

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ
CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN**



**BÁO CÁO MÔN HỌC
KHOA HỌC TRÁI ĐẤT**

Đề tài: Cấu tạo Trái Đất và phương pháp Địa chấn học

Giảng viên hướng dẫn: Ts. Nguyễn Tuấn

Sinh viên thực hiện: Vòng Châu Long

Nguyễn Hoàng Minh Quân

Nguyễn Minh Quân

Võ Nhật Anh

Nguyễn Đình Chuẩn

Đặng Nguyên Đức

Nguyễn Thái Hoàng

Nguyễn Gia Huy

Nguyễn Trịnh Quang

Lê Hải đăng

Mục lục

Lời mở đầu	3
1 Tổng quan về Cấu tạo Trái Đất	5
1.1 Lớp vỏ Trái Đất	5
1.2 Lớp phủ Trái Đất	7
1.3 Lõi Trái Đất	10
2 Phương pháp nghiên cứu bằng sóng địa chấn	12
2.1 Tổng quan về sóng địa chấn	12
2.1.1 Sóng khối	12
2.1.2 Sóng mặt	14
2.2 Nguyên lý hoạt động	16
2.2.1 Những ghi nhận ban đầu	16
2.2.2 Nhận thức được sự tương tác của sóng với môi trường	16
2.2.3 Kết luận	17
3 Ý nghĩa và Ứng dụng của Nghiên cứu Cấu tạo Trái Đất	18
3.1 Vai trò đối với con người và xã hội	18
3.1.1 Ứng dụng trong tìm kiếm và khai thác tài nguyên (khoáng sản, dầu khí, nước ngầm)	18
3.1.2 Đánh giá và giảm thiểu rủi ro thiên tai	18
3.1.3 Góp phần vào phát triển quy hoạch đô thị và xây dựng hạ tầng	19
3.1.4 Hiểu biết về môi trường và biến đổi khí hậu (liên quan đến các chu trình địa chất)	19
3.2 Ý nghĩa khoa học và địa vật lý	21
3.2.1 Nâng cao hiểu biết về quá trình hình thành và tiến hóa của Trái Đất	21
3.2.2 Xác nhận và phát triển các mô hình về cấu trúc bên trong Trái Đất	21
3.2.3 Hỗ trợ nghiên cứu về địa động lực học và kiến tạo mảng	21
3.2.4 Đóng góp vào sự phát triển của các phương pháp địa vật lý khác (như địa từ, địa nhiệt)	22
Kết luận	23

Lời mở đầu

Tính cấp thiết của đề tài

Trái Đất, ngôi nhà chung của nhân loại, luôn ẩn chứa những bí ẩn sâu sắc bên trong lòng nó. Việc nghiên cứu cấu tạo Trái Đất không chỉ là một vấn đề học thuật mà còn mang tính cấp thiết đối với sự phát triển bền vững của xã hội. Mọi hiện tượng tự nhiên như động đất, núi lửa, sóng thần đều bắt nguồn từ các quá trình địa chất diễn ra ở sâu bên trong lòng đất. Hơn nữa, những tài nguyên khoáng sản, năng lượng mà chúng ta đang khai thác cũng có liên quan mật thiết đến cấu trúc và sự vận động của các lớp Trái Đất. Do đó, việc nghiên cứu về cấu tạo Trái Đất giúp chúng ta hiểu rõ hơn về các quá trình tự nhiên này, từ đó đưa ra các biện pháp dự báo, phòng tránh thiên tai hiệu quả, và tối ưu hóa việc khai thác tài nguyên một cách bền vững.

Tổng quan tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước

- Nghiên cứu về cấu tạo Trái Đất đã được tiến hành từ rất sớm với nhiều học giả nổi tiếng như Isaac Newton, Benoit Gutenberg, Andrija Mohorovičić... Các nghiên cứu quốc tế đã phát triển các phương pháp địa chấn hiện đại, sử dụng sóng địa chấn để vẽ lại "bản đồ" bên trong lòng đất. Các chương trình nghiên cứu lớn như EarthScope ở Mỹ đã thu thập lượng dữ liệu khổng lồ, mang lại những hiểu biết sâu sắc về vỏ, lớp phủ và lõi Trái Đất.
- Ở Việt Nam, các nghiên cứu tập trung vào việc áp dụng các phương pháp địa chấn để thăm dò cấu trúc vỏ Trái Đất, đặc biệt ở các vùng có nguy cơ địa chất cao hoặc có tiềm năng khoáng sản. Tuy nhiên, việc tổng hợp và phân tích một cách toàn diện về cấu tạo Trái Đất từ nhiều nguồn dữ liệu khác nhau vẫn còn hạn chế.

Mục tiêu nghiên cứu

Mục tiêu chính của đề tài là:

- Hệ thống hóa kiến thức về cấu tạo Trái Đất, bao gồm các lớp chính: vỏ, lớp phủ, lõi ngoài và lõi trong.
- Tìm hiểu nguyên lý và các phương pháp địa chấn, đặc biệt là cách sử dụng sóng P và sóng S để xác định ranh giới giữa các lớp.
- Phân tích vai trò của việc nghiên cứu cấu tạo Trái Đất trong các lĩnh vực như dự báo thiên tai và khai thác tài nguyên.

Nội dung nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu trên, báo cáo sẽ tập trung vào các nội dung chính sau:



- **Cấu tạo Trái Đất:** Giới thiệu về các lớp chính của Trái Đất, bao gồm thành phần vật chất, trạng thái vật lý và đặc điểm riêng của từng lớp.
- **Phương pháp địa chấn:** Trình bày nguyên lý hoạt động của phương pháp này, bao gồm nguồn phát sóng, cách thu nhận dữ liệu và phân tích sự thay đổi vận tốc sóng khi đi qua các môi trường khác nhau.
- **Vai trò của nghiên cứu:** Phân tích ý nghĩa của việc nghiên cứu cấu tạo Trái Đất đối với khoa học và đời sống thực tiễn.

Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- **Đối tượng nghiên cứu:** Cấu trúc địa chất bên trong Trái Đất.
- **Phạm vi nghiên cứu:** Tập trung vào các kiến thức cơ bản về cấu tạo Trái Đất, nguyên lý của phương pháp địa chấn và các ứng dụng thực tiễn của việc nghiên cứu này.

Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

- **Ý nghĩa khoa học:** Đề tài góp phần tổng hợp và làm rõ hơn những kiến thức cơ bản về địa chất, là cơ sở để tiếp tục các nghiên cứu sâu hơn về Trái Đất.
- **Ý nghĩa thực tiễn:** Cung cấp nền tảng kiến thức quan trọng để phục vụ công tác dự báo các hiện tượng địa chất nguy hiểm và tối ưu hóa việc thăm dò, khai thác khoáng sản.

