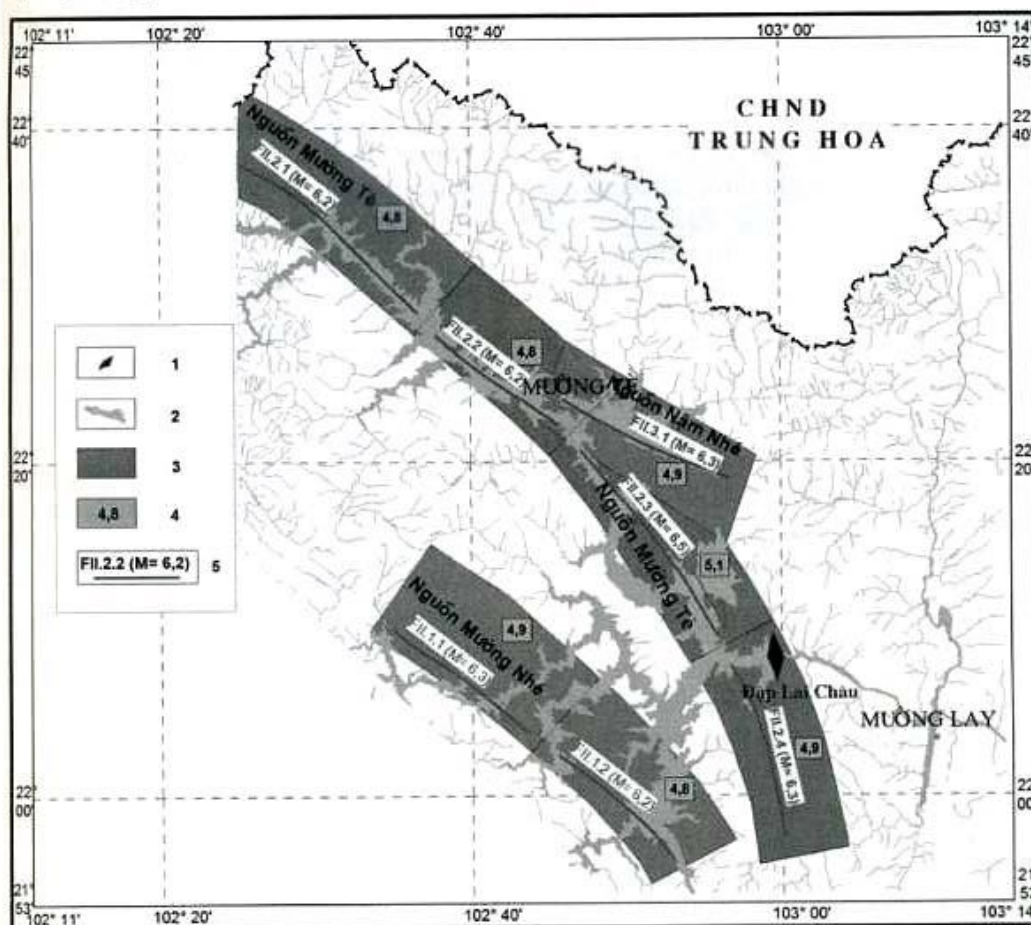
Ngày 20 tháng 6 năm 2015 đập thủy điện Lai Châu chính thức đóng cổng dẫn dòng tích nước hồ và ngày 30 tháng 12 năm 2015 chính thức phát điện tổ máy số 1 ở cao trình mực nước dâng trung bình khoảng 280 m. Trước đó, một mạng lưới gồm 4 trạm địa chấn đã được lắp đặt vào năm 2014 tại khu vực quanh hồ nhằm giám sát động đất. Chưa phát hiện động đất mạnh xảy ra sau khi tích nước đến cao trình tối đa. Tuy vậy, trong bài báo này các tác giả cũng tiến hành khoanh định vùng có nguy cơ xuất hiện và giá trị độ lớn cực đại động đất kích thích nếu xảy ra trong phạm vi lòng hồ. Vì chưa thể xác định được hệ số b của động đất kích thích

ở đây nên chúng tôi tạm sử dụng hệ số b của động đất kích thích hồ Sơn La (nguồn sông Đà) trong tính toán độ lớn cực đại. Các kết quả được trình bày trong Hình 3, Bảng 3 và cho thấy có 3 nguồn phát sinh động đất liên thông với hồ thủy điện Lai Châu, đó là:

- Đoạn số 1 và số 2 nguồn Mường Nhé tại khu vực hồ phân tán phía tây nam thủy điện Lai Châu. Độ lớn động đất tự nhiên tại đây được đánh giá là có $M_{max.tn} = 6,2-6,3$ và $M_{max.kt} = 4,8-4,9$. Nguồn Mường Nhé trùng với đới phá hủy trong đất đá trầm tích (tuổi Jura-Creta với thành phần chủ yếu là cát kết, bột kết) của đứt gãy Mường Nhé. Ở Việt Nam chưa phát hiện thấy động đất kích thích xuất hiện trong đới dập vỡ kiến tạo của đất đá loại này. Vì vậy, các tác giả cho rằng trong tương lai, tại đoạn nguồn này cũng sẽ không xuất hiện động đất kích thích. Động đất nếu xảy ra dọc nguồn này chỉ là động đất tự nhiên.

- Gần như toàn bộ nguồn Mường Tè và một đoạn nguồn Nậm Nhé liên thông với lòng hồ sâu nhất của thủy điện Lai Châu (chiều cao của cột nước trên 100 m). Tại khu vực này cũng xuất hiện đá xâm nhập có tuổi khác nhau và chính vì vậy, dự báo có nguy cơ cao xuất hiện động đất kích

thích trong tương lai gần. Giá trị độ lớn cực đại động đất tự nhiên và kích thích tương ứng đối với vùng nguồn này là: $M_{max.tn} = 6,2-6,5$ và $M_{max.kt} = 4,8-5,1$.



Chú giải: 1/ Vị trí đập thủy điện, 2/ Vùng hồ; 3/ Đoạn nguồn được dự báo có độ lớn cực đại động đất tự nhiên $M_{max.tn} = 6,0-6,4$; 4/ Giá trị độ lớn cực đại động đất kích thích có nguy cơ xảy ra tại đoạn nguồn được xác định; 5/ Ký hiệu tên nguồn, đoạn nguồn và giá trị độ lớn cực đại động đất tự nhiên (FIL.1 là nguồn Mường Nhé; FIL.2 là nguồn Mường Tè; FIL.3 là nguồn Nậm Nhé).

Hình 3. Vùng nguồn và độ lớn cực đại động đất kích thích hồ thủy điện Lai Châu

Bảng 3. Dự báo độ lớn động đất kích thích hồ thủy điện Lai Châu

STT	Nguồn phát sinh động đất	Đoạn nguồn	Hệ số b_{tn}	Hệ số b_{kt}	$M_{max.tn}$	$M_{max.kt}$
1		FIL.1.1	0,935	1,2008	6,3	4,9
2	Mường Nhé (FIL.1),	FIL.1.2	0,935	1,2008	6,2	4,8
3	Mường Tè (FIL.2), và	FIL.2.1	0,935	1,2008	6,2	4,8
4	Nậm Nhé (FIL.3)	FIL.2.2	0,935	1,2008	6,2	4,8
5		FIL.2.3	0,935	1,2008	6,5	5,1
6		FIL.2.4	0,935	1,2008	6,3	4,9
7		FIL.3.1	0,935	1,2008	6,3	4,9

V. THẢO LUẬN

Động đất kích thích xảy ra tại các hồ thủy điện ở Việt Nam trong thời gian qua chủ yếu tập trung tại các đới dập vỡ kiến tạo đang hoạt động trong đá gneis, đá granit, đá hoa và đá vôi đặc sít liên thông với hồ. Các loại đá này có độ cứng lớn, giòn và bị dập vỡ mạnh dưới tác động của lực siết ép. Bề rộng cũng như độ sâu của đới biến dạng - dập vỡ này thường lớn hơn nhiều so với các loại đá trầm tích khác. Khi bị nước trong hồ thủy điện thấm vào, đới dập vỡ kiến tạo này sẽ tạo ra hiệu ứng cơ học của áp suất lỗ rỗng, giảm sức căng và hiệu ứng hóa học làm giảm ma sát trên các mặt đứt gãy và khe nứt tạo điều kiện cho động đất phát sinh sớm hơn.

Nghiên cứu dự báo độ lớn cực đại của động đất là vấn đề quan trọng và cũng rất khó khăn. Ở Việt Nam, nhiệm vụ này cũng đã được nhiều nhà địa chấn quan tâm [1-6, 11-13], theo hai cách tiếp cận: Xác suất và Tất định. Các kết luận về động đất lớn nhất (tự nhiên và kích thích) có nguy cơ xảy ra tại khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà của các tác giả cũng chỉ là một trong số các giả thiết, dựa theo một logic nhất định. Đây cũng chỉ có thể nói là kết quả bước đầu, có giá trị tham khảo cho các nghiên cứu tiếp theo.

