

Xây dựng tiêu chí lựa chọn phương pháp đánh giá độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình

Develop criteria for selecting methods to evaluate the stability of standard network elevations in monitoring construction subsidence

> ĐOÀN THỊ BÍCH NGỌC

Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; Email: ngocdtb@hcmunre.edu.vn

TÓM TẮT

Trước yêu cầu khách quan của thực tế sản xuất, việc lựa chọn ra phương pháp phù hợp để đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc độ cao cơ sở cho khách quan, khoa học, xác thực hơn là điều đặc biệt cần thiết đối với người làm công tác trắc địa công trình. Bài báo đã phân tích cơ sở lý thuyết, ưu và nhược điểm của bốn phương pháp: Kostekhel, thuật toán bình sai truy hồi, thuật toán bình sai lưới tự do, phân tích tương quan từ đó xây dựng ra các tiêu chí nhằm lựa chọn ra phương pháp đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở cho phù hợp.

Từ khóa: Bình sai lưới tự do; bình sai truy hồi; quan trắc lún công trình; Kostekhel; phân tích tương quan; sự ổn định của mốc độ cao.

ABSTRACT

In light of practical production needs, choosing a suitable method to objectively, scientifically, and authentically assess the stability of standard network elevations is essential, especially for construction surveyors. This article examines the theoretical underpinnings, as well as the advantages and disadvantages, of four methods: Kostekhel, recurrent adjustment algorithm, Free network adjustment algorithm, and correlation analysis. From this examination, criteria are developed for selecting methods to evaluate the stability of standard network elevations during the monitoring of construction subsidence.

Key words: Free network adjustment; recurrent adjustment; monitoring construction subsidence; Kostekhel; correlation analysis; stability of elevation marks.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ.

Công tác theo dõi và đánh giá mức độ ổn định của các công trình xây dựng là một trong những công tác quan trọng và được thực hiện ngay từ giai đoạn đặt nền móng công trình cho đến khi công trình được đánh giá

là ổn định và thậm chí diễn ra theo tuổi thọ của công trình. Với các công trình đòi hỏi độ ổn định cao thì yêu cầu về độ chính xác quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình càng cao. Do đó lưới khống chế cơ sở độ cao phải đảm bảo độ chính xác để làm cơ sở quan trắc chuyển dịch thẳng đứng công trình đó. Độ ổn định của các mốc độ cao cơ sở đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá độ chuyển dịch biến dạng của công trình. Trước yêu cầu khách quan của thực tế sản xuất, nhiều phương pháp nhằm đánh giá độ ổn định của các mốc độ cao cơ sở ra đời, tuy nhiên mỗi phương pháp cũng có ưu và nhược điểm riêng. Việc tìm ra phương pháp phù hợp để đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc cơ sở cho khách quan, khoa học, xác thực hơn đang được sự quan tâm của nhiều người làm công tác trắc địa công trình. Đã có nhiều nghiên cứu về công tác đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình, tuy nhiên hầu như các nghiên cứu chỉ tập chung nhiều nhất vào phương pháp Thuật toán bình sai lưới tự do. Các nghiên cứu chưa xem xét, phân tích và so sánh giữa nhiều phương pháp với nhau, từ đó chưa đưa ra được lựa chọn về phương pháp phù hợp để phân tích độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở theo những yêu cầu cụ thể được đặt ra. Bài báo này sẽ phân tích bốn phương pháp dùng để đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở, bao gồm: Phương pháp Kostekhel, phương pháp thuật toán bình sai toán truy hồi, phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do và phương pháp phân tích tương quan. Từ đó xây dựng một số tiêu chí nhằm lựa chọn được phương pháp phù hợp trong những trường hợp có yêu cầu cụ thể.

2. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA HỆ THỐNG MỐC ĐỘ CAO CƠ SỞ

Để có thể đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở, dưới đây bài báo sẽ trình bày quy trình thực hiện thông qua các bước của bốn phương pháp: Phương pháp Kostekhel, phương pháp thuật toán bình sai truy hồi, phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do và phương pháp phân tích tương quan.

2.1. Phương pháp Kostekhel

Đây là phương pháp phân tích dựa trên nguyên tắc độ cao không đổi của mốc ổn định nhất trong lưới và được thực hiện với từng chu kỳ như sau [3, 8]:

Bước 1. Bình sai lưới độ cao cơ sở tự do, với ma trận độ cao gần đúng là độ cao bình sai của chu kỳ liền kề trước và ma trận định vị $C^T = (1 \ 1 \dots 1)$, để thu được chênh cao bình sai và độ cao bình sai của các mốc.

Bước 2. Xác định mốc được chọn làm mốc gốc: Lần lượt chọn các mốc độ cao cơ sở làm mốc gốc để tính độ cao và lượng dịch chuyển cho

các mốc còn lại. Mốc được chọn làm mốc gốc nếu thỏa mãn hai điều kiện, thứ nhất là tổng bình phương dịch chuyển của nó là bé nhất; thứ hai là giá trị tuyệt đối dịch chuyển trung bình của mốc là bé nhất.

Bước 3. Bình sai lưới độ cao cơ sở tự do bậc 0: Bình sai lưới độ cao cơ sở với một mốc đã biết độ cao, chính là mốc độ cao được chọn làm gốc và có độ cao của chính nó ở chu kỳ liên kế trước.

Bước 4. Kiểm tra mốc dịch chuyển: Độ ổn định của các mốc (khác mốc được chọn làm gốc) được kiểm tra qua công thức $|\Delta H_i| \leq t \cdot \mu \cdot \sqrt{2Q_i}$ (1) trong đó: ΔH_i - là trị dịch chuyển của mốc i ; t là sai số chuẩn với $t = 2 + 3$; μ là sai số trung bình trọng số đơn vị; Q_i là trọng số đảo cao độ của mốc i . Các mốc có dịch chuyển thỏa mãn công thức (1) là các mốc ổn định và ngược lại.

2.2. Phương pháp thuật toán bình sai truy hồi

Sử dụng phương pháp thuật toán bình sai truy hồi để đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở nhằm: Phát hiện dịch chuyển (theo phương thẳng đứng) của các mốc giữa các chu kỳ và nếu giữa các chu kỳ đo không có mốc nào dịch chuyển (không ổn định) thì bình sai kết hợp tất cả các chu kỳ cho đến thời điểm hiện tại. Do đó phương pháp này sẽ được thực hiện như sau [4]:

Bước 1. Bình sai riêng biệt chu kỳ hiện tại s : Lưới độ cao cơ sở tự do được bình sai theo phương pháp bình sai truy hồi để có thể kiểm tra và loại bỏ sai số thô nếu có. Sau khi bình sai chu kỳ hiện tại s sẽ thu được: Trọng số đảo của độ cao các mốc Q_H^s , độ cao các mốc H^s .

Bước 2. Bình sai liên kết chu kỳ s với các chu kỳ trước đó: Trước chu kỳ s đã có $(s-1)$ chu kỳ được bình sai đồng thời và xác định được: Trọng số đảo của độ cao các mốc \bar{Q}_H^{s-1} , độ cao các mốc \bar{H}^{s-1} và dạng toàn phương $\bar{\phi}^{s-1}$. Bình sai chu kỳ s liên kết với $(s-1)$ chu kỳ trước đó sẽ thu được: Lượng dịch chuyển của mốc $\Delta H = H^s - \bar{H}^{s-1}$; trọng số đảo độ lún của mốc $\bar{Q}_{\Delta H}^s = \bar{Q}_H^{s-1} + Q_H^s$; độ cao các mốc $\bar{H}^s = H^s - Q_H^s \cdot (\bar{Q}_{\Delta H}^s)^{-1} \cdot \Delta H$.

