

Địa từ học

Nguyễn Đình Châu.

Đại học Khoa học và Công nghệ AGH Krakow, Ba Lan.

Giới thiệu

Phân bố trường từ của Trái Đất (cũng gọi là trường địa từ) trên mặt đất giống như trường của thanh nam châm (trường của lưỡng cực từ). Theo nhiều tài liệu cổ, trường địa từ đã được người Trung Hoa phát hiện và sử dụng để xác định các hướng địa lý của Trái Đất từ thế kỷ thứ 7, 6 trước Công nguyên. Năm 1600, William Gilbert công bố chuyên khảo "Về nam châm" ("De Magnete"), tổng hợp toàn bộ hiểu biết về từ học, ông cho rằng Trái Đất như một nam châm khổng lồ để giải thích tính chỉ hướng của nam châm, nguồn của từ trường ở bên trong Trái Đất. Như vậy, Gilbert chính là người đặt nền móng cho địa từ học hiện đại. Trường địa từ, nguồn gốc, sự biến đổi của nó theo thời gian và các nguyên nhân gây ra là đối tượng nghiên cứu của Địa từ học. Phân ngành Cô từ học - nghiên cứu trường địa từ trong quá khứ, trở thành một môn khoa học từ những năm 1950. Từ việc đo các thành phần của trường từ ghi lại ở các mẫu đá, người ta đã xác định được vị trí cực từ của trường địa từ khi đá đó được hình thành ở các lục địa khác nhau. Từ đó, các nhà nghiên cứu đã chứng minh được sự di chuyển của các lục địa ("trôi dạt lục địa"). Kết quả của việc nghiên cứu trường địa từ trong quá khứ còn cho thấy có sự đảo cực từ (cực từ Bắc trở thành cực từ Nam và ngược lại). Nhờ đó mà Vine, Matthews và Morley (1963) giải thích được các dị thường từ dương và âm xen kẽ, dạng dài dọc hai

bên sống đại dương. Sự đảo cực nhiều lần của trường địa từ cũng là bằng chứng thuyết phục cho cơ chế tách giãn đáy đại dương. Các dấu ấn của sự thay đổi cực từ liên tục ở đáy đại dương là một trong những cơ sở cơ bản cho việc thành lập từ địa tầng cho khoảng thời gian 160 triệu năm gần đây.

Các kết quả nghiên cứu địa từ học được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực như vẽ bản đồ địa chất, điều tra khoáng sản, dầu khí, nước dưới đất, khảo cổ, ô nhiễm môi trường, v.v...

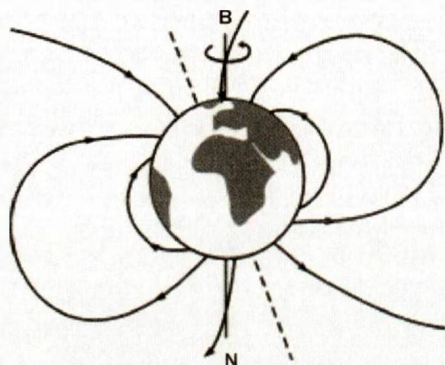
Trường địa từ

Xung quanh Trái Đất luôn luôn có trường địa từ. Nếu trường địa từ được phân ra thành các hợp phần (bằng phép biến đổi Fourier) có các chu kỳ khác nhau, thì hợp phần có chu kỳ và biên độ lớn nhất là trường từ của lưỡng cực từ, cực Bắc và cực Nam của lưỡng cực từ gần trùng với các cực địa lý Bắc và Nam của Trái Đất. Trục của lưỡng cực từ hợp với trục quay của Trái Đất một góc $11,5^\circ$. Vì vậy các cực từ của trường địa từ không trùng với các cực địa lý của Trái Đất [H.1]. Trường địa từ chiếm không gian có bán kính khoảng vài chục ngàn kilomet, không gian này được gọi là từ quyển.

