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: هم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

عملیات اسیدکاری سازندهای کربناته و مطالعه موردی نتایج اسیدکاری یکی از چاه های نفت واقع در یکی از میادین حوزه ی نفت مرکزی

محمد حدادی[۱]، احمد مومنی میانایی [۲]،
Mohamadhadadi66@yahoo.com

چکیده

امروزه برداشت بیشینه از مخازن نفت و گاز با در نظر گرفتن جنبه های اقتصادی، بیش از هر زمان دیگری اهمیت یافته است. رفع موانع موجود در مسیر تولید از مخازن، از ملزومات دست یابی به تولید مطلوب است؛ یکی از موانع و مشکلاتی که همواره موجب ایجاد افت فشار اضافی و در نتیجه کاهش نرخ تولید در چاه های نفتی می شود، پدیده ی آسیب سازند می باشد. مؤثرترین راه مقابله با آسیب سازند، استفاده از روش های تحریک و انگیزش چاه است. عملیات تحریک چاه شامل گستره ی وسیعی از روش ها می باشد که متداول ترین آنها، استفاده از اسیدها به عنوان مواد محرک برای انحلال رسوبات و رفع انسدادها می باشد. در کشور ایران، به دلیل آنکه مخازن کربناته (دولومیتی و آهکی) بیش از ۸۰ درصد از تعداد کل مخازن در حال تولید را تشکیل می دهند، می توان از عملیات اسیدکاری به بهترین شکل بهره گیری نمود؛ چراکه بازدهی فرایندهای اسیدکاری در سازندهای کربناته، به مراتب بیش از سایر انواع لیتولوژی هاست. در این مطالعه، در ابتدا عملیات اسیدکاری در سازندهای کربناته و آسیب دیده مورد بررسی قرار گرفته است، سپس به معرفی انواع اسیدهای مورد استفاده در عملیات انگیزش، انواع افزودنی ها و همچنین انواع روش های اسیدکاری پرداخته ایم. در ادامه به ارائه ی مشخصات مخزن و چاه تولیدی، خواص سیال تولیدی و همچنین نتایج موردی حاصل از عملیات اسیدکاری یکی از چاه ها در منطقه ی جنوب غرب کشور پرداخته شده است. نتایج ارائه شده شامل فشار های جریانی قبل و بعد از اسید کاری، ضریب پوسته، تراوایی و نرخ تولید قبل و بعد از اسیدکاری می باشد.

واژه‌های کلیدی: سازند کربناته ، آسیب سازندی، اسیدکاری، فشار جریانی، دبی تولیدی

۱- استاد دانشگاه گرمسار

۲- دانشجوی مهندسی نفت دانشگاه گرمسار

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه و مبانی نظری

در تولید از مخازن نفت و گاز، همواره اقداماتی در راستای کاهش مقدار آسیب و افزایش میزان تراوایی صورت می گیرد. این اقدامات بخش قابل توجهی از هزینه های تعمیرات و نگهداری چاه ها را شامل می شوند و اصولاً با ریسک همراه هستند. روش اصلی مقابله با آسیب ها و افزایش گذردهی سازند، تحریک و انگیزش چاه ها با استفاده از عملیات اسیدکاری می باشد که نخستین بار حدود ۱۲۰ سال پیش از این و در ایالت پنسیلوانیا مورد استفاده قرار گرفت.

اسید به دلیل دارا بودن قدرت افزایش نفوذپذیری سنگ مخزن و دبی تولیدی چاه، مورد استفاده قرار می گیرد و با انحلال ذرات دانه ریز و یا حمل ذرات و رسوباتی که موجب ایجاد آسیب و انسداد در خلل و فرج موجود در سنگ مخزن می شوند، این امر را محقق می سازد. مواد ایجادکننده ی آسیب، شامل کیک سیال حفاری و ذرات دانه ریز نظیر ذرات مهاجر، آسفالتین، امولسیون و ... می باشد. این عملیات می تواند منجر به کاهش هزینه ها و زمان برداشت نفت و افزایش دبی تولید و شاخص بهره دهی مخزن شوند.

در مورد نوع سازندها، باید در نظر داشت که بطور کلی سنگ های مخازن تولیدی هیدروکربن ها که توسط اسید مورد انگیزش قرار می گیرند، شامل سنگ های کربناته (مخلوطی از ترکیبات کربنات کلسیم و سایر مواد) و ماسه سنگ ها (مخلوطی از کلسیم منیزیم کربنات و سایر ترکیبات) و یا مخلوطی از این دو نوع سنگ می باشند؛ البته معمولاً برای مخازن کربناته از عملیات اسیدکاری و برای مخازن ماسه سنگی از عملیات شکاف هیدرولیکی استفاده می شود.

۲- عملیات اسیدکاری در سازند های کربناته آسیب دیده

در ایران، به دلیل آنکه بیش از ۸۰ درصد مخازن از نوع کربناته هستند، از روش های اسیدکاری به منظور تحریک و انگیزش چاه های نفت و گاز، استفاده می شود؛ در حالیکه تجربه نشان داده است که در مخازن ماسه سنگی، به دلیل عدم دستیابی به نتیجه ی مطلوب توسط روش های تحریک با استفاده از اسیدکاری، از سایر روش ها از جمله شکست هیدرولیکی استفاده می گردد.

سنگ های کربناته، حاوی بیش از ۵۰ درصد مواد معدنی کربناته هستند و معمول ترین مواد معدنی کربناته نیز کلسیت و دولومیت می باشند. بیشتر سنگ های کربناته در ایران، از نوع ترک دار هستند و تولید از این مخازن عمدتاً از طریق همین شکاف ها و ترک ها صورت می گیرد؛ اما عواملی نظیر مهاجرت رسوبات دانه ریز، متورم شدن رس، ته نشین شدن پارافین ها، آسیب های ناشی از عملیات حفاری و تکمیل چاه مانند وجود کیک گل حفاری و صدمات وارده طی عملیات مشبک کاری و سیمانکاری، در نهایت موجب بسته شدن کانالها، شکاف ها و مجاری ورودی سیال می شوند. هنگامیکه روی سنگ های دولومیتی و آهکی، عملیات اسیدکاری انجام می گیرد، اسید به درون روزنه های ماتریس سنگ یا ترک خوردگیهای القا شده یا طبیعی موجود در سنگ، وارد می شوند. نکته ای که باید در نظر داشت، آن است که طراحی عملیات اسیدکاری، به کمیت های اساسی مرتبط با نوع اسید مورد استفاده و خواص سنگ مخزن کربناته، وابسته است؛ نوع اسید و دبی تزریق اسید و همچنین تعداد و اندازه ی ترک ها از جمله مهم ترین پارامتر های مؤثر در نتیجه ی عملیات اسیدکاری در مخازن کربناته هستند. سازند های حاوی شکاف و ترک، اسید را سریعتر و در فشار تزریقی پایین تری می پذیرند و محلول های اسیدی که با دیواره ی کانال های جریان واکنش می دهند، موجب افزایش عرض و خاصیت هدایت دهی ترک می شوند؛ بنابراین می توانند تأثیر بسیار مطلوبی را روی سازند تولیدی اعمال نمایند.

در طراحی عملیات اسیدکاری سازندهای کربناته، اصولاً از اسیدکلریدریک (HCl) استفاده می شود. این اسید به راحتی و با سرعت نسبتاً بالا، با مواد معدنی کربناته واکنش می دهد و به مقدار زیاد و با قیمت مناسب، در دسترس است.