Bước 3. Kiểm tra mốc dịch chuyển: Kiểm tra mốc i có bị dịch chuyển ở chu kỳ s hay không thông qua công thức $\Delta H_i^s \leq t \cdot \mu \cdot \sqrt{\bar{Q}_{\Delta H_i}^s}$ (2), với t có giá trị $2 + 3$, μ là sai số trung bình trọng số đơn vị, $\bar{Q}_{\Delta H_i}^s$ là phần tử nằm trên đường chéo chính của ma trận $\bar{Q}_{\Delta H}^s$ ứng với điểm i đang xét. Trong trường hợp mốc i thỏa mãn công thức (2), thì mốc i hoàn toàn ổn định, ngược lại mốc i không ổn định. Trong trường hợp phát hiện ra một mốc nào đó không ổn định thì cần quay lại thực hiện bước 1 và tính toán lại giá trị độ cao gắn đúng cho mốc dịch chuyển, cũng như thay đổi điều kiện định vị C ứng với mốc không ổn định sẽ có giá trị bằng 0. Sau đó tiến hành kiểm tra độ ổn định của các mốc còn lại.

2.3. Phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do

Đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở theo phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do có thể được tiến hành theo các bước như sau [2, 3]:

Bước 1. Bình sai lưới độ cao cơ sở tự do, với ma trận độ cao gắn đúng là độ cao bình sai của chu kỳ liên kế trước và ma trận định vị $C^T = (1 \ 1 \dots \ 1)$.

Bước 2. Xác định lượng dịch chuyển của mốc $\Delta H = -N^- \cdot M$ với N^- là ma trận nghịch đảo tổng quát, M là ma trận số hạng tự do của hệ phương trình chuẩn.

Bước 3. Kiểm tra mốc dịch chuyển: Kiểm tra mốc i tại chu kỳ j có bị dịch chuyển so với chu kỳ $(j-1)$ hay không thông qua công thức $\Delta H_i = t \cdot \sqrt{\mu_j^2 \cdot Q_i^j + \mu_{j-1}^2 \cdot Q_i^{j-1}}$ (3), với Q_i^j, Q_i^{j-1} là phần tử thứ i nằm trên đường chéo chính của ma trận N^- ứng với chu kỳ j và $(j-1)$, μ là sai số trung bình trọng số đơn vị. Nếu thỏa mãn công thức (3) thì mốc i ổn định. Ngược lại thì mốc i không ổn định, lúc này cần quay trở lại thực hiện bước 1 và thay đổi điều kiện định vị C ứng với mốc không ổn định sẽ có giá trị bằng 0.

2.4. Phương pháp phân tích tương quan.

Phương pháp dựa trên phân tích quan hệ giữa các trị đo chênh cao của cùng một đoạn đo ở các chu kỳ khác nhau để xác định mốc độ cao cơ sở ổn định [7], do vậy phương pháp chỉ đạt độ tin cậy khi đã có số liệu quan trắc từ 10 chu kỳ trở lên [6]. Đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc lưới độ cao cơ sở theo phương pháp phân tích tương quan có thể được tiến hành theo các bước như sau [1, 5]:

Bước 1. Bình sai lưới độ cao cơ sở tự do với n chu kỳ đo, chọn ma trận độ cao gắn đúng là độ cao bình sai của chu kỳ liên kế trước và ma trận định vị $C^T = (1 \ 1 \dots \ 1)$, tính các yếu tố cần thiết như chênh cao trung bình mỗi đoạn đo trong n chu kỳ đo, độ lệch của các chênh cao trong từng đoạn so với chênh cao trung bình.

Bước 2. Kiểm định độ ổn định của trị chênh cao bình sai trong n chu kỳ đo: thông qua bài toán kiểm định thống kê với đại lượng thống kê để kiểm định là $F = m_{h_i}^2 / m_{h_{ij}}^2$, với $m_{h_{ij}}$ là sai số trung bình của chênh cao bình sai thứ i thu được ở chu kỳ j ; m_{h_i} là sai số trung bình của trị chênh cao trung bình thứ i từ n chu kỳ đo. Đại lượng thống kê tuân theo luật phân bố Fisher với số bậc tự do $\{(n(n-1), r)\}$, chọn mức xác suất α và tra được giá trị $f_{\alpha, \{(n(n-1), r)\}}$. Nếu $f_p \leq f_{\alpha}$ thì chênh cao bình sai h_i' ổn định trong n chu kỳ và ngược lại, với $r = 1$ [1].

