

**ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐƯỜNG CHUYỀN KÉP TRONG THI CÔNG
ĐÀO HẦM BẰNG CÔNG NGHỆ TBM ĐOẠN TỪ GA S9 ĐI S10
TUYẾN ĐƯỜNG SẮT SỐ 3 ĐOẠN NHỒN - GA HÀ NỘI**

**APPLICATION OF DOUBLE ZIGZAG TRAVERSE METHOD FOR TUNNEL
CONSTRUCTION USING TBM TECHNOLOGY FROM STATION S9 TO S10
OF METRO #3 NHON - HANOI STATION METRO #3**

Ngô Xuân Thế¹, Diêm Công Huy², Phạm Anh Hùng³, Diêm Công Tú⁴

^{1,2}*Viện Khoa học công nghệ xây dựng*

^{3,4}*Hyundai E&C*

Email: ¹ngotheibst@gmail.com, ²dchuybst@gmail.com, ⁴tutracdia@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses3-14>

TÓM TẮT: Bài báo có nội dung trình bày công tác thiết kế đồ hình lưới đường chuyển kép phục vụ công tác thi công đào hầm bằng công nghệ TBM đoạn từ ga S9 đến ga S10 tuyến đường sắt trên cao Nhòn - Ga Hà Nội. Phần thực nghiệm đã thành lập, đo đạc lưới đã thiết kế phục vụ đào thành công tuyến bên phải từ ga S9 đến ga S10.

TỪ KHÓA: Đường chuyển kép, Đồ hình lưới, Phần mềm tính toán.

ABSTRACT: The article presents the design of a double ZigZag traverse diagram to serve the construction of tunneling using TBM technology from station S9 to station S10 on the Nhon - Hanoi Railway elevated railway line. The experimental part has established and measured the designed traverse network to successfully excavate the track 01 from station S9 to station S10.

KEYWORD: Double Zigzag traverse, Shape networks, Software for calculating.

1. TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về các phương pháp đào hầm

Từ thế kỷ 19 đến nay kỹ thuật đào hầm bắt đầu được sử dụng. Những công trình hầm cổ xưa được xây dựng bằng phương pháp thủ công, sức người là chủ yếu, đến ngày nay công nghệ đào hầm đã phát triển với nhiều phương pháp khác nhau. Một số phương pháp đào hầm từ trước đến nay.

a. Phương pháp thủ công

Phương pháp này gọi là phương pháp thủ công, những người thợ mỏ miệt mài đục đẽo đá bằng cuộc xẻng, đèn dầu leo lét soi đường. Ấy vậy mà, họ đã tạo nên những đường hầm đáng kinh ngạc, phục vụ cho nhu cầu khai thác và di chuyển..

b. Phương pháp đào hở (Cut-and-Cover): “Đào và Lấp” đơn giản mà hiệu quả

Đây là phương pháp đào hầm “kinh điển” và dễ hình dung nhất. Về cơ bản, chúng ta sẽ đào một “con hào” lớn trên mặt đất, xây dựng kết cấu hầm bên trong, rồi lấp đất lại. Nghe thì có vẻ đơn giản,

nhưng phương pháp đào hở vẫn được ứng dụng rộng rãi trong xây dựng hầm metro, hầm đường bộ ngắn và các công trình ngầm đô thị khác.

Ưu điểm của phương pháp đào hở là thi công nhanh, chi phí tương đối thấp và dễ kiểm soát chất lượng. Tuy nhiên, nó cũng có nhược điểm là gây ảnh hưởng lớn đến giao thông và sinh hoạt của người dân trong quá trình thi công, đặc biệt là ở những đô thị đông đúc.

c. Phương pháp đào hầm NATM (New Austrian Tunneling Method): Linh hoạt và thích ứng

Một phương pháp đào hầm trong đô thị khác cũng rất phổ biến là NATM. Phương pháp này dựa trên nguyên lý “vỏ hầm tự chịu lực”, tận dụng tối đa khả năng chịu lực của đất đá xung quanh để ổn định hầm. NATM nổi tiếng với sự linh hoạt và khả năng thích ứng cao với nhiều loại địa chất khác nhau.

Trong phương pháp đào hầm NATM, người ta sẽ đào hầm theo từng phân đoạn nhỏ, phun lớp bê tông bảo vệ vách hầm ngay sau khi đào, rồi lắp đặt hệ thống neo và các biện pháp gia cố khác.

NATM đặc biệt hiệu quả trong điều kiện địa chất phức tạp, không ổn định, nơi mà các phương pháp đào hầm khác gặp nhiều khó khăn. Bạn có thể hình dung NATM như một “bàn tay” khéo léo, nhẹ nhàng “mở đường” trong lòng đất, thay vì “công phá” mạnh mẽ như các phương pháp khác

d. Phương pháp đào kín (Tunneling): “Chuột chũi” công nghệ cao

Để giảm thiểu tối đa ảnh hưởng đến bề mặt đô thị, phương pháp đào kín ra đời. Phương pháp này cho phép đào hầm ngầm mà không cần đào hở trên mặt đất. Thực tế, đó là nhờ sự trợ giúp của các loại máy đào hầm chuyên dụng, đặc biệt là máy đào khiên (TBM - Tunnel Boring Machine).

Hiện nay, phương pháp đào hầm trong đô thị (TBM) hiện đại đã tiến một bước dài so với quá khứ. Sự ra đời của thuốc nổ, máy khoan hầm, máy đào khiên và các công nghệ tiên tiến khác đã thay đổi hoàn toàn diện mạo ngành xây dựng hầm. Nếu như trước đây, việc đào hầm là một quá trình chậm chạp, nguy hiểm và tốn kém, thì ngày nay, chúng ta đã có thể xây dựng những đường hầm dài hàng chục kilomet dưới lòng thành phố một cách nhanh chóng, an toàn và hiệu quả hơn.

1.2. Công nghệ đào hầm TBM

Tàu điện ngầm là công trình quan trọng trong cấu trúc giao thông của các thành phố lớn trên thế giới. Các công trình tàu điện ngầm thường được xây dựng trong các thành phố đông đúc với mục đích làm giảm số người sử dụng phương tiện cá nhân để giải quyết tình trạng ùn tắc giao thông, ô nhiễm môi trường.

Công nghệ TBM ra đời được đánh giá là cứu cánh cho các dự án tàu điện ngầm vì những ưu điểm của nó. Đào hầm bằng công nghệ TBM thì công phần lớn dưới mặt đất nên không tốn diện tích phục vụ thi công và hầu như không làm ảnh hưởng đến các công trình xây dựng trên mặt đất. Đặc điểm của hầm tàu điện ngầm là rất nông (chỉ khoảng -10 đến -15 m so với mặt đất), đa số hầm có địa chất rất phức tạp, mức nước ngầm cao,... nên việc thi công bằng công nghệ TMB đã giải quyết được tất cả những vấn đề trên trong khi tất cả các phương pháp khác không làm được. Hai loại máy TBM thường được dùng nhiều nhất để thi công hầm tàu điện ngầm là EPB (ứng dụng áp lực cân bằng) và Slurry (dùng thủy lực).

TBM hay máy thi công hầm bằng khiên đào là hệ thống thiết bị cơ giới hoàn chỉnh, bao gồm đầu cắt ở phía trước để đào đất đá, tiếp đó là thân khiên

đào hình trụ để chống đỡ tiết diện vừa đào và thi công đổ tại chỗ hoặc lắp ghép vỏ bê tông cốt thép đúc sẵn tạo thành kết cấu chính của đường hầm, phía sau cùng là hệ thống cấp năng lượng, thủy lực, khí nén,... và vận chuyển bùn thải ra bên ngoài bằng hệ thống bơm hoặc băng tải. Máy khoan đường hầm (TBM) là thiết bị chuyên dụng để đào hầm trong hầu hết các loại nền đất dưới các điều kiện địa chất, thủy văn khác nhau. Có nhiều loại TBM khác nhau, từ TBM trong đá cứng tới khiên trong đất yếu, từ khiên đầu hờ đến khiên đầu quay kín. Chức năng của TBM:

- Đào đường hầm trong đất đá;
- Vận chuyển đất đá đào ra khỏi mặt đào;
- Duy trì kích thước và độ dốc của đường hầm;
- Chống đỡ tạm thời đường hầm cho tới khi hoàn thành kết cấu chống đỡ lâu dài;
- Xử lý điều kiện nền bất lợi;



Hình 1.1: Hình ảnh của 1 loại máy đào hầm TBM

Phương pháp đào hầm bằng công nghệ TBM là phương pháp thi công liên hoàn từ khoan hầm - gia cố vỏ hầm - lắp ghép hoàn thiện vỏ hầm theo một quy trình khép kín, do vậy sai số cho phép rất nhỏ chỉ vài centimet do điều khiển hướng TBM nên công tác trắc địa phục vụ định hướng khi thi công bằng công nghệ TBM cũng có sự khác biệt với các thi công truyền thống. Độ chính xác của độ dốc cũng quan trọng đối với tuyến hầm, với các đường hầm phục vụ đường sắt tốc độ cao, mức độ thay đổi độ dốc và bán kính cong của ray phải có sự biến thiên chậm, sao cho càng tạo ra các tuyến thẳng và độ dốc càng nhỏ càng tốt.

Ở Việt Nam hiện nay, công nghệ đào hầm bằng máy TBM đã được thực hiện tại tuyến Metro Bến Thành - Suối Tiên. FECON là nhà thầu Việt Nam đầu tiên tham gia vận hành robot TBM từ ga Ba Son đến ga Nhà hát Thành phố Hồ Chí Minh, với tổng chiều dài 2×781 m.

1.3. Công tác trắc địa phục vụ thi công đào hầm

Công tác trắc địa trong quá trình xây dựng hầm bằng công nghệ TBM gồm những công việc sau:

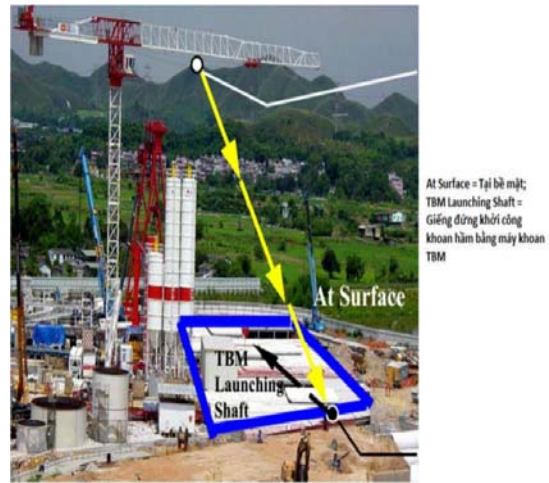
- Thành lập lưới khống chế cơ sở tọa độ, độ cao tại các cửa hầm phục vụ đo đạc lưới trong hầm khi tiến hành đào hầm.
- Đo đạc lưới khống chế tọa độ, độ cao trong hầm phục vụ cung cấp số liệu cho thiết bị đào trong quá trình đào hầm.
- Quan trắc lún, nghiêng, chuyển dịch ngang công trình lân cận khu vực Ga, hầm đi qua.

Với công tác đào hầm bằng công nghệ TBM thì công tác trắc địa phục vụ thi công trong quá trình đào hầm là rất quan trọng, Đây là công tác đào hầm 1 chiều, đảm bảo cho việc đào hầm đi đúng hướng đến hầm bên kia, lưới đường chuyền được thành lập thường là dạng đường chuyền treo, do vậy độ chính xác đường chuyền ảnh hưởng rất lớn đến công tác đào thông hầm.

Công tác trắc địa phục vụ quá trình đào hầm:

+ *Bước 1:*

Thành lập lưới khống chế mặt bằng trên mặt đất bằng công nghệ GPS, các điểm khống chế được bố trí tại các ram dốc, giếng đứng, nhà ga ngầm (là điểm xuất phát của hệ thống TBM khi đào hầm) như hình 1.2.



Hình 1.2: Lưới khống chế trên nóc hầm

+ *Bước 2:*

Tiến hành chuyển tọa độ, độ cao từ các điểm khống chế trên mặt đất xuống hầm qua giếng đứng và ram dốc.

+ *Bước 3:*

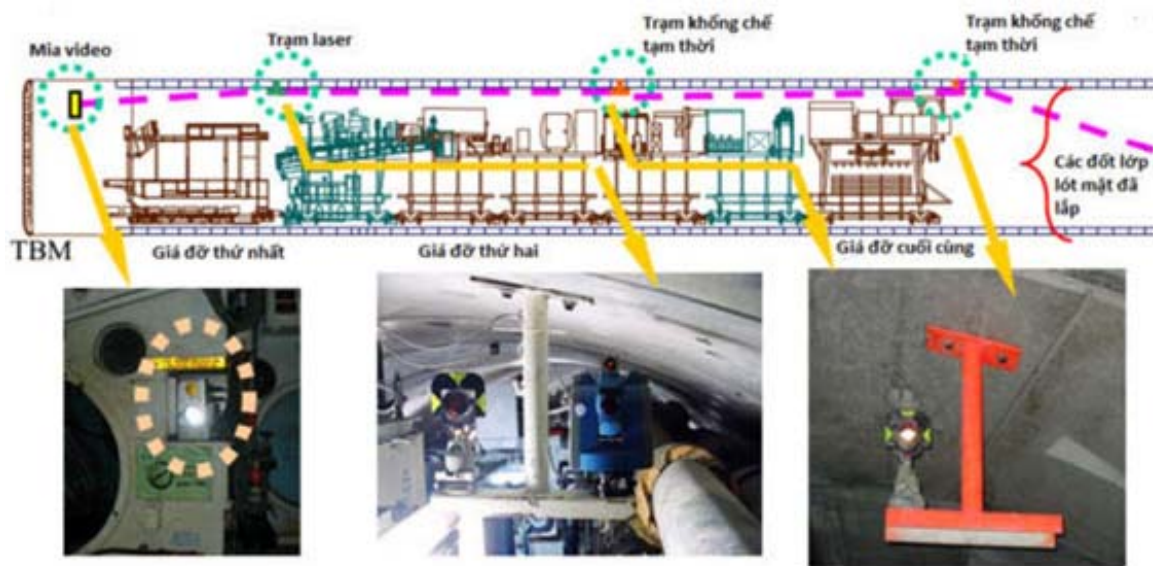
Thành lập lưới khống chế trong hầm là dạng lưới đường chuyền kép ở phía sau hệ thống TBM.

+ *Bước 4:*

Thường xuyên phát triển các trạm khống chế tạm thời ở trên nóc hầm sao cho các trạm này đặt ở phía sau hệ thống TBM luôn nhìn thấy các mục tiêu lăng kính gắn trên TBM để định hướng TBM khi khoan hầm.



Hình 1.3: Lưới đường chuyền kép trong hầm



Hình 1.4: Hệ thống lưới đường chuyển kép trong hầm

+ Bước 5:

Trạm Laser đã được gắn các tọa độ, độ cao từ trạm khống chế tạm thời được chiếu lên mục tiêu lăng kính gắn vào hệ thống TBM để xác định các tọa độ không gian (x,y,z) của TBM tại điểm đó. Hệ thống chỉ dẫn khoan đào đường hầm và các máy đo độ nghiêng trực tiếp inclinometer đồng thời xác định sự thay đổi của đầu đào so với hướng thiết kế theo 3 trục tọa độ. Trên cơ sở đó hệ thống TBM tự động điều chỉnh hướng đào cho phù hợp.

2. THIẾT KẾ LƯỚI ĐƯỜNG CHUYỂN KÉP TUYẾN S9 - S10

2.1. Tổng quan về đoạn hầm ngầm ga S9 - S10

Tuyến đường sắt đô thị thí điểm thành phố Hà Nội đoạn Nhổn - Ga Hà Nội nằm trong hệ thống Metro nổi Nhổn và Ga Hà Nội. Bắt đầu ở Đề phố tại Nhổn, tuyến đường Metro chạy tới phía Đông dọc đường Quốc lộ 32, đi qua khu vực Cầu Diễn vượt qua đường vành đai 3. Sau đó tuyến Metro chạy tiếp trên đường Xuân Thủy, Cầu Giấy cho đến khi đến trạm trung chuyển với xe Bus ở trước đại học Giao thông vận tải Hà Nội, tại điểm này tuyến bắt đầu hạ ngầm, chạy theo đường Kim Mã, qua gần khách sạn Horizon và tiếp tục chạy thẳng qua Cát Linh, Quốc Tử Giám và kết thúc tại Gara nằm trên đường Trần Hưng Đạo. Gói thầu CP03 gồm 04 nhà ga ngầm, nối giữa các nhà ga với nhau là 2 đường hầm chạy song song (đường kính 5,7 m) với tổng chiều dài 2,7 km và 1 dốc hạ ngầm, 1 giếng thông gió, đường chuyển làn và gara. Đoạn ga S9 - S10 là đoạn ga ngầm đầu tiên trên tuyến của 3 đoạn

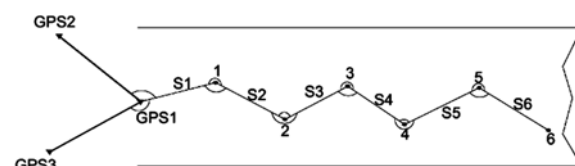
ngầm sâu khoảng 17.8 m dưới mặt đất, chạy từ Kim Mã đến Cát Linh, với chiều dài khoảng 1.3 km. Nhà thầu thi công các đoạn ngầm là liên danh Hyundai E&C - Ghella



Hình 2.1: Sơ đồ tuyến hầm S9 - S10

2.2. Nguyên lý phương pháp lưới đường chuyển kép

Từ trước đến nay, ở nước ta thi công hầm bằng các phương pháp truyền thống, lưới thi công trong hầm thường sử dụng dạng lưới đường chuyển treo đơn có đo thêm góc bổ sung để kiểm tra, nâng cao độ tin cậy. Đây là dạng lưới khống chế có độ tin cậy thấp.



Hình 2.2: Sơ đồ lưới đường chuyển treo

Khi thi công bằng công nghệ TBM thì việc thi công xây dựng hầm là một quy trình liên hoàn, khép kín từ đào đường hầm - gia cố vỏ hầm - hoàn thiện vỏ hầm và có yêu cầu độ chính xác định hướng hầm rất cao. Vì vậy, cần phải nghiên cứu

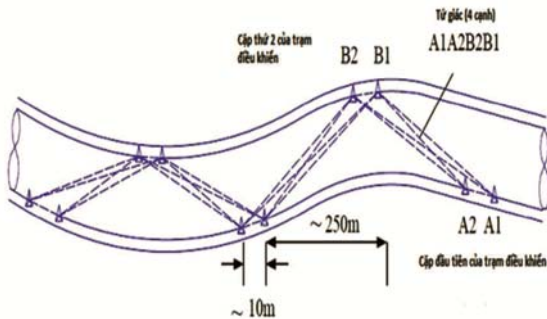
ứng dụng dạng lưới không chế đặc biệt có độ tin cậy cao để đảm bảo quá trình định hướng hầm khi thi công hầm bằng công nghệ TBM đạt các yêu cầu theo thiết kế đề ra. Sau khi tham khảo một số tài liệu nước ngoài chúng tôi thấy dạng lưới không chế tương đối phù hợp đó là tuyến đường chuyển kép. Nội dung chi tiết lưới đường chuyển kép được nêu trong tài liệu [4].

2.2.1. Thiết kế lưới đường chuyển kép

Lưới đường chuyển kép được thành lập ở phía sau hệ thống TBM và phát triển theo tiến độ đào hầm. Vì được thành lập ở phía sau hệ thống TBM mà khu vực này đã được hoàn thiện vô hầm nên điều kiện đo đạc tương đối thuận lợi.

Có thể thiết kế lưới đường chuyển kép như sau (Hình 2.3):

- + Tại một vị trí bố trí hai điểm không chế kè nhau, cách nhau $8\text{ m} \div 10\text{ m}$.
- + Chiều dài cạnh dài của lưới đường chuyển kép tùy thuộc vào thiết kế của hầm mà có thể thay đổi từ $150\text{ m} \div 200\text{ m}$.
- + Đo tất cả các cạnh trong lưới và chỉ đo các góc hợp bởi các cạnh dài trong lưới. Như vậy, lưới gồm các tứ giác trắc địa kế tiếp nhau.



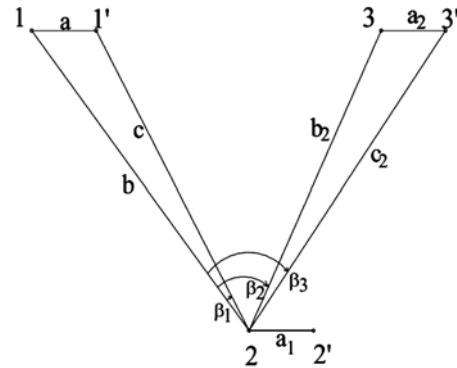
Hình 2.3: Sơ đồ lưới đường chuyển kép

2.2.2. Ước tính độ chính xác lưới đường chuyển kép

Trong lưới đường chuyển kép có số lượng trị đo thừa góc và cạnh tương đối lớn nên có thể sử dụng các thuật toán của phương pháp bình sai điều kiện hoặc phương pháp bình sai gián tiếp để ước tính độ chính xác của lưới theo nguyên lý số bình phương nhỏ nhất. Hiện nay, người ta hay sử dụng các thuật toán của phương pháp bình sai gián tiếp để ước tính độ chính xác của lưới trắc địa, vì phương pháp này cho phép tự động hóa cao và thuận lợi cho việc lập chương trình trên máy tính. Như vậy, lưới đường chuyển kép có thể sử dụng các phần mềm chuyên dụng đã được thành lập để ước tính độ chính xác.

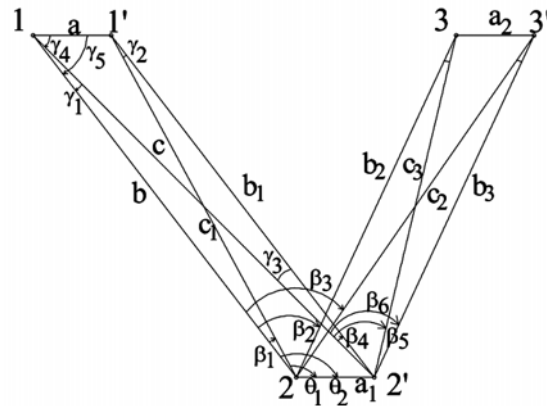
2.2.3. Tổ chức đo đạc thành lập lưới đường chuyển kép

Xét một đoạn đường chuyển kép bao gồm 3 cặp điểm 1-1'; 2-2'; 3-3' (Hình 2.4)



Hình 2.4: Sơ đồ đo góc - cạnh trên 1 trạm đo lưới đường chuyển kép

Tại mỗi trạm máy đo 3 góc $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ và đo 5 cạnh là cạnh b, c, a_1, b_2, c_2 . Cạnh a_1 có thể đo bằng máy TĐĐT hoặc thước thép.



Hình 2.5: Sơ đồ đo góc - cạnh trên 1 trạm đo lưới đường chuyển kép

Tại sơ đồ hình 2.5 đo 11 cạnh, 6 góc và cần phải kiểm tra chất lượng đo đạc trong lưới theo các điều kiện sau:

a. Kiểm tra chất lượng đo góc

Chúng ta có thể kiểm tra chất lượng góc đo của lưới đường chuyển kép trong mỗi một tứ giác 1-1'-2-2' bằng phương trình điều kiện góc đối đỉnh (Hình 2.5).

$$\gamma_1 + \beta_1 = \gamma_2 + \gamma_3 \quad (2.1)$$

Từ đó, ta có phương trình điều kiện dạng số hiệu chỉnh là:

$$v_{\gamma_1} + v_{\beta_1} - v_{\gamma_2} - v_{\gamma_3} + \omega_{\gamma} = 0 \quad (2.2)$$

$$\text{Trong đó: } \omega_{\gamma} = \gamma_1 + \beta_1 - \gamma_2 - \gamma_3 \quad (2.3)$$

b. Kiểm tra độ chính xác chuyển phương vị

Từ các cạnh 1-2 và 1'-2' ta có thể chuyển phương vị đến cạnh 2-3 (Hình 2.5) như sau:

$$(\alpha_{2-3})_1 = \alpha_{1-2} + \beta_2 \quad (2.4)$$

$$(\alpha_{2-3})_2 = \alpha_{1'-2'} + (\beta_2 - \beta_1) \quad (2.5)$$

Kiểm tra điều kiện khép phương vị

$$\Delta\alpha = (\alpha_{2-3})_1 - (\alpha_{2-3})_2 \quad (2.6)$$

c. Kiểm tra chất lượng đo cạnh

Xét tứ giác đo toàn cạnh 1-1'-2-2' (Hình 2.5) cần kiểm tra chất lượng cạnh bằng điều kiện:

$$\gamma_1 + \gamma_4 = \gamma_5 \quad (2.7)$$

Trong đó: γ_i là các góc tính từ các cạnh đo theo định lý hàm số cosin.

Từ đó, ta có phương trình số hiệu chỉnh là:

$$v_{\gamma_1} + v_{\gamma_4} - v_{\gamma_5} + \omega_s = 0 \quad (2.8)$$

$$\text{Với } \omega_s = \gamma_1 + \gamma_4 - \gamma_5 \quad (2.9)$$

Để kiểm tra chất lượng đo góc và đo cạnh trong lưới đường chuyền kép cần phải xác định các đại lượng (ω_{gh}) tính trong các công thức (2.3), (2.6) và (2.9).

Như vậy, đối với một đoạn lưới đường chuyền kép như hình 2.5, có 4 trị đo thừa bao gồm 2 trị đo thừa để kiểm tra điều kiện cạnh và 2 trị đo thừa để kiểm tra điều kiện góc. Vậy trong trường hợp này độ tin cậy của các đại lượng cần xác định sẽ được tăng lên $\sqrt{r}$ lần, trong đó r là trị đo thừa [2].

2.2.4. Xây dựng công thức kiểm tra chất lượng đo góc lưới đường chuyền kép

Chất lượng đo góc trong lưới đường chuyền kép được kiểm tra qua sai số khép ω_γ tính theo công thức (2.3) với các γ_i và β_i là các góc đo trong đường chuyền, ở đây ta cần phải tính sai số khép giới hạn (ω_{gh}) theo các chỉ tiêu kỹ thuật thành lập lưới khống chế thi công trong hầm phục vụ thi công hầm bằng công nghệ TBM. Giá trị ω_{gh} được tính như sau:

Từ công thức (2.3) lấy vi phân toàn phần và chuyển về sai số trung phương ta có:

$$m_{\omega_\gamma}^2 = m_{\gamma_1}^2 + m_{\beta_1}^2 + m_{\gamma_2}^2 + m_{\gamma_3}^2 \quad (2.10)$$

$$\text{Coi: } m_{\gamma_1} = m_{\beta_1} = m_{\gamma_2} = m_{\gamma_3} = m_\beta \quad (2.11)$$

Ta có:

$$m_{\omega_\gamma}^2 = 4.m_\beta^2 \quad (2.12)$$

$$\text{Hay: } m_{\omega_\gamma} = 2.m_\beta \quad (2.13)$$

Trong đó: m_β - Sai số trung phương đo góc trong đường chuyền.

Nếu lấy sai số giới hạn bằng hai lần sai số trung phương ta có.

$$\omega_{gh} = 2.m_{\omega_\gamma} = 4.m_\beta \quad (2.14)$$

Lấy $m_\beta = 1,5''$ thay vào công thức (2.14) ta có:

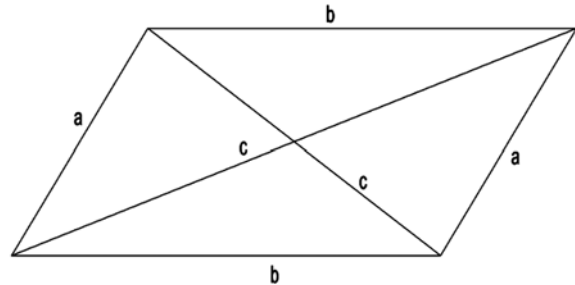
$$\omega_{gh} = \pm 6''$$

2.2.5. Kiểm tra chất lượng đo cạnh trong lưới đường chuyền kép

Để kiểm tra chất lượng đo cạnh trong lưới đường chuyền kép thì có nhiều cách để kiểm tra, sau đây chúng tôi trình bày hai cách kiểm tra như sau:

+ Cách 1:

Kiểm tra sai số khép ω_s tính theo công thức (2.9), sai số khép góc (ω_s)_{gh} tính theo nguyên tắc sau đây:



Hình 2.6: Lưới tứ giác nhỏ

Đối với lưới tam giác nhỏ, khi các cạnh trong một tứ giác được xác định theo hình 2.6 thì sai số khép giới hạn ω_{gh} có thể tính theo công thức:

$$\omega_{gh} = \frac{4.b}{a.c} . \rho'' . m_s \quad (2.15)$$

Trong đó:

- a, b, c: Chiều dài các cạnh đo trong tứ giác trắc địa đo cạnh;

- m_s : SSTP đo cạnh trong lưới.

Áp dụng vào lưới đường chuyền kép khi thiết kế có cạnh $b \approx c$. Từ công thức (2.15) ta có công thức tính sai số khép giới hạn cho phương trình điều kiện:

$$\omega_{gh} = \frac{4}{a} . \rho'' . m_s \quad (2.16)$$

Khi độ chính xác đo cạnh $m_s = \pm 1$ mm; cạnh $a = 10$ m, thì $\omega_{gh} = \pm 82,5''$.

Như vậy, trước khi bình sai lưới đường chuyền kép ta cần phải kiểm tra chất lượng đo cạnh tính theo công thức (2.16) và tính sai số giới hạn cho phép ω_{gh} theo sai số trung phương đo cạnh trong đường chuyền.

+ Cách 2:

Chất lượng đo cạnh trong lưới đường chuyền kép cũng có thể được kiểm tra bằng điều kiện diện tích sau đây:

Từ hình 2.5 ta có điều kiện.

$$S_{\Delta 1-2-2'} + S_{\Delta 1-2'-1'} = S_{\Delta 1-1'-2} + S_{\Delta 1'-2-2'} \quad (2.17)$$

Trong đó:

$S_{\Delta 1-2-2'}$: Diện tích tam giác 1-2-2'.

$S_{\Delta 1-2'-1'}$: Diện tích tam giác 1-2'-1'.

$S_{\Delta 1-1'-2}$: Diện tích tam giác 1-1'-2.

$S_{\Delta 1'-2-2'}$: Diện tích tam giác 1'-2-2'.

Diện tích các tam giác được tính theo công thức Heron:

$$S_{\Delta 1-2-2'} = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)} \quad (2.18)$$

Trong đó:

$$P = \frac{a+b+c}{2} \quad (2.19)$$

a, b, c, là các cạnh đo trong hình 2.6.

2.2.6. Kiểm tra điều kiện phương vị

Từ công thức (2.6) vì phân toàn phần và chuyển sang sai số trung phương ta có:

$$m_{\Delta\alpha}^2 = (m_{\alpha 2-3})_1^2 + (m_{\alpha 2-3})_2^2 \quad (2.20)$$

Nếu coi

$$(m_{\alpha 2-3})_1 = (m_{\alpha 2-3})_2 = m_{\alpha k} \quad (2.21)$$

Trong đó k chỉ số thứ tự cạnh chuyển phương vị.

Ta có:

$$m_{\Delta\alpha} = m_{\alpha k} \cdot \sqrt{2} \quad (2.22)$$

- Giá trị $m_{\alpha k}$ được tính như sau:

Từ công thức chuyển phương vị trong một tuyến đường chuyền ta có:

$$\alpha_k = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \pm 180^\circ \quad (2.23)$$

Vì phân toàn phần (2.23) chuyển về sai số trung phương ta có:

$$m_{\alpha k}^2 = m_{\alpha 0}^2 + \sum_{i=1}^k m_{\beta i}^2 \quad (2.24)$$

$$\text{Vi: } \Delta_{\alpha k} = (\alpha k)_1 - (\alpha k)_2 \quad (2.25)$$

Nên ảnh hưởng của sai số phương vị khởi đầu $m_{\alpha 0}$ sẽ bị triệt tiêu, khi đó ta có:

$$m_{\alpha k} = m_{\beta i} \cdot \sqrt{k} \quad (2.26)$$

Thay vào công thức (2.22) ta có

$$m_{\Delta\alpha k} = m_{\beta i} \cdot \sqrt{2} \cdot k \quad (2.27)$$

Trong đó: k là số thứ tự chuyển phương vị.

Ta có sai số khép giới hạn chuyển phương vị tại cạnh thứ k:

$$f_{\Delta\alpha} = 2 \cdot m_{\Delta\alpha} \quad (2.28)$$

Nếu trong tuyến đường chuyền kép cạnh chuyển phương vị có k = 5; $m_{\beta} = \pm 1,5''$ thì ta tính được $m_{\Delta\alpha} = \pm 4,7''$ và $f_{\Delta\alpha} = \pm 9,4''$.

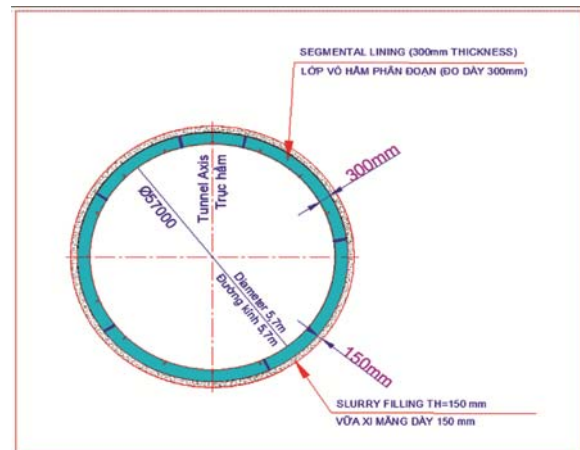
2.3. Thiết kế lưới đường chuyền kép tuyến S9 - S10 phía phải

Như đã giới thiệu ở mục 2.1, tuyến đường sắt ngầm từ ga S9 đến ga S10 gồm hai hầm chạy gần song song nhau trong đó đoạn phía bên phải dài khoảng 1.300 m.

Đường hầm được đào bằng phương tiện cơ giới bao gồm đường hầm đôi vỏ hầm bằng một lớp vật liệu là bê tông đúc sẵn vĩnh viễn. Các vòng vỏ hầm được dùng là loại phổ biến, bao gồm 5 đoạn chính và 1 đoạn nhỏ với kích thước như sau:

- Đường kính trong: 5.700 mm (bao gồm 200 mm sai lệch cho đường hầm 5.500 mm).
- Chiều dày vỏ hầm: 300 mm (Hình 2).
- Chiều dài vỏ hầm: 1.500 mm

Tuyến đào bắt đầu từ ga Kim Mã (sẽ được sử dụng như lối vào TBM) hướng về phía Đông của thành phố, dọc theo khu vực ban đầu của tuyến, hầm chủ yếu chạy theo đường Kim Mã, sau đó gặp giếng thông gió và uốn cong nhẹ về phía Nam qua 1 khu dân cư rồi gặp Ga Cát Linh. Dọc theo đoạn tuyến này, một giếng thông gió sẽ được xây dựng và được kết nối với hầm chính bằng hai hầm ngắn được đào theo phương pháp NATM trên nền đất được cố kết hoàn toàn thông qua kỹ thuật phun vữa jet grouting. Cần lưu ý rằng trước khi gặp ga Cát Linh, tuyến hầm đi qua gần Văn Miếu, di tích lịch sử của thành phố Hà Nội.



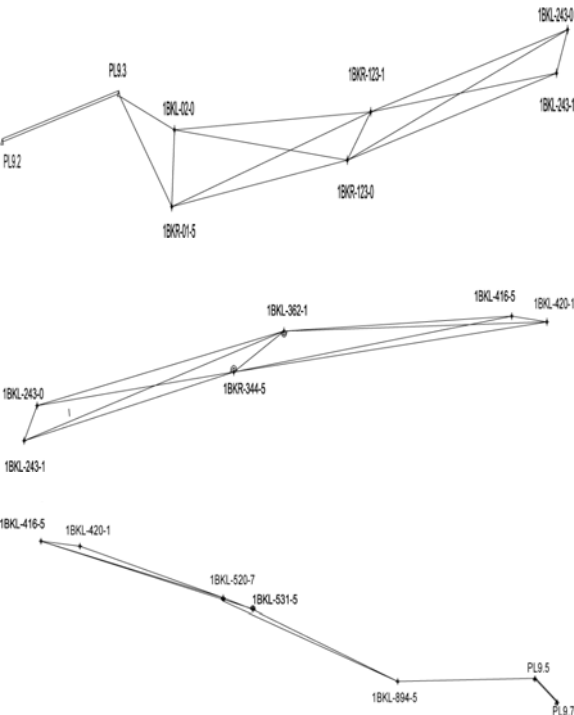
Hình 2.7: Mặt cắt vỏ hầm

Bảng 2.1: Thông số chiều dài tuyến hầm S9-S10

Hạng mục công việc	Tên Ga	Lý Trình
Ga 09	Kim Mã	KM 18+921 to 19+107
Hầm		KM 19+107 to 20+452
Giếng đứng		KM 19+730
Ga 10	Cát Linh	KM 20+452 to 20+622

Với sơ đồ tuyến hầm như hình 2.1, việc thiết kế sơ bộ lưới đường chuyển kép gồm 4 điểm gốc, 02 điểm ở ga S9 là PL9.2, PL9.3 và 02 điểm ở ga S10 là PL9.5 PL9.7. 8 cặp điểm tạo thành các cặp đường chuyển kép và 1 điểm cuối kết nối với các điểm gốc phía S10 (Hình 2.8)

Tên mốc	Tọa độ điểm khống chế	
	X(m)	Y(m)
PL9.2	2326500.9165	506619.4047
PL9.3	2326519.5198	506745.7538
PL9.5	2326383.925	508100.948
PL9.7	2326364.797	508194.371



Hình 2.8: Sơ đồ thiết kế lưới đường chuyển kép (tiếp)

3. THỰC NGHIỆM ĐO ĐẶC LƯỚI ĐƯỜNG CHUYỂN KÉP TUYẾN S9 - S10 PHÍA PHẢI

3.1. Thiết bị sử dụng

Để đo đặc lưới đường chuyển kép như mục 2.3, hệ thống máy móc được thực hiện gồm : Máy toàn đạc điện tử TS16-1 do hãng Leica sản xuất và các thiết bị bảng ngắm đi kèm. Thông số kỹ thuật máy như sau:



Hình 3.1: Máy toàn đạc điện tử TS16-1 và thiết bị dọi tâm quang học

Bảng 3.1: Thông số kỹ thuật chủ yếu máy toàn đạc điện tử TS16-1

Đo góc - Phương pháp: Chính xác, liên tục, toàn diện - Độ chính xác: 1"
Đo cạnh Dài đo: - Đo với gương: 3.500 m - Đo không gương: R500/R1000 Độ chính xác: - Đo đơn: 1 mm + 1,5 ppm - Đo nhanh: 2 mm + 1,5 ppm - Đo không gương: 2 mm + 2 ppm Kích thước điểm laser: 8 × 20 mm tại 50 m
Công nghệ đo: - Hệ thống phân tích - Tia laser đo đồng trục
Thông số ảnh Phân giải: 5MG Trường nhìn: 19.4° Tốc độ màn chụp: 20 hình/giây Tia laser dẫn hướng Ban ngày: 30mm@250m Ban đêm: 5mm@500m Đèn dẫn hướng Tầm xa: 150 m Độ chính xác: 5 cm tại 100 m

3.2. Kết quả thực hiện

- Với công tác thi công đào hầm liên tục 24/24, thời gian thi công bắt đầu từ ngày 30/7/2024 - 7/03/2025. Thời gian làm việc từ 7h sáng tới 19h tối và 19h tối tới 7h sáng hôm sau, nhân lực thực hiện gồm 12 người chia làm 2 ca trong đó 8 người làm ban ngày và 4 người làm ban đêm. Đo đặc liên tục và cấp số liệu kịp thời cho thiết bị TBM. Ngày 7/3/2025 công tác đào hầm tuyến S9 - S10 phía phải đã được hoàn tất. Sau đây là một số hình ảnh đo đặc lưới đường chuyển kép trong hầm:



Hình 3.2: Một số hình ảnh đo lưới đường chuyển kép trong hầm đoạn S9 - S10

- Kết quả đo đặc lưới đường chuyển kép trong hầm.

STT	Tên điểm	Tọa độ		Sai số vị trí điểm		
		X(m)	Y(m)	Mx(m)	My(m)	Mp(m)
1	1BKL-02-0	2326515.4623	506763.3510	0.0002	0.0002	0.0003
2	1BKL-128-1	2326536.0183	506951.9376	0.0004	0.0003	0.0005
3	1BKL-243-0	2326561.2060	507121.6723	0.0006	0.0003	0.0007
4	1BKL-331-1	2326580.5665	507252.9825	0.0008	0.0003	0.0009
5	1BKL-401-1	2326585.4271	507358.1902	0.0010	0.0003	0.0011
6	1BKL-405-1	2326585.2140	507363.0057	0.0010	0.0003	0.0011
7	1BKL-509-1	2326565.6869	507519.1391	0.0013	0.0003	0.0013
8	1BKL-513-1	2326564.3710	507524.4568	0.0013	0.0003	0.0013
9	1BKL-632-0	2326510.6090	507695.0344	0.0016	0.0004	0.0017
10	1BKL-761-1	2326448.2181	507878.8029	0.0020	0.0004	0.0021
11	1BKR-01-5	2326511.1596	506762.4907	0.0002	0.0002	0.0003
12	1BKR-123-0	2326530.6175	506944.5220	0.0004	0.0003	0.0005
13	1BKR-240-1	2326556.3449	507118.1314	0.0006	0.0003	0.0007
14	1BKR-330-1	2326575.3524	507250.8102	0.0008	0.0003	0.0009
15	1BKR-632-1	2326506.0110	507692.9991	0.0016	0.0004	0.0017
16	1BKR-762-1	2326443.1770	507877.4991	0.0020	0.0004	0.0021
17	1BKR-894-0	2326383.7255	508066.9771	0.0024	0.0006	0.0025
18	PL9.5	2326383.9329	508100.9505	0.0025	0.0006	0.0026
19	PL9.7	2326364.8059	508194.3737	0.0027	0.0006	0.0028

Với kết quả đo đạc trên, điểm PL9.5 và PL9.7 là 2 điểm khống chế tại ga S10. Kết quả so sánh tọa độ chuyển từ 2 điểm PL9.2 và 9.3 cho thấy sai số so với kết quả sau khi chuyển đều nằm trong giới hạn cho phép.

Tên mốc	Tọa độ chuyển từ ga S9		Tọa độ tại ga S10		Kết quả so sánh	
	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	dX(m)	dY(m)
PL9.5	2326383.933	508100.950	2326383.925	508100.948	0.007	0.002
PL9.7	2326364.806	508194.374	2326364.797	508194.371	0.009	0.003

4. NHẬN XÉT VÀ KIẾN NGHỊ

Việc ứng dụng lưới đường chuyển kép phục vụ đào hầm tuyến S9 đi S10 và đã hoàn thành công tác đào hầm đúng theo yêu cầu, nhóm tác giả đưa ra một số nhận xét sau:

- Việc áp dụng phương pháp lưới đường chuyển kép phục vụ đào hầm bằng công nghệ TBM là hoàn toàn hợp lý đạt độ chính xác đào hầm theo yêu cầu bằng phương pháp TBM.

- Phương pháp đường chuyển kép có thêm nhiều trị đo thừa để kiểm tra, tránh được sai số thô dẫn đến đào sai hướng và còn cho phép kiểm tra chất lượng đo góc và cạnh tại từng khu vực, nâng cao độ chính xác của điểm cuối tuyến đường chuyển thi công.

- Kiến nghị: Việc ứng dụng lưới đường chuyển kép phục vụ công tác đào hầm bằng thiết bị TBM cần được ứng dụng rộng rãi, tuy nhiên cũng cần phải có phương pháp đo đạc, thiết kế lưới phù hợp cho từng tuyến hầm trước khi thi công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 9398:2012 Công tác trắc địa trong xây dựng - Yêu cầu chung.
- [2] Hoàng Ngọc Hà, Trương Quang Hiếu (2003), “Cơ sở toán học xử lý số liệu trắc địa”, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội.
- [3] Ngô Văn Hợi (2011), “Công tác trắc địa trong xây dựng đường hầm”, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (2).
- [4] Diêm Công Huy - Luận án tiến sĩ kỹ thuật “Nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật nâng cao hiệu quả định hướng đường hầm trong thi công xây dựng các công trình ngầm ở Việt Nam”.
- [5] HGU-IMP-TTS-WTO-L10-41018-V-1 “Báo cáo công tác trắc địa tuyến S9 - S10.
- [6] TCVN 4528:1988 Hầm đường sắt và hầm đường ô tô - Quy phạm thi công, nghiệm thu.
- [7] Nguyễn Quang Tác (2008), “Trắc địa đường hầm và công trình ngầm”, Nhà xuất bản Xây dựng Hà Nội.
- [8] QCXDVN 08:2009/BXD, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về công trình ngầm đô thị.
- [9] <https://fecon.com.vn/thi-cong-ham-do-thi-bang-TBM-df60>