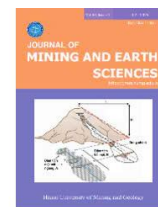




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Overview on seismic attribute analysis and some results for clastic reservoirs in Cuu Long and Malay Tho Chu basin



Ha Thanh Mai*, Trung Duong Nguyen, Phong Xuan Nguyen, Giap Minh Tran, Do Van Thanh, Anh Tuan Pham, Tuan Anh Do, Thuy Thi Pham, Thang Tat Pham, Quyen Thu Thi La, Giang Tra Thi Nguyen, Cong Duc Le

PetroVietnam Exploration Production Corporation (PVEP), Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24th Sep. 2024

Revised 27th Dec. 2024

Accepted 6th Jan. 2025

Keywords:

Amplitude,
AVO,
Clastic reservoirs,
Inversion,
Seismic attributes.

ABSTRACT

In recent years, the application of seismic attribute in oil and gas exploration and development has been carried out in many of sedimentary basins in Vietnam, provided significant benefits, improving seismic interpretation, and supporting oil and gas exploration and development. This paper provides an overview of seismic attributes and the methodologies using these groups of attributes, such as amplitude analysis, amplitude variation with offset (AVO) analysis, and seismic inversion. These techniques support identifying subsurface geological features, help understanding reservoir properties, and predicting the distribution of reservoirs. The paper focuses on clastic reservoirs, which are a key exploration target in Vietnam, and presents the results of seismic attribute analysis from several oil and gas projects (project X1 – Cuu Long Basin and project X2 – Malay – Tho Chu Basin). These results highlight the successes and challenges in applying seismic attribute analysis to exploration, particularly in delineating potential hydrocarbon-bearing zones. Based on the research findings, the paper proposes some solutions and recommendations to improve the application of seismic attributes in future exploration and development projects.

Copyright © 2025 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: hamt@pvep.com.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).08



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>



Tổng quan về nghiên cứu thuộc tính địa chấn và một số kết quả nghiên cứu đối tượng cát kết tại bể Cửu Long và Malay-Thổ Chu

Mai Thanh Hà*, Nguyễn Dương Trung, Nguyễn Xuân Phong, Trần Minh Giáp, Đỗ Văn Thanh, Phạm Tuấn Anh, Đỗ Anh Tuấn, Phạm Thị Thủy, Phạm Tất Thắng, Lê Thị Thu Quyên, Nguyễn Thị Trà Giang, Lê Đức Công

Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí (PVEP), Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 24/9/2024

Sửa xong 27/12/2024

Chấp nhận đăng 6/1/2025

Từ khóa:

Amplitude,

AVO,

Cát kết,

Inversion,

Thuộc tính địa chấn.

TÓM TẮT

Trong những năm gần đây, việc ứng dụng các nghiên cứu thuộc tính địa chấn trong thăm dò và khai thác dầu khí tại nhiều bể trầm tích ở Việt Nam, đã mang lại nhiều lợi ích, giúp nâng cao khả năng minh giải địa chấn, hỗ trợ thăm dò, khai thác dầu khí. Bài báo này cung cấp một cái nhìn tổng quan về các thuộc tính địa chấn và các nhóm phương pháp phân tích thuộc tính địa chấn đã được sử dụng, như phân tích biên độ, nghiên cứu sự biến đổi biên độ theo khoảng cách (AVO), và biến đổi ngược địa chấn (Inversion). Các nhóm thuộc tính này hỗ trợ nhận diện các đặc điểm địa chất, làm rõ đặc tính và dự đoán phân bố của các tầng chứa. Bài báo tập trung vào đối tượng cát kết, là đối tượng thăm dò quan trọng tại Việt Nam, và trình bày kết quả phân tích thuộc tính địa chấn từ một số dự án thăm dò dầu khí (dự án Lô X1 – Bể Cửu Long và dự án Lô X2 – Bể Malay – Thổ Chu). Các kết quả này chỉ ra những thành công và thách thức trong ứng dụng phân tích thuộc tính địa chấn vào thăm dò, xác định các vùng có tiềm năng chứa dầu khí. Dựa trên những kết quả nghiên cứu, bài báo đưa ra một số giải pháp và khuyến nghị nhằm nâng cao ứng dụng thuộc tính địa chấn trong các hoạt động thăm dò và khai thác trong tương lai.

© 2025 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Việt Nam đã có sự phát triển trong việc sử dụng tài liệu địa chấn, đặc biệt là tài liệu địa chấn

3D phục vụ thăm dò và khai thác dầu khí. Tài liệu địa chấn 3D không chỉ giúp việc xác định chi tiết hình thái cấu trúc địa chất mà còn có thể dự báo đặc điểm tầng chứa (chất lượng vỉa chứa, chất lưu,...). Trong quá trình xử lý và minh giải địa chấn chi tiết, sử dụng tổ hợp các phương pháp nghiên cứu thuộc tính địa chấn như xác định đặc điểm biên độ, xác định sự tương quan giữa các mạch, phân tích sự biến đổi biên độ theo khoảng cách

*Tác giả liên hệ

E - mail: hamt@pvep.com.vn

DOI: 10.46326/JMES.2025.66(1).08

(AVO), biến đổi ngược địa chấn (Inversion),... cung cấp thông tin chi tiết về đặc điểm tầng chứa, giảm rủi ro.

Tổng công ty Thăm dò Khai thác dầu khí (PVEP) đã có nhiều dự án thực hiện nghiên cứu thuộc tính địa chấn và đạt được những kết quả khả quan. Để có thể triển khai các nghiên cứu thuộc tính địa chấn hiệu quả hơn, Ban Thăm dò PVEP đã thực hiện đề tài “Tổng hợp và đánh giá kết quả nghiên cứu thuộc tính địa chấn, bài học kinh nghiệm và khả năng áp dụng trong công tác tìm kiếm thăm dò và khai thác dầu khí của PVEP”. Bài báo này trình bày tổng quan về thuộc tính địa chấn và phương pháp phân tích thuộc tính địa chấn, những yếu tố ảnh hưởng đến chúng, các kết quả áp dụng và đề xuất một số giải pháp áp dụng thuộc tính địa chấn cho đối tượng cát kết trong tìm kiếm thăm dò và khai thác dầu khí ở Việt Nam.

2. Thuộc tính địa chấn

2.1. Các loại thuộc tính địa chấn

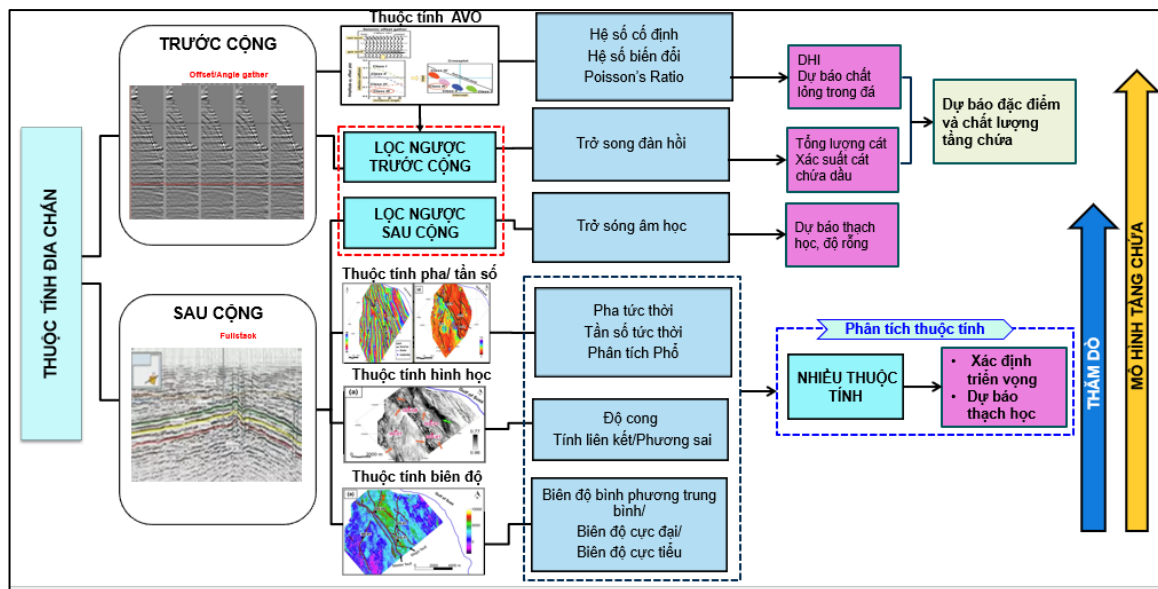
Để nâng cao hiệu quả trong việc minh giải chi tiết các đặc điểm của tầng chứa, thạch học và môi trường trầm tích, cần xác định rõ mối quan hệ giữa trường sóng địa chấn và các đặc điểm địa chất. Thuộc tính địa chấn bao gồm các đặc điểm hình học (như tương quan thời gian, tốc độ, mặt phản xạ) và động lực học (như biên độ, tần số, pha, độ

suy giảm năng lượng) của trường sóng, được trích xuất từ dữ liệu địa chấn. Các thuộc tính này có thể được xác định trực tiếp từ dữ liệu địa chấn hoặc thông qua các phép biến đổi toán học.

Số lượng và sự đa dạng của các thuộc tính địa chấn là rất lớn nên có nhiều phương pháp phân loại khác nhau. Có thể phân loại theo miền ứng dụng như thuộc tính trước và sau cộng sóng, hoặc qua biến đổi toán học, thuộc tính vật lý và hình học, phân loại theo đặc điểm ứng dụng, theo mạch, bề mặt, khối, theo mẫu hoặc ranh giới,... Mỗi loại thuộc tính phục vụ mục đích nghiên cứu và minh giải khác nhau, giúp nâng cao độ tin cậy của kết quả phân tích (Mai và nnk., 2022).

Dựa trên các nghiên cứu và tài liệu về thuộc tính địa chấn (Chopra và Marfurt, 2007; Sheriff, 1992; Simm và Bacon, 2014; Yilmaz, 1987; Mai và nnk., 2022), nhóm tác giả đã tổng hợp và phân chia các nhóm thuộc tính địa chấn theo tài liệu đầu vào và tính chất thuộc tính và thành lập sơ đồ phân loại thuộc tính địa chấn (Hình 1) và miêu tả một số nhóm thuộc tính địa chấn chuẩn sử dụng trong thực tế các dự án đã thực hiện như sau:

Thuộc tính biên độ: bao gồm các thuộc tính như biên độ bình phương trung bình (RMS), biên độ cực đại, biên độ trung bình,... phản ánh sự thay đổi biên độ của sóng phản xạ, giúp xác định các ranh giới địa tầng, biến đổi thạch học, đánh giá sự phân bố của đối tượng địa chất, tầng chứa dầu khí.



Hình 1. Sơ đồ phân loại thuộc tính địa chấn.

Thuộc tính hình học: bao gồm các thuộc tính như độ dốc, độ cong, tính liên tục/bất đồng nhất,... liên quan đến hình dạng của các mặt phản xạ, giúp xác định đặc điểm hình học, cấu trúc của các đối tượng địa chất như đứt gãy, nứt nẻ, nếp uốn, độ cong các mặt ranh giới.

Thuộc tính pha: thuộc tính pha thường được sử dụng để xác định ranh giới giữa các lớp địa chất khác nhau dựa trên sự liên tục hoặc thay đổi về pha. Những thay đổi đột ngột về pha có thể chỉ ra các khu vực đứt gãy, ranh giới bể chứa, hay các dị thường địa chất.

Thuộc tính tần số đặc trưng cho các loại sóng khác nhau và biến đổi khi sóng truyền qua các môi trường địa chất khác nhau, có thể được sử dụng để xác định độ phân giải, sự suy giảm năng lượng, và tính chất vật lý của đối tượng địa chất, môi trường tầng chứa dầu khí.

Thuộc tính Biên độ theo Khoảng cách (Amplitude Variations with Offset - AVO): khi có sự thay đổi về thạch học hoặc sự hiện diện của các lỗ rỗng chứa dầu, khí, hoặc nước tại ranh giới các lớp địa chất, hệ số phản xạ sóng địa chấn sẽ thay đổi, dẫn đến sự biến đổi biên độ sóng phản xạ theo khoảng cách thu nhận (offset) hoặc góc tới của

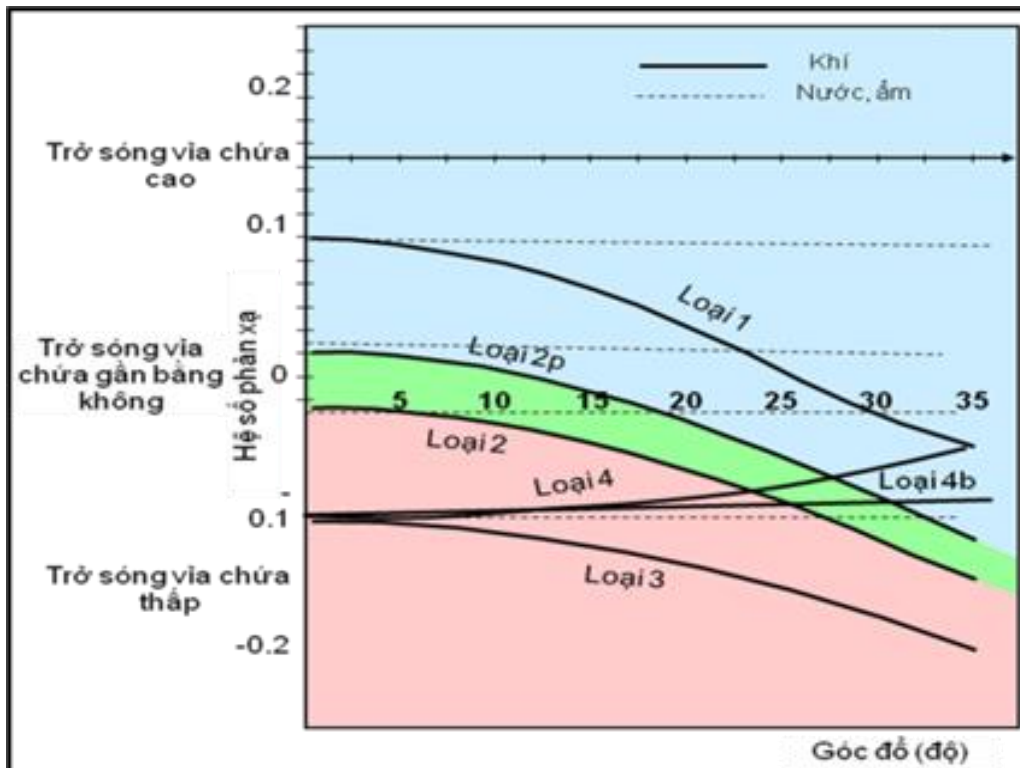
sóng (angle). Phân tích sự thay đổi này theo khoảng cách hoặc góc tới cho phép xác định các đặc tính quan trọng của môi trường địa chất, như loại đá, loại chất lưu trong lỗ rỗng, mật độ, và ranh giới dầu/khí hoặc khí/nước.

Hệ số phản xạ (R) phụ thuộc vào góc tới của sóng phản xạ (θ) được mô tả bởi công thức:

$$R(\theta) = P + G \sin^2 \theta \quad (1)$$

Trong đó: P - hệ số cắt góc (Intercept) là hệ số phản xạ tại góc tới bằng 0 (offset bằng 0), G - hệ số biến đổi (Gradient) phản ánh sự thay đổi của biên độ theo góc tới, phụ thuộc vào sự thay đổi về vận tốc sóng dọc, sóng ngang, và mật độ của hai lớp đá.

Có thể phân dị thường AVO thành 4 loại: AVO loại I có biên độ dương ở các mạch gần và giảm dần theo khoảng cách, có thể chuyển sang âm ở khoảng cách xa. AVO loại II có biên độ âm nhỏ ở các mạch gần và giảm dần theo khoảng cách, trường hợp biên độ dương nhỏ ở mạch gần, giảm đến 0 rồi chuyển sang âm và giảm dần theo khoảng cách gọi là AVO loại IIp. AVO loại III có biên độ âm ở mạch gần và giảm dần theo khoảng cách. AVO loại IV có biên độ âm ở mạch gần và tăng dần theo khoảng cách (Hình 2).



Hình 2. Các loại AVO.

Biến đổi ngược địa chấn (Inversion): là quá trình chuyển đổi dữ liệu địa chấn từ miền thời gian sang miền tần số, giúp tái tạo lại các đặc tính vật lý của các lớp đất đá. Thay vì chỉ dựa vào các phản xạ sóng địa chấn để xác định ranh giới địa chất, biến đổi ngược địa chấn cho phép chúng ta khai thác thông tin chi tiết hơn về tính chất của các lớp đất đá giữa các ranh giới, chẳng hạn như mật độ và vận tốc truyền sóng.

Biến đổi ngược địa chấn tách dạng mạch địa chấn (s) thành tập hợp hệ số phản xạ (R) từ đó tính ra các giá trị trở sóng (Impedance/ I), thể hiện sự khác biệt về mật độ và vận tốc của các loại đá khác nhau giữa các mặt ranh giới (Hình 3). Nhờ vậy, có thể dự đoán trực tiếp các đặc tính thạch học quan trọng như độ rỗng, độ bão hòa nước, và phân bố chất lưu trong các tầng chứa dầu khí. Biến đổi ngược địa chấn là một công cụ hữu ích để cung cấp cái nhìn sâu hơn về cấu trúc và tính chất của tầng chứa, từ đó hỗ trợ hiệu quả trong việc thăm dò và khai thác dầu khí.

2.2. Các yếu tố ảnh hưởng tới chất lượng xác định thuộc tính địa chấn

Các thuộc tính địa chấn được phân tích từ tài liệu địa chấn và cung cấp những thông tin quan trọng về môi trường địa chất. Tuy nhiên, tài liệu địa chấn xác định các đối tượng địa chất một cách gián tiếp, vì vậy cần làm rõ các yếu tố ảnh hưởng đến các loại thuộc tính địa chấn để sử dụng một cách hiệu quả, minh giải tốt hơn đặc điểm địa chất, thạch học, và chất lưu của đối tượng quan tâm.

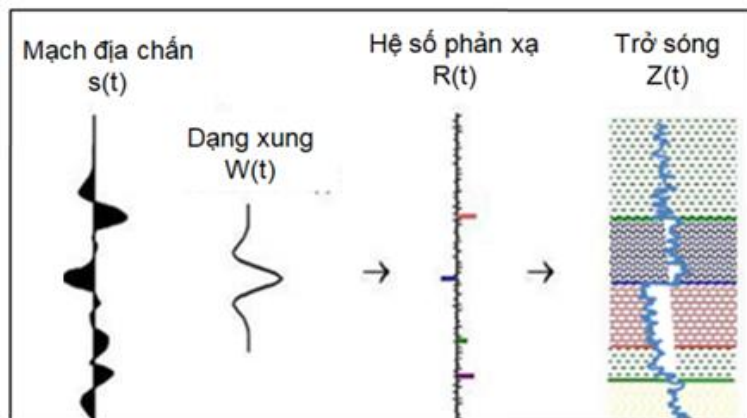
Chất lượng của dữ liệu địa chấn là yếu tố quan trọng quyết định độ tin cậy của các thuộc tính được trích xuất, đóng vai trò quan trọng trong việc

phản ánh chính xác các đặc điểm địa chất, thạch học và chất lưu.

Việc tối ưu hóa từng bước trong thu nổ (lựa chọn phương pháp, và thông số thu nổ phù hợp), tới các bước xử lý địa chấn phù hợp, bảo đảm tài liệu địa chấn có chất lượng cao như độ phân giải cao, băng thông rộng và bảo toàn biên độ sẽ cho phép ghi nhận chi tiết hơn các đặc điểm nhỏ, làm nổi bật các đặc tính của tầng chứa như thành phần thạch học cát, sét và các loại chất lưu như dầu, khí, và nước, nâng cao chất lượng tài liệu địa chấn, từ đó nâng cao độ tin cậy của các kết quả phân tích thuộc tính địa chấn. Nếu chất lượng tài liệu kém, các đặc điểm này có thể bị hạn chế dẫn đến những sai lệch trong minh giải và đánh giá các thuộc tính địa chấn.

Dữ liệu chất lượng tốt với tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (S/N) cao đảm bảo phân tích thuộc tính chính xác và có ý nghĩa. Hầu hết các thuộc tính địa chấn như thuộc tính biên độ, thuộc tính hình học/cấu trúc, phổ/tần số hay AVO & Inversion đều bị ảnh hưởng bởi chất lượng tài liệu. Tài liệu có chất lượng cao có tác động tích cực, cải thiện độ phân giải và độ tin cậy của các thuộc tính. Tài liệu chất lượng không tốt có thể dẫn đến các thuộc tính sai lệch, làm khó khăn trong việc phân biệt giữa các đặc tính địa chất thực và nhiễu, và ảnh hưởng đến tất cả các loại thuộc tính địa chấn. Chi tiết miêu tả trong Bảng 1. Để nâng cao chất lượng tài liệu địa chấn, cần áp dụng các chu trình xử lý phù hợp, và lưu ý một số bước xử lý như sau:

Bảo toàn biên độ trong quá trình xử lý. Đặc biệt cần áp dụng xây dựng mô hình Q và hiệu chỉnh trong quá trình dịch chuyển trường sóng (Q -Imaging).



Hình 3. Mô hình biến đổi ngược địa chấn.

Bảng 1. Các yếu tố ảnh hưởng về chất lượng tài liệu địa chấn.

STT	Yếu tố ảnh hưởng	Miêu tả	Ảnh hưởng	
			Tích cực	Hạn chế
1	Phương pháp thu nổ	Phương pháp thu nổ trong môi trường nước chỉ thu được sóng dọc (P). Khi thu nổ đáy biển như OBC (Ocean Bottom Cable) và OBN (Ocean Bottom Node) còn thu được sóng ngang (S) tăng độ phân giải và xác định được nhiều loại thuộc tính liên quan đến đặc điểm tầng chứa.	Các phương pháp thu nổ nhận sóng P và sóng S cung cấp thông tin chi tiết về môi trường truyền sóng. Sóng S nâng cao khả năng phân tích AVO và Inversion, đánh giá đầy đủ hơn về tính chất của đá và chất lưu.	Các phương pháp thu nổ trên mặt biển thông thường chỉ thu được sóng P nên phải gián tiếp tính toán vận tốc sóng S để phân tích AVO, tính chính xác sẽ thấp hơn.
2	Thông số thu nổ	Các thông số như độ dài cáp, loại nguồn, khoảng cách giữa các điểm thu/phát và độ sâu ghi dữ liệu ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng dữ liệu địa chấn và các thuộc tính.	Thông số thu nổ tốt, độ dài cáp đủ, bội cao ... cải thiện độ phân giải theo không gian và khả năng phát hiện đối tượng nhỏ.	Thông số thu nổ không được tối ưu, độ dài cáp, khoảng cách thu nổ, số bội ... không đủ sẽ hạn chế chất lượng tài liệu, độ phân giải thấp, khả năng nhận diện đối tượng nhỏ kém.
3	Phương pháp xử lý	Xử lý dữ liệu địa chấn bao gồm nhiều bước như hiệu chỉnh, lọc nhiễu, xây dựng mô hình vận tốc, dịch chuyển ... Lựa chọn và áp dụng các phương pháp xử lý phù hợp để nâng cao chất lượng và tính chính xác của tài liệu.	Phương pháp xử lý tiên tiến như Q-Imaging, broadband, 3D SWD, 3D SRME, 3D IME, VTI, TTI, FWI ... có thể giảm nhiễu, nâng cao độ chính xác của tín hiệu.	Xử lý không đảm bảo sẽ cho chất lượng tài liệu thấp, tỷ số tín hiệu/nhiều thấp, độ phân giải kém...
4	Nhiều	Dữ liệu địa chấn thường bị ảnh hưởng bởi nhiều loại nhiễu khác nhau, như nhiễu ngẫu nhiên, phản xạ nhiều lần (multiples) và nhiễu có quy luật khác (coherence noise).		Nhiều làm mờ các tín hiệu và biến dạng các thuộc tính.
5	Độ phân giải	Độ phân giải của dữ liệu địa chấn là khả năng phân biệt các tín hiệu liên quan đến các đối tượng chi tiết. Độ phân giải cao giúp nhận dạng và phân tích chi tiết các đối tượng khảo sát.	Độ phân giải cao cho phép nhận dạng rõ ràng các lớp mỏng và các chi tiết nhỏ.	Độ phân giải thấp làm mờ và mất đi các chi tiết quan trọng.
6	Sự suy giảm và hấp thụ năng lượng của trường sóng	Sóng địa chấn khi truyền qua môi trường địa chất bị suy giảm và hấp thụ năng lượng. Điều này làm giảm biên độ và thay đổi tần số của sóng địa chấn.		Có thể tác động tới biên độ thực của phản xạ địa chấn và gây ra biến dạng trong biên độ và tần số, ảnh hưởng đến phân tích thuộc tính.

Xử lý băng thông rộng (Broadband) – loại bỏ sóng ghost, ưu tiên xử lý độ phân giải cao.

Loại bỏ triệt để sóng phản xạ nhiều lần bằng các công nghệ tiên tiến như: 3D SWD (Shallow Water Demultiple), 3D SRME (Surface Related Multiple Elimination), 3D IME (Interbed Multiple Elimination).

Ưu tiên xây dựng mô hình vận tốc bất đẳng hướng. Tùy thuộc đối tượng nghiên cứu cụ thể mà xem xét xây dựng mô hình VTI (Vertical Transverse Isotropy), TTI (Tilted Transverse Isotropy).

Ưu tiên xây dựng mô hình vận tốc độ chính xác và phân giải cao (FWI & Depth Imaging).

2.3. Mối quan hệ thuộc tính địa chấn với đặc điểm thạch học, chất lưu

Đặc điểm trường sóng địa chấn thể hiện qua các thuộc tính địa chấn có mối liên quan và phản

ảnh các đặc tính vật lý của lớp đá và chất lưu như độ rỗng, độ thấm, và sự hiện diện của chất lưu liên quan. Ví dụ, các lớp cát kết dày và chứa dầu thường tạo ra các dị thường biên độ cao, trong khi các lớp sét hoặc nước có thể làm suy giảm biên độ. Chính những đặc điểm này của đối tượng địa chất được ghi nhận trong tài liệu địa chấn, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến các thuộc tính địa chấn được phân tích.

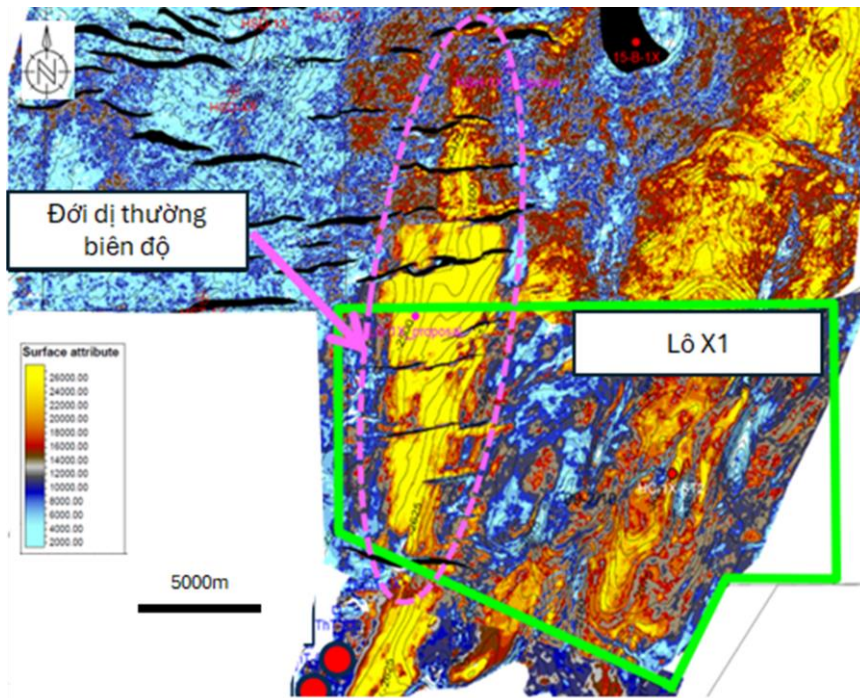
Mối liên kết này cho thấy rằng chỉ khi có một sự kết hợp chặt chẽ giữa việc thu thập dữ liệu chất lượng cao và hiểu rõ về bản chất địa chất, thạch học, và chất lưu, chúng ta mới có thể tối ưu hóa quá trình phân tích và minh giải các thuộc tính địa chấn. Điều này không chỉ cải thiện độ tin cậy của kết quả mà còn hỗ trợ tối ưu hóa công tác thăm dò và khai thác tài nguyên dầu khí.

Các yếu tố địa chất, thạch học và chất lưu có vai trò quan trọng trong việc xác định các thuộc tính địa chấn. Việc hiểu rõ mối quan hệ những yếu tố này với dữ liệu địa chấn giúp cải thiện quá trình trích xuất và minh giải thuộc tính địa chấn, từ đó đưa ra những quyết định chính xác trong công tác

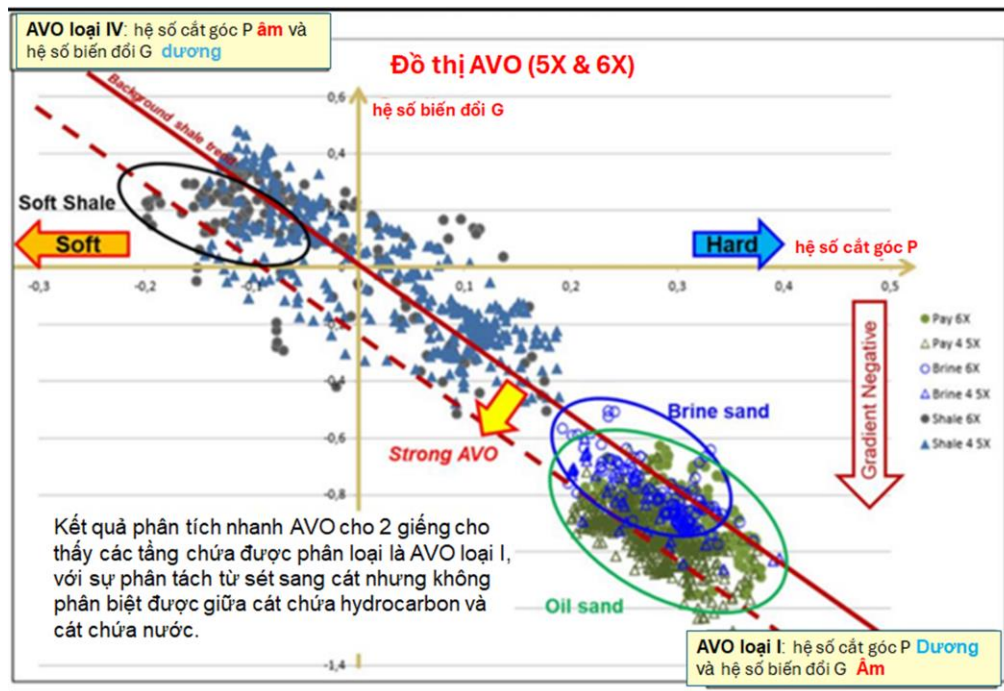
tìm kiếm thăm dò và khai thác dầu khí. Các yếu tố này ảnh hưởng đến các loại thuộc tính địa chấn, chi tiết như Bảng 2 (Chopra và Marfurt, 2007; Castagna & Backus, 1993; Simm và Bacon, 2014; Mai và nnk., 2022; PVEP, 2024).

Bảng 2. Các yếu tố về thạch học, chất lưu và các yếu tố khác.

STT	Yếu tố ảnh hưởng	Miêu tả	Mối quan hệ với tài liệu địa chấn	
			Tích cực	Hạn chế
1	Cấu trúc địa chất	Bao gồm các yếu tố như các lớp địa chất, đứt gãy, nếp uốn và các đặc điểm cấu trúc khác ảnh hưởng đến độ liên tục và hình dạng sóng. Các thuộc tính hình học như variance, coherence, curvature đặc biệt nhạy cảm với các đặc điểm này	Với cấu trúc rõ ràng và liên tục, có thể xác định các lớp đá và ranh giới địa chất, nếp uốn, bất chỉnh hợp dễ dàng hơn, phân tích thuộc tính chính xác hơn, đặc biệt là các thuộc tính hình học.	Các đứt gãy, nứt nẻ và nếp gấp phức tạp có thể gây ra nhiễu, mất tính liên tục, hạn chế độ phân giải và biến dạng trong dữ liệu địa chấn, làm ảnh hưởng tới tần số, biên độ, hình học, giảm độ tin cậy của các thuộc tính.
2	Thạch học	Thành phần thạch học, kích thước hạt, và kết cấu của đá có các đặc tính vật lý khác nhau ảnh hưởng đến sóng địa chấn, đặc biệt là vận tốc truyền sóng, hệ số phản xạ giữa các lớp, ảnh hưởng trực tiếp tới biên độ, tần số sóng phản xạ, cũng như AVO, Inversion	Các loại đá có sự phân bố hạt đồng đều và cấu trúc nhất quán có phản xạ địa chấn ổn định, giúp phân tích chính xác các thuộc tính biên độ, tần số sóng phản xạ, cũng như AVO, Inversion.	Các loại đá không đồng nhất hoặc có cấu trúc phức tạp có thể gây ra sự biến đổi trong các thuộc tính địa chấn. Các loại đá có tính chất phản xạ hoặc truyền sóng tương đồng sẽ có phản xạ địa chấn tương đồng, và khó phân loại.
3	Chất lưu	Sự hiện diện của các loại chất lưu trong các lỗ rỗng của đá, như nước, dầu, và khí ảnh hưởng đáng kể đến trở kháng âm học, tần số, biên độ, AVO, Inversion. Đá chứa dầu khí thường có biên độ cao hơn so với đá chứa nước	Sự thay đổi rõ ràng giữa các loại chất lưu có thể tạo ra sự khác biệt biên độ, giúp phân biệt các vùng chứa dầu, khí và nước. Đá chứa khí ảnh hưởng mạnh mẽ theo góc phải xạ, hỗ trợ phân tích AVO tốt hơn.	Dầu và nước có thể có trở kháng tương tự nhau, gây khó khăn trong phân tích thuộc tính liên quan tới biên độ, AVO. Sự pha trộn hoặc thay đổi không rõ ràng của chất lưu có thể gây suy giảm năng lượng, gián đoạn phản xạ địa chấn, tăng rủi ro trong phân tích các thuộc tính.
4	Độ rỗng	Độ rỗng là tỷ lệ không gian lỗ rỗng trong đá so với tổng thể tích có thể làm thay đổi biên độ, tần số, pha của sóng địa chấn, thường liên quan đến khả năng chứa chất lưu.	Độ rỗng cao thường làm giảm trở kháng, thay đổi biên độ phản xạ, giúp xác định các vùng chứa tiềm năng với khả năng lưu giữ chất lưu tốt hơn.	Độ rỗng không đồng đều có thể dẫn đến sự biến đổi phức tạp trong các thuộc tính, gây khó khăn cho việc phân tích
5	Độ bão hòa chất lưu	Độ bão hòa chất lưu là tỷ lệ phần trăm của không gian lỗ rỗng trong đá được lấp đầy bởi một loại chất lưu cụ thể, như nước, dầu, hoặc khí, có thể làm thay đổi biên độ, tần số, pha của sóng địa chấn.	Độ bão hòa rõ ràng giữa các loại chất lưu khác nhau tạo ra các phản xạ địa chấn đặc trưng có thể giúp phân biệt các vùng chứa dầu, khí và nước. Độ bão hòa khí tạo hiệu ứng AVO mạnh	Sự phân bố không đồng đều của độ bão hòa chất lưu có thể làm phức tạp việc phân tích và giảm độ tin cậy của các thuộc tính.
6	Áp suất và nhiệt độ	Áp suất và nhiệt độ ảnh hưởng đến đặc tính vật lý của đá và chất lưu, từ đó ảnh hưởng đến phản xạ địa chấn, tốc độ truyền sóng, biên độ, tần số, pha, AVO, Inversion. Biên độ giảm trong vùng áp suất thấp, nhiệt độ cao	Áp suất và nhiệt độ ổn định giúp duy trì các đặc tính địa chất ổn định, cải thiện độ tin cậy của phân tích.	Sự biến đổi áp suất và nhiệt độ có thể làm thay đổi đặc tính của đá và chất lưu, gây nhiễu hoặc suy giảm tín hiệu gây khó khăn trong phân tích thuộc tính. Áp suất cao có thể làm thay đổi đặc điểm biên độ theo khoảng cách, ảnh hưởng tới phân loại chất lưu.
7	Kiến tạo	Các quá trình kiến tạo như tách giãn, nén ép, và các lực kiến tạo khác có thể làm thay đổi cấu trúc, ảnh hưởng đến các thông số đàn hồi của đá, dẫn đến thay đổi trong các thuộc tính như AVO và Inversion	Kiến tạo có thể tạo ra các bẫy dầu và khí, tăng khả năng tích tụ tài nguyên dầu khí.	Hoạt động kiến tạo phức tạp tạo ra các cấu trúc phức tạp, và làm kết quả địa chấn thu được có thể phức tạp, việc phân tích các thuộc tính khó khăn hơn.
8	Tính bất đẳng hướng	Tính bất đẳng hướng liên quan tới sự khác biệt trong tính chất vật lý của đá theo các hướng khác nhau do sự sắp xếp không đồng nhất của các khoáng vật hoặc các lớp mỏng xen kẽ, tạo ra sự thay đổi về vận tốc và tính chất đàn hồi theo các hướng khác nhau, ảnh hưởng tới sự khuếch tán, mất năng lượng của sóng địa chấn khi thu nổ, ảnh hưởng tới vận tốc, biên độ, tần số, biến đổi biên độ theo khoảng cách, thay đổi trở kháng đàn hồi (EI), Vp/Vs ảnh hưởng tới Inversion theo các hướng	Hiểu rõ tính bất đẳng hướng, xây dựng các mô hình vận tốc bất đẳng hướng như VTI, HTI có thể giúp cải thiện độ chính xác của phân tích AVO và Inversion, từ đó cung cấp thông tin chi tiết hơn về đặc tính của các lớp đất đá.	Có thể gây nhiễu, mất tính liên tục trong thuộc tính hình học, làm thay đổi sự biến đổi biên độ theo khoảng cách, làm sai lệch các dấu hiệu chất lưu. Nếu không được xem xét phù hợp, tính bất đẳng hướng có thể gây ra sai lệch trong nghiên cứu thuộc tính địa chấn, làm giảm độ tin cậy của kết quả phân tích



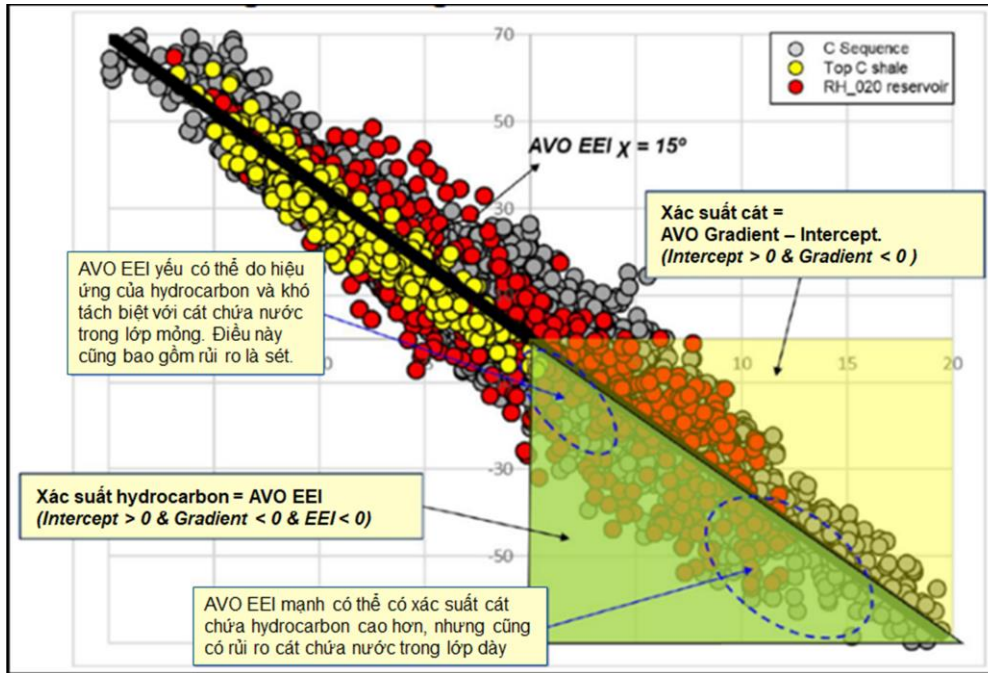
Hình 5. Dị thường biên độ trong Oligocen C.



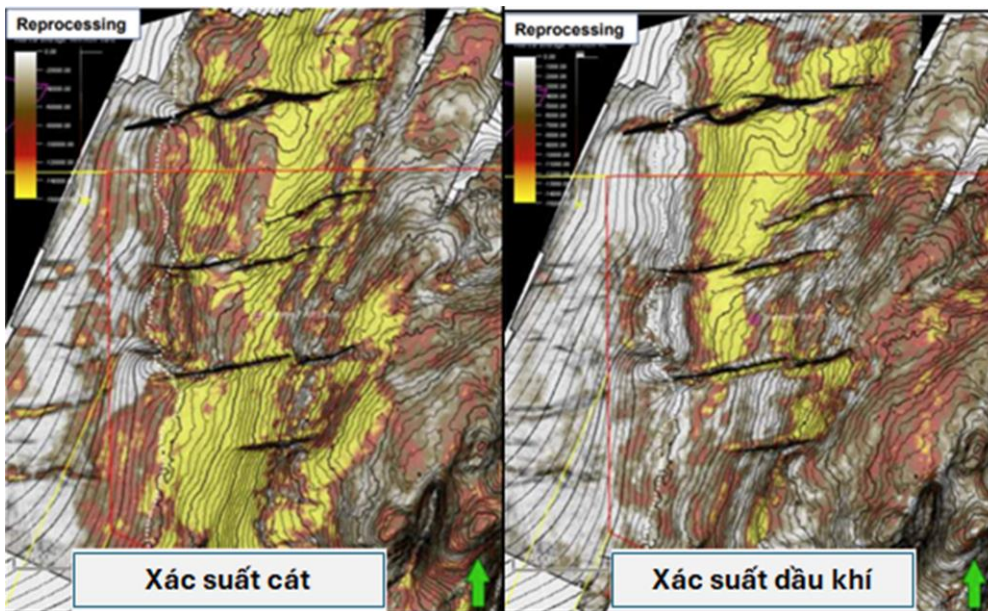
Hình 6. AVO crossplot của các giếng khoan liên kết.

rõ cát kết và thậm chí cả sét, đồng thời thành phần cát chứa nước (bright sand) và cát chứa dầu (oil sand) bị chồng lấn lên nhau, không thể phân tách rõ ràng. Phân tích địa chấn AVO được thực hiện dựa trên tài liệu địa chấn (Hình 7) cho thấy có thể

phân tách từ sét đến cát, nhưng không thể phân tách giữa cát chứa dầu khí và cát chứa nước. Xác suất chứa cát kết được xác định bằng hệ số cắt góc $P > 0$ và hệ số biến đổi $G < 0$, trong khi xác suất chứa dầu khí được xác định bằng $P > 0$ với AVO có trở



Hình 7. AVO crossplot trên tài liệu địa chấn.



Hình 8. Bản đồ xác suất vỉa cát và chứa dầu khí.

kháng đàn hồi mở rộng (Expanse Elastic Impedance/EEI) < 0. Trong khoảng xác suất chứa cát, EEI yếu có thể hạn chế hiệu ứng chứa dầu khí ở lớp mỏng, đồng thời vẫn có rủi ro chứa sét. EEI mạnh có thể hỗ trợ khả năng xác định cát chứa dầu khí cao hơn nhưng vẫn có rủi ro là cát chứa nước ở lớp dày hơn.

Dựa trên đánh giá từ phân tích vật lý đá và nghiên cứu thuộc tính AVO, bản đồ khả năng là vỉa cát và chứa dầu khí đã được xây dựng (Hình 8). Trên cơ sở phân tích phổ (Spectral Decomposition Analysis/ SDA), các dị thường xác suất chứa cát (dị thường màu vàng) phân bố rộng rãi cho thấy khả năng tồn tại cát kết trong khu vực triển vọng. Các dị thường xác suất chứa dầu khí trên tầng RH-20

(dị thường màu vàng) xuất hiện cùng vị trí các dị thường xác suất chứa cát, tuy nhiên các dị thường không phù hợp rõ ràng với cấu trúc độ sâu, có tồn tại các rủi ro về xác suất chứa dầu khí.

Như vậy, phân tích địa chấn AVO khi không có tài liệu giếng khoan liên kết trực tiếp có nhiều rủi ro:

- Khó xác định thành phần thạch học: không thể xác định chắc chắn các dị thường biên độ cao là do cát chứa dầu khí hay do sét với AVO loại 1, khi cát và sét có thể có các đặc điểm vật lý tương tự nhau về mặt độ phản xạ âm. Việc phân biệt cát/sét chỉ dựa vào AVO là không chắc chắn.

- Khó xác định thành phần chất lưu: việc phân tích AVO đánh giá khả năng thành phần chất lưu phụ thuộc nhiều vào dữ liệu tham khảo từ giếng khoan. Với kết quả AVO không phân tách được cát chứa dầu hay chứa nước, thiếu dữ liệu từ giếng khoan khiến cho kết quả phân tích còn rủi ro.

Trong trầm tích Oligocen C, thành phần thạch học gồm các lớp cát xen lẫn sét mỏng với độ dày dưới độ phân giải địa chấn nên khó phân biệt thạch học chứa chất lưu bằng phương pháp AVO. Khi mức độ tài liệu hạn chế, không có thông tin liên kết từ giếng khoan qua đối tượng cần khảo sát, các kết quả nghiên cứu thuộc tính địa chấn mang tính định tính không thể kiểm chứng được dải dị thường là chứa nước hay chứa dầu, thậm chí còn rủi ro giữa dị thường của cát hoặc sét.

3.2. Dự án Lô X2 – Bể Malay-Thổ Chu

Lô X2 nằm ở trung tâm bể Malay - Thổ Chu, trong vùng có độ sâu nước biển 55 m, với đối tượng nghiên cứu là cát kết xen kẹp từ tuổi Oligocen muộn - Miocene giữa, dạng kênh rạch lắng đọng môi trường sông ngòi, châu thổ đến ven biển, dạng bẫy cấu trúc, địa tầng, hoặc hỗn hợp, liên quan tới các lòng sông. Tại khu vực này có đầy đủ tài liệu giếng khoan, với số lượng lớn các giếng tìm kiếm thăm dò (TKTD) và phát triển khai thác (PTKT), tài liệu địa chấn 3D thu nổ năm 2017 với

chiều dài cáp lớn (12x8,1 km, 648 mạch) và độ phủ bội cao (fold 108), tài liệu được tái xử lý năm 2022 áp dụng các phương pháp xử lý nâng cao như băng thông rộng (broadband), xây dựng mô hình vận tốc bất đẳng hướng (anisotropy), xử lý nghịch đảo sóng toàn phần (Full Waveform Inversion - FWI) giúp tăng tỷ số tín hiệu/nhiều, tăng độ phân giải địa chấn cả theo chiều thẳng đứng và chiều ngang, phục hồi biên độ ảnh hưởng bởi đới khí nông, tăng độ liên tục của tín hiệu phản xạ, giảm ảnh hưởng của đứt gãy với chất lượng hình ảnh được cải thiện (DUG, 2017, 2021a, 2021b).

Với chất lượng tài liệu địa chấn tốt, số lượng tài liệu giếng khoan đầy đủ cho phép tiến hành nghiên cứu thuộc tính địa chấn nâng cao gồm nghiên cứu thuộc tính biên độ, đặc biệt là nghiên cứu “Biến đổi biên độ theo khoảng cách” (AVO) và “Biến đổi ngược địa chấn” (Inversion) để dự báo sự có mặt, và diện phân bố của thân cát chứa dầu khí, xác định đặc điểm vỉa chứa dầu khí (chất lượng đá chứa và chất lưu) (Hisbicus, 2022a, 2022b, 2023).

Phân tích AVO được thực hiện, kết hợp giữa tài liệu giếng khoan và địa chấn 3D, kết hợp với các kết quả minh giải khác như độ rỗng (PHIE), độ bão hòa nước (SW) để xây dựng mô hình với các hệ số cắt góc P (Intercep) và hệ số biến đổi G (Gradient), đối chiếu và hiệu chỉnh với mô hình “P- S” được tính toán từ tài liệu địa chấn từ đó xây dựng biểu đồ tương quan giữa giá trị P và S làm cơ sở phân loại AVO và dự đoán tính chất thạch học/chất lưu. Tính dị thường AVO trên tài liệu sau cộng (poststack) theo các tập hợp điểm giữa chung (CMP) có khoảng cách (offset) xa và gần theo mặt ranh giới giúp khoanh định phạm vi vỉa sản phẩm. Bộ các dấu hiệu AVO tương ứng với thành phần thạch học/chất lưu, được gán mã màu đã được xây dựng để nhận biết tương thạch học – chất lưu (Hình 9), trong đó:

#	Litho-fluid facies	Biên độ cộng góc (tương đối)		Chỉ số RML		Gathers	
		Near Angle Stack	Far Angle Stack	Near	Far	Intercept	Gradient
1	Cát chứa khí	Âm sáng	Âm rất sáng	-3	-4	Âm mạnh	Âm (tăng dần)
2	Cát chứa dầu	Âm tối	Âm rất sáng	-1	-3/-4	Âm	Âm (tăng dần)
3	Cát chứa nước	Âm tối	Âm sáng	-1	-3	Âm	Âm (tăng dần)
4	Sét giàu carbon	Âm rất sáng	Âm rất sáng	-4	-3/-4	Âm rất mạnh	Dương nhẹ/bằng
5	Sét ngoài bờ	Âm tối	Âm tối	-1	-1	Âm	Bằng
6	Than	Âm sáng	Âm tối	-3	-1	Âm mạnh	Dương (giảm dần)

Hình 9. Bộ dấu hiệu AVO để nhận biết tương thạch học – chất lưu.

Vĩa cát chứa khí: có dị thường biên độ âm sáng (bright) trên tài liệu Near (mức -3) và rất sáng (very bright) trên tài liệu Far (mức -4); trên tài liệu gather thì sẽ có giá trị hệ số cắt góc âm mạnh còn giá trị hệ số biến đổi âm tăng dần.

Vĩa cát chứa dầu: có dị thường biên độ âm mờ (dim) trên tài liệu Near (mức -1) và rất sáng (very bright) trên tài liệu Far (mức -3/-4); trên tài liệu gather thì sẽ có giá trị hệ số cắt góc âm còn giá trị hệ số biến đổi G âm tăng dần.

Vĩa cát chứa nước: có dị thường biên độ âm mờ (dim) trên tài liệu Near (mức -1) và sáng (bright) trên tài liệu Far (mức -3); trên tài liệu gather thì có dấu hiệu tương tự như cát chứa dầu tức là giá trị hệ số cắt góc âm còn giá trị hệ số biến đổi G âm tăng dần.

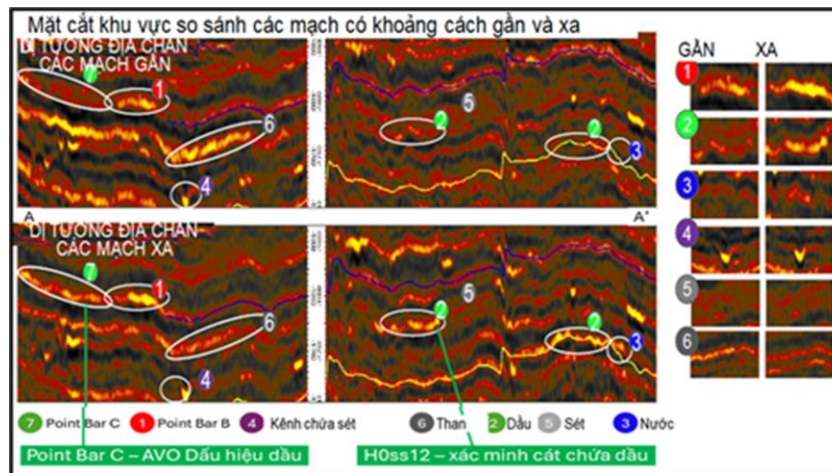
Kênh chứa sét giàu vật chất hữu cơ: có dị thường biên độ âm rất sáng (very bright) trên tài liệu Near (mức -4) và rất sáng (very bright) trên tài liệu Far (mức -3/-4); trên tài liệu gather thì sẽ

có giá trị hệ số cắt góc âm rất mạnh còn giá trị hệ số biến đổi dương yếu/trung bình.

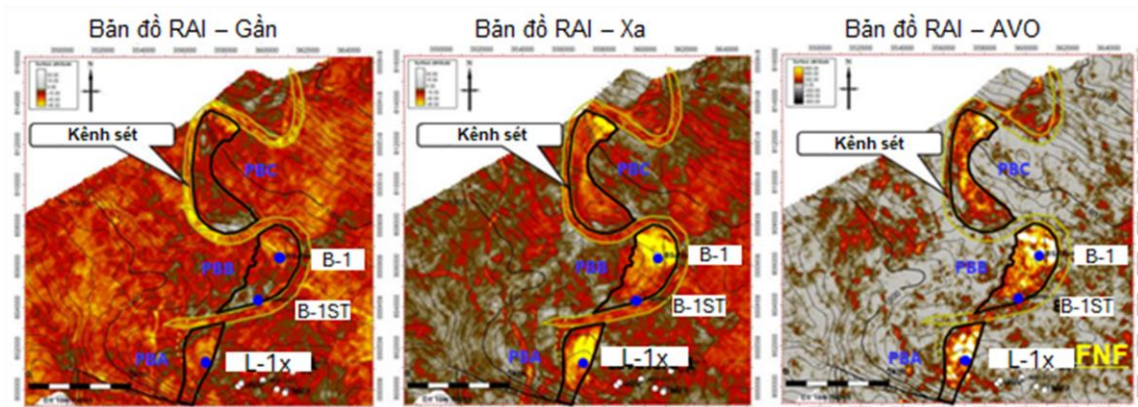
Sét chắn: có dị thường biên độ âm mờ (dim) trên tài liệu Near và Far (cùng ở mức -1); trên tài liệu gather thì sẽ có giá trị hệ số cắt góc âm, còn giá trị hệ số biến đổi G không đổi (bằng 0).

Vĩa than: có dị thường biên độ âm sáng (bright) trên tài liệu Near (mức -3) và mờ (dim) trên tài liệu Far (mức -1); trên tài liệu gather thì sẽ có giá trị hệ số cắt góc âm mạnh còn giá trị hệ số biến đổi G dương tăng dần.

Việc áp dụng phương pháp nghiên cứu AVO tại khu vực nghiên cứu, áp dụng bộ dấu hiệu AVO như Hình 10, với sự thay đổi về dị thường biên độ giữa tài liệu Near và Far đã xác định được các khu vực cát chứa khí, cái chứa dầu, cát chứa nước, kênh chứa sét, hay khu vực than (Hình 10). Trên Hình 11, bản đồ dị thường biên độ Relative Amplitude Impedance (RAI) thể hiện phạm vi thân cát có giá trị dị thường âm RAI tăng dần từ



Hình 10. Phân tích AVO dựa trên bộ dấu hiệu AVO để nhận biết tướng thạch học.



Hình 11. Kết quả nghiên cứu AVO xác định phân bố 03 thân cát Point bar A, Point Bar B và Point bar C.

âm mờ “dim” hoặc âm sáng “bright” trên tài liệu Near đến rất sáng trên tài liệu Far, có biểu hiện dị thường AVO Loại III, phù hợp với kết quả các giếng đã khoan, đã khoan định được các cấu tạo triển vọng chứa dầu khí với đối tượng là vỉa chứa dạng doi cát lòng sông (point bar) được lắng đọng trong hệ thống kênh uốn lượn (meandering channel) gồm 03 thân cát chính lần lượt là A, B và C, được đánh dấu PBA, PBB, PBX.

Kết quả phân tích Inversion cho thấy phạm vi thân cát tương ứng với phần dị thường cao (bright colours) của Total Sand Probability và Absolute V_p/V_s , phù hợp với sự hiện diện của thân cát chứa dầu khí bắt gặp tại giếng khoan. Vị trí mờ ở dị thường vận tốc tuyệt đối V_p/V_s thể hiện rõ sự tách biệt phần cát và sét phù hợp với vị trí giếng khoan (Hình 12). Thành công tại giếng khoan giếng khoan L1 cho cấu tạo trên đã khẳng định hiệu quả của phương pháp phân tích, khẳng định tiềm năng dầu khí của đối tượng doi cát lòng sông (Point Bar) ở khu vực nghiên cứu, góp phần gia tăng tài nguyên dầu khí của lô.

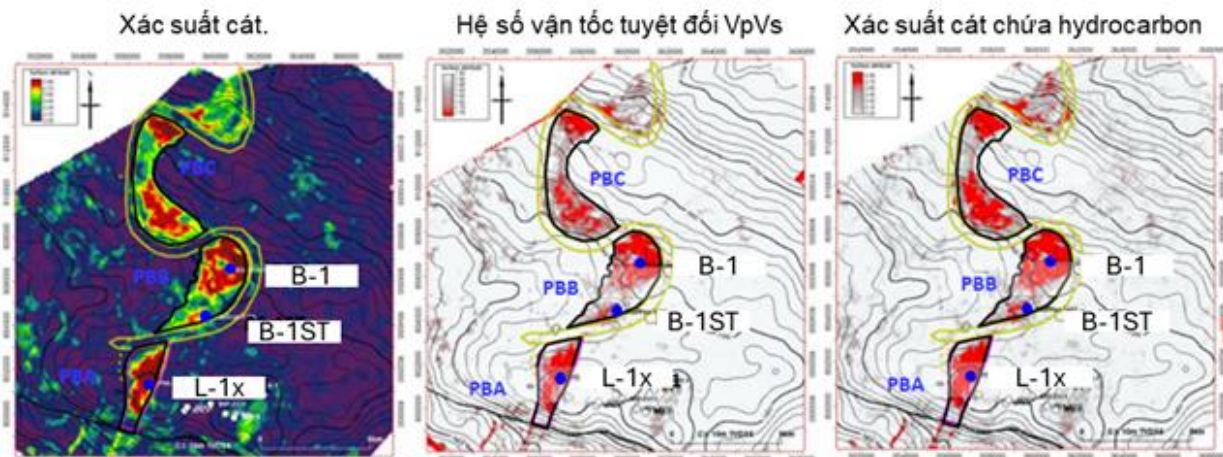
Đối tượng nghiên cứu là các thân cát dạng kênh dẫn (channel), doi cát lòng sông (point bar) thuộc tập F, G, H, I tuổi Miocen lắng đọng trong môi trường sông ngòi kênh rạch, có độ sâu không lớn, thành phần đất đá có độ gắn kết thấp hơn, trong môi trường địa chất ổn định nên dễ phân biệt được giữa vỉa cát chứa dầu khí và chứa nước, cũng như phân biệt được giữa vỉa cát và sét.

Tài liệu địa chấn trong lô chất lượng tốt, được xử lý với công nghệ cao như băng thông rộng (broadband), xây dựng mô hình bất đẳng hướng (anisotropy), nghịch đảo sóng toàn phần (FWI),...

cùng tài liệu giếng khoan đầy đủ, áp dụng chu trình phân tích AVO phù hợp, nghiên cứu đưa ra bộ quy chuẩn về dấu hiệu AVO (mức độ tương ứng với độ sáng và tối của biên độ trên tài liệu Angle/Offset) thuận tiện để nhận biết tướng thạch học – chất lưu, cho kết quả tốt, phù hợp với kết quả giếng khoan, có thể áp dụng ở các dự án tương tự khác.

4. Kết luận

Nghiên cứu các thuộc tính địa chấn đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp thông tin chi tiết về bản chất các đối tượng nghiên cứu trong suốt các giai đoạn tìm kiếm, thăm dò, và khai thác dầu khí. Qua quá trình nghiên cứu cho thấy ngoài bản chất địa chất về thạch học và chất lưu, chất lượng tài liệu địa chấn và giếng khoan đóng vai trò quan trọng ảnh hưởng đến độ tin cậy của kết quả phân tích thuộc tính. Tại lô X2, đối tượng nghiên cứu với các cấu trúc là các thân cát dạng kênh dẫn và doi cát, lắng đọng trong môi trường sông ngòi, kênh rạch, có độ sâu không lớn, thành phần đất đá có độ gắn kết thấp, môi trường trầm tích ổn định, thành phần chất lưu (dầu, khí, nước) rõ ràng, tạo ra sự phản xạ khác biệt trong phản xạ địa chấn. Thêm vào đó, khi có giếng khoan và tài liệu địa chấn có chất lượng cao đã cho phép làm rõ đặc điểm tầng chứa, hỗ trợ hiệu quả cho công tác thăm dò và phát triển khai thác. Ở lô X1, với thành phần thạch học gồm các lớp cát xen lẫn sét mỏng, với độ dày dưới độ phân giải, cùng với việc thiếu thông tin giếng khoan liên kết, nên có rủi ro cao trong việc dự báo kết quả nghiên cứu thuộc tính, đòi hỏi sự thận trọng trong đánh giá và kết luận.



Hình 12. Kết quả phân tích Inversion & dự đoán thạch học/chất lưu.

Đối với đối tượng cát kết, tại những khu vực có môi trường địa chất ổn định, thành phần thạch học đồng nhất, độ rỗng cao, và có đủ tài liệu địa chấn 3D và giếng khoan liên kết các kết quả nghiên cứu thuộc tính biên độ có thể xác định tốt hơn sự tồn tại và phân bố của các thân cát, các kết quả nghiên cứu “Biến đổi biên độ theo khoảng cách” (AVO) và “Biến đổi ngược địa chấn” (Inversion) có khả năng dự báo thành phần thạch học và chất lưu của vỉa chứa.

Trên cơ sở các kết quả đạt được trong các dự án, cho phép rút ra một số nhận xét về khả năng áp dụng các phương pháp nghiên cứu thuộc tính địa chấn như sau:

Với các yếu tố tự nhiên như thạch học, chất lưu và các yếu tố địa chất khác ảnh hưởng trực tiếp tới phản xạ địa chấn. Hiểu rõ mối quan hệ của các yếu tố này, giúp chúng ta hiểu tốt hơn về các dị thường trong phân tích thuộc tính địa chấn, giúp cải thiện đánh giá độ tin cậy cũng như rủi ro của thuộc tính địa chấn.

Trong khu vực chưa có giếng khoan liên kết: có thể áp dụng các phương pháp nghiên cứu thuộc tính địa chấn như biên độ, tần số, hình học để xác định sự có mặt và diện phân bố của các thân cát, các hệ thống đứt gãy, và hình thái cấu trúc.

Khu vực có các giếng khoan liên kết và tài liệu chất lượng tốt, ngoài các thuộc tính biên độ, tần số, hình học, có thể tiến hành nghiên cứu AVO và Inversion để dự báo thành phần thạch học, chất lưu, cũng như thông tin về tầng chứa.

Khu vực có nhiều giếng khoan liên kết và tài liệu chất lượng tốt, thường trong giai đoạn phát triển, nên tiến hành nghiên cứu AVO và Inversion để nghiên cứu chi tiết các đặc điểm của tầng chứa như tướng thạch học, mật độ, độ rỗng và chất lưu, tối ưu kế hoạch khai thác.

Để các nghiên cứu về biên độ, hình học, hay AVO, Inversion có độ tin cậy cao, cần đặc biệt chú ý tới chất lượng tài liệu địa chấn. Để chất lượng tài liệu địa chấn được đảm bảo, cần lưu ý các phương pháp xử lý nâng cao, áp dụng công nghệ xử lý mới như bảo toàn biên độ (Q-Imaging), xử lý băng thông rộng (Broadband), xây dựng mô hình bất đẳng hướng (Anisotropy), xử lý nghịch đảo sóng toàn phần (FWI),...

Tóm lại, nghiên cứu thuộc tính địa chấn không chỉ mang lại thông tin chi tiết về cấu trúc địa chất mà còn cung cấp những hiểu biết sâu sắc về bản chất tầng chứa, chất lưu. Qua đó, đóng vai trò

quan trọng vào quá trình tìm kiếm và khai thác dầu khí, đồng thời mở ra những hướng phát triển mới cho các dự án tương lai.

Lời cảm ơn

Bài báo được thực hiện trên cơ sở kết quả nhiệm vụ nghiên cứu khoa học của Tổng công ty Thăm dò khai thác Dầu khí (PVEP) trong đề tài “Tổng hợp và đánh giá kết quả nghiên cứu thuộc tính địa chấn, bài học kinh nghiệm và khả năng áp dụng trong công tác tìm kiếm thăm dò và khai thác dầu khí của PVEP” từ các nguồn dữ liệu hiện có, các báo cáo nội bộ và tài liệu tham khảo. Xin được cảm ơn Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí (PVEP) đã cho phép, hỗ trợ nghiên cứu, Ban Thăm dò PVEP, các thành viên đề tài, các chuyên gia và phản biện đã hỗ trợ, tham gia, góp ý, chia sẻ kinh nghiệm thực hiện đề tài.

Đóng góp của các tác giả

Nguyễn Xuân Phong, Nguyễn Dương Trung - lên ý tưởng và kế hoạch; Mai Thanh Hà, Trần Minh Giáp, Đỗ Văn Thanh, Phạm Thị Thủy - lên bản thảo, và thực hiện tổng thể bài báo; Phạm Tuấn Anh - thực hiện phần thuộc tính địa chấn; Đỗ Anh Tuấn, Phạm Tất Thắng, Lê Thị Thu Quyên, Nguyễn Thị Trà Giang, Lê Đức Công - thực hiện các phần kết quả nghiên cứu của các dự án.

Tài liệu tham khảo

- Chopra, S., & Marfurt, K. J. (2007) *Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization* (Geophysical Developments Series No. 11). Society of Exploration Geophysicists.
- Castagna, J. P., & Backus, M. M. (1993). *Offset-dependent Reflectivity—Theory and Practice of AVO Analysis*. Society of Exploration Geophysicists.
- DUG. (2017). *3D Marine Seismic Processing, Pakma, Malaysia Processing Report*.
- DUG. (2021a). *3D Marine Seismic Processing and Processing, Block X2 – Processing Report*.
- DUG. (2021b). *Pre-Stack Merge and AVA Scaling, Block X2 – Processing Report*.
- Hisbicus. (2022a). *PM3CAA Exploration Workshop*.

- Hisbicus. (2022b). *FDP Revision 4 Addendum Update* 36.
- Hisbicus. (2023). *L1 Exploration Well - Preliminary Well Result Report*.
- Idemitsu. (2020). *Geological and geophysical evaluation report for Block X1. Cuu Long Basin, Offshore Vietnam*.
- Mai Thanh Tân (chủ biên) và nnk. (2022). *Minh giải địa chấn trong Thăm dò và Khai thác Dầu khí*, Nhà xuất bản Khoa học & Kỹ thuật.
- Sheriff, R. E. (Ed.). (1992). *Reservoir geophysics* (Investigations in Geophysics No. 7). Society of Exploration Geophysicists.
- Simm, R., & Bacon, M. (2014). *Seismic amplitude: An interpreter's handbook*. Cambridge University Press.
- Tổng Công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí – PVEP (2024). *Tổng hợp và đánh giá kết quả nghiên cứu thuộc tính địa chấn, bài học kinh nghiệm và khả năng áp dụng trong công tác tìm kiếm thăm dò và khai thác dầu khí của PVEP*.
- Tổng Công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí – PVEP-ITC. (2016). *Seismic Attribute Study for LG Stratigraphic Trend*.
- Yilmaz, O. (1987). *Seismic data processing*. Society of Exploration Geophysicists.
- WesternGeco. (2020). *Final Processing Report for Block X1, Cuu Long Basin, Offshore Vietnam*.