Bước 3. Xác định chu kỳ có chênh cao không ổn định: thông qua bài toán kiểm định thống kê với giả thiết là các giá trị chênh cao bình sai là không đổi so với chênh cao của chu kỳ liên kế trước. Đại lượng thống kê được sử dụng $Z = \frac{h_{ij} - h_{i,j-1}}{m_{h_{ij}}} \sqrt{2}$ [5] sẽ có luật phân bố chuẩn $N(0,1)$,

chọn mức xác suất α và xác định z_{α} . Nếu $|Z_p| \leq z_{\alpha}$ thì chênh cao i tại chu kỳ j là ổn định và ngược lại.

Bước 4. Xác định mốc độ cao cơ sở ổn định và không ổn định trong n chu kỳ: thông qua bài toán kiểm định thống kê với đại lượng thống kê được sử dụng là $D = \frac{R_{max}}{m_{\Delta CS}}$ có quy luật phân bố D-Smirnow với số bậc tự do là $(n-1)$; $m_{\Delta CS}$ là sai số trung bình xác định độ lún của mốc lưới độ cao cơ sở; $R_{max} = \Delta'_{max} - \Delta'_{min}$ là hiệu của giá trị độ lún lớn nhất với giá trị độ lún nhỏ nhất. Chọn mức xác suất α và xác định $d_{\alpha(n-1)}$. Nếu $d \leq d_{\alpha}$ thì mốc i ổn định trong n chu kỳ và ngược lại.

Bước 5. Xác định mốc không ổn định trong chu kỳ cụ thể: Kết hợp giữa việc phát hiện ra mốc ổn định hay không ổn định trong n chu kỳ với việc đã xác định được chu kỳ có chênh cao không ổn định để đưa ra kết luận mốc nào ở chu kỳ nào là không ổn định.

3. PHÂN TÍCH, SO SÁNH KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ĐỘ ỔN ĐỊNH MỐC ĐỘ CAO CƠ SỞ

Để có thể đưa ra quyết định hợp lý khi lựa chọn phương pháp đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình, bài báo tiến hành phân tích và so sánh giữa các phương pháp đã nêu.

3.1. Phương pháp Kostekhel

Là phương pháp mà trong mỗi chu kỳ luôn coi một mốc làm mốc gốc, tức dịch chuyển của mốc được chọn làm gốc bằng 0 so với chu kỳ liên kế trước, chính điều đó đã phản ánh không đúng thực tế chuyển dịch của các mốc trong lưới, vì bản thân mốc được chọn làm mốc gốc cũng có dịch chuyển và khi coi nó không dịch chuyển sẽ càng làm sai lệch sự dịch chuyển của các mốc còn lại. Với phương pháp này, điều kiện để coi một mốc nào đó là ổn định giữa hai chu kỳ phải thỏa mãn công thức (1), tức là dựa vào nguyên tắc "sai số giới hạn cực đại", điều này là hệ quả của luật phân bố xác suất xuất hiện các sai số ngẫu nhiên. Nếu trong các trị đo xác định được thông qua các mốc cơ sở mà còn tồn tại một lượng sai số thô hay sai số hệ thống thì nó sẽ làm mất tính khách quan của các trị đo.

