المقداد ماهر الوطية

منشورات جامعة البعث
كلية الهندسة الكيميائية و البترولية

هندسة إنتاج النفط (1)

الدكتور
ديب جرجس ديب
أستاذ في كلية الهندسة
الكيميائية و البترولية

الدكتور
محمود كابر
أستاذ في كلية الهندسة
الكيميائية و البترولية

السنة الثالثة
قسم الهندسة البترولية

مديرية الكتب و المطبوعات الجامعية
2005 -2004

مقدمـــــة

يتم إنتاج النفط والغاز من التراكيب المنتجة في أغلب الأحيان في بدايـــة استثمار هذه التراكيب بشكل ذاتي وحيث تكون الضغوط الطبقية عالية وقـــادرة على رفع النفط إلى السطح ومنه إلى مواقع التجميع وهي طريقة مـــن طـــرق الإنتاج الأقل كلفة بسبب عدم الحاجة إلى استخدام معدات جوفية كثيرة.

في كثير من الحقول تتم محاولات لجعل هذه الفترة من الإنتاج أطول مـــا يمكن عن طريق الاستثمار المنظم للآبار المنتجة ومراقبة ضغوط المكمن ويـــتم التحكم بالإنتاج عن طريق تركيب فالات ذات أقطار محددة لتحديـــد الكميـــات اللازم سحبها من الطبقة بأقل فرق ضغط ممكن بين الضغط الطبقي والضـــغط الديناميكي بحيث يؤمن هذا الإنتاج صرف قيمة صغرى من طاقة المكمن النفطي وفي كثير من الحالات يتم دعم الضغط الطبقي منذ بداية الإنتاج وفق نظام عمل المكمن كحقن الماء في منطقة المياه المرافقة إذا كان الإنتاج يتم عن طريق طاقة الدفع المائي أو حقن الغاز في منطقة القبعة الغازية إذا كان الإنتاج يتم بواسطة القبعة الغازية.

بعد فترة من استثمار الطبقة الحاملة للنفط يحدث انخفاض الضغط الطبقي ويصبح غير قادر على رفع النفط على السطح وإلى مواقع التجميع حيث ننتقـــل إلى طريقة ثانية من طرق الإنتاج تسمى طريقـــة الإنتـــاج الصـــناعي وتـــدل الإحصائيات العالمية أن أكثر من 95 % من آبار النفط المنتجـــة تنـــتج بهـــذه الطريقة، بسبب الكلفة الاقتصادية القليلة نسبياً وإنتاج النفط بهذه الطريقة يتم بعدة طرق وفق المعدات التي تقوم برفع النفط على السطح ويمكن تقسيم هذه الطرق إلى:

1- الرفع الغازي gas - Lift

2- المضخات الكنسيةRod Pump

3- المضخات الدورانية P.C.P [Progressive Cavity pump]

4- المضخات الكهربائية الغاطسة E.S.P [Electric submersble pump]

1ـ الرفـــع الغازي: تستخدم هذه الطريقة في الآبار ذات المواصفات الخزنية الجيدة للطبقات النفطية بحيث يكون عامل الانتاجية أكبر من $1m^3$ لكـل 1 ضغط جوي حيث يتم مساعدة الطاقة الذاتية بطاقة الغـازات المحقونـة – على السطح وهذا ما يتطلب وجود غازات منقاة إضافة إلى ضـغط نمـط الحقن والمستلزمات الأخرى.

2ـ المضخات المكبسية: تستخدم هذه الطريقة في كافة أنواع الحقول النفطية وهي الأكثر شيوعاً في العالم وتكون فعاليتها عالية في إنتاج النفوط الخفيفة والمتوسطة ومستخدمة في الحقول السورية بنسبة 98% نظراً للخيارات العديدة في استخدام أصناف المضخات الجوفية.

3- المضخات الدورانية: تستخدم هذه الطريقة لانتاج النفوط عالية اللزوجة بسبب قلة أعطالها وعدم تأثر عملها بنوعية النفط الثقيل وسهولة التعامل معها من حيث أعمال الرفع والانزال والتشغيل .

4- المضخات الغاطسة الكهربائية: تستخدم هذه الطريقة بشكل خاص عند تطبيق نظام سحب مكثف من الآبار خاصة في المراحل النهائية لاستثمار المكمن حيث تكون نسبة الإماهة عالية وتعتبر هذه الطريقة إحدى طرق رفع مردود الطبقة.

إن أي تغير في نظام عمل البئر يؤدي إلى تغيرات هامة في الطبقة الحاملة خاصة فيما يتعلق بجريان الموائع نتيجة تغير الصفات الفيزيوكيميائية للموائع والصفات الخزنية للطبقة الحاملة.

إن معامل الانتاجية يعبر عن العلاقة بين حجم كميات البترول المنتجة واحتياطي الطبقة الحاملة وهذا المعامل لا يتجاوز 35% وذلك عند تطبيق طرق الإنتاج الصناعي السالفة الذكر ولكن من خلال تطبيق طرق الإنتاج المدعم (E.O.R) يمكن أن يزداد هذا المعامل إلى 50- 60 %.

سوف نتعرض في هذا الكتاب من مقرر هندسة الانتاج /1/ إلى دراسة الأسس الفيزيائية لانتاج النفط والغاز وعمليات إحياء الآبار كما نعرض بشكل مفصل الأسس النظرية لارتفاع المزيج النفطي الغازي ضمن مواسير الانتاج كما سندرس مفصلاً طريقى الانتاج الذاتي للنفط وطريقة الانتاج بالرفع الغازي المستمر والمتقطع والمكبسي.

وسوف يخصص ما تبقى من طرق الانتاج الصناعي لمقرر هندسة الإنتاج /2/ أما طرق الانتاج الثانوي المدعم فسوف يكون ضمن مقرر هندسة الانتاج /3/.

وإننا إذ نقدم هذا الكتاب لطلاب السنة الثالثة من قسم الهندسة البترولية نرجو أن يكون عوناً للعاملين في مجال انتاج النفط ولبنة في المكتبة العربية، شاكرين لأية ملاحظة ترد من الزملاء والعاملين في هذا المجال.

والله الموفق

المؤلفان

أ.د. ديب ديب

أ.د. محمود كابر

الفصل الأول

1- الصفات الفيزيائية للموائع الطبقية

1-1 الصفات الفيزيائية للنفط:

يتواجد النفط والغاز في الطبقة عند ضغط وحرارة عاليين، وتعد معرفة الصفات الفيزيائية للنفط في الشروط الطبقية أمراً ضرورياً جداً وأنه يسمح بمعرفة سلوكية هذا النفط عند أي تغيير في الشروط الطبقية من ضغط وحرارة وبتحديد هذه السلوكية نستطيع وضع خطط استثمار مثالية للمكامن النفطية للحصول على أعلى مردود ممكن .

