

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP COMPACT TRONG GIẢI BÀI TOÁN NGƯỢC TRỌNG LỰC

Nguyễn Hồng Hải*

Tóm tắt

Việc giải bài toán ngược nhằm xác định vị trí và hình dạng của nguồn dị thường, đặc biệt là xác định mặt móng kết tinh trong thăm dò dầu khí. Do đó, đã có nhiều phương pháp được đưa ra. Bài báo này trình bày hai nội dung chính (a) xây dựng phương pháp giải bài toán ngược trọng lực sử dụng mô hình Compact và (b) áp dụng tính toán trên các mô hình. Kết quả đạt được cho thấy phương pháp này là khả thi, có khả năng thực hiện và thử nghiệm trên các dữ liệu trọng lực bằng máy vi tính.

Từ khóa: bài toán ngược, dị thường trọng lực, phương pháp compact, mô hình 2D

1. Mở đầu

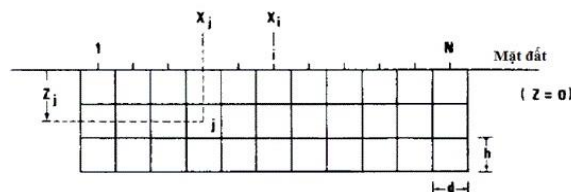
Trong thăm dò trọng lực, các dữ liệu đo đạc được thực hiện các phép hiệu chỉnh cần thiết trước khi sử dụng. Trong đó, giá trị dị thường trọng lực Bouguer được sử dụng để phân tích và giải đoán nhằm tìm hiểu các đối tượng địa chất mà yêu cầu thực tế đòi hỏi.

Việc xác định vị trí, hình dạng, kích thước, chiều sâu của dị vật trong giải đoán tài liệu trọng lực là mục tiêu chủ yếu của việc giải thích định lượng; trong đó người ta thường sử dụng phương pháp giải bài toán ngược trọng lực.

Hiện nay, có nhiều kỹ thuật giải đoán tài liệu trọng lực [1], tuy có cùng mục đích là giải bài toán ngược trong thăm dò trọng lực nhưng mỗi loại có quá trình tiếp cận vấn đề khác nhau như: các phương pháp truyền thống; phương pháp tiến, phương pháp nghịch đảo. Trong bài báo này, tôi trình bày việc xây dựng phương pháp giải bài toán ngược trọng lực sử dụng kết hợp phương pháp Compact. Với cách giải này hứa hẹn có khả năng ứng dụng lập trình để giải nhanh và chính xác bài toán bằng máy vi tính.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Mô hình nghiên cứu



Hình 1: Mô hình 2D gồm các khối hình chữ nhật

* ThS, Trường Đại học An Giang

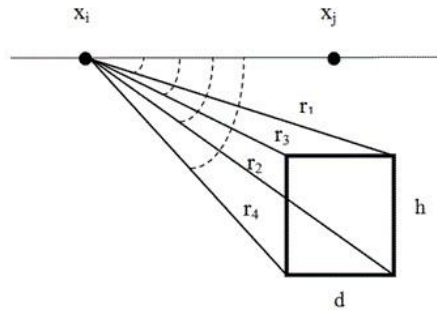
Mô hình được sử dụng là mô hình được phát sinh bằng phương pháp Compact, là mô hình hai chiều (2D) bao gồm các khối hình chữ nhật cố định chứa các giá trị hiệu mật độ như hình 1.

Khi đó dị thường trọng lực do tất cả các khối hình chữ nhật gây ra tại điểm quan sát thứ i được tính bởi công thức:

$$g_i = \sum_{j=1}^M a_{ij} \cdot \Delta\rho_j \quad (2.1)$$

với, $i = 1, \dots, N$

$\Delta\rho_j$ là hiệu mật độ tại khối thứ j ; a_{ij} là ma trận phần tử đại diện cho ảnh hưởng của các khối thứ j lên trọng lực tại điểm i (tính bởi công thức 2.2)



Hình 2: Dị thường trọng lực gây ra bởi một hình chữ nhật thứ j lên một điểm quan sát thứ i

$$a_{ij} = 2G_{hd} \begin{bmatrix} \left(x_i - x_j + \frac{d}{2} \right) \log \left(\frac{r_2 r_3}{r_1 r_4} \right) + d \log \left(\frac{r_4}{r_3} \right) \\ - \left(z_j + \frac{h}{2} \right) (\theta_4 - \theta_2) + \left(z_j - \frac{h}{2} \right) (\theta_3 - \theta_1) \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

trong công thức trên, r_1, r_2, r_3, r_4 là khoảng cách từ điểm i đến các đỉnh của hình chữ nhật thứ j .

$$\begin{cases} r_1^2 = \left(z_j - \frac{h}{2} \right)^2 + \left(x_i - x_j + \frac{h}{2} \right)^2 \\ r_2^2 = \left(z_j + \frac{h}{2} \right)^2 + \left(x_i - x_j + \frac{h}{2} \right)^2 \\ r_3^2 = \left(z_j - \frac{h}{2} \right)^2 + \left(x_i - x_j - \frac{h}{2} \right)^2 \\ r_4^2 = \left(z_j + \frac{h}{2} \right)^2 + \left(x_i - x_j - \frac{h}{2} \right)^2 \end{cases} \quad (2.3)$$

và $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ là góc hợp bởi các cạnh r_1, r_2, r_3, r_4 với mặt đất

$$\begin{cases} \theta_1 = \arctan \left[\left(x_i - x_j + \frac{h}{2} \right) / \left(z_j - \frac{h}{2} \right) \right] \\ \theta_2 = \arctan \left[\left(x_i - x_j + \frac{h}{2} \right) / \left(z_j + \frac{h}{2} \right) \right] \\ \theta_3 = \arctan \left[\left(x_i - x_j - \frac{h}{2} \right) / \left(z_j - \frac{h}{2} \right) \right] \\ \theta_4 = \arctan \left[\left(x_i - x_j - \frac{h}{2} \right) / \left(z_j + \frac{h}{2} \right) \right] \end{cases} \quad (2.4)$$

G_{hd} là hằng số hấp dẫn; \mathbf{h}, \mathbf{d} là bề rộng và bề ngang của mỗi ô chữ nhật; z_j là độ sâu của ô thứ j ; x_i là toạ độ của điểm quan sát P , x_j là toạ độ chiều ngang của ô thứ j .

Như vậy, mỗi một ô chữ nhật sẽ chứa một giá trị hiệu mật độ $\Delta\rho_j$ và ứng với mỗi điểm quan sát P_i ta sẽ thu được một giá trị dị thường trọng lực do tất cả các ô này gây ra.

2.2. Xây dựng nguyên tắc giải bài toán ngược trọng lực kết hợp phương pháp Compact

Trong phương pháp Compact, ta so sánh giá trị dị thường trọng lực quan sát và giá trị thường trọng lực của mô hình bằng công thức:

$$[A] \cdot [V] = [G] \quad (2.5)$$

Trong công thức này, \mathbf{A} là ma trận chứa m giá trị đầu vào a_{ij} cho n điểm đo - nó đại diện cho ảnh hưởng của các ô hình chữ nhật lên các điểm quan sát và \mathbf{V} là vector chứa các giá trị hiệu mật độ của các ô, \mathbf{G} là vector dị thường trọng lực quan sát. Các giá trị hiệu mật độ ban đầu được khởi tạo ngẫu nhiên. Với cách khởi tạo này sẽ cho giá trị trọng lực quan sát và cho giá trị trọng lực lý thuyết (mô hình) không bằng nhau và ta sử dụng phương pháp Compact để điều chỉnh các hiệu mật độ của các ô chữ nhật của mô hình. Phương pháp Compact được đưa ra bởi Last và Kubik [2] bằng phương pháp bình phương tối thiểu, đây là phương pháp thử sai nhưng cho kết quả nhanh và chính xác cao.

Biểu diễn vector A, V, G dưới dạng ma trận như sau:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1m} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix}; V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_m \end{pmatrix}; G = \begin{pmatrix} G_1 \\ G_2 \\ \dots \\ G_m \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Tuy nhiên, phương pháp Compact đòi hỏi một hàm cực tiểu hoá sai số của hiệu mật độ và vùng phân bố mật độ.

$$\hat{V} = \underset{V}{\operatorname{arg\,min}} S(V) \quad (2.7)$$

Trong đó \hat{V} là các giá trị V phù hợp nhất (hiệu mật độ cần tìm), S là bình phương của sai số được định nghĩa như sau:

$$s(V) = \sum_{i=1}^n \left(G_i - \sum_{j=1}^m A_{ij} V_j \right)^2 = \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (2.8)$$

với i là chỉ số để chỉ giá trị tại điểm đo thứ i ; r_i là sai số tại điểm thứ i .

