

Ứng dụng kỹ thuật đánh dấu khảo sát dòng rò thấm qua thân đập đất

Nguyễn Hữu Quang^{1*}, Lê Văn Sơn¹, Huỳnh Thị Thu Hương¹,
Nguyễn Hồng Phan², Nguyễn Trọng Oánh³, Lưu Hữu Phi³

¹Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp, Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam

²Viện Cơ học, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam

³Công ty Cổ phần thủy điện DHD, Tập đoàn Điện lực Việt Nam

Ngày nhận bài 1/12/2017; ngày chuyển phản biện 6/12/2017; ngày nhận bản biên 8/1/2018; ngày chấp nhận đăng 22/1/2018

Tóm tắt:

Đập được xây dựng để ngăn nước cho các công trình thủy điện và hồ chứa thủy lợi. Theo thống kê của Hội Đập lớn (ICOLD) cho 900 trường hợp hư hỏng đập trên toàn thế giới (trừ Trung Quốc) thì 66% trường hợp xảy ra với đập đất, trong đó gần một nửa (46%) số hư hỏng là do xói mòn ngầm trong thân và nền đập. Mặc dù trên các đập có các hệ thống quan trắc, từ loại dùng kỹ thuật truyền thống như ống piezo đến các kỹ thuật hiện đại dùng cảm biến áp suất, điện trở và nhiệt độ... Tuy nhiên, hầu hết các trường hợp rò rỉ lại được phát hiện bằng quan sát trực tiếp do hiện tượng rò rỉ ban đầu thường xảy ra ở phạm vi khá hẹp so với tầm kiểm soát của lưới quan trắc. Khi phát hiện hiện tượng thấm rò, bên cạnh quan trắc diễn tiến của lưu lượng thấm và mức độ tải theo bùn cát của dòng rò thì đánh giá độ thấm hay độ dẫn thủy lực của vùng thấm rò và diễn tiến của các thông số này theo thời gian là yêu cầu thực tế giúp đánh giá ảnh hưởng của hiện tượng rò đến an toàn của đập. Kỹ thuật đánh dấu là phương pháp khảo sát trên thực địa cho phép xác định thời gian di chuyển, tốc độ di chuyển của dòng rò, độ dẫn thủy lực và thể tích của vùng có dòng thấm rò qua đập, là những thông số thủy động học quan trọng của hiện tượng rò rỉ.

Bài báo trình bày những kết quả bước đầu thử nghiệm ứng dụng kỹ thuật đánh dấu để định vị lõi vào của dòng rò ở mái thượng lưu (phía hồ), xác định thời gian di chuyển, vận tốc thấm trung bình, độ dẫn thủy lực và thể tích bão hòa nước của vùng có dòng thấm rò qua thân đập thủy điện HT.

Từ khóa: Đánh dấu, đập, độ dẫn thủy lực, hồ, rò rỉ, thấm, thủy điện.

Chỉ số phân loại: 2.7

Đặt vấn đề

Đập là tổ hợp công trình được xây dựng để ngăn nước cho các công trình thủy điện và hồ chứa thủy lợi. Theo loại vật liệu xây dựng, có nhiều loại đập như đập đất, đập đá, đập bê tông... trong đó phổ biến nhất là đập đất. Đập đất được xây dựng chủ yếu bằng vật liệu đất sẵn có tại địa phương, giá thành xây dựng thấp, bền và chịu tác động của động đất, nên rất phổ biến trong các công trình thủy điện và thủy lợi. Các đặc điểm hoạt động của đập đất là luôn có dòng thấm qua thân và nền đập. Cấu tạo chính của đập đất gồm thân đập, hệ thống chống thấm (tường lõi, tường nghiêng, sân trước), hệ thống thoát nước, hệ thống bảo vệ mái đập, hệ thống quan trắc và cảnh báo.

Dòng thấm bất thường xảy ra có thể làm xói mòn vật liệu bên trong thân hoặc nền đập là nguyên nhân chính gây ra sự cố phá hủy đập. Theo báo cáo thống kê của ICOLD [1], trên 75% đập xảy ra hiện tượng rò rỉ, trong đó khoảng 30% dẫn

tới sự cố (46% sự cố đến từ nguyên nhân xói mòn bên trong đối với đập đất). Quá trình xói mòn bên trong phát triển qua nhiều giai đoạn, bắt đầu từ những dòng thấm tập trung rất nhỏ làm các hạt rời khỏi liên kết và bị tải đi bởi dòng chảy. Quá trình này tiếp diễn làm thay đổi phân bố cấp hạt, tạo ra những vùng có độ rỗng lớn và hình thành dòng chảy trong đập. Giai đoạn sau thường diễn tiến nhanh hơn giai đoạn đầu, tạo ra nguy cơ phá hủy lớn [1-5]. Mặc dù trên đập có các hệ thống quan trắc, từ loại dùng kỹ thuật truyền thống như ống piezo đến các kỹ thuật hiện đại dùng cảm biến áp suất, điện trở và nhiệt độ; tuy nhiên hầu hết các trường hợp rò rỉ lại được phát hiện bằng quan sát trực tiếp do hiện tượng rò rỉ ban đầu thường xảy ra ở phạm vi khá hẹp và quy mô rất nhỏ so với tầm kiểm soát của lưới quan trắc [2, 3]. Khi phát hiện hiện tượng thấm rò, bên cạnh quan trắc diễn tiến của lưu lượng thấm và mức độ tải theo bùn cát của dòng rò, các yếu tố và thông số đặc trưng cho dòng và vùng thấm rò cũng rất cần được đánh giá theo thời gian. Các thông số đó

