ضرورت استفاده از مواد منفجره

- در بخش عمده ای از فعالیت های توسعه هر کشور شامل سدسازی ، راه سازی ، حفرتونل ، استخراج معادن و ایجاد ایجاد فضاهای زیرزمینی و ... از مواد منفجره استفاده می شود. در قسمتی از این فعالیت ها سنگ باید شکسته شود ، برای شکستن سنگ احتیاج به نیرویی است که بر مقاومت سنگ غلبه کرد . این نیرو را می توان از منابع زیر تامین کرد :

الف) نیروی انسانی ب) ماده منفجره ج)ماشین حفاری

- از بین این سه مورد ماده منفجره مطمئن ترین ابزار برای شکستن سنگ است که دارای قابلیت های زیر در شکستن سنگ است :

۱- سریع ۲- ارزان ۳- ایمن ۴- قابل انعطاف برای کار در محل های مختلف از زیر آب تا قله کوه

تاریخچه مواد منفجره

- شکستن سنگ با استفاده از مواد منفجره از ابتدای قرن هفدهم همزمان با شناسایی باروت شروع شد. بعد از آن نیتروسلولز و نیتروگلیسیرین ساخته شد. در سال ۱۸۶۷ آلفرد نوبل برای سهولت در حمل و نقل گلیسیرین آن را جذب دیاتومیت کرد و این محصول دینامیت نامیده شد.

طبقه بندی مواد منفجره

1. مواد منفجره هسته ای: شامل پلوتونیم، اورانیوم ۲۳۵ یا موادی مشابه آنها که از نظر اتمی فعالند.

2. مواد منفجره مکانیکی: موادی خنثی هستند که تحت تاثیر حرارت خیلی سریع تبخیر شده و فشار لازم را به دیواره ظرف وارد می کنند. در روش کاردکس (cardox) انیدریدکربنیک مایع در اثر حرارت تبخیر شده و گاز ایجاد شده به دیواره چال فشار وارد می کند .

3. مواد منفجره شیمیایی: به دو دسته کندسوز و تندسوز تقسیم می شود. در مواد منفجره تندسوز سرعت فعل و انفعالات ۱۵۰۰ تا ۸۰۰۰ متر بر ثانیه و فشار ایجاد شده ۳۵۰۰تا ۲۵۰۰۰۰ اتمسفر می باشد. تندسوز اولیه: با اندکی تحریک از قبیل جرقه ، شعله و ضربه منفجر می شود . تندسوز ثانویه: برای انفجار نیاز به یک موج انفجاری قوی دارد. کندسوز: سرعت انفجار به چند متربرثانیه می رسد و فشار تا ۳۵۰۰اتمسفر تولید می کند و در خرج پرتابی مورد استفاده قرار می گیرد .

تعریف ماده منفجره

- یک ترکیب شیمیایی یا مخلوط مکانیکی است که در اثر ضربه ، حرارت ، جرقه در مدت کوتاهی تجزیه شده و مقدار زیادی گاز و حرارت تولید می کند.
- تجزیه یا سوختن سریع مواد منفجره که منجر به آزاد شدن سریع گاز و حرارت می گردد را انفجار می گویند .

ویژگی های مواد منفجره

1. حساسیت
2. سرعت انفجار
3. قدرت
4. خردکنندگی
5. وزن مخصوص
6. تراز اکسیژنی
7. سمیت گازها

حساسیت

- حساسیت مبین مقدار تحریکی است که برای وادار کردن ماده منفجره به فعل و انفعال لازم است :

الف) حساسیت در مقابل ضربه

نوع ماده منفجره	حداقل ارتفاع سقوط به سانتیمتر برای انفجار در رها شدن وزنه ۲کیلوگرمی
فولمینات جیوه	۲
ازتور سرب	۳-۴
نیتروگلیسیرین (NG)	۴
نیترو گلیکل	۱۱
دینامیت ۶۲٪ (۶۲٪ نیتروگلیسیرین)	۱۷
پانتریت PETN	۲۸
تتریل	۳۰
تری نیتروتلوئن TNT	۶۰-۷۰
آمونیت	۷۰-۷۵

حساسیت

ب)حساسیت در مقابل حرارت

درجه حرارت به سانتیگراد	حداقل ارتفاع سقوط به سانتی متر برای انفجار در رها شدن وزنه 2کیلوگرمی		
	RDX	T.N.T	نیتراتAN آمونیوم
25	20	35	5/77
75	-	-	70
80	-	5/17	-
90	20	5/7	-
100	-	-	5/67
105	5/12	5	-
150	-	-	5/67
175	-	-	30

حساسیت مواد منفجره در مقابل ضربه در دماهای مختلف

حساسیت

ج) حساسیت در مقابل چاشنی :

حساسیت در مقابل چاشنی ای که تماس مستقیم با ماده منفجره دارد تابع ابعاد ذرات ، درجه حرارت ، وزن مخصوص و شرایط فیزیکی ماده منفجره می باشد

ماده منفجره	نوع و حداقل خرج چاشنی به گرم		
	از تورسرب	فولمینات جیوه	تتریل
پیکرات امونیوم	–	–	۰/۰۶
ترکیب A3	۰/۲۵	۰/۲۲	–
ترکیب B	۰/۱۷	۰/۲۲	–
ترکیب C3	–	–	۰/۰۸
ترکیب C4	–	–	۰/۱
هالئیت (۲)	۰/۱۳	۰/۲۱	–
نیتروگوانیدین	–	–	۰/۱
P.E.T.N.	۰/۰۳	۰/۱۷	–
اسید پیکریک	۰/۲۴	۰/۲۶	–
R.D.X.	۰/۰۵	۰/۱۹	–
تتریل	۰/۱۰	۰/۲۴	–
T.N.T	۰/۲۶	۰/۲۴	–
ترپکس	–	۰/۱۸	–

حساسیت

د) حساسیت در مقابل موج انفجار :

ممکن است در اثر انفجار یک ماده منفجره ، ماده منفجره دیگری که تماس مستقیم با آن ندارد ، نیز منفجر شود . یعنی موج انفجار قبل از اینکه مستهلک شود ، در هوا حرکت کرده و به ماده منفجره بعدی می رسد و باعث انفجار آن می شود . سرعت حرکت موج انفجار در هوا از سرعت صوت بیشتر است . اگر یک فشنگ ماده منفجره را در هوای آزاد منفجر کنیم موج انفجار حاصله می تواند فشنگ دیگری را که به فاصله معینی از اولی واقع شده منفجر کند.

ه) حساسیت در مقابل رطوبت

سرعت انفجار

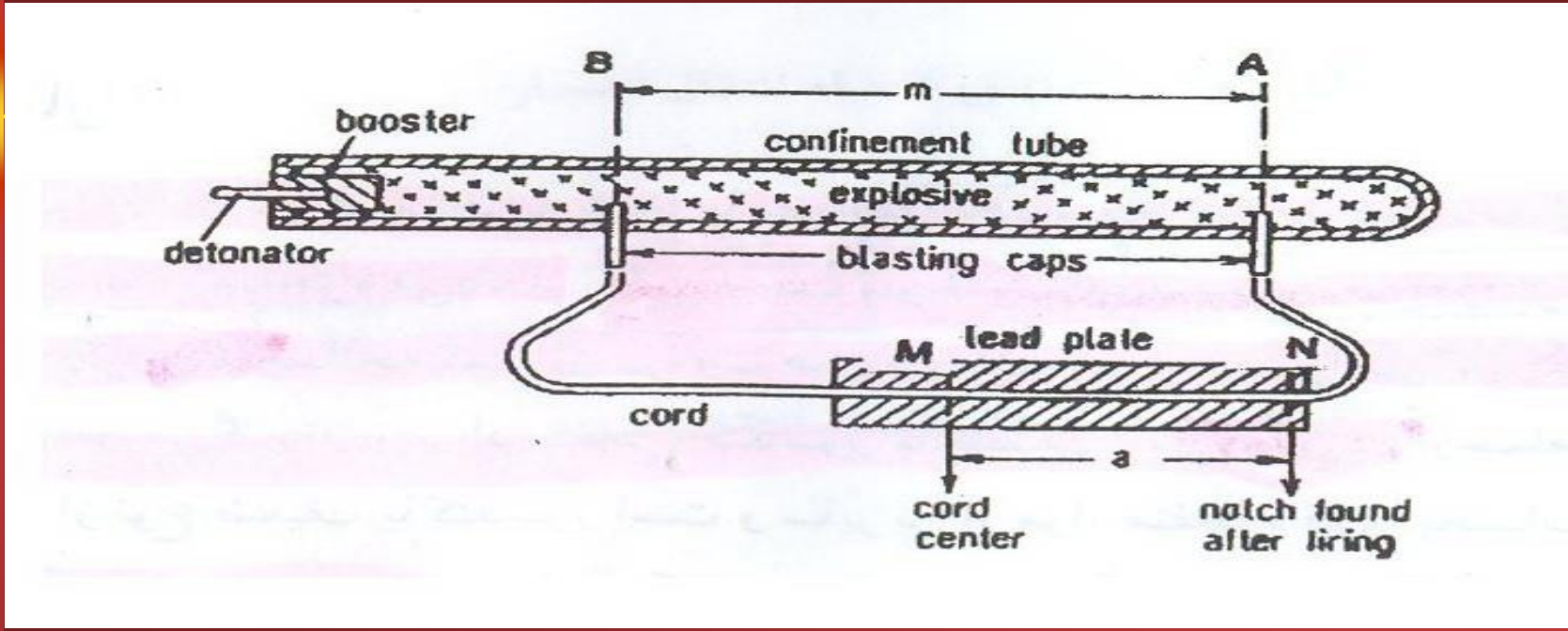
- سرعت انفجار همان سرعت تجزیه شدن ماده منفجره می باشد.
- روش اندازه گیری سرعت انفجار:

سرعت انفجار مواد منفجره را به دو طریق اندازه می گیرند:

۱)روش داتریش:

ماده منفجره را به شکل لوله یا فشنگ درآورده و دو سر یک رشته فیتیله انفجاری مسلح به چاشنی در نقاط A و B وارد می گردد . بقیه طول فتیله روی یک صفحه سربی پهن شده و نقطه M وسط فتیله روی صفحه سربی علامتگذاری می شود . ماده منفجره را به کمک یک چاشنی منفجر می کنیم . موج انفجار ابتدا به نقطه B زودتر از نقطه A می رسد و طرف نقطه B زودتر منفجر می شود و موج انفجار از A و B در نقطه N به هم می رسند .

اندازه گیری سرعت انفجار با روش داتریش (Dautriche)



سرعت انفجار ماده منفجره V=

سرعت انفجار فتیله انفجاری v=

$$\frac{BM + MN}{v} = \frac{BA}{V} + \frac{AN}{v}$$

$$AB = m$$

$$MN = a$$

$$BM = MN + AN$$

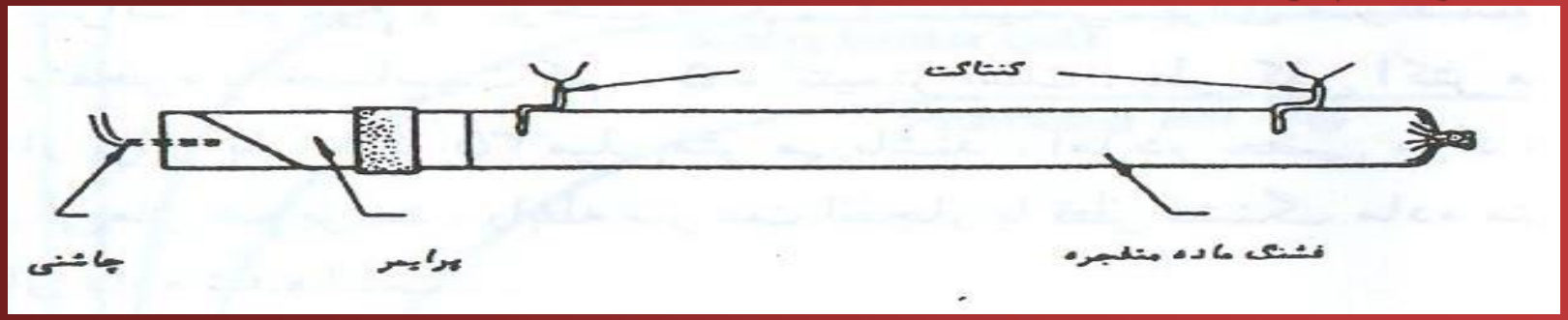
$$\frac{MN}{v} + \frac{BM - AN}{v} = \frac{m}{V} \Rightarrow \frac{2a}{v} = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{mv}{2a}$$

۲) روش الکتریکی :

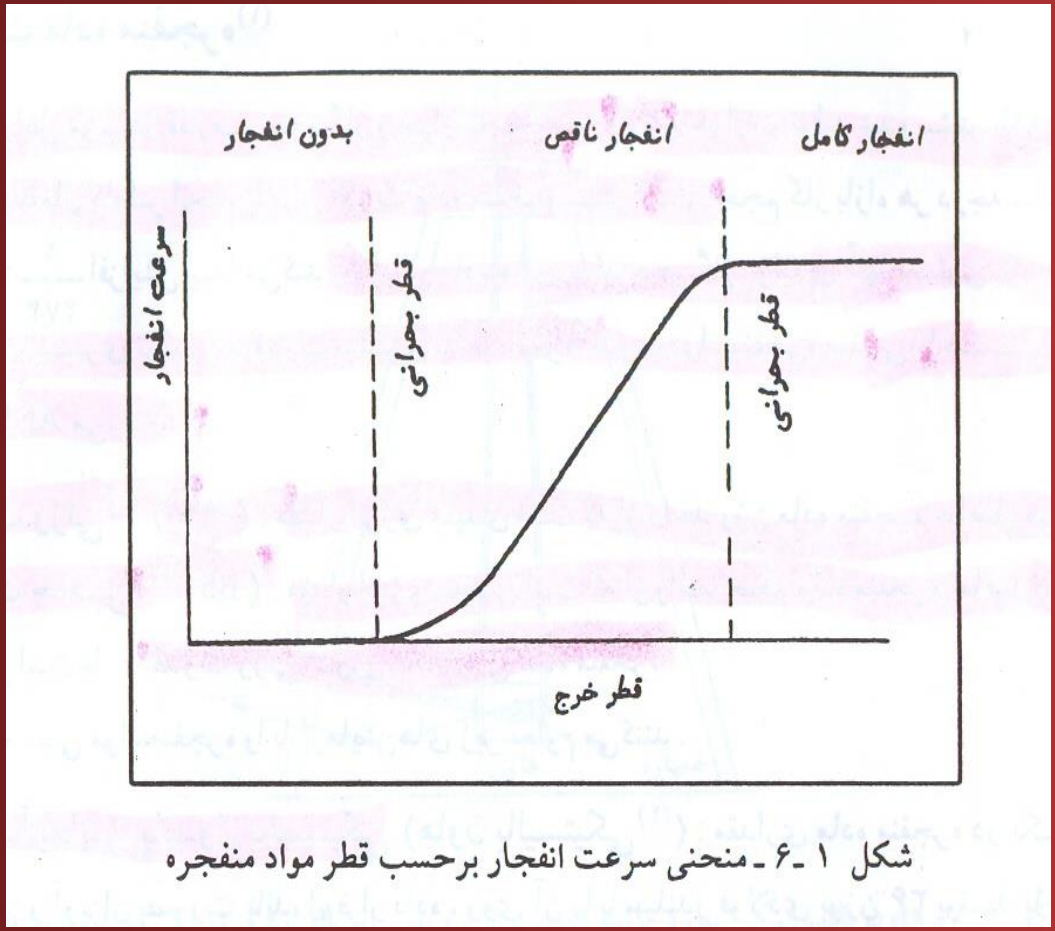
با این روش زمان سیر انفجار در ماده منفجره با شمارشگرهای الکترونیکی تا دقت یک ده میلیونیم ثانیه اندازه گیری می شود . به این ترتیب که دو عدد کنتاکت را در دو سر ستونی از ماده منفجره به طول معین m قرار می دهند پس از آتش زدن چاشنی ، موج انفجار در ماده منفجره مورد آزمایش شروع به حرکت می کند موج انفجار در مسیر خود پس از تماس با کنتاکت اولی سبب راه اندازی دستگاه شمارشگر شده و به محض برخورد با کنتاکت دومی موجب قطع کار آن می گردد(شکل زیر) . با این دستگاه زمان عبور موج انفجار (t) به دست می آید و سرعت انفجار برابر می شود با

$$V = \frac{m}{t}$$

معمولا سرعت انفجار در جداول مربوط به مواد منفجره قید می شود سرعت انفجار TNT برابر ۶۸۰۰ m/sec و سرعت انفجار نیتروگلیسیرین برابر ۸۴۰۰ m/sec است . ملاحظه می شود که ممکن است سرعت انفجار مواد منفجره تا بیش از ۲۰برابر سرعت صوت هم برسد.



عوامل موثر در سرعت انفجار



شکل ۱ ـ۶ ـ منحنی سرعت انفجار برحسب قطر مواد منفجره

- وزن مخصوص
- ابعاد ذرات
- نوع چاشنی
- قطر چال

قدرت مواد منفجره

عوامل موثر در قدرت مواد منفجره حجم گاز و حرارت انفجار است .

