

Năng lượng địa động lực

Nguyễn Văn Vương. Khoa Địa chất,
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên (ĐHQGHN).

Giới thiệu

Địa động lực là khoa học nghiên cứu các quá trình động lực xảy ra trong lòng Trái Đất, ảnh hưởng đến cấu trúc hành tinh của chúng ta. Địa động lực là nền tảng của các thuyết kiến tạo, là cơ sở để giải thích nguyên nhân và cơ chế của các quá trình kiến tạo với quy mô lớn như sự thành tạo các mảng lục địa, sự trôi dạt lục địa, quá trình tạo núi, quá trình biến chất khu vực, quá trình hình thành các bể trầm tích...

Năng lượng của các quá trình địa động lực chủ yếu là nhiệt năng. Để có cái nhìn sâu sắc về các quá trình địa động lực cần hiểu biết và nắm rõ các quá trình hình thành và truyền, dẫn nhiệt trong lòng Trái Đất. Chính các quá trình nhiệt này đóng vai trò quan trọng trong tìm hiểu nguyên nhân và cơ chế của các quá trình vận động của vỏ Trái Đất và thạch quyển kiến tạo. Các quá trình nhiệt gồm quá trình truyền nhiệt, quá trình dẫn nhiệt và quá trình đối lưu nhiệt.

Nguồn nhiệt và quá trình truyền nhiệt

Nội nhiệt và ngoại nhiệt

Nhiệt của Trái Đất được cung cấp từ hai nguồn nhiệt chính – nguồn nhiệt sinh ra từ bên trong (nội nhiệt) và nguồn nhiệt mà Trái Đất nhận được từ bên ngoài (ngoại nhiệt), chủ yếu từ Mặt Trời.

Nội nhiệt là nguồn nhiệt sinh ra từ trong lòng Trái Đất, chiếm một tỷ lệ không lớn nhưng có ý nghĩa rất quan trọng trong các hoạt động địa chất. Nguồn gốc của nội nhiệt có thể từ hoạt động phóng xạ, từ các phản ứng hóa học hoặc từ năng lượng sinh ra do thay đổi trạng thái kết tinh của khoáng vật. Nguồn năng lượng cơ bản trong thạch quyển là nhiệt phóng xạ, thể hiện ở sự tập trung các đồng vị phóng xạ sinh nhiệt lâu dài ^{235}U , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K và tồn tại dưới dạng dòng nhiệt. Nguồn năng lượng do phân hủy phóng xạ cung cấp tập trung chủ yếu ở những nơi có nhiều U, Th, K, tức là ở phần trên cùng của Trái Đất.

Bức xạ Mặt Trời là nguồn nhiệt quan trọng nhất trong các nguồn ngoại nhiệt. Lượng nhiệt do Mặt Trời cung cấp hàng năm vào khoảng $1,26 \times 10^{21}$ calo, nhưng khoảng 37% số nhiệt đó lại phát tán vào khoảng không vũ trụ. Năng lượng Mặt Trời hun nóng và tạo ra chuyển động đối lưu các khối vật chất của thủy quyển và khí quyển, chúng là tác nhân quan trọng trong các quá trình ngoại sinh như xâm thực, xói mòn và trầm đọng các sản phẩm phá hủy từ phần trên của thạch quyển. Cường độ di chuyển

nhiệt - vật chất trong quá trình bề mặt lớn hơn vài lần so với các quá trình dưới sâu. Nhưng hiện nay khoa học chưa biết được rõ ràng và chưa có bằng chứng cụ thể về việc liệu ngoại nhiệt có thể truyền vào sâu trong thạch quyển hay không, bằng cách nào và với lượng nhiệt lớn đến chừng nào.

Quá trình truyền nhiệt là quá trình một chiều từ nơi có nhiệt độ cao đến nơi có nhiệt độ thấp. Quá trình truyền nhiệt của Trái Đất bao gồm 3 cơ chế chủ yếu – bức xạ nhiệt, dẫn nhiệt và đối lưu; trong đó quá trình dẫn nhiệt chủ yếu xảy ra ở lớp vỏ thạch quyển, quá trình đối lưu diễn ra ở manti. Truyền nhiệt bằng đối lưu và dẫn nhiệt là hai phương thức quan trọng nhất trong Trái Đất. Sự nhiễu loạn cấu trúc nhiệt của vỏ Trái Đất và thạch quyển chủ yếu liên quan tới sự mất nhiệt do quá trình dẫn nhiệt phân hủy phóng xạ từ sâu trong lòng đất tới bề mặt và nhiệt truyền từ phần trên của manti lên bề mặt. Sự mất nhiệt thông qua vỏ đại dương phần lớn do dẫn nhiệt mặc dù sự đối lưu của nước đại dương cũng có vai trò quan trọng, đặc biệt là gần sông núi giữa đại dương. Các thể magma xâm nhập bị nguội lạnh là do các quá trình dẫn nhiệt, do đối lưu nhiệt của nước dưới đất và của các đá vây quanh. Sự nung nóng đá trầm tích bị chôn vùi dưới sâu cũng như việc điều chỉnh nhiệt độ gần bề mặt Trái Đất do hiệu ứng xâm thực và xuất hiện băng hà chủ yếu thông qua quá trình dẫn nhiệt.

Trong thực tế, một hệ có thể bao gồm nhiều hình thức trao đổi nhiệt khác nhau. Trong vật rắn, hình thức chủ yếu là dẫn nhiệt, trong chất lỏng hay khí xảy ra sự đối lưu nhiệt. Dòng nhiệt còn phụ thuộc vào hình dạng của vật thể. Sự bức xạ nhiệt có thể xảy ra giữa các mặt tiếp xúc nhưng chủ yếu trong chân không.

Quá trình bức xạ nhiệt

Quá trình bức xạ nhiệt là quá trình trao đổi nhiệt thông qua sóng điện từ. Bức xạ nhiệt có thể truyền qua mọi loại vật chất cũng như qua chân không. Tất cả các vật có thể có nhiệt độ lớn hơn độ không tuyệt đối (0°K) đều bức xạ nhiệt. Trong bức xạ nhiệt, dòng nhiệt không chỉ truyền từ nơi nóng sang nơi lạnh mà còn theo chiều ngược lại. Tuy nhiên, vì dòng nhiệt từ nóng sang lạnh luôn lớn hơn dòng từ lạnh sang nóng nên dòng nhiệt tổng hợp luôn theo chiều từ nóng sang lạnh. Nói cách khác, sự chênh lệch nhiệt độ giữa hai dòng nhiệt luôn nhỏ đi.

Trái Đất thu nhận nhiệt từ Mặt Trời theo cơ chế bức xạ nhiệt. Phần lớn, bức xạ nhiệt Mặt Trời xuyên trực tiếp qua tầng khí quyển. Phần tia cực tím được tầng khí quyển hấp thụ, làm nóng các lớp khí, từ đó gây nên quá trình đối lưu ở khí quyển.

Quá trình dẫn nhiệt

Quá trình dẫn nhiệt là quá trình truyền động năng giữa các nguyên tử hay phân tử lân cận mà không kèm theo sự trao đổi phần tử vật chất. Hình thức trao đổi nhiệt luôn diễn ra từ vùng có năng lượng cao hơn đặc trưng bằng nhiệt độ cao hơn đến vùng có mức năng lượng thấp hơn. Sự truyền nhiệt trong kim loại thông qua sự chuyển động của các electron là ví dụ điển hình của sự dẫn nhiệt.

Tốc độ các dòng nhiệt di chuyển tỉ lệ với gradient địa nhiệt trong vật chất – gradient nhiệt càng lớn thì tốc độ dòng nhiệt càng cao. Trên Trái Đất có hai dòng nhiệt là dòng nhiệt lục địa và dòng nhiệt đại dương.

Quá trình đối lưu

Quá trình đối lưu là quá trình trao đổi nhiệt được thực hiện nhờ sự chuyển động của chất lỏng hay chất khí giữa các vùng có nhiệt độ khác nhau hoặc sự truyền nhiệt từ một hệ rắn sang một hệ lỏng hoặc khí và ngược lại. Quá trình đối lưu có thể phân biệt thành hai hình thức – đối lưu tự nhiên là dòng vật chất chuyển động nhờ nội năng trong chất lỏng, chất khí, chất rắn nhão như quá trình đối lưu trong manti Trái Đất; và đối lưu cưỡng bức, ví dụ như dòng chuyển động do ngoại lực tác động như bom, quạt v.v...

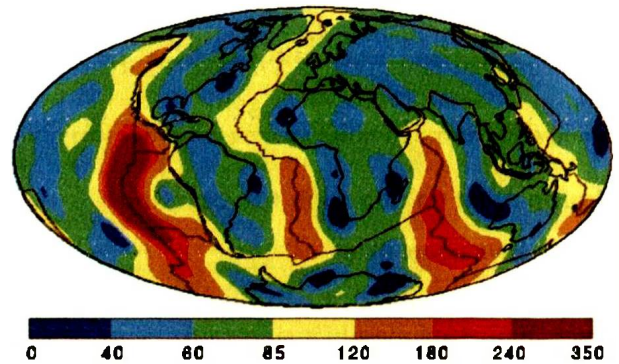
Quá trình đối lưu xảy trong lòng Trái Đất là sự di chuyển của các dòng vật chất nóng chảy hoặc gần nóng chảy bên dưới thạch quyển. Quá trình đối lưu trong manti cũng đóng góp một phần nhiệt cho các hoạt động địa chất trên bề mặt. Đối lưu đóng vai trò chủ đạo trong việc truyền nhiệt từ sâu trong lòng đất và khống chế nhiệt độ trong lòng đất.

Nhiệt trong thạch quyển lục địa

Thạch quyển có thể được định nghĩa theo tính chất nhiệt hoặc tính chất cơ lý của nó. Theo tính chất nhiệt – thạch quyển là phần vỏ ngoài cùng của Trái Đất, trong đó nhiệt chủ yếu được truyền theo cơ chế dẫn nhiệt. Ngược lại, trong quyển mềm, phương thức truyền nhiệt chủ yếu theo cơ chế đối lưu. Như vậy, vỏ thạch quyển có thể được hình dung như là một lớp áo hay một quyển cứng bao bên ngoài cùng Trái Đất và phân cách với phần còn lại nằm dưới sâu bằng một bề mặt đẳng nhiệt. Tuy nhiên, nhiệt của lớp thạch quyển luôn bị hao hụt do quá trình truyền nhiệt vào khí quyển cũng như quá trình bức xạ vào vũ trụ. Dòng nhiệt trung bình qua bề mặt lục địa là

$0,065\text{W/m}^2$, diện tích bề mặt lục địa vào khoảng $2 \times 10^8 \text{km}^2$, vì thế tổng lượng nhiệt hao hụt vào khoảng $1,3 \times 10^{13} \text{W}$. Lượng nhiệt bị hao hụt này được bù đắp lại thông qua nhiệt sinh ra từ quyển mềm. Vì thế, có thể nói nhiệt độ và sự phân bố nhiệt của thạch quyển trong các miền lục địa cơ bản như không thay đổi, trong khi đó quá trình tạo núi luôn đi kèm với sự nhiễu loạn chế độ nhiệt, gồm gradient nhiệt độ, sự phân bố nhiệt của vỏ và thạch quyển.

Dòng nhiệt là một tính chất quan trọng của vỏ và thạch quyển, đó là dòng năng lượng nhiệt di chuyển do quá trình dẫn nhiệt thông qua bề mặt rắn của Trái Đất. Các dòng nhiệt vận động không ngừng trong thạch quyển, chính nguồn nhiệt này đóng góp lớn cho các quá trình kiến tạo nội mảng lục địa như hoạt động magma xâm nhập, hoạt động núi lửa. Nhiệt độ của các vùng khác nhau trên Trái Đất liên quan trực tiếp đến các dòng nhiệt, đó chính là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến các tính chất vật lý của vật chất bên trong Trái Đất [H.1].



Hình 1. Sự phân bố các dòng nhiệt trên phạm vi toàn cầu phủ màu biểu diễn các giá trị dòng nhiệt tính bằng mW/m^2 (Nguồn: <http://www.geophysik.rwth-aachen.de/IHFC/heatflow.html>).

Dòng nhiệt bề mặt lục địa không thể đo được trực tiếp mà dựa trên gradient địa nhiệt và tính dẫn nhiệt của các lớp vật chất. Giá trị dòng nhiệt trung bình cho tất cả các lục địa là $56,5\text{mW/m}^2$ [$1,35\text{HFU}$ (Heat Flow Unit)]. Lục địa Châu Phi có giá trị dòng nhiệt thấp nhất, khoảng $49,2\text{mW/m}^2$ ($1,19\text{HFU}$). Lục địa Australia có giá trị dòng nhiệt cao nhất, khoảng $63,6\text{mW/m}^2$ [Bảng 1]. Khu vực lục địa có giá trị dòng nhiệt bề mặt cao thường phân bố hạn chế ở những vùng có núi lửa trẻ hoạt động. Ví dụ, tuyến núi lửa đi kèm với đới hút chìm Andes ở Nam Châu Mỹ và các khu vực phát triển hoạt động kiến tạo căng giãn như ở tây nước Mỹ, ở Bù Khạng, ở Tây Nguyên (Việt Nam). Tuy nhiên, các khu vực có dòng nhiệt cao đi kèm với hoạt động núi lửa hay khu vực căng giãn thường không đóng góp đáng kể vào dòng nhiệt trung bình của toàn bộ vỏ lục địa. Các đới xô húc lục địa trải dài từ Alps đến Himalaya có giá trị dòng nhiệt bình thường. Do đó, các khu vực hoạt động kiến tạo hiện đại và hoạt động tạo núi chỉ đóng góp một phần tương đối nhỏ vào giá trị dòng nhiệt trung bình của toàn bộ vỏ Trái Đất.

Bảng 1. Dòng nhiệt của một số khu vực trên thế giới (Tổng hợp từ Philip Kearey và nnk, 2009).

Khu vực	Dòng nhiệt trung bình trên bề mặt	
	mWm ⁻²	HTU
Châu Phi	49,8	1,19
Nam Mỹ	52,7	1,26
Bắc Mỹ	54,4	1,3
Australia	63,6	1,52
Âu-Á	60,2	1,44
Nam cực	54,4	1,3
Châu Âu	56,5	1,35
Bắc Thái Bình Dương	95,4	2,28
Nam Thái Bình Dương	77,4	1,85
Ấn Độ Dương	83,3	1,99
Bắc Đại Tây Dương	67,4	1,61
Nam Đại Tây Dương	59,0	1,41
Các biển rìa	71,1	1,70
Châu Đại Dương	78,2	1,87
Toàn thế giới	69,9	1,67

Trong những khu vực ổn định trên lục địa, giá trị dòng nhiệt có mối liên quan chặt chẽ với hoạt động phóng xạ. Gần một nửa giá trị dòng nhiệt trong lục địa do sự phân hủy phóng xạ của U, Th, K sinh ra. Giá trị dòng nhiệt bề mặt giảm có hệ thống theo tuổi của các đá lộ ra trên mặt đất trong những khu vực vỏ lục địa ổn định. Tương tự, nồng độ các nguyên tố phóng xạ trong vỏ lục địa của các đá lộ ra trên mặt đất cũng giảm theo tuổi của các đá đó. Quá trình này liên quan đến hoạt động xâm thực bóc mòn và di chuyển mất phần lớn các nguyên tố phóng xạ. Việc giảm giá trị của nhiệt độ theo tuổi của đá ở các khu vực lục địa ổn định là do giảm hàm lượng các nguyên tố phóng xạ.

Trong khu vực lục địa, lượng nhiệt sinh ra do nồng độ cao của các nguyên tố phóng xạ sẽ bị thoát qua bề mặt Trái Đất. Dòng nhiệt trung bình của vỏ lục địa là 56,5mW/m² thì có 33,5mW/m² là từ dòng nhiệt đi từ manti, 23mW/m² sinh ra từ vỏ. Như vậy, vỏ sẽ đóng góp vào lượng nhiệt tổng cộng là 4,6x10¹²W hay 13% tổng cộng nhiệt bề mặt. Chỉ một phần của dòng nhiệt bề mặt hiện nay là do sự phân rã hạt nhân hiện có trong manti. Vì các đồng vị phóng xạ phân hủy thành các đồng vị ổn định, lượng nhiệt sinh ra do phân rã phóng xạ sẽ giảm đi theo thời gian. Lượng nhiệt cách đây 3 tỷ năm gấp đôi lượng nhiệt hiện nay. Nếu nhiệt sinh ra ít thì lượng nhiệt mất đi cũng ít. Như vậy hệ thống đối lưu trong manti cũng giảm đi theo tuổi của Trái Đất. Vì cường độ của dòng đối lưu phụ thuộc vào độ nhớt, mà độ nhớt của manti rất nhạy cảm đối với sự thay đổi nhiệt độ. Việc giảm dòng nhiệt bề mặt theo thời gian sẽ dẫn tới việc giảm nhiệt độ trung bình của manti tức là Trái Đất cũng nguội đi. Sự nguội lạnh này sẽ thay đổi dòng nhiệt bề mặt. Khoảng 80% dòng nhiệt bề mặt hiện nay là từ quá trình phân rã

hạt nhân phóng xạ đang diễn ra, 20% còn lại sinh ra do quá trình nguội lạnh của Trái Đất bổ sung.

Đá trong vỏ lục địa có hàm lượng nguyên tố phóng xạ cao hơn nhiều so với đá trên mặt đất và nhiệt lượng biến thiên trong một dải rộng. Nồng độ của các nguyên tố phóng xạ giảm theo độ sâu trong vỏ lục địa. Mô hình vỏ lục địa với hoạt độ phóng xạ giảm theo độ sâu theo quy luật hàm mũ có thể giải thích được mối quan hệ tuyến tính giữa hiện tượng phóng xạ và dòng nhiệt ở bề mặt. Sự phụ thuộc theo hàm mũ này cũng phù hợp với các quá trình phân dị magma và nhiệt dịch.

Nhiệt trong thạch quyển đại dương

Cấu trúc nhiệt trong thạch quyển đại dương có tầm quan trọng rất lớn. Một trong các cơ chế chủ yếu của hiện tượng mất nhiệt từ bên trong Trái Đất là sự tạo thạch quyển mới ở các trung tâm tách giãn và sau đó là quá trình nguội lạnh thạch quyển.

Vỏ thạch quyển đại dương chiếm gần 60% diện tích bề mặt Trái Đất, nhưng tổng dòng nhiệt chiếm tới 80% dòng nhiệt từ manti. Tuổi của thạch quyển đại dương tương đối trẻ (< 200 triệu năm) so với thạch quyển lục địa (khoảng 4 tỷ năm), các dòng nhiệt di chuyển thành các dòng đối lưu là năng lượng cho lớp thạch quyển mới được hình thành ở các sống núi giữa đại dương. Khác với nhiệt trong thạch quyển lục địa, trong vỏ đại dương chứa rất ít nguyên tố phóng xạ có thể sinh nhiệt.

Thạch quyển đại dương rất mỏng, chỉ 5 - 8km, mới được hình thành ở sống núi đại dương do quá trình nóng chảy từng phần vật chất manti. Các dòng nhiệt ở quyển mềm là năng lượng khiến cho thạch quyển đại dương di chuyển theo hướng tách giãn khỏi sống núi đại dương. Cùng với thời gian, vỏ đại dương trở nên già đi, di chuyển xa hơn khỏi ranh giới phân kỳ, lớp quyển mềm bên dưới cùng dẫn nguội lạnh và trở thành một phần của thạch quyển đại dương. Vì vậy, càng xa sống núi, thạch quyển đại dương càng dày và có tuổi càng cổ.

Giá trị dòng nhiệt trung bình cho tất cả các đại dương là 78,2 mW/m² (1,87 HFU). Thái Bình Dương có giá trị dòng nhiệt trung bình cao nhất 95,4 mW/m² (2,23 HFU), Nam Đại Tây Dương có giá trị dòng nhiệt trung bình nhỏ nhất 59,0 mW/m². Nồng độ nguyên tố phóng xạ trong vỏ đại dương nhỏ hơn trong vỏ lục địa khoảng 10 lần. Vỏ đại dương mỏng hơn vỏ lục địa 5 lần. Như vậy, nhiệt lượng do hoạt động phóng xạ đóng góp cho vỏ đại dương chỉ chiếm khoảng 2% tổng giá trị dòng nhiệt bề mặt Trái Đất.

Một đặc điểm nổi bật của dòng nhiệt bề mặt trên vỏ đại dương là sự phụ thuộc có quy luật vào tuổi của đáy đại dương. Nguyên nhân của hiện tượng này là do sự nguội lạnh dẫn của vỏ đại dương khi bị đẩy ra xa sống núi đại dương.

Tài liệu tham khảo

Peter M. Atkinson., Giles M. Foody., Stephen E. Darby and Fulong Wu., 2005. *Geodynamics*. CRC Press. 446 pgs.

Harsh K. Gupta (Edit)., 2011. *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Springer. 1578 pgs.

Philip Kearey, Keith A. Klepeis, Frederick J. Vine., 2009. *Global Tectonics*. Wiley Blackwell. 482 pgs.

http://geophysics.ou.edu/geomechanics/notes/heatflow/global_heat_flow.htm