3- بعد عزل شقوق المحلة الأولى تجرى عملية تشقيق ثانية تتم طبعاً بضغط أكبر من المرحلة الأولى حيث تتم شقوق في منطقة ذاتقساوة أكبر من المنطقة الأولى (المرحلة C) تملأ شقوق هذه المرحلة أيضاً بالرمل ثم تعزل كسابقتها وتتابع عملية التشقيق بمراحل أخرى حتى نصل إلى الضغط الأعظمي الذي يمكن أن يتحمله جهاز الحقن .

4- بعد تشكيل آخر مجموعة من الشقوق وإملائها بالرمل تحقن في البئر مادة مذيبة للمواد التي تغلق المجموعات السابقة من الشقوق .

5- تحقن في الطبقة (في جميع الشقوق) مواد مقللة للزوجة .

6- تترك البئر فترة من الزمن لتؤدي مقللات اللزوجة دورها .

7- توضع البئر بعد ذلك في الإنتاج .

من المواد التي تستعمل للعزل المؤقت للشقوق وتمنع دخول السائل فيها نذكر : كرات من الكاوتشوك أو من مواد بلاستيكية أو خليط من الكاوتشوك والنايلون ...الخ .

قطر هذه الكرات يجب أن يكون أكبر من قطر الثقوب وللحفاظ عليها عند مدخل الثقوب (لتغلق الشقوق) حتى انتهاء عملية التشقيق الهيدروليكي بجميع مراحلها فإنه يجب الحقن باستمرار (بدون انقطاع) بحيث يؤمن فرق ضغط دائم بين البئر والطبقة عند مستوى الثقوب وبعد الانتهاء من التشقيق الهيدروليكي بمراحل وبتناقص الضغط داخل البئر فإن هذه الكرات تسقط إلى قاع البئر حيث تستخرج إلى السطح .

3-2-8-5- التشقيق الهيدروليكي باستعمال سائل حمضي

وهي عبارة عن الجمع بين طريقتين التحميض والتشقيق الهيدروليكي حيث تعطي فعالية جيدة وأكبر من فعالية كل طريقة منفصلة عن الأخرى . السائل الحمضي الذي يدخل في الشق يتفاعل أيضاً مع الصخر ومن خلال جدران الشق يدخل إلى الطبقة موسعاً قنواتها ومؤمناً اتصالاً أفضل بين طريقتين هما التحميض والتشقيق .

Scanned by CamScanner

الباب الثاني

ويشمل أربعة فصول

الفصل الرابع : غاز ثاني أوكسيد الكربون ودوره في تحسين الطبقة

الفصل الخامس : مخفضات التوتر السطحي ودورها في تحسين الإنتاج

الفصل السادس : الطرق الحرارية ودورها في تحسين الإنتاج

الفصل السابع : الطرق الجرثومية ودورها في تحسين الإنتاج

Scanned by CamScanner

الفصل الرابع

غاز ثاني أوكسيد الكربون ودوره في تحسين الإنتاج

4- 1- مقدمة

بدأت تنصب في الآونة الأخيرة اهتمامات مهندسي المخزون نحو استخدام غاز ثاني أكسيد الكربون في عمليات استثمار الطبقات بهدف رفع مردودها .

وقد اعتبرت تجربة ستراون عام 1964 التجربة الأولى الناجحة لحقن غاز CO_2 حيث أظهرت التجربة أن حقن دفعة من CO_2 متبوعة بحقن الماء تؤدي لإنتاج كمية أكبر من النفط بالمقارنة مع كمية النفط المنتجة لدى الماء لوحده .

وما بين عامي 1980 - 1982 تطورت دراسة حقن CO_2 وخاصة في تكساس حيث بدئ بإنتاج النفط باستعمال الخزانات الطبيعية الضخمة من CO_2 والمكتشفة حديثاً في كولورادو والمكسيك .

وهناك مشاريع جديدة قيد الإنجاز في هنغاريا وتركيا وفرنسا ، بعد هذه اللمحة السريعة سوف نستعرض طريقة الحقن بشيء من التفصيل مبتدئين أولاً بدراسة الخواص الفيزيائية لغاز CO_2 .

4-2- الخواص الفيزيائية لغاز CO_2

غاز CO_2 عديم اللون وليس له رائحة إذا كانت نسبته في الجو أقل من 10% ويتحول إلى غاز لاذع سام عندما تزداد نسبته عن 10 % في الجو.

تبلغ كثافته 1.98 كغ/م^3 وذلك عند الضغط 670 مم زئبق ودرجة الحرارة صفر مئوية .

الكتلة المولية له 44.01 غرام/مول .

Scanned by CamScanner

يتحول غاز CO_2 إلى الحالة السائلة عند درجة الحـــرارة 31 C° فمـــا دون والضغط 73 أتموسفير فما فوق .

4-3- مصادر غاز CO_2

	نوع المصدر	المحتوى	
1	مصادر طبيعية ذات أصل معدني	أكبر من 90 %	حجما
2	الغاز الطبيعي أو المرافق للنفط	أكثر من 3-9 %	يجب تنقيته
3	وحدات الأمونيا	أكثر من 90 %	لا يحتاج تنقية
4	دخان المحطات الحرارية العاملة على غاز طبيعي	أقل من 10 %	يحتاج تنقية
5	دخان المحطات الحرارية العاملة على الفيول	أقل من 15 %	يجب التخلص من أكاسيد الكبريت
6	وحدات أكسدة الايتلين	أكبر من 90 %	يحتاج لتنقية
7	دخان النفايات	15 - 30 %	يحتاج للتخلص من أكاسيد الكبريت
8	دخان المراجل	30 %	يحتاج للتخلص من أكاسيد الكبريت

الجدول (4-1) يبين مصادر غاز CO_2

4-4- الخواص العدية لغاز CO_2 "النقطة الحرجة"

أ - درجة الحرارة الحرجة : وهي درجة الحرارة التي يتحول عندها غاز CO_2 إلى الحالة السائلة وهي تساوي (31 C°) وعند درجة حرارة أعلى مـــن هذه الدرجة لا يتحول غاز CO_2 إلى سائل مهما رفعنا الضغط .

ب- الضغط الحرج : وهو الضغط الذي يتحول عنده غاز CO_2 الذي تســـاوي

Scanned by CamScanner

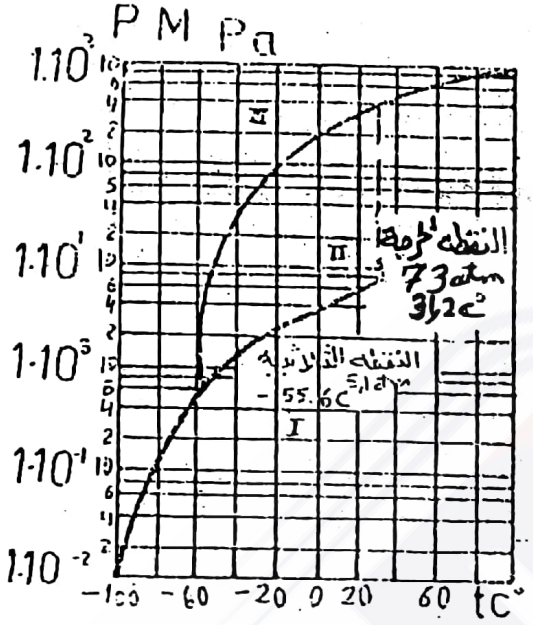
درجة حرارته (31 C°) إلى السائل . وهو يساوي 73 atm يظهر الشكل التالي (4-1) المخطط الطوري لغاز ثاني أكسيد الكربون .

4-5- الانحلالية

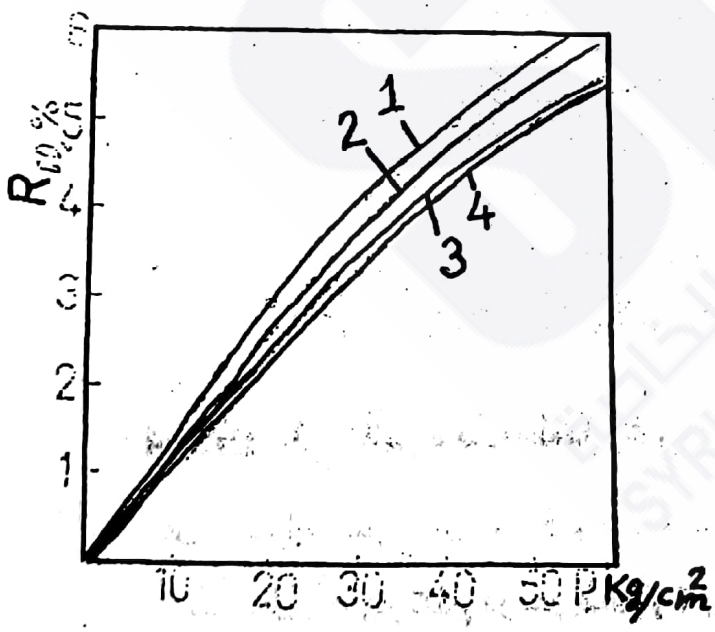
4-5-1- انحلال غاز CO_2 بالمياه

ينحل غاز CO_2 بالماء بشكل أفضل من الغازات الهيدروكربونية مؤدياً إلى تشكيل حمض الكربون H_2CO_3 الذي يعمل على زيادة النفوذية للصخور والطبقات المكسوحة بـ CO_2 وذلك عن طريق إذابته لبعض أنواع الأسمنت وملاط الترابط بين الحبيبات وخاصة في الصخور الكلسية أما إذا كانت الصخور المعالجة بهذه الطريقة صخور رملية أو غضارية فالحمض يعمل على تثبيت هذه المواد ومنع انتفاخ الغضار وهذه ناحية إيجابية .

تزداد انحلالية CO_2 بالماء بزيادة الضغط وانخفاض الحرارة وبتناقص نسبة الشوارد المعدنية بالمياه كما أن انحلال CO_2 بالماء يؤدي إلى زيادة لزوجة المياه .



الشكل (4-1) المخطط الطوري لغاز CO_2



T = 20 C° -2 T = 18 C° -1

T = 24 C° -3

الشكل (4-2) علاقة انحلالية CO_2 بالماء

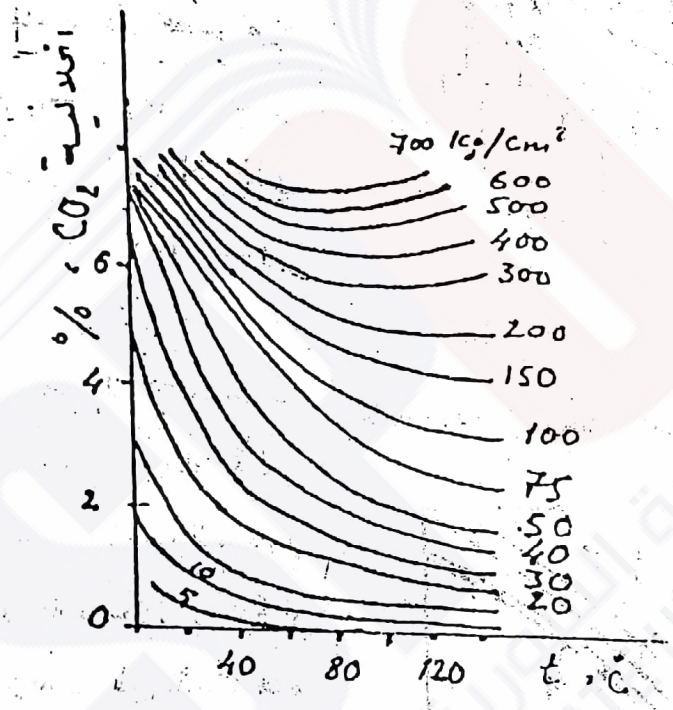
Scanned by CamScanner

4-5-1-1- تأثير الضغط على انحلال غاز CO_2 بالماء

تزداد انحلالية غاز CO_2 مع تزايد الضغط بشكل عام كما يبين الشكل (4-2) .

4-5-1-2- تأثير درجة الحرارة على انحلال غاز CO_2 بالماء

بشكل عام تزداد انحلالية غاز CO2 بالماء مع نقصان درجة الحرارة وذلك عند ضغط ثابت ، ولكن عند الضغوط العالية كما هو مبين في الشكل (4-3) فإن الانحلالية تنخفض بزيادة درجة الحرارة في البداية ثم تعود لتتزايد مع زيادة درجة الحرارة.



الشكل (4-3) تأثير درجة الحرارة على انحلالية غاز CO_2 بالماء

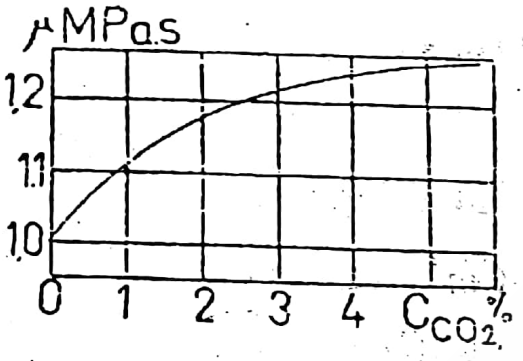
4-5-1-3- تأثير معدنة المياه على انحلال غاز CO_2 بالماء

تقل انحلالية غاز CO_2 بالمياه بشكل عام لدى زيادة نسبة الأملاح فيها ، كما تقل لدى ارتفاع درجة الحرارة وذلك لأن الشوارد المعدنية الموجودة تعيق عملية انحلال CO_2 فيها لأن انحلالية CO_2 بالمياه العذبة (غير الحاوية على شوارد) أعلى منها بالمياه المالحة .

Scanned by CamScanner

4-5-1-4- تأثير انحلالية غاز CO_2 على لزوجة الماء

لدى انحلال غاز ثاني أوكسيد الكربون في الماء فإن اللزوجة ستزداد شيئاً ما ، إلا أن هذا الارتفاع يمكن إهماله إذ أن احتواء الماء على 3 – 5 % من CO_2 سيؤدي إلى زيادة اللزوجة للماء بحدود 20 – 30 % ، كما يوضح الشكل (4-4) .



الشكل (4-4) علاقة لزوجة الماء مع تركيز غاز CO_2

4-5-2- انحلال غاز CO_2 بالنفط

ينحل غاز CO_2 في النفط مقللاً من لزوجته ومزيداً من حجمه ومقللاً من كثافته. إن انحلال غاز CO_2 بالنفط أسهل من انحلاله بالماء بـ 4 – 10 مرات لذلك يمكن لغاز CO_2 أن ينتقل من الماء إلى النفط بسهولة حيث تضعف في أثناء الانتقال قوى الترابط الجزيئية المتمثلة بقوى الشد السطحي (التوتر السطحي) بين النفط والماء في منطقة التماس ويصبح لذلك فعل الإزاحة للطور المبلل وهو الماء مما يؤدي إلى كسح النفط من الطبقة باتجاه الآبار الإنتاجية .

