

VỀ PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HOÁ TRONG NGHIÊN CỨU ĐỊA ĐỘNG LỰC

TRẦN CẢNH

I. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, nhiều phương pháp nghiên cứu mới trong lĩnh vực khoa học Trái Đất đã được triển khai nghiên cứu nhằm tìm hiểu cơ chế thành tạo và quá trình phát triển kiến tạo của đới đứt gãy Sông Hồng và vùng lân cận, nơi mà từ mười năm gần đây được coi là "điểm nóng" hấp dẫn không chỉ các nhà nghiên cứu thuộc lĩnh vực khoa học Trái Đất của nước ta, mà còn lôi cuốn sự quan tâm cả của các nhà khoa học thế giới nữa. Đó là các phương pháp địa chất, địa động lực, phương pháp vật lý kiến tạo, khôi phục trường ứng suất Tân kiến tạo, nghiên cứu thành phần vật chất, viễn thám, phân tích tuổi tuyệt đối, các phương pháp phân tích xử lý hiện đại các trường địa vật lý trọng lực và từ, các phân tích cổ từ, phát triển thêm các trạm ghi địa chấn chu kỳ dài, các trạm ghi gia tốc dao động bề mặt, các trạm ghi khí radon... [1]. Những kết quả nghiên cứu đã được báo cáo trong nhiều hội nghị quốc tế và công bố trên nhiều tạp chí trong và ngoài nước.

Một hướng nghiên cứu mới trong lĩnh vực khoa học Trái Đất trong mười năm gần đây là tiến hành khôi phục quá trình phát triển kiến tạo của vùng cần nghiên cứu bằng mô hình toán-lý 3 chiều cho các quá trình biến dạng của vỏ Trái Đất trên vùng này. Ở đây, các giai đoạn kiến tạo được khôi phục, không phải bằng các thí nghiệm trong phòng với các điều kiện về vật liệu đất đá, nhiệt độ, áp suất, lực tác động tương tự với điều kiện của vỏ và Manti Trái Đất như trước đây, mà bằng mô hình toán-lý với các tham số địa chất, địa vật lý đã được thu thập nhiều năm trên vùng nghiên cứu.

Theo hướng này, chúng tôi đã nghiên cứu khả năng áp dụng của một số phương pháp mô hình số trong việc khôi phục quá trình phát triển kiến tạo của vỏ Trái Đất. Qua một thời gian nghiên cứu các công trình đã công bố liên quan đến hướng trên,

chúng tôi nhận thấy *phương pháp yếu tố hữu hạn (finite - element method)* [7, 9, 11, 12, 14] mà từ lâu đã được ứng dụng trong vật lý, cơ học, khoa học vật liệu và địa vật lý đang được sử dụng thuận lợi và có hiệu quả cao trong nghiên cứu các vấn đề thuộc cơ chế phát triển kiến tạo, đánh giá mức độ biến dạng của các giai đoạn phát triển địa động lực khác nhau trong thạch quyển. Bởi vậy trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu những khái niệm cơ bản và một số kết quả ứng dụng của phương pháp này trong nghiên cứu địa động lực.

II. NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN

Phương pháp yếu tố hữu hạn (viết tắt FEM) dựa trên cơ sở sau : mức độ biến dạng của một hệ thống (hoặc một thể địa chất) dưới tác động của một lực nào đó mang tính cộng được. Nghĩa là cả hệ thống được quan niệm là tổng số hữu hạn các các phần nhỏ của hệ thống này. Như vậy, một hệ thống có thể chia thành nhiều phần nhỏ gọi là yếu tố bởi các đường thẳng hoặc mặt phẳng. Các yếu tố của hệ thống được liên kết với nhau qua các nút giao nhau giữa các yếu tố. Đặc trưng chuyển dịch (biến dạng) của cả hệ thống sẽ được xác định bởi tổng các đặc trưng chuyển dịch tại các điểm nút này. Sự chuyển dịch tại một điểm bất kỳ bên trong mỗi yếu tố thuộc hệ thống sẽ là hàm phụ thuộc vào độ chuyển dịch của các nút này. Ví dụ như mỗi yếu tố của hệ thống đặc trưng bằng hàm phản ảnh trạng thái ứng suất tách giãn hay ứng suất nén ép.

Về mặt vật lý, phương pháp FEM áp dụng nguyên lý về thực hiện công của hệ thống. Công này phản ảnh mối tương quan giữa lực tác động vào hệ thống và quãng đường chuyển dịch của nó. Ở đây "ngoại công" do lực tác động từ phía ngoài và "nội công" do ứng suất nén từ trong hệ sẽ tuân theo nguyên lý cân bằng. Một khái niệm cơ bản trong FEM là khái niệm ma trận độ cứng (Stiff

matrix). Nếu một hệ thống được chia thành N yếu tố, thì ma trận này gồm $N \times N$ số hạng và chứa các đại lượng (các đặc điểm hình học và vật lý) phản ánh đặc điểm địa động lực của hệ thống thực mà được xấp xỉ bằng mô hình chứa nhiều yếu tố. Ma trận này cho phép tìm nghiệm của hệ phương trình đạo hàm riêng phản ánh mối tương quan giữa mức độ biến dạng và lực nén ép tác dụng lên hệ thống.

Mối quan hệ tổng quát giữa ứng suất nén σ_{ij} và ứng suất tách giãn ε_{kl} tuân theo định luật Húc và được biểu diễn bằng phương trình [5, 7]:

$$\sigma_{ij} = C_{ij\ kl} \varepsilon_{kl} \quad (1)$$

ở đây ma trận $C_{ij\ kl}$ chứa các tham số đàn hồi.

Trong môi trường đồng nhất và đẳng hướng, có quan hệ:

$$\sigma_{ij} = \lambda \theta \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

với λ và μ là hằng số Lamé.

Đối với quá trình địa kiến tạo, các đặc trưng của quá trình biến dạng và phá huỷ là hàm của thời gian. Bởi vậy, mối liên hệ giữa mức độ biến dạng (deformation rate) ε và ứng suất nén ép σ là không tuyến tính và được biểu diễn bằng công thức tổng quát:

$$\varepsilon = A \sigma^n t^m \quad (3)$$

với A là tham số vật chất (đặc trưng cho thành phần vật chất của đất đá); m đặc trưng của thời gian, nằm trong khoảng -1 đến 0 ; n là tham số đặc trưng cho các loại đất đá khác nhau, ví dụ: đá carbon $n = 2,1$, đá quaczit $n = 6,5$.

Như đã biết, các quá trình địa kiến tạo thường diễn ra hết sức chậm và kéo dài hàng tr.n. Để nghiên cứu chúng, các nhà nghiên cứu mô hình của các quá trình kiến tạo đều phải dựa trên một số quy luật vật lý và đưa vào các giả thuyết ban đầu (các điều kiện biên cho bài toán) để mô phỏng (simulation) một quá trình kiến tạo, mà trong đó chỉ xây dựng được mô hình xấp xỉ có thể phản ánh gần đúng nhất một số đặc điểm kiến tạo và cấu trúc địa chất cần quan tâm, mà do quá trình kiến tạo trước đây còn để lại dấu ấn trong thời gian hiện tại. Chẳng hạn như đặc điểm của chuyển động thẳng đứng còn được phản ánh trên bề mặt địa hình hiện đại; đặc điểm của quá trình tách giãn hoặc nén ép được phản ánh trên trường ứng suất trong các giai đoạn Tân kiến tạo, mà các nhà nghiên cứu vật lý kiến tạo khôi phục lại được.

Trong nghiên cứu mô hình kiến tạo, Eisbacher (1996) đã sử dụng biểu thức [2]:

$$\varepsilon = A \sigma \quad (4)$$

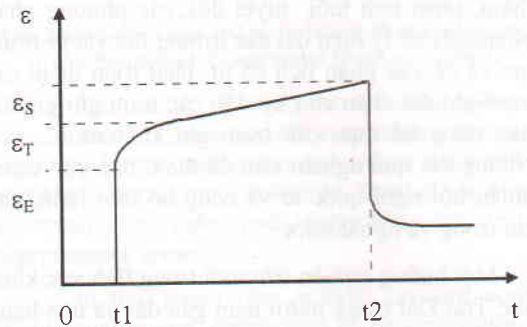
$$A = 1/2\eta \quad (5)$$

với η là độ nhớt.

