المحاضرة الحادية عشرة: عمليات الإسمنت في الحفر البحري

الفصل الثالث

1.تعريف عمليةالسمنتة :

السمنتة : هي عبارة عن عملية ضخ السائل الإسمنتي (ماء + اسمنت) من داخل مواسير التغليف ثم إزاحته إلى الفراغ الحلقي أي أننا نقوم باستبدال سائل الحفر الموجود في الفراغ الحلقي(بشكل كامل أو جزئي) بسائل إسمنتي والذي يتصلب بعد فترة زمنية معينة مشكلاً حول مواسير التغليف ما يسمى بالحجر الإسمنتي ، من حذاء مواسير التغليف وحتى ارتفاع معين.

2. أهمية عملية السمنتة:

ويمكن تلخيص أهمية عملية السمنتة بالنقاط التالية:

1. **عزل الطبقات الجيولوجية** : حيث تعزل العمليات الإسمنتية الطبقات الجيولوجية عن بعضها البعض وهي الوظيفة الأهم لعمليات السمنتة حيث تمنع اختلاط الموائع المتواجدة فيها وعدم انتقالها من المناطق ذات الضغط المرتفع إلى المناطق ذات الضغط المنخفض وتحقق عازليه جيدة للطبقات المنتجة عن بقية الطبقات الأخرى الأمر الذي يسهل استثمارها على مراحل

2. **حماية مواسير التغليف** من التأثير التآكلي بفعل المياه الطبقية المالحة أو سائل الحفر الذي دخل الطبقة أو بقي خلف مواسير التغليف أو بفعل الموائع الطبقية الحامضية (NO_3^-, CO_2,CO, SO_4^{--}) .

3. **إبعاد تأثير سائل الحفر أو فاقد الرشح عن الطبقات الصخرية** : حيث تبعد عمليات الاسمنت تأثير سائل الحفر أو فاقد الرشح عن الطبقات التي تتأثر ثبوتيتها بالماء (غضار، ملح) وبذلك تثبت عمليات الاسمنت هذه الطبقات وتمنعها من الانهيار وبالتالي تحمي مواسير التغليف من الضغط الخارجي الناتج عن التهدم والآثار السلبية التي قد تتبع ذلك .

4. **تثبيت مواسير التغليف وتدعيمها** من خلال تشكيل رابطة مقاومة بين السطح الخارجي للمواسير والجدران الصخرية للبئر .

2.الاسمنت:

يعتبر الاسمنت المادة الرئيسية في عملية السمنتة وهو عبارة عن مسحوق ناعم جداً تتراوح أبعاده بين (10 – 150) ميكرون. وهو مكون من مزج عدة مواد مطحونة ذات تركيب معدني معين، ويتصف بخاصية التصلب(التحول إلى حجر) عند مزجه مع الماء. وينتج الاسمنت من حرق خليط من الجير (الطباشير والحجر الجيري) والغضار (سيليكات الألمونيوم)إلى درجة حرارة تحميص المكونات الداخلة في تركيبه أي حوالي ($1450\ C^{O}$) و إضافة الجبس الخام ($Ca.SO4.\ 2H2O$)لتكوين مادة ثلاثي سيليكات الكالسيوم Tricalcium Silicate $Ca3SiO5$وهى المادة الأساسية للإسمنت بالإضافة إلى ثلاثي ألومينات الكالسيوم وثنائي سيليكات الكالسيوم.

عملية تصلب الإسمنت تنشأ نتيجة تفاعل بين مادة ثلاثي سيليكات الكالسيوم والماء طبقاً للمعادلة التالية:

$$2[3CaO.SiO2] + 7H20 <---- 3CaO.2SiO2.4H2O + 3Ca(OH)2.$$

بعد ذلك تتم عملية طحنه إلى أبعاده المحددة .

وهنالك تصنيفات متعددة للإسمنت ولكن بشكل عام يؤخذ تصنيف المعهد الأمريكي بالاعتبار في أغلب الأحيان . حيث يصنف المعهد الأمريكي للنفط الاسمنت إلى الأنواع التالية والتي حددت فيه خواصه الفيزيائية والكيميائية وفقاً لعمق البئر وهذه الأنواع هي:

. (A,B,C,D,E,F,G,H)

أما بالنسبة للإسمنت البورتلاندي وهو النوع المستخدم في سمنتة الآبار الغازية فإنه يتشكل من حجر كلسي و غضار و أحياناً أكاسيد الحديد والألمنيوم والتي تخلط مع بعضها البعض وتسخن إلى درجة الحرارة المطلوبة ضمن فرن دوار. ويتشكل من المكونات التالية :

- $CaOSiO_2$: وهي عبارة عن المادة الرئيسية التي تؤمن للإسمنت قوته وصلابته ،حيث يتهدرج هذا المركب ببطء ليعطي الاسمنت الصلابة المطلوبة.

ويرمز له بالرمز (C3S) وتكون نسبته في الاسمنت حوالي %(25- 5).

- $CaOAl_2O_3$: حيث يسرع هذا المركب هدرجة الاسمنت كما يتحكم بزمن التخثر (زمن الشك الابتدائي) ويرمز له بالرمز (C3A) وتكون نسبته في الاسمنت حوالي 10%.

- $CaOAlO_3Fe_2O_3$:ويؤمن هذا المركب حرارة هدرجة قليلة ويرمز له بالرمز (C4AF)) وتكون نسبته في الاسمنت حوالي 10%.وبالتالي فإن التأثير الذي نحصل عليه لهذه المواد يجعلنا قادرين على تطوير الاسمنت من أجل تطبيقات متعددة تلبي احتياجات الصناعة النفطية

3.خواص السوائل الإسمنتية:

السائل الإسمنتي هو عبارة عن خليط من الماء والاسمنت مع بعض الإضافات والتي تخلط مع هذا السائل بنسب معينة بهدف تحسين خواص السائل الإسمنتي وبالتالي الحجر الإسمنتي المتشكل، وتعتبر خواص السائل الإسمنتي من العناصر الأساسية في نجاح عمليات السمنتة أو فشلها . وكتابع للزمن فإن نوعية السائل الإسمنتي يجب الحفاظ عليها لفترة قصيرة من بداية تحضير السائل الإسمنتي وحتى نهاية عملية السمنتة . وتعتمد هذه الخواص على عوامل عديدة مثل التركيب المعدني والكيميائي لمسحوق الاسمنت ونوع وكمية المواد المضافة ونسبة الماء إلى مسحوق الاسمنت ونظام الخلط ونظام جريان السوائل في الفراغ الحلقي ثم الشروط الطبقية وندرس فيما يلي أهم خواص السوائل الإسمنتية :

1. الوزن النوعي للسائل الإسمنتي :

وهو عبارة عن وزن واحدة الحجم من السائل الإسمنتي وهو من الخواص الهامة جداً لأنه يمثل الدليل العملي الوحيد لجودته أثناء التحضير ثم النقل إلى البئر وتدل تذبذبات الوزن النوعي للسائل الإسمنتي على تغير خواصه الأخرى.

إن زيادة الوزن النوعي تقابل تناقصاً في نسبة الماء إلى مسحوق الاسمنت أي تؤدي إلى تعجيل تكاثف السائل وتناقص الزمن الذي يمكن خلاله متابعة قابليته للحركة ، بينما نقصان الوزن النوعي ينتج عن زيادة نسبة الماء إلى المسحوق الإسمنتي وخفض جودة الحجر الإسمنتي لذا يجب المحافظة عليه بقيمة ثابتة أثناء ضخ السائل الإسمنتي. تتغير نسبة الماء إلى مسحوق

الاسمنت تبعا للوزن النوعي المطلوب وتتراوح بين (W/C=3.5 – 60 %) وبذلك يكون الوزن النوعي بينKg/m^3(1850– 1810)

وبذلك يكون الوزن النوعي للسائل الإسمنتي دائما أعلى أو على الأقل يساوي الوزن النوعي لسائل الحفر وذلك للأسباب التالية :

1– تجنب حدوث اندفاعات ذاتية من الطبقات الخازنة للموائع أثناء عملية السمنتة .

2– المحافظة على قيمة الضغط المعاكس على بعض الطبقات القابلة للانهيار .

3– الحصول على إزاحة جيدة لسائل الحفر من الفراغ الحلقي من قبل السائل الإسمنتي .

يمكن زيادة الوزن النوعي بتخفيض النسبة W/C أو بإضافة مواد مثقلة كالبارايت و أكاسيد الرصاص والهيماتيت ويمكن إنقاصه بزيادة النسبة W/C أو بإضافة بنتونايت .

2– ثبوتية السائل الإسمنتي :

تعرف الثبوتية على أنها بقاء مكونات السائل الإسمنتي مبعثرة بشكل متجانس حتى عند توقفه عن الحركة ، وتسمى اكبر كمية ماء قابلة للانفصال عن السائل الإسمنتي بتأثير الجاذبية بالفاصل المائي وهو يعتمد على نوعية المسحوق الإسمنتي ومعالجاته المختلفة وكذلك على نسبة الماء إلى الاسمنت .

يؤدي فصل الماء إلى ظهور أحزمة مائية وتغير في خواص السائل الإسمنتي والحجر الإسمنتي .

يمكن التقليل من كمية الماء بمعالجة السائل الإسمنتي بمواد غروية (البنتونايت) أو بزيادة السطح النوعي للإسمنت أو بخفض النسبة W/C.

وتحدد الثبوتية بوضع كمية من السائل الإسمنتي الممزوج جيداً بالماء في أنبوبة مدرجة سعتها $250\ cm^3$وتترك في حالة سكون مدة ساعتين حيث تقاس كمية الماء المنفصلة وتنسب إلى الحجم الكلي للسائل الإسمنتي ويجب ألا تزيد عن 2%.

3- فاقد الرشح :

هو عبارة عن كمية الماء التي يفقدها السائل بتأثير فرق الضغط الذي يتعرض له وتعتمد قيمة فاقد الرشح للسائل الإسمنتي على نسبة الماء إلى مسحوق الاسمنت وعلى قيمة فرق الضغط وهي تتناسب عكساً مع مربع السطح النوعي للمسحوق واللزوجة.

ويجب أن يتمتع السائل الإسمنتي بفاقد رشح قليل لأنه في حال حدوث العكس فإنه يؤدي إلى زيادة لزوجة السائل الإسمنتي وبالتالي عدم إمكانية رفعه في الفراغ الحلقي إلى الارتفاع المقرر . ولهذه الخاصية أهمية كبيرة وخاصة في الآبار العميقة التي تتجاوز 1500 m حيث كلما ازداد فرق الضغط المتشكل كلما ازدادت نسبة الماء المفقود بالرشح وإذا فقدت الخلطة الإسمنتية الماء اللازم للتفاعل والترابط يصبح الاسمنت أشبه بتربة رطبة غير مترابطة .

ويقاس فاقد الرشح باستخدام جهاز الباروئيد ذو الضغط المنخفض أو المرتفع حسب الظروف الموجودة في البئر

4 - زمن تكاثف السائل الإسمنتي :