Cơ sở dữ liệu sử dụng

Cơ sở dữ liệu được sử dụng bao gồm các tài liệu khoa học, sách giáo trình địa chất, các bài báo nghiên cứu quốc tế và trong nước từ các tạp chí uy tín.

Hệ phương pháp nghiên cứu

- **Phương pháp tổng hợp và phân tích tài liệu:** Thu thập và phân tích các nguồn tài liệu đã có để xây dựng hệ thống lý thuyết.
- **Phương pháp so sánh:** Đối chiếu các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước để rút ra nhận định khách quan.
- **Phương pháp diễn giải và minh họa:** Sử dụng các hình ảnh, sơ đồ để minh họa cho cấu tạo Trái Đất và nguyên lý của phương pháp địa chấn.

Chương 1

Tổng quan về Cấu tạo Trái Đất

1.1 Lớp vỏ Trái Đất

1. Vị trí: là lớp ngoài cùng tuyệt đối của trái đất.
2. Trạng thái của lớp vỏ trái đất: ở trạng thái rắn, giòn hơn so với các lớp dưới.
3. Nhiệt độ của lớp vỏ trái đất: nhiệt độ của vỏ trái đất dao động đáng kể, ở ngoài rìa nơi gặp khí quyển nhiệt độ của lớp vỏ trái đất có cùng nhiệt độ với nhiệt độ của không khí. Sâu dưới lớp tiếp xúc với khí quyển nhiệt độ của lớp vỏ đạt các giá trị nằm trong khoảng $700 \rightarrow 1600^{\circ}\text{C}$, tại ranh giới với lớp phủ bên dưới nhiệt độ tăng tới 30°C cho mỗi kilomet cục bộ ở phần trên của lớp vỏ.
4. Thành phần hoá học của lớp vỏ trái đất: Các thành phần đá của lớp vỏ Trái Đất gần như tất cả là các oxide. Các thành phần như clo, lưu huỳnh và flo là các ngoại lệ quan trọng duy nhất đối với thành phần này và tổng khối lượng của chúng trong bất kỳ loại đá nào thông thường đều nhỏ hơn 1%

Oxide	Phần trăm khối lượng
SiO_2	59.71
Al_2O_3	15.41
CaO	4.9
MgO	4.36
Na_2O	3.55
FeO	3.52
K_2O	2.8
Fe_2O_3	2.63
H_2O	1.52
TiO_2	0.6
P_2O_5	0.22
Tổng cộng	99.22

Bảng 1.1: Bảng thành phần các nguyên tố

Nếu chỉ tính riêng các nguyên tố thì sẽ có phần trăm khối lượng như sau:



Nguyên tố	Phần trăm khối lượng
Nhôm	8.1
Sắt	5
Canxi	3.6
Natri	2.8
Kali	2.6
Magie	2.1
Silic	27.7
Khác	1.5

Bảng 1.2: Phần trăm thành phần nguyên tố

Chú thích: Thành phần khác bao gồm titan, hydro, phot pho, mangan và flo.

5. Độ dày của lớp vỏ trái đất: lớp vỏ trái đất có hai loại là:

- lớp vỏ lục địa: dày khoảng 25-70km
- lớp vỏ đại dương: dày khoảng 5-10km

6. Vai trò của lớp vỏ trái đất:

- Là nơi sinh sống của các sinh vật
- Là nơi hoạt động mảng kiến tạo

7. Sự khác nhau giữa lớp vỏ lục địa và lớp vỏ đại dương:

Lớp vỏ lục địa	Lớp vỏ đại dương
Dày	Mỏng
Mật độ thấp hơn	Mật độ cao hơn
Độ cao lớn hơn	Độ cao thấp hơn



1.2 Lớp phủ Trái Đất

1. Vị trí: Lớp phủ là lớp nằm phía dưới lớp vỏ và phía trên lõi ngoài.

2. Phân lớp:

- Theo Cơ học lưu biến (Rheology):

Lớp phủ trên	Phủ dưới
Tầng cứng, rắn chắc, không dòng chảy nhanh	Đẻo, yếu cơ học, có thể chảy rất chậm
Kết hợp với vỏ Trái Đất tạo thành thạch quyển	Nằm ngay bên dưới <i>lớp phủ trên</i> , từ khoảng 80–200 km đến 700 km, thường lấy khoảng 100–410 km trong phân loại chuẩn
Độ dày: khoảng 100 km dưới đại dương và khoảng 150–200 km dưới lục địa	

- Theo thay đổi vận tốc sóng địa chấn (seismic velocity):

Lớp phủ trên	Vùng chuyển tiếp	Lớp phủ dưới
Giới hạn độ sâu: Từ Moho ¹ hoặc đáy vỏ khoáng (7–35 km) đến khoảng 410 km	Độ sâu khoảng 410–660 km Trong đó trong đó độ sâu của Wadsleyite ² (khoảng 410–520 km) và Ringwoodit ³ (khoảng 525–660 km)	Độ sâu khoảng 660–2.891 km Trong đó độ sâu của Bridgmanite ⁴ (khoảng 660 đến 2.685 km) và post-perovskite ⁵ (khoảng 2,685 đến 2,891 km)

- Vùng D: Phía dưới 200 km của lớp phủ dưới tạo thành vùng D''⁶ (D-double-prime), một vùng có tính chất địa chấn bất thường. Khu vực này cũng bao gồm large low-shear-velocity provinces⁷ và ultra low velocity zones⁸.

3. Trạng thái của lớp phủ Trái Đất: là rắn, nhưng có thể chảy từ từ theo thời gian dài dưới tác động của nhiệt độ và áp suất cao. Đây là điểm quan trọng trong sự dịch chuyển của các mảng kiến tạo.

4. Nhiệt độ:

- Ranh giới trên (gần lớp vỏ): có nhiệt độ khoảng từ 500–900 °C (932–1,652 °F)
- Ranh giới dưới (giáp lõi ngoài): có nhiệt độ khoảng trên 4,000 °C (7,230 °F)

5. Thành phần hóa học: Thành phần hóa học của lớp phủ rất khó xác định với mức độ chắc chắn cao vì phần lớn nó không thể tiếp cận được. Đá lớp phủ có thể có thể tiếp cận được trong một số trường hợp hiếm hoi

¹ Moho: ranh giới giữa vỏ Trái Đất và manti, ở sâu 5–10 km dưới đáy đại dương và 30–70 km dưới lục địa, đánh dấu sự thay đổi đột ngột về mật độ và thành phần đá.

² Wadsleyite: dạng olivine áp suất cao ở độ sâu 410–520 km, có thể chứa tới 3% nước.

³ Ringwoodite: dạng olivine áp suất cao ở độ sâu 520–660 km, cấu trúc spinel, có thể chứa nhiều nước.