Khi giả thiết quá trình kiến tạo tại các đới rift diễn ra tuân theo quy luật vận chuyển chất lỏng của Newton và định luật rã (creep law), sự biến dạng của đất đá phụ thuộc vào thời gian lực tác dụng và quá trình biến dạng được mô tả trên hình 1. Tại thời điểm t_1 khi lực tác động vào đất đá sẽ xảy ra biến dạng đàn hồi (ε_E), sau đó là quá trình quá độ (ε_T); khi lực tác động là hằng số sẽ xảy ra quá trình rã (ε_S), tiếp theo lực tác động kéo dài đến thời điểm t_2 , trạng thái đất đá chuyển đến đàn hồi còn dư. Từ quy luật biến dạng này, người ta đã thiết lập mối quan hệ giữa các tham số biến dạng bằng phương trình sau:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_E + \varepsilon_T + \varepsilon_S(t) \quad (6)$$

trong đó: ε_E - hệ số biến dạng (hsbd) đàn hồi, ε_T - hsbd dẻo và ε_S - hsbd rã.



Hình 1. Đặc điểm biến dạng của đất đá phụ thuộc thời gian (theo định luật chất lỏng Newton)

Các biểu thức (1) - (6) là những phương trình cơ bản của FEM, áp dụng nghiên cứu các quá trình địa động lực. Nội dung thuật toán và quy trình kỹ thuật ứng dụng đã được thực hiện trong phần mềm ABAQUS do Hibbit, Karsson và Sorensen xây dựng [8].

III. MỘT SỐ ỨNG DỤNG

Việc tái tạo các quá trình kiến tạo thông qua mô hình số có những ưu điểm là có thể đưa nhiều tham số địa chất, địa vật lý đã có về đối tượng

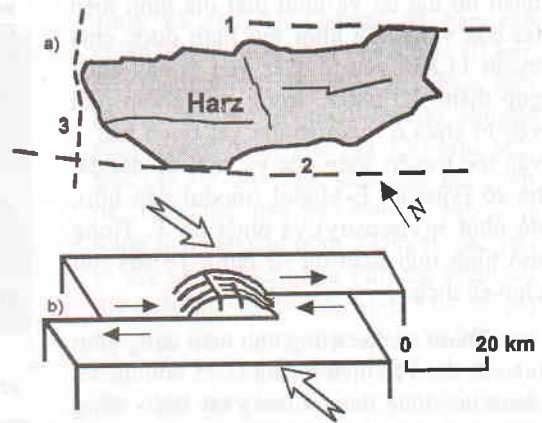
nghiên cứu trong tính toán mô hình, thời gian nhận được kết quả nhanh và chi phí cho cơ sở vật chất ít tốn kém. Bởi vậy, trong những năm gần đây, một trong các hướng nghiên cứu được nhiều nhà địa chất, kiến tạo quan tâm là áp dụng phương pháp yếu tố hữu hạn trong nghiên cứu các quá trình địa động lực. Fullsach (1995) đã xây dựng mô hình biến dạng thạch quyển trong đó có lý giải quy luật của các quá trình bào mòn và lắng đọng trầm tích [4]. Ellis và nnk (1995) đã xác định ảnh hưởng của quá trình biến dạng lớp vỏ Trái Đất đến các đặc điểm động hình học của thạch quyển Manti [3]. Mô hình quá trình phát triển kiến tạo của đới rift nam Kenya đã được Goelke và Mechie tính toán bằng FEM vào năm 1994 [7]. Quá trình phát triển của đới rift này được đặc trưng bởi ứng suất tách ngang, độ nhót của lớp dưới vỏ cũng như phân bố mật độ đất đá của các lớp vỏ Trái Đất. Từ các kết quả nghiên cứu địa chất, địa vật lý đã có, các tác giả đã xác định độ nhót của lớp vỏ biến động trong khoảng 10^{21} đến 10^{11} Pa.s và trường ứng suất ngoài tác động lên đới rift từ 5 đến 40 MPa trong quá trình phát triển của nó. Kết quả này phù hợp kết quả nghiên cứu mô hình vật chất nghiên cứu trong phòng thí nghiệm. Bằng phần mềm ABAQUS, các tác giả J. Melzer và G. Gabriel [5, 6, 10] đã xây dựng mô hình phát triển địa động lực 3 chiều cho địa khối Harz nằm ở trung tâm châu Âu.

*-. Dưới đây chúng tôi giới thiệu tóm tắt một số kết quả nghiên cứu của các tác giả nói trên. Địa khối Harz thuộc trung tâm châu Âu, cách Berlin (CHLB Đức) 250 km về phía tây nam và thuộc dải cao nguyên chạy từ miền trung nước Pháp, qua miền tây và trung nước Đức đến sông Elbe và tiếp đến trung phần Ba Lan [13]. Các nhà kiến tạo nghiên cứu vùng này đưa ra giả thuyết : vùng cao nguyên Harz được hình thành từ quá trình biến dạng vỏ Trái Đất dưới tác động va chạm của hai phần mảng phía tây bắc và phía đông nam của lục địa châu Âu như trên hình 2.

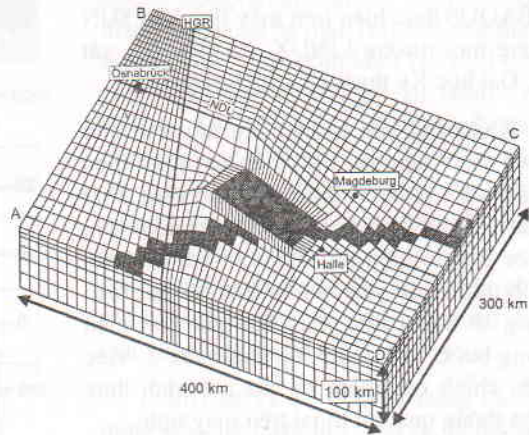
Với giả thiết này, J. Melzer và G. Gabriel đã thực hiện mô hình biến dạng 3 chiều của vùng như sau :

- Lập mô hình tính toán cho vùng nghiên cứu là một khối hộp có kích thước 300 km theo phương bắc nam và 400 km theo phương đông tây, chiều cao của khối là 100 km (hình 3).

- Thu thập các thông tin về đặc điểm địa chất, kiến tạo và các tham số vật lý đã có trên vùng nghiên cứu và lân cận.



Hình 2. Giả thiết về cơ chế phát triển kiến tạo địa khối Harz : a) Bình đồ hiện đại của khối Harz và vùng lân cận, b) Mô hình kiến tạo



Hình 3. Sơ đồ mô hình địa khối Harz bằng các yếu tố 3 chiều

A, B, C, D - toạ độ tính, • - địa danh, trục cấu tạo B-N, đứt gãy Bắc Đức, vùng thẳm là các yếu tố địa chất biến dạng mạnh

- Phân chia vỏ Trái Đất vùng nghiên cứu (khối mô hình) thành 6 lớp đất đá theo chiều sâu từ mặt đất đến Manti thượng tương ứng là : 0-8, 8-15, 15-30, 30-50, 50-75 và 75-100 km với mục đích nghiên cứu các ảnh hưởng biến dạng của các cấu trúc khu vực. Đồng thời, để lưu ý đến các đặc điểm của các cấu trúc địa phương đã đưa vào trong các lớp kể trên, các thể địa chất kích thước nhỏ như các khối xâm nhập đá granit, các đới sụt dạng trũng châu (mulde) hay địa hào (graben) chứa đá trầm tích trẻ được xác định theo tài liệu địa chất.

- Phân chia bề mặt địa hình ra các phần nhỏ - các yếu tố. Việc phân chia có lưu ý đến đặc điểm

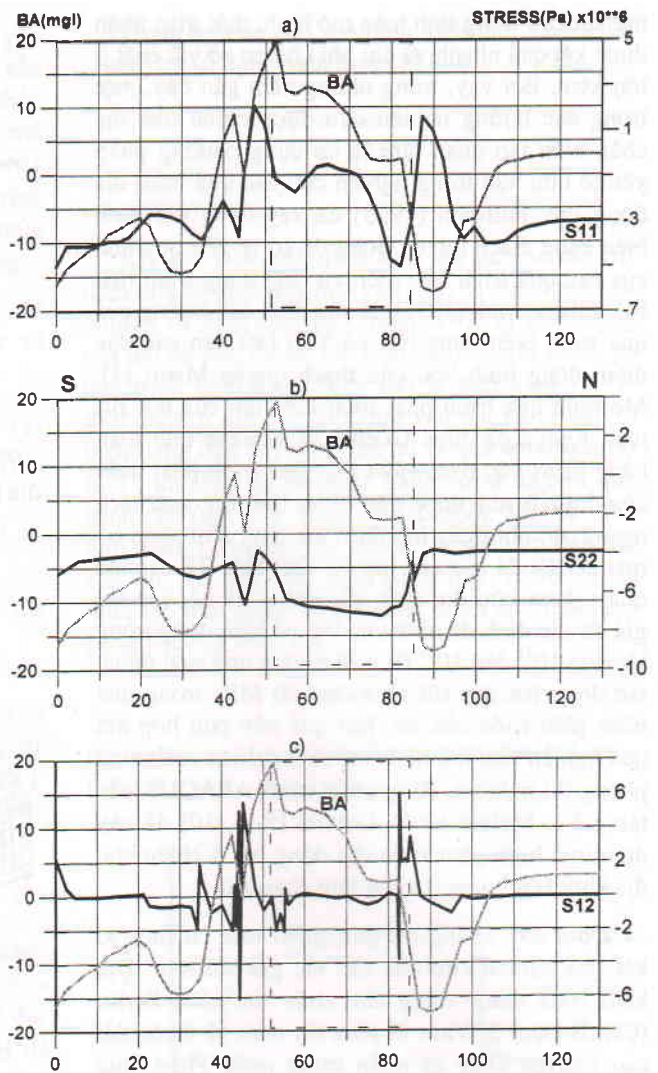
phân bố đất đá và hình thái địa hình hiện tại của vùng. Cả khối mô hình được chia thành 11.858 yếu tố. Các yếu tố này được gộp thành 20 nhóm, trong mỗi nhóm mỗi yếu tố chứa 6 tham số địa vật lý cơ bản : vận tốc truyền sóng dọc v_p , mật độ đất đá, hệ số Poisson, E-Modul (modul đàn hồi), độ nhớt η (viscosity) và nhiệt độ T. Trong mô hình tính toán đã sử dụng 16.468 nút chuyển dịch.

- Tham số đặc trưng cho biến dạng gồm biên độ chuyển dịch ngang là 75 km, lực va chạm tác động theo phương tây bắc - đông nam (hình 2b); Thời gian của quá trình biến dạng 30 tr.n, độ nhớt của lớp Manti thượng = 10^{25} Pa.s.

- Các tính toán bằng phần mềm ABAQUS thực hiện trên máy tính loại SUN trong môi trường LINUX, tại viện Địa vật lý, Đại học Kỹ thuật Clausthal (Đức).

Khả năng của phần mềm nói trên cho phép thực hiện các tính toán mô hình theo hai bước : bước 1, thực hiện mô hình khái quát với các kích thước của các yếu tố lớn, bước 2 thực hiện mô hình chi tiết hơn với kích thước các yếu tố nhỏ hơn, số nút biến dạng sẽ nhiều hơn. Các kết quả tính toán trong bước 1 sẽ dùng tiếp cho bước 2. Việc điều chỉnh các tham số của mô hình thực hiện thông qua hội thoại trên máy tính.

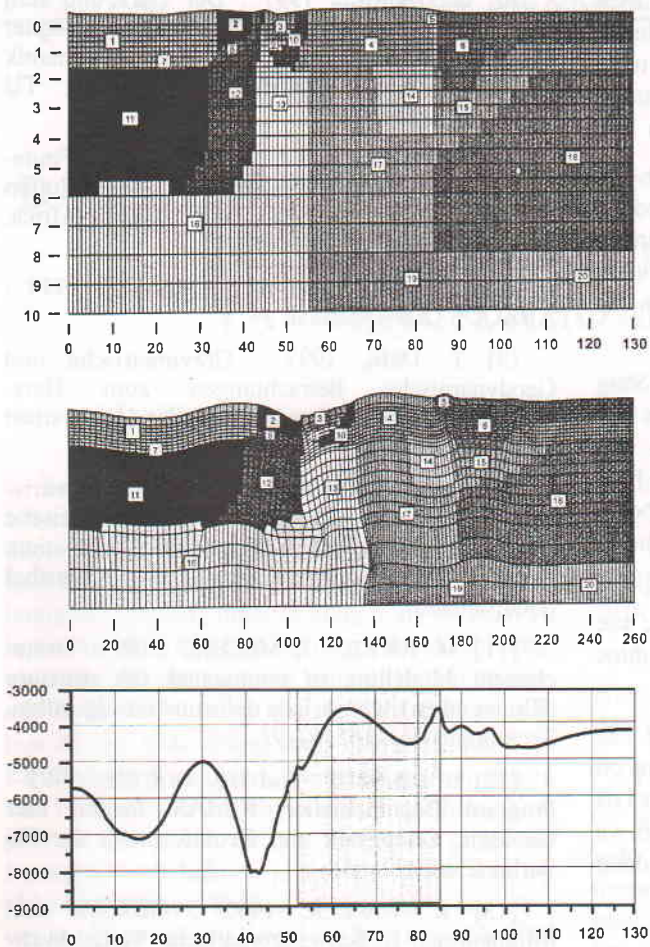
Một phân-kết quả tính mô hình phát triển kiến tạo vùng Harz được giới thiệu trên hình 4 và 5. Hình 4 phản ánh đặc điểm trường ứng suất trong quá trình biến dạng vỏ Trái Đất trải qua thời gian 30 tr.n của vùng nghiên cứu ; các đường cong biểu diễn các thành phần ứng suất ngang S11, S12 và thẳng đứng S22 nằm trong phạm vi địa khối Harz (phần khung vuông) mang đặc điểm hoàn toàn khác biệt so với các vùng phía nam và phía bắc khối này. Tại các vị trí chuyển hướng mạnh trên các đường cong ứng suất, km 52 và km 85, phản ánh đứt gãy sâu phía nam (South-Harz-fault) và đứt gãy sâu phía bắc (North-Harz-fault) như trên hình 2a. Các đơn vị cấu trúc địa chất nằm hai bên sườn bắc và nam khối Harz cũng được phản ánh trên trường ứng suất, tại km 32-52 ở phía nam là vùng núi Kyffhausser và tại km 85-95 ở phía bắc là vùng trũng Subherzyne.



Hình 4. Các đường cong dị thường Bughe và các thành phần ứng suất trên tuyến cắt qua khối Harz (hướng B-N) a, c) dị thường Bughe (BA) và thành phần ứng suất ngang S11, S12. b) dị thường Bughe (BA) và thành phần ứng suất thẳng đứng S22

Các đứt gãy sâu và các vùng nói trên cũng được phản ánh rõ ràng trên bản đồ trường dị thường trọng lực Bughe thuộc trung tâm châu Âu bằng các dải gradien cao và trên các đường cong dị thường Bughe (đường cong BA) trên hình 4.

Từ các đặc điểm về biên độ và đáng thay đổi ríc rắc của đường cong ứng suất ngang S12, Gabriel đã khối Harz thì ứng suất cắt (shear tension) chiếm



Hình 5. Kết quả tính mô hình kiến tạo khối Harz bằng FEM a) Mô hình ban đầu: các số - kí hiệu nhóm các yếu tố, b) Sự biến dạng vỏ trái đất sau 30 tr.n, c) Đường cong dao động thẳng đứng (ĐĐTĐ) của bề mặt Trái Đất

vai trò chủ đạo. Đồng thời, lần đầu tiên trên cơ sở đánh giá định lượng về biên độ của thành phần thẳng đứng S22 nằm trong phạm vi khối Harz (phần khung, hình 4b) đạt giá trị thấp từ -6.10^6 đến -2.10^6 Pa, G. Gabriel đã khẳng định vùng địa khối này trong thời gian hiện tại chưa nằm trong trạng thái cân bằng đẳng tĩnh (isostatic balance); điều này dự báo, quá trình hoạt động Tân kiến tạo còn "tích cực" trên các đứt gãy sâu là ranh giới phía bắc và nam của địa khối Harz [6].

Để tìm hiểu chi tiết quá trình biến dạng trong phần trên lớp vỏ Trái Đất của địa khối Harz và

vùng kề cận, G. Gabriel đã hạn chế chiều sâu khối mô hình từ 0 đến 10 km, cho tham số độ nhớt $\eta = 10^{25}$ Pa.s, thời gian biến dạng 30 tr.n biên độ chuyển dịch ngang (tách giãn) là 130 km. Một mặt cắt kết quả tính toán của mô hình này được thể hiện trên hình 5. Mô hình trạng thái ban đầu gồm 20 nhóm các yếu tố địa chất khác nhau bởi các tham số địa chất, địa vật lý trên hình 5a. Mặt cắt cấu trúc biến dạng nhận được từ kết quả mô hình hoá phản ánh trên hình 5b. Ở đây nhận thấy khá rõ mức độ biến dạng của các lớp đất đá theo chiều sâu, mà các nhà địa chất chỉ có thể nhận được trên một số hạn chế các mẫu lỗ khoan không vượt quá 10 km. Trên hình 5c là đường cong phản ánh độ chuyển dịch thẳng đứng của bề mặt Trái Đất dọc theo tuyến đi qua trung tâm khối Harz. Ở đây nhận thấy nơi bề mặt bị lún chìm sâu nhất tại km 15 và km 42, đứt gãy sâu phía nam tác động đến độ sâu 6 km, còn đứt gãy sâu phía bắc đến độ sâu vượt quá 10 km, độ nâng cao tương đối của địa khối này so với hai vùng kề bên từ 1.000 đến 1.500 mét, đặc điểm này còn thể hiện trên bình đồ cấu trúc hiện đại của vùng nghiên cứu.

J. Melzer và G. Gabriel cũng đã sử dụng phương pháp mô hình số để tái tạo lại quá trình phát triển kiến tạo của địa khối Harz cho các giai đoạn biến dạng kiến tạo ứng với 290, 60 và 30 tr.n trước đây. Các kết quả góp phần lý giải cơ chế phát triển địa động lực của phần trung tâm lục địa châu Âu.

KẾT LUẬN

1. Hiện nay, các phương pháp mô hình hoá đang được phát triển và ứng dụng rất có hiệu quả trong nghiên cứu cơ chế và quá trình phát triển kiến tạo trên các vùng khác nhau của vỏ Trái Đất. Phương pháp yếu tố hữu hạn đã được áp dụng trong nghiên cứu các quá trình địa động lực trên các vùng động của vỏ Trái Đất, như trung tâm châu Âu, vùng rift châu Phi. Khả năng khôi phục các quá trình biến dạng vỏ Trái Đất đã xảy ra cách đây hàng chục, hàng trăm triệu năm bằng mô hình

số là ưu điểm của phương pháp FEM và phần mềm ABAQUS. Khi áp dụng có thể đưa vào nhiều dữ kiện và tham số địa chất - địa vật lý, mà lại nhận được kết quả nghiên cứu nhanh hơn các phương pháp mô hình vật chất trong phòng thí nghiệm

2. Nhiều công trình đã chứng tỏ việc kết hợp phương pháp mô hình 3 chiều quá trình biến dạng bằng FEM với mô hình 3 chiều trường trọng lực và từ bằng phần mềm IGMAS trên cùng một vùng nghiên cứu sẽ đạt hiệu quả cao trong giải đoán các vấn đề địa kiến tạo và địa động lực.

3. Cho đến nay, trên đới đứt gãy sâu Sông Hồng và lân cận, các tư liệu và kết quả nghiên cứu đa ngành rất phong phú. Việc triển khai các phương pháp hiện đại - các phương pháp mô hình hóa, sẽ góp phần làm sáng tỏ các vấn đề thuộc cơ chế thành tạo và phát triển địa động lực của vùng.

4. Tác giả hy vọng với sự cộng tác nghiên cứu của các đồng nghiệp trong và ngoài nước, các phương pháp mô hình hoá 3 chiều sẽ sớm được triển khai trên đới Sông Hồng.

Bài báo được thực hiện với sự tài trợ của chương trình nghiên cứu cơ bản. Tác giả cảm ơn đồng nghiệp G. Gabriel, GGA, Hannover (Đức) đã cung cấp các tài liệu về các phương pháp mới và đóng góp ý kiến cho dự định nghiên cứu áp dụng hai phương pháp này trên đới Sông Hồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Các chuyên đề về đới Đứt gãy Sông Hồng, 2000. Tạp chí CKHvTĐ, T 22, 4, 242-436.
- [2] G.H. EISBACHER, 1996 : Einfuehrung in Tektonik. Ferdinal Enke Verlag, Stuttgart, 374.
- [3] S. ELLIS, P. FULLSACK and C. BEAUMONT, 1995 : Oblique convergence of the crust driven by basal forcing: implications for length scales of deformation and strain partitioning in orogens. Geophys. J. Int. 120, 22-44.
- [4] P. FULLSACK, 1995 : An arbitrary Lagrangian-Eulerian formation for creeping flows and its application in tectonic models. Geophys. J. Int. 120, 1-23.
- [5] G GABRIEL et al, 1997 : Deep structure and evolution of the Harz mountains: Results of gravity and finite element modelling. Tectonophysics, 270 (3-4), 279-299.

[6] G. GABRIEL, 1997 : Der Harz und sein Suedliches Vorland: Interpretation der Bouguer Anomalie und spezielle Studieren zur Geodynamik mit der Finiten Elementen. Dissertation TU Clausthal, Deutschland.

[7] M. GOELKE und J. MECHIE, 1994 : Finite-element modelling of the structure and evolution of the south Kenya Rift East Africa. Tectonophysics 236, 439-452.

[8] K. HIBBIT and Inc. SORENSEN, 1994 : ABAQUS User's Manual.

[9] T. JAHR, 1997 : Gravimetrische und Geodynamische Betrachtungen zum Harz. Habilitationsschrift, Friedrich Schiler Universitaet Jena(Deutschland).

[10] J. MELZER, 1994 : Der Harz : gravimetrische 3 D Moellierung und geodynamische Interpretation mit Finiten Elementen. Dissertation, Institut fuer Geophysik, TU Clausthal (Deutschland).

[11] M. RICKE, J. MECHIE, 1989 : Finite-element Modelling of continental rift structure (Rhinegraben) with a larg deformation algorithm. Tectonophysics, 165, 81-91.

[12] S. SCHMIDT and H.J. GOETZE, 1995 : Program Documentation IGMAS. Institut fuer Geologie, Geopysik und Geoinformatik der FU Berlin (Deutschland).

[13] R. WALDER, 1992 : Geologie von Mitteleuropa. E. Schweitzerbartsche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, 5. Auflage.

[14] O.C. ZIENKIEWICZ, 1975 : Methode der Finiten Elementen. VEB Fachbuchverlag, Leipzig.

SUMMARY

On modelling methods in geodynamic studies

In recent years the modelling methods have been widely used in geodynamic studies. The reconstruction of geological processes contributes to understand geodynamical mechanism of the study region. This paper presents some mathematical basics of finite-element method used in geodynamic research. Application of this method is illustrated by results of geotectonic studies of Hars block in Central Europe.

Ngày nhận bài : 20-9-2001

Viện Địa chất