الهيئة السعودية للملكية الفكرية
Saudi Authority for Intellectual Property

المملكة العربية السعودية
Kingdom of Saudi Arabia

براءة اختراع

إن الرئيس التنفيذي للهيئة السعودية للملكية الفكرية و بموجب أحكام نظام براءات الإختراع و التصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة و الأصناف النباتية و النماذج الصناعية الصادر بالمرسوم الملكي الكريم رقم م/27 وتاريخ 1425/05/29هـ و المعدل بقرار مجلس الوزراء رقم 536 و تاريخ 1439/10/19هـ ، و لائحته التنفيذية.
يقرر منح :

شركه الزيت العربية السعودية
SAUDI ARABIAN OIL COMPANY

براءة اختراع رقم : SA 12008

بتاريخ : 1444/06/23 هـ
الموافق : 2023/01/16 م

عن الإختراع المسمى :

ثلاثي المحاور NMR نظم وطرق لاختبار برنين مغنطيسي نووي

Systems and Methods for Tri-Axial NMR Testing

وفق ما هو موضح في وصف الاختراع المرفق، ولمالك البراءة الحق في الانتفاع بكامل الحقوق النظامية في المملكة العربية السعودية خلال فترة سريان الحماية.

الرئيس التنفيذي

د. عبدالعزيز بن محمد السويلم

الهيئة السعودية للملكية الفكرية
Saudi Authority for Intellectual Property

[19] **الهيئة السعودية للملكية الفكرية**
[11] **رقم البراءة:** SA 12008 B1

[12] **براءة اختراع**

[45] **تاريخ المنح:** 1444/06/23 هـ
الموافق: 2023/01/16 م

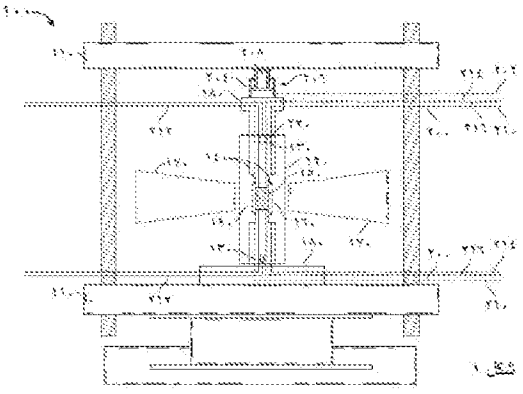
[21] رقم الطلب: 520420923
[22] تاريخ دخول المرحلة الوطنية: 1442/05/14 هـ
الموافق: 2020/12/29 م
[30] بيانات الأسبقية:
2018/07/02 US 15/025,791 م
[72] اسم المخترع: مصطفى حكيم الدين
[73] مالك البراءة: شركه الزيت العربية السعودية
عنوانه: ص ب 3437 الرياض 11471، المملكة العربية السعودية
جنسيته: سعودية
[74] الوكيل: مكتب المحامي سليمان ابراهيم العمار

[86] رقم الطلب الدولي: PCT/US2019/040100
تاريخ إيداع الطلب الدولي: 2019/07/01 م
[87] رقم النشر الدولي: WO/2020/009981
تاريخ النشر الدولي: 2020/01/09 م
[51] التصنيف الدولي(IPC[9]):
G01N 024/008, G01R 033/030
G01V 003/032
[56] المراجع:
US 2005183859, US 2012118041
US 2013228019, US 2011050223
US 2015061669, US 6971260
US 2015061670
HUI HAN ET AL, "High pressure magnetic resonance imaging with metallic vessels", JOURNAL OF MAGNETIC RESONANCE, vol. 213, no. 1, doi:10.1016/J.JMR.2011.09.001, ISSN 1090-7807, (20110910), pages 90 - 97, (20110910), XP028331590
Simultaneous core sample measurements of elastic properties and resistivity at reservoir conditions employing a modified triaxial cell – a feasibility study
الفاحص: روابي بنت محمد المحيميد

[54] اسم الاختراع: نظم وطرق لاختبار برنين مغنطيسي نووي NMR ثلاثي المحاور
Systems and Methods for Tri-Axial NMR Testing

[57] الملخص: يتعلق الاختراع الحالي بأنظمة وطرق لاختبار خصائص عينة اختبار بواسطة جهاز رنين مغناطيسي نووي ثلاثي المحاور (100) يتضمن إطار حمل ثلاثي المحاور (110) يغلف خلية حمل ثلاثية المحاور (120) لها حامل عينة ثلاثي المحاور (150) وتجميعة مكبس (206). حيز نصف قطري (190) يحيط بحامل العينة ثلاثي المحاور (150). يغلف إطار الحمل ثلاثي المحاور (110) كذلك غطاء طرفي (180) واحد على الأقل قادر على التشغيل لتلامس خلية الحمل ثلاثية المحاور (120) وأداة رنين مغناطيسي نووي (170). يكون خط ضغط محوري (220) في اتصال عن طريق مائع مع تجميعة المكبس (206)، وخط ضغط مقيد (214) يكون في اتصال عن طريق مائع مع الحيز القطري (190)، وخط ضغط مسامي (216) في اتصال عن طريق مائع مع عينة الاختبار. يكون خط الضغط المحوري (202)، وخط الضغط المقيد (214)، وخط الضغط المسامي (216) عبارة عن مسارات تدفق مائع مستقلة ومنفصلة. الشكل (1)

عدد عناصر الحماية (15)، عدد الأشكال (1)



نظم وطرق لاختبار برنين مغنطيسي نووي NMR ثلاثي المحاور

Systems and Methods for Tri-Axial NMR Testing

الوصف الكامل

خلفية الاختراع

بشكل عام، يتعلق هذا الكشف باختبار برنين مغنطيسي نووي nuclear magnetic resonance (NMR) ثلاثي المحاور tri-axial بواسطة جهاز اختبار برنين مغنطيسي نووي NMR ثلاثي المحاور. يكون جهاز الاختبار بالرنين المغنطيسي النووي NMR ثلاثي المحاور قادر على تقييم خواص مواد العينات المختلفة تحت ظروف درجة حرارة وضغط خزان.

في صناعة الهيدروكربون يكون من الهام تقييم تفاعلات المواد الصلبة والمائعة في قاع البئر عند ظروف درجة حرارة وضغط التكوين. عندما يتم إنتاج موائع الخزان، يتغير كل من درجة الحرارة، الضغط، طور المائع، تركيب المائع، وسلوك الصخور باستمرار بسبب التغيرات في درجة الحرارة، والضغط، والمتغيرات الأخرى. يمكن نمذجة هذه التغيرات بحيث يمكن تفسير تأثيرها على إنتاج الخزان.

سمنتة حفرة البئر هي عمليات حرجة خلال عمر البئر. لا تؤثر السمنتة على عملية الإنتاج فحسب، بل تؤدي أيضًا إلى المشكلات البيئية المتعلقة بهجرة الغاز وتلوث طبقات المياه الجوفية، وتؤثر على استقرار حفرة البئر. يخضع الأسمنت الذي يتم ضخه في حفرة بئر لدورة ضخ، وإعداد ومعالجة حيث يعتبر التشتت المنتظم للمواد والموائع داخل الأسمنت جوانب حاسمة لمهمة سمنتة ناجحة. قد يكون للتكوين الجوفي ملايين السنين حتى تستقر درجة الحرارة، والضغوط وتدفق الموائع. يجب أن يتحمل الأسمنت المستخدم في حفرة بئر نفس ظروف الخزان مثل التكوين نفسه. يجب تقييم الأسمنت المستخدم في حفرة البئر في نفس ظروف الخزان التي سوف يواجهها الأسمنت بعد ضخه في حفرة بئر.

يجب اختبار الموائع الأخرى المستخدمة أثناء عمليات تطوير الهيدروكربونات المختلفة مثل الحفر، والإكمال، والتدخل، وموائع التثقيب عند ظروف درجة حرارة وضغط الخزان. على سبيل المثال، تؤدي

الموائع المستخدمة أثناء عمليات الحفر العديد من المهام مثل تزييت لقمة الحفر، والحفاظ على درجة حرارة لقمة الحفر وسلسلة أنابيب الحفر، وتوفير حمولة على لقمة الحفر بحيث يتم دفع لقمة الحفر في الصخرة، مما يوفر ضغطًا في حفرة البئر لتخفيف أي تدفق عكسي أو انفجار لموائع الخزان، ودفع مادة التجسير لاختراق المسام الموجودة داخل الصخرة في حفرة البئر التي يتم حفرها وسدها. من المهم فهم كيفية عمل هذه الموائع في ظل ظروف الخزان.

الوصف العام للاختراع

يمكن أن توفر نماذج هذا الكشف نتائج اختبار بناءً على البيانات التي يتم جمعها من عينات مستخرجة من اللب، والقطع، والسدادات، والأسمنت، والموائع في الخزان. تتضمن نظم وطرق هذا الكشف تجميع البيانات عن العينات التي تتعرض لضغوط ودرجات حرارة قاع البئر. تفتقر نظم وطرق عينات اختبار الرنين المغنطيسي النووي NMR الحالية إلى القدرة على توليد مثل هذه البيانات في ظل ظروف الخزان. يمكن ربط البيانات التي تم جمعها بمجموعة أوسع من البيانات التي يتم الحصول عليها باستمرار أثناء التسجيل، واختبار الآبار، وجمع البيانات الزلزالية.

