

NGHIÊN CỨU QUÁ TRÌNH TẠO MẪU PHỤC VỤ ĐO SÓNG ĐỊA CHẤN TRONG CÁC PHA NGẬM NƯỚC CÓ ÁP SUẤT VÀ NHIỆT ĐỘ CAO VỚI MÔ HÌNH ĐỐI HÚT CHÌM

PHAN THIÊN HƯƠNG

E-mail: huongpt@hotmail.com

Bộ môn Địa Vật Lý - Trường Đại học Mở - Địa chất

Ngày nhận bài: 25-3-2011

1. Đặt vấn đề

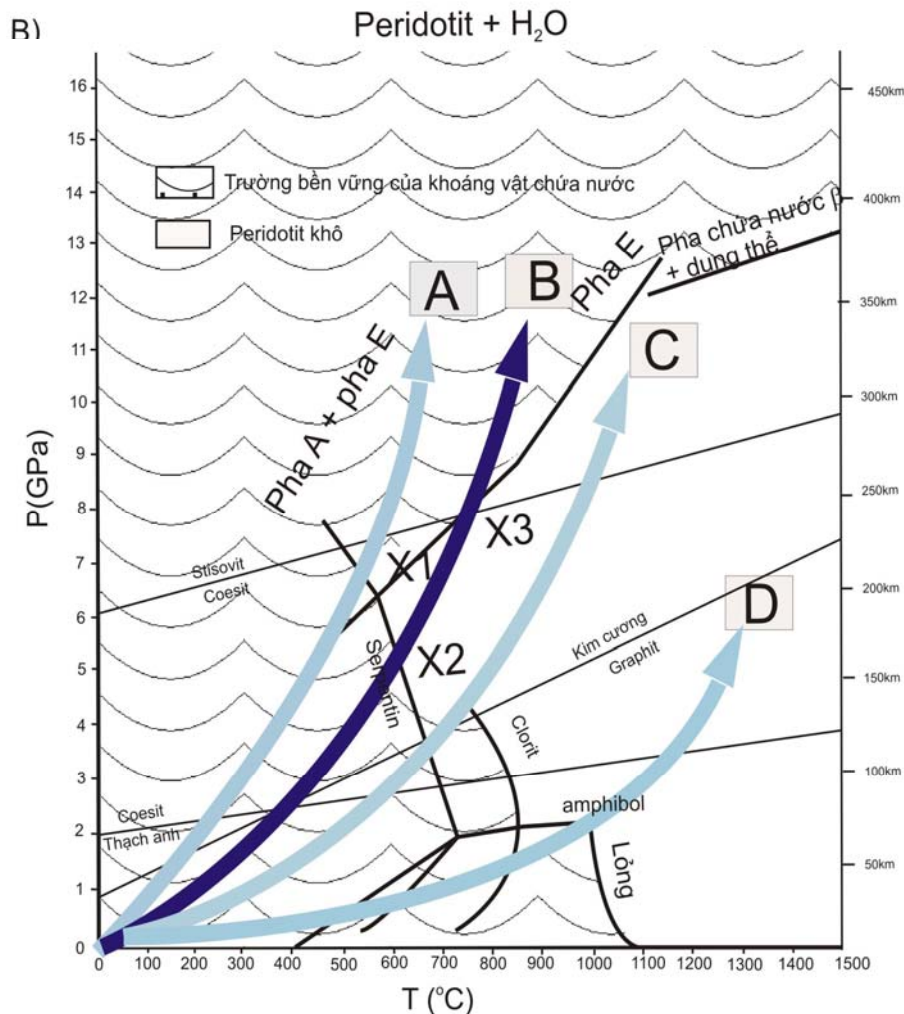
Sự lưu trữ và trữ nước trong lòng đất (core mantle) là vấn đề tranh luận giữa các nhà nghiên cứu Trái Đất trong thời gian dài và hiện nay vẫn chưa ngã ngũ. Nước trên mặt đất chỉ chiếm 0,025% khối lượng toàn thể nước có thể tồn tại trên Trái Đất. Ngoài ra, nó cũng chỉ chiếm một phần mười lượng nước được chứa trong magma tholeit trong quyển mềm dưới các dãy núi ngầm giữa đại dương hay chỉ một nửa trong manti [8]. Đối hút chìm chuyên nước vào trong manti khoảng $8,7 \cdot 10^{11}$ kg/năm, nhiều gấp 6 lần nước được trả lại trong quá trình phun trào ($1,4 \cdot 10^{11}$ kg/năm) [16]. Điều đó chỉ ra rằng nước ở trên Trái Đất được luân chuyển trong phần trên của manti và thậm chí còn có thể xuống đến phần sâu của manti trong quá trình hút chìm. Tuy nhiên, cho đến nay, việc trả lời câu hỏi “trong manti, nước có thể tồn tại dưới dạng nào và sự phân bố ra sao?” vẫn còn tồn tại nhiều ý kiến tranh luận.

Theo nhiều nhà nghiên cứu, nước trong manti có thể tồn tại dưới ba dạng: nước tự do [22]; nước dưới dạng liên kết (hydrous phases - [24]); hoặc nước tồn tại đồng hành trong cấu trúc tinh thể của các khoáng vật cấu thành manti như olivin, pyroxen, granat [1, 7]. Lớp thạch quyển của vỏ đại dương trong đối hút chìm cấu thành từ manti peridotit serpentin hóa, các tập hợp mafic/siêu mafic pluton, gabro, phun trào basalt và các trầm tích từ pelit tới carbonat. Trước kia, người ta cho rằng chỉ có đá gabro và đá phun trào của lớp magma vỏ đại dương và đá pelit đặc trưng cho trầm tích đáy đại dương trong đối hút chìm đại dương là có triển vọng chứa nước [4, 15, 20, 22].

