

**MỘT SỐ GIẢI PHÁP TRẮC ĐỊA CÔNG TRÌNH
TRONG THI CÔNG, QUAN TRẮC HẦM VÀ ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC**
SOME ENGINEERING SURVEY SOLUTIONS IN THE CONSTRUCTION
AND MONITORING OF TUNNELS AND HIGH-SPEED RAILWAYS

PHẠM QUỐC KHÁNH^{a,*}, DIÊM CÔNG HUY^b

^aTrường Đại học Mở-Địa chất

^bViện Khoa học công nghệ xây dựng

*Tác giả đại diện: Email: phamquockhanh@humg.edu.vn

Ngày nhận 08/5/2025, Ngày sửa 24/6/2025, Chấp nhận 26/6/2025

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol2-6>

Tóm tắt: Đường sắt cao tốc đòi hỏi độ chính xác rất cao và yêu cầu tính ổn định lâu dài. Chính vì vậy công tác trắc địa phải được thực hiện theo một quy trình nghiêm ngặt, chính xác từ giai đoạn khảo sát, thi công đến giai đoạn vận hành sử dụng. Trong đó, thi công, quan trắc đường hầm và đường sắt cao tốc đi qua đường hầm có mức độ khó khăn hơn nhiều so với thi công và quan trắc trên nền đất bình thường. Trung Quốc là đất nước có cơ sở hạ tầng về đường sắt cao tốc lớn nhất thế giới nên bài báo này dựa trên quy định quy phạm của Trung Quốc để giới thiệu một số giải pháp trắc địa trong thi công và quan trắc đường sắt cao tốc khi phải đào hầm xuyên núi đảm bảo an toàn khi chạy tàu.

Từ khóa: Đường sắt cao tốc, thi công đường hầm, quan trắc đường hầm, thi công đường ray, quan trắc đường ray.

Abstract: High-speed railways require extremely high geodetic precision and long-term operational stability. Therefore, surveying and monitoring activities must follow strict and accurate procedures throughout all stages, from initial investigation and construction to long-term operation. In particular, tunnel construction and monitoring for high-speed railway systems present significantly greater challenges than those on normal ground conditions due to complex terrain and constrained working environments. China, currently the country with the most extensive high-speed railway infrastructure in the world, has developed comprehensive technical standards and practices in this field. This paper introduces several geodetic solutions, based on Chinese specifications, that have been effectively applied in the construction and monitoring of high-speed railways through mountainous tunnels to ensure precision and operational safety.

Keywords: High-speed railway, tunnel construction, tunnel monitoring, track construction, track monitoring.

1. Đặt vấn đề

Đường sắt cao tốc (High-Speed Rail - HSR) được định nghĩa là hệ thống đường sắt có tốc độ thiết kế từ 200 km/h trở lên đối với các tuyến cải tạo, và từ 250 km/h trở lên đối với các tuyến mới xây dựng. HSR có vai trò quan trọng trong sự phát triển kinh tế, xã hội một quốc gia. Nó không chỉ tăng cường kết nối giao thông, rút ngắn thời gian đi lại giữa các thành phố lớn và các khu kinh tế trọng điểm mà còn giảm áp lực lên các hạ tầng giao thông khác như đường bộ, đường hàng không. Ngoài ra nó còn thúc đẩy sự phát triển đô thị ở các khu vực lân cận, tăng cường hiệu quả kinh tế nên có tác động lớn đến sự phát triển của xã hội.

Trên thế giới, HSR đã được phát triển cho đến nay tại hơn 20 quốc gia trên thế giới. Được khai thác đầu tiên tại Nhật Bản từ thập kỷ 60 của thế kỷ trước với hệ thống HSR Shinkansen nối Tokyo và Osaka với tốc độ 210km/h, đến nay đạt 320km/h [1]. Sau đó, hệ thống HSR được mở rộng ở châu Âu với các hệ thống TGV (Train à Grande Vitesse) của Pháp năm 1981, tiếp đến là Đức (Inter City Express-ICE), Tây Ban Nha (Alta Velocidad en España - AVE) và Ý (Frecciarossa). Hệ thống HSR này cũng có tốc độ 260 km/h, sau đó nâng lên 320 km/h[2].

Ở Việt Nam hiện chưa có HSR mà đang trong giai đoạn nghiên cứu, lập kế hoạch. Nhà nước đã có dự án xây dựng HSR từ năm 2010 do chi phí quá cao nên không được phê duyệt[5]. Đến năm 2021, Chính phủ đã thông qua "Chiến lược phát triển giao thông vận tải đường sắt Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn 2050", trong đó ưu tiên hiện đại hóa và từng bước xây dựng đường sắt tốc độ cao [6]. Mặc dù vậy, nước ta vẫn là nước đang phát triển, với GDP khoảng 433 tỷ USD [7,8] thì việc xây dựng HSR với chiều dài hơn 1500km với số vốn ước tính khoảng 67 tỷ USD là cực kỳ khó khăn. Hơn nữa, chúng ta chưa có kinh nghiệm,

thiếu về công nghệ [9]; rồi còn vấn đề giải phóng mặt bằng... Đặc biệt khó khăn của nước ta là địa hình bề ngang hẹp, khu vực miền Trung có nhiều đồi núi nên tiềm ẩn rất nhiều rủi ro như vấn đề sạt lở, lũ lụt, bão lốc... Ngoài ra, để xây dựng được HSR cần có sự kết hợp của rất nhiều ngành nghề chuyên sâu, trong đó công tác trắc địa giữ vai trò hết sức quan trọng và không thể thiếu từ giai đoạn lập kế hoạch, thi công, đến vận hành và bảo trì. Do HSR phải được xây dựng với độ dốc nhỏ và bán kính cong nên với 10% đường hầm trên toàn tuyến Bắc Nam của Việt Nam, khoảng 150km, là một khối lượng xây dựng rất lớn[13,14]. Vì thế, việc ứng dụng công nghệ trắc địa hiện đại với các giải pháp hữu ích sẽ quyết định tới sự thành công của dự án. Bài báo tập trung thảo luận vấn đề này.

2. Yêu cầu độ chính xác thi công, quan trắc đường hầm và đường ray tàu cao tốc

2.1 Yêu cầu độ chính xác thi công đường hầm

Độ chính xác của công tác trắc địa trong thi công HSR qua đường hầm là yếu tố cực kỳ quan trọng để đảm bảo an toàn, ổn định và hiệu quả vận hành của hệ thống, đặc biệt với các tiêu chuẩn khắt khe của đường sắt cao tốc có tốc độ từ 250-350 km/h. Do chúng ta chưa có quy định quy phạm trong xây dựng đường hầm cho HSR nên ở đây tham khảo một số tiêu chuẩn của Trung Quốc, nước có hệ thống HSR dài nhất cùng với tốc độ tàu chạy thực tế nhanh nhất thế giới. Tiêu chuẩn sai số đào hầm được quy định như bảng 1.

Bảng 1. Sai số cho phép vị trí trục hầm với hầm dài hơn 10km [15,17]

Phương ngang và dọc	Sai số đào thông hầm phải dưới 250 mm.
Cao độ	Sai số độ cao đào thông hầm dưới 70 mm.

Do HSR qua hầm phải thẳng để giảm rung lắc và áp suất khí động học khi tàu chạy tốc độ cao nên tiêu chuẩn này rất khắt khe như trình bày bảng 1. Sai số lớn hơn mức này có thể gây nguy hiểm hoặc làm thay đổi dạng hình học của đường hầm. Để có thể đạt được độ chính xác như trên cần phải tích hợp nhiều công nghệ hiện đại như công nghệ định vị vệ tinh,

máy toàn đạc điện tử chính xác cao kết hợp cảm biến quán tính (INS), máy quét laser 3D, công nghệ TBM (Tunnel Boring Machine)...

2.2 Yêu cầu độ chính xác thi công đường ray trong hầm

Đường ray của HSR trong hầm phải đạt độ chính xác cao để đảm bảo an toàn cho tàu như trong bảng 2.

Bảng 2. Yêu cầu độ chính xác thi công đường ray trong hầm [15,17]

Lệch hướng ngang	Sai số: ≤ 2 mm (1435 mm là khổ tiêu chuẩn).
Lệch cao độ	Sai số: ≤ 2 mm trên đoạn thẳng, ≤ 3 mm trên đoạn cong.

2.3 Yêu cầu độ chính xác quan trắc lún và chuyển dịch hầm

Trong quá trình thi công và vận hành, sử dụng và bảo trì đường hầm cần quan trắc

chuyển dịch của vỏ hầm và nền hầm. Đối với nền hầm và vòm hầm là thực hiện quan trắc độ lún, vỏ hầm thì quan trắc chuyển dịch ngang, bảng 3.

Bảng 3. Yêu cầu độ chính xác quan trắc chuyển dịch hầm [16,17]

Độ lún vòm hầm	- Độ chính xác đo: ± 1 mm.
Độ lún nền hầm	- Độ chính xác đo: ± 1 mm.
Chuyển dịch ngang và dọc	- Độ chính xác đo góc: $1''$; cạnh: 1-2 mm.
Tần suất đo	- Trong giai đoạn thi công: Hàng ngày hoặc hàng tuần. - Sau thi công: Hàng tháng trong 6-12 tháng đầu.

2.4 Yêu cầu độ chính xác quan trắc biến dạng đường ray

Quan trắc biến dạng đường ray HSR là cực kỳ quan trọng để đảm bảo an toàn, ổn định và hiệu quả vận hành của hệ thống, đặc biệt khi tàu di

chuyển với tốc độ cao (250-350 km/h). Biến dạng đường ray (do lún, nhiệt độ, tải trọng động yếu tố địa chất...) cần được giám sát chặt chẽ để tránh rung lắc, lệch trục hoặc tai nạn như quy định ở bảng 4.

Bảng 4. Yêu cầu độ chính xác quan trắc biến dạng đường ray [16,17]

Độ cao đường ray	- Độ chính xác đo: $\pm 0,5$ mm.
Chuyển vị ngang và dọc	- Độ chính xác đo: $\pm 1,0$ mm.
Thiết bị đo	- Sử dụng thủy chuẩn, toàn đạc điện tử độ chính xác cao, có định tâm bắt buộc

3. Giải pháp thi công đào hầm

3.1 Thành lập hệ thống lưới khống chế trắc địa thi công hầm

Lưới khống chế thi công đường hầm có vai trò hết sức quan trọng trong việc đảm bảo độ chính xác định vị, định hướng đường hầm và khống chế sai số trong quá trình xây dựng hầm, đặc biệt với đường sắt cao tốc qua hầm. Trong đó, định hướng đường hầm có vai trò quan trọng nhất trong quá trình thi công. Nếu công tác này làm không tốt sẽ dẫn tới hậu quả vô cùng nghiêm trọng. Công tác định hướng hầm phải dựa vào cơ sở trắc địa thi công hầm bao gồm: lưới khống chế mặt đất, lưới khống chế trong hầm và công tác chuyển tọa độ và độ cao xuống hầm. Để đảm bảo cho công tác thông hầm đạt hiệu quả cao nhất và nằm trong giới hạn cho phép thì cần giải quyết được vấn đề nâng cao độ chính xác của cơ sở trắc địa trong thi công hầm. Đặc điểm của lưới khống chế thi công đường hầm cho HSR là có yêu cầu độ chính xác cao, điều kiện môi trường kín, không có tín hiệu GNSS như lưới khống chế cơ sở ngoài hầm. Khi xây dựng hầm cần khống chế sai số tích lũy theo chiều dài hầm để không bị vượt quá giới hạn. Do vậy cần đo lặp đi lặp lại và điều chỉnh liên tục. Hơn nữa, lưới còn phải thích hợp với phương pháp sử dụng đào hầm là đào đối hướng hay dùng công nghệ TBM

(Tunnel Boring Machine). Ngoài ra, lưới khống chế này còn được sử dụng để quan trắc biến dạng đường hầm.

3.2 Đào hầm theo phương pháp đào đối hướng

Đào hầm theo phương pháp truyền thống gọi là đào hầm đối hướng, tức là đào ngược chiều nhau, hầm được thông ở giữa đoạn hầm cần đào. Phương pháp đào này hiện nay chỉ áp dụng cho các đường hầm ngắn, hơn 10km đổ lại, phù hợp với những nơi có điều kiện địa chất phức tạp. Hầm Hải Vân, hầm Đèo Cả của Việt Nam là ví dụ điển hình. Khi thi công đường hầm theo phương pháp này người ta thường sử dụng công nghệ NATM (New Austrian Tunneling Method)

3.2.1 Thành lập lưới khống chế trên trắc địa trên đất

Lưới khống chế trắc địa trên mặt đất là cơ sở cho toàn bộ hệ thống lưới thi công đào hầm, bao gồm cả khống chế mặt bằng và khống chế độ cao. Hệ thống lưới này phải bao trùm toàn bộ đường hầm và được xây dựng có đủ độ chính xác để khi phát triển lưới thi công chỉ đạo đào hầm không vượt quá giới hạn cho phép. Lưới khống chế trên mặt đất có thể được đo bằng máy toàn đạc điện tử hoặc sử dụng công nghệ GNSS. Hình 1, 2 là ví dụ của lưới khống chế trên mặt đất trong thi công đường hầm.



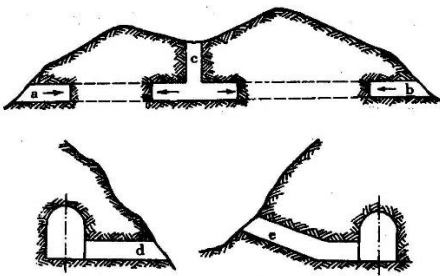
Hình 1. Lưới trên mặt đất dạng chuỗi tam giác



Hình 2. Lưới trên mặt đất đo bằng công nghệ GNSS

3.2.2 Đo liên hệ lưới mặt đất xuống hầm

Khi đường hầm dài, để tiết kiệm thời gian thi công, cải thiện điều kiện thông gió trong hầm khi thi công cũng như khi đường hầm hoàn thiện và đưa vào sử dụng. Người ta thường chia đường hầm ra thành nhiều đoạn để thi công đào đối hướng bằng các đường hầm phụ bằng, hầm phụ nghiêng hoặc giếng đứng, giếng nghiêng (gọi chung là lối đào phụ). Lưới thi công được thành lập từ các điểm gốc là điểm lưới cơ sở trên mặt đất được chuyển tọa độ, độ cao xuống hầm qua các lối đào phụ này. Hình 3 mô tả đường hầm được chia ra thành nhiều đoạn khác nhau.

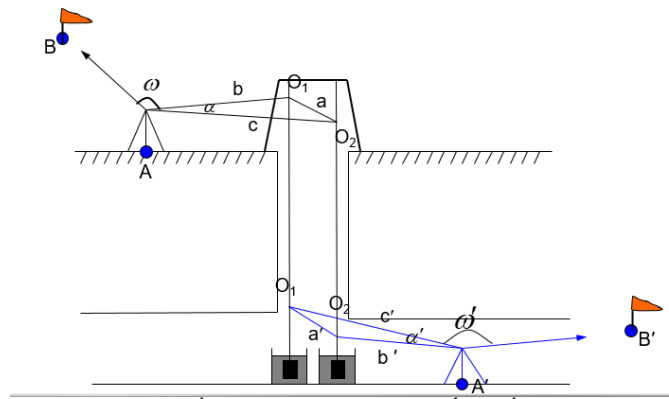


Hình 3. Đường hầm chia thành nhiều đoạn và các lối đào phụ

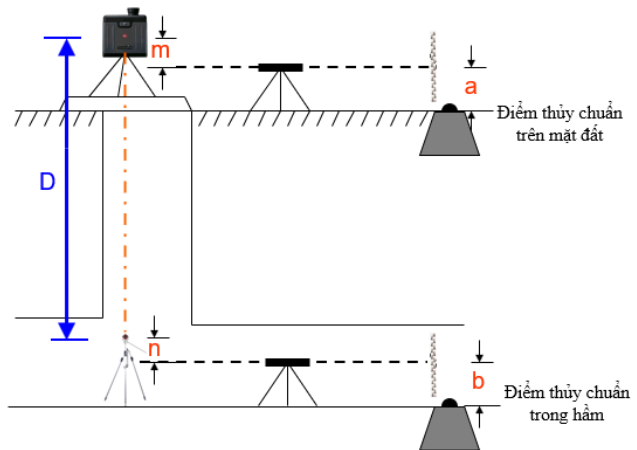
Việc chuyển tọa độ, độ cao từ mặt đất xuống hầm có nhiều phương pháp nhưng phải tuân thủ nghiêm các quy định về sai số cho các phép đo này. Khi chuyển tọa độ, độ cao trực tiếp từ lưới trên mặt đất xuống hầm qua cửa hầm chính thì không có sai số đo liên hệ; còn khi chuyển tọa độ, độ cao qua các lối đào phụ thì sẽ có sai số tích lũy cho lưới thi công trong hầm. Hình 4, 5 mô tả cách chuyển tọa độ, độ cao qua giếng đứng để làm điểm gốc cho đường chuyển và lưới thủy chuẩn trong hầm.



Hình 6. Kinh vĩ con quay và toàn đạc điện tử con quay (Nguồn: Internet)



Hình 4. Chuyển tọa độ, phương vị xuống hầm theo phương pháp tam giác liên hệ



Hình 5. Chuyển độ cao từ mặt đất xuống hầm qua giếng đứng

Ngoài ra, phương vị đường chuyển trong hầm còn có thể dùng máy kinh vĩ con quay hoặc toàn đạc có gắn con quay hồi chuyển đo phương vị. Việc này làm tăng độ chính xác cho đường chuyển trong hầm khi đường chuyển có nhiều cạnh. Hình 5 là máy kinh vĩ con quay và toàn đạc điện tử có gắn con quay đo phương vị.

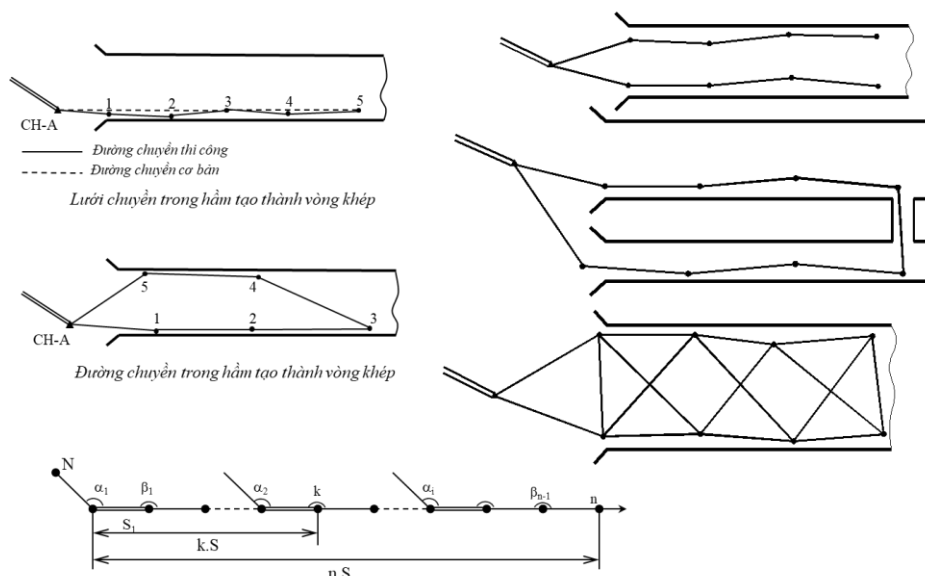
3.2.3 Thành lập lưới khống chế trắc địa trong hầm

Để chỉ đạo thi công đường hầm, cần thành lập lưới khống chế thi công, cả mặt bằng và độ cao dựa vào các điểm được chuyển từ mặt đất xuống. Ở trong hầm, điểm mốc lưới có thể chôn dưới đất hoặc lợi dụng tường hầm đã thi công để gắn mốc (định tâm bắt buộc cho lưới mặt bằng). Vì khi thi công đường hầm các mốc này chịu ảnh hưởng nhiều yếu

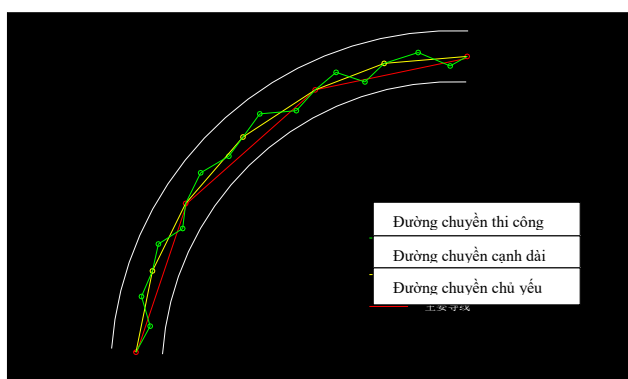
tổ gây ra chuyển dịch như nổ mìn, sự di chuyển của các thiết bị thi công... do vậy cần đo lại thường xuyên để điều chỉnh. Hình 7, 8 là các mốc trắc địa trong thi công đào hầm. Hình 9 là các dạng lưới thi công trong hầm. Hình 10 là phương pháp nâng cao độ chính xác góc phương vị lưới thi công khi bổ sung đường chuyển cạnh dài.



Hình 7; 8. Một số dạng mốc dùng trong thi công đường hầm (Nguồn: Internet)



Hình 9. Một số dạng đường chuyển trong hầm



Hình 10. Nâng cao độ chính xác góc phương vị lưới thi công khi bổ sung đường chuyển cạnh dài

3.3 Đào hầm theo công nghệ TBM

Công tác trắc địa trong đào hầm bằng công nghệ TBM (Tunnel Boring) đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo độ chính xác về vị trí, hướng đi và độ

ổn định của đường hầm trong suốt quá trình thi công. Công nghệ TBM là một phương pháp tiên tiến, sử dụng máy đào cơ giới hóa để khoan và lắp ráp vỏ hầm, thường được áp dụng trong các dự án đô thị

như metro hoặc các đường hầm dài xuyên núi, dưới lòng sông, biển...

Hầm được đào bằng công nghệ TBM thường là đào 1 hướng, tức là đào từ cửa hầm hoặc lối đào phụ thông sang cửa hầm kia, cửa hầm bên kia có thể là cuối hầm hay lối đào phụ khác của hầm. Hệ thống khống chế trắc địa định hướng cho TBM đào hầm chính xác có thể giống và cũng có thể khác so với phương pháp đào đối hướng. Tuy nhiên, để đảm bảo độ chính xác định hướng đường hầm thì hệ thống lưới trắc địa nên bao trùm toàn đường hầm.

Hệ thống dẫn hướng cho TBM đào hầm bắt đầu khi lắp đặt TBM (TBM có thể dài cỡ đoàn tàu 10 toa nên định hướng ổn định). Thường bao gồm các thành phần chính sau:

- Cảm biến đo vị trí: Bao gồm cảm biến laser, con quay hồi chuyển (gyroscope), và máy đo nghiêng (inclinometer) để xác định vị trí, góc nghiêng và hướng của đầu cắt (cutting head);

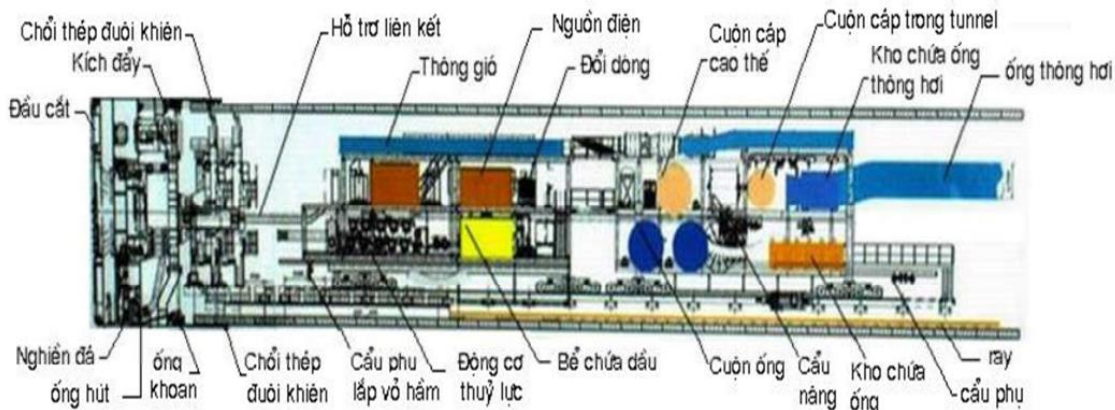
- Máy toàn đạc điện tử (Total Station): Được lắp đặt trong hầm để đo liên tục khoảng cách và góc từ TBM đến các điểm tham chiếu cố định (thường là các mốc laser hoặc điểm khống chế);

- Hệ thống định vị laser: Một chùm tia laser được chiếu từ phía sau TBM đến các tấm phản xạ (target) gắn trên máy, giúp xác định vị trí chính xác của đầu cắt so với tuyến thiết kế;

- Phần mềm điều khiển: Dữ liệu từ các cảm biến và thiết bị đo được truyền về trung tâm điều khiển, nơi phần mềm phân tích và hiển thị sai lệch giữa vị trí thực tế và thiết kế. Các phần mềm phổ biến thường dùng là TUNIS Navigation (VMT) hoặc Guidance Software của Herrenknecht;

- Màn hình hiển thị: Trong buồng điều khiển của TBM, các kỹ sư có thể theo dõi thông tin tức thời về hướng, độ nghiêng, và sai lệch qua màn hình giao diện.

Hình 11 mô tả sơ đồ máy đào hầm TBM hiện nay, hình 12 là đầu cắt có đường kính 13.9m [19].



Hình 11. Sơ đồ máy đào hầm TBM [19]

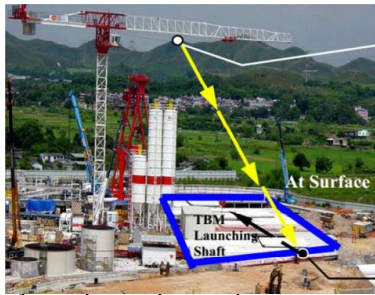


Hình 12. Đầu cắt máy khoan hầm TBM (Nguồn: Internet)

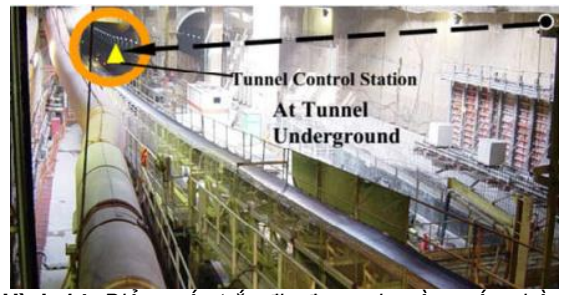
3.3.1 Công tác trắc địa trong thi công hầm bằng TBM

Công tác trắc địa phục vụ thi công đào hầm bằng TBM gồm các bước sau [20]:

a. Thành lập lưới khống chế mặt bằng trên mặt đất bằng công nghệ GPS, các điểm khống chế được bố trí tại các đường dốc, giếng đứng... (là điểm xuất phát của hệ thống TBM khi đào hầm) như hình 13:



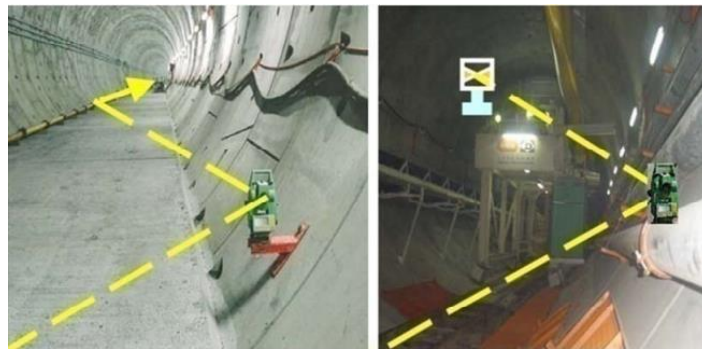
Hình 13. Điểm khống chế mặt bằng trên mặt đất gần cửa hầm, giếng đứng [19]



Hình 14. Điểm mốc trắc địa được chuyển xuống hầm (Nguồn: Internet)

b. Tiến hành chuyển tọa độ, độ cao từ các điểm khống chế trên mặt đất xuống hầm qua giếng đứng và ram dốc, hình 14.

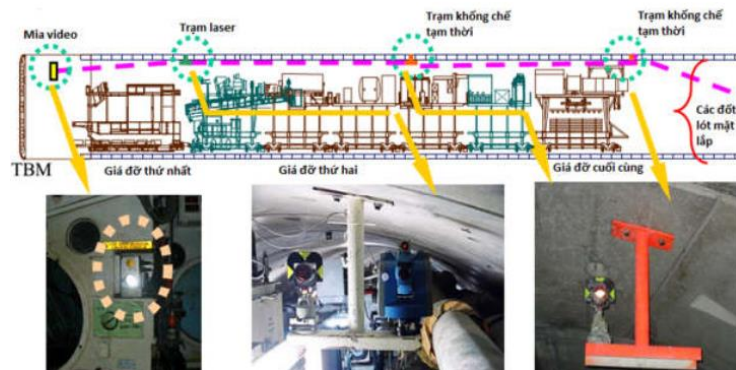
c. Thành lập lưới khống chế trong hầm là dạng lưới đường chuyển kép ở phía sau hệ thống TBM như hình 15 [18,19].



Hình 15. Chuyển tọa độ trắc địa qua đường chuyển kép trong hầm [18,19]

d. 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.

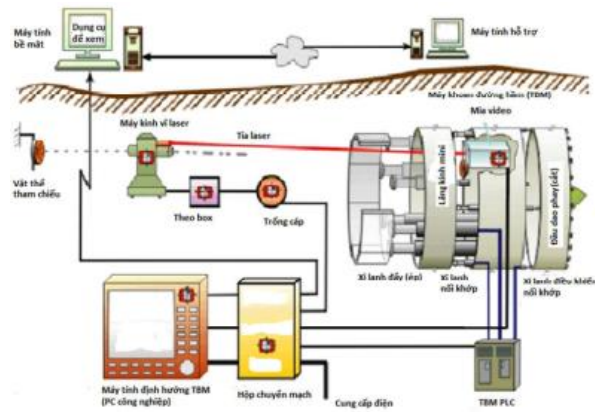


Hình 16. Chuyển tọa độ, độ cao lên các trạm khống chế tạm thời [19]

e. 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.

3.3.2 Hệ thống định hướng tự động của TBM

Hệ thống định hướng cho TBM là hệ thống tự động hóa với việc dùng máy tính và điểm bắt mục tiêu trên màn hình cho việc tự động xác định tọa độ và tư thế nghiêng của TBM. Các số liệu đo vị trí của TBM được thể hiện dưới dạng số hoá và truyền liên tục để dự báo sai số đường trục của gương đào. Thông tin vị trí được dùng trong hệ tọa độ ba chiều XY và Z của công trình và hướng của trục tuyến hầm. Hình 17 mô tả việc định hướng tự động này.



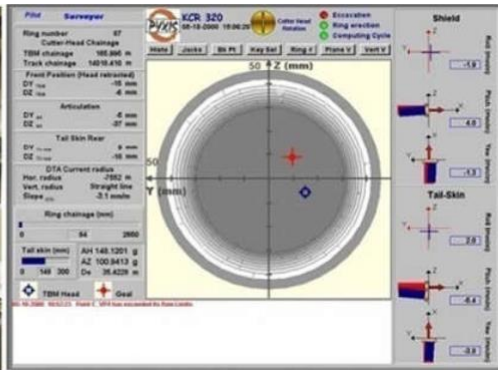
Hình 17. Hệ thống định hướng tự động của TBM [19]

Hệ thống định hướng liên kết với buồng điều khiển TBM (Hình 18), trên màn hình, độ lệch về vị trí của TBM với trục đường hầm thiết kế được hiển thị

một cách tức thời bằng các formats (định dạng) biểu đồ và bằng số ở mọi thời điểm (Hình 19), hỗ trợ người hoa tiêu cách điều khiển máy khoan.



Hình 18. Buồng điều khiển TBM [19]



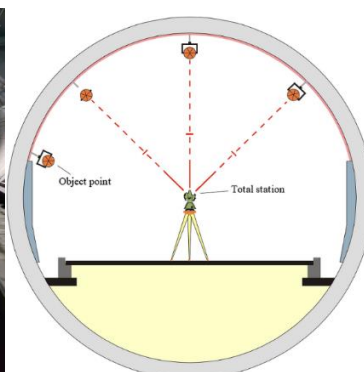
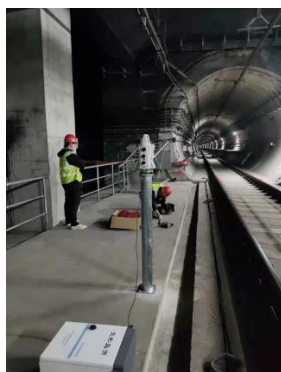
Hình 19. Độ lệch vị trí trục đường hầm [19]

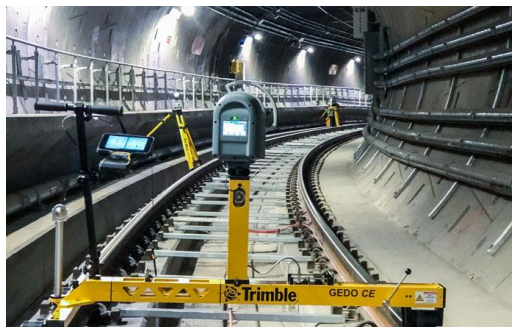
4. Giải pháp quan trắc đường hầm và đường ray tàu cao tốc

4.1 Quan trắc đường hầm

Đường hầm được xây dựng xuyên núi hoặc dưới mặt đất là công trình dạng tuyến dài nên chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố địa chất công trình, thủy văn dọc theo tuyến... Vì vậy trong quá trình thi công và vận hành sử dụng cần quan trắc để phát hiện kịp thời các sự cố có ảnh hưởng đến vỏ hầm, nền hầm... Từ đó có các biện pháp ứng phó kịp thời, hạn chế rủi ro về con người vật chất.

Với đường hầm đường sắt cao tốc cần quan trắc lún nền, độ ổn định của vỏ hầm. Có thể sử dụng kết hợp nhiều thiết bị khác nhau để quan trắc như máy toàn đạc điện tử, thủy chuẩn độ chính xác cao; máy quét laser 3D xây dựng mô hình đường hầm đồng thời quan trắc đường hầm theo 3 chiều hoặc sử dụng hệ thống giám sát tự động, camera giám sát để quan trắc theo thời gian thực. Hình 20 là hình ảnh một số thiết bị quan trắc chuyển vị đường hầm.



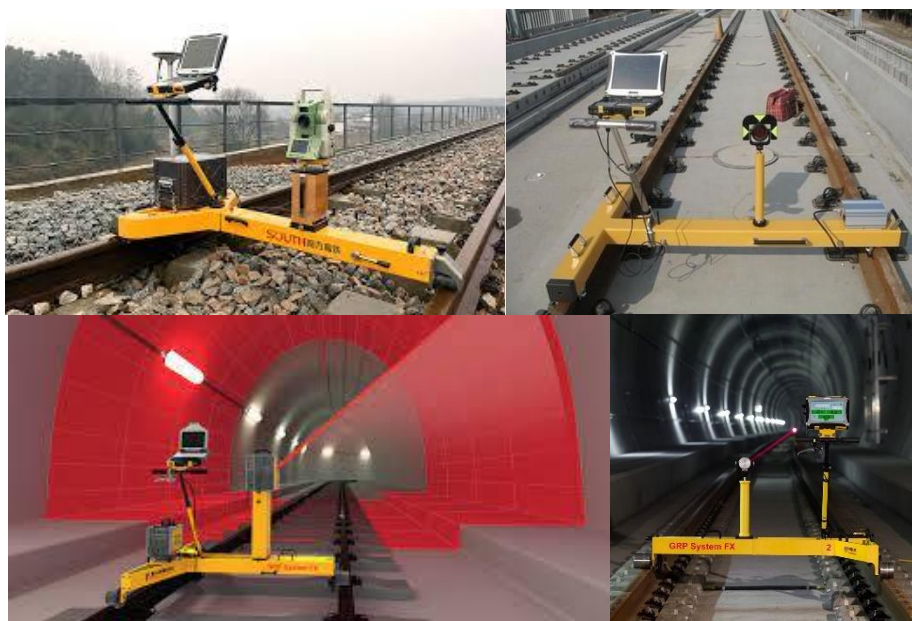


Hình 20. Quan trắc đường hầm đường sắt cao tốc (Nguồn: Internet)

4.2 Quan trắc đường ray tàu cao tốc

Quan trắc đường ray đường sắt cao tốc là khâu rất quan trọng nhằm đảm bảo an toàn, hiệu quả và độ bền của hệ thống giao thông này trong quá trình sử dụng. Công tác trắc địa trong công việc này là đảm bảo độ rộng và chênh cao của đường ray trong hạn sai cho phép. Vì bất cứ sai lệch nào cũng dẫn tới hậu quả nghiêm trọng cho tàu cao tốc. Hình

21 là các thiết bị dùng để quan trắc, kiểm tra độ rộng, vị trí, cao độ của đường ray. Hiện nay, các cảm biến được dùng gắn trực tiếp vào ray để đo nhiệt độ, tải trọng, đo độ lệch ray tăng thêm độ an toàn cho đường ray. Ngoài ra, ứng dụng công nghệ IoT và AI để truyền dữ liệu, phân tích và dự báo hư hỏng của đường ray ngày càng phát triển và mở rộng.



Hình 21. Quan trắc đường ray đường sắt cao tốc (Nguồn: Internet)

5. Thảo luận và kết luận

5.1 Thảo luận

Công tác trắc địa đóng vai trò vô cùng quan trọng trong thi công, quan trắc biến dạng đường hầm và đường sắt cao tốc, đặc biệt khi tuyến đường cao tốc đi qua các đoạn đường hầm.

Trong giai đoạn thi công và sử dụng đường hầm có đường sắt cao tốc đi qua, công tác trắc địa giúp xác định vị trí, cao độ và hướng tuyến của đường sắt cao tốc, đảm bảo việc thi công đúng theo thiết kế. Với đường hầm, độ chính xác càng quan trọng để tránh

sai lệch trong việc khoan, đào và lắp đặt kết cấu. Ngoài ra, đối với đường hầm, người làm công tác trắc địa luôn có nhiệm vụ giám sát sự ổn định của vách hầm và các cấu trúc hỗ trợ trong quá trình thi công, giảm thiểu nguy cơ xảy ra tai nạn.

Đường sắt cao tốc qua đường hầm có yêu cầu độ chính xác cao vì chỉ một sai số nhỏ trong đường hầm có thể dẫn đến hậu quả nghiêm trọng, như tàu bị lệch ray hoặc va chạm. Công tác trắc địa đảm bảo mọi thông số kỹ thuật được duy trì trong ngưỡng an toàn. Tuy nhiên, nếu đường hầm dài thì để đảm bảo

độ chính xác đo đạc càng khó khăn nên cần phải kết hợp nhiều thiết bị hiện đại.

5.2 Kết luận

Công tác trắc địa không chỉ là nền tảng để thi công chính xác mà còn là "tai mắt" trong việc quan trắc và duy trì sự an toàn, bền vững của đường sắt cao tốc qua đường hầm. Thiếu trắc địa thì sẽ thất bại trong dự án, tăng chi phí sửa chữa hoặc thậm chí gây nguy hiểm trong quá trình sử dụng. Vì vậy, đây là một khâu không thể thiếu và cần được đầu tư kỹ lưỡng về công nghệ lẫn nhân lực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Japan Railways Group. (2020). *Shinkansen: The Pioneering High-Speed Rail System*. Tokyo: JR Central.

[2] European Union Agency for Railways. (2022). *High-Speed Rail in Europe: Progress and Challenges*. Paris: ERA.

[3] China Railway Corporation. (2023). *Annual Report on High-Speed Rail Development*. Beijing: CRC Press.

[4] Tổng Công ty Đường sắt Việt Nam. (2019). *Báo cáo hiện trạng hệ thống đường sắt Việt Nam*. Hà Nội: VNR.

[5] Quốc hội Việt Nam. (2010). *Biên bản phiên họp về dự án đường sắt cao tốc Bắc - Nam*. Hà Nội: Nhà xuất bản Chính trị Quốc gia.

[6] Chính phủ Việt Nam. (2021). *Quyết định số 123/QĐ-TTg về Chiến lược phát triển giao thông vận tải đường sắt*. Hà Nội: Văn phòng Chính phủ.

[7] Báo Vietnamnet (11/11/2024): "Tổng mức đầu tư dự kiến 67 tỷ USD, với tinh thần tự lực, không vay nước ngoài" Vietnamnet.

[8] Ngân hàng Thế giới (World Bank): GDP Việt Nam năm 2023 World Bank Data.

[9] Báo Tuổi Trẻ (12/11/2024): "Việt Nam cần làm chủ công nghệ để vận hành đường sắt tốc độ cao" Tuoitre.vn.

[10] Báo Thanh Niên (11/11/2024): "Dự án cần 4.173 ha đất, ảnh hưởng hơn 16.000 hộ dân" Thanhnien.vn.

[11] Báo cáo của Bộ Giao thông Vận tải (11/2024): Đề xuất dự án đường sắt tốc độ cao Bắc - Nam.

[12] Báo VnExpress (10/11/2024): "Địa hình phức tạp làm tăng chi phí xây dựng đường sắt cao tốc" Vnexpress.net.

[13] Báo Lao Động (12/11/2024): "Trắc địa thi công là bước đầu để đảm bảo an toàn vận hành đường sắt cao tốc" Laodong.vn.

[14] Tạp chí Transportation Research (2022): "Trắc địa và an toàn dài hạn trong đường sắt cao tốc."

[15] TB 10101-2009 铁路工程测量规范标准全文(修订本, 2024). 国家铁路局.

[16] TB 10098-2017 铁路线路设计规范.国家铁路局.

[17] GB 50026-2020 工程测量标准 2020. 中华人民共和国国家标准.

[18] Diêm Công Huy (2018), "Nghiên cứu các giải pháp nâng cao hiệu quả định hướng đường hầm trong thi công xây dựng các công trình ngầm ở Việt Nam", Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

[19] Diêm Công Huy, Trần Viết Tuấn (2018). *Nghiên cứu ứng dụng lưới đường chuyển kép trong thi công xây dựng hầm xe điện ngầm bằng công nghệ TBM*. Hội nghị khoa học quốc tế kỷ niệm 55 năm thành lập Viện KHCN Xây dựng, tại TP. Hà Nội, Việt Nam.