1-1-1 كثافة النفط:

وهي كتلة واحدة الحجوم من النفط وتعطى بالعلاقة:

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad (1-1)$$

وتقاس بـ kg/m^3 أو gr/cm^3

وتعتبر الكثافة من الصفات الفيزيائية المميزة لأنواع النفط الخام ويعتمد ذلك على احتواء النفط للمركبات الخفيفة التي تتمتع بكثافة منخفضة أو على احتوائه على الراتنجانات والأسفلتينات ذات الكثافة المرتفعة نسبياً.

وبشكل عام تتراوح كثافة الأنواع الخفيفة من النفط مابين $0,75\text{-}0,82\ gr/cm^3$ أما الأنواع الثقيلة فتزيد كثافتها عن $0,9\ gr/cm^3$. وهناك مفهوم الكثافة النسبية وهي عبارة عن كثافة النفط في الدرجة $20C^o$ إلى كثافة الماء في الدرجة $40C^o$ كما يمكن أن نعبر عن كثافة النفط بواحدة API والتي تعبر عن درجة الجودة حسب معهد النفط الأمريكي

$$API = \frac{141,5}{\rho} - 131,5 \qquad (2-1)$$

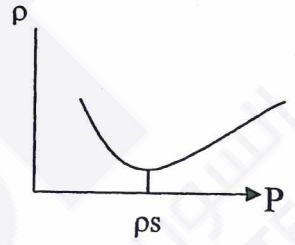
ρ : كثافة النفط النسبية عند الدرجة $15,5\ C^o$

تنخفض كثافة النفط بزيادة درجة الحرارة كما يوضح الشكل (1-1)

أما بالنسبة للضغط فإن كثافة النفط تنخفض مع زيادة الضغط حتى ضغط الاشباع ps وبعد ضغط الإشباع تزداد الكثافة بزيادة درجة الحرارة كما يوضح الشكل (1-1)

أما بالنسبة للضغط فإن كثافة النفط تنخفض مع زيادة الضغط حتى ضغط الإشباع ps وبعد ضغط الإشباع تزداد الكثافة بزيادة الضغط ويعود ذلك إلى أن انضغاط الخليط ونقصان حجمه، وفي شروط الطبقة يكون الضغط أكبر من ضغط الإشباع وعند وضع البئر في الإنتاج ينخفض الضغط الطبقي تدريجياً بدءاً من الكونتور، وحتى قاع البئر وهذا ما يؤدي إلى انخفاض الكثافة ويستمر هذا الأمر ضمن مواسير الإنتاج وعند انخفاض الضغط إلى قيمة أقل من ضغط الإشباع فسوف ينفصل الغاز المنحل في النفط مما يؤدي إلى زيادة الكثافة الشكل (1-2)

الشكل 1-1



الشكل 1-2

علاقة الكثافة بالضغط علاقة الكثافة بدرجة الحرارة.

وعادة يكون تأثير الضغط في الكثافة أكبر من تأثير درجة الحرارة.

أما بالنسبة لكثافة الغاز فيتم استخدام مفهوم الكثافة النسبية وهي نسبة كثافة الغاز إلى كثافة الهواء عند نفس شروط الضغط والحرارة، فكلما كان الغاز ثقيلاً كلما كانت كثافته أكبر.

2-1-1 اللـــــزوجة:

هي المقاومة التي يبديها السائل عند جريانه وتتأثر قيم اللزوجة بدرجة الحرارة والضغط وكمية الغاز المنحل.

ويمكن أن نميز المفاهيم التالية:

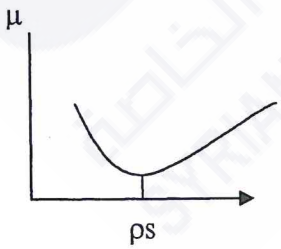
اللزوجة التحريكية [ديناميكية] ويرمز لها (u) وهي تجسد المقاومة الداخليـــة لجزيئات السائل أثناء الحركة وتقدر بـــPa.s أو البواز p.

اللزوجة الحركية (الكينماتيكية) ويرمز لها بالرمز M وهـــي تمثـــل اللزوجـــة الديناميكية إلى كثافة السائل في نفس درجة الحرارة وتقدر بالستوكس st

أما اللزوجة النسبية فهي عبارة عن النسبة بين لزوجة سائل ما ولزوجة الماء .

تختلف لزوجة النفط في الطبقة عن لزوجته على السطح بسبب انحلال الغاز في النفط عند شروط الطبقة بين حرارة وضغط وتتعلق اللزوجة بضـــغط الطبقـــة ودرجة حرارتها ونسبة الغاز المنحل.

فمع ارتفاع درجة الحرارة وزيادة نسبة الغاز المنحل تنخفض لزوجـــة الـــنفط وتزداد حركيته كما أن لزوجة النفط تنخفض بزيادة الضـــغط وحتـــى ضـــغط الإشباع وذلك نتيجة انحلال الغاز في النفط وبعد ذلك تـــزداد درجـــة اللزوجـــة بزيادة الضغط بعد ضغط الإشباع نتيجة لانضغاط كل من الغاز والـــنفط الـــذي يؤدي إلى زيادة قوى الاحتكاك بين الجزيئات.



الشكل 1-3

علاقة اللزوجة بالضغط

أما لزوجة الغاز فتختلف حسب درجة الحرارة والضغط وتحدد لزوجة الغاز بالمعادلة التالية:

$$\mu=\frac{\rho.v.\lambda}{3} \qquad (3-1)$$

v : السرعة الوسطى للجزيء

λ: المسافة الوسطى لحركة الجزيء

ρ: كثافة الغاز

1-1-3 عامل حجم النفط bo

هو النسبة بين حجم كمية معينة من النفط في الشروط الطبقية إلى حجم نفس الكمية في الشروط السطحية وهذا العامل يتغير بتغير الضغط بسبب تمدد الغاز في السائل حيث يزداد هذا المعامل بانخفاض الضغط وحتى ضغط الإشباع بسبب تمدد الغاز في السائل أما تحت الإشباع نلاحظ انخفاض قيمة هذا العامل بسبب نقصان حجم النفط في الشروط الطبقية نتيجة انفصال الغاز منه.

ويعتبر معامل حجم المياه مساوياً الواحد.