Tuy nhiên, những nghiên cứu gần đây đã làm thay đổi quan điểm trên bởi các lý do sau: (1) Đá siêu bazơ serpentin hóa tồn tại nhiều trong ophiolit và đáy biển; các mẫu khoan đáy biển khẳng định sự tồn tại của đá peridotit serpentin hóa trong các hoạt động kiến tạo khác nhau; (2) Serpentin antigorit tồn tại bền vững hơn amphibol trong điều kiện áp suất cao; (3) Khả năng đối hút chìm lạnh (cold subduction) sẽ mang những pha ngậm nước xuống sâu trong điều kiện tồn tại bền vững của serpentin antigorit và chlorit [23].

Một loạt các thí nghiệm tiến hành trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao [9, 10, 24, 26] đã chỉ ra một số khoáng vật chứa nước (hydrous minerals) của đá có thành phần siêu bazơ khá bền vững trong điều kiện nhiệt độ và áp suất của đối hút chìm (hình 1). Theo biểu đồ ta thấy rõ, trong điều kiện của đối hút chìm lạnh, hoặc đối hút chìm có nhiệt độ trung bình (với sự có mặt của một số nguyên tố như Al^{3+} [5], Ti^{4+} [11] và F [21] (đường mũi tên A, B - hình 1) thì các pha giàu Mg, Si có chứa nước (HDMS-hydrous dense magnesium silicates) tồn tại bền vững.

Đó là quan điểm của các nhà địa chất thạch học, câu hỏi đặt ra là liệu các nhà địa vật lý có thể dự đoán được sự phân bố của nước trong manti không? Để làm sáng tỏ vấn đề này, các tham số cần quan tâm là: vận tốc truyền sóng, sự tắt dần của biên độ sóng, tính dị hướng và mật độ trong đó, vận tốc là tham số có nhiều triển vọng dùng để nghiên cứu cấu trúc của Trái Đất vì thời gian truyền sóng trong lòng đất có thể đo được với độ chính xác tương đối cao.

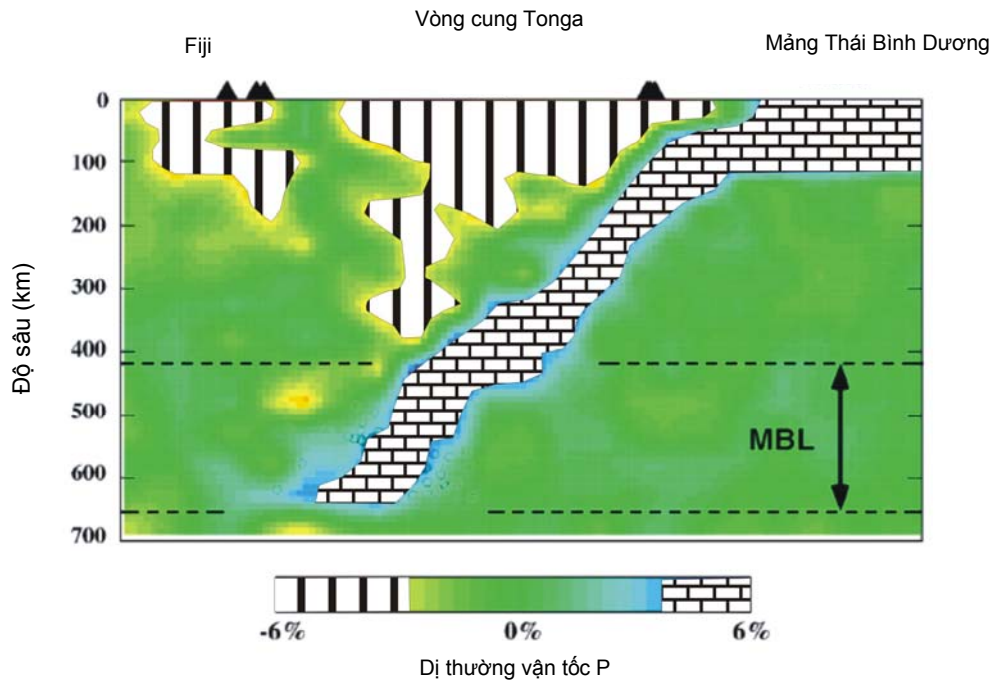


Hình 1. Biểu đồ biểu diễn các pha hình thành theo nhiệt độ và áp suất của peridotit chứa nước. A, B, C, D- đặc trưng cho các đường P-T trên bề mặt của đới (slab). X₁, X₂, X₃- các điểm xác định trạng thái của nước trong đới hút chìm [13]

Đã có nhiều tác giả nghiên cứu đới hút chìm theo tài liệu địa chấn như Iwamori và Zhao [6] Roth [18], Sato [19], Van der Lee [26]. Hình 2 chỉ ra sự phân bố bất đồng nhất của vận tốc trong đới hút chìm và khu vực xung quanh. Hiện tượng này không thể giải thích đơn thuần bằng địa nhiệt hay thành phần địa hóa tổng (bulk composition) mà phải tính đến sự tham gia của nước: (1) đới vận tốc thấp ở trên tấm hút chìm (subducting slab) hình thành do nước được giải phóng từ dải hút chìm; (2) sự tăng vận tốc bên trong tấm hút chìm là do sự tồn tại của những pha ngậm nước. Tuy nhiên đó mới chỉ là giả thuyết, cho tới nay chưa có một giá trị đo trực tiếp nào để khẳng định giả thuyết đó là đúng. Đó chính là động lực thúc đẩy chúng tôi

nghiên cứu phương pháp và tiến hành đo sóng địa chấn truyền qua các pha ngậm nước trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao của đới hút chìm.

