

المحاضرة 8

الفصل الثامن

تحسين إنتاجية الآبار الغازية

تتأثر الطبقات المنتجة للغاز والمكثفات الغازية كما الطبقات النفطية بمجموعة من المؤثرات، مما يؤدي إلى انخفاض إنتاجية الآبار مع الزمن. إن المحافظة على كمية الإنتاج المخطط لها منذ وضع المكمن في الاستثمار تتطلب مراقبة معامل إنتاجية الآبار ومعالجة الأسباب التي تؤدي إلى انخفاضه . يمكن أن تخفض قيمة معامل إنتاجية الآبار الغازية نتيجة مجموعة من الأسباب.

- تلوث الطبقة المنتجة (المنطقة القاعية) بسائل الحفر أثناء اختراقها أو خلال إجراء عمليات التقييب وبعض أعمال الصيانة والإصلاح

- يمكن أن تخفض قيمة معامل إنتاجية بسبب العوامل الطبيعية المتعلقة بالطبقة نفسها، مثلًا : انخفاض قيمة الضغط الطبيعي، تجمع السوائل في قاع البئر، تسرب المياه الطبيعية إلى الآبار وتنوّث المنطقة القاعية نتيجة حدوث تهدّم في الطبقة

ما ذكر أعلاه يتضح أن الحفاظة على قيمة عالية لمعامل إنتاجية الآبار تتطلب أن يكون جزء الطبقة القريب من جدران البئر نظيفاً وذو نفوذية جيدة طيلة فترة استثمار البئر
تستخدم طريق مختلفة من أجل تحسين نفوذية المنطقة القاعية، وتقسم هذه الطرق إلى مجموعتين

المجموعة الأولى: وتحدّد إلى تحاشي تلوث الطبقة المنتجة، وذلك للمحافظة على الخواص الخزنية الأولية للطبقة. ويتحقق هذا الأمر منذ البدء باختراق الطبقة أثناء الحفر . من هنا تأتي أهمية اختيار سائل الحفر المناسب لاختراق الطبقة المنتجة من جهة و زمن اختراقها بحيث يكون أقل ما يمكن من جهة أخرى.

المجموعة الثانية: وتتضمن إجراء بعض العمليات في الطبقة لتحسين نفوذية صخور المنطقة القاعية. ومن أهم هذه الإجراءات: التشقّيق الهيدروليكي، المعالجة بالحموض، وقد يتم أحياناً دمج العمليتين مع بعضهما . إن اختيار إحدى الطرق يتعلّق بالتركيب الليتولوجي والم نرولوجي لصخور الطبقة والملاط الأسمنتى بين الحبيبات، والضغط والحرارة، وسمكّ الطبقة المنتجة وعدم تجانس الطبقة.

8-1 التشقّيق الهيدروليكي:

يهدف التشقّيق الهيدروليكي للطبقات المنتجة إلى توسيع الشقوق الموجودة أصلاً في الصخر وتشكيل شقوق جديدة وتعتمد هذه العملية أساساً على حقن سوائل تحت ضغط عالي ، بحيث تكون قيمتها كافية للتغلب على قوى الانضغاط الناتجة عن التوضّعات أعلى الطبقة موضوع المعالجة،

وبشكل عام تكون قيمة الضغط اللازم للتشقق أكبر من الضغط الهيدروستاتيكي بحوالى (1.5-2) مرة.

ينصح باستخدام التشقق الهيدروليكي لتحسين نفوذية الطبقات في:

- الآبار منخفضة الإنتاجية بالمقارنة مع الآبار المجاورة

- الآبار التي تخترق طبقات ذات ضغط عالي ولكنها ذات نفوذية منخفضة

وعلى كل حال ، يجب أن الطبقات من النوع القاسي (الكلس- الدلوميت - الرمال ذات الملاط

(الأسمنتي المتماسك)

إنشاء التخطيط لتنفيذ عملية التشقق الهيدروليكي، من الضروري الأخذ بالاعتبار مجموعة من الأمور: عمق البئر ، سماكة الطبقة، نفوذية الطبقة وقيمة الضغط والحرارة، مدى مقاومة مواسير التغليف للضغط المطبق، كما يجب تحديد سرعة ضخ السائل واحتساب الضياعات بالاحتكاك ومن ثم الضغط الواجب تحقيقه على فوهة البئر . إضافة لذلك يجب تحديد لزوجة سائل التشقق واختيار مقاييس الحبيبات الصلبة وحساب مقاييس الشفوق المتوقع تشكيلها.

يسبق عملية التشقق الهيدروليكي مجموعة من الأعمال التمهيدية:

1- تفحص قاع البئر وتنظيفه تماماً.

2- إزالة بلكر ضمن تشكيلة مواسير الإنتاج بحيث يكون موقعه على ارتفاع بحدود M(5-10)

من المجال المتقب و تكون نهاية المواسير على عمق

M(1-2) أسفل المجال المتقب.

