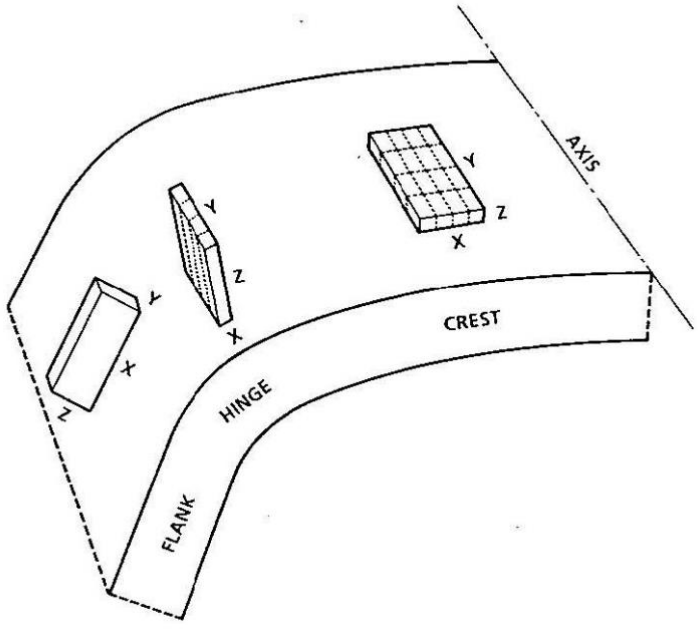
مقدمة

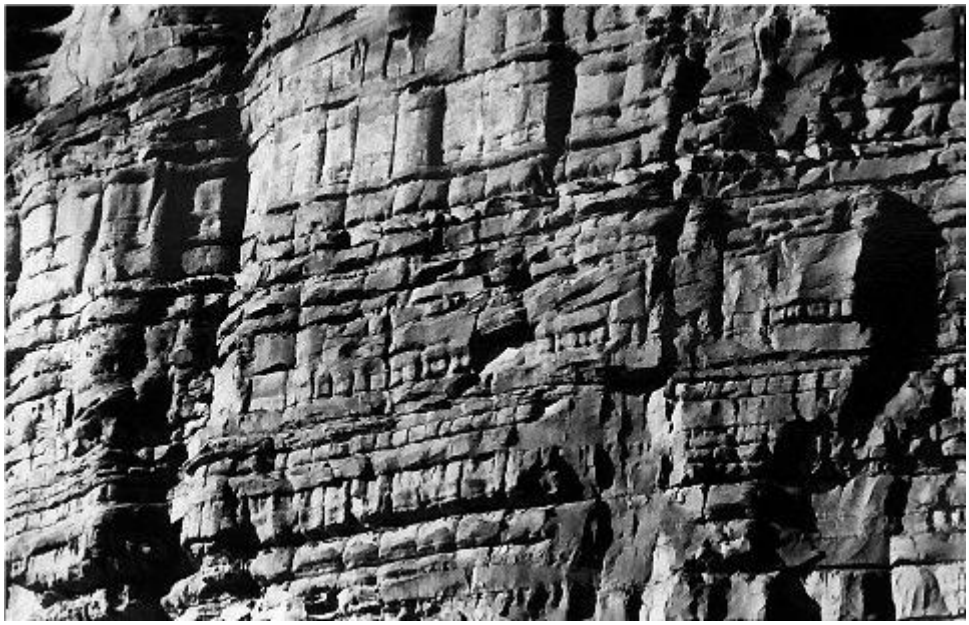
دراسة المكامن المتشققة يحتاج الى دراسة جيولوجية لمعرفة العلاقة بين عملية التشقق والاحداث الجيولوجية (التكتونية) التي حدثت في حينه ونتج عنه fold ,fault, joint .عندما يتعرض التكاوين الى اجهاد قوي في البدء يطوي الصخرة (fold up) واذا استمر بالاجهاد يبدأ الصخور بالتشقق والكسور ,بالاضافة الى عمليات التكتونية بعض الاحيان يحدث التشققات نتيجة عمليات تحويرية (Diagenises) اوبفعل ضغط عمودي مسلط على التكوين والتي يمكن ملاحظته في التكاوين العميقة .يتركز الشقوق في منطقة الكتف (shoulder) ثم crest اما في منطقة flank يقل الشقوق.



شكل رقم (1) يبين فيه كثافة الشقوق في المناطق المختلفة

بعض المرات يتكون الشقوق في (folded anticline) بفعل التعرية عندما يزول الصخور العليا لانه بعد زوال الضغط يبدأ الصخور بالتشقق في الخطوط والنقاط الضعيفة. دراسة الشقوق مهمة جدا نظرا لصلتها المباشرة بانتاج النفط في المكامن الكلسية حيث تزيد المكامن انتاجا . وعن طريق الشقوق يجري النفط من اعماق سحيقة نحو سطح الارض.في بداية القرن العشرين اكتشف الانسان المكامن المتشققة وبدأ بالانتاج منه دون معرفة حقيقة ميكانيكية ما حدث في الماضي بالنسبة لهذه المكامن , كانت يعود هذة المعرفة المتأخرة الى حقيقة وهو المكامن التي ينتج بمعدل منخفض يجري النفط ببطْء دون حدوث مشاكل كما نلاحظه في معظم المكامن الرملية . يعتبر مكامن شمال العراق وجنوب غرب ايران اكثر المناطق انتشارا للشقوق , بالنسبة لشرق الاوسط توجد 20%-30% من الخزين النفطي في الشقوق .

ان تقيم المكامن المتشققة اصعب من تقيم مكامن ذات مسامية ونفاذية عالية . يعتمد التشقق على شكل ميكانيكية الاجهاد وصفات الصخور . ان الانتاج من الشقوق يعتمد على , عرضه , توزيعه , اتجاهه . اذا التشقق لها علاقة مع الاجهاد ونوع الصخرة , العمق (overburden) , الصخارية , سمك الطبقة .

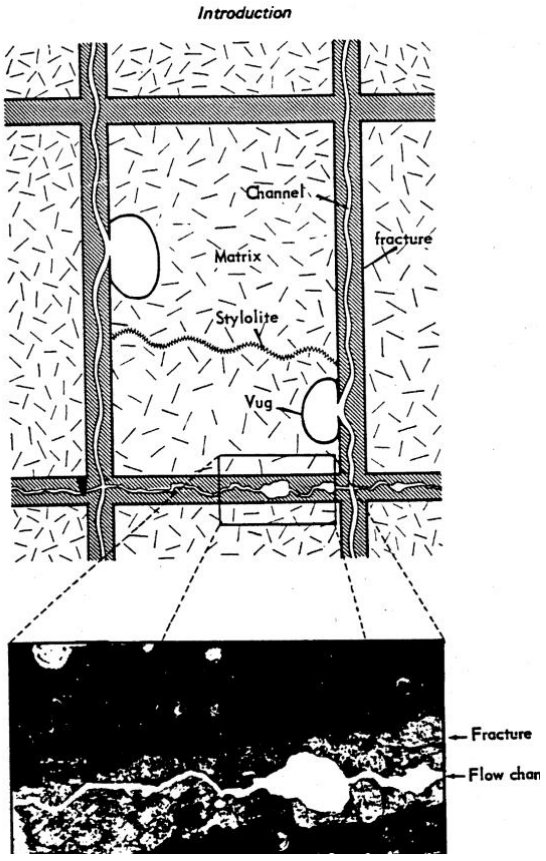


شكل رقم(2) تشققات حدثت بواسطة عمليات تكتونية

شكل رقم (3) تشققات حدثت بواسطة عمليات غير تكتونية مثل التجفيف Mud crack

ماهو الشقوق

عبارة عن سطح فقد تماسكه وحصل تمزق فيه . الصخورالصلدة (brittle rock) بعد تعرضه للاجهاد (stresses) تحصل فيه الشقوق مثل صخور (limestone, dolomite,chert, igneas rocks) لان الصخور الكاربوناتية اكثر صلدا وقابلا للتصدع من الصخو الرملية , ويؤدي هذا الى زيادة في المسامية والنفاذية وبالتالي يؤدي الى زيادة الانتاج . يرتبط مسامية الشقوق مع مسامية النسيج ليكون شبكة معقدة من المسامية وكذلك يؤدي الشقوق الى زيادة النفاذية من عدة مللي دارسي الى عدة دارسي . هذه التشققات البدائية تصبح ممرا لحركة السوائل فأما يؤدي الى تكبير الشقوق او بالعكس نتيجة العمليات التحويرية يؤدي الى غلق الشقوق جزئيا او كليا . اما الصخور الرملية قليلا ما يتشقق.



شكل رقم (4) يظهر فيه انواع المسامية

انواع المكامن حسب مساميته

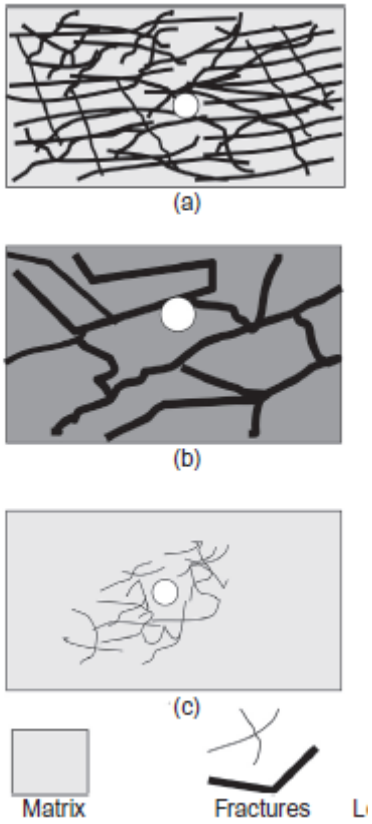
توجد في الطبيعة نوعان من المكامن اعتمادا على المسامية :-

1- Porous fractured reservoir هذا النوع من المكامن شائع جدا معظم الاحتياطي المستخلص يخزن في نسيج الصخرة , ويجري النفط من المكمن (النسيج) نحو البئر عن طريق الشقوق , وهذا تقسم الى عدة انواع اعتمادا على نفاذية الشقوق :-

أ- مكمن جيد التشقق :- هنا نفاذية الشقوق قد تصل الى اكثر من 1000 دارسي بينما نفاذية النسيج يصل 0.1 مللي دارسي نرى هذا النوع من المكامن في ايران والعراق

ب-مكامن متشققة متوسطة :- تصل النفاذية فيه الى 50-100 دارسي .

ج- مكامن متشققة قليلة النفاذية :- يتراوح النفاذية بين 10-50 دارسي .



شكل رقم (5) يظهر الانواع الثلاثة من المكامن المتشققة

2- Non porous fratured reseroir في هذا النوع من المكامن النسيج matrix غيرمسامي وغير نفاذ ولايحتوي على النفط , وتخزن معظم الاحتياطي في الشقوق ويجري النفط في الشقوق فقط . توجد هذا النوع من المكامن في تكوين شيرانش وهذا من الممكن ملاحظته في بئر 41 باي حسن.

مسامية ونفاذية matrix مهمة لانة اذا قلت مسامية النسيج يصبح انتاج النفط غير اقتصادي , الدور الاساسي للشقوق هو الربط بين النفط الموجود في مسامات matrix مع البئر .

3- المكامن في الصخور النارية والمتحولة :- من المعلوم بانه لا توجد مسامية النسيج في هذين النوعين من الصخور ولكن اذا وجدت فيها الشقوق ممكن ان يكون مكمنا كما في فنزويلا حيث انتج بئر واحد حوالي 3900برميل /يوم من النفط , وانتج

80000 برميل /يوم في 29 بئرا . كذلك توجد هذه الحالة في كاليفورنيا ايضا .

كيفية التنبوء بالشقوق

هناك عدة طرق من الممكن التنبوء بالشقوق هنا نذكر اهمهم :-

1-دراسة المتكشفات الصخرية (out crop study)

دراسة المنكشفات طريقة جيدة للحصول على علاقة Tectonic مع الشقوق وchannel و styolite .....الخ . لانه يفترض بان المنكشفات هو انعكاس باطن الارض , على سبيل المثال في عام 2007 عندما قررت شركة كونوكوفليكس رسم موديل لشقوق حقل باي حسن اعتمد على متكشفات حقل قرجوغ بسبب عدم وجود معلومات كافية على شقوق حقل باي حسن .

2- فقدان السوائل اثناء عمليات الحفر (Losses)

يمثل فقدان السوائل اثناء عمليات الحفر احدى الوسائل المهمة للتعرف على تواجد الشقوق في المكامن النفطية والغازية حيث يمكن اعتبار عدد المرات التي يحصل فيها فقدان لسائل الحفر مؤشرا (بصورة تقريبية) على كثافة الشقوق في حين تشير معدلات فقدان سوائل الحفر الى ابعاد هذه الشقوق من ناحية الحجم ومقدار اتصالها مع بقية الشقوق في الطبقات المكمنية .

تشير المعلومات المتوفرة عن فقدان السوائل في الطبقات المكمنية في منطقة بابا الى تواجد الشقوق بكثافة محسوسة خاصة تكوين بابا بينما في حقل خباز كون الشقوق قليلة والانتاج من النسيج لذا نرى اثناء عملية الحفر عدم حدوث فقدان للسوائل قابل للذكر.

3- نسبة استخلاص اللباب (Recovery of the core)

يعتبر انخفاض نسبة استخلاص اللباب مؤشر على ان التكوين المحفور غير متماسك مما يزيد من احتمال كونه متشققا هذا ويتضح بأن الفترات التي قطع فيها اللباب اثناء عملية الحفر خلال تكوينات العصر الثلاثي والعصر الطباشيري غير مترابطة خاصة تكويني بابا و قمجوقة السفلى . جدير بالاشارة الى ان بئر K-130 تشذ عن هذا التوجه العام حيث نسبة الاستخلاص عالية جدا والسبب هو معظم هذه الشقوق مملؤة بالبتيومين الذي ساعد على تماسك قطع اللباب اثناء عملية الاستخلاص .

4-الدالة الانتاجية و الضغط التفاضلي (productive index and pressure diffreition)

ان الدالة الانتاجية (PI)والضغط التفاضلي للابار مؤشران مهمان على تواجد الشقوق

PI=Flow rate/(reservoir pressure-well flowing pressure at bottom)

PI=ϕ/(Pr-Pwf)

ϕ =جريان النفط بالبرميل /يوم

Pr =ضغط المكمني عند الغلق

Pwf =ضغط المكمني عند الجريان

الضغط التفاضلي= ضغط المكمن عند الغلق – ضغط المكمني عند الجريان

قبة بابا وافانا لهما دالة انتاجية عالية وهذا يدل على وجود تشققات عالية حيث يتراوح (PI) بين 1000-10000 برميل /يوم , اكثرها يتراوح بين 2000-5000 برميل اما الدالة الانتاجية في قبة خورمالة اقل يتراوح بين 100-500 برميل والسبب هو قلة الشقوق . مثال على ما ذكرناه بئر كركوك-329 تم حفره عام 1992 من الابار النموذجية في منطقة سربشاخ , ضغط الباطني عند العمق 685م كانت 757 psi وضغط الجريان في نفس العمق 753 psi اي ضغط التفاضلي 4 psi والدالة الانتاجية 8500 , بئر كركوك -323 الضغط التفاضلي 3 psi , بئر كركوك -343 الضغط التفاضلي 2.1 psi , اما ابار حقل خباز معظم الانتاج من النسيج وذلك لقلة الشقوق مثلا بئر خباز25 لم تقع فقدان السوائل مطلقا وان الضغط التفاضلي يصل 47psi و الدالة الانتاجية تبلغ 500 برميل /يوم . في المكامن الجيدة التشقق يقل الضغط التفاضلي ويزداد الدالة الانتاجية .

اذا تجاوز (PI) لاي بئر 500 STB/D/PSI هذا يدل عل وجود الشقوق و95% من النفط تنتج من الشقوق . (المصدر كتاب PETROPHYSIS 4TH EDT)

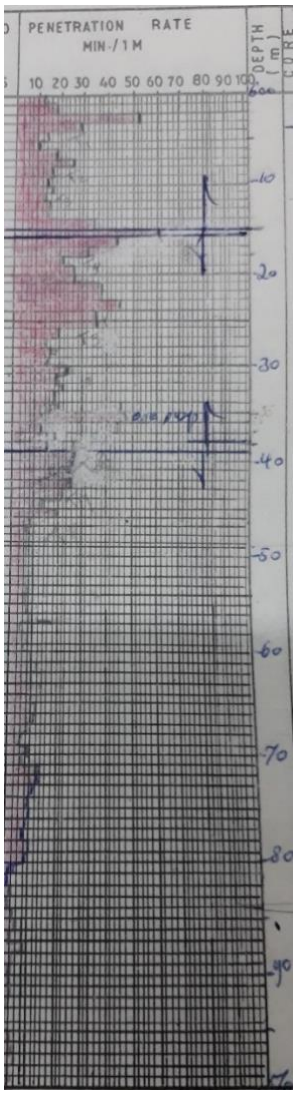
5- المجسات (Logs)

لايوجد مجس خاص لتحديد الشقوق بل ممكن التنبوء به نتيجة تفسير بعض المجسات . المجسات حساسة جدا لوجود نفاذية عالية في الصخور المكمنية خاصة اذا كانت النفاذية بواسطة fractures في وسط ذات نفاذية قليلة من matrix . كشف الشقوق بواسطة

المجسات يقتصر على open fracture و Partially filled .
ان المجس لا يفرق بين الشقوق الطبيعية والشقوق التي حدث اثناء الحفر .

Mud loggig-1

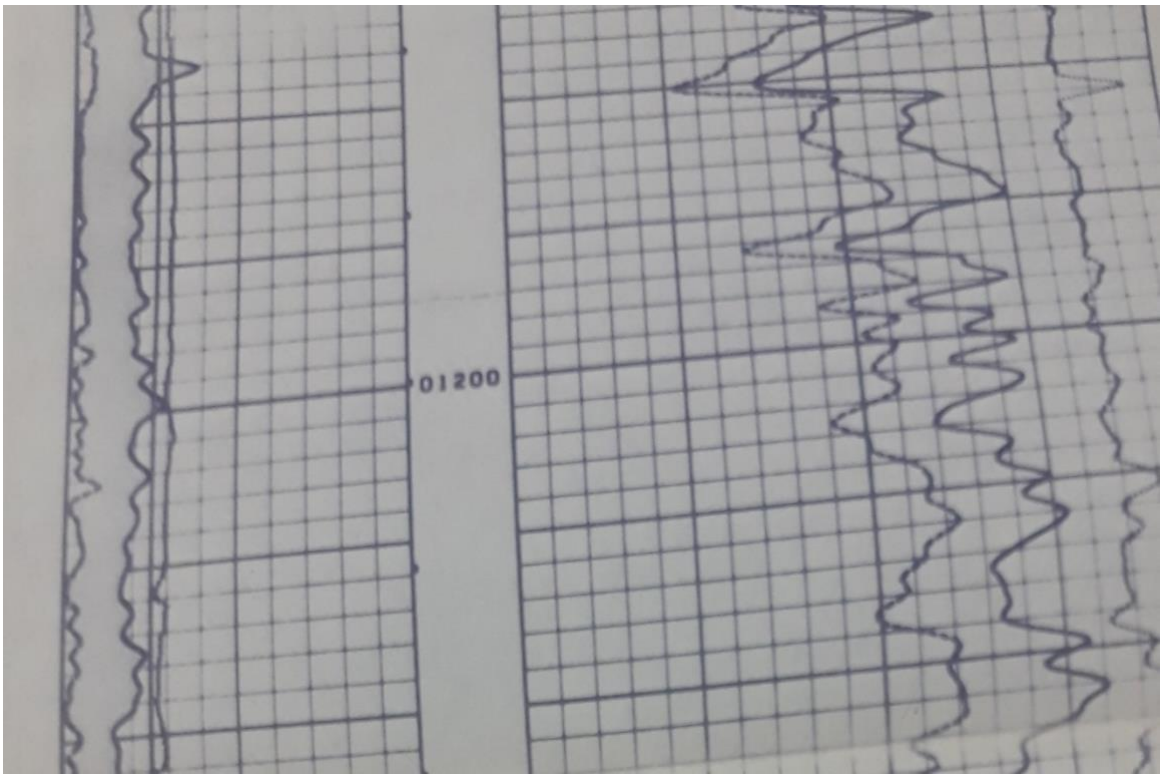
تكشف mud logging الشقوق من اتجاهين اولها فقدان سوائل الحفر(mud losses) لانه ينعكس زيادة النفاذية و انه برهان على وجود مجرى لجريان السوائل ثانيا يزداد سرعة الحفر(pentration) وذلك لقلة تماسك الصخرة في التكاوين المتشققة ..



شكل قم (6) يبين تأثير الشقوق على سرعة الحفرفي بئر كركوك-329

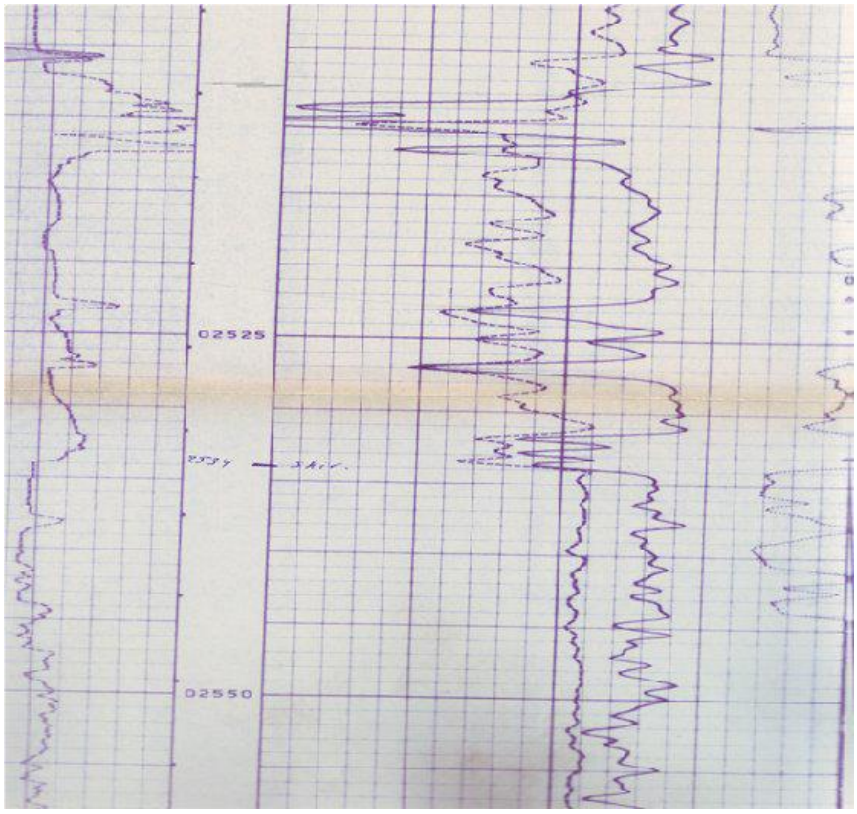
Gama ray log - 2

عن طريق مجس Gammaray من الممكن ملاحظة منطقة متشققة وذلك بسبب زيادة قراءة نسبة يورانيوم



شكل قم (7) يبين زيادة نسبة اليوانيوم في مجس كاما

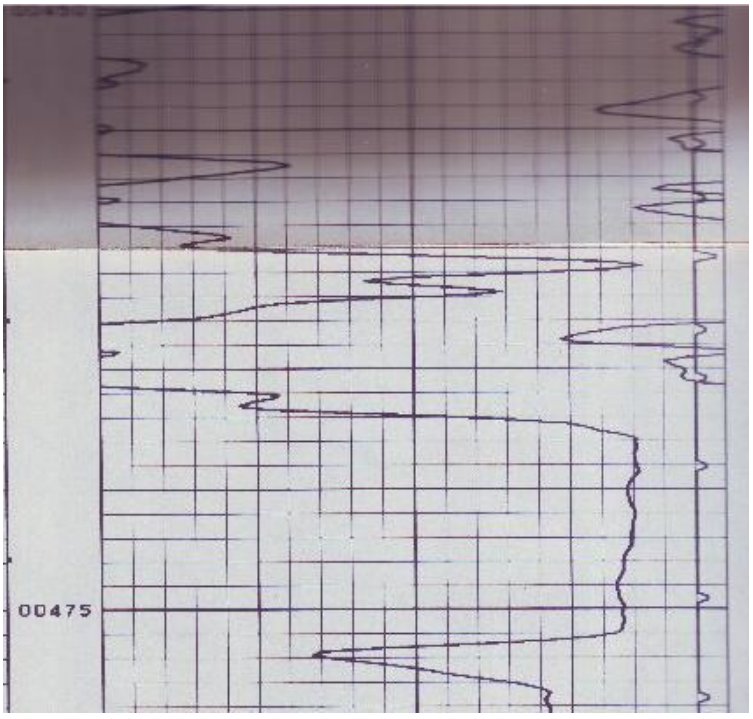
FDCCNL LOG-2 في مجس الكثافة يقل الكثافة مع زيادة في التصحيح Strong correction



شكل رقم (8) يبين تأثير الشقوق على منحني التصحيح

3-مجس الصوتي

يحدث ظاهرة (Cycle skipping)



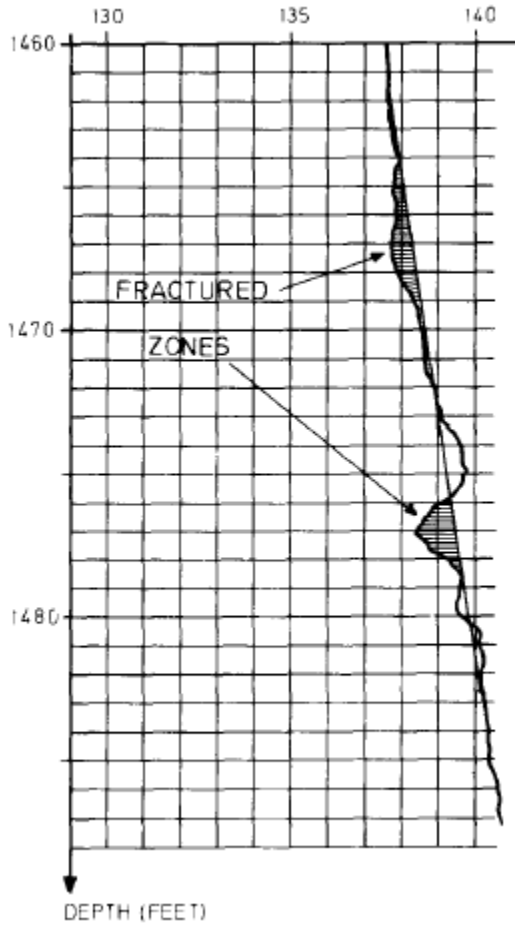
شكل رقم (9) يبين تأثير الشقوق على منحني مجس لصوتي

Caliper log-4

في المنطقة المتشققة يقل قطر التجويف ويزداد سمك Mud cake , في حالات اخرى اثناء عملية الحفر يتوقع ان يدمر ال (bit) جدار البئر في المناطق ذات شقوق ويحدث caving

Tempreture log-5

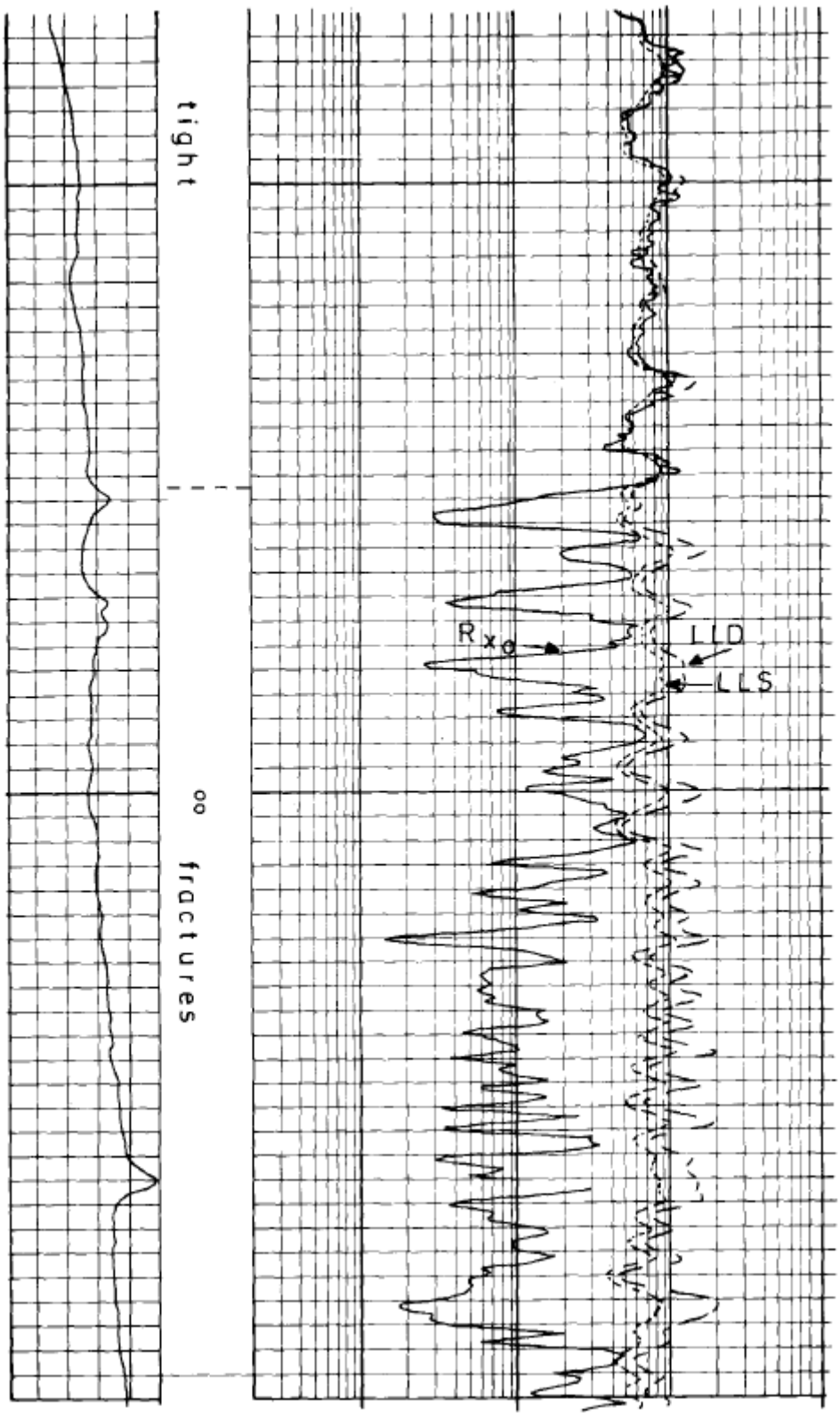
التكاوين المتشققة يسجل حالة شاذة من حيث درجة الحرارة اي تقل . نتائج مجس الحرارة تكون ناجحة في حالة open hole



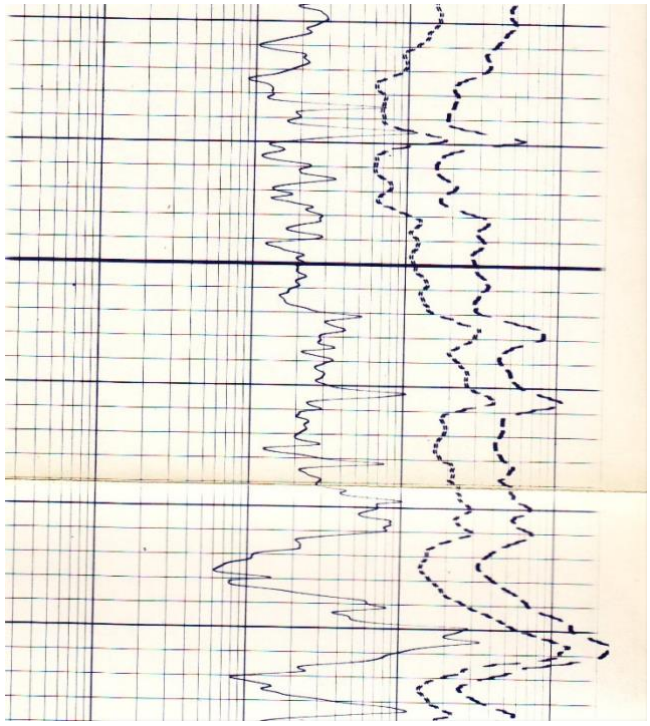
شكل رقم(10) يبين تأثير الشقوق على درجة الحرارة

Resistivity log-6

اذا كان المنطقة المتشققة مملوءة بالهايدروكابون يقل Rxo يتصرف المنحنيات الثلاثة كالاتي :



شكل رقم (11) يبين تأثير الشقوق على مجس المقاومة



شكل رقم (12) يبين تأثير الشقوق على مجس المقاومة في احد ابار حقل باي حسن

Image log-7 سنتطرق اليه بالتفصيل فيما بعد .

وصف الشقوق في اللباب (core)

توصف الشقوق في اللباب من النواحي التالية :-

1-الطول:- من ناحية الحجم هناك minor frature والتي طوله عدة سنتيمترات , وكذلك هناك major frature طوله من عدة دسيمترات الى عدة امتار بحيث لايمكن مشاهدته على نفس اللباب .

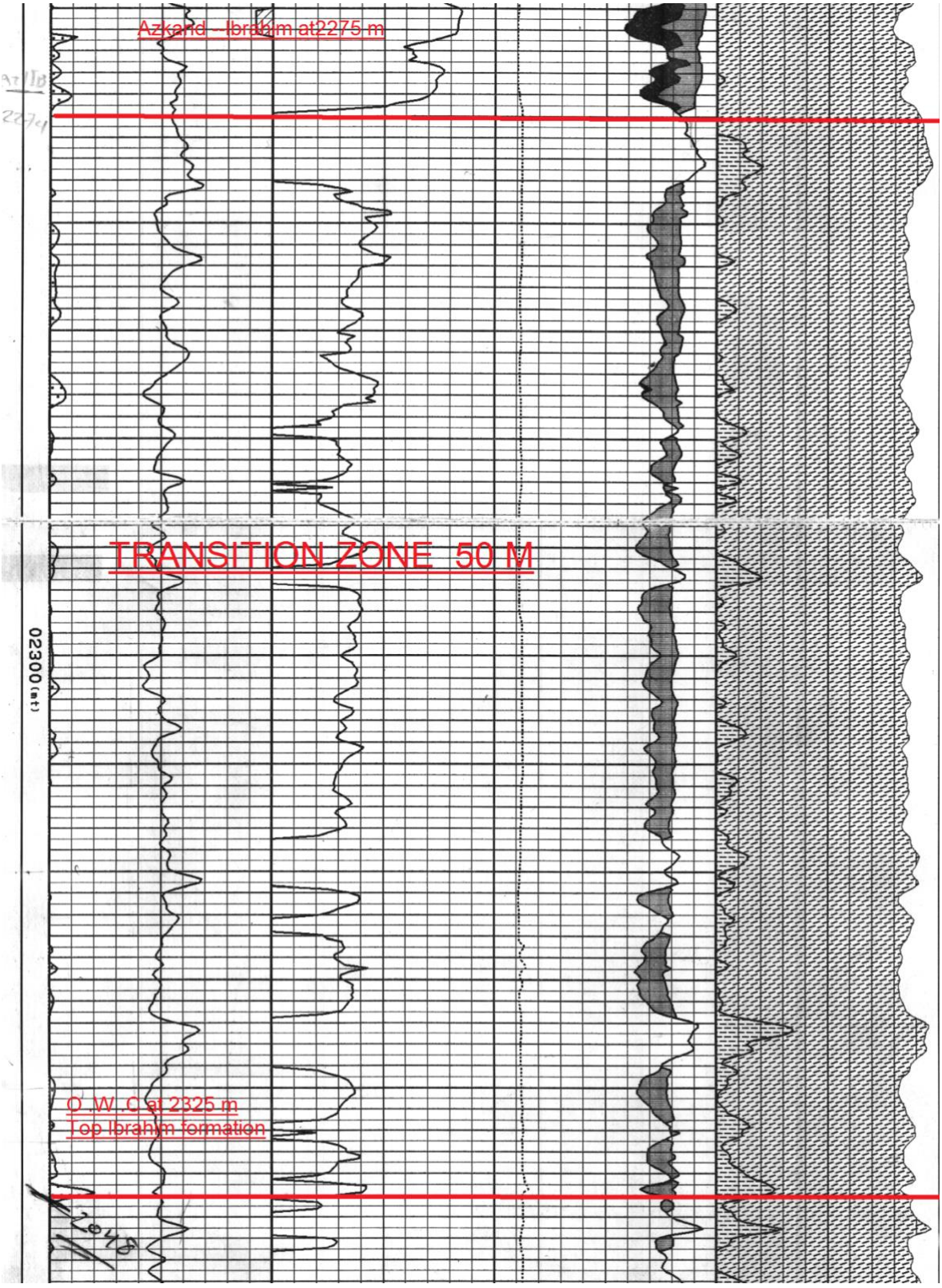
2-شكل العام general shape يمكن ان تلاحظ هذه المظاهر (continuos, discontinuos, wavy , planer) .

3-Surfae aspcet يكون سطح الشقوق اما
(rough,smooth,glassy,striated,grooved)
4-Opening هنا يجب ان نذكر نوع فتحة الشقوق
سواءكانت خالي او مملوء بمختلف المعادن او فتحته
ضيقة .

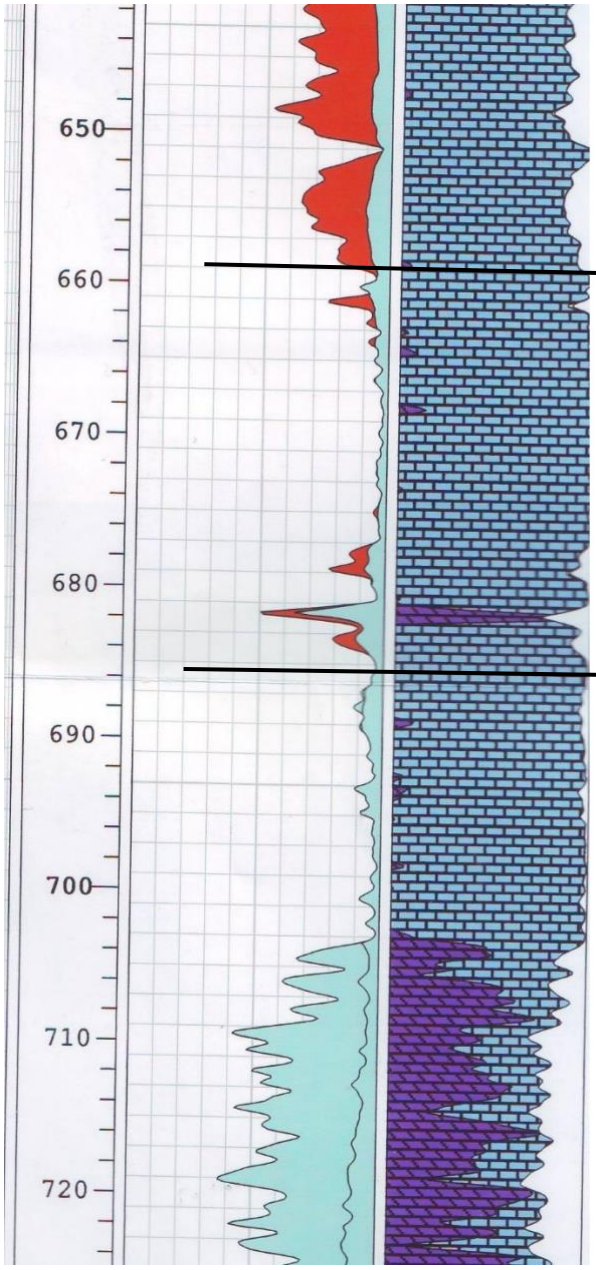
o

الانتاج من الابار المتشققة

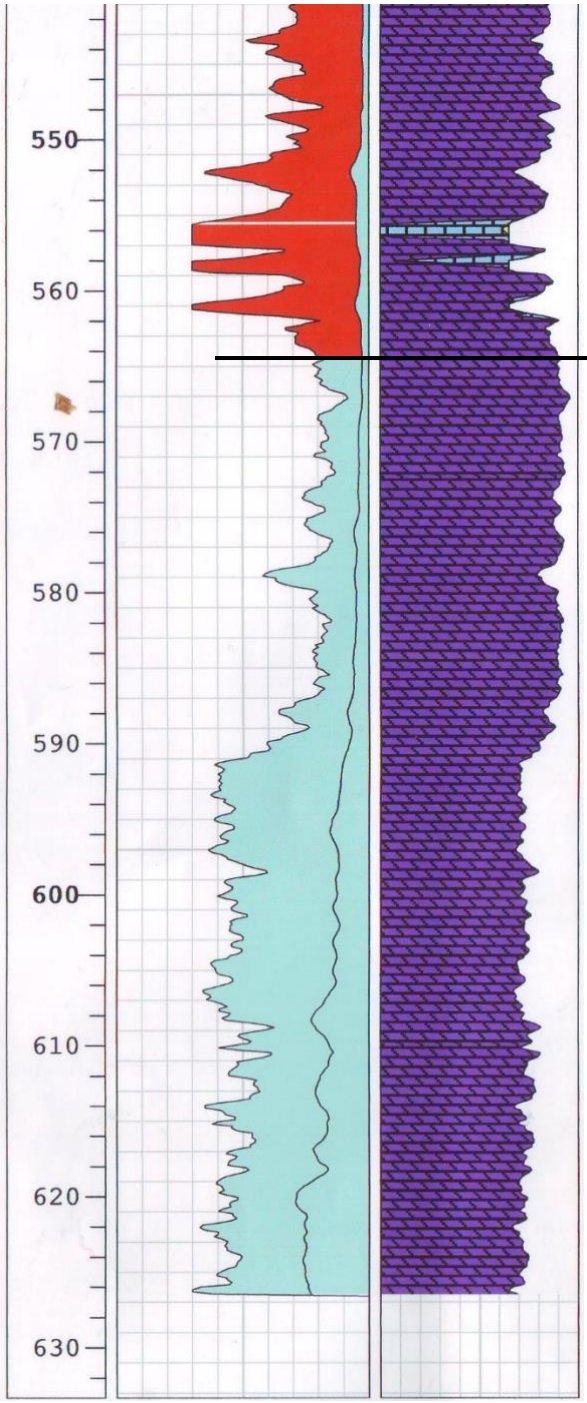
تتميز المكامن المتشققة بان سمك المنطقة الانتقالية (Transition zone) فيه تكون قليلة جدا او بعض المرات ينعدم , لذلك فأن المستويين للتماس(two phase contact بين النفط والغاز وبين الماء والنفط قبل البد بالانتاج واضحان و contact يكون على شكل حاد (sharp) والسبب هو النفاذية العالية للتشققات . مثال على ذلك المنطقة الانتقالية في قبة خورمالة اطول من قبتي بابا وافانا والسبب هو قلة الشقوق في قبة خومالة قياسا بالقبتين الاخريين .



شكل رقم (13) يبين طول منطقة الانتقالية في احد ابار حقل خباز بسبب قلة الشقوق



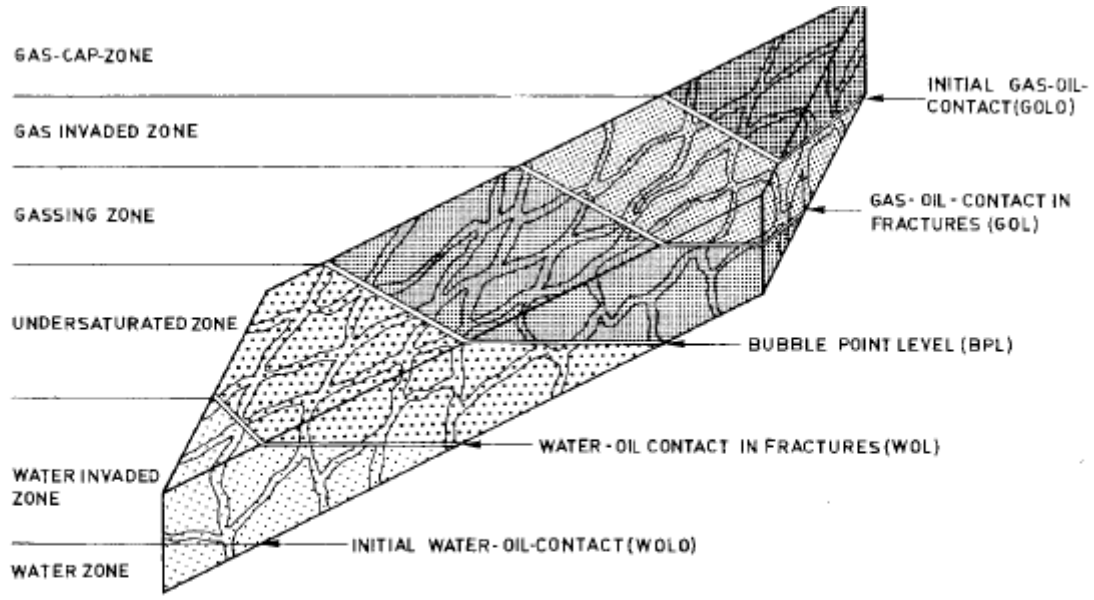
شكل رقم (14) يبين طول المنطقة الانتقالية في احد ابار قبة خورمالة



شكل رقم (15) يبين عدم وجود المنطقة الانتقالية في احد ابار قبة افانا

الاستمرار بالانتاج يؤدي الى انحدار الضغط في المكامن المتشققة اقل نسبة الى المكامن العادية و يعود السبب الى التغذية المستمرة للشقوق من matrix نتيجة gravity imbibition, والاختلاف في التشبع بين matrix و

frature . من صفات الابار المتشققة هو ظهور مستويين للماء ونفط بالاضافة الى مستويين للغازو نفط .
يتميز الشقوق بانه مشبع بنوع واحد من السائل بينما matrix مشبع بنوع واحد او اثنين او ثلاثة من السائل .



E.3 – Reservoir zonation after the starting of reservoir production

شكل رقم (16) يبين ظهور مستويين للموائع

علامات المكامن المتشقة

1-عم التجانس بين انتاجية الابار اي هناك اختلاف من بئر الى اخر

2-فقدان السوائل Losses بسبب النفاذية العالية .

3-لايمكن توقع ابار جافة Dry well

4-عدم تجانس النفاذية من بئر الى اخر

5-يتم الانتاج في بعض الابار من خلال الشقوق فقط بينما هناك ابار يتم الانتاج من خلال النسيج والشقوق .

6- يكون التدرج الضغطي (gradial pressure) قليلا وهذا يعود الى النفاذية العالية للشقوق

7- يكون تركيب السائل في العمود النفطي موحدا .

8-مستوى OWC و GOC في المكمن موحدا تقريبا .

تحليل معلومات الشقوق

يتم الحصول على المعلومات حول الشقوق من الجوانب الاتية :-

Fracture type , orientation,length,type of filling,aperture,spacing,interconnection degree,type of termination

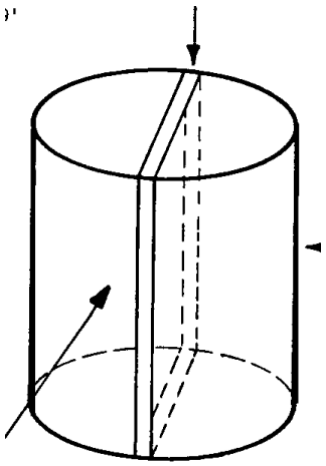
مبادىءتصنيف الشقوق

هناك مباديء مختلفة تصنف على اساسها الشقوق نذكر هنا بعض منهم :-

أ/ التصنيف على اساس فتحة الشق

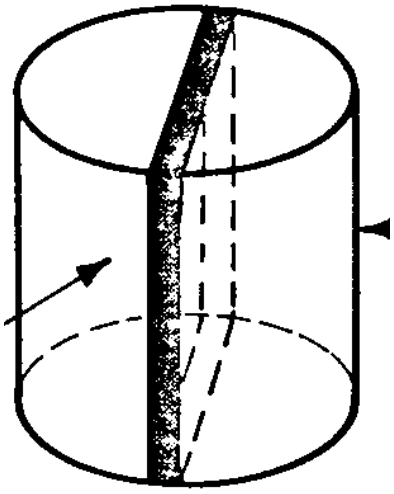
1-الشقوق المفتوحة (open frature)

في هذا النوع من الشقوق لاتوجد اي مادة غريبة داخل الشقوق ويكون جريان السائل حر الحركة , النفاذية جيدة والنتيجة اما على شكل (first order fracture) التي يخترق فيه الشقوق عدة طبقات , او (second order frature) والتي يكون فيه الشقوق يخترق طبقة واحدة .



شكل رقم (17) يبين شق مفتوح

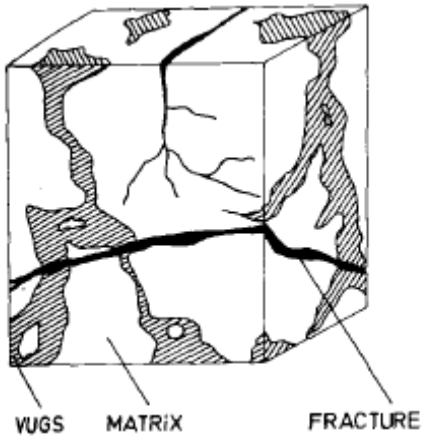
2- الشقوق المليئة بالمعادن (mineral filled frature)
من الاسم يتبين بان الشق امتلئت بمعدن نتيجة عملية (diageneses) ,في الغالب يكون هذه المعدن كوارتز او كاربونات , ممكن ان يكون الملىء جزئي (partial) او كلي (completed) , وفي كلتا الحالتين تؤثر سلبا على النفاذية



شكل رقم (18) يبين شق مليئة بالمعادن

3- vuggy fratures

يصاحب هذا النوع مسامية جيدة ويصبح مجرى لمرور السوائل . يكون جزئيا او كليا مملوءة بالكالسايت يظهر على شكل لون فاتح وحوله دائرة سوداء . اما open vug يظهر اكثر داكنا .



شكل رقم (19) يبين فيه مختلف انواع المسامات منها vug

ب/ التصنيف على اساس مصدر تكون الشقوق

1- Structural unrelated fracture

في هذا النوع ليس للتكتونيك دور فيه , الشقوق لها اتجاه ومنتظم .

شكل رقم (20) شقوق منتظمة بفعل عمليات غير تكتونية

2- Structural related fracture

هذا النوع تكون نتيجة تكتونيك والشقوق ليس لها اتجاه معين وغير منتظم .

شكل رقم (21) شقوق غير منتظمة بفعل عمليات تكتونية

ج/ التصنيف على اساس حجم الشقوق

من التجارب تبين بان معظم الشقوق حدث في صخور صلدة ذات مسامية قليلة بعد تعرضه الى حركات تكتونية .

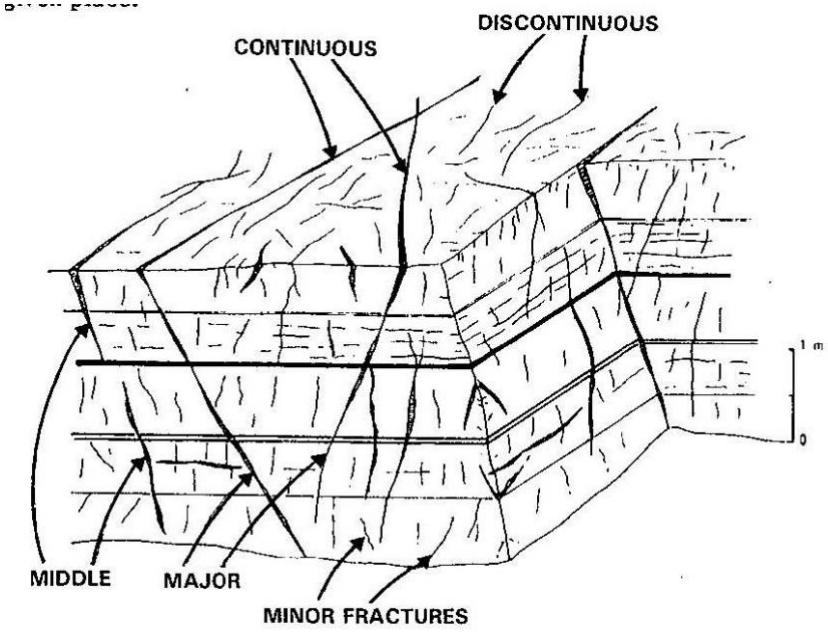
1-Magor frature (الشقوق الرئيسية)

في هذه الحالة يكون الشقوق كبيرة ويمتد الى مسافات بعيدة قد تصل الى مئات الامتار, ونادرا ما تملأ بالمعادن .

2-Medium fracture (الشقوق المتوسطة) تقطع الشقوق عدة طبقات ولايشارك بانتظام .

3-Microfracture او Minor fracture

هنا تكون الصخرة اقل هشة (less brittle) ولها مسامية بين الحبيبات عالية , وتنتج شقوق بمسافات محدودة وذات فتحة محدودة .



شكل رقم (22) يبين فيه انواع الشقوق

اما بالنسبة لعرض فتحة الشق يتراوح بين 10-200 مايكرون ويعتمد على depth, pore pressure ,type of the rock .

التشققات اما ان تكون مقاسة (ممكن رؤيتها وقياس طول وعرض واتجاه الشقوق) واما ان تكون غير مقاسة (عبارة عن اثار للشق يبدأ في اللباب وينتهي في اللباب وغير كثيف) .

ملاحظة مهمة :- عندما يكون المكمن عبارة عن شقوق بدون ظهور شبكة من التشققات اي غير متصلة لايعتبر مكمن متشقق .

Fracture porosity

صخور المكامن المتشققة يحتوي على نظامان من المسامية الاول primary porosity اي المسامية الاولية او مسامية النسيج matrix porosity والتي يتكون بواسطة فراغات بين حبيبات الصخرة inter granular اثناء ترسيب الصخور والتي نتمكن عن تحديد نسبته بواسطة (sonic log) اما الثاني وهو المسامية الثانوية secondary porosity والتي تنتج نتيجة الحركات التكتونية او العمليات التحويرية ويشمل الشقوق , vug .....الخ , ممكن تحديد نسبته عن طريق neutron log . غالبا ما تحدث المسامية الثانوية في brittle rock ,compact rock والتي مسامية النسيج او مسامية بين الحبيبات (inter granular) فيهما قليلة . عادة تقل المسامية الثانوية مع مرور الزمن نتيجة ملء جزئي للفراغات بواسطة معادن جديدة يختلف عن مكونات الصخرة الاصلية , هذه المعادن ينشأ نتيجة الذوبان والترسيب .مثل ترسيب يورانيوم في شقوق معدن دولومايت .

$\Phi t=\Phi m+\Phi f$

Φt=total porosity

Φm= matrix porosity or primary porosity

Φf= fracture porosity or secondary porosity

عموما المسامية الثانوية والشقوق جزء رئيسي منه اقل من المسامية الاولية

الفرق بين المسامية المستحصلة من مجس الصوتي ومجس نيوتون يعطينا مسامية الشقوق .

fracture porosity = total porosity -= matrix porosity

Φmaتحسب من المجس الصوتي

Φtotal تحسب من مجس نيوترون والكثافة ,وبطرح الاول من الثاني نحصل على مسامية الشقوق

حساب مسامية الشقوق مهم خاصة عندما يكون المساميية الكلية اقل من 5% .

مسامية الشقوق لايتجاوز 5%

مثلا معدل مسامية الشقوق في قبتي بابا وافانا يصل الى 1.8% بينما في قبة خورمالة لا يتجاوز 0.9%

في حالة وجود النفط في النسيج والشقوق تحسب الخزين النفطي كل على حدة :-

Not(STB)=Nom+Nof

Nom =حجم الخزين النفطي في النسيج

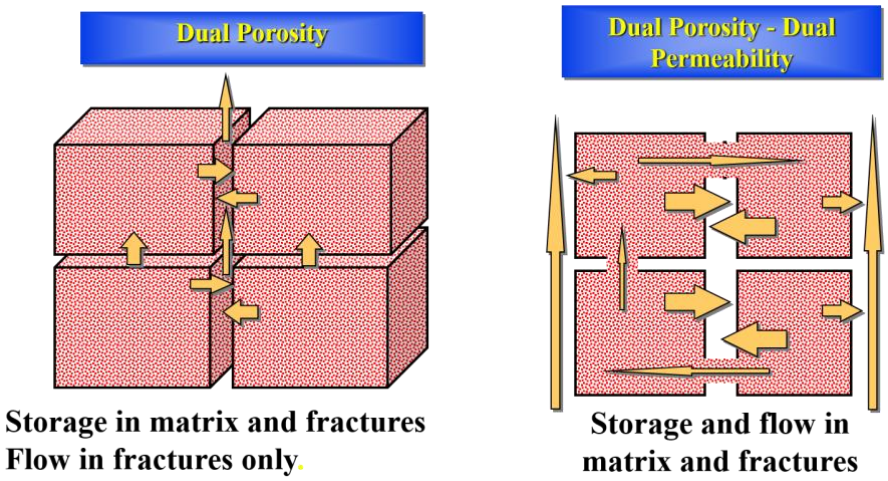
Nof = حجم الخزين النفطي في الشقوق ,

$$N_{om} = \frac{7758Ah\phi_m(1-S_{wm})}{B_o}$$

$$N_{of} = \frac{7758Ah\phi_f(1-S_{wf})}{B_o}$$

في معظم المكامن النفطية النسيج الصخري (matrix)يحتوي على مسامية عالية ولها سعة عالية للخزين النفطي ولكن سعة الجريان قليلة , اما منطقة التشققات لها سعة قليلة للخزن ولكن طاقة الجريان عالية . في المكامن تكون دائما matrix في اتصال مع شبكة الشقوق ويغذيه بالنفط , اذا الشقوق تصبح ممرا (path) لجريان النفط . اما في بعض الاحيان اذا كان مسامية النسيج جيدة يكون جريان النفط من الشقوق والنسيج .

.



شكل رقم (23) يبين فيه جريان النفط في الشقوق والنسيج

حسب دراسة شركة شيل عام 2007 لحقل كركوك تبين بأن الخزين النفطي البدائي في الشقوق كانت 9.7 مليار برميل بينما الخزين البدائي في النسيج بلغ 51.6 مليار برميل .

مسامية الشقوق يعتمد على حجم المسافات بين الشقوق ولها تأثير كبير على النفاذية بينما مسامية النسيج يعتمد على حجم الحبيبات .

تأثير الشقوق على مستوى الموائع (Effect of contacts) fractures on the fluid

احدى الصفات المهمة للمكامن الكاربوناتية المتشققة هو التغير السريع لمستوى الموائع . نتيجة الفحوصات الجارية في شركة نفط الشمال لحقل كركوك تبين بان مستويات التماس (OWC,GOC) يتحرك في قبة بابا بشكل اسرع بينما اقل في قبة افانا وليس هناك تغير يذكر في قبة خورمالة وهذا يعود الى الاختلاف في كثافة الشقوق فيهم كما نرى في هذا المثال المقتبس من دراسة شركة شيل .

Initial free water level in baba dom=658 msl

Initial free water level in avana dom = 655msl

Initial free water level in khurmmala dom = 685msl

In 2007 after 73 years of production:-

Free water level in baba dom =123-126 msl

Free water level in avana dom =336-339msl

Free water level in khurmmala dom = 685msl

امثلة على الحقول المتشققة

حقل كركوك

يعتبر حقل كركوك من الحقول الكبيرة ويمتاز بتشققاته العالية ولكن ليس موزعة بصورة متساوية على جميع ارجاء الحقل , هنا نذكر بعض من خصائصه :-

1- تكاوين fore reef يمتاز بخصائص مكمنية جيدة من حيث المسامية والنفاذية يتراوح مسامية النسيج بين 18-36% وتقدر النفاذية ب 50-1000 مللي دارسي مثل تكوين بابا.
2-االتكاوين القاعية لها مسامية متوسطة 8%-18% مع نفاذية واطئة مثل تكوين تارجيل .
3-االتكاوين اللاغونية ذات مسامية قليلة 0%-4% ونفاذية منعدمة تقريبا 0-5 مللي دارسي مثل تكوين انهايدرايت .
4-ففي قبة خورمالة main limestone لها كفاءة مكمنية ضعيفة .
5-قبة بابا وافانا لهماكفاءة مكمنية جيدة .
6-ن نفاذية الشقوق يحسن نفاذية الصخرة باكمله في السحنات الكاربوناتية .
7-االصخور fore reef افضل من تكاوين ذات lime mudstoe من ناحية التغذية لمعدل الجريان لان تغذية الشقوق بالنفط من قبل النسيج يكون سريعا .

8-االانتاج السريع للنفط من الشقوق يؤدي الى انحدار شديد للضغط وزيادة water cut لان النسيج لايتمكن من التغذية بهذه السرعة .

9-االتجاه الشقوق شعاعي (عمودي على سطح ال fold) .

-10

كثافة الشقوق يقل نحو الاجنحة ونحو تكاوين القاعية .

-11

معدل مسامية الشقوق تقدر ب 1%-3% في تكاوين Oligocene و 0.7 في تكاوين Eocene ولكن في منطقة crest يصل 8%

-12

مسامية النسيج يتراوح بين 13%-21% والنفاذية بين 50-1000 مللي دارسي وقد يصل ال 100 دارسي في الاماكن الكاملة التشقق .

-13

اتجاه الشقوق في جناح NE معظمها dip direction اما جناح SW اتجاهه strike direction .

-14

تمتاز الابا ر الواقعة في الاكتاف shoulder بالتشققات العالية اكثر من crest و flank

-15

يمتاز التكوينات المكمنية في قبتي بابا و افانا بالفقدان الكلي لسائل الحفر بينما قبة خورمالة يصادف فقدان جزئي .

-16

الشقوق الواقعة في المنطقة المائية water zone من النوع المغلقة closed بواسطة كالسايت بينما شقوق المنطقة النفطية مفتوحة opened

-17

بالنسبة لحقن الفوائض النفطية في سنوات التسعينات للقرن الماضي ممكن ان نقول بان الفوائض كانت يدفع الماء الموجود في الشقوق ويحل محلها وينخفض OWC ولكن هذا المستوى الجديد لايمثل النسيج لانه لايزال نسبة كبيرة من الماء موجود فيه وعند الانتاج خاصة في الابار التي كانت قبل الحقن مغمورة بالماء يأتي نسبة كبيرة من الماء مع النفط المنتج .

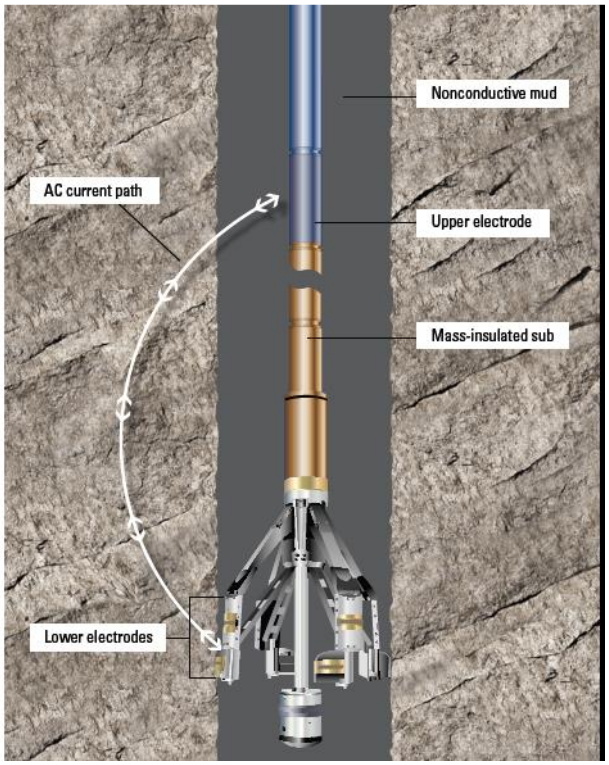
IMage log

تعريفه :- عباره عن صور الكترونية للصخور والموائع الموجوده في البئر , تؤخذ هذه الصور بواسطة اجهزة الكترونية او ضوئية تنزل الى داخل البئر . ليست الصورة مثل صورة core كصورة اعتيادية بل صورة كومبيوترية مبني على قياسات جيوفيزيائية بالطرق الصوتية او كهربائية . الصورة يمثل تكاوين تجويف البئر ويعطي تسجيل عمودي لجميع اعماق البئر .

فوائده :-تحديد bedding dip ,fractures. Fault, vugs, الخ.....ولكن الذي يهمنا هو الشقوق fractures .

تقسم الاجهزة المستخدمة في image log الى نوعان 1- كهربائي Electrical 2- Acoustic أي صوتي

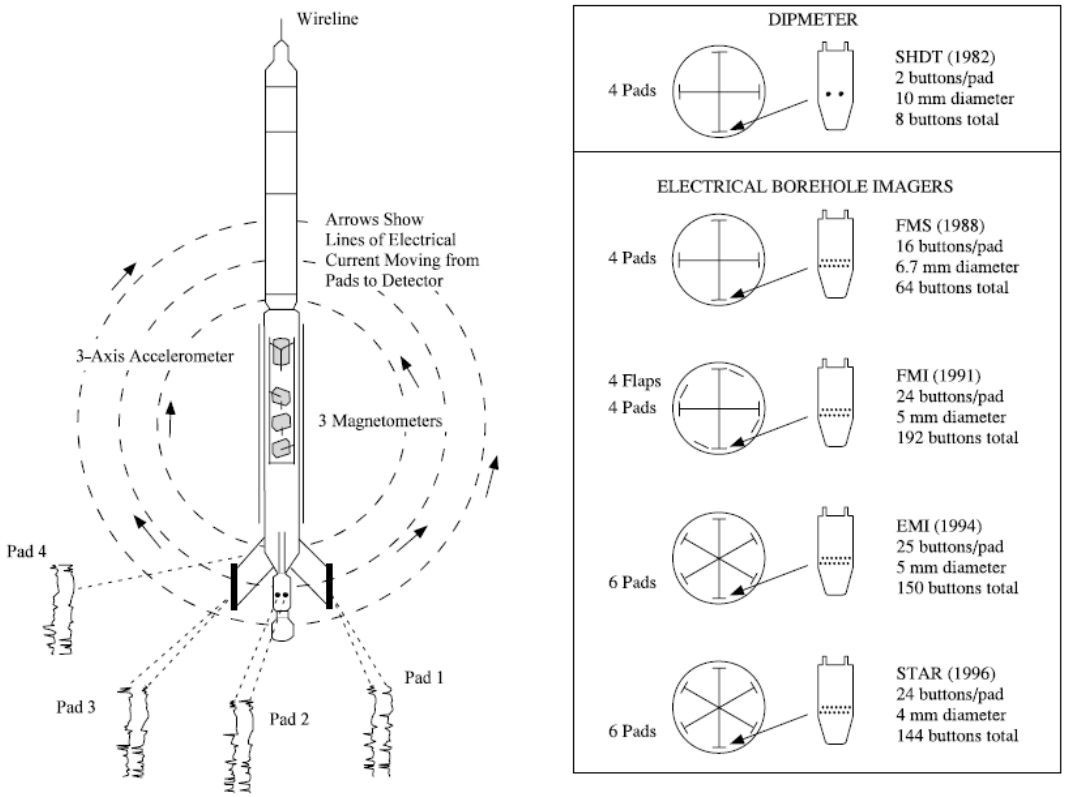
النوع الاول:- Electrical image log



شكل رقم (24) جهاز Electric image log

فكرة الجهاز مأخوذة من Dipmeter log . يتكون الجهاز من اربع اذرع (4 arms) ,توجد فوق كل ذراع مجموعة من البطانات (pads) وكل pad يحتوي على مجموعة من (electrods) الجدول الاتي يتضمن انواع مختلفة من جهاز (electro image log) ومحتوياته .

Company	Trade Name	Number of Pads	Number of Electrodes
Halliburton	**EMI** (Electrical Micro Imaging Tool)	6	150
Schlumberger	**FMS** (Formation MicroScanner)	4	64
Schlumberger	**FMI** (Formation MicroImager)	8	192
Baker Atlas	**STAR** (SimulTaneous Acoustic and Resistivity Imager)	6	144



شكل رقم (25) مكونات جهاز Electric image log

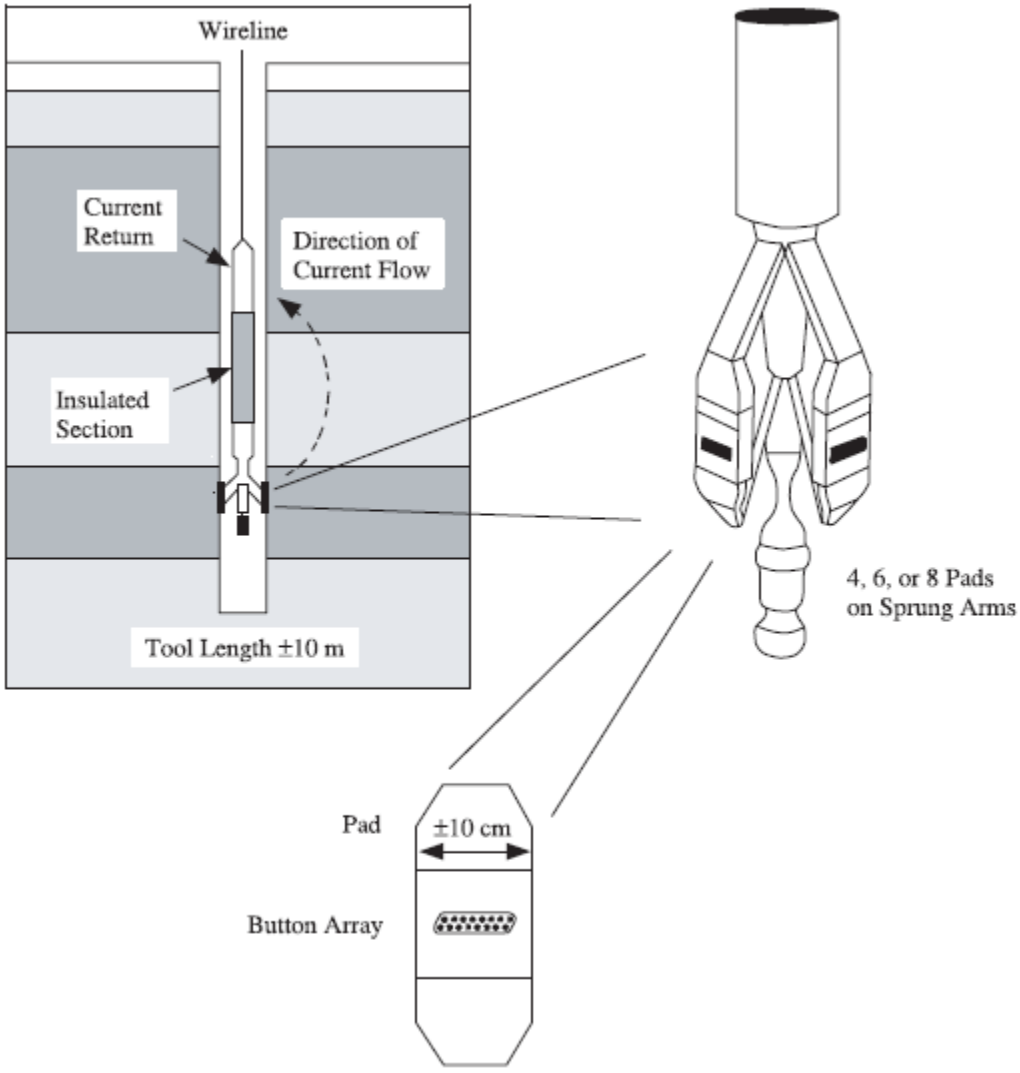
Bore hole image log :- عباره عن صور الكترونية لجدار التجويف تحصل عليها نتيجة الاختلاف الحاصل بين مقاومة الصخور والموائع الحاوية لها بالاضافة الى اختلاف المقاومة بين الطبقات المختلفة للصخور . هناك الوان مختلفة يعكس اختلاف في مقاومة الصخور حيث اللون الغامق يمثل المقاومة القليلة بينما اللون الفاتح يمثل المقاومة العالية .

Low amplitude/resistivity High

جهاز (Formation micro imager(FMI) :- احد انواع الاجهزهالمطورة الكهربائية لتسجيل (electric image log) ممكن استعماله في تجويف قطره يتراوح بين 6.25-21 inch اقصى سرعته للتسجيل 549m\hour . هذا يعطي معدل عالي للنمذجة حيث يصور نموذج في كل 2.5mm .هذا الجهاز لها قابلية لتسجيل اقل من 0.1ohm\m , لها حساسية قليلة الى طين الثقيل, بيضوية التجويف , عدم انتظامية التجويف , اقصى ضغط يتحمله هو 2000psi واقصى درجة حرارة 175c .يمكن ربطه مع بقية المجسات ذات التجويف المفتوح .

اكتساب المعلومات Data acquisition

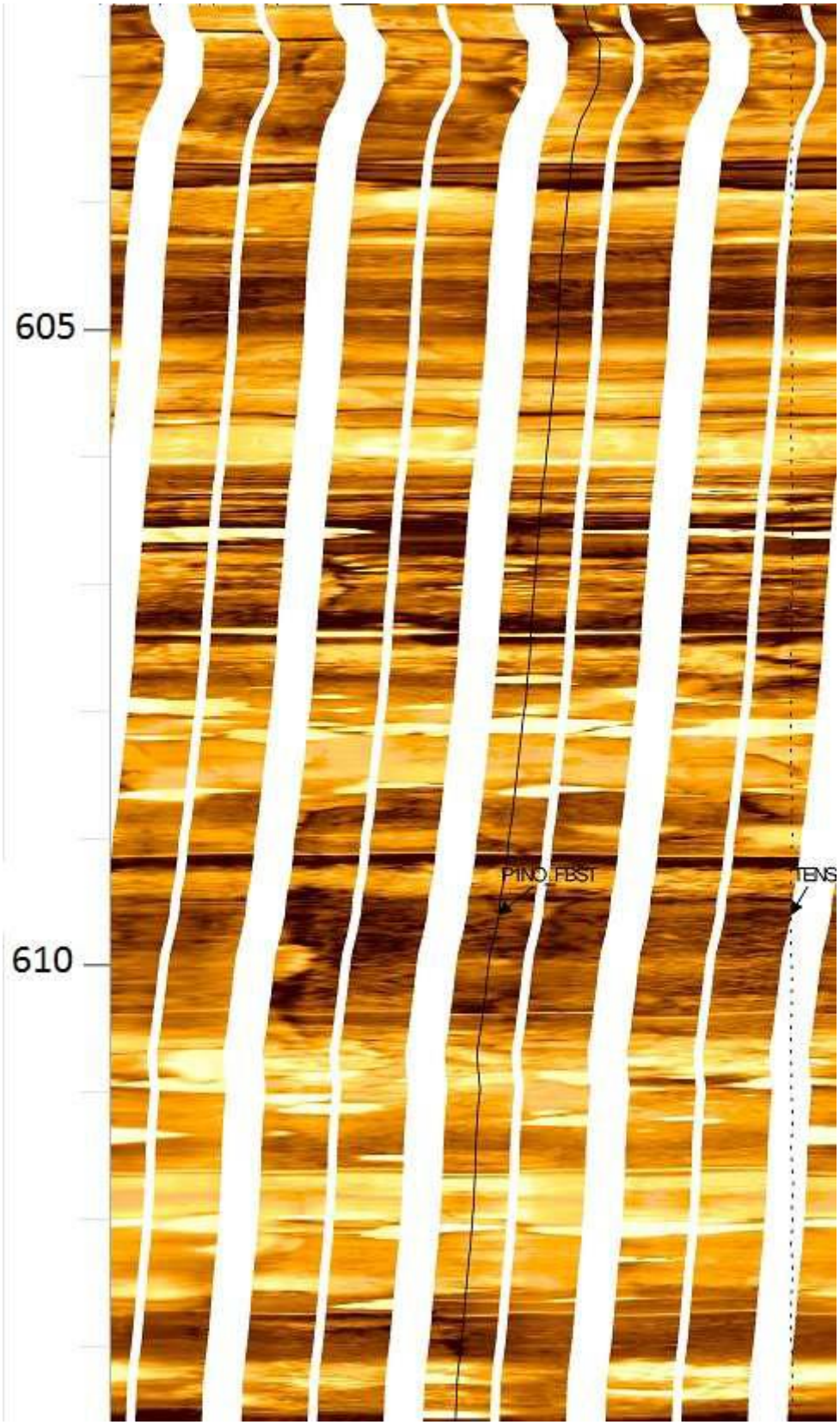
في البدايه تنزل الجهاز الى داخل البئر حيث البطانات pads مغلقة , عند البدء بالتسجيل كل البطانات سواء أكانت اربعة او ستة او ثمانية تفتح باتجاه جدار البئر . التيار الكهربائي الصادر من الالكترودات يتجه نحو الصخور وهناك حساس يستلم التيار بعد التفاعل مع التكاوين الصخرية , من قياس هذا التيار ممكن ان نحصل على مجموعة من المعلومات مثل fracture ,dip .



شكل رقم (26) يبين كيفية تسجيل المعلومات اخل البئر

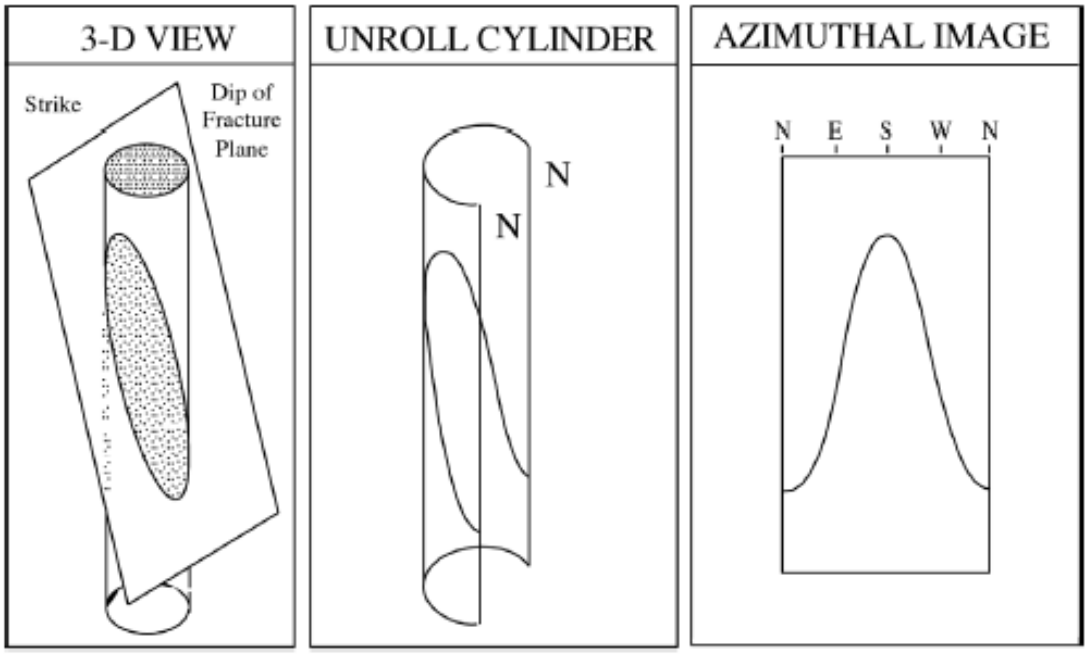
معدل النماذج التي تسجل من قبل الجهاز كثيرة جدا يصل الى 400نموذج /متر . بسبب ضخامة حجم الملفات الرقمية (Digital file)لذا اعتيادي في حالة تسجيل عشرات الاف ميكابايت من المعلومات في تسجيل واحد . عدد الالكترودات , عدد pad, قطر التجويف لهم دور في تغطية البئر . هذا الجهاز قادر على تغطية 40%-80% من البئر اما الاجزاء الغير مغطاة تظهر عاى شكل عمود ابيض . كما في الشكل ادناه

-:

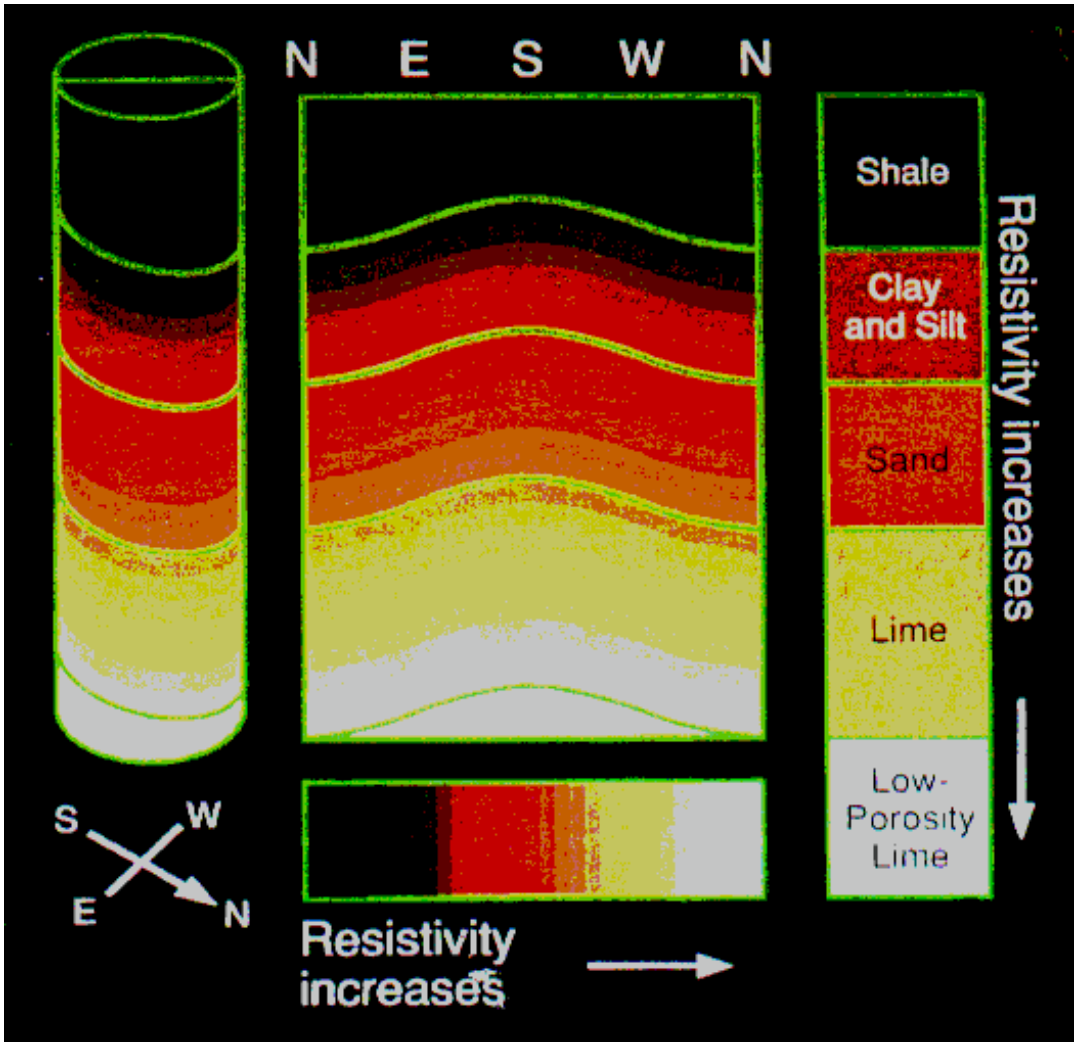


شكل قم (27) نموذج من تسجيلات Eletric image log

اما بالنسبة للعمق التي يعمل فيها الجهاز عادة اقل من انج واحد (2.5 cm) من التكوين الصخري . معدل التسجيل مقارنة ببقية مجسات التجويف المفتوح يصل الى 500- 550 م/ساعة . بما ان جهاز electro image hole جهاز كهربائي لذا يجب ان يكون سائل الحفر موصل conductive , ولابد ان لايتجاوز مقاومة الطين
(mud resistivity) 50 اوم/م لانه لاينسجم مع تصوير الكهربائي للبئر . يمكن الحصول على افضل صورة للبئر عندما تكون النسبة بين مقاومة التكوين الى مقاومة الطين اقل من 1000 . اقصى درجة الحرارة والضغط التي ممكن العمل فيها يصل الى (177c) و (20000psi) على التوالي . علما ليس هناك تطبيقات هذا الجهاز في حالة (cased hole) .
عملية التصوير الكهربائي للبئر انعكاس لمقاومة صخور جدار البئر . لغرض توضيح الصورة يفتح التجويف عموديا وافقيا ويظهر المعالم على شكل موجه (wave) كما في الشكل ادناه :-



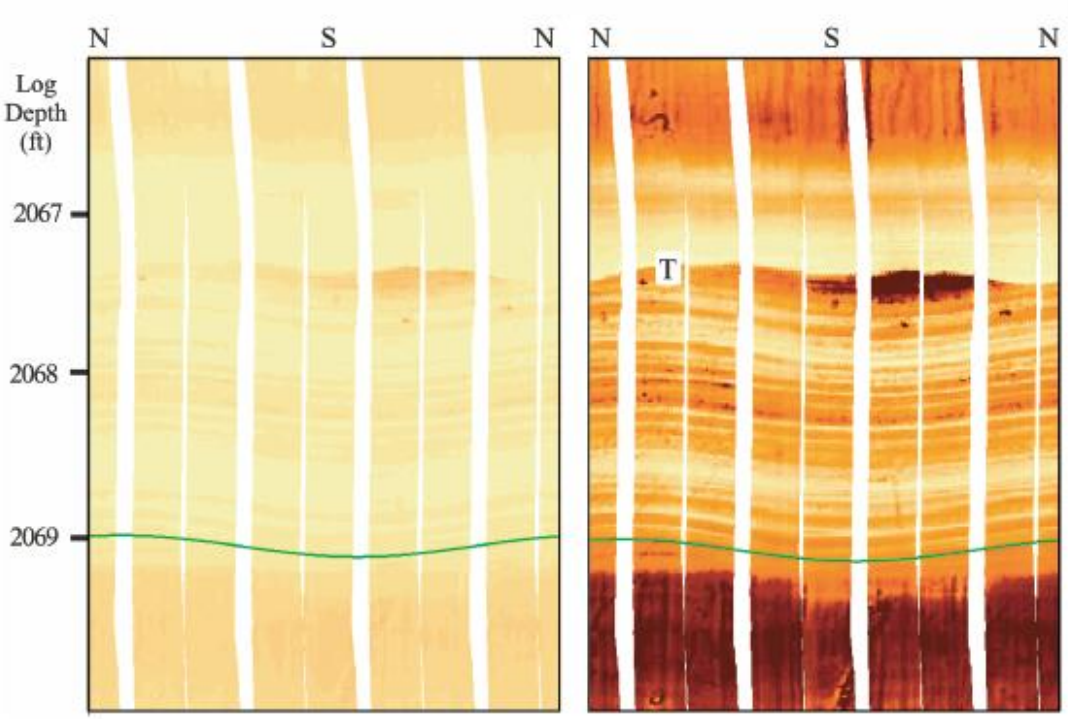
شكل رقم (28) يبين فيه فتح التجويف عموديا وافقيا



Electro image log يظهرعلى شكل خريطة الوان لمختلف انواع المقاومات . الاشكال ذات المقاومة القليلة مثل shale او شقوق مليئة بالموائع يبرزداكن او غامق , بينما الاشكال ذات المقاومة االعالية مثل (sandstone ,limestone) يظهر على شكل لون قهوائي او اصفر او ابيض ما يظهر في الشكل ادناه :-

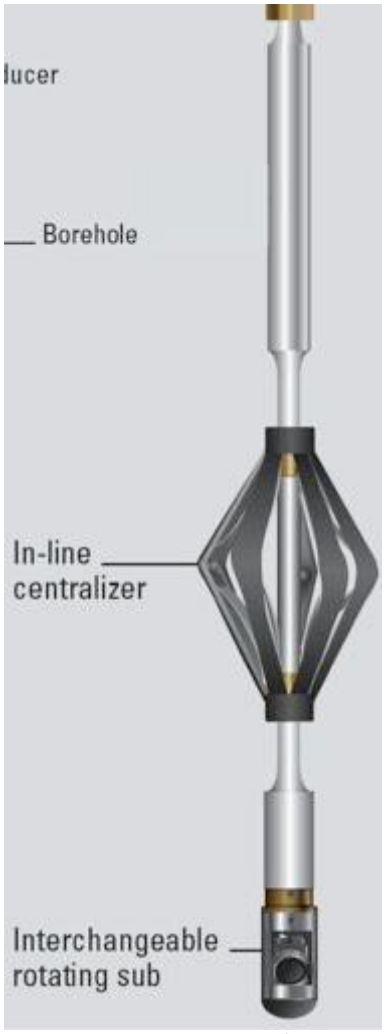
شكل رقم (29) يبين فيه مقاومة التكاوين عن طريق اختلاف الالوان

يكون Electro image log على نوعان:- static , dynamic



الشكلان (30و31) يوضحان النوعان من electric image log

Acoustic image log :- وتسمى ايضا (bore hole televiewers) ,
مبني على تكنلوجيا اخترعت لاول مرة عام 1960 . ينزل الجهاز الى مركز البئر (centralized),هناك (rotary tranducer)
يقذف ويسجل الموجات الصوتية التي يصطدم بجدار التجويف .
يسجل الجهاز (travel time & acoustic amplitude)
ويحولانهما الى صورة .



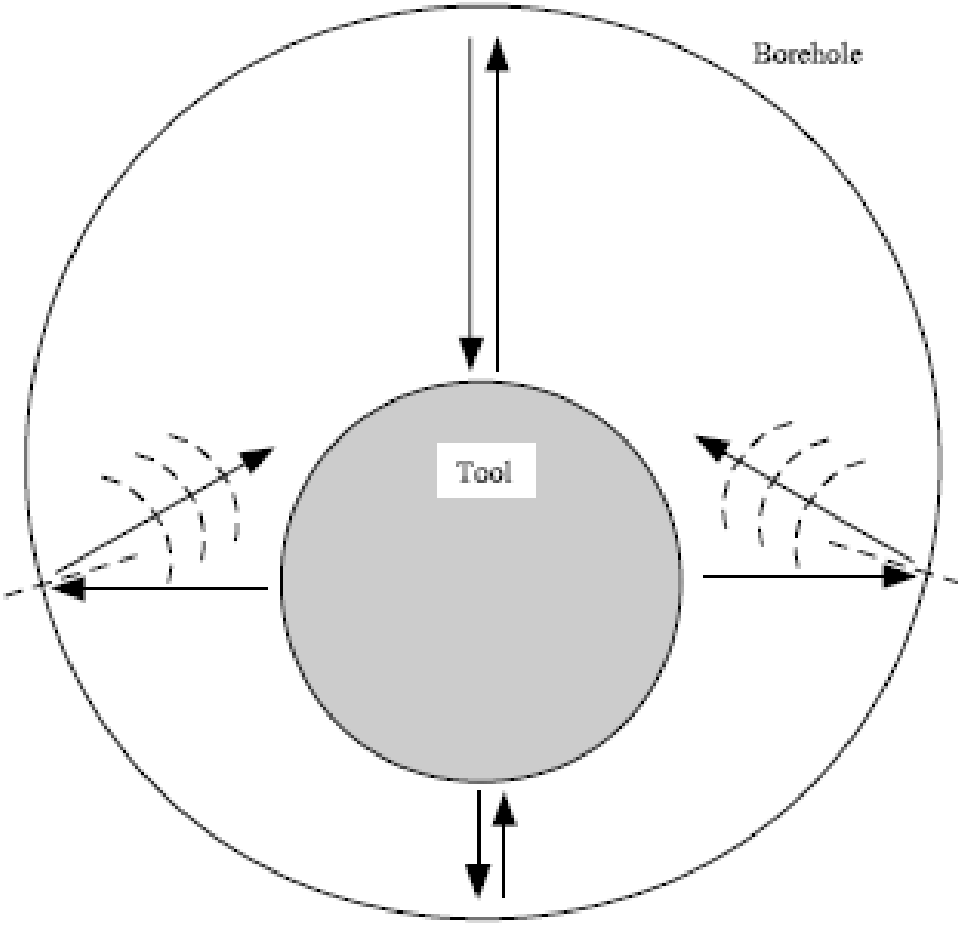
شكل رقم(32)يوضح المظهر الخارجي لـ Acoustic image log

Company	Trade Name	Useful References
Halliburton	CAST (Circumferential Acoustic Scanning Tool)	Seiler et al. (1990)
Schlumberger	UBI (Ultrasonic Borehole Imager)	Schlumberger (1993)
Baker Atlas	CBIL (Circumferential Borehole Imaging Log)	Baker Atlas Web Page
Baker Atlas	STAR (SimulTaneous Acoustic and Resistivity Imager)	Lacazette (1996)

تنزل الجهاز الى داخل التجويف مع نابض(spring) يعمل كـ (centralizer), من الضروري ان يكون (tranducer) في مركز البئر حتى يعود الصوت المنبعث الى الجهاز بزاوية انعكاس ملائمة (proper reflecting angle) , يدورالـ (tranducer)باستمرار ويقذف الموجات الصوتية ثم يسجل الاشارات العائدة . تردد الاشارات المقذوفة عامة بين عدة الاف من كيلو هيرتز مثلا

جهاز CBL يدور بمعدل 6 دورة / ثانية ويسجل 250 sample/rotation أي 250 نموذج في دورة واحدة . الدقة العمودية (vertical resolution) حوالي (0.8 cm) وسرعة التسجيل 365م/ ساعة .

حدود عمل الجهاز:- يجب ان يكون الجهاز في المركز , اذا كان بعيدا عن المركز يصبح (travel time) طويل او قصير وهذا يسبب عدم تصوير بعض الاجزاء من التجويف لان الموجات الصوتية المنعكسة لايعود الى (tranducer)
. هذا الحالات موضح في الشكل ادناه .



شكل رقم (33) يوضح فيها الجهاز عندما يكون بعيدا عن المركز

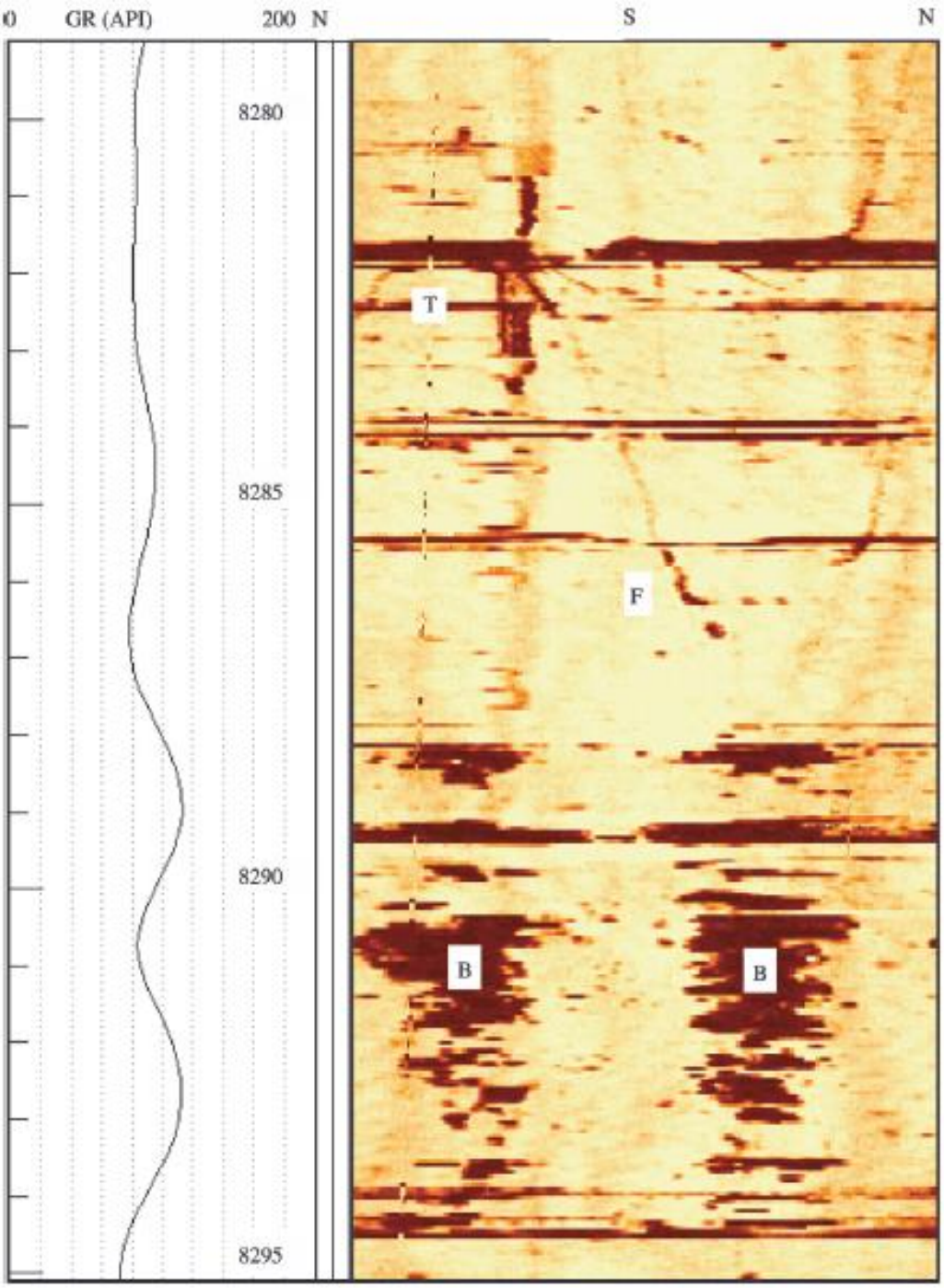
بسبب ضخامة معدل النماذج لذا يكون حجم الملف الرقمي (digital file size) كبيرا الى عشرات ميكابايت من المعلومات في تسجيل واحد .

Depth of investigation :- صفر لان الجهاز يصور الوجه الظاهري للتجويف .

Average coverage :- 100%

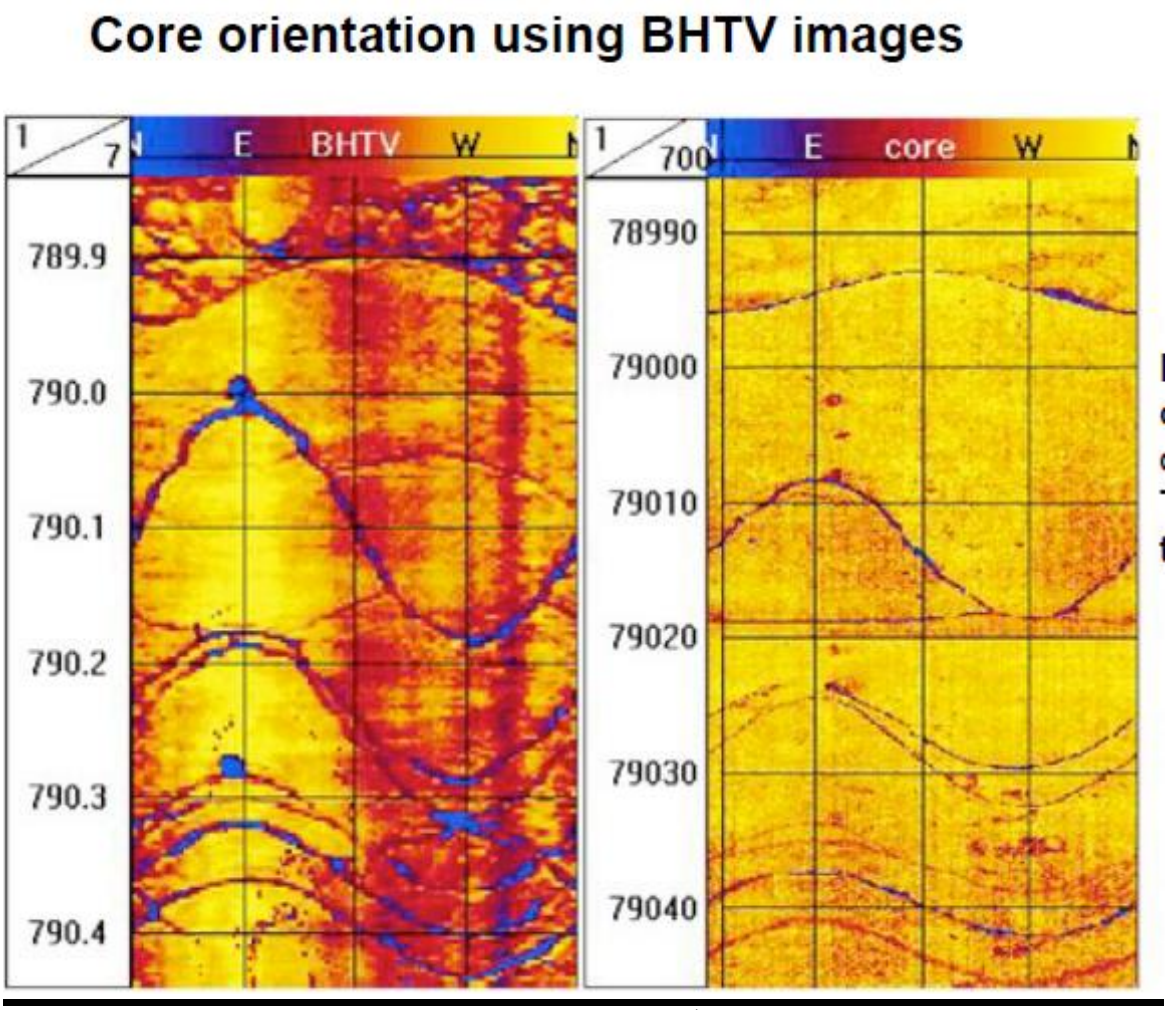
Vertical resolution :-عاده ابطأ من بقية مجسات التجويف المفتوح , maximum resolution هو 100 نموذج في انج واحد والسرعة 365م/ساعة .كون الجهاز لايعتمد على التوصيلية الكهربائية لذا يمكن استعماله في طين غير موصل ولها قابلية العمل في طين نفطي . لايعمل الجهاز بصورة جيدة في حالتين :-
اذا تجاوز وزن الطين (mud weight) حوالي (12pound/gallon) أي 1.4kg/i
اذا تجاوز قطر التجويف (bore hole diameter) 30سنتيمترا يؤدي الى زيادة في travel time .
اما بالنسبة لحدود الضغط والحرارة وعلى سبيل المثال جهاز نوع (cast) مصممة لدرجة حرارة (177c) وضغط (2000psi) , يعمل هذا الجهاز في ابار (open hole & cased hole) .

بعد الانتهاء من تسجيل جميع الاعماق هناك برنامج خاص يحول كل من (amplitude & travel time) الى الوان مختلفة , مظاهر ذات (hiegh travel time) أي (low amplitude) مثل shale , عدم انتظام التجويف ,fracture filled with fluid, break out , washed out يتبين في لون غامق . بينما مظاهر ذات (high amplitude) أي (low travel) مثل sandstone , limestone يتبين في لون قهوائي او اصفر او ابيض .



شكل رقم (34) يوضح الالوان المختلفة لـ Acoustic image log

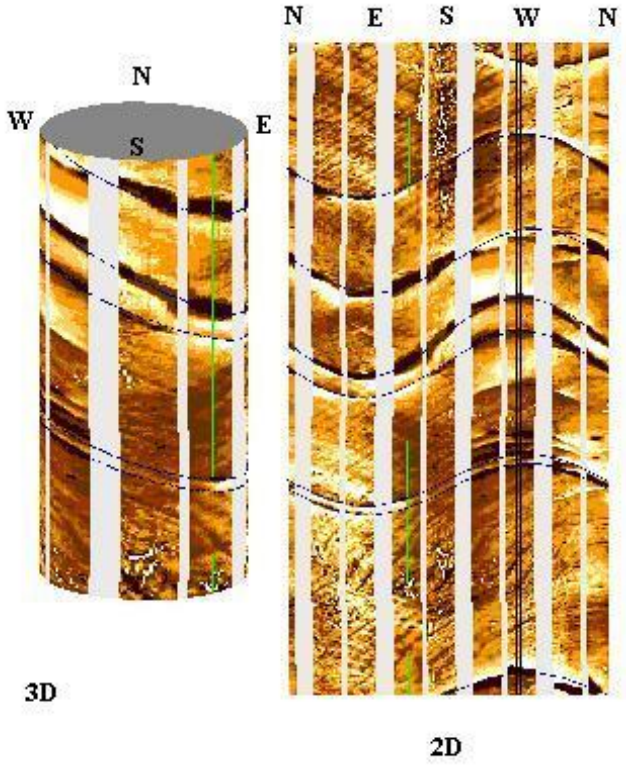
مقارنة اللباب مع image log



شكل رقم (35) يوضح مقارنة بين اللباب و acoustic image log

احد مساوىء جهاز acoustic image log قياسا بـ electrical image log هو حساسيته لتجويف غير منتظم او wash out ويصبح الصور في جميع اجزاء البئر ضعيفة .
نوعية الصخرة لها دور مهم في الحصول على صورة جيدة مثلا جدار املس ينعكس الصوت افضل من جدار غير منتظم , جدار صلب افضل من جدار هش .

Bore hole image log interpretation :-عن طريق تفسير صورة التجويف نتوصل الى تحديد عدة ظواهر مثل الشقوق , الفالق , سطح الفالق واتجاهاته .....الخ , ولكن هنا نركز على الشقوق fracture فقط .



شكل رقم(36) يوضح تواجد الشقوق

هناك حالات كثيرة فيها نلجأ الى بقيه المجسات مثل gamma ray لحل مشكلة التمييز بين shale وopen fracture .

المكامن المتشققه (fracture reservoirs)

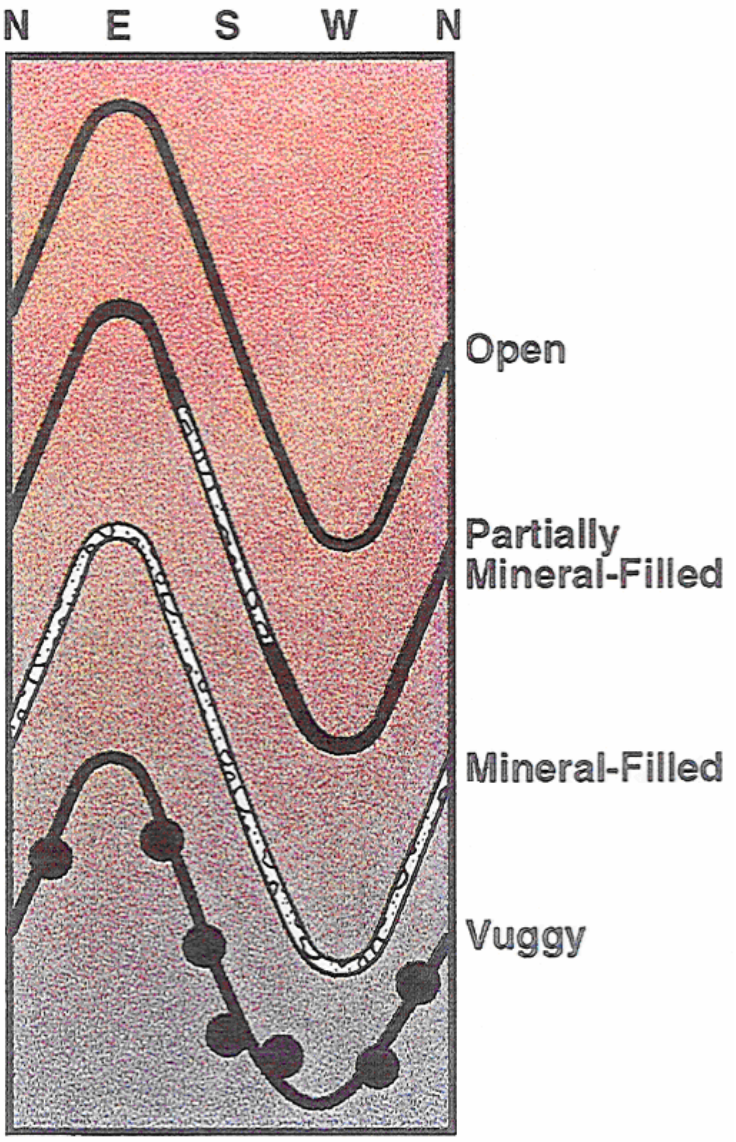
الشقوق يمثل أي كسر او عدم تواصل في الصخور مثل , Joint fault والذي يؤثر ايجابا او سلبا على الجريان في المكمن , يؤثر ايجابا عندما تكون الشقوق مفتوحة ويؤثر سلبا عندما تكون الشقوق مملوءة بالمعادن .

جميع المكامن الكاربوناتية تقريبا تقع تحت تأثير الشقوق الطبيعية ويساعد على خلق مسامية ثانوية وايجاد قنوات تواصل بين مسامات المكمن , هذه الشقوق تكون فتحاته اوسع عندما تقترب من فالق fault .
من الممكن التعرف على الشقوق بواسطة المجسات التقليدية مثل FCDDNL , Gamaray , ولكن image log احد فوائده الرئيسية هو معرفة الشقوق .

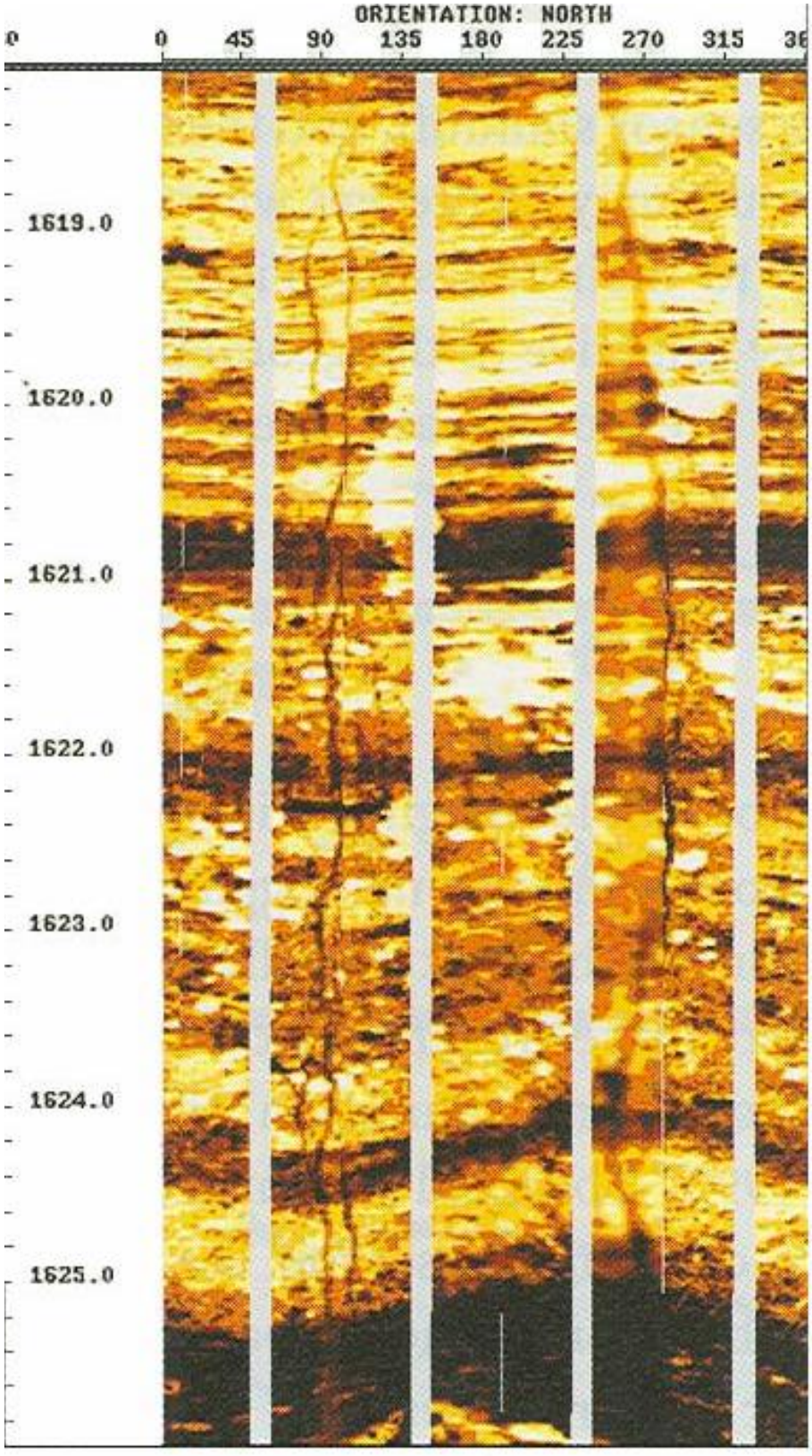
انواع الشقوق

الشقوق المفتوحه (open fractures) :-
أي الشقوق المليئة بسائل ما, من السهل رؤيته في image log لانه اثناء الحفر يقوم طين الحفر بثقب الشقوق المفتوحة ووخلق thin and conductive sheet ذات مقاومة تختلف عن مقاومة نسيج الصخور .
تقسم الشقوق المفتوحة الى قسمين :-
أ- Natural open fractures أي الشقوق المفتوحة طبيعيا , ترجع هذة الشقوق الى حركات تكتونية يظهر على شكل لون داكن في image log .
ب- Induced fractures :- يظهر هذه الشقوق نتيجة عملية الحفر أي ليس موجودا قبل الحفر , يكون كل شق موازيا للاخر ويظهر في لون داكن .
2- Healed fractures أي الشقوق الممتلئة ,هذه الشقوق طبيعية في الاصل ولكن امتلئت فيما بعد بالمعادن ولايسمح لطين الحفر بالدخول اليها .
عند مصادفة التيار الكهربائي يظهر على شكل مقاومة عالية ولونه في Image log دائما لامع , بعض الشقوق ملي بالمعادن جزئيا .

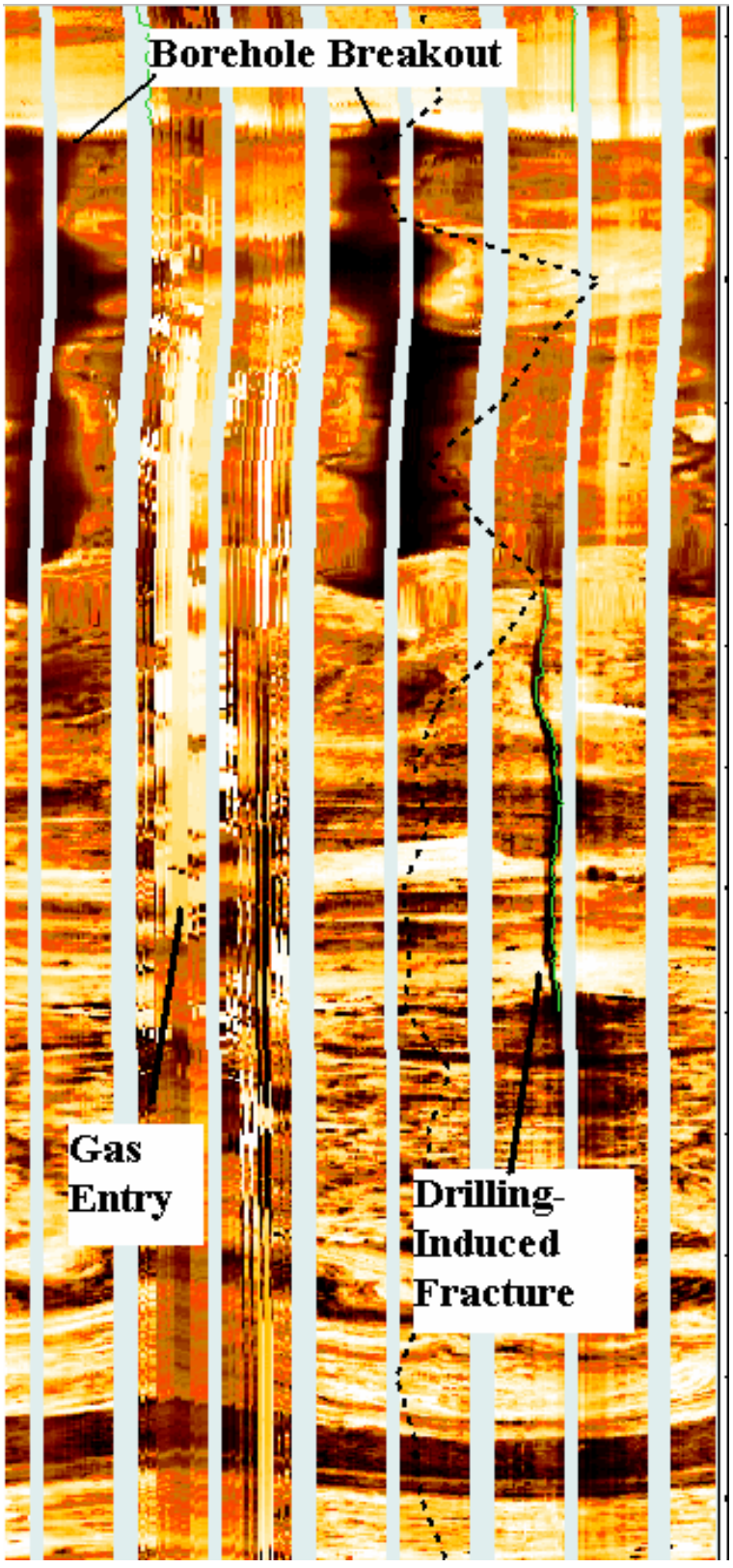
امثلة واشكال مختلفة



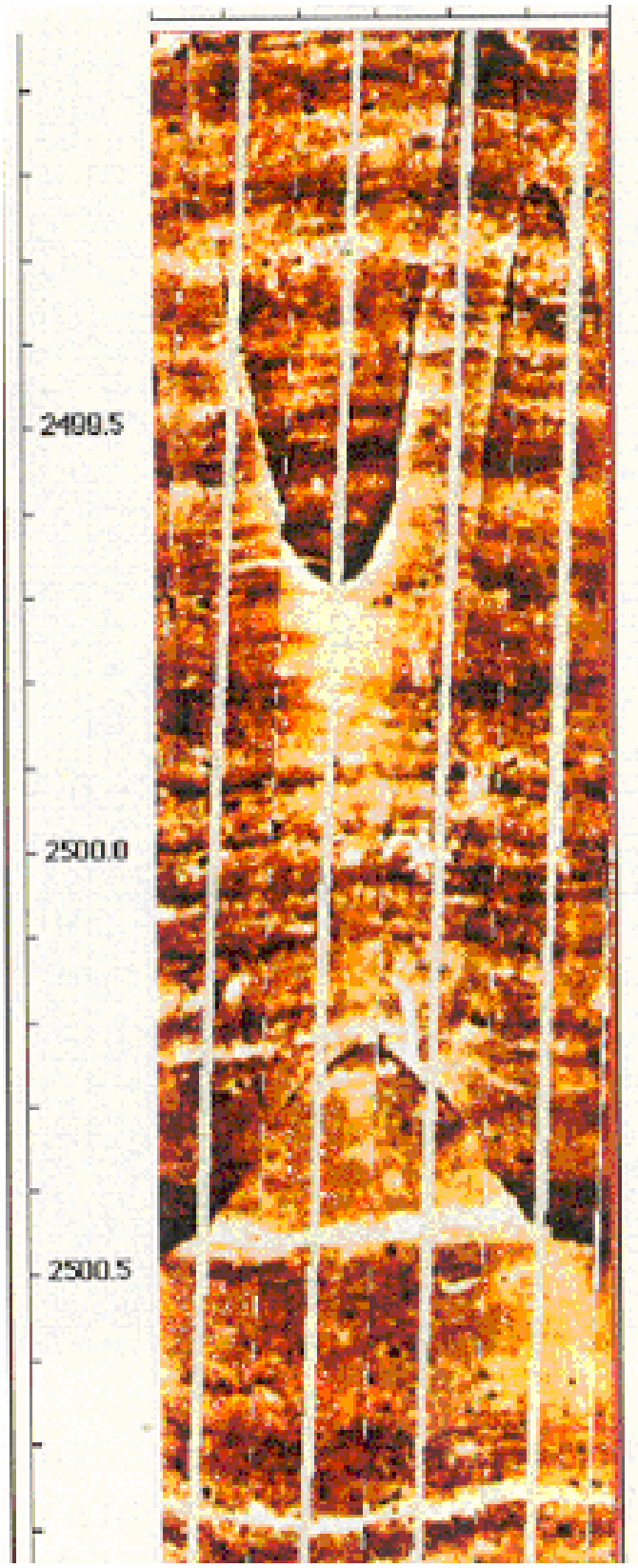
شكل رقم (37) يوضح انواع الشقوق



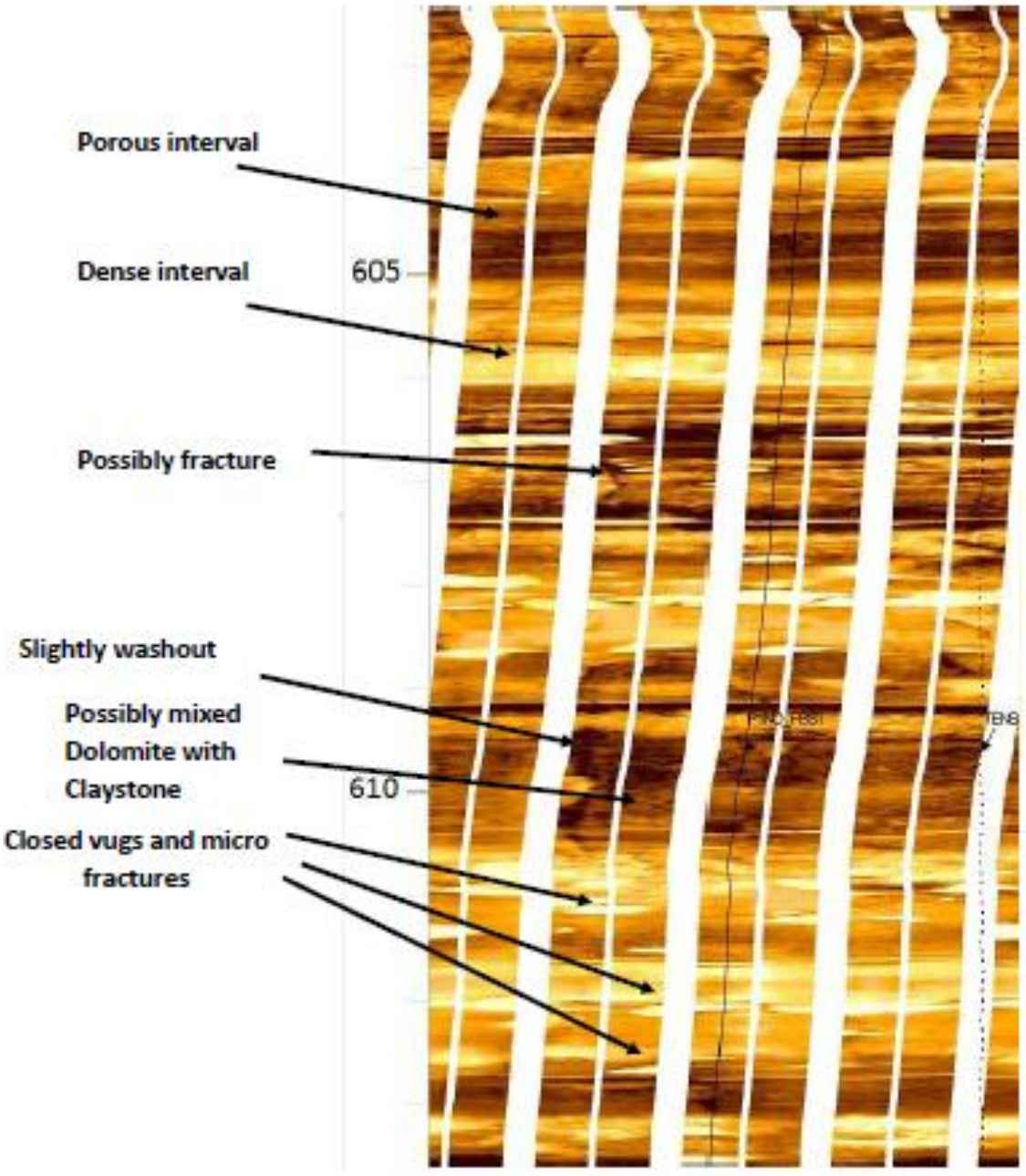
Induced fractures (38) شكل رقم



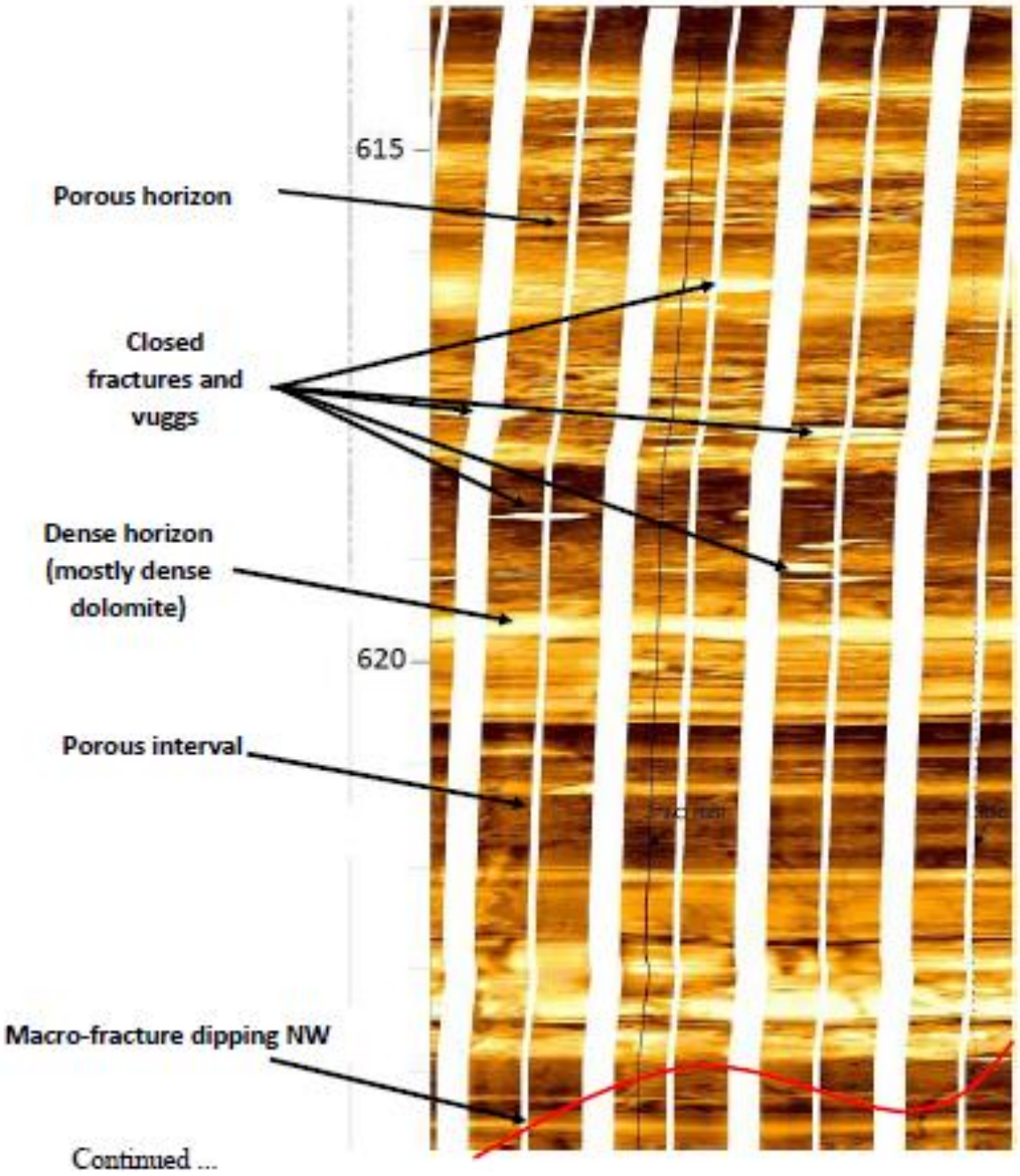
Induced fracture (39) شكل رقم



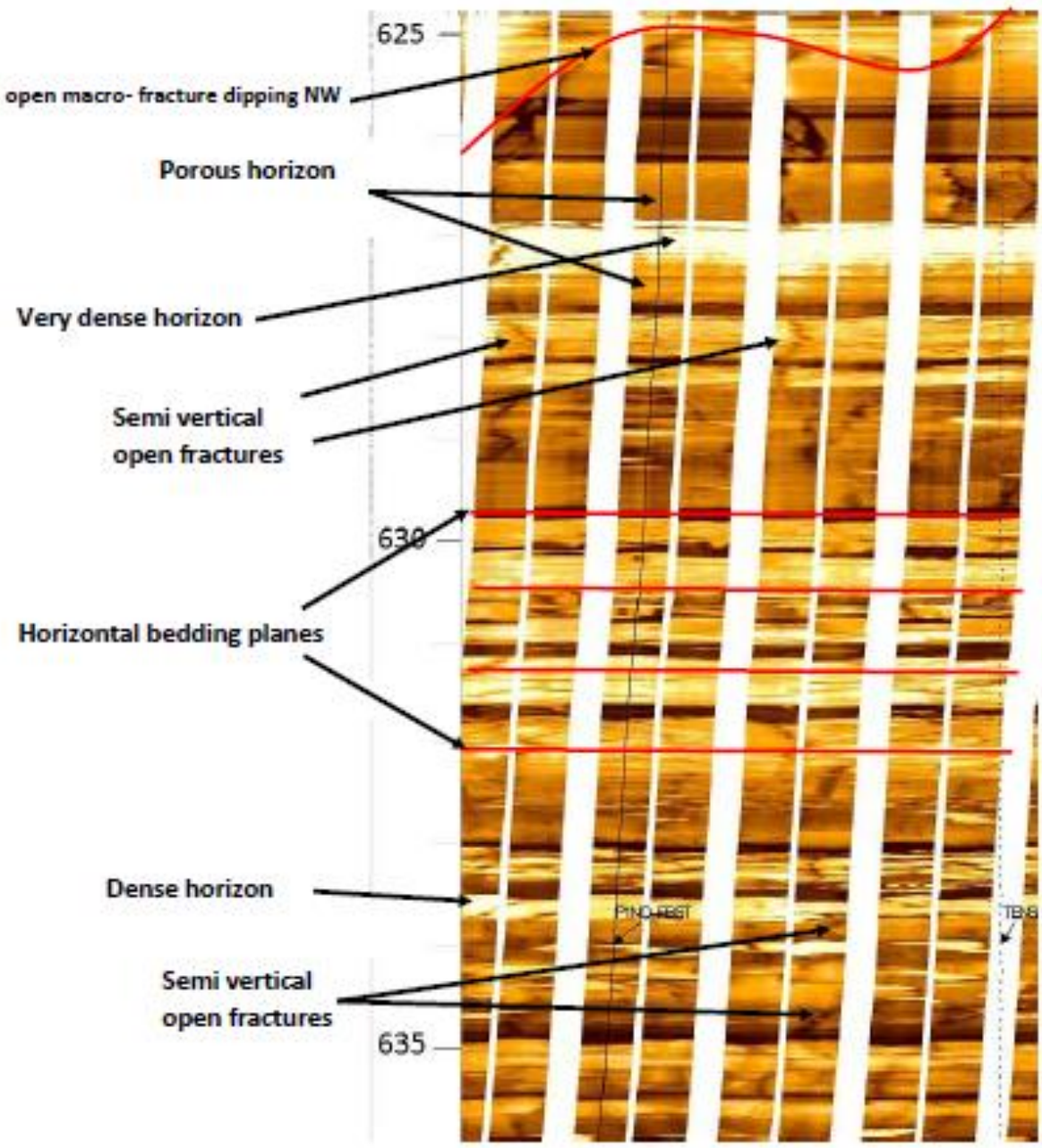
شكل رقم (40) Healed fractures



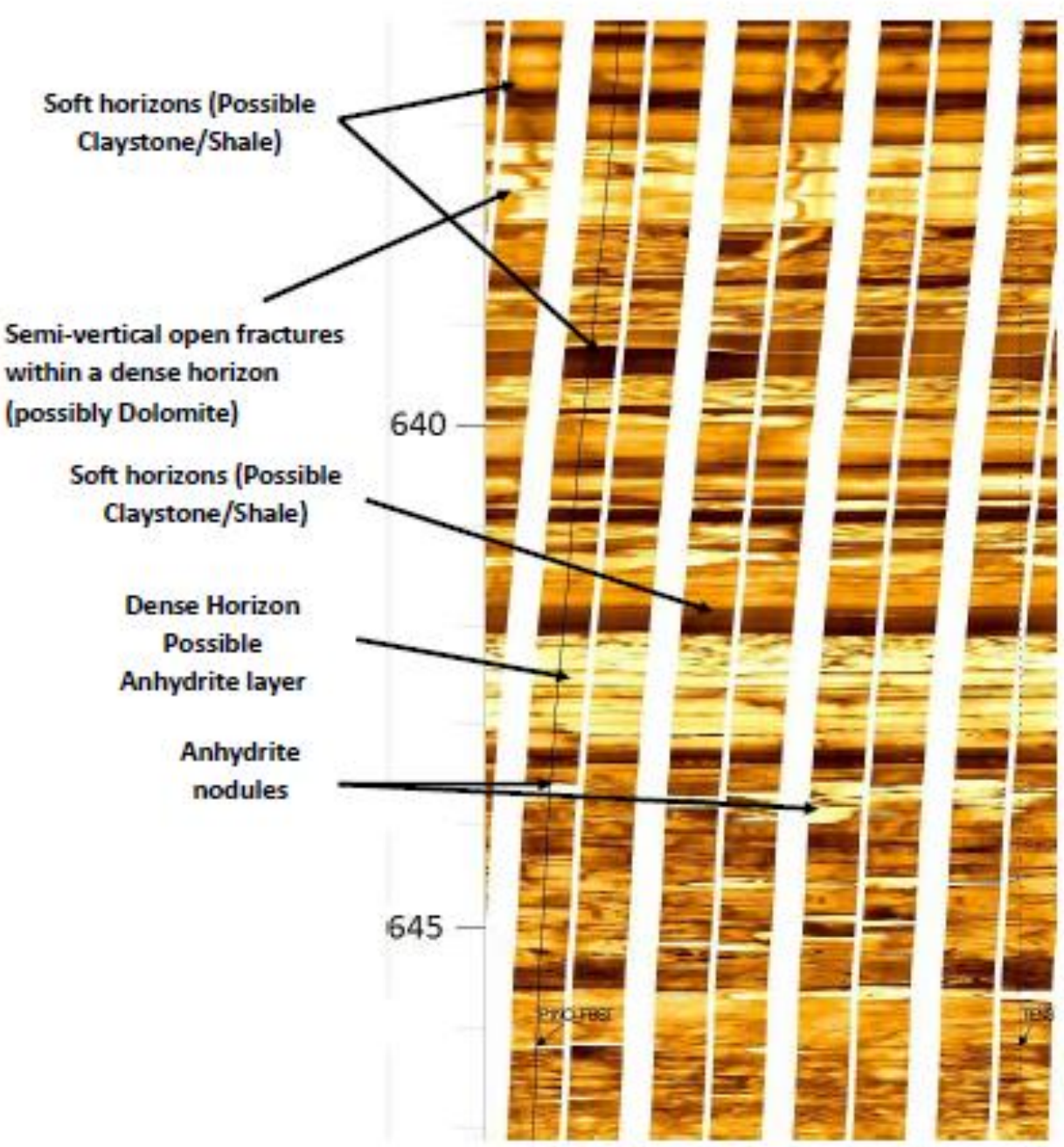
شكل رقم (41) مختلف انواع الشقوق



شكل رقم (42) مختلف انواع الشقوق



شكل رقم (43) مختلف انواع الشقوق



شكل رقم (44) مختلف انواع الشقوق