

Xác định độ sâu bốn trăm tích 3D từ dữ liệu trọng lực sử dụng phương pháp giảm dốc nhất

Lương Phước Toàn¹, Dương Quốc Chánh Tín^{2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Việc xác định độ sâu bốn trăm tích có ý nghĩa quan trọng trong thăm dò dầu khí bằng giải bài toán ngược thăm dò trọng lực. Trong bài báo, độ sâu bốn trăm tích 3D được tính từ dữ liệu thường trọng lực sử dụng phương pháp giảm dốc nhất (SD – Steepest Descent). Phương pháp này cho phép cực tiểu hàm mục tiêu dựa trên đạo hàm bậc nhất và điều chỉnh độ dài bước bằng phương pháp lặp, với biến là độ sâu các khối hình hộp chữ nhật đặt liên kế theo phương x, y có hiệu mật độ giảm theo độ sâu theo quy luật hàm parabol. Các tham số trong hàm hiệu mật độ được xác định bằng phương pháp hồi quy phi tuyến dựa trên thông tin lỗ khoan sâu của vùng Đồng bằng sông Cửu Long. Hàm hiệu mật độ này được sử dụng để tính dữ liệu thường trọng lực lý thuyết cho bốn trăm tích và giải bài toán ngược trọng lực 3D trên mô hình và trên dữ liệu thực. Hàm mục tiêu sử dụng là hàm sai số bình phương trung bình giữa dữ liệu thường trọng lực đo và dữ liệu tính. Phương pháp đề xuất được kiểm tra trên mô hình cho thấy độ sâu bốn trăm tích tính được hầu như trùng khớp với độ sâu mô hình ban đầu; sau đó phương pháp được áp dụng để tính độ sâu bốn trăm tích 3D từ dữ liệu thường trọng lực địa phương thuộc địa phận tỉnh Bạc Liêu. Kết quả phân tích là phù hợp với những công bố trước đây, tuy nhiên thời gian tính toán được rút ngắn đáng kể, nên phương pháp này có thể được mở rộng phân tích dữ liệu trên diện rộng.

Từ khóa: độ sâu bốn trăm tích 3D, giải bài toán ngược, hàm mục tiêu, hàm parabol, phương pháp giảm dốc nhất

MỞ ĐẦU

Nhiệm vụ giải bài toán ngược trọng lực là xác định hình dạng, kích thước của nguồn dị thường từ dữ liệu trọng lực quan sát. Do tầm quan trọng của bài toán nên đã có nhiều phương pháp được đưa ra, có thể chia thành 3 nhóm: (i) Nhóm phương pháp biến đổi dữ liệu và thể hiện kết quả, kể cả phương pháp dùng biến đổi Fourier; (ii) Nhóm phương pháp “*thử-sai*”; (iii) Nhóm phương pháp sử dụng thuật toán tối ưu hóa. Nhóm phương pháp “*thử-sai*” được sử dụng phổ biến trong giải bài toán ngược trọng lực, gồm ba bước tính là xây dựng mô hình và tính dị thường gây ra bởi mô hình; xét độ chính xác của mô hình bằng cách so sánh giữa dị thường quan sát và dị thường của mô hình; điều chỉnh mô hình cho tới khi đạt được mô hình tốt nhất. Phương pháp này được gọi là phương pháp mô hình bài toán thuận (FW – Forward modeling) – thường được dùng để tính độ sâu bốn trăm tích¹. Trong đó, bốn trăm tích có thể được mô hình hóa bởi các ô hình chữ nhật², các tấm hình chữ nhật thẳng đứng đặt liên kế có hiệu mật độ không đổi³ hoặc thay đổi theo độ sâu⁴ cho bài toán 2D. Đối với bài toán 3D thì bốn trăm tích thường được mô hình hóa bằng những khối hình hộp chữ nhật thẳng đứng đặt liên kế

có hiệu mật độ không đổi⁵ và thay đổi theo độ sâu⁶⁻⁸. Ưu điểm của nhóm phương pháp mô hình bài toán thuận là thời gian tính toán nhanh, công thức lập khá đơn giản nên dễ lập trình trên máy tính; khuyết điểm là khả năng tinh chỉnh mô hình qua các vòng lặp còn hạn chế nên sai số phương pháp còn khá lớn. Nhóm phương pháp tối ưu hóa toàn cục như thuật toán di truyền được sử dụng trong những thập niên gần đây nhờ vào sự phát triển mạnh của bộ vi xử lý nhanh và bộ nhớ lớn của máy tính. Thuật toán này “*bắt chước*” sự tiến hóa của sinh vật trong tự nhiên. Thuật toán bắt đầu bằng việc phát sinh một quần thể gồm nhiều cá thể - thế hệ đầu tiên, mỗi cá thể là một mô hình được khởi tạo ngẫu nhiên, những cá thể nào có độ thích nghi cao sẽ có nhiều cơ hội sống sót hơn những cá thể có độ thích nghi thấp trong điều kiện chọn lọc của môi trường. Thuật toán gồm ba giai đoạn chính là khởi tạo quần thể, tính giá trị thích nghi và cải tạo quần thể bằng cách thực hiện các phép tính di truyền như chọn lọc, lai ghép và đột biến. Ba giai đoạn này tương tự như ba giai đoạn của phương pháp mô hình tiến vừa trình bày nhưng lời giải ban đầu được khởi tạo ngẫu nhiên, đã được nhiều tác giả áp dụng để giải bài toán ngược trọng lực⁹⁻¹¹. Ưu điểm của thuật toán này là tìm cực tiểu toàn cục của bài toán –

¹Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Việt Nam

²Khoa Sư phạm, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

Liên hệ

Dương Quốc Chánh Tín, Khoa Sư phạm, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

Email: dqctin@ctu.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 29-3-2022
- Ngày chấp nhận: 06-9-2022
- Ngày đăng: 30-9-2022

DOI: 10.32508/stdjns.v6i3.1175



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Toàn L P, Tín D Q C. **Xác định độ sâu bốn trăm tích 3D từ dữ liệu trọng lực sử dụng phương pháp giảm dốc nhất.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 2022, 6(3):2212-2221.

lựa chọn một lời giải tốt nhất trong nhiều bộ lời giải; khuyết điểm là sau nhiều thế hệ tiến hóa (vòng lặp) thuật toán hội tụ chậm nên thời gian tính toán lâu. Để tăng tốc quá trình hội tụ, có các nghiên cứu^{12,13} kết hợp thuật toán này với một phương pháp tối ưu khác hay cải tiến toán tử chọn lọc, lai ghép đột biến,... và gọi tên là thuật toán di truyền lai nhằm giảm thời gian tính cũng như mở rộng phạm vi áp dụng của phương pháp. Trong nhóm thuật toán di truyền lai có thuật toán memetic – sự kết hợp giữa thuật giải di truyền và phương pháp tìm kiếm địa phương được nhiều tác giả sử dụng để tối ưu bài toán trong những vực khác nhau¹⁴, trong đó có áp dụng để giải bài toán ngược trọng lực^{15,16}.

