

DISPOSITIVO DE CONTROL DE FLUJO HELICOIDAL ALTERNATIVO PARA INYECCIÓN DE POLÍMERO EN POZOS HORIZONTALES

Inventores: Kousha Gohari; Heikki A. Jutila; Atul Kshirsagar; Carlos Mascagnini; Christopher Harper;
Peter J. Kidd; Tarik Abdelfattah y Roy Woudwijk

CAMPO DE LA INVENCION

[001] El campo de la invención son dispositivos de control de flujo que equilibran el flujo y más particularmente dispositivos configurados para minimizar los efectos de cizallamiento que afectan negativamente la viscosidad de polímeros inyectados.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[002] Los hidrocarburos tales como petróleo y gas se recuperan de una formación subterránea utilizando un agujero o pozo perforado en la formación. En algunos casos el pozo se finaliza al colocar un revestimiento a lo largo de la longitud del pozo y perforar el revestimiento adyacente a cada zona de producción (zona con hidrocarburos) para extraer fluidos (tal como petróleo y gas) de tal zona de producción. En otros casos, el pozo puede ser un agujero descubierto. Se colocan uno o más dispositivos de control de flujo en el pozo para controlar el flujo de fluidos hacia el pozo. Estos dispositivos de control de flujo y zonas de producción generalmente se separan entre sí mediante la instalación de un empacador entre ellos. El fluido de cada zona de producción que ingresa al pozo se dirige hacia una tubería que llega hasta la superficie. Es deseable tener un flujo o fluido sustancialmente parejo a lo largo de la zona de producción. Un drenaje no parejo puede resultar en condiciones no deseadas tal como invasión de un cono de gas o cono de agua. En el caso de un pozo de producción de petróleo, por ejemplo, un cono de gas puede causar un influjo de gas hacia el pozo que puede reducir significativamente la producción de petróleo. De manera similar, un cono de agua puede causar un influjo de agua hacia el flujo de producción de petróleo que reduce la cantidad y calidad del petróleo producido.

[003] Un pozo horizontal o desviado generalmente se perfora hacia una zona de producción para extraer fluido de esta. Se colocan varios dispositivos de control de influjo separados a lo largo de tal pozo para drenar fluido de formación o para inyectar un fluido en la formación. El fluido de formación contiene frecuentemente una capa de petróleo, una capa de agua debajo del petróleo y una capa de gas sobre el petróleo. Para pozos de producción, el pozo horizontal típicamente se coloca sobre la capa de

agua. Las capas límite de petróleo, agua y gas pueden no ser parejas a lo largo de toda la longitud del pozo horizontal. Además, determinadas propiedades de la formación, tal como porosidad y permeabilidad, pueden no ser iguales a lo largo de la longitud del pozo. Por lo tanto, el fluido entre la formación y el pozo puede no fluir de manera pareja a través de los dispositivos de control de influjo.

- 5 Para los pozos de producción, es deseable tener un flujo relativamente parejo del fluido de producción hacia el pozo y además inhibir el flujo de agua y gas a través de cada dispositivo de control de influjo. Los dispositivos de control de flujo activos se han utilizado para controlar el fluido desde la formación hacia los pozos. Tales dispositivos son relativamente costosos e incluyen partes movibles, que requieren mantenimiento y pueden no ser muy confiables a lo largo de la vida útil del pozo. Por lo tanto, los
- 10 dispositivos de control de flujo pasivos (ICD) que pueden restringir el flujo de agua y gas hacia el pozo son deseables.

[004] Los pozos horizontales para inyección y producción se utilizan para ayudar a maximizar la eficiencia de barrido y recuperación económica; especialmente para la recuperación de petróleo viscoso en entornos marinos. Los dispositivos de control de flujo (FCD) se utilizan fácilmente para controlar el

15 flujo a lo largo del pozo en operaciones de recuperación convencional que llevan a una eficiencia de recuperación mejorada. Se han demostrado los beneficios de la inundación con polímeros y FDC, sin embargo la combinación de las dos tecnologías se debe aún observar. Los FDC no se utilizan en la aplicación de inyección de polímero debido a la degradación severa del polímero a través de dispositivos.

