



## Mô hình hóa 2,5D tài liệu trọng lực nghiên cứu cấu trúc vỏ Trái Đất khu vực Sông Tranh và lân cận

Đình Văn Toàn\*, Lại Hợp Phòng, Trần Anh Vũ, Nguyễn Thị Hồng Quang

*Viện Địa chất, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

Ngày nhận bài: 3 - 6 - 2014

Chấp nhận đăng: 10 - 2 - 2015

### ABSTRACT

#### Study of the Earth's crustal structure in the Area of Song Tranh and it's adjacents

Until now, the structures of the earth's crust in the area of Song Tranh and it's adjacents are only reflected sketchy in the studies of regional characteristics, mostly in the structural schemes established for whole country. Since the year 2012 in the area of Bac Tra My district, Quang Nam province are appeared a series of earthquakes after an water filling of the hydroelectric power plant reservoir Song Tranh 2. A portion of the events are produced the ground motion of threat level for local peoples. The numbers of houses are subjected to damage. The increase suprisingly of the seismic activity in that area is recongnized as an induced earthquake phenomenon by most of scientists worked in this research direction. Understanding the mechanism of earthquake occurence and earthquake hazard level are important. The different types of data are needed for the research, including a more detail scheme of crustal structures. Since the available data capable for study of the earth's crust in that region are only the garvity and magnetic anomaly maps of scale 1:500 000 and 1: 200 000 respectively. Since the garvity anomalies are demonstrated a good correlation not only with the regional geotectonic environment obtained in the previous studies but also with the local structural elements, it's extraction using a more dense network of profiles is expected to generate a more detail scheme of crustal structures in the region. Thus, 8 profiles with the distance from one to another varried in a range 12 - 16km were designed for the study area resticted by the latitudes 15°N and 16°N. The 2.5D gravity modelling is applied for data interpretation. The initial model for each profile was constructed by using all the available data related to the structures. The calculations were performed by iterative process. The target function indicated an average square deviation between the theoretical and observed gravity data along each profile is calculated for each iteration. To minimize the target function, the least - squares method is used and the model parameters were changed by using both the Marquardt's algorithm and interpreter - computer interaction. The calculation process terminated when the target function is became small enough and the respective density model is accepted as the reasonable structural cross sections. The target function <math><1.0</math> is accepted as a threshold to terminate the iterative calculated process in this study. In fact, it's values varried from 0.657 to 0.994 are obtained in the calculations for 8 profiles.

Combine all the density models derived from the calculations, the more detail schemes of the Moho, Conrad and Crystalline surfaces were constructed. A series of local structural elements appeared on its are demonstrated as a new information in comparison with the previous regional studies. In addition, the uprising tendency of the Crystalline basement from East to West derived from the previous studies is replaced by the subsidence with the depth reached more than 5km in the area closed to Viet - Lao border.

©2015 Vietnam Academy of Science and Technology

### 1. Mở đầu

Ở nước ta việc nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ Trái Đất trên cơ sở sử dụng tài liệu địa vật lý đã được

tiến hành trong nhiều năm qua. Tuy nhiên nguồn số liệu sử dụng không đồng bộ, nhiều vùng còn thiếu vắng các loại tài liệu có tính định lượng cao nên kết quả nghiên cứu không đồng đều cả về mức độ chi tiết lẫn độ tin cậy. Vùng được quan tâm nghiên cứu nhiều nhất là vùng lãnh thổ phía bắc.

\*Tác giả liên hệ, Email: [dvantoanvdc@yahoo.com](mailto:dvantoanvdc@yahoo.com)

Có lẽ tại đây có đới đứt gãy Sông Hồng là đối tượng địa chất được nhiều nhà khoa học cả trong và ngoài nước quan tâm. Phần phía bắc còn có vùng Tây Bắc có chế độ hoạt động động đất mạnh nhất trong cả nước nên nhiều nghiên cứu cũng được triển khai trong đó có cấu trúc vỏ Trái Đất (T.V. Bắc, 1996; L.H. Phòng, 2009; C.Đ. Triều, 1995). Có thể nói, ở phần phía bắc đã triển khai được nhiều nhất cả về phương pháp lẫn mức độ chi tiết các khảo sát so với các vùng còn lại. Khu vực Miền Trung, trong đó có vùng Sông Tranh thuộc loại vùng nghèo nàn nhất về nguồn tài liệu có thể sử dụng cho nghiên cứu cấu trúc sâu vỏ Trái Đất. Cho đến nay tại đây chỉ có bản đồ trọng lực và từ là có thể sử dụng cho mục đích nghiên cứu cấu trúc sâu. Trong đó, bản đồ trọng lực ở tỉ lệ 1:500.000 và bản đồ từ ở tỉ lệ 1:200.000 là chủ yếu. Các bản đồ này cũng đã được khai thác nhiều lần trong các công trình nghiên cứu cấu trúc vỏ Trái Đất cho lãnh thổ cả nước (B.C. Quế, 1992; Đ.V. Toàn, 2010; C.Đ. Triều, 1995). Do chưa có các nghiên cứu riêng nên cấu trúc sâu vùng Sông Tranh chỉ được phản ánh sơ lược trong các công trình nghiên cứu mang tính khu vực như vừa nêu trên. Theo đó, bề mặt Moho được mô tả bằng các đường đẳng trị có phương á kinh tuyến gần với phương của đường bờ biển tại khu vực này. Độ sâu bề mặt Moho tăng dần từ đông sang tây với giá trị 30km tại gần bờ biển cho đến hơn 36km tại khu vực Kon Tum gần biên giới Việt - Lào. Bề mặt kết tinh trong các nghiên cứu này lại có xu hướng ngược lại, bề dày tăng từ khoảng 1km ở phần phía tây đến khoảng hơn 3km kể từ vùng trung tâm ra phía bờ biển. Từ năm 2012 tại khu vực thủy điện Sông Tranh 2, huyện Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam đã liên tiếp xảy ra nhiều trận động đất, trong đó có nhiều trận làm rung chuyển mạnh và làm hư hại nhiều nhà cửa, gây hoang mang cho người dân địa phương. Do hiện tượng động đất xảy ra sau một thời gian kể từ khi hồ thủy điện Sông Tranh 2 được tích nước nên nhiều nhà khoa học cho rằng, đây là hiện tượng động đất kích thích. Các khảo sát nghiên cứu nhằm làm rõ nguyên nhân, cơ chế hoạt động cũng như độ nguy hiểm động đất có thể xảy ra đã và đang được tiến hành. Trong bối cảnh trên, việc có được sơ đồ cấu trúc sâu vỏ Trái Đất chi tiết hơn của vùng này để phục vụ các nhiệm vụ nghiên cứu khác là một việc làm cần thiết. Sau khi xem xét lại các tài liệu hiện có, có thể thấy bản đồ trọng

lực vẫn phản ánh được nhiều yếu tố cấu trúc mang tính địa phương vốn chưa được tính đến trong các nghiên cứu mang tính khu vực từ trước. Bài báo này giới thiệu một số kết quả sử dụng tài liệu trọng lực nghiên cứu chi tiết hơn cấu trúc vỏ Trái Đất vùng thủy điện Sông Tranh và lân cận trên cơ sở giải bài toán ngược trọng lực bằng mô hình hóa 2.5D. Phạm vi vùng nghiên cứu được lựa chọn là vùng từ khoảng vĩ độ 15°N đến vĩ độ 16°N.

## 2. Sơ lược về bài toán mô hình hóa tài liệu trọng lực theo bài toán 2,5D

Mô hình hoá dị thường trọng lực giải bài toán ngược là hướng phân tích định lượng các số liệu dị thường quan sát phổ biến hiện nay. Nội dung chính của hướng nghiên cứu này là tìm mô hình cấu trúc môi trường địa chất được xấp xỉ bằng tập hợp các vật thể gây dị thường, sao cho phù hợp tốt nhất với những thông tin địa chất - địa vật lý có sẵn, với độ lệch giữa trường lý thuyết và quan sát phải đạt giá trị nhỏ nhất (Bulax, E.G., 1976). Trong thực tế thường người ta không đi tìm giá trị nhỏ nhất của độ lệch mà tìm giá trị nhỏ có thể chấp nhận được bằng phép cực tiểu hóa hàm độ lệch. Một cách tổng quát có thể mô tả tóm tắt cách giải bài toán ngược như nêu trên bằng công thức sau:

$$F = \sum_{i=1}^{i=N} [G_{lt}(x_i, z_i, P_j) - G_{qs}(x_i, z_i)]^2 = \min \quad (1)$$

Trong đó  $G_{lt}$  và  $G_{qs}$  là trường trọng lực lý thuyết tính theo mô hình và đường cong quan sát tương ứng;  $i$  là thứ tự các điểm quan sát,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $P_j$  là vectơ tham số của mô hình môi trường, gồm: kích thước hình học và mật độ các vật thể gây dị thường,  $j = 1, 2, \dots, M$ . Như vậy, trong quy trình phân tích thì ở bước thứ nhất là tìm những phương pháp giải bài toán thuận cho khả năng xấp xỉ môi trường cấu trúc phức tạp bằng một tập hợp vật thể gây dị thường với độ chính xác càng cao càng tốt. Trong số đó thuật toán xấp xỉ thiết diện các vật thể 2 chiều bằng tập hợp các vật thể có thiết diện đa giác tỏ ra thích hợp hơn cả (Manik T., 1959; Won I.J., 1987).

Nội dung chủ yếu thứ 2 trong quy trình phân tích là thực hiện quá trình tính lặp sau khi thay đổi các tham số do mô hình ngay trước đó cho độ lệch giữa trường quan sát và lý thuyết không đủ nhỏ. Công việc này có thể tiến hành bằng kết hợp thay

đổi tiếp các tham số môi trường thông qua đối thoại người - máy, hoặc sử dụng các phương pháp quy hoạch tối ưu thích hợp để cực tiểu hoá hàm F nêu trên. Với cách sử dụng các thuật toán quy hoạch, thường cho ta khả năng đạt giá trị nhỏ của hàm mục tiêu nhanh, tuy nhiên nhiều khi mô hình cuối cùng nhận được lại không phản ánh tốt các yếu tố của môi trường thực tế. Đơn giản là các thuật toán quy hoạch làm việc chỉ đơn thuần theo các quy luật toán học, không bao hàm ý nghĩa vật lý của bài toán cần giải. Với lý do trên, việc giải bài toán ngược trong nhiều trường hợp được thực hiện hiệu quả hơn bằng kết hợp sử dụng cả các thuật toán tối ưu lẫn đối thoại người - máy để thay đổi tham số trong mỗi lần tính lặp.

Một đặc điểm cũng rất quan trọng là các bài toán ngược trọng lực bao giờ cũng đa trị, có nghĩa là từ một đường cong quan sát có thể suy ra một số mô hình khác nhau, nhưng vẫn có thể cho đường cong lý thuyết phù hợp với đường cong quan sát. Trong số đó có những mô hình không phản ánh được bản chất của môi trường thực tế, mặc dù độ lệch giữa trường quan sát và lý thuyết đã đủ nhỏ. Điều này cho thấy, việc lựa chọn các tham số để xây dựng mô hình ban đầu rất quan trọng. Trong thực tế, nếu mô hình ban đầu được xây dựng có nhiều điểm tương đồng với môi trường thực tế thì việc tính toán sẽ nhanh chóng hội tụ và kết quả cuối cùng thường cho được mô hình tốt. Do đặc điểm của bài toán ngược như trên nên khi xây dựng mô hình ban đầu người ta phải tận dụng tất cả các thông tin địa chất - địa vật lý có được về môi trường.

Để phân tích tài liệu trọng lực vùng Sông Tranh bài toán 2,5 chiều trong đó môi trường phân lớp được xấp xỉ bằng tập các đa giác theo thuật toán của Manik Talwani (1959) và được cải tiến sau này (1987) bởi I.J. Won và Michael Bevis, cho phép giảm bớt khối lượng tính toán các hàm lượng giác trong các công thức tính (Manik T., 1959; Won I.J., 1987). Phần mềm SAKI hiện thực hóa thuật toán và một số phần mềm khác do Cục Địa chất Mỹ phát triển (USGS - Open File Report 92 - 18) đã được sử dụng cho tính toán xây dựng mô hình. Phần mềm này cho phép tính hiệu ứng trọng lực của tập hợp các đa giác với tổng 200 đỉnh và số điểm quan sát đến 400 điểm. Để cực tiểu hoá hàm F trong công thức (1), quá trình tính đã sử dụng kết hợp đối thoại người - máy với sử dụng phương

pháp quy hoạch của Marquardt (William H., 1990).

### 3. Phân tích tài liệu và kết quả

#### 3.1. Đặc điểm trường dị thường trọng lực

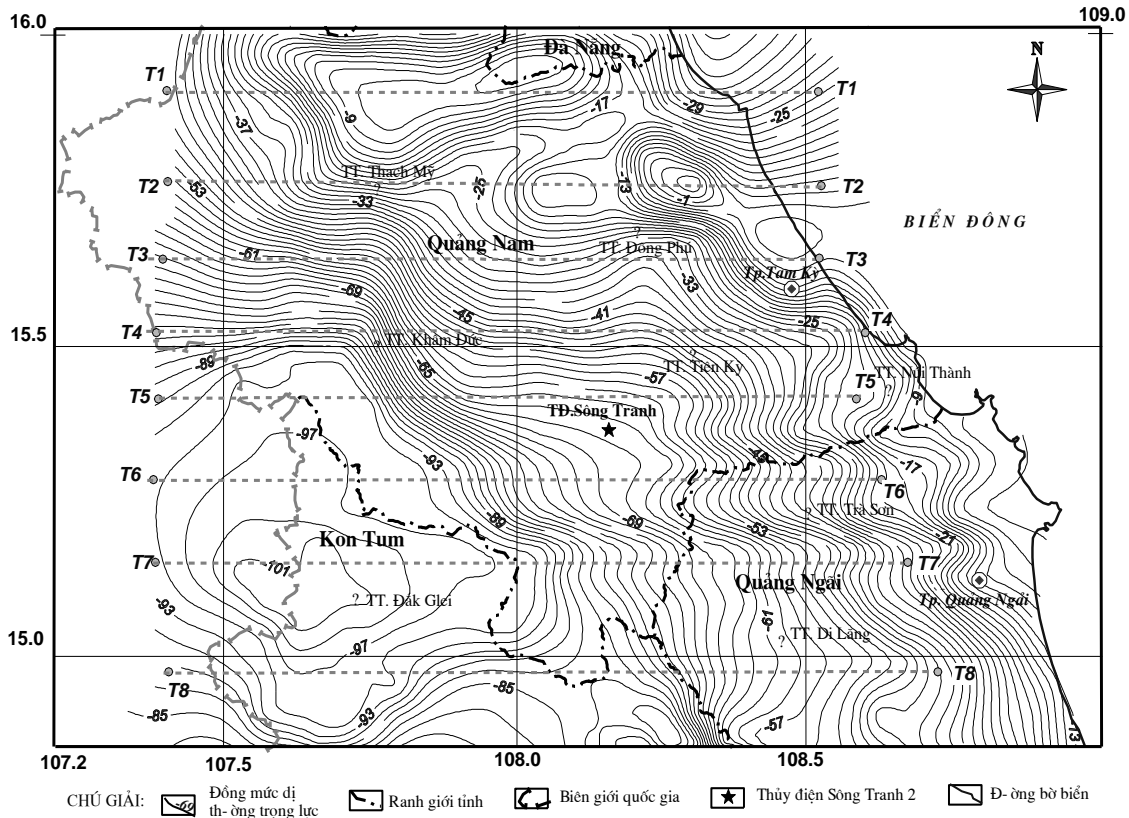
Như đã nêu ở phần trên, bản đồ dị thường trọng lực Bouguer vùng Sông Tranh và lân cận tỉ lệ 1:500 000 từ nguồn số liệu lưu trữ tại Tổng cục Địa chất vào trước những năm 1990 đã được sử dụng trong nghiên cứu này (hình 1). Theo đó, trường dị thường trọng lực có giá trị dương khoảng 3 mgl tại khu vực bắc và tây bắc thành phố Tam Kỳ, sau đó giảm dần về phía nam và giảm khá nhanh về phía Kon Tum, đạt đến giá trị gần -100 mgl tại đây. Nếu xem xét trường dị thường theo phương đông - tây thì cường độ dị thường nhìn chung có xu hướng tăng dần ra phía bờ biển. Theo đặc điểm cấu trúc thì trường dị thường có thể phân làm 2 vùng rõ rệt. Từ khoảng vĩ độ 15,5°N lên phía bắc các đường đồng mức trường trọng lực nhìn chung có phương á vĩ tuyến. Tại phần còn lại phía nam thì phương của các đường đồng mức chuyển dần sang tây bắc - đông nam ở nửa phần diện tích phía tây và phương á kinh tuyến tại nửa diện tích phía đông. Khu vực nhà máy thủy điện Sông Tranh 2 được phản ánh bằng vùng có giá trị gradient ngang trường trọng lực tương đối thấp nhưng nơi đây lại là vùng có sự thay đổi phương của các dị thường.

Tại phần phía bắc vùng nghiên cứu, trường Bouguer còn được phức tạp hóa bởi một số dị thường mang tính địa phương, phần lớn là các dị thường nặng. Trong đó, dị thường nằm về phía bắc thành phố Tam Kỳ có trục theo phương tây bắc - đông nam, dài gần 40km. Từ khu vực nam thành phố Đà Nẵng kéo hơi lệch về hướng tây nam cũng quan sát được một khối dị thường kích thước khá lớn, có phương trục hơi lệch về đông bắc - tây nam, dài đến hơn 50km.

Trong phần lớn diện tích còn lại ở phía nam của rìa đông vùng nghiên cứu, trường dị thường có phương gần với kinh tuyến, trong khi tại khu vực tây nam tỉnh Quảng Nam các đường đồng mức chủ yếu có phương tây bắc - đông nam, lúc đầu giá trị dị thường thay đổi rất nhanh, sau đó sự thay đổi càng về phía tây càng chậm và trở nên khá bình ổn tại khu vực gần ranh giới với tỉnh Kon Tum. Cũng từ đây kéo về phía nam vùng nghiên cứu là vùng

của một dị thường lõm tương đối đẳng thước với đường kính gần 70km. Đáng lưu ý là gradient ngang của dị thường này có vẻ như thấp nhất trong

vùng nghiên cứu. Nhìn chung, bức tranh dị thường trọng lực phản ánh khá tốt mối quan hệ với các yếu tố cấu trúc chính trong vùng nghiên cứu.



Hình 1. Các tuyến phân tích trên bản đồ trọng lực vùng nghiên cứu

### 3.2. Phân tích tài liệu xây dựng mô hình mật độ dưới tuyến quan sát

Việc mô hình hóa tài liệu trọng lực được tiến hành cho 8 tuyến chạy từ tây sang đông (hình 1). Các tuyến được thiết kế song song nhau với khoảng cách giữa chúng thay đổi trong khoảng từ 12 - 16km, đảm bảo độ chi tiết cần thiết để không bỏ sót các yếu tố cấu trúc chính trong vùng nghiên cứu khi liên kết kết quả tính toán trên tất cả các tuyến. Việc thiết lập mô hình ban đầu được tiến hành trên cơ sở phân tích tổng hợp các kết quả nghiên cứu liên quan đến cấu trúc môi trường dưới tuyến quan sát. Theo đó, các kết quả nghiên cứu về đứt gãy (C.Đ. Triều, 1995; N.Đ. Xuyên, 2009), đặc điểm địa chất (Bản đồ ĐCKS 1:1.000.000, 2004, các kết quả nghiên cứu về mật độ đất đá (Bùi Xuân Cung, 1983 - "Tình chất vật lý đá miền Nam Việt Nam", Báo cáo của Liên đoàn bản đồ địa chất) và

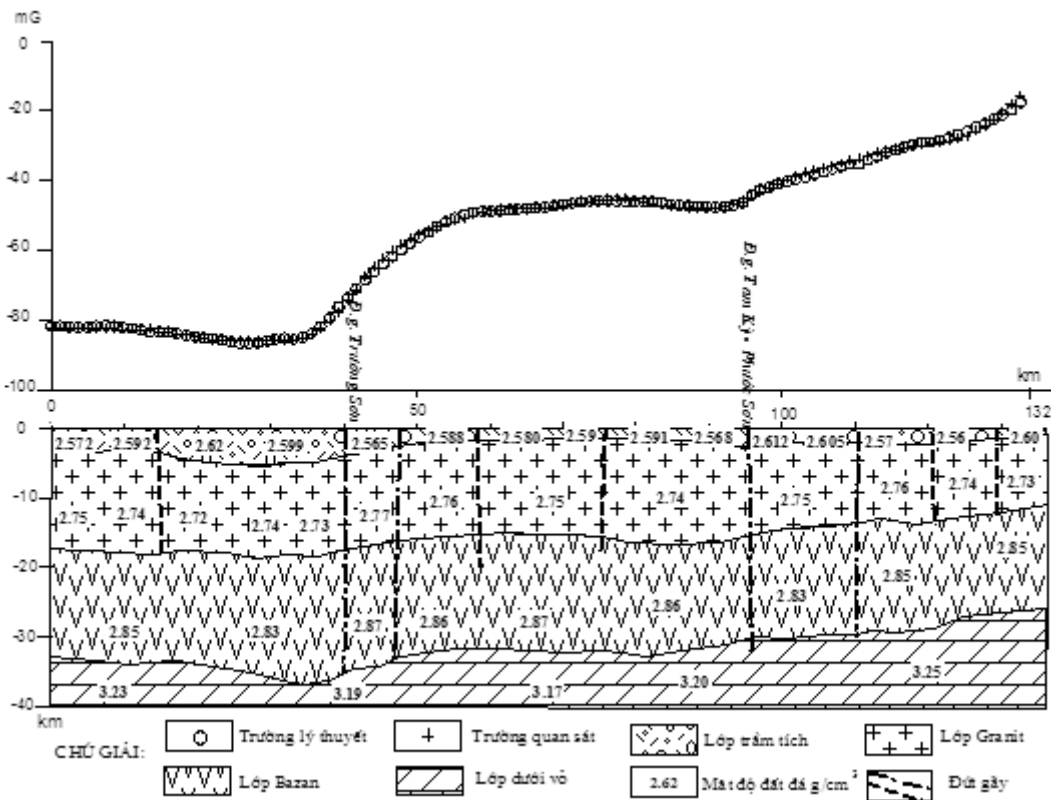
đương nhiên đặc điểm phân bố dị thường trọng lực đã được sử dụng. Quá trình tính lập sẽ được thực hiện ngay sau đó và cứ sau mỗi lần tính lập phép so sánh giữa đường cong tính lý thuyết với đường cong quan sát lại được thực hiện. Công việc này chỉ dừng lại khi độ lệch bình phương trung bình của phép so sánh nêu trên đủ nhỏ và mô hình tương ứng nhận được trong kết quả phản ánh phù hợp với cấu trúc của môi trường thực tế. Việc tính lập trong nghiên cứu này được thực hiện nhờ sử dụng cả hai phương án là đối thoại người - máy và cả phương án dùng thuật toán Marquardt cực tiểu hóa hàm mục tiêu. Trong đó phương án đối thoại người - máy vẫn là phương án chủ đạo, phương án quy hoạch cực tiểu hàm mục tiêu chỉ được sử dụng hạn chế, thường chỉ trong các lần tính lập lúc đầu, khi độ lệch giữa đường cong lý thuyết và quan sát còn khá lớn. Bằng cách trên đã lựa chọn được các mô hình cấu trúc vỏ Trái đất với độ lệch bình

phương trung bình đủ nhỏ từ 0,657 đến 0,994 và cũng tỏ ra phù hợp với cấu trúc của môi trường thực tế. Có thể thấy điều này trên mô hình cấu trúc dưới 3 tuyến quan sát đại diện nhận được từ kết quả tính toán dưới đây.

- Kết quả mô hình hóa tuyến T4:

Mô hình dưới tuyến T4 được xấp xỉ bằng 50 vật thể với tổng số đỉnh là 134 đỉnh cho cả 3 lớp là lớp trầm tích, lớp granit và lớp basalt. Mật độ của đất đá trong lớp trầm tích tại mô hình kết quả thay đổi trong khoảng 2,565-2,62g/cm<sup>3</sup>; trong lớp granit trong khoảng 2,72-2,77g/cm<sup>3</sup>; trong khoảng 2,83-2,87g/cm<sup>3</sup> là mật độ trong lớp basalt. Mật độ của đất đá trong phần dưới vỏ Trái Đất được lựa chọn trong khoảng giá trị 3,17-3,25g/cm<sup>3</sup>. Mô hình kết quả nhận được trong tính toán này cho đường cong trọng lực có độ lệch bình phương trung bình  $\epsilon=0,714$  so với đường cong quan sát (hình 2). Độ sâu đến bề mặt móng kết tinh đạt giá trị lớn nhất tại phần diện tích phía tây tỉnh Quảng Nam, cách

đầu mút tây của tuyến quan sát khoảng 27km. Bề mặt này nâng lên đến 1,3km tại khu vực gần giữa tuyến. Mặt Conrad chìm sâu nhất đến 18,3km tại vị trí cách đầu mút tây của tuyến khoảng 27-28km. Bề mặt này tuy có hình dạng lượn sóng tại một số vị trí nhưng nhìn chung nó có xu thế nâng dần ra phía bờ biển và đạt giá trị nhỏ hơn 13km tại khu vực cuối tuyến. Mặt Moho đạt giá trị sâu nhất đến 36,7km tại khu vực khoảng 35km so với đầu mút phía tây của tuyến. Tương tự như mặt Conrad, mặt Moho có xu thế nâng dần lên về phía bờ biển và đạt đến giá trị xấp xỉ 25km tại đầu mút phía đông của tuyến. Dọc theo tuyến T4, một số đứt gãy lớn cũng được phản ánh bằng sự nâng lên, hạ xuống nhanh với biên độ lớn của các bề mặt ranh giới trong vỏ. Theo đó tại các vùng đứt gãy Trường Sơn, đứt gãy Tam Kỳ - Phước Sơn, một vài đứt gãy khác gần về phía đông đều được phản ánh bằng sự thay đổi nhanh địa hình của các bề mặt ranh giới trong vỏ Trái Đất và giá trị gradien ngang lớn của dị thường trọng lực.

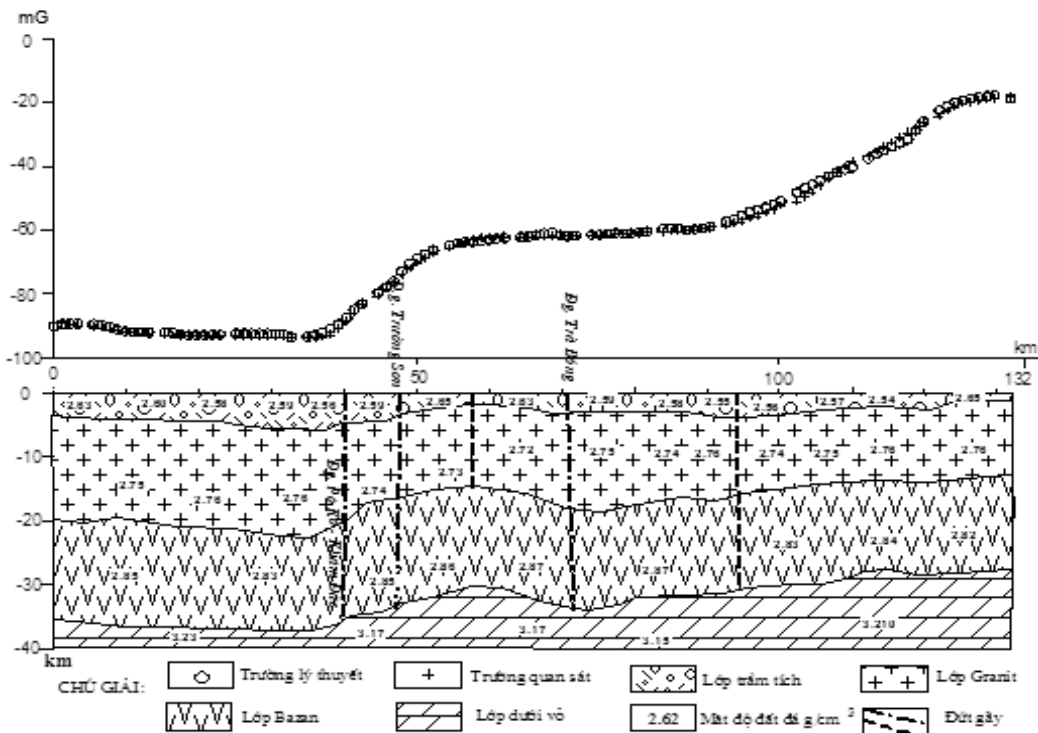


Hình 2. Mô hình cấu trúc mật độ vỏ Trái Đất dưới tuyến T4

- Kết quả mô hình hóa tuyến T5:

Tuyến T5 nằm về phía bắc thùy điện Sông Tranh 2 khoảng 6km, mô hình dưới tuyến quan sát được xấp xỉ bằng tập hợp 49 đa giác với tổng 121 đỉnh. Mật độ đất đá trong lớp trầm tích thay đổi trong khoảng từ 2,54g/cm<sup>3</sup> đến 2,65g/cm<sup>3</sup>; lớp granit có mật độ thay đổi trong khoảng 2,72-2,76g/cm<sup>3</sup>, trong khi mật độ lớp basalt có giá trị trong khoảng 2,82-2,87g/cm<sup>3</sup>. Mật độ lớp ngay dưới vỏ của tuyến này có giá trị trong khoảng 3,17-3,23g/cm<sup>3</sup>. Độ lệch bình phương trung bình giữa đường cong lý thuyết và quan sát  $\epsilon=0,936$ . Đặc điểm của mô hình tuyến này là cả 3 mặt ranh giới trong vỏ có hình dạng tương tự nhau. Từ đầu tuyến đến đoạn 35-38km dọc theo tuyến cả 3 bề mặt có xu thế chìm dần với chiều dày lớp trầm tích đạt giá trị lớn nhất đến 5,5km tại đoạn khoảng 30-38km (hình 3). Đoạn tiếp theo gần giữa tuyến phản ánh một vùng nâng khá mạnh với chiều dày lớp trầm tích chỉ còn khoảng 1,6km tại vị trí gần 60km trên tuyến. Tiếp theo về phía đông, mặt kết tinh tại một lần nữa chìm dần xuống đến độ sâu 3,8km tại xung quanh điểm 95km trên tuyến. Từ vị trí này đến cuối tuyến mặt kết tinh nâng dần lên tương đối đều đặn. Độ sâu

mặt Conrad đạt 19,5km tại đầu mút phía tây của tuyến và tăng dần đến gần 22,5km tại khu vực gần 35km trên tuyến. Từ vị trí này mặt Conrad nâng lên rất nhanh và tại khu vực xung quanh điểm 58km chỉ còn lại 14,5km. Từ sau điểm này mặt Conrad lại chìm nhanh đến độ sâu 18,6km tại xung quanh điểm 75km tạo thành một cấu tạo lõm lớn thứ hai trong lát cắt. Từ đây mặt Conrad nhìn chung có xu thế nâng lên tương đối đều và tại đoạn cuối tuyến chiều sâu chỉ còn xấp xỉ 13km. Xu thế thay đổi độ sâu bề mặt Moho cũng gần tương tự như mặt Conrad. Tại đầu tuyến phía tây, mặt Moho đạt giá trị 35,4km và tăng dần lên giá trị sâu nhất đến gần 37km tại đoạn 30-35km dọc theo tuyến. Từ vị trí này mặt Moho nâng lên rất nhanh và tại khu vực quanh điểm 57km trên tuyến độ sâu chỉ còn trên 30km. Sau điểm này mặt Moho lại chìm nhanh xuống độ sâu 33,8km tại đoạn 73-75km tạo thành một cấu tạo lõm kích thước khá lớn. Đoạn còn lại của tuyến, mặt Moho lại theo xu thế nâng lên và đạt đến giá trị dưới 27km tại khu vực cuối tuyến. Các đới đứt gãy lớn như đứt gãy kinh tuyến Pô Cô - Khâm Đức, Hưng Nhượng - Tà Vi, Trà Bồng đều phản ánh rõ bằng thay đổi địa hình các ranh giới cấu trúc với biên độ lớn.



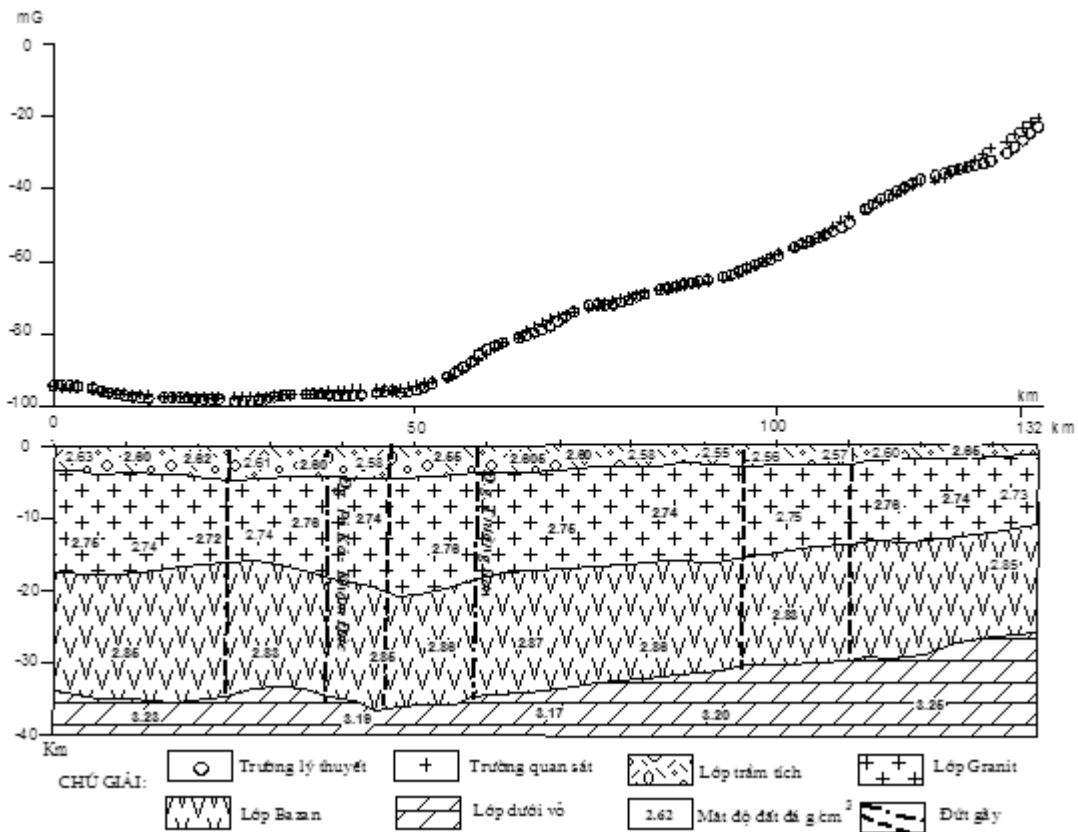
Hình 3. Mô hình cấu trúc mật độ vỏ Trái Đất dưới tuyến T5

- Kết quả mô hình hóa tuyến T6:

Phân bố về phía nam thùy điện Sông Tranh 2 khoảng 8km, tuyến T6 có mô hình được xấp xỉ bằng tập hợp 50 đa giác với tổng số đỉnh là 134 đỉnh. Mật độ đất đá trong lớp trầm tích thay đổi trong khoảng 2,55-2,65 g/cm<sup>3</sup>; lớp granit có mật độ từ 2,72 đến 2,76 g/cm<sup>3</sup>, trong khi mật độ lớp basalt thay đổi trong khoảng 2,83 - 2,87 g/cm<sup>3</sup>. Mật độ lớp ngay dưới vỏ có giá trị từ 3,17 đến 3,25g/cm<sup>3</sup>. Bề mặt móng kết tinh tạo thành vùng trũng có kích thước khá lớn với độ sâu tương đối bình ổn tại đoạn từ khoảng 20-57km trên tuyến (hình 4). Tiếp sau vùng này về phía đông bề mặt kết tinh nâng dần lên tương đối đều, ngoại trừ một số vị trí có sự dao động lên xuống nhưng giá trị

biên độ không lớn. Tại đoạn cuối tuyến ở phía đông độ sâu mặt kết tinh chỉ đạt dưới 1km.

Khác với mặt kết tinh, mặt Conrad từ đầu tuyến đạt giá trị độ sâu 17,4km, nâng dần khi tiến về phía đông và độ sâu chỉ còn 15,8km tại đoạn xung quanh điểm 28km trên tuyến. Từ sau điểm này, mặt Conrad chìm xuống rất nhanh và đạt đến độ sâu 20,5km tại đoạn 47-50km trên tuyến. Hiện tượng nâng nhanh bắt đầu từ đây đến vị trí điểm 59km, nơi có đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi chạy qua. Kể từ điểm này về phía đông mặt Conrad nâng lên khá đều, tuy vẫn có một số vị trí biên độ thay đổi đột ngột nhưng giá trị không lớn. Tại đoạn cuối tuyến độ sâu đến bề mặt này chỉ còn xấp xỉ 12km.



Hình 4. Mô hình cấu trúc mật độ vỏ Trái đất dưới tuyến T6

Phần lớn bề mặt Moho trong mô hình có hình dạng tương đồng với mặt Conrad, ngoại trừ phần đầu tuyến phía tây. Tại đây mặt Moho có độ sâu tăng dần về phía đông, ngược với bức tranh địa

hình của mặt Conrad, từ 33,8km đầu tuyến đến 35,3km tại xung quanh điểm 17km trên tuyến. Đoạn tiếp theo cho đến điểm 32km địa hình bề mặt Moho nâng lên rõ rệt nhưng với biên độ cũng

không lớn. Từ điểm này mặt Moho chìm xuống nhanh với biên độ lớn hơn và đạt đến độ sâu lớn nhất của tuyến này đến 36,4km tại vị trí xấp xỉ 45km trên tuyến. Bắt đầu từ đây về phía đông mặt Moho nâng lên tương đối đều, tuy vẫn có một số đoạn vẫn có sự nhảy bậc về độ sâu nhưng biên độ cũng không lớn lắm. Độ sâu nhỏ nhất của mặt Moho trên tuyến này cũng tìm được ở phần cuối tuyến với giá trị đạt xấp xỉ 26km. Nhìn chung thì bề mặt Conrad và Moho dưới tuyến T6 đã nâng lên tương đối so với địa hình các bề mặt này trên tuyến T5. Biên độ thay đổi độ sâu trong các bề mặt ranh giới tại đây cũng nhỏ hơn so với tuyến T5.

Có thể thấy, mô hình mật độ dưới các tuyến trọng lực vừa nêu trên một mặt phản ánh nhiều điểm phù hợp với các thông tin đã có về cấu trúc và phân bố các hệ thống đứt gãy trong vùng nghiên cứu, mặt khác mức độ chi tiết cao hơn của các mô hình này cũng phản ánh được nhiều yếu tố địa phương vốn vẫn chưa được phản ánh trong các nghiên cứu khu vực từ trước. Các mô hình trên các tuyến còn lại cũng đều phản ánh kết quả với chất lượng tương tự.

#### **4. Cấu trúc vỏ Trái Đất vùng Sông Tranh theo kết quả mô hình hóa tài liệu trọng lực**

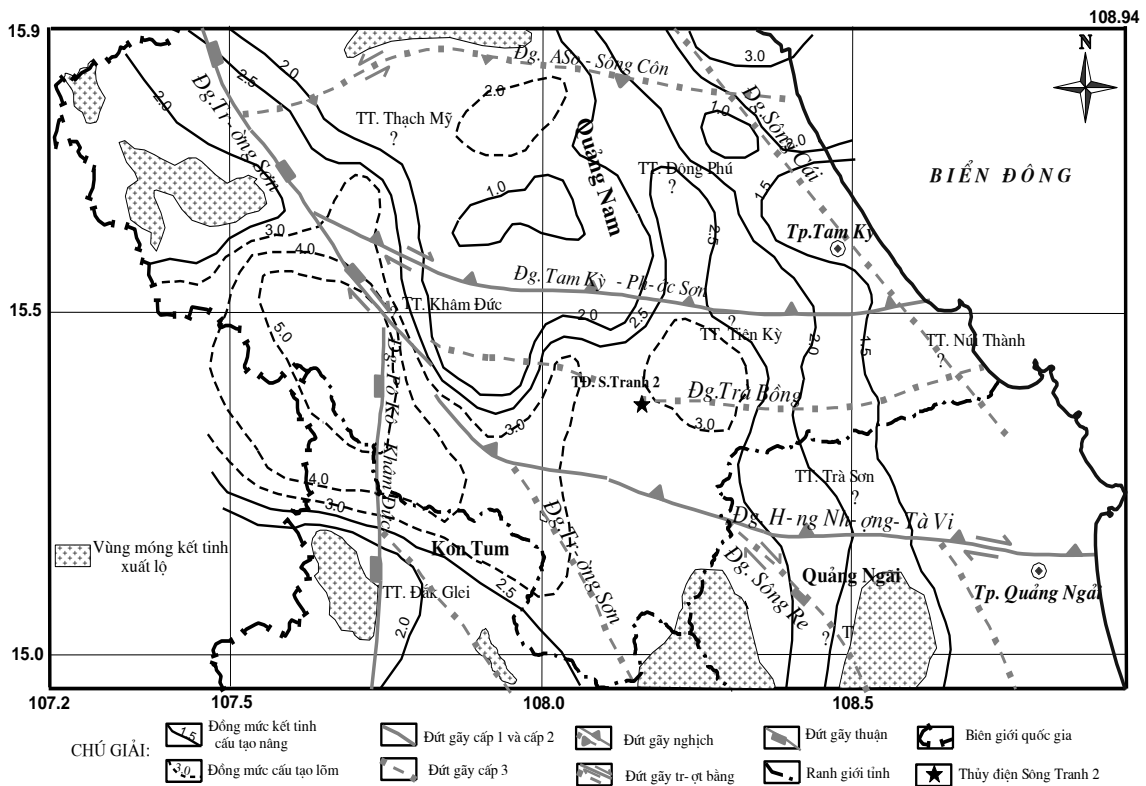
Liên kết kết quả tính toán trên tất cả các tuyến đã xây dựng được mô hình cấu trúc vỏ Trái Đất vùng nghiên cứu gồm bề mặt móng kết tinh, mặt Conrad và mặt Moho. Do các tuyến trọng lực phân bố tương đối dày nên nhiều yếu tố cấu trúc vỏ Trái Đất mang tính địa phương đã được phản ánh trong kết quả.

- Bề mặt móng kết tinh:

Bề mặt kết tinh trong vùng nghiên cứu được coi là mặt ranh giới giữa các lớp đất đá có mật độ thấp  $\leq 2,65\text{g/cm}^3$  ở phía trên và lớp granit phía dưới có mật độ thay đổi trong khoảng 2,72-2,77g/cm<sup>3</sup>. Về hình thái mặt kết tinh thì vùng từ ven rìa phía đông đới đứt gãy Trường Sơn ra phía biển phản ánh bình ổn hơn so với phần còn lại. Trên phần lớn diện tích ở vùng này gradien ngang của địa hình bề mặt kết tinh khá thấp (hình 5). Độ

sâu đến bề mặt này tại đây thay đổi trong khoảng từ <1km đến hơn 3km. Tại khu vực rìa phía đông của vùng nghiên cứu, các đường đồng mức địa hình mặt kết tinh có xu thế phồng theo hình dáng của đường bờ biển, nhất là ở đoạn từ thành phố Tam Kỳ xuống phía nam. Chiều sâu mặt kết tinh tại vùng này tăng dần từ ven rìa đông khoảng 1,5km đến 2,5km tại dải Đông Phú - Tiên Kỳ. Cũng trong dải rìa phía đông thì tại phần diện tích phía bắc thành phố Tam Kỳ mặt kết tinh có cấu trúc phức tạp hơn, bởi tại đây xuất hiện một số cấu tạo kích thước nhỏ mang tính địa phương. Đó là dải cấu tạo nâng Tam Kỳ có phương trục gần với tây bắc - đông nam và một cấu tạo lõm chìm sâu đến hơn 3km phân bố về phía bắc đới đứt gãy Aso - Sông Côn. Khu vực nằm về phía bắc thủy điện Sông Tranh 2 và kẹp giữa thị trấn Thạch Mỹ ở phía tây và thị trấn Đông Phú ở phía đông, phản ánh là một vùng nâng có diện tích khá lớn với chiều rộng đến xấp xỉ 40km, được bao quanh bằng đường đẳng sâu 2.0km. Cấu tạo này có trục chạy dài theo phương tây bắc - đông nam và vẫn chưa được khép kín về phía bắc. Tuy trong lòng của vùng nâng này còn phát hiện thêm 2 cấu tạo, một nâng đến độ sâu <1km và một lõm đến độ sâu >2km nhưng kích thước của chúng đều không lớn nên nhìn chung mặt kết tinh trong vùng nâng này tương đối bằng phẳng. Phần phía nam và cả dọc theo sườn phía đông của vùng nâng nêu trên, mặt kết tinh phản ánh là một vùng lún chìm, tuy biên độ sụt lún cũng không lớn. Sâu nhất đạt đến giá trị hơn 3 km là tại 2 cấu tạo lõm nằm về phía đông và phía tây của thủy điện Sông Tranh 2. Trong đó cấu tạo phía đông hình dạng tương đối đẳng thước có đường kính khoảng 14-15km, còn cấu tạo phía tây tạo thành một máng lõm có xu thế mở rộng khi tiến về phía đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi. Có thể thấy, trong vùng này các đứt gãy như đứt gãy Tam Kỳ - Phước Sơn, đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi đều được phản ánh bằng dấu hiệu biến dạng trên bề mặt kết tinh, tại đó gradien ngang có giá trị lớn hoặc các đường đồng mức có sự thay đổi hướng bất thường.





**Hình 5.** Sơ đồ cấu trúc mặt móng kết tinh vùng nghiên cứu

Khác với vùng phía đông, phần diện tích từ rìa đông đới đứt gãy Trường Sơn hất về phía tây, bề mặt kết tinh thay đổi nhanh về độ sâu. Nhìn chung, đây là vùng lún chìm có phương trục chủ đạo là tây bắc - đông nam. Có thể thấy, tại khu vực này đới đứt gãy Trường Sơn là ranh giới phản ánh rõ nét tương phản giữa vùng cấu trúc nâng ở phía đông bắc và lún chìm mạnh ở phía tây nam. Cấu tạo lún chìm chạy dọc theo sườn tây nam của đới đứt gãy Trường Sơn dài đến hơn 70km, cũng là cấu tạo chính của vùng này. Trục dài trong nhân có độ sâu >5km của cấu tạo lõm nêu trên cũng đạt đến gần 35km. Cấu tạo này được kết thúc bằng sự xuất hiện một cấu tạo nâng đến độ sâu <2km ở phía tây bắc của nó và chưa được khép kín về phía biên giới Việt - Lào (hình 5). Trong lòng cấu tạo nâng vừa nêu còn xuất hiện khối granit kích thước tương đối lớn (Bản đồ ĐCKS 1:1.000.000, 2004), có thể coi đây là vùng móng kết tinh xuất lộ. Cũng theo các tài liệu địa chất thì vùng nghiên cứu còn nhiều diện tích được phủ bởi các đá magma trên bề mặt (Bản đồ ĐCKS 1:1.000.000, 2004; P.C. Tiên, 1991), tuy nhiên móng kết tinh xuất lộ phổ biến hơn trong phạm vi vùng địa khối Kon Tum tại

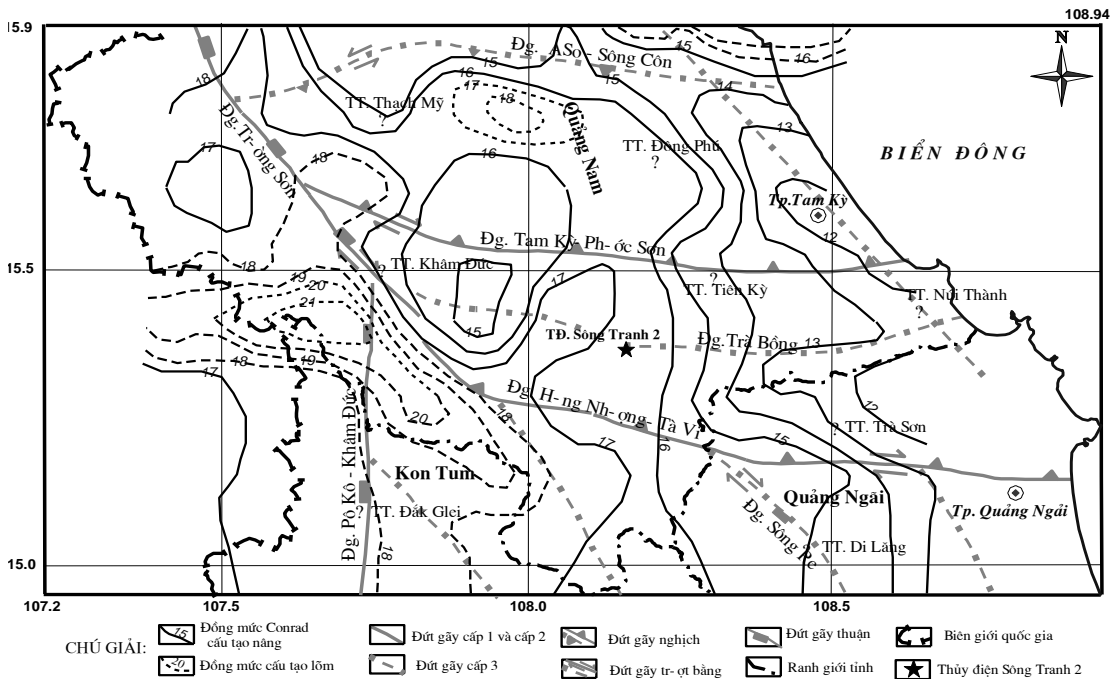
phần phía nam đới đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi. Vùng nằm về phía bắc đới đứt gãy này vẫn có nhiều vị trí xuất lộ các đá magma trên bề mặt có diện tích khá lớn, tuy nhiên nguồn gốc di sinh khiến chân của nhiều khối (tức vùng móng kết tinh xuất lộ) lại khá nhỏ. Tài liệu trọng lực sử dụng trong nghiên cứu này không đủ độ chi tiết cho ta khả năng xác định chính xác vị trí chân của nhiều khối trong vùng vừa nêu. Riêng tại phần về phía bắc của đới đứt gãy Aso - Sông Côn khi xem xét tài liệu trọng lực gồm trường dị thường quan sát, trường trung bình bán kính khác nhau, trường dị thường dư thì khối đá magma vẫn luôn được phản ánh bằng dị thường trong lực nâng, vậy khối này có thể coi là vùng móng kết tinh xuất lộ. Mặc dù đã cố gắng nhưng chắc chắn còn nhiều vị trí móng kết tinh xuất lộ vẫn chưa được xác định do các tài liệu hiện có chưa đủ độ chi tiết, trong khi nhiều vùng xuất lộ lại có kích thước nhỏ.

- Bề mặt Conrad:

Mặt Conrad là ranh giới giữa lớp granit phía trên và lớp basalt phía dưới, có mật độ trong vùng nghiên cứu trong khoảng từ 2,83 đến 2,88g/cm<sup>3</sup>.

Tại khu vực rìa phía đông của vùng nghiên cứu các đường đồng mức mặt Conrad không phỏng theo hình dáng của đường bờ biển như mặt kết tinh mà tại đây bắt gặp các cấu tạo nâng, hạ kích thước tương đối lớn (hình 6). Tại góc đông bắc vùng nghiên cứu là một cấu trúc lõm có phương á vĩ tuyến, dài khoảng 40km và chưa được khép kín về phía bắc. Chiều sâu trong nhân của cấu tạo này đạt hơn 17km. Tiếp theo về phía nam là cấu tạo nâng Tam Kỳ, có trục chạy dài theo phương tây bắc - đông nam và chưa được khép kín về phía bờ biển. Độ sâu trong nhân của cấu tạo này <12km. Như vậy, tại khu vực vừa nêu hình thái mặt Conrad tương đồng với mặt Kết tinh. Tiếp theo về phía nam, nằm giữa đứt gãy Trà Bồng và đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi, xuất hiện tiếp một vùng nâng trên mặt Conrad. Không phỏng theo đường bờ như các đường đồng mức trên mặt kết tinh, cấu tạo này có xu hướng ngả về phương á vĩ tuyến với chiều sâu trong nhân <12km. Đoạn còn lại ở phía nam trong dải này các đường đồng mức lại có xu thế mô phỏng hình dạng của đường bờ biển. Sâu hơn vào đất liền, dọc theo dải Đông Phú - Tiến Kỳ các đường đồng mức với độ sâu 14-16km có xu thế kéo dài theo phương kinh tuyến. Tuy vậy khi qua các đới đứt gãy như Tam Kỳ - Phước Sơn, Hưng Nhượng - Tà Vi chúng thay đổi hướng tương đối rõ, dấu hiệu phản ánh hiện tượng biến dạng mạnh

trên bề mặt Conrad. Từ dải này đến đới đứt gãy Trường Sơn bắt gặp một số cấu tạo có xu thế hơi ngả về phương đông bắc - tây nam. Tại khu vực trung tâm, nằm về phía đông thị trấn Khâm Đức là một cấu trúc nâng đến <15km trong nhân với đường viền phía ngoài là 16km. Cấu trúc này có trục dài đạt gần 40km với phần lớn diện tích trong lòng nó có địa hình khá bằng phẳng. Liên hệ với cấu trúc trên về phía bắc là một khối lõm có phương gần tây bắc - đông nam, dài hơn 20km với nhân của nó nằm ở độ sâu >18km. Nằm kẹp giữa khối nâng này với dải đồng mức kinh tuyến ở phía đông là một vùng lõm phương đông bắc - tây nam, có xu hướng mở rộng về phía đứt gãy Trường Sơn. Độ sâu mặt Conrad trong khối này >17km. Phần còn lại của vùng nghiên cứu nằm về phía tây nam đới đứt gãy Trường Sơn được phản ánh chủ yếu là vùng lún chìm mạnh, có phương tây bắc - đông nam, tương tự như phương đã gặp trong bề mặt kết tinh. Độ sâu trong nhân của khối lún chìm này đạt đến hơn 21km. Đây cũng là độ sâu lớn nhất của mặt Conrad trong vùng nghiên cứu. Nhìn chung, mặt Conrad vùng nghiên cứu có cấu trúc khá phức tạp, nhiều đứt gãy, không chỉ đứt gãy lớn như Tam Kỳ - Phước Sơn, Hưng Nhượng - Tà Vi mà cả các đứt gãy bậc cao hơn như Trà Bồng, Aso - Sông Côn cũng được phản ánh bằng dấu hiệu biến dạng mạnh địa hình của bề mặt Conrad tại nhiều vị trí.

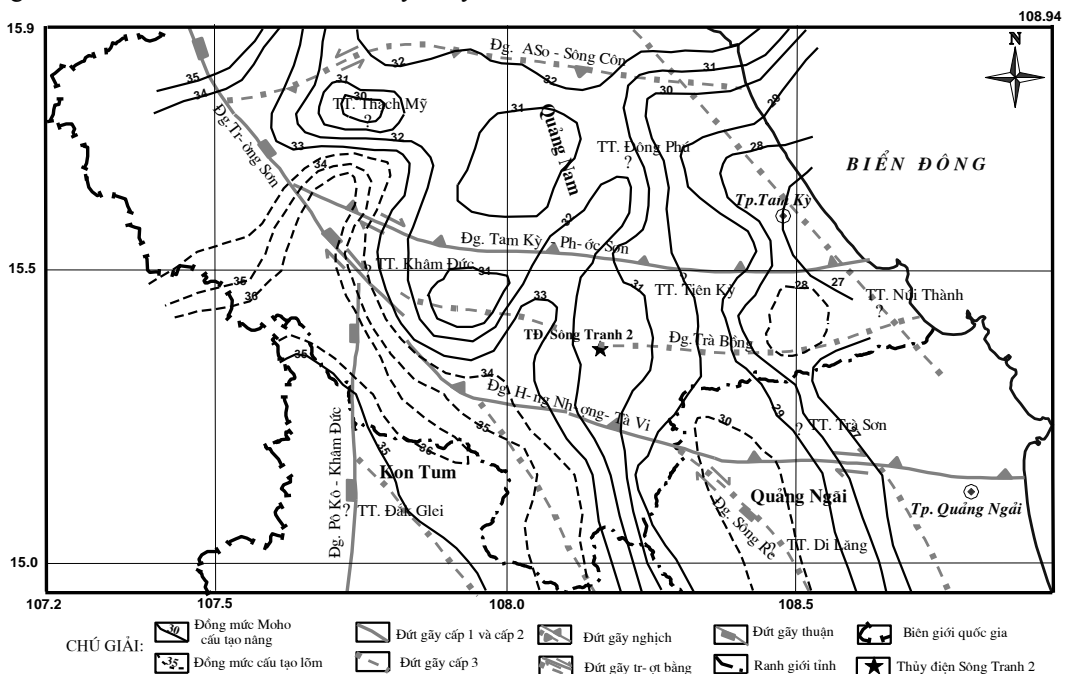


Hình 6. Sơ đồ cấu trúc mặt Conrad vùng nghiên cứu

- Bề mặt Moho:

Mặt Moho là ranh giới giữa vỏ Trái Đất và phần thượng manti, cũng là ranh giới có mật độ thay đổi khá lớn. Trong nghiên cứu này, mật độ đất đá của lớp dưới vỏ Trái Đất được lựa chọn thay đổi trong khoảng từ 3,17 đến 3,25g/cm<sup>3</sup>. Kết quả mô hình hóa cho thấy bề mặt Moho có cấu trúc phức tạp, đạt độ sâu lớn nhất đến hơn 36km tại khu vực gần biên giới Việt-Lào và nâng lên đến 26-27km tại các vùng gần phía biển (hình 7). Từ dải Đông Phú - Tiên Kỳ ra phía biển các đường đồng mức của mặt Moho nhìn chung chạy theo phương chủ đạo là kinh tuyến. Tuy vậy, tại đây vẫn có một số khối cấu trúc lồi, lõm phản ánh đặc điểm mang tính địa phương. Khu vực về phía bắc thị trấn Đông Phú và thành phố Tam Kỳ phản ánh là một khối cấu trúc nâng có phương gần tây bắc - đông nam có độ sâu khoảng 31km ở phần phía bắc và nâng lên đến 27km tại khu vực Tam Kỳ. Xu thế nâng của khối cấu trúc này cũng đã bắt gặp trong mặt Conrad như nêu ở phần trên. Tại khu vực phía tây thị trấn Núi Thành xác định được một cấu tạo lõm, độ sâu trong nhân đạt >28km, có kích thước tương đối nhỏ và hình dạng tương đối đẳng thước. Tại khu vực đứt gãy Sông Re cũng phát hiện được khối cấu tạo lõm với độ sâu trong nhân đến hơn 30km. Cấu trúc này chạy dài

theo phương á kinh tuyến và chưa được khép kín về phía nam, biên độ lún chìm cũng không lớn. Vùng tiếp theo về phía tây cũng có hình thái gần như mặt Conrad. Tại khu vực bao quanh tam giác Thạch Mỹ - Khâm Đức - Đông Phú mặt Moho phản ánh bằng khối cấu trúc nâng với phương trục chủ đạo hơi nghiêng về đông bắc - tây nam. Trong lòng khối cấu trúc này phát hiện được 3 cấu tạo lồi, khối tại khu vực Thạch Mỹ có độ sâu trong nhân <30km, hai cấu tạo còn lại có độ sâu <31km. Vùng cấu tạo lõm chạy từ phía nam thị trấn Đông Phú bao phía ngoài bằng đường đẳng sâu 27km, kéo dài và mở rộng dần về phía tây nam đến khi gặp đứt gãy Trường Sơn, tại đó mặt Moho đạt đến độ sâu >34km. Phần còn lại nằm về phía tây nam đứt gãy Trường Sơn là vùng lún chìm khá nhanh từ 33km ở ven rìa đến hơn 36km tại khu vực trung tâm khối cấu trúc. Phần phía nam của cấu tạo này có trục chạy theo phương tây bắc - đông nam nhưng đến vị trí phía tây Khâm Đức trục này có xu thế ngả về phương đông bắc - tây nam. Đáng lưu ý là bề mặt Moho không có dấu hiệu biến dạng mạnh dọc theo đới đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi kể từ đoạn phía nam thủy điện Sông Tranh 2 ra phía bờ biển. Dấu hiệu trên cho thấy, đới đứt gãy này tại đoạn vừa nêu có khả năng không xuyên cắt đến hết vỏ Trái đất.



Hình 7. Sơ đồ cấu trúc mặt Moho vùng nghiên cứu

## 5. Kết luận

Thuật toán mô hình hóa 2,5D tải trọng lực với việc sử dụng tập hợp đa giác trong giải bài toán thuận không phải là mới nhưng hiện nay vẫn được sử dụng rộng rãi và hiệu quả ở nhiều nước. Bằng cách tận dụng tối đa các thông tin đã có về cấu trúc để xây dựng mô hình ban đầu và tính toán được thực hiện chủ yếu bằng đối thoại người - máy, thuật toán đã cho phép tìm được các mô hình cấu trúc mật độ vỏ Trái Đất phù hợp với điều kiện thực tế vùng nghiên cứu.

Dựa trên kết quả tính toán đã xây dựng được sơ đồ các bề mặt ranh giới cơ bản trong vỏ Trái Đất. Theo đó, nhiều yếu tố cấu trúc mang tính địa phương xuất hiện có thể coi là những thông tin mới về cấu trúc trong vùng nghiên cứu. Đáng lưu ý là vùng lún chìm sâu nhất của mặt móng kết tinh lại là vùng gần biên giới Việt - Lào, ngược với kết quả nghiên cứu trước đây cho rằng vùng lún chìm phân bố tại nửa phần diện tích phía ra bờ biển.

Trên bề mặt các ranh giới cấu trúc, các đứt gãy lớn cũng được phản ánh chạy theo ranh giới các đơn vị cấu trúc, hoặc bằng dấu hiệu biến dạng trên địa hình các bề mặt này. Tuy nhiên đứt gãy Hưng Nhượng - Tà Vi tại đoạn phía đông phản ánh không thật rõ trên bề mặt Moho. Dấu hiệu vừa nêu phản ánh chiều sâu của đứt gãy này có thể không xuyên cắt đến hết vỏ Trái Đất tại đoạn nêu trên.

Kết quả nhận được trong nghiên cứu này cũng cho thấy khả năng đạt được các sơ đồ cấu trúc vỏ Trái Đất lãnh thổ Việt Nam ở mức chi tiết hơn các nghiên cứu trước bằng sử dụng tải trọng lực hiện có ở tỉ lệ 1:500 000 là có thể thực hiện được. Nếu các nghiên cứu như thế được triển khai lại có thêm được một khối lượng hạn chế các khảo sát nghiên cứu mang tính định lượng hơn như địa chấn dò sâu, từ tellua thì độ tin cậy sẽ tăng rất đáng kể.

## Lời cảm ơn

Tập thể tác giả chân thành cảm ơn đề tài cấp nhà nước: “Nghiên cứu tác động địa chấn kiến tạo đến sự ổn định công trình thủy điện Sông Tranh 2, khu vực Bắc Trà My, tỉnh Quảng Nam” đã tài trợ cho nghiên cứu này.

## Tài liệu dẫn

Trịnh Việt Bắc, Đinh Văn Toàn, 1996: Một số kết quả nghiên cứu cấu trúc địa chất sâu lãnh thổ miền Bắc Việt Nam bằng

phương pháp giải bài toán ngược trọng lực 2,5 chiều. Nxb. KHKT. Địa chất tài nguyên, V1, 206-215.

Bản đồ Địa chất và khoáng sản Việt Nam tỷ lệ 1: 1.000.000. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam xuất bản 2004. Lưu trữ Địa chất.

Bulax E. G., V. A. Pjanisun, M. N. Markova, 1976: Áp dụng phương pháp cực tiểu hoá hàm số để giải bài toán cấu trúc địa chất theo tải trọng lực. Nxb. Nauka Dumka, Kiev 1976, 218 tr (tiếng Nga).

Lại Hợp Phòng, Trịnh Việt Bắc, Trần Anh Vũ, 2009: Một số kết quả xây dựng mô hình mật độ vỏ Trái Đất miền Bắc Việt Nam bằng bài toán 2,5 chiều trọng lực, kết hợp sử dụng tải trọng địa chấn dò sâu, Tạp chí CKHvĐT, T.31, (4CD), 390-396.

Bùi Công Quế, Nguyễn Kim Lạp, 1992: Cấu trúc sâu vỏ Trái đất và tính địa chấn lãnh thổ Việt Nam. Xuất bản Viện Khoa học Việt Nam, 148tr.

Đinh Văn Toàn, Steven Harder, Trịnh Việt Bắc, Lại Hợp Phòng, Đoàn Văn Tuyền, Trần Anh Vũ, Nguyễn Thị Hồng Quang, 2010: Cấu trúc sâu vỏ Quả đất Miền Bắc Việt Nam trên cơ sở sử dụng kết hợp tải trọng địa chấn dò sâu và trọng lực. Tuyển tập HNKH 35 năm Viện KH&CNVN 1975-2010, Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Quyển Khoa học Trái đất, 167-171.

Phan Cu Tien (Editor in Chief ), 1991: Geology of Cambodia, Laos and Vietnam. Published by the Geological Survey of Vietnam, Hanoi - 1991,157pp.

Cao Đình Triều, 1995: New results about structure of the Earth's crust in Vietnam. J. of Geology, Series B, No. 5-6, 331-339.

Manik Talwani, J. Lamar Worzel, and Mark Landisman, 1959: Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino sunmarine fracture zone. J. of Geophysical Research, V. 64, No 1, 49-59.

William H. Press et.all, 1990: Numerical Recipes. Cambridge University Press, 523-528.

I.J. Won and Michael Bevis, 1987: Computing the gravitational and magnetic anomalies due to polygon: algorithms and Fortran subroutines. J. of Geophysics, V.52, No.2, 232-238.

Nguyễn Đình Xuyên, 2009. Động đất lãnh thổ Việt Nam. Tuyển tập kỷ niệm 10 năm hợp tác nghiên cứu khoa học địa chất Việt Nam - Ba Lan: “Địa động lực Kainozoi Miền Bắc Việt nam”. Nxb. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 165-177.