XÁC ĐỊNH BỀ MẶT MOHO KHU THỀM LỤC ĐỊA MIỀN TRUNG -HOÀNG SA THEO TÀI LIỆU ĐỊA CHẤN VÀ GIẢI NGƯỢC TRỌNG LỰC 3D

Trần Văn Khá¹, Đỗ Đức Thanh², Hoàng Văn Vượng¹

¹Viện Địa chất và Địa vật lý biển, Viện HLKH&CNVN; ²Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN Tác giả liên hệ:tranvkha2000@yahoo.com

Tóm tắt: Cấu trúc Moho khu vực thềm lục địa miền Trung - Hoàng Sa đã được nhiều tác giả trên thế giới cũng như trong nước nghiên cứu một cách chi tiết trên cơ sở các tài liệu địa vật lý. Trong các nghiên cứu này, độ sâu tới bề mặt Moho khu vực thềm lục địa miền Trung - Hoàng Sa được xây dựng trên cơ sở tính toán bề mặt Moho cho toàn khu vực Biển Đông và lân cận dựa trên các điểm tựa Moho được xác định qua tài liệu địa chấn. Tuy nhiên, trong số đó không có một điểm tựa nào nằm trong khu vực thềm lục địa thuộc vùng nghiên cứu. Chính vì vậy, những kết quả này không tránh khỏi hạn chế về độ chính xác. Trong bài viết này nhóm tác giả sẽ bố sung thêm 2 vị trí độ sâu tới bề mặt Moho trên cơ sở các tài liệu địa chấn sâu trong phạm vi khu thềm lục địa miền Trung - Hoàng Sa trong việc giải bài toán ngược trọng lực 3D để làm sáng tỏ cấu trúc Moho khu vực nghiên cứu và lân cận... Kết quả nghiên cứu cho thấy bề mặt Moho khu vực bể Phú Khánh có độ sâu nằm trong khoảng từ 12 km đến 18 km, phía Nam bể Sông Hồng từ 22 km đến 30 km, còn quần đảo Hoàng Sa là từ 18 km đến 22 km.

1. Mở đầu

Trong phạm vi khu vực thềm lục địa miền Trung - Hoàng Sa và lân cận Hình 1 đã có rất nhiều kết quả nghiên cứu về cấu trúc sâu được công bố. Đó là các công bố của Nguyễn Như Trung (2013, 2014); các công bố về độ sâu tới mặt Moho của Nissen và Hayes (Nissen et al, 1995); Trần Tuấn Dũng và nnk (2014); Dongliang Guan (2015). Trong những kết quản ghiên cứu này, các tác giả xác định mặt Moho bằng cách giải bài toán ngược trọng lực 3D với việc thừa nhận bề dày trầm tích đã có (NGDC). Tuy nhiên bề dày trầm tích ở một số nơi trên khu vực này như bể Phú Khánh, Hoàng Sa thực sự chưa được biết đầy đủ vì tại đây không có nhiều số liêu đia chấn. Măt khác, trong các công trình này, các tác giả đã dưa trên 42 điểm sâu Moho đã có của Nissen và Hayes (1995) để làm tựa, tuy nhiên lại không có điểm tựa nào trên khu vực thềm lục địa miền Trung - Hoàng Sa. Chính vì vậy kết quả độ sâu tới mặt Moho mà các tác giả đưa ra là không đảm bảo chính xác cho khu vực nghiên cứu này. Đó cũng chính là lý do mà các tác giả đã đưa ra những kết quả khác nhau mà không có sư kiểm nghiêm nào trên khu vực nghiên cứu. Trên cơ sở phân tích những tồn tai nói trên và với các bằng chứng rõ nét về độ sâu tới mặt Moho theo tài liệu địa chấn thu thập được tại khu vực bể Phú Khánh, chúng tôi đã lấy chúng làm tựa để xác định lại bề mặt này một cách cụ thể hơn qua việc giải bài toán ngược trong lực 3D.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Cơ sở số liệu được sử dụng trong nghiên cứu này gồm có:

Độ sâu đáy biển Gebco (General Bathymetric Chart of the Oceans, (2003))

Di thường Free-air vệ tinh Sandwell (Sandwell et al, 2009, 2013, 2014).