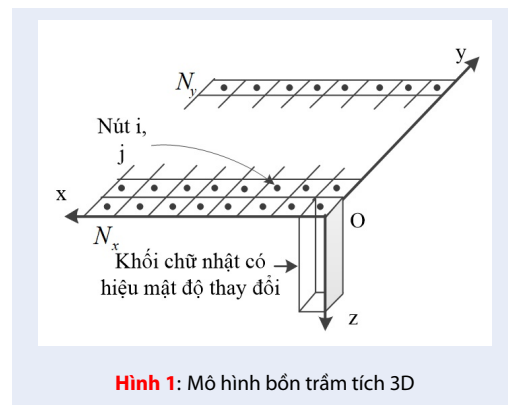
Trong bài này, phương pháp tìm kiếm địa phương giảm dốc nhất (SD) được dùng để giải bài toán ngược trọng lực - tính độ sâu bốn trăm tích 3D; trong đó, bốn trăm tích được mô hình hóa bằng những khối hình chữ nhật thẳng đứng đặt liền kề có hiệu mật độ giảm theo độ sâu theo qui luật hàm parabol. Phương pháp đề xuất được kiểm tra trên mô hình, có so sánh kết quả tính với phương pháp mô hình bài toán thuận; sau đó, áp dụng tính độ sâu bốn trăm tích từ dị thường trọng lực địa phương thuộc địa phận tỉnh Bạc Liêu.

DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

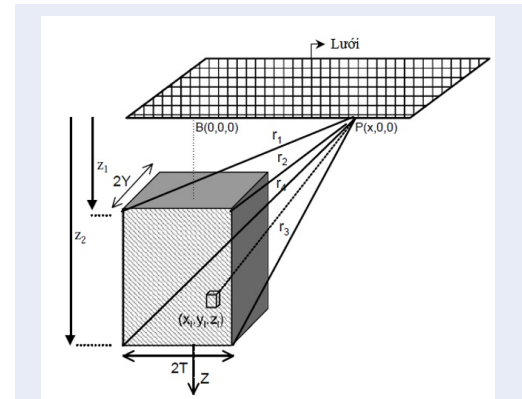
Mô hình bốn trăm tích 3D

Mô hình bốn trăm tích 3D được biểu diễn bởi $N_x \cdot N_y$ khối chữ nhật thẳng đứng đặt liền kề theo phương x, y (Hình 1). Mỗi khối có bề rộng trên hai phương bằng nhau, điểm đo của dị thường trọng lực quan sát nằm tại trung tâm của mỗi khối và trùng với mặt trên của nó. Biểu thức dị thường trọng lực của một khối chữ nhật được cho bởi¹:

$$g_{prism} = G \int_x \int_y \int_z \Delta\rho \frac{z dx dy dz}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (1)$$



Hình 1: Mô hình bốn trăm tích 3D



Hình 2: Dị thường trọng lực của một khối hình hộp chữ nhật¹⁴

trong đó, G là hằng số hấp dẫn và $\Delta\rho$ là hiệu mật độ.

$$\Delta\rho = \frac{\Delta\rho_0^3}{(\Delta\rho_0 - \lambda z)^2} \quad (2)$$

trong đó, $\Delta\rho(z)$ (g/cm^3) là hiệu mật độ ở độ sâu z (km), $\Delta\rho_0$ (g/cm^3) là hiệu mật độ tại mặt quan sát, λ là hệ số hiệu mật độ trên km, tìm được bằng phương pháp nội suy khi biết hiệu mật độ của các lớp trầm tích theo độ sâu trong các lỗ khoan (được trình bày trong các mục tiếp theo).

Thay $\Delta\rho$ cho bởi phương trình (2) vào phương trình (1):

$$g_{prism} = G \Delta\rho_0^3 \int_x \int_y \int_z \frac{z dx dy dz}{(\Delta\rho_0 - \lambda z)^2 (x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}}, \quad (3)$$

Giải phương trình tích phân (3), tìm được giá trị trọng lực, g_{prism} của một khối như sau ⁶:

$$\begin{aligned}
 g_{prism} = & 2G\Delta\rho_0^3 \\
 & \times \left\{ \frac{\lambda Y(x+T)(2\Delta\rho_0^2 + \lambda^2|Y^2 + (x+T)^2|)}{L_1(Y^2\lambda^2 + \Delta\rho_0^2)(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2|x+T|^2)} \right. \\
 & \times \ln \frac{L_3(\lambda r_4 L_1 + L_1^2 - \Delta\rho_0 L_4)}{L_4(\lambda r_1 L_1 + L_1^2 - \Delta\rho_0 L_3)} - \\
 & \frac{\lambda Y(x-T)(2\Delta\rho_0^2 + \lambda^2|Y^2 + (x-T)^2|)}{L_2(Y^2\lambda^2 + \Delta\rho_0^2)(\Delta\rho_0^2 + \lambda^2|x-T|^2)} \\
 & \times \ln \frac{L_3(\lambda r_3 L_2 + L_2^2 - \Delta\rho_0 L_4)}{L_4(\lambda r_2 L_2 + L_2^2 - \Delta\rho_0 L_3)} \\
 & - \frac{\Delta\rho_0}{\beta(\Delta\rho_0^2 + Y^2\lambda^2)} \times \\
 & \left[\tan^{-1} \frac{Yr_4}{z_2|x+T|} - \tan^{-1} \frac{Yr_1}{z_1|x+T|} \right] \\
 & + \frac{\Delta\rho_0}{\lambda(\Delta\rho_0^2 + Y^2\lambda^2)} \times \\
 & \left[\tan^{-1} \frac{Yr_3}{z_2|x-T|} - \tan^{-1} \frac{Yr_2}{z_1|x-T|} \right] \\
 & + \frac{\lambda(\Delta\rho_0^2 + |x-T|^2\lambda^2)}{\Delta\rho_0} \times \\
 & \left[\tan^{-1} \frac{|x-T|_3}{z_2 Y} - \tan^{-1} \frac{|x-T|_2}{z_1 Y} \right] \\
 & - \frac{\Delta\rho_0}{\lambda(\Delta\rho_0^2 + |x+T|^2\lambda^2)} \times \\
 & \left[\tan^{-1} \frac{|x+T|_4}{z_2 Y} - \tan^{-1} \frac{|x+T|_1}{z_1 Y} \right] \\
 & + \frac{Y}{2(\Delta\rho_0^2 + Y^2\lambda^2)} \times \\
 & \ln \left[\frac{((x+T)-r_4)((x+T)+r_1)}{((x+T)+r_4)((x+T)-r_1)} \right] \\
 & - \frac{Y}{2(\Delta\rho_0^2 + Y^2\lambda^2)} \times \\
 & \ln \left[\frac{((x-T)-r_3)((x-T)+r_2)}{((x-T)+r_3)((x-T)-r_2)} \right] \\
 & - \frac{x-T}{2(\Delta\rho_0^2 + |x-T|^2\lambda^2)} \times \ln \left[\frac{(Y-r_3)(Y+r_2)}{(Y+r_3)(Y-r_2)} \right] \\
 & + \frac{x+T}{2(\Delta\rho_0^2 + |x+T|^2\lambda^2)} \times \ln \left[\frac{(Y-r_4)(Y+r_1)}{(Y+r_4)(Y-r_1)} \right] \\
 & + \frac{1}{\lambda} \left[\frac{1}{\Delta\rho_0 - \lambda z_2} \times \left(\tan^{-1} \frac{|x+T|}{z_2 r_4} - \tan^{-1} \frac{Y|x-T|}{z_2 r_3} \right) \right. \\
 & \left. - \frac{1}{\lambda} \left[\frac{1}{\Delta\rho_0 - \lambda z_1} \times \left(\tan^{-1} \frac{|x+T|}{z_1 r_1} - \tan^{-1} \frac{Y|x-T|}{z_1 r_2} \right) \right] \right] \quad (4)
 \end{aligned}$$

trong đó,

$$\begin{aligned}
 L_1 = & \left\{ \left[(x+T)^2 + Y^2 \right] \lambda^2 + \Delta\rho_0^2 \right\}^{1/2}; \\
 L_2 = & \left\{ \left[(x-T)^2 + Y^2 \right] \lambda^2 + \Delta\rho_0^2 \right\}^{1/2}; \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_3 = & \Delta\rho_0 - \lambda z_1; L_4 = \Delta\rho_0 - \lambda z_2, \\
 r_1 = & \left[(x+T)^2 + Y^2 + z_1^2 \right]^{1/2}; \\
 r_2 = & \left[(x-T)^2 + Y^2 + z_1^2 \right]^{1/2}; \quad (6) \\
 r_3 = & \left[(x-T)^2 + Y^2 + z_2^2 \right]^{1/2}; \\
 r_4 = & \left[(x+T)^2 + Y^2 + z_2^2 \right]^{1/2}.
 \end{aligned}$$

là những bán kính vectơ (Hình 2) của một khối đến một điểm quan sát; Y, T lần lượt là một nửa độ dày của mỗi khối theo phương y và phương x ; $B(0,0,0)$ là góc tọa độ; $P(x,0,0)$ là điểm tính lực hấp dẫn; z_1, z_2 lần lượt là độ sâu mặt trên và mặt đáy của mỗi khối.

Dị thường trọng lực của bốn trâm tích tại một nút bất kỳ (i, j) là tổng của dị thường trọng lực của những khối gây ra tại điểm đó và có biểu thức:

$$g_{basin}(i, j) = \sum_{k=2}^{N_y-1} \sum_{l=2}^{N_x-1} g_{prism}(k, l) \quad (7)$$

trong đó, N_x và N_y lần lượt là số nút dọc theo trục x và trục y trên hệ trục tọa độ vuông góc.

Hàm mục tiêu

Giải bài toán ngược trọng lực bằng phương pháp SD là dùng phương pháp này để cực tiểu hàm mục tiêu với biến là độ sâu các khối hình hộp chữ nhật – hàm sai số giữa dị thường tính và dị thường quan sát được cho bởi:

$$\phi(Z) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} [g_{obs}(i, j) - g_{basin}(i, j)]^2 \quad (8)$$

Hàm (8) còn gọi là hàm sai số bình phương trung bình (MSE - Mean squared error), trong đó, g_{obs} và g_{basin} lần lượt là dị thường quan sát và dị thường tính từ mô hình Z .

Tính các tham số trong hàm hiệu mật độ parabol tại vùng ĐBSCL

Để phù hợp với thực tế là mật độ của trầm tích tăng theo độ sâu do quá trình tích tụ, lắng đọng nên xem xét hiệu mật độ giảm theo độ sâu như hàm (2) ⁶; trong đó, l là hệ số được xác định từ các hiệu mật độ của các lớp trầm tích cho bởi các lỗ khoan Cửu Long 1 (CL 1) trong vùng nghiên cứu ¹⁷. Lỗ khoan CL 1 có tọa độ (106.32° Đ; 9.62° B) tại Ấp Cà Cối, xã Long Vĩnh, huyện Duyên Hải, Tỉnh Trà Vinh, có độ sâu đạt đến mặt móng là 2100 mét ¹⁷. Căn cứ trên cột địa tầng của lỗ khoan và các tài liệu liên quan đến bốn trâm Cửu Long, lỗ khoan được chia thành sáu lớp, mỗi lớp có giá trị hiệu mật độ:

$$\Delta\rho_i = \rho_i - \rho_{max} \quad (9)$$

trong đó, ρ_i là mật độ lớp trầm tích thứ i và ρ_{max} là mật độ của lớp dưới cùng thường chọn là mặt móng. Hiệu mật độ của các lớp trong lỗ khoan được trình bày trong Bảng 1, có giá trị từ -0,55 g/cm³ đến -0,11 g/cm³ ứng với các độ sâu từ 0,05 km đến 2,1 km.

