

THÔNG TIN KHOA HỌC

ẢNH HƯỞNG CỦA CHIẾT QUANG ĐỐI VỚI ĐỘ CHÍNH XÁC KẾT QUẢ ĐO LASER TRONG MỎ HẦM LÒ

VÕ NGỌC DŨNG, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Tóm tắt: Thiết bị laser ngày càng được sử dụng rộng rãi trong các nội dung công tác trắc địa mỏ hầm lò. Điều kiện môi trường trong hầm lò biến động phức tạp, bao gồm sự khác biệt về mật độ không khí, sự nhiễu động không khí, bụi và độ ẩm. Các thành phần đó là nguyên nhân gây ra hiện tượng chiết quang trong mỏ hầm lò làm giảm độ chính xác các phép đo đạc bằng các thiết bị laser. Bài báo trình bày nội dung nghiên cứu về ảnh hưởng của chiết quang hầm lò đối với kết quả đo đạc bằng thiết bị laser.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển không ngừng của các thiết bị trắc địa, kỹ thuật laser đã được ứng dụng rộng rãi trong công tác trắc địa nói chung và trắc địa mỏ nói riêng. Việc ứng dụng công nghệ laser vào các nội dung công tác trắc địa mỏ hầm lò là hết sức cần thiết, góp phần nâng cao độ chính xác đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật, thiết thực làm giảm thời gian, công sức và an toàn cho người lao động. Với các tính chất như ánh sáng đơn sắc, cường độ mạnh, độ hội tụ chùm tia lớn, khả năng đo không gương các thiết bị laser trở thành một trong những công cụ phù hợp và cho hiệu quả kỹ thuật và kinh tế cho công tác trắc địa mỏ hầm lò [1,2,3]. Hiện nay, các hãng chế tạo máy toàn đạc điện tử như Leica, Topcon, Trimble v.v... đã sản xuất nhiều chủng loại máy toàn đạc điện tử có chế độ đo không gương như GPT 7500 của Topcon; các máy đo Leica sản xuất như; TC(R)-303, TC (R)-705, các dòng Flexline Ultra như TS-02, TS-06, TS-09 v.v... . Máy toàn đạc điện tử laser đã phát huy cao các tính năng kỹ thuật trong mỏ hầm lò, đặc biệt là khả năng đo không gương. Tuy nhiên, để triển khai ứng dụng rộng rãi và khảo sát độ chính xác của các phép đo laser cần nghiên cứu các điều kiện ngoại cảnh trong hầm lò làm ảnh hưởng đến kết quả các phép đo.

So với công tác trắc địa trên mặt đất, các nội dung công tác trắc địa mỏ hầm lò phải thực hiện dưới mặt đất, trong các điều kiện vi khí

hậu đặc biệt, bao gồm tốc độ chuyển động dòng không khí lớn, mật độ các lớp không khí biến đổi, sự nhiễu động không khí cục bộ, gradient nhiệt độ biến đổi, độ ẩm lớn.

Những điều kiện môi trường vi khí hậu trên đây gây ảnh hưởng không nhỏ đến các kết quả đo đạc trong hầm lò, mà chiết quang là một trong tác nhân có ảnh hưởng đáng kể nhất.

2. Bản chất các hiện tượng chiết quang trong mỏ hầm lò

Chiết quang trong hầm lò xảy ra do hiện tượng chuyển động gây rung của không khí và sự khác nhau của mật độ các lớp không khí trong hầm lò. Do ảnh hưởng của chiết quang, tia ngắm đi lệch khỏi hướng thẳng chuẩn của nó và vì thế ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác các phép đo trong mỏ hầm lò. Tốc độ gió trong hầm lò, mật độ, độ ẩm của không khí trong hầm lò là các nguyên nhân chính gây ra hiện tượng chiết quang.

Tia laser khi đi qua môi trường không khí trong hầm lò sẽ bị khúc xạ và một số tác động khác làm ảnh hưởng tới độ chính xác các kết quả đo đạc. Ngoài chiết quang, chùm tia laser còn bị tác động của hiện tượng phản xạ, tán xạ và hấp thụ. Quan hệ trên đây có thể biểu diễn dưới dạng [4]:

$$\varphi(\lambda) = \varphi_{px} + \varphi_{kx}(\lambda) = \varphi_{px} + \varphi_{tx}(\lambda) + \varphi_{ht}(\lambda) + \varphi_{lh}(\lambda), \quad (1)$$

trong đó:

$\varphi(\lambda)$ - tia tới trên ranh giới của 2 lớp không khí;

φ_{px} - chùm tia phản xạ trên ranh giới của 2 lớp không khí;

$\varphi_{kx}(\lambda)$ - chùm tia khúc xạ trên ranh giới của 2 lớp không khí;

$\varphi_{tx}(\lambda)$ - chùm tia tán xạ;

$\varphi_{ht}(\lambda)$ - chùm tia hấp thụ;

$\varphi_{ln}(\lambda)$ - chùm tia lệch hướng.

Từ công thức (1) trên đây có thể thấy rằng chùm tia laser khúc xạ trên ranh giới của 2 lớp không khí có thể biểu diễn dưới dạng tổng của chùm tia tán xạ, chùm tia hấp thụ và chùm tia lệch hướng, có nghĩa là:

$$\varphi_{kx}(\lambda) = \varphi_{tx}(\lambda) + \varphi_{ht}(\lambda) + \varphi_{ln}(\lambda). \quad (2)$$

Chia 2 vế của công thức (1) cho giá trị của $\varphi(\lambda)$ ta nhận được công thức sau:

$$1 = \frac{\varphi_{px}}{\varphi(\lambda)} + \frac{\varphi_{tx}(\lambda)}{\varphi(\lambda)} + \frac{\varphi_{ht}(\lambda)}{\varphi(\lambda)} + \frac{\varphi_{ln}(\lambda)}{\varphi(\lambda)}, \quad (3)$$

$\frac{\varphi_{px}}{\varphi(\lambda)}$ hệ số phản xạ của laser trên ranh giới 2 lớp không khí;

$\frac{\varphi_{tx}(\lambda)}{\varphi(\lambda)}$ hệ số tán xạ của laser trong môi trường không khí;

$\frac{\varphi_{ht}(\lambda)}{\varphi(\lambda)}$ hệ số hấp thụ của laser trong môi trường không khí;

$\frac{\varphi_{ln}(\lambda)}{\varphi(\lambda)}$ hệ số truyền qua của môi trường không khí

Từ đây ta có công thức:

$$1 = \rho(\lambda) + \varphi_{tx}(\lambda) + \varphi_{ht}(\lambda) + \tau(\lambda). \quad (4)$$

Sự tán xạ của ánh sáng laser trong môi trường không khí xảy ra do tính không đồng nhất của các phân tử không khí. Phụ thuộc vào kích thước của các phân tử khí và chiều dài của bước sóng mà người ta phân ra thành các tán xạ sau đây:

- Tán xạ phân tử (molecular) : xảy ra ở các môi trường phân tử khí có kích thước nhỏ so với chiều dài của bước sóng laser.

- Tán xạ nhiễu xạ (diffraction): xảy ra do các phân tử có kích thước khác nhau so với độ dài của bước sóng laser.

- Tán xạ hình học (geometrical): xảy ra với các phân tử có kích thước khá lớn so với chiều dài của bước sóng laser.

Sự hấp thụ năng lượng của chùm tia laser phụ thuộc vào áp suất, nhiệt độ, độ ẩm và mật độ không khí. Các đại lượng này thường thay đổi theo không gian, thời gian. Chỉ số biến đổi của các đại lượng này cho phép xác định độ chính xác các đại lượng hấp thụ của chùm tia laser. Ngoài tán xạ và hấp thụ thường xảy ra trong môi trường không đồng nhất, chùm tia laser khi đi qua không khí còn bị ảnh hưởng của các hiện tượng cuộn xoáy nhiễu động không khí làm ảnh hưởng rất lớn đến các kết quả đo. Hiện tượng nhiễu động của không khí xảy ra do sự chuyển động theo các hướng ngẫu nhiên và vận tốc khác nhau của các phân tử khí. Trong khu vực cuộn xoáy, tại mọi điểm, tốc độ chuyển động của không khí luôn luôn biến đổi. Ảnh hưởng của hiện tượng cuộn xoáy tác động khá lớn đối với chuyển động pha và biên độ dao động của chùm tia laser. Sự biến đổi biên độ và pha của chùm laser xảy ra do sự biến đổi ngẫu nhiên của hướng và tốc độ chuyển động các phân tử khí. Một cách khái quát, có thể mô tả ảnh hưởng của hiện tượng cuộn xoáy nhiễu động không khí như sau:

1. Sự biến đổi hướng của chùm tia

a) Sự biến đổi hướng của chùm tia gây ra do nhiễu động động lực (dynamic turbulence). Sự nhiễu động này tồn tại trong các đường lò không phụ thuộc vào nhiệt độ không khí.

b) Sự biến đổi hướng chùm tia gây ra do sự nhiễu động nhiệt, phụ thuộc vào sự biến đổi nhiệt độ các lớp không khí trong các đường lò.