3.2. Phương pháp thuật toán bình sai truy hồi

Là phương pháp có ưu điểm nổi bật so với tất cả các phương pháp đã nêu vì có thể bình sai liên kết giữa các chu kỳ và có thể phát hiện và loại bỏ được các trị đo có chứa sai số thô. Điều kiện để coi một mốc

là ổn định ở chu kỳ đang xét là phải thỏa mãn công thức (2), phương pháp này cũng dựa vào nguyên tắc sai số giới hạn cực đại. Khi có một mốc trong lưới không ổn định ở một chu kỳ nào đó, thì tại chu kỳ đấy công thức (2) sẽ thể hiện các điểm định vị trong ma trận C ở chu kỳ đang xét với chu kỳ so sánh là như nhau, dẫn đến giá trị giới hạn cho phép để phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở cũng chưa thật sự được phản ánh chính xác. Tuy nhiên, đây là phương pháp có quy trình tính toán rõ ràng, dễ hiểu và có khả năng tự động hóa.

3.3. Phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do

Là phương pháp thực hiện quy trình tính toán nhích dần để loại bỏ mốc độ cao cơ sở không ổn định. Trong quy trình này, điều kiện để coi một mốc ổn định ở chu kỳ đang xét là phải thỏa mãn công thức (3), có thể thấy đây vẫn dựa trên nguyên tắc sai số cực đại, tuy nhiên nó có ưu điểm ở chỗ đã coi ma trận định vị C trong hai chu kỳ đo là khác nhau, điều này dẫn đến giá trị giới hạn cho phép để phân tích độ ổn định của mốc lưới được xác định chính xác hơn. Quy trình tính toán của phương pháp này có khả năng tự động hóa.

Bảng 1. Bảng so sánh khả năng ứng dụng của các phương pháp.

Phương pháp	Ưu điểm	Nhược điểm
Kostekhel	- Ứng dụng được khi chỉ có 2 chu kỳ đo lặp. - Khả năng tự động hóa cao	- Làm sai lệch phần nào dịch chuyển thực tế của mốc. - Điều kiện phân tích độ ổn định mốc dựa vào nguyên tắc “sai số giới hạn cực đại”.
Thuật toán bình sai truy hồi	- Ứng dụng được khi chỉ có 2 chu kỳ đo lặp và có khả năng xử lý liên kết nhiều chu kỳ với nhau. - Khi bình sai riêng biệt từng chu kỳ đều phân tích dựa trên bình sai lưới tự do hoàn toàn. - Loại bỏ được trị đo có chứa sai số thô. - Phản ánh chuyển dịch thực tế của mốc. - Khả năng tự động hóa cao.	- Điều kiện phân tích độ ổn định mốc dựa vào nguyên tắc “sai số giới hạn cực đại”. - Ở các chu kỳ khác nhau lưới tự do có thể được định vị theo điều kiện C khác nhau.
Thuật toán bình sai lưới tự do	- Ứng dụng được khi chỉ có 2 chu kỳ đo lặp. - Trong mỗi chu kỳ đều phân tích dựa trên bình sai lưới tự do hoàn toàn. - Phản ánh chuyển dịch thực tế của mốc. - Công thức xác định giá trị giới hạn để đánh giá độ ổn định mốc độ cao cơ sở hợp lý. - Khả năng tự động hóa cao.	- Ở các chu kỳ khác nhau lưới tự do có thể được định vị theo điều kiện C khác nhau. - Điều kiện phân tích độ ổn định mốc dựa vào nguyên tắc “sai số giới hạn cực đại”.
Phân tích tương quan	- Cách phân tích và đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao có cơ sở khoa học chặt chẽ. - Phản ánh chuyển dịch thực tế của mốc.	- Chỉ đạt độ tin cậy khi có số liệu quan trắc từ 10 chu kỳ trở lên. - Quy trình thực hiện phức tạp, khối lượng tính toán lớn.

