



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Bogotá D.C., 11 de enero de 2018

Señores
DIVISIÓN DE NUEVAS CREACIONES
SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y COMERCIO
Ciudad

REFERENCIA: Expediente No. 16 – 130.690

TÍTULO: “**SISTEMA PARA POTENCIAR LA RECUPERACIÓN DE PETRÓLEO DE UN YACIMIENTO PETROLÍFERO**”

SOLICITANTE: **INNOVATIVE CRUDE TECHNOLOGIES INC. D/B/A ICT**

TRÁMITE: **Respuesta a Concepto Técnico notificado mediante Oficio No. 12.364 del 24 de agosto de 2017.**

JAIME EDUARDO DELGADO VILLEGAS, en mi condición de apoderado de la sociedad **INNOVATIVE CRUDE TECHNOLOGIES INC. D/B/A ICT.**, dentro del término legal, presento respuesta a Concepto Técnico notificado mediante Oficio No. 12.364 del 24 de agosto de 2017.

1. DE LA SOLICITUD DE PATENTE.

REIVINDICACIONES (Art 30 D 486, Art 22 PCT)

El Examinador objeto el capítulo reivindicatorio porque:

“En las reivindicaciones 1, 3 a 5, 7 las expresiones: “aplicador de calor”, “medio hidrocarbónico coloidal”, “generador de ondas de presión”, “superficie de contacto”, “cadena de hidrocarburo”, “un activador”, “medio hidrocarbónico coloidal”, son generales y no definen con claridad las cantidades o productos a los cuales se refieren, por lo tanto, incluyen todas las posibles alternativas presentes o futuras, se



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

sugiere remplazarlo por las características esenciales para definir con precisión lo que se desea proteger”.

“Las reivindicaciones 1, 3, 4 presentan características funcionales como lo son: “que aplica ondas de presión a las cadenas de hidrocarburo fraccionando las cadenas de hidrocarburo en cadenas de hidrocarburo más cortas en donde fraccionar las cadenas de hidrocarburo mediante la aplicación de ondas de presión se realiza dentro del yacimiento petrolífero (501)”, “aplica las ondas de presión directamente a las cadenas de hidrocarburo que se van a fraccionar”, “aplica las ondas de presión indirectamente a las cadenas de hidrocarburo que se van a fraccionar”, es importante recordar que aunque estas características funcionales pueden ir dentro de las reivindicaciones, su función es dar claridad a las mismas, por lo que no le pueden dar novedad o nivel inventivo ya que no se consideran características técnicas esenciales”.

“En la reivindicación 1, la expresión: “segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo que produce una reacción en cadena de radicales mediante la introducción del medio hidrocarbónico coloidal activado en la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo”, está representado un efecto o resultado a obtener, puesto que, dichas características son resultado del proceso reivindicado, y no se están dando características técnicas que permitan generar la reacción mencionada, por lo cual no se puede aceptar, debido a que, equivaldría a definir el problema técnico a resolver, además el alcance de esta reivindicación incluiría todas las alternativas presentes o futuras que lleguen a ese resultado se sugiere remplazarlos por las características esenciales o eliminarlos para dar concisión a las reivindicaciones. Se le recuerda que un sistema se define como un conjunto de aparatos y/o parte de estos, que cooperan entre sí para lograr un propósito”

R/: El solicitante **de acuerdo con las observaciones del Examinador**, procedió a **modificar las reivindicaciones**, de la siguiente forma:

- El término “medio hidrocarbónico coloidal”, que ha sido objetado por el Examinador, ha sido **sustituido** por “**petróleo crudo o gasóleo**”. Este cambio está soportado en diversos párrafos del texto originalmente presentado (página 1, líneas 16 a 24; página 10, líneas 14 a 23; página 17, línea 9 a página 18 línea 15 de la descripción de la presente solicitud en estudio.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPi – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

- El término “*generador de ondas de presión*”, también objetado, ha sido sustituido por “**generador de ondas de presión que comprende un rotor**”. Este cambio está soportado en diversos párrafos de la descripción de la invención (por ejemplo, página 4, líneas 14 a 16; página 6, líneas 13 a 18; página 18 línea 16 a página 19 línea 6; página 28 línea 14 a página 29, línea 10 ó página 30 líneas 6 a 19 de la presente solicitud. Además, en la **Reivindicación 1 se ha añadido** que este **generador de ondas de presión que comprende un rotor que está “situado en una carcasa impregnada de cadenas de hidrocarburo”** (soportado también en la página 18 línea 16 a página 19 línea 6 de la solicitud en estudio y por las figuras 4 y 5).
- El término “*activador*”, también objetado por ser general, ha sido sustituido por “**activador que incluye una rueda con laminillas**”. Este cambio está soportado en varios párrafos del texto originalmente presentado (por ejemplo, página 16, línea 17 a página 17 línea 8 de la presente solicitud de patente en estudio).

Las **Reivindicaciones 3 y 4** también han sido modificadas para definir **dónde está situado el generador de ondas de presión**, y así más claramente explicar cómo se consigue el resultado deseado.

Respecto a los **otros términos objetados en las Reivindicaciones**:

- Como ya se explicó anteriormente, el término “**aplicador de calor**” es un término claro que incluye cualquier elemento que aplica calor, como puede ser un inyector de vapor (como se indica en la descripción de la



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

invención), pero que también puede ser otro dispositivo que aplique calor. Así, por ejemplo, en el propio documento **D2** citado por la Oficina (=WO 2011/026226) muestra un paso de calentamiento en el que se inyecta gas calentado en la formación. Por lo tanto, la persona experta sabría que el término "**aplicador de calor**" no sólo incluye un inyector de vapor, sino que también cubriría realizaciones alternativas conocidas por el experto en la materia, incluyendo otros gases calentados. Por ello, el **solicitante muy respetuosamente suplica sea aceptado este término en la reivindicación.**

- Como también se explicó anteriormente, "**una superficie de contacto**" define una superficie o área que está en contacto por un lado con el generador de ondas de presión y por otro lado con la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo; es decir, se trata de un interfaz entre el generador de ondas de presión (i.e. rotor) y el crudo no tratado (i.e., la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo) para de esta forma producir una reacción en cadena de radicales al introducir el petróleo crudo previamente activado (mediante el aplicador de calor y el generador de ondas de presión) en la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo.

Estos términos objetados claramente tienen el "significado y alcance de las palabras de las reivindicaciones debe ser el que normalmente se les da en el área técnica de la solicitud" como exigen la Guía de Examen.

Con base a lo que se acaba de exponer, rogamos encarecidamente que, por favor, el Examinador reconsidere su posición respecto a esta objeción.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIP – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

El solicitante respetuosamente sostiene que las **modificaciones realizadas en la Reivindicación 1**, ahora específicamente definen las características de las reivindicaciones en términos de características funcionales concretas del sistema, siendo la **Reivindicación 1 clara**. En particular, la reivindicación ahora claramente **define que el generador de ondas de presión es un rotor situado en una carcasa impregnada por la primera pluralidad de cadenas de hidrocarburos** para producir petróleo crudo o gasóleo activado, y **la interfaz (=superficie de contacto) separa** la primera pluralidad de cadenas de hidrocarburos(petróleo crudo o fuel oil) activado de la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburos, de tal manera que al introducirlo se produce una reacción en cadena de radicales.

Por lo expresado anteriormente, el solicitante considera que las modificaciones mencionadas superan todas las objeciones a las reivindicaciones originales. Por lo cual el solicitante pone a consideración del Examinador Técnico de Patentes un **NUEVO CAPITULO REIVINDICATORIO** el cual consta de **siete (7) nuevas reivindicaciones** en dos folios.

DESCRIPCIÓN (Art 28 D 486)

El Examinador objeto la descripción de la invención porque:

“La descripción no es clara ya que no divulga la invención de manera suficientemente completa para que la persona del oficio normalmente versada en la materia pueda ejecutarla (ó reproducirla), dado que la invención no presenta ningún ejemplo detallado de la mejor forma de realizar la invención, ni tampoco presenta claramente las condiciones técnicas de proceso por medio de las cuales logra el efecto técnico que dice tener la invención”.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

“La descripción menciona que: “La activación de carbono, cuando se produce tras la activación de hidrógeno, puede ser capaz de aumentar la fracción ligera del petróleo crudo del aproximadamente 10 % al 25 % al [sic] aproximadamente 40 % la [sic] 60 %, con un API de aproximadamente 30 a 35. El petróleo tratado será más fácil de extraer del pozo, y se puede extraer con un menor uso (o ningún uso) de vapor o productos químicos, que son métodos de extracción perjudiciales para el medio ambiente” (Pág.25, líneas 7 a 16), “La energía de oscilación mecánica se puede producir a una frecuencia diseñada para desestabilizar, debilitar, cortar o fraccionar un tipo específico de enlace molecular, tal como un enlace dihidrógeno (H-H) o un enlace carbonohidrógeno (C-H), o un enlace de azufre bien con hidrógeno o carbono.” (Pág.29, líneas 18 a 22) –subrayado fuera de texto-, sin embargo, no presenta datos o ensayos, ni condiciones técnicas, por medio de los cuales se demuestre dicho aumento de la fracción ligera del petróleo”.

R/: El solicitante **de acuerdo con la objeción del Examinador**, relativa a que la descripción no es clara, muy respetuosamente el solicitante desea indicar que esta objeción no es completamente correcta por los motivos que se exponen a continuación.

De hecho, **la invención está suficientemente soportada en la descripción**, ya que la persona experta en la materia fácilmente sabe a qué frecuencia predeterminada es necesario generar las ondas de presión para fraccionar cadenas de hidrocarburos (de petróleo crudo) en cadenas de hidrocarburos más cortas.

Para apoyar esta afirmación, se adjunta copia de un artículo titulado **"Experimental study into reduction of oil viscosity using ultrasound in the Shengli Shallow Sea Oil Field"** del Journal of Hydrodynamics publicado en julio de 2004; este documento fue publicado en chino, por lo que se adjunta también una traducción al inglés del mismo.

Como se muestra en la Sección 3.3.3 y en la Figura 3, las **frecuencias de 18.5 KHz, 20.4 KHz y 25 kHz son efectivas para reducir la viscosidad al**



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIP – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

romper hidrocarburos de cadena larga, siendo la **frecuencia de 18.5 KHz la más efectiva**. Por lo tanto, el experto fácilmente aprecia que la frecuencia de las ondas de presión debe ser suficientemente alta (por ej., en el rango de 18 a 25 kHz), estableciendo el experto la frecuencia exacta mediante una optimización rutinaria dentro de sus competencias.

Por tanto, la invención está descrita de una forma suficientemente completa y clara para que el experto en la materia pueda llevar a cabo la invención.

2. ANÁLISIS DE PATENTABILIDAD.

Nivel Inventivo (Art 18 D486)

El Examinador objeto el nivel inventivo de las reivindicaciones 1, 5, 7 el documento **D1 (US 2009/0200019)** y las reivindicaciones 1 a 4, 6 con el documento **D2 (WO2011/026226 1 a 4, 6)** porque:

“El documento D2 se considera el estado de la técnica más cercano a la invención definida en la reivindicación 1, porque divulga un método y aparato para mejorar la recuperación de hidrocarburos de una formación de hidrocarburos, incluye el calentamiento de la formación de hidrocarburos mediante la inyección de gas calentado en un pozo de sondeo; la generación de una serie de pulsos de presión en el pozo de sondeo mediante el parpadeo de un líquido en un gas; y dirigir los impulsos de presión en la formación de hidrocarburos (Resumen)”.

“La diferencia entre la invención definida en la reivindicación 1 y el sistema divulgado en D2, consiste en que este último no menciona una segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo. El documento D2 se considera el estado de la técnica más cercano a la invención definida en la reivindicación 1, porque divulga un método y aparato para mejorar la recuperación de hidrocarburos de una formación de hidrocarburos, incluye el calentamiento de la formación de hidrocarburos mediante la inyección de gas calentado en un pozo de sondeo; la generación de una serie de pulsos de presión en el pozo de sondeo mediante el parpadeo de un líquido en un gas; y dirigir los impulsos de presión en la formación de hidrocarburos (Resumen)”.

“La diferencia entre la invención definida en la reivindicación 1 y el sistema divulgado en D2, consiste en que este último no menciona una segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo.”.

Visite nuestra página web: www.mdelaw.com



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTÁ - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

“En consecuencia, la persona del oficio normalmente versada en la materia enfrentada al problema técnico de modificar alternativamente el sistema de D1, estaría motivada a ajustar las condiciones de temperatura y generación de ondas y la zona de aplicación divulgada en dicho documento con el fin de llegar al objeto de la reivindicación 1, por lo cual se considera obvia”.

“El documento D2 se considera el estado de la técnica más cercano a la invención definida en la reivindicación 5, porque divulga un método y aparato para mejorar la recuperación de hidrocarburos de una formación de hidrocarburos, incluye el calentamiento de la formación de hidrocarburos mediante la inyección de gas calentado en un pozo de sondeo; la generación de una serie de pulsos de presión en el pozo de sondeo mediante el parpadeo de un líquido en un gas; y dirigir los impulsos de presión en la formación de hidrocarburos (Resumen)”.

“La diferencia entre la invención definida en la reivindicación 5 y el sistema divulgado en D2, consiste en que este último no menciona específicamente que el generador de ondas de presión comprende un activador dentro del yacimiento petrolífero.”.

“En consecuencia, la persona del oficio normalmente versada en la materia enfrentada al problema técnico de modificar alternativamente el sistema de D2, estaría motivada incluir un generador de ondas dentro del pozo tal como está divulgado en D1, en el sistema de D2 con el fin de llegar al objeto de la reivindicación 1, por lo cual se considera obvia”.

R/: Nuestro poderdante se permite manifestar en cuanto a las objeciones de **falta de nivel inventivo** de la solicitud, por parte del Examinador, lo siguiente:

Novedad

La novedad de la invención frente a los dos documentos citados ha sido reconocida por el Examinador.

Nivel inventivo

La presente invención tiene **nivel inventivo** sobre los documentos citados por el Examinador por las siguientes razones:



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPi – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

En primer lugar, es importante señalar que, como se ha indicado anteriormente, la **presente invención requiere un generador de ondas de presión que comprende un rotor para producir ondas de presión que fraccionan las cadenas de hidrocarburo** (que, como se ha indicado, el experto en la materia sabe que estas ondas de presión deben tener una frecuencia de alrededor de 18.5 KHz o más). Mientras que los documentos **D1 (US 2009/0200019)** y **D2 (WO2011/026226)** muestran métodos para mejorar la recuperación del petróleo, ambos documentos divulgan ondas de presión que en el caso del documento **D2** tienen una frecuencia sónica (documento **D2**, párrafo [0016]) y en el caso del documento **D1** son ondas de presión acústica (documento **D1**, párrafo [0006]). Como se indica en el documento **D2**, la frecuencia preferida es de 0,1 a 1 Hz (párrafo [0028]) y en el documento **D1**, la frecuencia óptima de dichas ondas de presión es de 5 Hz a 1 KHz (véase el párrafo [0036]). El experto en la materia sabe que estas frecuencias no son lo suficientemente altas para fraccionar las cadenas de hidrocarburo en cadenas de hidrocarburo más cortas, **como se define en la Reivindicación 1 de la presente solicitud.**

De hecho, las "ondas de presión" de los documentos **D1 y D2** tienen un propósito completamente diferente al de las ondas de presión para fraccionar cadenas de hidrocarburo de la presente invención.

El documento **D2** genera ondas de presión al pasar un líquido a un gas para *"hacer penetrar dentro del depósito y generar flujo hacia el pozo de producción"*. Por lo tanto, las ondas de presión del documento **D2** lo que hacen es promover el flujo del aceite, y no fraccionan cadenas de hidrocarburo, como en la presente invención. El documento **D2** divulga



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

fraccionar las cadenas de hidrocarburos; sin embargo, para tal fraccionamiento de las cadenas de hidrocarburo se utiliza el craqueo térmico o catalítico (cf. párrafo [0018]). Mientras que en el párrafo 0025 se indica que el agua que parpadea puede indirectamente causar grietas térmicas al generar hidrógeno, está claro que las ondas de presión no están diseñadas ni son capaces de causar tales grietas.

El objetivo del documento **D1** es facilitar la recuperación del petróleo inmóvil de pozos petroleros abandonados anteriormente (cf. párrafo [0008]). En concreto, se generan ondas de presión acústica para desalojar las gotas de aceite e inducir la coalescencia en gotas más grandes que se vuelven móviles debido a su mayor masa, lo que permite el flujo gravitacional y, por lo tanto, la recuperación del aceite previamente inmóvil (véanse, por ejemplo, los párrafos [0030] y [0040]). De hecho, el documento **D1 no divulga ningún tipo de fraccionado de las cadenas de hidrocarburos del aceite inmóvil**, ya sea por craqueo o agrietamiento térmico o de ningún otro modo.

