



# ĐẢM BẢO CÁC CÔNG TÁC TRẮC ĐỊA TRONG XÂY DỰNG NHÀ SIÊU CAO TẦNG

Vũ Thịnh<sup>1</sup>, Nguyễn Đình Huy<sup>2</sup>

**Tóm tắt:** Nhà siêu cao tầng (SCT) là dạng công trình đặc biệt, đòi hỏi độ chính xác xây lắp rất cao, đặc biệt là theo phương thẳng đứng. Quá trình xây dựng nhà SCT thường sử dụng nhiều loại lưới trắc địa, trong các hệ tọa độ với độ chính xác khác nhau. Để đảm bảo độ chính xác công tác trắc địa trong quá trình thi công nhà SCT cần áp dụng các phương pháp và dụng cụ trắc địa chuyên dụng thích hợp.

**Từ khóa:** Nhà siêu cao tầng; độ chính xác chuyển trục lên tầng; chuyển trục theo tọa độ.

**Summary:** Skyscraper (SCT) is a special construction which requires to be built with extremely accuracy, especially the vertical. The progress of building SCT has to use many kinds of networks in the coordinate system with different accuracy. To ensure the accuracy of the surveying of during building SCT, it is necessary to apply the suitable methods and required geodesic equipments.

**Keywords:** Skyscraper; the accuracy of transferring the axis up to floors; transferring axis according to coordinates.

Nhận ngày 19/5/2016, chỉnh sửa ngày 10/6/2016, chấp nhận đăng 20/8/2016



## 1. Giới thiệu

Nhà siêu cao tầng (SCT) hiện đang được xây dựng nhiều ở Việt Nam cũng như trên thế giới. Đây là dạng công trình xây dựng đặc biệt đòi hỏi độ chính xác qua các giai đoạn rất khác nhau. Với thiết bị và công nghệ hiện đại cho chúng ta khả năng đảm bảo công tác trắc địa trong các giai đoạn xây dựng nhà SCT. Nghiên cứu độ chính xác trắc địa cần thiết trong các giai đoạn, chúng tôi đưa ra các loại lưới khống chế trắc địa với độ chính xác cần thiết đảm bảo công tác trắc địa trong các giai đoạn xây dựng công trình.



## 2. Độ chính xác trong thi công nhà siêu cao tầng

Dung sai xây dựng cho phép là sai số cho phép lắp đặt kích thước một bộ phận nào đó, được ký hiệu là  $\Delta_{XD}^{CP}$

Dung sai xây dựng  $\Delta_{XD}$  là độ sai lệch giữa giá trị thiết kế và giá trị xây dựng thực tế. Mối quan hệ giữa dung sai xây dựng cho phép và dung sai xây dựng được biểu diễn theo công thức:

$$\Delta_{XD} \leq \Delta_{XD}^{CP} \quad (1)$$

Dung sai xây dựng cho phép  $\Delta_{XD}^{CP}$  phụ thuộc vào loại công trình, hạng mục công trình và phương pháp thi công được quy định trong các tiêu chuẩn xây dựng. Độ chính xác xây dựng ảnh hưởng bởi các yếu tố dung sai thành phần, trong đó có ba loại chính là: Dung sai trắc địa  $\Delta_{TD}$ ; Dung sai thi công  $\Delta_{TC}$ ; Dung sai biến dạng  $\Delta_{BD}$ .

Như vậy, dung sai tổng hợp cho phép có thể tính theo công thức:

$$\Delta_{XD}^{CP} = \sqrt{(\Delta_{TD}^{CP})^2 + (\Delta_{TC}^{CP})^2 + (\Delta_{BD}^{CP})^2} \quad (2)$$

Nếu coi ba loại dung sai trắc địa, thi công và biến dạng là độc lập, ảnh hưởng tương đồng (đồng ảnh hưởng) thì:

$$\Delta_{TD}^{CP} = \Delta_{TC}^{CP} = \Delta_{BD}^{CP} = \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

Sai số trung phương trắc địa cho phép ký hiệu  $m_{TD}^{CP}$  và được tính theo dung sai trắc địa cho phép theo công thức:

$$\Delta_{TD}^{CP} \geq t \cdot m_{TD}^{CP} \quad (4)$$

<sup>1</sup>PGS.TS, Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng. Email: vvt695@yahoo.com.