تقيم إمكانية نقل السائل الإسمنتي إلى الفراغ الحلقي خارج مواسير التغليف بما يعرف زمن الشك ويعَرف زمن الشك البدائي (بداية الشك) بأنه بداية التصلب وزمن نهاية الشك بنهاية التصلب . وقد اصطلح على أن تكون لزوجة السائل الإسمنتي معياراً لتحديد فترة قابلية الضخ وأخذت القيمة 100 Poise كنهاية حدية وأطلق على الزمن الذي يستغرقه السائل الإسمنتي من لحظة تحضيره وحتى بلوغ لزوجته القيمة الحدية 100 Poise بزمن التكاثف وهذا الزمن هام جداً وخاصة عند سمنتة الآبار العميقة أو الآبار العميقة ذات درجات الحرارة المرتفعة. إن زمن التكاثف له علاقة مباشرة بنسبة الماء إلى الاسمنت والإضافات الكيميائية وعندما يكون زمن التكاثف طويلاً فانه يترك المجال للتأثيرات الخارجية (P,T, , مياه طبقية , نفط , غاز) لتلعب دورها وتؤثر على العمود الإسمنتي السائل لذا يجب المحافظة على زمن تكاثف نظامي يعادل زمن تنفيذ العملية ويضاف إليه (% 25) زمن احتياطي وكذلك لتلافي التهريب في المجالات

القابلة للتهريب أي يجب أن يبدأ السائل الإسمنتي بالتجمد مباشرة بعد فترة وجيزة من انتهاء عملية السمنتة .

5- سيولة السائل الإسمنتي :

تحدد خاصية السيولة مقدرة السائل الإسمنتي على الحركة خلال فترة زمنية محددة وتعين بواسطة قمع مخروطي سعته $120\ Cm^3$ مفتوح عند قاعدتيه وسطحه الداخلي ناعم وغير قابل للصدأ .يوضع القمع فوق لوح زجاجي مثبت فوق ورقة تحوي دوائر مركزية تفصل بين كل دائرة و أخرى مسافة 5mm قطر الدائرة الداخلية (100 mm) والخارجية 250mm .يملأ القمع بالسائل الإسمنتي حتى حافة قاعدته العلوية ثم يرفع القمع بهدوء وتكون السيولة الوسط الحسابي لقطري الدائرة المتشكلة الأعظمي و الأصغري. تعتمد قيمة السيولة على نسبة الماء إلى الاسمنت ودرجة نعومة المسحوق ونوعية مواد المعالجة .

6- لزوجة السائل الإسمنتي:

يجب أن تكون لزوجة السائل الإسمنتي ضمن الحدود المعقولة والتي تمكننا من ضخه في البئر بسهولة ثم إزاحته إلى الفراغ الحلقي وذلك لان هذه اللزوجة تعتبر العنصر الرئيسي الذي يحدد نهاية إمكانية ضخ السائل الإسمنتي وبالتالي نهاية عملية السمنتة وهي تتعلق بنسبة الماء إلى الاسمنت والإضافات الأخرى والضغط ودرجة الحرارة .

4.خواص الحجر الإسمنتي:

لكي يقوم الحجر الإسمنتي بوظائفه يجب أن يتمتع بجملة من الخواص الهامة نستعرضها فيما يلي :

4-1. المقاومة الميكانيكية للحجر الإسمنتي :

وهي تمثل مدى إمكانية الحجر الإسمنتي المتشكل لمقاومة جهد الانضغاط الذي يتعرض له

وتعريفاً :هي القوة المطبقة على (1cm) من سطح مكعب إسمنتي متصلب واللازمة لتهشيمه ويجب أن تكون هذه القوة كبيرة كي يشكل الحجر الإسمنتي صلة وصل جيدة بين مواسير التغليف وصخور الطبقات المخترقة ومقاومة الضغوط عند متابعة الحفر وأثناء الإنتاج .

تعتمد قيمة المقاومة الميكانيكية للحجر الإسمنتي على عدة عوامل أهمها التركيب المعدني الكيميائي لمسحوق الاسمنت ونسبة الماء إلى هذه المسحوق والسطح النوعي للمسحوق الإسمنتي ونوعية وكمية المواد المضافة ودرجة الحرارة والضغط .

يلاحظ تأثير التركيب المعدني الكيميائي لمسحوق الاسمنت على صلابة الحجر عند زمن التجمد الطويل وكلما زاد زمن التجمد زادت الصلابة.

