**Xin chào thầy và các bạn, em xin trình bày tiếp nội dung Chương 2 – Phương pháp nghiên cứu bằng sóng địa chấn.**

Trước hết, mình sẽ nói sơ lược về sóng địa chấn. Sóng địa chấn là những sóng năng lượng được tạo ra khi có động đất, núi lửa, hay thậm chí là các vụ nổ. Các sóng này sẽ truyền đi xuyên qua những lớp khác nhau của Trái Đất.

1. Trong phần này, nhóm mình **tập trung vào sóng khối.** Đây là loại sóng địa chấn đi xuyên qua bên trong lòng đất, gồm hai loại chính: sóng P và sóng S. Hôm nay, mình sẽ nói trước về sóng P.

👉 Sóng P, hay còn gọi là sóng sơ cấp, là loại sóng chạy nhanh nhất, nên sau một trận động đất, nó sẽ đến các trạm địa chấn trước tiên. Sóng P thuộc loại sóng dọc, nghĩa là các hạt vật chất dao động theo cùng hướng với hướng truyền sóng – kiểu như nén lại rồi giãn ra, giống như khi chúng ta bóp – thả một cái lò xo.

Về đặc điểm, sóng P có mấy điểm nổi bật sau:

Tốc độ truyền rất nhanh, trong vỏ Trái Đất khoảng 6–14 km/s, thậm chí có thể đạt tới 13 km/s ở ranh giới giữa vỏ và manti.

Điều đặc biệt là nó truyền qua được mọi môi trường: chất rắn, chất lỏng và cả khí, nhờ cách lan truyền bằng nén – giãn nở.

Chuyển động hạt mà nó tạo ra là kiểu "đẩy – kéo" theo đúng hướng truyền sóng, rất giống sóng âm thanh mà chúng ta nghe thấy hằng ngày.

Còn về tính chất vật lý, biên độ dao động của hạt môi trường thường khá nhỏ. Vì là sóng nén, nên nó gây ra sự thay đổi thể tích của môi trường khi đi qua.

Tóm lại, sóng P chính là "người đưa tin nhanh nhất" trong các loại sóng địa chấn, giúp chúng ta phát hiện sớm và nghiên cứu được cấu trúc bên trong Trái Đất.

**Tiếp theo, mình xin nói về sóng S,** hay còn gọi là sóng thứ cấp.

Đúng như tên gọi, sóng S luôn đến trạm địa chấn sau sóng P, vì tốc độ của nó chậm hơn.

Khác với sóng P là sóng dọc, sóng S lại là sóng ngang. Điều này có nghĩa là khi sóng truyền đi, các hạt vật chất dao động vuông góc với hướng truyền sóng. Nói dễ hiểu thì nếu sóng đi theo chiều ngang, thì hạt sẽ lắc lư lên xuống hoặc sang hai bên.

👉 Về đặc điểm, có mấy điểm quan trọng:

Thứ nhất, tốc độ truyền của sóng S trong vỏ Trái Đất rơi vào khoảng 3,5 đến 7,5 km/giây, chậm hơn đáng kể so với sóng P.

Thứ hai, môi trường truyền của nó bị hạn chế hơn nhiều. Sóng S chỉ truyền được trong chất rắn, còn khi gặp chất lỏng hoặc chất khí thì nó dừng lại. Chính nhờ đặc điểm này, các nhà khoa học đã xác định được rằng nhân ngoài của Trái Đất là chất lỏng, vì sóng S hoàn toàn không thể đi xuyên qua.

Thứ ba, về chuyển động hạt, sóng S làm cho hạt vật chất có chuyển động kiểu “lắc lư”, vuông góc với hướng truyền sóng, tạo cảm giác rung lắc mạnh hơn.

Nếu xét về tính chất vật lý thì:

Biên độ dao động của sóng S thường lớn hơn sóng P, nên khi có động đất, tác động của sóng S thường gây hư hại nhiều hơn.

Ngoài ra, sóng S là sóng cắt, nghĩa là nó làm thay đổi hình dạng của môi trường, nhưng không làm thay đổi thể tích.

👉 Cả sóng P và sóng S đều thuộc nhóm sóng khối. Chúng là những "người dẫn đường" rất quan trọng, vì qua việc phân tích tốc độ và đường đi của chúng, các nhà địa chấn học có thể xác định được cấu trúc bên trong Trái Đất. Ví dụ, sự thay đổi đột ngột về tốc độ của sóng ở các độ sâu khác nhau đã giúp các nhà khoa học xác định rõ ràng các lớp như vỏ, manti và nhân.

1. Tiếp theo, ngoài sóng P và sóng S là sóng khối, chúng ta còn có một loại khác là **sóng mặt.**

Đúng như tên gọi, đây là loại sóng địa chấn truyền dọc trên bề mặt Trái Đất, thay vì đi xuyên qua bên trong lòng đất.

👉 Sóng mặt có mấy đặc điểm quan trọng:

Thứ nhất, chúng truyền chậm hơn cả sóng P và sóng S.

Thứ hai, biên độ lại lớn hơn nhiều, vì vậy gây rung lắc rất mạnh.

Thứ ba, chúng duy trì năng lượng lâu hơn, có thể lan xa mà vẫn còn mạnh.

Và chính vì những đặc điểm này, sóng mặt là nguyên nhân chính gây thiệt hại nặng nề trong các trận động đất.

Có hai loại sóng mặt phổ biến là sóng Rayleigh và sóng Love.

**Đầu tiên ta đi tìm hiểu sóng Rayleigh.**

Sóng này được đặt tên theo Lord Rayleigh. Nó có chuyển động giống như sóng nước: các hạt vật chất dao động theo đường elip trong mặt phẳng thẳng đứng, vừa lên xuống, vừa tiến lùi.

Tưởng tượng như mặt đất đang gợn sóng, khiến công trình như đang bồng bềnh trôi nổi trên mặt đất.

Biên độ của sóng Rayleigh sẽ giảm dần theo độ sâu, và thường đây là loại sóng mặt mà con người cảm nhận đầu tiên khi xảy ra động đất.

Ví dụ như Trong một trận động đất ở ven biển Nhật Bản, sóng Rayleigh khiến mặt đất dâng lên hạ xuống, các tòa nhà rung tiến – lùi như đang trôi trên sóng. Kết quả là nền móng bị lung lay, tường nứt, thậm chí kính cửa sổ bị vỡ.

**Tiếp đến ta đi tìm hiểu sóng Love.**

Sóng này được đặt tên theo nhà toán học A.E.H. Love. Đây là sóng cắt bề mặt, chỉ xuất hiện khi có lớp vật liệu mềm nằm trên lớp cứng.

Khác với sóng Rayleigh, sóng Love chỉ tạo dao động ngang, vuông góc với hướng truyền sóng, chứ không có dao động lên xuống.

Khi đi qua, nó gây ra hiệu ứng trượt ngang, làm tường nứt, móng nhà gãy, đặc biệt nguy hiểm cho các tòa nhà cao tầng.

Ví dụ như Một trận động đất sâu ở Thổ Nhĩ Kỳ, nơi có địa hình nhiều lớp đất mềm phủ trên đá cứng, đã tạo ra sóng Love rất mạnh. Mặt đất bị giật sang trái – phải, gây trượt nền, khiến nhiều tòa nhà bị lệch trục và nứt vỡ.

👉 Như vậy, sóng mặt tuy chậm, nhưng lại chính là thủ phạm gây ra thiệt hại nặng nề nhất trong động đất, do biên độ lớn và khả năng lan xa.

**Để dễ hình dung hơn, mình sẽ so sánh nhanh giữa hai loại sóng mặt này.**

👉 Thứ nhất, về kiểu dao động:

Sóng Rayleigh có chuyển động elip trong mặt phẳng thẳng đứng, nghĩa là hạt vừa lên xuống, vừa tiến lùi, giống như sóng nước.

Còn sóng Love thì lại dao động ngang trong mặt phẳng ngang, tức là mặt đất rung lắc sang trái – phải.

👉 Thứ hai, về hướng dao động:

Sóng Rayleigh kết hợp cả lên – xuống và tiến – lùi.

Sóng Love thì dao động vuông góc hoàn toàn với hướng truyền sóng.

👉 Thứ ba, về điều kiện tồn tại:

Sóng Rayleigh có thể xuất hiện ở hầu hết mọi loại môi trường.

Ngược lại, sóng Love chỉ tồn tại khi có môi trường phân lớp, tức là lớp đất mềm nằm trên lớp cứng hơn.

👉 Thứ tư, về mức độ phá hoại:

Sóng Rayleigh gây thiệt hại lớn, nhưng sóng Love thường nguy hiểm hơn, đặc biệt là với các công trình xây dựng, vì nó tạo ra hiệu ứng trượt ngang rất mạnh.

👉 Và cuối cùng, về tốc độ:

Sóng Rayleigh chậm hơn sóng Love.

Sóng Love thì nhanh hơn, nhưng cả hai đều vẫn chậm hơn sóng P và sóng S.

Tóm lại, Rayleigh thì giống sóng nước – làm công trình như bồng bềnh trôi nổi. Còn Love thì rung giật ngang, gây trượt nền và thường phá hủy nặng nề hơn.

**Tiếp theo, mình xin trình bày về nguyên lý hoạt động trong nghiên cứu sóng địa chấn.**

Thực tế thì, để tìm hiểu cấu tạo bên trong Trái Đất, con người không thể quan sát trực tiếp được. Hố khoan sâu nhất mà chúng ta từng thực hiện mới chỉ đạt khoảng 12 km, và ở độ sâu này, nhiệt độ đã quá cao khiến thiết bị không thể chịu nổi. Trong khi đó, bán kính Trái Đất tới hơn 6.000 km, nên 12 km là con số rất nhỏ.

👉 Vậy làm sao chúng ta biết được bên trong Trái Đất có gì?

Các nhà khoa học đã dùng cách quan sát gián tiếp: theo dõi và phân tích các sóng địa chấn sinh ra từ động đất. Thông qua đặc điểm lan truyền của sóng, họ có thể suy đoán được thành phần, cấu tạo, và cả độ dày của những lớp nằm sâu trong lòng đất.

Bây giờ mình xin nói qua về **những ghi nhận ban đầu** khi các nhà khoa học nghiên cứu sóng địa chấn:

Thứ nhất, tại một số trạm quan sát, họ phát hiện rằng sóng địa chấn đến nhanh hơn hoặc chậm hơn so với lý thuyết ban đầu. Thậm chí, có lúc trong một khoảng thời gian ngắn lại ghi nhận được nhiều đợt sóng cùng loại.

Thứ hai, họ nhận thấy sự tồn tại của những khu vực đặc biệt: ở đó, máy địa chấn hoàn toàn không ghi nhận được sóng S, và chỉ thấy một lượng lớn sóng P. Đây là một phát hiện quan trọng, sau này giúp chứng minh rằng nhân ngoài Trái Đất là chất lỏng.

Thứ ba, vào cuối thế kỷ 19 và đầu thế kỷ 20, các nhà khoa học còn ghi nhận rằng nhiều trận động đất lại xảy ra rất sâu dưới lòng đất, lên tới khoảng 700 km. Các trận động đất sâu này thường xuất hiện tại những rãnh đại dương, ví dụ như ngoài khơi đảo Honshu của Nhật Bản, ngoài khơi Java ở Indonesia, hay quốc đảo Tonga.

👉 Tất cả những quan sát ban đầu này chính là cơ sở để sau đó các nhà khoa học dần xây dựng nên bức tranh về cấu trúc các lớp bên trong Trái Đất.

Tiếp theo, chúng ta sẽ tìm hiểu về **cách mà sóng địa chấn tương tác với môi trường bên trong Trái Đất.**

Sau một trận động đất, sóng địa chấn lan tỏa ra mọi hướng từ tâm chấn. Khi chúng đi qua ranh giới giữa các loại vật liệu khác nhau – ví dụ từ lớp vỏ sang lớp manti, hay từ manti sang nhân – thì sẽ xuất hiện một số hiện tượng thú vị.

👉 Hiện tượng đầu tiên là phản xạ.

Nói một cách đơn giản, phản xạ là khi sóng gặp ranh giới và bị nảy ngược trở lại, thay vì đi xuyên qua. Điều này xảy ra khi giữa hai môi trường có sự khác biệt về mật độ hay độ đàn hồi. Chúng ta có thể tưởng tượng giống như tiếng vang khi ta hét trong một hang động – một phần âm thanh dội ngược về tai ta thay vì truyền đi xa.

👉 Hiện tượng thứ hai là khúc xạ.

Khúc xạ là khi sóng bị bẻ cong và đổi hướng khi đi qua ranh giới. Kèm theo đó, tốc độ của sóng cũng thay đổi.

Nếu sóng đi từ môi trường có mật độ thấp sang mật độ cao, nó sẽ chậm lại và bị lệch về phía pháp tuyến.

Ngược lại, nếu đi từ môi trường có mật độ cao sang mật độ thấp, sóng sẽ nhanh hơn và lệch xa pháp tuyến hơn.

Chúng ta có thể hình dung hiện tượng này tương tự như khi ánh sáng đi từ không khí vào nước: tia sáng bị gãy khúc, không còn thẳng như ban đầu. Sóng địa chấn cũng vậy, chỉ là thay vì ánh sáng thì ở đây là sóng rung động của lòng đất.

👉 Về mặt vật lý, vận tốc của sóng phụ thuộc vào ba yếu tố:

Độ nén (K) – khả năng chịu nén của môi trường.

Độ cắt (µ) – khả năng chống biến dạng cắt.

Và mật độ vật chất (ρ).

Công thức tính vận tốc sóng là:

v = √((K + 4/3 µ) / ρ).

Công thức này nghe có vẻ phức tạp, nhưng ý chính là: mỗi loại môi trường khác nhau sẽ làm sóng truyền đi nhanh hay chậm khác nhau.

👉 Một điểm đặc biệt rất quan trọng:

Sóng S sẽ tan biến khi gặp ranh giới giữa chất rắn và chất lỏng hoặc khí.

Trong khi đó, sóng P thì vẫn có thể truyền qua cả ba môi trường: rắn, lỏng và khí.

Chính nhờ đặc điểm này mà các nhà khoa học mới xác định được rằng nhân ngoài của Trái Đất là chất lỏng, vì sóng S hoàn toàn biến mất khi đi qua khu vực này.

**Ở phần kết luận, chúng ta sẽ cùng điểm lại những phát hiện quan trọng mà các nhà khoa học rút ra được nhờ việc nghiên cứu sóng địa chấn.**

👉 Thứ nhất, sóng địa chấn di chuyển theo đường cong trong lòng Trái Đất.

Điều này có nghĩa là mật độ vật chất của Trái Đất tăng dần khi đi sâu vào lõi. Dựa vào định luật Snell về khúc xạ, ta thấy khi sóng đi qua các lớp vật chất khác nhau về mật độ, độ đàn hồi, chúng sẽ bị bẻ hướng và thay đổi tốc độ.

Gần tâm chấn, sóng hướng thẳng ra bề mặt thì đến sớm.

Nhưng nếu đi sâu vào trong Trái Đất, sóng bị bẻ hướng và tăng tốc, đặc biệt sau khi đi qua ranh giới Moho, dẫn đến việc các trạm đo ở xa tâm chấn lại ghi nhận sóng trước tiên.

Một minh chứng quan trọng khác chính là sự tồn tại của vùng bóng địa chấn – nơi hoàn toàn không ghi nhận được sóng. Với sóng S, vùng này nằm từ 104° đến 256° tính từ tâm chấn; còn với sóng P, vùng bóng hẹp hơn, từ 104° đến 140° và từ 220° đến 256°.

👉 Thứ hai, sự tồn tại của các mảng hút chìm – Subduction Zone.

Các nhà khoa học nhận ra rằng dưới những rãnh biển sâu tồn tại những mảng vỏ đại dương đang bị đẩy xuống manti.

Dù chìm xuống sâu, chúng vẫn giữ được nhiệt độ lạnh tương đối nhờ độ dày lớn, khả năng cách nhiệt và tốc độ chìm nhanh.

Vì đặc điểm này, các mảng hút chìm làm sóng địa chấn tăng tốc khi đi qua.

Chúng cũng giải thích được sự hình thành núi lửa ở gần rãnh đại dương. Vật liệu “ngậm nước” trong mảng khi xuống sâu sẽ giải phóng hơi nước, làm hạ nhiệt độ nóng chảy của đá xung quanh, tạo ra magma. Magma nhẹ hơn sẽ nổi lên, hình thành các dãy núi lửa – điển hình là Vòng đai lửa Thái Bình Dương.

👉 Thứ ba, cấu tạo lõi Trái Đất.

Lõi ngoài: là chất lỏng. Điều này được chứng minh bởi việc sóng S không thể truyền qua môi trường lỏng, tạo nên vùng bóng sóng S. Nhờ đó, người ta xác định được bán kính của lõi Trái Đất.

Lõi trong: là chất rắn. Vì sóng P vẫn xuất hiện tại vùng bóng của nó, dù với biên độ nhỏ, chứng tỏ sóng P vẫn xuyên được qua lõi trong.

Tóm lại, nhờ phân tích đường đi và tốc độ của sóng địa chấn, các nhà khoa học đã có thể vẽ lại bức tranh bên trong Trái Đất – từ cấu tạo lớp vỏ, manti, đến lõi ngoài và lõi trong – mà không cần phải khoan sâu hàng nghìn kilomet.