2. Sự biến đổi góc hội tụ của chùm tia laser

Do ảnh hưởng của hiện tượng nhiễu động không khí hầm lò, vết laser sẽ bị thay đổi. Đường kính của nó lớn hơn đối với vết laser cùng khoảng cách khi đo trong phòng thí nghiệm không có ảnh hưởng nhiễu động.

3. Dưới tác động của nhiễu động không khí, vết laser bị rung và dao động làm cho tâm vết laser có thể biến đổi.

Do sự không đồng nhất của không khí, hệ số chiết quang trong quãng đường từ bộ phận phát đến mục tiêu và từ mục tiêu đến bộ phận

thu cũng khác nhau. Hiệu ứng nhiễu động của không khí có thể xác định được thông qua quan hệ giữa đường kính của chùm tia laser dB và đường kính của khối không khí không đồng nhất l.

Nếu: $\frac{dB}{l} < 1$ - vết laser sẽ có đường kính tăng lên

$\frac{dB}{l} = 1$ - vết laser có thể lớn hơn hoặc nhỏ hơn với kích thước sai lệch không đáng kể nhưng chùm tia giữ vị trí khá ổn định trong thời gian đo

$\frac{dB}{l} > 1$ - Vết tia laser thường dao động mạnh và không ổn định trong quá trình đo

Sự lệch chùm tia laser của nó trong không khí có thể xảy ra ở 2 mặt phẳng thẳng đứng và nằm ngang. Vì vậy, chiết quang chùm tia laser có thể phân thành chiết quang đứng và chiết quang ngang. Cơ sở để xác định hệ số chiết quang là xử lý các trị đo trong các điều kiện khác nhau mà mục đích chính là xác định hệ số khúc xạ của môi trường không khí hầm lò, và từ đó xác định được đường cong của tia ngắm trong môi trường thực địa. Từ các phân tích trên đây, có thể thấy rằng mật độ và đặc tính của các lớp không khí mà chùm tia laser đi qua rất phức tạp. Nó phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố theo không gian và thời gian, vì vậy, việc xác định các hệ số chiết quang và các thông số để mô tả quỹ đạo chùm tia laser trong không khí đối với các phép đo trắc địa là hết sức cần thiết.

3. Ảnh hưởng của chiết quang đối với các kết quả đo trắc địa

Trong các nguồn sai số ngoại cảnh ảnh hưởng đến độ chính xác đo đạc bằng các thiết bị laser trong mỏ hầm lò thì chiết quang có ảnh hưởng lớn nhất, trong đó sự nhiễu động không khí đóng vai trò quan trọng. Khi đi qua các môi trường không khí khác nhau chùm tia laser không giữ được độ ổn định bền vững, cường độ của chùm tia bị suy giảm. Các hiện tượng dao động chùm tia, làm mờ vết laser trên mục tiêu. Vết laser cũng bị yếu dần cùng với sự tăng dần về khoảng cách đo. Ảnh hưởng này tỷ lệ thuận

với tốc độ gió, tốc độ chuyển động của không khí. Sự nhiễu động cục bộ trong các đoạn đường lò, kể cả nhiễu động động lực và nhiễu động nhiệt đều làm lệch hướng chùm tia. Kết quả thực nghiệm đã cho thấy rằng, do sự đa dạng của các điều kiện không khí trong hầm lò, độ lệch của tia laser so với hướng đầu cũng biến đổi. Sự không ổn định của pha tín hiệu tác động rõ rệt đến chùm tia laser làm giảm độ chính xác các phép đo nhất là các phép đo đòi hỏi độ chính xác cao. Như vậy, có thể hiểu rằng: khúc xạ làm lệch hướng chùm tia, trong khi đó tán xạ và hấp thụ làm giảm năng lượng và công suất chùm tia. Sự suy giảm khoảng cách và công suất laser làm ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng và hiệu quả các kết quả đo đạc trong hầm lò. Trong nhiều trường hợp, do vết laser có cường độ yếu, nên phải giảm khoảng cách đo bằng cách tăng số lượng trạm đo, điều đó làm tăng thời gian và công sức đối với các nội dung công tác trắc địa. Trong các môi trường không khí có hàm lượng bụi lớn và độ ẩm cao như trong các mỏ hầm lò Việt Nam, quá trình hấp thụ và tán xạ tia laser được thể hiện rất rõ. So với điều kiện trên mặt đất, để đảm bảo độ chính xác, khi đo đạc trong hầm lò, khoảng cách số lượng cạnh đo thường phải tăng gấp đôi. Sự giới hạn của khoảng cách gây ra do độ ẩm của không khí có thể được biểu thị thông qua hệ số hấp thụ hơi nước bằng công thức sau đây [4] :

$$\alpha_{p_{H_2O}} = K(\lambda) \times V \quad , \quad (5)$$

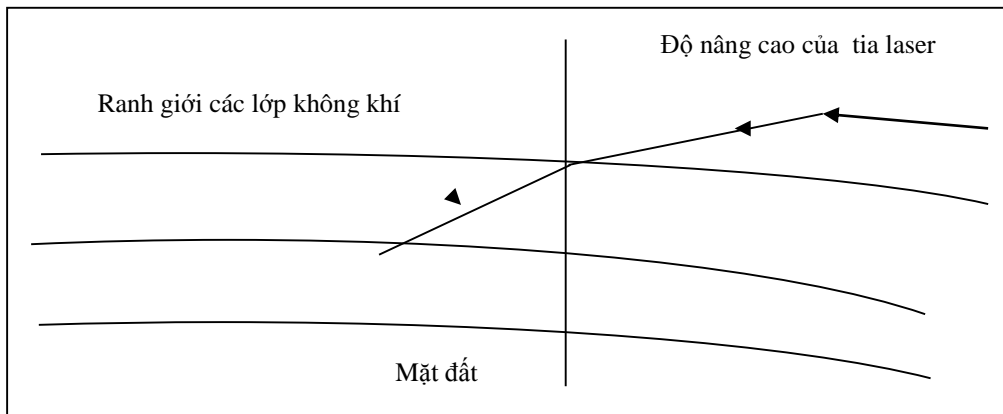
trong đó:

$K(\lambda)$ - hệ số phụ thuộc vào chiều dài bước sóng laser. Ví dụ với $\lambda=0,6328$ thì $K(\lambda) = 0.01$

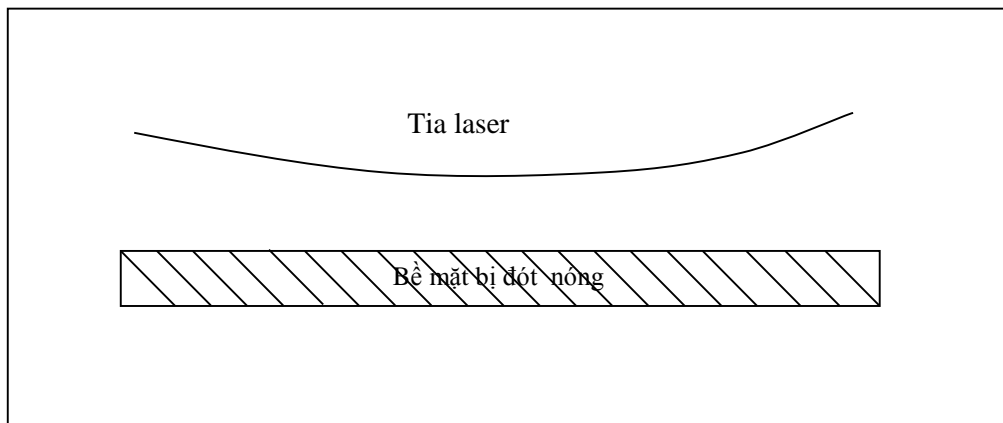
V - hàm lượng hơi nước.

Cũng như bụi, độ ẩm hạn chế khá lớn khoảng cách của chùm tia laser, đặc biệt trong mỏ hầm lò. Trong điều kiện bình thường, chiết quang đứng thường được thể hiện là một đường cong lồi lên phía trên bởi vì các tầng trên của không khí thường có mật độ nhỏ hơn các lớp không khí phía dưới. Điều này được thể hiện qua công thức (6):

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2 \quad . \quad (6)$$



Hình 1. Tia laser lệch theo hướng cong lên phía trên



Hình 2. Tia laser lệch theo hướng lõm xuống phía dưới

Tuy vậy, cũng có những trường hợp đường cong lại lõm phía dưới. Người ta thường coi đây là tính dị thường của hiện tượng chiết quang, thường chỉ xảy ra trong các trường hợp chiết quang trên mặt đất. Trong những ngày bức xạ mặt trời lớn, chiếu sáng mạnh xảy ra ở sa mạc, nền bê tông, vì lúc đó các lớp không khí sát bề mặt bị hâm nóng và mật độ không khí loãng hơn (hình 2).

Nhiệt độ của không khí trong hầm lò là tác nhân làm gia tăng ảnh hưởng của chiết quang. Tùy thuộc vào điều kiện thông gió và độ sâu khai thác, đặc tính cơ lý đất đá trong hầm lò mà gradient nhiệt độ cũng biến đổi theo không gian và thời gian. Chiều sâu khai thác càng lớn, gradient nhiệt độ càng lớn, ảnh hưởng của sai số chiết quang, vì thế cũng lớn hơn.

4. Kết luận

1. Trong các hầm lò Việt Nam, điều kiện vi khí hậu như độ ẩm, nhiệt độ và các hoạt động nhiễu động của không khí rất phức tạp. Các yếu tố này biến động theo thời gian và không gian và là nguyên nhân gây ra hiện tượng chiết quang của chùm tia laser.

2. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng, ảnh hưởng của chiết quang càng lớn khi sự nhiễu động không khí càng lớn. Sự nhiễu động của không khí lớn tập trung ở các hầm lò có dòng khí mạnh, độ ẩm cao và gradient nhiệt độ biến đổi.

3. Ảnh hưởng của chiết quang tỷ lệ thuận với độ sâu khai thác. Ở độ sâu 500m, gradient nhiệt độ có thể đạt tới 5⁰C/m. Chùm tia laser có thể lệch khỏi vị trí chuẩn hàng chục mi-li-mét và làm lệch hướng một góc khoảng vài phút.

(xem tiếp trang 83)

Với các thiết bị laser hiện đại, độ chính xác đo các đại lượng trong hầm lò được nâng lên đáng kể, giảm nhiều công sức, thời gian và an toàn lao động. Tuy vậy, điều kiện môi trường đo trong hầm lò lại rất phức tạp, ảnh hưởng của chiết quang là rất đáng kể và không thể tránh khỏi, lại biến động theo không gian và thời gian. Cần nghiên cứu xác định các hệ số chiết quang và quy luật ảnh hưởng của chúng đối với các kết quả đo đạc trong hầm lò.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bui Thanh Lan, Vo Chi My, Chu Dinh Thuy, 2008. Application of laser instrument in underground mine surveying of Quangninh

coalfield, *Advances in Mining and Tunneling*, Publishing House for Science and Technology, Ha Noi.

[2]. Võ Chí Mỹ, 2005. Nghiên cứu khả năng ứng dụng thiết bị laser trong các mỏ hầm lò, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước Mã số: HTNC-01, Hà Nội.

[3]. Võ Chí Mỹ, 2009. Hiệu quả ứng dụng kỹ thuật laser trong xây dựng và khai thác mỏ, Báo cáo Hội nghị khoa học “Laser và Môi trường”, Hà Nội.

[4]. Weglowski-Krol M., 2008. Influence of refraction on the laser sight line. Master dissertation, University of Science and Technology, Cracow, Poland.

SUMMARY

Influence of vertical refraction on the precision of laser measurement in underground mines

Vo Ngoc Dung, *University of Mining and Geology*

Abstract. When laser beam passes from a medium of one density into a medium of a different density, the rays change in direction (bend). The change in direction is called refraction. Since sight lines are light rays, they are refracted, or bent, by changes in the underground mining atmosphere, causing errors in angular, distance and elevation measurement. The influence of vertical refraction on the precision of laser measurement in underground mines is discussed.