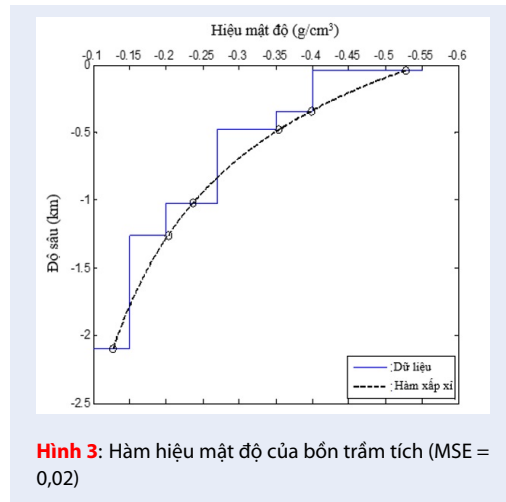
Phương trình (2) là phương trình phi tuyến; trong đó có hệ số λ cần được xác định; tham số này được xác định bằng phương pháp hồi qui phi tuyến bằng hàm **nlinfit** của Matlab với dữ liệu cho bởi Bảng 1. Khi đó, giá trị λ tìm được là -0,2828 (g/(cm³km)), hàm hiệu mật độ cần tìm là:

$$\Delta\rho(z) = \frac{-0.55^3}{(0.55 + 0.2828z)^2} \quad (10)$$

Phương trình (10) biểu diễn xấp xỉ hàm mật độ có dạng parabol được vẽ trong Hình 3 bằng đường chấm và dữ liệu thực được biểu diễn bằng đường liền. Hàm hiệu mật độ này được sử dụng để tính dị thường trọng lực lý thuyết cho bốn trâm tích để giải bài toán ngược trọng lực 3D bằng phương pháp FW và phương pháp SD trên mô hình và trên dữ liệu thực.

Bảng 1: iệu số mật độ và chiều dày lớp trầm tích của lỗ khoan CL 1¹⁷

ĐẶC ĐIỂM		
Trầm tích	h_i (km)	$\Delta\rho_i$ (g/cm ³)
Lớp mặt	0,04	- 0,55
Lớp 1	0,34	- 0,40
Lớp 2	0,48	- 0,35
Lớp 3	1,02	- 0,27
Lớp 4	1,26	- 0,20
Lớp 5	2,10	- 0,15



Hình 3: Hàm hiệu mật độ của bốn trầm tích (MSE = 0,02)

Phương pháp SD

Phương pháp SD dựa trên phép tính đạo bậc nhất và điều chỉnh độ dài bước, gồm 4 bước tính sau^{18,19}:

- Bước 1: Cung cấp lời giải ban đầu Z_0 , xét ngưỡng hội tụ $||\nabla\phi|| > \epsilon > 0$
- Bước 2: Tính hướng giảm $d_k = -\nabla\phi(Z_k)$ (∇ là toán tử Gradien);
- Bước 3: Tìm độ dài bước λ_k bằng cách cực tiểu $\xi(\lambda') = \phi(Z_k + \lambda'd_k)$, khi đó độ dài bước ban đầu được xác định bằng công thức:

$$\lambda_t = -\frac{\xi'(0)}{2(\xi(1) - \xi(0) - \xi'(0))} \tag{11}$$

Với $\xi(0) = \phi(Z_k)$; $\xi'(0) = \nabla\phi(Z_k)^T d_k$ và $\xi(1) = \phi(Z_k + d_k)$

Trong các vòng lặp tiếp theo độ dài bước được điều chỉnh bằng công thức sau:

$$\lambda_t = \frac{-c_2 + \sqrt{c_2^2 - 3c_2\xi'(0)}}{3c_3} \tag{12}$$

Trong đó, c_2, c_3 tìm được bằng cách giải phương trình:

$$\begin{pmatrix} \lambda_c^2 & \lambda_c^3 \\ \lambda_-^2 & \lambda_-^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_2 \\ c_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi(\lambda_c) - \xi(0) - \xi'(0)\lambda_c \\ \xi(\lambda_-) - \xi(0) - \xi'(0)\lambda_- \end{pmatrix}$$

Với λ_c và λ_- là hai giá trị trước của λ_k .

- Bước 4: Thiết lập công thức lặp:

$$Z_{k+1} = Z_k + \lambda_k d_k \tag{14}$$

sau đó xem xét lại điều kiện và lặp lại từ bước 1 đến bước 4.

Lưu đồ giải bài toán ngược trọng lực bằng phương pháp SD và phương pháp FW

Lưu đồ giải bài toán ngược trọng lực bằng phương pháp SD như Hình 4, gồm 3 bước:

- Bước 1: Từ dữ thường quan sát, g_{obs} ước lượng độ sâu ban đầu – lời giải ban đầu của bốn trầm tích bằng công thức¹³:

$$Z_0 = g_{obs}(i, j) / (2\pi\gamma\Delta\rho(Z)) \tag{15}$$

Trong đó, $g_{obs}(i, j)$ là dữ thường quan sát, $\Delta\rho(z)$ (g/cm³) là hiệu mật độ ở độ sâu z (km) được tính bằng công thức (10), γ là hằng số.

- Bước 2: Sử dụng các công thức (7) để tính dữ thường mô hình, công thức (8) để tính giá trị hàm mục tiêu. Kiểm tra điều kiện dừng, nếu giá trị hàm mục tiêu, MSE nhỏ hơn sai số, $\epsilon_1 = 0.01$; hoặc giá trị Δ MSE của 2 lần lặp liên tiếp nhỏ hơn $\epsilon_2 = 0.001$ thì xuất kết quả; ngược lại chuyển sang bước 3.

- Bước 3: Điều chỉnh độ sâu mô hình bằng công thức lặp (14) và quay lại bước 2.

Vòng lặp được thực hiện cho đến khi điều kiện dừng đạt được. Lưu đồ giải bài toán ngược trọng lực được thực hiện trên mô hình và trên dữ liệu trọng lực Bạc Liêu.

