

پارامترهای مؤثر در طراحی چاه‌های افقی

◀ مهدی نامجویان^۱ - بیژن ماهباز^۲

چکیده:

طرح چاه باید تمام برنامه‌های عملیاتی را شامل شود، در نتیجه تشخیص این موضوع که در کجا مشکلات و نگرانیهای اکتشاف، حفاری، تکمیل، تجهیز و تولید شروع و خاتمه می‌یابد، دشوار است. طراحی برنامه چاه‌های نفت و گاز جهت حفاری و رسیدن به هدف از قبل تعیین شده (رسیدن به مخزن مورد نظر) یکی از مهمترین پارامترهای تأثیرگذار در برآورد اقتصادی هر چاه محسوب می‌شود. پارامترهای مختلفی در طراحی چاه نقش تعیین‌کننده دارند. در این مقاله سعی شده است تا پارامترهای مهم و مؤثر در طراحی چاه‌های افقی بطور مختصر شرح داده شوند.

کلمات کلیدی:

موقعیت چاه، هندسه چاه، طول چاه، شکل چاه، تکمیل چاه، هزینه چاه و ارزیابی نیازمندیها.

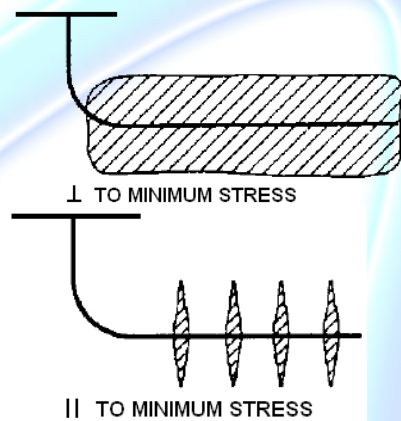
مقدمه

هر چاه شرایط ویژه و منحصر به فردی دارد، برقراری تعادل بین این شرایط به موقعیت مکانی محل چاه وابسته است، لذا تیم طراحی چاه باید از ویژگیها و موقعیت محلی میدان مورد نظر شناخت کامل داشته باشد. زمانی که یک چاه افقی حفر می‌شود (بر خلاف چاههای قائم معمولی)، قابلیت اصلاح طرح چاه وجود دارد. سیمانکاری، تحریک یا sidetracking چاههای افقی غالباً پر هزینه است و تیم طراحی با در نظر گرفتن نیازمندیهای چاه در بلندمدت باید قابلیت بالابری مصنوعی (artificial lift)، سرویسکاری و Workover را برای چاه افقی طراحی کند.

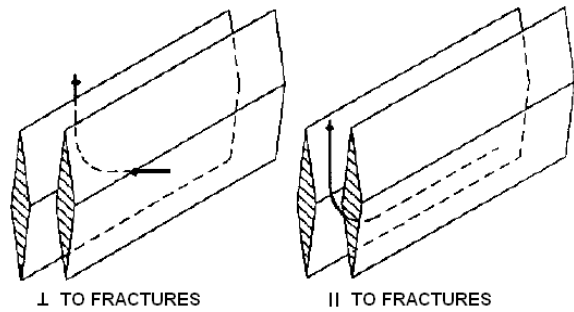
در طراحی چاه افقی موارد زیر باید رعایت شود:

- طراحی انجام گرفته باید در مقابل مسیرهای برنامه‌ریزی نشده و تغییرات مخزن انعطاف پذیر باشد؛
 - استراتژی اهداف تولید را طبق تواناییهای حفاری و عملیات تکمیل در نظر بگیرد؛
 - در تیم طراحی از افرادی که با منطقه آشنایی کامل دارند استفاده شود؛
 - محدودیتهای حفاری، تکمیل، زمین‌شناسی و تولید مد نظر قرار گرفته و بین آنها تعادل برقرار شود.
- طرح چاه باید تمام برنامه‌های عملیاتی را شامل شود، در نتیجه تشخیص این‌که در کجا موضوعات و نگرانیهای اکتشاف،

شکل ۲- چاههای افقی در مخازن دارای شکست هیدرولیکی [۱]



شکل ۱- جهت گیری چاه افقی در مخزن دارای شکستگی طبیعی [۱]



داریم، چاههای افقی معمولاً در جهت حداقل تنش حفر می‌شوند، بطوری که شکستگیهای هیدرولیکی عمود بر چاه باشند (شکل ۲). موقعیت قرارگیری چاه در مخزن همگن معمولاً به وسیله مرزهای lease، کاربردهای آینده (EOR) یا به وسیله موقعیت چاههای قائم موجود تعیین می‌شود (شکل ۳).

در جایی که راندمان Flood sweep به وسیله روند طبیعی نفوذپذیری کنترل می‌شود، جهت آزمون می‌تواند کاربرد EOR در چاههای افقی را با مشکل روبرو کند. در این موارد ساختار مخزن می‌تواند جهت آزمون را محدود کرده و در نواحی خاصی با مشکلات پایداری شدید دیواره چاه مواجه شویم. جهت یابی چاه در شرایط تنش سنگی درجا تعیین می‌شود و اگر تردیدهایی در مورد جهت مناسب آزمون وجود داشته باشد، ریزشکستگیها، مغزه‌های جهت‌دار، ASR یا دیگر آزمایش‌ها در چاههای قائم آزمایشی انجام می‌شود.

شعاع زهکشی یا افت فشار در مخزن ممکن است نحوه بهینه قرارگیری در بیشتر میادین بالغ (mature fields) را مشخص کند. بررسی فشارها، تحلیل تاریخچه decline و تولید، می‌تواند هندسه زهکشی غیر عادی را مشخص کند و در این صورت موقعیت قرارگیری چاه می‌تواند تابعی از مرزهای حاشیه‌ای میدان باشد.

شکل (۴) نمای نقشه میدان انتخابی را نشان می‌دهد که نحوه قرارگیری بر اساس دو نکته زیر بیان شده است:

- ۱- زهکشی غیر عادی در چاه قائم؛
 - ۲- دسترسی مرزهای نامنظم میدان.
- در این موارد چاههای افقی به منظور افزایش راندمان، جایگزین چاههای قائم در منطقه می‌شوند.

حفاری، تکمیل، تجهیز و تولید شروع شده و خاتمه می‌یابد، دشوار است. در این مقاله سعی شده پارامترهای مهم و مؤثر در طراحی چاههای افقی شرح داده شود.

موقعیت چاه

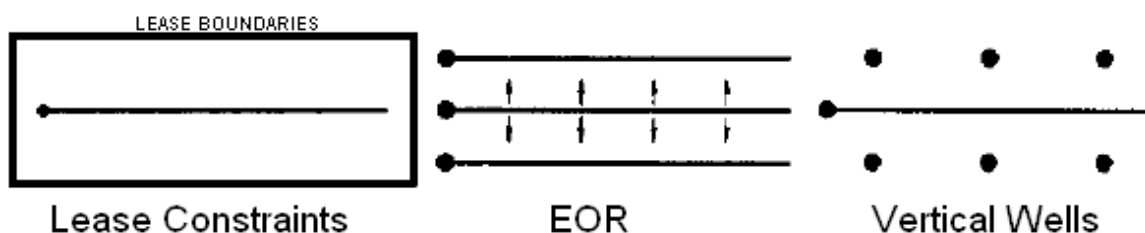
یک چالش در طراحی چاههای افقی، موقعیت قرارگیری چاه نسبت به مخزن و قرار دادن چاه درون مخزن است، دو نکته اساسی در موقعیت قرارگیری چاه افقی عبارت است از:

- توانایی زمین‌شناس و مهندس مخزن در تشخیص هدف (مخزن مورد نظر)؛
- توانایی گروه حفاری در کنترل و مونیتورینگ مسیر چاه در منطقه مورد نظر.

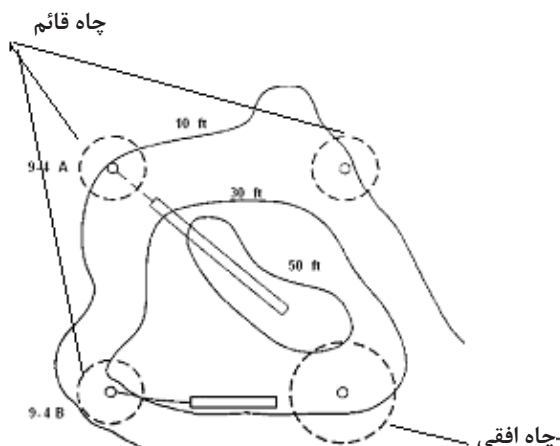
در بسیاری موارد مقرون به صرفه است که یک چاه آزمایشی قائم برای تعیین موقعیت سیالات مخزن، ساختار مخزن و دیگر پارامترهای مخزن حفر شود و در تمامی موارد محدودیت‌های مسیر قبل از حفاری چاه مد نظر قرار گیرد. در مورد تغییرات مخزن یا مشکلات موجود در مسیر حفاری که در چاه انحراف ایجاد می‌کند و باعث می‌گردد که چاه در خارج از منطقه PAY حفر شود، نقشه‌های احتمالی باید تهیه گردد. در حفاری چاههای افقی در مخازنی که دارای شکستگیهای طبیعی هستند، چاههای افقی معمولاً عمود بر جهت شکستگیهای قائم حفر می‌شوند و در مخازنی که شکستگیهای طبیعی به عنوان مجرای برای مخروطی شدن آب عمل می‌کنند چاههای افقی غالباً موازی با شکستگیهای طبیعی به منظور بهینه کردن زهکشی نفت خام و گاز طبیعی، حفر می‌شوند (شکل ۱).

درموردی که در مخزن شکست هیدرولیکی (hydraulic fracturing)

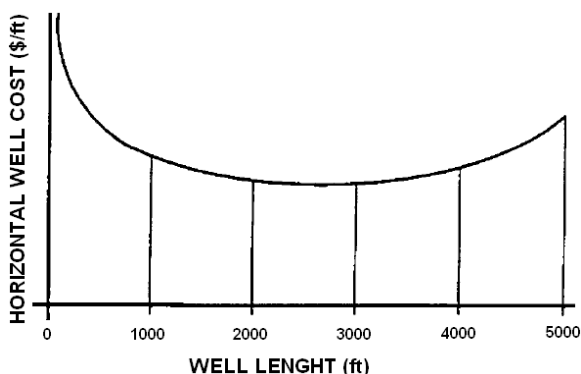
شکل ۳- جهت گیری چاه افقی در مخازن همگن [۱]



شکل ۴- شعاع زهکشی در چاه افقی نسبت به چاه قائم [۱]



شکل ۵- مقدار هزینه چاه‌های افقی در مقابل طول چاه [۱]



• تمیز کاری کافی برای راندن ابزار آلات لازم، تمیز کاری جهت نصب لوازم تکمیل، تحریک، تولید و workover مورد نیاز؛
• قطر مناسب برای تولید اقتصادی که باعث پیش بینی افت فشار و کاهش تولید سیالات و جامدات می‌شود.

برای راندن یک رشته لوله جداری اضافی در چاه یا مواجه با مشکلات غیر منتظره (ورود آب یا گاز)، باید چاه افقی با قطر بزرگتری طراحی شود که قطر چاه می‌تواند با تکرار حفاری و سپس تکمیل و مطابقت با شرایط چاه نسبت به چاه اول ارزیابی گردد در بعضی موارد تغییر طراحی چاه‌های عمودی استاندارد به انواع چاه‌های افقی با توجه به مشکلات و افزایش هزینه‌ها تغییر کرده و طراحی قطر چاه افقی از روی قطر چاه قائم برای ورود مجدد به چاه افقی محدودیت می‌کند این عمل می‌تواند طول چاه، ارزیابی، تکمیل و انتخاب‌های عملیات تولید را محدود نماید. این نتیجه باید در ابتدای مرحله طراحی چاه در نظر گرفته شود.

طول چاه

طول چاه افقی معمولاً توسط اندازه lease، قابلیت سیستم حفاری، ریسک و هزینه کنترل می‌شود. در حالت کلی، قدرت تولید یک چاه افقی باید با طول چاه افزایش یابد. بنابراین هر چه طول چاه بیشتر باشد، تولید افزون‌تری خواهد داشت ولی به علت افزایش مشکلات لایروبی و خم شدن لوله‌جدار با افزایش طول چاه، هزینه چاه افقی از یک مینیمم می‌گذرد (شکل ۵).
با افزایش طول چاه، ریسک از دست رفتن چاه نیز بالا می‌رود و در بسیاری موارد به علت تغییرات غیرقابل پیش‌بینی مخزن یا برخورد به شکستگی‌های بزرگ و سرعت‌های بالای تولید، چاه‌های افقی کوتاه‌تری نسبت به طول طراحی شده اولیه حفر می‌شود.

شکل چاه

یک جنبه منحصر به فرد از تکنولوژی حفاری افقی، قابلیت جانمایی بهینه چاه در درون مخزن برای کم کردن تأثیر تنش‌های افقی و جانبی در مخزن است که این موضوع نیاز به شناخت خصوصیات زمین‌شناسی و مخزن دارد. شکل چاه یک فاکتور مهم دیگر در طراحی چاه‌های افقی است و باید با بالابری مصنوعی، تکمیل و افزایش بازدهی نفت (EOR) مطابقت داشته باشد. شکل‌های پیچیده چاه افقی ریسک و هزینه را زیاد

در مورد موقعیت قرارگیری چاه افقی در شرایط ویژه در منطقه، توضیحات زیر می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

• عموماً جهت آزمایش آسان‌تر از شیب کنترل شده و دقت اندازه‌گیری آزمایش $\pm 5^\circ$ تا $\pm 10^\circ$ است. انحراف چاه در نقطه Kick off باید دقیقاً اندازه‌گیری شود، زیرا خطای انحراف در نقطه Kick off می‌تواند تصحیحات مسیر اصلی را در همان لحظه یا بلافاصله بعد از عملیات انحراف از نقطه Kick off را از بین ببرد؛

در نقطه‌ای که چاه قرار است منحرف گردد بهتر است که حداکثر زاویه انحراف در نظر گرفته شود (زیرا بعد از نقطه انحراف، کاهش زاویه آسان‌تر از افزایش زاویه انحراف انجام می‌شود و ریسک حفاری را کمتر می‌کند).

• تصحیح زاویه انحراف در چاه‌های افقی باید با توجه به تصحیح زاویه انحراف در چاه‌هایی که از بین رفته‌اند، انجام شود؛

• لایه‌بندی زیاد یا سازندهای دارای شکستگی در چاه‌های افقی باعث ایجاد مشکل در کنترل جهت می‌شوند.

• تغییر سرته‌ها یا طراحی BHA (Bottom Hole Assembly) هیدرولیک یا روش‌های حفاری در سرعت BHA تأثیر زیادی دارند؛

• در توسعه چاه‌های افقی جهت گیری حفاری به دلیل افزایش کشش در چاه خیلی مشکل است.

• سطح مشترک بین لایه‌های زمین‌شناسی و سطح حفاری شده در چاه‌های افقی درجه اهمیت بالایی دارد.

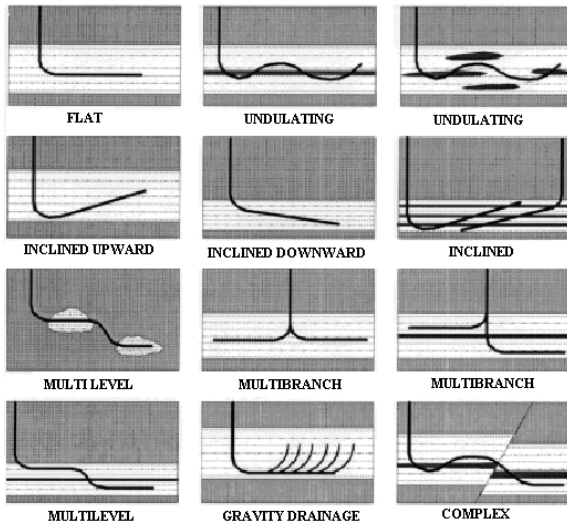
• اگر مسیر چاه درست طراحی شده باشد (از قبیل: تغییرات صحیح آزمایش در دامنه محدوده‌ها، افزایش یا کاهش صحیح زاویه انحراف چاه در دسترسی به تولید بیشتر) به راحتی می‌توان این تصحیحات را در نزدیکترین چاه افقی مورد استفاده قرار داد.

هندسه چاه

قطر، طول و شکل چاه در داخل مخزن تأثیر مهمی بر هزینه و موفقیت کل چاه دارد. در نتیجه هندسه چاه بخش مهمی از طراحی در چاه‌های افقی است. تعیین قطر چاه در بخش افقی اساسی‌ترین اصل می‌باشد که باید با توجه به موارد زیر تعیین شود:

• استفاده از یک مجموعه حفاری، مانده یابی و برنامه‌های هیدرولیکی قابل کنترل برای رسیدن به اهداف و پایداری چاه؛

شکل ۶- شکل چاه‌های افقی [۱]



فاکتورهایی که در سرویس‌کاری و Workover در چاه‌های افقی باید در نظر گرفته شود شامل موارد زیر است:

۱- نیازمندی‌های تولید و نصب تجهیزات تولید (مانند طراحی هیدرولیک، تعیین مکان نصب پکرها، تکمیل و packer fluid)؛

۲- نیازمندی‌های سرویس‌کاری چاه؛ بهترین منبع برای تشخیص نیازمندی‌های چاه افقی، بررسی رفتار در چاه‌های قائم موجود در منطقه است که با استفاده از آن می‌توان نیازمندی‌های چاه در منطقه را پیش‌بینی و در طراحی چاه اعمال کرد.

۳- طراحی artificial lift (مانند نوع، اندازه، موقعیت و توانایی سرویس دهی)؛

هنگامی که چاه‌های افقی دارای اندیس تولید (PI) بالا هستند، به artificial lift نیاز است، در این موارد از سیستم پمپ‌های معمولی در چاه‌های افقی استفاده می‌شود.

موارد زیر در طراحی artificial lift مؤثر هستند:

- میزان تولید سیال و خواص جریان؛
- نیازمندی‌های drawdown؛
- چگونگی نصب تجهیزات و مکان و موقعیت چاه که مهمترین عامل می‌باشد.

ارزیابی نیازمندی‌ها

در برنامه ارزیابی باید از تمام روش‌های جمع‌آوری اطلاعات و تفسیر داده‌ها استفاده شود. [۲] مانند:

- سنجش از راه دور (شامل لرزه، مغناطیس حرارتی، آنالیز خاک و الکتروسیته القایی)؛
- ارزیابی اولیه چاه یا offset (شامل مغزه‌گیری، تهیه مقاطع، اندازه‌گیری فشار و آزمایش ساقه حفاری)؛
- ارزیابی چاه آزمایشی؛
- زمین‌شناسی چاه (شامل کنده‌های حفاری و نمودارگیری گل حفاری)؛

- استفاده از روش‌های MWD، LWD و Wireline E-log؛
 - نمودارگیری تولید (شامل دما، صوتی و Spinners).
- ارزیابی نیازمندی‌ها می‌بایست توسط زمین‌شناسان، مهندسان و طراحان چاه که کاملاً به مسائل حفاری و تجهیزات آن آشنا

می‌کند.

شکل‌های چاه‌های افقی عبارتند از: صاف (Flat wells)، موجی (Undulating wells)، انحرافی رو به بالا (Upward inclined wells)، انحرافی رو به پایین (Downward inclined wells)، چند سطحی (Multilevel wells)، چند شاخه (Multibranch wells)، زهکشی ثقلی (Gravity drainage wells) و مختلط (Complex well) (شکل ۶).

تکمیل چاه افقی

در استفاده از آستری‌های سیمانی یا دیگر عملیات تکمیل پرهزینه، هزینه تکمیل می‌تواند فاکتوری مهم در تعیین طول اقتصادی و بهینه یک چاه افقی باشد در صورتی که با استفاده از آستری‌های شکافدار (slotted liner) یا چاه باز (open hole)، هزینه‌های تکمیل غالباً اثر کمتری در کل هزینه چاه دارد. نحوه تکمیل چاه‌های افقی یکی از عوامل مهم دیگر در طراحی چاه‌های افقی است که شامل: مراحل چاه باز، لاینرها، لوله‌های جداری، سوراخ کردن و (gravel-packing) می‌باشد (شکل ۷).

انتخاب نحوه تکمیل در چاه‌های افقی به شرایط خاص منطقه و موقعیت چاه بستگی دارد که شامل موارد زیر است:

- ۱- هزینه ۲- نوع تکمیل چاه ۳- تولید سیالات ۴- ظرفیت و توانایی تأسیسات ۵- شرایط لازم برای تحریک ۶- شرایط لازم برای عملیات تولید؛ ۷- عملیات سرویس‌کاری و workover.
- وقتی اطلاعات عوامل تأثیر گذار در نحوه تکمیل چاه حداقل باشد، استراتژی تکمیل چاه برای تیم طراحی مشکل و پیچیده می‌شود؛ در این شرایط تیم طراحی باید موارد زیر را رعایت کند:

- ۱- شناخت اهداف چاه؛
- ۲- در نظر گرفتن نیازمندی‌های لازم در عملیات تولید؛
- ۳- در نظر گرفتن تمام شرایط خاص منطقه و موقعیت چاه.
- ۴- استفاده از ساده‌ترین نحوه تکمیل در حد امکان.

هزینه

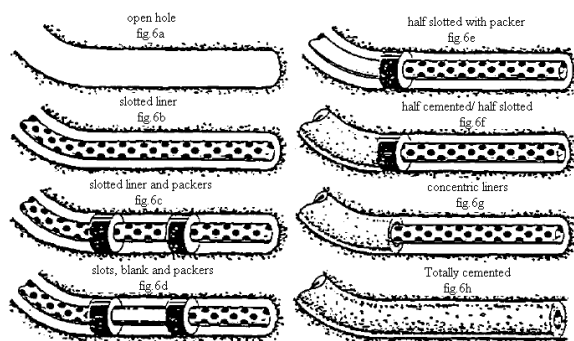
تفاوت چاه‌های افقی و قائم در هزینه زیاد تکمیل در چاه‌های افقی به چاه‌های قائم است. هزینه حفاری در چاه‌های افقی می‌تواند بیشتر از هزینه‌های دیگر در چاه باشد (مانند lease، حفاری، تجهیزات و غیره) که این موضوع کمتر در چاه‌های قائم دیده می‌شود.

استراتژی حفاری و تکمیل در چاه‌های افقی باید کمترین آسیب را به سازند داشته و از ساده‌ترین نحوه تکمیل در چاه استفاده شود. ابتدا باید تیم طراحی با ارزانتترین امکانات موجود (مانند چاه باز یا لوله‌های جداری شکافدار) حفاری را شروع کند و با پیشرفت حفاری در مواقع ضروری، روش‌های پیچیده تکمیل را نیز به کار گیرد.

سرویس‌کاری و Workover

در چاه‌های افقی برای سرویس‌کاری و Workover مدت زمان طولانی‌تری لازم است که باید در طراحی چاه رعایت شود. اغلب پیش‌بینی و رعایت این موضوع سرویس‌کاری و (Workover) یکی دیگر از فاکتورهای مشکل در طراحی چاه‌های افقی است.

شکل ۷- نمونه‌ای از نحوه تکمیل در چاه‌های افقی [۱]



علاوه بر موارد ذکر شده، در حفاری‌های افقی برای رسیدن به سرعت نفوذ بالا به نمودارگیری از چاه و زمین‌شناس سر چاه نیز، لازم است.

هستند، انجام گیرد. به دلیل پیچیدگی و گران بودن بسیاری از تجهیزات تخمین و حفر چاه‌های افقی، تیم طراح باید برای هر شرایط، بهترین گزینه‌ها را تشخیص دهد.

۱. ارزیابی خرده‌های حفاری

مطالعه خرده‌های حفاری در چاه‌های افقی می‌تواند در اثر عوامل زیر، پیچیده باشد:

● در مقاطع افقی از چاه، به دلیل تفاوت جریان سیال حفاری، رسوب خرده‌های حفاری و یا اختلاط آن، زمان تأخیر افزایش یابد.

● مرز دیواره چاه هنگام حفاری با زاویه زیاد در سازند افقی، می‌تواند به وسیله گل آلوده شود و در نتیجه خرده‌های حفاری نیز خصوصیات گل را به خود بگیرند.

- هندسه چاه و موقعیت منطقه مورد نظر؛
- انتخاب نوع تکمیل و نصب تجهیزات تکمیل؛
- ارزیابی نیازمندیها؛
- تولید، نیازمندیهای سرویسکاری و Workover؛
- توانایی پیش‌بینی تیم حفاری؛
- دسترسی به تجربه‌های منطقه؛
- دسترسی به تجهیزات.

۲. تفسیر نمودار

نتیجه‌گیری

چاه‌های افقی به زمین‌شناس و مهندس مخزن اجازه می‌دهد که دانش خود را در مورد زمین‌شناسی مخزن و مکانیسم تولید در منطقه، بهبود و ارتقا دهند. همچنین از طریق این تکنولوژی می‌توان به مخازنی که در گذشته دسترسی به آن امکان پذیر نبود، دست یافت و حتی می‌توان تولید مخزن را به چند برابر حالت عادی رساند. در حفاری‌های دریایی، معمولاً جایجایی سکوی حفاری مشکل است، با استفاده از حفاری افقی می‌توان بعد از نصب سکو در یک نقطه به چندین هدف دست یافت.

۲. تفسیر نمودار

امروزه نمودارگیری در حین حفاری، عملیاتی متعارف شده و با وجود گرانی مشکلاتی نیز به همراه دارد. تفسیر نمودار با توجه به خرده‌های حفاری، انحراف دستگاه و عدم تقارن چاه، می‌تواند با خطا همراه باشد. گل حفاری و تغییرات لیتولوژی در قرائت نمودار می‌تواند خطا ایجاد کند.

۳. نمودارگیری از گل

نمودارگیری از گل و گاز می‌تواند در شناسایی محل تماس گل در طول حفاری افقی مؤثر باشد.

۴. ارزیابی DST

آنالیز DST (Drill Stem Test) در حفاری افقی نسبت به حفاری‌های قائم در سازندهای ثابت، پیچیده‌تر می‌باشد. تکنولوژی تعیین و تفسیر جریان سیال و فشار درون سازندی در حفاری‌های افقی بسیار نو و تازه، اما به سرعت در حال پیشرفت است.

۵. نمودارهای تولیدی

نمودارهای تولیدی در حفاری‌های افقی گران و با توجه به عواملی مثل چگالی سیال، جدایش سیال، جریان زیر لوله و ایجاد جریان غیر نیوتونی، پیچیده است. علاوه بر نمودارگیری، طراحی این عملیات نیز بسیار پیچیده می‌باشد.

۶. نیازمندی‌های شخصی

علاوه بر پارامترهای مهم که در این مقاله در طراحی چاه‌های افقی مؤثر هستند، عواملی دیگری نظیر: انتخاب نوع سرمته‌ها، طراحی لوله‌های جداری و لاینرها، نوع سیمانکاری چاه و ... در طراحی یک چاه افقی تأثیرگذار هستند.

منابع

1. Advanced exploration technology manual, Maurer engineering Inc, January 2000.
2. Spreux, A.M., Louis, A., and Rocca, M., 1988: "Logging Horizontal Wells," Petroleum Engineer International, October.