Por tanto, los dispositivos generadores de las ondas de presión de los documentos **D1 y D2 difieren del generador de onda de presión de la presente invención** ya que aquellos sirven para un propósito diferente al de la presente invención, y, en cualquier caso, **no generan ondas de presión con frecuencia suficiente para fraccionar cadenas de hidrocarburo como en la presente invención**. Ni el documento **D1** ni el documento **D2** muestran “un generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) situado en una carcasa impregnada de cadenas de hidrocarburo,



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

y que aplica ondas de presión a las cadenas de hidrocarburo fraccionando las cadenas de hidrocarburo en cadenas de hidrocarburo más cortas”.

Además, ninguno de estos documentos revela ni sugiere las características técnicas adicionales de que el generador de ondas de presión es un rotor situado en una carcasa impregnada de cadenas de hidrocarburos que produce un petróleo crudo o fuel oil activado; y tampoco ni divulgan ni sugieren que haya una interfaz o superficie de contacto que separa la primera pluralidad de cadenas de hidrocarburos (el petróleo crudo o fuel oil activado) de la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburos, de forma que la introducción subsiguiente produce una reacción en cadena radical.

En el **sistema de la presente invención**, se usa **una primera porción de material altamente activo** (es decir, el petróleo crudo o gasóleo activado) que ha sido activado mediante el **aplicador de calor y mediante el generador de ondas de presión con el rotor** impregnado en ese petróleo crudo o activado; este generador genera ondas de presión a una frecuencia que fracciona los hidrocarburos en cadenas más cortas para, de esta forma a su vez, poder activar un volumen mucho mayor de petróleo crudo no tratado (es decir, la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo) y, de este modo, generar un fraccionado (crackeo) autosostenido.

Esto tiene la ventaja de que se puede aumentar la fracción ligera del crudo de petróleo de aproximadamente 10% -25% a aproximadamente 40% -60%, con un API de aproximadamente 30 a 35, y también hacer que el petróleo tratado sea más fácil de extraer del yacimiento, lo que permite que sea extraídos con un uso menor de vapor (o incluso ningún uso) o de productos



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIP – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

químicos (véanse pág. 25, ln. 7-16 de la presente solicitud - párrafos [0078] y [0081] de la publicación PCT WO 2013/032698).

Esto, como también se explica en la **propia solicitud, tiene la ventaja de que el sistema propuesto por la invención es menos perjudicial para el medioambiente.**

En ninguno de los documentos **D1 y D2** se explica **este efecto ventajoso dado por el sistema de la presente invención.** Por lo tanto, ninguna hipotética combinación de los documentos **D1-D2** como propone el Examinador (si es que esta combinación tuviera sentido) daría lugar a la materia definida en la nueva reivindicación 1.

Ninguno de los documentos citados de la técnica anterior divulga las características novedosas de la Reivindicación 1, ni tampoco sugieren o dan pistas para conseguir el efecto ventajoso dado por la presente invención, por consiguiente, **la Reivindicación 1 es inventiva** sobre los documentos **D1 y D2.**

Por otro lado, con relación al **artículo publicado en chino** que adjuntamos al presente escrito (**165559_CN.pdf**), se trata de un artículo que muestra un **estudio experimental sobre los efectos del ultrasonido y la temperatura en la viscosidad de aceite.** Los resultados de este estudio, por tanto, son conceptos abstractos que no han sido y no pueden ser traducidos a una aplicación del mundo real sin aplicar una habilidad inventiva.

Además, este **documento no muestra ni sugiere ninguna de las características del generador de ondas de presión** (generador de ondas



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIP – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

de presión con un rotor, estando situado el rotor en una carcasa impregnada de una primera pluralidad de cadenas hidrocarburo), **ni la superficie de contacto entre el generador de ondas de presión y una segunda pluralidad de cadenas hidrocarburo.** Una ventaja de estas características es que proporcionan un proceso más económico, ya que la activación de una primera pluralidad de cadenas de hidrocarburos requiere significativamente menos energía que la activación de todo el medio hidrocarbónico coloidal (es decir, el petróleo crudo o gasóleo). Además, este artículo no tiene en cuenta ni se preocupa por la viabilidad comercial del proceso de cracking, por lo que no proporciona enseñanza alguna en este sentido.

Las **Reivindicaciones dependientes incorporan la materia objeto de la Reivindicación independiente 1**, por consiguiente, son tanto **NOVEDOSAS COMO INVENTIVAS** en relación con el estado de la técnica anterior citado. Por tanto, las **Reivindicaciones dependientes también son patentables.**

Por lo expresado anteriormente, el **Sistema para potenciar la recuperación de petróleo de un yacimiento petrolífero, tal como se describe en la presente solicitud de patente de invención** de nuestro poderdante, **no está comprendida en el estado de la técnica o anticipada**, ni se encuentran definidas ni mucho menos divulgada en los documentos **D1 y D2** citados por el Examinador. Por lo tanto, la invención es **NOVEDOSA**, tiene **NIVEL INVENTIVO Y APLICACIÓN INDUSTRIAL**, es decir cumple con los requisitos de exigidos por la Decisión 486 del Acuerdo de la Comisión de la Comunidad Andina; además, estamos dando respuesta al Concepto Técnico notificado mediante Oficio No. 12.364 del 24 de agosto de 2017.



MARIO DELGADO ECHEVERRY E HIJOS SAS
IP LAWYERS

BOGOTA - COLOMBIA

AK. 24 No. 37 31 Of. 202
TEL. (571) 2444096 – 3690624 –
2444938 - Fax (571) 2442496
E-mail: mde@mdelaw.com
MIEMBROS
INTA – ASIPI – AIPPI – ACPI
AAAPI – ABPI – ABAPI

Por lo anteriormente mencionado, solicito respetuosamente se proceda a **CONCEDER** la Patente de Invención titulada: **“SISTEMA PARA POTENCIAR LA RECUPERACIÓN DE PETRÓLEO DE UN YACIMIENTO PETROLÍFERO”** a nombre de **INNOVATIVE CRUDE TECHNOLOGIES INC. D/B/A ICT.**, para las nuevas Reivindicaciones 1 a 7 inclusive.

Atentamente,

JAIME EDUARDO DELGADO VILLEGAS
C.C. No. 19.270.955 Bogotá
T.P. No. 43.308 C.S.J.

Anexo:

Nuevas Reivindicaciones (7) en dos folios.
(CN 165559) Journal of Hydrodynamics en inglés en diez folios
(CN 165559) Journal of Hydrodynamics en chino en seis folios

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (500) para potenciar la recuperación de petróleo de un yacimiento petrolífero (501), que comprende:

un aplicador de calor que aplica calor a petróleo crudo o gasóleo que comprende cadenas de hidrocarburo; y

un generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) situado en una carcasa impregnada de una primera pluralidad de cadenas de hidrocarburo, y que aplica ondas de presión a la primera pluralidad de cadenas de hidrocarburo fraccionando las cadenas de hidrocarburo en cadenas de hidrocarburo más cortas, aplicando el generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) ondas de presión a la primera pluralidad de cadenas de hidrocarburo produciendo un petróleo crudo o gasóleo activado;

caracterizado porque el sistema (500) además comprende:

una superficie de contacto (505, 506) entre el generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) y una segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo que produce una reacción en cadena de radicales mediante la introducción del petróleo crudo o gasóleo activado en la segunda pluralidad de cadenas de hidrocarburo.

2. El sistema (500) de la reivindicación 1, en el que el aplicador de calor comprende un inyector de vapor.

3. El sistema (500) de la reivindicación 1, en el que el generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) está dentro del yacimiento petrolífero y aplica las ondas de presión directamente a las cadenas de hidrocarburo que se van a fraccionar.

4. El sistema (500) de la reivindicación 1, en el que el generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) está fuera del yacimiento petrolífero y

aplica las ondas de presión indirectamente a las cadenas de hidrocarburo que se van a fraccionar.

5. El sistema (500) de la reivindicación 1, en el que el generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) comprende un activador que incluye una rueda con laminillas dentro del yacimiento petrolífero.

