

تولید از مخزن و مکانیزم های تولید

قسمت پایانی

خیراله اصغری

طبق تعریف، بازده تزریق عبارتست از نسبت نفت جابه جا شده توسط گاز، به نفت اولیه قبل از تزریق گاز که از حاصل ضرب بازده حجمی (شامل بازدهی عمودی و ناحیه ای) در بازده میکروسکوپی به دست می آید.

از جمله مزایای تزریق گاز می توان به بازده میکروسکوپی بالا (در صورت داشتن یک جبهه جلویی پایدار در یک سیستم جابجایی پایدار ثقلی که با فعال نمودن نیروی ریزش ثقلی در مخزن میسر می شود)، امکان کنترل تحرک به وسیله تزریق تناوبی آب جهت بستن نواحی جارو شده توسط گاز (در مکانیسم تزریق متناوب آب و نفت WAG injection)، تراوایی بالا، تغییرات در تراوایی نسبی گاز در مخزن با توجه به عدد موینگی (نسبت نیروی ویسکوز Capillary Number) به نیروی موینه که با افزایش عدد موینگی بازده جابه جایی میکروسکوپی افزایش می یابد)، افزایش حجم نفت در اثر نفوذ گاز (swelling) که بیشتر در تزریق امتزاجی گازهای هیدروکربنی و تزریق غیر امتزاجی دی اکسید کربن نمود دارد) و توانایی در انتخاب امتزاجی یا غیر امتزاجی بودن گاز در فرآیند جابه جایی، اشاره کرد.

انتخاب امتزاجی یا غیر امتزاجی بودن فرآیند تزریق گاز، به شرایط فشاری و ترکیب نفت مخزن و همچنین فشار و ترکیب گاز تزریقی بستگی دارد؛ در صورت تزریق امتزاجی گاز، آگاهی از مکانیسم امتزاجی شدن سیال تزریقی و جا به جا شونده (Vaporization or Condensation) نیز ضروری است. در این مکانیسم ها ترکیبات سبک گاز تزریقی وارد ترکیب نفت شده و باعث کاهش ویسکوزیته نفت مخزن و سبک شدن آن می شود، به علاوه، در شرایط فشاری 3000 psi و برای نفت 30° API ، در صورتی که گاز تزریقی غنی باشد هیدروکربنهای سنگین گاز $+C_2$ از فاز گاز به سمت نفت حرکت می کنند و تبدیل به مایع می شوند.

و یا در شرایط فشاری $3000/3500 \text{ psi}$ و ترکیب گازی 100 Cl \% به 75 ، بخشی از هیدروکربنهای متوسط نفت (C2-C6) به گاز منتقل می شود، ترکیبات متوسط نفت با گاز تزریقی ترکیب شده و باعث ایجاد یک ترکیب نفتی سبکتر شده که دارای قدرت تحرک بالایی است و به راحتی تولید می گردد.

در مکانیسم تزریق امتزاجی، به دلیل هزینه بالای استفاده از کمپرسور و طراحی الگوی تزریق، آگاهی از حداقل فشار لازم برای امتزاجی بودن گاز (MMP) و حداقل ترکیب لازم برای امتزاج گاز (MMR یا MMC) ضروری است. این کار در آزمایشگاه به وسیله Slim Tube و به روش ترسیمی (دیگرام مثلی یا تغییرات بازیابی نفت بر حسب فشار و برای گازهای متفاوت) حداقل فشار لازم برای امتزاجی بودن گاز (MMP) و حداقل ترکیب لازم برای امتزاج گاز (MMR) به دست می آید.

در تزریق غیر امتزاجی Lean Gas تبدلات ترمودینامیکی (از لحاظ تغییر ترکیب) در فشار پایین وجود ندارد و یا بسیار کم است. ریزش ثقلی در منطقه مورد تهاجم توسط گاز، مکانیزم اصلی در بازیابی نفت است زیرا در این ناحیه به علت اختلاف دانسیته نفت و گاز و کشش سطحی کمتر بین نفت و گاز، نیروهای گراویتی فعالتر از نیروهای موینگی است. اثرات تزریق گاز را می توان در کاهش ویسکوزیته نفت، افزایش میزان گاز حل شده و افزایش ضریب حجمی سازند و همچنین افزایش فشار نقطه حباب دانست. پارامترهای موثر در انتخاب مخازن مناسب برای تزریق گاز عبارتند از:

- نوع تزریق (امتزاجی یا غیر امتزاجی)
- نوع جا به جایی (افقی یا عمودی بودن مکانیسم جابه جایی)
- خواص پتروفیزیکی، زمین شناسی و ساختاری
- تراوایی افقی و عمودی
- در دسترس بودن گاز

بعد از انتخاب نوع گاز تزریقی، مکانیسم تزریق گاز از نظر امتزاجی یا غیر امتزاجی بودن، بررسی پارامترهایی مانند نبود لایه بندی در مخزن، ضخامت بالای سازند، شیب سازند (بیشتر از پنج درجه)، اختلاف دانسیته مناسب بین نفت و گاز تزریقی و همچنین تراوایی نسبی نفت، از اهمیت زیادی برخوردار است.

تزریق گاز به سه صورت تزریق غیر امتزاجی در کلاهدک گازی، تزریق به صورت امتزاجی و غیر امتزاجی در ستون نفتی در میادین صورت می گیرد. تزریق غیر امتزاجی در لایه نفتی در مخازن دارای ضخامت کم ستون نفتی و با شیب کم جهت تامین فشار و جابه جایی نفت به طرف چاههای تولیدی به کار می رود. بهترین کارایی این روش در مخازنی که تولید طبیعی تحت تاثیر مکانیسم رانش گاز محلول داشته اند، است. تزریق گاز در کلاهدک گازی، در مخازن دارای نفوذپذیری بالا، ضخامت زیاد ستون نفتی و دارای نفتهای با ویسکوزیته پایین

شود. این مواد برای تزریق به آب اضافه می شوند. در واقع روشهای شیمیایی نوعی سیلابزنی هستند. این روشها به علت گران بودن مواد تزریقی، معمولاً برای مخازن کوچک (OOIP < 50MMBBL) مناسب هستند.

فعال کننده های سطحی

کاستیک یک نام عمومی برای محلول هیدروکسید سدیم در آب است. کاستیک یک باز قوی است که به نام آلکالاین نیز معروف است. در روش سیلابزنی کاستیک، مقدار کمی از NaOH به آب تزریقی اضافه می گردد. تزریق کاستیک باعث تغییر اسیدیته مخزن (PH) می شود. در فرایندهای این تزریق، هدف رسیدن به اسیدیته ۱۲ یا ۱۳ است.

در اثر تماس کاستیک با نفت مخزن، کشش سطحی بین آب و نفت کاهش می یابد و باعث تشکیل امولسیون می شود. تحت تاثیر فشار آب تزریقی این امولسیون به سمت چاههای تولیدی حرکت می کند. فعال کننده های سطحی باعث کاهش IFT بین نفت و آب و کاهش نیروی موینگی شده و نفت را قادر می سازد که وارد سوراخهای ریز شود و نفت بیشتری جابه جا گردد. فعال کننده های سطحی همچنین باعث تغییر ترشوندگی با توجه به غلظت NaOH از آب دوست به نفت دوست و بالعکس می شود.

معمولاً میزان تزریق surfactant بسیار کم و در حد چند ppm است. فعال کننده های سطحی به میزان نمک آب تزریقی و آب سازند حساس اند. اگر میزان نمک سازند زیاد باشد، فعال کننده های سطحی تاثیر چندانی در کاهش کشش سطحی ندارد و سریع از بین می رود.

برای بازیابی نفت از امولسیون تشکیل شده، باید بر نیروی کشش سطحی بین آب و نفت غلبه کرد و پیوند بین آنها شکسته شود. این جداسازی با استفاده از حرارت دادن این مخلوط و یا با استفاده از مواد شیمیایی دیگر صورت می پذیرد. به علت ارزان بودن NaOH فرایندهای سیلابزنی آب می توانند به راحتی به صورت سیلابزنی کاستیک تبدیل شوند اما باید به هزینه های ناشی از جداسازی آب و نفت توجه داشت.

پلیمرها

به علت وجود هتروژنی در مخزن، بازدهی جارویی فرایندهای ازدیاد برداشت پایین است. حتی در صورت عدم وجود هتروژنی بازدهی جارویی به علت نسبت تحرک نامناسب این فرایندها پایین خواهد بود. هرچه نسبت تحرک بین سیال تزریقی و نفت مخزن به یکدیگر نزدیکتر باشد، بازدهی جارویی بهتری خواهیم داشت. یکی از راههای بهبود بازدهی حجمی و دستیابی به یک جبهه پایدار و جابه جایی پیستونی در فرایند سیلابزنی، افزایش ویسکوزیته آب تزریقی با استفاده از پلیمر است. سیلابزنی پلیمر در واقع افزودن مواد شیمیایی (پلیمرها) به آب تزریقی در جهت افزایش ویسکوزیته آب بوده و افزایش ویسکوزیته آب، باعث کاهش تحرک آب و در نتیجه افزایش بازدهی جابه جایی در مخزن می شود.

دو نوع اصلی پلیمرها که در روشهای ازدیاد برداشت مورد بهره برداری قرار می گیرند پلی ساکاریدها و پلی آکریلامیدها

به کار می رود.

به علت فعال بودن پدیده تفکیک ثقلی، بازیابی در این حالت زیاد است. به طور کلی نرخ تزریق گاز ۷٪ به ۵ (HCPV) حجم هیدروکربن در سال است که این مقدار حجم گاز باید یا به صورت پیوست در تزریق Lean Gas، و یا به صورت دوره ای و مقطعی برای Rich Gas و متناوب با آب در مکانیسم WAG باشد.

برای هر کدام از روشهای ازدیاد برداشت از مخازن نفت معیارهایی (Criteria) داریم که تزریق گاز نیز از این قاعده مستثنی نیست.

معیار انتخاب روش تزریق را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

* برای مخازن دارای نفت های نسبتاً سبک با API کمتر از ۳۰ و تراوایی خوب روش Lean Gas که در آن مکانیزم ریزش ثقلی فعال است به کار می رود.

* برای مخازن با نفت سبک و برای دستیابی به امتزاج، Enriched Gas/ Rich

* برای مخازن نفت سنگین، با فرض داشتن حداقل دما در مخزن جهت استعال؛ تزریق هوا برای استفاده از خواص حرارتی به صورت HTHP and LOAI کاربرد تزریق گاز:

۱) تثبیت فشار

۲) فعال نمودن نیروی ثقل (ریزش ثقلی)

۳) تزریق امتزاجی

۴) Gas Cycling در مخازن کندانسه

۵) Attic oil Recover

روشهای ازدیاد برداشت

بعد از اعمال روشهای تولید ثانویه از مخزن، هنوز هم مقدار زیادی از نفت در مخزن باقی می ماند که تولید آنها هدف روشهای بازیابی ثالثیه است. میزان نفت قابل تولید توسط روشهای EOR به پارامترهای زیر بستگی دارد:

* (Ev) Aerial Sweep Efficiency

* Contact Factor

* Displacement Efficiency

انتخاب نوع روش EOR علاوه بر پارامترهای اقتصادی، میزان اشباع نفت، هتروژنی مخزن، نوع و ترکیب سیال، در دسترس بودن سیال تزریقی به تاثیر روش پیشنهادی بر روی Ev and Ed بستگی دارد، چرا که روشهای امتزاجی بر روی بهبود Ed و روشهای حرارتی و پلیمر بر روی Ev تاثیر مثبت و بر روی Ed تاثیر کم دارند.

انواع روشهای ازدیاد برداشت عبارتند از:

روشهای شیمیایی (تزریق پلیمر، تزریق فعال کننده سطحی)، روشهای حرارتی (تزریق بخار، احتراق درجا) و روشهای امتزاجی

روشهای شیمیایی

برای بهبود جا به جایی حجمی، از مواد شیمیایی مانند پلیمرها و فعال کننده های سطحی surfactant استفاده می

یکی از مهمترین روشهای حرارتی، تزریق بخار است که بخار تولید شده در سطح به وسیله لوله به مخزن منتقل می شود. بخار تزریق شده، حرارت را به خوبی به مخزن منتقل می کند و با کاهش ویسکوزیته نفت، باعث افزایش تحرک نفت و میزان بازیابی می شود. طی این فرآیند، بخار در همان اطراف چاه تقطیر می گردد. بخار نفت سبک، مایع شده و باعث افزایش درصد ترکیب سبک نفت و غنی شدن آن می شود. این فرآیند کاهش درصد اشباع نفت باقیمانده را باعث می گردد. این روش در مخزن با عمق ۱۵۰۰ متر (با در نظر گرفتن افت حرارتی)، اشباع نفت بالای ۵۰٪، مخزن با ضخامت و تراوایی زیاد و درجایی که تولید بخار ارزان است کاربرد دارد.

نوع دیگر روش تزریق بخار، فرآیند تزریق بخار چرخه ای نام دارد که در آن چاه تزریق و چاه تولیدی یکی هستند، بدین صورت که در چاه تولیدی بخار تزریق می شود (Huff) سپس برای چند روز و یا چند هفته چاه بسته می شود تا حرارت به خوبی به اطراف چاه منتقل گردد. و در این حین بخار تبدیل به مایع می گردد (Soak) و پس از طی مدت زمان خاصی شروع به تولید می کنند (Puff).

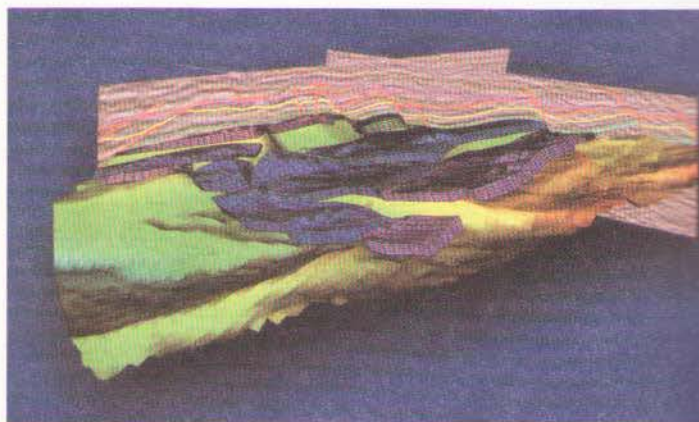
در روش احتراق درجا، هوا را از طریق چاه تزریق به داخل مخزن تزریق می کنند، سپس نفت اطراف چاه با ایجاد جرقه ای آتش زده می شود و آتش جبهه در حال سوختن با تزریق هوا پایدار نگهداشته می شود. در این فرآیند بخش کمی از نفت می سوزد. برای جلوگیری از برگشت هوا و نفت داخل چاه در مواقعی که کمپرسورهای تزریق خاموش هستند از تزریق نیتروژن یا آب استفاده می کنند.

حرارت تولید شده باعث کاهش ویسکوزیته نفت، تولید سیالات امتزاجی، افزایش بازده جارو شدن و کاهش اشباع نفت می گردد. تزریق هوا همچنین باعث بهره بردن از مکانیزم رانش گاز می شود. از آنجا که هوا حاوی نیتروژن است، اجزای سبکتر نفت جدا و یک گاز جدید تشکیل می شود (Stripping Oil).

اکسیژن موجود در هوا با نفت می سوزد و ایجاد حرارت می کند؛ حرارت ایجاد شده موارد زیر را باعث می شود: تبدیل آب به بخار، تبدیل نفت به بخار، اکسیداسیون با دمای پایین (تولید ترکیبات قطبی شامل الکل، ستن، آلدئید، استرو و همچنین منواکسید و دی اکسید کربن)، اکسیداسیون در دمای بالا (احتراق کک و تولید دی اکسید کربن).

در مدل سازی ریاضی فرآیند حرارتی، سه مکانیزم انتقال حرارت (جابه جایی، تشعشع و هدایت) بین سلولها و همچنین حرارت ناشی از انجام واکنش در هر سلول در نظر گرفته می شود. همچنین، در مورد ترکیب درصد نفت در هر سلول تغییر ترکیب درصد در اثر واکنشهای شیمیایی نیز در مدل سازی مطرح می گردد.

در مکانیسم های تزریق حرارتی باید به فاصله بین مخزن و تولید بخار برای محاسبه درجه سیال تزریق به مخزن و میزان خوردگی در مسیر بخار تزریق توجه داشت.



هستند. پلی ساکاریدها با افزایش ویسکوزیته سیال تزریقی باعث کاهش تحرک آن شده و به میزان محدودی با بستن فضاهای خالی کاهش تراوایی مخزن را نیز باعث می شوند. اما پلی آکریلامیدها با کاهش تراوایی سنگ مخزن باعث کاهش تحرک سیال تزریقی می گردند. در هنگام استفاده از این پلیمرها باید توجه داشت که این مواد باعث بسته شدن کامل تراوایی سنگ مخزن نشوند. به علت گرانی مواد پلیمری، تزریق این مواد بصورت چرخه ای از آب خالص و آب همراه پلیمر و معمولاً به صورت Slug انجام می شود که برای تامین فشار و حرکت این Slug از تزریق آب بهره می گیرند. به علت حساس بودن پلیمرها از لحاظ پایداری شیمیایی کاربرد پلیمر در شرایط دمایی کمتر از ۱۰۰ درجه سلسیوس، تخلخل متوسط به بالا، تراوایی بیش از ۱۰۰ میلی داری و ویسکوزیته نفت کمتر از ۱۰۰ سانتی پوز است. تزریق پلیمر باعث کاهش نسبت تحرک می شود و با افزایش بازده جارویی و حجمی، میزان بازیابی در Breakthrough بیشتر می گردد.

دلایل عدم کارایی روشهای شیمیایی در مخازن ایران را می توان در بالا بودن درجه حرارت مخازن ایران که باعث می شود پلیمرها خواص خود را از دست بدهند، پایین بودن تراوایی مخازن و نیز بزرگ بودن مخازن (نیاز به مواد شیمیایی زیاد) دانست.

فرآیندهای حرارتی

در مخازن نفت سنگین به علت بالا بودن ویسکوزیته و عدم کارایی روشهای سیلابزنی آب و هزینه بالای استفاده از روشهای امتزاجی، روشهای حرارتی که باعث کاهش ویسکوزیته نفت می شوند از اهمیت بسزایی برخوردار هستند. روشهای حرارتی را می توان به دو دسته تزریق سیال داغ و احتراق درجا تقسیم بندی نمود. که خود به دسته بندی های جزئی تری نیز تقسیم می شوند:

* تزریق سیال داغ: تزریق بخار (flooding steam)، تزریق بخار دوره ای (cyclic steam injection)، تزریق آب داغ (Hot Water) (puff n'huff)

* احتراق درجا: Wet In situ Combustion, Forward In situ Combustion, Reverse