

ضرایب بازیافت مخازن شکافدار

(Recovery factor of Fractured Reservoirs)

ترجمه: کاظم فولادی - طاهره حسینی نیا

مخازن شکافدار در مقایسه با مخازن متعارف

گرچه تخلخل و تراوایی در مخازن شکافدار به طور گسترده‌ای تغییر می‌کند، نوع ۱، ۲ و ۳ مخازن شکافدار همگی دارای تراوایی ماتریس کم هستند و قادر نیستند بدون وجود شکستگی تولید اقتصادی داشته باشند. شکستگی‌ها با تراوایی بالا و تخلخل پایین و در خمیره با تراوایی کم و تخلخل بیشتر، مکانیسم دستیابی به هیدروکربن را فراهم می‌کند. این سیستم تخلخل دوگانه در مخازن شکافدار، باعث پیچیدگی در این نوع مخازن می‌شود که در مخازن متعارف وجود ندارد. خصوصیات تولیدی مخازن شکافدار از چند جنبه اصلی با مخازن متعارف فرق دارد:

* به دلیل قابلیت هدایت زیاد شبکه شکستگی‌ها، افت فشار اطراف یک چاه تولیدی خیلی کم است و گرادیان فشار نقش مهمی در تولید بازی نمی‌کند. تولید توسط مکانیسم پیچیده ارتباط شکستگی و خمیره هدایت می‌شود.

* در مخازن شکافدار با تراوایی خمیره محدود، افت فشار به ازای هر بشکه نفت در مقایسه با مخازن متعارف کم است. انبساط مایعات، تخلیه ثقیلی و آشام (Imbibitions)، امکان جریان

افزایش زمان، هزینه و ریسک توسعه میدان می‌شوند. مخازن شکافداری که به خوبی توسعه پیدا کرده‌اند، بازیافتی قابل مقایسه با بسیاری از مخازن ماسه سنگی و کربناته دارند.

مخازن شکافدار از نوع یک، دارای تخلخل و تراوایی بسیار کم خمیره هستند. در این حالت شکستگی‌ها قابلیت ذخیره و مسیرهای جریان سیال را فراهم می‌کنند. نوع دوم مخازن دارای تخلخل و تراوایی کم خمیره هستند. خمیره، بخشی از قابلیت ذخیره و شکستگی‌ها، مسیرهای جریان سیال را فراهم می‌کنند. خمیره دارای تخلخل بالا و تراوایی پایین است، در این صورت خمیره قابلیت ذخیره سازی را ایجاد می‌کند و شکستگی‌ها مسیرهای جریان سیال را فراهم می‌کنند. در نوع چهارم (Macro porous) تخلخل و تراوایی خمیره بالا است. خمیره هم قابلیت ذخیره سازی و هم مسیرهای جریان سیال را فراهم می‌کند در حالی که شکستگی‌ها فقط تراوایی را بالا می‌برند.

برای درک بهتر و کنترل ضرایب بازیافت در انواع مختلف مخازن شکافدار، یک مطالعه اصولی در ۱۰۰ مخزن شکافدار در سراسر دنیا به عمل آمده است.

مخازن شکافدار در دنیا برای تعیین چگونگی مخزن و خصوصیات سیال (از قبیل تخلخل، تراوایی، ویسکوزیته، نسبت تحرک، اشباع آب، ترشوندگی، توزیع شکستگی‌ها و مکانیسم رانش در مقابل استراتژی مدیریت مخزن) بر بازیافت نهایی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مخازن شکافدار به چهار گروه تقسیم شده‌اند که دارای دو خصوصیت ویژه هستند. یکی با تخلخل و تراوایی پایین خمیره و دیگری با تخلخل بالای خمیره و تراوایی پایین خمیره. در تقسیم بندی‌های قبلی مخازن شکافدار بین این دو نوع تفاوتی قابل نشده بودند.

گرچه مخازن شکافدار نسبت به مخازن ماسه‌ای و کربناته کمتر شناخته شده‌اند اما نقش مهمی در ذخایر و تولید نفت و گاز بازی می‌کنند. ۱۰۰ مخزن شکافدار مورد مطالعه در این مقاله دارای ذخایر نفت و گاز به میزان ۹۰ میلیون، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. اغلب مخازن شکافدار عمر کوتاهی دارند ولی دارای مقدار جریان بالا، افت تولید بالا و ضرایب بازیافت نهایی پایین هستند.