وسوف ندرس تأثير انحلال CO_2 على خواص النفط :

4-5-2-1- تأثير انحلال CO_2 بالنفط على كثافته

من المعروف أن كثافة النفط يمكن أن يؤثر عليها عاملان اثنان لدى إشباعه بالغاز :

1. الغاز المنحل بالنفط يزيد من حجم النفط ولهذا تنقص الكثافة لدى زيادة حجم الغاز المنحل بالنفط .
2. عند زيادة الضغط يحدث العكس إذ يحدث نقصان في حجم النفط والتي

Scanned by CamScanner

تؤدي إلى زيادة كثافته .

العلاقة التي تحدد كثافة النفط لدى انحلال CO_2 فيه :

$$\rho_m = \rho_{oil} + 0.0008\ C$$

حيث أن :

ρ_m – كثافة المزيج (نفط + CO_2)

ρ_{oil} – كثافة النفط ، gr/Cm^3 .

C – تركيز CO_2 بالنفط ، % .

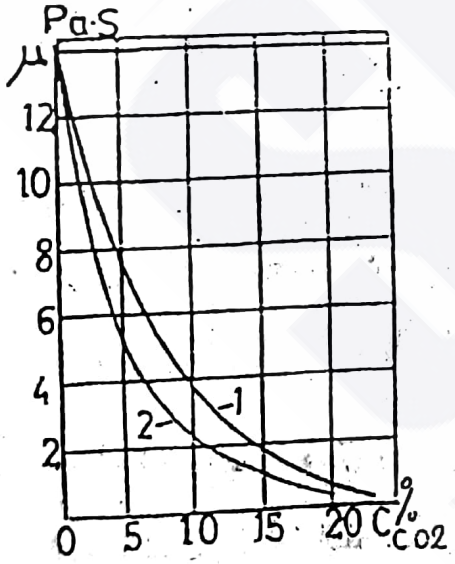
4-5-2-2- تأثير انحلال CO_2 بالنفط على لزوجة النفط

كقاعدة عامة بالنسبة للهيدروكربونات نجد :

1. تنخفض اللزوجة بزيادة درجة الحرارة .
2. تزداد اللزوجة بزيادة الضغط بسبب انضغاط السائل .
3. تنخفض اللزوجة بزيادة كمية الغاز " .

إن انحلال CO_2 بالنفط يؤدي إلى انخفاض كبير في اللزوجة وهذا الانخفاض مشابه لانخفاض لزوجة النفط بزيادة درجة الحرارة .

وكلما كانت اللزوجة البدائية للنفط عالية كان انخفاض اللزوجة أكبر فعند إزاحة النفط العالي اللزوجة بغاز CO_2 سيكون العامل الأساسي الذي يؤدي إلى زيادة عامل الإزاحة هو نقصان لزوجة النفط بسبب انحلال CO_2 فيه كما يبين الشكل (4-5) .



الشكل (4-5) علاقة النفط مع تركيز CO_2 لبعض الحقول النفطية

1- حقل A 2- حقل B

Scanned by CamScanner

الجدول التالي يوضح تأثير اللزوجة البدائية للنفط لدى انحلال مقدار ثابت من CO_2 فيه على مقدار انخفاض اللزوجة (اللزوجة النهائية) .

اللزوجة الأولية Cp	الزوجة النهائية للنفط بعد انحلال CO_2 ، Cp
1000 - 9000	15 - 160
100 - 600	3 - 15
10 - 100	1 - 3
1 - 9	0.5 - 0.9

يتبين من الجدول أنه كلما كانت اللزوجة الأولية للنفط أكبر كان انخفاض اللزوجة لدى انحلال CO_2 فيه أكبر .

4-5-2-3- تأثير انحلال CO_2 بالنفط على حجم النفط (انتفاخ النفط)

إن زيادة حجم النفط تحت تأثير انحلال CO_2 فيه بالإضافة إلى انخفاض لزوجته أيضا يعتبران العاملين الرئيسيين اللذين يعملان على إزاحة النفط ورفع عامل المردود .

إن انتفاخ النفط يتعلق بالضغط والحرارة وكمية الغاز المنحل كما يؤثر محتوى النفط من المركبات الخفيفة ($C_3 \rightarrow C_7$) على انتفاخه تحت تأثير CO_2 فكلما كان محتوى النفط من الهيدروكربونات الخفيفة أكبر كان انتفاخه أكبر .

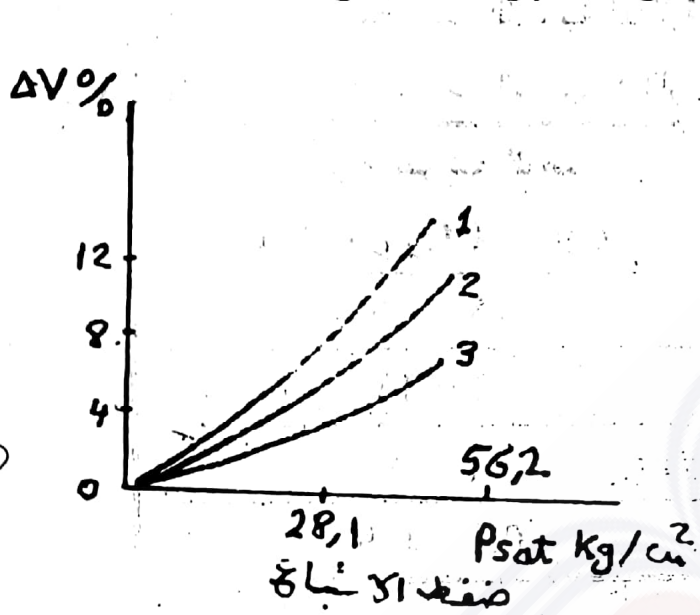
الشكل (4-6) يوضح العلاقة بين عامل انتفاخ النفط ΔV بتركيز CO_2 في النفط عند قيم مختلفة لـ M/ρ .

الشكل (4-7) يوضح العلاقة بين عامل انتفاخ النفط ΔV مع ضغط الإشباع ودرجة الحرارة .

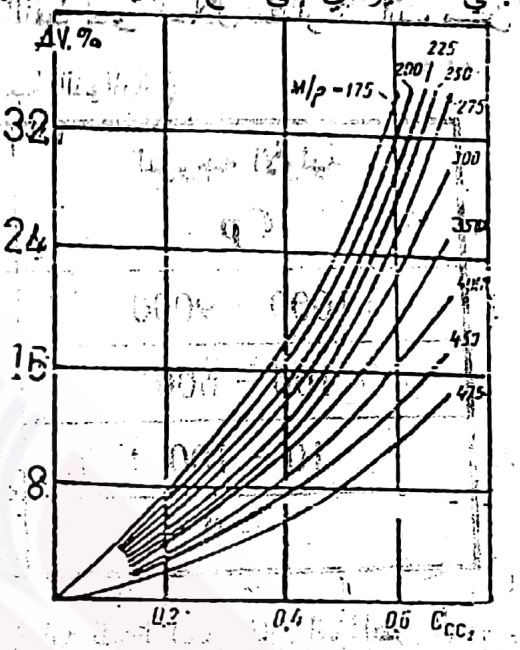
إن زيادة حجم النفط في الطبقة (الانتفاخ) يؤدي إلى زيادة درجة تشبع الفراغات المسامية بالنفط (زيادة اصطناعية) الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الضغط

Scanned by CamScanner

الطبقي مما يؤدي إلى دفع الكميات المتبقية من النفط إلى آبار الإنتاج .



العلاقة بين عامل انتفاخ النفط ΔV بضغط الإشباع ودرجة الحرارة .



العلاقة بين عامل انتفاخ النفط ΔV بتركيز CO_2 في النفط عند قيم مختلفة لـ M/ρ .