1-1-4 ضغط الإشباع :

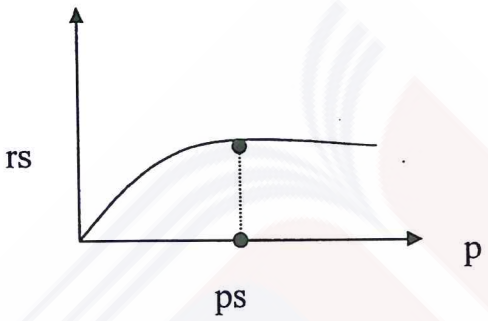
وهو الضغط الذي تبدأ عنده أول فقاعة غازية بالانفصال عن السائل ويتعلق بعدة عوامل منها:

التركيب الكيميائي للنفط و الغاز – نسبة حجم كل من النفط والغاز المنحل فيه – درجة الحرارة. يزداد هذا الضغط بزيادة كثافة النفط وزيادة درجة الحرارة .

1-1-5 عامل انحلال الغاز:

هو كمية الغاز المقدرة بالأمتار المكعبة النظامية والتي يمكنها أن تنحل في متر واحد مكعب من النفط عند زيادة الضغط بمقدار 1 atm.

ويزداد هذا العامل بزيادة الضغط وحتى ضغط الإشباع بعدها يثبت، حسب الشكل 4-1.



الشكل 1-4

علاقة bo مع الضغط

6 -1-1- عامل انضغاط النفط:

هو التغير النسبي لواحدة الحجم من النفط عند تغير الضغط بمقدار ضغط جوي واحد عند درجة حرارة معينة ويعطى بالعلاقة:

$$B = -\frac{1}{v}\frac{\Delta v}{\Delta p} \quad (4-1)$$

v : حجم العينة النفطية الأولي cm^3

ΔP : التغير في الضغط $kg\,f/cm^2$

ΔV: التغير في الحجم cm^3

وتدل إشارة السالب على تناقص حجم النفط بزيادة الضغط ويسمى مقلوب معامل الانضغاطية بمعامل المرونة للسائل

$$Er = \frac{1}{B}\,(atm)$$

ويتعلق عامل انضغاط النفط بالتركيب الكيميائي للنفط ودرجة الحرارة والضغط وبكمية الغاز المنحل الذي يزداد بازديادها بينما ينخفض هذا العامل بانخفاض الضغط وزيادة درجة الحرارة .

1-1-7 التوتر السطحي:

وهي عبارة عن قوى جزيئية تتعرض لها جزيئات السائل الموجودة على السطح ويكون اتجاه التوتر السطحي مماساً لسطح السائل بحيث يبقى سطح السائل مشدوداً ومقاوماً لأية حركة تغيير في شكله ويقاس بـ دين/ سم ويؤثر في الحد الفاصل بين مادتين.

يرتبط التوتر السطحي للنفط بتركيب النفط وكمية الغاز المنحل فيه وبالضغط والحرارة حيث ينخفض التوتر السطحي بزيادة درجة الحرارة والضغط وعند الضغط الحرج فإن التوتر السطحي للبترول يساوي الواحد.

التوتر السطحي للنفط إلى الهواء 25-35 دين / سم وللنفط إلى الماء 72 -76 دين/ سم .

1-1-8 معامل الانحلالية للغازات في النفط

وهو عبارة عن كمية الغازات معبراً عنها بـ m^3 والمتحررة من $1m^3$ من النفط وذلك عند انخفاض الضغط بمقدار 1 atm.

2- عموميات حول بعض الظواهر والمفاهيم الفيزيائية المستخدمة في إنتاج النفط

1- 2 ظاهرة التبلل: تعبر عن الصلة بين السوائل والجسم الصلب الناجم عن وجود قوى تجمع جزيئية ووجود ظاهرة امتصاص الجسم الصلب للسائل وتعتمد قيمة هذه الظاهرة على تركيب السائل والجسم الصلب وحسب قيمة زاوية التبلل تحدث عملية الإزاحة ما بين النفط والماء. فإذا كانت زاوية التبلل تساوي 90 درجة لا يستطيع أحد السائلين (نفط – ماء) إزاحة الآخر وإذا كانت قيمة هذه الزاوية أصغر فإن المياه المرافقة للنفط تزيح النفط وإذا كانت أكبر من 90 درجة فإن النفط هو الذي يزيح المياه من على سطح الصخر ليحل محلها. إذن كلما كانت زاوية التبلل كبيرة كلما كانت كمية النفط الملتصقة بالصخر أكبر.

2-2- قوى التوتر الشعرية

هي تلك التي تعبر عن القوى الجزيئية بين جزيئات مختلف الأطوار (جسم صلب – سائل – غاز) والموجودة على تماس ضمن المكمن.

قيمة الامتصاص الشعري (h) تتناسب طرداً مع قيمة التوتر السطحي ومع زاوية التبلل وعكساً مع نصف قطر القناة وفرق الكثافة بين البترول والمياه المرافقة.

إن قوى الضغط الشعري تؤثر في عملية الاستثمار وتعمل على عرقلة جريان النفط من الطبقة باتجاه قاع البئر الانتاجية.

معادلة لابلاس التي تعبر عن الضغط الشعري تعطى كما يلي:

$$\Delta P_c = \frac{2\,\sigma\cos\Theta}{R} \qquad (5-1)$$

Θ : زاوية التماس

R : نصف قطر القناة

σ : التوتر السطحي بين النفط والمياه

2-2- ظاهرة جامان (مقاومات التزحلق):

عندما ينخفض ضغط الطبقة إلى ما دون ضغط الإشباع فإن الغـــازات المتحررة سوف تحاول العبور إلى قاع البئر سالكة المســـامات والكهـــوف ذات الأقطار المختلفة، وعند عبور هذه الفقاعات الغازية عبر قنوات ضـــيقة فإنهـــا تحتاج إلى قيمة ضغط إضافي للعبور.

3-2 الظاهرة السطحية أو الجلدية (Skin Effect)

وهي تعبر عن انسداد نسبي لمسامات وثقوب المنطقة القريبة من قـــاع البئر أثناء عملية الانتاج وذلك بواسطة الرمال والأملاح والحبيبات الصـــخرية المختلفة وكذلك الناجمة عن دخول فاقد الرشح إلى تلك المنطقة وما تحمله مـــن نتاجات صخرية وغضارية ويمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$S = \left(\frac{k}{k_1} - 1\right) \ln \frac{Rc}{vs.} \qquad (6-1)$$

حيث S : قيمة الظاهرة السطحية

K : نفوذية الطبقة الأولية

K_1 : نفوذية المنطقة المجاورة للبئر

Rc : نصف قطر منطقة تأثير البئر

rc : نصف قطر البئر

إذا كانت S تساوي صفراً فلا يوجد تلوث، أما إذا كانـــت $S > 0$ أي $K_1 < K$ أي وجود تلوث .

وإذا كانت $S < 0$ أي $K_1 > K$ أي حدث زيادة في نفوذية المنطقة المجـــاورة للبئر وقد يكون السبب أثناء حفر المنطقة المنتجة بسائل حفر بضغط كبيـــر أدى إلى ايجاد شقوق ثانوية أدت إلى زيادة نفوذية هذه المنطقة.

ولا بد من التذكير بأن جريان الموائع من الطبقة باتجاه قاع البئر هـــو جريـــان مستوٍ نصف قطري لسائل غير متجانس ويعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$Q = \frac{2\pi kh(Pc - Pf)}{b.\mu.\ell m \frac{Rc}{rs}} \qquad (7-1)$$

α : كمية السائل المنتج

K : نفوذية الطبقة المنتجة

h : السماكة الفعالة للطبقة المنتجة

Rc: نصف قطر منطقة تأثير البئر

rs : نصف قطر البئر

b : المعامل الحجمي للنفط

μ: لزوجة النفط

4-2 - البئر التامة هيدروديناميكياً ومعامل الإنتاجية وعامل تمام البئر:

(البئر التامة هيدروديناميكياً هي التي تخترق كامل سماكة الطبقة الحاملة للموائع وجريان الموائع من الطبقة الحاملة إلى البئر يتم من خلال كامل المساحة المخترقة دون أية حواجز أما غير التامة فهي التي تفقد أحد الشرطين السابقين.

أما عامل تمام البئر فهو النسبة بين معدل انتاج بئر غير تامة إلى إنتاج بئر تامة ومعامل الانتاجية Productivitty index فهو النسبة بين معدل الانتاج وفرق الضغط الذي يتم بموجبه انتاج هذا المعدل

$$PI = \frac{Q}{\Delta P} = \frac{Q}{P_c - P\,f}$$

أما معامل الانتاجية الخاص فيعطى بالعلاقة:

$$PI_S = \frac{PI}{h}$$

حيث h: سماكة الطبقة الحاملة / متر.

$$P_{4I}=\frac{2\pi k h}{b u.\ln\frac{Rc}{rs}} \qquad Cm^2/s.at$$

$$P_I=\frac{23{,}6\, k h.\gamma}{b\mu\log\frac{Rc}{rs}} \qquad (\tau/24h.at)$$

يمكن تعيين معامل الإنتاجية بواسطة منحنيات خاصة يتم الحصول عليها من بحث الآبار أما سماكة الطبقة فتعين بواسطة القياسات الجيوفيزيائية البئرية وبقية العوامل يتم الحصول عليها من معطيات التحاليل بواسطة جهاز P . V . T أو من العلاقات التحليلية.

ولا بد من التأكيد أن الهدف الرئيسي من بحث الآبار هو تعيين معادلة الجريان للموائع من الطبقة إلى البئر حيث يعتبر هذا الجريان هو جريان مستوٍ نصف قطري لسائل متجانس وغير انضغاطي ومن خلال تفسير منحنيات ارتفاع ضغط قعر البئر يمكننا معرفة ما يلي:

1- تقدير نفوذية المنطقة المجاورة للبئر

2- تقدير ضغط الطبقة الحاملة للبترول والغاز

3- تعيين مدى تأثير المنطقة المجاورة للبئر / تلوث هذه المنطقة /

4- اختيار طريقة إنتاج مناسبة وكذلك اختيار طريقة من طرق زيادة نفوذية الطبقة الحاملة.

الفصل الثاني
تحضير البئر للانتاج

نقصد بتحضير البئر للإنتاج مجموعة العمليات التي تنجز منذ لحظة وصول رأس الحفر إلى الطبقة الحاملة وحتى وضع البئر في الإنتاج حسب طريقة الإنتاج المختارة بكل دقة وعلمية.

2-1- اختراق الطبقة الحاملة:

إن الاختراق الصحيح للطبقة الحاملة يجب أن يحقق الشروط التالية:

1- أن تكون كمية المياه الحرة (فاقد الرشح) التي تدخل الطبقة الحاملة قليلة

2- أن تكون سماكة كعكة الحفر صغيرة

3- أن يكون الوزن النوعي لسائل الحفر ذو قيمة معينة بحيث يكون ضغط عمود الطفله أكبر بقليل من ضغط الطبقة

4- أن تكون الأملاح المنحلة في طفله الحفر قليلة كي لا تؤثر في القياسات الجيوفيزيائية مستقبلاً.

حجم فاقد الرشح يعطى بالعلاقة:

$$V = \sqrt{\frac{t}{m}}$$

t : الفرق الكلي للرشح بالثانية

m: عامل يعتمد على الخواص الفيزيائية للكعكة على جدران البئر وشروط الرشح .

V: حجم فاقد الرشح خلال الزمن t

لذا يعالج سائل الحفر من خلال إضافات معينة للتقليل من حجم فاقد الرشح مثل C . Mc مع انقاص فرق الضغط بين الطبقة وقاع البئر

2-2 إنزال مواسير التغليف الإنتاجية:

تعتبر عمليات الحفر منتهية عند الوصول إلى العمق النهائي للبئر حيث تبدأ عمليات الإنهاء للبئر وأولها إنزال مواسير التغليف وذلك بهدف:

1- إحداث قناة دائمة لنقل السوائل الطبقية إلى السطح.

2- عزل الطبقات المخترقة.

3- إغلاق المجالات التي يمكن أن تسبب بعض المشاكل، تهدّم – تهريب

4- تأمين تنفيذ عمليات الإصلاح اللاحقة للبئر.

الجزء المثقب من هذه المواسير تسمى مصفاة البئر كما أن مواسير التغليف في البئر المنتج يتم على عدة مراحل وأهمها عملية انزال مواسير التغليف الانتاجية. مواسير التغليف السطحية تنزل إلى اعماق ما بين 200- 400 متر ويتحدد العمق حسب خصائص العمود البتولوجي المخترق والهدف عزل المياه السطحية والصخور الهشة حيث يتم حفر هذا المجال بسرعة وعزلها مباشرة.

أما مواسير التغليف الوسطية فيتم إنزالها حسب الخصائص الجيولوجية والخزنية لعمود البئر بهدف المحافظة على بعض الطبقات الحاملة للبترول، أما مواسير التغليف الانتاجية فيتم إنزالها بعد إنهاء عملية الحفر ويتم التغليف بمواسير تغليف ذات مقاومة وقياسات معروفة بما يؤمن أهداف عملية التغليف إضافة إلى الأخذ بعين الاعتبار الاجهادات التي تتعرض لها هذه المواسير من جهد شد والضغط الخارجي والداخلي ومقاومة هذه المواسير الحدية لهذه الاجهادات حيث يتم حسابها عن طريق علاقات خاصة بها.

وحسب وضع مواسير التغليف ضمن البئر فإننا نميز ثلاث طرق:

1- الانهاء المغلق: Cased hole: حيث يتم إنزال مواسير التغليف حتى عمق البئر النهائي. الشكل (2-1) وله عدة أنماط:

أ- مواسير التغليف تثبت حتى نهاية الطبقة المنتجة دون سمنتة ولمنع سقوط الاسمنت مقابل الطبقة المنتجة يتم تثبيت باكر مواسير.