تعیین خصوصیات مخازن شکافدار دشوار است. تکنیکهای برداشت باید به دقت به کار گرفته شود تا بتوان از بروز مشکلات بازیافتی در هنگام تولید جلوگیری کرد؛ این موارد، باعث

درصد و دیگری در گروه ۳۰-۴۰ درصد هستند. داده‌ها نشان می‌دهند که مخازن نفتی شکافدار نوع ۲ و ۳ توزیع‌های بسیار متفاوتی از ضرایب بازیافت دارند و شامل دو گروه مجزا می‌شوند.

کنترل بازده بازیافت

مخازن شکافدار نوع دوم

بیشترین مخازن نفتی شکافدار در سنگهای شکننده (brittle) مانند دولومیت، سنگ آهک سخت، ماسه سنگ سخت و سنگهای ولکانیکی شکل می‌گیرند. نمودار ضریب بازیافت نهایی در مقابل تخلخل مغزه، تراوایی هوا، تراوایی مشتق از تولید (Derived Permeability - Production Ratio)، ویسکوزیته نفت، نسبت تحرک پذیری (Mobility Ratio)، وزن مخصوص نفت، فاصله چاهها، نسبت gross/net و اشباع آب باقی مانده تطابق کمی بین این پارامترها و ضریب بازیافت را نشان می‌دهد. بنابراین در مخازن سخت نوع دوم، ضریب بازیافت بیشتر به طبیعت شبکه شکستگی‌ها وابسته است تا به خصوصیات خمیره سنگ و خصوصیات سیال. از آنجاکه شبکه شکستگیها در لیتولوژیهای شکننده وسیع تر است، به طور غالب به آبداهای محلی اصلی یا فروشیب مربوط می‌شوند. در نتیجه ۱۶ مخزن از ۲۰ مخزن نوع دوم که ضریب بازیافت شان در دسترس است، یا ایران هستند و یا مکانیسم تولید چند رانش دارند. مخازن با هر دو سیستم رانش آبران و یا گاز محلول ران بیشترین ضرایب بازیافت را دارند. روشهای برداشت ثانویه و بهره‌افزایی (Enhanced Oil Recovery EOR) خمیره برای خیلی از این مخازن به کار برده می‌شود. به هر حال برخی از مقادیر بالای بازده بازیافت به وسیله بازیافت اولیه بدون عوامل کمکی و به وسیله یک سیستم قوی آبران انجام

مخزن می‌شود. افت سریع فشار می‌تواند مکانیسم‌های موازنه برداشت - که باعث جریان نفت از خمیره به شکستگی‌ها می‌شود - را تغییر داده و به شدت باعث کاهش ضریب بازیافت (Recovery Factor) شود. بالاخره اگر یک روش ثانویه برداشت غیر صحیح انتخاب شود، باعث کاهش بیشتر برداشت نهایی می‌شود. شایع‌ترین مثال از یک مدیریت مخزن ضعیف، آب رویی (Flooding) است. این عمل باعث اتباهش مقادیر زیادی از نفت غیر قابل استحصال در بلوکهای خمیره منطقه آبرده می‌شود.

بازده بازیافت Efficiency Recovery

داده‌های گردآوری شده در این مطالعه نشان می‌دهند که بازیافت‌های نهایی و کلی از مخازن شکافدار، کمتر از بسیاری از مخازن متعارف است و به هر حال در بعضی موارد، قابل مقایسه با مخازن متعارف هستند. انواع ۱، ۲، ۳ و ۴ مخازن نفتی شکافدار به طور متوسط دارای ضریب بازیافت نهایی معادل ۲۶٪ هستند و هشت مخزن گازی شکافدار مورد مطالعه دارای متوسط ضریب بازیافت نهایی معادل ۶۱٪ بوده‌اند. دو سوم مخازن نفتی، دارای ضریب بازیافت بیشتر از ۲۰٪ هستند که از نظر تجاری قابل توجه‌اند. سه چهارم مخازن گازی نیز دارای ضریب بازیافت بیشتر از ۶۰٪ هستند. ضرایب بازیافت نهایی برای ۲۰ مخزن از ۲۶ نوع مخازن نفتی نوع ۲ در حدود نه تا ۵۶ درصد است که متوسط آن ۲۶ درصد و دارای توزیع نزدیک به نرمال هستند. ضرایب بازیافت نهایی برای ۱۵ مخزن از ۲۰ مخزن نفتی نوع ۳ در محدوده ۴۴-۷۶ درصد با متوسط ۲۴ درصد قرار دارند و دارای توزیع دوگانه است که یک بخش آن در گروه ۲۰-۱۰

نفت از بلوکهای خمیره به شکستگی‌ها را در زمان تولید همیا می‌سازد.

* معمولاً اگر مخزن به خوبی مدیریت شود نسبت گاز / نفت (GOR) مخازن شکافدار در طول تولید پایین‌تر از مخازن متعارف باقی می‌ماند. گاز آزاد شده از درون شکستگی‌ها ترجیحاً به سمت بالای مخزن حرکت می‌کند در حالی که در مخازن متعارف گاز ترجیحاً به طور افقی به سمت نزدیکترین دهانه چاه حرکت می‌کند. گاز آزاد شده، یک گنبد گازی (Gas Cap) ثانویه ایجاد می‌کند یا باعث انبساط گنبد گازی موجود می‌شود و بدین ترتیب میزان گاز موجود در نفت تولید کاهش می‌یابد.

* برش آب (Water Cut) در مخازن شکافدار دقیقاً تابع نرخ تولید است. خصوصیات پتروفیزیکی سنگهای مخزن و خصوصیات فشار / حجم / دما (PVT) سیالات تأثیر کمی بر تولید آب دارند.

* در طی تولید در مخزن شکافدار، جریان همرفتی (Convection) به وجود می‌آید. در نتیجه خصوصیات PVT در سراسر مخزن شکافدار، ثابت باقی می‌ماند.

به دلیل این تفاوت‌های اساسی، اشتباه در تشخیص یک مخزن شکافدار به جای یک مخزن متعارف، استراتژی بهره‌برداری را تغییر می‌دهد و در نتیجه این مسأله نقش منفی در عملکرد مخزن دارد. بیشتر چاههایی که بر اساس مخازن شکافدار تکمیل شده‌اند دارای مقادیر تولید اولیه زیادی هستند.

اگر تصمیمات سرمایه‌گذاری بر این فرض باشد که مقادیر زیاد تولید منوط به مدت زمان طولانی باشد، ممکن است مخزن به طور اقتصادی حذف شود. وقتی چاههای مخازن شکافدار با دبی‌های بالا جریان می‌یابند مقدار GOR با مدیریت خوب مخزن به جای کاهش، افزایش می‌یابد. تولید اضافی گاز باعث کاهش سریع در افت فشار

سوم مورد استفاده قرار می گیرد و اغلب به صورت ترکیبی از روشهای مختلف است.

ضریب بازیافت ۱۷ مخزن شکافدار نوع سوم که ترشوندگی و شدت شکستگی شان تعیین شده بودند، با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفته اند. تمام مخازن با شکستگی خوب (well fractured) و آب تراز نوع سوم، دارای حداکثر ضریب بازیافت بیشتر از ۲۵ درصد هستند در حالی که تمام مخازن با شکستگی خوب نفت تر نوع سوم، دارای حداکثر ضریب بازیافت کمتر از ۲۵ درصد هستند.

در مخازن با شکستگی ضعیف poorly fractured که نفت اغلب در بلوکهای خمیره باقی می ماند ضریب بازیافت نهایی بدون در نظر گرفتن ترشوندگی کمتر از ۲۰ درصد است. تفاوت زیاد ضریب بازیافت در مخازن نوع سوم آب تر و نفت تر به این دلیل است که آب می تواند به وسیله پدیده آشام (Capillary imbibitions) تخلخل های ریز را هم تحت تأثیر قرار دهد و یک مکانیسم بازیافت اولیه مؤثر را ایجاد کند در حالی که در مخازن نفت تر به این صورت نیست به همین دلیل است که تزریق آب به یک مخزن آب تر بسیار مؤثرتر از تزریق آب به یک مخزن نفت تر است. بنابراین سیلاب زنی ثانویه یک مخزن آب تر باعث افزایش ضریب بازیافت نهایی می شود که اغلب تأثیر کمی روی مخزن نفت تر دارد.

جریان و مدیریت مقدار تولید آب، شاید مهم ترین عوامل در افزایش ضریب بازیافت در مخازن نفتی شکافدار نوع دوم باشند.

مخازن شکافدار نوع سوم

مخازن نفتی از نوع سوم اغلب در سنگهای نرم (ductile) مثل گچ، دیاتومیت و شیل سیلیسی یافت می شوند. نمودار ضریب نهایی بازیافت در مقابل تخلخل مغزه، تراوایی نسبت به هوا، تراوایی به دست آمده از تولید، ویسکوزیته نفت، نسبت تحرک، گراویته نفت، فاصله چاهها، نسبت gross/net و درصد اشباع آب باقی مانده چندین ارتباط را نشان می دهد. تراوایی نسبت به هوا خمیره سنگ و گراویته نفت همبستگی مثبت متوسطی با ضریب بازیافت نشان می دهد. نسبت تحرک و نسبت gross/net، همبستگی مثبت ضعیفی با ضریب بازیافت دارند. درصد اشباع آب باقیمانده همبستگی منفی ضعیفی با ضریب بازیافت دارد. بنابراین مشخص می شود که سنگ و خصوصیات سیال در مخازن نوع سوم نسبت به مخازن نوع دوم تأثیر بیشتری روی ضریب بازیافت نهایی دارند.

از آنجاکه بیشتر مخازن نوع سوم لیتولوژی های نرم دارند، شکستگی ها تمایل دارند که اطراف گسل ها و مناطقی با حداکثر انحنا و خمیدگی به وجود آیند و به طور کلی با آبداهای زیرین یا شیب پایین ارتباط ندارند. مکانیسم رانش تمام مخازن نوع سوم گاز محلول، انبساط گنبدگازی، تخلیه ثقلی یا ترکیبی از این مکانیسم ها است. مکانیسم آبران فقط در سه مورد از ۲۰ نوع مخازن نوع سوم وجود دارد که آن هم بخشی از یک مکانیسم ترکیبی است. برخلاف مخازن نوع دوم، کاربرد بازیافت ثانویه و تکنیکهای EOR برای بازیافت ماکزیمم ضروری است.

تکنیکهای زیادی برای مخازن نوع

می گیرد. برای مخازنی که مکانیسمهای ضعیف تری دارند شامل آبران ضعیف تر دارای ضرایب بازیافت نهایی کمتر روشهای برداشت ثانویه اعمال می شود.

تعداد کمی از مخازن نفتی شکافدار نوع دوم با سیستم آبران به دلیل مدیریت ضعیف تولید آب، برداشت بهینه را ندارد. از آنجاکه مخازن نوع دوم تمایل دارند که سیستم شکستگی هایی مرتبط با آبداه داشته باشند، مقادیر بالای تولید می تواند باعث تهاجم سریع آب و افت تولید شود. برای مثال یک مخزن کارستیک (Karstic) کریناته شکافدار نوع دوم در شمال شرقی چین در طول دو سال اولیه تولید بالایی داشته است. چاهها در ستیغ مخزن حفاری و به صورت حفره باز (Open hole) کامل شده بودند. دبی بالای تولید از ریزش نفت خمیره به شکستگی ها جلوگیری نموده و این مسأله به افت سریع فشار و تولید مخزن انجامید. اجرای یک برنامه تزریق آب برای کاهش افت فشار اجرا و باعث ایجاد مشکل هجوم آب گردید. در نهایت عمر تولید این مخزن کوتاه و بازیافت نهایی کمتر از ۲۰ درصد به دست آمد.

یک مخزن نفتی کریناته کارستیک نوع دوم دریایی در اسپانیا که خصوصیات سنگ و سیالش مشابه با مثال اول است به طور مشابهی توسعه یافته است. چاههای تولید در یک سوم مخزن حفاری شده و به صورت (Open hole) تکمیل شده اند. به هر حال دبی تولیدی به خوبی کنترل شده و وقتی برش آب به دو درصد کل مایعات تولیدی می رسید اندازه کاهنده جریان (Choke) را کم می کرد. با وجود این که هیچگونه تکنیک برداشت ثانویه مورد استفاده قرار نگرفته است، تنها با کنترل نرخ تولید و برش آب، ضریب نهایی بازیافت معادل ۴۵ درصد به دست آمد. بنابراین بهینه شدن مقدار

منبع:

JPT(OCT 2003):Recovery Factors:Lessons from 100 fields Fractured-Reservoir

آدرس اینترنتی:

<http://www.spe.org/spe/jpt/jsp/jptpapersynopsi/0,2439,1104-1585-0-1546354,00.html>