

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| CHƯƠNG 1: NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH CÔNG TRÌNH..... | 3 |
| 1.1. Khái niệm chung..... | 3 |
| 1.1.1. Phân loại chuyển dịch biến dạng công trình | 3 |
| 1.1.2. Nguyên nhân gây ra chuyển dịch công trình:..... | 3 |
| 1.1.3. Mục đích và nhiệm vụ quan trắc biến dạng công trình | 4 |
| 1.1.4. Nội dung bản đề cương (thiết kế kỹ thuật) quan trắc | 4 |
| 1.2. Yêu cầu độ chính xác và chu kỳ quan trắc | 5 |
| 1.2.1. Yêu cầu độ chính xác quan trắc..... | 5 |
| 1.2.2. Chu kỳ quan trắc..... | 6 |
| 1.3. Quan trắc chuyển dịch công trình bằng phương pháp trắc địa | 7 |
| 1.3.1. Nguyên lý quan trắc độ lún | 7 |
| 1.3.2. Nguyên lý quan trắc chuyển dịch ngang | 8 |
| CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH KẾT QUẢ QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH CÔNG TRÌNH..... | 10 |
| 2.1. Một số khái niệm về mô hình chuyển dịch công trình | 10 |
| 2.2. Thành lập mô hình chuyển dịch trong không gian | 12 |
| 2.2.1. Mô hình chuyển dịch công trình dạng thẳng..... | 12 |
| 2.2.2. Mô hình độ lún công trình dạng vùng | 14 |
| 2.2.3. Mô hình chuyển dịch công trình trong mặt phẳng đứng | 16 |
| 2.2.4. Mô hình chuyển dịch công trình trong mặt phẳng ngang | 19 |
| 2.3. Mô hình chuyển dịch theo thời gian..... | 23 |
| 2.3.1. Cơ sở lý thuyết | 23 |
| 2.3.2. Thành lập mô hình độ lún theo hàm số mũ..... | 24 |
| 2.3.3. Mô hình hàm đa thức..... | 26 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.4. Mô hình hàm tuần hoàn..... | 30 |
| 2.4. Đánh giá chuyển dịch công trình theo phương pháp phân tích tương quan tuyến tính đơn..... | 33 |
| 2.4.1. Cơ sở lý thuyết | 33 |
| 2.4.2. Xây dựng hàm hồi quy tuyến tính đơn..... | 35 |
| CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG MÁY TÍNH TRONG PHÂN TÍCH HỒI QUY QUAN TRẮC LÚN CÔNG TRÌNH | 38 |
| 3.1. Phương pháp giải các bài toán hồi quy bằng phần mềm tự lập..... | 38 |
| 3.1.1. Modul phần mềm..... | 38 |
| 3.1.2. Giao diện phần mềm..... | 40 |
| 3.2. Giải các bài toán hồi quy bằng Excel..... | 41 |
| 3.2.1. Quy trình lập bảng hồi quy tuyến tính trong Excel | 41 |
| 3.2.2. Một số thuật ngữ trong bảng kết quả..... | 43 |
| 3.2.3. Thực nghiệm trên số liệu thực tế:..... | 45 |
| KẾT LUẬN | 48 |
| TÀI LIỆU THAM KHẢO..... | 49 |

CHƯƠNG 1: NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH CÔNG TRÌNH

1.1. Khái niệm chung

1.1.1. Phân loại chuyển dịch biến dạng công trình

Do tác động của nhiều yếu tố tự nhiên và con người, nên các công trình xây dựng đều có thể bị chuyển dịch, biến dạng ở cả giai đoạn thi công cũng như trong thời gian vận hành sử dụng.

Chuyển dịch công trình trong không gian là sự thay đổi vị trí công trình theo thời gian và được phân biệt thành 2 loại: chuyển dịch theo phương thẳng đứng và chuyển dịch trong mặt phẳng ngang.

Chuyển dịch theo phương thẳng đứng được gọi là độ trồi lún (nếu chuyển dịch có hướng xuống dưới thì gọi là lún, hướng lên trên là trồi). Chuyển dịch công trình trong mặt phẳng nằm ngang được gọi là chuyển dịch ngang.

Biến dạng công trình là sự thay đổi mối tương quan hình học của công trình ở quy mô tổng thể hoặc ở các kết cấu thành phần. Biến dạng xảy ra do chuyển dịch không đều giữa các bộ phận công trình, các biến dạng thường gặp là hiện tượng nghiêng cong, vặn xoắn, rạn nứt của công trình.

Nếu công trình bị chuyển dịch vượt quá giới hạn cho phép thì không những gây trở ngại cho quá trình khai thác sử dụng mà có thể dẫn đến các sự cố hư hỏng, đổ vỡ và phá hủy một phần hoặc toàn bộ công trình.

1.1.2. Nguyên nhân gây ra chuyển dịch công trình:

Công trình bị chuyển dịch do tác động của hai nhóm yếu tố chủ yếu, là tác động của các yếu tố tự nhiên và tác động liên quan đến hoạt động của con người trong quá trình xây dựng, vận hành khai thác công trình.

Các nguyên nhân thuộc nhóm các yếu tố tự nhiên gồm có: khả năng lún, trượt của lớp đất đá dưới nền móng công trình và các hiện tượng địa chất công trình, địa chất thủy văn, sự co giãn của đất đá, thay đổi của các điều kiện thủy văn theo nhiệt độ, độ ẩm và mực nước ngầm.

Nhóm các yếu tố con người bao gồm: ảnh hưởng của trọng lượng bản thân công trình, sự thay đổi các tính chất cơ lý đất đá do việc quy hoạch cấp thoát nước, các sai lệch trong khảo sát địa chất công trình, địa chất thủy văn, quá trình suy yếu của nền móng do thi công các công trình ngầm trong lòng đất, ảnh hưởng của việc xây dựng các công trình lân cận khác, sự rung động của nền móng do vận hành máy cơ giới và tác động của các phương tiện giao thông.

1.1.3. Mục đích và nhiệm vụ quan trắc biến dạng công trình

Quan trắc chuyển dịch công trình nhằm mục đích xác định mức độ chuyển dịch, nghiên cứu tìm ra nguyên nhân chuyển dịch và từ đó có biện pháp xử lý, để phòng tai biến đối với công trình, cụ thể là:

1. Xác định giá trị chuyển dịch để đánh giá độ ổn định công trình, phòng ngừa các sự cố hư hỏng, đổ vỡ có thể xảy ra.
2. Kết quả quan trắc là số liệu đối chứng để kiểm tra các tính toán trong giai đoạn thiết kế công trình.
3. Nghiên cứu quy luật biến dạng trong những điều kiện khác nhau và dự đoán biến dạng của công trình trong tương lai.
4. Xác định các loại biến dạng có ảnh hưởng đến quá trình vận hành công trình, từ đó đề ra chế độ sử dụng, khai thác công trình một cách hợp lý.

1.1.4. Nội dung bản đề cương (thiết kế kỹ thuật) quan trắc

Để quan trắc chuyển dịch một công trình, trước hết cần phải thiết kế phương án kinh tế - kỹ thuật với các nội dung:

1. Nhiệm vụ kỹ thuật của công tác quan trắc
2. Điều kiện tự nhiên, đặc điểm kết cấu và chế độ vận hành công trình
3. Kết cấu, sơ đồ phân bố mốc khống chế và mốc quan trắc
4. Thiết kế sơ đồ hệ thống lưới quan trắc
5. Ước tính độ chính xác và các chỉ tiêu kỹ thuật quan trắc
6. Thiết kế công tác đo đạc ngoại nghiệp và xử lý số liệu hệ thống lưới quan trắc

7. Tính toán tham số chuyển dịch công trình. Phân tích, suy giải kết quả quan trắc
8. Lập biểu đồ nhân lực, thời gian và tiến độ thi công phương án
9. Dự toán kinh phí cho phương án.

1.2. Yêu cầu độ chính xác và chu kỳ quan trắc

1.2.1. Yêu cầu độ chính xác quan trắc

Yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch chính là độ chính xác cần thiết xác định chuyển dịch công trình, chỉ tiêu định lượng của đại lượng này phụ thuộc chủ yếu vào tính chất cơ lý đất đá dưới nền móng, đặc điểm kết cấu và vận hành công trình.

Có hai cách xác định yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch, cách thứ nhất là xác định theo giá trị chuyển dịch dự báo (được nêu ra trong bản thiết kế công trình), cách thứ hai xác định theo các tiêu chuẩn xây dựng, vận hành công trình (được quy định trong các tiêu chuẩn ngành).

1-Theo độ chuyển dịch dự báo, yêu cầu độ chính xác quan trắc được xác định bằng công thức:

$$m_Q \leq \frac{Q}{2\varepsilon} \quad (1.1)$$

Trong đó: m_Q - yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch ở thời điểm t_i .

Q - giá trị chuyển dịch dự báo giữa 2 chu kỳ quan trắc.

ε - hệ số đặc trưng cho độ tin cậy của kết quả quan trắc, phụ thuộc vào xác suất được chấp nhận. Đối với công tác quan trắc chuyển dịch thường lấy xác suất $P = 0.997$, (tương ứng với $\varepsilon = 3$) và khi đó công thức tính độ chính xác quan trắc chuyển dịch là:

$$m_Q \leq 0.17Q \quad (1.2)$$

Nếu chuyển dịch công trình có giá trị dự báo là nhỏ thì đại lượng m_Q tính theo công thức (1.2) cũng sẽ rất nhỏ, trong một số trường hợp sẽ rất khó đạt được tiêu chuẩn độ chính xác như vậy.

2- Trong thực tế, yêu cầu độ chính xác quan trắc thường được xác định dựa vào điều kiện nền móng, đặc điểm kết cấu đối với từng loại công trình cụ thể (các tiêu chuẩn

này do cơ quan quản lý ngành ban hành). Yêu cầu độ chính xác quan trắc đối với các công trình dân dụng- công nghiệp thông thường được đưa ra ở bảng 1.1

Bảng 1.1: Yêu cầu độ chính xác đo lún và chuyển dịch ngang công trình

| TT | Đối tượng quan trắc | Độ chính xác đo độ lún và chuyển dịch ngang |
|-----------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1 | Công trình bê tông trên nền đá | 1.0 mm |
| 2 | Công trình xây trên nền đất nện, đất cát | 2.0 mm |
| 3 | Công trình xây trên nền đất kém chịu nén | 10 mm |
| 4 | Công trình đất | 15 mm |

1.2.2. Chu kỳ quan trắc

Quan trắc chuyển dịch công trình là dạng công tác đo lặp, được thực hiện nhiều lần với cùng đối tượng, mỗi lần đo gọi là một chu kỳ quan trắc. Thời gian thực hiện các chu kỳ đo được xác định trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật quan trắc lún hoặc chuyển dịch ngang công trình. Chu kỳ quan trắc phải được tính toán sao cho kết quả quan trắc phản ánh đúng thực chất quá trình chuyển dịch của đối tượng quan trắc. Nếu chu kỳ đo thưa thì sẽ không xác định được đúng quy luật chuyển dịch, ngược lại nếu ấn định chu kỳ quan trắc quá dày sẽ dẫn đến lãng phí nhân lực, tài chính và các chi phí khác.

Có thể phân chia các chu kỳ quan trắc chuyển dịch thành ba giai đoạn: giai đoạn thi công, giai đoạn đầu vận hành và giai đoạn công trình đi vào ổn định.

Trong giai đoạn thi công, chu kỳ quan trắc đầu tiên được thực hiện ngay sau thời điểm xây xong phần móng, khi mà công trình còn chưa chịu tác động của tải trọng hoặc áp lực ngang. Các chu kỳ tiếp theo được ấn định tùy thuộc tiến độ xây dựng và mức tăng tải trọng công trình. Ví dụ, nếu dự định thực hiện 5 chu kỳ trong giai đoạn thi công thì thời điểm quan trắc sẽ chọn vào lúc công trình được xây dựng xong phần móng và đạt 25%, 50%, 75% và 100% tải trọng của bản thân công trình.

Ở giai đoạn đầu, các chu kỳ quan trắc được ấn định phụ thuộc vào tốc độ chuyển dịch và đặc điểm vận hành công trình. Thời gian đo giữa hai chu kỳ trong giai đoạn này

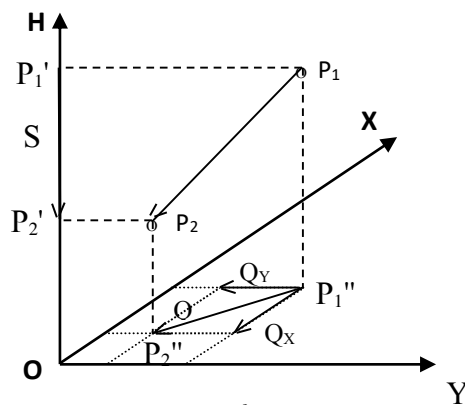
có thể chọn từ 2 đến 6 tháng. Khi công trình đi vào ổn định, thời gian giữa hai chu kỳ kế tiếp được ấn định thưa hơn, có thể từ 6 tháng đến 1 năm hoặc 2 năm, việc quan trắc sẽ kết thúc khi công trình hoàn toàn ổn định (tốc độ lún và tốc độ chuyển dịch từ 1-2mm/năm).

Trong một số trường hợp đặc biệt, khi phát sinh yếu tố ảnh hưởng không có lợi đến độ ổn định của công trình, cần thực hiện các chu kỳ quan trắc đột xuất. Riêng đối với các công trình chịu áp lực biến đổi theo chu kỳ (như các công trình chịu áp lực tại nhà máy thủy điện, đập nước của hồ chứa), công tác quan trắc biến dạng được thực hiện thường xuyên trong suốt quá trình vận hành, khai thác công trình.

