

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI**

---

**Hồ Thị Lan Hương**

**NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÁY TOÀN ĐẠC  
ĐIỆN TỬ VÀ CÔNG NGHỆ GPS TRONG XÂY DỰNG VÀ  
KHAI THÁC CÔNG TRÌNH CẦU Ở VIỆT NAM**

**Chuyên ngành: Xây dựng cầu hầm**

**Mã số: 62.58.25.01**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**Hà Nội, 2010**

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI**

---

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1: PGS.TS Trần Đức Sử

2: PGS.TS Trần Khánh

Phản biện 1: GS.TS Lê Văn Thường

Phản biện 2: GS.TS Võ Chí Mỹ

Phản biện 3: PGS.TS Phạm Duy Hòa

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp nhà nước  
họp tại: Trường Đại học Giao thông Vận tải  
vào hồi 8 giờ 30 ngày 28 tháng 8 năm 2010

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

1. Thư viện Quốc gia

2. Thư viện Trường Đại học Giao thông Vận tải

**DANH MỤC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ**

1. Trần Đức Sử, Hồ Thị Lan Hương, *Đánh giá độ chính xác lưới mặt bằng thi công cầu*, tạp chí Giao thông Vận tải số 10, tháng 3 năm 2005.
2. Hồ Thị Lan Hương, *Bố trí và kiểm tra tháp cầu dây văng*, tạp chí giao thông vận tải số 18, tháng 6 năm 2007.
3. Trần Khánh, Hồ Thị Lan Hương, *Nghiên cứu thuật toán xử lý số liệu đo hướng chuẩn*, tạp chí khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 20, tháng 10 năm 2007.
4. Hồ Thị Lan Hương, *Khảo sát đánh giá một số phương pháp bố trí tâm móng, trụ cầu bằng máy toàn đạc điện tử*, tạp chí GTVT số 29, tháng 3 năm 2010.

## GIỚI THIỆU LUẬN ÁN

### *Mục đích nghiên cứu của luận án:*

Đề xuất, lựa chọn các phương pháp trắc địa được thực hiện bằng máy toàn đạc điện tử và công nghệ GPS phù hợp trong xây dựng và khai thác công trình cầu.

### *Phạm vi nghiên cứu luận án:*

Các phương pháp trắc địa với ứng dụng máy TĐĐT và công nghệ GPS trong giai đoạn xây dựng và khai thác công trình cầu ở Việt Nam.

### *Luận điểm bảo vệ:*

1. Lưới khống chế mặt bằng thi công cầu có những đặc điểm khác với lưới khống chế mặt bằng thi công các công trình khác (khác về độ chính xác; khác về điều kiện xây dựng; khác về cách chọn mặt chiếu và hệ tọa độ..), việc nghiên cứu phương pháp thành lập lưới phù hợp là cần thiết.

2. Đề xuất các phương pháp bố trí, kiểm tra công trình cầu đảm bảo độ chính xác, phù hợp với công nghệ thi công và điều kiện địa hình của công tác xây dựng cầu.

3. Phương pháp xác định trạng thái "0" của trị đo RTK – GPS có độ tin cậy và độ chính xác cao góp phần xác định chính xác chuyển vị của các điểm GPS trong hệ thống quan trắc trực quan.

### *Điểm mới của luận án:*

1. Đối với các phương pháp thành lập lưới mặt bằng thi công cầu:  
- Xác định đồ hình hợp lý của lưới mặt đất  
- Xây dựng quy trình và phương pháp xử lý số liệu lưới thi công cầu bằng phương pháp kết hợp GPS – TĐĐT

2. Đánh giá độ chính xác các phương pháp bố trí, kiểm tra công trình từ đó đề xuất ứng dụng phương pháp phù hợp trong công tác bố trí, kiểm tra công trình cầu trong quá trình thi công.

3. Đề xuất thuật toán xử lý số liệu phương pháp hướng chuẩn trong kiểm tra trực tiếp cầu.

4. Đề xuất phương pháp xác định trạng thái "0" của điểm quan trắc GPS trong hệ SHM.

## NỘI DUNG CỦA LUẬN ÁN

Nội dung của luận án gồm 5 chương và phần mở đầu, kết luận – kiến nghị

### Chương 1

**TỔNG QUAN VỀ NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG MÁY TOÀN ĐẠC ĐIỆN TỬ VÀ CÔNG NGHỆ GPS TRONG XÂY DỰNG, KHAI THÁC CÔNG TRÌNH CẦU TRÊN THẾ GIỚI VÀ Ở VIỆT NAM**

## 1.2 TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG MÁY TOÀN ĐẠC ĐIỆN TỬ VÀ CÔNG NGHỆ GPS TRONG XÂY DỰNG, KHAI THÁC CÔNG TRÌNH CẦU

Trên Thế giới, trong những năm gần đây, các thiết bị toàn đạc điện tử và công nghệ GPS đã được ứng dụng rộng rãi trong thi công và giám sát độ ổn định của công trình .

Ở Việt Nam từ những năm 2000, máy TĐĐT đã được ứng dụng trong xây dựng các công trình cầu như cầu Cam Tuyền, cầu Long Đại, cầu Quý Đức ở Gia Lai.v..v...

Các cầu lớn như cầu Bình, Cầu Kiên, cầu Bãi Cháy, cầu Cần Thơ... sử dụng cả máy TĐĐT và cả công nghệ GPS trong giai đoạn khảo sát cũng như giai đoạn thi công cầu.

Ngoài tình hình ứng dụng thực tế được tổng quát như trên, các công trình nghiên cứu của các nhà khoa học trong và ngoài nước như:

- Các công trình khoa học đăng trên tạp chí quốc tế có các nội dung: Phân tích về các đặc điểm của cầu dây và một số vấn đề trong quan trắc cầu dây nhịp lớn ở Nhật và Châu Âu [45], [47]. Bình luận một số vấn đề về xử lý số liệu kết hợp giữa GPS và trị đo mặt đất trong lưới quan trắc [54];[55]. Anna Nictitopoulou và nnk (Hy Lạp) công bố về kết quả thử nghiệm đánh giá độ chính xác của phương pháp RTK – GPS trong quan trắc biến dạng của nhà cao tầng và cầu dây văng [68]. Hyzak M và rất nhiều nghiên cứu của các tác giả khác như: Robert G (Anh) [66], [67]; WANG Yong-quan (Trung quốc) [57]; Yozo Fujino (đại học Tokyo - Nhật) [53]; WAN AZIZ W.A, ZULKARNAINI M.A (Malaysia)[56] ... đều có nội dung về nghiên cứu ứng dụng GPS trong quan trắc cầu dây ở các nước trên thế giới.

- Các công trình nghiên cứu của các tác giả trong nước: Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS trong trắc địa công [24] [39] . Nghiên cứu ứng dụng máy toàn đạc điện tử và công nghệ GPS trong xây dựng công trình công nghiệp và công trình xây dựng có chiều cao lớn có các công trình khoa học [19]; [38]; [17]. Đối với các công trình Thủy lợi – Thủy điện có nghiên cứu về vấn đề ứng dụng công nghệ đo đạc mới trong công tác quan trắc[13]. Và đề tài nghiên cứu hoàn thiện phương pháp thành lập và xử lý số liệu lưới khống chế thi công các công trình xây dựng trong điều kiện Việt nam [18] .Các công trình khoa học trên đã nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS và máy TĐĐT trong thành lập lưới công trình nói chung, trong xây dựng nhà cao tầng, thủy lợi, thủy điện nói

riêng... nhưng chưa có nghiên cứu nào về ứng dụng các thiết bị này trong xây dựng công trình cầu.

Từ tình hình nghiên cứu ứng dụng trên Thế giới và ở Việt nam cho thấy:

Trên Thế giới: Trong những năm gần đây, máy toàn đạc điện tử và công nghệ GPS đã được sử dụng rộng rãi trong các nội dung thi công và khai thác công trình cầu. Tuy vậy, do tính chất đa dạng của loại hình cầu, các điều kiện địa hình khác nhau, các phương pháp của mỗi tác giả đều có những ưu nhược điểm và điều kiện ứng dụng riêng, vì thế phạm vi nghiên cứu vẫn còn để mở.

Ở Việt nam: Mặc dù công nghệ GPS và máy TĐĐT đã ứng dụng trong thi công và khai thác công trình cầu, tuy vậy cho đến nay vẫn chưa có nghiên cứu nào đầy đủ, tổng hợp với phương pháp luận logic về các phương pháp trắc địa ứng dụng công nghệ GPS và máy TĐĐT trong điều kiện cụ thể của Việt Nam.

Đối với lưới mặt bằng thi công cầu, độ chính xác yêu cầu cao hơn lưới thi công đường và lưới thi công thủy lợi. Do đặc điểm của công trình cầu là xây dựng ở nơi địa hình phức tạp như vượt sông, eo biển, thung lũng, khe núi ... nên đồ hình của lưới cũng khác biệt so với lưới thi công các công trình khác.

Trong quá trình thi công công trình cầu, tuy đã sử dụng máy TĐĐT để bố trí và kiểm tra tâm mố trụ cũng như kết cấu phần trên của cầu, nhưng về mặt lý thuyết chưa có sự khảo sát đánh giá các phương pháp này. Chưa khai thác phương pháp RTK – GPS trong bố trí tâm mố trụ cầu (đặc biệt khi bố trí cầu nhiều trụ như cầu đường sắt trên cao hay cầu cạn) và ở Việt Nam, việc nghiên cứu ứng dụng GPS trong quan trắc cầu hệ dây thì hoàn toàn còn là mới mẻ.

Đối với các quy trình xây dựng có liên quan đến công tác trắc địa trong xây dựng cầu: "Tiêu chuẩn kỹ thuật đo và xử lý số liệu GPS trong trắc địa công trình" 364 – 2006, hoàn toàn đáp ứng được công tác thành lập lưới thi công cầu bằng công nghệ GPS. Còn với 266 – 2000 "tiêu chuẩn nghiệm thu cầu công" là tiêu chuẩn duy nhất hiện có các quy định về "đo đạc và định vị" trong thi công cầu, có nhiều điểm không phù hợp với công nghệ đo đạc hiện đại như điều (2-9) và (2-11)... Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam 309 – 2004 "Công tác trắc địa trong xây dựng công trình – yêu cầu chung": điều (6.9) quy định về độ chính xác của lưới mặt bằng thi công xây dựng công trình, độ chính xác đo góc từ ( $3'' \div 30''$ ); độ chính xác đo cạnh từ ( $1/25.00 \div 1/2000$ ) không đạt yêu cầu độ chính xác của lưới thi công cầu ( $mp \leq 1cm$ ). Điều 7 và 8 yêu cầu của công tác trắc địa trong thi công công trình chỉ nói đến nhà cao tầng, không đề cập đến công tác trắc địa trong xây dựng cầu và độ chính xác ở bảng 3 cũng không đáp ứng được yêu cầu độ chính xác trong bố trí công trình cầu (chỉ đáp ứng được độ chính xác của nhà

cao tầng). Vì thế cần có cơ sở khoa học để thành lập tiêu chuẩn về công tác trắc địa trong xây dựng cầu.

## **Kết luận**

Từ sự phân tích tình hình nghiên cứu và ứng dụng công nghệ GPS và TĐĐT, luận án nghiên cứu những nội dung sau:

- Nghiên cứu thành lập lưới mặt bằng thi công cầu bằng máy toàn đạc điện tử và công nghệ GPS.
- Nghiên cứu phương pháp bố trí và kiểm tra tâm mô trụ cầu bằng máy toàn đạc điện tử và công nghệ GPS.
- Nghiên cứu ứng dụng máy toàn đạc điện tử và phương pháp RTK – GPS trong quan trắc chuyển vị cầu dây văng.

## **Chương 2**

### **NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP THÀNH LẬP LƯỚI MẶT BẰNG THI CÔNG CÔNG TRÌNH CẦU BẰNG MÁY TOÀN ĐẠC ĐIỆN TỬ VÀ CÔNG NGHỆ GPS**

#### **2.3 THÀNH LẬP LƯỚI BẰNG MÁY TOÀN ĐẠC ĐIỆN TỬ**

Công nghệ đo chiều dài độ chính xác cao của máy TĐĐT được ứng dụng trong việc thành lập lưới nói chung và lưới thi công cầu nói riêng vì vậy phương pháp đo cạnh và phương pháp đo góc - cạnh kết hợp được sử dụng rộng rãi hơn phương pháp đo góc truyền thống.

##### **2.3.1 Phương pháp đo cạnh**

Lưới tam giác đo cạnh trước đây chỉ phát triển về mặt lý thuyết, từ khi có máy toàn đạc điện tử, lưới tam giác đo cạnh đã có điều kiện được ứng dụng trong thực tế, tuy nhiên với lưới thi công cầu hầu như phương pháp này không được áp dụng.

##### **2.3.2 Phương pháp đo góc - cạnh**

Trong lưới đo tất cả các góc và tất cả các cạnh bằng máy TĐĐT, số đại lượng đo thừa nhiều hơn so với lưới tam giác đo góc và lưới tam giác đo cạnh vì vậy lưới có độ chính xác cao.

##### **2.3.3 Lựa chọn phương pháp bình sai lưới mặt bằng thi công**

Lưới thi công cầu được xây dựng theo các nguyên tắc sau:

1. Lưới thi công là mạng lưới độc lập cục bộ (để tránh ảnh hưởng sai số số liệu góc).
2. Tất cả các bậc lưới thi công cần phải được tính tọa độ (độ cao) trong một hệ thống thống nhất, đã được lựa chọn trong giai đoạn khảo sát công trình.

Trước đây khi thành lập lưới dưới dạng độc lập thì lưới thi công cầu hoàn toàn thỏa mãn yêu cầu trên dù bình sai theo phương pháp nào. Trong điều kiện hiện tại đối với các lưới mặt bằng thi công cầu được đo bằng công nghệ GPS hoặc được nối với hệ tọa độ quốc gia thì phải lựa chọn phương pháp bình sai phù hợp để tránh sai số số liệu gốc.

Phân tích khả năng ứng dụng các phương án bình sai đối với lưới thi công công trình cầu có thể nhận thấy:

- Phương án bình sai lưới phụ thuộc bị ảnh hưởng sai số số liệu gốc trong kết quả xử lý và như vậy sẽ gây ra sự biến dạng của từng bậc lưới.

- Phương án bình sai với số liệu gốc tối thiểu (lưới tự do bậc 0) bảo toàn được cấu trúc nội tại của lưới nhưng thiếu chặt chẽ về mặt định vị, quy luật lan truyền sai số sẽ dẫn đến tình trạng các điểm càng xa điểm gốc có sai số tích lũy lớn.

- Phương án bình sai lưới tự do đáp ứng được các yêu cầu đối với lưới thi công cầu: tránh được ảnh hưởng của sai số số liệu gốc, quá trình định vị lưới được thực hiện linh hoạt, phù hợp với điều kiện thực tế. Vì thế nên chọn phương pháp này trong bình sai lưới thi công cầu.

### 2.3.4 Khảo sát dạng đồ hình phù hợp trong thành lập lưới mặt bằng thi công cầu bằng máy toàn đạc điện tử

Các dạng đồ hình được chọn khảo sát là lưới tam giác đo góc truyền thống, lưới đo góc - cạnh vẫn được sử dụng phổ biến ngoài thực tế, lưới không đo cạnh biên là đồ hình phù hợp khi 2 bờ sông không thông hướng, và dạng lưới tam giác đo cạnh là lưới có thể đo với thời gian nhanh nhất. Số lượng trị đo được ghi trong bảng (2.3). Kết quả ước tính ghi trong bảng (2.4), Lưới được ước tính với máy TĐĐT có độ chính xác đo góc 3'' và đo cạnh (2mm+2ppm) số liệu tính toán in trong phần phụ lục.

*Bảng 2.3. So sánh số lượng trị đo*

phương pháp đo khối lượng công việc	Đo góc	Đo cạnh	Đo góc - cạnh	Không đo cạnh biên
số góc đo	16	0	16	8
Số cạnh đo	2	11	11	7

*Bảng 2.4. So sánh độ chính xác*

phương pháp đo Chỉ tiêu đánh giá	Đo góc	Đo cạnh	Đo góc - cạnh	Không đo cạnh biên
SSTP vị trí điểm yếu (mm)	8,2	6,3	5	8,2
SSTP tương đối cạnh yếu	1/132100	1/231500	1/268300	1/294800
SSTP phương vị cạnh yếu	1,46''	1.2''	0,9''	1,5''

Qua kết quả khảo sát và phân tích độ chính xác trên đây có các nhận xét sau:

- Cùng một đồ hình lưới, phương pháp đo cạnh có độ chính xác kém phương pháp đo góc - cạnh 30% nhưng thời gian đo tiết kiệm khoảng 80%.

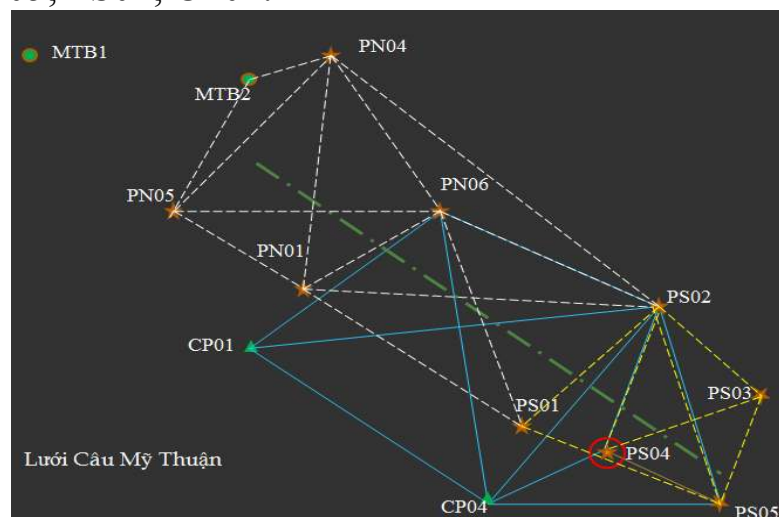
- Trong trường hợp 2 bên bờ sông không thông hướng nên sử dụng đồ hình không đo cạnh biên vẫn đảm bảo độ chính xác yêu cầu.

- Khi thành lập lưới mặt bằng thi công cầu bằng máy TĐĐT phải chọn máy có độ chính xác tối thiểu: đo góc 3'' và đo cạnh (2mm + 2ppm).

## 2.5 THÀNH LẬP LƯỚI BẰNG PHƯƠNG PHÁP KẾT HỢP TĐĐT – GPS

Trong nhiều trường hợp khi thành lập lưới không chế mặt bằng thi công cầu không đo được bằng một phương pháp (toàn đạc điện tử hoặc GPS) hoặc đo được nhưng mất nhiều thời gian thì có thể áp dụng phương pháp đo kết hợp để thành lập lưới.

Ví dụ trong đồ hình lưới hình (2.13), là lưới cầu Mỹ Thuận, tất cả các điểm lưới đã được đo bằng công nghệ GPS, lưới được đo lại với mục đích kiểm tra độ chính xác, thì tất cả các điểm của lưới đều đo được bằng GPS ngoại trừ điểm PS04. Vì thế đã lập 1 lưới đo góc cạnh riêng biệt bằng máy TĐĐT là CP1; PN06; PS02; PS05; PS04; CP04.



