

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PELZER KIỂM NGHIỆM ĐỘ ỔN ĐỊNH ĐIỂM LƯỚI CƠ SỞ TRONG QUAN TRẮC BIẾN DẠNG CÔNG TRÌNH

PHẠM QUỐC KHÁNH^{1,2}, ZHANG ZHENGLU²

¹ Đại học Mỏ-Địa chất,

² Học viện Trắc Hội-Đại học Vũ Hán-Trung Quốc

Tóm tắt: Phương pháp Pelzer (còn gọi là phương pháp Hannover hoặc phương pháp chênh lệch trung bình) có độ tin cậy cao trong kiểm nghiệm độ ổn định điểm lưới cơ sở quan trắc biến dạng công trình. Phương pháp này bao gồm 2 bước cơ bản là “kiểm nghiệm tổng thể” và “kiểm nghiệm cục bộ” mạng lưới. Bài báo giới thiệu nguyên lý cơ bản của phương pháp chênh lệch trung bình, thông qua ví dụ thực tế trong quan trắc biến dạng để phân tích, chứng minh ứng dụng của phương pháp.

1. Mở đầu

Một trong những mục đích chủ yếu của công tác quan trắc biến dạng công trình là xác định biến dạng hình học của đối tượng quan trắc. Do đó, mấu chốt của xử lý số liệu quan trắc biến dạng là phải tính được lượng chuyển dịch thực của điểm quan trắc. Vì lượng chuyển dịch của điểm quan trắc được tính dựa vào điểm lưới cơ sở nên nếu điểm cơ sở bị chuyển dịch sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tính toán của điểm quan trắc. Ngoài ra, hệ tham khảo khác nhau, phương pháp bình sai cũng khác nhau. Hiện nay thường sử dụng 3 phương pháp bình sai là bình sai gián tiếp, bình sai lưới tự do và bình sai lưới tự do dựa trên các điểm lưới ổn định [1], còn gọi là phương pháp bình sai gián tiếp kèm điều kiện, để xử lý số liệu quan trắc; tương ứng với việc chọn gốc cố định, gốc trọng tâm và gốc là trọng tâm của các điểm lưới ổn định. Vì vậy việc chọn phương pháp bình sai nào để tính toán lượng chuyển dịch của điểm lưới quan trắc phụ thuộc vào việc phân tích độ ổn định của lưới cơ sở có chính xác hay không?

Để giải quyết vấn đề trên, nhà trắc địa người Đức Pelzer thuộc trường đại học Hannover năm 1971 đã đề xuất phương pháp chênh lệch trung bình (hay còn gọi là phương pháp Hannover hoặc phương pháp Pelzer), phương pháp này ứng dụng lý thuyết kiểm nghiệm thống kê phân tích độ ổn định điểm lưới cơ sở, đang được ứng dụng rất rộng rãi trên thế giới.

2. Nguyên lý của phương pháp chênh lệch trung bình

Nguyên lý cơ bản của phương pháp này là trước tiên kiểm định tính thống nhất đồ hình của hai chu kỳ cần phân tích (xem số lượng điểm cơ sở của 2 chu kỳ và độ chính xác đo đạc có giống nhau không). Sau đó sẽ kiểm nghiệm tổng thể. Nếu kiểm nghiệm được chấp nhận thì xác nhận tất cả các điểm lưới cơ sở đều ổn định. Ngược lại, cần phải tìm điểm không ổn định thông qua “kiểm nghiệm cục bộ”. Bước này được tiến hành kiểm tra từ điểm lưới có độ chuyển dịch lớn nhất, sau khi loại trừ điểm không ổn định, lặp lại quá trình nói trên cho đến khi kiểm nghiệm thông qua thì dừng [2,3].

