

نقش سیالات حفاری بر کاهش راندمان بهره‌برداری از مخازن نفت و گاز

مقدمه

کاهش راندمان بهره‌برداری نفت ممکن است در نتیجه خسارت ناشی از نفوذ سیالات حفاری باشد. خسارت سازند می‌تواند به عنوان هر مانعی که در تولید چاه اختلال ایجاد کند، تعریف شود. بسیاری از چاه‌های نفت و گاز به علت خسارت ناشی از نفوذ سیالات حفاری به سازند مخزن، نمی‌توانند در ماکزیمم ظرفیت خود، تولید کنند. گرچه منطقه آلوده شده در اثر نفوذ سیالات حفاری به مخزن ممکن است تنها چند فوت طول داشته باشد، اما می‌تواند سبب کاهش نسبتاً زیادی در تولید چاه شود. زیرا جریان شعاعی است و در نتیجه افت فشار متناسب با $\ln \frac{r}{r_w}$ است. که r_w شعاع چاه و r شعاع مورد نظر است. نسبت تولید یک چاه خسارت دیده به یک چاه دست‌نخورده (خسارت ندیده) برابر است با:

$$\frac{Q_d}{Q} = \frac{\ln \frac{r_e}{r_w}}{\frac{k}{k_d} \ln \frac{r_d}{r_w} + \ln \frac{r_e}{r_d}}$$

Q: قدرت تولید منطقه دست‌نخورده

Q_d: قدرت تولید منطقه خسارت دیده

r_e: شعاع منطقه زهکشی

r_d: شعاع منطقه خسارت دیده

K: نفوذپذیری ناحیه خسارت دیده

k_d: نفوذپذیری ناحیه دست‌نخورده

شکل ۱ نشان می‌دهد که اثر کاهش نفوذپذیری سنگ بر قدرت تولید یک چاه، با فاصله گرفتن از چاه، کاهش می‌یابد.



شکل ۱- افزایش نفوذپذیری با دور شدن از چاه

چهارم مقداری است که توسط معادله ۴ محاسبه می‌شود. برای کروژن نوع II نسبت Cr/Co برابر با ۵/۰ و جرم هیدروکربوری که با استفاده از معادله ۳ به دست می‌آید معادل نصف مقداری است که توسط معادله ۴ محاسبه می‌شود. این حالت‌ها برای کروژن‌های نوع II و III بدترین حالت ممکن است، زیرا در عمل، این تفاوت‌ها به دلیل این است که معمولاً همه هیدروکربوری که در سنگ مادر تشکیل می‌گردد از آن رانده نمی‌شود. به علاوه، در اغلب سنگ‌های مادر تشکیل نفت به پایان نرسیده است. به عنوان هشدار یادآوری می‌شود که نسبت Cr/Co برای کروژن نوع I برابر با ۲/۰ است.

در هر روش محاسبه بایستی بین دقیق بودن و عملی بودن، موازنه ایجاد شده باشد. به همین دلیل استفاده از معادله ۳ انتخاب بهتری نسبت به معادله ۴ است (مگر در حالت بلوغ بالای کروژن نوع I). گرچه با استفاده از معادله ۳ حداقل مقدار هیدروکربور برآورد می‌شود ولی در این معادله از داده‌های گویاتر و قابل دسترسی استفاده می‌گردد. ■

منابع:

Cooles, G. P., A. S. Mackenzie, and T. M. Quigley, 1986. Calculation of petroleum masses generated and expelled from source rocks, in D. Levthaeuser and J. Rullkötter, eds., *Advances in Organic Geochemistry 1985*: Oxford, Pergamon Press, p. 235-245.

Demaison, G., and R. J. Murriss, eds., 1984. *Petroleum geochemistry and basin evaluation: AAPG Memoir 35*, 426 p.

Ehrenberg, S. N., 1989. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones: discussion; compaction and porosity evolution of Pliocene sandstones, Ventura basin, California: discussion: AAPG Bulletin, v. 73, p. 1274-1276.

Hester, T. C., J. W. Schmoker, and H. L. Sahl, 1990. Log-derived regional source rock characteristics of the Woodford Shale, Anadarko basin, Oklahoma: USGS Bulletin 1866-D, 38 p.

Jones, R.W., 1981. Some mass balance and geological constraints on migration mechanisms: AAPG Bulletin, v. 65, p. 103-122.

