

بازیافت گاز

از مخازن گازی کم فشار با تزریق نیتروژن

محمدحسین دانشفر - مهندس مخازن - نفت مرکزی (زاگرس جنوبی)

مقدمه

تولید تدریجی گاز از مخازن گازی باعث تقلیل فشار این نوع مخازن شده و در جاهایی در مخازن تحت رانش آب (Water Drive) به علت پیشروی آب، مقدار زیادی از گاز در آب محبوس می شود. در بعضی از میداین گازی دنیا این مقدار گاز محبوس یا باقی مانده (Residual Gas) به ۷۵٪ مقدار گاز اولیه درجا (Gas in Place) می رسد. بنابراین احیای این مقدار گاز و تولید آن نیازمند به کارگیری روش های بازیافت و تغییر سیستم های برداشت است.

بهبود فشار و برداشت از این مخازن گازی را می توان با استفاده از روش های زیر برای مدت محدودی تحقق بخشید:

- افزایش پمپ های تقویت درون چاهی یا سرچاهی (Booster Pumps) و ظرفیت آنها

- حفاری های عمیق و تعمیق چاه ها حین تکمیل یا تعمیر

- بهبود سیستم های جمع آوری گاز

- کاهش مدت زمان برداشت مستمر (برداشت تناوبی)

با کاهش فشار مخزن و به تبع آن کاهش فشار سرچاه، انتقال گاز با مشکلات عدیده ای مواجه خواهد شد. به علاوه بازیافت گاز از مخازنی که ۴۰-۱۰ درصد گاز اولیه درجا در آنها باقی مانده، مشکل و نیازمند هزینه بسیار است.

یکی از روش های مهمی که در بازیافت ثانویه گاز از مخازن گازی می تواند موثر باشد روش (BY: N.A. Guzhov, VNIIGAZ

R.M. Ter-Sarkisov, V.A. Nikolaev) است که بر مبنای تزریق

نیتروژن زیر سطح تماس آب و گاز (GOC) ابداع شده است.

علت انتخاب نیتروژن در مقایسه با سایر مواد تزریقی مانند

دی اکسید کربن، متان و سایر هیدروکربن ها، تراکم پذیری

پایین و خورندگی کم آن حین تماس با وسایل درون چاهی و

سرچاهی است.

شبیه سازی تزریق نیتروژن در سازند

مکانیسم حبس گاز توسط آب و جابجایی آن با به کارگیری سیالات دوفازی به وسیله آزمایش شبیه سازی شده است. در این آزمایش از مدل سازندی با فشار ۷۲۶-۴۳۶ پام استفاده شده که دو مرحله دارد: مرحله اول شبیه سازی حبس گاز توسط آب و مرحله دوم تزریق نیتروژن در سازند. در این آزمایش از بستری فیلتری با نفوذپذیری ۶۰۰-۱۳ میلی داری به عنوان سازند استفاده گردید. در این تحقیقات، برای مخازنی که میزان متان آنها از ۹۸٪ مولی فراتر بود از گاز متان به عنوان گاز محبوس برای شبیه سازی استفاده شد. جریان خطی و هم دمایی این سیالات دوفازی (متان-آب) در سازند متخلخل به وسیله معادله داری و معادله زیر بیان شد:

$$\operatorname{div}(\sum_{\alpha} \rho_{\alpha} \mathbf{v}_{\alpha}^j) + \frac{d}{dt} (m \sum_{\alpha} \rho_{\alpha} \mathbf{v}_{\alpha}^j S_{\alpha}) + q^j = 0$$

ρ_{α} دانسیته فاز α ، \mathbf{v}_{α} کسر جرمی جزء α در فاز α ، v_{α} سرعت فاز α ، m تخلخل، S_{α} درجه اشباعی که به وسیله فاز α به دست آمده است، q^j دانسیته جرمی سیال بازیافتی یا تزریقی در جزء j . ترکیب اجزا شامل آب، متان و نیتروژن می باشد. در این معادله به جای اندیس α از w برای آب و از g برای گاز استفاده می شود. برای حرکت سیال از قانون داری استفاده شده است:

$$v_{\alpha} = -\frac{K f_{\alpha}}{\mu_{\alpha}} \operatorname{grad}(P_{\alpha}) - \int \gamma_{\alpha} dh$$

K نفوذپذیری مطلق، f_{α} نفوذپذیری نسبی فاز α ، μ_{α}

گرانروی فاز α ، P_{α} فشار در فاز α ، γ_{α} وزن مخصوص فاز

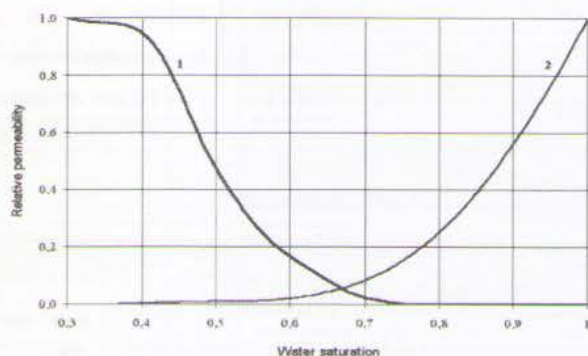
h, α طول بستر سازند. فشار گاز در هر مقطع

$P_g = P_w + P_{cap}$ می باشد.

با حل دستگاه معادلات برای نفوذپذیری نسبی و قایل شدن

شرایط مرزی و اولیه توسط نرم افزارهای کاربردی ریاضیات،

نمودار نفوذپذیری نسبی آب و گاز برحسب درجه اشباع آب به صورت شکل ۱- ترسیم شد:



شکل ۱- نفوذپذیری نسبی (۱) برای گاز (۲) برای آب

صورت‌گرفت و بهره‌برداری از یک چاه انجام شد. طی شبیه‌سازی، نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی از ۱۰ تا ۲۰۰ واحد، سرعت تزریق و برداشت از ۵ تا ۲۰ درصد گاز ذخیره از سازند اشباع شده و عمق تزریق از ۸ تا ۸۰ متر زیر سطح اولیه سطح تماس آب و گاز فرض گردید که نتایج به شرح زیر (جدول ۱-۱) حاصل شد:

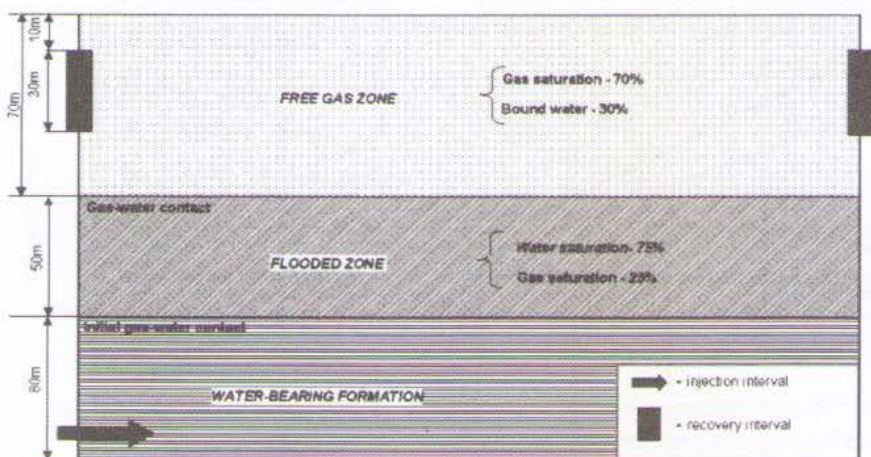
به عنوان مثال برای نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی ۲۰۰ واحد و عمق تزریق گاز ۴۰ متر زیر سطح تماس آب و گاز و سرعت بازیافت برابر ۵٪ کل گاز ناحیه اشباع شده توسط گاز، سطح تماس گاز- آب حدود ۳۲ متر بالا آمد. با افزایش تزریق

مقدار بازده به دست آمده

با تزریق نیتروژن در سازند سازند مورد آزمایش دارای ۱۰۰۰ متر طول و ضخامت موثر ۲۰۰ متر بوده که توسط گاز متان (۱۰۰٪) اشباع شد. جهت جریان افقی، نفوذپذیری و تخلخل همگن و دمای ۸۶°F فرض گردید.

در بخش پایینی سازند گاز متان با $S=30\%$ و پایین‌ترین ترازان آب تزریق شد. سپس با حفر دو چاه با عمق مختلف روی بستر مورد نظر و تزریق نیتروژن در لایه آبی برابر با مقدار گاز بازیافتی - با کنترل ماکزیمم اختلاف فشار حدود ۳۰ پام در کل سازند - انجام گرفت. (شکل ۲-)

مراحل بهره‌برداری نیز طی دو مرحله انجام پذیرفت. در مرحله اول تزریق آب انجام شد که با بهره‌برداری همزمان گاز از دو چاه فشار سازند از ۱۶۰۰ پام به ۶۵۵ پام رسید و ارتفاع سطح تماس گاز و آب از ۱۶ به ۵ متر تغییر پیدا کرد. در مرحله دوم، تزریق نیتروژن در سازندی با فشار کمتر از ۶۵۵ پام توسط دو چاه تزریقی

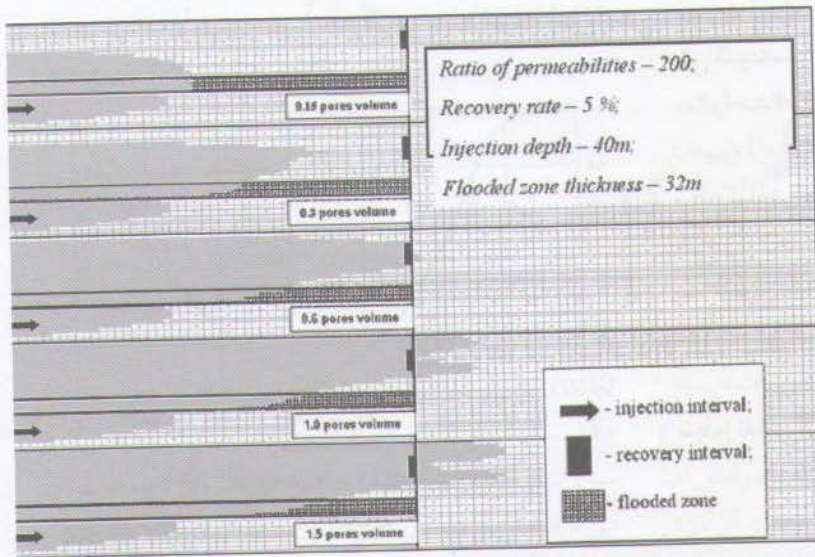


شکل ۲- محل تزریق و بهره‌برداری

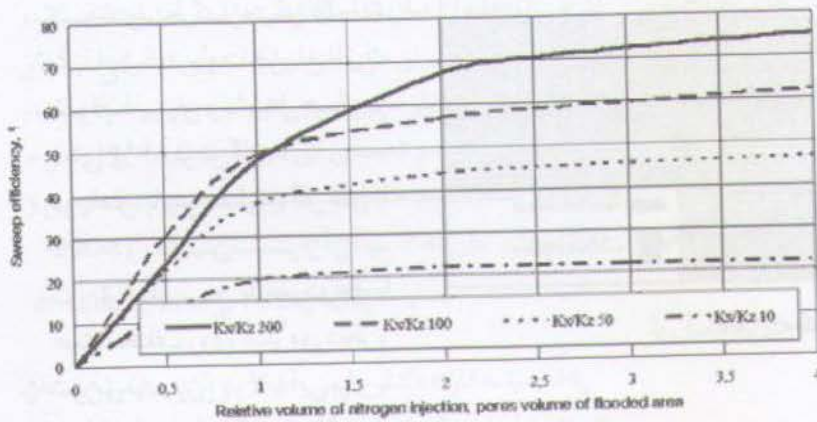
Thickness of the flooded zone, m	Ratio of permeabilities $K_x / K_z = 200$								
	Depth = 80m			Depth = 40m			Depth = 8m		
	Rate of recovery 5%	Rate of recovery 10%	Rate of recovery 20%	Rate of recovery 5%	Rate of recovery 10%	Rate of recovery 20%	Rate of recovery 5%	Rate of recovery 10%	Rate of recovery 20%
16	89	100	100	79	81	88	71	71	72
32	91	100	100	81	84	88	71	71	72
48	92	100	100	84	86	89	72	72	74
	Ratio of permeabilities $K_x / K_z = 100$								
16	73	77	80	62	67	70	61	62	62
32	74	78	81	69	69	72	66	68	69
48	76	80	83	71	73	74	68	70	72
	Ratio of permeabilities $K_x / K_z = 50$								
16	48	58	65	47	52	56	46	49	49
32	52	59	66	49	54	56	49	53	53
48	55	62	66	53	58	59	53	57	57
	Ratio of permeabilities $K_x / K_z = 10$								
16	21	26	31	21	25	28	20	25	28
32	23	28	34	23	27	32	22	27	30
48	25	29	37	24	2				

جدول ۱- مقادیر بازده به دست آمده از آزمایش

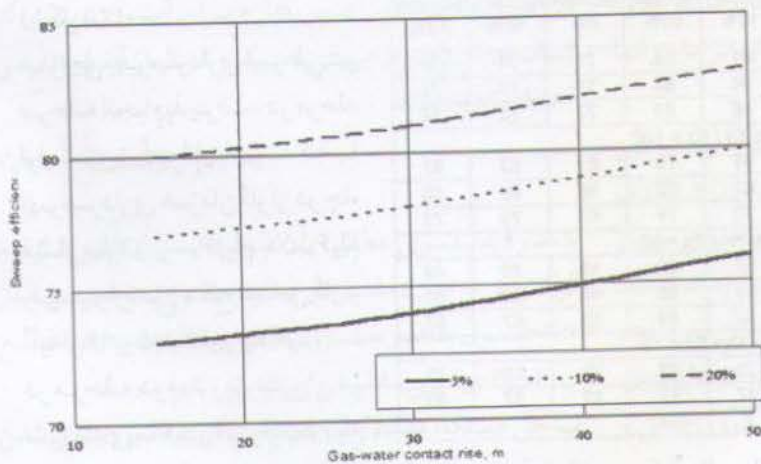
شماره ۲۵ - شهریور ۱۳۸۴



شکل ۳- جابجایی گاز توسط نیتروژن



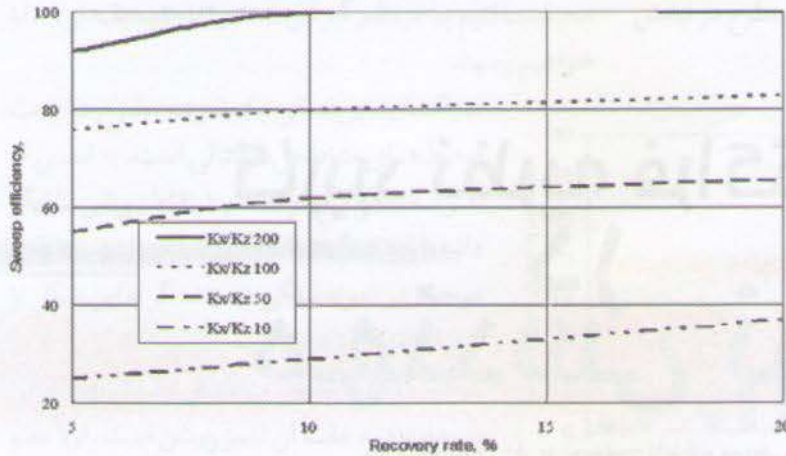
شکل ۴- بازده به دست آمده بر حسب نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی



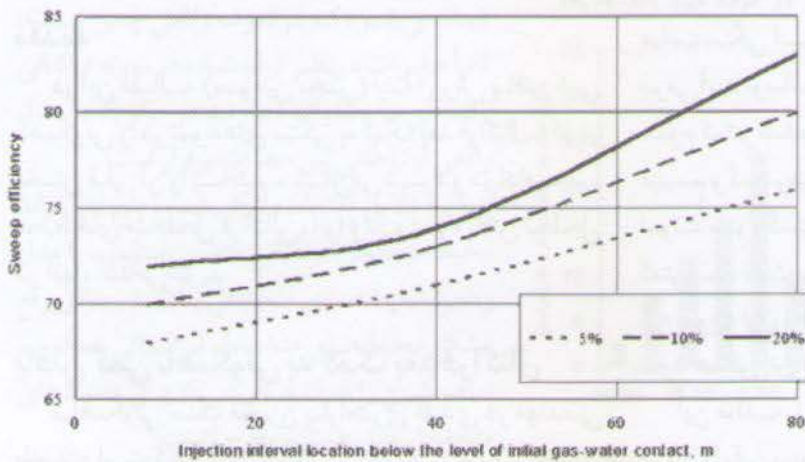
شکل ۵- بازده بر حسب نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی برای عمق تزریق ۸۰ متر در تخلخل مختلف

نیتروژن و تحرک پذیری سریع آن، ترکیب نیتروژن و گاز محبوس ابتدا به سمت ناحیه اشباع شده با گاز و سپس به سمت نواحی تخلیه یعنی چاه‌ها حرکت می‌کند. شکل شماره ۳ شماتیک مربوط به این وضعیت و شکل شماره ۴ وابستگی مقدار بازده حاصله را به مقدار تزریق نشان می‌دهد به طوری که هرچه نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی بیشتر باشد میزان بازیافت بیشتر خواهد بود.

محاسبات نشان داد که با تزریق یک تا دو برابر حجم فضای خالی (Pore Volume) می‌توان بازده قابل قبولی در بازیافت به دست آورد. شکل شماره ۵ ارتباط بازده با میزان بالآمدن سطح تماس گاز و آب را در عمق تزریق ۸۰ متر، نشان می‌دهد. این نمودار برای تزریقی معادل ۱/۵ برابر حجم فضای خالی و بازیافت‌های ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ از گاز ناحیه اشباع، رسم شده است. بالآمدن سطح تماس گاز و آب باعث افزایش میزان بازیافت می‌شود به طوری که برای بالآمدن ۱۶ متری از سطح تماس اولیه آب و گاز، بازدهی حدود ۷۳٪ و برای بالآمدن ۵۰ متری این سطح، بازدهی حدود ۷۶٪ حاصل شد. ارتباط بازده براساس نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی در عمق تزریق ۸۰ متر زیر سطح تماس گاز و آب و تزریق با زاویه ۵۰ درجه در نمودار شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل ۶- بازده بر حسب نسبت نفوذپذیری افقی به عمودی برای عمق ۸۰ متر



شکل ۷- بازده بر حسب عمق تزریق

این نمودار نشان می‌دهد که برای افزایش بیست برابر این نسبت، بازده از ۳۷-۲۵ به ۱۰۰-۹۳ می‌رسد. همچنین با افزایش عمق تزریق گاز در لایه آب، بازده افزایش یافته است. (شکل-۷).

این آزمایش برای نمونه واقعی مخزنی با شرایط حجم گاز ذخیره: 100×10^9 مترمکعب، نفوذپذیری عمودی: ۳/۲۹ میلی داریسی، نفوذپذیری افقی: ۶۵۰ میلی داریسی / فشار: ۷۲۵ پام، تخلخل: ۲۹/۵٪، دما: ۸۰ درجه فارنهایت، ویسکوزیته گاز: ۰/۱۵۷ سانتی پویز، پیشروی آب در محیط متخلخل: ۱۳٪ مقدار اولیه، تراکم پذیری سازند: ۱/KPa $10^{-3} \times 1/2$ ، گاز محبوس: ۶٪ لایه گازی، میزان بازیافت: ۶۵٪، تزریق نیتروژن به میزان $13/3 \times 10^9$ مترمکعب زیر سطح تماس گاز و آب و به مدت ۱۳ سال شبیه‌سازی، که میانگین افزایش فشار مخزن حدود ۱۳۸۰ پام و نگه‌داشتن آن به مدت ۷ سال

حاصل شد. طی فرایند، میزان بازیافت به ۹۷/۴٪ رسید در حالی که قبلاً مقدار بازیافت آن ۹۳/۵٪ تخمین زده شده بود یعنی حجم بازیافت با تزریق نیتروژن برای نگه‌داشتن فشار مخزن، ۳/۹٪ افزایش یافت.

نتایج

- تکنولوژی تزریق نیتروژن بر اساس مکانیسم تخلیه مخزن مطابق با واقعیات ترمودینامیکی، با نگه‌داشتن فشار مخزن، بهره‌برداری از گاز محبوس را افزایش می‌دهد.

- این مکانیسم در آزمایشگاه شبیه‌سازی شده و داده‌ها نشان داد که با تزریق نیتروژن، جابه‌جایی را می‌توان به ۹۰٪ لایه آب نفوذ کرده در لایه گازی هم رساند.

- محاسبات برای تخمین و آنالیز بازده بازیافت مخازن ناهمگن نشان داد که که عملیات تحت تاثیر سرعت

تزریق، مقدار اشباع اولیه مخزن، عمق و حجم تزریق و ساختار بهره‌برداری از مخزن انجام می‌گیرد.

- تزریق نیتروژن در سازند باعث بازیافت سریع گاز محبوس و همچنین گاز آزاد کم فشار می‌گردد. افزایش بازیافت گاز با کاربرد این روش حدود ۵٪ است. قطعاً با در نظر گرفتن هزینه‌ها و در صورت اقتصادی بودن تزریق نیتروژن در مقایسه با مقدار بهره‌برداری ناشی از آن، این روش می‌تواند در افزایش بازیافت از این میادین کاربردی باشد. ■

مراجع:

internet (Nitrogen Injection Technology for Recovery of Trapped and Low Pressure Gas: Computerized Tomography and Filtration Studies. Ter-Sarkisov R., Nikolaev V., Guzhov N., Rassokhin S.// - Nice, International Gas Union, Proceedings of 21st World Gas Conference, Nice June 6-9, 2000. WOC 1 Paper # P-105)