

Kiểm soát độ lệch trục của khiên đào trong thi công đường hầm cơ giới

Attitude control of the shield machine in the construction of shield tunnels

Nguyễn Công Giang

Tóm tắt

Ngày nay, kinh tế nước ta ngày một phát triển, dân cư tại những thành phố lớn ngày càng tăng, dẫn đến hệ thống đường tàu điện ngầm trở thành một giải pháp cấp thiết để giải quyết vấn đề giao thông đô thị. Các thành phố lớn như Hà Nội và Hồ Chí Minh cũng đã tiến hành thi công những tuyến tàu điện ngầm đầu tiên cũng như kế hoạch xây dựng các tuyến tàu điện ngầm mới trong tương lai. Tuy nhiên, để xây dựng đường hầm trong khu vực đô thị thì phương pháp đào hầm bằng khiên đào là lựa chọn tối ưu hơn cả. Nhưng phương pháp này đòi hỏi đội ngũ thi công phải có trình độ cao, để điều khiển và thi công máy khiên một cách chính xác theo thiết kế. Và kiểm soát độ lệch trục của khiên trong quá trình thi công đường hầm cơ giới là một trong những mắt xích quan trọng. Do các đặc điểm phức tạp của việc xây dựng đường hầm bằng khiên đào và những ảnh hưởng phức tạp của môi trường địa chất, việc kiểm soát hướng đào hầm của khiên và xác định các thông số tối ưu như tốc độ đào hầm, lực đẩy của kích, tốc độ quay của mâm dao đặt ra nhiều thách thức cho đội ngũ thi công. Khiên đào có thể gặp các chuyển động không mong muốn như lên xuống, dịch chuyển lệch hướng và di chuyển ngoằn ngoèo trong quá trình đào hầm, cản trở việc kiểm soát hiệu quả trục đường hầm. Để giải quyết khó khăn trong việc dự đoán và điều chỉnh chính xác độ lệch trục trong đào hầm, bài báo này giới thiệu những phương pháp giúp kiểm soát và khắc phục vấn đề nêu trên.

Từ khóa: Thi công bằng khiên đào, kiểm soát độ lệch trục, điều chỉnh sai lệch

Abstract

Our country's economy is growing, and the population in big cities is increasing, leading to the subway system becoming an urgent solution to urban traffic problems. Large cities such as Hanoi and Ho Chi Minh have also constructed the first metro lines and plans to build new ones. The shield tunneling method is the optimal choice for making tunnels in urban areas. However, this method requires a highly qualified construction team to control and construct the shield machine accurately according to the design. Axis attitude deviation control of the shield during mechanized tunnel construction is one of the essential links.

Due to the complex characteristics of tunnel construction with excavation shields and the complex influences of the geological environment, controlling the tunneling direction of the shield and determining optimal parameters such as tunneling speed, the push of the jack, and the rotation speed of the cutter head pose many challenges for the construction team. The excavation shield may encounter unwanted movements such as up and down, misalignment, and zigzag movement during tunneling, hindering effective control of the tunnel axis. To solve the difficulty in accurately predicting and adjusting shaft misalignment in tunneling, this article introduces methods to help control and overcome the above problem.

Key words: Shield construction, attitude control, deviation correction

TS. Nguyễn Công Giang

Bộ môn Địa kỹ thuật & Công trình ngầm, Khoa xây dựng
Email: gianglientca@gmail.com

Ngày nhận bài: 01/3/2024

Ngày sửa bài: 07/3/2024

Ngày duyệt đăng: 15/03/2024

1. Giới thiệu

Phương pháp thi công hầm bằng khiên đào được sử dụng rộng rãi như một phương pháp đào hầm tương đối hiệu quả và thuận tiện trong quá trình thi công đường hầm tàu điện ngầm. Quá trình thi công đường hầm bằng khiên đào là một hệ thống rộng lớn, do có nhiều nguyên lý điều khiển phức tạp trong việc thi công nên cơ chế tương tác giữa hệ dẫn động khiên và hệ thống môi trường địa chất rất gặp nhiều khó khăn trong việc thu thập và sử dụng. Do lực đào hầm và điều kiện địa chất trong quá trình đào hầm rất khó kiểm soát hướng đào và xác định tốc độ đào hầm hợp lý. Trong quá trình đào hầm bằng khiên đào, có thể xảy ra các chuyển động không mong muốn như lên xuống, dịch chuyển lệch hướng và chi chuyển ngoằn ngoèo của máy khiên, không có lợi cho việc điều khiển trục đường hầm và có thể gây ra hiện tượng giảm áp suất đột ngột của máy đào khiên, gây khó khăn cho việc điều khiển tư thế của máy đào hầm.

Để đảm bảo việc thi công đào hầm khiên đào diễn ra bình thường, về lý thuyết, phải thực hiện việc kiểm soát độ lệch trục của khiên để đảm bảo khiên đào hầm có thể tiến lên theo đúng trục thiết kế đã đặt ra trong quá trình đào hầm. Tuy nhiên, trong thực tế thi công, hầm chấn chấn sẽ bị lệch khỏi trục thiết kế do tải trọng không đồng đều, địa chất thay đổi và tác động nhiễu loạn lên bề mặt gương đào. Khi độ lệch vượt quá một phạm vi nhất định, nó cần được điều chỉnh và kiểm soát. Việc thi công hầm bằng khiên đào hiện tại chủ yếu dựa vào việc điều chỉnh thủ công, nên dễ bị hiện tượng lệch trục. Vì vậy, những mục dưới đây sẽ trình bày những nguyên nhân và phương pháp xử lý, khắc phục những khó khăn nêu trên.

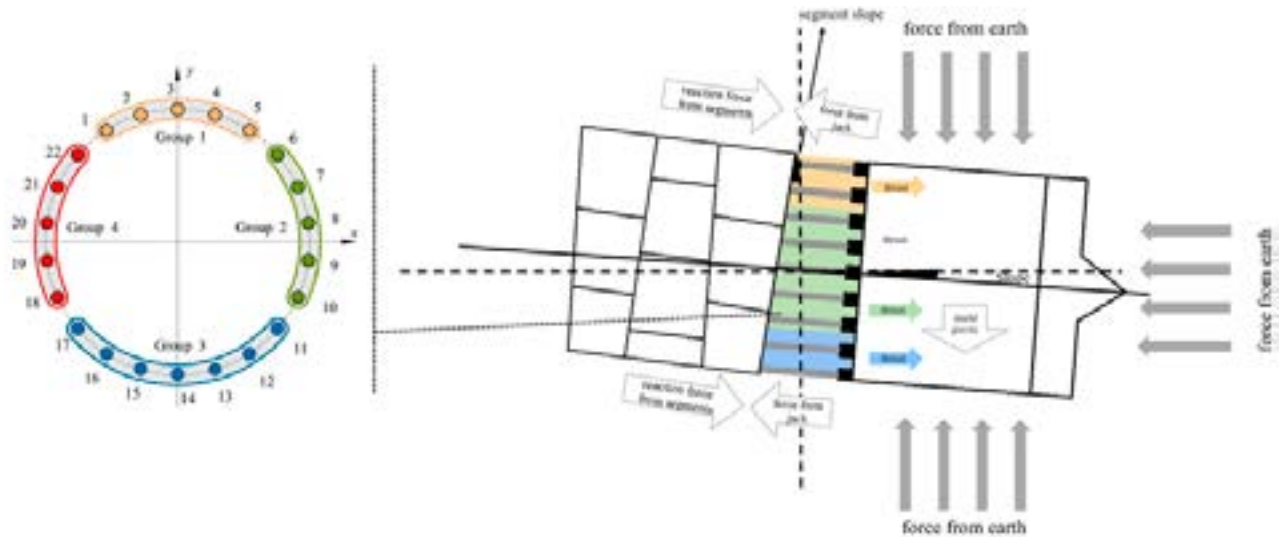
2. Nguyên nhân gây lệch trục

Độ lệch về tư thế của khiên đào chủ yếu là độ lệch hướng và độ lệch quay. Độ lệch hướng có nghĩa là máy khiên lệch khỏi hướng của trục theo hướng ngang và dọc, và độ lệch lăn có nghĩa là thân máy khiên quay dọc theo trục của nó. Do các tầng địa chất đi qua đường hầm có độ mềm và độ cứng không đồng đều nên các đường ranh giới của các tầng địa chất thay đổi rất nhiều và khiên đào cũng cần phải thích ứng với những thay đổi đó trong quá trình đào, khiến việc thiết lập các thông số của máy khiên không thể được điều chỉnh hoàn toàn phù hợp với điều kiện địa chất thực tế gặp phải. Do điều kiện hình thành địa chất trên bề mặt gương đào nên máy khiên dễ bị lệch hướng. Ngoài ra, do máy khiên dựa vào chuyển động quay của đầu cắt để nén và cắt đất trong quá trình đào nên thân khiên có xu hướng quay theo hướng ngược lại với hướng quay của đầu cắt. Nếu xu hướng quay này không được kiểm soát hiệu quả, thân khiên sẽ quay, nghĩa là sẽ xảy ra hiện tượng độ lệch quay. Độ lệch hướng và độ lệch quay sẽ có ảnh hưởng xấu đến việc đào hầm bằng khiên nên cần phải kiểm soát và khắc phục chúng.

2.1. Độ lệch hướng

Những nguyên nhân chính gây lệch hướng của khiên đào:

- (1) Trong quá trình đẩy khiên tiến lên bằng kích đẩy, cài



Hình 1. Độ lệch hướng của khiên đào

đặt tham số của các kích đẩy ở cùng một bộ phận không phù hợp với nhu cầu thực tế, dẫn đến lượng lực đẩy của các kích đẩy ở các bộ phận khác nhau không nhất quán và dẫn đến lệch hướng.

(2) Lớp địa chất trên bề mặt gương đào không đồng đều về độ mềm và độ cứng, áp lực của đầu cắt ở các phần khác nhau của buồng áp lực không nhất quán khiến đầu cắt di chuyển theo hướng có lực cản nhỏ hơn và gây ra lệch hướng.

(3) Ảnh hưởng bởi trọng lượng của đầu cắt làm cho máy khiên có xu hướng cúi đầu xuống.

2.2. Độ lệch quay

Nguyên nhân chính dẫn đến độ lệch quay là do mômen ma sát giữa vỏ khiên và thành hầm không thể cân bằng mômen quay của đầu cắt. Tình trạng này đặc biệt rõ ràng ở những khu vực địa chất ổn định, vì lúc này chỉ có phần giữa và phần dưới của vỏ khiên và thành hầm sinh ra ma sát, hệ số ma sát tương đối nhỏ. Khi quay quá mức không chỉ ảnh hưởng đến việc lắp ráp các tấm vỏ hầm mà còn khiến trục đường hầm bị lệch.

3. Quy tắc tổng quát trong việc kiểm soát độ lệch trục của máy khiên

Trong quá trình đào, người vận hành máy khiên điều chỉnh tư thế của khiên bằng cách lựa chọn hợp lý về lực của các kích ở từng vùng và điều khiển hướng quay của đầu cắt theo dữ liệu hiển thị trên màn hình máy tính bằng hệ thống dẫn đường tự động laser.

Có hai nguyên tắc chính trong việc kiểm soát độ lệch trục của máy khiên:

(1) Giá trị góc quay của thân máy phải phù hợp, nếu giá trị góc quay của khiên quá lớn, khiên không thể duy trì tư thế đúng, ảnh hưởng đến chất lượng lắp ráp của tấm vỏ hầm. Lúc này, giá trị góc quay có thể được giảm bằng cách đảo ngược hướng quay của đầu cắt.

(2) Nếu hướng tiến của khiên đang lệch ngang sang phải thì cần tăng lực đẩy của các kích phía bên phải; ngược lại, cần tăng lực đẩy của các kích phía bên trái. Nếu đầu máy khiên nghiêng xuống dưới thì lực đẩy của các kích dưới cần phải tăng lên và ngược lại.

Trong trường hợp bình thường, việc điều chỉnh hướng của khiên phải được kiểm soát trong phạm vi $\pm 20\text{mm}$. Trong

các phần đường cong chuyển tiếp và đường cong tròn, việc điều chỉnh hướng của khiên phải được kiểm soát trong phạm vi $\pm 30\text{mm}$. Cố gắng giữ trục của khiên song song với trục thiết kế đường hầm, nếu không, khe hở đuôi khiên có thể quá nhỏ và có thể xảy ra các vết nứt.

Khi đất trên bề mặt gương đào tương đối đồng đều thì việc kiểm soát tư thế của khiên sẽ dễ dàng hơn, thông thường góc lệch hướng được kiểm soát trong phạm vi $\pm 5\text{mm}$. Khi địa chất bên trên bề mặt gương đào có độ mềm và cứng không đều ở hai bên trái phải và nằm trong đoạn cong thì khó kiểm soát được tư thế của khiên đào. Lúc này có thể giảm tốc độ đào, điều chỉnh lực đẩy của kích ở mỗi phân khu hợp lý, nếu cần thiết có thể cân nhắc sử dụng lưỡi dao cắt đào quá mức để tạo ra tiết diện đào có kích thước lớn hơn. Khi khiên gặp đất mềm phía trên và đất cứng phía dưới, để ngăn khiên hướng lên, ta phải duy trì tư thế hướng xuống, và ngược lại.

Khi đào, hãy chú ý đến thực tế là độ lệch hành trình kích ở đầu trên và dưới cũng như bên trái và bên phải không thể khác nhau quá nhiều và thường được kiểm soát trong phạm vi $\pm 20\text{mm}$. Khi đào đoạn cong, thường dựa vào bán kính của đoạn cong để định hình khiên dịch chuyển về phía bên trong đoạn cong một lượng cố định, thường là từ 10 đến 30mm. Trong điều khiển tư thế của khiên đào, điều khiển hành trình của kích đẩy là trọng tâm. Đối với tấm vỏ hầm rộng 1,5m, về nguyên tắc, hành trình kích được kiểm soát trong khoảng từ 1700 đến 1800mm, chênh lệch hành trình kích được kiểm soát trong khoảng từ 0 đến 40mm, nếu hành trình kích quá lớn, đuôi khiên sẽ dễ bị lộ ra và tấm vỏ hầm đó sẽ bị tách ra khỏi đuôi khiên nhiều hơn, dẫn đến biến dạng lớn hơn. Nếu chênh lệch hành trình kích quá lớn, góc giữa khiên và tấm vỏ hầm có thể dễ dàng tăng lên, điều này dễ gây ra hư hỏng hoặc sai lệch vị trí tấm vỏ hầm.

4. Phương pháp kiểm soát độ lệch trục của khiên đào trong các môi trường địa chất khác nhau

4.1. Phương pháp kiểm soát độ lệch trục của khiên đào trong lớp đất yếu

Khi khiên đào trong môi trường đất yếu, do khả năng tự ổn định của đất thấp, để kiểm soát độ lệch ngang và dọc của khiên trong phạm vi cho phép và tránh việc khiên đào di chuyển ngoằn ngoèo tạo ra xáo trộn lớn ảnh hưởng quá mức đối với địa chất, tốt nhất là giữ tốc độ đào trong khoảng từ 20 đến 30mm/phút và điều chỉnh tốc độ quay của đĩa cắt

vào khoảng 1.4 vòng/phút. Khi đào trong khu vực địa chất này, lực đẩy từ bốn bộ kích nên được cân bằng để tránh sự chênh lệch hành trình kích quá mức trong quá trình đào, vì nếu không, có thể gây ra sự chênh lệch giữa trục đẩy và trục chính của đường hầm. Trong quá trình đào, cần thêm một lượng phụ gia nhất định tùy thuộc vào điều kiện thực tế để đảm bảo quá trình đào được thông suốt, và cố gắng giữ cho khiên tiếp tục đào liên tục. Đồng thời, cần kiểm soát nghiêm ngặt lượng vữa được bơm vào khoảng trống phía sau đuôi khiên đào để đảm bảo chúng được lấp đầy một cách hiệu quả.

4.2. Phương pháp kiểm soát độ lệch trục của khiên đào trong lớp đất cát ngập nước

Khi khiên đào hầm trong môi trường đất cát chứa nước. Do khả năng tự ổn định cực kỳ kém và hàm lượng nước cao của lớp đất cát chứa nước nên rất dễ khiến máy khiên có xu hướng lệch xuống dưới, đồng thời, máy khiên cũng dễ bị đẩy nổi trong các lớp đất cát chứa nước. Để tránh hiện tượng lệch xuống dưới do khiên đào trong lớp đất cát chứa nước, máy khiên phải duy trì xu hướng đi lên trong quá trình tiến lên, nếu phát hiện khiên đào có xu hướng đi xuống cần điều chỉnh lực đẩy của kích ở vùng trên và dưới ngay lập tức để duy trì xu hướng đi lên của máy. Để tránh hiện tượng đẩy nổi khi khiên đào hầm trong lớp đất cát chứa nước, cần giảm tốc độ đầu cắt để giảm nhiều đến lớp đất xung quanh.

4.3. Một số biện pháp để ngăn chặn các tình huống nêu trên

(1) Để đảm bảo máy đào hầm đào một cách bình thường, thông qua van giảm áp điện từ, điều chỉnh áp lực kích trên và dưới cùng lúc quan sát hiển thị của cảm biến dịch chuyển trên kích để giảm thiểu xu hướng lệch về một bên của khiên.

(2) Sử dụng tính năng quay của bộ kích trục khớp ở phía đất yếu trong quá trình đào, để kiểm chế xu hướng máy đào hầm lệch về phía này.

(3) Trước khi sử dụng dao cắt chính của đầu máy khiên, trước tiên phải cắt đất trên bề mặt đào, để tạo ra một khe hở nhỏ hơn giữa khiên và đường hầm ở phía này, và lực đẩy của kích ở phía bên còn lại sẽ tạo ra xu hướng cho khiên di chuyển trên mặt cứng, từ đó làm giảm độ lệch của khiên sang một bên do độ mềm và cứng không đồng đều của đất trong quá trình đào.

(4) Lấy ví dụ về điều kiện đất yếu phía dưới và đất cứng phía trên, trong điều kiện địa chất như vậy, gương đào của khiên phải chịu ứng suất không đồng đều, và tốc độ đào không đồng đều. Điều này đòi hỏi trong quá trình đào, phải liên tục quan sát dữ liệu về tư thế của khiên đào mà hệ thống đo đặc cung cấp, kết hợp với chênh lệch hành trình giữa bộ kích đẩy và bộ kích mở rộng, để liên tục điều chỉnh lực đẩy của các bộ kích ở từng khu vực và lực đẩy tổng cộng, nhằm duy trì tư thế ổn định của máy. Nếu không chú ý đến việc điều chỉnh chênh lệch hành trình của các bộ kích đẩy, có thể dẫn đến sự thay đổi đáng kể trong lựa chọn tấm vỏ hầm, thậm chí gây ra khoảng trống quá nhỏ ở đuôi khiên khiến tấm vỏ hầm khó lắp đặt vào vị trí. Vì vậy, trong quá trình tiến lên của khiên đào, chúng ta không thể chỉ chú ý đến tư thế của khiên do hệ thống đo lường cung cấp để định hướng đào hầm, mà chúng ta cần tính đến sự khác biệt về hành trình của các kích ở mỗi phân khu.

(5) Khi máy đào trong khu vực địa chất đồng nhất, độ lệch trục của máy có thể được kiểm soát khá tốt. Trong quá trình đào, việc giữ cho lực đẩy của các bộ kích ở từng phân khu đồng đều, cũng như lực đẩy tổng cộng và tốc độ đào đồng đều, sẽ giữ cho tư thế của khiên đào ổn định.

5. Biện pháp xử lý và khắc phục

Khiên đào sẽ luôn lệch khỏi trục thiết kế trong quá trình đào và việc hiệu chỉnh phải được thực hiện một cách có kế hoạch và từng bước một. Các biện pháp khắc phục như sau:

(1) Chú ý đến sự thay đổi góc quay bất cứ lúc nào trong quá trình đào và điều chỉnh kịp thời hướng quay của đầu cắt theo giá trị góc quay của máy khiên.

(2) Cần điều chỉnh các thông số đào khác nhau tùy theo điều kiện địa chất của từng khu vực.

(3) Trong quá trình hiệu chỉnh độ lệch, cần giảm tốc độ đào và chú ý tránh làm hỏng tấm vỏ hầm do lực quá lớn tác dụng lên một bên của kích trong quá trình hiệu chỉnh độ lệch.

(4) Cố gắng chọn loại tấm vỏ hầm hợp lý để tránh các yếu tố có thể ảnh hưởng quá mức đến tư thế của khiên đào. Kiểm soát chặt chẽ chất lượng lắp ráp của các tấm vỏ hầm để tránh điều chỉnh tư thế của khiên đào.

(5) Khi hiệu chỉnh độ lệch, hãy chú ý đến tư thế của khiên, việc lựa chọn tấm vỏ hầm và khoảng cách giữa đuôi khiên và tấm vỏ hầm trước đó. Khoảng cách giữa đuôi khiên và các tấm vỏ hầm phải bằng nhau.

(6) Khi khiên đào lệch nhiều so với trục thiết kế, không được phép thực hiện các hiệu chỉnh đột ngột để tránh những hiệu chỉnh dư thừa theo chiều ngược lại.

Kết luận và kiến nghị

Đối với việc xây dựng đường hầm bằng khiên đào, quá trình đào hầm là một quá trình điều chỉnh lâu dài. Kinh nghiệm thi công phải được tích lũy liên tục thông qua việc xây dựng đường hầm thực tế và phải lưu giữ hồ sơ trong quá trình thi công để tìm hiểu tác động của các vấn đề khác nhau đến tư thế của khiên đào. Những vấn đề nghiêm trọng nhất sẽ được xem xét và nghiên cứu để giải quyết, từ đó cung cấp sự hỗ trợ cho các công việc đào hầm trong tương lai.

Lĩnh vực xây dựng đường hầm đô thị hiện nay ở nước ta vẫn còn tương đối non trẻ, nên kinh nghiệm trong việc thi công hầm bằng khiên đào chưa có nhiều, nên xảy ra sai sót trong quá trình thi công là không thể tránh khỏi. Nhóm tác giả đưa ra cái nhìn tổng quát về nguyên nhân và giải pháp để hạn chế rủi ro trong việc thi công bị lệch trục so với thiết kế để hạn chế những sai lầm khi thi công những đường hầm sau này nhằm tiết kiệm thời gian thi công cũng như chi phí xây dựng./.

Tài liệu tham khảo

1. PGS.TS. Nguyễn Đức Nguyên, GS. TSKH. Nguyễn Văn Quang, 2005. *Sách Công trình ga và đường tàu điện ngầm, Giáo trình giảng dạy, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội.*
2. Yahagi Shuichi, Nguyễn Công Giang, Lê Quang Hanh. 2023. *Tiêu chuẩn kỹ thuật đào hầm – 2006: Đào hầm sử dụng khiên đào. Sách chuyên khảo. Trường đại học Kiến trúc Hà Nội.*
3. TS. Nguyễn Công Giang. 2019. *Công nghệ thi công công trình ngầm đô thị. NXB Xây dựng.*
4. Guan Baoshu. 2002. *Những điểm mấu chốt trong xây dựng đường hầm. NXB Truyền thông nhân dân Trung Quốc.*
5. Liu Jianhang, Hou Xueyuan. 1991. *Đường hầm thi công bằng phương pháp khiên đào. NXB Đường sắt Trung Quốc.*
6. Pei Wang, Xianguang Kong, Zekun Guo, Lei Hu. 2019. *Prediction of Axis Attitude Deviation and Deviation Correction Method Based on Data Driven During Shield Tunneling. IEEE Access.*
7. Lintao, W., Xu, Y., Guofang, G., and Jianan, D.. 2018. *Pose and trajectory control of shield tunneling machine in complicated stratum. Automation in Construction, Vol.93, trang 192-199.*