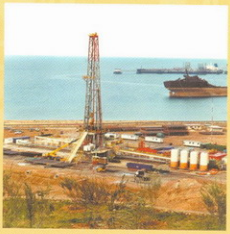
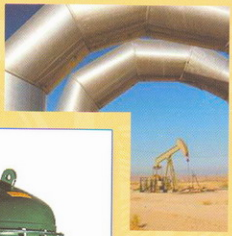
اویل ایندا‌ستری
Oilindustry.ir
CLICK HERE

شرکت پشتیبانی ساخت و تهیه کالای نفت تهران





آشنایی با گل حفاری و تجهیزات تصفیه آن

مدیریت پشتیبانی ساخت تجهیزات مکانیک، برق و ابزار دقیق

بسم الله الرحمن الرحیم

شرکت ملی نفت ایران

شرکت پشتیبانی
ساخت و تهیه
کالای نفت تهران

مقدمه ای بر گل حفاری و تجهیزات تصفیه آن

۱– سیالات حفاری ۵
۱–۱– مایعات ۵
۱–۲–گلهای روغنی (اساس ترکیبات نفتی) ۵
۱–۳–گلهای امولسیونی (اساس آب) ۶
۱–۴– گازها ۶
۲– سیستم چرخش سیال حفاری ۷
۳– کنترل ذرات جامد همراه با گل ۱۰
۳–۱– کنترل ذرات جامد در گلهای بدون وزن (unweighted muds) ۱۰
۳–۲– کنترل ذرات جامد در گلهای وزن دار (weighted muds) ۱۲
۳–۳–کنترل ذرا ت جامد و میزان آب در گلهای روغنی ۱۳
۴–تجهیزات کنترل ذرات جامد ۱۴
۴–۱– FLO LINE PRIMER ۱۴
۴–۲– FLO-DIVIDER ۱۵
۴–۳– SHAKER ۱۵
۴–۴– هیدرو سیکلونها ۱۸
۴–۵– سانتریفوژها (Decanting Centrifuges) ۲۳
۴–۶–گاز زدائی (Degassing) ۲۷
۵– روش Zero Discharge ۳۰
۵–۱– خشک‌کن (Dryer) ۳۰
۵–۲– تکنولوژی تزریق قطعات حفاری ۳۲

۱- سیالات حفاری

واژه سیال حفاری به آن دسته از سیالاتی اطلاق می‌شود که در عملیات حفاری و در موارد زیر استفاده می‌شود:

۱- خنک، تمیز، شفاف کردن و جلا دادن سر مته و رشته لوله‌های حفاری

۲- انتقال قطعات حفاری از ته چاه به سطح زمین

۳- معلق نگه داشتن ذرات حفاری در فضای بین لوله‌های حفاری و چاه (فضای آنولوس) هنگام متوقف شدن جریان گل حفاری

۴- کنترل فشار طبقات زیر زمین و جلوگیری از ورود آنها به چاه

۵- پر کردن منافذ دیواره چاه در مواقع ضروری و جلوگیری از هدر رفتن گل حفاری

بدون شک هیچ یک از انواع موجودسیالات حفاری، همه خواص فوق را بطور مطلوب دارا نیستند.

در هر عملیات حفاری یکی از موارد فوق بطور اساسی مطرح می‌باشد، لذا باید سیال حفاری متناسب با شرایط اصلی انتخاب شود. اساس گل حفاری را ممکن است آب (Water based)، (Oil based muds) روغن، یا آب نمک (Salt-water based muds) تشکیل دهد، اما بر حسب ضرورت به آن ذرات کلوئیدی مانند خاک رس یا ذرات جامد اضافه می‌شود و در شرایط استثنایی ممکن است بعضی از ترکیبات شیمیایی به ترکیب گل نیز اضافه گردد.

معلق نگه داشتن ذرات حفاری در هنگامی که جریان گل حفاری به درون چاه متوقف می‌گردد، به خاصیت ژله‌ای گل حفاری به هنگام سکون بستگی دارد. چنانچه گل حفاری فاقد خاصیت ژله‌ای باشد، در هنگام متوقف شدن عملیات حفاری ذرات در حال صعود از فضای آنولوس به سطح زمین، به ته چاه و بر روی مته و Drill Collar سقوط و اصابت خواهند کرد و موجب چسبندگی و گیر کردن لوله حفاری می‌شوند که برای برطرف کردن این مشکل تحمل هزینه اضافی اجتناب ناپذیر است.

باید توجه داشت که در سنگهای سخت به دلیل کاهش سرعت حفاری، مقدار کمی از ذرات حفاری در ته چاه باقی می‌مانند لذا خاصیت ژله‌ای گل حفاری اهمیت کمتری دارد.

سیالات حفاری بسته به موارد استفاده به چند دسته تقسیم می‌شوند که در ادامه توضیح داده شده است.

۱-۱- مایعات

مایعاتی که بعنوان سیال حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: آب خالص، آب نمک و روغن. آب به دلیل ویسکوزیته و چگالی کم آن، مناسبترین سیال حفاری برای ایجاد چاه است. آب نمک نسبت به آب خالص مزیت بیشتری دارد. این امر به دلیل وجود نمک در آب (۱۰%) و داشتن وزن مخصوص زیادتر و ایجاد فشار هیدروستاتیکی بیشتر نسبت به آب است. روغن فشار هیدروستاتیکی کمتری نسبت به آب نمک و آب خالص ایجاد می‌کند که علت آن چگالی کمتری است که نفت خام نسبت به آب نمک و آب خالص دارد. حفاری از میان ماسه سنگ توسط آب خالص موجب انبساط و ازدیاد حجم رس موجود در ماسه سنگ می‌شود که سبب مسدود شدن منافذ سنگ می‌گردد. این فرایند بالاخص در چاههای نفت اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا باعث عدم ورود نفت از ماسه سنگ به چاه می‌شود. آب نمک موجب انبساط کمتر رس نسبت به آب خالص می‌شود.

۱-۲- گلهای روغنی (اساس ترکیبات نفتی)

ترکیبات اصلی اینگونه گلهای حفاری را هیدروکربنهای نفتی خصوصاً آنهایی که نقطه اشتعال بالایی دارند تشکیل می‌دهد و در آن ذرات جامد بصورت معلق است. از اینگونه گلها بیشتر برای حفاری ماسه سنگها استفاده می‌شود. همچنین ممکن است برای کاهش وزن مخصوص گل حفاری به آن روغن اضافه گردد.

معمولاً No.2 Diesel بعنوان فاز روغن در این گلها استفاده می‌شود که علت آن خواص گرانروی، اشتعال پذیری کم، حلالیت کم برای لاستیک (بعضی از قطعات BOP لاستیکی هستند) است. آب موجود در گل روغنی بصورت امولسیون است.

مزایا و معایب استفاده از گلهای روغنی بصورت خلاصه در جدول ۱ آورده شده است. بدلیل قیمت گران اولیه و مسائل کنترل آلودگی، معمولاً از این گلها کمتر استفاده می‌شود.

به صورت رایج از گلهای روغنی در موارد زیر استفاده می‌شود:

۱- حفاریهای عمیق با گرمای زیاد (دما بالاتر از ۳۰۰°F)

۲- حفاری نمک، potash, carnalite, anhydrite و قطعات حفاری فعال و چاههای حاوی H_2S و CO_2

۳- حفاریهایی که استفاده از گل با پایه آب موجب ایجاد خسارت می‌شود.

۴- کنترل خوردگی

۵- حفاری جهتی یا چاههای باریک (مواردی که گشتاور بالا بعنوان یک مسئله مطرح است).

۶- جلوگیری / آزاد نمودن گیر لوله‌ها

مزایا	معایب
خواص رئولوژیکی خوب در دماهای بالا حدود $500^{\circ}F$	قیمت گران اولیه
خاصیت inhibitive بیشتر نسبت به گلهای با پایه آب	مشکلات ایجاد آلودگی در محیط زیست
مقاوم در مقابل انواع خوردگی	لزوم فرآیندهای پیچیده برای جبران گل از دست رفته
دارای خاصیت روغنکاری عالی	تشخیص سخت گاز همراه با گل به خاطر حلالیت آن در گل
کاهش چگالی گل	کاهش تاثیر ابزارهای بررسی تغییرات گل

جدول ۱: مزایا و معایب گلهای روغنی

۱-۳-گلهای امولسیونی (اساس آب)

در اینگونه گلهای حفاری معمولاً روغن بصورت قطره به آب اضافه می‌شود که مقدار آن به طور معمول بین ۱۰ تا ۱۵ درصد از حجم گـل حفاری است و در صـورت لزوم تا ۵۰ درصد از حجم گل حفاری را روغن تشکیل می‌دهد. رس و ذرات جامد دیگر نیز می‌تواند به اینگونه گلها اضافه گردد و اساس آنها آب خالص یا آب نمک است. روغن باعث شفافیت و جلا دادن مته و لولـه‌های حفاری می‌شود و بدین ترتیب مـوجب کـاهش چسبندگی ذرات حفاری به مته و رشته لوله حفاری بخصوص در سیستم حفاری چرخشی می‌شود.

زمانیکه حفاری در سنگهای نمکی انجام می‌شود، گل حفاری نمک را در خود حل می‌کند و این مسئله موجب اندازه بیش از حد قطر چاه می‌گردد که خود منبع مشکلات دیگر و مستلزم هزینه اضافی است. راه حل آن استفاده از گل حفاری با ترکیب آب نمک می‌باشد.

در مواردی نیز به علت فشار زیاد طبقات زیر زمین و کم بودن فشار هیدرو ستاتیکی گل حفاری موادی مانند آب، گاز و یا نفت به داخـل چاه فـوران می‌کنند که برای حل این مشکـل باید چگالی گل حفاری را تا حدی افزایش داد که بر فشار طبقات غالب شود. وقوع فوران شدید را در چاه می‌توان از روی افزایش غیر قابل انتظار گل حفاری در سطح مخزن، افزایش فشار گل برگشتی از چاه و یا سرعت بیش از حد لوله حفاری به هنگام برگشت به زمین تشخیص داد.

در مواردی که گل حفاری هدر می‌رود (به علت نفوذ در لایه‌های زمین) می‌توان با تغییر برخی از خواص گل حفاری، عمدتاً وزن مخصوص آن، از این پدیده جلوگیری نمود. اما در صورتیکه ذرات جامد رس و باریت موجب جلوگیری یا کاهش به هدر رفتن گل حفاری نشوند، در این وضعیت از متداولترین موادی که استفاده می‌شود، الیاف چوب، کتان، ورقه میکا، پوست گردو و خرده چوب، پوست درخت، خاک اره، علف خشک و پیرلیت است.

۱-۴- گازها

گازهایی که به عنوان سیال حفاری از آنها استفاده می‌شود عبارتند از: هوا، متان، نیتروژن و دی اسید کربن.

استفاده از گاز متان به دلیل میلی که به ترکیب با هوا دارد، محدود است . تنهـا گازی که در عمـل استفاده می‌شود هوا است. هوا سبک، ارزان و بهترین تمیز کننده است ضمن آنکه به دیواره چاه آسیبی نمی‌رساند و سرعت انتقال خرده‌ریزه‌های حفاری با هوا زیاد است. اما در همه موارد حفاری نمی‌توان از هوا استفاده کرد که اهم دلایل آن عبارتند از:

۱) پایین بودن چگالی آن که قا در به حمل قطعات درشت حفاری نیست.

۲) قادر به کنترل فشار طبقات نیست.

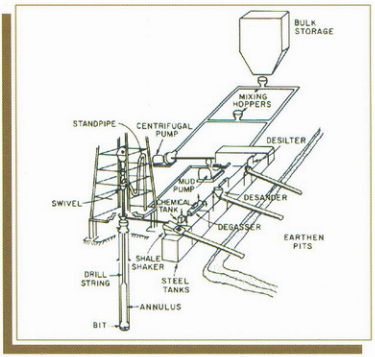
در مواردی ممکن است که دو نوع سیال حفاری ترکیب شوند که از آن جمله می‌توان فومها را نام برد.

مهندس حفار وظیفه انتخاب و نگه داشتن سیال را در بهترین وضعیت ممکن بر عهده دارد. سیال حفاری به صورت مستقیم یا غیر مستقیم با بسیاری از مسائل حفاری مرتبط می‌باشد. اگر سیال حفاری خواص لازم را نداشته باشد ممکن است باعث

شود که یک چاه از بین برود. افزودنی‌های مورد نیاز برای ثابت نگه داشتن خواص سیال حفاری ممکن است خیلی گران باشند. سیال حفاری مورد نیاز برای یک چاه معمولی ممکن است قیمتی بیش از یک میلیون دلار داشته باشد. متخصصین سیال حفاری که مهندس گل (mud engineer) نامیده می‌شوند، وظیفه دارند که دائماً کیفیت سیال حفاری را با کمترین قیمت ممکن حفظ نمایند.

۲- سیستم چرخش سیال حفاری

عمل اصلی سیستم چرخش سیال، خارج نمودن خرده سنگها از چاه هنگام حفاری می‌باشد. یک دیاگرام شماتیک از یک سیستم چرخش سیال در شکل ۱ نشان داده شده است. گل حفاری ۱) از مخزن استیل به پمپ گل،
۲) از پمپ به لوله‌های پر فشار با مجموعه لوله‌های حفاری،
۳) از لوله‌های حفاری به‌مته،
۴) از سوراخهای مته به فضای خالی بین لوله‌ها و سطح‌چاه و
۵) پس از عبور از تجهیزاتی که برای جدا نمودن خرده سنگها در نظرگرفته شده است به مخزن مکش منتقل می‌شوند.
اجزاء اصلی سیستم چرخش سیال شامل
۱) پمپهای گل،
۲) مخازن گل،
۳) تجهیزات مخلوط نمودن گل و
۴) تجهیزات جدا نمودن خرده سنگها از گل می‌باشند.

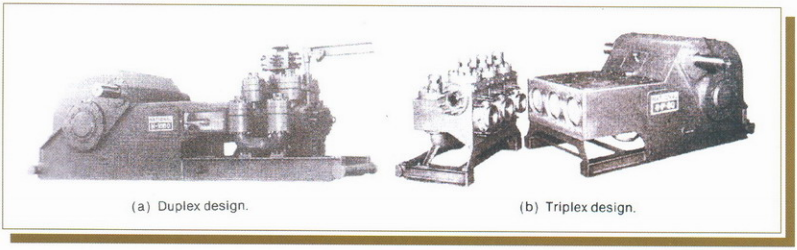


شکل ۱: دیاگرام شماتیک سیستم گردش سیال

به جز بعضی از نمونه‌های آزمایشی، در پمپهای گل از پیستونهای رفت و برگشتی جابجایی– مثبت (positive displacement) استفاده می‌شود. در سیستمهای چرخش سیال حفاری استفاده ازهر دو نوع پمپ دو سیلندر و سه سیلندر رایج است. پمپهای دو سیلندرمعمولاً دو طرفه (double acting) هستند، یعنی در جهت رفت و برگشت عمل می‌کند. پمپهای سه سیلندر یک طرفه (single acting) هستند و پمپ تنها در جهت رفت عمل می‌کند. پمپهای سه سیلندر سبکتر و کم حجمتر از پمپهای دو طرفه بوده، تغییرات فشار خروجی آنها زیاد نمی‌باشد و ارزانتر هستند. به همین دلایل، اکثر پمپهایی که جدیداً در عمل استفاده می‌شوند از نوع سه سیلندر هستند. مزیت پمپ رفت و برگشتی جابجایی– مثبت موارد زیر می‌باشد:
۱) قابلیت حرکت سیالات با قطعات جامد بزرگ و همراه با ذرات سایینده.
۲) قابلیت پمپ ذرات بزرگتر.
۳) کارکرد و نگهداری ساده.
۴) قابلیت اطمینان
۵) قابل کارکرد در محدوده وسیعی از جریان و فشار (با تغییر قطر سیلندر و پیستون پمپ).

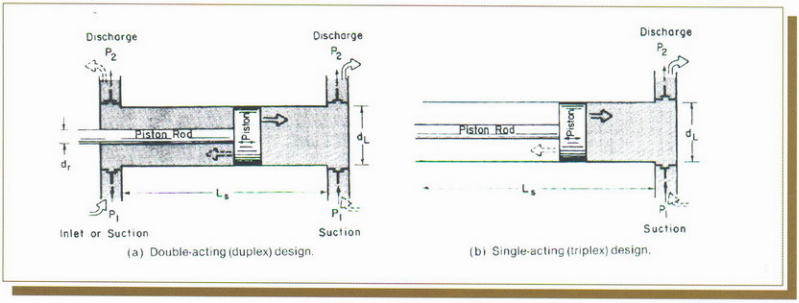
در شکل ۲ مثالی از یک پمپ دو سیلندر و سه سیلندر نشان داده شده است. بازدهی نهایی یک پمپ گل حاصلضرب بازدهی مکانیکی در بازدهی حجمی است. بازدهی مکانیکی معمولاً ۹۰% بوده که بستگی به بازدهی محرک اولیه و اتصال آن به محور محرک دارد. بازدهی حجمی پمپ که عمل مکش نیز انجام می‌دهد، حدود ۱۰۰% است.

معمولاً دو پمپ در یک مجموعه حفاری نصب می‌شود. برای چاههای بزرگ در قسمت کم عمق چاه، هر دو پمپ بصورت موازی کار می‌کنند تا جریان زیاد لازم را تامین کنند. در بخشهای عمیقتر چاه، تنها یک پمپ نیاز است و پمپ دوم بصورت ذخیره هنگامی که پمپ اول نیاز به تعمیرات و نگهداری دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل ۳ دیاگرام شماتیک نحوه کار یک پمپ دو طرفه نشان داده شده است.
اتصالات هدایت جریان از پمپ گل به مجموعه لوله حفاری در یک سیستم قدیمی شامل موارد زیر است:
۱) محفظه موج گیر (surge chamber).
۲) لوله‌های مخصوص فشار– بالا برای اتصال پمپ به دریچه روی سکوی حفاری.
۳) یک stand pipe و یک لوله چرخشی.
۴) swivel
۵) Kelly



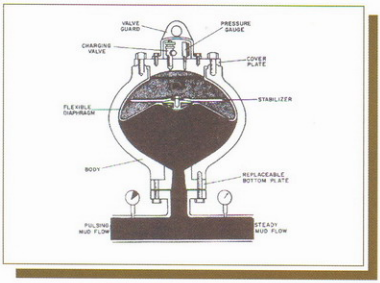
(a) Duplex design. (b) Triplex design.

شکل ۲: نمونه‌ای از یک پمپ دو سیلندر و سه سیلندر



(a) Double-acting (duplex) design. (b) Single-acting (triplex) design.

شکل ۳: دیاگراد شماتیک نحوه کار یک پمپ دو طرفه



(شکل ۴) : surge chamber

گازی که در قسمت بالای surge chamber (شکل ۴) جمع می‌شود به کمک دیافراگم قابل انعطاف آن از سیال حفاری جدا شده است. surge chamber موجهای فشاری ایجاد شده توسط پمپ گل جابجایی–مثبت را جدا می‌سازد. خط خروجی نیز شامل یک شیر فشار شکن (pressure relief valve) است که از شکستن لوله در هنگام شروع به کار پمپ جلوگیری می‌کند. stand pipe و لوله چرخشی (rotary hose) یک اتصال قابل انعطاف ایجاد می‌نمایند که اجازه حرکت عمودی به لوله‌های حفاری می‌دهد. Swivel شامل یک رولربیرینگ است که نیروهای چرخشی اعمال شده توسط مجموعه لوله‌های حفاری را تحمل می‌کند و همچنین دارای کاسه نمدهای فشاری است که گردش سیال را درآن ممکن می‌سازد.

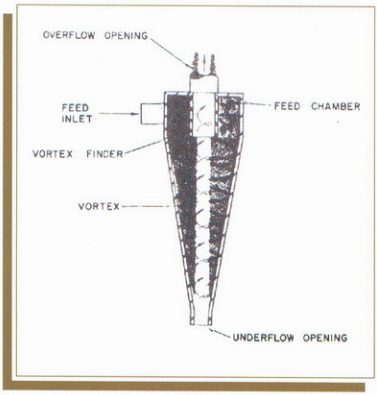
در سیستمهای جدید، Kelly حذف شده است و گل حفاری از top drive وارد لوله‌های حفاری می‌شود و تجهیزات لازم برای چرخش لوله‌ها در هنگام حفاری نیز در top drive پیش بینی شده است.

مخازن گل برای نگهداری حجم اضافی گل حفاری استفاده می‌شوند. مخازن، زمان لازم برای ته‌نشینی ذرات جامد کوچک و جدا شدن حبابهای گاز را فراهم می‌نمایند. همچنین مقداری از گل حفاری در هنگام حفاری از دست می‌رود که در مخازن روی سطح زمین مجدداً اضافه می‌گردد. مخازن مکش و تصفیه گاهی اوقات به کمک بولدوزر روی زمین کنده می‌شوند ولی معمولاً از جنس استیل ساخته می‌شوند. یک مخزن زمینی بزرگ برای ذخیره سیالات آلوده و اضافی حفاری و قطعات حفاری نیز ایجاد می‌شود. مواد افزودنی خشکی که به گل اضافه می‌شود در ظروفی نگهداری می‌شوند که بصورت دستی به مخزن مکش اضافه می‌شوند. برای مخلوط نمودن گل، در مخزن مکش از یک مخلوط کن استفاده می‌شود. هم اکنون در بیشتر مجموعه‌های حفاری، از مخازن بزرگ استفاده می‌شود و مخلوط کن‌ها به صورت خودکار عمل می‌کنند.

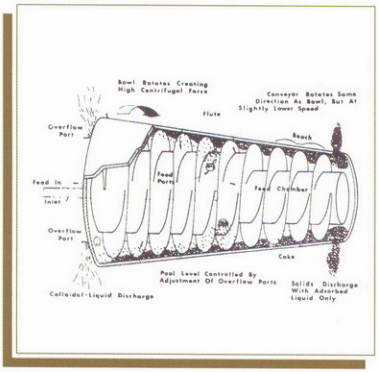
افزودنیهای مایعی که به گل حفاری در مخزن مکش اضافه می‌شود از یک تانکر مواد شیمیایی تامین می‌شود. جتهای گل یا همزنهای موتوردار نیز در مخزنها بعنوان تجهیزات مخلوط کننده کمکی استفاده می‌شوند.

تجهیزات جداسازی مواد شامل تجهیزات مکانیکی لازم برای جدا نمودن ذرات جامد و گازها از گل حفاری می‌باشد.

قطعات بزرگ خرده سنگها به کمک یک نوار نقاله الک‌دار از گل جدا می‌شود. جداسازی بیشتر ذرات جامد و گازها از گل حفاری در بخش تصفیه گل انجام می‌شود. وقتی که میزان ذرات جامد کوچک همراه با گل زیاد هستند، برای جداسازی آنها از هیدروسیکلونها (Hydrocyclone) و decanting centrifuge استفاده می‌شود. یک هیدروسیکلون (شکل ۵) یک محفظه مخروطی شکل است که یک حرکت چرخشی شبیه به گرداب در سیال ایجاد می‌کند. ذرات جامد سنگینتر به سمت پایین محفظه هیدروسیکلون که در واقع راس مخروط می‌باشند، سرازیر می‌شوند. ذرات سبکتر و مایع از گرداب ایجاد شده در بالا خارج می‌شوند. decanting centrifuge (شکل۶) شامل یک غلتک مخروطی شکل چرخان است که یک کانوایر پیچ شکل (screw conveyor) به دریچه ورود آن متصل است. چرخش غلتک، نیروی گریز از مرکزی را ایجاد می‌نماید که ذرات سنگینتر را به سمت دیواره محفظه پرتاب می‌کند و کانوایر پیچ شکل نیز ذرات جدا شده را به سمت بیرون هدایت می‌کند.

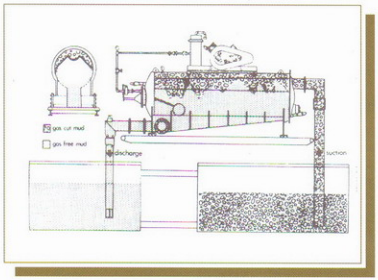


شکل ۵: نمای شماتیک یک هیدروسیکلون



شکل ۶: نمای شماتیک یک سانتریفوژ

وقتی میزان ذرات گاز و حباب همراه با گل زیاد هستند باید به کمک degasser جدا شوند. یک degasser با محفظه خلاء در شکل ۷ نشان داده شده است. یک پمپ خلاء در بالای محفظه نصب شده است که گازها را از محفظه خارج می‌سازد. گل حفاری از سطوح محفظه که دارای لایه‌های باریکی می‌باشند، عبور می‌کند که این کار باعث می‌شود ذرات حباب داخل گاز به خاطر کاهش فشار ایجاد شده بزرگ شوند و بدین ترتیب به سادگی از گل حفاری جدا شوند. گل با فشار کاهش یافته‌ای در حدود 5psi به کمک یک جت گل نصب شده در خط تخلیه به سمت بیرون رانده می‌شود.



شکل ۷: نمای شماتیک یک degasser

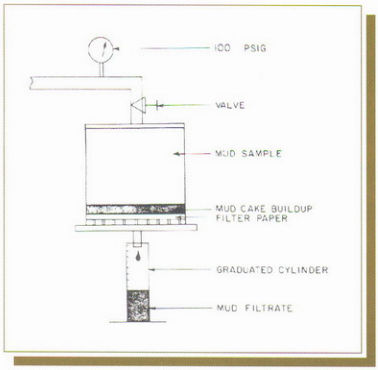
۳-کنترل ذرات جامد همراه با گل

بسته به نوع گل به کار رفته در سیستم حفاری، کنترل ذرات جامد شامل دو دسته می‌شود. کنترل ذرات جامد گلهای وزن‌دار و گلهای بدون وزن. در ادامه توضیحاتی در مورد هر یک از این سیستمها ارائه شده است.

۳-۱- کنترل ذرات جامد در گلهای بدون وزن (unweighted muds)

ذرات جامد موجود در گل به دو دسته فعال و غیر فعال یا خنثی دسته بندی می‌شوند. ذرات جامد غیر فعال هیچ گونه فعالیت شیمیایی با دیگر اجزای گل حفاری ندارند. ذرات جامد غیر فعال شامل مواد معدنی نظیر شن، ماسه، سنگ آهک، feldspar و باریت API می‌باشد. به جز باریت API که به منظور افزایش چگالی گل به آن اضافه می‌شود، مواد دیگر موجود در گل ناخواسته هستند. ذرات ناخواسته غیر فعال موجود در گل، فشار اصطکاکی را در سیستم سیال افزایش می‌دهند بدون اینکه تاثیر چندانی در حمل قطعات حفاری به سطح زمین داشته باشند. طریقه تشخیص این ذرات این است که filter cake تشکیل شده توسط این ذرات ضخیمتر و غیرقابل نفوذتر از ذرات افزودنی گل می‌باشد. filter cake لایه‌ای است از ذرات جامد که بر روی فیلتر کاغذی استاندارد API در شرایط تست استاندارد تشکیل می‌شود و مشخص کننده میزان نفوذپذیری گل حفاری می‌باشد (شکل ۸).

ذرات ناخواسته باعث مشکلات متعددی در فرآیند حفاری، نظیر چسبیدن لوله‌ها، نیاز به گشتاور زیاد برای حفاری، کاهش گردش گل حفاری و عدم آماده سازی مناسب دیواره چاه برای سیمانه کردن آن می‌شود.

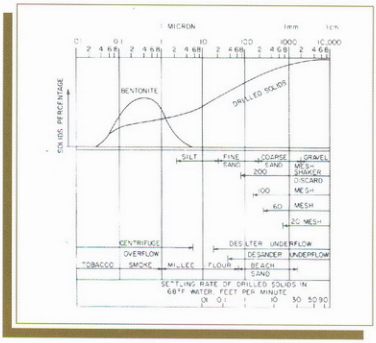


شکل ۸: شکل فیلتر API و نحوه تست

ازچهار روش پایه برای جلوگیری از ازدیاد ذرات جامد در گل استفاده می‌شود. این روشها شامل موارد زیر است:

۱- الک کردن (Screening)
۲- تصفیه اجباری (forced settling)
۳- انعقاد شیمیایی (Flocculation)
۴- ترقیق (Dilution)

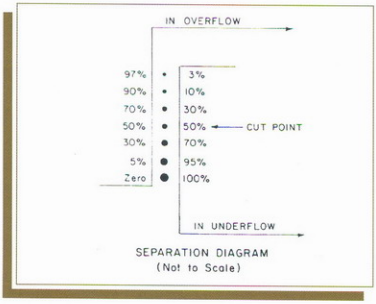
محدوده اندازه ذرات جامد مطلوب و غیر مطلوب موجود در گل و محدوده ذرات باقیمانده روی الکها و جدا شده در تصفیه اجباری در شکل ۹ نشان داده شده است.



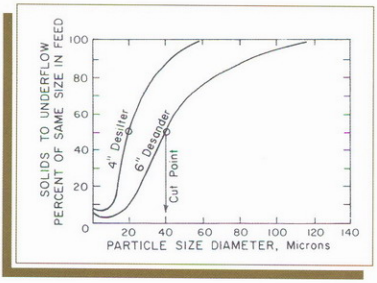
شکل ۹: محدوده اندازه ذرات جامد موجود در گل

الک کردن همیشه اولین فرآیند در تصفیه گل است. پیشرفتهای اخیر در زمینه تجهیزات الک کردن امکان استفاده از الکهای بسیار ریز و با سطوح افزایش یافته را فراهم می‌نماید. این الکها ذراتی را با اندازه‌ای زیر اندازه استاندارد باریت API جدا می‌کنند. استاندارد API لازم می‌داند که ۹۷% ذرات سولفات باریم از یک الک ۲۰۰ مش (200 mesh screen) عبور نمایند. یک الک ۲۰۰ مش، ۲۰۰ سوراخ در هر اینچ دارد. ذرات با قطر کوچکتر از ۷۴ میکرون می‌توانند از یک الک ۲۰۰ مش عبور نمایند. الکهای کمتر از ۲۰۰ مش را نمی‌توان برای گلهای وزن‌دار بکار برد، زیرا مقداری از باریت API همراه با ذرات جامد از الکها رد شده و از بین می‌رود.

سرعت ته‌نشینی طبیعی ذرات حفاری در مخزن تصفیه بسیار پایین است و در تصفیه چندان موثر نیست. بنابراین وسائلی نظیر هیدروسیکلونها و سانتریفوژها برای افزایش نیروی گرانشی ذرات حفاری استفاده می‌شود. هم‌اکنون، هیدروسیکلونها و سانتریفوژهای پرسرعت بعنوان تجهیزات ته‌نشینی اجباری برای گلهای بدون وزن استفاده می‌شوند. مشخصه یک هیدروسیکلون، Cut point آن است که در واقع اندازه ذره‌ای است به اندازه نصف ذراتی که در هیدروسیکلون از گل جدا می‌شوند (شکل ۱۰). محدوده Cut point برای چند هیدروسیکلون رایج در جدول ۲ و شکل ۱۱ نشان داده شده است. از آنجاییکه محدوده اندازه ذرات باریت API معمولاً بین ۲ تا ۸۰ میکرون است، هیدروسیکلونها نمی‌توانند برای گلهای وزن‌دار استفاده شوند مگر اینکه با الکها بصورت سری قرار گیرند. سانتریفوژها با سرعت بسیار بالایی کار می‌کنند و دارای یک محفظه مخروطی‌هستند که برای سیستمهای گل بدون وزن و بعد از هیدروسیکلونهای کوچک استفاده می‌شوند. شکل محفظه، طول مسیر حرت ذرات جامد را در سانتریفوژ افزایش می‌دهد و امکان جداسازی ذرات کوچکتر را فراهم می‌نماید. حذف ذرات رس کوچک فعال با اضافه نمودن مواد شیمیایی که باعث انعقاد یا انباشته شدن (آگلومر) ذرات کوچک و تبدیل آنها به واحدهای بزرگتر می‌شود، صورت می‌گیرد. بعد از انباشتگی ذرات رس، جداسازی به سادگی با ته نشین نمودن ذرات انجام می‌شود.



شکل ۱۰: تعریف cut point یک هیدروسیکلون



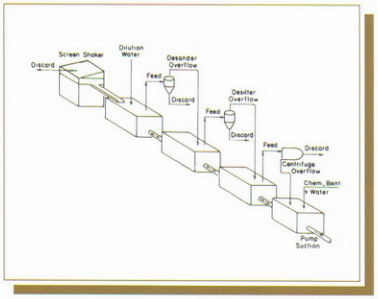
شکل ۱۱: نمودار ذرات جداشده و باقیمانده در گل بوسیله یک هیدروسیکلون

قطر هیدروسیکلون (اینچ)	محدوده cut point (میکرون)
۶	۴۰
۴	۲۰
۲	۱۰

جدول ۲: محدوده cut point برای چند هیدروسیکلون

برای جلوگیری از تجمع ذرات جامدی که با الک کردن و تصفیه اجباری جدا نمی‌شوند، از رقیق‌سازی گل استفاده می‌شود. به علت محدودیت ظرفیت مخازن گل، برای ترقیق لازم است که مقداری از گل به مخزن ذخیره منتقل شود. بنابراین برای ترقیق لازم است که قسمتی از افزودنی‌های استفاده شده در گل که در قسمتهای قبلی اضافه شده، جدا شود. بعلاوه گل جدید تولید شده با اضافه نمودن آب، باید دارای چگالی و خواص شیمیایی مطلوب باشد. برای اینکه هزینه ترقیق زیاد نشود، حجم گل باید در کمترین مقدار ممکن نگه داشته شود. گل قبل از ترقیق و بعد از آن، باید جدا از یکدیگر نگه داشته شود. همچنین قیمت یک فرآیند ترقیق یک مرحله‌ای بزرگ از چند مرحله ترقیق کوچکتر به مراتب کمتر است. قیمت ترقیق بسته به چگالی گل به شدت افزایش می‌یابد.

یک مثال از نحوه قرارگیری تجهیزات جداسازی ذرات جامد برای گل بدون وزن با ترکیب آب و خاک رس در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: نحوه قرارگیری تجهیزات جداسازی ذرات جامد برای گل بدون وزن

مقداری از آب قبل از هیدروسیکلونها به گل اضافه شده است که برای افزایش بازدهی هیدروسیکلونها می‌باشد. فرآیندهای شیمیایی در انتهای تمامی تجهیزات تصفیه انجام می‌شود.

۳-۲- کنترل ذرات جامد در گلهای وزن‌دار (weighted muds)

مواد اضافه شده به گل برای افزایش چگالی آن می‌تواند متفاوت باشد. ترکیب ایده‌آل گل وزن‌دار بصورت زیر است:

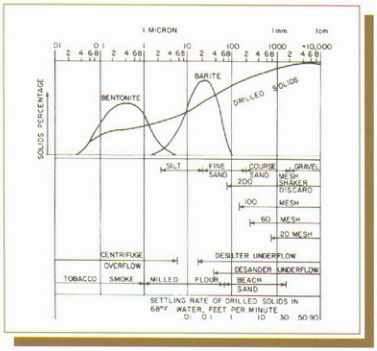
۱- آب

۲- خاک رس فعال (Active clay)

۳- مواد وزن دهنده خنثی

بنابراین، ابتدا تا جایی که ممکن است ذرات جامد با چگالی پایین به کمک الکها از گل جدا می‌شود و تا قبل از اینکه اندازه ذرات به محدوده ذرات باریت API برسد، امکان الک کردن وجود دارد.

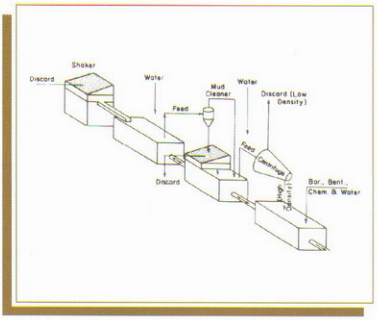
هیدروسیکلونها را نمی‌توان به تنهایی برای سیستمهای گل وزن‌دار مورد استفاده قرار داد. زیرا محدوده Cut point آنها زیر محدوده اندازه ذرات باریت API قرار دارد. به همین دلیل، از آنها همراه با الکهای لرزان (Shaker screen) استفاده می‌شود. لرزش الکها به منظور افزایش ظرفیت جدا سازی ذرات جامد می‌باشد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: محدوده اندازه ذرات در گل وزن‌دار

یک مجموعه شامل یک هیدروسیکلون و الک لرزان، Mud cleaner نامیده می‌شود. این ترکیب برای گلهای با چگالی متوسط (زیر 15 lbm/gal) بسیار مناسب است. از تجمع ذرات ریزتری که از الک عبور می کنند با فرآیند ترقیق جلوگیری می‌شود.

در چگالی‌های بالاتر، Mud cleaner ها بازدهی کمتری دارند. مقداری از ذرات جامد بزرگ همراه با گل باقی می‌مانند و به همین دلیل مجدداً به الکها بازگردانده می‌شوند. ترقیق باعث از دست رفتن حجم زیادی از باریت API می‌شود و هزینه زیادی را در بردارد. در این موارد، سانتریفوژها برای جدا نمودن ذراتی که اندازه آنها زیر محدوده باریت API می‌باشد و همچنین ذرات بسیار ریز همراه گل استفاده می‌شود. در این حالت جریان گل به دو دسته تقسیم می‌شود: ۱) دوغاب با چگالی کم (15 lbm/gal) که از بالا خارج می‌شود و ۲) دوغاب با چگالی بالا (23 lbm/gal). دوغاب با چگالی بالا به سیستم بازگردانده می‌شود و دوغاب با چگالی پایین معمولاً از مجموعه خارج می‌شود. یک نمونه از تجهیزات کنترل ذرات جامد برای گلهای وزن‌دار در شکل ۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۱۴: تجهیزات کنترل ذرات جامد برای گلهای وزن‌دار

حدود سه چهارم بنتونایت و مواد شیمیایی گل همراه با ذرات جامد کوچک در فرآیند سانتریفوژ از گل حفاری جدا می‌شود. برای جلوگیری از کاهش کیفیت گل، بنتونایت و مواد شیمیایی جدید باید به آن اضافه شود. بخاطر اینکه بسیاری از ذرات باریت API و ذرات جامد حفاری از جریان بالا دست خارج می‌شوند، جریان پایین دست حجم کمتری دارد و به همین دلیل حجم کمی از گل جدید باید به سیستم گل اضافه شود تا حجم گل در سیستم ثابت باقی بماند. گلهای خروجی از سانتریفوژ باید از لحاظ میزان باریت API، خاک رس، مواد شیمیایی وآب مورد بررسی قرار گیرند تا در صورت نیاز به آن اضافه شوند.

۳-۳-کنترل ذرا ت جامد و میزان آب در گلهای روغنی

استفاده از هیدروسیکلونها و سانتریفوژها در تصفیه گلهای روغنی مقرون به صرفه نیستند زیرا حجم قابل توجهی از فاز مایع توسط این وسائل دفع می‌شوند. ترقیق نیز در این زمینه هزینه زیادی را در بر دارد. الک کردن تنها نحوه اقتصادی کنترل ذرات جامد در گلهای با پایه روغن است. به خاطر خاصیت inhibitive گلهای روغنی، ریزشدن قطعات حفاری محدود می‌شود و الکها بسیار مفید هستند. معمولاً از چند سری الک برای جدا نمودن ذرات تا اندازه‌ای که ممکن است استفاده می‌شود و هنگامی که نتوان به سطح مطلوب ذرات جامد در گل رسید، ترقیق لازم می‌شود.

آب موجود در گلهای روغنی نیز باید در سطح خاصی حفظ شود. وقتی که دمای گل بالاست، میزان تبخیر آب قابل توجه است. میزان آب تبخیر شده باید جایگزین شود تا میزان نمک و فعال بودن گل کاهش نیابد. بعلاوه اگر میزان نمک محلول به حالت اشباع برسد، رسوب نمک باعث کاهش پایداری محلول می‌شود. در زمانی که چگالی بیشتری برای گل لازم است، باید میزان آب کاهش یابد که این کار با ترقیق به کمک روغن صورت می‌گیرد.

۴-تجهیزات کنترل ذرات جامد

همانطور که در قسمتهای قبل نیز توضیح داده شد، یک مجموعه کنترل ذرات جامد شامل موارد ذکر شده در جدول ۳ است. در این جدول محدوده جداسازی ذرات جامد توسط هر وسیله و نوع گلی (وزن‌دار یا بدون وزن) که می‌توان در تصفیه آن از این وسیله استفاده نمود، ذکر شده است.