من محاسن هذه الطريقة أن زمن الإنهاء أقل ذلك لأن مصفاة البئر تنزل مع مواسير التغليف التي يتم تثقيبها مقابل المجال المنتج.

ولكن سيئاتها : 1- الطبقة المنتجة تبقى على تماس مع سائل الحفر .

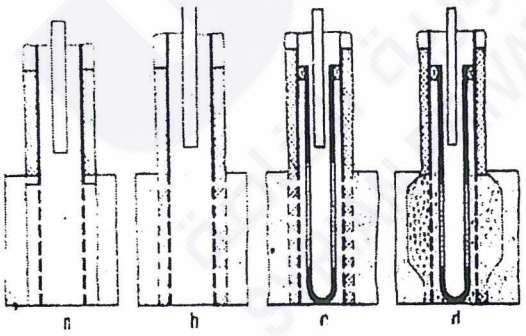
2- لا يمكن إجراء المعالجة المنفصلة للطبقات الحاملة ذات الخواص البتروغرافية المختلفة

3- إن عزل المياه الطبقية أو الغازات من القبعة الغازية عملية صعبة .

ب- مواسير التغليف تنزل حتى نهاية المجال الحامل وكذلك السمنتة لكامل عمود مواسير التغليف وهي الأكثر شيوعاً واستخداماً في تغليف الطبقة الحاملة ومن حسنات هذا النمط أنه يمكننا من الإنتاج المنفصل وعزل المياه الطبقية وأهم سيئاتها عدم الحصول على سطح رشوحة نظيف وتلوث المنطقة المجاورة للبئر بسبب فاقد الرشح من الاسمنت.

جـ - وهو نمط مماثل للحالة (ب) مضافاً إليها ماسورة مثقبة مصنوعة على السطح مثبتة بباكر حيث يتم استخدام هذا النمط في الطبقات الحاملة غير القاسية الرخوة وخاصة الرملية منها.

د- النمط الأخير مماثل للحالة جـ مضافاً إليها مصفاة ثانوية لمنع دخول الرمال والأوساخ إلى قاع البئر.

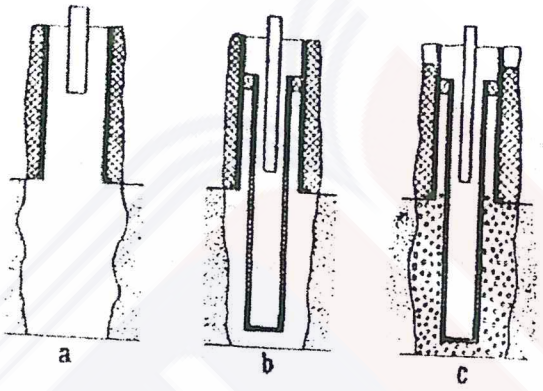


الشكل (2-1)

تغليف الآبار الإنتاجية حتى قاعدة الطبقة الحاملة

2- الإنهاء المفتوح: Open hole

حيث يتم حفر البئر إلى أعلى الطبقة المنتجة ومن ثم إنزال مواسير التغليف الإنتاجية إلى أعلى الطبقة المنتجة ثم متابعة الحفر في الطبقة المنتجة إلى العمق النهائي المطلوب وترك هذا المجال مفتوحاً دون تغليف. الشكل (2-2)



الشكل (2-2)

الإنتاجية فوق الطبقة الحاملة للبترول والغاز

محاسن هذه الطريقة:

1- سطح رشوحة كبير ومعامل إنتاجية جيد.

2- إمكانية توسيع قطر البئر مقابل الطبقة الحاملة.

3- إمكانية استخدام مصافي حصوية.

4- تخفيض تكاليف الإنتاج لعدم الحاجة إلى التغليف والتثقيب أمام المجال الحامل .

ومن مساوئ هذه الطريقة:

1- زيادة زمن الحفر حيث يتم انتظار تصلب الإسمنت فوق المجال الحامل .

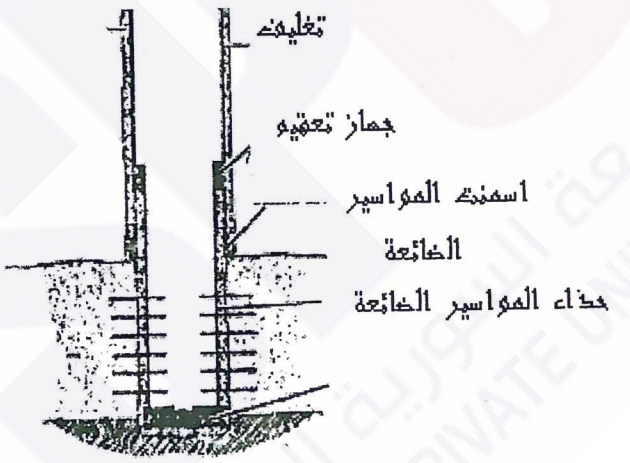
2- زيادة عمليات تنظيف قاع البئر من الأوساخ.

3- عدم إمكانية إجراء المعالجة المنفصلة في حال وجود أكثر من مجال حامل للنفط .

4- عدم إمكانية عزل المياه الطبقية في حال ظهورها أو الغازات من القبعة الغازية.

3- الإنهاء باستخدام مواسير الانتاج الضائعة Liner

حيث يتم إنزال مواسير التغليف إلى عمق محدد حيث تثبت هذه المواسير ثم يتابع إنزال مواسير التغليف بقطر أصغر بواسطة مواسير الحفر إلى العمق النهائي المطلوب. بحيث يوجد تداخل مع مواسير التغليف الإنتاجية بطول محدد ويتم تعليق هذه المواسير مع مواسير التغليف الإنتاجية . شكل (2-3).



الشكل (2-3)

في الآبار الأفقية يتم تثقيب المواسير الضائعة على السطح ثم إنزالها في كامل الجزء الأفقي وقسم من الجذع المائل حتى أعلى الطبقة المنتجة ثم تتبع هذه المواسير بمواسير غير مثقبة حتى ارتفاع محدد في الجذع العمودي.

3-2 مصافي الآبار الإنتاجية:

هي جزء من مواسير التغليف المثقبة والغاية منها المحافظة على جدران الطبقة الحاملة والسماح بعبور السوائل من الطبقة إلى البئر وتقسم من حيث طريقة صنعها إلى قسمين:

1- مصافٍ تصنع مباشرة في البئر من خلال تثقيب مواسير التغليف مقابل الطبقة المنتجة ولها المحاسن التالية:

1- تحقيق عزل الطبقات المائية المتداخلة مع الطبقة الحاملة وذلك بتثقيب المجال الحامل للنفط.