6. El sistema de la reivindicación 1, en el que el generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) comprende un activador que incluye una rueda con laminillas fuera del yacimiento petrolífero.

7. El sistema (500) de la reivindicación 1, en el que el generador de ondas de presión que comprende un rotor (504) está situado en un alojamiento impregnado por el petróleo crudo o gasóleo.

Document SN: 1000-4874 (2004) 04-0463-06

Experimental Study Into Reduction of Oil Viscosity Using Ultrasound in the
Shengli Shallow Sea Oil Field

LI Zhaomin¹, LIN Riyi², ZHANG Ping¹, DONG Xian-yong¹

(1. College of Petroleum Engineering, University of Petroleum, Dongying, Shandong 257061, China; 2.
College of Transport & Storage and Civil Engineering, University of Petroleum, Dongying, Shandong
257061, China)

Abstract: In order to allow economical and efficient extraction of highly coagulated, high viscosity crude oil and to reduce the energy consumed in the transference of crude oil through pipework, we carried out an orthogonal study into the capacity of ultrasound of different intensity, frequency and effective duration to reduce viscosity thus allowing exploration and selection of optimal viscosity reduction parameters. The study revealed the optimal viscosity reduction parameters, while finding that temperature had the greatest effect on crude oil viscosity; the higher the temperature, the less pronounced the effect of ultrasound in reducing viscosity; the lower the temperature, the more pronounced the effect was in reducing viscosity. This study involved applying ultrasound not only in the extraction of crude oil, but also in achieving normal temperature crude oil transference, greatly reducing energy consumption.

Keywords: ultrasound; viscosity reduction; high viscosity crude; orthogonal study

Chinese Library Classification No.: 0426 Document Identifier: A

Date draft received: 22/03/2003 (draft revised on: 09/04/2004)

Funding Scheme: Support from the Shandong Province Natural Sciences Research Fund (Y98A11014)

Author: LI Zhaomin, (1965-), male, from Yanggu in Shandong province, professor, PhD, PhD tutor

1. Introduction

During the extraction of viscous crude and highly coagulated oil, the high density, viscosity and coagulation of the crude oil creates many problems in aspects such as exploration and transference. Currently, a number of oil fields have developed methods of extracting high viscosity crude oil, for instance injection of steam, burning of oil deposits, microbial recovery, polymer displacement and so on, but these extraction techniques are not only complex, requiring high levels of investment, but also cause geological damage to a greater or lesser extent. In recent years, ultrasound oil extraction has been developed relying on a physical method of extracting oil, the ultrasound not only stimulating the oil layers, increasing yield, but also not causing any damage to the oil layers, thus attracting considerable attention.

Ultrasound oil extraction, as a new kind of technology, has developed rapidly in recent years. Documented reports of ultrasound oil extraction indicate that it not only increases the crude oil yield considerably, but also has wide applications, being used in virtually every stage of the extraction process, for instance sonic fracture generation, sonic stimulation to increase oil layer permeability, sonic sludge prevention, sonic viscosity and coagulation reduction, sonic wax prevention and removal, sonic gas and water removal, sonic emulsification and demulsification as well as sonic blockage removal. Apart from this, sonic stimulation methods are also applicable to extraction from standard clay reservoirs, low permeability oil reservoirs, compact reservoir rock and coagulated oil reservoirs, where standard production increasing techniques are ineffective. There has been success in both Russia and the United States in research carried out into sonic oil extraction technology, leading to its rapid development; research into this technique has now commenced at all major oil fields in China.

Although the viscous oil of the Shengli Shallow Sea oil field does not have a particularly high viscosity, in the lift stage, as the crude oil flows along the well shaft, and its temperature reduces, its viscosity increases, and in view of this, we carried out laboratory investigation into the effects of ultrasound on decreasing its viscosity.

2. Mechanisms whereby ultrasound reduces the viscosity of high viscosity crude oil

When ultrasound travels through a liquid medium, it is capable of generating strong cavitation, mechanical vibration and heat effects. These play a special role in reducing the viscosity of crude oil.

2.1 Cavitation effect

Under the effect of the ultrasound, minute bubble nuclei within the fluid are stimulated. When the sound pressure is sufficient, the bubble nuclei expand due to the negative sound wave pressure, then being compressed by the positive sound wave pressure, manifested in a number of dynamic processes, including vibration, expansion, contraction and collapse. When cavitation bubble nuclei collapse, for a very short time and within a very short range they result in localised high temperatures which can reach 10^4 °C, with pressures reaching thousands if not tens of thousands of

atmospheres momentarily, accompanied by strong shock waves and jet flows reaching around 400 kph, thus resulting in cavitation.

The effects of cavitation on crude oil viscosity reduction. Generally speaking, all crude oil contains wax, colloids and asphalt high polymers. When exposed to ultrasound, the ultrasonic cavitation generates strong shockwaves and high speed jet flows, causing the break-up of long-chain wax hydrocarbons and bituminous molecules, reducing the molecular weight and the viscosity of the crude oil as well as the melting point of the wax.

In terms of the effect of sonic waves in oil layers, the strong cavitation effect results in momentary localised high temperatures and high pressures, resulting in breakage of molecular chain bonding, thus also having a viscosity reducing effect on crude oil.

2.2 Thermal effect

The thermal effect of ultrasound is a combination of several effects; first, as ultrasound is transmitted through crude oil it is absorbed, resulting in the sonic energy being transformed into thermal energy; second, boundary friction causes an increase of the temperature of the oil at the boundaries of different media; third, the cavitation bubble break-up effect releases large amounts of thermal energy. The higher the frequency, the more effective is absorption and the more violent is the boundary friction; as intensity increases so does the cavitation effect increase, with the thermal effect becoming more pronounced.

2.3 Mechanical vibration effect

Boundary friction results in localised increases in temperature within the crude oil, therefore, in the vicinity of the boundaries between crude oil and wax layers, pipework walls and the rock face, major differences in rate of vibration result in boundary friction occurring at the boundary surface between the crude oil, wax layers, pipework walls and the rock face, resulting in localised high temperatures. Due to the relatively high viscosity and high absorption parameters of crude oil, the resultant localised temperature increase is particularly significant.

When ultrasound is transmitted through elastic media, the amplitude, speed of vibration and acceleration of elastic particles exhibits pronounced changes. The effects of mechanical vibration can accelerate the relative motion between the chains of relatively small molecules and those of larger molecules with higher inertia within the crude oil, thus increasing friction between them.

In overall terms, ultrasonic viscosity reduction is due to a combination of ultrasonic cavitation, mechanical vibration and the thermal effect. The actual characteristics of ultrasonic cavitation are related to such issues as the physical properties of the crude oil and the acoustic field and environment. In view of this, suitable sonic parameters need to be selected based on the actual circumstances before effective viscosity reduction can be achieved.

3. Ultrasound viscosity reduction laboratory investigation and data analysis

An orthogonal study was conducted into the capacity of ultrasound of different intensity, frequency and effective duration to reduce viscosity in Shengli Shallow Sea oil field crude oil, thus allowing

exploration and selection of the optimal viscosity reduction parameters and determination of the optimal combination of parameters for ultrasonic viscosity reduction.

3.1 Research conditions

A JC-3 model ultrasound processor, an NDJ-79 model rotational viscosity meter, a constant temperature bath, glass beakers used as oil containers, and an ultrasonic transducer acting on the high viscosity crude oil sample via an amplitude transformer were employed.

The test sample was Shengli Shallow Sea oil field crude oil, which had a pre-dehydration water content of 37%, the water content after dehydration being 8%.

3.2 Testing steps and schemes

3.2.1 Testing steps

The dehydrated crude oil was tipped into a glass beaker, and the constant temperature bath used to heat it. Once the temperature of the crude oil had stabilised, the signal of the ultrasound generator was applied to the transducer, transmitting ultrasound waves into the fluid, and a record was kept of the length of time of the ultrasonic effect. After the effect was halted, the viscosity of the crude oil was measured immediately.

3.2.2 Test schemes

- (1) A sealed electronic dehydration unit was used to carry out dehydration of the crude oil.
- (2) The viscosity/temperature curve of the dehydrated oil and pre-dehydrated oil was measured.
- (3) Different effect times and percentages of viscosity reduction were measured and their relationship was calculated at identical frequencies and sound intensities.
- (4) Different frequencies and percentages of viscosity reduction were measured and their relationship was calculated for fixed sound intensity and effect time.
- (5) Different sound intensities and percentages of viscosity reduction were measured and their relationship was calculated for fixed frequency and effect time.
- (6) An orthogonal study was performed, selecting the optimal parameters for ultrasonic viscosity reduction, thereby yielding the optimal combination of conditions.