4. XÂY DỰNG TIÊU CHÍ LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP ĐÁNH GIÁ ĐỘ ỔN ĐỊNH MỐC LƯỚI ĐỘ CAO CƠ SỞ

4.1. Xây dựng tiêu chí lựa chọn

Để lựa chọn được một phương pháp phù hợp phải dựa trên một số tiêu chí cơ bản của bài toán đánh giá độ ổn định mốc độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình. Các tiêu chí này phải đạt được các mục tiêu cuối cùng của bài toán với chất lượng tốt nhất. Đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình có thể được xây dựng trên một số tiêu chí cơ bản sau:

- ✓ **Tiêu chí 1.** Được xây dựng trên cơ sở toán học chặt chẽ và phải phù hợp với thực tế chuyển dịch các mốc.
- ✓ **Tiêu chí 2.** Quy trình tính toán đơn giản, rõ ràng, dễ hiểu và có khả năng tự động hóa cao.
- ✓ **Tiêu chí 3.** Không phụ thuộc nhiều vào số lượng mốc cần đánh giá độ ổn định và thời điểm cần đánh giá độ ổn định của các mốc.
- ✓ **Tiêu chí 4:** Kiểm tra và loại bỏ được sai số thô khỏi quá trình đánh giá độ ổn định của các mốc cơ sở.

Dựa vào bốn tiêu chí đã xây dựng, bài báo sẽ đi phân tích khả năng ứng dụng của các phương pháp đánh giá độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở trong quan trắc lún công trình đã được đề cập. Dựa trên các phân tích này để lựa chọn phương pháp sao cho hợp lý với yêu cầu cụ thể đề ra.

pháp này có khả năng tự động hóa, tính phổ cập cao, dễ hiểu, dễ thao tác. Trong mỗi chu kỳ đều phân tích dựa trên bình sai lưới tự do hoàn toàn, điều này không làm mất đi tính thực tế của các chuyển động mốc.

3.4. Phương pháp phân tích tương quan

Là phương pháp đánh giá độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở dựa trên việc phân tích sai số trung phương thông qua bài toán kiểm định thống kê nên có ưu điểm là cách phân tích và đánh giá có cơ sở khoa học chặt chẽ bởi vì phương pháp không ứng dụng ngay hệ quả “sai số cực đại”. Tuy nhiên phương pháp này chỉ đạt độ tin cậy khi có số liệu quan trắc từ 10 chu kỳ trở lên, điều này gây khó khăn trong áp dụng thực tế vì từ chu kỳ đo thứ hai đã cần phân tích độ ổn định của các mốc trong lưới. Phương pháp này cũng thể hiện một nhược điểm nữa là quy trình thực hiện đòi hỏi qua nhiều bước tính toán phức tạp, khối lượng công việc rất lớn đặc biệt là đối với lưới độ cao cơ sở có số lượng mốc và trị đo chênh cao lớn.

4.2. Lựa chọn phương pháp hợp lý để đánh giá độ ổn định mốc độ cao cơ sở dựa trên các tiêu chí

✓ **Tiêu chí 1.**

Một phương pháp thỏa mãn tiêu chí 1 phải là phương pháp với cơ sở lý thuyết được xây dựng có cơ sở khoa học và đáp ứng được các mục tiêu cơ bản của bài toán đánh giá độ ổn định mốc là phản ánh được thực tế của chuyển dịch mốc.

Bảng 2. Phân tích mức độ thỏa mãn tiêu chí 1 của các phương pháp.

Phương pháp	Phân tích	Đánh giá mức độ phù hợp
Kostekhel	- Có cơ sở khoa học nhất định. - Phản ánh chưa phù hợp với thực tế chuyển dịch của mốc.	Không phù hợp
Thuật toán bình sai truy hồi	- Có cơ sở khoa học nhất định. - Phản ánh phù hợp với thực tế chuyển dịch của.	Phù hợp
Thuật toán bình sai lưới tự do	- Có cơ sở khoa học nhất định. - Phản ánh phù hợp với thực tế chuyển dịch của mốc.	Phù hợp
Phân tích tương quan	- Có cơ sở khoa học chặt chẽ. - Phản ánh phù hợp với thực tế chuyển dịch của mốc.	Rất phù hợp

Như vậy, khi yêu cầu đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở mà phương pháp đánh giá phải có cơ sở khoa học và xác định được lượng chuyển dịch của mốc sát với thực thể nhất thì nên lựa chọn phương pháp Phân tích tương quan.