3- إجراء دوران للسائل في البئر ومن ثم ثنيت الباكر.

8-1-1- السوائل المستخدمة في عملية التشقق الهيدروليكي

يتطلب التشقق الهيدروليكي الناجح للطبقات الغازية، مواصفات معينة لسائل التشقق والسائل الحامل للحبيبات الرملية ، بحيث تكون لزوجتها بحدود 100Mpa.s، ومن السهل إخراجها من الطبقة. تُحضر في موقع البئر أربعة أنواع من السوائل:

1- سائل من أجل قتل البئر قبل التشقق، بحيث يكون حجمه أكبر من حجم البئر بـ (2-2.5) مرة.

2- سائل التشقق بحجم يساوي حجم مواسير الإنتاج مضافاً إليه كمية بحدود

M^3 (5-10) وذلك تبعاً لدرجة تغلق الطبقة يستخدم النفط ومشتقاته كسائل تشقق في أغلب

الأحيان. في الطبقات المكونة من صخور لا تتحلل في حمض كلور الماء تستعمل مستحلبات

(كوندنسات حمض حمض أو (كيروسين-

(ماء-كيروسين). أما عندما يكون الصخر قابلاً للتفاعل مع الحمض، فإنه ينصح باستخدام المياه

الطبقية مضافاً إليها حمض كلور الماء بتركيز ضعيف (1.5-2%) ومركبات سيلولوزية (CMC) لتأمين الزوجة المطلوبة يحقن هذا السائل بضغط عالي وبقيمة كافية لتصدع الصخور المكونة للطبقة وتشكيل شقوق فيها.

3- السائل الحامل للحصى الكوارتزية. يقوم هذا السائل بحمل حصى (رمال كوارتزية) نظيفة من الشوائب الغضارية إلى الشقوق التي تشكلت في الطبقة وذلك لمنعها من التصاق عند تخفيض الضغط. تتراوح أقطار حبيبات الرمال (0.4-1.2mm) أما نسبتها الوزنية في السائل فهي (100-200g/L) وذلك بالعلاقة مع قدرة السائل على المحافظة عليها بحالة معلقة وبإمكانيات التقنية لأجهزة الضخ المستخدمة.

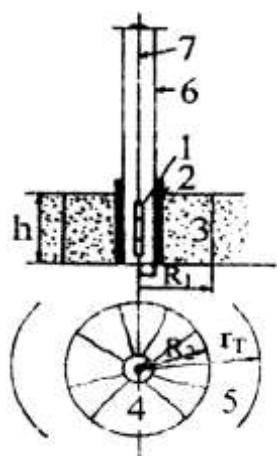
4- سائل من أجل غسل وتنظيف البئر ويكون حجمه أكبر بـ 1.5 مرة من حجم البئر

تقُيم فعالية عملية التشقيق الهيدروليكي اقتصادياً أو هيدروديناميكِيًّا في الناحية الاقتصادية تتم مقارنة التكاليف المصروفة لإجراء التشقيق الهيدروليكي مع قيمة كمية الغاز الإضافية الناجمةً من الناحية الهيدروديناميكية فالفعالية تحدد من خلال التغيرات التي تطرأ على معاملات مقاولات التشاحن في معادلة جريان الغاز من الطبقة إلى البئر

2-8- تفجير الطبقات الخازنة:

عندما تكون الطبقات المنتجة مؤلفة من صخور متمسكة ذات نفوذية قليلة ، فإنه يمكن زيادة إنتاجها بتطبيق هذه الطريقة، والتي تعتمد على تفجير كميات معينة من المواد المتفجرة مقابل الطبقة المنتجة عند قعر البئر وما يؤدي إلى إحداث شقوق عديدة في المنطقة المجاورة للبئر مشكلة قنوات لجريان المواقع باتجاه البئر.

نتيجةً للتفجير ، فإن المواد المتفجرة تحول بكماتها وبشكل مفاجئ من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة ثم الغازية، مما يؤدي إلى زيادة الضغط والحرارة بشكل كبير جداً ، أي تتشكل بجوار جهاز التفجير منطقة مشبعة بالغازات المضغوطة والساخنة، والتي تحاول أن تشغل حجماً أكبر، كذلك نتيجة للتفجير ، فإن صخور الطبقة تتعرض لاصدمة عنيفة تتوزع في جميع الإتجاهات مودية إلى تصدع وتحت جزئي حتى مسافة R_1 كما في الشكل (8-1) تسمى المنطقة ذات نصف القطر R_1 بمنطقة التصدع، والتي يمكن أن تمتد حتى $6-8M$. تعتبر طريقة التفجير هذه ذات فعالية جيدة في الطبقات المنتجة ذات النفوذية القليلة والتي تحوي على مناطق ذات تشعب كبير بالنفط والغاز ولكنها غير متصلة مع البئر.



