



Chương 5. Từ tính của đất đá

Tôn Tích Ái

Địa từ và thăm dò từ. NXB Đại học quốc gia Hà Nội 2006.

Từ khoá: Địa từ và thăm dò từ, Trường từ, Từ tính, Nghịch từ, Thuận từ, Khoáng từ, Sắt từ, Độ từ hóa, Từ trường.

Tài liệu trong Thư viện điện tử ĐH Khoa học Tự nhiên có thể được sử dụng cho mục đích học tập và nghiên cứu cá nhân. Nghiêm cấm mọi hình thức sao chép, in ấn phục vụ các mục đích khác nếu không được sự chấp thuận của nhà xuất bản và tác giả.

Mục lục

Chương 5	Từ tính của đất đá.....	3
5.1	Những kiến thức cơ bản về sự từ hoá	3
5.1.1	Khái niệm chung	3
5.1.2	Mômen từ và mômen động lượng của nguyên tử.....	3
5.2	Nguyên tử trong từ trường ngoài.....	6
5.3	Chất nghịch từ, thuận từ trong từ trường	9
5.3.1	Chất nghịch từ.....	9
5.3.2	Chất thuận từ.....	10
5.4	Vector cảm ứng từ và vector từ trường trong vật thể từ	12
5.5	Chất sắt từ	14
5.6	Phản sắt từ và ferit từ	19
5.6.1	Phản sắt từ	19
5.6.2	Ferit từ.....	20
5.7	Khái niệm về từ tính của đất đá.....	20
5.8	Các dạng từ hoá.....	21

5.9	Các khoáng từ. Tính chất của các khoáng từ	22
5.9.1	Điều kiện xuất hiện và tồn tại của các khoáng từ.....	22
5.9.2	Các tính chất từ	23
5.9.3	Xêri Titanômanhêtit	24
5.9.4	Xêri Hêmatit- Ilmênit (Hêmôilmênit)	26
5.9.5	Các hydroxyt sắt	27
5.9.6	Pirôtin FeS_{1+x}	27
5.10	Các nguyên nhân của sự từ hoá ngược của các đá	28
5.11	Sự phụ thuộc của độ từ hoá vào hình dạng của vật	28
5.12	Sự phụ thuộc của cường độ dị thường từ vào các tính chất từ của đá	30
5.13	Cấu trúc lại lịch sử phát triển của trường địa từ	31
5.13.1	Khảo cổ từ	31
5.13.2	Các phương pháp nghiên cứu cổ từ	32
5.14	Đơn vị của các đại lượng từ được dùng trong địa từ	38

Chương 5

Từ tính của đất đá

5.1 Những kiến thức cơ bản về sự từ hoá

5.1.1 Khái niệm chung

Thực nghiệm chứng tỏ rằng khi đưa một thỏi sắt lại gần cực của một thanh nam châm, thỏi sắt sẽ bị nam châm hút. Điều đó chứng tỏ rằng thỏi sắt đã bị từ hoá. Bằng nhiều thí nghiệm khác nhau ta có thể đi đến kết luận: *Mọi chất đặt trong từ trường sẽ bị từ hoá.* Khi đó chúng trở nên có từ tính và sinh ra một từ trường phụ hay từ trường riêng \vec{B}' khiến từ trường tổng hợp \vec{B} trong chất bị từ hoá trở thành:

$$\vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{B}'$$

trong đó \vec{B}_0 là vectơ cảm ứng từ trường ban đầu bên ngoài vật.

Các đất đá và khoáng vật từ lúc hình thành đã nằm trong trường từ của Quả Đất. Sự từ hoá của các đất đá trong trường từ của quả đất được quyết định bởi các tính chất từ của các khoáng vật tạo nên chúng.

Tùy theo tính chất và mức độ từ hoá của các vật liệu từ nói chung và các khoáng vật, đất đá nói riêng người ta phân ra ba loại vật liệu theo tính chất từ như sau:

Nghịch từ. Những chất này bị từ hoá sẽ sinh ra một trường từ phụ \vec{B}' hướng ngược chiều với từ trường ban đầu \vec{B}_0 . Do đó trường từ tổng hợp \vec{B} trong các vật liệu nghịch từ bé hơn trường từ ban đầu bên ngoài \vec{B}_0 .

Thuận từ. Đối với các chất này trường phụ \vec{B}' do chúng sinh ra hướng cùng chiều với từ trường ban đầu \vec{B}_0 . Do đó từ trường tổng hợp \vec{B} trong thuận từ lớn hơn từ trường ban đầu \vec{B}_0 .

Sắt từ. Từ trường phụ \vec{B}' do sắt từ bị từ hóa sinh ra cũng hướng cùng chiều với từ trường ban đầu \vec{B}_0 .

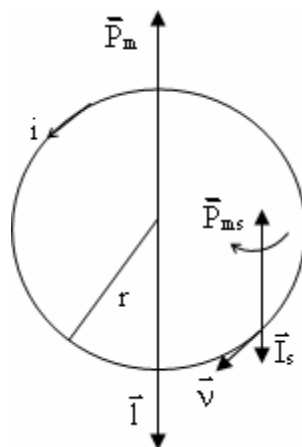
Tuy nhiên do mức độ từ hóa yếu, từ trường phụ \vec{B}' của các vật liệu nghịch từ và thuận từ rất nhỏ so với từ trường ban đầu \vec{B}_0 , còn đối với chất sắt từ, từ trường phụ \vec{B}' có thể lớn hơn từ trường ban đầu \vec{B}_0 hàng chục nghìn lần.

5.1.2 Mômen từ và mômen động lượng của nguyên tử

Vì các đất đá khoáng vật luôn nằm trong từ trường ngoài- từ trường của quả đất, nên trước tiên để hiểu về bản chất của việc từ hoá ta hãy khảo sát trạng thái của các nguyên tử nằm trong từ trường ngoài.

Tất cả các chất đều được cấu tạo từ các nguyên tử, phân tử. Mỗi một nguyên tử gồm có hạt nhân mang điện dương. Xung quanh hạt nhân có các điện tử chuyển động. Theo vật lý cổ điển, các điện tử này chuyển động trên các quỹ đạo khép kín rất nhỏ gọi là các dòng điện nguyên tử. Những dòng điện nguyên tử này cũng sinh ra từ trường và bị từ trường ngoài tác dụng. Nói một cách khác, các nguyên tử có từ tính. Nghiên cứu từ tính của nguyên tử và tác dụng của từ trường lên các nguyên tử, phân tử của các chất cho phép ta giải thích tính chất từ của các chất đó.

Ta hãy xét một nguyên tử cô lập không chịu tác dụng của từ trường ngoài. Theo cơ học cổ điển, điện tử chuyển động trong nguyên tử theo quỹ đạo tròn hoặc ellip và tạo nên dòng điện (dòng điện vi mô). Chính dòng điện kín này tạo ra từ trường.



Hình 5.1

Các mômen từ của nguyên tử

Để đơn giản, ta coi điện tử chuyển động trong nguyên tử trên một quỹ đạo tròn bán kính r , có tâm trùng với hạt nhân nguyên tử (Hình 5.1). Khi chuyển động trên quỹ đạo, điện tử có mômen từ quỹ đạo bằng:

$$\vec{p}_m = iS\vec{n} = i\vec{S} \quad (5.1)$$

trong đó i là cường độ dòng điện, S – diện tích bao quanh bởi dòng điện, \vec{n} là vectơ đơn vị pháp tuyến với mặt phẳng quỹ đạo. Vì điện tử mang điện âm nên dòng điện có chiều ngược lại với chiều chuyển động trên quỹ đạo của điện tử.

Nếu gọi ν là số **vòng** quay của điện tử trong một giây thì:

$$i = |e|\nu$$

trong đó $\nu = \frac{v}{2\pi r}$, v là vận tốc dài của điện tử, r là bán kính quỹ đạo của điện tử)

Khi đó ta có:

$$p_m = \frac{|e|v}{2\pi r} \pi r^2 = \frac{|e|vr}{2} \quad (5.2)$$

Mặt khác vì điện tử **quay** xung quanh hạt nhân nên còn có một mômen động lượng:

$$\vec{I} = m[\vec{r} \wedge \vec{v}]$$

Vectơ \vec{l} hướng vuông **góc** với mặt phẳng quỹ đạo, có chiều sao cho $\vec{r}, \vec{v}, \vec{l}$ theo thứ tự đó hợp thành tam diện thuận và có độ lớn:

$$l = m r v \quad (5.3)$$

Hai vectơ \vec{p}_m và \vec{l} có **cùng** phương nhưng ngược chiều với nhau (Hình 5.1).

Với các quỹ đạo khác **nhau** \vec{v} và \vec{r} khác nhau do đó \vec{p}_m và \vec{l} cũng khác nhau song tỷ số giữa mômen từ quỹ đạo và mômen động lượng quỹ đạo vẫn không thay đổi và bằng:

$$\frac{\vec{p}_m}{\vec{l}} = -\frac{|e|}{2m} = -g = \text{const} \quad (5.4)$$

g được gọi là hệ số từ cơ.

Công thức (5.4) tính cho quỹ đạo tròn, nhưng nó còn đúng cho cả quỹ đạo ellip.

Bên cạnh chuyển động trên quỹ đạo, điện tử còn chuyển động xung quanh trục riêng (Hình 5.1), do đó còn có một véc tơ mômen động lượng riêng \vec{l}_s (gọi tắt là spin) và một mômen từ riêng \vec{p}_{ms} cùng phương và ngược chiều với \vec{l}_s .

Tính toán theo cơ học lượng tử và các thực nghiệm chứng tỏ rằng giữa \vec{p}_{ms} và \vec{l}_s có hệ thức:

$$\frac{\vec{p}_{ms}}{\vec{l}_s} = -\frac{|e|}{m} = -2g \quad (5.5)$$

Từ (5.4) và (5.5) ta thấy tỷ số giữa mômen từ và mômen động lượng trong chuyển động riêng lớn gấp đôi tỷ số ấy trong chuyển động quỹ đạo.

Khi xét từ tính ở mức độ điện tử và nguyên tử, ta thấy rằng sẽ thuận tiện nếu dùng một đơn vị không phải trong hệ SI để đo mômen từ. Đơn vị đó được gọi là Manhêton Bo (ký hiệu là μ_B) và được định nghĩa qua ba hằng số của tự nhiên như sau:

$$\mu_b = \frac{eh}{2\pi m} = 9,27.10^{-24} \text{ J/T} \quad (5.6)$$

trong đó $h = 6,625.10^{-34} \text{ J.s}$ và được gọi là hằng số Planck, hằng số trung tâm của vật lý lượng tử.

Theo cơ học lượng tử, điện tử trong nguyên tử chỉ có thể chuyển động trên những quỹ đạo dừng xác định, mômen động lượng \vec{l} của điện tử bị lượng tử hoá, giá trị nhỏ nhất bằng $h/2\pi$ và các giá trị khác là bội số nguyên của giá trị nhỏ nhất đó. Thay giá trị nhỏ nhất đó vào trong biểu thức (5.4) và chỉ xét đến độ lớn, ta có:

$$p_m = \frac{e}{2m} \frac{h}{2\pi} = \frac{eh}{2\pi m} \quad (5.7)$$

Ta thấy đại lượng này (xem biểu thức (5.6)) chính là Manhêton Bo μ_B . Về mặt vật lý ta có:

Manhêton Bo bằng mômen từ quỹ đạo của điện tử chuyển động trên quỹ đạo tròn với giá trị mômen động lượng quỹ đạo cho phép bé nhất (khác không).

Mômen từ của các điện tử trong nguyên tử bằng tổng các mômen từ quỹ đạo \vec{p}_m và các mômen từ spin \vec{p}_{ms} của chúng:

$$\vec{P}_m = \sum_{i=1}^Z (\vec{p}_{mi} + \vec{p}_{msi}) \quad (5.8)$$

với Z là số thứ tự của nguyên tố trong bảng tuần hoàn hay là số điện tử trong nguyên tử.

Tương tự, mômen động lượng tổng cộng của các điện tử trong nguyên tử bằng:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^Z (\vec{l}_i + \vec{l}_{si}) \quad (5.9)$$

Mômen từ nguyên tử bao gồm mômen từ của các điện tử và hạt nhân. Mômen từ của hạt nhân (gồm các proton và notron) theo biểu thức (5.4) khoảng hai nghìn lần nhỏ hơn mômen từ của điện tử (do khối lượng của proton khoảng hai nghìn lần lớn hơn khối lượng của điện tử). Vì vậy có thể bỏ qua mômen từ hạt nhân bên cạnh mômen từ của điện tử.

Tóm lại, ta có thể xem \vec{P}_m và \vec{L} là các vector mômen từ và mômen động lượng của nguyên tử.

Theo cơ học lượng tử các vector \vec{P}_m và \vec{L} của nguyên tử cô lập luôn luôn cùng phương song ngược chiều với nhau và liên hệ với nhau qua biểu thức sau:

$$\frac{\vec{P}_m}{\vec{L}} = - \left(\frac{|e|}{2m} \right) \cdot \gamma \quad (5.10)$$

trong đó γ là một hằng số được gọi là thừa số Lande, $1 \leq \gamma \leq 2$.

Từ (5.10) ta suy ra rằng khi mômen động lượng của nguyên tử biến thiên một lượng $\Delta \vec{L}$ thì mômen từ cũng biến thiên một lượng tương ứng

$$\Delta \vec{P} = \left(- \frac{|e|}{2m} \right) \gamma \Delta \vec{L} \quad (5.11)$$

Người ta cũng đã chứng minh được rằng mômen từ quỹ đạo của tất cả các điện tử trong nguyên tử hay ion bằng không nếu lớp vỏ nguyên tử được lấp đầy các điện tử. Các lớp vỏ này chứa các điện tử từng đôi một có mômen bằng nhau về độ lớn nhưng ngược nhau về chiều.

5.2 Nguyên tử trong từ trường ngoài

Trước hết ta xét trường hợp nguyên tử có một điện tử. Giả sử nguyên tử được đặt trong từ trường ngoài \vec{B}_0 (trong phạm vi nguyên tử có thể xem là đều), hợp với quỹ đạo của nguyên tử một góc α (Hình 5.2)

Vì điện tử chuyển động trên quỹ đạo tương đương với dòng điện có mômen từ \vec{p}_m nên nó bị từ trường ngoài \vec{B}_0 tác dụng. Mômen lực tác dụng $\vec{\tau}$ được xác định bằng biểu thức:

$$\vec{\tau} = \left| \vec{P}_m \wedge \vec{B}_0 \right| \quad (5.12)$$

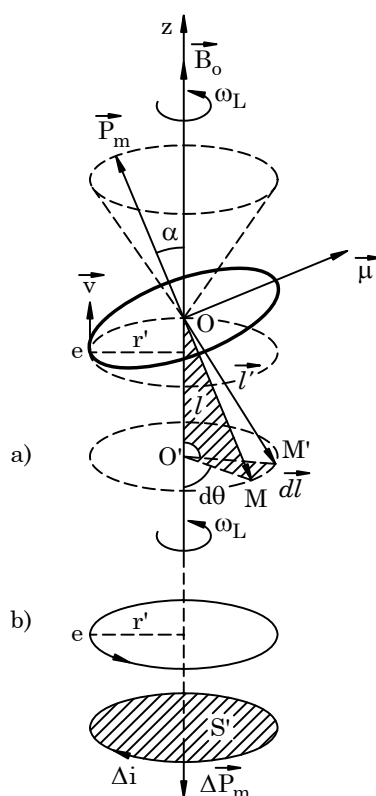
$\vec{\tau}$ có phương vuông góc với mặt phẳng hợp với \vec{p}_m (hoặc \vec{I}) và hướng \vec{B}_0 (Hình 5.2), có chiều sao cho \vec{p}_m , \vec{B}_0 và $\vec{\tau}$ hợp thành một tam diện thuận và có độ lớn bằng:

$$\tau = p_m B_0 \sin \alpha$$

Điện tử chuyển động trên quỹ đạo giống như một con quay chuyển động quanh trục đối xứng trùng với phương của mômen quỹ đạo \vec{I} , do đó, dưới tác dụng của mômen lực $\vec{\tau}$, điện tử sẽ chịu thêm một chuyển động tuế sai xung quanh phương của từ trường ngoài \vec{B}_0 . Nghĩa là các vectơ \vec{p}_m và \vec{I} không quay về trùng với phương \vec{B}_0 mà lại vẽ các mặt nón tròn xoay có trục trùng với phương của \vec{B}_0 vẽ qua tâm quỹ đạo (góc giữa \vec{p}_m và \vec{B}_0 luôn không thay đổi).

Thực vậy theo định lý về mômen động lượng, độ biến thiên của mômen động lượng quỹ đạo trong khoảng thời gian dt bằng :

$$d\vec{l} = \vec{\tau} dt \quad (5.13)$$



Hình 5.2

Nguyên tử trong từ trường ngoài

Khi đó mômen động lượng mới là $\vec{l}' = \vec{l} + d\vec{l}$. Theo (5.13), $d\vec{l}$ luôn song song và cùng chiều với $\vec{\tau}$, do đó, trong thời gian dt , \vec{l} chuyển đến \vec{l}' theo hướng của $d\vec{l}$ (vuông góc với mặt phẳng chứa \vec{l} và \vec{B}_0), nghĩa là thực hiện chuyển động tuế sai. Ta có thể tìm vận tốc ω_L của chuyển động tuế sai của điện tử.

Từ hình 5.2 ta thấy rằng trong thời gian dt , chuyển động tuế sai đã làm cho mặt phẳng chứa \vec{l} quay được một góc

$$d\theta = \angle MO'M = \angle MM'O'M = \frac{|d\vec{l}|}{l \sin \alpha}.$$

Với (5.12) và (5.13) ta có:

$$d\theta = \frac{P_m B_0 dt}{l} \text{ suy ra } \omega_L = \frac{d\theta}{dt} = \frac{P_m B_0}{l}$$

Thay hệ số từ cơ (5.4) vào biểu thức trên, ta thu được vận tốc góc của chuyển động tuế sai:

$$\omega_L = \frac{eB_0}{2m} \quad (5.14)$$

ω_L được gọi là vận tốc góc Larmor.

Ta thấy rằng vận tốc góc Larmor không phụ thuộc vào góc α , cũng không phụ thuộc vào bán kính quỹ đạo và vận tốc của điện tử trên quỹ đạo. Do đó công thức (5.14) đúng cho mọi điện tử trong nguyên tử.

Tóm lại, khi nguyên tử đặt trong từ trường ngoài thì mỗi nguyên tử sẽ tham gia một chuyển động phụ - chuyển động tuế sai - xung quanh trục Oz (Hình 5.2) đi qua tâm quỹ đạo và song song với phương từ trường ngoài với vận tốc góc bằng vận tốc góc Larmor.

Sự tuế sai làm thay đổi dòng điện quỹ đạo, tức là làm xuất hiện một dòng điện phụ:

$$\Delta i = e v_L = e \frac{\omega_L}{2\pi}$$

trong đó v_L là tần số quay của chuyển động phụ của điện tử.

Theo (5.14), từ biểu thức trên ta có:

$$\Delta i = \frac{e^2 B_0}{4\pi m}$$

có chiều ngược với dòng i .

Khi đó, bên cạnh mômen từ \vec{p}_m sẽ xuất hiện một mômen từ quỹ đạo cảm ứng của điện tử:

$$\Delta \vec{p}_m = \Delta i \cdot S = \frac{e^2 S_{\perp}}{4\pi m} \vec{B}_0$$

với $S_{\perp} = S \cos \alpha$ là diện tích hình chiếu của quỹ đạo điện tử lên trên mặt phẳng vuông góc với hướng \vec{B}_0 .

Vì $\Delta \vec{p}_m$ ngược chiều với \vec{B}_0 nên:

$$\Delta \vec{p}_m = -\frac{e^2 S_{\perp}}{4\pi m} \vec{B}_0 \quad (5.15)$$

Nếu trong nguyên tử có Z điện tử và tương tác giữa chúng có thể bỏ qua thì mômen quỹ đạo cảm ứng toàn phần $\vec{\Delta P}_m$ của nguyên tử bằng tổng vector các đại lượng Δp_m của mỗi điện tử, tức là

$$\Delta \vec{P}_m = \sum_{i=1}^Z \Delta \vec{p}_{mi} = -\frac{e^2}{4\pi m} \vec{B}_0 \sum_{i=1}^Z S_{\perp i}$$

Nếu gọi \bar{S}_{\perp} là độ lớn trung bình của diện tích hình chiếu của quỹ đạo điện tử trong nguyên tử lên mặt phẳng vuông góc với hướng trường:

$$\bar{S}_{\perp} = \frac{\sum_{i=1}^Z S_{\perp i}}{Z}$$

thì lúc đó ta có:

$$\Delta \vec{P}_m = -\frac{e^2 Z \bar{S}_{\perp}}{4\pi m} \vec{B}_0 \quad (5.16)$$

5.3 Chất nghịch từ, thuận từ trong từ trường

5.3.1 Chất nghịch từ

Hiện tượng xuất hiện một mômen từ cảm ứng ngược chiều với từ trường ngoài khi đặt nguyên tử trong từ trường được gọi là hiện tượng nghịch từ. Như vậy, hiện tượng nghịch từ xảy ra trong bất kỳ chất nào đặt trong từ trường. Tuy nhiên tính nghịch từ sẽ thể hiện rõ chủ yếu ở những chất mà khi chưa đặt trong từ trường ngoài mômen từ của nguyên tử hoặc phân tử bằng không nghĩa là tổng vector của mômen từ của tất cả các nguyên tử hay phân tử bằng không. Sự từ hoá xuất hiện là do các chuyển động tuế sai của các quỹ đạo điện tử trong từ trường gây nên. Các khí trơ, đa số các hợp chất hữu cơ, nhiều kim loại (như Bi, Zn, Au, Ag, Cu), nhựa, nước, thuỷ tinh, các khoáng vật như thạch anh, clorit, apatit, fenspat, plagiolazơ, epidôt, thạch anh... thuộc nhóm nghịch từ này.

Để đặc trưng cho mức độ từ hoá của các vật thể bị nhiễm từ, người ta đưa vào một đại lượng vật lý \vec{J} , được gọi là độ từ hoá (hay vector từ hoá) \vec{J} là mômen từ của một đơn vị thể tích của vật thể bị từ hoá:

$$\vec{J} = \lim_{\tau \rightarrow 0} \left(\frac{1}{\tau} \sum_{i=1}^n \vec{P}_{mi} \right) \quad (5.17)$$

trong đó n là số nguyên tử (hay phân tử) trong thể tích τ , \vec{P}_{mi} là vector mômen từ của nguyên tử hay phân tử thứ i . Vector từ hoá là một đại lượng cơ bản đặc trưng cho trạng thái từ của vật chất. Biết \vec{J} tại mỗi một điểm của vật thể bị từ hoá ta có thể xác định được từ trường do vật thể đó tạo ra.

Với từ trường ngoài thấp, \vec{J} tỷ lệ với trường ngoài \vec{B}_0 , lúc đó ta có thể viết:

$$\vec{J} = \frac{\chi_m}{\mu_0} \vec{B}_0 \quad (5.18)$$

χ_m được gọi là hệ số từ hoá (hay độ từ cảm) của vật chất, phụ thuộc vào bản chất của vật liệu từ.

Khi đặt chất nghịch từ đồng nhất vào trong từ trường đồng nhất, mômen từ quỹ đạo cảm ứng $\Delta\vec{P}_m$ của tất cả các nguyên tử là đồng nhất và hướng về phía ngược với từ trường ngoài \vec{B}_0 . Do đó:

$$\vec{J} = \frac{n\Delta\vec{P}_m}{\tau} = n_0\Delta\vec{P}_m = -\frac{n_0e^2Z\bar{S}_\perp}{4\pi m} \vec{B}_0 \quad (5.19)$$

trong đó n_0 là số nguyên tử trong một đơn vị thể tích của chất nghịch từ. Như vậy

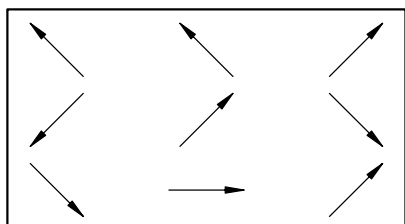
$$\chi_m = -\frac{n_0e^2Z\bar{S}_\perp}{4\pi m} \mu_0. \quad (5.20)$$

Từ (5.20) ta thấy rằng chất nghịch từ có $\chi_m < 0$.

5.3.2 Chất thuận từ

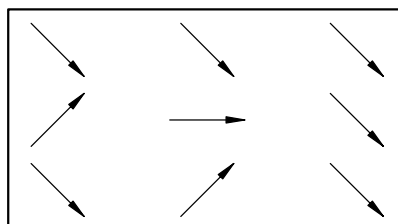
Nếu mômen từ tổng cộng của các điện tử trong nguyên tử, phân tử hay ion khác không khi chưa đặt trong từ trường thì chúng có mômen từ \vec{P}_m nào đó, nhưng khi chưa đặt chất thuận từ vào trong từ trường ngoài, tổng các mômen từ này bằng không vì đặc tính phân bố ngẫu nhiên hỗn loạn của các mômen từ của các nguyên tử riêng biệt. Nếu ta đặt mẫu gồm N nguyên tử như vậy vào từ trường thì các mômen từ nguyên tử sẽ định hướng theo từ trường. Chất có tính như vậy gọi là chất thuận từ. Mômen từ hoặc do các spin không bù trừ của các điện tử trong nguyên tử hoặc do chuyển động quỹ đạo của điện tử xung quanh hạt nhân hoặc do đồng thời cả hai nguyên nhân này gây nên.

Ví dụ về các chất thuận từ là các kim loại kiềm (Na, K,...), ôxit nitơ dưới dạng khí (NO), ôxy, không khí, Platin (Pt), Al, và một số kim loại khác.



Hình 5.3

Chất thuận từ trong từ trường ngoài $\vec{B} = 0$



Hình 5.4

Chất thuận từ trong từ trường ngoài $\vec{B} \neq 0$

Khi chưa đặt chất thuận từ vào trong từ trường ngoài, do chuyển động nhiệt hỗn loạn, các mômen từ của các nguyên tử sắp xếp hoàn toàn hỗn loạn (Hình 5.3), do đó mômen từ tổng cộng của chất thuận từ bằng không.

Khi đặt chất thuận từ vào trong từ trường ngoài, trên mỗi nguyên tử có tác dụng một ngẫu lực làm cho mômen từ của nó có khuynh hướng sắp xếp song song với từ trường ngoài (Hình

5.4). Như vậy hướng của từ trường ngoài là hướng sắp xếp ưu tiên của các mômen từ nguyên tử \vec{P}_m . Vector từ hoá \vec{J} của chất thuận từ khác không và song song với từ trường ngoài- khối thuận từ đã bị từ hoá. Đó chính là hiện tượng thuận từ.

Hệ số từ hoá của chất thuận từ phụ thuộc vào nhiệt độ. Nhiệt độ của chất thuận từ càng cao, chuyển động nhiệt của các nguyên tử càng mạnh, khả năng định hướng trong từ trường ngoài càng yếu, tức là vectơ từ hoá \vec{J} càng bé. Điều này giải thích sự giảm của hệ số từ hoá thuận từ khi chất thuận từ được nung nóng.

Năm 1905 Langevin đã đưa ra lý thuyết về hiện tượng thuận từ cổ điển. Theo lý thuyết này, khi đặt nguyên tử thuận từ vào trong từ trường ngoài, tác dụng định hướng phụ thuộc vào mômen từ của nguyên tử và cảm ứng từ ngoài B_0 . Tác dụng hỗn loạn của chuyển động nhiệt được xác định bằng đại lượng kT , tỷ lệ với năng lượng nhiệt trung bình của một nguyên tử. Tác dụng tổng hợp của hai yếu tố này phụ thuộc vào tỷ số:

$$x = \frac{P_m B_0}{kT}. \quad (5.21)$$

Langevin đã tìm được sự phụ thuộc của vectơ từ hoá \vec{J} vào đối số x dưới dạng sau:

$$j = f(x) = n_0 P_m L(x) \quad (5.22)$$

trong đó

$$L(x) = \coth x - \frac{1}{x} = \left\{ \frac{e^x + e^{-x}}{e^x - e^{-x}} \frac{1}{x} \right\} \quad (5.23)$$

được gọi là hàm Langevin.

Khi $1 \ll x$ (từ trường rất lớn hoặc nhiệt độ rất thấp) $L(x) \rightarrow 1$ và $J = n_0 P_m$, tức là tất cả các mômen từ của các nguyên tử đều hướng theo trường ngoài: hiện tượng bão hoà từ xảy ra.

Tại nhiệt độ trong phòng ($T = 300 \text{ K}$), x chỉ xấp xỉ 1 khi \vec{B}_0 rất lớn, còn trong các trường hợp thường gặp trong thực tế, x luôn rất bé hơn 1.

Trong điều kiện bình thường, với $x \ll 1$, khai triển $L(x)$ thành chuỗi, ta có gần đúng $L(x) = x/3$. Lúc đó, theo (5.22) ta có:

$$\vec{J} = \frac{n_0 P_m^2}{3kT} \vec{B}_0 \quad (5.24)$$

lúc đó

$$\chi_m = \frac{n_0 P_m^2}{3kT}. \quad (5.25)$$

Ta thấy hệ số từ hoá của các chất thuận từ $\chi_m > 0$ và vì P_m rất nhỏ nên trị số của nó cũng rất bé. Ví dụ đối với các khoáng vật thuận từ $\chi_m < 120 \cdot 10^{-6} \text{ SI}$.

Đặt

$$\frac{n_0 P_m^2}{3k} = C \text{ thì từ (5.25) ta có:}$$

$$\chi_m = \frac{C}{T}.$$

Định luật này đã được Pierre Curie tìm ra bằng thực nghiệm vào năm 1895. Hằng số C được gọi là hằng số Curie. Định luật này đúng khi trạng thái từ hoá còn xa trạng thái bão hoà, tức là khi $\frac{B_0}{T}$ nhỏ.

5.4 Vector cảm ứng từ và vector từ trường trong vật thể từ

Để đặc trưng cho từ trường tạo bởi chính các dòng vĩ mô, bên cạnh vector cảm ứng từ \vec{B} , người ta còn đưa vào vector cường độ trường từ \vec{H} không phụ thuộc vào tính chất của môi trường. Muốn vậy, ta định nghĩa vector \vec{H} theo vector cảm ứng từ \vec{B}_{ck} do chính dòng vĩ mô tạo ra trong chân không. Trong hệ đơn vị SI ta có:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}_{ck}}{\mu_0} \quad (5.26)$$

Từ trường do một ống dây thẳng (solênôit) tạo ra là:

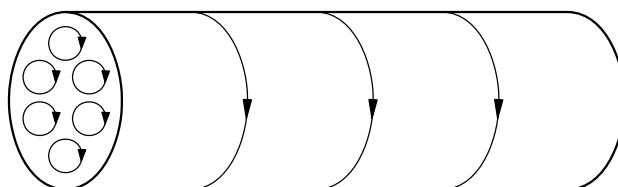
$$H = \frac{B_{ck}}{\mu_0} = ni$$

n là số vòng dây trên một đơn vị chiều dài.

Trong hệ đơn vị hợp pháp, đơn vị đo từ trường là A/m.

Khi đặt khối thuận từ vào trong từ trường, khối này bị từ hoá và tạo ra một từ trường riêng bên cạnh trường ngoài. Khi khối từ đồng nhất chiếm toàn bộ không gian có từ trường định xứ thì có thể tìm được mối liên hệ giữa từ trường riêng và véc tơ từ hoá \vec{J} .