Hình 2.13. Lưới kết hợp GPS – TĐĐT

Trong trường hợp như vậy, nếu đo lưới trên bằng phương pháp kết hợp giữa GPS và TĐĐT thì sẽ đơn giản và nhanh hơn rất nhiều.

Việc tổ chức đo và thiết kế lưới kết hợp GPS – TĐĐT cũng giống như lưới thành lập bằng 1 phương pháp, vấn đề đặt ra là xử lý số liệu kết hợp như thế nào vì hiện tại Việt Nam chưa thành lập được phần mềm xử lý số liệu GPS, nên không sử dụng được trị đo GPS để tính toán kết nối với trị đo TĐĐT mà phải sử dụng các giá trị dẫn xuất từ các phần mềm xử lý số liệu GPS hiện có. Trong phần này sẽ nghiên cứu áp dụng phương pháp bình sai truy hồi để xử lý số liệu lưới kết hợp.



### 2.5.1 Nghiên cứu ứng dụng phương pháp bình sai truy hồi trong xử lý số liệu lưới kết hợp GPS – TĐĐT

Đối với mạng lưới kết hợp, nếu coi vector tọa độ bình sai của riêng lưới GPS ( $X_1$ ) là các trị đo phụ thuộc (với ma trận tương quan  $K_G$ ) và lấy giá trị này làm tọa độ gần đúng cho các tính toán tiếp theo, sẽ viết được hệ phương trình số hiệu chỉnh của lưới kết hợp GPS - mặt đất như sau:

$$\begin{cases} \delta x_1 & = V_1 \text{ với ma trận trọng số } P_1 \\ A_1 \cdot \delta x_1 + A_2 \cdot \delta x_2 + L & = V_2 \text{ với ma trận trọng số } P_2 \end{cases} \quad (2.33)$$

Mặc dù các phần mềm xử lý số liệu GPS đang được sử dụng ở nước ta không đưa ra ma trận trọng số  $P_1$ , nhưng do lưới khống chế trắc địa công trình thường có kích thước nhỏ nên có thể coi vec tơ X, Y của lưới GPS ở các hệ tọa độ địa tâm và hệ tọa độ địa diện là đồng dạng. Kí hiệu  $K_G$  là ma trận tương quan của vector tọa độ lưới GPS, sẽ xác định được ma trận trọng số  $P_1$ :

$$P_1 = m_0 \cdot K_G^{-1} \quad (2.34)$$

Vì vector tọa độ GPS và vector trị đo mặt đất độc lập nhau nên bình sai được thực hiện dưới điều kiện :

$$V_1^T P_1 V_1 + V_2^T P_2 V_2 \rightarrow \text{Min} \quad (2.35)$$

Hệ phương trình số hiệu chỉnh (2.33) dưới dạng ma trận khối:

$$\begin{bmatrix} E & 0 \\ A_1 & A_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta X_1 \\ \delta X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Từ đó xác định được hệ phương trình chuẩn:

$$\begin{bmatrix} P_1 + A_1^T P_2 A_1 & A_1^T P_2 A_2 \\ A_2^T P_2 A_1 & A_2^T P_2 A_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta X_1 \\ \delta X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1^T P_2 L \\ A_2^T P_2 L \end{bmatrix} = 0 \quad (2.37)$$

Theo cách thông thường, hệ phương trình chuẩn (2.37) sẽ là cơ sở để triển khai quá trình tính toán xử lý số liệu lưới kết hợp GPS - mặt đất. *Phương pháp bình sai truy hồi là thích hợp hơn cả trong trường hợp này, bởi vì với bình sai truy hồi ta có thể bắt đầu quá trình tính toán ngay từ ma trận  $Q_G$  của lưới GPS mà không cần để ý đến vector trị đo GPS, ngoài ra thuật toán cũng như quy trình tính trong phương pháp bình sai truy hồi là tương đối đơn giản và đảm bảo độ tin cậy.*

Khác với trường hợp bình sai lưới thông thường, ma trận  $Q_0$  được chọn theo công thức:  $Q_0 = 10^m \cdot E$ , còn đối với lưới kết hợp GPS - mặt đất, ma trận  $Q_0$  có hạt nhân  $Q_G$  là ma trận trọng số đảo của vector tọa độ lưới GPS, vì vậy có thể

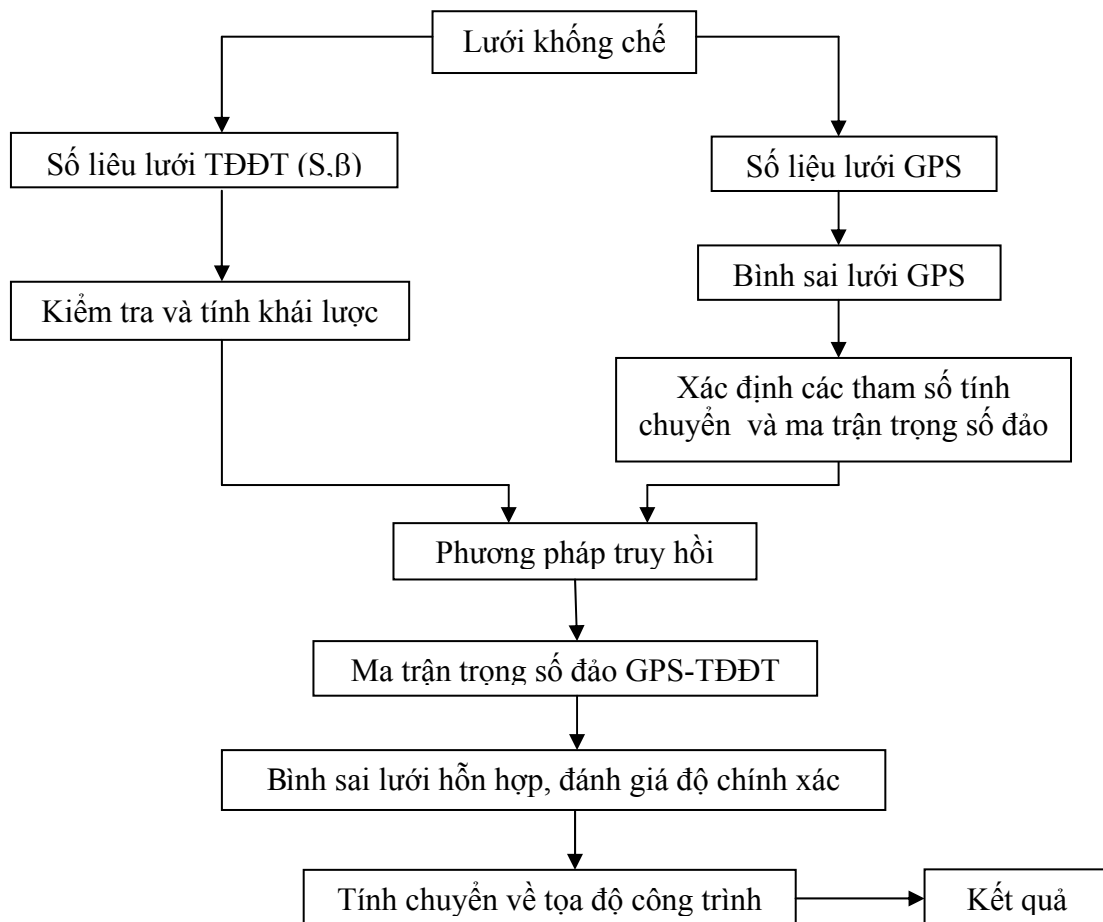
viết ma trận  $Q_0$  dưới dạng khối như sau:

$$Q_0 = \begin{bmatrix} Q_G & 0 \\ 0 & Q_2 \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

Trong đó :  $Q_2 = 10^m.E$

### 2.5.2 Quy trình xử lý số liệu lưới kết hợp GPS - TĐĐT

Quy trình tính được thực hiện cụ thể qua sơ đồ đưa ra ở hình (2.14).



Hình 2.14. Sơ đồ quy trình xử lý số liệu lưới kết hợp GPS – TĐĐT

### Kết luận

- Thành lập lưới mặt bằng thi công cầu bằng phương pháp đo cạnh đảm bảo độ chính xác yêu cầu và tiết kiệm thời gian.

- Áp dụng phương pháp lưới kết hợp TĐĐT – GPS trong thành lập lưới mặt bằng thi công cầu trong điều kiện đo bằng một thiết bị gặp khó khăn. Ứng dụng phương pháp bình sai truy hồi trong xử lý số liệu kết hợp đảm bảo độ tin cậy và quy trình xử lý số liệu đơn giản.

- Khi thành lập các mạng lưới thi công cầu lớn phải sử dụng máy TĐĐT có độ chính xác đo góc tối thiểu 3'' và độ chính xác đo dài (2mm+2ppm).

### Chương 3

## NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP BỐ TRÍ, KIỂM TRA CÔNG TRÌNH CẦU BẰNG MÁY TOÀN ĐẠC ĐIỆN TỬ VÀ CÔNG NGHỆ GPS

### 3.2 CÁC PHƯƠNG PHÁP BỐ TRÍ VÀ KIỂM TRA TRONG THI CÔNG CÔNG TRÌNH CẦU BẰNG MÁY TOÀN ĐẠC ĐIỆN TỬ

Nguyên tắc để xác định phương pháp bố trí công trình là: điều kiện địa hình nơi xây dựng công trình, độ chính xác yêu cầu của điểm bố trí, phương pháp và đặc điểm thi công công trình, căn cứ vào các nguyên tắc ở mục (3.1.2) để xác định độ chính xác của phương pháp bố trí công trình, từ đó lựa chọn thiết bị và phương pháp đo phù hợp.

