



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

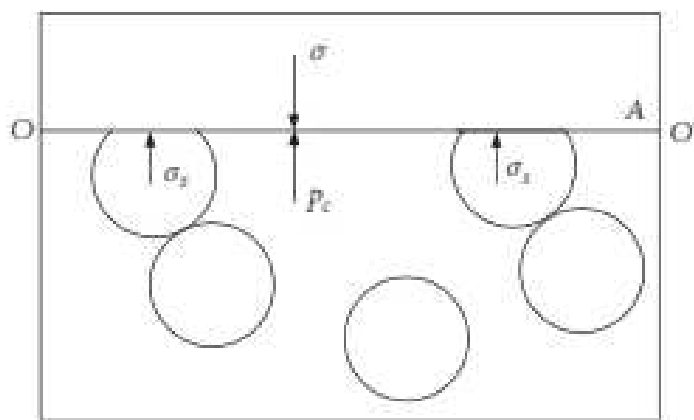
مدل محاسبه فشار شکستگی سنگ با چندین حوزه در فرایند شکستن

در این مقاله، یک مدل جامع برای محاسبه فشار شکستگی سنگ توسط نظریه تنش موثر دوپل محیط متخلخل ایجاد شده است که عوامل موثر مانند میدان تنش پوسته، میدان تنش هیدراسیون (آبدهی)، میدان درجه حرارت، میدان تنش تکتونیک، تخلخل سنگ و میدان تنش اضافی تولید شده توسط نفوذ سیال حفاری در نظر می گیرد. این مدل جدید، برای پیش بینی فشار شکستگی انواع مختلف سنگ ها قابل کاربرد است. با استفاده از پارامترهای آزمایشگاهی شکستگی میدان و نتایج تجربی فشرده سازی سه محوره هسته های سنگی با محتویات مختلف آب، می توانیم فشار شکستگی را محاسبه کنیم. در مقایسه با فشار شکستگی اندازه گیری شده در میدان نفتی، نتیجه محاسبه شده در این تحقیق، هماهنگی خوبی را نشان می دهد. علاوه بر این، اثر محتویات آب بر مقاومت کششی و فشار شکستگی تجزیه و تحلیل می شوند. نتایج نشان می دهند که هر دوی مقاومت کششی و فشار شکستگی با افزایش محتویات آب کاهش می یابد، که ناشی از کاهش ویژگی های مکانیکی سنگ ها از طریق هیدراسیون است.

1. مقدمه

فشار شکستگی سازند به فشاری اشاره می کند که باعث شکست سازند یا شکستگی اصلی می شود که تحت عمل فشار گل و لای در چاه حفره باز دوباره باز می شود. این مقوله به طور گسترده ای در حفاری سازه چاه، طراحی و بهره برداری از کنترل چاه، شکستگی و افزایش تولید در فرآیند تولید میدان نفتی استفاده می شود. به منظور برآورده سازی تقاضای جامعه برای منابع نفت و گاز، منابع غیرمعمول نفت و گاز مورد بررسی و توسعه قرار گرفته اند. این ساختار زمین شناسی در حال پیچیده شدن هستند، و از میدان شیمیایی [3-1]، میدان درجه حرارت [4,5]، میدان نفوذ [6]، و تنش تکتونیک [7] تاثیر می پذیرد. چگونگی به دست آوردن فشار شکستگی سازند دقیق و تولید راهنما، بسیار حیاتی و مشکل تر شده است [8].

محققان، بسیاری از مدل‌ها را برای پیش‌بینی فشار شکستگی سازند پیشنهاد داده‌اند. آندرسون [۹] از ثبت‌های چاه‌های برای محاسبه فشار شکستگی استفاده کردند. [10] Li یک مدل فشار شکستگی را توسط تئوری تنش موثر دوپل [۱۱] پیشنهاد کرد، که ترکیبی از مزایای هر دو فرمول فشار شکستگی H-F [12] و فرمول فشار شکستگی [13] H-W را به همراه دارد؛ تئوری تنش موثر دوپل به طور گسترده در بسیاری از حوزه‌ها مانند نفت، سنگ، ذغال سنگ و مهندسی فنداسیون [۱۴-۱۶] مورد استفاده قرار گرفته است. در مقایسه با مدل Li، هوانگ [۷] رابطه بین تنش رویی و عمق، تنش تکتونیک و استحکام سنگ را در نظر گرفت. با این حال، هر دو مدل Li و مدل هوانگ، تاثیر حوزه‌های شیمیایی و درجه حرارت را در نظر نگرفتند. یان [۱۷] یک مدل ساده برای محاسبه فشار شکست را با توجه به تنش هیدراسیون خلق کرد که دقت پیش‌بینی را بهبود بخشید. لی [۴] مدل ریاضی برای تنش اضافی حرارتی تولید شده توسط تغییر دما بر روی آستر شفت ایجاد کرد و روش محاسبه فشار اضافی شکستگی را که باعث تغییر دما شده است را پیشنهاد کرد. دنگ [۱۸]، یک مدل محاسبه فشار شکستگی برای تشکیل درجه حرارت بالا و فشار بالا ایجاد کرد که در آن، تغییرات درجه حرارت حفره چاه و نفوذ پذیری حفره چاه را مورد توجه قرار داد، اما تاثیر میدان علت شیمیایی را در نظر نگرفت نشده است و فقط برای ماسه سنگ استفاده می‌شود.



شکل ۱: نمودار تنش موثر بدنه سنگ‌ها [۱۱].

در این مقاله، یک مدل جامع برای محاسبه فشار شکستگی سنگ به وسیله نظریه تنش دوگانه موثر در محیط متخلخل ایجاد شده است که به طور کامل مکانیزم تغییر شکل و ساختار ماده در محیط متخلخل را در نظر می‌گیرد.

گیرد. علاوه بر این، این مدل پیشنهاد شده در این مقاله، عوامل موثر اقتصادی مانند میدان تنش زمین، فشار داخلی سوراخ چاه، میدان شیمیایی، میدان درجه حرارت، میدان تنش تکتونیک، تخلخل سنگ ها، نفوذ پذیری سایل نفوذکننده، و تنش موثر دابل را در نظر می گیرد. با تغییر پارامترهای سنگ در مدل، این مدل جدید برای پیش بینی فشار شکست انواع مختلف سنگ ها قابل کاربرد است.

۲. استنتاج مدل فشار شکستگی سنگ

۲،۱ تنش موثر سنگ. سنگ از شمار زیادی از ذرات جامد و منافذ بین گرانول تشکیل شده است.

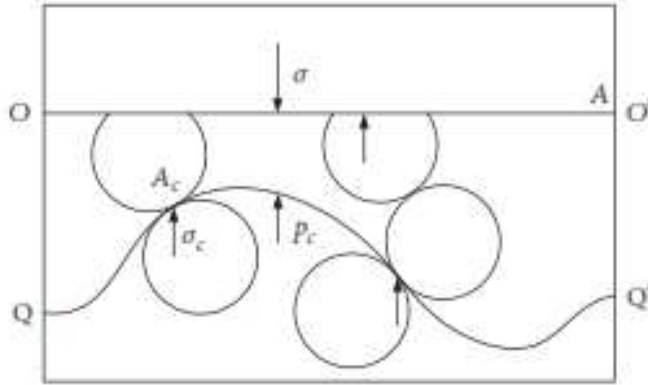
معمولا منافذ سنگ با سیال اشباع می شود، بنابراین سنگ توسط فشار های داخلی و خارجی تحت تاثیر قرار می گیرد. این امر، حالت تنش سنگ را پیچیده تر می سازد، بنابراین بسیاری از نظریه های مکانیک جامدات را نمی توان به طور مستقیم برای مطالعه مکانیک سنگ به کار برد؛ حالت تنش سنگ را می توان برای به دست آوردن تنش موثر سنگ ساده سازی کرد. دو تنش موثر در سنگ عبارتند از: تنش موثر بدنه و تنش موثر ساختاری.

۲،۱،۱ تنش موثر بدن. سنگها از تنش خارجی σ و تنش داخلی P_c تاثیر می پذیرند؛ در همین حال، تنش های اسکلتی σ_s در هر نقطه از سنگ در زنجیره وجود دارد. با این حال، تنش اسکلتی σ_s به طور مستقل وجود ندارد؛ این تنش از تنش های داخلی و خارجی سنگ تاثیر می پذیرد؛ یعنی، σ_s تابعی از تنش خارجی σ و تنش داخلی P_c است؛ قابل اندازه گیری نیست اما می تواند به صورت فرمول محاسبه شود.

از شکل ۱، تنش خارجی سنگ بالای سطح دلخواه OO' ، σ است؛ مساحت عمل تنش خارجی، A است. بنابراین، نیروی خارجی کلی بر روی سنگ، σA است. تنش اسکلتی زیر سطح OO' ، σ_s است؛ مساحت عمل تنش اسکلتی σ_s است. با توجه به اصل تعادل استاتیک، نیروهای بالا و پایین اعمال شده توسط اسکلت بر

روی سطح OO' باید برابر باشد با

$$\sigma A = (1 - \phi) \sigma_s A + \phi P_c A. \quad (1)$$



شکل ۲. دیاگرام تنش موثر ساختار در سنگ ها [11].

معادله (۱) را می توان به صورت زیر ساده سازی نمود

$$\sigma = (1 - \phi) \sigma_s + \phi p_c \quad (2)$$

σ ، تنش خارجی سنگ بالای سطح دلخواه OO' است، MPa؛ ϕ تخلخل سنگ است؛ σ_s تنش اسکلتی زیر سطح دلخواه OO' است، MPa؛ p_c تنش داخلی سنگ، MPa است. با (۲)، ما می توانیم تنش اسکلت را بدست آوریم. هنگامی که ما آن را به منطقه سطح مقطع کل سنگ تبدیل می کنیم، تنش موثر بدنه σ_{ep} که تعیین کننده تغییر شکل بدنه سنگ است، به دست می آید.

$$\sigma_{ep} = \sigma - \phi p_c \quad (3)$$

۱، ۲، ۳ تنش موثر ساختار. تنش تماسی σ_c در میان ذرات اسکلت سنگ، تغییر شکل ساختاری سنگ ها را تعیین می کند؛ این نتیجه فعل و انفعال هر دو تنش های داخلی و خارجی سنگ است؛ یعنی، σ_c ، یک تابع از σ و p_c است؛ این قابل اندازه گیری نیست اما توسط فرمول قابل محاسبه است.

از شکل ۲، تنش اسکلت زیر سطح QQ' ، σ_c است؛ مساحت عمل تنش اسکلتی، $(1 - \phi_c)A$ است؛ نیروی

تماس کلی تنش عمود بر سطح QQ' ، $(1 - \phi_c)\sigma_c A$ است. فشار سوراخ زیر سطح QQ' ، p_c است؛

مساحت عمل نیروی عمودی فشار سوراخ، $\varphi_c A$ است، بنابراین نیروی کلی سیار در سوراخ روی سطح QQ' ، $\varphi_c P_c A$ است.

وقتی سطح QQ' ، به سطح QQ' تمایل پیدا می کند، با توجه به اصل تعادل استاتیک، خواهیم داشت

$$\sigma A = (1 - \varphi_c) \sigma_c A + \varphi_c P_c A \quad (4)$$

معادله (۴) را می توان به صورت زیر ساده سازی نمود:

$$\sigma = (1 - \varphi_c) \sigma_c + \varphi_c P_c \quad (5)$$

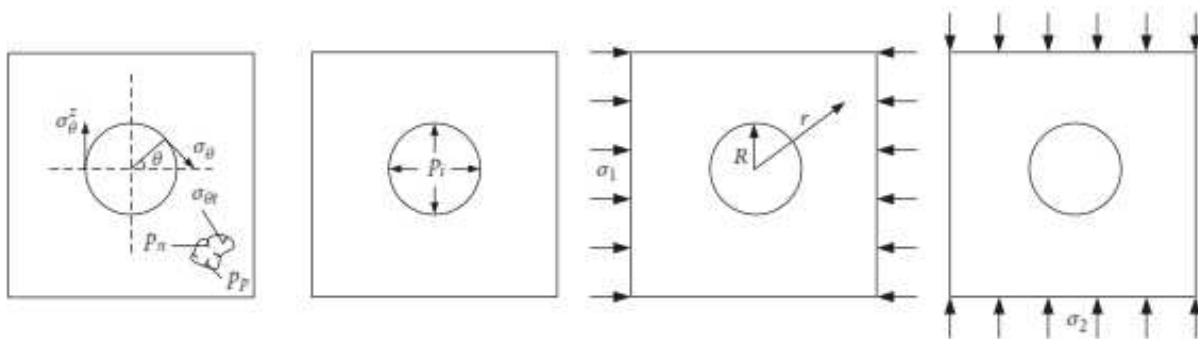
σ_c تنش تماس عمودی در میان ذرات اسکلت سنگ زیر سطح دلخواه QQ' ، MPa است؛ φ_c ، تخلخل تماسی بر حسب % است.

تا (۵)، می توانیم تنش تماسی را به دست آوریم. زمانی که ما آن را به مساحت سطح مقطع کل سنگ تبدیل می کنیم، تنش موثر ساختار که تغییر شکل ساختاری سنگ را تعیین می کند، به دست می آید.

$$\sigma_{es} = \sigma - \varphi_c P_c \quad (6)$$

σ_{es} تنش ساختار سنگ، MPa است. زمانی که $\phi \rightarrow 0$ ، $\varphi_c \rightarrow 0$ ، مشخصات سوراخ سنگ ها

ناپدید می شوند و سنگ ها تمایل به این دارند که مواد جامد عادی باشد



شکل ۳. حالت تنش در اطراف سوراخ چاه.

در این زمان، تنشهای موثر بدنه و موثر ساختار، بیشتر تنش خارجی سنگ هستند. هنگامی که $p_c \rightarrow 0$ ، (۶) نشان می دهد که هیچ سیالی در سنگ نیست. در این زمان، هر دو تنش موثر بدنه و تنش موثر ساختار، بیشتر تنش خارجی سنگ هستند. هنگامی که $\varphi_c \rightarrow 1$ ، (۶) نشان می دهد که سنگ تمایل به شل نمودن محیط دارد. در این زمان، فرمول تنش موثر ساختار، تنش موثر ترزاقی است.

$$\sigma_{es} = \sigma - p_c. \quad (7)$$

۲،۲ مدل میدان تنش سوراخ چاه.

سوراخ چاه عمودی را می توان به عنوان یک سوراخ دایروی در صفحه بی نهایت در نظر گرفت (نگاه کنید به شکل ۱). این سوراخ تحت تنش افقی در دو جهت σ_1 و σ_2 در این صفحه، فشار بیش از حد در جهت عمودی، تنش هیدراسیون P_π ، تنش متغیر درجه حرارت $\sigma_{\theta t}$ ، فشار منافذ سنگ P_p و حداقل تنش های محیطی روی آستر شفت پوشش σ_θ^z قرار می گیرد. فرض می شود که سازنده، یک محیط متخلخل الاستیک خطی ایزوتروپیک (همسانگرد) است؛ سنگ در اطراف سوراخ دریل، در یک حالت کرنش صفحه قرار دارد [۱۸]. مدل تنش دیواره سوراخ چاه در شکل ۳ نشان داده شده است.

Pi، فشار مایع در حفره چاه، MPa؛ σ_θ^z ، تنش افقی حداکثر، MPa؛ σ_2 ، تنش حداقل افقی، MPa؛ R، شعاع سوراخ دریل، m است؛ r، شعاع یک نقطه از محور سوراخ دریل به سطح، m؛ θ زاویه محیطی چاه است [۲۰].

۲،۳ تنش محیط تولیدشده توسط تنش زمین روی دیواره چاه.

با توجه به وجود سوراخ چاه، تنش زمین و توزیع آن در طبقه تغییر خواهد کرد. تنش محیطی در هر نقطه از طبقه توسط مکانیک کششی نشان داده می شود

$$\sigma_{\theta 1} = -\frac{R^2}{r^2} p_i + \frac{(\sigma_1 + \sigma_2)}{2} \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right) - \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)}{2} \left(1 + \frac{3R^4}{r^4} \right) \cos 2\theta. \quad (8)$$

$\sigma_{\theta 1}$, تنش محیطی ناشی از تنش زمین، MPa است. زمانی که $r = R$ و $\theta = 0^\circ$ یا $\theta = 180^\circ$ است، مینیمم مقدار تنش محیطی در سوراخ چاه [6] برابرست با

$$\sigma_{\theta 1} = 3\sigma_2 - \sigma_1. \quad (9)$$

۲.۴. تنش محیطی ناشی از فشار داخلی سوراخ چاه.

در طول فرایند شکست، سیالات فشار بالا به داخل سوراخ چاه تزریق می شوند، بنابراین فشار در چاه به سرعت افزایش می یابد. تنش محیطی بر روی آستر شفت تولید می شود. اگر ما سازند در اطراف سوراخ چاه را به عنوان یک استوانه با دیواره بی نهایت در نظر بگیریم، تنش محیطی ایجاد شده توسط فشار سوراخ چاه به واسطه کشش حاصل می شود.

$$\sigma_{\theta 2} = \frac{p_e r_e^2 - p_i R^2}{r_e^2 - R^2} + \frac{(p_e - p_i) r_e^2 R^2}{r^2 (r_e^2 - R^2)}. \quad (10)$$

تنش دورانی تولید شده توسط ۲ فشار داخل چاه، MPa؛ فشار مرزی خارجی سیلندر دیوار ضخامت، $\bullet = 0$ است. شعاع مرزی بیرونی سیلندر دیوار ضخیم، $\infty \rightarrow$ است. هنگامی که $\bullet = \infty$ ،

$$\sigma_{\theta 2} = -p_i. \quad (11)$$

$\sigma_{\theta 2}$ تنش محیطی تولید شده توسط فشار داخلی سوراخ چاه، MPa؛ p_e ، فشار مرز خارجی استوانه با دیواره ضخیم، $p_e = 0$ ؛ r_e ، شعاع مرز خارجی استوانه با دیواره ضخیم، $r_e \rightarrow \infty$ می باشد. زمانی که

$p_e = 0$ ، $r_e \rightarrow \infty$ و $r = R$ ، (۱۰) را می توان به صورت [6] نوشت

$$\sigma_{\theta 2} = -p_i. \quad (11)$$

۲,۵ تنش محیطی تولیدشده توسط سیال نفوذکننده و تنش موثر بدنه. جریان شعاعی سیال حفاری در سازند،

تنش های محیطی اضافی حول سوراخ حفره [21] را تولید خواهد کرد. همانطور که تنش موثر بدنه در (۳) نشان داده شده است، افزایش تدریجی و توزیع تنش در محل ناشی از افزایش تدریجی فشار سوراخ به صورت می باشد [10]

$$\sigma_{\theta 3} = -\frac{(1-2\mu)}{2(1-\mu)}\phi \left[\frac{1}{r^2} \int_R^r (p-p_p) r dr + \frac{r^2+R^2}{r^2(r_e^2-R^2)} \int_R^{r_e} (p-p_p) r dr - (p-p_p) \right]. \quad (12)$$

P, فشار سوراخ در هر نقطه در سازند، MPa است؛ Pp, فشار سوراخ سیال در طبقه، MPa است. برای استوانه ها با دیواره ضخیم، $r_e \rightarrow \infty$ ، زمانی که $r = R, p = p_i$. آنگاه تنش محیطی ناشی از افزایش فشار سوراخ به دست می آید [10].

$$\sigma_{\theta 3} = \phi \frac{(1-2\mu)}{2(1-\mu)} (p_i - p_p). \quad (13)$$

$\sigma_{\theta 3}$ ، تنش محیطی تولیدشده توسط سیال نفوذ کننده به آستر شفت، MPa است؛ u، نسبت پواسن است؛ ϕ تخلخل سنگ بر حسب % است.

۲,۶ تنش محیطی تولید شده توسط میدانی شیمیایی.

سیال حفاری، از طریق عمل تفاوت فشار هیدرولیک و تفاوت پتانسیل نفوذپذیری، وارد سوراخ چاه می شود. سنگ اطراف سوراخ چاه مستعد در هیدراسیون است، در زمانی که با آب مواجه می شود؛ هیدراسیون می تواند استحکام سنگ را کاهش دهد و موجب ناپاداری سوراخ چاه شود. [6, 22, 23]. Chenevert [24] آستر بندی

شفت را به عنوان یک غشای نیمه نفوذپذیر در نظر گرفتن؛ او از فشار هیدروستاتیک برای نشان دادن تنش هیدراسیون استفاده نمود. این فرمول به صورت زیر است:

$$\sigma_{\theta 4} = p_{\pi} = -I_m \frac{R'T}{\bar{V}} \ln \frac{(A_w)_m}{(A_w)_{sh}} \times 10^{-6}. \quad (14)$$

, تنش هیدراسیون, Mpa؛ R' ، ثابت گاز، $J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ ؛ T ، دمای مطلق، K؛ I_m ،

بازده نفوذپذیر غشا؛ \bar{V} ، حجم مولی جزئی آب خالص، $m^3 \cdot mol^{-1}$ ؛ $(A_w)_m$ ، فعالیت مایع آب ورودی به سازند؛ $(A_w)_{sh}$ ، فعالیت آب در سازند [20] است.

۲،۷ تنش محیطی تولیدشده توسط میدان دمایی.

Maury [5] and Boas [25] تصور می کردند که تغییر دمای شفت می تواند موجب ناپایداری در

آستر بندی شفت شود. زمانی که سیال حفاری می چرخد، سوراخ چاه بالایی احاطه کننده سنگ گرم می شود. زمانی که چرخش متوقف می شود، سنگ احاطه کننده سوراخ چاه پایین دوباره گرم می شود، بنابراین سوراخ چاه احاطه کننده سنگ گرم و منبسط می شود. هرچند، این مورد توسط فشار ستون سیال سوراخ چاه محدود می شود و سوراخ چاه احاطه کننده سنگ قابل انبساط آزادانه نیست. بنابراین تنش دمایی در سوراخ چاه احاطه کننده سنگ رخ خواهد داد که تنش محیطی سنگ احاطه کننده در آستر شفت را تغییر می دهد؛ تنش محیطی ناشی از تنش دمایی به صورت زیر است [25,26]:

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta t} &= \sigma_{\theta 5} \\ &= \frac{E\alpha_m}{3(1-\mu)} \left[\frac{1}{r^2} \int_R^r T_k(r,t) r dr + T_k(r,t) \right]. \end{aligned} \quad (15)$$

میدان تغییر دما در سراسر سوراخ حفره؛ α_m ، ضریب انبساط $T_k(r, t) = T(r, t) - T_0$ ؛ $T_k(r, t)$ حرارتی سنجش حجمی سنگ؛ E، ماژول الاستیک سنگ طبقه، GPa است. زمانی که $r = R_1$ ، (۱۵) را می توان به صورت زیر تغییر داد:

$$\sigma_{\theta 5} = \frac{E\alpha_m}{3(1-\mu)} [T_w - T_0]. \quad (16)$$

T_w دما روی آستر شفت بر حسب درجه سانتی گراد؛ T_0 ، دما در طبقه اصلی بر حسب درجه سانتی گراد است.

۲،۸ تنش محیطی کلی دیواره یک سوراخ چاه. چون فرض می شود که سنگ سازند،

یک محیط متخلخل الاستیکی خطی همسانگرد است، حالت تنش سنگ دیواره توسط استفاده از جمع اثر خطی قابل حصول است. مینیم تنش محیط روی آستر شفت، مجموع پنج تنش های بالا است.

$$\begin{aligned} \sigma_{\theta}^z &= \sigma_{\theta 1} + \sigma_{\theta 2} + \sigma_{\theta 3} + \sigma_{\theta 4} + \sigma_{\theta 5} \\ &= 3\sigma_2 - \sigma_1 - p_i + \phi \frac{(1-2\mu)}{2(1-\mu)} (p_i - p_p) + p_{\pi} \quad (17) \\ &\quad + \frac{E\alpha_m}{3(1-\mu)} [T_w - T_0]. \end{aligned}$$

۲،۹. مینیم تنش محیطی ساختار

با (۶) و $p_i = p_c$ ، تنش موثر ساختار محیطی مینیم کلی روی دیواره شفت σ_{θ}^s برابرست با

$$\sigma_{\theta}^s = 3\sigma_2 + \phi \frac{(1-2\mu)}{2(1-\mu)} (p_i - p_p) + p_{\pi} - \sigma_1 + \frac{E\alpha_m}{3(1-\mu)} [T_w - T_0] - p_i - \varphi_c p_i \quad (18)$$

۲،۱۰. تاثیر تنش تکتونیک و تنش رویی بر فشار شکستگی.

زمانی که تنش محیطی موثر سنگ دیواره سوراخ دریل کاری σ_{θ}^s به استحکام کششی مینیمم در جهت افقی سنگ دیواره سوراخ حفاری St می رسد، سنگ به طور عمود بر جهت تنش کششی خواهد شکست [7].

$$\sigma_{\theta}^s = -S_t \quad (19)$$

زمانی که شکل بالایی برآورده می شود، $P_F = P_i$ ، فشار شکستگی، MPa است. اگر

$K = \phi((1-2\hat{\mu})/2(1-\hat{\mu}))$ ، (۱۸) را می توان به صورت زیر نوشت

$$P_F = \frac{1}{1-K+\varphi_c} \left(3\sigma_2 - \sigma_1 + S_t - Kp_p + p_{\pi} + \frac{E\alpha_m}{3(1-\mu)} [T_w - T_0] \right) \quad (20)$$

، تنش رویی عامل در جهت عمودی است که می توان آنها را از منحنی ثبت چگالی به دست آورد. $\sigma_3 = S$

تنش رویی موثر σ_3' برابرست با

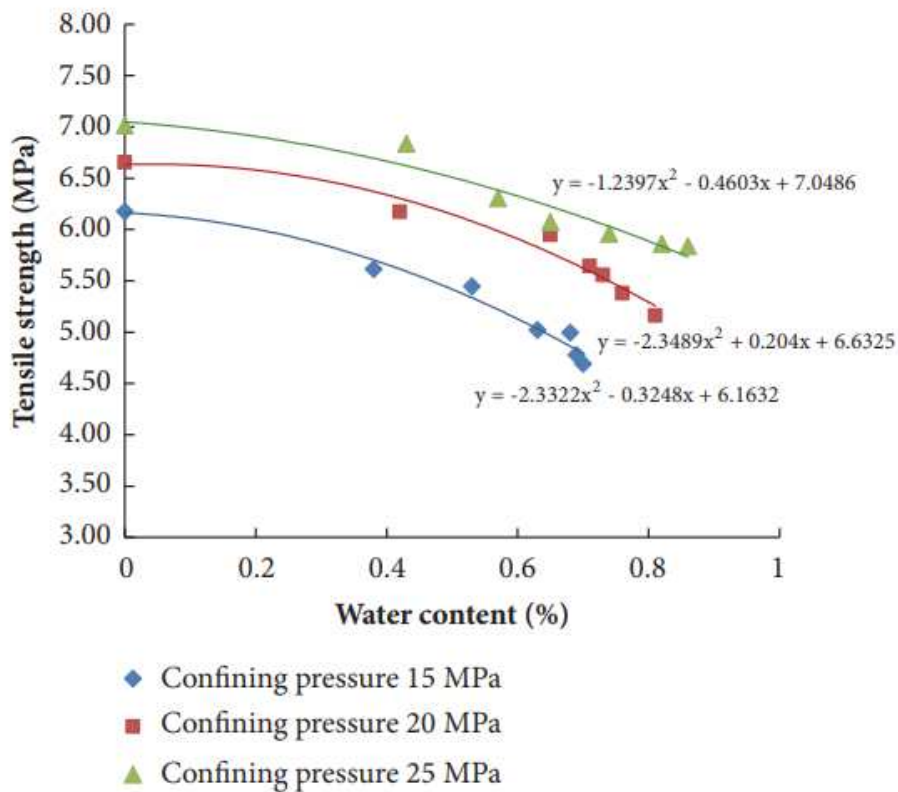
$$\begin{aligned} \sigma_3' &= \sigma_3 - p_p, \\ \sigma_3' &= S - p_p. \end{aligned} \quad (21)$$

مطابق با هافنر [27]، در طبقات افقی ملایم یا نامتناهی، تنش های افقی زمین با عبارات زیر نشان داده می شوند:

$$\sigma'_1 = \frac{\mu}{1-\mu}\sigma'_3 + \alpha\sigma'_3 + p_p, \quad (22)$$

$$\sigma'_2 = \frac{\mu}{1-\mu}\sigma'_3 + \beta\sigma'_3 + p_p.$$

σ'_1 ، تنش افقی ماکزیمم موثر، MPa؛ σ'_2 ، تنش افقی مینیمم موثر، MPa؛ α و β ، ضرایب تنش ساختار جغرافیایی می باشد.



شکل ۴. رابطه بین استحکام کششی و محتویات آب.

با قراردادن (۲۲) در (۲۰)، PF به دست می آید.

$$\begin{aligned}
 p_F = & \frac{1}{1 - \phi((1 - 2\mu)/2(1 - \mu)) + \varphi_c} \left(\left(S_t + p_\pi \right. \right. \\
 & \left. \left. + \left(2 - \phi \frac{(1 - 2\mu)}{2(1 - \mu)} \right) p_p + \frac{E\alpha_m}{3(1 - \mu)} [T_w - T_0] \right) \right) \quad (23) \\
 & + \left(\frac{2\mu}{1 - \mu} + 3\beta - \alpha \right) S
 \end{aligned}$$

یا

$$\begin{aligned}
 p_F = & \frac{1}{1 - K + \varphi_c} \left(\left(S_t + p_\pi + (2 - K) p_p \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{E\alpha_m}{3(1 - \mu)} [T_w - T_0] \right) + \left(\frac{2\mu}{1 - \mu} + 3\beta - \alpha \right) \sigma'_3 \right). \quad (24)
 \end{aligned}$$

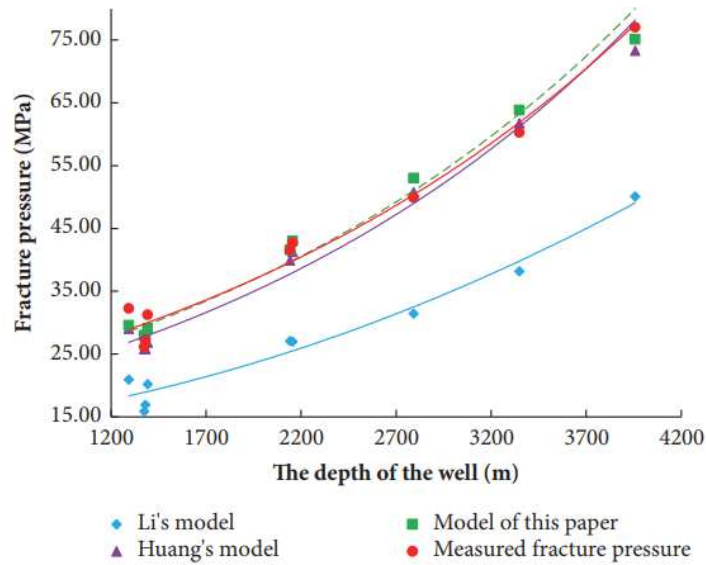
۳. محاسبه نمونه مدل فشار شکستگی سنگ

۳،۱ رابطه بین استحکام کششی و محتویات آب.

Qu et al. [6] سه آزمون فشردگی محوری نمونه های سنگ را در زمان های مختلف غرق کردن انجام دادند (جدول ۱ را ببینید). مطابق با آزمون های قبلی، استحکام کششی سنگ حدود $1/8 \sim 1/15$ استحکام فشردگی توسط Guo et al. [28] است. مطابق با نتیجه گیری بالا، استحکام کششی را می توان توسط محاسبه به دست آورد (جدول ۱ را ببینید).

رابطه بین استحکام کششی و محتویات آب در شکل ۴ نشان داده شده است.

می توان از شکل ۴ دید که استحکام کششی با افزایش محتویات آب تحت فشارهای محدودکننده مختلف کاهش می یابد. زمانی که محتوای بالایی از مواد معدنی در خاک رس و ترک های ریز بالا باشد، هیدراسیون رخ خواهد داد و در حالیکه سیال حفاری با آنها تماس دارد؛ در این بین، سوراخ های آبدی شده افزایش می یابد. در نهایت، ساختار داخلی، شل تر می شود، ترک های ریز منبسط می شوند و ویژگی های مکانیکی سنگ کاهش خواهد یافت.



شکل ۵. تغییر فشار شکستگی با عمق در میدان نفتی داگانگ

۳,۲ مثالی از محاسبه فشار شکستگی سازند.

به واسطه پارامترهای عملکردی طبقات، که در تنش‌ها در محل اندازه‌گیری می‌شوند، و مقادیر فشار شکستگی در میدان نفتی داگانگ، پارامترهای پایه سنگ به صورت نشان داده شده در جدول ۲ انتخاب می‌شوند. با (۲۳)، نتایج محاسبه فشار شکستگی سازند در جدول ۳ و شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

از شکل ۵، می‌توانیم ببینیم که فشار شکستگی سازند با افزایش عمق دیوار افزایش می‌یابد. فشار شکستگی محاسبه شده توسط مدل در این مقاله، نزدیک‌تریک به فشار شکستگی اندازه‌گیری است. به واسطه محاسبه، خطای مدل محاسبه فشار شکستگی در این مقاله، ۴,۳۹٪ است، در حالیکه خطای پیش‌بینی مدل Li، ۳۶,۴۸٪ و ۸,۰۴٪ برای مدل هوانگ است.

در این مقاله، یک مدل جامع برای محاسبه فشار شکستگی سنگ توسط تئوری تنش موثر دابل محیط متخلخل مشخص می‌شود که به طور کامل، مکانیزم تغییر شکل و ساختار مادی محیط متخلخل را در نظر می‌گیرد. میدان تنش سنگ دیواره، تنش رویی، تنش ساختاری سازند غیرهمگن، تنش اضافی ناشی از نفوذ سیال حفاری، تنش هیدراسیون و تنش تغییر دمایی ناشی از تفاوت دمایی سوراخ حفره را در نظر می‌گیرد و دقت محاسبه فشار شکستگی را بهبود می‌بخشد. بنابراین، محاسبه چگالی سیال حفاری معادل توسط این مدل عملی‌تر است.

در عین حال، می توان از شکل ۵ دید که مقادیر پیش بینی شده فشار شکستگی بسیار نزدیک به مقادیر اندازه گیری شده در چاه زیر ۲۹۰۰ متر هستند، در حالیکه به طور مختصر بالاتر از مقدار اندازه گیری شده در بخش بالای ۲۹۰۰ متر است. دلیل اینست که تغییر دما در مرحله اولیه حفاری تزریق چرخه ای دارای اثر چشمگیری بر تغییر فشار شکستگی است. بعد از یک دوره معین زمان چرخه ای، دمای دیوار اساساً در حالت توازن است و دیگر بر فشار شکستگی اثر نمی گذارد. مطالعه حاضر، اثر تغییر دما در بخش کلی چاه را در نظر می گیرد. بنابراین مقدار پیش بینی شده این بخش چاه، کمی بالاتر است.

جدول ۱. نتایج آزمون های فشردگی محوری هسته های سنگ با محتویات مختلف آب [6].

| غرق | زمان شدن | محتوای آب | استحکام فشردگی | استحکام کششی نسبت |
|------------------|-------------|------------|------------------|-------------------|
| فشار محبوس کننده | / | $4_c / \%$ | s / MPa | $\$/ \text{MPa}$ |
| 15MPa | 0 | 0 | 2. | 0.2 .18 |
| | 0.5 | 0.8 | 8.21 | 0.18 5.1 |
| | 1 | 0.5 | 81.5 | 0.25 5.5 |
| | 2 | 0. | 5.5 | 0.2 5.02 |
| | | 0.8 | .15 | 0.2 . |
| | | 0. | 1.5 | 0.2 .8 |
| | 5 | | | |
| | | 0. | 0.8 | 0.1 . |
| | | 0 | 0 | .8 0. |
| | | 0.5 | 0.2 | 2.58 .1 |
| 20MPa | 1 | 0.5 | 8.2 | 0.2 5.5 |
| | 2 | 0.1 | 8. | 0.22 5. |
| | | 0. | 8.55 | 0.1 5.5 |
| | | 0. | 80. | 0.21 5.8 |
| | 5 | 0.81 | .5 | 0.21 5.1 |
| | 0 | 0 | 105.22 | 0.21 .01 |
| | 0.5 | 0. | 102.52 | 0.2 .8 |
| | 1 | 0.5 | .55 | 0.2 .0 |
| | 2 | 0.5 | 1.1 | 0.1 .0 |
| | | 0. | 8.5 | 0.2 5. |
| 25MPa | | 0.82 | 8.1 | 0.18 5.8 |
| | 5 | 0.8 | 8.5 | 0.25 5.8 |

جدول ۲. پارامترهای مرسوم سازند سنگ

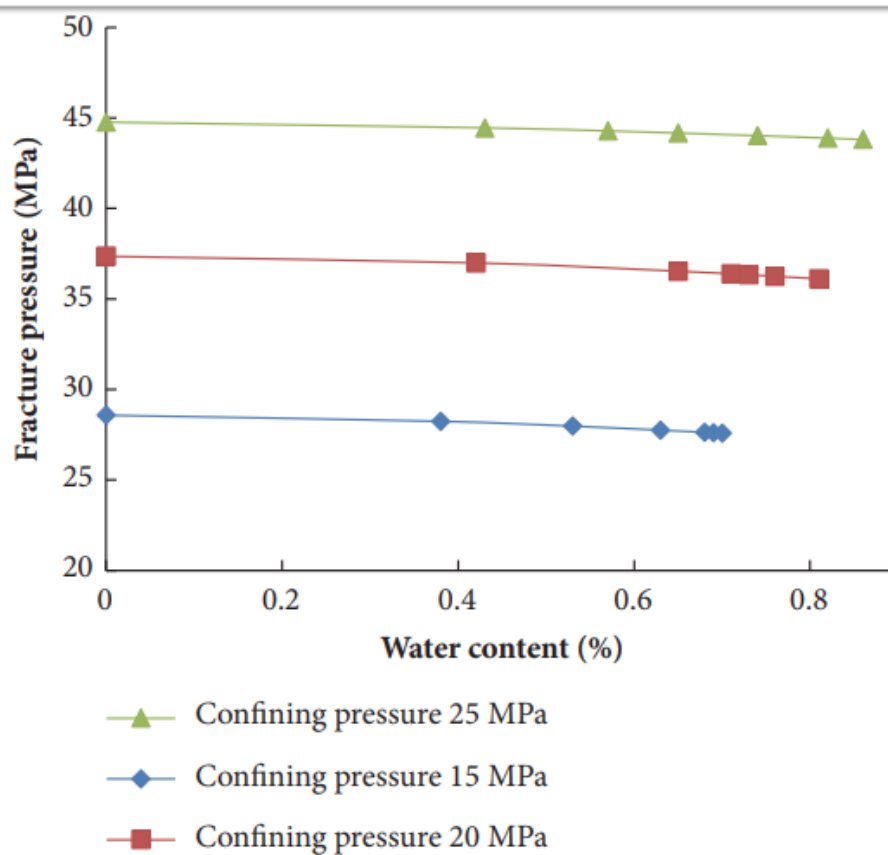
| فعالیت آب ورودی به سازند | حجم مولی جزئی آب خالص | دمای مطلق | ثابت گاز | بازده نفوذپذیر غشا |
|--------------------------|-----------------------|------------|-----------------|--------------------|
| 1-53567/() | water | % | | E |
| 0.8 | 1.8×10^{-5} | | 8.1 | 0.1 |
| ضریب تنش ساختاری | ضریب تنش ساختاری | نسبت پواسن | تخلخل سنگ سازند | فعالیت آب در |
| & | | | () | |
| 0.1 | 0.1 | 0.22 | 0.18 | 0.15 |

علاوه بر این، پارامترهای سنگ رس مانند ماژول الاستیک عمدتاً از تغییرات دما تاثیر می پذیرند؛ ماژول های الاستیک سنگ بالا و زیر ۲۹۰۰ متر متفاوت هستند. به منظور تسهیل محاسبه، همین مقدار در مطالعه کنونی اتخاذ می شود که منجر به انحراف مقدار پیش بینی شده در طبقات بالای ۲۹۰۰ متر می شود.

۳.۲ اثر محتوای آب روی فشار شکستگی.

با ترکیب فرمول تناسبی استحکام کششی و محتوای آب در شکل (۴) با (۲۳)، دیاگرام رابطه فشار شکستگی سنگ و محتویات آب به دست می آید (شکل ۶ را ببینید).

از شکل ۶، می توانیم ببینیم که فشار شکستگی، با افزایش محتویات آب کاهش می یابد. این بدان دلیل است که آب می تواند سنگ را نرم کند و ویژگی های مکانیکی سنگ را به واسطه هیدراسیون تغییر دهد. به طور خاص، زمانی که سیال حفاری، به مواد معدنی و ترک های ریز می خورد، اثر هیدراسیون، افزایش سوراخ را موجب خواهد شد و ساختار داخلی سنگ را شل خواهد کرد، که منجر به انتشار ترک ریز و در نهایت تنزل ویژگی های مکانیکی سنگ می شود. با افزایش محتویات آب، استحکام فشردگی و استحکام کششی سنگ کاهش می یابد و بنابراین منجر به کاهش فشار شکستگی می شود.



شکل ۶. رابطه بین فشار شکستگی و محتوای آب.

جدول ۳. تنش پوسته و فشار شکستگی در سازند نفتی در میدان نفتی داگانگ

| میانگین عمق چاه | فشار پارگی پیش بینی شده | | | | | فشار شکستگی | اندازه تنش موثر پوسته تنش موثر افقی تنش رویی استحکام | مدل Huang's | مطالعه کنونی | |
|-----------------|-------------------------|--------|------|------|------|-------------|--|-------------|--------------|------|
| | ماکزیمم | مینیمم | موتر | زمین | کششی | | | | | |
| شماره چاه | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | |
| X81 | 12 | 11.1 | 0.8 | 15.8 | 12. | 2. | 2.2 | 1.2 | 28.05 | 2.58 |

| | | | | | | | | | | |
|------|-----|-------|----|------|-------|------|------|-------|------|------|
| 2G | 51 | 12.5 | 2. | 1.2 | 10.00 | 1.11 | 2.1 | 8.2 | 2. | 2.5 |
| 2G | 811 | 12.15 | 2. | 1.5 | 11.1 | 21. | 2.2 | .8 | 2. | 2.81 |
| Y811 | 1 | 12.25 | .2 | 1. | 1.1 | 2.0 | 1.2 | 12.1 | 2.5 | 2.0 |
| 2B8 | 22 | 2.0 | 2. | 5.8 | 22. | .8 | .88 | 1.12 | 8.8 | 5.02 |
| B888 | | 2.5 | .2 | .1 | 2.5 | 5.50 | 0.2 | 1.5 | 58.8 | .85 |
| B | 58 | .88 | .2 | 5.11 | .2 | 1. | .02 | 2.5 | .8 | 5.12 |
| H11 | 221 | 18.2 | .2 | 2.1 | 18.2 | .8 | 1.55 | 15. | 8.20 | 1.5 |
| H115 | 215 | 1.01 | .0 | 2.85 | 1.8 | . | 2.2 | 15.51 | .5 | 2.8 |

TABLE 3: Crustal stress and fracture pressure in oil formation in Dagang Oilfield.

| Well No. | Average depth of well / m | Stratum pressure p_p /MPa | Tensile strength S_p /MPa | Effective overlying stress σ'_v /MPa | Minimum horizontal effective ground stress σ'_h /MPa | Maximum horizontal effective crustal stress σ'_H /MPa | Predicted rupture pressure /MPa | | | |
|----------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|---|--|---------------------------------|------------|---------------|-------------------|
| | | | | | | | Measured fracture pressure | Li's model | Huang's model | The present study |
| X814 | 1298 | 11.17 | 284 | 13.48 | 12.74 | 24.99 | 32.24 | 14.32 | 28.05 | 29.38 |
| G662 | 1375 | 12.35 | 2.94 | 16.27 | 10.00 | 19.11 | 26.16 | 8.92 | 24.79 | 22.95 |
| G772 | 1381 | 12.15 | 2.94 | 16.56 | 11.17 | 21.36 | 27.24 | 9.86 | 24.76 | 27.81 |
| Y811 | 1398 | 12.25 | 3.92 | 16.66 | 13.13 | 24.30 | 31.26 | 12.71 | 26.45 | 29.06 |
| B842 | 2792 | 24.60 | 2.94 | 35.86 | 22.34 | 44.68 | 49.88 | 16.12 | 48.48 | 33.02 |
| B888 | 3349 | 29.59 | 3.92 | 43.61 | 26.75 | 53.50 | 60.26 | 19.59 | 58.98 | 63.85 |
| B46 | 3958 | 34.88 | 3.92 | 53.11 | 33.32 | 61.73 | 77.02 | 27.45 | 69.83 | 75.12 |
| H114 | 2142 | 18.42 | 3.92 | 27.14 | 18.23 | 34.98 | 41.55 | 15.49 | 38.20 | 41.59 |
| H115 | 2156 | 19.01 | 4.90 | 26.85 | 17.83 | 34.69 | 42.72 | 15.51 | 39.59 | 42.98 |

۴. نتایج

(۱) براساس تئوری تنش موثر دوبل محیط متخلخل، مکانیک الاستوپلاستیک، مکانیک سنگ و معیار تنش کششی ماکزیمم، یک مدل جامع برای محاسبه فشار شکستگی سنگ مناسب برای انواع مختلف سنگ ها در این مقاله مشخص شده است.

(۲) مدل فشار شکستگی پیشنهادی در این مقاله، عوامل موثر مهمی را در نظر می گیرد: تنش پوسته ای، تنش هیدراسیون، تنش دما، تنش تکتونیک، تخلخل تماسی اسکلت سنگ، تخلخل سازند و تنش اضافی تولیدشده توسط نفوذ سیال حفاری. دقت محاسبه برای خطای پیش بینی که ۴٫۹۳٪ است بهبود می یابد که توافق بهتر با فشار شکستگی اندازه گیری شده را نسبت به مدل های دیگر نشان می دهد.

(۳) اثرات محتویات آب روی استحکام کششی و فشار شکستگی تحلیل می شوند. نتایج نشان می دهند که هر دوی استحکام کششی و فشار شکستگی با افزایش محتویات آب کاهش می یابد که ناشی از کاهش ویژگی های مکانیکی سنگ ها به واسطه هیدراسیون است.

References

- [1] T. Bu and P. Dai, "A simplified method of fluid-solid coupling simulation to stress-sensitive reservoir," *Journal of Southwest Petroleum University*, vol. 29, no. 4, pp. 145–147, 2008.
- [2] X. J. Liu and P. Y. Luo, "Study on the stability of well in mudstone strata," *Natural Gas Industry*, vol. 17, no. 1, pp. 45–48, 1997.
- [3] P. Wang, Z. Qu, H. Huang et al., "Creep Experimental Study of Brittle Shale Triaxial State under Aqueous," *Science Technology & Engineering*, vol. 16, pp. 66–71, 2016.
- [4] S. G. Li, J. G. Deng, B. H. Yu et al., "Formation fracture pressure calculation in high temperatures wells," *Chinese Journal of Rock Mechanics & Engineering*, vol. 24, no. 2, pp. 5669–5673, 2005.
- [5] V. Maury and A. Guenot, "Practical advantages of mud cooling systems for drilling," *SPE Drilling & Completion*, vol. 10, no. 1, pp. 42–48, 1995.
- [21] T. Liu, P. Cao, and H. Lin, "Evolution Procedure of Multiple Rock Cracks under Seepage Pressure," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, Article ID 738013, 11 pages, 2013.
- [22] P. Suraneni and R. J. Flatt, "Micro-reactors to study alite hydration," *Journal of the American Ceramic Society*, vol. 98, no. 5, pp. 1634–1641, 2015.
- [23] J. Gui, T. Ma, P. Chen, H. Yuan, and Z. Guo, "Anisotropic Damage to Hard Brittle Shale with Stress and Hydration Coupling," *Energies*, vol. 11, no. 4, p. 926, 2018.
- [24] M. E. Chenevert and V. Pernot, "Control of Shale Swelling Pressures Using Inhibitive Water-Base Muds," in *Proceedings of the SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, New Orleans, Louisiana, 1998.
- [25] M. B. Boas, "Temperature Profile of a Fluid Flowing within a Well," in *Proceedings of the SPE Latin America Petroleum*

- [6] Z. Qu and P. Wang, *Creep damage Instability Study of shale*, Science press, 2016.
- [7] R. Huang, "A model for predicting formation fracture pressure," *Journal of the University of Petroleum China*, no. 4, pp. 16–28, 1984.
- [8] W. Zhang, S. Deng, H. Fan et al., "3D Calculation and Display for Formation Fracture Pressure," *Science Technology & Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. SB57–SB68, 2014.
- [9] R. A. Anderson, D. S. Ingram, and A. M. Zanier, "Determining fracture pressure gradients from well logs," *Journal of Petroleum Technology*, vol. 25, pp. 1259–1268, 1973.
- [10] C. L. Li and X. Kong, "A theoretical study on rock breakdown pressure calculation equations of fracturing process," *Oil Drilling & Production Technology*, vol. 22, no. 2, pp. 54–56, 2000.
- [11] C. L. Li, X. Y. Kong, and Z. X. Xu, "Double Effective Stresses of Porous Media," *Nature Magazine*, vol. 24, no. 12, pp. 1515–1518, 1999.
- [12] B. Haimson and C. Fairhurst, "Initiation and extension of hydraulic fractures in rocks," *SPE Journal*, vol. 7, no. 03, pp. 310–318, 2013.
- [13] E. Detournay and R. Carbonell, "Fracture-mechanics analysis of the breakdown process in minifracture or leakoff test," *SPE Production and Facilities*, vol. 12, no. 3, pp. 195–199, 1997.
- [14] C. Jiao, S. He, Q. Xie et al., "An experimental study on stress-dependent sensitivity of ultra-low permeability sandstone reservoirs," *Shiyou Xuebao/Acta Petrolei Sinica*, vol. 32, no. 3, pp. 489–494, 2011.
- [15] P. Lu, Z. W. Sheng, and G. W. Zhu, "The Effective Stress and Mechanical Deformation and Damage Characteristics of Gas-filled Coal," *Journal of University of Science & Technology of China*, vol. 31, no. 6, pp. 686–693, 2001.
- [16] X.-L. Jiang and P.-C. Li, "Calculation of intergranular suction considering cementing area between soil particles," *Yantu Gongcheng Xuebao/Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 38, no. 6, pp. 1160–1164, 2016.
- [17] X. Y. Yan, Y. Q. Hu, and N. Li, "Calculation model of breakdown pressure in shale formation," *Lithologic Hydrocarbon Reservoir*, vol. 27, no. 2, pp. 109–113, 2015.
- [18] J. Deng, "Formation Fracture Pressure Prediction Method," *Petroleum Drilling Techniques*, vol. 37, no. 5, pp. 43–46, 2009.
- [19] H. Rouse, "Elementary Mechanics of Fluids," 1946.
- [20] X. J. Zhao, Q. Zhan, H. Fan, H. B. Zhao, and F. J. An, "Cracking mechanism of shale cracks during fracturing," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 372, p. 012046, 2018.
- Engineering Conference*, pp. 439–446, Rio de Janeiro, Brazil, 1992.
- [26] V. Hooker and W. Duvall, "In situ rock temperature-stress investigations in rock quarries," *Ntis Pb*, 1971.
- [27] W. Hafner, "Stress distributions and faulting," *Geological Society of America Bulletin*, vol. 62, no. 4, pp. 373–398, 1951.
- [28] J.-C. Guo, Z.-H. Zhao, S.-G. He, H. Liang, and Y.-X. Liu, "A new method for shale brittleness evaluation," *Environmental Earth Sciences*, vol. 73, no. 10, pp. 5855–5865, 2015.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی