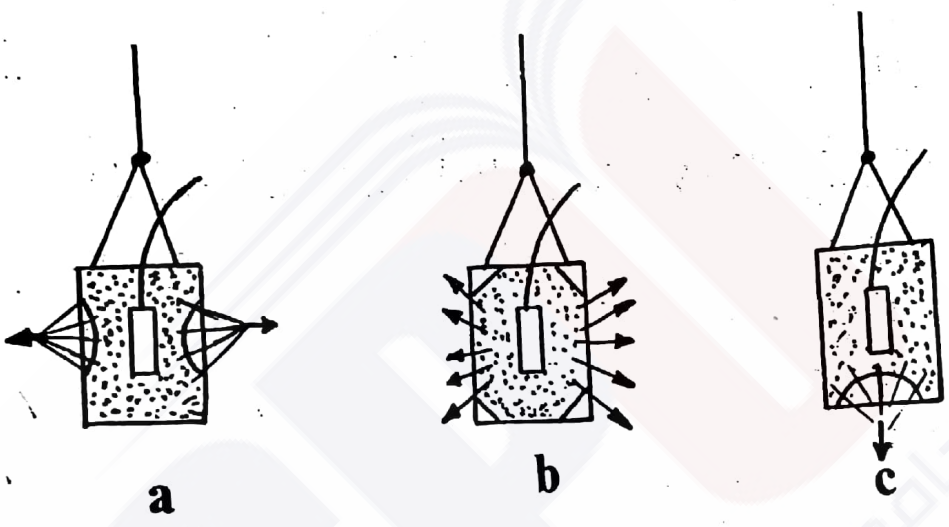
لشكله ونوع المعدن الذي يصنع منه الجسم الذي توضع بداخله المواد المتفجرة توجد ثلاثة أنواع هي :

-التفجير الموجه بتأثير جانبي متمركز (a)

- التفجير الموجه بتأثير جانبي متباعد (b)

- التفجير الموجه بتأثير شاقولي c والشكل رقم (3-3) يبين ما ذكر .



الشكل (3-3)

من هذه الأنواع الثلاثة فقط الأولى أعطت نتائج جيدة في الطبقات المنتجة المؤلفة من صخور قاسية . وحاليا تجرى تجارب للتفجير داخل الطبقات المنتجة وذلك بحقن المواد المتفجرة في الطبقة وبعد ذلك يجري تفجيرها (نتروغلسيرين الحل في الكحول) .

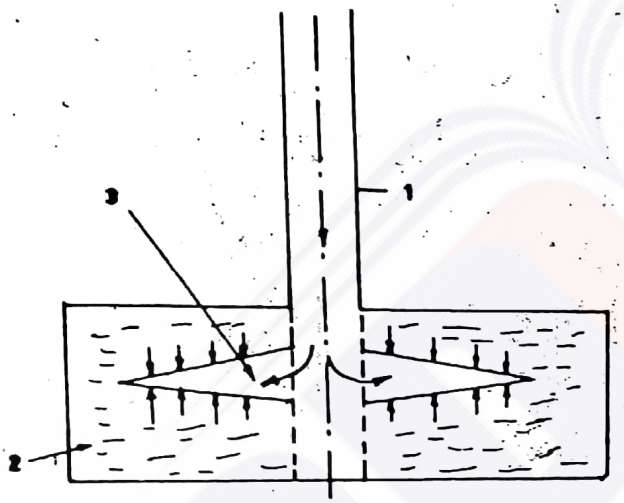
كذلك تجري الأبحاث لإمكانية التفجير النووي عند مستوى الطبقة المنتجة والتي تتميز بتشكيل طاقة حرارية عالية في الطبقة مزيدة من حركية النفط نتيجة إنقاص وكذلك تشكل شقوق وكهوف في الطبقة .

Scanned by CamScanner

3-2- التشقق الهيدروليكي للطبقات المنتجة

Fracturing formation

تعتبر هذه الطريقة من أحدث الطرق لتحسين الآبار لزيادة نفوذيتها وبالتالي إنتاجيتها وتعتمد أساسا على حقن سائل تحت ضغط في البئر أكبر من الضغط السكوني للطبقة ونتيجة له يحدث تصدع لصخور الطبقة فتتشكل شقوق في المنطقة



1- مواسير التغليف الإنتاجية
2- الطبقة المنتجة
3- الشق

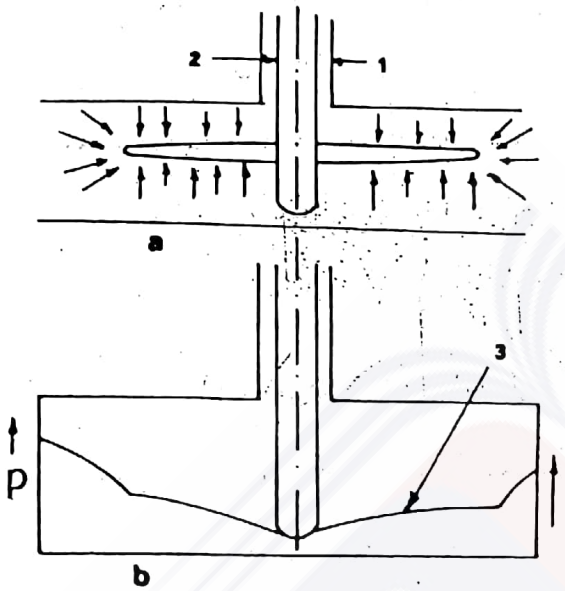
الشكل رقم (3-4) تشقيق الطبقات

المجاورة للبئر مشكلة قنوات لجريان الموائع فيها من الطبقة إلى البئر حسب ما هو موضح في الشكل (3-4) بعد تشكل الشق يتابع حقن السائل بمعدل معين للحفاظ عليه مفتوحا ومنعه من الانغلاق مرة أخرى وكذلك لتمكين الحبيبات الصلبة التي تحافظ على الشق من التوضع حيث تبقى داخل الشق بعد سحب السائل من الطبقة .نتائج التشقيق الهيدروليكي يمكن تقييمها من خلال الوضعيتين التاليتين :

1- في حال كون الطبقة المنتجة مكونة من صخور متماسكة وذات نفوذية ضعيفة فإن تأثير التشقيق الهيدروليكي يمكن مقارنته بزيادة قطر البئر بحيث يصبح مساويا لقطر الشق المتشكل وهذا يعني أن السوائل التي كانت تجري خلال الطبقة الضعيفة المسامية أصبحت تجري خلال شقوق باستطاعة جريان كبيرة (نفوذيتها أكبر بكثير من نفوذية الصخر المجاور) أي بسهولة كبيرة أيضا .

Scanned by CamScanner

نتيجة تغير المقاومة التي تتعرض لها السوائل في أثناء الجريان في هذه المنطقة المتشققة فإنه يتغير نظام الجريان وكذلك منحني تغير الضغط في المنطقة المجاورة للبئر حسب ما هو موضح في الشكل (3-5) .



a – دخول السوائل من الطبقة إلى الشق
b – منحني تغير الضغط في المنطقة المتشققة
1– مواسير التغليف الإنتاجية
2– مواسير الإنتاج
3– منحني الضغط

الشكل رقم (3-5)

2– إذا كانت المنطقة المجاورة للبئر تشكل حاجزا أمام الجريان (تمنع الجريان بشكل جزئي أو كلي) نتيجة تلوثها فإن هذه الطريقة تضع البئر على اتصال مباشر من خلال الشقوق مع المنطقة غير الملوثة أو المناطق ذوات النفوذية الكبيرة . طبقت طريقة الشق الهيدروليكي عام 1949 لأول مرة وأعطت نتائج لا بأس بها وازداد فيما بعد تطبيقها العملي لأن نتائجها هي دائما إيجابية فيما إذا طبقت بالشكل الصحيح . وفي الطبقات المناسبة (قاسية أو قاسية جدا) .

3-2-1- العناصر الأساسية للتشقق الهيدروليكي

هذه الطريقة في معالجة الطبقات المنتجة تعتمد على عوامل عديدة ذوات تأثير كبير على فعاليتها والتي يمكن تقسيمها إلى مجموعتين :

Scanned by CamScanner

a – عوامل تعتمد على الطريقة المتبعة في المعالجة .

b – عوامل تابعة لخواص الطبقة المعالجة .

المجموعة الأولى تشمل كمية ونوعية مواد التشقيق وهي :

سائل التشقيق والمواد التي تحافظ على الشقوق وكذلك الضغط الذي يتم عنده التشقق وسرعة ضخ السوائل . أما المجموعة الثانية فتشمل الخواص الفيزيائية للطبقة (نفوذية – قساوة – درجة التماسك – وجود بعض الشقوق الطبيعية..الخ) . وسماكة المجال المعالج وطبيعة الموائع الموجودة في الطبقة .

وفيما يلي ندرس العوامل ذوات التأثير الهام على عملية التشقيق .

3-2-1-1-السوائل التي تستعمل في التشقيق الهيدروليكي

فعالية معالجة الطبقات المنتجة بطريقة التشقيق الهيدروليكي تعتمد بدرجة كبيرة جدا على نوعية السوائل المستعملة وخواصها .

من الخواص الرئيسية التي يجب أن تتمتع بها هي الآتية :

أ-اللزوجة :

والتي يجب اختيارها بحيث يتمتع السائل باستطاعة جيدة للحفاظ على الحبيبات الرملية معلقة بداخله حتى تصل إلى الشق المحدث في الطبقة ولكن بنفس الوقت تحقق أقل فقدان للضغط نتيجة الاحتكاك بين السائل وجدران المواسير التي يضخ من خلالها في البئر .

لكي يؤمن السائل نقل الحبيبات الصلبة إلى الشق فإن لزوجته يجب أن تكون أكبر ما يكمن ولكن هذا يؤدي إلى زيادة الضغوط الضائعة نتيجة الاحتكاك بحيث أن قسما كبير من الضغط الذي تولده أجهزة الضخ يستهلك لمقاومة هذه الاحتكاكات والقسم الباقي (وهو الأقل) يساهم في التشقق الهيدروليكي للطبقة أي أنه من وجهة النظر هذه يجب استعمال سوائل ذوات لزوجة قليلة جدا . كذلك فإن مساوئ اللزوجة الكبيرة هي صعوبة إعادة سحب السائل من الطبقة بعد انتهاء عملية التشقيق وهذه

Scanned by CamScanner

يمكن حلها بحقن مواد مقللة اللزوجة .

لتأمين التشقيق ونقل الحبيبات الصلبة يستعمل عادة نوعان من السوائل ففي البداية يستعمل سائل ذو لزوجة قليلة كي نتمكن من إحداث الشقوق بسهولة وبعد ذلك يستعمل سائل ذو لزوجة عالية لنقل الحبيبات الرملية إلى الشقوق .

ب- فاقد الرشح :

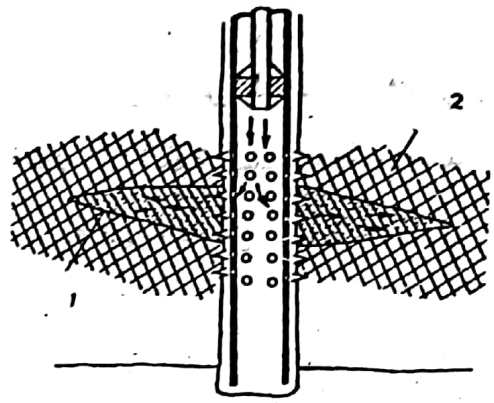
يلعب فاقد الرشح دورا هاما في أبعاد الشقوق التي يتم الحصول عليها فكلما كان فاقد الرشح قليلا كلما كان الشق أعمق في الطبقة (نصف قطر المنطقة المتشققة أكبر) وبالعكس كلما كان فاقد الرشح كبيرا كان الشق أصغر . وتأثير فاقد الرشح على أبعاد الشقوق هي أكبر بكثير من معدل حقن السائل في الطبقة وكذلك اللزوجة.

لدراسة العلاقة بين أبعاد الشقوق وفاقد الرشح عند المحافظة على العوامل الأخرى ثابتة (اللزوجة – معدل الضخ – فرق الضغط بين السوائل المستعملة والسوائل الموجودة في الطبقة) يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار كمية السائل التي تدخل من الشق إلى الطبقة في أثناء الحقن والتي تتناسب طردا وسطح التلامس بين الصخر والسائل وكذلك فاقد الرشح في الشكلين رقم (3-6) و (3-7) ، نبين تأثير فاقد الرشح على أبعاد الشقوق . من هذين الشكلين يمكن الوصول إلى النتيجة التالية:

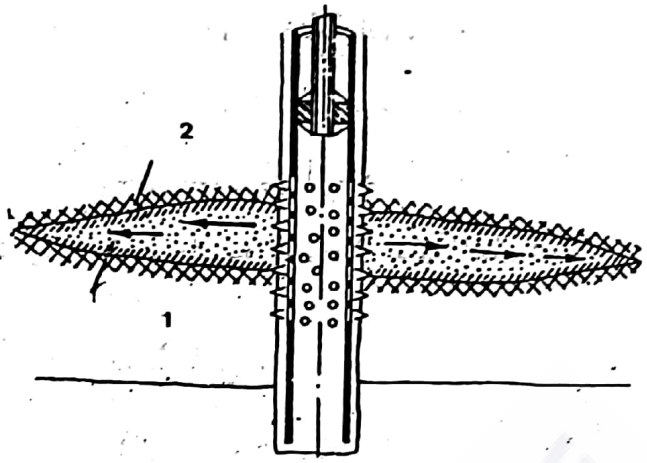
في حال استعمال سائل بفاقد رشح معين ومن اللحظة التي يقترب فيها فقدان السائل في الطبقة من معدل الضخ في البئر فإن اتساع الشق يقل واستمرار الضخ يصبح بدون مردود بل له سيئات كثيرة أهمها أن عملية التشقيق الهيدروليكي في هذه الشروط تشابه عملية غمر الطبقة النفطية بالماء .

إذا يجب استعمال سوائل ذات فاقد رشح قليل جدا ومعدوم إذا أمكن أو ضخ السائل في البئر بمعدل كبير عند استعمال سوائل ذات فاقد رشح كبير .

Scanned by CamScanner



شكل رقم (3-6) تأثير استعمال سائل بفاقد رشح كبير



شكل رقم (3-7) تأثير استعمال السائل بفاقد رشح قليل .

1- الشق حيث تتوضع الحبيبات الرملية .

2- فاقد الرشح في الطبقة .

تستعمل سوائل مختلفة في عملية التشقيق الهيدروليكي من حيث تركيبها الكيميائي وكذلك خواصها ، لأن هذه الطريقة تطبق على الآبار الإنتاجية وعلى آبار الحقن وبالتالي فإن السوائل يجب أن تختار بحيث تتناسب والشروط الموجودة في الطبقة وخاصة فيما يتعلق بطبيعة السوائل الموجودة فيها . ومن جهة النظر هذه فإن السوائل التي تستعمل في التشقيق الهيدروليكي يمكن تقسيمها إلى ثلاث مجموعات هي :

1- سوائل ذوات أساس نفطي .

2- سوائل ذوات أساس مائي .

3- سوائل مختلطة من نوع مستحلبات .

وفيما يلي سوف ندرس كل من هذه الأنواع الثلاثة :

3-2-1-2- السوائل المستخدمة في التشقيق الهيدروليكي

أ- السوائل ذوات الأساس النفطي :

من هذه السوائل النفط الميت ذو اللزوجة العالية أو النفط الخام أو مشتقاته ويجب معالجة هذه السوائل بمواد لزيادة لزوجتها وبالتالي قوة هلامها لرفع قدرتها على

Scanned by CamScanner

حمل الحبيبات الرملية .

النفط الميت يتميز بقدرته الكبيرة على نقل الحبيبات الرملية إلى الطبقة وكذلك بفاقد رشح قليل وهو يستعمل في تشقيق الطبقات النفطية أما تلك الحاملة على الغازات فيعتبر غير ملائم نتيجة إغلاقه للمسامات والزمن الذي تستغرقه عملية إعادته من الطبقة وله سيئة رئيسية هي أنه عند درجات الحرارة العالية تتناقص لزوجته بدرجة كبيرة وبنفس الوقت فاقد الرشح وتتناقص قدرته في حمل الحبيبات الرملية .

استعمال النفط الخام أو مشتقاته تعتبر أكثر ملاءمة لتشقيق الطبقات المنتجة عامة باستثناء تلك التي تحوي المياه والتي تشكل مع النفط مستحلبات لزجة عند إعادة سحبه من الطبقة . ويفضل استعمال النفط المستخرج من نفس الطبقة لأنه يقلل من تكاليف نقله ولا يلوث المنطقة المجاورة للبئر ويستخرج بسهولة بعد التشقيق ولكي تزيد من قدرته على نقل المواد الصلبة إلى الطبقة يعالج بمواد لزيادة لزوجته وإنقاص فاقد الرشح .

السوائل ذوات الأساس النفطي يفضل استعمالها في الطبقات المنتجة والتي تتألف من صخور ذوات تركيز كبير بالسيليكات التي تنتفخ بوجود الماء .

ب- السوائل ذوات الأساس المائي :

من هذه السوائل الماء والسوائل الحمضية بشكلها العادي أو المعالجة لزيادة لزوجتها عند استعمالها بشكلها العادي (دون معالجة) يجب أن تضخ بمعدل كبير كي يؤمن نقلها للحبيبات الرملية إلى الطبقة ولتغطية الكمية التي تفقد في الطبقة نتيجة فاقد الرشح . الماء كسائل تشقيق له محاسن عديدة منها : سهولة الحصول عليه بكميات كبيرة وبتكاليف قليلة وكذلك سهولة نقله وتخزينه وفي حال معالجته بمواد مزيدة اللزوجة قدرته العالية على نقل الحبيبات الرملية إلى الطبقة وضياع كمية قليلة منه في الطبقة نتيجة فاقد الرشح .

السوائل الحمضية التي تستعمل في تشقيق الطبقات القابلة للانحلال في الحمض

Scanned by CamScanner

تجمع محاسن معالجة الطبقة بالتحميض وكذلك بالتشقيق الهيدروليكي واستعمال هذه السوائل في الطبقات المنتجة غير القابلة للانحلال في الحمض يؤدي أيضا إلى تحسين نفوذيتها وبالتالي إنتاجيتها (في المنطقة المشققة) نتيجة تنظيفها للمسامات والقنوات من الرواسب القابلة للانحلال في الحمض .

السوائل ذات الأساس المائي ينصح باستخدامها في تشقيق الطبقات التي تخترقها آبار الحقن .

ج- السوائل المستحلبة :

وهي عبارة عن الجمع بين النوعين السابقين وبإضافة مادة الاستحلاب . أكثر المستحلبات استعمالا هي تلك التي تشكل من السائل الحمضي كأساس بحجم يتراوح بين 50 - 90 % والنفط بالتركيز الباقي أي يشكل الجزء المبعثر من المستحلب. تركيز السائل الحمضي تابع لخواص الطبقة ويتراوح بين 5 - 15 % . يستعمل أيضا مستحلب من النفط والماء حيث يشكل السائل الأساسي ويتراوح تركيزه حتى يصل 95 % . مادة الاستحلاب يجب اختيارها بحيث يمكن كسر المستحلب بسهولة عند الانتهاء من عملية التشقيق الهيدروليكي كي نتمكن من إعادته بسهولة من الطبقة .

هذه السوائل تتميز باستطاعة جيدة لنقل الحبيبات الرملية إلى الطبقة وكذلك بكمية قليلة من السائل الذي يدخل من الشق إلى الطبقة نتيجة فاقد الرشح لتحضير السوائل بأنواعها المختلفة تستعمل عادة مجموعة من المواد ذوات وظائف معينة منها : مواد لزيادة اللزوجة ، مواد لتقليل فاقد الرشح ، مواد مقللة للاحتكاك وبالتالي لفقدان الضغوط ، مواد مانعة لانتفاخ الغضار، مواد مولدة للمستحلبات .....الخ .

3-2-1-3- المواد التي تستعمل للحفاظ على الشقوق

تعتبر عملية المحافظة على الشقوق بعد إعادة سائل التشقيق من الطبقة هام جدا في تحقيق نجاح عملية المعالجة هذه وهي تتم بحقن مواد صلبة تنقل من السطح

Scanned by CamScanner

بواسطة سائل التشقيق وفي المرحلة الثانية بعد حدوث التشقيق .

من المواد التي تحافظ على الشق مفتوحا والغالبة الاستعمال هي :

حبيبات الرمل الكوارتزي والتي يجب أن تكون ذوات أبعاد متجانسة وكروية وكذلك حبيبات الألمنيوم أو الزجاج أو خليط من الرمل الكوارتزي والألمنيوم ...الخ.

هذه الحبيبات يجب أن تتمتع بالشروط التالية :

- أن تكون ذوات مقاومة كبيرة للانضغاط .
- أن لا تتأثر بسائل التشقيق أو السوائل الموجودة في الطبقة .
- أن تتمتع بنفوذية جيدة عند انضغاطها من قبل جدران الشق بعد تناقص الضغط في الطبقة نتيجة إعادة سحب السائل بعد انتهاء المعالجة .
- أن تكون سهلة التحضير وتكاليفها قليلة .

أبعاد هذه الحبيبات تعتمد على نفوذية الطبقة . فمن أجل طبقات ذات نفوذية أقل من 100 mD تستعمل حبيبات بأبعاد تتراوح بين 0.8 mm – 0.5 أما من أجل الطبقات ذات النفوذية الكبرى فتستعمل حبيبات بأبعاد تتراوح بين 1.5 mm – 0.8. من أجل تأمين استطاعة جريان كبيرة خلال الشقوق المشكلة فقد طبقت عدة طرق للحصول على توزيع متجانس للحبيبات الصلبة داخل الشق .

إحدى هذه الطرق تتلخص باستعمال الحبيبات الصلبة مع مواد تقوم بدور إبعاد الحبيبات عن بعضها البعض والتي تنحل ويعاد سحبها فيما بعد من قبل الموائع التي تجري من الطبقة باتجاه البئر وبذلك تبقى فراغات حرة بين الحبيبات الرملية داخل الشق وبالتالي تزداد نفوذية الشقوق بدرجة كبيرة .

تركيز الحبيبات الرملية في سائل التشقيق لنقلها من السطح إلى الطبقة يعتمد على استطاعة السائل في الحفاظ عليها معلقة بداخلها حتى دخولها في الشق والتي تعتمد بدورها على لزوجة السائل وعلى معدل حقنه أو على سرعة تقدم هذا الخليط (سائل + رمل) فمثلا تركيز الرمل يمكن أن يصل حتى 450 Kg من الرمل في كل

Scanned by CamScanner

$1\ m^3$ من السائل ذو لزوجة مساوية 600 سنتي بواز ويحقن بمعدل 15 ليتر في الثانية.

في بعض الحالات وبعد انتهاء عملية التشقيق الهيدروليكي يلاحظ وجود كميات لا بأس بها من الرمل على قعر البئر والتي تترسب من سائل التشقيق بسبب عدم التناسب بين العوامل المذكورة سابقا (تركيز الرمل مع استطاعة السائل للنقل) وكذلك فقدان كمية كبيرة من السائل في الطبقة من خلال فاقد الرشح وذلك عند استعمال سوائل بفواقد رشح كبيرة والتي تؤدي إلى تناقص سرعة تقدم السائل في الطبقة وكذلك تزايد تركيز الرمل في السائل مما يؤدي إلى توضع جزء منه على قعر البئر أو في الشق بالقرب من جدران البئر .

بعد الانتهاء من عملية التشقيق وتوضع الحبيبات الرملية في الشق يجب الإنقاص التدريجي للضغط لتلافي إعادة الرمل إلى البئر .

3-2-3- تجهيز الآبار للتشقيق الهيدروليكي

بهدف تحضير البئر للتشقيق الهيدروليكي تنزل فيها مواسير إنتاج (مواسير حقن) بأكبر قطر ممكن للإنقاص قدر الإمكان من الضغوط الضائعة نتيجة الاحتكاك بين السائل وهذه المواسير في أثناء الحقن . ينزل مع هذه المواسير جهاز إغلاق الفراغ الحلقي بينها وبين مواسير التغليف الإنتاجية لحماية هذه الأخيرة من الضغوط الداخلية الكبيرة التي قد تؤثر على مدى مقاومتها . هذا الجهاز بمكن أن يكون بأكرا .

أما السطح فتجهز المواسير برأس حقن الذي يجب أن يتحمل الضغط الأعظمي للحقن ومجهز بتفرعات جانبية توصل بين أجهزة الضخ والمواسير . الوحدات السطحية تشمل أربع مجموعات هي :

مجموعة السائل ، مجموعة نقل الرمل ، مجموعة خلط السائل مع الرمل ثم أجهزة ضخ الخليط في البئر .

Scanned by CamScanner

3-2-4- ضغط الحقن وضغط المعالجة

إذا حللنا الضغط على كامل الطريق التي يقطعها السائل من السطح وحتى دخوله في الطبقة في أثناء عملية التشقيق الهيدروليكي فإنه يمكننا الوصول إلى العلاقة بين ضغط الحقن (ضغط التشقيق على السطح) والضغط الذي تتعرض له الطبقة والذي نطلق عليه اسم ضغط المعالجة (ضغط التشقيق المأخوذ عند مستوى الطبقة المعرضة للمعالجة) والذي يساوي ضغط الحقن عند السطح والذي يصل إلى مستوى الطبقة بقيمة أقل نتيجة الضغوط الضائعة بالاحتكاك بين السائل وجدران مواسير الحقن مضافا إليه ضغط عمود السائل من مستوى الطبقة وحتى السطح .

كي تتصدع الطبقة وتحدث شقوق ضمنها فإن ضغط المعالجة يجب أن يكون أكبر من الضغط الحرج للصخور أي يجب أن تحقن السوائل بضغط يؤمن الشرط المذكور (ضغط الحقن يعتبر العنصر الأساسي في المعالجة والذي يعين نوع جهاز الحقن الذي يجب استخدامه)

ضغط الحقن يعين بالعلاقة الآتية :

$$P_p = P_{st} - P_{fl} + P_{fr} \qquad (7\text{-}3)$$

حيث :

P_{st} – ضغط المعالجة الذي يجب أن يبرمج بحيث يساوي أو يزيد الضغط الحرج لتصدع صخور الطبقة : Kgf/Cm^2 .

P_{fl} – ضغط عمود سائل التشقيق عند مستوى الطبقة Kgf/Cm^2 .

P_{fr} – الضغط المستهلك لمقاومة الاحتكاك بين السائل وجدران مواسير الحقن Kgf/Cm^2 .

ضغط المعالجة يمكن تقديره باستعمال علاقة (Crittendon) التي تعتمد على مقاومة الصخور :

$$P_{st} = K P_s \qquad (8\text{-}3)$$

Scanned by CamScanner

حيث أن :

K – ثابت التناسب .

p_s – الضغط السكوني للطبقة والذي ينتج عن ضغط الطبقات المتوضعة أعلى الطبقة المعالجة والذي يعطى بدوره بالعلاقة الآتية :

$$P_s = \frac{H.\gamma_{rm}}{10} \qquad (9\text{-}3)$$

حيث :

H – عمق الطبقة المزمع معالجتها m .

γ_{rm} – الوزن النوعي الوسطي للصخور المشكلة للطبقات العليا Kgf/dm^3

ثابت التناسب (K) يعطى بالعلاقة الآتية :

$$K = \frac{1}{2}\left[\left(1 + \frac{2\mu}{1-\mu}\right) + \left(1 - \frac{2\mu}{1-\mu}\cos 2\varphi\right)\right] \qquad (10\text{-}3)$$

حيث أن :

μ – عامل بوازون (Poisson)

φ – الزاوية التي يشكلها الشق مع المستوي الأفقي :

في حال إحداث شق أفقي عند ذلك تكون $\varphi = 0$ و $\cos\varphi = 1$ وهذا يعني أن ثابت التناسب $K_o = 1$ أو :

$$P_{st} = P_s \qquad (11\text{-}3)$$

أما في حال حدوث شق شاقولي فإن $\varphi = 90^\circ$ و $\cos 2\varphi = -1$ وعندها ثابت التناسب يساوي :

$$K = \frac{2\mu}{1-\mu} \qquad (12\text{-}3)$$

Scanned by CamScanner

$$P_{st} = \frac{2\mu}{1-\mu} P_s \qquad (13\text{-}3)$$

ضغط عمود السائل عند مستوى الطبقة يعين بالعلاقة التالية :

$$P_{f1} = \frac{H \cdot \gamma_{f1}}{10} \qquad (14\text{-}3)$$

حيث أن :

γ_{f1} – الوزن النوعي للسائل الموجود في البئر .

H – ارتفاع عمود السائل من السطح حتى مستوى الطبقة .

أما الضغط الضائع نتيجة احتكاك السائل مع مواسير الحقن فيعطى بالعلاقة الآتية:

$$P_{pr} = \alpha \cdot Q^2 \cdot H \cdot \gamma_f \qquad (15\text{-}3)$$

حيث أن :

α – معامل الاحتكاك .

Q – معدل الحقن ، m^3/h .

H – طول مواسير الحقن ، m .

γ_f – الوزن النوعي للسائل .

بتعويض العلاقات (3-8) و (3-14) و (3-15) في العلاقة (3-7) نحصل على ضغط الحقن معطى بالعلاقة التالية :

$$P_p = K\frac{H \cdot \gamma_{rm}}{10} - \frac{H \cdot \gamma_f}{10} + \alpha \cdot Q^2 \cdot H \cdot \gamma_f \qquad (16\text{-}3)$$

والتي تصبح من أجل ثابت التناسب الأفقي $K_o = 1$:

$$P_p = 0.1\, H\left[(\gamma_{rm} - \gamma_f) + \alpha \cdot Q^2 \cdot \gamma_f\right] \qquad (17\text{-}3)$$

Scanned by CamScanner

أما من أجل التناسب العمودي $K = \frac{2\mu}{1-\mu}$ فتأخذ الشكل التالي :

$$P_p = 0.1\,H\left[\left(\gamma_{rm}\frac{2\mu}{1-\mu} - \gamma_f\right) + \alpha \cdot Q^2 \cdot H \cdot \gamma_f\right] \qquad (18\text{-}3)$$

الوزن النوعي لسائل التشقيق يحسب بالعلاقة التالية :

$$\gamma_f = \frac{\gamma + \gamma_r \cdot n}{1+n} \qquad (19\text{-}3)$$

حيث أن :

γ – الوزن النوعي للسائل .

γ_r – الوزن النوعي للحبيبات الرملية .

n – تركيز الرمل في السائل .

3-2-5- اختيار الطبقات التي يمكن أن تعالج بالتشقيق الهيدروليكي

تختار الآبار التي تعالج بالتشقيق الهيدروليكي على النحو التالي :

1- الآبار التي تخترق مجموعة طبقات منتجة ولا تحوي فيما بينها تداخلات تحتوي على المياه أو الغازات ، وفي حال اجتواء الطبقة على قبعة غازية ومياه طبقية ، فيجب أن يختار المجال الذي يعرض للتشقيق بحيث يبقى سبعة أمتار على الأقل بعيدا عن كل من الغازات أو المياه الطبقية .

2- الآبار التي تكون فيها مواسير التغليف الإنتاجية بحالة جيدة من حيث مقاومتها ومسمنتة بشكل جيد من الخارج .

3- الآبار الحديثة (لم ينتج منها بعد) والتي يلاحظ في أثناء اختراقها للطبقات المنتجة أن نفوذيتها قليلة .

4- الآبار التي تعطي مردودا قليلا عند وضعها في الإنتاج مقارنة مع الآبار المجاورة أو في حال عدم التمكن من وضعها في الإنتاج بمختلف الطرق الأخرى .

Scanned by CamScanner

3-2-6- تحضير الآبار للتشقيق الهيدروليكي

قبل القيام بعملية التشقيق الهيدروليكي للطبقة فإنه يجب اتخاذ سلسلة من الإجراءات التحضيرية أهمها :

- قياس معدل إنتاج البئر والضغط داخلها عند مستوى الطبقة المنتجة .
- فحص قعر البئر وتنظيفه مع جدران البئر مقابل الطبقة عند وجود ترسبات أو حبيبات رملية .
- فحص مواسير التغليف والتأكد من صلاحيتها وإمكانية إنزال مواسير الحقن مع الباكر حتى مستوى الطبقة .
- فحص مواسير الحقن وتنظيفها من الداخل .
- فحص رأس الحقن وتجريبه بضغط يساوي ضغط الحقن .
- عند عدم توفر المعلومات عن استطاعة الطبقة لتقبل السائل يجري في البداية حقن للتأكد من قابليتها .

بعد إجراء هذه العمليات التحضيرية وتحضير السائل الذي سيحقن فإن عملية التشقيق الهيدروليكي تتم وفق المراحل الآتية :

1- يحقن سائل التشقيق وبالضغط الأعظمي لجهاز الحقن حتى تتصدع الطبقة وتحدث الشقوق .

2- يحقن سائل التشقيق مع الحبيبات الرملية للحفاظ على الشقوق وباستعمال الضغط الأعظمي أيضا وبدون انقطاع وبمعدل مساوي على الأقل المعدل الذي حقن به سائل التشقيق (الخالي من الرمل) حيث نتلافى بذلك توضع الرمل على قعر البئر وبالتالي إعادة انسداد الشقوق بعد سحب السوائل من الطبقة .

3- يفضل حقن كمية من النفط بعد خليط السائل والرمل ($1.5\ m^3$ على الأقل) والذي يشكل فاصل عازل بين الخليط ومحلول مقلل اللزوجة .

4- يحقن محلول اللزوجة بالضغط الأعظمي لجهاز الحقن أيضا

Scanned by CamScanner

5- تحقن كمية من السائل النظيف بحجم يساوي الحجم الداخلي لمواسير الحقن وحجم البئر مقابل الطبقة للتأكد من دخول سائل التشقيق بكامله في الطبقة .

6- تغلق البئر تحت ضغط وتترك زمن يتراوح بين 24 - 48 ساعة.

7- يعاد فتح البئر وينقص الضغط تدريجيا وتوضع البئر في الإنتاج بمعدل أقل من المعدل الذي كانت تنتجه قبل المعالجة وذلك لتلافي حمل السوائل الطبقية للحبيبات الرملية من الشقوق ويزاد هذا المعدل تدريجيا حتى نصل إلى المعدل المثالي للإنتاج قبل المعالجة .

3-2-7- تقييم فعالية التشقيق الهيدروليكي

زيادة معدل إنتاج البئر بعد عملية التشقيق الهيدروليكي يمكن تقييمها بمعامل فعالية التشقيق الهيدروليكي الذي يمثل النسبة بين معدل البئر بعد وقبل المعالجة على النحو الآتي :

$$E_f = \frac{Q_f}{Q_o} = \frac{I_{pf}}{I_{po}} \qquad (20\text{-}3)$$

حيث :

Q_o - معدل الإنتاج من البئر قبل المعالجة $m^3/24\ h$.

Q_f - معدل الإنتاج من البئر بعد المعالجة $m^3/24\ h$.

I_{po} - معامل الإنتاجية للبئر قبل المعالجة .

I_{pf} - معامل الإنتاجية بعد المعالجة .

معدل الإنتاج من البئر قبل المعالجة يعطى بدوره بالعلاقة الآتية :

$$Q_o = \frac{2\pi K_2 h\left(P_f - P_w\right)}{\mu\, b\, Ln\dfrac{R_e}{r_w}} = f(K_2) \qquad (21\text{-}3)$$

حيث أن :

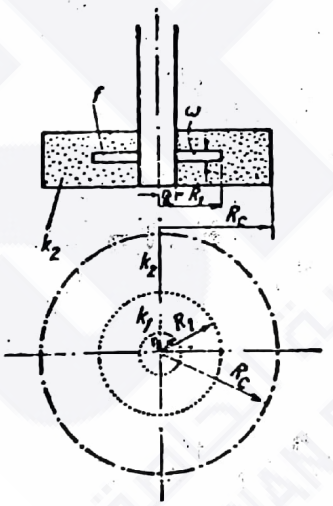
Scanned by CamScanner

K_2 –نفوذية الطبقة المنتجة قبل المعالجة .

أما لتعيين معدل الإنتاج بعد المعالجة فيجب الأخذ بعين الاعتبار تغير نفوذية المنطقة المجاورة للبئر الذي يؤدي إلى تغيير نظام الجريان في كامل منطقة تأثير البئر و هذا ما يكمن التعبير عنه باستعمال نفوذية وسطية لكامل الطبقة على الشكل الآتي :

$$Q_f = \frac{2\pi h K_m (P_f - P_w)}{\mu Ln \frac{R_e}{r_w}} = f(K_m) \qquad (22 - 3)$$

لتعيين هذه النفوذية الوسطية نفرض أنه تشكل شق أفقي واحد نتيجة المعالجة ويمتد حتى مسافة R_1 عن محور البئر وله اتساع w . عند ذلك تعين النفوذية الوسطية للمنطقة المجاورة للبئر ذات نصف قطر R_1 والتي يكمن افتراضها مشكلة من طبقتين متوازيتين حسب الشكل (3–8) وذات نفوذية $K_2 - K_1$ على الشكل الآتي :



شكل (3–8) تمثيل المناطق ذوات النفوذية المختلفة في حالة التشقيق الهيدروليكي

$$K_1 = \frac{K_{fw} + K_2 h}{w + h} = \frac{K_{fw} + K_2 h}{h} \qquad (23 - 3)$$

حيث أن :

Scanned by CamScanner

K_f – نفوذية الشق D .

K_2 – النفوذية الطبقية للطبقة D .

w , h – سماكة الطبقة والشق m .

أما النفوذية الوسطية لكامل منطقة تأثير البئر بفرض طبقتين متمركزتين فتعطى بالعلاقة الآتية : صـ(5 ٢)

$$K_m = \frac{K_1 K_2 Ln\frac{R_c}{R_w}}{K_1 Ln\frac{R_c}{R_1} + K_2\frac{R_1}{r_w}} \qquad (24\text{-}3)$$

حيث أن :

R_c – نصف قطر منطقة تأثير البئر m .

R_1 – نصف قطر المنطقة المعالجة m .

r_w – نصف قطر البئر m .

عند ذلك فعالية التشقيق الهيدروليكي تعطى بالعلاقة الآتية :

$$E_f = \frac{Q_f}{Q_o} = \frac{K_m}{K_2} = \frac{K_1 Ln\frac{R_c}{r_w}}{K_1 Ln\frac{R_c}{R_1} + K_2 Ln\frac{R_1}{r_w}} =$$

$$= \frac{\frac{K_{fw} + K_2 h}{h} Ln\frac{R_c}{r_w}}{\frac{K_{fw} + K_2 h}{h} Ln\frac{R_c}{R_1} + \frac{h}{h} K_2 Ln\frac{R_1}{r_w}} =$$

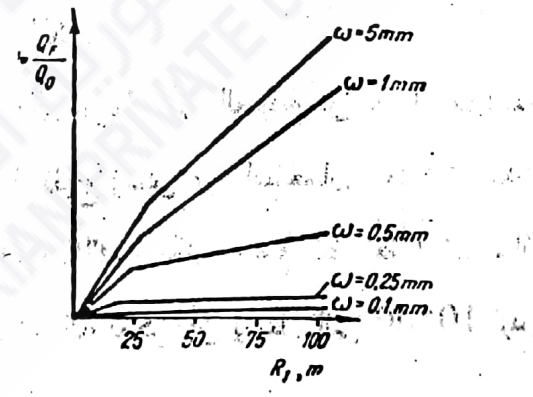
Scanned by CamScanner

$$= \frac{(K_{fw} + K_2 h)\frac{R_c}{r_w}}{K_{fw} Ln\frac{R_c}{R_1} + K_2 h Ln\frac{R_c}{r_w}} \qquad (3\text{-}25)$$

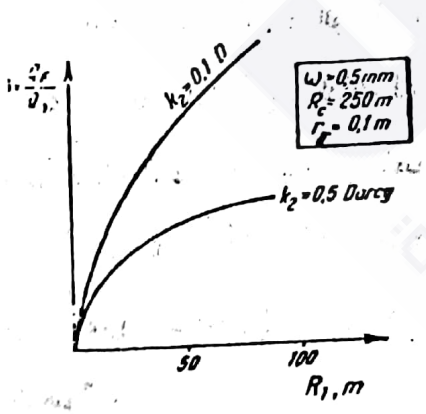
إذا مثلنا بيانياً التابع $E_f = f(R_1)$ ومن اجل قيم مختلفة لاتساع الشق فإننا نحصل على مجموعة من المنحنيات حسب الشكل (3-9) والتي تعطي النتائج التالية:

1- عند إحداث شقوق باتساع 0.1 – 0.2 mm فإن معدل الإنتاج من البئر لا يتأثر بشكل ملحوظ وللزيادة الفعالة لهذا المعدل فإن اتساع الشقوق يجب أن تكون بحدود 1 - 2 mm .

2- فعالية التشقق الهيدروليكي تزداد وبالتالي معدل إنتاج البئر يزداد بشكل كبير فيما إذا كان نصف قطر المنطقة المتشققة محصوراً بين 25 – 30 متراً ، وأن الزيادة الأكبر لنصف القطر هذا تؤدي إلى زيادة أقل لمعدل الإنتاج ، أما إذا مثلنا التابع $E = f(R_1)$ ومن أجل قيم مختلفة للنفوذية الطبيعية للطبقة K_2 حسب الشكل (3-10) فإننا نلاحظ أن فعالية التشقيق الهيدروليكي تزداد كلما كانت النفوذية الأولى للطبقة قليلة .



الشكل (3-9) فعالية التشقيق الهيدروليكي من أجل شقوق ذوات نفوذية مختلفة



الشكل (3-10) فعالية التشقيق الهيدروليكي من أجل طبقتين ذاتي نفوذيتين مختلفتين

Scanned by CamScanner

معدل إنتاج البئر بعد التشقيق الهيدروليكي يمكن أن يكون أكبر بعدة مرات من المعدل النظري الذي يعين من علاقة الفعالية والذي يمكن تفسيره بإزالة تأثير الظاهرة السطحية التي تنتج عن تلوث المنطقة المجاورة للبئر .

3-2-8- طرق التشقيق الهيدروليكي

بالرغم من أن طريقة التشقيق الهيدروليكي هي حديثة نسبياً فإنها تطورت بسرعة حيث تم التوصل إلى عدة طرق لتطبيقها عملياً بما يتناسب وشروط كل بئر .

3-2-8-1- التشقيق الهيدروليكي بحقن السائل خلال مواسير التغليف الإنتاجية

في بداية تطبيق هذه الطريقة في معالجة الطبقات المنتجة تم حقن السوائل خلال مواسير الإنتاج أو استعملت مواسير خاصة تسمى مواسير الحقن حيث تجهز بباكر عند جزئها السفلي وما تزال هذه تستعمل حتى الآن في حالة استعمال ضغوط كبيرة لا تتحملها مواسير التغليف الإنتاجية وإذا أخذنا في الاعتبار أنه في معظم عمليات التشقيق الهيدروليكي تحقن كميات كبيرة من السائل وبمعدلات كبيرة أيضاً فإن استعمال مواسير الإنتاج أو مواسير الحقن يؤدي إلى فقدان ضغوط كبيرة جداً بداخلها ، استعمال معدل حقن قليل قد يؤدي إلى توضع الرمل داخل البئر مشكلاً سدادة رملية ومقللاً من فعالية التشقيق الهيدروليكي .

حقن سائل التشقيق وكذلك السائل الذي ينقل الرمل إلى الطبقة من خلال مواسير التغليف ذات القطر الأكبر من قطر مواسير الإنتاج يمكن من استعمال معدلات حقن كبيرة ويؤدي إلى فقدان قليل للضغط نتيجة الاحتكاك (مقارنة مع الضغط الضائع داخل مواسير الإنتاج) معدل الضخ في هذه الحالة يمكن أن يصل إلى 10500 ليتر في الدقيقة .

وهناك طريقة ثانية وهي الحقن من خلال المواسير وكذلك من خلال الفراغ الحلقي بوقت واحد حيث نتجنب رفع وإنزال مواسير الإنتاج قبل وبعد كل عملية

Scanned by CamScanner

تشقيق هيدروليكي . كي تتمكن من الحقن من خلال مواسير التغليف يجب أن تكون هذه الأخرى ذات مقاومة كبيرة للضغط الخارجي وجهد الشد والضغط الداخلي في أثناء حسابات برنامج بناء البئر .

3-2-8-2- التشقيق من خلال الثقوب

معظم عمليات التشقيق الهيدروليكي تجري من خلال القنوات المشكلة نتيجة تثقيب مواسير التغليف الإنتاجية والأسمنت خارجها مقابل الطبقة المنتجة وهي تختلف عن شروط التشقيق للآبار غير المغلفة ونتيجة التشقيق في هذه الحالة تعتمد على قدرة السائل الذي يحمل الرمل بالجريان خلال الثقوب . ميكانيكية التشقيق تتم على الشكل الآتي :

بحقن السائل بغزارة معينة فإن الضغط على الثقوب يزداد حتى نصل إلى لحظة تصدع الطبقة وتشكل شق أو عدة شقوق مقابل الثقوب وفي حال دخول السائل بكامله في هذه الشقوق فإن الضغط يثبت على قيمة معينة (القيمة التي تصدعت عندها الطبقة) وهذا يعني أنه من أجل التشقيق الهيدروليكي عدد الثقوب اللازمة هو محدود وكذلك فإنه عند استعمال غزارة كبيرة وبعد تصدع الطبقة في المناطق ذوات المقاومة القليلة وفيما إذا كانت قدرة السائل على العبور من خلالها أقل من معدل الحقن فيمكن أن يتركز تأثير السائل على مجموعة أخرى من الثقوب مقابل الطبقة المنتجة محدثا الشقوق فيها وهكذا حتى تتشقق كامل الطبقة المثقبة . يمكن زيادة فعالية التشقيق فيما إذا تم عزل المناطق المتشققة وذلك ما سندرسه لاحقا .

3-2-8-3- التشقيق المنفصل

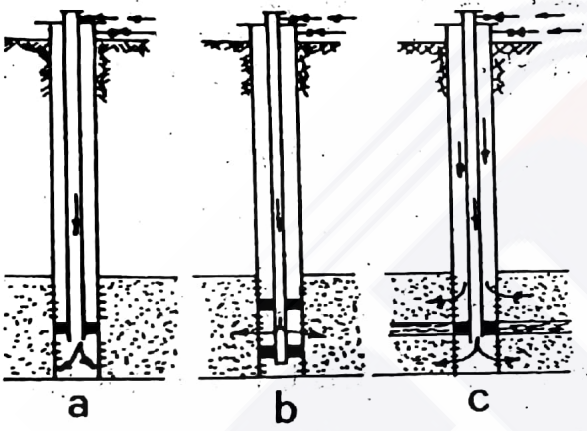
معظم الآبار التي تخترق الطبقات المنتجة تثقب بمجالات كبيرة لعدة عشرات من الأمتار والتي تحوي ضمنها تداخلات غير حاملة للمركبات الهيدروكربونية وعند معالجة هذه المجالات بطريقة التشقيق الهيدروليكي فإن الاحتمال الكبير أن تتشقق الأجزاء غير الحاملة أو أن تحدث الشقوق في المستويات التي تفصل منطقة حاملة

Scanned by CamScanner

للنفط عن أخرى غير حاملة وبالتالي فإن فعالية التشقيق الهيدروليكي هي قليلة جداً إن لم تكن معدومة . لتلافي ذلك (للحصول على فعالية جيدة) تطبق طريقة التشقيق الهيدروليكي المنفصل للطبقة المنتجة حيث تفصل المناطق عن بعضها البعض بواسطة باكر على الشكل الآتي :

أ- إذا كانت الطبقة النفطية التي يجب تشقيقها تقع أسفل المجال المثقب عند ذلك يثبت الباكر أعلى هذه الطبقة والذي يمكن سائل التشقيق المضخ خلال مواسير الإنتاج من التأثير عليها فقط حسب الشكل (3-11) .

ب- إذا كانت المنطقة التي يجب تشقيقها تقع في وسط المجال المثقب فإنه يمكن عزلها بباكرين اثنين (حسب الشكل 3- 11) وفي هذه الحالة فإن ماسورة الإنتاج المحصورة بين الباكرين يجب أن تكون مثقبة بحيث أن سائل التشقيق يمر من داخل المواسير إلى الفراغ الحلقي المحصور بين الباكرين حيث يؤدي إلى تشقيق المنطقة المطلوبة .



شكل(3-11) عزل المجالات عن بعضها البعض بواسطة الباكر

a- تشقيق الجزء السفلي للطبقة المنتجة -
b - تشقيق جزء محصور بباكرين
c - عزل تداخلات غير نفوذية

ج- في حال وجود طبقتين منتجتين تفصلهما طبقة غير نفوذية عند ذلك يثبت الباكر مقابل هذه الطبقة حسب الشكل (3 -11) .

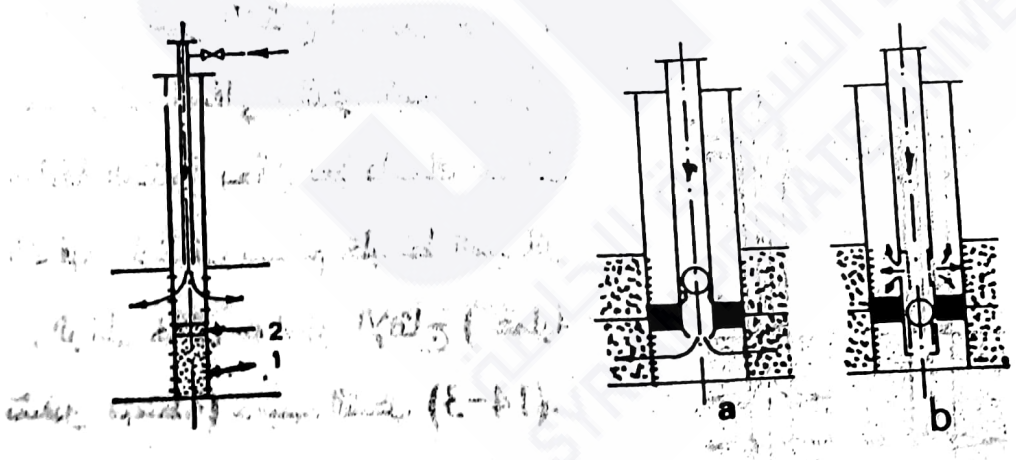
وبعد ذلك يتم تشقيق الطبقة السفلى بحقن سائل التشقيق خلال مواسير الإنتاج ثم الطبقة العليا بحقن سائل التشقيق خلال الفراغ الحلقي بين مواسير الإنتاج ومواسير التغليف الإنتاجية .

Scanned by CamScanner

كما يمكن معالجة الطبقتين بآن واحد . بعد انتهاء معالجة الطبقتين يعاد وضع الطبقة السفلى بالإنتاج من خلال مواسير الإنتاج ثم يحل الباكر ويرفع إلى السطح وتوضع الطبقة العليا بالإنتاج أيضاً .

عند التشقيق الهيدروليكي وضخ خليط السائل مع الرمل خلال الفراغ الحلقي فإن هناك احتمالاً كبيراً لتوضع الرمل على الباكر مشكلاً سدادة رملية .

عند ذلك ولرفع الباكر يجب أن ينظف الرمل أولاً وهذا ما يزيد من الزمن الذي تستغرقه عملية التشقيق إضافة إلى صعوبة تنظيف هذا الرمل . ولهذا وعند استعمال هذه الطريقة تجهز مواسير الإنتاج بوصلة خاصة مثقبة توضع فوق الباكر وتغلق ثقوبها بواسطة قطعة تثبت بمسمار أمان وبعد الانتهاء من التشقيق الهيدروليكي يرمى قرص معدني داخل مواسير الإنتاج الذي يستند على كرسي القطعة السابقة ويمنع عبور السائل ومع زيادة الضغط ينكسر مسمار الأمان وتهبط القطعة إلى أسفل المواسير حيث تفتح الثقوب ويمر عندها السائل إلى الفراغ الحلقي حيث ينظف الرمل المتوضع فوق الباكر حسب الشكل (3-12) .



شكل (3-12) التشقيق المنفصل للطبقات

شكل (3-13)

1- رمل 2- إسمنت

د- عند وجود الطبقة ذات النفوذية الضعيفة والتي يجب زيادة نفوذيتها بالتشقيق الهيدروليكي عند الجزء العلوي من المجال المثقب فإنه يمكن عزل باقي الجزء إما

Scanned by CamScanner

باستعمال باكر وحقن السائل خلال الفراغ الحلقي بين مواسير الإنتاج ومواسير التغليف الإنتاجية أو يعزل بسدادة رملية ذات غطاء أسمنتي وحقن السائل مع الرمل خلال مواسير الإنتاج حسب الشكل (3-13) .

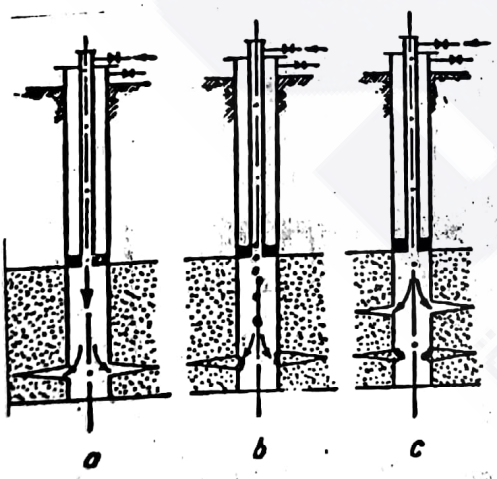
يجب التأكيد على حقيقة هي أن عزل الطبقات عن بعضها البعض بالطرق المذكورة سابقاً لا تعطي نتائج جيدة دائماً والسبب الرئيسي لفشل عزلها هو وجود أسمنت نفوذي خارج مواسير التغليف الإنتاجية وكذلك تشوه كاوتشوك الباكر في أثناء تثبيته في البئر .

3-2-8-4- التشقيق الهيدروليكي بمراحل :

وهي تمكن من تشكيل عدة شقوق على مستويات مختلفة من الطبقة المنتجة إما حسب تسلسل مقاومة المناطق المختلفة أو بالتسلسل الذي يوضع لها حيث أنها تعتمد على إجراء عملية التشقيق الهيدروليكي البسيطة عدة مرات باستعمال ضغوط مختلفة في كل مرة وقبل الانتقال إلى عملية تشقيق جديدة تعزل مؤقتاً الشقوق التي تشكلت في المرحلة الأولى . هذه الطريقة تتم وفق الخطوات التالية :

1- تنزل مواسير الإنتاج المجهزة ببواكر عند جزئها السفلي والذي يثبت فوق الطبقة المنتجة يحقن بعد ذلك سائل التشقيق النظيف ثم خليط السائل والرمل خلال مواسير الإنتاج (عملية تشقيق مبسطة) حسب الشكل (3-14).

2- بعد ضخ خليط السائل والرمل بالكمية المطلوبة للحفاظ على شقوق المرحلة الأولى يحقن سائل التشقيق مع مواد عازلة لهذه الشقوق والتي تتوضع عند مدخلها وتمنع السائل من الدخول إليها الشكل (3-14-b) .



شكل (3-14) مراحل التشقيق الهيدروليكي

Scanned by CamScanner