

THIẾT KẾ XÂY DỰNG VÀ ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH NGANG ĐẬP NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN HÒA BÌNH

DESIGN FOR CONSTRUCTION AND ASSESSMENT THE ACCURACY OF THE AUTOMATIC MONITORING SYSTEM FOR THE HORIZONTAL DISPLACEMENT OF THE DAM OF HOA BINH HYDROPOWER PLANT

Trần Ngọc Đông¹, Lê Thế Phong², Phùng Lê Thành³, Trương Quốc Tuấn⁴

¹ Viện Khoa học công nghệ xây dựng

² Tập đoàn Điện lực Việt Nam

^{3,4} Công ty thủy điện Hòa Bình,

Email: ¹ tndongibst@gmail.com, ² phonglt@evn.com.vn,

³ thanhpl@hbinhpc.evn.vn, ⁴ tuantq@hbinhpc.evn.vn

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-21>

TÓM TẮT: Bài báo có nội dung trình bày giải pháp thiết kế, xây dựng và đánh giá độ chính xác hệ thống tự động quan trắc bằng máy toàn đạc điện tử khi quan trắc liên tục chuyển dịch ngang đập Nhà máy Thủy điện Hòa Bình. Hệ thống được thiết kế xây dựng và đã đưa vào vận hành khai thác sử dụng cho kết quả quan trắc chuyển vị ngang có độ tin cậy và ổn định cao với độ chính xác chuyển dịch ngang ≤ 2.5 mm với cho tần suất thu thập dữ liệu liên tục, có thể trích dữ liệu bất kỳ thời điểm nào mà không chịu ảnh hưởng của thời tiết và tự động gửi cảnh báo khi giá trị chuyển dịch ngang tại các điểm quan trắc đến ngưỡng cảnh báo. Việc quan trắc chuyển vị ngang liên tục là cơ sở để bổ sung lập tức chu kỳ đo kiểm tra độ lún (chuyển dịch đứng) của đập khi có dấu hiệu bất thường của chuyển vị ngang.

TỪ KHÓA: Chuyển dịch ngang, hệ thống tự động quan trắc, toàn đạc điện tử tự động, đập.

SUMMARY: The article presents solutions for designing, building and evaluating the accuracy of automatic monitoring system by robotic total station when continuously monitoring horizontal displacement of Hoa Binh Hydropower Plant. The system is designed and built put into operation and used for horizontal displacement monitoring results with high reliability and stability with accuracy of horizontal displacement less than 2.5 mm, for continuous and instantaneous data collection frequency, data can be extracted at any time according the erratic changes of weather, natural disasters or the change of reservoir water level and automatically send an alarm when the horizontal displacement value at the monitoring points reaches the alarm threshold. Continuous horizontal displacement monitoring is the basis to add settlement measurement cycle to check the settlement of the dam when there are abnormal signs of horizontal displacement.

KEYWORDS: Horizontal displacement, automatic monitoring system, robotic total station, dams.

1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, ở Việt Nam công tác quan trắc chuyển dịch đập nói chung (quan trắc chuyển dịch ngang nói riêng) của các công trình thủy điện đa số vẫn thực hiện quan trắc bằng thủ công định kỳ với tần suất từ 2 đến 4 lần/năm, quá trình này mất rất nhiều thời gian, công sức thực hiện đo và xử lý số liệu. Quá trình chuyển vị ngang của các đập thủy

đập rất phức tạp, phụ thuộc vào nhiều yếu tố trong đó chủ yếu là việc tăng/giảm của mực nước hồ chứa làm quá trình chuyển vị của công trình chuyển dịch về hạ lưu hoặc thượng lưu. Đồng thời quá trình chuyển vị ngang của đập có độ trễ so với dao động của mực nước hồ, thông thường từ 4-7 ngày nên việc dự báo chính xác diễn biến mực nước hồ, đặc biệt ở các thời điểm có động đất hoặc

mực nước hồ đạt cực trị trong năm (cao nhất, thấp nhất), để tổ chức tiến hành quan trắc là rất khó khăn. Bởi vậy, công tác quan trắc bằng thủ công không thể hiện phản ánh một cách đầy đủ quá trình chuyển vị của đập nhằm đánh giá kịp thời tình trạng an toàn ổn định công trình.