2.1. Kiểm nghiệm tổng thể

Giả thiết 1, j là hai chu kỳ quan trắc ở thời điểm khác nhau, tiến hành kiểm nghiệm tổng thể mạng lưới 2 chu kỳ, dựa vào kết quả bình sai lưới hoàn toàn tự do của mỗi chu kỳ, thông qua số cải chính và ma trận trọng số của các trị đo tính được phương sai trọng số đơn vị lần lượt là:

$$\begin{cases} \mu_1^2 = \frac{(V^T P V)^1}{f_1} \\ \mu_j^2 = \frac{(V^T P V)^j}{f_j} \end{cases}, \quad (1)$$

trong đó, f_1 và f_j là số trị đo thừa của chu kỳ 1 và chu kỳ j. Thông thường, cố gắng sao cho độ chính xác quan trắc của 2 chu kỳ khác nhau là tương đương nhau, nhưng do ảnh hưởng của sai

số nên phương sai ước lượng không thể như nhau, khi đó, trước khi áp dụng phương pháp chênh lệch trung bình, cần kiểm nghiệm độ chính xác tương đồng của 2 chu kỳ, phương sai trọng số đơn vị liên hợp được tính như sau[1,5]:

$$\mu^2 = \frac{(V^T P V)^i + (V^T P V)^j}{f}, \quad (2)$$

trong đó, $f = f_1 + f_j$. Dựa vào kết quả sau bình sai của 2 chu kỳ quan trắc tính được véc tơ hiệu tọa độ giữa 2 chu kỳ (hay gọi là khoảng chênh lệch) là

$$d = \hat{X}_j - \hat{X}_1. \quad (3)$$

Ma trận hệ số trọng số của khoảng chênh lệch d là $Q_d = Q_1 + Q_j$.

Phương sai của khoảng chênh lệch d

$$\mu_d^2 = \frac{d^T Q_d^+ d}{f_d} \text{ hoặc } \mu_d^2 = \frac{d^T P_d d}{f_d}, \quad (5)$$

trong đó, $P_d = Q_d^+$, với Q_d^+ là ma trận nghịch đảo tổng quát của Q_d , f_d là số lượng số hiệu chỉnh tọa độ độc lập d .

Dùng phép kiểm định F , lập lượng thống kê

$$T = \frac{\mu_d^2}{\mu^2}. \quad (6)$$

Tại giả thiết gốc H_0 , vị trí các điểm giữa 2 chu kỳ quan trắc đều ổn định, lượng thống kê T tuân theo luật phân phối F với bậc tự do là (f_d, f) , mức tin cậy α thường lấy 0,05 hoặc 0,01. Từ đó tra bảng để có được giá trị tương ứng. Nếu $T \leq F(\alpha; f_d, f)$ thì chấp nhận giả thiết gốc, tức là các điểm của lưới cơ sở đều ổn định; ngược lại, bác bỏ giả thiết gốc, kiểm nghiệm tổng thể không thông qua, tức trong lưới có điểm không ổn định, cần tìm và loại trừ điểm không ổn định. Kiểm nghiệm cục bộ trong phương pháp chênh lệch trung bình cho phép tìm ra các điểm không ổn định.

2.2. Kiểm nghiệm cục bộ

Giả thiết điểm lưới cơ sở phân thành 2 nhóm là nhóm ổn định mang chỉ số F , nhóm chuyển dịch mang chỉ số M , tương ứng có:

$$d = \begin{bmatrix} d_F \\ d_M \end{bmatrix}, \quad Q_d^+ = \begin{bmatrix} P_{FF} & P_{FM} \\ P_{MF} & P_{MM} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Thực hiện biến đổi sau:

$$\begin{cases} \bar{d}_M = d_M + P_{MM}^{-1} P_{MF} d_F \\ \bar{P}_{FF} = P_{FF} - P_{FM} P_{MM}^{-1} P_{MF} \end{cases}. \quad (8)$$

Thu được:

$$d^T Q_d^+ d = d_F^T \bar{P}_{FF} d_F + \bar{d}_M^T P_{MM} \bar{d}_M. \quad (9)$$

Tính $(\bar{d}_M^T P_{MM} \bar{d}_M)_i$ với $i=1,2,\dots,t$ (t là số điểm lưới). Điểm nào có $(\bar{d}_M^T P_{MM} \bar{d}_M)_i$ đạt giá trị cực đại được nghi ngờ là điểm bị chuyển dịch, loại bỏ điểm này, tiến hành lặp lại quá trình trên với các điểm còn lại, khi đó:

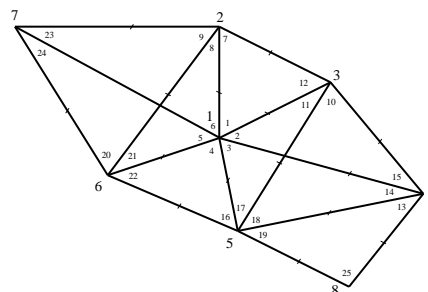
$$T_1 = \frac{\mu_{df_1}^2}{\mu^2}, \quad (10)$$

trong đó, $\mu_{df_1}^2 = \frac{d_F^T \bar{P}_{FF} d_F}{f_{df_1}}$, $f_{df_1} = f_d - 1$ đối với

lưới cơ sở quan trắc lún; $f_{df_1} = f_d - 2$ đối với lưới cơ sở quan trắc chuyển dịch ngang. Khi $T_1 \leq F(\alpha; f_{df_1}, f)$ nghĩa là các điểm còn lại trong lưới đều ổn định, quá trình phân tích độ ổn định kết thúc, ngược lại sẽ loại bỏ điểm bị chuyển dịch, tiếp tục kiểm nghiệm. Quá trình này lặp đi lặp lại cho đến khi không còn điểm nào trong lưới bị chuyển dịch dừng lại.

3. Ví dụ ứng dụng

Hình 1 là lưới thủy công thủy điện sông Hinh, năm 1996 được đo kiểm tra nhằm đánh giá độ ổn định của hệ thống điểm lưới cơ sở để chuẩn bị cho công tác quan trắc biến dạng tuyến đập đang được thi công của nhà máy thủy điện[4]. Lưới được đo với độ chính xác đo góc là $m_\beta = 1.5''$, độ chính xác đo cạnh là $m_s = (5 + 2.D)\text{mm}$. Bảng 1 và bảng 2 là số liệu đo đạc của 2 chu kỳ quan trắc.



Hình 1. Sơ đồ lưới quan trắc biến dạng thủy điện sông Hinh

3.1. Kiểm nghiệm tổng thể mạng lưới

Dựa vào tọa độ các điểm đã có và số liệu đo đạc, tiến hành bình sai gián tiếp phụ thuộc mạng lưới, tọa độ sau bình sai của các điểm lưới được lấy là tọa độ gần đúng để bình sai lưới tự do cho cả chu kỳ 1 và chu kỳ 2. Bảng 3 là tọa độ gần đúng, bảng 4 là kết quả bình sai lưới tự do, lượng chuyển dịch của các điểm lưới chu kỳ 1 và chu kỳ 2. Dựa vào tọa độ bình sai các điểm lưới của 2 chu kỳ tính được lượng chuyển dịch của điểm lưới cơ sở là:

$$d = (-1.1 \quad 1.1 \quad -1.4 \quad -5.6 \quad -0.7 \quad 7.4 \quad -3.4 \quad 7.7 \quad -12.1 \quad -5.9 \quad 4.5 \quad 2.6 \quad 11.6 \quad -11.2 \quad 2.6 \quad 3.8)^T$$

Từ đó tính được phương sai của khoảng chênh lệch d

$$\mu_d^2 = \frac{d^T Q_d^+ d}{f_d} = \frac{123.78}{16} = 7.74$$

Phương sai trọng số đơn vị liên hợp của 2 chu kỳ là:

$$\mu^2 = \frac{(V^T P V)^1 + (V^T P V)^2}{f} = 2.27$$

Thành lập lượng thống kê

$$T = \frac{\mu_d^2}{\mu^2} = \frac{7.74}{2.27} = 3.41$$

Do $T = 3.41 > F(0,05;16,48) \approx 2.0$ nên nghi ngờ điểm lưới cơ sở bị chuyển dịch.