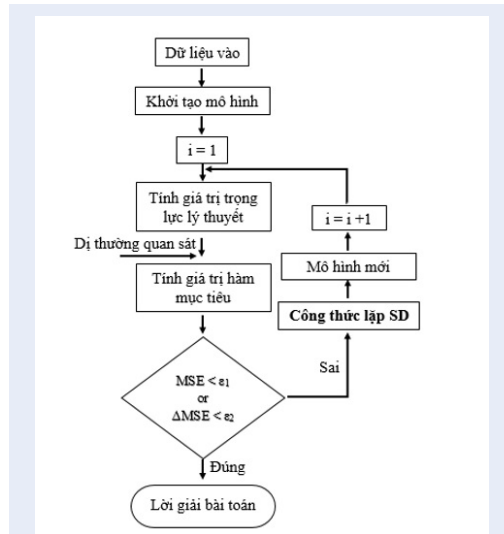
Lưu đồ giải bài toán ngược trọng lực bằng phương pháp FW tương tự như lưu đồ giải bài toán ngược bằng phương pháp SD; trong đó, công thức lặp của phương pháp SD được thay thế bằng công thức lặp của phương pháp FW được cho bởi¹⁴:

$$Z_k^{i+1} = Z_k^i + \frac{(g_{obs}(k) - g_{basin}(k))}{2\pi G\Delta\rho(z)} \tag{16}$$

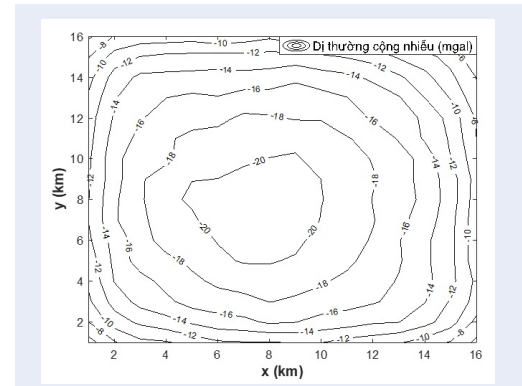
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Mô hình hình lý thuyết

Mô hình bốn trầm tích 3D gồm tập hợp 16 x 16 = 256 khối chữ nhật, mỗi khối có chiều rộng theo phương x, y bằng nhau là 1 km, độ sâu cực đại là 2,09 km, được biểu diễn dạng đường đẳng trị như Hình 5. Với mô hình và tham số của hàm hiệu mật độ đã tính từ



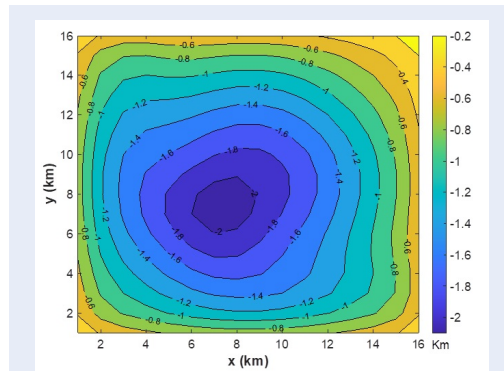
Hình 4: Lưu đồ giải bài toán ngược trọng lực bằng phương pháp SD



Hình 6: Dị thường mô hình đã cộng nhiễu

tính từ dị thường đã cộng nhiễu. Hình 9 là dị thường tổng hợp tính, hầu như trùng với dị thường quan sát (Hình 6), sai số bình phương trung bình MSE = 0,01.

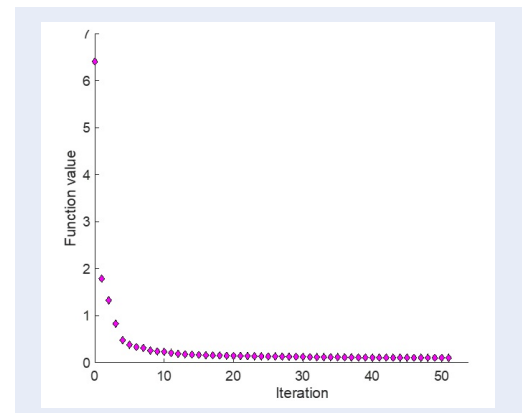
công thức (10), $\Delta\rho_0 = -0,55 \text{ (g/cm}^3\text{)}$, $\lambda = -0,2828 \text{ (g/cm}^3\text{/km)}$, tính dị thường trọng lực của mô hình bằng công thức (7), sau đó cộng nhiễu ngẫu nhiên 20% ($+0,2 \cdot \text{randn}(\text{size}(\text{g}))$) như Hình 6. Từ dị thường này sử dụng lưu đồ như Hình 4 để tính lại độ sâu của mô hình bằng phương pháp SD và phương pháp FW.



Hình 5: Độ sâu mô hình bốn tầng tích

Kết quả phân tích bằng phương pháp SD

Với các bước tính được mô tả trong lưu đồ Hình 4, thì sau 51 vòng lặp (Hình 7) độ sâu bốn tầng tích tính như Hình 8 với độ sâu cực đại là 2,09 km trùng với độ sâu cực đại của mô hình. Kết quả hình dạng bốn tầng tích tính phù hợp với hình dạng mô hình ban đầu (Hình 5). Sự khác biệt về chi tiết độ sâu các khối hình hộp chữ nhật tính so với độ sâu các khối hình hộp chữ nhật tạo nên mô hình là do độ sâu bốn tầng



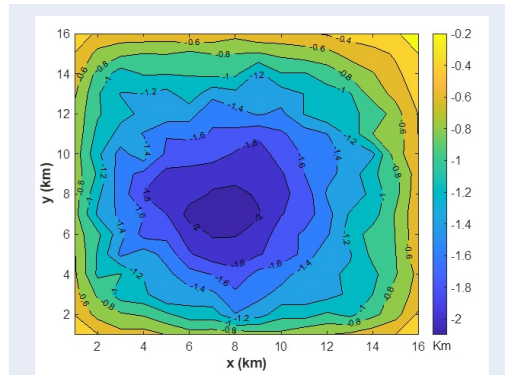
Hình 7: Giá trị hàm mục tiêu qua các vòng lặp bằng phương pháp SD

Kết quả phân tích bằng phương pháp FW

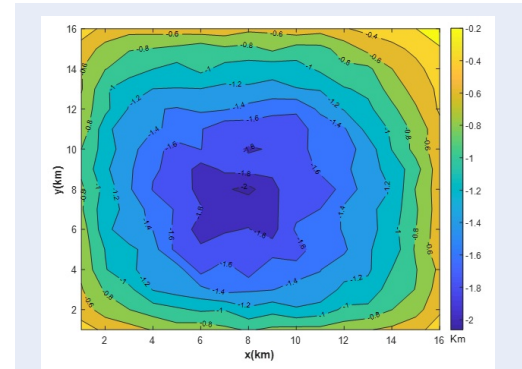
Với các bước giải bài toán ngược trọng lực bằng phương pháp FW, hàm mục tiêu đạt giá trị cực tiểu tại vòng lặp thứ 16 (Hình 10). Khi đó, độ sâu bốn tầng tích tính như Hình 11, có độ sâu cực đại là 2,06 km sai khác so với độ sâu cực đại của mô hình là 30 mét. Thời gian tính là 5 giây, dị thường tổng hợp được biểu diễn trong Hình 12 đạt được sai số bình phương trung bình là 0,077.