Sau hơn 30 năm vận hành, khai thác, đập đất đá công trình thủy điện Hòa Bình được xây dựng bằng vật liệu đá đổ với lõi giữa bằng đất sét có chiều dài đỉnh đập là 660 m và chiều cao là 128 m cần có một thiết bị công nghệ quan trắc chuyển vị một cách liên tục, nhằm đáp ứng được yêu cầu cảnh báo dịch chuyển công trình tức thời cũng như áp dụng mạnh mẽ công nghệ 4.0 vào khai thác nhằm tiết kiệm về thời gian, nhân công và nâng cao độ tin cậy của dữ liệu, Tập đoàn Điện lực Việt Nam đã cho phép Công ty Thủy điện Hòa Bình thực hiện đầu tư xây dựng hệ thống tự động quan trắc chuyển vị ngang để kiểm soát an toàn công trình thủy điện Hòa Bình.

2. THIẾT KẾ XÂY DỰNG HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH NGANG ĐẬP NHÀ MÁY THỦY ĐIỆN HÒA BÌNH

2.1. Yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch đập thủy điện Hòa Bình

2.1.1. Yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch ngang

Đập thủy điện Hòa Bình là đập đất đá lõi sét, theo TCVN 9399:2012 [1] thì sai số trung phương cho phép quan trắc chuyển dịch ngang đối với các loại đập đất, đá chịu áp lực cao là $m_q = 5.0$ mm. Hệ thống lưới quan trắc chuyển dịch ngang đập thủy điện thường được thiết kế gồm 02 bậc lưới, đó là bậc lưới khống chế cơ sở và bậc lưới quan trắc. Yêu cầu sai số trung phương vị trí điểm yếu đối với các cấp lưới được xác định theo các công thức sau [1], [8]:

- Sai số trung phương vị trí điểm yếu nhất đối với lưới cơ sở (m_{pcs}):

$$m_{pcs} = \frac{m_q}{\sqrt{2(1+k^2)}} \quad (1)$$

- Sai số trung phương vị trí điểm yếu nhất đối với lưới quan trắc (m_{pqt}):

$$m_{pqt} = \frac{k.m_q}{\sqrt{2(1+k^2)}} \quad (2)$$

Trong các công thức (1) và (2): m_q - độ chính xác yêu cầu quan trắc chuyển dịch ngang; k là hệ số giảm độ chính xác giữa 2 cấp lưới (thông thường $k = 2$). Từ $m_q = 5$ mm, tính được $m_{pcs} = 1.58$ mm và $m_{pqt} = 3.16$ mm. Do đó, khi quan trắc chuyển dịch

ngang bằng hệ thống tự động thì các thiết bị được lựa chọn cần đảm bảo đạt được độ chính xác về sai số vị trí điểm yếu nhất của lưới khống chế cơ sở.

2.1.2. Yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch đứng

Theo TCVN 9360:2012 [2] và TCVN 9398:2012 [3] thì yêu cầu sai số quan trắc độ lún (chuyển dịch đứng) đập thủy điện Hòa Bình là $m_s = 1.0$ mm. Cũng giống như quan trắc chuyển dịch ngang, hệ thống lưới quan trắc chuyển dịch đứng thường được thiết kế gồm 02 bậc lưới, đó là bậc lưới khống chế cơ sở và bậc lưới quan trắc. Yêu cầu sai số trung phương độ cao điểm yếu đối với các cấp lưới được xác định theo các công thức sau [8]:

- Sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất đối với lưới cơ sở (m_{Hcs}):

$$m_{Hcs} = \frac{m_s}{\sqrt{2(1+k^2)}} \quad (3)$$

- Sai số trung phương độ cao điểm yếu nhất đối với lưới quan trắc (m_{Hqt}):

$$m_{Hqt} = \frac{k.m_s}{\sqrt{2(1+k^2)}} \quad (4)$$

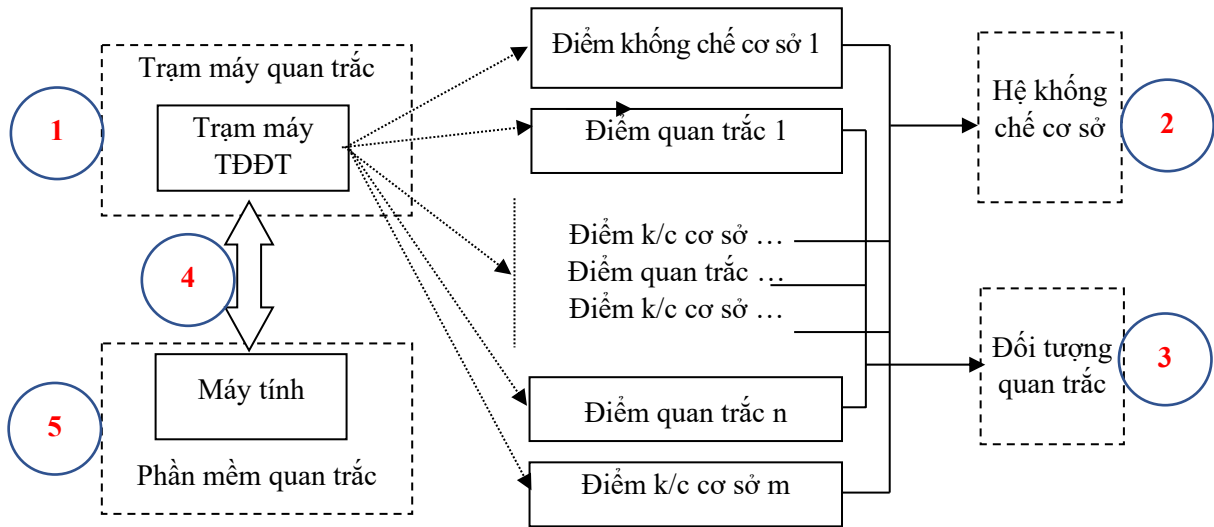
Trong các công thức (3) và (4): m_s - độ chính xác yêu cầu quan trắc chuyển dịch đứng; k là hệ số giảm độ chính xác giữa 2 cấp lưới (thông thường $k = 2$). Từ $m_s = 1.0$ mm, tính được $m_{Hcs} = 0.32$ mm và $m_{Hqt} = 0.64$ mm. Có thể thấy rằng, yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch đứng cao hơn nhiều so với chuyển dịch ngang và phải áp dụng phương pháp thủy chuẩn hình học độ chính xác cao mới đảm bảo độ chính xác yêu cầu về quan trắc chuyển dịch đứng. Do đó, trong phạm vi bài báo này chúng tôi chỉ trình bày về nội dung quan trắc chuyển dịch ngang bằng hệ thống tự động còn đánh giá ứng dụng hệ thống tự động để quan trắc chuyển dịch đứng sẽ được thực hiện trong các nghiên cứu tiếp theo.

2.2. Mô tả tổng quan hệ thống tự động quan trắc chuyển dịch ngang bằng máy toàn đạc điện tử tự động

Phương thức quan trắc chuyển vị ngang lâu dài hoàn toàn tự động dạng cố định là hệ thống quan trắc chuyển vị ngang dựa trên một hoặc nhiều hơn một máy toàn đạc điện tử có mục tiêu hợp tác (gương ngắm chuẩn), có thể thực hiện quan trắc suốt ngày đêm, thực chất là hệ thống đo tọa độ cực tự động, kết cấu và phương thức tạo thành như hình 1. Hệ thống quan trắc tự động bằng máy toàn đạc điện tử tự động bao gồm các thành phần chính sau:

1. Trạm máy quan trắc (trạm máy toàn đạc điện tử): Là điểm gốc của hệ thống tọa độ cực, dùng để đặt toàn đạc điện tử tự động, yêu cầu đối với trạm

máy là phải có điều kiện nhìn thông tốt đến điểm khống chế cơ sở, điểm quan trắc và trạm máy phải vững chắc, ổn định.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống tự động quan trắc bằng máy toàn đạc điện tử (TĐĐT)

2. Mốc khống chế cơ sở (mốc chuẩn): Điểm khống chế cơ sở phải ở chỗ ổn định, bên ngoài khu vực chuyển dịch, trên điểm khống chế cơ sở có kết cấu mốc định tâm bất buộc và lắp đặt gương phản xạ.

3. Mốc quan trắc: Phân bố đều trên đối tượng quan trắc để có thể thể hiện chuyển vị của các bộ phận của đối tượng quan trắc.

4. Thành phần truyền dữ liệu: Để truyền dữ liệu từ các máy toàn đạc điện tử thu dữ liệu về trạm xử lý dữ liệu trung tâm.

5. Trung tâm điều khiển: Bao gồm máy tính được cài đặt phần mềm xử lý dữ liệu và điều khiển hệ thống, có nhiệm vụ nhận dữ liệu từ các máy Toàn đạc điện tử thu dữ liệu, xử lý dữ liệu liên tục, hiển thị kết quả và điều khiển toàn bộ hoạt động của hệ thống, ngoài ra còn có chức năng cảnh báo bằng SMS, EMAIL, FAX, điện thoại để có biện pháp xử lý kịp thời khi giá trị chuyển vị đạt đến ngưỡng cho phép khi cài đặt. Được cấu thành từ máy tính và phần mềm quan trắc, thông qua cáp thông tin điều khiển máy toàn đạc điện tử tự động thực hiện quan trắc biến dạng hoàn toàn tự động, trung tâm điều khiển có thể trực tiếp đặt tại trạm máy quan trắc, nếu muốn quan trắc lâu dài không người trông giữ thì nên xây dựng phòng máy chuyên dụng.

