

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC MỎ - ĐỊA CHẤT

NGUYỄN TRUNG DŨNG

**ĐẶC TÍNH TẦNG CHỨA ĐÁ CACBONAT TUỔI
MIOXEN GIỮA MỎ CX**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội – 2024

Công trình được hoàn thành tại **Bộ môn Địa vật lý, Khoa Dầu khí và Năng lượng, Trường Đại học Mở - Địa chất**

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS. TS Phan Thiên Hương
Trường Đại học Mở - Địa chất

2. TS Cù Minh Hoàng
Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí

Phản biện 1: **PGS.TS Nguyễn Văn Phơn**
Hội khoa học kỹ thuật Địa Vật Lý

Phản biện 2: **PGS.TS Hoàng Văn Long**
Tổng hội Địa chất Việt Nam

Phản biện 3: **TS Hà Quang Mẫn**
Tổng công ty Thăm dò Khai thác Dầu khí

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Trường họp tại Trường Đại học Mở - Địa chất vào hồi ...giờ, ngày ... tháng ... năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- **Thư viện Quốc gia**
- **Thư viện Trường Đại học Mở - Địa chất**

MỞ ĐẦU

Đá chứa cacbonat đóng vai trò quan trọng trong việc thăm dò và khai thác dầu khí với khoảng 60% trữ lượng dầu khí trên thế giới nằm trong loại đá chứa này. Tại Việt Nam, mặc dù phát hiện dầu khí trong đá chứa cacbonat còn hạn chế, nhưng đã có những phát hiện quan trọng như mỏ khí Hàm Rồng, Cá Voi Xanh, Đại Hùng, Phong Lan Đại, Lan Tây, Lan Đỏ, Sao Vàng Đại Nguyệt, Thiên Ứng, Cá Mập Trắng. Các nghiên cứu về đặc điểm của đá cacbonat nhằm tối ưu hóa việc đánh giá tài nguyên dầu khí tại chỗ, xây dựng mô hình địa chất và khai thác mỏ đang đặt ra nhiều thách thức.

Do sự phức tạp của loại thạch học, độ rỗng, và các yếu tố khác, việc mô tả mối liên hệ trong mô hình tính toán vật lý thạch học của đá cacbonat là mối quan tâm đặc biệt của các công ty dầu mỏ. Nghiên cứu cho thấy việc sử dụng các kỹ thuật học máy giúp mô tả đặc tính tầng chứa với độ tin cậy cao hơn so với phương pháp truyền thống.

Mỏ CX nằm ở phía Nam bể Sông Hồng, trên đới nâng Tri Tôn với đá chứa cacbonat tuổi Mioxen giữa, đang đối mặt với những thách thức về tính không đồng nhất cao của đá chứa cacbonat. Chính vì vậy, việc nghiên cứu để làm sáng tỏ các thông số vật lý thạch học của đá cacbonat mỏ CX, sử dụng tối đa tài liệu phân tích mẫu lõi và tài liệu ĐVLGK cùng những phương pháp tính toán hiện đại, trong đó có Học máy là thực sự cần thiết và có ý nghĩa.

1. Tổng quan về tình hình nghiên cứu trước đây và những vấn đề mới của đề tài nghiên cứu này đặt ra so với các nghiên cứu trước đây

1.1 Tình hình nghiên cứu ở nước ngoài

Vì tính quan trọng của đá chứa cacbonat và sự phức tạp của chúng, nghiên cứu về mô tả đặc tính tầng chứa cacbonat từ lâu rất được các nhà khoa học, các công ty dầu khí nước ngoài coi trọng. Các nghiên cứu của Archie (1952), Dunham (1962), Lucia (1987), G.V. Chilingarian (1992, 1996), Pittman (1971, 1992), Amaefule (1993) ... đều nhấn mạnh sự không đồng nhất của đá chứa cacbonat và sự cần thiết của việc phân loại chúng.

Các nghiên cứu được công bố trên các tạp chí dầu khí uy tín SPE, AAPG, ... tập trung vào việc đánh giá các rủi ro trong tính toán độ bão hòa nước và đề xuất các phương pháp thay cho sử dụng công

thức Archie, đề xuất các phương án khác nhau nhằm tăng tính chính xác trong dự báo độ thấm trong đá cacbonat.

Theo thời gian, sự tiến bộ trong khoa học kỹ thuật đã thúc đẩy việc áp dụng các công cụ tính toán mềm vào quá trình mô tả đặc tính tầng chứa đá cacbonat, sử dụng công nghệ thông minh để dự báo đặc tính tầng chứa.

1.2 Tình hình trong nước

Mặc dù còn hạn chế về số lượng phát hiện dầu khí trong đá chứa cacbonat tại các bể trầm tích ở Việt Nam, nhưng nhiều nghiên cứu đã tập trung vào phương pháp mô tả đặc tính tầng chứa của loại đá này. Những nghiên cứu này đã chỉ ra sự cần thiết của việc phân loại đá chứa cacbonat, đặc biệt là phân loại đá theo đơn vị dòng chảy thủy lực (HFU), cùng với dự báo nhóm đá chứa và độ thấm của đá. Tuy nhiên, hầu hết chỉ tập trung vào việc sử dụng phương pháp như hồi quy tuyến tính và mạng nơ-ron nhân tạo.

Với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, các phương pháp học máy ngày càng được chú ý và phát triển. Các thuật toán học máy không chỉ giúp phân chia nhóm dữ liệu, mà còn cung cấp dự báo đáng tin cậy hơn về các nhóm đá chứa. Ở khu vực mỏ CX, mặc dù đặc tính tầng chứa đá cacbonat tuổi Mioxen giữa đã được nghiên cứu, thể hiện một phần thông qua báo cáo trữ lượng của mỏ, tuy nhiên, cho tới nay, các nghiên cứu chuyên sâu chủ yếu tập trung vào nghiên cứu quá trình thành tạo và phát triển của hệ cacbonat Mioxen sớm, các nghiên cứu liên quan đến sinh tướng hay địa tầng phân tập của đá, ... Các nghiên cứu chuyên sâu liên quan đến phân nhóm đá chứa, xác định độ thấm, độ bão hòa nước của đá chứa lại chưa thật sự được lưu ý quan tâm đúng mức.

Do đó, trong khuôn khổ nghiên cứu, Tác giả sẽ đi theo hướng làm sáng tỏ các phương pháp giúp phân chia đá chứa cacbonat theo đơn vị dòng chảy, dự báo độ thấm của đá chứa sử dụng các phương pháp Học máy và áp dụng kết quả vào xác định độ bão hòa nước cho tầng đá chứa cacbonat tuổi Mioxen giữa mỏ CX, tập trung vào các giếng đã khoan trên mỏ.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Áp dụng phương pháp học máy phân chia và dự báo nhóm đơn vị dòng chảy, độ thấm và áp dụng kết quả vào dự báo độ bão hòa nước cho vỉa chứa đá cacbonat. Kết quả sẽ giúp nâng cao hiệu quả xây

dựng mô hình địa chất, cũng như mô hình khai thác, dự báo sản lượng khai thác và đánh giá trữ lượng của mỏ được chính xác hơn.

3. Các luận điểm bảo vệ

Luận điểm 1: Áp dụng học máy có ý nghĩa quan trọng trong quá trình mô tả đặc tính tầng chứa. Các phương pháp học máy không giám sát đã cho phép nâng cao hiệu quả và tối ưu phân chia 5 đơn vị dòng chảy trong tầng chứa cacbonat Mioxen giữa mỏ CX.

Luận điểm 2: Áp dụng các phương pháp học máy có giám sát kết hợp với kết quả xác định các đơn vị dòng chảy cho phép làm tăng độ chính xác dự báo độ thấm, độ bão hòa nước và quy luật biến đổi của chúng trong tầng chứa cacbonat Mioxen giữa mỏ CX. Độ thấm thay đổi trong phạm vi rộng từ dưới 1 mD cho đến hơn 2.000 mD; độ bão hòa nước (Sw) biến đổi giảm dần theo chiều cao cột khí đến dưới 6% phụ thuộc vào các đơn vị dòng chảy.

4. Những điểm mới của luận án

- Đá chứa cacbonat có tính bất đồng nhất cao, các nghiên cứu chuyên sâu liên quan đến mô tả đặc tính tầng chứa cho đối tượng này ở Việt Nam nói chung, ở khu vực đới nâng Tri Tôn nói riêng hiện nay vẫn còn hạn chế. Đối với mỏ CX, đây là nghiên cứu đầu tiên chuyên sâu về mô tả đặc tính tầng chứa tại mỏ.
- Việc áp dụng Học máy vào nghiên cứu đặc tính tầng chứa tại Việt Nam còn khá mới mẻ, luận án đã xây dựng nên chu trình xuyên suốt để cải thiện kết quả mô tả đặc tính tầng chứa đá cacbonat thông qua các công cụ Học máy:
 - ✓ Phân loại đá chứa cacbonat theo đơn vị dòng chảy bằng các phương pháp học máy có giám sát, trong đó có cơ sở biện luận việc lựa chọn phương pháp và số lượng nhóm đơn vị dòng chảy tối ưu;
 - ✓ Đưa ra chu trình tối ưu dự báo nhóm đơn vị dòng chảy/độ thấm dựa trên tài liệu ĐVLGK và tài liệu phân tích mẫu lõi sử dụng các phương pháp học máy có giám sát;
 - ✓ Áp dụng các kết quả phân loại đá chứa, dự báo nhóm ĐVDC/độ thấm vào xây dựng mô hình dự báo độ bão hòa nước bằng phương pháp tính độ bão hòa nước theo chiều cao xây dựng cho từng đơn vị dòng chảy, giúp giảm thiểu sai số do ảnh hưởng của các tham số Archie lên kết quả tính toán.

5. Cơ sở dữ liệu

Các tài liệu sử dụng trong luận án đã được thu thập sử dụng bao gồm:

- Các nghiên cứu liên quan đến đặc điểm trầm tích cacbonat tuổi Mioxen phần phía Nam bể trầm tích Sông Hồng;
- Tài liệu giếng khoan bao gồm: Tài liệu ĐVLGK, tài liệu phân tích mẫu lõi (gồm cả phân tích mẫu thông thường và phân tích mẫu đặc biệt), mẫu vụn, mẫu sừng, tài liệu thử vữa, báo cáo kết thúc thi công khoan ... của 4 giếng khoan đã khoan trên mỏ CX;
- Các báo cáo đánh giá khu vực nghiên cứu;

6. Bố cục của luận án

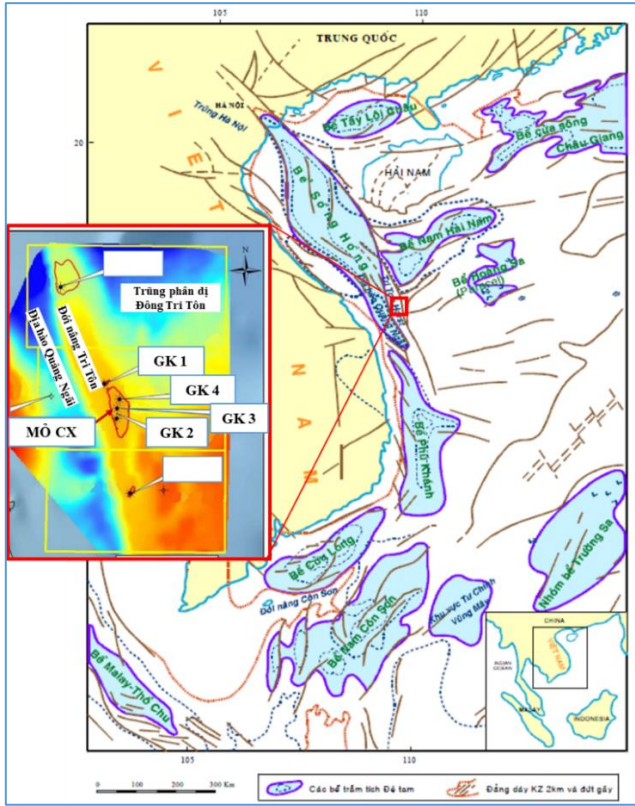
Luận án được trình bày qua 127 trang, 71 hình vẽ, 12 bảng biểu, 1 phụ lục. Ngoài phần mở đầu và kết luận, luận án được tổ chức thành 05 chương phù hợp với các công bố liên quan của luận án, với bố cục như sau:

- Chương 1: Giới thiệu tổng quan về khu vực nghiên cứu, các đặc điểm tầng chứa cacbonat tuổi Mioxen giữa mỏ CX.
- Chương 2: Trình bày cách tiếp cận và các phương pháp học máy; ứng dụng của các phương pháp học máy vào mô tả đặc tính tầng chứa, đưa ra chu trình nghiên cứu. Trình bày về cơ sở dữ liệu được sử dụng cho nghiên cứu.
- Chương 3: Trình bày nội dung kết quả phân chia nhóm đơn vị dòng chảy bằng các phương pháp học máy không giám sát.
- Chương 4: Trình bày nội dung, kết quả dự báo ĐVDC/ độ thấm trên tài liệu đo ĐVLGK và mẫu lõi.
- Chương 5: Trình bày nội dung, kết quả xây dựng mô hình dự báo độ bão hòa nước dựa trên mô hình độ bão hòa nước theo chiều cao cho mỗi ĐVDC.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ KHU VỰC NGHIÊN CỨU

1.1 Vị trí và đặc điểm địa chất khu vực nghiên cứu

Mỏ CX nằm ở vùng phía Nam bể Sông Hồng, nằm dọc trên địa lũy Tri Tôn theo hướng Tây Bắc - Đông Nam trên vùng biển ngoài khơi Đà Nẵng, cách bờ biển giữa tỉnh Quảng Nam và Quảng Ngãi khoảng 80km (Hình 1.1).



Hình 1.1: Vị trí mỏ CX và các giếng khoan lân cận (trên nền bản đồ các bể trầm tích Kainozoi ở Việt Nam - theo Phan Trung Điền)

1.1.1 Đặc điểm cấu kiến tạo

Phần phía nam của bể trầm tích Sông Hồng bao gồm các đơn vị cấu trúc bậc 2 như thềm Đà Nẵng, địa hào Quảng Ngãi, đới nâng

Tri Tôn và trũng phân dị Đông Tri Tôn, chịu ảnh hưởng của các yếu tố kiến tạo từ các đứt gãy lớn như Sông Hồng, Sông Mã và Rào Nậy trong đó đới nâng Tri Tôn là đới cao của Móng, có chiều dài khoảng hơn 500 km và là phần phát triển rộng nhất và cao nhất ở các Lô 121-120. Được phủ bởi các lớp trầm tích hạt vụn Oligocen và các khối xây cacbonat - ám tiêu san hô Mioxen.

1.1.2 Đặc điểm địa tầng trầm tích

Khu vực phía Nam bể Sông Hồng gồm các phân vị địa tầng sau: Đá móng trước Kainozoi; Trầm tích Oligocen - Hệ tầng Bạch Trì; Hệ tầng Sông Hương - Mioxen dưới; Hệ tầng Tri Tôn - Mioxen giữa; Hệ tầng Quảng Ngãi - Mioxen trên; Trầm tích Pliocen - Đệ tứ Hệ tầng Biển Đông. Trong đó đối tượng nghiên cứu nằm ở Hệ tầng Tri Tôn - Mioxen giữa.

Hệ tầng Tri Tôn nằm bất chỉnh hợp trên hệ tầng Sông Hương. Bao gồm trầm tích hạt mịn hai bên địa lũy Tri Tôn và đá cacbonat dày tới vài trăm mét trên địa lũy Tri Tôn. Môi trường trầm tích chủ yếu là biển nông, thềm biển và đồng bằng ven biển.

1.2 Đặc điểm tầng chứa cacbonat tuổi Mioxen giữa mỏ CX

1.2.1 Cơ chế thành tạo

Đới nâng Tri Tôn hình thành trong thời kỳ Eocen - Oligocen sớm thông qua quá trình tách giãn mở bể Sông Hồng, tạo nên địa hào và địa lũy. Chuyển động kiến tạo Mioxen sớm được đặc trưng bởi giãn đáy và mở rộng biển Đông, điều này giảm nhiệt độ và dâng cao mực nước đại dương, tạo điều kiện thuận lợi cho hình thành cacbonat trong hệ tầng Sông Hương. Trong giai đoạn Mioxen giữa, thềm lục địa tiếp tục lún chìm và cao trào biển tiến, tạo nên đá vôi khối xây ám tiêu sinh vật trong hệ tầng Tri Tôn.

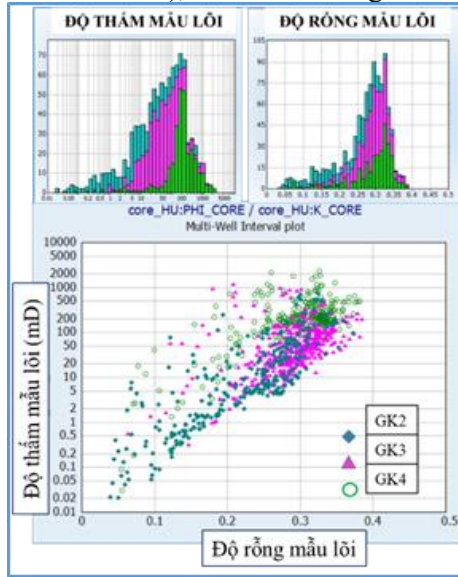
Quá trình biến đổi thứ sinh gồm rửa lữa, hòa tan, nén ép, nứt nẻ, tái kết tinh, dolomit hóa tạo ra các loại độ rỗng khác nhau như độ rỗng giữa hạt, độ rỗng trong hạt, độ rỗng kết tinh, độ rỗng nứt nẻ.

1.2.2 Đặc điểm đá cacbonat tuổi Mioxen giữa mỏ CX trên tài liệu giếng khoan

Cho đến nay trên khu vực mỏ CX đã khoan tổng cộng 4 giếng khoan trong đó các giếng GK2, GK3, GK 4 có đủ các tài liệu phân tích mẫu lõi và có số liệu đo ĐVLGK chất lượng tốt.

Đá chứa cacbonat tuổi Mioxen giữa khu vực mỏ CX có tính thấm chứa tốt, biến đổi trong khoảng rộng (độ rỗng từ vài % đến hơn

30% với nhiều dạng độ rỗng: giữa hạt, hang hốc, nứt nẻ; độ thấm từ dưới 1mD đến hơn 2.000mD), có tính bất đồng nhất cao (Hình 1.8).



Hình 1.8: Quan hệ rỗng – thấm từ kết quả phân tích mẫu lõi trên mỏ CX

Kết quả phân tích mẫu đặc biệt cho thấy hệ số xi măng m và hệ số bão hòa n thay đổi trong khoảng lớn: m thay đổi từ dưới 2 cho đến hơn 2,8 với giá trị tập trung chủ yếu trong khoảng 2,2 – 2,5; n thay đổi từ 1,9 cho đến hơn 3,0 với giá trị tập trung chủ yếu trong khoảng 2,2 – 2,5. Điều này cho thấy sự phức tạp của hình thái lỗ rỗng.

CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP VÀ CƠ SỞ DỮ LIỆU NGHIÊN CỨU

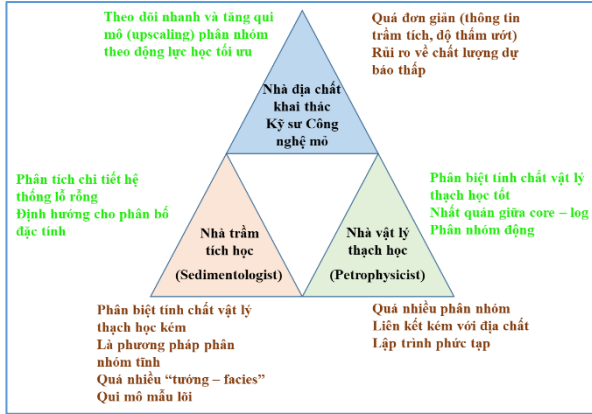
2.1 Phân chia đá chứa cacbonat

i) Phân loại đá chứa (carbonate classification)

Đá cacbonat được phân biệt bởi đặc điểm trầm tích, loại hạt, môi trường lắng đọng, năng lượng của môi trường lắng đọng, thành phần của đá, tỉ lệ giữa bùn và hạt và các yếu tố khác. Trong các cách phân loại đá chứa cacbonat thì cách phân loại theo Folk (1959) và Dunham (1962) được biết đến rộng rãi nhất.

Theo không gian lỗ rỗng, ba (03) hệ thống phân loại độ rỗng đá chứa cacbonat được sử dụng rộng rãi trong ngành công nghiệp dầu khí: Phân loại theo Archie (1952), Choquette và Pray (1970) và Lucia (1983, 1995).

ii) Phân nhóm đá chứa cacbonat (Carbonate rocktyping)



Hình 2.3: Ưu điểm và hạn chế của từng định hướng phân nhóm đá chứa cacbonat (Rebelle Michel và Lalanne Bruno, 2014)

Việc phân nhóm đá chứa cacbonat nhìn chung khá phức tạp do tác động phức tạp của quá trình thành đá lên mạng lưới lỗ rỗng. Mỗi nhà thầu, mỗi nhà nghiên cứu giải quyết vấn đề phân nhóm đá theo cách riêng của mình. Hình 2.3 thể hiện các xu hướng phân nhóm đá chứa cùng các ưu và nhược điểm của các phương pháp này.

Một số phương pháp phân nhóm thường được sử dụng trong mô tả đặc tính đá chứa cacbonat, có thể kể đến phương pháp Lucia (1983, 1995), phương pháp Winland R35, phương pháp Pittman, ... và thông dụng nhất là theo Đơn vị dòng chảy (ĐVDC).

Phân nhóm đá chứa theo ĐVDC (Hydraulic Flow Unit - HFU)

Một đơn vị dòng chảy được định nghĩa là một thể tích đá chứa mà trong đó các đặc tính địa chất kiểm soát dòng chảy chất lưu nhất quán và có thể dự đoán được và tách biệt so với đặc tính của đơn vị khác của đá (Ebanks và nnk, 1984).

Từ công thức gốc Kozeny - Carman, Amaefule và các cộng sự (1993) giới thiệu hai yếu tố hỗ trợ: PHIZ - độ rỗng chuẩn hóa và RQI

- chỉ số chất lượng đá chứa và đưa ra một công thức mới xác định Chỉ báo dòng chảy (FZI) dựa trên mối quan hệ giữa độ rỗng và độ thấm, đồng thời chính xác ước lượng chất lượng đá chứa cho mỗi ĐVDC cụ thể.

Độ thấm được tính theo từng ĐVDC bằng cách sử dụng giá trị trung bình FZI (FZI_mean) của ĐVDC ấy vào công thức sau:

$$k = 1040 * FZI_mean^2 * \frac{\phi_e^3}{(1-\phi_e)^2} \quad (2.10)$$

Tác giả lựa chọn tiếp cận việc phân nhóm đá chứa theo Đơn vị dòng chảy cho đối tượng nghiên cứu bởi các nguyên nhân:

1. Phân chia Đơn vị dòng chảy có liên hệ mật thiết giữa phân không gian lỗ rỗng và tác động của nó lên dòng chảy chất lưu;
2. Mỗi Đơn vị dòng chảy được kiểm soát bởi đặc điểm địa chất nhất định và tách rời nhau.
3. Khi đã phân được nhóm Đơn vị dòng chảy và dự báo được sự phân bố của các Đơn vị dòng chảy thì việc mô tả đặc tính tầng chứa rất thuận tiện: dự báo độ thấm, xây dựng mô hình độ bão hòa nước cho từng nhóm Đơn vị dòng chảy.... tiếp đến là xây dựng các mô hình địa chất, mô hình động lực học phục vụ cho việc tính toán trữ lượng, dự báo kết quả khai thác được chính xác hơn.
4. Tại khu vực mỏ CX chưa có các nghiên cứu về việc phân chia nhóm đá chứa theo Đơn vị dòng chảy.

2.2 Ứng dụng học máy phân loại ĐVDC và dự báo độ thấm của đá chứa cacbonat

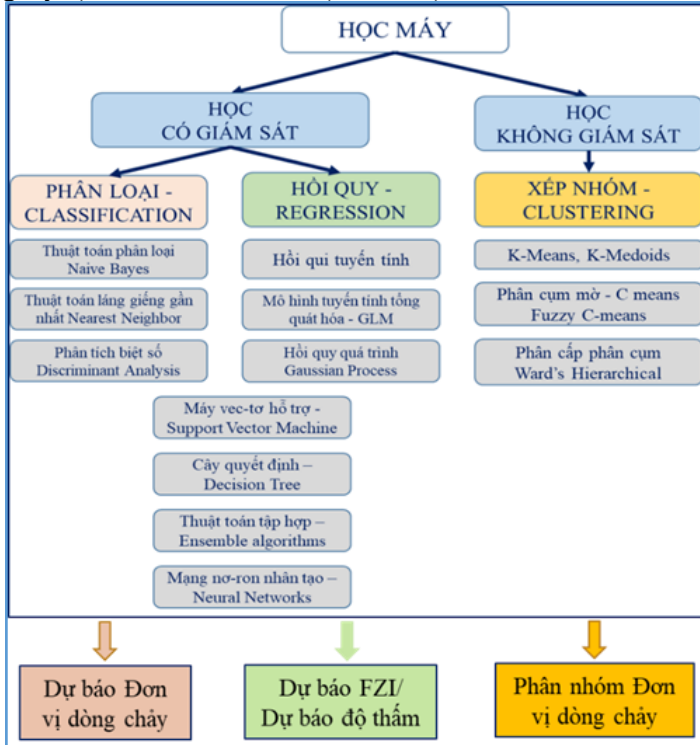
Trước đây, phương pháp phân nhóm Đơn vị dòng chảy thường sử dụng các kỹ thuật truyền thống như đồ thị phân bố xác suất hoặc đồ thị tần suất, tuy nhiên, các phương pháp này có nhiều hạn chế như khó khăn trong việc phân tách số nhóm và các thành phần của nhóm.

Đối với việc dự báo nhóm đá và đặc tính vật lý thạch học của đá trên tài liệu ĐVLGK trước đây, thường sử dụng mô hình thực nghiệm có sẵn hoặc áp dụng mô hình hồi qui tuyến tính đơn giản ($\log K = aPHI + b$). Tuy nhiên, các mô hình này có thể mang lại sai số lớn khi áp dụng cho đá chứa phức tạp như cacbonat.

Ngày nay, sự tiến bộ trong lĩnh vực Học máy đã được đưa vào mô tả đặc tính tầng chứa, đặc biệt là trong việc phân loại và dự báo nhóm đá chứa, mang lại những kết quả tích cực.

Học máy là một nhánh của trí tuệ nhân tạo, nó có khả năng tự học hỏi dựa trên dữ liệu đưa vào mà không cần phải được lập trình cụ thể.

Có hai cách phổ biến phân nhóm các thuật toán Học máy: một là dựa trên chức năng (function), hai là dựa trên phương thức học (learning style) của mỗi thuật toán (Hình 2.6).



Hình 2.6: Phân nhóm các phương pháp học máy

Theo phương thức học, các thuật toán Học máy thường được chia làm 2 nhóm chính: Học có giám sát (supervised learning), học không giám sát (unsupervised learning).

Học có giám sát là thuật toán dự đoán đầu ra (*outcome*) của một dữ liệu mới (*new input*) dựa trên cặp (*input, outcome*) đã biết từ trước. Cặp dữ liệu này còn được gọi là (*dữ liệu, nhãn*) tức (*data, label*). Các thuật toán học có giám sát được phân thành Phân loại (*classification*) áp dụng cho số liệu rời rạc như Đơn vị dòng chảy và

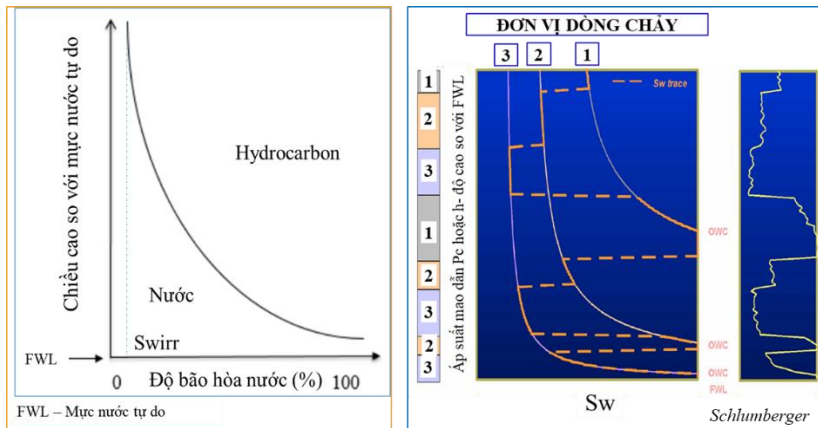
Hồi quy (*regression*) áp dụng cho số liệu liên tục như Chỉ báo dòng chảy FZI hay Độ thấm.

Học không giám sát là thuật toán mà không biết trước được outcome hay nhãn mà chỉ có dữ liệu đầu vào. Thuật toán sẽ dựa vào cấu trúc dữ liệu để thực hiện công việc như phân nhóm (*clustering*) hoặc giảm số chiều của dữ liệu (*dimension reduction*) để thuận tiện trong việc lưu trữ và tính toán. Các thuật toán này được áp dụng vào Phân nhóm đơn vị dòng chảy dựa trên số liệu phân tích mẫu lõi FZI_core.

2.3 Dự báo độ bão hòa nước

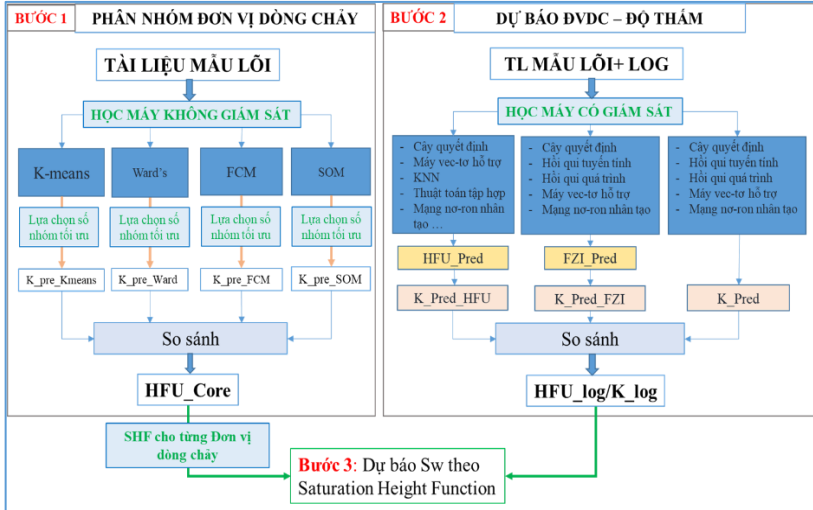
Độ bão hòa nước không chỉ phụ thuộc vào các yếu tố trong công thức Archie như độ rỗng, tương đá, mà còn liên quan đến cấu trúc lỗ rỗng, độ sét, và độ thấm ướt. Đối với đá chứa cacbonat, những yếu tố này không đồng nhất, yêu cầu sử dụng phương pháp thay thế cho phương pháp truyền thống.

Một trong những phương pháp này là sử dụng phương pháp độ bão hòa nước theo chiều cao, hay Saturation Height Function, dựa trên mối quan hệ giữa độ bão hòa nước (S_w) và áp suất mao dẫn (P_c). Phương pháp này giúp dự báo độ bão hòa nước ở mọi điểm trong mỏ dựa trên độ cao so với mực nước tự do, độ rỗng và độ thấm của đá chứa. Để đảm bảo độ chính xác khi dự báo S_w cho đá chứa phức tạp như cacbonat thì hàm quan hệ $P_c = f(S_w)$ phải được xây dựng cho từng Đơn vị dòng chảy (Hình 2.14).



Hình 2.14: Mô hình phụ thuộc giữa độ bão hòa nước S_w và chiều cao so với mực nước tự do

2.4 Chu trình nghiên cứu



Hình 2.15: Chu trình nghiên cứu áp dụng cho luận án

Từ việc phân tích các phương pháp nghiên cứu như ở trên, tác giả đề xuất chu trình nghiên cứu áp dụng cho luận án gồm 3 bước chính như sau (Hình 2.15):

- Bước 1: Phân nhóm ĐVDC sử dụng các phương pháp học máy không giám sát (phương pháp K-means, phân cấp phân cụm Ward, phân cụm mờ C-means, mạng nơ-ron tự tổ chức SOM)
- Bước 2: Dự báo độ thấm/nhóm ĐVDC bằng các phương pháp học máy có giám sát (Cây quyết định, Máy vec-tơ hỗ trợ, KNN, thuật toán tập hợp, Mạng nơ-ron nhân tạo, Hồi qui quá trình, ...)
- Bước 3: Dự báo độ bão hòa nước Sw sử dụng mô hình độ bão hòa theo chiều cao xây dựng cho từng ĐCDC.

2.5 Cơ sở dữ liệu nghiên cứu

Dữ liệu chính sử dụng cho nghiên cứu bao gồm số liệu thu thập được trong các giếng đã khoan trong mỏ, bao gồm: i) các đường đo ĐVLGK cơ bản với chất lượng tốt; ii) tài liệu phân tích mẫu lõi (bao gồm hơn 1.000 mẫu phân tích mẫu thông thường, 152 mẫu phân tích đặc biệt); ngoài ra tác giả có tham khảo thêm nhiều tài liệu nghiên cứu khác trong đó có các tài liệu báo cáo sinh địa tầng thực hiện cho các giếng khoan.

CHƯƠNG 3

ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP HỌC MÁY PHÂN NHÓM ĐƠN VỊ DÒNG CHẢY

3.1 Ứng dụng học máy không giám sát trong phân nhóm đá chứa cacbonat theo đơn vị dòng chảy

Một số phương pháp học máy không giám sát có tính ứng dụng cao được sử dụng trong đề tài nghiên cứu bao gồm phương pháp phân cụm K-means, phương pháp phân cấp phân cụm Ward, mạng Nơ-ron tự tổ chức (Self-Organised Map - SOM) hay phương pháp phân cụm mờ Fuzzy C-Means (FCM) ... nhằm đảm bảo tính khách quan và sự chính xác trong phân nhóm ĐVDC.

Số nhóm ĐVDC tối ưu được lựa chọn dựa trên phương pháp điểm khủy tay trên đồ thị quan hệ Bình phương hệ số tương quan - R2 hay Căn bậc hai trung bình bình phương sai số - RMSE của giá trị Độ thấm dự báo sau khi phân nhóm ĐVDC với giá trị độ thấm mẫu lõi với số lượng nhóm n (đồ thị n-R2, đồ thị n-RMSE) xây dựng cho từng thuật toán.

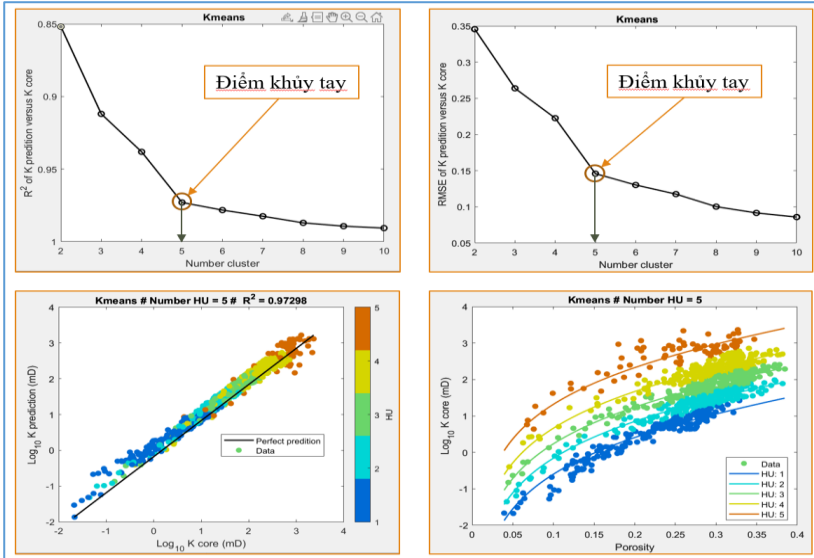
3.2 Kết quả phân nhóm ĐVDC cho đối tượng nghiên cứu

Sau khi tổng hợp và loại bỏ các điểm ngoại lai, tổng cộng 997 điểm mẫu của 3 giếng khoan GK2, GK3, GK4 được đưa vào phân tích để phân nhóm ĐVDC.

Bảng 3.1 cho thấy tuy R2 và RMSE ở các phương pháp không có sự khác biệt lớn, các phương pháp đều cho kết quả tính độ thấm K_{pred} có tương quan cao với độ thấm mẫu lõi K_{core} và có giá trị RMSE thấp, trong đó phương pháp phân cụm K-means với 5 ĐVDC cho giá trị R2 cao nhất và RMSE thấp nhất do đó kết quả phân nhóm dựa trên phương pháp K-means với 5 ĐVDC sẽ được sử dụng cho các bước tiếp theo.

Bảng 3.1: So sánh kết quả phân nhóm ĐVDC sử dụng các thuật toán Học máy

	K-means (5 ĐVDC)	FCM (4 ĐVDC)	Ward (5 ĐVDC)	SOM (4 ĐVDC)
R2	0.9730	0.9562	0.9708	0.9558
RMSE	0.1459	0.1840	0.1505	0.1851



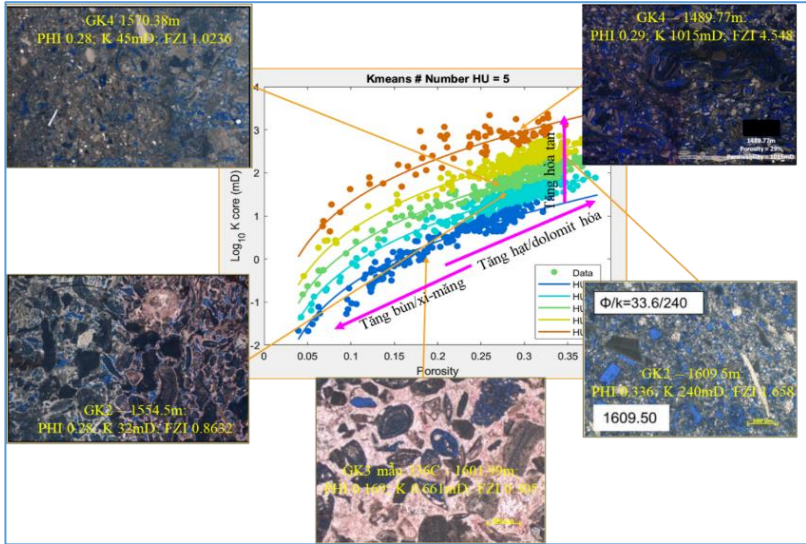
Hình 3.4: Kết quả lựa chọn số nhóm và kết quả phân nhóm theo 5 ĐVDC theo phương pháp K-means

Các giá trị chỉ báo dòng chảy FZI-mean cho từng ĐVDC được thể hiện trong bảng 3.2 dưới đây:

Bảng 3.2: Bảng phân nhóm ĐVDC theo giá trị FZI theo thuật toán K-means

	HFU 1	HFU 2	HFU 3	HFU 4	HFU 5
Khoảng giá trị FZI	0.2243- 0.5795	0.5795- 0.9374	0.9374- 1.50	1.50- 2.811	2.811- 10.2688
Giá trị FZI trung bình	0.4433	0.7566	1.1915	1.9679	4.4991
Mối quan hệ Rỗng - Thấm	$K=204.37$ $5*\text{PHI}^3/($ $1-\text{PHI})^2$	$K=595.34$ $1*\text{PHI}^3/($ $1-\text{PHI})^2$	$K=1476.4$ $6*\text{PHI}^3/($ $1-\text{PHI})^2$	$K=4001.3$ $8*\text{PHI}^3/($ $1-\text{PHI})^2$	$K=21051.$ $6*\text{PHI}^3/($ $1-\text{PHI})^2$

Sự khác biệt giữa các đơn vị dòng chảy có thể nhận diện trên tài liệu lát mỏng. Hình 3.9 thể hiện một số hình ảnh phân tích lát mỏng đại diện cho các đơn vị dòng chảy.



Hình 3.9: Một số phân tích lát mỏng đại diện cho các ĐVDC tại các giếng mỏ CX

Mối quan hệ rỗng – thấm được kiểm soát bởi loại lỗ rỗng và sự liên thông giữa các lỗ rỗng. Ở hình 3.9, ta thấy khi lượng bùn/xi-măng tăng, độ rỗng giảm; khi lượng hạt tăng, mức độ dolomit hóa tăng thì độ rỗng tăng. Tuy nhiên điều này không đồng nghĩa với việc tăng tương ứng của độ thấm, mối quan hệ này không tuyến tính mà phụ thuộc vào từng đơn vị dòng chảy. Ở cùng khoảng độ rỗng, giá trị độ thấm sẽ có xu hướng tăng dần từ HFU 1 đến HFU 5, điều này xảy ra do sự tăng dần của quá trình hòa tan từ HFU1 đến HFU5 dẫn đến sự liên thông giữa các không gian lỗ rỗng. Chất lượng đá chứa tăng dần từ HFU 1 đến HFU 5 theo giá trị tăng dần của chỉ báo dòng chảy FZI.

CHƯƠNG 4

DỰ BÁO ĐỘ THẨM ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP HỌC MÁY

4.1 Ứng dụng học máy có giám sát trong dự báo ĐVDC/độ thẩm

Với các thuật toán học máy có giám sát, độ thẩm K_{pred} có thể được dự báo trực tiếp từ quan hệ mẫu lõi - logs, hoặc gián tiếp thông qua việc dự báo các giá trị chỉ báo dòng chảy FZI_{pred} hay nhóm đơn vị dòng chảy HFU_{pred} , sau đó sử dụng mối liên hệ rộng - thẩm cho mỗi ĐVDC có được từ bước 1 để tính ra độ thẩm. Nhằm có kết quả khách quan nhất, tác giả thực hiện việc dự báo độ thẩm bằng tất cả các phương án trên, sau đó so sánh và lựa chọn phương án tốt nhất.

Các phương pháp Học máy có giám sát phổ biến hầu hết đều được sử dụng ở nghiên cứu này, có thể kể đến: mô hình cây quyết định (*Decision Tree*), Phương pháp rừng cây tăng cường (*Boosted Tree*), mạng nơ-ron nhân tạo (*ANN*), Máy vec-tơ hỗ trợ (*SVM*), hồi qui quá trình Gaussian ...

4.2 Kết quả dự báo nhóm ĐVDC/độ thẩm

Tác giả lần lượt thực hiện việc dự báo giá trị Chỉ báo dòng chảy FZI_{pred} , dự báo nhóm ĐVDC HFU_{pred} , dự báo độ thẩm K_{pred} trên các đường đo ĐVLGK cơ bản thông qua các bước sau:

i) **Chuẩn bị số liệu đầu vào:** các tài liệu phân tích mẫu lõi và tài liệu đo ĐVLGK được đưa về cùng độ sâu (depth matching), được kiểm tra kỹ để loại bỏ các điểm ngoại lai (bằng cách kiểm tra trực quan trên bảng dữ liệu, trên biểu đồ và sử dụng thuật toán Nhân tố ngoại lai cục bộ - Local Outlier Factor để loại các điểm ngoại lai), và kiểm tra tính tương quan của các đường logs với số liệu cần dự báo.

ii) **Dạy máy:**

Đầu vào là các đường cong ĐVLGK: Gamma ray - GR, Điện trở sâu - RD, Điện trở nông - RS, Vi điện trở - MSFL, Mật độ - RHOB, Độ rỗng Neutron - NPHI, Siêu âm sóng nén - DTC, Siêu âm sóng ngang - DTS. Số liệu giám sát (*Supervised data*): $FZI_{core}/HFU_{core}/K_{core}$. Số liệu đầu ra: $FZI_{pred}/HFU_{pred}/K_{pred}$. Bảng 4.1, 4.2 là bảng kết quả xác thực và thử các thuật toán sử dụng để dự báo Chỉ báo dòng chảy FZI_{Pred} , độ thẩm K_{Pred} và nhóm ĐVDC HFU_{Pred} .

Bảng 4.1: Bảng kết quả sử dụng các thuật toán Học máy để dự báo
FZI_Pred, K_Pred

No	Mô hình		DỰ BÁO CHỈ BÁO ĐỒNG CHẤY FZI_PRED				DỰ BÁO ĐỘ THÂM K_PRED			
			Căn bậc 2 trung bình phương sai số RMSE		Độ tương quan R2		Căn bậc 2 trung bình phương sai số RMSE		Độ tương quan R2	
			Xác thực	Thử	Xác thực	Thử	Xác thực	Thử	Xác thực	Thử
1	Hồi quy tuyến tính	Linear	0.895	0.732	0.502	0.484	0.516	0.463	0.679	0.717
2		Interactions	0.933	0.678	0.459	0.557	0.504	0.418	0.693	0.77
3		Robust	1.120	0.843	0.220	0.315	0.518	0.459	0.677	0.723
4		Stepwise	0.905	0.687	0.491	0.545	0.512	0.463	0.684	0.718
5	Cây quyết định	Fine	0.616	0.549	0.764	0.709	0.481	0.332	0.722	0.855
6		Medium	0.736	0.615	0.663	0.636	0.481	0.355	0.721	0.834
7		Coarse	0.816	0.672	0.587	0.564	0.543	0.437	0.644	0.749
8	Máy vec-tơ hỗ trợ SVM	Linear	1.002	0.755	0.376	0.450	0.518	0.461	0.676	0.72
9		Quadratic	0.872	0.609	0.527	0.642	0.489	0.394	0.712	0.795
10		Cubic	0.904	0.490	0.492	0.769	0.614	0.32	0.546	0.865
11		Fine	0.802	0.453	0.600	0.803	0.432	0.282	0.775	0.896
12		Medium	0.871	0.567	0.528	0.690	0.457	0.35	0.748	0.839
13		Coarse	1.026	0.761	0.345	0.442	0.523	0.454	0.67	0.729
14	Thuật toán kết hợp	Boosted	0.583	0.507	0.789	0.752	0.428	0.343	0.779	0.845
15		Bagged	0.605	0.494	0.773	0.764	0.416	0.287	0.792	0.892
16	Hồi qui quá trình Gaussia n	Square Exponential	0.539	0.487	0.819	0.772	0.416	0.286	0.791	0.892
17		Matern 5/2	0.494	0.479	0.848	0.779	0.361	0.267	0.843	0.906
18		Exponential	0.459	0.395	0.869	0.850	0.320	0.235	0.870	0.927
19		Rational Quadratic	0.463	0.423	0.867	0.828	0.323	0.235	0.860	0.927
20	Mạng nơ-ron	Narrow	0.694	0.593	0.701	0.661	0.454	0.352	0.752	0.837
21		Medium	0.669	0.555	0.722	0.703	0.452	0.337	0.754	0.851
22		Wide	0.632	0.458	0.752	0.798	0.5	0.341	0.699	0.846
23		Bilayered	0.882	0.593	0.517	0.661	0.449	0.38	0.757	0.81
24		Trilayered	0.654	0.834	0.734	0.329	0.481	0.315	0.721	0.869

Bảng 4.2: Kết quả sử dụng các thuật toán Học máy để dự báo
HFU_Pred

STT	Mô hình		Độ chính xác (%)	
			Số liệu xác thực	Số liệu thử
1	Cây quyết định	Fine	70.7	79.1
2		Medium	63.1	64.7
3		Coarse	54.9	51.4
4	Discriminant	Linear	55.9	55.8
5		Quadratic	58.7	60.6

STT	Mô hình	Độ chính xác (%)		
		Số liệu xác thực	Số liệu thử	
6	Logistic	Efficient Logistic Regression	40.8	45.0
7	Naive Bayes	Gaussian	52.1	57.0
8		Kernel	58.2	63.9
9	Máy vec-tơ hỗ trợ SVM	Linear	57.4	58.6
10		Quadratic	69.8	77.5
11		Cubic	78.9	80.3
12		Fine Gaussian	75.8	82.3
13		Medium Gaussian	64.4	66.3
14		Coarse Gaussian	51.1	52.2
15	Lăng giềng gần nhất KNN	Fine	80.5	85.9
16		Medium	62.7	67.5
17		Coarse	49.2	51.8
18		Cosine	65.4	67.9
19		Cubic	63.0	69.9
20		Weighted	80.7	85.9
21	Kết hợp Ensemble	Boosted tree	69.1	73.9
22		Bagged tree	81.7	84.3
23		Subspace discriminant	55.2	55.0
24		Subspace KNN	78.7	85.1
25		RUSBoosted tree	67.6	70.3
26		Optimizable	82.5	85.9
27	Mạng nơ-ron	Narrow	69.0	70.7
28		Medium	77.0	81.5
29		Wide	79.4	85.9
30		Bilayered	72.2	77.5
31		Trilayered	78.1	79.5

Theo kết quả dạy máy, phương pháp Hồi qui quá trình Gaussian Exponential được lựa chọn để áp dụng cho dự báo Chỉ báo dòng chảy FZI_pred và dự báo độ thấm với độ tương quan R2 cao nhất và giá trị RMSE thấp nhất cho cả số liệu xác thực và số liệu thử; phương pháp Kết hợp optimizable được lựa chọn để dự báo ĐVDC vì cho độ chính xác cao nhất ở cả số liệu xác thực và số liệu thử.

iii) *Áp dụng mô hình cho toàn bộ lát cắt cacbonat*

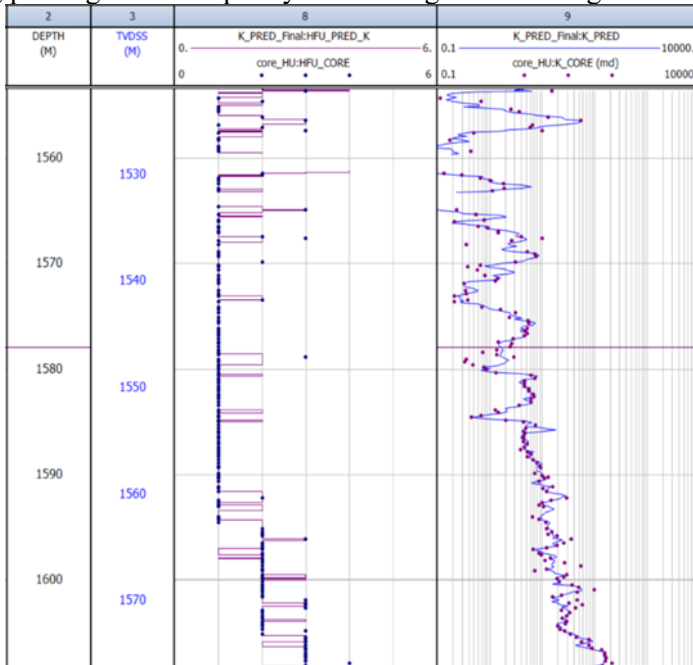
Các mô hình được lựa chọn được áp dụng cho toàn bộ lát cắt cacbonat đối tượng nghiên cứu. Hệ số tương quan giữa độ thấm dự báo từ các phương pháp khác nhau theo chu trình ở bước 2 của chu trình nghiên cứu được thể hiện ở các bảng 4.4 dưới đây:

Bảng 4.4: Bảng so sánh hệ số tương quan giữa độ thấm dự báo từ các phương pháp khác nhau so với giá trị độ thấm từ mẫu lõi K core

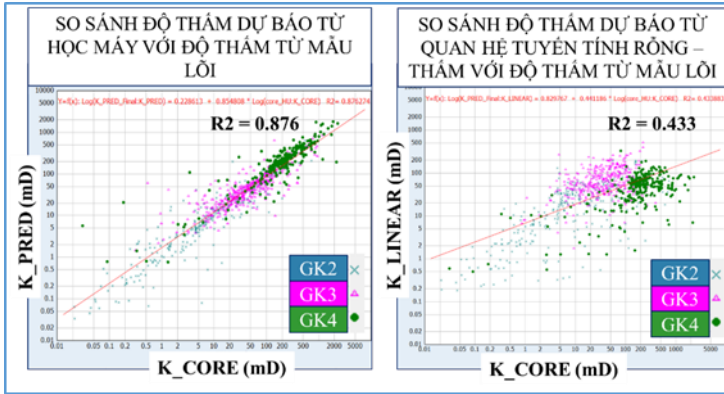
Phương pháp	Dự báo độ thấm K_Pred trực tiếp dùng Học máy (K_Pred)	Dự báo độ thấm từ giá trị FZI dự báo dùng Học máy (K_Pred_FZI)	Dự báo độ thấm từ kết quả dự báo nhóm HFU dùng Học máy (K_Pred_HFU)
Hệ số tương quan	0.876	0.780	0.803

Kết quả dự báo độ thấm trực tiếp từ phương pháp học máy sẽ được sử dụng tại các bước tiếp theo của nghiên cứu vì cho độ tương quan cao nhất.

Hình 4.13, 4.17 thể hiện kết quả dự báo độ thấm K_pred trực tiếp từ các đường đo ĐVLGK sử dụng phương pháp học máy theo thuật toán Hồi qui quá trình Exponential. Ta thấy sự tương quan rất tốt giữa kết quả dự báo và tài liệu phân tích mẫu lõi với hệ số tương quan lên đến 0.876, cao hơn rất nhiều so với hệ số tương quan chỉ 0.433 nếu dùng phương trình hồi qui tuyến tính rộng – thấm đơn giản.



Hình 4.13: Kết quả dự báo độ thấm K, nhóm ĐVDC tại GK2



Hình 4.17: So sánh kết quả dự báo độ thấm từ học máy với độ thấm từ mẫu lõi và phương pháp truyền thống

CHƯƠNG 5

DỰ BÁO ĐỘ BẢO HÒA NƯỚC DỰA TRÊN ĐƠN VỊ DÒNG CHẢY VÀ KẾT QUẢ DỰ BÁO ĐỘ THẨM

5.1 Xây dựng mô hình tính độ bão hòa nước theo chiều cao.

Mối quan hệ giữa độ bão hòa nước Sw với áp suất mao dẫn P_c tại đối tượng nghiên cứu được phân chia một cách chi tiết theo từng đơn vị dòng chảy.

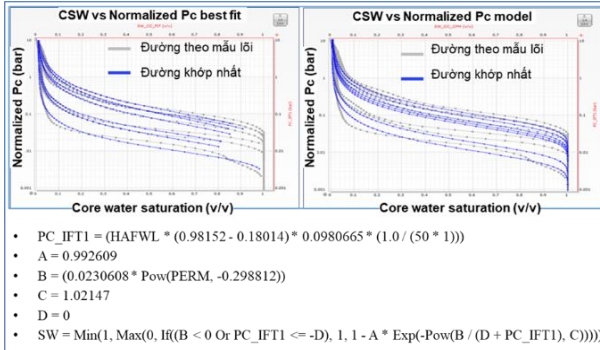
Tổng cộng 5 mô hình được thử áp dụng bao gồm Leverett-J, Brook Corey, phương pháp Lamda, phương pháp Thomeer và phương pháp Skelt-Harrison.

Theo kết quả khớp mô hình, mô hình Skelt Harrison cho sai số bé nhất, do đó mô hình này được sử dụng để xây dựng mô hình tính Sw cho từng đơn vị dòng chảy thủy lực (Bảng 5.1).

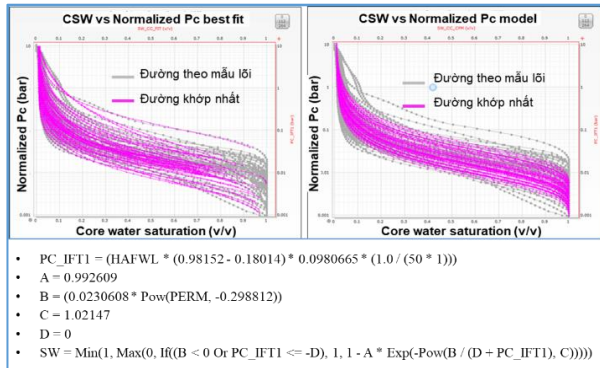
Bảng 5.1: Bảng sai số kết quả khớp mô hình dự báo Sw

	Mô hình Brook Corey	Mô hình J-function	Mô hình Lamda	Mô hình Thomeer	Skelt Harrison
Sai số	0.0428	0.039	0.0359	0.0878	0.0349

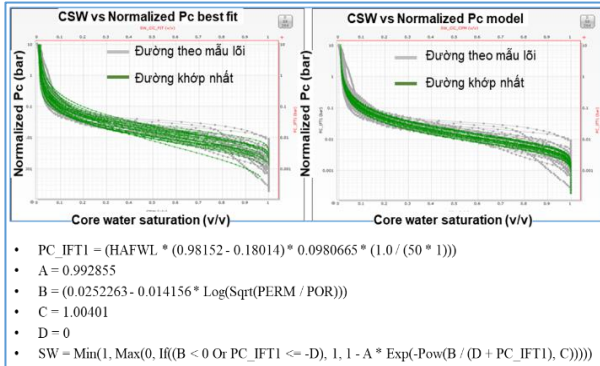
Kết quả xây dựng phương trình tính Sw theo mô hình Skelt Harrison cho từng ĐVDC được thể hiện ở các hình dưới đây:



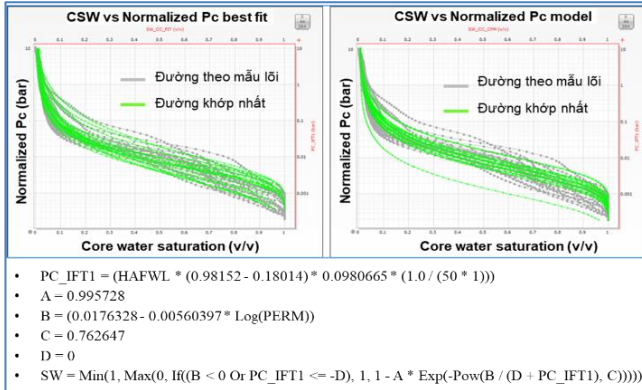
Hình 5.7: Kết quả xây dựng phương trình tính Sw cho HFU 1



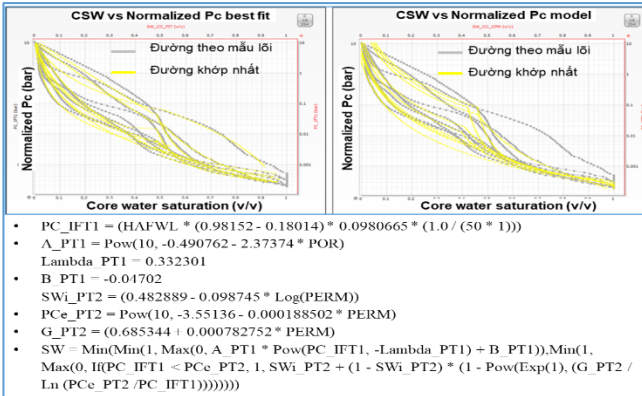
Hình 5.8: Kết quả xây dựng phương trình tính Sw cho HFU 2



Hình 5.9: Kết quả xây dựng phương trình tính Sw cho HFU 3



Hình 5.10: Kết quả xây dựng phương trình tính Sw cho HFU 4



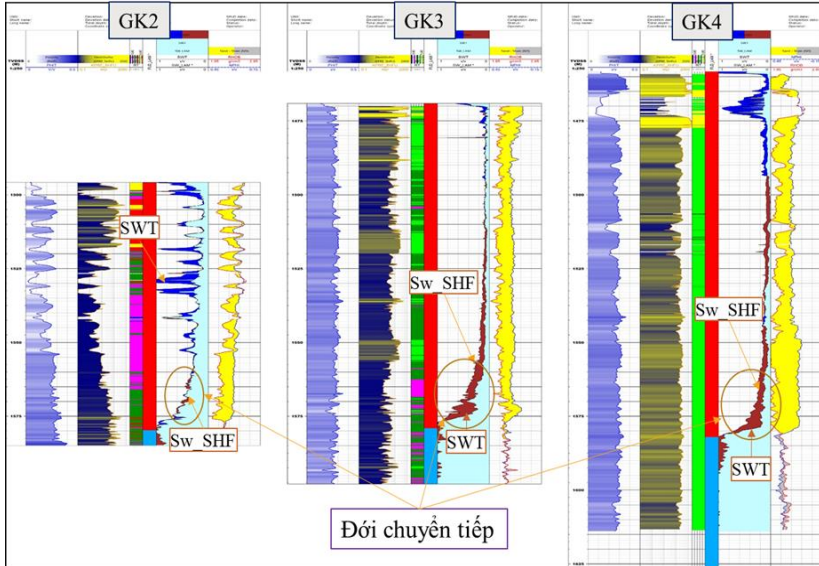
Hình 5.11: Kết quả xây dựng phương trình tính Sw cho HFU 3

5.2 Kết quả dự báo độ bão hòa nước từ mô hình độ bão hòa theo chiều cao

Hình 5.12 dưới đây thể hiện kết quả tính Sw từ các mô hình xây dựng cho 5ĐVDC theo mô hình Skelt Harrison. Ở phía trên đới chuyển tiếp, giá trị Sw_SHF và SwT (độ bão hòa nước tính theo các đường đo ĐVLGK) có nhiều điểm gần như tương đồng, chỉ khác nhau ở những điểm có giá trị độ rỗng thấp.

Ở đới chuyển tiếp có sự khác biệt tương đối lớn giữa Sw_SHF và SwT đặc biệt ở GK3. Sự phân bố của độ bão hòa nước trong đới chuyển tiếp được kiểm soát bởi sự phân bố của nhóm ĐVDC, thể hiện chất lượng của đá chứa. Độ cao của đới chuyển tiếp phụ thuộc vào

nhóm ĐVDC. Thông thường ở nhóm ĐVDC có chất lượng kém, đới chuyển tiếp có xu hướng dày hơn. Ở GK3, đới chuyển tiếp bao gồm HFU 1-3, chủ yếu là HFU 2, do đó độ bão hòa nước sẽ có xu hướng biến đổi dần dần, giảm dần theo chiều cao so với mực nước tự do, chứ không biến đổi giảm đột ngột như kết quả tính theo phương pháp Archie. Do đó, kết quả xác định giá trị Sw_SHF hợp lý hơn so với SwT .



Hình 5.12: Kết quả dự báo Sw dựa trên mô hình độ bão hòa theo chiều cao xây dựng trên 5 ĐVDC (Sw_SHF) cho lát cắt cacbonat tuổi Mioxen giữa mỏ CX

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Một số kết luận chính được rút ra như sau:

- Các phương pháp học máy không giám sát rất hữu dụng trong phân nhóm đơn vị dòng chảy một cách khách quan, chính xác. Phương pháp K-means đã được lựa chọn áp dụng để phân chia đá chứa cacbonat tuổi Mioxen giữa mỏ CX thành 5 đơn vị dòng chảy.

- Trên cơ sở phương pháp học máy có giám sát, độ thấm đã được dự báo trực tiếp từ tài liệu ĐVLGK đo trên lát cắt cacbonat tuổi

Mioxen giữa mỏ CX với độ tương quan cao so với kết quả phân tích mẫu lõi.

- Việc áp dụng 5 đơn vị dòng chảy thủy lực kết hợp với độ thấm dự báo trực tiếp từ tài liệu đo ĐVLGK nhằm tăng tính chính xác kết quả dự báo độ bão hòa nước theo mô hình dự báo độ bão hòa nước theo chiều cao là hoàn toàn phù hợp đối với đá chứa cacbonat.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, tác giả thấy rằng:

- Đá chứa cacbonat mỏ CX có tính bất đồng nhất cao, độ thấm thay đổi lớn từ rất kém đến rất tốt (trong khoảng dưới 1mD cho đến hơn 2.000 mD), quan hệ rỗng - thấm không tuyến tính, phụ thuộc vào từng đơn vị dòng chảy thủy lực.

- Độ bão hòa nước giảm dần theo chiều cao so với mực nước tự do; giá trị độ bão hòa nước, chiều cao đới chuyển tiếp chịu ảnh hưởng của các đơn vị dòng chảy thủy lực.

Áp dụng kỹ thuật học máy vào mô tả đặc tính tầng chứa có rất nhiều ưu điểm, tuy nhiên cần lưu ý một số vấn đề sau:

- Phương pháp học máy thường yêu cầu một lượng lớn dữ liệu đầu vào để có thể tạo ra mô hình dự báo tốt. Các dữ liệu đầu vào cần được lựa chọn, làm sạch một cách cẩn thận để đảm bảo chất lượng. Với số liệu mẫu lõi, cần có đủ số liệu đại diện cho từng nhóm ĐVDC thì kết quả phân chia và dự báo ĐVDC mới đủ chính xác và khách quan.

- Các phương pháp học máy có giám sát và không giám sát khác nhau cho kết quả rất khác nhau tùy thuộc vào từng bộ số liệu. Do đó cần có sự thử nghiệm nhiều phương pháp khác nhau để lựa chọn phương pháp phù hợp với bộ số liệu có được ở khu vực nghiên cứu.

2. KIẾN NGHỊ

Với các kết quả nghiên cứu đã đạt được, tác giả kiến nghị:

- Áp dụng phân chia đơn vị dòng chảy thủy lực bằng phương pháp học máy không giám sát với kết quả dự báo độ thấm bằng phương pháp học máy có giám sát vào xác định độ bão hòa nước cho đá chứa cacbonat ở khu vực khác.

- Nghiên cứu thử nghiệm áp dụng hệ phương pháp này cho các loại đá chứa khác (đá móng nứt nẻ, cát kết có độ bất đồng nhất cao ...).

DANH MỤC CÁC BÀI BÁO, CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

Tiếng Việt

1. Nguyễn Văn Hoàng, Hoàng Việt Bách, Nguyễn Trung Dũng, Lê Trung Tâm và nnk (2021), “Tối ưu mô hình tính độ bão hòa nước cho tầng chứa Miocene khu vực Đông bắc bể Cửu Long, Việt Nam”, Tạp chí dầu khí, số 7 - 2021, trang 16-22, ISSN 2615 - 9902.

Tiếng Anh

2. Nguyen Trung Dung, Ha Quang Man, Nguyen Hong Viet, Phan Thien Huong, Cu Minh Hoang, Truong Khac Hoa (2023), “Developing a Saturation Height Function (SHF) for the classified Hydraulic Flow Unit, a case study from Middle Miocene Carbonate Reservoir in the southern part of Song Hong basin, Vietnam”, Journal of Mining and Earth Sciences Vol. 64, Issue 6 (2023) 1-10.
3. Nguyen Trung Dung, Ha Quang Man, Truong Khac Hoa, Phan Thien Huong, Cu Minh Hoang, Nguyen Hong Viet (2024), “The application of supervised Machine learning in Permeability Prediction, case study from Middle Miocene Carbonate reservoir, southern part Song Hong basin”, Vietnam Journal of Marine Science and Technology.

Tiếng Nga

4. G.G.Djalylov, Vũ Tất Thắng, Nguyễn Trung Dũng, Vũ Nguyên Khang (2012), “Cái nhìn mới về cấu kiến tạo khu vực trung tâm và phía bắc vùng Nam Usturt và tiềm năng dầu khí của khu vực”, Uzbek journal of oil and gas, (3/2012), tr. 39-42.
5. Nguyễn Trí Dũng, I.T. Boykobilov, Vũ Tất Thắng, Nguyễn Trung Dũng và nnk, (2014), “Hướng tìm kiếm thăm dò dầu khí mới tại tầng trước Jura vùng Bukhara Khiva, cộng hòa Uzbekistan” - Các vấn đề thời sự khoa học địa chất dầu khí, kỹ thuật và công nghệ khoan sâu, nghiên cứu giếng khoan, tr.4-9.
6. G.S. Abdullaev, Nguyễn Trí Dũng, Nguyễn Trung Dũng, I.T. Boykobilov, M.R.Nurmatov (2014), “Cấu trúc địa chất và tiềm năng dầu khí tầng Pecmi lô đầu tư Kossor”, Uzbek journal of oil and gas, Ấn bản đặc biệt, (OGU 5/2014).