<sup>2</sup>KS, Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng.

Nếu chọn hệ số xác suất (độ tin cậy)  $P=0,95$  thì  $t=2$ . Thay  $t=2$  vào công thức (4) và (3) có sai số trung phương trắc địa  $m_{TD}$ :

$$m_{TD} \leq m_{TD}^{CP} = \frac{\Delta_{TD}^{CP}}{2} = \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{2\sqrt{3}} \quad (5)$$

Trong trắc địa công trình, sai số của một đối tượng được bố trí bao gồm sai số lưới khống chế ( $m_{kc}$ ) và sai số của công tác bố trí ( $m_{bt}$ ):

$$m_{TD} = \sqrt{m_{kc}^2 + m_{bt}^2} \quad (6)$$

Để tính được sai số của lưới khống chế có thể áp dụng một trong hai nguyên tắc sau:

- Nguyên tắc đồng ảnh hưởng:

$$m_{kc} = m_{bt} = \frac{m_{TD}}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

- Nguyên tắc ưu tiên độ chính xác cao:

$$m_{kc} = \frac{m_{bt}}{k} \quad (8)$$

Lấy  $k=2$  có:  $m_{TD} = \sqrt{m_{kc}^2 + (2m_{bt})^2}$

$$\text{Ta có: } m_{kc} = \frac{m_{TD}}{\sqrt{5}} \quad (9)$$



### 3. Các loại lưới trắc địa và độ chính xác trong thi công nhà siêu cao tầng

Trong quá trình xây dựng nhà SCT sử dụng nhiều loại lưới khống chế trắc địa chuyên dụng khác nhau. Do công tác xây lắp đòi hỏi độ chính xác rất cao nên đặc điểm và cách xây dựng lưới trắc địa phục vụ thi công nhà SCT cũng rất đặc biệt.

Thi công nhà SCT yêu cầu độ chính xác cho phép theo chiều đứng trong một tầng không được vượt quá  $\pm 3\text{mm}$ , sai số đo đạc theo chiều thẳng đứng của toàn độ cao ngôi nhà (H) không được quá  $3H/10000$  và không được lớn hơn [1].

Lưới khống chế trắc địa sử dụng trong các giai đoạn xây dựng nhà SCT là: Lưới bố trí; Lưới tìm trục; Lưới định vị tìm trục; Lưới xây lắp.

**Bảng 1.** Sai số đo đạc theo chiều thẳng đứng

Chiều cao (m)	Sai số theo phương thẳng đứng
30m<H≤60m	± 10mm
60m<H≤90m	± 15mm
90m<H≤120m	± 20mm
120m<H≤150m	± 25mm
150m<H	± 30mm

#### 3.1 Lưới bố trí

Lưới bố trí thường là các điểm đường chuyền cấp 2 trong giai đoạn khảo sát. Lưới được sử dụng làm cơ sở để bố trí các hạng mục công trình từ bản vẽ thiết kế ra ngoài thực địa.

a. Đảm bảo sai số trên bản đồ

Việc bố trí công trình ra ngoài thực địa phải đảm bảo sai số vị trí điểm nhỏ hơn sai số trên bản đồ. Với công trình nhà SCT thì tỷ lệ bản đồ khảo sát phục vụ thiết kế thường là 1:1000 hoặc 1:500. Nếu lấy tỷ lệ bản đồ là 1:1000 và sai số số biểu diễn điểm trên bản đồ 0,2 mm thì sai vị trí điểm trên thực địa là 0,2 m.