لازم به ذکر است که یک سیستم تصفیه خوب دارای مزایای زیر می‌باشد:

۱- بهینه بودن جداسازی ذرات جامد
۲- کم بودن میزان اتلاف سیال
۳- کاهش حجم ترقیق لازم
۴- کاهش قیمت دفع مواد
۵- افزایش میزان نفوذپذیری گل
۶- کاهش زمان حفاری
۷- کاهش میزان نویز

۴-۱ FLO - LINE PRIMER

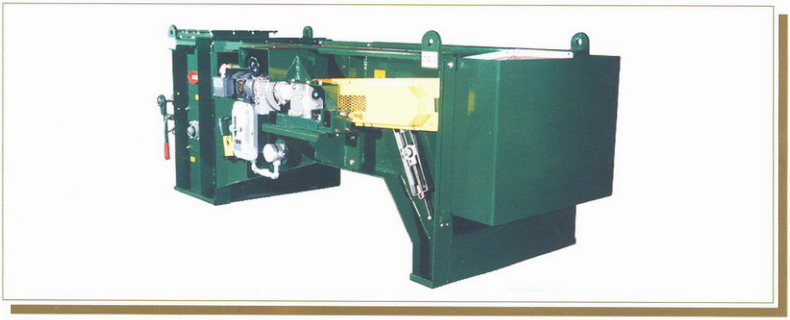
وظیفه FLO LINE PRIMER که یک کانوایر سرعت متغیر شیب‌دار می‌باشد، جدا نمودن قطعات بزرگ حفاری و رس‌های هیدراته از گل حفاری می‌باشد.

تسمه‌های مورد استفاده در این دستگاه مشبک بوده و معمولاً در اندازه‌های ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ مش موجود می‌باشد.

در زیر تسمه‌ها، یک فرچه چرخان وجود دارد که وظیفه تمیز نمودن آنها را بر عهده دارد (شکل۱۶) . FLO LINE PRIMER انتقال گل و جداسازی قطعات بزرگ حفاری را بر عهده دارد و لرزشی در این دستگاه وجود ندارد. در این دستگاه امکان جداسازی رس‌های هیدراته از گلهای un-inhibited و inhibited وجود دارد.

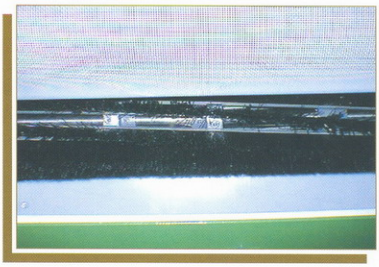
Name	Range	Mud Type
Flo-Line Primer	1000 microns & larger	ALL
Shale Shaker	76 microns & larger	ALL
Desander	40 microns & larger	unweighted
Desilter	20 microns & larger	unweighted
Centrifuge	0-12 microns & larger	weighted & unweighted

جدول۳: تجهیزات کنترل ذرات جامد



شکل ۱۵: Flo Line Primer

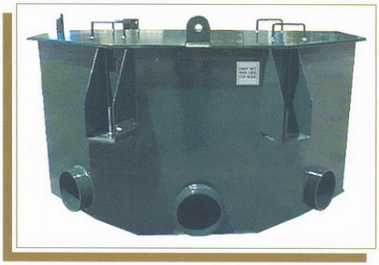
Inhibited mud، گلهایی هستند که از بهم پیوستن و جمع شدن ذرات منفرد رس با یکدیگر جلوگیری می کنند. چون بهم پیوستن این ذرات و ایجاد رس‌های هیدراته (hydrated clays) باعث به هدر رفتن آب گل حفاری، افزایش بیش از حدگرانروی و ضخیم شدن بیش از حد گل می‌شود. معمولاً یون کلسیم باعث افزایش هیدراسیون می‌شود که در این حالت بهتر است به گل، کلسیم اضافه شود.



شکل ۱۶: Cleaning brush

FLO-DIVIDER –۲–۴

این سیستم برای تقسیم سیال و ذرات جامد همراه با آن برای انتقال به shaker ها مورد استفاده قرار می گیرد.



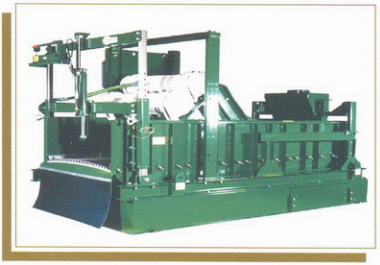
شکل ۱۷: Flo-Divider

دستگاه به نحوی طراحی شده است که سیال حفاری و ذرات آن را بین shaker ها به صورت مساوی توزیع می کند و همین امر باعث افزایش قابلیت shale shaker ها در جدا نمودن ذرات جامد از گل می‌شود و نیاز به back tank را مرتفع می‌سازد. طراحی آنها به گونه‌ای است که می‌توان مسیر یک جریان را بصورت کامل قطع نمود.

SHAKER –۳–۴

Shaker دارای یک حرکت لرزشی خطی پیوسته است که برای جداسازی ذرات جامد از گل مورد استفاده قرار می گیرد. در نوع قدیمی شتاب حدود 4G و در نوع جدید شتاب حدود 7G می‌باشد. نیروی لرزشی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$G - Force = \frac{(Stroke\ Length)\ (RPM)^2}{70490}$$



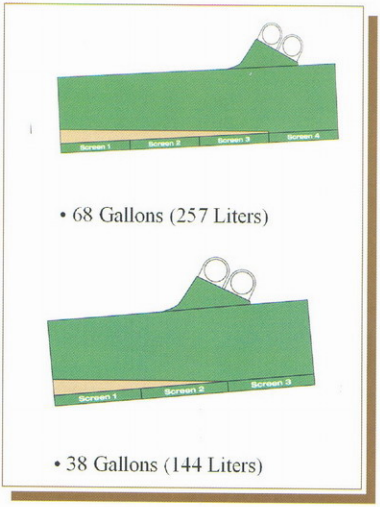
شکل ۱۸: Shale Shaker

برای اینکه یک shaker عملکرد خوب و مناسبی داشته باشد، لازم است بعضی از کمیت‌های آن را بهینه نمودکه از آن جمله می‌توان موارد زیر را نام برد:

۱– افزایش دادن طول کورس لرزش الک
۲– افزایش دادن مسیر عبور ذرات جامد
۳– بهبود انتقال ذرات جامد
۴– افزایش ظرفیت جداسازی ذرات جامد
۵– افزایش میزان مش الک‌ها تا حد امکان
۶– افزایش عمر و بازدهی الک‌ها

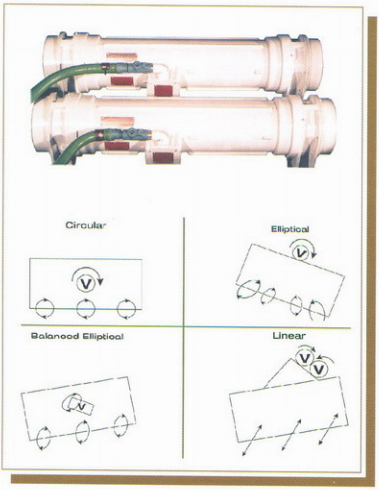
در هنگام حفاری به منظور افزایش کارآیی shaker می‌توان زاویه صفحات آن را بین ۱– تا ۱۰ درجه تغییر داد و همانطور که قبلاً نیز بیان شد تا آنجا که ممکن است باید میزان نویز را کاهش‌داد. همچنین ارتعاشات دستگاه با پایه‌های ایزوله تلف می‌شود.

معمولا shaker ها با چند ردیف الک ساخته می‌شوند که نوع ۳ و ۴ ردیفه رایج‌تر است. با افزایش تعداد ردیف‌ها در یک زاویه قرارگیری خاص، میزان ظرفیت نگهداری سیال روی shaker افزایش می‌یابد. مثلاً در نمونه خاصی که در شکل ۱۹ نشان داده شده است نوع سه ردیفه قابلیت نگهداری ۱۴۴ لیتر سیال را در روی خود دارد. این در حالی است که نوع چهار ردیفه با همان زاویه ۵ درجه قابلیت نگهداری ۲۵۷ لیتر سیال را دارد.

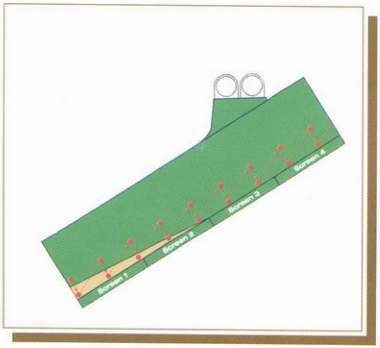


شکل ۱۹: افزایش ظرفیت shaker با افزایش تعداد ردیف‌های الک

در نوع جدید shaker ها صفحات الک‌ها بصورت خمیده نصب می‌شوند تا توزیع نیروی لرزشی یکنواخت‌تر باشد. در نمونه‌های جدید، برای ایجاد حرکت لرزشی دو موتور بگونه‌ای نصب می‌شوند که یک حرکت ارتعاشی خطی ایجاد می‌نمایند (شکل ۲۰). این حرکت ارتعاشی باعث انتقال ذرات از روی الک شیب‌دار به سمت بالا می‌شود (شکل ۲۱) و بدین ترتیب گل از ذرات جدا می‌شود. حرکت‌های مختلف که با نصب مختلف موتور یا موتورها حاصل می‌شود در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰: موتورهای لرزاننده shaker و تاثیر نحوه نصب در حرکت‌های مختلف آنها



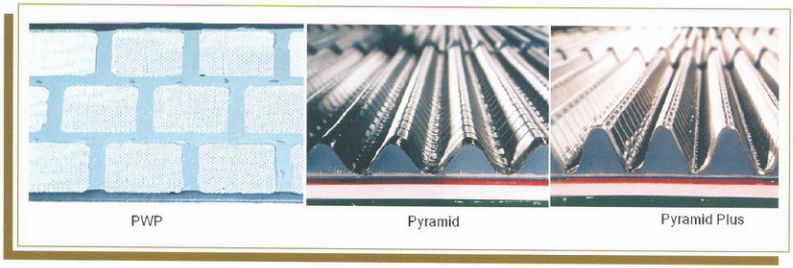
شکل ۲۱: نحوه حرکت ذرات روی صفحات shaker

نرخ جریان عبوری از صفحات مستقیماً به تعداد سوراخهایی که گل می‌تواند از آنها عبور کند، بستگی دارد. علاوه بر آن به ضخامت سیمهای مورد استفاده در ساخت الک نیز بستگی دارد، چون دو الک با سوراخهای یکسان ممکن است دارای ضخامت سیم متفاوتی باشند و در نتیجه نرخ جریان عبوری و عمر آنها متفاوت خواهد بود . انتخاب ضخامت سیمهای الک و تعداد سوراخهای آن به هزینه‌ها، میزان جدا سازی ذرات جامد، میزان ترقیق، شرایط چاه و زمان حفاری بستگی دارد. برای الکها نیز cut point تعریف می‌شود. مثلاً وقتی بیان می‌شود که d50 cut point یک الک 69 میکرون است، بدین معنی است که ۵۰% ذرات ۶۹ میکرونی از الک عبور می‌کنند و ۵۰% آنها روی الک باقی می‌مانند و یا وقتی بیان می‌شود که d16 cut point یک الک 49 میکرون است یعنی ۱۶% ذرات ۴۹ میکرونی روی الک باقی می‌مانند و ۸۴% آنها از الک عبور می‌کنند.

الکهای تولیدی شرکت Derrick به سه دسته تقسیم می‌شوند :.PMD, PWP,DX

نوع DX دارای سوراخهای بسیار ریز هستند که در سال ۱۹۷۴ طراحی شده‌اند. نوع PWP در سال ۱۹۸۴ طراحی شده‌اند و به علت حفاظهای فلزی ایجاد شده بجای حفاظهای پلاستیکی، عمر آنها افزایش یافته است. الکهای PMD سه بعدی هستند و در دو نوع pyramid و pyramid plus موجود هستند Pyramid ها در سال ۱۹۹۴ و pyramid plus ها در سال ۱۹۹۶ به منظور افزایش ظرفیت الک طراحی و استفاده شده‌اند. ظرفیت این الکها تا ۱۲۵% افزایش یافته است(شکل ۲۲).

Shale shaker های قدیمی (دهه ۷۰) دارای حرکت دورانی بودند و همچنین سرعت جداسازی و نیروی لرزشی آنها نیز کمتر بود (بین 3G-4G). الکهای آنها حداکثر ۲۰ تا ۶۰ مش و با ظرفیت پایین بودند. نوع جدید (۱۹۸۴) دارای حرکت خطی هستند و علاوه بر استفاده از مش‌بندی ریزتر با سرعت بالاتری نیز ذرات را جدا می‌کنند و الکهای آنها دارای حفاظهای فلزی است که به علت حرکت خطی نیروی لرزشی بالا لازم می‌باشد. در الکهایی که از حفاظهای پلاستیک استفاده می‌کنند برای دستیابی به عمر مناسب لازم است که ضخامت سیم‌ها افزایش یابد که نتیجه آن مش‌بندی درشت‌تر الک خواهد بود. برای مقایسه اهمیت cut point یک الک و تاثیر آن در قیمت تمام شده گل مورد نیاز،اطلاعاتی در جدول۴ ارائه شده است که درآن سه نوع الک از شرکتهای مختلف سازنده با یکدیگر مقایسه شده‌اند. آنچه باعث افزایش قیمت تمام شده گل شده است، میزان افزایش گل در فرآیند ترقیق می‌باشد. نتایج ارائه شده درجدول برای یک چاه ۹۸۰۰ فوت و با قطر دهانه ۱۲/۲۵ اینچ می‌باشد.



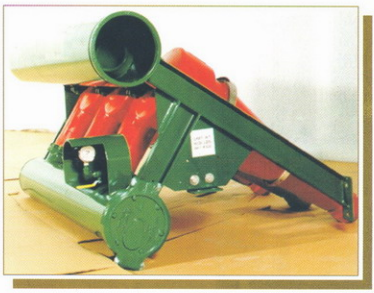
شکل ۲۲: انواع الکهای مورد استفاده در shaker

	Mesh Size	Cut Point (Microns)	Mud Cost/BBl (Dollars)	Initial Mud (bbls)	Dilution Required per ft (bbls)	TOTAL Dlution (bbls)	Resulting Mud Cost
Demick DX	210	92	$86	2200	0.85	8,330	716,380
Southwest/ Baroid XR	210	124	86	2200	1.08	10,584	910,224
CPI/SWACO VMO	210	146	86	2200	1.35	13,230	1,137,780

جدول ۴: تاثیر نوع الک در قیمت تمام شده گل

۴-۴- هیدرو سیکلونها

هیدروسیکلونها یکی از اجزای مهم جداسازی ذرات جامد از سیستم‌های گل بدون وزن می‌باشند که نسبت به الکها می‌توانند ذرات به مراتب کوچکتری را جدا نمایند.
مزیت هیدروسیکلونها در این است که بسیار ساده بوده و به سادگی می‌توان قطعات آنرا تعویض یا تنظیم نمود و اگر اصول کار آنها را بدانیم می‌توان به گونه‌ای با آنها کار کرد تا از لحاظ اقتصادی و کارآیی در بهترین شرایط باشند.



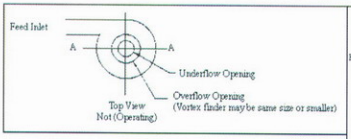
شکل ۲۳: Desander

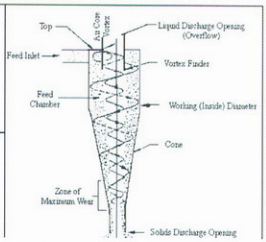
نحوه کار یک هیدروسیکلون بدین شکل است که جریان سیال با سرعت بالا وارد آن می‌شود که این سرعت با فشار ایجاد شده توسط یک پمپ سانتریفوژ تأمین می‌شود. چون سرعت سیال ورودی به هیدروسیلکون در جدا سازی ذرات بسیار اهمیت دارد، انتخاب پمپ مناسب بسیار حائز اهمیت است.
سرعت زیاد سیال ورودی به feed chamber باعث دوران سیال شده و به همین علت یک نیروی گریز از مرکز ایجاد می‌شود. وجود vortex finder در یک هیدروسیکلون باعث جریان چرخشی سیال به سمت پایین هیدروسیکلون می‌شود. نیروی گریز از مرکز ایجاد شده و اینرسی ذرات باعث می‌شود که ذرات به سمت بیرون به دیواره هیدروسیکلون بچسبند و به سمت رأس مخروط جریان یابند. بدلیل باریک شدن مقطع مخروط در پایین، سیال چرخشی در پایین به سمت مرکز مخروط و به سمت بالا حرکت می‌کند. در نتیجه این حرکات، ذرات جامد از ته مخروط خارج می‌شوند و ذرات سبکتر همراه با سیال از بالای مخروط خارج می‌شوند (شکل ۲۵).
Cut point هیدروسیکلونها به عوامل زیر بستگی دارد:
۱- درصد حجمی ذرات جامد ورودی به هیدروسیکلون
۲- ویسکوزیته سیال ورودی
۳- اندازه دریچه‌های ورود سیال، overflow و underflow
۴- قطر اصلی یا داخلی هیدروسیکلون
۵- طول هیدروسیکلون
cut point یک desander بین ۳۵ تا ۱۰۰ میکرون می‌باشد. این در حالی است که یک desilter دارای cut point بین ۱۵ تا ۷۵ میکرون است.
نحوه تخلیه ذرات جامد از یک هیدروسیکلون به دو صورت است: Spray discharge و Rope discharge در نوع Spray چون جریان ورودی از کنار مخروط وارد هیدروسیکلون می‌شود، ذرات جامد جمع شده در ته مخروط همراه با فشار هوا خارج می‌شوند ولی در حالت Rope ذرات جامد بدون وجود هوا خارج می‌شوند. در حالت Spray بازدهی هیدروسیکلون بیشتر است و میزان بیشتری از ذرات جامد از گل جدا می‌شوند . در حالت Rope بازدهی کمتر است و ذرات جامد بصورت فشرده از ته مخروط خارج شده و سیال خروجی دارای ذرات ریز بیشتری می‌باشد. Rope discharge ممکن است بخاطر انتخاب نامناسب الکها (قبل از هیدروسیکلون) و یا شکستگی الکها اتفاق بیفتد (شکل ۲۶).

Inline desilter

Round disilter

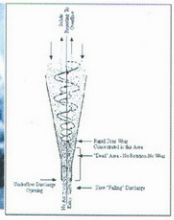
شکل ۲۴: Desilter





شکل۲۵: نحوه کار یک هیدروسیکلون از بالا و کنار

Spray Dischrge



Rope Dischage

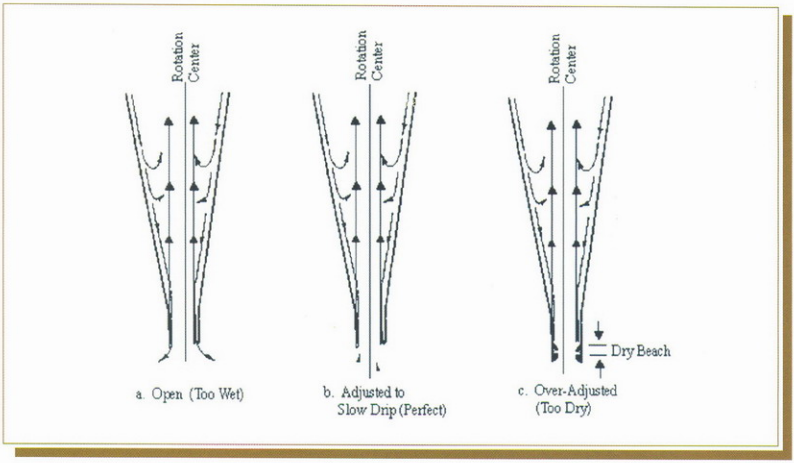
شکل ۲۶: نحوه discharge یک هیدروسیکلون

۴-۴-۱- بالانس هیدروسیکلون‌ها

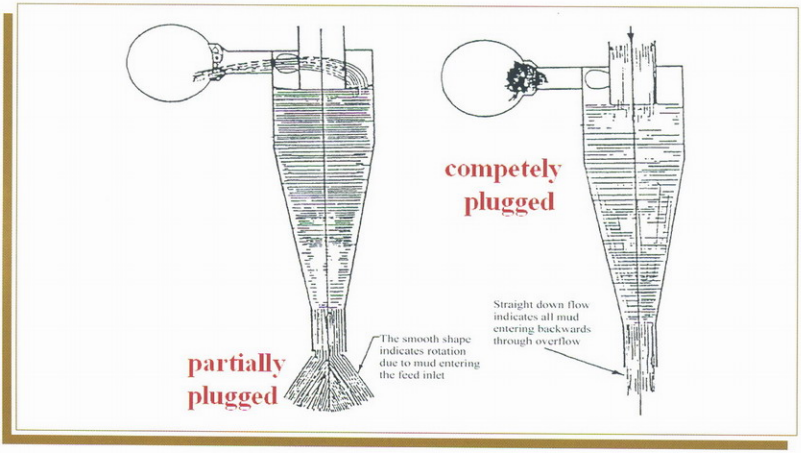
برای اینکه تمامی مخروط‌ها بصورت همانند عمل کنند، عمل بالانس هیدروسیکلون‌ها انجام می‌شود. معمولاً بالانسینگ زمانی انجام می‌شود که مخزن گل پر از آب باشد. در این حالت دریچه‌های جریان Underflow مخروط‌ها بصورت کامل باز می‌شود تا جریان آب تمیز ورودی بصورت گرداب تا انتهای مخروط جریان یابد. دریچه Underflow آهسته آهسته بسته می‌شود تا اسپری خروجی بصورت قطرات ریز آب درآید. برای اینکه این فرآیند بصورت صحیح انجام شود لازم است که فشار آب صحیح انتخاب شده باشد (شکل ۲۷).

وقتی که هیدروسیکلون بالانس شد در صورتی که همراه جریان ورودی گل، ذرات جامد وجود داشته باشد، این ذرات از گل جدا شده و تخلیه می‌شوند و هنگامیکه ذرات جامدی همراه با گل حفاری وجود ندارد، قطرات آب از انتهای مخروط خارج می‌شوند.

اگر در زمانی که دریچه Underflow (جریان زیرگذر) کاملاً باز است آب تمیز از مخروط خارج نشود، نشان دهنده تشکیل یک dry beach در دهانه خروجی است که از عبور ذرات جامد ریزجلوگیری می‌کند. در اثر مرور زمان این امر باعث تشکیل یک پلاگ (plug) سخت و خشک در دهانه خروجی می‌شود که برطرف نمودن آن دشوار است. گاهی اوقات ممکن است که در ورودی هیدروسیکلون نیز پلاگ بوجود آید. این پلاگ ممکن است بصورت کامل یا ناقص (partially/completely) باشد. در صورتی که پلاگ بصورت ناقص باشد، جریان زیرگذر دارای شکل صافی می‌باشد که ناشی از دوران گل ورودی می‌باشد و اگر پلاگ بصورت کامل باشد، جریان مستقیمی در دریچه خروجی ایجاد می‌شود که بعلت برگشت جریان گل از راه دریچه بالا گذر (overflow) به داخل هیدروسیکلون می‌باشد (شکل ۲۸).



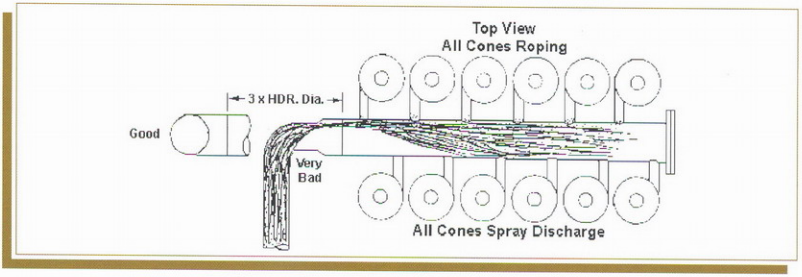
شکل ۲۷: بالانس هیدروسیکلون



شکل ۲۸: تشکیل پلاگ در ورودی هیدروسیکلون

۴-۴-۲- مساله feed header

از دیگر مسائلی که در مورد هیدروسیکلون‌ها مطرح است، مساله feed header است. اگر کنترل صحیحی روی جریان ورودی به feed header که وظیفه تغذیه جریان گل به هیدروسیکلون‌ها را به‌عهده دارد، صورت نگیرد باعث می‌شود که تعدادی از هیدروسیکلون‌های یک مجموعه در حالت تخلیه spray و تعدادی دیگر در حالت تخلیه rope قرار گیرند. برای جلوگیری از این مشکل نباید قبل از ورود جریان به feed header زانویی در مسیر گل وجود داشته باشد و یا هنگام استفاده از تبدیل (reducer) باید حداقل به اندازه سه برابر قطر feed header جلوتر از آن نصب شود.



شکل ۲۹: مساله feed header

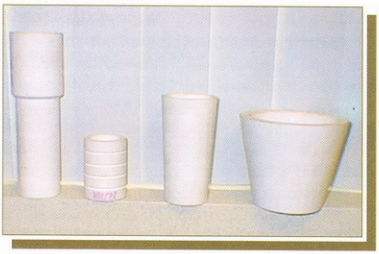
۴-۴-۳- مساله over flow header

معمولاً در overflow header به کمک یک سیفون بلند مکش ایجاد می‌شود ولی مکش ممکن است آنقدر زیاد باشد که در تخلیه ذرات جامد از under flow اختلال ایجاد نماید که برای جلوگیری از آن در مسیر overflow header یک breaker قرار می‌دهند تا شدت مکش را کاهش دهد و ذرات جامد از زیر مخروط بصورت آزادانه تخلیه شوند (شکل ۳۰).

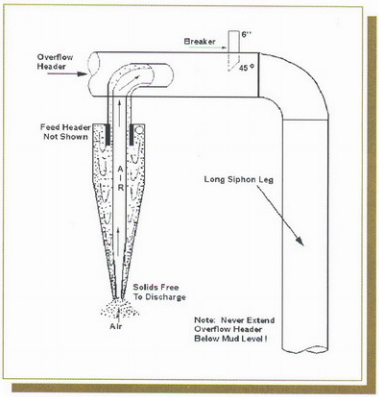
برای جلوگیری از سایش قسمتهای مختلف یک هیدروسیکلون از قطعات insert سرامیکی استفاده می‌شود (شکل ۳۱) و اگر مخروطهای هیدروسیکلون نشتی داشته باشند برای جلوگیری از آن از rag های فشار بالا استفاده می‌شود (شکل ۳۲).

قابلیت یک هیدروسیکلون در جداسازی ذرات جامد در اثر موارد زیر کاهش می‌یابد:

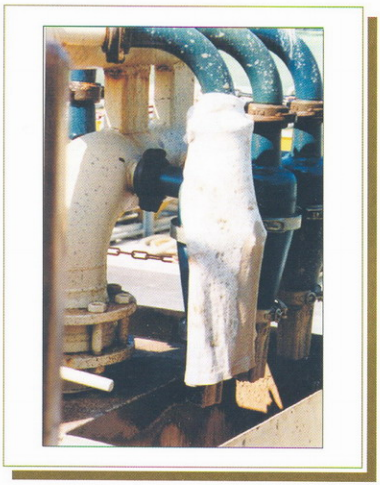
۱- افزایش فشار ورودی بالاتر از محدوده توصیه شده
۲- افزایش ویسکوزیته (funnel viscosity)
۳- کاهش اندازه ذرات جامد
۴- overload مخروط به علت وجود ذرات جامد زیاد در گل



شکل ۳۱: قطعات سرامیکی ضد سایش مورد استفاده درهیدروسیکلون



شکل ۳۰: مساله over flow header



شکل ۳۲: استفاده از rag برای جلوگیری از نشتی هیدروسیکلون

۴-۴-۴- نکاتی در مورد نحوه کار با هیدروسیکلون‌ها

۱- هیدروسیکلون‌ها قبل از Rig Pump استارت می‌شوند و بعد از Rig Pump خاموش می‌شوند.
۲- قبل از کار با هیدروسیکلون‌ها باید از وجود شکست یا آسیب دیدگی الکها اطمینان حاصل نمود زیرا در صورت وجود این عوامل در مخروطها پلاگ ایجاد می‌شود.
۳- هرگز در کار با هیدروسیکلون‌ها، Shaker ها را کنارگذرنکنید.
۴- در صورت حفاری سریع و بوجود آمدن Overload، دریچه‌های Underflow را بیشتر باز کنید.
۵- در صورتی که حفاری کندتر شود، دریچه‌ها را بیشتر ببندید.
۶- یک قانون سرانگشتی برای فشار کاری صحیح بدین صورت است که فشار صحیح در منیفولد برابر است با چهار برابر وزن گل در ارتفاع ۷۵ فوت.

۴-۵- سانتریفوژها (Decanting Centrifuges)

لغت "decanting" به معنی جاری شدن آرام سیال از یک ظرف است بطوری که رسوبات سیال در ته ظرف باقی بماند. نیروی گریز از مرکز تولیدشده توسط یک سانتریفوژ به قطر سانتریفوژ و سرعت دورانی آن بستگی دارد که رابطه آن بصورت زیر می‌باشد:

$$G = (PRM)^2 \ (0.0000142) \ \ (Diameter\ of\ Bowl,\ in)$$

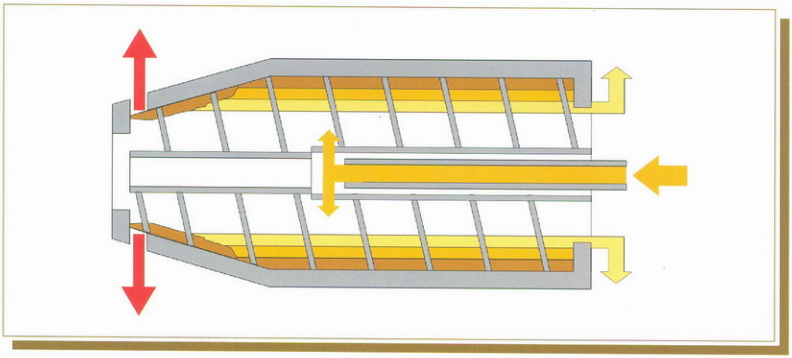
کارایی یک سانتریفوژ برای یک گل مفروض به عوامل زیر بستگی دارد:
۱- نیروی اعمال شده به سیال
۲- زمان باقی‌ماندن سیال در سانتریفوژ (اگر سیال زمان زیادتری در سانتریفوژ باقی بماند، ذرات کوچکتر نیز از آن جدا می‌شوند).
۳- سرعت کانوایر (هرچه این سرعت بیشتر باشد ، ذرات دارای رطوبت بیشتری هستند).
کمیت‌های حائز اهمیت در یک سانتریفوژ که در کاربردها و طراحی‌های مختلف تغییر داده می‌شوند عبارتند از:
۱- قطر ظرف سانتریفوژ
۲- طول ظرف
۳- محدوده سرعت دورانی
۴- سرعت کانوایر
۵- عمق مخزن
۶- سرعت دورانی (RPM) با تغییر پولی‌ها
نرخ ته‌نشینی یک ذره با قانون استوک بیان می‌شود که رابطه

شکل ۳۳: یک مخروط چهار اینچ هیدروسیکلون و اجزا آن

این قانون بصورت زیر است:

$$V_T = \frac{aD^2(S_2 - S_1) \times 10^{-6}}{116\,\mu}$$

این قانون بیان می‌کند که نرخ ته‌نشین شدن ذره با نیروی ثقل، مربع قطر ذره و اختلاف چگالی ذره و سیال رابطه مستقیم دارد و با ویسکوزیته آن رابطه معکوس دارد.
قطر مورد استفاده در رابطه، قطر یک کره است و ذره بصورت کروی فرض شده است ولی از آنجایی که در واقعیت ذرات حفاری بصورت کروی کامل نیستند، یک قطر معادل کروی (ESD) برای ذرات با شکل غیر هندسی تعریف می‌شود تا بتوان از قانون استوک برای این ذرات نیز استفاده نمود.ESD را می‌توان با دانستن وزن مخصوص ذره محاسبه نمود.
با توجه به قانون فوق می‌توان نتیجه گرفت که به عنوان مثال نرخ ته‌نشینی یک ذره جامد ۱۰۴ میکرونی با وزن مخصوص ۲/۶ با یک ذره باریت ۷۴ میکرونی با وزن مخصوص ۴/۲ برابر است.
شکل ۳۴ نحوه کار یک سانتریفوژ را بصورت شماتیک نشان می‌دهد، گل از وسط کانوایر به داخل محفظه چرخان سانتریفوژ وارد می‌شود و در اثر سرعت دورانی محفظه ذرات با نرخ‌های مختلفی ته‌نشین می‌شوند. سیال از قسمت عقب سانتریفوژ خارج شده و ذرات جامد به کمک کانوایر تا دریچه خروجی سانتریفوژ هدایت می‌شوند و از آنجا به بیرون تخلیه می‌شوند.



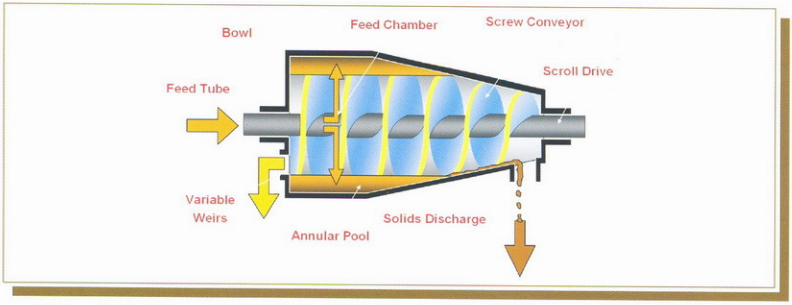
شکل ۳۴: نحوه کار یک سانتریفوژ

جداسازی ذرات جامد صرفنظر از تعداد سانتریفوژها قابل انجام است و سانتریفوژها را می‌توان بصورت سری یا موازی مورد استفاده قرار داد. اجزاء مختلف یک سانتریفوژ decanting در شکل ۳۵ نشان داده شده است.

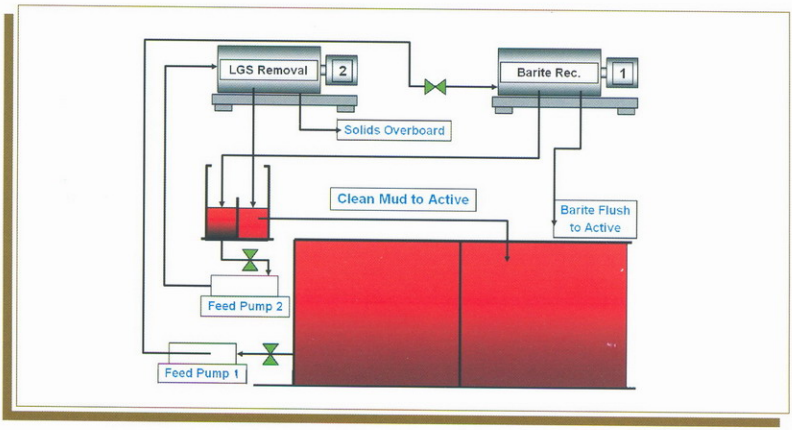
در گل‌های بدون وزن می‌توان تمامی ذرات جامد موجود در گل را جدا نمود ولی در گل‌های وزن‌دار برای حفظ مواد وزن دهنده در داخل گل، لازم است که از دو سانتریفوژ استفاده نمود. سانتریفوژ اول وظیفه جداسازی ذرات وزن دار از گل را بر عهده دارد که پس از جداسازی به سیستم گردش گل باز گردانده می‌شوند.

سانتریفوژ دوم ذرات جامد را از گل جدا می‌کند و گل تمیز را به سیستم گردش گل باز می‌گرداند و در آنجا مجدداً با ذرات وزن دهنده جدا شده ترکیب می‌شوند.

در این روش ذرات بزرگ جامد (بزرگتر از ذرات باریت) به کمک Shaker از گل جدا می‌شوند و سپس مراحل فوق به کمک سانتریفوژها انجام می‌شود (شکل شماتیک ۳۶).



شکل ۳۵: قسمتهای مختلف یک سانتریفوژ



شکل ۳۶: استفاده از سانتریفوژها در تصفیه گل‌های وزن‌دار

سیستم رانش سانتریفوژها متفاوت است. تکنولوژی مورد استفاده در دهه ۱۹۷۰ بدین شکل بود که از یک موتور الکتریکی دور ثابت برای چرخش ظرف سانتریفوژ و کانوایر استفاده می‌شد و برای تغییر سرعت لازم بود که پولی‌ها و تسمه‌ها تعویض شود که این تنظیمات حدود یک ساعت زمان لازم داشت و به همین دلیل به ندرت تغییری انجام می‌شد.

در این سیستم چون لازم بود که کانوایر با سرعتی به مراتب کمتر، نسبت به ظرف سانتریفوژ بچرخد، از یک جعبه دنده کاهنده (معمولاً خورشیدی) استفاده می‌شد.

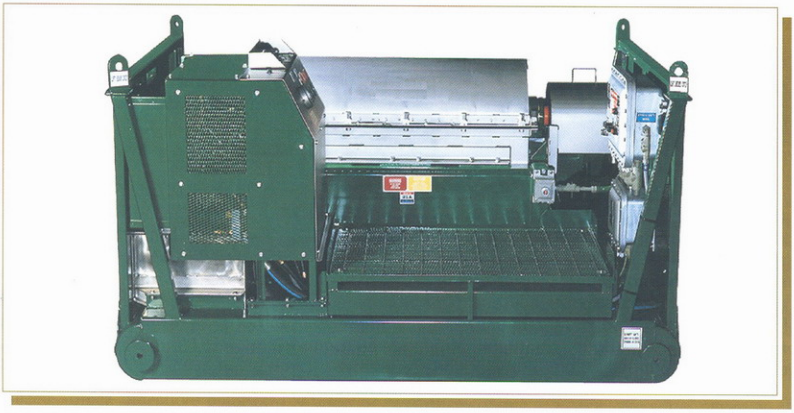
تکنولوژی مورد استفاده در دهه ۸۰ بدین صورت بود که از یک موتور الکتریکی دور ثابت برای چرخش ظرف سانتریفوژ و از یک موتور دیگر برای چرخش یک پمپ هیدرولیکی استفاده می‌شد. واحد قدرت هیدرولیکی برای تغییر سرعت کانوایر استفاده می‌شد. در این روش نیز برای تنظیم سرعت ظرف سانتریفوژ لازم بود که سیستم برای مدتی حدود یک ساعت خاموش شود و به همین دلیل بندرت تغییری در سرعت ظرف صو رت می‌گرفت.

از مزایای تغییر سرعت این است که گشتاور مورد نیازبه مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

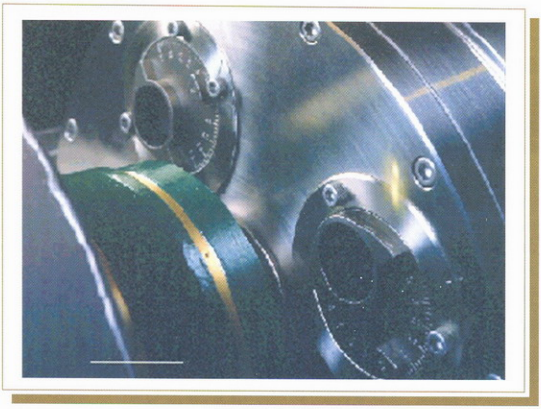
تکنولوژی دهه ۹۰ بدین صورت است که سرعت ظرف سانتریفوژ وکانوایر بدون نیاز به هیچ‌گونه خاموشی بصورت مستقل از هم قابل تغییر است. در این روش از دو موتور هیدورلیکی برای چرخش ظرف و کانوایر استفاده می‌شود.

شکل ۳۷ یک سانتریفوژ هیدرولیکی (Full Hydraulic Drive Centrifuge)FHD را نشان می‌دهد که در آن برای محافظت ازتجهیزات از Insert های ضد سایش استفاده شده است.

در سیستم‌های جدید برای تنظیم دقیق و سریع عمق دریچه خروجی گل (Effluent Port) از دریچه‌های خاص قابل تنظیم استفاده می‌شود (شکل۳۸) و برای کنترل سیستم هیدرولیکی از سه نوع سیستم ایمنی اتوماتیک استفاده شده که سیال ورودی، سرعت کانوایر (برای جلوگیری از overload) و واحد خاموش و روشن کردن دستگاه را کنترل می‌کند. در مواردی که گشتاور مصرفی دستگاه زیاد است، روغن هیدرولیک داغ شده، ارتعاشات زیاد است و یا میزان روغن هیدرولیک کاهش یافته است سیستم کنترل بصورت اتوماتیک دستگاه را خاموش می‌کند.



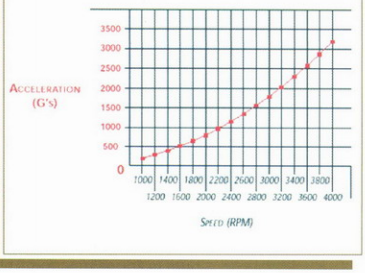
شکل ۳۷ : سانتریفوژ FHD



شکل ۳۸: سیستم جدید برای تنظیم دقیق
و سریع عمق دریچه خروجی گل

برای نمونه مشخصات یک دستگاه سانتریفوژ و نمودار شتاب آن در زیر آورده شده است:

Bowl Size	14"(mm356)Diameter
Bowl Type	Contour Cylinder
Conveyor	Helical(Radial)Axial
Effluent Ports	Variable- Eccentric
Differential Conveyor Speed	3-90 RPM
Speed Range	0-4000 RPM Maximum g's:318
Flow Rate	200 GPM with Water
Electrical	50 Hp (37 kw) Motor 480v.
Dimensions	Length:115" (2921mm) Width:75 "(1905 mm) Height:57" (1448 mm)
Weight	9000 lbs



شکل ۳۹: نمودار شتاب ذرات در سرعتهای مختلف

۴-۶-گاز زدائی (Degassing)

هنگام حفاری بنا به دلایل مختلف به گل حفاری مقادیری گاز اضافه می‌شود که باید آنرا حذف نمود. دلیل اصلی جداسازی گاز از گل این است که پمپ بتواند گل را پمپ نماید. علاوه بر آن، وجود گاز در گل باعث کاهش وزن موثر آن می‌شود. وجود گاز در گل را می‌توان با روشهای مختلفی تشخیص داد که از آن جمله می‌توان موارد زیر را برشمرد:

۱- مقایسه وزن گل در حالت طبیعی با گل فشرده شده. اگر در گل، گاز وجود داشته باشد وزن گل فشرده بیشتر خواهد بود.
۲- اگر وزن گل با اضافه نمودن آب افزایش یابد.
۳- درصورتیکه آشکار ساز گاز پیغام خطایی صادر کند.
۴- ویسکوزیته بدون دلیل خاصی افزایش یابد.
۵- خواص شیمیایی یا رئولوژیکی در اثر فرآیندهای شیمیایی تغییر کند.
۶- اگر فوم در گل دیده شود.

در مواردی که پایه گل روغن است به علت حل شدن گازها در آن، تشخیص گاز دشوارتر است. نوع گازهایی که معمولاً با گل مخلوط هستند شامل متان، دی‌اکسید کربن، H_2S و هوا می‌شود که علت مخلوط شدن آن می‌تواند موارد زیر باشد:

۱- نفوذ گاز به داخل چاه ناشی از بیشتر بودن فشار لایه‌های زمین از فشار هیدروستاتیکی گل و یا شکست لایه‌ها.
۲- حبابهای هوا که در اثر اغتشاش جریان گل وارد آن می‌شوند (آب به خودی خود حبابهای گاز را از خود خارج می‌کند ولی سیالات حفاری با ویسکوزیته بالا تمایل بیشتری به نگهداری حبابهای هوا دارند).
۳- در مواردی که حفاری در جایی صورت می‌گیرد که منافذ زمین دارای گاز هستند، میزان گاز به نرخ حفاری بستگی دارد.

علاوه بر استفاده از Degasser با روشهای دیگر نیز می‌توان مقداری از گاز موجود در گل را جدا نمود. مقدار زیادی از گاز در حین عبور گل از Shaker ها جدا می‌شوند و برای افزایش آزادسازی گاز، آب بصورت اسپری بسیار ریز به گل افزوده می‌شود. می‌توان Defoamer هایی نیز به گل اضافه کرد که این مواد کشش سطحی حبابها را کاهش می‌دهند تا گاز بیشتری آزاد شود. همچنین مخازن گل با همزنهای مکانیکی، به هم زده می‌شوند. هم‌زدن گل باعث می‌شود که حبابهای ته مخزن به بالا منتقل شوند و به سادگی آزاد شوند.

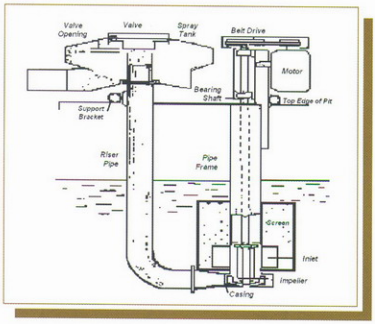
۴-۶-۱- جدا کننده‌های گاز و گل (Mud-Gas Separators)

هدف از به کار بردن جدا کننده‌های گاز و گل، دریافت گل از چاه و جدا نمودن ذرات حباب از گل می‌باشد. پس از آن گل در ته جدا کننده جمع و به Shaker ها منتقل می‌شوند. گاز جدا شده از گل به مکان دور از تجهیزات دکل منتقل می‌شود. یک Vent line نیز تعبیه شده است که مستقیماً گاز خروجی از چاه را به Flair Stack هدایت می‌کند. گل و گاز همراه آن وارد یک مخزن با قطر بزرگ می‌شود تا گاز فرصت جدا شدن از گل را داشته باشد. پس از جدایش گاز، گل از زیر مخزن از یک لوله U شکل به سمت Shaker ها هدایت می‌شود. لوله U شکل از ورود گاز به Shaker ها جلوگیری می‌کند. لوله خروجی از بالای مخزن، گاز خروجی را به سمت Flair Stack هدایت می‌کند (شکل ۴۰).

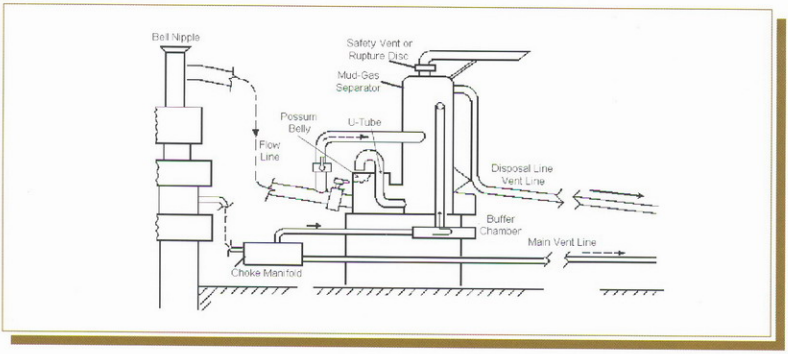
۴-۶-۲- گاز زدا (Degasser)

Degasser ها به دو دسته اتمسفری و خلایی تقسیم بندی می‌شوند. Degasser های اتمسفری قبل‌از دهه ۷۰ طراحی و ساخته شده‌اند. در این دستگاه گل همراه با گاز به داخل مخزن پمپ می‌شود و گل به سمت دیواره مخزن اسپری می‌شود. این برخورد باعث جدایش ذرات گاز از گل می‌شود وگل بدون گاز از ته مخزن خارج می‌شود (شکل ۴۱).

Vacuum Fill Degasser نوع دوم، گاز زداها هستند. در این دستگاه گل همراه با گاز به داخل مخزنی جریان می‌یابد که دارای صفحه‌هایی چین دار بوده و گل از بین آنها عبور می‌کند. افزایش سطح و آشفته شدن جریان به علت وجود چینها باعث می‌شود که کارآیی Degasser بیشتر شود (شکل ۴۲).

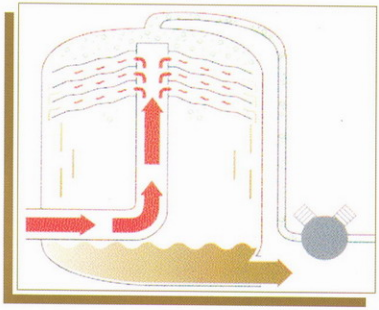


شکل ۴۱ : Degasser اتمسفری



شکل ۴۰ : Separator

گاز جدا شده از گل که در بالای مخزن جمع می‌شود به کمک یک پمپ خلا تخلیه می‌شودDegasser های خلایی نسبت به اتمسفری دارای تعداد قطعات بیشتر و هزینه اولیه بیشتری هستند ولی کارآیی بالاتری دارند و برای تمامی شرایط کاری مناسب هستند. علت کارآیی بیشتر آنها این است که حباب‌های گاز تحت خلاء یا فشار کمتر بسیار راحت‌تر از مایع جدا می‌شوند تا حباب‌های گازی که در مایع تحت فشار هستند.
در نوع پیشرفته صفحه‌های چین‌دار از جنس فایبرگلاس ساخته‌می‌شوند.
یک Degasser در شکل ۴۳ نشان داده شده است.



شکل ۴۲: Vacuum Fill Degasser

شکل ۴۳: Degasser

۵ - روش Zero Discharge

سیستم Zero Discharge به منظور کاهش اثرات منفی قطعات حفاری به محیط زیست می‌باشد که در سالهای اخیر مطرح شده است. قطعات جامد و سیالاتی که در هنگام حفاری از چاه خارج می‌شود با روش‌های گوناگونی از بین برده می‌شوند. روش‌های دفع این مواد به دو دسته زیر سطحی و روی سطحی تقسیم می‌شوند.

در نوع زیر سطحی از روش تزریق قطعات حفاری (Cutting Injection Technology) استفاده می‌شود. در این روش قطعات حفاری خرد می‌شوند و با فرآیندهای شیمیایی به دوغاب سیمان تبدیل شده و به پشت casing تزریق می‌شود.

در نوع روی سطحی روش‌های مختلفی برای دفع مواد زاید وجود دارد که از آن جمله می‌توان موارد زیر را برشمرد:

۱- دفن مواد زاید در زمین (Landfill)
۲- تجزیه بیولوژیکی (Bio-Remediation)
۳- تجزیه حرارتی (Thermal Remediation)
۴- تثبیت (Stabilization)

یک سیستم Zero Discharge ایده‌آل بصورت شکل ۴۴ می‌باشد.

در این قسمت از بین دستگاه‌های مختلف و روش‌های مختلف سیستم Zero Discharge ، دستگاه‌های خشک‌کن و روش تزریق قطعات حفاری بصورت خلاصه توضیح داده شده است.

۵-۱- خشک کن (Dryer)

Dryer به منظور جدا نمودن سیال باقی مانده در قطعات و ذرات حفاری که از قسمت‌های مختلف تجهیزات کنترل ذرات جامد تخلیه می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این وسیله بیشتر به منظور کاهش آلودگی محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل زیر نحوه استفاده از Dryer را در تجهیزات تصفیه گل حفاری نشان می‌دهد.

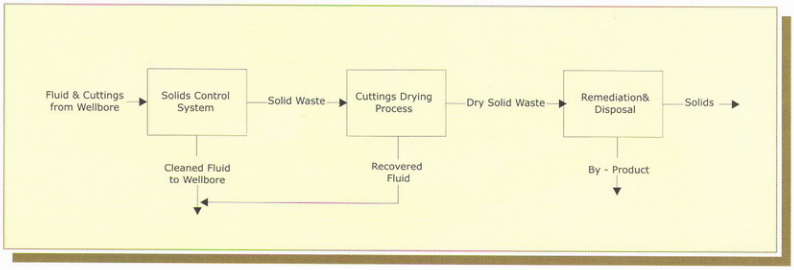
یکی از موارد مهم استفاده Dryer در خشک کردن گلهای غیر آبی است تا آسیبی به محیط وارد نشود. نحوه کار دستگاه بدین‌صورت است که قطعات حفاری مرطوب از مرکز دستگاه به سبد آن تخلیه می‌شوند و پس از خشک شدن در اثر وزن خودشان از پائین خشک‌کن خارج می‌شوند.

دریچه‌هایی نیز در کناره مخزن دستگاه نصب شده‌اند که سیالات جدا شده را به سیستم بر می‌گردانند.

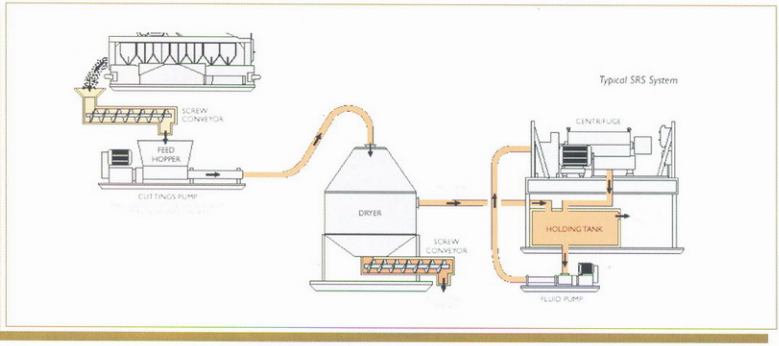
یک خشک‌کن شامل یک سبد مخروطی سانتریفوژ است که به کمک یک موتور الکتریکی و مجموعه جعبه دنده سیاره‌ای چرخانده می‌شود (شکل ۴۶).

از مزیت‌های آن می‌توان موارد زیر را بر شمرد :

۱- کاهش حجم سیال موجود در قطعات حفاری بیش از ۳۰ درصد
۲- توان کم (حدود ۷۰ Hp)
۳- سر و صدای کم بخاطر استفاده از سیستم تسمه V شکل
۴- حجم کم دستگاه



شکل ۴۴: یک سیستم Zero Discharge ایده‌آل



شکل ۴۵: استفاده از dryer در تجهیزات تصفیه گل

شکل ۴۶: Dryer

Motor RPM	1780
Basket Speed	869
Basket Diameter	0.894 M
G Force	375
Scroll Speed	884
Differential Speed Scroll	15(rpm)
Retention Time	0. 68 (Sec)
Typical Weight	800 lbs
Capacity-Drilled Cutting	60 Tons/Hr
Foot Print	95" × 55"

۵-۲- تکنولوژی تزریق قطعات حفاری

تکنیک تزریق مواد اضافی حفاری به داخل فضای آنولوس casing اولین بار در سال ۱۹۸۶ توسط شرکت Arco در آلاسکا انجام شد.

مدیریت تجهیزات حفاری Arco گل با پایه آب را به داخل فضای بین casing و چاه در سه عدد چاه تزریق نمود . این قضیه، شروع واقعی این تکنیک بود که قطعات حفاری به casing annuli و Casing یا tubing تزریق شوند.

Arco فرآیند دوغاب سازی (slurrifing) از قطعات حفاری به کمک پمپ گریز از مرکز اصلاح شده را به نام خود ثبت کرده است. این پمپ اصلاح شده با پره‌های کوتاهی که بصورت خاصی سخت شده‌اند، تجهیز شده است که قطعات حفاری را به شکل دوغاب درمی‌آورد. دوغاب سپس با آب دریا رقیق می‌شود و در صورت نیاز فرآیندهای شیمیایی نیز روی آن انجام می‌شود و به casing, annuli casing یا tubing تزریق می‌شود.

این تکنیک برای از بین بردن ضایعات نفتی و قطعات حفاری به منظور محافظت از محیط زیست مناسب می‌باشد. این روش، یک روش مؤثر و اقتصادی برای از بین بردن ضایعات و قطعات حفاری در یک مجموعه حفاری می‌باشد.

قانون جدید در حفاظت از محیط زیست مبنی بر آن است که میزان روغن باقیمانده روی قطعات حفاری باید کمتر از 10% باشد.

مزیت تکنولوژی تزریق این است که نه تنها قانون جاری را برآورده می‌سازد بلکه امکان دستیابی به قانون کمتر از 1% یا zero discharge نیز وجود دارد.

این تکنیک قطعات حفاری را خرد کرده و رقیق می‌کند تا به فرم دوغاب قابل پمپ درآید. در یک مجموعه حفاری، دوغاب قطعات حفاری تشکیل شده از قسمتهای بالایی چاه ذخیره می‌شود. هنگامی که رشته غلافهای داخلی و خارجی در بالا و پایین ناحیه تزریق (Injection Zone) مونتاژ و سیمانه می‌شوند، دوغاب برای تزریق به مجموعه حفاری بازگردانده می‌شود.

تأثیرات محیطی قطعات حفاری و مایعات همراه آن را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود. نخستین دسته قسمتهای سمی هستند و دسته دوم مواد عالی غنی شده (Organic Enrichment) و آخرین دسته قسمتهای کم تاثیر بر محیط هستند.

۵-۲-۱- فرآیند تزریق قطعات حفاری و تجهیزات آن

فرآیند تزریق قطعات حفاری با خرد کردن قطعات حفاری با وسائل مکانیکی و تبدیل آنها به دوغاب شروع می‌شود. این فرآیند با رقیق نمودن و اضافه نمودن ترکیبات شیمیایی برای بدست آوردن چگالی و گرانروی مناسب ادامه می‌یابد.

بهتر است در عملیات تزریق قطعات حفاری موارد زیر در نظر گرفته شود:

۱- انتخاب فرم مناسب برای تزریق کردن دوغاب به منافذ و سوراخهای نفوذ پذیر با استفاده از فشار هیدرولیکی

۲- طراحی سیمان، casing و دهانه چاه بر اساس فشار پیش بینی شده لازم برای تزریق دوغاب

۳- تخمین فشار پمپ تزریق و ظرفیت مورد نیاز پمپ

۴- تخمین فضای لازم، توان لازم و محدودیت بار دکل به منظور استفاده از سیستم تزریق قطعات حفاری

میزان ذرات جامد موجود دوغاب باید حداکثر باشد تا حجم کلی دوغاب لازم برای تزریق کاهش یابد. برای دستیابی به این هدف بهتر است که میزان ذرات جامد بین ۲۵ تا ۴۰ درصد حجم دوغاب باشد.لازم به ذکر است درصد ذرات جامد تابعی از نحوه حفاری و نوع قطعات حفاری تولید شده است.

وزن دوغاب تولیدی برای چاه‌های با سطح مقطع ″17.5 و ″12.25 باید حدود ۱۱ تا ۱۳ پوند برگالن و برای چاه‌های ″8.5 و″6 باید حدود ۱۲ تا ۱۴ پوند برگالن باشد.

سرعت کمتر حفاری در چاه‌های″8.5 و حجم کمتر قطعات حفاری با وزن مخصوص بیشتر، امکان تولید دوغابی را با چگالی بیشتر فراهم می‌کند.

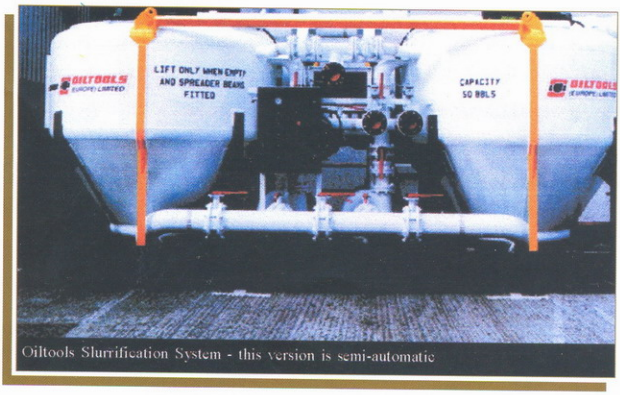
محدوده ویسکوزیته دوغاب باید بین 50sec/qt تا 100 باشد که با رقیق کردن دوغاب با آب یا رقیق کننده‌های خاص بدست می‌آید.

نحوه کار سیستم بدین شکل است که قطعات حفاری از تجهیزات کنترل ذرات جامد دریافت و به مجموعه دوغاب سازی به کمک کانوایرهای پیچ شکل منتقل می‌شوند و در آنجا با آب (و در صورت لزوم ترکیبات شیمیایی) ترکیب می‌شوند. به کمک ترکیبی از مخزنهای دارای همزن و پمپهای خرد کن، یک دوغاب قابل پمپ کردن تولید می‌شود و مخلوط حاصل به Batch Holding Tanks (BHT) (یا خط کنار گذر برای انتقال به پمپ) تزریق می‌شوند.

دوغاب به کمک سانتریفوژ خاص از BHT به پمپ تزریق سه‌گانه با سرعت متغیر منتقل می‌شود و دوغاب به کمک این پمپ به داخل فضای خالی casing تزریق می‌شود.

واحد دوغاب سازی با دو سیستم پردازش کامل طراحی شده است که هر واحد قابلیت دریافت و خرد کردن قطعات جامد را دارا می‌باشد. قسمت تحتانی قطعات پردازش دوغاب بصورت مخروطی است که میزان ته‌نشینی را حداقل نماید.
هر دو مخزن به سیستم همزن مجهز می‌باشند (این سیستم دلخواه است). این سیستم تلاطمی را قبل از پمپ‌های خردکن در دوغاب ایجاد می‌نماید. صفحات مشبکی نیز در داخل مخزن دوغاب نصب شده است که به جداسازی قطعات حفاری کمک می‌کند. پمپ مکش خرد کن در پایین مخزن می‌باشد و در نتیجه یک مکش مثبت را در تمام زمانها ایجاد می‌کند. به کمک جتهای خروجی که چهار عدد می‌باشند، دوغاب خروجی به BHT تخلیه می‌شود .
سیستم خرد کن دارای چهار پمپ گریز از مرکز است، یعنی در هر مخزن دو پمپ موجود است. پمپ‌های سانتریفوژ دارای پره‌های اصلاح شده هستند. این پره‌ها با ابعادی ساخته شده‌اند که امکان ایجاد یک جریان ایده‌آل را در داخل محفظه پمپ فراهم می‌نماید. این خاصیت به خرد شدن قطعات حفاری که در داخل پمپ می‌چرخند، کمک می‌کند.
پره‌های پمپ سانتریفوژ با کاربید تنگستن سخت کاری سطحی می‌شوند تا عمر بیشتری داشته باشند و از عهده خرد کردن قطعات حفاری سخت نیز برآیند.

سیستم به گونه‌ای طراحی شده است که در هر زمان می‌توان با یک مجموعه یا دو مجموعه از پمپهای خرد کن و یا یک مخزن مخلوط کن دوغاب کار کرد تا بتوان دیگری را تعمیر و نگهداری نمود.
هر batch tank دارای همزن، پمپ و دریچه است که امکان دریافت دوغاب از مجموعه دوغاب سازی و انتقال آن به پمپ تزریق را دارد.
یک خط کنار گذر نیز برای انتقال مستقیم دوغاب از مجموعه دوغاب سازی به پمپ تزریق تعبیه شده است.
تفکیک دوغاب بوسیله چرخش آن در یک shaker (micron screen 300-80) انجام می‌شود تا در صورتی که ذراتی بزرگتر از حدود تعیین شده بودند به تجهیزات دوغاب سازی بازگردانده شوند.
شکل ۴۷ یک واحد دوغاب سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۴۷: واحد دوغاب سازی (شرکت Oiltools)

An Introduction to Drilling Mud and Solids Control Equipment

1-Drilling Fluids 3
1-1-Liquids 3
1-2-Oil Muds 3
1-3-Emulsions Muds 4
1-4-Gases 4
2-Circulation System 5
3-Solids Control 8
3-1-Solids control for unweighted muds 8
2-3-Solids control for weighted muds 10
3-3-Control of solids and water content in oil muds 11
4-Solids Control Equipment 12
4-1-Flo line primer 12
4-2-Flo divider 13
4-3-Shaker 13
4-4-Hydrocyclone 16
4-5-Decanting centrifuge 21
4-6-Degassing 25
5-Zero Discharge system 28
5-1-Dryer 28
5-2-Cutting Injection Technology 30

1-Drilling Fluids

The general functions of a drilling fluid are:
1) To cool and lubricate the bit and drill string.
2) To remove and transport cutting from the bottom of the hole to the surface.
3) To suspend cutting in the annulus during times when circulation is stopped.
4) To control encountered subsurface pressures and prevention of entrance to well.
5) To wall the hole and porous of well and prevention of lost circulation.

It is probably impossible for each drilling fluid to satisfy all those requirements optimally. Consequently, the choice of mud type for a specific instance is governed by those functions that are the most critical to the well in the question.

The basic ingredients of muds are water (water based muds), oil (oil based muds), or salt-water (salt-water based muds). Desirable properties for specific conditions are obtained by adding various materials such as clay and chemical additives to this mixture.

The ability of a mud to suspend cutting during periods of a non-circulation primarily depends on its gel strength. If a mud doesn't have gel strength during periods of non-circulation, cuttings will settle above the bit or at the top of the drill collars. This action causes the pipe to become stuck and will result an expensive fishing job. It should be mentioned that in hard rock areas where penetration rate is low, so a relatively small quantity of cuttings is in the hole and the gel strength is of minor importance.

For our purposes, we will include all muds in the following categories:

1-1-Liquids

The liquids that are used in drilling fluids are: fresh water, salt water and oil. Fresh water is suitable for drilling, because of its low viscosity and density. Salt water is better than Fresh water. 10% salt in water improves its density and produces upper hydrostatic pressure. Oil can produce lower hydrostatic pressure because its density is lower.

Drilling with fresh water is caused the expansion of clay which presents in sandstones. This expansion is due to the absorption of water. This problem, fills the porous of sandstones and in oil well drilling, oil can not enter (penetrate) to the well. Due to this problem, salt water is better than fresh water.

1-2-Oil Muds

Drilling fluids are called muds. If the continuous phase (liquid base) is composed of a liquid hydrocarbon, especially low flammable hydrocarbons, these muds will be suitable for sandstone drilling. Also, oil can reduce the density of muds. No. 2 diesel usually is used for the oil phase because of its viscosity characteristics, low flammability, and low solvency for rubber (some parts of BOP are made from rubbers). The water which presents in an oil mud is in the form of an emulsion. The advantages and disadvantages of using oil muds are summarized in table 1. Because of the higher initial cost and pollution control problem associated with oil muds, they are used much less frequently than water-base muds.

The most common application of oil muds include:
1) Drilling deep hot formations (temperatures >300°F)
2) Drilling salt, anhydrate, corallites, potash or active shale formations or formations containing H_2S or CO_2
3) Drilling producing formations easily damaged by water-base muds
4) Corrosion control
5) Drilling directional or slim holes where high torque is a problem
6) Preventing or freeing stuck pipe

DISADVANTAGES	ADVANTAGES
Higher initial cost	Good rheological properties at temperature as high as 500° F.
Requires more stringent pollution control procedures	More inhibitive than inhibitive water base muds
Remedial treatment for lost circulation in more difficult	Effective against all types of corrosion
Detection of gas kicks is more difficult because of gas solubility in diesel oil	Superior lubricating characteristics
Reduce effectiveness of some logging tools	Permits mud densities

Table1: Advantages & disadvantages of Using oil muds

1-3-Emulsions Muds

The most common emulsion muds are oil in water types, in which the oil is the dispersed phase and exists as small individual droplets. The amount of oil is in the range of 10 to 15% of muds and can increase to 50%. The base mud may be any type of fresh or salt water. Clay, solids and weighting materials may be added if desired.

Oil in water emulsion muds are better for lubrication of bit and drill string in rotary drilling system.

In many areas considerable thicknesses of rock salt must be penetrated. Solution of these beds in mud can cause excessive holes enlargement which may be a source of future troubles and expenses. The principal means of avoiding these problems is to prepare a salt saturated mud system prior to drilling the salt.

A blowout occurs when encountered formation pressures exceed the mud column pressure, which allows the formation fluids to blow out of the hole. Proper mud density is the principle factor in avoiding this problem. Blowout is recognized by increasing level of mud in pit, excessive pressure of return mud, or too rapid withdrawal of the drill string to the surface.

Lost circulation is defined as the loss of substantial quantities of whole mud to an encountered formation. Lost circulation depends on density of mud and occurs when formation permeability is too large to be plugged by the clay and solids. Other lost circulations materials that commonly circulated in the mud system are shredded wood, cotton, lamellate mica, nutshell, perlite, etc.

1-4-Gases

Some gases are used for drilling such as: Air, Methane, Nitrogen and Carbon Dioxide. Methane has tendency to compose with air. So it is not appropriate. Only air can be used in operation. Air is light, cheap and best cleaner.

The drilling engineer is responsible for the selection and maintenance of the best drilling fluid for the job. The drilling fluid relates either directly or indirectly to most drilling problems.

If the drilling fluid does not perform adequately the necessary functions, it could become necessary to abandon the well. Also, the required additives to maintain the drilling fluid in good condition can be quite expensive. Drilling fluid cost often exceeds $1 million on a single deep well in some areas. A drilling fluid

specialist called a mud engineer frequently is kept on duty at all times to maintain the drilling fluid in good condition at the lower possible cost.

2-Circulation System

A major function of the fluid circulating system is to remove the rock cuttings from the hole as drilling progresses. A schematic diagram illustrates a typical rig circulating system is shown in fig.1. The drilling mud travels

1) from the steel tanks to the mud pump,
2) from the mud pump through the high pressure surface connections to the drill string,
3) through the drill string to the bit,
4) through the nozzles of the bit and up the annular space between the drill string and hole to the surface, and
5) through the contaminant removal equipment back to the suction tank.

The principal components of the rig circulating system include:

1) mud pumps,
2) mud pits,
3) mud mixing equipment, and
4) contaminant removal equipment.

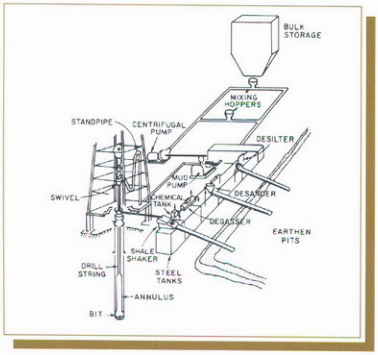


Fig 1: A schematic diagram of circulation system

With the exception of several experimental types, mud pumps always have used reciprocating positive displacement pistons. Both two cylinder (duplex) and three cylinder (triplex) pumps are common. The duplex pumps generally are double acting pumps that pump on both forward and backward piston strokes. The triplex pumps generally are single acting pumps that pump only on forward piston strokes. Triplex pumps are lighter and more than duplex pumps, their output pressure pulsations are not as great as duplex pumps, and they are cheaper to operate. For these reasons, the majority of new pump being place into operation are of the triplex design.

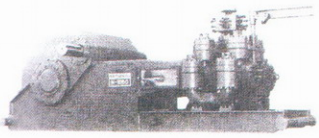
The advantages of the reciprocating positive displacement pumps are:

1) the ability to move high solids content fluids laden with abrasives,
2) ability to pump large particles,
3) ease of operation and maintenance,
4) reliability, and
5) ability to operate over a wide range of pressure and flow rates by changing the diameters of the pump liners (compression cylinders) and pistons. The example of duplex and triplex mud pumps are shown in fig 2.

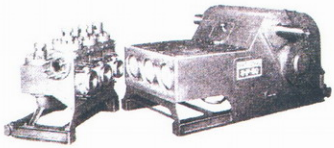
The overall efficiency of a mud circulating pump is the product of mechanical efficiency and the volumetric efficiency. Mechanical efficiency usually is assumed to be 90% and relates to the efficiency of the prime mover itself and the linkage to the pump drive shaft. Volumetric efficiency of a pump is adequately changed can be as high as 100%.

Generally, two circulating pumps are installed on the rig. For the large hole sizes, used on the shallow portion of most wells, both pump can be operated in parallel to deliver the large flow rates required. On the deeper portions of the well, only one pump is needed, and the second pump serves as a standby for use when pump maintenance is required.

A schematic diagram showing the valve arrangement and operation of a double acting pump is shown in fig. 3.

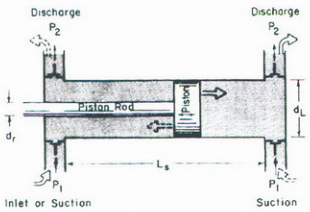


(a) Duplex design.

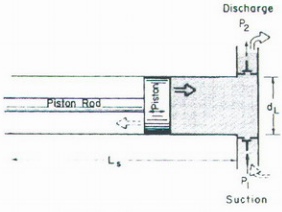


(b) Triplex design.

Fig.2: Mud pumps



(a) Double-acting (duplex) design.



(b) Single-acting (triplex) design.

Fig.3: A schematic diagram of operation of double acting pump

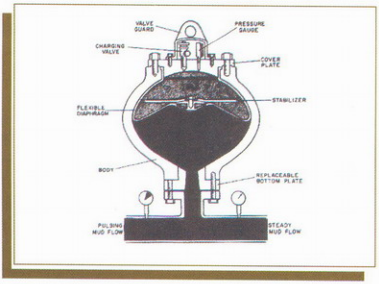


Fig.4: Surge chamber

The flow conduits which connect the mud pumps to the drill string include:

1) a surge chamber,
2) heavy-walled pipe which connect the pump to a pump manifold located on the rig floor,
3) a standpipe and rotary hose,
4) a swivel, and
5) a Kelly.

The surge chamber (see fig.4) contains a gas in the upper portion, which is separated from the drilling fluid by a flexible diaphragm. The surge chamber greatly dampens the pressure surges that are developed by the positive displacement pump.

The discharge line also contains a pressure relief valve to prevent line rupture in the event that the pump is started against a closed valve.
The standpipe and rotary hose provide a flexible connection to permits vertical movement of the drill string. The swivel contains roller bearings to support the rotating load of the drill string and a rotating pressure seal that allows fluid circulation through the swivel. The Kelly, is a rectangular or hexagonal cross section pipe that allows the drill string to be rotated.
In new drilling systems Kelly and swivel are removed and replaced with Top drive.
Mud pits are required for holding an excess volume of drilling mud at the surface. This surface volume allows time for settling the finer rock cutting and for the release of entrained gas bubbles not mechanically separated. Also, in the event some drilling fluid is lost to underground formation, this fluid loss is replaced by mud from the surface pits. Sometimes, the settling and suction pits are dug in the earth with a bulldozer but more commonly are made of steel.
A large earthen reserve pit is provided for contaminated or discarded drilling fluid and for the rock cuttings.
Dry mud additives often are stored is sacks, which are added manually to the suction pit using a mud mining hopper. Liquid mud additives can be added to the suction pit from a chemical tank.
Mud jets or motor-driven agitators often are mounted on pits for auxiliary mining.
The contaminant-removing equipment includes mechanical devices for removing solids and gases from the mud.
The coarse rock cuttings and cavings are removed by the shale shaker. Additional separation of solids and gases from the mud occurs in solid control equipments. When the amount of finely ground solids in the mud becomes too great, they can be removed by hydrocyclones and decanting centrifuges. A hydrocyclone (Fig.5) is a cone shaped housing that imparts a whirling fluid motion much like a tornado. The heavier solids in mud are thrown to

The housing of the hydrocyclones and fall through the apex at the bottom. Most of liquid and lighter particles exit through the vortex finder at the top.The decanting centrifuge (Fig.6) consists of a rotating cone-shaped drum which has a screw conveyor attached to its interior. Rotation of the cone creates a centrifugal force that throws the heavier particles to the outer housing. The screw conveyor moves the separated particles to the discharge.

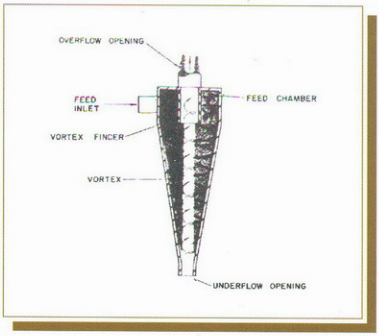


Figure 5: The operation of hydrocyclone

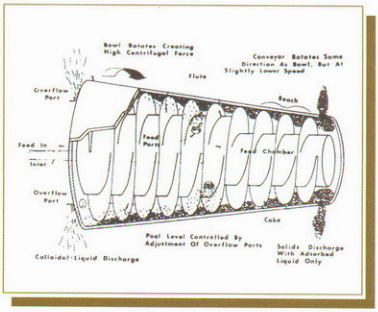


Figure 6: The operation of centrifuge

When the amount of entrained formation gas that leaves the settling pit becomes too great, it can be separated by using a degasser. A vacuum degasser is shown in fig.7. A vacuum pump mounted on top of the chamber removes the gas from the chamber. The mud flows across inclined flat surface in the chamber in thin layers, which allows the gas bubbles have enlarged by the reduced pressure to be separated from the mud more easily. Mud is drawn through the chamber at a reduced pressure of about 5 psia by a mud jet located in the discharge line.

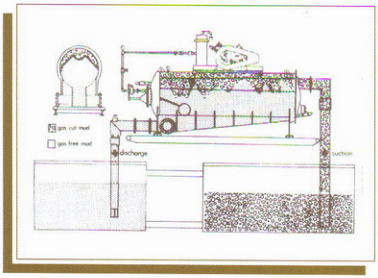


Figure 7 : A horizontal degasser

3-Solids Control

Solids controls are classified in two groups: solids control for unweighted muds and solids control for weighted muds.

3-1-Solids control for unweighted muds

The solids in a mud often are classified as either inert or active. The inert solids are those that do not or otherwise react with other components of the mud. The inert solids include such minerals as sand, silt, limestone, feldspar, and API barite. With the exception of API barite, which is used to increase the mud density, these inert solids usually are considered undesirable in a mud.

They increase the frictional pressure drop in fluid system but do not greatly increase the ability to carry the rock cutting to the surface. The formed filter cake from these solids is thick and permeable rather than thin and relatively impermeable.

The filter cake is a layer of solids that remains on the standard filter paper under standard test conditions (Fig.8).

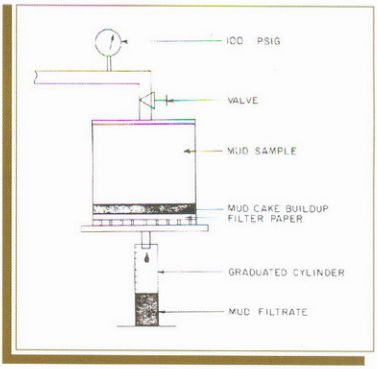


Figure 8: API filter

Solids have a direct effect on many drilling problems including stuck pipe, excessive pipe torque and drag, loss of circulation, and poor cement bonding to the formation.

Four basic methods are used to prevent the concentration of solids in the mud from increasing to an undesirable level. These are:

1) Screening
2) Forced Settling
3) Chemical Flocculation
4) Dilution

The particle size range for both the desirable and undesirable solids in the mud and the particle size range that can be rejected by screening and forced settling are shown in fig.9.

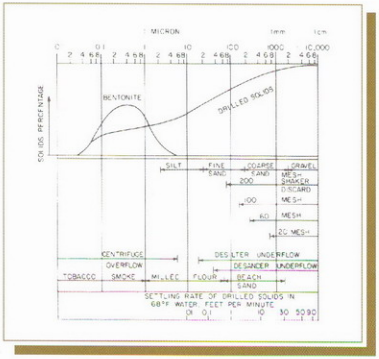


Figure 9: Particle size range that can be rejected by screening and forced settling

Screening always is applied first in processing the annular mud stream. Recent developments in screening equipment have made possible the use of extremely fine screens.

This allows the removal of most of the solids before their size has been reduced to the size of the API barite particles. API specifications for commercial barium sulfate require that 97% of the particles pass through a 200-mesh screen. A 200-mesh screen has 200 opening per inch. Particles less than about 74 microns in diameter will pass through a typical 200-mesh screen. Screen sizes below 200-mesh cannot be used with weighted muds, because of the cost of replacing the API barite discarded with the solids.

The natural settling rate of drilled solids is much too low for settling pits to be effective. Thus, devices such as hydrocyclones and centrifuges are used to increase the gravitational force acting on the particles. At present, both the hydrocyclones and high-speed centrifuges are being used as forced settling devices with unweighted muds.

The cut point (fig.10) of a hydrocyclone is the particle size at which half the particles of that size are discarded. The rated points of several common hydrocyclones are shown in table 2 and fig.11.

Since the particle-size range of API barite is usually about 2 to 80 microns, hydrocyclones cannot be used with weighted muds unless they are used in series with a screen. Centrifuges operate at high revolutions per minutes and have a contoured bowl. A conical bowl has been developed for use on unweighted mud systems downstream of the small hydrocyclones.

The contoured bowl increases the path length of the solids in the centrifuge and allows finer solids to be separated. The centrifuge overflow primarily contains solids less than 6 microns in diameter.

The removal of fine active clay particles can be facilitated by adding chemicals that cause the clay particles to flocculate or agglomerate into larger units. When the agglomeration of the clay particles has been achieved, separation can be accomplished more easily by settling.

The concentration of the solids not removed by screening or forced settling can be reduced by dilution. Because of the limited storage capacity of the active mud pits, dilution requires discarding some of the mud to the reserve pit. Dilution, thus, requires discarding a portion of the additives used in previous mud treatments. In addition, the new mud created by adding of water must be brought to the desired density and chemical content.

To keep the cost of dilution low, the mud volume should be kept limit. Old mud should be discarded before dilution rather than after dilution. Also, the cost of a large one-step dilution is less than frequent small dilutions. The cost of dilution increases rapidly with mud density.

An example arrangement of the solids control equipment for an unweighted clay/water mud is shown in fig. 12.

Dilution water is introduced upstream of the hydrocyclones to increase their separation efficiency. Chemical treatment normally is made downstream of all separation equipment.

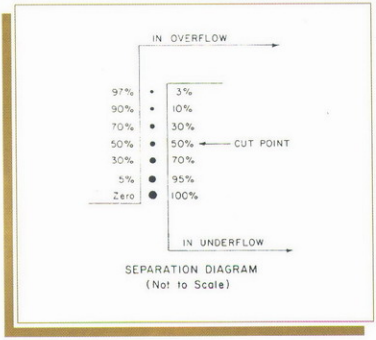


Figure 10: Cut point definition

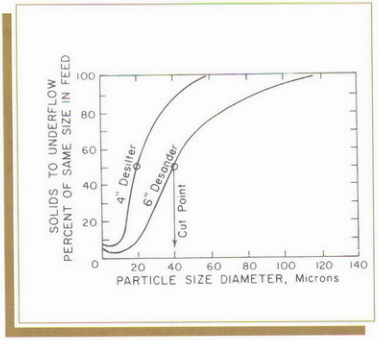


Figure 11: Rated points of hydrocyclones

Cut point range (micron)	Hydrocyclone diameter (in)
40	6
20	4
10	2

Table 2: Cut point ranges

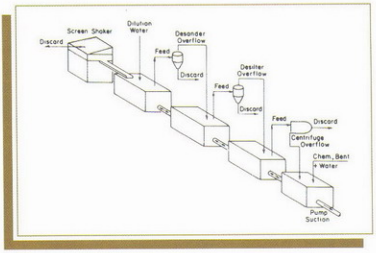


Figure 12: Arrangement of the solids control equipment for unweighted mud

2-3-Solids control for weighted muds

The addition of solids for increasing density lowers the amount of inert formation solids that can be tolerated. The ideal composition of weighted mud is:

1) Water
2) Active clay
3) Inert weight material

Thus, every possible effort should be made to remove the undesirable low gravity solids by screening before their particle size is reduced within the size range of the API barite particles.

Hydrocyclones cannot be used alone on weighted systems, because their cut points fall in the particle-size range of the API barite as shown in Fig.13.

A series arrangement of a hydrocyclone and a shaker screen is called a mud cleaner. It is suitable for muds of moderate density (below 15lbm/gal).

The fine solids that pass through the screen can be handled by dilution and deflocculation.

At higher densities, the mud cleaners are much less efficient. Most of the coarse solids in the mud remain in liquid stream exiting on top of the unit and, thus, bypass, the screen. Also, dilution requires discarding a large volume of API barite with a portion of the old mud and the cost of dilution can become quite high.

In this situation, centrifuges often are employed to separate the particle having sizes that fall in the API barite range from the liquid and extremely fine solids. In this manner, the mud stream is divided into 1) a low density overflows slurry (approximately 9.5lbm/gal) and 2) a high density slurry (approximately 23lbm/gal).

The high density slurry is returned to the active mud system, and the low density slurry usually is discarded. An example of solid removal system for weighted clay/water mud is shown in fig.14.

About three-fourth of the bentonite and chemical content of the mud is discarded with the fine solids when the centrifuge is used.

New bentonite and chemicals must be added to prevent depleting the mud. Also, since some of the API barite and drilled solids are discarded in the overflow, the volume of mud which reclaimed from the underflow will less than the volume of mud processed.

A small additional volume of new mud must be built in order to maintain the total mud volume constant. A material balance calculation can be made to determine the proper amounts of required API barite, clay, chemicals, and water to reconstructure a barrel of mud that has been processed with a centrifuge.

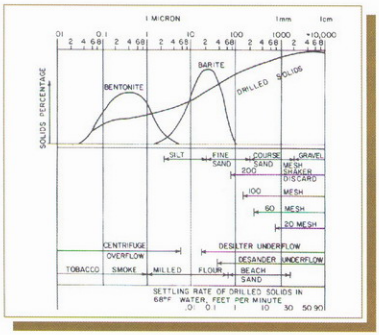


Fig.13: Particle-size range of the API barite

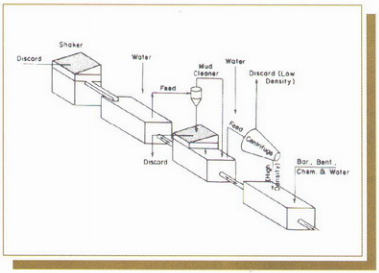


Figure 14: Solids control arrangement for unweighted mud

3-3-Control of solids and water content in oil muds

Hydrocyclones and centrifuges cannot be used economically on oil muds since significant volume of the expensive liquid phase would be discarded by these devices. Dilution is also quite expensive.

Screening is the only economical means of solids control of oil muds. Since oil muds are inhibitive, cutting disintegration is limited and screens are very effective. Using several screens in series, usually is possible to screen the returning mud stream as fine as 200-mesh. When the desired solids level cannot be maintained by screening, dilution will be required.

The water content of oil muds also must be maintained within limits. When the mud temperature is high, water evaporation will be significant. Evaporation losses must be replaced to prevent changing the salinity and activity of the mud. In addition, if the saline solution becomes saturated, the precipitation of salts can cause a decrease in the emulsion stability. The water content shall be decreased when increasing mud density in order to prevent excessive viscosity. This is accomplished by dilution with oil.

4-Solids Control Equipment

A solids control equipment given in table 3. In this table the size range of solids that is removed by equipment type and primary application of these equipments are specified.
Some advantages of good solids control equipment are:
1) Optimizing removal of native solids.
2) Minimizing fluid loss.
3) Reducing required dilution volume
4) Reducing disposal coasts
5) Increasing rate of penetration
6) Decreasing time to total depth
7) Reducing noise level

4-1-Flo line primer

Flo line primer is an inclined, variable speed conveyor for effective removal of large drilled cuttings and hydrated clays.
Primer screen belts are available in 5, 10, 20 and 30 mesh sizes.
A counter rotating cleaning brush is available under belts for cleaning of its (fig.16).
Flo line primer is effective for removal of hydrated clays from inhibited and uninhibited mud systems and removal of large drilled cuttings.
Inhibitive muds prevent formation solids from disintegrating into extremely small particles and

Name	Range	Mud Type
Flo-Line Primer	1000 microns & larger	ALL
Shale Shaker	76 microns & larger	ALL
Desander	40 microns & larger	unweighted
Desilter	20 microns & larger	unweighted
Centrifuge	0-12 microns & larger	weighted & unweighted

Table 3: Solids control equipment

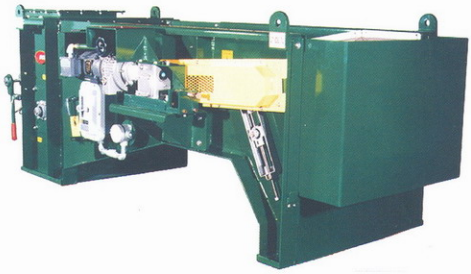


Figure 15: Flo line primer

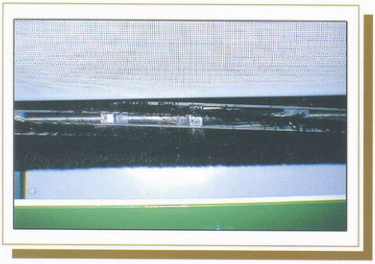


Figure 16: Cleaning brush

4-2-Flo divider

Flo divider ensures even liquid and drilled solids distribution to downstream shakers.
Using a Flo divider maximizes solids removal capabilities of the shale shakers by ensuring each individual shaker receives an equal distribution of both drilling fluid and drilled solids and eliminates the requirement for a back tank.

4-3-Shaker

The continuous liner motion shale shaker system engineered for optimal solids removal.

G force is calculated by:

$$\text{G - Force} = \frac{(\text{Stroke Length})\,(\text{RPM})^2}{70490}$$

A high G shaker benefits are:
1) Increased stroke length
2) Increased solids trajectory
3) Improved convey rate
4) Increased handling capacity
5) Increased ability to screen finer and faster
6) Improved screen efficiency and screen life.

Deck angle of shaker is Adjustable While Drilling (AWD) (-1 to 10 degrees) for optimizing shaker performance.
Shakers are designed in 3 and 4 panels. For example, fluid retention capability at 5 degrees uphill is 144 liters for 3-panel shakers and 257 liters for 4-panel shakers.

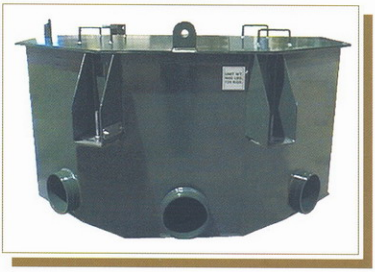


Figure 17: Flo divider

Figure 18: Shale Shaker

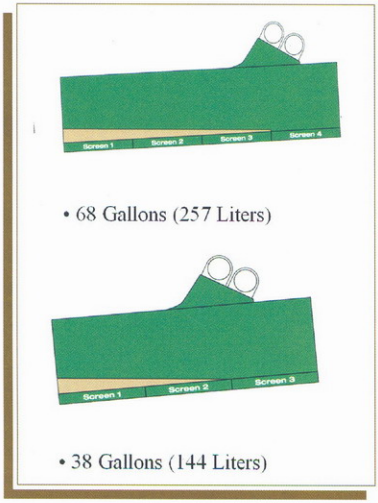


Figure 19: Fluid retention capability of shakers

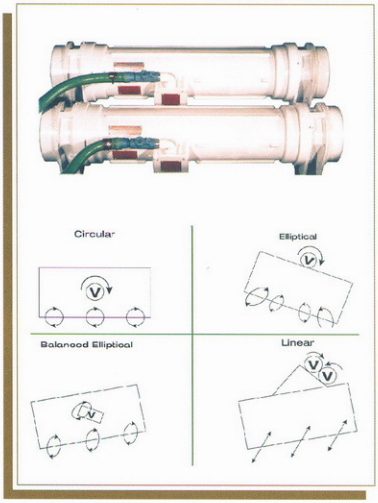


Figure 20: Shale shaker motions

Figure 21: Trajectory of solids on shaker

In new version of shakers crowned deck are used for uniform G-force distribution. Also, in new version, movement of particle is linear. The other shale shaker motions are shown in fig 20 and trajectory of solids on panels is shown in fig. 21.

Maximum flow rate of a screen is directly related to the open area that mud can flow through and wire thickness. Two screens with the same openings and with different wire dimension will have different flow capacities.

The screen with the smaller wire diameter will have a greater flow capacity and also a shorter life.

Selection of best screen depends on money, conditions of hole, mud dilution, drilling time and amount of solids in mud.

We use cut point for screens. The phrase "d50 cut point is 69 microns" means that 50% of the 69 microns particles will be rejected and 50% will pass through the screen or "16d cut point is 49 microns" means that 16% of the 49 microns particles will be rejected and 84% will pass through the screen.
Derrick screens are manufactured in DX, PWP, PM and PMD names.
Derrick DX series developed in 1974 and PWP technology developed in 1984.
The screen-life of PWP is longer than DX because PWP has metal backing plate and DX has plastic backing plate.
PMD developed in 1994 by Derrick to increase capacity of screen and PMD+ developed in 1996. PMD increases the usable screen area to 125%.

The old versions are only able to attain adequate screen life with plastic-backed screen by increasing wire diameters.
Due to the reduced open area from the increased wire diameters, the screen nominal opening must be increased to maintain sufficient capacity. These relatively coarser screens cause solids to increase in the mud system. So, dilution requirements and mud cost will increase.
Dilution costs can vary dramatically depending which brands of screen are used. For example, for a 9800' hole, section of 12-1/4 inch, hole with a target drilled solids content of 7%, the following dilution expenses could be incurred:

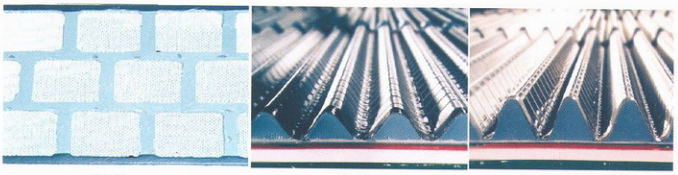


Figure 22: Screen types

	Mesh Size	Cut Point (Microns)	Mud Cost/BBl (Dollars)	Initial Mud (bbls)	Dilution Required per ft (bbls)	TOTAL Dlution (bbls)	Resulting Mud Cost
Demick DX	210	92	$86	2200	0.85	8,330	716,380
Southwest/ Baroid XR	210	124	86	2200	1.08	10,584	910,224
CPI/SWACO VMO	210	146	86	2200	1.35	13,230	1,137,780

Table 4: resulting mud costs for screen types

4-4-Hydrocyclone

Hydrocyclones are essential for removing solids on unweighted systems. Hydrocyclones appear very simple, easy to change parts, and easy to adjust. We need to understand the principles because this allows us to operate the cones efficiently and economically.

Figure 23: Desander

Feed slurry fed through the inlet at high velocity obtained by steady pressure of feet head. A centrifugal pump is used to obtain the desired head so, it is important that the pump is sized correctly.

The high velocity entering the feed chamber creates a spinning velocity and resulting centrifugal forces and the vortex finder causes the stream to spiral downwards.

Centrifugal force and inertia cause the solids to settle outwards the hydrocyclone wall in a downward stream. As the cone section narrows, the downward spinning liquid moves towards the center and back up the cone.

Hydrocyclones cut point is affected by:

1) Percent of volume solids in the feed
2) Viscosity of the feed fluid
3) Size of feed, overflow, and underflow openings
4) Inside diameter of hydrocyclone
5) Length of hydrocyclone

A desander's cut point is 35 to 100 microns and a desiliter's cut point is 15 to 75 microns. A balanced-design hydrocyclone operates properly in "spray" type underflow discharge.

Spray discharge is most efficient way to run hydrocyclones and removes greatest amount of solids and so returns cleaner fluid to your active mud system. A balanced-design hydrocyclones operate ineffective with rope type underflow discharge.

Rope discharge is the inefficient way to run cones and increase concentration of solid in underflow.

For this reason, liquid returning to the active mud system will contain more fine solids and will eventually require dilution to control fine solids in the mud.

Rope discharge causes incorrect screen selection or broken screens not been changed.

Inline desilter

Round disilter

Figure 24: Desilter

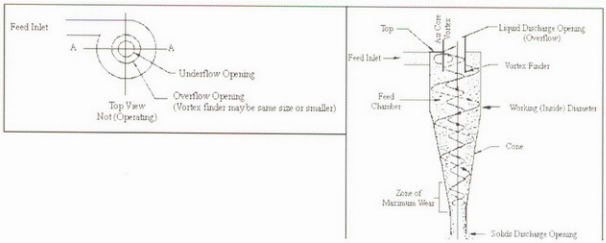
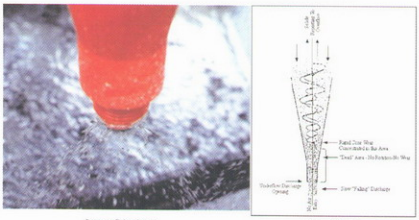


Figure 25: Operation of hydrocyclone



Spray Dischrge

Rope Dischage

Figure 26: Spray and rope discharges

4-4-1-Hydrocyclone Balancing

Hydrocyclone balancing usually done when the mud tanks are full of water, then we open all underflows wide open. Water spins out the bottom. We slowly adjust until the spray becomes a small drip. To achieve these conditions we need the correct pressure.

When all cones adjusted like this, they will discharge solids when there are solids in the feed to separate and if no solids, the cones will go back to driping.

If the cones do not discharge clear water in wide open mode, the cyclone is on the dry side of balance. These conditions create a dry beach. Fine solids cannot cross this beach area and they will bridge off by forming a very dry and dense plug. It is very difficult to clear plug.

Sometimes solids create a partially or completely plug in feed inlet. The smooth shape of underflow indicates rotation due to mud entering the feed inlet because partially plug has been occurred.

The straight down flow indicates all mud entering backwards through overflow because completely plug has been occurred.

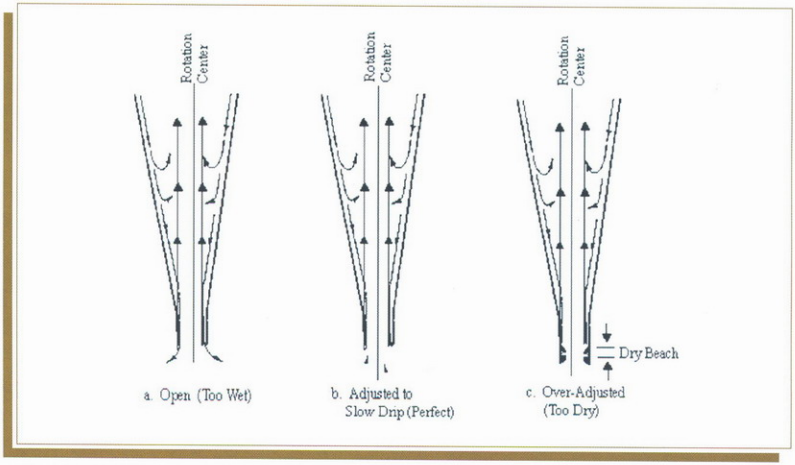


Figure 27: Hydrocyclone balancing

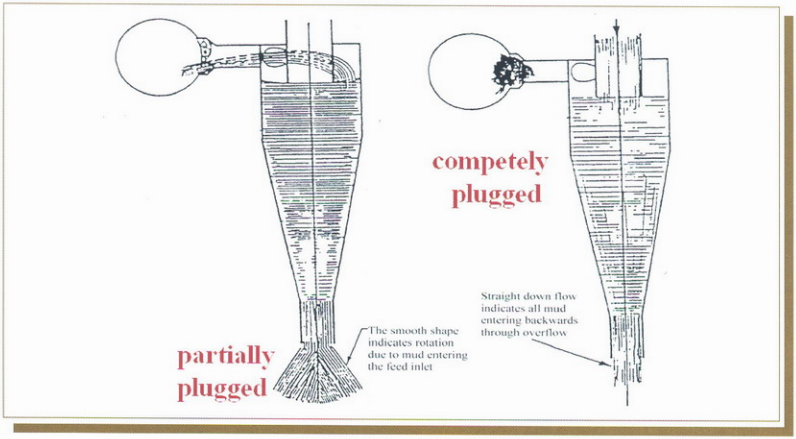


Figure 28: Partial and complete plug

4-4-2-Hydrocyclone feed header problems

If you make a horizontal bend onto a hydrocyclone header or place a swage or reducer less than 3 times pipe diameter in front of a header, some cones operate with rope type and some cones with spray type discharge (Fig. 29).

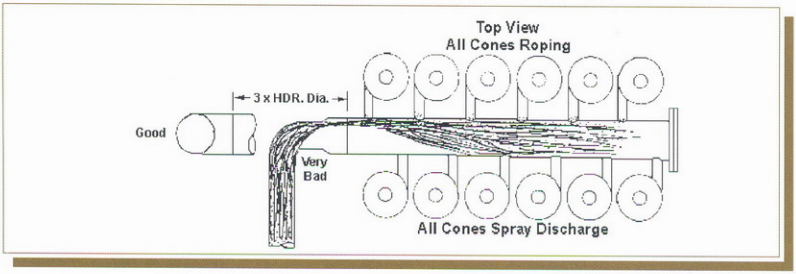


Figure 29: Feed header problem

4-4-3-Overflows header problems

Slurp discharge caused by long discharge siphon leg and cured by installing a head siphon breaker.
Hydrocyclones are available with ceramic inserts (Fig 31).
A common method for repairing a leaking cone is using of a high pressure rag(Fig 32).
The ability of hydrocyclone to remove solids from slurry is reduced by:

1) Feed head increasing above the recommended range
2) Increased funnel viscosity
3) Solid size decreasing
4) Overloading the cone with too many solids

Figure 31: Hydrocyclone Ceramic inserts

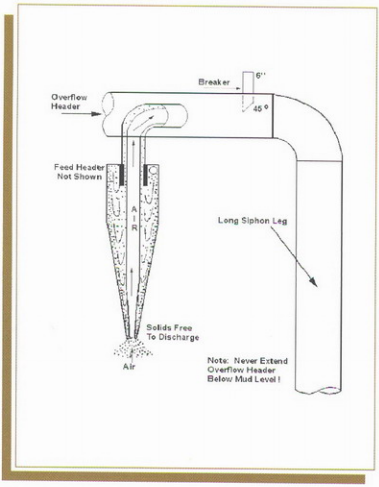


Figure 30: Overflow header problem

Figure 32: Hydrocyclone rag

4-4-4-Operating tips

1) Start the hydrocyclones before the rig pumps and shut down after the rig pumps.
2) Make sure all damage screens are changed out immediately (if not this will cause the cones to plug)
3) Never by-pass the shakers
4) Overload due to fast drilling-open up the under flow beyond the balance point
5) When drilling slowly down - close back down to balance point
6) Correct operating pressure at manifold equals 4 times mud weight at 75 ft of head for correct operation.

4-5-Decanting centrifuge

The word "decanting" means pouring of liquid so slowly that any sediment in the bottom remains undisturbed.
The centrifugal force created by the centrifuge depends on the diameter and RPM of the bowl. Use the following formula to calculate "G" force:
$G=(RPM)^2(0.0000142)$ (diameter of bowl, in)
The performance of centrifuge for a given mud depends on the following factors:
1) The G's exerted on the fluid
2) The retention time of the fluid in the centrifuge
3) Conveyor speed
The following factors are considered in different designs and applications:
1) Bowl diameter
2) Length of bowl (increases retention time)
3) RPM operating range
4) Conveyor speed
5) Pool depth
The rate at which a particle will settle is directly proportional to the force of gravity, the square of its diameter and the difference in density between liquid and the medium in which it is settling. It is also indirectly proportional to the viscosity of the liquid.

$$V_T = \frac{aD^2(S_2 - S_1) \times 10^{-6}}{116\,\mu}$$

Fig. 33: Hydrocyclone cones and parts

Since in the real world we do not drill spherical balls we use Equivalent Spherical Diameter (ESD) of the irregular shaped particles. The settling rates of irregularly shaped particles are measured in a liquid with known density and viscosity and ESD can be calculated assuming or knowing the specific gravity of the particles.
Two particles of the same ESD but different specific gravities will settle at different rates. The heavier particle will settle faster. Also, two particles with different specific gravities will settle at the same rate if their ESD difference compensates. For example, a barite particle (with 4.2 SG and 74 microns diameter) will settle at the same rate as a low specific gravity (2.6 SG and 104 microns diameter) if its ESD is 1-1/2 times that of the barite particle.

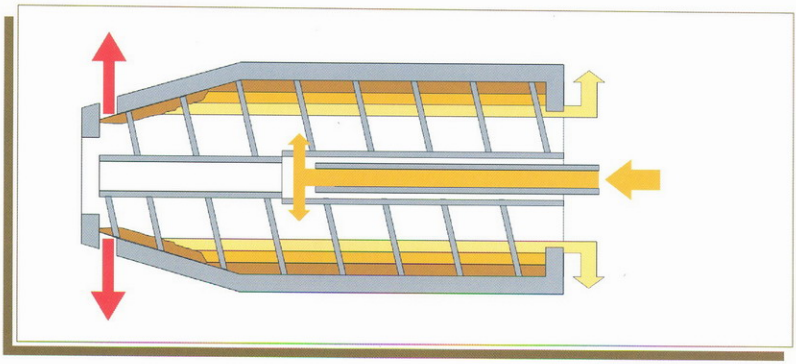


Figure 34: A schematic operation of centrifuge

In unweighted muds, the application of centrifuges is solely concerned with drilled solids removal. Solids removal can be achieved irrespective of how many centrifuges are operated. Centrifuges can be operated in series or in parallel.

In weighted muds, the application of centrifuges is somewhat different. In general, two centrifuges are used. One unit is used to remove the weight materials and the second one is used to remove drilled solids. The clean mud is then returned to the active system where it is re-united with the recovered weight materials.

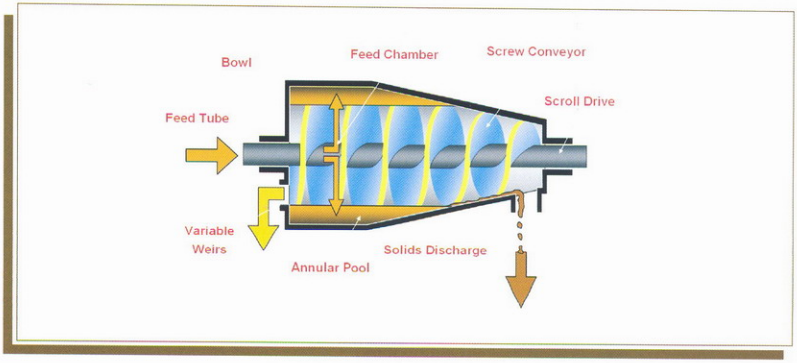


Figure 35: Centrifuge parts

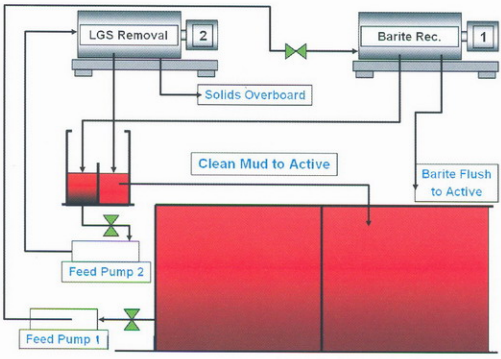


Figure 36: Using centrifuge for weighted muds

In 1970s technology, drive configuration of centrifuges is fixed speed-belt drive. In this system, one single fixed speed motor drives the bowl and scroll. The speed changing is made by changing pulleys and belts. Adjustment requires shut down (approx. 1 hour) and is therefore made in frequently.

In 1980s technology, one electric motor drives the bowl, whilst a second drives a hydraulic pump. A hydraulic motor is used to vary the scroll speed. Adjustment to bowl speed still requires shut down (approx. 1 hour) and is therefore made importantly. Benefits of variable speed were offset by significantly lower torque capacities.

In new technology (1990), the bowl and scroll can be varied independently without shut down. Benefits of variable speed are offset by significantly lower torque capacities. A full hydraulic Drive (FHD) centrifuge is shown in fig. 37.

In new version of centrifuges, the new effluent ports provide fast precise pond depth settings.

The hydraulic control system of centrifuge includes the types of safety system:

1) Automatic feed control
2) Automatic speed boost of scroll to prevent overloading
3) Automatic unit shut down as follows:

-Overheated hydraulic fluid
-Excessive vibration
-Low hydraulic fluid

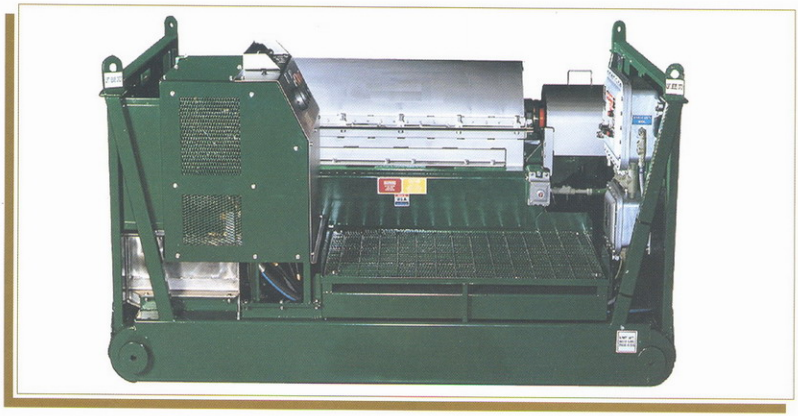


Figure 37: FHD

Figure 38: New adjustable effluent ports

For example, some characteristics of a hydraulic centrifuge are mentioned below:

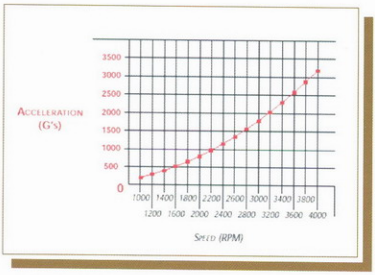


Figure 39: Acceleration diagram of centrifuge

Bowl Size	14"(mm356)Diameter
Bowl Type	Contour Cylinder
Conveyor	Helical(Radial)Axial
Effluent Ports	Variable- Eccentric
Differential Conveyor Speed	3-90 RPM
Speed Range	0-4000 RPM Maximum g's:318
Flow Rate	200 GPM with Water
Electrical	50 Hp (37 kw) Motor 480v.
Dimensions	Length:115" (2921mm) Width:75 "(1905 mm) Height:57" (1448 mm)
Weight	9000 lbs

4-6-Degassing

The main reason that we want to remove gas from the drilling fluids is to keep efficiency of mud pumps.
Gas in mud is detected by:
1)Comparing mud weight from a conventional mud scale to a pressurized scale. If there is gas, the pressurized scale will have a higher weight.
2)If the mud weight increases after adding water.
3) Gas detector warning
4)An increasing in viscosity for no apparent reason
5)Changing in rheological or chemical properties of the drilling fluid due to chemical reactions
6) Appearance of foam in the mud
In degassing process we are talking about Methane, Co2, H2S and Trapped air. These gases come from:
1) Influx of gas to the well bore due to an under balanced situation (pore pressure greater than hydrostatic, failure keep the hole filled).
2) Drilled gas (porous gas is produce during formation drilling. The amount of gas depends on the drilling rate).
3) Trapped air due to turbulence and drilling fluid properties trapping air. (Water will degas itself but a drilling fluid with a higher viscosity has a greater tendency to trap air).
We can remove a lot of gas without a degasser. For example, a lot of gases will breakout across the shakers, to increase the release of gas, add water in a fine mist spray. Deformers can be added to reduce the surface tension of the bubbles allowing more gas to breakout. Also, we can agitate the pit with a mechanical agitator. This can roll the volume of mud to let the bubbles in the bottom of the pit move upward and breakout.

4-6-1-Mud-Gas separators

The purposes of a mud - gas separator are:
1) Receiving mud from the well
2) Separating the large bubbles from the mud
3) Collecting the mud in the bottom of the separator and allow it to flow to shakers. Flow the separated gas at the top of the separator to a safe place away from the rig.

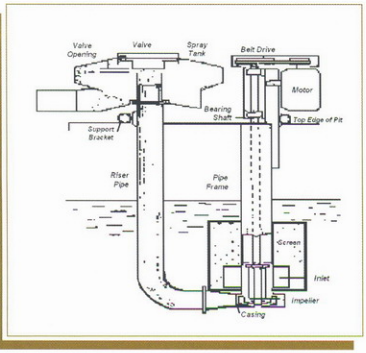


Figure 40: Separator

Main vent line directs from the choke manifold straight to the flair stack. The separator tank is large enough in diameter and weight to allow for easy separation of gas from mud with an easy flow to the outlet for gas.
Bottom drain in separator tank with a U trap can prevent gas from going to the shakers.

4-6-2-Degassers

We classify degassers in two groups:
Atmospheric degassers and Vacuum degassers.
Atmospheric degassers are developed early 1970s. In this degasser, gas-cut mud is pumped into a tank and the mud is sprayed in a thin sheet against the wall of the tank. The impacts are caused separation of mud and gas.
In vacuum degasser, corrugated leaf arrangement promotes superior separation. It should be mentioned that the more surface area increases the separation.
A vacuum pump draws mud into the degassing chamber where decreased pressure causes gas bubbles come to surface from the fluid more rapidly.

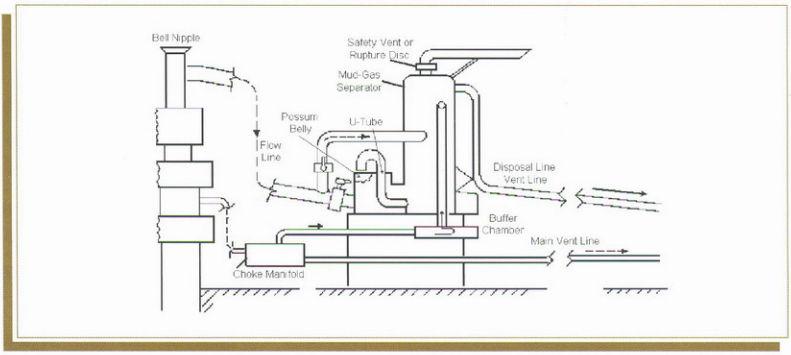


Figure 41: Atmospheric degasser

A stacked, corrugated fiberglass leaf arrangement and multiple feed ports provide higher impact, thinner layers of mud dispersion, and greater turbulence for more efficient gas removal. A vacuum degasser is shown in fig.43.

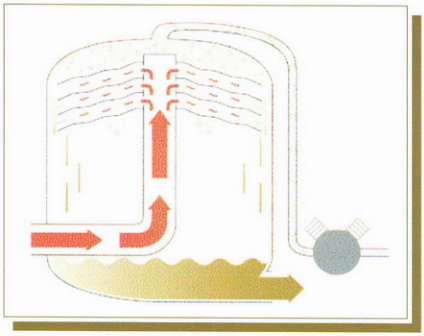


Figure 42: Operation of vacuum degasser

Figure 43: Vacuum degasser

5-Zero Discharge system

Zero discharge is defined as a process that contains and remediates of acceptable criteria the solids and liquid discharge normally associate with drilling.
Waste materials remediate and control by one or more of the following:

1-subsurface
- -injection (cutting injection technology)

2-surface
- -Isolation (landfill)
- -Bio- remediation
- -Thermal remediation
- -Stabilization

An ideal zero discharge system is shown in fig.44.

5-1-Dryer

Increasingly strict limitations are placed on the discharge of non-aqueous drilling fluids and their associated drill cuttings to the environment.
Dryers are normally utilized to reduce the liquid content of cuttings (specially oil base cuttings) to a level that allows to discharge to the environment.

A dryer consists of a vertically configured conical basket centrifuge driven be an electric motor through a planetary gear box.
Wet cuttings are fed into the center of the basket and dry cuttings exit from the base by gravity.
Effluents are collected in a side holding tank for later solids removal and metering into the active system.
Within the basket is a Tungsten Carbide tiled conveyor that controls the flow of solids over the screen to obtain maximum dryness.
The benefits of a new dryer system are mentioned below:

1) Typical waste volume reduction exceeds 30%.
2) Low power requirement (70HP)
3) Low noise-due to V-belt drive
4) Reduced footprint

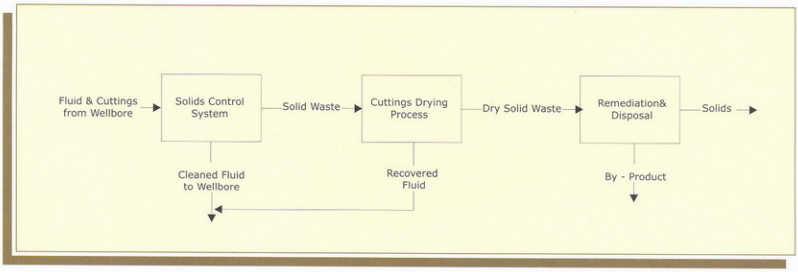


Figure 44: An ideal zero discharge system

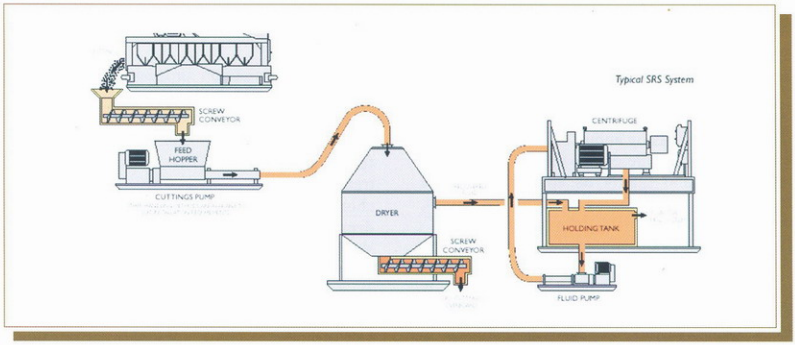


Figure 45: Dryer arrangement

Figure 46: Dryer

For example, some characteristics of a dryer are:

Motor RPM	1780
Basket Speed	869
Basket Diameter	0.894 M
G Force	375
Scroll Speed	884
Differential Speed Scroll	15(rpm)
Retention Time	0. 68 (Sec)
Typical Weight	800 lbs
Capacity-Drilled Cutting	60 Tons/Hr
Foot Print	95" x 55"

5-2-Cutting Injection Technology

The technique of injecting waste into a casing annulus was first done in 1986 by Arco in Alaska.

An Arco rig superintendent injected water based mud down the casing annuli on 3 wells. This led to a substantial interest in this technique, its refinement, and finally its application to the injection of drilled cutting down casing annuli, casing or tubing.

Arco has patented the process of slurrifing drilled cutting with a modified centrifugal pump. This modified centrifugal pump is equipped with shortened, specially hardened impeller blades which degrade the cuttings to form a slurry. The slurry is then diluted with seawater (and treated with chemical if necessary) and injected down the chosen casing annuli, casing or tubing and into the pre-selected formation sequence.

This technique for the disposal of oil field waste and drilled cuttings results in a zero discharge to the environment. It is the only filed proven, cost effective method of disposing of drilling current legislation calls for less than 10% oil retention on cuttings. The advantage cutting injection technology is that it offers the operator, opportunity to not only meet current legislation, but also the opportunity to gain the field experience required to meet the upcoming legislation for less than 1% oil retention on cutting or "0" discharge.This technique of degrading cuttings and diluting them to form manageable and pumpable slurry opens up various interesting options. At a single well site, the cuttings slurry from the upper hole sections can be pumped to, and stored on a workboat.

When the outer and inner casing string have been set and cemented above and below the injection zone site, the slurry can then be transferred back to the rig for injection.

The environment effects than result from the dumping of drill cuttings and the associated drilling fluid are three-fold. Firstly there is the element of toxicity, secondly there is the element of organic enrichment, and last but possibly the most significant, the "smother effect".

5-2-1-The cuttings injection process and equipment

The cutting injection process starts with the degradation of drilled cutting by mechanical means to form slurry with the appropriate particle size range for injection into the chosen formation sequence. This is followed by the treatment of the cuttings slurry by dilution and chemical additions to achieve the require slurry density and rheology for injection.

Well in advance of any actual cutting injection operation, the following basic assessments are carried out:

1) Selection of a suitable formation to inject the cuttings slurry into, porous and permeable or potentially permeable with the application of hydraulic pressure.

2) Cement, casing and wellhead design to accommodate the anticipated pressure required to inject the cutting slurry into the appropriate formation.

3) Evaluation of injection pump pressured and pumps capacity requirements.

4) Evaluation of available deck space, deck loading limits and power consumption to support the cuttings injection package at the rig site.

The solid concentration should be maximized to reduce the total volume of slurry for injection. In order to achieve this, every effort should be made to maintain a solids concentration of 25% to 40% by volume.

The percentage solids content is a function of the type of formation being drilled and cuttings being produced.

The targeted slurry weight for the 17-1/2" and 12-1/4" hole sections should be in the range of 11- 13 lbs per gallon. The targeted slurry weight for 8-1/2" and 6" hole sections should be in the range of 11- 14 lbs per gallon.The slower drilling rates in the 8-1/2" and 6" hole section and the reduced volume of cuttings at a slightly higher specific gravity will contribute to the potential to generate a higher density slurry for injection.

The funnel viscosity range should be between 50 to 100 sec/qt and can be controlled by volume dilution sea water and if necessary a viscosifier or a thinner can be added.

The cuttings injection system proposed is designed to receive the drilled cuttings from the rig's solid control equipment, and/or drainage system etc.

Cutting are transported to the slurrification package, via screw conveyors, where they are mixed with water (and chemicals if required) and via a combination of special mix tank screw agitator and grinding pumps, provide a pumpable slurry with predetermined particle distribution for transfer to BHT (Batch Holding Tank).

The slurry is then pumped via a conventional centrifugal pump from the BHT to a variable speed triplex injection pump, which injects slurry at a predetermined rate and pressure via the casing annulus into the appropriate injection zone.The slurry unit is designed with two complete processing system each capable of receiving and grinding cuttings. The bottom of the slurry tanks is conical to minimize settling.

Both tanks are equipped with an optional agitator system. This system provides an enhanced agitation motion over just relying upon the agitation from the grinding pumps.

Perforated baffles are installed inside the slurry tanks to provide additional interference which assists in the overall degradation of the cuttings.

The suction for the grinding pumps is at the base of the tanks and thus provides a positive suction at all times.

In addition to the jet lines, which can be operated independently, there is a four inchs line which can discharge slurry to the slurry batch holding tank.

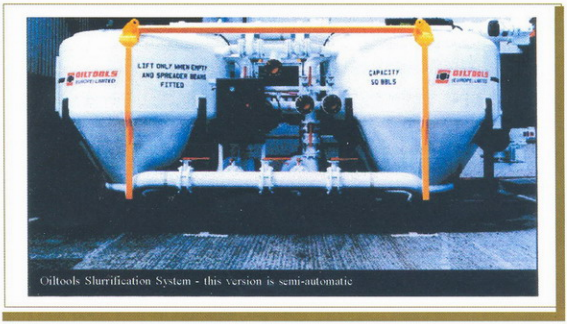
The centrifugal pump impeller blades are hard faced with tungsten carbide to provide extended life and to cope with the grinding of solids from hard consolidated formations.

All of the piping has been designed to enable each pump to tank suction and discharge into both tanks, as well as being able to back flush the suction line in the event of plugging.

Each batch tank is provided with its own optional agitator, pump, and manifold to allow either to receive the slurry from the slurrification package, and supply the injection pump as and when required.

A bypass line is also provided, whereas the slurry can be discharged directly from the slurrification package to the injection pump.

Classification of the slurry is controlled by circulating the slurry over a shaker.



Oiltools Slurrification System - this version is semi-automatic

Figure 47: Oiltools slurrification unit