Ta xét một khối từ hình trụ tròn có chiều dài khá lớn, tiết diện S được đặt trong từ trường đồng nhất của một ống dây solênôit dài (Hình 5.5). Khi đó, từ trường ngoài sẽ định hướng dòng điện vĩ mô (các dòng điện kín bên trong mỗi nguyên tử được gọi là dòng điện phân tử) và sắp xếp các mômen từ \vec{P}_m của chúng dọc theo trường ngoài \vec{H} (theo trục của hình trụ). Các dòng điện vĩ mô nằm trong mặt phẳng vuông góc với trục này.



Hình 5.5

\vec{J} và \vec{H} trong vật thể từ

Tổng hợp các mômen từ của các dòng điện phân tử lại, thanh vật liệu từ tạo nên một từ trường \vec{H}' khác không.

Để tính \vec{H}' ta xét một tiết diện ngang của thanh. Vì mẫu được từ hoá đồng nhất, $\vec{J} = \text{const}$, nên có thể xem tất cả các dòng điện phân tử trong tiết diện này là đồng nhất và có cùng một hướng. Từ hình 5.5. ta thấy tại những nơi tiếp xúc của các dòng điện phân tử riêng biệt, hướng của chúng ngược nhau, do đó từ trường tạo bởi các dòng điện phân tử bên trong bù trừ lẫn nhau. Vì thế, chỉ còn lại từ trường tạo bởi các phần dòng điện phân tử nằm tại mép ngoài của thanh và tạo thành dòng điện mặt i . Nếu xét toàn bộ thanh vật liệu từ, thì tất cả các dòng điện phân tử của nó tương đương với một dòng điện duy nhất chạy bao quanh mặt ngoài của thanh, hay nói khác đi nó giống như một ống dây điện dài.

Do đó từ trường riêng H' do thanh vật liệu từ sinh ra tại một điểm bên trong của nó là:

$$H' = \frac{B'_{ck}}{\mu_0} = \frac{Ni}{l} \quad (5.27)$$

trong đó N là tổng số các dòng điện nguyên tử chạy trên chiều dài l của thanh, i là cường độ mỗi dòng điện.

Mặt khác theo định nghĩa:

$$J = \frac{\text{Momen từ của thanh trụ}}{\text{Thể tích thanh}} = \frac{Ni}{Sl} = \frac{Ni}{l} \quad (5.28)$$

Từ đó suy ra :

$$J = H' \quad (5.29)$$

Nếu thanh được làm từ chất thuận từ thì \vec{J} và \vec{H} cùng chiều nên:

$$\vec{J} = \vec{H} \quad J = H' \quad (5.30)$$

Cảm ứng từ toàn phần bằng tổng các cảm ứng từ \vec{B}_{ck} tạo bởi cuộn dây từ hoá và cảm ứng từ B_{ck}' tạo bởi các dòng điện mặt. Do đó cảm ứng từ trong vật từ bằng:

$$\vec{B} = \vec{B}_{ck} + \vec{B}'_{ck} + \mu_0(\vec{H} + \vec{H}'_0) = \mu_0(\vec{H} + \vec{J}) \quad (5.31)$$

Trong nhiều tinh thể từ, hướng của từ trường \vec{H} và vectơ từ hoá \vec{J} có thể không trùng nhau. Trong các tinh thể này, \vec{J} còn phụ thuộc hướng của từ trường đối với các trục tinh thể. Các chất như vậy được gọi là chất dị hướng từ. Nói chung trong các chất loại này, hướng của cảm ứng từ \vec{B} và từ trường \vec{H} khác nhau.

Trong nhiều chất, hướng của \vec{J} và \vec{H} luôn trùng nhau. Sự từ hoá không phụ thuộc vào hướng của trường từ hoá và chúng là các vật thể từ đẳng hướng. Trong các chất như vậy, hướng của các vectơ \vec{B} và \vec{H} trùng nhau.

Theo (5.18) và (5.27) ta có ($B_0 = B_{ck}$):

$$\vec{J} = \frac{1}{\mu_0} \chi_m \vec{B}_{ck} = \chi_m \vec{H} = \vec{H}'$$

Thay vào (5.31) ta thu được:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{H}' = \mu_0 (1 + \chi_m) \vec{H}$$

hoặc:

$$\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{H} \quad (5.32)$$

trong đó:

$$\mu = 1 + \chi_m. \quad (5.33)$$

Đây chính là độ từ thẩm của vật chất.

Độ từ thẩm của vật chất là một đại lượng không thứ nguyên.

Đối với chất thuận từ $\chi_m > 0$ nên $\mu > 1$, nghịch từ $\chi_m < 0$ nên $\mu < 1$, với chân không $\chi_m = 0$ nên $\mu = 1$, còn đối với các chất sắt từ (sẽ xét sau), nói chung χ_m rất lớn nên $\mu \gg 1$.

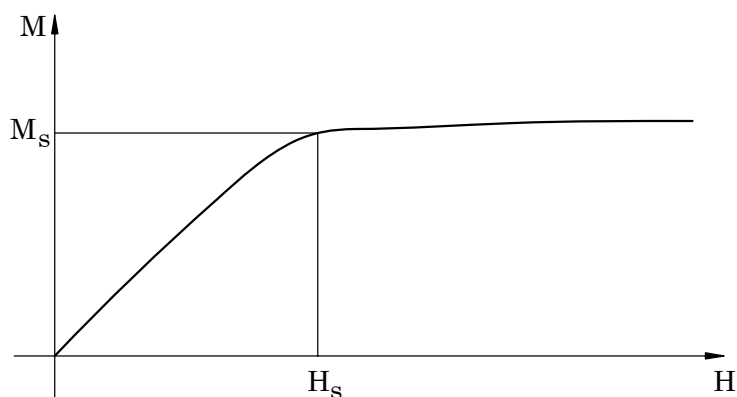
5.5 Chất sắt từ

Khác với các chất nghịch từ và thuận từ là các vật liệu từ yếu, sắt từ là một loại vật liệu từ mạnh. Trong vật liệu sắt từ có một tương tác đặc biệt, gọi là tương tác trao đổi, có tác dụng định hướng các mômen từ lưỡng cực nguyên tử song song với nhau, bất kể xu thế của chuyển động nhiệt làm cho chúng hỗn loạn. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng sắt từ, là hiệu ứng lượng tử và không thể giải thích được bằng vật lý cổ điển.

Theo kết quả thực nghiệm thì hệ số Lande γ trong (5.10) của các nguyên tử của các vật liệu sắt từ đa số trường hợp đều bằng 2. Điều đó chứng tỏ rằng các mômen từ của các nguyên tử chủ yếu là do các spin của các điện tử gây nên. Vì vậy hiện tượng sắt từ liên quan đến các mômen spin của các điện tử trong nguyên tử.

Những tính chất điển hình của các chất sắt từ là:

1. Trong phạm vi nhiệt độ xác định, các chất sắt từ có độ từ thẩm μ (do đó cả χ_m) rất lớn.



Hình 5.6

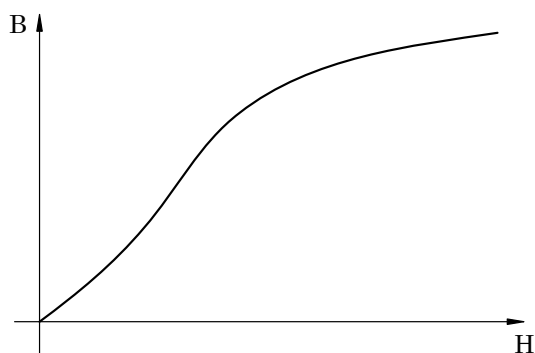
Đường cong từ hoá sắt từ

2. Vector từ hoá \vec{J} (và cả vector \vec{B}) không phụ thuộc tuyến tính vào \vec{H} (Hình 5.6). Nói khác đi, hệ số từ hoá (và cả μ) là một hàm số của từ trường \vec{H} . Từ hình 5.6 ta thấy ban đầu J

tăng khá nhanh theo từ trường, tới một giá trị H_s nào đó thì độ từ hoá J đạt giá trị bão hòa J_s , từ đó tiếp tục tăng từ trường, J không tăng nữa.

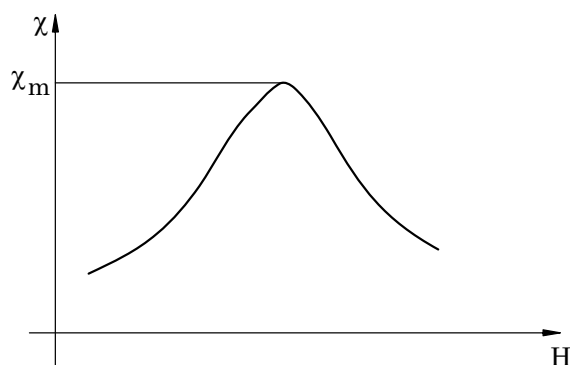
Hình 5.7 biểu diễn sự phụ thuộc giữa cảm ứng từ B trong chất sắt từ với từ trường ngoài H . Đường cong này không có đoạn nằm ngang.

Như ta biết, $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J})$. Khi J đạt giá trị bão hòa (cực đại) thì B tăng tuyến tính theo H . Trong khoảng từ trường nhỏ, hệ số từ hoá có giá trị không đổi và bằng χ_0 (Hình 5.8). χ_0 được gọi là hệ số từ hoá ban đầu. Sau đó χ_m tăng nhanh theo từ trường, tới một giá trị H nào đó, hệ số từ hoá đạt giá trị cực đại χ_m . Từ đó nếu tiếp tục tăng từ trường, χ_m giảm dần và khi từ trường lớn $\chi_m \rightarrow 0$. Thật vậy, khi sự từ hoá đạt tới giá trị bão hòa, $J = J_s$ thì khi tiếp tục tăng H , tỷ số $J/H = \chi_m$ sẽ tiến dần đến không.



Hình 5.7

Sự phụ thuộc của cảm ứng từ B vào từ trường H trong sắt từ



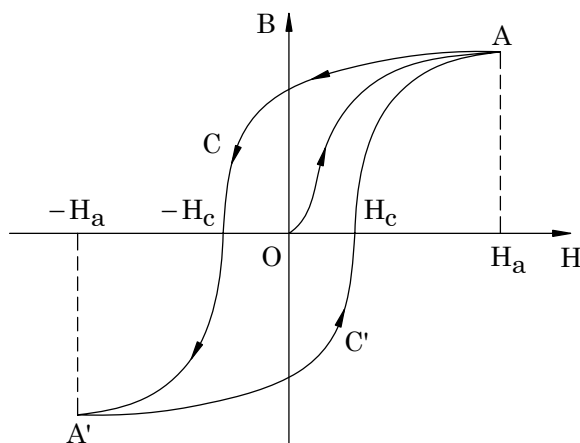
Hình 5.8

Sự phụ thuộc giữa χ và H

3. Khi nung nóng chất sắt từ lên quá một nhiệt độ tới hạn nào đó, gọi là nhiệt độ Curie (T_C), tính sắt từ biến mất và đa số các chất sắt từ lúc đó sẽ trở thành chất thuận từ. Fe có $T_C = 770^\circ\text{C}$, Co có $T_C = 1150^\circ\text{C}$, Ni có $T_C = 358^\circ\text{C}$.

Tại nhiệt độ Curie không chỉ vectơ từ hoá J bằng không, mà người ta còn quan sát được hàng loạt dị thường về nhiệt dung, điện trở suất, từ giảo v.v...

4. Một đặc trưng quan trọng của chất sắt từ là hiện tượng từ trễ. Giả sử ta từ hoá một chất sắt từ chưa được từ hoá lần nào. Khi tăng từ trường, J tăng theo đường cong OA (Hình 5.9). OA được gọi là đường cong từ hoá cơ bản của sắt từ. Từ H_a ta giảm cường độ từ trường thì J cũng giảm, nhưng không theo đường cong AO mà theo đường AM_r cao hơn. Khi từ trường ngoài $H=0$, $J=J_r$ khác không tức là chất sắt từ vẫn còn từ tính dư.



Hình 5.9

Chu trình từ trễ

Ta nói sắt từ có từ dư và J_r là độ từ hoá dư. Đổi chiều từ trường ngoài và tăng dần độ lớn của nó thì độ từ hoá giảm dần, tới giá trị H_c thì sắt từ hoàn toàn bị khử từ, $J=0$; H_c được gọi là lực kháng từ. Nếu tiếp tục tăng từ trường ngoài đến giá trị $-H_a$, sắt từ lại được từ hoá, J tăng (theo chiều ngược lại) theo đường cong $-H_cA$. Cho từ trường ngoài biến thiên từ $-H_a$ đến H_a ta được một đường cong kín gọi là *chu trình từ trễ*. Như vậy, sự từ hoá sắt từ không chỉ phụ thuộc vào độ lớn của từ trường ngoài mà còn phụ thuộc vào trạng thái trước đó của vật liệu. Căn cứ vào độ lớn của H_c , người ta chia các chất sắt từ làm hai loại:

- Sắt từ mềm có chu trình từ trễ hẹp với lực kháng từ H_c nhỏ.
- Sắt từ cứng có chu trình từ trễ rộng với lực kháng từ H_c lớn.

5. Khi từ hoá chất sắt từ, hình dạng và kích thước của nó bị thay đổi. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng từ giảo. Để đặc trưng cho hiệu ứng từ giảo, người ta dùng đại lượng biến thiên chiều dài tỷ đối của chất sắt từ trong từ trường $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$. Độ lớn và dấu của đại lượng này phụ thuộc vào cường độ của trường từ hoá, vào bản chất của chất sắt từ và vào hướng của trục tinh thể so với hướng của từ trường.

Chẳng hạn với Ni, λ luôn luôn < 0 , với pecmalô (hợp kim Fe-Ni) λ luôn luôn > 0 , còn với Fe trong các trường yếu $\lambda > 0$ còn trong các trường mạnh $\lambda < 0$.

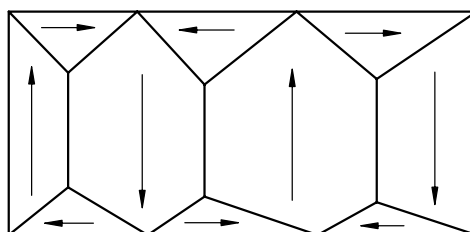
Với các chất sắt từ còn quan sát được hiện tượng ngược lại: Khi biến dạng, độ từ hoá J của chúng biến thiên. Các hợp kim với từ giảo lớn ($\lambda = 10^{-3} - 10^{-8}$) được dùng trong các dụng cụ để đo áp suất và biến dạng. Các dao động cơ học xuất hiện trong các khối sắt từ khi từ hoá chúng trong từ trường biến đổi tuần hoàn được sử dụng trong các máy phát siêu âm.

Bên cạnh các máy phát dùng hiệu ứng áp điện, các máy phát siêu âm từ giao công suất lớn được dùng trong nhiều ngành kỹ thuật hiện đại.

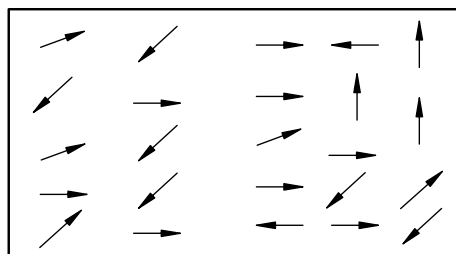
6. Giải thích hiện tượng sắt từ

Ta đã giả thiết rằng trong chất sắt từ các mômen từ của các nguyên tử lân cận nhau sắp xếp song song với nhau. Khi đó, vì sao mômen từ của mẫu không đạt giá trị bão hòa ở từ trường ngoài rất thấp, ngay cả bằng không?