Bảng 1. Số liệu đo góc

TT	Tên góc			Giá trị góc (° ' ")	
	Trái	Giữa	Phải	Chu kỳ 1 (5/1992)	Chu kỳ 2 (6/1996)
1	2	1	3	51 52 07.17	51 52 09.54
2	3	1	4	78 40 41.46	78 40 37.16
3	4	1	5	75 18 33.47	75 18 35.20
4	5	1	6	58 47 20.38	58 47 21.65
5	6	1	7	56 04 19.10	56 04 16.77
6	7	1	2	39 16 58.42	39 16 57.69
7	3	2	1	56 18 17.73	56 18 18.23
8	1	2	6	40 19 00.10	40 19 01.42
9	6	2	7	76 03 59.47	76 04 02.69
10	4	3	5	41 36 41.72	41 36 43.56
11	5	3	1	14 55 41.61	14 55 41.00
12	1	3	2	71 49 35.75	71 49 29.60
13	8	4	5	48 46 30.22	48 46 25.35
14	5	4	1	56 54 56.40	56 54 56.31
15	1	4	3	44 46 55.00	44 46 53.75
16	6	5	1	48 46 56.00	48 46 52.13
17	1	5	3	11 05 01.33	11 05 01.42
18	3	5	4	36 41 27.02	36 41 27.16
19	4	5	8	29 15 09.10	29 15 01.87
20	7	6	2	54 43 45.32	54 43 43.68
21	2	6	1	44 19 41.30	44 19 45.45
22	1	6	5	72 25 44.11	72 25 47.20
23	2	7	1	24 20 00.85	24 19 57.31
24	1	7	6	24 52 15.38	24 52 13.76
25	5	8	4	101 58 20.19	101 58 24.96

Bảng 2. Số liệu đo cạnh

TT	Tên cạnh		Giá trị cạnh (m)	
	Đầu	Cuối	Chu kỳ 1	Chu kỳ 2
1	1	2	630.578	630.589
2	1	3	552.205	552.073
3	1	4	654.026	654.023
4	1	5	739.995	740.025
5	1	6	583.878	583.878
6	1	7	1370.978	1370.990
7	2	3	522.061	522.073
8	2	7	968.958	968.974
9	5	4	854.338	854.348
10	5	6	663.873	663.880
11	8	4	426.762	426.757
12	8	5	656.858	656.858

Bảng 3. Danh sách tọa độ gần đúng

TT	Tọa độ gần đúng (m)	
	X	Y
1	29644.546	7440.123
2	30267.820	7344.168
3	30047.671	7817.577
4	29299.920	7995.994
5	28937.206	7222.414
6	29502.235	6873.817
7	30561.250	6420.727
8	28889.881	7877.607

Bảng 4. Tọa độ sau bình sai và lượng chuyển dịch của các điểm lưới

TT	Tọa độ sau bình sai chu kỳ 1 (m)		Tọa độ sau bình sai chu kỳ 2 (m)		Lượng chuyển dịch (mm)		
	X	Y	X	Y	ΔX	ΔY	ΔP
1	29644.5268	7440.1109	29644.5257	7440.1120	-1.1	1.1	1.6
2	30267.7758	7344.1727	30267.7744	7344.1671	-1.4	-5.6	5.78
3	30047.6084	7817.5385	30047.6077	7817.5459	-0.7	7.4	7.5
4	29299.9338	7995.9813	29299.9304	7995.9890	-3.4	7.7	8.4
5	28937.2550	7222.4554	28937.2429	7222.4496	-12.1	-5.8	13.4
6	29502.2264	6873.8355	29502.2309	6873.8381	4.5	2.6	5.2
7	30561.2815	6420.7313	30561.2931	6420.7201	11.6	-11.2	16.1
8	28889.9214	7877.6014	28889.9240	7877.6052	2.6	3.8	4.6

3.2. Kiểm nghiệm cục bộ mạng lưới

Để xác định trong lưới điểm nào là điểm bị chuyển dịch, đầu tiên lấy điểm có độ chuyển dịch lớn nhất - điểm 7 - đem kiểm nghiệm, theo công thức (7) đến (9) tính được lượng thống kê

$$T_1 = \frac{\mu_{df_1}^2}{\mu^2} = 9.13 > F(0,05;14,48) \approx 2.0$$

chứng tỏ điểm 7 bị chuyển dịch. Loại bỏ điểm 7, với các điểm còn lại, điểm 5 là điểm có lượng chuyển dịch lớn nhất, lặp lại cách tính trên thu được lượng thống kê:

$$T_2 = \frac{\mu_{df_2}^2}{\mu^2} = 6.67 > F(0,05;12,48) = 2.0$$

Kết quả cho thấy điểm 5 cũng là điểm bị chuyển dịch. Tiếp tục phép lặp với điểm 4, lượng thống kê là:

$$T_3 = \frac{\mu_{df_3}^2}{\mu^2} = 1.27 < F(0,05;10,48) \approx 2.18$$

Kết quả lần lặp thứ 3 minh chứng điểm 4 là điểm ổn định, từ đó đi đến kết luận, các điểm 1, 2, 3, 6, 8 đều ổn định.