Nếu coi đây là dung sai xây dựng cho phép thì ta có dung sai trắc địa cho phép tính được là:

$$\Delta_{TD}^{CP} = \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{\sqrt{3}} = \frac{200}{\sqrt{3}} \text{ (mm)}$$

Ta tính được sai số trung phương của công tác trắc địa:

$$m_{TD}^{CP} = \frac{\Delta_{TD}^{CP}}{2} = \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{2\sqrt{3}} = \frac{200}{2\sqrt{3}} = \pm 57,9 \text{ mm}$$

Theo nguyên lý đồng ảnh hưởng thì:

Sai số trung phương của lưới khống chế và bố trí điểm là:

$$m_{kc} = m_{bt} = \frac{m_{TD}}{\sqrt{2}} = \frac{57,9}{\sqrt{2}} = \pm 40,8 \text{ mm}$$

b. Đảm bảo thi công cọc móng

Sai lệch vị trí điểm tìm cọc so với thiết kế không vượt quá  $D/10$  với  $D$  là đường kính cọc [1].

$$\text{Nghĩa là: } \Delta_{XD}^{CP} = \frac{D}{10}$$

$$\text{Sai số trung phương của công tác trắc địa: } m_{TD} = \frac{\Delta_{TD}^{CP}}{2} = \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{2\sqrt{3}} = \frac{D}{20\sqrt{3}}$$

$$\text{Mặt khác: } m_{kc} = m_{bt} = \frac{m_{TD}}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Suy ra } m_{kc} = \frac{D}{20\sqrt{6}} \quad (10)$$

$$\text{Nếu } D = 1000\text{mm thì: } m_{TD} = \frac{D}{20\sqrt{3}} = \frac{1000}{20\sqrt{3}} = \pm 29\text{mm}$$

$$\text{Theo công thức (10) suy ra: } m_{kc} = \frac{D}{20\sqrt{6}} = \frac{1000}{20\sqrt{6}} = \pm 20\text{mm}$$

Như vậy, để đảm bảo các công tác trên thì lưới bố trí phải có sai số trung phương vị trí tương hỗ giữa hai điểm khống chế kế nhau không được vượt quá 20mm.

### 3.2 Lưới tìm trục

Lưới tìm trục cốt 0.0 là hệ thống các điểm giao các trục chính của công trình, dùng để bố trí các trục móng, kết cấu, thiết bị và chuyển trục công trình lên các sàn tầng. Lưới tìm trục yêu cầu sai số tương hỗ vị trí điểm rất cao, được xây dựng đảm bảo yêu cầu sau:

a. Đảm bảo chuyển các trục móng công trình ra thực địa

Các trục móng được đánh dấu trên khung định vị hoặc hệ thống dấu mốc trục, dùng để bố trí chi tiết khi thi công móng. Theo [1] độ lệch của trục chân móng đối với trục thiết kế không vượt quá 10mm.

Nếu coi đây là dung sai xây dựng cho phép thì ta có :

Theo công thức (5):

$$m_{TD}^{CP} \leq \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{2\sqrt{3}} = \frac{10}{2\sqrt{3}} = \pm 2,9\text{mm}$$

Nếu giữa lưới khống chế và công tác bố trí áp dụng nguyên tắc đồng ảnh hưởng:

$$m_{kc} = m_{bt} = \frac{m_{TD}^{CP}}{\sqrt{2}} = \frac{2,9}{\sqrt{2}} = \pm 2,1\text{mm}$$

b. Độ chính xác bố trí các kết cấu

Theo [1] sai lệch của các trục nhà so với trục bố trí hoặc điểm đánh dấu trục không vượt quá 5mm. Coi đó là dung sai xây dựng cho phép  $\Delta_{XD}^{CP}$ , chúng ta có dung sai trắc địa cho phép:

$$\Delta_{TD}^{CP} = \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{\sqrt{3}} = \frac{5}{\sqrt{3}} = \pm 3,5\text{mm}$$

