Archive of SID

بررسی فرایند لایه شکافی اسیدی در مخازن کربناته

میلاد یاحق[1]، سیاوش عاشوری[2]

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات،گروه نفت، فارس، ایران

Yahagh.milad@yahoo.com

چکیده

تحریک چاه به منظور افزایش تولید از چاه و بهروری اقتصادی از مخزن استفاده می‌شود. روش‌های رایج تحریک چاه شامل عملیات ماتریس یا بعبارتی اسیدکاری و لایه شکافی است. فرایند لایه شکافی خود به دور روش لایه شکافی پروپانتی و لایه شکافی اسیدی انجام می‌شود. همچنین از روش‌های لایه شکافی علاوه بر تحریک چاه می‌توان به عنوان ابزاری برای کنترل مخزن استفاده شوند. انتخاب بین روش‌های تحریک بر اساس جنس سازند، اهداف تولیدی و ارزیابی‌های اقتصادی انجام می‌گیرد که در این ارزیابی‌ها نمودارهای شاخص تولید از نقش بسازیی برخوردار هستند. در سازندهای کربناته‌ای که دارای تراوایی و تخلخل پایین هستند، روش لایه شکافی اسیدی به عنوان انتخاب اصلی در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که بیش از ۸۵ درصد مخازن هیدروکربنی کشورمان از نوع کربناته بوده و اکثر آنها با معضل افت فشار مواجه‌اند، استفاده از روشهای تحریک چاه به منظور بهبود در میزان تولید و دست یافتن به اهداف تولیدی ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به این موضوع استفاده از لایه شکافی اسیدی در مخازن ایران می تواند کاندیدای خوبی برای تحریک باشد. از اینرو بررسی و مطالعه عوامل تاثیر گذار بر موفقیت فرایند لایه شکافی اسیدی از اهمیت بسزایی برخوردار است. این مقاله به بررسی شرایط انتخاب لایه شکافی اسیدی، مزایا، معایب و عوامل تاثیر گذار بر روی موفقیت آن می‌پردازد.

