

پیش بینی محدوده شکست ناشی از انفجار در سنگ

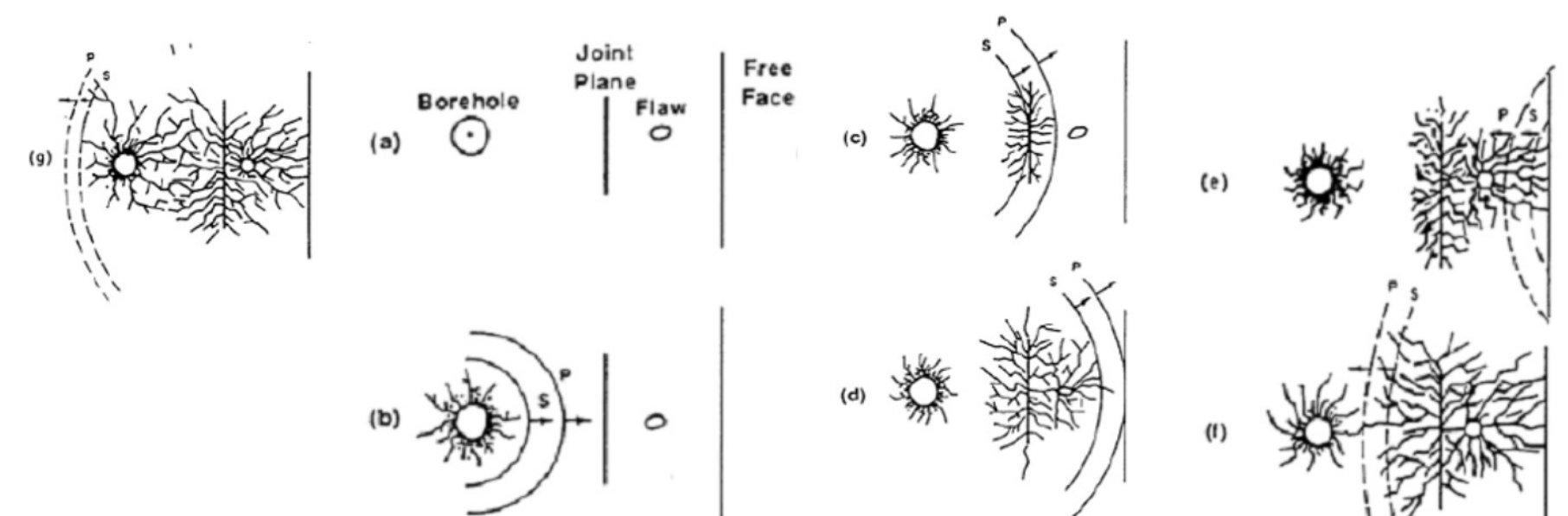
حمیدرضا علیزاده

چکیده :

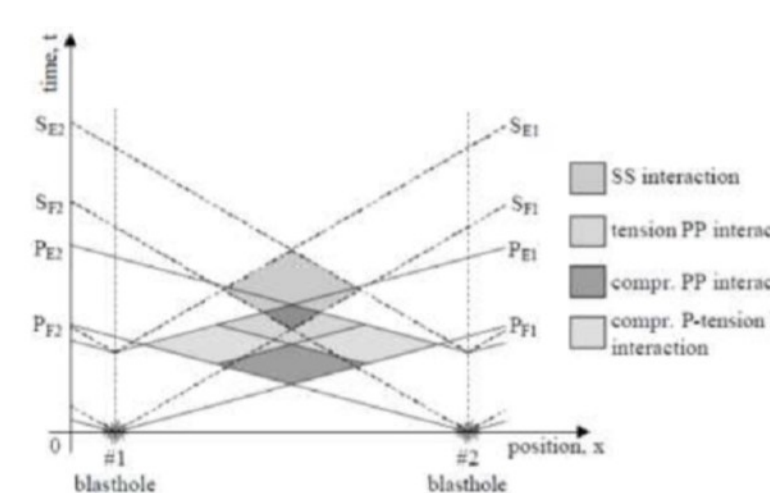
در روش چالزنی و انفجار برای حفاری سنگ، شکستن سنگ نه تنها باعث خرد شدن سنگ می گردد بلکه باعث شکستن و ایجاد ترک در سنگ های انتهایی دیواره و عقب زدگی تراشه در محدوده حفاری می شود. شکست و خردشدگی غیرقابل اجتناب در اثر فعالیت های چالزنی و انفجار می تواند ضمن افزایش هزینه ها، باعث ناپیمن شدن محدوده عملیات اجرایی گردد. به منظور کاهش شکست و خردشدگی، توانایی تخمین محدوده تخریب در اثر عملیات انفجار الزامی است. در فرایند انفجار خواص دینامیکی سنگ بر رفتار سنگ در اثر انفجار موثر می باشد با استفاده از روش انتقال موج انفجار که بر پایه خواص ماده منفجره و خواص دینامیکی سنگ می باشد می تواند تخمین مناسبی از محدوده تخریب و شکست در اثر انفجار در سنگ را بدست آورد. در این مقاله در مورد روش انتقال موج انفجار و نحوه شکستن و خرد شدن سنگ، انواع مدل های محاسباتی بحث شده است. همچنین در انتهای مقاله برای دو شرایط خرجگذاری در چال آتشکاری روابط مربوط به اندازه گیری محدوده تخریب ارائه شده است.

۱- بررسی تئوری تنش امواج- شکاف انفجار

بر اساس این تئوری، با انفجار یک چال، در مواد بدون ترک و عیب مطابق شکل ۲-۸ تعداد ۸-۱۲ ترک اصلی از اطراف چال انفجاری ایجاد می شوند. این ترک های اصلی تا فواصل دور گسترش یافته و ایجاد قطعات نامنظم که دارای خردشدگی نامناسبی هستند می نمایند. امواج تنش که از زون خرد شده اطراف چال عبور می کنند باعث افزایش تخریب می شوند. در مواد ترک دار، یا اینکه بخشی از آن دارای عیب باشد، خردشدگی بطور کلی متفاوت می باشد. امواج P و S از اطراف شبکه ترک های اطراف چال انتشار می یابند. شکستگی تا زمان رسیدن به سطح درزه ایجاد نمی شود. ایجاد ترک توسط امواج P شروع شده و توسط امواج S گسترش می یابند. امواج S به اندازه کافی انرژی برای جلوگیری از توقف ترک دارند. (شکل ۲-۹) b, c و P و S بین سطح درزه و شکاف تا رسیدن به سطح آزاد عبور می کنند شرایط و اثرات مشابهی ایجاد می شود. این امواج تاثیر کمی بر عیب های ایجاد شده در اطراف چال دارند. باید توجه گردد که جهت حرکت به سمت بیرون امواج P و S که ایجاد عیب می نمایند وابسته به وجود سطح آزاد نیستند. این مساله مهم است که ترک های ایجاد شده در بخش عیب دار که از چال های انفجاری گسترش یافته اند بر اساس دنباله امواج P و بخش جلوبرنده امواج S ایجاد می شوند. (شکل ۲-۱۰) وقتی امواج P با سطح آزاد مواجه می شوند، این امواج به سمت محیط اولیه با ماهیت امواج کششی برمی گردند که با نتایج امواج S برخورد می کنند. در این مرحله تداخل سوادمندی می تواند ایجاد شود، بطوریکه می تواند ایجاد ترک های بیشتر یا با توسعه و گسترش ترک های قبلی نماید. (شکل ۲-۱۱) سیستم امواج جدید (PP, PS, SP, SS, PP, and S, PS, and S) بین محل اولیه انتشار تا سطح آزاد یا سطح ناپیوستگی انعکاس می یابند. این سیستم جدید امواج می توانند باعث گسترش ترک ها شوند. شکل پایین نشان می دهد که امواج انعکاسی چگونه باعث توسعه ترک ها در زمان برگشت به سمت چال انفجاری می شوند. (شکل ۲-۱۲) بر اساس این تئوری شبکه ترک ها با سرعت توسط امواج P و S گسترش می یابند، ترک های ایجاد شده در اطراف بخش های عیب دار از سمت چال انفجاری حرکت می کنند. در مواد با عیوب زیاد، خردشدگی بهینه نتیجه جمع شدن ترک های جدید در عیوب و ترک های کهنه بر اثر انعکاس سیستم امواج می باشد. فشار گاز کمکی موثری بر فرآیند خردشدگی بهینه ندارد.



شکل ۲: نمایش مراحل مختلف انتقال موج و ایجاد ترک در سنگ بر اساس تئوری تنش امواج- شکاف انفجار.



شکل ۳: نمودار لاکرانی محدوده تاثیر امواج تنش

۲- مشخصات دینامیکی مقاومت سنگ

در فرآیند انفجار به خواص دینامیکی مقاومتی سنگ یعنی مقاومت های فشار و کششی نیاز می باشد. رفتار سنگ بر اساس شرایط بارگذاری متفاوت می باشد. خواص استاتیکی سنگ شامل دانسیته، مدول یانگ، نسبت پواسون، مقاومت های فشاری و کششی می باشند. اما خواص دینامیکی سنگ شامل مقادیر دینامیکی مدول یانگ، نسبت پواسون، مقاومت های فشاری و کششی و سرعت امواج P و S می باشد. مقادیر نسبت پواسون و مدول یانگ بر اساس سرعت امواج S و P بر اساس رابطه زیر قابل تعیین هستند. با توجه به بالا بودن سرعت فرآیند انفجار، سرعت یا نرخ بارگذاری برای استفاده از خواص سنگ در تحلیل اثر امواج انفجار مطابق جدول ۱ توصیه می شود.

$$v_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$Ed = \frac{V_p^2 \rho_r (1 + v_d)(1 - 2v_d)}{1 - v_d} = 2V_s^2 \rho_r (1 + v_d)$$

جدول ۱: نرخ بارگذاری برای شرایط مختلف وارد شدن تنش

Property	Low strain rate	Medium strain rate	High strain rate
Strain rate (Sec ⁻¹)	< 10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴ - 10	< 10 - 10 ⁴
Type of stress	Static load	Mechanical load	Impact or explosion
Example	Static standard test	Crushing & grinding	Blasting

۳- مدل های موجود تجربی تعیین محدوده تخریب انفجار

پیش بینی مدل های تخریب انفجار بر اساس یکی از دو پارامتر مهم، بیشینه لرزش ذره ای یا فشار انجام می شوند. بطور معمول بیشینه لرزش ذره ای را می توان بدون آزمایش تعیین کرد و شاید بتوان به عنوان معیاری برای تخریب وارد بر سازه های مجاور استفاده شود. هرچند رفتار پیچیده لرزش برای مناطق دور دست یا نزدیک می تواند مشکلاتی را ایجاد کند. بر اساس مقدار بیشینه لرزش ذره ای می توان مقاومت نهایی سنگ در مقابل شکستن بر اساس دسته های مختلف مقاومتی را تعیین کرد و می توان در مدل های تجربی که از لرزش ذره ای استفاده می کنند بهره برد. استفاده از فشار به عنوان مبنایی برای تخمین میزان آسیب معمولاً از پیچیدگی کمتری برخوردار است.

Empirical Blast Damage Model	Simplified Form	Initially Perceived Weaknesses
Holmberg-Persson	$PPV = K \left[\left(\frac{q}{r_0} \right) \left(\arctan \left(\frac{H + x_0 - x_1}{r_0} \right) + \arctan \left(\frac{x_0 - x_1}{r_0} \right) \right) \right]^n$	• Dependent on constants • Inappropriate weight of explosive properties
Lu-Hustrulid	$PPV = k \frac{P_s}{\rho_s V_s} \left(\frac{R_s}{R} \right)^n$	• Dependent on adiabatic explosive and stress attenuation constants
Russian	$R_{max} = r_0 \frac{P_s}{C_s + \sigma_s} \left(\frac{R_s}{R} \right)^n$ $R_r = r_0 \frac{\sigma_s}{\sigma_r} R_{max}$	• Potential for over estimation • Inappropriate weight of explosive properties
Senuk	$R_s = k(r_0) \sqrt{\frac{P_s}{\sigma_r}}$	• Potential for over estimation • Heavily dependent on UTS
Kanchibotla	$R_{max} = r_0 \sqrt{\frac{P_s}{\sigma_c}}$	• Heavily dependent on UCS
Mosinets	$R_s = \sqrt{\frac{V_s}{V_r} \sqrt{q}}$	• Only uses physical weight of charge to account for explosive changes
McHugh	$R_c^{(2+2\gamma)} + \left(\frac{2V_s}{n \cdot W} \right) R_c^{(1+2\gamma)} - \left(\frac{2V_s}{n \cdot W} \right) \left(\frac{2P_s}{\sqrt{\pi} K_{sc}} \right)^{1/\gamma} = 0$	• Assumes gas dominance of fracture mechanism • Dependent on specific heats of gas
Niosh Stress Decay	$\sigma_{ed} = P_s \sqrt{\frac{r_0}{R_{max}}} e^{-\alpha (R_{max}/r_0)^{1/2}}$	• Must determine crush damage decay accurately • Requires transitional zone extent information
SveBeFo	$\frac{R_{ed}}{d_0} = \left(\frac{P_s}{P_{k,crush}} \right)^{2(0.25/\gamma + 1)} P_{k,crush} = 3.30 \frac{K_{sc}}{\sqrt{d_0}}$	• Dependent on accurate isentropic exponents • Multiple correction factors for rock mass properties
Modified Ash	$\frac{R_s}{r_0} = 2S \left(\frac{d_s}{d_0} \right) \sqrt{\frac{\rho_s S_{ano}}{\rho_{ano}}} \sqrt{\frac{2.65}{\rho_r}}$	• Dependent on properties of a baseline ANFO product
Rock Constant	$\frac{R_s}{r_0} = 14.3 \left(\frac{d_s}{d_0} \right) \sqrt{\frac{RBS}{EP, (f)}}$	• Requires relative strength to ANFO baseline • Influential hole confinement constant

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله در ابتدا مکانیزم شکست در چال های انفجاری توسط امواج حجمی طولی و عرضی بررسی شد و تئوریهای مختلف نیز در این زمینه تشریح گردید. همانطور که در متن مقاله ارائه شد ایجاد ترک در سنگ بر اساس حرکت امواج ناشی از انفجار چال ها در سنگ و ایجاد تنش کششی ایجاد می شود. سنگ ها به دلیل پایین بودن مقاومت کششی، درمقابل تنش کششی کمتری نسبت به تنش فشاری خواهند شکست. دو معیار میزان لرزش ذره ای و فشار انفجار در بیشتر مدل های پیش بینی شکست بکار گرفته می شوند. این دو معیار با یکدیگر می توانند بر اساس مشخصات دینامیکی سنگ محدوده تخریب ناشی از انفجار را با دقت مناسبی پیش بینی کنند. یک مدل پیش بینی محدوده تخریب نیز با ارائه روابط برای دو حالت که ستون مواد منفجره به دیوار چال متصل بوده (جفت شوندگی کامل اتفاق افتاده باشد) و برای شرایطی که ماده منفجره در وسط چال قرار گرفته باشد ارائه شده است. این مدل نتایج قابل قبولی با سایر مدل های معتبر داشته است.

پس از انفجار در توده سنگ، امواج P و S انتشار می یابند. امواج P یا طولی امواج اولیه و امواج S یا برشی امواج ثانویه هستند. هر یک از این امواج دارای یک بخش جلویی فشاری و بخش عقبی کششی دارند. این امواج محدوده چال ها را پوشش می دهند، اما به دلیل سرعت متفاوت بطور جدا از هم حرکت می کنند. وقتی دو چال با فاصله از هم منفجر می شوند، امواج بصورت امواج دوتایی P1-S2, S1-S2, P1-P2 و S1-P2 بر محیط اثر می گذارند. تعدادی از مناطقی که تحت تاثیر این امواج دوتایی قرار می گیرند در نمودار لاگرانژی شکل ۴ نمایش داده شده است.