Để giải thích điều này, Weiss đã đưa ra giả thiết cơ bản như sau: Ở dưới nhiệt độ Curie, sắt từ được chia thành các miền từ hoá tự phát rất nhỏ và được gọi là đômên (kích thước cỡ 10^{-5}m). Kích thước và dạng các đômên trong các đơn tinh thể và đa tinh thể khác nhau (Hình 5.10). Trong đơn tinh thể, các nguyên tử sắp xếp đều đặn trong toàn bộ thể tích mẫu, còn đa tinh thể gồm rất nhiều tinh thể nhỏ, sắp xếp hỗn loạn. Trong mỗi đômên, các mômen từ spin sắp xếp song song với nhau do tác dụng của một loại lực đặc biệt gọi là lực tương tác trao đổi. Song khi không có từ trường ngoài, vectơ mômen từ của các đômên sắp xếp hỗn loạn, vì vậy mômen từ tổng cộng của chất sắt từ bằng không. Sự tạo thành các đômên trong chất sắt từ là để năng lượng tự do của hệ cực tiểu.



a

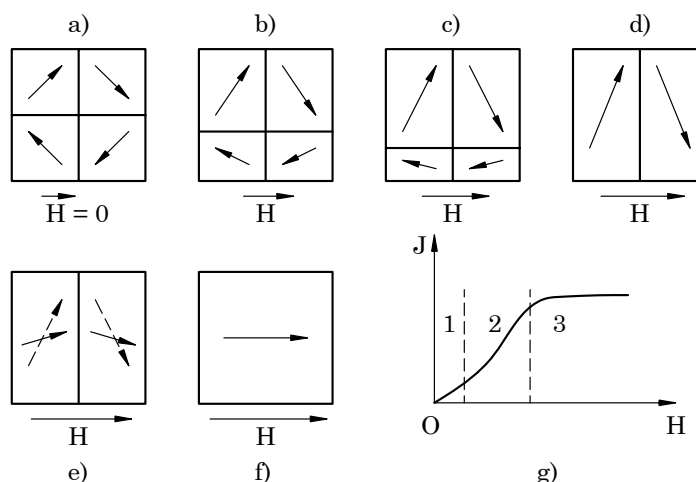


b

Hình 5.10

Cấu trúc đômên của chất sắt từ

(a. Đơn tinh thể. b. đa tinh thể)



Hình 5.11

Sơ đồ các quá trình từ hoá của sắt từ

Có nhiều phương pháp thực nghiệm cho phép quan sát cấu trúc đômen. Phương pháp đơn giản nhất là phương pháp hình bột Bitter. Trên bề mặt của chất sắt từ đã được mài thật nhẵn, phủ một lớp chất lỏng huyền phù của các hạt nhỏ bột sắt từ (như Fe_3O_4). Các đômen tương tự như các nam châm rất nhỏ, biên giới của chúng (được gọi là vách đômen) là những vùng hẹp trong đó sự định hướng của mômen từ thay đổi từ hướng này sang một hướng khác, do đó tại vách từ trường không đồng nhất. Các hạt sắt từ nhỏ bị tập trung lại tại biên giới các đômen. Dùng kính hiển vi người ta quan sát được cấu trúc đômen đó.

7. Hai quá trình từ hoá cơ bản

Một trong những nhiệm vụ cơ bản của lý thuyết sắt từ là giải thích đường cong từ hoá cơ bản, tức là sự phụ thuộc của độ từ hoá \vec{J} vào cường độ từ trường \vec{H} .

Khi không có từ trường ngoài, chất sắt từ được chia thành các đômen sao cho mômen từ tổng cộng của nó bằng không. Điều đó được biểu diễn trên hình 5.11.a, mô tả bốn đômen thể tích như nhau, mỗi đômen được từ hoá đến bão hòa. Khi đặt chất sắt từ vào trong từ trường, trong nó xuất hiện một độ từ hoá khác không. Có thể chia sự từ hoá sắt từ ra làm hai quá trình:

- Quá trình dịch chuyển vách đômen: Khi từ trường ngoài nhỏ, đômen nào có vectơ từ hoá tạo một góc nhọn với hướng từ trường ngoài sẽ mở rộng ra (vì năng lượng của nó nhỏ hơn), đômen nào có vectơ từ hoá hợp một góc tù với hướng trường ngoài sẽ thu hẹp lại (Hình 5.11.b). Trong từ trường nhỏ, sự dịch chuyển vách là thuận nghịch, nghĩa là khi ngắt từ trường ngoài, vách sẽ trở lại vị trí ban đầu. Đoạn 1 của đường cong từ hoá trên hình 5.11.g ứng với giai đoạn này. Khi tăng cường độ từ trường ngoài, sự dịch chuyển vách đômen là bất thuận nghịch (đoạn 2 của đường cong từ hoá trên hình 5.11.g). Đến một giá trị từ trường nào đó, quá trình dịch chuyển vách kết thúc (Hình 5.11.f).

- Quá trình quay mômen từ của các đômen: Nếu tiếp tục tăng từ trường hơn nữa, sẽ xuất hiện quá trình từ hoá mới, khi đó mômen từ của các đômen sẽ quay theo hướng trường (Hình 5.11.d). Khi từ trường đủ mạnh, mômen từ của tất cả các đômen đều sắp xếp song song với từ trường. Trong trạng thái này, chất sắt từ có mômen từ lớn nhất ở nhiệt độ cho trước, tức là nó

được từ hoá đến bão hòa (Hình 5.11.e). Đoạn 3 của đường cong từ hoá trên hình 5.11.g ứng với quá trình này.

Như vậy, các quá trình nêu trên đóng vai trò khác nhau trên những giai đoạn từ hoá khác nhau. Tại đoạn 1 (Hình 5.11.g), quá trình từ hoá chủ yếu là dịch chuyển vách đômen thuận nghịch.

Trên đoạn 2 quá trình từ hoá chủ yếu là dịch chuyển vách đômen bất thuận nghịch. Còn trên đoạn 3 chủ yếu là quá trình quay mômen từ.

8. Giải thích hiện tượng từ trễ

Các quá trình từ hoá mà ta vừa nêu trên thường là bất thuận nghịch, bắt đầu từ một giá trị nào đó của từ trường. Sở dĩ như vậy là vì thường trong chất sắt từ luôn tồn tại những yếu tố làm cho tinh thể, về toàn bộ không còn đồng nhất nữa (do các ứng suất cơ học, các tạp chất...). Do đó sau khi sắt từ được từ hoá, từ trường giảm về không, độ từ hoá toàn mẫu vẫn còn một giá trị nào đó, vì tác dụng của các yếu tố bất đồng nhất ngăn cản các quá trình dịch chuyển và quay, tương tự như một nội lực ma sát không cho các mômen từ của chất sắt từ trở về trạng thái hỗn loạn ban đầu.

Độ từ hoá của vật liệu từ đóng vai trò rất quan trọng trong việc lưu trữ thông tin từ tính, như trong băng cassette và đĩa máy tính. Trong thăm dò từ, độ từ hoá dư của các đất đá phản ánh khách quan sự tồn tại của trường từ Quả Đất tại thời điểm tạo đá, chính vì tính chất đặc biệt quan trọng này mà người ta đã hình thành hai môn khoa học địa từ mới, đó là môn cổ từ học và môn khảo cổ từ học.

Mặt khác, như đã trình bày ở trên, khi từ hoá chất sắt từ, các đômen có vectơ từ hoá tạo một góc từ với trường ngoài sẽ bị giảm thể tích đến không. Tuy nhiên trong toàn bộ vật chất vẫn còn lại một số đômen nhỏ mà vectơ từ hoá đối song song hoặc tạo một góc từ với trường. Khi đảo từ (tác dụng từ trường ngược chiều từ trường ban đầu), các đômen nhỏ này (được gọi là các mầm đảo từ) không được phát triển lớn lên ngay mà một số vẫn bị giữ lại tại đâu đó trong tinh thể. Đây cũng là một nguyên nhân của hiện tượng từ trễ.

5.6 Phản sắt từ và ferit từ

5.6.1 Phản sắt từ

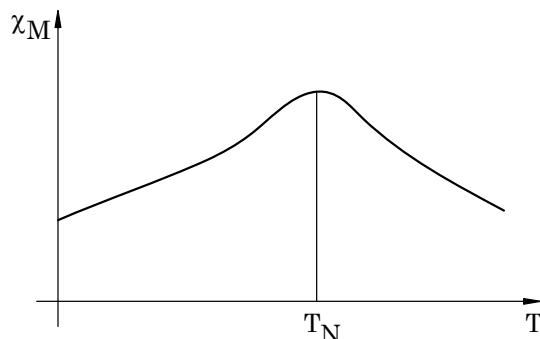
Có một số chất được gọi là các chất phản sắt từ, trong đó mômen spin của các nguyên tử cạnh nhau sắp xếp đối song song. Sự tồn tại của chúng được Landau tiên đoán từ năm 1933.

Các chất MnO , NiO , Cr_2O_3 , $CuCl_2$, một số hợp chất đất hiếm... là các chất phản sắt từ.

Trong trường hợp đơn giản nhất có thể xem mạng tinh thể của các chất phản sắt từ gồm hai phân mạng lồng vào nhau. Trong mỗi phân mạng mômen spin của các ion định hướng song song với nhau nhưng mômen spin của hai phân mạng lại ngược nhau.

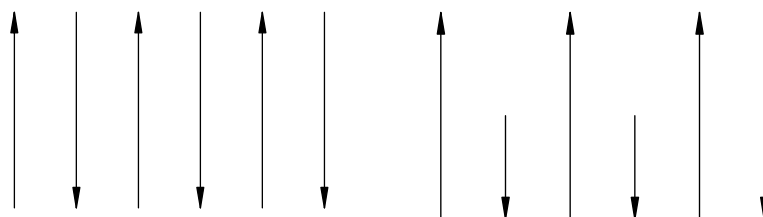
Sự sắp xếp trật tự của các đômen spin chỉ xảy ra ở dưới nhiệt độ gọi là nhiệt Curie phản sắt từ (hay nhiệt độ Néel). Mômen từ tổng cộng của chất phản sắt từ bằng không khi không có từ trường ngoài và tăng tỷ lệ với trường do có sự định hướng lại spin. Tại nhiệt độ thấp, hệ số từ hoá của chất phản sắt từ rất nhỏ. Khi nhiệt độ tăng lên, sự sắp xếp đối song song từng cặp một của các spin bị vi phạm và hệ số từ hoá tăng lên. Tại nhiệt độ Néel, sự sắp xếp trật tự của các spin bị phá vỡ, chất phản sắt từ biến thành thuận từ.

Khi tiếp tục tăng nhiệt độ, hệ số từ hoá của phản sắt từ cũng như của bất kỳ chất thuận từ nào giảm xuống. Do đó tại nhiệt độ Néel hệ số từ hoá đạt cực đại. Người ta thường phát hiện tính phản sắt từ dựa vào đỉnh rõ nét trên đường cong hệ số từ hoá phụ thuộc vào nhiệt độ (Hình 5.12). Tại nhiệt độ Néel người ta còn quan sát được dị thường của nhiệt dung và hệ số giãn nở nhiệt.



Hình 5.1

Sự phụ thuộc của hệ số từ hoá của phản sắt từ vào nhiệt độ



Hình 5.13

a. Phản sắt từ

b. Ferit từ

Bằng chứng thực nghiệm quan trọng nhất xác nhận cách sắp xếp đối song song của các mômen spin trong các chất phản sắt từ là các thí nghiệm nhiễu xạ neutron trên các tinh thể phản sắt từ.

5.6.2 Ferit từ

Ferit từ là các chất thuộc loại phản sắt từ không bù trừ, có nghĩa là mômen từ của các phân mạng đối song song, nhưng độ lớn tuyệt đối không bằng nhau (Hình 5.13 b).

Trật tự ferit từ lần đầu tiên do Néel đề xuất năm 1948 để giải thích tính chất của ferit. Ferit là tên gọi chung cho các liên kết hoá học $MO.Fe_2O_3$, trong đó M là một trong các ion kim loại hoá trị hai (hay hỗn hợp của chúng như Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Mg, Zn...).

Về phương diện tính chất điện, ferit thuộc loại bán dẫn điện. Chúng có điện trở suất khá lớn, cỡ từ $10^{-2} \Omega.m$ đến $10^8 \Omega.m$, do đó chúng có giá trị sử dụng rất lớn, đặc biệt trong trường tần số cao.

5.7 Khái niệm về từ tính của đất đá

Nghiên cứu từ tính của đất đá, các đặc điểm thành tạo và phá huỷ độ từ hoá của chúng có ý nghĩa lớn về nhiều mặt.

Thứ nhất, đặc tính của đá có thể bảo tồn hàng triệu năm độ từ hoá mà chúng nhận được ở giai đoạn thành tạo của mình đã làm nảy ra một tư tưởng quan trọng: có thể sử dụng độ từ hoá ổn định của các đá để nghiên cứu trường từ của quả đất trong quá khứ. Như vậy từ tính của các đá chính là cơ sở vật lý của một lĩnh vực khoa học mới trong địa từ: *Cổ địa từ học*.

Thứ hai, các tính chất từ của các khoáng từ có mặt trong đá, thành phần những khoáng từ này phụ thuộc vào điều kiện thành tạo và tồn tại của đất đá. Thế là qua việc nghiên cứu từ tính của đất đá nói chung và các khoáng vật nói riêng ta có thể nghiên cứu *cấu trúc và sự tiến hoá* của Quả Đất.

Sau cùng, sự hiểu biết về từ tính của các đá là không thể thiếu được trong sự phát triển lý thuyết và ứng dụng thực tế *phương pháp thăm dò từ* bởi vì các dị thường từ không phải là cái gì khác mà chính là do các đá mang các tính chất từ khác nhau gây ra.

5.8 Các dạng từ hoá

Độ từ hoá \bar{J} của một chất sắt từ nói chung và của các đá từ nói riêng không chỉ phụ thuộc vào độ lớn của trường từ hoá (trường từ không đổi) mà còn là hàm số của hàng loạt các yếu tố khác như nhiệt độ, trường từ biến đổi, các ứng suất cơ học, thời gian, các biến đổi hoá học... Tuy nhiên tất cả những yếu tố đó chỉ có tác dụng khi có mặt trường từ không đổi bên ngoài hoặc là khi trong vật thể sắt từ đã có sẵn một độ từ hoá dư nào đó, cũng do một trường từ không đổi gây ra. Vì vậy độ từ hoá dư đo được ở các đá mà ta gọi là độ từ hoá dư tự nhiên \bar{J}_n có thể là kết quả của sự tác dụng hầu như tất cả các yếu tố kể trên.

Quá trình từ hoá dưới tác dụng của trường từ không đổi và của một trong các yếu tố phụ nói trên diễn ra theo một quy luật riêng nên được mang những tên gọi riêng.

Sự từ hoá gần như tức thời trong từ trường không đổi ở nhiệt độ nào đó không thay đổi là *sự từ hoá tức thời*, còn ở nhiệt độ phòng là *sự từ hoá bình thường*.

Sự từ hoá trong trường từ không đổi dưới tác dụng của một trường từ biến đổi với biên độ giảm dần từ đại lượng bão hòa đối với chất sắt từ đã cho đến 0 là *sự từ hoá lý tưởng*.

Sự từ hoá trong trường từ không đổi cùng với sự giảm dần của nhiệt độ từ điểm Curie đối với chất sắt từ đã cho đến một nhiệt độ nào đấy là *sự từ hoá nhiệt*. Sự từ hoá nhiệt xảy ra trong khoảng nhiệt độ Curie và nhiệt độ phòng là sự từ hoá nhiệt toàn phần, còn ở trong khoảng nhiệt độ nằm trong khoảng nhiệt độ nói trên là *sự từ hoá nhiệt riêng phần*.

Sự từ hoá trong trường từ không đổi xảy ra trong các phản ứng hoá học hoặc tái kết tinh, kèm theo sự thay đổi kích thước các hạt sắt từ là *sự từ hoá hoá học*.

Sự từ hoá trong từ trường không đổi dưới tác dụng của các ứng suất cơ học (tĩnh) hoặc sự thay đổi của chúng là *sự từ hoá áp*. Nếu tác dụng phụ là những tải trọng thay đổi nhiều lần hoặc là những tải trọng biến đổi thì đó là *sự từ hoá động lực*.

Sự trầm đọng trong từ trường của các hạt lơ lửng trong các chất lỏng hoặc khí, dù các hạt đó mang những mômen từ riêng có bất kỳ nguồn gốc nào, cũng đều kèm theo *sự từ hoá định hướng*.

Sự thay đổi của độ từ hoá trong trường từ không đổi theo thời gian được gọi là *sự từ hoá nhớt*. Nếu như cùng với thời gian nhiệt độ cũng đồng thời tăng lên thì đó là *sự từ hoá nhiệt nhớt*.

Sự thay đổi trong từ trường không đổi của nhiệt độ ở lân cận điểm đẳng hướng, tại đó hằng số dị hướng tinh thể chuyển qua không, được gọi là sự *từ hoá chuyển tiếp*.

5.9 Các khoáng từ. Tính chất của các khoáng từ

Từ tính của các đá và do đó, các dị thường từ chính là do các khoáng vật có từ tính hay gọi tắt là các khoáng từ với tư cách là một trong những khoáng vật tạo đá gây ra. Hầu hết các khoáng vật có từ tính là những khoáng vật sắt từ.

5.9.1 Điều kiện xuất hiện và tồn tại của các khoáng từ

Dựa trên điều kiện hình thành của chúng, các đá được phân thành ba lớp chính: mác ma, trầm tích và biến chất. Dù là thuộc vào lớp nào, các đá cũng đều chứa một lượng đủ lớn các nguyên tố hoá học cần thiết để tạo nên các khoáng từ. Gần đúng bậc nhất, độ từ hoá còn dư tự nhiên J_n của đá liên quan đến hàm lượng của nguyên tố sắt có mặt trong đó song không có một sự tương ứng trực tiếp. Người ta thường gặp trường hợp các đá tuy có thành phần gần như nhau nhưng hàm lượng các khoáng từ của chúng thay đổi từ 0,1 đến 5 - 10%. Vì vậy thành phần của môi trường là điều kiện cần song chưa đủ để thành tạo nên khoáng từ. Sự xuất hiện của khoáng từ và các tính chất của chúng được quy định bởi các tham số nhiệt động như áp suất p , nhiệt độ T , áp suất riêng phần của oxy (p_{O_2}) đặc trưng cho điều kiện oxy hoá khử, chỉ số hydro pH... Vì phụ thuộc vào các điều kiện nói trên nên các đá mặc dù có thành phần như nhau hay gần như nhau vẫn có các tính chất từ khác nhau rõ rệt.

Có thể phát hiện ra điều kiện thành tạo của các khoáng từ qua các số liệu thực nghiệm. Ta hãy dẫn ra một vài ví dụ. Bằng cách nung nóng các đá mafic và siêu mafic dưới các áp suất p và p_{O_2} khác nhau người ta phát hiện ra rằng ferospinel chỉ có thể xuất hiện ở nhiệt độ $T \ll 1200^\circ C$ và áp suất $p \ll 20$ Kbar. Ferospinel là phân tử chủ yếu mang từ tính của các đá macma và biến chất. Khi tăng áp suất lên hơn nữa khoáng từ này biến mất đó là sự xuất hiện dần dần các kết tụ khoáng vật có mật độ bó chặt các nguyên tử lớn. Dựa vào mật độ bó trong 1 cm^3 trên một nguyên tử gam các khoáng vật được xếp theo trật tự sau: Tiatanomagnetit (6,4-6,7), Rutin (6,2), Spinel chứa Mg, Fe, Al, Granat (5,7-5,8), Ilmenit (6,4), Geikilit (6,0), Pirôtin (9,5), Pirit(8,0).

Áp suất 20 Kbar tương ứng với độ sâu khoảng 70 km dưới mặt đất. Thành thử, các khoáng từ không thể hình thành ở những độ sâu lớn hơn. Sự kiện này rất quan trọng trong việc giải thích các dị thường từ. Trong miền nhiệt độ-áp suất từ của khoáng từ, sự hình thành của chúng trước hết bị quy định bởi các điều kiện oxyhoá- khử. Điều này thể hiện rõ qua mối liên hệ giữa độ từ hoá của các đá với độ lớn của tỷ số Fe_2O_3 / FeO cũng như với biên độ trạng thái của hàng loạt hệ nhiệt động có thành phần gần giống với đá đang khảo sát. Nhờ sự bảo toàn của hệ nhiệt động mà các điều kiện cân bằng đối với sự kết tinh của các khoáng từ tồn tại trong các lò mác ma vẫn được giữ nguyên sau khi áp suất chung, thậm chí cả nhiệt độ, giảm xuống.

Từ sự phụ thuộc $p - T - p_{O_2}$, người ta tách ra được bốn đới nhiệt động đối với điều kiện hình thành của các khoáng từ.

- *Đới hematit*: Ở gần mặt đất, có sự oxy hoá cao, có sự hình thành các khoáng từ chỉ chứa Fe^{+3} như hematit, mahêmit, hydrôxyt sắt.

- *Đới magnetit*: Hình thành các khoáng từ chứa Fe^{+2} và Fe^{+3} chủ yếu là ferôspinel, hêmôilmênhit, pirôtin. Không có mặt các khoáng từ chỉ chứa Fe^{+3} .

- *Đới silicat*: Ion Fe^{+3} vắng mặt, chỉ hình thành các khoáng từ như Ilmênhit, unvôspinel, silicat chứa Fe^{+2} .

- *Đới kim loại*: Ngoài các khoáng vật thuộc đới silicat còn xuất hiện kim loại.

Trong các đá trầm tích các khoáng từ được hình thành do kết quả của các phản ứng hoá học xảy ra ở nhiệt độ gần nhiệt độ phòng và dưới áp suất khoảng 1 at trong điều kiện oxy hoá khử của đới hêmátit. Trong sự khử nước của các trầm tích các hydro-ôxyt sắt chuyển thành hêmátit và manhêmit.

Trong điều kiện khử oxy xuất hiện magnêtit, thậm chí cả sunfit sắt như pirit, pirôtin, greirit (Fe_3S_4). Vì vậy căn cứ vào điều kiện oxy hoá - khử thì các đá trầm tích ưu thế tương ứng với đới hêmátit, và ở mức độ thấp hơn thì tương ứng với đới magnêtit và silicat.

Ngoài ra trong các đá trầm tích cũng còn phổ biến khá rộng rãi các khoáng từ có nguồn gốc khác lẫn vào trong các sản phẩm trầm đọng dưới dạng các mảnh vụn. Những mảnh vụn này thường là sản phẩm phá huỷ của các đá thuộc về các đới nhiệt động khác và không bền vững trong các điều kiện ở mặt đất.

Sự có mặt của các chất hữu cơ trong các đá trầm tích đã tạo ra một môi trường khử có hoạt tính cao và tạo điều kiện cho việc hình thành các khoáng từ như pirit, trôilit, hydrôtrôilit, gây ảnh hưởng lớn đến thành phần khoáng vật của các đá đó.

Các đá macma và biến chất được hình thành trong các đới nhiệt động magnetit và silicat ở nhiệt độ và áp suất tương đối cao và áp suất riêng phần của oxy thấp hơn. Các khoáng từ của các đá đó không bền trong các điều kiện gần mặt đất. Nó biểu hiện ở sự phân hủy các dung dịch rắn và sự oxy hoá của chúng.

Sự phân hủy titanomagnêtit làm hình thành đá mầm mảnh có thành phần gần giống magnêtit và ulvôspinel. Sự oxy hoá ở nhiệt độ tương đối thấp ($200 - 300^\circ\text{C}$) với sự tham gia của nước làm hình thành các khoáng từ titanomagnêtit có khuyết tật. Titanomagnêtit có khuyết tật còn có tên gọi là titanomahêmit. Titanomahêmit khi bị nung nóng đến nhiệt độ $T \geq 300^\circ\text{C}$ thì bị phân huỷ để tạo thành magnêtit, ilmênit, hoặc các sản phẩm phân huỷ của chúng như anataza (TiO_2), hêmátit. Trong sự oxy hoá nhiệt độ thấp cũng thường diễn ra quá trình tạo hạt, đó là sự xuất hiện các tập hạt magnêtit và một chất gần giống như anataza. Trong sự oxy hoá nhiệt độ cao titanomagnêtit bị phá huỷ, trừ giai đoạn titanomanhêmit dẫn đến sự hình thành các tập hạt magnêtit và ilmênit. Khi áp suất riêng phần của oxy tăng lên thì sự oxy hoá nhiệt độ cao sẽ dẫn đến sự thành tạo magnêtit, anataza, hêmátit, psevdabrukit.

Các quá trình biến chất thủy nhiệt khu vực thường gây nên sự phá huỷ các khoáng từ, chuyển sắt thành silicat và làm giảm mạnh độ từ hoá dư của đá. Sự đa dạng về thành phần của các đá và sự kế tiếp các quá trình biến chất đã tạo ra một bức tranh rất phức tạp về sự phân bố của các khoáng từ trong đá và các tính chất từ của chúng.

5.9.2 Các tính chất từ

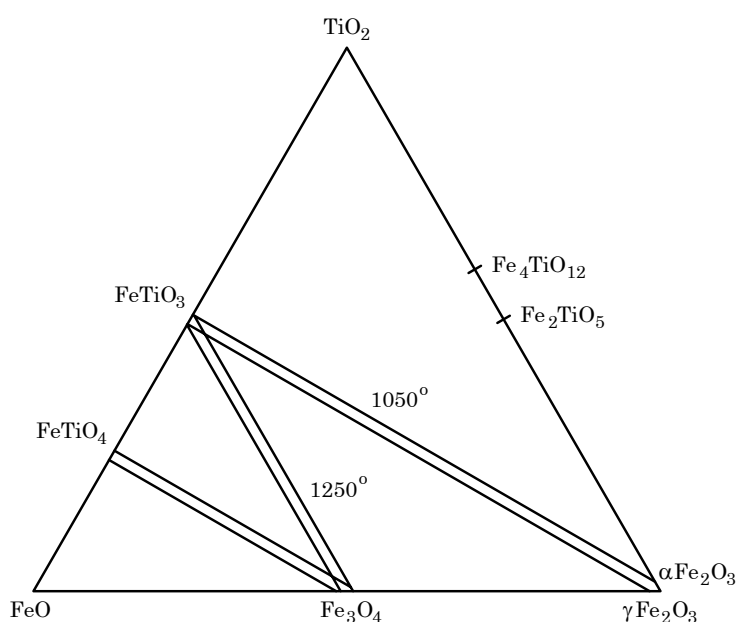
Kết quả phân tích hoá học cho thấy rằng, các khoáng từ về cơ bản gồm các ion Fe^{+2} , Fe^{+3} , Ti^{+4} , O^{2-} và một lượng nhỏ tạp chất như Mg^{+2} , Mn^{+2} , Al^{+3} , Cr^{+3} , V^{+3} . Có thể khảo sát các thành phần của các nhóm khoáng từ cơ bản trên biểu đồ ba trục $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ (Hình 5.14), ở đó

có tất cả các khoáng vật chủ yếu (không kể tạp chất) có giá trị đối với tính chất từ của các đất đá, trừ cấu trúc sulfit sắt và hydrôxyt.

Trong hệ ba trục trên đây có tất cả ba bộ (xêri) dung dịch rắn cơ bản:

- Xêri titanômagnetit có cấu trúc (tinh thể) spinel $(1-x)\text{Fe}^{+2}\text{Fe}^{+3}\text{O}_4 - x\text{Fe}^{+2}\text{Ti}^{+4}\text{O}_4$.
- Xêri hêmatit- Ilmênit có cấu trúc hình thoi: $\text{Fe}^{+3}\text{O}_3 - \text{Fe}^{+2}\text{Ti}^{+4}\text{O}_3$.
- Xêri giả brukit có cấu trúc hình thoi trực giao: $\text{Fe}^{+3}\text{Ti}^{+4}\text{O}_5 - \text{Fe}^{+2}\text{Ti}^{+4}\text{O}_5$.

Nhiều nhà nghiên cứu đã khảo sát các tính chất từ và hoá học của hệ này và đã phát hiện ra rằng ngoài ba xêri nói trên còn có các dung dịch rắn khác nằm trong khuôn khổ của biểu đồ ba trục, nằm giữa xêri $\text{Fe}_3\text{O}_4 - \text{Fe}_2\text{TiO}_4$ và xêri $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{FeTiO}_3$, đồng thời nhận thấy các điểm có xu hướng phân bố dọc theo đường ôxy hoá-khử. Đó là khoáng vật titanômahêmit hình thành trong quá trình ôxy hoá nhiệt độ thấp của titanômagnetit.



Hình 5.14

Biểu đồ ba trục $\text{Fe}_2\text{O} - \text{TiO}_2 - \text{FeO}_3$

Xêri giả brukit được hình thành trong quá trình oxy hoá nhiệt độ cao của các khoáng vật thuộc xêri ilmênit- hematit. Sự có mặt của các khoáng vật giả brukit trong đá là bằng chứng về lịch sử nhiệt độ cao của đá. Dưới đây ta chỉ khảo sát các xêri titanômagnetit và hêmatit – ilmênit vì giả brukit là những chất thuận từ đến tận nhiệt độ 190°C .

5.9.3 Xêri Titanômagnetit

Magnetit Fe_3O_4 . Magnetit là thành viên đầu tiên của xêri titanomagnetit, đó là một chất ferit từ điển hình, một khoáng vật phổ biến nhất trong đá. Nó có mặt trong mọi loại đá: phun trào, trầm tích và biến chất. Các tính chất cơ bản của nó được dẫn ra trong bảng 5.1. Các tính chất từ của magnetit, đặc biệt là trường bão hòa H_S và trường khử từ H_C . Trường (lực) khử từ hoá dư này có thể thay đổi tùy thuộc vào độ lớn của hạt và trạng thái cấu trúc của khoáng vật. Thí dụ : Hệ số từ hoá χ_m đạt đến 20 – 26 SI, độ từ hoá bão hoà 36 KA/m. Khi không có tạp

chất nhiệt độ Curie bằng 578°C , lực khử từ H_C vào khoảng $1,2 - 2,4 \text{ KA/m}$. ($1 \text{ A/m} = 4 \pi \cdot 10^{-3} \text{ Oe}$) Trong các đá macma magnetit được tạo thành khi kết tinh từ các chất nóng chảy, khi phá huỷ ôlivin, pirôcxen..., $H_S = 10000e$ ($H_S = 103 \cdot (1/4\pi) \cdot 10^3 \text{ A/m} = 10^6 (1/4\pi) = 8 \cdot 10^5 \text{ A/m}$). Khi được thành tạo ở nhiệt độ cao, lực khử từ của magnetit cao hơn so với nó khi được thành tạo ở nhiệt độ thấp.

Mahêmit $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$: Mahêmit là sản phẩm ôxy hoá nhiệt độ thấp của magnetit. Nó có mạng tinh thể của magnetit nhưng 1/9 số vị trí của Fe trở thành các lỗ trống do Fe^{+2} bị ôxy hoá chuyển thành Fe^{+3} . Về mặt khoáng vật rất khó phân biệt mahêmit với manhêtit. Hằng số mạng của nó nhỏ hơn so với magnetit. Mahêmit có mặt trong vỏ phong hoá, trong các đá trầm tích và phun trào. Độ bền vững rất thấp của mahêmit khi bị nung nóng khiến nó chuyển thành hêmatit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) cho phép ứng dụng phương pháp từ để xác định nó. Một bộ phận cơ bản của mahêmit bị chuyển thành hêmatit trong khoảng nhiệt độ $250 - 450^{\circ}\text{C}$. Mêhamit khi chứa các tạp chất đồng hình thì bền vững hơn và có thể không bị biến đổi cho đến nhiệt độ 700°C . Sự chuyển pha từ mahêmit sang hêmatit kéo theo sự suy giảm của độ từ hoá dư bão hòa J_{RS} và sự tăng trường lực khử từ H_C .