1- جهاز التفجير

2- إسمنت

3- الطبقة المنتجة

- 4- المنطقة المتصدعة
- 5- المنطقة المهازنة
- 6- مواسير التغليف الإنتاجية
- 7- الكبل الذي ينزل بواسطته جهاز التفجير

الشكل (1-8) يوضح تأثير التفجير على الصخور المجاورة لقعر البئر.

3-8- معالجة الآبار الغازية بالحموض (التحميض):

تعتبر معالجة الآبار الغازية بالحموض من أهم أساليب زيادة إنتاجيتها ، فهي تبدأ منذ انتهاء عمليات الحفر وتستمر الحاجة إليها طيلة حياة البئر ، وذلك بسبب التلوث الذي يحصل في المنطقة القاعية، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض نفوذيتها وبالتالي انخفاض الإنتاجية . يحصل تلوث المنطقة القاعية ، إما نتيجة لظروف الإنتاج الطبيعية وإما نتيجة لـ جراء بعض العمليات التكنولوجية على الطبقة المنتجة، كالتشقيق الهيدروليكي وغيره .

3-1- معالجة الآبار الغازية بواسطة حمض كلور الماء:

تجري عملية التحميض بواسطة حمض كلور الماء بناءً على قابليته للتفاعل مع الصخور الكربوناتية (كلس – دلوميت) مما يؤدي إلى تنظيف مساماتها وتوسيع الشقوق الموجودة وتحسين نفوذيتها.

يتفاعل حمض كلور الماء مع الصخور الكربوناتية وفق المعادلات التالية:



تنحل الأملاح الناتجة عن التفاعلات بشكل جيد في المياه ولا تشكّل أية رواسب . تتعلق سرعة تفاعل حمض كلور الماء مع الصخور الكلسية والدلوميتية بقيم الضغط والحرارة بشكل أساسي، حيث أن ارتفاع الضغط وانخفاض درجة الحرارة يؤديان إلى نقصان سرعة التفاعل.

تنتج المعامل الكيميائية عدة أنواع من حمض كلور الماء التجاري . ولكن أفضلها من أجل عمليات

التحميض هو النوع الذي يحقق المواصفات التالية:

- لكمية HCl ليست أقل من 31% .

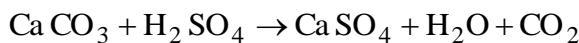
- لكمية شوارد الحديد أقل من 0.02% .

- لكمية حمض الكبريت أقل من 0.005% .

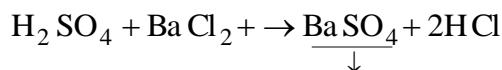
تدخل شوارد الحديد مع حمض كلور الماء بتفاعل أكسدة مشكلة كلور الحديد ، وعندما يتعادل محلول الحمضي فإن كلور الحديد يتربّس على شكل ماءات الحديد Fe(OH)_3 ، مما يؤدي إلى

إغلاق بعض المسامات. لذلك عندما يحتوي الحمض التجاري على شوارد الحديد بنسبة أكبر من 0.02% فإنه يجب إضافة حمض الخل بنسبة (1-1.5%) لتلافي ترسب ماءات الحديد.

وعندما يحتوي حمض كلور الماء على حمض الكبريت، فإن هذا الأخير يتفاعل مع الكلس ويترسب الجبس مؤدياً إلى تضييق المسامات وإغلاقها.



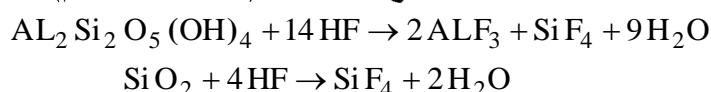
يتم التخلص من حمض الكبريت بإضافة كلور الباريوم بكمية (0.02-0.05)%، حيث يتم التفاعل وفق المعادلة:



أثناء معالجة الطبقات الكربوناتية الحاملة للغاز، فإن زمن التفاعل بين الصخر والحمض يكون أقل بكثير مما هو عليه عندما يحتوي الصخر على نفط، وذلك نتيجة تغليف سطح الفراغات المسامية بطبقة رقيقة من النفط. انطلاقاً من ذلك، إذا كان الهدف من المعالجة بالحمض هو إصاله إلى مسافة كبيرة في الطبقة، كما في حالة التشقيق الهيدروليكي باستخدام سوائل حمضية، فيتوجب حقن سائل هيدروكربوني كالكيروسين أو مستحلب كوندنسات حمض أو إضافة مؤخرات تفاعل.

