

نحوه شناسایی هیدراتهای گازی بر روی نمودارهای پتروفیزیکی

ولی مهدی پور^۱، خدیجه هاشمیان^۲

کارشناس ارشد زمین شناسی نفت، شرکت بین المللی نفت سینوپک mehdipour.vali@gmail.com

چکیده:

هیدرات های گازی ترکیباتی بلورین با ظاهری شبیه یخ، ولی از لحاظ ساختاری، متفاوت می باشند. آنها در حال حاضر یکی از منابع تامین سوخت جهان محسوب می شوند. داده های لرزه نگاری در تشخیص هیدراتهای گازی اهمیت بسزایی دارند. با این حال، از اطلاعات پتروفیزیکی مربوط به چاهها نیز می توان در تشخیص و ارزیابی آنها استفاده کرد. در این مطالعه، اثرات هیدرات های گازی بر روی نمودارهای پتروفیزیکی کالیپر، مقاومت الکتریکی، صوتی، نوترون، چگالی و نهایتاً NMR مورد بررسی اجمالی قرار گرفت. بر این اساس، نمودار کالیپر قطر چاه را در منطقه حاوی هیدرات گاز معمولاً بزرگتر از حد معمول نشان می دهد. در این مناطق، نمودار SP انحراف نسبتاً کمتری (منفی کمتر) در مقایسه با منطقه حاوی گاز آزاد دارد. نمودار چگالی اندکی کاهش در چگالی و نمودار نوترون اندکی افزایش در میزان تخلخل در مقایسه با واحدهای اشباع از آب نشان می دهد. مناطق حاوی هیدراتهای گاز در مقایسه با افقهای اشباع شده از آب مقاومت بالایی دارند. سرعت امواج صوتی در رسوبات حاوی هیدراتهای گازی معمولاً چندین بار بزرگتر از سرعت امواج صوتی در آب و رسوبات حاوی گاز می باشد. همچنین تخلخل کل محاسبه شده براساس NMR در رسوبات حاوی هیدرات های گازی کمتر از تخلخل واقعی است.

کلید واژه ها: هیدرات گازی، متان، نمودار پتروفیزیکی، مقاومت الکتریکی

Abstract:

Gas hydrates are ice like compounds, but they have different structure. Nowadays, they are considered one of the world's energy resources. Seismic data are important in the identification of gas hydrates. On the other hand, the petrophysical information also can be useful in determination and evaluation of them. In this research, the effects of gas hydrate on petrophysical logs such as caliper, electrical resistivity, sonic, neutron, density, and NMR were briefly reviewed. Accordingly, caliper log usually shows high value. The SP log has low deviation (short negative) in gas hydrate zone in comparison with free gas zones. Density log decreases shortly whereas neutron porosity log increases slightly in comparison with water-saturated zones. Gas hydrates zones have high resistivity and multiple large sonic velocities in comparison with water-saturated zones. The total porosity calculated using NMR gas hydrated sediments is less than the actual value.

Keywords: Gas hydrates, methane, petrophysical log, resistivity

^۱ کارشناس ارشد زمین شناسی نفت، شرکت بین المللی نفت سینوپک

^۲ دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی نفت - دانشگاه آزاد اسلامی امیدیه

۱- مقدمه:

هیدرات گازی کانی های متبلوری هستند که از آب و برخی گازها تشکیل شده اند. هیدرات گازی دارای انرژی بالا بوده و توزیع گسترده و اندازه بزرگ دارند. تخمین زده می شود که ۹۰٪ حواشی قاره ها جهت تشکیل هیدرات گازی مساعد است (Kvenvolden et al., 1993). طی دهه های اخیر مقدار زیادی هیدرات گاز در نواحی قطبی شمال آلاسکا و ایالت های شمالی آمریکا کشف شده است و به دلیل نقش آنها در تامین انرژی آینده مورد توجه خاصی قرار گرفت. هیدرات های گازی در حال حاضر یکی از منابع تامین سوخت جهان در قرن جاری محسوب می شود (Max, et al., 2006). موارد اهمیت هیدرات های گازی شامل وجود ذخایر قابل توجه هیدرکربنی، نقش آنها در مسدود کردن خطوط انتقال گاز و چاه ها، خطرات حفاری، ناپایداری بستر دریا، اثر گلخانه ای گاز موجود در ساختار هیدرات و تغییرات آب و هوای کره زمین می باشد.

