MÔ HÌNH HOÁ VIỆC GIẢI BÀI TOÁN NGƯỢC BA CHIỀU XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ VẬT THỂ VÀ ĐỘ SÂU CỦA MÓNG TỪ

ĐỖ ĐỨC THANH, NGUYỄN ĐÌNH CHIẾN

I. MỞ Đ ẦU

Như ta đã biết, việc giải bài toán ngược xác định độ sâu của móng từ luôn giữ một vai trò quan trọng trong quá trình phân tích, xử lí số liệu địa vật lí nhằm ngiên cứu cấu trúc sâu vỏ trái đất. Chính vì vậy, bài toán này luôn dành được sự quan tâm hàng đầu của các nhà địa vật lí trên thế giới cũng như trong nước. Tuy nhiên, để giải được bài toán ngược, đặc biệt là bài toán ngược ba chiều xác định độ sâu của móng từ, trước hết ta cần đưa ra được thuật toán nhằm xác định dị thường từ toàn phần ΔT của nó sao cho chính xác, nhanh và thuận tiện hơn cả cho việc tính toán. Cho tới nay, trên thế giới đã có rất nhiều các phương pháp khác nhau được các tác giả đưa ra để tính dị thường từ toàn phần của móng từ nhưng trong đó, việc chia nhỏ nó ra thành các lăng trụ thẳng đứng đặt cạnh nhau vẫn là mô hình được sử dụng rộng rãi hơn cả. Theo hướng này, Bhaskarva Rao và Ramesh Babu [1] đã đưa ra được thuật toán tính dị thường từ toàn phần gây ra bởi vật thể có dạng hình lăng trụ thẳng đứng bị từ hóa trong trường từ trái đất để từ đó xác định được dị thường từ toàn phần của móng từ.

Trong khuôn khổ bài báo này, thuật toán nói trên đã được chúng tôi nghiên cứu áp dụng và phát triển để giải bài toán ngược nhằm xác định độ sâu của móng từ theo phương pháp lựa chọn có điều chỉnh quá trình hội tụ nghiệm của Marquardt [7]. Việc mô hình hóa cũng đã được chúng tôi thiết lập và tính toán thử nghiệm trên một số mô hình cụ thể trong trường hợp bài toán ba chiều. Những kết quả thu được về độ chính xác, tốc độ hội tụ, tính khả thi về thời gian tính trên máy cho thấy khả năng áp dụng của phương pháp khi phân tích và xử lí số liệu đo đạc ngoài thục tế tại các cơ sở sản xuất

II. XÁC ĐỊNH DỊ THƯỜNG CỦA MÓNG TỪ

Để tính dị thường từ trên mặt phẳng *Oxy* gây ra bởi vật thể hình lăng trụ có độ từ hoá bất kỳ, ta chọn hệ toạ độ vuông góc có gốc *O* được đặt trên mặt phẳng quan sát, trục *Ox* hướng theo cực bắc địa lí, trục Oy theo hướng đông, trục *Oz* hướng thẳng đứng xuống dưới. Lưới điểm quan sát nằm song song với các trục *Ox* và *Oy* (hình 1).

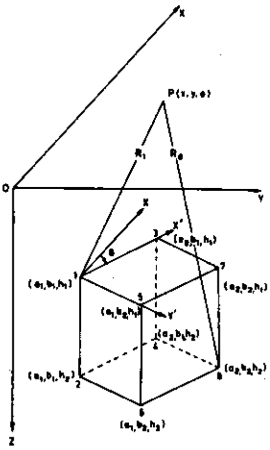
Với cách chọn hệ trục toạ độ như trên, Bhaskarva Rao và Ramesh Babu [1] đã đưa ra phương trình để tính dị thường từ tại điểm *P(x,y,0)* bất kỳ của vật thể có dạng lăng trụ thẳng đứng có các mặt bên song song với các trục toạ độ như sau:

$$\Delta T(x,y,0) = G_1F_1 + G_2F_2 + G_3F_3 + G_4F_4 + G_5F_5 \qquad (1)$$

trong đó G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 là các hằng số với:

$$G_1 = J(Mr + Nq),\ G_2 = J(Lr + Np),\ G_3 = J(Lq + Mp),\ G_4 = J(Nr - Mq),\ G_5 = J(Nr - Lq),$$

ở đây: J là độ từ hoá; L,M,N là các côsin chỉ phương của vectơ từ hoá của vật thể; p,q,r là các côsin chỉ phương của véc tơ cường độ trường từ trái đất; F_1,F_2,F_3,F_4,F_5 là các hàm số của toạ độ điểm quan sát, vị trí và kích thước vật thể [1].