بالعلاقة مع درجة تقبل الطبقة، فإن ضغط حقن محلول الحمضي على فوهة البئر يجب أن يحافظ على قيمة شبه ثابتة، وتحدد قيمته على الشكل التالي. يتم ضخ السائل الحمضي في مواسير الإنتاج وبأقصى سرعة ممكنة حتى اللحظة التي يبدأ فيها الضغط على فوهة البئر بالازدياد حيث يعتبر هذا الازدياد مؤشراً لبداية تغاغل الحمض في الطبقة عند يخوض معدل الحقن بحيث يتاسب وتقبل الطبقة. تعتبر قيمة الضغط المقابلة، هي القيمة التي يجب المحافظة عليها وذلك بتغيير معدن حلسوائل الحمضي في البئر.

من أجل حماية المعدات المعدنية من تأثير حمض كلور الماء، تضاف مواد مانعة للتآكل (inhibitors). يعتبر الفيرماليين (محلول CH_2O بنسبة 40% في الماء) أكثر هذه المواد شيوعاً، ويضاف بكمية (5-6) Kgr لكل واحد طن من محلول الحمضي ذو التركيز (10-12%). إذا كانت الطبقات موضوع المعالجة مكونة من صخور رملية غضاروية، فإن معالجتها بالحمض تتم باستخدام حمض الفلور الذي يتميز بقدرته على التفاعل مع الكاولينيت (سيليكات الألمنيوم) وأكسيد السيلسيوم:



تضاف نسبة من حمض كلور الماء إلى محلول حمض الفلور لتحسين اتحلال فلور الألمنيوم، وكذلك الأمر عند احتواء الطبقة الرملية على تدخلات كلسية فإن حمض كلور الماء يساهم في اتحلال فلور الكالسيوم المتشكل:



أظهرت التجارب الحقلية أن فعالية التحميض في الطبقات الرملية ذات الملاط الكلسي ترتفع عندما تعالج أولاً بـ HCl ومن ثم بـ HF .

2-3-8- أنواع المعالجة بالحمض والأجهزة المستخدمة:
توجد أربعة أنواع لمعالجة الآبار الغازية بالحمض: **الحمامات الحمضية - عمليات التحميض العادية - عمليات التحميض العميق - عمليات تحميض موجهة.**

الحمام الحمضي: ينفذ الحمام الحمضي بهدف تنظيف قعر البئر، ويمكن أن يكون بدون ضغط وإما تحت ضغط. يبدأ الحمام الحمضي بإجراء دوران في البئر بسائل حيث يكون على الغالب ماء أو (ماء + مقلل توتر سطحي) وأحياناً كوندنسات. وبعد ذلك يضخ محلول الحمض في البئر بالكمية المحسوبة بحيث تملأ الجزء المراد معالجته من قاع البئر. إذا كان البئر مشغولاً بالغاز، يتم ضخ الحمض من خلال مواسير الإنتاج ومن ثم توصل فوهة البئر مع الفراغ الخلقي كي تتعادل الضغوط ويستقر محلول الحمض في قاع البئر. يترك البئر مغلقاً بحدود (40-20) ساعة ثم يفتح إلى خط الشعلة حتى التأكد من طرد كامل الشوائب.

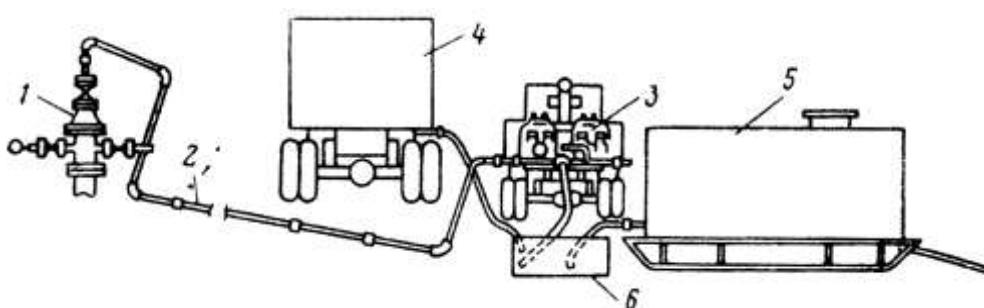
عملية التحميض العادية: تهدف هذه العملية إلى التأثير على جزء من الطبقة باستخدام الحمض وبقطر يساوي العمق الذي يدخله سائل الحفر أو راشحة، تجرى عملية التحميض العادية وفق الخطوات التالية:

- تنظيف البئر - حمام حمضي - تنظيف البئر - حقن الكمية المخططة من الحمض في الطبقة -
الانتظار فترة كافية لتفاعل الحمض مع الصخر إحياء البئر وإعادته للإنتاج

عملية التحميض العميق: وتختلف عن التحميض العادي فقط بعمق دخول الحمض الذي قد يصل إلى عشرات الأمتار. أما خطوات التنفيذ فهي متشابهة.

عملية التحميض الموجة: تبدو الحاجة للتحميض الموجه، عندما لا يراد معالجة الطبقة بالكامل، وإنما مجال محدد فقط. يتم إجراء التحميض الموجه، بعزل المجال بسدادة رملية من الأسفل وبياكر من الأعلى ويحقن الحمض بنفس الآلة المشروحة سابقاً.