So sánh kết quả phân tích bằng phương pháp SD và phương pháp FW

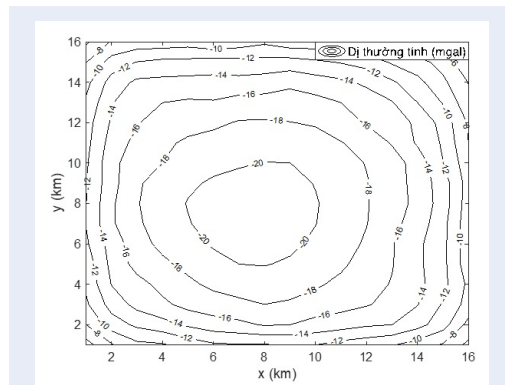
Từ Bảng 2 có thể rút ra một số ưu, khuyết điểm của hai phương pháp SD và phương pháp FW trong giải



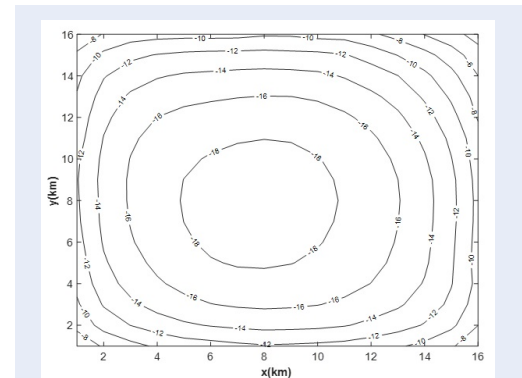
Hình 8: Độ sâu tính bốn trăm tích tính bằng phương pháp SD



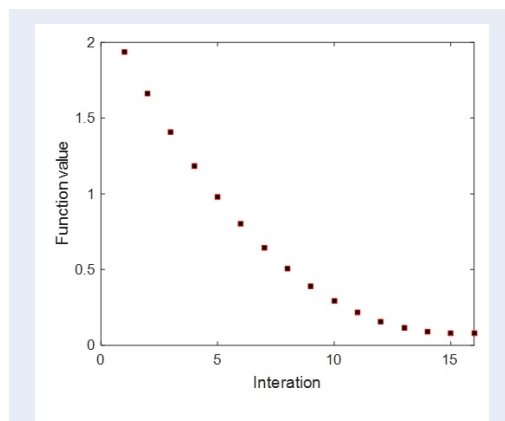
Hình 11: Độ sâu tính bốn trăm tích tính bằng phương pháp FW



Hình 9: Dị thường tổng hợp từ độ sâu tính



Hình 12: Dị thường tổng hợp từ độ sâu tính



Hình 10: Giá trị hàm mục tiêu qua các vòng lặp bằng phương pháp FW

bài toán ngược trọng lực 3D trên mô hình. Phương pháp FW có thời gian tính toán nhanh (5 s) do công thức lập khá đơn giản nên dễ lập trình trên máy tính, trong khi mỗi bước lặp trong phương pháp SD có nhiều phép tính, nhiều điều kiện ràng buộc nên phải tạo ra các chương trình con theo các bước tính nên mất nhiều thời gian tính (180 s). Sai số bình phương trung bình tính bằng phương pháp FW (0,077) lớn hơn sai số bình phương trung bình tính bằng phương pháp SD (0,01). Độ sâu cực tính bằng phương pháp SD trùng với độ sâu cực đại mô hình; độ sâu cực tính bằng phương pháp FW nhỏ hơn độ sâu cực đại mô hình là 30 mét.

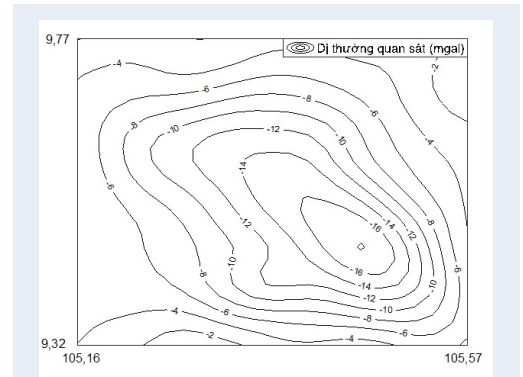
Nhược điểm của phương pháp SD so với phương pháp FW là mất nhiều thời gian tính toán hơn. Tuy nhiên, trong Địa vật lý, thời gian 3 phút để minh giải tài liệu trọng lực 3D là chấp nhận được. Do đó, trong phần tiếp theo sẽ trình bày kết quả tính độ sâu bốn trăm tích 3D từ dữ liệu trọng lực địa phương thuộc địa phận tỉnh Bạc Liêu bằng phương pháp SD.

Bảng 2: So sánh kết quả tính bằng phương pháp FW và phương pháp SD

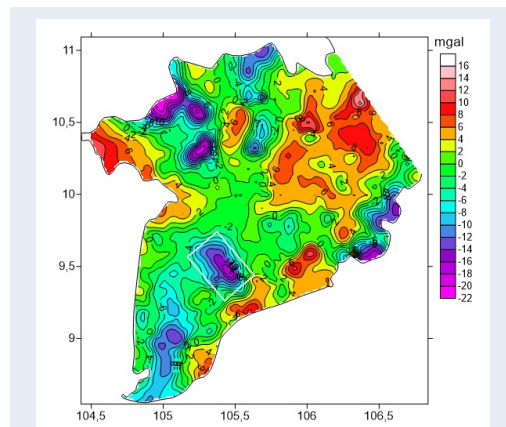
Kết quả tính	Độ sâu cực đại (km)	Sai số MSE	Thời gian tính (giây/s)
Phương pháp tính			
Phương pháp FW	2,06 km	0,077	5 s
Phương pháp SD	2,09 km	0,01	180 s

Phân tích dữ liệu trọng lực vùng ĐBSCL

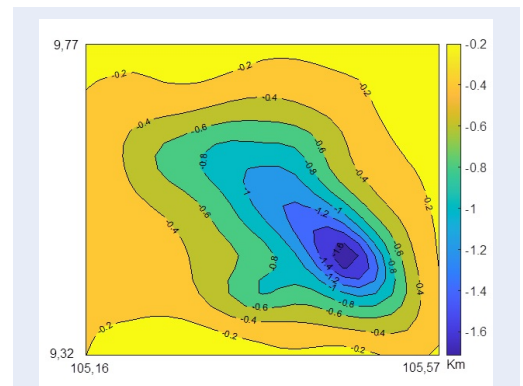
Dị thường trọng lực Bạc Liêu (BL, được đánh dấu bằng khung hình chữ nhật màu trắng trong Hình 13) được biểu diễn trong Hình 14, có tâm dị thường nằm ở tọa độ (105,45° Đ; 9,46° B), dị thường có kích thước 46 x 52 = 2392 km², có giá trị dị thường cực tiểu là - 18 mgal. Mô hình được chọn tương ứng với kích thước của dị thường là tập hợp 23 x 26 = 598 khối hình hộp (số biến); chiều rộng và chiều ngang của mỗi khối hình hộp bằng nhau và bằng 2 km. Sử dụng lưu đồ giải bài toán ngược trọng lực như Hình 4, với lời giải ban đầu được cho bởi công thức (15). Sau 42 vòng lặp tương ứng với thời gian chạy chương trình là 13 phút thì hình dạng bốn trăm tích tính được như Hình 15, với độ sâu cực tiểu và cực đại lần lượt là $z_{min} = 0,4$ km và $z_{max} = 1,71$ km. Hình 16 biểu diễn 42 giá trị hàm mục tiêu tương ứng với 42 vòng lặp. Hình 17 là dị thường tổng hợp từ mô hình tính với sai số bình phương trung bình MSE = 0,006.



Hình 14: Dị thường trọng lực Bạc Liêu



Hình 13: Bản đồ dị thường địa phương ĐBSCL¹⁷

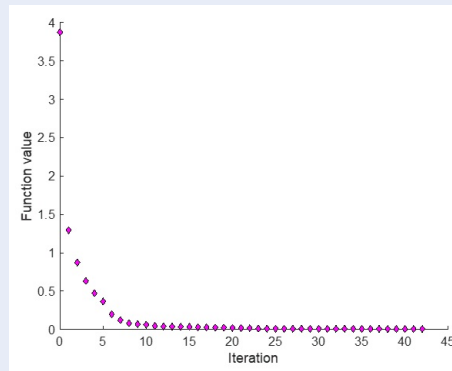


Hình 15: Độ sâu bốn trăm tích Bạc Liêu

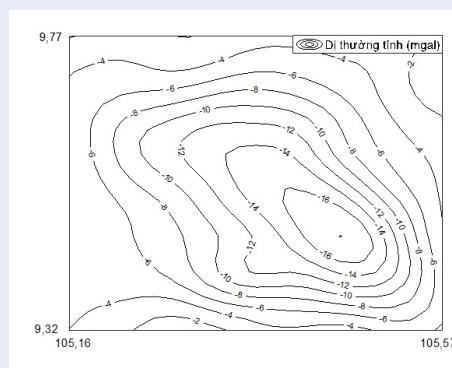
Từ Bảng 3 cho thấy độ sâu cực tiểu bốn trăm tích Bạc Liêu tính được bằng hai phương pháp SD và thuật toán Memetic trùng nhau; độ sâu cực đại bốn trăm tích Bạc Liêu tính bằng phương pháp SD nông hơn độ sâu cực đại tính bằng thuật toán Memetic là 90 mét (< 10%); trong Địa vật lý, mức sai khác kết quả tính này là chấp nhận được.

Bảng 3: So sánh kết quả giải bài toán ngược trọng lực bằng phương pháp SD và thuật toán memetic

	Thuật toán Memetic ¹⁶	Phương pháp SD
z_{max} (km)	1,80	1,71
z_{min} (km)	0,4	0,4
Thời gian (giờ)	5,41	0,15



Hình 16: Giá trị hàm mục tiêu theo số vòng lặp



Hình 17: Dị thường tổng hợp từ độ sâu tính

KẾT LUẬN

Trong bài báo, các bước và lưu đồ giải bài toán ngược trọng lực – tính độ sâu bốn trăm tích 3D bằng phương pháp SD đã được xây dựng và áp dụng thành công, trong đó, hàm hiệu mật độ trầm tích giảm theo độ sâu theo quy luật hàm parabol cũng được xác định từ dữ liệu địa chất và cột địa tầng của lỗ khoan Cửu Long 1 trong vùng ĐBSCL. Phương pháp này đã được kiểm tra trên mô hình, sau đó được dùng để tính độ sâu bốn trăm tích 3D từ dị thường trọng lực địa phương thuộc địa phận tỉnh Bạc Liêu. Kết quả tính từ phương pháp đề xuất phù hợp với kết quả tính của các phương pháp đã sử dụng trước đây như phương pháp FW và thuật toán Memetic. Độ sâu cực tiểu bốn trăm tích Bạc Liêu tính được bằng hai phương pháp SD và thuật toán Memetic trùng nhau; Độ sâu cực đại bốn trăm tích tính bằng phương pháp SD từ dị thường trọng lực âm địa phương thuộc địa phận tỉnh Bạc Liêu là 1,71 km (sai lệch 5% so với phương pháp Memetic). Kết quả nghiên cứu này làm phong phú thêm nguồn tài liệu về cấu trúc địa chất, cung cấp thêm những thông tin bổ

ích, góp phần đánh giá tiềm năng khai thác khoáng sản trong địa phận tỉnh Bạc Liêu.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo này là một phần kết quả của đề tài Khoa học công nghệ cấp cơ sở “*Tính độ sâu 3D bốn trăm tích Bạc Liêu và An Giang bằng phương pháp giảm dốc nhất*”. Nhóm tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Xây dựng Miền Tây đã hỗ trợ thực hiện đề tài.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

2D (Two dimentions): hai chiều

3D (Three dimentions): ba chiều

ĐBSCL: Đồng bằng sông Cửu Long

FW (Forward modeling): mô hình tiến

SD (Steepest descent): giảm dốc nhất

MSE (Mean squared error): sai số bình phương trung bình

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả tuyên bố rằng họ không có xung đột lợi ích.

