اصول مهندسی حفاری

مدرس:

مرادی

انواع چاه

Wild Cat (گربه وحشی) :

به اولین چاهی گفته می شود که قبل از آن هیچگونه حفاری اکتشافی برای دسترسی به نفت انجام نگرفته باشد لذا در این چاه ها رسیدن به نفت یا عدم دست یابی به نفت یک احتمال است که به این وسیله بررسی می شود در ضمن حفر این چاه ها اطلاعات دقیقی از ساختار منطقه حاصل می شود که این اطلاعات در حفر چاه های بعدی به کار می روند .

Exploration Wells (چاه های اکتشافی):

این دسته از چاه ها در مناطقی حفر می شوند که قبلا در آن منطقه سابقه استخراج نفت وجود داشته است و همچنین وجود یک مخزن نفتی با شواهد زمین شناسی و ژئوفیزیکی به اثبات رسیده باشد. ولی باز این احتمال وجود دارد که به نفت نرسیده و چاه خشک باشد .

Delineation Wells (چاه های توصیفی):

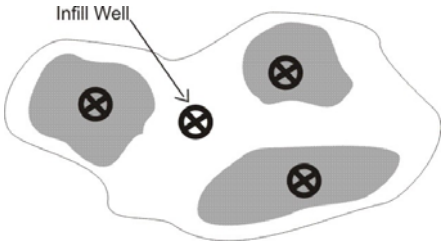
پس از کسب اطلاعات و به نتیجه رساندن حفاری های اولیه چاه های توصیفی در راستای مشخص کردن محدودهٔ مخزن و بررسی بیشترلایه های زیر زمینی حوضه جدید در محل های محاسبه شده حفر می گردند.

Development Wells (چاه های توسعه ای):

چاه های هستند که به منظور برداشت و توسعه بهره برداری حفر می شوند . احتمال دست یابی به نفت در این چاه ها ٪۹۰ می باشد و ٪۱۰ به دلیل این است که احتمالا لایه های نفت با هم مرتبط نبوده اند معمولا عدم دست یابی به نفت به دلیل کمبود تکنولوژی یا کم تجربگی اتفاق می افتد.

Infill Well:

هر چه از عمر تولید می گذرد چاه های بیشتری حفر می شود. پس از حفر چند چاه توسعه ای ممکن است نتوانیم همه نفت را تولید کنیم لذا باید برای استخراج باقیمانده نفت چاه های بیشتری حفر کنیم .

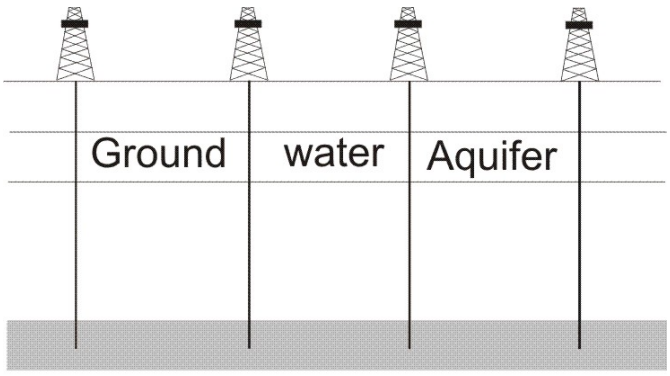


Injection Well & Production Well:

مخازن تنها تا مدتی قادر به تولید خود به خودی نفت بوده و پس از مدتی برای برداشت باید افت فشارحاصله در حین تولید را جبران کرد به همین منظور به مخازن گاز یا آب تزریق می کنیم لذا به چاه های تزریق نیاز خواهیم داشت که با تزریق آب یا گاز از چاه های دیگر نفت تولید کنیم .

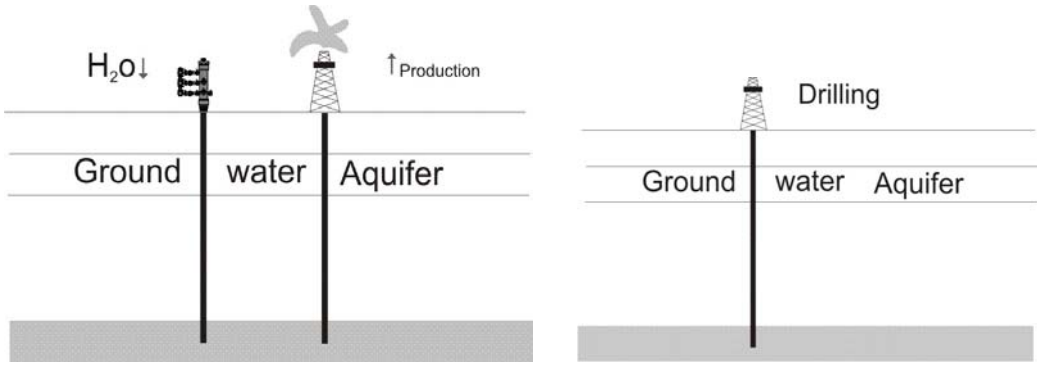
Aboundment Well:

پس از گذشت زمان دیگر برداشت از یک مخزن خاص ((از یک حاقه چاه)) ممکن یا مقرون به صرفه نبوده و همچنین شرایط چاه به گونه ای ست که امکان استفاده از آن به عنوان چاه مشاهده ای وجود ندارد؛ لذا چاه را با سیمان پر و ایمن سازی می کنیم .در یک مخزن پس از گذشت عمر زیاد و قطع تولید مقرون به صرفه همه چاه ها را پر می کنیم ولی با این حال باز هم نفت بالا آمده و سطح زمین و به ویژه آب های زیر زمینی را که جهت منبع آب آشامیدنی می باشند آلوده می کند .



post - operation

(عملیات تمام شده است)



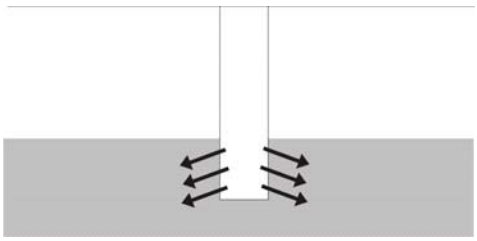
درحالت تزریق در چاه تزریقی برعکس چاه تولیدی که فشار انتها بیشتر از سر چاه است،درچاه تزریقی فشار آب تزریقی درسر چاه باید خیلی بیشتر از انتهای چاه باشد تا آب بتواند درون سازند نفوذ کند و این فشار میتواند باعث نشت آب به آبهای زیر زمینی و آلودگی آنها شود.

Kill well (Relief Well)

برای کنترل فوران درونی چاههایی که در هنگام حفاری یا تولید دچار مشکل می شوند به صورت انحرافی در مجاورت چاه مورد نظر حفاری می شوند و با تزریق سیمان از طریق این چاه، فوران صورت گرفته کنترل می شود.

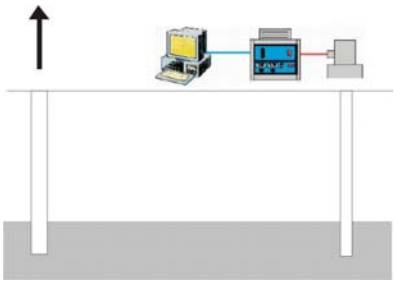
: Disposal well

چاه هایی است که حفر می شود برای دفن کردن آب های آلوده بدست آمده از نفت که بازهم می تواند باعث آلودگی شود. یکی از موارد استفاده از این چاهها تزریق و دفع پساب واحدهای نمک زدایی در آبده مخازن می باشد.



Monitoring well :

چاه هایی هستند که برای اندازه گیری و نمونه گیری در سطح آب های زیر زمینی حفر میشوند تا در صورت آلوده شدن ما را متوجه کند.

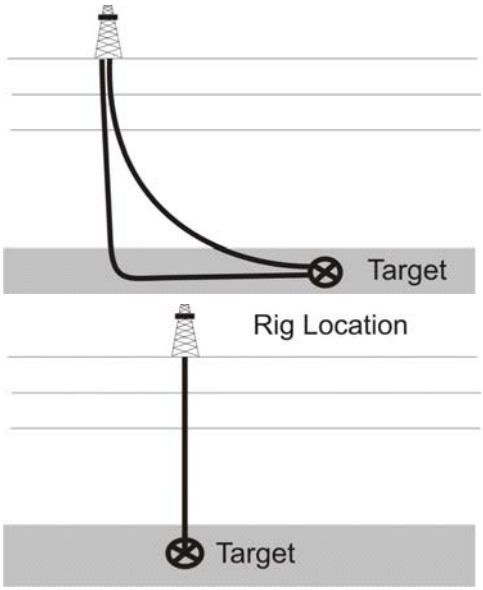


Observation Well

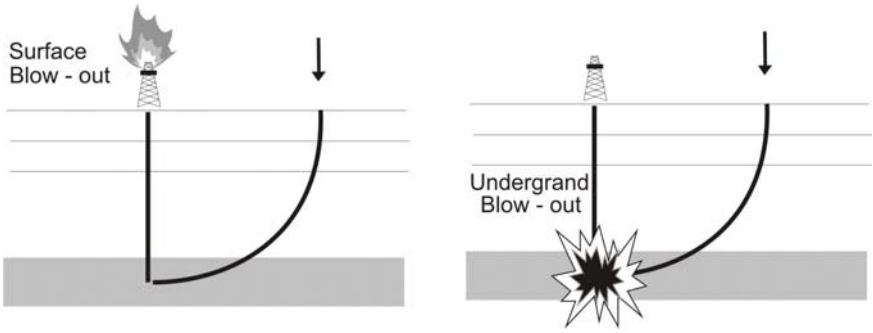
چاههای مشاهده ای به منظور اندازه گیری فشار سیالات مختلف موجود در مخزن (نفت و گاز و آب) و بررسی تغییرات سطوح تماس سیالات (سطح تماس آب-نفت، گاز-نفت یا گاز-آب) استفاده می شوند

Classification of wells:

Deviated well **vertical well**



فرض کنید در انتهای چاه انفجار و آتش سوزی صورت گرفته است یا در روی سطح آتش سوزی پیش آمده است.اگر به هیچ وجهی نتوانیم آن را مهار کنیم چاه های انحرافی حفر میکنیم تا مواد خفه کننده به مخزن تزریق کنیم.



Deviated Wells

a) Build and hold type

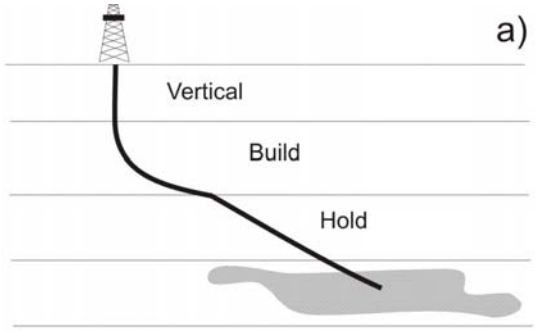
b) Continuous build

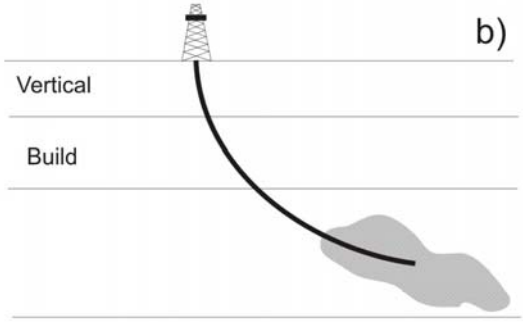
c) Build and hold and drop type

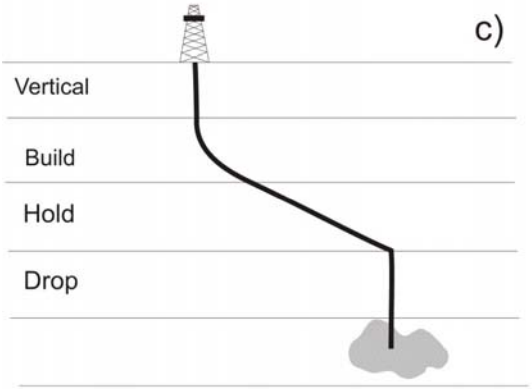
d) Horizontal well

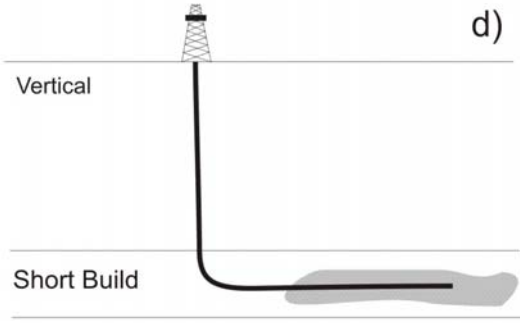
Multi lateral well

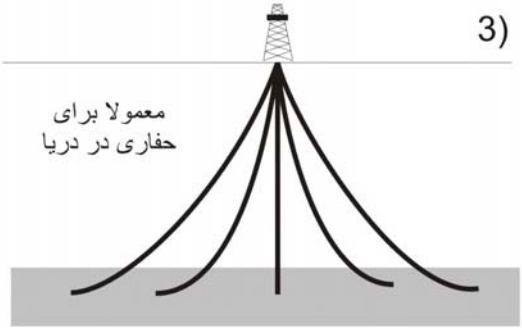
Extended drilling well

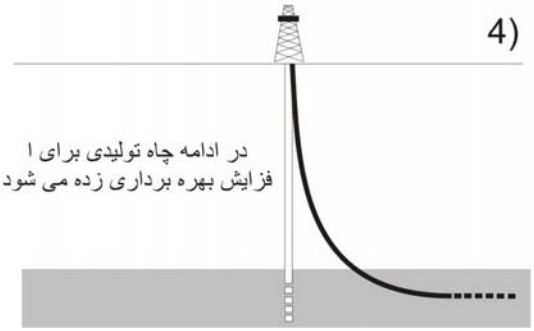








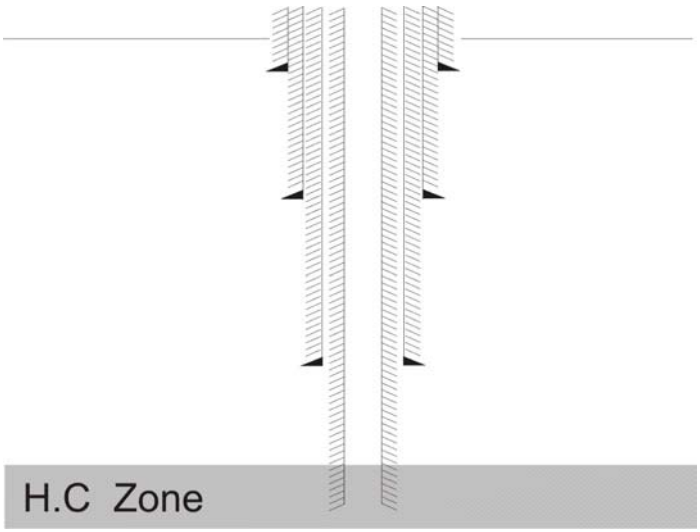




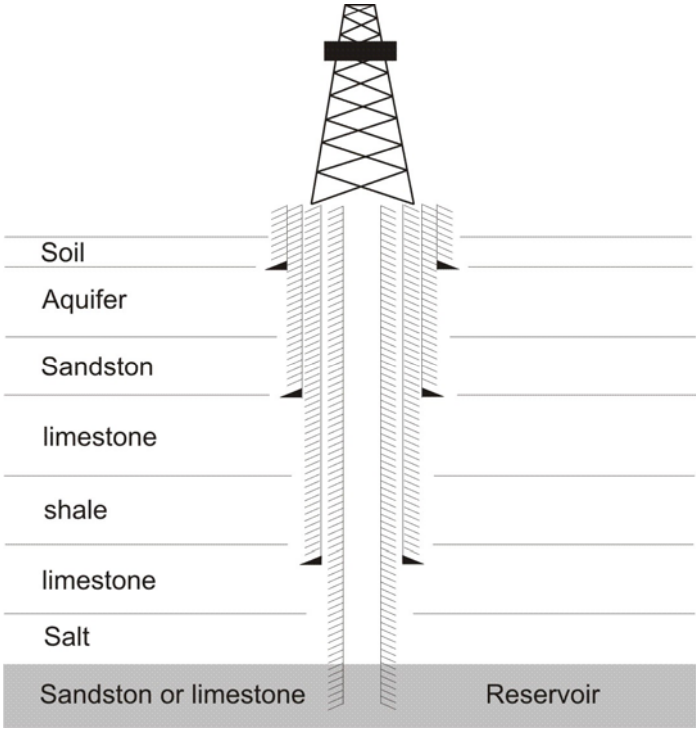
Well Structure Diagram

خاک منطقه باید استحکام لازم برای نصب ابزار و وسایل حفاری را داشته باشد و نشست نکند. بررسی های لازم در این زمینه توسط گروه مکانیک خاک (soil mechanic) انجام می شود. در مر حله بعد گروه مهندسی عمران (civil engineering) منطقه را آماده می کند و در جایی که باید چاه حفر شود یک لوله قطور درون زمین فرو می کنند و دور آن را سیمان می کنند. (Stove Pipe)

پایه های دکل حفاری بر روی همان سیمانی قرار میگیرد که دور لوله مورد نظر استحکام بخشیده است. درون لوله اولیه را تا عمقی خاص حفاری می کنیم سپس درون آنرا لوله گذاری می کنیم و دور لوله جداری (Casing) را سیمان می کنیم. سپس مته را عوض کرده و با سایز کوچکتر حفاری را ادامه می دهیم و پس از راندن لوله حداری جدید باز هم دور لوله را سیمان می کنیم و به همین صورت سر مته ها کوچکتر می شوند تا به سازند برسیم.



لوله conductor برای این است که ما در لایه خاک محکم شویم و کارش هدایت گل حفاری است.لوله بعدی که تا یک عمق خاص پیش میرود نیز مهم است چرا که همه ابزار حفاری BOP, Charismas Tree, well head)) روی آن نصب می شوند.



Surface casing: all surface well facilities

بعضی از لایه ها برای حفاری خطرناکند . مثلا برخی کانی های رسی در اثر برخورد با گل حفاری متورم می شوند و باعث گیر افتادن لوله ها و ابزار حفاری درون چاه می شوند. همچنین در سازندهای نمکی در صورت اشباع نبودن سیال حفاری از نمک، نمک سازند در گل حفاری حل شده و غارهایی بوجود می آورد که باعث ریزش سازند شوند.

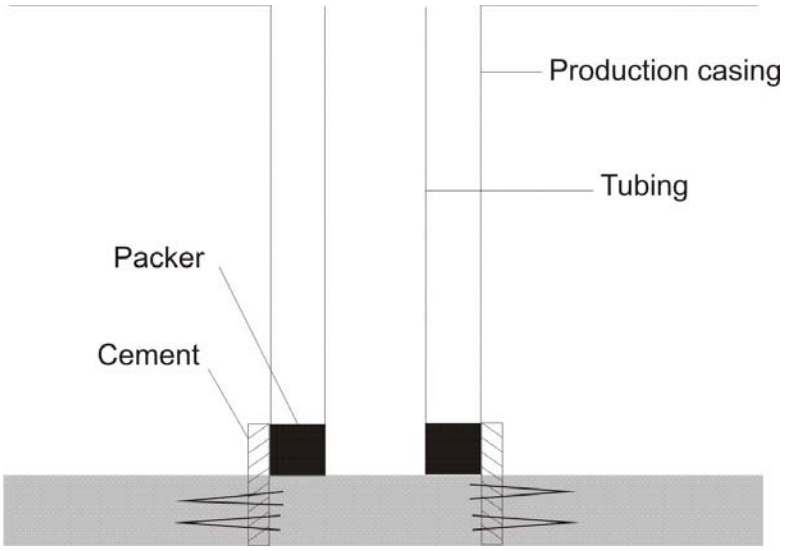
پس از عبور از خاک غیر مستحکم سطحی و لایه های اول به مجرد عبور از لایه شیل و اتمام آن لوله جداری بعد را قرار می دهیم تا خود را در ادامه حفاری از برخورد با شیل و خطر تورم آن محافظت کرده باشیم. اگر در limestone بعدی ترکهای زیادی وجود داشته باشد هرزروی گل (mud loss) خواهیم داشت و باید با گل نسبتا سبک تر حفاری شود تا هرزروی قابل کنترل باشد.

ممکن است یک لایه از نظر زمین شناسی انقدر استحکام داشته باشد که نیازی نباشد لوله را از بالا تا پایین بفرستیم بلکه فقط به اندازه همان ارتفاع مورد نظر لوله می فرستیم.به این نوع لوله گذاری که لوله جدید به صورت آستر درون لوله جداری قبل (Casing) معلق می شود لوله آستری (linear) گفته می شود که توسط Liner Hangers درول لوله حداری به صورت معلق نگه داشته می شود تا عملیات سیمانکاری

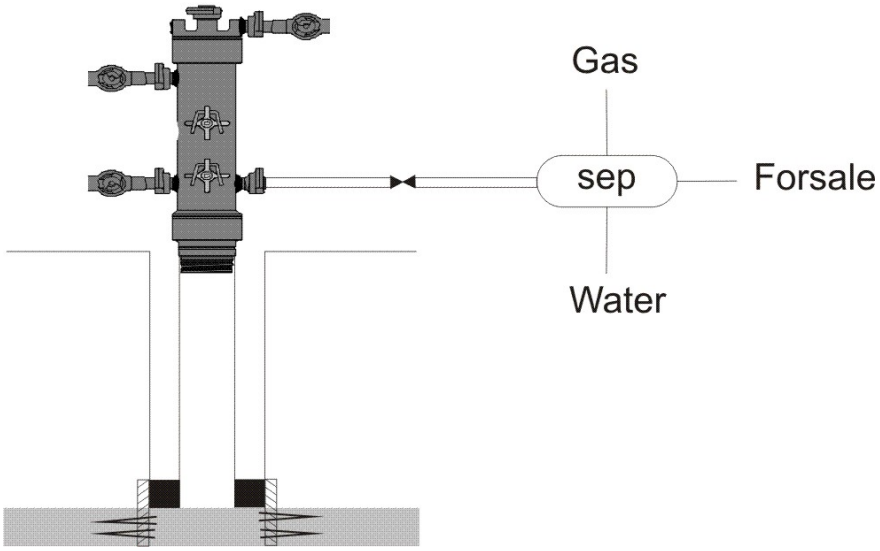
آن انجام شده و مستحکم شود. نصب لوله های جداری برای تمام لایه های خطرناک انجام می شود تا بالاخره به لوله گذاری production casing برسیم.

به کل مجموعه لوله های بین surface casing و production casing اصطلاحا intermediate casing گوییم.

در صورت قرار دادن لوله حداری یا آستری تولیدی در ناحیه مخزن ، پس از اتمام نصب و سیمانکاری، به وسیله گلوله های مخصوص حفراتی در دیواره آن در اعماق مورد نظر ایجاد می شود تا به عنوان مسیر های جریان سیال از درون مخزن به ستون چاه استفاده شوند. به این عملیات، مشبک کاری (Perforation) گفته می شود.



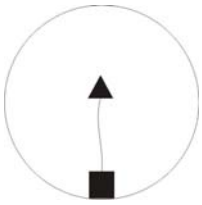
پس از اتمام حفاری یک لوله مغزی (Tubing) بدون سیمانکاری درون چاه قرار داده می شود که استفاده آن به منظور بهبود رژیم جریان سیال و نصب ادوات تولیدی مورد نیاز در زمان بهره برداری از چاه می باشد. پس از قرار دادن Tubing و ست کردن انتهای آن بوسیله Packer، به منظور تمیز سازی چاه و خارج کردن ضایعات باقیمانده از گل و عملیات حفاری و مشبک کاری، شستشوی ستون چاه بوسیله اسید انجام می شود.

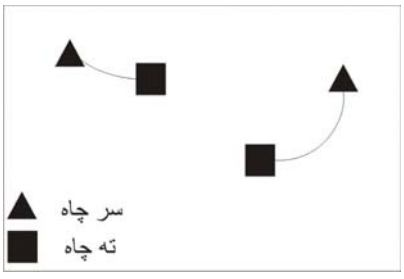


Choke valve لوله ای است که جهت کنترل مقدار جریان نفت خام تولیدی نصب می شود.

دربرخی مراحل حفاری بنابر نظر زمین شناسان باید حفاری را متوقف کرده و درون چاه را مطالعه کنیم که بفهمیم در چه ناحیه ای قرار داریم و اطلاعات لازم جهت ادامه حفاری را بدست آوریم .

یک محدوده نفتی را در نظر بگیرید که نقشه روی سطح آن به صورت زیر باشد و همه چاههای ما به صورت عمودی باشند vertical wells باز هم هیچ چاهی به صورت کاملا عمودی نیست و خود طبیعت در چاه ما انحراف ایجاد خواهد کرد. برای هر چاه در هنگام حفاری، خداکثر میزان انجراف از قبل مشخص شده و در حین عملیات سعی می شود حفاری در مسیر مجاز و مناسب ادامه یابد





Typical hole/casing size arrangements predominate in the Middle East:

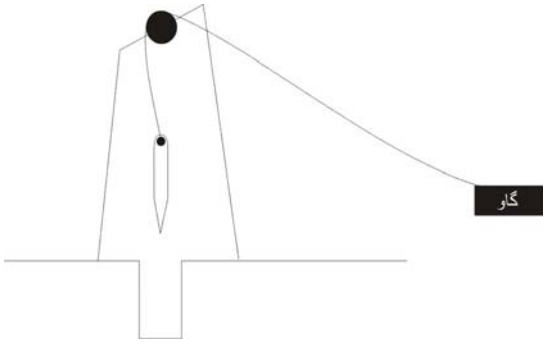
Hole size (in)	Casing size (in)	Description
36"	30	Stove pipe,100 ft
24/26	18 (5/8)/20	Conductor pipe,200ft/300ft
17.5	13 (3/8)	Surface casing
12.25	9 (5/8)	Intermediate casing
8.5	7	Production casing
6	4 (1/2)/5	Full production casing or production linear

History of drilling technology:

The history of oil well drilling technology is studded with familiar name of colonel E.L.Drake and Anthony Lucas.

Ancient time: well dug by hand

200. B.c: Chinese used percussion drilling to drill wells for salt water, using derricks, tubing, bits and cemented bamboo casing.
Drilling ground water well:



1859: using cable-tool percussion drilling equipment, Drake completes the first commercial oil well in America at a depth of 60 ft.

حفاری به صورت ضربه ای بود ولی به جای حیوان از نیروی ماشین استفاده می شد.

1900 -1901:

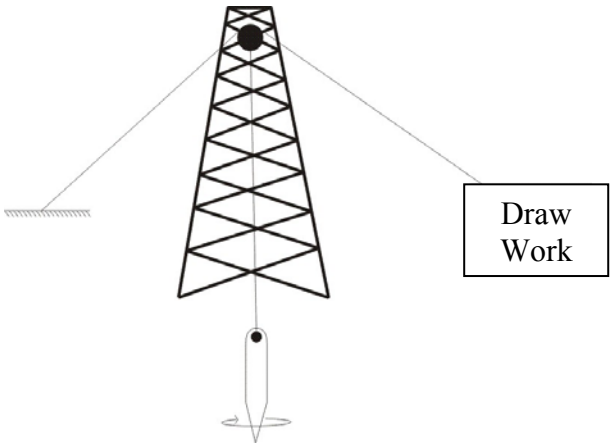
Anthony Lucas and hanill brothers drilled the discovery well at Spindletop field near Beaumont, Texas using rotary drilling equipment. The well flowed 100,000 BOPD from 1040 ft.

Methods of drilling:

1) Percussion drilling امروزه فقط برای چاه های آبی استفاده می شود

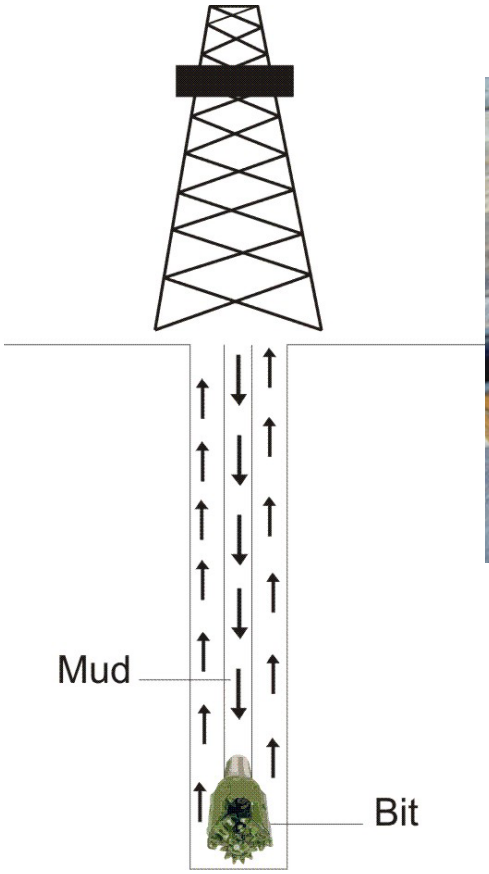
2) Cable tool drilling

نوع دوم حفاری بسته به نوع مته میتواند ضربه ای یا چرخشی باشد. ممکن است جهت راحت شدن حفاری با یک شلنگ آب هم به درون چاه بفرستند.