Ngoài thực tế, sử dụng chương trình settingout của máy toàn đạc điện tử để xác định sơ bộ vị trí các điểm của công trình cầu, những điểm yêu cầu độ chính xác cao được bố trí bằng phương pháp giao hội góc - cạnh.

Trong phần này sẽ khảo sát, lựa chọn các phương pháp bố trí, kiểm tra công trình cầu cho độ chính xác cao, thuận tiện trong quá trình thực hiện.

#### 3.2.1 Các phương pháp bố trí tâm mố trụ cầu

##### 1. Phương pháp tọa độ cực (chương trình setting out)

Là phương pháp tìm điểm nên nhược điểm của phương pháp là chỉ xác định góc  $\beta$  ở một vị trí bàn độ.

Sai số trung phương của phương pháp:

$$M_{tdc} = \sqrt{\left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2 S^2 + m_s^2} \quad (3.10)$$

##### 2. Phương pháp giao hội cạnh

Sai số trung phương của phương pháp:

$$M_{ghc} = \frac{1}{\sin^2 \gamma} \sqrt{(m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2)} \quad (3.11)$$

Trước đây phương pháp này ít được áp dụng vì việc đo khoảng cách lớn với độ chính xác cao gặp khó khăn.

##### 3. Phương pháp giao hội thuận góc - cạnh

Sai số trung phương của phương pháp:

$$M_{gc} = \frac{M_{ght} \times M_{ghc}}{\sqrt{M_{ght}^2 + M_{ghc}^2}} \quad (3.13)$$

##### 4. Phương pháp giao hội nghịch góc - cạnh (chương trình free station)

Phương pháp giao hội nghịch góc - cạnh trước đây ít được sử dụng vì việc tính toán khá phức tạp. Khi sử dụng máy toàn đạc điện tử để đo thì vấn đề tính

toán của phương pháp được đơn giản đi rất nhiều, nên phạm vi ứng dụng của phương pháp được mở rộng.

+ Độ chênh lệch giữa tọa độ thực tế và tọa độ thiết kế của điểm P.

$$\begin{aligned} R_x &= x_P - x_{Ptk} \\ R_y &= y_P - y_{Ptk} \end{aligned} \quad (3.15)$$

- Bố trí các yếu tố hoàn nguyên  $R_x$ ,  $R_y$  theo hướng trục tọa độ sẽ xác định được điểm cần bố trí  $P_0$ .

- Độ chính xác của phương pháp:

$$M_{ngc} = \frac{1}{\sin^2 \gamma} \sqrt{(m_{n_1}^2 + m_{n_2}^2)} \quad (3.16)$$

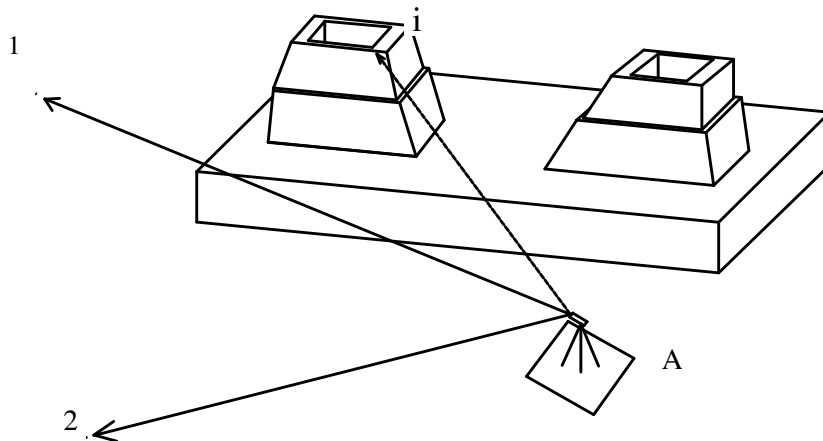
Phương pháp giao hội nghịch góc – cạnh thích hợp khi các điểm bố trí đặt được máy và đã được xác định sơ bộ bằng các phương pháp khác. Phương pháp rất thuận tiện để nghiệm thu từng phần tâm mố, trụ cầu trong quá trình thi công.

### 3.2.2 Kiểm tra công tác bố trí bằng phương pháp giao hội nghịch góc - cạnh kết hợp phương pháp tọa độ

Kiểm tra vị trí trụ, tháp trong quá trình thi công là công tác rất quan trọng, các yếu tố về độ lệch đo được sẽ tính toán và điều chỉnh trong quá trình xây dựng tiếp theo. Đối với trụ hoặc tháp cầu thì sai số này được chấp nhận với khoảng 10mm trên 5m chiều cao [65].

Độ chính xác của phương pháp:  $M_i = \sqrt{M_{ngc}^2 + M_{tdc}^2}$

Từ bảng (3.1) cho thấy, đối với khoảng cách từ điểm đặt máy đến điểm kiểm tra nhỏ hơn 100m, lựa chọn máy toàn đạc điện tử có độ chính xác đo góc tối thiểu là 3''; và cạnh là (2 + 2ppm). Trường hợp khoảng cách lớn hơn 100m phải chọn máy có độ chính xác cao hơn mới đảm bảo độ chính xác yêu cầu.



Hình 3.5. Sơ đồ kiểm tra vị trí trụ, tháp cầu bằng phương pháp giao hội nghịch góc – cạnh kết hợp phương pháp tọa độ

Phương pháp kết hợp giao hội nghịch - tọa độ với ứng dụng máy toàn đạc điện tử cho độ chính xác cao và cho phép kiểm tra được bất cứ vị trí nào của mố, trụ.

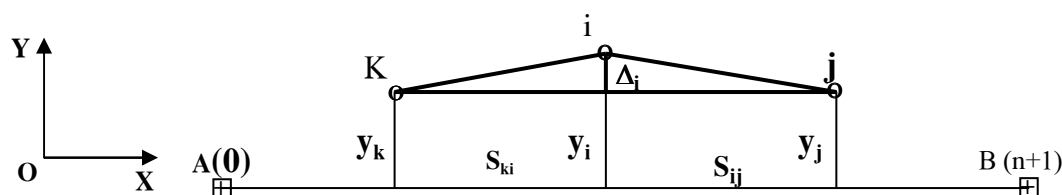
Điểm đặt máy là điểm được chọn sao cho thuận tiện nhất trong công tác bố trí và khoảng cách hợp lý để đạt được độ chính xác cao.

### 3.2.3 Thuật toán xử lý số liệu đo hướng chuẩn trong kiểm tra trực tiếp cầu

Trong xây dựng cầu, phương pháp hướng chuẩn được áp dụng để điều chỉnh độ thẳng hàng của tim móng trụ trong quá trình thi công, để quan trắc chuyển dịch ngang móng, trụ cầu theo hướng dòng chảy. Để mở ra khả năng áp dụng trong thực tế sản xuất nhiều dạng đồ hình hướng chuẩn phức tạp tùy theo điều kiện địa hình bằng cách tổ hợp một số sơ đồ cơ bản. Để thực hiện điều đó cần phải nghiên cứu xây dựng thuật toán tổng quát và đề ra quy trình xử lý số liệu chung cho phương pháp này.

#### 1. Cơ sở lý thuyết của việc xử lý số liệu đo hướng chuẩn

Trong các sơ đồ hướng chuẩn, mỗi phép đo độ lệch hướng liên quan đến 3 điểm: điểm đặt máy  $k$ , điểm định hướng  $j$ , điểm đo  $i$  (hình 3.6)[36].



Hình 3.6. Sơ đồ chung về đo hướng chuẩn

Có 4 sơ đồ hướng chuẩn cơ bản đã được đề xuất, nghiên cứu kỹ và được ứng dụng trong thực tế sản xuất là sơ đồ toàn hướng, sơ đồ phân đoạn, sơ đồ nhích dần và sơ đồ giao chéo.

Trong bất kỳ sơ đồ đo nào, mỗi bước đo đều có thể được mô tả thông qua 3 số  $\{k, j, i\}$ . Có thể mô tả nội dung đo trong các sơ đồ nêu trên thông qua các bước đo như sau:

1-Sơ đồ toàn hướng: khi đo theo chiều thuận (từ A đến B) có bước đo  $\{0, n+1, i\}$  với  $(i=1 \div n)$ , khi đo theo chiều ngược lại (từ B đến A) thì bước đo là  $\{n+1, 0, i\}$  với  $(i=1 \div n)$ .

2-Sơ đồ phân đoạn với  $t$  là điểm trung gian sẽ có 2 hướng chuẩn phụ là  $A_t$  và  $B_t$ : đối với hướng  $A_t$  có bước đo  $\{0, t, i\}$  với  $(i=1 \div t-1)$ , hướng  $B_t$  bước đo là  $\{n+1, t, i\}$  với  $(i=t+1 \div n)$ , ngoài ra còn cần 1 bước đo  $\{0, n, t\}$  để xác định độ lệch hướng của điểm  $t$ .

3-Sơ đồ nhích dần: khi đo theo chiều thuận (từ A đến B) bước đo là  $\{i-1, n+1, i\}$  với  $(i=1 \div n)$ , khi đo theo chiều ngược lại (từ B đến A) thì bước đo sẽ là



- Phương pháp tọa độ cực có ưu thế về mặt thời gian, thao tác đơn giản, nhưng độ chính xác không cao, độ biến động lớn.

- Phương pháp giao hội nghịch có lợi hơn cả về độ chính xác, tốc độ đo so với các phương pháp giao hội khác. Ngoài ra có thể chủ động nâng cao độ chính xác bằng cách tăng số điểm đo.

- Nếu khoảng cách đo lớn hơn 300m thì nên giao hội nghịch đến 3 điểm. Nên chọn các điểm lưới ở cả 2 bên bờ sông.

Vì vậy, đối với công tác bố trí tâm mố, trụ, tháp cầu đề nghị sử dụng phương pháp tọa độ cực (chương trình setting out) để bố trí sơ bộ, hoặc xác định vị trí cọc móng, và chính xác hóa vị trí bằng phương pháp giao hội nghịch góc cạnh với các giá trị hoàn nguyên.

## ***2. Lựa chọn thiết bị và phương pháp cho từng hạng mục bố trí***

Hiện nay trên thị trường có nhiều hãng máy toàn đạc điện tử, nhưng không nên chọn những loại máy chế tạo với thể mạnh là khảo sát (như Topcon - nhật), có độ nhạy rất cao với tín hiệu phản xạ từ gương (bắt tín hiệu không cần chỉnh đúng tâm gương), mà nên chọn các loại máy được thiết kế với thể mạnh cho bố trí công trình (như Leica - Thụy sỹ; Nikon - Nhật; ...). Và từ sự khảo sát trên cho thấy, để bố trí công trình yêu cầu độ chính xác cao như công trình cầu, nên sử dụng loại máy có độ chính xác tối thiểu đo góc là 3''; đo cạnh là (2mm + 2ppm).

Dựa vào nguyên tắc xác định độ chính xác của bố trí công trình và theo [15] sai số đo đạc chiếm 35% giá trị sai số bố trí cho phép, tính được sai số cho phép của phương pháp bố trí, kiểm tra của một số hạng mục công trình cầu đưa ra trong bảng (3.4). Các giá trị giới hạn này được trích dẫn từ quy trình [26]; [27]; [28a], và từ đó lựa chọn phương pháp bố trí phù hợp (ghi trong bảng).

*Bảng 3.4: Sai số cho phép của công tác bố trí công trình cầu*

Hạng mục	Sai số cho phép (mm)	SS của phương pháp(mm)	Phương pháp	loại máy		
<i>1. Độ sai lệch cho phép về vị trí mặt bằng đỉnh của cọc khoan so với thiết kế (tính theo giá trị đường kính cọc) [28a]</i>						
* Khi bố trí 1 hàng cọc theo mặt chính cầu						
- Thi công trên nước	± 40	<b>14</b>	setting out	Các máy toàn đạc điện tử có độ chính xác tối thiểu đo góc 3'' và đo cạnh 2+2ppm		
- Thi công trên cạn	± 20	<b>7</b>	freestation			
* Khi bố trí 2 hoặc nhiều hàng cọc theo mặt chính cầu						
- Thi công trên nước	± 10	<b>4</b>	setting out và pp kết hợp			
- Thi công trên cạn	± 5					
<i>3. Sai lệch trục cốp pha trượt, cốp pha leo và cốp pha di động so với trục công trình [27]</i>						
	10	<b>3</b>	freestation và pp kết hợp			
<i>4. Sai lệch tim các khung CT [27]</i>						
	15	<b>5</b>				
<i>5. Sai lệch của vị trí các bộ phận CT trong kết cấu khối lớn (khung, khối, dàn) so với thiết kế [27]</i>						
Trong mặt bằng	± 50	<b>17</b>	setting out			
<i>6. Độ lệch của các mặt phẳng và các đường cắt nhau của các mặt phẳng đó so với đường thẳng đứng hoặc so với độ nghiêng thiết kế [26]</i>						
a. Trên 3m chiều cao kết cấu	15	<b>5</b>	freestation và pp kết hợp			
b. Trên toàn bộ chiều cao kết cấu						
* Móng	20	<b>7</b>				
* Tường đỡ trong cốp pha cố định và cột đỡ liền với sàn	15	<b>5</b>				
* Kết cấu khung cột	10	<b>3,5</b>				
* Các kết cấu thi công bằng cốp pha trượt hoặc cốp pha leo	H/500 nhưng ≤ 100m m	<b>≤ 35mm</b>	setting out			
<i>7. Trụ cầu</i>						
- Sự thay đổi về vị trí trên mặt bằng						
a. Móng trụ	50	<b>17</b>	setting out			
b. Phần trụ nằm trên lè móng	20	<b>7</b>	freestation và pp kết hợp			
- Sai số theo đường nằm ngang của các bề mặt cạnh sườn nằm trên lè móng						
a. Trên 3m chiều cao	9	<b>3</b>				
b. Trên toàn bộ chiều cao trụ	40	<b>14</b>				
<i>8. Sai số vị trí của tháp cầu dây văng :[65]</i>						
5 m chiều cao	10	<b>3,5</b>	freestation và pp kết hợp			
Toàn bộ tháp (theo cả 2 phương)	30	<b>10</b>				



### 3.3 BỐ TRÍ TÂM MỐ TRỤ CẦU BẰNG PHƯƠNG PHÁP RTK - GPS

#### 3.3.2 Độ chính xác của phương pháp

*Bảng 3.5. Sai số vị trí điểm mặt bằng của phương pháp RTK - GPS*

D(km)	0,2	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
m <sub>p</sub> (mm)	14	15	16	17	18	20	21

Đối với trường hợp cầu cạn như cầu đường sắt trên cao (Ngọc Hồi - Yên Viên 28km; Phả Lại 3,6km), đặc điểm của các tuyến cầu đường sắt này là có dạng tuyến, chiều dài cầu lớn nhưng chiều dài nhịp thường ngắn, thường là nhịp giản đơn (trừ trường hợp vượt sông) vì thế nên số lượng trụ cầu nhiều, vị trí cầu thường được chọn bám sát đường bộ, hoặc qua đồng ruộng để giảm chi phí giải phóng mặt bằng, ứng dụng phương pháp này để bố trí tâm các trụ cầu là rất hiệu quả.

#### Kết luận

- Trên cơ sở phân tích, đánh giá độ chính xác các phương pháp, lựa chọn phương pháp tọa độ cực (chương trình settingout) để bố trí sơ bộ, phương pháp giao hội nghịch (chương trình freestaion) để chính xác hóa tâm mố trụ cầu bằng các yếu tố hoàn nguyên.

- Kiểm tra vị trí điểm bố trí bằng phương pháp kết hợp giao hội nghịch – tọa độ của máy toàn đạc điện tử, cho độ chính xác cao và khả thi với mọi điều kiện của công trường cũng như điểm kiểm tra.

- Phương pháp hướng chuẩn trong kiểm tra trực tiếp cầu cho độ chính xác cao nhờ sự kết hợp của các sơ đồ đo, xử lý số liệu đơn giản bằng chương trình máy tính.

- Phương pháp stake out – RTK-GPS được sử dụng để bố trí sơ bộ tâm mố trụ cầu nhiều trụ (như cầu đường sắt trên cao) rất thuận tiện, vị trí các điểm này phải chính xác hóa lại bằng phương pháp khác.

- Khi thực hiện công tác bố trí kiểm tra tâm, mố trụ cầu phải sử dụng máy toàn đạc điện tử có sai số trung phương đo góc tối thiểu 3''; và sai số đo cạnh 2+2ppm.

## Chương 4

### NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP QUAN TRẮC

#### CHUYỂN DỊCH NGANG CÔNG TRÌNH CẦU DÂY BẰNG MÁY TOÀN ĐẠC ĐIỆN TỬ VÀ CÔNG NGHỆ GPS

#### 4.2 PHƯƠNG PHÁP QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH NGANG BẰNG MÁY TĐĐT

Máy toàn đạc được sử dụng trong quan trắc chuyển dịch ngang các điểm quan trắc ở trên trụ, tháp và dầm của cầu dây. Tùy vào điều kiện địa hình, vị trí điểm quan trắc và độ chính xác yêu cầu mà chọn phương pháp quan trắc phù hợp.

##### 4.2.1 Phương pháp xác định tọa độ

Để tăng độ chính xác trong quan trắc, đo từ 2 điểm của lưới khống chế và xác định tọa độ của điểm quan trắc theo công thức (4.2).

$$\left. \begin{aligned} x_p &= \frac{1}{2}(x'_p + x''_p) \\ y_p &= \frac{1}{2}(y'_p + y''_p) \end{aligned} \right\} \quad (4.2)$$

Sai số trung phương được tính theo công thức:

$$M = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \left( S \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 \sin^2 \alpha + m_s^2 \cos^2 \alpha \right)} \quad (4.3)$$

Phương pháp này rất phù hợp với điều kiện quan trắc tháp cầu.

Để đạt được yêu cầu độ chính xác quan trắc từ (5 – 15)mm thì sai số trung phương của phương pháp đo phải từ 2mm đến 5mm. Vì thế khi quan trắc các yếu tố của cầu nên xác định tọa độ từ 2 điểm để đảm bảo độ chính xác yêu cầu trên.

#### 4.2.2 Phương pháp giao hội nghịch góc – cạnh kết hợp

Trường hợp đo chính xác độ chuyển dịch ngang trụ nhịp quay có thể áp dụng phương pháp giao hội nghịch góc - cạnh kết hợp bằng máy TĐĐT (hình 4.3). Sau khi bình sai kết quả đo góc, đo cạnh sẽ tính được độ chuyển dịch ngang các điểm quan trắc biến dạng trên công trình cầu.