Unvôspinel Fe_2TiO_4 . Unvôspinel là thành viên cuối cùng của xêri titanomagnetit. Nó là chất thuận từ ở nhiệt độ phòng và phản sắt từ ở nhiệt độ -120°C . Trong đá ta chỉ gặp loại này dưới dạng những vân mỏng do titanomagnetit phân huỷ tạo nên.

- Các titanômanhêtit là các thành viên trung gian của xêri titanomagnetit (Công thức hoá học là $x\text{Fe}_2\text{TiO}_4(1-x)\text{Fe}_3\text{O}_4$) nghĩa là của xêri dung dịch rắn magnetit và ulvôspinel. Akinômôtô và những người cộng sự là những người đầu tiên đã tổng hợp được titanômanhêtit trong phòng thí nghiệm vào năm 1957. Khi tăng hàm lượng phần trăm của ulvôspinel lên thì hằng số mạng của titanômanhêtit tăng từ 0,839 đến 0,853 nm, điểm Curie giảm từ 578 đến -120°C , mômen từ bão hoà giảm và điểm chuyển pha nhiệt độ thấp dịch xuống dưới nhiệt độ của nitơ lỏng.

Với quan điểm của từ tính học các đất đá thì điều đáng quan tâm là các titanômanhêtit có các điểm Curie ở trên nhiệt độ phòng. Titanomagnetit là các khoáng vật sắt từ cơ bản của các đá phun trào. Trong titanômanhêtit thường có mặt các ion Mg, Mn, Al, Cr, V với hàm lượng nhỏ. Các tạp chất đó không ảnh hưởng nhiều lắm đến điểm Curie của titanômanhêtit. Cũng có thể xác định sự có mặt của các khoáng từ này trong đá theo các đường cong phân tích từ nhiệt.

Tuy nhiên do những khoáng vật đại diện của xêri hêmatit- ilmênit, các pirôtin, magnêziferit (MgOFe_2O_3) và Iakobsit (MnFe_2O_4) có các điểm Curie cùng nằm trong khoảng điểm Curie của các titanômanhêtit cho nên để có thể xác định được chính xác các titanomagnetit trong đá còn phải tiến hành những nghiên cứu bổ sung.

Bảng 5.1. Các tính chất từ của một số khoáng vật từ

Khoáng vật	Công thức hoá học	Hằng số mạng (nm)	Mật độ g/cm^3	Điểm Curie $^{\circ}\text{C}$	J_S CGS	H_C Oe	H_S Oe
Magnetit	Fe_3O_4	0,8396	5,20	578	92	150	1000
Unvôspinel	Fe_2TiO_4	0,853	4,78	-120			
Iakobsit	MnFe_2O_4	0,851	4,87	300	408		

Trêvarit	NiFe ₂ O ₄	0,843	5,26	581	267		
Magnêziorit	MgFe ₂ O ₄	0,838	4,52	310	110		
Hêmatit	α Fe ₂ O ₃	0,542	5,0- 5,2	678	0,2	3000	7000
Ilmênit	FeTiO ₃	0,554					
Manhêmit	γ Fe ₂ O ₃	-	4,7	675	83		
Hêtit	α FeOOH	0,464	4,78				>10000
		1,000	4,88				
		0,303					
Lêpidôkrokít	γ FeOOH	0,387				1850	>9300
		1,251					
		0,306					
	FeS _{1,2}			324		59	1000
Pirôtin	FeS _{1,09}	-		324		730	>7500
-Ferit từ		-					
-Phản sắt từ loại λ	FeS _{1,17}					220	>7500
- trung gian							

Ghi chú:

$$1Oe = (1/4\pi)10^3 A/m$$

$$1 J_{CGS} = 10^{-3} A/m; \quad 1g/cm^3 = 10^3 kg/m^3$$

Như ta đã biết, khi bị ôxy hoá ở nhiệt độ thấp các titanômanhêtit có thể chuyển thành titanômahêmit.

5.9.4 Xêri Hêmatit- Ilmênit (Hêmôilmênit)

Hêmatit α Fe₂O₃. Hêmatit là thành viên đầu tiên của xêri hêmatit- Ilmênit, khá phổ biến trong tự nhiên và là chất phản sắt từ không hoàn thiện, có giá trị J_S bé, bé hơn so với giá trị của magnêtit đến hai bậc. Vấn đề về bản chất từ tính của hêmatit cho đến nay vẫn còn chưa được sáng tỏ. Theo quan điểm mới nhất thì spin trong các mặt phẳng xen kẽ nhau của mạng tinh thể hêmatit tạo thành những góc bé hơn 180⁰ do đó J_S tổng hợp khác không và hướng của nó thẳng góc với mặt phẳng định hướng của các spin.

Điểm Curie của hêmatit là 675⁰C. Nó cũng có điểm chuyển pha là -20⁰C song khi có các tạp chất Ti⁺⁴, Al⁺³, Fe⁺², Mg⁺² và Mn⁺³ thì sự chuyển pha bị dịch sang phía các nhiệt độ thấp. Từ bảng 5.1 ta thấy rằng hêmatit đa tinh thể là khoáng vật rất ổn định từ. Đá chứa hêmatit tinh thể là loại đá có độ từ dư tự nhiên có độ ổn định rất cao đối với trường từ biến đổi và đường từ hoá bình thường chỉ đạt bão hòa trong trường từ không đổi có độ lớn tới 7500 Oe

($7500 \cdot (1/4\pi) \cdot 10^3 \text{ A/m} = 6 \cdot 10^5 \text{ A/m}$). Hêmatit xuất hiện trong quá trình nung nóng magnetit và biến đổi của mahemit, do đó có thể xác định được hêmatit qua điểm Curie.

Ilmênit $FeTiO_3$. Ilmênit là thành viên cuối cùng của xêri hêmatit-ilmênit. Nó là một chất thuận từ cho đến nhiệt độ -203°C còn dưới nhiệt độ đó nó là chất phản sắt từ. Ilmênit khá phổ biến trong đá song nó không phải là phần tử mang độ từ dư.

Các khoáng vật hêmôilmênit là các dung dịch rắn của hêmatit và ilmênit với thành tạo hoá học là $xFeTiO_3(1-x)Fe_2O_3$. Hằng số mạng thay đổi từ 0,542 (hêmatit) đến 0,554 nm (ilmênit), điểm Curie từ 678°C (hêmatit) đến -203°C (ilmênit).

Khi $1 > x \geq 0,45$ hêmôilmênit là các ferit từ còn với $0,45 > x \geq 0$ là các chất phản sắt từ mang tính sắt từ ký sinh. Các hêmôilmênit mà $0,8 > x \geq 0,45$ ở nhiệt độ phòng là các ferit từ và là nguyên nhân gây nên từ tính của các đá chứa chúng. Các hêmôilmênit mà $0,45 \leq x \leq 0,6$ tức là những chất nằm giữa hêmôilmênit ferit từ và phản từ thì có khả năng nhận độ từ hoá nhiệt dư ngược. Trong thực tế việc xác định hêmôilmênit có mặt trong đá bằng phương pháp từ thường gặp rất nhiều khó khăn vì khoảng điểm Curie của chúng bao trùm lên các điểm Curie của các khoáng vật thuộc về các xêri khác.

5.9.5 Các hydrôxyt sắt

Hydrôxyt sắt là các khoáng vật rất phổ biến trong vỏ phong hoá và trong các đá trầm tích. Thuộc về loại hydrôxyt sắt trong tự nhiên thường hay gặp là hêtit và hydrôhêtit (αFeOOH), lêpidôkrôkit, hydrôlêpidôkrôkit và hydrôhêmatit (γFeOOH).

Hêtit là khoáng vật có mạng tinh thể hình quả trám, là chất phản sắt từ song thường có độ từ hoá dư do những sai hỏng bên trong. Độ từ hoá nhiệt dư của các hêtit rất ổn định.

Hydrôhêtit không ổn định, khi nung đến 200°C nó chuyển thành hêtit, khi đó độ từ hoá bão hòa và H_C tăng lên mạnh. Tiếp tục nung nóng cả hai đại lượng này đều bị giảm đồng thời hêtit chuyển thành hêmatit.

Lêpidôkrôkit là khoáng vật có mạng tinh thể hình thoi, là chất phản sắt từ, từ tính rất yếu. Khi bị nung nóng, lêpidôkrôkit cũng như hydrôlêpidôkrôkit đều thay đổi mạnh. Ở nhiệt độ 20 đến 150°C xảy ra sự chuyển tiếp hydrôlêpidôkrôkit thành lêpidôkrôkit kèm theo sự tăng lên của độ từ hoá dư bão hòa và H_C . Từ nhiệt độ 150°C đến 275°C lêpidôkrôkit chuyển thành mahemit, khi đó độ từ hoá dư bão hòa J_S tăng lên mạnh còn H_C giảm đi. Khi tiếp tục nung sẽ xảy ra sự chuyển tiếp mahemit thành hêmatit, khi đó J_S giảm, H_C tăng.

Hydrôhêmatit. Hydrôhêmatit còn ít được nghiên cứu. Khi nung đến 250°C nó chuyển thành hêmatit kèm theo là sự tăng lên của J_S và H_C .

5.9.6 Pirôtin FeS_{1+x}

Trong số các sulfit sắt thường gặp trong tự nhiên thì pirôtin là khoáng vật phổ biến nhất. Người ta cũng đã gặp các pirôtin mang các tạp chất đồng hình của Cu trong mạng tinh thể, đó là kybarit, Niken - pentlandit và greitit, tuy nhiên phần tử cơ bản mang từ tính vẫn là pirôtin.

Tùy thuộc vào thành phần, pirôtin có thể là những chất phản sắt từ (khi $0 < x < 0,1$) hoặc ferit từ (khi $0,1 < x < 0,25$). Các pirôtin có $0 < x < 0,09$ có sự biến đổi α kèm theo là sự thay đổi sự định hướng của các spin.

Với các pirôtin có $0,06 < x < 0,12$ ta thấy có sự biến đổi γ .

Điểm Curie của các pirôtin gần bằng 324°C .

5.10 Các nguyên nhân của sự từ hoá ngược của các đá

Từ hoá ngược là hiện tượng trong đó độ từ hoá hợp với hướng của vectơ trường từ gây nên từ hoá một góc 180°C . Sự từ hoá trong đó hướng của độ từ hoá trùng với hướng của vectơ trường từ hoá được gọi là sự từ hoá thuận. Tương ứng với sự từ hoá thuận và ngược ta có độ từ hoá thuận và ngược.

Các công trình nghiên cứu được tiến hành trong những năm gần đây cho thấy rằng ở các đất đá hiện tượng từ hoá ngược cũng phổ biến như là từ hoá thuận. Những nguyên nhân của sự từ hoá ngược của đá có thể là do sự đảo ngược (inversion) của trường từ trái đất, nghĩa là hiện tượng quay đột ngột (trong ý nghĩa địa chất) của trường địa từ một góc 180°C và sự tự quay của độ từ hoá của các đá trong đó sự từ hoá ngược là một hiện tượng tự phát. Sự từ hoá lại, tự phát ngược hướng với trường địa từ có thể xảy ra tức thời hoặc kéo dài trong nhiều triệu năm.

Cơ chế khả dĩ của sự đảo biến của trường địa từ nằm trong khuôn khổ lý thuyết về trường địa từ chính, còn ở đây ta chỉ khảo sát vấn đề tự quay của độ từ hoá.

Néel (1951) là người đầu tiên đã khảo sát lý thuyết về sự tự quay và đã nêu ra một số cơ chế khả dĩ của hiện tượng từ hoá ngược. Ta có thể chia những cơ chế đó ra thành hai nhóm: nhóm các cơ chế áp dụng cho hệ một pha (từ) và nhóm cơ chế đặc trưng cho hệ hai hoặc nhiều pha.

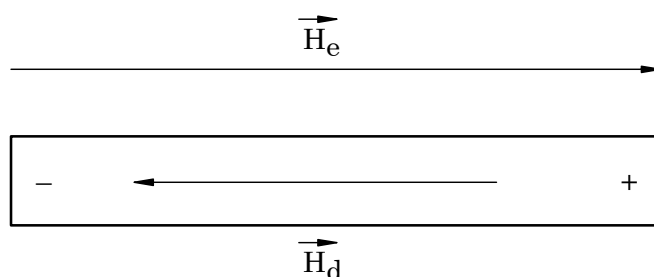
Nhóm thứ nhất: Néel đã nêu lên mấy kiểu loại khả dĩ đối với sự thay đổi của độ từ hoá tự phát theo nhiệt độ trong sự từ hoá nhiệt ở các ferit từ. Đối với các ferit, độ từ hoá tổng cộng J_S được xác định bởi hiệu các độ từ hoá tự phát của các phân mạng con. Nếu độ từ hoá của các phân mạng con thay đổi theo nhiệt độ một cách khác nhau (tại điểm Curie cả hai đều bằng không) thì có khả năng ở dưới điểm Curie J_S có thể chuyển từ giá trị dương qua không đến các giá trị âm, tức là từ hoá ngược.

Nhóm thứ hai: sự tự quay của độ từ hoá trong các hệ hai hoặc nhiều pha được phân thành hai loại dựa theo tính chất tương tác giữa các pha ở ranh giới của chúng: Sự tự quay do tương tác tĩnh từ và sự tự quay do tương tác trao đổi. Tính chất tương tác là do đặc tính của thành phần và cấu trúc pha, tính chất tiếp xúc giữa chúng quy định.

5.11 Sự phụ thuộc của độ từ hoá vào hình dạng của vật

Độ từ hoá của một vật thể không những phụ thuộc vào bản chất của vật (đặc trưng qua hệ số từ hoá χ_m) vào điều kiện từ hoá (trường từ hoá và các tác nhân phụ khác) mà còn phụ thuộc vào hình dạng của vật thể đó nữa. Đối với những chất từ yếu, ảnh hưởng của hình dạng là không đáng kể. Trong trường hợp đó có thể chấp nhận biểu thức $J = \chi_m H$. Nhưng đối với những vật từ mạnh, ảnh hưởng của hình dạng của vật thể không thể bỏ qua được.

Ta hãy khảo sát một vật thể dạng thanh. Đặt thanh này vào trong từ trường và giả sử trường này đồng nhất sao cho các đường sức của trường song song với trục của vật. Với điều kiện đó khi bị từ hoá, ở hai đầu thanh sẽ xuất hiện những cực từ trái dấu.



Hình 5.15

Sự từ hoá của vật thể từ dạng thanh

Khi đó, thanh tựa như một nam châm thẳng (Hình 5.15). Các cực từ sẽ tạo ra ở bên trong vật một từ trường, có hướng ngược lại với trường từ hoá ngoài và làm giảm độ từ hoá của vật. Trường đó có tác dụng khử từ nên được gọi là trường khử từ, được ký hiệu là H_d . Hiện tượng vừa nêu là chung cho mọi vật thể có dạng khác nhau. Tuy nhiên đối với các vật khác nhau thì ảnh hưởng của trường khử từ cũng khác nhau. Do hiệu ứng khử từ nên trường từ hiệu dụng H_{ef} tại một điểm P nào đấy bên trong vật thể sẽ là:

$$\vec{H}_{ef} = \vec{H}_e + \vec{H}_d$$

trong đó \vec{H}_e là trường từ ngoài đặt lên vật. Trường \vec{H}_{ef} mới thực sự là trường từ hoá vật thể đó.

Như vậy độ từ hoá \vec{J} có tính đến ảnh hưởng hình dạng của vật, sẽ được biểu thị bằng công thức tổng quát:

$$\vec{J} = \chi \vec{H}_{ef} = \chi(\vec{H}_e + \vec{H}_d). \quad (5.34)$$

Thực nghiệm chứng tỏ rằng, trường khử từ luôn có hướng ngược với hướng của độ từ hoá J , đồng thời về độ lớn tỷ lệ với J :

$$\vec{H}_d = -N\vec{J}. \quad (5.35)$$

Hệ số tỷ lệ N là một đại lượng tenxơ, có tên gọi là thừa số khử từ.

Nếu như ở mỗi một điểm bất kỳ bên trong vật thể, trường khử từ H_d luôn luôn không đổi về hướng và độ lớn thì vectơ từ hoá \vec{J} cũng không đổi về độ lớn và hướng. Trong trường hợp đó vật thể được gọi là vật thể bị từ hoá đồng nhất. Như vậy muốn cho vật thể bị từ hoá đồng nhất thì ngoài việc trường \vec{H}_d đồng nhất, trường từ hoá ngoài \vec{H}_0 cũng phải đồng nhất. Tuy nhiên trong trường hợp tổng quát thì tuy \vec{H}_0 đồng nhất nhưng nói chung H_d tại những điểm khác nhau thường khác nhau cho nên \vec{J} tại các điểm khác nhau có hướng và độ lớn khác nhau, trong trường hợp đó vật thể bị từ hoá không đồng nhất.

Trong thực tế chỉ có một số ít dạng vật là có thể từ hoá đồng nhất, đó là trường hợp vật thể dạng cầu và dạng ellipsoid. Ngoài ra, những vật thể có dạng khác đều không thể bị từ hoá đồng nhất. Trong số những vật thể không thể bị từ hoá đồng nhất phải kể đến các vật thể dạng trụ với tỷ số giữa đường kính đáy và chiều dài đường sinh chưa đủ lớn. Chỉ khi nào tỷ số này đủ lớn thì mới có thể xem hình trụ này bị từ hoá đồng nhất.

Từ (5.34) và (5.35) ta có thể rút ra:

$$\vec{J} = \frac{\chi}{1 + \chi N} \vec{H}_e = \chi' \vec{H}_e \quad (5.36)$$

Đại lượng $\chi' = \frac{\chi}{1 + \chi N}$ được gọi là hệ số từ hoá biểu kiến, đại lượng này khác với hệ số từ hoá χ_m là hệ số từ hoá thực hay hệ số từ hoá của vật liệu.

5.12 Sự phụ thuộc của cường độ dị thường từ vào các tính chất từ của đá

Tất cả các loại đá có mặt trong thành phần của vỏ Quả Đất, ở các mức độ khác nhau đều có từ tính. Tuy vậy các dị thường từ có thể được ghi nhận bằng các từ kế hiện đại lại chỉ do các đá có hệ số từ hoá hay độ từ hoá dư lớn hơn những giá trị xác định nào đó gây ra. Có thể xác định được những giá trị đó theo một nguyên lý đã biết của tĩnh từ học, theo đó, thành phần pháp tuyến của vectơ cảm ứng từ phải liên tục trên bề mặt phân cách giữa hai môi trường, nghĩa là $B_{n1} = B_{n2}$.

Bên trong một vật thể nói chung hay một khối đá nói riêng cảm ứng từ B được xác định bằng phương trình (5.31) $\vec{B}_N = \mu_0 (\vec{H} + \vec{J}_N)$ trong đó \vec{H} là trường khử từ, bằng $-NJ_N$, với N là thừa số khử từ, J_N là thành phần thẳng góc với bề mặt của vật thể có độ từ hoá J . Vì vậy thành phần thẳng đứng của cường độ trường từ Z_a do vật thể tạo ra tại bề mặt của nó sẽ bằng B_N , nghĩa là:

$$Z_a = \mu_0 (1 - N) J_N$$

Đại lượng trên là cực đại đối với vật thể cho trước và có thể đo được nếu vật đó lộ ra trên mặt đất. Tuy nhiên đối với các khối đá có hình dáng khác nhau giá trị cực đại này cũng không bằng nhau song cũng không vượt quá trị số $\mu_0 J_N$.

Đối với các đá có dạng cầu $N = 1/3$, cực đại Z_a tại bề mặt của nó là $Z_a = \frac{2}{3} \mu_0 J_N$.

Tương tự ta cũng có thể tính cho trường hợp trường từ của mặt phẳng. Trong trường hợp này $Z_a = \mu_0 \left(1 - \frac{1}{2}\right) J_N = \frac{1}{2} \mu_0 J_N$, $N = \frac{1}{2}$. Đại lượng $\mu_0 J_N$ là cường độ khả dĩ cực đại của dị thường từ.

Các dụng cụ đo đặc hiện đại có thể cho phép ghi nhận các thay đổi của thành phần thẳng đứng của trường từ khoảng vài nT (để tính toán giả sử ta cho bằng 10 nT). Trong trường hợp đó, để có thể phát hiện được các dị thường từ, các đất đá phải có một độ từ hoá J_{\min} thoả mãn điều kiện $\mu_0 J_{\min} = 10^{-8} T$, từ đó J_{\min} tối thiểu phải bằng $\frac{10^{-8}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 8 \cdot 10^{-3} \left(\frac{A}{m}\right)$ (bằng $8 \cdot 10^{-6}$ CGSM). Trường từ của quả đất chỉ đạt độ lớn cực đại $0.5 \cdot 10^{-4} T$, do đó theo công thức $J = \chi_m H_r$, thì tương ứng với giá trị J_{\min} đó, đất đá phải có hệ số từ hoá ít nhất bằng:

$$\chi_m = \frac{J}{H} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 10^{-3}} \cdot 4\pi = 2.4 \cdot 10^{-4} SI,$$

thì dị thường từ tương ứng mới được phát hiện. Như vậy ta thấy rằng để giải thích các dị thường từ thì điều rất quan trọng là phải biết được các tham số từ của đất đá trong khu vực nghiên cứu.

Đối với các đá đơn tinh thể, hệ số từ hoá của chúng phụ thuộc vào hướng trục tinh thể, còn ở các đá đa tinh thể sự phụ thuộc đó mất đi. Đất đá thuộc về loại đa tinh thể, do đó có thể được xem như là những vật thể đẳng hướng. Song như ta biết độ từ hoá và do đó hệ số từ hoá phụ thuộc vào hình dáng của vật, chỉ trừ những vật dạng cầu, cho nên trong một khối đá có hình dạng nào đó, nói chung độ từ hoá J có thể không trùng với vectơ trường từ hoá- ở đây là trường từ của quả đất.

Với các đá có từ tính yếu ($\chi < 12,6 \cdot 10^{-3}$ SI), có thể xem $\chi' = \chi$, $J = \chi H_T$ nghĩa là chúng được xem như các vật bị từ hoá đồng nhất.

Với các đá có từ tính mạnh ($\chi > 12,6 \cdot 10^{-2}$ SI) chúng sẽ bị từ hoá không đồng nhất. Tuy nhiên trong khuôn khổ của thăm dò từ với độ chính xác có thể chấp nhận được, mọi đất đá kể cả từ tính yếu và mạnh đều có thể được xem là từ hoá đồng nhất.

5.13 Cấu trúc lịch sử phát triển của trường địa từ

Hiện tượng biến thiên có tính quy luật của trường địa từ được phát hiện và nghiên cứu từ thế kỷ 16 cho rằng trường địa từ biến hoá và từ đó người ta nghĩ rằng có thể tìm hiểu được các giá trị của trường địa từ trong các niên đại đã qua. Nếu nghiên cứu sự phát triển của trường địa từ trong khoảng vài nghìn năm, ta đã hình thành một môn khoa học mới, đó là môn khảo cổ từ (archeomagnetism). Ngược lại, nếu như ta quan tâm đến sự phát triển của trường địa từ trong khoảng thời gian dài hàng triệu năm, thì điều đó có nghĩa là ta đang nghiên cứu cổ từ (paleomagnetism).

Như ta đã thấy trong các tiết trên, các đá, khoáng vật (chủ yếu là macma, trầm tích) có tính chất tại thời điểm thành tạo của mình bị từ hoá theo hướng của từ trường Quả Đất tại thời điểm đó.

Các đại lượng thường được sử dụng trong các môn khoa học kể trên là D , I , T .

Vấn đề tế nhị là phải đảm bảo được tính đồng bộ trong thang số liệu địa từ với thang địa chất.

5.13.1 Khảo cổ từ

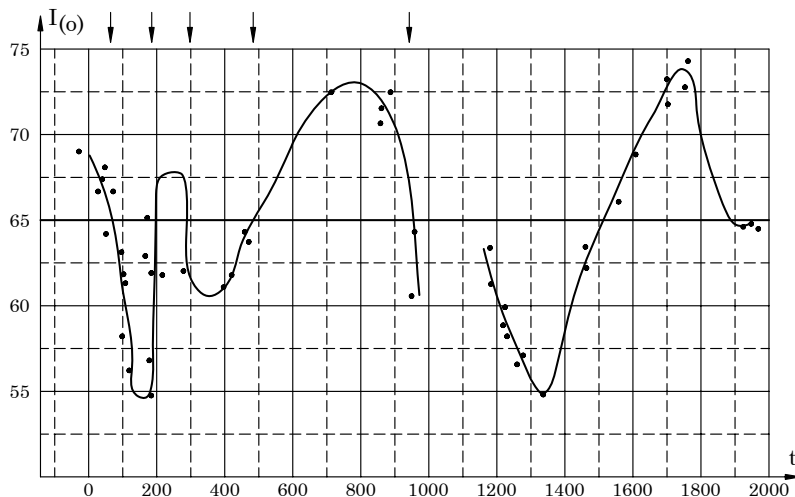
Trong thời gian lịch sử, sự phát triển của I , D , T thấy được trên đất nung đã được chuẩn thành bảng bằng phương pháp so sánh với các số liệu đã biết chắc chắn. Sự phát triển này là cơ sở để đoán nhận được niên đại của các cổ vật mà ta chưa xác định được số năm tồn tại.

Sự xác định thang khảo cổ được thực hiện với các gạch nung hoặc một số vật liệu có từ tính khác thuộc vào các lò nung đó với tuổi đã được xác định chính xác bằng các phương pháp vật lý khác sau khi đã so sánh với tuổi đã biết.

Hình (5.16) cho ta các số liệu về biến thiên của độ từ khuynh I_0 trong khoảng hai nghìn năm. Qua sơ đồ này ta thấy lời giải cho bài toán xác định tuổi không đơn tri. Với một viên gạch tại một lò nung nào đó mà ta xác định có $I_0 = 65^\circ$ tương ứng với 5 giá trị tuổi. Trong trường hợp đó cần phải trang bị thêm các kiến thức về khảo cổ học để có thể đoán nhận được

tuổi của các vật trong các năm lịch sử. Độ chính xác của các số liệu là các điều kiện cần thiết để đoán nhận được tuổi của các vật cần nghiên cứu.

5.13.2 Các phương pháp nghiên cứu cổ từ

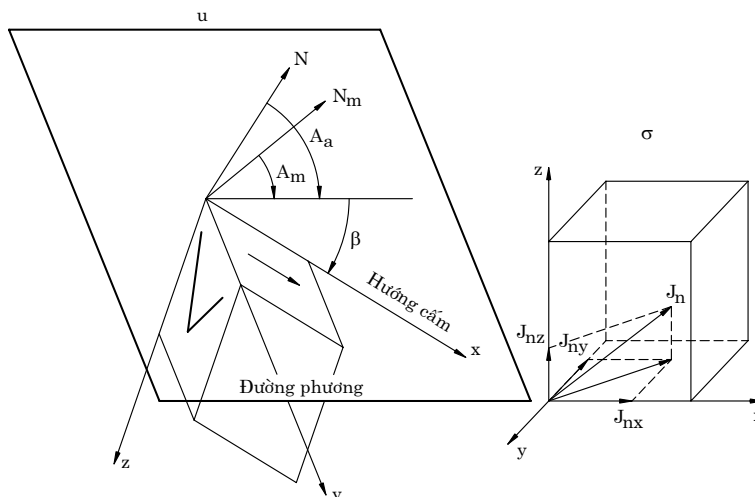


Hình.5.16

Xác định tuổi của cổ vật

Nghiên cứu cổ từ bao gồm việc chọn mẫu của các đá đã biết trước tuổi địa chất, đo độ từ hoá tự nhiên, xác định độ lớn, hướng cũng như phương pháp tạo thành độ từ hoá sơ cấp, theo các tài liệu vừa thu được, tính toán các yếu tố từ trường của Quả Đất cũng như sự thay đổi của chúng theo thời gian tại các điểm lấy mẫu, xác định các tọa độ của cực địa từ. Như vậy phải kết hợp với các phương pháp phóng xạ để xác định tuổi của một số mẫu. Khi nghiên cứu cổ từ cần có sự cộng tác nghiên cứu chặt chẽ của các nhà địa tầng và địa vật lí. Phương pháp được trình bày khá rõ ràng trong các tài liệu chuyên khảo về các phương pháp cổ từ, ở đây, ta chỉ xét đến một số giai đoạn nghiên cứu cơ bản trong phương hướng nghiên cứu này mà thôi.

Chọn mẫu. Mẫu các đá được sử dụng trong nghiên cứu cổ từ phải được chọn và đánh dấu nhằm chỉ rõ vị trí thể nằm của chúng trong không gian tự nhiên (Hình 5. 17). Trên mẫu cần chỉ rõ hướng cắm, đường phương và góc β giữa hướng cắm và mặt phẳng nằm ngang. Nhờ có địa bàn, xác định góc A_m . Mẫu được cất khỏi trạng thái tự nhiên với các số liệu đánh dấu định hướng như trên.



Hình 5.17
Định hướng mẫu trong nghiên cứu cổ địa từ

Xác định hướng của vector từ hoá còn dư tự nhiên.

Hướng của vector \vec{J}_n đối với các cạnh của hình hộp được xác định bằng cách đo ba thành phần của \vec{J}_n theo ba trục song song với ba cạnh của hình hộp, đó là x, y, z (Hình 5.17):

$$J_{nx} = J_n \cos i \cos \alpha$$

$$J_{ny} = J_n \cos i \sin \alpha$$

$$J_{nz} = J_n \sin i$$

trong đó i là góc giữa hình chiếu của vector \vec{J}_n trên mặt phẳng và chính bản thân vector \vec{J}_n , α là góc giữa trục x với hình chiếu này. Từ các phương trình trên ta có:

$$\alpha = \arctg \frac{J_{ny}}{J_{nx}}, \quad i = \arctg \frac{J_{nz}}{\sqrt{J_{nx}^2 + J_{ny}^2 + J_{nz}^2}} \quad (5.37)$$

Nếu đưa vào trục x_0 mới, trục này là đường kinh tuyến thực khi lớp còn nằm ngang. Nếu gọi I là góc giữa \vec{J}_n với mặt phẳng nằm ngang ban đầu, D là góc giữa trục x_0 với hình chiếu của \vec{J}_n trên mặt phẳng nằm ngang ban đầu đó ta có:

$$i = I$$

$$D = \alpha + A_m + D_c$$

trong đó là độ từ thiên tại điểm lấy mẫu. Các góc I, D này chính là độ từ khuynh và từ thiên tại điểm quan sát tại thời điểm mà mẫu đá đó được hình thành.

Xác định độ từ hoá sơ cấp (ban đầu)

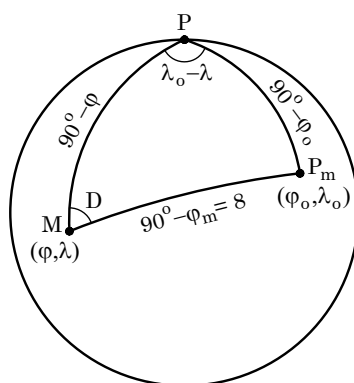
Thực nghiệm chứng tỏ rằng độ từ hoá của các đá có độ bền vững khác nhau dưới tác dụng của các yếu tố khử từ.

Trong khi các độ từ hoá xuất hiện tại thời điểm thành tạo đá như độ từ hoá nhiệt dư, hoá học cũng như định hướng, thông thường, khá bền vững thì các độ từ hoá thứ cấp như các độ

từ hóa nhớt, động lực học hoặc va đập là các độ từ hoá thứ cấp, không bền vững. Vì lẽ đó, trong phương pháp cổ từ người ta thường sử dụng các biện pháp khác nhau để loại bỏ các độ từ hoá thứ cấp ra khỏi các độ từ hoá đầu ban đầu. Các biện pháp đó được gọi là các phương pháp khử từ khác nhau. Các phương pháp khử từ bằng dòng biến đổi, bằng hoá học, hoặc bằng thời gian đã được sử dụng trong thực tế. Để tránh hiện tượng từ hoá bổ sung cho các đất đá, tất cả các mẫu được khử từ được đặt trong các vòng Helmholtz với mục đích khử bỏ ảnh hưởng của từ trường của Quả Đất trong thời gian hiện đại.

Xác định hướng của trục từ của Quả Đất

Một trong những nhiệm vụ cơ bản của các nghiên cứu khảo cổ từ cũng như cổ từ là xác định các yếu tố của từ trường Quả Đất tại nhiều điểm trên mặt đất trong nhiều niên đại lịch sử và địa chất khác nhau, tiến hành giải tích cầu cho từng niên đại đó. Hướng này được phát triển chưa lâu, còn phần lớn các nghiên cứu cổ từ là tìm trường tương ứng với phân lưỡng cực của trường từ của Quả Đất.



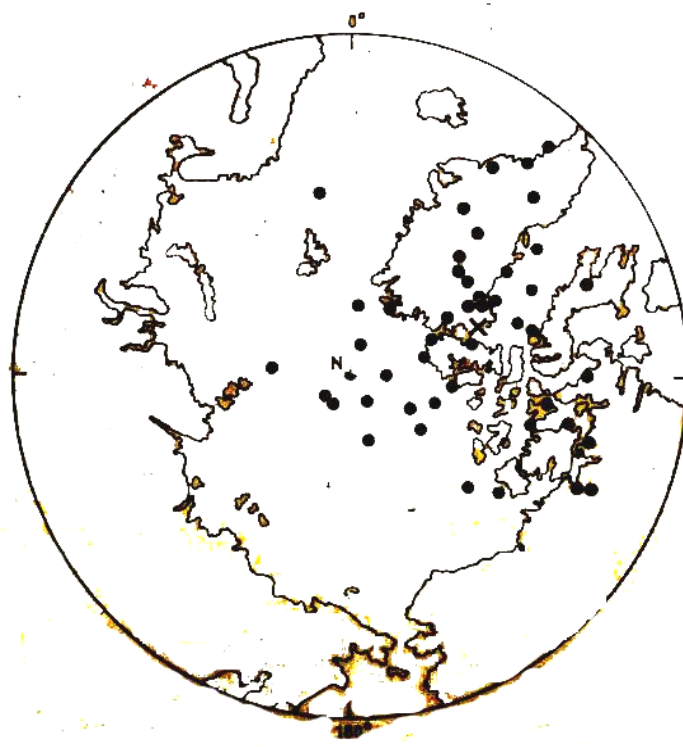
Hình 5.18

Xác định vị trí của các cực địa từ

Giả sử bằng cách đo mẫu ta đã xác định được các đại lượng I (độ từ khuynh) và D (độ từ thiên) tại điểm cần nghiên cứu M (Hình 5.18) tương ứng với trường từ của một lưỡng cực từ. Trong trường hợp đó theo công thức:

$$2\text{ctg}\theta = \text{tg}I \quad (5.38)$$

ta xác định được góc θ giữa trục của lưỡng cực từ với hướng của bán kính vectơ vẽ từ tâm đến điểm M .



Hình 5.19

Vị trí của các cực từ ảo niên đại 1955

Sau khi đã xác định được góc θ , từ tam giác cầu PMP_M ta xác định được các tọa độ của cực địa từ:

$$\begin{aligned} \sin \varphi_0 &= \sin \varphi \cos \theta + \cos \varphi \sin \theta \cos D \\ \sin(\lambda - \lambda_0) &= \sin \theta \frac{\sin D}{\cos \varphi_0} \end{aligned} \quad (5.39)$$

Các cực từ được xác định theo các công thức (5.39) được gọi là các cực địa từ ảo.

Hình 5.19 cho ta hình ảnh của vị các cực địa từ ảo so với cực địa lí. Các vị trí này được xác định bằng các công thức (5.39) cho năm 1955 tại các đài địa từ khác nhau. Lấy giá trị trung bình ta có thể xác định được vị trí cực địa từ trung bình trong các niên đại qua (Hình 5.19)

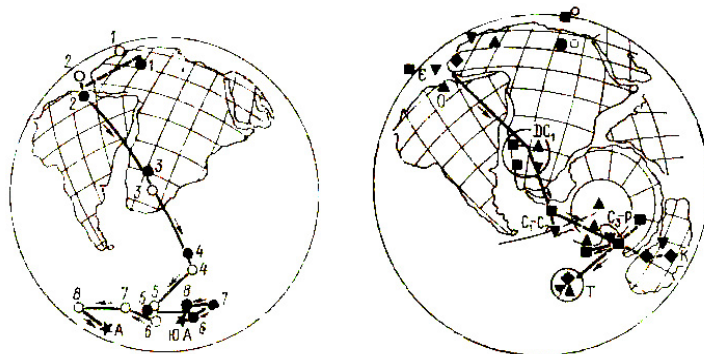
Một số kết quả nghiên cứu cổ từ.

Các kết quả nghiên cứu cổ từ trong thời gian gần đây đã phát hiện ra một số hiện tượng làm thay đổi quan niệm của chúng ta về bản chất của trường địa từ cũng như nhận thức thêm một số hiện tượng mới trong địa vật lí và địa chất.

Có ba sự kiện mà chúng ta cần quan tâm.

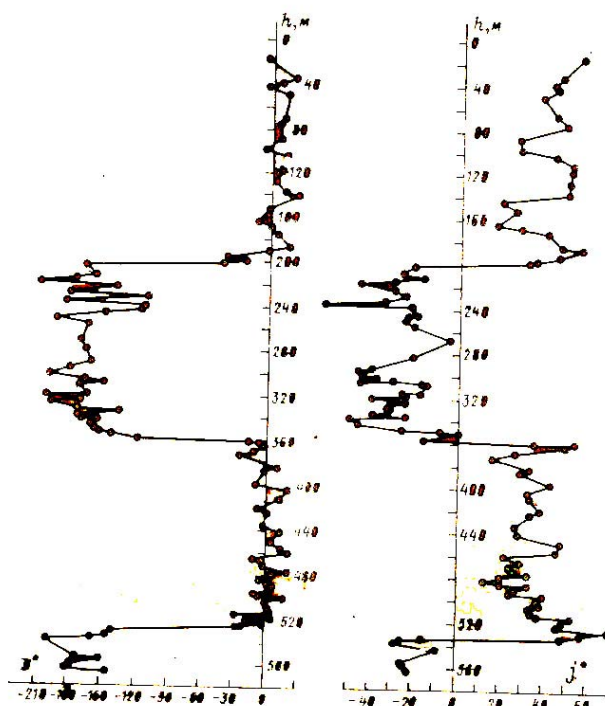
1. Các cực địa từ trong suốt lịch sử địa chất liên tục thay đổi vị trí của mình đối với các cực địa lí.

2. Với mỗi một lục địa có thể dựng nên cho mình một quỹ đạo dịch chuyển các cực địa từ- đường cong dịch chuyển các cực địa từ. Các đường cong càng khác xa nhau nếu như các niên đại được nghiên cứu càng cổ. Tuy nhiên, nếu các lục địa (các mảng vỏ trái đất) được nối với nhau trong một số thời kỳ ta lại thu được các đường cong dịch chuyển cực từ hầu như trùng nhau. Điều đó cho phép ta một lần nữa xác nhận thuyết cấu tạo mảng cùng với sự tách giãn của các mảng tạo nên vỏ Quả Đất (Hình. 5.20).



Hình 5.20

Ghép các lục địa để thu được các đường cong dịch chuyển cực địa từ trùng nhau

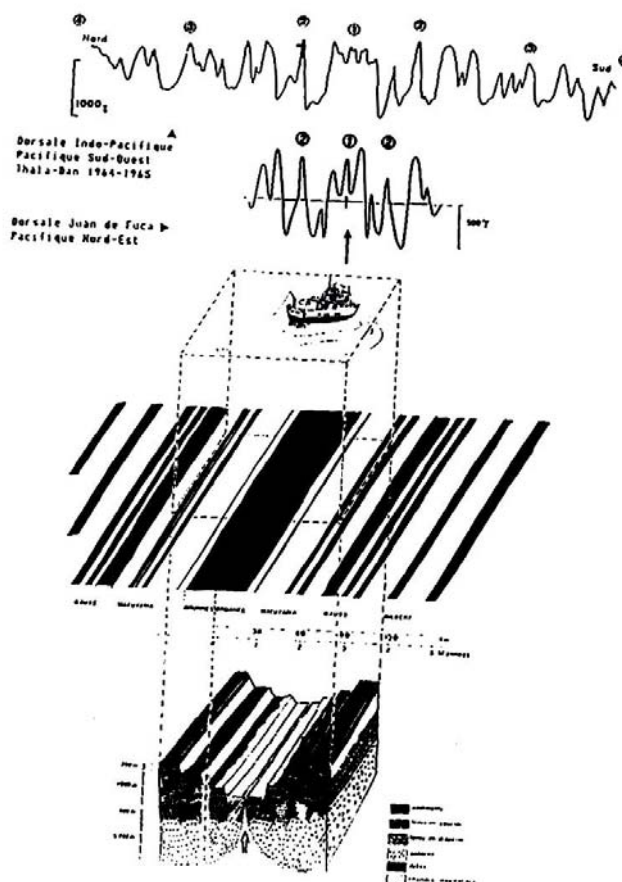


Hình 5.21

Hiện tượng đảo cực từ

3. Hướng độ từ hoá dư thay đổi đột ngột 180° phụ thuộc vào tuổi địa chất, nên trên đường cong dịch chuyển của các cực địa từ có thể có lúc là cực từ bắc có lúc là cực từ nam.

Ta thừa nhận độ từ hoá thuận nếu hướng của vectơ \vec{J} trùng với hướng của trường địa từ hiện đại và nghịch nếu như ngược lại (Hình 5.21).

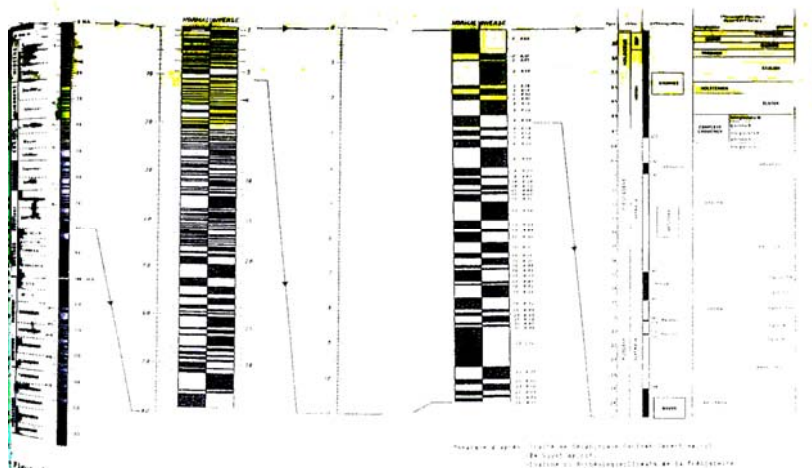


Hình 5.22

Dị thường từ khi đo cắt qua sống núi giữa các đại dương

Các số liệu cổ từ còn cho phép các nhà địa vật lí dự đoán về các sống núi nằm giữa các đại dương. Do quá trình tách giãn của vỏ quả đất, các phun trào được đẩy lên và bị từ hoá trong các niên đại địa chất khác nhau nên có hướng từ trường (độ từ hoá dư đối ngược nhau), điều đó tạo nên các dị thường từ thay đổi dấu liên liên tục trên các tuyến đo từ xuyên qua các đại dương. Các đá nằm càng xa sống núi có tuổi già hơn so với các đá nằm gần sống núi. Các số liệu này cho phép ta tính được tốc độ tách dẫn của vỏ đại dương (Hình.5.22).

Dựa vào hiện tượng đảo cực từ, kết hợp với các số liệu địa chất địa vật lí đã biết trước khá chính xác, các cột địa tầng mẫu có kèm theo sự phân cực của cực địa từ được xây dựng. Dựa vào cột địa tầng mẫu này, tại những vùng tương tự, sau khi xác định được bức tranh đảo trường từ của các đất đá (Hình 5.21), ta có thể xác định tuổi của các đá mà chúng ta quan tâm (Hình 5.23).



Hình 5.23

Cột địa tầng theo cổ từ

5.14 Đơn vị của các đại lượng từ được dùng trong địa từ

Khác với hệ đơn vị CGS, hệ đơn vị SI được dùng để đo các đại lượng điện từ được hợp lý hoá bao gồm thêm hệ số nhân $1/4\pi$ và nhận đại lượng μ_0 có thứ nguyên (trong lúc đó μ_0 trong CGS không có thứ nguyên và có giá trị bằng 1). Trong địa từ, thay cho cường độ trường từ đo bằng A/m người ta sử dụng cảm ứng từ trong chân không B_0 được đo bằng T. Vì vậy trong việc sử dụng các công thức có trước đây trong địa từ và thăm dò từ ta phải chuyển đổi các đơn vị. Ngược lại khi tính độ từ hoá của các đất đá trong địa từ ta dùng công thức

$$J = \chi_m H$$

thì lại cần phải biểu thị cường độ trường từ cùng một đơn vị như độ từ hoá J, có nghĩa là phải chuyển T thành A/m. Cần phải chú ý đến những khác biệt cơ bản của hai hệ thống đơn vị SI và CGS trong khi tiến hành thăm dò từ.

Độ từ thẩm μ liên hệ với χ_m trong hệ CGS theo công thức sau:

$$\mu = 1 + 4\pi\chi_m \text{ (CGS),}$$

còn trong hệ SI

$$\mu = 1 + \chi_m \text{ (SI)}$$

$$1\text{đv CGS về } \chi_m = 4\pi \text{ đv SI} = 12,6 \text{ đv SI}$$

Trong chân không

$$B_0 = \mu_0 H,$$

còn trong môi trường có độ từ thẩm μ

$$B_0 = \mu_0\mu H$$

$$1\text{A/m} = 4\pi \cdot 10^{-3} \text{Oe}$$

$$1\text{A/m} = 10^{-3} \text{ đv J trong CGS}$$

$$1\text{Oe} = 10^{-4} \text{T}$$

$$1\gamma = 10^{-9} \text{ T} = 1\text{nT}.$$

Cường độ từ trường do một vật thể bị từ hoá đồng nhất gây ra, trong hệ SI được biểu diễn bằng công thức sau :

$$H = \frac{J}{4\pi} \int \int_s \frac{\cos \varphi}{r^2} dS$$

Biểu thức dưới dấu tích phân là một đại lượng không có thứ nguyên, vì ds có cùng thứ nguyên với r^2 . Khi sử dụng công thức này như ta đã nói ở trên, H được đo bằng A/m. Để chuyển về Tesla ta phải nhân đại lượng này cho $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$.

Lúc đó:

$$B_0(H)_T = J_{A/m} \int \int_s \frac{\cos}{r^2} dS \cdot 10^{-7}.$$

Công thức này không có hệ số nhân $1/(4\pi)$, vì vậy để tính toán trong thực tế ta có thể sử dụng các công thức, các palet đã được thành lập trong hệ đơn vị CGS. Muốn vậy trước tiên chuyển đại lượng J đo được trong hệ SI thành đại lượng đo được trong CGS, kết quả tính thu được đem nhân cho 10^{-4} sẽ cho kết quả trong hệ đơn vị SI.