Larter, S., 1988. Some pragmatic perspectives in source rock geochemistry: Marine and Petroleum Geology, v. 5, p. 194-204.

Mackenzie, A. S., and T. M. Quigley, 1988. Principles of geochemical prospect appraisal: AAPG Bulletin, v. 72, p. 399-415.

McDowell, A. N., 1975. What are the problems in estimating the oil potential of a basin?: Oil and Gas Journal, v. 73, June 9, p. 85-90.

Merewether, E. A., and G. E. Claypool, 1980. Organic composition of some Upper Cretaceous shale, Powder River basin, Wyoming: AAPG Bulletin, v. 64, p. 488-500.

Moshier, S. O., and D. W. Waples, 1985. Quantitative evaluation of Lower Cretaceous Mannville Group as source rock for Alberta's oil sands: AAPG Bulletin, v. 69, p. 161-172.

Pate, C. R., 1989. Assessing the relative importance of compaction processes and cementation to reduction of porosity in sandstones: discussion: AAPG Bulletin, v. 73, p. 1270-1273.

Schmoker, J. W., and T. C. Hester, 1983. Organic carbon in Bakken Formation, United States portion of Williston basin: AAPG Bulletin, v. 67, p. 2165-2174.

Sluijk, D., and M. H. Nederlof, 1984. Worldwide geological experience as a systematic basis for prospect appraisal, in G. Demaison and R. J. Murriss, eds., *Petroleum geochemistry and basin evaluation*: AAPG Memoir 35, p. 15-26.

Tissot, B. P., and D. H. Welte, 1984. *Petroleum Formation and Occurrence*, 2nd ed.: New York, Springer-Verlag, 699 p.

Waples, D. W., 1985. *Geochemistry in Petroleum Exploration*: Boston, IHRDC, 232 p.

White, D. A., and H. M. Gehman, 1979. Methods of estimating oil and gas resources: AAPG Bulletin, v. 63, p. 2183-2192.

خسارت سازند می تواند یک پدیده فیزیکی یا شیمیایی باشد. مکانیزم های مختلفی وجود دارد که در آنها جامدات گل و سیال حفاری فیلتر شده (فیلترات) ممکن است تولید چاه را کاهش دهند:

- پدیده مویبندی، اثرات نفوذپذیری نسبی ناشی از تغییرات در مقدار نسبی آب و نفت و یا گاز درون حفرات، تغییر ترشوندگی، بسته شدن حفرات توسط فیلترات های آبی
- متورم و پراکنده شدن رس های موجود در مخزن توسط فیلترات گل
- نفوذ گل به سازند و بستن حفرات توسط ذرات موجود در گل
- بسته شدن مجرایند های شن، آستری ها و لوله های مشبک توسط فیلتر کیک (filter cake)
- ریزش ماسه های غیر متراکم به درون چاه

پدیده مویبندی

زمانی که فیلترات یک گل پایه آبی به یک سازند دارای نفت وارد می شود، نفت را جابه جا می کند. تحت شرایط محیطی معین، هیچگونه آبی جابه جا نمی شود و در نتیجه تولید، زیان می بیند. این مکانیزم، بازداشت آب نامیده می شود. ساختار واقعی حفرات بیشتر سنگ ها از یک شبکه سه بعدی نامنظم از حفرات مرتبط به وسیله کانال های باریک، تشکیل شده است. وقتی که دو سیال مخلوط نشدنی (آب و نفت) به طور همزمان در این محیط نفوذ پذیر جریان می یابند، مسیرهای جریان سیالات توسط ترشوندگی (Wettability) آنها کنترل می شود. با توجه به این که سطح بیشتر سنگ ها آب تر است (یعنی آب در مجاورت نفت تمایل بیشتری به ترکردن سطح دارد)، آب روی سطح و کانال های باریک جریان می یابد، در صورتی که نفت در مرکز حفرات و کانال های جریانی بزرگ، جاری می شود.

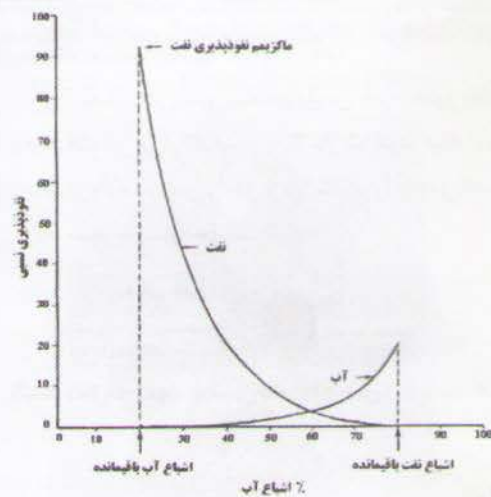
نفوذپذیری نسبی هر سیال به ترشوندگی سنگ و درصد اشباع هر سیال بستگی دارد. نفوذپذیری نسبی نفت در یک اشباع معین بیش از نفوذپذیری آب در اشباع آب یکسان است (شکل ۲). زمانی که تنها نفت در یک افت فشار معین جریان دارد، مینیمم اشباع آب، اشباع آب باقیمانده است و زمانی که تنها آب جریان دارد، مینیمم اشباع نفت، اشباع نفت باقیمانده است. مخازن نفتی دست نخورده در اشباع آب باقیمانده قرار دارند.

نفوذ فیلترات گل، نفت را به سوی اشباع نفت باقیمانده هدایت می کند و زمانی که چاه به تولید می رسد، نفت

فیلترات را به عقب و به سوی اشباع آب باقیمانده می راند. بنابراین وقتی به اشباع آب باقیمانده نزدیک می شویم نفوذپذیری نسبی آب کاهش می یابد. در نتیجه قبل از این که تمامی فیلترات خارج شود، زمان قابل توجهی سپری می شود و تولید کل حاصل می گردد. مخصوصاً اگر نسبت ویسکوزیته نفت به آب پایین باشد. در بیشتر مخازن دست نخورده، فشار برای خارج کردن همه فیلترات کافی است. بنابراین زیان ایجاد شده توسط اثرات نفوذپذیری نسبی، زودگذر است.

در مخازن با فشار بالا و نفوذپذیری پایین، فشارهای مویبند اهمیت دارند. افت فشار نمی تواند برای بیرون راندن فیلترات از کانال های مویبند ریز، کافی باشد (به ویژه در مجاورت دیواره چاه که افت فشار در سطح مشترک نفت تر (oil wet) به صفر نزدیک است). این مکانیزم که آن را مربوط به بازداشت آب می دانیم، سبب خسارت دائمی و حتی بستن کامل بعضی مخازن می شود.

از بازداشت آب با استفاده از گل های روغنی می توان جلوگیری کرد. گل های پایه روغنی دو محدودیت دارند. اول: از آنها نیایستی در حفاری ماسه های گازی خشک استفاده شود، چون هیچگونه نفتی تولید نخواهد شد. دوم:



شکل ۲- نفوذپذیری نسبی نفت و آب در یک مخزن آب تر

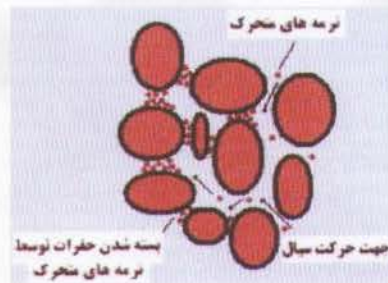
سورفاکتانت های کاتیونی استفاده شده در آنها درجه ترشوندگی سطح دانه ها را افزایش می دهند و اگر گل ضعیف فرمول بندی شده باشد می تواند سطح را از حالت آب تر به نفت تر (water wet) به (oil wet) تبدیل کند. در یک سنگ نفت تر شکل منحنی نفوذپذیری نسبی عوض می شود، به طوری که نفوذپذیری نسبی نفت در اشباع آب پایین مقدار بیشتری کاهش می یابد. البته به علت

سرعت فیلتراسیون پایین گل های روغنی، عمق نفوذ آنها کم است.

تحرك و متورم شدن رس های سازند

سازندى كه نفوذپذیرى آن به وسیله سیالات پایه آبی کاهش می یابد، سازند حساس به آب خوانده می شود. زمانی كه گل های پایه آبی به سازندهای حساس به آب حاوی نفت نفوذ می کنند، به دنبال هجوم فیلترات، تحرك نرمه ها و تورم رس ها، با تغییر در شوری، یک رقیق کننده شیمیایی موجود در فیلترات می تواند با سرعت جریان بالای سیال در فضای حفره، فعال شود. معمولاً در شوری های کمتر از 20gr/lit، رس ها ناپایدار و پراکنده می شوند. مهاجرت ذرات به وسیله بستن حفرات، می تواند سبب خسارت گسترده ای در سازند شود. در بیشتر سازندها، اندازه ذرات متحرك از یک تا ۱۰۰ میکرون متغیر است كه بیشترین خسارت را وارد می کنند، زیرا ذرات كوچك تر از یک میکرون به طور معمول توسط نیروهای واندر والس به سطح دانه های كانی های بزرگ تر می چسبند و رانندن آنها مشكل می شود. ذرات بالای ۱۰۰ میکرون، از قطر بیشتر دهانه حفرات بزرگ تر هستند و نمی توانند مسافت زیادی جابه جا شوند.

اگر سیمان ماتریكس سنگ سیلیس غیر متبلور باشد، pH فیلترات نیز می تواند منجر به خسارت شود. فیلترات با pH بسیار بالا، سیلیس را حل و ذرات ریز را آزاد می کند كه می تواند منجر به بستن حفرات شود.

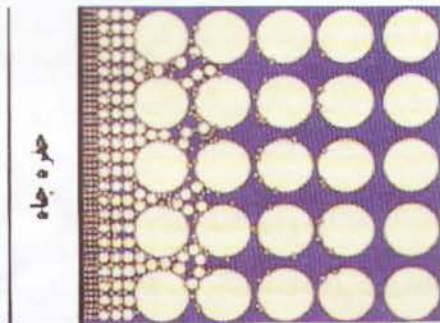


شکل ۲- تحرك نرمه های سازند در جهت حرکت سیال چاه

هجوم جامدات گل و فیلتر كيك داخلی

جامدات موجود در سیال حفاری می توانند تحت شرایط مشخص تا چند میلیمتر به درون سازند نفوذ کنند و

دهانه حفرات را ببندند. این ذرات یک كيك داخلی را روی دیواره تشکیل می دهند كه باعث می شود جریان هیدروكربون ها به درون چاه محدود شود. قدرت خسارت جامدات گل به اندازه ذرات و اندازه دهانه حفرات سازند حفر شده بستگی دارد. شكل، انعطاف پذیری و درجه پراكندگی ذرات نیز مهم هستند. ذرات بسیار انعطاف پذیر مانند رس های بنتونیتی نیز در گل وجود دارند كه می توانند مقدار زیادی تغییر شكل یابند. این انعطاف پذیری به آنها اجازه می دهد تا به درون حفرات كوچك تر از قطر ورقه های رسی نفوذ کنند. قبل از بستن دهانه حفرات، ذرات بین $\frac{1}{8}$ تا $\frac{1}{4}$ قطر دهانه يك حفره، ممكن است مقدار قابل توجهی در سنگ نفوذ کنند. ذرات کمتر از $\frac{1}{8}$ قطر دهانه حفره، معمولاً نمی توانند آن را ببندند.



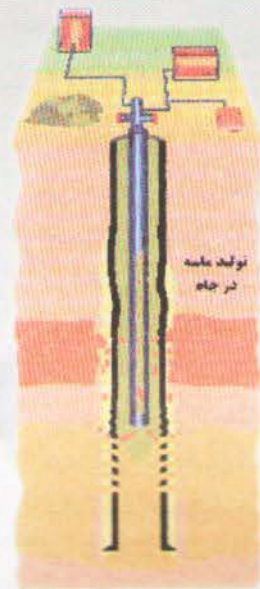
شکل ۱- هجوم جامدات گل و تشکیل فیلتر كيك داخلی

ریزش ماسه غیر متراكم

جدد از خسارت ایجاد شده توسط نفوذ ذرات گل، فقدان ذرات مجرایند مناسب نیز می تواند سبب ریزش ماسه های غیر متراكم و گشادی چاه شود. ماسه های غیر متراكم غالباً نیاز به ذرات بزرگ تر از ۵۰ میکرون برای بستن حفرات دارند. به علت محدوده گسترده اندازه ذرات و شكل حفرات، تشخیص اندازه و مقدار مواد لازم برای بستن سوراخها مشكل است. اگر محدوده اندازه ذرات کمتر از ۵۰ میکرون باشد، كيك گل روی دیواره چاه شكل نمی گیرد. ماسه های غیر متراكم ضریب چسبندگی صفر دارند، در نتیجه در چاه ریزش می کنند، مگر این كه يك كيك گل مناسب تشکیل گردد. اگر گل نتواند سریعاً كيك گل را روی دیواره تشکیل دهد، نه تنها سبب خسارت به تولید می گردد، بلکه منجر به تولید ماسه، خمیدگی لوله جداری و دیگر مشكلات مرتبط با گشاد شدن چاه می شود.

خسارت ذرات گل به مخزن در اثر حرکت از میان ریزشکست‌ها

بعضی مخازن (به‌طور شاخص کربنات‌ها) نفوذپذیری ماتریکس بسیار کمی دارند و فرایند تولید، به جریان از میان شبکه ریزشکستگی‌ها وابسته است. پهنای این شکستگی‌ها معمولاً کمتر از ۱۰ میکرون است. بسته شدن شکستگی‌ها بسیار پیچیده‌تر از بسته شدن محیط متخلخل است. اگر شکستگی‌ها بسته نشوند، ذرات ریز گل در آنها نفوذ می‌کنند و تا زمانی که با یک کیک گل پرنشود در دیواره‌های شکستگی فیلتر می‌شوند. چنین کیک گل داخلی توسط جریان نفت هنگام تولید از بین نمی‌رود و تولید به مقدار زیاد خسارت می‌بیند. چنین مخازنی بایستی با سیالی که جامدات آن قابل تجزیه باشند، حفاری شوند. ■



شکل ۵- تولید ماسه یک چاه هنگام بهره‌برداری

این مقاله خلاصه بخشی از طرح تحقیقاتی است که در دانشگاه شهید باهنر کرمان با همکاری دکتر محمد رنجبر و دکتر رضا بونسی انجام می‌شود.

- 1) Francis PA, Eigner MRP, Patery ITM and Spark ISC: "Visualisation of Drilling- Induced Formation Damage Mechanisms Using Reservoir Conditions Core Flood Testing", SPE 30088, Presented at the SPE European Formation Damage Conference, the Hague, the Netherlands, May 15-16- 1995.
- 2) George R.Gray, H.C.H. Darley, "Composition and Properties of Oil- Well Drilling Fluids", 1980.
- 3) M.T. Tweheyo, T.Holt, O.Torsaeter, "An Experimental Study of the Relationship Between Wettability and Oil Production Characteristics", 1999.
- 4) J.Carlson, D. Gurley, G.King, C.P.Smith, F.Wtters, "Sand Control: Why and How?". 1992.

خسارت سیال حفاری به ابزار تکمیل

گل، در اثر فشارهای موجی ایجاد شده توسط راندن لوله‌های مشبک، آستری‌ها و مجراوند‌های شن به درون چاه، از میان آنها جریان می‌یابد یا فیلتر می‌شود. طی این فرایند، جامدات گل به‌طور جزئی یا کامل، سوراخ‌های آنها را می‌بندند. حساسیت به خسارت ناشی از نفوذ گل، بسته به نوع عملیات و ابزارآلات تکمیل مقدار زیادی تغییر خواهد کرد.



گردآورندگان: سعید سجادیان - سیدرضا هاشمی نسب زواره (SPE)

کاربرد امواج الکترومغناطیسی در روش‌های ازدیاد برداشت از مخازن (EMH)

و پارانش نفت مخزن به سمت چاه‌های تولیدی استفاده می‌گردد. در صورتی که هدف تنها حفظ فشار مخزن باشد فاز گاز به کلاهک گازی و فاز آب به لایه آب زیرمخزن تزریق می‌گردد و اگر هدف رانش نفت مخزن به سمت چاه‌های تولیدی باشد از الگوهای مختلف قرار گرفتن چاه‌های تزریقی و تولیدی به‌منظور بهینه‌نمودن بازدهی جارویی استفاده می‌شود.

باتوجه به افزایش روزافزون برداشت از مخازن هیدروکربوری و کاهش کشف مخازن جدید، نیاز به استفاده روش‌های ازدیاد برداشت به‌منظور بالا بردن ضریب استحصال نفت، کاملاً ضروری است. روش‌های تولید از مخازن به‌طور کلی شامل دو مرحله برداشت اولیه و برداشت پیشرفته است. در روش‌های برداشت اولیه، علاوه بر انرژی طبیعی مخزن از تزریق گاز و آب به‌منظور حفظ فشار مخزن