يوضح الشكل (8-2) التجهيزات السطحية اللازم لمعالجة الآبار الغازية بالحموضن



الشكل (2-8) الأجهزة السطحية المستخدمة لمعالجة الآبار بالحمض

- 1- شجرة الميلاد.
- 2- خط حقن محلول الحمض في البئر.
- 3- مضخة
- 4- خزان مياه.
- 5- خزان الحمض.
- 6- حجرة مزج الحمض مع الماء

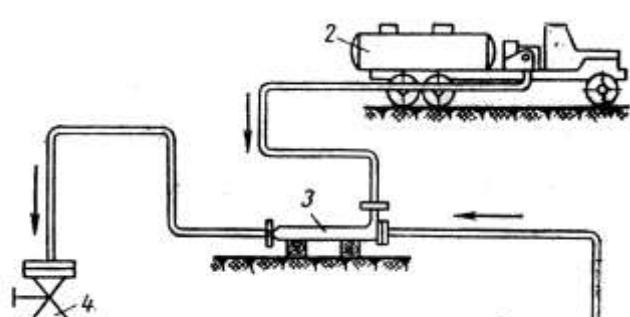
عملية التحميض الرغوية:

إن عملية التحميض الرغوية هي إحدى الطرق المستخدمة في الآبار المنتجة من الطبقات الكربوناتية المتشققة، حيث تهدف هذه الطريقة إلى زيادة فعالية معالجة الطبقة بالحمض . يتم الحصول على البنية الرغوية للحمض من خلال تغذية السائل الحمضي المعالج بمقلات التوتر السطحي، وذلك عن طريق حقن الهواء أو الغاز الطبيعي تحت ضغط . يسلك السائل الحمضي ببنائه الرغوية في الطبقة سلوكاً يؤدي إلى زيادة فعالية المعالجة من خلال :

- 1- تتناقص سرعة تفاعل الحمض مع الصخور الكربوناتية، وذلك بسبب نقصان سطح التماس بين الحمض والصخر ، حيث أن فقاعات الهواء (الغاز) تحول دون حصول هذا التماس، وبالتالي سوف يزداد عمق تغلغل الحمض في الطبقة .
- 2- إن الكثافة القليلة للحمض الرغوي ($0.2-0.9 \text{ g/cm}^3$) ولزوجته العالية مقارنة مع محلول الحمضي، سوف تسمح بانتشار الحمض على كامل مقطع الطبقة المنتجة .
- 3- سهولة إحياء البئر وتنظيف الطبقة بعد انتهاء المعالجة بالحمض الرغوي ، حيث إن فقاعات الغاز (الهواء) الموجودة في الفراغات المسامية سوف تتعدد بنتيجة تخفيض ضغط قاع البئر وبالتالي فإنها تدفع نواتج التفاعل باتجاه البئر كما أن وجود المواد المقللة للتوتر السطحي سوف يسهل حركتها في الطبقة .

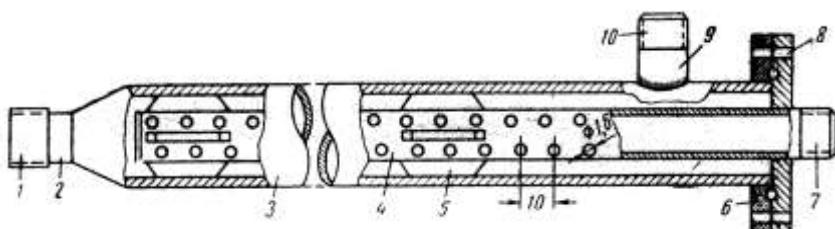
يعتبر التحديد الصحيح لحجم الحمض الرغوي ونوع وتركيز مقلل التوتر السطحي ومثبتات الرغوة من الأمور الهامة لنجاح عملية المعالجة . تستخدم المواد المنشطة الإيونية وغير الإيونية كمشكلات رغوة، وكਮثبتات رغوة، تستعمل مادة كربوكسي ميتيل السيليلوز (CMC).

يوضح الشكل (2-8) التجهيزات المستخدمة في التحميض الرغوي:



- الشكل (8-3) التجهيزات المستخدمة في عملية التحميص الرغوي
- ضاغط.
 - آلة ضخ الحمض (اكريليت).
 - خلاط تشكيل الرغوة.
 - شجرة الميلاد.

إذا استعمل الغاز الطبيعي بدلاً من الهواء لتشكيل الحمض الرغوي، فإنه لا داعي لوجود الضاغط وإنما يوصل الغاز مباشرة من خط ذو ضغط عالي إلى الخلاط . يوضح الشكل (8-4) رسمًا تخطيطيًّا لأحد نماذج الخلطات المستخدمة:



- الشكل (8-4) يوضح أقسام الخلط
- عزقة.
 - محول $102 \times 51 \text{ mm}$
 - حجرة بقطر 102 mm .
 - أنبوب بقطر 51 mm .
 - مركز.
 - فلنجة
 - أنبوب الهواء بقطر 51 mm .
 - فتحة
 - أنبوب الحمض 51 mm .
 - شرار ربط مع الاكريليك.

