

Định tuổi tuyệt đối của đá

Tổng Duy Thanh. Khoa Địa chất
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên-ĐHQGHN
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội.

1. Khái niệm ban đầu

Phương pháp xác định tuổi tương đối của đá (cũng gọi là tuổi đồng vị) chỉ cho ta nhận biết được mối quan hệ già trẻ của các đối tượng địa chất được so sánh, trong khi đó rất nhiều trường hợp nhà địa chất cần xác định không phải chỉ là quan hệ già trẻ của các đối tượng nghiên cứu mà là tuổi tính theo đơn vị thời gian của chúng, trong địa chất người ta gọi là *xác định tuổi tuyệt đối*. Việc xác định tuổi tuyệt đối đặc biệt quan trọng đối với những đối tượng mà ta không thể áp dụng các phương pháp sinh địa tầng, ví dụ như đối với các đá magma xâm nhập.

Tính tuổi địa chất hay thậm chí tính tuổi của Trái Đất là hoài vọng của các nhà nghiên cứu từ nhiều thế kỷ trước. Đã có ý niệm đếm các lớp đá trầm tích để tính tuổi địa chất với lập luận là mỗi cặp hai lớp đá ứng với một năm, lớp thô được thành tạo vào mùa hè, nước lũ, còn lớp mịn được thành tạo trong mùa đông, nước cạn. Theo cách này có thể đếm được các lớp ứng với đá trầm tích ở một số vùng và con số tối đa cũng chỉ là vài trăm nghìn cặp lớp ứng với vài trăm nghìn năm. Con số này không đáng là bao so với lịch sử hình thành các thể đá trầm tích nói riêng và lịch sử địa chất của Trái Đất nói chung. Một ý niệm khác là căn cứ vào độ muối của nước biển với suy luận rằng ban đầu nước biển chỉ là nước ngọt như các nguồn nước khác trên lục địa, độ mặn của nước biển là do muối được các nguồn nước đưa từ lục địa ra biển. Nếu tính được tổng lượng muối hàng năm do các nguồn nước đưa từ lục địa ra biển, đồng thời biết tổng lượng muối trong nước biển thì có thể biết gần đúng thời gian để hình thành nước biển như hiện nay. Tuy vậy, không ai đảm bảo được rằng thuở ban đầu nước biển cũng là nước ngọt. Hơn nữa, thể tích của đại dương và lượng muối trong đại dương và trong các nguồn nước từ lục địa ra biển cũng là con số ước lượng không chính xác.

2. Sự phân rã phóng xạ và định tuổi đồng vị phóng xạ

2.1. Cơ sở khoa học

Việc tính tuổi tuyệt đối của đá đã được thực hiện có cơ sở khoa học nhờ phát minh của A. Becquerel, của Pierre và Marie Curie về hiện tượng phóng xạ. Trong tự nhiên các nguyên tố hoá học thường có những đồng vị khác biệt nhau ở trọng lượng nguyên tử, có những đồng vị bền vững bên cạnh những đồng vị không bền vững. Những đồng vị không bền vững do hiện tượng phân huỷ phóng xạ sẽ bị phân rã và bị biến đổi để trở thành những đồng vị bền vững của nguyên tố khác. Thí dụ các đồng vị của chì Pb^{206} và Pb^{207} là sản phẩm cuối cùng và bền vững của quá trình phân rã phóng xạ từ các đồng vị urani U^{238} và U^{235} . Mỗi một nguyên tố phóng xạ có một tốc độ phân rã phóng xạ không thay đổi, tốc độ đó không chịu ảnh hưởng của bất kỳ tác nhân bên ngoài nào, có lẽ chỉ trừ trường hợp nhiệt độ cực cao ở các ngôi sao trong vũ trụ mới có thể làm thay đổi tốc độ này. Bằng thực nghiệm có thể xác định được chu kỳ bán huỷ của mỗi nguyên tố phóng xạ. Từ những điều vừa trình bày trên đây, ta xác định được tuổi của đá chứa các đồng vị phóng xạ. Biết được chu kỳ bán huỷ của đồng vị phóng xạ và khối lượng của đồng vị bền vững do quá trình phóng xạ phân rã tạo nên trong đá, ta sẽ tính được tuổi của đá chứa chúng.

