

تخمین مقدار نفوذپذیری مخزن

مهندس میترا چکنی - شرکت پتروایران

مقدمه

یکی از پارامترهای مخزنی که در مدل سازی مخزن بسیار اهمیت دارد میزان نفوذپذیری یا تراوایی (Permeability) مخزن است.

برای تخمین مقدار نفوذپذیری مخزن از روش های گوناگون زیر استفاده می شود:

داده های مغزه، نمودارهای چاه پیمایی، اطلاعات فشار برحسب زمان در تست های فشارگذرا (Transient) چاه ها، استفاده از نتایج MDT و استفاده از اطلاعات تست ساقه مته (DST).

لازم به ذکر است که کلیه روش های ذیل در مورد مطالعات مخزنی یکی از میدان های منطقه خارک صورت گرفته و نمونه هایی از گراف ها ارائه شده است.

این مقاله به صورت بسیار مختصر اشاره ای به این روش ها خواهد داشت.

داده های مغزه

اطلاعات استحصالی از مغزه ها شامل اطلاعاتی در مورد مقدار تخلخل و عبورپذیری هر مغزه در یک عمق خاص است که باتوجه به ماهیت ساختار مخزن از نظر زمین شناسی و رسوب گذاری و میزان هتروژن یا هموزن بودن آن با استفاده از روش های آماری می توان مقدار نفوذپذیری هر مخزن را محاسبه کرد.

عبورپذیری محاسبه شده نشانه ای از عبورپذیری اطراف چاه است و در مخازن نامتجانس این مقدار می تواند با عبورپذیری داخل مخزن متفاوت باشد.

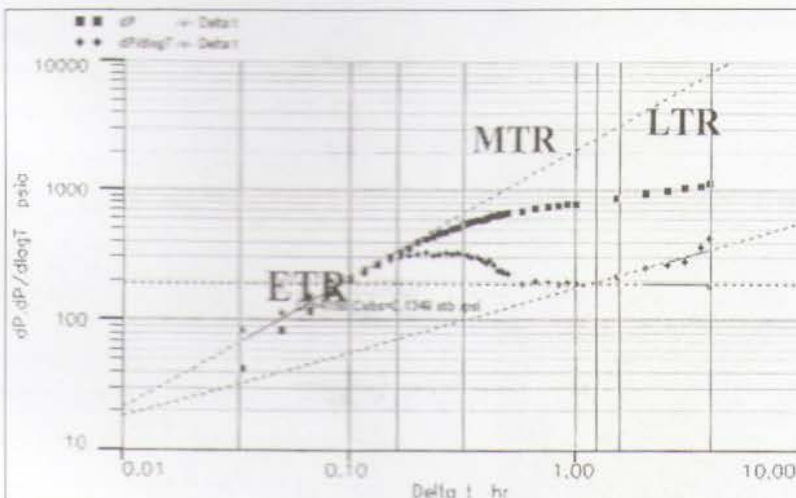
نمودارهای چاه پیمایی

عموماً نمودارهای تخلخل در مخزن در عمق های مختلف مورد بررسی قرار می گیرند که با در نظر گرفتن رابطه تجربی بین تخلخل و عبورپذیری میزان نفوذپذیری تخمین زده می شود.

تست های Transient فشار

چاه های تولیدی در زمان تولید برای مدتی بسته می شود و سپس برای مدت معینی که وابسته به نوع سازند

تولید برای مدت طولانی تر (۴۸ تا ۲۰۰ ساعت) متوقف می شود (BuildUp). با بررسی نمودارهای مشتق فشار با تغییرات زمان در شکل لگاریتمی، در پرسود تولید یا در پرسودت بودن چاه، می توان نواحی مختلف رژیم جریان متاثر از سیال داخل چاه (Wellbore Storage Effect) در ناحیه (Early Time Region)، فاصله از چاه و داخل سازند در ناحیه Middle Time Region و وجود جریان های شعاعی و شکاف ها را در این ناحیه تخمین زد و تاثیر وجود آبد و مسواتع با فشار اطراف چاه (no Flow Boundary) در ناحیه Late Time Region را شناسایی کرد. (شکل ۱)



شکل ۱ - نمایی از یک تست Buildup و نمایش سه ناحیه ETR, MTR, LTR در آن

ناحیه MTR در Semilog Plot آنالیزی می شود و براساس معادله زیر و با داشتن شیب خط، خواص مخزن از

تولیدی است چاه در مرحله تولید قرار می گیرد و فشار برحسب زمان ثبت می شود (Drawdown) سپس

جمله مقدار تراوایی $K(md)$ محاسبه می‌گردد. (معادله ۱)

$$m = \frac{-q\mu}{4\pi kh} \quad \text{معادله ۱:}$$

علاوه بر اطلاعات فوق جزئیات بیشتری از جمله فشار مخزن و میزان اثرات پوسته‌ای یا Skin که به دلیل Formation Damage اتفاق می‌افتد نیز می‌تواند به وسیله محل تلاقی خط Semilog Plot با محور عمودی که فشار است محاسبه شود.

به دلیل نفوذ فشار در زمان کافی تست در داخل سازند، تراوایی محاسبه شده، مطمئن‌ترین منبع نسبت به منابع دیگر است.

MDT

نصب یک Probe در داخل سازند و ایجاد یک افت فشار ناشی از تولید برای مدت کوتاه و سپس توقف تولید می‌تواند شناختی از مویبیلیتی مخزن را ارائه دهد. برای محاسبه مقدار نفوذپذیری مخزن به ویسکوزیته سیال تحت بررسی نیاز است که معمولاً این سیال فیلتر گل حفاری Mud Filtrate در نظر گرفته می‌شود. محاسبه و تخمین ویسکوزیته این سیال دقیق انجام نمی‌گیرد لذا مقدار عبورپذیری محاسبه شده با عدم اطمینان بسیار، اعلام می‌شود. اما به طور متوسط ناحیه مورد نظر دارای ویسکوزیته فیلتر گل حفاری حدود ۰/۸-۰/۴ سانتی پوز است، برای محاسبه این مویبیلیتی از روش‌های گوناگون می‌توان استفاده کرد. یکی از این روش‌ها، استفاده از فرمول داری با افت فشار و دبی ثابت است که از روش تخلیه پستونی نتیجه می‌شود.

$$\frac{k}{\mu} = \frac{921 CQ}{r_i \Delta P_{DD}}$$

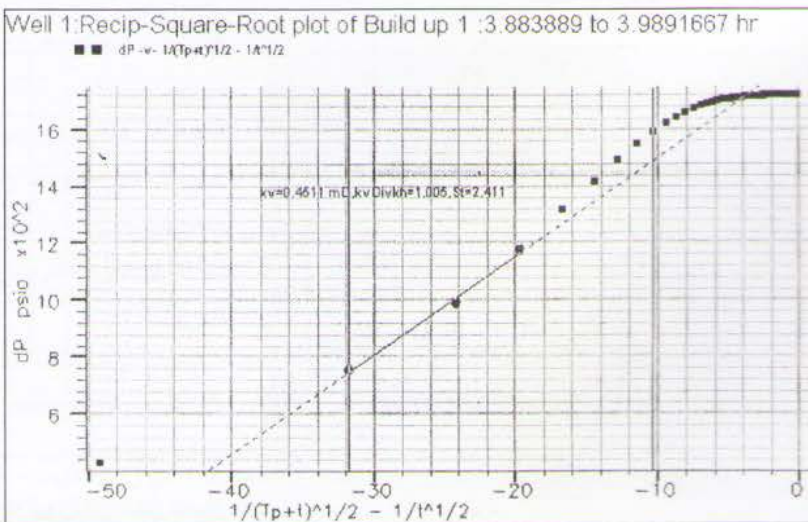
تراوایی - میلی داری: k
ویسکوزیته فیلتر گل حفاری - سانتی پوز: μ

تبدیل خواهد شد. در یک پرئود Buildup، فرمول اساسی جریان کروی به شکل ذیل است:

$$P_{ws} = P_i - 2452 F q B \left[\Phi C_t \left(\frac{\mu}{k_s} \right)^3 \right]^{0.5} \left[\frac{1}{(\Delta t)^{0.5}} - \frac{1}{(t_p + \Delta t)^{0.5}} \right]$$

Psi - فشار بسته شدن: P_{ws}
Psi - فشار اولیه مخزن: P_i
ثابت برای جریان کروی که معادل یک است: F
دبی: q Stb/d
Oil formation volume factor in bbl/STB: B
Fraction - تخلخل: Φ
psi⁻¹ تراکم‌پذیری کل: C_t
ویسکوزیته: μ Cp
تراوایی در جریان کروی: k_s
مدت زمان بسته شدن چاه - ثانیه: Δt
زمان تولید در ثانیه: t_p
با استفاده از شیب خط Special plot در گراف فشار در برابر $\left[\frac{1}{(\Delta t)^{0.5}} - \frac{1}{(t + \Delta t)^{0.5}} \right]$ در جریان کروی می‌توان میزان مویبیلیتی را تعیین کرد که با در نظر گرفتن ویسکوزیته فیلتر گل حفاری، میزان تراوایی قابل محاسبه خواهد شد. شکل ۲ نمونه‌ای از گراف مجذور ریشه دوم در خصوص جریان‌های کروی است.

فشار State Drawdown
Psi-Steady- ΔP_{DD}
دبی - سانتی متر مکعب در ثانیه: Q
شعاع داخلی Probe - اینچ: r_i
که برای یک Probe با قطر معمولی معادل ۰/۲۱ و برای قطر بزرگ معادل ۰/۵۲ اینچ است.
برای رژیم جریان کروی و نیمه کروی، فاکتور مدل جریان به ترتیب معادل ۰/۵ و ۰/۷۵ است.
روش دیگر که می‌تواند در مورد هر تست و در هر عمق به کار رود، آنالیز اطلاعات فشار بر حسب زمان در نمودار مشتق فشار بر حسب تغییرات زمان در پرئود Buildup یا Drawdown است.
به طور معمول، به دلیل زمان بسیار کم تولید در Drawdown نسبت به تست‌های طولانی مدت، رژیم جریان در اطراف Probe به صورتی که به موانعی برخورد کند به نیمه کروی و شعاعی



شکل ۲ - نمونه ای از منحنی مجذور ریشه دوم خاصه جریان‌های کروی برای تخمین تراوایی

شماره ۱۲ - تیر ماه ۱۳۸۳

استفاده از اطلاعات تست ساقه متنه (DST)

تست DST در چاه‌های اکتشافی در مناطق تولیدی اجرامی شود. این تست می‌تواند محاسبه فشار اولیه مخزن، تعیین نوع سیال تولیدی و یک تست کوتاه فشاری Transient باشد. آنالیز تست Transient این ابزار، امکان برآورد خواص مخزن از جمله تراوایی و مقدار خسارات وارده به چاه (Skin) را نشان می‌دهد. این اطلاعات می‌تواند به مهندس عملیات در خصوص نیاز به Stimulation و Work Over کمک کند. هنگام اجرای این تست، ابزار در

داخل چاه به وسیله یک Packer داخل چاهی، ناحیه تولیدی را از گل حفاری جدا می‌کند. ابتدا برای مدت کوتاهی تولید از چاه صورت می‌گیرد، سپس برای مدت کوتاهی بسته می‌شود. هدف در این قسمت از بین بردن اثر گل حفاری روی سازند است. مجدداً چاه برای مدتی که معمولاً در این قسمت بیشتر است تولید می‌کند و بعد برای مدت طولانی بسته می‌شود. به ثبات رسیدن فشار مخزن طی پریود بسته شدن چاه، وابسته به رفتار مخزن است. هرچه مخزن تراوایی کمتری داشته باشد، مدت زمان بیشتری لازم دارد.

در دید اولیه، معمولاً فشار آخر را (آخرین رکورد ثبت شده فشار در برابر بلندترین زمان بسته شدن چاه)، می‌توان به عنوان فشار اولیه مخزن تلقی کرد. اما آنالیز مقادیر فشار در منحنی‌های Log-Log Plot و Horner Plot می‌تواند رقم دقیق‌تری از فشار اولیه مخزن را نشان دهد. با تعیین ناحیه رژیم جریان شعاعی روی Log-Log Plot (شکل ۳) می‌توان در Horner Plot (شکل ۴) فشار اولیه و میزان تراوایی (همانند آنالیز Transient) را حدس زد.

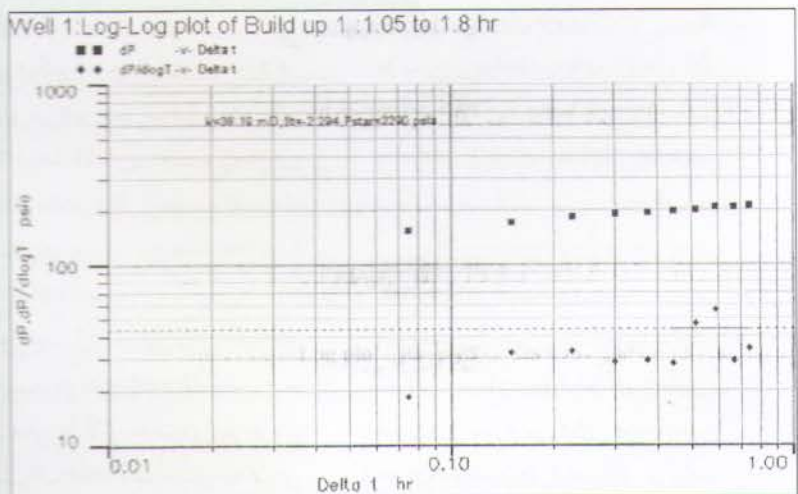
نتیجه گیری

منابع مختلفی که برای تخمین تراوایی سازند مورد استفاده قرار می‌گیرند با توجه به ماهیت عملیاتی آنها در درجات متفاوتی از اعتبار قرار دارند. از آنجا که MDT و نمونه‌های مغزه، در اطراف دهانه چاه اجرامی شوند نمی‌توانند به عنوان نماینده‌ای از تراوایی مخزن به عنوان تنها منبع مطرح شوند. اما DST و فشارهای Transient به دلیل توزیع فشار داخل مخزن برای مدت طولانی‌تر به ترتیب قابل اطمینان‌تر هستند.

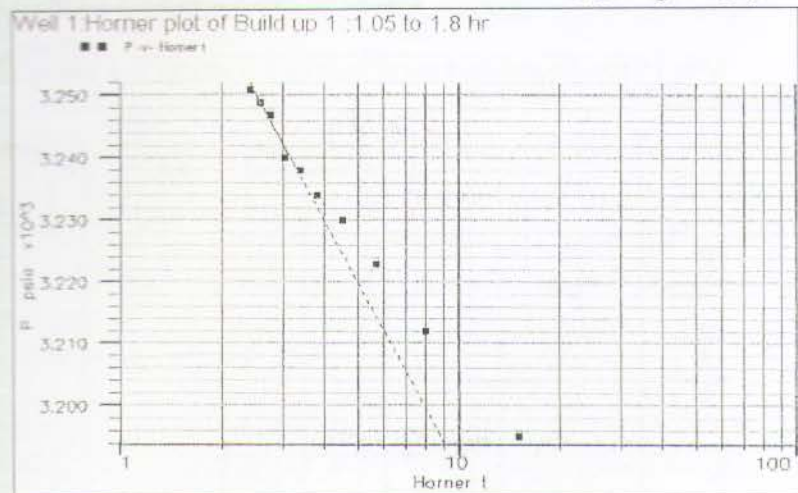
نتایج این منابع جمع‌آوری و در مدل‌سازی استفاده می‌شود.

منابع:

- 1) George Steward, Reservoir Engineering Note, Dept of Petroleum Engineering, Heriot Watt University, Edinburgh, Scotland, 2001.
- 2) E. Kasap, K. Huang, T. Shwe and D. Geotgi. "Robust and Simple Graphical Solution for Wireline Formation Tests: Combined Drawdown and Buildup Analyses." SPE 36525. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, Colorado, USA, 6-9 October 1996.
- 3) Model Information Presented by Welltest 200 Manual, 2002.



شکل ۳ - نمونه‌ای از Log-Log Plot برای یک Buildup را نشان می‌دهد که ناحیه جریان شعاعی تخمین زده است.



شکل ۴ - نمونه‌ای از Horner Plot برای یک پریود Buildup را نشان می‌دهد که به وسیله برون‌یابی امکان تخمین فشار اولیه مخزن ایجاد می‌شود.