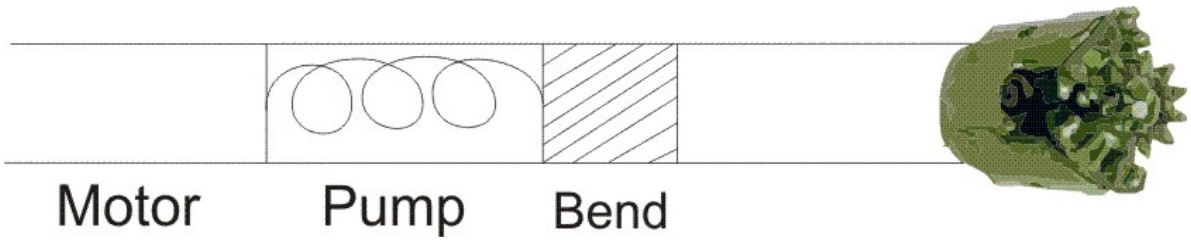
3) Rotary drilling

در حفاری دورانی معمول از میز گردان (Rotary Table) استفاده می شود که با چرخیدن آن همه لوله ها می چرخند و مته را می چرخانند به منظور خروج خرده های حفاری، یم سیستم گردش سیال حفاری تعبیه می شود بدین صورت که گل از درون لوله های حفاری وارد و از مته و فضای دالیزی اطراف لوله ها خارج شده و به سطح بر می گردد.

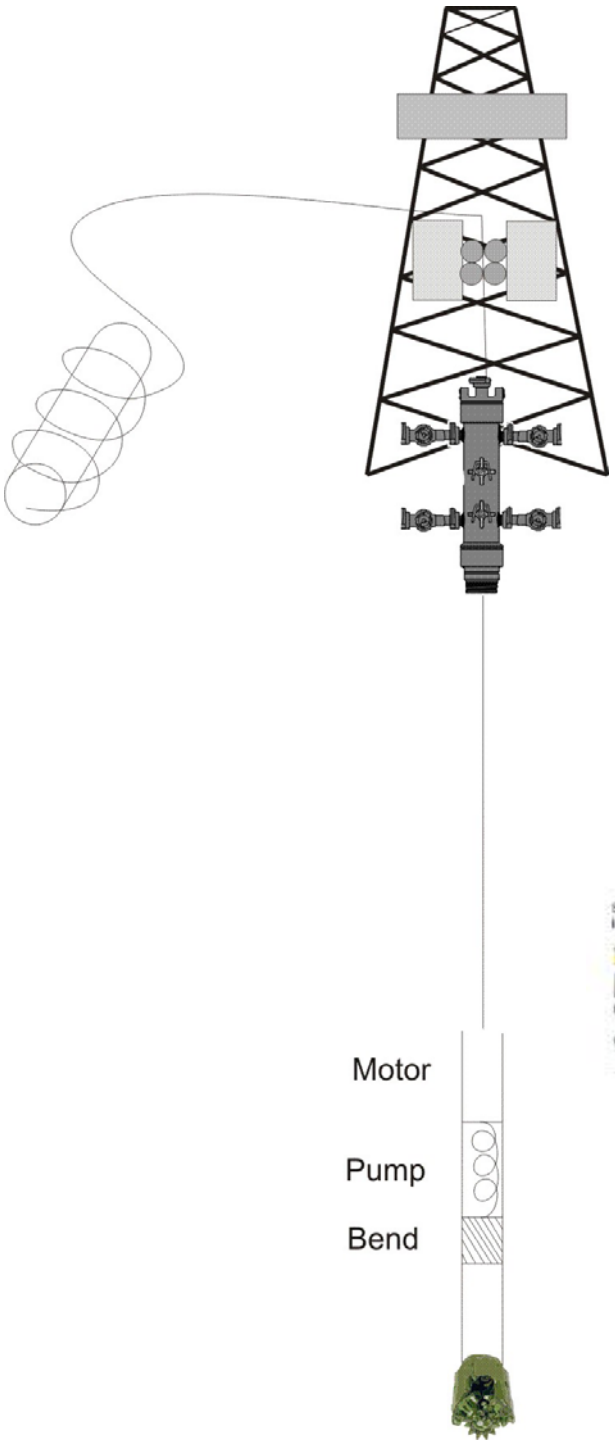


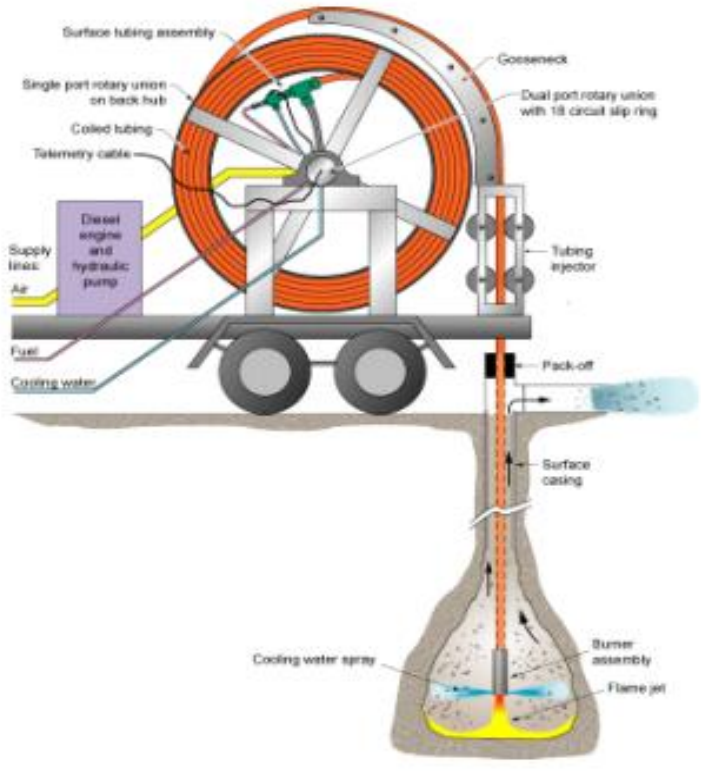
4) Turbo drilling

همان مکانیسم چرخشی است با این تفاوت که فقط سر مته میچرخد. این قطعه روی آخرین لوله نصب می شود و فقط مته می چرحد و لازم نیست همه ابزارها بچرخند. قطعه bend برای تعیین جهت و میزان انحراف در حفاری انحرافی استفاده می شود



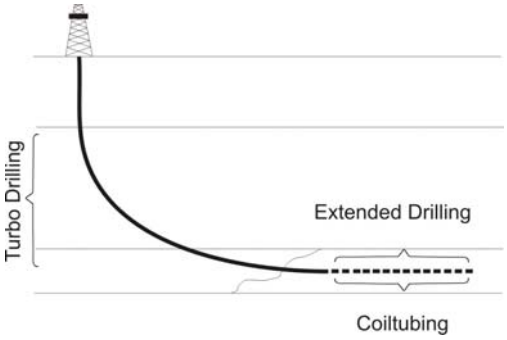
5) Coil tube drilling

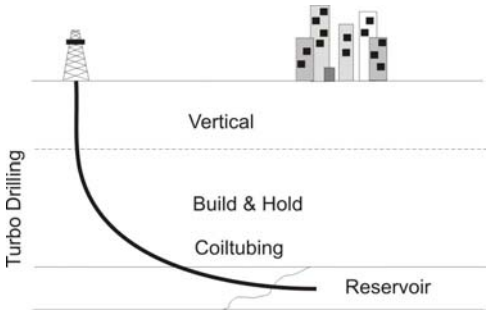




در این روش از یک رشته حفاری انعطاف پذیر یکپارچه که به دور یک کلاف پیچیده شده استفاده می شود. مزیت این روش آن است که برای تغییر و تعویض لازم نیست ابزار درون چاهی را تکه تکه کنیم و سریعتر

می توانیم وسایل را بالا بکشیم در این نوع حفاری فقط مته می چرخد. اشکال این روش این است که حفاری با قطر کم امکان پذیر است.





یک دکل مدرن شامل این سه تکنولوژی می باشد تا در صورت نیاز استفاده شود

Modern Rig

1) Rotary Table
2) Top Drive
3) Coil Tubing

مزیت روش Top Drive بر Rotary Table این است که از بالا می چرخاند و کار تعویض لوله و حفاری و اضافه کردن لوله ها سریعتر صورت میگیرد و فقط مسئله زمانی است که باعث برتری می گردد .

Drilling Company: Position

The well planning process

1) Well selection
2) AFE preparation (Authorization for Expenditure) اجازه دادن برای خرج کردن
3) Organizing and data gathering
4) Well design
5) Rig design
6) Procedures
7) Contract
8) Cost estimate

Team members:

1) Geo science: a_geophysicist
   b_geologist
   c_geochemist

2) Engineering: a_drilling
   b_production
   c_reservoir

3) Operation: a_drilling manager
   b_drilling superintendent
   c_drilling supervisor
   d_logistic coordinator

4) support: a_loss prevention - safety
   b_enviromental and regularity
   c_purchasing

به تمامی افراد فوق جهت یک well planning process نیاز است.

Well selection

- ✓ Prospect identification

مرحله ای است که زمین شناسان با استفاده از مشاهدات خود از منطقه مورد نظر طراحی می کنند.

Geology → Proposal → Observation → Topographical map & Subsurface cross-section → Reservoir

از روی اطلاعات کسب شده توسط زمین شناسان، یک سنگ که مشخصات مخزن را داشته باشد به عنوان مخزن بالقوه معرفی می شود: Cap Rock - Trap - K & Q

- ✓ Reservoir Potential Evaluation:

برآورد پتانسیل تولیدی مخزن

1) IHCIP: Initial Hydrocarbon In Place
2) Reserve?
3) Flow rate → well potential=?

- ✓ Prospect acquisition:

اگر در مورد مخزن معرفی شده امکان مشخصه سازی قطعی وجود نداشته باشد باید به جمع آوری اطلاعات بپردازیم تا بتوان با قطعیت بیشتری راجع به پتانسیل تولید مخزن نظر داد.

- ✓ Well location Selection:

تعیین موقعیت جغرافیایی مخزن کشف شده و چاه مورد نظر جهت حفاری

1) offshore (ocean)
2) onshore (continental shelf)

AFE preparation (Authority For Expenditure)

باید میزان خرج دقیقا برآورد شود که از منبع مورد نظر پول تهیه و اجازه خرج شدن گرفته شود. برای این منظور باید مراحل مختلف و مخارج مورد نیاز (شامل اطلاعات زمین شناسی، وسایل تکمیل چاه، مسایلی که

در حین حفاری اتفاق می افتد و وسایلی که جهت تولید مورد نیاز است) درنظر گرفته شوند. پس از همه این اهداف می توان مخارج تخمین زد و این تخمین بودجه به کارفرما ارجاع می شود و بودجه تامین می شود.

Organizing and data gathering:

- ✓ Initial planning meeting:

از این مرحله برای مراحل مختلف حفاری تصمیم گیری می شود.

- ✓ Location, support and logistics:

مکان دکل و وسایل مورد نیاز را فراهم می کنند و در اطرافی که چاه باید زده شود جاده کشی می کنند و منطقه را برای زدن چاه آماده می کنند.

- ✓ Pressure prediction:

یکی از مراحل مهم حفاری کنترل فشارهای زیر زمینی است که فورانی رخ ندهد لذا فشار سازند باید پیش بینی شود.

- ✓ Potential drilling problems:

پیش بینی مشکلاتی که ممکن است در حین حفاری رخ دهد و در نظر گرفتن امکاناتی تا حد ممکن برای جلوگیری (به عنوان مثال در مورد Blow out)

Blow out → fire → Human health & Human welfare

- ✓ Directional plan:

تهیه فلوچارت مسئولیتهای مورد نیاز، اختصاص نیروی انسانی برای هر مسوولیت و اولویت بندی وظایف.

- ✓ Environmental and regulatory requirements:

سازمان حفاظت از محیط زیست باید مجوز حفاری بدهد ((Environmental protection agency))

Well design

- ✓ Permit application submitted:

باید مجوز حفاری از طرف EPA صادر شود. پولی به حساب دولت ریخته می شود که ضمانتی است بر اینکه در طول پروژه تمام کارها را بر اساس قوانین صورت می گیرد .این بودجه وثیقه ای چند برابر کل خرجهای حفاری است.

- ✓ Mud program and solids control:

برنامه ریزی تعیین نوع گل مورد نیاز برای لایه های مختلف نوع سیستم تصفیه.

- ✓ Tubular and wellhead design:

تعیین عمق نصب لوله های جداری و طزاحی وسایل سر چاهی که برای هر چاه متفاوت است.

- ✓ Cementing programs:

برنامه ریزی نوع سیمان مورد استفاده در اعماق مختلف و عملیات سیمانکاری.

- ✓ Drilling mechanics:

طراحی وسایل مکانیکی سرچاهی مانند پمپ گل حفاری.

- ✓ Hydraulic program:

محاسبه پروفایل افت فشار گل حفاری در طول مسیر دوران در چاه.

- ✓ Logging , Coring and testing programs:

تعیین نیاز آزمایشات، نمونه گیری و نمودارگیری و مشخص نمودن عمق عملیات و زمان مورد نیاز

Rig design

طراحی دکل حفاری که بتواند همه نیاز های عملیاتی را بر آورده کند.

- ✓ Bop (Blow Out Prerventer) :

جهت کنترل فوران احتمالی چاه در سطح زمین روی چاه نصب می شوند و بسته به عمق و شرایط مخزن طراحی متفاوت دارند.

- ✓ Rig specifications:

Light Rig دکل های که برای عمق کم و حد اکثر تا ۴۰۰۰ متر استفاده میشوند

Medium Rig این دکل ها تا عمق ۵۰۰۰ متری هم قابل استفاده اند

Heavy Rig دکل های سنگین بین ۷۰۰۰-۵۰۰۰ متر قابل استفاده می باشند

Super heavy Rig این نوع دکل هم برای عمق های بیشتر از ۷۰۰۰ به کار می روند.

Procedures

- ✓ Drilling Procedures :

بر اساس نوع حفاری ، عمودی ، انحرافی ، .... باید ابزار و نوع ابزارها و طریق و زمان استفاده از دستگاه ها ذکر شود.

- ✓ Support
- ✓ Completion and Testing procedures :

مراحل حفاری به صورت های جداول زمانی تهیه و به شرکت حفار ارائه می شوند.

- ✓ Drilling Time curve:

باید بتوانیم تخمین بزنیم که کل مدت حفاری و هر مرحله خاص چه وقتی می گیرد مثلا Casing یا Log یا تعویض مته چه مقدار زمانی می برد.

- ✓ Emergency procedures:

در این مرحله باید مشخص و ذکر شود که در صورت بروز هر گونه مشکلی چه کسی مسئول است.

- ✓ Completion and testing time :

زمان ها برای مراحل مختلف تکمیل و تست چاه و همچنین رفع مشکلات احتمالی ذکر میشود.

Cost review

- ✓ Bids evaluated:

در برنامه ای که به مناقصه بین شرکت های مختلف به مناقصه گذاشته شده بود ، بهترین حالت ممکن را انتخاب و به شرکت برنده اعلام می کنند

- ✓ Drilling cost estimates:

تا اینجا فهمیده ایم که چه مقدار بهای اصلی کار ماست و چه مقدار شرکت حفاری پیش بینی کرده است.

- ✓ Completion and cost estimate:
- ✓ AFE review:

پس از برآورد دوباره خرج ها اگر کسری بودجه مشاهده شود جهت اصلاح و تامین بودجه به مرجع مورد نظر ارجاع داده می شود.

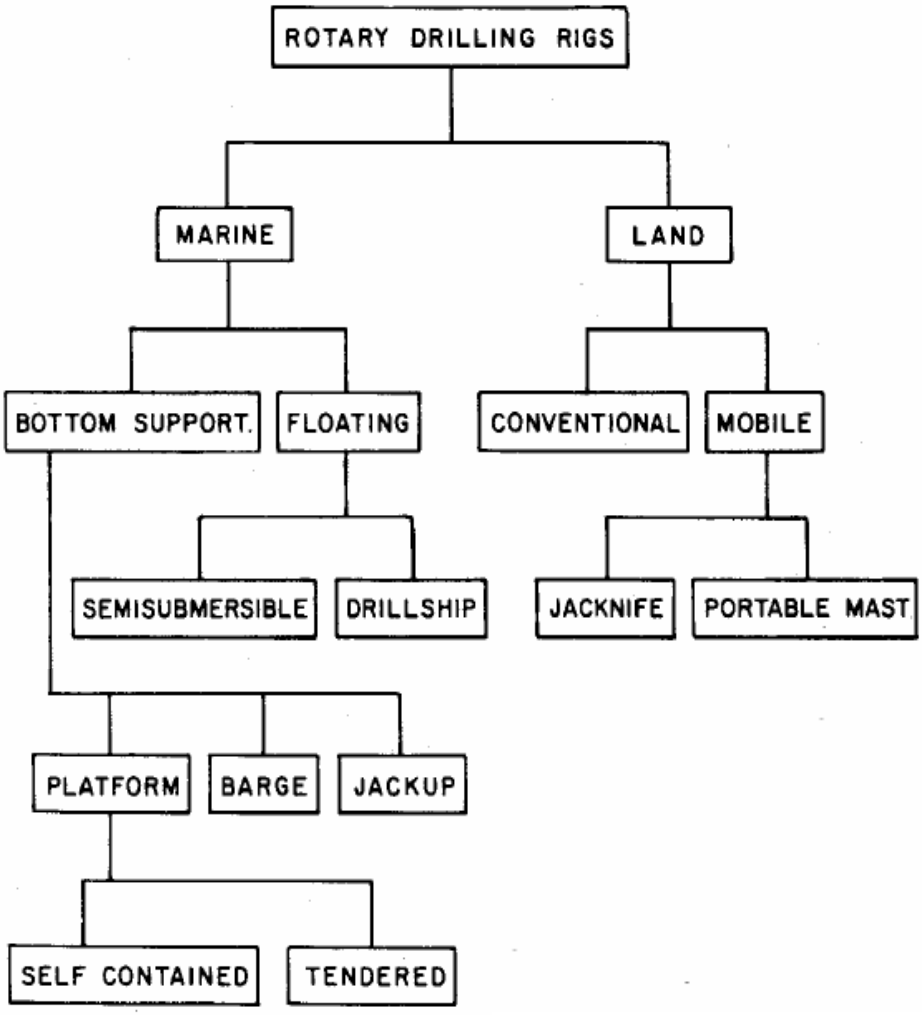
Well program Completed:

شروع به کارشرکت حفاری با نظارت شرکت صاحب کار.

Drilling environment:

1) Surface drilling environment:
    a) Ocean (offshore)
    b) Continental (onshore)
2) Subsurface drilling environment

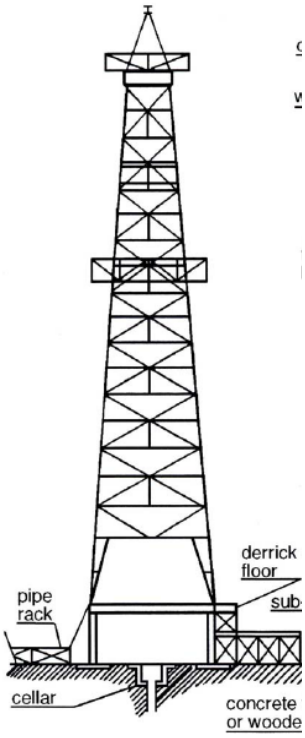
در حفاری offshore یا onshore دکل های حفاری ساختارهای متفاوتی دارند.



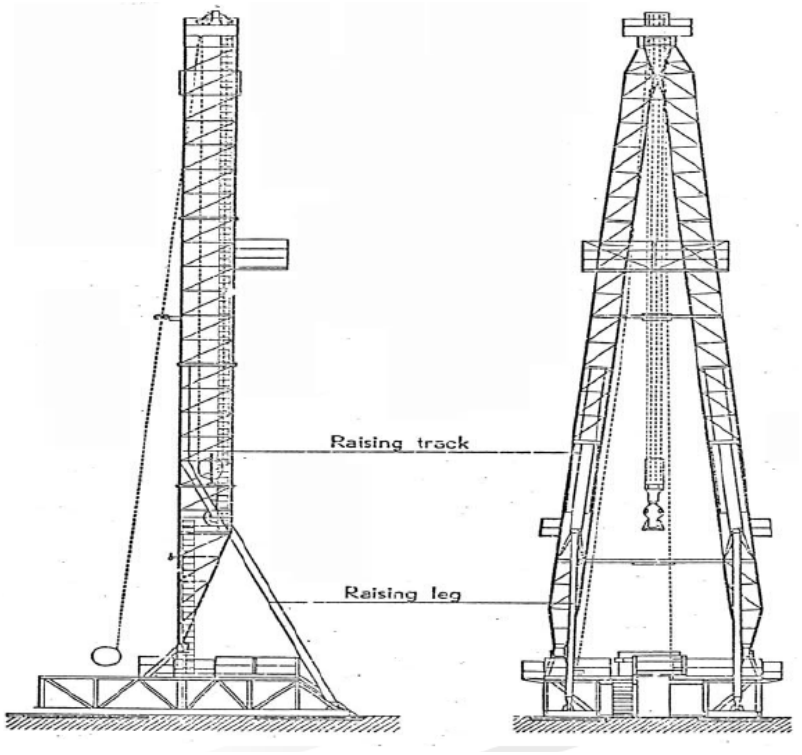
دکل های موبایل برای عمق های کم استفاده می شوند و بر روی یک وسیله نقلیه به صورت کلی قابل جابجایی هستند ولی دکل های conventional باید برای جابجایی تکه تکه شوند و برای عمق های مختلف هم استفاده می شوند.

در نوع دکل های موبایل حالت jacknife حالتی است که کل قسمت mast روی وسیله نقلیه چسبیده است و فقط پایه های آن می توانند روی زمین قرار بگیرند و خود آن از وسیله جدا نمی شود.

در نوع portable mast، دکل از وسیله نقلیه جدا شده و روی خود زمین می شود.



Conventional Rig



Portable Mast

دکل های دریایی بردو نوع است،یا روی آب شناوراست یا پایه های آن در کف دریا محکم شده اند.

Platform سکوهای معمولی بزرگ هستند که تمام تجهیزات روی آن قرار دارد و به دو دسته تقسیم می شود. اگر سکو به اندازه ای باشد که با توجه به بزرگی سکو یتواتد با قدرت پایه های خود درون آب به صورت پایدار بماند اصطلاحا Self Contained و اگر لازم باشد بوسیه یدک کش ها و لنگر مهار شود Tenderedنامیده می شود.

Barge سکوهایی هستند که می توان آنها را از پایین آزاد نمود و در مردابها و آب های کم عمق استفاده می شوند.

Jack up سکوهایی هستند که پایه های آن به عوض فرو رفتن در کف دریا با جکها یی به کف دریا وصل شده اند که در مواقع لزوم مانند طوفان جکها را رها می کنند تا دکل به صورت معلق درآید

Self Contained Drilling Platform

Tendered Drilling Platform

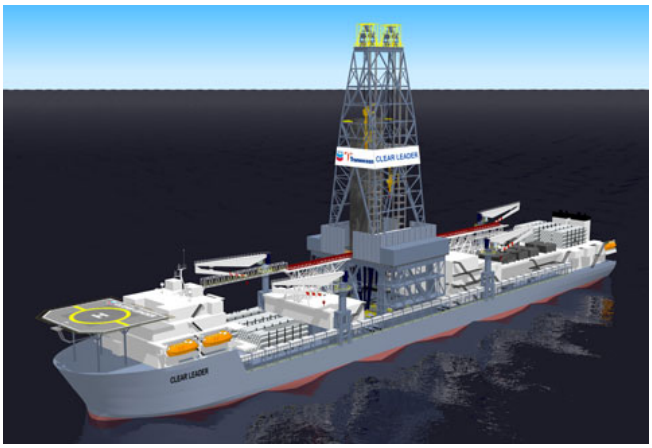
Inland water drill barge

Inland water drill Jack Up

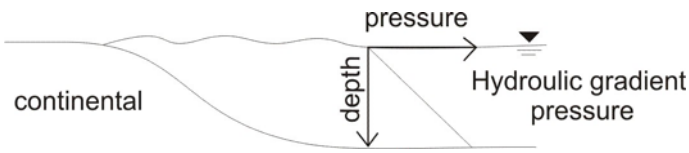
در دکل های شناور نوع Semi-submersible به صورت نیمه شناور برای با دریاهای با طول موج های کوتاه برای عمق آب های تا 3500 ft استفاده می شوند و Drill ships کشتی های حفاری هستند که تا جاهایی که عمق آب بیشتراز 7500 ft باشد و وسایل bop هم درهردو مورد درکف دریا نصب می شوند.

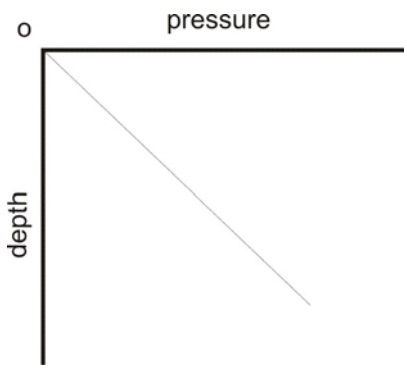
Semisubmerscible Platform

Drillship



Subsurface environment:





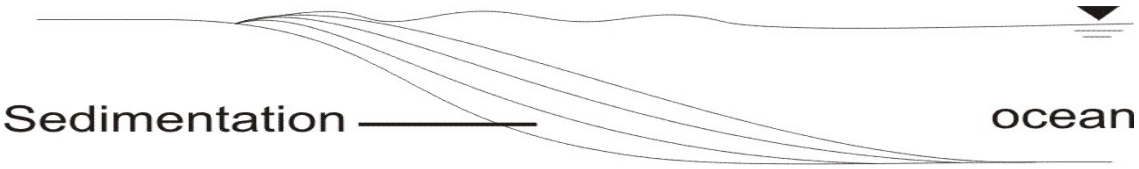
درزیرآب برای هر عمق خاص داریم :

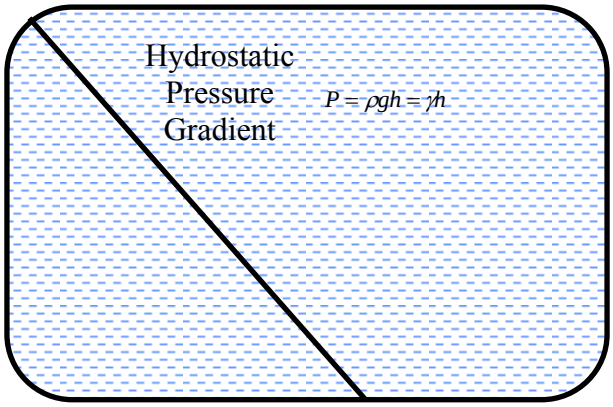
P= γ*h , γ = specific weight = ρg

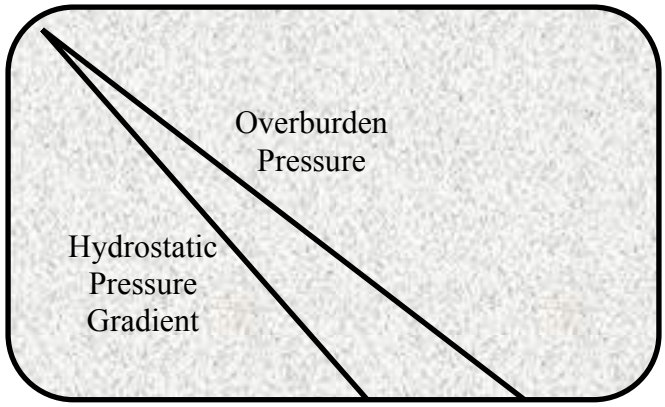
P/ h = γ , = pressure head = h Fresh water = 0.433 psi / ft

Water with salinity of 55000 mg / lit → 0.45 psi / ft

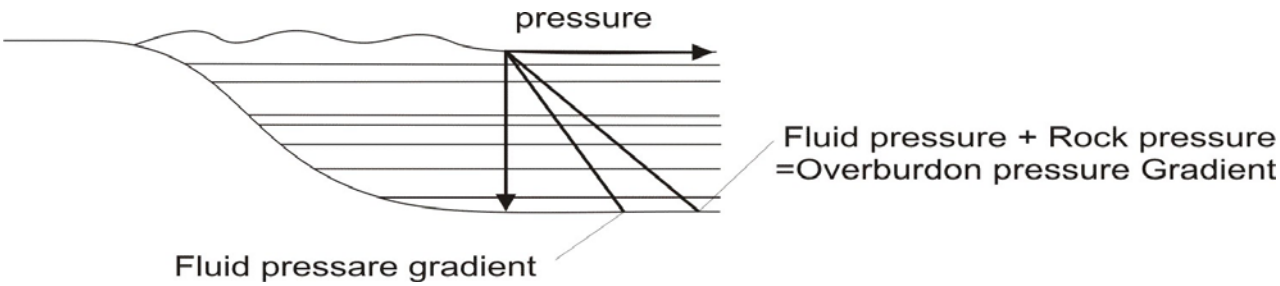
با گذشت زمان دراثر رسوبگذاری دریا پسروی می کند و سنگ های رسوبی پدید می آیند.



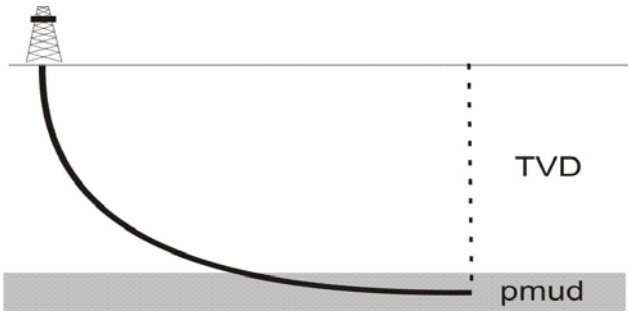




درون حفرات به هم پوسته درون سنگهای سیال وجود دارد که باعث ایجاد ستون فشار هیدرواستاتیک می شود. علاوه بر فشار هیدرواستاتیک سیال، وزن طبقات بالایی هم به نوبه خود فشاری ایجاد می کند که به آن Overburden گفته می شود.