3.3 Ultrasonic viscosity reduction testing

3.3.1 Viscosity/temperature curve before and after ultrasonic effect

Viscosity was measured in a range between 40 °C and 80 °C (using the constant temperature bath to control temperature) at intervals of 10 °C (measurement being carried out three times for each point and the calculated average being used), then viscosity compared at the same temperature measurement points. The resultant viscosity/temperature curve is shown in figure 1.

As can be seen from figure 1, treatment of crude oil with ultrasound reduced the viscosity at the corresponding temperature, with the temperature range between 40 °C and 60 °C resulting in the most favourable reduction in viscosity.

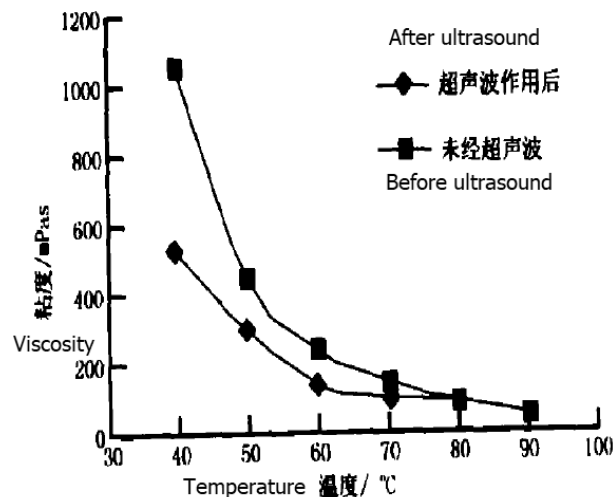


Fig. 1 Viscosity/temperature curve before and after ultrasound effect

3.3.2 Relationship of change in length of time to effect of ultrasound on viscosity

Oil sample: Shengli Shallow Sea oil field crude oil, effective frequency 18.5 kHz, sound intensity 40W (220V x 0.2A), temperature 50 °C.

From figure 2, it can be seen that crude oil viscosity reduction increases as time increases; however, once time exceeded between 10 minutes and 15 minutes, the change in viscosity reduction was very small.

3.3.3 Relationship of change in ultrasonic frequency on viscosity

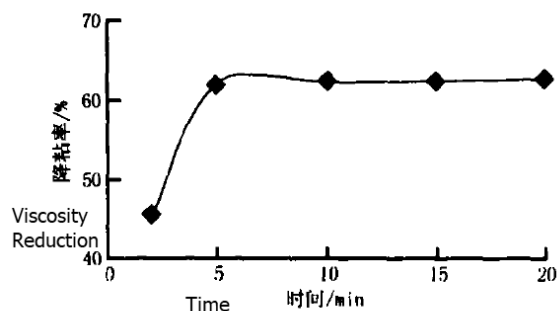


Fig. 2 Relationship between changes in duration of ultrasound effect and viscosity

Oil sample: Shengli Shallow Sea oil field crude oil, duration of effect five minutes, sound intensity 40W/cm² (220V x 0.2A), temperature 50 °C.

Due to the restricted conditions, it was only possible to use 3 frequencies in the testing, and it can be seen from figure 3 that 18.5 kHz was the most effective in reducing viscosity.

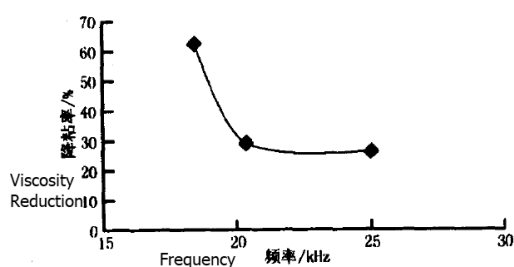


Fig. 3 Relationship between changes in frequency and ultrasound effect on viscosity

3.3.4 Relationship between changes in sound intensity and effect on ultrasonic viscosity reduction

Oil sample: Shengli Shallow Sea oil field crude oil, duration of effect five minutes, effective frequency 18.5 kHz, temperature 50 °C.

Crude oil viscosity reduction increased as ultrasonic sound intensity increased. Due to test condition restrictions, infinite sound intensity increases were impossible.

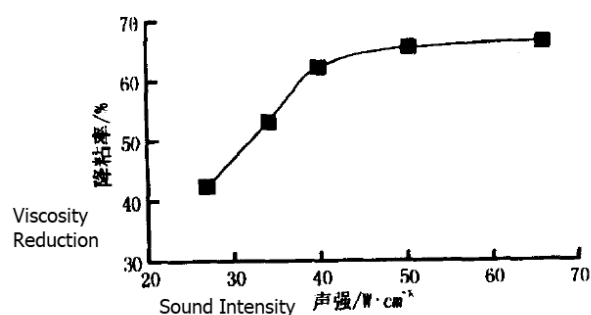


Fig. 4 Relationship between changes in sound intensity and ultrasound effect on viscosity

3.4 Orthogonal study for the selection of optimal combination of parameters for viscosity reduction

When the nine results from the orthogonal study are compared, it is possible to see that in No.9 the viscosity reduction was greatest, yielding fairly good technical conditions; however, these may not actually be the optimal conditions.

The average percentage of viscosity reduction corresponding to each level of factor frequency was calculated respectively for the first column with the heading A (frequency) in the chart, as follows:

$$K_1^A = 18.4 + 40.8 + 22.4 = 81.6_{(\text{frequency})}$$

$$K_2^A = 1.1 + 29.7 + 4.8 = 35.6$$

$$K_3^A = 1.1 + 1.9 + 49.7 = 52.7$$

Thus the average percentage of viscosity reduction at 18.5 kHz, 25 kHz and 20.4 kHz was:

$$k_1^A = 27.2, k_2^A = 11.9, k_3^A = 17.6$$

The second column was handled in the same way, yielding the average percentage of viscosity reduction at two minutes, five minutes and ten minutes as follows:

$$k_1^B = 8.1, k_2^B = 30.5, k_3^B = 18$$

For the third column, the average percentage of viscosity reduction at temperatures 40 °C, 60 °C and 80 °C was:

$$k_1^C = 32.6, k_2^C = 15.8, k_3^C = 8.2$$

For the fourth column, the average percentage of viscosity reduction at sound intensities 18W, 33W and 52W was:

$$k_1^D = 7.1, k_2^D = 23.9, k_3^D = 25.6$$

After the results were entered into the orthogonal study chart, it is possible to see from the results obtained that: a frequency of 18.5 kHz results in the greatest viscosity reduction, an effect duration of five minutes results in the greatest viscosity reduction, an effect temperature of 40°C results in the greatest viscosity reduction, and when sound intensity was 52W the greatest viscosity reduction was achieved; one may conclude that $A_1B_1C_1D_1$ was the best overall technical condition; however, due to this condition not being included in the orthogonal study, additional testing of $A_1B_1C_1D_1$ was conducted, and comparison made with test No.9. The results demonstrate that the technical conditions selected for use with this method were the best.

Table 1. Relationship between duration of ultrasonic effect and change in viscosity

Time (minutes)	2	5	10	15	20
Viscosity (mPa.s)	680	475	470	468	465
Shear rate (s^{-1})	344	344	344	344	344
Viscosity reduction (%)	45.60	62.00	62.40	62.56%	62.80

Note: The original viscosity of the pre-dehydrated crude oil at 50°C was 1250 mPa.s

Table 2. Relationship between frequency and change in viscosity

Frequency (kHz)	18.5	20.4	25
Viscosity (mPa.s)	475	890	920
Shear rate (s^{-1})	344	344	344
Viscosity reduction (%)	62%	28.8%	26.4%

Table 3. Relationship between ultrasound intensity and change in viscosity

Sound intensity (W/cm ²)	27	34.2	40	50.4	66
Viscosity (mPa.s)	720	585	475	430	420
Shear rate (s ⁻¹)	344	344	344	344	344
Viscosity reduction (%)	42.40	53.20	62.00	65.60	66.40

Table 4. Orthogonal study chart

SN	Frequency (kHz)	Duration of effect (minutes)	Temperature (°C)	Sound Intensity (W)
	A	B	C	D
1	18.5	2	40	18
2	25	5	60	33
3	20.4	10	80	52

From the results of these tests, we, last of all, adopted the optimal combined conditions (frequency 18.5 kHz, duration five minutes and sound intensity 52W) to conduct ultrasonic effect testing on dehydrated crude oil at a constant temperature of 40 °C, see table 6. Based on a comparison with the viscosity of dehydrated crude oil that had not been subjected to the effects of ultrasound, it was discovered that the reduction in viscosity was as much as 70.6%, confirming that the results of the orthogonal study were correct.

Apart from this, the average viscosity reduction range R between different levels of each factor was calculated, $R_A = 27.2 - 11.9 = 15.3$, $R_B = 30.5 - 8.1 = 22.4$, $R_C = 32.6 - 8.2 = 24.4$, $R_D = 25.6 - 7.1 = 18.5$.

From this, it is possible to state that - temperature had the greatest effect on viscosity reduction, with duration of effect in second place, sound intensity in third place and frequency in fourth place; this allows an estimate of the importance of each of these factors. The results of testing also uphold that, after ultrasound takes effects, if temperature is not maintained immediately, the viscosity of the oil drops rapidly.

Table 5. Orthogonal study data table

Study SN	Orthogonal study conditions	Frequency (kHz)	Duration of effect (minutes)	Temperature (°C)	Sound intensity (W)	Viscosity (mPa.s)	Shear rate (s ⁻¹)	Viscosity reduction (%)
1	A1B1C1D1	18.5	2	40	18	860	344	18.4
2	A1B2C2D2	18.5	5	60	33	145	344	40.8
3	A1B3C3D3	18.5	10	80	52	70	2028	22.4
4	A2B2C3D1	25	5	80	18	89	2028	1.1
5	A2B2C1D2	25	10	40	33	740	344	29.7
6	A2B1C2D3	25	2	60	52	230	344	4.8
7	A3B3C2D1	20.4	10	60	18	240	344	1.9
8	A3B1C3D2	20.4	2	80	33	89	2028	1.1
9	A3B2C1D3	20.4	5	40	52	530	344	49.7
K_1		81.6	24.3	97.8	21.4			
K_2		35.6	91.6	47.5	71.6			
K_3		52.7	54	24.6	76.9			
k_1		27.2	8.1	32.6	7.1			
k_2		11.9	30.5	15.8	23.9			

k_3		17.6	18	8.2	25.6			
R		15.3	22.4	24.4	18.5			

Table 6. Optimal combined ultrasonic parameters test on dehydrated crude oil

Condition	Frequency kHz	Duration Minutes	Temperature °C	Sound intensity W	Viscosity of crude oil not subjected to effects of ultrasound mPa.s	Viscosity of crude oil subjected to effects of ultrasound mPa.s	Viscosity reduction %
Value	18.5	5	40	52	1053.3	310	70.6

4. Conclusion and findings

(1) Ultrasonic extraction of oil is not only capable of increasing crude oil yield, it also does not damage geological strata.

(2) The results of the orthogonal study confirm that the optimal combined parameters with regard to Shengli Shallow Sea oil field crude oil are: 40 °C, frequency 18.5 kHz, duration of effect five minutes, sound intensity 52W/cm².

(3) Temperature is the factor that has the greatest affect on crude oil viscosity. The higher the temperature, the less pronounced the viscosity reducing effect of the ultrasound is; the lower the temperature, the more pronounced the viscosity reducing effect. This factor is extremely favourable, and we are able to utilise ultrasound to realise crude oil transference at normal temperatures, thus greatly reducing energy consumption. This method only requires simple equipment, with a fairly low cost, making it a feasible approach.

Reference Documents:

1. YANG Guanghua. Highly viscous oil dissertation collection [C]. Petroleum University Publishing House. Dongying 1990.
2. WANG Yang'en. Applications of ultrasound in the transference of highly viscous oil [J]. Oil and Gas Storage and Transportation, 1999, 18(4): 10-11.
3. ZHENG Maojun. Analysis of mechanisms at work in ultrasonic viscosity reduction and waxing prevention [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 1996, 15(4): 28-29.
4. HONG Jianrong et al. Application of physical fields in the development of oil fields [J]. Oil Drilling and Production Technology, 1994, 16(3): 90-92.
5. ZHANG Furen et al. The prospects of application of sonic oil extraction technology in the Shengli oil field [J]. Fault-Block Oil and Gas Field, 1997, 4(1): 55-59.
6. YU Gaoming. Applications and new developments in ultrasound in petroleum extraction [J]. Discovery of Nature, 1998, 17(2): 73-76.

7. YAN Xianghong et al. Results of tests into the reduction of highly viscous oil viscosity using ultrasound [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 1996, 15(5): 20-21.
8. HUANG Xutao et al. Study into the mechanisms and characteristics of sonic oil extraction [J]. Acta Petrolei Sinica, 1993, 14(4): 110-115.
9. JIN Liangchao Ed. Orthogonal Design and Multiple Index Analysis [M]. China Railway Publishing House. Beijing, 1988.
10. CHAKMA A. and JHA K.N. Heavy-oil Recovery From Thin Pay Zones by Electromagnetic Heating [R]. SPE 24817.
11. HAI Sha'er. Laboratory investigation of ultrasonic viscosity reducing technology [J]. Drilling and Production Technology, 1997, 21(1): 13-23.
12. ZENG Longwei et al. Physics based oil extraction technology [M]. Petroleum Industry Press. Beijing, 2001.
13. ZHAO Qilu et al. Study into oil-layer ultrasonic treatment techniques [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 1997, 16(3): 16-22.
14. SHAO Changjin. Fundamental study into usage of physical fields to increase crude oil yield [J]. Acta Petrolei Sinica, 1997, 18(3): 63-64.
15. YAN Xianghong. Non-standard oil yield increasing technology – Sonic oil extraction technology [J]. Physics, 1998, 27(5): 288-314.
16. LIU Mengli et al. Study into application of ultrasound technology in treatment of oil-layers in the Yumen oil field [J]. Oil Drilling and Production Technology, 1997, 19 (supplement): 55-58.

文章编号: 1000-4874(2004)04-0463-06

超声波对胜利浅海原油降粘 实验研究^{*}

李兆敏¹, 林日亿², 张平¹, 董贤勇¹

(1. 石油大学(华东)石油工程学院, 山东东营 257061;

2. 石油大学(华东)储运与建工学院, 山东东营 257061)

摘 要: 为了经济有效的开采高凝、高粘原油和降低原油管道输送的能耗, 对胜利浅海脱水原油进行了不同声强、频率、作用时间的超声波降粘试验和筛选最佳降粘组合参数的正交实验。实验得到了超声波降粘的最佳组合参数, 同时认为温度是影响原油粘度最大的因素, 温度越高, 超声波作用降粘效果越不明显; 温度越低, 降粘效果越明显。该研究不仅使超声波在原油开采中得到应用, 而且利用超声波实现原油常温输送, 将大大降低能耗。

关 键 词: 超声波; 降粘; 稠油; 正交实验

中图分类号: 0426 文献标识码: A

Experimental study of viscosity reduction on crude oil of Shengli shallow sea oil field with ultrasonic technique

LI Zhao-min¹, LIN Ri-yi²,
ZHANG Ping¹, DONG Xian-yong¹

(1. College of Petroleum Engineering in the University of Petroleum,
Dongying 257061, China;

2. College of Transport & Storage and Civil Engineering in the University of
Petroleum, Dongying 257061, China)

Abstract: In order to explore and transport high viscous crude oil economically and effectively, viscosity reduction experiments with different ultrasonic wave intensity, different ultrasonic wave frequency and different action time on dehydrated crude of the Shengli Shallow Sea Oil Field are carried out by use of the orthogonal experiment technique. The optimum combination of viscosity reduction parameters with ultrasonic technique is gained. The results will help to apply the ultrasonic technique in oil production and oil transportation.

Key words: ultrasonic wave; viscosity reduction; heavy oil; orthogonal experiment

* 收稿日期: 2003-03-22(2004-04-09 修改稿)

基金项目: 山东省自然科学基金项目资助(Y98A11014)

作者简介: 李兆敏(1965~), 男, 山东阳谷人, 教授, 博士, 博导

1 引言

在稠油和高凝油开采过程中,由于稠油密度大,粘度高,因此在稠油的开采、原油输送等方面出现了许多困难。目前,各油田相继开展了开采稠油的措施,例如注蒸汽、火烧油层、微生物采油、聚合物驱等,这些采油方法不仅工艺复杂,投资昂贵,而且或多或少造成地层伤害。近年来发展的超声波采油技术是物理采油方法,不仅能通过超声波作用激励油层,提高产量,而且对油层无伤害,受到人们的重视。

超声波采油是近年来迅速发展起来的一种新技术。文献报道超声波采油不仅可以较大幅度地提高原油的产量,而且应用也十分广泛,几乎适用于采油工艺的全过程,例如声波压裂造缝、声波激励提高油层渗透率、声波防垢除垢、声波降粘、声波降凝、声波防蜡除蜡、声波脱气脱水、声波乳化破乳及声波解堵等。另外,声波激励方法还适于常规增产措施无法处理的粘土油藏、低渗透油藏、致密岩层油藏及稠油油藏的开发。俄罗斯和美国在声波采油技术研究上取得了成功和快速发展,国内各大油田也相继开展了这方面的研究工作。

针对胜利浅海油田稠油粘度不大,在举升过程中,随着原油在井筒中的流动,温度降低,原油粘度不断增大,举升阻力增大的情况,进行了超声波降粘室内实验研究。

2 超声波降低稠油粘度机理

超声波在液体媒质中传播时,能产生强烈的空化作用、机械振动作用和热效应。他们对原油的降粘起着特殊的作用。

2.1 空化作用

液体在超声波作用下,液体中的微小泡核被激活。当声压足够大时,在声波负压作用下,气泡核膨胀,在声波正压作用下被压缩,表现为泡核的振荡、生长、收缩及崩溃等一系列动力学过程。空化泡核崩溃时,在其周围的极小空间和极短时间内,局部产生高温可达 10^4 °C, 瞬时压力可达几千甚至几个大气压,并伴生强烈的冲击波和时速达 400km 左右的射流,这就是空化现象。

空化作用对原油降粘的作用。一般说,原油中都含有蜡,胶质和沥青质高分子聚合物。在超声波

作用下,超声空化产生的强大的冲击力及高速微射流,它能使原油中长链石蜡烃分子、沥青质分子断裂,分子量减小,使原油粘度降低,蜡的熔点降低。

声波作用于油层,强烈的空化作用使局部瞬时形成高温高压,从而使物质的分子键断链,也对原油产生降粘的作用。

2.2 热作用

超声波的热作用是一种综合效应,第一、超声波在原油中传播时被吸收,使得声能转化为热能;第二、在不同介质的分界处,边界摩擦使油体温度升高;第三、空化作用在气泡崩溃时释放出大量的热能。频率越高,吸收效果越好,边界摩擦也越剧烈;强度越大空化作用越强,热效应越显著。

2.3 机械振动作用

边界摩擦对原油产生局部加热作用,在原油与结蜡层、管壁及岩石的分界面处,由于振动速度的巨大差异,使得原油与结蜡层、管壁及岩石的分界面之间发生摩擦,产生局部高温。对于粘度较大的原油,吸收系数大,所造成的局部温升是十分可观的。

超声波在弹性介质中传播时,弹性粒子的振幅、速度及加速度会发生显著的变化。机械振动作用可加速原油中较小分子与惰性大的大分子链之间的相对运动,从而增大了它们间的摩擦力。

综上所述,超声波降粘的原因是由于超声空化、机械振动作用和热效应综合的结果。超声空化现象的发生涉及诸如原油物性、声场及环境等多方面的因素。因此,必须根据具体情况,选择适当的声学参数,才能达到良好的降粘效果。

3 超声波降粘室内实验及数据分析

在室内对胜利浅海脱水原油进行了不同声强、频率、作用时间的超声波降粘试验和筛选最佳降粘参数组合的正交实验,得到了超声波降粘的最佳参数组合参数。

3.1 实验条件

所用实验设备为 JC-3 型超声波处理仪和 NDJ-79 型旋转式粘度计,恒温水浴,盛油的容器为玻璃烧杯,超声换能器通过变幅杆作用于稠油样品。

实验所用油样为胜利浅海脱水原油,脱水前含水率为 37%,脱水后含水率为 8%。

3.2 实验步骤及方案

3.2.1 实验步骤

将脱水原油倒入玻璃烧杯中,利用恒温水浴进

行加热。当原油温度稳定后,将超声波发生器产生的激励信号加在换能器上,向流体中辐射超声波,同时记录声波作用的时间。作用结束,立即测量原油粘度。

3.2.2 实验方案

- (1)将原油用封闭式电脱水仪进行脱水处理。
- (2)测脱水原油和未脱水原油的粘温曲线。
- (3)在相同频率和声强作用下,测试作用时间和降粘率的关系。
- (4)固定声强和作用时间,测试不同频率与降粘率的关系,并得出最佳降粘频率。
- (5)固定频率和作用时间,测试不同声强与降粘率的关系,并得出最佳降粘声强。
- (6)正交实验,筛选超声波降粘的最佳工艺参数,得出最佳组合条件。

3.3 超声波降粘实验

3.3.1 超声波作用前后粘温曲线

在 $40^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$ 区域内(用恒温水浴控制温度),每隔 10°C 测一次粘度(每个点测 3 次取算术平均值),并对比各相同温度测点下的粘度。作粘温曲线图 1 如下。

从图 1 可以看出,经超声波处理过的原油降低了对应温度下的粘度,其中又尤以 $40 \sim 60^{\circ}\text{C}$ 范围内降粘效果明显。

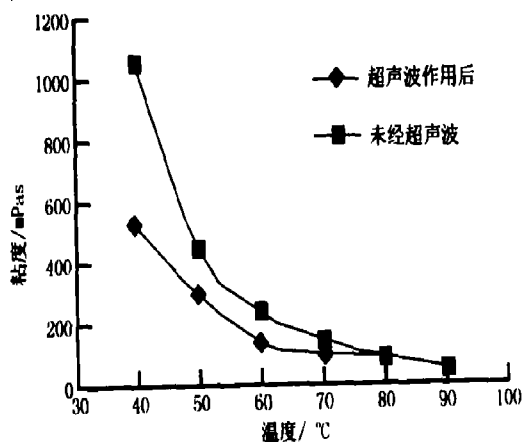


图 1 超声波作用前后粘温曲线图

3.3.2 粘度随超声波作用时间变化关系

油样:胜利浅海原油,作用频率 18.5kHz ,作用声强 40W ($220\text{V} \times 0.2\text{A}$),温度 50°C 。

从图 2 可以看出原油降粘率随超声波作用时间的增长而增大,但是当作用时间大于 $10 \sim 15\text{min}$ 后,降粘率变化很小。

3.3.3 粘度随超声波作用频率变化关系

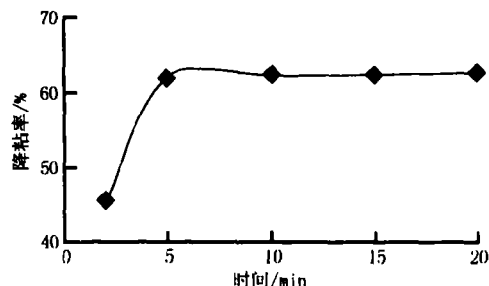


图 2 粘度随超声波作用时间变化关系

油样:胜利浅海原油,作用时间 5min ,作用声强 $40\text{W}/\text{cm}^2$ ($220\text{V} \times 0.2\text{A}$),温度 50°C 。

由于条件所限,在本次试验中仅用了 3 种频率,从图 3 可以看出以 18.5kHz 降粘效果最好。

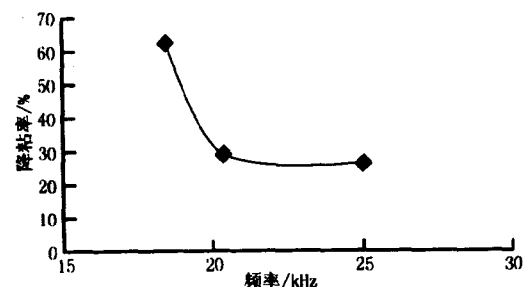


图 3 粘度随超声波作用频率变化关系

3.3.4 粘度随超声波作用声强变化关系

油样:胜利浅海原油,作用时间 5min ,作用频率 18.5kHz ,温度 50°C 。

原油降粘率随超声波声强的增大而增大。由于实验条件的限制,不能无限增大声强。

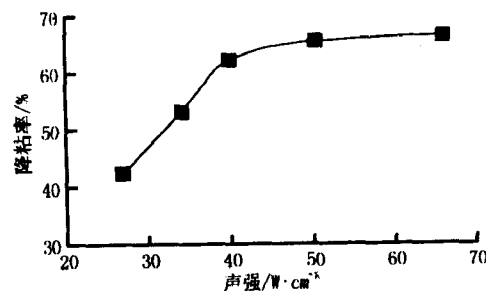


图 4 粘度随超声波作用声强变化关系

3.4 正交实验,优选最佳降粘参数组合

比较正交实验的 9 个试验结果,可以看出第 9 号的降粘率最高,这是一个较好的工艺条件,但这个工艺条件不一定是最好的。

对该表中第一列因素 A (频率),分别计算每一种水平所对应的降粘率的平均值,即每一频率下的

平均降粘率,若记

$$K_1^A = 18.4 + 40.8 + 22.4 = 81.6(\text{频率})$$

$$K_2^A = 1.1 + 29.7 + 4.8 = 35.6$$

$$K_3^A = 1.1 + 1.9 + 49.7 = 52.7$$

则18.5kHz, 25kHz, 20.4kHz 下的平均降粘率为:

$$k_1^A = 27.2, k_2^A = 11.9, k_3^A = 17.6$$

同样,对第二列,得时间水平 2min、5min、10min 下的平均降粘率:

$$k_1^B = 8.1, k_2^B = 30.5, k_3^B = 18$$

对第三列,得温度 40℃, 60℃, 80℃下的平均降粘率:

$$k_1^C = 32.6, k_2^C = 15.8, k_3^C = 8.2$$

对第四列,得声强 18W, 33W, 52W 下的平均降粘率:

$$k_1^D = 7.1, k_2^D = 23.9, k_3^D = 25.6$$

所得结果列于正交实验表后,由所得结果看出:频率为 18.5kHz 降粘率最高,作用时间以 5min 的降粘率最高,作用温度以 40℃时的降粘率最高,声强以 52W 时降粘率最高,综合起来 $A_1B_2C_1D_3$ 是可

表 1 粘度随超声波作用时间变化关系

时间(min)	2	5	10	15	20
粘度(mPa·s)	680	475	470	468	465
切变率(s ⁻¹)	344	344	344	344	344
降粘率(%)	45.60	62.00	62.40	62.56%	62.80

注: 50℃的未脱水原油的原始粘度 1250mPas

表 2 粘度随超声波作用频率变化关系

频率(kHz)	18.5	20.4	25
粘度(mPa·s)	475	890	920
切变率(s ⁻¹)	344	344	344
降粘率(%)	62%	28.8%	26.4%

表 3 粘度随超声波作用声强变化关系

声强(W/ cm ²)	27	34.2	40	50.4	66
粘度(mPa·s)	720	585	475	430	420
切变率(s ⁻¹)	344	344	344	344	344
降粘率(%)	42.40	53.20	62.00	65.60	66.40

表 4 正交实验表

序号	频率(kHz)	作用时间(min)	温度(°C)	强度(W)
	A	B	C	D
1	18.5	2	40	18
2	25	5	60	33
3	20.4	10	80	52

能最好的工艺条件,因为这个条件不在正交试验当中,所以补充做实验 $A_1B_2C_1D_3$,并与第 9 号试验进行比较。结果证明,用这种方法选出的工艺条件是最好的。

通过这一实验结果,我们最后用最佳的组合条件(频率 18.5kHz,时间 5min,声强 52W)对在恒温 40 °C 条件下脱水原油作了一个超声波作用实验,见表 6,经过与未经超声波作用的脱水原油的粘度比较发现,

其降粘率达到 70.6%,这证明正交实验的结果是正确的。

另外,分别计算各因素不同水平间的平均降粘率的极差 R ,有 $R_A = 27.2 - 11.9 = 15.3$, $R_B = 30.5 - 8.1 = 22.4$, $R_C = 32.6 - 8.2 = 24.4$, $R_D = 25.6 - 7.1 = 18.5$ 。

因此可以说明:温度对降粘率的影响最大,作用时间次之,其次是声强,再次是频率,于是估计出这四

表 5 正交实验数据表

实验序号	正交实验条件	频率(kHz)	作用时间(min)	温度(°C)	强度(W)	粘度(mPa·s)	切变率(s^{-1})	降粘率(%)
1	A1B1C1D1	18.5	2	40	18	860	344	18.4
2	A1B2C2D2	18.5	5	60	33	145	344	40.8
3	A1B3C3D3	18.5	10	80	52	70	2028	22.4
4	A2B2C3D1	25	5	80	18	89	2028	1.1
5	A2B2C1D2	25	10	40	33	740	344	29.7
6	A2B1C2D3	25	2	60	52	230	344	4.8
7	A3B3C2D1	20.4	10	60	18	240	344	1.9
8	A3B1C3D2	20.4	2	80	33	89	2028	1.1
9	A3B2C1D3	20.4	5	40	52	530	344	49.7
K_1		81.6	24.3	97.8	21.4			
K_2		35.6	91.6	47.5	71.6			
K_3		52.7	54	24.6	76.9			
k_1		27.2	8.1	32.6	7.1			
k_2		11.9	30.5	15.8	23.9			
k_3		17.6	18	8.2	25.6			
R		15.3	22.4	24.4	18.5			

表 6 最佳参数组合超声波对脱水原油实验

条件	频率 kHz	时间 min	温度 ℃	声强 W	未经声波作用原 油粘度 mPa·s	声波作用后 原油粘度 mPa·s	降粘率%
读数	18.5	5	40	52	1053.3	310	70.6

个因素的重要程度。这也可从实验中发现,当声波作用后,如不及时保温,油品粘度会很快下降。

4 结论与认识

(1) 超声波采油不仅可以提高原油产量,而且对地层无伤害。

(2) 正交实验表明:对胜利浅海原油最佳降粘参数组合为,在 40℃下,频率 18.5kHz,作用时间 5min,声强 52W/cm²。

(3) 温度是影响原油粘度最大的因素。温度越高,超声波作用降粘效果越不明显;温度越低,降粘效果越明显。这是一个非常有利的因素,我们可以利用超声波实现常温输送原油,大大降低能耗。该方法设备简单,成本较低,是一种可行的方法。

参 考 文 献:

[1] 杨光华. 稠油加工论文集[C] . 东营: 石油大学出版社, 1990.
[2] 王阳恩等. 超声波在稠油输送中的应用[J] . 油气储运, 1999, 18(4): 10-11.
[3] 郑茂俊等. 超声降粘、防蜡的机理分析[J] . 油气田地

面工程, 1996, 15(4): 28-29.

[4] 洪建荣等. 物理场在油田开发中的应用[J] . 石油钻采工艺, 1994, 16(3): 90-92.
[5] 张福仁等. 声波采油技术在胜利油田的应用前景[J] . 断块油气田, 1997, 4(1): 55-59.
[6] 喻高明. 超声波在石油开采中的应用及其新发展[J] . 大自然探索, 1998, 17(2): 73-76.
[7] 阎向宏等. 超声波降低稠油粘度的实验结果[J] . 油气田地面工程, 1996, 15(5): 20-21.
[8] 黄序韬等. 声波采油的机理与特点研究[J] . 石油学报, 1993, 14(4): 110-115.
[9] 金良超编著. 正交设计与多指标分析[M] . 北京: 中国铁道出版社, 1988.
[10] CHAKMA A and JHA K N. Heavy-Oil Recovery From Thin Pay Zones by Electromagnetic Heating[R] . SPE 24817.
[11] 海沙尔. 超声波降粘技术的室内试验研究[J] . 钻采工艺研究, 1997, 21(1): 13-23.
[12] 曾龙伟等. 物理法采油技术[M] . 北京: 石油工业出版社, 2001.
[13] 赵齐禄等. 超声波处理油层工艺试验[J] . 油气田地面工程, 1997, 16(3): 16-22.
[14] 邵长金. 利用物理场提高原油产量的基础研究[J] . 石油学报, 1997, 18(3): 63-64.
[15] 阎向宏. 非常规增产采油技术——声波采油技术[J] . 物理, 1998, 27(5): 288-314.
[16] 刘孟利等. 玉门油田对超声波处理油层技术应用研究[J] . 石油钻采工艺, 1997, 19(增刊): 55-58