Ngoài các thành phần trên, hệ thống còn có hệ thống phụ trợ, gồm: hệ thống chống sét, hệ thống an ninh bảo vệ, hệ thống nguồn cấp, hệ thống truyền dẫn,...

2.3. Thiết kế xây dựng trạm máy quan trắc

Phương pháp quan trắc tự động bằng máy toàn đạc điện tử từ một trạm máy thực chất là phương pháp đo tọa độ cực và không có trị đo thừa do đó độ tin cậy không cao và có thể dẫn tới sai lầm. Để tăng thêm trị đo thừa của trị đo cần áp dụng phương pháp quan trắc từ hai hay nhiều trạm máy cùng một thời điểm đến điểm quan trắc, do đó đối với quan trắc tự động đập thủy điện Hòa Bình bố trí xây dựng 02 trạm quan trắc có ký hiệu trạm là TM1 và TM2, vị trí xây dựng trạm quan trắc được thể hiện tại sơ đồ hình 7 và hình 8. Hình 2 và hình 3 là trạm máy quan trắc sau khi được thi công xây dựng hoàn thành.



Hình 2. Trạm máy TM1



Hình 3. Trạm máy TM2

Trên mỗi trạm máy TM1 và TM2 đều lắp đặt 01 bộ máy toàn đạc điện tử tự động TM60 của hãng Leica Geosystems.

2.4. Móc không chế cơ sở



Hình 4. Móc không chế cơ sở và gương tham chiếu

Trong quan trắc tự động, cũng giống như quan trắc bằng phương pháp trắc địa truyền thống, các móc không chế cơ sở (móc chuẩn) là không thể thiếu. Các móc không chế cơ sở trong hệ thống tự động quan trắc đập Thủy điện Hòa Bình là 04 móc không chế cơ sở đã có và đang sử dụng cho phương pháp quan trắc truyền thống. Các móc không chế cơ sở được lắp đặt gương tham chiếu chuyên dụng gồm quả gương GPH1P, đế gương GZR3 của hãng Leica Geosystem và có mái che để bảo vệ gương tham chiếu. Gương tham chiếu được thiết kế chuyên dụng, có tính năng kỹ thuật chính xác, phù hợp với vai trò là điểm tham chiếu tọa độ cho hệ thống. Gương tham chiếu và bảo vệ gương tham chiếu lắp đặt trên điểm không chế cơ sở được thiết kế sao cho tháo ra và lắp vào một cách đơn

giản cho nên trong trường hợp cần thiết Công ty Thủy điện Hòa Bình có thể sử dụng các điểm không chế cơ sở này để phục vụ các công tác đo đạc khác. Hình 4 là móc không chế cơ sở và gương tham chiếu sau khi được lắp đặt hoàn thành.

2.5. Móc quan trắc

Khi áp dụng quan trắc bằng hệ thống tự động sẽ cung cấp kết quả chuyên dịch một cách hiệu quả, nhanh chóng và tin cậy cho nên mật độ móc quan trắc sẽ được tăng dày để đánh giá đầy đủ và chi tiết mức độ chuyển dịch ngang của đập. Các móc quan trắc được bố trí theo các mặt cắt từ đỉnh đập đến các cơ của đập với vật liệu bằng thép Inox hình trụ tròn trên các móc quan trắc đều có chụp bảo vệ gương quan trắc. Các móc quan trắc đều được thiết kế là loại móc định tâm bắt buộc. Gương quan trắc có khung và giá lắp chắc chắn, có mũ che mưa, che nắng để đảm bảo gương hoạt động ổn định trong các điều kiện thời tiết. Đối với hệ thống này, sử dụng quả gương GPR112 của hãng Leica Geosystem. Hình 5 và hình 6 là móc quan trắc sau khi được lắp đặt hoàn thành.



Hình 5. Móc quan trắc gắn ở đỉnh đập



Hình 6. Móc quan trắc gắn ở các cơ hạ lưu đập

2.6. Thành phần truyền dữ liệu

Có nhiều phương pháp để truyền dữ liệu từ các máy toàn đạc điện tử thu dữ liệu về trạm xử lý dữ liệu trung tâm nhưng phương pháp truyền dẫn hữu tuyến bằng cáp quang là tối ưu hơn cả cho đặc thù dự án này.