1.3. Quan trắc chuyển dịch công trình bằng phương pháp trắc địa

Nếu ở thời điểm T1 công trình có vị trí P1, ở thời điểm T2 công trình có vị trí P2, khi đó vector P1P2 thể hiện chuyển dịch công trình trong không gian (hình 1.1). Thông thường vector P1P2 được phân tích theo 2 thành phần:

- Theo phương thẳng đứng thu được đoạn $S = P_1'P_2'$, thể hiện độ lún công trình.
- Theo mặt phẳng ngang thu được đoạn $Q = P_1''P_2''$, thể hiện chuyển dịch ngang công trình, chuyển dịch ngang lại được phân tích theo 2 trục tọa độ để xác định được chuyển dịch theo hướng trục OX (QX) và chuyển dịch theo hướng trục OY (QY).



Hình 1.1 Chuyển dịch công trình

1.3.1. Nguyên lý quan trắc độ lún

Do điều kiện địa chất dưới nền móng công trình thường không đồng nhất, công trình có kết cấu phức tạp, tải trọng không đều nên độ lún ở các vị trí khác nhau cũng có thể không giống nhau. Để xác định được giá trị lún tuyệt đối tại từng vị trí và các tham số lún chung của công trình, công tác quan trắc độ lún bằng phương pháp trắc địa được

thực hiện trên cơ sở các nguyên tắc sau:

1-Độ lún công trình được xác định thông qua các mốc lún gắn tại những vị trí chịu lực của đối tượng quan trắc. Số lượng mốc lún lắp đặt tại mỗi công trình phụ thuộc vào đặc điểm điều kiện nền móng, kết cấu, quy mô, kích thước của công trình đó. Độ lún của các mốc quan trắc đặc trưng cho độ lún công trình ở vị trí mà mốc được gắn.

2-Phương pháp quan trắc độ lún thông dụng là đo cao chính xác trong mỗi chu kỳ để xác định độ cao của các mốc quan trắc tại thời điểm đo, độ lún được tính là hiệu độ cao tại thời điểm quan trắc so với độ cao ở chu kỳ được chọn làm mức so sánh:

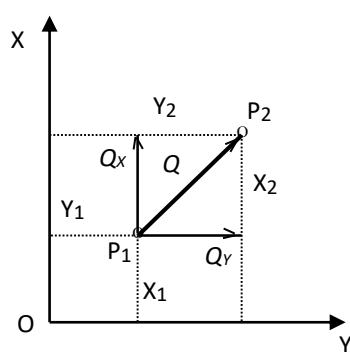
$$S = H^{(j)} - H^{(i)} \quad (1.3)$$

Trong đó $H^{(j)}$, $H^{(i)}$ là độ cao đo được ở chu kỳ thứ (j) và thứ (i). Như vậy, nếu $S < 0$ thì công trình bị lún xuống, còn nếu $S > 0$ thì công trình bị trôi lên phía trên.

Độ cao của mốc lún ở các chu kỳ khác nhau phải được xác định trong cùng một hệ độ cao duy nhất, có thể là hệ độ cao Quốc gia hoặc hệ độ cao cục bộ giả định, nhưng yêu cầu bắt buộc là các mốc không chế độ cao (được chọn làm cơ sở so sánh) phải có độ ổn định trong suốt thời kỳ theo dõi độ lún công trình.

1.3.2. Nguyên lý quan trắc chuyển dịch ngang

Về định lượng, chuyển dịch của đối tượng bất kỳ trong mặt phẳng ngang giữa 2 thời điểm quan trắc i và j được xác định thông qua các đại lượng sau (hình 1.2):



Hình 1.2 Chuyển dịch ngang công trình

- Chuyển dịch theo trục X

$$Q_x = X^{(i)} - X^{(j)} \quad (1.4)$$

- Chuyển dịch theo trục Y

$$Q_y = Y^{(i)} - Y^{(j)} \quad (1.5)$$

- Vector chuyển dịch toàn phần

$$Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2} \quad (1.6)$$

Trong các công thức trên $X^{(i)}$, $Y^{(i)}$, $X^{(j)}$, $Y^{(j)}$ là tọa độ của đối tượng xác định được trong chu kỳ thứ i và j.

Như vậy, chuyển dịch ngang công trình có thể được xác định bằng cách đo và so sánh tọa độ của các điểm mốc quan trắc gắn tại những vị trí đặc trưng trên công trình ở các chu kỳ quan trắc khác nhau. Để đo tọa độ các điểm quan trắc với độ chính xác cần thiết, thường xây dựng mạng lưới trắc địa mặt bằng chuyên dụng trong mỗi chu kỳ đo.

CHƯƠNG 2: PHÂN TÍCH KẾT QUẢ QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH CÔNG TRÌNH

2.1. Một số khái niệm về mô hình chuyển dịch công trình

Thực tế có rất nhiều yếu tố tác động đến quá trình chuyển dịch và biến dạng của công trình. Đối với các hạng mục của công trình thủy lợi - thủy điện, có thể nêu ra các yếu tố cơ bản gây ra chuyển dịch ngang trong các thời kỳ khác nhau.

- Trong giai đoạn thi công là tác động của trọng tải bản thân công trình, mức độ chịu tải của nền móng công trình, tác động nhân tạo do độ rung của các phương tiện máy thi công.

- Trong giai đoạn vận hành, các yếu tố chủ yếu gồm: sự thay đổi áp lực nước trong hồ chứa, tải trọng động do hoạt động của các thiết bị, tác động của các yếu tố khí tượng, thủy văn...

Để mô hình hóa quá trình tác động đến chuyển dịch công trình sẽ phân ra ba nhóm chứa các yếu tố ảnh hưởng đến tính ổn định của công trình.

- Các yếu tố thuộc nhóm nguyên nhân chủ đạo gây nên chuyển dịch và biến dạng công trình (x_1, x_2, \dots, x_n), ví dụ: Mức tăng tải trọng công trình, sự thay đổi cao trình mực nước trong hồ, sự thay đổi mực nước ngầm...

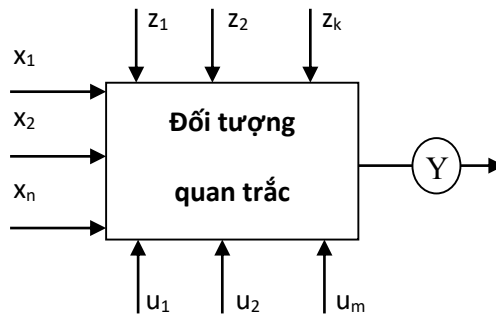
- Sự thay đổi của các điều kiện ngoại cảnh do tác động của con người (u_1, u_2, \dots, u_m), những yếu tố này có thể kiểm soát và điều khiển được.

- Các tác động nhiễu (z_1, z_2, \dots, z_m) do nhiều nguyên nhân gây ra, không kiểm soát được.

Tham số đầu ra là các giá trị định lượng (Y), đặc trưng cho mức độ chuyển dịch và biến dạng công trình. Trong thực tế quan trắc, các tham số đầu ra (Y) còn chịu ảnh hưởng của sai số đo (w).

Xây dựng mô hình chuyển dịch là một trong những nhiệm vụ quan trọng của công tác quan trắc biến dạng công trình, đặc biệt là đối với các tổ hợp kỹ thuật nhạy cảm như nhà máy thủy điện, các tuyến đập tràn, đập chắn nước... Mô hình chuyển dịch có thể được phân chia thành 3 loại chủ yếu là: mô hình chuyển dịch của đối tượng quan trắc trong không gian, mô hình chuyển dịch theo thời gian và mô hình thống kê. Về mặt hình thức, mô hình chuyển dịch công trình có thể được mô tả thông qua bốn nhóm yếu

tổ đã nêu ở trên là z , x , u và Y . Sơ đồ mô tả mối quan hệ tương hỗ giữa các yếu tố trong quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình được đưa ra trong hình 9.1.



Hình 2.1 Mô hình đối tượng quan trắc

Khi tổng hợp chuyển dịch công trình ở nhiều chu kỳ cần trả lời các câu hỏi sau.

- Xu hướng chuyển dịch chung của công trình trong không gian?
- Xu hướng chuyển dịch chung của công trình theo thời gian?
- Mức độ phụ thuộc độ chuyển dịch công trình vào một số tác nhân có thể gây nên chuyển dịch biến dạng công trình?.

Để giải quyết các vấn đề nêu trên cần phải xây dựng mô hình chuyển dịch công trình, thực chất là mô tả quá trình chuyển dịch công trình bằng một số hàm toán học nào đó. Về nguyên tắc, mô hình chuyển dịch công trình được thể hiện thông qua hàm số.

$$\Phi = \Phi[F_1(x) + F_2(u) + F_3(z) + w] \quad (2.1)$$

trong đó:

$F_1(x)$ - thành phần ảnh hưởng của một nhóm yếu tố chủ đạo gây nên chuyển dịch công trình. Trong giai đoạn thi công xây dựng, yếu tố chủ đạo là tải trọng công trình thì ở giai đoạn đầu vận hành, yếu tố chủ đạo là thời gian và đến thời kỳ sau yếu tố chính có thể là áp lực nước trong hồ chứa (đối với đập dâng nước) hoặc sự thay đổi mực nước ngầm (đối với nhà và công trình dân dụng)...

$F_2(u)$ - ảnh hưởng của các yếu tố có thể kiểm soát được nhưng không thể thay đổi chúng (ví dụ điều kiện môi trường).

$F_3(z)$ - ảnh hưởng của các yếu tố tức thời, không thể xác định trước mức độ tác dụng của chúng tới công trình (gió, bão, động đất...).

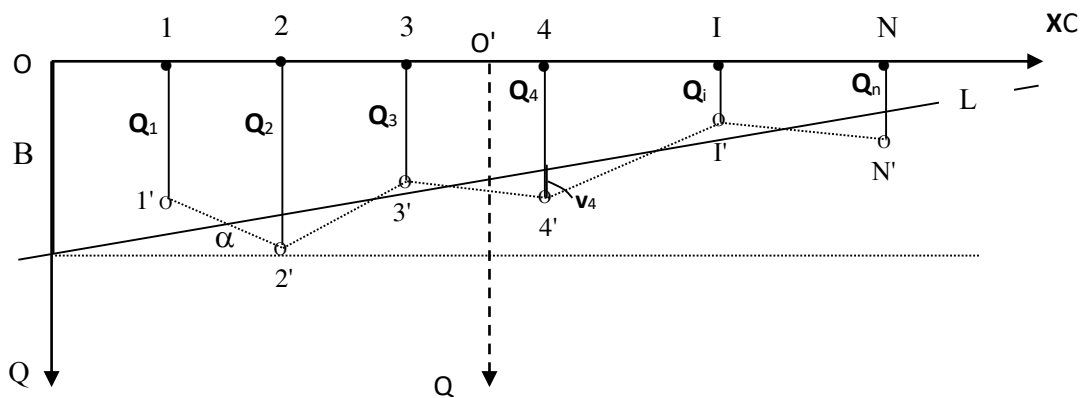
w - ảnh hưởng sai số đo đạc.

Thông thường khi xây dựng và phân tích mô hình, cũng chỉ cần quan tâm các yếu tố chủ đạo.

2.2. Thành lập mô hình chuyển dịch trong không gian

2.2.1. Mô hình chuyển dịch công trình dạng thẳng

Các mốc quan trắc công trình dạng thẳng được thiết kế phân bố trên cùng một đường thẳng. Nếu dọc theo tuyến công trình bố trí và thực hiện quan trắc có số lượng n mốc quan trắc với vectơ tọa độ theo hướng ngang của các điểm quan trắc là $X=(x_1, x_2, \dots, x_N)$, vectơ chuyển dịch ngang theo hướng vuông góc với trục công trình tương ứng là $Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_N)$, sẽ thành lập được mặt cắt chuyển dịch như trên hình 9.2.



Hình 2.2 Tham số chuyển dịch công trình dạng thẳng

Ở chu kỳ đầu, coi vị trí quy ước của các mốc quan trắc là $1, 2, 3, \dots, n$ - (các điểm này đều nằm trên đường thẳng OX), khi đó ở chu kỳ đang được khảo sát vị trí quy ước của các mốc tương ứng sẽ là $1', 2', 3', \dots, n'$. Đường gấp khúc $G = \{1'-2'-3'-\dots-n'\}$ biểu thị cho đặc tính chuyển dịch của công trình theo hướng thẳng góc với trục OX. Nếu xấp xỉ (G) bằng một đường thẳng (L) sao cho tổng bình phương độ lệch các đỉnh của G so với đường thẳng L là nhỏ nhất. $[V_Q^2] = \text{Min}$ thì L được gọi là đường thẳng chuyển dịch xác suất hoặc đơn giản là đường thẳng chuyển dịch. Do ở chu kỳ quan trắc đầu tiên đường thẳng chuyển dịch có vị trí trùng với trục OX, nên bằng cách so sánh tương quan vị trí của đường thẳng chuyển dịch L ở các chu kỳ tiếp theo so với trục OX sẽ đánh giá được xu hướng chuyển dịch chung (chuyển dịch ngang tổng thể) của công trình. Dựa vào việc

phân tích độ lệch của đường gấp khúc G so với đường thẳng L sẽ đánh giá được mức độ biến dạng công trình ở từng vị trí cụ thể.

Tương hỗ vị trí của đường thẳng L so với trục hoành OX được thể hiện qua các tham số đặc trưng sau.

α - Góc nghiêng của đường thẳng so với phương nằm ngang (thể hiện độ nghiêng tổng thể của công trình).

b - Giá trị chuyển dịch của công trình tại điểm gốc tọa độ, nếu gốc tọa độ lấy trùng với trọng tâm công trình thì b sẽ là giá trị chuyển dịch ngang tại trọng tâm công trình.

Phương trình đường thẳng L có thể được viết dưới dạng.

$$Q = a.X + b \quad (2.2)$$

(với $a = tg \alpha$)

Khi số điểm quan trắc nhiều hơn 2 thì số phương trình trong hệ (9.2) sẽ lớn hơn 2 nên khi đó đường thẳng L xác suất nhất được xác định theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất thông qua điều kiện $[V_Q^2] = \min$, trong trường hợp này bài toán được giải theo trình tự sau.