في نموذج لهذا الكشف، يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور لاختبار خواص عينة اختبار على إطار حمل ثلاثي المحاور يغلف خلية حمل ثلاثية المحاور وتجميعة مكبس. تحتوي خلية الحمل ثلاثية المحاور على حامل عينة ثلاثي المحاور وتحدد حيز قطري يحيط بحامل العينة ثلاثي المحاور. يغلف إطار الحمل ثلاثي المحاور غطاء طرفي واحد على الأقل قابل للتشغيل لتلامس خلية الحمل ثلاثية المحاور وأداة الرنين المغنطيسي النووي. يكون خط ضغط محوري في اتصال عن طريق مائع مع تجميعة المكبس. يكون خط الضغط المقيد في اتصال عن طريق مائع مع الحيز القطري. يكون خط الضغط المسامي في اتصال عن طريق مائع مع عينة الاختبار. يعتبر خط الضغط المحوري، وخط الضغط المقيد، وخط الضغط المسامي مسارات تدفق مائع مستقلة ومنفصلة.

في نماذج بديلة، يمكن أن يمتد خط الضغط المقيد، وخط الضغط المسامي عبر الغطاء الطرفي الواحد على الأقل. يمكن أن يشتمل الغطاء الطرفي الواحد على الأقل على موصل قابل للتشغيل لتدفق التيار الكهربائي. يمكن للغطاء الطرفي الواحد على الأقل تحديد تجويف واحد أو أكثر لإيواء

مستشعر صوتي واحد على الأقل. يمكن أن يكون الجهاز قابلاً للتشغيل للحفاظ على ضغط محوري أكبر من ضغط مقيد وأكبر من ضغط مسامي. يمكن أن تكون عينة الاختبار عبارة عن مائع، أو أسمنت، أو قطع حفر، أو لب خزان ميثان طبقة الفحم.

في نموذج بديل لهذا الكشف، تتضمن طريقة استخدام جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور الحصول على عينة الاختبار وتحميل عينة الاختبار في حامل اختبار العينة ثلاثي المحاور. يتم تحميل حامل العينة ثلاثي المحاور في خلية حمل ثلاثية المحاور لإنشاء خلية حمل ثلاثية المحاور محملة. يتم تطبيق ضغط محوري من خلال توفير مائع ضغط محوري عبر خط الضغط المحوري. يتم تطبيق ضغط مقيد من خلال توفير مائع الضغط المقيد عبر خط الضغط المقيد، ويكون الضغط المقيد أقل من الضغط المحوري ومستقلًا عنه. يمكن تدوير مائع التحكم في درجة الحرارة حول حامل العينة ثلاثي المحاور من خلال توفير مائع التحكم في درجة الحرارة عبر خط تدفق التحكم في درجة الحرارة. يتم قياس البيانات من جهاز الرنين المغنطيسي النووي.

في نماذج بديلة يمكن أن تتضمن الطريقة أيضًا تطبيق الضغط المسامي من خلال توفير مائع الضغط المسامي عبر خط الضغط المسامي، حيث يكون الضغط المسامي أقل من الضغط المحوري والضغط المقيد ومستقلًا عنهما. يمكن أن يكون الضغط المحوري في نطاق ضغط محوري م ن 6.89 كيلو باسكال إلى 3.450.000 كيلو باسكال ، ويمكن أن يكون الضغط المقيد في نطاق ضغط مقيد من من 6.89 كيلو باسكال إلى 214.000 كيلو باسكال ويمكن أن يكون الضغط المسامي في نطاق الضغط المسامي بين 6.89 كيلو باسكال إلى 207.000 كيلو باسكال.

في نماذج بديلة أخرى، يمكن أن تشتمل الطريقة أيضًا على قياس بيانات من جهاز استشعار صوتي واحد على الأقل ومستشعر كهربائي واحد على الأقل.
يمكن أن تكون عينة الاختبار عبارة عن أسمنت حفرة البئر ويمكن أن تشمل الطريقة أيضًا إجراء اختبارات على أسمنت حفرة البئر. يمكن أن تكون عينة الاختبار عبارة عن قطع حفر ويمكن أن تشمل الطريقة أيضًا إجراء اختبارات على قطع الحفر. يمكن أن تكون عينة الاختبار عبارة عن لب من خزان ميثان بطبقة الفحم ويمكن أن تشمل الطريقة أيضًا إجراء اختبارات على اللب من خزان الميثان بطبقة الفحم.

شرح مختصر للرسومات

الآن وقد تم التحقق من الطريقة التي ستتضح بها سمات، وجوانب ومزايا نماذج الكشف فضلًا عن غيرها ويمكن فهمها بمزيد من التفصيل، يمكن ذكر وصف محدَّد أكثر للكشف بصورة موجزة في هذا الكشف عن طريق الإشارة إلى النماذج التي يتم توضيحها في الرسم الذي يشكّل جزءًا من هذه المواصفة. وبرغم ذلك، يجب ملاحظة أن الرسم المرفق لا يوضح إلا نماذج معينة للكشف ولا يجب اعتباره مقيِّد لمدى الكشف، حيث يمكن للكشف أن يسمح بتضمين نماذج فعالة أخرى بنفس القدر.

يكون الشكل 1 عبارة عن جهاز رنين مغنطيسي نووي NMR ثلاثي المحاور وفقًا لنموذج للكشف.

الوصف التفصيلي:

بالرغم من أن الوصف التفصيلي التالي يحتوي على تفاصيل محدَّدة بغرض التوضيح، سيدرك العديد ممن لديهم المهارة العادية في المجال أنه يتم تضمين العديد من الأمثلة، والاختلافات والتبديلات في الأوصاف التالية في نطاق الكشف. بناءً على ذلك، يتم ذكر النماذج الموصوفة في هذا الكشف والموجودة في الشكل المرفق بدون أي إخلال بالتعميم، وبدون تقييدات غير ضرورية على النماذج المحمية بعناصر الحماية.

يتعلق الكشف عمومًا بتحليل اللب، وتحليل الموائع، والتحليل البتروفيزيائي وتقييم سلوك الطور لخزانات الهيدروكربون تحت ظروف الإجهاد ثلاثي المحاور مع الضغط المسامي. يقوم جهاز الرنين المغنطيسي النووي NMR ثلاثي المحاور الموصوف هنا بإجراء اختبارات متعددة على عينة في نفس الوقت وأيضًا دمج البيانات التي تم جمعها المتعلقة بالخواص المختلفة للعينة. يسمح الجهاز بنمذجة الخزان.

على سبيل المثال، عند جمع البيانات الصوتية، مثل البيانات الصوتية، أثناء قياسات الرنين المغنطيسي النووي NMR، سوف يوفر الجهاز معلومات تتعلق بتغييرات الضغط الميكانيكي على العينة ليس فقط كدالة لتغيير الضغط، ولكن أيضًا مع تغيرات مائع التكوين. تُستخدم هذه المعلومات بشكل مباشر أثناء المراقبة الزلزالية لإنتاج الخزان ولضبط نماذج المحاكاة للمحات الإنتاج.

في أحد الجوانب، يوفر الكشف جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور لاختبار الخواص البتروفيزيائية وجمع المعلومات الجيوميكانيكية. يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور على إطار حمل ثلاثي المحاور يغلف خلية حمل ثلاثية المحاور بها حامل عينة ثلاثي المحاور وحيز قطري يحيط بحامل العينة ثلاثي المحاور. يمكن تشغيل غطاء طرفي واحد على الأقل لملامسة خلية الحمل ثلاثية المحاور. يشتمل الجهاز أيضًا على مستشعر كهربائي واحد على الأقل، ومستشعر صوتي واحد على الأقل، وأداة الرنين المغنطيسي النووي.

تشتمل خلية الحمل ثلاثية المحاور على حامل العينة ثلاثي المحاور. يمكن صنع حامل العينة ثلاثي المحاور من أي مادة مقبولة لحامل العينة ثلاثي المحاور. بشكل عام، لن يكون لحامل العينة ثلاثي المحاور توقيع NMR أو توقيع NMR معروف. في نماذج معينة، يكون حامل العينة ثلاثي المحاور مصنوعًا من ®TORLON (متوفر من Solvay Plastics). يحتوي ®TORLON على تصنيف ضغط ودرجة حرارة كافيين وهو "غير مرئي" للرنين المغنطيسي النووي NMR. يمكن تصميم حامل العينة ثلاثي المحاور بحيث لا يحتوي على فتحات لتوصيل الموائع أو الكهرباء على السطح الخارجي. في بعض النماذج، يكون تصميم حامل العينة ثلاثي المحاور بحيث يكون حامل العينة ثلاثي المحاور خاليًا من أي اتصال على الوجه الخارجي لحامل العينة ثلاثي المحاور. يوفر هذا التصميم قوة طوق أكبر لضغوط مقيدة أكبر. يتمتع هذا التصميم بفوائد إضافية تتمثل في تقليل سمك جدار وعاء الاختبار، مما يسمح باستخدام عينة ذات قطر أكبر.

في بعض النماذج، يكون حامل العينة ثلاثي المحاور على شكل أسطوانة. في نماذج أخرى، يمكن أن يتراوح قطر الأسطوانة من حوالي 2.5 ملليمترات (مم) إلى حوالي 102 مم. يمكن أن يتراوح طول الأسطوانة من حوالي 2.5 مم إلى حوالي 508 مم. بشكل عام، فإن حامل العينة ثلاثي المحاور قادر على تحمل مستوى الضغوط المرتبطة بتوليد التصدعات في الخزان وقادر على تطبيق إجهاد محوري مساوٍ للضغوط الموجودة في الخزانات.

يمكن أن توفر خلية الحمل ثلاثية المحاور ضغطًا محوريًا مستقلًا عن الضغط المقيد والضغط المسامي. يتم توصيل خلية الحمل ثلاثية المحاور بمضخة ومقياس ضغط لتطبيق ومراقبة الضغط المحوري على العينة المحملة في حامل العينة ثلاثي المحاور. يمكن استخدام خلية الحمل ثلاثية

المحاور لبدء التصدعات في عينة لدراسة ميكانيكا التصدع مع نقل الموائع. في بعض النماذج، تتكون خلية الحمل ثلاثية المحاور من التيتانيوم المطلي.

تشتمل خلية الحمل ثلاثية المحاور أيضًا على خطوط الضغط المسامي، ومغذيات المستشعرات الصوتية، ومغذيات المستشعرات الكهربائية. يمكن وضع خطوط الضغط المسامي، ومغذيات المستشعرات الصوتية، ومغذيات المستشعرات الكهربائية على أو في الأغطية الطرفية. يتم توفير المائع لكل من الضغط المقيد والضغط المسامي من خلال الغطاء الطرفي الواحد على الأقل على خلية الحمل ثلاثية المحاور. في بعض النماذج، يوجد غطاءان طرفيان. يمكن أن تكون الأغطية الطرفية عبارة عن أغطية طرفية عائمة يمكنها استيعاب أطوال مختلفة من العينات داخل نفس حامل العينة ثلاثي المحاور.

يمكن أن تستوعب الأغطية الطرفية خطوط الضغط للسماح بتدفق الموائع. تسمح خطوط الضغط بتدفق المائع إلى الحيز القطري المحيط بحامل العينة ثلاثي المحاور، إلى حامل العينة ثلاثي المحاور، وفي تجميعة المكبس. يمكن توفير تدفق الموائع من خلال خطوط الضغط باستخدام الحقن، أو التطبيق، أو أي آلية إمداد أخرى معروفة لمن يتمتعون بالمهارة في المجال. في بعض النماذج، تحتوي الأغطية الطرفية على ثلاثة خطوط ضغط. في بعض النماذج، تكون الأغطية الطرفية مصنوعة من الألومنيوم أو ®TORLON.

في نماذج أخرى، يتم تضمين الأغطية الطرفية بموصل يسمح بتدفق التيار الكهربائي. يمكن استخدام أي موصل مقبول. في نماذج معينة، يتم اختيار الموصل من الذهب، أو البلاتين، أو الألومنيوم. تشتمل الأغطية الطرفية أيضًا على تجويف واحد أو أكثر لإيواء جهاز استشعار صوتي واحد على الأقل.

يغلف إطار الحمل ثلاثي المحاور مكونات الجهاز. بشكل عام، يجب ألا يحتوي إطار الحمل ثلاثي المحاور على توقيع NMR أو توقيع NMR معروف. في بعض النماذج، يتم تصنيع إطار الحمل ثلاثي المحاور من التيتانيوم مع طلاء إضافي لزيادة خمول الرنين المغنطيسي النووي ومعالجة المواد الكيميائية المسببة للتآكل، والأحماض، والمذيبات الصناعية التي يمكن استخدامها أثناء الاختبار. تتضمن هذه المواد الكيميائية التولوين، والميثانول، والكلوروفورم، وثاني أكسيد

الكربون في الحالة السائلة، أو الغازية، أو السائلة والغازية، والميثان، والماء، والزيلين، وحمض الهيدروكلوريك، وحمض الأسيتيك. في نماذج أخرى، يمكن توسيع إطار الحمل ثلاثي المحاور لاستيعاب عينات أطول. في بعض النماذج، يغلف إطار الحمل ثلاثي المحاور أيضًا أجهزة قياس التشوه مثل المحول التفاضلي الخطي المتغير، ومقياس الإجهاد، ونظام الإزاحة بالأشعة تحت الحمراء أو الصوتي لقياس الخواص الميكانيكية الثابتة للعينة.

في نماذج أخرى، يتم تجهيز خلية الحمل ثلاثية المحاور بفاصل مكبس لإجراء تحليلات مختلفة للضغط والحجم ودرجة الحرارة، مثل اللزوجة، والانضغاط، وتمدد التركيب الثابت، والشمع، والأسفلت، وتكوين الهيدرات. في أحد النماذج، إذا كانت العينة عبارة عن مائع وتم استخدام مسبار NMR معين، فمن الممكن اكتشاف الأسفلتين كدالة للكربون-13. من الممكن أيضًا تحديد بنية الهيدرات، وهو جانب مرغوب فيه لإنتاج الهيدرات وضمان التدفق المخفف، بالإضافة إلى مشكلات استقرار حفرة البئر المتعلقة بالشمع، والأسفلتين، والهيدرات، وتبلور الملح.

في بعض النماذج، يكون المستشعر الكهربائي الواحد على الأقل عبارة عن مسبار مقاومة يوفر قياسات للخواص الكهربائية في نفس الوقت الذي يتم فيه قياس الخواص الأخرى. يساعد هذا في تكامل البيانات المختبرية والميدانية المختلفة لكل من الصخور والموائع في الخزان. في بعض النماذج، يمكن استخدام المائع وخط المسام المرتبط به على أطراف حامل العينة ثلاثي المحاور لقياس الاستجابة الكهربائية. في حالات وجود مائع غير موصل، يمكن تركيب موصلات غير مغنطيسية على العينة أثناء تحضير العينة لغرض قياسات الخواص الكهربائية. في بعض النماذج، يمكن استخدام محلل المعاوقة لتقييم الجهد، والتيار، والطور، والمقاومة للعينة.

في بعض النماذج، يكون المستشعر الصوتي هو محول طاقة صوتي بتردد ووضع متغير، مثل القص والطولي. تسمح محولات الطاقة ذات الوضع المختلف، جنبًا إلى جنب مع التردد المتغير، بالتحليل لاستهداف حجم المسام المحدد، أو حجم الحبيبات، أو مكونات الموائع. يقيس محول الطاقة الصوتي الخواص الديناميكية المختلفة للعينة في ظل ظروف ثلاثية المحاور مع تشبع دقيق للموائع ومسار سهل لتكامل بيانات السجل. في بعض النماذج، يكون المستشعر الصوتي الواحد على الأقل قابلاً للتشغيل ليعمل كمرسل ومستقبل. من بين الخواص الصوتية التي يمكن قياسها تتضمن الموجة P، وهي طولية، وموجة S، وهي قص بزوايا 180، و90، و45 درجة في كل من

وضع الإرسال والانعكاس، ووقت السفر، إلى جانب كامل أطياف التردد. يمكن اختيار محولات الطاقة ذات الوضع المزدوج بناءً على حجم العينة وإجراء الاختبار، مع نطاقات تردد تتراوح من عدد كيلوهرتز (KHz) المستخدمة في أدوات التسجيل لخواص الكتلة الصخرية والمائع إلى نطاقات تردد أكبر من أجل التحقق من أنماط الانتشار التفصيلية وهندسة المسام بواسطة عينات الاختبار. العديد من محولات الطاقة هذه متاحة بسهولة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن للشخص الماهر في المجال أيضًا تصميم محول طاقة بشكل خاص بناءً على متغيرات عينة محددة قيد التحقق.

من خلال امتلاك القدرة على إجراء قياسات صوتية بأوضاع مختلفة باستخدام جهاز NMR ثلاثي المحاور، هناك فهم متزايد لأضرار التكوين بسبب هجرة الرمال، وتلف التكوين بسبب تسرب الشمع والأسفلتين مع تغيرات درجة الحرارة والضغط. سوف تساعد هذه القياسات أيضًا في تقييم تفاعل الموائع المقدم مع مصفوفة الصخور، خاصة في الاستخلاص المعزز كيميائيًا للنفط (EOR)، حيث تساعد القدرة ثلاثية المحاور في محاكاة نظام الإجهاد في خزان معين أكثر من أوعية الاختبار الهيدروستاتيكي التقليدية المتوفرة حاليًا. توفر قياسات الصوت والمقاومة الإضافية أيضًا طريقة مناسبة لمعايرة بيانات سجل المجال قبل وبعد EOR في مجال معين.

يمكن أن تكون أداة NMR أي NMR مناسبة لهذه التطبيقات المعينة. بشكل عام، يعتبر NMR ذو الثقب الكبير مع نسبة إشارة إلى ضوضاء مناسبة، والإشارات المستقبلة بأقل تأخير زمني، مقبول. بشكل عام، يجب أن يكون NMR لديه التدرج وقطر الثقب المناسب لخلية الحمل ثلاثية المحاور. إن NMR مع مزيج مناسب من التدرج والتأخير الزمني المنخفض لن يوفر فقط ملف تعريف التشبع بين الموائع الهيدروكربونية وغير الهيدروكربونية، ولكنه سوف يحدد أيضًا الماء المرتبط والحر، وسوف يساعد في التمييز بين الزيت والكيروجين، وقد يساعد في التمييز بين غازات الهيدروكربون الكيروجين والأسفلتين.

يمكن أن يكون لـ NMR القدرة على أداء مسح الشرائح الكاملة والرقيقة. سوف توفر القدرة على إجراء مسح مركز بالـ NMR على منطقة أصغر ميزات أكثر تفصيلاً للعينة. يمكن استخدام هذه التقنية لقياس نفاذية خزان محكم غير تقليدي وسوف تكون قادرة على التمييز بين نفاذية مادة الأساس، ونفاذية التصدع، وانتشار الموائع المختلفة. سيتم توفير مائع على وجه واحد من العينة وسيتم إجراء مسح الـ NMR للشريحة المعتمد على الوقت لمعرفة حركة وشكل الجزء الأمامي مما

يوفر سلوك نقل قيم لعينة الخزان. في بعض النماذج، سيتم تجهيز جهاز NMR ثلاثي المحاور بجهاز تحديد المواقع المتحكم فيه، أو جهاز تعبئة الخلايا لتوفير موقع شريحة دقيق وقابل للتكرار. يمكن تحقيق ذلك لعينة أقصر عن طريق تحريك نافذة بين ثقب حفرة الـ NMR وأوعية الاختبار ولعينة أطول، يمكن تعبئة الـ NMR بالكامل لتوفير مسح شرائح. يتمتع جهاز NMR بالقدرة على إجراء عمليات مسح بالـ NMR من شريحة 0.1 مم إلى شريحة 152.4 مم، بمعدل 360 درجة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يحتوي NMR على مجال مغنطيسي متغير وتردد يتراوح من عدد من كيلوهرتز إلى عدد من ميغا هرتز (MHz). سيساعد هذا النطاق في التركيز على مختلف مكونات الصخور والموائع بالتفصيل.

يمكن أن يحتوي الـ NMR أيضًا على مسبار متغير للهيدروجين، والكربون-13، والصوديوم، والمكونات الأخرى التي من المحتمل أن تتواجد في خزان. سوف يركز هذا المسبار الاختبار على مكونات مختلفة من نسيج الصخور والموائع. على سبيل المثال، سيؤدي فحص مسبار الصوديوم إلى جانب فحص مسبار الهيدروجين إلى تضخيم الفرق بين الماء الحر والماء المرتبط، بالإضافة إلى توفير معلومات حول ملوحة التكوين. وبالمثل، يمكن أن يساعد مسبار الكربون-13 في تحديد النضج ونوع الكيروجين في عينة.

في نماذج أخرى، يكون جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور لديه قدرة الضغط المسامي التي تسمح برفع ضغط المائع إلى ظروف الخزان. بالإضافة إلى ذلك، يسمح هذا الإعداد بقياس النفاذية في كل من الحالة المستقرة والحالة غير المستقرة مع الموائع الميتة أو الحية. الحالة الثابتة هي اختبار نفاذية نسبي حيث يتم توفير مائعين أو أكثر في وقت واحد عند أحد طرفي عينة سدادة أسطوانية من صخر الخزان وتتم مراقبة التغيير في تشبع مائع العينة كدالة للمائع المنتج على الطرف الآخر لمحاكاة حقن الخزان.

الحالة غير المستقرة هي اختبار يتم فيه توفير مائع واحد في عينة السدادة الصخرية في وجود مائع ثان داخل العينة وتتم مراقبة إنتاج كلا الموائع على الطرف الآخر من العينة. يحاكي هذا كيفية تكوين الخزانات في البداية وهو أيضًا آلية إنتاج الزيت الأولي. المائع الميت هو مائع لا يحتوي على غاز أو يحتوي على كمية قليلة جدًا منه. المائع الحي عبارة عن مائع به غاز له نفس التركيب الكيميائي الموجود في خزان هيدروكربوني معين.

في نماذج أخرى، يمكن أن يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور أيضًا على واحد أو أكثر من الأغشية شبه النفاذة لتحليل قياسات الضغط الشعري وقابلية البلل. في أحد التصاميم لإعداد الأداة، يمكن دمج واحد أو أكثر من الأغشية شبه النفاذة المسامية لإجراء تحليل الضغط الشعري وقابلية البلل لعينة خزان تحت ظروف اختبار ثلاثي المحاور مع تشبع بالـ NMR وقياسات أخرى. هناك العديد من المزايا لإجراء مثل هذا التحليل، بخلاف استخدامه لتكامل البيانات. تتمثل إحدى المزايا الرئيسية لهذا التحليل في ضبط المعادلات التجريبية المختلفة المستخدمة لمحاكاة الخزانات ببيانات حقيقية.

في نماذج أخرى، يمكن أن يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور أيضًا على تغذية إلى NMR ثاني للحقن وتقييم مائع الإنتاج تحت ظروف الإجهاد. وقد أضاف هذا قيمة لإجراء بحث مفصل لتقييم موائع تقنية النانو المختلفة وسمات سلوك الطور الأخرى للخزان أو الموائع المحقونة.

يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور على نظام دوران مائع مضغوط للحفاظ على درجة الحرارة أثناء الاختبار بمائع التحكم في درجة الحرارة.

يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور أيضًا على مضخات لتوفير ضغوط مختلفة للعينة وتدفق الموائع.

في بعض النماذج، يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور على عينة من نظام قياس الإجهاد أو جهاز قياس الإزاحة. يمكن أن يكون نظام قياس إجهاد العينة أو جهاز قياس الإزاحة كهربائي، أو بالأشعة تحت الحمراء، أو صوتي، أو أي نوع آخر بناءً على متطلبات حالة العينة والاختبار. تتمثل ميزة إجراء قياسات الإجهاد على عينة صخر خزان في أنها تتعلق بالقوة الميكانيكية ومشكلات تلف التكوين. تتمثل ميزة إجراء قياسات الإجهاد على عينة مائع في أنها تتعلق بلمحات الإنتاج ومشكلات ضمان التدفق.

يمكن أن يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور أيضًا على مقياس كثافة مناسب ومقياس لزوجة عند طرفي الحقن والإنتاج لتقييم سلوك النقل. توفر هذه الأنواع من المقاييس معلومات قيمة حول تغيير خواص الموائع أثناء اختبار عينة لبية. على سبيل المثال، قد تظهر هذه

الاختبارات أنه عند ضغط ومعدلات تدفق مختلفة، فإن إمكانية استحلاب المائع المحقون ومصفوفة الصخور.

في نماذج أخرى، يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور على حاجز صوتي على نهاية الإنتاج لقياسات الإنتاج. تكون الحواجز الصوتية معروفة من قبل الأشخاص المهرة في المجال. يمكن لمثل هؤلاء الأشخاص اختيار حاجز صوتي مناسب بسهولة للاستخدام في هذا الكشف.

في نماذج أخرى، يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور على نظام حقن متأرجح لمائع وأسطوانة لحقن الموائع الحية. يعرف الأشخاص ذوو المهارة في هذا المجال بأنظمة الحقن المتأرجح لمائع والأسطوانات. يمكن لمثل هؤلاء الأشخاص اختيار أسطوانة مناسبة وأنظمة الحقن المتأرجح لمائع لاستخدامهم في هذا الكشف.

في نماذج أخرى، يشتمل جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور على مستشعرات ضغط حساسة لعينة متنوعة ومراقبة ضغط المائع. تكون مستشعرات الضغط الحساسة معروفة لدى الأشخاص المهرة في المجال. يمكن لمثل هؤلاء الأشخاص اختيار مستشعر ضغط حساس مناسب بسهولة للاستخدام في هذا الكشف.

يوضح الشكل جهاز NMR ثلاثي المحاور 100 وفقًا لنموذج للكشف. يحتوي هذا النموذج للجهاز على إطار حمل ثلاثي المحاور 110. يشتمل الجهاز أيضًا على خلية حمل ثلاثية المحاور 120، وجهاز NMR 170، وأغطية طرفية 180، ومستشعرات صوتية 130، ومستشعرات كهربائية 140، وحامل عينة ثلاثي المحاور 150، وخطوط ضغط 200، والموصلات 212، والتجويف 220. اختياريًا، يمكن إضافة غلاف العزل 160 لإحاطة حامل العينة ثلاثي المحاور. بالإضافة إلى ذلك، يظهر حيز قطري 190 يحيط بحامل العينة ثلاثي المحاور.

يتم تباعد المستشعرات الصوتية 130 والمستشعرات الكهربائية 140 بعيدًا عن العينة بحيث يكون لجهاز الـ NMR رؤية للعينة دون عائق.

في مثال للتشغيل، تتضمن طريقة استخدام جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور الحصول على عينة اختبار، وتحميل عينة الاختبار في حامل العينة ثلاثي المحاور، وتحميل

حامل العينة ثلاثي المحاور في خلية الحمل ثلاثية المحاور لإنشاء خلية حمل ثلاثية المحاور محملة. إذا كانت العينة عبارة عن عينة صلبة مثل عينة لب، أو قطع، أو سدادات، أو عينة أسمنت، فيمكن تحميل العينة في خلية الحمل ثلاثية المحاور كعينة سليمة لم يتم سحقها. بعد سحق العينة، لم يعد من الممكن إعادة الضغط على العينة لظروف الخزان. بالإضافة إلى ذلك، من أجل تطبيق إجهاد مقيد على عينة صلبة، يجب أن يكون للعينة محيط محدد ولتطبيق حمل محوري على عينة صلبة، يجب أن يكون للعينة سطح طرفي مستوٍ بشكل عام.

يتم بعد ذلك وضع خلية الحمل ثلاثية المحاور المحملة في ملامسة مع غطاء طرفي واحد على الأقل لجهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور. ثم يتم تطبيق ضغط ثلاثي المحاور على خلية الحمل ثلاثية المحاور. يمكن أن يشمل الضغط ثلاثي المحاور الضغط المحوري والضغط المقيد. في نماذج معينة، يمكن أن يشتمل الضغط ثلاثي المحاور أيضًا على الضغط المسامي. من أجل تطبيق الضغط المحوري، يتم تطبيق مائع ضغط محوري عن طريق خط الضغط المحوري 202 وفي حجرة المكبس 204. حجرة المكبس 204 هي جزء من تجميعة المكبس 206. تشتمل تجميعة الكباس 206 على عضو المكبس 208 الذي يتصل بعضو هيكلي لإطار الحمل ثلاثي المحاور 110. تتصل حجرة المكبس 204 بالغطاء الطرفي 180. عندما يتم نقل مائع الضغط المحوري إلى غرفة المكبس 204، يتم دفع 204 الغطاء الطرفي 180 محوريًا بعيدًا عن عضو المكبس 208 بحيث يطبق الغطاء الطرفي 180 ضغطًا محوريًا على العينة.

من أجل تطبيق الضغط المقيد، يتم تطبيق مائع ضغط مقيد من خلال الغطاء الطرفي الواحد على الأقل عن طريق خط الضغط المقيد 214 وفي الحيز القطري 190 الذي يحيط بجوانب العينة لتطبيق ضغط مقيد على العينة. من أجل تطبيق الضغط المسامي، يتم تطبيق مائع ضغط مسامي من خلال غطاء طرفي واحد على الأقل عن طريق خط الضغط المسامي 216 وفي تلامس مع العينة لتطبيق الضغط المسامي على العينة. يعتبر خط الضغط المحوري، وخط الضغط المقيد، وخط الضغط المسامي مسارات تدفق مائع مستقلة ومنفصلة.

على نحو بديل، يمكن أن تكون عينة الاختبار عبارة عن مائع أو مائع يحتوي على بعض المواد الصلبة أو الغاز، مثل ملاط الأسمنت، أو موائع الحفر، أو موائع الخزان، أو المواد الكيميائية لـ EOR. في مثل هذا النموذج، يمكن حقن عينة اختبار المائع من خلال خط الضغط المسامي

216 وفي حامل العينة ثلاثي المحاور. عندما يتم إدخال عينة اختبار المائع في حامل العينة ثلاثي المحاور، يتم دفع واحد أو أكثر من الأغطية الطرفية 180 في اتجاه بعيدًا عن الطرف الآخر للأغطية الطرفية حتى يتم وضع عينة المائع المراد اختبارها داخل حامل العينة ثلاثي المحاور. بعد وضع عينة المائع المراد اختبارها داخل حامل العينة ثلاثي المحاور، يتم الحفاظ على ضغط عينة المائع عند ضغط أقل من الضغط المحوري والضغط المقيد.

يكون مسار التدفق لمائع الضغط المحوري منفصلًا ومستقلًا عن مسار التدفق لمائع الضغط المقيد ومنفصلًا ومستقلًا عن مسار التدفق لمائع الضغط المسامي. يتم تطبيق الضغط المحوري بشكل مستقل عن الضغط المقيد والضغط المسامي. وبالمثل، يكون مائع الضغط المقيد منفصلاً ومستقلاً عن مسار التدفق لمائع الضغط المسامي.

أثناء تشغيل جهاز NMR ثلاثي المحاور 100، يتم تطبيق الضغط المحوري والحفاظ عليه عند مقدار أكبر من الضغط المقيد. عندما يكون هناك ضغط مسامي، يتم تطبيق الضغط المحوري والحفاظ عليه بمقدار أكبر من الضغط المسامي. بفضل القدرة على ضبط الضغط المحوري بشكل مستقل، يسمح الضغط المقيد والضغط المسامي بمحاكاة ظروف الإجهاد ثلاثية المحاور الحقيقية التي تتم ملاحظتها في خزانات الهيدروكربون. يكون الإجهاد المحوري المستقل أكبر من الإجهاد المقيد مسؤولاً عن التغيرات في بنية الحلق المسامي التي تتحكم في حركة الموائع في الخزانات الجوفية الفعلية. في الخزان، تكون الصخور والموائع تحت ظروف ثلاثية المحاور حيث يكون الضغط المحوري أكبر من الضغط المقيد والضغط المسامي، والضغط المسامي أقل من الضغط المقيد. إذا كان الضغط المسامي أكبر من الضغط المقيد فإن الخزان سوف يتصدع ويفشل. فقط من خلال تكرار هذه الشروط يمكن اختبار العينة عند تكرار ضغوط قاع البئر.

يمكن بعد ذلك تدوير مائع التحكم في درجة الحرارة حول حامل العينة ثلاثي المحاور المحمل عن طريق توفير مائع التحكم في درجة الحرارة من خلال الغطاء الطرفي الواحد على الأقل إلى الحيز القطري المحيط بحامل العينة ثلاثي المحاور. يمكن توصيل مائع التحكم في درجة الحرارة عن طريق خط تدفق التحكم في درجة الحرارة 210 للحفاظ على درجة حرارة حامل العينة ثلاثي المحاور أثناء التحليل. يمكن بعد ذلك توفير مائع اختبار لحامل العينة ثلاثي المحاور المحمل من خلال الغطاء الطرفي الواحد على الأقل عن طريق خطوط الضغط. يتم إجراء مسح بالرنين

المغنطيسي النووي للشريحة التي تعتمد على الوقت للعينة باستخدام أداة الرنين المغنطيسي النووي. يتم أيضًا إجراء تحليل كهربائي للعينة باستخدام المستشعر الكهربائي الواحد على الأقل والتحليل الصوتي للعينة باستخدام المستشعر الصوتي الواحد على الأقل.

يمكن الحصول على العينات من أي خزان. تشمل الخزانات التي يمكن الحصول على العينة منها خزانات غير تقليدية، مثل الغاز الصخري، ورمل الغاز الضيق، والزيت الثقيل، ورمل القطران، والهيدرات، وخزانات استخلاص النفط المعزز المستنفدة. يمكن أن تكون العينات المستخدمة للتحليل عينة أصلية أو عينة نظيفة.

يُقصد بمصطلح العينة الأصلية عينة سدادة صخرية للخزان تم حفرها واسترجاعها من الخزان وتثبيتها في حامل العينة ثلاثي المحاور دون أي تناوب. يُقصد بمصطلح عينة نظيفة عينة مرت، بعد استرجاعها من خزان، بعمليات مختلفة لإزالة جميع الموائع والمواد الصلبة المرتبطة بها، مثل الملح، والشمع، والأسفلتين.

يمكن أن تشمل الضغوط ثلاثية المحاور أي مجموعة من الضغوط التالية: الضغط المحوري، والضغط المقيد، والضغط المسامي. في بعض النماذج، يتراوح الضغط المحوري من حوالي 1 بساي إلى حوالي 500,000 بساي، ويتراوح الضغط المسامي من حوالي 1 بساي و30,000 بساي، ويتراوح الضغط المقيد من حوالي 1 بساي و31,000 بساي. يجب أن يكون الضغط المسامي للعينة على الأقل حوالي 100 بساي أقل من الضغوط المقيدة والمحورية. بشكل عام، يتم اختيار الضغوط بحيث تحاكي ظروف الخزان قيد الدراسة.

أثناء التحليل، يمكن التحكم في درجة حرارة حامل العينة ثلاثي المحاور لمحاكاة ظروف الخزان قيد الدراسة. في بعض النماذج، يمكن التحكم في درجة الحرارة باستخدام مائع تحكم في درجة الحرارة. تشتمل موائع التحكم في درجة الحرارة المقبولة على أي موائع معروفة للتحكم في درجة الحرارة لها أدنى تأثير معروف أو لا تأثير على إشارة الرنين الـ NMR. في بعض النماذج، يتم الاحتفاظ بحامل العينة ثلاثي المحاور عند درجة حرارة تتراوح بين حوالي −20 درجة مئوية (°م) و350°م. بشكل عام، يتم اختيار درجة الحرارة بناءً على ظروف درجة الحرارة في الخزان أو المواد الأخرى قيد الدراسة.

يشتمل مائع الاختبار المقدم إلى حامل العينة ثلاثي المحاور المحمل من خلال الغطاء الطرفي الواحد على الأقل على مجموعة متنوعة من الموائع. تشير كلمة "مُقدَّم" إلى أن مائع الاختبار قد تم حقنه، أو وضعه، أو إمداده بطريقة أخرى إلى حامل العينة ثلاثي المحاور. على سبيل المثال، يمكن توفير المذيبات مثل التولوين، والميثانول، والكلوروفورم، والزيلين، والماء، وثاني أكسيد الكربون لغسل الهيدروكربونات والأملاح. يمكن توفير الأحماض بتركيزات مختلفة للتنظيف وعمليات المحاكاة. يمكن توفير السوائل الهيدروكربونية، والغازات، والمحاليل الملحية لقياس سعة التدفق. يمكن توفير المواد الكيميائية لـ EOR القابلة للبلل لعمليات المحاكاة. يمكن توفير موائع التصدع باستخدام الدعائم لعمليات المحاكاة. في بعض النماذج، يكون مائع الاختبار عبارة عن مائع ميت. في نماذج أخرى، يكون مائع الاختبار عبارة عن مائع حي.

في بعض النماذج، يقيس مسح الرنين المغنطيسي النووي للشريحة المعتمد على الوقت للعينة الترددات المغنطيسية النووية من حوالي 0.1 كيلو هرتز إلى 20 ميجا هرتز. سيتم اختيار التردد بناءً على نوع العينة التي يتم تقييمها والمتغيرات قيد الدراسة. على سبيل المثال، بالنسبة لعينة متجانسة من النوع ذو المسام المفردة مع مائع ذو لزوجة في نطاق من 0.5 إلى 2.0 سنتيبواز (cP)، قد يكون التردد المغنطيسي النووي البالغ 2 ميجا هرتز مقبولاً. ومع ذلك، بالنسبة للمائع الأكثر لزوجة مع نظام مسام الصخور غير المتجانسة مع نوع المسام المتعددة، قد تكون هناك حاجة إلى مزيج من 2 ميجا هرتز و12 ميجا هرتز للترددات المغنطيسية النووية. في نماذج أخرى، تم تجهيز أداة الرنين المغنطيسي النووي بمسابر متغيرة لإجراء تحليل على العينات.

يقيس التحليل الصوتي للعينة الترددات من حوالي 1 هرتز (هرتز) إلى 100,000 ميجا هرتز. قد يفرض حجم العينة التردد. على سبيل المثال، بالنسبة لعينة متوسطة الحجم، قد يتراوح النطاق بين 500 كيلو هرتز إلى 1 ميجا هرتز. لعينة أصغر حجمًا، قد يكون من الضروري تردد أكبر من 1 ميجا هرتز. قد تتطلب أحجام العينات الأكبر حجمًا أقل من 500 ميجا هرتز.

ستعمل النماذج المختلفة لهذا الكشف على تقليل الوقت المستغرق لتقييم الخزان. من خلال إجراء تحليلات متعددة معًا، ستكون هناك فوائد تشغيلية كبيرة لتوفير الوقت. بالإضافة إلى ذلك، سيتم تحسين دقة البيانات وسيتحسن التكامل مع بيانات الحقل والسجل. ستوفر نماذج الكشف الحالي منصة دراسة شاملة لـ EOR وتحليل الغاز الصخري.

تكون أداة الـ NMR ثلاثية المحاور لديها القدرة على إجراء عدد من الاختبارات المختلفة. من بين الاختبارات التي يمكن إجراؤها: اختبار الـ NMR تحت ظروف ثلاثية المحاور مع عدم وجود ضغط مسامي؛ اختبار الـ NMR تحت ظروف ثلاثية المحاور مع الضغط المسامي؛ اختبار الـ NMR تحت الظروف الهيدروستاتيكية مع أو بدون الضغط المسامي؛ اختبار الـ NMR مع مزيج من ثلاثي المحاور، هيدروستاتيكي، غير مقيد، ضغط مسامي، صوتي، كهربائي، درجة حرارة، شريحة NMR، NMR كامل، قياس التشوه، تغيرات الإجهاد (محوري، مقيد، مسامي)، الموائع (الصوتية، الكثافة، القياسات الكهربائية)، المائع (الضغط، والحجم، ودرجة الحرارة، ومعدل التدفق وقياسات المكونات (في التدفق وخارج التدفق))؛ اختبارات الـ NMR مع الاختبارات الميكانيكية ومجموعة من المستشعرات؛ اختبارات الـ NMR مع اختبار نفاذية الحالة المستقرة، والظروف ثلاثية المحاور والمستشعرات لمختلف البيانات البتروفيزيائية والجيوميكانيكية؛ اختبارات الـ NMR مع اختبار نفاذية الحالة غير المستقرة، والظروف ثلاثية المحاور والمستشعرات لمختلف البيانات البتروفيزيائية والجيوميكانيكية؛ اختبارات الـ NMR مع اختبار الضغط الشعري الصفيحي (الغشاء)، والظروف ثلاثية المحاور والمستشعرات لمختلف البيانات البتروفيزيائية والجيوميكانيكية؛ اختبارات الـ NMR لـ EOR، وتصريف الجاذبية بمساعدة البخار، والغازات البديلة للمياه، وثاني أكسيد الكربون، والمواد الكيميائية، وخافض التوتر السطحي، والبخار، والمعالجات الحمضية؛ اختبارات الـ NMR على الموائع مثل الزيت الثقيل، والهيدرات، وكميات الأسفلتين، والتبلور في ظل الظروف الهيدروستاتيكية؛ اختبارات الـ NMR مع الضغط، والحجم ودرجة الحرارة (التمدد الثابت للتركيب، والتحرر التفاضلي)، ودراسات ضمان التدفق في ظل الظروف الهيدروستاتيكية.

يتم وصف إجراء اختبار كمثال على النحو التالي:

قم بتجهيز جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور وإجراء معايرات النظام.

قم بتجهيز عينات الاختبار.

قم بتجهيز إعداد أداة NMR بناءً على نوع الاختبار والعينة، مثل ما إذا كانت العينة من مادة لبية أو عينة مائع.

قم بتجهيز مسبار NMR الصحيح وقم بإجراء معايرات القاعدة.

قم بتثبيت العينة في حامل العينة ثلاثي المحاور. قم بتثبيت حامل العينة ثلاثي المحاور في خلية الحمل ثلاثية المحاور. قم بتثبيت خلية الحمل ثلاثية المحاور في جهاز الـ NMR باستخدام الأغطية الطرفية وتوصيل جميع التغذيات للموائع ومستشعرات البيانات.

قم بتطبيق ضغط محوري مبدئي بحوالي 50 بساي. ومع ذلك، يمكن تعديل هذه الخطوة بناءً على خواص المرونة. على سبيل المثال، يمكن مسح العينات اللبية بالأشعة المقطعية للإشارة إلى ما إذا كانت العينة ناعمة أم خيوط. بالنسبة للعينات الأقوى، قد يبدأ الضغط الأولي عند 1000 بساي أو أكثر.

ثبت الإزاحة المحورية وقم بزيادة الضغط المقيد والضغط المسامي على العينة حتى تصل العينة إلى ضغوط الاختبار. يمكن تعديل هذه الخطوة على أساس العينة المستخدمة وإجراءات الاختبار المطلوبة.

قم بتدوير مائع التحكم في درجة الحرارة حول حامل العينة ثلاثي المحاور ومراقبة درجة حرارة العينة والضغط جنبًا إلى جنب مع البيانات الأخرى مثل المعلومات الصوتية ومقاومة الإجهاد.

بمجرد أن تصل العينة إلى شروط الاختبار المطلوبة وتكون جميع متغيرات الاختبار في وضع التوازن الزائف مثل التقلبات المقبولة بناءً على متغيرات اختبار محددة، ابدأ الاختبار.

أثناء الاختبار، راقب جميع المستشعرات، والضغوط، ومتغيرات الاختبار لقياس وجمع البيانات الصوتية، والكهربائية، والـ NMR وغيرها من البيانات.

قم بإجراء اختبارات على عينة الاختبار وجمع البيانات من المستشعرات.

قم بتحليل البيانات التي تم جمعها.

قم بتفريغ العينات بعناية، وخفض درجة الحرارة إلى درجات الحرارة المحيطة أو القريبة من درجة الحرارة المحيطة ثم قم بتقليل الضغوط المختلفة بطريقة تحافظ على سلامة العينة.

في مثال على العملية، يمكن أن تكون العينة عبارة عن قطع حفر. أثناء العمليات الميدانية، يتم إنتاج قطع الحفر باستمرار وإرسالها إلى حفرة الطين حيث يمكن للمهندس الميداني أن ينظر إليها

بصريًا للحصول على أدلة الهيدروكربون. تحتوي قطع الحفر على ثروة من المعلومات داخلها والتي زادت قيمتها بشكل كبير عند تحليل القطع بعد وقت قصير من وصولها إلى السطح. كمثال، أحد أهم المتغيرات لتقييم حجم اكتشاف الهيدروكربون هو كمية الهيدروكربون مقارنةً بالموائع غير الهيدروكربونية، مثل الماء.

مع مرور الوقت تجف القطع أو تضيع الموائع أو يعاد ترتيبها ببنية القطع المسامية. تتناقص قيمة البيانات التي تم جمعها من القطع بشكل كبير بمرور الوقت ويمكن أن توفر نتائج غير صحيحة إذا مر وقت طويل قبل تقييم القطع. عندما تصل هذه القطع أو عندما يصل اللب إلى المختبر في غضون ساعات، أو أيام، أو أسابيع ويتم تحليله عدة مرات بعد شهور، تفقد جودة البيانات. يمكن استخدام جهاز NMR ثلاثي المحاور لهذا الكشف في الموقع وتطبيق ضغوط الخزان بسرعة على سدادات الحقل أو عينات القطع لإعادة العينات إلى ظروف الخزان ويمكن إجراء قياسات لتوفير البيانات المتعلقة بأنواع الموائع، وتشبع الموائع، وموقع الموائع، واستجابتها الكهربائية، والاستجابة الصوتية ومجموعات أخرى من البيانات القيمة في الوقت المناسب.

في مثال بديل لعملية التشغيل، يمكن أن تكون العينة نواة أو قطع لخزان ميثان طبقة الفحم. تتضمن الممارسة الحالية لاختبار العينات من خزان الميثان ذي طبقة الفحم الحجري خطوتين اختبار منفصلتين باستخدام أداتين منفصلين. يتضمن الاختبار الأول قطع لب من المادة وإبقاء اللب تحت الماء في أوعية الاختبار تحت الضغط المحيط لعدة أشهر لتقدير تقييم الغاز. يتضمن الاختبار الثاني تكسير قطعة من اللب وتجميع الغاز المنبعث من تلك العملية. في هذه العملية، تتسرب كمية من الميثان. بالإضافة إلى ذلك، قد لا تمثل القطعة المسحوقة بدقة عينة الفحم ككل مما قد يؤدي إلى خطأ في تقدير كمية مورد الميثان في الخزان.

يمكن للجهاز NMR ثلاثي المحاور بدلاً من ذلك إجراء كلا الاختبارين بأداة واحدة على نفس العينة وفي درجة حرارة الخزان الفعلية وظروف الضغط. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام جهاز NMR ثلاثي المحاور من أجل:

أ. فهم أفضل لتدفق تدفق الميثان من خلال تصدعات الخزان،

ب. فهم عملية الانتزاز عند ظروف درجة حرارة وإجهاد معينة،

ج. تقييم معدل الانتزاز والإنتاج كدالة للتغير في الضغوط،

د. فهم أفضل لعملية دفع المياه لتثبيط المسام بمجرد تحرير الميثان،

هـ. دراسة تأثير حقن الماء على انتزاز وإنتاج الميثان،

و. تقييم المصفوفة مقارنةً بنفاذية التصدع كدالة للضغط، ودرجة الحرارة، والانتزاز،

ز. استخدم طريقة حقن الضغط المسامي لإنشاء تصدع وتقييم وضع الدعامة، وإغلاق التصدع، وتشتت مائع التصدع، والتدفق الراجع للدعامة، وفشل أو تكسير الدعامة، والقدرة على الحفاظ على الكسر كدالة للضغط والتدفق، والتضمين الداعم مع التكوين،

ح. استخدام مكبس ضغط محوري مستقل لإنشاء تصدع ميكانيكي ودراسة تدفق الموائع،

ط. استخدام مكبس إجهاد محوري مستقل لسحق العينة بأكملها وجمع معلومات الغاز المتبقية، أو

ي. لاستخدام اللب السليم أو اللب المسحوق لدراسة عملية امتزاز الميثان لدراسة السعة القصوى الإجمالية للخزان لفهم نضج الميثان أو هجرته.

في مثال بديل آخر لعملية التشغيل، يمكن أن تكون العينة عبارة عن أسمنت أو مائع حفر يستخدم لتطوير الهيدروكربون ويتم اختباره في ظروف ضغط ودرجة حرارة قاع البئر. يمكن استخدام جهاز الـ NMR ثلاثي المحاور لاختبار العينة عند ظروف درجة حرارة وضغط قاع البئر من أجل:

أ. تحديد اختبار وقت سماكة الأسمنت تحت ظروف قاع البئر ثلاثية المحاور،

ب. تحديد إعداد الأسمنت ووقت المعالجة وتسجيل التغيرات الديناميكية قبل، وأثناء وبعد المعالجة والإعداد،

ج. قياس الماء الحر قبل وبعد ضبط الأسمنت لتقييم ترطيب الأسمنت وقدرة الغلق بإحكام،

د. حقن المائع في العينة لتقييم نفاذية مصفوفة الأسمنت،

هـ. قياس قوة الغلق بإحكام وفعاليته بين الحبيبات وصخور الخزان ومواد التغليف،

و. قياس تشتت المواد المضافة الصلبة، أو السائلة، أو الغازية أثناء تركيب ومعالجة الأسمنت،

ز. إجراء اختبار مقاومة الانضغاط الهيدروستاتيكي على الأسمنت المحدد وتحديد سعة التسرب والغلق بإحكام خلال المراحل المختلفة قبل الفشل وبعد الفشل،

ح. إجراء اختبار مقاومة الانضغاط ثلاثي المحاور على الأسمنت المحدد وتحديد سعة التسرب والغلق بإحكام خلال مرحلة مختلفة قبل الفشل وبعد الفشل،

ط. تحديد نسبة السموم ومعامل يونج للأسمنت الساكن والديناميكي،

ي. تحديد تأثير مائع الحفر على سعة الترابط للأسمنت مع صخور الخزان والبطانة،

ك. تحديد تأثير مائع التحميض والتصدع على الأسمنت،

ل. دراسة هجرة الغاز،

م. قياس الخواص الكهربائية والسرعة الصوتية لمعايرة سجلات الترابط،

ن. تحديد التأثير على خواص مائع الحفر كدالة لتغير درجة الحرارة والضغط،

ع. تحديد التأثير على ريولوجيا موائع الحفر كدالة لمعدل الدوران ودرجة الحرارة أو الضغط بين المضخة إلى لقمة الحفر،

ف. تقييم تبلور مادة الملح والمواد الصلبة المتساقطة،

ق. تقييم سعة التجسير لمائع الحفر،

ر. تحديد سمك طبقة الطين مع دوران مائع الحفر،

ش. تقييم توليد المرشح والاختراق في الخزان، و

ت. لتحديد التأثير على قدرة مائع الحفر لحمل قطع الحفر.

في بعض النماذج، يوفر الكشف الحالي الكثافة، وNMR، والمقاومة، والقياسات الصوتية للموائع المقدمة والمنتجة كمائع أحادي الطور في ظروف الخزان. على سبيل المثال، في بعض الحالات، يتكون المائع من سائل هيدروكربوني وغازات عند ضغط ودرجة حرارة معينة. يمكن أن يؤدي انخفاض في درجة الحرارة أو الضغط إلى تحويل مائع أحادي الطور إلى أطوار غازية وسائلة.

وبالتالي، فإن اختبار العينات في ظروف الخزان يسمح بإجراء تقييم أكثر دقة للعينات المختلطة من الغاز والسائل، كما هي موجودة في ظروف الخزان. في نماذج أخرى، يوفر الكشف الحالي أيضًا الكثافة، NMR، المقاومة، والقياسات الصوتية وقياسات الحجم لكل مرحلة منفصلة (زيت، محلول ملحي، غاز، عامل EOR)، عند درجة حرارة وضغط مختارين. في نماذج أخرى، يوفر الكشف الحالي قياس تشوه العينة كدالة للإجهاد.

من الاستخدامات الأخرى لجهاز NMR ثلاثي المحاور دمج بيانات اختبار الـ NMR والقياس مع المقاومة الصوتية والمقاومة (سجل الحث) وجاما والمسامية (سجلات النيوترون) والسجلات الجيوكيميائية. يمكن بعد ذلك استقراء البيانات في الآبار حيث لم يتم تحليل العينات بعد.

استخدام آخر لجهاز NMR ثلاثي المحاور المتعلق بتحليل الموائع هو التحديد الدقيق لضغط التشبع (نقطة الفقاعة) أثناء اختبار تمدد التركيب الثابت (CCE). يمكن أن تكون الميزة الإضافية هي تحديد الأطوار، في حالة وجود أكثر من مرحلة، مع الجمع بين الـ NMR، والقياسات الصوتية، والقياس الكهربائي في نفس الوقت. تتمثل ميزة إجراء اختبار CCE باستخدام جهاز NMR ثلاثي المحاور مقارنةً بالطرق الحالية في أنه يمكن أن يوفر فصل يعتمد على الوقت وفصل الموائع المختلفة بناءً على كثافتها. يمكن أن تساعد هذه البيانات في إنتاج الخزان بالقرب من ضغط التشبع ولتحليل خزانات التكثيف.

بالرغم من وصف نماذج هذا الكشف بالتفصيل، فإنه يجب فهم أنه من الممكن تنفيذ تغييرات، وتبديلات، وتعديلات هنا بدون الخروج عن مبدأ ومجال الكشف. بناءً على ذلك، يجب تحديد مجال الكشف بواسطة عناصر الحماية التالية ومكافآتها القانونية المناسبة.

تنطوي صيغ النكرة والمعروفة المفردة على الإشارة إلى صيغ الجمع، إذا لم يُذكر خلاف ذلك بوضوح.

يعني مصطلح "اختياري" أو "اختياريًا" أن الحدث أو الظروف الموصوفين لاحقًا يمكن أن يقع أو لا يقع. يشتمل الوصف على حالات يحدث فيها الحدث أو الظروف وحالات أخرى لا يحدث فيها.

يمكن التعبير هنا عن النطاقات بدءًا من قيمة واحدة محدَّدة تقريبًا إلى قيمة محدَّدة أخرى تقريبًا. عندما يتم التعبير عن مثل هذا النطاق، يجب فهم أن النموذج الآخر يكون من القيمة الواحدة

المحدَّدة إلى القيمة الأخرى المحدَّدة، جنبا إلى جنب مع كل التوليفات داخل النطاق المذكور.

بالإضافة إلى ذلك، يجب فهم النطاقات لتتضمن كل القيم التي يتم فهمها بواسطة من لديه المهارة في المجال التي تقع داخل مدى الكشف، مشتملة على كل القيم التي تعتبر مكافئات، هي نفسها، أو بالقرب من القيم المحددة الموصوفة.

5 كما هو مستخدم هنا وفي عناصر الحماية الملحقة، تهدف الكلمات "يتضمن"، "يحتوي"، و"يشتمل على" وجميع البدائل النحوية إلى امتلاك معنى مفتوح وغير مقيد لا يستثني العناصر أو الخطوات الإضافية.

عناصر الحماية

1- جهاز برنين مغنطيسي نووي ثلاثي المحاور لاختبار خواص عينة اختبار، يتضمن جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور:

إطار حمل ثلاثي المحاور يغلف:

خلية حمل ثلاثية المحاور لها حامل عينة ثلاثي المحاور ويحدد حيز نصف قطري يحيط بحامل العينة ثلاثي المحاور؛

تجميعة مكبس لها عضو مكبس، لتعشيق عضو هيكلي من إطار الحمل ثلاثي المحاور، وغرفة مكبس ؛

غطاء طرفي واحد على الأقل قادر على التشغيل لتلامس خلية الحمل ثلاثية المحاور، حيث تعشّق غرفة المكبس الغطاء الطرفي الواحد على الأقل، بحيث يتم دفع الغطاء الطرفي محوريًا بعدًا عن غرفة المكبس، عند تزويد مائع ضغط محوري في غرفة المكبس، لاستعمال ضغط محوري على عينة الاختبار؛

أداة برنين مغنطيسي نووي؛

يكون خط ضغط محوري في اتصال عن طريق مائع مع غرفة المكبس بتجميعة المكبس، وخط ضغط مقيد يكون في اتصال عن طريق مائع مع الحيز القطري، وخط ضغط مسامي في اتصال عن طريق مائع مع عينة الاختبار، يكون خط الضغط المحوري، وخط الضغط المقيد، وخط الضغط المسامي عبارة عن مسارات تدفق مائع مستقلة ومنفصلة.

2- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يمتد خط الضغط المقيد وخط الضغط المسامي عبر الغطاء الطرفي الواحد على الأقل.

3- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1 أو 2، حيث يشتمل الغطاء الطرفي الواحد على الأقل على موصل قابل للتشغيل لتدفق التيار الكهربائي.

4- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يحدد الغطاء الطرفي الواحد على الأقل كذلك تجويف واحد أو أكثر لإيواء مستشعر صوتي واحد على الأقل.

5- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث يكون الجهاز قابلاً للتشغيل للحفاظ على ضغط محوري أكبر من ضغط مقيد وأكبر من ضغط مسامي.

6- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث تكون عينة الاختبار عبارة عن أسمنت.

7- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث تكون عينة الاختبار عبارة عن قطع حفر.

8- الجهاز وفقًا لعنصر الحماية 1، حيث تكون عينة الاختبار عبارة عن لب خزان ميثان طبقة الفحم.

9- طريقة لاستخدام جهاز الرنين المغنطيسي النووي ثلاثي المحاور المذكور في عنصر الحماية 1، تتضمن الطريقة:

الحصول على عينة الاختبار؛

تحميل عينة الاختبار في حامل اختبار العينة ثلاثي المحاور؛

تحميل حامل العينة ثلاثي المحاور في خلية حمل ثلاثية المحاور لإنشاء خلية حمل ثلاثية المحاور محملة؛

تطبيق ضغط محوري من خلال توفير مائع ضغط محوري عبر خط الضغط المحوري إلى غرفة المكبس بحيث يُدفع الغطاء الطرفي محوريًا بعيدًا عن غرفة المكبس ويستعمل الغطاء الطرفي الضغط المحوري على العينة؛

تطبيق ضغط مقيد من خلال توفير مائع الضغط المقيد عبر خط الضغط المقيد، ويكون الضغط المقيد أقل من الضغط المحوري ومستقلًا عنه؛

تدوير مائع التحكم في درجة الحرارة حول حامل العينة ثلاثي المحاور من خلال توفير مائع التحكم في درجة الحرارة عبر خط تدفق التحكم في درجة الحرارة؛ و

قياس البيانات من جهاز الرنين المغنطيسي النووي.

10- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية 9، تتضمن كذلك تطبيق الضغط المسامي من خلال توفير مائع الضغط المسامي عبر خط الضغط المسامي، حيث يكون الضغط المسامي أقل من الضغط المحوري والضغط المقيد ومستقلًا عنهما.

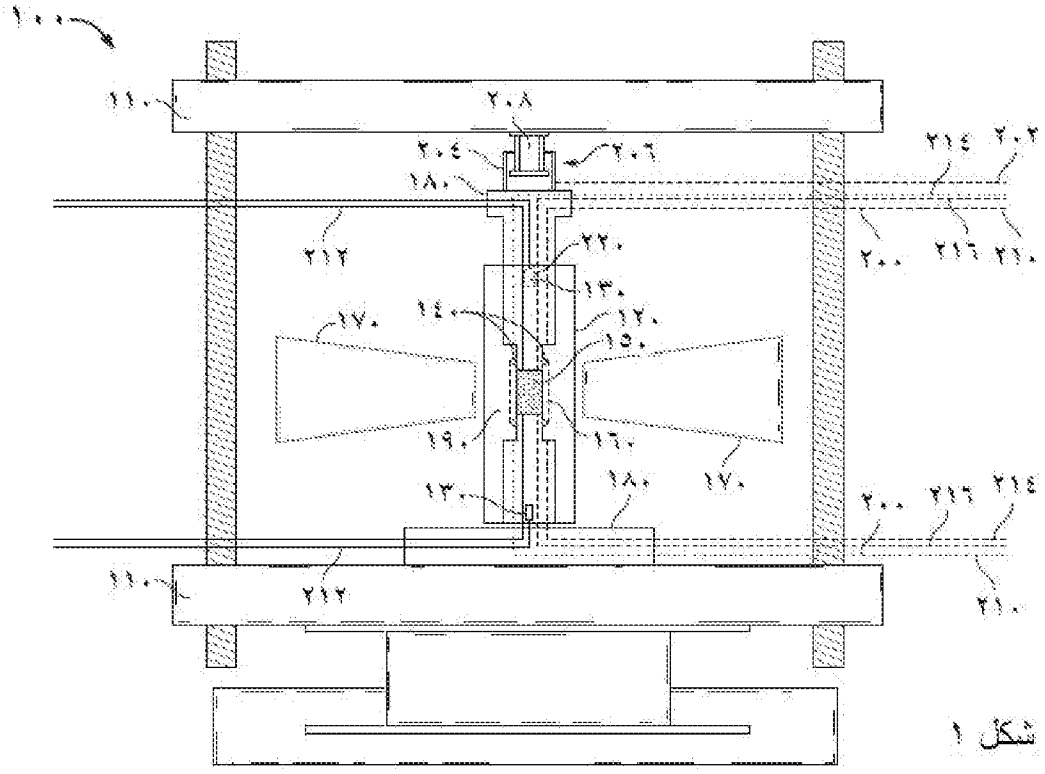
11- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية 10، حيث يكون الضغط المحوري في نطاق ضغط محوري من 6.89 كيلو باسكال إلى 3.450.000 كيلو باسكال ؛ حيث يكون الضغط المقيد في نطاق ضغط مقيد من 6.89 كيلو باسكال إلى 214.000 كيلو باسكال ؛ وحيث يكون ضغط مسامي في نطاق الضغط المسامي بين 6.89 كيلو باسكال إلى 207.000 كيلو باسكال .

12- الطريقة وفقًا لأي من عناصر الحماية 9-11، حيث تشتمل الطريقة أيضًا على قياس بيانات من مستشعر صوتي واحد على الأقل ومستشعر كهربائي واحد على الأقل.

13- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية 9، حيث تكون عينة الاختبار عبارة عن أسمنت حفرة البئر وتشمل الطريقة أيضًا إجراء اختبارات على أسمنت حفرة البئر.

14- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية 9، حيث تكون عينة الاختبار عبارة عن قطع حفر وتشمل الطريقة أيضًا إجراء اختبارات على قطع الحفر.

15- الطريقة وفقًا لعنصر الحماية 9، حيث تكون عينة الاختبار عبارة عن لب من خزان ميثان بطبقة الفحم وتشمل الطريقة أيضًا إجراء اختبارات على اللب من خزان الميثان بطبقة الفحم.


١٠٠
١١٠
٢٠٨
٢٠٤
٢٠٦
١٨٠
٢١٢
٢٢٠
١٣٠
١٤٠
١٢٠
١٥٠
١٧٠
١٩٠
١٦٠
١٨٠
١٧٠
١٣٠
٢١٤
٢٠٢
٢٠٠
٢١٦
٢١٠
٢١٤
٢٠٠
٢١٦
٢١٠
١١٠
٢١٢

شكل ١

مدة سريان هذه البراءة عشرون سنة من تاريخ إيداع الطلب

وذلك بشـرط تسـديد المقابل المالي السـنوي للبراءة وعدم بطلانها أو سـقوطها لمخالفتها لأي من أحكام نظام براءات الاختراع والتصميمات التخطيطية للدارات المتكاملة والأصناف النباتية والنماذج الصناعية أو لائحته التنفيذية.

صادرة عن

الهيئة السعودية للملكية الفكرية

ص ب ٦٥٣١ ، الرياض ١٣٣٢١ ، المملكة العربية السعودية

SAIP@SAIP.GOV.SA