2.2. Sự phân rã phóng xạ

Trong cấu trúc nguyên tử, gần toàn bộ khối lượng nguyên tử tập trung trong nhân, bao gồm neutron và proton. Tổng của neutron và proton là số khối lượng nguyên tử còn số của proton sẽ là số của nguyên tử. Electron mang điện tích âm và có khối lượng rất nhỏ, quay quanh nhân. Trong các nguyên tử trung hoà thì số electron và proton bằng nhau. Chất đồng vị là chất khi có cùng một số proton (số nguyên tử) nhưng có số neutron khác nhau và do đó có số khối lượng khác nhau.

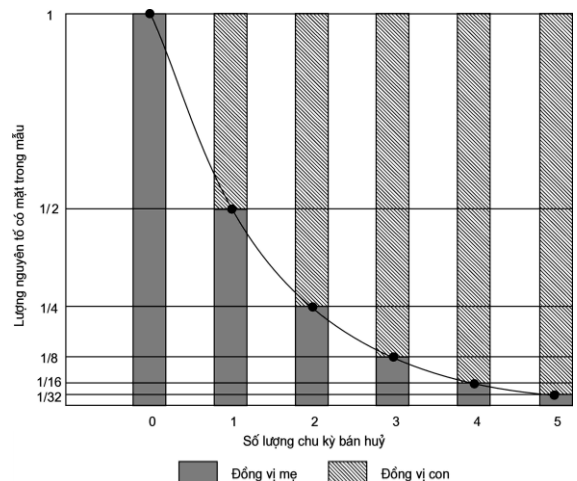
Nguyên tử phóng xạ có nhân không bền vững và từng đợt phóng ra hạt cùng với năng lượng do hoạt động phân rã phóng xạ. E. Rutherford đã xác định ba loại hạt khác nhau là alpha, beta và gamma. Nguyên tử phóng xạ là đồng vị mẹ, nguyên tử còn lại sau phân rã phóng xạ là đồng vị con. Cách thức phân rã tùy thuộc vào kiểu và số của hạt liên quan trong sự phân huỷ phóng xạ của nguyên tử mẹ. Những đồng vị quan trọng nhất đối với định tuổi địa chất và kiểu phân rã của chúng được ghi trong bảng 1 [B.1].

Bảng 1. Các đồng vị phóng xạ thường dùng trong định tuổi đồng vị

Đồng vị mẹ	Đồng vị con	Cách thức phân rã	Chu kỳ bán huỷ	Vật liệu để xác định	Khoảng tuổi xác định
$^{87}\text{Rb} \rightarrow$	^{87}Sr	1 electron	48,8 tỷ n.	toàn bộ đá, felspat, mica	>100 tr. n.
$^{40}\text{K} \rightarrow$	^{40}Ar	bất giữ electron	1,25	toàn bộ đá, felspat, mica	>100000 tr. n.
$^{40}\text{K} \rightarrow$	^{40}Ca	1 electron	1,47 tỷ n.	toàn bộ đá, felspat, mica	>100000 tr. n.
$^{238}\text{U} \rightarrow$	^{206}Pb	8 hạt alpha, 6 electron	4,47 tỷ n.	zircon, toàn bộ đá	>100 tr. n.
$^{235}\text{U} \rightarrow$	^{207}Pb	7 hạt alpha, 4 electron	0,704 tỷ n.	zircon, toàn bộ đá	>100 tr. n.
$^{232}\text{Th} \rightarrow$	^{208}Pb	6 hạt alpha, 4 electron	14 tỷ n.	zircon, toàn bộ đá	>300 tr. n.
$^{147}\text{Sm} \rightarrow$	^{143}Nd	1 hạt alpha	106 tỷ n.	toàn bộ đá, khoáng vật silicat	>1000 tr. n.
$^{232}\text{Th} \rightarrow$	^{226}Pb	1 hạt alpha	75 200 n.	trầm tích đại dương	>500 000 n.
$^{234}\text{U} \rightarrow$	^{230}Th	1 hạt alpha	248 000 n.	dung nham	> 1 tr. n.
$^{210}\text{Pb} \rightarrow$	^{208}Pb	1 hạt alpha	22,3 n.	trầm tích, băng	< 100 n.
$^{14}\text{C} \rightarrow$	^{14}N	1 electron	5730 n.	chất hữu cơ, nước, carbonat	\leq 70 000 n.

(Chữ viết tắt trong bảng: n. = năm, tr.n. = triệu năm)

Các đồng vị mẹ của urani và thori trải qua một loạt phóng liên tục 6 hoặc 7 hạt alpha, mỗi lần phóng như vậy sẽ sinh ra một đồng vị con, những đồng vị con này lại phóng xạ tiếp; chuỗi hiện tượng này gọi là loạt phân rã. Do mỗi lần phóng một hạt alpha sẽ làm giảm số nguyên tử của đồng vị phóng xạ nên các đồng vị mẹ và con là những nguyên tố khác nhau. Trong trường hợp của urani và thori thì sản phẩm cuối cùng sẽ là các đồng vị của chì. Quy luật của quá trình phân rã phóng xạ là cứ qua một thời gian nhất định có tính chu kỳ thì số của nguyên tử mất đi một nửa do phân rã phóng xạ; chu kỳ đó gọi là *chu kỳ bán huỷ*. Như vậy sau một chu kỳ bán huỷ sẽ mất đi 50% số nguyên tử của nguyên tử để cho ra đồng vị con; sau hai chu kỳ 75% bị phân rã, sau ba chu kỳ – 88% và tiếp tục như vậy cho đến khi số của nguyên tử mẹ trở thành cực nhỏ [H.1].



Hình 1. Tương quan của tốc độ phân rã phóng xạ và chu kỳ bán huỷ. Sau một chu kỳ bán huỷ một nửa của đồng vị mẹ được bảo tồn; sau hai chu kỳ bán huỷ 1/4 được bảo tồn (Condie K.C. & Sloan R.E.).

3. Các phương pháp xác định tuổi tuyệt đối

Ngày nay nhiều phương pháp xác định tuổi tuyệt đối đã được sử dụng trong các phòng thí nghiệm địa niên đại, trong số đó quan trọng nhất là phương pháp Rubidi- Stronti, phương pháp Kali - Argon, phương pháp Urani - Thori - Chì, phương pháp Samari - Neodymi và phương pháp định tuổi vết phân hạch.

3.1. Phương pháp Kali - Argon

Phương pháp Kali - Argon là phương pháp được sử dụng rộng rãi trong địa chất, điều hạn chế là khí argon dễ bị bay mất sau khi được hình thành. Do đó thường xảy ra trường hợp tuổi của đá được xác định sẽ trẻ hơn tuổi thực, mặc dầu cũng còn loại khoáng vật giữ được argon khá tốt. Phương pháp Kali - Argon cũng sử dụng những khoáng vật giống như phương pháp Rubidi - Stronti. [B.1]. Ngày nay phương pháp Kali - Argon được sử dụng rộng rãi đối với đá phun trào trẻ (do đá phun trào chứa nhiều Kali trong nhóm khoáng vật plagioclas, felspat) và xác định thời gian của sự nâng trôi các lục địa. Phương pháp Argon⁴⁰/Argon³⁹ cũng là một loại của phương pháp Kali - Argon được sử dụng định tuổi cho hiện tượng nung nóng của vỏ Trái Đất, định tuổi tro núi lửa và sự cổ từ hoá trong đá.

3.2. Phương pháp Rubidi - Stronti

Phương pháp Rubidi - Stronti là một trong những phương pháp định tuổi được áp dụng rộng rãi trong địa chất. Phương pháp này cho phép xác định tuổi khoáng vật và đá có chứa rubidi như mica, sét, felspat, granit.

3.3. Phương pháp Urani - Thori - Chì.

Hai đồng vị của urani và thori trải qua sự phân rã alpha và beta sẽ cho đồng vị chì bền vững. Điều này cho nhiều khả năng định tuổi vì các đồng vị trung gian lại cũng phóng xạ. Zircon là khoáng vật thường có trong nhiều loại đá và đặc biệt thích hợp cho phương pháp Urani - Chì. Phương pháp Urani - Chì - Zircon là một trong những phương pháp chính xác nhất để định tuổi đá granit rất cổ với khả năng đạt độ chính xác 5 triệu năm với đá có tuổi 3 tỷ năm.

3.4. Phương pháp Samari - Neodymi.

Samari¹⁴⁷ phân rã thành Neodymi¹⁴³ có chu kỳ bán huỷ rất dài, khoảng 106 tỷ năm. Cả hai đồng vị mẹ và con đều là nguyên tố đất hiếm và có hành vi địa hoá tương tự nhau. Các quá trình địa chất hậu sinh như phong hoá, biến chất không thể tách hai đồng vị giống như chúng đã tách cặp đồng vị mẹ-con trong các phương pháp định tuổi khác. Vì vậy phương pháp Samari - Neodymi có khả năng “nhìn thấu” các sự kiện địa chất hậu sinh và ghi được thời gian đầu tiên khi đá tách từ bên trong Trái Đất để trở thành thành phần của vỏ. Vì vậy tuổi theo phương pháp Samari - Neodymi thường được coi là tuổi thành tạo vỏ Trái Đất.

3.5. Định tuổi vết phân hạch.

Khi các hạt năng lượng cao chạy qua vật rắn, chúng tước đoạt electron từ nguyên tử trên đường đi của chúng, phá vỡ cấu trúc tinh thể và tạo nên vết. Trong các khoáng vật tự nhiên, vết phá vỡ do phân hạch xảy ra của nguyên tử urani được gọi là *vết phân hạch*. Nhỏ giọt hoá chất vào khoáng vật có thể làm mở rộng vết phân hạch dài đến 0,1 mm và ta có thể đếm được chúng dưới kính hiển vi [H.2].

3.6. Đồng vị do tia vũ trụ.

Các tia vũ trụ là nguồn hạt năng lượng cao bắn phá thường xuyên vào khí quyển; chúng gồm proton, neutron và những hạt khác có tốc độ rất cao. Nguồn gốc của chúng chưa được biết rõ nhưng chắc là chúng đã đến từ những thiên hà rất xa. Khi vào khí quyển các tia vũ trụ đụng độ với các phân tử khí của khí quyển và sinh ra nhiều loại nguyên tử phóng xạ. Những nguyên tử này tham gia vào nhiều chu kỳ địa chất và sinh học, cho ta khả năng sử dụng để định tuổi nhiều sự kiện khá trẻ trong lịch sử Trái Đất [B.2]. Một số tia vũ trụ xuyên vào trong đá của bề mặt Trái Đất đến độ sâu 1m và sinh ra các nguyên tử phóng xạ có thể sử dụng để định tuổi các bề mặt bào mòn trẻ.



Hình 2. Các vết sinh ra do phân hạch tự nhiên của urani-238

Bảng 2. Các đồng vị do các tia vũ trụ sinh ra được sử dụng định tuổi địa chất

Đồng vị	Cơ chế sản sinh	Chu kỳ bán huỷ (năm)	Ứng dụng
Carbon ⁻¹⁴	Đụng độ nitơ trong khí quyển	5730	Xáo trộn đại dương, tuổi di tích sinh vật
Triti	Đụng độ oxy, nitơ trong khí quyển	12,3	Xáo trộn đất, nước mặt; khí quyển; tầng trường băng
Silic ⁻³²	Đụng độ argon trong khí quyển	280	Xáo trộn đại dương
Beryl ⁻¹⁰	Đụng độ oxy, nitơ trong khí quyển	$1,5 \times 10^6$	Tốc độ trầm tích, hút chìm trầm tích
Clor ⁻³⁶	Phản ứng trong đá	$3,1 \times 10^5$	Đá phun trào trẻ, băng hà, mặt bào mòn

3.7. Phương pháp Carbon-14

Phương pháp Carbon-14 có vai trò quan trọng trong định tuổi địa chất trẻ. Carbon¹⁴ sinh ra do đụng độ với nguyên tử nitơ (nitrogen) trong khí quyển và phát ra một proton. Sau đó carbon phóng xạ kết hợp với oxy và tạo thành dioxit carbon (carbonic – CO₂). Dioxit carbon phóng xạ này được cây cối hấp thụ trong quá trình quang hợp đồng thời cũng được phân tán trong nước biển và nước ngọt. Cuối cùng, động vật lại đồng hoá Carbon¹⁴ vào cơ thể của chúng do tiêu thụ nước và thức ăn thực vật. Khi động vật và cây cối chết, carbon không còn tăng thêm trong mô của chúng được nữa và Carbon¹⁴ bắt đầu bị phân rã theo chu kỳ bán huỷ 5730 năm. Khi di tích của sinh vật bị chôn vùi trước khi bị phân huỷ thì lượng carbon phóng xạ chứa trong đó sẽ tương ứng với thời gian từ khi chúng bị chôn vùi. Trong điều kiện kỹ thuật hiện nay phương pháp Carbon¹⁴ được dùng để xác định tuổi của các mẫu vật đến 70 000 năm. Phương pháp này được sử dụng rộng rãi trong khảo cổ để định tuổi cho xương, than, hạt thực vật và nhiều sản phẩm do hoạt động của con người như công cụ lao động, quần áo v.v...

3.8. Triti (hydro có 3 proton)

Triti (hydro có 3 proton) là hydro phóng xạ được hình thành ở thượng tầng khí quyển do sự đụng độ của tia vũ trụ với các nguyên tử oxy và nitơ. Cũng như hydro, triti kết hợp nhanh chóng với nguyên tử oxy trong khí quyển để hình thành phân tử nước. Cùng với nước thường, nước triti rơi xuống bề mặt Trái Đất, lẫn trong nước biển, sông, ao hồ và rất có ích trong việc theo dõi vận động của nước dưới đất, trong định tuổi của tốc độ tăng trưởng băng, và trong nghiên cứu hoàn lưu khí quyển. Do chu kỳ bán huỷ rất ngắn (12,3 năm), triti sử dụng định tuổi đối với loại nước có dưới 100 năm tuổi.

3.9. Beryli-10

Beryli-10 cũng là một nguyên tố phóng xạ được hình thành do đựng độ của tia phóng xạ trong khí quyển, nó được mưa cuốn theo và rơi trên mặt đất và cũng có thể kết đọng trong đá trầm tích như đá vôi. Beryli-10 rất có ích cho việc xác định tốc độ tích tụ và tuổi của sự tích đọng băng ở Nam Cực. Nó cũng tỏ ra rất hữu ích trong việc theo dõi lượng trầm tích bị cuốn vào bên trong Trái Đất ở các đới hút chìm, bị nóng chảy và trở lại bề mặt Trái Đất do núi lửa phun lên.

3.10. Silic-32

Silic-32 được sinh ra trong khí quyển do phản ứng của proton năng lượng cao với argon và bị phân huỷ với chu kỳ bán huỷ 280 năm. Silic-32 rơi xuống đại dương đã được sử dụng để đo tốc độ xáo trộn nước biển nông với nước biển sâu. Kết quả nghiên cứu cho thấy phải mất 1000 năm để có thể xáo trộn hoàn toàn nước đại dương.

3.11. Clor-36

Clor-36 là đồng vị phóng xạ được sinh ra trong đá do phản ứng của tia vũ trụ. Do lượng đồng vị này chỉ được sinh ra ở độ sâu khoảng 40 cm, nên chúng được dùng định tuổi cho các dạng địa hình trẻ (khoảng dưới 1 triệu năm) như bề mặt bào mòn, đất, dòng dung nham.

Nhờ phương pháp đồng vị phóng xạ ngày nay có thể xác định được tuổi của tất cả các thành hệ địa chất. Các phân vị thời địa tầng quốc tế cũng đã được xác định tuổi và một biên niên sử của các sự kiện trong lịch sử phát triển địa chất được xác lập. Đá già nhất trên Trái Đất được xác định tuổi là 3,96 tỷ năm là một loại đá biến chất được tìm thấy ở Canada. Phải có đá gốc để hình thành đá biến chất có tuổi 3,96 tỷ năm này, như vậy tuổi của Trái Đất phải cổ hơn nhiều so với tuổi 3,96 tỷ năm. Nếu vũ trụ được thành tạo sau vụ nổ Big Bang, cách đây khoảng 20 tỷ năm thì Trái Đất phải được hình thành sau Big Bang, từ những vật chất khí bị bắn ra và nguội đi kết nhau lại. Từ đó, nếu đá cổ nhất có tuổi 3,96 tỷ năm thì suy ra Trái Đất phải được hình thành trước đó, từ cách đây chừng 4,6 tỷ năm.

Tài liệu đọc thêm

1. Condie K. C. & Sloan R. E., 1998. Origin and Evolution of Earth. Principles of Historical Geology. *Printice-Hall, Inc*: 498 p.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Absolute_dating
3. Charles L., 1830-1833. Principles of Geology. *On-line Electronic Edition: Electronic Scholarly Publishing. Prepared by Robert Robbins. Wikipedia – Open Encyclopedia*
4. MacLeod N. Principles of stratigraphy. www.nhm.ac.uk/hosted_sites/.../strat_principles
5. Pomerole Ch., Babin Cl., Lancelot Y., Le Pichon X., Rat P., Renard M., 1987. Stratigraphie. Principes. Méthodes. Applications (3^e édition). *DOIN*: 279 p. Paris.
6. Tổng Duy Thanh, 2009. Lịch sử Tiến hóa Trái Đất (Địa sử). *NXB Đại học Quốc gia Hà Nội*: 340 trang. Hà Nội.
7. Vũ Văn Tích, Nguyễn Văn Vượng, 2010. Giáo trình phương pháp xác định tuổi địa chất bằng đồng vị phóng xạ. *NXB Giáo dục Việt Nam*: 184 tr. Hà Nội.
8. Wicander R. J. & Monroe S., 1993. Historical Geology. *West Publishing Compagny*: 640 p. Minneapolis, St New York, Los Angeles. San Francisco.
9. Хаин В. Е., Коровковский Н.В., Ясамнов Н. А. 1997. Историческая геология. *Издат. Московского Университета*: 448 стр.