Với truyền dẫn dữ liệu bằng cáp quang đảm bảo cho dữ liệu ổn định, thông suốt trong mọi điều kiện thời tiết. Ngoài ra, do khoảng cách giữa trạm máy và trạm xử lý và điều khiển trung tâm cũng không quá lớn (< 1,5 km) nên lựa chọn truyền dẫn bằng cáp quang là lựa chọn tốt nhất.

2.7. Trung tâm điều khiển

Trung tâm điều khiển bao gồm máy tính được cài đặt phần mềm xử lý dữ liệu và điều khiển hệ thống, có nhiệm vụ nhận dữ liệu từ các máy toàn đạc điện tử thu dữ liệu, xử lý dữ liệu liên tục, hiển thị kết quả và điều khiển toàn bộ hoạt động của hệ thống.

Để đảm bảo cho khả năng xử lý dữ liệu nhanh chóng, máy tính được sử dụng là loại máy tính có cấu hình cao hoặc rất cao, dung lượng bộ nhớ lớn (mức TB trở lên), bền bỉ để đảm bảo hoạt động liên tục, dữ liệu được thu và lưu trữ lâu dài. Phần mềm sử dụng để điều khiển, thu thập và xử lý dữ liệu của cả hệ thống quan trắc tự động là phần mềm GeoMos của hãng Leica geosystems.

Phần mềm xử lý và điều khiển phải là phần mềm chuyên dụng, xử lý được dữ liệu của hệ thống máy toàn đạc điện tử, khả năng xử lý nhanh, chính xác, ổn định và hoàn toàn tự động, có tính năng lập công thức tính toán dữ liệu quan trắc, vẽ biểu đồ quan trắc, đồ họa mô phỏng các mặt cắt lắp đặt thiết bị quan trắc để xem dữ liệu quan trắc tại vị trí lắp đặt trên các mặt cắt, tải dữ liệu lên mạng, quản lý nhóm công trình, cảnh báo được gửi tới điện thoại của người quản lý khi cảm biến thu được giá trị lớn hơn giá trị tính toán cho phép.

2.8. Hệ thống phụ trợ

- Hệ thống chống sét cho trạm máy: Trạm máy lắp đặt ngoài trời, tại nơi có tầm nhìn thoáng, rộng do đó luôn là mục tiêu của sét. Để đảm bảo trạm máy tự động hoạt động an toàn, tại mỗi trạm máy đều được lắp đặt hệ thống chống sét bao gồm hệ thống chống sét trực tiếp đánh vào trạm máy và hệ thống cắt sét cảm ứng lan truyền cho các thiết bị lắp đặt tại trạm máy.

- Hệ thống nguồn cấp: Trạm máy quan trắc tự động hoạt động liên tục 24/7 nên việc bảo đảm

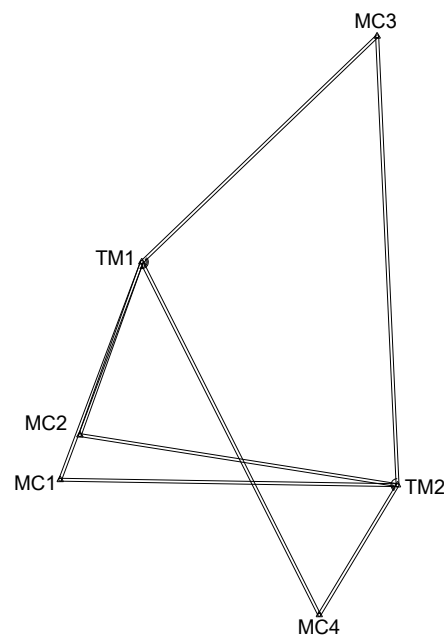
nguồn cấp là cực kỳ quan trọng. Nguồn cấp phải ổn định, lâu dài và đảm bảo đủ công suất hoạt động cả ngày lẫn đêm. Hệ thống được thiết kế sử dụng nguồn điện trực tiếp 220V. Ngoài ra hệ thống còn được thiết kế bộ lưu điện, dự phòng trong trường hợp mất nguồn đột ngột.

- Lắp đặt hệ thống truyền dẫn tín hiệu từ trạm máy đến trung tâm điều khiển: sử dụng ống HDPE D34x1,5 để lắp đặt cáp quang ADSS 8 sợi SM, ống HDPE được đi ngầm dưới đất từ các mương cáp đã có và mương cáp xây dựng thêm mới.