*Tác giả liên hệ: Email: quangnh@canti.vn

Application of tracer technique in investigation of leakage in earthen dam

Huu Quang Nguyen^{1*}, Van Son Le¹, Thi Thu Huong Huynh¹,
Hong Phan Nguyen², Trong Oanh Nguyen³, Huu Phi Luu³

¹Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry,
Vietnam Atomic Energy Institute

²Institute of Mechanics, Vietnam Academy of Science and Technology

³DHD Hydropower Company, Electricity of Vietnam

Received 1 December 2017; accepted 22 January 2018

Abstract:

Dam is a construction work to store water in hydropower and irrigation reservoirs. Statistical reports on 900 cases of dam failures in the world (except China) of the International Commission on Large Dams showed that 66% of the failures occurred in earthen dams, in which almost a half (46%) was due to internal erosion [1]. Although the monitoring systems were installed on the dams, from traditional techniques like using piezo tubes to modern techniques like using pressure, resistance, and temperature sensors, most of the leak cases were discovered by direct observation because the initial leakage occurred in relatively narrow range compared with the control of the monitoring network. When the percolation leakage is founded, besides monitoring the progress of seepage flow by the measurement of flowrate and sediment load, the parameters such as permeability or hydraulic conductivity of the leakage and infiltration progresses over time are actually requirements to help assess the impact of the leakage phenomenon to the safety of the dam. Tracer technique as a survey method in the field allows determining such important parameters as hydraulic conductivity and volume of the zone with leakage through the dam to characterize the hydrodynamics of the leakage.

This paper presents the preliminary results of tracer technique applications to locate the leak point in the reservoir; to determine the transit time, permeability velocity, hydraulic conductivity, and water saturated volume of leakage zone through the HT dam.

Keywords: Dam, hydraulic conductivity, hydropower, leakage, permeability, reservoir, tracer.

Classification number: 2.7

bao gồm thời gian di chuyển, độ thấm hay độ dẫn thủy lực của vùng thấm rò, ước lượng thể tích vùng rò tập trung và diễn tiến của các thông số này theo thời gian là yêu cầu thực tế giúp đánh giá ảnh hưởng của hiện tượng rò đến an toàn của đập và chuẩn bị kế hoạch khắc phục [2, 5].

Quá trình rò rỉ đập lúc đầu xảy ra khá chậm chạp và quy mô nhỏ nên cần được phát hiện sớm và theo dõi thường xuyên diễn tiến để phòng ngừa hay khắc phục. Các thống kê về sự cố đập cho thấy nguyên nhân chủ yếu là thiếu các phương tiện kỹ thuật thích hợp để phát hiện, theo dõi, đánh giá mức độ phát triển của dòng thấm tập trung trong thân và nền đập. Một số phương pháp được đề xuất gần đây bao gồm hệ thống quan trắc bằng điện trở đất, phương pháp điện thế tự nhiên, phương pháp đo áp lực khe rỗng, phương pháp xác định dòng thấm tập trung bằng điện từ tần số thấp... [3]. Các phương pháp này đều có những ưu thế nhất định và thường có xu hướng hình ảnh hóa vùng thấm trong thân và nền đập. Điểm yếu chung của các phương pháp này là cho các tín hiệu gián tiếp về dòng thấm và vùng thấm tập trung. Độ phân giải không gian cũng như độ nhạy đối với dòng thấm còn rất hạn chế, do đó các kết quả không cho biết bản chất vật lý về thủy động học cũng như khó đáp ứng được mục đích phát hiện sớm và theo dõi các diễn tiến theo thời gian xảy ra một cách chậm chạp.

Kỹ thuật đánh dấu là phương pháp khảo sát trên thực địa sử dụng các chỉ thị đưa vào thành phần nước thấm qua đập để theo dấu dòng rò. Chất đánh dấu có thể ở dạng hợp chất tan trong nước (như muối NaCl, Ethanol, Fluorinated Benzoic Acids, khí SF₆...), các chất chỉ thị màu, các chất gắn đồng vị phóng xạ (như I-131, Tc-99m, H-3...) hay các hạt rắn. Những yếu tố cần quan tâm khi lựa chọn chất đánh dấu thích hợp bao gồm khả năng bị hấp phụ vào trong đất, khả năng phát hiện bằng kỹ thuật hiện có, sự phân hủy bởi các yếu tố hóa học, nhiệt độ và vi sinh, sự phân rã phóng xạ đối với đồng vị phóng xạ, sự tồn tại của các chất cản trở hay nồng độ phong cao, yếu tố ảnh hưởng tới môi trường và giá thành.

Các đặc trưng quan trọng của phương pháp đánh dấu trong khảo sát hiện tượng rò rỉ là khả năng xác định vị trí điểm rò trong hồ, thời gian di chuyển từ hồ tới điểm xuất lộ, qua đó tính toán các thông số về thời gian di chuyển trung bình, độ dẫn thủy lực trung bình, thể tích của vùng thấm tập trung [6-8]. Nói chung, phương pháp đánh dấu không mới trong khảo sát địa chất thủy văn và nước ngầm, nhưng ưu điểm của nó là khả năng vật lý xác định trực tiếp các đặc trưng về quá trình vận động và khuếch tán của dòng thấm tập trung cũng như môi trường rỗng xốp của vùng thấm.

Mặc dù được biết đến như một công cụ phổ biến trong khảo sát địa chất thủy văn, nước ngầm nhưng phương pháp đánh dấu trong quan trắc hiện tượng thấm rò qua đập vẫn

chưa được sử dụng phổ biến như công năng của nó. Lý do chính có lẽ là bản thân phương pháp chưa được chuyên biệt hóa phục vụ mục đích của việc quản lý an toàn đập.

Để triển khai ứng dụng kỹ thuật đánh dấu như là một công cụ hữu hiệu, bổ sung vào các phương pháp khảo sát tình trạng rò rỉ qua đập phục vụ công tác đảm bảo an toàn đập, Phòng thí nghiệm đánh dấu thuộc Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp đã tiến hành thử nghiệm đánh dấu khảo sát một số điểm thấm rò rỉ nhỏ trên các đập phụ HT và đập ĐD kết hợp với các phương pháp mô phỏng số và đo từ trường cảm ứng. Bài báo này nêu các kết quả đánh dấu trên các đập phụ số 2 và số 3 của hồ thủy điện HT.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu

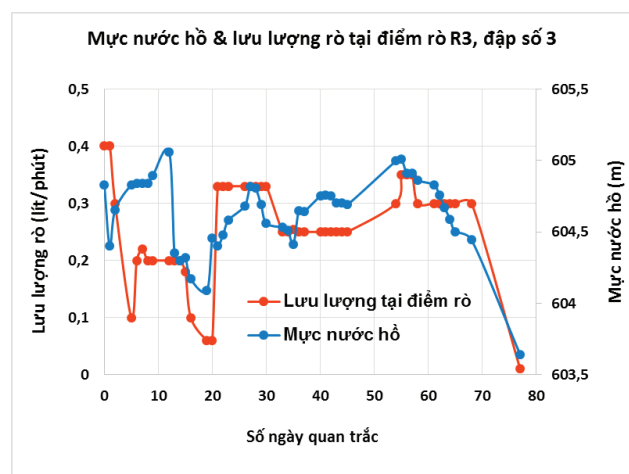
Đối tượng nghiên cứu áp dụng kỹ thuật đánh dấu là đập phụ số 2 và đập phụ số 3 của thủy điện HT. Cả 2 đập đều là đập đất.

Đập phụ số 2 có chiều cao gần 36 m, chiều dài đỉnh đập 215 m, là loại đập đồng chất. Năm 2013 quan sát thấy sự xuất hiện điểm thấm ướt R2 có kích thước 7 m x 3 m nằm ở mặt cắt No.6, tại cao trình điểm trọng tâm vùng thấm ướt khoảng 595 m (hình 1). Sự thấm ướt đất mặt xuất hiện khi cao trình mực nước hồ trên 604 m, không có số liệu quan trắc về lưu lượng thấm rò.

Đập phụ số 3 có chiều dài đỉnh đập 150 m chia làm 8 mặt cắt (từ No.1 đến No.8), chiều cao từ đỉnh xuống nền đất tự nhiên khoảng 50 m. Năm 2011 phát hiện điểm rò R3 phía trên rãnh thu nước vai phải tại mặt cắt No.7, cao trình 583 m (hình 1), khi mực nước hồ đạt cao trình khoảng 604 m trở lên. Lưu lượng rò không lớn, chỉ đủ thấm ướt đất mặt. Năm 2013, hiện tượng rò rỉ tại vị trí này tăng lên về lưu lượng, đồng thời xuất hiện thêm 2 vị trí rò thấm ướt R4 và R5 gần đó. Số liệu quan trắc mực nước hồ và lưu lượng điểm rò R3

của đập số 3 được biểu diễn trên đồ thị (hình 2) cho thấy, điểm rò từ hồ nằm ở khoảng cao trình mực nước hồ 604 m, là cao trình bắt đầu quan sát được hiện tượng rò thấm ướt xuất lộ ở hạ lưu đập.

Căn cứ cao trình xuất hiện điểm rò và cao trình điểm xuất lộ có thể xác định đây là sự thấm rò qua thân đập, cả ở đập phụ số 2 và số 3.



Hình 2. Số liệu quan trắc mực nước hồ và lưu lượng rò rỉ ở điểm rò R3, đập phụ số 3. Hai điểm thấm ướt R4 và R5 không đo được lưu lượng.

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu là đánh dấu nước hồ, lấy mẫu phân tích nồng độ chất đánh dấu để tìm vùng rò rỉ trên hồ và xác định phân bố nồng độ chất đánh dấu theo thời gian tại điểm rò ở hạ lưu.

Đánh dấu trên hồ: Đánh dấu trên hồ nhằm mục đích xác định vị trí lỗi vào của dòng rò rỉ đi vào đập dựa trên nguyên lý pha loãng. Khi cao trình nước hồ đạt tới ngưỡng rò, chất đánh dấu được rải dọc theo vùng nghi có thấm trên hồ đối xứng 2 bên giao điểm đường trục tuyến qua điểm rò với chiều dọc thân đập, gần với mái. Phân bố nồng độ chất đánh dấu trong nước hồ dọc theo vùng rải chất đánh dấu được đo định kỳ theo thời gian trong khoảng 1-2 h. Điểm rò được xác định là điểm có nồng độ chất đánh dấu cao nhất sau một khoảng thời gian khuếch tán.

Ở cao trình nước hồ trên 604 m, chất đánh dấu là muối NaCl chứa trong các bao nilong có đục nhiều lỗ, mỗi bao khối lượng 5 kg được thả tại nhiều điểm trên hồ cách nhau khoảng 2 m, cố định ở độ sâu khoảng 1 m, dọc theo sườn mái thượng lưu, cách mép nước khoảng 1



Hình 1. Hình chụp đập phụ số 2, điểm rò R2 (trái) và đập phụ số 3, điểm rò R3, R4 và R5 (phải).

m. Mẫu nước hồ dọc theo vị trí thả muối được thu thập theo thời gian sau khi thả để đo độ dẫn tại hiện trường và phân tích thành phần ion Cl^- tại Phòng thí nghiệm hóa lý (VILAS-609) của Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp.

Đánh dấu liên thông: Đánh dấu liên thông là phương pháp đánh dấu thời gian vận chuyển (Transit Time Method) được áp dụng để xác định vận tốc thực của nước chuyển qua khe rỗng giữa các hạt [9]. Trong thí nghiệm này, chất đánh dấu được pha vào nước trên hồ tại khu vực đã xác định được lối vào của dòng rò và lấy mẫu quan trắc sự xuất hiện của chúng ở vùng xuất lộ của điểm rò dưới hạ lưu đập. Kết quả phân tích cho phép biểu diễn nồng độ chất đánh dấu xuất hiện theo thời gian $C(t)$ kể từ khi thả chất đánh dấu. Trong trường hợp rò qua đập, nghiệm của phương trình vận chuyển khuếch tán mô tả nồng độ chất đánh dấu $C(x,t)$ có dạng [9]:

$$C(x, t) = \frac{M_0}{2\sqrt{\pi D_{ox}t}} e^{-\left(\frac{x - \bar{v}_x t}{2\sqrt{D_{ox}t}}\right)^2} \quad (1)$$

Trong đó, M_0 (kg) là khối lượng chất đánh dấu ban đầu hòa vào nước hồ, D_{ox} là hệ số phân tán thủy động dọc theo phương chuyển động của nước thấm (cm^2/s), $\bar{v}_x$ (cm/s) là vận tốc trung bình chảy trong khe rỗng.

Thời gian di chuyển trung bình $\bar{t}$ được tính dựa trên phân bố nồng độ chất đánh dấu xác định tại điểm rò theo thời gian $C(t)$, theo công thức:

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} C(t).t.dt}{\int_0^{\infty} C(t).dt} \quad (2)$$

Trong đó, t là thời gian (ngày) tính từ khi thả chất đánh dấu.

Vận tốc thực v_r (m/ngày) của dòng chảy qua khe rỗng được ước lượng dựa trên vận tốc di chuyển trung bình v trên khoảng cách giữa lối vào trên hồ và vùng rò dưới hạ lưu đập L (m) và thời gian di chuyển trung bình $\bar{t}$ (ngày) bởi công thức [6, 7]:

$$v = \frac{L}{\bar{t}} \quad (3)$$

Nói chung, $v \neq v_r$ vì quãng đường đi thực của dòng rò thường lớn hơn khoảng cách trực tiếp L và lối vào và ra của dòng rò không phải là 1 điểm mà là một vùng có diện

tích. Như vậy, kết quả tính vận tốc di chuyển theo (2) là ước lượng giá trị thấp nhất của vận tốc thực v_r của dòng rò qua khe rỗng.

Cho đến nay chưa có công trình công bố nghiên cứu sự khác biệt giữa vận tốc thực v_r và vận tốc dịch chuyển xác định bằng đánh dấu trong trường hợp rò rỉ qua đập. Trong khảo sát sự khác biệt vận tốc thực và vận tốc dịch chuyển do ảnh hưởng của 2 giếng - giếng bơm chất đánh dấu và giếng thu hồi, Durnbraun (1967) [10] đưa ra công thức ước lượng như sau:

$$v_r = \frac{1}{t} \left[L + \frac{\pi d}{4p\alpha} \right] \quad (4)$$

Trong đó, d là đường kính giếng (cm), p là độ rỗng và α là góc ảnh hưởng của dòng chảy từ điểm bơm chất đánh dấu với ý nghĩa chất đánh dấu phân tán theo khoảng cách từ điểm bơm theo dòng chảy. Theo Durnbraun, trong trường hợp giếng gần nhau thì ảnh hưởng lên sự sai khác về vận tốc đo bằng đánh dấu và vận tốc thực là lớn nhất. Ví dụ trường hợp $L = 2,5$ m, $d = 20$ cm, $\alpha = 2$ và $p = 31\%$ thì $v_r > v$ khoảng 10%.