Thành lập hệ phương trình số hiệu chỉnh:

$$v = A\delta x - l \quad (4.13)$$

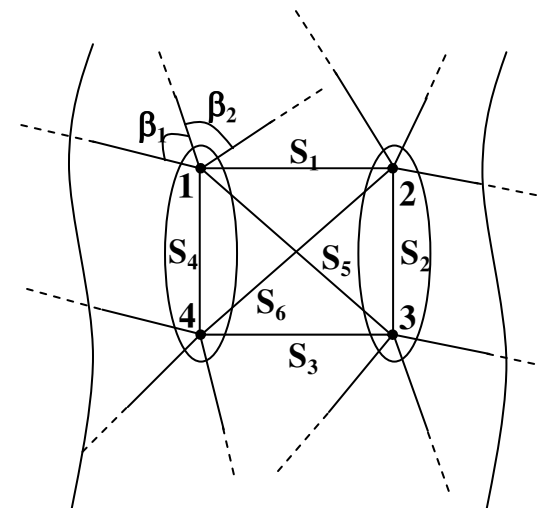
Ta có hệ phương trình chuẩn.

$$A^T p A \delta x - A^T p l = 0 \quad (4.14)$$

Đánh giá độ chính xác các yếu tố bình sai véctơ  $\delta x$  là ma trận sai số và tính theo công thức:  $M_{\delta x}^2 = \mu^2 \cdot N^{-1}$  (4.17)

#### 4.2.3 Quy trình quan trắc chuyển dịch ngang trụ, tháp cầu dây

1. Đo kiểm tra tọa độ các điểm lưới cơ sở với các điểm gốc bằng công nghệ GPS hoặc bằng máy TĐĐT độ chính xác cao. Phân tích sự ổn định của các điểm gốc qua số liệu tính toán; tính lại tọa độ của các điểm lưới cơ sở, đánh giá độ ổn định của các điểm lưới, *Những giá trị tọa độ mới sẽ được sử dụng để khởi tính các điểm quan trắc trên cầu.*



Hình 4.3. Sơ đồ đo giao hội nghịch góc cạnh kết hợp

2. Đo quan trắc chuyển dịch ngang trụ tháp: Sử dụng máy TĐĐT hoặc công nghệ GPS đo từ điểm cơ sở tới các điểm quan trắc trên tháp trên trụ tháp. Xử lý số liệu, đánh giá độ dịch chuyển ngang của các điểm quan trắc.

3. Quan trắc các điểm trên đỉnh tháp cầu: từ các điểm cơ sở; hoặc các điểm quan trắc trên trụ tháp, xác định chuyển vị của 4 đỉnh tháp cầu bằng các phương pháp trên. Tính toán chuyển dịch ngang tháp cầu qua các chu kỳ.

Lưu ý rằng, các chu kỳ quan trắc nên tiến hành cùng thời điểm, cùng loại thiết bị, cùng phương pháp đo qua các chu kỳ. Khi sử dụng máy TĐĐT để quan trắc thì nên đo nhiều thời điểm trong ngày (ví dụ 2 giờ đo 1 lần).

#### **4.3 PHƯƠNG PHÁP RTK – GPS TRONG HỆ THỐNG QUAN TRẮC TRỰC QUAN CÔNG TRÌNH CẦU DÂY**

Hệ thống quan trắc trực quan là một hệ thống đo đạc liên tục, lắp sẵn trên công trình, thu nhận và phân tích các ứng xử của công trình cũng như các tham số về môi trường theo thời gian, nhằm mục đích cảnh báo các trạng thái không bình thường ngay từ sớm để tránh những tổn thất, cũng như đưa ra đề nghị về công tác nâng cấp, bảo dưỡng.

##### **4.3.1 Đặc điểm của phương pháp RTK – GPS trong quan trắc trực quan**

##### **4.3.2 Hệ thống quan trắc trực quan cầu dây**

###### ***1. Vai trò hệ thống quan trắc trực quan đối với cầu dây***

Các công trình cầu ở Việt Nam hiện nay thường được đánh giá bằng quá trình quan trắc định kỳ, nên các dữ liệu thu thập được không phù hợp với điều kiện thực tế, không thể dự đoán và cảnh báo chính xác những biến động bất thường có thể xảy ra, đề xuất chưa hiệu quả việc duy tu bảo dưỡng và không kiểm tra chính xác các giả thiết thiết kế có phù hợp với điều kiện thực tế hay không. Vì thế việc xây dựng một cách thích hợp hệ thống quan trắc trực quan giúp giải quyết vấn đề trên là cần thiết, đặc biệt đối với cầu dây văng là kết cấu có giá trị chuyển vị lớn bởi ảnh hưởng từ các yếu tố khí, động học.

Ưu điểm của hệ thống quan trắc trực quan (Structural Health Monitoring – SHM) là đánh giá tình trạng cầu một cách trực quan và định lượng thông qua mối quan hệ giữa ứng xử của kết cấu và các dao động, chuyển vị đặc trưng. Việc đánh giá không chỉ thông qua các số liệu liên tục theo thời gian mà còn thông qua các dữ liệu thống kê, ngoài ra còn cung cấp các dữ liệu khí tượng để tham gia điều tiết giao thông.

###### ***2. Cấu trúc của hệ thống quan trắc trực quan***

Một hệ thống SHM điển hình gồm 3 thành phần cơ bản [30]:

*a. Hệ thống các cảm biến (sensors)*

*b. Hệ thống thu nhận dữ liệu (data acquisition), truyền dữ liệu (data transmission)*

### c. Hệ thống xử lý số liệu

Sơ đồ của hệ thống quan trắc trực quan (hình 4.5).

### 3. Nội dung quan trắc cầu dây và tiêu chuẩn kỹ thuật của cảm biến đo

a. Nội dung quan trắc: gồm 3 nội dung chính

- Quan trắc tác động của môi trường
- Quan trắc phản ứng của kết cấu
- Theo dõi và phân tích giao thông

b. Tiêu chuẩn kỹ thuật của các cảm biến đo

Đối với cầu dây, các cảm biến phải đảm bảo tiêu chuẩn tối thiểu (được ghi trong quyển toàn văn luận án) [20]; [58]; [59]; [60]; [62].

Bảng 4.7. Tiêu chuẩn cảm biến đo tác động môi trường

Bảng 4.8. Tiêu chuẩn cảm biến theo dõi đáp ứng của kết cấu

Bảng 4.9. Tiêu chuẩn cảm biến theo dõi và phân tích giao thông

Bảng 4.10. Tiêu chuẩn kỹ thuật của hệ thống GPS trong quan trắc cầu [58][62].

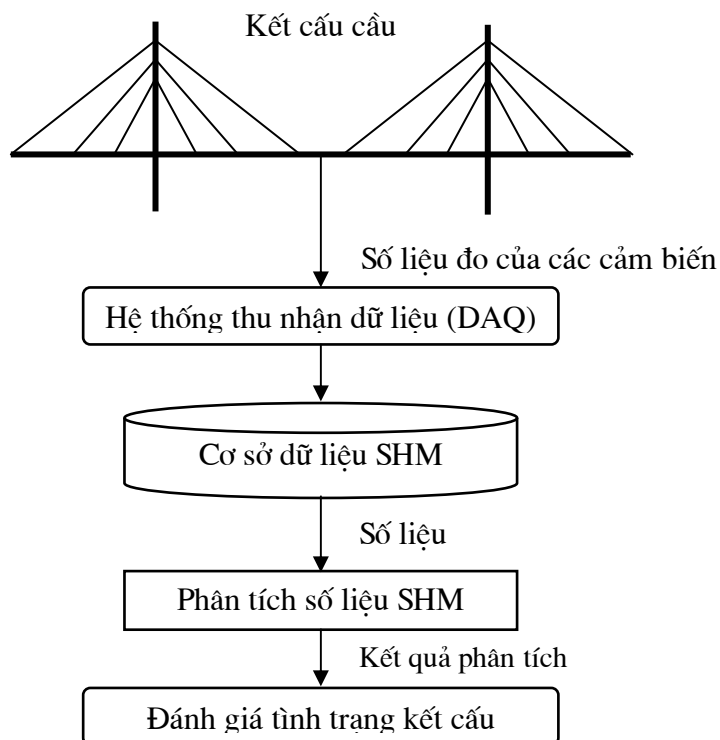
### 4.3.3 Nghiên cứu phương pháp xác định trạng thái "0" của trị đo GPS

#### 1. Các trị đo GPS

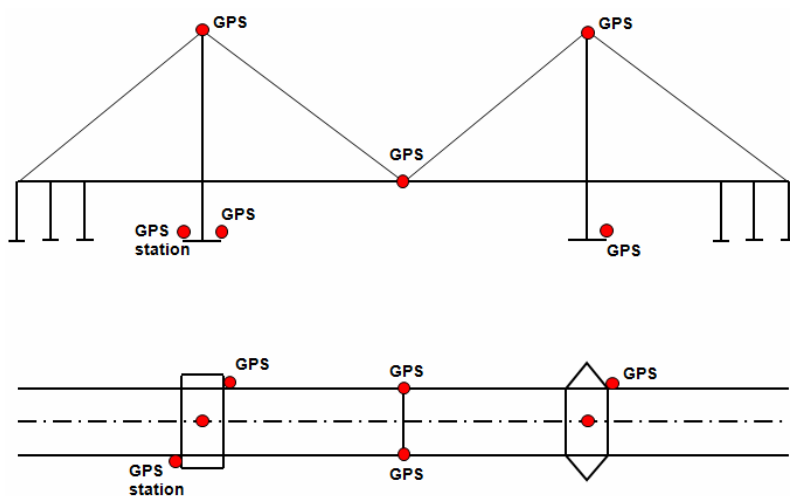
GPS phù hợp để quan trắc các yếu tố đặc trưng hình học của cầu, cụ thể là đo chuyển vị theo 3 phương (phương dọc cầu, phương ngang cầu và phương đứng). Tùy theo chiều dài nhịp, chiều cao trụ tháp, loại hình kết cấu mà quyết định vị trí lắp đặt GPS.

Trong hệ SHM, dữ liệu đo GPS có 2 dạng: trị tức thời và trị trung bình.

+ Chuyển vị tức thời đo bằng phương pháp RTK – GPS, kết quả thu được là chuyển vị theo thời gian thực.