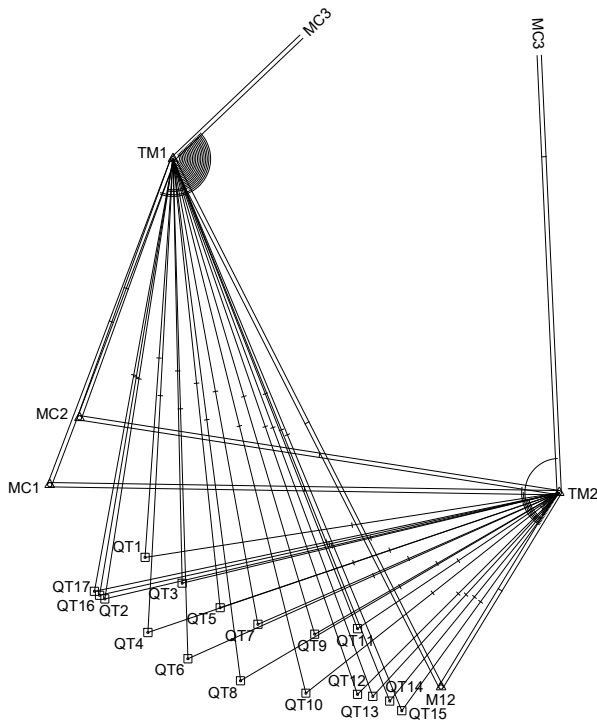
3. ĐÁNH GIÁ ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA HỆ THỐNG QUAN TRẮC TỰ ĐỘNG ĐẬP THỦY ĐIỆN HÒA BÌNH

3.1. Nội dung đánh giá độ chính xác

Trong phạm vi của bài báo này để đánh giá độ chính xác của hệ thống chúng tôi đã tiến hành đánh giá độ chính xác của các mốc khống chế cơ sở và đánh giá độ chính xác của 17 mốc quan trắc, đây là các mốc đo trực tiếp từ 2 trạm máy TM1 và TM2 đến và các điểm này ở cách xa trạm máy nhất, nếu các điểm này đạt độ chính xác đề ra thì các điểm còn lại sẽ đạt độ chính xác đề ra. Do các mốc chuẩn và mốc quan trắc được đo từ 2 trạm máy đến nên sẽ có trị đo thừa cho nên việc đánh giá độ chính xác các mốc này sẽ được thực hiện thông qua việc đánh giá độ chính xác của sơ đồ hình lưới khống chế cơ sở và sơ đồ hình lưới quan trắc như ở hình 7 và hình 8.



Hình 7. Sơ đồ lưới khống chế cơ sở



Hình 8. Sơ đồ lưới quan trắc

3.2. Đánh giá độ chính xác hệ thống quan trắc tự động

Dựa trên sơ đồ hình lưới hình 7 và hình 8 cùng với độ chính xác của máy toàn đạc điện tử tự động

TM60, chúng tôi đã tiến hành ước tính độ chính xác của 2 mạng lưới này theo thuật toán ước tính độ chính xác lưới tự do. Số lượng trị đo là 6 góc và 8 cạnh đối với sơ đồ hình lưới cơ sở và 40 góc và 42 cạnh đối với sơ đồ hình lưới quan trắc. Quá trình ước tính lưới được thực hiện riêng biệt với lưới khống chế cơ sở (hình 7) để đánh giá độ chính xác của các điểm mốc cơ sở và ước tính độ chính xác lưới 1 cấp gồm cả mốc cơ sở và mốc quan trắc (hình 8) để đánh giá. Kết quả ước tính độ chính xác lưới bằng phần mềm PickNet 3.0 được thể hiện trong bảng 1 và bảng 2.

Khi hệ thống đi vào vận hành, với các dữ liệu góc và cạnh đo được bằng hệ thống quan trắc, chúng tôi tiến hành tính toán bình sai lưới khống chế cơ sở riêng biệt để đánh giá độ chính xác của các điểm mốc cơ sở và tính toán bình sai lưới 1 cấp gồm cả mốc cơ sở và mốc quan trắc để đánh giá so với kết quả ước tính và đánh giá độ chính xác của hệ thống. Kết quả bình sai lưới bằng phần mềm PickNet 3.0 được thể hiện trong bảng 1 và bảng 2 (kết quả bình sai được tính toán trên độ cao mặt chiếu là 100 m).

Bảng 1. Kết quả đánh giá độ chính xác lưới khống chế cơ sở

STT	Tên điểm	Sai số vị trí điểm sau khi ước tính dex lưới (mm)			Sai số vị trí điểm sau bình sai lưới gồm các trị đo hướng và cạnh (mm)		
		Mx	My	Mp	Mx	My	Mp
1	TM1	0.6	0.5	0.8	0.5	0.5	0.7
2	TM2	0.8	0.6	1.0	0.7	0.5	0.9
3	MC1	0.9	0.9	1.3	0.9	0.9	1.3
4	MC2	0.9	0.9	1.2	0.8	0.8	1.1
5	MC3	1.0	0.8	1.2	0.9	0.7	1.1
6	MC4	0.8	0.6	1.0	0.7	0.6	0.9

Từ kết quả ở Bảng 1 nhận thấy, kết quả bình sai lưới cho sai số vị trí điểm tương đương với kết quả ước tính độ chính xác lưới, sai số vị trí điểm lớn nhất là 1.3 mm, sai số này nhỏ hơn sai số yêu cầu (sai số yêu cầu là ≤ 1.58 mm).

Bảng 2. Kết quả đánh giá hệ thống lưới quan trắc

STT	Tên điểm	Sai số vị trí điểm sau khi ước tính dex lưới (mm)			Sai số vị trí điểm sau bình sai lưới gồm các trị đo hướng và cạnh (mm)		
		Mx	My	Mp	Mx	My	Mp
1	QT1	1.1	1.1	1.6	1.0	1.0	1.4
2	QT2	1.1	1.2	1.6	1.1	1.1	1.6
3	QT3	1.0	1.1	1.5	1.0	1.0	1.4
4	QT4	1.1	1.2	1.6	1.1	1.1	1.6

STT	Tên điểm	Sai số vị trí điểm sau khi ước tính đcx lưới (mm)			Sai số vị trí điểm sau bình sai lưới gồm các trị đo hướng và cạnh (mm)		
		Mx	My	Mp	Mx	My	Mp
5	QT5	1.0	1.1	1.5	1.0	1.0	1.4
6	QT6	1.1	1.2	1.6	1.1	1.1	1.6
7	QT7	1.0	1.0	1.4	1.0	1.0	1.4
8	QT8	1.1	1.1	1.6	1.0	1.1	1.5
9	QT9	0.9	1.0	1.3	0.9	0.9	1.3
10	QT10	1.0	1.1	1.5	1.0	1.1	1.5
11	QT11	0.9	0.9	1.3	0.8	0.9	1.2
12	QT12	1.0	1.0	1.4	0.9	1.0	1.3
13	QT13	0.9	1.0	1.3	0.9	1.0	1.3
14	QT14	0.9	1.0	1.3	0.9	1.0	1.3
15	QT15	0.9	1.0	1.3	0.9	1.0	1.3
16	QT16	1.1	1.2	1.6	1.1	1.1	1.6
17	QT17	1.1	1.2	1.6	1.1	1.1	1.6
18	TM1	0.3	0.7	0.8	0.4	0.3	0.5
19	TM2	0.6	0.4	0.7	0.5	0.4	0.6
20	MC1	1.0	0.5	1.1	0.8	0.8	1.1
21	MC2	0.5	0.9	1.0	0.8	0.7	1.1
22	MC3	1.2	0.9	1.5	0.8	0.6	1.0
23	MC4	0.9	0.9	1.3	0.6	0.4	0.7

Từ kết quả ở Bảng 2 nhận thấy, kết quả bình sai lưới cho sai số vị trí điểm tương đương với kết quả ước tính độ chính xác lưới, sai số vị trí điểm lớn nhất là 1.6 mm, sai số này nhỏ hơn sai số yêu cầu (sai số yêu cầu là ≤ 3.16 mm). Phần mềm Geomos xử lý cho kết quả sai số vị trí điểm lớn nhất là 1.8 mm. Có thể thấy rằng kết quả ước tính, kết quả bình sai từ trị đo theo phương pháp bình sai lưới tự do và kết quả xử lý bằng phần mềm Geomos là tương đương nhau. Thực tế, dữ liệu quan trắc liên tục đối với các điểm quan trắc tiến hành quan trắc từ 2 trạm máy đến đều cho kết quả với sai số vị trí điểm ≤ 1.8 mm, với kết quả này thì hệ thống xác định được giá trị chuyển dịch $\leq 1.8\text{mm} \times \sqrt{2} \leq 2.5$ mm. Sai số vị trí điểm theo một hướng trục tọa độ lớn nhất là 1.2 mm, nếu xây dựng hệ tọa độ quan trắc có hệ trục tọa độ vuông góc và song song với đập thì khi đó độ chính xác định chuyển dịch theo một hướng (ví dụ hướng áp lực) có thể đạt được $\leq 1.2\text{mm} \times \sqrt{2} \leq 1.7$ mm. Từ đó có thể thấy rằng hệ thống quan trắc tự động từ 2 trạm máy trở lên sẽ có trị đo thừa, khi đó các trị đo sẽ được tính toán bình sai chặt chẽ, kết quả thu được sẽ đạt độ tin cậy và độ chính xác cao.