واژه‌های کلیدی: اسیدکاری، لایه شکافی اسیدی، مخازن کربناته، نمودار IPR

---

[1] کارشناسی ارشد مخازن هیدروکربوری

[2] دکتری نفت ، استادیار

www.SID.ir

Archive of SID

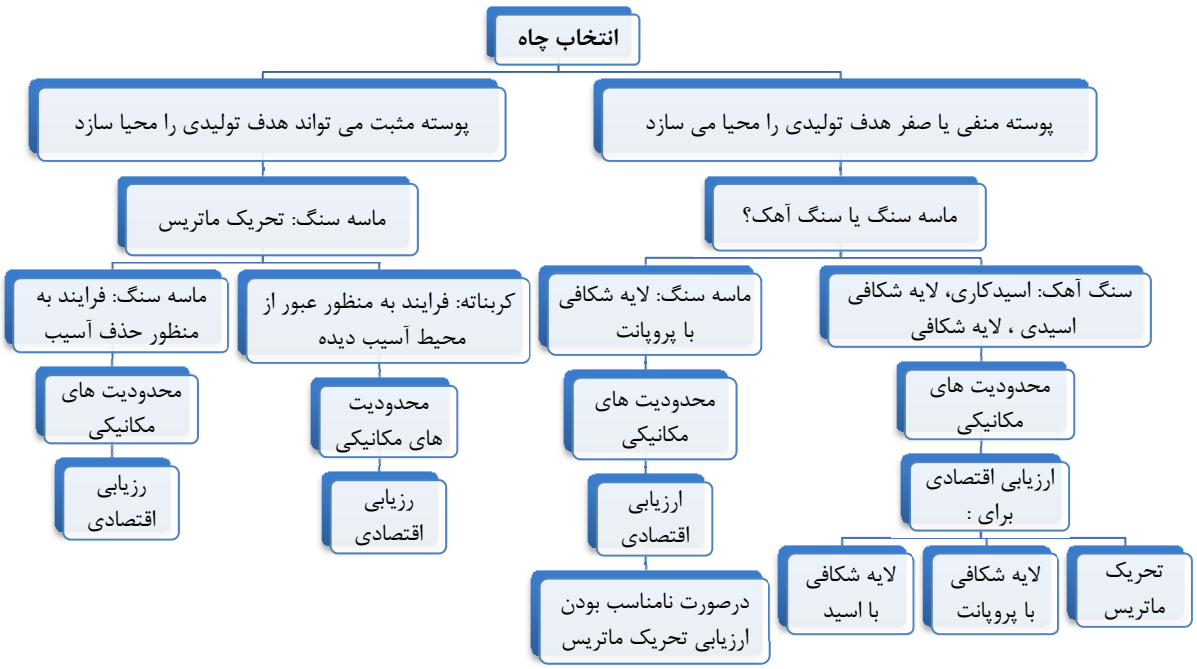
۱- مقدمه

انتخاب روش تحریک چاه بر اساس اهداف تولیدی، لیتولوژی، محدودیت های عملیاتی و دیگر شرایط انجام می شود. بطور معمول اهداف تولیدی روش تحریک را مشخص می‌کند. درابتدای امر پس از مشخص شدن چاه، ارزش اقتصادی مربوط به افزایش تولید و علت آسیب سازند یا پایین بودن تولید مشخص می‌شود و در آخر روش مناسب تعیین می‌شود. بطور مثال اگر با حذف اثر پوسته تا حدود ۹۰٪ به هدف تولیدی دست یابیم، اسید کاری روشی موثر است و اگر روش اسیدکاری از لحاظ اقتصادی قابل اجرا نباشد، در این صورت می‌بایست امکان روش‌های لایه شکافی بررسی گردند.

کل سیستم تولیدی باید در این انتخاب در نظر گرفته شود. اگر مشکل تولید چاه مربوط به طراحی یا بهره برداری است (به عنوان مثال، اندازه لوله‌ی مغزی یا فرازآوری مصنوعی) تحریک نیاز نیست و تجهیزات باید اصلاح یا تعمیر شوند. عملکرد چاه می‌بایست متعادل باشد. به عبارتی؛ هیچ نیازی به تولیدی بیشتر از ظرفیت فرازآوری لوله‌ی مغزی یا امکان پالایش وجود ندارد. تاثیر اثر پوست در محدودیت اقتصادی و بازیافت از مخزن نیز باید در نظر گرفته شود.

در مخازن هیدروکربوری روش‌های لایه شکافی اسیدی، لایه شکافی پروپانتی و اسیدکاری ماتریس برای تحریک چاه به منظور افزایش تولید قابل اجرا هستند. اگر بتوان با استفاده از روش اسیدکاری ضریب پوسته‌ای در حدود ۲- الی ۳- بوجود آورد می‌توان از روش اسیدکاری به عنوان روشی موثر با کمترین هزینه یاد کرد.

شکل (۱) نمودار فرایند انتخاب روش تحریک مناسب که می تواند درون ارزیابی‌ها و نرم‌افزارهای کامپیوتری گنجانیده شود را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده‌است، هدف تولیدی تعیین کننده‌ی روش تحریک است.



شکل ۱) فرایند انتخاب روش تحریک مانسب با توجه به هدف تئلیدی و ارزیابی اقتصادی

www.SID.ir

Archive of SID

اگر بتوان با ۱۰٪ اثر پوسته‌ی اولیه در ماسه سنگ‌ها و یا ایجاد پوسته‌ی برابر با ۲- تا ۳- در سنگ‌های کربناته به هدف تولیدی رسید، احتمالا تحریک ماتریس بوسیله‌ی اسید کاری کافی و مقرون به صرفه خواهد بود. در مخازن ماسه‌سنگ تنها جایگزین اسیدکاری لایه شکافی با پروپانت است ولی در مخازن کربناته (سنگ آهک یا دولومیت) علاوه بر لایه شکافی هیدرولیکی با پروپانت، روش لایه‌شکافی اسیدی می‌تواند روش موثر و اقتصادی برای افزایش تولید محسوب شود. در هر دو مورد لایه شکافی، یک شکستگی هیدرولیکی در سنگ مخزن ایجاد می‌شود. در لایه شکافی هیدرولیکی با پروپانت گذردهی شکاف بوسیله‌ی باز نگهداشتن شکاف توسط پروپانت بدست می‌آید ولی در لایه شکافی اسیدی گذردهی بوسیله‌ی لبه‌های نامتقارن در سطح شکاف ایجاد می‌گردد.

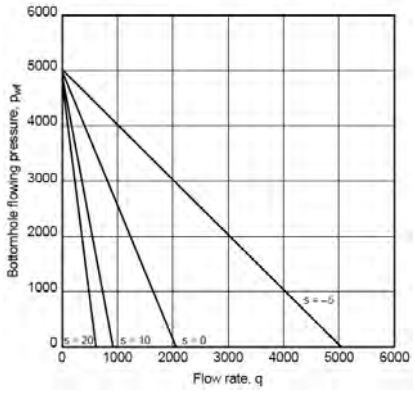
انتخاب روش تحریک نیز می‌تواند تحت تاثیر عوامل دیگر قرار گیرد. در ماسه سنگ‌های سست بهتر است بررسی‌هایی برای حداکثر کاهش فشار مجاز قبل از تولید ماسه انجام گیرد. این محدودیت کاهش فشار ممکن است منجر به انتخاب لایه شکافی شود، زیرا لایه شکافی به ما اجازه به دست آوردن نرخ مورد نظر در کاهش فشار پایین‌تری را می‌دهد. از سوی دیگر، نگرانی در مورد وجود لایه‌های حاوی آب ممکن است مانعی برای فرایند لایه شکافی محسوب شوند. ممکن است تحریک ماتریس بعنوان گزینه‌ی مناسب در شرایطی که نمی‌توان رشد عمودی شکاف به درون سفره‌ی آب یا کلاهک گازی را کنترل کرد انتخاب شود.

۲- نمودار IPR

نرخ تولید چاه وابسته به فشارجریان درون چاهی می‌باشد و با نمودار IPR (inflow performance relationship) این رابطه را نشان می‌دهند. باتوجه به اثر مرزهای مخزن و حالت چاه (عمودی و جهتدار) معادلاتی ارائه شده است که بطور وسیعی در ارزیابی ها از آنها استفاده می‌شود[۱]. برای جریان حالت پایدار می‌توان رابطه را بصورت زیر بیان کرد :

$$q = \frac{kh(p_e - p_{wf})}{141.2B\mu[ln(r_e/r_w) + s]} \qquad (۱)$$

رسم p_{wf} برحسب q طبق رابطه‌ی (۱) خط مستقیمی می‌شود که در شکل (۲) نمونه‌ای از این نمودار به نشان داده شده است. برای تعیین میزان تاثیر روش‌های تحریک بر روی تولید چاه از این نمودار استفاده می‌شود. با توجه به تغییر مقدار IPR نسبت به تغییر پوسته برآوردی برای انتخاب بین روش تحریک ماتریس و لایه شکافی انجام می‌گیرد.



شکل ۲) نمونه ای از تغییرIPR با توجه به تغییر در مقدار ضریب پوسته

www.SID.ir

Archive of SID

حالت پایدار برای جریان گاز را می توان از معادله‌ی (۲) و برای جریان چند فاز را می توان از معادله‌ی (۳) بدست آورد[۲].

$$q = \frac{kh(p_e^2 - p_{wf}^2)}{1424\bar{\mu}\bar{Z}T[\ln(r_e/r_w) + s]} \quad (۲)$$

$$\frac{q_o}{q_{o,max}} = 1 - 0.2\frac{p_{wf}}{p} - 0.8\left(\frac{p_{wf}}{p}\right)^2 \quad (۳)$$

$$q_{o,max} = \frac{AOFP}{1.8} \quad (۴)$$

۳- اسیدکاری

اسیدکاری به منظور تاثیر بر روی ماتریس سنگ اطراف چاه، شامل تزریق اسید درون دهانه چاه با دبی و فشار طراحی شده برای از بین بردن موانع تولید اطراف چاه بدون ایجاد شکست می‌باشد (به طور معمول، اسید فلوریدریک برای مشکلات ماسه سنگ یا سنگ سیلیسی، و اسید کلریدریک و اسید استیک برای سنگ آهک یا سنگ کربناته استفاده می‌شود). اسیدکاری در درجه اول برای حذف آسیب‌های پوسته ناشی از عملیات حفاری، تکمیل، و یا از بین‌بردن رسوب ناشی از آب تولید شده، اعمال می‌شود. با توجه به سطح بسیار بزرگ تماس با اسید در فرایند اسیدکاری، زمان صرف شده بسیار کوتاه است. بنابراین، تحت تاثیر قرار دادن سازند بیش از چند متر نسبت به چاه دشوار است [۳].

۴- لایه شکافی

شکاف هیدرولیکی شامل تزریق سیال بدرون چاه در نرخ‌های تزریقی بالا به نحوی که باعث ترک‌خوردگی یا شکاف خوردن سازند مخزن شود. مواد رایجی که در این فرایند استفاده می‌شود شامل: آب، اسید و ژل پلیمری و پروپانت می‌باشد. در مجموع ایجاد شکاف مصنوعی در سنگ مخزن و متعاقب آن پر شدن شکاف با پروپانت یا ایجاد سطح نا متقارن و کانال‌هایی توسط اسید به منظور ایجاد کانال با گذردهی بالا به سمت چاه از فاصله بیش از یک صد متر است.

لایه شکافی با اسید یک جایگزین برای شکاف هیدرولیکی با پروپانت در مخازن کربناته است. در لایه شکافی اسیدی سنگ مخزن توسط فشار سیال شکسته و پس از آن سطح شکاف با اسید تیزاب کاری و قسمتی از سنگ درون اسید حل می‌شود و در نهایت در اثر تیزاب‌کاری شکاف، صفحاتی نا متقارن ایجاد می‌شود که کانال‌هایی برای جریان خطی سیال تولیدی به سمت دهانه چاه را محیا می‌سازد. نوع اسید رایج که برای کار تحریک چاه استفاده می‌شود، اسید کلریدریک (HCI) است؛ که برای حذف آهک و دولومیت، از سنگ مفید هستند. همچنین، اسید کلریدریک را می‌توان با اسید فلوریدریک (HF) ترکیب کرد، و برای حذف کوارتز، ماسه و خاک رس از سنگ مخزن استفاده کرد. واکنش اسید کلریدریک با سنگ‌های کربناته را می توان با معادله زیر نشان داد[۴].

$$2HCl + CaCO_3 \rightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2 \quad (۱)$$

$$CaMg(CO_3)_2 + 4HCl \rightarrow CaCl_2 + MgCl_2 + 2H_2O + 2CO_2 \quad (۲)$$

هر دو روش لایه شکافی در سازندهای کربناته یا دولومیت مزایا و محدودیت هایی را در مقایسه با همدیگر بهمراه دارند؛ اگرچه لایه شکافی اسیدی باید به عنوان روش اصلی در این مخازن در نظر گرفته شود. در کل لایه شکافی اسیدی با

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت گسترش مواجه است ولی می توان شکافی با قابلیت گذردهی بالاتری ایجاد کند. این در حالی است که لایه شکافی با پروپانت معمولا عمق نفوذ بیشتر در سازند دارد ولی ممکن است که قابلیت گذردهی محدودی داشته باشد. البته تکنولوژی درحال بررسی بر غلبه بر محدودیت های هر دو روش است.

مزایای لایه شکافی اسیدی را می توان به صورت زیر بیان کرد :

- پایین‌تر بودن فشار خالص شکاف که منجر به حداقل رساندن گسترش ارتفاع شکاف می‌شود.
- قابلیت بدست آوردن شکافی با گذردهی بالاتر.
- نبودن خطر گذر از لایه های حائل.
- نبودن مشکلات برگشت پروپانت‌ها (بدلیل استفاده نشدن از پروپانت).

و معایب لایه شکافی اسیدی شامل:

- بدلیل هرز روی بالاتر سیال عمق نفوذ شکاف درون سازند محدود است.
- تاثیر دما بر روی نرخ واکنش اسید و محدود شدن گسترش سطح ناصاف شکاف.
- وجود پتانسیل مشکلات امولسیون و مسدود شدن تخلخل ها در چاه های نفتی.
- پیش بینی قابلیت گذردهی در لایه شکافی اسیدی مشکل است و از آنجایی که قابلیت گذردهی یکی از پارامترهای مهم در طراحی فرایند لایه شکافی است، به عنوان یک مشکل بیان می‌شود.
- نگرانی های محیط زیستی و بحث خوردگی.

بهینه سازی لایه شکافی اسیدی نسبت به لایه شکافی با پروپانت کار بسیار مشکل‌تری است. در لایه شکافی با پروپانت حجم نسبتی از سیال مرحله پد در مقایسه با کل حجم تزریقی طراحی شده وجود دارد که برای میزان مشخصی از گسترش شکاف اولیه تزریق می‌شود و قابلیت گذردهی رابطه‌ی مستقیمی با تراوایی و غلظت پروپانت‌ها دارد. انتخاب سیال لایه شکافی معمولا بر اساس تطبیق پذیری باشرایط سنگ و سیال سازند و یا بر اساس تجارب میدانی انجام می‌شود.

همانطور که نتایج هر دو نوع فرایند لایه شکافی متفاوت است، هزینه‌ی انجام آنها نیز با هم تفاوت چشمگیری دارد. اگر هزینه‌ی یک سیال حاوی پروپانت را با سیال اسیدی مقایسه کنیم متوجه می‌شویم که هزینه‌ی سیال حاوی پروپانت بطور چشمگیری بسیار بیشتر از سیال اسیدی معمولی است. در مخازنی که فشار آنها زیر فشار نقطه حباب است هرزروی سیال با نرخ بیشتری انجام می‌شود و باید افزونه هایی درون سیال به منظور کاهش هرزروی در نظر گرفت که خود موجب بالا رفتن هزینه‌ی سیال اسیدی می‌شود. از اینرو برای مقایسه‌ی هر دو فرایند اطلاعات دقیقی مورد نیاز است.

۵- پارامترهای مهم تاثیر گذار در لایه شکافی اسیدی

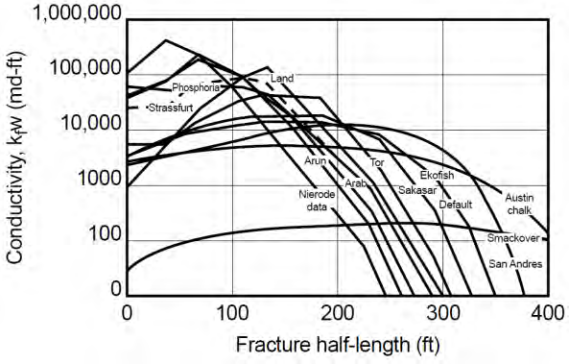
صفحات لبه دار نامتقارن شکاف تعیین کننده‌ی میزان گذردهی شکاف در لایه شکافی اسیدی می‌باشند که معمولا گسترش این لبه‌ها کمتر از گسترش شکاف درون سازند است. چند پارامتر مهم تاثیرگذار بر عمق صفحات لبه دار (در اثر تیزاب کاری بدنه‌ی شکاف) در لایه شکافی اسیدی وجود دارد که شامل واکنش پذیری سازند، دبی تزریقی، حجم و غلظت اسید، نرخ هرزروی و دمای مخزن می‌شوند که با اصلاح آنها می‌توان فرایند را در جهت مورد نظر کنترل کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵-۱- خصوصیات واکنش پذیری سازند

خصوصیات واکنش پذیری سازند یک پارامتر مهم در طراحی لایه شکافی اسیدی می‌باشد. در شکل (۳) اثر واکنش پذیری بر روی قابلیت گذردهی شکاف را نشان می‌دهد. در شکل(۳) نحوی اجرای فرایندها یکسان بوده و تغییر در نوع سازند و خصوصیات واکنش پذیری سازند انجام گرفته است.



شکل۳) نمودار قابلیت گذردهی در ۱۱ سازند مختلف با اجرای فرایندی یکسان

سازند هایی که نفوذ شکاف بیشتری دارند قابلیت گذردهی کمتری دارند. برای افزایش عملکرد شکاف ممکن است که نیاز به قابلیت گذردهی بیشتر باشیم و درنتیجه نیاز به استراتژی متفاوت با گسترش کمتر شکاف با قابلیت گذردهی بیشتر باشیم.

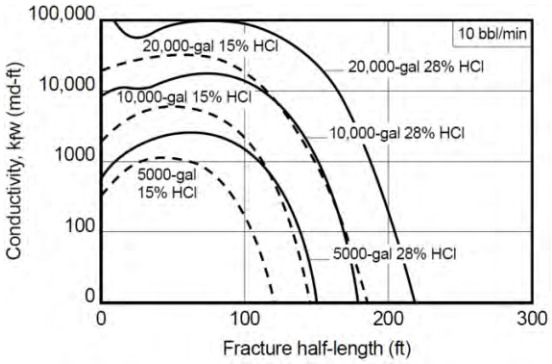
حتی با وجود درصدهای یکسان کانی درسازند ممکن است در دو سازند متفاوت میزان واکنش پذیری یکسان نباشد. از آنجایی که سازند هایی ممکن است دیگر کانی‌هایی باشند که میتوانند بر روی نرخ واکنش پذیری و گسترش شکاف تاثیر گذار باشند. از این رو واکنش پذیری می‌بایست در آزمایشگاه تعیین شود[۵].

۵-۲- حجم وغلظت اسید

افزایش حجم اسید باعث افزایش تیزاب کاری و گسترش لبه ها در صفحات شکاف می شود که این گسترش صفحات نامتفارن وابسته به هرزروی سیال و نرخ واکنش پذیری دارد. نتیجه‌ی نهایی افزیش حجم اسید افزایش قابلیت گذردهی است. در شکل (۴) تاثیر تغییرات حجم اسید بر روی قابیلت گذردهی را نشان می‌دهد. در اینجا فرض شده است که با تغییر حجم تغییری در نرخ هرزروی سیال ندارد.

www.SID.ir

Archive of SID



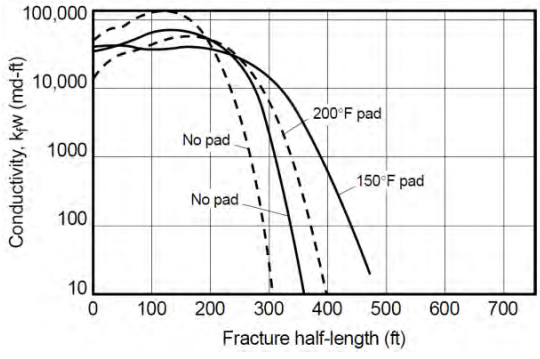
شکل۴) نمودار گذردهی حاصل از صفحات نامتقارن در لایه شکافی اسیدی برای حجم های مختلف از اسید

۵-۳- نرخ هرزروی

در طی فرایند لایه شکافی اسیدی ممکن است که شکاف به میزان مورد نظر گسترش یابد ولی گسترش تیزاب کاری صفحات شکاف کم باشد و در اثر بسته شدن شکاف در قسمت‌هایی که تیزاب کاری نشده‌اند، حجم زیادی از شکاف به دلیل پایین بودن قابلیت گذردهی شکاف از دست رود. هرز روی سیال اسیدی تاثیر چشمگیری بر روی تیزاب کاری صفحات شکاف، گسترش شکاف درون سازند و واکنش پذیری دارد. فشار نقطه حباب در این بخش نقش بسیار مهمی دارد. اگر فشار مخزن زیر نقطه حباب باشد به دلیل افزایش تراکم پذیری سیال مخزن که کنترل کننده‌ی هرزروی سیال است، میزان هرزروی سیال بطور چشمگیری افزایش می‌یابد[۶]. در صورتی که نرخ هرزروی از نرخ تزریقی سیال بیشتر باشد گسترش شکاف درون سازند متوقف می‌شود و می‌بایست از افزونه‌های کنترل کننده‌ی هرزروی به منظور بدست آوردن شکاف‌هایی باطول بیشتر استفاده کرد[۷].

۵-۴- تاثیر دمای مخزن

با افزایش دما واکنش پذیری هم افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش واکنش پذیری گسترش صفحات نامتقارن کم می‌شود و در نتیجه مقدار بیشتری از شکاف ایجاد شده بسته می‌شود واز طرف دیگر قابلیت گذردهی نقاط ابتدای شکاف بیشتر می‌شود. شکل (۵) تاثیر دما بر روی قابلیت گذر دهی شکاف در دو دمای ۶۵ و ۹۰ درجه سانتیگراد را نشان می‌دهد.



شکل ۵) نتایج بررسی تاثیر دمای بر قابلیت گذردهی شکاف در دمای ۶۵ و ۹۰ درجه سانتیگراد

www.SID.ir

Archive of SID

واکنش اسید با سنگ در طی فرایند موجب آزاد شدن انرژی می‌شود. این انرژی ممکن است به میزان چشمگیری زیاد باشد و باعث افزایش دمای سیال به مقداری بیش از دمای سازند شود. از آنجایی که تغییرات دمای واکنش رابطه‌ی مستقیم با غلظت دارد و غلظت اسید در طی فرایند در حال تغییر است، می‌بایست محاسبات عددی دما در شبیه سازی فرایند استفاده شوند.

۵-۵- اثر نرخ تزریقی و مرحله‌ی پد

با افزایش نرخ تزریق اسید در لایه شکافی اسیدی گسترش لبه‌های نامتقارن درون شکاف افزایش می یابد. پیش از تزریق اسید می‌توان از تزریق پد استفاده کرد. اولین باری که مرحله پد قبل از مرحله اسید کاری در لایه شکافی اسیدی استفاده شد در دهی شصت بود. هدف از مرحله پد کاهش دمای مخزن در جهت کم کردن سرعت واکنش پذیری سازند و تشکیل یک فیلتر کیک به منظور کاهش نرخ هرزروی سیال اسیدی می‌باشد. نتیجه‌ی هر دو فرایند افزایش گسترش سطوح لبه دار نامتقارن در شکاف می‌شود[۸].

از طرف دیگر استفاده از حجم زیاد سیال در مرحله پد باعث گسترش ارتفاع شکاف شده که خود باعث کاهش گسترش صفحات لبه‌دار نامتقارن شکاف می‌شود. از این رو می‌بایست حجم سیال مرحله پد در مقدار بهینه در نظر گرفته شود. برای شبیه سازی اثر این مرحله می‌بایست با استفاده از شبیه سازهای شبه سه بعدی هندسه‌ی شکاف (P3D) انجام گیرد که برای این منظور نیازمند نمودار استرس‌های سنگ می‌باشیم.

۶- نتایج

اولین مرحله‌ی انتخاب روش تحریک استفاده از نمودارهای IPR و با توجه به نوع سازند می‌باشد. برای مخازن کربناته اگر نیاز به ایجاد ضریب پوسته منفی برای دستیابی به اهداف تولیدی باشد لایه شکافی اسیدی به عنوان روش اصلی شناخته می‌شود زیرا از دیدگاه اقتصادی لایه شکافی اسید نسبت به لایه شکافی پروپانتی بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. در عمل طراحی لایه شکافی اسیدی کار پیچده‌تری می‌باشد. بدلیل مشکلات و پیچیدگی طراحی لایه شکاف اسیدی نیازمند جمع آوری اطلاعات دقیق آزمایشگاهی و میدانی است. با توجه به عوامل تاثیر گذار همچون واکنش پذیری سازند، دبی تزریقی، حجم و غلظت اسید، نرخ هرزروی، دمای مخزن و مرحله‌ی پد؛ برای شبیه سازی و طراحی فرایند لایه شکافی اسیدی نیاز به استفاده از مدل‌های P3D است.

علائم

k	تراوایی مخزن (m.d)	B	ضریب حجمی (RB/STB)
p_e	فشار مخزن (psi)	r_e	شعاع ناحیه ریزش (ft)
p_{wf}	فشار درون چاهی (psi)	r_w	شعاع دهانه چاه (ft)
q_o	دبی تولید نفت (B/D)	μ	ویسکوزیته (cp)
$q_{o,max}$	بیشترین دبی تولید ممکن در جریان دوفازی (B/D)	$\bar{\mu}$	ویسکوزیته معادل برای گاز (cp)
$AOFP$	پتانسیل جریان تک فاز نفت (absolute open-flow potential of single-phase oil flow)	T	دمای مخزن (F)
s	ضریب معادل پوسته	$\bar{Z}$	ضریب حجمی معادل گاز

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

[1] Economides, M.J., Hill, A.D. and Ehlig-Economides, C.A., *Petroleum Production Systems*, Englewood Cliffs, New Jersey, USA, Prentice-Hall (1994).

[2] Vogel, J.V., Inflow Performance Relationships for Solution-Gas Drive Wells, paper SPE 1476, *Journal of Petroleum Technology* (January 1968) 20, 83‑92.

[3] Williams, B.B., Nierode, D.E., Design of acid fracturing treatments, paper presented at Trans. SPE of AIME (1972) 253.

[4] Training manual on production operations for non- production engineers, Institute of oil & gas production Technology, ONGC Ltd, Panvel, India, (2006) 7.1- 7.15.

[5] Nierode, D.E. and Kruk, K.F., An Evaluation of Acid Fluid Loss Additives, Retarded Acids and Acidized Fracture Conductivity, paper SPE 4549, presented at the SPE Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, USA (September 30‑October 3, 1973).

[6] Howard, G.C., Fast, C.R., 1957, Optimum Fluid Characteristics for Fracture Extension", Drilling and Production Practice, New York, New York, USA, American Petroleum Institute 261–270

[7] Allen, O. T., Roberts, A.P., Production operations, Well completions, Work over and stimulation", vol.2.

[8] Coulter, A.W., Crowe, C.W., Barrett, N.D. and Miller, B.D., Alternate Stages of Pad Fluid and Acid Provide Improved Leakoff Control for Fracture Acidizing, paper SPE 6124, presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, USA (October 3‑6, 1976).

www.SID.ir