Trên cơ sở các véc tơ X và Q lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh.

$$V_Q = A.Z - Q \quad (2.3)$$

với.

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \dots & \dots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}; Z = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}; Q = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_n \end{bmatrix}; V_Q = \begin{bmatrix} v_{Q_1} \\ v_{Q_2} \\ \dots \\ v_{Q_n} \end{bmatrix}$$

từ đó thành lập được hệ phương trình chuẩn.

$$A^T A.Z - A^T Q = 0 \quad (2.4)$$

và xác định được véc tơ tham số Z theo công thức.

$$Z = (A^T A)^{-1} \cdot A^T Q \quad (2.5)$$

Nếu chuyển dịch trục OX (hình 9.2) về vị trí trọng tâm công trình (sao cho $[x]=0$), khi đó sẽ tính được.

$$(A^T A) = \begin{bmatrix} [x^2] & [x] \\ [x] & n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [x^2] & 0 \\ 0 & n \end{bmatrix}; A^T Q = \begin{bmatrix} [x \cdot Q] \\ [Q] \end{bmatrix}$$

Trong trường hợp này vectơ tham số Z được xác định theo công thức đơn giản sau.

$$a = \frac{[x \cdot Q]}{[x^2]}; \quad b = \frac{[Q]}{n} \quad (2.6)$$

Đối với độ lún, các bước tính toán xây dựng mô hình theo đường thẳng xác suất cũng được thực hiện hoàn toàn tương tự.

Ví dụ: Tính tham số chuyển dịch tổng quát của công trình dạng thẳng có 4 điểm quan trắc, kết quả quan trắc chuyển dịch ngang ở chu kỳ 2 so với chu kỳ 1 cho trong bảng 2.1.

Bảng 2.1: Tính tham số chuyển dịch công trình dạng thẳng

| STT | Tên điểm | Tọa độ X(m) | q đo(mm) |
|-----|----------|-------------|----------|
| 1 | QT6 | 5112.592 | -3.1 |
| 2 | QT7 | 5070.609 | -1.7 |
| 3 | QT8 | 5015.956 | 0.9 |

Từ số liệu ở bảng 9.1 áp dụng các công thức tính toán từ (2.3) đến (2.5) xác định được phương trình đường thẳng chuyển dịch có dạng như sau:

Phương trình đường thẳng chuyển dịch: $y = -0.00004x - 1.30$

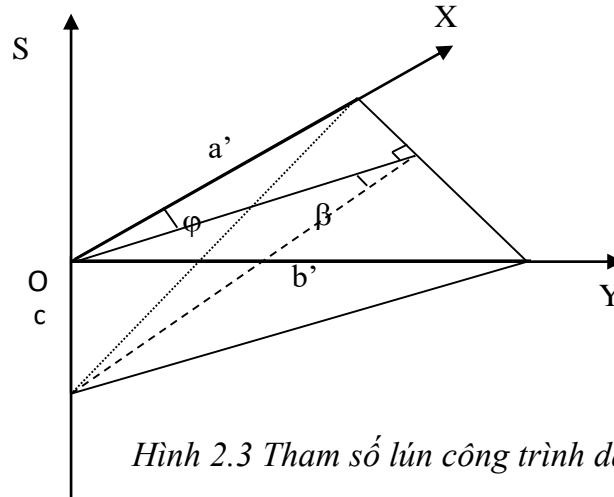
1. Chuyển dịch tại trọng tâm Q_0 : -1.30mm
2. Góc nghiêng : -8.25"
3. Sai số mô hình : 0.28mm

2.2.2. Mô hình độ lún công trình dạng vùng

Đối với công trình có dạng vùng, các điểm quan trắc phân bố không trên cùng một đường thẳng mà trên toàn bộ diện tích công trình, khi đó có khái niệm về "bề mặt lún" của công trình ở mỗi thời điểm (chu kỳ) như sau:

- Bề mặt lún công trình trong mỗi chu kỳ quan trắc là một đa diện chứa các điểm quan trắc, với điều kiện ở chu kỳ đầu các điểm quan trắc cùng nằm trong một mặt phẳng.

- Mặt phẳng lún công trình trong mỗi chu kỳ quan trắc là mặt phẳng gần đúng nhất (được xác định bằng điều kiện $[V_s^2] \rightarrow \text{Min}$) so với mặt đa diện đã được định nghĩa ở trên.



Hình 2.3 Tham số lún công trình dạng vùng

Phương trình của mặt phẳng có thể được viết dưới dạng:

$$S_i = a.x_i + b.y_i + c \quad (2.7)$$

Với N điểm quan trắc thành lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh:

$$V_s = A.z - S \quad (2.8)$$

trong đó: $z = (a \ b \ c)^T$

$$A^T = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 & X_3 & \dots & X_n \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & \dots & Y_n \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Áp dụng nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, sẽ xác định được vector z theo công thức:

$$z = (A^T A)^{-1} \cdot A^T S \quad (2.10)$$

Từ đó tính được hệ tham số lún tổng quát của mặt phẳng lún theo công thức:

- Độ lún tại gốc tọa độ (thường là điểm trọng tâm công trình):

$$S_{TT} = c \quad (2.11)$$

- Góc nghiêng lớn nhất của mặt phẳng lún:

$$\beta = \text{Arctg} \frac{c \cdot \sqrt{a'^2 + b'^2}}{a' \cdot b'} \quad (2.12)$$

- Hướng nghiêng lớn nhất (tính từ trục OX theo chiều kim đồng hồ):

$$\varphi = \text{Arctg} \frac{a'}{b'} \quad (2.13)$$

Trong các công thức trên: $a' = -c/a$; $b' = -c/b$.

Ví dụ: Tính tham số lún tổng quát của công trình dạng vùng có 24 điểm quan trắc, kết quả quan trắc độ lún ở chu kỳ 2 so với chu kỳ 1 cho trong bảng 2.2.

Bảng 2.2. Tọa độ và độ lún của các mốc quan trắc

| Số TT | Tên mốc quan trắc | Tọa độ | | Độ lún S(mm) |
|-------|-------------------|---------|---------|--------------|
| | | X(m) | Y(m) | |
| 1 | M1 | 106.578 | 99.394 | -5.16 |
| 2 | M2 | 106.578 | 100.264 | -4.25 |
| 3 | M3 | 106.578 | 101.139 | -2.51 |
| . | . | . | . | . |
| 11 | M11 | 104.016 | 100.317 | -2.36 |
| 12 | M12 | 103.977 | 99.465 | -2.94 |
| 13 | M13 | 103.162 | 99.491 | -2.87 |
| . | . | . | . | . |
| 22 | M22 | 100.690 | 101.306 | -3.30 |
| 23 | M23 | 100.687 | 100.417 | -5.14 |
| 24 | M24 | 100.663 | 99.568 | -5.62 |

Từ số liệu ở bảng 2.2 áp dụng các công thức tính toán từ (2.7) đến (2.13) xác định được phương trình mặt phẳng lún có dạng như sau:

Phương trình mặt phẳng lún: $S = 0.00010x + 0.00100y - 0.00294$

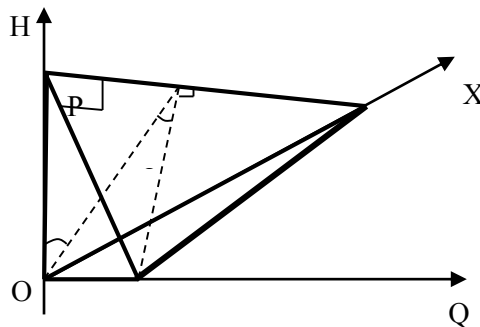
1. Chuyển dịch lún tại trọng tâm : -2.94mm
2. Góc nghiêng lớn nhất của mặt phẳng lún : -1d 56' 33.54"
3. Hướng nghiêng lớn nhất : 84d 14' 14.63"
4. Sai số mô hình : 1.03mm.

2.2.3. Mô hình chuyển dịch công trình trong mặt phẳng đứng

Đối với các hạng mục tại công trình thủy điện như tuyến đập, tường chắn chịu lực... các điểm quan trắc thường được phân bố gần trong cùng một mặt phẳng thẳng đứng, khi đó có khái niệm về "mặt phẳng chuyển dịch" của công trình ở mỗi thời điểm (chu kỳ) như sau.

- Bề mặt chuyển dịch công trình trong mỗi chu kỳ quan trắc là một đa diện chứa các điểm quan trắc, với điều kiện ở chu kỳ đầu các điểm quan trắc cùng nằm trong một mặt phẳng đứng.

- Mặt phẳng chuyển dịch công trình trong mỗi chu kỳ quan trắc là mặt phẳng gần đúng nhất (được xác định bằng điều kiện $[V_Q^2] \rightarrow \text{Min}$) so với mặt đa diện đã được định nghĩa ở trên.



Hình 2.4 Mô hình chuyển dịch công trình trong mặt phẳng đứng

Mặt phẳng chuyển dịch ở chu kỳ đầu (hoặc chu kỳ được lấy làm gốc so sánh) được quy ước lấy trùng với mặt HOX, giả sử trong chu kỳ đang khảo sát mặt phẳng này dịch chuyển đến vị trí P (hình 9.4). Khi đó có thể sử dụng các tham số mặt phẳng P để đánh giá sự chuyển dịch tương đối của công trình giữa 2 chu kỳ quan trắc. Như vậy, vấn đề xây dựng mô hình chuyển dịch trong trường hợp này sẽ được giải quyết theo 2 bước.

-Bước 1. Xác định tham số của mặt phẳng P

-Bước 2. Xác định các đại lượng đặc trưng cho sự chuyển dịch của mặt phẳng P so với mặt phẳng gốc ban đầu (HOX).

1. Tính toán tham số mặt phẳng

Phương trình của mặt phẳng có thể được viết dưới dạng.

$$Q_i = a.x_i + b.H_i + c \quad (2.14)$$

Trong đó: x_i, H_i, Q_i là tọa độ theo trục OX, độ cao và giá trị chuyển dịch của điểm quan trắc i , còn các tham số a, b, c của mặt phẳng (2.14) có ý nghĩa hình học như được thể hiện trên hình vẽ 2.4

Nếu trên công trình triển khai quan trắc tại n vị trí với véc tơ tọa độ, độ cao và chuyển dịch tương ứng là X, H, Q . Khi đó sẽ lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh.

$$V_Q = A.Z - Q \quad (2.15)$$

Trong đó:

$$Z = (a \ b \ c)^T$$

$$A^T = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & \dots & x_n \\ H_1 & H_2 & H_3 & \dots & H_n \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Áp dụng nguyên lý số bình phương nhỏ nhất, sẽ xác định được véc tơ tham số Z theo công thức.

$$Z = (A^T A)^{-1} \cdot A^T Q \quad (2.17)$$

2. Tính toán tham số chuyển dịch

Có thể lựa chọn một số phương án với tập hợp 3 tham số để đặc trưng cho chuyển dịch của mặt phẳng P so với mặt phẳng đứng HOX. Tuy nhiên theo chúng tôi, có 3 tham số thể hiện rõ nét nhất các đặc tính chuyển dịch của mặt P là chuyển dịch công trình tại gốc tọa độ (Q_0), góc nghiêng lớn nhất của mặt phẳng P và hướng của góc nghiêng lớn nhất (hình 2.4). Các tham số trên lần lượt được tính theo các công thức.

- Chuyển dịch tại gốc tọa độ (thường là điểm trọng tâm công trình).

$$Q_0 = c \quad (2.18)$$

- Góc nghiêng lớn nhất.

$$\beta = \text{Arctg} \sqrt{a^2 + b^2} \quad (2.19)$$

- Hướng nghiêng lớn nhất (tính từ trục OX theo chiều kim đồng hồ).

$$\alpha = \text{Arctg} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (2.20)$$

Ví dụ: Tính tham số chuyển dịch công trình trong mặt phẳng đứng có 6 điểm quan trắc, kết quả quan trắc chuyển dịch ngang ở chu kỳ 2 so với chu kỳ 1 cho trong bảng 2.3.

Bảng 2.3. Tọa độ và giá trị chuyển dịch của các mốc quan trắc

| STT | Tên điểm | Tọa độ X(m) | Tọa độ Y(m) | Chuyển dịch q(mm) |
|-----|----------|-------------|-------------|-------------------|
| 1 | QT1-T | 898.101 | 7.506 | 9.6 |
| 2 | QT2-T | 931.900 | 7.431 | 8.9 |
| 3 | QT3-T | 965.980 | 7.508 | 11.2 |
| 4 | QT6-D | 898.312 | 3.978 | 5.6 |
| 5 | QT7-D | 931.968 | 3.900 | 3.2 |
| 6 | QT8-D | 965.905 | 3.831 | 5.1 |

Từ số liệu ở bảng 2.3 áp dụng các công thức tính toán từ (2.14) đến (2.20) xác định được phương trình mặt phẳng chuyển dịch có dạng như sau:

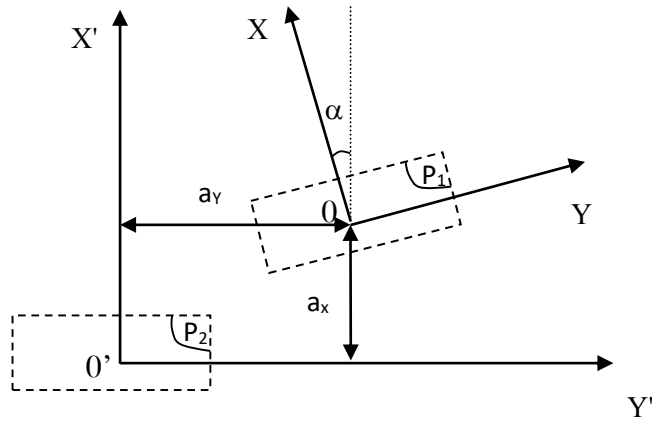
Phương trình mặt phẳng chuyển dịch: $q = 0.00001x + 0.00148y + 0.00727$

1. Chuyển dịch lún tại trọng tâm : 7.27mm
2. Góc nghiêng lớn nhất của mặt phẳng lún : $0^{\circ} 1' 18.61''$
3. Hướng nghiêng lớn nhất : $89^{\circ} 37' 13.05''$
4. Sai số mô hình : 1.32mm

2.2.4. Mô hình chuyển dịch công trình trong mặt phẳng ngang

Quy ước gán cho công trình một hệ tọa độ đặc trưng XOY, ở thời điểm t_1 công trình ở vị trí P_1 và có hệ tọa độ đặc trưng là (XOY), đến thời điểm t_2 công trình ở vị trí P_2 và có hệ tọa độ đặc trưng là (X'O'Y'), như vậy chuyển dịch tổng thể công trình có thể được đặc trưng bằng chuyển dịch giữa 2 hệ tọa độ XOY và X'O'Y' như mô tả trên hình 2.5.

Véc tơ chuyển đổi tọa độ giữa 2 hệ tọa độ vuông góc phẳng gồm 4 tham số (a_x, a_y, α, m), khi so sánh vị trí công trình ở 2 thời điểm quan trắc các tham số nêu trên có ý nghĩa là. a_x, a_y - đặc trưng cho chuyển dịch tịnh tiến của công trình ở vị trí gốc tọa độ theo các hướng trục OX và OY, α - đặc trưng cho góc xoay, còn m - đặc trưng cho hệ số co giãn kích thước công trình.



Hình 2.5 Chuyển dịch giữa hai hệ tọa độ

Từ hình 2.5 xác định được công thức chuyển đổi giữa 2 hệ tọa độ.

$$\left. \begin{aligned} X' &= a_X + X.m.\cos(\alpha) + Y.m.\sin(\alpha) \\ Y' &= a_Y + Y.m.\cos(\alpha) - X.m.\sin(\alpha) \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

Khai triển tuyến tính biểu thức trên với véc tơ ảnh số là các tham số chuyển dịch, lấy giá trị gần đúng của véc tơ tham số $Z_0 = (a_{X0}, a_{Y0}, \alpha_0, m_0) = (0, 0, 0, 1)$, để ý rằng thực tế góc α rất nhỏ và $m \approx 1$, sẽ thu được.

$$\left. \begin{aligned} X' &= \delta_{aX} + Y.\delta\alpha + X.\delta_m + X \\ Y' &= \delta_{aY} - X.\delta\alpha + Y.\delta_m + Y \end{aligned} \right\}$$

Mặt khác vì $Q_X = X' - X$, $Q_Y = Y' - Y$, nên sẽ có.

$$\left. \begin{aligned} Q_X &= \delta_{aX} + Y.\delta\alpha + X.\delta_m \\ Q_Y &= \delta_{aY} - X.\delta\alpha + Y.\delta_m \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

Để xác định được 4 tham số (a_X, a_Y, α, m) cần có ít nhất 4 phương trình dạng (9.22), tức là phải cần có số liệu 2 điểm quan trắc. Khi số điểm quan trắc $n > 2$, bài toán sẽ được giải theo nguyên tắc số bình phương nhỏ nhất. Trước hết, lập phương trình số hiệu chỉnh đối với mỗi điểm quan trắc.

$$\left. \begin{aligned} V_{QX} &= \delta_{aX} + X.\delta_m + Y.\delta_m - Q_X \\ V_{QY} &= \delta_{aY} + Y.\delta_m - X.\delta_m - Q_Y \end{aligned} \right\} \quad (2.23)$$

Ký hiệu.

$$B_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & Y_i & X_i \\ 0 & 1 & -X_i & Y_i \end{bmatrix}$$

$$A = (B_1, B_2, B_3, \dots, B_n)^T \quad (2.24)$$

$$\delta z = (\delta a_x, \delta a_y, \delta \alpha, \delta m)^T$$

$$L = -(Q_{X1}, Q_{Y1}, \dots, Q_{Xn}, Q_{Yn})^T$$

Với n điểm quan trắc sẽ thành lập được hệ phương trình số hiệu chỉnh:

$$A \cdot \delta z + L = V \quad (2.25)$$

Dựa trên nguyên lý số bình phương nhỏ nhất $[V_Q^2] = \min$, sẽ xác định được hệ phương trình chuẩn.

$$A^T A \cdot \delta z + A^T \cdot L = 0 \quad (2.26)$$

Từ đó tính được véc tơ tham số chuyển dịch tổng thể công trình.

$$\delta z = - (A^T \cdot A)^{-1} \cdot A^T \cdot L \quad (2.27)$$

Khi chọn hệ tọa độ có điểm gốc O trùng với trọng tâm công trình thì các tham số a_x, a_y có ý nghĩa là giá trị chuyển dịch của điểm trọng tâm, ngoài ra trong trường hợp này bài toán xác định tham số chuyển dịch còn được đơn giản đi rất nhiều. Thực vậy, hệ phương trình chuẩn (9.26) có dạng triển khai:

$$\left. \begin{aligned} n \cdot \delta a_x + [X] \delta m + [Y] \delta \alpha - [Q_x] &= 0 \\ n \cdot \delta a_y + [Y] \delta m - [X] \delta \alpha - [Q_y] &= 0 \\ ([X^2] + [Y^2]) \delta m - ([XQ_x] + [YQ_y]) &= 0 \\ ([Y^2] + [X^2]) \delta \alpha + [YQ_x] - [XQ_y] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.28)$$

Trong hệ tọa độ trọng tâm, điểm gốc O có tọa độ :

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} ; Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (9.29)$$

Khi đó tọa độ các điểm quan trắc trong hệ mới được tính theo công thức:

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_i &= X_i - X_0 \\ \bar{Y}_i &= Y_i - Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (9.30)$$

Tọa độ các điểm trong hệ trọng tâm thỏa mãn điều kiện:

$$[\bar{X}] = [\bar{Y}] = 0$$

Thay giá trị \bar{X}_i và \bar{Y}_i vào (9.28) và rút gọn sẽ được hệ phương trình sau:

$$\left. \begin{aligned} n.\delta a_x - [Q_x] &= 0 \\ n.\delta a_y - [Q_y] &= 0 \\ ([\bar{X}^2] + [\bar{Y}^2]).\delta m + ([\bar{X} Q_x] + [\bar{Y} Q_y]) &= 0 \\ ([\bar{X}^2] + [\bar{Y}^2]).\delta \alpha - ([\bar{X} Q_y] - [\bar{Y} Q_x]) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9.31)$$

Từ hệ phương trình chuẩn (9.31) xác định được vector tham số:

$$\left. \begin{aligned} a_x &= a_{x0} + \delta a_x = \frac{[Q_x]}{n} \\ a_y &= a_{y0} + \delta a_y = \frac{[Q_y]}{n} \\ \alpha &= \alpha_0 + \delta \alpha = \frac{[\bar{X}Q_y] - [\bar{Y}Q_x]}{[\bar{X}^2] + [\bar{Y}^2]} \\ m &= m_0 + \delta m = 1 + \frac{[\bar{X}Q_x] + [\bar{Y}Q_y]}{[\bar{X}^2] + [\bar{Y}^2]} \end{aligned} \right\} \quad (9.32)$$

Kết hợp tính toán các tham số chuyển dịch cục bộ và tham số chuyển dịch tổng thể của công trình sẽ cho phép đánh giá một cách chi tiết và tổng quan về quá trình chuyển dịch công trình. Quy trình tính toán sẽ được đơn giản đáng kể nhờ chuyển về hệ tọa độ trọng tâm của công trình.

Ví dụ: Tính tham số chuyển dịch tổng thể của công trình trong mặt phẳng ngang có 4 điểm quan trắc, kết quả quan trắc chuyển dịch ngang ở chu kỳ 2 so với chu kỳ 1 cho trong bảng 2.4.

Bảng 2.4. Số liệu quan trắc chuyển dịch ngang

| STT | Tên điểm | Tọa độ X(m) | Tọa độ Y(m) | Qx(mm) | Qy(mm) |
|-----|----------|-------------|-------------|--------|--------|
| 1 | A1 | -25.0 | -40.0 | -40.2 | -7.5 |
| 2 | A2 | 25.0 | -40.0 | -42.3 | -30.0 |
| 3 | A3 | 25.0 | 40.0 | -8.8 | -35.7 |
| 4 | A4 | -25.0 | 40.0 | -6.2 | -10.6 |

Áp dụng các công thức tính toán ở trên xác định được mô hình chuyển dịch tổng thể

của công trình như sau:

Mô hình chuyển dịch tổng thể của công trình trong mặt phẳng ngang:

$$Q_x = -24.38 + 0.00044Y - 0.00005X$$

$$Q_y = -20.95 - 0.00044X - 0.00005Y$$

1. Dịch chuyển theo trục OX: -24.38mm
2. Dịch chuyển theo trục OY: -20.95mm
3. Góc Xoay : 0d 1' 30.15"
4. Biến dạng tỷ lệ : 0.99995
5. Sai số mô hình : 1.89mm.

2.3. Mô hình chuyển dịch theo thời gian

2.3.1. Cơ sở lý thuyết

Giả sử mô hình chuyển dịch công trình theo thời gian được thể hiện thông qua hàm số ở dạng tổng quát:

$$q = f(t) \quad (2.33)$$

Giả sử hàm số 9.32 được triển khai tuyến tính với vector tham số Z gồm k phần tử:

$$Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)^T \quad (2.34)$$

Bài toán đặt ra là, cần dựa vào chuỗi kết quả đo chuyển dịch trong n chu kỳ để xác định vector tham số của hàm 9.33. Kí hiệu dãy thời gian và giá trị chuyển dịch thu được trong các chu kỳ quan trắc bằng các véc tor $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)^T$;

$q = (q_1, q_2, \dots, q_n)^T$. Khi số chu kỳ quan trắc lớn hơn số lượng tham số ($n > k$), bài toán được giải theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất theo trình tự sau:

Triển khai tuyến tính biểu thức 9.33 theo các biến z_i với vector tham số gần đúng $Z_0 = (z_1^0, z_2^0, \dots, z_k^0)^T$, xác định được:

$$q_i = a_{i1}dz_1 + a_{i2}dz_2 + \dots + a_{ik}dz_k + q_i^0; (i = 1, n) \quad (9.35)$$

với:

$$q_i^0 = a_{i1}z_1^0 + a_{i2}z_2^0 + \dots + a_{ik}z_k^0 \quad (9.36)$$

Coi vector chuyển dịch q là vector trị đo, chuyển sang hệ phương trình số hiệu chỉnh, số hiệu chỉnh sẽ có:

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \dots \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nk} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} dz_1 \\ dz_2 \\ \dots \\ dz_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l_1 \\ l_2 \\ \dots \\ l_k \end{bmatrix} \quad (9.37)$$

Hoặc viết dưới dạng ma trận:

$$V = A.dZ + L \quad (9.38)$$

Trong đó: vector số hạng tự do $L = q - q^0$.

Theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất ($[v^2] = \text{Min}$) xác định được vector ẩn số và từ đó tính vector tham số của mô hình:

$$dZ = -(A^T A)^{-1} \cdot A^T L \quad (9.39)$$

$$Z = Z^0 + dZ$$

Sai số mô hình được đặc trưng bằng giá trị của sai số (m_{MH}), tính theo công thức:

$$m_{MH} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n - k}} \quad (9.40)$$

Hàm số 2.33 với các tham số tính được là biểu thức thể hiện mô hình chuyển dịch theo thời gian. Mô hình chuyển dịch theo thời gian cho phép thực hiện tính toán, dự báo chuyển dịch công trình trong thời gian tương lai.

Dạng của hàm số mô hình được chọn dựa trên cơ sở phân tích trực quan trên đồ thị chuyển dịch. Nếu hàm số mô hình được lựa chọn đúng thì sai số mô hình sẽ có giá trị tương đương với sai số đo chuyển dịch.

2.3.2. Thành lập mô hình độ lún theo hàm số mũ

Theo lý thuyết cơ học đất nền móng thì độ lún công trình ở thời điểm t có thể được tính theo công thức:

$$S_t = S_{TP} (1 - e^{-\alpha \cdot t}) \quad (9.41)$$

Trong đó: S_{TP} - độ lún toàn phần của công trình

α - hệ số nén tương đối của nền.

Trong giai đoạn thiết kế, độ lún công trình được tính toán dựa theo các tham số thực nghiệm S_{TP} và α . Đến giai đoạn thi công hoặc vận hành công trình, kết quả đo lún

được sử dụng để xác định các tham số S_{TP} và α và dựa vào công thức 2.41 để tính (dự báo) độ lún ở thời điểm bất kỳ. Nếu đã thực hiện n chu kỳ quan trắc lún ($n > 2$) thì hai tham số trên được xác định theo phương pháp bình phương nhỏ nhất, tức $[v^2] = \min$.

Khai triển hàm (2.41) thành chuỗi và giữ lại đến số hạng bậc nhất:

$$S_{t_i} = \left(\frac{\partial S_{t_i}}{\partial \alpha} \right) \Delta \alpha + \left(\frac{\partial S_{t_i}}{\partial S_{TP}} \right) \Delta S + (S_{t_i})_0$$

Trong đó:

$$\Delta \alpha = \alpha - \alpha_0$$

$$\Delta S = S_{TP} - (S_{TP})_0$$

$$(S_{t_i})_0 = (S_{TP})_0 (1 - e^{-\alpha_0 \cdot t_i})$$

α_0 và $(S_{TP})_0$ - giá trị gần đúng của α và S_{TP} .