Hệ thống tự động quan trắc đập thủy điện Hòa Bình được thiết kế và xây dựng có chiều dài cạnh

trung bình từ trạm máy đến điểm quan trắc là khoảng 800 m (chiều dài cạnh lớn nhất là 1233 m) nhưng khi đưa vào vận hành khai thác sử dụng cho kết quả đạt độ chính xác rất cao. Với yêu cầu độ chính xác quan trắc là ≤ 5.0 mm nhưng hệ thống có thể đạt được độ chính xác ≤ 2.54 mm. Xét theo chuyển dịch 1 hướng (ví dụ hướng áp lực) thì độ chính xác có thể đạt được ≤ 1.7 mm.

4. KẾT LUẬN

Xây dựng hệ thống tự động quan trắc để kiểm soát an toàn đối với đập thủy điện là phù hợp với nhu cầu thực tế về quản lý an toàn đập hiện nay ở Việt Nam và là xu thế tất yếu cho công tác quản lý an toàn đập mà nhiều quốc gia trên thế giới đã áp dụng để theo dõi và đánh giá tình trạng an toàn của đập thủy điện theo thời gian thực.

Hệ thống quan trắc tự động chuyển vị ngang đập Thủy điện Hòa Bình bằng Toàn đạc điện tử được thiết kế xây dựng khi đi vào vận hành khai thác sử dụng cho kết quả quan trắc chuyển vị ngang có độ tin cậy và độ chính xác cao với độ chính xác tổng thể có thể đạt được ≤ 2.5 mm (độ chính xác theo 1 hướng có thể đạt được ≤ 1.7 mm), tần suất thu thập dữ liệu liên tục. Kết quả quan trắc tức thời, tự động gửi cảnh báo khi công trình có

chuyển vị vượt quá giới hạn cho phép. Từ kết quả nghiên cứu này kết hợp với các nghiên cứu [4], [5] và [7] cũng chỉ ra rằng hệ thống quan trắc tự động hoàn toàn phù hợp để quan trắc các đập thủy điện, đập thủy lợi, cầu vượt sông, tường chắn hố đào và các công trình quan trọng trong quá trình vận hành khai thác sử dụng.

Cần nghiên cứu xây dựng sớm tiêu chuẩn áp dụng của việc sử dụng hệ thống quan trắc tự động để làm cơ sở thi công, nghiệm thu và vận hành hệ thống quan trắc tự động.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 9399:2012 Nhà và công trình xây dựng - Xác định chuyển dịch ngang bằng phương pháp trắc địa.
- [2] TCVN 9360:2012 Quy trình kỹ thuật xác định độ lún công trình dân dụng và công nghiệp bằng phương pháp đo cao hình học.
- [3] TCVN 9398:2012 Công tác trắc địa trong xây dựng công trình – Yêu cầu chung.
- [4] Trần Ngọc Đông, Diêm Công Huy (2012), “Ứng dụng máy Toàn đạc điện tử Leica Viva TS15 và phần mềm GOCA để tự động quan trắc biến dạng tường vây nhà cao tầng”, Tạp chí KHCN Xây dựng số 3/2012.
- [5] Trần Ngọc Đông, Trần Mạnh Nhất (2013), “Nghiên cứu ứng dụng người máy trắc địa và phần mềm GOCA để quan trắc chuyển dịch công trình ở Việt Nam”, Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học kỷ niệm 50 năm ngày thành lập Viện KHCN Xây dựng. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội 11-2013.
- [6] Trần Ngọc Đông & nnk (11/2019), “Thiết kế giải pháp kỹ thuật xây dựng hệ thống tự động quan trắc chuyển dịch ngang đập thủy điện ở Việt Nam”, Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học cán bộ trẻ - Viện KHCN Xây dựng - Lần thứ XV – 11/2019, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội 2019.
- [7] Trần Ngọc Đông, Đào Xuân Vương, Nguyễn Hà (2021), “Thử nghiệm thiết kế xây dựng hệ thống tự động quan trắc chuyển dịch ngang nhà máy thủy điện Hương Điền”, Tạp chí KHCN Xây dựng số 3/2021.
- [8] Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc (2010). Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình. NXB Giao thông Vận tải, Hà Nội.
- [9] T.B. Afeni, F.T. Cawood. Slope Monitoring using Total Station: What are the Challenges and How Should These be Mitigated?, *South African Journal of Geomatics*, Vol. 2, No. 1, February 2013.
- [10] Jianguo Zhou, Bo Shi, Guanlan Liu, Shujun Ju (2021). Accuracy analysis of dam deformation monitoring and correction of refraction with robotic total station. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251281>.