الفصل الثامن

هندسة الحفر

(١) نبذة تاريخية عن تطور طرق الحفر وأجهزته :

لقد عرف الناس الآبار منذ قديم الزمان . فلقد ورد أول ذكر لعمليات حفر الآبار فى مخطوطات صينية قديمة يعود تاريخها إلى القرن الثالث بعد الميلاد، فلقد اخترقت هذه الآبار طبقات الأرض المختلفة طلباً للملح المذاب فى المياه الجوفية فى هذه المناطق .

وفى حوالى سنة ١٠٠ ميلادية أى قبل حفر أول بئر فى العالم الغربى بقرون طويلة، كان عمق الآبار المحفورة فى الصين بمعدات بدائية جداً تبلغ أحياناً ٣٥٠٠ قدم، وكانت هذه الآبار تحفر بآلة ثقيلة تدعى المثقب معلقة بحبل يمر حول بكرة أو اسطوانة ويتعلق بها من الطرف الآخر للحبل عدد من الرجال يجذبونه طلوعاً ونزولا وهم يثبون فوق لوح من الخشب يهتز من تحتهم، وتكرار عملية صعود وهبوط وزن المثقب يجعله يخترق طبقات الأرض، ويتعمق فيها محدثاً الثقب المراد ، وكانت هذه الطريقة هى الأساس الذى نشأت منه طريقة الحفر الدقاق (Percussion drilling)

ولقد ولدت صناعة البترول وتم حفر الآبار لغرض البحث عن البترول عام ١٨٥٩ بالقرب من بلدة تيتوسفيل فى ولاية بنسلفانيا حيث حفر الكولونيل (دريك) أول بئر فى هذه المنطقة . وكان دريك موظفاً فى شركة صغيرة لبيع زيت الاستصباح المستخرج من نزور سطحية، ولقد تكلل عمله بالنجاح عندما امتلأ البئر جزئياً بالزيت على عمق بلغ حوالى تسع وستين قدما . وفى نفس الفترة الزمنية كان حفر الآبار يجرى فى أماكن أخرى خارج الولايات المتحدة وخاصة فى أويل سبرينجر (عيون الزيت) فى أونتاريو فى كندا وفى بلدة أخرى بالقرب من هانوفر فى المانيا . ولذلك فهناك خلاف حول أى البلدان كان له فخر السبق إلى حفر أول بئر زيت تجاريه .

وجدير بالذكر أن نجاح بئر دريك كان مبعث ازدهار صناعة الزيت لأول مرة فى التاريخ ولقد حفرت هذه الآبار كلها بطريقة الحفر الدقاق .

(ب) طرق الحفر المختلفة :

١ ــ طريقة الحفر الدقاق : (Percussion drilling)

وهى طريقة للحفر كانت تستخدم فى القرن التاسع عشر، ولقد ظلت هذه طريقة الحفر الرئيسية خلال العقدين الأولين من القرن العشرين . وتعتمد طريقة الحفر الدقاق فى الأساس على الحفر بضربات متكررة يسددها مثقب (دقاق) متصل بعمود حفر ، وهو قطعة طويلة من الفولاذ معلقة فى طرف حبل من أسلاك من الصلب . ويوفر عمود الحفر الثقل اللازم لدفع الدقاق فى الأرض .

أما الثقب الناتج فى الأرض فيبقى فارغا إلا من قليل من الماء فى القاع ، وبعد حفر بضع أقدام يسحب المثقب من البئر لاستخراج ما تراكم من فتات صخرى بواسطة (دلو) وهو عبارة عن أنبوبة مفتوحة ذات صمام فى طرفها الأسفل ، وكانت توضع فى البئر من حين إلى آخر أنابيب فولاذية تعرف باسم أنابيب التغليف (Casing) ذات أقطار متدرجة فى الصغر فتحول دون تهدم جوانب البئر وتمنع الماء من التسرب إليه .

وطريقة الحفر الدقاق هذه قليلة التكاليف بسيطة وفعالة بالنسبة إلى الآبار الضحلة ولكن سير العمل بها بطيء وهى تخلو من وسائل الأمن اللازمة لوقف تدفق الزيت والغاز ذى الضغط المرتفع مما كان يؤدى إلى تفجر الآبار وقذفها لمقادير من الزيت والغاز تتساقط على الأرض من حول البئر (Blow out) وكان هذا المشهد يبهر الأنظار إلا أنه كان مضيعة للكثير من الزيت والغاز كما كان مصدراً لأخطار الحريق .

٢ ــ طريقة الحفر الدورانية : (Rotary drilling)

لقد بدأ استعمال هذه الطريقة فى بداية هذا القرن وهى تختلف إختلافاً جذرياً عن طريقة الحفر الدقاق فى هذه الطريقة يربط الدقاق فى نهاية سلسلة من المواسير المصنوعة من الصلب (Drill collars & pipes) وبدلا من أن تتحرك المجموعة صعوداً وهبوطاً فإنها تدار بواسطة طبلية الحفر الدورانى (Rotary table) التى تنقل الحركة إلى عمود الحفر بواسطة الأنبوبة الأعلى أو عمود الحفر المضلع (Kelly) ويظل سائل الحفر أو الطفلة (Mud or Drilling fluid) يسرى فى البئر بصفة مستمرة نزولا

داخل مجموعة مواسير الحفر المجوفة وتخرج من الثلاث فتحات الموجودة فى الدقاق وتتحرك إلى أعلى خلال الحيز الحلقى (Annular space) المحصور بين مواسير الحفر وجدران البئر الى أن تصعد الى سطح الارض .

فسائل الحفر بدورته هذه داخل البئر يحمل معه فتات الصخر (Cutting) الناتج من عملية الحفر خارج البئر فبذلك نستغنى عن رفع أدوات الحفر من البئر لكى ننظفه من فتات الصخر المتراكم على القاع . وهنا لك عدة فوائد أخرى لسائل الحفر منها :

(ا) عند مرور سائل الحفر من خلال فتحات الدقاق فإنه يقوم بتبريده وتنظيف أسنان الدقاق من المواد الطينية التى تكون عالقة به فبذلك يعطى أحسن النتائج لعملية الحفر.

(ب) كما أن وزن عمود الطفلة داخل البئر من شأنه أن يمنع الزيت أو الغاز من الخروج بفعل الضغط فيظل محبوساً فى طبقات الأرض التى يكون الدقاق قد اخترقها مقللاً بذلك خطر حدوث انفجار فى البئر .

وعلى الرغم من هذه المميزات فقد انقضت مدة من الزمن قبل أن تحل طريقة الحفر الدورانى محل طريقة الحفر الدقاق، فلقد ظلت هذه الطريقة تستعمل فى حفر الأراضى الصخرية الصلبة فى بنسلفانيا حتى سنة ١٩٥٧ . على أن المناطق التى ظلت تستعملها قد عدلت عنها وأخذت الان تستعمل الطريقة الدورانية مستعينة بالهواء كوسيط لدورة الحفر ولتنظيف البئر ومستخدمة دقاقاً خاصاً برؤس صغيرة من كربيد التنجستين (Tungesten Carbide) الشديد الصلابة وبذلك تطول مدة استعمال الدقاق داخل البئر وبالتالى تقلل من الوقت الضائع فى إخراج مواسير الحفر من البئر لتغيير الدقاق وإعادة إنزال هذه المواسير فى البئر لاستئناف عملية الحفر .

ولا يختلف نظام الحفر الدورانى فى الأساس عن النظام الذى كان متبعاً فى بداية استخدام هذه الطريقة إلا أن الشبه بعيد جداً بين جهاز الحفر القديم ببرجه الخشبى الصغير وأجهزة الرفع البدائية المستعملة التى يديرها محرك بخارى صغير وبين المنشآت الحديثة بأبراجها المعدنية الكبيرة والمختلفة الأشكال وأجهزتها الرافعة الضخمة المتطورة التى تحركها محركات ديزل تبلغ قوتها أحياناً ٣٠٠٠ (ثلاثة آلاف حصان) أو تزيد .

وسوف نناقش ونصف هذه الأجهزة بالتفصيل فى الصفحات القادمة .

٣ ــ طريقة الحفر التوربينى : (Turbo drilling)

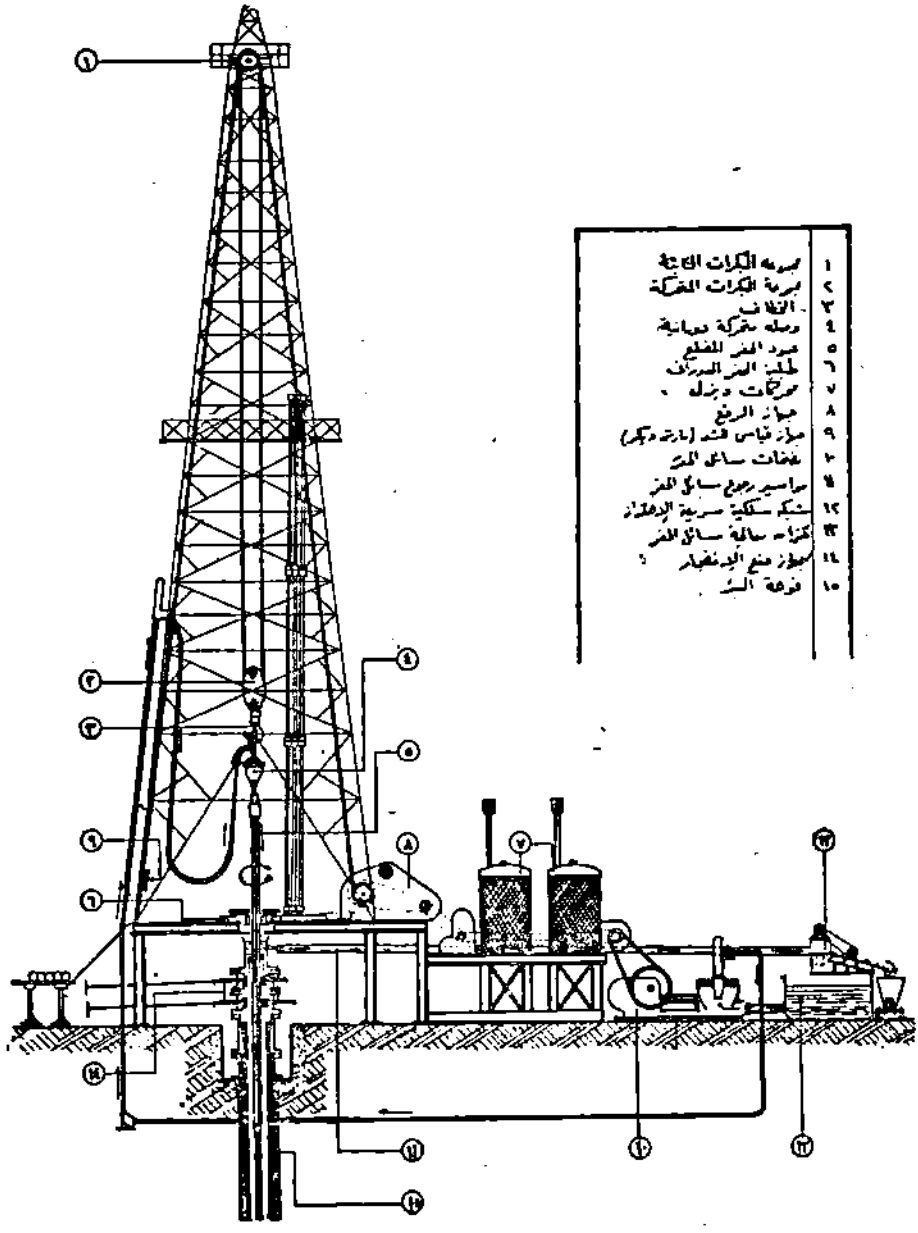
وهى طريقة مستعملة كثيراً فى الاتحاد السوفيتى وفى رومانيا، وأخيراً إنتشر إستعمالها فى كثير من البلدان البترولية . فى هذه الطريقة لاتدور أنابيب الحفر كلها بل تظل ثابتة، أما الجزء الذى يدور فى القاع فهو الدقاق وهذه الحركة الدورانية للدقاق تأتى من محرك توربينى يعمل بواسطة مرور سوائل الحفر داخله وتزداد سرعة الدوران مع زيادة كمية السوائل المدفونة داخله .

ومع أن هذه الطريقة تمتاز على طريقة الحفر الدورانى المألوفة بسرعة اختراق الدقاق للأرض، إلا أن من عيوب هذه الطريقة ضرورة إستخراج الدقاق من البئر بعد فترات زمنية قصيرة وذلك للتآكل السريع والمستمر للدقاق مما يجعل الفاعلية الإجمالية أقل وخاصة فى الآبار العميقة حيث يستعمل سائل حفر ثقيل أى كثافته النوعية كبيرة . ولكن هذه الطريقة جديرة بالاستعمال حيث يصعب الحصول على الصلب من النوع الممتاز اللازم لصناعة مواسير الحفر وكذلك فى بعض الحالات التى يكون فيها التلف السريع للدقاق ليس مهما .

وفى السنوات الأخيرة اشترك الخبراء الروس والفرنسيون فى تطوير طريقة الحفر التربينى وتوصلوا إلى إختراع طريقة الحفر المرن (Flexo - drill) وهو يعتمد أيضاً على استعمال توربينة فى القاع، ولكن بدلا من استعمال مواسير حفر من الصلب استعملوا خرطوماً من الكاوتشوك المقوى من الداخل بواسطة ضفائر من السلك الصلب الذى يقوى الكاوتشوك . وهذا الخرطوم يكون ملفوفاً حول طنبور (Drum) ، مما يسهل للحفار عملية إنزاله واستخراجه من البئر بسهولة كبيرة وهذه العملية توفر ، لنا الوقت الضائع فى استخراج المواسير من البئر لتغيير الدقاق .

(ح) وصف جهاز الحفر الدورانى الحديث :

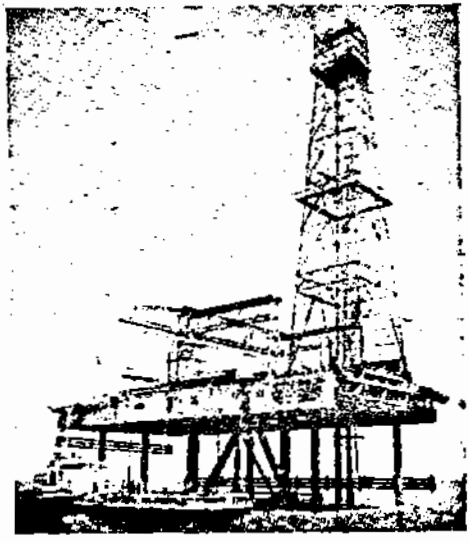
يتكون جهاز الحفر الدورانى الحديث من برج : للحفر ، الدقاق ، مجموعة أنابيب الحفر، طبلية الحفر الدورانى المعدات الرافعة، معدات ضخ سائل الحفر المحركات الأساسية ، وجهاز نقل الحركة ، وجهاز للتحكم فى الضغط انظر الشكل رقم (٨٧) .



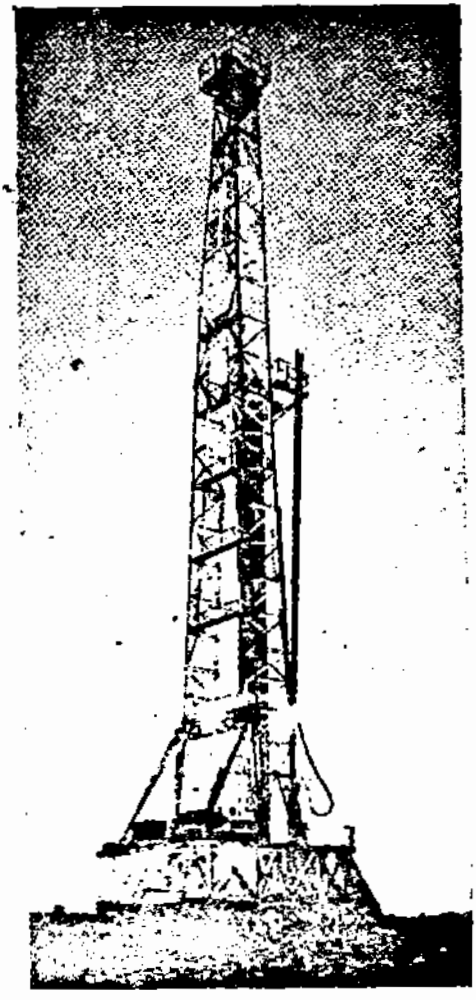
(شكل ٨٧) رسم توضيحي لأجزاء جهاز الحفر الدوراني

١ – برج الحفر : (Derrick)

يوجد نوعان أساسيان من أبراج الحفر وهما : (برج الحفر الاعتيادى (Conventional derrick) وهو كالمبين بالشكل (٨٨) ويتكون من أربع أرجل من الصلب ، متصلة ببعض بطريقة تجعله يتحمل قوة الشد المؤثرة . . عليه من جراء إنزال مواسير ، وأنابيب الحفر داخل والبئر ولذلك يجب أن يقاوم الانبعاج (Buckling) الذى قد يحدث فى الأرجل الاربع للبرج أثناء إجراء العمليات الخاصة بالحفر . والنوع الثانى من الابراج هو (صارى الحفر) (Mast) (شكل ٨٩) وهو يتكون أساساً من



(شكل ٨٨) صورة لبرج الحفر (فى حالة الحفر البحرى)



(شكل ٨٩) صورة لصارى الحفر

ماسورتين طويلتين من الصلب متصلتين من أعلى بواسطة مجموعة البكرات العليا المكونة لمجموعة المعدات الرافعة وتتكئان فى أسفلهما على أنبوبتين من الصلب يتم ضبط طولهما بحيث يكون الصارى رأسياً وبالتالى يحفظان توازنه أثناء إجراء عملية حفر البئر .

ويستخدم النوع الأول لحفر الآبار العميقه بينما يستخدم النوع الثانى لحفر الآبار الضحلة .

٢ ــ الدقاق ومجموعة أنابيب الحفر الدقاق : (Bit)

الدقاق هو رأس الحربه فى جهاز الحفر وهو يشق طريقه الى اعماق بعيده تحت سطح الأرض خلال الصخور المختلفة المكونة لطبقات الأرض والتى تكون أحياناً أصلب من الجرانيت . ويوجد ثلاثة أنواع مختلفة من الدقاق تستخدم لأغراض مختلفة لحفر التربة أو الصخور ومن الأنواع الشائعة الاستعمال ما يلى :

(ا) دقاق ذيل السمكة : (Fith-tail bit)

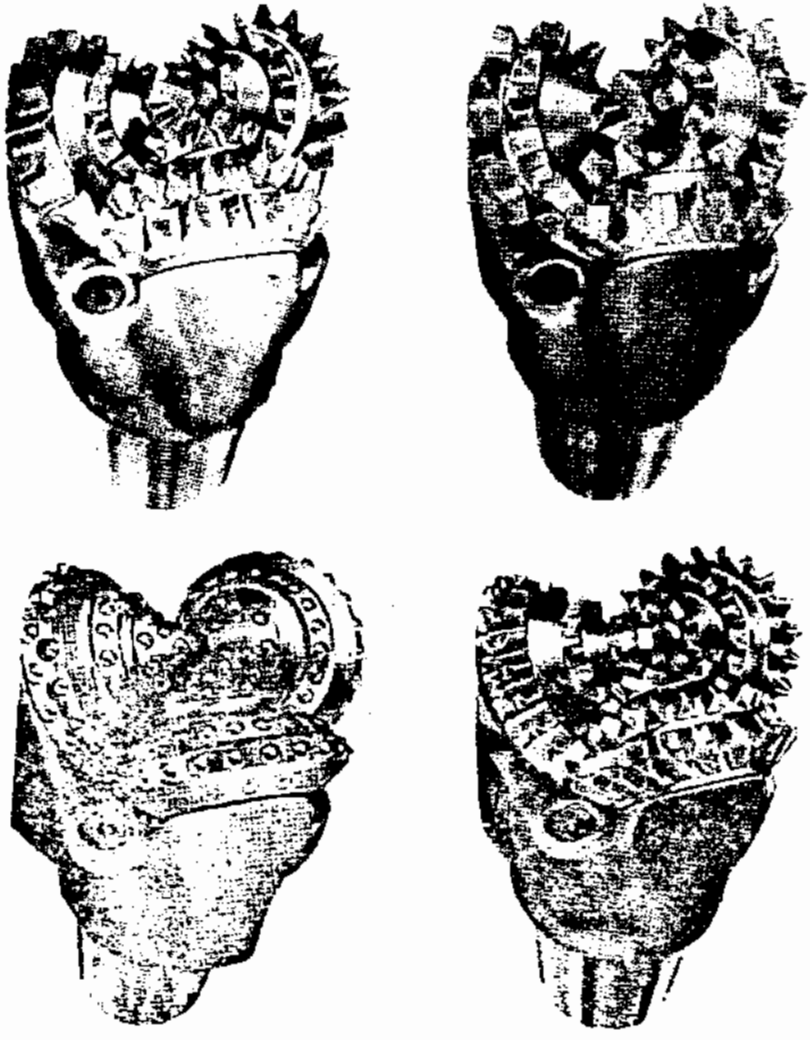
(شكل ٩٠) دقاق ذيل السمكة

وهو كما مبين فى الشكل رقم (٩٠) ويتكون من سلاحين أو ثلاثة من الصلب لها شكل محدد وعادة طولهما أكبر من عرضهما ويستخدم هــذا النوع من الدقاقات فى حفــر الصخور السطحية المفككة كما يستخدم فى حفر الصخور الطينية الغير متماسكة ويكون معدل الحفر سريع فى مثل هذه الحالات وقد قل استعمال هذا النوع من الدقاقات فى الوقت الحالى .

(ب) دقاق ثلاثى المخروطات : (Tri-cone bits)

وهو يتكون من ثلاثة مخروطات تتحرك حول محاور ثلاثة بنظام معين (كما هو مبين فى الشكل رقم (٩١) ويوجد أسفل هذه المخروطات ثلاث فتحات (Nozzels) يخرج منها سائل الحفر تحت ضغط وبسرعة كبيرة فيقوم بتنظيف الأسنان الموجودة حول كل مخروط كما يقوم بتبريدها .

يوجد عدة أنواع من الدقاقات الثلاث المخروطات يستخدم كل منها فى حالة معينة فعندما تكون الأسنان طويلة ومتباعدة عن بعضها يستعمل فى حفر التربة والصخور الرخوه وعندما تكون الاسنان قصيره ومتقاربه من بعضها يستخدم للحفر فى الصخور ذات الصلابة المتوسطة والعالية أما الصخور الصلبة جداً فيستخدم لها عادة دقاقات تظهر فيها قطع مستديرة من كربيد التانجستين الشديد الصلابة كما (بالشكل ٩١) . ويوجد نوع آخر من الدقاقات مرتفع الثمن إذ أنه يحتوى



(شكل ٩١) دقاق ثلاثى المخروطات

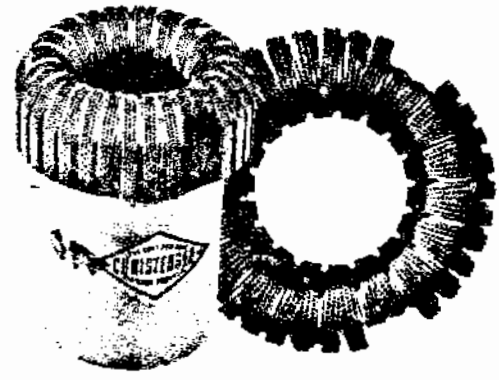
(ا) يستعمل فى حفر صخور رخوة (ب) يستعمل فى حفر صخور متوسطة الصلابة

(جـ) يستعمل فى حفر صخور صلبة (د) يستعمل فى حفر صخور صلبة جداً وبارية

على قطع من الماس مثبتة ومغروزة فى الجزء العلوى من الدقاق كما فى شكل (٩٢) ، وهو يستخدم عادة للحفر فى الآبار العميقه جداً والتى تعرف مسبقاً بأنها تمر خلال ، صخور متناهية الصلابة لأنه عند استعمال الدقاقات العاديه فى هذه الحالة تتآكل بسرعة ، مما يستدعى استخراج مواسير الحفر لتغيير الدقاق فى فترات زمنية متقاربة مما يزيد كثيراً من تكاليف حفر البئر . فهذا الوقت الضائع يمكن تقليله باستخدام دقاقات ماسية .

(Diamond bits)

(ح) دقاق مجوف لاستخراج عينات الصخر الأسطوانية (Core bits) وهو



(شكل ٩٢) دقاق ماسى
مجوف لأخذ عينات الصخر الأسطوانية

(شكل ٩٣) دقاق ماسى

فى العادة مرصع بقطع من الماس أو بقطع من كربيد التانجستين لكى يكون شديد الصلابه ويطول مدة استخدامه فى الحفر لأخذ عينات الصخر التى تدخل تجويف الدقاق الذى يوجد أعلاه ثلاثة أسلحة تستخدم لقطع العينة الأسطوانية وتمنعها من السقوط أثناء رفع المواسير إلى السطح .

مجموعة أنابيب الحفر :

يثبت الدقاق بطرف مجموعة أنابيب الحفر وهى أنابيب مصنوعة من صلب خاص طول الواحدة منها ٣٠ قدماً تقريباً وقطره فى العادة خمس بوصات وأحياناً ٤١/٢ (أربع ونصف بوصة). أو ٢/٣١ بوصة أو حتى أقل من ذلك ويجهز كل طول أو عمود بوصلات خاصة من الصلب (Tool joints) تساعد على ربط الأنابيب ببعضها وتكون مانعة لتسرب سائل الحفر وقادرة على نقل عزم الدوران (Torque) ويمكن تركيبها وفكها مرة تلو الأخرى بسرعة وأمان .

يمر عمود الحفر المضلع (الوصلة العليا لمجموعة أنابيب الحفر) من خلال فتحة فى طبلية الحفر الدورانى .

فتنقل القوة أو عزم الدوران من الآلات الدورانية إلى مجموعة أنابيب الحفر ومنها إلى الدقاق ويصنع عمود الحفر المضلع بمقطع مربع أو مسدس الشكل . ويربط بطبليه الحفر الدورانى مجموعات من البكرات لها تجويف خاص يدعى جلبة عمود الحفر المضلع (Kelly bushing) وتشمل مجموعات البكرات الموجودة داخل هذه الجلبة فتحة ذات شكل مربع أو مسدس يمر خلالها عمود الحفر المضلع الذى يدور مع الطبلية وهكذا يتيسر لعمود الحفر أن يكون خالياً من الاحتكاك عندما يتم إنزاله ويبدأ الحفر .

وتوجد عند الطرف الأسفل من مجموعة أنابيب الحفر فرق الدقاق مباشرة مواسير ثقيلة سميكة الجوانب تدعى (أساور الحفر (Drill collars) ويساعد وزن هذه المواسير على إتمام عملية الحفر على أحسن وجه .فعند إنزال مجموعة أنابيب الحفر يهبط الدقاق إلى قاع البئر ويبدأ فى تحمل الثقل الواقع عليه ويضغط على صخر القاع .

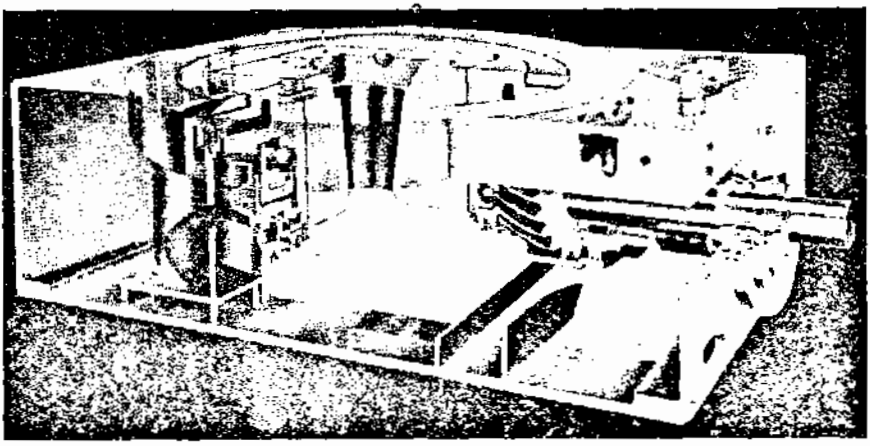
وتصنع أجزاء مجموعة أنابيب الحفر من أجود أنواع الصلب وبمنتهى الإتقان حتى تستطيع تحمل الإجهادات الشديدة التى تسببها أعمال الحفر إذ كثيراً ما تنقل قوة كبيرة إلى الدقاق بواسطة سلسلة الأنابيب هذه أثناء دورانها . كما يسبب وزن مجموعة المواسير الضخمة إجهادات شديدة على الأجزاء السفلى من مجموعة أنابيب الحفر .

وتتراوح سرعة دوران مجموعة أنابيب الحفر مع الدقاق المتصل بها بين ٧٥ — ٢٥٠ دورة فى الدقيقة وذلك باستعمال دقاق قطره ٨ ٣/٤ (ثمانية وثلاثة أرباع بوصة) وتلقى مجموعة مواسير الحفر (التى يصل وزنها أحياناً ٨٠٠٠٠ رطل) على الدقاق من خلال

أساور الحفر وتستخدم عادة فى حفر الصخور الصلبة أوزان ثقيلة وسرعة دوران بطيئة أما فى حالة الصخور الرخوة فتستخدم السرعة العالية مع الأوزان الثقيلة فى الغالب لنحصل على أحسن معدل للحفر . ولو أن الأوزان الثقيلة صارت تستعمل أحيانًا فى حفر الصخور الرخوة أيضًا وفى هذه الحالة يجب أن يكون ضغط سائل الحفر الخارج من فتحات الدقاق كبير وسرعته كبيرة تصل أحيانًا إلى ٣٠٠ــ٤٠٠ قدم فى الثانية لكى تعمل على تنظيف أسنان الدقاق ويساعد على زيادة فاعلته

٣ ــ معدات الحركة الدورانية :

تنقل الحركة الدورانية لعمود الحفر المضلع وبالتالى إلى مجموعة أنابيب الحفر بواسطة طبلية الحفر الدورانى (شكل ٩٤) الموضوعة فى وسط أرضية برج الحفر عن طريق جلبة عمود الحفر المضلع .



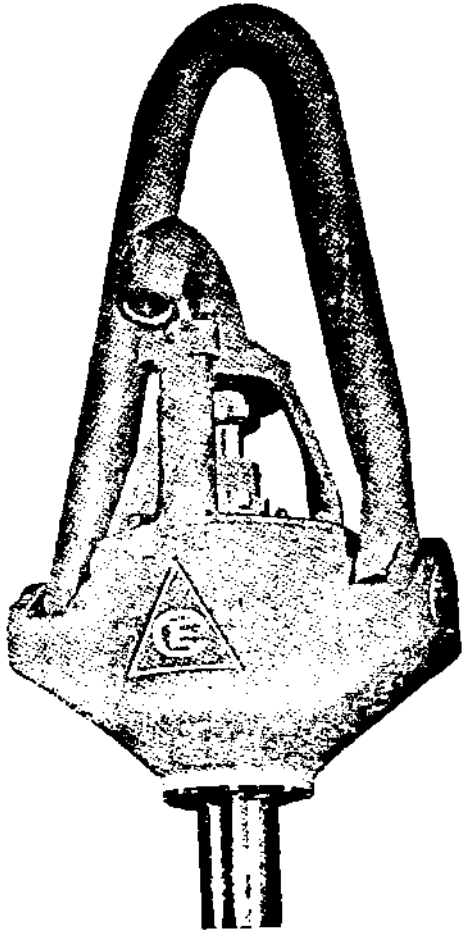
(شكل ٩٤) طبلية الحفر الدورانى

ويمر عمود الحفر المضلع خلال فتحة فى الجلبة وهذه الفتحة مطابقة له تمامًا وتسمح له بالدوران وفى نفس الوقت بالتحرك رأسيًا صعوداً ونزولاً على طول الجزء الأعظم من هذا العمود .

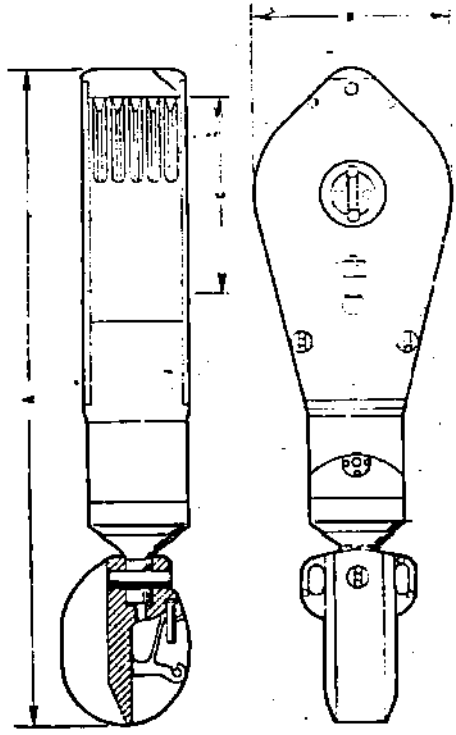
تدور طبلية الحفر بواسطة مجموعة من المحركات الكهربية أو الديزل أو غيرها من

المحركات الأساسية وتنتقل الحركة الدورانيةمن المحركات إلى طبلية الحفر بواسطة صندوق تخفيض السرعة بنسبة ٣ : ١ مثلا .

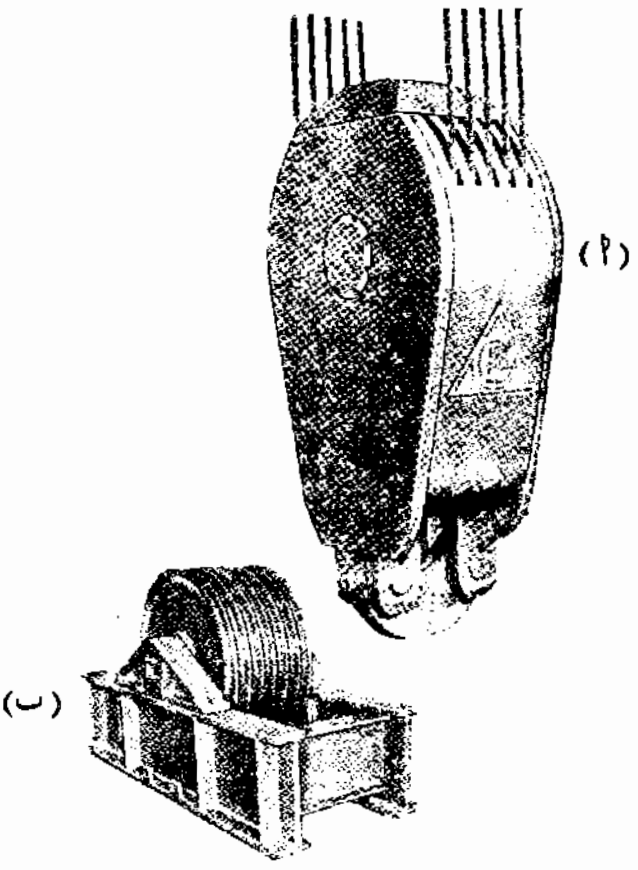
ويتدلى عمود الحفر المضلع ومجموعة أنابيب الحفر من الخطاف (hook) (شكل ٩٥) بواسطة وصلة متحركة دورانية (Swivel) (شكل ٩٦) وتسمح هذه الوصلة لعمود الحفر بالدوران مهما كان وزنه كما تنقل هذا الوزن إلى مجموعة من البكرات تعرف بالمجموعة المتحركة (Travelling block) (شكل٩٧) متصلة بواسطة مجموعة من الحبال المعدنية بمجموعة أخرى من البكرات مثبتة فى قمة برج الحفر وهذه المجموعة الثانية تعرف بالمجموعة الثابتة (Crown block) (شكل ٩٧)



(شكل ٩٦) وصلة متحركة دورانية



(شكل ٩٥) مسقط رأسى وجانبى للخطاف



(شكل ٩٧) (أ) المجموعة المتحركة
(ب) المجموعة الثابتة

٤ — المعدات الرافعة : hoisting system

عندما يتآكل الدقاق أو ينكسر أحد مخروطاته تستخدم معدات رافعة لسحب مجموعة الأنابيب من البئر ثم لإنزالها من جديد بعد تغيير الدقاق وتركيبه فى أسفل العمود . ولذلك يتحتم استخدام برج معدنى أو صارى لدعم مجموعة البكرات والأسلاك .

فبعد رفع الأنابيب ٩٠ قدماً (ثلاثة مقاطع كل منها ٣٠ قدماً تقريباً) تفك الوصلة السفلى .

ويمد هذا العمود إلى جانب البرج ويرص بطريقة معينة ليسهل إنزاله بنظام فى البئر مرة ثانية . وبحيث يبقى بعيداً عن الطريق أثناء سحب العمود التالى ثم تسحب بالتوالى أعمدة أخرى من البئر وترص جميعاً بطريقة مماثلة . وبعد سحب جميع أنابيب وأساور

أعمدة أخرى من البئر وترص جميعاً بطريقة مماثلة. وبعد سحب جميع أنابيب وأساور الحفر من البئر يتجمع على البئر والمنصات الأمامية وزن كبير ولذلك يجب تصميم بنيان برج الحفر بحيث يكون قادراً على حمل هذه الأوزان .

وفى أجهزة الحفر العميق تبلغ طاقة جهاز الرفع الجبار الذى يستخدم فى إدخال الأنابيب فى البئر واخراجها منه ٥٠٠ طن ويتكون الجهاز من :

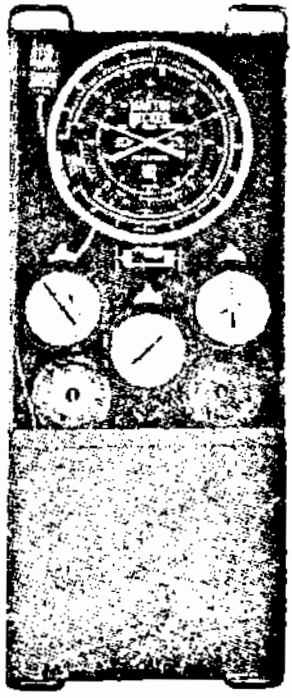
١ ــ مجموعة البكرات الثابتة فى رأس البرج (شكل ٩٧ ب)

٢ ــ مجموعة البكرات المتحركة (شكل ٩٧ أ)

٣ ــ الخطاف (شكل ٩٥)

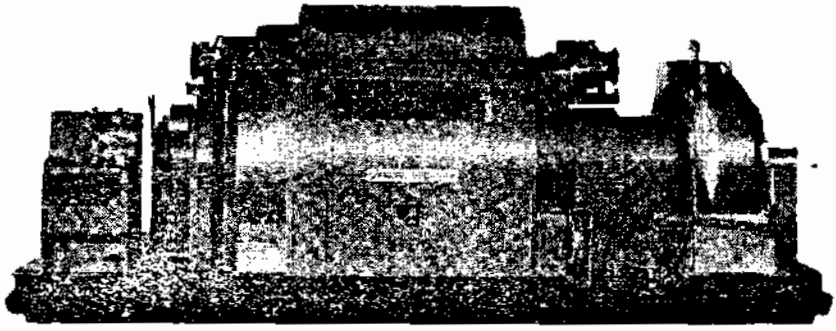
٤ ــ وصلة متحركة دورانية (شكل ٩٦)

أما أسطوانة الرفع (hoisting drum) فيوجد ملفوف حولها حبل من السلك الصلب المتين المرن ، ويتراوح قطره من بوصة إلى بوصة ونصف يمر حول بكرات المجموعة الثابتة والمجموعة المتحركة ويربط الطرف الآخر للحبل بقاعدة البرج ويلحق به جهاز يقيس مقدار الشد الذى يتعرض له الحبل فيسجله بمؤشر مثبت بلوحة موضوعة قرب الحفار (تعرف بالمارتن ديكر Martin Decker (شكل ٩٨) ويشير المؤشر هذا إلى الوزن الصافى المعلق فى الخطاف وإلى الثقل الواقع على الدقاق أثناء الحفر وتضع هذه الآلة سجلا شاملا لأعمال الحفر إذ أنها تواصل تسجيل الأوزان على خريطة بيانية متحركة .



(شكل ٩٨) جهاز المارتن ديكر

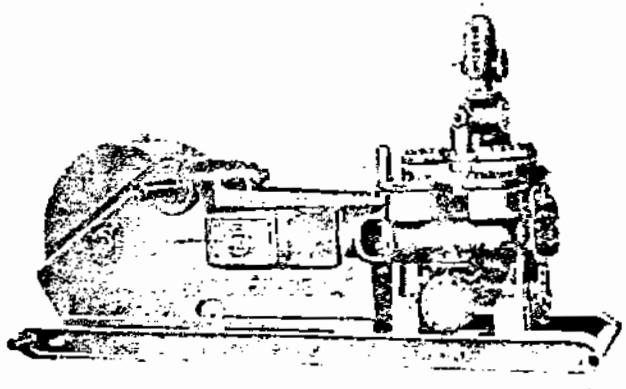
ويثبت جهاز الرفع (Draw work)(شكل ٩٩)بإحكام عند مستوى أرضية البرج وهو يتألف من اسطوانة من الصلب (Drum) ومجموعة من التروس وقرامل للتحكم فى عمليات إنزال واستخراج أنابيب الحفر، وكذلك التحكم فى أغلب الأجهزة الموجودة على برج الحفر.



(شكل ٩٩) جهاز الرفع

٥ ــ معدات ضخ سائل الحفر :

يضخ سائل الحفر (الطفلة) بواسطة طلمبة أو مكبس ضخم ثنائى التردد (Duplex double-acting pump) (شكل ١٠٠) يعمل بواسطة محركات ديزل، وهذه الطلمبات يجب أن تكون فائقة المتانة وقادرة على الاستمرار فى الخدمة لمدة أربع وعشرين ساعة متواصلة ، وليس فقط تحت أحمال ثقيلة ولكن تكون أيضاً قادرة على تصريف السوائل



(شكل ١٠٠) مضخة سائل الحفر

التى تحتوى على كمية كبيرة من الرمال وذلك لأن توقف هذه المضخة أثناء عمليات الحفر قد يسفر عن عواقب خطيرة، منها خسارة قسم من البئر على الأقل، وهذه المضخات تستطيع أن تعمل بضغط يتراوح مابين ٢٥٠٠ — ٣٠٠٠ رطل على البوصة المربعة .

تعتبر دورة الحفر داخل البئر دورة مغلقة إذ يضخ سائل الحفر تحت ضغط عال فيمتص من خزان موجود خارج برج الحفر فيصعد فى ماسورة قائمه عند زاوية البرج ويمر عبر خرطوم ثم الوصلة الدورانية إلى عمود الحفر المضلع الأجوف ، ثم مجموعة أنابيب الحفر ويخرج من فتحات الدقاق ليحمل معه فتات الصخر الذى تهشم نتيجة لدوران الدقاق ويصعد إلى السطح من خلال الحيز الحلقى الموجود بين أنابيب الحفر وجدران البئر .

وعند رأس البئر يمر السائل خلال شبكة سلكية سريعة الاهتزاز التى تحجز معظم فتات الصخر (Cuttings) . ويعود السائل إلى خزان الامتصاص، وغالبا ما تكون العودة عن طريق خزان وسيط يستعمل لأغراض المعالجة .

٦ — المحركات الأساسية وأجهزة نقل الحركة :

بالرغم من أن المحركات البخارية كانت شائعة الاستعمال فى الثلاثينات إلا أن استعمالها الآن قد بطل كلية أو يكاد، وحل محلها محركات ديزل كمصدر للطاقة المحركة . كما أنه توجد محركات ديزل كهربائية شائعة الاستعمال أيضاً خصوصاً فى عمليات الحفر البحرى .

والطاقة اللازمة لحفر بئر عميقة تتطلب وجود ثلاثة محركات أو أربعة طاقة كل واحد منها ٥٠٠ حصان ، ويكون كل محرك مستقلا بذاته على منصة ذات عجلات تسهيلاً لنقله أو إزاحته . وتربط هذه المحركات ببعضها شبكة من أجهزة نقل الحركة والتروس والسلاسل، ويمكن فى بعض الأحيان نقل القوة اللازمة لمضخات سائل الحفر عن طريق هذه الشبكة أو تدار هذه المضخة بواسطة محرك منفصل مع جميع مستلزماته .

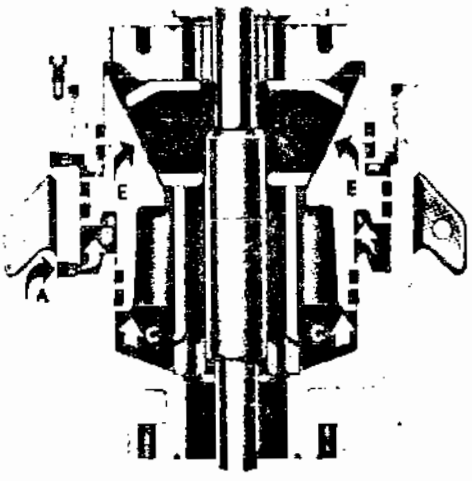
٧ — جهاز التحكم فى ضغط البئر :

عندما يتواجد زيت البترول أو غازات بترولية على عمق ما فإنه يكون تحت ضغط مساو تقريباً لارتفاع عمود الماء من سطح الأرض . ولكن الغاز يميل إلى التمدد عند تحركه وصعوده إلى السطح، ولذلك يكون من السهل أن يقذف بجزء من عمود سائل الحفر الموجود

فى الحيز الحلقى ما لم تعالج هذه الطفلة بحرص ومهارة ونعمل على زيادة وزنها النوعى .

وكذلك عند سحب الدقاق بسرعة من بئر بها طفلة لزجة يتسبب فى خلخلة شديدة تؤدى إلى دخول الغاز أو سائل آخر إلى البئر ما لم تتخذ لذلك إحتياطيات كافية خلال المراحل الأولى من سحب مواسير الحفر. ويمكن كذلك فى حالة الآبار العميقة مصادفة الزيت أو الغاز أو الماء المالح بصورة مفاجئة تحت ضغوط غير عادية تفوق ضغط عمود سائل الحفر تسبب فى أغلب الأحيان ما يعرف باسم الانفجار (Blow out) ولذلك يجب اتخاذ الاحتياطيات اللازمة لتحاشى هذه الظاهرة فى المناطق التى يجرى فيها الحفر .

واستعداداً لهذه الطوارئ تقام شبكة من معدات التحكم عند رأس البئر وذلك بعد تغليف المرحلة السطحية من البئر ، وتستطيع هذه المعدات وتسمى جهاز منع التفجير (Blow out preventor) (شكل ١٠١) أن تسد الفراغ الموجود بين أنابيب الحفر وأنابيب التغليف فى



(شكل ١٠١) قطاع رأسى فى جهاز منع الانفجار

ظرف خمس عشرة ثانية أو أقل، وأن تتحمل ضغوطاً قد تصل إلى ٥٠٠٠ رطل على البوصة المربعة أو أكثر حسب حجمها أو طاقتها . وتعمل هذه الموانع بضغط سائل يؤثر على مكابس متحركة ومتقابلة فتتقارب وتطبق على عمود الحفر وتحيط به إحاطة محكمة . وقد تستعمل أيضاً مكابس ذات شكل مختلف، فتطبق بعضها على البعض، وتسد فتحة البئر كلها إذا كانت مواسير الحفر خارج البئر .

(د) حفر البئر :

١ ــ أساليب الحفر :

حفر البئر عموماً عملية متواصلة خلال أربع وعشرين ساعة، وتستمر عادة دون انقطاع منذ اللحظة التى يبدأ فيها حفر البئر (Spud in) حتى إنجازه .

فلكى يستمر العمل بصورة متواصلة يجب أن يتعاقب على العمل تحت إشراف مراقب للحفر ثلاث فرق كل واحدة منها تتكون من حفار (Driller) وأربعة عمال يتناوبون العمل على ثلاث ورديات كل منها ثمانى ساعات ويتولى أخصائى ميكانيكى الإشراف على على المحركات ، ويستدعى غيره من المتخصصين كلما دعت الحاجة . وتقع مسئولية أعمال الحفر الميكانيكية على الحفارين . ويجب على المهندس المسئول عن الموقع أن يتأكد من تنفيذ برنامج الحفر الموضوع على أكمل وجه. ومن المتبع أن يقوم الكيميائى المختص باختبار سائل الحفر بصفة مستمرة للتأكد من ثبات تركيبه الكيميائى ومحافظته لخصائصه الكيميائية والطبيعية ومعالجته كيمائياً أو ميكانيكياً إذا اقتضى الأمر لضمان حسن سير عمليات الحفر . وهذا أمر شديد الأهمية، إذ أن من شأن سائل الحفر إذا أهمل أو عولج معالجة غير صحيحة أن يعوق التقدم جدياً بل قد يؤدى إلى فقدان التحكم فى البئر أو إلى التصاق مواسير الحفر (Stuckpipes) . . . إلخ .

كما يقوم الجيولوجى المختص بفحص الفتات الصخرى الخارج من البئر مع سائل الحفر لرسم العمود الجيولوجى ، كما ينبغى عليه أيضاً فحص العينات الإسطوانية المستخرجة من البئر قبل إرسالها إلى المعامل لفحصها بمزيد من التفصيل .

وتحفر الآبار رأسية من سطح الأرض عادة للوصول إلى التراكيب الجيولوجية المدفونة وذلك لسهولة نقل جهاز الحفر من موقع إلى آخر . بينما تحفر الآبار مائلة فى عدة حالات مختلفة، مثلا فى حالة الحقول الواقعة بالقرب من شاطئ البحر بحيث يوجد امتداد للحقل تحت سطح البحر ، ففى هذه الحالة يتم استغلال الجزء البحرى من الحقل بواسطة آبار حفرت مائلة وأحياناً تسمى آباراً إتجاهية (directional wells) وهذه الطريقة تستخدم أيضاً عندما يكون من الضرورى حفر عدة آبار من موقع واحد (منصة الحفر البحرى مثلا) (offshore drilling platform)

(ا) الحفر الرأسى :

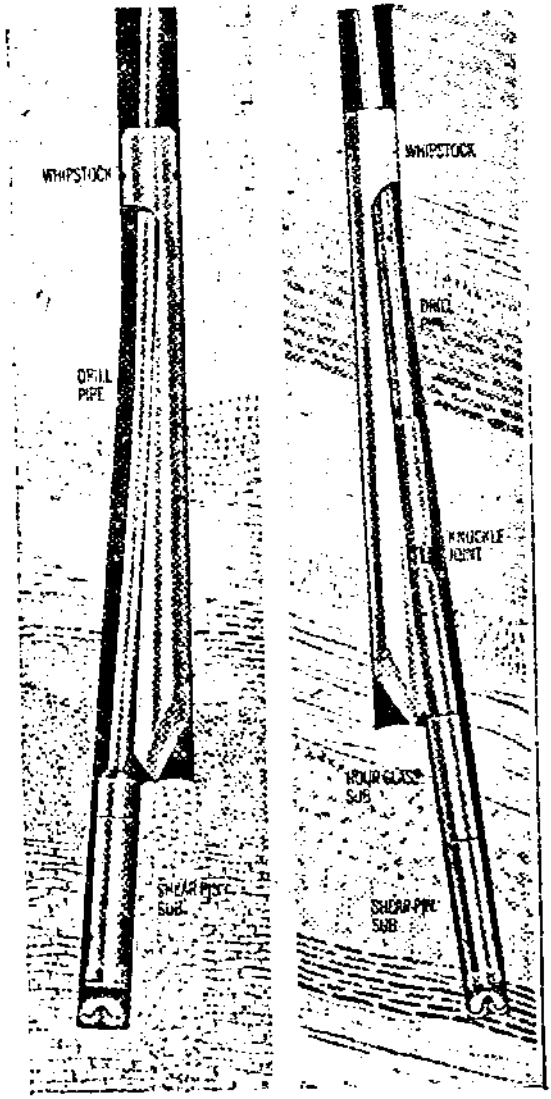
وتتلخص أعمال الحفر الرأسى فى إنزال مجموعة مواسير الحفر إلى القاع وربط عمود الحفر المضلع ، ويبدأ تشغيل مضخات سائل الحفر، وعندما تنتظم دورتها العادية يبدأ تشغيل طبلة الحفر الدورانى ، ويمكن التحكم فى الوزن الواقع على الدقاق والمبين على جهاز المارتن ديكر (Martin-Decker) بإنزال مجموعة أنابيب الحفر شيئاً فشيئاً حتى ينزل القسم الأعظم من طول عمود الحفر المضلع فيصبح من اللازم تركيب وصلة جديدة من الأنابيب . وبعد ذلك يرفع عمود الحفر المضلع إلى أن تظهر أول وصلة للأنابيب فوق طبلية الحفر فتدق فى الفتحة حينئذ أوتاد (Slipps) من حول أنابيب الحفر لتحمل ثقلها ، وهذه الأوتاد تستقر فى فجوات مطابقة لها فى طبلية الحفر ثم يفك عمود الحفر المضلع بواسطة أذرع (Tongues) تدار ميكانيكياً ، وتوضع عند أحد جوانب برج الحفر وتركب وصلة من أنابيب الحفر طولها ٣٠ قدماً ثم يعاد عمود الحفر المضلع إلى مكانه ويستأنف الحفر . يستمر الحفر لفترة زمنية محددة تقريباً إلى أن يتم تآكل الدقاق فى القاع ، وعندئذ يجب استبداله ، ولذلك تسحب مجموعة أنابيب الحفر كلها من البئر وتفك إلى مقاطع تتكون عادة من ثلاث أنابيب يصل طولها حوالى ٩٠ قدماً وترص فى وضع قائم تقريباً عند أحد جوانب برج الحفر بمساعدة عامل البرج . ولا يخلو مكان عامل البرج ، من بعض الخطر ، لذلك يجب ربطه بحزام للأمان للمحافظة على سلامته . وعملية سحب الأنابيب من البئر وإعادتها ثانيه تسمى رحلة ذهاب وإياب (Round trip) وهى عملية طويلة تستغرق وقتاً طويلا . فمثلا فى جهاز حفر يعمل على عمق ١٥٠٠٠ قدم قد يستغرق سحب أنابيب الحفر ٢ — ١ ٥ (خمس ساعات ونصف) بينما تستغرق إعادتها ٢ — ١ ٣ (ثلاث ساعات ونصف) وهذا الفرق فى الوقت ينشأ من البطء فى رفع أنابيب الحفر الثقيلة (حوالى ١٠٠ طن) فى المراحل الأولى .

(ب) الحفر المائل :

تستخدم طريقة الحفر المائل عادة للأسباب التى سبق ذكرها فى الجزء الأول ، ولكن يمكننا القول بوجه عام أن تكلفة حفر بئر مائلة تفوق بكثير تكلفة حفر بئر رأسية على أعماق متساوية ، ويرجع السبب فى ذلك إلى التقدم البطئ فى الحفر ، وإلى الوقت اللازم للدراسة

اتجاه البئر ولتصحيح ها الاتجاه عند الضرورة .

أما متوسط الوقت الإضافى اللازم لحفر بئر مائلة فهو حوالى ٣٠ ٪ والأسلوب المتبع عادة هو حفر البئر عمودياً لمسافة قصيرة ثم نقوم بتغليفها قبل البدء بالحفر المائل، يتم إنزال موجه حفر متنقل (Wipstock) فى قاع البئر يعمل على إعطاء البئر الانحراف والميل المطلوبين كما هو مبين (بشكل ١٠٢) ويدفع موجه الحفر دقاقاً خاصاً فى داخله بعيداً



(شكل ١٠٢) موجه الحفر
(ويستوك) لعمليات الحفر الموجهة

عن الخط الرأسى . وبينما يحفر الدقاق نزولا وصعوداً يبقى موجه الحفر ثابتاً ويتزلق الأنبوب إلى أسفل داخل الجلبة العليا فى هيكل موجه الحفر .

تستخدم عادة أدوات خاصة (Magnetic compass) لتوجه موجه الحفر بالبوصلة المغناطيسية إلى الاتجاه المطلوب، وتستخدم هذه الأدوات أيضاً من وقت إلى آخر لمراقبة اتجاه سير الحفر ، وينبغى أن يلم المهندس الذى يوجه هذه الأعمال إلماماً شاملا بتأثير مختلف أدوات الحفر فى تغيير اتجاه البئر .

وبعد استخدام موجه الحفر فى إجراء التغيير الأول فى اتجاه البئر لا تدعو الحاجة لاستخدامه بعد ذلك إلا نادراً وذلك لتصحيح الانحرافات الكبيرة فى الاتجاه المطلوب . ويستمر تكوين الزاوية (Build up the angle) وهى العمل على زيادة مقدار ميل البئر تدريجياً إلى أن تبلغ الحد الأقصى المطلوب الذى يتراوح بين ٣٠° ، ٤٠° درجة أو أكثر حسب مقدار العمق والإزاحة الجانبية التى يتطلبها قاع البئر . أما معدل تكوين الزاوية فهو درجتان أو درجتان ونصف كل ١٠٠ قدم . وبعد أن يتم الوصول إلى الزاوية المطلوبة نحافظ عادة على بقائها ثابتة إلى أن ننتهى من البئر ونصل إلى الهدف المراد الوصول إليه . لقد كثر استخدام الحفر المائل خلال السنوات الأخيرة بالرغم من أن البئر الواحدة بحد ذاتها أكثر تكلفة، ولكن التكاليف الإجمالية لعدة آبار قد تكون أقل من تكاليف نفس العدد من الآبار العمودية التى تحفر كل منها من موقعها الخاص على سطح الأرض . فى استغلال الحقول المغمورة بالمياه فى البحر الأحمر مثلا أو فى بحيرة مراكايبو بفنزويلا أو فى خليج المكسيك تحفر أحياناً اثنتا عشرة بئراً أو أكثر من منصة مركزية واحده .

وللحفر المائل تطبيقات خاصة ذات فوائد عديدة فإنه يستغل أحياناً فى التحكم فى بئر حدث فيها انفجار أو فى بئر شب فيها حريق مثلا وذلك بحفر بئر مائلة للتخفيف أو لضغط السوائل فمن نقطة تبعد مثلا ٢٠٠ أو ٣٠٠ قدم من البئر المتفجرة يحفر ثقب مائل يتصل بالبئر المذكورة عند مستوى الطبقة المنتجة تقريباً وتضخ كميات كبيرة من سائل الحفر الثقيل من بئر التخفيف لإخماد التدفق فى البئر الرئيسية . وليس هناك شك فى أن تنفيذ مثل هذه الأعمال على أعماق تبلغ أحياناً عدة آلاف من الأقدام تتطلب مهارة كبيرة من القائمين بالحفر .

(ح) الحفر البحرى :

قبل الحرب العالمية الثانية لم يكن هناك اهتمام كبير بالحفر بحثاً عن البترول تحت مياه البحيرات والبحار والمحيطات ، وقد تم حفر آبار ضحلة فى الثمانينات من القرن الماضى من أرصفة الموانى فى مياه ساحل كاليفورنيا الجنوبية قرب (رنكون)، غير أن تطورات ضخمة طرأت فى أواخر العشرينات من هذا القرن فى بحيرة ماراكايبو فى فنزويلا وفى سواحل جنوب كالفورنيا حيث تم آبار مائلة من مواقع ساحلية ، أما الحفر البحرى فى الاتحاد السوفيتى فلم يحدث إلا فى وقت لاحق، وذلك فى بحر قزوين بالقرب من منطقة باكو.

وبعد الحرب العالمية الثانية نشط البحث عن البترول وتطورت طرق البحث الجيوفزيائية ؛ وكشفت هذه الطرق آمال وتوقعات كبيرة فى خليج المكسيك مما أدى إلى حفر أول بئر فى مياه الخليج . ومنذ ذلك الوقت تطورت أساليب الحفر البحرى تطوراً سريعاً فأنشئت أنواع عديدة من منصات الحفر لتلائم العمليات البعيدة عن الساحل فى مياه يصل عمقها إلى ١٥٠٠ قدم،وفى الوقت الحالى أمكن صنع أجهزة حفر تستطيع أن تحفر فى مناطق يبلغ فيها سمك المياه ٣٠٠٠ قدم .

وتعتمد الآن أغلب أنشطة البحث البترولية على الحفر البحرى فمثلا يسير الحفر قدماً فى مياه ساحل كالفورنيا وفى مياه ساحل ألإسكا وفى خليج باريا بترينداد وفى سواحل الخليج العربى وفى بحر الصين وفى منطقة بورنيو البريطانية وفى المياه الأفريقية تجاه ليبيا وجمهورية مصر العربية ونيجيريا وفى مياه سواحل أستراليا وفى خليج السويس وفى بحر الشمال . ويجب أن تكون منصات الحفر متينة الدعائم قوية البنيان قادرة على مقاومة العواصف البحرية وخاصة فى خليج المكسيك وفى بحر الشمال، وعند التصميم يراعى أن يعلو ظهر المنصة الرئيسى ٥٠ إلى ٦٠ قدماً فوق سطح البحر.

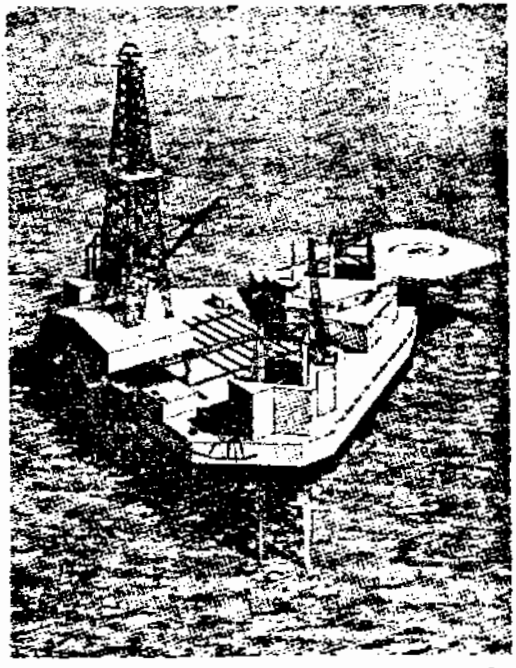
توجد أنواع مختلفة من منصات الحفر البحرى منها :

١ ــ منصة ثابته مع مركب تموين عائم .

٢ ــ منصة ثابتة مكتفية ذاتياً .

٣ ـ منصة متنقلة مكتفية ذاتياً . (شكل ١٠٣)

٤ ـ المنصات العائمة



(شكل ١٠٣) جهاز حفر بحرى

وباستمرار تطور تكنولوجية تصنيع أجهزة الحفر البحرى أمكن التوصل إلى نتائج ممتازة من حيث تصميم أجهزة تستطيع أن تعمل تحت أسوأ الظروف الطبيعية من سرعة ريح وارتفاع أمواج وسرعة تيارات مائية .

٢ ـ عملية تغليف البئر : (Casing Job)

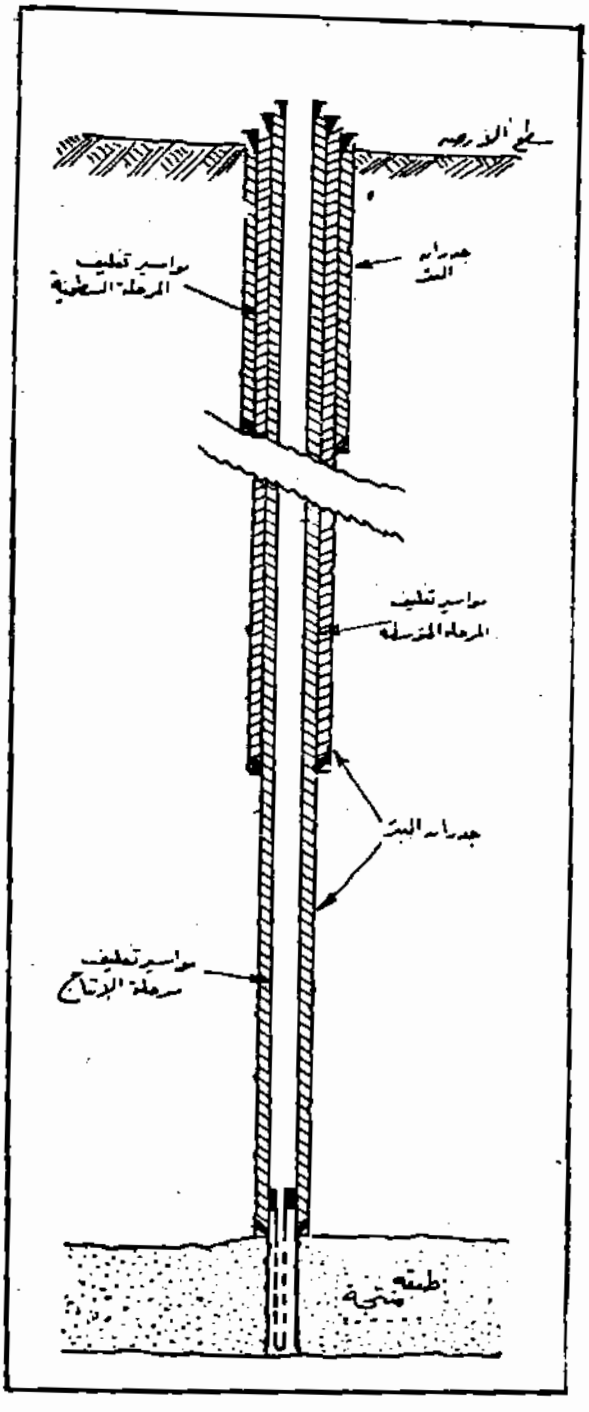
إن تغليف البئر عملية أساسية ومهمة جداً للمحافظة على جزء البئر الذى تم حفره، إذ أن من شأن هذا التغليف أن يحول دون انهيار جوانب البئر العليا ، وكذلك دون دخول الماء إليه أو خروج الطين منه .

يبدأ حفر البئر عادة بثقب واسع نسبياً يتراوح قطره بين ١٤ ٣/٤ ، ٢٠ بوصة أو أكثر . وينبغي تبطين هذا البئر بمواسير من الصلب في أقرب وقت ممكن . وقد يكتفى في الآبار الاستغلالية الضحلة بتغليف جوانب البئر إلى عمق لايتجاوز ١٥٠ قدماً . ولكن الآبار العميقة وخاصة الاستكشافية تحتاج إلى تغليف حتى عمق ١٠٠٠ قدم أو أكثر قبل مباشرة المرحلة التالية من الحفر . وتسمى مواسير التغليف في هذه المرحلة بمواسير التغليف السطحية (Surface casing) وهي تستخدم كقاعدة ومقراً ثابتاً لمعدات وأجهزة منع التفجير ولمجموعة مواسير التغليف الطويلة التي قد يجرى إدخالها فيما بعد لتبطين الجزء الأسفل من البئر . ويشار عادة إلى مواسير التغليف بقطرها الخارجي فيقال مثلا مواسير قطرها ١٣ ٣/٨ أو ، ١٠ ٣/٤ ، ٩ ٥/٨ بوصة .

وتثبت مواسير التغليف في مكانها تثبيتاً محكماً بملء الحيز بينها وبين جوانب البئر بالأسمنت وتحسب كمية الأسمنت اللازمة بحيث تملأ الفراغ أو الحيز الحلقي بين مواسير التغليف وجدران البئر ويتم حقن كمية الأسمنت داخل البئر بواسطة طلمبات خاصة ثم يوضع بعدها سدادة من المطاط (Rubber plug) ثم يضخ بعد ذلك سائل الحفر فيدفع هذا الأسمنت إلى النزول داخل الأنابيب ثم الصعود إلى الحيز الحلقي الموجود بينها وبين جدران البئر . وعندما تصل السدادة إلى قاع البئر يتوقف الضخ ويترك البئر لمدة ٨ إلى ١٢ ساعة أو أكثر حتى يجف الأسمنت ويتماسك . ثم يستأنف الحفر باستخدام دقاق أصغر قطراً . فمن خلال مواسير تغليف قطرها ١٣ ٣/٨ يحفر بدقاق قطره ١٢ ١/٤ ، خلال مواسير تغليف قطرها ١٠ ٣/٤ يحفر بدقاق قطره ٩ ٥/٨ .....

وفي حالة الآبار العميقة جداً فإننا ننزل عادة مجموعة مواسير تغليف ثانية تعرف باسم مواسير تغليف المرحلة المتوسطة (Intermediate casing) وتصل إلى عمق ٦٠٠٠ — ٨٠٠٠ قدم، وإذا كانت البئر منتجة يتم إنزال مجموعة أخرى من مواسير التغليف تعرف باسم مواسير تغليف مرحلة الإنتاج (Production casing) وتصل هذه المجموعة عادة إلى قمة الطبقة المنتجة (شكل ١٠٤)

عملية تغليف البئر مرتفعة التكاليف وتكون جزءاً كبيراً من تكاليف البئر بالكامل. وفي الآبار الاستغلالية حيث المنطقة معروفة ومدروسة جيداً ، وحيث مقادير الإنتاج لاتستدعي



(شكل ١٠٤) قطاع رأسى فى بئر موضحاً مواسير التغليف المختلفة

وجود أنابيب نهائية ذات قطر كبير قد يجوز إختصار التغليف وتصغير قطر أنابيبه وفقاً لما تشير إليه التجربة فى هذه المنطقة ، وذلك من أجل تخفيض تكاليف الحفر .

٣ – سوائل الحفر : (Drilling fluids)

يتوقف التقدم السريع لأعمال الحفر إلى حد كبير على إستخدام سائل الحفر المناسب ، وتتكون سوائل الحفر العادية من مواد طينية معلقة فى الماء يضاف إليها مواد كيميائية للتحكم فى اللزوجية وغيرها من الخواص .

وأحياناً تستعمل أنواع خاصة من الطفلة لكى تلائم الصخر الذى يحفر فيه ، ففى حالة حفر بئر فى صخور ملحية نستعمل طفلة مشبعة بالملح أما فى حالة حفر طبقة حاملة للبترول فتستعمل طفلة ذات قاعدة زيتية غير مائية ، وللحفر السريع يمكن أيضاً فى ظروف معينة إستخدام الهواء أو الغاز المضغوط ، أما فى الآبار العميقة حيث ترتفع الحرارة حتى تبلغ أحياناً ٤٠٠ درجة فهرنهايت فيجب أن يكون سائل الحفر قليل اللزوجية لكى يبقى فى حالة سائلة .

وفيما يلى الوظائف الرئيسية لسائل الحفر :

(١) المساعدة على استمرار الحفر بالسرعة المناسبة وتحقيق هذه الغاية يجب أن تكون كثافة سائل الحفر كافية لمنع الغاز أو الزيت أو الماء من التدفق إلى سطح الأرض من الطبقات والتكوينات التى يتم اختراقها . وكذلك يجب الإبقاء على الحد الأدنى من لزوجة السائل وما يحتويه من مواد صلبة (Solid content) كما يجب التحكم فى مقدار فقدان الماء (Water loss) أثناء الحفر فى الطبقات الحاملة للبترول .

(٢) إزالة فتات الصخر من قاع البئر وعن وجه الدقاق أثناء عملية الحفر .

(٣) حمل فتات الصخر إلى خارج البئر . وتزداد قدرة سائل الحفر على القيام بهذه العملية كلما زادت سرعته ولزوجته وكثافته . ولإتمام هذه على أكمل وجه يجب ألا تقل سرعة صعود سائل الحفر عن ١٢٠ إلى ١٨٠ قدماً فى الدقيقة

(٤) دعم جوانب البئر ووقايتها من الانهيار ، وذلك لأن ضغط عمود السائل على جدران البئر من شأنه أن يحول دون انهياره ، وبالإضافة إلى ذلك فإن سائل الحفر يرسب قشرة طينية (mud cake) أمام الطبقات المسامية .

(٥) إبقاء فتات الصخر معلقاً فى سائل الحفر عندما تتوقف عملية ضخ السائل مثلا عند استبدال الدقاق المتآكل، ولذلك يجب أن يكون سائل الحفر ذا خاصية هلامية (Thixo tropy) عندما يكون ساكناً وأن يعود إلى حالة السيولة عند تشغيله .

(٦) تبريد الدقاق وتشحيمه .

(٧) أن يكون موصلا للتيار الكهربائى وذلك للحصول على تسجيلات كهربائية مرضية .

٤ ــ مخاطر الحفر :

ليس حفر البئر بالأمر السهل عادة لأنه فى كثير من الأحيان تصادفنا متاعب فنية ومخاطر عديدة تتسبب فى زيادة تكلفة البئر زيادة كبيرة إذا لم تعالج بحكمة وخبرة، ومن المخاطر التى تصادفنا أثناء عمليات الحفر هى :

(ا) الانفجارات : (Blow out)

الانفجار من أكثر المخاطر التى يتعرض لها العاملون بالحفر بسبب ما ينطوى عليه من خطر اندلاع النار ، ولكى نستطيع التحكم فى البئر مرة ثانية نتكبد مصاريف باهظة بالإضافة إلى الخسارة الناتجة من احتراق كميات كبيرة من الزيت والغازات البترولية . غير أن حوداث الانفجار لحسن الحظ أصبحت نادرة الآن بفضل الوسائل التكنولوجية الحديثة والتدريب الخاص الذى يتلقاه عمال الحفر .

ويستطيع الحفار المتمرن أن يشعر ويتنبأ بقرب حدوث انفجار فى البئر ، وذلك لأن الدليل الأول على ذلك هو زيادة سرعة الحفر بسبب مصادفة ضغط عال لأى سبب ظاهرى آخر ، ولايعنى هذا أن السيطرة على البئر قد فقدت، بل يجب أن يكون هذا بمثابة تحذير للحفار ، فعلى الحفار أن يلاحظ باستمرار أى زيادة فى سرعة عودة سائل الحفر التى تبين دخول سائل غريب إلى البئر ، فى هذه الحالة يجب على الحفار أن يوقف ضخ سائل الحفر ليرى ما إذا كان سائل الحفر العائد يتوقف أيضاً أم لا ! .

وفى بعض الحالات نشاهد فقاقيع من الغاز فى سائل الحفر ، وذلك يعنى أننا نحفر فى طبقة حاملة للغازات، وإذا ظهرت دلائل أن سائل التكوين (أى السائل الموجود داخل

الطبقات) يدخل البئر أو قد دخلها فعلا يجب إقفال المعدات المانعة للتفجر وإجراء قياسات للضغط داخل البئر المغلقة، فتتمكن بذلك من تحضير سائل حفر ثقيل للتحكم فى البئر، ويجب ضخ هذا السائل الثقيل فوراً فى البئر حتى يمكن السيطرة عليه سيطرة كاملة . ولإكساب سائل الحفر الكثافة العالية والوزن الثقيل يضاف إليه مادة البارايت (سولفات الباريوم) .

(ب) فقد سائل الحفر : (Lost of circulation)

عندما نخترق طبقات شديدة المسامية والنفاذية، فمن الممكن أن يتسرب سائل الحفر إلى هذه الطبقات متسبباً خسارة جزء منه أو كله . ولمكافحة هذه الظاهرة التى تسمى فقد سائل الحفر تضاف إليه مواد ليفية أو حبيبية مثل ألياف الأسبستويس ، أو ورق السيلوفان أو قشرة الجوز ، فإذا تعذر وقف الفقد بهذه الطريقة يضغط خليط من الأسمنت السائل والبنتونايت والماء أو زيت الديزل فى الصخر لتد مسامة . وبالنسبة للخسائر الكبيرة جداً التى تحدث فى حالة الحجر الجيرى المهشم مثلا فيمكن ضخ خليط من رمل وطفلة لسد الفجوات . وقد يكون من الضرورى فى الحالات القصوى التى لايمكن تحقيق السيطرة التامة أن ننزل فى البئر مجموعة إضافية من مواسير التغليف قبل استئناف الحفر .

(حـ) مواسير الحفر العالقة : (Stuck pipes)

يحدث أحياناً أن تعلق مواسير الحفر فى البئر نتيجة لعدة أسباب مختلفة، منها انكسار مخروط الدقاق أو تراكم متزايد لفتات الصخر المهشم أو مصادفة طبقات غير متماسكة تنهار بسرعة فتعلق المواسير داخل البئر .

ويمكن أحياناً تخليص هذه المواسير العالقة عن طريق تزييت المنطقة المواجهة للجزء العالق من المواسير وزحزحتها . فإذا إستحال رفع مواسير الحفر بهذه الطريقة نستعين بآلات لتحديد النقطة ثم ننزل شحنة صغيرة من المتفجرات فوق هذه النقطة مباشرة داخل مواسير الحفر ويؤدى تفجير هذه الشحنة إلى حل توصيلة الأدوات (Tool joints) مما يتيح فكها بواسطة دوران طبلية الحفر على السطح . ويجب ولاستكمال حفر البئر عندئذ الانحراف (Side track) لتجاوز الجزء العالق باستخدام موجه الحفر على النحو الذى سبق وصفه تحت عنوان الحفر المائل .

ومع التطور المطرد فى تكنولوجية الحفر لم تعد المواسير تعلق الآن بكثرة مثل الماضى ؛ وذلك بسبب تحسين طرق استخدام سائل الحفر واستخدام أجهزة تركيز (Centralizers) تركب فى مجموعة أنابيب الحفر وأساور الحفر تساعد على منعها من التعلق بالطبقات الطينية (شكل ١٠٥) .

(شكل ١٠٥) أداة تركيز لمواسير الحفر

(د) الآبار المنعطفة أو المتعرجة : (Crookd holes)

فى المرحلة الأولى لحفر الآبار غالباً ما تكون بعيدة جداً عن الوضع العمودى إذ أن مجرى البئر يكون متعرجاً . وقد بذلت فى سبيل تصحيح ذلك جهود كبيرة لحفر الآبار حفراً عمودياً مستقيما إلى أقصى حد ممكن . وكانت هذه الجهود ناجحة إلى حد كبير عندما كانت الأوزان الموضوعة على الدقاق منخفضة . ولكن استخدام الأوزان الثقيلة كلما تعمقنا فى البئر يؤدى أحياناً إلى زيادة زاوية البئر لاسيما فى التراكيب الشديدة الإنحدار . ويمكن التحكم فى مقدار ميل البئر بتقليل سرعة الحفر ويسمح فى الوقت الحالى بانحراف طبيعى معقول يصل إلى مدى عشر درجات بشرط عدم حدوث زاوية مفاجئة باستخدام مجموعات مناسبة من الأدوات التى تعمل على تركيز مجموعة مواسير الحفر .

(هـ) عمليات الالتقاط : (Fiching Jobs)

يحدث فى كثير من الأحوال أن يسقط فى البئر جزء من الدقاق المتأكل أو يسقط جزء من مواسير الحفر أثناء حلها وفك الوصلات ، أو يسقط أى جزء معدنى آخر مما يستدعى محاولة إخراجه من البئر لاستئناف الحفر من جديد وتسمى عملية هذه المهمة الالتقاط . فالأجزاء الصغيرة يمكن التقاطها بواسطة مغناطيس بينما تحتاج الأجزاء الكبيرة والمواسير إلى جهاز يتخطى اللقطة (Over shot)

(٥) طرق الإنجاز : (Completion methods)

إذا تبين لنا من التسجيلات الكهربائية والاختبارات التى تجرى على البئر أن هناك تراكيب وطبقات ذات أهمية بترولية وجب علينا إنجاز البئر بطريقة تتيح إنتاج الزيت ، فيجب دعم البئر فوق الطبقة المنتجة وداخلها أيضاً إذا دعا الأمر لمنع انهيارها كما يجب فى نفس الوقت منع السوائل الآتية من خارج الطبقات البترولية من دخول البئر وكذلك منع تدفق الزيت من الطبقة المنتجة إلى طبقات أخرى داخل البئر .

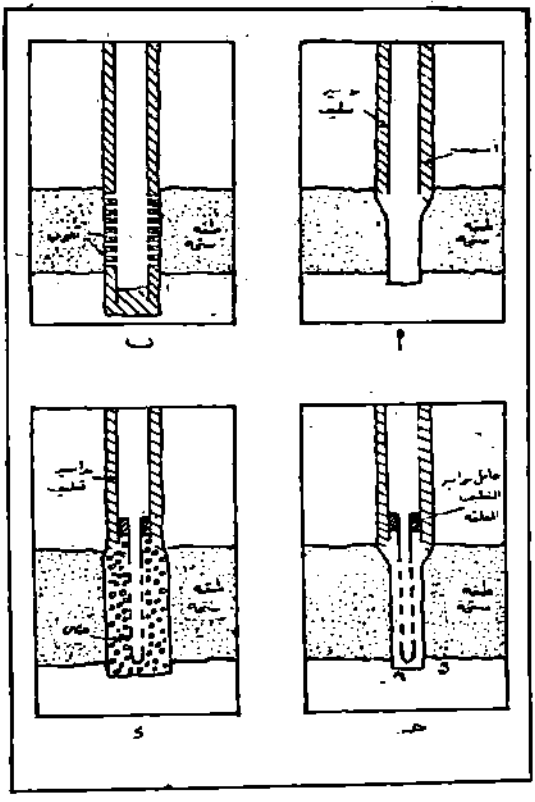
إن طبيعة الطبقات المنتجة هى التى تقرر طرق الإنجاز المختلفة الواجب إستعمالها . فى أغلب الأحيان يغلف البئر بسلسلة من مواسير التغليف وتثبت بالأسمنت حتى قمة الطبقة المنتجة على الأقل .

فعندما تكون الطبقة المنتجة صلبة وغير معرضة للانهيار يصبح بالإمكان تثبيت مواسير التغليف بالأسمنت فوقها مباشرة وتركها غير مدعمة وغالباً ما تستعمل هذه الطريقة فى الآبار المنتجة من طبقات الحجر الجيرى وهذه الطريقة تسمى طريقة الإنجاز العارى (Bare-foot completion) (شكل رقم ١٠٦ ا) .

أما إذا كانت الطبقة المنتجة غير متماسكة فيجب عندئذ دعمها وهذا يتم بإحدى طريقتين :

١ — يمكن إنزال مواسير التغليف عبر الطبقة المنتجة إلى قاع البئر وتثبيتها بالأسمنت، وبعد ذلك يجرى تفجير ثقوب فى مواسير التغليف المواجهة للطبقة المنتجة بواسطة مدفع تثقيب Perforation gun (شكل رقم ١٠٦ب) .

٢ — وهناك طريقة بديلة للسابقة وهى أن تدلى من أسفل أنابيب التغليف التى سبق وضعها ماسورة أصغر أو مشققة (تسمى ماسورة تغليف معلقة Linner ذات شقوق أو ثقوب مواجهة للطبقة المنتجه (شكل رقم ١٠٦ حـ) . .



(شكل ١٠٦) رسم تفصيلى لطرق الإنجاز المختلفة

(ا) انجاز عارى البئر

(ب) إنجاز بواسطة تثقيب مواسير التغليف

(حـ) إنجاز بواسطة مواسير التغليف المعلقة

(د) مواسير معلقة مملوءة بالحصى