۲- روش تحقیق:

در این مطالعه روشهای تشخیص و شناسایی هیدرات های گازی بر روی نمودارهای پتروفیزیکی کالیپر، مقاومت الکتریکی، صوتی، نوترون، چگالی و نهایتاً NMR مورد بررسی اجمالی قرار گرفت. با توجه به محدود بودن منابع موجود در این زمینه، نمودارهای پتروفیزیکی مربوط به میادین و منابع هیدرات گازی که اخیراً مورد اکتشاف و ارزیابی قرار گرفته اند، مورد توجه و بررسی قرار گرفت.

۳- بحث:

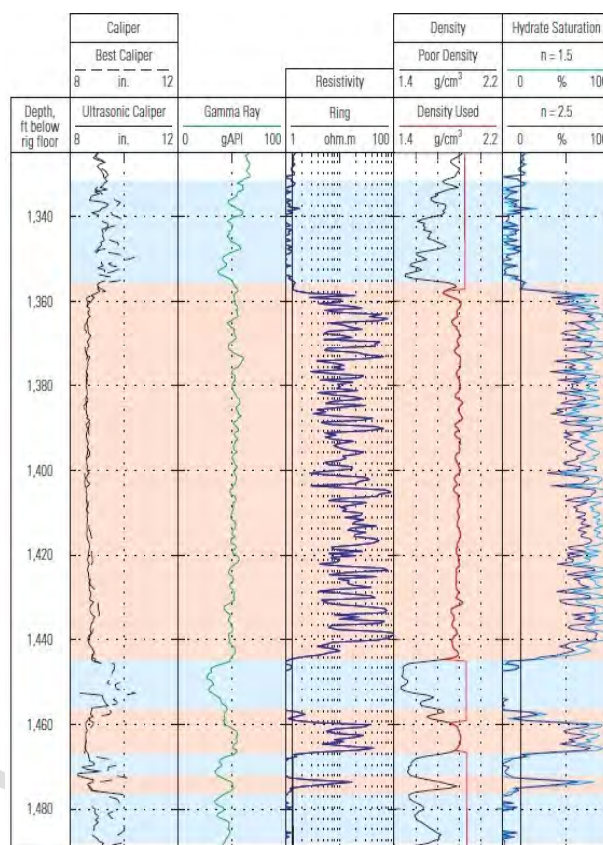
۳-۱- ساختار هیدرات های گازی

هیدرات های گازی ترکیباتی بلورین با ظاهری شبیه یخ، ولی از لحاظ ساختاری، متفاوت می باشند. آنها جزء خانواده کلاتریت ها محسوب می شوند. این کریستالها در دمای بالاتر از نقطه انجماد آب و فشار بالا تشکیل می شوند. پیوند هیدروژنی مولکولهای آب باعث بوجود آمدن حفره هایی می شود که مولکولهای کوچک گاز می توانند وارد این حفره ها شوند و باعث پایداری آن گردند. این حفره ها در غیاب مولکول گاز میهمان، ناپایدارند اما وجود مولکولهای گاز و پیوند فیزیکی آن با مولکولهای آب باعث پایداری حفره ها می گردد. بنابراین نیروی نگهدارنده حفره ها نیروی واندروالسی است. هنگامی که حفره ها به میزان کافی توسط گاز پر شدند و حفره به اندازه بحرانی خود برای رشد رسید، رشد کریستالها شروع می شود (Vysniaukas and Bishnoi, 1985). هیدرات های گازی می توانند تحت شرایط مناسب دمایی و فشاری به یکی از سه ساختار مکعبی I و II و نوع H کریستالیزه شوند. هر کدام از شبکه هیدراتها شامل تعدادی حفره های کوچک و بزرگ است. در یک هیدرات پایدار، تعدادی از حفره های میزبان (آب) توسط ترکیبات گازی که مولکولهای مهمان نامیده می شوند، اشغال می گردند. تنها گازهایی که دارای قطر مولکولی کوچکتر از حفره ها و شکل هندسی مناسب هستند می توانند وارد حفره ها شوند. متان ترموژنیک و بایوژنیک بخش عمده گازهای موجود در هیدرات های گازی را تشکیل می دهد. در شرایط دما و فشار استاندارد (STP)، یک حجم از هیدرات اشباع شده متان (ساختار I) دارای بیش از ۱۶۴ حجم از گاز متان است. به علت این ظرفیت عظیم ذخیره سازی گاز، این هیدرات ها، منابع مهمی از گاز طبیعی محسوب می شوند. در سطح ماکروسکوپی، بسیاری از خواص مکانیکی هیدرات گاز مثل یخ است. چون هیدراتها دارای حداقل ۸۵ درصد آب بر یک پایه ملکولی هستند. برای شناسایی نوع ساختار هیدرات تشکیل شده، از روشهای C13-NMR، H-NMR، Raman Spectrum و X-Ray Diffraction استفاده می شود (Sloan, 1997).