- 20 [005] La inundación con polímeros tiene un buen potencial como una opción de recuperación de petróleo mejorada (EOR), especialmente para yacimientos de petróleo más pesados, maduros y de mayor conductividad. La técnica consiste simplemente en viscosificar el agua de inyección para aumentar la efectividad de la inundación y lograr así una eficiencia de barrido mejorada. El polímero se designa de manera que garantice que la fase oleosa tenga una velocidad de movilidad favorable en
- 25 comparación con la inyección de agua pura mientras se trabaja en una estrategia de inyección que se haya considerado óptima para el campo. Por lo tanto, la efectividad de la estrategia de inundación con polímero depende en gran medida de la viscosidad del polímero.

[006] La recuperación de petróleo mejorada por polímero se ha utilizado como una alternativa a la inundación de agua para lograr una mejor eficacia de barrido; funciona al viscosificar el agua para

30 obtener una velocidad de movilidad razonable para el petróleo, por lo tanto, mantener la viscosidad del polímero es imprescindible para que el polímero sea exitoso. Sin embargo, dado que a medida que

aumenta la viscosidad del polímero, aumentan los efectos de fricción, esto se vuelve más importante en pozos horizontales largos. Dependiendo de la cualidad del yacimiento, puede darse un efecto de talón a punta significativo y por lo tanto ocurre un flujo de inyección significativo en el talón y otra calidad de yacimiento más alto o entornos de baja presión en lugar de la longitud total del pozo horizontal. Por lo tanto esto impacta en la eficiencia de recuperación. Los dispositivos y válvulas de control de flujo se pueden utilizar para emparejar el flujo de inyección a lo largo del pozo, aumentando la eficiencia de recuperación. Sin embargo, el problema con la mayoría de los sistemas de control de flujo es que cizallan el polímero, afectando la viscosidad del polímero. Sin embargo, la presente invención muestra un diseño específico que puede implementarse para minimizar significativamente el cizallamiento no deseado del polímero al tiempo que proporcionan la estabilización del flujo de inyección a lo largo del pozo.

[007] Desde un punto de vista económico, es importante que la estrategia de finalización no afecte de manera negativa la calidad del polímero que llevaría a un aumento en la carga de polímero para lograr la viscosidad de polímero deseada para la eficiencia de barrido óptima. Por lo tanto, surge la siguiente pregunta: ¿Se deberían utilizar los dispositivos de control de flujo (FCD) cuando se considera que la estrategia de finalización para los inyectores debería utilizarse para eliminar nodos potenciales que pueden causar cizallamiento excesivo del polímero? Si bien se ha entendido en la industria que la implementación de FCD puede llevar a una mayor eficiencia de recuperación y a un retraso en la irrupción de fluido no deseada, se conoce menos sobre el impacto para los inyectores de polímero.

[008] Los dispositivos de control de influjo para aplicaciones de producción se describen en US 8403038 y se muestran con cierto detalle en las Figuras 1 y 2. Estas Figuras utilizan un perfil de velocidad para ilustrar puntos de restricción que causan problemas cuando se utilizan para la inyección de polímeros cuando el cizallamiento excesivo altera la viscosidad del polímero y altera las relaciones de flujo necesarias para lograr el resultado de mejoramiento de producción deseado a partir de la inyección. Otras descripciones en la técnica relacionadas con dispositivos de control de flujo son las US 2009/0205834, US 7,942,206 y US 8925633.

[009] Las Figuras 1 y 2 muestran dos vistas rotadas de un dispositivo de control de influjo descrito en US 8403038 y diseñadas para desempeñarse de manera diferente dependiendo de la viscosidad de los fluidos que se producen a través de este. Comprende una entrada 10 que lleva a pasajes de entrada espaciados 12 y 14 que continúa en un régimen de flujo en zig-zag 16 mientras que se mueven de manera axial inicialmente en la dirección de la flecha 18. Ocurren un cambio de dirección en 20 y el