وتزداد المقاومة الميكانيكية للحجر الإسمنتي بسرعة عند استخدام مسحوق بسطح نوعي مرتفع . بينما تتناسب المقاومة الميكانيكية عكسا مع النسبة w/c.

إن معالجة السائل الإسمنتي بمسرعات التصلب تمكن من زيادة المقاومة الميكانيكية الأولية للحجر الإسمنتي ويكون تأثير مبطئات التصلب بالعكس .

يمكن زيادة المقاومة الميكانيكية للحجر الإسمنتي لمعالجة السائل أو المسحوق الإسمنتي بنسبة معينة من الرمل الكوارتزي .

4-2. نفوذية الحجر الإسمنتي :

وهي السمة الثانية الهامة من خواص الحجر الإسمنتي وتحدد درجة عازلية الاسمنت للطبقات وبالتالي تقييم فعالية عملية السمنتة حيث يجب أن تكون نفوذية الحجر الإسمنتي صغيرة جداً أو معدومة وتقدر بواحدةmD وهي تعتمد على عدة عوامل : التركيب الكيميائي للإسمنت– نسبة الماء إلى الاسمنت – الإضافات الأخرى للسائل الإسمنتي – الضغط – درجة الحرارة – زمن التجمد. حيث كلما كان هذا الزمن أكبر كلما قلت النفوذية .

4-3. التغير الحجمي للحجر الإسمنتي :

إن تفاعل الاسمنت مع الماء يقلل من الحجم المطلق للإسمنت أو أن الماء باتحاده مع معادن الخبث الحراري يؤدي إلى نقص الحجم الظاهري (ظاهرة الانكماش) وفي ظروف البئر ونتيجة ترشيح جزء من الماء في الطبقات المسامية يقلل حجم الطور السائل ويؤدي إلى انكماش الحجر الإسمنتي مما يؤدي إلى ظهور قنوات بين مواسير التغليف والحجر الإسمنتي والصخور .

إن ضمان العزل الجيد للمناطق المنتجة يتطلب استخدام سوائل إسمنتية تعطي حجراً لا ينكمش ويمكن للحجر الإسمنتي أن يولد تمدداً أو انكماشاً تحت تأثير عوامل مختلفة .

4-4. التصاق الحجر الإسمنتي بالسطح الخارجي لمواسير التغليف ومع جدران البئر الصخرية:

يعتمد قيام الحجر الإسمنتي بوظائفه العامة إلى حد كبير على مدى التصاقه مع مواسير التغليف و مع جدران البئر الصخرية ويجب العمل باستمرار للحصول على درجة التصاق عظمى .

تتأثر درجة الالتصاق هذه بعدة عوامل أهمها : درجة نظافة هذه السطوح من سائل الحفر أو من القشرة الطينية لسائل الحفر ، نوع مسحوق الاسمنت المستخدم ، درجة الحرارة ، خشونة سطوح التلامس لذلك يجب أن ننزع القشرة الطينية بطرق ميكانيكية أو كيميائية كما يجب أن تنظف السطوح الخارجية لمواسير التغليف من الطلاء الواقي .

تؤدي قوة الاحتكاك التي تتولد عند ضغط المعدن بالحجر الإسمنتي دوراً هاماً في زيادة درجة الالتصاق كما يمكن زيادة الالتصاق بزيادة اضطراب السائل الإسمنتي في الفراغ الحلقي .

5.إضافات الإسمنت :

هنالك مجموعة من الإضافات تمزج مع الخلطة الإسمنتية وذلك للأسباب التالية:

1- الحصول على كثافات مختلفة تتراوح مابين (20-10.8) باوند/غالون.

2- التحكم بمعدل الارتشاح .

3- تقليل اللزوجة .

4- زيادة مقاومة الحجر الإسمنتي المتشكل للتآكل . وفيما يلي نستعرض هذه الإضافات :

5-1.مواد مخفضة للوزن النوعي :

من أهم هذه المواد البنتونايت ويستخدم بتركيز يصل إلى 25% من وزن الاسمنت وكلما ازدادت نسبة البنتونايت ازدادت لزوجة السائل الإسمنتي لذلك يلزم إضافة مواد مخفضة للزوجة عندما يكون تركيز البنتونايت اكبر من (% 6) .بالإضافة إلى دور البنتونايت في تخفيض الوزن النوعي للسائل الإسمنتي نتيجة امتصاصه كمية كبيرة من الماء وزيادة حجمه وبالتالي تناقص كلفة الاسمنت فانه يؤدي أيضا إلى تشكل حجر إسمنتي أكثر مرونة وغير قابل للتشقق عند التثقيب. لكن إضافة البنتونايت له مساوئ كثيرة أهمها :انه يقلل من مقاومة الحجر الإسمنتي عند تعرضه للانضغاط لذا فان استعماله مقصور على الآبار القليلة العمق أما في الآبار العميقة فيستعمل التراب الدياتومي والذي يضاف بتركيز يتراوح بين%(10-4) من وزن الاسمنت .

كما يمكن إضافة مادة أخرى أكثر كفاءة بالنسبة للآبار الغازية وهي البيرليت (perlite) وهي عبارة عن رماد بركاني .

ويمكن إضافة gilzonite حيث يضاف بنسبة %(25-50) من الاسمنت .

أما في الأوساط والطبقات التي تحتوي على نسبة عالية من مركبات الكبريت فإننا نستخدم مركب pozolanحيث يضاف بنسبة % (25-50) من وزن الاسمنت ويعطي مقاومة جيدة تجاه مركبات الكبريت الأكالة.

5-2. المواد الرافعة للوزن النوعي :

وأفضلها البارايت حيث أن وزنه النوعي 4.33 g_f/cm^3 وكذلك أكاسيد الحديد مثل ($Fe_2Ti_2O_3$) وهو أول أكسيد الحديد التيتاني ووزنه النوعي يتراوح بين g_f/cm^3 (4.65-4.67) وهو خامل كيميائياً .

ويجب أن تتمتع المواد المضافة لزيادة الوزن النوعي ببعض الخواص ومنها :

- أن تكون خاملة من ناحية التفاعل الكيميائي خاصة مع مركبات الاسمنت.

- ألا يكون لها تأثير على زمن التصلب .
- ألا يكون لها تأثير على عمليات التسجيل الكهربائية .

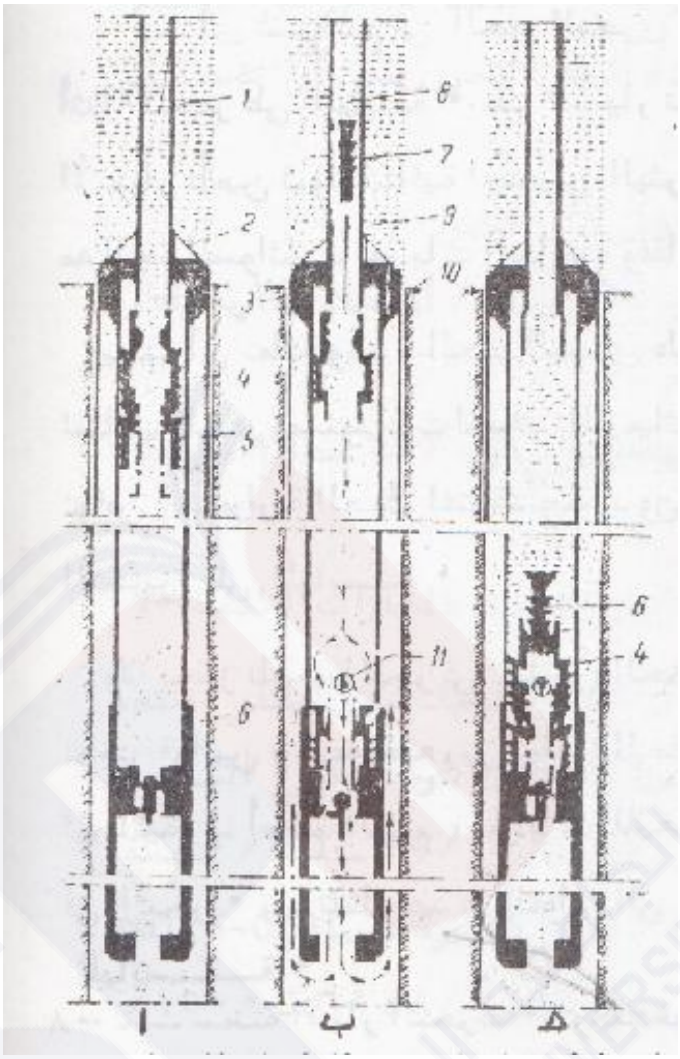
3-3. سمنتة الآبار البحرية:

توجد فروق صغيرة بين سمنتة مواسير التغليف للآبار البحرية وتلك التي على اليابسة ، حيث تحوي منصات الحفر البحرية الحديثة على وحدات ضخ كبيرة لإنجاز عملية الأسمنت وكذلك تحميض وتشقيق المكامن النفطية، أي ان هذه الوحدات تتحمل ضغوط تشغيل عالية وعند سمنتة مواسير التغليف التي تتطلب حجوماً كبيرة من السائل الإسمنتي أو في حال توجد العدد الكافي من وحدات الضخ المتجانسة من حيث ضغط التشغيل على المنصة البحرية.

تستخدم وحدات سمنتة مركبة على سفن خاصة التي تنقل معها ايضاً مسحوق الإسمنت والخلاطات وأحياناً السوائل الضرورية للمنصة (مياه عذبة) وقود.

إن سمنتة مواسير التغليف البحرية الأولى (الدليلة ، السطحية) ذات القطر الكبير والتي تنزل بواسطة مواسير الحفر تتم بتطبيق طريقة السمنة بفواصل الشكل(3-10).
تثبت الفواصل الإسمنتية في الطرف العلوي لرأس انزال أنابيب التغليف ، بينها وبين مواسير الحفر عند مستوى قاع البحر، يركب على سطح المنصة البحرية-على رأس مواسير الحفر فوق المنضدة الرحوية- رأس سمنتة يحوي كرة اسقاط لدفع الفاصل السفلي وفاصل لدفع الآخر العلوي ويحوي الفاصل السفلي في الداخل فراغاً اسطوانياً بمقعد في الأسفل.

ترمى الكرة أولاً داخل مواسير الحفر التي تسقط بتأثير ثقلها وتستند على المقعد أسفل الفاصل السفلي الذي يدفع للحركة بضخ الإسمنت يدفع بالفاصل الموجود ضمن رأس السمنتة بعد الانتهاء من ضخ السائل الإسمنتي يضخ فوقه سائل الإزاحة وعند وصوله إلى الفاصل العلوي يحرره نتيجة تزايد الضغط عليه والناتج عن استمرار ضخ سائل الإزاحة فيهبط داخل موا سير التغليف حتى يستند على الفاصل الأول المستند بدوره على حلقة الصد وبذلك تنتهي عملية السمنتة.



الشكل (3–10)السمنتة بفواصل لمواسير التغليف البحرية

ا : قبل البدء بعملية السمنتة ، ب : أثناء السمنتة ، : عند انتهاء السمنتة

1.مواسير الحفر ،2. رأس انزال ،3. رأس ماسورة التغليف عند قاع البحر 4. الفاصل العلوي ، 5. الفاصل السفلي ،6. وصلة عائمة (حلقة صد مع صمام وحيد الاتجاه)، 7. فاصل انزال لدفع الفاصل العلوي ، 8. سائل الحفر ، 9. سائل اسمنتي ، 10. مستوى قاع البحر ، 11. كرة اسقاط تقيله لدفع الفاصل السفلي