Hình 1. Mô hình lăng trụ thẳng đứng

Trường hợp các mặt bên của lăng trụ không song song với các trục toạ độ mà tạo với chúng một góc θ, ta chọn hệ trục toạ độ mới $Ox'y'$ sao cho các mặt bên này song song với các trục toạ độ mới còn gốc toạ độ O vẫn giữ nguyên. Mối liên hệ giữa các trục toạ độ mới và cũ là:

$$x' = x\cos\theta + y\sin\theta, \quad y' = -x\sin\theta + y\cos\theta.$$

Trên đây ta đã đưa ra biểu thức xác định dị thường từ toàn phần của một lăng trụ thẳng đứng bị từ hoá. Để xác định dị thường của móng từ, ta chia nó ra thành các lăng trụ thẳng đứng đặt cạnh nhau. Khi đó dị thường từ toàn phần ΔT của móng sẽ được xác định bằng cách lấy tổng dị thường của tất cả các lăng trụ này:

$$\Delta T(x,y,0) = \sum_{i}^{M}\sum_{j}^{N}\Delta T_{ij}(x,y,0), \qquad (2)$$

trong đó M, N tương ứng là số lăng trụ được chia theo các trục x và y còn $\Delta T_{ij}(x,y,0)$ là dị thường từ toàn phần của lăng trụ thứ *(i, j)* tại điểm $(x_i, y_j, 0)$ được xác định theo (1).

III. XÂY DỰNG THUẬT TOÁN GIẢI BÀI TOÁN NGƯỢC

Tại điểm $P(X_i,Y_j)$ trên tuyến quan sát, dị thường từ $\Delta T(X_i,Y_j)$ do lăng trụ bị từ hoá gây ra có thể viết như sau

$$\Delta T(X_i,Y_j) = f(X_i,Y_j,x_1,x_2,...x_{12})$$

trong đó các thông số $x_1,x_2,... x_7$ tương ứng là các thông số liên quan tới kích thước hình học của vật thể hình lăng trụ, đó chính là các toạ độ nằm ngang, thẳng đứng a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2 và góc nghiêng θ của lăng trụ so với phương bắc địa lí; còn $x_8,x_9...x_{12}$ tương ứng là các thông số liên quan tới sự từ hoá của vật thể, đó chính là độ từ hoá J, độ từ khuynh và độ từ thiên của véc tơ từ hoá của vật cũng như của trường từ trái đất I, D, I_0, D_0.

Ở đây, việc giải bài toán ngược nhằm xác định các thông số a_k ($k = 1 \ldots 10$) của vật thể bị từ hoá được thực hiện theo phương pháp lựa chọn. Xuất phát từ mô hình giả định ban đầu được đưa ra dựa vào các thông tin về địa chất và địa vật lí khác, dị thường ban đầu sẽ được tính theo phương trình (1). Sự sai lệch giữa dị thường quan sát $\Delta T_{qs}(X_i, Y_j)$ và dị thường tính toán $\Delta T_{tt}(X_i, Y_j)$ tại điểm quan sát thứ (i,j) :

$$d\Delta T(X_i, Y_j) = \Delta T_{qs}(X_i, Y_j) - \Delta T_{tt}(X_i) = \sum_{i,j=1}^{MxN} \frac{\partial \Delta T(X_i, Y_j)}{\partial a_k}\bigg|_{a_k = a_k^0} .da_k, \quad (3)$$

sẽ được sử dụng để xác định gia số da_k của các thông số cần xác định, trong đó a_k^0 là các thông số giả định ban đầu của vật thể. Việc xây dựng các phương trình nhằm xác định các giá trị da_k được thực hiện bằng phương pháp lặp thông qua việc cực tiểu hoá hàm đối tượng $\sum_{i,j=1}^{MxN} (d\Delta T(X_i, Y_j))^2$ nhờ áp dụng phương pháp cực tiểu hoá của *Marquardt* [2].

IV. MÔ HÌNH HOÁ VÀ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Trên cơ sở áp dụng thuật toán giải bài toán ngược theo phương pháp lựa chọn có điều chỉnh đã trình bày ở trên, trong phần này ta tiến hành việc giải bài toán ngược nhằm xác định các thông số hình học $a_1, b_1, h_1, a_2, b_2, h_2, \theta$ cũng như các thông số liên quan tới sự từ hoá của vật thể J, I, D trên một số mô hình toán ba chiều cụ thể; đó là mô hình gồm nhiều vật thể có dạng lăng trụ thẳng đứng và mô hình của một móng từ ba chiều.

1. Mô hình các vật thể

a. Các thông số của mô hình

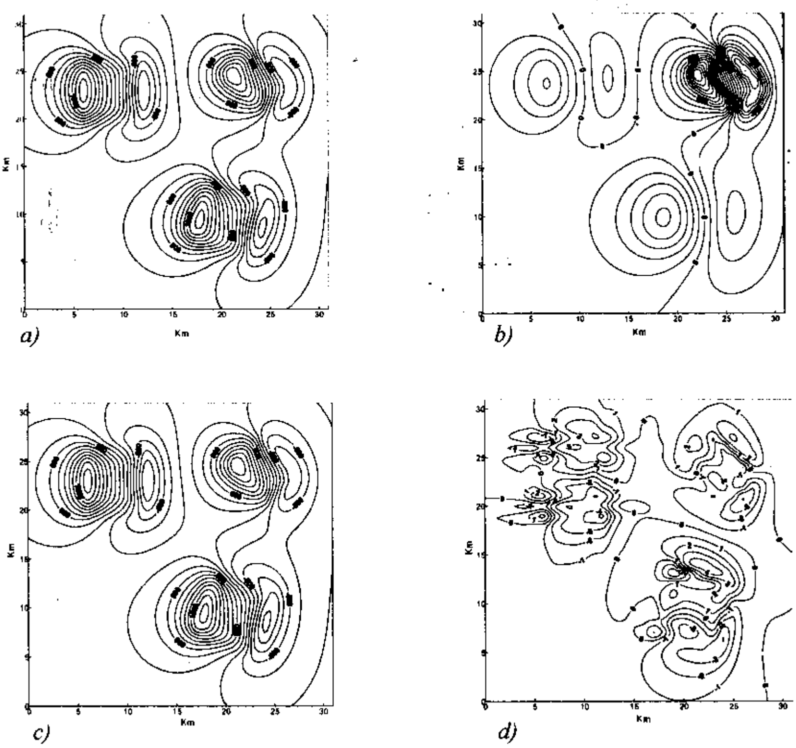
Trường hợp này đối tượng gây dị thường gồm ba lăng trụ thẳng đứng bị từ hoá nghiêng, có góc nghiêng từ hoá đều là $I = 45°$. Trong ba lăng trụ này một lăng trụ có các cạnh song song với các trục toạ độ ($\theta = 0^0$) còn hai lăng trụ còn lại có các cạnh không song song với các trục toạ độ ($\theta = -18.435^0$ và $\theta = -45^0$). Dị thường từ toàn phần do nó gây ra (hình 2a) được xác định trên mặt phẳng *xOy* (mặt quan sát) theo một mạng lưới ô vuông trong đó số điểm quan sát theo các trục *x*,y cũng được lấy là $M = N = 32$ điểm; khoảng cách giữa các điểm là $\Delta x = \Delta y = 1 km$. Độ từ thiên và góc nghiêng từ hoá của trường khu vực lần lượt được chọn là $D_0 = 0{,}01''$ và $I_0 = 30''$

b. Kết quả tính toán

Kết quả giải bài toán ngược bao gồm các thông số hình học, các thông số liên quan tới sự từ hoá và độ sâu của vật thể được đưa ra trong bảng 1. Dị thường từ toàn phần ở lần lặp đầu tiên, lần lặp cuối cùng cũng như độ lệch của dị thường ở hai lần lặp này được đưa ra trong các hình 2b, 2c và 2d dưới đây