ĐÓNG GÓP CỦA TỪNG TÁC GIẢ

Lương Phước Toàn: Nghiên cứu lý thuyết, đề xuất phương pháp, xây dựng quy trình phân tích dữ liệu, tổ chức thực hiện quy trình, thảo luận kết quả.

Dương Quốc Chánh Tín: Thảo luận kết quả, viết bản thảo và chịu trách nhiệm về bài báo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Blakely RJ. Potential theory in gravity and magnetic applications. Camb Univ Press N Y. 1995:441; Available from: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511549816>.
- Camacho AG, Montesinos FG, Vieira R. Gravity inversion by means of growing bodies. Geophysics. 2000;65(1):95-101; Available from: <https://doi.org/10.1190/1.1444729>.
- Bott MHP. The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins. Geophys J R Astron Soc. 1960;3:6-12; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1960.tb00065.x>.
- Rao CV, Chakravarthi V, Raju ML. Parabolic density function in sedimentary basin modelling. Pageoph. 1993;140(3):493-501; Available from: <https://doi.org/10.1007/BF00876967>.
- Cordell L, Henderson RG. Iterative three-dimensional solution of gravity anomaly data using a digital computer. Geophysics. 1968;33(4):596-601; Available from: <https://doi.org/10.1190/1.1439955>.
- Chakravarthi V, Sundararajan N. Automatic 3-D gravity modeling of sedimentary basins with density contrast varying parabolically with depth. Comput Geosci. 2004;30(6):601-7; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2004.03.014>.
- Işık M, Şenel H. 3D gravity modeling of Buyuk Menderes basin in western Anatolia using parabolic density function. J Asian Earth Sci. 2009;34(3):317-25; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2008.05.013>.
- Toàn LP, Trình DD. Xác định bề dày bốn trăm tích 3-D có hiệu mật độ thay đổi theo độ sâu là hàm parabol. Proceedings, publishing house for science and technology Ha noi; 2016. p. 102-10;.

9. Krahenbuhl RA, Yaoguo L. Inversion of gravity data using a binary formulation. *Geophys.* 2005;167:543-56; Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03179.x>.
10. Montesinos FG, Arnosó J, Vieira R. Using a genetic algorithm for 3-D inversion of gravity data in Fuerteventura (Canary Islands). *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*. 2005;94(2):301-16; Available from: <https://doi.org/10.1007/s00531-005-0471-6>.
11. Liệt DV. Ứng dụng thuật giải di truyền để xác định mặt móng kết tinh từ tài liệu trọng lực, Tạp chí Phát triển Khoa học Công nghệ Đại học Quốc gia TP HCM. 2005;8(12):21-6.
12. Jadaan OA, Rajamani L, Rao CR. Improved selection operator for GA. *J Theor Appl Inf Technol*. 2008;4(1). 4:269-77;
13. Moscato P, Cotta C. A gentle introduction to memetic algorithms. Computer Science Department, University of Newcastle; 2003. p. 105-44; Available from: https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5_5.
14. Poonam G. A Comparison between Memetic algorithm and Genetic algorithm for the cryptanalysis of Simplified Data Encryption Standard algorithm. *International Journal of Network Security & Its Applications*. 2010; pp. 34-42;
15. Toan LP, Liet DV. Using the memetic algorithm to determine the depths of sedimentary basins by 2-D gravity modeling. *Lowland Technol Int, Japan*. 2015;17(3):167-78; Available from: https://doi.org/10.14247/lti.17.3_167.
16. Toàn LP. Giải bài toán ngược trọng lực bằng thuật toán memetic - áp dụng phân tích tài liệu trọng lực vùng đồng bằng sông Cửu Long. Luận án Tiến sĩ Vật lý, Trường ĐH KHTN, TP HCM. 2018; p. 174; Available from: <https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2018.033>.
17. Quyết PQ. Ứng dụng phương pháp thăm dò trọng lực để nghiên cứu cấu trúc địa chất ở đồng bằng sông Cửu Long. Luận án PTS Khoa học. ĐH Mô Địa Chất Hà Nội. 1985;
18. Jorge N, Stephen JW. Numerical optimization. Springer S Oper Res Financ Eng. 2006:597;
19. Kelley CT, 1999. Iterative methods for optimization. Siam, 188 pages; Available from: <https://doi.org/10.1137/1.9781611970920>.

Determination for 3D sedimentary basin depths from gravity anomaly data using steepest descent method

Luong Phuoc Toan¹, Duong Quoc Chanh Tin^{2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

In solving the gravity exploration inverse problems, determining the depth of the sedimentary basin played an important role in the petroleum exploration. In this paper, the depth to the basement of 3D sedimentary basin was calculated from the gravity anomaly using the steepest descent method. This method allowed minimizing the objective function based on the first derivative and adjusting the step length by the iterative method; using the variable is the depth of adjacent rectangular prism in the x, y directions with parabolic function between density contrast and the depth. The parameters in the parabolic function were determined by the nonlinear regression method based on the information of deep borehole in the Mekong Delta. This parabolic function was used to calculate the theoretical gravity anomaly for the sedimentary basin and solve the 3D inverse gravity problem on the model and on the real data. The used objective function was the mean square error function between the measured gravity anomaly and the calculated anomaly. The proposed method was tested on the model, showing that the calculated sedimentary basin depth almost coincides with the original model depth; then the method was applied to calculate the depth of 3D sedimentary basin from the local gravity anomaly in Bac Lieu province. The analysis results were consistent with previous publications, but the calculation time was significantly shortened, so this method can be extended to analyze data on a large area.

Key words: basement depth of 3D sedimentary basin, gravity inversion, objective function, parabolic function, steepest descent method

¹Mien Tay Construction University.

²School of Education, Can Tho University.

Correspondence

Duong Quoc Chanh Tin, School of Education, Can Tho University.

Email: dqctin@ctu.edu.vn

History

- Received: 29-3-2022
- Accepted: 06-9-2022
- Published: 30-9-2022

DOI : 10.32508/stdjns.v6i3.1175



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Toan L P, Tin D Q C. **Determination for 3D sedimentary basin depths from gravity anomaly data using steepest descent method.** *Sci. Tech. Dev. J. - Nat. Sci.*; 2022, 6(3):2212-2221.