Về thảo luận, đối sánh kết quả với các nghiên cứu trước đây (chỉ so sánh với kết quả mới nhất gần đây của Lê Từ Sơn và nnk, 2012 [10] vì kết quả nghiên cứu này có cùng tỷ lệ gần tương đồng) các tác giả có một số nhận định như sau:

Nguồn phát sinh động đất của công trình [10] cũng sử dụng nguồn đường, song chưa xác định cụ thể bề rộng của nguồn. Cả hai công trình đều khẳng định nguồn phát sinh động đất kích thích hồ Sơn La là đoạn nguồn Sông Đà và Mường La - Bắc Yên liên thông với hồ Sơn La.

Về hệ số b trong công trình [10] xác định được $b=0,877$. Kết quả nghiên cứu

của chúng tôi cho thấy $b=0,935$. Như vậy có sự khác biệt không đáng kể. Lý do là việc chọn độ dài của danh mục động đất mà chúng tôi sử dụng là từ 1976 đến 2010 (cho rằng từ năm 1976 thì số liệu động đất của Tây Bắc được chứng minh là đầy đủ hơn [1]). Khi kiểm chứng hệ số b của các tác giả thì chu kỳ của động đất Tuần Giáo là 418 năm. Cổ động đất Tuần Giáo [1] có tuổi được xác định là cách đây khoảng 420-430 năm. Như vậy, giá trị $b=0,935$ có thể chấp nhận được.

Các kết quả dự báo động đất kích thích cực đại trong nghiên cứu này cũng chỉ là những kết quả bước đầu, cần được tiếp tục nghiên cứu bổ sung và khẳng định thêm. Tuy vậy có có giá trị tham khảo cho các nghiên cứu tiếp theo.

VI. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu đạt được của các tác giả có thể rút ra một số kết luận sau:

Động đất kích thích hồ thủy điện ở Việt Nam xảy ra trong thời gian qua thuộc dạng động đất kích thích phản ứng nhanh và có biểu hiện hoạt động phức tạp (kéo dài liên tục như tại Sông Tranh 2, suy giảm nhanh như tại Hòa Bình). Chủ yếu xảy ra tại vùng hồ có phân bố đá biến chất mạnh (gneis, đá hoa), đá xâm nhập hoặc đá vôi đặc sít bị nứt nẻ, dập vỡ mạnh và có tỷ số V_p/V_s biến động trong giới hạn 1,63-1,67.

Hệ số b đồ thị lặp lại động đất kích thích ở Việt Nam cao hơn nhiều so với động đất tự nhiên tại cùng một khu vực. Chẳng hạn: tại Sông Tranh 2 có $b_{kt} = 0,8317$ trong khi $b_{tn} = 0,6041$; tại hồ Hòa Bình có $b_{kt} = 1,2474$; hồ Sơn La $b_{kt} = 1,2008$ hoặc $b_{kt} = 1,0716$ trong khi động đất tự nhiên khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà có giá trị $b_{tn} = 0,935$.

Không phải nguồn phát sinh động đất tự nhiên nào khi liên thông với hồ thủy điện cũng có nguy cơ phát sinh động đất

kích thích. Đối với khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà thì động đất kích thích có lẽ chỉ xuất hiện tại khu vực nguồn tự nhiên liên thông với đoạn hồ có độ cao cột nước trên 100 m và địa chất vùng nguồn chủ yếu là đá vôi đặc sít hoặc đá xâm nhập.

Động đất kích thích khu vực bậc thang thủy điện Sông Đà chỉ có nguy cơ xuất hiện tại hồ Sơn La và hồ Lai Châu và tại các đoạn nguồn: Đoạn nguồn Mường La - Bắc Yên liên thông với hồ Sơn La tại khu vực từ hạ du đập Huội Quảng đến hạ du đập Sơn La với độ lớn tối đa $M_{max.kt} = 5,0-5,1$; Nguồn Sông Đà, đoạn từ cầu Pá Uôn (Quỳnh Nhai) đến đập Sơn La có nguy cơ xuất hiện động đất kích thích với $M_{max.kt} = 5,4-5,7$; Gần như toàn bộ nguồn Mường Tè và một đoạn nguồn Nậm Nhé liên thông với hồ thủy điện Lai Châu là nơi có nguy cơ cao xuất hiện động đất kích thích với $M_{max.kt} = 4,8-5,1$.

Lời cảm ơn: Đây là một phần sản phẩm của đề tài độc lập trẻ cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, mã số VAST.DDLT10/15-16. Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn sâu sắc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã cấp kinh phí thực hiện nhiệm vụ nghiên cứu này.

VĂN LIỆU

1. Cao Đình Triều, 2010. Tai biến động đất ở Việt Nam. *Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội*, 304 tr.
2. Cao Đình Triều, Nguyễn Đức Vinh, 2012. Phân đoạn đứt gãy trong đánh giá động đất cực đại ở Việt Nam. *TC Địa chất*, A/331-332:59-68. Hà Nội.
3. Cao Đình Triều, Đinh Quốc Văn, Bùi Anh Nam, Hà Vinh 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.
4. Cao Đình Triều, Cao Đình Trọng, Lê Văn Dung, Thái Anh Tuấn, Đinh

Quốc Văn, Hà Vinh Long, 2014. Triggered earthquake study in Tranh River No.2 (Vietnam) Hydropower Reservoir. *Journal of the Geological Society of India, Volume 84, Issue 3, pp 319-325*.

5. Cao Đình Triều (Chủ biên) và nnk, 2015. Nghiên cứu địa động lực hiện đại, đứt gãy hoạt động và tai biến tự nhiên có liên quan (động đất, trượt lở, nứt sụt đất) ở các lưu vực Sông Cả - Rào Nậy, đề xuất các biện pháp ứng phó giảm nhẹ thiên tai phục vụ quy hoạch xây dựng các công trình trên khu vực. *Báo cáo tổng kết đề tài KC.08.11/11-15. Lưu Vật lý Địa cầu*. Hà Nội, 355 trang.

6. Cao Đình Trọng, Phạm Nam Hưng, Đinh 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). Hà Nội, tr. 291-298.

7. Gupta H.K., 1992. Reservoir Induced Earthquakes. Elsevier, Amsterdam, p.366.

8. Gupta H.K., 2012. Reservoir Triggered seismicity and Earthquake recurrence at Koyna, India. *Abstract book, The 19th General Assembly of Asian Seismological Commission*. Ulaanbaatar, 10-12.

9. 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: ĐTDL.2013G. Lưu Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội, 402 tr.

10. Lê Tử 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: ĐTDL.2009T/09. Lưu Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội, 271 tr.

11. 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 Viện Vật lý Địa cầu, Hà Nội, 182 tr.
12. Nguyen Hong Phuong, 1991. Probabilistic Assessment of Earthquake Hazard in Vietnam based on Seismotectonic Regionalization, *Tectonophysics, Elsevier Science Publisher, Amsterdam*, 198, pp. 81-93.
13. Nguyễn Hồng Phương, Phạm Thế Truyền, 2015. Tập bản đồ xác suất nguy hiểm động đất Việt Nam và Biển Đông. *TC Khoa học và Công nghệ Biển*, T15/1:77-90. Hà Nội.
14. Wells D.L. and Coppersmith K.J., 1994. New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, v 84, pp. 974-1002.

SUMMARY

Characteristics of triggered earthquake activity in the Đà River hydroelectric ladder region

Cao Đình Trọng, Nguyễn Ánh Dương, Thái Anh Tuấn, Cao Đình Triều

The characteristics of the triggered earthquake activity of the Đà River ladder of hydropower plants have been carrying out in this study. The results have shown that: The reservoir triggered earthquakes occurrence in the places of strong metamorphosed rocks (gneiss, marble...), granitites and thick limestone that have been strongly broken and with the value of the V_p/V_s ratio equal to 1.63-1.67. In the case of Đà River ladder of hydropower plants, the reservoir triggered earthquakes occurrence needs the additional condition that the height of the reservoir water level is more than 100 m; The danger of the triggered earthquake occurrence must be occurring in the following places: The segment of the Mường La - Bắc Yên seismic source connected with the Sơn La reservoir, from lowland of the Huội Quảng dam to the lowland of Sơn La dam. The maximum of the triggered earthquake magnitude, $M_{max.kt} = 5.0-5.1$; The segment from The Pa Uon bridge to the Sơn La dam of the Đà River seismic source has the dangerous of triggered earthquake with the maximum of the magnitude, $M_{max.kt} = 5.4-5.7$; Almost the whole of Mường Tè seismic source and a segment of the Mường Nhé source that connected with the Lai Châu reservoir have the danger of triggered earthquake with the maximum magnitude, $M_{max.kt} = 4.8-5.1$.

Người biên tập: PGS.TS Nguyễn Hồng Phương.