بعد ضخ الكمية اللازمة من الحمض الرغوي في البئر ، تزاح إلى الطبقه عن طريق ضغط الهواء باستخدام الضاغط أو بضخ النفط . تترك البئر تحت الضغط ليتفاعل الحمض مع الصخر : (h-24-12)

ومن ثم يتم إحياء البئر .

إن معدل حقن الهواء هو $M^3/15\text{-}25$ (M³) لكل متر مكعب من الحمض المضاف إليه مشكل رغوة بنسبة (0.1-0.2%) ويجب أن تكون غزاره آلية الضخ (S/L 4) ومعدل تدفق الهواء $.15 \text{ M}^3/\text{min}$.

3-8-3. اختيار الطبقات للمعالجة الحمضيّة:
أثبتت التجارب الحقلية أن عملية المعالجة بالحمض تعتبر مجديّة في الحالات التالية

- الطبقات الكربوناتية التي تحوي على شقوق حيدة، ولكن تناقصت إنتاجيتها بسبب انسدادها كلياً أو جزئياً ببعض الحبيبات الكلسية أثناء الإنتاج أو بالبقايا الصلبة لسائل الحفر أثناء اختراقها. في مثل هذه الحالات فإن المحلول الحمضي يقوم بالتفاعل مع الحبيبات الكلسية ويساعد على إزاحة بقايا سائل الحفر وبالتالي تزداد إنتاجية البئر بشكل واضح وأحياناً لعدة مرات.
 - الطبقات الكربوناتية ذات المسامية الشفقة الضعيفة، حيث يتفاعل الحمض مع الصخر مؤدياً إلى زيادة مقاييس الشقوق.
 - الطبقات الكربوناتية التي تتميز بمسامية ونفوذية قليلتين، حيث ينصح بإجراء تشقيق هيدروليكي ومن ثم المعالجة بالحمض.
 - تعد الطبقات الرملية ذات الملاط الكلاسي أو الغضارى ذات النفوذية المنخفضة والإنتاجية القليلة مرشحة للمعالجة باستخدام حمض الكلور.
- لا ينصح بإجراء التحميض في الحالات الآتية لقتراط المياه القاعدية أو المحيطية من الآبار – في الطبقات التي انخفض فيها الضغط الطبقي عن قيمته الأولية بحدود 60-70%. – عدم مقاومة مواسير التغليف للضغط المتوقع وعدم إمكانية عزلها عن المجال موضوع لمعالجة.

4-3-8- تكنولوجيا معالجة الطبقات بالحمض:
يقصد بتكنولوجيا عملية التحميض، تحديد تركيز وحجم المحلول الحمضي إضافة إلى فترة تفاعله مع الصخر ومن ثم تنفيذ البرنامج عملياً.

تركيز المحلول الحمضي عندما تحتوي الطبقات على الجبس والانهدريت، فإن تركيز المحلول الحمضي يجب ألا يزيد عن 15%. حيث ثبتت التجارب أنه عند التراكيز الأكبر سوف يتفاعل الجبس والانهدريت مع الحمض وينتج مركبات تترسب في الفنوات المسامية

بالنسبة للطبقات الكربوناتية الحاوية على شقوق متطرفة، فإن الحمض يتفاعل مع الصخور في المنطقة القريبة من البئر وخاصة بغياب مؤشرات التفاعل. يُعد في مثل هذه الحالة إلى تغيير تركيز المحلول الحمضي بشكل تدريجي، بحيث تكون البداية بتركيز 25% والنهاية بتركيز 10%.

في الطبقات الكربوناتية ذات المسامية والنفوذية الضعيفتين فإن تركيز المحلول الحمضي يُزاد حتى %20-25. بشكل عام يُستخدم التركيز 12-15% للصخور الكربوناتية، أما بالنسبة للصخور الرملية فيستخدم مزيج من حمض كلور الماء وحمض الفلور 5-8%.

في بعض الحالات، التي يُطلب فيها زيادة قطر تأثير الحمض في الطبقة، فإنه ومن أجل تخفيف قيمة ضغط التشغيل ، تتم المعالجة بشكل متكرر (على دفعات) وينصح بتغيير التركيز بشكل تدريجي . بالنسبة للأبار التي انخفضت إنتاجيتها بسبب تلوث المنطقة القاعية خلال الاستثمار أو عمليات الإصلاح، فيتم تنظيفها باستخدام محليل حمضي بتركيز % (12-8).