2- تمكننا من الإنتاج المنفصل.

3- الإسراع في وضع البئر في الإنتاج مع كلف قليلة.

2- مصافٍ تصنع على السطح:

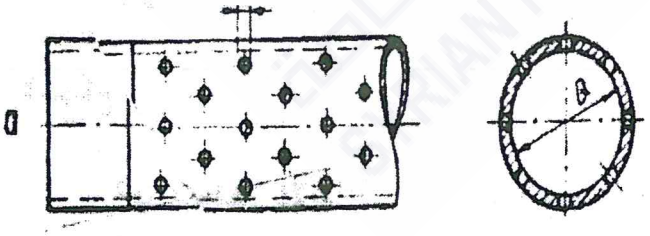
هي عبارة عن ماسورة حفر أو إنتاج تثقب على السطح وتنزل في البئر مقابل المجال الحامل للنفط ولها عدة أنواع:

1- مصافٍ ذات ثقوب دائرية وقطر الثقب 1.5- 20 مم .

2- مصافٍ ذات ثقوب أسطوانية وعرض الشق 0.4- 2 مم.

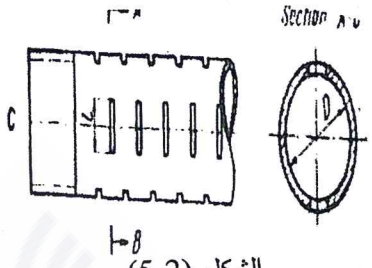
3- مصافٍ حلقية حيث يكون قطر الثقب 25 مم وحول هذه الثقوب حلقات متوضعة على محيط الماسورة.

4- مصافٍ من الرانتجانات. وهي عبارة عن أنبوبة إنتاج مثقبة حولها توجد طبقة من الرمل مثبتة بصموغ خاصة.



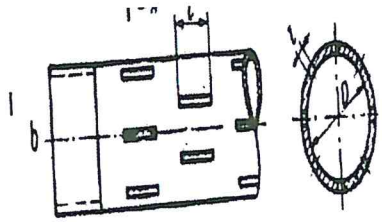
الشكل (2-4)

المصافي ذات الثقوب الدائرية



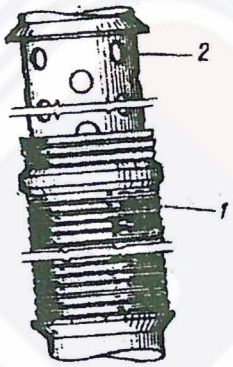
الشكل (2-5)

سلاسل عرضية من الثقوب الأسطوانية



الشكل (2-6)

سلاسل عمودية من الثقوب الأسطوانية



الشكل (2-7)

المصافي الحلقية

4-2 طرق تلافي دخول الرمال من الطبقة إلى قاع البئر:

إن دخول الرمال إلى قاع البئر من الطبقة الحاملة يؤدي إلى:

1- الإقلال من معدل الإنتاج.

2- الفعل الحتي للرمال داخل الطبقة وداخل مواسير الإنتاج.

3- تشكل الظاهرة الجلدية.

ولتلافي ذلك هناك عدة طرق وهي:

1- إنقاص معدل الإنتاج لإنقاص سرعة جريان السائل وبالتالي منع تحرك الرمال وهي طريقة غير متبعة.

2- تغيير نظام الإنتاج.

3- استخدام مصاف خاصة.

4- إدخال الرمال أو الحصى في المنطقة المجاورة للبئر.

5- تثبيت الرمال في الطبقة بواسطة الصموغ وهي الأفضل.

وهذه الصموغ هي من نوع فينول فورمالدهيد – صموغ الكيدية – بوليسترينات ويجب أن يتحقق في هذه الخليطة الصمغية الشروط التالية:

1- ذات لزوجة صغيرة.

2- أن تنفصل في الطبقة إلى جزئيها الماء والصمغ .

3- أن تبلل بشكل جيد الحبيبات الرملية داخل الطبقة وبالتالي تحقيق تماسك الحبيبات الرملية بشكل جيد.

5-2 الباكـــر Packer

هو جهاز يمنع مرور السائل ما بين مواسير الإنتاج أو الحفر ومواسير التغليف أو ما بين مواسير الحفر أو الإنتاج وجدران الطبقة الحاملة وله نوعان:

1- باكر المواسير: وهو الذي يمنع جريان السوائل في الفراغ الحلقي ما بين مواسير الحفر أو الإنتاج ومواسير التغليف.

2- باكر الطبقة: وهو الذي يمنع الجريان في الفراغ ما بين مواسير الحفر أو الإنتاج وجدران الطبقة وحسب طريقة الاستعمال إما أن يكون باكر دائم أو باكر مؤقت.

يتم تثبيت الباكر من خلال:

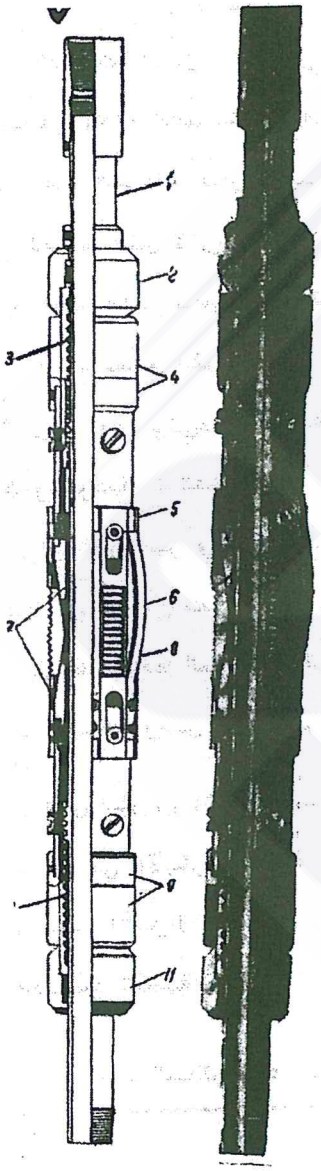
1- القوى الضاغطة الناتجة عن ترك جزء من مواسير إنزال الباكر على الباكر نفسه.

2- تحت تأثير فرق الضغط في الفراغ الحلقي فوق وتحت الباكر.

3- تحت تأثير القوى الهيدروديناميكية أو القوى الميكانيكية .

وهناك علاقات رياضية تحدد قيمة القوة ذ اللازم تركها على الباكر ليتم انتفـاخ كاوتشوك الباكر وتحقيق الالتصاق والعزل الجيد وكذلك علاقات تحدد قيمة تحريره.

ونذكر هنا لمحة عن الباكر الذي يثبت ميكانيكياً.



يتم تثبيت هذا النوع من البـواكير بفتـل مواسير الانزال . البـاكر يحـوي علـى القفص 5 الذي يبقى مثبتاً على مواسـير التغليف بسبب ضغط القطع البلاستيكية 6 والماسورة (1) تصل ما بين الباكر وبين مواسير الانزال. وهـذه الماسـورة (1) مجهـزة بشـرارين: الأول علـوي (1) والثاني سفلي (3) بجهتـين متعاكسـتين مقابل كل شرار توجد وصلات مجهزة في نهايتها بمخاريط عازلة (2).

(11) وفي الجهة المقابلة للوصلات توجد القطعة (7) (عتلة) التي تؤثر على القطع الكاوتشوكية (8) . من خلال فتل مواسير الانزال من على السطح ونحـو اليسـار سوف يتم فتل الماسـورة (1) وبالتـالي الشكل (2-8) البـاكر الـذي يتسـبب ميكانيكيا (tip Brown)

المخروط (2) يتحـرك نحـو الأسـفل والمخروط (11) نحو الأعلى وذلك نتيجة وجود شرارين متعاكسين.

إن نظام العتلة (7) التي تتحرك على سطح مخروطي تحت القطع الكاوتشوكية (8) سوف يدفع هذه القطع الكاوتشوكية
نحو مواسير التغليف وبالتالي تعمل على تثبيت الباكر. وبنفس الوقت فإن مخاريط العزل (11.2) تدخل ضمن القطع (4.9) وتعملان على انتفاخهما وبالتالي عزل الفراغ الحلقي.
من خلال فتل مواسير الإنزال نحو اليمين فإن الوصلتين سوف تتحركان باتجاهين متعاكسين وبالتالي يتم تحرير الباكر.
لإجراء عملية فتح الباكر المنزل في البئر يجب اتباع الخطوات التالية:
1- إجراء دوران للبئر وطرح سائل القتل وتبديله بسائل ذي وزن نوعي أقل لخلق فرق ضغط يسمح بتدفق السوائل من الطبقة وضخ سائل حفظ بحجم الفراغ الحلقي في فراغ مواسير التغليف.
2- إنزال صمام الإغلاق إلى مقعده المخصص تحت الباكر بواسطة وحدة الرفع والإنزال وتثبيته في مكانه (صمام عدم رجوع أو صمام مرحلتين) ورفع أجهزة الإنزال.
3- توصيل خط آلية الضخ إلى مواسير الإنتاج واختبارها بضغوط تساوي 1,5 مرة من ضغوط العمل وتشكيل ضغط ضمن مواسير الإنتاج ويتعلق هذا الضغط بعدد المسامير الموجودة في الباكر والتي يلزم كسرها حيث يتم كسر هذه المواسير وتحرير لقم تثبيت الباكر وانضغاط الكاوتشوك العازل وانتفاخه ليتم عزل فراغ مواسير التغليف.
4- تنفيس الضغط من مواسير الإنتاج.
5- ربط خطوط آلية الضخ [الأكريكات] على مواسير التغليف واختبار عازلية الباكر بحدود 50 ضغط جوي وفي حال ثبات الضغط يكون قد تم تثبيت الباكر بشكل جيد.

6- إنزال أجهزة اصطياد صمام الإغلاق بواسطة وحدة الرفع والإنزال واصطياد ورفع صمام الإغلاق وفي هذه الحالة يمكن أن يبدأ البئر بالتدفق.

7- في حال حصول تدفق وإنتاج البئر يتم إنزال صمام الأمان إلى مقعده الخاص بوضعية الفتح.

8- ربط خط مضخة الهيدروليك مع صمام أبري "$\frac{1}{2}$ موجود على فلنجة الشجرة والمتصل بدوره مع خط "$\frac{1}{4}$ الواصل إلى مقعد صمام الأمان .

9- تشكيل ضغط بواسطة المضخة اليدوية على صمام الأمان يزيد عن ضغط رأس البئر بحدود 2000-1500 PSI مما يؤدي إلى إبقاء صمام الأمان مفتوحاً.

10- إغلاق الصمام الإبري "$\frac{1}{2}$ على فلنجة الشجرة لمنع تنفيس الضغط من خط الـ"$\frac{1}{4}$ الموصول مع تفقد مقعد صمام الأمان .

11- رفع جهاز إنزال صمام الأمان.

12- تشغيل البئر ومراقبته.

والجدير بالذكر أن هناك بعض البواكير التي يتم فتحها بواسطة صمام عدم الرجوع الذي يثبت على مقعد خاص به.

وهناك بعض البواكير غير القابلة للإرجاع لها مجموعة واحدة من اللقم المتوضعة في القسم السفلي للباكر حيث يتم فتح هذا الباكر هيدروليكياً عن طريق تطبيق ضغط ضمن مواسير الإنتاج حيث يغلق الصمام الذي يتم إنزاله بواسطة وحدة الرفع والإنزال وتثبيته في مقعده وتتعلق قيمة الضغط المطلوبة بعدد المسامير الموجودة في الباكر والتي يتم كسرها بواسطة هذا الضغط حتى يتم تحرير اللقم وانتفاخ كاوتشوك العازل ليتم العزل المطلوب وقد يصل عدد المسامير إلى ثمانية وضغط كسر المسمار الواحد بحدود 800 Psi ويستدل على

فتح الباكر بحدوث صدمه هيدروليكية تلاحظ على مؤشر الضغط وحدوث ذبذبة على نفس المؤشر.

وهنا يجب مراعاة مكان توضع كالات مواسير التغليف لتفادي تثبيت الباكر على إحداها واختيار نوع الباكر المناسب لقطر ووزن مواسير التغليف.

6-2 تثقيب البئر المنتج:

وهي إحدى الخطوات الهامة من خطوات وضع البئر في الإنتاج وتتم في الآبار المغلقة لإيجاد الصلة ما بين الطبقة الحاملة وقاع البئر عن طريق ثقوب تخترق مواسير التغليف والغلاف الإسمنتي وتدخل في الطبقة المنتجة 25-40 سم ويتم تحديد عدد الثقوب في المتر الطولي وقدرة اختراق الطلقات حسب سماكة جدران المواسير التغليفية والاسمنت ومواصفات الطبقة الخازنة.

سابقاً كانت تستخدم طلقات تشبه طلقات المسدس الحربي ثم طلقات ذات الحشوة الجوفاء shaped charges ويتم حالياً تنفيذ عملية التثقيب بواسطة جهاز التثقيب gun.

1-6-2 تقنيات عملية تثقيب الآبار:

1-1-6-2 تطبيق الضغط المعاكس والضغط الموجب في عمليات التثقيب:

لقد تم التوصل حالياً إلى أفضل إجراءات التثقيب عبر ما يلي:

1- استخدام جهاز تثقيب كبير مع توزع طوري للطلقات على كامل محيط البئر Molti Face مثل جهاز تثقيب (4 انش) من أجل مواسير تغليف بحدود(7انش) بدلاً من توضع الطلقات على جهة واحدة Zero Face.

2- تطبيق ضغط تفاضلي على المجال المثقب Under balan ce من اجل حصول تدفق فوري من الطبقة إلى البئر مباشرة بعد إجراء عملية التثقيب (تثقيب بالضغط المعاكس حيث ضغط الطبقة أكبر من ضغط قاع البئر) وذلك عن طريق إنقاص مستوى السائل الموجود ضمن مواسير التغليف لحد

معين يتعلق بكمية الضغط المراد إنقاصه عن ضغط الطبقة المتوقع ويتم ذلك باستخدام ضاغط إحياء هوائي لهذا العمل.

- إن تحقيق وجود ضغط تفاضلي على المجال المثقب يتطلب وجود تجهيزات ضغط على رأس البئر ووجود تشكيلة مواسير إنتاج في البئر تنزل إلى أعلى المجال المطلوب تثقيبه بحدود 50 متر لأنه من المحتمل حدوث تدفق من الطبقة المنتجة إلى البئر ومنه إلى السطح بعد عملية التثقيب مباشرة دون الحاجة إلى عمليات تحسين وإحياء.
- في حالة التثقيب بجهاز كبير القطر لا نستطيع تحقيق ضغط تفاضلي على المجال المثقب لأن هذا الأمر يتطلب وجود مواسير إنتاج في البئر. وبالتالي استحالة إنزال جهاز تثقيب كبير القطر وهنا لا يمكن إجراء تدفق من الطبقة إلى داخل البئر وإنما قد يحدث العكس أي جريان سائل البئر من خلال الثقوب إلى الطبقة.
- في حالة التثقيب بجهاز صغير القطر من خلال مواسير الانتاج واستخدام تجهيزات الضغط بهدف تحقيق التثقيب مع وجود ضغط عكسي نستطيع تحقيق تدفق من الطبقة إلى داخل البئر ولكن يبقى الجهاز بعيداً عن جدران البئر " سطح مواسير الإنتاج الداخلي " .

لقد تم تطوير جهاز تثقيب حديث مجهز بطلقات وبعد أن تنفجر هذه الطلقات فإن الغازات المطلقة في عملية التفجير تقوم بتنظيف الثقوب المحدثة.

في الآبار المائلة يتم إنزال جهاز التثقيب بواسطة مواسير إلى المجال المراد تثقيبه.

2-1-6-2 عملية تثقيب الآبار المائلة:

تتم هذه العملية بعدة طرق:

أ- طريقة التثقيب الميكانيكية: وتتم عن طريق إنزال قضيب معدني ضمن مواسير حيث يسقط بشكل حر حتى يصطدم بالصاعق.

ومن مميزات هذه الطريقة أنها لا تنفجر كهربائياً وبالتالي درجة أمان عالية ولا حاجة لتشكيل فرق ضغط أي لا تحتاج إلى تشكيل ضغط على رأس البئر وكذلك عدم استخدام كابل.

ب- طريقة التثقيب الهيدروليكية:

وتستخدم في الآبار المائلة جداً وتتطلب ضغوطاً تصل إلى 2000 PSI حتى ينفجر الصاعق ويتم الحصول على هذا الضغط عن طريق سائل الحفر وفي الآبار المائلة جداً والفقية يتم إنزال مواسير إنتاج مثقبة على السطح.

2-6-1-3 تحضير البئر لعمليات التثقيب:

يتم تثقيب الآبار النفطية والغازية دائماً بواسطة فريق عمل خاص مكلف بهذه الأعمال بناء على طلب خاص ويزود بالمعلومات الكافية عن مجال التثقيب وكثافة الثقوب ونوع الطلقات من دائرة المخزون بالإضافة إلى قطر مواسير التغليف وعمق البئر.

أهم التحضيرات هي إنزال جهاز خاص في البئر للتأكد من عدم وجود أي عائق في البئر والتأكد من عمق البئر ومن ثم إملاء البئر بسائل معين ماء أو طفلة وذلك لمنع احتمال إنتاج البئر ذاتياً وبالتالي تفادي حصول أي مضاعفات بعد التثقيب والتي قد تصل إلى حدوث اندفاع أو احتراق في بعض الأحيان ويجهز رأس البئر بصمامات لإغلاق البئر عند حدوث مشكلة أو يجهز رأس البئر بجهاز مانع الانفجار خاص بعمليات التثقيب.

في الآبار الغازية يمكن تثقيب البئر دون الحاجة إلى ملء البئر بالسائل بشكل كامل بشرط وجود أجهزة التحكم بالضغط حيث يكون التثقيب من نوع تحت التوازن ومن الأعمال التي تسبق عملية التثقيب نذكر:

1- تنظيف البئر / بواسطة الدوران سواء باستخدام الماء أو النفط / من الرواسب وإملاء البئر بالسائل.

2- فحص تأريض البئر بشكل جيد بواسطة أجهزة خاصة .

3- إطفاء كافة المحركات ومحركات اللحام وأجهزة الراديو وذلك أثناء وصل متممات التثقيب مع الكبل.

4- إبعاد الأشخاص غير المكلفين بالتعامل مع عملية التثقيب عن مواقع العمل .

5- وصل الصواعق مع الأجهزة عن طريق أشخاص ذوي خبرة جيدة.

6- عدم إجراء العملية في ظروف جوية غير ملائمة كالأمطار والرعد والبرق والضباب الكثيف والظلام.

7- نقل المواد المتفجرة ضمن شروط مناسبة من المخزن إلى الورشة ومن الورشة إلى البئر.

8- أخذ كافة المعلومات التي تخص مواسير التغليف وأقطارها وأقطار مواسير الإنتاج وطولها وعمق البئر وارتفاع منصة الحفر وعمق مجال التثقيب.

9- ضبط العمق بالمقارنة مع الأعماق المأخوذة للقاع المفتوح عن طريق إجراء قياسات كهربائية GR.

4-1-6-2 دلائل وعلامات انتهاء عملية التثقيب:

1- من خلال مقياس الفولط والأمبير الموجودة في أجهزة التحكم بعملية التثقيب.

2- سماع صوت التفجير وهو الأكثر شيوعاً .

3- من خلال جهاز /CCL/ حيث نلاحظ على منحني CCL حدوث ثقوب في مواسير التغليف وهو جهاز يركب على جهاز التثقيب حيث يتم إنزالهما معاً.

4- من خلال منحنى الوزن / حيث نلاحظ تناقص الوزن.

5- من خلال إهتزاز الكبل الذي ينزل بواسطته جهاز التثقيب.

****