الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

دراسة مراحل إنهاء الآبار النفطية والتشكيلات الإنتاجية للآبار

(Stages of finishing oil wells and production formations for wells)

دراسة أُعدت لنيل درجة البكالوريوس في هندسة البترول

بإشراف:

الدكتور المهندس حازم حاج جنيد الدكتور المهندس محمود حديد

إعداد:

محمد خير حسين العلي عبد العزيز مبارك الشاجي

العام الدراسي 2025-2026 م

الفهرس

هدف البحث 5
مخطط البحث..... 6
الفصل الأول - التجهيزات الرئيسية لآبار النفط و الغاز 7
مُـقَـــدِّمـة: 7
1-1: النموذج العام لآبار النفط و الغاز (Well design): 10
1-1-1 تركيب مواسير التغليف: 10
1-1-2 إنهاء الآبار النفطية Well Completion: 12
1-1-3 تجهيزات رؤوس الآبار (Wellhead): 15
1-1-4 شجرة رأس البئر أو شجرة الميلاد (X-mass Tree): 17
1-1-5 التشكيلة الإنتاجية للآبار (Well Completion): 24
الفصل الثاني – أسس إنهاء آبار النفط والغاز 33
2-1 تصميم التجهيزات الجوفية الأساسية للآبار (اختيار التشكيلة الجوفية للآبار): 34
2-2 إنجاز القياسات البئرية للقاع المغلف: 40
2-2-1 قياس CCL: Casing Collar Log 40
2-2-2 قياس GR: Gamma Ray 41
2-2-3 القياسات الكهربائية (قياس الناقلية الكهربائية و قياس المقاومة الكهربائية): 42
2-2-4 القياسات النيترونية النبضية : 43
2-2-5 التسجيل الصوتي (Sonic Logging): تحليل شامل للخصائص الصوتية والميكانيكية للطبقات الصخرية: . 44
2-3تثقيب الآبارWell Perforation : 49
2-3-1 تحديد النطاقات المستهدفة بالتثقيب: 50
2-3-2 الشحنات المتفجرة..... 51
2-3-3 الموائع المستخدمة أثناء تثقيب الآبار 51
2-3-4التثقيب باستخدام الشحنة المتفجرة: 52
2-4إنزال تشكيلة الإنتاج: 58
2-4-1 إنزال مواسير الإنتاج في البئر..... 58
2-4-2 تثبيت شجرة الإنتاج : 58
2-5 إحياء البئر: 59
2-5-1 استخدام وحدات المواسير المرنة في عمليات إحياء الآبار (الرفع بالنيتروجين): 59
2-6 اختبار البئر..... 62
2-6-1 أهداف اختبارات الآبار المنتجة:..... 62
2-6-2 أنواع اختبارات الآبار الرئيسية:..... 62
2-6-3 مقياس الذاكرة (Memory Gauge)..... 63
2-6-4 فاصل الاختبار المتنقل (MTU: Mobilized Testing Separator)..... 65
الفصل الثالث - نماذج الإنهاء وتشكيلات الإنتاج لبعض الآبار في الحقول السورية 67
الحالة الأولى: 67

الحالة الثانية: 69
الحالة الثالثة: 71
الحالة الرابعة: 72
الحالة الخامسة: 74
تحويل الآبار إلى آبار الإنتاج الميكانيكي (الرفع الذاتي) 74
الحالة السادسة: 77
النتائج و المقترحات 78
المراجع 80

هدف البحث

تعد عملية إنهاء الآبار النفطية جزءًا حيويًا وحساساً في صناعة النفط والغاز، حيث تلعب دورًا حاسمًا في تحضير الآبار للإنتاج بطرق أكثر فعالية وأمناً، ولا يقبل الخطأ في هذه المرحلة بعد أن تم حفر البئر والوصول إلى الطبقة المنتجة.

ومن خلال الفهم الدقيق لعملية إنهاء البئر ومكوناتها وأنواعها، ثم الاختيار الأنسب لنموذج إنهاء البئر يمكن تحقيق العديد من الأهداف، ومنها:

- **تحسين إنتاجية الآبار:** يساعد إنهاء الآبار الصحيح على زيادة معدلات إنتاج الموائع الطبقية من المكمن إلى السطح.
- **حماية الآبار:** يمنع أو يقلل إنهاء الآبار الصحيح دخول الرمال والرواسب الأخرى إلى البئر، وبذلك يتم تفادي انسداد المعدات وتقليل الإنتاجية.
- **ضمان السلامة:** وذلك من خلال اختيار التجهيزات على رأس البئر والتجهيزات البئرية التي تمنع احتراق الآبار وتسرب النفط والغاز وبالتالي الحفاظ على سلامة العاملين والبيئة.
- **إطالة عمر البئر:** وذلك من خلال تجهيز البئر بالحماية المناسبة والمعدات المناسبة والملائمة لظروف الآبار.

مخطط البحث

كما هو معروف لحل أي مشكلة لابد من تحديدها والتعرف عليها باستفاضة أولاً، ثم تحليل هذه المشكلة ومعرفة أسبابها بعدها يتم حل المشكلة.

ومن هنا كان لابد من اتباع هذا التسلسل في بحثنا الذي اعتمد على:

الفصل الأول: التجهيزات الرئيسية لآبار النفط والغاز.

الفصل الثاني: أسس إنهاء آبار النفط والغاز.

الفصل الثالث: نماذج الإنهاء وتشكيلات الإنتاج لبعض الآبار في الحقول السورية.

النتائج والمقترحات.

بسم الله الرحمن الرحيم

الفصل الأول – التجهيزات الرئيسية لآبار النفط والغاز

مُـقَــدِّمـة:

يعبر نظام الإنتاج عن سلسلة من الفعاليات والعمليات المترابطة – الموضحة بالشكل (1) – والتي تتكون بشكل أساسي من:

1- المكمن النفطي (The Reservoir) وإمكانياته المتوقعة في الإنتاج (استطاعة الطبقة المنتجة).

2- البئر النفطية (The wellbore) والذي يشكل أداة نقل الموائع الطبقية من المكمن النفطي إلى السطح.

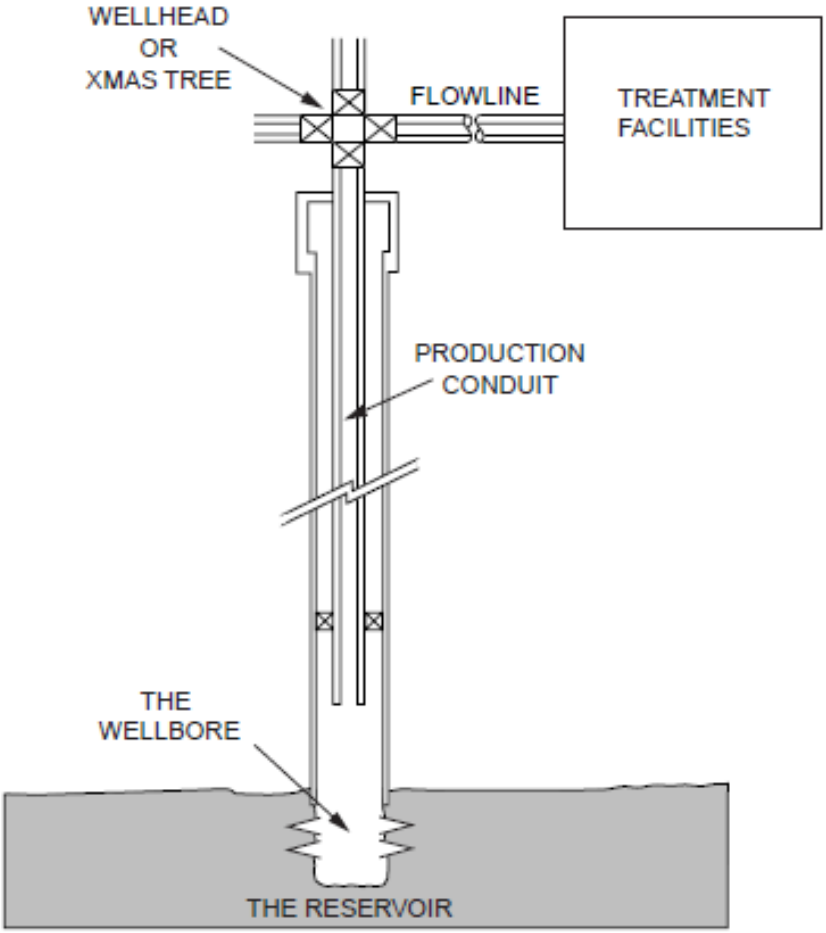
3- مجموعة مواسير الإنتاج (Tubing) وما يلحق بها من معدات جوفية في الآبار (Down-hole Equipment) والتي تشكل بمجموعها التشكيلة الإنتاجية (Completion or Tubing String) , والتي تنقل الموائع الطبقية من قاع البئر إلى رأس البئر.

4- **تجهيزات رؤوس الآبار (Well Heads & X-Mas Trees),** وخطوط الإنتاج السطحية (Flow Lines) التي تنقل النفط والموائع البئرية من الآبار إلى محطات التجميع ووالمعالجة

5- محطات المعالجة (Treatment Facilities).

تحتوي مكامن النفط والغاز على موائع هيدروكربونية ذات انضغاطية عالية عند ضغوط وحرارة عاليين, واللذين يمثلان الطاقة الطبقية للإنتاج و التي تؤدي في الوقت نفسه إلى انضغاط هذه الموائع.

وتتم الإنتاجية الفعلية لهذه الموائع الطبقية من خلال تبديد فعال لهذه الطاقة الطبقية، وهذا ما يؤمنه وجود البئر مع التشكيلة الإنتاجية (Completion String) , وحيث يمثل الاستخدامُ الأمثلُ لهذه الطاقة الطبقية الأساسَ الذي يعتمدُ عليه في تصميم التشكيلة الإنتاجية وفي التطوير الاقتصادي للآبار والحقول النفطية.

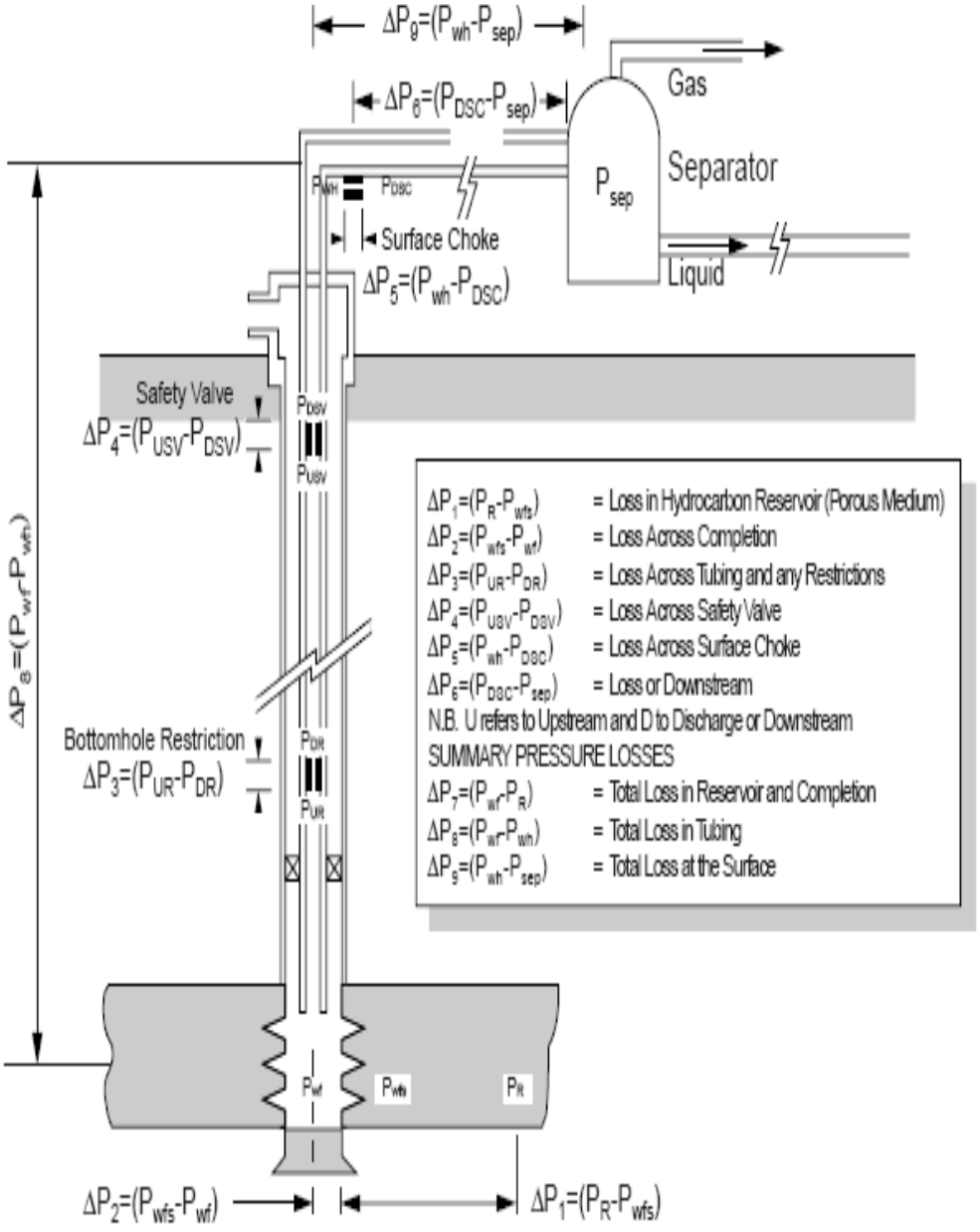


الشكل (1) المكونات الرئيسية لنظام الإنتاج

وتعتمد الإنتاجية على عملية تخفيض الضغط (مدروس ومحكم) في نظام الإنتاج, والمتمثلة في:
المكمن (Reservoir), وحفرة البئر (Well bore), والتشكيلة الإنتاجية متمثلة بمواسير الإنتاج (Tubing String) والمعدات الجوفية (Down-hole Equipment) المركبة عليها، ثم الفالة السطحية (Choke), و خط الإنتاج (Flow line), ثم أخيراً الفواصل (Separator).
ويظهر الشكل (2) مناطق انحدار الضغط لبئر تعمل بشروط الإنتاج الذاتي (Natural Flow), حيث يكون الضغط الطبقي كافياً للتغلب انحدار الضغط في النظام كاملاً، وهذا ما يعبر عنه رياضياً بالشكل التالي:

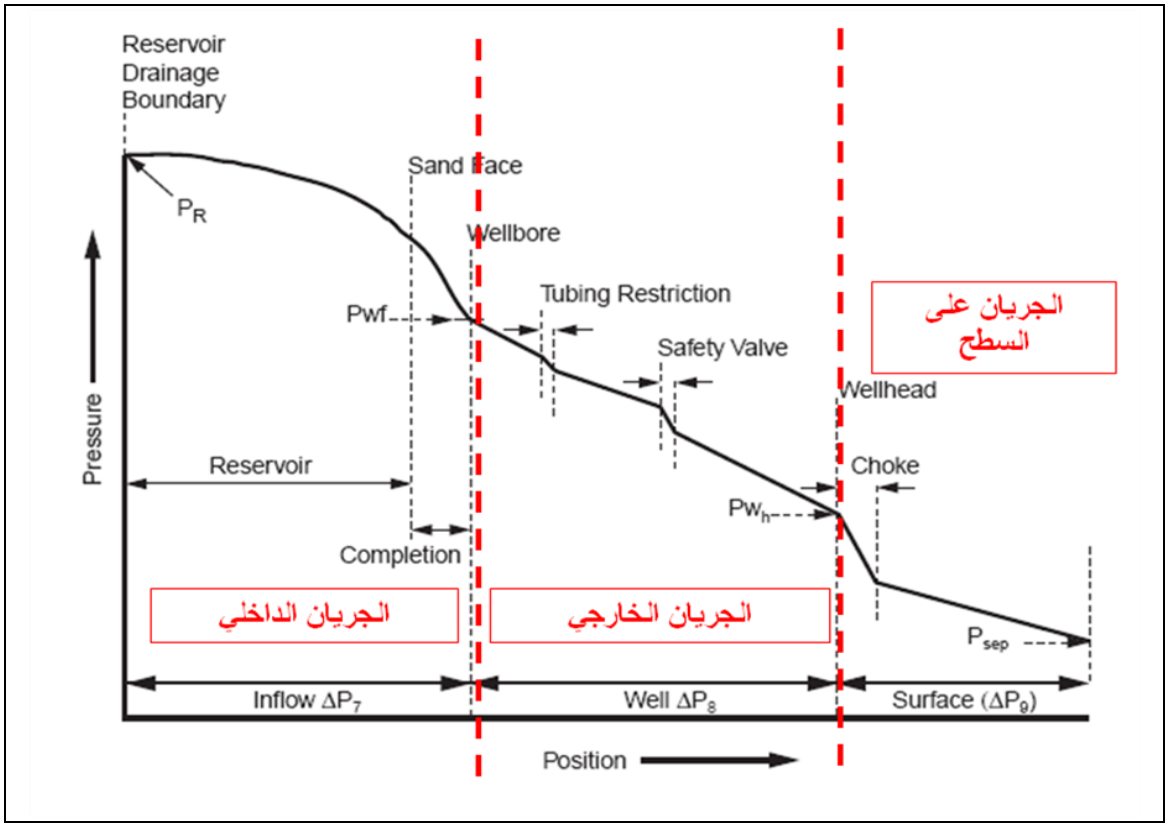
$$P_R \geq \Delta P_{SYSTEM} + P_{SEP} \qquad (1)$$

P_R: الضغط الطبقي (Psi).
ΔP_{SYSTEM} : ضياع الضغط في نظام الإنتاج (Psi).
P_{SEP}: ضغط الفاصل على السطح (Psi).



الشكل (2) دراسة تحليلية للمناطق الرئيسية لانحدار الضغط لنظام إنتاج ذاتي.

كما يعبر الشكل (3) عن انحدار الضغط ضمن نظام الإنتاج و حتى وصول الموائع الطبقة إلى السطح.



الشكل (3) انحدار الضغط في نظام الإنتاج لبئر تعمل ذاتياً

1-1: النموذج العام لآبار النفط و الغاز (Well design):

بعد حفر الطبقة المنتجة لا بد من إنهاء هذه الآبار, و إنهاء هذه الآبار يتم وفق خطوات متسلسلة مرتبة ومخطط لها, كالتالي: تركيب مواسير التغليف الإنتاجية ثم إنجاز الإسمنت وبعدها عمليات إنزال التشكيلة الإنتاجية (Completion String) و التثقيب , ثم تركيب رؤوس الآبار الاعتيادية (أو المعدات اللازمة للتشغيل على رؤوس الآبار عند استخدام طرق الرفع الصناعي:

1-1-1 تركيب مواسير التغليف:

يعتبر تركيب مواسير التغليف من العمليات الأساسية لأعمال حفر وإنهاء الآبار، ويتكون تغليف الآبار من سلسلة من الأنابيب المعدنية التي تقحم في البئر بهدف تقوية جدران البئر ولتأكيد منع عبور أي من النفط أو الغاز الطبيعي عبرها خلال نقل هذه الموائع إلى السطح, كذلك لمنع تسرب الموائع البئرية من البئر إلى الطبقات المخترقة من قبل هذه البئر.

وتعتبر حسابات قياس واختيار النوع الأنسب من مواسير التغليف من الأعمال التحضيرية الأساسية لآبار النفط والغاز.

ويعتمد نوع مواسير التغليف على الخواص الجوفية للبئر بما في ذلك قطر البئر الذي يعتمد على قطر رأس الحفر المستخدم والضغط والحرارة الجوفيين المتوقعين.

وفي معظم الآبار – كما هو معروف – يتناقص قطر البئر بزيادة عمقه, و بالتالي يكون شكل البئر مخروطياً، ورأس المخروط باتجاه الأسفل, و مع إنزال كل مرحلة من مراحل التغليف يتم إنجاز عمليات ضخ الإسمنت.

مراحل التغليف: يمكن أن نجمل المراحل الأساسية لأعمال التغليف، بما يلي:

1- **المواسير الدليلة (Conductor Casing):** لا يتعدى عمق هذه المواسير (20 – 50 ft) أي بحدود (7 – 17 m) يتم تركيب هذه الوصلة قبل البدء بأعمال الحفر لمنع أعلى البئر من التكهف أو الانهيار وللمساعدة في عمليات تدوير سائل الحفر.

2- **مواسير التغليف السطحية (Surface Casing):** تأتي هذه المواسير بعد الماسورة الدليلة، ويمكن أن تنزل حتى عمق (100 – 400 m), وهي – طبعاً – أقل قطراً من الماسورة الدليلة, يهدف استخدام هذه المواسير لحماية الطبقات السطحية الحاوية على المياه الجوفية العذبة من التلوث الذي قد ينتج عن عمليات الحفر أو عن الهيدروكربونات أو المياه المالحة المرافقة للنفط و الغاز المنتج من قبل البئر, كما تشكل هذه المواسير قناة لإعادة سائل الحفر إلى السطح.

3- **مواسير تغليف المرحلة الوسطية (Intermediate Casing):** و قد تكون الأكثر طولاً في البئر, والهدف الرئيسي منها تقليل الأخطار المرافقة لحفر الطبقات السفلية التي قد تؤثر على البئر, وهذا يشمل وجود بعض الطبقات ذات الضغوط غير العادية, كطبقات الصخر الغضاري و الطبقات الحاوية على المياه المالحة, و من الممكن استخدام **المواسير الضائعة (Liner)** في هذه المرحلة و التي تعلق باستخدام جهاز تعليق (Hunger).

4- **مواسير تغليف المرحلة الإنتاجية (Production Casing):** و تدعى أيضاً بتشكيلة النفط (Oil String) **أو** التشكيلة الطويلة (Long String) و التي تكون آخر المواسير التي تركب و أكثرها عمقاً و تشكل قناة النقل و الاتصال بين سطح البئر و الطبقة المنتجة, و يعتمد قياس مواسير التغليف على عدد من الاعتبارات بما في ذلك المعدات اللازمة لرفع النفط و عدد الطبقات المنتجة التي يتم إنهاؤها من خلال البئر و كذلك إمكانية حفر هذه البئر لأعماق أكبر فيما بعد, و كمثال على ذلك إذا كان هناك من احتمال جعل البئر أكثر عمقاً مستقبلاً فلا بد عندها أن تكون مواسير التغليف أكبر قياساً (أوسع) كي تسمح لتشكيلة الحفر اللاحقة بمتابعة أعمال الحفر.

كذلك فمواسير التغليف الإنتاجية تشكل أداة في منع الاندفاعات البئرية (Blow-out).

وبعد تركيب مواسير التغليف يتم إدخال مواسير الإنتاج (Tubing) داخل مواسير التغليف والتي تمتد من قاعدة شجرة رأس البئر وحتى عمق الطبقة المنتجة تقريباً, وتجري الموائع الطبقية خلالها، وتكون قياس مواسير التغليف بشكل نموذجي بين (cm 28- 5) أي (in 11 -2), و غالباً ما يكون قياسها أكبر من (in 6), و تعتمد الإنتاجية على المكمن النفطي و الضغط الطبقي و قياس البئر , و من الممكن أن تقل الإنتاجية عن (100 BPD) إلى أكثر من (5000 BPD), و يعتبر القياس (in 7) الأكثر استخداماً.

ويستخدم جهاز العزل أو الباكر (Packer) في أسفل التشكيلة الإنتاجية وأعلى من الطبقة المنتجة لعزل الفراغ الحلقي بين مجموعتي مواسير الإنتاج ومواسير التغليف الإنتاجية، وبالتالي يجبر الموائع الطبقية على الجريان ضمن مواسير الإنتاج (Tubing) مما يسمح بالتحكم بالبئر.

ويعتبر نموذج البئر الموضح بالشكل (4) من النماذج الشهيرة في التصاميم النفطية.

1-1-2 إنهاء الآبار النفطية Well Completion:

ويقصد بها مجموع الأعمال التي تهدف إلى جعل البئر جاهزاً لإنتاج النفط أو الغاز الطبيعيين, ابتداءً من حفر الطبقة المنتجة، ويمكن أن يتم إنهاء الآبار وفقاً لأحد النماذج التالية:

- **النموذج المفتوح (Open Hole Completion):** وهو النوع الأبسط، والذي يستخدم فقط في حالة الطبقات المتماسكة غير القابلة للتكهف، ويتم إنجاز هذا النوع بشكل مبسط من خلال إنزال مواسير التغليف حتى عمق الطبقة (تبقى أعلى الطبقة المنتجة), وبنهاية حرة لمواسير التغليف دون أية مصافٍ, ثم يتم إنجاز السمنتة, وبعد تصلب الإسمنت يتم حفر الطبقة المنتجة و بدون إنزال مواسير التغليف ودون سمنتة.

  من محاسن هذا النموذج: أن سطح الارتشاح كبير, وتكاليف إنهاء هذه الآبار هو الأقل، كما يمكّن هذا النموذج من استخدام مصافي الرمال عند الحاجة إليها.

  إلا أنه لا يمكّن من عزل بعض المجالات عند حدوث ارتشاح للمياه الطبقية أو تكون مخاريط المياه, كما توجد حاجة دائمة إلى تنظيف هذه الآبار من الرمال التي لا بد أن تتراكم.

- **النموذج المثقب التقليدي (Conventional Perforated Completion):** ويتكون من مجموعة مواسير التغليف الإنتاجية التي يتم إنزالها في البئر حتى نهاية عمر البئر ثم يتم إنجاز السمنتة, ويتم بعدها تثقيب مواسير التغليف بثقوب صغيرة على الوجه المقابل للطبقة المنتجة مما يسمح للموائع الهيدركربونية الطبقية بالعبور إلى البئر بكمية ومعدل إنتاج كافٍ مع تأمين حماية ودعم للبئر.

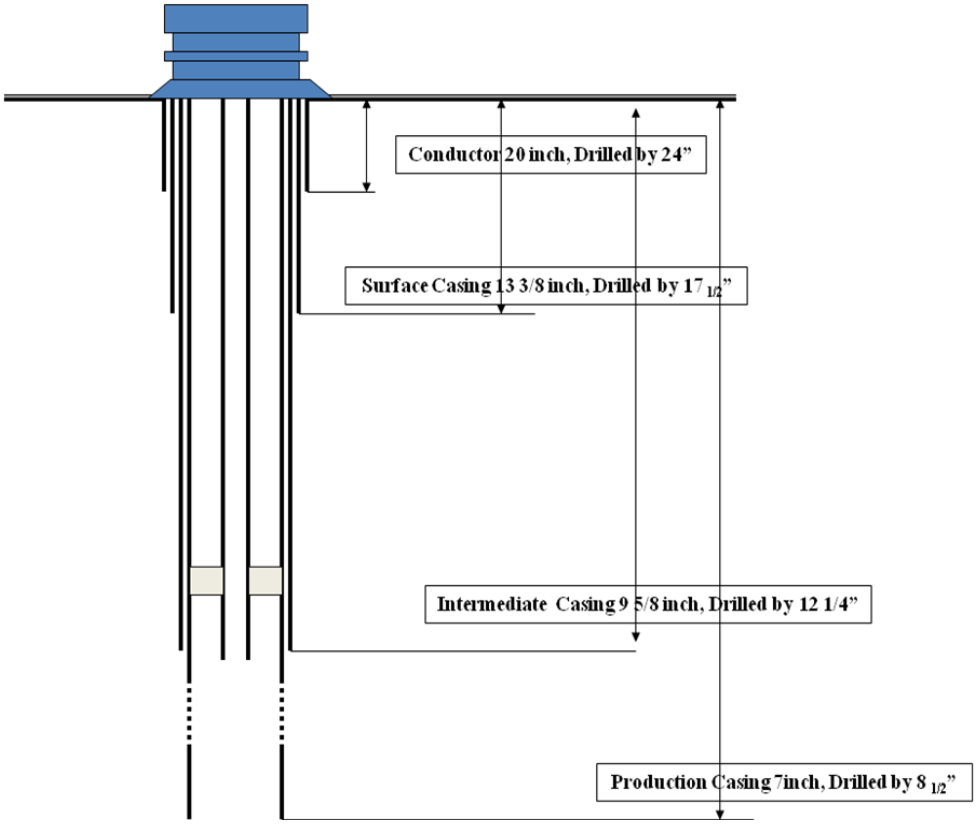
ويتم التثقيب من خلال طلقات يتم إطلاقها باستخدام أجهزة (مسدسات) (Gun) تثقيب خاصة تنزل إلى البئر وعند العمق الدقيق المراد تثقيبه، وتستطيع هذه الطلقات أن تخترق مواسير التغليف والإسمنت الذي خلفه، والطريقة الأحدث في التثقيب من خلال تثقيف نفثي (Jet Perforating) وهو المفضل ويتم هذا التثقيب من شحنات متفجرة يتم تفجيرها كهربائياً بعد إنزالها في البئر، وعندما يتم تزويد هذه الشحنات المتفجرة بالشرارة الكهربائية يتم عندها اختراق الطبقة بثقوب.

من محاسن هذا النموذج: إمكانية إعادة التثقيب إن لزم الأمر، كما أن التحكم بالإنتاج يكون أفضل وأكثر إمكانية من النماذج الأخرى, ويؤمن التدعيم اللازم لجدار البئر من الانهيارات.

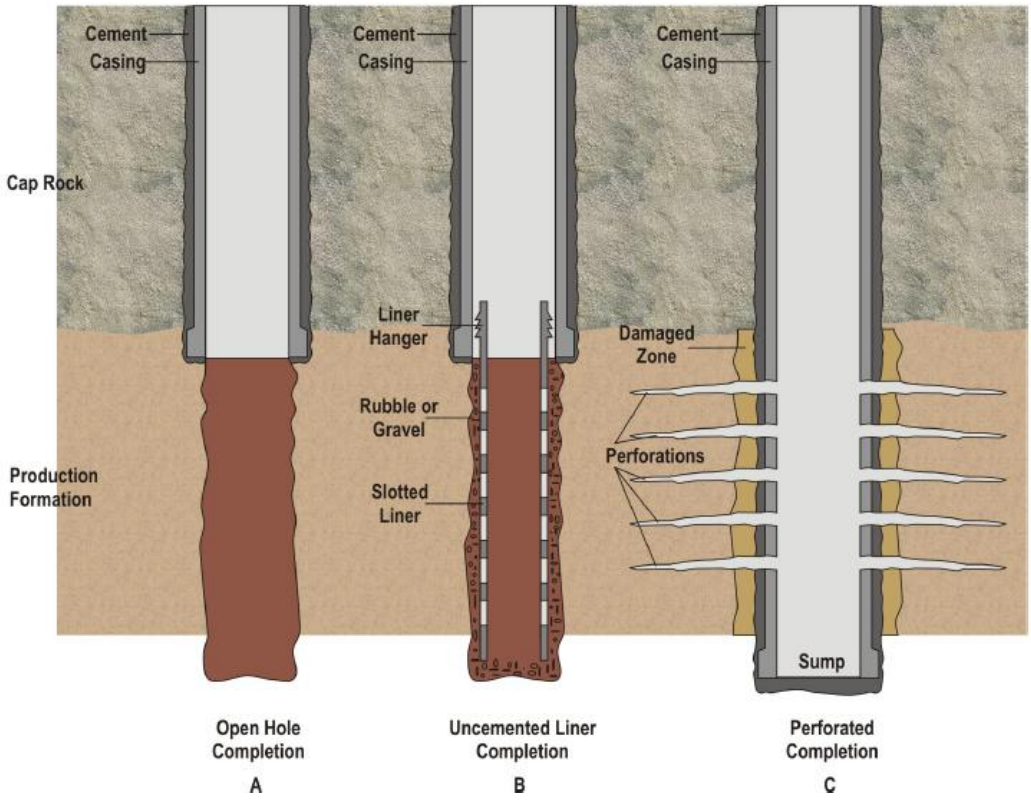
إلا أن سطح الارتشاح لهذا النموذج قليل ويكون إنجاز هذه الآبار الأكثر تكاليفاً بسبب إنجاز أعمال الإسمنت وأيضاً فقد تتعرض الطبقات المجاورة للتلوث بفعل عمليات السمنتة.

- **إنهاء الآبار باستخدام مواسير التغليف المعلقة (الضائعة Liner):** يستخدم هذا النموذج عند وجود المشاكل البئرية وخصوصاً مشاكل الانهيار أو الزحف الطبقي، وغالباً لإنهاء الآبار عند اختراق عمود البئر لطبقات إسفلتية، حيث يتم إنجاز البئر بالشكل الاعتيادي حتى أعلى المجال الذي يتوقع فيه حدوث مشاكل الانهيارات الطبقية أو الزحف الطبقي, مع إنجاز أعمال الاسمنت ثم يتم إنزال جهاز تعليق مواسير التغليف الضائعة أسفل مواسير التغليف ثم تنزل مواسير التغليف الضائعة (Liner).
- **نماذج إنهاء الآبار بوجود مشاكل الرمال (Sand Exclusion Completions):** تصمم هذه الآبار عند توقع وجود كميات كبيرة من الرمال غير المتماسكة في الطبقات المنتجة, وتصمم هذه التشكيلات للسماح بجريان الغاز الطبيعي والنفط إلى البئر وبنفس الوقت يمنع دخول الرمال إلى البئر, من خلال الغربلة (Screening) أومن خلال عملية التصفية (Filtering) وكلاً من هذين النموذجين يشكل مانعاً للرمال ومن الممكن استخدامه في نماذج الإنهاء المفتوح والمثقب السابقين.
- **الإنهاء لبئر متعدد طبقات الإنتاج (Multiple Zone Completion):** و الذي يهدف للإنتاج من طبقتين هيدروكربونيتين أو أكثر، ومن الممكن أن يتم الإنتاج منهما في وقت واحد دون أن يتم مزج الموائع المنتجة من الطبقتين مع بعضهما, فالبئر يمكن أن يخترق عدداً من الطبقات المنتجة متعددة الأعماق, كما يمكن أن يكون الهدف أن ينتج من الطبقة المرجوة ببئر أفقية لاستنزاف الهيدروكربونات الموجودة. وغالباً ما يتم استخدام باكر خاص لعزل الفراغ الحلقي، يدعى (Dual Packer), ويجهز رأس البئر بشجرة ميلاد خاصة كذلك.
- **نموذج الإنهاء الأفقي للآبار** والذي يهدف للاستنزاف الأكبر **للطبقات (Drain-hole Completion):**

ويتم إنهاء هذه الطبقات بعد الحفر المائل التدريجي وصولاً إلى الجذع الأفقي, وذلك بهدف الحصول على أعلى انحدار للضغط وأكبر إنتاج، وهذه الآبار تصادف في الآبار النفطية ولا تكون في آبار الغاز. ويظهر في الشكل (5) بعض نماذج إنهاء الآبار.



الشكل (4) النموذج العام لآبار النفط, متضمناً مقاييس رؤوس الحفر و مواسير التغليف.



الشكل (5) بعض نماذج إنهاء الآبار.

1-1-3 تجهيزات رؤوس الآبار (Wellhead):

يتم تجهيز الآبار البحرية (Offshore) والبرية (Onshore) أو الموجودة على سطح تركيب أو منصة بحرية برؤوس الآبار (Wellhead) بهدف تنظيم ومراقبة إنتاج الهيدروكربونات الآتية من الطبقات الجوفية, كما تمكن من مراقبة حدوث تسرب النفط والغاز من الآبار وتساهم في منع حدوث الاندفاعات الطبقية نتيجة الضغوط الطبقية العالية.

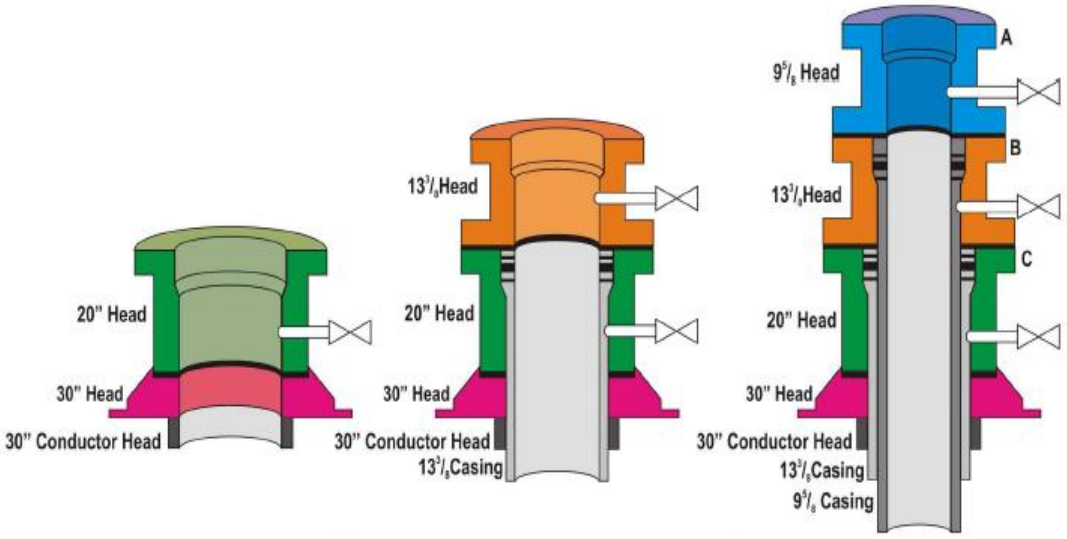
عندما تكون الطبقات تتمتع بضغوط عالية فإنها تتطلب رؤوس آبار خاصة قادرة على تحمل الضغوط العالية المتجهة للأعلى والمرافقة للموائع الصاعدة، وهذه التجهيزات تكون قادرة على تحمل ضغوط تصل إلى (140 MPa = 1400 Bar).

وتتكون رؤوس الآبار من ثلاثة أقسام رئيسية: رؤوس مواسير التغليف (Casing Head), ورؤوس مواسير الإنتاج (Tubing Head), وشجرة الميلاد (X-Mas Tree; Christmas Tree). والشكل (6) يوضح توضع ويمكن شرح وظيفة كل من هذه الأجزاء، كما يلي:

في أسفل رأس البئر تتوضع وصلة احتواء جميع رؤوس مواسير التغليف , و التي تدعي (Casing Head Housing) ثم باتجاه الأعلى وصلة احتواء رؤوس مواسير التغليف للمرحلة السطحية فالوسطية فالإنتاجية, و تدعى كل منها (Casing Head Spool), تحتوي كل منها

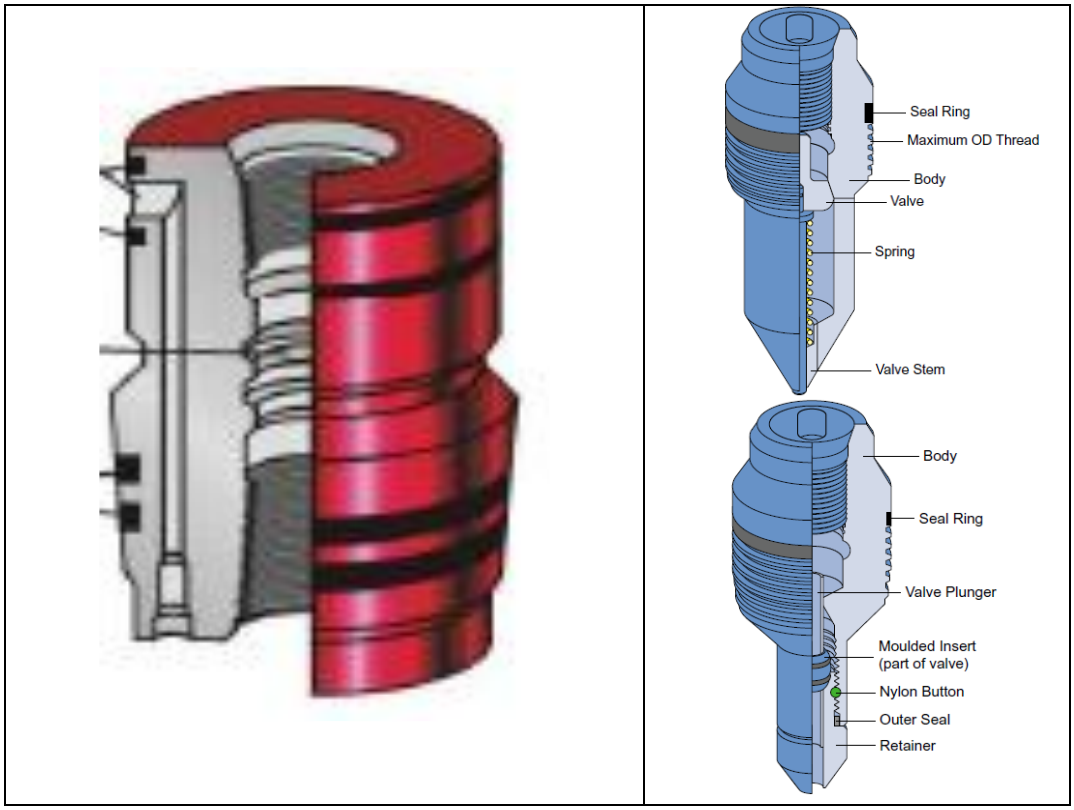
على جهاز تعليق لمواسير التغليف الخاصة بهذه المرحلة (Casing Hunger), كذلك فتحتوي كل وصلة على صمامين (غالباً) أو أربعة للحاجة أحياناً لتفريغ الضغط المحتبس بين مرحلتي تغليف , و الأهم السماح بمراقبة حالات ارتفاع الضغط بينهما و الذي يعزى بوجود حالات التهريب لضعف إحكام الإسمنت أو ضعف في شد مواسير التغليف أو تآكلها.

تأتي بعد ذلك الوصلة الخاصة برأس مواسير الإنتاج أو ما يدعى بـ (Tubing Head Spool), والتي تحوي على جهاز تعليق مواسير الإنتاج (Tubing Hunger) حيث تعلق بها مجموعة مواسير الإنتاج وبحيث يتم الإنتاج حصراً من خلال شجرة رأس البئر. تحتوي الوصلة الرأسية لمواسير الإنتاج (Tubing Head Spool) كذلك على صمامين (من كل جهة) مزودين بمقاييس ضغط لمراقبة الضغط ضمن الفراغ الحلقي, كما يمكن أن يستخدم الصمامان لإجراء قياس مستوى السائل في الفراغ الحلقي في آبار الرفع الصناعي (Artificial Lift Systems), أو لحقن الغاز في آبار الرفع بالغاز (Gas lift), وتشكل وصلة مواسير الإنتاج (Tubing Head Spool) قاعدة شجرة الميلاد للبئر.



الشكل (6) الوصلات السطحية لمواسير التغليف على رؤوس الآبار

جهاز تعليق مواسير الإنتاج (Tubing Hunger): وتسمى أيضاً (Donut) و تستخدم لوضع مجموعة مواسير الإنتاج بالشكل الصحيح في البئر, كما يمكن أن تستخدم لعزل البئر مؤقتاً للتمكين من تركيب أو نزع شجرة البئر (Christmas Tree) حتى بوجود ضغط في البئر, وذلك من خلال احتوائها على مقعد خاص لتركيب صمام عدم رجوع أو صمام يغلق باتجاهي الضغط (TWCV: Two Way Check Valve), الشكل (7).



الشكل (7) جهاز تعليق مواسير الإنتاج مع صمامي عدم رجوع و صمام وحيد اتجاه.

يوضع جهاز تعليق المواسير الإنتاجية (Tubing Hunger) ضمن الوصلة السطحية لمواسير الإنتاج (Tubing Head Spool) بعد إجراء معايرة مواسير الإنتاج (Tubing Space out).

1-1-4 شجرة رأس البئر أو شجرة الميلاد (X-mass Tree):

تتكون شجرة الميلاد بالشكل النموذجي لآبار الإنتاج الذاتي و وفقاً لأحدث التوصيات من خمسة صمامات رئيسية, وهي:

1- صمام رئيسي سفلي (Master Valve / Lower Master Valve).
2- صمام رئيسي علوي (Surface safety Valve/Upper Master Valve).
3- صمام الإنتاج (Wing Valve).
4- صمام قتل البئر(Kill Valve).
5- صمام علوي (Swap Valve).

وتكون جميع هذه الصمامات عادة من نوع (الصمامات البوابية : Gate Valve) و يكون فتح وإغلاق جميع هذه الصمامات يدوياً عدا الصمام الرئيسي العلوي (Upper Master Valve)، و الذي يفضل أن يكون عمله ذاتياً عن طريق دارة هيدروليكية (Hydraulic) أو هوائية (Pneumatic), وعندها تكون هذه الدارة مسؤولة عن تأمين البئر وإغلاقه وذلك من خلال إغلاق الصمام الرئيسي العلوي وصمام الأمان الجوفي (SCSSSV), و الذي سيذكر لاحقاً, و يظهر الشكل (8) نموذجاً لإحدى دارات التحكم الذاتية للآبار.

1- الصمام الرئيسي السفلي (Master Valve / Lower Master Gate Valve):

و هو من الصمامات ذات النوعية الممتازة , و لا بد للصمام الرئيسي السفلي من أن يكون قادراً على تحمل الضغوط البئرية بشكل آمن لمختلف الأهداف, و هذا الصمام يبقى بوضع الفتح الكامل (Fully Open) و لا يستخدم أبداً للتحكم بمعدل الإنتاجية البئرية, يستعمل هذا الصمام بشكل رئيسي كآخر عامل أمان للبئر (لإغلاق البئر عند فشل التحكم به أو إغلاقه بالطرق الأخرى), ولا يجوز إغلاقه أبداً أثناء الأعمال الاعتيادية للبئر, و يزود هذا الصمام بأداة خاصة قادرة على قطع الأسلاك ثم إغلاق البئر أثناء حدوث مشاكل خلال الأعمال السلكية على الآبار (Wire-line Operations).

2- صمام رئيسي علوي (Upper Master Valve): يستعمل هذا الصمام لإغلاق البئر تماماً و إيقاف الإنتاج, و غالباً ما يعمل هذا الصمام هيدروليكياً أو باستخدام الهواء المضغوط و خصوصاً في الآبار ذات الضغوط العالية, و يتم إغلاقه بشكل ذاتي (عند حدوث حالات ارتفاع ضغط خط الإنتاج أو انخفاضه عن قيمة معينة مفترضة أو زيادة درجة الحرارة حول رأس البئر), و يكون عمل هذا الصمام مرتبطاً مع عمل صمام الأمان الجوفي من خلال الدارة السطحية (الهيدروليكية أو الهوائية), كذلك فإن هذا الصمام يبقى بوضع الفتح الكامل (Fully Open) و لا يستخدم أبداً للتحكم بمعدل الإنتاجية البئرية.

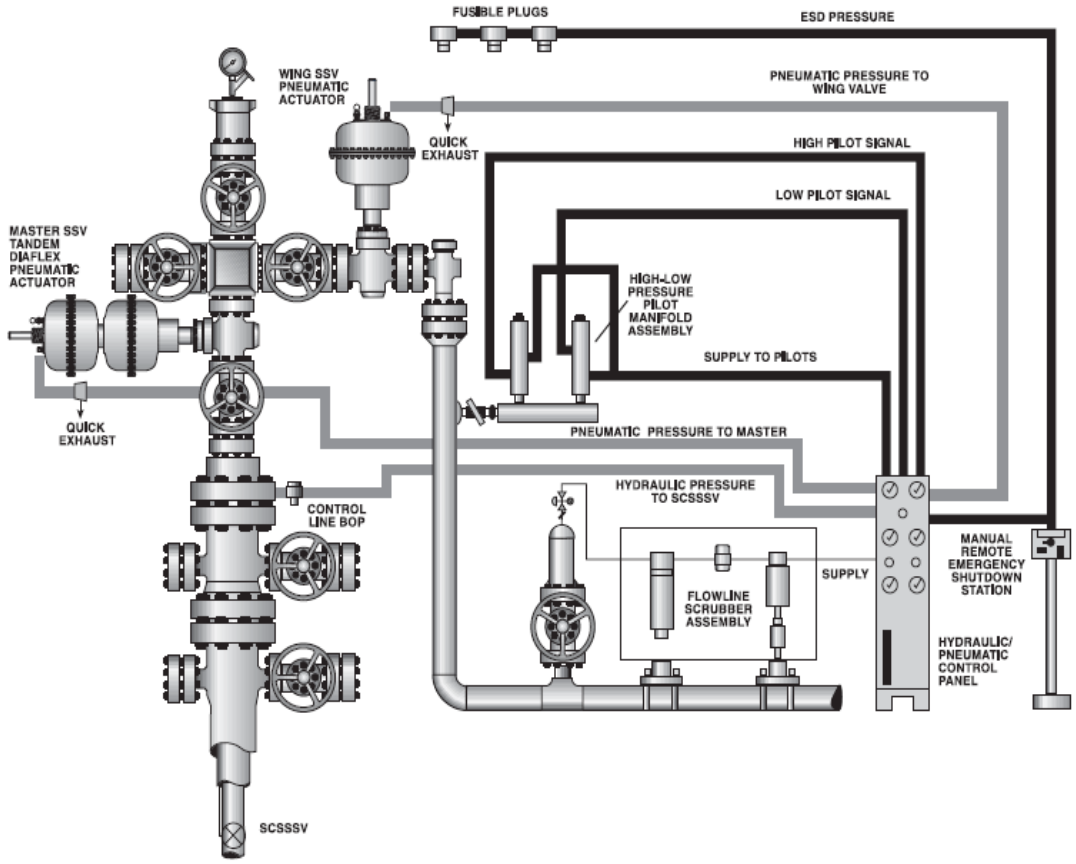
3- صمام الإنتاج (Wing Valve): يكون هذا الصمام مرتبطاً بخط الإنتاج, ويستخدم لعزل البئر عن خط الإنتاج أو وضع البئر في الإنتاج، كذلك فمن استخدامات هذا الصمام هو إغلاق البئر بهدف قراءة الضغط الستاتيكي لرأس البئر باستخدام مقياس الضغط الموجود عند رأس الشجرة.

4- صمام قتل البئر(Kill Valve): يستخدم لوصل البئر المنتجة بتوصيلات معدات قتل الآبار عندما يراد قتل البئر لغرض ما، ويوضع في الجهة المقابلة لصمام الإنتاج (WingValve).

5- صمام العمليات أو الصمام العلوي (Swap Valve): يستخدم هذا الصمام للحصول على مدخل آمن يسمح بإدخال المعدات السلكية (Wire Line Tools) إلى البئر وإنجاز العمليات السلكية و كذلك لإنزال المعدات الأخرى الخاصة بأعمال صيانة و إصلاح الآبار مثل المواسير المرنة (Coiled Tubing), كما يستخدم للسماح بأخذ العينات الجوفية (Samples) و إنجاز بعض القياسات البئرية الجوفية , كقياس ضغط البئر الجوفي (الديناميكي) أثناء عمل الآبار (FBHP: Flow Bottom Hole Pressure), أو الضغط السكوني (SBHP: Static Bottom Hole Pressure), وغير ذلك.

ملاحظات:

- لا بد من التناسب بين قياس هذه الصمامات مع قياس التشكيلة الإنتاجية, ومن ذلك أن تكون الصمامات – عدا عن صمام قتل البئر – بقياس (3 1/8 in), عند استخدام مواسير إنتاج (3.5 in).
- غالباً ما يكون قياس صمام القتل متوافقاً مع وصلات معدات قتل الآبار, وعادة (2 1/16 in), و قد لا يكون مركباً على شجرة الميلاد, وعندما يراد قتل البئر يتم إغلاق البئر أولاً من قاعدة شجرة الميلاد (جهاز تعليق مواسير الإنتاج), ثم يركب صمام القتل على موضع التصالب في الشجرة في مكانه المخصص.
- تكون شجرات الميلاد للآبار النفطية المنتجة أقل قياساً من الآبار المنتجة للمياه لتقليل الضغط اللازم لعمليات الحقن.



الشكل (8) دارة ذاتية لبئر ذاتية ذات ضغط عال.

مقاييس الضغط والحرارة (The Pressure & Temperature Gauge): يمثل هذان المقياسان الحد الأدنى من الأجهزة التي لا بد من توافرها عند رأس البئر ويركبان عدد منها على رأس الشجرة وعلى خط الإنتاج بعد صمام الإنتاج.

وتوجد في أعلى الشجرة **أداة توصيل خاصة (Adapter)** أعلى قلنسوة أو رأس الشجرة (Tree Cap), والتي تستطيع التكيف للاتصال بالأنواع المختلفة الكثيرة من التجهيزات (كالتجهيزات اللازمة للأعمال السلكية ولاستخدام وحدات المواسير المرنة), وتتصف أداة التوصيل هذه بسرعة التوصيل مع هذه التجهيزات المختلفة.

الفالة السطحية (The Variable Flow Choke Valve):

الفالة السطحية (The Variable Flow Choke Valve– الخانق): و هي عبارة عن صمام أبري (Needle Valve) تستخدم للتحكم بمعدل الجريان من خلال معايرة فتحة الجريان بأجزاء أو تدريجات (1/64 inch) تدعى بـ (Bean), و تصنع الفالة السطحية من فولاذ ذو نوعية ممتازة لتحمل جريان التيار المتدفق ذي السرعة العالية بما فيه من منتجات أكالة تعبر عبر القطر الصغير للفالة.

وفي عمليات النفط والغاز، يُشير الخانق أو الفالة السطحية – (Choke) إلى جهاز للتحكم في التدفق يُستخدم لتنظيم معدل الإنتاج من البئر

وهو مُكوّن أساسي في نظام الإنتاج، إذ يُساعد على إدارة تدفق سوائل المكمن، مثل النفط والغاز الطبيعي والماء، لتحسين الإنتاج وضمان التشغيل الآمن .

يُركّب الخانق عادةً عند رأس البئر، حيث يتحكم في تدفق السوائل عند خروجها من البئر.

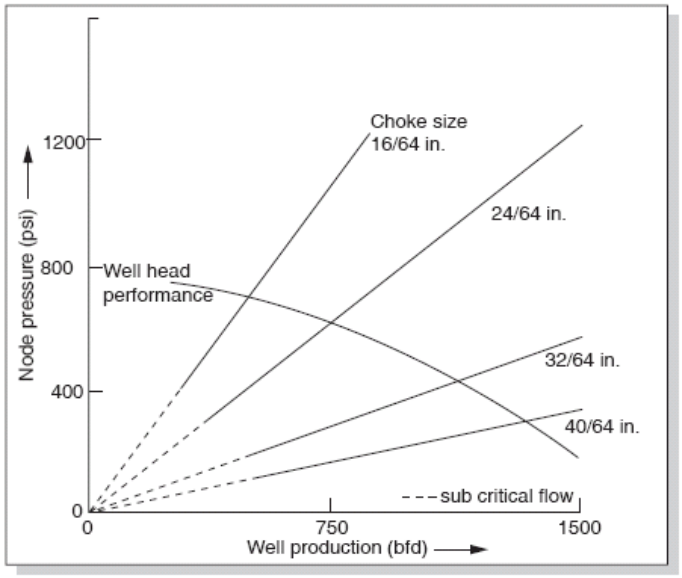
وهو مُصمّم لإنشاء انخفاض في الضغط عبر الخانق، مما يُقيّد التدفق ويُتحكّم في معدل الإنتاج من خلال ضبط الفالة بهدف تشكيل الضغط المعاكس المتوافق مع الإنتاجية المطلوب تحقيقها.

وبالتالي يتمكن المُشغّلون من إدارة ضغط ومعدل تدفق السوائل المُنتجة، مما يضمن تشغيل البئر بكفاءة وضمن حدود التشغيل الآمنة .

تأثير فتحة الفالة السطحية على إنتاجية البئر:

يؤثر قطر الفالة لسطحية (Choke) على الإنتاجية المثالية (عند وجود تشكيلة إنتاجية بئرية معينة) , وتعتبر الفالة السطحية الأداة التي تنظم عمل الآبار للحصول على الإنتاجية المثالية, وقد يؤدي عدم وجود الفالات السطحية أو تشغيل الآبار الخاطئ من خلال تطبيق ضغط غير مناسب عند رأس البئر (من خلال الفالات السطحية) إلى قتل الآبار, أو إلى نقصان حاد و كبير في إنتاجية الآبار وخلال وقت قصير.

يظهر الشكل (9) تأثير قياس فتحة الفالة السطحية على تغير الإنتاجية المثالية لبئر نفطية.



الشكل (9) تأثير قياس فتحة الفالة السطحية على تغير الإنتاجية المثالية لبئر نفطية

وعند يتم رسم علاقة الجريان الخارجي بالعلاقة مع الضغط الخارج عن البئر (عند بداية خط الإنتاج Flowline) بالعلاقة مع مقدار فتحة الفالة من العلاقة:

$$P_u = \frac{b * Q_L * R^c}{D^a_{64}}$$

Pu : الضغط عند بداية خط الإنتاج (Upstream Pressure - Psig).

Q_L : الإنتاجية (Stb/d).

D_{64} : قطر (فتحة) الفالة السطحية (جزء من 64 من الإنش).