من أجل إجراء ما يسمى بالحمامات الحمضية في الآبار التي يكون فيها المجال المنتج مغلفاً، فإن تركيز محلول حمض كلور الماء يكون بحدود % (12-15) وتم زيادته حتى 20% في الآبار ذات القاع المفتوح. وعند يتطلب الحمام الحمضي استخدام مزيج من حمض كلور الماء وحمض الفلور فإن تركيز حمض الكلور يكون بينما حمض الفلور % (3-5) (14-16).

حجم محلول الحمض:

يتعلق حجم محلول الحمضي بمجموعة من العوامل: تركيب الحمض – التركيب المينيراليوجي للصخور – درجة التشقق – المسامية – النفوذية – المواد التي أدت إلى تلوث المنطقة القاعية والهدف من عملية المعالجة بالحمض.

بناءً على نتائج التجارب الحقلية لمعالجة المنطقة القاعية في الآبار الغازية تم التوصل إلى أن حجم محلول الحمضي M^3 (0.4-0.5) لكل متر واحد من سماكة الطبقة يعتبر كافٍ لتحقيق الهدف.

في الطبقات الكربوناتية جيدة التشقق وذات النفوذية الأكبر من 0.1 mkm^2 والتي انخفضت إنتاجيتها بتأثير بعض البقايا من الصخور ذاتها أو من سائل الحفر أثناء اخترافها فإن حجم الحمض يكون بحدود M^3 (0.4-1) لكل واحد متر من سماكة الطبقة . وإذا كانت الشقوق والمنطقة القاعية عالية النفوذية ولم تتعرض للتلوث ، فيستخدم M^3 (2.5-1.5) أو أكثر لكل واحد متر من السماكة الفعالة للطبقة . وعندما تكون شقوق الطبقة ميكروية، فإن توسيعها يتطلب كمية من الحمض

M^3 (1-1.5) لكل واحد متر من الطبقة . أما في حالة وجود مسامات جيدة فقط وانعدام الشقوق فإن كمية الحمض $0.5 M^3$ حتى $1 M^3$ في المعالجة الأولية ومن ثم تزداد حتى M^3 (1.5-2) لكل $1M$ من الطبقة في المعالجة اللاحقة . وأخيراً، بالنسبة للطبقات الكربوناتية عديمة التشقق وضعيفة المسامية والنفوذية فيتم إجراء التشقق الهيدروليكي الحمضي بكمية $25M^3$ للعملية الواحدة، حيث أن عمليات التحميض العادي في مثل هذه الطبقات لا تعطي الفائدة المرجوة .

بالعلاقة مع تركيب الصخور الرملية والملاط بين حبيباتها فإن كمية الحمض من أجل $1M$ من الطبقة تكون M^3 (0.4-1).

(30-) من الضروري الإشارة إلى أن المعالجة المتكررة بالحمض، تتطلب زيادة كميته بمقدار 50% في المرحلة الثانية عن سابقتها. وإذا كان الهدف زيادة قطر تأثير الحمض على الطبقة تتم الزيادة بحدود (2-3) مرات.

استمرارية تفاعل الحمض مع الصخور:

خلال إجراء الحمامات الحمضية في الآبار المفتوحة (غير معزولة بمواسير تغليف) فإن فترة تفاعل الحمض إضافة إلى طرح نواتج التفاعل خارج البئر تكون بحدود h(16-24)، أما هذه الفترة في الآبار المعزولة فهي h(2-4). ولمعالجة المنطقة القاعية في الآبار مفتوحة القاع، وحيث الضغط الطبقي أكبر من 5Mpa ودرجة الحرارة أكثر من 30°C والسائل الحمضي يملأ البئر على طول المجال، فإن زمن التفاعل h(12-8) وعند ضغط طبقي أقل من 5Mpa يُشكّل هذا الزمن h(4-6). عندما يضخ كامل الحمض في الطبقة الكربوناتية المسامية، من الضروري أن يستمر التفاعل h(6)، ويزداد زمن التفاعل ليصبح h(14-8) عند وجود شقوق متطرفة في الطبقة.

بالنسبة للصخور الرملية ذات الملاط الكلسي التي تتطلب المعالجة بحمض الكلور ومن ثم حمض الفلور أو الرملية الصرفة، حيث تعالج بحمض الفلور فقط فإن زمن التفاعل h(12-8).

مما لا شك فيه أن الفترات الزمنية لتفاعل الحمض مع الصخور والمحددة أعلاه يجب أن يتم تدقيقها بالنسبة لكل مكمن.

تحضير محلول الحمضي:

يجري تخفيف تركيز حمض كلور الماء المركز حتى بلوغه نسبة التركيز المطلوبة في محلول التشغيل. وتنتمي عملية التخفيف هذه في مكان تخزين الحمض (المستودع) أو بالقرب من البئر مباشرة.