Dựa trên thời gian di chuyển trung bình, độ dẫn thủy lực K (cm/s) được tính theo công thức [11]:

$$K = \frac{n_e(\Delta L)^2}{t \Delta h} \quad (5)$$

Nếu đo được lưu lượng rò Q thì thể tích bão hòa nước V_{bhn} trong vùng rò tập trung được xác định bởi công thức:

$$V_{bhn} = Q.\bar{t} \quad (6)$$

Tiết diện bão hòa nước S_{bhn} vùng thấm rò được xác định từ thể tích V_{bhn} theo công thức:

$$S_{bhn} = V_{bhn}/L \quad (7)$$

Thí nghiệm đánh dấu liên thông được tiến hành 2 lần vào cuối mùa mưa, cách nhau khoảng 25 tháng. Lần thứ nhất vào tháng 11/2014 và lần thứ hai vào tháng 12/2016. Chất đánh dấu là muối NaCl được đựng trong các bao nilon đục lỗ, khoảng từ 15-20 bao tùy theo độ dài của vùng khảo sát, mỗi bao 10 kg (khối lượng muối tăng lên để kéo dài thời gian quan trắc trên thực địa) đặt dọc theo mái đập thượng lưu xung quanh vị trí điểm rò trên hồ, đối xứng với điểm rò phía hạ lưu qua đỉnh đập. Mẫu nước thấm rò có thể tích 300 ml được thu thập theo thời gian tại các điểm rò để đo độ dẫn tại hiện trường và phân tích thành phần chất đánh dấu Cl^- (hình 3).



Hình 3. Bố trí thả chất đánh dấu liên thông ở đập phụ số 2 (trái) và đập phụ số 3 (phải).

Trong tất cả các thí nghiệm, độ dẫn được đo bằng thiết bị Hana HI98197 (Nhật Bản), nồng độ Cl^- được phân tích bằng thiết bị sắc ký ion ICS-1000 của hãng Dionex - USA. Ngưỡng phát hiện của quy trình phân tích đối với Cl^- và độ dẫn là 0,1 mg/l và 0,1 microS/cm.

Kết quả và thảo luận

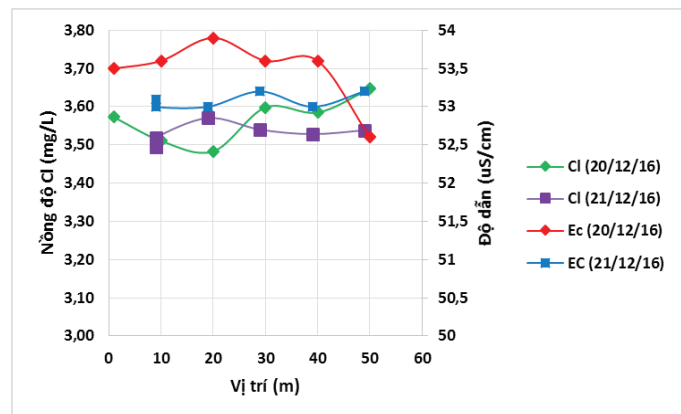
Xác định điểm rò trên hồ

Đập phụ số 2:

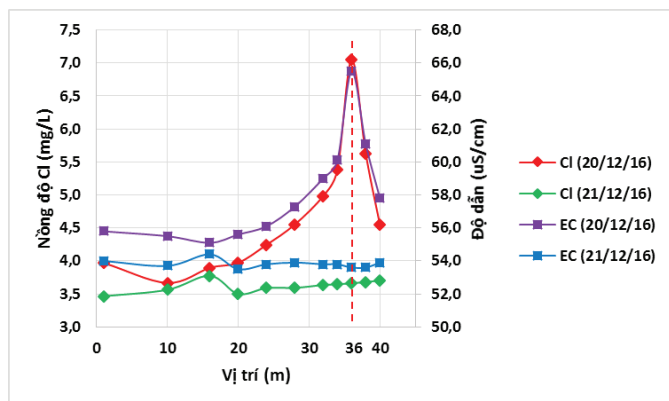
Chất đánh dấu được thả xuống hồ ngày 11/12/2016 dọc theo mái đập trong khoảng 50 m, đối xứng với điểm rò hạ lưu. Tuy nhiên, do điều kiện thời tiết xấu nên 10 ngày sau mới tiến hành lấy mẫu đợt thứ nhất và 11 ngày sau lấy đợt thứ hai. Khoảng thời gian từ khi thả chất đánh dấu đến khi quan trắc quá dài, chất đánh dấu bị pha loãng do khuếch tán, nồng độ chất đánh dấu và độ dẫn đo dọc theo mái đập giảm về giá trị phông (giá trị phông $\pm \sigma$), do đó không phát hiện được điểm rò trên hồ (hình 4). Để làm cơ sở cho các tính toán tiếp theo, điểm rò được giả định nằm trên đường vuông góc với thân đập tại cao trình 604 m, cách điểm rò xuất lộ hạ lưu khoảng 75 m.

Đập phụ số 3:

Chất đánh dấu được thả xuống hồ ngày 20/12/2016 dọc theo mái đập 40 m, cách mép nước 1 m. Mẫu quan trắc được thu thập tại vùng thả chất đánh dấu sau khi thả chất đánh dấu 4 h (ngày 20/12) và 25 h (ngày 21/12). Kết quả phân tích nồng độ chất đánh dấu (Cl^-) và độ dẫn của 2 đợt quan trắc được biểu diễn trên đồ thị hình 5.



Hình 4. Sau 10 đến 11 ngày thả chất đánh dấu, nồng độ chất đánh dấu Cl^- và độ dẫn dọc theo mái đập của đập phụ số 2 đã khuếch tán pha loãng trở về gần giá trị phông, do đó không xác định được điểm rò trên hồ. Giá trị phông của độ dẫn và nồng độ Cl^- là 53,5 uS/cm và 3,60 mg/l.



Hình 5. Phân bố nồng độ chất đánh dấu Cl^- và độ dẫn dọc theo mái đập của đập phụ số 3 được đo sau khi thả chất đánh dấu 4 h và 25 h. Giá trị phông của độ dẫn và nồng độ Cl^- là 54,0 uS/cm và 3,60 mg/l.

Phân bố độ dẫn và nồng độ Cl^- chất đánh dấu có đỉnh đạt giá trị cực đại là 66 $\mu\text{S}/\text{cm}$ và 6,8 mg/l tại vị trí 36 m kể từ mốc ở lần quan trắc sau 4 h, và trở về giá trị phông ở lần quan trắc sau 25 h. Như vậy chất đánh dấu tập trung ở xung quanh điểm rò và sau 25 h thì khuếch tán hết. Từ đó xác định được vị trí trọng tâm điểm rò trên hồ của đập phụ số 3 ở khoảng cách 36 m tính từ mốc, từ cao trình 604 m. Từ kết quả trên, khoảng cách L giữa điểm rò trên hồ và điểm rò R3 dưới hạ lưu được xác định là 94 m.

Kết quả đánh dấu liên thông

Đánh dấu liên thông được tiến hành 2 lần vào năm 2014 và 2016.

Đập phụ số 2:

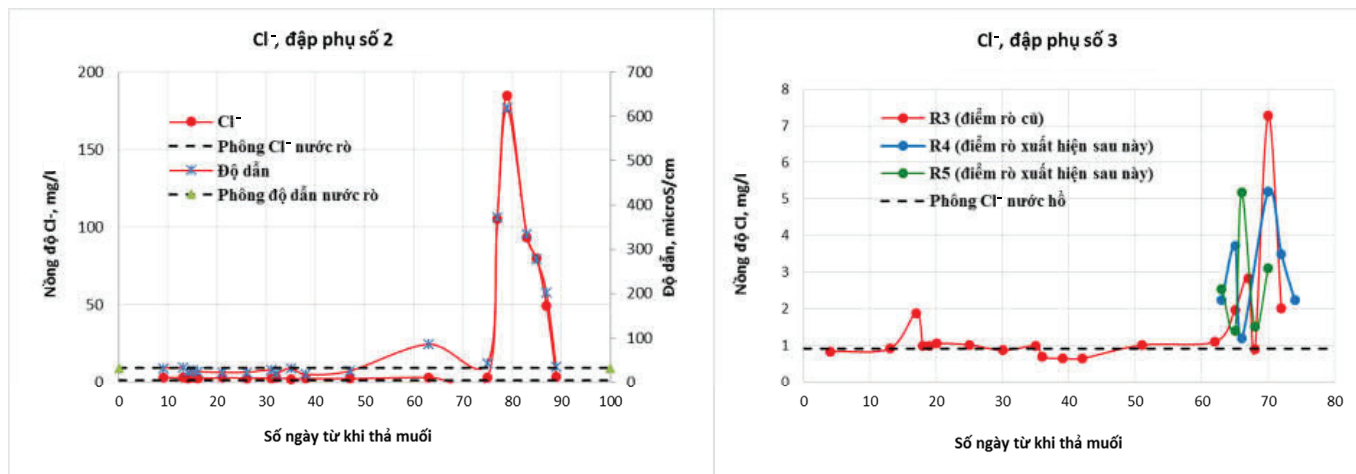
Tại đập phụ số 2 chỉ quan sát thấy 1 vùng thấm ướt,

dòng rò không chảy tập trung thành dòng. Việc lấy mẫu quan trắc được thực hiện bằng cách tạo hồ nông trên mặt đất vùng thấm ướt để thu gom mẫu nước rò. Cao trình nước hồ 604 m. Kết quả phân tích của thí nghiệm đánh dấu tháng 11/2014 cho thấy nồng độ Cl^- có 1 đỉnh đơn đạt cực đại 185 mg/l sau 79 ngày thả muối (hình 6, trái).

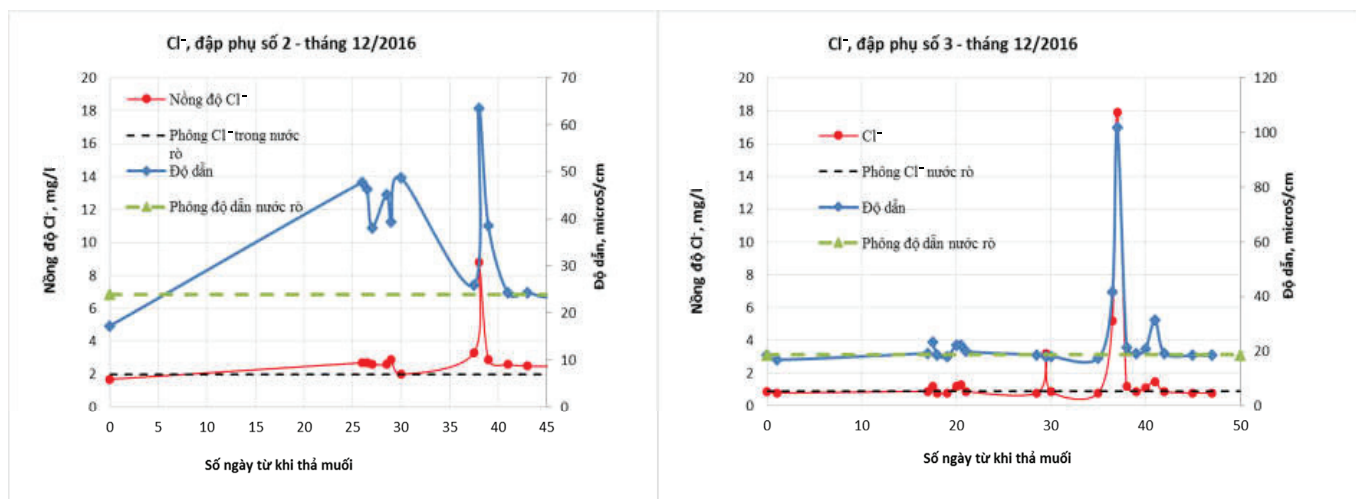
Thí nghiệm được lặp lại vào tháng 12/2016 cũng cho kết quả tương tự, phân bố chất đánh dấu thông qua nồng độ Cl^- có 1 đỉnh đơn đạt 8,8 mg/l sau 38 ngày thả chất đánh dấu (hình 7, trái). Các kết quả đo độ dẫn cũng phù hợp với kết quả phân tích Cl^- . Cao trình nước hồ trong khoảng 604 đến 605 m trong suốt quá trình quan trắc.

Đập phụ số 3:

Kết quả đánh dấu liên thông tại đập phụ số 3 vào tháng 11/2014 phát hiện được sự xuất hiện của chất đánh dấu tại cả



Hình 6. Phân bố nồng độ chất đánh dấu xuất hiện ở các điểm rò rỉ của đập phụ số 2 (trái) và đập phụ số 3 (phải) năm 2014.



Hình 7. Phân bố nồng độ chất đánh dấu xuất hiện ở các điểm rò rỉ R2 của đập phụ số 2 (trái) và R3 của đập phụ số 3 (phải) năm 2016. Tại thời điểm khảo sát các điểm R4, R5 không lấy được mẫu.

3 điểm rò xuất lộ R3, R4 và R5 với nồng độ cực đại tương ứng là 7,3 mg/l, 5,2 mg/l và 5,2 mg/l. Thời gian xuất hiện của các đỉnh không khác nhau nhiều, tương ứng là 70 ngày, 70 ngày và 66 ngày (hình 6, phải). Lưu lượng rò tại R3 đo được 0,1 l/phút tại cao trình nước hồ 604 m.

Thí nghiệm đánh dấu lặp lại vào tháng 12/2016 chỉ lấy được mẫu ở điểm rò cũ R3, hai điểm còn lại nước chỉ thấm ẩm bề mặt nên không lấy được mẫu. Kết quả đánh dấu tại R3 cho phân bố nồng độ Cl⁻ có dạng đỉnh đơn đạt giá trị cực đại 18,0 mg/l tại 37 ngày sau khi đặt chất đánh dấu. Độ rộng đỉnh từ 35 đến 38 ngày (hình 7, phải). Lưu lượng rò tại R3 đo được 0,6 l/phút tại cao trình nước hồ 604 m.

Các kết quả thí nghiệm và thông số tính toán được liệt kê trong bảng 1.

Bảng 1. Các thông số đặc trưng cho dòng thấm rò xác định từ kết quả đánh dấu.

Điểm rò	Năm	Lưu lượng rò, lít/phút	Thời gian di chuyển trung bình, ngày	Vận tốc di chuyển trung bình, m/ngày	Hệ số dẫn thủy lực vùng thấm rò K, cm/s	Thể tích bão hòa nước vùng thấm rò, m ³	Tiết diện bão hòa nước vùng thấm rò, m ²
Điểm rò R2, Đập phụ số 2	2014	0,1*	79	0,75	2,7.10 ⁻³	11,4**	0,15**
	2016	N/A	38	1,6	5,8.10 ⁻³	-	-
Điểm rò R3, Đập phụ số 3	2014	0,1	70	1,3	2,1.10 ⁻³	10,1	0,11
	2016	0,6	37	2,7	3,9.10 ⁻³	32,0	0,34
Điểm rò R4, Đập phụ số 3	2014	0,1*	70	1,3	2,1.10 ⁻³	10,1**	0,11**
Điểm rò R5, Đập phụ số 3	2014	0,1*	66	1,4	2,1.10 ⁻³	9,5**	0,10**

N/A: Không có số liệu vì nước rò chỉ đủ thấm ướt nên không đo được lưu lượng

*Lưu lượng giả định tương đương với điểm rò lân cận

**Kết quả tính dựa trên lưu lượng giả định

Các thông số đặc trưng cho dòng rò và vùng thấm rò bao gồm thời gian di chuyển trung bình, vận tốc di chuyển trung bình, hệ số dẫn thủy lực, thể tích bão hòa nước và tiết diện bão hòa nước được tính theo các công thức (2), (3), (5), (6) và (7).

Độ rỗng của vùng thấm rò được giả định là 30%. Ở các điểm rò thấm ướt không đo được lưu lượng, giá trị giả định được lấy tham khảo từ điểm lân cận là 0,1 l/phút.

Thảo luận

Từ kết quả quan trắc và các tính toán dựa trên số liệu đánh dấu có thể đưa ra các nhận xét về vùng rò và diễn tiến của dòng rò qua thân đập như sau:

- Đập phụ số 3 có 1 điểm vào trong hồ, cách vị trí mốc 36 m, từ cao trình 604 m, thể hiện ở đỉnh đơn trên đường cong đánh dấu (hình 5). Thí nghiệm đánh dấu trên hồ ở đập phụ

số 2 cần được tiến hành bổ sung trong điều kiện nước hồ đạt cao trình 604 m trở lên.

- Kết quả đánh dấu liên thông giữa hồ và điểm rò xuất lộ cho thấy diễn tiến của hiện tượng thấm tập trung, sau 25 tháng thời gian di chuyển trung bình của dòng rò ở cả 2 đập đều ngắn hơn đến 2 lần, tương đương với vận tốc di chuyển trung bình nhanh hơn khoảng 2 lần. Ở trường hợp đập phụ số 3, kết hợp với kết quả đo lưu lượng rò cho thấy thể tích bão hòa nước (thể tích rỗng hiệu dụng) tăng hơn 3 lần, từ 10,1 m³ đến 32,0 m³.

- Độ dẫn thủy lực trong vùng thấm rò xác định được trong tất cả các trường hợp đều ở mức 10⁻³ cm/s, cao hơn so với yêu cầu thiết kế là < 10⁻⁵ cm/s, và có xu hướng tăng, khoảng 2 lần trong thời gian 25 tháng.

Kết luận

Kỹ thuật đánh dấu đã được ứng dụng thử nghiệm khảo sát hiện tượng thấm rò trong các đập đất tại đập phụ số 2 và số 3 của thủy điện HT ở 2 thời điểm cách nhau khoảng 25 tháng. Bằng kỹ thuật đánh dấu theo dõi sự khuếch tán pha loãng, điểm rò trên hồ ở đập số 3 đã được xác định tại vị trí cách mốc 36 m, tại cao trình mực nước 604 m. Phân bố nồng độ chất đánh dấu tại các điểm rò xuất lộ xác định bằng kỹ thuật đánh dấu liên thông cho thấy hiện tượng thấm rò tập trung. Thời gian di chuyển trung bình của điểm rò R3, R4 và R5 tại đập số 3 năm 2014 là 70 ngày, 70 ngày và 66 ngày. Kết quả quan trắc sau đó 25 tháng vào năm 2016 cho thấy thời gian di chuyển tại R3 ngắn hơn, còn 37 ngày. Tại đập số 2, kết quả khảo sát cho thấy thời gian di chuyển của dòng thấm tập trung tại điểm rò R2 là 79 ngày năm 2014 và giảm xuống 38 ngày vào năm 2016.

Từ thời gian di chuyển trung bình của dòng thấm tập trung, kết hợp với số liệu quan trắc lưu lượng rò, các kết quả

tính toán ước lượng vận tốc di chuyển trung bình, độ dẫn thủy lực và thể tích vùng rò tập trung đã được tiến hành để làm cơ sở cho các đánh giá về hiện tượng thấm rò tiếp theo phục vụ cho công tác an toàn đập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Internal Erosion of Existing Dams, Levees and Dikes, and their Foundation, Bulletin 1XX, CIGB, ICOLD 22, Jan 2013.
- [2] U.S. Federal Emergency Management Agency and Interagency Committee on Dam Safety (2017), *Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion - Interagency Committee on Dam Safety*, Create Space Independent Publishing Platform.
- [3] Scott Ikard (2013), *Ph.D Thesis "Goelectric monitoring of seepage in porous media with engineering applications to earthen dams"*, Colorado School of Mines.
- [4] Robin Fell, Chi Fai Wan, John Cyganiewicz, and Mark Foster (2003), "Time for development of internal erosion and piping in embankment dams", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, **314**, pp.307-314.
- [5] Mark Foster, Robin Fell, and Matt Spannagle (2000), "The statistics of embankment dam failures and accidents", *Canadian Geotechnical Journal*, **37**, pp.1000-1024.
- [6] Iván A. Contreras, Samuel H. Hernández (2010), "Techniques for prevention and detection of leakage in dam and reservoirs", *30th Annual USSD Conference: Collaborative Management of Integrated Watersheds*, p.105.
- [7] A. Plata Bedmar, L. Araguas (2002), *Detection and Prevention of Leaks from Dams*, A.A. Balkema Publishers.
- [8] Werner Kass (1998), *Tracing Techniques in Hydrogeology*, A.A. Balkema Publishers.
- [9] Emilian Gaspar, Mircea Oncescu (1972), *Radioactive Tracers in Hydrology*, Elsevier.
- [10] H.J. Durnbraun (1976), "Zur Bestimmung der marturlichen Grundwasserstromung mit Tracers", *Atomkernenergie*, **4/4**, pp.130-132.
- [11] Stanley N. Davis, Glenn M. Thompson, Harold W. Bentley, Gary Stiles (1980), "Ground water tracers", *Groundwater*, **18**, pp.14-23.