✓ **Tiêu chí 2.**

Tiêu chí 2 đòi hỏi quy trình tính toán đơn giản, rõ ràng, dễ hiểu và có khả năng tự động hóa cao.

Bảng 3. Phân tích mức độ thỏa mãn tiêu chí 2 của các phương pháp.

Phương pháp	Phân tích	Đánh giá mức độ phù hợp
Kostekhel	- Quy trình tính toán đơn giản, rõ ràng, dễ hiểu - Có khả năng tự động hóa cao	Phù hợp
Thuật toán bình sai truy hồi	- Quy trình tính toán đơn giản, rõ ràng, dễ hiểu - Có khả năng tự động hóa cao	Phù hợp
Thuật toán bình sai lưới tự do	- Quy trình tính toán đơn giản, rõ ràng, dễ hiểu - Có khả năng tự động hóa cao	Phù hợp
Phân tích tương quan	- Quy trình thực hiện phức tạp, khối lượng tính toán lớn. - Khả năng tự động hóa không cao	Không phù hợp

Nếu khi đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở mà yêu cầu phương pháp sử dụng phải có quy trình tính toán đơn giản, rõ ràng, dễ hiểu và có khả năng tự động hóa cao thì nên lựa chọn phương pháp Kostekhel, phương pháp Thuật toán bình sai truy hồi và phương pháp Thuật toán bình sai lưới tự do, không nên chọn phương pháp Phân tích tương quan.

✓ Tiêu chí 3.

Tiêu chí 3 đòi hỏi phương pháp đánh giá sử dụng không phụ thuộc nhiều vào số lượng mốc cần đánh giá độ ổn định và thời điểm cần đánh giá độ ổn định các mốc. Đây là một trong những tiêu chí rất quan trọng trong thực tiễn sản xuất.

Bảng 4. Phân tích mức độ thỏa mãn tiêu chí 3 của các phương pháp.

Phương pháp	Phân tích	Đánh giá mức độ phù hợp
Kostekhel	- Khối lượng tính toán càng lớn khi lưới càng nhiều mốc. - Ứng dụng được khi chỉ có 2 chu kỳ đo lặp.	Ít phù hợp
Thuật toán bình sai truy hồi	- Không phụ thuộc vào số lượng mốc trong lưới. - Ứng dụng được khi chỉ có 2 chu kỳ đo lặp.	Phù hợp
Thuật toán bình sai lưới tự do	- Không phụ thuộc vào số lượng mốc trong lưới. - Ứng dụng được khi chỉ có 2 chu kỳ đo lặp.	Phù hợp
Phân tích tương quan	- Khối lượng tính toán càng lớn khi lưới càng nhiều mốc. - Chỉ phù hợp để đánh giá khi số lượng chu kỳ ≥ 10	Không phù hợp

Nếu khi đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở mà yêu cầu phương pháp sử dụng có khối lượng tính toán không phụ thuộc vào số lượng mốc trong hệ thống lưới và thời điểm cần đánh giá độ ổn định mốc, thì nên lựa chọn phương pháp Thuật toán bình sai lưới tự do và phương pháp Thuật toán bình sai truy hồi, đặc biệt không nên chọn phương pháp Phân tích tương quan, vì khối lượng tính toán sẽ rất lớn khi số lượng mốc độ cao nhiều.

✓ Tiêu chí 4.

Là tiêu chí yêu cầu trong quá trình đánh giá độ ổn định của hệ thống mốc gốc phải kiểm tra được sự có mặt của các trị đo thô và loại bỏ nó ra khỏi quá trình tính toán.

Bảng 5. Phân tích mức độ thỏa mãn tiêu chí 4 của các phương pháp.