Ký hiệu:

$$\left(\frac{\partial S_{t_i}}{\partial S_{TP}} \right) = (S_{TP})_0 \cdot t_i \cdot e^{-\alpha_0 \cdot t_i} = a_i \quad (2.42)$$

$$\left(\frac{\partial S_{t_i}}{\partial \alpha} \right) = 1 - e^{-\alpha_0 \cdot t_i} = b_i \quad (2.43)$$

Phương trình số hiệu chỉnh đối với chu kỳ đo thứ i có dạng:

$$v_i = a_i \cdot \Delta S + b_i \cdot \Delta \alpha + l_i \quad (2.44)$$

Trong đó:

$$v_i = S_{t_i} - (S_{t_i})_{do}$$

$$l_i = (S_{t_i})_0 - (S_{t_i})_{do}$$

Từ hệ phương trình số hiệu chỉnh (9.43) chúng ta lập được hệ phương trình chuẩn:

$$\left. \begin{aligned} [aa] \cdot \Delta S + [ab] \cdot \Delta \alpha + [al] &= 0 \\ [ab] \cdot \Delta S + [bb] \cdot \Delta \alpha + [bl] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.45)$$

Giải hệ phương trình chuẩn (9.44) để xác định $\Delta \alpha$ và ΔS_{TP} , từ đó tính được:

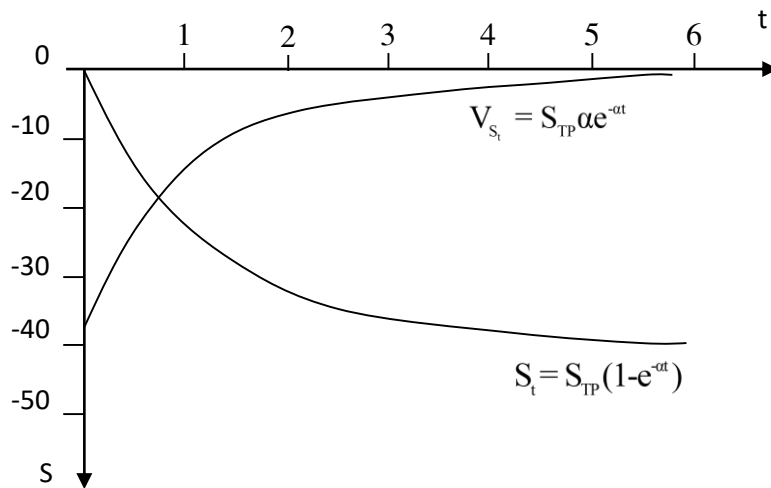
$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \alpha_0 + \Delta\alpha \\ S_{TP} &= (S_{TP})_0 + \Delta S \end{aligned} \right\} \quad (2.46)$$

Tốc độ lún của công trình tính theo công thức:

$$v_{S_i} = \frac{dS_i}{dt} = S_{TP} \cdot \alpha \cdot e^{-\alpha t} \quad (2.47)$$

Từ công thức (2.47) có thể thấy tốc độ lún lớn nhất khi bắt đầu quan trắc lún và tốc độ lún giảm dần theo thời gian. Thực tế, khi $\alpha t \geq 6$ công trình được coi là ổn định và có thể ngừng đo lún.

Đồ thị biểu diễn độ lún tuyệt đối và tốc độ lún theo thời gian có dạng như các đường cong trên hình 2.6.



Hình 2.6 Đường cong lún và tốc độ lún

2.3.3. Mô hình hàm đa thức

1. Thuật toán xây dựng mô hình

Dự báo độ chuyển dịch và biến dạng công trình dựa trên kết quả quan trắc có ý nghĩa quan trọng trong quá trình quản lý và vận hành công trình thủy lợi- thủy điện. Nội dung của bài toán dự báo chuyển dịch công trình theo thời gian được đặt ra như sau.

Trên cơ sở tập hợp số liệu đo chuyển dịch công trình trong n chu kỳ với các dữ liệu quan trắc được, gồm có: thời gian thực hiện các chu kỳ đo là $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ với tập giá trị chuyển dịch ngang tương ứng là $\{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$. Cần xác định hàm số biểu thị sự phụ thuộc giữa chuyển dịch Q so với thời gian t và đánh giá chuyển dịch ở một số

$$Q = [-Q_1 \quad -Q_2 \quad -Q_3 \quad \dots \quad -Q_n]^T$$

$$Z = (a_0, a_1, \dots, a_k)^T$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & t_1 & t_1^2 & \dots & t_1^k \\ 1 & t_2 & t_2^2 & \dots & t_2^k \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & t_n & t_n^2 & \dots & t_n^k \end{bmatrix}$$

Chúng ta viết được hệ phương trình số hiệu chỉnh dạng:

$$V = B.Z + Q \quad (2.49)$$

Áp dụng nguyên tắc số bình phương nhỏ nhất lập được hệ phương trình chuẩn:

$$B^T B.Z - B^T Q = 0 \quad (2.50)$$

Từ đó xác định véc tơ nghiệm (tham số của mô hình).

$$Z = -(B^T B)^{-1} . B^T Q \quad (2.51)$$

Ký hiệu. Q_i^{do} , Q_i^{mh} tương ứng là các giá trị chuyển dịch đo và tính theo mô hình ở thời điểm chu kỳ quan trắc thứ i . Khi đó hiệu $\delta_i = Q_i^{do} - Q_i^{mh}$ sẽ là độ lệch của mô hình so với số liệu quan trắc. Với n chu kỳ quan trắc sẽ xác định đại lượng.

$$\mu = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n - k - 1}} \quad (2.52)$$

Giá trị μ tính theo công thức (2.52) thể hiện độ lệch trung phương của mô hình so với kết quả quan trắc thực tế, vì vậy μ đặc trưng cho độ chính xác của mô hình và có thể được gọi là sai số mô hình.

2. Lựa chọn bậc đa thức

Để chọn bậc của đa thức có thể sử dụng nguyên tắc. “*Đa thức được chọn là đa thức có sai số mô hình nhỏ nhất*”. Theo nguyên tắc này, lần lượt thành lập các đa thức với số bậc tăng dần từ 0 đến $n-2$, với mỗi đa thức tiến hành tính sai số mô hình (μ) theo công thức (2.50) và mô hình được chọn là đa thức có μ nhỏ nhất.

Trong việc chọn bậc đa thức k có thể thực hiện theo nguyên tắc. “*đa thức được chọn là đa thức có số bậc nhỏ nhất, mà sai số của mô hình đó tương đương với sai số*

đo chuyển dịch”. Cách chọn bậc của đa thức này dựa trên cơ sở suy luận rằng đa thức với số bậc càng nhỏ thì có độ ổn định càng cao. Vì vậy sẽ hướng đến việc tìm đa thức có số bậc nhỏ nhất, đồng thời phù hợp với độ chính xác của kết quả quan trắc. Vấn đề trên có thể được giải quyết theo trình tự sau. lần lượt lập đa thức với số bậc tăng dần, bắt đầu từ bậc 0, với mỗi đa thức đã xác định, tính và so sánh sai số mô hình (μ) với sai số xác định chuyển dịch m_Q , nếu 2 giá trị sai số trên là tương đương thì dừng quá trình tính toán và đa thức vừa xét được chọn làm mô hình chuyển dịch.

Hàm đa thức có tính tổng quát và có thể áp dụng với bất kỳ công trình nào. Đối với độ lún, các bước tính toán dự báo cũng được thực hiện hoàn toàn tương tự.

Ví dụ: Xây dựng mô hình chuyển dịch công trình theo hàm đa thức

Số liệu chuyển dịch ngang của mốc quan trắc M7 trong 7 chu kỳ đầu tiên được đưa ra ở bảng 2.5. Lần lượt xây dựng mô hình đa thức từ bậc 0 đến bậc 5, kết quả tính toán hệ số đa thức và sai số trung phương mô hình được đưa ra trong bảng 2.6.

Bảng 2.5: Kết quả quan trắc điểm mốc M7

| Chu kỳ đo | Thời gian đo | Giá trị chuyển dịch (mm) | Chu kỳ đo | Thời gian đo | Giá trị chuyển dịch (mm) |
|-----------|--------------|--------------------------|-----------|--------------|--------------------------|
| 1 | 25 -12- 2001 | 00,0 | 5 | 25- 04- 2003 | -44,8 |
| 2 | 25 -04 -2002 | -10,4 | 6 | 27 -09- 2003 | -47,0 |
| 3 | 19 -08 -2002 | -22,1 | 7 | 12 -05- 2004 | -48,8 |
| 4 | 08 -12 -2002 | -30,3 | | | |

Bảng 2.6: Kết quả xây dựng mô hình

| Số TT | Bậc đa thức | Hệ số đa thức | | | | | | Sai số mô hình (mm) |
|-------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|
| | | a ₀ | a ₁ | a ₂ | a ₃ | a ₄ | a ₅ | |
| 1 | 0 | -29,057 | ----- | ----- | ----- | ----- | ----- | 19,16 |
| 2 | 1 | -6,040 | -21,756 | ----- | ----- | ----- | ----- | 7,005 |
| 3 | 2 | 1,938 | -45,516 | 10,035 | ----- | ----- | ----- | 2,655 |
| 4 | 3 | 0,391 | -33,477 | -3,782 | 3,877 | ----- | ----- | 2,292 |

$$Q = [-Q_1 \quad -Q_2 \quad -Q_3 \quad \dots \quad -Q_n]^T$$

$$Z = (a_0, a_1, a_2, w)^T$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$$

Hệ phương trình (2.52) có thể được viết lại dưới dạng ma trận.

$$V = B.Z + Q \quad (2.56)$$

Từ hệ phương trình (2.54) xác định được véc tơ tham số $Z = (a_0, a_1, a_2, w)^T$ theo quy trình giống như đã trình bày trong mục 2.3.3 thông qua các công thức tương tự như (2.50) và (2.51).

2. Mô hình kết hợp

Khi chuyển dịch của công trình không chỉ có tính chất tuần hoàn đơn thuần, chúng ta có thể xây dựng mô hình chuyển dịch theo một số dạng hàm số kết hợp, ví dụ:

$$Q_t = a_0 + a_1 \cdot \sin(wt) + a_2 \cdot \cos(wt) + a_3 t \quad (2.57)$$

hoặc:

$$Q_t = a_0 + (a_1 \cdot \sin(wt) + a_2 \cdot \cos(wt))b^t + a_3 t + a_4 t^2 + \dots \quad (2.58)$$

Với mô hình (2.57), véc tơ tham số của mô hình cần xác định là: $Z = (a_0, a_1, a_2, a_3, w)^T$, còn đối với mô hình (2.58) véc tơ tham số tương ứng là $Z = (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, \dots, b, w)^T$. Trong các trường hợp này, quy trình tính toán để xác định các tham số mô hình cũng hoàn toàn giống với hai trường hợp cơ bản đã nêu ở trên. Đối với mô hình dạng hàm tuần hoàn, sai số mô hình được tính theo công thức:

$$\mu = \sqrt{\frac{\delta^2}{n-t}} \quad (2.59)$$

Trong đó, δ là hiệu của giá trị chuyển dịch đo được và giá trị chuyển dịch tính theo mô hình ở chu kỳ tương ứng, n và t lần lượt là số lượng chu kỳ đo và số lượng tham số của mô hình.

Thực tế quan trắc chuyển dịch tại các công trình thủy điện lớn ở Việt Nam cho thấy, giá trị chuyển dịch ngang của các tuyến đập trong giai đoạn vận hành phụ thuộc rất nhiều vào mực nước trong hồ chứa. Yếu tố này lại có tính chất biến đổi theo mùa và có tính tuần hoàn với chu kỳ khoảng 1 năm. Vì vậy việc sử dụng hàm tuần hoàn hoặc

hàm hỗn hợp để xây dựng mô hình chuyển dịch của các đập thủy điện là cần thiết cho công tác quản lý và vận hành công trình và cho phép dự báo chuyển dịch công trình theo thời gian.

Ví dụ: Xây dựng mô hình chuyển dịch theo hàm tuần hoàn

Số liệu quan trắc chuyển dịch ngang của một mốc tại công trình thủy điện trong 18 chu kỳ (thuộc giai đoạn vận hành công trình) được đưa ra ở bảng 2.7.

Bảng 2.7: Kết quả quan trắc chuyển dịch điểm mốc quan trắc trên tuyến đập thủy điện

| Số T/T | Thời gian đo | Giá trị chuyển dịch (mm) | Số T/T | Thời gian đo | Giá trị chuyển dịch (mm) |
|--------|--------------|--------------------------|--------|--------------|--------------------------|
| 1 | 20-01-2002 | -086,2 | 10 | 07-07-2003 | -110,5 |
| 2 | 19-03-2002 | -090,4 | 11 | 11-09-2003 | -092,2 |
| 3 | 15-05-2002 | -111,0 | 12 | 16-11-2003 | -084,8 |
| 4 | 30-07-2002 | -106,4 | 13 | 12-01-2004 | -084,2 |
| 5 | 09-09-2002 | -102,3 | 14 | 17-03-2004 | -103,2 |
| 6 | 14-11-2002 | -083,4 | 15 | 18-05-2004 | -112,5 |
| 7 | 28-01-2003 | -084,6 | 16 | 07-07-2004 | -112,3 |
| 8 | 25-03-2003 | -095,8 | 17 | 06-09-2004 | -099,9 |
| 9 | 14-05-2003 | -107,0 | 18 | 16-11-2004 | -081,9 |

Chọn hàm:

$$Q_t = a_0 + a_1 \cdot \sin(wt) + a_2 \cdot \cos(wt) + a_3 t$$

với các tham số $Z = (a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, w)^T$ để thành lập mô hình chuyển dịch. Từ kết quả tính toán thu được các tham số mô hình:

$$Z = (a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, w)^T = (-9,55, -5,33, -13,99, -0,07, 11,67)^T \text{ với sai số mô hình}$$

$\mu = 3,10\text{mm}$.