Bề dầy trầm tích Divins (Divins, 2003)

Các tuyến địa chấn sâu CSL07-08 (nguồn PVEP 2008) được bổ sung.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xác định các điểm tựa Moho trong khu vực nghiên cứu theo tài liệu địa chấn

Theo Savva (2013, 2014), Pichot (2014) đã chỉ ra bề mặt Moho trên cơ sở tài liệu địa chấn sâu ở khu vực Bể Phú Khánh vào khoảng 8s, trên cơ sở các tài liệu trên kết hợp hai

tuyến địa chấn dầu khí đo sâu 9s PKBE08N37 và PKBE08N29 (nguồn PVEP 2008) tập thể tác giả đã tiến hành tính toán độ sâu đến mặt Moho tại 2 vị trí thuộc tuyến đo AA' Hình 3b và BB' Hình 5b.





Hình 1. Khu vực nghiên cứu và các tuyến địa chấn dầu khí được đo mới được sử dụng trong nghiên cứu này

Hình 2. Tuyến địa chấn PKGE09-09 (Divins, 2003; Guan, 2015) (đường màu xanh), vị trí đường màu đỏ chỉ điểm giao nhau giữa PKGE09-09 và tuyến PKBE08N37 được sử dụng xác định độ sâu đến mặt Moho trong nghiên cứu này.

Vị trí 1.Vị trí xác định điểm Moho trên băng địa chấn tuyến PKBE08N37 như Hình 4b tại Trace: 3874, tọa độ: 110.71727850° E, 13.06255905° N.

Việc lựa chọn được xác định tại vị trí có bề dày trầm tích lớn nhất, mật độ trầm tích phụ thuộc vào vận tốc sóng được xác định theo Nafe và nnk (1963), Hoàng Văn Vượng (2014) cho kết quả theo Bảng 1.



Hình 3.Mặt cắt địa chấn tuyến PKBE08N37 (tuyến màu xanh) Hình 3a (vị trí đường màu đỏ chỉ điểm giao tuyến PKBE08N37 và PKGE09-09); Hình 3b.mặt cắt AA' được lấy từ Hình 3a, vị trí đường màu đỏ trong hình 3b để xác định độ sâu tới mặt Moho

Thời gian (s)	Vận tốc (Km/s)	Độ sâu (Km)	Mật độ (g/cm ³)
0	1,5	0	1,03
1,8	1,49	2,71	1,68
1,9	1,51	2,97	1,70
2,07	1,55	3,11	1,73
2,25	1,62	3,39	1,78
2,35	1,68	3,57	1,81
2,51	1,75	3,82	1,8
2,66	1,82	4,11	1,90
2,8	1,98	4,72	1,99
2,9	2,08	5,12	2,05
3,03	2,37	6,45	2,17
3,13	2,54	7,26	2,24
3,24	2,74	8,24	2,31
3,52	3,07	9,67	2,40
3,82	3,33	10,68	2,45

Bảng 1. Độ sâu đáy trầm tích và mật độ trầm tích được tính toán theo vận tốc sóng theo tài liệu địa chấn

Moho được xác định tại đây với mặt phản xạ vào khoảng 4,08s, vậy theo Christensen (1995), Jinwei Gao (2015) với vận tốc sóng trung bình trong đá móng được lựa chọn vào khoảng 6,45 km/s thì bề dầy đá móng tại đây vào khoảng 1,7 km, theo đó độ sâu tới bề mặt Moho tại đây vào khoảng 12,5 km.



Tuyến địa chấn PKBE08N29 Hình 5a tại trace: 10881, tọa độ: 111.605° E, 13.667° N

Hình 4. Tuyến địa chấn PKGE09-08 (Savva, 2013, 2014) (đường màu xanh), vị trí đường màu đỏ chỉ điểm giao nhau giữa PKGE09-08 và **tuyến PKBE08N29** được sử dụng xác định độ sâu đến mặt Moho trong nghiên cứu này





Hình 5. Mặt cắt địa chấn tuyến PKBE08N29 (tuyến màu xanh) hình 5a (vị trí đường màu đỏ chỉ điểm giao tuyến PKBE08N29 và PKGE09-08); Hình 5b. mặt cắt AA' được lấy từ hình 5a, vị trí đường màu đỏ trong hình 5b để xác định độ sâu tới mặt Moho

Bảng 2. Độ sâu đáy trầm tích và mật độ trầm tích được tính toán theo vận tốc sóng theo tài liệu địa chấn

Thời gian (s)	Vận tốc (km/s)	Độ sâu (km)	Mật độ (g/cm ³)
0	1,5	0	1,03
1,86	1,50	2,79	1,694
1,95	1,51	2,93	1,699
2,08	1,52	3,13	1,71
2,21	1,57	3,33	1,74
2,3	1,62	3,51	1,780
2,58	1,71	3,94	1,84
2,70	1,79	4,15	1,89
2,97	2,07	5,23	2,04
3,02	2,38	6,40	2,16

Moho được xác định tại đây với mặt phản xạ vào khoảng 4,12s, vậy theo Christensen (1995), Jinwei Gao (2015) với vận tốc sóng trung bình trong đá móng được lựa chọn vào khoảng 6,45 km/s thì bề dầy đá móng tại đây vào khoảng 7,1 km, theo đó độ sâu tới bề mặt Moho tại đây vào khoảng 13,5 km

2.2.2. Xác định sự phân bố mật độ trung bình theo độ sâu của bể trầm tích

Dựa trên hàm mật độ phụ thuộc độ sâu trầm tích đã được Đỗ Đức Thanh (2004) tính toán hiệu quả trên bể Nam Côn Sơn và bể Sông Hồng, Hoàng Văn Vượng (2014) xây dựng trên cơ sở các tài liệu khoan sâu ODP 184 (2000) trên trũng sâu Biển Đông và lân cận, trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành xây dựng hàm mật độ phụ thuộc bề dày trầm tích từ Bảng 1, Bảng 2 và đã xây dựng được hàm mật độ theo bề dầy trầm tích biểu diễn bởi

$$\rho = 2.68 - ae^{bz}$$
 (2)
với a=1,0121, b= -0,1874 (Hình 6)



Hình 6. Hàm phân bố mật độ theo bề dầy trầm tích trên cơ sở tài liệu Bảng 1, 2

Để xác định mật độ trung bình theo độ sâu của lớp trầm tích các tác giả đưa ra công thức sau:

$$\rho_{TB} = \frac{\int_{0}^{z_{2}} \rho dz}{z_{2}}$$
(3)

ở đây z₂ là bề dầy lớp trầm tích

Thay biểu thức (2) vào (3) chúng ta được

$$\rho_{TB} = \frac{2.68 \, (z_2) + 5.4 \left(e^{b \, z_2} - 1\right)}{z_2} \, (4)$$

Áp dụng công thức (4) trên số liệu bề dầy trầm tích Divins (2003), chúng tôi đã đưa ra bản đồ phân bố mật độ trung bình theo độ sâu của trầm tích (Hình 7).



Hình 7. Bản đồ phân bố mật độ trung bình theo bề dày trầm tích

2.2.3. Thuật toán giải bài toán thuận và ngược trọng lực

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng thuật toán của BhaskaraRao (1990) trong việc giải bài toán thuận 3D để tính phần hiệu ứng trọng lực do lớp nước biển gây ra và phần hiệu ứng trọng lực do lớp trầm tích gây ra với mật độ trung bình theo độ sâu được biểu diễn trên Hình 7.

Ngoài ra để xác định độ sâu tới mặt Moho chúng tôi sử dụng thuật toán của Parker-Oldenburg's (2013) biểu diễn qua công thức (5) dưới đây để giải bài toán ngược trọng lực 3D

$$h(r) = F^{-1} \left[-\frac{F[g_z]g^{|k|z_0}}{2\pi\gamma\rho} - \sum_{n=2}^{\infty} \frac{|k|^{n-1}}{n!} F[h^n(r)] \right]$$
(5)

ở đây z_0 là độ sâu trung bình của bề mặt Moho, F⁻¹ là toán tử Fourier ngược, γ là hằng số hấp dẫn, ρ mật độ dư, k là số sóng, h là độ cao mặt ranh giới Moho so với độ sâu trung bình z_0

3. Kết quả nghiên cứu

Xác định độ sâu tới bề mặt moho khu vực nghiên cứu

Để xác định độ sâu Moho trên khu vực nghiên cứu, cũng giống như các tác giả khác, trong nghiên cứu này cấu trúc sâu khu vực nghiên cứu cũng được chúng tôi chia làm bốn lớp bao gồm: nước biển, trầm tích Kainozoi, đá móng, Manti

Việc tiến hành tính toán được thực hiện theo các bước sau:

Bước 1. Tính dị thường Bouguer Hình 8b khu vực nghiên cứu từ dị thường Free-air g_f Hình 8a bằng cách lấy nó trừ đi phần dị thường trọng lực gây ra bởi lớp nước biển với mật độ dư - $1,64g/cm^3g_{w}$.

Bước 2. Tính dị thường do lớp trầm tích Kainozoi gây ra với mật độ trung bình theo độ sâu của trầm tích được đưa ra trên Hình 7 g_{sed}

Bước 3. Tính dị thường dư gây ra bởi cả đá móng và Mani g_{crust-mantle} = g_f-g_w-g_{sed} Hình 8c

Bước 4. Dị thường dư do Manti *Hình 8d* gây ra được xác định bằng cách trung bình hóa $g_{crust-mantle}$ với cửa số 50 km với mục đích loại bỏ những đối tượng có bước sóng ngắn liên quan tới dị thường gây ra bởi các bất đồng nhất trong đá móng.

Việc xác định độ sâu tới bề mặt Moho theo Parker-Oldenburg's (Trung, 2013, 2014) phụ thuộc vào chọn độ sâu trung bình z_0 và mật độ dư $\Delta \rho$. Trong bài báo này chúng tôi đã chọn z_0 thay đổi từ 20-30 km và $\Delta \rho$ từ 0,4-0,6 g/cm³ trên khu vực nghiên cứu. Lựa chọn tối ưu cho khu vực nghiên cứu là $z_0=23$ km, $\Delta \rho=0.5$ g/cm³.

Với các điểm tựa độ sâu tới mặt Moho (Nissen và nnk, 1995) và hai điểm tựa Moho khu vực bể Phú Khánh đã xác định ở trên, trong nghiên cứu này, với các bước tiến hành như trên, chúng tôi đã đưa ra kết quả độ sâu tới mặt Moho được biểu diễn trên Hình 9.

Kết quả về sự sai lệch giữa độ sâu Moho tính được trong nghiên cứu này với độ sâu Moho theo tài liệu địa chấn Nissen và Hayes (Nissen et al, 1995) được chúng tôi biểu diễn trên Bảng 3.



Hình 8. Dị thường trọng lực khu vực nghiên cứu: a) Dị thường trọng lực Free-air; b) dị thường trọng lực Bouguer; c) Dị thường trọng lực sau khi đã loại bỏ hiệu ứng lớp nước và bề dầy trầm tích; d) Dị thường dư trọng lực do lớp Manti dưới bề mặt Moho gây ra



Hình 9. Độ sâu tới bề mặt Moho trên cơ sở giải bài toán ngược trọng lực khu vực nghiên cứu Bảng 3. So sánh kết quả độ sâu Moho tính toán với điểm Moho địa chấn và sai số của Nguyễn Như Trung (2013, 2014)

()								
STT	Kinh độ	Vĩ độ	Độ sâu mặt Moho được tính toán	Độ sâu mặt Moho theo địa chấn	Sai số nghiên cứu này	Sai số Nguyễn.NT		
EPS12	112,42	19,87	-23195	23700	0,505	3,1		
EPS13	112,7	19,36	-28298	29000	0,702	-1,1		
EPS14	112,87	19,02	-26444	27700	1,256	-1,2		
EPS15	113,04	18,74	-23424	25600	2,176	-0,7		
EPS16	113,25	18,33	-18706	17300	-1,406	3,0		
EPS17	113,39	17,71	-19133	23700	4,567	-3,3		
PK1	110,7173	13,0625	-13345	12500	-0,845			
PK2	111,6	13,667	-15387	13500	-1,887			

Dễ nhận thấy kết quả tính toán được trong nghiên cứu này là khá chính xác trong sự so sánh tương quan với kết quả của một số tác giả khác (Trung, 2013, 2014).

4. Thảo luận

Trong nghiên cứu này đã làm sáng tỏ được phần nào bề mặt Moho khu vực thềm lục địa -Hoàng Sa. Tuy nhiên để có kết tin cậy hơn, chi tiết hơn thì cần phải bổ sung thêm các thông tin như:

Cần thiết có số liệu độ sâu tới Moho khu vực Bể Sông Hồng để làm tựa cho việc giải ngược trọng lực có kết quả phù hợp hơn; Nếu có được các tọa độ chuẩn của các tuyến địa chấn Savva (Savva, 2013, 2014), Pichot (Pichot và nnk, 2014) nghiên cứu sẽ xác định thêm được một số điểm độ sâu bề mặt Moho khác và nó làm tăng thêm các thông tin tiên nghiệm cho giải bài toán ngược.

5. Kết luận

Với những kết quả thu được khi xác định một số điểm tựa Moho trong phạm vi khu vực nghiên cứu theo tài liệu địa chấn, xác định mật độ trung bình theo độ sâu của bể trầm tích trong việc giải bài toán ngược trọng lực 3D nhằm xác định bề mặt Moho khu thềm lục địa miền Trung - Hoàng Sa, có thể rút ra một số kết luận sau:

Kết quả cho thấy mặt Moho được tính toán trong nghiên cứu này có sai số nhỏ hơn các nghiên cứu trước đây. Khu vực quần đảo Hoàng Sa, bề mặt Moho tại đây dao động từ 18-22 km, khu vực bể Phú Khánh bề mặt Moho dao động từ 12 km tại trũng trung tâm bể, 18 km cho rìa bể, phần đuôi bể Sông Hồng bề mặt Moho thay đổi từ 22-30 km, Bể Nam Hải Nam độ sâu tới mặt Moho thay đổi từ 16-28 km; Phần tiếp giáp trũng sâu Biển Đông bề mặt Moho từ 10-15 km.

Việc bổ sung thêm 2 điểm sâu bề mặt Moho thềm lục địa vùng nghiên cứu đã góp phần quan trọng trong việc xác định bề mặt Moho trên cơ sở giải bài toán ngược trọng lực

Lời cảm ơn: Bài báo được hoàn thành với sự hỗ trợ của đề tài: VAST.ĐLT.11/16-17.

Văn liệu

Bhaskara Rao D, Prakash M.J. and Ramesh Babu N, 1990. 3D modeling of gravity anomalies with variable density constrast. *Geo.Jour.Roy Arstr.Soc.V80*, *No1*.

Braitenberg C, Wienecke S, Wang Y, 2006. Basement structures from satellite-derived gravity field: South China Sea ridge. *Journal of Geophysical Research, Vol. 111, B05407, doi:10.1029/2005JB003938.*

Christensen N.I, Mooney W.D, 1995. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: a global view. J. Geophys. Res. Solid Earth 100/B7:9761-9788.

David G.O, Bhrigu N.P.A, 2005.3DINVER.M: a MATLAB program to invert the gravity anomaly over a 3D horizontal density interface by Parker-Oldenburg's algorithm. *Journal Computers & Geosciences 31/4:513-520.*

Divins D.L, 2003. Total Sediment Thickness of the World's Oceans & Marginal Seas.NOAA National Geophyscial Data Center, Boulder, CO.

Dongliang Guan, Xiaoping Ke, Yong Wang, 2015. Basement structures of East and South China Seas and adjacent regionsfrom gravity inversion. *Journal of Asian Earth Sciences 117, 242-255.*

Đỗ Đ. Thanh, 2004. Modelling of the North - Northwest Part of Song Hong sedimentary basin from gravity anomalies with exponential density contrast. *Advances in Natural, Sciences, 5/3:313-325*.

Đỗ Đ. Thanh, 2004. Giải bài toán ngược trọng lực ba chiều trong miền tần số xác định độ sâu móng trước Kainozoi bể trầm tích Nam Côn Sơn. *TC Các Khoa học về Trái đất, 1/T.26:86-94*.

IOC, IHO, BODC, 2003. Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas, Published onCD-ROM on Behalf of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization as Part of the General BathymetricChart of the Oceans. *British Oceanographic Data Centre, Livepool, U.K.*

Jinwei Gao, Shiguo Wu, Kirk McIntosh, Lijun Mi, Bochu Yao, Zeman Chen, Liankai Jia, 2015. The continent - ocean transition at the mid-northern margin of theSouth China Sea. *Tectonophysics 654, 1-19.*

Nafe J.E, Drake C.L, 1963. Physical properties of marine sediments. In: Hill, M.N.(Ed.), The Sea. Wiley-Interscience. *New York, pp. 94-815.*

Nissen S.S, Hayes D.E, Buhl P, Diebold J, Bochu Y, Zeng W. and Chen Y, 1995. Deep penetration seismic soundings across the northern margin of the South China Sea. J. Geophys. Res. 100, B11, 22407-22433, DOI:10.1029/95JB01866.

Nguyen N. Trung, Nguyen T.T.H, 2013. Topography of the Moho and Earth cruststructure beneath the east Vietnam sea from 3D inversion of gravity field data. *Acta Geophys.* 61/2:357-384

Nguyen N. Trung, 2004. Satelite gravity anomalies and their correlation with the Major Tectonic features in the Eastern Sea. *Gondwana Research* 7/2:407-424.

Pichot T, Delescluse M, Chamot-Rooke N, Pubellier M, Qiu Y, Meresse F, Sun G, Savva D, Wong K.P, Watremez L, Auxiètre J.L, 2014. Deep crustal structure of the conjugate margins of the SW South ChinaSea from wide-angle refraction seismic data. *Marine and Petroleum Geology* 58:627-643.

Parker R.L, 1973. The rapid calculation of potential anomalies. *Geophysical Journal of theRoyal Astronomical Society, 31:447-455.*

Savva D, Meresse F, Pubellier M, Chamot-Rooke N, Lavier L, Wong Po K, Franke D, Steuer S, Sapin F, Auxietre J.L, Lamy G, 2013. Seismic evidence of hyper-stretched crust and mantle exhumationoffshore Vietnam. *Tectonophysics* 608:72-83.

Savva D, Pubellier M, Franke D, Chamot-Rooke N, Meresse F, Steuer S, Auxietre J.L, 2014. Different expressions of rifting on the South China Seamargins *Mar. Pet. Geol* 58/B:579-598.

Sandwell D.T, and Smith W.H.F, 2009. Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: Ridge Segmentation versus spreading rate. J. Geophys. Res. 114, B01411, doi:10.1029/2008JB006008.

Sandwell D.T, Garcia E, Soofi K, Wessel P, Smith W.H.F, 2013. Towards 1 mGal Global Marine Gravity from CryoSat-2, Envisat, and Jason-1.*The Leading Edge 32/8:892-899, doi: 10.1190/tle32080892.1*.

Sandwell D.T, Müller R.D, Smith W.H.F, Garcia E, Francis R, 2014. New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure. *Science* 346/ 6205:65-67, *doi:* 10.1126/science.1258213.

Susan Spangler Nissen, Dennis E. Hayes, Peter Buhl, and John Die bold, 1995. Deep penetration seismic soundings across the northern margin of the South China Sea, *Journal of Geophysical Research 100:22407-22433*.

Shipboard Scientific Party, 2000. Seismic reflection stratigraphy of Leg 184, South China Sea. In Wang P, Prell W.L, Blum P.et al, Proc. ODP, Init. Repts., 184: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1–37. doi:10.2973/odp.proc.ir.184.102.2000

Trần T. Đũng, Trần V. Khá, Nguyễn T.H. Hà, 2014. Ứng dụng tài liệu mới về địa chấn, độ sâu đáy biển và trọng lực xây dựng mô hình cấu trúc vỏ Trái đất khu vực Biển Đông và lân cận. *TC Khoa học và Công nghệ biển*.

Từ khóa: Moho, dị thường trọng lực, thềm lục địa miền Trung - Hoàng Sa, giải ngược trọng lực 3D