Nếu coi sai số lưới tìm trục cốt 0.0 là nhỏ, ảnh hưởng không đáng kể tới sai số của toàn bộ công tác trắc địa, áp dụng nguyên lý ưu tiên độ chính xác cao thì sai số vị trí điểm lưới khống chế là:

$$m_{kc} = \frac{m_{bt}}{k} \text{ với } k = 2 \text{ ta có } m_{TD}^2 = m_{kc}^2 + m_{bt}^2 = 5m_{kc}^2$$

$$\text{Theo (5): } m_{TD} = \frac{\Delta_{TD}^{CP}}{2} = \frac{3,5}{2} = \pm 1,8\text{mm}$$

$$\text{Suy ra } m_{kc} = \frac{m_{TD}}{\sqrt{5}} = \frac{1,8}{\sqrt{5}} = \pm 0,8\text{mm}$$

c. Độ chính xác chuyển trục công trình lên cao

Độ nghiêng cho phép của một kết cấu cột nhà cao tầng là  $H/1000$ , nhưng không vượt quá 30mm [1]. Nếu coi đây là dung sai xây dựng cho phép, áp dụng nguyên tắc đồng ảnh hưởng ta có dung sai cho phép của công tác trắc địa là:

$$\Delta_{TD}^{CP} = \frac{\Delta_{XD}^{CP}}{\sqrt{3}} = \frac{30\text{mm}}{\sqrt{3}} = \pm 17,3\text{mm}$$

Nếu lấy hệ số chuyển đổi giữa dung sai và sai số trung phương  $t=2$ , ta có:

$$m_{TD} = \frac{\Delta_{TD}^{CP}}{2} = \frac{\pm 17,3}{2} = \pm 8,7 \text{ mm}$$

Sai số trắc địa gồm các nguồn sai số sau [2]: sai số của lưới khống chế  $m_{kc}$ , sai số chiếu điểm  $m_{cd}$ , sai số bố trí trực thăng tầng  $m_{bt}$ :

$$m_{TD}^2 = m_{kc}^2 + m_{bt}^2 + m_{cd}^2 \quad (11)$$

Áp dụng nguyên tắc ưu tiên độ chính xác cao và coi  $m_{cd} = m_{bt}$  và  $m_{kc} = \frac{m_{cd}}{2}$  thay vào công thức (11) thì:

$$m_{kc} = \frac{m_{TD}}{\sqrt{9}} = \pm 2,9 \text{ mm}$$

### 3.3 Lưới định vị tim trực

Khi sàn cốt 0.0 được xây dựng, các cấu kiện được lắp đặt thì lúc đó lưới tim trực cũng bị mất. Để định vị các điểm lưới tim trực này ta phải xây dựng lưới định vị tim trực phục vụ cho công tác trắc địa giai đoạn sau. Lưới định vị tim trực này được xây dựng ở ngoài khu vực xây dựng và ổn định trong suốt quá trình xây dựng công trình.

Lưới định vị tim trực được xây dựng ngay sau khi chuyển thiết kế công trình ra ngoài thực địa và được hiệu chỉnh trên mặt bằng móng cốt 0.0. Nhiệm vụ của lưới là định vị lưới tim trực và là cơ sở chuyển trục lên các tầng.

Lưới định vị phải được xây dựng có độ chính xác cao hơn lưới tim trực, nghĩa là sai số trung phương của lưới định vị tim trực ( $m_{kc}^r$ ):  $m_{kc}^r \leq 0,8 (mm)$ . Việc xây dựng lưới có độ chính xác cao như thế rất khó thực hiện. Do đó nên xây dựng các điểm lưới định vị tim trực và các điểm lưới tim trực cùng cấp thì sẽ dễ thỏa mãn độ chính xác.