Dựa vào kết quả lập mô hình chúng ta xác định và đánh giá một số thông số chuyển dịch cơ bản của điểm quan trắc là: biên độ dao động của chuyển dịch $\Delta = \sqrt{5,3^2 + 14,0^2} = 15,0\text{mm}$, chuyển dịch tuần hoàn xảy ra với chu kỳ $T = 11,7$ tháng. Thực hiện tính toán dự báo chuyển dịch (ví dụ cho 4 thời điểm cách chu kỳ quan trắc cuối cùng 1, 2, 4 và 8 tháng) thu được kết quả:

- Kết quả dự báo sau 1 tháng: $Q_{(1\text{ th})} = -83,8\text{mm}$, sai số dự báo: $m = 2,1\text{mm}$.
- Kết quả dự báo sau 2 tháng: $Q_{(2\text{ th})} = -88,0\text{mm}$, sai số dự báo: $m = 2,7\text{mm}$.
- Kết quả dự báo sau 4 tháng: $Q_{(4\text{ th})} = -103,2\text{mm}$, sai số dự báo: $m = 3,2\text{mm}$.
- Kết quả dự báo sau 8 tháng: $Q_{(8\text{ th})} = -107,7\text{mm}$, sai số dự báo: $m = 3,9\text{mm}$.

Kết quả khảo sát lý thuyết và thực tế cho thấy, mô hình hàm đa thức phù hợp với giai đoạn thi công và thời kỳ đầu vận hành công trình, còn mô hình hàm tuần hoàn và hàm hỗn hợp được sử dụng trong giai đoạn vận hành công trình.

2.4. Đánh giá chuyển dịch công trình theo phương pháp phân tích tương quan tuyến tính đơn

Độ lún và chuyển dịch ngang công trình phụ thuộc trước hết vào tính chất cơ lý của đất nền và một số yếu tố ngẫu nhiên khác như độ ẩm, mực nước ngầm ... Tác động tổng hợp của các yếu tố đã nêu có thể làm thay đổi quy luật lún cũng như chuyển dịch công trình theo thời gian.

Một trong những nhiệm vụ quan trọng của công tác quan trắc biến dạng công trình là đánh giá mức độ phụ thuộc giữa các yếu tố ngẫu nhiên với độ lún (hoặc chuyển dịch) công trình. Các vấn đề được đặt ra là:

1-Đánh giá mức độ phụ thuộc của chuyển dịch với một hoặc một số nhân tố có thể ảnh hưởng đến độ chuyển dịch đó (có tồn tại sự phụ thuộc giữa chúng không ? Mức độ phụ thuộc như thế nào nếu chúng tồn tại ?).

2-Xác định biểu thức của hàm số mô tả mối quan hệ phụ thuộc nêu trên giữa các biến ngẫu nhiên.

2.4.1. Cơ sở lý thuyết

Giả sử có $\{(X_i, Y_i) \mid i = \overline{1, n}\}$ là một mẫu ngẫu nhiên hai chiều thu được khi quan sát véc tơ ngẫu nhiên (X, Y) thì hệ số tương quan mẫu r_{XY} của X và Y được xác định như sau:

$$r_{XY} = \frac{\sum_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}{n}} \sqrt{\frac{\sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}{n}}} = \frac{\overline{XY} - \bar{X}\bar{Y}}{\sqrt{\bar{X}^2 - (\bar{X})^2} \sqrt{\bar{Y}^2 - (\bar{Y})^2}} \quad (2.60)$$

Trong đó:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}; \quad \bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}; \quad \overline{XY} = \frac{\sum X_i Y_i}{n}$$

$$\bar{X}^2 = \frac{\sum X_i^2}{n}; \quad \bar{Y}^2 = \frac{\sum Y_i^2}{n}$$

Hệ số tương quan tính theo công thức (9.60) là chỉ số biểu thị cho sự tương quan giữa hai đại lượng ngẫu nhiên X và Y . Hệ số r_{XY} biến thiên từ -1 đến +1, nếu r_{XY} bằng +1 hoặc -1 thì giữa X và Y tồn tại chính xác mối liên hệ tuyến tính, tức $Y = aX + b$ hoặc $X = cY + d$. Nếu giá trị r_{XY} càng gần +1 hoặc -1 thì giữa X và Y tồn tại sự tương quan mạnh và ngược lại, nếu giá trị hệ số r_{XY} càng gần 0 thì càng ít có sự liên quan giữa X và Y với nhau. Để đánh giá độ tin cậy của hệ số tương quan tùy thuộc vào số lần quan trắc mà sử dụng các công thức sau.

- Khi n đủ lớn ($n \geq 50$) tính độ lệch chuẩn của hệ số tương quan.

$$\sigma_r \approx \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} \quad (2.61)$$

Mối quan hệ tương quan giữa 2 đại lượng X, Y coi như được xác lập nếu thỏa mãn điều kiện:

$$|r| \geq 3\sigma_r \quad (2.62)$$

- Khi $n < 50$ sử dụng hàm đặc biệt phân bố theo quy luật chuẩn, được gọi là tiêu chuẩn Fisher.

$$Z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \quad (2.63)$$

Phương sai của đại lượng Z được tính theo công thức.

$$\sigma_z \approx \frac{1}{\sqrt{n-3}} \quad (2.64)$$

Trong trường hợp này mối quan hệ tương quan giữa X và Y cũng được thiết lập với điều kiện:

$$|Z| \geq 3\sigma_z \quad (2.65)$$

2.4.2. Xây dựng hàm hồi quy tuyến tính đơn

Khi quan hệ tương quan giữa 2 đại lượng X và Y đã được xác lập, sử dụng hàm hồi quy tuyến tính đơn để mô tả mối quan hệ đó. Trong trường hợp này, hàm hồi quy có dạng.

$$Y = a.X + b \quad (2.66)$$

Các tham số a, b của hàm hồi quy (8.66) được xác định trên cơ sở n cặp trị đo (Y,X) là: $\{(Y_i, X_i)\} = \{(Y_1, X_1), (Y_2, X_2), \dots, (Y_n, X_n)\}$ theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất.

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - a.X_i - b)^2 = \min \quad (2.67)$$

Khi đó sẽ dẫn đến hệ phương trình tuyến tính.

$$\left. \begin{aligned} [X^2]a + [X]b - [XY] &= 0 \\ [X]a + n.b - [Y] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9.68)$$

Giải hệ phương trình tuyến tính (9.68) và lưu ý công thức tính r_{XY} xác định được các tham số a, b:

$$\left. \begin{aligned} a &= r_{XY} \cdot \frac{\sqrt{\overline{X^2} - (\overline{X})^2}}{\sqrt{\overline{Y^2} - (\overline{Y})^2}} \\ b &= \overline{Y} - a.\overline{X} \end{aligned} \right\} \quad (2.69)$$

Ví dụ: Áp dụng phân tích tương quan tuyến tính đơn

Đối với các hồ chứa nước thì cao trình mực nước là yếu tố có ảnh hưởng lớn tới sự biến dạng của đập, nhất là chuyển dịch ngang. Mực nước trong hồ càng cao thì áp lực nước càng tăng, điều này có xu hướng dẫn đến độ chuyển dịch của đập càng lớn về phía hạ lưu.

Trên cơ sở số liệu quan trắc chuyển dịch của một đập thủy điện trong 43 chu kỳ (số liệu thu được trong từng chu kỳ gồm: độ cao mực nước hồ và giá trị chuyển dịch của

một mốc quan trắc), chúng tôi đã sắp xếp kết quả quan trắc theo thứ tự tăng dần của mực nước (bảng 2.8).

Bảng 2.8: Kết quả quan trắc chuyển dịch điểm quan trắc trên tuyến đập thủy điện

| Số TT | Mực nước hồ chứa H (m) | Chuyển dịch ngang Q(m) | Số TT | Mực nước hồ chứa H (m) | Chuyển dịch ngang Q(m) |
|-------|------------------------|------------------------|-------|------------------------|------------------------|
| 1 | 86,46 | 0,0206 | 23 | 105,31 | 0,0094 |
| 2 | 87,56 | 0,0246 | 24 | 105,36 | 0,0063 |
| . | . | . | . | . | . |
| . | . | . | . | . | . |
| 21 | 103,52 | 0,0159 | 43 | 116,56 | -0,0043 |
| 22 | 105,27 | 0,0070 | | | |

Việc phân tích, đánh giá chuyển dịch của điểm quan trắc được thực hiện theo 2 nội dung là kiểm tra mức độ phụ thuộc của giá trị chuyển dịch (Q) so với độ cao mực nước hồ (H) và xây dựng hàm hồi quy đặc trưng cho sự tương quan đó.

- *Xác định mối quan hệ tương quan giữa Q và H*

+ Theo công thức (8.60) và (8.63) tính được hệ số tương quan r, z:

$$r_{XY} = 0,94 ; z = 0,75$$

+ Theo công thức (8.64) tính độ lệch chuẩn σ_z :

$$\sigma_z = 0,16$$

+ Kiểm tra độ tin cậy của hệ số z theo công thức (9.65), chúng ta xác định được giữa Q và H có mối quan hệ tương quan mạnh. Do đó, chuyển sang bước 2 là xây dựng hàm hồi quy cho mối quan hệ giữa 2 đại lượng đã nêu ở trên.

- *Xây dựng hàm hồi quy*

Hàm hồi quy tuyến tính thể hiện sự phụ thuộc của chuyển dịch Q vào độ cao H có dạng:

$$Q = a.H + b$$

Dựa vào số liệu đưa ra ở bảng 2.9, chúng ta lập được hệ phương trình tuyến tính với ẩn số là tham số a và b:

$$465207,427.a + 4451,610.b = 39,997$$

$$4451,610.a + 43,000.b = 0,426$$

Giải hệ phương trình trên, xác định được vector tham số:

$$a = -0,00094; \quad b = 0,10733$$

Như vậy phương trình hồi quy thể hiện mối quan hệ giữa chuyển dịch ngang điểm quan trắc và mực nước sẽ là:

$$Q = -0,00094.H + 0,10733$$

CHƯƠNG 3: ỨNG DỤNG MÁY TÍNH TRONG PHÂN TÍCH HỒI QUY QUAN TRẮC LÚN CÔNG TRÌNH

3.1. Phương pháp giải các bài toán hồi quy bằng phần mềm tự lập

3.1.1. Modul phần mềm

- Modul lập hệ phương trình chuẩn

```
procedure ptc(i,k:integer);
begin
  for i1:=1 to k+1 do
  begin
    for i2:=i1 to k+1 do
    begin
      j:=(i2*(i2-1))DIV 2+i1;
      rnm[j]:=rnm[j]+a[i1]*a[i2];
    end;
  end;
end;
end;
{-----}
```

- Modul giải hệ phương trình chuẩn

```
procedure gptc(k:integer);
begin
  rnm[1]:=sqrt(rnm[1]);
  for i:=2 to k+1 do
  begin
    m:=i*(i-1) DIV 2+1;
    rnm[m]:=rnm[m]/rnm[1];
  end;
  for i:=2 to k+1 do
  begin
    i1:=i*(i-1)DIV 2;
    b:=rnm[i1+i];
    for j:=1 to i-1 do
    begin
      b:=b-sqr(rnm[i1+j]);
    end;
    rnm[i1+i]:=sqrt(b);
    for j:=i+1 to k+1 do
    begin
      i2:=(j*(j-1)) DIV 2;
      b:=rnm[i2+i];
      for m:=1 to i-1 do

```

```

        b:=b-rnm[i1+m]*rnm[i2+m];
    end;
    rnm[i2+i]:=b/rnm[i1+i];
end;
end;
i1:=(k*(k+1)) DIV 2;
for i:=k downto 1 do
begin
    i2:=(i*(i-1)) DIV 2;
    rnm[i1+i]:=rnm[i1+i]/rnm[i2+i];
    for j:=1 to i-1 do rnm[i1+j]:=rnm[i1+j]-rnm[i1+i]*rnm[i2+j];
end;
end;
end;
{-----}

```

- Modul nghịch đảo ma trận

```

procedure ndmt(k:integer);
begin
    for i:=k downto 1 do
    begin
        for j:=k downto i+1 do
        begin
            i1:=j*(j-1) DIV 2;
            m:=i*(i+1) DIV 2;
            b:=0.0;
            for m:=i+1 to j do
            begin
                i2:=m*(m-1) DIV 2+i;
                i3:=i1+m;
                b:=b-rnm[i2]*rnm[i3];
            end;
            for m:=j+1 to k do
            begin
                i2:=m*(m-1) DIV 2+i;
                i3:=m*(m-1) DIV 2+j;
                b:=b-rnm[i2]*rnm[i3];
            end;
            m:=i*(i+1) DIV 2;
            a[j]:=b/rnm[m];
        end;
        m:=i*(i+1) DIV 2;
        b:=1.0/rnm[m];
        for j:=i+1 to k do
        begin

```

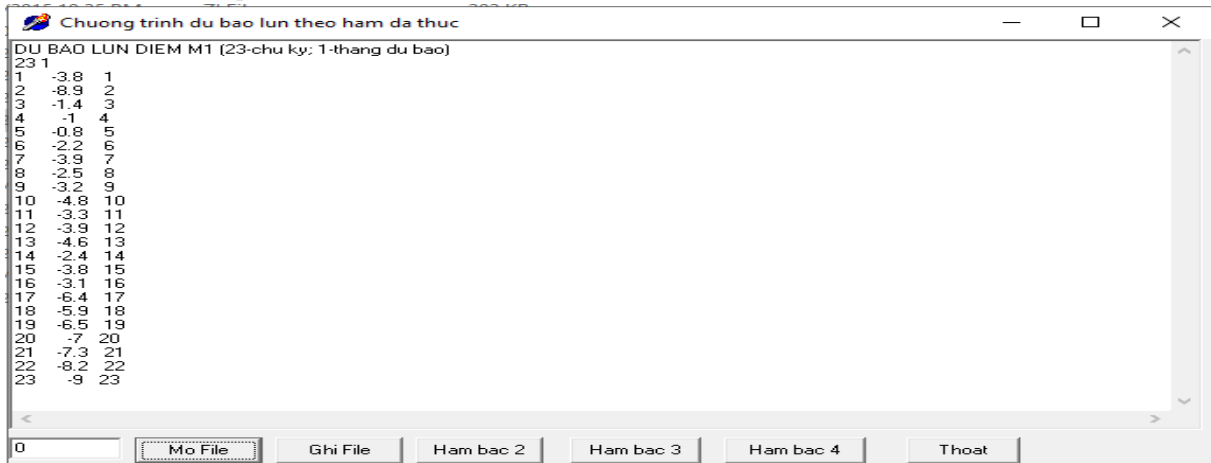
```

m:=j*(j-1) DIV 2+i;
b:=b-a[j]*rnm[m];
end;
m:=i*(i+1) DIV 2;
a[i]:=b/rnm[m];

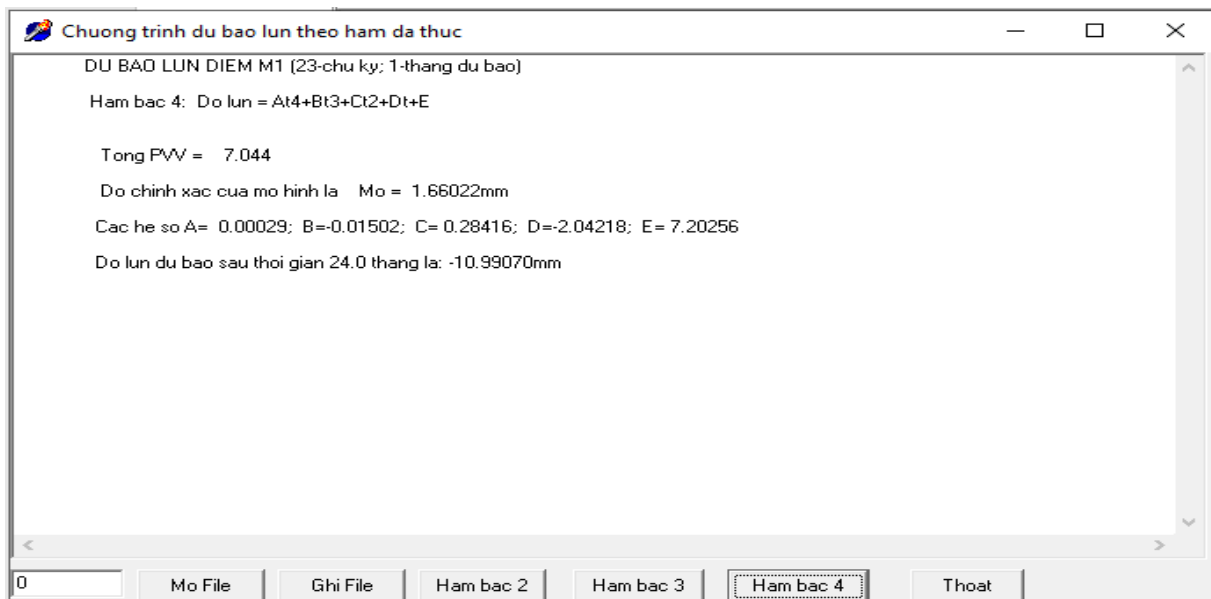
for j:=i to k do
begin
m:=j*(j-1) DIV 2+i;
rnm[m]:=a[j];
end;
end;
end;

```

3.1.2. Giao diện phần mềm



Hình 3.1. Giao diện phần mềm dự báo



Hình 3.2. Kết quả dự báo độ lún theo hàm hồi quy

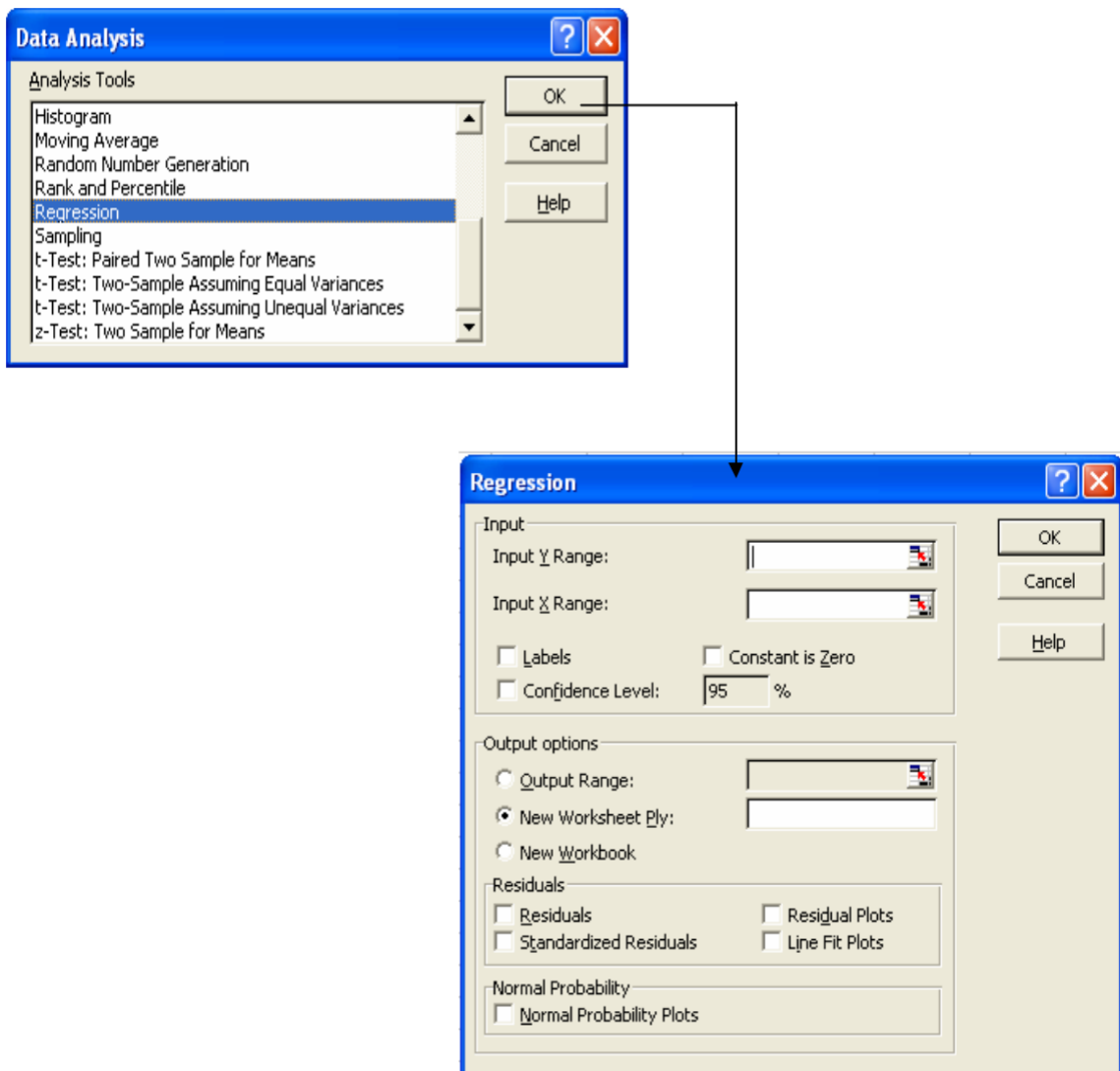
3.2. Giải các bài toán hồi quy bằng Excel

Ngoài việc sử dụng các hàm để dự báo cho mô hình hồi quy tuyến tính như đã trình bày ở phần trên, ta có thể sử dụng trình cài thêm *Regression* trong bộ phân tích dữ liệu *Data Analysis*.

3.2.1. Quy trình lập bảng hồi quy tuyến tính trong Excel

- Nhập số liệu vào bảng tính đồng thời theo từng cột hoặc đồng thời theo từng dòng.

- Chọn *Tools\ Data Analysis\ Regression, OK*. Các bảng hộp thoại lần lượt được xuất hiện như sau:



Hình 3.3. Hộp thoại khai báo các thông số của mô hình hồi quy

Một số thuật ngữ:

Input Y Range: Vùng địa chỉ chứa biến phụ thuộc Y

Input X Range: Vùng địa chỉ chứa các biến độc lập X

Labels: Tích vào mục này để khẳng định ô (các ô) đầu tiên không chứa dữ liệu hồi quy

Constant is Zero: Tích vào mục này để khẳng định hệ số tự do của hàm hồi quy tuyến tính $b = 0$

Confidence Level: Độ tin cậy của hồi quy (mặc định là 95%) bằng $1-\alpha$ với α là mức ý nghĩa hay xác suất mắc sai lầm loại bỏ H_0 trong khi H_0 đúng.

Các lựa chọn kết xuất kết quả *Output Option:*

Output Range: Vùng hoặc ô phía trên bên trái của vùng chứa kết quả

New Worksheet Ply: In kết quả ra một sheet khác

New Workbook: In kết quả ra một file Excel mới

Các lựa chọn khác *Residuals:* Tích vào các mục này để đưa ra

Residuals: Sai số do ngẫu nhiên

Standardized Residuals: Chuẩn hoá sai số

Residuals Plots: Đồ thị sai số

Line Fit Plots: Đồ thị hàm hồi quy tuyến tính

Xác suất phân phối chuẩn *Normal Probability:*

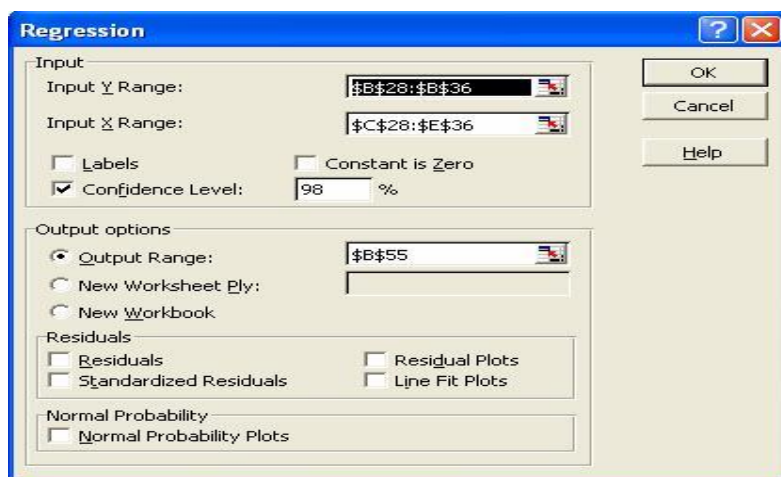
Normal Probability Plots: Đồ thị xác suất phân phối chuẩn

- Nhấn *OK* để đưa ra kết quả hồi quy.

Thay các hệ số của mô hình hồi quy tính được và các giá trị đã cho trong kỳ dự báo vào hàm hồi quy ta sẽ tính được giá trị cần dự báo.

Lại xét ví dụ 4.3 ở trên: Lợi nhuận của doanh nghiệp (y) phụ thuộc và giá thành sản phẩm (x_1), chi phí quản lý (x_2), chi phí bán hàng (x_3). Dự báo lợi nhuận của doanh nghiệp đạt được khi $x_1 = 600$, $x_2 = 35$, $x_3 = 25$ bằng công cụ *Regression* ta làm như sau:

- Nhập số liệu vào bảng tính như ở phần trên
- Chọn *Tools\ Data Analysis\ Regression, OK*. Bảng hộp thoại *Regression* xuất hiện ta điền các thông tin như trong hình sau:



Hình 3.4. Khai báo các thông số của mô hình

Nhấn OK ta được bảng kết quả sau:

| | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|----|---------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| 53 | <i>Phương pháp dự báo hồi quy sử dụng trình cài thêm REGRESSION</i> | | | | | | | | |
| 54 | | | | | | | | | |
| 55 | SUMMARY OUTPUT | | | | | | | | |
| 56 | | | | | | | | | |
| 57 | <i>Regression Statistics</i> | | | | | | | | |
| 58 | Multiple R | 0.6098111 | | | | | | | |
| 59 | R Square | 0.3718695 | | | | | | | |
| 60 | Adjusted R Square | -0.005009 | | | | | | | |
| 61 | Standard Error | 21.459017 | | | | | | | |
| 62 | Observations | 9 | | | | | | | |
| 63 | | | | | | | | | |
| 64 | ANOVA | | | | | | | | |
| 65 | | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> | | | |
| 66 | Regression | 3 | 1363.108415 | 454.37 | 0.9867 | 0.46968689 | | | |
| 67 | Residual | 5 | 2302.447141 | 460.49 | | | | | |
| 68 | Total | 8 | 3665.555556 | | | | | | |
| 69 | | | | | | | | | |
| 70 | | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 98.0%</i> | <i>Upper 98.0%</i> |
| 71 | Intercept | 322.91733 | 132.2320146 | 2.4421 | 0.0585 | -16.99533 | 662.82999 | -122.0342 | 767.86884 |
| 72 | X Variable 1 | 0.2042142 | 0.252185639 | 0.8098 | 0.4549 | -0.4440485 | 0.852477 | -0.644373 | 1.0528013 |
| 73 | X Variable 2 | 3.3211215 | 3.425372693 | 0.9696 | 0.3768 | -5.4840649 | 12.126308 | -8.205019 | 14.847262 |
| 74 | X Variable 3 | 0.4818369 | 4.994794402 | 0.0965 | 0.9269 | -12.35767 | 13.321344 | -16.3253 | 17.288972 |

3.2.2. Một số thuật ngữ trong bảng kết quả

Bảng tóm tắt **SUMMARY OUTPUT**:

Regression Statistics: Các thông số của mô hình hồi quy

Multiple R: Hệ số tương quan bội ($0 \leq R \leq 1$). Cho thấy mức độ chặt chẽ của mối liên hệ tương quan bội.

R Square: Hệ số xác định. Trong 100% sự biến động của biến phụ thuộc Y thì có bao nhiêu % sự biến động là do các biến độc lập X ảnh hưởng, còn lại là do sai số ngẫu nhiên.

