

## چکیده

هدف این تحقیق معرفی سیالات حفاری نوین (استفاده از میکرواسفرهای سیلیکاته) برای حفاری تحت تعادل (UBD) و مناطق آبی عمیق و کاهش صدمات وارد بر سازند هنگام حفاری، عملیات تکمیل، هزینه‌های حفاری و در نتیجه افزایش راندمان تولید از جمله مزایای استفاده از این سیالات می‌باشند.

کاربرد میکرواسفرهای سیلیکاته (HGS) در سیالات حفاری

داوود قربانی قاضی جهانی - سازمان زمین شناسی

## ۱- ساختار میکرواسفرهای سیلیکاته

میکرواسفرها پودرهای سفیدرنگ سبک وزن و راحت الجریانی هستند که از خوشه‌های کروی شکل شیشه‌ای توخالی و میکروسکوپی تشکیل شده‌اند (معروف به Hollow Glass Sphere). میکرواسفرها ایران هستند و هنگامی که با یک رزین یا پلاستر مناسب مخلوط شوند قابلیت پراکندگی شدید را در این محیط دارند و میکرواسفرها نوعی شیشه سیلیسی با طراحی ویژه‌ای هستند که براساس اندازه و کارایی محصول، طبقه بندی می‌شوند.

میکرواسفرها رزین را به خود جذب می‌کنند و بنابراین درحکم یک پرکننده، به خوبی عمل می‌کنند. سیستم‌هایی که با میکرواسفرها به کار گرفته شده، در مقابل آب و حرارت مقاومت بیشتری دارند و مقاومت الکتریکی و گرمایی بیشتری نیز پیدامی‌کنند. میکرواسفرها وزن محصول نهایی را نیز کاهش و کارپذیری محصول را افزایش داده و باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود. این مواد به طرز گسترده‌ای در درها، ستون‌ها، سازه‌های سبک وزن، قاب عکس و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند. این محصولات بسیار ساده‌تر از فایبرگلاس فلاک‌سندد می‌شود. بنابراین می‌توان از آن در

فرایندهای بعدی از جمله برانبارش این گونه نیستند. محدوده‌ای که در معادله (۵) قابل قبول است، به طور غیرمترقبه‌ای بزرگ می‌باشد. تقریبی که بیان‌کننده کشیدگی، ۱۰ درصد می‌باشد پذیرفته می‌شود، معادله هنگامی که فاکتور بزرگتر از ۲/۵ باشد هنوز مناسب خواهد بود. البته مساله به حالت ساده پالس‌های مجزا محدود می‌شود. تصحیح برونراند نرمال، تغییر شکل‌ها و پیچیدگی‌های غیرخطی وابسته به زمان را در محتوای فرکانسی داده‌های لرزه‌بازتابی ایجاد می‌کند. این پیچیدگی‌ها به وسیله تبدیلات (تغییرات) فرکانس‌های لحظه‌ای و طیف‌های توان لحظه‌ای توصیف می‌شوند. طیف توان لحظه‌ای به صورت غیرخطی تغییر پیدا کرده و دگرگون می‌شود. اما تکه‌هایی در زمان در میان طیف‌های لحظه‌ای به صورت خطی تعبیر می‌کنند. تغییرات فرکانس‌های طیفی توان لحظه‌ای مشابه فرکانس‌های لحظه‌ای می‌باشد و می‌تواند برای تعیین تغییرات در پهنای باند طیفی مورد استفاده قرار گیرد. تغییر شکل و آشفتگی غیرخطی طیف دامنه فوری که به علت تصحیح ایجاد شده است، به سادگی از این نتایج حاصل می‌شود و می‌تواند به عنوان یک تراکم خطی که کشیدگی سخت و زیادی ندارد، تقریب زده شود.

## منابع:

- Barnes, A.E., 1992, Another look at NMO stretch: Geophysics, 57, 749 - 751.
- Buch Holtz, H., 1972, A note on signal distortion due to dynamic (NMO) corrections: Geophysical, prospecting, 20, 395 - 402.
- Castle, R. J., 1994, Theory of normal moveout: Geophysics, 59, 983 - 999.
- Cohen, Lo, 1989, Time - frequency distributions - A review: Proc. IEEE, 77, 941 - 981.
- Dix, C.H., 1955, Seismic velocity from surface measurements: Geophysics, 20, 68 - 86.
- Dunkin, J. W. And Levin, F.K., 1973, Effect of normal moveout on a seismic pulse: Geophysics, 38, 635 - 642.
- Levin, F. K., 1971, Apparent velocity from dipping interface reflections: Geophysics, 36, 510 - 516.
- Liner, C. L., 1999, Concepts of normal and dip moveout: Geophysics, 64, 1637 - 1647.
- Taner, M. Y.T. And Koehler, F., 1969, Velocity spectra - digital computer derivation and applications of velocity functions: Geophysics, 34, 859 - 881.
- Yilmaz, O., 2000, Seismic data processing: Soc Expl. Geophys., Tulsa, Oklahoma.



۲. کارایی میکرواسفرهای سبلیکاته افزایش درصد حجمی میکرواسفرها بیشتر از ۵۰٪ باعث کاهش چگالی سیالات حفاری و تکمیل می‌شود، برای مثال، افزایش ۵۰ درصد میکرواسفرها به یک گل با وزن مخصوص ppg ۸/۵ می‌تواند وزن مخصوص گل را تا ppg ۵/۸۴ بدون اضافه کردن هوا، کاهش دهد (شکل ۲).

میکرواسفرها به طور شیمیایی ساکن و تراکم ناپذیر هستند. بنابراین مشکلات ناشی از به کارگیری گل‌های هوازده شامل خوردگی، هزینه بالای کمپرسور، لرزش رشته حفاری، گشتاور بیش از حد، drag، ایجاد حریق‌های ته چاهی، پاک‌شدگی ضعیف چاه و عدم به کارگیری ابزار mwd را ندارند (شکل ۳). وقتی که یک دیواره تکمیل می‌شود، میکرواسفرها می‌توانند توسط تجهیزات مخصوصی از گل جدا شوند و مورد استفاده مجدد قرار گیرند که این عمل موجب کاهش

سیستم‌های پلی استری که محتاج مقاومت بیش از حد نیستند استفاده کرد. از این ماده می‌توان در خمیرهایی که با آن نقایص چوب و قایق‌های فایبرگلاسی و ماشین و دیگر قطعات را تعمیر می‌کنند، استفاده کرد. بسیاری از دانشجویان مهندسی در دانشگاه از میکرواسفرها برای افزایش خاصیت شناوری و به عنوان یک پرکننده سبک و ارزان قیمت در پروژه‌های مربوط به سیمان استفاده می‌کنند. بعضی از ویژگی‌های میکرواسفرها به شرح زیر است:

### خواص فیزیکی

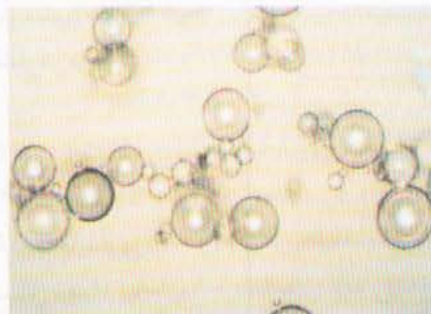
- چگالی ویژه: ۰/۱۸
- دانستیه موثر ذرات: ۱۱/۲ lb/ft<sup>3</sup>
- PH سطح: ۷
- رطوبت مطلق براساس درصد وزنی: ۰/۴
- وزن حجمی خشک: ۸ lb/ft<sup>3</sup>
- ضریب هدایت حرارتی (K): ۰/۳۶
- میانگین اندازه ذرات: ۷۵ μ
- سایز ذرات: ۱-۳۰۰ μ
- نقطه ذوب: ۲۳۰۰ °F
- رنگ طبیعی: سفید
- قابلیت جذب روغن براساس استاندارد ASTM D1483: ۳۰ g oil/100cc
- حداکثر میزان جذب آب: ۰/۳
- فشار تقریبی شکست: ۱۸۰۰ psi

### خواص شیمیایی

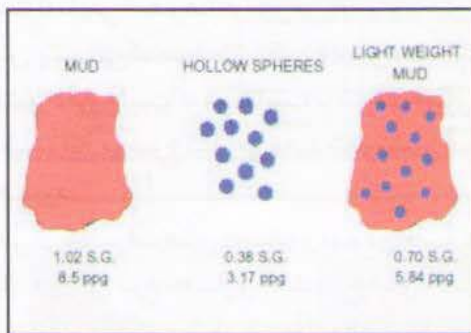
- SiO<sub>2</sub>: ۰/۷۳
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: ۰/۱۷
- K<sub>2</sub>O: ۰/۵
- Na<sub>2</sub>O: ۰/۳
- CaO: ۰/۱
- عناصر کمیاب: ۰/۱

### توزیع اندازه ذرات

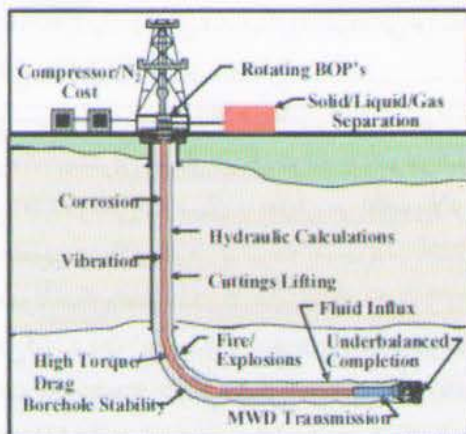
- ۵۰- مش: ۰/۲
- ۵۰- تا ۱۰۰- مش: ۰/۱۵
- ۱۰۰- تا ۲۰۰- مش: ۰/۳۳
- ۲۰۰- مش: ۰/۵۰



شکل ۱- نمایی میکروسکوپی از میکرواسفرها



شکل ۲- گل سبک وزن HGS (Hollow Glass Sphere)



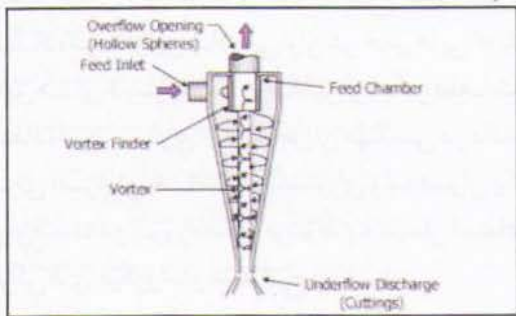
شکل ۳- مشکلات ناشی از به کارگیری گل‌های هوازده

در شکل (۱) نمایی میکروسکوپی از میکرواسفرها ارائه شده است.

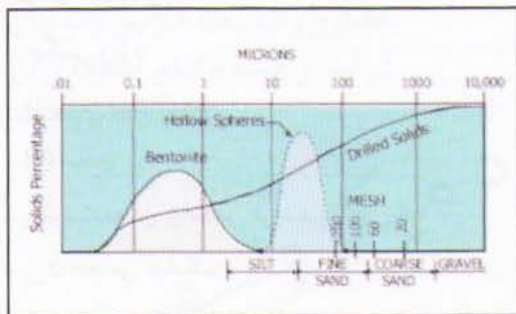
شماره ۲۳- تیر ۱۳۸۴



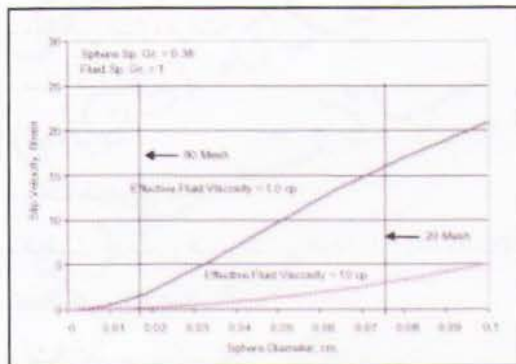
شکل ۴- جدایش اسفرها توسط هیدروسیکلون



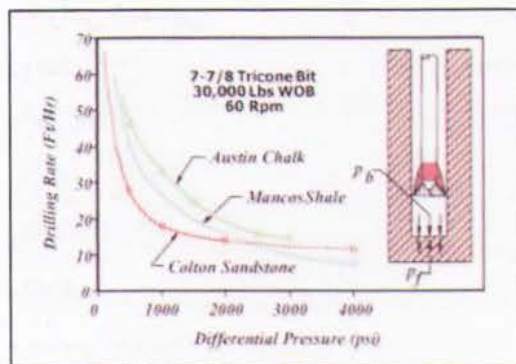
شکل ۵- سایزبندی ذرات جامد موجود در گل های پایه ای



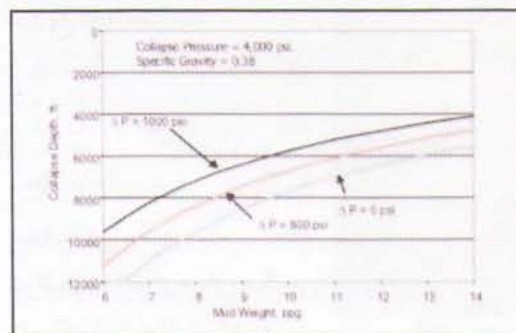
شکل ۶- ارتباط سرعت ته نشینی اسفرها و دانسیته گل



شکل ۷- رابطه اختلاف فشار و نرخ حفاری



شکل ۸- اعماق متلاشی شدن S38



هزینه های تهیه میکرواسفرها می شود. ساده ترین روش برای جدا کردن میکرواسفرها، رقیق کردن گل های پایه آبی توسط آب، برای شناور ساختن میکرواسفرها روی مخزن گل و در نتیجه بازیافت آنها می باشد.

نتایج آزمایشگاهی و میدانی نشان می دهد که میکرواسفرها می توانند توسط هیدروسیکلون ها نیز از گل جدا شوند، در این حالت کنده های حفاری سنگین از قسمت تخلیه و از ته قیف بیرون آمده و میکرواسفرها از بالای آن به طریق لبریز شدن بازیافت می شوند (شکل ۴).

محدوده قطر اسفرهای S38 از ۸ تا ۱۲۵ میکرون است که قابلیت عبور از سرندهای ۲۰ تا ۸۰ مش (۱۷۷ تا ۷۶۲ میکرون) را دارند که نوعاً این ابعاد مختص سرندهای لرزان مورد استفاده در سایت های نفتی می باشد (شکل ۵).

میکرواسفرها به عنوان مواد پرکننده در نقاشی ها، چسب ها و غیره مورد استفاده قرار می گیرند و به دلیل کاهش هزینه تولید، ابعاد کوچکی دارند ولی به علت عبور این ابعاد از سرندهای مورد استفاده در میدان های نفتی و عدم جدایش آن از گل، از اسفرهایی با قطر ۱ mm یا بزرگتر استفاده می شود.

اگر جریان سیال حفاری متوقف شود، اسفرها به صورت شناور روی سیالات در می آیند، در این حالت با افزایش ابعاد اسفرها، سرعت ته نشینی اسفرها افزایش می یابد و با کاهش گرانیروی این روند افزایش پیدا می کند، طبق شکل (۶) سرعت ته نشینی اسفرها ۵ تا ۲۰ فوت بر دقیقه است که در مقایسه با سرعت فضای حلقوی کوچکتر می باشد، این موضوع نشان می دهد شناور شدن اسفرها مشکل مهمی نخواهد بود.

یکی از پیشرفت های عمده و مهم در حفاری های فروتعدالی (UBD)، افزایش نرخ حفاری است. نرخ های حفاری در سازندهای ماسه سنگی، آهکی و شیلی نوعاً از ۷ تا ۸۰ درصد به دلیل اختلاف فشار موجود میان سیال حفاری و سازندی کاهش یافته اند (شکل ۷). میکرواسفرها می توانند با کاهش فشارهای چاه، نرخ حفاری را افزایش دهند.

میکرواسفرها S38 در فشارهای بیش از ۴۰۰۰ psi، متلاشی می شوند. بیشترین فشار سیال در ته چاه و در اثر فشار ستون سیال رخ می دهد. زمانی که سیال به جریان می افتد، بالاترین فشار در نزدیک رشته حفاری در بالای موتور و سرمه به وجود می آید.

معمولاً میکرواسفرها در گل های سبک (کمتر از ۷ ppg) مورد استفاده قرار می گیرند، در این حالت اسفرهای S38 می توانند در اعماق ۸۰۰۰ تا ۱۱۰۰۰ فوت استعمال شوند (شکل ۸)، اسفرهای S60 که قابلیت پایداری آنها تا فشارهای ۱۰۰۰۰ psi است، می توانند در اعماق ۱۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ فوت مورد استفاده قرار گیرند.



### ۳. نتایج آزمایشگاهی

آزمایش‌های انجام‌شده در مرکز پژوهش حفاری در تکزاس نشان داد که رئولوژی سیالات با وجود مقدار مناسب میکرواسفرها (۳۰ تا ۹۰ درصد) می‌تواند در محدوده مناسب با حداقل ذرات جامد قرار گیرد (شکل ۹ و ۱۰).

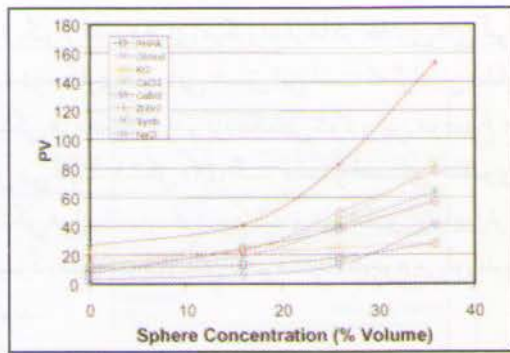
همچنین آزمایش‌ها نشان می‌دهد که میکرواسفرها توسط پمپ‌ها تجهیزات مرتبط با آن صدمه نمی‌بینند، شکل ۱۱ و ۱۲ آزمایشات شکست را نشان می‌دهند. این تست‌ها نشان داد که با انتخاب مناسب نازل، شکست اسفرها می‌تواند به حداقل ممکن برسد.

برای تعیین اثر میکرواسفرها بر نرخ حفاری، در آزمایشات از فشارهای بالا استفاده شده است (شکل ۱۳). این کار توسط شبیه‌سازی حفار قایم و اعمال فشار سیال بیش از فشار سازند ( $P_w > P_f$ ) برای ایجاد اختلاف فشار موجود در ته چاه، انجام شده است (شکل ۱۴).

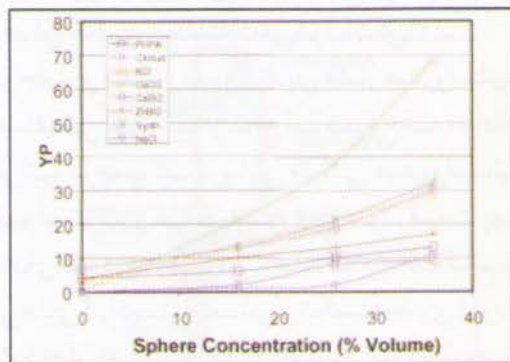
در حالت عدم اختلاف فشار، نرخ حفاری با و بدون میکرواسفرها، یکسان بود. در ۳ مورد از ۴ آزمایش با اختلاف فشارهای ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ psi میکرواسفرها نرخ حفاری را اندکی کاهش دادند که این موضوع می‌تواند به علت کاهش فشار جریان و افزایش تاثیرهای chip hold-down باشد (شکل ۱۵ و ۱۶).

با توجه به تجهیزات مربوط به صدمات سازندی که در شکل ۱۷ ارایه شده است، آزمایش‌های برآورد صدمات سازندی بر روی مغزه‌های ماسه‌سنگی نشان داد که میکرواسفرها می‌توانند صدمات وارد بر سازند را کاهش دهند. این آزمایشات نشان می‌دهد که میکرواسفرها با ابعاد ۸ تا ۱۰۰ میکرون، می‌توانند فیلترکیک مناسب را تشکیل دهند و باعث ایجاد صدمات سازندی کمتر نسبت به گل‌های پایه آبی بدون میکرواسفرها شوند (شکل ۱۸).

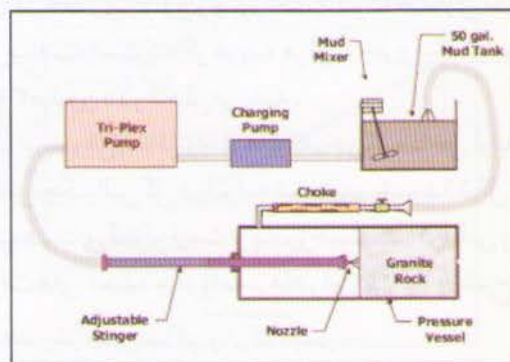
سیالات پایه آبی با وجود میکرواسفرها، هیچ خسارت و صدمه ثابت رابه وجود نمی‌آورند در حالی که بدون میکرواسفرها، سیالات حدود ۴۵ درصد صدمه و خسارت به صورت پایدار در اطراف چاه ایجاد می‌کنند (شکل ۱۹). با سیالات پایه روغنی و مصنوعی، میکرواسفرها تاثیری بر صدمات وارد بر سازند ندارند. این امر نشان می‌دهد که میکرواسفرها قابلیت بالقوه‌ای در افزایش جریان نفت و گاز از دیواره‌های حفاری شده دارند و توسط سیالات پایه آبی تکمیل می‌شوند. در سپتامبر ۱۹۹۶ دو آزمایش میدانی نیز با گل‌های میکرواسفری با موفقیت در چاه‌های Mobile (با عمق ۱۷۰۰ فوت) در کرن کانتی و کالیفرنیا انجام شد. در این آزمایش‌ها ۲۰۰ تا ۴۰۰ بشکه از گل، شامل ۱۰ تا ۲۰ درصد میکرواسفر مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که میکرواسفرها می‌توانند به راحتی با گل مخلوط شوند. به طوری که خواص رئولوژیکی گل حاصل مشابه با خواص گل‌های متداول باشد. موفقیت در این آزمایشات، پتانسیل بالای میکرواسفرها را برای حفاری‌های فروتعدالی (UBD) اثبات کرد.



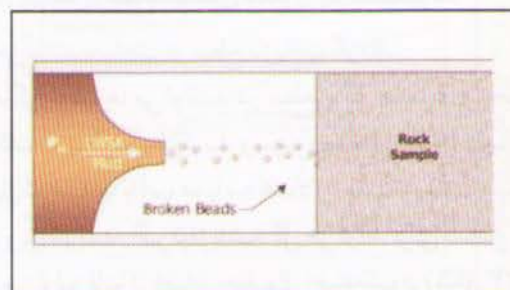
شکل ۹- رابطه PV و کسانتره اسفر



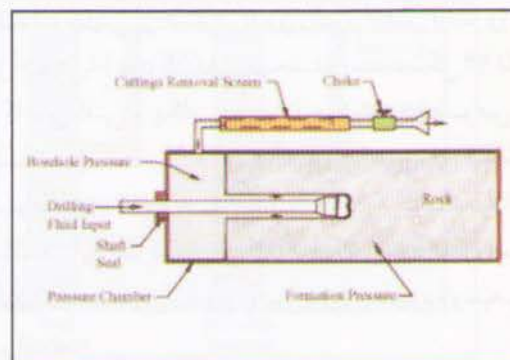
شکل ۱۰- رابطه YP و کسانتره اسفر



شکل ۱۱- چرخه آزمایشات شکست HGS



شکل ۱۲- جریان اسفرها و فشرده شدن نمونه سنگ



شکل ۱۳- شمایی از حفاری تحت فشار بالا



یکی دیگر از کاربردهای میکرواسفرها در حفاری های آبی است. مشکل عمده در حفاری های آبی عمیق این است که گرادیان فشارهای منفذی و شکستگی ها معمولاً به هم نزدیک می شود و این موضوع حفاری را بسیار مشکل می کند (شکل ۲۰)، اگر فشار فضای حلقوی بیش از فشار شکستگی ها باشد، هرزروی اتفاق می افتد و اگر پایین تر از فشار منفذی قرار گیرد، سیالات سازندی به طرف چاه هجوم می آورند و موجب فوران می شوند.

در حفاری بدون رایزر (riser)، یک پمپ در کف دریا برای کاهش فشار فضای حلقوی چاه استفاده می شود (شکل ۲۱).

در حفاری متداول قایم، گرادیان فشار هیدرواستاتیک گل (C) یک خط مستقیمی است که از سطح آب شروع شده و ادامه می یابد. در حالی که در پمپ کف دریایی منحنی هیدرواستاتیک D، یک خط مستقیم است که از کف دریا شروع می شود. قسمت پهن تر گرادیان به پمپ های کف دریا اجازه می دهد که مسافت قائم بیشتری میان منحنی های گرادیان منفذی و شکست حفاری شود که این موضوع باعث کاهش تعداد لوله های جداری مورد نیاز، می شود. به عنوان مثال در حفاری بدون رایزر تعداد لوله جداری مصرفی از ۸ به ۵ تقلیل یافته است که اگر هزینه هر لوله جاری یک میلیون دلار باشد، هزینه ۳ میلیون دلار کاهش می یابد.

با این روش، میکرواسفرها از کف دریا به داخل لوله قائم گل برای کاهش چگالی گل در لوله تزریق می شود (شکل ۲۲) و نیاز به پمپ های گران قیمت و پمپ های کف دریایی رفع می گردد. پیشرفت های عمده میکرواسفرها در این کاربرد به شرح زیر است:

- به طور شیمیایی ساکن و ترکم ناپذیرند.
- می توانند توسط پمپ های متداول گل پمپ شوند.
- می توانند به راحتی در سطح بازیافت گردند.

میکرواسفرها می توانند در سطح با گل مخلوط و به صورت دوغابی به کف دریا پمپ شوند و سپس به صورت مستقیم به لوله قائم تزریق شوند یا با آب دریا به کف دریا پمپ شوند و سپس به لوله قائم گل تزریق شوند. اگر نیاز باشد گل می تواند برای تسهیل تزریق اسفرها به درون لوله قائم از فضای حلقوی اضافه شود (شکل ۲۳).

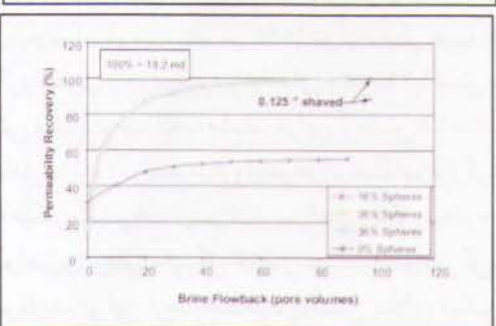
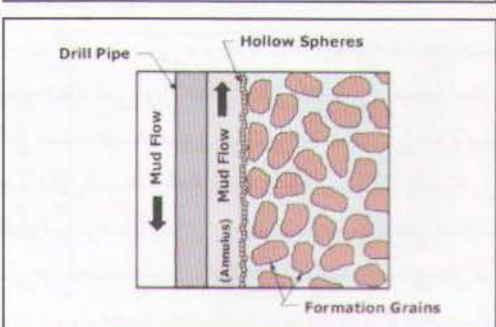
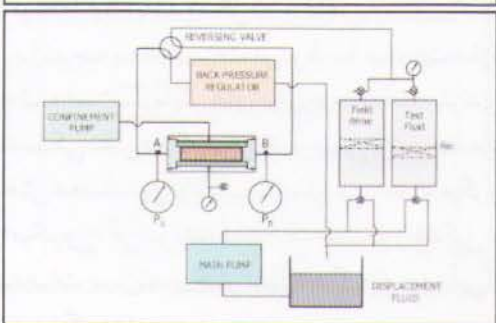
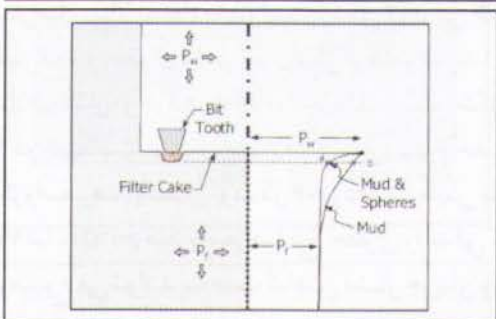
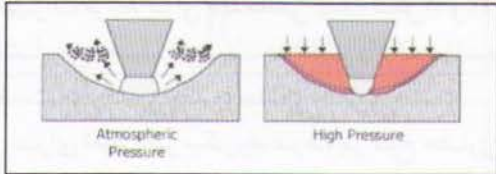
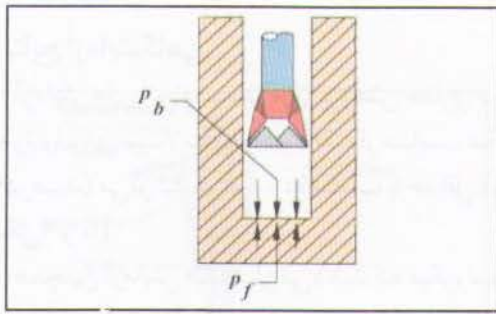
هدف نهایی از حفاری بدون رایزر کاهش تاثیر وزن گل می باشد که از آب دریا (۸/۵۶ ppg) تهیه شده است. شکل ۲۴ نشان می دهد که برای کاهش گلی با چگالی ۱۰ تا حد وزن مخصوص آب دریا، ۱۸٪ از کنسانتره اسفر لازم است در حالی که برای کاهش گلی با وزن مخصوص ۱۴ ppg به حد مذکور، ۵۲٪ از کنسانتره اسفر مورد نیاز می باشد. این امر نشان می دهد که کاربرد میکرواسفرها به عنوان جایگزین در حفاری بدون رایزر برای محدوده وسیعی از وزن گل ها میسر است.

شکل ۲۵ نشان می دهد که در حالت برابر بودن نرخ جریان اسفرها با

شکل ۱۵ - تاثیرات Chiphold-down

شکل ۱۷ - نمایی از دستگاه آزمایش صدمات سازندی

شکل ۱۹ - بازیافت نفوذپذیری در گل های پایه آبی PHPA



شکل ۱۴ - مداسازی حفاری قائم

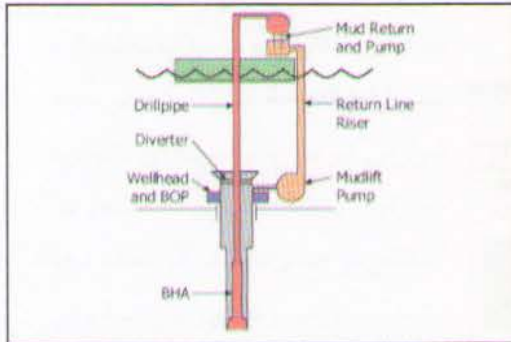
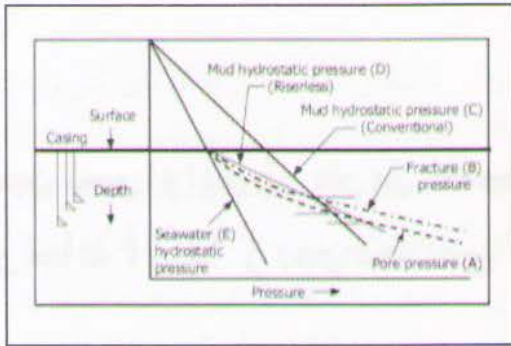
شکل ۱۶ - گرادیان فشارهای Chiphold-down

شکل ۱۸ - تشکیل فیلتریک HGS

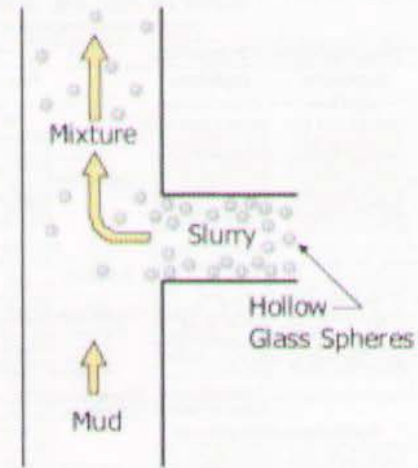


# Exploration

شکل ۲۰- گرادان های هیدرواستاتیکی برای حفاری riserless

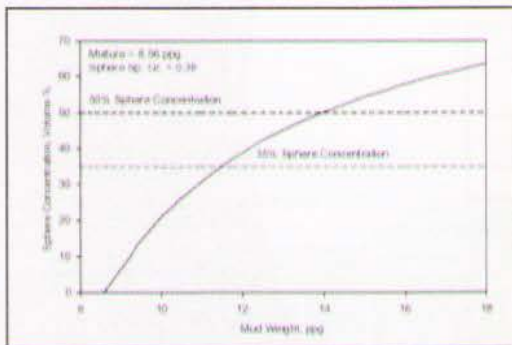
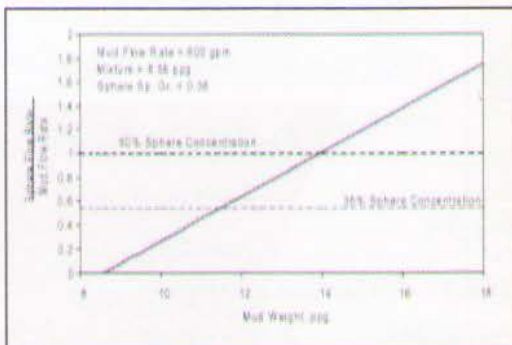


شکل ۲۱- نمایی از سیستم حفاری riserless

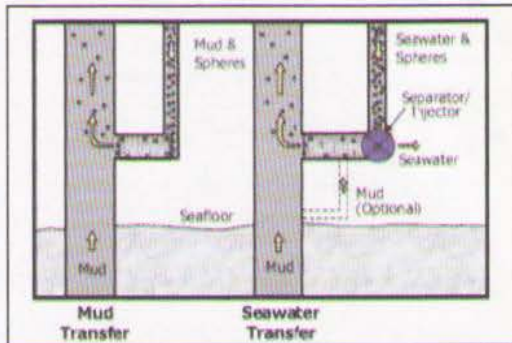


شکل ۲۵- ارتباط نرخ جریان اسفرها و وزن گل

شکل ۲۲- تکنیک انتقال میکرواسفرها



شکل ۲۳- روش های تزریق میکرواسفرها



شکل ۲۴- کنسانتره اسفردنیاز کاهش چگالی برای گل با وزن های مختلف

نرخ جریان گل (۵۰٪ کنسانتره اسفرد) می تواند موجب کاهش وزن مخصوص گل ۱۳/۸ ppg به حد وزن مخصوص آب دریا گردد، که نشان دهنده موثر بودن روش انتقال توسط آب دریا برای اکثر گل ها است، میکرواسفرها می توانند به راحتی از گل جدا شده و در سطح توسط تجهیزات ویژه ای بازیافت شوند. ■

## منابع:

- 1-Bourgoyne Jr., Adam T., Milheim, Keith K., Chenevert, Martin E., and Young Jr., F.S., 1986: Applied Drilling Engineering, 1st Printing, Society of Petroleum Engineers, Richardson, Texas.
- 2-Duda, John R. and Medley Jr., George H., 1996: "Strong Growth Projected for Underbalanced Drilling," Oil & Gas Journal Special, September 23.
- 3-Gault, Allen, 1996: "Riserless Drilling: Circumventing the Size/ Cost Cycle in Deepwater," Offshore, May.
- 4-Goldsmith, Riley, K. 1998: "Mud Lift Drilling System Operation," OTC 8751, Presented at the 1998 Offshore Technology Conference, Held in Houston, Texas, May 4-7.
- 5-Medley, Jr., George H., Haston, Jerry E., Montgomery, Richard L., Martindale, I. Dylan, and Duda, John R., 1997: "Field Application of Light Weight Hollow Glass Sphere Drilling Fluid," SPE 38637, Presented at the 1997 SPE 72nd Annual Technical Conference and Exhibition, held in San Antonio, Texas, October 5-8.
- 6-Medley, Jr., George H., Maurer, William C., Liu, Gefei, and Garkasi, Ali Y., 1995: "Development and Testing of Underbalanced Drilling Products," Report DOE/MC/31197-5129, Topical Report for U.S. Department of Energy, Morgantown, West Virginia, September.
- 7-Moffitt, Stan, 1991: Personal Communication, Reed Tool Company Data, Houston, Texas, September 5.
- 8-Peterman, Charles P., 1998: "Riserless and Mudlift Drilling - The Next Steps in Deepwater Drilling," OTC 8752, Presented at the 1998 Offshore Technology Conference, Houston, Texas, May 4-7.
- 9-Snyder, Robert E., 1998: "Riserless Drilling Project Develops Critical New Technology," World Oil, January.

۲۴  
شماره ۲۳- تیر ۱۳۸۴