پروژه

حفاری زیر تعادلی

تهیه کننده:

محمد جلیلیان

شماره دانشجویی:

910039180

علوم تحقیقات فارس

www.Prozhe.com

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول

حفاری زیر تعادلی 5

1-آشنایی با واژگان تخصصی نفت..... 5

1-1:زمین شناسی..... 5

1-2:عملیات های اکتشاف..... 10

1-3:خصوصیات سنگ و سیال..... 12

1-4:مطالعات مخزن و واژگان مرتبط..... 15

1-5:حفاری..... 22

فصل دوم

2-حفاری زیر تعادلی (UBD) 32

2-1:اهمیت و نقش حفاری زیرتعادلی..... 34

2-2:مروری بر مطالعات انجام شده در حفاری زیر تعادلی..... 36

2-3:حفاری زیرتعادلی چیست؟..... 37

2-4:انواع روش‌های حفاری..... 39

2-5:انتخاب سیستم حفاری زیرتعادلی..... 42

2-6:سیستم‌های سیال حفاری..... 44

فصل سوم

3-مزایای حفاری زیر تعادلی..... 71

3-1:مزایای روش UBD نسبت به روش معمولی حفاری عبارتند از..... 71

3-2:محدودیت های حفاری زیر تعادلی..... 77

فصل چهارم

4-کاربردهای حفاری زیر تعادلی در ایران..... 88

4-1:مکانیزم‌های حفاری UBD در فلات قاره..... 91

4-2:حفاری زیرتعادلی در مخزن کرنج..... 96

www.Prozhe.com

3-4:مشخصات عمومی میدان..... 97

فصل پنجم

5:نتیجه گیری 101

مراجع..... 105

حفاری زیر تعادلی

1-آشنایی با واژگان تخصصی نفت

1-1:زمین شناسی

▪ سن های زمین شناسی:

سن های زمین شناسی شامل ۵ دوره است که به ترتیب از قدیم به جوان عبارتند از:

۱) پری کامبرین : بیش از ۵۶۰ میلیون سال پیش

۲) پالئوزوئیک : ۲۴۵-۵۶۰ میلیون سال پیش

۳) مزوزوئیک : ۶۵-۲۴۵ میلیون سال پیش

۴) سنوزوئیک که شامل ۲ دوره است:

۱-۴) ترشیاری: ۲-۶۵ میلیون سال پیش

۲-۴) کواترنری: از ۲ میلیون سال پیش تا کنونپ

▪ سازند :

به مجموعه ی رسوبات سنگ شده ای گفته می شود که برخی از ویژگی های آن ها مانند سن، نوع فسیل، جنس، پیوستگی (قطع شدگی در آن دیده نشود و گسلی آن را قطع نکرده باشد)، ضخامت، رنگ و .... تا حدودی مشترک است. در این میان سن و نوع

www.Prozhe.com

فسیل سازند از اهمیت بیشتری برخوردار است. ممکن است برخی از این ویژگی ها در یک سازند مشترک نباشد. به طور مثال سازند آسماری در میدان اهواز و مارون دارای ضخامت های متفاوتی است. اما به دلیل آن که سایر ویژگی های سازند همچنان در میدان های مختلف یکسان است، آن را یک سازند واحد می شناسند. یک سازند ممکن است از یک یا چند لایه ی رسوبی تشکیل شده باشد. البته لایه های یک سازند کاملاً به هم پیوسته هستند.

▪ جنس سنگ(**Lithology**):

به جنس سنگ، لیتولوژی سنگ گفته می شود بعنوان نمونه وقتی گفته می شود لیتولوژی سازند آسماری از نوع سنگ آهک است در واقع به این معنی است که جنس سنگ سازند آسماری از جنس آهک است.

▪ شیل (**Shale**):

سنگ شیلی به سنگی گفته می شود، که ذرات تشکیل دهنده ی آن بسیار ریز است و دارای لایه بندی های خیلی خیلی نازکی است که به آن ها تورق گویند از ویژگی های این نوع سنگ این است دارای تخلخل بسیار زیاد است اما این تخلخل ها بسیار ریز هستند و تراوایی این نوع سنگ بسیار پائین است و در نتیجه این نوع سنگ معمولا نمی تواند بعنوان سنگ مخزن عمل کند اما از آنجا که معمولا درون این نوع سنگ ها مواد آلی وجود دارد می تواند به عنوان سنگ منشاء عمل کند.

▪ گنبدهای نمکی (**salt dome**):

همیشه یک لایه در اعماق زیاد وجود دارد که از جنس نمک است از آن جا که نمک دارای چگالی کم است و همچنین خاصیت روان کنندگی (**Lubricant**) دارد لایه های دیگر براحتی روی آن می لغزند اما اگر نیرویی از اطراف این لایه را تحریک کند و به آن فشار آورد این لایه کم چگال، به سمت بالا شروع به حرکت می کند و در لایه های بالایی خود نفوذ می کند و به سمت سطح زمین روانه می شود و ممکن است این حرکت در اعماق زمین متوقف شود و یا اینکه این گنبد نمکی لایه های زمین را طی کند و به سطح زمین برسد و گنبد هایی از نمک ظاهر شود این گنبدهای نمکی به دلیل اینکه دارای ترآوایی کم و شکل پذیری خوبی هستند می توانند به عنوان یک پوش سنگ خوب عمل کنند.

▪ برون زد(**out crops**):

بخشی از سازند که به سطح زمین رسیده و بدون حفاری امکان دسترسی مستقیم به آن وجود دارد.

▪ **Type section** :

بهترین محلی که می توان برون زد یک سازند را مورد مطالعه قرار داد، به طوری که نمونه بدست آمده تقریباً می تواند تمامی خصوصیات آن سازند را نشان دهد.

▪ سطح فرسایشی :

www.Prozhe.com

سطحی که توسط عوامل فرسایشی(مانند آب،باد، و(... فرسایش یافته است

▪ مخزن :

به بخش هایی از یک سازند که دارای نفت یا گاز باشد و تغییرات فشار قابل توجهی نداشته باشند، مخزن نفت یا گاز گفته می شود. بنابراین ممکن است یک سازند دارای چندین مخزن باشد.

\

▪ سنگ منشأ یا سنگ مادر (source rock) :

سنگی که نفت در آن پدید می آید. در واقع سنگ منشأ، محیط تشکیل نفت خام در میلیون ها سال پیش بوده است. نفت پس از تشکیل در این محیط به سمت سنگ مخزن حرکت می کند و در آن جا ذخیره می شود.

▪ پوش سنگ (seal rock) یا (Cap rock) :

سنگی که روی سنگ مخزن وجود داشته و دارای تراوایی بسیار پایینی است به نحوی که مانع از خروج نفت از سنگ مخزن شود.

▪ مهاجرت(Migration) :

به جریان حرکت نفت و یا گازاز سنگ مشأ به سنگ مخزن پدیده ی مهاجرت گفته می شود.

▪ سیستم نفتی(Oil System) :

به مجموعه ی سنگ منشأ، سنگ مخزن و پوش سنگ یک سیستم نفتی می گویند.

▪ میدان(Field) :

به مجموعه ی یک یا چند مخزن نفت که دارای ساختار (ساختار تله نفتی) مشابهی باشند، یک میدان نفتی می گویند.

▪ حوضه(Province) :

به مجموعه ی یک یا چند میدان نفتی که خصوصیات چینه شناسی یکسانی داشته باشند، حوضه نفتی می گویند. هر حوضه شامل چند سیستم نفتی است.

www.Prozhe.com

▪ کروژن(**Kerogen**) :

کروژن به مواد آلی درشت دانه ای گفته می شود که توانایی انحلال در اسیدهای آلی را ندارند.

▪ بلوغ مواد آلی (**Maturation**) :

مسیر تغییر و تحولات مواد آلی درون سنگ منشأ را " بلوغ (**Maturation**) مواد آلی" گویند.

2-1:عملیات های اکتشاف

▪ روش های سطحی:

گاه مطالعه برخی از نشانه ها در سطح زمین می تواند راهنمای ما برای کشف مخازن احتمالی باشد. که این نشانه ها شامل :

برونزد(**outcrop**)، چشمه های نفتی (**oil spring**)،حوضه ی رسوبی و... باشند.

▪ روش های ثقل سنجی و مغناطیسی سنجی:

این ۲ روش برای شناسایی مخازن نفتی ای که ساختارهای مشخص و معینی (مثل طاقدیس) در اعماق کم دارند به کار می روند. البته با روش مغناطیس سنجی تلوریک (**telluric**) می توان مخازن تا حدی عمیق را نیز شناسایی کرد. در روش ثقل سنجی اساس کار این گونه است که تغییر شتاب جاذبه ثقل در نقاط مختلف را می توان به تغییر ماهیت سنگ یا تغییر ساختار، مخصوصا ساختارهای طاقدیس نسبت داد.

▪ ژئوشیمی:

علمی است که به مطالعه ی سنگ منشا و سنگ مخزن و ارتباط آن ها با هم می پردازد و در مطالعه ی سنگ منشا نقش بسزایی دارد و اطلاعاتی شامل نوع کروژن، مرحله ی بلوغ و ... در اختیار قرار می دهد. برای کسب اطلاعات بیشتر اینجا را کلیک کنید

▪ مطالعه لرزه نگاری(**seismic**) :

در روش لرزه نگاری امواج لرزه ای در اثر انفجار به صورت موج های مکانیکی در لایه های درون زمین منتشر می شوند؛ برای این که بازتاب این امواج از لایه های مختلف، دریافت شود، گیرنده هایی (**Geophone**) بر روی زمین تعبیه شده اند که

www.Prozhe.com

بازگشت این امواج را ثبت می کنند. منابعی که برای ایجاد این لرزه ها بکار می رود می تواندچاله هایی که از مواد منفجره پر شده است، یا دستگاه vibrosize باشد.این عملیات ها در ابعد مختلف :۲ بعدی (۲-Dimensional)، بعدی (۳-Dimensional) و حتی به روش ۴ بعدی (۴- Dimensional) انجام می گیرند.

▪ چاه های اکتشافی:

تنها راه حل برای شناسایی مخزن و اثبات وجود سیال در درون آن ها،به صورت قطعی حفر چاه های اکتشافی است. روش های مطالعات سطحی،ثقل شنجی و مغناطیس سنجی،لرزه نگاری،ژئوشیمی و... اطلاعات اولیه را برای حفر اولین چاه در اختیار متخصصین اکتشاف قرار می دهند؛ این متخصصین برای دست یابی به دقت بیشتر در اطلاعات خود باید چاه های اکتشافی را در مخزن حفر کنند.

3-1:خصوصیات سنگ و سیال

▪ تخلخل(porosity) :

بخشی از حجم سنگ که توسط بخش جامد اشغال نشده است؛ در واقع قسمت های خالی سنگ را تخلخل گویند. نفت خام، گاز و آب در درون تخلخل های سنگ وجود دارند. حجم این تخلخل ها از مقیاس میکرو تا مقیاس های بزرگ تغییر می کند.

▪ خمیره سنگ(matrix) :

www.Prozhe.com

مجموع قسمت های جامد تشکیل دهنده سنگ ها را به جز «قسمت رسی آن» گویند. علت این امر آن است که سنگ های رسی به دلیل تراوایی بسیار پایینی که دارند، تأثیری بسیارمنفی و نامطلوبی بر تراوایی و کیفیت کل مخزن می گذارند. بنابراین محاسبه ی درصد رس موجود در سنگ به عنوان یک عامل مجزا از خمیره از درجه اهمیت بالایی برخوردار است.

▪ درجه ی تخلخل(**degree of porosity**) :

نسبت حجم فضاهای خالی سنگ به حجم کل سنگ، درجه ی تخلخل گفته می شود.

▪ نفوذپذیری یا تراوایی (**Permeability**) :

توانایی سنگ برای عبوردهی سیالی (با گران روی مشخص و در فشار مشخص) از درون خلل و فرج خود را **Permeability** می گویند. نفوذ پذیری مطلق تنها به خصوصیات سنگ بستگی دارد، اما نفوذپذیری نسبی علاوه برخصوصیات سنگ، به خصوصیات سیال و درصد اشباع(سنگ از سیال) نیز بستگی دارد.

ـ توضیح: منظور ازگران روی مقاومت سیال در برابر جریان و حرکت است.

▪ شکاف مصنوعی (**Hydraulic Fracturing**):

از نقطه نظر مهندسی نفت و گاز و بهره برداری از مخازن هیدروکربوری، افزایش بهره دهی در چاه ها به ویژه در چاه هایی با نفوذ پذیری کم یا چاه های آسیب دیده یکی از مهمترین اهداف می باشد. تا به امروز روش های متفاوتی برای افزایش میزان بهره دهی چاه ها ارائه و انجام شده است که هر یک می تواند به طریقی موجب بهبود عملکرد چاه ها گردد. از مهمترین روش های بهبود بهره دهی چاه ها، اثر گذاشتن بر فیزیک سنگ مخزن می باشد که در آن سعی می شود تا ساختار فیزیکی سنگ مخزن بهبود یابد. از جمله مهم ترین این روش ها می توان به ایجاد شکستگی های مصنوعی در سنگ مخزن اشاره کرد.

▪ درجه اشباع(**saturation degree of**) :

درجه اشباع یک سیال، عبارت است از درصدی از حجم فضاهای خالی سازند که توسط آن سیال اشغال شده است.

▪ درجه شوری(**salinity**) :

میزان نمک محلول در آب سازند ی را گویند

▪ کشش سطحی(**IFT**) :

نیرویی که بین سطح دو سیال(مانند نفت و آب، نفت و گاز، یا گاز و آب) ایجاد می شود.

www.Prozhe.com

▪ نقطه شبنم(**Dew point**) :

شرایط دما و فشاری که در آن اولین قطره مایع ایجاد می شود و تا قبل این نقطه فقط فاز گاز داریم.

▪ **Cricondenterm** :

حداکثر دمایی که در آن سیال به صورت دو فازی(گاز و مایع) است.

▪ نقطه ی بحرانی (**Critical point**):

حداکثر فشاری که در آن سیال به صورت دو فازی(گاز و مایع) است.

▪ **Black oil** : نفت سنگین.

▪ **Volatile oil** : نفت سبک.

▪ **Gas Condensate** : گاز میعانی.

▪ **Wet gas** : گاز تر.

▪ **Dry gas** :گاز خشک.

▪ نقطه ی حباب یا شبنم (**Bubble Point Pressure**) :

با افت فشار مخزن، گاز محلول در نفت توانایی آن را پیدا می کند که از نفت خارج شود، «فشارنقطه ی حباب یا (فشار اشباع)» فشاری است که اولین حباب گاز از نفت جدا می شود. روشن است که در فشار های بالاتراز آن تنها یک فاز مایع و در فشار های پایین تر از آن دو فاز مایع و گاز وجود دارد.

4-1:مطالعات مخزن و واژگان مرتبط

▪ ازدیاد برداشت(**Enhanced Oil Recovery : EOR**) :

کلیه روش هایی که طی آن به مخازنی که تحت شرایط طبیعی خود قادر به تولید اقتصادی نیستند، از بیرون انرژی داده شده و یا موادی درآن ها تزریق شود، روش های ازدیاد برداشت گویند.

▪ چاه آزمایی(**Testing Well**):

به محض حفر یک چاه در درون مخزن و آغاز استخراج سیال درون آن، تغییراتی در پارامتر های مخزنی مانند فشار، حجم سیال درون مخزن، گرانروی سیال و... ایجاد می شود. تغییر پارامتر های مخزن باعث تغییر رفتار مخزن مانند چگونگی فاز های سیال(مایع و گاز) درون مخزن، در نتیجه چگونگی فازهای سیال استخراج شده، میزان دبی و... می شود.

www.Prozhe.com

بنابراین با گذشت زمان و ادامه ی برداشت از مخزن، رفتار مخزن تغییر می کند. در واقع پارامترهای مخزن به نوعی تابع زمان هستند. عملیات چاه آزمایی (**Well Testing**) تجزیه و تحلیل رفتار مخزن و چاه بر اساس زمان است؛ نتایج حاصل از آن می تواند تأثیر زیادی در تشخیص مقادیر واقعی پارامترهای مخزنی داشته باشد، از این رو چاه آزمایی یکی از مهم ترین ابزار های مهندسان برای شناخت مخزن نفت محسوب می شود. به دست آوردن مقدار واقعی این تغییرات نقش عمده ای در ایجاد یک مدل دقیق و به روز از مخزن دارد.

اه مقرون بصرفه نیست.

- **Fingering** :

سطح تماس بین ۲ سیال معمولا یک صفحه کاملا صاف نیست و مقداری از سیالی که دارای قدرت تحرک بیشتری است به داخل مرز میان ۲ سیال نفوذ می کند سطح تماس سیال ها ی داخل مخزن نفتی و گازی نیز به همین صورت است این پدیده یعنی **Fingering** مخصوصا در هنگام تزریق آب به مخزن به منظور برداشت نفت بیشتر،خود را بیشتر نشان می دهد از آن جا که آب دارای تحرک بیشتری است از سطح تماس آب تزریقی و نفت عبور کرده و سطح تماس این ۲ سیال شکل انگشتان دست را به خود می گیرد به این علت این پدیده **Fingering** گویند و باعث می شود که آب تزریقی به داخل مخزن، سریع تر به چاه برداشتی برسد و اصطلاحا زودتر چاه ما به آب بخورد و پدیده **break through time** اتفاق بیافتد. با وقوع این حادثه و افزایش نسبت آب به نفت برداشتی ، دیگر برداشت از آن چاه مقرون بصرفه نیست.

- مهاجرت ماسه (**migration Sand**) :

درمخازن ماسه سنگی یا مخازنی که دارای مقداری ماسه هستند اگر ماسه شل (**loose**) باشد، هنگام برداشت نفت یا گاز از آن مخزن، این ذرات ماسه به داخل چاه وارد می شوند و باعث می شوند خلل و فرج (**porosity**)مسیرحرکت خود را پر کنند و کیفیت مخزن راکاهش دهند. هم چنین این ذرات ماسه باعث ایجاد خوردگی در تاسیسات سر چاه و لوله های جداری می شوند که باید تمهیدات لازم جهت ثابت کردن(**stable**) این ذرات ماسه اندیشیده شود ومانع از مهاجرت آن ها به سمت دهانه چاه شد.

- اثر مخروطی (**water coning** & **Gas**):

درهنگام برداشت نفت از چاه اگربه شیوه ی درستی از مخزن برداشت نشود، نفت به اطراف حرکت کرده و گاز و آب به ترتیب در بالا و پایین ستون نفتی به حالت مخروطی به داخل ستون نفت وارد می شوند، ارتفاع ستون نفت را در آن چاه کاهش می دهند و باعث کاهش برداشت نفت از آن چاه می شوند .

- آسفالتن (**Asphalten**):

www.Prozhe.com

بخش های سنگین نفت را که ظاهر آن همچون قیر است را آسفالتن می گویند. پدیده تشکیل آسفالتن نیز از پدیده هایی است که در بعضی از میادین ایران هنگامی رخ می دهد که بخش های سبک نفت به دلایل مختلف مانند **water washing**، فعالیت میکروب ها(این میکروب ها می تواند به طور طبیعی در مخزن باشند یا هنگام تزریق آب به مخزن اگر ناخالصی های آب گرفته نشود (آب **treat** نشود) و حاوی این میکروب ها باشد وارد مخزن می شود)، از آن جدا شده و یک لایه آسفالتن در قسمت زیرین مخزن تشکیل می شود که باعث قطع ارتباط مخزن با قسمت آبران آن شده و انرژی لازم برای بالا آمدن نفت را از آن می گیرد.

- مخازن گاز میعانی(**Gas Condensated Reservoir**):

به مخازنی گفته می شود که گاز موجود در آن ها در شرایط دما و فشار سطحی به نفت تبدیل می شود و این نوع نفت بسیار سبک است و دارای **API** بالایی (در حدود ۵۰ **API**)است.

- نسبت گاز به نفت[**GOR) Gas oil ratio**)] :

نسبت گاز به نفت را گویند. در واقع نسبت گاز به نفت را در شرایط دما و فشار سطح زمین را **GOR** گویند.

- فشار اشباع(**Bubble Point Pressure**) :

با افت فشار مخزن، گاز محلول در نفت توانایی آن را پیدا می کند که از نفت خارج شود، «فشار اشباع» فشاری است که اولین حباب گاز از نفت جدا می شود. روشن است که در فشار های بالاتراز آن تنها یک فاز مایع و در فشار های پایین تر از آن دو فاز مایع و گاز وجود دارد.

- **Pound per square inch(PSI)**:

یک واحد فشار است که معمولا در صنعت نفت فشار را با این واحد معرفی می کنند.

هر یک **PSI**، معادل ۷/۶۸۹۴پاسکال است. هر پاسکال ۱ نیوتن بر متر مربع است. هر نیوتن تقریباً معادل یک دهم کیلوگرم است.

- **American petroleum Institution (API)** :

در واقع معرف کیفیت نفت است و هر چه این عدد افزایش یابد نفت سبکتر می شود اگر این عدد خیلی زیاد شود(در حدود **API** ۵۰) نفت به (**Condensated oil**) نفت میعانی تبدیل می شود و از این مقدار بالاتر برای گازها بکار می رود.

www.Prozhe.com

▪ Btu) British thermal unite) :

واحد گرمای بریتانیایی. یک واحد گرما است در واقع ارزش گرمایی سوخت را مشخص می کند.

▪ کلاهک گازی (Gas Cap) :

در صورتی که در یک مخزن نفتی هر سه سیال آب، نفت و گاز وجود داشته باشد، ترتیب قرار گرفتن سیالات درون مخزن به گونه ای است که از پایین به بالا ابتدا آب، بعد نفت و سپس گاز قرار می گیرد. به سازند ی که در آن گاز قرار دارد، سازند گازی و به سازند های دیگر سازند های نفتی و گازی می گویند.

به بخش بالایی مخزن که حدفاصل میان پوش سنگ و سطح تماس نفت و گاز است، کلاهک گازی مخزن نفتی می گویند. گفتنی است که برخی از مخازن فاقد کلاهک گازی، برخی دیگر فاقد بخش آب ده هستند و برخی فاقد هر دوی آن ها هستند.

▪ سفره آبی(Aquifer) : سازند آبی ای که در پایین مخزن می تواند وجود داشته باشد.

▪ امتزاج پذیری (Miscibility) :دومایع را وقتی امتزاج پذیر می گویند که کاملاً درهم حل شده و امولیسون ن سازند .

▪ Isothermalهم دما (دمای ثابت) :معمولاً در مخزن دما تقریباً ثابت است و فرآیند های داخل مخزن را به صورت هم دما فرض می کنند.

▪ اثر پوسته ای (Skin Effect) :این اثر باعث کاهش تماس سنگ مخزن با دهانه چاه می شود و مانند یک لایه ی نازک سطح سنگ که در تماس با چاه است را می پوشاند.

▪ تحریک چاه(Well Stimulation) :هر فرایندی که طی آن بهره دهی چاه افزایش یابد و سیال با سرعت و انرژی بیشتری وارد چاه شود را تحریک چاه گویند مانند: اسید کاری، تزریق مواد شیمیایی و ...

▪ شاخص تولید(index Productivity) :

نسبت سیال تولید شده به سیال موجود در مخزن را گویند.

▪ اشباع بحرانی میعانات :

با رسیدن اشباع میعانات به این سقف، فاز مایع در قالب لایه ی مایع چسبیده به دیواره شروع به حرکت می کند.

▪ Depletion CVD)Constant Volume) تخلیه با حجم ثابت :

در این آزمایش حجم ثابت گرفته می شود و با تغییر پارامتر فشار رفتار سیال را بررسی می کنند.

▪Expansion CCE)Constant Composition)انبساط با ترکیب ثابت :

در این آزمایش ترکیب سیال حفظ می شود، و هیچ ترکیبی از سیال خارج نمی شود.

▪ Positive coupling effect :

www.Prozhe.com

گاز در اثر حرکت سریع خود میعاناتی را که در سر راه خود دارد به درون چاه می آورد وباعث تخلیه ی میعانات می شود که یک اثر مثبت ایجاد می کند.

▪ پوسته :

فاصله نزدیک چاه که به دلیل عواملی، خواص فیزیکی خود را از دست داده باشد. این عوامل می تواند ورود آب از گل حفاری به داخل سازند یا عوارض حاصل از مشبک کاری (سوراخ کردن) و هم چنین آزادشدن گاز نزدیکی چاه، به دلیل افت فشار و هم چنین رسوب آسفالتین(نوعی نفت بسیار سنگین با گرانروی بسیار بالا) می تواند باشند. مقدار پوسته را با یک ضریب به اسم ضریب پوسته نشان می دهند.

5-1:حفاری

▪ انواع حفاری:

برای بهره برداری از نفت و گاز مخازن، که هزاران متر زیر زمین هستند، باید تمام سازند ها و لایه های بالایی و خود سنگ مخزن مورد حفاری قرار گیرد.امروزه در صنعت نفت، صنعت حفاری حرف اول را می زند و ملاک قدرت شرکت های نفتی محسوب می شود.انواع روش های حفاری عبارتند از:

۱) حفاری عمودی

۲) حفاری جهت دار

۳) حفاری زیرتعادلی

۴) **Multilateral**

۵) حفاری افقی

▪ ناحیه ی هدف:

ناحیه ای معین در عمقی از پیش تعیین شده که بر اساس طراحی انجام گرفته، چاه باید آن ناحیه را قطع کند.

▪ حفاری عمودی (**drilling vertical**)

در این روش حفاری بصورت عمودی نسبت به سطح زمین انجام می شود اما در هر حفاری یک انحراف از مسیر (**drift**) وجود دارد که در روش عمودی این انحراف باید خیلی کم و در حد ۱ درجه تا ۲ درجه باشد.

▪ حفاری جهت دار (**Drilling Directional**):

www.Prozhe.com

حفاری جهت دار نوعی از حفاری است که در آن مسیر چاه بر اساس نقشه ای معین و از پیش طراحی شده، برای رسیدن به ناحیه هدف (**Target Area**) از حالت عمودی منحرف می شود. این نوع حفاری زمانی انجام می شود که بنابه دلایلی هدف نهایی از محلی که بر روی زمین شروع به حفاری می کنیم به صورت جانبی دارای فاصله باشد.

- حفاری زیر تعادلی (**UBD**) :

در حفاری زیر تعادلی (**UBD**) فشار سیال حفاری عملا کمتر از فشار روزنه های سیالات سازند نگه داشته می شود، در نتیجه در مواجهه با سازند های نفوذپذیر، سیال سازند اجازه نفوذ به درون چاه در حال حفاری را پیدا می کند. در این روش تجهیزات و روش های خاصی برای کنترل جریان سازند در حفاری زیر تعادلی مورد نیاز است. اما این روش مزیت های قابل ملاحظه ای نسبت به حفاری معمولی دارد.

- **Multi lateral Drilling**:

این روش بیشتر در چاه هایی مورد استفاده قرار می گیرد که برروی دریا قرار دارند (**offshore**)یا همان سکوهای نفتی و گازی دریایی. به این ترتیب که از یک سکو در جهت های مختلف حفاری انجام می شود هم زمان می توان چندین نقطه در یک مخزن یا مخازن مختلف را حفاری کرد.

- حفاری افقی (**Horizontal drilling**) :

در این روش، حفاری با زاویه ۹۰ درجه نبست به محور چاه انجام می شود. این نوع حفاری می تواند درسنگ مخزن بسیار بصرفه باشد چراکه سطح تماس مخزن را با چاه افزایش داده و در نتیجه باعث برداشت بیشتر و بهتر از مخزن می شود، اما این روش نیاز به تکنولوژی بالایی نیز دارد.

- **Measured depth**:

طول واقعی چاه از نقطه شروع حفاری تا هر نقطه دلخواه درمسیر آن.

- **Build up**:

قسمتی از چاه که زاویه شیب (**inclination**) افزایش می یابد.

- **Build up Rate**:

سرعت تغییر زاویه چاه (**Build up Rate**) را معمولاً به ازای هر ۱۰۰فوت عمق اندازه گیری شده (**Measured depth**)، بر حسب درجه بیان می کنند.

- **Measured While Drilling (MWD)**:

www.Prozhe.com

نوعی از دستگاه های موقعیت یاب و اندازه گیری که در انتهای رشته حفاری و بالای مته قرار می گیرند و این امکان را فراهم می آورند که درحین عملیات حفاری بتوان موقعیت دقیق چاه را تعیین کرد.

- موتور گل(**Mud Motor**) :

موتورهایی که نیروی محرکه خود را از گلی که با فشار به درون لوله ها پمپ می شود به دست می آورند.

- انحراف از مسیر اولیه (**Side Track**) :

عملیاتی که به منظور جهت دهی دوباره به مسیر چاه انجام می گیرد، این کار با حفاری مجدد از نقطه ای بالاتر از انتهای چاه آغاز می شود.

- **Kelly** :

یک لوله استوانه ای شکل است که مقطع آن مربع یا شش ضلعی منتظم است. این لوله ویژه ی روش حفاری با میزگردان است و در روش **topdrive** از آن استفاده نمی شود.

- رشته های حفاری (**pipe drilling**) یا (**drilling string**) :

رشته های حفاری، لوله های استوانه ای شکلی هستند که دارای طولی در حدود ۳۰ فوت هستند. ابتدا ۳ رشته حفاری به هم پیوند می خورند که به آن ها یک **Stand** گفته می شود و سپس **stand** ها به درون چاه فرستاده می شوند.

- **Collar** :

لوله ای استوانه ای شکل است که قطرو وزن آن نسبت به رشته های حفاری بیشتر است و از آن برای اعمال نیرو بر روی مته استفاده می شود، کاربرد دیگر آن شاقول کردن و یا در اصطلاح مرکز کردن(**centralize**) مته در داخل چاه است.

- مته (**Bit**) :

برای حفر سازند ها از آن استفاده می شود و دارای انواع مختلفی است مانند کاج دار، الماس طبیعی و مصنوعی و غیره که هر کدام کاربرد ها ، مزیت ها و معایب خاص خود را دارند.

- موتور متحرک (**draw work**) :

موتوری است که سیم های نگهدارنده را دور قرقره که در داخل خود قرار دارد، جمع یا باز می کند.

www.Prozhe.com

▪ جعبه متحرک(traveling block) :

این بخش نیز همانند تاج دکل جعبه ای ست که داخل آن چندین قرقره قرار می گیرد و فرق آن با Crown block در این است که Crown block ثابت است اما traveling block متحرک است.

▪ تاج دکل (Crown block) :

در واقع جعبه ای است که داخل آن چندین قرقره ثابت قرار می گیرد.

▪ قرقره ذخیره (reel storage) :

قرقره ای است که سیم های نگهدارنده ذخیره، بدور آن جمع می شوند.

▪ سیم های نگهدارنده :

سیم هایی هستند که نیرو را از draw work به قسمت های دیگرمنتقل کرده و باعث بالا و پایین رفتن لوله ها داخل چاه می شوند.

▪ قلاب (hook) :

از این ابزار در سیستم های میزهای گردان استفاده می شود و برای آویزان کردن swivel به traveling block مورد استفاده قرار می گیرد.

▪ هرزگرد (swivel) :

این ابزار نیز در سیستم میزگردان مورد استفاده قرار می گیرد و در واقع هرزگردی است که باعث می شود kelly براحتی داخل swivel بچرخد.

▪ پمپ های گل (pumps) :

که گل را با فشار به داخل رشته های حفاری و از آنجا به درون چاه پمپ می کند.

▪ Stand pipe :

لوله ای عمودی که گل از آن به داخل Kelly hose منتقل می شود.

▪ Kelly hose :

شیلنگ مرتجعی است که گل حفاری را از stand pipe به Kelly منتقل می کند.

▪ Kelly و رشته های حفاری :

که گل از درون آنها به مته می رسد و سپس وارد فضای حلقوی بین رشته های حفاری و دیواره چاه می شود.

▪ فضای حلقوی (annulus) :

www.Prozhe.com

گل حفاری به همراه کنده های حفاری از داخل فضای حلقوی چاه به سطح می رسند. در واقع به فضای بین رشته های حفاری و دیواره چاه ، فضای حلقوی گویند.

- **Shale shaker :**

غربالی است با مِش های مختلف که هر کدام کنده های حفاری با سایز های مختلف (در حد بزرگ تر از ماسه و رس) را از گل جدا می کنند.

- **Desilter و desander :**

قسمت های ریز کنده های حفاری، در سایزهای رس و شن که توسط shale shaker قابل جدا شدن نیستند، را جدا می کنند.

- **لوله های جداری (Casing) :**

لوله های جداری وظایف مختلفی را برعهده دارند به عنوان مثال جدا کردن سازند های مختلف از یکدیگر، جلوگیری از امتزاج سیالات سازند های مختلف و غیره. این لوله های جداری توسط سیمان به دیواره چاه می چسبند و از بالا نیز نگه داشته می شوند.

- **لوله هادی (Conductor pipe) :**

که دکل حفاری روی آن سوار می شود

- **لوله جداری سطحی (surface casing) :**

که مانع از امتزاج نفت و سیالات حفاری با سفره ی آب های زیرزمینی و آلوده شدن این آب ها می شود.

- **لوله های جداری میانه (Intermediate) :**

اگر خواستیم در مسیر حفاری ارتباط سازند ی را از سازند های دیگر جدا کنیم از آن استفاده می کنیم.

- **لوله جداری تولیدی (production casing) :**

که درقسمت مخزنی چاه نصب می شود و هنگام بهر ه برداری آن را سوراخ می کنند و از آن بهره برداری می کنند.

- **آستری (Liner) :**

این نوع لوله های جداری تا سطح کشیده نمی شوند بلکه تا پایین ترین قسمتی که لوله جداری قبلی گذاشته شده است ادامه دارد.

www.Prozhe.com

▪ فوران گیرها (**BOP) (blow out preventor**) :

فوران گیر ابزاری است که از یک بدنه اصلی و تعدادی شیر کنترل تشکیل شده است و طی عملیات حفاری روی سرآخرین لوله جداری که در چاه رانده شده بسته می شود. بخش های مختلف فوران گیر شامل شیرهای ورودی و خروجی گل، شیر ورودی سیمان، shear rams و Blind rams و annulus preventor است.

▪ **Platform** :

دکل های ثابتی هستند که بعد از حفاری دیگر کاربرد ی ندارند و نمی توان آن ها را حمل و منتقل کرد.

▪ **Jack - up** :

در این نوع ارتفاع platform (سکوی حفاری) قابل تنظیم است و می توان با توجه به ارتفاع موج های دریا که در منطقه ایجاد می شود، سطح سکوی حفاری را بالا یا پایین آورد.

▪ **kick** :

به شرایطی گفته می شود که به علت زیادبودن فشار سازند های حفاری شده نسبت به فشار هیدرواستاتیک ستون گل، سیال سازند وارد چاه شود.

▪ فوران(**Blow out**) :

در صورتی که پس از پیدایی kick، این شرایط کنترل نشود و سیال پر فشار به سطح زمین برسد، باعث ایجاد فوران و در برخی مواقع آتش سوزی می شود.

www.Prozhe.com

▪ کشتن چاه (Well Killing) :

روش های جلوگیری از راه یافتن سیال سازند به سطح زمین و فوران را روش های کشتن چاه (Well Killing) می گویند.

▪ مانده (Fish) :

قطعاتی نظیر تکه های لوله حفاری، تکه های مته و یا ابزارهای دیگر که بنابه هر دلیل درون چاه سقوط کرده و یا در میانه چاه گیر کرده اند و ادامه عملیات حفاری را مختل می نمایند.

فصل دوم

2-حفاری زیر تعادلی (UBD) :

در حفاری زیر تعادلی (UBD) فشار سیال حفاری عملا کمتر از فشار روزنه های سیالات سازند نگه داشته می شود، در نتیجه در مواجهه با سازند های نفوذپذیر، سیال سازند اجازه نفوذ به درون چاه در حال حفاری را پیدا می کند. در این روش تجهیزات و روش های خاصی برای کنترل جریان سازند در حفاری زیر تعادلی مورد نیاز است. اما این روش مزیت های قابل ملاحظه ای نسبت به حفاری معمولی دارد .

یکی از راه‌های اصلی برای به دست آوردن بازدهی بالا در حفاری چاه‌ها و نیز تکمیل و تعمیر چاه‌های جدید و قدیم بدون صدمه زدن به سازند، حفاری زیرتعادلی می باشد. پیشرفت ادوات و فناوری در سال‌های اخیر، این عمل را اقتصادی کرده و مشکلات زیادی از حفاری را حل نموده است.کاستن از ضایعات حفاری و متعاقب آن جلوگیری از صدمه دیدن سازند، افزایش تولید نفت و گاز و در نهایت بهینه نمودن تولید از امتیازات حفاری زیرتعادلی است.

هم اکنون امکان انجام عملیات حفاری در میادین کرنج و پارسی به روش معمولی فرا-تعادلی کاملاً از بین رفته است و با اینکه میزان شاخص بهره‌دهی در این میادین بسیار زیاد می باشد و پتانسیل خوبی برای تولید نفت دارند، امکان دسترسی به لایه‌های تولیدی وجود ندارد و نیاز به حفاری زیرتعادلی کاملاً محسوس می باشد.

www.Prozhe.com

اگرچه بعضی از اشکال عملیات حفاری زیرتعادلی نظیرحفاری با هوا، حفاری با گل هوا زده و... بیش از نیم قرن است که مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی روش حفاری زیرتعادلی در مخزن به شکل مدرن آن از سال 1997 میلادی در دریای شمال آغاز گردید. مزیت‌های بسیار زیاد این روش حفاری در مخازن نظیر افزایش سرعت حفاری، پایین آوردن مخارج، عدم استفاده از گل های سنگین، جلوگیری از صدمه دیدن سازند و... باعث شده است که سالانه 18 درصد به چاه‌هایی که با این روش حفاری می شوند افزوده گردد. در سال 1375 حدود 3000 حلقه چاه در دنیا بصورت زیرتعادلی حفاری شد و این تعداد در سال 2005 میلادی به 12هزار حلقه افزایش یافت.

مطالعات در خصوص به کارگیری روش حفاری زیرتعادلی مخزن برای میادین نفتی ایران از سال 1377 آغاز شد. در سال 2002 میلادی این مطالعات به صورت ویژه و کاربردی با هماهنگی مدیریت امور مهندسی شرکت ملی حفاری ایران و اساتید محترم دانشکده فنی دانشگاه تهران(گروه مهندسی مخازن هیدروکربوری و مکانیک) ادامه یافت که در نتیجه تجهیزات و ماشین آلات مورد نیاز طراحی و انتخاب گردیدند و در دی ماه سال 1383 برای اولین بار در کشور، تکنولوژی حفاری زیرتعادلی مخزن در چاه شماره 333 میدان گچساران بدست متخصصین داخلی و پرسنل شرکت ملی حفاری ایران با موفقیت کامل بکار گرفته شد.

2-1 : اهمیت و نقش حفاری زیرتعادلی :

حفاری زیرتعادلی به دلیل مزایای فراوان به‌طور مداوم در صنعت نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. بزرگترین مزیت شناخته‌شده حفاری زیرتعادلی کاهش آسیب پوسته به سازند حین عملیات حفاری است. در کنار آن مزایای فراوان دیگری همچون کاهش هرزروی گل ، افزایش نرخ نفوذ مته، افزایش عمر مته، کاهش احتمال گیر اختلاف فشاری، کاهش نیاز به عملیات تحریک‌چاه و بهبود کیفیت ارزیابی سازند نیز وجود دارند. اگرچه حفاری زیرتعادلی دارای این مزایاست اما این مساله که کدام‌یک از این مزایا قابل دستیابی است به مخزن مورد نظر و چاه حفاری شده بستگی دارد.

از سال 1278 خورشیدی که اولین چاه نفت ایران در مسجد سلیمان حفاری شد تاکنون، کلیه روش‌های به کار گرفته شده برای انجام عملیات حفاری و تکمیل چاه‌ها به صورت حفاری فراتعادلی بوده است. در این روش به دلیل بیشتر بودن فشار ته چاهی سیال حفاری از فشار سازند، همیشه هجوم سیال حفاری به درون سازند وجود دارد. ضایعات حاصل از این هجوم در سازندهایی که بالای پوش سنگ قرار دارند، در فرایند تولید هیدروکربن تأثیر به سزایی ندارند، ولی باعث افزایش بیش از حد هزینه‌های

www.Prozhe.com

حفاری می‌گردند. امّا این ضایعات در سازندهای زیر پوش سنگ که حاوی هیدروکربن هستند، به شدت باعث آسیب دیدگی غیرقابل جبران سنگ مخزن و در نهایت کاهش شاخص بهره‌دهی چاه می‌شوند.

برای جلوگیری از این آسیب دیدگی‌ها می‌بایستی از هجوم سیال حفاری به درون سازند، یعنی هرزروی آن جلوگیری نمود. برای این کار باید فشار ته چاه، کمتر از فشار سازند نگه داشته شود. این روش، حفاری زیرتعادلی نامیده می‌شود.

میادین نفتی ایران در اثر سال‌ها تولید متوالی از مخزن، دچار افت فشار متوسط مخزن گردیده‌اند که نامزد خوبی برای حفاری زیرتعادلی به شمار می‌آیند. از جمله می‌توان به میادین گچساران، بی‌بی حکیمه، کرنج، پارسی، لب سفید، دهلران، دانان، سرکان و مالکوه اشاره نمود. مخازن نفتی این میادین اکثراً دارای شکاف‌های طبیعی هستند و میزان تراوایی و تخلخل سنگ مخزن در دامنه نسبتاً خوبی قرار دارند، ولی فشار آن‌ها در اثر تولید به حدی کاهش یافته که هنگام حفاری به روش معمولی تمام سیال حفاری به درون مخزن هجوم می‌برد و علاوه بر ایجاد آسیب‌های بسیار زیاد به مخزن، امکان ادامه عملیات حفاری را از بین می برد. هم اکنون امکان انجام عملیات حفاری در میادین کرنج و پارسی به روش معمول فراتعادلی کاملاً از بین رفته است و با این که میزان شاخص بهره‌دهی در این میادین بسیار زیاد می‌باشد و پتانسیل خوبی برای تولید نفت دارند، امکان دسترسی به لایه های تولیدی وجود ندارد و نیاز به حفاری زیرتعادلی کاملاً محسوس می‌باشد. در میادین گچساران و بی‌بی حکیمه نیز که مخازن نفتی آن‌ها جزء مخازن شکافدار طبیعی هستند، امکان انجام عملیات حفاری تا انتهای چاه وجود ندارد. عملیات حفاری در فواصل انتهایی چاه معمولاً بدون برگشت سیال حفاری صورت می‌گیرد که در بعضی حالات رشته حفاری درون چاه، گیر می‌کند و آزاد نمی‌شود و منجر به بریدن و عملیات مانده‌یابی و صرف هزینه‌های گزاف می‌شود. مزایای بسیار زیاد حفاری به روش زیرتعادلی در مخازن، مانند سرعت زیاد حفاری، کاهش هرزروی گل، طولانی شدن عمر مته‌های حفاری، عدم استفاده از گل‌های سنگین، و جلوگیری از صدمه دیدن باعث شده است که سالانه 18 درصد به چاه‌هایی که با این روش حفاری می‌شوند، افزوده شود.

2-2 : مروری بر مطالعات انجام شده در حفاری زیر تعادلی :

اولین پایان‌نامه در زمینه حفاری زیرتعادلی در ایران، توسط آقای مهندس سید محسن موسوی، در دانشکده فنی دانشگاه تهران در سال 1383 انجام شده است. همچنین اولین مقاله منتشر شده درباره امکان‌سنجی حفاری زیرتعادلی در میادین نفتی ایران، توسط آقای دکتر شادی‌زاده ارائه شده که در آن، با توجه به داده‌های هرزروی گل، اسیدکاری، اطلاعات نفوذپذیری و مسائل اقتصادی به امکان‌سنجی حفاری زیرتعادلی در میادین نفتی ایران پرداخته شده است.

همچنین آقایان مهندس حسن فراهانی و مهندس ابوالفضل قلی‌زاده طی دو پایان‌نامه جداگانه، به بررسی امکان استفاده از فنّاوری حفاری زیرتعادلی در دو میدان نفتی جنوب غربی ایران، با استفاده از بررسی پایداری چاه و تعیین پوش عملیاتی حفاری

www.Prozhe.com

زیرتعادلی پرداخته‌اند. از آنجا که هریک از این دو، تنها به بررسی یکی از موارد فوق پرداخته و نتایج به دست آمده در هر میدان، تنها حاصل از یک نوع امکان‌سنجی است، لذا به نظر می‌رسد، روش‌های اتخاذ شده برای دستیابی به یک نتیجه جامع کافی نیست. علاوه بر این، حساسیت سنگ مخزن به سیال حفاری و تاثیر استفاده از این فنّاوری بر روند تولید نفت، در هیچ‌یک از منابع اشاره شده، مورد بررسی قرار نگرفته است.

در این پایان‌نامه سعی شده تا با گردآوری و اعمال تمامی روش‌های امکان‌سنجی فوق‌الذکر در یک میدان، و رفع کاستی‌های موجود، خصوصا مواردی همچون حساسیت سنگ مخزن به سیال حفاری و تاثیر کاربرد این فنّاوری بر دبی تولید، که در تحقیقات پیشین مورد توجه قرار نگرفته‌اند، روند جامع‌تری برای امکان‌سنجی حفاری زیرتعادلی در میادین نفتی ایران ارائه گردد.

2-3 : حفاری زیرتعادلی چیست؟

هنگامی که فشار موثر گردش سیال حفاری یعنی فشار ایستایی ستون سیال + فشار پمپ + فشار اصطکاکی تعمدا کمتر از فشار موثر سیال درون سازند در نزدیکی چاه باشد، سیال سازند به درون مخزن نفوذ کرده و در سطح تولید می‌شود، که به این فنّاوری،حفاری زیرتعادلی گفته می‌شود. به طور معمول، چاه‌های نفت و گاز با فشاری بیش از فشار سازند حفاری می‌شوند که این حالت باعث ایجاد امکان کنترل چاه می‌شود.

فشار وارد بر چاه از سه مکانیزم مختلف حاصل می‌شود:

1. فشار ایستایی مواد درون چاه که ناشی از چگالی سیال مورد استفاده (گل حفاری) و چگالی حاصل از کنده‌های حفاری است.
2. فشار جنبشی حرکت سیال ناشی از سیستم گردشی سیال مورد استفاده و حرکت نسبی که ناشی از پیچش و تلاطم لوله‌های‌حفاری است.
3. فشار تحمیلی که به دلیل پوشانده شدن سطح لوله حفاری با گل و در نتیجه ایجاد یک ناحیه با اختلاف فشار می‌شود.

حفاری زیرتعادلی این‌گونه تعریف می‌شود که فشار ایستایی سیال تعمدا به گونه‌ای طراحی شود که کمتر از فشار سازند در حال حفاری باشد. فشار سیال مورد استفاده ممکن است به طور طبیعی کمتر از فشار سیال سازند باشد یا به صورت مصنوعی به این حالت درآید. حالت مصنوعی ممکن است با اضافه نمودن گاز طبیعی، نیتروژن با هوا به فاز مایع سیال حفاری ایجاد شود. به هر حال حالت زیرتعادلی چه طبیعی و چه مصنوعی باشد، نتیجه، نفوذ سیال موجود درسازند به درون چاه است که باید به‌وسیله

www.Prozhe.com

گردش گل، از درون چاه خارج و در سطح زمین کنترل شود. حفاری زیرتعادلی در شرایط عملی منجر به جریان سیال از یک یا چند بخش سازند به درون چاه می‌شود، که بیشتر شبیه جریان متقاطع از یک بخش از سازند است. اما پتانسیل این چنین جریانی از آنجاست که کمتر بودن فشار ایستایی مانع از تشکیل کیک گل بر روی سازند و نفوذ گل و خرده‌های حفاری به درون سازند می‌شود. این مساله باعث بهبود بهره‌دهی و کاهش مشکلات مرتبط با حفاری می‌شود. هنگامی که حفاری زیرتعادلی با حفاری فراتعادلی مقایسه می‌شود، روشن است که نفوذ سیال سازند باید کنترل گردد تا از ایجاد مشکلات کنترل چاه پیشگیری شود. در حفاری زیرتعادلی برای کنترل چاه، سیال بازگشتی از چاه به یک سیستم بسته در سطح هدایت می‌شود . براین اساس سیستم فوران‌گیر در هنگام حفاری بسته نگاه داشته می‌شود. در حالی‌که در مقایسه با سیستم معمول حفاری، سیالات حفاری وارد یک سیستم بسته می‌شوند و چاه در معرض فشار جو قرار دارد.

2-4 : انواع روش‌های حفاری

در این بخش حالت‌های مختلف حفاری از نظر مقایسه فشار سیال حفاری با فشار سیال مخزن را مورد توجه قرار می‌گیرند.

1- حفاری فراتعادلی:

در این نوع حفاری، فشار ایستایی اعمال شده توسط ستون عمودی سیال حفاری در بالای سازند موردنظر از فشار سازند بیشتر است. این عمل سبب می‌شود که چاه کنترل شده و موجب عدم بازگشت سیال سازند به سطح و عدم اعمال فشار بازگشتی به سطح توسط سازند شود. هم اکنون این روش به صورت معمول برای حفاری اغلب چاه‌ها در سراسر دنیا استفاده می‌شود.

2- حفاری کم فشار:

در این نوع حفاری، تلاش بر این است تا جایی که به میزان کم یا به طور متوسط فشار به صورت فراتعادلی باشد. به منظور حفظ کنترل چاه، جریان یا فشار نباید به سمت سطح وجود داشته باشد همچنین باید از مقدار فشار فراتعادلی که بر سازند اعمال می شود، کاسته شود. اما این روش غالباً در سازندهای تخلیه شده و کم‌فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملیات حفاری کم فشار در برخی موارد با استفاده از سیستم‌های پایه آبی کم‌چگال بدون مواد جامد، سیستم‌های پایه روغنی سبک یا نسبتاً سنگین یا سیستم های پایه آبی یا آب گازدار انجام می‌شود که در این حالات چگالی به اندازه کافی برای حفظ فشار فراتعادلی مورد نظر بالا بوده ولی در عین حال فشار فراتعادلی کل نیز کاهش یافته است.

3- حفاری متوازن:

در این نوع حفاری متصدی عملیات تمام تلاش خود را برای حفظ توازن دقیق بین فشار سازند و مجموع فشار ایستایی و فشار اصطکاکی که سیال حفاری اعمال می‌کند به کار می‌بندد. به طور ایده‌آل، هیچ جریانی نباید به سمت سطح وجود داشته باشد. با

www.Prozhe.com

این حال حفظ و کنترل چنین فشار ظریفی، به خصوص در عملیات‌های پیچیده و طولانی، مانند چاه‌های حفاری افقی غیرممکن بوده و درنتیجه در برخی از قسمت‌های چاه عملیات تا حدی، هم فراتعادلی و هم زیرتعادلی خواهد شد.

4-حفاری با جریان سیال:

حفاری با جریان سیال به نوعی حفاری گفته می‌شود که در آن، سازند فشار کافی برای ایجاد شرایط زیرتعادلی در تمام یا بخشی از چاه با استفاده از سیال حفاری پایه آبی یا پایه روغنی معمولی دارد. این شرایط در برخی سازندهای دارای فشار بالا با استفاده از گل پایه آبی و در برخی از سازندهای کم فشار با استفاده از گل کم چگال‌تر پایه روغنی می‌تواند ایجاد شود. حفاری با جریان سیال گاهی حفاری بدون کنترل نامیده می‌شود، زیرا متصدی عملیات کنترل مستقیمی بر چگالی سیال، جز هنگام استفاده از دانه های پرچگال برای کنترل فشار ندارد.

5- حفاری زیرتعادلی:

در این نوع حفاری فشار سیال حفاری به‌کار گرفته شده در محل تماس با سازند کمتر از فشار مؤثر سیال سازند می‌باشد. در این روش اجازه داده می‌شود در قسمت‌هایی که به عنوان نواحی تولیدی مخزن شناخته می‌شوند جریان نفت، آب یا گاز که ممکن است در توده سنگ با هم ترکیب شده باشند به درون چاه راه یابند. این سیالات به همراه گردش سیال حفاری به سطح منتقل می شوند.

www.Prozhe.com

2-5 : انتخاب سیستم حفاری زیرتعادلی

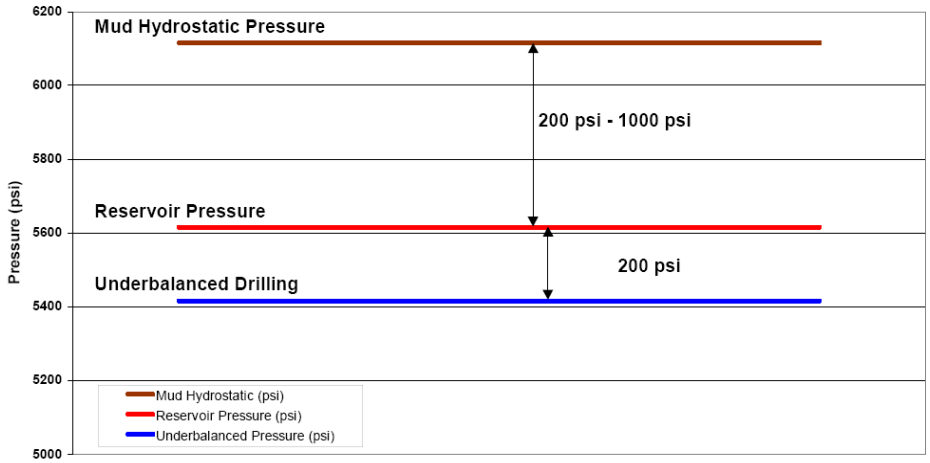
برای انتخاب روش زیرتعادلی، چهار مرحله اصلی می‌توانند به منظور تعیین گزینه‌ها و تجهیزات مورد نیاز برای یک چاه زیر تعادلی به کار روند.

1. **تعیین فشار ته‌چاهی مورد نیاز.**
2. **تعیین گزینه‌های گل حفاری.**
3. **طراحی چاه و مدل‌سازی جریان.**
4. **انتخاب تجهیزات سطحی.**

1- فشار ته‌چاهی مورد نیاز

در حفاری فراتعادلی وزن گل باید به گونه‌ای انتخاب شود که فشار ایستایی 200 تا 1000 پوند بر اینچ مربع بیشتر از فشار مخزن را فراهم نماید. در حفاری زیرتعادلی سیالی انتخاب می‌شود که فشار ایستایی 100 تا 200 پوند بر اینچ مربع کمتر از فشار اولیه مخزن را ایجاد کند. این محدوده اولین مرحله از روند انتخاب سیستم حفاری است. شکل 1 مقایسه حفاری زیرتعادلی و فراتعادلی را از نظر فشار سیال حفاری نشان می‌دهد. در امکان‌سنجی، این مرحله باید با توجه به درون‌ریزی مخزن مفروض و افت فشاری معادل 200 پوند بر اینچ مربع با موشکافی مورد بررسی قرار گیرد. نگاهی دقیق‌تر به هیدرولیک حفاری ممکن است نشان دهد که افت فشار 200 پوند بر اینچ مربع کافی نبوده و چاه ممکن است در حین گردش گل به حالت فراتعادلی درآید. در این حالت سیال گردشی باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

www.Prozhe.com



شکل 1- مقایسه حفاری زیرتعادلی و فراتعادلی از نظر فشار سیال حفاری.

2-6 : سیستم‌های سیال حفاری

انتخاب صحیح سیستم سیال مورد استفاده در حفاری زیرتعادلی کلید اصلی اجرای موفقیت آمیز حفاری زیرتعادلی است. لذا نگاهی موشکافانه‌تر به سیستم‌های سیالات مورد استفاده در حفاری زیرتعادلی خواهیم داشت.

1- سیالات گازدار و تراکم‌پذیر (دوفازی)

حفاری با سیالات تراکم‌پذیر، در اصل تکنیکی از حفاری است که در آن سیالات معمول حفاری یعنی آب یا گل به‌وسیله گازهای تراکم‌پذیر جابه‌جا می‌شوند یا گاز در آن‌ها تزریق می‌شود. این گازها از عهده بیشتر وظایف سیال حفاری برمی‌آیند. قابلیت استفاده از سیالات تراکم‌پذیر تنها به مجموعه‌ای خاص از شرایط سنگ‌شناسی و فشار سازند محدود می‌شود. همچنین موجب صرفه‌جویی فراوانی در زمان دکل و هزینه انجام می‌شود بدون اینکه نیازی به تجهیزات اضافی باشد. سیالاتی که در این نوع حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: هوا، مه و کف.

در حفاری فراتعادلی رایج، سیال حفاری چند وظیفه اصلی را به عهده دارد؛ به‌عنوان مثال روغن‌کاری، خنک کردن، انتقال کنده های حفاری شده، کنترل فشار ته‌چاهی و ایجاد اندود گلی برای کنترل نفوذ سیال و جامدات به درون سازند. برای انجام کارهای فوق چندین ماده شیمیایی باید به سیال پایه اضافه شود مانند:

www.Prozhe.com

- **مواد سنگین برای اطمینان از کنترل چاه.**
- **مواد ایجاد کننده اندودگلی برای به حداقل رساندن هرزروی سیال.**
- **مواد شیمیایی و گرانروکننده‌ها برای اطمینان از خوب تمیز شدن چاه.**

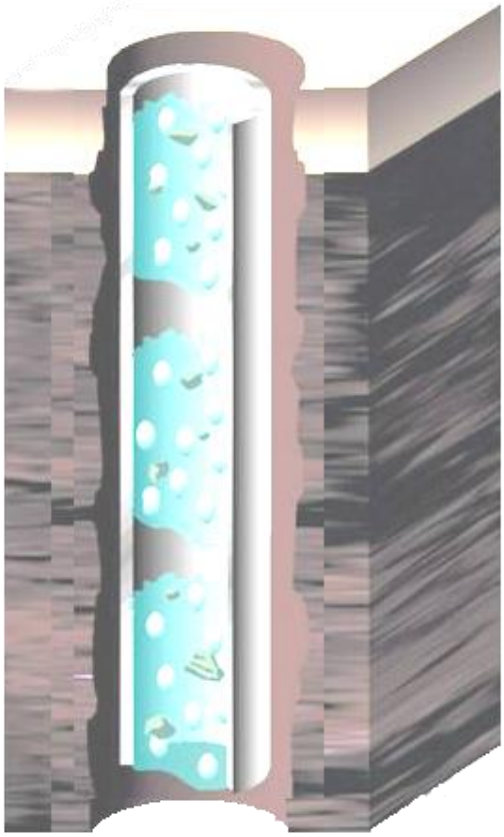
طراحی سیال حفاری برای انجام عملیات زیرتعادلی با طراحی سیال حفاری رایج که وظایف متفاوتی دارد کاملاً فرق می‌کند. چون در حفاری زیرتعادلی هرزروی سیال نداریم، نیازی به اضافه کردن مواد ایجاد کننده اندودگلی نیست. ترکیب هیدروکربن تولیدی از مخزن با سیال حفاری عموماً باعث افزایش سرعت‌های دالیزی می‌شود. پیامد افزایش سرعت‌های دالیزی، بهبودی تمیزی چاه است. و درنتیجه به افزودن گرانروکننده‌ها نیاز کمتری می‌باشد. ممکن است بستگی به فشار مخزن و میزان افت فشار مورد نیاز، به اضافه کردن مواد سنگین احتیاج باشد.

حفاری با سیال گازدار جدیدترین فنّاوری است که در آن سیال پایه آبی یا روغنی با یک گاز همچون هوا، گاز طبیعی و در اغلب موارد نیتروژن مخلوط شده تا چگالی مؤثر کل سیستم را کاهش دهد و شرایط ته‌چاهی را به صورت زیرتعادلی درآورد. این نحوه حفاری زیرتعادلی تا حدی به متصدی امکان کنترل فشار ته‌چاهی را با تغییر مقدار گاز تزریقی و در نهایت تغییر چگالی ستون سیال حفاری هنگام مواجهه با شرایط فشاری مختلف سازندها که اغلب در چاه‌های طویل افقی مشاهده می‌شود می‌دهد. وقتی درون‌ریزی آب به اندازه‌ای زیاد باشد که با روش‌های حفاری با مه یا کف قابل خارج کردن نیست یا وقتی فشار ایستایی بالاتری برای حفظ پایداری چاه مورد نیاز است، می‌توان از سیال گازدار استفاده کرد تا شرایط زیرتعادلی حاصل شود.

حمل کنده‌های حفاری‌شده توسط خواص فاز مایع کنترل می‌شوند. نرخ بهینه مایع و گاز توسط پارامترهای درون‌چاهی مانند شکل چاه، خواص گل، بازدهی پمپ، دما، نرخ هرزروی و سطح آب در چاه کنترل می‌شود. دامنه نرخ‌های سیال حفاری در حال چرخش از 0/3 الی 0/8 متر مکعب بر دقیقه برای سیالات پایه و 30 تا 60 متر مکعب بر دقیقه برای گاز تغییر می‌کنند. سیالات مورد استفاده در سیستم‌های مایع گاز دار باید طوری انتخاب شوند که در صورت نفوذ سیال به مخزن، آسیب دیدگی سازند به حداقل برسد.

هنگام استفاده از سیالات گازدار، احتمال خوردگی بسیار زیاد است و باید استفاده از خاصی اسیدی بالا و بازدارنده‌های خوردگی مد نظر قرار گیرد. چگالی‌های مایعات گازدار معمولاً بسته به نرخ مایع و گاز (حجم گاز در شرایط درون چاهی معمولاً زیر 55 درصد حجمی نگه داشته می‌شود) از 3/25 تا 7 پوند بر گالن تغییر می‌کند. استفاده از سیال گازدار در حفاری سنگ‌های آهکی ودولومیتی حفره‌دار می‌تواند مناسب باشد. در شکل 2 نمایی از حفاری با سیال سبک‌شده به وسیله تزریق گاز نشان داده شده است.

www.Prozhe.com



شکل 2- نمایی از حفاری با سیال سبک‌شده به‌وسیله تزریق گاز.

www.Prozhe.com

2- سیالات گازی:

این سیالات در واقع سیستم‌های گازی هستند. در حفاری‌های زیرتعادلی اولیه از هوا برای حفاری استفاده می‌شد. امروزه حفاری با هوا هنوز در حفاری سنگ‌های سخت یا حفاری چاه‌های آب استفاده می‌شود. استفاده از هوا در سازندهای حاوی هیدروکربور به دلیل ترکیب اکسیژن و گاز طبیعی و امکان ایجاد ترکیبات قابل انفجار توصیه نمی‌شود. گزارش‌های زیادی از مواردی که انفجار درون چاه باعث ویرانی رشته حفاری گردیده وجود دارد. همچنین در صورت رسیدن این ترکیب به سطح، پتانسیل آتش گرفتن دکل وجود دارد. لذا به منظور اجتناب از خطر احتمالی، به ناچار گاز مورد استفاده تغییر کرد و از نیتروژن استفاده شد. تجربه نیتروژن در عملیات مختلف مهندسی نفت، باعث شد تا به عنوان اولین انتخاب برای عملیات زیرتعادلی مطرح گردد. اما استفاده از نیتروژن برودتی یا تانکر نیتروژن مایع در عملیات حفاری زیرتعادلی به دلیل مسایل حمل و نقل و همچنین مقادیر بسیار فراوان نیتروژن مورد نیاز برای عملیات حفاری زیرتعادلی دچار محدودیت است. گزینه دیگری که وجود دارد، استفاه از گاز طبیعی است که در صورت در دسترس بودن، ارزش خود را در عملیات‌های متناوب به اثبات رسانیده است. در صورتی که یک مخزن گازی به صورت زیرتعادلی حفاری شود، یک چاه تولیدی یا خطوط لوله انتقال می‌تواند گاز طبیعی را در فشار مورد نیاز، برای حفاری تامین نماید. این روش از در معرض اکسیژن قرار گرفتن چاه جلوگیری می‌کند. و در صورت در دسترس بودن می‌تواند یک سیستم حفاری ارزان را ایجاد کند. گازهایی که در عملیات زیرتعادلی استفاده می‌شود به شرح زیر است:

- هوا.
- نتیروژن برودتی.
- نیتروژن تولید شده از غشاء اسمزی.
- گاز طبیعی.

1- حفاری با هوا:

دسترسی آسان و ارزان باعث شده که برای سالهای زیادی در عملیات حفاری از هوا به طور مداوم استفاده شود. با این حال، در اغلب عملیات‌های زیرتعادلی هوا به دلیل محدودیت‌های زیر، یک انتخاب مناسب نیست :

- احتمال بالقوه آتش‌سوزی و انفجار درون چاهی و سطحی به دلیل احتراق خود به خودی بین اکسیژن و گازهای قابل اشتعال تولید شده از سازند.

www.Prozhe.com

- مخلوط‌های آب، هوا، آب نمک به خصوص اگر همانطور که در اغلب آب‌های تولیدی سازند رایج است مقدار کلرید بالا باشد، و حتی مقادیر کم دی‌اکسیدکربن یا سولفید هیدروژن می‌تواند باعث خوردگی شدید بین سیالات حفاری در حال چرخش و رشته حفاری، موتورها، رشته‌های جداری بالای چاه و تجهیزات سطحی شود.

- هوا می‌تواند با هیدروکربن‌های مایع همچون نفت‌ها و میعانات گازی که از چاه تولید می‌شوند، واکنش دهد. نتیجه این واکنش اکسایش و اتصال عرضی است که باعث رسوب آسفالتین در سیستم جداساز حلقوی یا سطحی در حال چرخش می‌شود. کنده‌های حفاری شده به‌واسطه انتقال توسط گاز پرسرعت در حدود 3000 فوت بر دقیقه فرسوده شده و توسط رشته حفاری خرد می‌شود تا اینکه به صورت غبار در سطح مشاهده می‌شود. حفاری با گاز خشک سریع‌ترین نرخ نفوذ را ایجاد می‌کند. مهم ترین دلایل استفاده از هوا به عنوان سیال حفاری به شرح زیر است:

- حذف یا کاهش آسیب دیدگی سازند.
- کاهش مشکلات حفاری مانند گیر اختلاف فشاری و هرزروی گل حفاری.
- افزایش قابل توجه نرخ نفوذ تا ده برابر یا بیشتر و افزایش عمر مته حفاری.

هنگام حفاری سازندهای خشک یا وقتی که درون‌ریزی آب به اندازه‌ای کم باشد که توسط جریان هوا قابل جذب باشد، از این روش استفاده می‌شود. هنگام مواجهه با درون‌ریزی قابل توجه آب، سازندهای پرفشار و پرتراوایی که برای کنترل فوران از گل سنگین باید استفاده شود. در سازندهای غیریکپارچه که مشکل پوسته‌ای شدن در آن‌ها وجود دارد و سازندهایی که به واسطه سرعت بالای گاز، چاه، به طور ناخواسته با فرسایش روبرو شده است، استفاده از روش حفاری با گاز خشک پیشنهاد نمی‌شود. این روش حفاری مشکلات و محدودیت‌هایی را نیز با خود به همراه دارد:

- نمونه‌گیری از کنده‌های حفاری پودر شده باعث ارزیابی ضعیف زمین‌شناسی و کنترل‌چاه‌ها می‌شود.
- مسائل مربوط به کنترل چاه در نواحی پرفشار.
- افزایش خطرات آتش سوزی و انفجارهای درون چاهی.
- به دلیل تمیز نبودن چاه جریان آب می‌تواند باعث گیرکردن لوله شود. در موارد بدتر، کنده‌های حفاری شده ریزتر وقتی با آب مخلوط شوند نوعی سیمان تشکیل می‌دهند که به درون رشته‌های جداری می‌چسبند. این موقعیت می‌تواند منجر به عملیات طولانی و مشقت‌بار دیوار تراشی و در برخی موارد تخریب دیوار چاه شوند.
- تشکیل لعاب و صیقلی شدن نزدیک چاه به دلیل ضعف در تمیزی چاه و دمای بسیار بالای سنگ و مته.

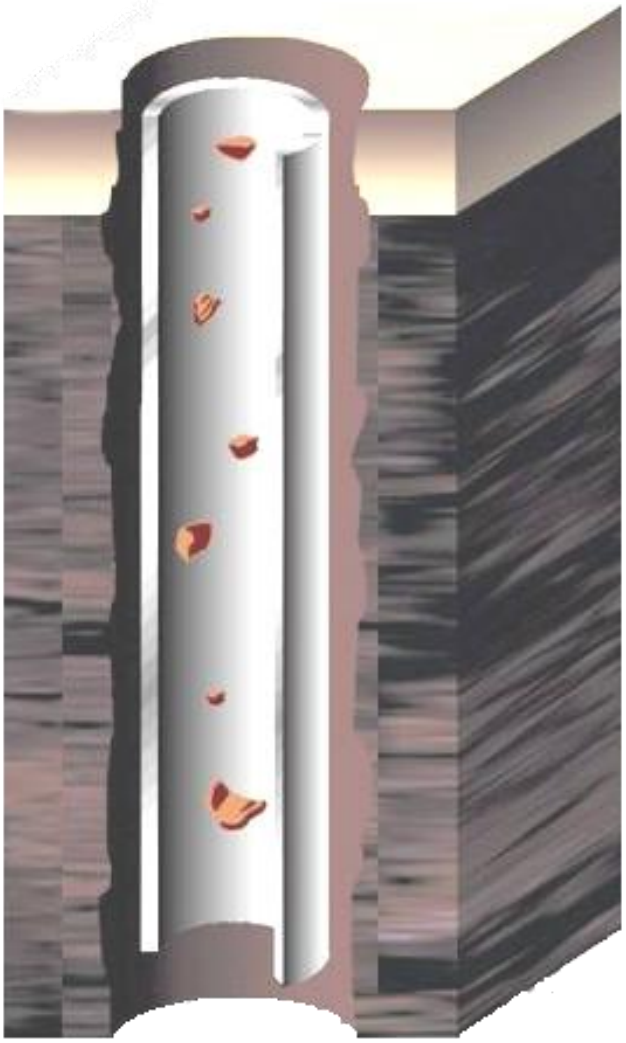
- خصوصیات حفاری با هوا:

www.Prozhe.com

- **نرخ بالای نفوذ مته.**
- **عمر بیشتر مته.**
- **سیمان‌کاری مناسب پس از عملیات.**
- **تولید بهتر.**
- **نیازمند حداقل نفوذ آب.**
- **اتکا به سرعت دالیز برای جابه‌جایی کنده‌های حفاری.**

در شکل 3 نمایی از انتقال کنده‌های حفاری به وسیله هوا نشان داده شده است.

www.Prozhe.com



شکل 3- نمایی از انتقال کنده‌های حفاری به‌وسیله هوا.

2-نیتروژن مایع:

نیتروژن مایع رایج‌ترین سیال مورد استفاده در عملیات زیرتعادلی تا به امروز است. فرایند سرمازایی از هوای خیلی سرد برای تولید نیتروژن مایع استفاده می‌کند. مقادیر زیادی از نیتروژن مایع در دمای پایین و به صورت مایع قابل انتقال به محل است. این

www.Prozhe.com

ماده به مجموعه تبخیر کننده گرمایی فرستاده می‌شود که در آنجا نیتروژن مایع به گاز نیتروژن خالص تبدیل می‌شود در حالی‌که بالا بردن فشار توسط جداساز تا هر مقدار مورد نظر بستگی به شرایط کنترل شده و حجم مایع گرم شده، می‌تواند نیاز به متراکم کردن پرهزینه و به میزان زیاد گاز را برای تزریق به چاه حذف کند. نیتروژن مایع اساساً خالص است و مزایای زیادی دارد که آن را برای حفاری زیرتعادلی به یک انتخاب مناسب تبدیل می‌کند. مثلاً غیرسمی و غیرقابل اشتعال است، خورندگی ندارد، حلالیت خیلی کمی در آب و سیالات پایه نفتی دارد و واکنش‌پذیری قابل توجهی با هیدروکربن‌های مایع ندارد. از معایب ابتدایی نیتروژن مایع برای استفاده در حفاری زیرتعادلی به دلیل مقادیر زیادی که به‌ویژه برای استفاده در چاه‌های افقی دامنه وسیع مورد نیاز است، هزینه آن می‌باشد. نیتروژن مایع می‌تواند تا 30 الی 40 درصد کل هزینه چاه را در بر بگیرد و ممکن است از نظر اقتصادی روی عملیات زیرتعادلی تأثیر قابل توجهی بگذارد.

3- گاز طبیعی:

در صورتی که گاز طبیعی به سهولت در دسترس باشد، یک سیال مفید از منظر هزینه می‌باشد و می‌تواند به‌عنوان فاز گاز برای ایجاد شرایط فشار زیرتعادلی به کار رود. یکی از فواید آشکار گاز طبیعی هزینه آن است و در فشارهای بالای خط لوله، ممکن است نیاز به متراکم کردن گاز برای فرستادن آن به سمت چاه حذف شود. چون قیمت‌های گاز طبیعی بسته به موقعیت جهانی کاملاً نوسان دارد، اقتصاد استفاده از آن در مقایسه با گازهای دیگر بسته به شرایط و قیمت ناحیه‌ای می‌تواند تغییر کند. گاز طبیعی شیرین، غیرسمی و غیرخورنده است و اگر اکسیژن برای ایجاد احتراق در سیستم نباشد، پتانسیل آتش‌سوزی انفجار درون‌چاهی حذف می‌شود.

3- حفاری با جریان گازی مه‌آلود:

اگر سیستم‌های گازی برای اضافه نمودن مقادیر کم مایع مناسب نباشند، سیستم مه‌آلود ایجاد می‌شود. سیالی که به محیط گازی اضافه می‌شود، به صورت قطرات بسیار ریز پراکنده می‌شود و یک سیستم مه‌آلود برای استفاده در حفاری ایجاد می‌کند. در حالت کلی این روش در محیط‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که برخی سازندها با استفاده از هوا در حفاری، ناسازگاری نشان می‌دهند.

در واقع این نوع حفاری نوعی از عملیات زیرتعادلی برای ایجاد شرایطی است که در آن، وزن بسیار پایین گل برای ایجاد حداقل فشار زیرتعادلی، همچون آنچه که برای سازندهای بسیار تخلیه شده مشاهده می‌شود، مورد نیاز است. یک سیال از پیش آماده شده مانند آب، همراه با یک ماده فعال سطحی با غلظت‌مناسب در سطح به گاز تزریق می‌شود؛ غلظت این سیال با روش آزمایش

www.Prozhe.com

و خطا تعیین می‌شود. این باعث تولید نوعی مه می‌شود که در آن ماده فعال سطحی به درون چاه منتقل شده، با آب سازند مخلوط و آب سازند و کنده‌های حفاری‌شده را به صورت قطراتی در جریان گاز برگشتی پخش می‌کند. نرخ سیال پایه 10 الی 100 لیتر بر دقیقه، همراه با تزریق گاز برای تولید مه می‌باشد. مقدار کم سیال موجود در سیستم سبب کاهش دمای مته حفاری و نیز تمیزی مته حفاری می‌گردد، که از بروز انفجار در صورت عدم وجود مایع جلوگیری می‌کند. حجم هوای مورد استفاده در حفاری با مه در حدود 30 الی 40 درصد بیشتر از حفاری با هوای خشک می‌باشد و به طور کلی در مورد مه از فشارهای 200 الی 400 و در مورد هوا از فشارهای 100 الی 300 پوند بر اینچ مربع استفاده می‌شود. چگالی‌های مه نسبت به فشار و دما تا 2 پوند بر گالن قابل تغییر است.

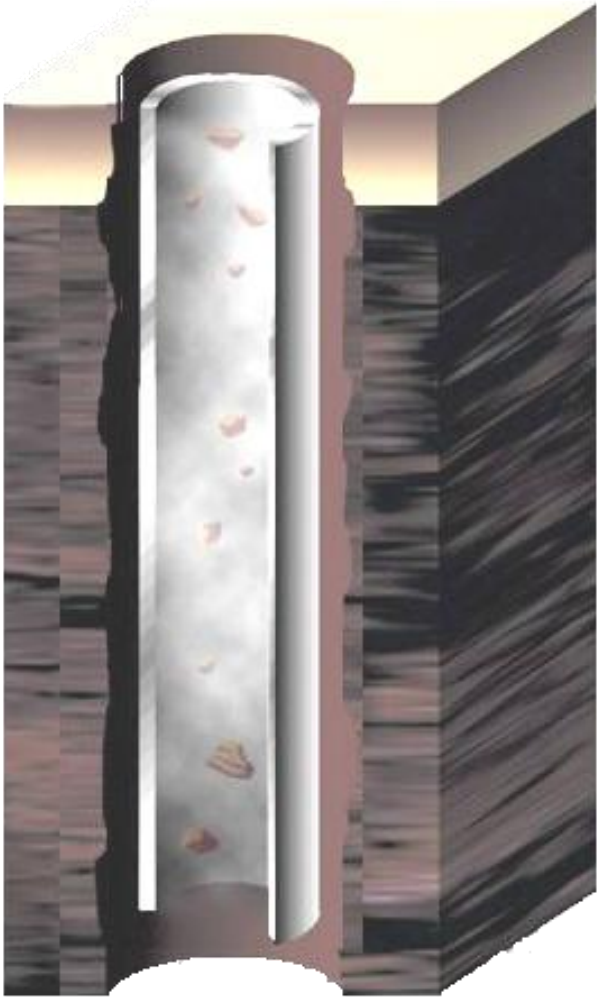
از مزایای این روش، سازگاری خیلی بالای آن با درون‌ریزی‌های جزئی آب و جلوگیری از تشکیل حلقه‌های گل می‌باشد. از محدودیت‌های این روش می‌توان به نیاز به حجم بالای گاز، خوردگی و اثر آن روی شیل‌ها اشاره کرد.

1- خصوصیات حفاری با جریان مه‌آلود:

- **مشابه حفاری با هواست؛ با این تفاوت که مقداری مایع به سیستم اضافه می‌شود.**
- **برای جابه‌جایی کنده‌های حفاری متکی به سرعت دالیز است.**
- **تشکیل حلقه‌های گل در اطراف رشته حفاری را کاهش می‌دهد.**
- **مقادیر حجمی بیشتری از سیال برای حفاری مورد نیاز است. (30٪ تا 40٪ بیشتر از حفاری با هوای خشک)**
- **در حالت کلی فشار بیشتر از حفاری با هوای خشک است.**
- **نسبت نامناسب هوا یا گاز به مایع منجر به جریان ضربه‌ای همراه با افزایش فشار وابسته به آن می‌شود.**

در شکل 4 نمایی از انتقال کنده‌های حفاری به‌وسیله جریان مه‌آلود نشان داده شده است.

www.Prozhe.com



شکل 4- نمایی از انتقال کنده‌های حفاری به‌وسیله مه.

www.Prozhe.com

4- حفاری با کف:

اگر مقادیر بیشتری مایع به همراه یک ماده کف‌زا به سیال اضافه شوند، کف پایدار تشکیل می‌شود. کف پایداری که برای حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، از نظر ساختاری شباهتی به کف اصلاح ندارد. این کف یک سیال حفاری به‌خصوص و مناسب با ظرفیت حمل بالا و چگالی پایین است. یکی از مشکلاتی که همواره دست به گریبان سیستم‌های معمول‌کف پایدار است، عملکرد این نوع کف در سطح و پس از بازگشت به سطح است. زیرا کف پایدار همان‌گونه عمل می‌کند که به نظر می‌رسد؛ یعنی حتی هنگامی که به سطح می‌آید پایدار باقی می‌ماند. در صورتی که کف به سرعت متلاشی نشود، می‌تواند روی دکل باعث ایجاد مشکلاتی گردد. در سیستم‌های قدیمی، مقدار کف‌زا باید به دقت آزمایش شده تا کف پیش از آن‌که در جداساز باقی بماند از بین برود. در سیستم‌های حفاری بسته، کف پایدار می‌تواند مشکلاتی به وجود آورد که شرح داده خواهد شد. سیستم‌های کف پایدار اخیر، آسان‌تر شکسته می‌شوند و مایع به‌دست آمده نیز به راحتی به کف تبدیل می‌شود. بنابراین عامل کف‌زای کمتری مورد نیاز بوده و سیستم حفاری بسته نیز قابل استفاده خواهد بود.

اگر چه حفاری با مه ، حفاری مستقیم با هوا را در بعضی موارد بهبود بخشیده است، با این حال هنوز هم درون‌ریزی آب سبب بروز مشکلات زیادی می‌شود، زیرا تبدیل شدن سیال حفاری از حالت آب در گاز به گاز در آب باعث کاهش توانایی سیال حاصله در حمل کنده‌های حفاری شده، خواهد شد. بنابراین در مواردی که حفاری گازی یامه قابل استفاده نیست، اما فشار درون چاهی پایینی برای شرایط زیرتعادلی مورد نیاز است، کف‌ها باید مورد استفاده قرار گیرند. کف‌های پایدار مخلوطی از آب تازه، مواد فعال سطحی، افزودنی‌های شیمیایی و گاز متراکم همچون هوا، نتیروژن، گاز طبیعی یا دی‌اکسید کربن می‌باشند که در آن حباب‌های گاز به طور یکنواخت در یک فاز مایع پیوسته پخش شده‌اند.

مزیت اصلی حفاری با کف توانایی بالای حمل کنده‌های حفاری می‌باشد. کنده‌های حفاری شده بعد از توقف چرخش برای مدت زمآن‌های طولانی می‌توانند معلق باشند. علاوه بر این، اگر فشار مخزن برای ایجاد حالت زیرتعادلی با یک مایع گازدار، خیلی پایین باشد، می‌توان از کف پایدار تولید شده با هوا یا نیتروژن استفاده کرد. خوردگی تجهیزات سطحی و درون‌چاهی در آن‌ها کمتر است، روغن‌کاری بهتری ایجاد می‌کنند، به انرژی کمتری برای پمپ کردن نیاز دارند و نسبت به گاز یا مه، بهتر می‌توانند آب تولید شده را خارج کنند. کف‌ها در صورت پایداری قادرند مشکل آتش‌سوزی در حفاری با هوا را با جدا کردن هر نوع هیدروکربن تولیدی از هوا و فراهم کردن آب برای خاموشی آتش، به حداقل برسانند.

www.Prozhe.com

مشکل اصلی این سیستم ، ناپایداری با افزودنی‌های شیمیایی سیال برگشتی از چاه می‌باشد. کف‌ها در تماس با نفت‌های خام تولیدی که به عنوان کف‌زدا عمل می‌کنند می‌توانند ناپایدار شوند. فرایند ناپایداری گاهی اوقات مانع گردش دوباره سیال حفاری در سیستم بسته می‌شود و اگر در یک سیستم باز استفاده شود، می‌تواند پتانسیل آتش‌سوزی را فراهم نماید. با این وجود، پیشرفت‌های اخیر در فنّاوری کف با استفاده از کنترل خاصیت اسیدی سیال پایه می‌تواند مشکلات گردش دوباره سیال حفاری را مرتفع کند.

کف‌های خیلی خشک با استفاده از بنتونایت و پلیمرها تهیه می‌شوند و هدف آن بهبود پایداری چاه و توانایی حمل کنده‌های حفاری شده است. در صورتی که هدف کاهش آسیب دیدگی سازند باشد، استفاده از بنتونایت و پلیمرها پیشنهاد نمی‌شود، چون این مواد می‌توانند بسیار آسیب‌زا باشند. موادی با آسیب‌زایی کمتر مانند کربنات کلسیم قادرند، خاصیت پایداری مورد نظر را فراهم کنند.

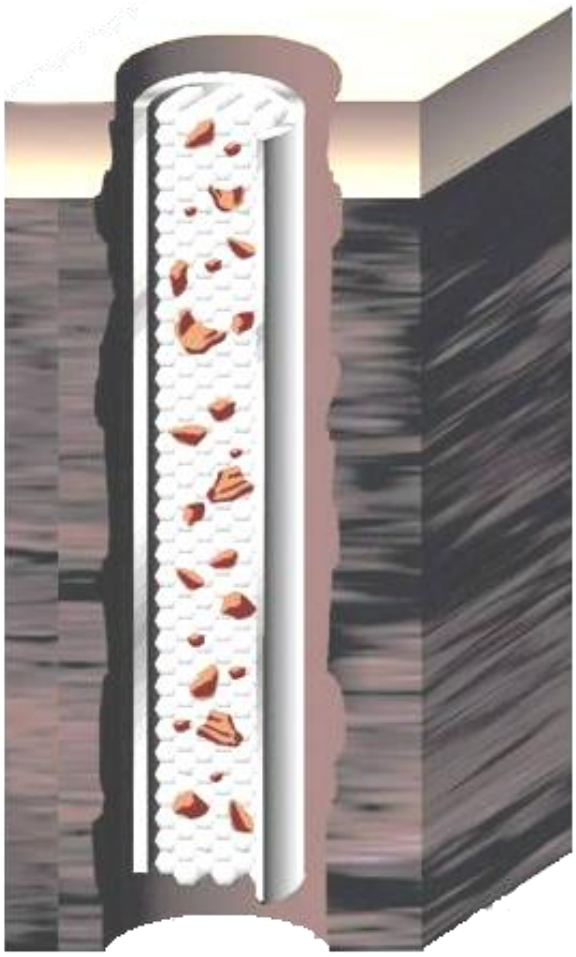
چگالی کف معمولاً بسته به کیفیت کف که همان کسر حجمی گاز است، فشار و دما از 2 تا 3/5 پوند در گالن تغییر می‌کند. معمولاً کیفیت 0/75 برای انتقال کنده‌های حفاری شده در چاه‌های عمودی، کافی است. اما در چاه‌های انحرافی یا چاه‌های افقی، کیفیت های بالاتر مورد نیاز است.

ویژگی‌های حفاری با کف:

- **سیال اضافی موجود در سیستم باعث کاهش تشکیل آب می‌گردد.**
- **ظرفیت حمل بالا.**
- **کاهش دبی مورد نیاز پمپ به دلیل بهبود ظرفیت حمل کنده‌های حفاری.**
- **بهبود کنترل سطحی و محیط پایدارتر درون چاه.**

در شکل 5 نمایی از انتقال کنده‌های حفاری به وسیله کف نشان داده شده است. همچنین مقایسه میان ویژگی‌های مختلف سیالات به‌کار رفته در حفاری زیرتعادلی و نسبت گاز به مایع در این سیالات، در شکل‌های 6 و 7 نشان داده شده است.

www.Prozhe.com

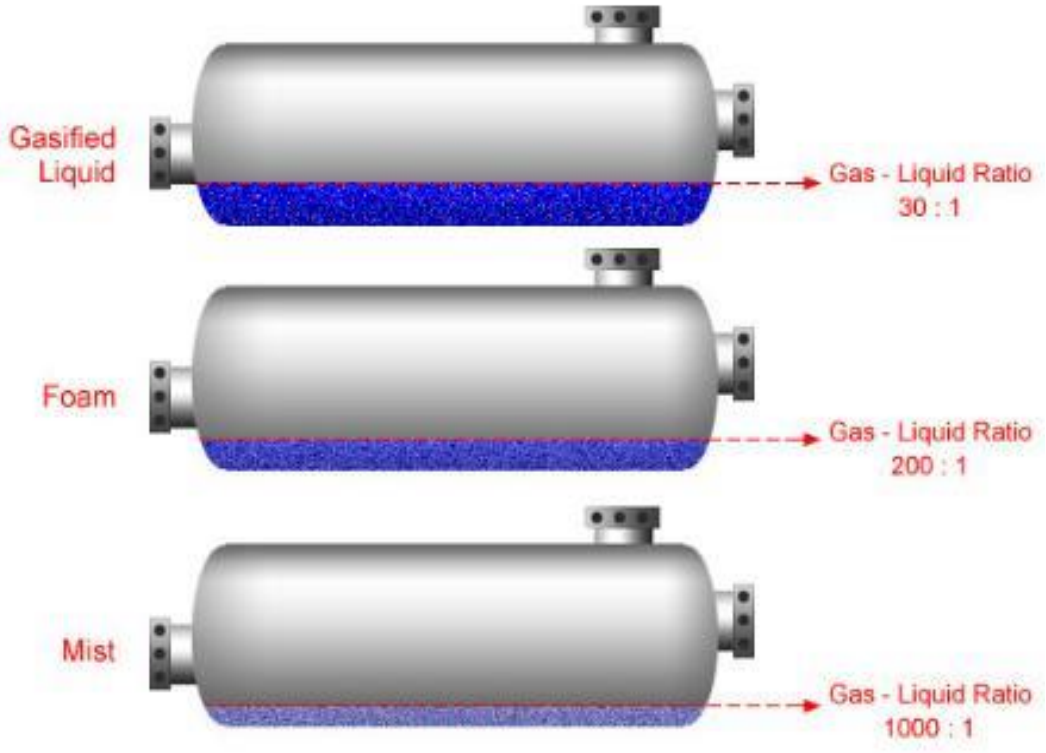


شکل 5- نمایی از انتقال کنده‌های حفاری به‌وسیله کف.

www.Prozhe.com

شکل 6- مقایسه میان ویژگی‌های مختلف سیالات به‌کار رفته در حفاری زیرتعادلی.

www.Prozhe.com



شکل 7- مقایسه میان نسبت گاز به مایع در سیالات مورد استفاده در حفاری زیرتعادلی.

5- سیستم‌های مایع تبخیری:

در صورتی‌که سیستم کف برای چاه بسیار سبک باشد، می‌توان از سیستم تبخیری استفاده کرد. در این سیستم‌ها، چگالی مایع، در اثر تبخیر کاهش می‌یابد. روش‌های زیادی وجود دارند که به‌وسیله آن‌ها می‌توان یک سیستم مایع را به سیستم تبخیری تبدیل کرد. استفاده از گاز و مایع به عنوان سیستم گردشی در چاه، هیدرولیک طراحی شده را پیچیده می‌کند. نسبت گاز و مایع باید به دقت محاسبه شود تا از پایداری سیستم گردش سیال حفاری مورد استفاده اطمینان حاصل گردد. اگر از مقدار بسیار زیاد گاز استفاده شود، منجر به ایجاد پدیده لختگی جریان خواهد شد. و در صورتی که گاز مورد استفاده کافی نباشد، فشار حاصل بیش از فشار ته‌چاهی مورد نیاز خواهد شد و چاه فراتعادلی خواهد شد.

خصوصیات سیستم‌های مایع تبخیری:

www.Prozhe.com

- سیال اضافی در سیستم اغلب مانع تشکیل سیال سازند می‌شود؛ مگر در حالتی که ناسازگاری رخ دهد.
- در حالت کلی گاز کمتری مورد نیاز است.
- تجهیزات سطحی بیشتری برای تمیزکردن و نگهداری سیال پایه مورد نیاز است.
- سرعت‌ها به ویژه در سطح، کمتر است؛ که منجر به کاهش ساییدگی و فرسایش تجهیزات سطحی و درون‌چاهی می شود.

6-سیالات تک‌فازی:

در صورتی که امکان داشته باشد، در روش اول باید به صورت طبیعی از یک سیستم سیال تک فازی با چگالی به اندازه کافی پایین استفاده شود تا شرایط زیرتعادلی فراهم‌آید. اگر امکان استفاده از آب وجود داشته باشد، آنگاه اولین چیزی است که باید استفاده نمود و در صورتی که آب سنگین باشد، می‌توان از نفت استفاده کرد. استفاده از افزودنی‌هایی چون مهره‌های شیشه‌ای توخالی می‌تواند برای سبک کردن سیال حفاری مورد استفاده قرار گیرد. اما از آنجایی که مهره‌های شیشه‌ای در هنگام بالا آمدن و عبور از لرزاننده‌ها در بخش‌جداسازی جامدات جدا می‌شوند یا خرد شده یا در طول سیستم گردش گل از بین می‌روند، به مهره‌های جدیدی نیاز خواهد بود که به طور مداوم به سیال حفاری اضافه شوند. بنابراین استفاده از مهره‌های شیشه‌ای انتخابی پرهزینه است که خیلی در سبک کردن سیال موثر نیست.

7- سیالات جدید کم‌چگال برای حفاری زیرتعادلی:

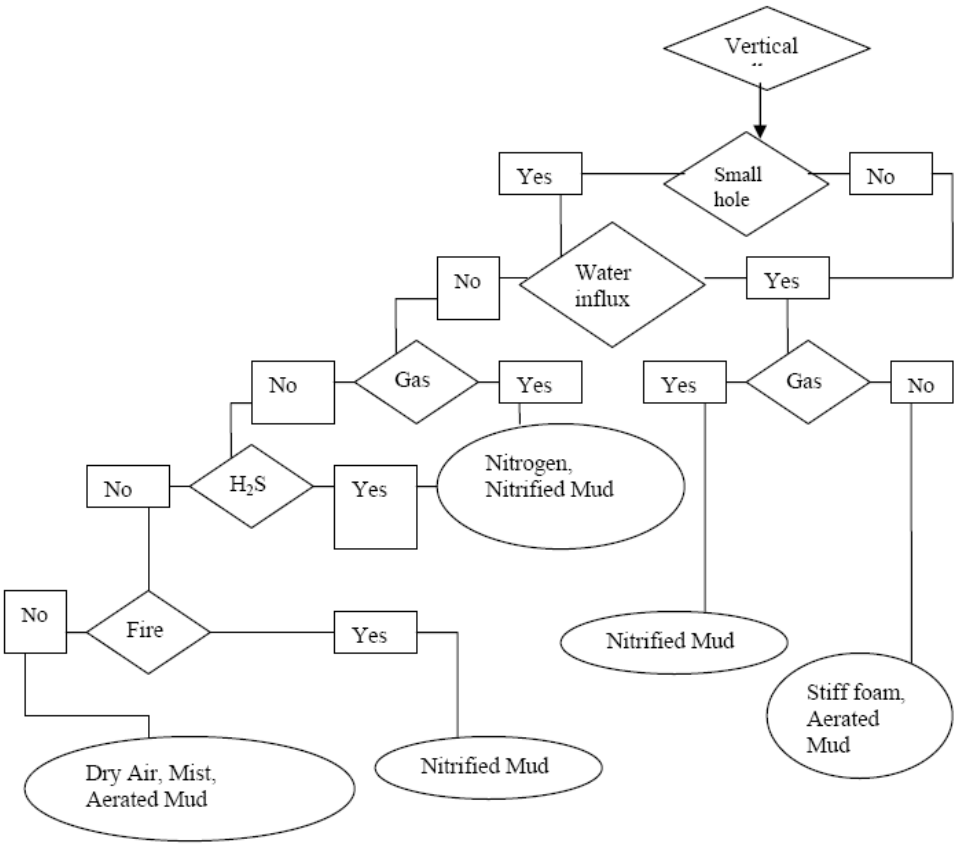
یک افزودنی سبک به سیال حفاری، به اندازه کافی باعث کاهش فشار ته‌چاهی گشته و هزینه حفاری را کاهش می‌دهد. همچنین آسیب به سازند را حین عملیات حفاری و تکمیل چاه به حداقل می‌رساند.

این روش استفاده از ذرات کروی شیشه‌ای توخالی در مقیاس‌های بسیار کوچک برای کاهش چگالی سیالات حفاری و غلبه بر مشکلات فعلی سیستم‌های حفاری با هوا، مه، کف و ... است. اولین بار روس‌ها این ذرات کروی را در سال 1980 برای غلبه بر هرزروی بیش‌از حد گل در کوه‌های اورال استفاده کردند. این پروژه شامل انتقال فنّاوری روسیه به آمریکا و استفاده از مهره‌های کروی با قطر سه میلیمتر که تا غلظت 50 درصد برای کاهش چگالی سیال حفاری، یا سیال تکمیل چاه اضافه می‌شود. به عنوان مثال اضافه کردن 50 درصد ذرات کروی به گل 8/5 پوند بر گالن چگالی آن را به 5/84 پوند بر گالن، بدون اضافه نمودن هوا، کاهش می‌دهد. این ذرات ریز کروی از نظر شیمیایی بی‌اثر و تراکم‌ناپذیر هستند و بنابراین قادرند بر بسیاری از مشکلاتی که در مورد سیالات گازدار شده وجود دارد، از جمله پدیده خوردگی، هزینه بالای متراکم‌کننده‌ها، ارتعاشات رشته حفاری، گشتاور و کشیدگی بیش‌از اندازه، اشتعال درون چاه و لایروبی نامناسب چاه، غلبه کنند.

www.Prozhe.com

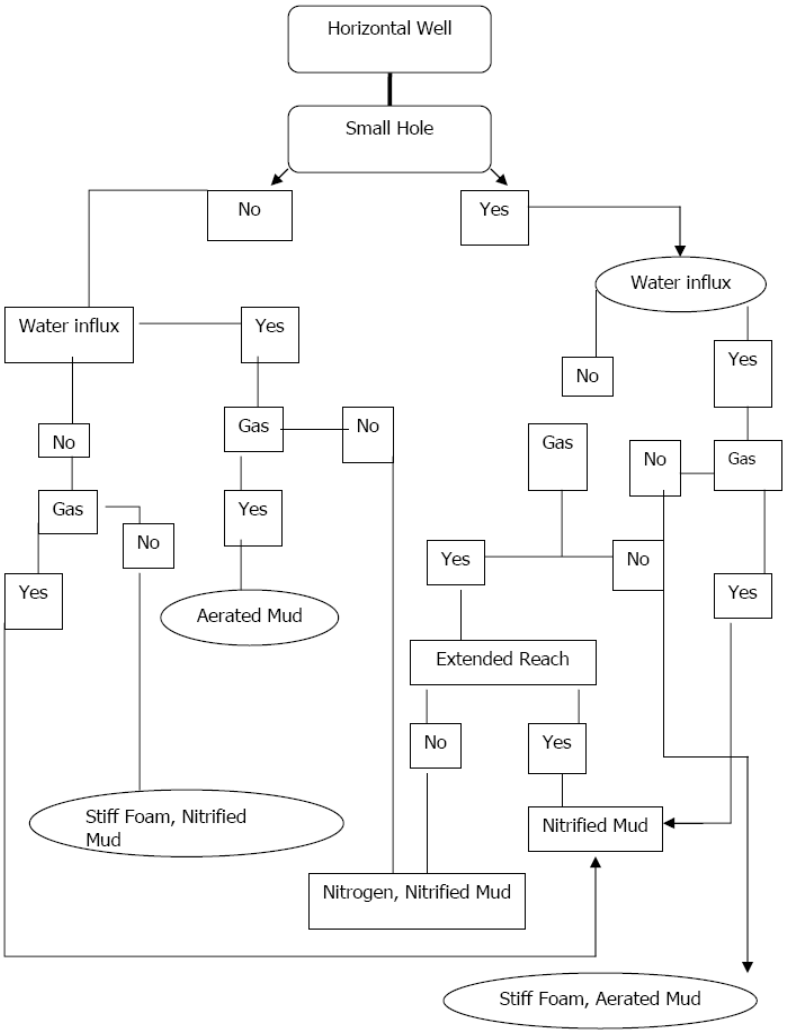
هنگامی که یک چاه تکمیل می‌شود،این ذرات ریز می‌توانند به همراه ذرات گل خارج شوند و در چاه‌های بعدی مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، به میزان زیادی هزینه خرید این ذرات کاهش می‌یابد. آسان‌ترین راه برای خارج نمودن این ذرات رقیق نمودن گل‌های پایه آبی به‌وسیله آب و اجازه دادن به این ذرات است تا با شناور شدن روی سطح آب بازیافت شوند.

در شکل‌های 8 و 9 نحوه انتخاب سیال حفاری زیرتعادلی برای چاه‌های عمودی و افقی نشان داده شده است.



شکل 8- روندنمای نحوه انتخاب سیال حفاری زیرتعادلی در یک چاه عمودی.

www.Prozhe.com



شکل 9- روندنمای نحوه انتخاب سیال حفاری زیرتعادلی در یک چاه افقی. [**Halliburton, 1998**]

www.Prozhe.com

گرچه حفاری زیرتعادلی یک فنّاوری جدید نیست و در شرایط مختلف به مدت 30 سال مورد استفاده قرار گرفته، اما در ده سال گذشته علاقه به استفاده از این فنّاوری با اعتنا به بیشینه کردن بهره‌دهی سازند، افزایش یافته است. توضیح کامل و با جزییات آخرین روش‌های عملیاتی، تجهیزات و تشریفات ایمنی فراتر از حوزه این نگارش است.

فصل سوم

3-مزایای حفاری زیر تعادلی :

3-1:مزایای روش UBD نسبت به روش معمولی حفاری عبارتند از :

www.Prozhe.com

الف) کاهش آسیب دیدگی سازند :

تولید کنندگان نفت و گاز بطور روز افزون خواهان بهره گیری از فن آوری حفاری زیر تعادلی می باشند ، زیرا این تکنولوژی میزان آسیب به سازند در طول حفاری را به به کمترین مقدار ممکن می رساند . بهر دهی قابل انتظار یک چاه اغلب توسط آسیب دیدگی سازند اطراف چاه و کم شدن تراوایی کاهش می یابد . این آسیب دیدگی به علت ورود مایعات یا جامدات و یا هر دو به درون سازند است . در روش UBD چنین صد ماتی وجود ندارد، ولی بدین معنا نیست که احتمال آسیب دیدگی سازند از جانب سیال حفاری بطور کامل برطرف شده است ،چرا که در بعضی حالات ، اختلاف پتانسیل شیمیایی بین سیال حفاری و سیال سازند باعث ورود آب سیال حفاری به درون سازند می شود و آسیب دیدگی را بوجود می آورد . همچنین در روش UBD ممکن است در هنگام قطع گردش سیال حفاری ، حالت فوق تعادل بوجود آید و باعث آسیب دیدگی سازند شود .

همچنین با انجام حفاری زیر تعادلی می توان از اثرات مخرب تهاجم مواد جامد و سیال حفاری که باعث تغییر خاصیت ترشوندگی سنگ ، تغییر تراوایی های نسبی و مسدود شدن خلل و فرج سنگ می شوند ، جلوگیری نمود . این تغییرات باعث کاهش تراوایی موثر سیال مطلوب (نفت یا گاز) در مخزن می گردد . در ه رحال تعداد زیادی چاه حفاری شده به روش UBD وجود دارند که بهره دهی آنها از چاههای مجاور که به روش معمولی حفاری شده اند بیشتر است .

ب) افزایش سرعت حفاری :

حفاری به روش UBD، سرعت حفاری (ROP) را افزایش می دهد . اکثر مراجع و گزارش های مربوط به عملیات حفاری نشان می دهد که استفاده از سیالات سبک حفاری در مقایسه با سیالات سنگین حفاری (ROP) بیشتری را سبب می گردد . حفاری زیر تعادلی از ایجاد فشار بالای تعادلی روی سنگی که زیر مته حفاری قرار دارد ، جلوگیری می کند . از میان رفتن همین فشار محدود کننده باعث می شود که برش سنگ برای دندانه های مته آسانتر گردد و نیز براده های تولید شده ، از ماندن درته چاه رهایی یابند . این مساله به تمیز شدن ته چاه کمک می کند و باعث افزایش میزان در ته چاه رهایی یابند . این مساله به تمیز شدن ته چاه کمک می کند و باعث افزایش میزان نفوذپذیری مته و در نتیجه سرعت پیشروی حفاری می گردد . یک مرور سیستماتیک از عملیات حفاری با هوا که توسط کاردن انجام شد نشان داده که سرعت حفاری با هوا را می توان تا 10 برابر پیش از مقدار آن برای حفاری با گل در سازندهای مشابه افزایش داد . در حفاری با هوا و گاز به آسانی می توان به یک ROP به بزرگی 120 ft/hr دست یافت .

ب) کاهش هرزروی گل تا کمترین حد ممکن :

www.Prozhe.com

حفاری زیر تهادلی ، یکی از راههای موثر برای به حداقل رساندن میزان هرزروی گل در حفاری مخازن نفت خام که بطور طبیعی شکافدار هستند و یا مخازن تخلیه شده فشار[1] می باشد .هرزروی گل حفاری در زمانی که سیال حفاری به انتهای حفره باز سازند وارد شود بیش از زمانی است که به سطح بر می گردد . این امکن برای هرزروی سیال حفاری هنگامی که به درون یک ناحیه با تراوایی زیاد وارد می شود ، افزایش می یابد .همچنین ممکن است سیال حفاری در شکافهای طبیعی که دیواره چاه را قطع می کنند یا شکافهایی که در اثر فشار اضافی گل حفاری بوجود می آیند وارد شود . هرزروی گل در عملیات معمولی حفاری بسیار گران تمام می شود ،چرا که سیال از دست رفته باید جایگزین و با اضافه کردن مواد LCM[2]، مسیر هرزروی گل حفاری مسدود گردد . بنابراین چون در روش UBD، هیچگونه نیروی فیزیکی برای رانش گل حفاری به درون سازند وجود ندارد ، میزان هرزروی به صفر می رسد . البته استفاده از یک سیال حفاری سبک ، لزوما هرزروی را به صفر نمی رساند و فقط هنگامی این اتفاق می افتد که فشار هیدرو استاتیک سیال حفاری از فشار سیال سازند ، کمتر باشد .

ج) افزایش عمر مته :

هنگامی که به جای گل حفاری معمولی از سیالات سبک شده حفاری استفاده شود ، عمر مته افزایش می یابد . مقاومت تراکمی سنگ در اثر فشار بالای تعادلی سیال حفاری ، زیاد می شود .

این محدودیت فشار ، در حین حفاری زیر تعادلی وجود ندارد . بنابراین در مقایسه با حفاری بالای تعادلی ، سنگ می تواند به آسانی بوسیله دندانه های مته خرد شود .

به عبارت دیگر ، رفع محدودیت فشار این امکان را برای کنده های حفاری فراهم می آورد که بطور آسانتری با سیال حفاری همراه شوند و این باعث م یشود که کار آسیاب مجدد خرده سنگها بوسیله دندانه های مته به حداقل برسد . بنابراین مقدار کار لازم برای حفاری یک حجم معین از سنگ کاهش می یابد و افزایش بازده حفاری ، سبب افزایش متراژ پیش از پایان عمر مته می گردد.

د) به حداقل رساندن گیر لوله به جداره چاه در اثر اختلاف فشار :

در روش های حفاری معمولی ، بدلیل رسوب جامدات درون گل حفاری ، یک اندود گل بر روی دیوراه چاه تشکیل می شود . در چنین حالتی رشته حفاری به دلیل بیشتر بودن فشار سیال حفاری نسبت به فشار سازند به اندود گل روی دیواره می چسبد و قسمت زیادی از سطح جانبی آن در این حالت گیر می افتد . در بعضی حالات برای آزاده کردن رشته حفاری ممکن است

www.Prozhe.com

نیرو محوری بیشتری نسبت به مقاومت کششی لوله ها لازم باشد . این حالت را (گیر اختلاف فشاری) می نامند در حین انجام حفاری زیر تعادلی ، هیچ گونه اندود گلی تشکیل نمی شود . بنابراین پدیده گیر اختلاف فشاری در حفاری به روش UBD روی نمی دهد .

م) نیاز کمتر به انگیزش چاه :

در روش های حفاری معمولی ، پس از اتمام عملیات حفاری ، به منظور افزایش بهره دهی چاه عملیات انگیزش مثل اسید کاری انجام می شود . بدین ترتیب کاهش آسیب دیدگی سازند در روش UBD هزینه های مربوط به انگیزش چاه را از بین می برد .

و) بهبود ارزیابی سازند

در روش UBD ، حفاری سازندی که دارای هیدروکربن باشد باعث می شود نسبت هیدوکربن به حجم کل سیال درون چاه افزایش یافته و به سطح زمین بیاید . در نتیجه با مشاهده مستقیم سیال بازگشتی حفاری ، وسیله ای برای کشف فوری نواحی دارای هیدروکربن فراهم می شود . هنگامی که چاه بصورت بالای تعادلی حفاری شود ، ممکن است به گونه ای از کنار این نواحی تولیدی عبور شود . بدلیل برگشت سریع سیال حفاری که کنده های حفاری و سیالات مخزن را با خود به همراه دارد ، عمق نواح ینفت ده و گازده را می توان در روش UBD با دقت بیشتری تعیین کرد . در صورتیکه در روشهای معمول حفاری ، ناحیه هایی که دارای هیدروکربن هستند . بوسیله انالیز کنده های حفاری ، آنایز مغزه های حفاری ، نمودار گیری و یا لایه آزمایی با ساق مته (DST) مشخص می شوند به علاوه کاهش و یا حذف اثرات تهاجم سیال حفاری به سازند و اسیب دیدگی سازند که از مزایای حفاری زیر تعادلی می باشد . به تفسیر بهتر نمودارهای حفره باز و ازمایشهای ناپایداری فشار کمک می نماید .

ه) تولید زود هنگام نفت :

در حین حفاری زیر تعادلی ، با فراهم بودن تجهیزات سطحی مناسب می توان به محض ورود به یک ناحیه بهره ده ، هیدروکربن را دریافت نمود . هنگامی که عملیات حفاری برای نفوذ به

نواحی بیشتر ادامه می یابد ، نفت تولیدی جمع آوری می شود .

در چاههای که بصورت زیر تعادلی حفاری می شوند ، این امکان وجود دارد که بتوان در حین حفاری از آنها بهره برداری نمود .

ی) مزایای زیست محیطی :

حفاری به روش UBD به خصوص هنگامی که عملیات حفاری با هوای خشک و یا دیگر سیالات گازی صورت می پذیرد ، از آلودگی احتمالی محیط بوسیله گل حفاری ، در خلال حفاری و بعد از آن جلوگیری می کند ؛ چرا که هیچگونه مایعی وجود

www.Prozhe.com

ندارد که محیط را آلوده کند . مواد شیمیایی که در حفاری با هوای مرطوب و کف مورد استفاده قرار می گیرند . معمولاً بی زیان و قابل تجزیه بوسیله محیط[1] می باشند و تاثیر زیادی روی محیط زیست نمی گذارند .

البته به منظور به حداقل رساندن احتمال الودگی محیط زیست ، لازم است سیالاتی که در حین حفاری زیر تعادلی از سازند تولید می شوند را با استفاده از سیستم های سطحی بسته ، انتقال داد و یا در صورت باز بودن سیستم ، باید این سیالات بوسیله مخازن مخصوص به نقطه مورد نظر حمل شوند .

دستیابی به مزایای فوق به خصوصیات مخزن و سازندهایی که حفاری می شوند بستگی دارد .

2-3:محدودیت های حفاری زیر تعادلی :

فن آوری محافظت از مخزن هنوز در حال تکامل تدریجی می باشد ولی از نوشته ها ، گزارشات و نیز تجربه میدا نهای نفتی به روشنی می توان دریافت که حفاری زیر تعادلی و تکمیل کردن چاه با استفاده از تکنولوژی موجود، تمامی مشکلات مربوط به بهره دهی کم چاه را برطرف نخواهد کرد . حفاری زیر تعادلی ، یک روش افزایش تولید و یا راه حل همه مشکلات نیست . اگر مخزنی بدون شکافتن به بهره برداری نمی رسد ، شاید استفاده از حفاری زیر تعادلی مناسب نباشد . حفاری به روش UBD تنها می تواند از آسیب دیدگی سازند و مسدود شدن شکاف جلوگیری نماید محدودیت های حفاری زیر فشار تعادلی به شرح زیر می باشند

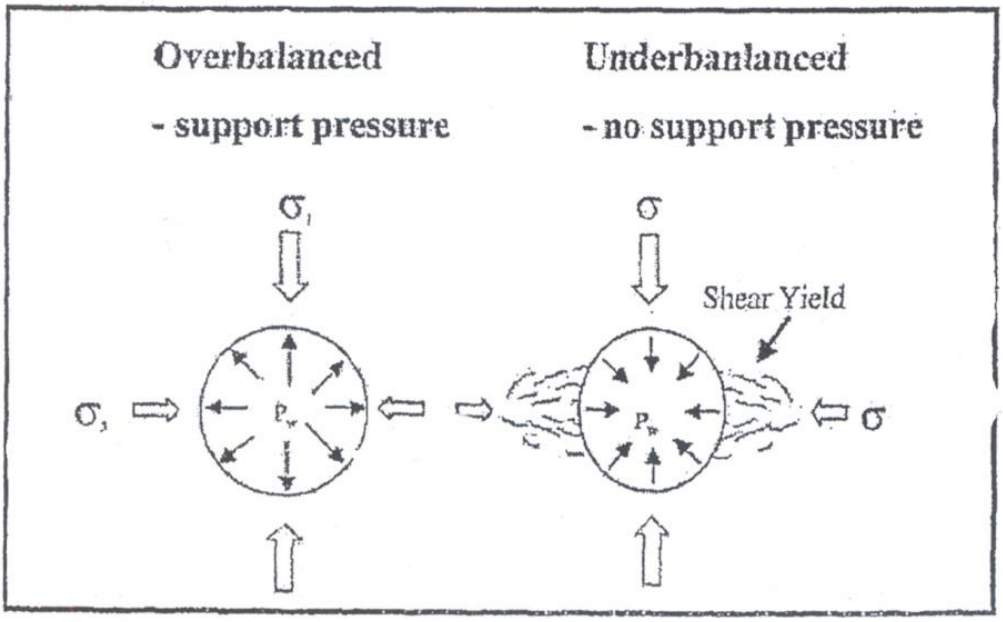
الف- مشکلات ناپایداری دیواره چاه:

در روش معمول حفاری (OBD) ، به دلیل بیشتر بودن فشار هیدرواستاتیک سیال حفاری نسبت به فشار سیال سازند ، دیواره چاه دارای پایداری بیشتری است . ولی در روش UBD این پایداری کمتر می شود و هر چقدر که اختلاف فشار سیال سازند بیشتر شود ، تمایل برای ناپایداری دیواره چاه نیز بیشتر می شود . همچنین فشار کمتر دیواره چاه ، تمایل به تنگ شدن

حفره را به علت تسلیم بعضی از سازندها افزایش می دهد .

این عامل اختلاف فشار می تواند یک حد پایین برای فشار ستون سیال حفاری بوجود آورد که فشار کمتر از این حد برای ادامه حفاری غیر ممکن باشد . این حد فشار زیر تعادل بستگی به تنش های درونی سازند که از نظر زمین شناسی قدیمی تر و سخت ترند ، مقاومت کافی در برابر حفاری با هوا بدون ایجاد مشکلات ناپایداری دیواره چاه را دارند (شکل 21- 4)

www.Prozhe.com



شکل ۴۱ـ۲ ناپایداری دیواره چاه در حفاری زیرتعادلی

www.Prozhe.com

اغلب اوقات ، قطعه های بزرگی از سنگ نفت زا در حفاری زیر تعادلی مشاهده می شود . این قطعات بزرگ سنگ نفت زا ، کنده های ناشی از کار مته حفاری درته چاه نمی باشند ، بلکه در اثر ایجاد حفره در دیواره چاه و یا پیوسته پوسته شدن دیواره چاه ایجاد شده اند . این نوع مشکل ناپایداری دیواره چاه ، ممکن است هنگامی روی دهد که سازندهای حفاری دارای مقادیر قابل توجهی خاک رس حساس به آب باشند . بسیاری از سنگهای نفت زای سخت و شکننده ، تمایل به خرد شدن وتولید کنده های ریزشی و ایجاد غار در دیواره چاه دارند .همچنین تمایل به پوسته پوسته شدن داشته و یا بعضی اوقات دچار روان شدگی می گردند . این موضوع به خصوص در سازندهایی که بطور طبیعی شکستگی دارند و در سنگهای نفت زای خیلی شکننده ، بیشتر محتمل می باشد . فراخ شدگی چاه می تواند خیلی ناگهانی (حتی فاجعه بار) باشد . سازندهایی که تحت تنش زیاد باشند ، بیشتر مشکل ساز هستند .

علائم ریزش دیواره چاه عبارتند از :

- خرده های سنگ نفت زا با ظاهری مخصوص بر روی الک لرزان وجود خواهند داشت (دارای سطحی منحنی شکل و هموار که نشان دهنده کنده شدن قطعات از دیواره چاه است)
- میزان کنده ها بر روی الک لرزان بطور ناگهانی افزایش می یابد و احتمالا قطعات نسبتاً بزرگ وجود خواهند داشت .
- به علت گیر کردن لوله حفاری در لبه و برآمدگی حاصل از وجود ریزش در دیواره چاه انجام لوله پایین با مشکل مواجه می شود .
- فرو ریختن کنده ها بعلت ضعیف شدن عمل تمیز کردن چاه باعث بروز پدیده روان شدگی نیز می شود .
- گشتاور فشارهای پمپ سیال حفاری افزایش می یابند .
- زمان انتقال مواد از ته چاه به سطح ، افزایش پیدا می کند (افزایش زمان تاخیر)

عملیات هدایت کردن چاه با مشکل مواجه می شود.

ب) مشکل ورود آب سازند به درون چاه:

آب ورودی از سازند می تواند مانع از انجام حفاری زیر تعادلی گردد . وقتی که سیال حفاری گاز باشد ، آب سازند ، کنده های ته چاه را مرطوب می کند و باعث چسبندگی آنها به یکدیگر و نهایتاً تجمع آنها بر روی رشته حفاری و دیواره چاه می گردد . این عمل اغلب در بالای لوله های وزنه در قسمت **BHA** یعنی جایی که قطر رشته حفاری کم می شود و سرعت دالیزی کاهش می یابد ، روی می دهد و موجب تشکیل حلقه گل می شود . اگر این تجمع زیاد شود ، رشته حفاری به تله می افتد . برای جلوگیری از این مشکل ، به سیال حفاری در حال گردش (گاز) مقداری آب افزوده می شود . بطور کلی وقتی از سیال س

www.Prozhe.com

حفاری تک فازی گازی شکل استفاده می شود که سازند اصطلاحا خشک باشد و اگر درون سازند ، آب وجود داشته باشد باید از سیال دو

فازی استفاده گردد تا از چسبیدن کنده های حفاری به یکدیگر جلوگیری کند .

ج) تولید زیاد هیدروکربن :

هر چند تولید نفت در حین حفاری تا حدی مطلوب است ، با این حال نیازمند آن است که تجهیزات سطحی قادر به جابجایی ماکزییم یزان نفت تولیدی ، با ایمنی و فشار معین باشند . دستورالعمل های مختلفی برای کنترل چاه در روش **UBD** مورد نیاز است . در اکثر حالات ، تجهیزات سطحی مناسبی می توانند سیالات تولید شده از مخزن در حین حفاری را کنترل و نگهداری کنند . در هنگام انجام عملیات **UBD** ، با توجه به مشخصات و پارامترهای مخزن باید انتظار دبی و فشار زیاد تولید هیدروکربن را داشت . این دو عامل می توانند عملیات **UBD** را سخت و پیچیده کنند . به هر حال تجهیزات سطحی باید طوری طراحی شوند که حداکثر مقدار جریان و فشار تولید چاه را کنترل کنند . در صورتی که دبی و فشار نفت تولید بسیار زیتد باشد ، باید حفاری زیر تعادلی را به حفاری بالای تعادلی تبدیل نمود .

د) مشکلات حفاری جهت دار (انحرافی و افقی) :

در تکنولوژی **UBD** به دلیل استفاده از سیالات حفاری تراکم پذیر ، نم یتوان در عملیات حفاری چاههای انحرافی و به خصوص چاههای افقی از ابزرار معمول مثل موتورهای درون چاهی و سیستم های اندازه گیری زاویه انحراف و جهت چاه استفاده کرد . این بدان علت است که ضربان های فشار که بوسیله ابزارهای اندازه گیری در حین حفاری **(MWD)** به منظور انتقال سیگنال ها تولید می شوند ، از میان سیالات تراکم پذیر ، با دامنه نوسان قابل آنالیز به دستگاههای مستقر در سطح زمین منتقل نمی شوند . البته توسعه چنین سیستم هایی که بتوانند با سیالات تراکم پذیر سازگار باشند بطور سریعی در حال بهبود می باشد . در سال 1380 دو حلقه چاه به صورت آزمایشی با بکارگیری تجهیزات موجود در میدان گچساران به روش زیر تعادلی حفاری گردیدند و نتیجه بسیار مهمی که بدست آمد این بود که ابزار معمولی اندازه گیری زاویه و جهت در حین حفاری **(MWD)** تا زمانی که درصد گاز درون سیال حفاری کمتر از 17٪ باشد ، سیگنال های مناسبی به سطح زمین می فرستد و بنابراین قابل تجزیه و تحلیل هستند . اگر درصد گاز درون سیال حفاری بیشتر از 17٪ شود ، می بایست از ابزارهای الکترو مغناطیستی اندازه گیری در حین حفاری **(EMWD)** استفاده شود .

شکل مجموعه ابزار ته چاهی **(BHA)** با ابزارهای **MWD** و موتور ، در حفاری زیر تعادلی و بالای تعادلی ، یکسان است .

www.Prozhe.com

در حفاری ضربه ای با گاز ، به لوله های وزنه بسیار کوچکی نیاز می باشد .

د) مسائل ایمنی:

آتش سوزی درون چاه یا به عبارت دیگر انجارهای درون چاهی که در حین حفاری با هوا و تحت شرایط ویژه ای روی می دهد ، یکی دیگر از محدودیت های تکنولوژی UBD می باشد . هر چند این آتش سوزی ها به ندرت به وقوع می پیوندند ، ولی در صورت بروز ، پیامدهای وخیمی در پی خواهند داشت . در اثر آتش سوزی ، مجموعه ابزار ته چاهی و لوله های وزنه و مته درون چاه ذوب می شوند .

انفجار درون چاهی وقتی صورت می گیرد که ترکیب درون چاهی مخلوط هیدرو کربن و هوای تزیق شده ، در یک دامنه قابل اشتغال باشد . چنین عملی وقتی بوجود می آید که شرایط درون چاهی ، مکانیزم لازم برای آتش سوزی را مهیا کند . مثلاً وقتی که در حفاری با هوا ، حلقه گل تشکیل شود و گردش دورانی هوا ادمامه یابد ، در صورت وجود یک تله هیدروکربنی در سازند ، فشار مخلوط هوا و هیدروکربن افزایش می یابد تا به نقطه احتراق برسد . این عمل شبیه فرآیند احتراق در موتورهای دیزلی می باشد . مثال دیگری از آتش سوزی درون چاهی هنگامی است که به علت سایش بین رشته حفاری و مواد معدنی سخت درون دیواره چاه ، جرقه ای بوجود می آید و موجب احتراق مخلوط هوا و هیدروکربن می شود .

در هر حال با بکار بردن کف و یا هوای مرطوب بجای هوا و نیز صرفنظر کردن از سرعت بیشتر

حفاری می توان احتمال وقوع آتش سوزی درون چاه را به حداقل رساند .

ارتعاش رشته حفاری و سر و صدا نیز از جمله مسائل ایمنی در حفاری با هوا یا گاز می باشند . ارتعاش می تواند موجب خرابی رشته حفاری و آزار کارکنان شود و سر و صدای زیاد نیز برای سلامتی خدمه ، مضر می باشد .

www.Prozhe.com

و) ملاحظات اقتصادی:

اگر حفاری یک چاه بصورت UBD از نظر فنی ممکن باشد ، اقتصادی بودن آن در تمامی موارد بعید می باشد . عواملی که می توانند از اقتصادی بودن روش UBD جلوگیری کنند شامل ورود دبی های بسیار زیاد آب از رساند به درون چاه و همچنین سرعت زیاد حفاری و بهره وری خوب بوسیله استفاده از تکنیک های معمول حفاری می باشد .

در بعضی از محل های حفاری ، محدودیت های زیست محیطی موجب افزایش هزینه دفع آب تولیدی می گردد . در حفاری زیر تعادلی ، صرفه جویی در هزینه در اثر افزایش سرعت حفاری ، ممکن است با هزینه جابجایی نفت تولیدی قابل جبران نباشد . سود ناشی از تولید زودرس چاه در اثر حفاری زیر تعادلی ، همیشه نمی تواند توجیه کننده هزینه حفاری باشد . این موضوع بویژه در مواردی که پس از حفره چاه UBD به یک عمل شکافتن هیدرولیکی هم نیاز باشد ، صادق است . به علاوه فراهم بودن تجهیزات موضعی و سازماندهی تدارکات و خدمات در محل ، از عوامل مهمی هستند که در هنگام اجرای پروژه UBD باید مد نظر قرار گیرند .

پروژه های جدید زیر تعادلی ، اغلب در چاههایی به انجام می رسند که شانس بسیار کمی برای موفقیت وجود دارد و از اینرو خطر آسیب دیدن سازند و یا تحمل شدن هزینه های کلان ، کم می باشد . یک چاه فقیر و در نهایت نتایج یا تولید اندک ، از توانایی و اعتبار یک تکنولوژی روبه تکامل می کاهد .

آنچه در زیر می آید ، یک دستورالعمل کلی را برای انجام حفاری زیر تعادلی در صورت برخورد با لایه ها و سازندهای دردسر ساز ، به اختصار نمایش می دهد . برای انجام حفاری زیر تعادلی ، در صورت وجود هر یک از شرایط زیر لازم است که این قسمتها در پشت لوله جداری قرار گرفته باشد و نباید در قسمت حفره باز واقع شوند . وجود هر یک از شرایط زیر در قسمت حفره باز مستلزم آن است که حفاری زیر تعادلی در آن قسمت متوقف شود . در هر حال قطعیت تقسیم بندی زیر ، کم است و تجارت و شرایط محلی می تواند روی آن تاثیر گذار باشد .

چاه نباید بصورت زیر تعادلی حفاری شود اگر :

1- **وجود سازندهای ضعیف (مشکل شسته شدن دیواره چاه وجود دارد.)**
2- **وجود سازندهای شکاف دار اریب (مشکل تورفتن دیواره چاه وجود دارد .)**
3- **وجود لایه های ضخیم زغال سنگ (مشکل ریزش دیواره چاه وجود دارد .)**
4- **وجود سنگ های نفت زای جوان تحت فشار لایه های زمین (مشکل چاه تنگ وجود دارد.)**
5- **وجود لایه ضخیم شیل یا شیل های قدیمی تر تحت فشار لایه های زمین (مشکل تورفتن دیواره چاه وجود دارد .)**
6- **وجود لایه های نازک و سخت نمک (مشکل چاه تنگ وجود دارد .)**
7- **وجود دبی های بسیار زیاد آب تولید شده از سازند(مشکل دفع آب تولیدی وجود دارد .)**

www.Prozhe.com

8- وجود سولفید هیدروژن (ایمنی کارکنان ، یک مساله حیاتی می باشد .)

اما علاوه بر مزایا و محدودیت های کلی در حفاری زیر تعادلی ، استفاده از هر یک از سیالات ویژه این نوع حفاری نیز مزایا و معایب مخصوص به خود را دارد که در زیر به ذکر آنها پرداخته می شود :

فصل چهارم

4-کاربردهای حفاری زیر تعادلی در ایران:

شرکت ملی حفاری ایران در پنج سال گذشته موفق به انجام 12 هزار متر حفاری به روش زیر فشار تعادل (**UBD**) روی 30 حلقه چاه در میدان‌های نفت و گاز کشور شده است.

حفاری به شیوه زیر فشار تعادل (**UNDER BALANCED DRLLING**) یکی از مهم ترین راه های به دست آوردن راندمان بالا در حفاری چاه ها و نیز تکمیل، تعمیر و تعمیق چاه های جدید و قدیم بدون صدمه زدن به مخزن است.

کاستن از ضایعات حفاری نظیر آسیب دیدگی مخزن، مخارج تامین سیال حفاری و مواد جلوگیری کننده از هرز روی، گیرهای رشته و ادوات حفاری درون چاه ها از جمله مزیت های این شیوه حفاری محسوب می شود.

نیازنداشتن به انگیزش اولیه و اسیدکاری چاه و کاهش آلودگی زیست محیطی، همچنین افزایش سرعت حفاری، طولانی شدن عمر مته، بهبود ارزیابی مخزن، افزایش تولید نفت و گاز و در نهایت بهینه کردن تولید از ذخایر هیدروکربوری، از دیگر امتیازهای حفاری زیر فشار تعادل یا فروتعادلی به شمار می آید.

از سال 1287 خورشیدی که نخستین چاه نفت در ایران در مسجدسلیمان حفاری شد تا آذر 1383 تمام روش های به کار گرفته شده برای انجام عملیات حفاری و تکمیل چاه ها به صورت فراتعادلی (**OVER BALANCED DRILLING**) بوده است، در این روش به دلیل این که فشار ته چاهی سیال حفاری از فشار مخزن بیشتر است، همیشه شاهد هجوم سیال حفاری به درون سازند هستیم.

www.Prozhe.com

ضایعات حاصل از هجوم در سازندهایی که بالای پوش سنگ (CAP ROCK) قرار دارند، باعث افزایش بیش از حد هزینه های حفاری و در سازندهای زیر پوش سنگ که حاوی هیدروکربن هستند (مخزن) به شدت سبب آسیب دیدگی جبران ناپذیر سنگ مخزن و در نهایت کاهش شاخص بهره دهی چاه می شود.

حفاری به شیوه فروتعادلی از نظر تجهیزات مورد استفاده و نیز نحوه عملیات به طور کامل با حفاری فرا تعادلی معمولی متفاوت است و در این شیوه با کم کردن فشار هیدرواستاتیک سیال حفاری از طریق تزریق گاز نیتروژن درون گل حفاری، فشار ته چاهی کمتر از فشار مخزن نگه داشته می شود و در چنین حالتی هنگامی که یک لایه بهره ده حفاری می شود، سیالات مخزن(نفت و گاز) به درون چاه افزایش می یابد و موجب افزایش فشار سرچاهی می شود.

کنترل فشار سرچاهی در زمان حفاری و تفکیک و هدایت سیالات چهار فازی برگشتی از چاه با استفاده از تجهیزات گسترده سطحی از یک سو و طراحی، برنامه ریزی پارامترهای مخزن و چاه در عمق های مختلف و راهبری عملیات (UBD) با استفاده از نرم افزارهای بسیار پیشرفته شبیه ساز و محاسبات دقیق مهندسی از سوی دیگر به عهده گروه های عملیاتی (UBD) است.

اداره حفاری زیر فشار تعادل مخزن شرکت ملی حفاری یکی از مهم ترین ارکان مدیریت خدمات فنی شرکت است که متولی ارایه خدمات (UBD) در تمام میدان های نفت و گاز کشور که نامزد این نوع عملیات حفاری هستند به شمار می رود، برخی میدان های که براثر سالیان متوالی تولید دچار افت فشار متوسط مخزن شده اند، نامزد خوبی برای حفاری فروتعادلی محسوب می شوند.

تولید روزانه از یک چاه نمونه که تحت حفاری فروتعادلی با به کارگیری تجهیزات مورد نیاز (UBD) قرار گرفته گاهی تا 10 برابر بیش از زمانی است که چاه تحت حفاری معمولی فراتعادلی قرار گیرد، ضمن این که سرعت حفاری بین سه تا 9 برابر بیشتر از مرحله قبل بوده و بیشتر پارامترهای مخزن و چاه نیز در پایان عملیات حفاری محاسبه شده است.

ضرورت بهره گیری از فناوری روزآمد جهان در حفاری چاه های نفت و گاز موجب شد تا مطالعات در باره روش حفاری پیشرفته فروتعادلی در میدان های کشور از سال 1376 آغاز و در سال 1381 این مطالعات به صورت ویژه و کاربردی ادامه یابد و از سال 83 یک مجموعه تجهیزات و ماشین آلات مورد نیاز طراحی، انتخاب و تامین شد.

تولید 200 هزار بشکه نفت خام هنگام عملیات حفاری فروتعادلی 30 حلقه چاه در پنج سال گذشته توسعه ناوگان عملیاتی (UBD) با راه اندازی مجموعه دوم تجهیزات در سال جاری در برنامه شرکت تعریف شده و در جهت نیل به خودکفایی بیش از 80 درصد ماشین آلات و تجهیزات این مجموعه با استفاده از توان سازندگان و تامین کنندگان داخلی ساخته یا خریداری شده است.

همچنین در بعد کیفی اعزام کارشناسان مجرب به دوره های آموزشی داخل و خارج از کشور با هدف ارتقای دانش فنی و مهارت های عملیاتی، ارتباط مستمر با معتبرترین موسسات علمی و تحقیقاتی کشور به ویژه دانشکده فنی دانشگاه تهران، حضور در

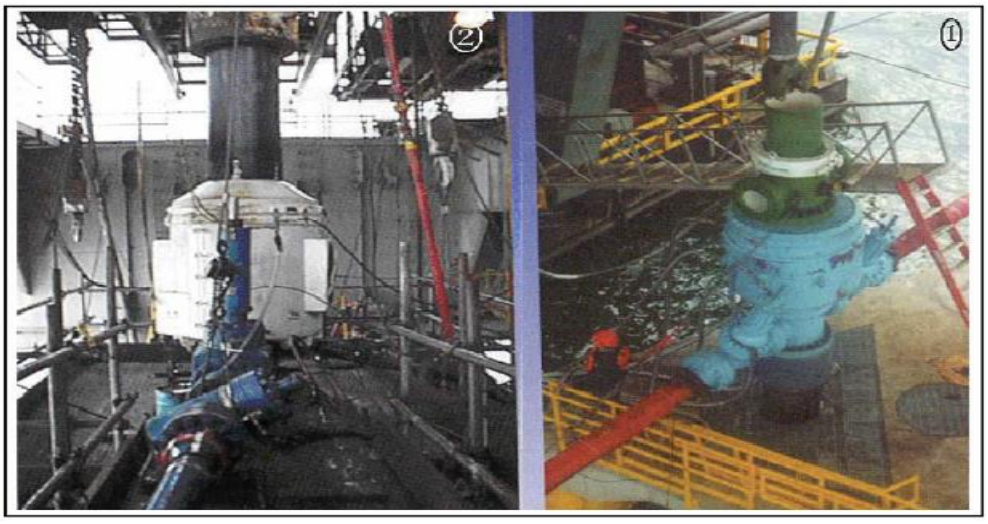
www.Prozhe.com

همایش های بین المللی به منظور آشنایی با آخرین دستاوردهای علمی و انجام منظم بازرسی های دوره ای تجهیزات به منظور افزایش ضریب اطمینان و کاهش حوادث اولویت برنامه های این اداره است.

1-4:مکانیزم‌های حفاری UBD در فلات قاره:

دکل‌های Jack UP :

UBDرا در دکل‌های Jack UP با سوار کردن سرپوش کنترل چرخشی (RCH) بر روی BOP Stack انجام می‌دهند . یک جداره برای محافظت RCH و مجموعهٔ تجهیزات از تراوشات حین اتصال لولهٔ حفاری به کار برده می‌شود. برگشت‌های فضای حلقوی از Flange Flow Line مربوط به RCH توسط شیرهای کنترل از راه دور و یا دستی به جداکننده‌ها جریان پیدا می‌کنند.

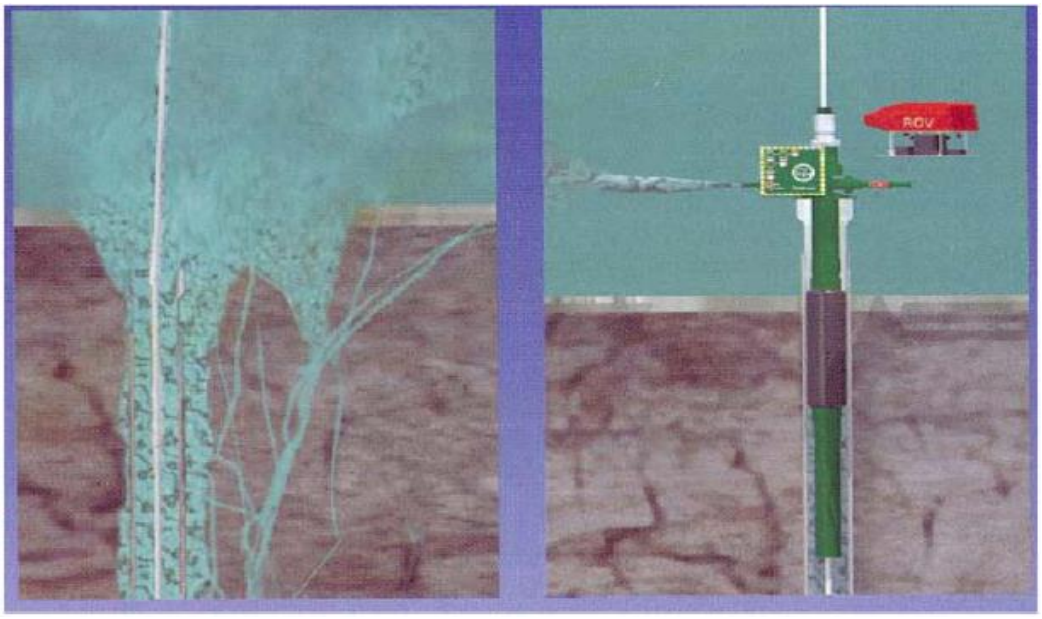


www.Prozhe.com

شکل 1 : 1- استفاده از MUD CAP در حفاری UBD با Jack UP 2- استفاده از RCH در دکل‌های دریایی به هنگام انجام UBD

دکل‌های با Barge و نیمه شناور شکل 1 یکی از دکل‌های سوار بر Barge را نشان می‌دهد که با تغییرات MUD Cap در دریاچه ماراکایبو ونزوئلا حفاری می‌کند. این نوع کاربرد UBD برای دستیابی به دو هدف اصلی یعنی: حفاری لایه های نفتی با سیال تمیز، که باعث کاهش آسیب سازند و افزایش کیفیت و کمیت تولید می‌شود، و جلوگیری از ورود نفت تولید شده، به سطح دکل، می‌باشد:

در واقع در حفاری این چاه‌ها با به کار بردن تغییرات MUD cap مربوط به UBD مشکلات زیست محیطی و لاجستیک نفت تولید شده در حین حفاری را کاهش می‌دهد. این تغییرات در عملیات UBD نیاز به یک لایه متخلخل و تخلیه شده "Throw- away" بالای مخزن نفت یا پاشنه بخش افقی چاه دارد . این شرایط محیطی به ما اجازه قرار دادن (Spotting) یک گل سنگین در دالیز چاه را می‌دهد. بنابراین از جریان برگشتی سیالات حفاری Single Pass و کنده‌ها به روی سکو جلوگیری می‌شود و در عوض توسط MUD CAP به یک سازند کم عمق وارد می‌شود.



شکل 2 : نقش Riser برای انجام UBD در دریا

مشکلات احتمالی در صورت عدم استفاده از Riser در حفاری قسمت کم عمق و دارای فشار غیر نرمال Aquifer :

در حالتی که جریان غیرقابل کنترل باشد، منجر به گشاد شدن بیش از حد دیواره می‌شود.

www.Prozhe.com

باعث افزایش خطر فوران Aquifer می‌شود.

باعث غیر مؤثر بودن سیمان کاری اولیه می‌شود.

منجر به هرز روی کامل شود.

اما در صورت استفاده از RCH به همراه Riser :

می‌تواند باعث کنترل آبهای کم عمق شود.

اجازهٔ حفاری در سازند دارای فشار غیرطبیعی بدون استفاده از Riser دریایی را می‌دهد.

می‌تواند برای قرار دادن لوله جداری in 20 در نقاط عمیق‌تر به کار رود.

به دست یابی به عمق نهایی چاه کمک می‌کند.

شانس سیمان کاری موفق اولیه را افزایش می‌دهد.

بررسی موانع فنی و ارائه راه‌کارها در UBD

برای ارزیابی امکان استفاده از UBD در دریا باید موانع و محدودیت‌های آن بررسی شده و راه حل‌های مناسب برای آن پیشنهاد شود. که این موارد عبارتند از:

1- محدوده فشار درون چاهی:

برای سازندهایی که به درون چاه باز هستند، فشار منفذی حد بالایی بازهٔ فشارهای درون چاهی، و حد پایینی آن، فشار حداقلی است که برای حفظ پایداری دیواره چاه لازم است. اما پاسخ به این سؤال که تحت چه فشاری دیواره پایدار خواهد بود، به بررسی وضعیت و خواص سازندها از یک طرف و نوع سیستم و پارامترهای به کار گرفته شده حفاری، از طرف دیگر نیاز دارد. تحلیل این موضوع و تعیین شرایط پایداری دیوارهٔ چاه در حالت تحت تعادلی، نیاز به بررسی مفصل دارد.

www.Prozhe.com

دبی تولیدی و فشارهای سطحی:

در برخی مواقع محدودیت ماکزیمم دبی تولید هیدروکربن که بتوان آن را به طور ایمن در سطح اداره کرد وجود دارد، اصولاً تجهیزات سطحی را می‌توان طوری طراحی کرد تا تقریباً هر نوع دبی تولید ممکن را اداره کند.

2- لایه‌های دارای نفوذپذیری چندگانه:

نگرانی اصلی در هنگام حفاری تحت تعادل بیش از یک لایه نفوذپذیر باز به درون چاه، وجود پتانسیل فوران‌های زیرزمینی است. اگر در همه لایه‌های نفوذپذیر باز، فشار درون چاه از فشار سازند کمتر باشد، سیالات سازندی از همه لایه‌ها به درون چاه جریان پیدا خواهند کرد و جریان عرضی از یک لایه به لایه دیگر وجود نخواهد داشت. اما اگر جریان بین لایه‌های قابل تحمل نباشد باید: از یک تکنیک دیگر حفاری تحت تعادلی استفاده شود، طراحی لوله جداری را به گونه‌ای تغییر داد که سازندهای بالایی قبل از حفر لایه‌های پایینی لوله‌گذاری شوند و یا در نهایت قبل از متوقف ساختن گردش گل، چاه را بکشیم.

3- همراه شده گاز ترش با سیالات تولیدی:

از آنجایی که در حفاری تحت تعادلی سیالات سازند به سطح زمین جریان پیدا می‌کنند، بنابراین باید در سازندهایی که حاوی این گاز هستند، اگر در حین حفاری مقداری از آن تولید شود باید به یک مشعل مناسب هدایت شود و اصولاً این کار زمانی به صورت ایمن انجام خواهد شد که سیستم حفاری Dry Gas Drilling و یا Mist Drilling باشد تا بتوان تمام سیالات برگشتی را در انتهای تخلیه خط سوخت به طور کامل سوزاند.

4- سازندهای دارای شکاف طبیعی:

از آنجایی که در UBD سیالات مورد استفاده با سرعت‌های فوق‌العاده زیاد در فضای حلقوی جریان پیدا می‌کنند، به هنگام حفاری در سازندهای شکاف دار طبیعی این سرعت بالا، باعث سایش و گشاد شدن بیشتر قطر چاه می‌شود که می‌توان با انتخاب کف فشرده که دارای گرانروی بالا می‌باشد و سرعت کمی را در فضای حلقوی ایجاد می‌کند، این مشکل را حل کرد.

2-4:حفاری زیرتعادلی در مخزن کرنج:

موقعیت و ساختمان میدان کرنج :

میدان کرنج در امتداد محور حداکثر فرونشست فروافتادگی دزفول در دامنه جبهه کوهستانی، در جنوب غربی میدان پارسی و شمال شرقی میدان آغاجاری واقع گردیده است. میدان کرنج به وسیله ناودیس غیرتناوبی عابران- رامهرمز از میدان آغاجاری جدا شده است. این میدان در سطح زمین به صورت تاقدیسی نابه‌جا دیده می‌شود. به طوری‌که سازندهای تاقدیسی بر روی

www.Prozhe.com

ناودیس بین کرنج و پارسی ظاهر شده است. به طور کلی سازندهای گروه فارس واحدهای عمده سنگ چینه‌ای آن طاقدیس را تشکیل می‌دهد.

3-4 : مشخصات عمومی میدان :

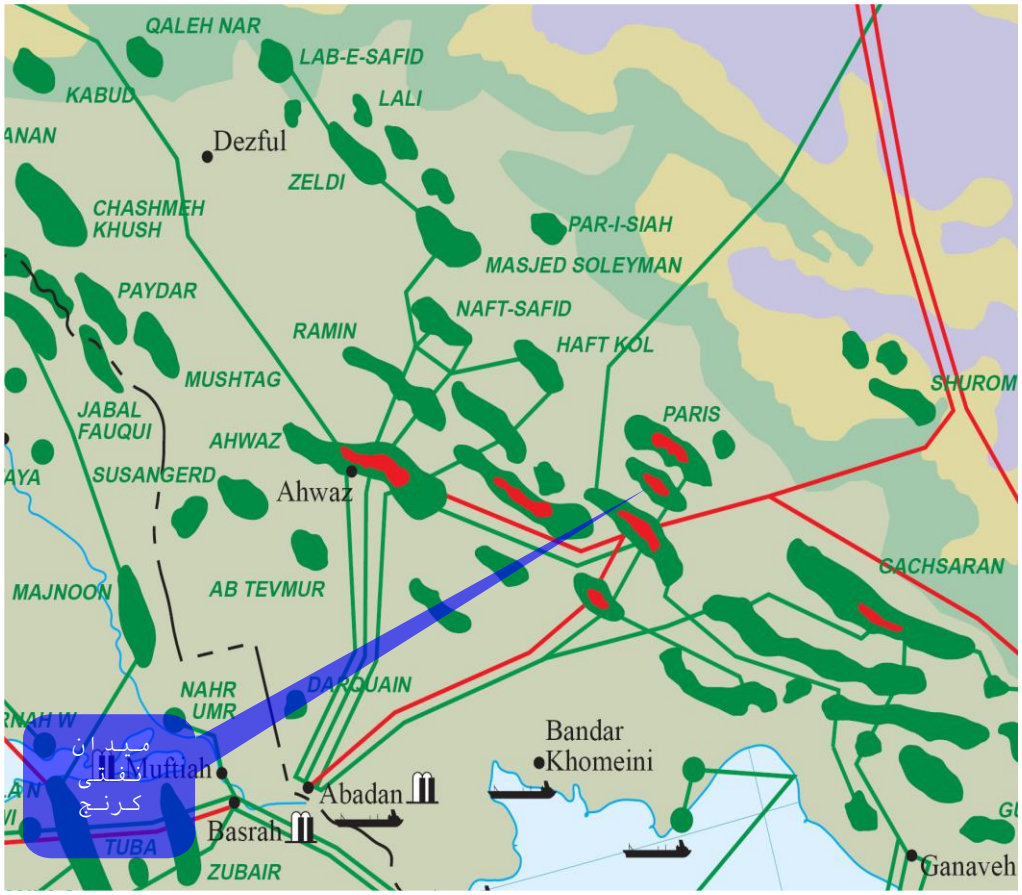
میدان نفتی کرنج در شمال شرقی میدان آغاجاری و در حدود 160 کیلومتری جنوب شرقی اهواز قرار دارد. این میدان در سال 1342 با حفر چاه شماره یک کشف و بهره‌برداری از آن در آذرماه 1343 با تولید روزانه 20 هزار بشکه از چاه شماره یک آغاز گردید.

وجود هیدروکربور در سازندهای آسماری و قسمتی از پابده، بنگستان و خامی این میدان به اثبات رسیده است. در حال حاضر تمام تولید از مخزن آسماری به عمل می‌آید. تا کنون 30 حلقه چاه در این میدان حفر شده که به شرح زیر می‌باشد:

جدول 1- مشخصات چاه‌های میدان کرنج.

نوع چاه	شماره چاه
تولیدی نفت	2، 3، 6، 8، 9، 10، 11، 18، 22، 23، 24، 25، 27، 28، 29، 30
مشاهده‌ای آب	14، 20
مشاهده‌ای آب- نفت	7
مشاهده‌ای گاز- نفت	1
تزریقی گاز	15، 16، 17، 19، 21

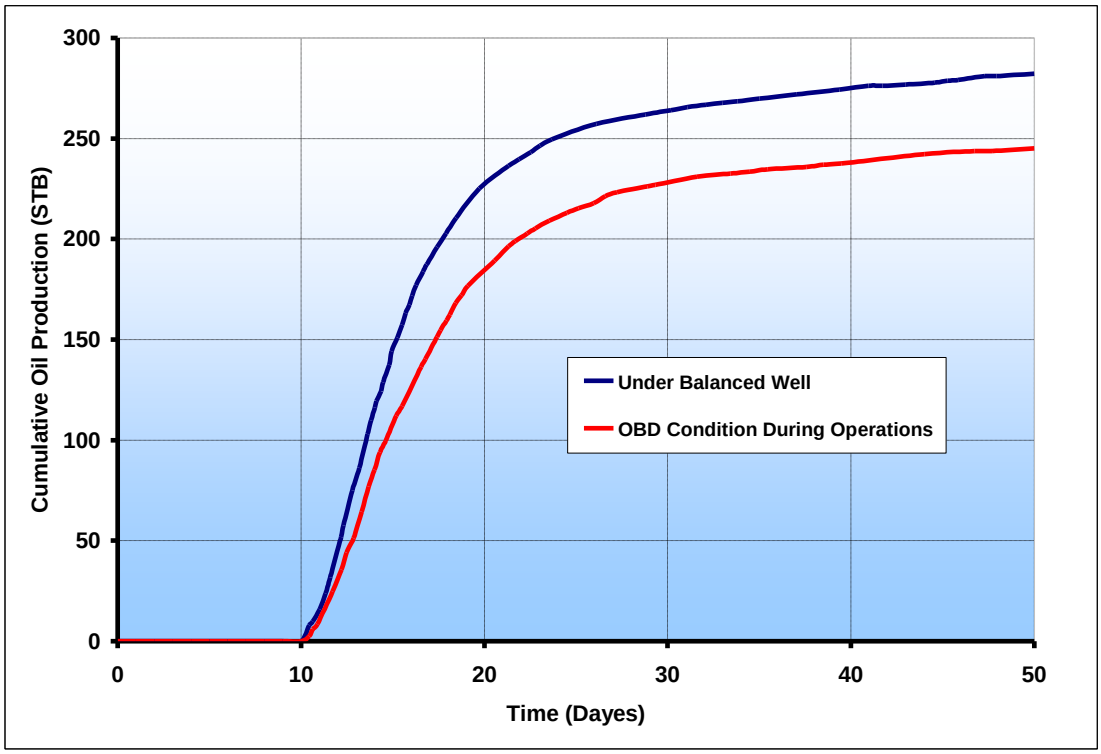
www.Prozhe.com



شکل 3- موقعیت جغرافیایی میدان کرنج نسبت به میادین جنوب غربی ایران.

بسیاری از عوامل معمولی در نوسان فشار ته‌چاهی که هنگام عملیات حفاری زیرتعادلی ممکن است ایجاد شود می‌توانند سبب ایجاد شرایط فراتعادلی موقت گردند. اتصالات لوله، افزایش وزن گل، اندازه‌گیری‌های حین عملیات حفاری، عملیات بالا یا پایین بردن لوله‌ها بخشی از عواملی هستند که عموما سبب ایجاد چنین شرایطی می‌گردند. از شکل 4 می‌توان دریافت که حتی 24 ساعت فشار فراتعادلی نیز می‌تواند سبب کاهش تولید نهایی و تولید تجمعی یک چاه زیرتعادلی گردد. میزان 282 بشکه نفت انباری که در حالت زیرتعادلی بدون وجود پالس‌های فراتعادلی تولید می‌شد، به 246 بشکه نفت انباری رسید. این کاهش تولید به دلیل عدم وجود کیک گل محافظ در عملیات حفاری زیرتعادلی می‌باشد. گل به ناحیه اطراف چاه نفوذ کرده و آسیب شدید سازند سبب کاهش پتانسیل تولید چاه می‌گردد.

www.Prozhe.com



شکل 4- تاثیر شرایط فراتعادلی موقت در حفاری زیرتعادلی با حالت کاملا زیرتعادلی بر تولید تجمعی نفت.

فصل پنجم

5:نتیجه گیری :

1- برنامه‌ریزی و اجرای عملیات **UBD** بسیار پیچیده‌تر از حفاری معمولی می‌باشد، این پیچیدگی شامل تهیهٔ سیستم ایمن‌تر کنترل چاه در حین حفاری، جداسازی سیالات برگشتی از درون‌چاه و مهمتر از همه تنظیم شرایط و پارامترهای حفاری برای مقابله با چالش‌های درون چاهی می‌باشد.

www.Prozhe.com

2- با توجه به واقعیت مخازن ایران، هم به دلیل وجود ترک‌های طبیعی و هم به دلیل افت فشار در اثر تولید اضافی، این میادین گزینه‌های ایده آلی برای **UBD** هستند و در شرایط پایداری دیواره چاه، **UBD** را به عنوان مفیدترین روش می توان انتخاب نمود.

3- از آنجایی که اکثر سیالات مورد استفاده **UBD** ، تراکم‌پذیر هستند، بنابراین نیاز است که طراحی هیدرولیکی ویژه‌ای برای چاه‌های عمیق در میدان مورد مطالعه صورت گیرد.

4- حفاری زیر تعادلی یک تکنولوژی نوپا در صنعت نفت و به ویژه صنعت نفت ایران می باشد که با پیشرفت های انجام شده در این زمینه می توان بر بسیاری از مشکلات حفاری از جمله آسیب سازند، گیر کردن لوله های حفاری، حفاری در مخازن شکافدار، سرعت حفاری، ارزیابی سازند در حین حفاری، مسائل زیست محیطی و کم بودن عمر مته غلبه کرد.

5- حفاری زیر تعادلی چاه های افقی، شرایط مناسبی را برای تولید از سازندهایی که تولید از آنها به روش حفاری معمولی امکان پذیر و یا اقتصادی نیست، فراهم کرده است و در نتیجه باعث افزایش بالقوه ذخایر هیدروکربوری شده است.

6- انجام حفاری زیر تعادلی نیاز به یک طراحی دقیق و حساب شده دارد تا بتوان از منابع و مهارت های موجود به خوبی استفاده کرده و حفاری را با ایمنی بالا و با موفقیت انجام داد.

7- کاهش مشکلات حفاری، کاهش آسیب سازند و امکان ارزیابی مخزن در حین حفاری، باعث می شود تا هزینه حفاری کاهش یافته، میزان تولید از مخزن افزایش یابد و مدیریت مخزن به خوبی صورت گیرد که مجموع این عوامل هزینه های توسعه ای را کاهش می دهد که در نهایت سبب افزایش ارزش خالص فعلی مخازن می شود.

امروزه درحفاری دیواره های نمناک از پودر سیلیکات به عنوان ماده جاذب رطوبت که از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است استفاده می کنند.

با توجه به مزایای استفاده از سیالات حفاری زیر فشار تعادلی در دستیابی به مخازن نفت و گاز از جمله افزایش سرعت حفاری ، کاهش هرزروی سیال ،افزایش عمر مته ، ارزیابی بهتر سازند ها، کاهش صدمه دیدگی سازندها و تولید زودتر از مخازن و از آنجا که کشور ما کلیه شرایط مورد نیاز برای به کار گیری این شیوه از حفاری اعم از مخازن با نفوذپذیری کم ،مخازن شکافدار ، مخازن تخلیه شده و کم فشار مخازنی که دارای سازندهای سخت و پرفشار را دارد ، شایسته است

که مسؤلان طراح چاه و برنامه ریزان عملیات حفاری ،استفاده از این روش حفاری را در دستور کار خودقرار دهند تا از این طریق ، ضمن کاهش هزینه های جاری حفر چاه و افزایش میزان تولید ، اقداماتی عملی را در جهت صیانت از مخازن و گاز به اجرا در آوردند.

امروزه ، کارشناسان در حال مطالعه بر روی سیالات کم فشاری هستند که در عملیات حفاری چاههای نفت و گاز از آن استفاده شود تا از این طریق ضمن افزایش سرعت حفاری ، عمر طولانی مته و صدمه زدگی کم به سازندها ، هزینه های جاری حفاری را

www.Prozhe.com

نیز کاهش دهند این مقاله سیالاتگوناگون را مورد بررسی قرار می دهد از جمله سیالاتی که برای حفاری چاههای کاملاً خشک به کار می رود که به این نوع حفاری ، حفاری گرد وغباری می گویند ، زیرا عملاً آنچه که باعث جابه جایی خرده ها می گردد شبیه گردو غبار است سیالاتی که برای حفاری چاههای مرطوب مورداستفاده قرار می گیرند ، شبیه مایع صابون هستند و همراه با آب و هوا مورد استفاده قرار می گیرد . سیالاتی که برای حفاری چاههای که آب طبقات زمین در آن زیاد است به کار می روند و به آن گل هوازده نیز می گویند گروهی دیگر از سیالات که به کف فشرده یا غلیظ مشهورند و دارای عملکرد بسیار بالایی نسبت به سایر گروهها هستند علاوه بر سیالات مورد بحث ، مواد دیگری نظیر مواد بازدارنده در برابر خوردگی ، مواد کف ساز و مواد روان ساز نیز همراه با سیالات حفاری کم فشار ، مورد استفاده قرار می گیرد .

سیالات حفاری زیر تعادلی باید با سیالات تولیدی مخزن سازگاری داشته باشد ،ولی سیالات حفاری معمولی نیاز ی به سازگاری با سیالات تولیدی از مخزن ندارد .

Abstract

A recyclable oil-based foam drilling fluid (OBFDF) system has been developed to expand the benefits of controlled pressure drilling with foam onto water sensitive formations. This paper describes chemical development and presents drilling results for a Gulf Coast well drilled with the oil-based foam system. Not only did results confirm the ability of the foam system to control fluid loss and preserve formation permeability, but also, show the advantages of drilling with foam. Furthermore, a bit trip was saved drilling the reservoir in a single bit run, with a high rate of penetration and reduced gas inflow while drilling. The OBFDF is versatile, stable at high temperature (up to 450°F), compatible with H2S scavengers and reusable.

Foam properties were successfully adjusted in presence of gas and condensate inflow. Still, the flexibility of foaming, defaming and reforming allowed surface separation and fluids reuse. Therefore, recycling liquid make up hydrocarbon reduced fluids and chemical usage with the

www.Prozhe.com

associated cost reduction. Onsite modeling showed the controlled pressure contractor modeling software used for water-based foams can be adjusted to properly predict drilling parameters with oil based foams.

Mist and foam are the primary fluids to controlled pressure drilling formations with less than 4.0 page pore pressure. The drivers to drill with mist or foam include controlling fluid loss and differential sticking, increasing rate of penetration and minimization of formation damage. In these systems 55 – 99.9% v/v is gas and the rest is liquid. Liquids travel as droplets in mist drilling and as part of the bubble structure in foam drilling.

www.Prozhe.com

مراجع:

1- Underbalanced Drilling : A Reservoir Design Perspective(D.Brant Bennion , F.Brent Thomas)

2- UBD Technology Offers Pathway To Solving Complex Reservoir Problems (By D. Brant Bennion)

3- Underbalanced Drilling (Dr.Ali Ghalambor)

4- محمد رحیم کریمی، کارشناس زمین‌شناسی، شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب- حسین شیخ‌زاده، کارشناسی ارشد زمین شناسی نفت، مناطق نفت‌خیز جنوب- حسین صفاری، کارشناس زمین شناسی، رئیس اداره عملیات زمین شناسی مناطق نفت خیز جنوب "بررسی علل فروریختگی لوله های جداری میدان نفتی مارون".

5- مجموعهٔ مقررات حفاری (فصل دوازدهم).

6- بیژن عربلو پروژهٔ کارشناسی ارشد مهندسی معدن " بررسی گیر لوله درحفاری چاه های نفتی " دانشگاه تربیت مدرس.

7- فریدون سرابی- اسد ایران پناه- سیروس زرعیان "سنگ شناسی" جلد اول انتشارات دانشگاه تهران سال 1377.

8-Short, J.A.'Drilling and Casing Operations, Penwell Textbook, 1982.

9-Adam T. Bourgoyne Jr. 'Applied Drilling Engineering' second edition society of petroleum Richardson TX , 1991.

10-H.Rabia, graham & troman 'Oilwell Drilling Engineering principles and practice'first publish 1991.

11-B.W.Swsanson 'Application of Noval Technologies in the Design and Engineering of Synthetic-Based Mud Used to Drill and Complete Horizontal, High-Temperature/High- Pressure Wells in the Central

www.Prozhe.com

North Sea, Marnock field Society of petroleum Engineering (IADC/SPE), paper number 59187, 2000.

12-D. J. Power, SPE and C. Hight, Baroid, a Halliburton Company, DWeisinger 'Drilling Practices and Sweep Selection for Efficient Hole Cleaning in Deviated Wellbores, IADC/SPE 62794 ,2000.

13- Paul D. Scoff, SPE, Marathon Oil Company; Mario Zamora, and Catalin Aldea 'Barite-Sag Management: Challenges, Strategies, Opportunities, IADC/SPE 87136 , 2004.

14- G.A. McNair, SPE and S.D. Cassidy SPE, CACT Operators Group, and Z. Zheng SPE, Baker Atlas'Technology Applied to Extend the Drilling Reach of a Platform Workover Rig, SPE 64620 , 2000.

15- Helio Santos, SPE, Petrobras , Differentially Stuck Pipe: Early Diagnostic and Solution, IADC/SPE 59127,2000.

16- M.Zamora'the top10 mud-Related concerns in Deepwater Drilling Operations, Society of petroleum Engineering (IADC/SPE), paper number 59019, 2000.

17-G.A.Haduch 'Solution of Common Stuck Pipe Problems Through the Adaption of Torque/Drag Calculations, Society of petroleum Engineering (IADC/SPE), paper number 27490, 1994.

18-Schelumberger ,New Frontiers in Directional Drilling Number 6 , 2005.

19-Schelumberger,"NIOC R&D SOLUTIONS PROJECT #1 "CASING COLLAPSE (WELL INTEGRITY)" Phase 1-Concept & Feasibility Study , JUNE 2005.

www.Prozhe.com