۳-۲- نحوه شناسایی هیدرات های گازی

روش های لرزه ای اهمیت ویژه ای در اکتشاف و پی جویی هیدرات های گازی دارند، زیرا حضور هیدرات های گازی در داخل رسوبات و گاز آزاد موجود در زیر آن باعث بازتاب غیرعادی لرزه ای شده و شناسایی آنها را با روش های لرزه ای

ممکن می‌سازد. این بازتابها عمدتاً به نام بازتاب تحریکی انتهایی یا BSR خوانده می‌شوند که نشانگر مرز پایین زون پایدار هیدرات گازی است. البته نبود آن حاکی از نبود هیدرات گازی در منطقه نیست و باید تحقیقات کامل تری در این راستا صورت پذیرد. وجود شرایط ترمودینامیکی مناسب، حضور گاز و آب به میزان کافی و وجود مسیرهای مهاجرت گاز از اعماق به رسوب‌های سطحی برای تشکیل هیدرات‌های گازی ضروری است. از مهم‌ترین نشانه‌های لرزه‌ای هیدرات‌های گازی می‌توان به بازتاب‌کننده شبیه ساز بستر، لکه تخت و لکه روشن اشاره کرد. علاوه بر داده‌های لرزه نگاری، از اطلاعات پتروفیزیکی مربوط به چاهها نیز می‌توان در تشخیص و ارزیابی هیدرات‌های گازی استفاده کرد (شکل-۱). در این مقاله سعی گردیده است پاسخ انواع نمودارهای پتروفیزیکی نسبت به هیدراتهای گازی بصورت اجمالی مورد بررسی قرار گیرد.



شکل-۱: شناسایی هیدراتهای گازی با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی. به مقاومت بالای این زونها توجه شود (Schlumberger, 2010).

۳-۲-۱- نمودار کالیپر

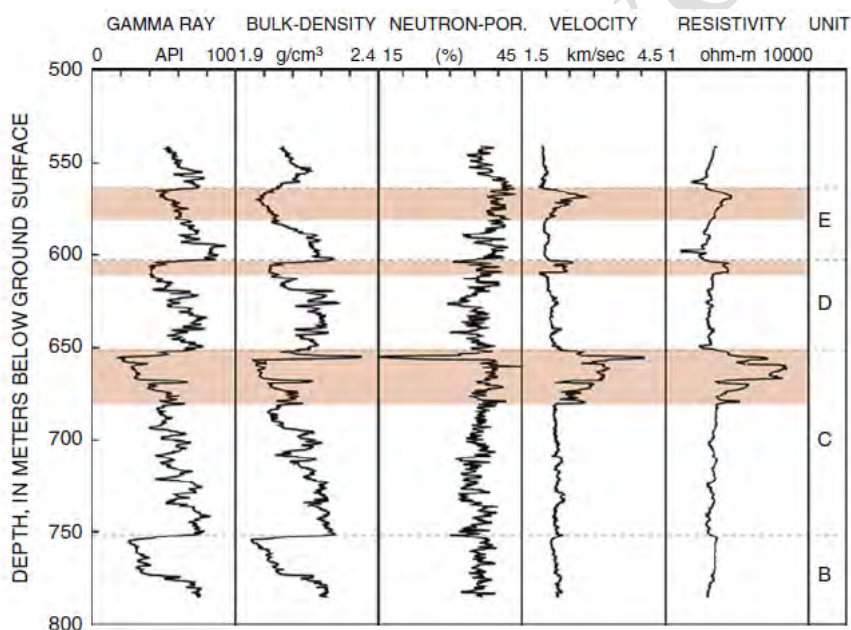
این نمودار یک تصویر اجمالی از شرایط چاه جهت راندن سایر نمودارهای پتروفیزیکی آرایه می‌کند. از این نمودار برای اندازه گیری قطر چاه و وجود ریزش یا اماس در دیواره چاه، وجود مناطق شکستگی، بررسی کیفیت و پایداری دیواره چاه، و برای محاسبه حجم چاه استفاده می‌شود. این نمودار قطر چاه را در منطقه حاوی هیدرات گاز معمولاً بزرگتر از حد معمول نشان می‌دهد که ناشی از تجزیه هیدراتهای گازی است. مثال بسیار خوبی این نمودار مربوط به حفاری هیدراتهای گازی در سواحل اورگان کانادا بوده است (Thakur and Rajput, 2011).

۳-۲-۲- نمودار مقاومت SP

این نمودار اختلاف پتانسیل طبیعی و یا خودزا موجود مابین سطح زمین و چاه مورد آزمایش را در غیاب هر گونه جریان مصنوعی اندازه گیری می کند. نمودار پتانسیل خودزا بسیار ساده بوده و تنها نیاز به یک الکتروود در چاه و یک الکتروود مرجع در سطح دارد. در مناطق حاوی هیدرات گازی این نمودار انحراف نسبتاً کمتری (منفی کمتر) در مقایسه با منطقه حاوی گاز آزاد نشان می دهد (Thakur and Rajput, 2011).

۳-۲-۳- نمودار چگالی

نمودارهای چگالی در درجه اول جهت ارزیابی تخلخل رسوبات استفاده می شود. چگالی هیدرات متان با ساختار ۱ در حدود 0.9 g/cm^3 است (Sloan, 1998). هیدرات گازی می تواند اثر کوچک اما قابل اندازه گیری بر روی تخلخل محاسبه شده از نمودار چگالی داشته باشد. در تخلخل نسبتاً بالا (بیش از ۴۰ درصد) و اشباع هیدرات بالا (بیش از ۵۰ درصد) تخلخل محاسبه شده از نمودار چگالی بدلیل حضور هیدرات گازی نیاز به اصلاح دارد (Collett, 1998b). بطور کلی در منطقه هیدرات گازی اندکی کاهش در چگالی در مقایسه با واحدهای اشباع از آب نشان می دهد. یک مثال بسیار خوب مربوط به چاه ۲ شمال غربی ایالت آیلین می باشد (شکل ۲-۲).



شکل ۲: نمودارهای پتروفیزیکی مربوط به چاه ۲- در شمال غرب ایالت آیلین. این نمودار نشان دهنده تاثیر هیدرات گازی بر روی نمودارهای پرتو گاما طبیعی، چگالی، نوترون، سرعت امواج صوتی و مقاومت الکتریکی است (Collett et al. 2010)