Như vậy, thông qua phương pháp chênh lệch trung bình phân tích độ ổn định điểm lưới cơ sở thủy điện sông Hinh đã phát hiện 2 điểm không ổn định là điểm 5 và điểm 7, các điểm cơ sở còn lại đều ổn định, có thể dùng làm gốc cho mạng lưới quan trắc. Tiến hành bình sai lưới tự do dựa trên các điểm cơ sở ổn định, tọa độ sau bình sai và lượng chuyển dịch của các điểm lưới cơ sở sau khi loại bỏ điểm không ổn định được trình bày trong bảng 5. Kết quả tính toán trong bài báo được so sánh với kết quả tính toán trong [4] cho thấy phương pháp này hoàn toàn có thể ứng dụng trong thực tế sản xuất.

Bảng 5 Tọa độ điểm lưới sau bình sai chu kỳ 2 và lượng chuyển dịch

TT	Tọa độ sau bình sai chu kỳ 2 (m)		Lượng chuyển dịch (mm)			Ghi chú
	X	Y	ΔX	ΔY	P	
1	29644.5257	7440.1092	-1.1	-1.7	2.0	
2	30267.7746	7344.1650	-1.2	-7.8	7.9	
3	30047.6074	7817.5436	-1.0	5.1	5.2	
4	29299.9299	7995.9858	-4.0	4.5	6.0	
5	28937.2431	7222.4461	-11.9	-9.3	15.1	Điểm không ổn định
6	29502.2315	6873.8351	5.1	-0.4	5.1	
7	30561.2942	6420.7182	12.7	-13.1	18.3	Điểm không ổn định
8	28889.9236	7877.6016	2.2	0.2	2.2	

4. Kết luận

1) Phương pháp chênh lệch trung bình có lý luận chặt chẽ, độ tin cậy cao nên được ứng dụng rộng rãi để phân tích độ ổn định điểm lưới cơ sở trong quan trắc chuyển dịch biến dạng công trình.

2) Mặc dù lý thuyết và công thức tính toán của phương pháp này tương đối phức tạp nhưng hoàn toàn có thể khắc phục trong quá trình lập trình trên máy tính.

3) Nhược điểm của phương pháp Pelzer là khi đồ hình lưới cơ sở không thống nhất, có 1 hoặc một số điểm bị mất, 1 hoặc một số hướng bị che khuất... sẽ không thể áp dụng phương pháp này, vì các công thức trên không tính được, cần lựa chọn phương pháp khác phù hợp hơn với điều kiện thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tao Benzao, 2001. Bình sai lưới tự do và phân tích biến dạng (tiếng Trung Quốc), NXB đại học khoa học Trắc hội Vũ Hán.
- [2]. Huang Shengxiang, Yin Hui, Jiang Zheng, 2003. Xử lý số liệu quan trắc biến dạng (tiếng Trung Quốc), NXB Đại học Vũ Hán.
- [3] Hou Jianguo, Wang Tengjun, 2008. Lý thuyết và ứng dụng quan trắc biến dạng (tiếng Trung Quốc), NXB Trắc hội Bắc Kinh.
- [4]. Trần Khánh, 1996. Nghiên cứu ứng dụng bình sai tự do trong lĩnh vực xử lý số liệu trắc địa công trình, Luận án tiến sĩ, ĐH Mỏ-Địa chất.
- [5]. Chen Yongqi, Wu Zi'an, Wu Zhongru, 1998. Phân tích và dự báo quan trắc biến dạng (tiếng Trung Quốc), NXB Trắc Hội Bắc Kinh.

SUMMARY

Applying Pelzer method in controlling experiment of datum point stability in deformation monitoring projects

Pham Quoc Khanh^{1,2} Zhang Zhenglu²

¹ University of Mining and Geology

² School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, China

Pelzer method (known as Hannover method or method of average difference) which have high fail safety in controlling experiment of datum point stability in deformation monitoring projects. This method include two basic steps of “whole test” and “local test” web. This article will introduce the fundamental principle of Pelzer method and through actual examples of deformation monitoring projects we will analyse and demonstrate applicability of this method.