Bảng 1. Kết quả giải bài toán ngược xác định các thông số của vật thể

STT vật	Thông số vật thể	a_1 (km)	a_2 (km)	b_1 (km)	b_2 (km)	h_1 (km)	h_2 (km)	D (độ)	I (độ)	θ (độ)	J (A/m)
I	Mô hình	6,000	12,000	20,000	26,000	1,000	7,000	0,050	45,000	0,000	0,500
	Ban đầu	7,000	13,000	21,000	27,000	2,000	8,000	5,000	30,000	0,000	0,200
	Lần lặp cuối	5,991	11,991	20,021	26,022	1,003	6,988	0,500	44,992	-0,020	0,501
II	Mô hình	-3,000	3,000	31,940	35,940	1,000	7,000	0,050	45,000	-45,000	0,500
	Ban đầu	-2,000	4,000	32,940	36,940	0,500	8,000	5,000	20,000	-45,000	0,300
	Lần lặp cuối	-2,998	2,995	31,946	35,949	0,997	7,065	0,573	44,990	-44,994	0,498
III	Mô hình	13,750	20,070	12,500	18,825	1,000	7,000	0,050	45,000	-18,435	0,500
	Ban đầu	14,750	21,070	13,500	19,825	3,000	9,000	5,000	35,000	-18,435	0,400
	Lần lặp cuối	13,737	20,056	12,519	18,849	1,001	6,982	0,573	45,004	-18,469	0,500



Hình 2. Kết quả giải bài toán ngược xác định các thông số vật thể

a) Dị thường quan sát; b) Dị thường ở lần lặp đầu

c) Dị thường ở lần lặp cuối; d) Độ lệch giữa dị thường quan sát và tính toán

2. Mô hình móng từ

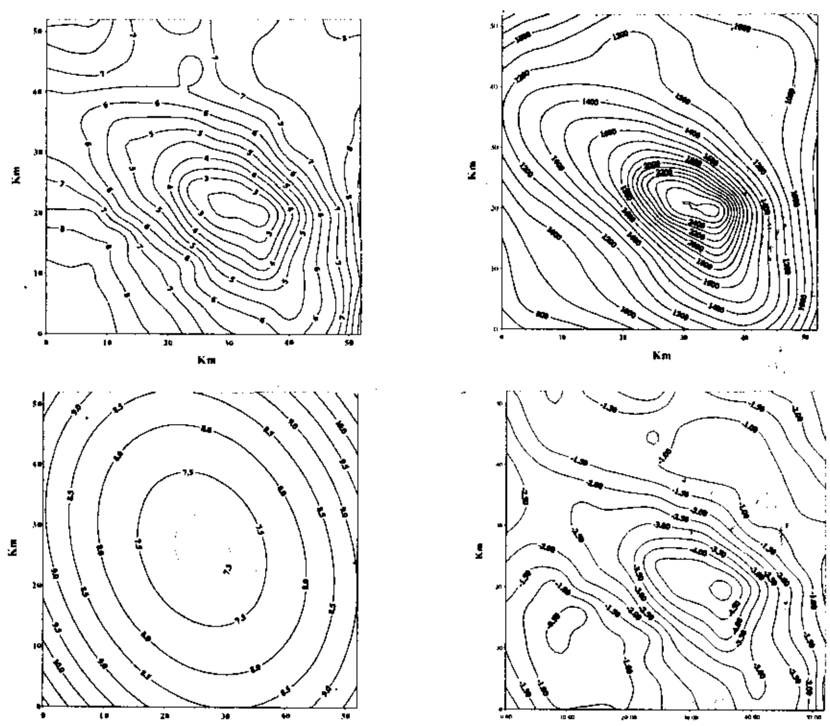
a. Các thông số của mô hình

Trường hợp này đối tượng gây dị thường là một móng từ có phần được khảo sát trải rộng trên một diện tích 52 × 52 km^2 được giả thiết là bị từ hoá thẳng đứng ($I = 90^0$). Sự thay đổi độ sâu tới mặt trên của móng được biểu diễn trên hình 3a còn mặt dưới của móng được giả thiết là phẳng và nằm ở độ sâu 20 km. Bằng cách chia móng từ này thành các lăng trụ thẳng đứng đặt cạnh nhau có các cạnh song song với các trục toạ độ ($\theta = 0^{\circ}$), theo công thức (2), ta sẽ xác định được dị thường từ toàn phần của nó (hình 3b) trên mặt phẳng xOy (mặt quan sát) theo một mạng lưới ô vuông trong đó số điểm quan sát theo các trục x và y đều được lấy là 14 điểm, khoảng cách giữa các điểm là 4 km. Độ từ thiên và góc nghiêng từ hoá của trường khu vực lần lượt được chọn là $D_0 = 0{,}01^{\circ}$ và $I_0 = 90^{\circ}$.

Dị thường này được sử dụng như dị thường quan sát để giải bài toán ngược theo phương pháp lựa chọn có điều chỉnh quá trình hội tụ tới nghiệm đã trình bày ở trên.

b. Kết quả tính toán

Trong trường hợp này, nghiệm của bài toán là độ sâu tới mặt trên của móng mà thực chất là độ sâu tới mặt trên của tất cả các lăng trụ thẳng đứng mà nó được chia ra. Độ sâu tới móng từ được giả định lúc ban đầu, độ sâu tới móng từ ở lần lặp cuối cùng được đưa ra trên các hình 3b và hình 3c. Sai lệch về kết quả xác định độ sâu của móng từ so với mô hình lí thuyết cũng được đưa ra trong hình 3d nhằm khảo sát độ chính xác của nghiệm. Kết quả tính toán cho thấy chỉ sau 10 lần lặp, sai số bình phương trung bình giữa dị thường quan sát và dị thường tính toán giảm nhanh từ 20,1629 nT xuống còn 0,12 nT còn sai số bình phương trung bình về độ sâu giữa mô hình lí thuyết và mô hình lí thuyết giảm từ 0,1525 km xuống chỉ còn 0,007 km.



Hình 3. Kết quả giải bài toán ngược xác định độ sâu của móng từ
a) Mô hình móng từ giả định ban đầu (km); b) Độ lệch ban đầu (km)
c) Mô hình móng từ ở lần lặp cuối (km) d) Độ lệch ở lần lặp cuối (km)

3. Nhận xét

Từ kết quả tính toán thu được trên các mô hình ta rút ra một số nhận xét sau:

- Với phương pháp giải bài toán ngược này, các thông số hình học đặc trưng cho vị trí và độ sâu của vật thể được xác định khá chính xác không chỉ trong trường hợp môi trường chỉ có một mà thậm chí gồm nhiều đối tượng gây dị thường.

- Do độ hội tụ tốt của phương pháp ngay cả khi bài toán có nhiều biến số, ngoài các thông số hình học, ta còn có khả năng xác định được cả các thông số liên quan tới sự từ hoá của vật thể như độ cảm từ, góc nghiêng từ hoá...của chúng. Ngoài ra, cũng do tốc độ hội tụ nhanh và ổn định của phương pháp mà việc giải bài toán ngược ba chiều nhằm xác định độ sâu của móng từ, một vấn đề quan trọng trong lĩnh vực nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ trái đất hoàn toàn có thể thực hiện được trên các loại máy vi tính thông dụng đang được sử dụng rộng rãi tại các viện nghiên cứu và cơ sở sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. D. Bhaskara Rao and N. Ramesh Babu - A fortran 77 computer program for three-dimensional inversion of magnetic anomalies resulting from multiple prismatic bodies, Computer&geosciences **19** (6) (1993) 781-801.
2. B. Narashimha, P. Ramakrishna, and A. Markandeyulu - Gminv: a computer program for gravity or magnetic data inversion, Computer & Geosciences **21**(2) (1995) 301-319.
3. I. V. Ramakrishna Murthy and P. Rama Rao - Inversion of gravity and magnetic anomalies of two-dimensional polygonal cross sections, Computer & Geosciences **19** (9) (1993) 1213-1228.
4. I. V. Ramakrishna Murthy, P. Rama Rao, and S. Jagannadha Rao - The density difference and generalized programs for two- and three-dimensional gravity modeling, Computer & Geosciences **16** (3) (1990) 277-287.
5. J. Richard and Blakely - Potential theory in gravity and magnetic application, Cambridge University Press, 1996.
6. W. M. Telford, L. P. Geldart, R. E. Sheriff, and D. A. Keys - Applied geophysics. Cambridge University Press, 1982.
7. William H. Press, Brian P. Flannery - Numerical Recipes, Cambridge University Press, 1990.

SUMMARY

MODELING OF 3D MAGNETIC INVERSION TO DETERMINE PARAMETERS OF OBJECT AND DEPTH OF MAGNETIC BASEMENT

In this paper, algorithm to compute magnetic anomaly resulting from prismatic bodies was applied and improved by us to solving 3D magnetic inversion to determine depth of magnetic basement by iterative method. A series of models of magnetized prismatic bodies as well as magnetic basement was build and experimentally computed. Received results about precision, convegence and feasibility of compute time of method demonstrates it's apply capacity in practical data.

Địa chỉ:

Nhận bài ngày 4 tháng 8 năm 2006

Khoa Vật lý, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.