Việc tính toán định vị lưới tim trực được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1: Đo GPS tất cả các điểm lưới định vị tim trực và các điểm lưới tim trực.

Bước 2: Tính toán bình sai không gian lưới một cấp, xác định thống nhất tọa độ địa tâm (XYZ) của các điểm trong lưới định vị tim trực.

Bước 3: Tính chuyển tọa độ địa tâm (XYZ) các điểm trong lưới tim trực về hệ tọa độ địa diện chân trời (xyz).

Bước 4: Tính chuyển Helmet tọa độ xy và x'y' các điểm tim trực. Tọa độ địa diện z gần trùng với độ cao thi công h'. Thống nhất tọa độ xây lắp x'y'h' theo chiều dài rộng cao của công trình.

### 3.4 Lưới xây lắp trên mặt sàn

Lưới xây lắp là cơ sở để bố trí các kết cấu xây dựng trên sàn nhà SCT. Lưới xây lắp thường sẽ là lưới tim trực. Tuy nhiên, trong một số trường hợp không thể đặt các loại máy trắc địa trên các điểm của lưới tim trực, vì vậy ta phải xây dựng lưới xây lắp riêng để phục vụ công tác bố trí các kết cấu. Độ chính xác của lưới này phải tương đương với lưới tim trực.



## 4. Các phương pháp chuyển trục lên tầng

### 4.1 Phương pháp đường trục cơ học (dây dọi)

Đường thẳng đi qua tim trực ở cốt 0,0 được chuyển lên tầng theo phương thẳng đứng nhờ trục cơ học được xác định bằng quả dọi. Ưu điểm của phương pháp là dụng cụ đơn giản, dễ thực hiện. Hạn chế của phương pháp chuyển trục bằng dọi là độ chính xác không cao, nguyên nhân chính là dao động của dọi do ảnh hưởng của gió. Phương pháp này phù hợp với các nhà có chiều cao từ 5 đến 7 tầng [3].

### 4.2 Phương pháp đường trục quang học (bằng máy kinh vĩ hoặc toàn đạc điện tử)

Đường trục quang học được xác định bằng máy kinh vĩ hoặc toàn đạc điện tử (TĐĐT). Máy kinh vĩ hoặc TĐĐT được định tâm tại các cọc định vị, tia ngắm của máy kinh vĩ xác định mặt phẳng thẳng đứng đi qua các trục. Giao tuyến của hai mặt phẳng thẳng đứng đi qua hai trục được xác định bằng máy kinh vĩ hoặc TĐĐT là đường thẳng đứng. Trục được chuyển lên tầng nhờ các giao tuyến của các mặt phẳng thẳng đứng xác định bằng máy kinh vĩ TĐĐT. Ưu điểm của phương pháp là dụng cụ phổ biến, dễ thao tác. Nhược điểm cơ bản là yêu cầu mặt bằng công trình rộng, để đảm bảo góc nghiêng tia ngắm của máy kinh vĩ hoặc TĐĐT nhỏ hơn  $30^\circ$  [3], tương ứng với khoảng cách đặt máy cách chân công trình lớn hơn 1,8 lần chiều cao công trình. Độ chính xác của phương pháp không cao. Phương pháp này phù hợp với các nhà có chiều cao từ 7 đến 10 tầng, xây dựng ở nơi có mặt bằng rộng [3].

### 4.3 Phương pháp đường trục quang học của máy chiếu đứng

Trục thẳng đứng được xác định nhờ tia ngắm của máy chiếu đứng quang học hoặc tia laser của máy chiếu đứng điện tử. Ưu điểm của phương pháp là dụng cụ gọn nhẹ, có thể thực hiện trong không gian chật hẹp, độ

chính xác cao, sai số chuyển trục lên tầng có thể đạt  $\pm 3\text{mm}/100\text{m}$ . Hạn chế của phương pháp là phải đảm bảo sự thông thoáng khi chuyển trục qua nhiều tầng trong khi đang thi công công trình, mỗi trục chỉ có một ô vuông trống  $20 \times 20\text{cm}$  thông qua tất cả các sàn. Nếu số tầng quá cao, sẽ bị ảnh hưởng sai số tích lũy. Phương pháp này phù hợp với các nhà có chiều cao từ 10 đến 20 tầng, mặt bằng xây dựng chật hẹp. Có thể áp dụng cho nhà có chiều cao tối đa đến 30 hoặc 40 tầng [3].