Adjusted R: Hệ số xác định mẫu điều chỉnh. Là hệ số xác định có tính đến độ lớn hay nhỏ của bậc tự do *df*.

Standard Error: Sai số chuẩn của Y do hồi quy.

Observation: Số quan sát hay dung lượng mẫu.

+ Bảng phân tích phương sai ANOVA (*Analysis of variance*): *Regression*: Do hồi quy

Residual: Do ngẫu nhiên

Total: Tổng cộng

Df (Degree of freedom): Số bậc tự do

SS (Sum of Square): Tổng bình phương của mức độ (sai lệch) giữa các giá trị quan sát của Y (ký hiệu là Y_i) và giá trị bình quân của chúng

MS (Mean of Square): Phương sai hay số bình quân của tổng bình phương sai lệch kể trên

TSS (Total Sum of Square): Tổng bình phương của tất cả các mức sai lệch giữa các giá trị quan sát Y_i và giá trị bình quân của chúng Y

Do hồi quy *Regression ESS (Explained Sum of Square)* là tổng bình phương các sai lệch giữa các giá trị của biến phụ thuộc Y nhận được từ hàm hồi quy mẫu (ký hiệu Y^*_i). Độ lớn của ESS phản ánh mức độ giao động của các giá trị cá biệt của mô hình với giá trị trung bình mẫu hàm hồi quy.

$$ESS = \sum (Y^*_i - Y)^2$$

Do ngẫu nhiên *Residual RSS (Residual Sum of Square)* là tổng bình phương của tất cả các sai lệch giữa các giá trị quan sát của Y (Y_i) và các giá trị nhận được từ hàm hồi quy Y^*_i

$$RSS = \sum e^2 = \sum (Y_i - Y^*_i)^2$$

Ta có thể kiểm tra chéo như sau:

$$TSS = ESS + RSS$$

$$R^2 = ESS / TSS$$

$$SD^2 = VAR = MSS \text{ of } RSS$$

F-stat: Tiêu chuẩn F dùng làm căn cứ để kiểm định độ tin cậy về mặt khoa học (thống kê) của toàn bộ phương trình hồi quy

Significance F: F lý thuyết

+ Bảng phân tích hồi quy:

Coefficients: Cột giá trị của các hệ số hàm hồi quy:

- *Intercept*: Hệ số tự do b. Hệ số này cho thấy xuất phát điểm của đường hồi quy

- *X Variable 1, X Variable 2, X Variable 3...* là các hệ số góc của các biến tương ứng $x_1, x_2, x_3...$

Standard Error: (se) độ lệch chuẩn của mẫu theo biến x_i

t-stat: Tiêu chuẩn t dùng làm căn cứ để kiểm định độ tin cậy về mặt khoa học (thống kê) của độ co giãn a_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) tức là của mối liên hệ giữa X và Y.

P-value: Xác suất để $t > t\text{-stat}$, dùng để kiểm định độ tin cậy về mặt khoa học (thống kê) của độ co giãn a_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) tức là của mối liên hệ giữa X và Y.

Lower 95%, Upper 95%, Lower 98%, Upper 98%: là cận dưới và cận trên của khoảng ước lượng cho các tham số với độ tin cậy 95% và độ tin cậy 98%.

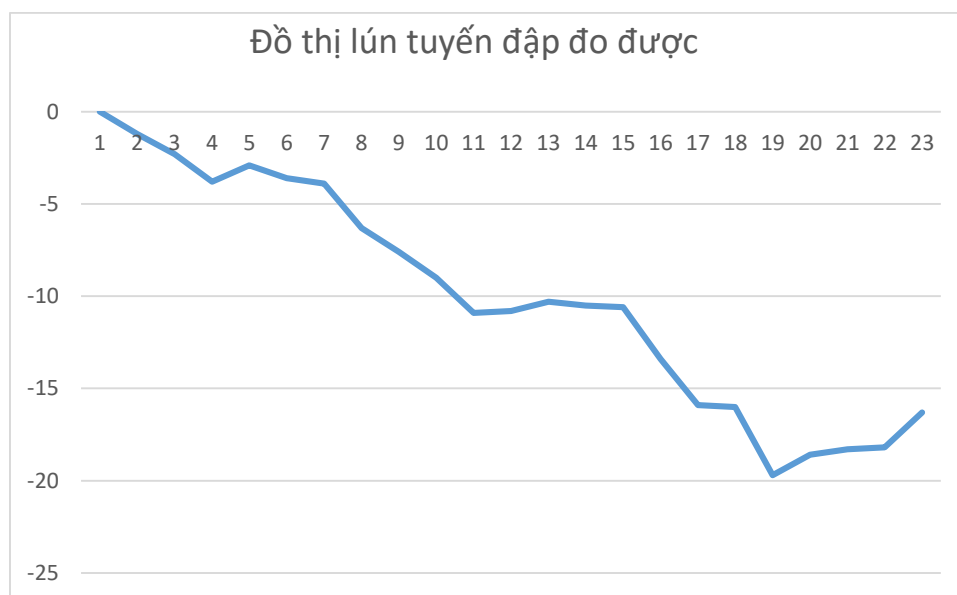
3.2.3. Thục nghiệm trên số liệu thực tế:

| Do lun_mm | Do lun_m | hs | thoi gian | Muc nuoc_so với trung bình | |
|-----------|----------|----|-----------|----------------------------|--------|
| 0 | 0 | 1 | 0 | 4.47 | 111.51 |
| -1.2 | -0.0012 | 1 | 0.06 | -4.33 | 102.71 |
| -2.3 | -0.0023 | 1 | 0.26 | -5.22 | 101.82 |
| -3.8 | -0.0038 | 1 | 0.37 | -17.42 | 89.62 |
| -2.9 | -0.0029 | 1 | 0.54 | 2.76 | 109.8 |
| -3.6 | -0.0036 | 1 | 0.64 | 10.16 | 117.2 |
| -3.9 | -0.0039 | 1 | 0.79 | 9.37 | 116.41 |
| -6.3 | -0.0063 | 1 | 1.04 | -5.18 | 101.86 |
| -7.6 | -0.0076 | 1 | 1.16 | 2.87 | 109.91 |
| -9 | -0.009 | 1 | 1.29 | -5.19 | 101.85 |
| -10.9 | -0.0109 | 1 | 1.41 | -20.2 | 86.84 |
| -10.8 | -0.0108 | 1 | 1.51 | -2.95 | 104.09 |
| -10.3 | -0.0103 | 1 | 1.54 | 0.55 | 107.59 |
| -10.5 | -0.0105 | 1 | 1.66 | 8.36 | 115.4 |
| -10.6 | -0.0106 | 1 | 1.78 | 9.68 | 116.72 |
| -13.4 | -0.0134 | 1 | 2.01 | 7.28 | 114.32 |
| -15.9 | -0.0159 | 1 | 2.2 | 4.56 | 111.6 |
| -16 | -0.016 | 1 | 2.28 | 2.07 | 109.11 |
| -19.7 | -0.0197 | 1 | 2.39 | -21.21 | 85.83 |
| -18.6 | -0.0186 | 1 | 2.52 | -2.36 | 104.68 |
| -18.3 | -0.0183 | 1 | 2.6 | 3.78 | 110.82 |
| -18.2 | -0.0182 | 1 | 2.69 | 8.81 | 115.85 |
| -16.3 | -0.0163 | 1 | 2.79 | 9.34 | 116.38 |

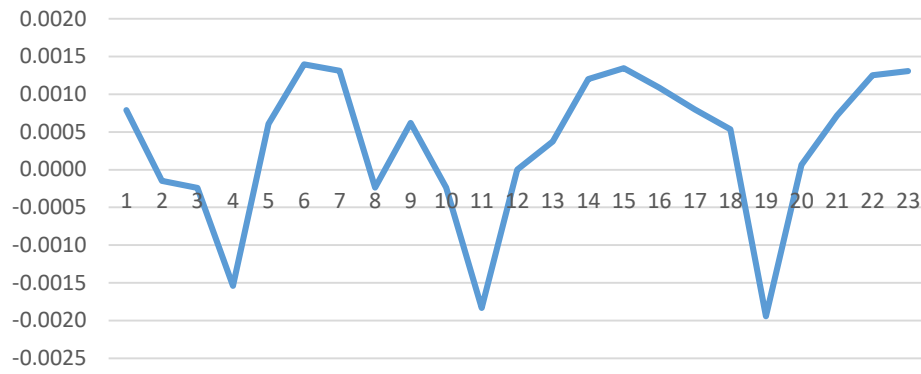
Kết quả tính hồi quy trên số liệu thực tế:

| SUMMARY OUTPUT | | | | | | | | |
|------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| <i>Regression Statistics</i> | | | | | | | | |
| Multiple R | 0.997966 | | | | | | | |
| R Square | 0.995936 | | | | | | | |
| Adjusted R Square | 0.945529 | | | | | | | |
| Standard Error | 0.000801 | | | | | | | |
| Observations | 23 | | | | | | | |
| ANOVA | | | | | | | | |
| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> | | | |
| Regression | 3 | 0.003142 | 0.001047 | 1633.651 | 4.28E-23 | | | |
| Residual | 20 | 1.28E-05 | 6.41E-07 | | | | | |
| Total | 23 | 0.003155 | | | | | | |
| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
| Intercept | 0 | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A | #N/A |
| Hs | 0.000314 | 0.00033 | 0.949803 | 0.35355 | -0.00038 | 0.001003 | 0.00038 | 0.001003 |
| thoi gian | -0.00708 | 0.000196 | -36.1931 | 1.05E-19 | -0.00749 | -0.00667 | 0.00749 | -0.00667 |
| Muc nuoc_so với trung bình | 0.000106 | 1.85E-05 | 5.742486 | 1.28E-05 | 6.77E-05 | 0.000145 | 6.77E-05 | 0.000145 |

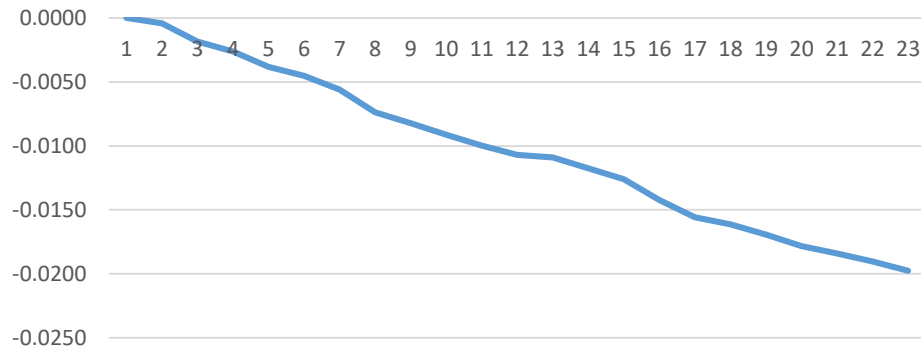
Đồ thị hồi quy trên số liệu thực tế:



Đồ thị lún tuyến đập do tác động của mực nước hồ chứa và ngoại cảnh



Đồ thị độ lún tuyến đập do tải trọng và thời gian



KẾT LUẬN

1. Ứng dụng tin học trong xây dựng phương trình hồi quy và phân tích biến dạng công trình mang lại hiệu quả cao trong công tác đánh giá và kiểm tra chuyển dịch biến dạng của công trình.
2. Ứng dụng phần mềm tự lập xây dựng phương trình hồi quy và phân tích biến dạng công trình có tính chủ động cao trong công việc, tuy nhiên phần mềm này không được phổ biến ngoài thực tế sản xuất do giao diện chưa được hoàn thiện và chưa có sơ đồ biểu diễn.
3. Ứng dụng Excel xây dựng phương trình hồi quy và phân tích biến dạng công trình có tính phổ thông cao, giao diện đẹp và đưa ra được đồ thị hồi quy trên số liệu thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCVN 9360:2012 *Quy trình kỹ thuật xác định độ lún bằng phương pháp đo cao hình học.*
2. Trần Mạnh Nhất, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ xây dựng RD 25-05 *Quy trình kỹ thuật kiểm soát kích thước hình học, độ nghiêng nhà cao tầng và công trình có chiều cao lớn.*
3. Quy phạm Trắc địa công trình nước cộng hòa nhân dân Trung Hoa 2008.
4. TCVN 9399:2012 *Nhà và công trình xây dựng - Xác định chuyển dịch ngang bằng phương pháp trắc địa.*
5. TCVN 9401:2012 *Kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình.*
6. TCVN 9400:2012 *Nhà và công trình dạng tháp – Xác định độ nghiêng bằng phương pháp trắc địa.*
7. TCVN 198:1997 *Nhà cao tầng – Thiết kế kết cấu bê tông cốt thép toàn khối.*
8. Hoàng Ngọc Hà, Trương Quang Hiếu(1999), *Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa.* Nhà xuất bản Giao thông vận tải, Hà Nội.
9. Hoàng Ngọc Hà (2006), *Bình sai tính toán lưới trắc địa và GPS*, NXB Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
10. Trần Khánh (1996), *Thuật toán bình sai lưới tự do và ứng dụng trong xử lý số liệu trắc địa công trình.* Tuyển tập các công trình Khoa học- Đại học mỏ địa chất, tập XXI, Hà Nội.
11. Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc (2010), *Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình*, NXB Giao thông Vận tải, Hà Nội.
12. Hoàng Xuân Thành, Luận án tiến sĩ, 5/2007 *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ mới trong quan trắc biến dạng công trình thủy lợi – thủy điện ở Việt Nam,.*
13. Hoàng Ngọc Hà, Trương Quang Hiếu (1999), *Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa*, NXB Giao thông vận tải, Hà Nội.
14. Phan Văn Hiến (1997), *Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình*, Trường đại học Mỏ- Địa chất, Hà nội.
15. Trần Khánh (2003), *Nghiên cứu quy trình công nghệ công tác quan trắc biến dạng công trình thủy điện*, Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp bộ (Bộ Giáo dục và Đào tạo), Mã số. B2000-36-14, 5/2003.