R : نسبة الغاز إلى السائل (GLR- Scf/STB). أما الثوابت (a,b & c) فهي تمثل بالجدول التالي:

الجدول (1) الثوابت في معادلات حساب الضغط الناتج عن الفالة السطحية

Correlation	a	b	c
Ros	2.00	17.40	0.500
Gilbert	1.89	10.00	0.546
Achong	1.88	3.82	0.650
Ausseens	1.97	3.86	0.680
Baxendell	1.93	9.56	0.546

وهناك نوعان رئيسيان من الخانقات شائعا الاستخدام في عمليات النفط والغاز

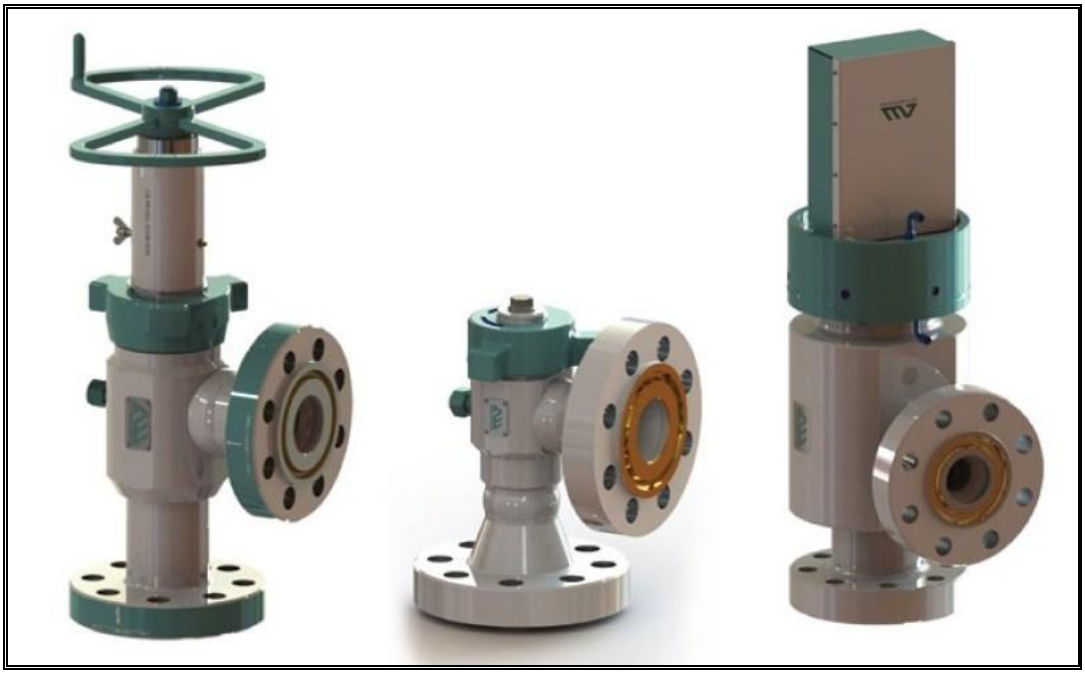
- **الخانق الثابت (الفالة الثابتة):** يتميز الخانق الثابت بحجم فتحة أو فتحة مُحدّدة مُسبقًا، مما يعني أن سعة تدفقه ثابتة ولا يُمكن تعديلها آنيًا .وهو مُناسب للآبار ذات معدلات الإنتاج المُستقرة نسبيًا وخصائص السوائل المنتجة.
- **الخانق القابل للتعديل(الفالة المتغيرة):** يسمح الخانق القابل للتعديل، كما يوحي اسمه، للمشغلين بتغيير حجم فتحة الفوهة، مما يُغيّر معدل التدفق والضغط كما يوفر مرونة أكبر، ويُستخدم في الآبار التي تتقلب فيها معدلات الإنتاج أو التي تحتاج إلى تحسين منتظم، و يُعد حجم الخانق أمرًا بالغ الأهمية لإدارة إنتاجية البئر، فإذا كان حجم الخانق صغيرًا جدًا، فقد يؤدي ذلك إلى تشكل ضغط عكسي على البئر، مما يُقلل معدل التدفق، مما قد يُؤدي إلى ترك موارد قيّمة دون استغلال و من ناحية أخرى، إذا كان حجم الخانق كبيرًا جدًا، فقد يُسبب ظروفًا غير مرغوب فيها، مثل "الاندفاع" أو تدفق غير مُتحكم فيه لسوائل المكمن، مما قد يكون خطيرًا ويؤدي إلى مخاطر على السلامة،

وغالبًا ما يتم التحكم في الخانق– الفالة يدويًا من قِبل مشغلي الحقل، ولكن بعض أنظمة الإنتاج الحديثة تستخدم أيضًا أنظمة تحكم آلية في الخانق.

يمكن مراقبة هذه الأنظمة وتعديلها عن بُعد لتحسين الإنتاج استنادًا إلى بيانات آنية، مما يُعزز الكفاءة والسلامة.

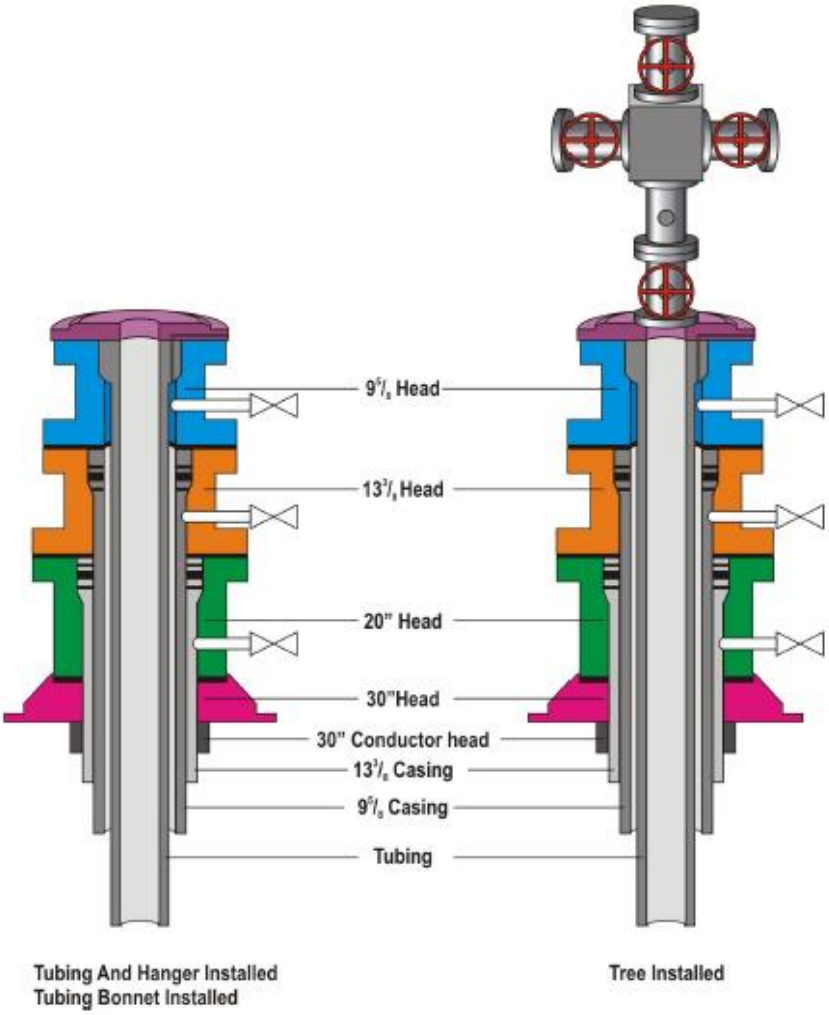
وبالإضافة إلى تنظيم معدل التدفق، تُستخدم الخانقات أيضًا لأغراض أخرى في عمليات النفط والغاز .يمكن استخدامها لما يلي :

- منع إنتاج و تراكم الرمال من الآبار وبالتالي حماية المعدات اللاحقة من أي ضرر محتمل.
- وكذلك للتحكم في معدل الجريان لتفادي تشكل مخاريط المياه (water or gas coning).
- إدارة نسبة الغاز إلى النفط في البئر، مما يساعد على استقرار التدفق والحفاظ على الخليط المناسب من الهيدروكربونات لضمان كفاءة الفصل والمعالجة.
- تضمن تشغيل الآبار بأمان وكفاءة، وبما يتوافق مع الظروف البيئية. ومن خلال التحكم الفعال في معدل التدفق والضغط، تساعد الخانقات على تحسين الإنتاج، وإطالة عمر البئر، و زيادة استخلاص الموائع الطبقية.



الشكل (10) أنواع الفالات السطحية (فالة بتحكم آلي– فالة(خانق) إيجابية ثابتة – فالة متغيرة المقطع)

وبذلك يكون الشكل النموذجي لرأس البئر و تجهيزاته بالعلاقة مع المكونات الرئيسية له و مقاييس مواسير التغليف لبئر نفطية منتجة كما يظهر في الشكل (11).



الشكل (11) الشكل النموذجي لرأس البئر و شجرة الميلاد (Typical Well Head & Christmas Tree)

اشجرات الميلاد الأفقية (Horizontal Tree): يمكن كذلك أن توجد شجرة الميلاد بشكل أفقي (Horizontal) حيث يوضع عندها الصمام الرئيسي والجانبي والفالة السطحية على محور أفقي, وهذا ما يؤدي للتقليل من ارتفاع الشجرة و يجعل عملية الاختراق في البئر أسهل و تستخدم الشجرات الأفقية بشكل خاص في الآبار البحرية.

1-1-5 التشكيلة الإنتاجية للآبار (Well Completion):

تركز تطبيقات الدراسات التقنية لهندسة الإنتاج على عمليات تركيب المعدات الجوفية و مواسير الإنتاج اللذين يكونان التشكيلة الإنتاجية, حيث تعتبر التشكيلة الإنتاجية من العناصر المهمة في نظام الإنتاج و التي يجب أن يتم تصميمها و تركيبها و صيانتها على أفضل وجه,

ويمكن أن نقسم العوامل الرئيسية المؤثرة بشكل خاص على تصميم واختيار التشكيلة الإنتاجية كما يلي:

- الموائع التي ستملأ الآبار خلال المراحل المختلفة لوجود التشكيلة الإنتاجية ومدى توافقها مع التشكيلة الإنتاجية.

- نموذج إنهاء الآبار: الجذع المفتوح (Open Hole) أو بمواسير تغليف مثقبة (Cased & Cemented) أو مواسير تغليف ضائعة (Liner).

- عدد الطبقات المنتجة ومحتوى كل منها من الموائع (نفط- غاز - مكثفات غازية).

- نوعية النفط المتاح (حلو - حامضي).

- أعماق الطبقات المنتجة.

- لا بد للتشكيلة الإنتاجية - عند تصميمها - أن تؤمن وصول الموائع الطبقية إلى السطح بأقل فقدان بالضغط, كما يجب أن تؤمن القدرة على التحكم بالبئر و المكمن, كما يجب أن تتوفر المرونة تجاه تغير خواص المائع، كما يجب أن توفر إمكانية لإجراء بعض أعمال الصيانة والإصلاح الضروريين للحفاظ على الاستمرار في الإنتاج (كتغيير وتركيب الصمامات الجوفية و السدادات، و غير ذلك..).

يتم تصميم التشكيلة الجوفية لمواسير الإنتاج (Tubing String) وما يركب عليها من أجهزة جوفية بما يتلاءم وطريقة الإنتاج الحالية وأحياناً المتوقعة مستقبلاً، مع الأخذ بالاعتبار توافق قياسات التشكيلة الإنتاجية مع متطلبات الإنتاج من الطبقة.

وتتكون التشكيلة الإنتاجية النموذجية (Well Completion) لبئر منتجة ذاتياً من الأقسام الرئيسية التالية (وبالترتيب من الأسفل إلى الأعلى), كما يلي:

- حذاء مواسير الإنتاج (دليل المواسير الإنتاجية) (Entry Guide): وتكون هذه القطعة مصممة بميل (°45) و وظيفتها تسهيل عملية مرور تشكيلة المواسير الإنتاجية في البئر, كما هو موضح في الشكل (12) (a).

- مقعد للمعدات الجوفية: يوجد في التشكيلة النموذجية للمواسير الإنتاجية (Typical well Completions) عدة أماكن لتوضع مقاعد المعدات الجوفية:

- أسفل الماسورة المثقبة: والغاية من هذا المقعد تثبيت المعدات الجوفية اللازمة لأخذ العينات البئرية الجوفية و أجهزة قياس ضغط قاع البئر (Memory Gauge), و منعها من الاهتزاز.
- أعلى الماسورة المثقبة: ويستخدم هذا المقعد كأول خط أمان للبئر وذلك عندما يراد منع خروج المنتجات البئرية، كما يستخدم لعمليات اختبار المواسير الإنتاجية ولفتح الباكر هيدروليكياً.
- في أعلى وصلة الدوران (SSD: Slide Sleeve Door).
- في أعلى صمام الأمان الجوفي (SCSSSV).
- في جهاز تعليق المواسير الإنتاجية (Tubing Hunger).

مع ملاحظة أنه يجب أن يكون حجم المقاعد المستخدمة في هذه المواسير الإنتاجية يزداد من الأسفل إلى الأعلى. ويوضح الشكل (12) (b) مقطع داخلي لهذه المقاعد مع بعض أنواع السدادات التي يمكن أن تركب عليها.

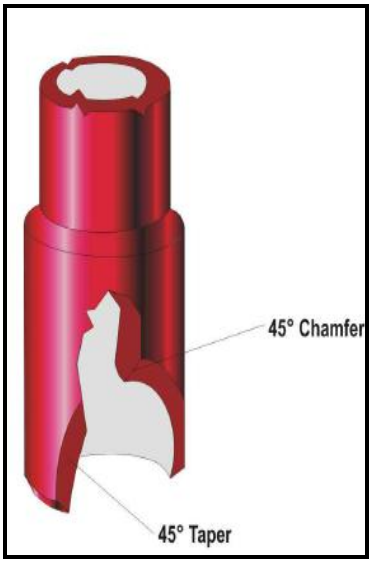
- الماسورة المثقبة (Perforated Joint): و تؤمن عملية دخول السوائل البئرية إلى داخل التشكيلة الإنتاجية و كذلك منع اهتزاز أجهزة القياس الجوفية أثناء عملها, الشكل (12) (c).
- الباكر (Production Packer): إن الغاية الأساسية من وجود الباكر الإنتاجي هو منع الحركة الشاقولية للسوائل في الفراغ الحلقي بين مواسير الإنتاج (Tubing) ومواسير التغليف الإنتاجية (Casing), و هناك عدة أنواع من هذه الباكر تختلف باختلاف شروط عملها, و يلحق بالباكر الإنتاجي الدائم وصلة لطحن الباكر (Mill-Out Extension) لاستخراجه لاحقاً إن لزم الأمر, كما في الشكل (d).
- وصلة التمدد و التقلص (Locator Seal Assembly): و لها العديد من النماذج كذلك و الغاية منها امتصاص التمدد و التقلص في مواسير الإنتاج و الناتج عن الاختلاف في درجة حرارة مواسير الإنتاج و خصوصاً أثناء عمليات الرفع و الإنزال و بدء الإنتاج, الشكل (e).

- حاضن صمامات الرفع بالغاز (SPM: side Pocket Mandrel) : و يزود بها البئر عند توقع استخدام طريقة الرفع بالغاز مستقبلاً , و يتم تقدير عدد و أماكن توضع هذه الصمامات حسب متطلبات الإنتاج, و يخصص العلوي منها فقط لتنظيف البئر, بينما يعمل الصمام السفلي على حقن الغاز في مواسير الإنتاج و يبقى مفتوحاً, و تقوم الصمامات الأخرى بتفريغ السائل من الفراغ الحلقي و مواسير الإنتاج و تغلق بعد تشغيل الصمام السفلي, الشكل (f).

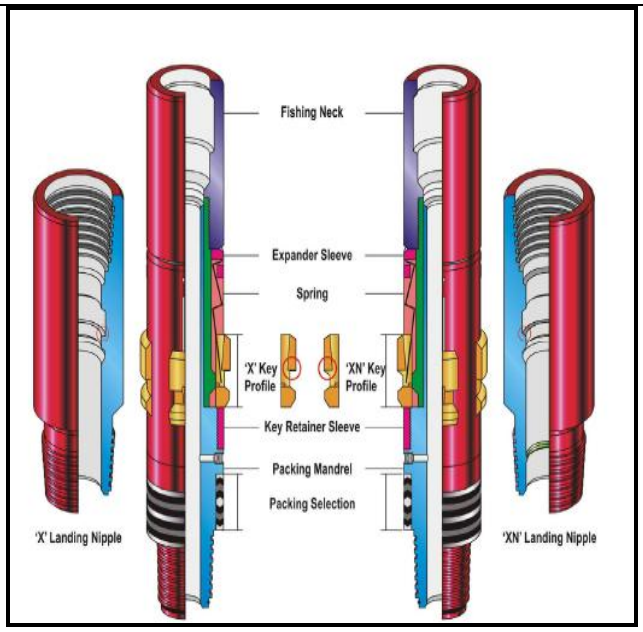
- وصلة التدوير (SSD: Slide Sleeve Door): و يستخدم أساساً لإجراء اتصال بين الفراغ الحلقي و داخل مواسير الإنتاج, وبذلك يمكن من تبديل السائل في البئر قبل مرحلة الإنتاج وكذلك يمكن أن يستخدم لقتل الآبار, كما يتم استخدامه للإنتاج من الآبار عند وجود أكثر من طبقة منتجة, أو لتركيب المضخات الهيدروليكية النفثية (jet Pumps) الشكل (g).

- صمام الأمان الجوفي (SCSSSV: Surface Controlled Sub-Surface safety Valve): و يستخدم كعامل أمان ذاتي العمل, و ذلك من خلال وصله بدارة هيدروليكية تبقيه مفتوحاً تحت ضغط معين (1500 Psi), و عند حدوث حالات ارتفاع ضغط خط الإنتاج أو انخفاضه عن قيمة عن قيمة معينة مفترضة أو زيادة درجة الحرارة حول رأس البئر تقوم الدارة الهيدروليكية بتفريغ الزيت الهيدروليكي مما يؤدي إلى إغلاق البئر تماماً, الشكل (h), و الشكل (6) يبين اتصال عمل صمامي الأمان الجوفي و السطحي من خلال الدارة الهيدروليكية و الهوائية.

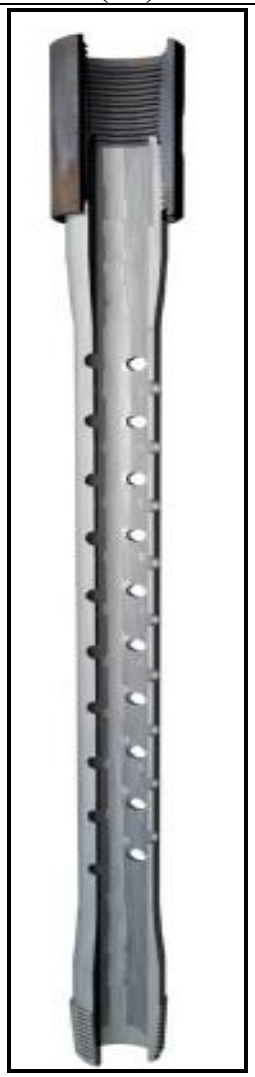
- جهاز تعليق المواسير الإنتاجية (Tubing Hunger): و هي عبارة عن كتلة معدنية ذات سماكة كبيرة و تتحمل وزن مواسير الإنتاج مع ما يركب عليها , و تحوي على مقعد لإغلاق البئر و اختبار عزل شجرة الميلاد, كما تؤمن عزل مواسير الإنتاج عن الفراغ الحلقي من الأعلى (عند قاعدة شجرة الميلاد), الشكل (I).


45° Chamfer
45° Taper

(A)


Fishing Neck
Expander Sleeve
Spring
'X' Key Profile
'XN' Key Profile
Key Retainer Sleeve
Packing Mandrel
Packing Selection
'X' Landing Nipple
'XN' Landing Nipple

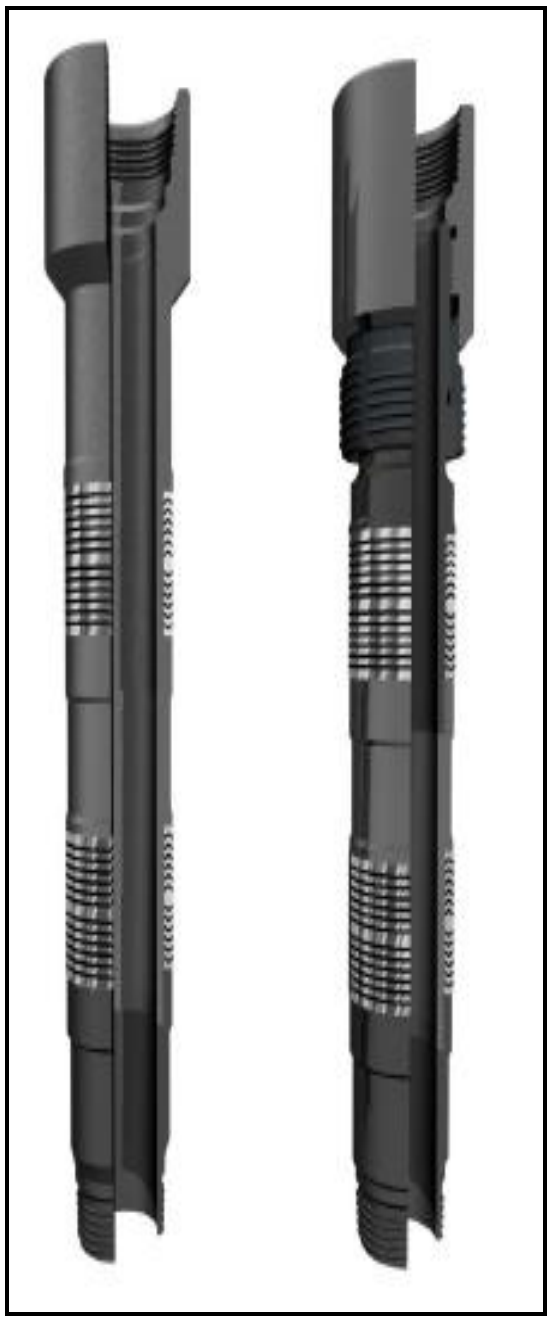
(B)



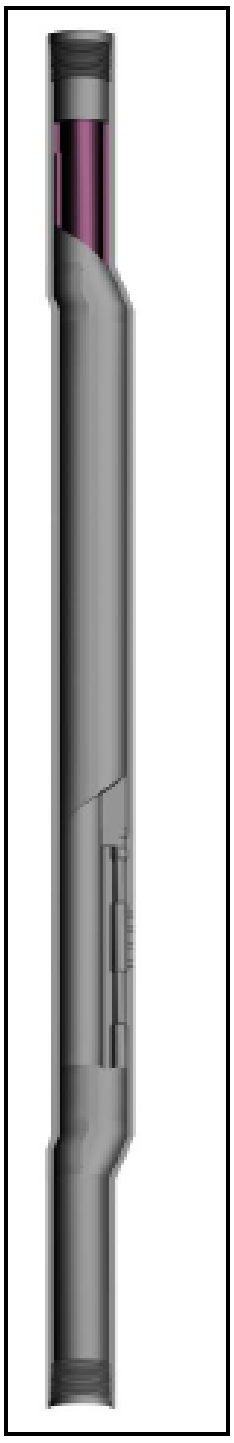
(C)



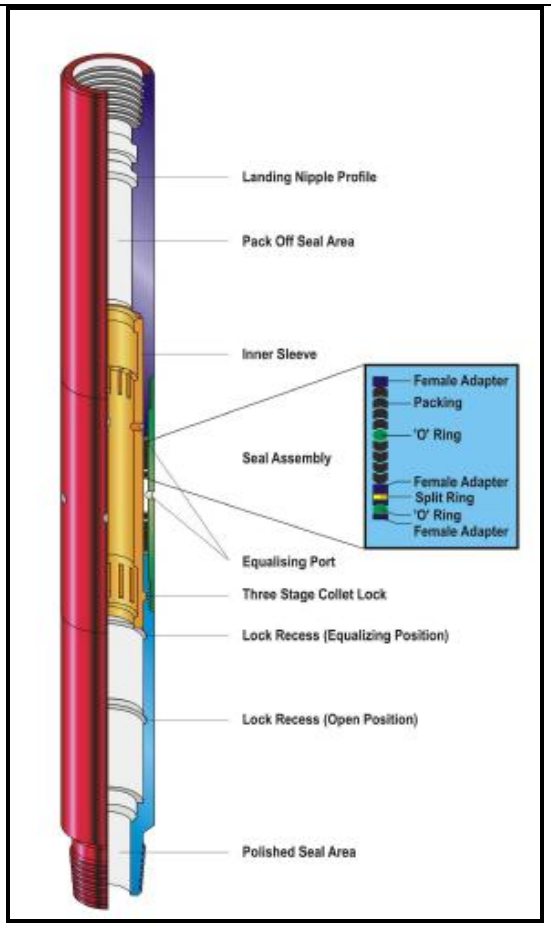
(D)



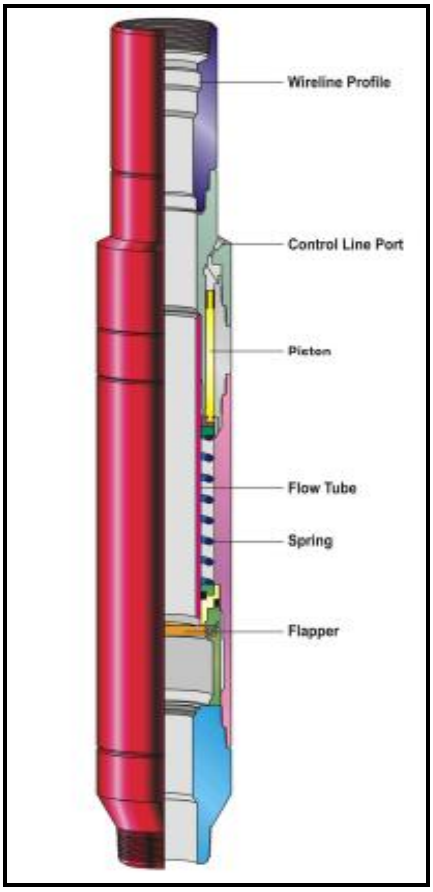
(E)



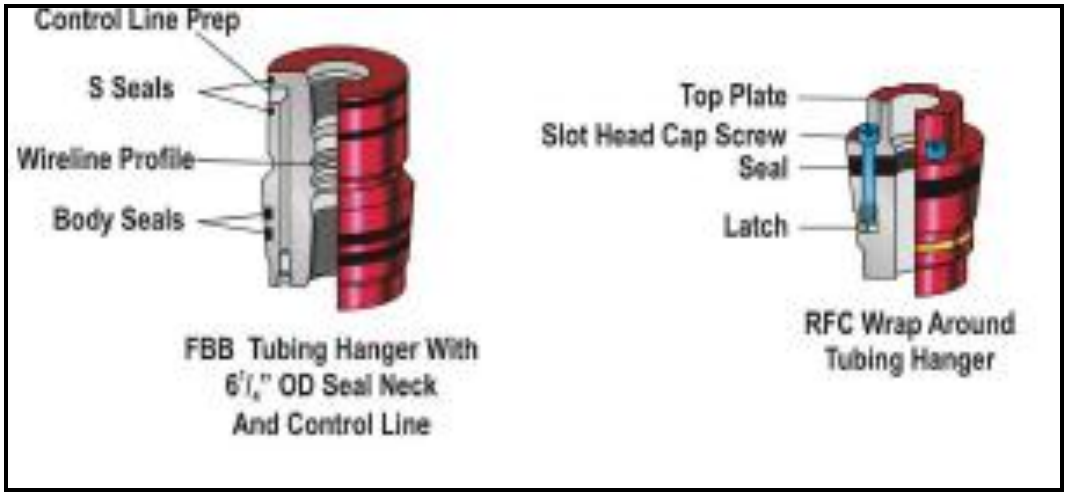
(F)



(G)

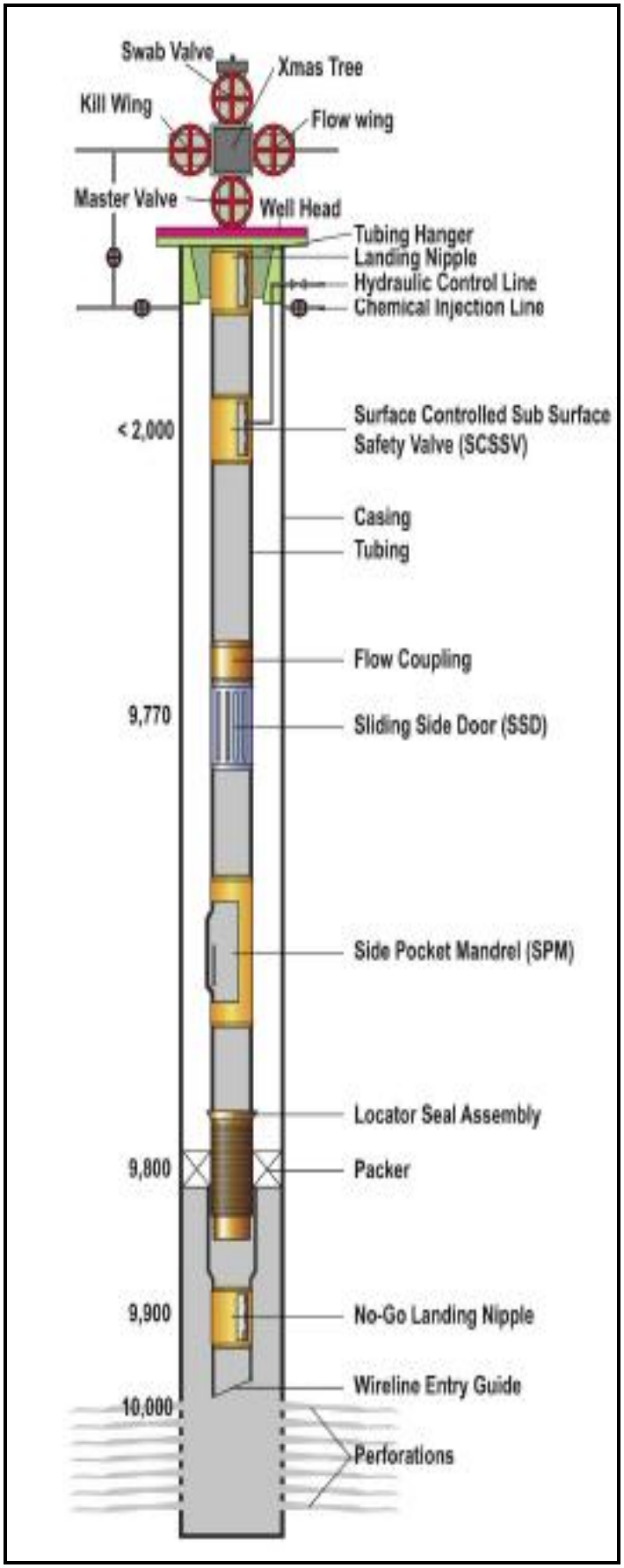


(H)

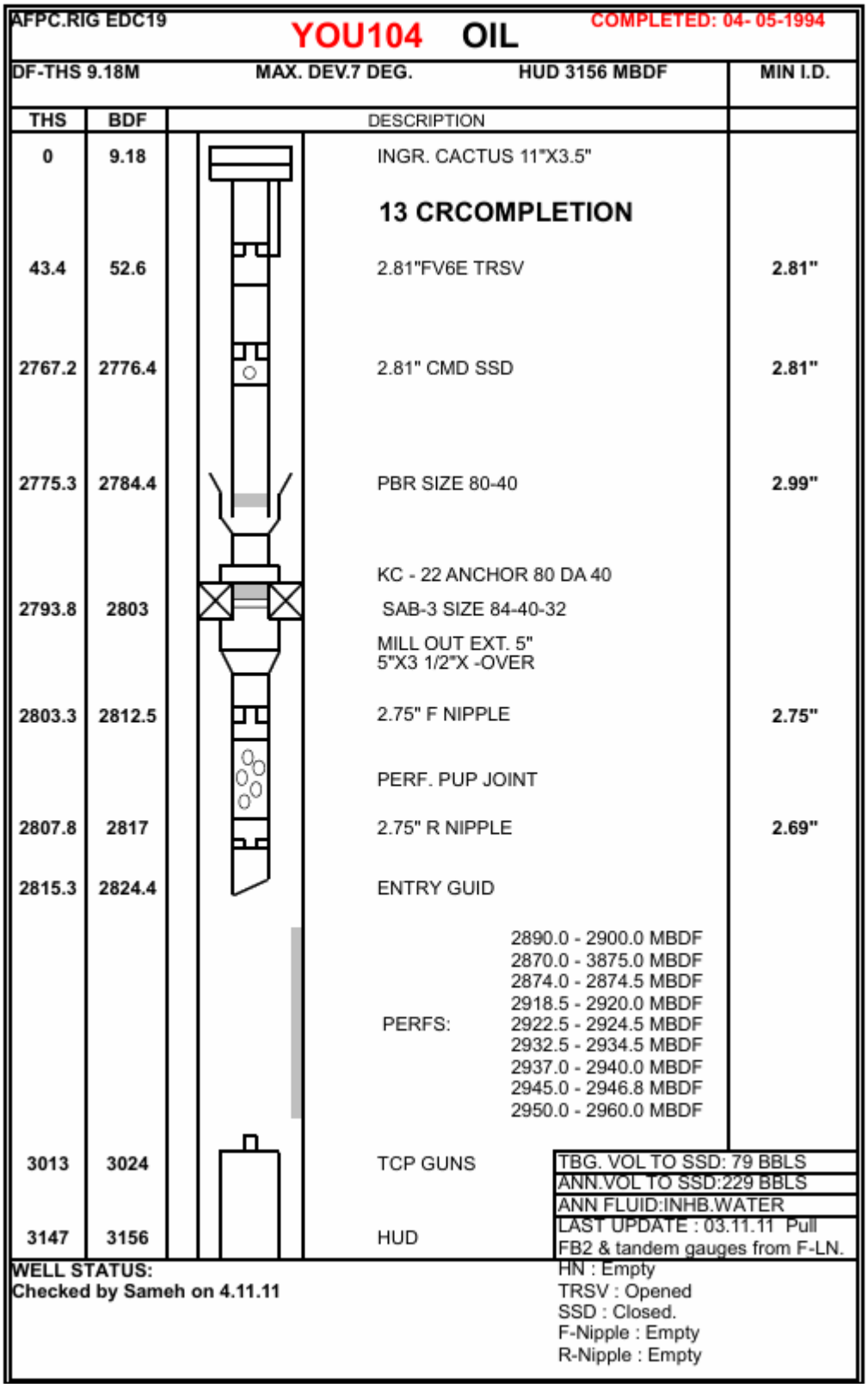


(I)

الأشكال (8) تبين مكونات عناصر التشكيلة الإنتاجية البئرية



الشكل (13) نموذج لتشكيلة بئر نفطية منتجة ذاتياً (Natural Flow Completion)



الشكل (14) نموذج مثالي للتجهيزات الجوفية لأحد آبار شركة الفرات للنفط (يونس-104).

الفصل الثاني – أسس إنهاء آبار النفط والغاز

تختلف الهيئات النفطية و الشركات العالمية حول المعنى الذي يتضمنه مصطلح إنهاء الآبار، فبالنسبة لشركة Schlumberger و معظم الشركات العالمية مثل British Petroleum و Shell و Halliburton يمثل اصطلاح إنهاء البئر بأنه عملية إعداد البئر للإنتاج و تنفيذ جميع أنواع الأعمال اللازمة من أجل الإنتاج الآمن والفعال للهيدروكربونات عن طريق تركيب المعدات الجوفية والسطحية وضمان الوصول الصحيح للهيدروكربونات من المكمن إلى السطح.

بينما ترى الهيئات الأكاديمية و بعض الهيئات ألأخرى مثل، SPE; Society of Petroleum Engineers , API: American Petroleum Institute بأن إنهاء الآبار يشمل جميع الأعمال المنفذة على البئر منذ لحظة بدء حفر الطبقة المنتجة للنفط وحتى وضع البئر للإنتاج.

في حين تعتمد شركات أخرى مصطلح عمليات إنهاء الآبار بأنه يمثل أعمال تجهيز البئر بالتشكيلة الإنتاجية (مواسير الإنتاج وما يركب معها من معدات جوفية) حتى وضع البئر بالإنتاج.

ونعتمد في دراستنا هذه أن **إنهاء الآبار** يتضمن جميع الأعمال المنفذة على البئر النفطية بعد إنهاء عملية حفر الطبقة المنتجة والانتهاء من إنزال مواسير التغليف وعمليات السمنتة.

وبذلك يتكون إنهاء الآبار من سلسلة من العمليات التالية:

1- اختيار التجهيزات الجوفية للآبار (تصميم التشكيلة الجوفية للآبار).

2- إنجاز القياسات البئرية للقاع المغلف.

3- إنزال مصافي الرمال- عند وجود احتمال لتراكم الرمال في البئر المنتجة.

4- تثقيب الآبار.

5- اختيار المعدات الجوفية ومن ثم إنزالها في البئر.

6- تركيب شجرة رأس البئر.

7- احياء البئر واختباره.

8- بناءً على نتائج اختبار البئر يتم اعتماد الإنتاجية (المثلى) التي يجب تشغيل البئر لتحقيقها، ويتم وضع البئر في الإنتاج.



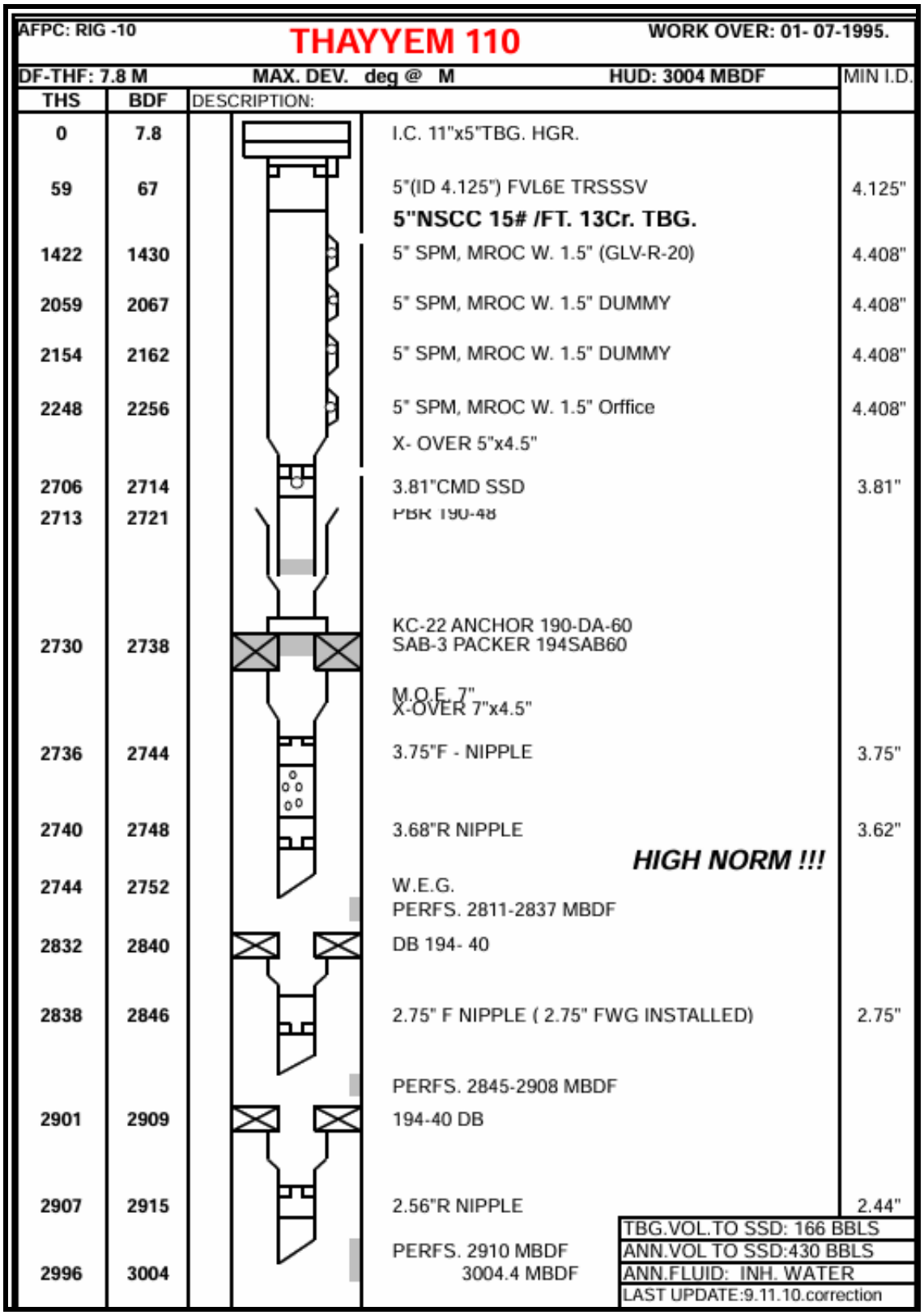
الشكل (15) تسلسل عمليات إنهاء الآبار

2-1 تصميم التجهيزات الجوفية الأساسية للآبار (اختيار التشكيلة الجوفية للآبار):

عند تصميم التجهيزات الأساسية الجوفية لآبار النفط و الغاز، يجب مراعاة عدة عوامل أساسية، والهدف الأساسي من التصميم هو تشكيل أداة أو نموذج ناقل للنفط و الغاز بالشكل المثالي (الأقل مقاومة للتدفق– للإنتاج) ، و من أهم العوامل التي تؤثر على هذا التصميم:

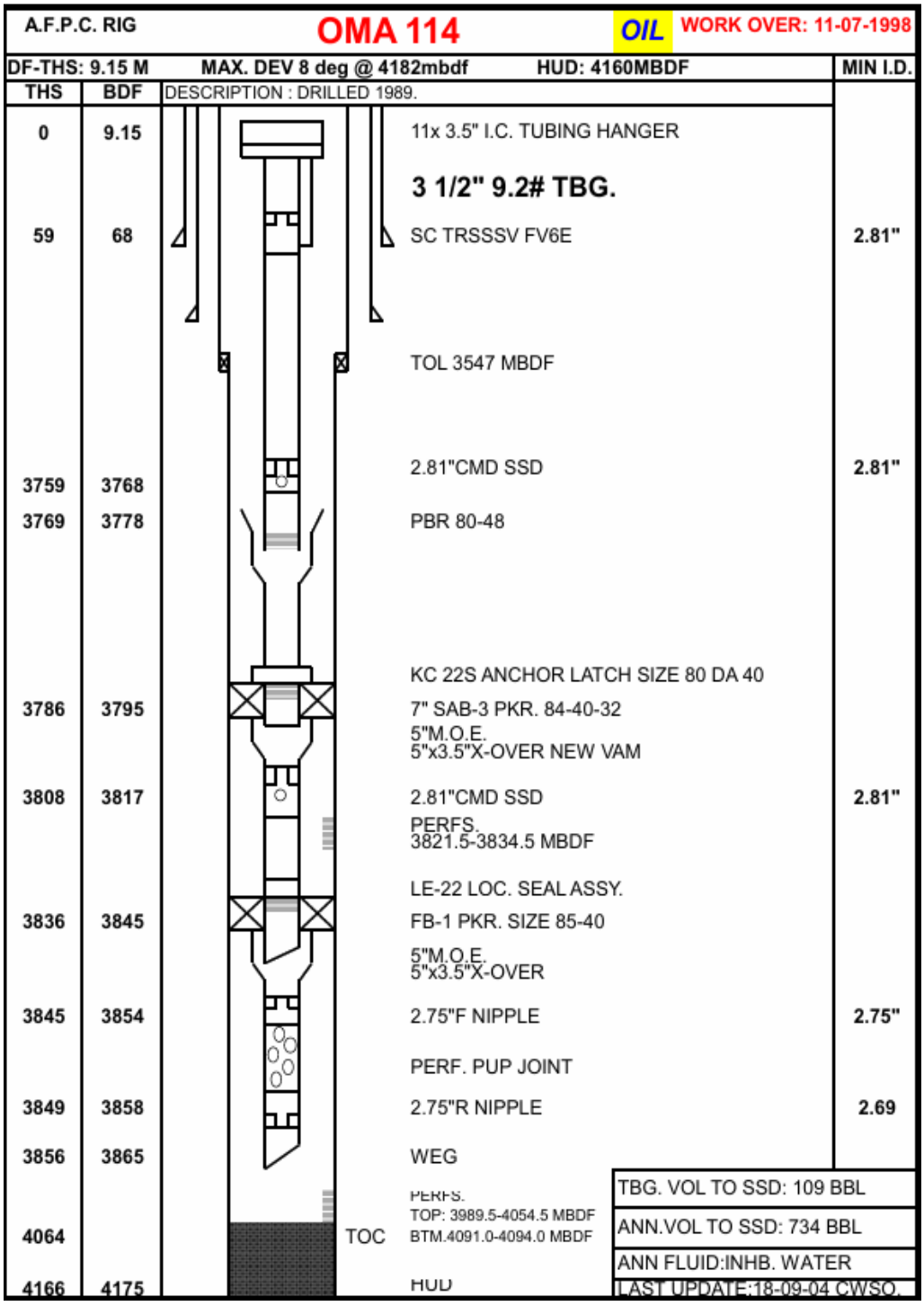
- عمق البئر: آبار عميقة – ضحلة
- سماكة الطبقة المنتجة : كبيرة السماكة – رقيقة.
- قدرة (استطاعة) الطبقة المنتجة: الإنتاجية العظمى للطبقة المنتجة.
- قياس مواسير التغليف
- عدد الطبقات المنتجة
- نوع الموائع المنتجة في كل تداخل (طبقة) منتجة : غاز – نفط – كوندنسات.
- التركيب الكيميائي و المحتوى الكيميائي (حامضي–حلو) للموائع المنتجة.

- **العمق العمودي للبئر TD:** هو مقياس أساسي يمثل **المسافة الرأسية الكلية المحفورة من السطح إلى قاع بئر النفط** .لا يكون هذا العمق بالضرورة هو نفس العمق الحقيقي للطبقة المستهدفة. وقد تنحرف بئر النفط عن المسار الرأسي بحت بسبب عوامل مثل التكوينات الجيولوجية أو تقنيات الحفر ، ويرتبط TD ارتباطًا وثيقًا بطول و قياس مواسير التغليف والإنتاج المستخدمة في البئر. يشير طول الأنبوب إلى الطول الكلي للغطاء أو الأنبوب أو أنبوب الحفر المستخدم للوصول إلى .TD هذا التمييز ضروري للحسابات الدقيقة فيما يتعلق بـ:
  - وزن تشكيلة الحفر و مواسير التغليف و الإنتاج و قياسها جميعها تتأثر و مباشرة بالعمق النهائي للبئر
  - يؤثر كذلك عمق البئر على عدد مراحل حفر البئر، و ومع زيادة العمق قد نضطر لإنجاز البئر بمرحلتين وسطيتين.
  - و يؤثر طول مواسير الإنتاج على تشكيل ضغط معاكس للإنتاج لضغط الطبقة المنتجة.
  - يحدد طول مواسير الإنتاج كمية المواد المطلوبة لبناء البئر، وهو ما يؤثر على التكاليف الإجمالية لإكمال الآبار.
- إن اختيار نوع البئر (أفقي أو عمودي) البئر يمكن أن يكون له تأثير كبير على إنتاج البترول. فالآبار الأفقية، على سبيل المثال، تسمح بزيادة الاتصال بالخزان، مما يزيد من معدلات الإنتاج إلى أقصى حد. كما أنها تساعد في الوصول إلى المزيد من احتياطيات الهيدروكربون (لذا تكون مفضلة في الطبقات السميكة الحاوية للنفط اللزج). من ناحية أخرى، قد تكون الآبار العمودية الأفضل عندما تكون الطبقة المنتجة رقيقة نسبيًا وممتدة رأسيًا. كما أن اختيار نوع البئر المناسب يتوقف على عدة عوامل أيضاً، بما في ذلك المواصفات التكتونية و وجود الفوالق، وأهداف الإنتاج، والاعتبارات الاقتصادية.
- وتؤثر الإنتاجية التي تتيحها الطبقة المنتجة و المستهدفة بالبئر و ضغط الطبقة المنتجة بشكل كبير على اختيار التشكيلة الإنتاجية للبئر و قياسها و بازديادهما ستكون التشكيلة الإنتاجية تتوافق مع اقطار أكبر لمواسير الإنتاج.
- في كثير من نماذج إنهاء الآبار تحدد قياس مواسير الإنتاج قطر و قياس مواسير الإنتاج و المعدات المستخدمة في تجهيز الآبار، فلا تستخدم طرق الرفع بالغاز مع آبار ذات مواسير تغليف أصغر من 7" (الشكل 16).



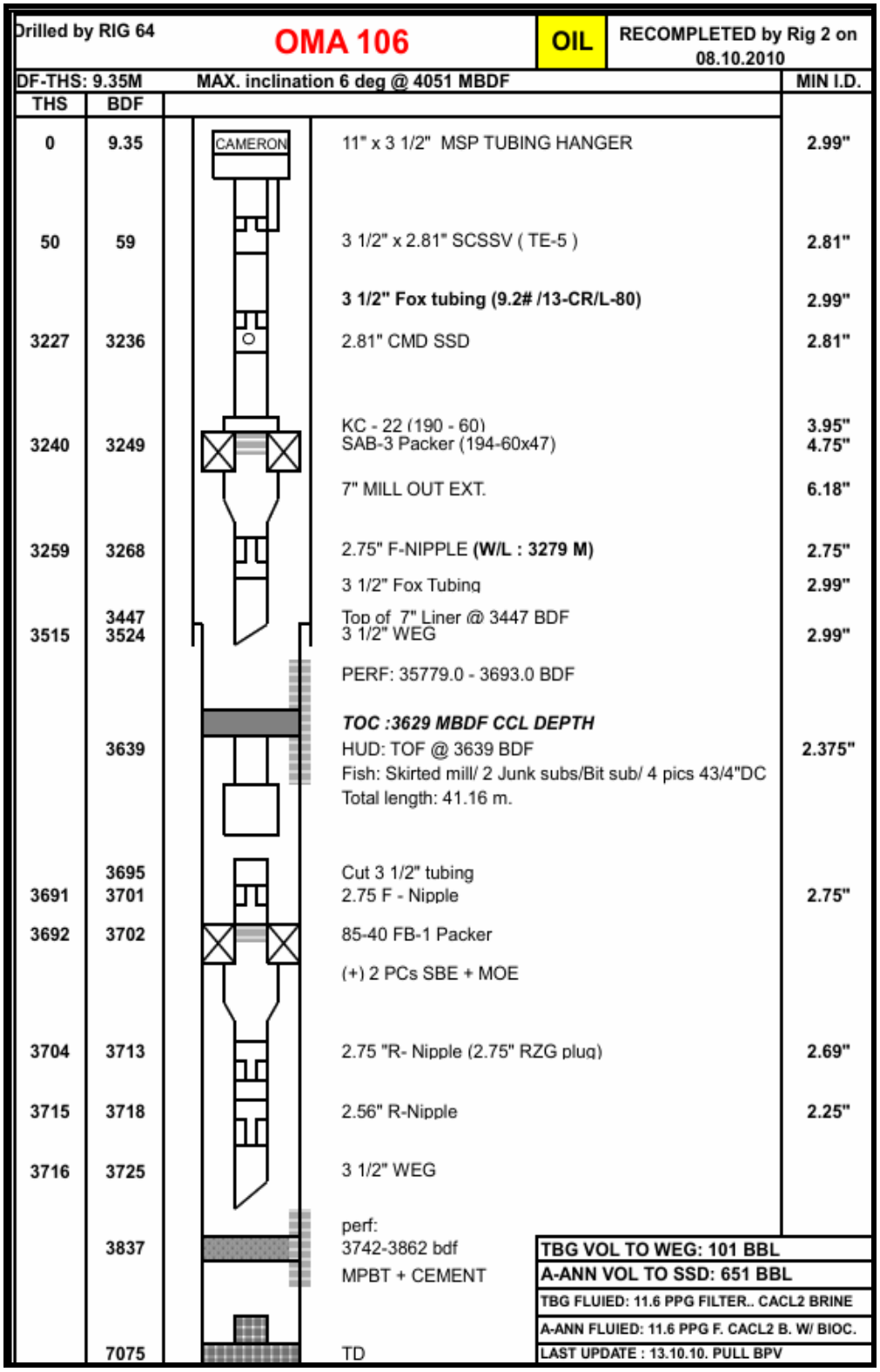
الشكل (16) نموذج بئر رفع بالغاز

- و يؤثر عدد الطبقات المنتجة بشكل مباشر في تجهيزات الآبار، و وفقاً لأحدث تصاميم النماذج البئرية يكون عدد أجهزة الباكر المستخدمة يساوي عدد الطبقات المنتجة، كذلك تحتاج هذه الآبار لزيادة في عدد وصلات الدوران (SSD: Slide Sleeve Door) و وصلات التمدد بين الطبقات (Expansion Joint).



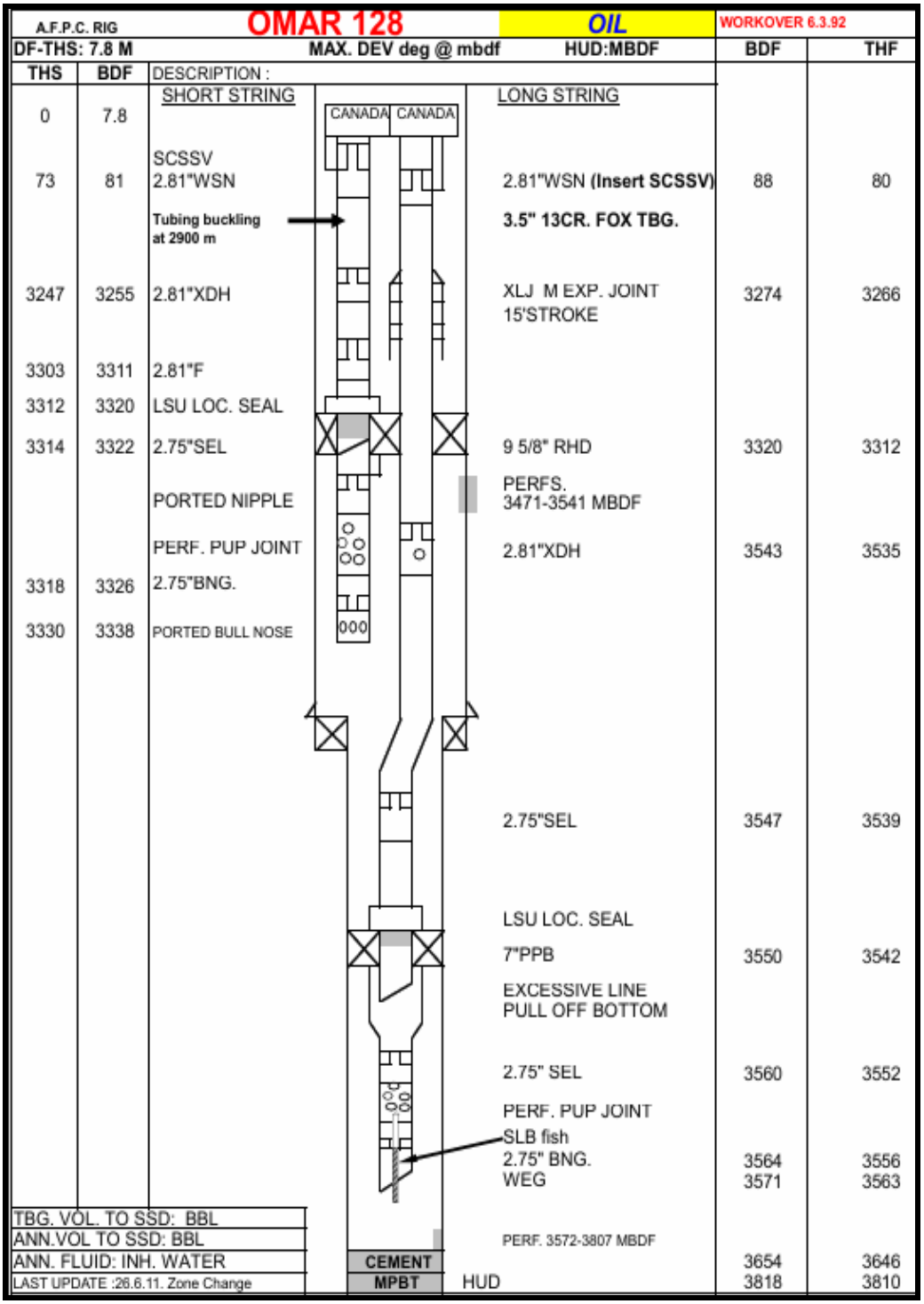
الشكل (17) نموذج بئر متعدد الطبقات المنتجة

- و عند اختلاف نوعية الموائع المنتجة لا بد أن يتم الإنتاج بشكل منفصل (و يكون التوجيه بإنتاج كل طور على حدا و من الطبقات السفلى إلى الأعلى). و عند الانتهاء من كل طبقة منتجة تغلق و يباشر بإنتاج طبقة و منتج أعلى.



الشكل (18) نموذج بئر متعدد الطبقات المنتجة مع إغلاق الطبقات السفلى بانتهاء الإنتاج مع الزمن

– كذلك في حال تشابه التركيب الكيميائي للموائع الهيدروكربونية المنتجة يتم استخدام تشكيلة واحدة من مواسير الإنتاج وعند نفس تدرج الضغط للطبقات المنتجة، أما عند الاختلاف يتم الإنتاج بمجموعتين من مواسير الإنتاج (Dual Completion).



الشكل (19) نموذج بئر متعدد الطبقات المنتجة المختلفة بتدرج الضغط (Dual Completion).

2-2 إنجاز القياسات البئرية للقاع المغلف:

ومن أهمها للعمل في إنهاء آبار النفط و الغاز:

2-2-1 قياس CCL: Casing Collar Log

وهي أداة تُستخدم في الآبار النفطية لتحديد مواقع وصلات مواسير التغليف (Casing Collars) داخل البئر بدقة.وهو جهاز يُنزل داخل البئر باستخدام Wireline أو Slickline ويعمل على اكتشاف أماكن الوصلات بين أنابيب التغليف عن طريق المجال المغناطيسي.

مبدأ عمل CCL

- عند نقطة الاتصال بين أنبوبين يوجد وصلة اتصال Collar (أكثر سماكة).
- عندما تمر أداة CCL بجانب هذه الوصلة:
  - يتغير المجال المغناطيسي.
  - يسجل الجهاز إشارة أو نبضة في جهاز التسجيل على السطح.

الفائدة من قياسات CCL

- تحديد العمق الحقيقي داخل البئر
- مطابقة العمق مع سجلات الحفر (Well Logs).
- تحديد مكان الطبقات المنتجة
- لمعرفة المكان الصحيح لإنزال أدوات مثل:
  - معدات التثقيب Perforation guns
  - أجهزة لإغلاق الآبار Plugs
  - أجهزة الـ Packers
- لمساعدة في عمليات التثقيب (Perforation)
- تحديد موقع الطبقة النفطية بدقة قبل تثقيب مواسير التغليف.
- مرجع أساسي لمعظم القياسات البئرية
- يستخدم كـ مرجع عمق في كثير من عمليات القياس داخل البئر.

عادة ما يظهر في تسجيل CCL:

- قمم متكررة تمثل كل وصلة تغليف.
- المسافة بين القمم تساوي طول أنبوب التغليف.

وبالتالي فإن قياسات CCL تُستخدم من أجل:

- تحديد مواقع وصلات مواسير التغليف.
- معايرة العمق داخل البئر.
- المساعدة في عمليات مثل التثقيب والإنهاء وصيانة البئر.

2-2-2 قياس GR: Gamma Ray

سجل أشعة غاما(GR) ، هو أداة أساسية ويوفر قياسًا مستمرًا للإشعاع جاما الطبيعي الموجود في الطبقات التي تخترقها بئر، وتعتبر المعلومات المسجلة هنا ضرورية لمختلف جوانب تقييم البئر. ويمكن إجراءها لقياس القاع المغلف أو المفتوح.

الاستخدامات الرئيسية لقياس غاما GR في النفط والغاز:

- **مطابقة العمق** :تعتبر سجلات GR ضرورية لمطابقة العمق الدقيقة للطبقات بين الآبار المختلفة. تسمح التوقيعات المشعة المسجلة للطبقات المختلفة للجيولوجيين والمهندسين بتتبع تقدم البئر وموقعه بدقة داخل الإطار الجيولوجي.
- **تحديد نوع الصخور** :تنبعث من أنواع مختلفة من الصخور مستويات مختلفة من إشعاع غاما. تساعد سجلات GR على تحديد التكوينات ذات التركيبات المختلفة، مثل الصخور الطينية– الغضارية والحجر الرملي والكربونات، بناءً على مستويات إشعاعها المميزة. هذه المعلومات ضرورية لتحديد مناطق الخزان المحتملة.
- **تحديد طبقات الصخور الغضارية (الطينية):** تُظهر الصخور الغضارية عادةً إشعاعًا غاما أعلى بسبب محتواها من الغضار. تُحدد سجلات GR بشكل فعال تكوينات الصخور الطينية، وهي مهمة لفهم البنية الجيولوجية العامة للبئر.
- **تقييم خصائص التكوين** :على الرغم من عدم قياسها المباشر للنفاذية أو المسامية، إلا أن سجلات GR يمكن أن توفر رؤى حول خصائص الطبقات. على سبيل المثال، تشير قيم GR العالية غالبًا إلى وجود الغضار، مما قد يؤثر على خصائص الخزان.
- **التعرف على المواد المشعة الطبيعية (NORM) والمتتبعات المشعة** :يمكن لسجلات GR الكشف عن المواد المشعة الطبيعية (NORM) داخل الطبقات و تساعد هذه المعلومات في تقييم المخاطر البيئية المحتملة وإدارة النفايات المشعة. تُستخدم سجلات GR أيضًا لتتبع حركة المتتبعات المشعة التي يتم حقنها في البئر، مما يوفر بيانات قيمة حول تدفق السوائل واتصال الخزان.

ويمكن أن نلخص استخدام قياس غاما، كما يلي:

1. **إن قياس إشعاع غاما GR هو قياس الإشعاع الطبيعي الصادر من الصخور حول البئر.**
2. ويعتمد على تسجيل أشعة غاما المنبعثة من العناصر المشعة في الطبقات.
3. أهم العناصر المسببة للإشعاع هي البوتاسيوم والثوريوم واليورانيوم.
4. يستخدم بشكل أساسي لتمييز الطبقات الغضارية عن الطبقات النظيفة.

5. الصخور الغضارية تعطي قراءة عالية في سجل GR.
6. الصخور الرملية أو الجيرية تعطي قراءة منخفضة في GR.
7. يساعد في تحديد حدود الطبقات الجيولوجية داخل البئر.
8. يستخدم في الربط بين الآبار في نفس الحقل.
9. يساعد في حساب نسبة الغضارية في الطبقات.

الاستنتاج:

إن قياس أشعة غاما هو أداة قوية ومتعددة الاستخدامات في استكشاف النفط والغاز وجعل استخدامها الواسع وكفاءتها و تكلفتها القليلة مقارنة بالقياسات البئرية الأخرى عنصرًا لا غنى عنه في صناعة النفط والغاز الحديثة.

2-2-3 القياسات الكهربائية (قياس الناقلية الكهربائية و قياس المقاومة الكهربائية):

يعتمد مبدأ عمل تسجيل المقاومة على إرسال تيار كهربائي إلى التشكيلات الصخرية المحيطة بحفرة البئر، ثم قياس الجهد الكهربائي الناتج. يتم تطبيق هذا التيار الكهربائي بواسطة أقطاب كهربائية موجودة على أداة تسجيل الآبار، والتي يتم إنزالها إلى البئر. تُستخدم هذه القياسات لتحديد الخصائص الفيزيائية للصخور، مثل المسامية والتشبع بالسوائل.

عندما يتدفق التيار الكهربائي عبر الصخور، فإنه يواجه مقاومة. تعتمد هذه المقاومة على عدة عوامل، بما في ذلك:

- **نوع الصخر:** تختلف مقاومة الصخور باختلاف أنواعها المعدنية. على سبيل المثال، الصخور الرملية عادة ما تكون أكثر مقاومة من الصخور الغضارية.
- **المسامية:** تشير المسامية إلى الفراغات الموجودة داخل الصخر. تسمح المسامية للسوائل بالتدفق، مما يؤثر على المقاومة.
- **تشبع الصخور بالسوائل:** تعتمد مقاومة الصخر على نوع السائل الذي يملأ الفراغات. على سبيل المثال، المياه المالحة موصلة للكهرباء بشكل أفضل من المياه العذبة، وبالتالي تقلل من المقاومة. على عكس النفط الذي يبدي مقاومة عالية و ناقلية كهربائية شبه معدومة.
- **تركيز الأملاح في السوائل:** يزيد تركيز الأملاح في السوائل من توصيلها للكهرباء، مما يقلل من مقاومة الصخر.

التحليل والتفسير

يتطلب تحليل بيانات تسجيل المقاومة فهمًا جيدًا للخصائص الفيزيائية للصخور، بالإضافة إلى تأثير العوامل المختلفة على القياسات. يتضمن التحليل عادةً:

- **تصحيح بيانات القياسات الأخرى:** يتم تصحيح بيانات تسجيل المقاومة لتأثير العوامل المختلفة، مثل تأثير حفرة البئر ودرجة الحرارة.
- **تحليل المنحنيات:** يتم دراسة منحنيات المقاومة لتحديد أنواع الصخور، وتحديد المسامية والتشبع بالسوائل، وتقييم المكامن.
- **النماذج الحاسوبية** :تستخدم النماذج الحاسوبية لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للتكوينات الصخرية، مما يساعد على تحسين تفسير البيانات.

2-2-4 القياسات النيترونية النبضية :

تسجيل النيوترونات النبضية: أداة قوية للتمييز بين الماء والهيدروكربونات

تسجيل النيوترونات النبضية (PNL)

هو تقنية تسجيل حيوية في الحفر المغلف تستخدم في صناعة النفط والغاز لتحديد وتقدير كمية الهيدروكربونات خلف مواسير التعليف. وهي تسجيلات رائعة بشكل خاص في التمييز بين الماء والنفط، وهي مهمة حاسمة لتحسين الإنتاج وتعظيم إنتاجية الآبار.

كيفية عمل:PNL

يستخدم PNL مصدر نيوترونات نبضية يصدر دفعة من النيوترونات إلى التكوين. تتفاعل هذه النيوترونات مع الصخر والسوائل المحيطة، مما يؤدي إلى التقاط النيوترونات بواسطة ذرات الهيدروجين. تنبعث أشعة جاما من النيوترونات المُلتقطة، والتي يتم بعد ذلك اكتشافها بواسطة أداة التسجيل.

المزايا الرئيسية لـ:PNL

- **التمييز الفعال بين الماء والهيدروكربونات** :تسمح حساسية التقنية لمحتوى الهيدروجين بالتمييز بين المناطق الغنية بالماء والمناطق الغنية بالهيدروكربونات. وذلك لأن الماء يحتوي على نسبة هيدروجين أعلى من الهيدروكربونات.
- **تطبيقات الحفر المغلف** :يمكن استخدام PNL في الآبار المغلفة، مما يجعلها أداة قيمة لتقييم التكوينات بعد الإنجاز.
- **عمق التحقيق** :يمكن لـ PNL اختراق عمق أكبر من أساليب تسجيل الحفر المغلف الأخرى، مما يوفر تقييمًا أكثر دقة لخصائص التكوين.
- **تحسين وصف الخزان** :من خلال تحديد وجود وتوزيع الهيدروكربونات، يساعد PNL في فهم خصائص الخزان وتوقع إمكانات الإنتاج.

تفسير بيانات:PNL

تُستخدم عدادات أشعة جاما المسجلة بعد ذلك لإنشاء سجل يوضح مؤشر الهيدروجين (HI) للتكوين. تشير قيم HI العالية عادةً إلى الماء، بينما ترتبط قيم HI المنخفضة بالهيدروكربونات. يمكن تحليل هذه المعلومات بشكل أكبر جنبًا إلى جنب مع بيانات التسجيل الأخرى لتحديد نوع وحجم الهيدروكربونات الموجودة.

التطبيقات في عمليات النفط والغاز:

يلعب PNL دورًا رئيسيًا في العديد من جوانب عمليات النفط والغاز:

- **تقييم المكمن:** تحديد المناطق الحاملة للهيدروكربونات وتقدير أحجام الخزان.
- **تحسين الإنتاج:** مراقبة حركة السوائل وتحديد مشاكل الإنتاج المحتملة.
- **تصميم إنجاز البئر** :تحسين استراتيجيات إنجاز البئر بناءً على الخصائص الصخرية.
- **تقنيات تحسين استخلاص النفط(EOR)** : و تقييم فعالية أساليبEOR .

الاستنتاج:

أصبحت PNL أداة لا غنى عنها لشركات النفط والغاز التي تسعى إلى تعظيم الإنتاج وتحسين عملياتها. إن قدرتها على التمييز بدقة بين الماء والهيدروكربونات، بالإضافة إلى قابليتها للتطبيق في الآبار المغلفة، يجعلها أصلًا قيمًا لأنشطة الاستكشاف والتطوير والإنتاج. مع تقدم التكنولوجيا، من المرجح أن تستمر PNL في التطور وتوسيع تطبيقاتها في صناعة النفط والغاز.

ملاحظة: تتشابه سجلات الناتجة عن PNN وPNL و يكمن الفرق الرئيسي بين سجلات PNN وPNL في آليات الكشف والمعلومات التي توفرها. تقيس سجلات PNL زمن اختفاء نبضة نيوترونية قصيرة العمر وتكتشف أشعة غاما، بينما تقيس سجلات PNN المقطع العرضي للنيوترونات الحرارية التي تم التقاطها بواسطة التكوين وتكتشف أشعة غاما. تُستخدم سجلات PNL لتتبع تركيز الكلور وتشبع الماء، في حين تُستخدم سجلات PNN لتقدير تشبع الماء، والمسامية، واحتياطيات النفط والغاز المتبقية. تعتبر سجلات PNL مفيدة بشكل خاص لتقييم خزانات النفط والغاز المغمورة بالماء، بينما تُستخدم سجلات PNN للتنبؤ بفواصل التثقيب الجديدة في الخزانات المستنفدة.

2-2-5 التسجيل الصوتي :(Sonic Logging) تحليل شامل للخصائص الصوتية والميكانيكية للطبقات الصخرية:

يعد التسجيل الصوتي(Sonic Logging) ، والذي يُعرف أيضًا باسم التسجيل الصوتي الصوتي أو تسجيل المسامية الصوتي، أحد أهم تقنيات القياسات البئرية (Well Logging) المستخدمة في صناعة النفط والغاز. تعتمد هذه التقنية على قياس سرعة انتشار الموجات الصوتية عبر الطبقات

الصخرية المحيطة بالبئر، وهو ما يوفر معلومات قيّمة حول خصائص متعددة للتكوين الصخري. لا يقتصر دور التسجيل الصوتي على تحديد المسامية فحسب، بل يمتد ليشمل تقييم نوع الصخور (Lithology)، وتحديد الخصائص الميكانيكية للصخور، وربط بيانات البئر بالبيانات السيزمية، وتقييم جودة ترابط الإسمنت خلف أنابيب التغليف. تطورت أدوات التسجيل الصوتي بشكل كبير من مجسات بسيطة ذات مرسل ومستقبل واحد إلى أنظمة مصفوفة متطورة تسجل الموجة الصوتية الكاملة، مما أتاح استخلاص مجموعة واسعة من البيانات الدقيقة التي تساهم في فهم المكمن النفطي وتطويره بكفاءة وأمان.

طبيعة الموجات الصوتية وأنواعها في جس الآبار

عندما تُطلق أداة التسجيل الصوتي نبضة صوتية في سائل الحفر داخل البئر، تنتشر هذه الطاقة في جميع الاتجاهات. جزء من هذه الطاقة ينتقل عبر سائل الحفر، وجزء آخر يخترق جدار البئر وينتقل عبر التكوين الصخري. عند حدود التكوين، تتحول الطاقة الصوتية إلى عدة أنواع من الموجات التي تنتشر بسرعات مختلفة وتعتمد على خصائص الوسط الذي تنتقل فيه. الأنواع الرئيسية للموجات التي يتم تسجيلها وتحليلها هي:

- **الموجات الانضغاطية :(Compressional Waves or P-waves)** هي أسرع الموجات الصوتية، وتنتقل عبر كل من المواد الصلبة والسوائل والغازات. في هذه الموجات، تهتز جزيئات الوسط في نفس اتجاه انتشار الموجة، مما يسبب تتابعًا من مناطق الانضغاط والتخلخل. نظرًا لسرعتها العالية، فإنها أول موجة تصل إلى أجهزة الاستقبال في أداة التسجيل الصوتي، ويُستخدم زمن وصولها لتحديد **زمن العبور الانضغاطي.(Compressional Transit Time)**
- **موجات القص :(Shear Waves or S-waves)** هي موجات أبطأ من الموجات الانضغاطية، وتنتقل فقط عبر المواد الصلبة التي تمتلك صلابة قص (Shear Rigidity). في هذه الموجات، تهتز جزيئات الوسط بشكل عمودي على اتجاه انتشار الموجة. لا يمكن لموجات القص أن تنتشر في السوائل أو الغازات لأن هذه الموائع لا تقاوم إجهادات القص. وصول موجات القص بعد الموجات الانضغاطية يوفر معلومات إضافية حيوية، خاصة للخصائص الميكانيكية للصخور.
- **موجات ستونلي :(Stoneley Waves)** هي نوع من الموجات السطحية الموجهة (Guided Surface Waves) التي تنتشر على طول جدار البئر، أي عند السطح الفاصل بين سائل الحفر والتكوين الصخري. تتميز هذه الموجات بأنها ذات تردد منخفض وسعة عالية، وهي أبطأ من موجات القص. تتأثر موجات ستونلي بشدة بخصائص سائل الحفر وخصائص التكوين القريبة من جدار البئر، مثل النفاذية والكسور.

- **الموجات المباشرة في السائل :(Direct Fluid Waves)** هي الموجات التي تنتقل مباشرة عبر سائل الحفر من المرسل إلى المستقبل دون الدخول إلى التكوين الصخري. تكون سرعتها ثابتة وتعتمد فقط على خصائص سائل الحفر (الكثافة والانضغاطية). يتم تمييزها واستبعادها أثناء المعالجة لتركيز التحليل على موجات التكوين.

مفهوم السرعة الصوتية وزمن العبور(Slowness)

المعلمة الأساسية التي يقيسها التسجيل الصوتي ليست السرعة بشكل مباشر، بل مقلوبها، والذي يعرف باسم **زمن العبور (Transit Time)** أو **البطء(Slowness)** ، ويرمز له بالرمز **Δt** أو **.DT** يُعرَّف زمن العبور بأنه الزمن الذي تستغرقه الموجة الصوتية لتقطع مسافة قدم واحدة (أو متر واحد) عبر الصخور. الوحدة الشائعة لقياسه هي ميكروثانية لكل قدم (µs/ft) أو ميكروثانية لكل متر (µs/m) .

العلاقة بين السرعة (V) وزمن العبور (Δt) بسيطة: $V = 1/\Delta t$

حيث تكون وحدات V هي قدم/ميكروثانية (أو متر/ميكروثانية) عند استخدام الوحدات المقابلة لـ Δt ، ويتم تفضيل استخدام زمن العبور في صناعة النفط لأنه يتناسب خطيًا مع المسامية في العديد من الحالات، مما يسهل الحسابات والتفسيرات.

تعتمد سرعة الموجات الصوتية (وبالتالي زمن العبور) بشكل مباشر على الخواص المرنة (Elastic Properties) والكثافة (Density) للمادة التي تنتقل خلالها. يتم وصف هذه العلاقة من خلال المعادلات التالية المستمدة من نظرية المرونة:

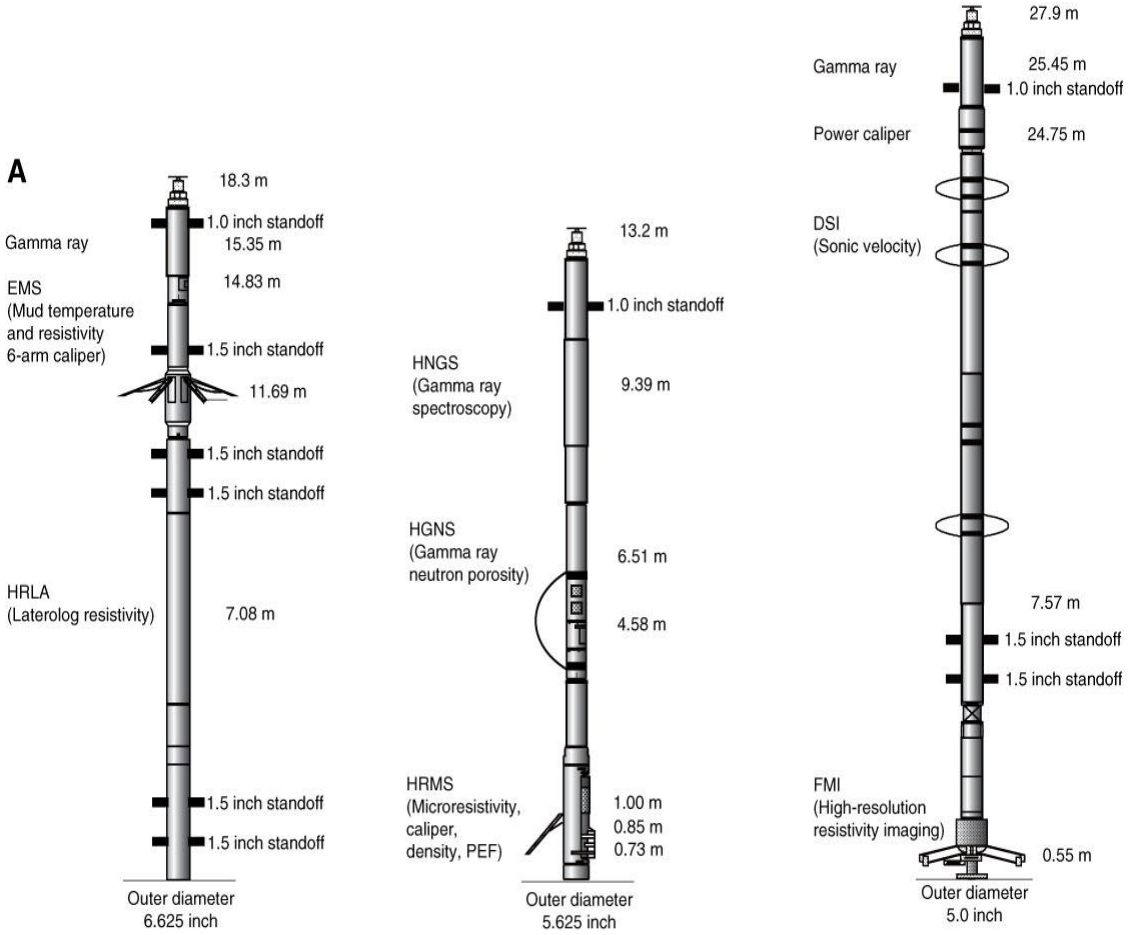
قيم زمن العبور النموذجية للمادة الصخرية و الموائع:

للحصول على حساب دقيق للمسامية، يجب استخدام قيم صحيحة لـ Δt_matrix و .Δt_fluid هذه القيم تختلف باختلاف نوع الصخر والمائع.

الجدول (1) تمييز انواع الصخور باستخدام الطريقة الصوتية بحسب قيم Δt

المادة	Δt (µs/ft)	Δt (µs/m)
صخور رملية (Sandstone)	51.0 – 55.5	167 – 182
صخور جيرية (Limestone)	47.5	156
صخور دولوميتية (Dolomite)	43.5	143

المادة	Δt (µs/ft)	Δt (µs/m)
ملح (Salt)	67.0	220
أنهيدريت (Anhydrite)	50.0	164
ماء عذب(Fresh Water)	189	620
ماء مالح (Salt Water)	185	607
نفط (Oil)	~230	~755
غاز طبيعي (Natural Gas)	يعتمد بشدة على الضغط والحرارة	يعتمد بشدة على الضغط والحرارة



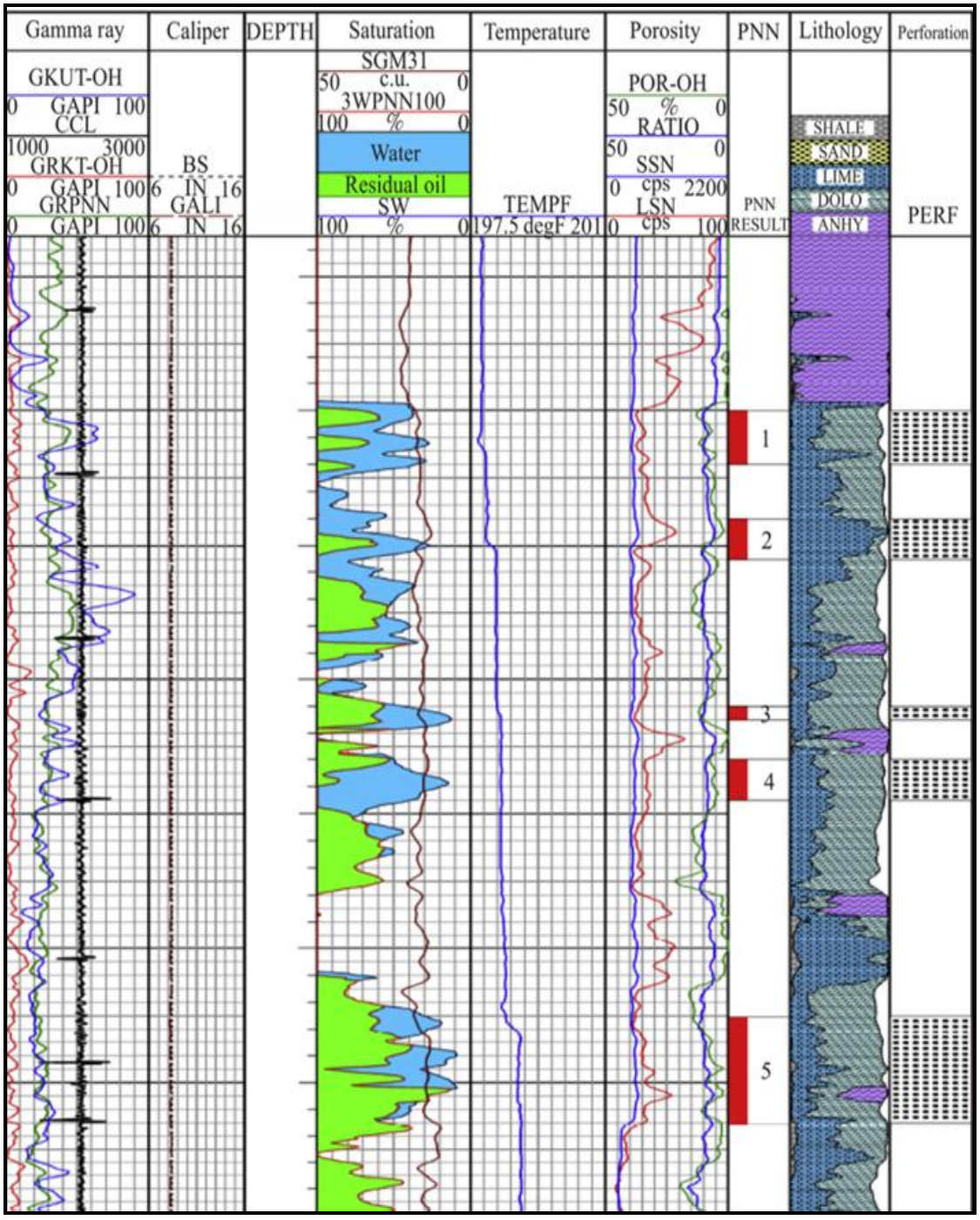
الشكل (20) نماذج من المعدات المستخدمة في القياسات البئرية

ملاحظة:

كما في الشكل (20).

طبعاً يجرى عادة أكثر من قياس واحد و في نفس الوقت و يتم الحصول على أكثر من تسجيل و يتم ربط المعطيات معاً بغرض الحصول على التفسيرات المطلوبة .

و تعتبر التسجيلات البئرية السابقة من الخطوات المهمة جداً في إنهاء الآبار و لا يمكن إجراء الإنهاء بشكل مرضٍ بدونها.



الشكل (20) نموذج من سجلات القياسات البئرية لأحد الآبار

2-3تثقيب الآبار Well Perforation:

إن الهدف الرئيسي من عملية التثقيب هو إنشاء قنوات تسمح بتدفق النفط أو الغاز من الطبقة المنتجة إلى داخل البئر.

ويتم ذلك باستخدام أجهزة تثقيب تطلق قذائف متفجرة تخترق مواسير التغليف الإنتاجية والإسمنت والصخور لتكوين ما يسمى قنوات التثقيب.

و يمكن أن نلخص الأهداف من عملية التثقيب بما يلي:

1- إنشاء القنوات التي تسمح بتدفق الموائع الطبقية من الطبقات المنتجة إلى قاع البئر.

2- تحسين انتاج النفط و الغاز من خلال التمكن من استخدام عمليات التحميض acidizing بغرض زيادة الكفاءة الانتاجية من خلال إذابة جميع المعوقات الناتجة مثل وجود الرمال المتسببة في سد القنوات او من خلال استخدام ال Hydraulic Fracturing التي تزيد من مساحة الاتصال بين المكمن reservoir وقاع البئر .

2-3-1 تحديد النطاقات المستهدفة بالتثقيب:

ويتم ذلك من خلال الاستعانة بالمجسات well logging, و التلبيب core, ونتائج الفحوصات فضلاً عن المعلومات الجيولوجية المتوفرة. و كما أن هناك مناطق يجب تثقيبها للإنتاج فهناك أماكن يجب تجنبها اثناء عملية التثقيب لمنع حدوث المشاكل، مثل مناطق التماس بين الغاز و النفط لتجنب دخول الغاز للبئر و إنتاج الغاز gas production, و تجنب-أيضاً- مناطق تماس النفط مع الماء لتجنب حدوث المخاريط المائية water coning و التي تعد من المشاكل الكبرى في الإنتاج، ولا بد من اختيار مناطق تكون مساميتها و نفاذيتها عالية و الابتعاد عن مناطق تواجد الغضار shale و من هنا تنشأ طبيقات مثقبة منتجة للنفط أو الغاز .

ويتأثر نجاح التثقيب بشدة بالعلاقة الحاسمة بين الخزان وبئر الإنتاج. يجب أن توفر الثقوب قناة تدفق نظيفة بين الطبقة المنتجة والبئر مع الحد الأدنى من تسبيب الضرر للطبقة المنتجة.

ومع ذلك، فإن الاختبار النهائي لفاعلية نظام التثقيب هو إنتاجية البئر. تعتمد إنتاجية الإكمال المثقب بشكل كبير على هندسة الثقوب.

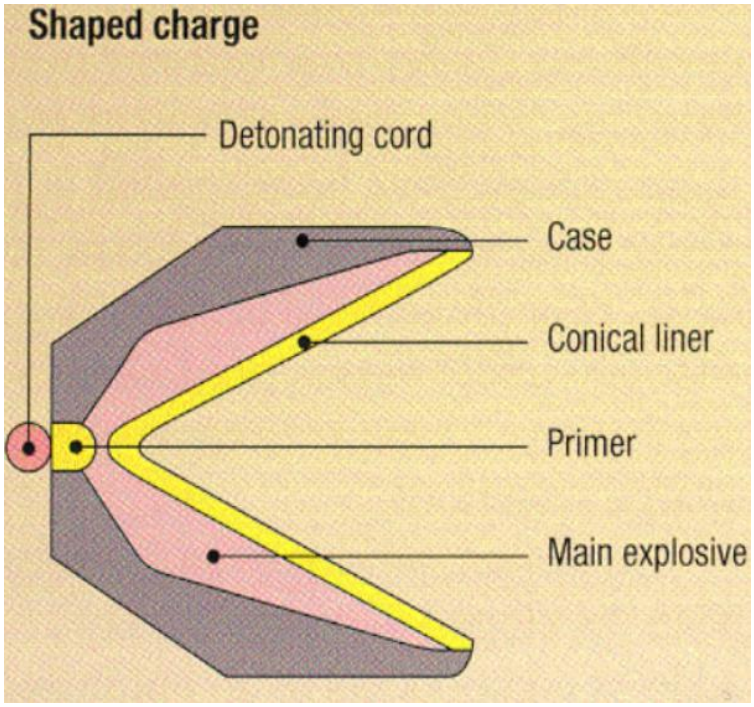
العوامل الهندسية الرئيسية التي تحدد كفاءة التدفق في الإكمال المثقوب هي:

- طول الثقب
- كثافة الطلقات
- التوزيع الزاوي
- قطر الثقب.

وتعتمد الأهمية النسبية لكل من هذه العوامل على إنتاجية البئر على نوع الإكمال والخصائص الصخرية ومدى الضرر الذي لحق من عمليات الحفر والاسمنت. يجب التخطيط بدقة لطريقة تثقيب البئر.

2-3-2 الشحنات المتفجرة

تتم عملية التثقيب من خلال تفجير كمية صغيرة من المتفجرات الشديدة مع غلاف وطبقة بطانة مصممة بعناية لإنشاء ضربة ضغط مركزة فعالة جدًا في اختراق الفولاذ والإسمنت والصخور. يتكوَّن جهاز التثقيب من سلسلة من الشحنات المتفجرة المربوطة معاً للحصول على النطاق المثقب بدقة كبيرة، لكنها عادةً ما تكون موثوقة. تبدأ السلسلة بإطلاق الشرارة الكهربائية التي تشعل حبل التفجير بطاقة عالية، يليه تفعيل الشحنات المتفجرة. يجب تنفيذ سلسلة الأحداث المتفجرة بأكملها بترتيب دقيق. ويبين الشكل 21 النوع الأكثر استخداماً من الشحنات المتفجرة المستخدمة لتثقيب آبار النفط والغاز.



الشكل (21) النوع الأكثر استخداماً من الشحنات المتفجرة المستخدمة لتثقيب آبار النفط و الغاز

2-3-3 الموائع المستخدمة أثناء تثقيب الآبار

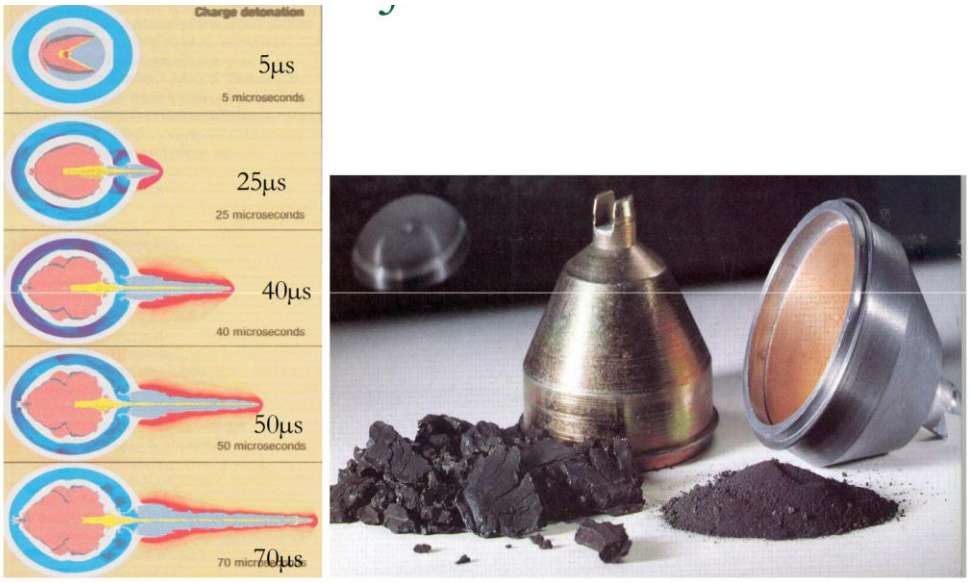
لابد من استخدام موائع خاصة بعملية التثقيب، ومنها:

- الماء المالح: مع استعمال مادة دايكرومات الصوديوم لمنع الصدأ المحتمل للأنابيب. يمكن ان تحدث مشكلة التلوث وخاصة إذا كان ضغط البئر أعلى من ضغط المكمن لأن هذا قد يسبب بدخول مخلفات الإطلاقات النارية الى داخل الثقوب و بالتالي سد هذه الثقوب.

- غاز النيتروجين: يفضل استعماله عندما يكون ضغط المكمن منخفض وتوفر هذه العملية عدم حدوث أي تلوث للطبقات المنتجة.
- حامض الاسيتيك: هو أفضل الموائع المستعملة كمائع للتثقيب ويمكن استعمال معه مادة مانعه للتآكل لحماية مواسير الإنتاج والتغليف من التآكل.

2-3-4التثقيب باستخدام الشحنة المتفجرة:

طريقة التثقيب باستخدام الشحنة المتفجرة وهي أول أنواع الطرق المستخدمة في التثقيب والأكثر استخداماً والأسرع في التنفيذ، إذ لا يتعدى زمن التثقيب أجزاء من الثانية.



الشكل (22) يبين الزمن اللازم للتثقيب باستخدام الشحنات المتفجرة

يتم التفجير من خلال تركيب الشحنات المتفجرة على حوامل فولاذية أنبوبية كبيرة القطر. يمكننا تشغيل هذه الأسلحة باستخدام خطوط الأسلاك الكهربائية و يتم إطلاقها كهربائيًا من السطح كما هو مستخدم اليوم. القطر الكبير والوزن الثقيل لهذه الأسلحة، جنبًا إلى جنب مع مشاكل التحكم في الضغط، عادة ما كانت تمنع استخدامها في الآبار ذات الضغوط الضعيفة في البئر. كانت هذه الأسلحة عادةً تُستخدم في تثقيب آبار مملوءة بسائل قتل الآبار ومتوازنة الضغط، ويتم تثقيب مواسير التغليف قبل عملية إنهاء البئر تماماً.



الشكل (23) تركيب الشحنات المتفجرة على الحوامل الأنبوبية

ويمكن أن يتم التثقيب بإحدى التقنيات التالية:

- باستخدام جهاز التثقيب القابل للاسترجاع بحامل مجوف.

يتكون حامل المدفع المجوف القابل للاسترجاع من أنبوب فولاذي يتم فيه تثبيت شحنة متفجرة، يتم إحكام إغلاق أنبوب جهاز التثقيب ضد الضغط الهيدروستاتيكي. تحيط بالشحنة هواء عند ضغط جوي. عندما تنفجر الشحنة، تتسبب القوة المتفجرة في توسيع جدار الحامل قليلاً، لكن المدفع والحطام داخل المدفع يتم استرجاعهما بالكامل من البئر.

- باستخدام جهاز التثقيب غير القابل للاسترجاع أو القابلة للاستهلاك

يتكون جهاز التثقيب غير قابل للاسترداد أو القابلة للاستهلاك من حاويات مغلقة فرديًا مصنوعة من مادة قابلة للتحطم مثل الألمنيوم أو السيراميك أو الحديد الزهر. يتم احتواء الشحنة المتفجرة داخل الحاوية وعند تفجيرها، تقوم بتفجير الحاوية إلى قطع صغيرة. ويبقى الحطام الناتج في البئر.

- باستخدام جهاز التثقيب شبه القابلة للاستهلاك.

الذخائر مؤمَّنة على حامل سلك قابل للاسترجاع أو شريط معدني . هذا يقلل من الحطام المتبقي في البئر ويزيد بشكل عام من متانة البندقية.

كل نوع متاح للعمل من خلال مواسير خاصة أو باستخدام جهاز التثقيب لمواسير تغليف.

هناك حالياً ثلاث طرق قياسية لتثقيب البئر باستخدام الشحنات المتفجرة:

1- تثقيب مواسير التغليف باستخدام مسدس مواسير التغليف Casing Gun (يتم تشغيله من السطح باستخدام خط أكبال التثقيب Wireline.

2- تثقيب مواسير التغليف باستخدام مسدس مواسير التغليف و لكن من خلال داخل مواسير الإنتاج (يتم تشغيله من السطح باستخدام خط أكبال التثقيب Wireline) و يتم استرجاع الحامل.

3- تثقيب مواسير التغليف باستخدام أنابيب موصلة بمواسير الإنتاج و لا يسترجع جهاز التثقيب (TCP: Tubing Conveyed Perforation)

يجمع نظام TCP بين أفضل ميزات كلا من بنادق التغليف Casing Gun وبنادق النفاذ عبر الأنابيب TTP وليس من المستغرب أنه أصبح الآن التقنية الأكثر استخدامًا للثقب في بحر الشمال.

يتم تشغيل البنادق كجزء لا يتجزأ من اختبار البئر (DST). يتم إطلاق البنادق فقط بعد تثبيت الحاجز، وتركيب شجرة اختبار على السطح، واختبار سلامة الضغط لكامل عملية إنهاء الآبار.

يمكن تحقيق الإطلاق (التفجير) ميكانيكيًا أو كهربائيًا، وفي هذه الحالة يجب تشغيل مجموعة من الأسلاك داخل البئر. تم دمج آلية تأخير زمني للسماح بتخفيف ضغط المواسير على السطح لتحقيق التوازن الزائد/النقصان المطلوب عند إطلاق الشحنة المتفجرة. و يمكن التخلص من بقايا التثقيب بعد التفجير والسماح لها بالسقوط إلى أسفل البئر أسفل الفاصل المثقوب.

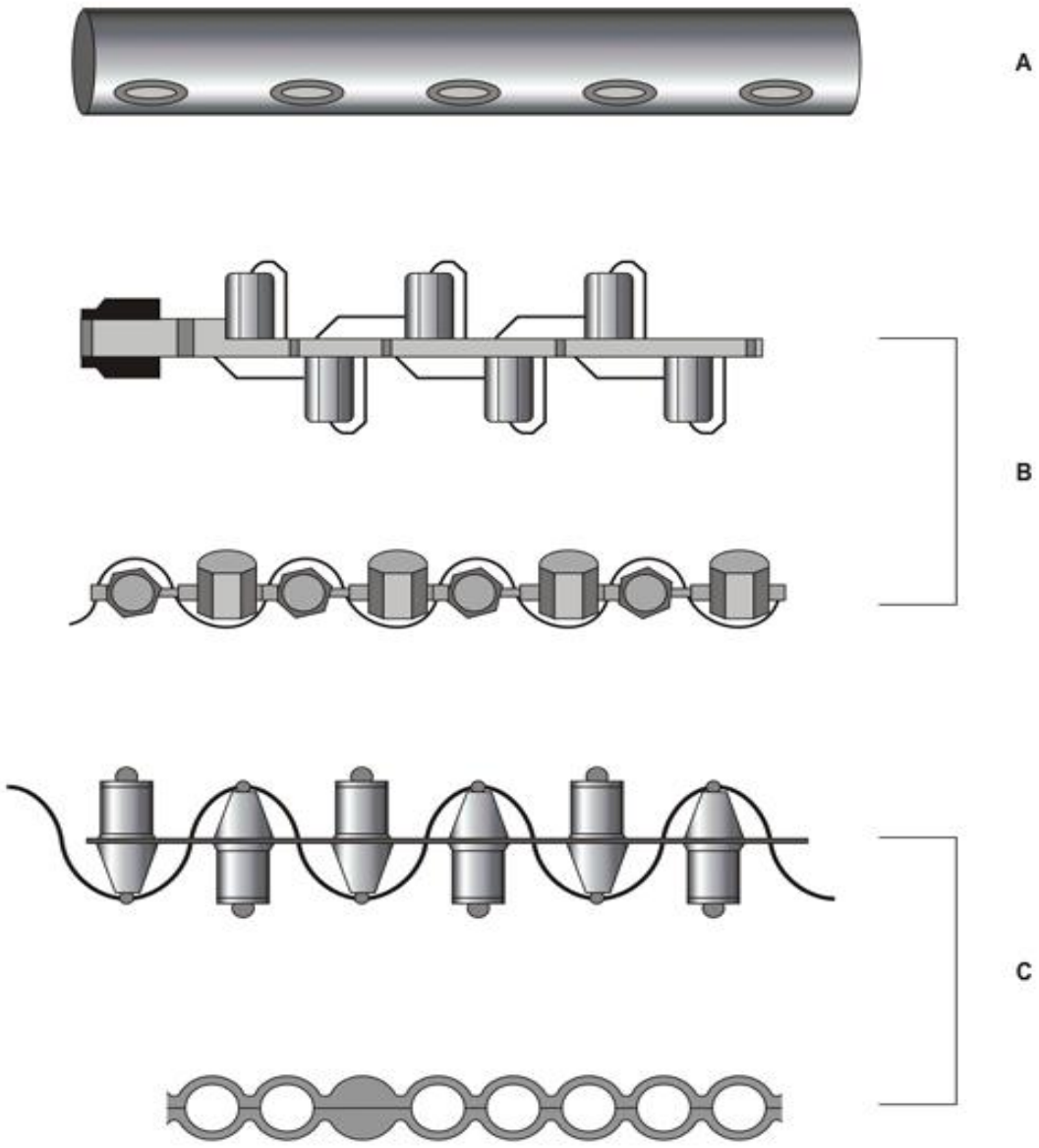
- ويمكن تلخيص مزايا أنظمة TCP هي:

- يمكن تثقيب قطاعات (طبيقات) متعددة مرة واحدة
- من السهل عمل ثقوب في الآبار المائلة أو الأفقية
- يمكن استخدام أحجام كبيرة من أجهزة تثقيب بكثافة إطلاق عالية
- يمكن تنفيذ عملية التثقيب في ظروف منخفضة التوازن
- الطريقة الأكثر أمانًا لعمل الثقوب

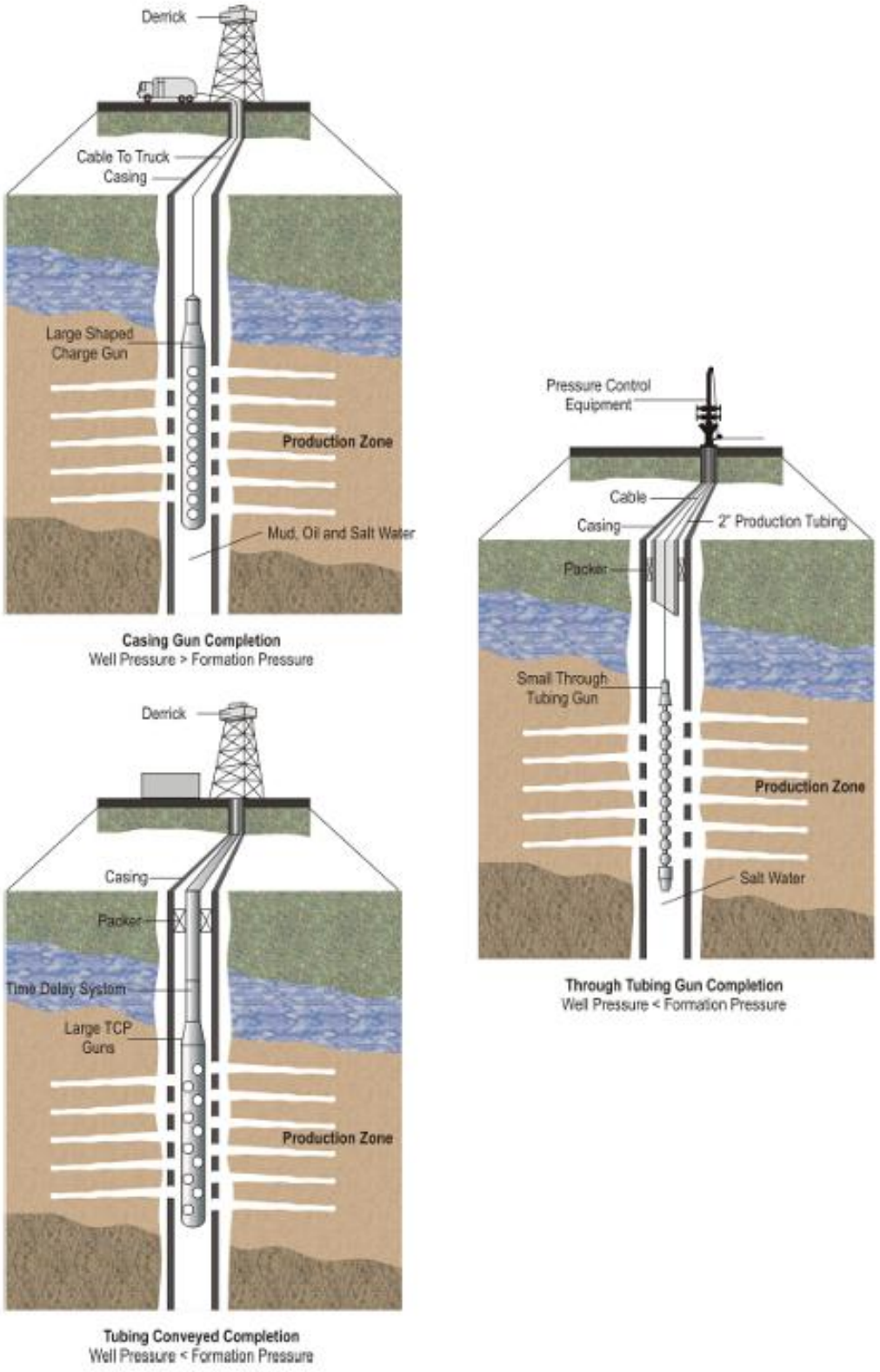
أما العيوب هي:

- يجب سحب سلسلة معدات التثقيب وإعادة تشغيلها إذا فشلت.
- يجب الوضع في الحسبان عمق إضافي للبئر للتجهيزات الساقطة في البئر.

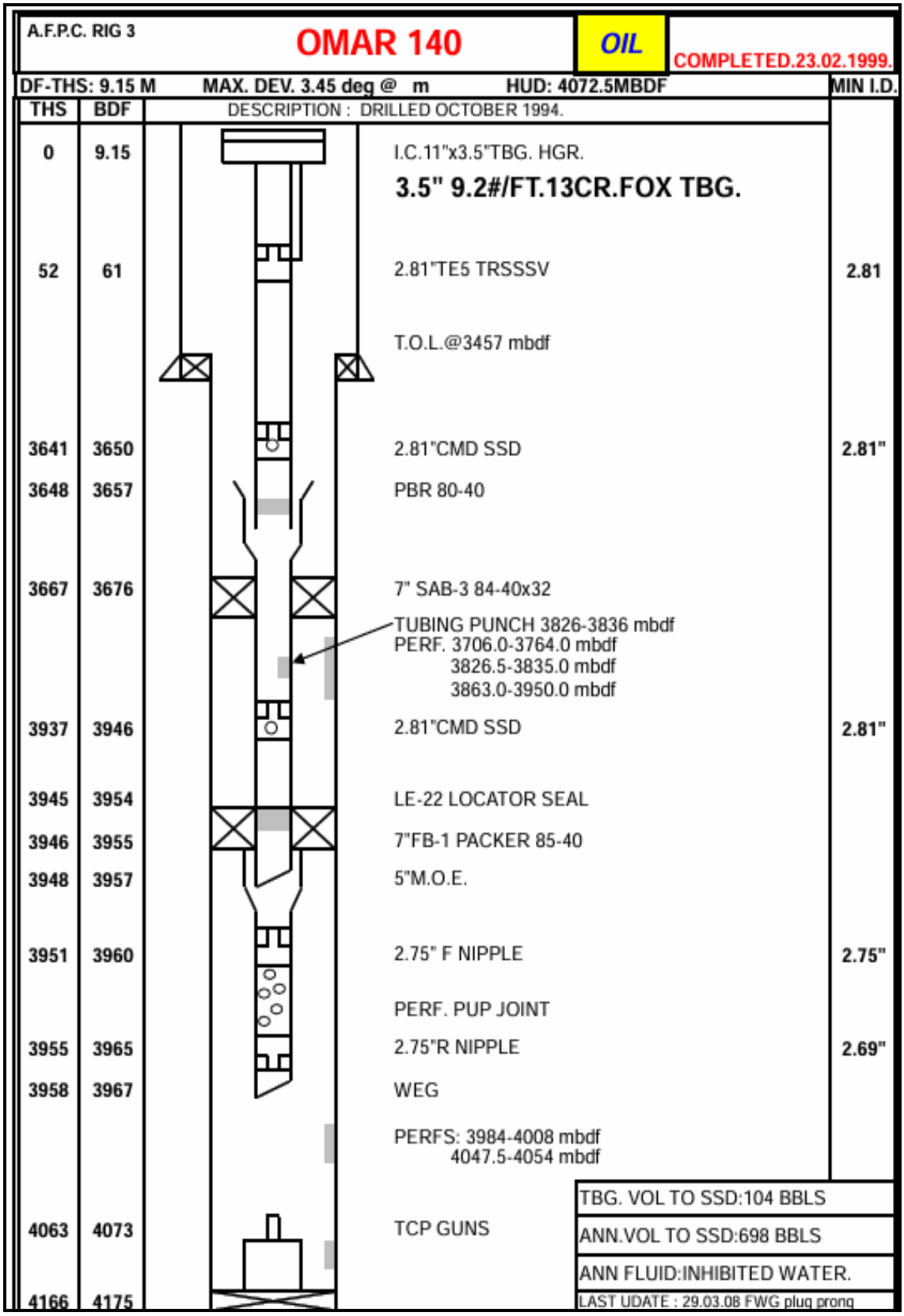
بالنسبة لنظام TCP، يتم دمج مصدر مشع في وصلة في سلسلة التثقيب مع مدافع التثقيب. يمكن تسجيل أشعة غاما لتحديد الموقع الدقيق للمدافع بالنسبة للتكوين مع جهاز تحديد وصلات مواسير التغليف CCL–Casing Collar Log.



الشكل (24) أنواع أجهزة تثقيب الآبار A-TCP, B-TTP, C-Casing Gun



الشكل (25) تقنيات تثقيب الآبار



الشكل (24) إنهاء أحد الآبار(العمر – 140) ويظهر فيه بقايا التثقيب الناتجة عن تثقيب المجال المطلوب تقنية TCP أسفل البئر

2-4إنزال تشكيلة الإنتاج:

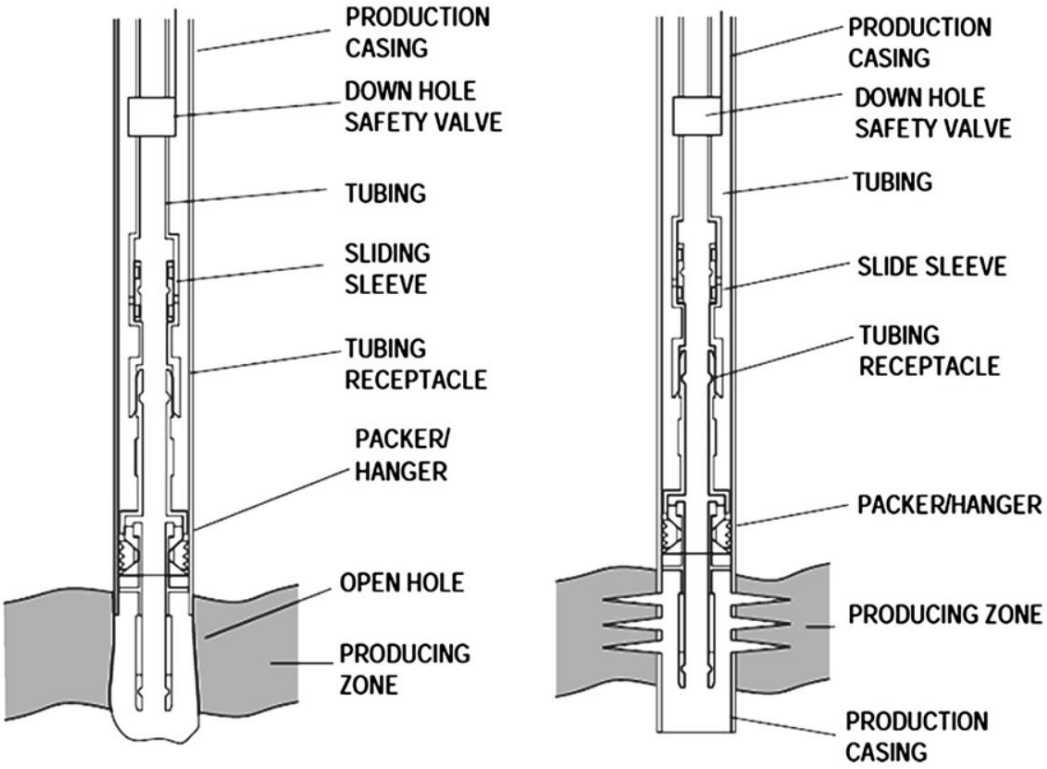
2-4-1 إنزال مواسير الإنتاج في البئر

يتم إدخال أنابيب الإنتاج في البئر، وهي عادة أصغر بكثير في القطر من مواسير التغليف الإنتاجية، مع وجود أجهزة الـ (Packers) التي تُركب مباشرة فوق منطقة الإنتاج لضمان وصول السائل المنتج إلى السطح فقط من خلال أنابيب الإنتاج.

وعلى عكس مواسير التغليف، تتدلى مواسير الإنتاج من رأس البئر و تعلق بواسطة جهاز تعليق مواسير الإنتاج Tubing Hunger وليست مثبتة بالأسمنت في مكانها. وبالتالي، يكون من السهل رفع هذه المواسير إذا ظهرت أي مشاكل في البئر أو حدثت مشاكل في الإنتاج مستقبلاً. يتم اختيار قوتها وموادها وحجمها-الوزن/الوحدة الطولية والقطر الداخلي حسب معدلات الإنتاج المتوقعة، وأنواع الإنتاج، والضغوط، والأعماق، ودرجات الحرارة، و احتمال التآكل .

2-4-2 تثبيت شجرة الإنتاج :

الخطوة الأخيرة في استكمال البئر هي تثبيت رأس البئر المعروف باسم شجرة رأس البئر X-mas Tree الذي يقع على قمة البئر، وهو عبارة عن تجميع للصمامات البوابية. تشمل وظائفه: المساعدة في دعم وزن أنابيب الإنتاج، التحكم في تدفق ومراقبة ضغط سوائل البئر، وأيضًا ربط البئر بأنظمة الإنتاج السطحية (الفواصل).



الشكل (25) يبين إنزال المواسير الإنتاج في الآبار

2-5 إحياء البئر:

و يعتبر استخدام الرفع بالنتروجين باستخدام النواسير المرنة (الملفوفة) من الطرق المميزة في تنشيط الآبار، وذلك كما يلي.

2-5-1 استخدام وحدات المواسير المرنة في عمليات إحياء الآبار (الرفع بالنيتروجين):

يعد استخدام وحدات المواسير المرنة من أجل تخفيف وزن عمود السائل في الآبار النفطية من الحلول الاقتصادية السريعة لاستعادة الإنتاج من أجل إحياء الآبار, حيث في البداية يكون الضغط الهيدروستاتيكي الناتج عن وزن عمود السائل في البئر كافياً للتغلب على ضغط قاع البئر مقابل الطبقة المنتجة, و بإزاحة جزء من السائل في البئر باستخدام النيتروجين سيخفف من الضغط الهيدروستاتيكي , و بالتالي يقل ضغط قاع البئر , مما سيمكن الطبقة المنتجة من الإنتاج ذاتياً مرة أخرى.

و في حال كانت الظروف البئرية مستقرة (الضغط, الإنتاجية , المزيج المنتج, ..) فإن الإنتاج سيستمر حتى بعد توقف عملية ضخ النيتروجين .

هناك فواد جمّة لاستخدام مجموعات المواسير المرنة في عمليات تنشيط الآبار باستخدام النيتروجين, كما أنه من السهل التحكم بجميع العمليات اللازمة لتنشيط الآبار و ضبط

عمق الضخ و معدل ضخ النيتروجين, كما تمكن هذه الوحدات من الحصول على العينات غير الملوثة من الموائع الطبقية.

و ومما يزيد في فعالية تنشيط إنتاج النفط كذلك هو ذوبان جزء من النتروجين في النفط مشكلاً سائلاً ذا وزن نوعي أقل مما يقلل في الضغط الناتج عن وزن عمود السائل مقابل الطبقة المنتجة.

استخدام غاز النيتروجين في عمليات إحياء الآبار: و ذلك للأسباب التالية:

1- غاز آمن , لا يحترق و لا يساعد على الاحتراق, بل و يحجم الاحتراق, فهو المفضل عندما يتعلق الأمر لاستخدام في المجالات الخطيرة (المؤدية للاحتراق و الانفجار).
2- **من أرخص الغازات و أكثرها توفراً (يدخل في تركيب الغلاف الجوي للأرض و بنسبة 78%) .**
3- لا يشكل أي مزيج انفجاري مع الهيدروكربونات.
4- قابل للذوبان في النفط.
5- غاز خامل لا يشكل أية مواد تؤدي إلى تآكل المعدات الجوفية.
6- غاز لا يلوث البئر أو الطبقات عند استخدامه.

ولا بد عند تنفيذ أعمال الرفع بالنيتروجين من إتباع **التوصيات التالية**:

- لا بد أولاً من جمع المعطيات البئرية و الطبقية بما في ذلك : الضغط الستاتيكي لقاع البئر SBHP, انحدار الضغط, نوع السائل في البئر, معدل الغاز إلى السائل GLR, مؤشر الإنتاجية الأولي قبل بدء العمل PI.
- لا بد من المعرفة الدقيقة بكل المعدات الجوفية في التشكيلة الإنتاجية للبئر, وخصوصاً تلك التي تعيق الجريان.
- عند اعتماد غاز النيتروجين في عملية رفع النفط و تخفيف السائل في البئر, لا بد عندها من حساب و اعتماد أقل حجم من النيتروجين لهذه العملية
- لا يسمح أبداً باستخدام الغاز الطبيعي أو الهواء في هذه العمليات.
- لا يسمح بالسرعة في الضخ و سحب المواسير لتحفيز الإنتاج.
- لا يجوز ضخ النيتروجين عند عمق أكبر من المحدد مسبقاً لزيادة عملية رفع الموائع البئرية, إلا بعد استخدام ضغط للفالة السطحية Choke يعوض ذلك.
- كما لا يجوز ضخ النيتروجين بكميات أكبر من اللازم بغرض زيادة الإنتاجية, بدون وجود إمكانية للتحكم بالتدفق و الإنتاجية.
- لا يجوز التوقف عن ضخ النيتروجين إلا بعد سحب كامل المواسير المرنة خارج البئر.

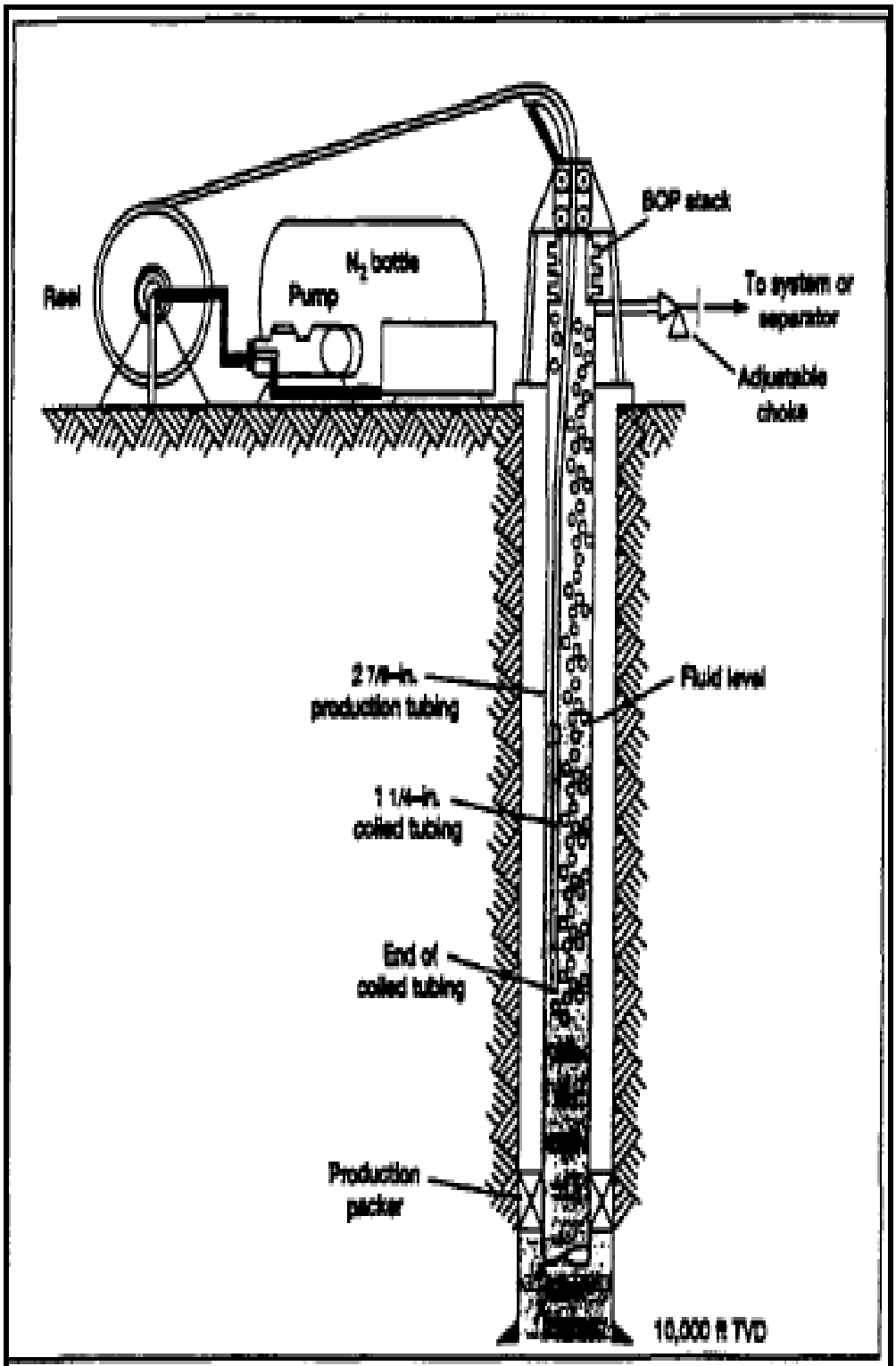


Figure 18.36: Fluid Unloading Operation Using Coiled Tubing and Nitrogen

الشكل (26) يبين استخدام المواسير المرنة في عمليات الرفع بالنيتروجين

2-6 اختبار البئر.

اختبار الآبار النفطية المنتجة هو عملية تقييم لأداء البئر من خلال قياسات الإنتاج والضغط لتحديد خصائص المكمن والطبقات الجيولوجية بغرض تحديد الإنتاجية المثالية لتشغيل الآبار النفطية و بذلك تمثل الخطوة الرئيسية و الأساسية لإجراء الدراسات الإنتاجية (و منها تحاليل نودال Nodal Analysis) .

تشمل هذه الاختبارات إجراءات مثل اختبار تصاعد الضغط (build-up test) واختبار تنازل الضغط (drawdown test) ، بالإضافة إلى تقييمات أخرى تساعد في تحديد مؤشرات مثل النفاذية، وضغط المكمن، ودرجة تضرر الطبقة، وتحديد مشاكل مثل تغلغل المياه أو الغاز .

2-6-1 أهداف اختبارات الآبار المنتجة:

- **قياس معدلات التدفق:** تحديد كميات النفط والغاز التي ينتجها البئر.
- **تقييم أداء المكمن :**فهم سلوك المكمن والتنبؤ بقدرته الإنتاجية.
- **تحديد خصائص الطبقات :**حساب نفاذية الطبقة، حجم المسام، وخصائصها الهيدروليكية.
- **تقييم حالة البئر :**تحديد درجة تضرر الطبقة (skin factor) وتقييم فعالية عمليات التحفيز أو الإنعاش السابقة.
- **اكتشاف مشاكل الإنتاج :**تحديد مشاكل مثل تغلغل المياه أو الغاز في المكمن.
- **التخطيط للإنتاج :**توفير البيانات اللازمة لاتخاذ قرارات حول خطط تطوير البئر والإنتاج المستقبلي .

2-6-2 أنواع اختبارات الآبار الرئيسية:

- **اختبار تصاعد الضغط:(Build-up test)**
  - يتم الإنتاج من البئر لفترة من الزمن بمعدل تدفق ثابت.
  - بعد ذلك، يتم إغلاق البئر لتسجيل استجابة الضغط مع مرور الزمن حتى تصل قيمة الضغط المسجل إلى حدود المكمن (قيمة الضغط الطبقي).
- **اختبار تنازل الضغط:(Drawdown test)**
  - يتم فتح بئر مغلق في البداية بغرض الإنتاج.
  - يتم تسجيل استجابة الضغط ومعدل التدفق مع مرور الزمن.

- **اختبار التداخل:(Interference test)**
  - يُجرى على أكثر من بئر في نفس الوقت.
  - بئر يتم قياس معدل التدفق فيه (من البئر الحقيقي)، بينما يُقاس الضغط في الآبار الأخرى المحيطة به (آبار المراقبة).

تجرى هذه الاختبارات من خلال مقاييس تحديد تدرج ضغوط الآبار وحرارة الآبار وصولاً إلى أقرب نقطة لقاع البئر و ذلك من خلال جهاز مقياس الذاكرة (Memory Gauge) بينما يتم قياس إنتاجية البئر (للأطوار الثلاثة) بواسطة فاصل اختبار الآبار (MTU: Mobilized Testing Separator – PTS: Portable Testing Separator)

2-6-3 مقياس الذاكرة (Memory Gauge)

الوظيفة: و يتم من خلالها تسجيل بيانات الضغط ودرجة الحرارة في قاع البئر بتردد (فاصل زمني قليل) محدد لتحليلها لاحقًا.

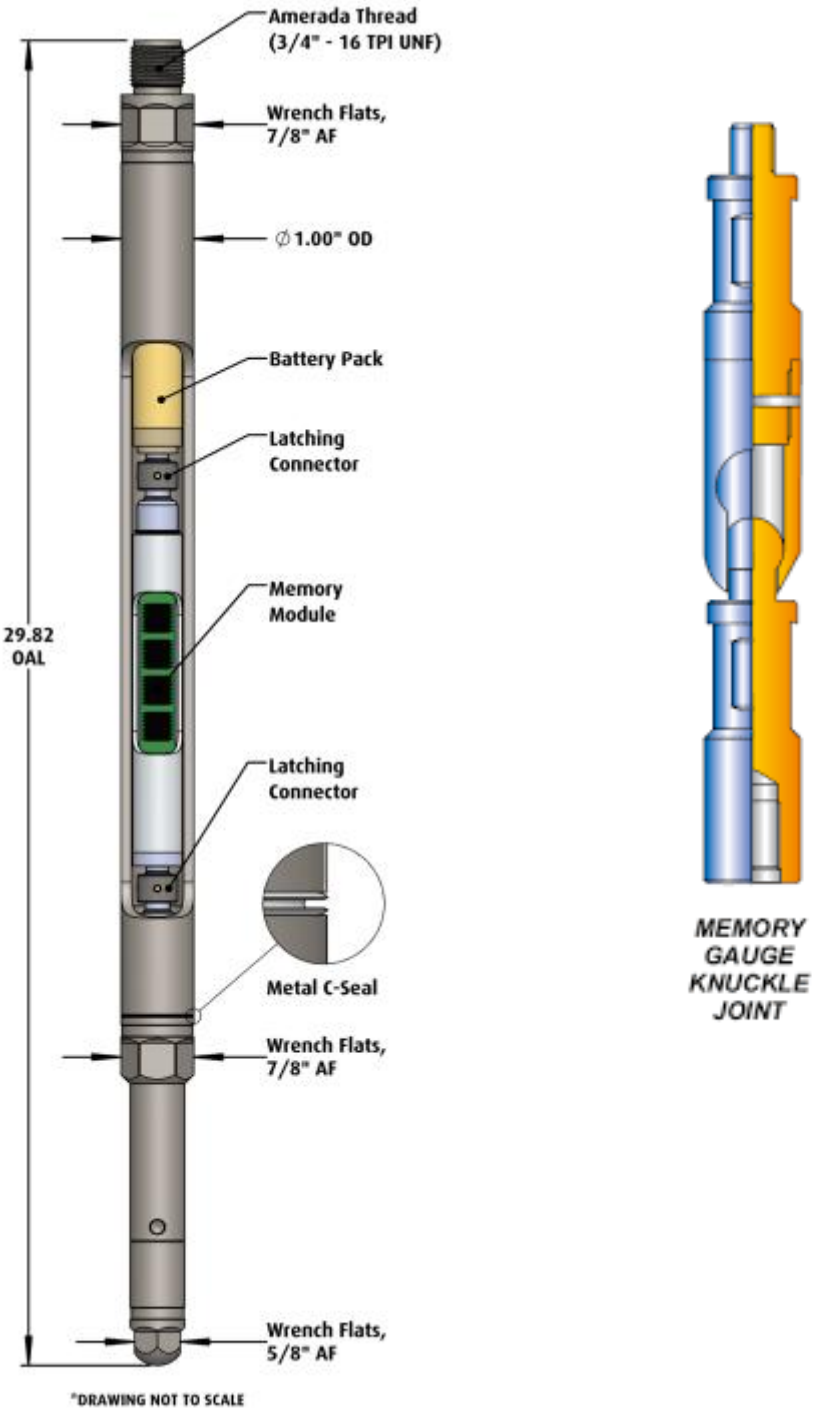
الاستخدام: و هي تستخدم عادةً بالقرب من قاع البئر خلال فترة الاختبار (التدفق والإغلاق) للحصول على تمثيل دقيق لأداء البئر وسلوك السوائل، و بالتالي يتم تسجيل كل من:

1- ضغط قاع البئر السكوني (SBHP: Static Bottom Hole Pressure) وذلك عند إغلاق البئر.

2- ضغط قاع البئر الديناميكي (FBHP: Flow Bottom Hole Pressure) و المسجل عند قاع البئر عند إنتاج البئر و هذا ما يترافق مع تشغيل فاصل الاختبار ثلاثي الطور لتحديد إنتاجية البئر و من الأطوار الثلاثة.

3- تدرج الضغط (Pressure Gradient).

4- التدرج الحراري (Temperature Gradient) و درجة حرارة قاع البئر (Bottom Hole Temperature).



الشكل (27) أجزاء جهاز الذاكرة (Memory Gauge) و جهاز إنزالها في البئر

يوفر جهاز الذاكرة تسجيل بيانات الضغط و الحرارة مما يساعد في تحديد إنتاجية البئر و يضمن قياسًا دقيقًا للتدفق.

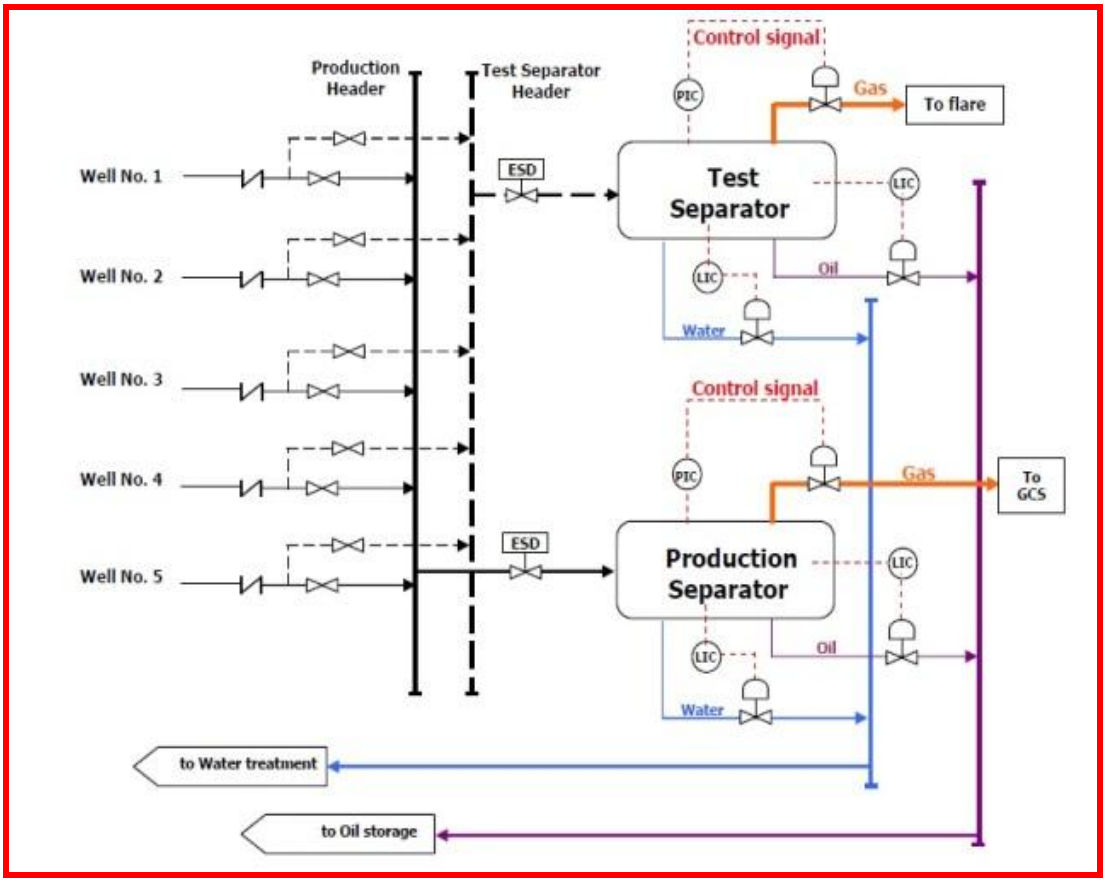
كما يمكن برمجته للحصول على قراءات كثيرة جدا – كما سنرى– لالتقاط البيانات الكبيرة و بفواصل زمنية قليلة جداً و يتم استرجاع البيانات بعد سحب المقياس من البئر.

4-6-2 فاصل الاختبار المتنقل (MTU: Mobilized Testing Separator)

وهو عبارة عن مستوعب سطحي يفصل أطوار سوائل البئر المنتجة (النفط، الغاز، الماء)، وعادة ما يكون عبارة عن فاصل أفقي ثلاثي الطور.

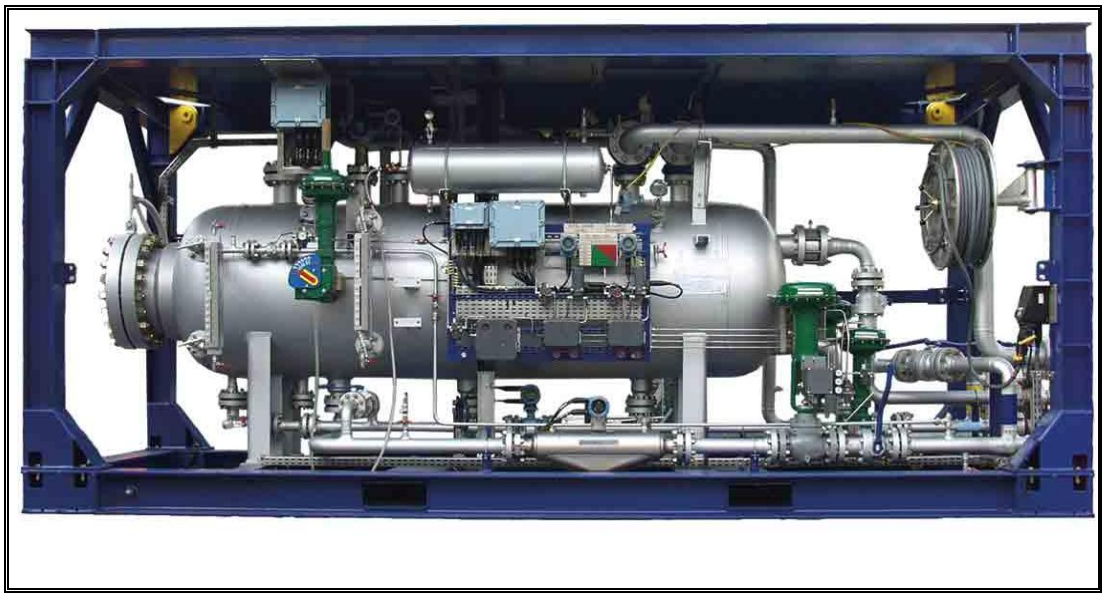
يتم عادة تحويل خط إنتاج كل البئر شهرياً – كإجراء دوري – إلى فاصل الاختبار ولمدة محددة (مثل 12–24 ساعة)، وذلك بغرض قياس معدلات إنتاج الآبار الفردية من خلال فصل الأطوار الثلاثة المنتجة (النفط والغاز والماء) وباستخدام مقاييس تدفق أحادية الطور على مخارج الأطوار المفصولة.

وفي الآبار المنتجة يتم تحديد إنتاجية البئر (من الماء والنفط والغاز) من خلال ربطه بخط فاصل الاختبار (Test Manifold) في المحطة (الشكل).



الشكل (28) مخطط لمحطة إنتاجية مجهزة بفاصل اختبار

أما عندما تكون الآبار حديثة فلا بد من اختبار البئر بواسطة فاصل ثلاثي الطور المحمول – المتنقل (MTU: Mobilized Testing Unit- PTS: Portable Testing Unit) و الذي سيمكن من تحديد إنتاجية البئر الحقيقية و التي سيتم ربطها مع معطيات ضغط قاع البئر الديناميكي المقاس فعليا باستخدام جهاز الذاكرة (Memory Gauge).



الشكل (29) فاصل اختبارمحمول – MTU Mobilized Testing Unit

ومن خلال توفر فواصل الاختبار بيانات عالية الدقة التي تعطي معدلات الإنتاج الحقيقية للأطوار المنتجة مع توفر معطيات ضغوط الآبار الجوفية و تحليل مجموعات البيانات هذه معًا نكون قد حصلنا على تحليل شامل لأداء البئر وإنتاجيته.

كذلك فلا بد من استخدام فواصل الاختبار المحمولة (MTU) مع جهاز الذاكرة (Memory Gauge) لدى إجراء أعمال تحميض الآبار و تنشيط الابار باستخدام النيتروجين و غيرها، لمعرفة مدى تحسن أداء هذه الآبار.

وبعد اختبار البئر يتم وضعه بالإنتاج و ربط خط البئر السطحي Flow Line بخط تجميع الآبار Production Header ثم فاصل المحطة.

الفصل الثالث – نماذج الإنهاء وتشكيلات الإنتاج لبعض الآبار في الحقول السورية

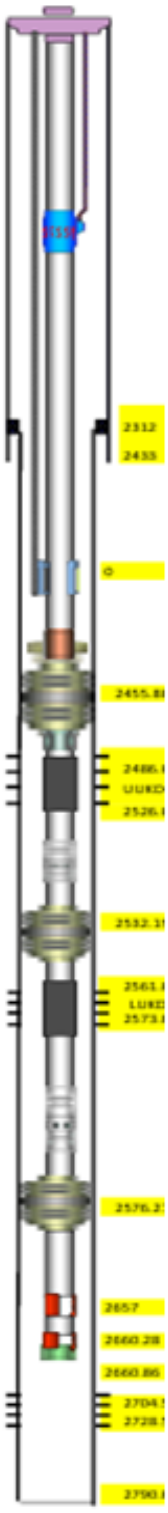
تختلف الحقول السورية بأنواع ونماذج الآبار المستخدمة فيها، وذلك تبعاً للمدارس والمرجعية النفطية التي تتبعها، وعلى سبيل المثال: تتبنى شركة الفرات للنفط المواصفات القياسية لشركة شل العالمية، وتبنت شركة دير الزور للنفط المواصفات الخاصة بشركة إلف واكتون، بينما شركة حيان للنفط اعتمدت المواصفات القياسية لشركة إينا بينما تبنت شركة إيبلا المواصفات القياسية لشركة بتروفاك و معمل غاز الطابية (كونوكو) اعتمدوا على المواصفات القياسية لشركة توتال.
لكن كثيراً ما تحيد بعض الشركات عن اختيار النماذج البئرية القياسية وندرس في هذا الفصل بعض النماذج لآبار مختلفة في الحقول السورية ومبررات اعتمادها أو عدم التبرير وتوضيح السلبيات في هذه النماذج والتشكيلات، كما سنرى.

الحالة الأولى:

إنهاء الآبار من خلال مجموعة واحدة من مواسير الإنتاج، لبئر يخترق عدد من الطبقات المنتجة.

كما هو موضح في الشكل (30) لبئر (الشاعر –107) يحوي عدة طبيقات مخترقة من نفس البئر، وهذه الطبقات من نفس النوع و بنفس تدرج الضغط،
طبعاً ينصح في مثل هذه الحالة أن يتم إنهاء البئر بمجموعة واحدة من مواسير الإنتاج ونعزل كل مجال منتج بباكر، بينما يتم إنتاج من مجال منتج من خلال وصلة الدوران (SSD) أما الطبقة السفلى فيتم الإنتاج منها باستخدام مواسير الإنتاج التي تكون أعلى من المجال المثقب في تشكيلة للطبقة السفلية.

- للإنتاج فقط من التداخل السفلي المنتج يتم عندها إغلاق جميع وصلات التدوير في تشكيلة الإنتاج.
- للإنتاج فقط من التداخل العلوي المنتج يتم عندها إغلاق جميع وصلة التدوير في تشكيلة الإنتاج مقابل الطبقة الوسطى ويتم إغلاق الطبقة السفلية من خلال إنزال سدادة في المقعد الجوفي.
- وللإنتاج من جميع التداخلات المنتجة تكون وصلات الدوران مقابل التداخلين المنتجين العلويين مفتوحين ومواسير الإنتاج مفتوحة ولا تحوي سدادات.

التجهيزات الأولية لبئر (الشاعر-107)	التشكيلة الإنتاجية
- جهاز تعليق مواسير الإنتاج. - تشكيلة مواسير إنتاج قياس 3.5 إنش - صمام أمان جوفي عند العمق 98 م - مواسير إنتاج 3 ½" – Fox- 13Cr - نهاية مواسير تغليف 9 5/8"، 2312 م - بداية مواسير تغليف 7 " - جهاز تعليق لجهاز مراقبة جوفي - باكر أول عند العمق 2455 م. - مقعد جوفي - عمق المجال المثقب الأول 2486-2526 م - وصلة دوران للإنتاج من المجال المثقب الأول. - باكر ثاني عند العمق 2532 م. - عمق المجال المثقب الثاني 2461-2573 م. - وصلة دوران للإنتاج من المجال المثقب الثاني. - باكر ثالث عند العمق 2576 م. - وصلة دوران للإنتاج من المجال المثقب الثاني. - عمق المجال المثقب الثالث 2704-22728 م. - عمق البئر النهائي 2790 م	

الشكل (30) نموذج التشكيلة الإنتاجية الذاتية لبئر الشاعر-107

الحالة الثانية:

تم استخدام هذه الطريقة في شركة الفرات للنفط في آبار تخترق طبقات منتجة و قد تكون مكونة من أكثر من نطاق حامل للنفط.

يتم حفر المرحلة الإنتاجية و حتى العمق المطلوب ثم يتم إنزال تشكيلة مواسير الإنتاج أمام الطبقة المنتجة و إجراء عملية سمنتة على هذه المواسير (حيث تعتبر مواسير الإنتاج في هذه الطريقة بمثابة مواسير تغليف إنتاجية و تتم عملية الإسمنت للمرحلة الإنتاجية من خلالها) ثم يتم إنجاز عملية التثقيب لمواسير الإنتاج أمام الطبقة المنتجة السفلية و يتم الإنتاج منها حتى انتهاء زمن استثمارها (عندما ينخفض ضغط المكمن ويصبح قريباً من ضغط قاع البئر ، أو عند اماهة هذا المجال) يتم عزله بواسطة السدادة ميكانيكية خاصة تستند على المقد الجوفي الخاص وبعد ذلك نقوم بتثقيب المجال المنتج الأعلى منه وهكذا حتى نهاية الطبقة المنتجة العلوية .

تتميز هذه الطريقة الجدوى الاقتصادية الناتجة عن إنقاص زمن إنزال مواسير التغليف وتقليل زمن استخدام الحفارات في الموقع للحد الأدنى وتكاليف مواسير التغليف الإنتاجية.

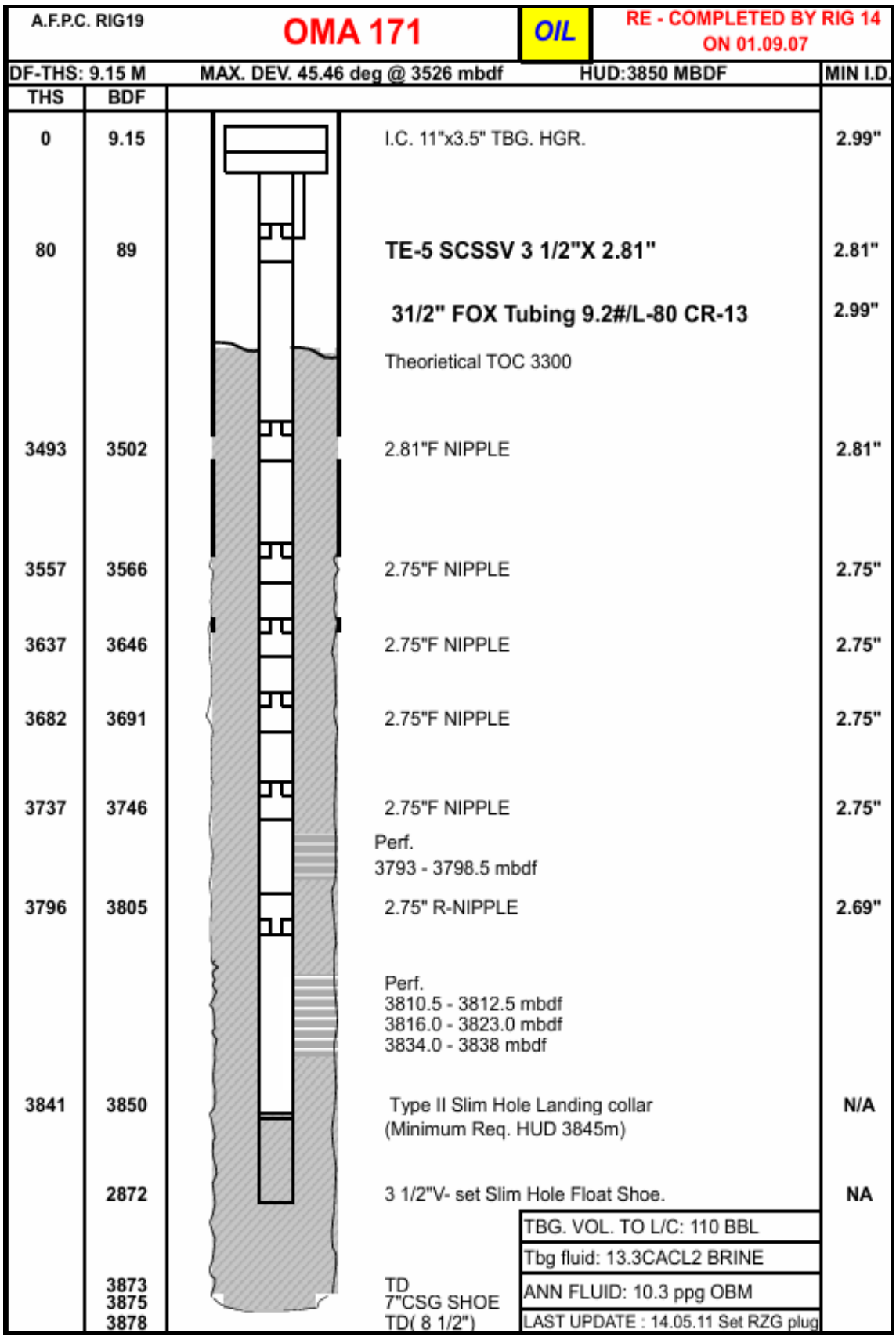
لكن المخاطرة باستخدام هذا النموذج كبير ولا يمكن تبريره و إن أي فشل في عمليات الإسمنت أو تآكل مواسير الإنتاج أو تقدم الغاز سيكون على حساب كامل البئر و الذي لن يكون بالإمكان إصلاحه.

و المبرر لاستخدام مثل هذه النماذج هو العقوبات التي فرضت على سوريا منذ العام 2005.

مما أدى للنقص في تجهيزات الآبار و على رأسها مواسير التغليف.

و يبين الشكل(31) هذا النموذج.

يتميز هذا النموذج عموماً بالإكثار من المقاعد الجوفية التي يمكن إغلاقها عند الحاجة و التحكم في هذا البئر لا يمكن، و الأصعب أن سحب تشكيلة مواسير الإنتاج غير ممكن أبداً بسبب الإسمنت المحيط بها!



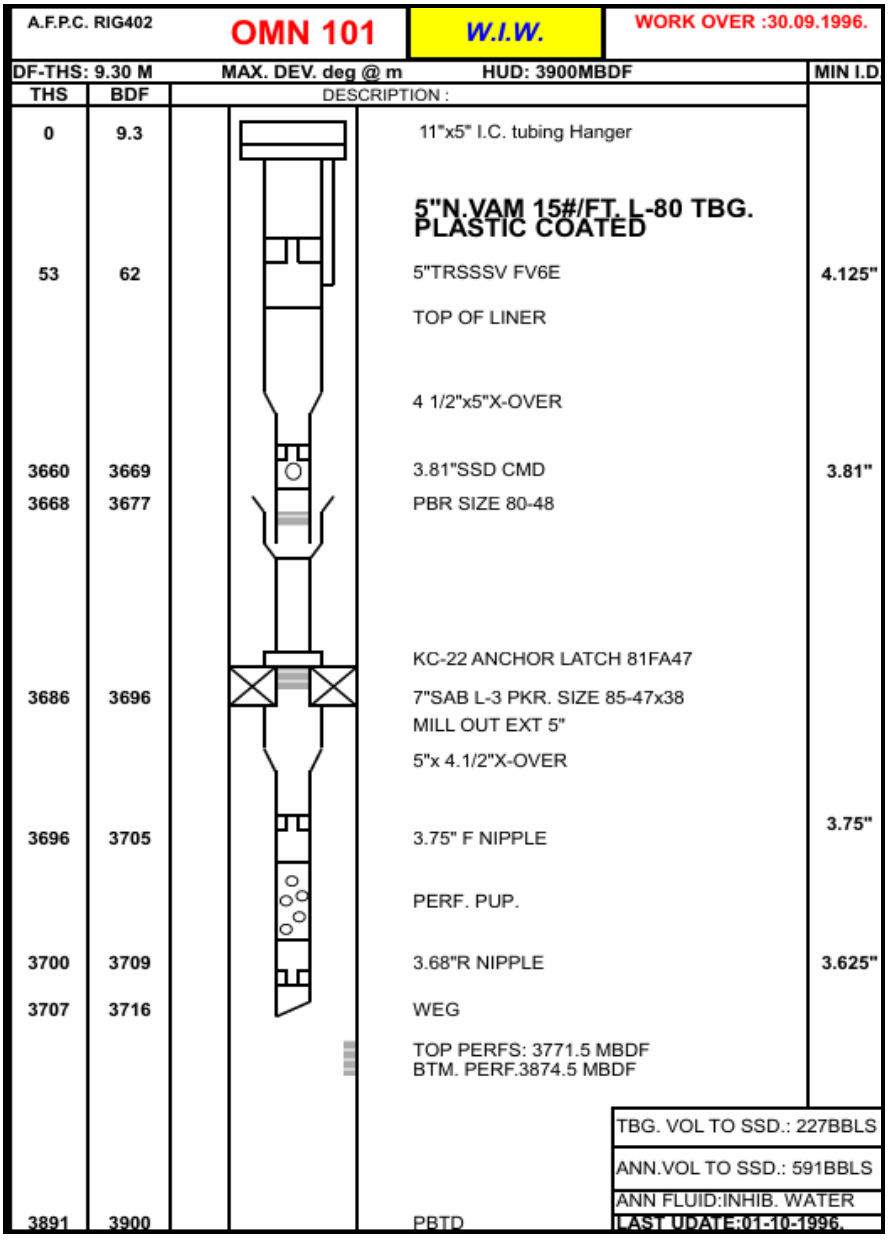
الشكل (31) نموذج إنهاء الآبار بالتغليف عن طريق مواسير التغليف.

الحالة الثالثة:

إنهاء آبار حقن المياه:

يتم إنهاء هذه الابار بنفس طريقة إنهاء الآبار المنتجة، يمكن إيجاز الفرق بينها و بين الآبار المنتجة بما يلي:

- المجال المثقب هو واحد ويكون مقابلاً للطبقة المنتجة في النطاق المائي.
- تكون مواسير الحقن في هذا البئر (التشكيلة المنتجة) بقطر أكبر من المواسير المنتجة (4.5 in 5–) و هذا ما يقلل ضياع الضغط بالاحتكاك و يخفف ضغط الحقن على السطح و يقلل من استطاعة مضخات الحقن على السطح.



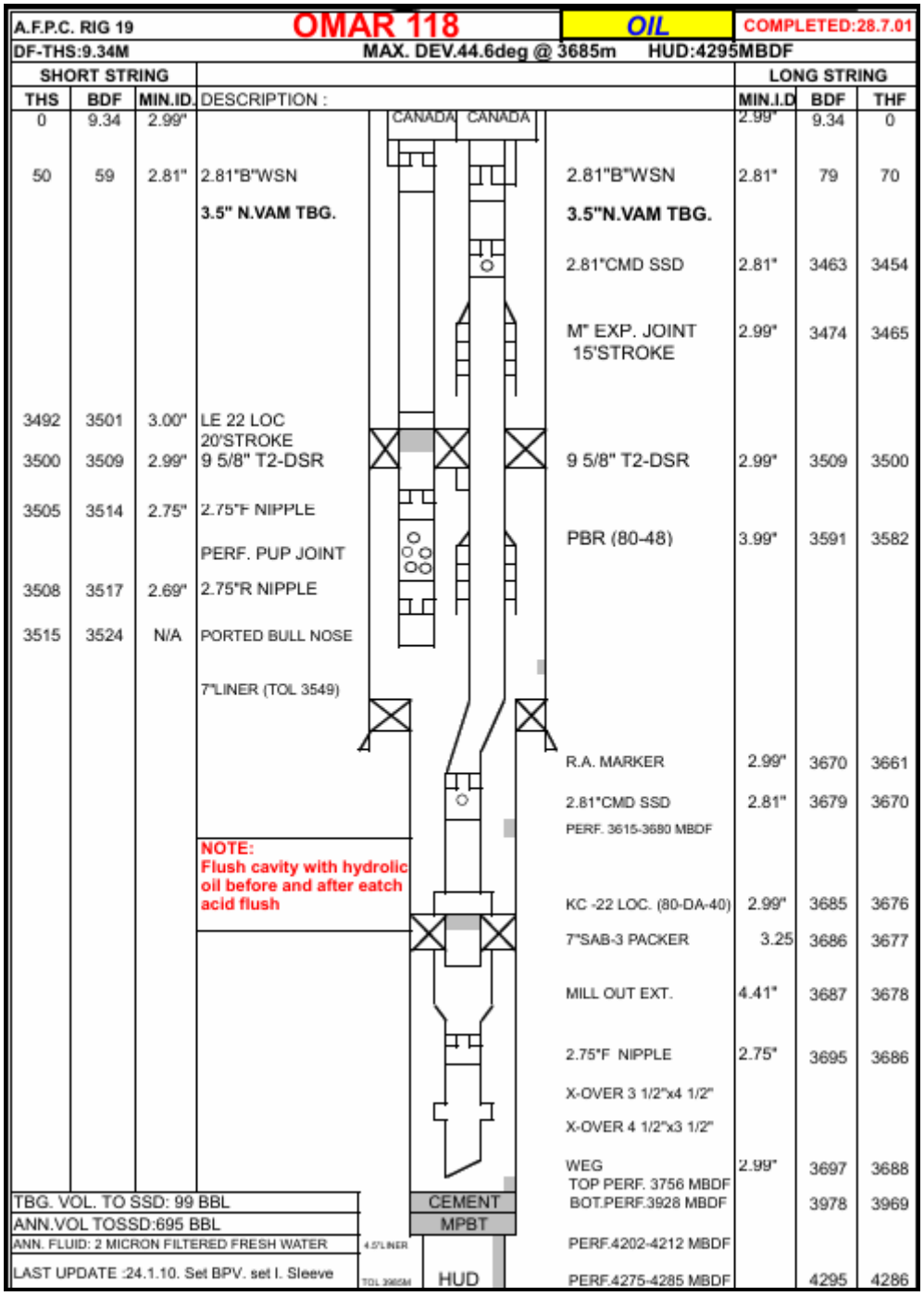
الشكل (32) نموذج إنهاء لآبار حقن الماء.

الحالة الرابعة:

إنهاء آبار متعدد الطبقات ذات الضغوط أو التركيب الكيميائي المختلف Dual Completion :

يمكن أن نجمل مزايا هذا النوع من إنهاء الآبار أنه يوفر لنا حفر بئرين و الإنتاج من طبقتين منتجتين مختلفتين (بتدرج الضغط أو بالتركيب الكيميائي) من خلال بئر واحد و لكن بمجموعتين من مواسير الإنتاج.

وتعامل كل مجموعة من مواسير الإنتاج كبئر مستقل.



الشكل (33) نموذج إنهاء لآبار بتشكيلتين من مواسير الإنتاج.

و لا بد أن يؤخذ بالحسبان في هذه الآبار نوع شجرة رأس البئر أن تكون من النوع المضاعف (Dual)، الشكل (34) , و كذلك يكون الباكر العلوي قادراً على تمرير مجموعتي مواسير الإنتاج، الشكل (35).



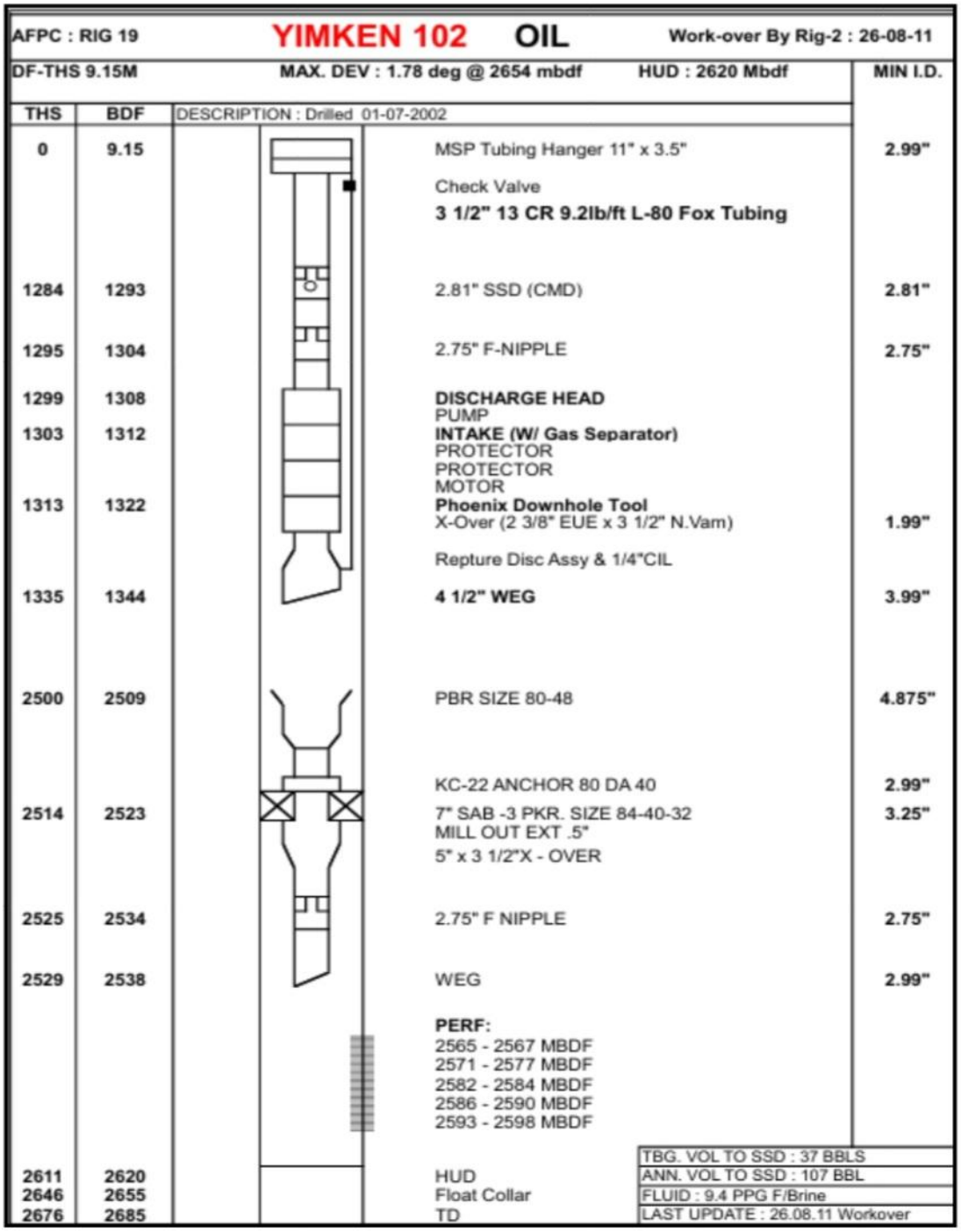


الشكل (34) نموذج إنهاء شجرة رأس البئر و باكر لإنهاء آبار بتشكيلتين من مواسير الإنتاج.

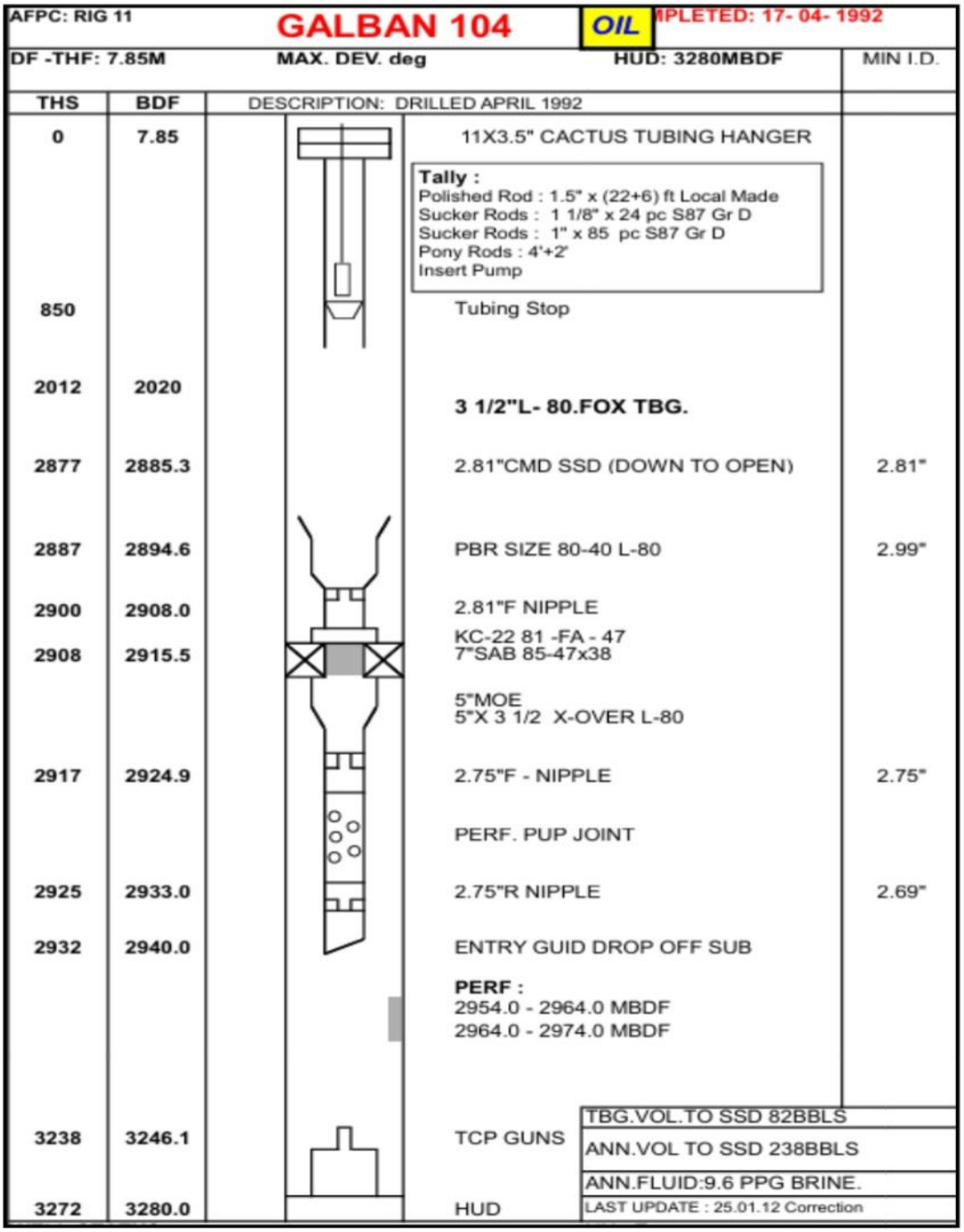
الحالة الخامسة:

تحويل الآبار إلى آبار الإنتاج الميكانيكي (الرفع الذاتي)

يمكن النموذج المعتمد لآبار النفط في حقول شركة الفرات من إمكانية تحويل هذه الآبار إلى الرفع الصناعي(باستخدام المضخات العمودية والمضخات الكهربائية الغاطسة) من خلال سحب مواسير الإنتاج مع الجزء الداخلي من وصلة التمدد والتقلص وترك الجزء الخارجي و ذيل المواسير الإنتاج (الباكر و وصلة الباكر و الوصلة المثقبة) في البئر ودون طحن و دون الحاجة إلى حفارة حفر أي باستخدام حفارات إصلاح آبار **كما في الشكل 35 و36.**



الشكل (35)نموذج إنهاء بئر بعد تحويله من بئر ذاتي إلى بئر منتج باستخدام المضخات الكهربائية الغاط



الشكل (36) نموذج إنهاء بئر بعد تحويله من بئر ذاتي إلى بئر منتج باستخدام المضخات العمودية

الحالة السادسة:

إنزال مجموعة مواسير الإنتاج مع الوصلات المثقبة:

تستخدم في الشركة السورية للنفط نموذجاً بسيطاً لتشكيلات الآبار مكوناً من مجموعة من مواسير الإنتاج وتكون النواسير السفلية ضيقة بقطر $2\ ^{3/8}$ إنش، وبوصلتين بين مواسير الإنتاج مثقبتين وعلى عمقين الأول 1000م، والثانية على عمق 1200م، وعندما يراد إحياء البئر يتم استخدام الضاغط الهوائي.

وعند إحياء البئر سيتم الإنتاج من مواسير الإنتاج والفراغ الحلقي معاً.

وهذا الأمر مرفوض لعدة أسباب، منها:

- أن مواسير التغليف يجب أن تدوم لآخر عمر البئر، والإنتاج منها سيعرضها للتآكل.
- إن استخدام الضاغط الهوائي لإحياء الآبار يؤدي إلى تشكل مزيج انفجاري خطير (كما حدث في بئر أبو رباح)، بينما إحياء الآبار يجب أن يتم باستخدام الغازات الآمنة (غاز النتروجين).
- كذلك فالقياسات الصغيرة من مواسير الإنتاج أمر منهي عنه، لإنه سيؤدي بعد توسع مواسير الإنتاج إلى إفلات الغاز ()، مما قد يؤدي لتشكل سدادات من الهيدرات.

إن المشاكل المذكورة تكررت في الشركة السورية للنفط، والواجب تجنبها.

النتائج والمقترحات

1. إن تصميم إنهاء الآبار تحدد قدرة البئر على الإنتاج، سهولة الصيانة، وطول عمره التشغيلي.
2. يعتبر إنهاء الآبار المرحلة الأكثر أهمية في تحويل البئر من مجرد حفرة بئر إلى منظومة إنتاج فعالة. والتصميم السليم لنظام الإكمال يضمن أقصى استفادة من المكمن مع الحفاظ على السلامة والكفاءة التشغيلية.
3. لا بد من توفر قواعد بيانات لنماذج الآبار للرجوع إليها في كل مرة نريد فيها الاستفادة من العمل على هذه الآبار أو آبار مماثلة، كما لا بد من تحديث بيانات الآبار في كل مرة يتم تنفيذ أي عمل عليها.
4. ننصح –عند إنهاء الآبار وإنجاز المرحلة الإنتاجية– برفع السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي خلف مواسير التغليف الإنتاجية إلى السطح بما يؤمن العزل التام للبئر عن الطبقات المجاورة وعزل الطبقات المخترقة عن البئر.
5. لا بد من التخطيط للبئر وتكامل المعلومات والاعتماد الدقيق على القياسات البئرية التي يجب أن تنجز لكل بئر للحصول على العمق الدقيق للتثقيب وعدد المجالات المثقبة ونموذج التشكيلة الإنتاجية.
6. لا يمكن القبول بالإنتاج من الفراغ الحلقي أبداً، والذي قد تنتهجه بعض الشركات، لأن الإنتاج من الفراغ الحلقي سيؤدي إلى تآكل مواسير التغليف الإنتاجية وعمر هذه المواسير يحدد عمر البئر.
7. يمكن استخدام النماذج الحديثة من التشكيلات الإنتاجية من إجراء القياسات البئرية المختلفة وإعادة التثقيب وأخذ العينات الجوفية دون سحب تشكيلة مواسير الإنتاج، وبدون عمليات قتل للآبار، كذلك يمكن تحديد ضغوط و درجة الحرارة عند قاع البئر أثناء الإنتاج كذلك ودون الحاجة لقتل للبئر و كل ذلك باستخدام النماذج الحديثة والمذكورة في دراستنا.
8. لا يمكن القبول بالتوفير على حساب المخاطرة بالبئر، فمثلاً نموذج التغليف باستخدام المواسير الإنتاجية لا ننصح به أبداً فعدم ترابط الإسمنت وتراكم الرمال وتقدم المياه ستشكل جميعها مشكلات كبرى أثناء تشغيل الآبار.

9. تتوافر في سوريا العديد من الشركات التي عملت وفقاً لنماذج الابار المعتمدة عالمياً ورأينا ذلك في النماذج لشركة الفرات للنفط وشركة إيبلا للنفط، وننصح أن يتم التدرب في جميع الشركات للعمل وفقاً المواصفات المعتمدة عالمياً.
10. لابد دوماً من تدريب الكوادر السورية و العمل على المواصفات القياسية العالمية و في كل الجوانب النفطية، و على سبيل المثال فإن المواصفات العالمية التالية:

API- Spec 14 ; API-Spec 19AC/ISO 14998:2013;

API- pec 19AC/ISO 14998:2013; API-Spec-11D1

من المواصفات الأساسية للعمل على تجهيزات آبار النفط والغاز.

المراجع

1- تقارير و وثائق شركة الفرات للنفط.

2- تقارير و وثائق شركة إيبلا للنفط.

3- API- Spec 14 ; API-Spec 19AC/ISO 14998:2013;

4- API- pec 19AC/ISO 14998:2013; API-Spec-11D1

5- Schlumberger Slickline Training Manual, Revision 3: November 2002.

6- Shell Completion Design Manual 2005.

7- W144 Completion & Well Intervention Operations: 2010. Shell .

8- Well Completion and downhole Equipment, Baker Hughs, 2009.