#### 4.4 Phương pháp chuyển trục lên nhà cao tầng theo tọa độ bằng GPS

Khi xây dựng nhà cao tầng, với số tầng nhỏ hơn 40 tầng thì việc sử dụng máy chiếu đứng và áp dụng chia phân đoạn thì công tác chuyển trục vẫn đảm bảo độ chính xác. Sai số tích lũy khi chiếu với 2 đoạn chiếu vẫn có thể chấp nhận được.

Với nhà SCT, số tầng càng cao thì việc chuyển các điểm khống chế cơ sở bên trong lên các mặt sàn tầng xây dựng bằng cách sử dụng máy chiếu đứng không còn phù hợp nữa sẽ gặp phải sai số tích lũy lớn không đảm bảo độ chính xác của lưới tim trục trên sàn là  $m=0,8\text{mm}$ .

Để giải quyết vấn đề này trong mỗi phân đoạn chiếu thường từ 15 đến 20 tầng sử dụng máy chiếu đứng để chuyển trục công trình lên các sàn. Sau đó dùng máy TĐĐT đo và kiểm tra các trị đo của lưới khống chế khung, tiến hành bình sai tự do, khi đó độ chính xác của lưới này được nâng lên. Khi hết số tầng trong phân đoạn, dùng công nghệ GPS để chuyển tọa độ lên tầng, đo đồng thời lưới tim trục và lưới định vị tim trục.

Trong trắc địa giữa các bậc lưới với nhau sẽ có hệ số suy giảm k:

$$m_i = \frac{m_l}{k}$$

Theo lý thuyết, phương pháp chuyển trục công trình lên cao bằng tọa độ sử dụng công nghệ GPS kết hợp với các trị đo mặt đất thì tại các phân đoạn sai số chuyển trục ở tầng thứ i chỉ phụ thuộc vào sai số của cấp lưới đầu tiên và sai số đo của chính cấp lưới đó mà không bị phụ thuộc bởi sai số của cấp lưới trước.



### 5. Kết luận

Việc thành lập các mạng lưới khống chế trong các giai đoạn khác nhau trong thi công nhà SCT là cần thiết nhằm đảm bảo độ chính xác xây dựng đặc biệt là theo phương thẳng đứng.

Để đảm bảo yêu cầu công tác bố trí các kết cấu và chuyển trục công trình lên cao trong thi công nhà SCT thì sai số trung phương vị trí tương hỗ giữa hai điểm kề nhau của lưới khống chế cơ sở trên mặt bằng móng không vượt quá  $0,8\text{mm}$ .

Giải pháp đối với các công trình nhà SCT là sử dụng chiếu phân đoạn kết hợp với GPS. Sử dụng máy chiếu đứng quang học chiếu chuyển trục lên từng tầng trong các phân đoạn 15-20 tầng. Để chính xác hóa lưới khống chế khung ở đầu mỗi đoạn chiếu sử dụng GPS chuyển trục lên theo phương pháp tọa độ.

#### Tài liệu tham khảo

1. Bộ Xây dựng (2012), TCVN 9398:2012 - Công tác trắc địa trong xây dựng công trình - Yêu cầu chung.
2. Bộ Xây dựng (1995), TCVN 4453:1995 - Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép toàn khối, Qui phạm thi công và nghiệm thu.
3. Vũ Thặng (2012), Giáo trình Trắc địa công trình chuyên ngành.