



حمید رضا شمیری نوقایی / دانشگاه صنعت نفت

چکیده

یکی از روش‌های حفاری در بعضی از میادین ایران، استفاده از سیالات پنوماتیکی از قبیل هوای خشک، هوای مرطوب، فوم و گل هوازده است. استفاده از فوم یا کف، به دلیل برتری‌های آن، نسبت به سایر روش‌ها در اولویت است. تجهیزات استفاده شده در این سیستم‌های حفاری، با سیستم‌های معمول متفاوت بوده و از یک سری وسایل جهت تأمین هوا با حجم و فشار مورد نیاز، استفاده می‌شود. شرایط حفاری از قبیل فشار جریان هوا، گشتاور رشته حفاری و شکل و فرم کف، هنگام خروج از چاه در تشخیص مشکلات و کنترل آن‌ها نقش ویژه‌ای ایفا می‌کنند. با توجه به تفاوت‌های این سیستم‌ها با سیستم‌های متداول، لازم است ملاحظات خاصی در بررسی شرایط چاه و انتخاب مته و سایر تجهیزات در نظر گرفته شود. این مقاله با هدف آشنایی بیشتر خوانندگان با این تفاوت‌ها و نحوه کنترل شرایط حفاری نگاشته شده است.

واژگان کلیدی: سیالات پنوماتیکی، حفاری با هوا، حفاری با فوم، فوم فشرده، فوم پایدار، هوای خشک، هوای مرطوب، گل هوازده

مقدمه

حفاری حفره‌های ۱۷۳" و ۱۲۴" (و در بعضی میادین، حفره ۲۶") در میادین غرب و جنوب غرب کشور از قبیل هما، تابناک، شانول، کنگان، نار و غیره، با استفاده از سیالات پنوماتیکی و به خصوص فوم انجام می‌شود. علت عمده انتخاب این نوع سیال، افزایش سرعت حفاری و کاهش هزینه نهایی، کاهش آسیب‌سازندی و به حداقل رساندن هرزروی گل در حین حفاری، در مقایسه با سیالات پایه آبی است. در این سیستم حفاری، تجهیزات متفاوتی در مقایسه با حفاری معمولی استفاده شده و شرایط حفاری نیز نسبتاً متفاوت است. در این مقاله، با پرداختن به ویژگی‌های این سیستم، سعی بر آشنایی هر چه بیشتر خوانندگان با آن شده است. به طور کلی از سیالات پنوماتیکی می‌توان هنگام

حفاری سازندهایی که دارای شرایط زیر هستند، استفاده کرد:

- سازندهایی با تخلخل فراوان^۱
- سازندهای کم فشار^۲
- سازندهای دارای شکستگی و حفره‌های زیاد

انواع سیالات پنوماتیکی عبارتند از:

- ۱- هوا/گاز خشک^۳
 - ۲- هوای مرطوب^۴
 - ۳- فوم یا کف
 - ۴- گل هوازده^۵
- در جدول-۱، انواع سیالات پنوماتیکی از نظر خصوصیات و کاربرد، با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در جدول-۲، تفاوت در کارایی این سیالات با همدیگر و با گل پایه آبی^۶ آورده شده است.

۱- حفاری با فوم یا کف

به دلیل اهمیت و استفاده بیشتر فوم، ادامه مقاله بر این سیال و تجهیزات مورد نیاز آن متمرکز می‌شود. دو نوع کف در حفاری با فوم به شرح زیر استفاده می‌شود:

۱- کف پایدار^۸ یا فوم پایه آبی^۹

۲- کف فشرده^{۱۰} یا Polymer Foam^{۱۱}

در کف پایدار، فاز مایع می‌تواند شامل سورفکتانت‌ها^{۱۱}، نمک‌ها (مانند پایدارکننده‌های شیل و رس) و یا مواد بازدارنده خوردگی^{۱۲} باشد که هیچ‌یک از این مواد تأثیر عمده‌ای روی ویسکوزیته فاز مایع ندارند.

امادر کف فشرده، فاز مایع علاوه بر مواد ذکر شده، شامل بنتونایت و/یا پلیمرها مانند ویسکوزیفایرهای نیز می‌باشد. سیستم حفاری که در

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات (sh.hamidreza@gmail.com)

ایران و در میادین ذکر شده بیشتر استفاده می شود، کف فشرده است.

در هر دو، ماده کف ساز^{۱۳} با درصد مورد نیاز، به سیال مذکور اضافه می گردد. ساختارهای مشاهده شده در هر دو فوم به طور کلی مشابه اند. اما کف فشرده را می توان با کیفیت بهتری از کف پایدار ساخت. رئولوژی کف فشرده تا حد زیادی به ویسکوزیته فاز مایع و کیفیت فوم بستگی دارد.

بخشی از ویژگی های حفاری با فوم عبارتند از:

■ وجود سیال بیشتر در سیستم، تأثیر آب های سازندی را کمتر می کند.

■ فرسایش دیواره چاه نسبت به هوا و هوای مرطوب کمتر است.

■ روان کاری بهتر

■ قدرت حمل خیلی زیاد

■ به علت قدرت حمل بیشتر، جریان هوا و سیال کمتری مورد نیاز است.

■ کاهش چسبندگی و جلوگیری از ایجاد گلوله های گلی^{۱۴} توسط کنده ها^{۱۵}

■ قابلیت نگهداری کنده ها در صورت قطع جریان برای مدت کوتاه

■ تجهیزات سطحی بیشتری مورد نیاز است.

یکی از مشکلات حفاری با فوم، پایدار ماندن فوم - همانطور که از نام آن مشخص است - حتی هنگام برگشتن به سطح است که در مناطق با محیط زیست حساس یا مناطق دریایی می تواند مساله ساز باشد.

۲- تجهیزات مورد استفاده حفاری با فوم

۱-۱- کمپرسور

وظیفه تأمین هوای مورد نیاز را دارد. بسته به فشار و دمای منطقه و نوع کمپرسور، از ۸۵۰ تا ۱۳۰۰ فوت مکعب در دقیقه تولید هوا داشته که با توجه به حجم هوای مورد نیاز، تعدادی از کمپرسورها به صورت سری استفاده می شوند. هوای خروجی از کمپرسور وارد مسیر مکش^{۱۶} می شود. ماکزیمم فشار کاری این کمپرسورها، ۲۵۰ تا ۳۵۰ پام است.

۲-۲- بوستر

برای تأمین فشار بالاتر از ۲۵۰ پام تا حدود ۱۵۰۰ پام، هوای خروجی از کمپرسورها وارد بوسترها شده و از آنجا به مسیر خروجی^{۱۷} هدایت می شود. تعداد بوسترها به تعداد کمپرسورهای مورد استفاده بستگی دارد.

۲-۳- خطوط انتقال هوا

چند راهه ای شامل مسیر مکش، مسیر خروجی و تعدادی شیر و شیر^{۱۸} یکطرفه^{۱۹} با ظرفیت کاری حداکثر ۳۰۰۰ پام، که وظیفه انتقال هوا از کمپرسورها به "لوله ایستاده"^{۲۰} را بر عهده دارند. یک مسیر تخلیه^{۲۱} نیز جهت انحراف جریان هوا در زمان مورد نیاز روی آن تعبیه شده است.

۲-۴- کلاهک دوار^{۲۲}

در دهانه چاه و دور لوله های حفاری قرار گرفته و با ایفای نقش یک "منحرف کننده"^{۲۳}، جریان فوم و کنده های برگشتی را به "مسیر خروجی از چاه" (Blooie Line) هدایت می کند.

۲-۵- مسیر خروجی از چاه^{۲۴}

حفاری با فوم، یک سیستم باز است و جریان برگشتی، از طریق Blooie Line به حوضچه گل هدایت می شود.

۲-۶- فلوت ساب^{۲۵}

در بالای رشته حفاری قرار می گیرد تا هنگام "اتصال لوله ها"^{۲۶}، نیاز به کشتن فشار در تمام رشته نباشد. بعد از حفاری چند شاخه (حدوداً ۲۰ تا ۲۵ عدد)، فلوت ساب دوباره به بالای رشته منتقل می شود. شکل ۱ ترتیب قرار گیری این اجزا را نشان می دهد.

۳- گل یا فاز مایع

در فوم فشرده، سیال که اغلب یک گل بنتونایتی است، در مخازن گل تهیه شده و فوم به آن اضافه می شود. ترکیبات گل بنتونایتی که در این سیستم بیشتر استفاده می شود، عبارت است از [۱]:

آب (۱bbbl) + سدیم کربنات^{۲۷} (۰/۵lb/bbl) - (۰/۲۵) + بنتونایت (۱۲lb/bbl) + کاستیک (۰/۵lb/bbl) + عامل کف ساز یا فوم (۲ تا ۶ درصد

۱ طبقه بندی سیالات پنوماتیکی [2]

سیال حفاری	شرح	سیال حفاری
گاز/هوا	فاز پیوسته، هوا یا گاز است حجم زیادی از هوا مورد نیاز است	سازندهایی با فشار شکست بسیار کم سازندهای بدون آب
هوای مرطوب	مقدار اندکی سیال در سطح به هوا اضافه می شود در حفاری سازندهای حساس به آب توصیه نمی شود حجم هوای مورد نیاز، نسبت به حفاری با هوای خشک، کمتر است	جایگزین هوای خشک چنانچه سازند محتوی حجم محدودی از آب باشد
فوم	ترکیبی از آب یا دوغاب پلیمری و عامل کف ساز به هوای فشرده اضافه می شود. هوای کمتری مورد نیاز است	حفاری حرفه های با قطر بیشتر و در نتیجه دایزی بزرگتر نسبت به حفاری با هوا حفاری سازندهای حاوی آب سازندی
گل هوا زده	فاز پیوسته، سیال حفاری است. هوا برای کاهش فشار هیدرواستاتیک به آن اضافه می شود	سازندهای ضعیف سازندهای ناپایدار (unstable) و کم فشار

۲ تفاوت در کارایی سیالات پنوماتیکی

	Most Efficient		Least Efficient	
Hole Cleaning	W.B.Mud	Foam	Mist	Air
Penetration Rate	Air	Mist	Foam	W.B.Mud
BoreHole Stability	W.B.Mud	Foam	Mist	Air
Corrosion Reduction	W.B.Mud	Foam	Air	Mist

(حجمی)

■ انتقال انرژی به مته

■ تمیز سازی مته و چاه

■ روان کاری و خنک سازی

■ انتقال کنده‌ها

■ معلق نگه داشتن کنده‌ها

■ پایداری دیواره چاه

فوم، در مقایسه با گل حفاری توانایی انجام وظایف زیر را ندارد:

■ انتقال نیرو به تجهیزات درون چاهی

■ انتقال اطلاعات به سطح

■ ایجاد کیک غیر قابل نفوذ روی دیواره چاه

■ جلوگیری از نفوذ سیال سازندی به درون چاه^{۲۸}

■ فشار هیدرواستاتیک کمتر در مقایسه با گل‌های معمولی (وزن فوم تقریباً نصف وزن آب است) که

برای کنترل پایداری دیواره و جلوگیری از ریزش آن یا ایجاد تنگی حفره^{۲۹} مناسب است.

گرانروی ترکیب فوق حدود ۳۰ تا ۳۵ ثانیه می‌باشد. این گل، با توجه به عمق و شرایط حفاری، توسط پمپ‌های دکل، به سمت "لوله ایستاده" پمپاژ و در آنجا با هوای ترکیب شده وارد رشته حفاری می‌شود.

در محیط‌های روغنی و یا حاوی آب نمک، باید از فوم مخصوص این محیط‌ها استفاده شود.

هنگام حفاری در سازندهای خاص، بهتر است مقدار بیشتری کاستیک برای تأمین PH حدود ۱۲، جهت جلوگیری از خوردگی و پتاسیم کلراید (KCl) به عنوان بازدارنده شیل در سازندهای شیلی، به ترکیب فوق اضافه شود [۱].

۴- هیدرولیک و رئولوژی

وظایف فوم را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

تغییرات فشار هنگام حفاری با فوم و دلایل و روش حل [۲]

تغییر فشار	علت احتمالی	درمان
کاهش ناگهانی	هوا از میان مخلوط فوم عبور کرده و مانع ایجاد فومی یکنواخت و پایدار می‌شود	افزایش نرخ تزریق سیال و/یا کاهش نرخ تزریق هوا
افزایش آهسته و تدریجی	حجم خرده‌های حفاری و/یا آب سازندی که می‌باید منتقل شود، زیاد شده است	افزایش نرخ تزریق هوا به مقدار کم افزایش درصد عامل کف‌ساز با توجه به وضعیت خروجی به میزان کم
افزایش سریع	مته مسدود شده است و/یا سازند اطراف لوله‌ها را گرفته است	توقف حفاری و تلاش برای باز کردن مسیر جریان فوم با بالا و پایین کردن رشته

فوم به دلیل گرانروی بالا، نسبت به هوای خشک یا مرطوب، تمیز سازی بهتری را در سرعت دالیزی یکسان ممکن می‌سازد. در این روش، فشار دالیزی بیشتر به پایداری بیشتر منطقه حفاری شده کمک می‌کند [۲].

در حفاری با فوم، به علت سرعت دالیزی کمتر، فرسایش دیواره چاه نیز کمتر است.

در این حفاری، فشار ته‌چاهی نسبت به هوای خشک و هوای مرطوب بیشتر بوده و لذا سرعت حفاری کمتر است، گرچه این سرعت به مراتب از سرعت حفاری با گل پایه آبی و روغنی بیشتر می‌باشد. فشار دالیزی بیشتر نسبت به هوای خشک و مرطوب، مشکلات پایداری دیواره چاه را کمتر می‌کند.

فشار هوا با افزایش عمق زیاد شده در نتیجه باعث افزایش غلظت یا چگالی هوا می‌شود. این افزایش فشار، سرعت هوا را کم می‌کند، اما از طرف دیگر، افزایش چگالی، باعث حمل بهتر کنده‌های می‌گردد.

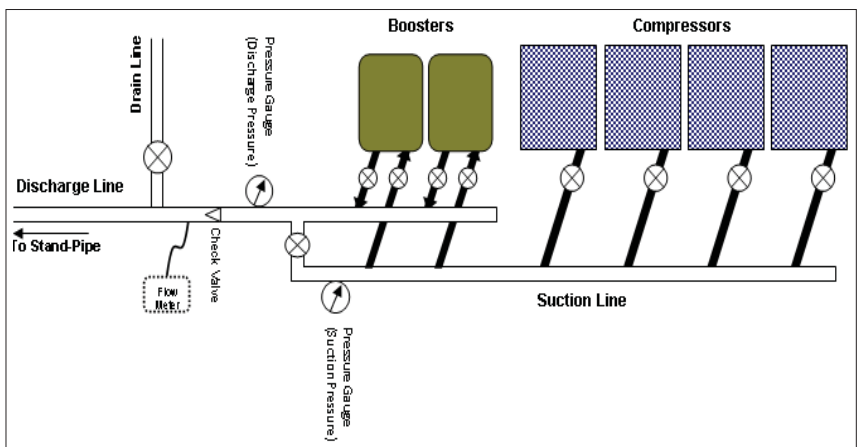
فشار، یکی از مهمترین پارامترهایی است که در حفاری با فوم باید به آن توجه شود. بهترین حالت حفاری هنگامی است که فشار سطحی یا فشار جریان در حداقل مقدار خود باشد. تغییرات این فشار بهترین وسیله برای پی‌بردن به مشکلات احتمالی است. ثابت بودن فشار هنگام حفاری معمولاً نشان‌دهنده شرایط خوب و تمیز سازی یکنواخت است. جدول-۳ به عمده تغییرات فشار و دلیل احتمالی آن اشاره می‌کند.

شکل و وضعیت فوم هنگام خروج از چاه نیز یکی از مشخصه‌های وضعیت حفاری است. جدول-۴ توضیحاتی در ارتباط با وضعیت غیرعادی خروجی ارائه می‌کند.

علاوه بر این مسأله، پیوستگی یا عدم پیوستگی خروج فوم نیز یکی از پارامترهای مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. جدول-۵ به این موضوع می‌پردازد.

قطع برگشتی چنانچه با افزایش ترک و فشار همراه نباشد، می‌تواند به علت وجود شکستگی‌ها و هرزروی باشد.

تغییرات ترک نیز همانند حفاری عادی، عامل خوبی در تعیین وضعیت تمیز سازی چاه است.



شکل ۱ | شماتیک قرارگیری تجهیزات مربوط به حفاری با فوم

۵- مته و BHA

به دلیل حذف فشار هیدرواستاتیک ستون گِل، سختی مؤثر سنگ نسبت به حفاری معمولی کمتر بوده و سنگ، تحت تأثیر نیروهای فشاری چند جانبه^{۳۰} کمتری است. این مسأله می‌تواند امکان استفاده از مته‌های مناسب سازندهای نرمتر (نسبت به حفاری عادی) را فراهم آورد.

به طور کلی، برای این نوع حفاری، مته‌های مخروطی^{۳۱} با محافظ گیج و بدنه^{۳۲} خوب توصیه می‌شود [۳].

مته‌های مخصوص حفاری با هوا از "یاتاقان‌های باز"^{۳۳} استفاده می‌کنند و از هوا جهت خنک کاری یاتاقان‌های غلطکی^{۳۴} استفاده می‌شود. هزینه این مته‌ها تقریباً ۱/۲ مته‌های با یاتاقان تخت^{۳۵} است. با این حال، اگر آب‌های ورودی به چاه یا سیال تزریق شده، به داخل یاتاقان‌ها نفوذ کرده و در سطح آن خوردگی ایجاد کند، عمر یاتاقان‌های باز^{۳۶} می‌تواند خیلی کوتاه باشد. بهتر است از این مته‌ها برای حفاری با فوم یا هوای مرطوب استفاده نشود مگر اینکه بازه حفاری کوتاه باشد. در صورت استفاده از یاتاقان باز، نوع تخت آن به نوع غلطکی و توییپ^{۳۷} ارجحیت دارد [۳].

ارتعاشات^{۳۸} هنگام حفاری با هوا،

هوای مرطوب یا فوم، نسبت به حفاری با گِل بیشتر است. یاتاقان نوع تخت تحمل بیشتری در برابر این ارتعاشات دارد. مته‌های نوع سخت، خرده‌های کوچکتری ایجاد کرده و تمیزسازی را بهتر انجام می‌دهند. مخروط‌هایی با افست^{۳۹} صفر درجه، خرده‌ها را کوچکتر کرده و باعث افزایش عمر مته می‌شوند. در بیشتر مواقع، مته‌های مخروطی بهترین نوع مته برای این سیستم‌های حفاری هستند. استفاده از مته‌های PDC با سیالات پنوماتیکی توصیه نمی‌شود. چون این سیالات به دلیل ظرفیت حرارتی^{۴۰} پایین، خنک‌سازی کافی برای کاترهای PDC ایجاد نکرده و احتمال گرم شدن زیاد لایه الماس بس‌بلورین^{۴۱} و فرسایش سریع آن وجود خواهد داشت. علاوه بر این، مته‌های دندانه ثابت^{۴۲} نمی‌توانند به اندازه مته‌های مخروطی از کمتر بودن نیروهای فشاری چند جانبه به دلیل فشار هیدرو استاتیک کمتر استفاده کنند. سرعت حفاری^{۴۳} با مته‌های مخروطی معمولاً آتقدر زیاد است که استفاده از مته‌های PDC (حتی اگر در این سیالات قابل استفاده باشند)، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود [۳].

گِل هوا زده خنک‌کنندگی بهتری نسبت به سایر سیالات پنوماتیک فراهم می‌کند. با این

نوع سیال (چنانچه سایر شرایط اجازه دهد)، می‌توان از مته‌های PDC استفاده کرد.

با وجود اینکه مته‌ها در سیالات پنوماتیک بدون نازل استفاده می‌شوند، مقداری افت فشار در نازل‌های مته اتفاق می‌افتد که کار خنک‌سازی و افزایش عمر یاتاقان‌ها و دندانه‌ها را انجام می‌دهد [3].

به طور کلی، انتخاب مته برای حفاری پنوماتیکی تفاوت زیادی با حالت عادی ندارد. تنها تفاوت، فشار ته‌چاهی کمتر است که سختی مؤثر سازند را کمتر می‌کند [۳].

BHA^{۴۴} مورد استفاده در حفاری با هوا تفاوت زیادی با حفاری معمولی ندارد، اما از آنجا که به علت جریان زیاد هوا، فرسایش و خوردگی بیشتر و سریعتر اتفاق می‌افتد، بازرسی فنی تجهیزات در زمان‌های مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استفاده از لوله‌های حفاری^{۴۵} نسبت به لوله‌های "۵۱" ارجحیت دارد و در صورت امکان، به کارگیری آن توصیه می‌شود.

در زیر یک BHA مورد استفاده در حفاری حفاره^{۴۶} "۱۲۱" چاه هما-۱۷ ارائه شده است.

12-1/4" BIT + BIT SUB + 2 JTS 8" DC + STRG STAB + 10 JTS 8" DC + 8" JAR + 2 JTS 8" DC + XOS + 4 JTS 5" HWDP

۱-۵- تجهیزات حفاری جهت دار

موتورهای درون‌چاهی که در حفاری با استفاده از سیال معمولی کاربرد دارند، هنگام استفاده از هوا، هوای مرطوب یا فوم به عنوان سیال حفاری، برای تأمین نیرو، روان کاری و انتقال حرارت با محدودیت مواجه هستند. لذا در چنین حالتی استفاده از موتورهای مخصوص حفاری با هوا اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

سرعت زیاد سیال در حفاری پنوماتیک، باعث خرابی زود هنگام این تجهیزات می‌شود. بنابراین، باید از موتورهای مخصوص حفاری با هوا استفاده شود [۳].

به دلیل نحوه طراحی این نوع موتورها، در مقایسه با موتورهای معمولی، سرعت دورانی و افت فشار کمتری برای یک سرعت جریان ثابت

۴ | دلایل غیر طبیعی بودن وضعیت فوم خروجی و راه حل آن [۲]

وضعیت فوم خروجی از Blooie Line	علت احتمالی	درمان
خروجی گاز تنها به همراه عباری از کف	هوا از میان مخلوط فوم عبور کرده و مانع ایجاد فومی یکنواخت و پایدار می‌شود	افزایش نرخ تزریق سیال و/یا کاهش نرخ تزریق هوا
کف رقیق و آبی (salt-cut)	آب‌های شور سازندی کف را رقیق می‌کند	افزایش نرخ تزریق سیال و هوا. در صورت نیاز، درصد عامل شیمیایی کف‌ساز افزایش داده شود
کف رقیق و آبی (Oil-Stained)	ترکیبات نفتی سازند، فوم را آلوده می‌کند	افزایش نرخ تزریق سیال و هوا

۵ | بررسی پیوستگی خروجی از چاه [۲]

... اگر خروجی	... آنگاه
در بازه‌های منظم (حین حفاری) اتفاق می‌افتد،	تا زمانی که بازه‌های تخلیه خروجی از چاه منظم و کوتاه است به حفاری ادامه می‌دهند
در بازه‌های نامنظم اتفاق می‌افتد (Heading).	غلظت کف افزایش داده شود تا کیفیت آن بهبود یابد.

حاصل می‌گردد.

۶- پایداری دیواره چاه^{۴۶}

پایداری چاه یکی از اصلی‌ترین محدودیت‌های حفاری با سیال پنوماتیکی است. یکی از مسائلی که باید در نظر گرفته شود، ریزش دیواره به دلیل فشارهای وارده است. ۴۶. مسأله دیگر، پایداری شیمیایی ۴۷ است که در سازندهای شیلی و کلی استون مشاهده می‌شود [۴].

۷- خوردگی و فرسایش

به دلایل مختلفی مانند توانایی کمتر سیال پنوماتیک در خنک کردن و روان کاری رشته حفاری، سرعت زیاد جریان هوا و کنده‌های همراه آن در دالیز، و واکنش شیمیایی هوا با فلز درون چاه (اکسیژن و دی اکسید کربن موجود در هوای تزریق شده سرعت فرسایش را زیاد می‌کنند)، که به علت دما و فشار بالاتر، بیشتر و سریع‌تر اتفاق می‌افتد، خوردگی^{۴۹} و ساییدگی^{۵۰} رشته و احتمال "فرسایش جریانی"^{۵۱} و بریدن

لوله‌ها و تجهیزات BHA در این نوع حفاری خیلی بیشتر از حفاری با گل‌های پایه آبی و روغنی است. لذا، علاوه بر استفاده از مواد ضد خوردگی، لازم است لوله‌های حفاری و سایر اجزاء BHA، بعد از هر ۳۰۰ ساعت حفاری با هوا بازرسی و معاینه فنی شوند.

۸- ورود آب سازندی^{۵۲}

در این شرایط، خروجی چاه به شکل مخلوطی از آب و گاز یا کف بی‌شکل خواهد بود. بیشتر هنگامی رخ می‌دهد که سیال ورودی به چاه با عامل کف‌ساز سازگار نیست. استفاده از مواد تثبیت‌کننده خوردگی^{۵۳} (آب‌های سازندی شور باعث افزایش خوردگی می‌شوند) و افزایش درصد عامل کف‌ساز مورد استفاده، باید مد نظر قرار گیرند.

۹- ملاحظات پیمایش^{۵۴}

اطمینان از وجود حداقل کنده حفاری قبل از بالا آمدن مهم است. چون طی مدت زمان

پیمایش، فوم، متلاشی شده و کنده‌ها ته‌نشین خواهند شد.

هنگام پیمایش به درون چاه، در شرایطی که احتمال می‌رود ستونی که باید در ابتدا توسط فوم جابجا شود، زیاد باشد (به عنوان مثال ارتفاع زیاد سیال سازندی)، و با افزایش فشار مواجه شویم، بهتر است طی دو یا چند مرحله (در اعماق مختلف) گردش را برقرار کرده تا خروجی از چاه مشاهده شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله تفاوت‌ها و نحوه کنترل شرایط حفاری در شرایط عملیاتی بررسی گردید. حفاری با سیالات پنوماتیک، در شرایطی که پایداری و ریزش دیواره چاه از اهمیت کمی برخوردار است، گزینه بهتری از لحاظ هزینه و سرعت حفاری بوده و علی‌رغم استفاده از تجهیزات متفاوت، در عمل، همانند حفاری معمولی، شرایط به آسانی قابل ارزیابی و کنترل است. ■

پانویس‌ها

- | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| 1 Porous | 19 Check Valve | 37 Ball Bearing |
| 2 Subnormal | 20 Stand pipe | 38 Vibration |
| 3 Dry Air/Gas | 21 Release/Drain Line | 39 offset |
| 4 Mist | 22 Rotating Control Head | 40 thermal capacity |
| 5 Foam | 23 Diverter | 41 Polycrystalline Diamond |
| 6 Aerated Mud | 24 Blooie Line | 42 fixed cutter |
| 7 Water Base Mud (W.B.M) | 25 Float Sub | 43 penetration rate |
| 8 Stable Foam | 26 Connection | 44 Bottom Hole Assembly |
| 9 Water Based Foam | 27 Soda Ash | 45 Wellbore stability |
| 10 Stiff Foam | 28 Hydrostatic control over 30influx | 46 stress |
| 11 surfactants | 29 tight hole | 47 chemical stability |
| 12 corrosion inhibitors | 30 Confining Stress | 48 clay stone |
| 13 foaming agent | 31 Roller Cone Bits | 49 corrosion |
| 14 slugging | 32 gauge and shirt-tail 35protection | 50 erosion |
| 15 Cuttings | 33 Non-sealed Bearing | 51 wash out |
| 16 Suction | 34 Roller Bearing | 52 Water Inflow |
| 17 Discharge | 35 Journal Bearing | 53 Corrosion Inhibitor |
| 18 Valve | 36 non-sealed | 54 Trip |

منابع

- [1] دائر، امیر، "مایعات حفاری کم فشار در حفاری با هوا"، اداره کل حفاری مناطق نفت خیز جنوب، ۱۳۶۹
- [2] BAROID Drilling Fluids Inc., "Baroid Fluids Handbook", chapter 6, Foam and Aerated Mud drilling, 1997
- [3] Dahl, Thomas & Vos., Bart, "Baker Hughes Underbalanced Drilling Manual", version 1, 1999
- [4] Leading Edge Advantage International Ltd, "Introduction to Underbalanced Drilling", 2002