4-6- تأثير غاز CO_2 على الخواص الارتشاحية

يؤدي انحلال غاز CO_2 بالمياه إلى تشكيل حمض الكربون الضعيف الذي يتفاعل مع الأسمنت الرابط بين حبيبات الصخر مؤديا إلى حل جزئي لصخور الطبقة وخاصة في الصخور الكربوناتية وفق التفاعلات التالية :

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

$$H_2CO_3 + MgCO_3 \longrightarrow Mg(HCO_3)_2$$

المركبات الناتجة تنحل في المياه مما يؤدي بالنتيجة إلى زيادة النفوذية وخاصة في المناطق المجاورة لبئر الحقن .

ولكن هناك بالمقابل مواد غير قابلة للانحلال في المياه تصبح حرة ضمن المحلول مما تعمل على سد المسامات وبالتالي التقليل من النفوذية مثال ذلك ترسب مايات الكالسيوم والألمنيوم .

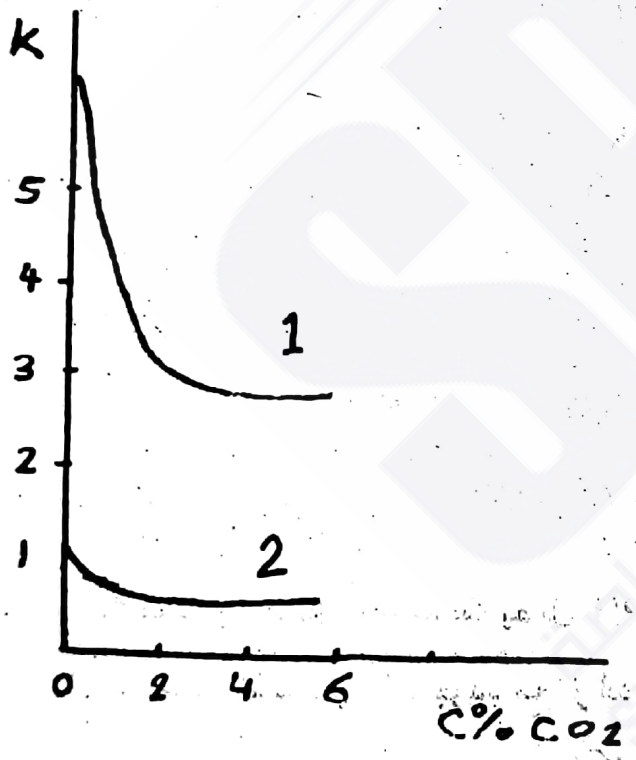
Scanned by CamScanner

بشكل عام تزداد نفوذية الصخور الحطامية بنسبة 5 – 15 % كما تزداد نفوذية الصخور الدولوميتية بنسبة 6 – 75 % .

أما بالنسبة إلى تأثير غاز CO_2 المنحل في الماء على انتفاخ الغضار :

فقد دلت التجارب على أن إضافة غاز CO_2 للمياه المحقونة يعتبر إحدى الطرق الحديثة المعيقة لانتفاخ الغضار لدى حقن المياه ، ففي الولايات المتحدة الأمريكية وفي ولاية تكساس حقنت في إحدى مجموعات الآبار مياه حلوة وفي الأخرى مياه مكربنة ، وقد تبين أن المجموعة الأولى انعدم تقبلها بالكامل بعد حقن 1670 متر مكعب فيها ، بينما أوقف حقن المياه المكربنة (1.14 % تركيز غاز CO_2) بعد حقن 4611 $م^3$ ، ولدى فتحها ثانية وحقن المياه الحلوة فيها لم يتغير تقبلها للمياه .

الشكل (4-8) يوضح علاقة عامل الانتفاخ K بتركيز غاز CO_2 لأنواع مختلفة من الغضار .



الشكل (4-8) علاقة الانتفاخ K بتركيز CO_2

1- بنتونايت 2- كاولينايت

آلية انحلال كربونات الكالسيوم بالمياه الحاوية على غاز CO_2 :

إن غاز CO_2 يتحد مع الماء مشكلا حمض الكربون الذي يتفكك على مرحلتين :

$$H_2CO_3 \longleftrightarrow H^+ + HCO_3^-$$

$$HCO_3 \longleftrightarrow H^+ + CO_2^{-2}$$

فمن أجل الإبقاء على تركيز محدد للبيكربونات HCO_3^- يجب الحفاظ على تركيز محدد لـ غاز CO_2 في المحلول وعندما يكون تركيز CO_2 غير كاف يتم التفاعل التالي باتجاه اليمين :

$$2HCO_3^- \longleftrightarrow CO_3^{-2} + CO_2 + H_2O$$

Scanned by CamScanner

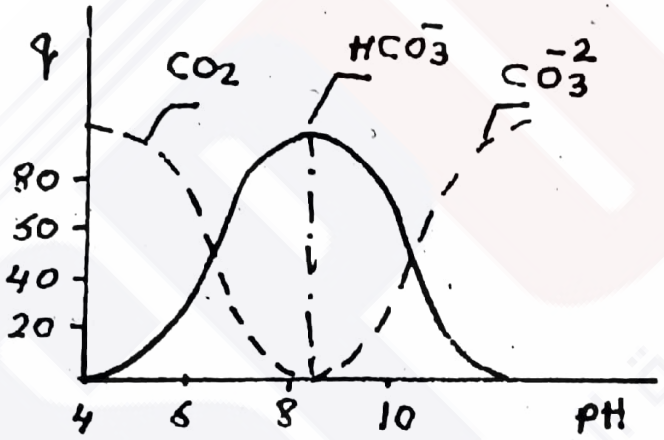
وهذا ما يؤدي إلى تشكيل كمية إضافية من CO_3^{-2} والتي سوف تتحد مع شوارد الكالسيوم الموجودة في المياه الطبقية مما يؤدي إلى ترسب كربونات الكالسيوم وفق التفاعل التالي :

$$Ca^{++} + CO_3^{-2} \longrightarrow CaCO_3 \downarrow$$

أما عندما يكون تركيز غاز CO_2 في المحلول كاف ، فإن ذلك يؤدي إلى تشكيل بيكربونات الكالسيوم المنحلة في المياه وفق التفاعل التالي :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

إن وجود كل من غاز CO_2 و CO_3^{-2} و HCO_3 في الطبقة له ارتباط وثيق بدرجة الحموضة PH . كما هو موضح على الشكل (4-9) .



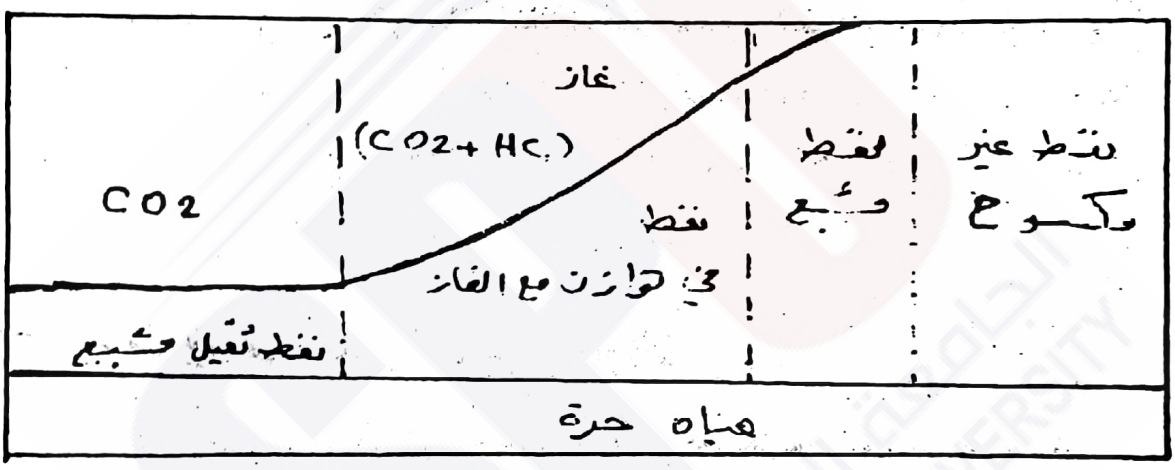
الشكل (4-9) CO_2 ، CO_3^{-2} ، HCO_3^- مع عامل الحموضة PH بالدرجة 25 C°