Hình 4.5. Sơ đồ chung hệ thống SHM



Hình 4.7. Sơ đồ bố trí điểm quan trắc GPS cầu Cần Thơ

+ Giá trị chuyển vị còn được lấy trung bình theo thời gian đặt sẵn (1 phút, 10 phút, 1 giờ, 1 ngày..) các kết quả này thường dùng để so sánh với kết quả thiết kế, làm giá trị tham khảo để đối chiếu với các giả thiết khi thiết kế, và để theo dõi các biến dạng chậm của kết cấu.

Các giá trị chuyển vị được tính theo 3 phương (dọc cầu, vuông góc với trục cầu và phương đứng). Các giá trị này là độ chênh tọa độ so với trạng thái "0" khi lắp đặt hệ thống GPS.

Trong quan trắc trực quan, hệ thống GPS được lắp liên tục trên cầu và đo trong suốt quá trình sử dụng công trình, vì thế các trạng thái ban đầu được thiết lập hết sức quan trọng, vấn đề là xác định như thế nào để được giá trị chính xác của trạng thái "0".

## ***2. Nghiên cứu xác định trạng thái "0" của điểm quan trắc GPS***

Trị đo GPS thu được khi đo dao động cầu dầy là một chuỗi lịch sử thời gian của giá trị chuyển vị theo 3 phương. Các giá trị chuyển vị này trước tiên phụ thuộc vào tính chất cơ lý công trình và sau đó là một số các yếu tố khác như gió, nhiệt độ... Tác động tổng hợp của các yếu tố đã nêu có thể làm thay đổi quy luật chuyển vị của công trình theo thời gian.

Muốn xác định trạng thái "0" của điểm GPS, trước hết phải đánh giá xem giá trị chuyển vị đó phụ thuộc vào những yếu tố nào, và sau đó phải tách được phần chuyển vị do yếu tố đó gây ra khỏi giá trị chuyển vị.

### ***a. Đánh giá sự phụ thuộc của các yếu tố ảnh hưởng đến chuyển vị thông qua bài toán phân tích tương quan***

Để đánh giá mức độ phụ thuộc giữa các yếu tố ngẫu nhiên và chuyển vị của điểm GPS trên công trình, các vấn đề được đặt ra là:

+ Đánh giá mức độ phụ thuộc của chuyển vị với một hoặc một số nhân tố có thể ảnh hưởng đến độ chuyển dịch đó.

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

Muốn giải quyết các vấn đề trên, phải tiến hành nghiên cứu bài toán phân tích tương quan.

Đối với chuỗi giá trị đo theo lịch sử thời gian, trước tiên phải xây dựng mô hình thống kê các trị đo, sau đó tìm mối quan hệ giữa giá trị chuyển vị và yếu tố ảnh hưởng muốn xét, đánh giá độ tin cậy của kết quả tìm được và tìm ra phương trình liên hệ giữa trị đo GPS và yếu tố ảnh hưởng, trình tự được thực hiện như sau:

- Xây dựng mô hình thống kê:

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

$$r_{xy} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n} \cdot \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n}}} \quad (4.18)$$

Hệ số tương quan tính theo công thức (4.18) là chỉ số biểu thị sự tương quan giữa 2 đại lượng ngẫu nhiên X và Y. Hệ số  $r_{xy}$  biến thiên từ -1 đến 1, nếu  $r_{xy}$  bằng |1| thì chính xác giữa X và Y chính xác tồn tại mối quan hệ tuyến tính, và giá trị càng gần |1| thì giữa 2 đại lượng này có sự tương quan càng mạnh và ngược lại.

Để đánh giá độ tin cậy của hệ số tương quan sử dụng các công thức sau:

1. Khi n đủ lớn ( $n \geq 50$ ) tính giá trị:

$$\sigma_r \approx \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} \quad (4.19)$$

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

$$|r| \geq 3\sigma_r \quad (4.20)$$

- Xây dựng hàm hồi quy

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

$$Y = a.X + b \quad (4.23)$$

Các tham số a, b của hàm hồi quy (4.23) 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 phương pháp số bình phương nhỏ nhất:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - a.X_i - b)^2 = \min \quad (4.24)$$

Khi đó sẽ dẫn đến hệ phương trình tuyến tính:

$$\left. \begin{aligned} [X^2]a + [X]b - [XY] &= 0 \\ [X]a + n.b - [Y] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

Giải hệ phương trình tuyến tính (4.25) và lưu ý công thức các hệ số  $r_{xy}$ , chúng ta xác định được các tham số a, b trong (4.25) theo công thức:

$$\left. \begin{aligned} a &= r_{xy} \cdot \frac{\sqrt{\bar{X}^2 - (\bar{X})^2}}{\sqrt{\bar{Y}^2 - (\bar{Y})^2}} \\ b &= \bar{Y} - a.\bar{X} \end{aligned} \right\} \quad (4.26)$$

Ví dụ tính toán:

Áp dụng phương pháp phân tích tương quan để tính ra hệ số tương quan và phương trình hồi quy của trị đo GPS đối tượng ảnh hưởng là gió.

Số liệu quan trắc cầu Akashi kaikyo Nhật Bản được sử dụng cho tính toán này. Số liệu được chọn là 164 số liệu GPS bao gồm các số liệu của 20 giây đầu tiên của mỗi 10 phút quan trắc (từ 22h 15 đến 23h23 phút). Các số liệu này được

thu với tần số 20HZ, vận tốc gió biến đổi từ 33.7m/s đến 14,3m/s; chuyển vị ngang giữa dầm chủ biến đổi từ 557,9mm đến 12,9mm tùy thuộc vào vận tốc gió. Hệ số tương quan được tính theo công thức (4.18). Độ tin cậy của hệ số tương quan tính theo công thức (4.19).

#### Kết quả tính toán:

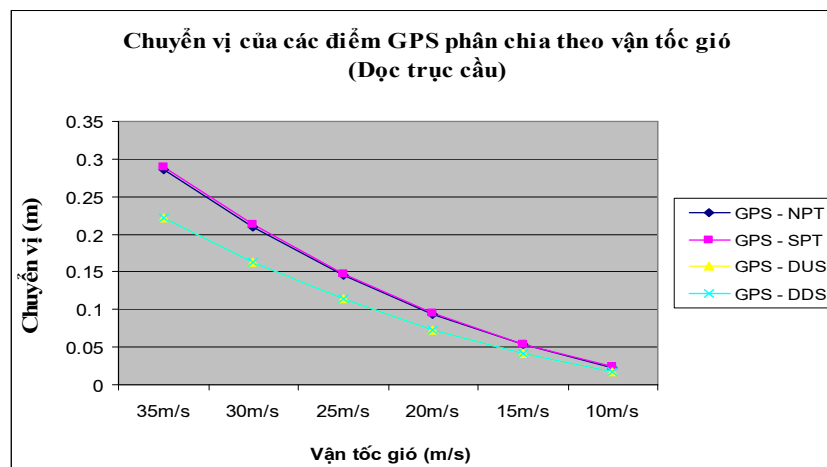
Hệ số tương quan:  $r = 0,66$

Phương sai:  $\sigma_r = 0,04$

Đôi chiếu với điều kiện (4.22):  $r = 0,66 > 3 \cdot \sigma_r = 3 \cdot 0,04 = 0,12$ , cho thấy kết quả tính toán hoàn toàn tin cậy. với số liệu quan trắc này, kết quả biến đổi trị đo GPS tại thời điểm quan trắc của điểm giữa dầm chính cầu Akashi kaikyo mà nguyên nhân gây ra chuyển vị có sự tham gia của gió. Đối với các yếu tố khác như nhiệt độ cũng được xác định sự tương quan theo cách này.

#### *b. Tách các chuyển vị thành phần*

Sau khi xác định được sự tương quan của trị đo GPS với các yếu tố, căn cứ vào tốc độ gió thực tế và sự thay đổi nhiệt độ của kết cấu để tính ra sự biến thiên chuyển vị của điểm GPS dựa vào công thức tính chuyển vị trong tiêu chuẩn thiết kế cầu, hoặc có thể sử dụng đồ thị phân tích độ nhạy. Hình (4.8) đến hình (4.12) là một ví dụ về biểu đồ tính chuyển vị phân chia theo gió và nhiệt độ của cầu.



Hình 4.8. Đồ thị chuyển vị của các điểm GPS theo vận tốc gió (theo phương x)

Căn cứ vào các biểu đồ chuyển vị do nhiệt độ, gió hay tải trọng động tính được chuyển vị của các yếu tố này tương ứng với điều kiện thực tế và từ đó tính ra được giá trị của điểm GPS, giá trị này được thiết lập như là một giá trị đầu vào của trạng thái "0", là cơ sở để tính ra chuyển vị trong quá trình quan trắc.

#### **Kết luận**

- Trong quan trắc chuyển dịch ngang, phương pháp tính tọa độ từ 2 điểm của lưới không chế đảm bảo về độ chính xác, phù hợp với đối tượng quan trắc là các điểm ở xa, và cao so với điểm lưới như các điểm quan trắc trên công trình cầu.

- Phương pháp xác định trạng thái "0" của điểm GPS là chặt chẽ, có độ tin cậy cao có thể áp dụng để tính vị trí ban đầu của điểm GPS sau khi loại trừ chuyển vị do gió, nhiệt độ và các điều kiện khác.