در اسیدکاری سازند های کربناته، هدف حل کردن ماتریس و رفع آسیب است؛ بنابراین برای طراحی عملیات تحریک مناسب در این حالت، نیاز مبرم به دانستن مشخصات سنگ و همچنین نوع آسیب وجود دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

۳- اسیدهای متداول در عملیات اسیدکاری و انواع افزایه ها

گستره ی وسیعی از انواع اسیدها متناسب با محل کاربرد آنها در صنعت نفت مورد استفاده قرار می گیرد، اما انواع اسیدهایی که در ادامه معرفی خواهند شد، از جمله اسیدهای متداول به لحاظ صرفه ی اقتصادی و کارایی می باشند. به طور کلی اسیدهای مصرفی در عملیات انگیزش، عبارتند از : [۳]

۱- اسیدهای معدنی(Mineral Acid) شامل اسید کلریدریک (HCl) و مجموع اسید کلریدریک و اسید فلوئوریک (HF)
۲- اسیدهای آلی (Organic Acid) شامل اسید فرمیک (H-COOH) و اسید استیک (CH_3-COOH) .
۳- اسیدهای کریستالی یا پودر شده (Powdered Acid) شامل اسید سولفوریک و اسید کلرواستیک.
۴- هیبرید اسید ها (Hybrid Acid) شامل مخلوطی از اسیدهای آلی و معدنی می باشند.
۵- اسیدهای کندکار (Retardered Acid) [۳]

افزایه های اسید نیز شامل گستره ی وسیعی از افزودنی ها به اسید تزریقی می باشند که موجب اصلاح برخی نواقص احتمالی حین عملکرد اسید می شوند؛ برخی افزایه ها عبارتند از :

Diverting Agent : بطور موقت موجب انسداد قسمت هایی که نفوذ پذیری نسبتاً بالایی دارند، می شود و بدین ترتیب جریان به سمت قسمت های دیگر منحرف می شود و در نهایت موجب افزایش تراوای قسمت هایی با نفوذپذیری کمتر می شود. استفاده از این مواد در ضخامت های بیش از ۱۰ فوت، متداول است.

Sequestering Agent : یون های آهن، در حضور اسیدکلریدریک، تشکیل ترکیبات یونی داده و پس از خنثی شدن اسید در محیط مخزن، رسوب می نمایند. بمنظور جلوگیری از رسوباتی نظیر آهن هیدروکسید، از افزایه هایی این گروه که متداول ترین آنها EDTA که ماده ای بسیار گران قیمت است، استفاده می شود.

مواد فعال سطحی : بطور کلی موجب جلوگیری از ایجاد امولسیون و رکود اسید در مخزن، و همچنین افزایش میزان فعالیتهای سطحی و قابلیت جذب اسید در سنگ مخزن می شوند. [۱]

در برخی موارد برای افزایش عمق نفوذ هیدروفلوئوریک اسید، از افزایه هایی نظیر فلوئوبوریک اسید استفاده می گردد. این مواد عملکرد اسید را در ابتدا کند می کنند و سرعت واکنش را پایین می آورند؛ اما پس از رسیدن اسید به عمق مورد نظر وارد واکنش شده و عمل می کنند. همچنین مواد دیگری از این گروه مانند آمونیوم فلوئورید، همراه با هیروکلریک اسید تزریق می شوند؛ این مواد پس از رسیدن به عمق مطلوب تشکیل اسید قوی هیدروفلوئوریک اسید می دهند و موجب ایجاد خوردگی در سازند می شوند.

۴- استفاده از اسیدهای هوشمند

سیالات تزریقی از جمله کلریدریک اسید همواره تمایل دارند تا از مسیرهایی با کم‌ترین مقاومت عبور نمایند. از این‌رو نواحی با تراوایی پایین در حالی‌که بیش از نواحی دیگر به اسید نیاز دارند، به‌طور ذاتی اسید کم‌تری دریافت می‌کنند. برای غلبه بر این مشکل، مهندسین مخزن از روش های انحراف سیال استفاده می‌کنند.

روش‌های انحراف سیال در دو گروه اصلی یعنی روش‌های شیمیایی و روش‌های مکانیکی تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از پیشرفته‌ترین روش‌های انحراف سیال که برای به‌کارگیری در مخازن کربناته توسعه یافته است، استفاده از اسید هوشمند موسوم به Viscoelastic Diverting Acid یا VDA است.

این اسید، فاقد پلیمر و دارای خاصیت خود انحرافی است که بدون وارد آوردن آسیب به مخزن، به‌خوبی ناحیه مورد نظر برای اسیدکاری را تحت پوشش قرار می‌دهد. همچنین به کمک VDA می‌توان نواحی با اشباع بالای آب را به‌طور انتخابی مسدود کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

با تزریق VDA در مخزن، یک سد با ویسکوزیته بالا ایجاد می‌شود، اما با آغاز تولید مجدد نفت از چاه، این سد به‌راحتی شکسته می‌شود. بنابراین هیچ‌گونه آسیبی به مخزن وارد نمی‌شود. از مزایای دیگر VDA آن است که می‌توان آن را در فشارهای پایین تزریق نمود. تمیز کردن چاه پس از تزریق و بازیافت اسید تزریق شده نیز به‌راحتی امکان‌پذیر است.
اسیدکاری به کمک VDA در آسیا و به‌ویژه در منطقه خاورمیانه برای تحریک ماتریس و اسیدکاری انحرافی در چاه‌های عمودی و افقی، چاه‌های تولیدی نفتی و گازی و چاه‌های تزریق آب و همچنین برای ایجاد شکاف با اسید در چاه‌های تولیدی نفتی و گازی و چاه‌های تزریق آب به دفعات مورد استفاده قرار گرفته است.
در یک پژوهش به اثبات رسیده است که نرخ تولید از پنج حلقه چاه پس از اسیدکاری به کمک VDA به مراتب از متوسط نرخ تولید از یازده حلقه چاه که در آن‌ها اسیدکاری بدون استفاده از VDA صورت گرفته است، بیش‌تر می‌باشد.

۵- انواع روش ها و مراحل اسیدکاری سازندهای کربناته

به طور کلی سه روش اسیدکاری در عملیات تحریک سازندهای کربناته موجود است؛ شستشو با اسید، اسیدکاری ماتریسی و لایه شکافی اسیدی.در فرایند شستشو با اسید، هدف ایجاد خوردگی در سازند و افزایش تراوایی سازند نیست؛ بلکه مقصود از انجام آن، تمیزکاری قسمت های ورودی شبکه ها و منافذ و به عبارت ساده تر تمیز کردن مجرای ورودی سیال از سنگ مخزن به داخل چاه می باشد. تعداد دفعات تکرار عمل شستشوی اسید به میزان آسیب دیدگی اطراف دهانه چاه بستگی دارد. در این تکنیک اسید از صفر تا ۲۴ ساعت در معرض سازند قرار داده می شود.[۵ و ۱]

اسیدکاری ماتریسی، اسیدکاری به منظور تأثیر بر روی ماتریس سنگ اطراف چاه، شامل تزریق اسید درون چاه با دبی و فشار طراحی شده برای از بین بردن موانع تولید اطراف چاه، بدون ایجاد شکست می باشد؛ به این ترتیب که فشار تزریق اسید، کمتر از فشار شکست سازند می باشد. به طور معمول از اسید کلریدریک و اسید استیک برای سازندهای کربناته استفاده می شود. [۲]

عملیات لایه شکافی اسید، شامل تزریق سیال به درون چاه در نرخ های تزریقی بالا به نحوی که باعث ترک خوردگی یا ایجاد شکاف در سازند شود، می باشد. مواد رایجی که در این فرایند استفاده می شود شامل آب، ژل پلیمری و پروپانت می باشد. مکانیزم کار در این روش، ایجاد شکاف مصنوعی در سنگ مخزن و متعاقب آن پر شدن شکاف با پروپانت با ایجاد سطح نامتقارن و کانال هایی توسط اسید به منظور ایجاد مسیری با گذردهی بالا به سمت چاه، از فواصل نسبتاً دور می باشد. [۲]

۶- مشخصات چاه و مخزن مورد مطالعه

چاه مورد مطالعه، در یکی از میادین نفتی واقع در حوزه ی غرب زاگرس قرار دارد و مشخصات کلی چاه، مخزن و اطلاعات سیال تولیدی از چاه، در جداول زیر ذکر شده اند.

جدول ۱ : مشخصات مخزن مورد مطالعه

نوع مخزن	نفت
تعداد لایه های تولیدی مخزن	۱ لایه
جنس لایه های تولیدی	کربناته
عمق لایه های تولیدی	۲۷۳۰ متر
ضخامت لایه های تولیدی	۵۰ متر

جدول ۲ : مشخصات چاه مورد مطالعه

جهت چاه	عمودی

www.SID.ir

Archive of SID

عمق نهایی حفاری شده	۲۸۰۰ متر
نوع تکمیل چاه	تکمیل چاه تک گانه
تخلخل متوسط	۱۴ درصد
شعاع نهایی چاه	۳,۵ اینچ

جدول ۳ : مشخصات سیال تولیدی از چاه مورد مطالعه

API	۲۵
گرانروی (cp)	۲,۰۱
مقدار آب همراه (درصد)	۰,۱۷
دانسیته(g/cm^3)	۰,۹
مقدار CO_2 (درصد)	۰,۰۷
مقدار H_2S	بسیار کم
مقدار آسفالتین	بسیار کم
مقدار آهن	بسیار کم

۷- مشخصات عملیات اسیدکاری

همانطوریکه پیش تر و در قسمت ۲ بیان شد، اسیدکلریدریک پرکاربردترین اسید مورد استفاده در سازندهای کربناته محسوب می شود. در مرحله ی اسیدکاری اولیه (Preflush) ، در چاه مورد مطالعه نیز از همین اسید به منظور تحریک چاه استفاده شده است. حجم اسید تزریقی در این مرحله ۵۰۰ گالن و از اسیدکلریدریک ۳۲ درصد استفاده شده است.

در مرحله ی اسیدکاری اصلی، از مخلوط اسید (Mud Acid) با ترکیب اسید کلریدریک ۱۵ درصد حجمی و ۶ درصد حجمی اسیدفلوئوریدریک استفاده شده است. سیال جایگزین در عملیات اسیدکاری گازوئیل گزارش شده است. حجم اسید تزریقی در این مرحله ۸۰۰۰ گالن بوده است.

عملیات پمپ اسید نیز با فشار تزریقی از ۴۰۰ psi تا ۹۰۰ psi متغیر و با دبی تزریقی ۴ بشکه در دقیقه بوده است. همراه با اسیدکلریدریک تزریقی، از افزایه هایی نظیر ضد خوردگی، ضد لجن، ضد امولسیون، شوینده ی چند جانبه، کاهش دهنده ی کشش سطحی، کنترل کننده ی یون آهن و کنترل کننده ی H_2S استفاده شده است.

۸- بررسی تغییرات پس از اسیدکاری

همانطوریکه قبلاً بیان شد، مهم ترین هدف از طراحی و انجام عملیات اسیدکاری، ایجاد خلل و فرج جدید در سنگ مخزن، رفع آسیب ها و پوسته های ایجاد شده در دهانه ی چاه و یا شستشو و رفع انسداد احتمالی موجود در مسیر جریان سیال به درون چاه است. بر همین اساس، در جدول شماره ی ۴، مقادیر ضریب پوسته و تراوایی قبل و بعد از انجام عملیات اسیدکاری، با یکدیگر مقایسه شده اند.

بنابر انتظار، تراوایی سازند تولیدی بعد از انجام اسیدکاری نسبت به تراوایی سازند تولیدی قبل از انجام عملیات اسیدکاری افزایش یافته است؛ همچنین ضریب پوسته، که پارامتری است که از آن به منظور تبیین میزان افت فشار در سازند استفاده می گردد، پس از انجام اسیدکاری، به مقدار زیادی کاهش یافته است که این مسئله موید دست یابی به نتیجه ی مطلوب، پس از انجام عملیات اسیدکاری است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴ : مقایسه ی تراوایی و ضریب پوسته قبل و بعد از عملیات اسیدکاری در چاه مورد مطالعه

	قبل از اسیدکاری	بعد از اسیدکاری
تراوایی (K)	۳,۵ میلی دارسی	۵ میلی دارسی
ضریب پوسته (S)	۲	-۰,۵

۹- بررسی تأثیر عملیات اسیدکاری بر مقادیر فشار و دبی تولید

ضریب پوسته بصورت مستقیم و تراوایی بصورت معکوس روی مقدار افت فشار تأثیر می گذارند. طبق جدول شماره ۴، پس از انجام اسیدکاری، تراوایی افزایش و ضریب پوسته کاهش یافته است؛ هر دو عامل موجب کاهش افت فشار بین چاه و مخزن می شوند. نتایج عملیات اسیدکاری روی پارامتر های فشار جریانی سر چاه و همچنین دبی تولیدی از چاه در جدول شماره ی ۵ درج شده اند. تغییرات این پارامترها، نشان دهنده ی بهبود وضعیت جریانی چاه پس از عملیات است.

جدول ۵ : مقایسه ی وضعیت تولیدی چاه قبل و بعد از انجام عملیات اسیدکاری در چاه مورد مطالعه

	قبل از اسیدکاری	بعد از اسیدکاری
فشار جریانی سر چاه (Psi)	۱۶۰۰	۱۸۳۰
دبی تولید (bbl/day)	۷۰۰	۹۵۰

۱۰- نتیجه گیری

- در چاه هایی که عوامل آسیب سازند، موجب انسداد مسیرهای جریانی، ایجاد افت فشار اضافی و کاهش تولید می شوند، می توان از عملیات انگیزش چاه به منظور رفع آسیب ها استفاده نمود. از معمول ترین راه های تحریک چاه، عملیات اسیدکاری است که می تواند در گستره ی وسیعی از موارد به کار رود.
- مؤثرترین روش اسیدکاری در سازندهای کربناته، استفاده از اسیدکلریدریک و اسیدفلوئوریدریک می باشد.
- کاهش ضریب پوسته، افزایش فشار سرچاهی، افزایش دبی تولیدی و افزایش میزان تراوایی سازند در دهانه ی چاه پس از عملیات اسیدکاری، بیانگر موفقیت آمیز بودن اسیدکاری و اجرای صحیح عملیات می باشد. از سوی دیگر انتخاب صحیح نوع اسید، غلظت اسید، حجم اسید تزریقی و به طور کلی طراحی مناسب عملیات اسیدکاری را می توان از نتایج پیش رو، استنتاج کرد.
- بکارگیری کنترل کیفی و نظارت صحیح و مداوم در خلال کلیه مراحل یک عملیات اسیدکاری می تواند اختلافی به اندازه موفقیت و شکست داشته باشد. ارزیابی و نظارت ضمن عملیات اسیدکاری به تنهایی کافی نبوده و بایستی در مراحل برپایی تجهیزات و قبل از پمپاژ و بعد از آن طرح ریزی و انجام گردد،

مراجع

[۱] قناعت پیشه،ا.، "اسیدکاری سازند جهت افزایش تولید گاز و میعانات گازی در یکی از مخازن گاز تر در جنوب غرب ایران" ، سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی، خرداد ۱۳۹۲

www.SID.ir

Archive of SID

[۲] یاحق،م.، " بررسی فرایند لایه شکافی اسیدی در مخازن کربناته" ، دومین همایش مهندسی مخازن هیدروکربوری، علوم و صنایع مرتبط، اردیبهشت ۱۳۹۲

[3] R.L.Thomas, Alex Saxon and A.W.Milne : "The Use of coiled Tubing During Matrix Acidizing of Carbonate Reservoir Completed in Horizontal Deviated and Vertical Well" , SPE , 1998

[4] Larry W.Lake, SPE Handbook, Vol. IV, Chapter 7

[5] BJ Services, Acidizing Concepts and Design, Acidizing Seminar, "BP Indonesia Rocks". Chemical Engineering Science 62,919-928

www.SID.ir