movimiento en zig-zag continúa mientras el fluido ahora viaja en la dirección de la flecha 22 a través del pasaje de transición recto 24. Como se ve en la Figura 2 luego del pasaje 24 el flujo continúa en forma de zig-zag en la dirección de la flecha 18 para salir en una salida 26. Típicamente, luego de un movimiento en una dirección de circunferencia en sentido horario, por ejemplo, el flujo pasa a través de un pasaje de transición pequeño 30 para continuar desplazándose circunferencialmente en una dirección antihoraria. Los pasajes de transición están desviados respecto a pasajes de transición adyacentes 30 para inducir el flujo en forma de zig-zag para obtener el descenso de presión necesario para controlar el influjo. Las pruebas de flujo han mostrado que existen velocidades elevadas en los pasajes de entrada 12 y 14 así como en los pasajes de transición 30 o justo después de pasarlos. Si bien las Figuras 1 y 2 muestran un único movimiento en zig-zag en la dirección de la flecha 18 con un pasaje de transición 24 el diseño puede tener múltiples disposiciones de flujo orientadas generalmente de manera axial para obtener el descenso de presión deseado para una velocidad de flujo predeterminada. El problema con el uso de tal dispositivo o un dispositivo alternativo que se muestra en la Figura 3 es que existen regiones de velocidad elevada que causan cizallamiento de fluido que en caso de que el fluido se haya usado a través de tales dispositivos para equilibrar el flujo en una aplicación de inyección, el resultado sería un cizallamiento excesivo que afecta negativamente la viscosidad del polímero. Es importante garantizar que el volumen de la concentración de polímero se mantiene y que el dispositivo puede equilibrar efectivamente el flujo para la inyección de fase de polímero mientras que también equilibra el flujo para fases de fluido de inyección diferentes (es decir, agua pura, vapor, etc.) que se inyectan de manera conjunta o en diferentes momentos. Se ha observado que para inyectar polímero efectivamente a través de un dispositivo de equilibrio de flujo, un parámetro de diseño clave es reducir zonas de alta velocidad que causan cizallamiento que afecta de manera negativa la viscosidad del polímero que se inyecta.

[0010] La Figura 3 es otro dispositivo de control de influjo conocido que comprende una entrada de flujo 40 que lleva a un pasaje de entrada 42 seguido por un patrón de flujo espiral hacia una salida 44. La velocidad en el pasaje de entrada 42 causaría efectos de cizallamiento para el polímero que afectarían su viscosidad negativamente.

[0011] Lo que se necesita y la presente invención proporciona, es un dispositivo de distribución de flujo para una operación de inyección de polímero que tiene una configuración para reducir los efectos de cizallamiento en el polímero para minimizar los efectos negativos en su viscosidad. Algunas formas en las que esto se logra es mediante una entrada ancha en forma de circunferencia hacia un trayecto de flujo que está orientado de manera circunferencial al tiempo que proporciona un patrón de flujo en forma de

zig-zag que utiliza pasajes de transición amplios para obtener el efecto de flujo en zig-zag que es una característica de diseño posibilitada por la orientación circunferencial del flujo en zig-zag. Otra forma es introducir el polímero en uno o más trayectos espirales apilados donde la entrada al espiral es un cono que aumenta gradualmente la velocidad del polímero y elimina la aceleración rápida al acercarse a la entrada del espiral. Estos y otros aspectos del dispositivo y método de inyección de polímero utilizando el dispositivo quedarán de manifiesto más fácilmente para los expertos en la técnica a partir de una lectura de la descripción detallada de la modalidad preferida y las figuras asociadas, al tiempo que reconocerán que el alcance completo de la invención se encontrará en las reivindicaciones anexas.

COMPENDIO DE LA INVENCION

[0012] Un dispositivo de equilibrio de flujo facilita la inyección de polímero en una formación horizontal de una forma que minimiza los efectos de cizallamiento en el polímero inyectado. Las características del dispositivo reducen la velocidad utilizando una cámara de entrada amplia orientada de manera circunferencial que lleva a un trayecto orientado de manera circunferencial que tiene movimiento de fluido en forma de zig-zag caracterizado por pasajes amplios que definen el patrón de zig-zag de manera que se reduce la velocidad en tales ubicaciones de transición. Dado que el trayecto está orientado de manera circunferencial, hay espacio para pasajes de transición amplios independientes del diámetro de alojamiento. La cámara de entrada amplia en forma creciente también reduce la velocidad de entrada para preservar la viscosidad del polímero inyectado. Se pueden inyectar otros materiales o el dispositivo se puede utilizar en servicios de producción así como de inyección. Un método relacionado utiliza el dispositivo descrito para inyección.

[0013] En otra modalidad, el dispositivo de control de flujo comprende uno o más trayectos espirales apilados donde la forma de una entrada hacia un extremo de un espiral tiene un cono en uno o más lados para aumentar de manera gradual la velocidad del polímero y elimina la aceleración rápida a medida que el flujo entra al trayecto espiral. La entrada con su cono puede ser curva para ingresar al espiral. Se pueden ingresar al espiral de forma tangencial o radial o axial.

BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS

[0014] La Figura 1 es una vista esquemática de un dispositivo previo en la técnica desde una primera orientación que muestra el flujo que ingresa;

[0015] La Figura 2 es la vista de la Figura 1 rotada levemente para mostrar el flujo que sale;

[0016] La Figura 3 es otro dispositivo de control de influjo en la técnica previa que comprende un trayecto de flujo en espiral;

[0017] La Figura 4 muestra la orientación de la entrada y el trayecto de flujo circunferencial que lleva a la salida en la presente invención;

[0018] La Figura 5 es la vista de la Figura 4 que muestra la velocidad del flujo;

[0019] La Figura 6 es la vista de la Figura 4 que muestra el cizallamiento de pared del flujo;

5 [0020] La Figura 7 es una gráfica de desempeño que muestra las velocidades relativamente menores y el cizallamiento de pared de la presente invención en comparación con los diseños de las Figuras 1-3;

[0021] La Figura 8 ilustra una configuración de cono de entrada orientada de manera tangencial y radial; y

10 [0022] La Figura 9 muestra una entrada ahusada que sigue la curvatura espiral del trayecto de restricción.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA MODALIDAD PREFERIDA

[0023] La Figura 4 muestra el trayecto de flujo en el dispositivo sin el alojamiento exterior para mayor claridad. La entrada 60 se extiende entre extremos opuestos 62 y 64 entre los que existe una altura 66 de manera que el flujo de entrada representado por las flechas se alinea con la abertura o ranura en forma creciente que define la entrada 60. Desde allí, el flujo se mueve de manera axial hacia el pasaje 70 tal como lo indica la flecha 72 y luego gira de manera circunferencial hacia el pasaje 74 tal como lo indica la flecha 76. El pasaje de transición 78 se desvía de manera axial y circunferencial desde el pasaje 74 para inducir el patrón de flujo en zig-zag que se repite a medida que el flujo se mueve de un lado a otro de manera axial mientras progresa de manera circunferencial hasta llegar al pasaje 82 para moverse hacia el trayecto axial 84 para continuar hacia la salida 86 que tiene la misma forma creciente de la entrada 60 y resulta en que el flujo indicado por las flechas 88 salga de manera axial de la salida 86 para minimizar la velocidad de salida desde la salida amplia y la eliminación de giros utilizando el flujo axial que sale de la salida 86 tal como lo indican las flechas 88.

[0024] Se contemplan variaciones, tal como cuando el flujo sale del pasaje 82 e ingresa al pasaje 84 para flujo axial, se puede ingresar a otro arreglo circunferencial o el trayecto puede continuar como un rollo con un diámetro menor que el paso circunferencial inicial. También se consideran más de dos trayectos circulares. La longitud de cada trayecto axial puede variarse. Se muestra el trayecto axial tal como el 70 que se extiende aproximadamente hasta la mitad del trayecto entre la entrada 60 y la salida 86, donde cada trayecto axial tiene el mismo largo. Esto puede variarse de manera que los trayectos axiales pueden extenderse más o menos de lo que se muestra, hasta el punto donde se extienden por la totalidad de la

distancia entre la entrada 60 y la salida 86. Los trayectos axiales en un trayecto circular dado pueden tener longitudes iguales o diferentes. Los pasajes de cruce entre las carreras axiales tales como los 74, 76, y 82 pueden tener las mismas áreas transversales o áreas diferentes. La forma de tales aberturas es preferentemente rectangular pero también puede ser cuadrada, redonda o tener otra forma que promueva un flujo parejo a través de estas para reducir los efectos de cizallamiento desde zonas de alta velocidad. Las formas de aberturas para pasajes de cruce entre las carreras axiales tales como los 74, 76, y 82 pueden ser iguales o diferentes. Dado que el régimen de flujo es circunferencial, siempre se puede extender la longitud de los pasajes tal como el 74 independientemente del alojamiento que se encuentra alrededor de la estructura de la Figura 4 que no se muestra.