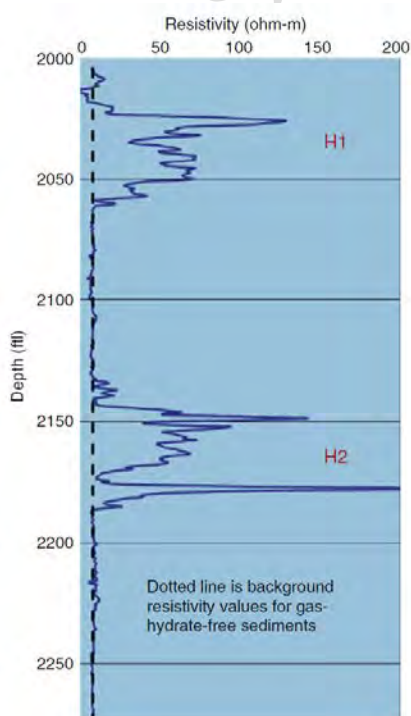
۳-۲-۴- نمودار نوترون

نمودار نوترون به اندازه گیری مداوم اشعه تولید شده ناشی از بمباران سازند با یک منبع نوترون موجود در ابزار نمودارگیری می پردازد. از نمودار نوترون نیز برای تعیین تخلخل رسوبات استفاده می شود. با توجه به اینکه ساختار هیدرات متان ۱ و آب خالص دارای غلظت هیدروژن مشابه هستند، فرض بر این است که است که نمودار نوترون که برای آب خالص کالیبره شده است، تاثیر چندانی از حضور هیدرات های گاز نمی پذیرد. با این حال، در تخلخلهای مخزنی بالا، تخلخل محاسبه شده با استفاده از نمودار نوترون می تواند بیش از حد تخمین زده شود (Collett, 1998b). بطور کلی این نمودار در مناطق حاوی

هیدرات گازی اندکی افزایش در میزان تخلخل برخلاف کاهش تخلخل ظاهری در منطقه حاوی گاز آزاد نشان می دهد. مثال بسیار خوبی از این مورد مربوط به چاه ۲ شمال غربی ایالت آیلین است (Collett et al. 2010).

۳-۲-۵- نمودار مقاومت الکتریکی

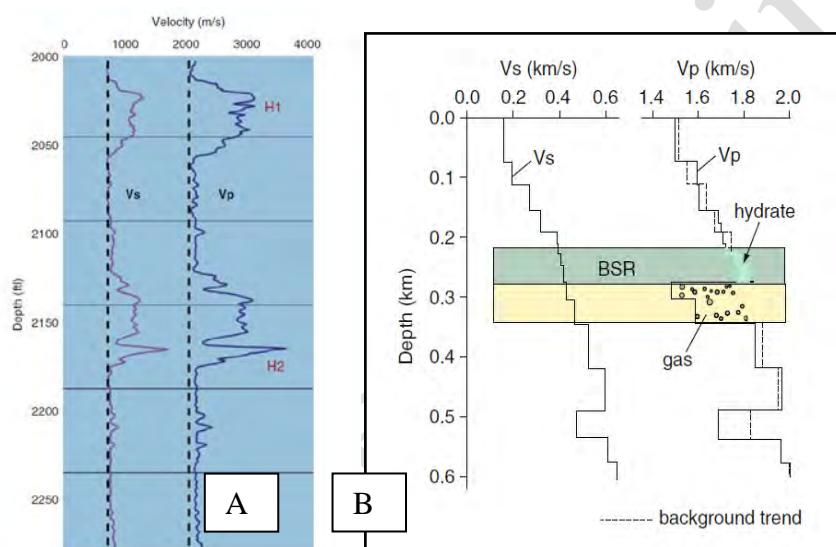
آب منفذی و شوری آب موجود در خلل و فرج سنگها مهمترین عوامل کنترل مقاومت الکتریکی هستند. دیگر عوامل مؤثر بر مقاومت یک سازند شامل غلظت مواد معدنی آبدار و فلزی، حجم هیدروکربن ها و هیدرات های گازی، و نیز هندسه ساختار منافذ می باشند. رسوبات حاوی هیدرات گاز مقاومت الکتریکی نسبتاً بالایی در مقایسه با واحدهای اشباع شده از آب نشان می دهند. از این رو می توان از این نمودارها در شناسایی و ارزیابی میزان هیدرات های گازی در بخش های رسوبی استفاده کرد (Thakur and Rajput, 2011). رابطه بین انواع سنگها و مقاومت سیالات منفذی در موارد متعدد آزمایشگاهی و میدانی مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس این مطالعات، روابط ما بین تخلخل، مقاومت سیالات منفذی و مقاومت سنگها تعیین شده است. از بین این مطالعات رابطه تجربی بسط داده شده توسط آرچی (Archie, 1942) کاربردی بوده و به منظور تخمین میزان اشباع آب در سیستم های گاز و نفت و آب و ماتریس مورد استفاده قرار می گیرد. تحقیقات نشان داده است که رابطه آرچی در تعیین اشباع داده هیدراتهای گازی نیز مفید می باشد (Collett, 1998b). بطور کلی هیدراتهای گازی همانند یخ، به عنوان یک عایق الکتریکی عمل می کنند. وجود هیدرات های گازی (یا گاز آزاد) مقاومت سنگ را افزایش می دهد. مناطق حاوی هیدراتهای گاز در مقایسه با افقهای اشباع شده از آب مقاومت بالایی نشان می دهند که مبین وجود هیدرات های گاز در منطقه است. مثال بسیار خوبی از نمودار مقاومت در هیدراتهای گازی توسط کومار و همکاران نشان داده شده است (شکل-۳). این مثال مربوط به آزمایش چاه توسط کنسرسیوم BP-DOE-USA است که به مطالعه امکان سنجی اکتشاف هیدراتها و بهره برداری در منطقه آلاسکا پرداخته است (Boswell et al. 2008).



شکل-۳: نحوه شناسایی مناطق حاوی هیدرات گازی (H1 و H2) بر اساس نمودار مقاومت (Kumar et al 2009)

۳-۲-۶- نمودار سرعت امواج صوتی

این نمودار زمان عبور یک موج الاستیک را در درون سازند اندازه می گیرد. این اطلاعات همچنین می تواند برای بدست آوردن سرعت امواج الاستیک در سازند نیز مورد استفاده قرار گیرد. استفاده اصلی این نمودار ارائه اطلاعات لازم جهت کالیبره کردن داده های لرزه ای برای بدست آوردن تخلخل سازند می باشد. سرعت امواج صوتی فشاری و برشی در محیط جامد، مانند رسوبات حاوی هیدراتهای گازی معمولاً چندین بار بزرگتر از سرعت امواج صوتی فشاری و برشی در آب و رسوبات حاوی گاز می باشد. از اینرو در منطقه حاوی هیدرات گازی، زمان عبور امواج صوتی در مقایسه با منطقه اشباع شده با آب یا زون گازی کاهش می یابد. مطالعات داده های درون چاهی نمودار سرعت امواج صوتی در تجمعات هیدراتهای گازی نشان داده است که حجم هیدرات گازی موجود در رسوبات نیز می تواند با اندازه گیری سرعت این امواج در فواصل عمقی مشخص تعیین گردد (Guerin and Goldberg, 2002). مثال بسیار خوبی از این مورد در کوه البرت توسط کومار و همکاران نشان داده شده است (Kumar et al., 2009). (شکل-۴)



شکل-۴) A: شناسایی هیدرات گازی بر اساس سرعت امواج طولی و عرضی تک بعدی در منطقه کوه البرت. منطقه حاوی هیدرات گازی با (H1 و H2) نشان داده شده است (Kumar et al. 2009). B: مقطع عرضی سرعت امواج طولی و عرضی تک بعدی. منطقه حاوی هیدرات گازی (سبز روشن) و گاز آزاد (زرد روشن) بصورت جداگانه نشان داده شده است (Thakur and Rajput, 2011).

۳-۲-۷- نمودار تشدید مغناطیس هسته ای (NMR)

نمودار NMR با استفاده از خصوصیات الکترومغناطیسی مولکولهای هیدروژن به تجزیه و تحلیل ماهیت پیوندهای شیمیایی سیالات منفذی می پردازد. هیدرات های گازی نسبت به دیگر ترکیبات موجود در منافذ سنگها، ساختار شیمیایی و تراکم هیدروژن منحصر به فرد دارند. بنابراین از نظر تئوری، توسعه تکنیکهای ارزیابی نمودار NMR جهت ارزیابی میزان تخلخل و اشباع آب دقیق مخزنی در رسوبات حاوی هیدرات های گاز میسر است. به دلیل محدودیتهای طراحی ابزار، هیدرات های گازی را نمی توان به طور مستقیم با فناوری امروزی NMR تشخیص داد. با این حال، استفاده از این نمودارها در تعیین میزان دقیق اشباع شدگی هیدرات های گاز بسیار مفید است.

با توجه به مدت زمان کوتاه استراحت مغناطیس عرضی (T2) مولکول های آب در کلاتراتها، هیدرات های گازی با ابزار NMR قابل مشاهده نیستند. لذا ممکن است تصور شود آنها بخشی از چارچوب جامد سنگ هستند. بنابراین، تخلخل کل محاسبه شده براساس NMR در رسوبات حاوی هیدرات های گازی باید کمتر از تخلخل واقعی باشد. با استفاده از نمودارهای تخلخل

دیگر مانند نمودارهای چگالی و یا نوترون تخمین دقیق اشباع شدگی هیدراتهای گازی با مقایسه میزان تخلخل ظاهری حاصل از NMR با تخلخل بدست آمده از نمودارهای چگالی و نوترون قابل محاسبه است.

۴- نتیجه گیری:

نمودار کالیبر قطر چاه را در منطقه حاوی هیدراتهای گازی معمولاً بزرگتر از حد معمول نشان می دهد. در این مناطق نمودار پتانسیل خودزا انحراف نسبتاً کمتری (منفی کمتر) در مقایسه با منطقه حاوی گاز آزاد دارد. نمودار چگالی در منطقه هیدرات گازی، اندکی کاهش در چگالی در مقایسه با واحدهای اشباع از آب نشان می دهد در حالیکه نمودار نوترون اندکی افزایش در میزان تخلخل برخلاف کاهش تخلخل ظاهری در منطقه حاوی گاز آزاد نشان می دهد. مناطق حاوی هیدراتهای گازی در مقایسه با افقهای اشباع شده از آب مقاومت بالایی دارند. در این مناطق زمان عبور امواج صوتی در مقایسه با منطقه اشباع شده با آب یا زون گازی کاهش می یابد. در نهایت تخلخل کل محاسبه شده براساس NMR در رسوبات حاوی هیدرات های گازی کمتر از تخلخل واقعی می باشد.

5- References:

- A. Vysniaukas, P. R. Bishnoi, " Kinetic of Ethane Hydrate Formation ", Chem. Eng. Sci., 40, 299-303, 1985.
- Archie, G.E., The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. Journal of Petroleum Technology, v. 5, p. 1-8, 1942.
- Boswell, R., Hunter, R., Collett, T., Digert, S., Hancock, S., Weeks, M., and Mount Elbert Science Team, 2008, Investigation of gas hydrate-bearing sandstone reservoirs at the "Mount Elbert" Stratigraphic test well, Milne Point, Alaska: Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates, Vancouver, BC, Canada, July 6-10.
- Collett, T. S., et al., 2010, Permafrost associated natural gas hydrate occurrences on the Alaska North Slope: Marine and Petroleum Geology. doi:10.1016/j.marpetgeo.2009.12.001.
- Collett, T.S., Well log characterization of sediment porosities in gas-hydrate-bearing reservoirs. Proceedings of the 1998 Annual Technical Conference and Exhibition of the Society of Petroleum Engineers, September 27-30, 1998, New Orleans, Louisiana, USA, 12 p. (CD-ROM), 1998b.
- E. D. Sloan, " Clathrate Hydrate of Natural Gases 2) " nd ed.), New York, Marcel Dekker Inc., 1997.
- Guerin, G., and D. Goldberg, Sonic attenuation measurements in the Mallik 2L-38 gas hydrates research well, MacKenzie Delta, NWT Canada, Journal of Geophysical Research, v. 107, 2002.
- Kvenvolden, K. A., 1993, Gas hydrates – geological perspective and global change. Review of Geophysics, 31, 173-187.
- Kumar, D., Dash, R., and Dewangan, P., 2009, Methods of gas hydrate concentration estimation with field examples: Geohorizons, 76-86.
- Max, M.D., Johnson, A.H., and Dillon, W.P., 2006, Economic geology of natural gas hydrate: Springer, Dordrecht.
- Sloan, E.D., 1998. Clathrate hydrates of natural gases. Marcel Dekker Inc. Pub., New York, pp. 641.
- Thakur, N.K., and Rajput, S., Exploration of Gas Hydrates, Geophysical Techniques, Springer, 2011.
- www.slb.com (schlumberger)