⁴ Bridgmanite: khoáng vật $MgSiO_3$ cấu trúc perovskite, phổ biến nhất trong manti dưới, ổn định ở áp suất, nhiệt độ cao.

⁵ Post-perovskite: pha áp suất siêu cao của bridgmanite ở 2 600 km, cấu trúc $CaIrO_3$, dẫn điện cao, gây bất đẳng hướng sóng địa chấn.

⁶ Vùng D'': phần manti dưới cùng, ngay trên lõi ngoài, nơi diễn ra chuyển pha bridgmanite – post-perovskite, ảnh hưởng đến địa chấn và trao đổi nhiệt lõi–manti.

⁷ large low-shear-velocity provinces (LLSVPs): hai khối vật chất khổng lồ dưới châu Phi và Thái Bình Dương, tốc độ sóng S thấp, có thể là các “cọc nhiệt–hóa”.

⁸ ultra low velocity zones (ULVZs): vùng nhỏ, dày vài chục km gần ranh giới lõi–manti, sóng P và S giảm mạnh, thường liên quan LLSVPs, có thể do nóng chảy cục bộ hoặc giàu sắt.



- Thành phần của lớp phủ trên: thông qua Phun trào núi lửa, Phun trào núi lửa, Drilling (khoan sâu)...

Oxide	Phần trăm khối lượng
SiO_2	44.71
MgO	38.73
FeO	8.18
Al_2O_3	3.98
CaO	3.17
Cr_2O_3	0.57
NiO	0.24
MnO	0.13
Na_2O	0.13
TiO_2	0.13
P_2O_5	0.02
K_2O	0.01

Bảng 1.3: Bảng thành phần các nguyên tố

- Thành phần của lớp phủ dưới: giả định vì nằm quá sâu chỉ có thể suy đoán từ tốc độ sóng địa chấn, mô phỏng trong phòng thí nghiệm, thành phần thiên thạch chondrit nguyên thủy

6. Độ dày:

- Tổng độ dày: khoảng 2.900 km (tính từ ranh giới lớp vỏ [Moho] đến ranh giới ngoài lõi Trái Đất)
- Giải thích: Lớp phủ trên(khoảng 375 km) + Vùng chuyển tiếp(khoảng 250 km) + Lớp phủ dưới(khoảng 2.230 km) \approx 2.900 km

7. Vai trò:

- Truyền nhiệt và điều khiển chuyển động mảng
- Nguồn gốc của magma và núi lửa
- Cung cấp vật chất cấu tạo vỏ Trái Đất
- Duy trì hoạt động địa chất của Trái Đất

8. Đặc điểm nổi bật của phủ trên:

- Độ sâu khoảng 10-670 km
- Nhiệt độ: khoảng 627 - 930°C
- Áp suất Lên đến khoảng 24 GPa (237.000 atm)
- Khoáng vật chính: Peridotite (olivine 55%, pyroxene 35%, oxide 5-10%)
- Tính chất: Rắn nhưng dẻo, nhớt cao (10^{19} – 10^{24} Pa·s)
- Vai trò: Đối lưu tạo động lực cho kiến tạo mảng và hoạt động địa chất

9. Đặc điểm nổi bật của phủ dưới:

- Độ sâu khoảng 660 - 2890 km
- Chiếm khoảng 56% thể tích trái đất



- Nhiệt độ khoảng 1.690 - 2.360 °C
- Áp suất khoảng 24-217Gpa
- Khoáng vật chính: Bridgmanite (75%), Ferropericlasite (17%), Calcium-perovskite (8%) (suy đoán từ thí nghiệm)
- Trạng thái và chuyển động: Rắn, độ nhớt cao, đối lưu hoặc bất động tùy vùng
- Khó tiếp cận để phân tích vì nằm quá sâu



1.3 Lõi Trái Đất

1. Phân lớp: Bao gồm hai phần chính là lõi ngoài và lõi trong.
2. Vị trí:
 - Lõi ngoài nằm ở độ sâu khoảng 2.900 km phía dưới bề mặt Trái Đất.
 - Lõi trong: 5.800 km từ mặt đất kéo dài xuống tận tâm trái đất (6.371 km), bán kính 1.220 km (70% bán kính Mặt Trăng).
3. Trạng thái:
 - Lõi ngoài: lõi ngoài ở dạng lỏng, do áp suất chưa đủ lớn để làm sắt-niken đông đặc.
 - Lõi trong: lõi trong ở trạng thái rắn do áp suất cực lớn ép chặt nguyên tử, dù nhiệt độ vượt mức nóng chảy của sắt.
4. Nhiệt độ:
 - Lõi ngoài: nhiệt độ của lõi ngoài Trái Đất nằm trong khoảng từ 4.400 °C ở phần trên tới 6.100 °C ở phần dưới.
 - Lõi trong: nhiệt độ khoảng 5.100 đến 5.700°C, tương đương nhiệt độ bề mặt Mặt Trời
5. Áp suất:
 - Lõi ngoài: áp suất ở lõi ngoài là 1,36 triệu atm vào đến lõi trong áp suất tăng lên đến 3,6 triệu atm.
 - Lõi trong: áp suất tại tâm Trái Đất lên đến khoảng 4.1×10^{11} Pa (410 GPa), và khoảng áp suất của lõi trong là từ 330 đến 360 GPa.
6. Thành phần hóa học:
 - Lõi ngoài: lớp chất lỏng và nóng bao gồm sắt và niken.
 - Lõi trong: dựa trên sự phổ biến của các nguyên tố hóa học trong hệ Mặt Trời, các tính chất vật lý của chúng và các ràng buộc hóa học khác liên quan tới phần còn lại của thể tích Trái Đất, lõi trong được người ta cho rằng có cấu tạo chủ yếu là hợp kim sắt-nickel, với một lượng rất nhỏ các nguyên tố khác.
7. Độ dày:
 - Lõi ngoài: dày khoảng 2.260 km.
 - Lõi trong: có bán kính khoảng 1.220 km, chỉ bằng 70% bán kính của Mặt Trăng.
8. Vai trò:
 - Lõi ngoài:
 - Dòng chảy của kim loại nóng lỏng tạo nên từ trường Trái Đất thông qua hiệu ứng dynamo⁹.
 - Từ trường này có vai trò như một lá chắn bảo vệ, làm chệch hướng các hạt tích điện từ bức xạ Mặt Trời và bức xạ vũ trụ, ngăn chúng tiếp cận bề mặt Trái Đất và gây hại cho các sinh vật.
 - Lõi trong:

⁹Trong vật lý học thuyết dynamo hay geodynamo đề xuất một cơ chế mà theo đó một thiên thể như Trái Đất hoặc sao, tạo ra được từ trường. Thuyết dynamo mô tả quá trình mà trong đó một khối chất lỏng dẫn điện đang ở trạng thái quay hoặc có dòng xoáy, sẽ duy trì một từ trường. Lý thuyết này cũng được sử dụng để giải thích sự hiện diện của các từ trường bất thường kéo dài trong các vật thể thiên thể. Chất lỏng dẫn trong mô hình geodynamo (mô hình Trái Đất) là sắt lỏng ở lõi ngoài Trái Đất



- Ổn định cấu trúc trung tâm Trái Đất, cung cấp nguồn nhiệt và khối lượng; sự đông đặc từ lõi ngoài vào lõi trong tạo năng lượng cho geodynam¹⁰

9. Mật độ:

- Lõi ngoài: 9.900 đến 12.200 kg/m³
- Lõi trong: 12.600–13.000 kg/m³

10. Đặc điểm nổi bật của lõi ngoài:

- Trạng thái: lỏng
- Nhiệt độ và áp suất: nhiệt độ 4.400–6.100 °C, áp suất 1,36–3,6 triệu atm
- Thành phần: Fe–Ni + 8–13% nguyên tố nhẹ.
- Mật độ: 9.900 đến 12.200 kg/m³
- Vai trò: sinh sản từ trường, chuyển động hình thành dòng điện

11. Đặc điểm nổi bật của lõi trong:

- Trạng thái: rắn
- Nhiệt độ và áp suất: nhiệt độ 5.100–5.700°C, áp suất 330–360 GPa.
- Thành phần: Fe–Ni + 2–3% nguyên tố nhẹ.
- Mật độ: 12.600–13.000 kg/m³
- Vai trò: cung cấp sự ổn định, bổ sung năng lượng động lực học

¹⁰Đã giải thích ở ⁹

Chương 2

Phương pháp nghiên cứu bằng sóng địa chấn

2.1 Tổng quan về sóng địa chấn

Sóng địa chấn là các sóng năng lượng được tạo ra bởi động đất, núi lửa, hoặc các vụ nổ, truyền qua các lớp của Trái Đất.

2.1.1 Sóng khối

Trong Khoa học Trái Đất, *sóng khối* là những loại sóng địa chấn truyền xuyên qua bên trong Trái Đất, bao gồm *sóng P (sóng sơ cấp)* và *sóng S (sóng thứ cấp)*. Dưới đây là khái niệm, đặc điểm và tính chất vật lý của sóng P và sóng S:

1. Sóng P (Sóng sơ cấp - Primary Waves)

- Khái niệm: Sóng P là loại sóng nhanh nhất trong các sóng địa chấn, đến các trạm địa chấn đầu tiên sau một trận động đất. Chúng là *sóng dọc (longitudinal waves)*, nghĩa là các hạt vật chất mà sóng truyền qua sẽ dao động theo cùng hướng với hướng truyền của sóng (nén và giãn nở).
- Đặc điểm:
 - Tốc độ truyền: Sóng P có tốc độ truyền nhanh nhất, khoảng 6-14 km/s trong vỏ Trái Đất và có thể lên tới khoảng 13 km/s ở ranh giới vỏ và manti.
 - Môi trường truyền: Sóng P có khả năng truyền qua mọi môi trường: chất rắn, chất lỏng và chất khí. Điều này là do chúng truyền bằng cách nén và giãn nở vật chất.
 - Chuyển động hạt: Gây ra chuyển động "đẩy và kéo" của các hạt vật chất theo hướng truyền sóng, tương tự như sóng âm thanh.
- Tính chất vật lý:
 - Biên độ dao động của các hạt môi trường thường nhỏ.
 - Là sóng nén, tạo ra sự thay đổi về thể tích trong môi trường.



2. Sóng S (Sóng thứ cấp - Secondary Waves)

- Khái niệm: Sóng S là loại sóng chậm hơn sóng P và đến các trạm địa chấn sau sóng P. Chúng là *sóng ngang* (*transverse waves*), nghĩa là các hạt vật chất mà sóng truyền qua sẽ dao động vuông góc với hướng truyền của sóng.
- Đặc điểm:
 - Tốc độ truyền: Sóng S có tốc độ truyền chậm hơn sóng P, khoảng 3.5 - 7.5 km/s trong vỏ Trái Đất.
 - Môi trường truyền: Sóng S chỉ có thể truyền qua môi trường chất rắn. Chúng không thể truyền qua chất lỏng hoặc chất khí vì các môi trường này không có khả năng chống lại sự biến dạng cắt. Đây là lý do chính mà các nhà khoa học có thể xác định được nhân ngoài Trái Đất là chất lỏng, vì sóng S không thể truyền qua nó.
 - Chuyển động hạt: Gây ra chuyển động "lắc lư" hoặc lên xuống của các hạt vật chất vuông góc với hướng truyền sóng.
- Tính chất vật lý:
 - Biên độ dao động của các hạt môi trường thường lớn hơn sóng P.
 - Là sóng cắt, tạo ra sự biến dạng về hình dạng mà không làm thay đổi thể tích của môi trường.

Cả *sóng P* và *sóng S* đều là sóng khối và cung cấp thông tin quan trọng về cấu trúc bên trong của Trái Đất thông qua việc phân tích tốc độ và đường đi của chúng. Ví dụ, sự thay đổi đột ngột về tốc độ truyền sóng ở các độ sâu khác nhau cho phép xác định các ranh giới giữa các lớp của Trái Đất như vỏ, manti và nhân.



2.1.2 Sóng mặt

Sóng mặt (surface waves) là một loại sóng địa chấn truyền dọc theo bề mặt Trái Đất, thường là kết quả của các trận động đất, vụ nổ lớn, hay các nguồn rung chấn nhân tạo. Khác với sóng khối như sóng P (Primary) và sóng S (Secondary) truyền bên trong lòng đất, *sóng mặt* lan truyền chủ yếu ở lớp vỏ ngoài cùng và có tốc độ chậm hơn nhưng thường gây thiệt hại lớn nhất do biên độ dao động lớn.

1. Đặc điểm và tính chất vật lý chung của sóng mặt:

- Phạm vi : Truyền Chủ yếu lan truyền trên bề mặt Trái Đất
- Tốc độ : Chậm hơn sóng P và sóng S
- Biên độ : Lớn hơn sóng P và S – gây rung lắc mạnh hơn
- Giảm năng lượng chậm hơn : Duy trì năng lượng ở khoảng cách xa hơn
- Gây thiệt hại : Là nguyên nhân chính của thiệt hại trong động đất do rung lắc ‘mạnh

2. Các loại sóng mặt phổ biến: *Sóng Rayleigh* và *sóng Love*

(a) Sóng Rayleigh

- Khái niệm: *Sóng Rayleigh* được đặt tên theo nhà vật lý Lord Rayleigh. Đây là sóng mặt có chuyển động giống sóng nước, tức là elip theo phương thẳng đứng và song song với hướng truyền.
- Đặc điểm vật lý:
 - Chuyển động: Dao động elip, ngược chiều kim đồng hồ: vật chất vừa lên/xuống, vừa tiến/lùi
 - Hướng dao động: Trong mặt phẳng thẳng đứng song song với hướng truyền sóng
 - Tác động lên công trình: Làm công trình bồng bênh như trôi nổi trên mặt đất
- Tính chất bổ sung: Biên độ giảm theo độ sâu. Là loại sóng thường được cảm nhận đầu tiên trong các sóng mặt.
- Ví dụ:

Một trận động đất xảy ra gần bờ biển Nhật Bản. Các sóng Rayleigh truyền đến thành phố ven biển gây cảm giác như mặt đất đang lăn sóng, làm cho tòa nhà trong hình bồng bênh lên xuống và đồng thời rung tiến-lùi, tương tự như chuyển động trên mặt nước.

Do đó, điều này khiến nền móng lung lay mạnh, làm tường nứt hoặc cửa kính bị vỡ.

(b) Sóng Love

- Khái niệm:

Sóng Love được đặt tên theo A.E.H. Love, nhà toán học người Anh. Là sóng cắt bề mặt (surface shear wave), chỉ xuất hiện trong môi trường phân lớp.
- Đặc điểm vật lý:
 - Chuyển động: Dao động ngang (theo phương ngang so với hướng truyền sóng)
 - Hướng dao động: Trong mặt phẳng ngang và vuông góc với hướng truyền sóng
 - Tác động lên công trình: Gây hiệu ứng trượt ngang, làm nứt tường, gãy móng nhà
- Tính chất bổ sung: Tồn tại khi có lớp vật liệu mềm phủ trên lớp cứng hơn. Chỉ tạo ra dao động ngang, không có dao động thẳng đứng.
- Ví dụ:

Một trận động đất sâu xảy ra dưới lòng đất ở Thổ Nhĩ Kỳ, nơi có nhiều lớp đất đá mềm phủ trên lớp đá cứng. Sóng Love lan truyền theo phương ngang làm mặt đất rung giật sang trái - phải mạnh.

Do đó, điều này gây ra hiện tượng trượt nền, khiến các tòa nhà lệch trục, nứt vỡ ở móng và tường nhà – đặc biệt nguy hiểm với nhà cao tầng.



(c) So sánh sóng Rayleigh và sóng Love:

Tiêu chí	Sóng Rayleigh	Sóng Love
Kiểu dao động	Elip, trong mặt phẳng thẳng đứng	Ngang, trong mặt phẳng ngang
Hướng dao động	Lên/xuống + tiến/lùi	Vuông góc với hướng truyền sóng
Loại vật chất cần thiết	Tồn tại ở mọi loại môi trường	Cần môi trường phân lớp
Mức độ phá hoại	Cao	Rất cao, đặc biệt với công trình xây dựng
Tốc độ	Chậm hơn sóng Love	Nhanh hơn sóng Rayleigh

2.2 Nguyên lý hoạt động

Để có thể biết về cấu tạo phía bên trong của Trái đất, con người không thể sử dụng cách quan sát trực tiếp. Hồ khoan sâu nhất mà con người có thể đạt được chỉ nằm ở mức 12km trước khi thiết bị không chịu được lượng nhiệt khổng lồ ở độ sâu này. Thay vào đó, các nhà khoa học đã nghĩ ra cách quan sát gián tiếp những đợt sóng địa chấn được tạo ra từ những trận động đất để có thể dự đoán về thành phần, cấu tạo cũng như độ dày của các cấu trúc sâu dưới lòng đất.

2.2.1 Những ghi nhận ban đầu

Một số quan sát ban đầu của các nhà địa chất khi nghiên cứu về hành vi của sóng địa chấn:

- Tại một số trạm quan sát, sóng địa chấn đến nhanh hơn hoặc chậm hơn so với những tính toán lý thuyết ban đầu. Trong khi đó, còn có thể ghi nhận được nhiều lần sóng địa chấn cùng loại trong một khoảng thời gian ngắn.
- Sự tồn tại của những khu vực mà những máy đo địa chấn không thể đọc được sự hiện diện của mọi sóng địa chấn S và một lượng rất lớn sóng địa chấn P.
- Một số nhà khoa học những năm cuối thế kỷ XIX - đầu thế kỷ XX đã ghi nhận được những trận động đất xảy ra rất sâu trong lòng đất (tăng dần lên tới khoảng 700 km) xảy ra tại những khu vực rãnh đại dương (Ngoài khơi đảo Honshu - Nhật Bản, ngoài khơi đảo Java - Indonesia và ngoài khơi quốc đảo Tonga).

2.2.2 Nhận thức được sự tương tác của sóng với môi trường

Sóng địa chấn được tỏa ra khắp mọi hướng từ tâm chấn sau một trận động đất. Khi sóng địa chấn đi qua ranh giới giữa các loại vật liệu khác nhau trong lòng Trái Đất sẽ xảy ra những hiện tượng sau:

- Phản xạ: Hiện tượng phản xạ xảy ra khi một phần hoặc toàn bộ năng lượng của sóng bị nảy ngược về môi trường ban đầu thay vì tiếp tục truyền qua môi trường tiếp theo. Điều này xảy ra khi giữa hai môi trường có sự khác biệt về cấu trúc, mật độ hay độ đàn hồi.
- Khúc xạ: Hiện tượng khúc xạ xảy ra khi một phần năng lượng của sóng bị bẻ cong (chuyển hướng), do đó vận tốc cũng sẽ thay đổi khi đi qua ranh giới giữa hai môi trường có sự khác biệt về cấu trúc, mật độ hay độ đàn hồi và tiếp tục truyền đến môi trường tiếp theo.
 - Khi sóng di chuyển từ môi trường với mật độ thấp hơn đến môi trường có mật độ cao hơn, sóng sẽ di chuyển chậm lại, và hướng đi của sóng sẽ bị lệch hơn về phía pháp tuyến của ranh giới giữa hai môi trường.
 - Khi sóng di chuyển từ môi trường với mật độ cao hơn đến môi trường có mật độ thấp hơn, sóng sẽ di chuyển nhanh hơn, và hướng đi của sóng sẽ lệch hơn về phía ranh giới giữa hai môi trường.
 - Cụ thể hơn về mặt vật lý, đối với sóng địa chấn, vận tốc của sóng phụ thuộc vào các yếu tố chính của môi trường: Khả năng chịu đựng biến dạng nén K , biến dạng cắt μ và mật độ vật chất ρ theo phương trình:

$$v = \sqrt{\frac{(K + \frac{4}{3}\mu)}{\rho}}$$

- Sóng S sẽ tan biến khi đi đến ranh giới giữa môi trường rắn và lỏng/khí, trong khi sóng P sẽ có thể tiếp tục truyền trong cả 3 loại môi trường.



2.2.3 Kết luận

Dựa vào những lý thuyết cũng như sự đo đạc ngoài thực địa, các nhà khoa học đã có thể đi đến những kết luận sau:

- Sóng địa chấn có xu hướng di chuyển trên một đường cong ở trong lòng Trái Đất.
 - Kết luận này trực tiếp dẫn đến phát hiện rằng phân phối mật độ vật chất của Trái Đất tăng lên dần dần khi đi vào càng sâu bên trong lõi. Khi đó, thông qua định luật Snell về sự khúc xạ, có thể suy ra việc sóng địa chấn sẽ bị bẻ hướng và thay đổi tốc độ khi đi qua những lớp vật chất với sự khác biệt về mật độ, cấu trúc, độ đàn hồi.... Sóng địa chấn khi đi qua rất nhiều các tầng lớp vật liệu với những sự thay đổi mang tính dần đều thì chúng theo đó cũng sẽ bị bẻ hướng một cách từ từ.
 - Ở những nơi đo đạc gần tâm chấn động đất, những đợt sóng địa chấn hướng về bề mặt sẽ được ghi nhận sớm hơn. trong khi đó, những đợt sóng hướng vào tâm Trái Đất bị bẻ hướng và tăng tốc, nhất là sau khi vượt qua ranh giới Moho để tới lớp Mantle trên, lúc này sóng được tăng tốc một cách rõ rệt. Do đó, những đợt sóng này sẽ được ghi nhận sớm nhất bởi các nơi đo đạc nằm xa tâm chấn.
 - Kiểm chứng được sự tồn tại của những khu vực không ghi nhận được sóng địa chấn (vùng bóng địa chấn - shadow zone). Đối với sóng S, khu vực này rơi vào khoảng 104° tới 256° tính từ tâm chấn; còn đối với sóng P, khu vực này rơi vào khoảng 104° tới 140° và 220° tới 256° tính từ tâm chấn.
- Chứng minh được sự tồn tại của các mảng hút chìm (Subduction zone) nằm ở tầng mantle.
 - Tồn tại những "Vùng kỳ dị" nằm dưới các rãnh biển sâu là các đới hút chìm bị đẩy xuống tầng mantle vì quá trình tạo ra lớp vỏ đại dương mới đến từ những sống núi nằm phía đối diện mảng kiến tạo.
 - Mặc dù đã bị chìm xuống dưới lớp mantle với áp suất và nhiệt độ lớn, các mảng hút chìm vẫn sẽ giữ được nhiệt độ tương đối lạnh so với môi trường xung quanh nhờ độ dày khá lớn, khả năng cách nhiệt khá tốt của các vật liệu "ngậm nước" nằm bên trong các mảng đó, và tốc độ di chuyển đủ nhanh để môi trường mantle không thể làm nóng chúng quá nhanh chóng.
 - Các đới hút chìm cũng sở hữu độ cứng lớn hơn đáng kể so với quyển mềm xung quanh chúng cùng với sự khác biệt không quá lớn từ mật độ vật chất. Do đó, vận tốc của sóng địa chấn cũng sẽ được đẩy nhanh khi đi qua những khu vực này.
 - Hiện tượng núi lửa nằm gần các rãnh thấp đại dương cũng có thể được chứng minh từ các mảng hút chìm: Khi những vật liệu tiếp xúc với nhiệt độ và áp suất cao sẽ thả ra những phân tử nước mà chúng đang ngậm, do đó nhiệt độ nóng chảy những vật liệu ấy bị giảm, dẫn đến tan chảy, tạo thành magma. Những bong bóng magma này nhẹ hơn so với môi trường xung quanh sẽ nổi lên trên bề mặt, tạo thành những vùng núi lửa hoạt động mạnh (VD: Vòng đai lửa Thái Bình Dương)
- Phần lõi ngoài của Trái Đất được cấu thành từ các dạng vật chất thể lỏng: Điều này có thể giải thích được từ tính chất không thể truyền qua môi trường lỏng và khí của sóng S cùng với sự hiện diện của vùng bóng địa chấn của chúng. Cũng chính nhờ bóng địa chấn sóng S mà bán kính của phần lõi Trái Đất (bao gồm lõi trong và lõi ngoài) có thể được tính toán một cách thuận lợi.
- Phần lõi trong của Trái Đất được cấu thành từ các dạng vật chất thể rắn: Điều này có thể giải thích được lý do vì sao sóng P vẫn có thể xuất hiện tại vòng bóng địa chấn của chúng, tuy nhiên ở một tỷ lệ khá nhỏ.

Chương 3

Ý nghĩa và Ứng dụng của Nghiên cứu Cấu tạo Trái Đất

Nghiên cứu cấu tạo Trái Đất là một lĩnh vực khoa học nền tảng, không chỉ mở rộng hiểu biết của chúng ta về hành tinh xanh mà còn mang lại vô vàn ứng dụng thực tiễn, tác động sâu sắc đến đời sống con người và sự phát triển xã hội.

3.1 Vai trò đối với con người và xã hội

Nghiên cứu cấu tạo Trái Đất đóng vai trò then chốt trong việc định hình các hoạt động kinh tế, xã hội và bảo vệ con người trước các thách thức tự nhiên.

3.1.1 Ứng dụng trong tìm kiếm và khai thác tài nguyên (khoáng sản, dầu khí, nước ngầm)

- Hiểu biết về cấu trúc địa chất giúp các nhà khoa học và kỹ sư xác định chính xác vị trí, quy mô và đặc điểm của các mỏ khoáng sản (như kim loại, đá quý), dầu khí và nước ngầm.
- Các phương pháp địa vật lý tổng hợp như phương pháp đo từ mặt đất, đo trọng lực mặt đất, phân cực kích thích, từ telua, ... dựa trên nguyên lý về cấu tạo bên trong Trái Đất, được áp dụng rộng rãi trong thăm dò, điều này giúp tối ưu hóa quá trình khai thác, nâng cao hiệu quả kinh tế và đảm bảo nguồn cung cấp năng lượng, nguyên liệu cho sản xuất và sinh hoạt.
- *Một thành quả ví dụ* là Mỏ sắt Thạch Khê nằm ngay sát bờ biển, trên địa bàn ba xã: Thạch Khê, Thạch Hải và Thạch Đình, huyện Thạch Hà, tỉnh Hà Tĩnh. Mỏ được phát hiện trong giai đoạn lập bản đồ từ hàng không Miền Bắc từ những năm 60 của thế kỷ trước, từ đó đến nay mỏ đã được điều tra, đánh giá, thăm dò nhiều giai đoạn, kết quả khoan thăm dò 217 lỗ khoan đã xác định mỏ có trữ lượng 544 triệu tấn thân quặng tồn tại tới độ sâu khoảng 700 m.
- * Qua đó cho thấy ngành địa chất nói riêng và nghiên cứu cấu trúc Trái Đất nói chung đóng vai trò không thể thiếu trong việc đánh giá và quản lý tài nguyên thiên nhiên.

3.1.2 Đánh giá và giảm thiểu rủi ro thiên tai

- Động đất và núi lửa: Nghiên cứu cấu tạo Trái Đất, đặc biệt là sự chuyển động của các mảng kiến tạo và đặc tính của lớp vỏ, lớp manti, giúp các nhà khoa học dự đoán và theo dõi các khu vực có nguy cơ động đất và phun trào



núi lửa cao. Điều này cho phép chúng ta đưa ra cảnh báo sớm, xây dựng các công trình kiên cố hơn và lập kế hoạch ứng phó, giảm thiểu thiệt hại về người và của.

- Sạt lở đất và sụt lún: Hiểu biết về cấu trúc địa chất nông giúp xác định các khu vực có nguy cơ sạt lở hoặc sụt lún, từ đó có biện pháp phòng ngừa và quy hoạch xây dựng phù hợp.

Ví dụ: Năm 2020, lũ bùn đá tại Trà Leng đã chôn vùi hàng chục ngôi nhà và 30 người chết và mất tích. Nhóm nghiên cứu Khoa địa kỹ thuật, Trường Đại học Mở - Địa chất đã nghiên cứu thành công phần mềm Kanako -1D cho phép mô phỏng dòng lũ bùn đá theo một hướng, từ hạ lưu đến thượng lưu của mô hình sông. Những kết quả hiện trường và phân tích bằng phần mềm Kanako ID cho thấy, lũ bùn đá tại Trà Leng có tính chất phức tạp, khó dự đoán phạm vi ảnh hưởng. Kích thước đá có đường kính từ 2-3m, cá biệt có vị trí kích thước đường kính đá lên tới 10m. Từ nghiên cứu này, các nhà khoa học có thể tính toán giải pháp công trình giảm thiểu rủi ro gây ra bởi sạt lở, lũ quét hiệu quả tại vùng thượng lưu những con sông có độ dốc lớn, tốc độ dòng chảy cao.

3.1.3 Góp phần vào phát triển quy hoạch đô thị và xây dựng hạ tầng

Nghiên cứu cấu trúc Trái Đất, đặc biệt là thông qua lĩnh vực Địa chất Đô thị, đóng vai trò nền tảng và cực kỳ quan trọng trong việc phát triển quy hoạch đô thị và xây dựng hạ tầng. Nó cung cấp thông tin cốt lõi để đảm bảo sự an toàn, ổn định, bền vững và hiệu quả kinh tế cho các dự án xây dựng.

- Ứng dụng trong Quy hoạch Đô thị:
 - Phân vùng an toàn: Giúp xác định các khu vực nguy hiểm địa chất (đứt gãy, đất yếu, sạt lở, hồ sụt karst) để tránh xây dựng hoặc có biện pháp xử lý đặc biệt. Điều này đảm bảo dân cư và công trình nằm ở nơi ổn định.
 - Quy hoạch không gian ngầm: Cung cấp thông tin về các lớp đất đá, nước ngầm để thiết kế hiệu quả và an toàn cho các công trình ngầm như hầm metro, bãi đỗ xe.
 - Quản lý tài nguyên: Hỗ trợ bảo vệ nguồn nước ngầm và thiết kế hệ thống thoát nước hiệu quả, tránh ngập úng.
- Ứng dụng trong Xây dựng Hạ tầng:
 - Khảo sát địa chất công trình: Đây là bước đầu tiên để hiểu rõ loại đất, đá, mực nước ngầm và tính chất cơ lý của chúng tại vị trí xây dựng.
 - Thiết kế móng: Dựa vào kết quả khảo sát, kỹ sư sẽ chọn loại móng phù hợp nhất (móng nông, cọc, bè...) và tính toán để đảm bảo ổn định và chống lún cho công trình (nhà cao tầng, cầu, đường...).
 - Thi công an toàn: Hướng dẫn lựa chọn phương pháp thi công tối ưu (ví dụ: đào hầm) và các biện pháp kiểm soát rủi ro (sụt lở, bực nước) trong quá trình xây dựng.

Tóm lại, nghiên cứu cấu trúc Trái Đất là kim chỉ nam giúp chúng ta xây dựng thông minh, giảm thiểu rủi ro thiên tai và tối ưu hóa chi phí, tạo nên các đô thị và hạ tầng vững chắc, bền bỉ với thời gian.

3.1.4 Hiểu biết về môi trường và biến đổi khí hậu (liên quan đến các chu trình địa chất)

Nghiên cứu cấu trúc Trái Đất rất quan trọng để hiểu môi trường và biến đổi khí hậu vì nó gắn liền với các chu trình địa chất cốt lõi:

- Chu trình Carbon
 - Lưu trữ carbon: Cấu trúc Trái Đất (đá, nhiên liệu hóa thạch) là nơi chứa lượng carbon khổng lồ, kiểm soát lượng carbon thải ra/hấp thụ tự nhiên.



- Núi lửa: Hoạt động núi lửa giải phóng CO_2 và các hạt có thể làm thay đổi khí hậu (làm ấm hoặc làm mát tạm thời).
- Phong hóa đá: Đá bị phong hóa hấp thụ CO_2 từ không khí, điều hòa khí hậu trong dài hạn.
- Chu trình Nước
 - Nước ngầm và địa hình: Cấu trúc địa chất xác định vị trí, trữ lượng nước ngầm và cách nước chảy trên bề mặt, ảnh hưởng đến nguồn nước.
 - Biến đổi mực nước biển: Nghiên cứu cấu trúc đáy biển giúp dự đoán mực nước biển dâng do băng tan.
- Chu trình Đá
 - Kiến tạo mảng: Sự di chuyển của các mảng kiến tạo thay đổi địa lý (hình thành núi, đại dương), ảnh hưởng đến dòng chảy khí quyển và đại dương, từ đó tác động đến khí hậu.
 - Hình thành đất: Quá trình tạo đất từ đá mẹ là bể chứa carbon quan trọng và ảnh hưởng đến khả năng giữ nước của đất.
- Ứng dụng thực tiễn
 - Quản lý rủi ro: Giúp xác định các khu vực dễ bị tai biến địa chất (sạt lở, lún sụt) do biến đổi khí hậu.
 - Lưu trữ carbon (CCS): Nghiên cứu cấu trúc Trái Đất là nền tảng để tìm kiếm và đánh giá các địa điểm an toàn để lưu trữ CO_2 dưới lòng đất.