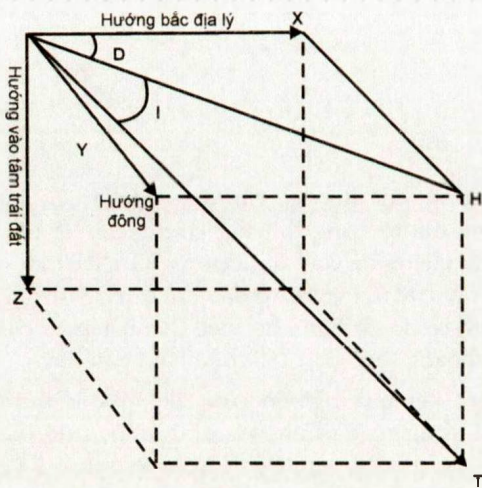
Trường địa từ ở một điểm bất kỳ nào có thể biểu diễn qua các thành phần của nó [H.2]: T – vector

tổng hợp cường độ trường địa từ, H – vector cường độ trường địa từ ở mặt phẳng nằm ngang, X và Y là thành phần bắc và đông của H, còn Z – vector cường độ trường địa từ theo phương thẳng đứng hướng về tâm Trái Đất. D là độ từ thiên – góc hợp bởi vector H với phương bắc địa lý, I là độ từ khuynh – góc hợp bởi vector T với mặt nằm ngang.

Trường địa từ là trường thế, do vậy các thành phần của trường địa từ đều tuân theo quy luật của trường thế.



Hình 1. Trường địa từ.



Hình 2. Các thành phần của trường địa từ.

Đơn vị trong hệ đo lường quốc tế (SI) của cường độ trường từ là tesla, ký hiệu T. Do trường địa từ yếu và các máy đo trường địa từ (từ kế) hiện đại có độ nhạy khoảng 10^{-9} T nên trong địa vật lý thường dùng đơn vị nanotesla (nT, $1nT = 10^{-9}$ T), đôi khi cũng dùng microtesla (μT , $1\mu T = 10^{-6}$ T). Cường độ của trường địa từ phụ thuộc vào tọa độ của điểm quan sát; khoảng $30\mu T$ ở xích đạo, $60\mu T$ ở hai cực của Trái Đất.

Các thành phần của trường địa từ được liên hệ bằng các công thức sau:

$$H = T \cos(I);$$

$$Z = T \sin(I) = H \operatorname{tg}(I);$$

$$X = H \cos(D); \quad X^2 + Y^2 = H^2;$$

$$X^2 + H^2 + Z^2 = T^2.$$

Dựa vào dấu của độ từ khuynh I và thành phần Z, Trái Đất được chia làm hai phần, phần bắc và phần nam. Phần bắc có Z và I với giá trị dương (đầu bắc của kim địa bàn chúc xuống dưới), phần nam thì Z và I có giá trị âm (đầu bắc của kim địa bàn hướng lên trên). Đường phân giữa hai phần được gọi là xích đạo địa từ.

Ngoài lưỡng cực từ tạo ra hợp phần chính (trên 90%), trường địa từ còn có các hợp phần tạo ra do các nguồn khác như đá bị nhiễm từ trong vỏ Trái Đất, dòng chảy trong đại dương, dòng điện trong tầng điện ly và từ quyển.

Biến thiên của trường địa từ

Đã từ lâu (trên 400 năm nay) người ta thấy các thông số của trường địa từ không cố định mà luôn biến đổi, đặc biệt là độ từ thiên (D) và độ từ khuynh (I). Tùy thuộc vào sự thay đổi dài hay ngắn, biến thiên từ được chia ra thành các loại như bão từ, biến thiên ngày đêm, biến thiên theo mùa, biến thiên hàng năm và biến thiên thế kỷ. Những biến thiên này do nhiều yếu tố gây nên, như thời tiết, khí hậu, các luồng hạt mang điện do Mặt Trời phát ra (gió Mặt Trời), và quan trọng hơn cả là sự thay đổi ở bản thân nguồn chính gây ra trường địa từ. Gió Mặt Trời là luồng ion hóa gồm có các điện tích dương (proton) và điện tử phát ra từ Mặt Trời đi về phía Trái Đất, bị trường địa từ làm lệch quỹ đạo chuyển động của chúng, kết quả là chùm hạt mang điện bị suy yếu rất nhiều khi tới mặt đất. Ngoài ra biến thiên của trường địa từ còn chịu ảnh hưởng của lớp ion ở tầng điện ly. Ngoài các biến thiên của trường địa từ kể trên, còn có hiện tượng trường địa từ đảo cực, đã diễn ra trong nhiều giai đoạn của lịch sử Trái Đất.

Nguồn gốc của trường địa từ và sự biến thiên của nó

Có nhiều giả thuyết giải thích về nguồn gốc của trường địa từ nhưng chỉ còn thuyết dinamo tự kích đang được nghiên cứu nhiều nhất. Lý thuyết này do Larmor đưa ra vào năm 1919 dựa vào sự vận động của nhân ngoài lòng của Trái Đất, được Bullard và Elsasser phát triển vào cuối những năm 1940 rồi được Backus và Herzenberg hoàn thiện vào năm 1958. Bằng lý thuyết về từ thủy động lực học cùng với kết quả mô hình hóa trên siêu máy tính của Glatzmaier và Roberts (1995), Kageyama và Sato (1995), v.v... người ta đã xác nhận thuyết dinamo tự kích có khả năng giải thích được nguồn gốc của trường địa từ và một số biến thiên của nó.

Cổ địa từ và từ địa tầng

Cổ địa từ

Việc nghiên cứu trường địa từ ở các niên đại địa chất khác nhau được dựa vào các "vết tích" của

trường địa từ để lại trong các lớp đá của vỏ Trái Đất. Các vết tích đó thường có trong các đá có hàm lượng các khoáng vật có từ tính cao như magnetit, hematit, goethit, v.v... Các khoáng vật này thường có nhiều trong basalt và các trầm tích màu đỏ.

Độ từ dư J_r

Nếu một vật thể có chứa những chất có từ tính cao, nhưng ban đầu không có từ tính được đặt trong trường từ, thì vật đó sẽ bị từ hóa. Trường từ hóa (trường từ riêng) của vật thể có phương trùng với phương của trường từ bên ngoài, nhưng có chiều ngược lại. Sự phụ thuộc của cường độ trường từ riêng vào cường độ trường từ bên ngoài được biểu diễn qua đường cong từ trễ. Cường độ của trường từ riêng còn lại khi cường độ trường từ ngoài bằng không (0) được gọi là độ từ dư (J_r). Khi một vật có trường từ riêng bị nung lên trên nhiệt độ Curie thì vật đó bị mất từ tính, tức là độ từ dư của vật ấy bằng không. Mỗi chất có nhiệt độ Curie khác nhau, ví dụ khoáng vật hematit nhiệt độ Curie bằng 675°C , magnetit – 580°C , v.v... Các khoáng vật này thường có trong các đá ryolit, basalt, cát kết và sét đỏ. Khi những khoáng vật này nguội dần thì chúng bị từ hóa trong trường địa từ bên ngoài và có độ từ dư J_r nhất định. Độ từ dư của khoáng vật được giữ lại và ít bị thay đổi nếu vật thể ấy không bị nung nên quá nhiệt độ Curie. Độ từ dư sinh ra do quá trình nêu trên được gọi là độ từ dư nhiệt. Trong tự nhiên độ từ dư của đá còn sinh ra do nhiều nguyên nhân khác, như độ từ dư nhiệt một phần, độ từ dư đẳng nhiệt, độ từ dư nhót, độ từ dư trầm tích và độ từ dư hóa học.

Lấy mẫu, đo và biểu diễn kết quả

Việc lấy mẫu đá để phục vụ nghiên cứu cổ từ phải tuân thủ theo quy phạm xác định. Trước khi lấy mẫu phải định hướng và đánh dấu các chiều, lấy mẫu bằng các dụng cụ phi từ. Trên mỗi điểm nghiên cứu thường lấy 6 - 8 mẫu ở những chỗ khác nhau trong vòng 5 - 10m, mỗi mẫu với thể tích khoảng 10cm^3 . Nếu được, mẫu nên lấy ở những chỗ có các thông số khác nhau như góc đô hay phương chạy của vỉa để có thể loại trừ yếu tố uốn lượn của vỉa.

Trong cổ từ, độ từ dư của mẫu được đo bằng từ kế có độ nhạy rất cao và dài đo rất rộng. Đó là loại từ kế thể hệ mới, dựa trên công nghệ siêu dẫn SQUID. Ưu điểm của SQUID là kết quả đo chính xác, đo được những mẫu có độ từ dư rất nhỏ khoảng 10^{-15} A/m và đo nhanh. Điểm yếu của SQUID là phải dùng khí heli lỏng để giữ chế độ làm việc ở nhiệt độ thấp.

Kết quả đo cho ba thành phần của vector độ từ dư, từ đó tính ra và chuyển thành các giá trị độ từ thiên D , độ từ khuynh I và độ từ dư J_r . Giá trị của các đại lượng này thay đổi theo địa điểm trên Trái Đất, nhưng vị trí cực từ của trường địa từ lại không phụ thuộc vào điểm quan sát. Do vậy, kết quả đo ở các địa điểm khác nhau giúp cho việc xác định cực từ

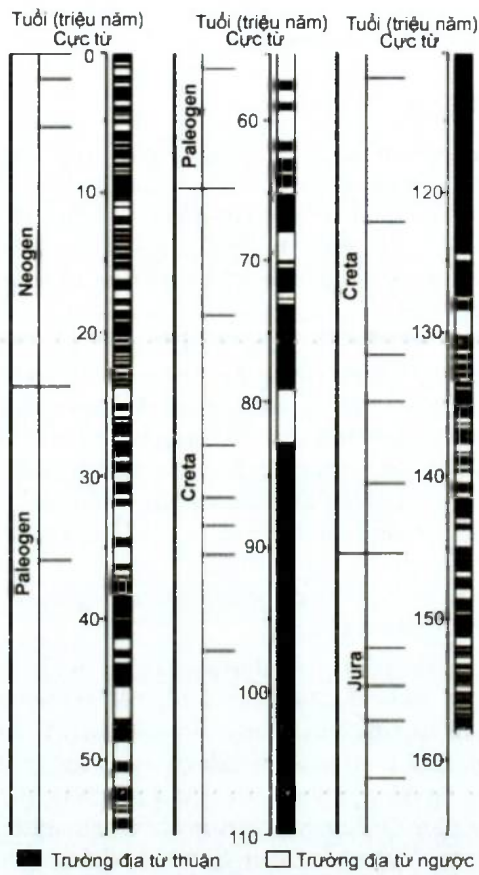
được thuận lợi. Các cực từ được xác định cho thấy sự di chuyển của các lục địa.

Từ địa tầng

Sự chuyển động của nhân ngoài lòng của Trái Đất tạo ra trường địa từ, không phải cố định mà còn tạo ra hàng trăm lần đảo cực, ghi lại vết tích bằng độ từ dư trái chiều nhau trong các lớp đá liên tiếp là cơ sở cho từ địa tầng. Lúc đầu người ta cho rằng cứ khoảng 1 triệu năm trường địa từ đảo cực một lần, và Tổ chức Trắc địa - Địa vật lý Quốc tế đã đặt tên cho mỗi thời gian trường địa từ đảo cực theo tên của các nhà khoa học có công trong lĩnh vực này, như Brunhes, Matuyama, v.v... Nhưng về sau việc đặt tên như vậy không còn thích hợp khi số liệu cổ từ ngày một tăng và nhiều lần đảo cực từ ở những khoảng thời gian ngắn hơn được xác lập. Do đó các khoảng thời gian trường địa từ được đặt tên theo địa danh, nơi có mẫu xác định được cực của trường địa từ, như Jaramillo, Olduvai, v.v...

Đảo cực từ xảy ra thường xuyên trong lịch sử Trái Đất với tần suất không xác định. Tình trạng hiện nay, khi kim địa bàn hướng về cực từ bắc đã kéo dài khoảng 0,78 triệu năm nay, được gọi là cực từ thuận. Sự xác lập từ địa tầng đầu tiên được thực hiện vào những năm 50 của thế kỷ trước do nhiều người, như Khramov A.N. chẳng hạn. Đặc tính không theo quy luật của những quãng thời gian đảo cực kiểu như dấu lẩn ngón tay có thể dùng để xác định niên đại và liên kết các dãy cực từ tính (magnetic polarity sequence) trong cả đá magma và trầm tích. Chuỗi các dị thường dương và âm tương ứng với các cực từ tính thuận và nghịch của vỏ đại dương quan sát được ở các sống núi giữa đại dương. Tuổi dung nham trào ra từ sống núi được xác định bằng phương pháp phóng xạ nên có thể tính được tốc độ tách giãn đáy đại dương. Dựa trên số liệu của các dị thường từ dạng dài ở sống đại dương với các số liệu cổ sinh địa tầng và tuổi đồng vị phóng xạ, Kent và Gradstein (1986) đã lập thang thời gian cực tính địa từ 160 triệu năm, cho tới Jura muộn (Oxfordi) [H.3]. Việc kéo dài thang từ địa tầng cho thời gian cũ hơn Jura có nhiều khó khăn, nhưng đang được tiếp tục nghiên cứu. Từ những tài liệu đo được người ta thấy sự đảo cực xảy ra thường xuyên trong nhiều khoảng thời gian lịch sử Trái Đất, nhất là trong hầu hết Mesozoi và Kainozoi. Kết quả nghiên cứu còn cho thấy cực tính của trường địa từ là thuận và ổn định trong một khoảng thời gian dài, khoảng từ 125 đến 83 triệu năm, thuộc kỷ Creta. Cực từ trong khoảng 70 triệu năm thuộc Carbon muộn và hầu hết Permi cũng ổn định. Bản chất trường địa từ trước Carbon chưa được nghiên cứu nhiều.

Từ địa tầng không phải là phương pháp độc lập trong đối sánh địa chất, tuy nhiên nó là một phương pháp hỗ trợ có hiệu quả vì hiện tượng đảo cực xảy ra trên toàn cầu.



Hình 3. Cột từ địa tầng – màu đen chỉ thời gian cực từ thuận, màu trắng – cực từ ngược.

Ngoài sự đảo cực từ, cường độ trường địa từ cũng thay đổi. Theo tài liệu đo được từ các mẫu cổ từ thì cường độ trường địa từ lúc tăng lúc giảm, nhưng các giai đoạn tăng giảm đó thường chỉ kéo dài vài nghìn năm, quá ngắn so với thời gian địa chất. Qua quan sát ở các trung tâm đo đạc thì cường độ trường địa từ trong thế kỷ 20 đã giảm đi khoảng 5%.

Tài liệu tham khảo

- Kent D.V., Gradstein F.M., 1986. A Jurassic to recent chronology. In: *The Geology of North America Vol. M, The Western North Atlantic Region. The Geological Society of America 1986*, pgs. 45-50.
- Lowrie W., 2011. Paleomagnetism Principles. In: *Encyclopedia of Earth Sciences Series, Encyclopedia of Earth Geophysics. Springer. Part 14: 955-964.*
- McElhinny M.W., McFadden P.L., 2000. Paleomagnetism – Continents and Oceans. *Academic Press*. 386 pgs.
- Nguyễn Thị Kim Thoa, 2007. Trường địa từ và kết quả khảo sát tại Việt Nam. *NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ*. 334 tr. Hà Nội.
- Torsvik T.N., 2005. Paleomagnetism. In: Selley R. C., Cocks L.R.M., Plimer I.R. 2005: *Encyclopedia of Geology. Academic Press, Vol. 4: 147-156.*
- Westphal M., 1986. Paléomagnétisme et magnétisme des roches. *Doin*. Paris. 131 pgs.