Phương pháp	Phân tích	Đánh giá mức độ phù hợp
Kostekhel	Quy trình tính toán không phát hiện và loại bỏ được sai số thô.	Không phù hợp
Thuật toán bình sai truy hồi	Kiểm tra được sự có mặt của sai số thô và loại bỏ ra khỏi quá trình tính toán	Phù hợp
Thuật toán bình sai lưới tự do	Quy trình tính toán không phát hiện và loại bỏ được sai số thô.	Không phù hợp
Phân tích tương quan	Quy trình tính toán không phát hiện và loại bỏ được sai số thô.	Không phù hợp

Nếu khi đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở mà yêu cầu phương pháp sử dụng phải phát hiện và loại bỏ được sai số thô trong quá trình tính toán, thì lựa chọn phương pháp duy nhất là Thuật toán bình truy hồi.

5. KẾT LUẬN

Với việc xây dựng bốn tiêu chí lựa chọn phương pháp đánh giá độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở, đã cho thấy sự phù hợp khác nhau của mỗi phương pháp đối với những trường hợp có yêu cầu cụ thể khác nhau. Không nên sử dụng tùy tiện bất kỳ phương pháp đánh giá nào để tiến hành phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở khi chưa có sự cân nhắc và xem xét.

Phương pháp Phân tích tương quan phù hợp trong khi đánh giá độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở mà yêu cầu quy trình tính toán có cơ sở khoa học chặt chẽ đồng thời phản ánh đúng dịch chuyển thực tế của mốc.

Phương pháp Thuật toán bình sai truy hồi, phương pháp Thuật toán bình sai lưới tự do và phương pháp Kostekhel phù hợp khi phân tích độ ổn định của mốc lưới độ cao cơ sở mà yêu cầu quy trình tính toán đơn giản, dễ thực hiện và khả năng tự động hóa cao.

Phương pháp Thuật toán bình sai truy hồi, phương pháp Thuật toán bình sai lưới tự do phù hợp khi đánh giá độ ổn định của lưới độ cao cơ sở khi chỉ có hai chu kỳ đo lặp và lưới có số lượng mốc bất kỳ.

Phương pháp Thuật toán bình sai truy hồi là phương pháp duy nhất đáp ứng yêu cầu trong quá trình đánh giá độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở có thể phát hiện và loại bỏ được sai số thô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ThS. Tống Thị Hạnh, ThS. Bùi Thị Kiên Trinh (2011), *Ứng dụng toán thống kê để đánh giá độ ổn định mốc cơ sở đo lún công trình từ kết quả đo nhiều chu kỳ*, Tạp chí Khoa học Đò Đạc và Bản đồ số 16-6/2011, trang 19.
- [2]. Trần Khánh, Nguyễn Quang Phúc (2010), *Quan trắc chuyển dịch và biến dạng công trình*, NXB Giao thông Vận tải, Hà Nội 2010.
- [3]. Đào Xuân Lộc, *Trắc địa công trình trong thi công xây dựng hầm và quan trắc biến dạng công trình*, Nhà xuất bản Đại học quốc gia TP.HCM, 2008.
- [4]. ThS Đoàn Thị Bích Ngọc, TS Đặng Xuân Trường, ThS Lê Thùy Linh (2022), *Ứng dụng phương pháp Markuze vào phân tích độ ổn định mốc lưới độ cao cơ sở*, Tạp chí Khí tượng Thủy văn năm 2022, EME4, trang 122.
- [5]. Đoàn Thị Bích Ngọc (2018), *Kết hợp phương pháp phân tích tương quan và phương pháp thuật toán bình sai lưới tự do trong phân tích độ ổn định của hệ thống mốc độ cao cơ sở*, Hội nghị Khoa học Công nghệ lần thứ 4 – SEMREGG 2018 Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM, trang 237.
- [6]. Tiêu chuẩn quốc gia 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*, Bộ Xây dựng ban hành năm 2012.
- [7]. H Al-dami and M Zheleznov, *A Comparative Analysis of Methods for Calculating Stability of Benchmarks Used in the Russian Federation to Monitor Deformations of Engineering Structures to Ensure Sustainability*, 3rd International Conference for Civil Engineering Science 2023.
- [8]. Дьяков Б. Н. Сравнительный анализ способов Костехеля и Марчака // Маркшейдерский вестник. – 2009. - № 6. - С. 43–46.