

Địa nhiệt học

Nguyễn Văn Phơn. Khoa Dầu khí,
 Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.

Trần Huyền. Hội Khoa học kỹ thuật Địa vật lý Việt Nam.

Đoàn Văn Tuyển. Viện Địa chất,
 Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Giới thiệu

Địa nhiệt học nghiên cứu trường nhiệt độ của Trái Đất để tìm hiểu lịch sử hình thành và phát triển của hành tinh chúng ta trong hệ Mặt Trời, đồng thời nghiên cứu các phương pháp khai thác nguồn năng lượng tự nhiên này. Nghiên cứu địa nhiệt bắt đầu từ năm 1593, khi Galileo chế tạo chiếc nhiệt kế đầu tiên dựa vào sự giãn nở của không khí trong bóng đèn; sau đó năm 1600 nó được cải tiến theo nguyên lý giãn nở của chất lỏng đồng nhất theo nhiệt độ. Việc đo vẽ trường địa nhiệt lần đầu được De Gensanne thực hiện vào năm 1740 bằng nhiệt kế tại khu mỏ Belfort ở Pháp. Địa nhiệt thực sự trở thành một môn khoa học ở đầu thế kỷ 20 khi phát hiện được vai trò của các đồng vị phóng xạ trong lòng đất với chu kỳ bán rã lớn là nguồn cung cấp nhiệt chủ yếu. Trái Đất là một "động cơ sinh nhiệt khổng lồ", với nhiệt độ trung bình trên bề mặt là 15°C, tăng dần tới 5.000 - 5.800°C ở nhân trong. Tổng năng lượng do dòng nhiệt thoát ra trên mặt đất là $(46 \pm 2)TW$. Nghiên cứu khai thác sử dụng năng lượng địa nhiệt là một ứng dụng của địa nhiệt học đang được quan tâm trên thế giới.

Phân bố nhiệt độ và nguồn gốc nhiệt Trái Đất

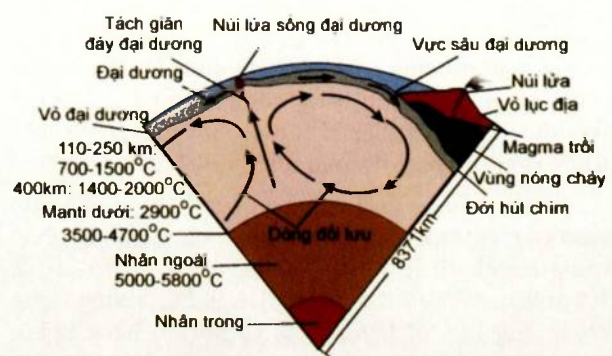
Phân bố nhiệt Trái Đất

Đơn vị đo nhiệt độ sử dụng phổ biến hiện nay là độ Celsius (ký hiệu °C).

Giá trị nhiệt độ thực của Trái Đất chỉ đo được trên bề mặt và trong các lỗ khoan thăm dò, dung nham do hoạt động núi lửa đã khẳng định nhiệt độ Trái Đất tăng theo chiều sâu. Nhiệt độ bên trong Trái Đất dự báo được bằng các nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm, so sánh với số liệu đo nhiệt độ ở gần bề mặt, trạng thái áp suất, thành phần vật chất và tốc độ truyền sóng địa chấn. Theo đó, nhiệt độ trung bình ở bề mặt Trái Đất là 15°C và tăng dần theo độ sâu vào lòng đất; ở khoảng độ sâu 100 - 200 km đạt đến 700 - 1.500°C – là nhiệt độ nóng chảy của hầu hết các loại đá; ở rìa nhân ngoài nhiệt độ đạt 3.500 đến 4.700°C, đến bề mặt nhân trong là 5.000 - 5.800°C [H.1].

Phân bố nhiệt độ ở nhân trong Trái Đất tương đối ổn định, còn ở manti và vỏ Trái Đất có sự biến động rất mạnh gây ra các quá trình đối lưu vật chất, tạo thành các điểm nóng, chùm manti, núi lửa ở đới hút chìm và tách giãn đáy biển, các nguồn nhiệt tích tụ trong vỏ tạo ra các vùng nóng chảy cục bộ, bồn nước nóng địa nhiệt, vận động quyển mềm ở nhân ngoài.

Nhiệt độ Trái Đất có giá trị cao ở nhân trong và giảm dần đến thấp ở bề mặt và khí quyển, do đó diễn ra quá trình truyền dẫn nhiệt từ nhân ra ngoài, gây nên sự thất thoát nhiệt trong lòng đất; đó là cơ sở của giả thiết về Trái Đất đang nguội dần theo thời gian.



Hình 1. Mô hình phân bố nhiệt độ Trái Đất

Nguồn gốc nhiệt Trái Đất

Nhiệt trong lòng đất có nguồn gốc nội sinh từ quá trình hình thành và ngoại sinh từ vũ trụ.

Các quá trình nội sinh cung cấp nhiệt như sự phân rã của các chất phóng xạ, ma sát do thủy triều, tốc độ quay khác nhau giữa các quyển rắn và mềm và hiện tượng tích thoát ứng suất đàn hồi, phân dị trọng lực, biến đổi pha của vật chất, các phản ứng hóa học, v.v...

Nguồn nhiệt ngoại sinh do các bức xạ vũ trụ từ Mặt Trời và các hành tinh khác và do các thiên thể va đập vào Trái Đất.

Nguồn nhiệt nội sinh chủ yếu được sinh ra từ sự phân rã hạt nhân của các chất phóng xạ có chu kỳ bán rã lớn như urani (^{238}U , ^{235}U), thori (^{232}Th) và kali (^{40}K). Các đồng vị này có trong basalt, granit trong manti và vỏ Trái Đất. Phần nhỏ còn lại là nhiệt nguyên thủy hay nhiệt tàn dư tạo ra trong quá trình hình thành Trái Đất. Các nguồn nhiệt khác như nhiệt thoát ra của các kim loại nặng bị nén dưới áp suất cao trong nhân Trái Đất, hoạt động của trường địa từ, lực quay Trái Đất, các quá trình hoạt động magma, biến chất, kiến tạo; các phản ứng hóa học, quá trình hòa tan, quá trình thành đá trầm tích cũng sinh ra hoặc tiêu hao năng lượng.

Nguồn nhiệt ngoại sinh gồm sự xâm nhập thiên thạch và bụi vũ trụ vào Trái Đất làm tăng nhiệt độ

không đáng kể mà còn gây tiêu hao năng lượng. Nguồn nhiệt từ chiếu xạ của Mặt Trời làm thay đổi có chu kỳ nhiệt độ không khí chỉ ảnh hưởng đến lớp gần mặt đất.

Phân bố trường địa nhiệt

Phần chính của trường nhiệt Trái Đất không thay đổi theo thời gian, có tính chất dừng hay chuẩn dừng; phần biến đổi theo thời gian gọi là quá trình không dừng liên quan đến các biến động. Hai tham số đặc trưng cho sự biến đổi của trường địa nhiệt là dòng nhiệt và gradient địa nhiệt.

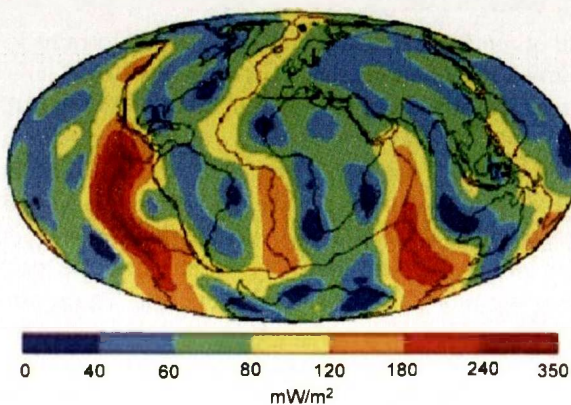
Dòng nhiệt

Dòng nhiệt là tham số chỉ năng lượng nhiệt thoát ra trên mặt đất ở một đơn vị diện tích trong một đơn vị thời gian. Theo hệ đo quốc tế (SI), đơn vị dòng nhiệt được tính bằng năng lượng nhiệt là oát (W) thoát ra khỏi diện tích một mét vuông (W/m^2), trong đo vẽ thực tế thường dùng mW/m^2 .

Từ các số liệu đo trong hơn 20.000 lỗ khoan trên toàn cầu, Pollack (1993) đã đánh giá được dòng nhiệt trung bình có giá trị $65mW/m^2$ ở lục địa và $101mW/m^2$ ở đáy đại dương [H.2]. Độ thường dòng nhiệt tăng cao tới hàng trăm, có nơi tới hàng nghìn đơn vị ở ranh giới các mảng vỏ, vùng tách giãn đáy đại dương, vành đai núi lửa và đới rift.

Gradient địa nhiệt

Gradient địa nhiệt là tham số đo sự thay đổi giá trị nhiệt độ trên một đơn vị dài mét hay kilomet ($^{\circ}C/m$ hay $^{\circ}C/km$). Gradient địa nhiệt có giá trị trung bình ở vỏ Trái Đất là $2,5 - 3,0^{\circ}C/100m$. Tương tự dòng nhiệt, gradient địa nhiệt ở vỏ đại dương có giá trị cao hơn ở vùng vỏ lục địa, ở vùng nền thường có gradient địa nhiệt giảm. Sự thay đổi gradient địa nhiệt phụ thuộc nhiều yếu tố như thành phần vật chất, tính chất dẫn nhiệt của đất đá, vận động của nước và các yếu tố địa chất - kiến tạo khác.



Hình 2. Phân bố dòng nhiệt bề mặt Trái Đất (theo Pollack, 1993).

Trường địa nhiệt gần mặt đất

Do ảnh hưởng của bức xạ mặt trời, các yếu tố khí hậu và môi trường địa chất, v.v... nên nhiệt độ gần bề mặt Trái Đất thay đổi theo chu kỳ ngày đêm, mùa và thế kỷ, giảm dần theo chiều sâu theo luật hàm mũ, phụ thuộc vị trí địa lý. Độ sâu, ở đó ảnh hưởng của nguồn nhiệt bên ngoài đủ nhỏ, được gọi là chiều sâu bề mặt trung hòa nhiệt.

Cơ chế truyền dẫn nhiệt

Trong Trái Đất có ba cơ chế truyền nhiệt là dẫn nhiệt, đối lưu nhiệt và bức xạ nhiệt. Phân bố trường địa nhiệt phụ thuộc vào các tham số nhiệt cơ bản của đá trong lòng đất là độ dẫn nhiệt, nhiệt dung, nhiệt dung riêng, hệ số lan truyền nhiệt. Các tham số đó có mối quan hệ chặt chẽ với điều kiện địa chất, kiến tạo, thành phần thạch học, trạng thái và điều kiện hình thành của đá, v.v...

Năng lượng địa nhiệt

Trạng thái năng lượng địa nhiệt

Năng lượng địa nhiệt sinh ra bởi các hoạt động sinh nhiệt tự nhiên và được lưu giữ trong lòng đất, trong đó có các quá trình sinh nhiệt nhưng cũng có quá trình tiêu hao nhiệt.

Các đơn vị quốc tế (SI) dùng trong năng lượng địa nhiệt gồm: 1). Đơn vị nhiệt lượng là jun (ký hiệu J; $1J = 1kg \times m^2 \times s^{-2}$) và 2). Đơn vị năng lượng nhiệt là oát (ký hiệu W) chỉ thị nhiệt lượng trong thời gian 1 giây: $1W = 1J/s = 1kg \times m^2 \times s^{-3}$.

Năng lượng nhiệt thoát ra qua bề mặt Trái Đất đo được là $46 \pm 2TW$ (Mareschal & Jaupart, 2011). Năng lượng nhiệt từ phân rã phóng xạ trong vỏ và manti có vai trò chính, $8TW$ từ vỏ (2% khối lượng Trái Đất nhưng giàu chất phóng xạ), $32,3TW$ từ manti (82% khối lượng Trái Đất), $1,7TW$ từ nhân (16% khối lượng Trái Đất nhưng không có đồng vị phóng xạ).

Lượng nhiệt tiêu hao do quá trình dẫn nhiệt (quá trình nguội đi) của Trái Đất từ khi hình thành đến nay khoảng 4,5 tỷ năm, được đánh giá là $3 \times 10^{30} J$, trong thời gian đó lượng nhiệt sinh ra do quá trình phân rã hạt nhân phóng xạ là $(0,6 - 2,03) \times 10^{31} J$.

Do vận tốc góc quay Trái Đất chậm dần và tác động chu kỳ của các hành tinh trong hệ Mặt Trời tới Trái Đất gây ra hiện tượng ma sát thủy triều, dẫn đến sự phát tán nhiệt chủ yếu ở vùng biên và đại dương, làm tiêu hao 10 - 30% lượng nhiệt phóng xạ sinh ra trong lòng đất.

Trái Đất thu nhận các thiên thạch và bụi vũ trụ làm cho khối lượng của nó tăng lên, dẫn đến sự thay đổi momen quán tính, tiêu hao năng lượng tới $1,46TW$.

Các quá trình nội sinh sinh nhiệt và tiêu hao nhiệt nêu trên tạo ra sự cân bằng năng lượng địa nhiệt. Ngoài ra, các vận động địa chất kiến tạo, hoạt động magma, biến dạng, kết tinh, hóa đá, v.v... hay các phản ứng oxy hóa khử cũng sinh nhiệt hoặc tiêu hao nhiệt nhưng chỉ có vai trò trong cân bằng nhiệt ở phạm vi khu vực, không làm thay đổi cân bằng năng lượng nhiệt toàn cầu.

Hàng năm, mỗi mét vuông mặt đất tiếp nhận lượng nhiệt trung bình $6,9 \times 10^9$ J từ bức xạ Mặt Trời. Nguồn năng lượng này cùng với lớp khí quyển là yếu tố tạo ra sự cân bằng nhiệt trên bề mặt Trái Đất có nhiệt độ trung bình $15 \pm 2^\circ\text{C}$.

Sử dụng năng lượng địa nhiệt

Với tổng năng lượng nhiệt thoát ra bề mặt $46 \pm 2\text{TW}$, Trái Đất là một “động cơ sinh nhiệt khổng lồ”, nguồn tiềm năng lớn cho phát triển năng lượng.

Sử dụng trực tiếp

Từ đầu thế kỷ 19 bắt đầu xuất hiện những công trình khai thác sử dụng trực tiếp năng lượng địa nhiệt có quy mô công nghiệp. Năm 1827 ở Laderello (Italia) đã dùng địa nhiệt trong các lỗ khoan nông cung cấp nhiệt thay cho các lò đốt bằng củi gỗ, cấp nhiệt sưởi ấm nhà ở và sản xuất trong nhà kính, sau đó việc dùng địa nhiệt xuất hiện ở Idaho – Mỹ (1892), ở Iceland (1928). Từ khi xuất hiện khủng hoảng dầu lửa (1971), khai thác địa nhiệt được phổ biến rộng rãi ở Mỹ, Châu Âu, Trung Quốc, v.v... để điều hòa không khí bằng công nghệ “bơm nhiệt đất”.

Phát điện địa nhiệt

Các dòng hơi và khí từ nguồn địa nhiệt có khả năng làm cho turbin hoạt động để sản xuất điện thay cho việc đốt nhiên liệu hóa thạch trong kỹ thuật nhiệt điện. Công trình thí nghiệm phát điện địa nhiệt đầu tiên cũng được triển khai tại Laderello (Italia) vào năm 1904. Tiếp theo đó xuất hiện ở New Zealand (1958), Mexico (1959), Mỹ (1960), đến nay có 24 nước sản xuất điện địa nhiệt, chủ yếu ở các vùng rìa mảng, núi lửa hoạt động và đới rift.

Theo thống kê của Hiệp hội năng lượng quốc tế IEA, đến năm 2009 phát điện địa nhiệt trên thế giới đạt công suất lắp đặt 10.700MWe (mega oát điện) cho sản lượng điện mỗi năm 67,2TWh (tera oát giờ). Sử dụng trực tiếp địa nhiệt có công suất lắp đặt hơn 35.000MWt cho sản lượng nhiệt mỗi năm hơn 440PJ (petajun).

Các hệ địa nhiệt cho khai thác sử dụng năng lượng

Khai thác sử dụng năng lượng địa nhiệt chỉ có thể thực hiện được ở những nơi lòng đất có điều kiện lưu trữ nguồn nhiệt được gọi là hệ hay nguồn địa nhiệt ở

độ sâu phù hợp với trình độ kỹ thuật và hiệu quả khai thác hiện nay, thường nhỏ hơn 3km. Entalpi (số đo tổng năng lượng của hệ nhiệt động lực học) của nguồn nhiệt chia theo các ranh giới giữa cao và trung bình là 150°C , giữa trung bình và thấp – 100°C .

Ngoài các vùng dị thường cao của trường nhiệt Trái Đất (rìa mảng, đới tách giãn đáy biển, cung núi lửa hoạt động, đới rift) tạo ra các bồn entalpi cao; bên trong mảng – nơi có trường địa nhiệt bình thường, còn xuất hiện các nguồn địa nhiệt cao cục bộ (suối nước nóng, phun khí nóng, đá nóng, v.v...), thường là các bồn entalpi trung bình và thấp cũng được quan tâm cho khai thác sử dụng.

Có nhiều nguồn địa nhiệt được sử dụng để khai thác năng lượng.

- Nguồn “thủy địa nhiệt” gồm các yếu tố chính là nguồn nhiệt (khối magma xâm nhập nóng, nguồn tập trung chất phóng xạ) có nhiệt độ $>500^\circ\text{C}$, bồn nhiệt là đá có điều kiện chứa nhiệt, chất lỏng dẫn nhiệt. Cơ chế vận động ở các nguồn thủy địa nhiệt là chu trình đối lưu chất lỏng nguội bị lắng xuống theo các đứt gãy kiến tạo, bị đun nóng hóa hơi dẫn lên và được tích tụ ở bồn nhiệt hay thoát lên mặt đất (tương tự cơ chế bình đun nước).

- Nguồn “đá khô nóng” không chứa chất lỏng dẫn nhiệt bên trong nguồn nhiệt, phân bố nông, có điều kiện thuận lợi cho khai thác bằng cách nạp chất lỏng (nước) xuống từ mặt đất.

- Nguồn “địa nhiệt hoàn thiện” theo báo cáo năm 2006 của Viện Công nghệ Massachusetts (Massachusetts Institute of Technology - MIT), trong những vùng có gradient địa nhiệt cao hơn mức bình thường $> 2,5 - 3^\circ\text{C}/100\text{m}$, ở độ sâu 3km luôn có nhiệt độ $>90 - 105^\circ\text{C}$. Nguồn nhiệt này phân bố rộng rãi, không hạn chế ở các vùng dị thường cao của trường địa nhiệt.

- Nguồn “nhiệt đất” có ở tầng trung hòa nhiệt ngay dưới mặt đất, do sự tương tác giữa bức xạ nhiệt Mặt Trời và nhiệt lòng đất tạo ra, có nhiệt độ ổn định, cao hơn nhiệt độ không khí về mùa đông và thấp hơn về mùa hè. Đây là một “kho lưu giữ địa nhiệt” tự nhiên, được khai thác sử dụng để điều hòa không khí bằng công nghệ bơm nhiệt đất.

Trường địa nhiệt ở Việt Nam

Lãnh thổ Việt Nam không nằm trong vùng dị thường cao của trường nhiệt Trái Đất. Tuy nhiên, sự xuất lộ hơn 200 điểm nước nóng ở nhiều nơi, đã xác định được các vùng dị thường dòng nhiệt $> 80\text{mW}/\text{m}^2$ đến hơn $100\text{mW}/\text{m}^2$. Nhiệt độ trong một số lỗ khoan ở độ sâu 3km đạt hơn 140°C ở thềm lục địa Biển Đông, ven biển Nam Trung Bộ và đồng bằng sông Hồng, rải rác ở Trung Bộ. Hoạt động núi lửa trẻ (đảo Tro) vào năm 1923, v.v... là biểu hiện sự tồn tại của các nguồn địa nhiệt gần mặt đất.

Nguồn nhiệt đất ở Việt Nam có nhiệt độ ổn định khoảng 23 - 25°C trong tầng trung hòa nhiệt phân bố ở độ sâu từ 15 đến 80m ở các vùng đồng bằng có sự chênh lệch ± 5 đến 10°C so với nhiệt độ không khí về mùa hè và mùa đông.

Tài liệu tham khảo

- Armstead H. C., 1983. *Geothermal Energy*. E. & F. N. Spon, London, 404 pgs.
- Dickson M. N. and Fanelli M., 2004. What is Geothermal Energy? www.geothermal-energy.org/314_what_is_geothermal_energy.html.
- Gupta H., 2007. *Geothermal Energy: An Alternative resource for the 21st Century*. Elsevier PH. ISBN-13: 978-0-444-52875-9. 285 pgs.
- IEA 2010, [www.iea.org/Renewable_Energy_Essentials: Geothermal](http://www.iea.org/Renewable_Energy_Essentials_Geothermal).
- Mareschal J. C. and Jaupart C., 2011. Energy Budget of the Earth. *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*, Part 5: 285-291.
- MIT Report, 2006. *The Future of Geothermal Energy. Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century*. http://www1.eere.energy.gov/geothermal/egs_technology.html.
- University of North Dakota, 2008. *The Global Heat Flow Database of the International Heat Flow Commission, provided by the University of North Dakota*. <http://www.heatflow.und.edu/index2.html>.
- Võ Công Nghiệp (Chủ biên), 1998. *Danh bạ các nguồn nước khoáng và nước nóng Việt nam. Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*. Hà Nội. 300 tr.