[0025] Los trayectos circunferenciales que pueden utilizarse, pueden apilarse de manera axial y tener el mismo diámetro. El flujo a través de múltiples trayectos apilados de manera axial puede darse en serie o en paralelo. El diámetro de los trayectos circunferenciales puede ser igual o diferente. Múltiples trayectos circunferenciales pueden también retraerse axialmente de manera parcial o total, lo que significa que tendrán diámetros diferentes y pueden tener flujo en serie o paralelo. Los flujos paralelos implican múltiples entradas y salidas que pueden configurarse para estar una al lado de la otra en un arreglo circular o retraerse de manera radial total o parcialmente con diferentes diámetros para permitir la retracción. La abertura de entrada 66 puede tener una extensión de entrada tal como un cono o un borde redondeado para reducir la turbulencia y el cizallamiento de fluido resultante que puede derivar de tal turbulencia.

[0026] Las Figuras 5 y 6 ilustran respectivamente la velocidad a través del dispositivo ilustrado en la Figura 4 y el cizallamiento de pared. La Figura 7 es un gráfico con una línea superior que representa el desempeño del dispositivo de la Figura 3 y la línea media representa el desempeño del dispositivo de las Figuras 1 y 2. Para la presente invención mostrada en la Figura 4 el desempeño está ilustrado en la línea inferior, lo que indica que las velocidades pico son menores, lo que resulta en un menor cizallamiento de pared que en los diseños conocidos de las Figuras 1-3 para una velocidad de flujo dada.

[0027] Los dispositivos de la Figura 4 pueden usarse en métodos de inyección para equilibrar el flujo al tiempo que se minimizan los efectos de cizallamiento en un polímero o para inyectar otros materiales o incluso para producir a partir de una formación.

[0028] Con referencia ahora a la Figura 8, una forma espiral apilada dual que comprende bobinas 100 y 102 tiene formas de entrada respectivas 104 y 106. La entrada 104 tiene lados opuestos 108 y 110, de los que al menos uno está ahusado hacia el otro de manera que el área transversal en 112 es mayor que el

área en la ubicación 114 en la entrada de la bobina 100. Como resultado, el polímero inyectado que fluye desde 112 hacia la bobina 100 aumenta gradualmente la velocidad y elimina los puntos de aceleración rápida como se observó en los diseños alternativos que se muestran en la Figura 3 en el elemento 42. El grado de ahusamiento de la pared depende en cierta medida del espacio disponible pero se contemplan ángulos de ahusamiento de 30 grados o menos. Una diferencia de área transversal sobre la longitud de la entrada puede ser de hasta 50 % y la longitud de la entrada puede ser hasta la mitad de la longitud axial del trayecto de bobina asociado. Como se muestra en la entrada 104 la orientación de entrada es tangencial, mientras que la entrada 106 se ilustra como radial. Las salidas 116 y 118 se muestran en una orientación más axial y las entradas ilustradas 104 y 106 pueden orientarse alternativamente en una orientación más axial, al igual que las salidas ilustradas colocándolas aproximadamente a 30 grados del eje longitudinal. Si bien se muestran dos bobinas apiladas, se pueden utilizar uno o más de dos bobinas. Los conos para las entradas aumentan gradualmente la velocidad del polímero inyectado para controlar la cantidad de cizallamiento del polímero que puede afectar negativamente sus propiedades físicas y la velocidad de inyección necesaria para obtener el beneficio de producción óptimo de la formación.

[0029] La Figura 9 muestra una conexión 120 orientada de manera axial que se reduce en el área transversal 122 de manera gradual a medida que dobla para ingresar tangencialmente a la sección enroscada 124. Aquí, la sección transversal es redondeada y disminuye su diámetro al mismo tiempo que se enrosca para ingresar a la bobina 124 de manera tangencial, lo que también reduce el efecto de cizallamiento en el polímero que se está bombeando. La salida puede tener el mismo elemento de ahusamiento pero el diámetro aumenta a medida que el flujo sale de la bobina 124. Como en la versión de la Figura 8, la orientación de la entrada puede ser axial o radial y la sección transversal de la entrada puede también ser un cuadrilátero o de cualquier otra forma que pasa gradualmente a una dimensión más pequeña de manera incremental para minimizar el efecto de cizallamiento en el polímero bombeado que fluye.

[0030] La descripción anterior ilustra la modalidad preferida y los expertos en la técnica pueden realizar muchas modificaciones sin apartarse de la invención, cuyo alcance ha de ser determinado a partir del alcance literal y equivalente de las reivindicaciones a continuación: