Archive of SID

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: اهم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

بررسیتست‌های نمونه‌گیری سیالدرون‌چاهی (RFT, MDT, XPT) و تحلیل نتایج آنها در یکی از مخازن جنوب ایران

محمد شیدایی‌مهر[۱]، سعید دولتی[۲]، محسن پاسدار[۳]
شرکت نفت و گاز پارس، مدیریت تولید و عملیات
m.sheydaeemehr@yahoo.com

چکیده

در این مقاله مهم‌ترین ابزارهای نمونه‌گیری درون‌چاهی معرفی شده و نحوهٔ کار و تفسیر نتایج آنها در یکی از مخازن گازی جنوب ایران مورد بررسی قرار می‌گیرد.نمونه‌گیری درون‌چاهی معمولاً در زمان حفاری چاه‌های اکتشافی و توصیفی در میادین در حال توسعه انجام می‌شود. یکی از روش‌های رایج در نمونه‌گیری فرستادن ابزارهای وایرلاین به درون چاه است.مهم‌ترین ابزارهایی که امروزه در صنعت نفت برای نمونه‌گیری سیال درون‌چاهی استفاده می‌شوند RFT، MDT و XPT هستند. این ابزارها که در واقع هر یک از آنها نوع پیشرفتهٔ دیگری است، شامل ادواتی هستند که ابتدا به دیوارهٔ چاه می‌چسبند، سپس یک میلهٔ کاوشگر (Probe) تا اندازهٔ محدودی در سازند فرو می‌رود و به مانند یک سرنگ از یک نقطهٔ مشخص، از سیال مخزن نمونه‌گیری می‌کند. این ابزارها علاوه بر نمونه‌گیری از سیال مخزن، اطلاعاتی را در مورد فشار و دمای سازند، نفوذپذیری سنگ مخزن و سطوح تماس سیالات در مخزن فراهم می‌آورند.نتایج نشان می‌دهند که از طریق تست‌های نمونه‌گیری درون‌چاهی علاوه بر به‌دست آوردن نمونه‌های سیال مخزن،می‌توان گرادیان فشار، چگالی سیالات، عمق احتمالی سطح تماس سیالات و نفوذپذیری سنگ مخزن را تخمین زد. همچنین با توجه به هندسهٔ کروی جریان در اطراف نقطهٔ نمونه‌گیری، داده‌های فشار-زمان تست با معادلات و روش‌های معمول که مخصوص جریان شعاعی هستند، قابل تفسیر نیستند.

واژه‌های کلیدی:نمونه‌گیری درون‌چاهی، وایرلاین، چاه‌آزمایی، سطوح تماس سیالات.

---

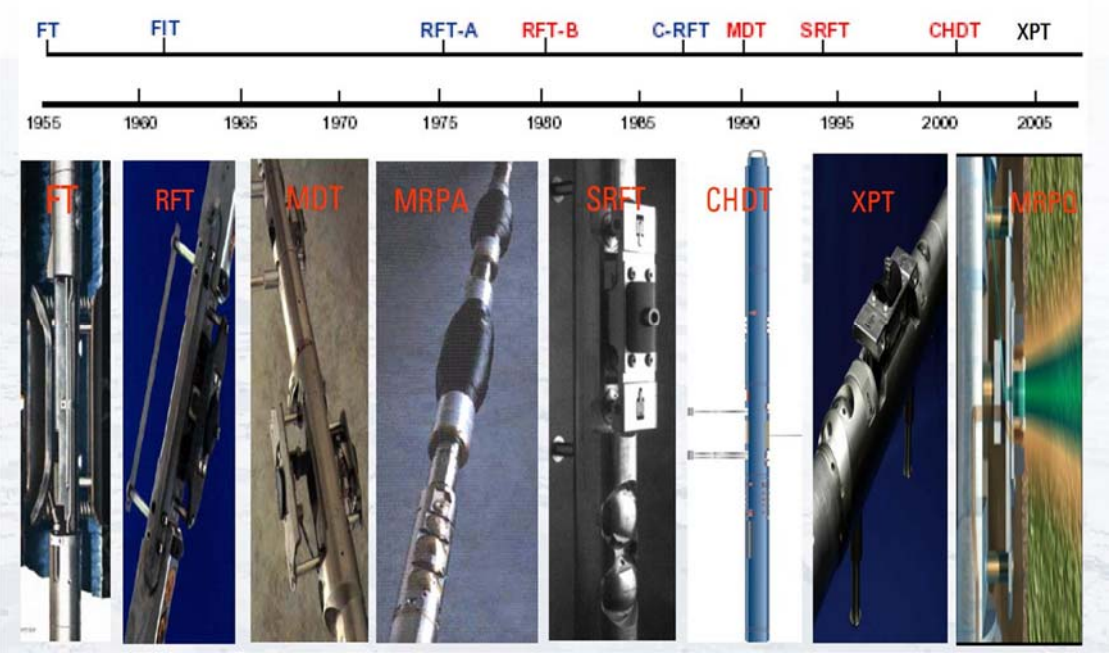
[۱]شرکت نفت و گاز پارس
[۲]دانشجوی دکترای مهندسی نفت- انستیتو مهندسی نفت دانشگاه تهران
[۳]دانشجویدکترای مهندسی نفت- پژوهشگاه صن تنفت

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

دسترسی به نمونه‌های شاخص[۱] سیال مخزن، از ملزومات فراهم آوردن داده‌های با کیفیت برای مطالعه و بررسی یک مخزن هیدروکربوری است. بنابراین برای شناسایی رفتار جریان و خواص سیال یک مخزن نمونه‌گیری دقیق اهمیت فراوانی دارد. نمونه‌های سیال مخزن گرفته شده از ابزارهای تست وایرلاین و نمونه‌گیری به آزمایشگاه فرستاده می‌شوند و در آنجا اطلاعات مهمی مانند ترکیب اجزا سیال، خواص فیزیکی و حجم نسبی نفت، گاز، آب و فیلتراسیون گل از نمونه سیال کسب می‌شود.مهم‌ترین فاکتور در موفق به‌دست آوردن یک نمونهٔ شاخص، تک‌فازی نگهداشتن سیال در طول نمونه‌گیری و انتقال آن است. این کار را می‌توان با کنترل دقیق و حفظ فشار نمونه‌گیری تا بیشترین حد ممکن نزدیک به شرایط مخزن و حذف فرآیند انتقال و جابه‌جایی طویل و نادرست نمونه در سطح، انجام داد. تاکنون ادوات و دستورالعمل‌های متعددی با هدف انجام نمونه‌گیری با بالاترین کیفیت ممکن، توسعه یافته‌اند. اولین نسل ابزارهای نمونه‌گیری درون‌چاهی ابزار FT[۲] بوده است. این ابزار فقط برای نمونه‌گیری از سیال سازند کاربرد داشته و مشکلات زیادی نیز داشته است. در ادامه نسل‌های بعدی این ابزارها مانند ابزار RFT قابلیت ثبت فشار را داشتند و مشکلات ابزارهای قبلی رفته‌رفته رفع شد. ابزارهای جدیدتر مانند MDT، XPT دارای دقت بالاتری در اندازه‌گیری فشار و قابلیت نمونه‌گیری با کیفیت بهتری هستند. در شکل ۱روند ارتقا ابزارهای تست وایرلاین و نمونه‌گیری در گذر زمان مشاهده می‌شود.



شکل۱: تاریخچه ابزارهای تست‌های درون چاهی ونمونه گیری سیال سازند

طیف وسیعی از ابزارهای تست سیال سازند امروزه در دسترس هستند. چند نمونه از اینابزارها عبارتند از:

- Repeat Formation Tester (RFT)
- Repeat Formation Sampler (RFS)

---

[۱] Representative
[۲] Formation Tester

www.SID.ir

Archive of SID

- Formation Multi-Tester (FMT)
- Modular Dynamics Formation Tester (MDT)
- Express Pressure Test (XPT)

این ابزارها همگی قابلیت گرفتن نمونه‌های مختلفی از سیال سازند را دارا هستند و همزمان فشار را نیز اندازه‌گیری کنند. این ابزارها می‌توانند نمونه‌ها را در فشارهای بالا (فشار مخزن) نگه دارند و این مسألهدر انجام مطالعات PVT بر روی سیال بسیار حائز اهمیت و مفید می‌باشد.

در گذشته ابزارها مشکلات فراوانی داشتند که دقت پایین اندازه‌گیری فشار، مسدود کردن نامناسب، مخلوط کردن فیلتراسیون گل و سیال سازند، عدم‌کارایی در سازندهای سست[۱] وزمان زیاد بین راندن‌های مختلف از جملهمهم‌ترین آنها هستند.به عنوان نمونه به منظور بهبود دقت اندازه‌گیری‌ها در ابزارهای جدید معمولاً از چند فشارسنج به‌صورت ترکیبی CQG[۲] استفاده شده و بدین ترتیب دقت اندازه‌گیری‌ها بالا برده می‌شود.در واقع ابزارهای جدیدتر مشکلات بیان شده در بالا را تا حد امکان کاهش می‌دهند. در این مقاله به بررسی نحوۀ کار سه نمونه از مهم‌ترین ابزارهای تست وایر لاین و نمونه‌گیری شامل RFT، MDT و XPTپرداخته می‌شود و همزمان نتایج تست‌های نمونه‌گیری انجام شده در یکی از مخازن گازی جنوب ایران بررسی می‌شود.

۲- ابزار RFT

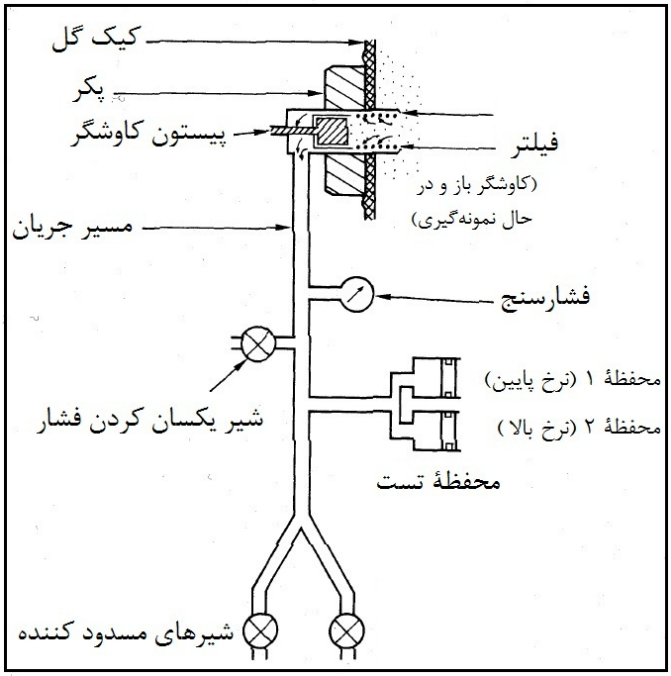
ابزار RFTاز جمله معروف‌ترین و قدیمی‌ترین ابزارهای تست درون‌چاهی است و به‌وسیله وایرلاین به منظور نمونه‌گیری از سیال و ثبت فشار سازند به داخل چاه رانده می‌شود. در شکل ۲ یک نمونه ابزار RFT مشاهده می‌شود. در شکل ۳ نیزشماتیک داخلی ابزار RFT نشان داده شده است.

[۱] Unconsolidated
[۲] Combine Quartz Gauge

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۲: یک نمونه ابزار RFT.



شکل ۳: ساختار داخلی ابزار [RFT۶].

۲-۱- نحوه انجام عملیات تست RFT

همانطور که گفته شد ابزار RFT با وایرلاین به داخل چاه رانده می‌شود. در حین پایین بردن ابزار،تعیین عمق دقیق بسیار حیاتی محسوب می‌شود. نحوهٔ محاسبه عمق نیز بدین صورت می‌باشد که یک حسگرγ-Ray به قسمت بالای ابزار متصل است که مقدار γ-Ray آن با نمودارهای γ-Ray قبلی که به‌عنوان نمودار مبنا شناخته می‌شوند، مقایسه شده و سپس نسبت به آن تصحیح[1]می‌شود. با این کار عمق دقیق به‌دست می‌آید و می‌توان ابزار را تا عمق دلخواه با دقت خوبی پایین برد.

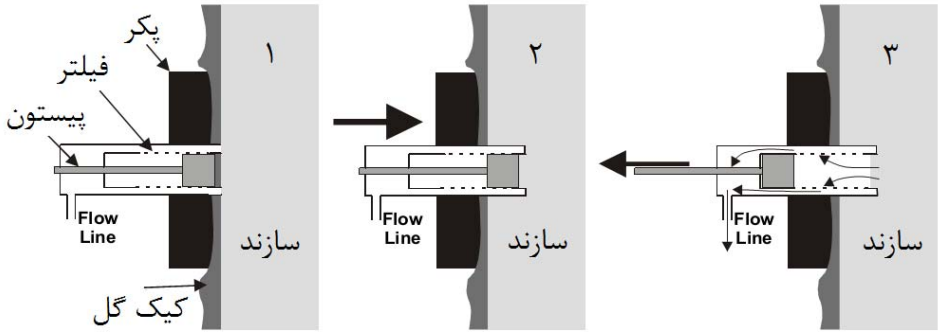
تا زمانی‌که ابزار به دیواره چاه متصل نشده است، فشار سنج فشار گل را نشان می‌دهد.پس از اینکه ابزار به عمق مورد نظر رسید، ابزار به‌وسیله یک جک به‌صورت ایمن به دیواره چاه متصل می‌شود. در طرف مقابل جک، قسمت اندازه‌گیری و نمونه-گیری وجود دارد (شکل ۳). این قسمت شامل یک مسدود کنندهٔ حلقوی یا پکری است که یک کاوشگر نمونه‌گیری را که در برگیرندهٔ یک پیستون است، احاطه کرده است.

پکر قسمت نمونه‌گیریرا از گل حفاری و کیک اطراف ابزار جدا و مسدود می‌کند(شکل۳-قسمت ۱). سپس کاوشگر از طریق کیک وارد سازند می‌شود(شکل۳-قسمت ۲). پس از آن پیستون باز شده و سیال در اثر اختلاف فشار از سازند وارد ابزار می‌شود (شکل۳-قسمت ۳).

[1]Correlate

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۴: ترتیب انجام عملیات [RFT۶].

این سیال از طریق شیر مشخصی که نرخ جریان را در ۶۰ سانتی متر مکعب بر دقیقه محدود می‌کند، وارد محفظه تستاولمی‌شود. همزمان فشار در حال اندازه گیری می‌باشد. پس از آنکه محفظه اول پر شد، شیر آن بسته می‌شود و محفظه تستدوم که نرخ ورودی آن بالاست با نرخ ۱۵۰ سانتی متر مکعب بر دقیقه پر می‌شود. در حین این عملیات هم فشار همواره در حال اندازه‌گیری می‌باشد.وقتی‌که محفظهٔ دوم پر می‌شود، سیال داخل مسیر جریان[۱]دارای فشاری برابر با فشار سازند است.

تا این مرحله فشار اندازه‌گیری شده است و دو نمونه سیال در محفظه‌های تست قرار دارد. هر چقدر فشار اندازه‌گیری شده بالتر باشد نشان دهندهٔ بهره‌دهی بهتر سیال در عمق تست شده است.

این نمونه ابزار RFT فقط دو محفظهٔ نمونه‌گیری اصلی دارد. بنابراین با توجه به محدودیت حجم، باید تصمیم گرفته شود در عمق‌های خاصی نمونه گرفته شود. زمانی‌که ابزار داخل چاه قرار دارد، اگر هدف نمونه‌گیری در یک عمق دیگر باشد محفظه تست به درون چاه تخلیه شده و جک از دیواره چاه جدا و فشار گل حفاری دوباره ثبت می‌شود و ابزار به منظور نمونه‌گیری به عمق دیگری برده می‌شود.نمونه‌های سیال گرفته شده حجمی بین ۵ تا ۲۰ لیتر دارند.

۲-۲- تفسیر داده‌های RFT

داده‌های فشار RFT بسیار ارزشمند هستند زیرا با استفاده از آنها می‌توان در مورد مکان FWL,GOC و OWCهم قضاوت کرد. همچنین می‌توان قضاوت کرد که آیا سیالات مخزن به‌صورت پیوسته هستند یا احتمالاً توسط یک لایه ناتراوا از هم جدا شده‌اند.

اگر اندازه‌گیری‌های مختلف از فشار وجود داشته باشد (بیشتر از ۴ نقطه) با رسم فشارهای به‌دست آمده بر حسب عمق (محور افقی فشار و محور عمودی عمق) می‌توان گرادیان فشار را حساب کرد. با داشتن گرادیان فشار چگالی سیالاتنیز قابل محاسبه می‌باشد. معادلهٔ فشار سیال بر حسب عمق به‌صورت زیر می‌باشد:

$$p = p_0 + \rho_{\text{fluid}} g(Z - Z_0) \qquad (۱)$$

که در آن p_0 فشار در عمق Z_0، p فشار در عمق Z، ρ_{fluid} چگالی سیال و g ثابت گرانش می‌باشد.

این معادله برای کلیهٔ سیالات (گاز، نفت یا آب) دارای کاربرد می‌باشد با این شرط که سیال مورد نظر در آن بازه به‌صورت پیوسته باشد. از آنجایی که گرادیان فشار به‌صورت تغییر فشار در واحد عمق تعریف می‌شود، می‌توان نوشت:

---

[۱]Flow Line

www.SID.ir

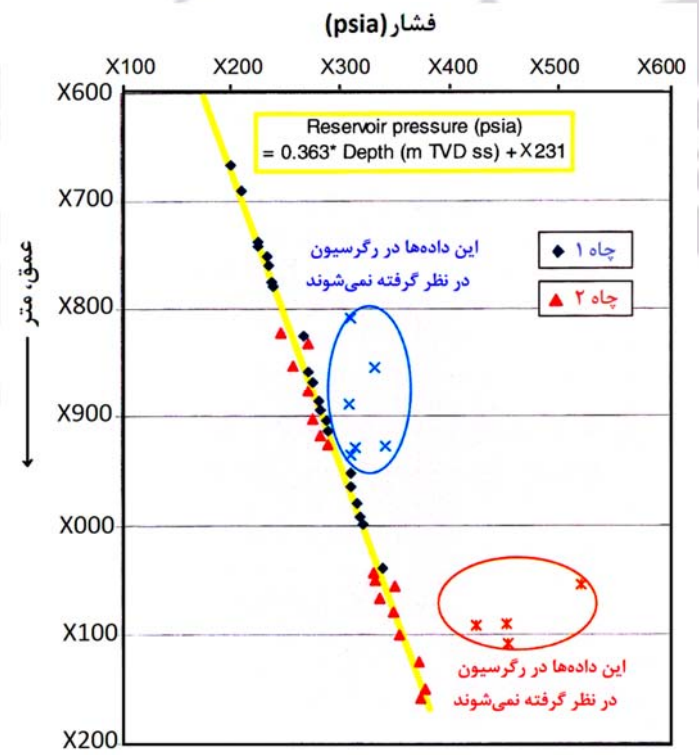
Archive of SID

گرادیان فشار: $P.G.=\frac{1}{\rho_{fluid}\times g}$ (۲)

در نتیجه چگالی سیال برابر است با:

$$\rho_{fluid}=\frac{1}{P.G.\times g} \quad (۳)$$

به‌عنوان نمونه در شکل ۵ نتایج تست RFT مربوط به دو چاه مختلف در مخزن مورد مطالعه نشان داده شده است. با رگرسیون خطی داده‌های فشار بر حسب عمق، گرادیان فشار به‌دست آمده است. نکتهٔ حائز اهمیت در محاسبهٔ گرادیان فشار از تست‌های نمونه‌گیری درون‌چاهی، حذف داده‌های مشکل‌دار و پرخطا است. همان‌گونه که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، برخی از نقاط نمونه‌گیری و اندازه‌گیری فشار به‌دلیل خطای بالا در رگرسیون داده‌ها در نظر گرفته نشده‌اند. این خطاها می‌تواند ناشی از مشکل ابزار یا هر دلیل عملیاتی دیگر باشد.



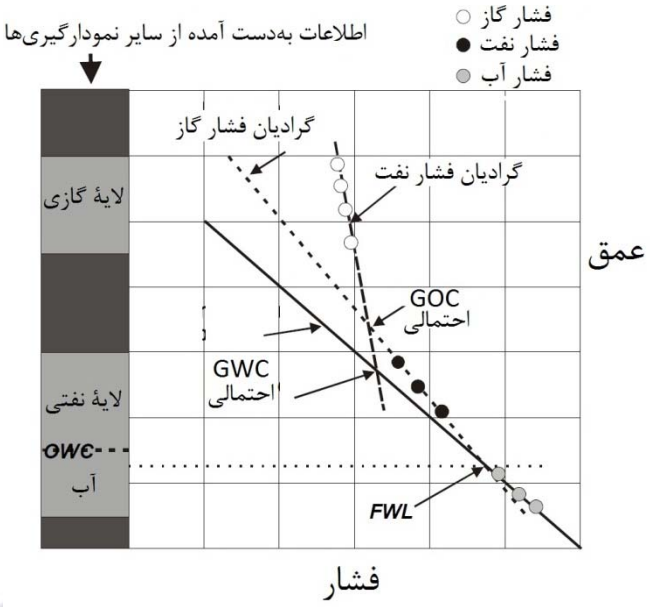
شکل ۵:محاسبهٔ گرادیان فشار در یکی از مخازن گازی جنوب ایران.

یکی دیگر از نتایج غیرمستقیم تست‌های نمونه‌گیری درون‌چاهی تعیین عمق تقریبی سطح تماس سیالات است. با خطی فرض کردن گرادیان فشارهر فاز، می‌توان نقطهٔ تقاطع امتداد خطوط فشار فازهای مختلف را به عنوان سطح تماس احتمالی آن

www.SID.ir

Archive of SID

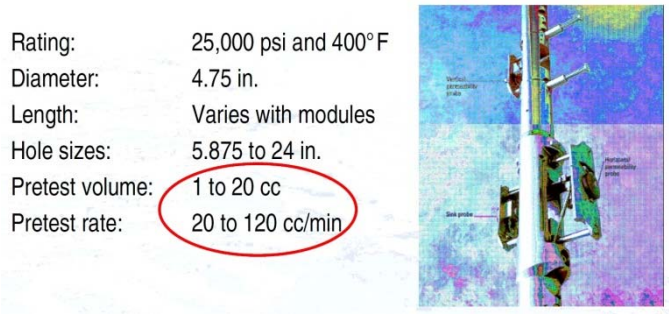
دو فاز در نظر گرفت. به عنوان نمونه، در شکل ۶ خط فشار گاز و نفت یکدیگر را در سطح تماس گاز و نفت (GOC) قطع می‌کنند.



شکل ۶: نمودار فشار بر حسب عمق در تست RFT.

۳- ابزار MDT

همانطور که قبلاً ذکر شد ابزار MDTمشابه و ارتقا یافتهٔRFT است با این تفاوت که دارای ماژول‌های مختلفی می‌باشد. در واقع هر ماژول به ابزار یک قابلیت مشخص را می‌بخشد. یکی از مهم‌ترین بهبودهای به‌وجود آمده در MDT نسبت به ابزارهای قبلی امکان کنترل بیشتر از سطح می‌باشد. از سیالات گاز میعانی و نزدیک بحرانی می‌توان با افت فشار کم با ابزار MDT به راحتی نمونه‌گیری کرد. در شکل ۷یک نمونه ابزار MDTبه همراه مشخصاتش مشاهده می‌شود.



شکل۷: یک نمونه ابزار MDTو مشخصات فیزیکی آن.

یکی از اهداف همیشگی تست‌های وایرلاین گرفتن نمونه سیال است. این نمونه ممکن است با فیلتراسیون گل مخلوط شود. ابزار MDT با داشتن ۱۲ محفظه نمونه‌گیری بر این مشکل غلبه کرده است.یکی دیگر از مشکلات در جمع‌آوری نمونه،

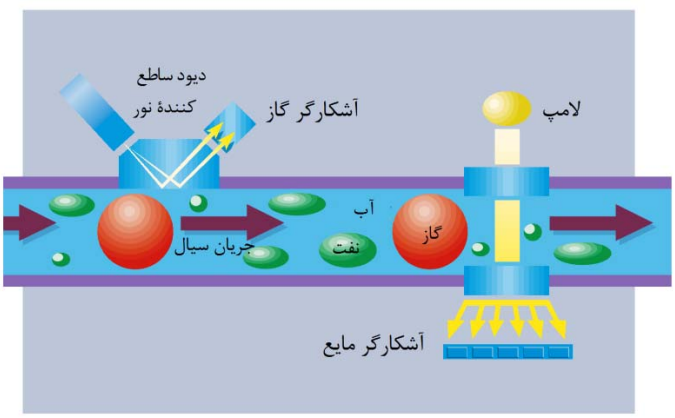
www.SID.ir

Archive of SID

پدیده هجوم[۱] فیلتراسیون گلاست که این مشکل نیز از طریق ماژول Pump out در ابزار MDT حل شده است. در واقع یک پمپ مینیاتوری درون‌چاهی در ابزارMDT تعبیه شده است که سیالاتی را که به‌صورت ناخواسته وارد ابزار شده‌اند به درون چاه جابه‌جا می‌کند.

حجم محفظه تست در ابزار MDT حدود ۲۰ سی سی می‌باشد. البته یکی از مزیت‌های ابزار MDT قابل تنظیم بودن این حجم است که به مهندسان این اجازه را می‌دهد که تست را سریع‌تر انجام دهند.

یکی دیگر از ماژول‌های مهم ابزار MDT ماژول آنالیز نوری سیال[۲]است. همان‌گونه که در شکل ۸ دیده می‌شود، در این ماژول یک دیود ساطع کنندهٔ نور، یک لامپ و چند آشکارگر وجود دارد و براساس انعکاس نور توسط سیالات، نوع آنها مشخص می‌گردد. این ماژول برای شناسایی انواع سیالات به کار برده می‌شود اما در موقعی که از گل پایه نفتی استفاده می‌شود، کار آن مشکل است.



شکل۸: تشخیص نوع سیال در ابزار MDT از طرق ماژول حسگر نوری.

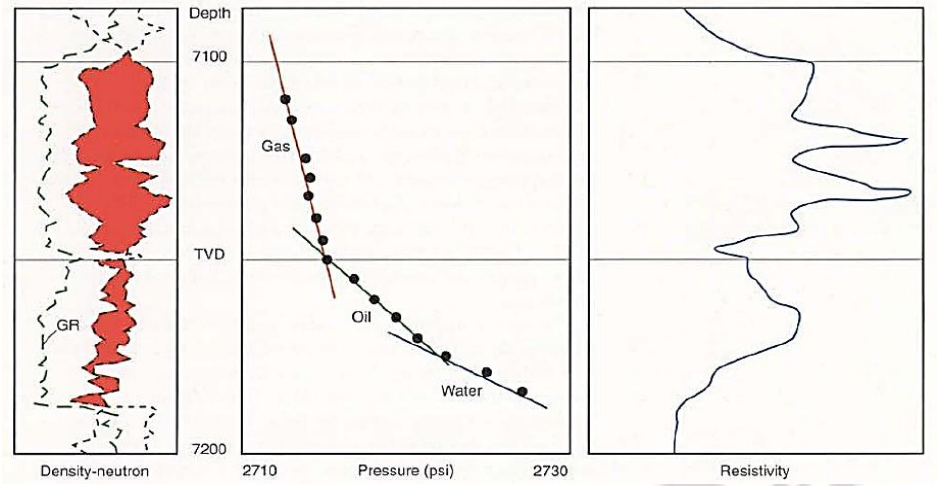
با توجه به اینکه برای بررسی خواص PVT سیال سازند نباید در نمونه تغییر فازیایجاد شود، یک شیر اختناقی[۳]در ابزار MDT وجود دارد که از تبخیر شدن مایع و یا تشکیل مایع از گاز جلوگیری می‌کند.

همانطور که در شکل ۹دیده می‌شود، همانند ابزار RFT می‌توان نوع سیال را از روی گرادیان فشار نیز تشخیص داد. البته این مسأله توسط نمودارهای دیگری از قبیل گاما، مقاومت، نوترون و دانسیته تأیید می‌شود.

[۱]Mud Filtrate Invasion
[۲]Optical Fluid Analysis
[۳]Throttle Valve

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۹: تشخیص نوع سیال مخزن توسط تست MDT.

ابزار MDT برای هر تست مقدار تحرک‌پذیریافت فشار[1]را نیز می‌دهد. این مقدار ترکیبی از k_h و k_v است که به عنوان تحرک‌پذیری کروی شناخته می‌شود. براساس کالیبراسیون دستگاه، از رابطهٔ زیر می‌توان مقدار تحرک‌پذیری (k/μ) را محاسبه کرد.

$$\left(\frac{k}{\mu}\right)_d = C_{fd}\frac{q}{\Delta p_{ss}} \qquad (۴)$$

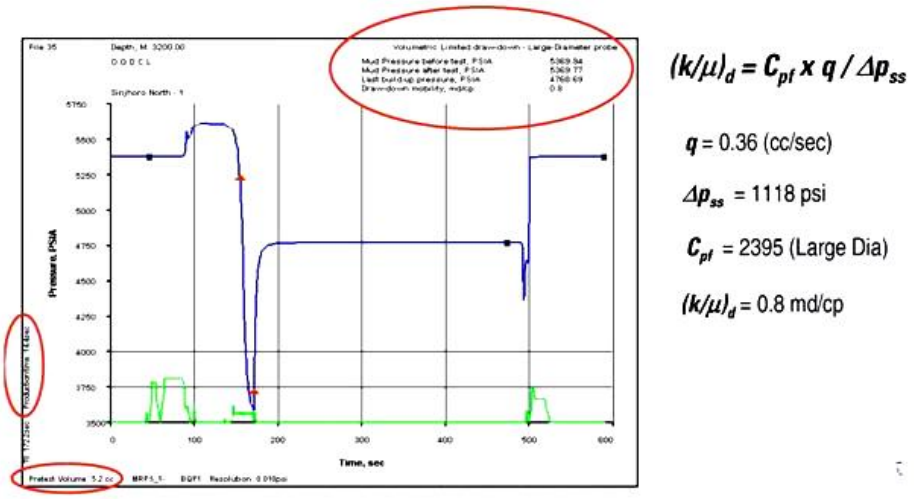
در رابطه بالا k نفوذپذیری سنگ مخزن، μ ویسکوزیته سیال، q نرخ جریان و Δp_{ss} اختلاف فشار حالت پایدار است. ضریب C_{fd} نیز متناسب با افت فشار و تابعی از ساختمان ابزار می‌باشد که مقدار متداول آن ۵۶۰۰ در نظر گرفته می‌شود اما با توجه به اندازه و نوع ابزار تغییر می‌کند.

در شکل ۱۰داده‌های خروجی یک تست MDTدر یک چاه مشاهده می‌شود که با استفاده از رابطه (۱) مقدار تحرک‌پذیری در آن محاسبه شده است.

[1]Drawdown Mobility

www.SID.ir

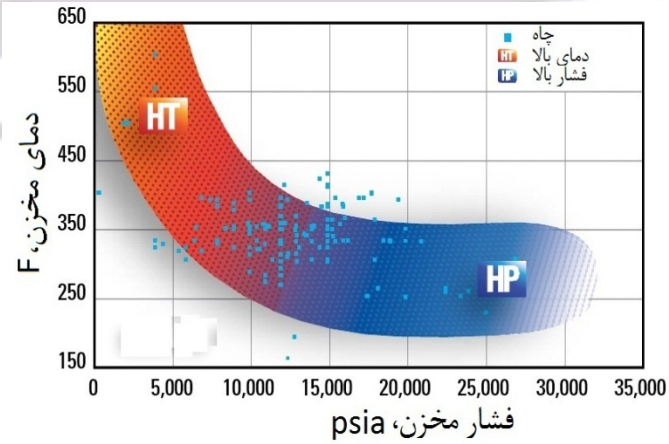
Archive of SID



شکل۱۰:محاسبه Mobility از طریق تست MDT

۴- ابزار XPT

ابزار XPT[1] از جدیدترین ابزارهای نمونه‌گیری سیال و اندازه‌گیری فشار سازند است و اهدافی مشابه با سایر ابزارهای نمونه گیری دارد. این ابزار دارای دقت اندازه گیری بالاتری از ابزارهای قبلی می‌باشد. تفاوت عمدهٔ ابزار XPTبا ابزارهای قبلی این است که گسترهٔ وسیع‌تری از دما و فشار را پوشش می‌دهد و در چاه‌های افقی و دارای زاویهٔ زیاد عملکرد بهتری دارد.ابزار XPT برای شرایط با دما و فشار بالای سازند (شرایط HPHT) هم طراحی شده است. شکل ۱۱ محدودهٔکلی شرایط HTHP را نشان می‌دهد.



شکل۱۱: شرایط HPHT

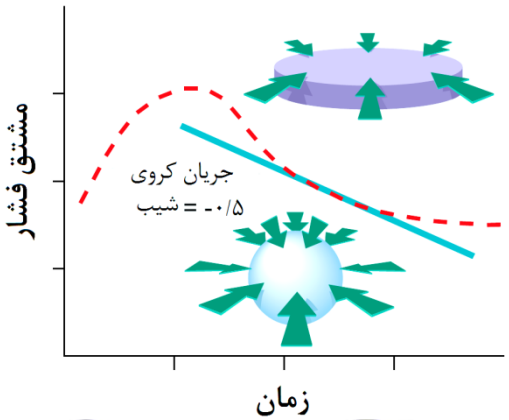
[1]Express Pressure Test

www.SID.ir

Archive of SID

۵- تحلیل داده‌های فشار تست‌های نمونه‌گیری

نکتهٔ قابل ذکر در مورد تحلیل داده‌های فشار در تست نمونه‌گیری از سیال سازند با ابزارهای وایر لاین، این است که هندسهٔ جریان در اطراف این ابزارها در زمان نمونه‌گیری به‌صورت کروی می‌باشد. در شکل ۱۲ نیز شیب منفی نیم (۰/۵-) مشتق فشار این مطلب را تأیید می‌کند. بنابراین نمی‌توان برای آنها معادلات موجود مربوط به آنالیز ساخت فشار و افت فشار معمولی را به کار برد.



شکل۱۲: نمودار مشتق فشار در تست‌های نمونه گیری سیال

۶- مشکلات عملیاتی رایج

انجام عملیات نمونه‌گیری درون‌چاهی همواره با دشواری و مشکلات عملیاتی همراه است که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

الف) گیر کردن ابزار: زمانی‌که ابزار برای مدت طولانی در یک عمق خاص باشد امکان‌گیر کردن ابزار زیاد است.

ب) تست در سازندهای Tight: در این سازندها فشار نمونه‌گیری نزدیک به صفر است و زمان زیادی لازم است تا نمونه‌گیری انجام شود بنابراین خطر گیر کردن ابزار نیز افزایش می‌یابد.

ج) پلاگ شدن: دانه‌های شن موجود درسازند ممکن است وارد ابزار شده و ورودی ابزار را بلوکه کنند. این مشکل بیشتر در سازندهای سست ممکن است پیش بیاید. البته برای رفع این مشکل یک فیلتر در قسمت ورودی کاوشگر نمونه‌گیری تعبیه شده است.

د) مشکل در مسدود کننده: اگر پکر به درستی کار نکند قسمت مورد نظر از سازند به خوبی مسدود نمی‌شود و به جای سیال سازند از گل حفاری نمونه‌گیری به عمل می‌آید.

۷- نتیجه‌گیری

مهم‌ترین نتایج این مطالعه عبارتند از:

۱. اهمیتابزارهای تست وایرلاین و نمونه‌گیری شامل RFT، MDT و XPT از این نظر است که نمونه‌های سیال مخزن به آزمایشگاه فرستاده می‌شوند و در آنجا اطلاعاتغیرمستقیم و مهمی مانند ترکیب اجزا سیال، خواص فیزیکی و حجم نسبی نفت، گاز، آب و فیلتراسیون گلاز نمونهٔ سیال کسب می‌شود.
۲. با محاسبهٔ گرادیان فشار یک فاز که از داده‌های نمونه‌گیری درون‌چاهی به‌دست می‌آید،می‌توان چگالی سیال را تعیین کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳. با تعیین نقطهٔ تقاطع امتداد خطوط فشار فازهای مختلف،می‌توان عمق احتمالی سطوح تماس سیالات را تخمین زد.
۴. با داشتن مقدار تحرک‌پذیری و ویسکوزیته سیال که از نمونه‌گیری به‌دست می‌آیند، مقدار نفوذپذیری سنگ مخزن را می‌توان محاسبه کرد.
۵. با توجه به جریان کروی در اطراف نقطهٔ نمونه‌گیری، داده‌های فشار-زمان تست با معادلات و روش‌های معمول که مخصوص جریان شعاعی هستند قابل تفسیر نیستند.
۶. گیر کردن ابزار، پلاگ شدن و مشکل در مسدود کننده مهم‌ترین مشکلات عملیاتی رایج در تست‌های نمونه‌گیری درون‌چاهی هستند.

۸- مراجع

1. *C. S. Matthews, Pressure Buildup and Flow Tests in Wells, Society of Petroleum Engineers of AIME New York 1967 Dallas.*
2. *Marc Vella, The Nuts and Bolts of Well Testing, Melbourne, Australia.*
3. *Lee, J., Well Testing. Dallas: Society of Petroleum Engineers of AIME, 1982.*
4. *Earlougher, Robert C., Jr., Advances in Well Test Analysis.Mongraph Vol. 5, Society of Petroleum Engineers of AIME. Dallas, TX: Millet the Printer, 1977.*
5. *Syed Shabbir H. Shah,Wireline Formation Testing & New Applications, Reservoir Domain Champion -IRG – Tehran.*
6. *.Paul Glover, Petrophysics MSc Course Notes, Fluid Testing and Pressure Logs.*
7. *Tim Ireland, Jeffrey Joseph, Nick Colley, Patrick Reignier, Simon Richardson,. "The MDT Tool: A Wireline Testing Breakthrough", Oilfield Review*

www.SID.ir