Độ ngậm nước của các thành tạo đá ảnh hưởng rất lớn vận tốc truyền sóng. Giải quyết mối tương quan này có ý nghĩa rất lớn trong nghiên cứu cấu trúc sâu, đặc biệt trong khu vực đới hút chìm. Bài toán nghiên cứu thực nghiệm ở đây là tạo ra các mẫu tiêu chuẩn và trên các mẫu đó xác định mối tương quan giữa độ ngậm nước với các tham số vật lý vận tốc, sự tắt dần của biên độ sóng, tính đẳng hướng và mật độ đá, hay nói cách khác là sự khác nhau của vận tốc truyền sóng trong đá có độ ngậm nước khác nhau.



Hình 2. Sự phân bố vận tốc của sóng P theo chiều từ đông sang tây và độ sâu đạt tới 700km dưới vòng cung Tonga. Ký tự “sọc dọc” và “ô gạch” tương ứng với vận tốc chậm và nhanh

2. Phương pháp nghiên cứu

Để tiến hành đo sóng địa chấn truyền qua các đá ngậm nước trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao của đới hút chìm, việc đầu tiên là phải tạo được mẫu đo. Trong bài báo này tác giả đề cập tới các yêu cầu của mẫu đo và sự thành công trong việc nghiên cứu phương pháp tạo mẫu. Việc đo sóng địa chấn bằng thiết bị Hệ thống khối đe (multi-anvil system) sẽ được trình bày trong bài báo khác.

2.1. Tiêu chí mẫu thực nghiệm

Các tiêu chí mẫu đo thực nghiệm bao gồm kích thước hạt, mật độ hạt, tỷ số giữa độ dài và đường kính mẫu, tỷ số giữa đường kính mẫu và bước sóng. Các mẫu đo trong thực nghiệm này là các silicat magnesi ngậm nước, chúng phải đáp ứng được các yêu cầu khắt khe về các thông số như kích thước hạt, mật độ hạt, kích thước bản thân mẫu để bảo đảm cho các thí nghiệm tiếp theo đạt kết quả chính xác.

(i) Kích thước hạt: theo nghiên cứu của Mason và McSkimi [14], sự suy giảm biên độ (A) của sóng dịch chuyển trong vật chất phụ thuộc vào kích thước hạt và bước sóng. Do đó, đối với mỗi bước sóng cho trước, kích thước hạt cần phải cân nhắc

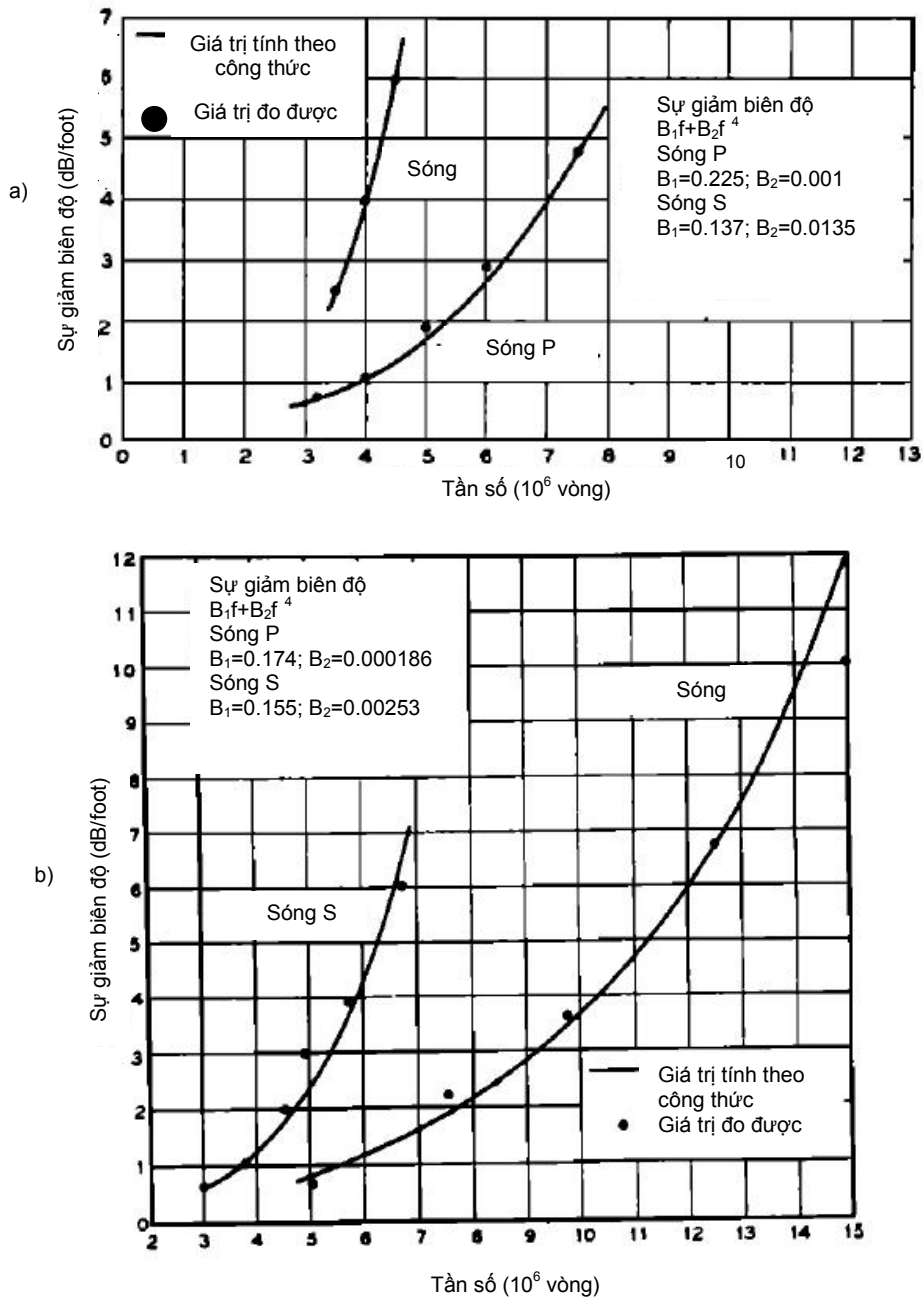
để có thể hạn chế được việc giảm biên độ, bảo đảm nhận được tín hiệu sóng tại máy thu.