Tóm lại, hiểu biết cấu trúc Trái Đất là chìa khóa để nắm bắt các chu trình tự nhiên và đối phó hiệu quả với biến đổi khí hậu.



3.2 Ý nghĩa khoa học và địa vật lý

3.2.1 Nâng cao hiểu biết về quá trình hình thành và tiến hóa của Trái Đất

Nghiên cứu địa vật lý giúp làm sáng tỏ:

- Cơ chế hình thành các lớp cấu trúc của Trái Đất (vỏ, manti, lõi).
- Quá trình phân dị vật chất và sự hình thành trường từ, trọng lực.
- Sự thay đổi theo thời gian của Trái Đất qua các thời kỳ địa chất.

Nhờ đó, chúng ta có được cái nhìn toàn diện về quá trình tiến hóa của hành tinh, từ thuở sơ khai đến hiện tại.

Ví dụ:

- Nghiên cứu sự phân lớp của Trái Đất (vỏ, manti, lõi) thông qua phân tích sóng P và S trong động đất toàn cầu cho thấy Trái Đất có lõi ngoài ở thể lỏng và lõi trong ở thể rắn.
- Xác định tuổi của Trái Đất (khoảng 4,6 tỷ năm) thông qua đồng vị phóng xạ (Uranium – Lead), giúp hiểu được các giai đoạn tiến hóa của hành tinh.

3.2.2 Xác nhận và phát triển các mô hình về cấu trúc bên trong Trái Đất

Địa vật lý cung cấp dữ liệu thực nghiệm (sóng địa chấn, dị thường trọng lực, từ trường) làm cơ sở để:

- Xây dựng, hiệu chỉnh và xác minh các mô hình cấu trúc Trái Đất, từ đơn giản đến 3D phức tạp.
- Phân vùng và nhận dạng các đặc trưng địa chất sâu bên trong hành tinh.

Các mô hình này rất quan trọng cho nghiên cứu khoa học lẫn ứng dụng thực tiễn như dự báo động đất, thăm dò tài nguyên.

Ví dụ:

- Mô hình PREM (Preliminary Reference Earth Model) được xây dựng dựa trên dữ liệu địa chấn từ các trạm toàn cầu, mô tả chi tiết vận tốc sóng địa chấn theo độ sâu. Đây là nền tảng chuẩn để so sánh với các mô hình địa phương.
- Các mô hình tomography địa chấn đã giúp phát hiện vùng dị thường vận tốc thấp dưới đảo Hawaii, cho thấy có dòng magma dâng lên từ manti sâu.

3.2.3 Hỗ trợ nghiên cứu về địa động lực học và kiến tạo mảng

Địa vật lý đóng vai trò quan trọng trong việc:

- Phát hiện và theo dõi các đới đứt gãy, ranh giới mảng kiến tạo.
- Phân tích cơ chế dịch chuyển mảng, đối lưu manti và nguồn gốc núi lửa.
- Cảnh báo và đánh giá nguy cơ địa chấn, trượt lở, sóng thần. Qua đó, giúp hiểu rõ hơn về động lực học nội Trái Đất và quy luật vận động của vỏ Trái Đất.



Ví dụ:

- Các trạm địa chấn tại vành đai lửa Thái Bình Dương giúp theo dõi sự dịch chuyển của mảng Thái Bình Dương, mảng Philippines, phục vụ dự báo động đất và cảnh báo sóng thần.
- Quan trắc GPS tại Nhật Bản đã ghi nhận sự tích tụ ứng suất giữa các mảng, dự đoán được trận động đất Tohoku 2011.

3.2.4 Đóng góp vào sự phát triển của các phương pháp địa vật lý khác (như địa từ, địa nhiệt)

Những nghiên cứu về cấu tạo Trái Đất cung cấp:

- Thông tin đầu vào để cải tiến các phương pháp đo địa từ, địa nhiệt, địa điện, v.v.
- Nền tảng lý thuyết để phát triển các kỹ thuật phân tích và thiết bị đo đạc hiện đại.

Đồng thời, giúp mở rộng ứng dụng địa vật lý vào nhiều lĩnh vực như:

- Thăm dò khoáng sản – năng lượng.
- Đánh giá địa chất môi trường – địa chất đô thị.
- Nghiên cứu các hành tinh khác trong hệ Mặt Trời.

Ví dụ:

- Dữ liệu từ vệ tinh CHAMP và Swarm giúp cập nhật mô hình từ trường toàn cầu như IGRF – ứng dụng trong định vị, khoan định hướng, thăm dò khoáng sản.
- Kết quả nghiên cứu về dòng đối lưu nhiệt trong manti giúp phát triển các phương pháp thăm dò địa nhiệt, được ứng dụng tại các nhà máy điện địa nhiệt ở Iceland, Indonesia, Kenya...

Kết luận

Qua quá trình nghiên cứu, đề tài đã đạt được các mục tiêu đề ra và rút ra một số kết luận quan trọng sau:

Tóm tắt kết quả nghiên cứu

- Về cấu tạo Trái Đất: Chúng ta đã hệ thống hóa được các lớp cấu tạo chính của Trái Đất, bao gồm vỏ, lớp phủ, lõi ngoài và lõi trong, với những đặc điểm riêng biệt về thành phần, trạng thái và nhiệt độ. Sự phân lớp này không chỉ là một cấu trúc tĩnh mà còn là một hệ thống năng động, liên tục biến đổi.
- Về phương pháp địa chấn: Phương pháp địa chấn đã được chứng minh là công cụ hiệu quả nhất để nghiên cứu cấu trúc bên trong Trái Đất. Dựa vào sự thay đổi vận tốc và đường đi của sóng địa chấn (sóng P và sóng S), các nhà khoa học có thể xác định ranh giới giữa các lớp và các dị thường địa chất.
- Về vai trò của nghiên cứu: Việc tìm hiểu cấu tạo Trái Đất có ý nghĩa to lớn trong cả khoa học và thực tiễn. Nghiên cứu này không chỉ làm sáng tỏ các quá trình địa chất mà còn là cơ sở để dự báo các hiện tượng tự nhiên như động đất, núi lửa và hỗ trợ đắc lực cho công tác thăm dò, khai thác khoáng sản.

Kết luận chung

Nghiên cứu về cấu tạo Trái Đất là một lĩnh vực không ngừng phát triển, và những khám phá mới luôn mở ra những hiểu biết sâu sắc hơn về hành tinh của chúng ta. Hy vọng rằng, những kiến thức trong báo cáo này sẽ là nền tảng vững chắc để tiếp tục khám phá những bí ẩn còn tiềm ẩn bên trong lòng Trái Đất.