بما أن الحمض الوارد من المعامل يكون ذو تركيز متباعدة، فإنه من الضروري إجراء حساب دقيق لكمية الحمض التجاري التي يتبعين خلطها بغية الحصول على محلول بالتركيز والحجم المطلوبين. يمكن الاستعانة بالمعلومات الواردة في الجدول (1-8) لإجراء الحسابات.

يتم حساب كمية الحمض التجاري v_1 الحجمية بغية الحصول على $1M^3$ من محلول التشغيل بالعلاقة التالية:

$$v = \frac{1}{1 + \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 - 1000}} = \frac{\rho_2 - 1000}{\rho_1 - 1000} \quad (8-1)$$

أو بالنسبة لأية كمية n من الأمتار المكعبة:

$$v_1 = n \frac{\rho_2 - 1000}{\rho_1 - 1000} \quad (8-2)$$

حيث: v - حجم الحمض التجاري M^3 .

ρ_1 - كثافة الحمض التجاري kg/M^3

ρ_2 - الكثافة المطلوبة للمحلول الذي يجري تحضيره kg/M^3 وتوخذ من الجدول (8-1) وذلك استناداً إلى النسبة المئوية المطلوبة لتركيز HCl في محلول.

جدول رقم (8-1) كثافة محليل حمض كلور الماء ونسبة وجوده

النسبة الوزنية لحامض HCl في 1L (kg)	النسبة الكتالية لحامض HCl (النسبة المئوية)	الكثافة عند 15°C (kg/m³)	النسبة الوزنية لحامض HCl في 1L (kg)	النسبة الكتالية لحامض HCl (النسبة المئوية)	الكثافة عند 15°C (kg/m³)
0.232	20.97	1105	0.053	5.15	1030
0.243	21.92	1110	0.074	7.15	1035
0.255	22.85	1115	0.084	8.16	1040
0.267	23.82	1120	0.096	9.16	1045
0.279	24.78	1125	0.107	10.17	1050
0.291	25.75	1130	0.118	11.18	1055
0.302	26.70	1135	0.129	12.19	1060
0.315	27.66	1140	0.140	13.19	1065
0.328	28.61	1145	0.152	14.17	1070
0.340	29.57	1150	0.163	15.16	1075
0.353	30.55	1155	0.174	16.15	1080
0.366	31.52	1160	0.186	17.13	1085
0.379	32.49	1165	0.197	18.11	1090
0.391	33.46	1170	0.209	19.06	1095
0.418	35.39	1180	0.220	20.01	1100

مثال: المطلوب تحضير 35M^3 من محلول حمض كلور الماء بتركيز 12% علماً أن كثافة الحمض التجاري $1150\text{kg}/\text{M}^3$.

لتحضير محلول حمض كلور الماء نقوم عملياً بوضع كمية الماء المطلوبة في السعة المخصصة، ثم تضاف كمية الحمض التجاري المحسوبة ويحرك المزيج بشكل جيد. بعد ذلك وحسب الضرورة يضاف حمض الخل أو كلور الباريوم كمواد لمنع حدوث ترببات من جهة، ولتلعب دور مؤخر تفاعل (حمض الخل) من جهة أخرى.

وأخيراً تضاف المواد المقللة للتوتر السطحي ويترك محلول فترة كافية لترسب كبريتات الباريوم. وهكذا يصبح محلول الحمضي جاهزاً للاستخدام.

لتحضير محلول الحمضي (مزيج حمض الفلور والكلور)، يتم تفريغ الماء في السعة المخصصة ولكن بكمية أقل من القيمة الحسابية بحدود (100-200) ليتر لكل 1M^3 . تضاف كمية حمض الكلور

المحسوبة وجميع الإضافات المطلوبة، وبعد ذلك يضاف حمض الفلور وآخر هيأ كمية الماء المتبقية ويحرك المزيج ليصبح جاهزاً للاستخدام.

بعد تحضير محلول الحمضى يتم إتباع خطوات التنفيذ بترتيب معين حسب الهدف من عملية التحميس. فمثلاً عندما تهدف المعالجة للتاثير على المنطقة المجاورة للبئر التي يمكن أن يصلها سائل الحفر أو فقد الرشح يتم تنفيذ ما يلى:

- 1 - تنظيف قاع البئر بشكل جيد من خلال إجراء دوران باستخدام أحد السوائل (مياه عذبة أو مالحة - محلول مائي لمقال توتر سطحي - محلول مائي خفيف التركيز بحمض كلور الماء - محلول مائي لكلور الكالسيوم - كوندنسات - وقود ديزل).
 - 2 - إجراء حمام حمضي لتفتيت البقايا الطينية (الكعكة الطينية) وتنظيف فتحات الشقوق.
 - 3 - يغسل قاع البئر بشكل جيد لإزالة نواتج التفاعل.
 - 4 - تضخ كمية الحمض المخططة في البئر ومن ثم تحقن تحت الضغط في الطبقة.
 - 5 - إحياء البئر ووضعها في الإنتاج.