به منظور پیشگیری از فوران، باید فشار ته چاه با فشار هیدروستاتیک ستون گل کنترل شود.



P_{mud} [Psi] = 0.052 × Mud Weight [PPG]× TVD [ft]

TVD : True Vertical Depth , PPG: Lb/Gal

Fluid pressure = Formation pressure = P_f

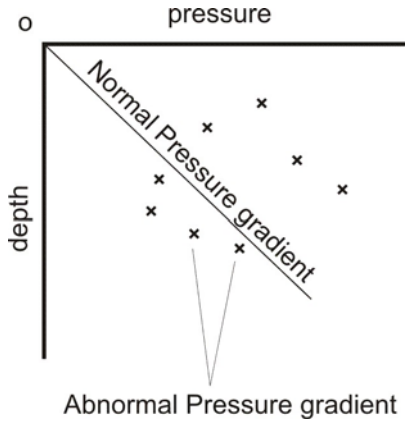
- $P_F > P_{mud}$ → Blow Out if appropriate system is not used
- $P_F < P_{mud}$ → Lost Circulation
- $P_F = P_{mud}$ → Balance

- $P_f > P_{mud}$ → Under-Balance Drilling (UBD)
- $P_f < P_{mud}$ → Overbalance Drilling
- $P_f = P_{mud}$ → Balance Drilling

از آنجا که هدف در حفاری جلوگیری از فوران است لذا معمول است که یک Safety Margine در نظر گرفته می شود و معمولا حدود ۲۰۰ psi فشار گل باید بیشتر از فشار سازند باشد یعنی:

$$Mw = \frac{P_{mud} + 200}{(0.052 \times TVD)}$$

- Formation Pressure :



ممکن است در یک لایه گرادیان فشار به یکباره زیاد شود که سبب فوران خواهد شد لذا ما باید از این Abnormalities با استفاده از تجربیات حفاری های مشابه در منطقه و بررسی ساختارهای زمین شناسی موجود مطلع شویم و حفاری در این مناطق را با آمادگی و ایمنی مناسب انجام دهیم.

چه عواملی باعث ایجاد Abonormality می شوند :

Unfortunately , certain geological or geochemical processes can effect the pressure gradient causing it to deviate from its normal trend, resulting abnormal pressures that are higher than expected.

Abnormal pressure

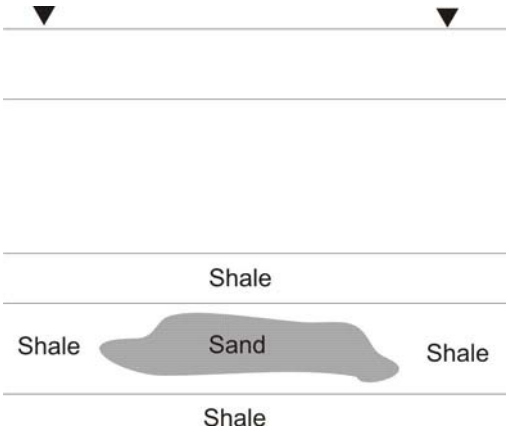
Super pressure , Subnormal pressure

Abnormal pressure causes due to number of processes:

1) Rapid sedimentation
2) Piezometric surface contrasts(differences)
3) Chemical diagensis
4) Fluid density contrasts
5) Structural movement
6) Charging

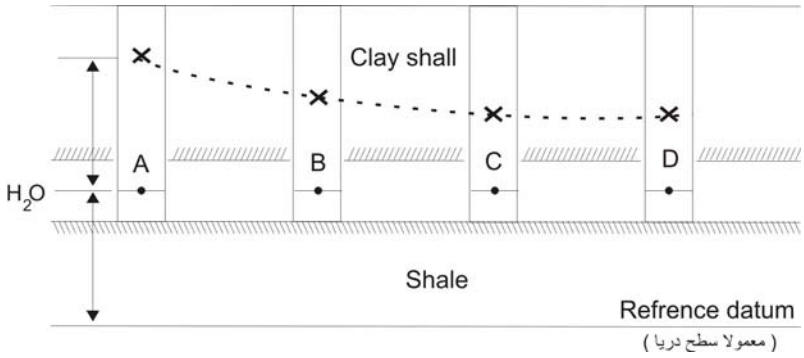
- Rapid sedimentation:

معمولا کانی های رسی مانند لایه های نفوذ پذیری کمی دارند و آبی که درون یک لنز ماسه سنگی که در اثر رسوب گذاری سریع با این لایه های نفوذناپذیراحاطه شده، قابل خروج پس از رسوبگذاری نخواهد بود. در نتیجه این ناحیه دارای فشار بیشتری نسبت به عمق و نواحی مشابه خود می باشد.



- <u>Piezometric surface contrasts:</u>

وقتی به اعماق زمین می رویم اگر چند چاه آب حفر کنیم عمق آب در چاهها یکسان نیست.



$P_A = h_A \gamma_w \quad \rightarrow \quad h_A = P_A / \gamma_w$ = Fluid pressure Head

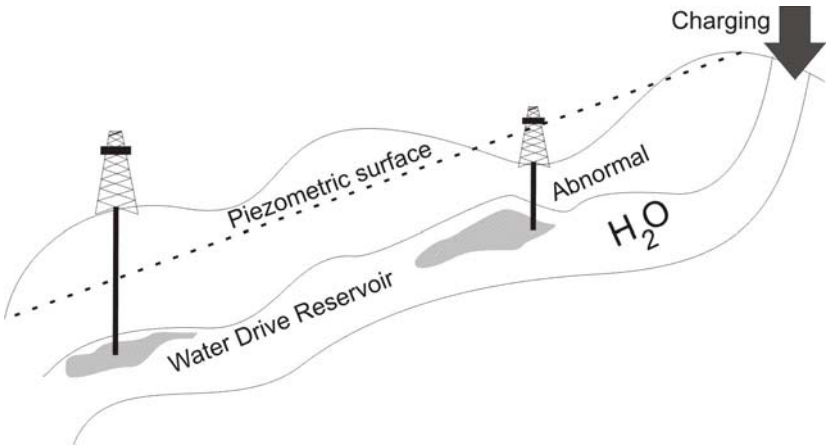
این نقطه A نسبت به یک نقطه دیگر ارتفاع دارد مثلا اگر نسبت به سطح دریا درنظر بگیریم داریم یک evaluation heal خواهیم داشت که به صورت انرژی پتانسیل است.

Total Head = ($P/\gamma + h$) { برای نقطه A }

اگر Total Head را برای هر چهار نقطه محاسبه کنیم می بینیم که :

$(P/\gamma + h')_A > (P/\gamma + h')_B > (P/\gamma + h')_C > (P/\gamma + h')_D$

یعنی جهت جریان از A به D است .



خط چین که سطح آب درون چاهی را به هم وصل می کند در حقیقت در هر نقطه Total Head است و آنرا Piezometric surface گویند. درمخزن فوق چون سطح نفت در سطحی پایین تر از سطح Pizometric قرار دارد در اثر چاه زدن فوران صورت میگیرد . این مخزن همچنین charging راهم نشان میدهد که در فصل بارندگی مخزن پر از آب شده و باعث افزایش فشار و افزایش تولید میشود .

- <u>Chemical diagensis:</u>

  Mineral type 1 → mineral type 2 clay 1 → clay 2

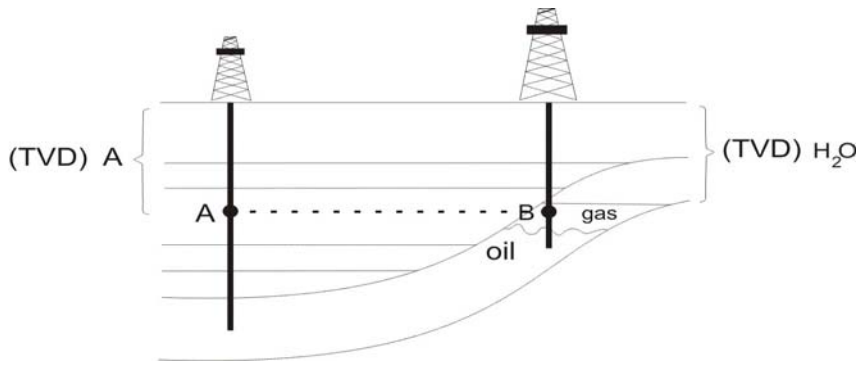
این فرایند ممکن است با تولید اب همراه باشد که نتواند فرار کند و در محیط باقی بماند و باعث افزایش فشار درون حفرات سنگ شود.

- <u>Fluid density contrasts:</u>

$(TVD)_A = (TVD)_B$

$P_A = (TVD)_A \times \gamma_w$ فرض شود در لایه های دیگر

$P_B = (TVD)_{water} \times \gamma_{water} + (TVD)_{gas} \times \gamma_{gas}$ آب باشد

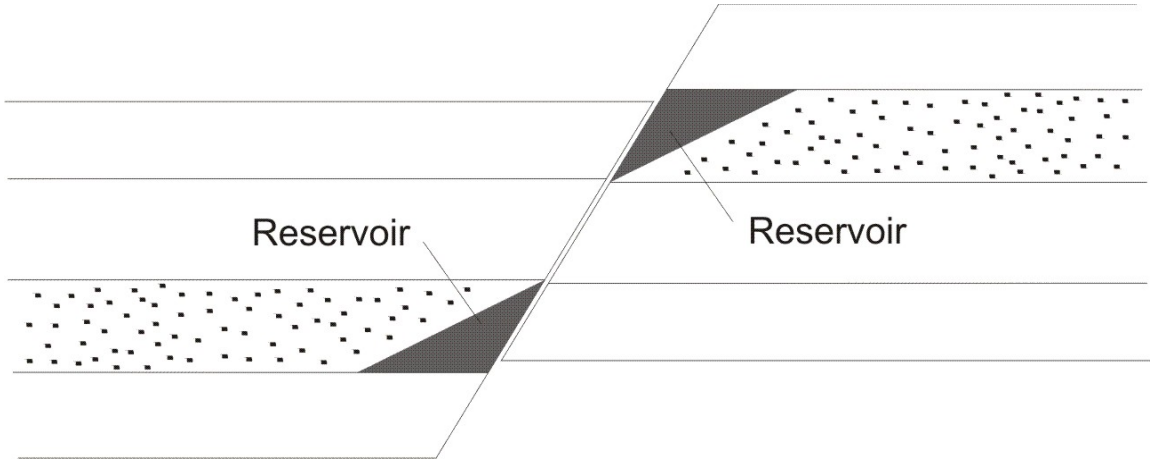


با توجه به کوچکتر بودن چگالی گاز نسبت به آب، می توان ملاحظه کرد که اختلاف چگالی سیالات باعث ایجاد دو فشار مختلف در یک عمق شده است و فشار نقطه A بیشتر از فشار در نقطه B خواهد بود.

- Structural movement:

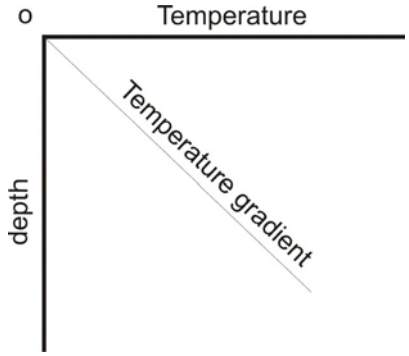
Tectonic → Fault (Normal Fault)

مشاهده می شود که این مخزن در دو عمق مختلف با دو فشار مختلف قرار دارند که حفاری در یکی فشار بالا و دیگری فشار پایین دارد . لذا زمین شناسان باید تمام این Abonormalities را گزارش دهند تا از صدمات جلو گیری به عمل آید.



Subsurface Environment

Temperature:



به طور طبیعی هر کیلومتر عمق حدود ۲۵-۳۰ درجه سانتیگراد دما افزوده میشود و مقادیرکمتر یا بیشتر ازمقدار ذکر شده را به عنوان Temperature Abnormality می شناسند

اصطلاح Temperature gradient را معمولا The average geothermal gradient (شیب زمین گرمایی) می نامند. نا همگونی در دما می تواند باعث بوجود آمدن مشکلات زیر شود:

۱) دمای بالا باعث فرسایش بیشتر و کاهش عمر مته می شود.

۲) گل را خشک کرده در نتیجه لوله گیر می کند

۳) ترکیب گل را عوض میکند

۴) لوله های جداری دردمای زیاد منبسط می شوند پس جنس لوله ها باید بر اساس تغییرات دما تنظیم شود

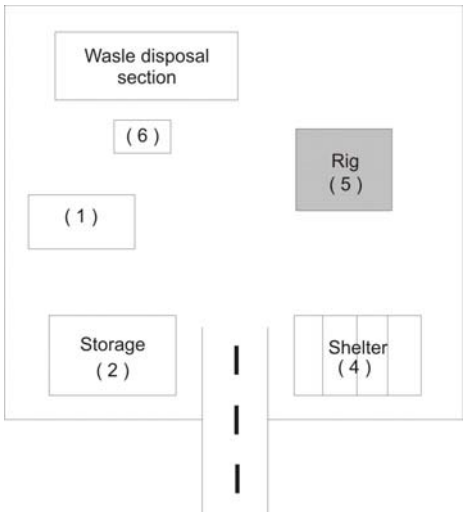
۵) زمان خشک شدن سیمان را عوض می کند

۶) برخی دستگاه های نمودارگیری چاه در دماهای بالا دچار خطا می شوند

The drilling rig:

The drilling rig or more comprehensively the well site included the following:

1) Production of primary energy
2) Expandable product storage and wave housing
3) Facilities for handing waste discharges
4) Shelters
5) The derrick
6) The pump facilities and tanks



Four basic drilling functions:

1) Hoisting
2) Rotating
3) Circulating
4) Controlling

- We need to be able to transmit torque from power source to bit via a drill stem. (Rotating)

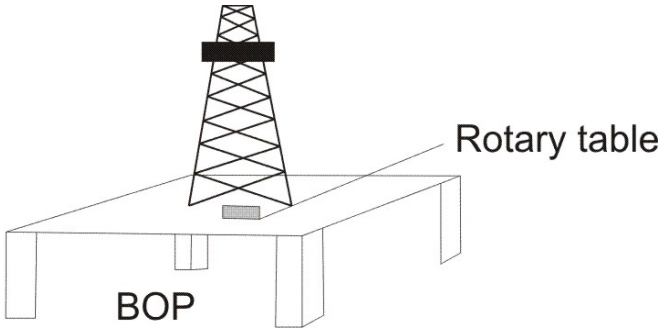
- We need to have the capability to lengthen or shorten the drill stem as necessary and to regulate the force it exerts on the bit at the bottom of the hole (hoisting).
- We need to be able to circulate a drilling fluid down the drill stem through the bit and back up the annulus between the pipe and hole (circulating).
- We need to prevent blow out and control the well pressure while drilling (Controlling)

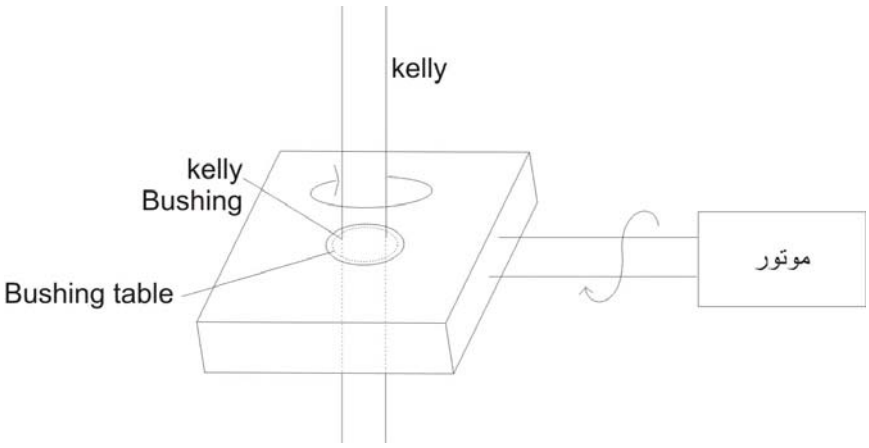
– Rotating

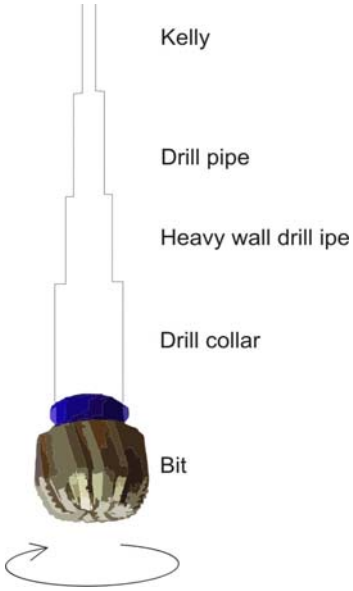
Rotary table

a) Mechanical

b) Electrical







در حفاری دوران به سمت راست است. تمام مجموعه با هم می چرخد و مته را می جرخانند. وظیفه rotary table تبدیل نیروی الکتریکی و مکانیکی به نیروی چرخشی می باشد.

حالتی را در نظر بگیرید که در عمق 10000 ft در حال حفاری هستیم.

Kelly = 54ft

Drill Collar = 200ft

Heavy well drill pipe = 800 ft

Drilling pipe = 1000+ (800+200+54) = 8946 ft

طول هر لوله هم 30 ft است. می توان دید که چند لوله مصرف شده است. اگر بخواهیم مته را عوض کنیم باید همه لوله ها را بالا بیاوریم.برای جدا کردن لوله ها معمولا بسته به ارتفاع دکل حفاری به صورت ۲ یا ۳ لوله در دکل های 60 ft و 90 ft جدا می کنیم.به تعداد بیش از یکی Stand گویند و هر چقدر ارتفاع دکل ما بیشتر باشد طول Stand بیشتر خواهد بود .(حداکثر ۳ لوله)

Top drive:

در این حالت، گردش به جای کف دکل از بالای دکل انجام می شود مزیت هایی که بر حالت rotary table دارد لوله گذاری سریع تر و امنیت بیشتر است.

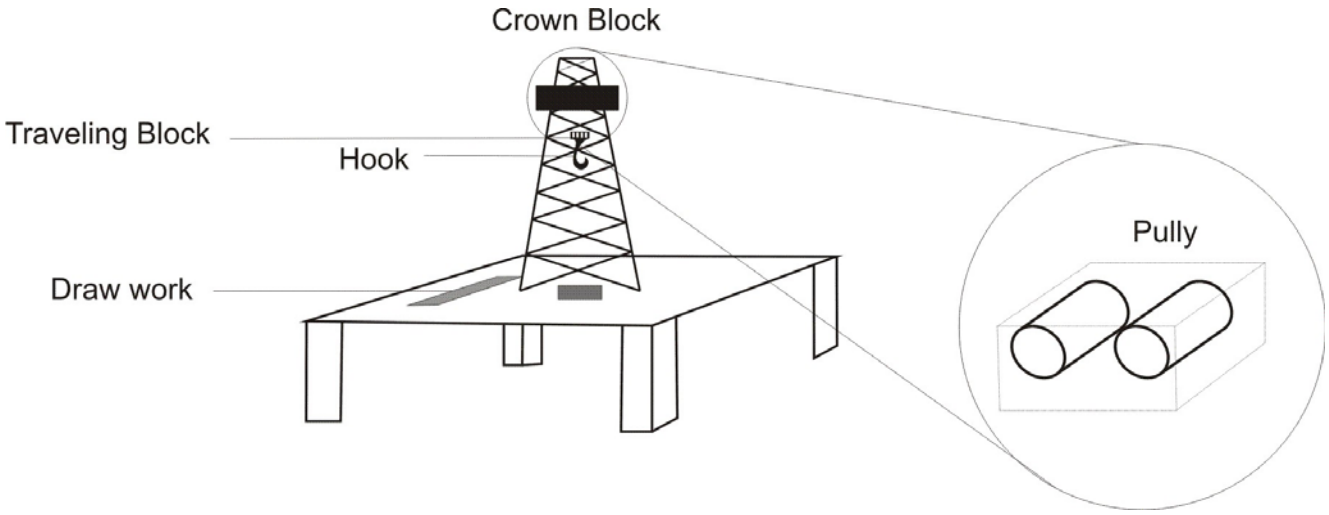
Down-hole motor

a) Positive displacement → operating with drilling fluid

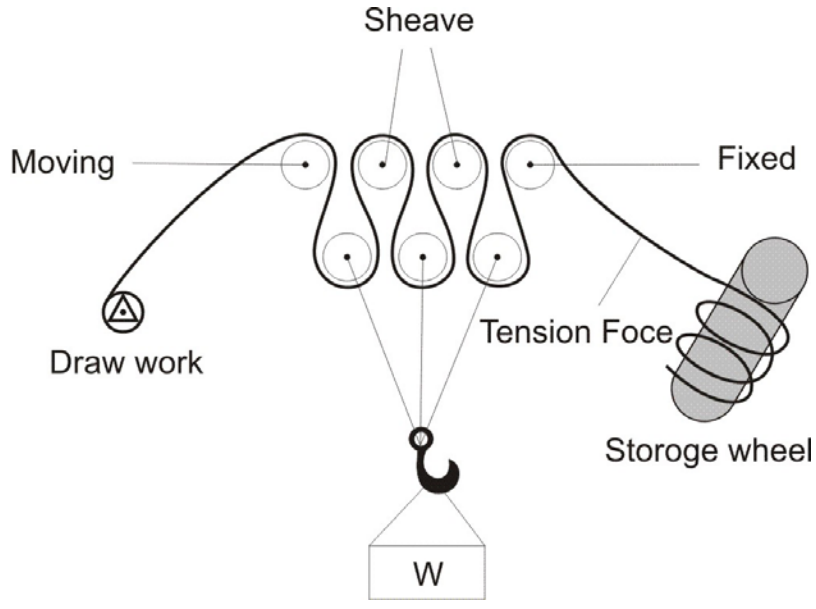
b) Turbine pumps → bit is rotating only → oriented mode

عمل گردش مته همچنین می تواند به وسیله موتورهای درون چاهی (down hole motor) انجام شود. این مدل قابلیت چرخش مته در جهات مختلف را فراهم می کند و به همراه آن گاهی ابزارهای survey هم به منظور تعیین میزان انحراف در حفاری های انحرافی وجود دارد.

- Hoisting:

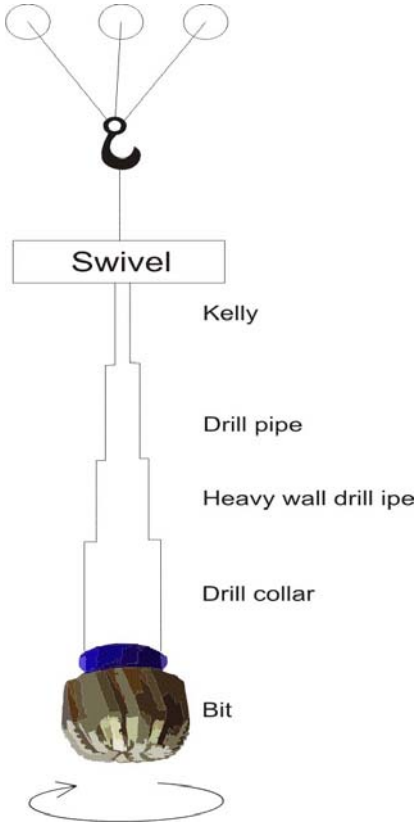


Draw work قرقره ای است که یک سیم دور ان پیچیده شده است و برای سرعت های مختلف تنظیم می شود و ترمز هم جهت متوقف کردن آزاد شدن سیم دارد. انرژی الکتریکی این سیم ازSwitch board تامین می شود. (Switch board وظیفه تقسیم برق prime source power برای بخشهای مختلف را دارد).



اگر سیم را دور Draw work جمع کنیم کل لوله را بالا می آورد (Traveling block) و اگر سیم را آزاد کنیم آنرا پایین می برد. قسمت Storage wheel زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که بخواهیم سیم را عوض کنیم.سیم قدیمی دور Draw work پیچیده می شود. یک نیرو سنج هم در محل ثابت سیم وجود دارد که نیروی کششی روی سیم را نشان می دهد. در کنار Hook یک Gauge قرار دارد که میزان وزن روی مته را به ما نشان می دهد به این وزن Hook Load یا Weight On Bit (WOB) گویند که برای مته مقدار ماکسیمم دارد.

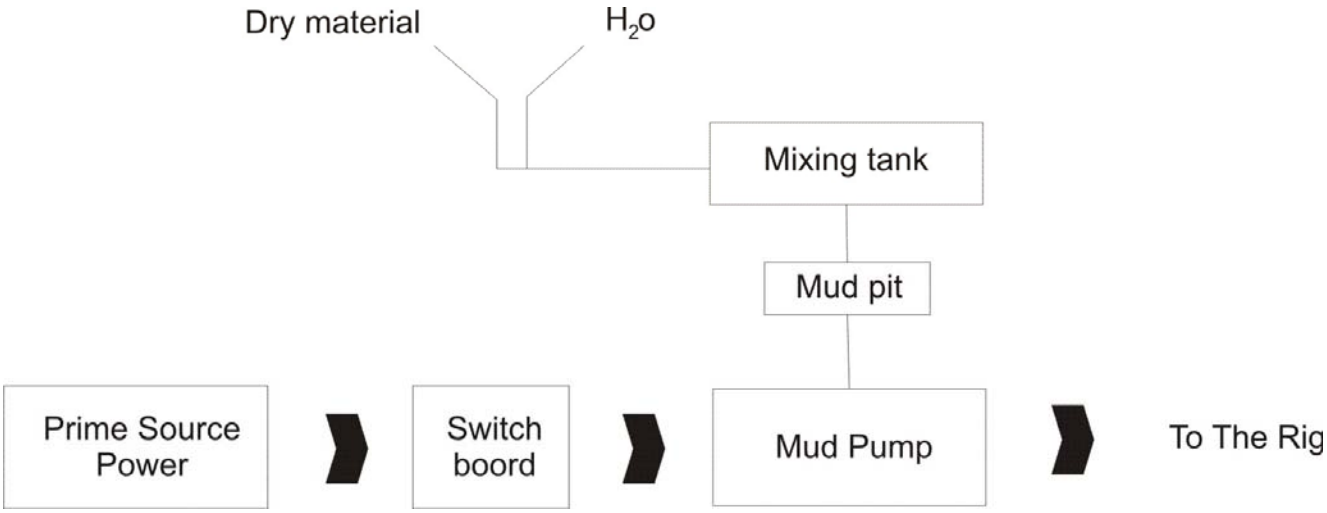
هر چه وزن روی مته بیشتر باشد سریع تر در عمق پایین می رویم و با بالا رفتن سرعت حفاری هزینه های کلی کاهش می یابند؛ ولی اگر وزن تمام Assembly یا مقداری بیش از حد تحمل رشته روی مته قرار بگیرد مته یا یکی دیگر از ابزارهای درون جاه صدمه می بیند یا می شکند. هر جقدر در عمق پایین تر رویم وزن مجموعه سنگین تر می شود و قدرت Draw work برای معلق نگه داشتن مجموعه رشته حفاری باید بیشتر شود.



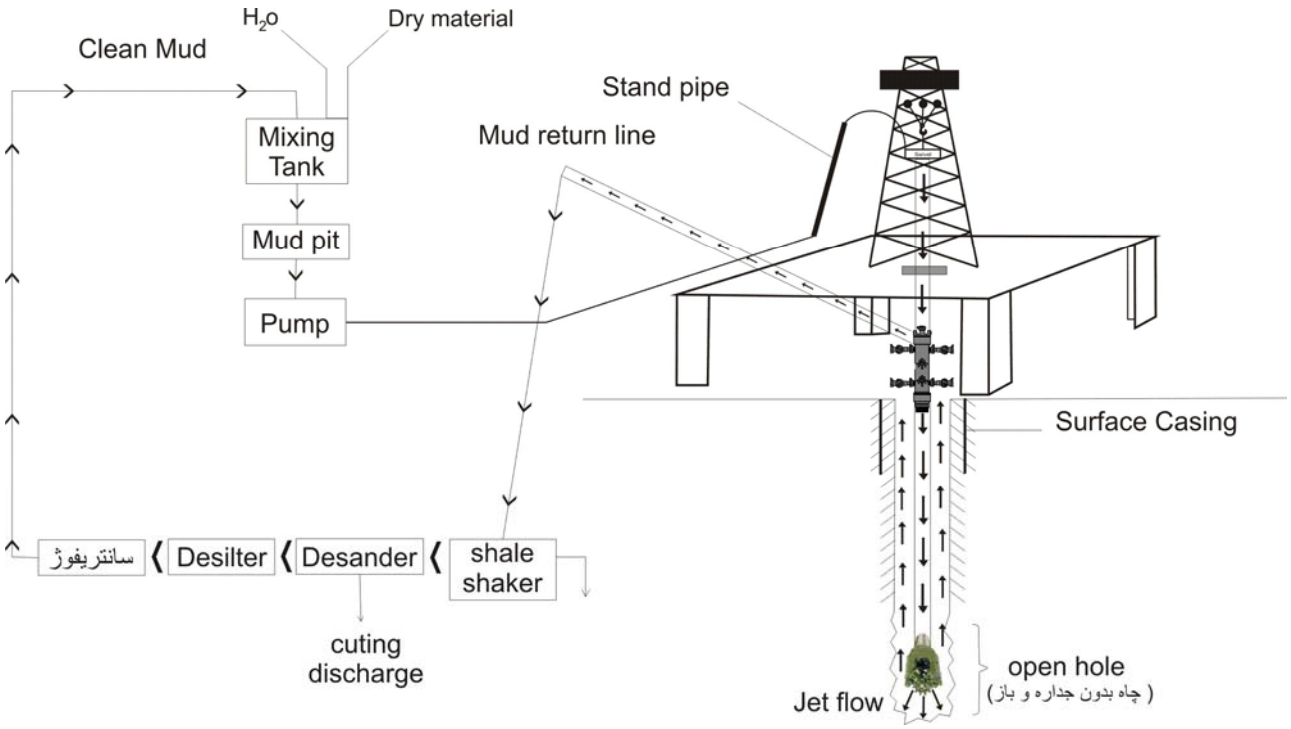
- Circulating:

آب به صورت جت به مواد خشک پاشیده می شود و آنرا به سوی مخزن اختلاط می برد تا خوب در آنجا به وسیله هم زدن مخلوط شوند و سپس توسط پمپهای گل از طریق Stand Pipe و یک شلنگ از طریق هرزگرد (swivel) به سمت درون لوله های حفاری هدایت می شود. Stand pipe لوله ایست از جنس لاستیک مخصوص.

گل حفاری با فشاری که از طرق خروج از منافذ مته در اثر فشارش خارج می شود سازند را خرد می کند و به کار مته کمک می کند و همچنین خرده های حفاری را با خودش بالا می آ ورد.

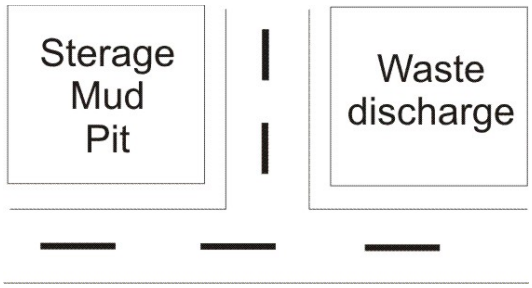


گل پمپ شده به درون چاه از لوله حفاری پس از خروج از نازلهای سر مته از میان فضای دالیز بین لوله های حفاری و دیواره چاه (Annulus) خارج می شود تا در سطح زمین به بالاترین قسمت کنترل کننده فوران (BOP) یعنی قسمت خمیده منحنی بنام Annual Preventor می شود و از آنجا از طریق یک لوله بنام Mud return line خارج می شود .



گل پس از خروج گل از Mud return line وارد مراحل تصفیه می شود که اولین مرحله آن الک لرزان یا Shale shaker است که یک غربال در حال لرزش می باشد و خرده های درشت حفاری را می گیرد و گل حفاری از زیر عبور می کند. مرحله بعد Desander است که خرده های ریز تر را جدا می کند. در مرحله بعدی با Desilter دانه های شکر سایز و بعد از آن خرده های خیلی ریز را با سانترفیوژ جدا می کند. گلی که از درون چاه آمده ممکن است آلوده به گاز باشد لذا گاز را باید جدا کنیم و با یک تصفیه خانه آنرا به گل تمیز تبدیل و به Mixing tank بر می گردانیم.

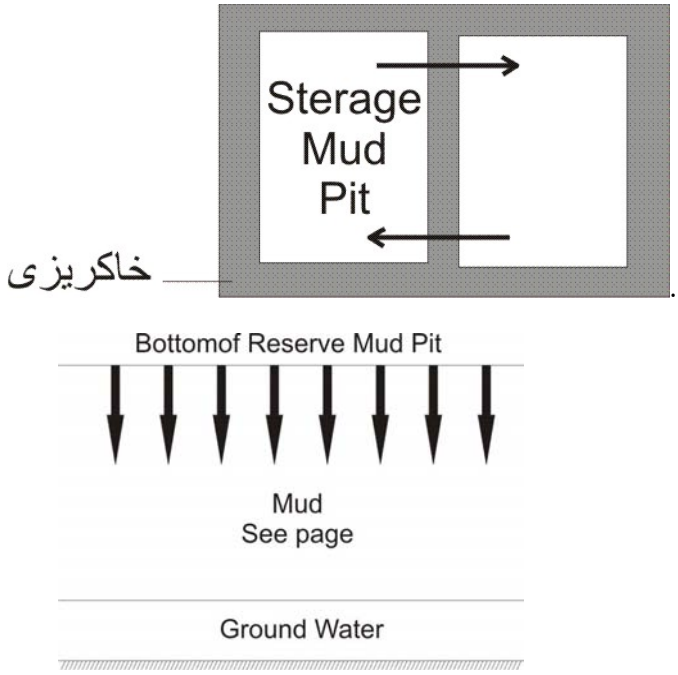
اگر گل خروجی بسیار آلوده و غیر قابل استفاده باشد آنرا در گودال های که به این منظور حفر شده اند میریزیم. همچنین ممکن است گاهی در اثر برخورد با یک سفره آب زیرزمینی و افزوده شدن آب به گل حفاری، حجم گل خروجی از چاه بیشتر از حجم ورودی شود یعنی ما ازدیاد گل داریم لذا مقداری را مصرف و بقیه را برای استفاده احتمالی در مواقع پیش بینی نشده یا دفع آن در این گودال می ریزیم.



ممکن است در حین حفاری به جایی برسیم که Mud loss داشته باشیم و وقت به ما اجازه ساخت گل ندهد و خطر فوران وجود داشته باشد . در این حالت باید از همان گودال ها به صورت Reserve pit استفاده کنیم تا رفع خطر شود.

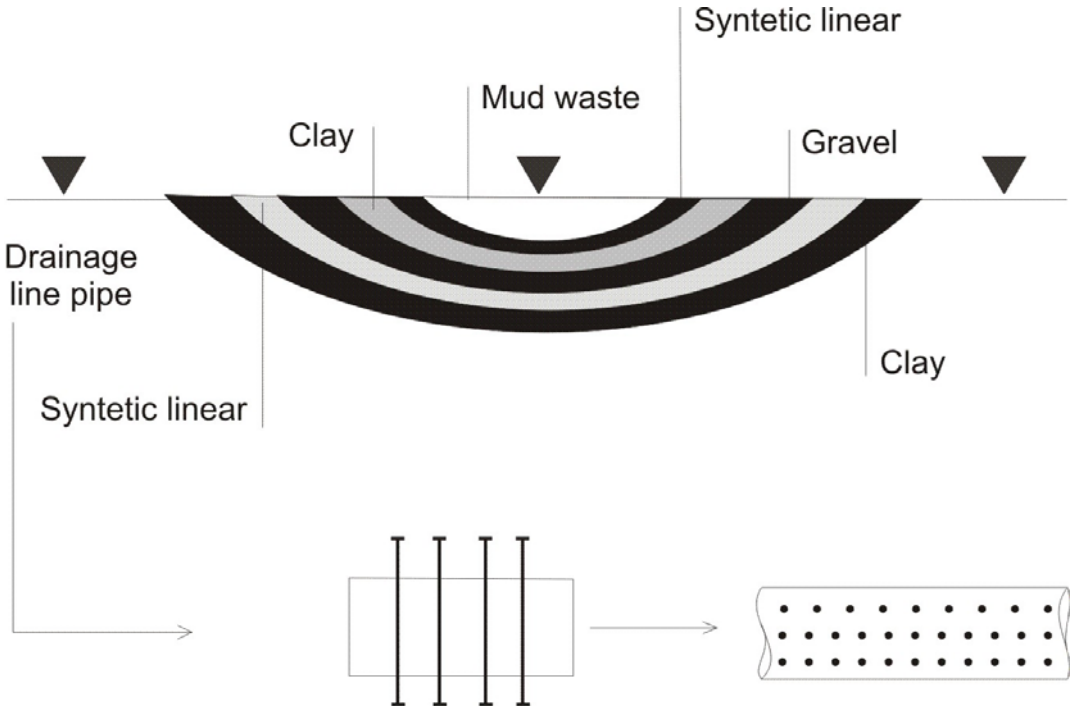
در مراحل تصفیه گاهی اوقات به دلیل آلودگی ناچیز، گل حفاری برای تصفیه از میان همه دستگاه ها عبور نمی کند بلکه آنرا فقط از درون Shale Shaker گذرانده و سپس آنرا با آب رقیق می کنیم. در اثررقیق شدن غلظت مواد معلق به میزان استاندارد مورد نظر خواهد رسید.

برای ساختن Pits روی سطح زمین خاکریزی می کنیم تا در اطراف یک منطقه خاک ریخته و گودال را ساخته باشیم گل حفاری حاوی موادی خطرناک برای محیط زیست است.و ممکن است درون این گودالها در زمین نفوذ کرده و آبهای زیرزمینی را آلوده کند.



لذا برای جلوگیری از این حادثه تانکهای قابل حمل می سازند که پر شده و سپس برای تصفیه منتقل می شود.

روش دیگر نگهداری ضایعات گل حفاری:



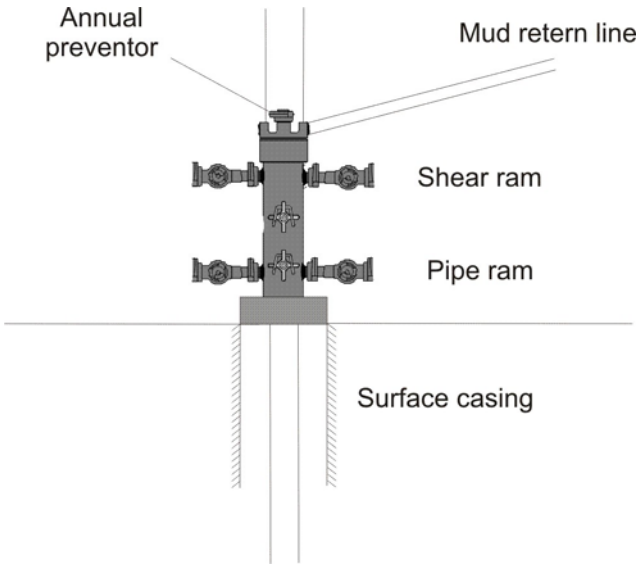
Drainage line pipe یک شبکه لوله ای مشبک است که کاربرد آن همانند چاههای Monitoring است و هر از چند گاهی از لوله اصلی آن نمونه گیری می شود.

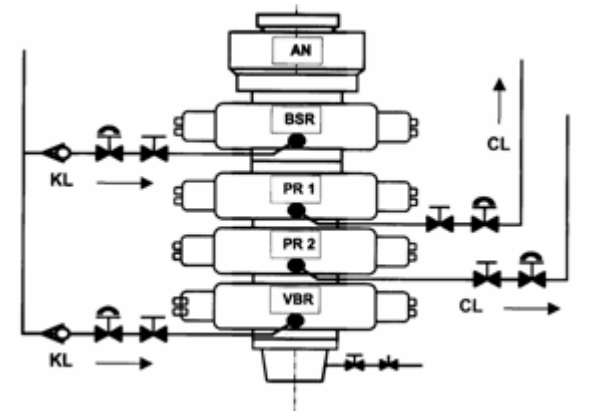
- Controlling:

Blow Out Preventor (BOP) مجموعه قطعاتی است که به هم پیچ شده اند و برای پیشگیری از فوران و کنترل چاه در سطح زمین و زیر دکل روی دهانه چاه نصب می شوند. ممکن است به جای shear ram قسمتی به نام blind ram قرار دهیم.

Shear ram جهت قطع کردن لوله برای منقطع کردن ارتباط با ته مخزن به کار می رود ولی در این مورد blind ram لوله را مچاله و مسیر داخلی جریان را مسدود می کند.

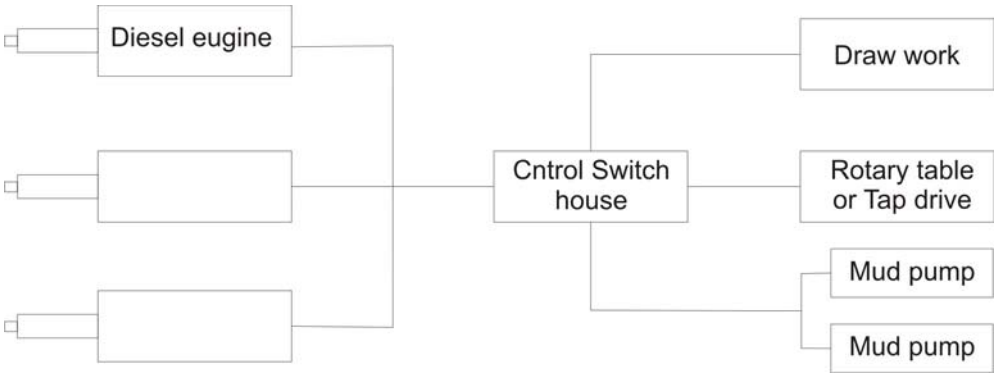
هر گاه چاه فوران کند ابتدا Annular preventer بسته می شود ،pipe ram لوله را محکم نگه می دارد که در اثر فشار لوله ها به بیرون پرتاب نشود و سپس اگر کافی نبود با shear ram لوله را بریده و با blind ram آنرا مسدود می کند. بسته به میزان عمق یا خطر چاه ممکن است جهت نگه داشتن لوله ها از بیشتر از یک pipe ram استفاده شود.





Rig power system

Hoisting, rotating, mud circulating and other equipments are supplied from a prime power source usually diesel engines. Engine capacity may range from 500 to 6000 hp. Diesel-Electric rigs use their engines to drive generators that produce electricity.



از سه ژنراتور(دیزل) دو تا در حال سرویس دهی و یکی در حال سرویس شدن است.

از دو پمپ گل حفاری هم یکی کار می کند و دیگری در حال سرویس شدن است.

- Engine terminology

  Hp: horse power

  1 HP is defined as the ability to do 33000 ft-lb of work for 1 minute.

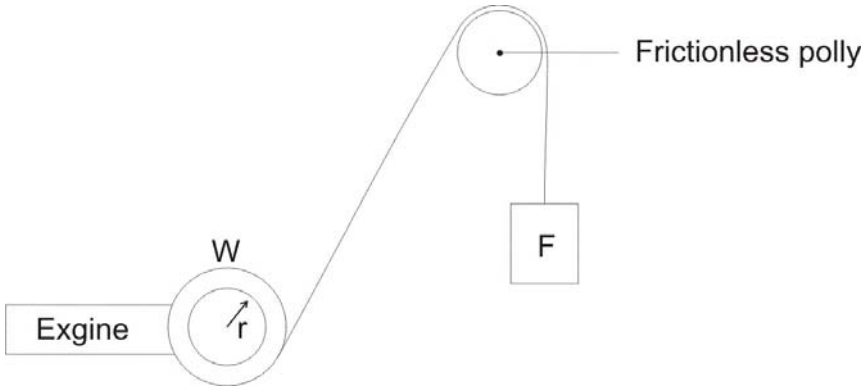
  Hp = 33000 lb_f.ft /min = 550 lbf.ft /sec

  Torque

  The "twisting effort" expressed in force × length → T=F×L → lbf.ft

  Torque(lb_f.ft) = 5252×brake horse power → output hp

  Revolution per minute (RPM)



P = wt
w = 2 πυ
T = F×L

P = 2πυrF = <u>out power</u>

<u>Input energy</u>: the heat energy input to engine:

$$Q_i = W_f H$$

W_f = fuel consumption mass rate: lb_m/min

H = heating valve of fuel type: BTU/lb_m

<u>Overall power efficiency = input power - out put power</u>

در بیشتر نقاط به دکل حفاری اجازه تولید برق با استفاده از دیزل داده نمی شود و مجبورند از برق شهری استفاده کنند که هزینه را بالا می برد.

Example:

A diesel engine has the following characteristics:

Out put torque = 1740 lb_f-ft
Engine speed = N = 1200 pm
Fuel consumption rate = 31.5 gal/ hr
Heat value of fuel = 19000 btu / lbm
Density of fuel = 7.2 lb_m/gal

Required: what is the out put overall and overall efficiency of the engine?

Solution:

$W = 2\pi\upsilon = 2\pi (1200) = 7539.8$ [Rad/ min]

$$P = \frac{(7539.8)\,(1740)}{3000\ (lb_f\text{-ft} / hp)} = 397.5\ [HP]$$

Or

$$P = \frac{(1740\ lb_f\text{-ft})\,(1200\ rpm)}{5252} = 397.5\ HP$$

$Q_i = W_f H \rightarrow W_f = \frac{(31.5\ gal / hr)\,(7.2\ lb / gal)\,(1\ hr)}{60\ min} = 3.78$ [lbm / min]

$$Q_i = \frac{(3.78\ lb_m / min)\,(1900\ Btu / min)\,(779\ lbf\text{-ft} / BTU)}{33000} = 1695\ [HP]$$

$$Et = \text{Total (overall) efficiency} = \frac{397.5\ HP}{1694\ HP} \times 100 = 23.2\ \%$$

The drill string

Drill string refers to various combinations of downhole tools => the equipment between the drilling rigs swivel and drill bits.

It consist of: Kelly, drill pipes, heavy wall drill pipes, drill collars, stablizers, reamers, vibrators ,hammer jack and any other tools used for controlling hole's deviation.(well trajectory = well plan = well path).

در حفاری دو موقعیت target location and rig location معین شده اند لذا باید یک مسیر برای حفاری بین این دو طراحی شود و در حین حفاری باید چک کنیم که در مسیر معین شده حرکت کرده باشد تا به هدف برسیم.

لذا قسمت به قسمت survey انجام می گیرد تا هر جا از مسیر معین شده منحرف شدند به مسیر باز گردند.لذا دردرون drill string گاهی ابزارهای survay قرار می دهند که موقعیت مته را نسبت به دکل و مقصد به ما نشان دهد و این همان ابزار چک کننده است.

Conventional drill string:

For vertical wells:

Drill string purpose: the main purpose of the drill string is to transmit energy from the rig's surface equipment to the bit (when we use rotary table or top drive). This energy consists of and comes from:

- The weight of the drill string itself.
- The turning motion of the rotary table or top drive or power swivel
- The hydraulic power of the fluid that is pumped down the drill string

Stresses on drill string:

Tension, compression, vibration, torsion, friction, formation pressure, circulating fluid pressure. Also it is exposed to abrasive solids(erosion) and corrosive fluids.

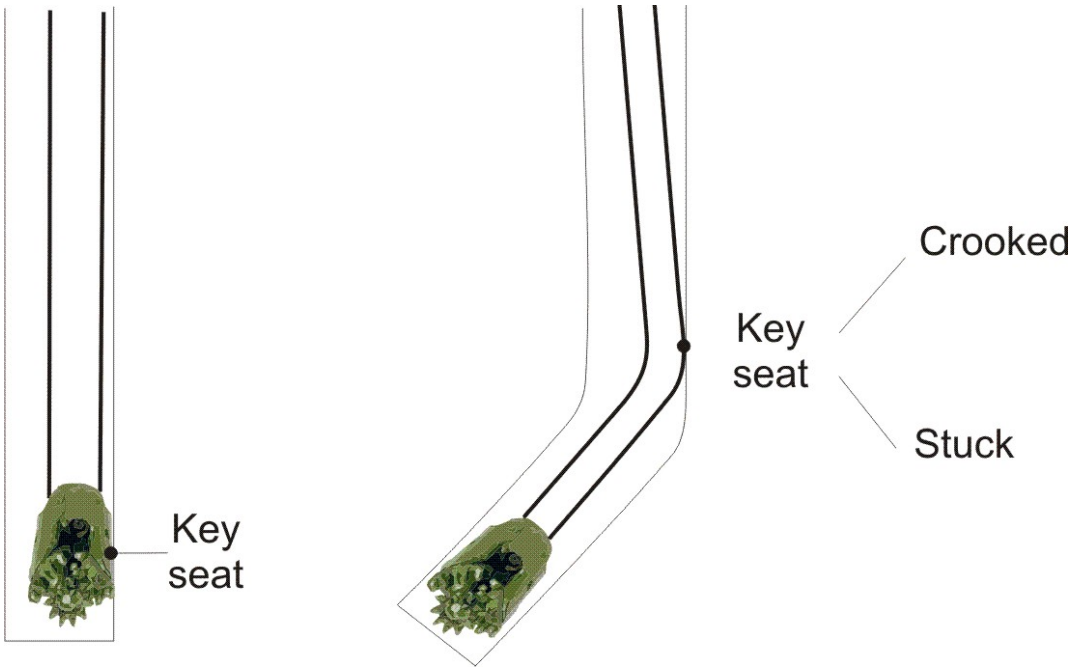
Functions:

- To withstand the hostile environment.
- Must be light weight and manageable to be effectively handled within the limits of the rig's hoisting power(i.e. draw work's HP limit)
- It must provide weight to the bit.
- It must control over wellbore deviation.
- It must help ensure that the hole stags "in gauge"

Problems due to bad drill string design

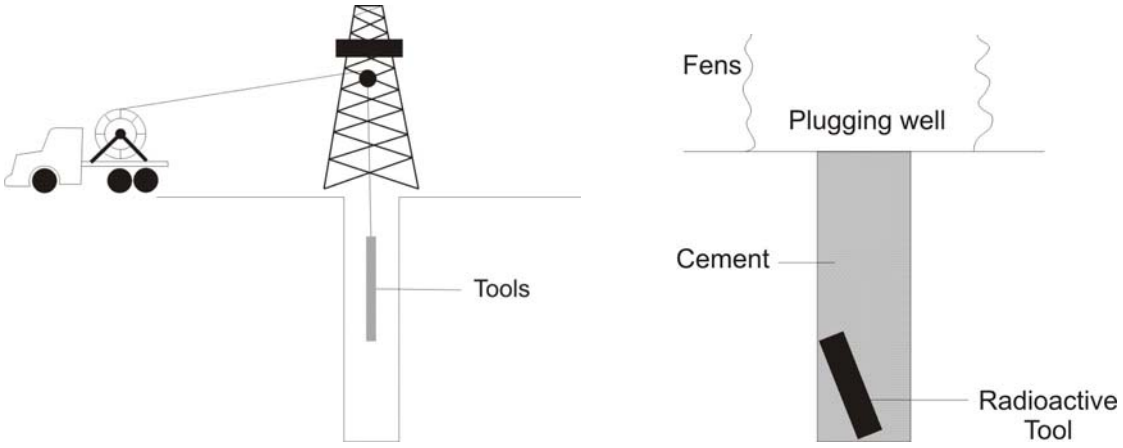
- Dogleg
- Key seat
- Deviation
- Rupture
- Bear bit

Formation characteristics along with rotary drilling process itself cause well to drill crooked (deviation).

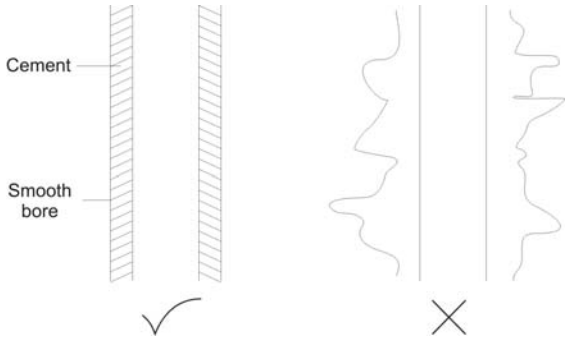


اگرdrill string در جایی به دیوارچاه گیر کند باعث انحراف چاه یا گیر کردن و ماندن ابزار درون چاه شود.حفاری متوقف و عملیات Fishing جهت بیرون کشیدن ابزار اعمال می شود. به عملیات بیرون کشیدن ابزارگیر کرده وافتاده درون چاه Fishing می گویند. گاهی خرج و زمانی که برای fishing مصرف می شود مقرون به صرفه نیست و لذا چاه را رها می کنند.

یک سری ابزارهای رادیو اکتیو داریم که اگر درون چاه رفت باید بیرون بیاید و اگر بیرون نیامد شرکتهای گوناگون می آیند و درون چاه را از سیمان پر می کنند و چاه را کلا می بندند و دورآن را به شعاع 5mile باید حصار بکشند.



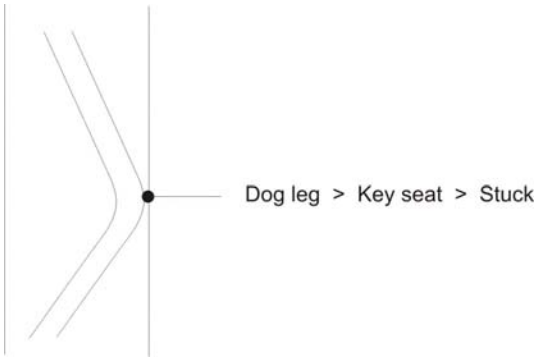
Selection of the right string tools can alleviate the drill crooked, dog legs, key seats, stuck pipe and help to obtain a smooth bore, full size, problem free hole.



اگر چاه ما خوب نباشد نمی توانیم آنرا به درستی تکمیل کنیم لذا تولیدی در کار نخواهد بود.

Dog leg: گاهی اوقات لوله درون چاه خم می شود و به دیواره چاه ساییده می شود و باعث انحراف کم

و با گیر افتادن رشته حفاری در چاه یا stuck مواجه می شویم.



Identification of key seat:

1) Tensile loading
2) Logging:
   a)sonic log
   b) Nuclear log
   c) X-ray

برای رفع مشکل stuck سعی می کنیم لوله ها رااز اولین joint بالای key seat جدا کنیم و بالا بکشیم و سپس لوله خم را fishing می کنیم. برای این کار جهت چرخش را برعکس می کنیم.ممکن است joint

بالای key seat باز شود و به این عملیات rotating releasing گویند. یا لوله را از همان joint به صورت مکانیکی می بریم (وسایل برنده درون چاه می فرستیم)و mechanical cutting نام دارد.

می توان لوله را با استفاده از اسید که به صورت jet به دیواره آن پاشیده می شود برید chemical cutting.

در تکنولوژی جدید لوله ها را با لیزر برش می دهند laser cutting.

Drill string components:

Length: the length and make up of the drill string depends on such factors:

- Well depth
- Hole size
- Operating parameters
    a) Weight on the bit (WOB)
    b) RPM
    c) Pump flow rate or pump pressure

- Directional considerations

انحرافات مختلف ابزارهای خاص خود را می طلبد که باید به drill string متصل شوند.

Major drill-string components are:

a) Kelly
b) Drill pipe
c) Bottom-hole assembly (BHA)

Kelly: Is the top portion of the drill string square, hexagonal in cross section

- API standard length:
    1) 40 ft overall with 37 ft working space
    2) 54 ft overall with 51 ft working space
- Kelly Parts

    Kelly saver sub: to protect the Kelly thread end section

Kelly cock: prevents fluid from escaping from the drill string.

Automatic check valves:install below Kelly used during blow-out.

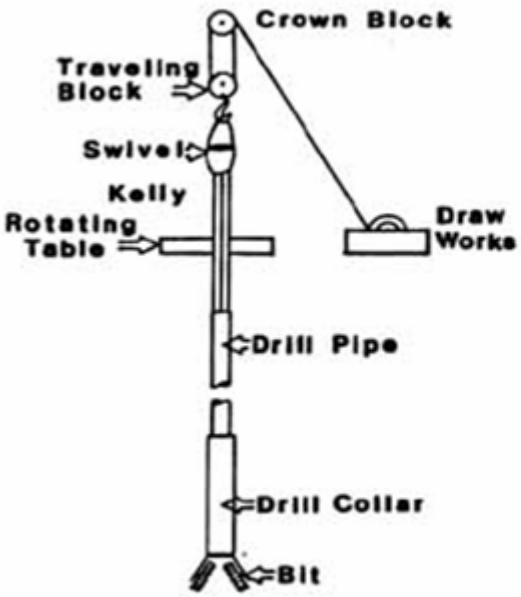


Figure 17-4 The rotary system.

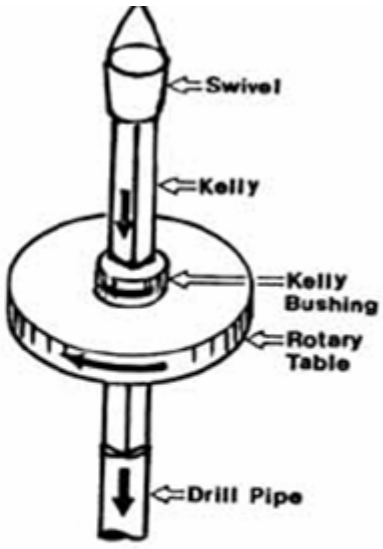


Figure 17-5 Close-up of the rotary system showing how the kelly fits into the rotary table.

Drill pipe: is the major section of drill string and that is most susceptible to failure and consists from three parts: Body, Joint and Upset.

- Specifications: OD, ID, weight grad of steel
- API

  Range 1: 18-22 ft

  Range 2: 27-30 ft → most common

  Range 3: 28-45 ft
- Drill pipe strength: there are four standards;

  Torsion yield strength (twisting force)

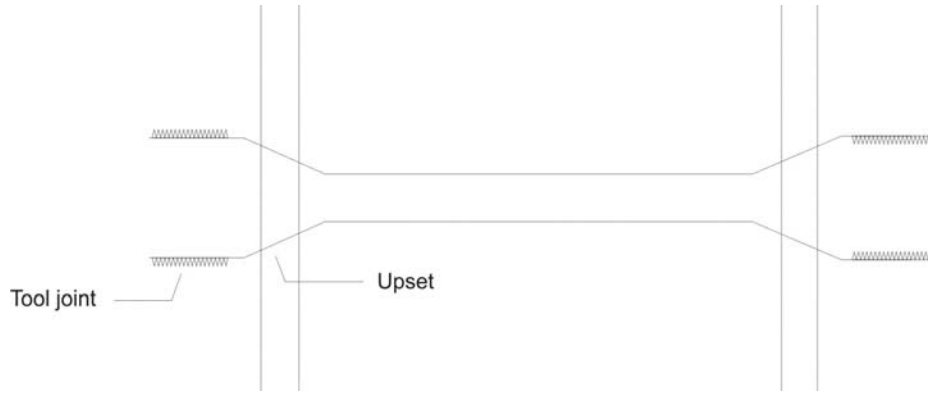
  Tensile yield strength (pulling force)

Collapse resistance (ability to withstand external pressure)

Internal yield (ability to withstand internal pressure)

Drill Pipe Parts

- Upset



ضخامت upset بیشتر از ضخامت لوله است. البته ما لوله را از بیرون به صورت یکنواخت می بینیم و این تفاوت ضخامت درون لوله است. اگر لوله بخواهد fail شود از همین قسمت می شکند و این اتفاق ممکن است در هنگام باز و بسته کردن لوله ها یا در هنگام چرخش لوله ها درون چاه رخ دهد.

- Joint

  Are box pin connections with rounded threads which are fabricated separately from the drill pipe tube and then welded on the upset ends. Torsional yield strength is an important consideration in tool joint design.

  Tool joints are identified by a series of 5 marking stenciled at the base of pin connection. The first marking designates the company symbol. The second marking designates the month that the tool joints are welded. The third marking denotes the last two digits of the years in which the tool joints were welded (e.g.89). The forth marking is the pipe mill code and The fifth symbol is the pipe grade (Example: the marking → zz589be).

Factors that influence drill pipe selections:

- Hole size
- Well depth
- Casing and cementing requirements
- Subsurface pressure
- Circulating pressure
- Drilling mud parameters
- Hoisting capacity
- Pipe availability (most important)
- Contract provisions

Pipe Capacity:

Refers to the amount of fluid that can be contained in a pipe or an annulus and is generally expressed in units of volume per length :

$$Pipe\,Capacity = \left(\frac{\pi}{4}\right)(ID)^2 \qquad [BBL/\ ft]$$

Pipe Displacement:

$$Annular\ Capacity = \left(\frac{\pi}{4}\right)\left[(Hole\ Diameter)^2 - (Pipe\ \ OD)^2\right] \qquad [BBL/\ ft]$$

دو مشخصه Capacity وAnnular Displacement درعملیات حفاری در موارد زیر اهمیت دارند:

1) drilling fluid
2) cementing
3) well control

BHA (Bottom Hole Assembly)

Heavy wall drill pipe: This serves as an intermediate weight drill string member between the drill pipe and drill collar

بیشتر وزنی که برای سر مته نیاز است از طریق Drill Collar اعمال می شود اما از آنجایی که نمی توان لوله معمولی را ناگهان به Collar وصل کرد از لوله های سنگین ما بین آنها استفاده می شود.

Drill collar: This provides weight and stability to the drill bit andmaintain tension on the drill pipe and helps keep the hole on a straight course.

مارپیچ بودن drill collar به جهت جلو گیری از گیر کردن لوله درون چاه است. از آنجا که قطر بیرونی این لوله ها زیاد است مسیرهای مارپیچ برای عبور جریان گل از اطراف ایل لوله های ضخیم طراحی شده اند.

Stabilizer: Which centralize the drill collar; help maintain the hole at full gauge diameter and aid in direction control.

Rotary reamer: which helps maintain a full gauge hole diameter.

برای افزایش قطر دهانه چاه استفاده می شود. در حین حفاری قطر مته در اثر فرسایش کوچکتر شده و لذا ابزارهای بالایی آن گیر می کنند. این ابزار به صورت یک لوله است که به لوله های بالا و پایین وصل می شود.

انواعی از reamer وجود دارد که روی مته قرار دارند یعنی Bit Reamer که در همزمان با حفاری سازند، با استفاده از دندانه های جانبی قطر چاه را نیز افزایش می دهند.

Jar: Helps to provide sharp down ward or up ward impact to free stuck pipe.

Cross over sub: Which join components having different types of connections.

Vibration dampeners: Can help absorb shock loads and vibrations that might otherwise contribute to drill string failure.

در ظاهر شبیه لوله است ولی در درون ابزار ارتعاش گیر دارد و ارتعاشات کل drillstring را می گیرد.

Shock sub: This sub is run behind the bit with a spring or rubber cushions.

بر روی مته نصب می شود تا ضربات احتمالی باعث صدمه دیدن مته نشود. همانند ضربه گیر عمل می کند.

Bits:

The bits drill through the rock by:

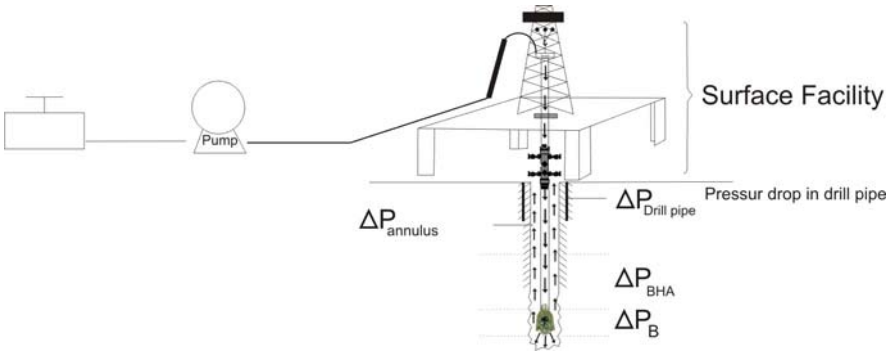
1) scraping
2) chipping
3) gauging
4) grinding

There are many variations in the design of drill bits and bit selected. For particular application will depend on the type of formation to be drilled.

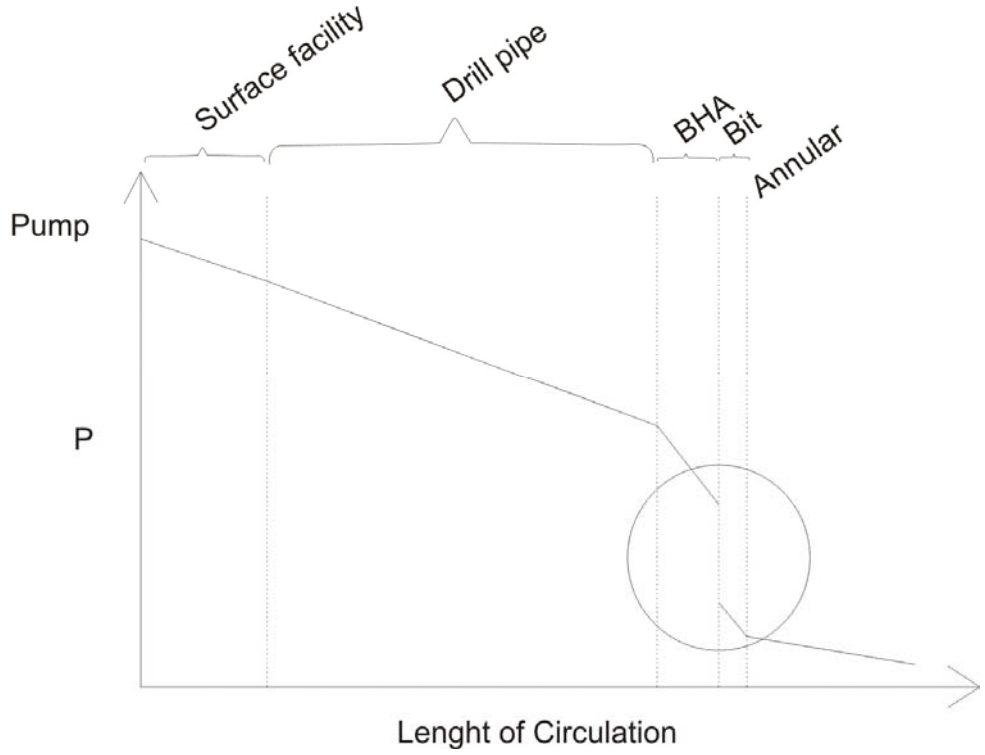
Performance of bit is a function of several operating parameters such as:

1) weight on bit (WOB)
2) rotating per minute (RPM)
3) mud properties
4) hydraulic efficiency

Hydraulic drilling:



گل پمپ شده از پمپهای گل در سطح، در مسیر گردش افت فشارهای گوناگونی را متحمل می شود تا زمانی که در فشار اتمسفریک روی الک لرزان Shale shaker ریخته می شود.



بهترین طراحی هیدرولیک زمانی است که بیشترین افت فشار در عبور سیال از نازلهای روی مته ایجاد شود. این افت فشار منجر به افزایش سرعت گل در خروج از نازلها شده و در خرد شدن و حفاری سازند به مته حفاری کمک می کند.

Type of bits:

1) Drag bits
2) Roller cone bits
3) Diamond bits

مته های نوع اول:

- No longer is common used
- Used up to 1900
- Due to the dragging/scrapping action of the type of bit high RPM
- Low WOB are applied

مته های نوع دوم:

از نوع مته های ثابت نیستند و درون خود مته به صورت کله قندی چرخش های جداگانه داریم.

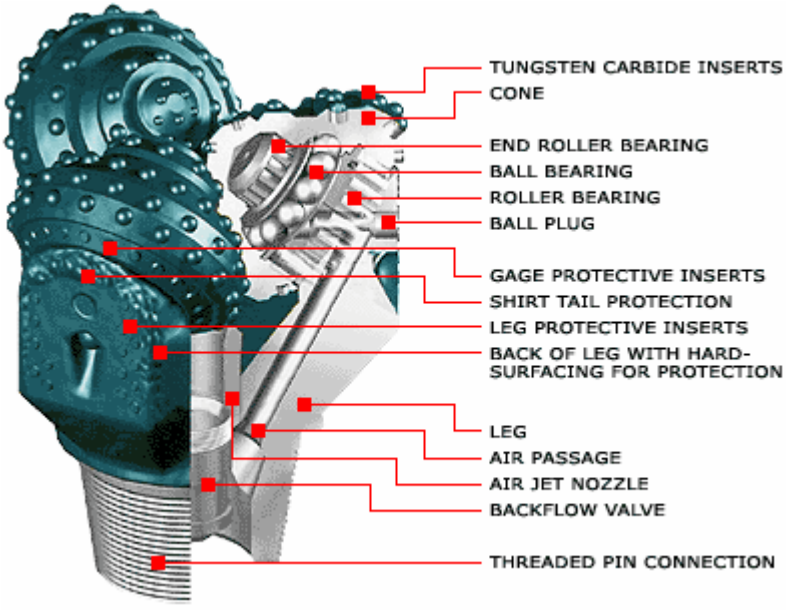
Roller cone bits (or rock bits)

Most common type of bit used worldwide classified as:

1) Milled tooth bits
2) Insert tooth bits

در نوع یک دندانه های مته از جنس خود مته و روی آن تراش خورده اند ولی در نوع دو دندانه ها از جنس دیگری در آن کاشته شده اند.

The first successful roller cone bits were designed by Hughes in 1909.The cones of the three cones bit are mounted on bearing pins or arm journals which extend from the bit body.



The design of the roller cone bit can be described in term of 4 principle of their design:

1) Bearing assemblies
2) Cones
3) Cutting elements
4) Fluid circulation

مته های نوع سوم:

این نوع مته ها هم بر دو نوع هستند و سطح یکپارچه دارند.

Natural diamond bits: The cutting action of a diamond is achieved by scarping away the rock.

دندانه های جاگذاری شده از الماس طبیعی هستند. و برای سازندهای نرم به کار نمی رود.

The major disadvantage of the diamond bit is their cost.

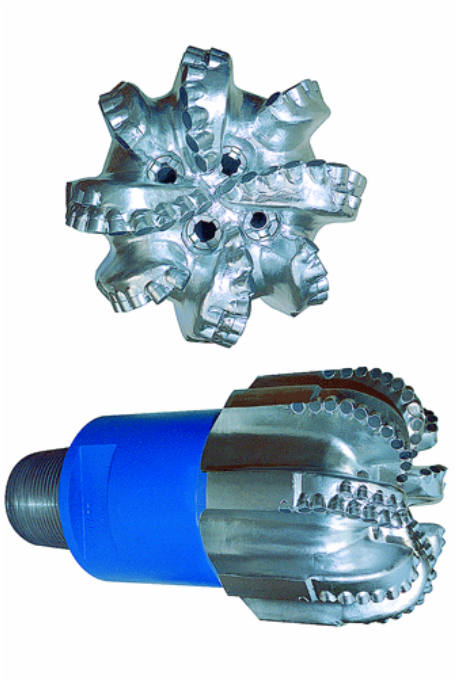
The advantages are:

1) Long rotating hours
2) Reduction in the number of rounds trips and offsets the capital cost of the bit

PDC bits: (polycrystalline diamond compact) الماس مصنوعی

PDC bits introduced in 1980's. They are particularly successful when run in combination with turbo drills and oil base mud.

TSD bits: (Thermal Stable Polycrystalline Compact Bits) مقاوم در برابر دمای بالا



Drill string design:

Drilling string design the determination of the length, weight and grades of drill pipes which can be used during drilling or casing or any other application

Drill string design depends on several factors:

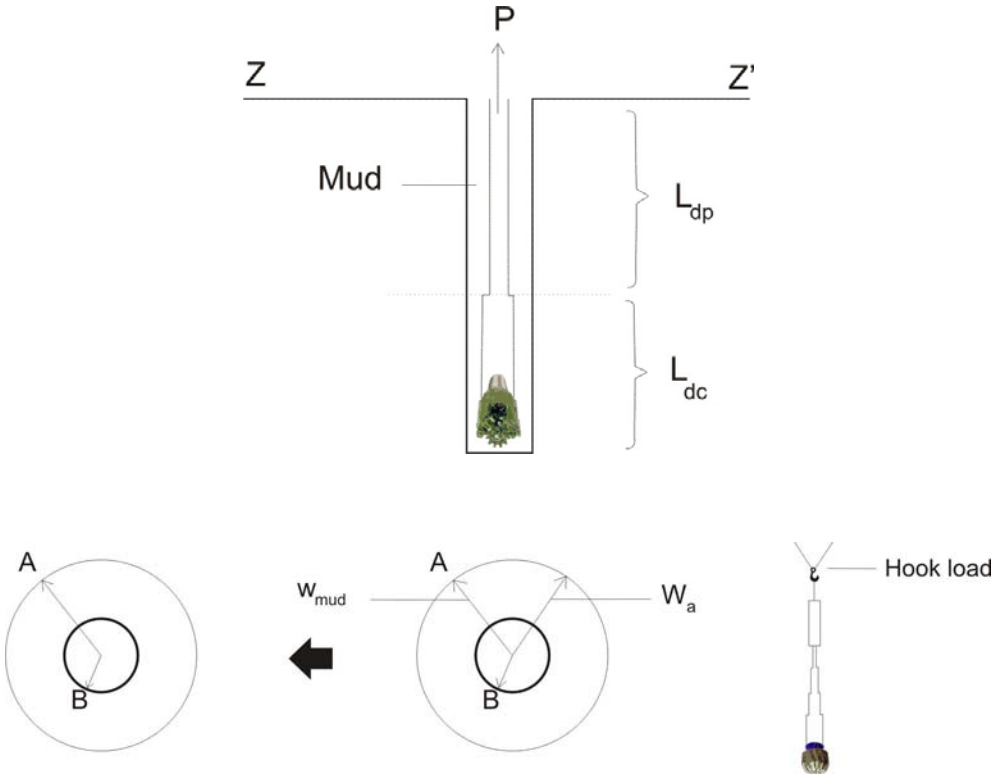
1) Hole size
2) Hole depth
3) Mud weight
4) Desired safety factor in tension and or margin of over pull
5) Length and weight of drill collars
6) Desired drill pipe size and inspection
7) Class
8) Type of well (i.e. vertical well, designed well)

Following design criteria will be used to select a suitable drill string:

1) Tension
2) Collapse ناشی از تفاوت فشار بیرون و درون لوله دراعماق
3) Shock loading هنگام بستن یا باز کردن لوله ها
4) Torsion

For vertical well:

این لوله درون چاه در گل غوطه ور است و لذا یک نیروی بویانسی به آن وارد می شود که اثر وزن لوله روی tension را تا حدودی کاهش می دهد.



Buoyancy force:

Fluid volume displaced density

یعنی یکی از کارهای گل حفاری سبک کردن drill string جهت تسهیل hoisting می باشد.

P = (weight of drill pipe in mud) + (weight of drill collar in mud)

$W_{air} \neq W_{mud}$ $W_{mud} = W_a (BF)$ $BF = (1- \rho mud / \rho steel)$

(معمولا) ρ steel = 65.5 lb/gal = 489.5 lb/ft = 6505 pps

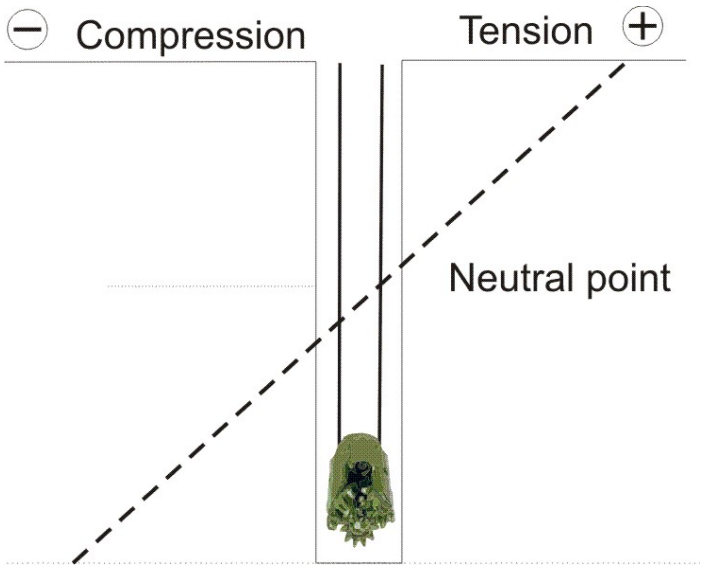
BF = (1- ρ mud/65.5)

Example: determine the maximum weight on the bit provided by 450 ft of 7 3/4" o.d , 144 lb/ft drill collars for both of the following mud weight? (assume that all the drill string compression is in the drill collars)

Wa = (450 ft)(144 lb/ft) =

For 9.5 ppg Wmud = W_A (BF) = Wa(1- 9.5/65.5) = 55400lb

For 16 ppg Wmud = W_A (1- 16/65.5) = 49000 lb



در طراحی drill string سعی می کنیم به گونه ای عمل کنیم که DP تحت tension و BHT تحت compression باشد و نقطه خنثی که نیرویی به آن وارد نمی شود ضعیف ترین نقطه drill string یعنی محل تقاطع Dc.Dp است.

اگر لوله گیر کند چقدر می توانیم لوله را بکشیم یا بفشاریم که لوله fail نشود؟

API tabled the strength properties of drill pipes according to its condition new used.

ولی برای ایمنی حدود ۱۰٪ برای safety margine در نظر می گیریم و حدود ۹۰٪ مقدار واقعی را قرار می دهیم.

$P_A = P_t \times 0.9$

P_A = maximum tensile design load

P_t = theoretical tensile design load → API tables

Margine of overpull: Mop,

$Mop = P_A - p$

Max مقداری که می توان لوله را کشید.

The design values of Mop normally are 5000_ 10000

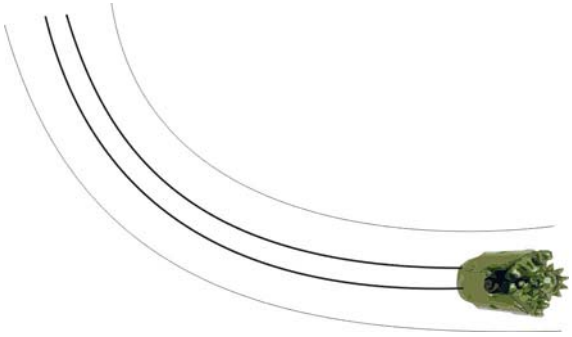
$P = (W_{dp} \times L_{dp} + W_{dc} \times L_{dc}) \times BF$

Deviated well:

WOB = drill collar weight

یعنی ما نیرویی بیشتر از وزن d.c به مته وارد نمی کنیم جون اصلا استفاده drill collar برای گذاشتن وزن روی مته (و کشیده نگه داشتن لوله ها) است.

Deviated well :



در این چاه انحرافی وزن بیشتر drill collar اثری بر WOB ندارد و از بالا نیرو به کل drill string وارد می شود تا درون چاه به پیش رود.

Drill string design:

Buoyancy force → BF

$p = (W_{dp} \times L_{dp} + W_{dc} \times L_{dc})$

Hook load = loadin air =

Pa = total load = drill string + traveling block

P =(total load × BF) – WOB

Margine of overall:

بیشترین حدی که می توانیم لوله ها را بدون fail شدن بکشیم.

P_t = in table (API) = yield strength of pipe

$P_t \times 0.9$ = based work

$MOP = P_t \times 0.9 - p \quad (1)$

$= Pa - p$

MOP → 50000 – 100000 lb

Safety factor:

$$SF = \frac{Pt \times 0.9}{P} = \frac{P_t \times 0.9}{(Wdp \times Ldp + Wdc \times Ldc) \times BF} \qquad (2)$$

از(۱)و (۲) می توان طول dp را محاسبه نمود.

$$L_{dp} = \frac{P_t \times 0.9}{SF \times W_{dp} \times BF} - \frac{W_{dc} L_{dc}}{W_{dp}}$$

$$L_{dp} = \frac{P_t \times 0.9 - MOP}{W_{dp} \times BF} - \frac{W_{dc} L_{dc}}{W_{dp}}$$

Max طول لوله که می توانیم به کار ببریم

It refers to the maximum length of a given grade of drill pipe which can be selected for a given loading situation.
It is used for design of a tapered string.

Example:
An exploration rig has the following grades of drill pipe to be run in a 15000 ft deep well.
Grade E/: 5/4.276 in, 19.5 lb/ft, yield strength = 395600 lb
Grade G: 5/4.276 in, 19.5 lb/ft, yield strength = 553830 lb
If the total length of drill collar + heavy drill pipe is 984 ft and 157374 lb respectively calculate: a) the maximum length that can be used from each grade of drill pipe if an MOP of 50000 lb is to be maintained for the lower grade.
The maximum expected Mw in 15000 ft = 13.4 ppg

همیشه لوله مقاومتر را بالا نزدیک به سطح و لوله ضعیف تر را در عمق به کار می بریم:

$$BF = 1 - \frac{Mw}{65.5} = 1 - \frac{13.4}{65.5} = 0.796$$

$$L_{dp} = \frac{P_t \times 0.9 - MOP}{W_{dp} \times BF} - \frac{W_{dc} L_{dc}}{W_{dp}}$$ (for lower grade pipe,grade E)

$$L_{dp} = \frac{395600 \times 0.9 - 50000}{19.5 \times 0.796} - \frac{157374}{19.5} = 11646 \text{ ft}$$

Depth of well = 15000 ft
Length grade E pipe = 11646 ft maximum length
Length grade G pipe = 15000 – 11646 – 984 = 2370 ft

سوالی که پیش می آید این است که آیا این طول از لوله grade G می تواند تحمل کند یا نه؟

Maximum length of grade G pipe:

$$L_{dp} = \frac{P_t \times 0.9 - MOP}{W_{dp} \times BF} - \frac{W_{dc} L_{dc}}{W_{dp}}$$

$$= \frac{553836 \times 0.9 - 50000}{19.5 \times 0.796} - \frac{(157374 + (11646 \times 19.5))}{19.5} \times (984 + 11646)$$

L_{dp} = 9175 ft (for grade G) maximum length > used lenght ok

The MOP of the heavier grade:

MOP = Pt × 0.9 – p

P = [(weight of grade G)(length of grade G)(LE) + $W_{dc} \times L_{dc}$]×BF

P = 2370 × 19.5 + 11646× 19.5 + 157374 = 342826 lb
(grade G) (grade E) $W_{dc} \times L_{dc}$

MOP = 553830× 0.9 + 342826 = 155621 lb

Mud pumps;

Duplex pump → two cylinders are double acting → pumps on both forward and backward strokes.

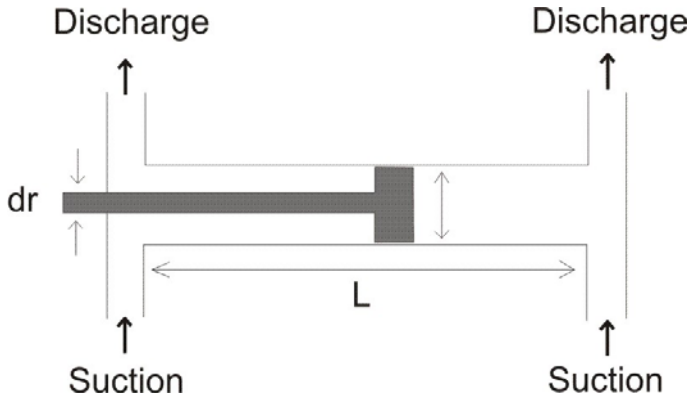
Triplex pumps → three cylinders are single acting pumps that only one forward piston strokes.

Duplex pump:

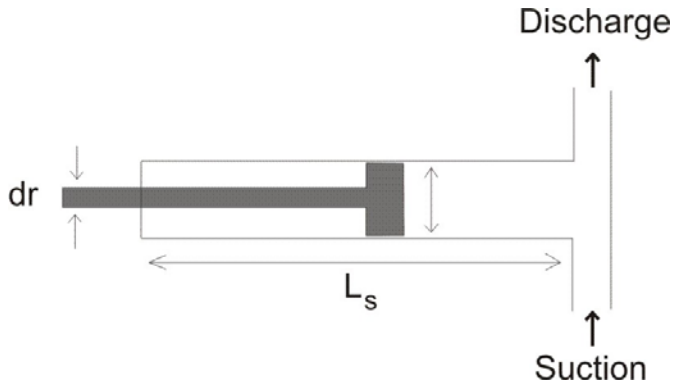
Piston v = d diameter = V_d

Linear diameter = d_L

Stroke length = L_s



Triplex pump:



به یک رفت و برگشت پیستون Stroke گویند.

Pumps characteristics:

1) HHP: hydraulic horsepower
2) Pump pressure
3) Flow rate

Efficiency

Mechanical efficiency → $E_m = 100\%$ می تواند صد شود

Volumetric efficiency → $E_v \neq 100\%$ نمی تواند صد شود

- Duplex pump:

Forward stroke = $\frac{\pi}{4} \times d_L{}^2 \times L_S$

Backward stroke = $\frac{\pi}{4} \times \left(d_L{}^2 - d_r^2\right) \times L_S$

1 cycle or stroke for a pump having two cylinders:

$F_p = 2 \times \frac{\pi}{4} \times \left(2d_L{}^2 - d_r^2\right) \times L_S \times E_V \qquad \left[Volume/Stroke\right]$

F_p = pump factor حجمی که پمپ در هر رفت و برگشت می تواند جابجا کند

2 = of cylinders

E_v = volumetric efficiency

- For triplex pump:

$F_p = 3 \times \frac{\pi}{4} \times d_L{}^2 \times L_S \times E_V \qquad \left[Volume/Stroke\right]$

حال می توان دبی خروجی پمپ را محاسبه نمود.

Flow rate $\left[Volume/Time\right] = F_P \times \left[Volume/Stroke\right] \times \left[Stroke/Time\right]$

Hydraulic output power = HHP = P_h

$Ph = \frac{\Delta pq}{1714}$, Δp = psi q = gal/min P_h = HP

وظایف گل حفاری

در بدو پیدایش حفاری دوار ، وظیفه گل های حفاری عمدتا انتقال کنده های حفاری از ته چاه به سطح زمین بود ، لیکن با توسعه این صنعت گل های حفاری نیز توسعه یافتند و از شکل ابتدایی خود بیرون آمدند و به همین میزان هم وظایف آنها بیشتر و سنگین تر شد .

امروزه یک گل حفاری خوب باید بتواند دست کم ده وظیفه را انجام دهد:

۱- تمیز کردن ته چاه و انتقال کنده های حفاری به سطح زمین

۲- خنک کردن مته و لوله های حفاری

۳- روان کردن مته و لوله های حفاری

۴- اندود کردن دیواره چاه وجلوگیری از ریزش آن

۵- کنترل فشارهای زیر زمینی

۶- معلق نگه داشتن کنده ها ومواد وزن افزای گل بهنگام خاموشی پمپ ها

۷- تزخیص شدن وکنده های حفاری روی الک لرزان

۸- تحمل بخشی از وزن لوله های حفاری ولوله های جداری

۹- به حداقل رسانیدن ضایعات وارد بر سازندهای مجاور چاه و ارائه حداکثر اطلاعات پیرامون آنها

۱۰- انتقال توان هایدرولیک پمپ ها به مته

اینک به شرح بیشتر این وظایف می پردازیم

- تمیز کردن ته چاه و انتقال کنده های حفاری به سطح زمین

تمیز کردن ته چاه ازکنده های حفاری هنوز هم یکی از مهمترین وظایف گلهای حفاری بشمار میرود. گل وقتی که از ممه های مته بیرون می آید بواسطه فوران شدیدی که دارد سبب تمیزی کف چاه ولبه های مته شده وبه این ترتیب طول عمر مته را بیشتر میکند و هم سرعت و بازوی حفاری را افزایش میدهد.

گل همچنان که در دالیز بالا می آید کنده های حفاری را با خود حمل کرده و آنها را از ته چاه به سطح زمین می رساند. کنده ها همزمان که به سوی سطح زمین در حرکتند تحت تاثیر جاذبه زمین نیز هستند و به همین دلیل پیوسته تمایل به سقوط و بازگشت مجدد به ته چاه را دارند. اگر سرعت صعود گل در دالیز بیش از سرعت سقوط کنده ها باشد در این صورت میتوان انتظار داشت که کنده ها به سطح زمین برسند.

عوامل موثر بر انتقال کنده های حفاری به سطح زمین

- Gravity Force :depending on cutting characteristics (Density, Shape, Size)
- Fluid Density
- Fluid Rheology
- Annular Velocity
- Hole Angle
- Cutting Slip velocity

سرعت سقوط (Slip velocity) کنده ها در ذرات جامد گل ، از یک سو بستگی به شکل هندسی و وزن مخصوص آن ها و از سوی دیگر بستگی به گران روی ،تیکسوتراپی ، وزن و سرعت گل در فضای دالیزی دارد. توانایی گل در تمیز نگاه داشتن کف چاه و انتقال کنده های حفاری به سطح زمین بستگی به عوامل متعددی دارد . مهمترین این عوامل عبارتند از : سرعت گل در فضای دالیزی ، وزن گل و گرانروی آن .

- Annular Velocity (Ideal Regular Annulus)

$$Annular\,Velocity\left[\,{}^{ft}\!/_{\min}\right]=\frac{Pump\,Output\,Rate\left(BBl/Min\right)}{Annular\,Capacity\left(BBL/\,ft\right)}$$

- Estimation of Annular Velocity (Irregularity in Annulus)

$$Effective\,Average\,Annular\,Velocity\left[\,{}^{ft}\!/_{\min}\right]=\frac{Depth\left(ft\right)}{\left(Measured\,Time\,in\,Min.\right)-\left(Time\,in\,drill\,Pipe\,in\,Min.\right)}$$

سرعت گل در قسمت های مختلف annulus ، بنوبه خود بستگی به ظرفیت پمپ های گل و سرعت آنها و نیز اندازه چاه و قطر لوله های حفاری و Drill Collar ها دارد . معمولا این متغیر ها را طوری تنظیم می کنند که سرعت گل در Annuls بین (100 – 200 FPM) شود.

وزن گل نیز در انتقال کنده ها به سطح زمین نقش دارد .طبق قانون اجسام غوطه ور ، هر گاه جسمی در سیال غوطه ور باشد از سوی سیال نیروی بجسم وارد می شود بنام Buoyancy force که جهت آن از پایین به بالا است یعنی در خلاف جهت نیروی جاذبه زمین است . بزرگی این نیرو بستگی به وزن مخصوص جسم و شکل هندسی آن و نیز وزن مخصوص سیال دارد. بنابر این هرچه وزن گل زیادتر شود ، یعنی مقدار ذرات جامد آن افزایش یابد Buoyant effect گل روی کنده ها نیز زیادتر می شود وظرفیت حمل گل افزایش می یابد.

گرانروی نیز روی توانای گل در بالا آوردن کنده های حفاری اثر مستقیم دارد . یعنی با افزایش گرانروی ، گل بهتر می تولند کنده ها را باخود حمل کرده و به سطح زمین برساند. گرانروی گل بستگی دارد به غلظت ذرات جامد معلق گل و کیفیت و نحوه توزیع آنها .

علاوه بر سه عامل فوق ،دوران لوله های حفاری نیز روی توانایی گل در انتقال کنده ها اثر میگذارد. درفصول بعد خواهیم دید که وقتی در داخل annulus جریان از نوع Laminar است ، در اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از دوران لوله های حفاری ذرات جامد گل چگونه از دور لوله پراکنده شده و به مرکزannulus ، یعنی جایی که سرعت جریان ماکزیمم است پرتاب میشوند و سریعتر به سطح زمین میرسند.

- خنک کردن مته و لوله های حفاری

در محل مته و نیز در نقاطی از چاه که لوله های حفاری با سازندها (یا با لوله های جداره) تماس دارند، در اثر نیروی اصطکاک ، گرمای فوق العاده زیادی تولید میشود. اگر این گرما سریعا منتقل

نشود ،مته میسوزد و لوله های حفاری درمحل تماسشان با سازندها ،در اثر فرسایش شدید سوراخ میشوند . چون سازند ها نمیتوانند این همه گرما را در خود هدایت کرده و به جای دیگری دور از مته و لوله های حفاری منتقل کند،این وظیفه را گل به عهده میگیرد .گل در حین گردش در چاه، حرارت تولید شده در نقاط اصطکاک راجذب فاز مایع(آب) خود کرده (Forced Convection) و وقتی که به سطح زمین میرسد آنرا در هوا رها میکند (Free Convection). به این ترتیب خود دوباره سرد شده و آماده رفتن به داخل چاه میشود.

- روان کردن مته و لوله های حفاری

گل حفاری تا اندازه ای سبب روان شدن مته و لوله های حفاری در چاه نیز میشود . رسی که در بیشتر گل های حفاری آبی مصرف میشود علاوه بر سایر وظایفش به عنوان یک روان کننده (Lubricant)نیز عمل می کند. آغشتن گل های حفاری به نفت یا یا مواد روان کننده دیگر ، یا خاصیت روان کنندگی (Lubricity) آنها را افزایش می دهد وسبب کاهش Torque (گشتاور) روی مته و لوله های حفاری ، افزایش عمر مته کاهش فشار پمپ های گل میشود .

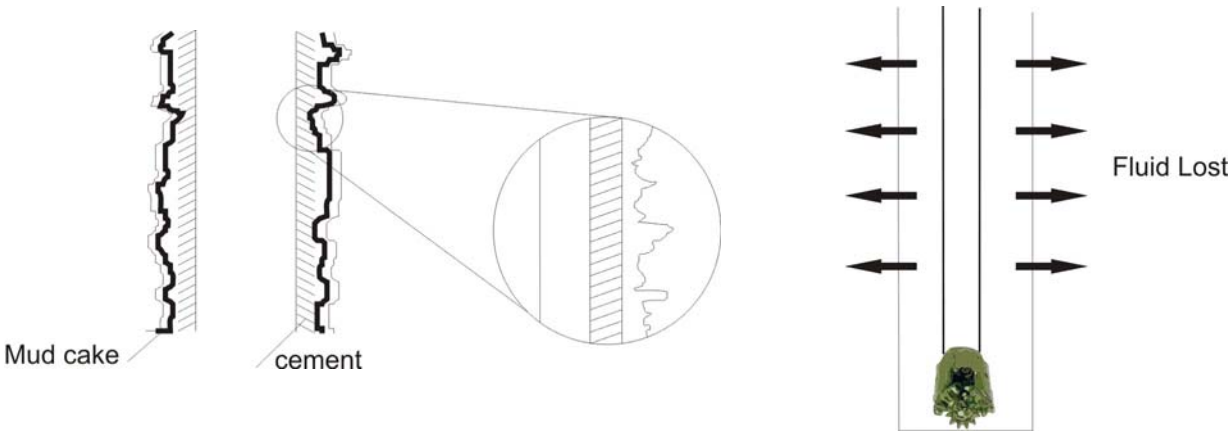
با این همه اگر وزن روی مته بیش از اندازه زیاد باشد .حتی بهترین گل های آغشته به نفت هم نمی توانند جلوفرسایش شدید و خراب شدن دندانه های مته را بگیرند . در چنین شرایطی کاربرد روان کننده های فشاری قوی (Extreme Pressure Lubricants) می تواند در رفع مشکل موثر باشد . بررسی خواص روان کنندگی گل های حفاری تحت فشار زیاد بوسیله دستگاه EP mud tester انجام میشود .

- اندود کردن دیواره چاه و جلوگیری از ریزش آن

یک گل حفاری خوب باید بتواند دیواره چاه را حتی اگر یک بافت سست و نا منسجم داشته باشد به وسیله یک لایه نازک و غیر قابل نفوذ طوری اندود کند هم جلو هرز رفتن گل و صافاب آن بداخل سازند را بگیرد و

هم به پایداری و تحکیم سنگ های سازند دیواره چاه کمک کند و مانع ریزش آنها به داخل چاه گردد. افزودن بنتونایت و درمان شیمیایی گا بمنظور ایجاد محیط همگن از ذرات جامد و پرهیز از کلوخه شدن (Flocculation) این ذرات ، بخش کلوئیدی گل را تقویت کرده و توانایی گل را در نشاندن اندودی غیر قابل نفوذ بر دیواره چاه زیاد می کند . گاه لازم است که گل را به وسیله مواد کنترل کننده هرزروی گل (Fluid Loss) مثل نشاسته درمان کرد تا کیفیت اندود از نظر نفوذ ناپذیری بهبود پیدا کند و هرزروی گل کاهش یابد.

اما همین mud cake می تواند باعث دردسر شود چون اگر بخواهیم casing گذاری کنیم سیمان و گل خوب به هم bond نمی شوند و در گذر زمان بین سیمان و formation یک شکاف ایجاد می شود. لذا قبل از سیمان کاری از وسیله ای به نام زخم کننده (Scratcher) جهت خراشیدن و از بین بردن mud make استفاده می کنیم.



- <u>کنترل فشارهای زیرزمینی</u>

در حین کار حفاری ممکن است ، با سازند های روبه رو شویم که محتوی آب ، نفت یا گاز با فشار بسیار زیاد باشند . کنترل این فشارهای زیر زمینی بعهده گل حفاری است . یکی از خواص فیزیکی گل ایجاد فشار هایدرو استاتیک در چاه است. مقدار این فشار به وزن گل و عمق چاه بستگی دارد.

با تنظیم مناسب و وزن گل بوسیله مواد وزن افزا می توان مقدار فشار هایدرواستاتیک آنرا طوری تنظیم کرد که درست مساوی فشار سازند شده و آنرا کنترل کند .

اختلاف فشار هایدرواستاتیک و فشار سازند را Differential pressure می گویند . بدیهی است که اگر این اختلاف فشار مثبت باشد . یعنی فشار هایدرواستاتیک از فشار سازند بیشتر باشد .خطر شکستگی دیواره چاه و بدنبال آن گمشدن گل در سازند وجود دارد و چنانچه اختلاف فشار منفی باشد یعنی فشار هایدرواستاتیک از فشار سازند کمتر باشد خطر جریان یافتن چاه و احتمال فوران آن پیش می آید وزن گل همانطور که بعدا هم خواهیم گفت ، بوسیله ترازوی مخصوصی بنام (Mud Balance) یا ترازوی گل اندازه گیری می کنیم و معمولا بر حسب یکی از واحد های زیر بیان می شود

Psi/1000 ft of depth, PCF (lb/ft^3), PPG (lb/Gal), SG (Specific Gravity)

- معلق نگهداشتن کنده ها و مواد وزن افزای گل به هنگام خاموشی پمپ ها

- Rate of fall of particles depends on
  - The density of particles and fluid
  - Size and shape of particles
  - Viscosity of drilling fluid
  - Thixotropy (Gel Strength) of fluid: *Electrochemical attraction between colloidal particles of mud in static conditions*

در حین عملیات حفاری گاهی ممکن است به عللی ناچارشویم که پمپ های گل را خاموش کرده و عملیات را متوقف کنیم. زمان این توقف بسته به دلیل آن ممکن است چند دقیقه یا چند ساعت وحتی چند روز باشد. به هر حال در عرض این مدت که گل از گردش باز ایستاده است ، کنده ها و ذرات جامد موجود در آن میتوانند در چاه ته نشین شده ومته وبخش بزرگی از لوله های حفاری را در زیر خود مدفون سازند و ادامه حفاری را غیر ممکن یا دست کم بسیار مشکل کنند. لیکن اگر

گل به اندازه کافی وزن و گرانروی و بویژه thixotoropy یا gellation داشته باشد، آنگاه میتوان انتظار داشت که گل،در تمام طول مدت سکون ، شن و سایر ذرات جامد حفاری شده را در خود معلق نگه داشته و هر یک را در محل خودقفل کرده و تا گردش مجدد، مانع ته نشست آنها شود.

thixotoropy یا gellation خاصیتی است الکتروشیمیایی و موقت که تنها، وقتیکه گل از حرکت باز ایستاده است در آن بوجود می آید . براساس این خاصیت ، گل درحال سکون ، بافتش با گذشت زمان محکم و ژله ای شده و ذرات جامد و شن ها و کنده های حفاری را در خود می گیرد و مانع سقوط و ته نشست آنها میشود. گل این بافت را تا زمانیکه مجددا به گردش در نیامده است حفظ می کند. به مجرد آنکه پمپ ها دوباره شروع بکار کنند و گل به گردش در آید، thixotoropy یا حالت ژله ای گل در هم خواهد شکست وگل به حالت اول خود باز خواهد گشت. تیکسو تراپی، نتیجه جاذبه بین ذرات کلوئیدی گل است. بنابراین با تغییر درصد ذرات کلوئیدی گل واستفاده از مواد شیمیایی مناسب درمان های گل میتوان نیروهای جاذبه درون گل را کم و زیاد کرد و تیکسو تراپی را کنترل نمود.

- ترخیص شدن وکنده های حفاری روی الک لرزان

یک گل حفاری خوب باید به گونه ای باشد که وقتی از چاه بیرون می آید و روی الک لرزان ریخته می شود، کنده های حفاری و شن ها بتوانند براحتی از آن جدا شوند تا مجددا به داخل چاه باز نگردند. ترخیص شن روی توریهای لرزان حائز اهمیت بسیاری است. زیرا شن فوق العاده فرساینده است واگر از محیط گل خارج نشود و مجددا وارد پمپ ها شود سبب فرسودگی شدید وسریع قطعات آنها و اتصالات لوله ها می گردد.

درصد شن گل (Sand content) را بویژه در هنگام حفاری سازندهای شنی باید پیوسته اندازه گرفت. یک مقایسه بین درصد شن گل در Discharge flow line (یا لوله خروجی چاه)

ومکش پمپ (pump suction)، نشان خواهد داد که گل در ترخیص شن و کنده های حفاری روی الک لرزان تا چه حد موفق بوده است. به هر حال درمحل مکش پمپ ها درصد شن گل هر گز نباید از دو درصد تجاوز کند.

- تحمل بخشی از وزن لوله های حفاری و لوله های جداری

هرچه که عمق حفاری بیشتر شود ،وزن لوله های حفاری ولوله های جداری که باید در چاه شوند بیشتر شده وفشار وارد بر دستگاه های نگهدارنده آنها در روی دکل نیز افزایش پیدا میکند. از آنجا که لوله ها در چاه ناچار در گل قرار خواهند گرفت،پس تحت تاثیر buoyancy effect یا خاصیت شناور سازی گل،به اندازه وزن گل هم حجمشان،ازوزن آنها کاسته خواهد شد (قانون ارشمیدس). این کاهش وزن لوله ها که توسط گل تحمل میشود و به نفع جرثقیل هایی است که در روی دکل ، لوله ها را آویزان نگهداشه اند . بدیهی است که هرچه وزن گل زیادتر شود ، لوله ها سبک تر می شوند یل به عبارت دیگر ، وزن ظاهری آنها کمتر می گردد.

- بحداقل رسانیدن ضایعات وارد بر سازند های مجاور چاه و ارائه حداکثر اطلاعات پیرامون آنها

There are several factors that need to be considered in selecting a drilling fluid to ensure that subsurface geological information can be properly transported and evaluated including:

- Salinity of fluid
- Fluid filtration/invasion
- Pressure induced fractures
- The nature of continuous phase of fluid (oil , water)
- Stability of fluid properties

به منظور حفاظت از سازند ها ، تثبیت کلیه خواص گل حفاری در سطحی مطلوب ، یک ضرورت است . با اینهمه گاه باید خواص گل را فدا کرد تا در عوض اطلاعات کافی پیرامون سازند حفاری شده بدست آید . بعنوان مثال ، نمک اگر چه گل را منقلب کرده و Fluid loss آنرا افزایش می

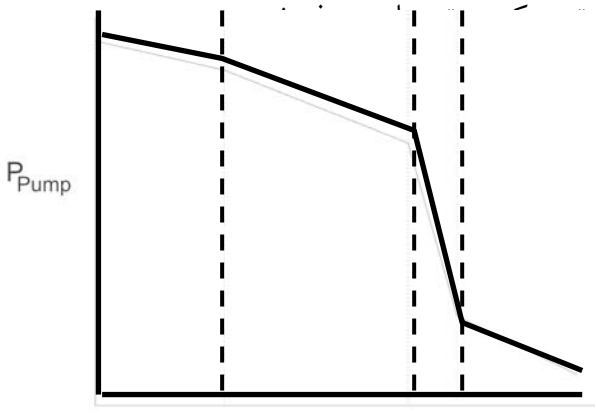
دهد لیکن اگر قرار است در چاه، ابزارهای نمودارگیری الکتریکی رانده شود .برای دریافت نتایج صحیح از این دستگاه باید مقاومت مخصوص (Resistivity) گل را کنترل کرد و این امر با افزودن نمک به گل میسر است . هم چنین افزودن نفت به گل ، اگر چه کار آئی گل و ضریب تولید چاه را بهتر می کند لیکن در صورتی که همین نفت در کار زمین شناسی یا بوم شناسی اختلال ایجاد کند باید از مصرف آن در گل صرف نظر کرد.

- انتقال توان هایدرولیک پمپ ها به مته

During fluid circulation, the rate of fluid flow should be regulated so that optimum hydraulic horsepower be available to clean the face of hole head of bit. Plastic viscosity and yield point have a considerable influence upon hydraulic and should be monitored all times.

گل حفاری ، (Medium) یا محیط پیوسته ای است که توان تولید شده در پمپ ها را به نوک مته منتقل می کند و ضمن این کار ، بخشی از این توان را به صورت حرارت در قسمت های مختلف مسیر حرکت خود از دست می دهد (توان غیر مفید یا پارازیتیک) بنابراین همه توان تولید شده در پمپ ها به نوک مته نمی رسد بلکه فقط قسمتی از آن بنام توان مفید به مته رسیده و در آنجا مصرف می شود.

در هنگام برنامه ریزی یک گل حفاری ، به Hydraulics آن باید توجه کافی نمود . این بدین معنی است که سرعت گردش گل و خواص فیزیکی آنرا و هم چنین نوع ذرات جامد معلق در گل و درصد آنها را طوری باید در نظر گرفت که از کل توان پمپ ها فقط اندکی بصورت گرما تلف شود و بیشتر آن در مته و برای



Classification of drilling fluids:

1) water based mud
2) oil based mud
3) oil in emulsion mud
4) invert emulsion mud
5) gas mud → (air or natural gas)
6) mist
7) foam
8) aerated mud

بطور کلی گل حفاری را بر مبنای پایه آن (فاز اصلی) می توان به سه گروه تقسیم بندی نمود.

a. آب
b. روغن (گازوئیل)
c. گاز

در اغلب گل های حفاری مخلوطی از دوتا و گاهی مخلوطی از هر سه مایع نامبرده بالا بطور همزمان با یکدیگر حضور دارند و هر کدام خصائصی از مایع حفاری را بعهده دارند . بطور کلی طبقه بندی گل های حفاری را می توان بصورت زیر نشان داد:

- گل های پایه آبی(Fresh Water)

بصورت محلول : یا در حالت آب خالی است و یا همراه با مواد کلوئیدی می باشد یعنی مواد کلوئیدی مانع می گردند که جامدات موجود در آن در حالت توقف ته نشین گردند . جامداتی که در محلول هستند عبارتند از :

نمک ها : مثل کلرورسدیم ، کلرورکلسیم

کاهش دهنده کشش سطحی : مثل صابونها و فلاکوله کننده ها

کلوئید های آلی : مثل سلولز ها و پلیمرهای آکریلیک

بصورت امولسیون : مایعات روغنی که بصورت ذرات توسط امولسیفا یر ها در آن معلق می مانند مثل گازوئیل با یک صابون پایدار کننده

به صورت گل : معلق نگهداشتن جامدات ، مثلا (باریت ، بنتونایت ، جامدات حفر شده) در هر کدام از مایعات فوق و مواد شیمیایی افزوده شده و به گل جهت معالجه آن.

- گل های پایه روغنی (Diesel or Crude oil)

بصورت گل روغنی : یک گل روغنی پایدار شامل امولسیون کننده آب، ماده معلق کننده، ماده کنترل کننده عصاره و ممکن است محتوی باریت جهت افزایش وزن مخصوص و یا کنده های حفاری باشد.

- گاز خشک (Dry Gas)

بصورت گاز خشک : شامل هوا ، گاز طبیعی ، گاز اگزوز و گاز احتراق

بصورت کف : حباب های هوا که بوسیله فیلمی از آب و یک نوع صابون احاطه شده باشد .

بصورت کف پایدار : کف محتوی فیلمی از مواد استحکام دهنده نظیر پلیمر های آلی و بنتونایت

بصورت غبار : قطرات آب یا گل که بوسیله جریان هوا انتقال و جابجا می شوند

بطور کلی حفاری در ایران بوسیله گلهای پایه آبی انجام می شود و در بعضی شرایط از انواع دیگر گلها استفاده می شود.چون در سازند های مختلف از گلهای متفاوت استفاده می شود در این پروژه منظور از گل حفاری گلهای پایه آبی است.

سازند های جنوب غربی ایران را از نظر کاربرد گل حفاری می توان به سه گروه اصلی تقسیم بندی نمود.

الف) حوزه های دارای فشار کم که شامل طبقات آغاجاری، میشان و قسمت فوقانی سازند گچساران که با آب و آب نمک حفاری می شود.

ب) سازند های دارای فشار زیاد که بخش های تحتانی شش گانه سازند گچساران را تشکیل می دهد. جایی که گل سنگین اشباع شده از نمک و PH متوسط مورد استفاده است.

ج) حوزه های نفت ده شامل سازند های آسماری، ائوسن، بنگستان و سایر سازندهای پایین تر که با گل های وزن کم و متوسط با جامدات کم حفاری می شود. گاهی نیز از گلهای پایه روغنی یا گلهایی که روغن امولسیون شده است استفاده می کنند.

بخش مطالعه آزاد مبحث گل حفاری

گاهی گلها را بر حسب اجزا شیمیایی تشکیل دهنده ساختمان آنها تقسیم بندی می کنند مثل گل روغنی (invermul mud) که در واقع شیمیایی (invermul) یکی از اجزا تشکیل دهنده این گل می باشد.

تمام انواع گلهای حفاری از اجزا زیر تشکیل شده اند:

۱- مایع (آب - روغن و یا هر دو)

۲- مواد جامد غیر کلوییدی (باریت)

۳- مواد جامد کلوییدی (بنتونایت و یا خاک های رسی دیگر)

طبقه بندی گلهای حفاری بر پایه فاز مایع بشرح زیر است:

I) گلهای آبی معمولی (fresh water mud)

الف) spud

ب)طبیعی (natural)

ج) بنتونایتی(bentonite treated)

د) فسفاتی(phosphate treated)

ذ)کلوییدی(organic colloid treated)

ر)گل قرمز(red mud)

ز)گلهای کلسیمیcalcium mud که انواع آن عبارتند از:

۱_آهکی lime treated

۲_ژیپسم دارcypsum mud

۳_کلسیم دار(آهک آبدیده و ژیپسم)

II) گلهای آب نمکی(salt water mud)

الف)آب غیر اشباع از نمک

ب)آب نمک اشباع

ج)سلیکات سدیم

III) امولسیون روغن در آب(oil in water emulsion)

الف) آب معمولی

ب) آب نمک

IV) گلهای پایه روغنی و امولسیونهای پایه روغنی (oil base and oil base emulsion mud)

ذیلا بطور خلاصه بشرح گلهای نامبرده می پردازیم:

۱- گلهای آب معمولی (fresh water mud) : فازمایع این گلها آب معمولی است و فقط مقدار بسیار کمی املاح بصورت معمول در خود دارند.انواع آن عبارتند از:

الف)spud mud:

این گل معمولا در شروع حفاری از آن استفاده می شود و تا جایگزین کردن اولین لوله جداره ای (casing) در چاه مورد استفاده می باشد.این گل معمولا از آب و بنتونایت ساخته شده گرانروی و وزن آن معمولا پایین نگه داشته میشود.در هنگام حفاری طبقات شیل سنگین و یا ماسه های سطح الارض محتوی گازهای پر فشار نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

ب)گل طبیعی(natural mud):

این نوع گل از آب و بریده های حفاری که در داخل آن به صورت پراکنده در آمده اند تشکیل شده.خواص این گل به طبقاتی که در انها حفاری می کنیم بستگی کامل دارد.این

نوع گل معمولا در حفاری سریع سطح الارضی و تا نصب اولین لوله جداره ای مورد استفاده قرار می گیرد و هرقدر عمق چاه بیشتر شود این گل به مواد شیمیایی و مواد کلوییدی بیشتری نیاز پیدا خواهد کرد.

ج) گل بنتونایتی(bentonite treated mud)

این ماده در بیشتر گلهای پایه آبی از آن استفاده می شود این ماده به خاطر داشتن خاصیت کلوییدی معدنی خواص فیزیکی گل از جمله عصاره گل،ضخامت کیک را کاهش می دهد و همچنین باعث افزایش گرانروی و ژل های گل می گردد.

د)گل فسفاته(phosphate treated mud)

گل فسفاته محتوی پلی فسفات می باشد.اضافه کردن این ماده به گلهای سنگین باعث پراکندگی ذرات کلوییدی رسی میشود که گرانروی و عصاره گل را کاهش میدهد و ضخامت فیلتر کیک را بر دیواره چاه نازکتر میسازد.

ذ)گل قرمز(red mud)

به علت بالا بودن مقدار کاستیک و کبرا چوی (quebracho) موجود در گل،رنگ آنرا به صورت قرمز پر رنگ درآورده و به همین علت است که این نوع مایع حفاری به گل قرمز مرسوم شده است.

ر) مایع کلوییدی آلی(organic colloid treated)

این مایع حاوی استارچ و سی.ام.سی(CMC) میباشد در ماده مزبور بعلت حساس نبودن در مقابل فولکوله یا کلوخه شدن (کلوییدی های آلی)از آنها برای کنترل عصاره گل استفاده میشود و حتی درگلهای آب معمولی برای کاهش دادن (fluid loss) بسیار موثر هستند و بطور کلی مواد کلوییدی آلی مثل استارچ و سی.ام.سی از مواد کلوییدی معدنی مثل بنتونایت در جهت کاهش دادن fluid loss بهتر عمل می کنند.

ژ) گلهای کلسیم دار(calcium mud)

این نوع گلها محتوی کلسیم محلول بعنوان ماده اولیه می باشند.ماده کلسیم دار محلول ممکن است بصورت آهک،سیمان سولفات کلسیم تجارتی یا کلرور کلسیم باشد.انواع آن عبارتند از:

۱_گل آهکی(lime treated mud)

این نوع گل از مواد زیر ساخته شده که بصورت فرمول زیر خلاصه میشود.

عامل کنترل عصاره گل + آهک آبدیده + تینر آلی + کاستیک سودا

گلهای آلی به سه دسته تقسیم میشوند.

الف) گل کم آهک و کم الکالینیتی (low lime low alkalinity)

ب)گل با آهک قراردادی (conventional lime)

ج)گل با آهک و الکالینیتی زیاد (high lime and alkalinity)

سه نوع گل نام برده فوق به هم شبیه هستند و فقط در مقدار آهک و مقدار الکالینیتی با هم متفاوتند از گلهای نوع دوم و سوم بیشتر به هنگام آلودگی از آنها استفاده میشود.گل کم آهک غالبا در حرارتهای زیاد که دو نوع گل فوق الذکر قادر به کار کردن نیستند مورد استفاده قرار میگیرند.

۲_گل ژیپسم دار(gypsum treated mud)

گلهای ژیپسم دار از سولفات کلسیم به عنوان الکترولیت استفاده می کنند و از مواد زیر ساخته میشود. Caustic soda + gyp + spersen + C.M.C

PH این گل بین ۹,۵ تا ۱۰,۵ میباشد و عصاره آن محتوی ۶۰۰ تا ۱۲۰۰ قسمت در میلیون میباشد.ضمنا باید یادآوری کرد که این گل بیشتر در حفاری طبقاتی که محتوی

شیل (shale) هستند به کار میرود و مخصوصا در طبقاتی که دارای آنهیدرات (سولفات کلسیم بی آب)میباشد از این گل مورد استفاده قرارمیگیرد.

۳_نمکهای کلسیم(calcium shale)

این مایع همانند گلهای آهکی آبدیده (hydrated lime) و ژیپسم به مقدار کم و به ندرت استفاده میشود ولی بهر حال هیچ یک از اینها بطور اعم مورد قبول واقع نشده است.

Π)گلهای پایه آب نمکی(salt water mud)

گلهایی که تحت عنوان گلهای آب نمکی طبقه بندی شده اند معمولا مقدار نمک آنها از ۱۰۰۰۰(ppm) بیشتر است و قابلیت تبدیل به یک گل دیگر را ندارند و بر حسب مقدار نمک موجود در آنها و یا سرچشمه آب مورد مصرفی در آنها طبقه بندی میکنند.

الف)بر حسب مقدار نمک محلول در گل

۱_گلهای اب نمک اشباع(salt saturated mud)(315000 ppm)

۲_گلهای آب نمکی (salt mud)(بیش از ppm۱۰۰۰۰ ولی اشباع نیست)

ب)بر حسب ترکیب سرچشمه آب

۱_گلهای آب شور مزه brakish water muds

۲_گلهای آب دریا sea water muds

گلهای آب نمک اشباع برای حفاری در طبقاتی که محتوی نمک زیاد میباشد استفاده می شود تا از حالت آب بردگی طبقات (wash out) جلوگیری نماید ضمنا لازم به یاد آوریست وجود نمک مانع فعالیت شیل های محتوی بنتونایت در طبقات می گردد.

تذکر: یک نوع گل دیگری بنام گل سیلیکات سدیم وجود دارد که در طبقه بندی جزء گلهای آب نمکی بحساب می آید فاز پیوسته این گل حدود ۶۵ درصد حجمی محلول سیلیکات سدیم و ۳۵ درصد محلول آب به نمک اشباع میباشد این گل به منظور حفاری

در طبقات محتوی شیل سنگین ساخته میشود ولی گلهای دیگری نظیر گلهای آبکی ژیپسم دار و غیره جانشین آن شده که هم کنترل آنها ساده تر و هم ارزان تر است.

III) گلهای امولسیونه روغن در آب(oil in water emulsion muds)

ساختمان این گلها عبارتست از مقداری روغن که به صورت ذرات ریز در درون آب پراکنده هستند یا بعبارت دیگر فاز پیوسته این گلها آب و فاز پراکنده آنها روغن میباشد البته نوع دیگری از امولسیونها به نام امولسیون آب در روغن وجود دارد که آن را تحت عنوان گلهای روغنی بحث خواهیم کرد.

عصاره این گلها عموما آب است و آب قابل مصرف در ساختن آنها میتواند آب معمولی و یا آب نمک باشد. تحت شرایط امولسیونه در خواص فیزیکی گل تغییراتی صورت میگیرد و بشرح زیر است.

۱_عصاره گل کاهش میابد.

۲_ضخامت کیک بر دیواره چاه نازکتر میشود.

۳_حالت دورانی دستگاه حفاری بهتر میشود که در نتیجه عمر مته زیادتر تجمع مواد در اطراف مته کمتر می گردد.

۴_باعث کاهش وزن میگردد.

وجود روغن در گل باعث فلورسانس شدن نمونه طبقات (core) و مواد حفر شده (cuttings) در تحت آزمایش(ultra violet) هستند میشود، مخصوصا اگر آنها را کامل نشسته باشند.روغنهای پالایش شده معمولا حالت فلورسانس دارند و باید از روغنهایی که نقطه آنیلین آنها از ۱۵۵ بیشتر باشد استفاده کرد تا حالت فلورسانس را پایین نگه داشت و از خراب شدن سریع قطعات لاستیکها موجود در پمپها و لوله های لاستیکی جلوگیری نمود.

گلهای امولسیونه روغن در آب به نوع آب مصرفی به دو قسمت تقسیم میشوند:

۱_گلهای امولسیونه روغن در آب معمولی:

این نوع گلها محتوی ۶۰۰۰۰ قسمت در میلیون محلول نمک طعام مقداری گازوییل و مقداری امولسی فایرمیباشد.امولسی فایرهای آلی غیر صابونی در حالی که گل محتوی یون محلول کلسیم باشد بهتر عمل می کنند زیرا بازدهی این نوع امولسیون با بودن کلسیم کاهش نمی یابد و با تحت نظر داشتن مقداری گازوییل و امولسی فایر موجود در گل می توان از آن مراقبت کرد.

۲_گلهای امولسیونه روغن در آب نمک:

این گل حداقل ۶۰۰۰۰ قسمت در میلیون نمک طعام در فاز آب آن موجود و این مقدار تا حالت اشباع میتواند وجود داشته باشد. ضمنا حالت امولسیونی این گلها با اضافه کردن یک امولسی فایر آلی کامل میگردد.عموما PH این گلها از ۹ کمتر است و بیشتر در حفاری طبقات محتوی نمک زیاد بکارمیرود.این امولسیون با امولسیون آب معمولی فواید مشترکی دارد.و یکبار دیگر به ذکر آنها می پردازیم.

۱_وزن گل را کاهش میدهد.

۲_عصاره گل و ضخامت گل کم میشود.

۳_حالت روانی بیشتر(lubricity)

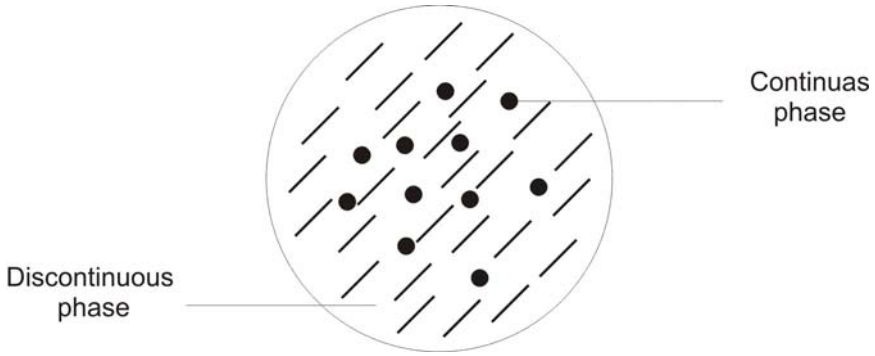
انتهای بخش مطالعه آزاد گل حفاری

Phases of drilling fluids:

1) continuous phase → Example: water based mud
2) discontinuous phase →Could be solid, liquid or gas (Inert or non-inert)

H_2O	+	Clay (Bentonite)
Continuous phase		Discontinuous phase

For oil base mud, oil is the continuous phase.



There are important reasons for distinguishing between these phases;
Example: the main source of viscosity in a drilling fluid is the discontinuous phase.
Filtrate comes mostly from the continuous phase.
Wall cake is formed from the discontinuous phase.
Continuous phase of drilling fluids:

In water based mud is water.

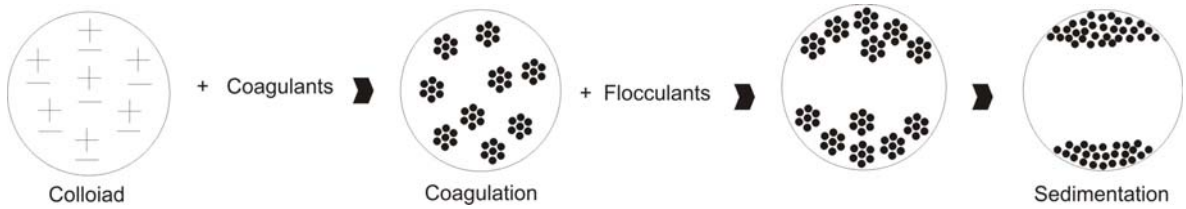
Water dissolves salts presents in water such as sodium and calcium are also part of continuous phase.

If the concentration of sodium or calcium ions in the mud is high enough, the hydration (swelling) of clays added to mud is inhibited.

گل ما نباید کلوخه کلوخه باشد و نمک زیاد مانع پخش شدن ذرات می شود و باعث لخته لخته شدن گل میشود. لذا باید موادی اضافه کنیم که نمکها را جذب و رسوب دهند.

If these salts enter the continuous phase of mud in which the clays are already hydrated flocculation results.

مثلا وقتی گل ما با آب نمک برخورد کند آب نمک را جذب می کند و گل به صورت لخته لخته در می آید و اصطلاحا می گویند گل آلوده شده است.



حال اگر این پروسه رخ دهد مواد شیمیایی به صورت رسوبات درون چاه باقی مانده اند و هم مواد از دست داده ایم و هم ممکن است رسوبات باعث گیر کردن ابزار درون چاه شود.

Drilling fluid additives:

Many materials used to change or modify the characteristics of the mud are added at surface to the mud.

در لایه های شیلی یا لایه هایی که رس زیاد دارند وقتی گل پایه آبی استفاده کنیم آب به درون سازند نفوذ می کند و مواد دیگر به صورت کلوخه باقی مانده و درون چاه ریزش می کنند.آب از دست رفته باعث باد کردن لایه و گیر کردن لوله حفاری می شود.لذا یک نوع گل خاص نیاز است تا مشکلات این نوع لایه ها را حل کند مانند گل پایه نفتی یا افزودن موادی که مانع هیدراته شدن کانی های رسی شوند.

اگردر هنگام مغزه گیری می خواهیم نمونه ای بگیریم که درآن Sw برای ما مهم باشد مجبوریم از گل پایه نفتی استفاده کنیم. در خیلی کشورها و مخصوصا روی دریا به شرکت ها به علت مضرات زیست محیطی اجازه استفاده از گل پایه آبی داده نمی شود.

- ✓ Weight Materials
  - Salt
  - Bentonite
  - Barite (BaSO4)

- Occurs in sedimentary igneous metamorphic rock
- Color: From white to light gray, red or brown
- S.G. = 4.3-4.6 (Most Commonly 4.5)
- Insoluble in water and has no reaction with mud components

- Iron Oxide (Fe2O3)
  - Hematite , Mud Weight =20 PPG
- Iron Carbonate
  - Siderate , Mud Weight = 19 PPG
- Limestone
- Galena (PbS)

✓ Viscosifiers : To thicken mud for removing drilling cuttings

- Bentonite (Clay)
- Natural and Synthetic Polymers and Starches (e.g. XC Polymer)
- Carboxy methyl seluloz (CMC)

The viscosity of the drilling fluid may be defined as its resistance to flow.

Viscosity depends on:

1) mud density
2) hole size
3) drilling rate (rate of penetration)
4) pressure requirements
5) pump rate
6) hole conditions

✓ Apparent Viscosity is a function of

- Viscosity of the base fluid (Continuous Phase)
- Size, shape and number of solid particles
- Inter-particles force (Yield Point)

- ✓ Major mud viscosity building agents
  - Clays (Bentonite)
  - Organic Polymers
  - Oil-wetting clays in oil-base mud

- ✓ Reduction in Mud Viscosity
  - Dilution
  - Mechanical Means (Shale Shaker)
  - Neutralization of attractive inter-particle forces by addition of chemical thinner

  - ✓ Filtration Control Materials
    - Bentonite (Clay)
    - Natural and Synthetic Polymers
    - Starches
    - Thinner or deflocculant

  - ✓ Rhology control Materials
    - Thinner
    - Dispersants
    - Deflocculants

- ✓ Alkalinity and PH Materials

- ✓ Lost Circulation Materials
  - Fibrous materials
  - Flake materials
  - Granular materials
  - Blends of above materials

✓ Surfactants (Surface Active Agents)

Used as Demolsifiers, Wetting agents, foamers and to decrease clay hydration

- Drilling Mud Surfactant (DMS)

- Drilling Mud Emolsifier (DME)

✓ Lost Circulation Materials

✓ Hydrogen Sulfide Scavengers

H_2S با گل ترکیب شده باعث خوردگی وسایل می شود لذا موادی می زنیم که H_2S را جذب کند.

✓ Oxygen Scavengers

در سیکل طی شده گل مقداری هوا در بیرون چاه جذب می کند که اگراز حدی بیشتر شود خوردگی به بار می آورد لذا موادی افزوده می شود که اکسیژن موجود را جذب کنند.

The selection of drilling fluids to be used on a particular well is based on factors such as:

- Formation characteristics and compositions (Φ, k, pore size)
- Temperatures

  گل باید در مقابل تغییرات ما ترکیب و ویسکوزیته خود را حفظ کند.

- Anticipated drilling hazards:

نوع گل می تواند بسته به موقعیت جلوی صدماتی را که ناخواسته وارد می شوند بگیرد.

- Quality and source of water
- Chemical compounds added to the mud
- Required treatment concentrations
- Adequate supplies of the required product

  استفاده بهینه از مواد موجود.

- Maintain the selected mud

  خصوصیات باید ثابت نگه داشته شود.

- ✓ Rate of Penetration Depends on
  - Mud properties
  - Weight on Bit
  - Rotary Speed
  - Hydraulic
  - Bit size and type
  - Bit tooth wear

After bit selection for a formation and characterization of required mud, affecting parameters limit to RPM and WOB that controlled from surface to control drilling rate

✓ **Mud Weight**

- Controlling pressure
- Measured by Mud Balance
- Reported in ppg , pcf

$$P_{mud} = 0.052 \times Mw \times TVD$$

✓ Funnel Viscosity

- Is used only as an indicator of change in mud properties
- Measured by Marsh Funnel
  - 6” diameter @top , 12” long, joint a tube 2” long with ID of 3/16 inch
  - Funnel volume is 1500 cc

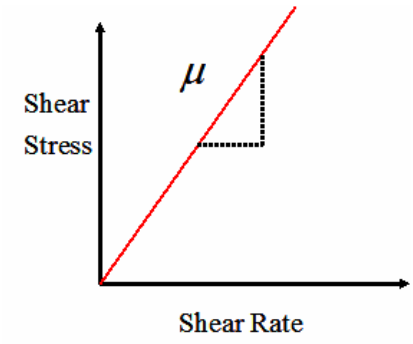
- One quart of fresh water @ 70 ˚F
  flows through the funnel in 26 Sec

- Reported in
  - Seconds per quart in X ˚F
  - seconds per 1000 cc in X ˚F

✓ Plastic Viscosity & Yield Point or Gel Strenght

- Ideal Fluid (μ=0)
- Real Fluid (μ≠0)
  - Newtonian Fluids
  - Non-Newtonian Fluids

- Newton's law of viscosity



$$\tau = -\mu \frac{dU}{dy}$$

- Non – Newtonian fluids
  - Bingham Fluids
  - Power-law Model

$$\tau = \tau_Y \pm \mu_P \frac{dU}{dy}$$

$$\tau = K(\gamma)^n = K(\gamma)^{n-1}\gamma = \mu_a \gamma$$

$$Where \quad \mu_a = K(\gamma)^{n-1}$$

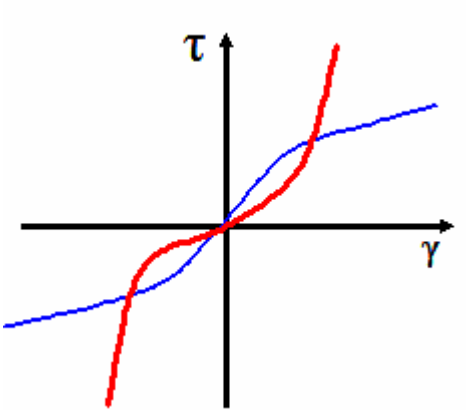
τ = shear stress

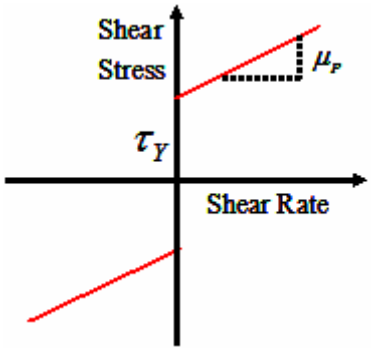
□ = shear rate

k = consistency number and may in special cases equal to μ (dynamic viscosity)

n = flow behavior index, real number

- ❖ n=1 ◊ Newtonian Moel
- ❖ n<1 ◊ Pseudo-Plastic Fluid
- ❖ n>1 ◊ Dilutant Fluid





✓ Plastic Viscosity & Yield Point or Gel Strength

- Rotational Viscometer (VG Meter)
  - 10 Minutes Gel Strength (3 RPM)
  - 10 Seconds Gel Strength (3 RPM)

گل وقتی پس مدتی افزایش τ به حال خود رها شود از روی منحنی خط چین برمی گردد.

Y_p = gel strength = lbf/100ft² = stress

Gel strength is obtained by noting the maximum dial defection when the rotational viscometer is turned at a low rotor speed (usually 3rpm)

10 minutes gel strength:

گل را درون ویسکومترمی ریزیم و ۱۰دقیقه صبر می کنیم تا عقربه نقطه خاصی را نشان دهد سپس با دور3rpm شروع به چرخش می کنیم.عقربه یک جهش انجام می دهد نقطه انتهایی را می خوانیم ازحالت اولیه کم می کنیم.

10 seconds gel strength:

همان کار فوق منتها زمان ایستایی ۱۰ثانیه است.

- Bingham Fluids

$$Plastic\ Vis\cos ity = \mu_P = \theta_{600} - \theta_{300} \quad [CP]$$

$$Yield\ Po\text{int} = \tau_Y = \theta_{300} - \mu_P \quad \left[lbf/100\,ft^2\right]$$

- Power-law Model

$$K = \frac{\theta_{300}}{(511)^n}$$

$$n = 3.32 \times Log\left(\frac{\theta_{600}}{\theta_{300}}\right)$$

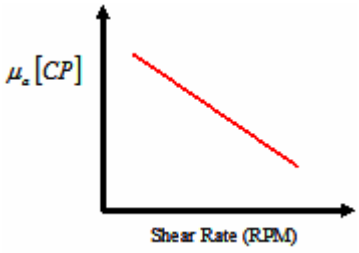
- Rotational Viscometer (VG Meter) is also used to measure apparent viscosity

  The dimension of the tube and rotor are chosen so that the dial reading is equal to apparent newtonian`s viscosity in cp at a rotor speed of 300 rpm.

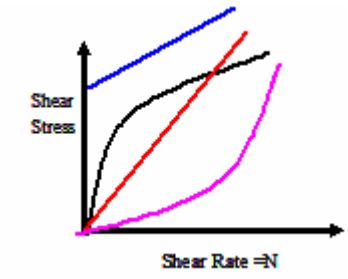
$$Apparent\,Vis\cos ity = \mu_a = \frac{300 \times \theta_N}{N} \quad [CP]$$

حال چرخش را از دورهای بالا به پایین آغاز می کنیم و یک جدول درست می کنیم. درهر rpm مقدار θ را در فرمول قرار داده و μ_a را محاسبه می کنیم. حال منحنی θ را بر حسب N در یک log log paper رسم می کنیم تا نوع سیال مشخص شود

<u>To determine Type of Fluid, Plot Apparent Viscosity Vs. RPM</u>



Log-Log to evaluate Viscosity. Knowing RPM



Fluid Type Determination

Non-Newtonian fluids under unsteady state conditions:

- Thixotropic fluids (μa ↓ with time after shear rate is increased to a new constant value) (drilling mud, paints)
- Rheopetic fluids (μa ↑ with time after shear rate is increased to a new constant value)(greases, gypsum suspension)
- Viscoelastic fluids (drilling fluids, long chain polymers)

✓ PH

- ***METER -***
  (Preferred Method)
- ***STRIPS -***
  (General Range)

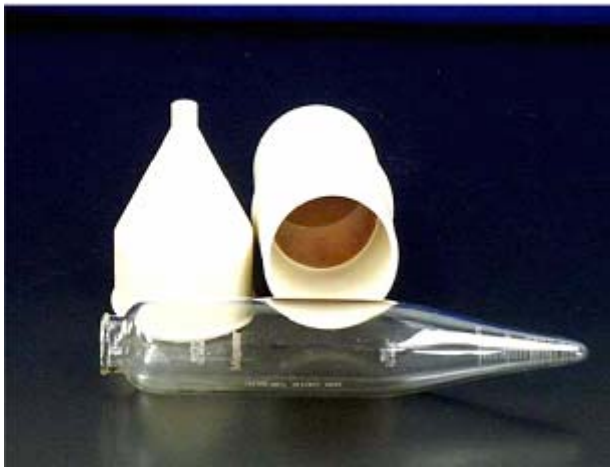
✓ Sand Content

Sand particles larger than 74 μm (200 Mesh Size) are classified as API Sand.

Sand content set consists of a 200 mesh size, a funnel and a glass measuring tube calibrated from 0 to 20 % directly read by sand volume

Determination of sand content of drilling fluid is necessary because these particles can be highly abrasive and can cause excessive wear on pump parts, drill bit and pipe connections.

حجم مشخصی از گل را روی غربال می ریزیم ذراتی که اندازه بیشتر از ۷۴ دارند روی screen می مانند یعنی روی screen برای ما sand می ماند. بعد ظرف را خالی می کنیم و شنها را درون لوله مدرج می ریزیم و هر چقدر بود به صورت درصد شن گل گزارش می دهیم. برای ریختن شن ها درون لوله از پشت به screen آب jet می کنیم.



✓ Conducting the standard API filtration test:

API FILTER PRESS

CC'S OF FILTRATE COLLECTED: *(STATIC)*

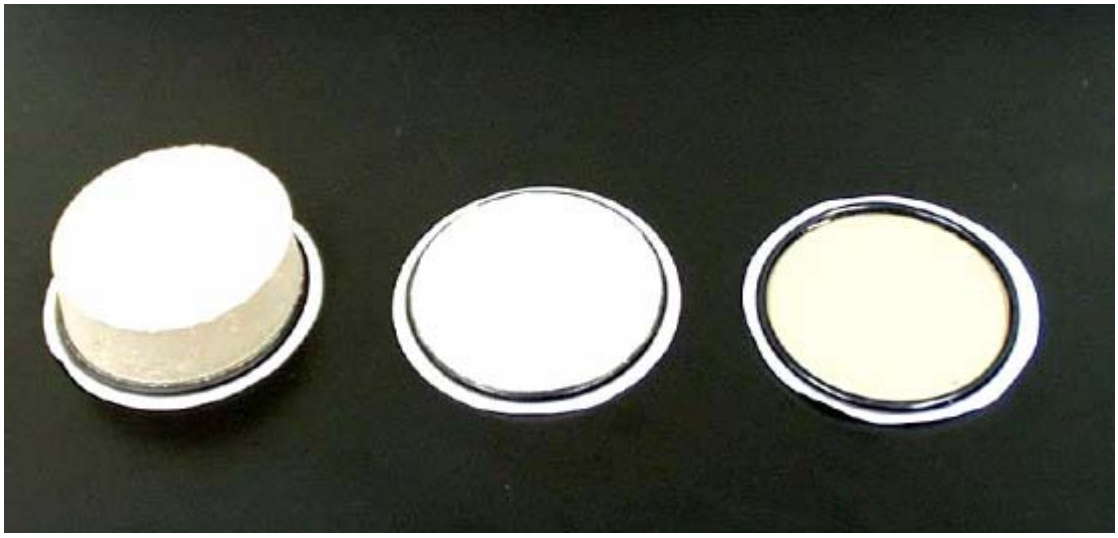
@

- *100 psi*
- *30 MINUTES*
- *7.5 in^2 # 50 Whatman Paper*
- *Ambient Temperature*

بعد از ۳۰ دقیقه فیلتر را بر می دارند و ضخامت discontinuous phase که روی فیلتر جمع شده را اندازه گرفته و گزارش می دهند.

Report the cake thickness to the the nearest 1/32. The importance of fluid cake quality can not be overstated a firm, thin, cake is flexible).

Mud cake conditions are soft, firm, brittle and flexible



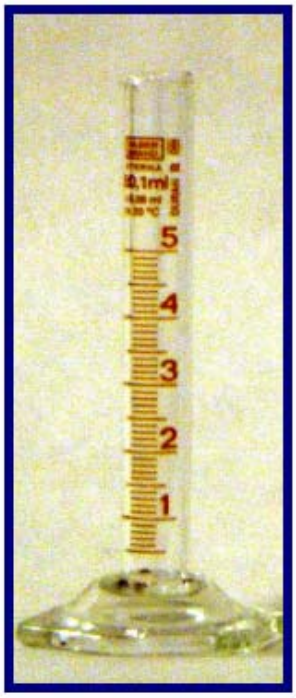
FLUID LOSS * API - HTHP

- This is one of several types of units. Good For 300°F on a regular basis.
- For higher temperatures a different type unit must be used, and higher pressures (top and bottom) should be used. (Differential pressure should still be 500 psi)

FLUID LOSS * API - HTHP

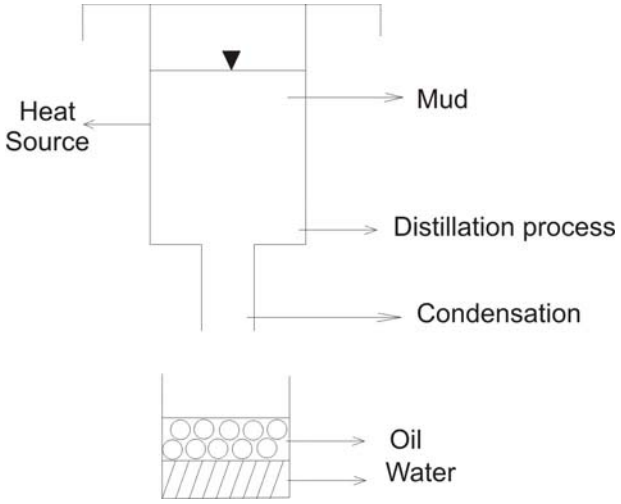
- CC's of FILTRATE collected X 2 (static)
  - 30 minutes
  - 300°F
  - 3.75 sq. in. #50 Whatman paper
  - 500 psi - Differential Pressure
    - 600 psi - TOP
    - 100 psi - BOTTOM (back pressure)

Intro to Drilling Fluids



✓ Oil, water, solids content determination:

گل را درون وسیله ریخته و بوسیله حرارت آنرا تقطیر می کنند.در اثر گرما آب و نفت تبخیر شده و در قسمت پایین حمام آب سرد میعان صورت می گیرد و مقدار آب و نفت در گل حفاری تعیین می شود.



Solids:

- Precipitated solids
- Suspended solids*
- Dissolved solids*

*= important for drilling engineering

Solids

- organic
- inorganic

Total solids = total dissolved solids + total suspended solids
(Organic + inorganic)

پس از فیلتراسیون، مقدار جامداتی که بر روی فیلتر جمع شده اند ذرات جامد معلق (suspended solids) هستند و مقداری که از فیلتر با فاز پیوسته عبور می کنند dissolved solids هستند.

$$Suspended\ \ Particles = \frac{W_2 - W_1\ [gr]}{Mud\ Sample Volume\,[cc]}$$

W1 = dry weight of filter before filtration of the mud, gr
W2 = dry weight of filter after filtration of the mud ,gr

ppm و gr/cc = ذرات معلق = وزن فیلتر خشک – وزن فیلتر بعد از پروسه / حجم گل مورد آزمایش

اگر ذرات معلق جدا شده را درظروف سرامیک درون کوره بسوزانیم بخش آلی می سوزد و به خاکستر تبدیل می شود و مواد معدنی به جا می مانند. اگر خاکسترها را جدا کنیم درصد درات معلق آلی و غیر آلی مشخص می شود.

اگر filtration fluid که در تست فیلتراسیون از فیلتر عبور کرده را در ظروفی از جنس سرامیک بریزیم و در کوره قرار دهیم هر چه به صورت مایع باشد بخار می شود.

رسوبات بخ جا مانده در ظروف سرامیک را درون کوره می سوزانیم؛ بخش آلی می سوزد و به خاکستر تبدیل می شود و مواد معدنی به جا می مانند. اگر خاکسترها را جدا کنیم درصد درات محلول آلی و غیر آلی مشخص می شود.

- ✓ Methylene Blue Capacity (MBC) Test
  - Determines amount of CEC of reactive clays in mud
  - Measures the ability of clay to absorb cation from solution
  - The Methylene blue is absorbed by clays
  - Reported in CC of MB per CC of mud

این آزمایش برای اندازه گیری بنتونایت گل استفاده می شود.

$$\text{Methylene blue capacity} = \frac{\text{CC MB}}{\text{CC mud}}$$

Lb/bbl Bentonite [Amount of clay in the mud]=5×(Methylene blue capacity)

Mud Treatment

- ✓ Solid Removal
  - Settling
    - Size, shape and density of particles
    - Time available for retention
  - Dilution (By adding water to decrease solid concentration)
  - Mechanical Separation
    - Vibrating/Screening device - Shale Shaker (>150 μ)
    - Centrifugal Forece:
      1. Mud clear (desilter + high speed shaking) (> 75 μ)

2. Desander (50-70 μ)
3. Desilter (< 50 μ)
4. Centrifuge (2-5 μ)

- Chemical Treatment

  - Chemical additive is used to “Floc” mud by aggregation and settling of solids

مشکلات مربوط به گل حفاری

✓ شیل

- گیرکردن لولهای حفاری ورها سازی آن
- افزایش حجم گل وهزینه درمان آن

✓ هرزروی گل

- در سازندهای دارای چشمه ها و حفره ها
- سازندهای بسیار دانه درشت
- سازندهایی که به آسانی شکسته می شوند

✓ نمکها

- جلوگیری از گشاد شدن دیواره چاه با استفاده از گل پایه آبی سنگین اشباع از نمک
- حجم بالای سیمان مورد نیاز

✓ دمای بالای ته چاه

- افزایش گرانروی گلهای پایه آبی
- کاهش سرعت کندن مته
- اثر گذار بر خواص سیال حفاری

✓ فوران چاه

- بوسیله سیالات سازند حاوی آب –گاز – هیدروکربور
- کاهش ستون هیدرواستاتیک

Cementing:

Cement manufacture with materials and methods have changed little over the last 160 years.
Joseph Aspdin builder from leads, Uk was granted a pattern in 1924 for a cement of superior quality resembling Portland stone.→ Portland cement

در عملیات لوله گذاری حفره چاه بوسیله یک رشته لوله جداری فولادی مخصوص در اعماق مختلف پوشیده می شود. در عملیات سیمانکاری، فضای حلقوی بین لوله و دیواره چاه از یک دوغاب سیمان با ترکیب معین پر میگردد. دوغاب سیمانی که به این ترتیب دالان پشت لوله ها را پر می کند با گذشت زمان سخت می شود و سنگ سیمان حاصل چون غلاف محکم لوله های پوششی را در بر میگردد و آنها را با سازند پیوند میدهد. اهداف سیمانکاری را می توان به صورت زیر بر شمرد:

- جلوگیری از روان شدن گل حفاری به خارج از چاه بواسطه سیمانکاری لوله جداری اولیه .
- جلوگیری از ورود آبهای خالص طبقات مشرف به سطح زمین به داخل چاه.
- جلوگیری از ورود سیالات طبقات به داخل چاه وجلوگیری از باطلاق شدن ته چاه.
- به منظور کاهش تاثیر فشار غیر نرمال طبقات و زون های ضعیف مثل شیل و رس دیواره خارجی لوله جداری میانی باید سیمانکاری شود.
- سیمان کردن لوله های جداری موجب دوام بیشتر لوله ها و مانع سایش انها در اثر تماس با سیالات موجود در طبقات می شود.

Portland cement:
Mixed at T= 1425 - 1535 ˚c:

1) Calcareous materials (limestone, chalk, seashells, etc)
2) Alominosilicates (clays)

The resulting material which is called clinker is then cooled and ground with gypsum to form Portland cement.

Portland cement components:

- ✓ 50% Tri-Calcium Silicate ($3CaO,SiO_2$ - **C_3S**)
- ✓ 25% Di-Calcium Silicate ($2CaO,SiO_2$ - **C_2S**)
- ✓ 10% Tri-Calcium Aluminate Ferrite ($3CaO, Al_2O_3$ - **C3A**)
- ✓ 10% Tetra-Calcium Aluminate ($4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$ - **C_4AF**)
- ✓ 5% Other Oxides

- C_3S: has great effects on the overall strength of cement.
- C_2S: slow reacting → gradual gain on strength

  سفت شدن تدریجی سرعت جذب آب را و همچنین خشک شدن را بیشتر می کند هر چه بیشتر بزنیم.
- C_3A: faster rate of hydration
- C_4AF: low heat of hydration in cement.

انواع سیمان

✓ **سیمان نوع A“**

این سیمان جهت کاربرد از سطح زمین تا عمق ۱۸۳۰ متر بوده و مشخصات ویژه ای ندارد.

✓ **سیمان نوع "B“**

جهت استفاده از سطح زمین تا عمق ۱۸۳۰ متری و بستگی بشرایط کار برد بصورت نیمه مقاوم در برابر سولفاتها و با مقاومت بالا ساخته میشود.

✓ **سیمان نوع "C"**

قابل استفاده در عمقهای ذکر شده در بالاست و درجاهائی که استحکام بندش سریع مدنظر باشد بکار می رود و بصورت سیمان معمولی نیمه مقاوم و مقاوم در برابر سولفاتها ساخته می شود.

- **سیمان نوع "D"** :

این سیمان از عمق های ۱۸۳۰ متر تا ۳۰۵۰ متر بکار برده میشود و شرایط استفاده از آن در چاههایی است که دارای فشار و حرارت متوسطی هستند و مقاوم در برابر سولفاتهاست.

- **سیمان نوع " E"**

از عمقهای ۳۰۵۰ متری تا ۴۲۷۰ متری و در شرایط فشار و حرارت بالا بکار برده شده و تهیه آن بصورت نیمه مقاوم و مقاوم در برابر سولفاتهاست.

- **سیمان نوع "F"**

از عمقهای ۳۰۵۰ تا ۴۸۸۰ متری و در شرایط فوق العاده بالائی حرارت و فشار بکار گرفته شده و بالاترین مقاومت در برابر سولفاتها را دارد . تهیه آن بصورت مقاوم و نیمه مقاوم است.

- **سیمان نوع "G"**

این از سطح زمین تا عمق ۲۴۴۰ متر و با استفاده از تسریع کننده ها و کند کننده های زمان بندش میتوان آنرا در محدوده وسیعی از حرارت و عمق استفاده نمود. در ساخت سیمان از سولفات کلسیم و آب استفاده شده و در رده سیمانها ی نیمه مقاوم در برابر سولفاتهاست.

سیمانهای نوع دیگر نظیر نوع نیز "H"و "J" نیز وجود دارند که در شرایط سخت تر و کاربرد متفاوت دارند.

Particularly useful cement tests are:

- Thickening time test
- Fluid loss test

چگونگی از دست دادن آب سیمان * وقتی آب را از سیمان بگیریم حجم سیمان ما کمتر از حد انتظار می شود و همچنین درنبود آب پیوندهای کریستالی قوت خود را از دست می دهند.

- Slurry density:
- Wait on cement: → minimum strength of cement for drilling operation

(WOC): it is the time that the cement strength becomes equal to 500 psi.

افزایه های سیمان

Almost all cement used in oil and gas well is Portland cement however neat cement is seldom used through a job since various additives are necessary to modify the properties of either slurry or neat cement.

✓ **دلایل افزودن مواد اضافی به سیمان :**

- دوغاب سیمان باید به صورتی باشد که بتوان آن را به وسیله پمپ به عمق معینی از چاه فرستاد
- سریعا و درکوتاه مدت مقاومت کافی در آن ایجاد شود.
- مقاومت دراز مدت آن به گونه ای باشد که مانع شکست مکانیکی شود .
- ترکیب شیمیایی سیمان باید به گونه ای باشد که سیالات طبقات بر روی آن تاثیری نداشته باشد.
- سیمان باید به مرور زمان تجزیه و فاسد نشود و کیفیت آن حفظ شود .
- سیمان باید فاقد نفوذ پذیری باشد تا سیال طبقات در آن نفوذ نکند.

Properties that are modified by additives:

- Thickening Time (Acceleration-Retardation)

  زمانی که طول می کشد تا ویسکوزیته سیمان به 100 cp برسد.

- Density (Extenders, Weight Increase-Reduction)
- Fluid Loss by Filtrate
- Viscosity
- Lost Circulation Resistance

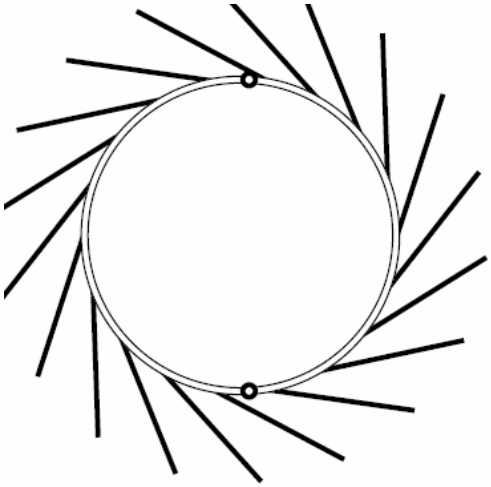
Cementing Equipments

- Float shoe
- Float collar
- Centralizers
- Scratchers
- Casing cementing plugs
- Casing cementing head

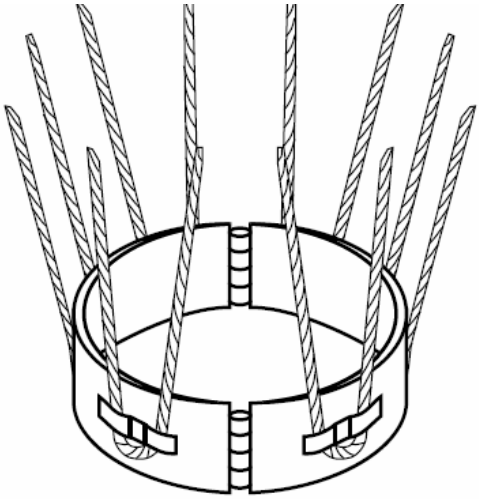
Successful Cementation

- Good slurry design
- Adequate and timely testing slurry
- Proper blending of cement and additives
- The use of centralizers and Scratchers

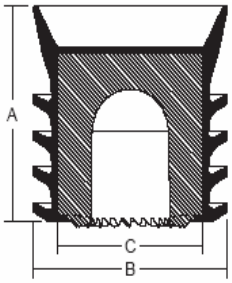
- Casing running procedures
- Reciprocate or rotate of the casing string
- Proper drilling fluid properties
- Adequate displacement rate



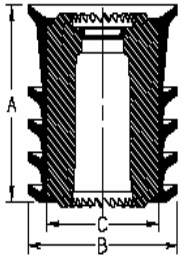
Hinged Wire Scratchers



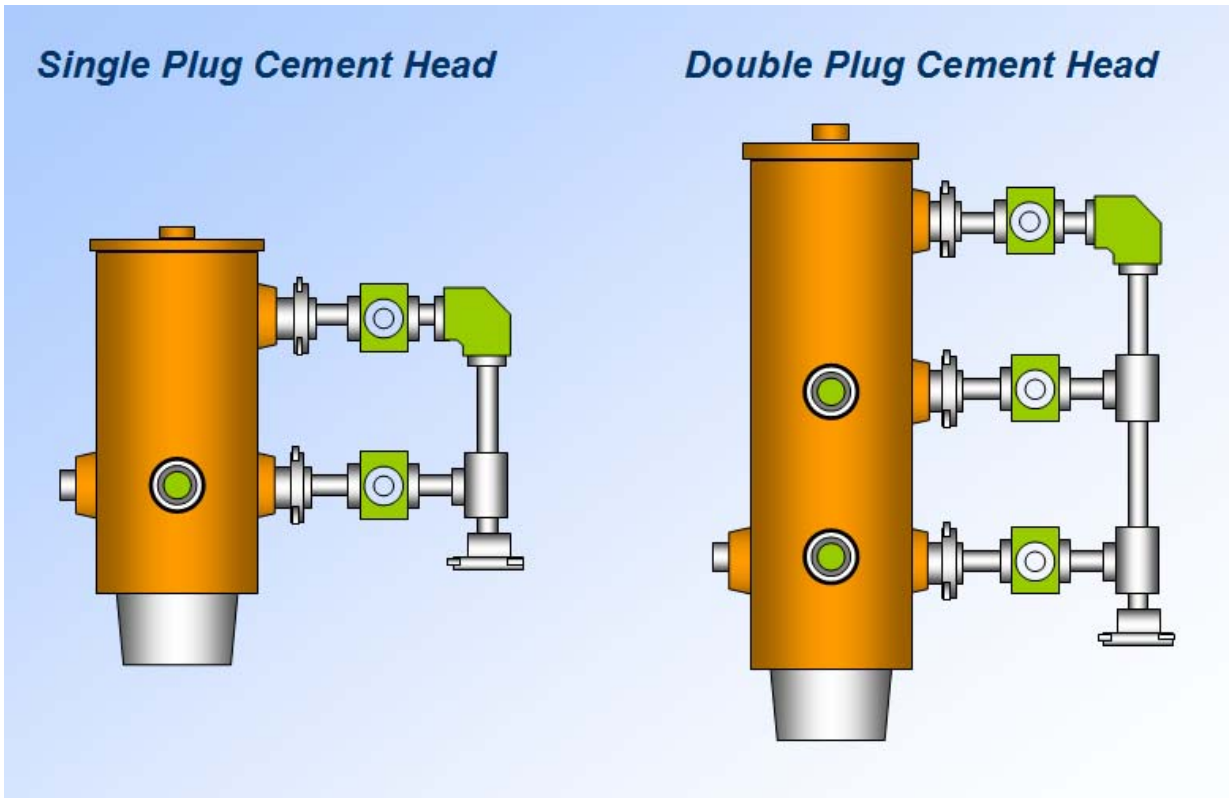
Hinged Reciprocating Finger Scratchers

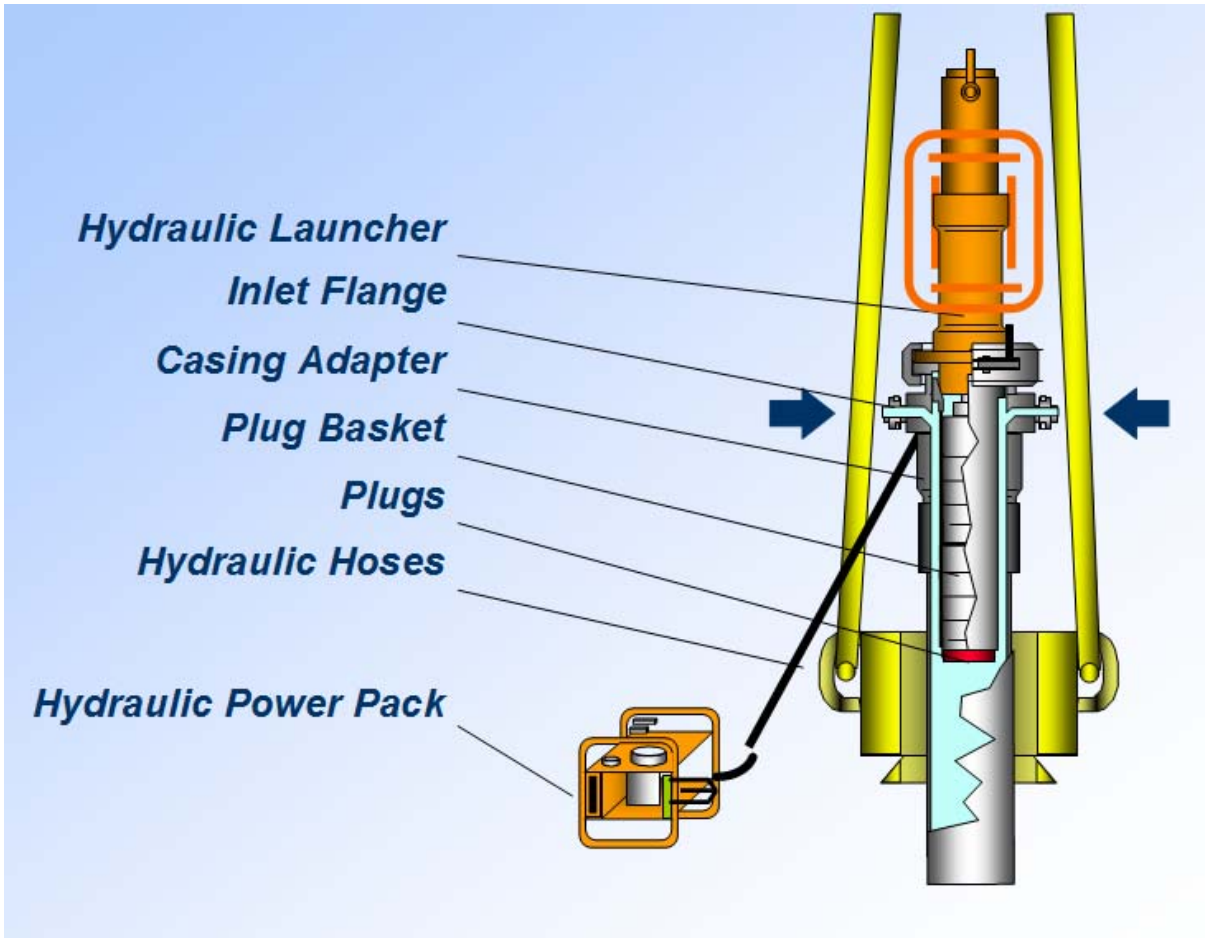


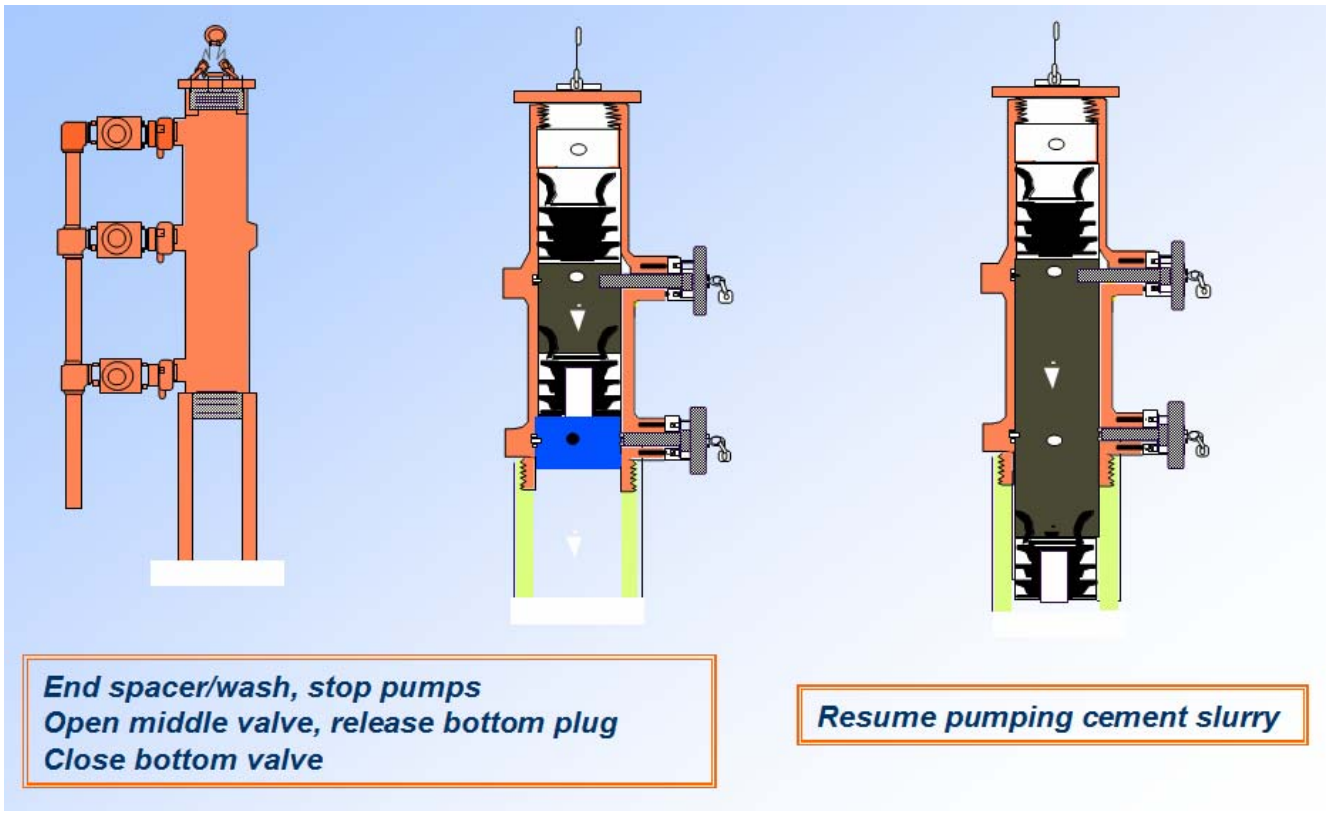
24-Tooth Non-Rotating Five-Wiper Top Plugs

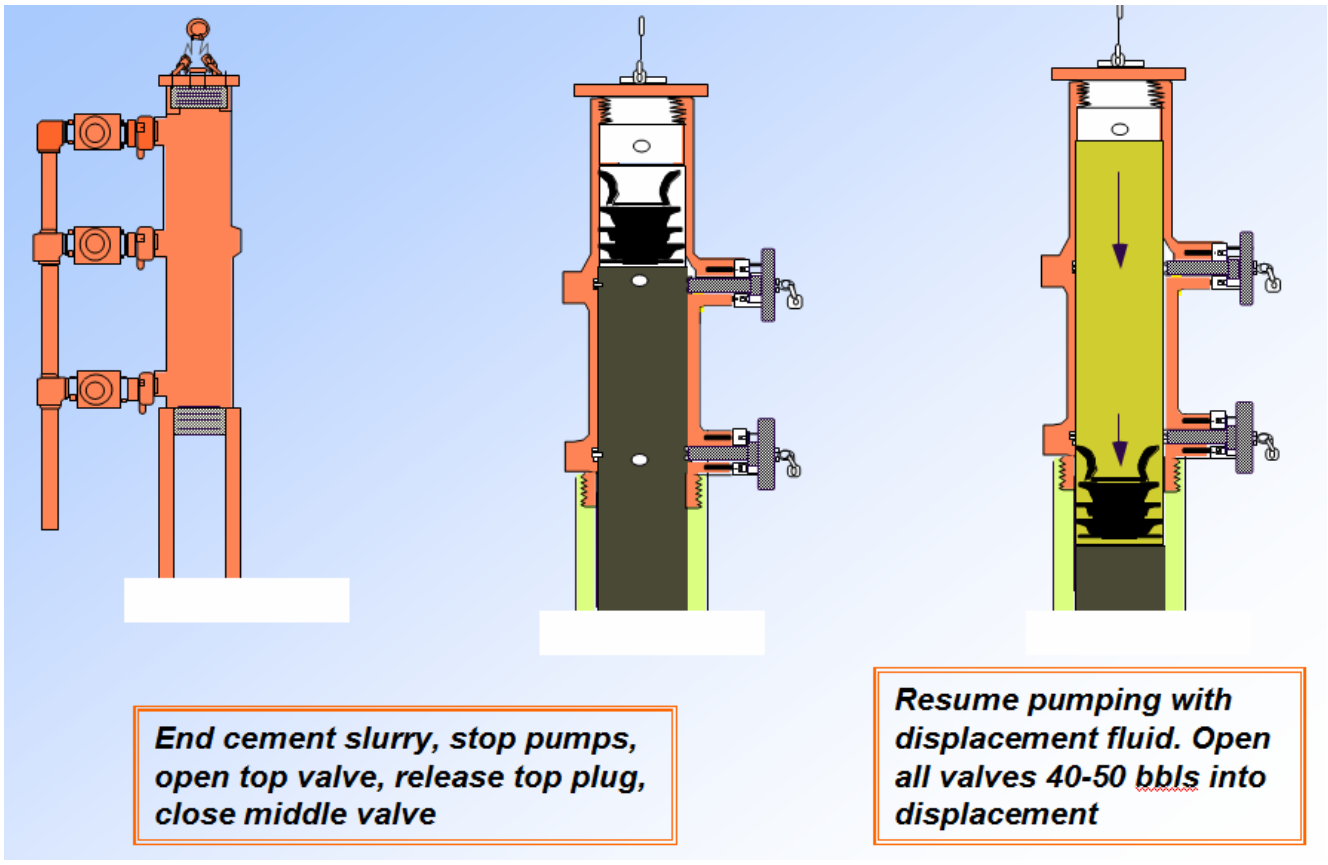


24-Tooth Non-Rotating Five-Wiper Bottom Plugs


Single Plug Cement Head
Double Plug Cement Head


Hydraulic Launcher
Inlet Flange
Casing Adapter
Plug Basket
Plugs
Hydraulic Hoses
Hydraulic Power Pack

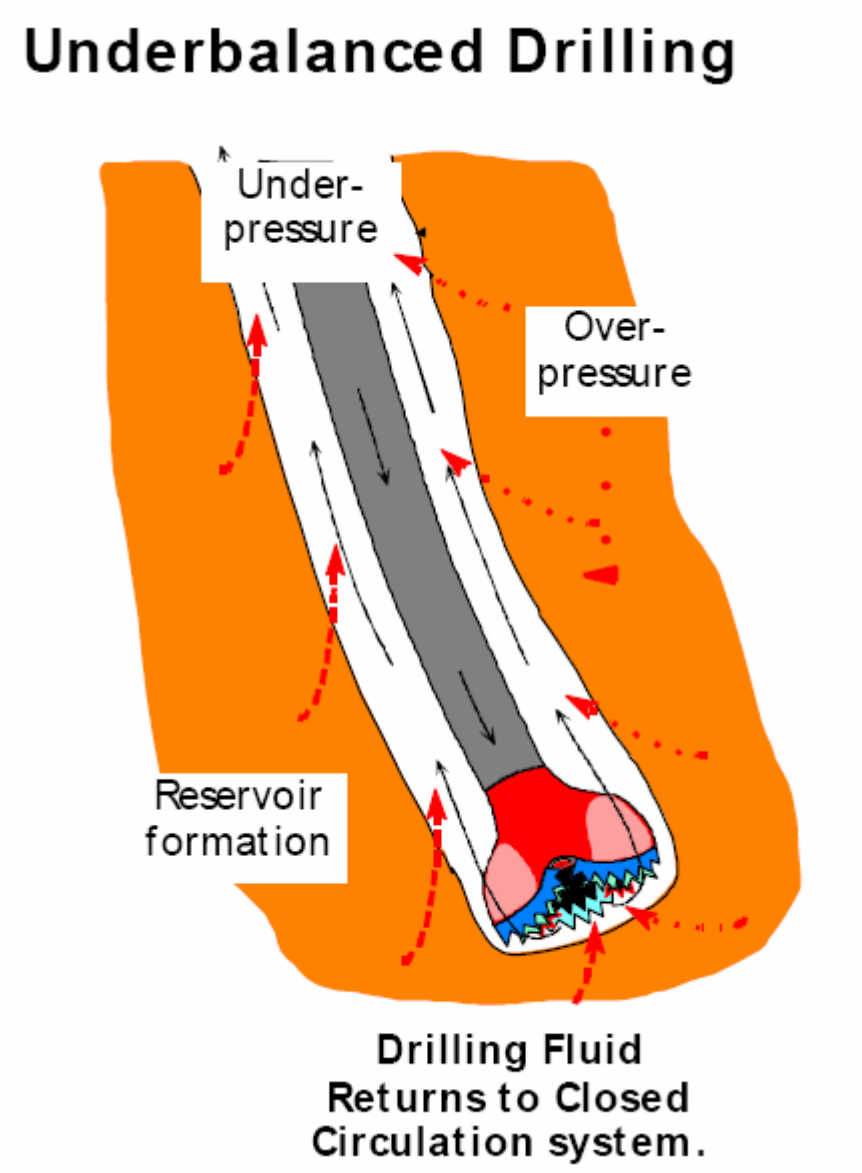

End spacer/wash, stop pumps
Open middle valve, release bottom plug
Close bottom valve
Resume pumping cement slurry


End cement slurry, stop pumps, open top valve, release top plug, close middle valve
Resume pumping with displacement fluid. Open all valves 40-50 bbls into displacement

Under-balanced Drilling (UBD)

زمانی که فشارسیال حفاری در ته چاه که معادل فشار هیدرواستاتیک ناشی از ستون سیال حفاری بعلاوه فشارپمپ و افت فشار ناشی از اصطکاک است کمتر از فشار موثر منافذ سازند نزدیک مته باشد.

$$P_{res} > P_{hp} + P_{pump} - \Delta P_{Friction}$$



سیالات مورد استفاده در حفاری فروتعادلی

۱- هوا

۲- گاز طبیعی

۳- نیتروژن

۴- Mist

۵- Foam

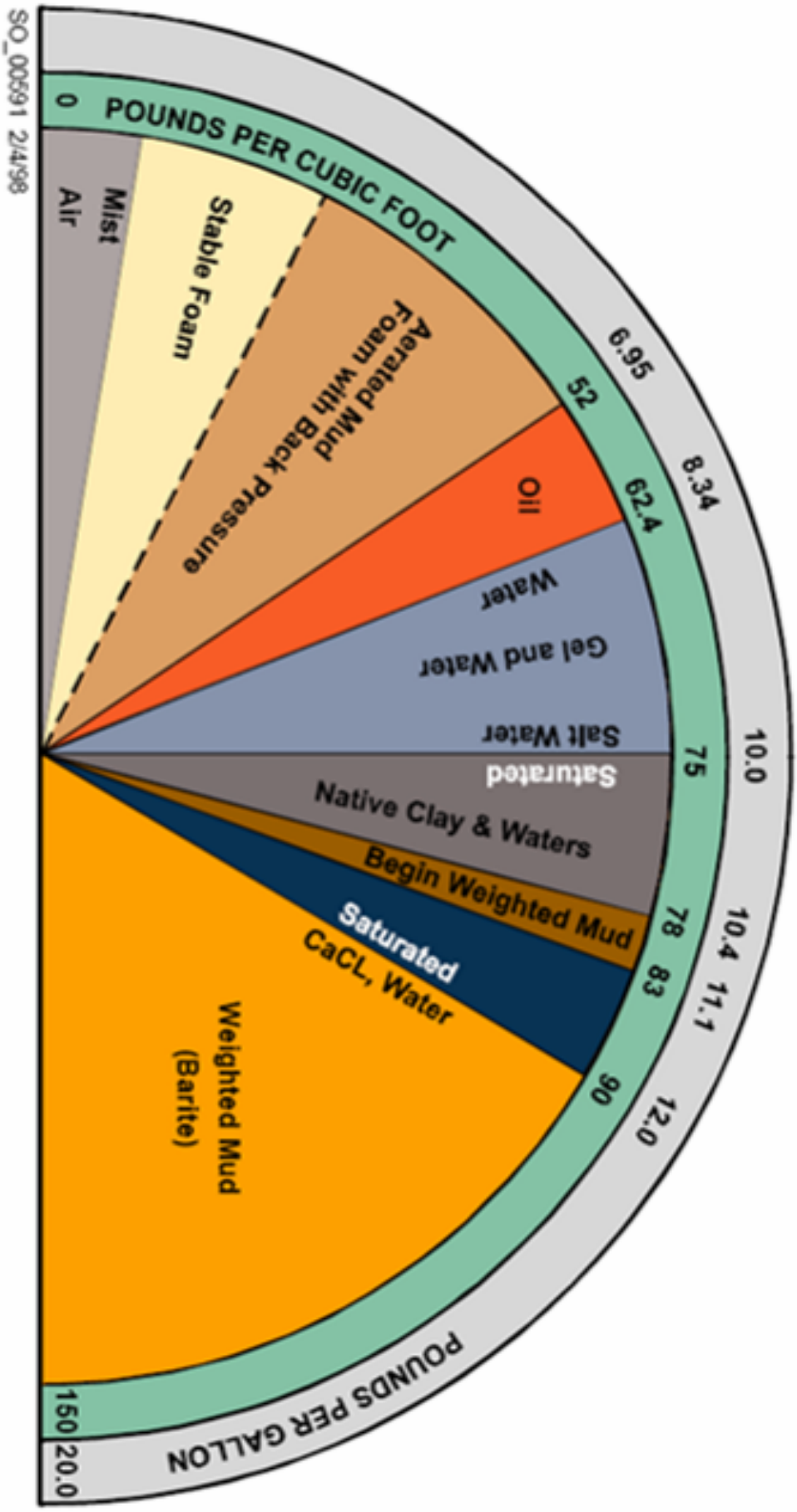
۶- گاز حاصل از احتراق (Flue Gas)

۷- گل هوازده

۸- سیال مخزن

مزایای حفاری فروتعادلی

- افزایش دور مته و سرعت حفاری بیشتر
- کاهش آسیب به سازند
- کاهش خطرات چسبندگی و گیر افتادن ابزارهای حفاری
- کاهش مشکلات هرزروی گل
- نیاز به وزن کم روی مته
- افزایش عمر مته
- تولید سریع و توانایی تولید نفت و انجام آزمایشات جریانی حین حفاری
- عدم نیاز یا نیاز کمتر به اسید کاری


SO_00591 2/4/98
0
POUNDS PER CUBIC FOOT
Mist
Air
Stable Foam
Aerated Mud
Foam with Back Pressure
Oil
Water
Gel and Water
Salt Water
Saturated
Native Clay & Waters
Begin Weighted Mud
Saturated
CaCL, Water
Weighted Mud
(Barite)
52
62.4
75
78
83
90
150
6.95
8.34
10.0
10.4
11.1
12.0
20.0
POUNDS PER GALLON