



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ های با نشت گاز طی

استخراج لایه محافظ

چکیده

این مطالعه رابطه استرس-کشش-قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ Chongqing را تحت مسیر استرس طی عملیات استخراج مورد تحقیق قرار داده است. استرس انتهایی گسله ابتدا در جبهه کار بلند شماره ۳۲۱۱ در معدن Zongzao واقع در Chongqing چین اندازه گیری گردید. نتایج مانیتورینگ میدانی اشکار نموده است که ضریب همبستگی تمرکز در استرس انتهایی گسله تقریباً طی استخراج لایه محافظ برابر با ۲,۰-۱,۵ بوده است. از اینرو، تست های فشردگی سه محوره برای زغال سنگ های با نشت گاز تحت مسیر استرس فوق و فشارهای مختلف گاز اجرا گردید. این تست ها همراه با اقدامات همزمان با تخلیه استرس محدودکننده و اعمال استرس محوری، تست های SUL نامیده می شود. تست های فشردگی سه محوری نشان داد که استرس پیک منحرف کننده و کشش منطبقه زغال سنگ تحت تست های SUL پایین تر از آنهایی است که تحت تست های فشرده سازی سه محوره متداول یا CTC بوده اند. نسبت پواسون بالاتر بوده ولی مودول الاستیک در تست های SUL پایین تر بوده است. تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ تحت تست های SUL متحمل چهار مرحله مجزا شده است: مرحله افزایشی در عملیات SUL، مرحله کاهش، مرحله افزایش تدریجی فراتر از نقطه بازده، و مرحله افزایش تند بعد از پیک استرس. با فشار گاز افزایش یافته، پیک استرس منحرف کننده و کشش محوری منطبقه کاهش یافته است و نسبت پواسون افزایش یافته و مودول الاستیک هم کاهش یافت. باز، قابلیت نفوذپذیری زغال با افزایش فشار زغال در فرایند کامل بدشکلی افزایش یافت.

کلیدواژه ها: استخراج لایه محافظ، استرس موثر، فشار گاز، رابطه استرس-کشش، قابلیت نفوذپذیری

۱-مقدمه

استخراج زغال سنگ باعث ایجاد مناطق استرس مختلف در مقابل جبهه کار زغال سنگ (یک منطقه رفع استرس، یک منطقه استرس انتهایی گسلی، و یک منطقه با استرس بازبایی شده) از حالت استرس اولیه در محل

شده است. طی این عملیات استخراج زغال سنگ، مسیر استرس بارگذاری استرس محوری و تخلیه همزمان استرس محدودکننده را داشته است. اما، تحقیقات کنونی روی مکانیسم مزدوج بین رفتار مکانیکی و قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ تقریباً همگی برپایه تست های فشرده‌گی سه محوری متداول یا CTC بوده است. این مسیر CTC می تواند نمایانگر عملیات استخراج زغال سنگ نباشد. لازم است که قابلیت کاربرد تحقیقات کنونی روی عملیات استخراج زغال سنگ تایید گردد.

تکامل استرس چینه های زغال سنگ به طور وسیعی مورد تحقیق قرار گرفته است. یک سری مدل‌های عددی سه بعدی هم برای بررسی اثر عمق استخراج و استرس در محل و هندسه شیب دار و نیز جهت گیری شکست اضافی دیوار شیب دار می شود. برای مثال، Wang و همکاران جبهه کار برش را از محل‌های فاجعه به عنوان پیش نمونه مطالعه روی اثر توزیع استرس روی فجایع دینامیک معادن زغال سنگ انتخاب کردند. Guo و همکارانش یک مطالعه جامعی را روی جبهه کار بلند در یک معدن زغال سنگ زیرزمینی عمیق ارائه داده است. آنها جابجایی چینه در اثر حفاری، تغییرات استرس، بازشدگی شکستگی ها، و جریان‌ات گاز را مورد تحقیق قرار دادند. مطالعات ایشان شامل مانیتورینگ میدانی جابجایی روباره، تغییرات استرس و فشار آب در جبهه کار LW بوده است. ایشان نتیجه گیری کردند که استرس عمودی افزایش یافته و استرس افقی طی استخراج معدن کاهش یافته است. همه تحقیقات فوق مشخص نموده که استخراج عمیق تر با ریسک بالاتری برای فجایع استخراج مواجه است.

گاز چینه زغال سنگ همراه با بدشکلی زغال سنگ بر ایمنی استخراج اثر می گذارد. در چین، چینه های زغال سنگ غنی از گاز چینه زغال سنگ می باشد. تقریباً ۱۰ بیلیون مترمکعب متان بستر زغال سنگ قابل بازیابی یا CBM در چین وجود دارد. حوضه Erlian در مغولستان داخلی شامل ۲ بیلیون مترمکعب CBM قابل بازیابی می باشد. حوضه Ordos و حوضه Qinshui شامل بیش از ۱ بیلیون مترمکعب CBM قابل بازیابی می باشد. محتوای گاز به تدریج با عمق دفن زغال سنگ افزایش می یابد. تجمع گاز چینه زغال سنگ طی استخراج معدن می تواند باعث فجایع دینامیک مانند صدورات گاز، و حتی رخداد انفجار زغال سنگ و گاز در مقابل جبهه کار گردد. تجمع گاز به بسیاری پارامترها بستگی دارد که از جمله تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ از مهمترین عوامل محسوب می شود. از اینرو، تحقیقات توزیع قابلیت نفوذپذیری درون زغال سنگ و سنگ‌های اطراف کار اصلی استخراج همزمان زغال سنگ و گاز می باشد.

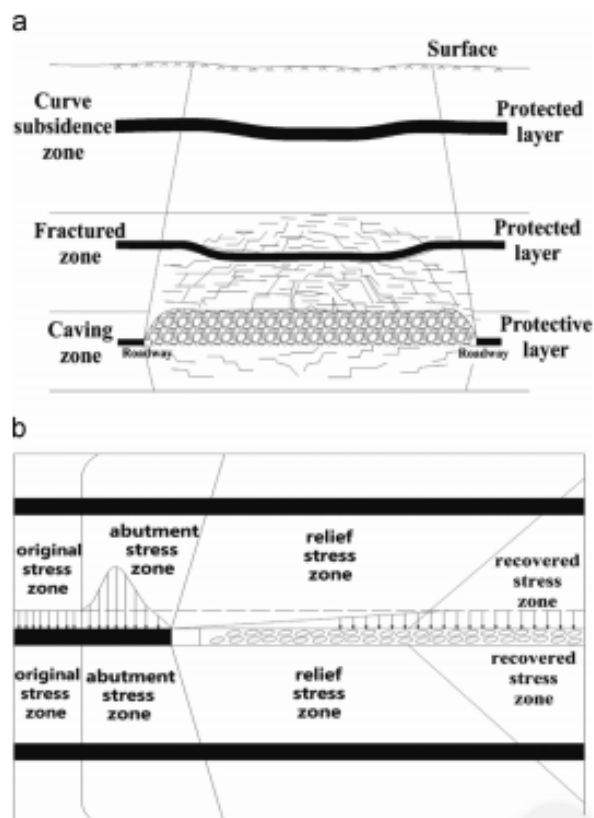
قابلیت نفوذپذیری وابسته به استرس برای سنگها و زغال سنگهای مختلف مورد تحقیق قرار گرفته است. یک تابع نمایی برای توضیح رابطه میان قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ و استرس مطرح شده است. زغال سنگ یک نوع سنگ متخلخل آلی است که دارای ظرفیت جذب قوی برای گاز چینه زغال سنگ می باشد. این جذب سطحی گاز ممکن است باعث چروکیدگی حجمی در ماتریس زغال سنگ و تغییر قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ گردد. برای مثال Meng و Li روی قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ ها طی کاهش اولیه CBM تحقیق کردند و دریافتند که قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ های رده بالا مستعد به استرس های موثر می باشد. از اینرو، رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری باید در کانون توجه قرار گیرد.

رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری در سالهای اخیر مطالعه شده است. برای مثال Chen و همکارانش روی فرایند صدمه به نمونه زغال سنگ بازتشنیکی و تاثیر آن بر نفوذپذیری طی یک عملیات تخلیه استرس مطالعه کرده اند. آنها سی تی اسکن اشعه ایکس و آزمایشات قابلیت نفوذپذیری را برای اندازه گیری رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری نمونه های زغال سنگ بازتشنیکی در معرض مسیر استرس یکسان و استرس محدودکننده موثر یکسان ترکیب کردند. Cai و همکارانش به بررسی تعاملات میان استرس و صدمه هنگام تکامل قابلیت نفوذپذیری از طریق تصاویر توموگرافی کامپیوتری اشعه ایکس و شرح صدورات اکوستیک همراه با اندازه گیری های همزمان سرعت موج P پرداختند. Zhang و همکارانش روابط آزمایشی میان میزان جریان، قابلیت نفوذپذیری و دهانه شکست را در محیطهای شکسته شده تحقیق کردند. Qiu و همکارانش یک تست فشار بارگذاری-تخلیه چرخه ای تجمعی را برای تعیین کمیت شکستگی و میکروشکستگی در اثر استرس تحت شرایط کاهش استرس محدودکننده طراحی نمودند. از سوی دیگر Wang و همکارانش به طور آزمایشی روی نقش جذب سطحی گاز، میزان استرس و میزان بارگذاری روی رفتار مکانیکی زغال سنگ با نشت متان تحقیق کردند. بدشکلی، استقامت، و تکامل قابلیت نفوذپذیری از طریق فشردگی سه محوره متداول زغال سنگ با تماس اولیه مطالعه گردید. Zhao و همکارانش به بررسی تاثیر جذب سطحی گاز روی تکامل نفوذپذیری محیط های متخلخل شکسته تحت شرایط استرس ۳ بعدی پرداختند. روابط میان استرس موثر، جذب سطحی گاز، چروکیدگی ماتریس، نشست گاز، و قابلیت نفوذپذیری بررسی شده اند. مطالعات تجربی فوق همگی براساس تست های CTC بوده است. قبل از کاربرد نتایج فوق روی عملیات مختلف استخراج، لازم است که به شناسایی

اختلاف رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ تحت تست های CTC و عملکرد همزمان تست های تخلیه استرس محدودکننده و بارگیری استرس محوری یا SUL پردازیم.

این مطالعه به تحقیق روی رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگهای با نشست گاز طی استخراج لایه محافظ پرداخته است. این مقاله مرکب از سه بخش است. اول تغییر استرس انتهای گسلی در مقابل جبهه کار در جبهه LW شماره ۳۲۱۱ در معدن Songzao در شهر Chongqing چین نظارت گردید. این نظارت میدانی باعث کسب ضرایب همبستگی تمرکز استرس انتهای گسلی شد. یک مسیر استرس از اینرو همراه با میزان بارگذاری استرس محوری و میزان تخلیه بار استرس محدودکننده برای تست های فشردگی سه محوری تعیین شده اند. دوم اینکه یک آزمایش مزدوج روی رفتار مکانیکی در اثر استخراج و تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ زیر مسیر SUL در یک عملیات بدشکلی کامل از بدشکلی الاستیک تا خرابی انجام گردید. مکانیسم مزدوج بین رفتار مکانیکی در اثر استخراج و قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ بررسی شده است. سرانجام اینکه کاربرد نتایج آزمایشی فوق برای ارزیابی ایمن برای استخراج لایه محافظ زیرزمینی مورد بحث قرار گرفته است.

۲- اندازه گیری استرس انتهای گسلی در محل طی استخراج لایه محافظ



شکل ۱- دیاگرام شماتیک و توزیع استرس استخراج لایه محافظ. (a) دیاگرام شماتیک استخراج لایه محافظ (b) مناطق استرس چینه های زغال سنگ و سنگ در طول جهت ضربه.

این بخش نمایانگر اندازه گیری های میدانی برای تغییر استرس در محل طی فرایند استخراج می باشد. این نتایج می تواند یک مسیر استرس را برای تست های آزمایشگاهی برای اندازه گیری رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ فراهم سازد.

۱-۲- مناطق استرس چینه های زغال سنگ و سنگ در طول جهت ضربه

استخراج لایه محافظ یکی از موثرترین روشهای استخراج برای کنترل گاز در چین می باشد. این روش به طور شماتیک در شکل (a) fig ۱ رسم شده است. این روش چینه زغال سنگ را به لایه های محافظ و لایه های حفظ شده تقسیم بندی می کند. لایه های محافظ ابتدا برای کاهش محتوای گاز در لایه های مجاور استخراج می شوند. لایه های حفاظت شده با لایه های محافظ حفاظت شده اند. استرس در لایه های حفاظت شده با استخراج لایه های محافظ رها می شود به نحوی که شکستگی ها در لایه های محافظ باز است و قابلیت نفوذپذیری افزایش می یابد. بنا به شکل (b) Fig. ۱، لایه ها در طول جهت ضربه می تواند به چهار منطقه استرس تقسیم بندی شود: منطقه استرس اصلی، منطقه استرس انتهایی گسل، منطقه رفع استرس، و منطقه استرس بازیابی شده. استخراج لایه های محافظ لایه های حفاظت شده را برهم می زند و تعادل استرس در محل را می شکند. این تلاطم باعث می شود که چینه های زغال سنگ بدشکل شده و حتی صدمه ببیند. استرس پیک انتهایی گسلی در لایه های حفاظت شده به طور مشهودی کاهش می یابد. از اینرو، روشهای استخراج مختلف مسیرهای استرس خودشان را دارند و باعث می شوند که رفتار مکانیکی مختلف و تکامل نفوذپذیری چینه های زغال سنگ بوجود آید.

۲-۲- نظارت میدانی استرس در جبهه کار LW با شماره ۳۲۱۱

جبهه کار LW با شماره ۳۲۱۱ اولین جبهه کار استخراجی در سومین مسیر بوده است.

جدول ۱- مشخصات زمین شناسی ساده سازی شده در صفحه ۳۲۱۱

شماره لایه ها	سنگ شناسی	ضخامت (m)
۱	آبرفتی	460
۲	ماسه سنگ	5.45
۳	گل سنگ ماسه ای	2.65
۴	چینه زغال سنگ	1.83
۵	سنگ اهک	7.43
۶	ماسه سنگ	1.25
۷	سنگ اهک	3.96
۸	گل سنگ ماسه ای	1.01
۹	سنگ اهک آرژیلستوس	3.18
۱۰	چینه زغال سنگ	4.90
۱۱	گل سنگ ماسه ای	0.75
۱۲	چینه زغال سنگ	3.72
۱۳	گل سنگ ماسه ای	0.24
۱۴	سنگ اهک سیلیسی	3.41
۱۵	گل سنگ آهکی	1.56
۱۶		1.19

سطح معدن Songzoa بوده است. جدول ۱ فهرست شرح زمین شناسی این جبهه کار LW می باشد. این شرح مشخصات برگرفته از نمودارگیری از سوراخ گمانه زنی معمول می باشد. این جبهه کار LW واقع در لایه محافظت شده به نام چینه زغال سنگ K2b می باشد. مسیر روبار دامنه ای بین ۵۴۰m-۵۰۰m با لایه ابرفتی به ضخامت ۴۶۰-۵۰۰m در بالای آن دارد. جبهه کار LW به طول ۱۱۰۰m و عرض ۱۳۰m می باشد. و دارای دامنه زاویه عمیقی بین ۳۵ تا ۳۷ درجه بوده و متوسط ضخامت آن هم ۰,۷۵m است که بین ۰,۲۲m و ۱,۲۰m می باشد. چینه زغال سنگ k2b یک لایه نشتی گاز است که محتوای گاز آن برابر $10.14 \text{ m}^3/\text{t}$ می باشد. درجه حرارت در چینه زغال سنگ K2b در دامنه ۲۸,۵-۲۹,۳ درجه سانتیگراد می باشد. روش استخراج LW پسروی با استخراج چینه کامل استفاده گردیده است و یک نوع سیستم تهویه U شکل در جبهه کار LW برای تهویه گاز نصب گردیده است.

۲-۲-۱-مانیتورینگ طراحی سیستم

برای درک تغییر استرس ایجاد شده در اثر حفاری، یک سیستم مانیتورینگ زمان واقعی بنا به شکل ۲ براساس شرایط حفاری و زمین شناسی خاص در جبهه کار LW شماره ۳۲۱۱ طراحی گردیده است. پانزده ایستگاه مانیتورینگ در یک مسافت عقب نشینی ۸۰م-۱۰م از شروع LW نصب گردید و فاصله ۵ متر از هر یک در هر دو جاده حمل و نقل و جاده تهویه وجود داشته است. در هر ایستگاه، یک استرس سنج سوراخ گمانه زنی در عمق ۷ متری در سقف چینه زغال سنگ برای اندازه گیری تغییر استرس در اثر حفاری نصب گردید. مکان این استرس سنج های سوراخ گمانه زنی در شکل ۲a برای نمای صفحه ای و شکل ۲b برای نمای مقطعی نشان داده شده است.

اندازه گیری استرس سنج سوراخ گمانه زنی برپایه اصل ذیل بنا نهاده شده است. فراوانی f_{i0} و ثابت سنسور B و C در استرس سنج سوراخ گمانه زنی بعد از نصب آن اندازه گیری گردید. در مسافت های حفاری مختلف جبهه کار LW به شماره ۳۲۱۱، مقادیر فراوانی استرس سنج سوراخ گمانه زنی در همان جهت اندازه گیری گردید. استرس در آن جهت سپس با فرمول ذیل اندازه گیری شد:

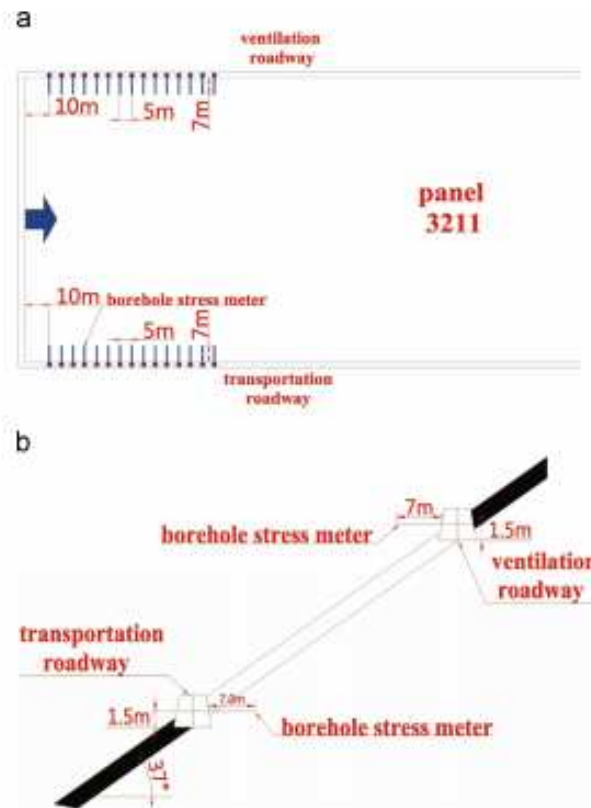
$$\sigma_i = C(f_i^2 - f_{i0}^2) - B(f_i - f_{i0}) \quad (1)$$

که در آن B و C ثابت های سنسور بوده، f_{i0} و f_i فراوانی اولیه و فراوانی جریان در آن جهت می باشند و σ_i استرس در آن جهت می باشد.

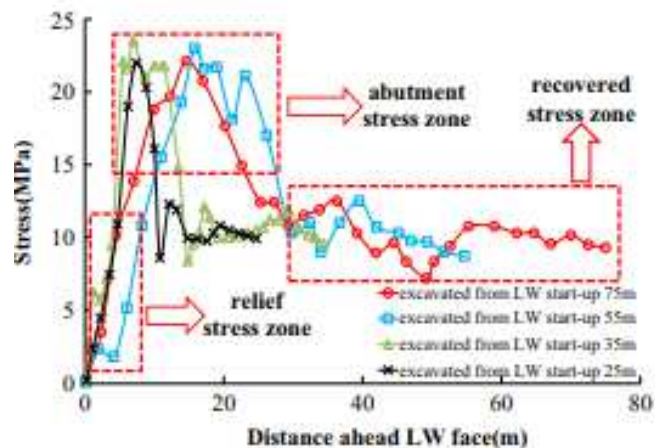
۲-۲-۲-استرس انتهای گسله در جبهه کار LW شماره ۳۲۱۱

استرس های انتهای گسله در جبهه کار LW شماره ۳۲۱۱ طی فرایند استخراج نظارت گردیده است. این استرسهای اندازه گیری شده در شکل ۳ همراه با مسافت جلوی جبهه کار LW آمده است. میانگین گیری سقف اولی در زمانی صورت گرفته که جبهه کار LW ۲۵ متر از شروع حفاری شده بود. شکل ۳ نشان می دهد که تغییر استرس یک فرایند پایین-بالا-پایین را با مسافت جلوی جبهه کار LW تجربه کرده است. جبهه کار بلند

می تواند به سه منطقه استرس تقسیم بندی شود: منطقه برطرف سازی استرس، منطقه استرس انتهایی گسله، و منطقه بازیابی استرس.



شکل ۲- مکان استرس سنج در سوراخ گمانه زنی (a) نمای صفحه ای و (b) نمای مقطعی



شکل ۳- استرس اندازه گیری شده با مسافت های مختلف جلوی جبهه کار بلند

منطقه برطرف سازی استرس اشاره به ناحیه برطرف کننده استرس در اثر استخراج در چینه زغال سنگ و سنگ دارد. منطقه استرس انتهایی گسله اشاره به ناحیه ای دارد که تراکم استرس آن نزدیک به جبهه کار LW می

باشد. منطقه استرس بازیابی شده اشاره به ناحیه جلوی جبهه کار LW دارد که تحت تاثیر معدنکاری بیشتری قرار نمی گیرد. نتایج مانیتورینگ نشان داده است که استرس انتهای گسله به اوج خود در نقطه ۱۸m جلوی جبهه کار LW رسیده است.

بعد از آن، استرس کم کم کاهش یافته و به یک مقدار ثابتی دست یافت. این استرس های اندازه گیری نشان داده است که ضریب همبستگی غلظت در استرس انتهای گسل تقریباً ۱,۵-۲,۰ در مقایسه با حالت استرس در محل می باشد. باز، استرس محدودکننده افقی همواره با پیشبرد جبهه کار کاهش یافته است. این تست میدانی مستقیماً به اندازه گیری تغییر این استرس محدودکننده افقی نمی پردازد بلکه نظارت میدانی مشابهی نشان داده است که این استرس به ۰,۲-۰,۶ مرتبه ارزش در محل خودش کاهش یافته است. از اینرو، تکامل استرس میدانی می تواند به ترتیب ذیل استنباط شود: حالت استرس در محل پیشرفت جبهه کار را همراه با یک مسیر SUL تغییر خواهد داد. این مسیر SUL استرس محدودکننده اش را به ۰,۲-۰,۶ مرتبه سطح استرس در محل تخلیه می کند و همزمان استرس محوری اش را تا ۱,۵-۲,۰ مرتبه سطح استرس در محل بارگیری می نماید. بخش بعدی، رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذ زغال سنگ را همراه با این مسیر SUL از طریق تست های آزمایشگاهی مورد تحقیق قرار خواهد داد.

۳-تنظیم آزمایش برای تست های فشردگی سه محوری

۳-۱-دستگاه آزمایش

آزمایش با استفاده از دستگاه خودساخته THM همراه با دستگاه نشست تحت کنترل خودمهارى سه محوری برای زغال سنگ با نشتی گاز انجام گردید. این دستگاه از اجزای ذیل تشکیل شده است: یک سیستم بارگذاری خودمهارکننده، اتاقک فشار، سیستم گرمایش نفتی با درجه حرارت ثابت، سیستم کنترل فشار گاز، سیستم کسب و ذخیره سازی داده ها و سیستم کمکی. این دستگاه دارای مشخصات فنی ذیل می باشد: یک نیروی محوری ماکزیمم ۱۰۰۰kN، ماکزیمم استرس محدودکننده به اندازه ۶۰ MPa، ماکزیمم فشار گاز ۲۰ Mpa، ماکزیمم جابجایی محوری ۶۰mm، ماکزیمم بدشکلی شعاعی به اندازه ۱۲mm. یک مخزن نفت برای تنظیم درجه حرارت آزمایش از درجه حرارت اتاق تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد استفاده می شود. صحت این سیستم اندازه گیری برابر ۱%± برای استرس، ۱%± برای بدشکلی، و ۰.۱°C± برای کنترل درجه حرارت می باشد.

مورد ذیل برای بهبود صحت بارگیری و اندازه گیری هردو طراحی شده است. یک وسیله هدایت نصبی مجهز شده تا به طور صحیحی همتراز با میله پیستون تحت فشار با میله پشتیبانی گردد و از تکان دادن آن طی فرایند بارگذاری جلوگیری شود. این امر کمک می کند تا نمونه به طور ثابت تثبیت شده و به طور یکنواخت فشرده سازی گردد. کنترل کننده فشار هیدرولیک خودمهارکاری همچنان مسیر بارگذاری/تخلیه را اجرا می کند. برای امکان عبور گاز از میان نمونه به طور یکنواخت، یک بالشتک با قابلیت نفوذپذیری بالا همراه با چندین سوراخ طراحی گردیده است. چنین طراحی باعث می شود که شرایط آزمایش خیلی نزدیک به موقعیت واقعی جریان گاز در چینه زغال سنگ بشود. سیستم گرمایش نفتی با درجه حرارت ثابت باعث شده که این عملیات به طور یکنواخت حرارت ببیند. استرس، کشش، درجه حرارت، و میزان جریان گاز به طور اتوماتیک بوسیله آن سنسورهای مستحکم اندازه گیری می شود. سیستم بارگذاری پیوسته تحت کنترل یک کامپیوتر می باشد. این دستگاه استحکام سیستم بیش از 10 GN/m را دارد و از اینرو برای کنترل جابجایی مناسب است. از اینرو، این دستگاه برای تحقیق در زمینه اثر ترکیبی استرس، کشش، درجه حرارت و جریان گاز روی رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری نمونه های زغال سنگ قابل کاربرد می باشد.

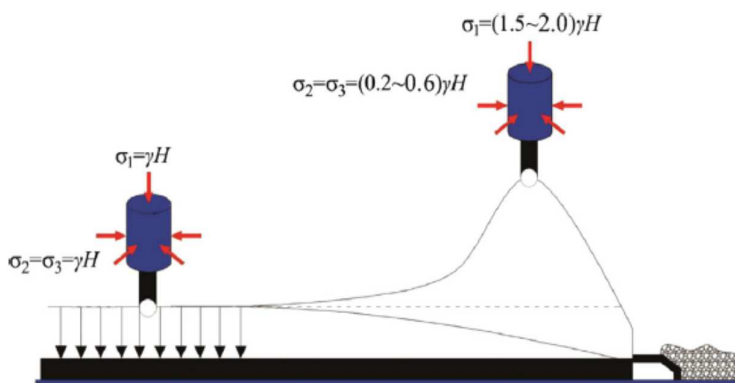
۲-۳- آماده سازی نمونه و پارامترهای آزمایشی

بلوکهای زغال سنگ سالم بزرگ از چینه زغال سنگ جمع اوری گردیده و طبق الزامات عمومی نمونه گیری آماده سازی شدند (کد ملی چین ۲۰۰۹-۱-GB/T۲۳۵۶۱). بلوکهای زغال سنگ به شکل نمونه های استوانه ای به ابعاد $\Phi 50 \times 100 \text{ mm}$ شکل داده شدند. نمونه هایی که بوسیله مشاهده عکس و طبقه بندی آماری مشخص گردید بدون شکستگی و ترک های مرئی می باشند به عنوان نمونه های آزمایشی انتخاب شدند.

جدول ۲- پارامترهای مشخصه ای اصلی زغال سنگ

مساحت سطحی BET (m^2/g)	مساحت سطح Langmuir (m^2/g)	حجم منفذ کل (cm^3/g)	عرض منفذ متوسط (\AA)				
				Mad (%)	Aad (%)	Vad (%)	FCad (%)
0.2997	0.4744	0.001382	889.5302	1.17	13.16	21.03	64.64

Mad یعنی محتوای رطوبت روی پایه خشک هوا، Aad یعنی محتوای خاکستر روی پایه خشک هوا، Vad یعنی محتوای فرار روی پایه خشک هوا، FCad یعنی محتوای کربن ثابت روی پایه خشک هوا.



شکل ۴- تغییر استرس در اثر حفاری در استخراج لایه محافظ

جدول ۲ فهرست مشخصات اصلی پارامترهای زغال سنگ جمع آوری شده می باشد.

پارامترهای آزمایشی به دقت براساس شرایط استخراج در محل مشاهده شده در جبهه LW شماره ۳۲۱۱ انتخاب گردیدند. زغال و سنگ در محل در یک حالت فشار هیدروستاتیک تحت شرایط استرس زمینی عمیق بودند. استرس انتهای گسل افزایش یافته است و استرس افقی همزمان همراه با حذف جبهه کار کاهش یافته است که محیط تحت استرس ایجاد شده واقعی در اثر حفاری برای زغال سنگ و سنگ بوده است. تغییر استرس در اثر استخراج طی استخراج لایه محافظ در شکل ۴ نشان داده شده است.

قبل از استخراج، استرس در محل زغال سنگ برابر بود با:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \gamma H \quad (2)$$

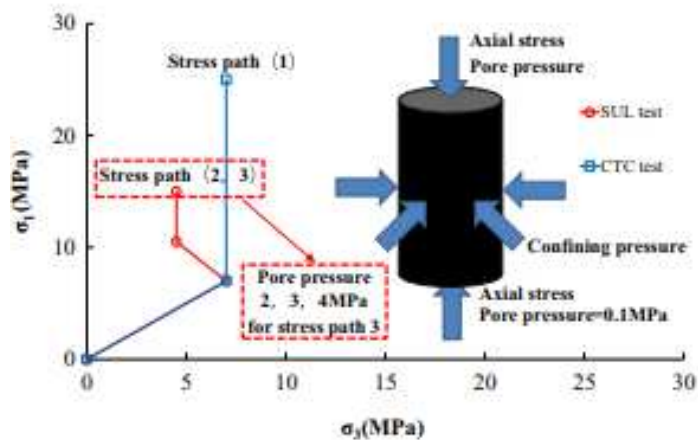
بعد از استخراج، استرس اینگونه می شود:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \alpha \gamma H \\ \sigma_3 &= \beta \gamma H \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن γ متوسط چگالی سنگ سقف (kN/m^3)، H عمق استخراج (m)، α ضریب همبستگی استرس انتهای گسله، و β ضریب همبستگی استرس افقی می باشد. براساس نظارت میدانی، این مطالعه مقدار $\alpha = 1.5$ و $\beta = 0.2 - 0.6$ را اتخاذ نموده است.

۳-۳- عملیات آزمایشی و مدیریت داده ها

استرس محوری و استرس محدود کننده در آزمایشات منطبق با استرس انتهای گسله و استرس افقی در میدان به ترتیب بوده است. استرس محوری در حالی افزایش می یابد که استرس محدودکننده کاهش یابد تا تغییرات در استرس انتهای گسله و استرس افقی در میدان را شبیه سازی نماید. آزمایشات به شدت از روش تست پیروی می کرد: لاستیک سیلیکون به طور یکنواخت روی نمونه زغال سنگ پوشش داده شد تا از نشست گاز از زغال سنگ جلوگیری نماید. نمونه بین میله های فشار بالا و پایین در اتاقک سه محوری بعد از اینکه لاستیک سیلیکون کاملا خشک گردید، نصب شد. یک لوله کوتاه شده حرارتی (با مودول الاستیک تقریبا 1 MPa) سپس برداشته شد. این لوله با یک سشوار حرارت داده شد به نحوی که کاملا در تماس با دیواره نمونه و هر دو انتهای میله های فشار قرار گیرد. لوله کوتاه شده حرارتی سپس با حلقه های فلزی در هر دو انتهای میله های فشار محکم شد. یک کشش سنج محیطی و بخشهای باقیمانده دستگاه جریان سه محوری سپس نصب گردید. سه مسیر استرس در این مطالعه آزمایشگاهی استفاده گردیده و در شکل ۵ نشان داده شد. آنها در ذیل توضیح داده می شوند.



شکل ۵- مسیره های استرس در آزمایشات

تست های ۱-CTC مسیر استرس: ابتدا، یک حالت استرس ایزوتروپیک در محل به اندازه $\sigma_{10} = \sigma_{30} = 7 \text{ MPa}$ به نمونه بکار بسته شد. بعد تانک متان با فشار بالایی به نمونه متصل شد تا متان را به نمونه با فشار گاز ویژه ای تزریق کند. دریچه خروج گاز بسته شده و فشار گاز را ثابت نگه داشته است. این حالت برای ۱۲ ساعت حفظ گردید تا به زغال امکان جذب کامل متان تحت این فشار داده شود. اگر فشار گاز

طی ۲ ساعت بعدی کاهش نیافت، زغال سنگ را کاملاً اشباع از گاز در نظر می گیرند. دریچه خروج گاز سپس باز شده و در فشار گاز افتراقی برابر با ۴ MPa در دو انتهای نمونه زغال سنگ نگه داشته می شود. سرانجام اینکه، استرس محوری همواره بارگذاری می شود تا زمانی که به استرس پیک برسد. بعد از رسیدن به استرس پیک، کنترل استرس محوری تغییر کرده تا کنترل جابجایی در سرعت ۰,۱mm/min صورت گیرد. آزمایش زمانی کامل می شود که استرس زغال سنگ تنها استرس باقیمانده باشد.

استرس مسیر ۲-تست های SUL (اقدام همزمان تخلیه بار استرس محدودکننده و بارگذاری استرس محوری): استرس ایزوتروپیک و فشار گاز همانند مسیر ۱ استرس بالا می باشد. وقتی استرس محوری شروع به بارگذاری نماید، استرس محدودکننده شروع به تخلیه بار به مقدار ۴,۵MPa به میزان ۰,۰۱ MPa/S می نماید. این امر استرس محدودکننده را بالاتر از فشار گاز در کل فرایند تجربی حفظ کرده است و تضمین نموده که لاستیک سیلیکون قطع نمی شود. استرس محوری پیوسته با یک میزان بارگیری برای تضمین این امر بکار بسته شد که به $1.5\sigma_1$ رسید وقتی که استرس محدود کننده به میزان ۴,۵ MPa رسیده بود. استرس محوری پیوسته بارگذاری می شد درحالیکه استرس محدود کننده در حد ۴,۵MPa نگه داشته شد. کنترل استرس محوری به کنترل جابجایی در سرعت ۰,۱mm/min بعد از رسیدن به استرس پیک تغییر کرد. آزمایش وقتی تکمیل گردید که استرس زغال سنگ تنها استرس باقیمانده بود.

مسیر استرس ۳-تست های تغییر فشار گاز: مسیر استرس با مسیر استرس ۲ یکسان است بجز فشار گاز آن. در این مسیر استرس، فشار گاز برابر ۲MPa، ۳MPa و ۴MPa بوده است.

نفوذ گاز از طریق نمونه بنا به فرض ایزوترمال بوده و متان گاز ایده الی می باشد. از اینرو، قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ به طور پیوسته با این فرمول محاسبه گردید.

$$K = \frac{2q\mu LP_2}{A(P_1^2 - P_2^2)} \quad (4)$$

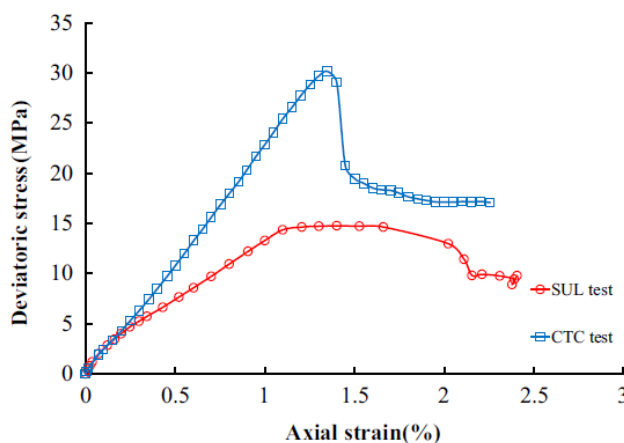
که در آن K قابلیت نفوذپذیری (m^2) می باشد، q میزان نفوذ گاز است (m^3/s)، μ ویسکوزیته جنبشی گاز می باشد (Pa s)، L طول نمونه های زغال سنگ است (m)، A مساحت مقطع نمونه های زغال سنگ می باشد (m^2)

، P_1 فشار گاز در جریان بالایی یا مدخل نمونه ها می باشد (Pa)، و P_2 فشار گاز در جریان پایینی یا خروجی نمونه های می باشد (Pa).

۴- نتایج و تحلیل تجربی

۴-۱- اثر مسیر SUL روی رفتار مکانیکی

اثر مسیر SUL روی رفتار مکانیکی ابتدا با مقایسه رفتار مکانیکی تحت مسیرهای استرس ۱ و ۲ (تست های CTC و SUL) مشاهده گردید.

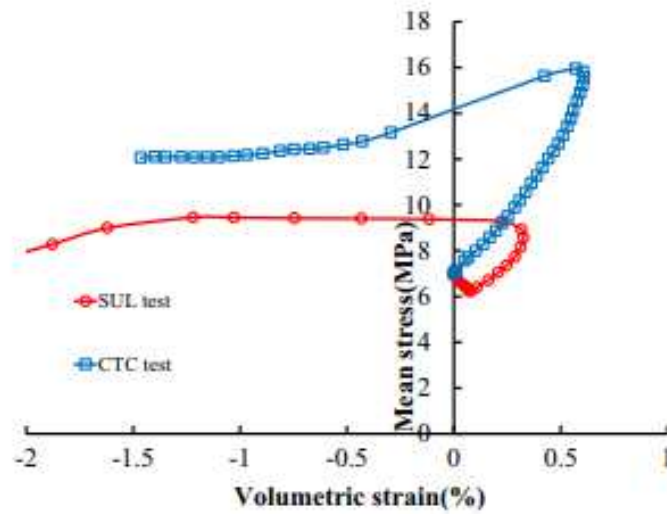


شکل ۶- منحنی های استرس منحرف کننده-کشش محوری در زغال سنگ در دو مسیر استرس

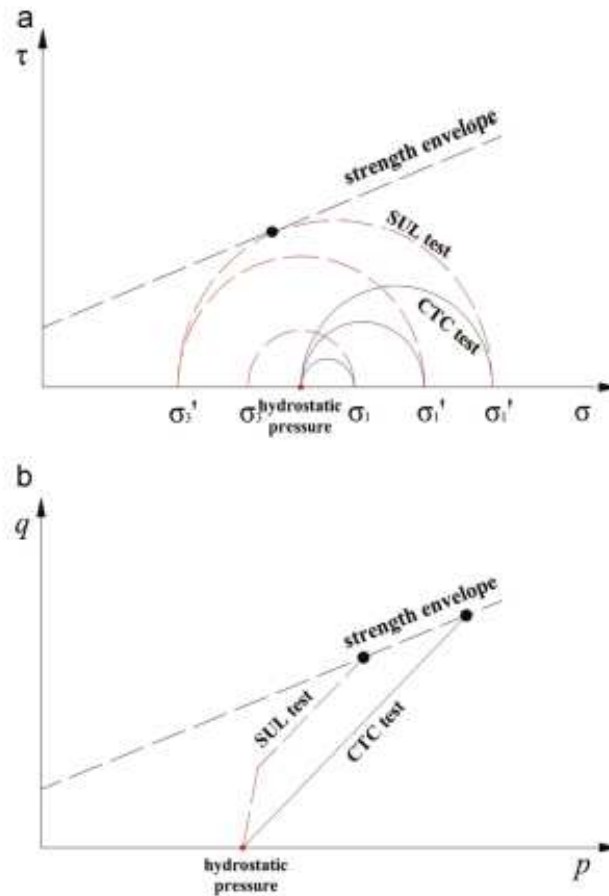
شکل ۶ نمایانگر منحنی های استرس منحرف کننده-کشش محوری می باشد. فشار گاز باعث یک افزایش حجمی (شامل اثر استرس موثر و تورم در اثر جذب سطحی) در زغال سنگ می شود. فشار گاز باعث کشش حجمی برابر ۰,۲۵٪ برای نمونه CTC و ۰,۲۴٪ برای نمونه SUL می گردد. تست CTC یک استقامت پیک خیلی بالاتری از تست SUL دارد. استقامت پیک شان برابر ۳۰,۱۴ MPa برای تست CTC و ۱۴,۷۵MPa برای تست SUL بوده است. استقامت پیک تا ۵۱,۰۶٪ کاهش یافته است. باز، استقامت باقیمانده برای تست SUL برابر ۴۷٪ پایین تر از تست CTC بوده است. نیز کشش محوری متفاوتی (با تعریف مثبت برای فشردگی) در استقامت پیک داشته اند. این کشش برابر ۱,۲۱٪ برای تست SUL و ۱,۳۵٪ برای تست CTC بوده است که یک کاهش ۱۰,۳۷٪ دارد. تست CTC یک مودول الاستیک بالاتری نسبت به تست SUL داشته است. این دو منحنی ها تقریباً در مرحله بدشکلی فشردگی اولیه یکسان هستند چرا که همان فشار هیدروستاتیک اولیه بکار بسته شده است. تنها تفاوت می تواند به دلیل ناهمگنی نمونه ها باشد. استرس منحرف کننده تحت تست های SUL به

سرعت افزایش یافت که به خاطر تخلیه بار استرس محدود کننده بوده است. فرایند بدشکلی بعد از مرحله بدشکلی فشرده اولیه به سه مرحله تقسیم گردید: اولین مرحله همان مرحله بدشکلی الاستیک بود که در آن یک رابطه خطی بین استرس و کشش مشاهده گردید. مرحله دوم همان مرحله بدشکلی بازده بود که از نقطه استرس بازده شروع شده و به نقطه استرس پیک خاتمه یافته است. در این مرحله، شکستگی ها تولید شده و تا خرابی نمونه تکامل یافته است. اتساع مجزا در این مرحله مشاهده شده است. میزان تغییر سوش محوری و سوش شعاعی به سرعت افزایش یافت. آخرین مرحله همان مرحله خرابی و مرحله استرس باقیمانده بود. در این مرحله، ترک ها به سرعت بوجود آمده و یکدیگر را قطع کردند و تشکیل شکستگی های ماکروسکوپی دادند. شکل ۷ نمایانگر رابطه میان استرس میانگین و کشش حجمی در طول این دو مسیر استرس می باشد. استرس میانگین آنها در نقطه شروع یکسان بوده است. در تست SUL، میانگین استرس یک کاهش جزئی داشته و از اینرو به طور آهسته ای به یک کشش حجمی ماکزیمم افزایش یافته است. در تست CTC، میانگین استرس همیشه افزایش داشته است. افزایش بیشتر استرس میانگین باعث شده که زغال سنگ به سرعت اتساع یابد. یادآور می شویم که ماکزیمم کشش حجمی برای تست CTC خیلی بزرگتر از تست SUL می باشد. چنین رفتاری به دلیل کاهش استرس محدودکننده در تست SUL می باشد.

این تفاوت نیز از روی چرخه های استرس Mohr در شکل ۸a و مسیرهای استرس در شکل ۸b مشاهده گردید. همانگونه که در شکل مشاهده شده است، استرس محدودکننده زغال سنگ در تست SUL تخلیه گردید. این تخلیه چرخه استرس Mohr را به طور نزدیکتر به پوشش خرابی تغییر داد. استرس های محوری همگی به همان مقدار بارگذاری گردیدند در صورتیکه چرخه زغال سنگ Mohr تحت تست CTC زیر پوشش خرابی بوده است. تحت تست SUL، چرخه Mohr زغال سنگ بزرگتر شده و به پوشش خرابی رسیده است. از اینرو، تخلیه استرس محدودکننده منجر به خرابی زغال سنگ گردیده است.



شکل ۷- میانگین استرس-کشش حجمی زغال سنگ در دو مسیر استرس

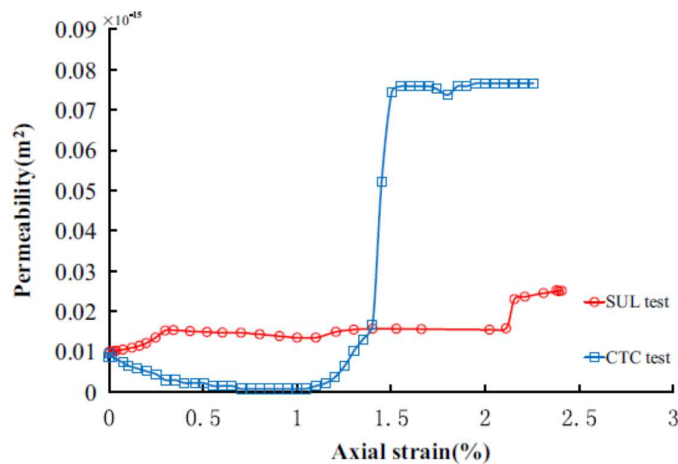


شکل ۸- مسیره‌های استرس در دو مسیر استرس. (a) چرخه های Mohr زغال سنگ در دو مسیر استرس (مقایسه حالت استرس با σ_1 یکسان). (b) مسیره‌های استرس آزمایشات در طول پوشش خرابی روی یک طرح p-

.q

۴-۲- اثر مسیر SUL روی تکامل قابلیت نفوذپذیری

تکامل قابلیت نفوذپذیری در طول دو مسیر استرس مشاهده گردید.

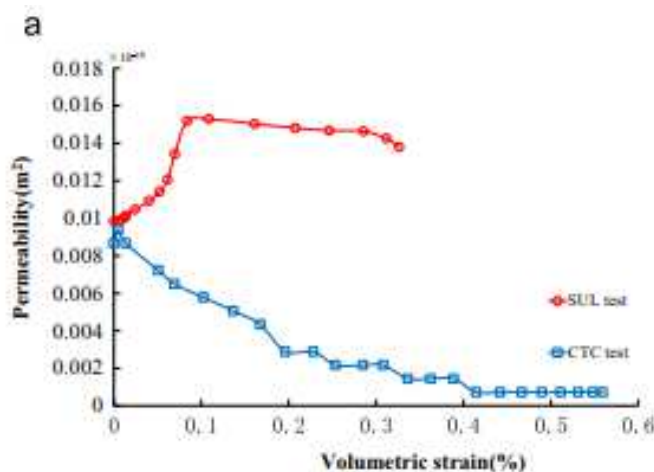


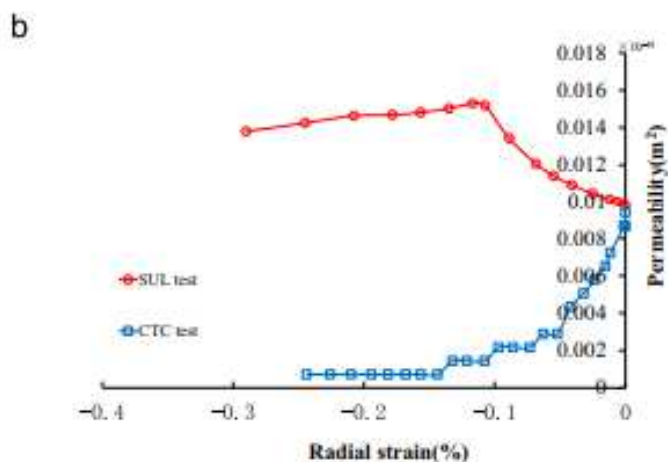
شکل ۹- رابطه بین قابلیت نفوذپذیری و کشش محوری در دو مسیر استرس

شکل ۹ نمایانگر منحنی های قابلیت نفوذپذیری-کشش محوری می باشد. در حالت فشار هیدروستاتیک اولیه، قابلیت نفوذپذیری برابر $0.0098 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ برای تست SUL و $0.0087 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ برای تست CTC بوده است. این امر مبین آنست که دو نمونه تقریباً همان حالت اولیه را داشته اند. اما، تکامل قابلیت نفوذ بستگی به مسیر استرس داشته است. برای تست CTC، قابلیت نفوذپذیری کاهش یافت و به مقدار حداقل حول نقطه بازده رسید. فراتر از این نقطه قابلیت نفوذپذیری به سرعت افزایش یافت. این تغییرات مستقیماً مرتبط به رفتار استرس-کشش منحرف کننده و مراحل بدشکلی می باشد. این تکامل به طور معنی داری با دو عامل ذیل تغییر می کند: (۱) زغال سنگ با افزایش استرس محوری فشرده سازی گردید. منافذ اصلی و شکستگی های زغال سنگ فشرده سازی گردید. این فشرده سازی باعث باریک شدن کانالهای جریان گاز شد و قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ را کاهش داد. (۲) شکستگی های جدید ایجاد شد و با افزایش بیشتر استرس محوری تکامل یافت. این مورد کانالهای جدیدی را برای جریان گاز فراهم نمود و از اینرو باعث تقویت قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ گردید. کشش حجمی زغال سنگ در مراحل بدشکلی فشرده سازی اولیه و بدشکلی الاستیک افزایش یافت. در این مرحله، منافذ اصلی و شکستگی ها اساساً تحت فشار قرار گرفتند و حجم زغال سنگ کاهش یافت. این امر باعث شد که قابلیت نفوذپذیری قبل از نقطه بازده کاهش یابد. فراتر از نقطه بازده، منافذ و شکستگی های اصلی

پیوسته فشرده شده ولی نه خیلی سریع. در عین حال، شکستگی های جدید ایجاد شده و سریعتر رشد کردند. در مرحله بعد از خرابی، ساختار داخلی زغال سنگ آسیب دید و شکستگی ها منبسط گردید قطع گردید و به هم متصل گردید تا تشکیل شکستگی های ماکروسکوپی را بدهد. میزان اتساع به نحوی افزایش یافت که قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ به شدت افزایش یافت.

کامل نفوذپذیری زغال سنگ تحت تست های SUL مشهودا متفاوت از آن تحت تست های CTC می باشد. این تکامل در کل فرایند بدشکلی می تواند به چهار مرحله تقسیم بندی گردد: مرحله افزایشی در فرایند SUL، مرحله کاهشی، مرحله افزایش آهسته فراتر از نقطه بازده، مرحله افزایش تند بعد از استرس پیک. رابطه میان قابلیت نفوذپذیری و کشش حجمی یا شعاعی بررسی شده است. قبل از اتساع زغال سنگ، شکل ۱۰a نمایانگر منحنی های کشش حجمی-قابلیت نفوذ پذیری، و شکل ۱۰b نمایانگر منحنی های کشش شعاعی-قابلیت نفوذپذیری تحت این دو مسیر استرس می باشد. رابطه میان قابلیت نفوذپذیری و کشش تحت تست های SUL متفاوت از آن تحت تست های CTC می باشد هر چند قابلیت نفوذپذیری اولیه تقریبا یکسان بوده است. در عملیات SUL، قابلیت نفوذپذیری به مقدار (افزایش ۵۶ درصدی) افزایش یافت و هیچ مرحله کاهشی مشاهده نگردید. قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ با کشش حجمی در فرایند SUL افزایش یافت (که به شکل مثبت برای فشرده‌گی تعریف می شود)، و نمونه در فرایند فشرده سازی گردید. شکل ۱۰b یک الگوی مشابهی دارد. این شکل بیان می دارد که کشش شعاعی متغیر کلیدی است که بر تغییر قابلیت نفوذپذیری در این تست ها اثر می گذارد. مسیر استرس دارای اثرات معنی داری روی تکامل قابلیت نفوذپذیری نمونه های زغال سنگ می باشد.





شکل ۱۰- منحنی های قابلیت نفوذپذیری-کشش قبل از اتساع زغال سنگ (a) منحنی های کشش حجمی- قابلیت نفوذپذیری قبل از اتساع زغال سنگ (b) منحنی های کشش شعاعی-قابلیت نفوذپذیری قبل از اتساع زغال سنگ

مکانیسم برای تکامل این قابلیت نفوذپذیری بررسی شده است. در تست های ما، جهت جریان از انتهای بالایی به انتهای پایینی نمونه بوده و باینحساب، جریان گاز به طور اساسی در طول شکستگی های عمودی رخ داده است. از سوی دیگر، شکستگی های عمودی به استرس محدود کننده حساس تر بودن. تخلیه استرس محدود کننده می تواند باعث شل شدن منافذ، فضاهای تهی، و شکستگی ها در طول جهت عمودی شود و قابلیت نفوذ را تقویت کند. از اینرو، اثر تخلیه استرس محدودکننده روی قابلیت نفوذپذیری نمی تواند در شبیه سازی فیزیکی نادیده گرفته شود. استرس محوری همچنان بعد از اینکه استرس محدودکننده به مقدار مشخص شده برسد، ادامه یافت. این امر به فشردگی سازی آندسته منافذ و شکستگی هایی که قبلاً ایجاد شده بودند ادامه داد و تولید شکستگی های جدید را محدود ساخت. این امر باعث کاهش آهسته قابلیت نفوذپذیری گردیده است. باز، حداقل قابلیت نفوذپذیری $0.0132 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ حول نقطه بازده زغال سنگ مشاهده گردید. فراتر از این نقطه، زغال سنگ شروع به اتساع کرده و قابلیت نفوذپذیری آن به آهستگی افزایش یافته است. قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ به تندی بعد از پیک استرس آن افزایش یافت و شکستگی های جدیدی سریعاً تولید گردید. از اینرو، تخلیه استرس محدودکننده می تواند منافذ، فضاهای تهی و شکستگی ها را شکل کند و قابلیت نفوذپذیری را به این ترتیب افزایش دهد.

۴-۳- اثر فشار گاز روی رفتار مکانیکی

برخلاف تست های فوق، که تحت یک فشار گاز ثابت اجرا گردیده است، این بخش به تحقیق اثر ترکیبی SUL و فشار گاز روی رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ از طریق فشارهای مختلف گاز پرداخته است. شکل ۱۱a نمایانگر منحنی های استرس منحرف کننده-کشش محوری می باشد زمانی که فشار گاز برابر با ۴ و ۳ و ۲ MPa بوده است. این نتایج تست رفتار ذیل را حاصل نمود. اول اینکه استقامت پیک برای فشار گاز پایین تر بالاتر بوده است. پیک استرس منحرف کننده برابر با ۱۴,۷۵ و ۳۱,۵۹ و ۳۹,۹۲ MPa می باشد زمانی که فشار گاز برابر با به ترتیب ۴ و ۳ و ۲ MPa می باشد. باز کشش محوری مربوطه در استرس منحرف کننده پیک برابر به ترتیب ۱,۲۱ و ۲,۰۷ و ۲,۳۲ درصد بوده است. مشهودا، پیک استقامت و کشش محوری مربوطه همگی با افزایش فشار گاز کاهش یافت. این رفتار با دو عامل ایجاد شده است. استرس محدود کننده موثر با افزایش فشار گاز کاهش یافته است. کاهش محدوده استرس محدود کننده که در اثر افزایش فشار گاز ایجاد شده است بزرگتر از استرس محوری بوده است به نحوی که پیک استرس منحرف کننده زغال سنگ کاهش یافته است. باز، فشار گاز بالاتر باعث می شود که گاز بیشتری جذب سطحی شود که باعث تورم زغال سنگ می شود. کشش حجمی در اثر فشار گاز (شامل اثر استرس موثر و تورم جذب سطحی) برابر با به ترتیب -۰,۱۵, -۰,۲۱, -۰,۲۴ درصد برای ۲ و ۳ و ۴ MPa بوده است. استرس پیک منحرف کننده زغال سنگ کاهش یافت حین اینکه استرس تورم داخلی تحت محدودیت های استرس سه بعدی افزایش یافته است.

رابطه استرس-کشش تحت فشارهای مختلف گاز مشاهده گردید. شکل ۱۱b نمایانگر رابطه میان استرس منحرف کننده و کشش شعاعی می باشد. شکل ۱۱c نمایانگر منحنی های استرس منحرف شونده-کشش حجمی می باشد. شکل ۱۱b اشکار می کند که کشش شعاعی زغال سنگ با بارگیری محوری کاهش یافته است. کشش منفی که مبین اتساع زغال سنگ بوده در جهت شعاعی رخ داده است. در مرحله بدشکلی الاستیک میزان تغییر کشش شعاعی کوچکتر از مرحله SUL بوده است. کشش شعاعی تندتر با افزایش فشار گاز کاهش یافته است. شکل ۱۱c نشان می دهد که کشش حجمی زغال سنگ به آهستگی در مرحله اولیه به دلیل تخلیه استرس محدود کننده افزایش یافته است. کشش شعاعی تندتر در این مرحله کاهش یافت که حجم کلی فشردگی زغال سنگ را کاهش داده است. سوش حجمی در نقطه ای که در آن زغال سنگ شروع به اتساع نموده

است، حین افزایش فشار گاز، افزایش یافته است که نشان می دهد ماکزیمم مقدار فشردگی افزایش یافته حین اینکه فشار گاز افزایش یافته است. شکل ۱۱d نشان دهنده رابطه میان دومین نوع کشان های استرس منحرف کننده و نوع دوم کشان های کشش منحرف کننده زغال سنگ برای مسیرهای استرس SUL تحت فشارهای گاز مختلف می باشد. این رابطه استرس-کشش در فضای کلی می باشد. این رقم اشکار کرده است که پیک مقادیر استرس برشی تعمیم یافته و مقادیر مربوطه در سوش برشی تعمیم یافته همگی با افزایش فشار گاز کاهش یافتند.

نسبت پواسون (ν) به شکل نسبت کشش شعاعی به کشش محوری در مرحله بدشکلی الاستیک تست فشردگی تک محوری تعریف شده است:

$$\nu = -\frac{d\epsilon_3}{d\epsilon_1} \quad (5)$$

که در آن ϵ_3 کشش شعاعی بوده، ϵ_1 کشش محوری بوده، و d نمایانگر تجمع افتراقی بوده است. این نسبت نمی تواند نسبت دقیق پواسون در تست های فشردگی سه محوری باشد. نیز می تواند برای بیان حدود سستی زغال سنگ بکار رود.

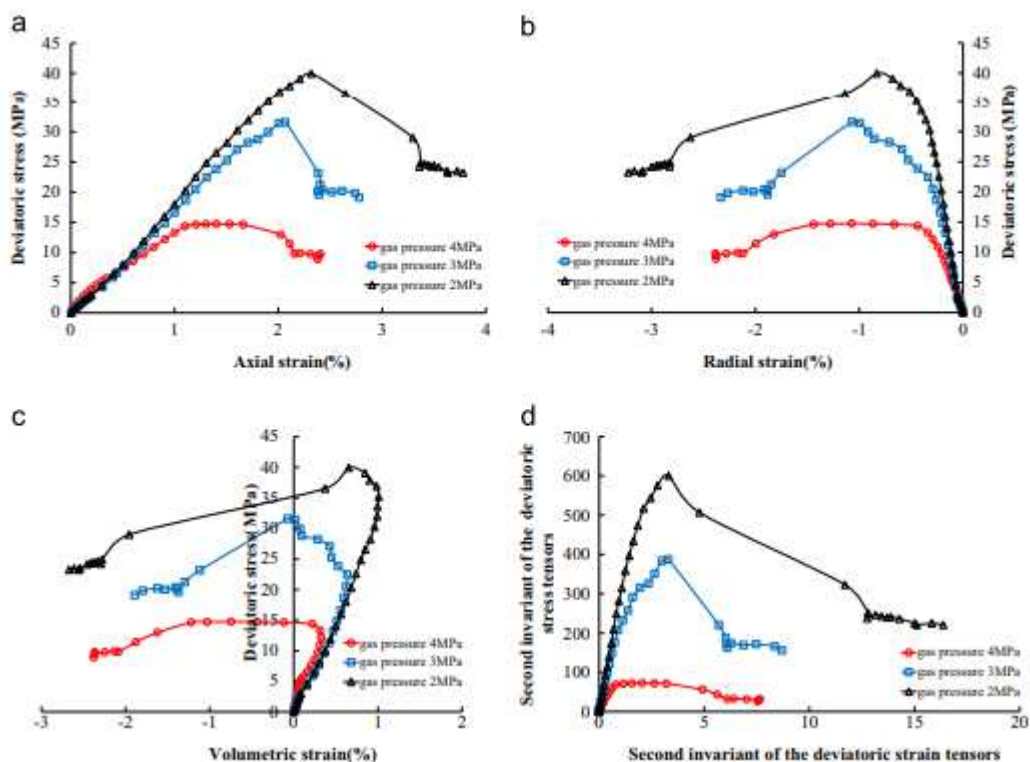
مودول الاستیک با قانون هوک تعمیم یافته در مرحله بدشکلی الاستیک محاسبه گردیده است:

$$E = [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] / \epsilon_1 \quad (6)$$

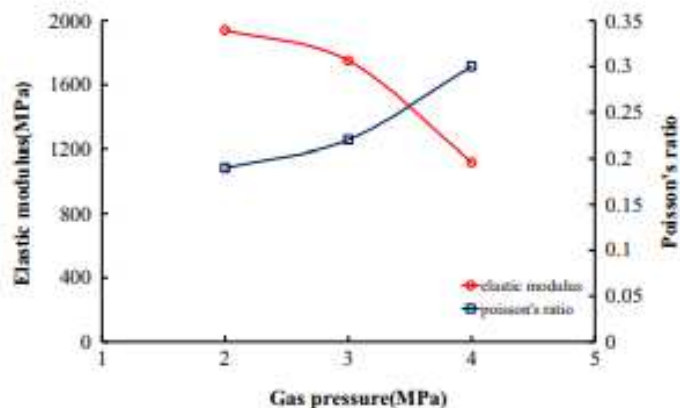
در هر مرحله بدشکلی، مودول بدشکلی E_C به این ترتیب محاسبه شد:

$$E_C = \frac{1}{d\epsilon_1} [d\sigma_1 - \nu(d\sigma_2 + d\sigma_3)] \quad (7)$$

اثر فشار گاز روی نسبت پواسون و مودول الاستیک در شکل ۱۲ آمده است. میزان پواسون افزایش یافته است ولی مودول الاستیک به تدریج با افزایش فشار گاز کاهش یافته است. دلیلش این است که گاز بیشتری در یک فشار گاز بالاتر جذب سطحی می شود.



شکل ۱۱- اثر فشار گاز روی منحنی های استرس-کشش زغال سنگ تحت مسیر SUL. (a) اثر فشار گاز روی منحنی های استرس منحرف کننده-کشش محوری زغال سنگ تحت مسیر SUL. (b) اثر فشار گاز روی منحنی های استرس منحرف کننده-کشش شعاعی زغال سنگ تحت مسیر SUL. (c) اثر فشار گاز روی منحنی های استرس منحرف کننده-کشش حجمی زغال سنگ تحت مسیر SUL و (d) اثر فشار گاز روی منحنی دومین نوع از کشان های استرس منحرف کننده-دومین نوع کشان های کشش منحرف کننده در زغال سنگ تحت مسیر SUL.



شکل ۱۲- تغییر مودول الاستیک و نسبت پواسون با فشار گاز

یعنی مولکولهای گاز بیشتری به سطح ذرات زغال سنگ متصل شدند و باعث تورم بیشتر ماتریس زغال سنگ گردیدند. از سوی دیگر، یک فشار گاز بالاتر به معنای استرس محدودکننده موثر پایین تر و محدودیت کمتر همراه با جهت افقی می باشد که ایجاد شکستگی های اصلی را ترغیب کرده و باعث می شود که زغال سنگ سست تر شود. از اینرو فشار گاز بالاتر در تست های SUL مبین محدودیت کمتر در جهت افقی و تورم بیشتر در ماتریس زغال سنگ می باشد. این زغال سست تر گردیده است.

شکل ۱۳a نمایانگر تغییر در نسبت کشش شعاعی به کشش محوری با استرس محدودکننده تحت فشارهای گاز مختلف می باشد. این رقم نشان می دهد که این نسبت با فشار گاز افزایشی یافته است. سه منحنی دارای هماهنگی خوبی تحت فشارهای مختلف گاز می باشند. استنباط گردیده است که این میزان با تخلیه استرس محدود کننده افزایش یافته است. شکل ۱۳b رابطه میان مودول بدشکلی و استرس محدودکننده تحت فشارهای گاز مختلف می باشد. مودول بدشکلی حین افزایش فشار گاز کاهش یافته است که بدان معنا می باشد که مودول بدشکلی با تخلیه استرس محدودکننده کاهش یافته است. این امر بدان خاطر است که محدودیت شعاعی در فرایند SUL ضعیف شده است و زغال سنگ سست تر شده است.

۴-۴- اثر فشار گاز روی تکامل قابلیت نفوذپذیری

تکامل قابلیت نفوذپذیری به شدت تحت تاثیر فشار گاز می باشد. منحنی های قابلیت نفوذپذیری-سوش محوری در شکل ۱۴ آمده است. این نمودار نشان می دهد که تکامل قابلیت نفوذپذیری می تواند به چهار مرحله تقسیم گردد: مرحله افزایشی در فرایند SUL، مرحله کاهشی، مرحله افزایشی آهسته بیشتر از نقطه بازده و مرحله افزایشی سریع بعد از استرس پیک. قابلیت نفوذپذیری با افزایش فشار گاز در فرایند بدشکلی کامل افزایش یافت. چنین رفتاری می تواند از دو عامل ایجاد شود. اول اینکه، استرس موثر زغال سنگ با افزایش فشار گاز کاهش یافته است. این امر کانالهای جریان زغال سنگ را بسط داده و باعث افزایش قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ گردید. دوم اینکه فشار گاز بالاتر باعث جذب سطحی گاز بیشتری روی سطح ذره ماتریس شده و منجر به تورم بالاتر ماتریس زغال سنگ گردید. این تورم ماتریس می تواند باعث شود کانال جریان باریک تر شده و قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ کاهش یابد. از اینرو، تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ نتیجه این دو عامل رقابتی است. ایزوترم Langmuir نشان می دهد که گاز جذب شده سطحی به سرعت با افزایش فشار گاز افزایش یافت

وقتی که فشار گاز پایین بود، بنابراین ماتریس زغال سنگ در این مرحله سریع تورم یافته است. این امر منجر به کاهش قابلیت نفوذ پذیری گردید. وقتی فشار گاز پایین بود، عامل تورم ماتریس نقش بارزی را در تکامل قابلیت نفوذ پذیری بازی می کرد.

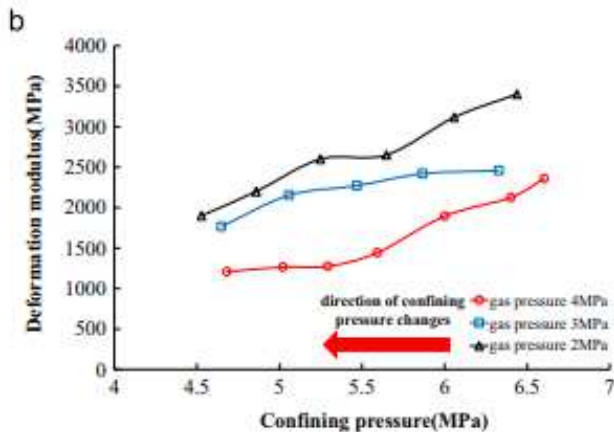
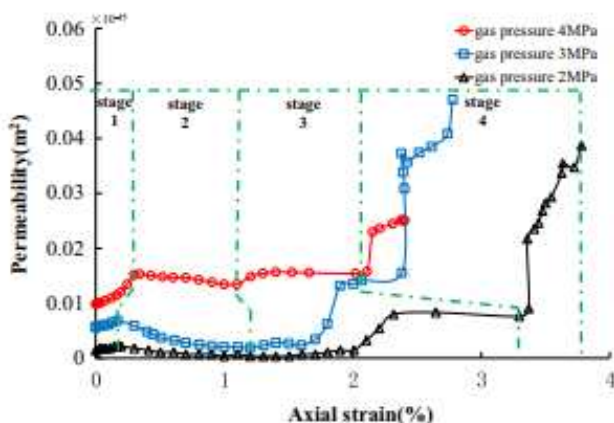


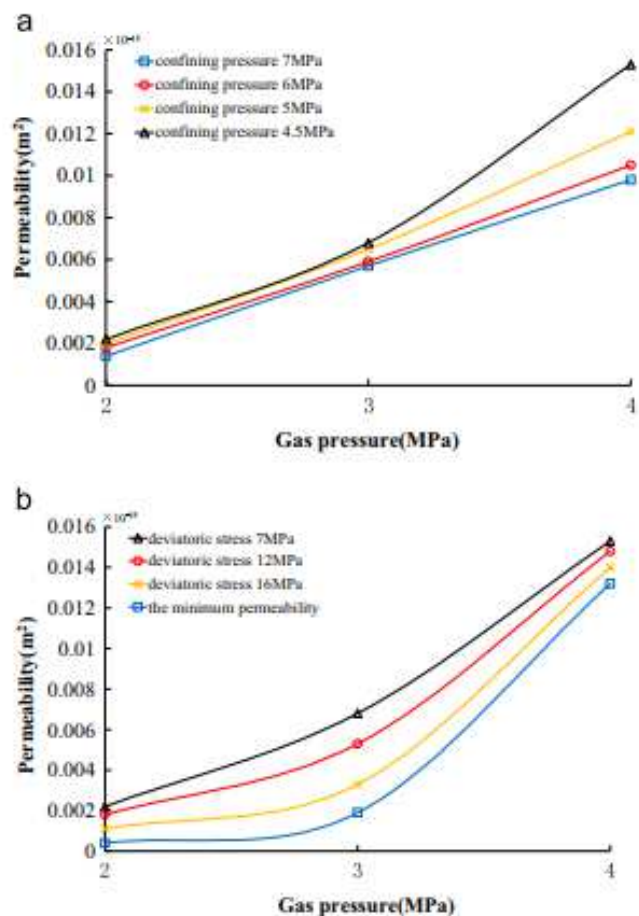
Fig. 13. Relationship between the deformation parameters and confining pressure. (a) Relationship between the ratio of radial strain to axial strain and confining pressure. (b) Relationship between the deformation modulus and confining pressure.



شکل ۱۳- رابطه میان پارامترهای بدشکلی و فشار محدودکننده. (a) رابطه بین نسبت کشش شعاعی به کشش محوری و فشار محدودکننده. (b) رابطه بین مودول بدشکلی و فشار محدودکننده

شکل ۱۴- اثر فشار گاز روی منحنی های قابلیت نفوذ-کشش محوری تحت مسیر SUL. میزان افزایش یافته گاز جذب شده سطحی با فشار گاز بعد از افزایش فشار گاز به مقداری بحرانی مانند ۲MPa کاهش یافت. میزان تورم ماتریس زغال سنگ نیز کندتر شد. از این نقطه، کاهش استرس موثر شروع به ایفای نقش بارز در تکامل قابلیت نفوذ پذیری نمود. قابلیت نفوذ پذیری زغال سنگ شروع به افزایش نمود.

شکل ۱۵ مقایسه بین منحنی های قابلیت نفوذ-فشار گاز تحت مراحل مختلف در مسیر SUL می باشد.



شکل ۱۵- اثر استرس روی منحنی های قابلیت نفوذ-فشار گاز در تست های SUL. (a) در فرایند SUL. (b) در فرایند تنها بارگذاری استرس محوری

شکل ۱۵a نشان دهنده رابطه بین قابلیت نفوذ و فشار گاز در عملیات SUL می باشد وقتی که استرس محدودشونده برابر ۴٫۵ و ۵ و ۶ و ۷ MPa می باشد. شکل ۱۵b نمایانگر تکامل قابلیت نفوذ با فشار گاز می باشد وقتی استرس منحرف کننده در میزان های مختلف می باشد. این استرس منحرف کننده با بارگیری استرس محوری تنها بعد از اینکه استرس محدود کننده به ۴٫۵MPa می رسد، حاصل گردید. لازم به ذکر می باشد که قابلیت نفوذپذیری در حالت فشار هیدروستاتیک برابر با $0.0098 \times 10^{-15} m^2$ ، $0.0057 \times 10^{-15} m^2$ و $0.0014 \times 10^{-15} m^2$ بوده است وقتی فشار گاز برابر با به ترتیب ۴ و ۳ و ۲ MPa بوده است. مشهودا، قابلیت نفوذپذیری با کاهش فشار گاز کاهش یافته است. قابلیت نفوذپذیری زغال به تدریج به ترتیب به $0.0153 \times 10^{-15} m^2$ ، $0.0068 \times 10^{-15} m^2$ ، $0.0022 \times 10^{-15} m^2$ در فرایند مسیر SUL افزایش یافت. قابلیت نفوذ زغال سنگ به

طور آهسته در مرحله بارگیری تنها استرس محوری کاهش یافت. مینیمم قابلیت نفوذ برابر $0.0132 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ ،
 $0.0019 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ و $0.0004 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ بوده و حول نقطه بازده مشاهده گردید.

۵- نتیجه گیری

تکامل استرس انتهای گسل در جبهه کار LW شماره ۳۲۱۱ معدن Songzao در Chongqing چین مانیتورینگ گردید تا مسیر استرس در اثر حفاری در مقابل جبهه کار بدست آید. ضریب همبستگی غلظت استرس انتهای گسل بدست آمده و میزان بارگذاری استرس محوری و میزان تخلیه استرس محدودکننده تعیین گردید. براساس این مسیر استرس، یک مجموعه تست های فشرده سازی سه محوری برای اندازه گیری رفتار مکانیکی در اثر حفاری و تکامل قابلیت نفوذپذیری گاز زغال سنگ تحت شرایط بارگذاری سه محوری و شرایط تخلیه اجرا گردید. روابط استرس-قابلیت نفوذپذیری به دقت در فرایند کامل از بدشکلی الاستیک گرفته تا خرابی نمونه مشاهده گردید. اثرات فشار گاز و مراحل بدشکلی بررسی گردید و دلالت برای عملیات معدنکاری زغال سنگ مورد بحث قرار گرفت. براساس این نتایج، درک و نتیجه گیری های ذیل را می توان استنباط نمود:

اول اینکه، مسیر استرس در مقابل جبهه کار با مانیتورینگ میدان و اندازه گیری طی عملیات استخراج یک لایه محافظ بدست آمده است. نتایج مانیتورینگ نشان داده است که استرس به پیک خود در نقطه ۱۸m جبهه کار LW رسیده است و بعد کاهش یافته است. ضریب همبستگی تمرکز تقریباً ۲,۰-۱,۵ برای استرس انتهای گسل بوده است.

دوم اینکه، مسیر SUL اثراتی معنی دار بر هر دو پیک استقامت و الگوی خرابی دارد. پیک استرس منحرف کننده و کشش محوری منطبقه زغال تحت مسیر SUL خیلی کمتر از آنهایی بود که تحت مسیر CTC بودند. نسبت کشش شعاعی به کشش محوری افزایش یافت و مودول بدشکلی در فرایند مسیر SUL کاهش یافت.

سوم اینکه، تکامل قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ تحت مسیرهای SUL و CTC متفاوت بوده است. تحت مسیر SUL، قابلیت نفوذپذیری در کل فرایند می تواند به چهار مرحله تقسیم بندی شود: مرحله افزایشی در فرایند SUL، مرحله کاهش، مرحله افزایش تدریجی فراتر از نقطه بازده و مرحله افزایشی سریع بعد از پیک استرس. کشش شعاعی متغیر کلیدی اثرگذار بر تکامل قابلیت نفوذپذیری در تست های SUL می باشد. اثر بارگذاری استرس محدود کننده روی قابلیت نفوذپذیری نمی تواند نادیده گرفته شود.

چهارم اینکه، فشارهای گاز بالاتر باعث می شود که زغال سنگ در آزمایشات ما سست تر شود. برای فشارهای گاز بالاتر، پیک استرس منحرف کننده و کشش محوری منطبقه پایین تر بوده و میزان پواسون زغال سنگ بالاتر بود و مودول های الاستیک پایین تر بودند. باز، قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ برای فشارهای گاز بالاتر در فرایند بدشکلی کامل به میزان بالاتری بود. دو عامل رقابتی، یعنی تورم ماتریس و استرس محدود کننده موثر، باعث تعیین رفتار مکانیکی و تکامل قابلیت نفوذپذیری گردید. از سوی دیگر، استرس موثر زغال سنگ کاهش یافته حین اینکه فشار گاز افزایش یافته بود. این کاهش استرس موثر باعث بسط کانالهای جریان زغال سنگ و افزایش قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ شده است. از سوی دیگر، گاز بیشتری برای فشار گاز بالاتری جذب سطحی شده و باعث شده که ماتریس زغال سنگ بیشتر متورم گردد. تورم ماتریس باعث باریک شدن کانالهای جریان و کاهش قابلیت نفوذپذیری زغال سنگ می شود. تکامل قابلیت نفوذپذیری بستگی به دو عامل رقابتی در محیط ویژه دارد.

سرانجام اینکه، تاثیرات مسیر SUL روی رفتار مکانیکی و تکامل نفوذپذیری زغال سنگ باید در فعالیتهای حفاری زیرزمینی در نظر گرفته شود تا به طور درستی پاسخ های مهندسی زغال سنگ تحت شرایط استخراج پیشگویی شود و از فجایع دینامیک در معادن زغال سنگ جلوگیری شود. بویژه، استرس های پیک پایین تر و قابلیت نفوذ بالاتر زغال سنگ طی عملیات استخراج باید در پیشگویی ایمنی معادن زغال سنگ در نظر گرفته شود.



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