Mason and McSkimin đã chứng minh kích thước hạt (a) càng lớn thì biên độ sóng giảm càng nhanh theo công thức: $A = f(a)^2$ (1). Hình 3 là kết quả thực nghiệm với mẫu có kích thước hạt là 0,23mm (hình 3a) và 0,13mm (hình 3b), kết quả chỉ ra $(A_1 / A_2) = 5,4$ (2) phù hợp với công thức

$$(1): \frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{0,23}{0,13} \right)^2 = 5,5 \quad (3) \text{ với } A_1, A_2 - \text{ là biên độ}$$

sóng của mẫu 1 và 2. Nói cách khác là biên độ của sóng phụ thuộc vào kích thước hạt, hạt càng lớn thì biên độ càng lớn.

Ngoài ra cũng theo thực nghiệm, Libermann [12] đã chỉ ra rằng để nhận được tín hiệu sóng thì mối quan hệ giữa bước sóng λ và kích thước hạt (a) phải thỏa mãn: $(\lambda / a) > 3$ và giá trị $(\lambda / a) > 10$ là giá trị được khuyến khích. Nói cách khác, để nhận được sóng truyền qua mẫu thì kích thước hạt phải nhỏ hơn bước sóng ít nhất ba lần, tín hiệu thu được khả quan khi kích thước hạt nhỏ hơn một phần mười bước sóng.



Hình 3. Đo sự giảm biên độ của sóng dọc và sóng ngang theo tần số đối với các mẫu có kích thước hạt a: 0,23mm và b: 0,13mm [14]

Nếu những yêu cầu trên được tuân thủ, bên cạnh việc bảo đảm biên độ sóng không bị suy giảm nhiều trong quá trình dịch chuyển thì vận tốc sóng đo được trong điều kiện này bảo đảm tính đẳng hướng.

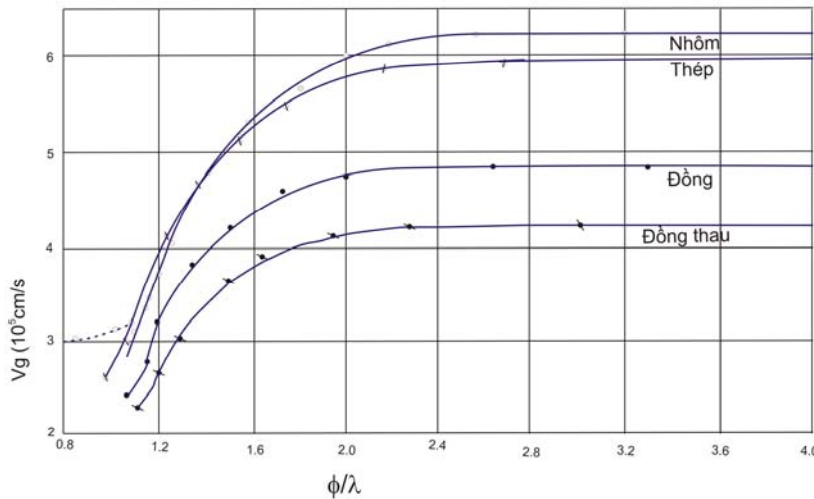
(ii) Mật độ của mẫu: Để thí nghiệm thành công thì mật độ của mẫu phải lớn hơn 90% (độ trong x nhỏ hơn 1/10 thể tích), ngoài ra không có vi nứt (micro cracks). Ở đây cần đặc biệt chú ý là không chỉ các vết nứt thông thường mà kể cả những vết

nứt dọc theo ranh giới của các hạt cũng cần phải khắc phục. Các vết nứt này có thể gây nhiều rắc rối cho quá trình đo. Sự khắc phục sẽ được giải thích trong phần thực nghiệm. Ngoài ra, nếu mật độ hạt thấp, hay nói cách khác độ rỗng cao sẽ làm vận tốc đo được giảm giá trị và tín hiệu đo được bị yếu do tính chất hấp thụ không đàn hồi trong mẫu.

(iii) Tỷ số giữa độ dài và đường kính của mẫu (l/ϕ). Sóng dọc truyền trong môi trường đồng nhất vô hạn được biểu diễn theo công thức: $V_p = [(\lambda+2\mu)/\rho]^{1/2}$ (2). Trong đó λ = hệ số Lamé, μ = module trượt, ρ = mật độ. Để giá trị đo được đúng là giá trị của sóng truyền trong môi trường vô hạn và đẳng hướng, theo Birch [2], tỷ số giữa độ

dài (l) và đường kính hạt (ϕ) không được quá giá trị 4 hoặc 5. Nếu l/ϕ vượt quá giá trị đó thì sóng đo được sẽ bị ảnh hưởng rất lớn do hiệu ứng ranh giới và khi đó năng lượng thu được chỉ có một phần nhỏ là của sóng phản xạ và có xu hướng rơi vào phonon nhiễu. Vận tốc đo được khi này chính là vận tốc của thanh (rod/bar velocity) $V = (E/\rho)^{1/2}$, với E là modul Young.

(iv) Tỷ số giữa đường kính mẫu (ϕ) và bước sóng (λ): theo Tu và các tác giả khác [24], để vận tốc đo được không phải là vận tốc của sóng truyền trong một khối có dạng thanh hay dạng đĩa mà trong môi trường vô hạn tương đương với điều kiện mà chúng ta đo trong môi trường tự nhiên thì (ϕ/λ) phải nhỏ hơn 2,4 (hình 4).



← Hình 4. Mối quan hệ giữa vận tốc đo được và tỷ số giữa đường kính mẫu và bước sóng ϕ/λ [24]

Hình 4 biểu diễn kết quả thực nghiệm cho một số mẫu kim loại và cho thấy chỉ khi ϕ/λ đạt đến giá trị 2,4 thì vận tốc đo được mới đạt được vận tốc thực trong môi trường vô hạn.

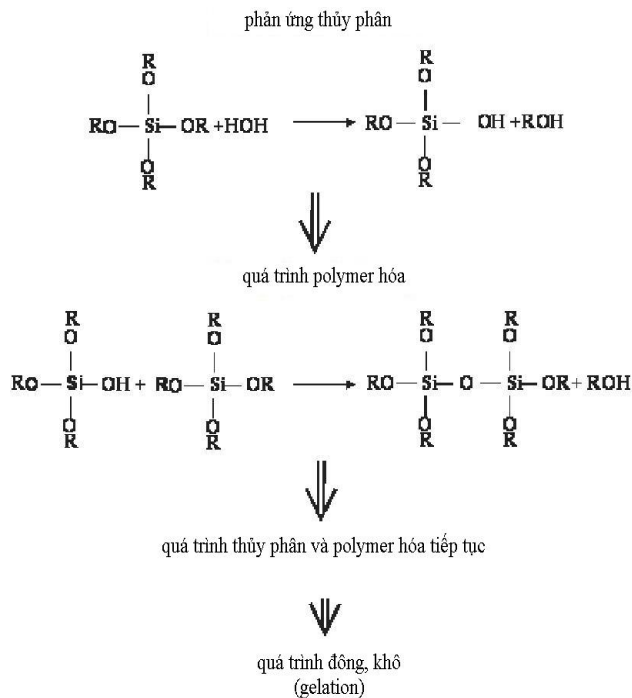
2.2. Tổng hợp mẫu

Việc đo vận tốc cho những pha ngậm nước có vai trò giống như cầu nối từ kết quả đo địa chấn tới những giả thuyết địa chất, kiểm định tính đúng đắn của những giả thuyết này. Dựa theo kết quả phân tích của các nhà thạch học [21, 25], tác giả đã chọn hai đối tượng giàu magnezi và là silicate ngậm nước có tính đại diện thành phần cho các thành tạo đới hút chìm để nghiên cứu, đó là clinohumit ($Mg_9Si_4O_{16}(OH)_2$) và pha A ($Mg_7Si_2O_8(OH)_6$) (phase A dùng để phân biệt với phase E và D cùng là thành phần giàu hydro của các đá magnesium silicat. Dựa vào điều kiện nhiệt độ, áp suất mà tại đó tồn tại phase A, D hay E).

Có 3 công đoạn tiến hành trong quá trình tạo mẫu, gồm:

Bước 1: Quá trình hòa tan-đông khô (solution and gelation). Đây là một phương pháp khá phổ biến trong khoa học vật liệu, nhưng hầu như chưa được các nhà thạch học thực nghiệm ứng dụng. Chỉ sau khi các thí nghiệm của tác giả thành công thì phương pháp này mới bắt đầu được chú ý đến nhiều hơn.

Đầu tiên, dùng máy rung siêu âm và máy quay từ tính để hòa tan $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ vào ethanol. Sau đó rót TEOS - viết tắt tetraethylorthosilicate [$Si(OC_2H_5)_4$] vào dung dịch trên và tiếp tục hòa tan. Quá trình thủy phân bắt đầu rồi đến quá trình polymer hóa (hình 5). Tiếp tục sấy nhẹ dung dịch ở nhiệt độ khoảng $70^\circ C$. Sau khoảng 8 giờ thì quá trình đông khô (gelation) bắt đầu [17] và kết thúc sau 24 giờ.

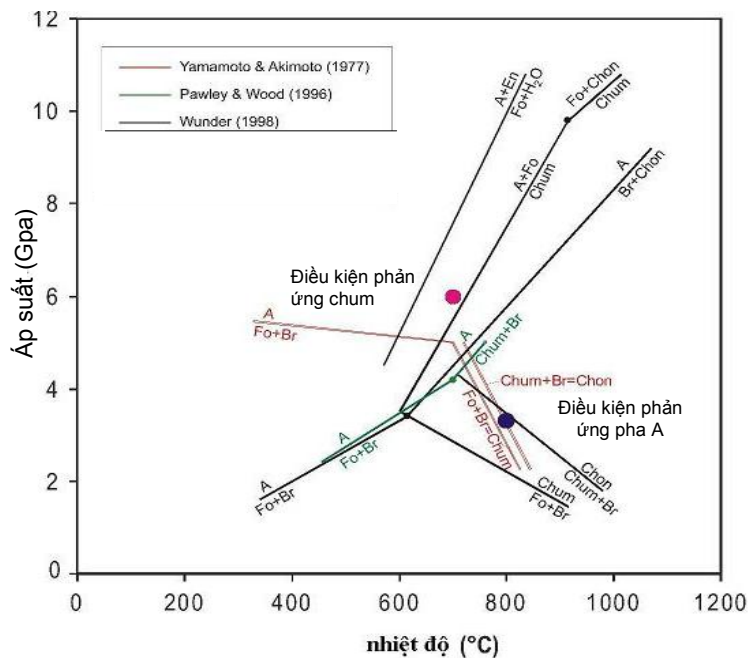


Hình 5. Quá trình hòa tan - đông khô (R- gốc C₂H₅)

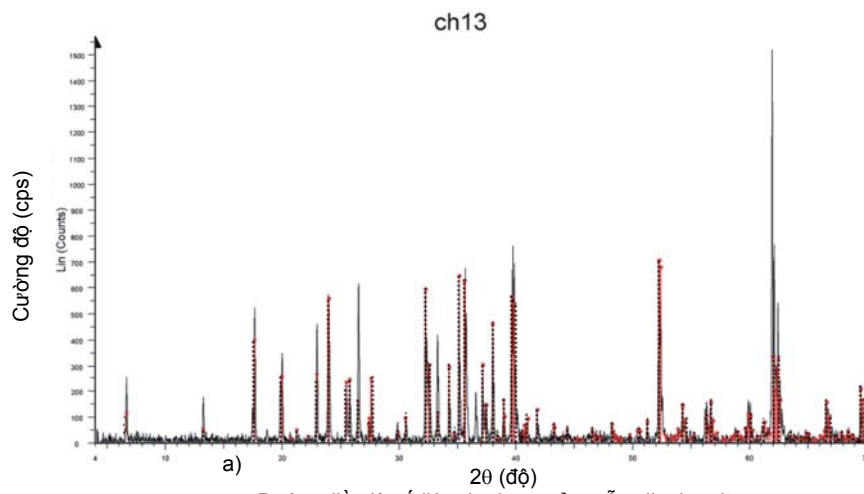
Ưu điểm của phương pháp này là: (i) Phản ứng xảy ra giữa các hạt có kích thước phân tử nên bề mặt tiếp xúc để xảy ra phản ứng rất lớn, dẫn đến điều kiện nhiệt độ và áp suất để xảy ra phản ứng thấp; (ii) Phản ứng giữa các hạt có kích thước phân tử

được trộn lẫn nên tính đồng nhất của chất tạo thành sau phản ứng là rất cao, đặc biệt khi so sánh với các chất được thành tạo bởi phản ứng giữa các oxit hoặc khoáng vật; (iii) Loại bỏ được nhiều tạp chất; (iv) Kích thước của các hạt đồng đều. Điều này có thể giải thích như sau: do kích thước ban đầu của các hạt rất nhỏ nên khi tiến hành giai đoạn 2 là ép nóng (hot-pressing) mẫu đã tránh được hiện tượng phát triển bất thường một số tinh thể làm cho kích thước của các hạt trong mẫu không đồng đều, chênh lệch nhau lớn, ảnh hưởng nhiều đến mật độ hạt cũng như thành tạo các vi nứt (micro-crack).

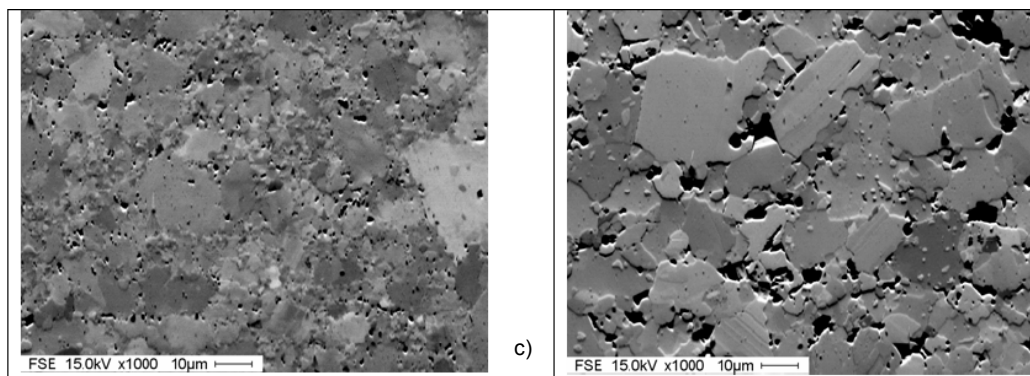
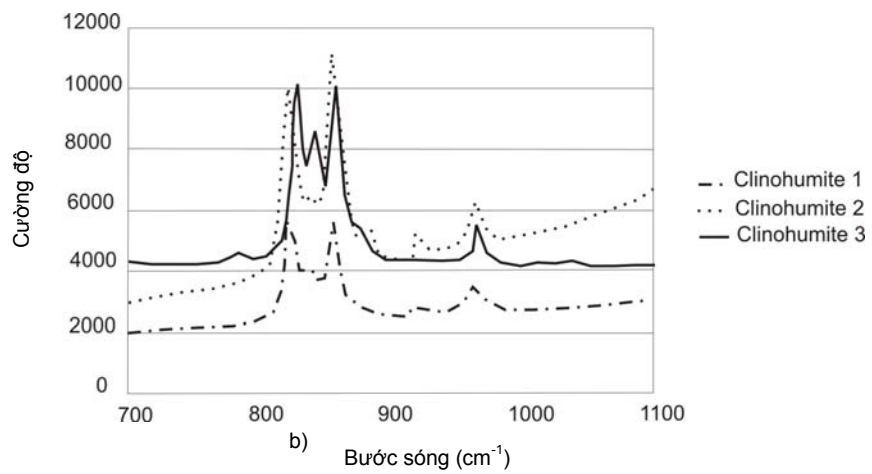
Bước 2: Quá trình tổng hợp mẫu. Sau khi đã có hỗn hợp bột với kích thước phân tử, MgO và SiO₂ được trộn lẫn rất đều, quá trình tạo khoáng vật clinohumite và pha A được tiến hành theo biểu đồ biểu diễn trên hình 6. Kết quả được kiểm tra bằng phương pháp nhiễu xạ röntgen (X-ray diffraction - XRD) và phổ Raman (micro-Raman spectroscopy). Thí dụ cho clinohumit: hình 7a và 7b.



Hình 6. Biểu đồ biểu diễn điều kiện nhiệt độ và áp suất để tồn tại chum (clinohumit) và pha A. Fo - forsterit; Br - brucit; En - enstatit



Đường liền là số liệu đo được của mẫu clinohumite,
đường gạch là số liệu của mẫu chuẩn



Hình 7. a- Giảm đồ XRD của mẫu , b- Phổ Raman của mẫu , c- Ảnh chụp trên thiết bị Microprobe mẫu clinohumit và pha A sau khi nén ở nhiệt độ cao

Bước 3: Quá trình nén mẫu tại nhiệt độ cao (hay là quá trình ép nóng/ hot-pressing), đây là quá trình tăng áp suất và nhiệt độ đồng thời sao cho khoáng vật không thay đổi, chỉ có mật độ hạt tăng lên. Ưu điểm của phương pháp là vi cấu trúc của vật chất hoàn toàn được kiểm soát. Trong trường hợp này ta có thể làm tăng mật độ hạt của mẫu mà vẫn bảo đảm kích thước hạt không lớn. Trên hình 7 có thể thấy một vài lỗ trống, thực chất đó không thể hiện độ rỗng của mẫu vì chúng được tạo ra do hạt khoáng vật bị bong trong quá trình mài nhẵn mẫu cho thí nghiệm.

2.3. Kết quả nghiên cứu

Kết hợp phương pháp hòa tan - đông khô và ép nóng, nhóm tác giả đã tạo được các mẫu có chất lượng cao, thỏa mãn các yêu cầu cho việc tiến hành thực nghiệm đo sóng trong điều kiện nhiệt độ, áp suất cao. Cụ thể là mẫu hình trụ có kích thước khoảng 2mm đường kính; chiều cao từ 1,5 đến 2mm; kích thước hạt nhỏ hơn 20 μ m. Các thí nghiệm đã chỉ ra rằng, nhiệt độ, áp suất và thời gian là ba yếu tố kiểm soát sự thành công của quá trình ép nóng. Nếu quá trình ép nóng được chia làm hai giai đoạn, giai đoạn đầu nhiệt độ thấp để khuyến khích nảy sinh nhiều mầm tinh thể (nucleation) sau đó mới tăng nhiệt độ để các mầm phát triển, thì kết quả làm tăng mật độ của mẫu lên đáng kể trong khi kích thước hạt không tăng nhiều. Tuy nhiên, nếu thực hiện theo quá trình này thì nhiều vết nứt xuất hiện dọc theo ranh giới giữa các hạt, không thích hợp cho việc đo sóng siêu âm. Do đó, tác giả đã chọn chu trình nén nóng (hot-pressing) theo kiểu một giai đoạn. Kết quả là hạt to hơn, nhưng vẫn trong giá trị chấp nhận được, không có vi nứt, độ rỗng thấp. Chu trình cho clinohumit là 24giờ, với áp suất là 3,3 GPa và nhiệt độ là 800°C, cho pha A là 24giờ, áp suất là 6 GPa và nhiệt độ là 700°C

3. Kết luận

Việc tạo mẫu thành công có ý nghĩa quan trọng, đáp ứng các yêu cầu cho bước tiếp theo là đo sóng siêu âm trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao. Các nghiên cứu này mở ra một phương hướng nghiên cứu mới về thành phần, cấu trúc sâu của trái đất. Kết quả của thí nghiệm cũng chứng tỏ sự phối hợp không thể tách rời giữa các ngành khoa học khác nhau như địa hóa, thạch học, tinh thể, địa vật lý, địa chất trong việc nghiên cứu Trái Đất.

Ở Việt Nam, bao xung quanh là các đới hút chìm Philippin, Indonesia, đới đụng độ Himalaya, nơi thành tạo các đới sinh khoáng phong phú và cũng là nguồn phát sinh các tai biến động đất. Việc

tăng cường hiệu quả của phương pháp nghiên cứu đo sóng siêu âm trong điều kiện nhiệt độ và áp suất cao có thể đóng góp cho việc nghiên cứu các cấu trúc này.

TÀI LIỆU DẪN

- [1] Bell, D. R. and Rossman, G. R., 1992: Water in the Earth's mantle: the role of nominally anhydrous minerals. *Science* **255**: 1391-1397.
- [2] Birch F., 1960: The velocity of Compressional Waves in Rocks to 10 kilobars, part 1. *Journal of Geophysical Research* **65** (4): 1083-1102.
- [3] Bose K. and Ganguly, J., 1995: Experimental and theoretical studies of the stabilities of talc, antigorite and phase A at high pressures with applications to subduction processes. *Earth and Planetary Science Letters* **136**(3-4): 109-121.
- [4] Davies, J. H. and Stevenson D. J., 1992: Physical model of source region of subduction zone volcanics. *Journal of Geophysical Research* **97**: 2037-2070.
- [5] Fockenberg, T., 1998: An experimental study of the pressure-temperature stability of MgMgAl-pumpellyite in the system MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. *American Mineralogist* **83**: 220-227.
- [6] Iwamori, H. and Zhao, D., 2000: Melting and seismic structure beneath the northeast Japan arc. *Geophysical Research Letters* **27**(3): 425-428.
- [7] Jacobsen, S. D., Jiang, F., Mao, Z., Duffy, T. S., Smyth, J. R., Holl, C. M., Frost, D. J., 2008: "Effects of hydration on the elastic properties of olivine." *Geophysical Research Letters* **35**: doi:10.1029/2008GL034398.
- [8] Jacobsen, S. D. and Van der Lee, S., 2006: Earth's Deep Water Cycle. *American Geophysical Union*, Washington D.C.
- [9] Kawamoto, T. and Holloway, J. R., 1997: Melting temperature and partial melt chemistry of H₂O -saturated mantle peridotite to 11 gigapascals. *Science* **276**: 240-243.
- [10] Kawamoto, T., Hervig, R. L. and Holloway, J. R., 1996: Experimental evidence for a hydrous transition zone in the early Earth's mantle. *Earth and Planetary Science Letters* **142**: 587-592.
- [11] Khodyrev, O. V., Agoshkov, V. M., Slutskiy, A. B., 1992: The system peridotite-

aqueous fluid at the upper mantle parameters. *Trans. USSR Acad. Sci.: Earth Sci. Sect.* **312**: 255-258.

[12] *Liebermann, R. C., Ringwood, A. E., Mayson D.J., Major A.*, 1974: Hotpressing of polycrystalline aggregates at very high pressure for ultrasonic measurements. *Proceedings of the 4th International Conference on High Pressure (Kyoto)*: 495-502.

[13] *Maruyama, S. and Okamoto, K.*, 2007: Water transportation from the subducting slab into mantle transition zone. *Gondwana Research* **11**: 148-165.

[14] *Mason, W.P. and McSkimin, H.J.*, 1947: Attenuation and scattering of high frequency sound waves in metals and glasses. *Journal of the Acoustical Society of America* **19**: 464-473.

[15] *Massone, H. J. and Schreyer, W.*, 1989: Stability field of the high-pressure assemblage talc+phengite and two new phengite barometers. *European Journal of Mineralogy* **1**: 391-410.

[16] *Peacock, S. M.*, 1990: Fluid processes in subduction zones. *Science* **248**: 329-337

[17] *Phan, T. H., and Ulmer, P.*, 2006: Fabrication of dense forsterite, clinohumite and phase A aggregates for ultrasonic wave propagation measurement. Extended abstract, *EMPG XI*, Bristol.

[18] *Roth, E., Wiens, D., Dorman, L., Hildebrand, J., Webb, S.*, 1999: Seismic attenuation tomography of the Tonga-Fiji region using phase pair methods. *Journal of Geophysical Research* **104 (B3)**: 4795-4809.

[19] *Sato, H.*, 1992: Thermal structure of the mantle wedge beneath north-eastern Japan: Magmatism in an island arc from the combined data of seismic anelasticity and velocity and heat flow. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* **51(3)**: 237-252.

[20] *Schmidt, M. W.*, 1996: Experimental constraints on recycling of potassium from subducted oceanic crust." *Science* **272**: 1927-1930.

[21] *Stalder, R. and Ulmer, P.*, 2001: Phase relations in the MSH-system between 5 and 14 GPa - Significance of clinohumite and phase E as water carriers. *Contributions to Mineralogy and Petrology* **140**: 670-679.

[22] *Tatsumi, Y.*, 1986: Origin of subduction zone magmas based on experimental petrology. In *Physics and Chemistry of Magmas* (eds. L. Perchuk and I. Kushiro), Springer, 268-301.

[23] *Thompson, A. B.*, 1992: Water in the Earth's upper mantle." *Nature* **358**: 295-302.

[24] *Tu, L. Y., Brennan J.N., Sauer J. A.*, 1955 : Dispersion of ultrasonic pulse velocity in cylindrical rods." *Journal of the Acoustical Society of America* **27**: 550.

[25] *Ulmer, P. and Trommsdorff, V.*, 1999: Phase relation of hydrous mantle subducting to 300 km. In: *Fei Y., Bertka, C. M. & Mysen, B. (Eds): Mantle petrology: Field observations and high-pressure experimentation. Special Publication in honor of Francis R. Boyd. Geochemical Society Special Publication: 259-281.*

[26] *Van der Lee, S. and James, P. S. D.*, 2001: Upper mantle S velocity structure of central and western South America. *Journal of Geophysical Research* **106(B12)**: 30821-30834.

[27] *Yamamoto, K. and Akimoto, S.*, 1977: The system MgO-SiO₂-H₂O at high pressures and temperatures; stability field for hydroxyl-chondrodite, hydroxyl-clinohumite and 10 Å-phase. *American Journal of Science* **277**: 288-312.

[28] *Zhao, D., Maruyama, S., Omri, S.*, 2007: Mantle dynamic of Western Pacific and East Asia: Insight from seismic tomography and mineral physics. *Gondwana Research* **11**: 120-131.

SUMMARY

Measurement elastic velocity of hydrous phases at high P-T of subduction slab by multi-anvil apparatus

The relationship between seismic wave propagation velocities and water content of hydrous rock has been identified by a study at Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETHZ). As a result, the Earth's deep structure can be studied by combination of seismic tomography and petrological experiment. The result was achieved by applying ultrasonic techniques under ultra high temperature - pressure condition in multi-anvil apparatus. In this paper, the study is presented including the selection of represented samples, an important requirements for hydrous samples and their synthesis method that assure the sample quality suitable for the measurement of elastic velocity in condition corresponding with high P-T in subduction slab.