Archive of SID

مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
تهران، ۲۹ خرداد ماه ۱۳۹۳ مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا
تلفن: ۸۸۶۷۱۶۷۶ - ۰۲۱ www.Reservoir.ir

بررسی رفتار سیال در مخازن هیدارات گازی طبیعی و روش های تولید از آنها

عباس گزمه[۱] ،غلامرضا پاکدل[۱]، محمد جواد نبوی زاده[۱]

[۱] دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی نفت، تهران، ایران.

چکیده

محدودیت ذخایر نفت و گاز معمول در دنیای امروز و غیر قابل تجدید بودن این ذخایر، اهمیت کشف منابع انرژی جدید را امری ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. لذا توجه بیشتری در سال های اخیر به سمت مخازن نفت و گازغیرمعمول معطوف شده است. مخازن گازی غیرمعمول مانند هیدرات های گازی می توانند منابع ارزشمندی در آینده باشند. از اینرو شناسایی خصوصیات و مکانیزم تولید در این مخازن اهمیت پیدا می کند. تولید گاز از مخازن هیدرات گازی با مخازن گاز معمولی متفاوت است، تشکیل هیدرات های گازی بستگی به فشار،دما،ترکیب گاز و حضور بازدارنده هائی مانند نمک دارد. هیدرات های گاز تنها زمانی که فشار زیر فشار تعادل فاز هیدرات گازی گردد جدا می شود و با افزایش میزان تفکیک هیدرات گازی، مانع تولید بیشتر گاز از مخزن هیدرات گازی می شود.
این پیچدگی ها و بررسی مکانیزم های تولید گاز از مخازن هیدرات گازی نیاز به تجزیه و تحلیل بیشتری دارد. هدف این تحقیق بررسی پتانسیل تولید در مخازن هیدارت گازی و مکانیزم های جریان سیال در محیط متخلخل این مخازن می باشد.

کلمات کلیدی: مخازن هیدرات گازی، غیر معمول، سیال، تولید

Limitations of conventional oil and gas reserves in the world and the non-renewable nature of these resources , the importance of finding new energy sources is necessary and inevitable . Therefore more attention in recent years has been directed towards oil and Gazghyrmmvl . Unconventional gas reservoirs such as gas hydrates can be valuable resources in the future . Hence, identifying the characteristics and mechanisms of these reservoirs is important . Gas production from gas hydrate reservoirs differ from conventional gas reservoirs , gas hydrate formation depends on pressure, temperature , gas composition and presence of inhibitor such as salt .
The complexity and investigate the gas production Mkanyrm gas hydrate reservoirs requires further analysis . The purpose of this study was to evaluate the production potential of the reservoir gas hydrated and mechanisms of fluid flow in porous media reservoirs is

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

نیاز روزافزون دنیا به انرژی باعث شده است که منابع جدید انرژی اهمیت یابد. با توجه به کاهش کشف منابع گازی معمولی و روند به رشد استفاده از گاز در صنعت و جامعه بشری، اهمیت کشف و تولید گاز از منابع نامعمول جدید مانند مخازن هیدرات گازی برای تامین انرژی در آینده بسیار ارزشمند می باشد. ذخایر مخازن هیدرات گازی طبیعی حجم بسیاری از گاز را در خود جای داده است. حجم عظیم گاز موجود در این منابع و پتانسیل تولید بلند مدت از آنها، و همچنین قیمت مناسب گاز از عواملی هستند که منابع غیرمعمول گازی را به عنوان منبع مهم انرژی جهان در آینده مطرح میکنند. این گاز در مخازن زیرزمینی با تراوایی بسیار پایین نهفته است و دارای پتانسیل عظیم تولید در آیند های نه چندان دور می باشد.

هیدرات های گازی طبیعی کریستال های جامد یخ مانندی هستند که توسط گاز و آب تحت شرایط فشار بالا و دمای پایین تشکیل شده اند. . این ترکیبات بیشتر در بستر دریاها تشکیل می شوند و عمدتا حاوی متان می باشند. برای استفاده از انرژی این ترکیبات نهفته در زمین باید آنها را از حالت جامد به حالت سیال تبدیل کرد. با توجه به جامد بودن ذخایر هیدرات طبیعی محققان به دنبال راهکارهای موثری جهت استفاده از این منابع طبیعی هستند. بهترین و کارآمدترین این روش، تجزیه هیدراتهای جامد و سیال شدن آن به ترکیبات گاز و آب است. تولید گاز از مخازن هیدرات های گازی نیازمند تحقیقات، روش ها و تکنولوژی های جدید در بهره برداری به شیوه مطمئن و تجاری می باشد. اطلاعات پایه ای در مورد توزیع هیدرات گازی در این مخازن دید با ارزشی در مورد مکانیزم های کنترل سازند و وقوع هیدرات گازی در طبیعت فراهم می نماید. تحقیقات و جمع آوری داده ها در مورد خواص مخازن هیدرات گازی (مانند تخلخل ها و تراوایی ها) و جریان سیال در محیط این مخازن، امکان پیش بینی دقیق تر ویژگی ها برای روشهای مختلف تولید هیدرات گازی فراهم می نماید.

خصوصیات و رفتار سیال در مخازن هیدارت گازی طبیعی

هیدرات های گازی نسبت به شرایط محیط بسیار حساس می باشند و تغییر در پارامترهای فشار، دما، شوری آب، نوع و میزان اشباع گاز تشکیل دهنده هیدرات در داخل خلل و فرج رسوب، باعث رشد و ایجاد شرایط پایدار هیدرات های گازی می شود. به طور کلی شرایط ترمودینامیکی مناسب، وجود مقدار کافی از گازهای هیدروکربوری با قابلیت مهاجرت و وجود آب برای تشکیل و پایداری هیدرات ها در رسوبات لازم است ضمنا هیدرات های گازی در محیط های دریایی دور از ساحل در زون پایدار هیدرات که لایه موازی با کف دریا است تشکیل می شوند.

تجمع هیدرات های گاز را می توان به چهار دسته تقسیم کرد. دسته اول تجمع شامل دو زون: زون هیدرات با تراوایی کم و منطقه مایع دو فازی لایه زیرین با گاز متحرک، دسته دوم رسوبات شامل دو زون: منطقه حاوی هیدرات ، لایه بالایی آب قابل حرکت بدون گاز آزاد، دسته سوم تجمع شامل یک منطقه حاوی تک هیدرات با پوشش ناتراوا و لایه های زیرین و دسته چهارم رسوبات هیدرات که بوسیله عدم حضور بستر های بالا و پایین مشخص می شود و نمونه ای از دسته یک تا سه می باشند. این نوع از تجمعات معمولا با پراکنگی اشباع کم هیدرات همراه هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

یکی از فاکتورهای مهم کمک کننده در سازند هیدرات گازی، خواص فیزیکی مخازن میزبان است. مطالعه نمونه های هیدرات گازی نشان می دهد که طبیعت فیزیکی درجای هیدرات های گازی خیلی متغییر می باشد. هیدرات های گازی مشاهده شده: (۱) اشغال منافذ دانه درشت سنگ ها:(۲) انتشار گره ها در سنگ های ریز دانه :(۳) شکاف های پر شده با یک ماده جامد:یا(۴) یک ترکیب واحد بزرگ به طور عمده هیدرات گازی جامد با مقادیر کم رسوبات می باشد. بیشتر میادین هیدرات گازی کشف شده نشان می دهد که وقوع تمرکز هیدرات گازی غالبا بوسیله حضور شکاف و یا رسوبات درشت دانه کنترل می شود که هیدرات گازی پرکننده شکاف ها یا منتشر شده در منافذ مخازن ماسه ای غنی است. هیدرات ترجیحا در رسوبات درشت دانه رشد می کنند زیرا فشار مویینگی کم در این رسوبات به گاز و هسته هیدرات اجازه مهاجرت می دهد. اطلاع خیلی دقیقی در مورد رشد هیدرات گازی در رسوبات غنی از رس نیست و به نظر می رسد ظهور خیلی زیاد آن با محدودیت باشد.

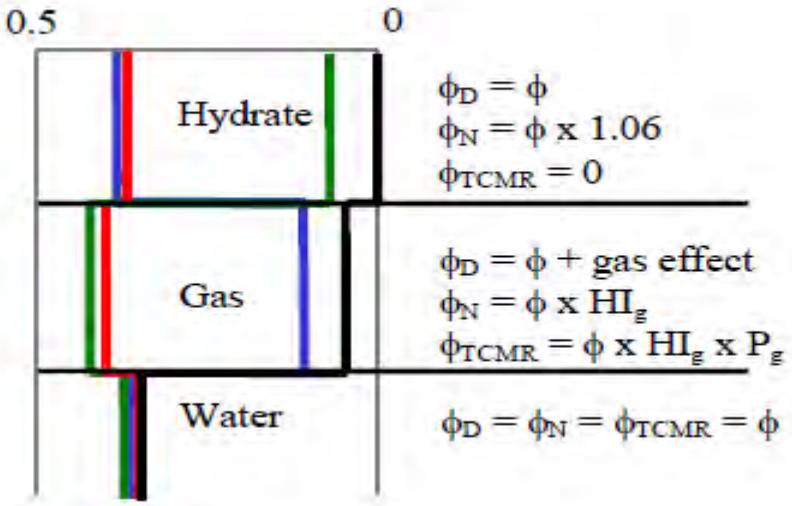
بیشترین داده های پتروفیزیکی قابل استفاده در مخازن هیدات گازی از آنالیز داده های چاه پیمایی است. داده های چاه پیمایی ته چاهی می تواند برای تعیین خیلی دقیقی از تخلخل مخازن ، تراوایی، و داده های اشباع هیدرات گازی در دامنه وصیعی از شرایط مخازن هیدرات گاز مورد استفاده قرار گیرد. مطالعات یکپارچه چاه پیمایی هسته ای و تست سازند در چاه هیدرات گازی نتایج ارزشمندی در مورد چگونگی توزیع هیدرات گازی بصورت فیزیکی در رسوبات و وقوع و طبیعت سیال در منافذ را فراهم می کند. این مطالعه همچنین داده های بحرانی در مورد خواص مخازن هیدرات گازی (مثل تخلخل ها و تراوایی ها) مورد نیاز در تصحیح پیش بینی دبی تولید گاز برای طرح های مختلف تولید هیدرات گازی را فراهم کرده است. در سالهای اخیر پیشرفت های قابل توجه ای در زمینه چاه پیمایی تشدید مغناطیسی هستی انجام شده است. این ابزار مشابه ابزار تخلخل نوترون، ابزارNMR ابتدا به حضور ملکول های هیدروژن در سنگ سازند پاسخ میدهد .مطالعات زیادی در دستگاه های آزمایشگاهی برای مشخصه سازی خواص مغناطیس هسته ای هیدرات گازی استفاده میشود. یک روش مقایسه برای مقایسه اشباع های هیدرات گازی(S_h) توسعه داده شده استفاده از تخمین تخلخل ها از نمودارهای دانسیته و NMR می باشد .نمودارNMR تخلخل Φ_{NMR} را با اندازه گیری منافذی که فقط با آب اشغال شده(آب آزاد، آب پیوندی رس و مویینگی) را که در ساختار هیدرات شامل نمیشود تعیین میکند.

اشباع های هیدارت گازی تعیین شده از روش تخلخل NMR-density به مدل مخزن و پارامترهای آن بستگی ندارد، بنابراین صحیح بودن تخمین بستگی به میزان دقت اندازه گیرهای نمودار تخلخل NMR-density دارد. در هر صورت این فرض که اشباع هیدرات گازی بدست آمده از روش NMR-density صحیح تر از اشباع های درجا هیدرات گازی می باشد و دقت دیگر روشها را می توان با استفاده از اشباع روش تخلخل NMR-density به عنوان اشباع های مرجع مورد ارزیابی قرار داد.

www.SID.ir

Archive of SID

در شکل زیر خلاصه ای از پاسخ نمودارهای چاه پیمایی مختلف برای آب، گاز و سازند حاوی هیدرات نشان داده شده است. تخلخل سازند ۴۰ درصد فرض شده است. سیال مخزن در فواصل زیرین آب، در وسط گاز و در بالا هیدرات می باشد.



شکل ۱ پاسخ نمودار های تخلخل در مخزن هیدرات-(رنگ قرمز دانسیته- آبی تخاخل نوترونی – مشکی تخلخل پاسخ مناطیس هسته ای – سبز پاسخ نمودار صوتی)

نمودار های صوتی هیدرات خالص را مانند یخ نشان می دهند. در سازندهای حاوی هیدرات تمییز نمودار تخلخل نوترون کمی بیشتر از معادل سنگ حاوی آب خواهد شد، و کمی بیشتر از تخلخل نمودار دانسیته می باشد.

هیدرات گازی جامد تا حد زیادی می تواند منجر به کاهش نفوذپذیری سازند شود، که می تواند توسط تابع کاهش نمایی با تخلخل موثر به عنوان تخلخل اشغال شده توسط مایع قابلیت جابجایی توصیف شود. بنابراین، نفوذپذیری سازند حاوی هیدرات گاز به مراتب پایین تر از مخزن گاز با تخلخل یکسان است.

روش های تولید از مخازن هیدرات گازی طبیعی

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور تولید گاز از مخازن هیدارت لازم است که ساختار کریستال های که گاز در آن به دام افتاده، تخریب گردد. بطور کلی سناریوهای تولید از مخازن گازی هیدرات حداقل باید سه هدف زیر را شامل گردد:

۱- فشار و دمای هیدرات گازی را از ناحیه پایداری هیدارت خارج کند.

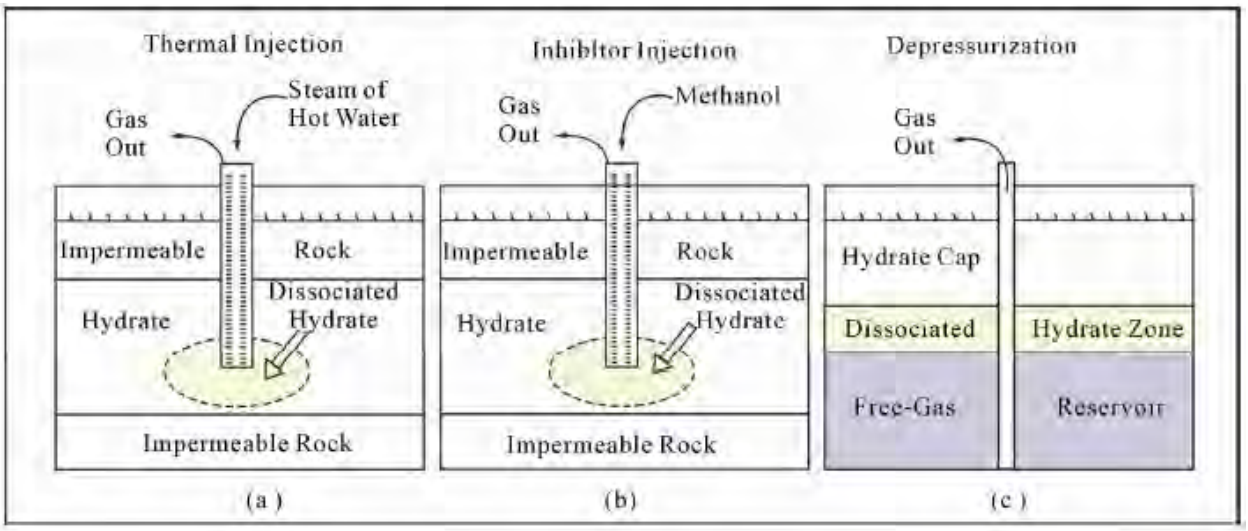
۲- حفظ انرژی مورد نیاز برای واکنش تجزیه گرماگیر هیدرات

۳- فراهم نمودن راهی برای انتقال گاز حاصل از تجزیه شدن هیدرات به چاه تولیدی

با توجه به این موارد مورد نیاز روش های تولید از مخزن هیدرات گاز را می توان از لحاظ فنی به عنوان فشار زدایی، انگیزش حرارتی و تزریق بازدارنده علاوه بر این برخی روش های تولید جدید دیگر طبقه بندی کرد. برای تولید گاز از مخازن هیدرات روش فشار زدایی (*Depressurization*) توسط حفر چاه در ناحیه پایدار هیدرات و استخراج گاز آزاد این ناحیه که باعث کاهش فشار مخزن و تخریب و تجزیه ترکیبات هیدرات می شود و روش انگیزش حرارتی(*Thermal Stimulation*) که اعمال یه منبع گرمایی در ناحیه پایدار و در نتیجه افزایش درجه حرارت باعث تجزیه هیدرات می شود. دیگر روش تولید گاز از مخازن هیدرات تزریق مواد باز دارنده(*Inhibito Injection*) می باشد که با تزریق این مواد به مخزن باعث تجزیه هیدارت می شود. روش جدید دیگر جابجایی متان درون هیدرات بوسیله گاز دی اکسید کربن می باشد. دی اکسید کربن در مخزن هیدرات گازی بطور خودبخودی بدون نیاز به حرارت جایگزین متان بعنوان ملکول مهمان در هیدرات می شود. این روش تولید علاوه بر ذخیره طولانی مدت دی اکسید کربن، بدون تفکیک هیدرات گازی باعث تولید گاز متان می گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲ شماتیک تولید گاز از مخازن هیدارت گازی طبیعی

تولید گاز از مخازن هیدرات های گازی نیازمند تحقیقات، روش ها و تکنولوژی های جدید در بهره برداری به شیوه مطمئن و تجاری می باشد.

رفتار تولید در مخازن هیدارت گازی طبیعی

رفتار تولید گاز از مخازن گاز ی معمولی و مخازن گاز هیدرات طبیعی متفاوت است. نرخ تولیدگاز از مخزن هیدرات گاز کمتر از مخزن گاز معمولی است. با این حال، در طول عمر تولید مخزن هیدرات گاز طولانی تر از مخزن گاز معمولی است. این امر می تواند به دلیل، از یک طرف، هیدرات گاز جامد تا حد زیادی می تواند منجر به کاهش تراوایی سازند شود، که می تواند توسط تابع کاهش نمایی با تخلخل موثر به عنوان تخلخل اشغال شده توسط مایع قابلیت جابجایی توصیف شود. بنابراین، تراوایی سازند شعاعی هیدرات گاز به مراتب پایین تر از مخزن گاز با تخلخل یکسان است. از سوی دیگر، هیدرات های گاز تنها زمانی که فشار زیر فشار تعادل فاز هیدرات گاز شوند جدا میشود و با افزایش میزان تفکیک هیدرات گاز مانع تولید بیشتر گاز از مخزن هیدرات گازی می شود. برای یک مخزن هیدرات گازی، نرخ گاز کاهش می یابد و دوره تولید پایدار با فشار اولیه مخزن افزایش می یابد.

بر اساس شبیه سازی مخازن هیدرات گازی طبیعی تولید گاز از مخزن هیدرات و مقایسه رفتار تولید مخازن گاز معمولی و مخازن گازی هیدرات نرخ تولیدگاز از مخزن گاز معمولی بزرگتر از مخزن هیدرات گاز است اما با دوره کوتاه تر از لحاظ تولید یکنواخت

www.SID.ir

Archive of SID

است. با افزایش نرخ مخزن فشار اولیه گاز از مخزن گازی معمولی را افزایش می دهد و برای مخزن هیدرات گاز، نرخ گاز کاهش می یابد. به طور کلی، میزان آب مخزن هیدرات گاز بزرگتر از مخزن گاز معمولی است. با افزایش فشار اولیه مخزن، حداکثر نرخ آب هیدرات گاز مخزن کاهش می یابد و دوره تولید آب افزایش می یابد. میزان آب مخزن گازی معمولی با فشار اولیه مخزن افزایش می یابد. تحت شرایط مشابه، حجم گاز حاصل از مخزن هیدرات گاز بزرگتر است از مخزن گازی معمولی زمانی که فشار اولیه مخزن زیر یک مقدار مشخص می باشد. هنگامی که مقدار اولیه مخزن بزرگتر از مقدار حجم گاز حاصل از مخزن هیدرات گاز کمتر ان از مخزن گاز است.

نتیجه گیری

هیدرات های گاز به عنوان یک منبع قابل توجهی از گاز طبیعی در سال های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. با این حال، شرایط سخت زیست محیطی مخازن هیدرات گازی و شکل جامد هیدرات نیاز به رشد و توسعه فن آوری های قبل از تولید تجاری از این مخازن را ضروری می نماید.

روش های تولید از مخزن هیدرات گاز شامل فشار زدایی، انگیزش حرارتی و تزریق بازدارنده علاوه بر این برخی روش های تولید جدید مانند جابجایی متان درون هیدرات بوسیله گاز دی اکسید کربن می باشد. بر اساس شبیه سازی های انجام شده نرخ تولیدگاز از مخزن هیدرات گاز کمتر از مخزن گاز معمولی است اما طول عمر تولید مخزن هیدرات گاز طولانی تر از مخزن گاز معمولی می باشد. از اینرو تولید گاز از مخازن هیدرات های گازی نیازمند تحقیقات، روش ها و تکنولوژی های جدید در بهره برداری به شیوه مطمئن و تجاری می باشد.

منابع

[1] Sloan, E.D., Koh, C.A., *Clathrate hydrates of natural gases*, Taylor & Francis Group, 2008.
[2] Carroll, J., *Natural Gas Hydrates: A Guide for Engineers*, Elsevier, 2009.
[3] Chen G.J., Sun C.Y, Guo T.M., "*Modeling of the formation conditions of stricture- H hydrate*. Fluid phase

www.SID.ir

Archive of SID

Equilibria", Vol.204, 2003.
[4] Makogon, Y.F., *Hydrates of Hydrocarbons*, Tulsa, OK: Pennwell Publishing Company, 1997.
[5] Vinh Q. . Pierre D. S., Walter F., "*Use of a predictive electrolyte equation of state for the calculation of the*
gas hydrate formation temperature in the case of systems with methanol and salts", Fluid Phase Equilibria, Vol
.194–197, 2002.
[6] Tavasoli H., Feyzi F., Dehghani M., Alavi F., "*Prediction of gas hydrate formation condition in the presence*
of thermodynamic inhibitors with the Elliott–Suresh–Donohue Equati'on of State, J. Petroleum Science and
Engineering , Vol. 77 , 2011.
[7] Javanmardi, J., Moshfeghian, M., "*Energy consumption and economic evaluation of water desalination by*
hydrate phenomenon", Appl. Therm. Eng, Vol.23, 2003.
[8] Seo, Y., Lee, H., "*A New Hydrate-Based Recovery Process for Removing Chlorinated Hydrocarbons from*
Aqueous Solutions", Environ. Sci. Technol, Vol.35, 2001.
[9] Hong Duc N., Chauvy F., Herri J., "*CO2 capture by hydrate crystallization – A potential solution for gas*
emission of steelmaking industry", Energy Conversion and Management , Vol .48, 2007.
[10] Xiaosen L., Chungang X., Zhaoyang C., Huijie W., JingC., "*Effect of temperature fluctuation on hydratebased*
CO2 separation from fuel gas", Journal of Natural Gas Chemistry, Vol. 20, 2011.
[12] Teng, H., "*Characteristics of the hydrate layer formed at the liquid CO2–water interface"*, Int. J. Chem.
Kinetics, Vol.281996.
[13] Sabil, Khalik M., Peters, Cor J., "*Clathrate Hydrate Formation in Ternary anQuaternarySystems of Carbon*
Dioxide, Water, Tetrahydrofuran andSodium Chloride" , Physical Chemistry and Molecular Thermodynamics
Julianalaan, Vol.136, 2010.

www.SID.ir