نلاحظ من الشكل أنه عندما يصل PH إلى 4.3 فإنه يوجد في المياه فقط غاز CO_2 الذي تنقص نسبة وجوده مع تزايد درجة PH وفي الوقت نفسه (أي عندما تزداد PH) تتزايد نسبة وجود HCO_3^- لتصل حدا أعظميا عندما يكون PH = 8.3 – 8.4 حيث تصل إلى 98 % وتبقى نسبة $CO_2 + CO_3^{-2}$ أقل من 2 % ومع زيادة PH فإن وجود غاز CO_2 ينعدم ويتزايد وجود CO_3^- وفي الوقت نفسه يتناقص وجود HCO_3^- .

Scanned by CamScanner

4-7- تشكيل جبهة الإزاحة (ميكانيكية إزاحة النفط بغاز CO_2)

يتم تشكيل جبهة الإزاحة كما هو موضح على الشكل (4-10) . إن غاز CO_2 المحقون يمتزج أولا مع النفط وذلك بالانحلال حتى ضغط الإشباع بعد ذلك تظهر منطقة مزيج (غاز CO_2 + HC) مع (نفط في توازن مع الغاز) . منطقة المزيج هذه فيها مساحة واسعة للتبادل وخلال مسار غاز CO_2 في الوسط المسامي فإنه يحصل تبادل مادي سريع بين غاز CO_2 وأجزاء من النفط .



الشكل (4-10) تشكيل جبهة الإزاحة عند حقن غاز CO_2

الجزء الأمامي من جبهة المزيج يصبح أكثر غنى تدريجيا بالأجزاء الخفيفة من المركبات الهيدروكربونية حتى يختفي الحد الفاصل بين النفط وغاز CO_2 وهنا يصبح الطوران ممتزجان تماما . إن نهاية جبهة النفط المتبقي تصبح ثقيلة أكثر فأكثر وتكون مشبعة بغاز CO_2 ولها قابلية تبلل أقل بسبب فقدان كل المركبات الخفيفة والمتوسطة .

4-8- ضغط الامتزاج الأصغري

وهو الضغط الذي تكون عنده نسبة الاستثمار قد وصلت إلى 90 % على مخرج

Scanned by CamScanner

العينة وهو يتحقق عند حقن 1.2 % من حجم المسامات .

إن حصول ضغط الامتزاج ضروري جدا لكي يتم الكسح ضمن الطبقة لأن الغاز المحقون CO_2 إذا تبعثر في الطبقة ولم يشكل أي امتزاج مع النفط فلن نحقق أية فائدة من العملية ولذلك نحن نريد أن يحصل امتزاج أو انحلال بين CO_2 والنفط.

إن تحديد ضغط الامتزاج الأصغري يتم بطرق مختلفة ، معظم هذه الطرق تعتمد على إجراء إزاحة النفط ضمن نموذج طويل مؤلف من رمال غير متماسكة ، يتراوح طول النموذج بين 2 – 20 متر .

تعتمد طريقة النموذج الطويل على إشباع الرمال بالنفط ثم إزاحته بغاز CO_2 وبمعدل محدود حتى نصل إلى ثبات الضغط على مخرج النموذج . عندئذ يكون ضغط الامتزاج الأصغري هو الضغط الذي تكون عنده نسبة استخراج النفط من النموذج الطويل قد تجاوزت 90 % ، هذا الضغط يتحقق عند حقن 1.2 % من حجم المسامات المحقونة بغاز CO_2 .

4-9- طرق حقن غاز CO_2 في الطبقة

إن عملية حقن غاز CO_2 في المكمن تتم بأكثر من طريقة ، وهذه الطرق تتبع خصائص المكمن المراد كسحه . أهم هذه الطرق هي :

4-9-1- الحقن المستمر

وهو أبسط أشكال حقن غاز CO_2 في الطبقة حيث يتم الحقن بشكل مستمر حتى تصبح نسبة الغاز المنتج مع النفط عالية جدا وبحيث تبقى العملية اقتصادية .

4-9-2- الحقن المتناوب

يتم حقن غاز CO_2 في هذه الطريقة على دفعات صغيرة وبنسبة معينة من حجم المسامات وذلك بالتناوب مع دفعات مائية حيث تنخفض حركية غاز CO_2 بشكل واسع ويتم حجز كميات كبيرة منه في الماء . وفي النهاية يتم دفع كل السدادات

Scanned by CamScanner

الغازية والمائية بواسطة الماء . يتحكم بهذه الطريقة ما يلي :

1. حجم السدادة الأولية (الدفعة الأولية) .
2. نسبة غاز CO_2 إلى الماء المحقون .
3. حجم المسامات .

مع تناقص نسبة غاز CO_2 إلى نسبة الماء ، فإنه يقل احتمال طغيان الغاز أو تغلغله أمام الماء ، وهذا يعني التقليل من احتمال عبور غاز CO_2 إلى الطبقات عالية النفوذية في آبار الحقن . وعند زيادة نسبة الغاز إلى الماء فإنه يمكن ظهور تأثير قوى الجاذبية نتيجة اختلاف كثافة غاز CO_2 والماء ، عندئذ ستحتل المياه القسم السفلي بينما يذهب الغاز إلى القسم العلوي . إن غاز CO_2 سيعبر إلى آبار الإنتاج في هذه الحالة من خلال الطبقات ذوات النفوذية العالية ومن ثم سيتبعه الماء، وهذا يؤدي إلى انخفاض عامل الإحاطة .

إن العامل الأساسي في اختيار هذه النسبة هو عدم السماح بتغلغل الغاز إلى الآبار الإنتاجية . ونميز هنا الحالات التالية :

أ. عند الامتزاج الكامل للنفط مع غاز CO_2 تتراوح هذه النسبة بين 0.25 – 20 % من حجم الفراغات المسامية .

ب. عند درجة امتزاج قليلة لغاز CO_2 مع النفط (نفط ثقيل ، ضغط منخفض) وعدم التجانس الكافي فإن نسبة غاز CO_2 إلى الماء يجب أن تكون قليلة .

4-9-3- حقن دفعة من غاز CO_2

في هذه الطريقة يتم حقن حجم محدد من غاز CO_2 بما يعادل 10 – 80 % من حجم المسامات في المكمن ، ثم يدفع الغاز المحقون بمائع آخر ، هو الماء – غالبا – وذلك عندما يكون الكسج أفقيا ، حيث تنخفض حركة غاز CO_2 في الكسح الأفقي بحيث يمكن اصطياده في الماء . أما عندما يكون الكسح عموديا فإن موائع الطرد أو الدفع هي غازات أخف من غاز CO_2 المحقون . على سبيل المثال : غاز الآزوت .

Scanned by CamScanner

4-9-4- الحقن الحلقي

هو تنشيط أو تحريض النفوط الثقيلة على الحركة حيث تحقن عدة أطنان من غاز CO_2 في البئر ثم نغلقه ، ونسمي فترة إغلاق البئر بفترة النضج ، الغاية منها إذابة أكبر كمية ممكنة من غاز CO_2 المحقون في النفط وعلى أبعد نقطة ممكنة من البئر.

وعند إعادة فتح البئر يتم إنتاج النفط المتدفق بسبب قوى تمدد غاز CO_2 المنحل ويمكن تكرار حلقة الحقن والإنتاج مرتين أو ثلاث مرات .

4-10- تحسين فعالية الكسح بغاز CO_2

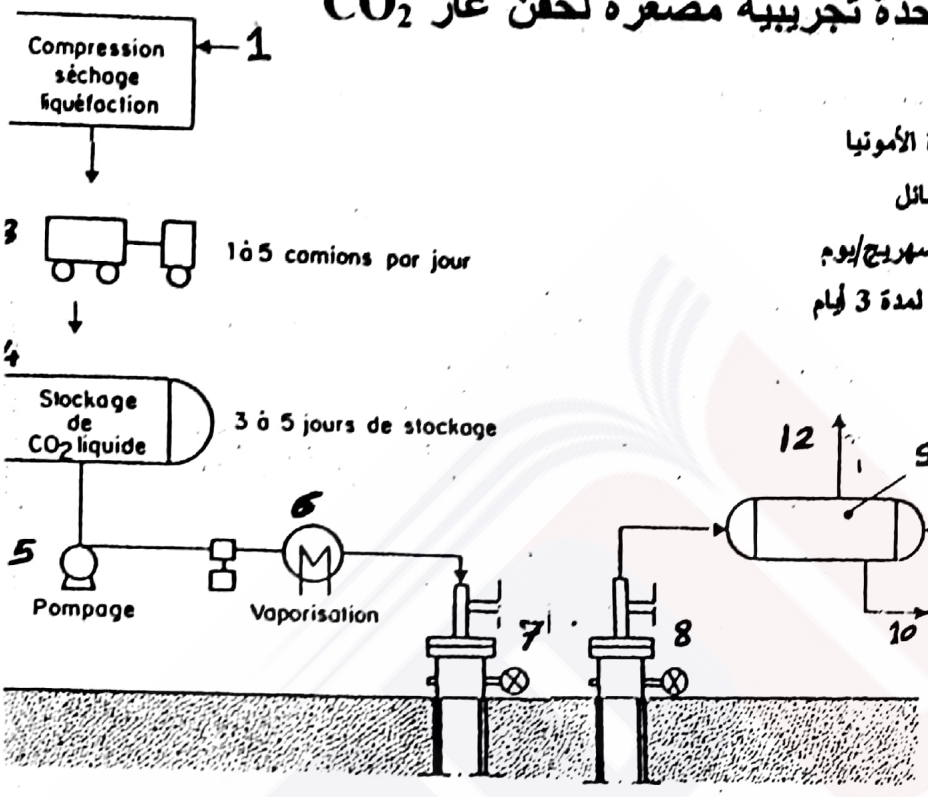
يمكن تحسين فعالية الكسح بغاز CO_2 بوسائل متعددة نذكر منها :

1. تثبيت البواكر وإجراء عملية التثقيب للمواسير في مجالات محددة بدقة .
2. إغلاق بعض الآبار الإنتاجية لتجنب انخفاض الضغط .
3. حقن متناوب لغاز CO_2 والماء لتخفيض حركية غاز CO_2 في الطبقة وذلك للحصول على أكبر مساحة تماس ممكنة بين النفط والماء .
4. تنظيم حقن غاز CO_2 مع محاليل رغوية ، حيث تعمل الرغوة على كبح جماح غاز CO_2 ضمن الطبقة حتى لا ينتقل لمسافات كبيرة لا يمكن السيطرة عليها وخاصة إذا كانت المناطق نفوذة ، وبالتالي فإن وجود المحاليل الرغوية يعمل على توجيه غاز CO_2 باتجاه المناطق الأقل نفوذية .
5. استخدام البوليميرات : حيث تدخل هذه البوليميرات ضمن الشقوق وتغلقها وتمنع غاز CO_2 من الدخول فيها وتجبره على الدخول في الأوساط المسامية الأقل نفوذية ، مما يزيد من عامل المردود ويحسن فعالية الكسح بغاز CO_2 . كذلك فإن استخدام المواد المقللة للتوتر السطحي تقوم بتخفيض الضغط اللازم لدخول القنوات الشعرية وبالتالي تعطي القدرة للماء على إحاطة الحبيبات الصخرية وبالتالي طرد طبقة النفط عنها مما يرفع عامل المردود ويحسن فعالية الكسح .

Scanned by CamScanner

4-11- مخططات حقن غاز CO_2 في الطبقة

4-11-1- مخطط وحدة تجريبية مصغرة لحقن غاز CO_2



1- CO_2 نقي منتج من وحدة الأمونيا
2- ضغط الغاز لتحويله إلى سائل
3- صهاريج نقل من 1 - 5 صهاريج/يوم
4- تخزين غاز CO_2 المسال لمدة 3 أيام
5- ضخ
6- تبخير
7- بئر حقن
8- بئر إنتاج
9- فاصل غاز مع جهاز تحكم
10- ماء
11- نفط
12- غاز CO_2 مفصول

الشكل (4-11) وحدة تجريبية مصغرة لحقن غاز CO_2

يضغط غاز CO_2 ليحول إلى سائل ثم ينقل بواسطة الصهاريج ويخزن لمدة ثلاثة أيام ثم يضخ في بئر بعد تبخيره ويتم فصله على السطح بعد خروجه من بئر الإنتاج.

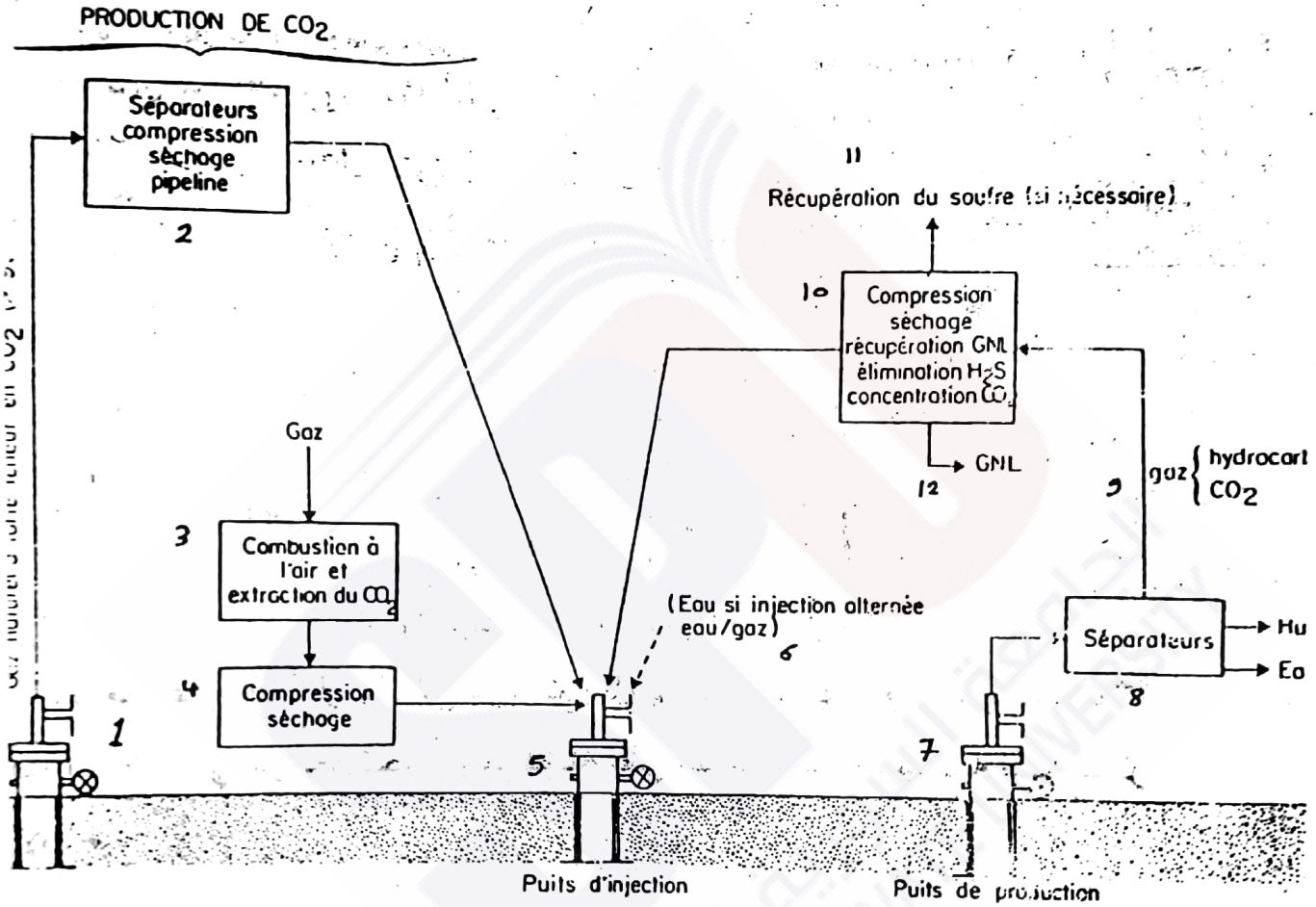
4-11-2- مخطط وحدة صناعية لحقن غاز CO_2

يبدو على مخطط الوحدة الصناعية لحقن غاز CO_2 كما هو مبين على الشكل (4-12) ما يلي :

1. إنتاج غاز CO_2 من خلال مكمن للغاز الطبيعي غني بغاز CO_2 أو بعملية حرق الغاز بالهواء وفصل غاز CO_2 عنه .
2. نظام حقن غاز CO_2 ببئر الحقن مع الماء (إذا كان الحقن متناوب)

Scanned by CamScanner

3. نظام الإنتاج : يضم فواصل الماء والنفط وفواصل غاز CO_2 ثم إعادة حقنه ببئر الحقن بعد استخلاص الكبريت منه إذا كان ذلك ضروريا . الغايـــة مـــن إعادة تدوير حقن غاز CO_2 هي تقليل الكلفة الاقتصادية للمشروع .



1- بئر غاز يحوي غاز CO_2 بنسبة أكبر من 90 %
2- فاصل ، ضاغط ، تجليف ، خطوط أنابيب
3- غاز يحرق بالهواء لاستخلاص غاز CO_2 منه
4- ضغط وتجليف
5- بئر حقن
6- ماء إذا كان الحقن متناوب
7- بئر إنتاج للنفط المزاح بطريقة حقن غاز CO_2
8- فاصل للنفط والماء
9- غاز مؤلف من غازات هيدروكربونية مع غاز CO_2
10- ضغط ، تجليف ، إزالة H_2S وتركيز CO_2
11- وحدة إنتاج الكبريت إذا كان ضروريا
12- غاز نفط مسال

الشكل (ب-12) مخطط وحدة صناعية لحقن غاز CO_2

Scanned by CamScanner

4-12- شروط استخدام طريقة حقن غاز CO_2 في الطبقة

إن مجال تطبيق عملية حقن غاز CO_2 في الطبقة كبير جدا بالمقارنة مع طرق الاستثمار المدعم الأخرى ، و لا يوجد عمليا أي موانع تحد من تطبيق هذه الطريقة . و لاستخدام هذه الطريقة يجب مراعاة الشروط التالية :

1. يجب أن يكون عمق الطبقات المزمع معالجتها بهذه الطريقة تقع على أعماق كافية ، أكثر من 600 متر بحيث يمكن الوصول إلى ضغط الامتزاج الأصغري لغاز CO_2 مع النفط .
2. عدم وجود القبعة الغازية وبتركيز عال للغاز الحر .
3. وجود مصدر لغاز CO_2 لا يزيد بعده عن 700 كم عن مكان الحقن ، وذلك لتقليل الكلفة الاقتصادية للعملية .
4. تأمين عملية تخزين غاز CO_2 بشكل لا يؤثر على البيئة .
5. تجهيز آبار الحقن وآبار الإنتاج بتجهيزات خاصة لهذه العملية (محطات ذوات استطاعة عالية ، شبكة توزيع خاصة لغاز CO_2 حتى آبار الحقن ، فواصل ماء ونفط وغاز وضواغط ... الخ) .

4-13- مشاكل وسيئات حقن غاز CO_2 في الطبقة وطرق معالجتها

1. ترسب البارافينات والمواد الأخرى (مثل ترسب الأملاح وترسب الأسفلتين):

إن السبب الرئيسي لترسب الأسفلتين هو وجود اضطرابات تركيبية (اختلاف تركيب الأطوار) التي تسببها عملية الإزاحة بالامتزاج ، وتتزداد هذه الترسبات كلما كان النفط غرويا . قد يترسب الأسفلتين على عمق كبير بالبئر أو بالقرب من رأس البئر ، مما يؤدي لانسداد المعدات الملاصقة و لمنع ازدياد نسبة الأسفلتين المترسبة يتناقص قابلية البرافينات للذوبان أحيانا السبب الرئيسي لانفصال البرافينات فهو نقصان قابليتها للانحلال بسبب تغيرات

Scanned by CamScanner

درجات الحرارة والضغط ، يمكن إزالة هذه الترسبات إما بالطرق الميكانيكية أو الحرارية أو الكيميائية .

2. تآكل المعدات المعدنية المستخدمة بالحقن وكذلك معدات آبار الحقن وكذلك معدات الإنتاج ، وهذا بسبب تشكل حمض الكربون ويمكن تلافي التآكل باستخدام موانع التآكل .

3. نقصان إحاطة الطبقة في أثناء الإزاحة بغاز CO_2 بالمقارنة مع الإزاحة بالمياه العادية ، لكون غاز CO_2 طور غير مبلل . فإذا أمكن زيادة عامل الإحاطة فإن كمية النفط المتبقية بعد استخدام هذه الطريقة لا تتجاوز 3 – 5 % . يمكن زيادة عامل الإحاطة باستخدام طرق تحسين الإزاحة (الكسح) المشروحة سابقا .

4. إن غاز CO2 يأخذ القطفات الخفيفة من النفط أما القطفات الثقيلة فإنها تبقى في الطبقة ويصبح استخراجها أصعب من ذي قبل وذلك لنقصان قدرتها الحركية.

5. فقدان كمية من غاز CO_2 تبقى محجوزة ضمن الفراغات المسامية الضيقة وضمن المجالات المعزولة وقد تصل هذه النسبة إلى 75 % من الكمية الكلية المحقونة من غاز CO_2 وهذا يزيد من كلفة استخراج الطن الواحد من النفط باستخدام هذه الطريقة.

6. عدم وجود مصدر لغاز CO_2 بالقرب من مكامن الاستثمار المستخدمة لهذه الطريقة (أبعد من 700 كم) يزيد من تكاليف العملية .

7. إن نقل غاز CO_2 يتطلب شروطا خاصة وكذلك أنابيب خاصة مصنوعة من خلائط مقاومة وهذا يرفع كلفة العملية وبالتالي كلفة إنتاج الطن المستخرج بهذه الطريقة .

8. ضياع فعالية المضخات الإنتاجية بسبب تسرب غاز CO_2 بالفراغ الحلقي ولذلك يفضل استخدام الإنتاج بالرفع الغازي .

Scanned by CamScanner

9. ترسب الأملاح في الطبقة ونقصان نفوذيتها بسبب وجود حمض الكربـــون ، فإذا كانت نسبة غاز CO_2 المحقون غير كافية يحصل التفاعل التالي :

$$Ca^{++} + CO_3^{-2} \longrightarrow CaCO_3 \downarrow$$

أما عندما يكون تركيز غاز CO_2 بالمحلول المائي كاف فيحصل التفاعل التالي :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Ca(HCO_3)_2$$

والبيكربونات المتشكلة تنحل في الماء وتنتقل معه .

أضف إلى ذلك أن حمض الكربون قد يقوم بحل جزئي لبعض أنواع الصخـــور غير القابلة للانحلال وتصبح بعض جزيئات الصخر حرة ، وتعمل هذه الجزيئـــات على سد الفراغات المسامية والتقليل من النفوذية مثل ترسب سلفات الكالسيوم إضافة إلى ماءات الكالسيوم والألمنيوم وغيرها .

4-14- إمكانية تطبيق طريقة حقن غاز CO_2 في الطبقة

يمكن استخدام هذه الطريقة لجميع الخزانات النفطية بغض النظر عـــن نفوذيتـــها عدا الخزانات ذوات النفوذية الضعيفة جدا وعدا النفط الحاوي على نسبة عالية مـــن الأسفلتينات .

وكذلك يمكن تطبيق هذه الطريقة من أجل الطبقات الكلسية والرملية والغضاريـــة ومن أجل جميع حالات التشبع الأساسية بالنفط وكذلك للمكامن المتشققة والمائلة .

4-14-1- تطبيقات هذه الطريقة في بعض بلدان العالم

هناك أكثر من 50 مشروع لحقن غاز CO_2 موزعة في أنحاء مختلفة من العالم: أهمها مشاريع تكساس لحقن غاز CO_2 ، وفي تركيا وهنغاريا يتم الاعتمـــاد علـــى مكامن غاز CO_2 الطبيعية أما في فرنسا فيفصل غاز CO_2 من الغـــاز الطبيعـــي الناتج عن بحيرات PECORODE .

في إيسلندا وفي حقل Weeks وفي مكمن مائل ومكسوح سابقا وبشكـــل كـــامل قامت شركة شل بعملية حقن غاز CO_2 في قمة التركيب وقد تمـــت عمليـــة

Scanned by CamScanner

الإزاحة بغاز CO_2 ويتم الإنتاج من أسفل التركيب حاليا .

وفي تركيا هناك مشروع ضخم لحقن غاز CO_2 في حقل رامان بدء بالعمل فيه اعتبارا من عام 1984 ويتم فيه استخدام الحقن الحلقي لغاز CO_2 .

وهناك إمكانية لتطبيق طريقة حقن غاز CO_2 في الحقول السورية لأن كمية النفط القابلة للاستثمار بالطرق الأولية والثانوية لا تتجاوز 35 % في قطرنا ، ولذلك فإن البحث عن إمكانيات تطبيق الطرق الثالثية لرفع عامل المردود أصبح ضرورة ملحة في بعض الحقول السورية . على سبيل المثال :

حقل الجبسة :

توجد طبقة الشيلو الحاملة للنفط الثقيل جدا وذي اللزوجة والكثافة العاليتين كما أن الخواص الخزنية لهذه الطبقة سيئة جدا (المسامية والنفوذية) . لذلك فإن إمكانية تطبيق طريقة حقن غاز CO_2 في الطبقة لرفع عامل المردود النفطي ممكنة .

حقل السويدية :

حيث توجد طبقة الماسيف التي تتصف بعدم التجانس وحسب الدراسات الحقلية تبين أن نفط طبقة الماسيف هو نفط نفتيني ثقيل ذو لزوجة وكثافة عاليتين . كما أن الخواص الخزنية للمكمن (نفوذية ، مسامية) غير متجانسة ، ولزيادة كمية النفط المنتج يمكن أن نلجأ إلى استخدام طريقة حقن غاز CO_2 لاستخراج النفط وزيادة عامل المردود النفطي .

كما أن طبقة الشيرانيش تحوي نفطا ثقيلا جدا (ذا لزوجة عالية) وهذه الطبقة مكونة من صخور ذوات نفوذية متوسطة كما أن درجة التشبع بالنفط فيها جيدة ولذلك فإن كميات النفط المنتجة منها بالطرق الأولية والثانوية قليلة ، ولزيادة كمية النفط المستثمر يمكن استخدام طريقة حقن غاز CO_2 فيها الأمر الذي يؤدي إلى تشكيل جبهة امتزاج من غاز CO_2 مع النفط وتقليل لزوجته مما يرفع عامل المردود النفطي بشكل عام .

Scanned by CamScanner

4-15- فعالية حقن غاز CO_2 في الطبقة واقتصاديتها

تمثل فعالية الطريقة النسبة بين كمية غاز CO_2 المحقون في الطبقة إلى كمية النفط الإضافي المسترجعة معبرا عنها بـ (طن غاز CO_2/طن نفط) .

تمثل كمية النفط المسترجعة من 3 - 25 % من النفط الأساسي ولكل طن واحد من النفط الإضافي المسترجع نحتاج من 1 - 8 طن غاز CO_2 والحجم المثالي لغاز CO_2 يتراوح بين 20 - 40 % من الحجم الكلي للمسامات .

أما بالنسبة لاقتصادية العملية : فقد جرت دراسات مطورة في الولايات المتحدة من أجل تقييم الناحية الاقتصادية لعملية حقن غاز CO_2 في الطبقة وفي شروط عملية:

فإذا كان سعر الشراء الوسطي لغاز CO_2 هو 35 - 50 دولارا للطن الواحد وتكلفة إعادة تدوير الغاز بين 10 -20 دولارا للطن الواحد فإن سعر برميل النفط المنتج حسب أسعار عام 1982 هو 23 - 33 دولارا للبرميل الواحد .

تشير النتائج إلى أن العملية اقتصادية خاصة إذا علمنا أن النفط المنتج بهذه الطريقة هو نفط متبقي في الطبقات وغير قابل للاستثمار بالطرق الأولية والثانوية .

إن سعر شراء غاز CO_2 يشكل 70 - 80 % من كلفة عملية الحقن كاملة ، كما أن سعر النفط الإضافي يتعلق بالموائع المضافة لتحسين عملية الكسح (مثل استخدام محاليل الرغوة) حيث تخفض عوامل الرغوة هذه 30 % من التكلفة .

وللحفاظ على فعالية العملية واقتصاديتها يراعى ما يلي :

1. إن مجال تطبيق طريقة حقن غاز CO_2 في الطبقة لرفع المردود النفطي كبير جدا بالمقارنة مع الطرق الأخرى ولا يوجد عمليا أي موانع تحد من تطبيقها . حيث يمكن استخدام هذه الطريقة لجميع الخزانات مهما كانت نفوذيتها باستثناء ذوات النفوذية الضعيفة جدا والحاوية على نسبة عالية من الأسفلتين .
2. يمكن استخدام هذه الطريقة لجميع أنواع الصخور (كلسية ، رملية ، غضارية) ومن أجل جميع حالات التشبع الأساسية بالنفط وللمكامن المائلة

Scanned by CamScanner