## Chương 5 KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

### 5.1 LƯỚI KHÔNG CHẾ MẶT BẰNG THI CÔNG CÔNG TRÌNH CẦU

#### 5.1.1 Thành lập lưới cầu Phả Lại bằng máy toàn đạc điện tử

Đo thực nghiệm lưới không chế mặt bằng cầu Phả Lại bằng máy TĐĐT Nikon DTM 552, độ chính xác đo góc 2'', độ chính xác đo cạnh 3 + 3ppmD. Lưới được thực hiện đo và xử lý số liệu cho cả 4 phương pháp (lưới đo cạnh, lưới đo góc cạnh, lưới đo kết hợp góc - cạnh, lưới không đo cạnh biên. Với các phương pháp, góc đo 4 vòng đo toàn vòng, cạnh được đo 2 lần đối hướng. Tất cả các số liệu đo được xử lý bằng phần mềm PickNet. Kết quả bình sai trong hệ VN 2000, múi 3<sup>o</sup>; Điểm gốc: GPS 12, một trị đo phương vị (Lấy theo GPS sau khi đã chuyển lên độ cao 15m,  $m_\alpha = 0,001''$ ).

**1. Kết quả bình sai lưới tam giác đo cạnh**

**2. Kết quả bình sai lưới tam giác đo góc - cạnh**

**3. Kết quả bình sai lưới không cạnh biên**

**4. Kết quả bình sai lưới tam giác đo góc**

#### 5.1.2 Thành lập lưới cầu Phả Lại bằng công nghệ GPS

Đo thực nghiệm lưới không chế thi công cầu Phả Lại với 03 máy thu GPS Trimble R3 một tần của Mỹ sản xuất, đo bằng phương pháp định vị tương đối tĩnh với 4 ca đo, thời gian đo là 6h (từ 11h đến 17h), thời gian đo mỗi ca là 45' - 1h. Tất cả các ca đo đều thu được ít nhất 6 vệ tinh, lúc nhiều nhất là 11 vệ tinh.

#### 5.1.3 Thành lập lưới cầu Phả Lại bằng công nghệ GPS kết hợp máy TĐĐT

Xử lý lưới kết hợp GPS – TĐĐT theo phương pháp truy hồi.

Kết quả tổng hợp độ chính xác tất cả các phương pháp ghi ở bảng (5.24).

*Bảng 5.24. Bảng tổng hợp độ chính xác các phương pháp đo lưới cầu Phả Lại*

Phương pháp	Các chỉ tiêu đánh giá			
	$m_p$ (mm)	$M_s/S$	$m_\alpha$	số đại lượng đo
Lưới tam giác đo cạnh	8	1/103300	3.6''	6
Lưới tam giác đo góc - cạnh	6	1/156500	1.7''	14
Lưới không cạnh biên	7	1/274200	1.7''	8
Lưới tam giác đo góc	12	1/59200	2.1''	10
Lưới đo bằng công nghệ GPS	1.5	1/428907	0.48''	13
Lưới kết hợp GPS – TĐĐT	5	1/120700	1.9''	23

- Từ các yếu tố đánh giá ở bảng (5.24) cho thấy kết quả thực nghiệm hoàn toàn phù hợp với kết quả khảo sát ước tính độ chính xác, mặc dù do điều kiện



thực tế, đồ hình đo thực nghiệm chỉ có 4 điểm nhưng phương pháp lưới không cạnh biên và phương pháp lưới đo cạnh vẫn đạt độ chính xác yêu cầu.

- Các chỉ tiêu về độ chính xác của lưới GPS và lưới kết hợp GPS – TĐĐT đều rất tốt nên tùy vào điều kiện cụ thể (địa hình, điều kiện thiết bị, tiến độ..) để chọn phương pháp đo phù hợp.

## 5.2. KIỂM TRA THÁP CẦU CẦN THƠ

## 5.3. QUAN TRẮC THÁP CẦU CẦN THƠ TRONG QUÁ TRÌNH CĂNG CÁP

## 5.4. ĐO ĐỘ CHUYỂN DỊCH NGANG CÔNG TRÌNH DẠNG THÁP

### Kết luận

- Qua số liệu thực nghiệm của phương pháp thành lập lưới bằng máy toàn đạc điện tử cho thấy sai số vị trí điểm của phương pháp đo góc - cạnh  $m_p = 6\text{mm}$ , phương pháp đo cạnh  $m_p = 8\text{mm}$ , phương pháp không đo cạnh biên  $m_p = 7\text{mm}$  và phương pháp đo góc truyền thống  $m_p = 12\text{mm}$ , hoàn toàn phù hợp với khảo sát lý thuyết. Vì vậy trong điều kiện thuận lợi, nên sử dụng phương pháp đo cạnh và trong trường hợp không thông hướng trên bờ áp dụng phương pháp không đo cạnh biên để tiết kiệm thời gian mà vẫn đảm bảo độ chính xác yêu cầu.

- Lưới đo bằng GPS cho độ chính xác cao.

- Lưới kết hợp GPS - TĐĐT cho độ chính xác cao, ứng dụng phương pháp truy hồi để xử lý kết quả đo lưới đơn giản, chặt chẽ, đảm bảo độ chính xác yêu cầu.

- Trong quá trình thực nghiệm đo kiểm tra bố trí và đo chuyển dịch ngang tại cầu Cần Thơ cho thấy: việc lựa chọn phương pháp đo phù hợp với điều kiện xây dựng ngoài thực địa là rất quan trọng, nhằm đảm bảo độ chính xác, tính thực tế và an toàn, hiệu quả. Có thể sử dụng phương pháp giao hội nghịch góc – cạnh hoặc GPS để đo nếu mặt bằng thi công rộng và điều kiện di chuyển thuận tiện (bằng thang máy) cho độ chính xác cao nhất. Trong trường hợp khác thì sử dụng phương pháp giao hội nghịch góc – cạnh kết hợp phương pháp tọa độ là phù hợp.

- Trong thực nghiệm đo chuyển dịch ngang công trình dạng tháp với 3 phương pháp, cho thấy phương pháp đo tọa độ từ 2 điểm đảm bảo độ chính xác yêu cầu, phù hợp với điều kiện vị trí xây dựng cầu.

### **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

Từ những kết quả nghiên cứu trên đây, khẳng định rằng các luận điểm đề ra đã được chứng minh và rút ra một số kết luận và kiến nghị sau đây:

#### **Kết luận**

1. Thành lập lưới mặt bằng thi công cầu bằng phương pháp đo cạnh với ứng dụng máy TĐĐT, đạt hiệu quả cả về kinh tế và độ chính xác. Với trường hợp 2 bên bờ sông không thông hướng, áp dụng đồ hình lưới không cạnh biên. Đối với khu vực xây dựng cầu lớn, điều kiện địa hình phức tạp nên sử dụng phương pháp kết hợp GPS – TĐĐT trong thành lập lưới.

2. Xử lý số liệu lưới kết hợp GPS - TĐĐT bằng bài toán truy hồi hoàn toàn đảm bảo độ tin cậy, quy trình tính toán đơn giản.

3. Phương pháp tọa độ cực (chương trình setting out) chỉ nên áp dụng để bố trí cọc móng, hoặc bố trí sơ bộ tâm móng trụ cầu. Phương pháp giao hội nghịch góc – cạnh (chương trình freestaion) có thể đáp ứng mọi yêu cầu về độ chính xác của các hạng mục bố trí cầu.

4. Kiểm tra các điểm bố trí bằng phương pháp kết hợp giao hội nghịch góc – cạnh và phương pháp tọa độ bằng máy toàn đạc điện tử, cho độ chính xác cao và khả thi với mọi điều kiện của quá trình xây dựng và khai thác công trình cầu.

5. Quan trắc chuyển dịch ngang bằng phương pháp đo tọa độ từ 2 điểm của lưới khống chế, đảm bảo độ chính xác yêu cầu, phù hợp quan trắc các điểm trên công trình cầu.

6. Phương pháp xác định trạng thái "0" của điểm GPS là chặt chẽ, có độ tin cậy cao có thể áp dụng để xác định vị trí ban đầu của điểm GPS trong hệ SHM mà không chịu ảnh hưởng của gió, nhiệt độ và các điều kiện khác.

### **Kiến nghị**

1. Trong giai đoạn xây dựng và khai thác công trình cầu, công tác trắc địa phải sử dụng máy TĐĐT có độ chính xác tối thiểu đo góc 3'' và đo dài (2mm+2ppm).

2. Trường hợp khu vực xây dựng cầu lớn và địa hình phức tạp, nên thành lập lưới mặt bằng bằng phương pháp kết hợp GPS - TĐĐT.

3. Khi thành lập lưới bằng máy toàn đạc điện tử, trong các điều kiện bình thường nên áp dụng phương pháp tam giác đo cạnh.

4. Sử dụng phương pháp tọa độ cực (setting out) để xác định vị trí cọc móng hoặc bố trí sơ bộ tâm móng trụ cầu, sau đó chính xác hóa bằng phương pháp giao hội nghịch góc – cạnh. Lựa chọn thiết bị và phương pháp bố trí cho từng hạng mục như bảng (3.4)

5. Trong kiểm tra công tác bố trí, áp dụng phương pháp kết hợp giao hội nghịch góc – cạnh và phương pháp tọa độ là phù hợp nhất.

6. Nên áp dụng phương pháp hướng chuẩn để kiểm tra tổng thể trục tim cầu.

7. Khi bố trí các cầu cạn nhiều trụ, nên cân nhắc lựa chọn phương pháp RTK – GPS.

8. Khi quan trắc chuyển dịch ngang các thành phần của cầu nên sử dụng phương pháp tọa độ để quan trắc từ 2 điểm của lưới khống chế, cho độ chính xác cao, đơn giản.

9. Việc ứng dụng phương pháp RTK – GPS trong quan trắc cầu dây là cần thiết. Phương pháp này đảm bảo độ tin cậy cao và có thể sử dụng trị đo để nhận dạng tình trạng của công trình cầu.

### **Hướng nghiên cứu tiếp**

Nghiên cứu hoàn thiện phương pháp xử lý số liệu quan trắc trục quan cầu dây bằng phương pháp RTK – GPS.