S đạt giá trị nhỏ nhất khi đạo hàm của nó theo V bằng 0. Lấy đạo hàm cấp một của $S(V)$, ta sẽ được:

$$\frac{\partial S}{\partial V_j} = 2 \sum_{i=1}^n r_i \frac{\partial r_i}{\partial V_j} = 2 \sum_{i=1}^n \left(G_i - \sum_{k=1}^m A_{ik} V_k \right) (-A_{ij}) \quad (2.9)$$

Để cực tiểu S ta có:

$$2 \sum_{i=1}^n \left(G_i - \sum_{k=1}^m A_{ik} V_k \right) (-A_{ij}) = 0 \quad (2.10)$$

Sau khi sắp xếp lại ta được phương trình (2.11):

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m A_{ij} A_{ik} \hat{V}_k = \sum_{i=1}^n A_{ij} G_i \quad (2.11)$$

, với $j = 1, 2, \dots, m$

$$\text{hay: } (A^T A) \hat{V}_k = A^T G \quad (2.12)$$

$$\text{Suy ra: } \hat{V} = (A^T A)^{-1} \cdot A^T G \quad (2.13)$$

Aitken [3] đã chứng minh rằng, nếu ta thêm các trọng số W_{ij} bằng giá trị nghịch đảo của sai số bình phương vào sẽ giúp cho S nhanh chóng đạt giá trị cực tiểu hơn.

$$S = \sum_{i=1}^n W_{jj} r_i^2 \quad (2.14)$$

trong đó, $W_{jj} = \frac{1}{V_j^2 + \varepsilon}$, với ε là một số vô cùng bé, được chọn tùy bài toán hoặc bằng 10^{-8} .

Đạo hàm bậc nhất của sai số trung bình bình phương sẽ trở thành:

$$-2 \sum_{i=1}^n W_{jj} \frac{\partial r_i}{\partial V_j} r_i = 0 \quad (2.15)$$

Tiếp tục khai triển sẽ có:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m A_{ij} A_{ik} \hat{V}_k = \sum_{i=1}^n A_{ij} W_{jj} G_i \quad (2.16)$$

hay: $(A^T A) \hat{V}_k = A^T W G$ (2.17)

Vậy giá trị V mong muốn là: $\hat{V} = (A^T W A)^{-1} . A^T W G$ (2.18)

Quá trình này được lặp lại nhiều lần. Công thức lặp cho lần lặp thứ q cho bởi:

$$V^{(q)} = \{ [W^{q-1}]^{-1} A^T [A(W^{q-1})^{-1} A^T]^{-1} \} G \quad (2.19)$$

Và ma trận trọng số **W** là một ma trận đường chéo, các giá trị ban đầu của ma trận W được gán bằng 1; sau đó, cứ mỗi lần tính có được giá trị của hiệu mật độ V, dùng giá trị của V để cập nhập giá trị của W theo công thức lặp như sau:

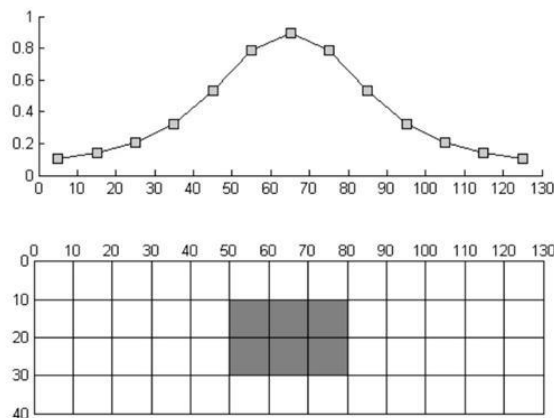
$$[W^{q-1}]_{jj} = \frac{1}{[(V_j^{q-1})^2 + \varepsilon]} \quad (2.20)$$

Vòng lặp chỉ kết thúc khi vùng phân bố mật độ nhỏ nhất được tìm thấy.

Tóm lại, vùng phân bố hiệu mật độ ban đầu rất lớn và rời rạc nhưng sau khi sử dụng phương pháp Compact chỉ có hiệu mật của vùng chứa dị vật được giữ lại, các vùng khác sẽ bị triệt tiêu. Do đó hình dạng và độ sâu của dị vật được tìm thấy.

3. Mô hình và kết quả áp dụng tính toán

3.1. Mô hình thứ nhất - Dị vật hình chữ nhật



Hình 3: Mô hình thứ nhất

Hình 3 là mô hình để tìm lời giải, gồm các hình vuông cạnh là 10m, có 13 ô theo chiều ngang (ứng với 13 điểm đo) và 4 ô theo chiều dọc, vậy $M = 13 \times 4$ ô vuông; dị vật sẽ nằm trong sáu ô nằm liền kề nhau được tô đen có $\Delta\rho = 2,5g/cm^3$. Bên trên là giá trị trọng lực của mô hình được xem là giá trị dị thường quan sát.

Như vậy tương ứng với một điểm đo sẽ có 52 giá trị đầu vào. Do đó, tập mẫu huấn luyện sẽ có 13 cột (do có 13 điểm đo), mỗi cột sẽ có 52 giá trị. Khi đó, trọng số (các giá trị hiệu mật độ) cũng sẽ có 52 giá trị tương ứng được chọn ngẫu nhiên. Sau 7 lần lặp kết hợp với lượng tử hóa thì dị vật được tìm thấy. Hình 4 là kết quả của lần lặp thứ nhất và Hình 5 là kết quả của lần lặp thứ bảy.

-0.06	-0.07	-0.06	0.03	0.43	1.17	1.46	1.17	0.43	0.03	-0.06	-0.07	-0.06
0.01	0.03	0.08	0.21	0.46	0.75	0.88	0.75	0.46	0.21	0.08	0.03	0.01
0.06	0.09	0.15	0.26	0.40	0.53	0.59	0.53	0.40	0.26	0.15	0.09	0.06
0.09	0.12	0.18	0.25	0.33	0.40	0.43	0.40	0.33	0.25	0.18	0.12	0.09

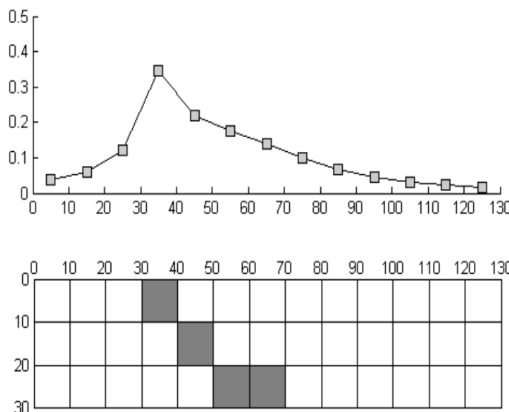
Hình 4: Các giá trị hiệu mật độ sau lần lặp đầu tiên của mô hình thứ nhất

					2.50	2.50	2.50					
					2.50	2.50	2.50					

Hình 5: Các giá trị hiệu mật độ sau lần lặp thứ bảy của mô hình thứ nhất

3.2. Mô hình thứ hai - Dị vật là ba hình chữ nhật xếp lệch nhau

Mô hình thứ hai gồm các hình vuông cạnh là 10m, có 13 ô theo chiều ngang (ứng với 13 điểm đo) và 3 ô theo chiều dọc, vậy $M = 13 \times 3$ ô vuông; dị vật sẽ nằm trong bốn ô nằm rời rạc nhau được tô đen có $\Delta\rho = 1g/cm^3$. Tương tự, sau 8 lần lặp kết hợp với lượng tử hóa thì dị vật được tìm thấy.

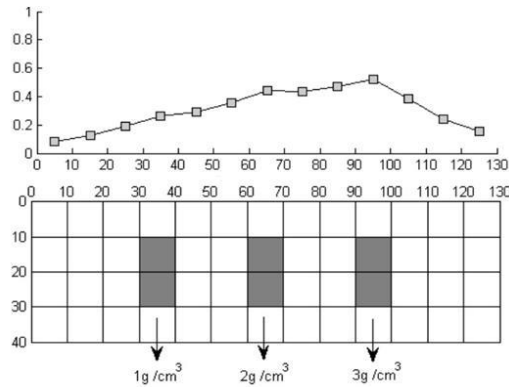


Hình 6: Mô hình thứ hai

			1.00									
				1.00								
					1.00	1.00						

Hình 7: Các giá trị hiệu mật độ sau lần lặp thứ tám của mô hình thứ hai

3.3. Mô hình thứ ba - Dị vật là ba hình chữ nhật xếp song song



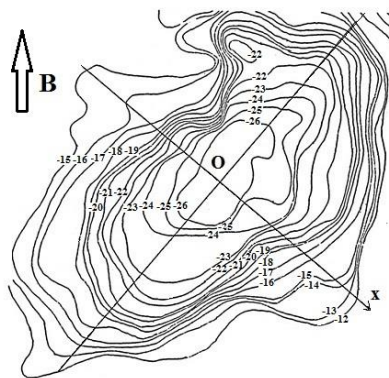
Hình 8: Mô hình thứ ba

Mô hình thứ ba gồm các hình vuông cạnh là 10m, có 13 ô theo chiều ngang (ứng với 13 điểm đo) và 4 ô theo chiều dọc, vậy $M = 13 \times 4$ ô vuông; dị vật là ba hình chữ nhật xếp song song có $\Delta\rho$ lần lượt là 1; 2; $3\text{g}/\text{cm}^3$. Tương tự, sau 10 lần lặp kết hợp với lượng tử hóa thì dị vật được tìm thấy.

		1.00		2.00		3.00						
		1.00		2.00		3.00						

Hình 9: Các giá trị hiệu mật độ sau lần lặp thứ mười của mô hình thứ ba

3.4. Tuyến dị thường Bouguer âm ở An Giang



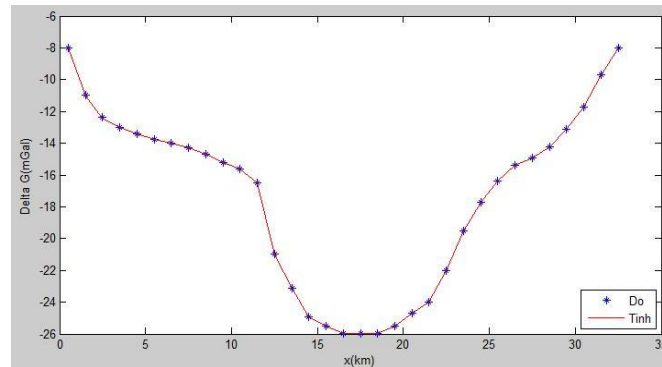
Hình 10: Dị thường Bouguer âm An Giang

Tuyến dị thường Bouguer âm An Giang có trục lệch về phương Bắc một góc 40° , mặt cắt ngang dị thường theo phương Tây Bắc – Đông Nam. Độ rộng dị thường khoảng 35km, dài 40km, giá trị cực tiểu là -26Gal .

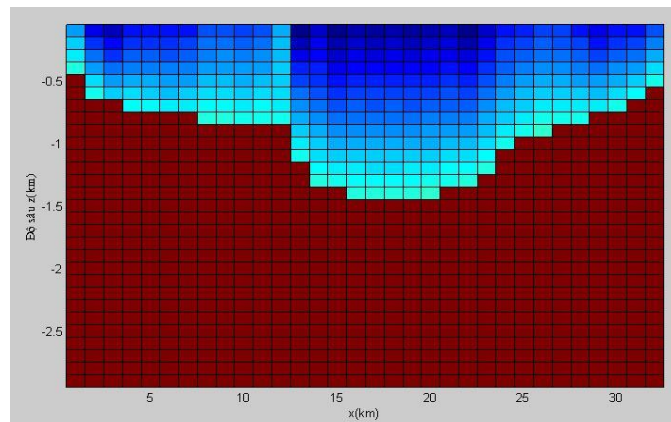
Tuyến khảo sát có 33 giá trị Δg , các điểm cách nhau 1km chạy qua vùng trung tâm của dị thường và cắt thẳng góc với trục của dị thường.

Mô hình: khoảng cách các điểm đo là 1km, nên mô hình gồm $33 \times 30 = 990$ ô chữ nhật (ngang 33 ô, dọc 30 ô), mỗi ô có bề ngang 1km, bề sâu 0,1km.

Kết quả: Hiệu mật độ tìm được $\Delta\rho = -0,46985 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, gần bằng với giá trị trung bình của toàn vùng là $\Delta\rho = -0,455 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ [4], sự khác biệt có thể là do kết quả phân tích thể hiện trị hiệu mật độ địa phương của vùng An Giang, sai số trung bình bình phương $E = 2,7394 \cdot 10^{-5}$, thời gian thực hiện chương trình $t = 6,942$ (giây). Đồ thị cho thấy mặt móng kết tinh kéo dài từ phía Tây Bắc ở độ sâu 0,4 km sâu dần đến độ sâu cực đại 1,4 km và dốc ngược về phía Đông Nam để đạt độ sâu khoảng 0,5 km, độ sâu trung bình của toàn vùng là 1 km.



Hình 11: Đồ thị biểu thị giá trị quan sát, giá trị tính toán của dị thường Bouguer âm An Giang



Hình 12: Đồ thị biểu thị hình dạng và độ sâu của mặt móng kết tinh (màu đỏ) qua phân tích dị thường Bouguer âm An Giang

Kết quả tính bằng thuật giải di truyền [5] cũng cho kết quả gần giống với kết quả trên; tuy nhiên, thời gian thực hiện chương trình lâu hơn $t = 7,2729$ phút và sai số trung bình bình phương tối thiểu lớn hơn $E = 0,00254294$.

4. Kết luận

Trên cơ sở giới thiệu mô hình 2D nghiên cứu về dị thường trọng lực, bài báo đã trình bày nguyên tắc giải bài toán ngược trọng lực - bài toán xác định độ sâu của nguồn gây ra dị thường trọng lực khi có giá trị dị thường đo trên mặt đất (các giá trị

dị thường Bouguer đã hiệu chỉnh) – trên cơ sở kết hợp phương pháp Compact dựa trên nền tảng là phương pháp bình phương tối thiểu - một phương pháp thử sai.

Kết quả tính toán trên mô hình và dữ liệu dị thường Bouguer âm An Giang với phương pháp Compact là phù hợp. Với cách hiệu chỉnh độ sâu của mô hình dựa vào sai số của giá trị trọng lực quan sát và giá trị trọng lực của mô hình bằng phương pháp này, hứa hẹn có khả năng ứng dụng lập trình để giải nhanh và chính xác bài toán trên máy vi tính.

Với việc khởi tạo mô hình ban đầu sử dụng phương pháp Compact giúp cho việc giải bài toán nhanh hội tụ về lời giải tối ưu. Bên cạnh đó, sử dụng phương pháp Compact có thể giải được bài toán ngược trọng lực trong cả trường hợp không thể biết hiệu mật độ. Đây chính là điểm đặc sắc của phương pháp Compact vì một số phương pháp khác không thể thực hiện, hoặc bài toán khó hội tụ khi mô hình ban đầu được chọn không gần với lời giải – điều mà khó thực hiện khi vùng nghiên cứu chưa được khảo sát kỹ về địa chất.

Tuy nhiên, giới hạn của nghiên cứu chỉ giải bài toán 2D trên các mô hình và tuyến dị thường Bouguer âm An Giang. Trong điều kiện có thể, tôi sẽ phát triển đề tài này ở nhiều vùng nghiên cứu và mở rộng giải với bài toán 3D□

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Văn Nhạc (2008), *Phương pháp trọng lực trong địa vật lý*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, TP.HCM.
- [2] Blakely, R. J., (1995), *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*, Cambridge University Press, USA.
- [3] Takeaki Kariya and Hiroshi Kurata (2004), *Generalized Least Squares*, John Wiley & Son Ltd, England.
- [4] Đặng Văn Liệt (1995), *Phân tích kết hợp tài liệu từ và trọng lực ở miền Nam Việt Nam*, Luận án PTS khoa học, Đại học Tổng hợp TP. Hồ Chí Minh.
- [5] Ông Duy Thiện (2008), *Kết hợp thuật giải di truyền và chiến lược tiến hoá để giải bài toán ngược trọng lực*, Luận văn Thạc sỹ Vật lý, Đại học Cần Thơ.

Abstract

Application of Compact method to solve the inverse gravity problem

Inverse problem – to determine the location and the shape of source, especially to determine the crystal basement in oil exploration – is not a unique solution, and there have been many methods proposed to solve it. This article introduces two parts: (a) Building the solution of gravity inverse problem by using Compact bodies and (b) application for calculation in some models. The results have shown that the proposed method was possible and applicable for implementation and test on the synthetic gravity data by computer.

Keywords: *inverse problem; gravity anomalies; Compact method, 2D model*