قدرت وزنی: مقدار انرژی مفیدی است که از واحد وزن ماده منفجره حاصل می شود .

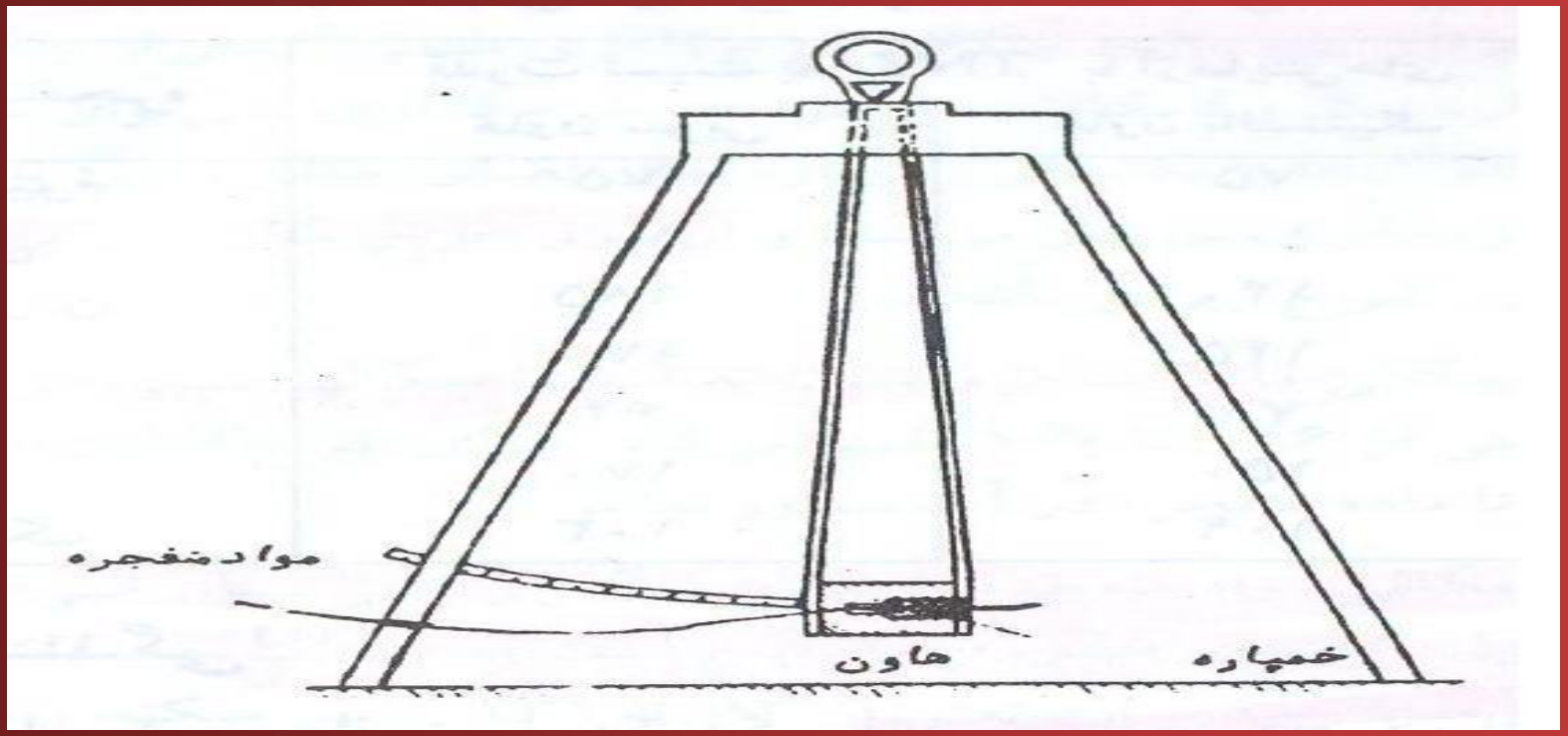
قدرت حجمی: مقدار انرژی مفیدی است که از واحد حجم ماده منفجره حاصل می شود . دو آزمایش برای تعیین قدرت نسبی مواد منفجره وجود دارد:

الف) آزمایش پاندول بالیستیکی

ب) آزمایش هاون سربی

آزمایش پاندول بالیستیکی

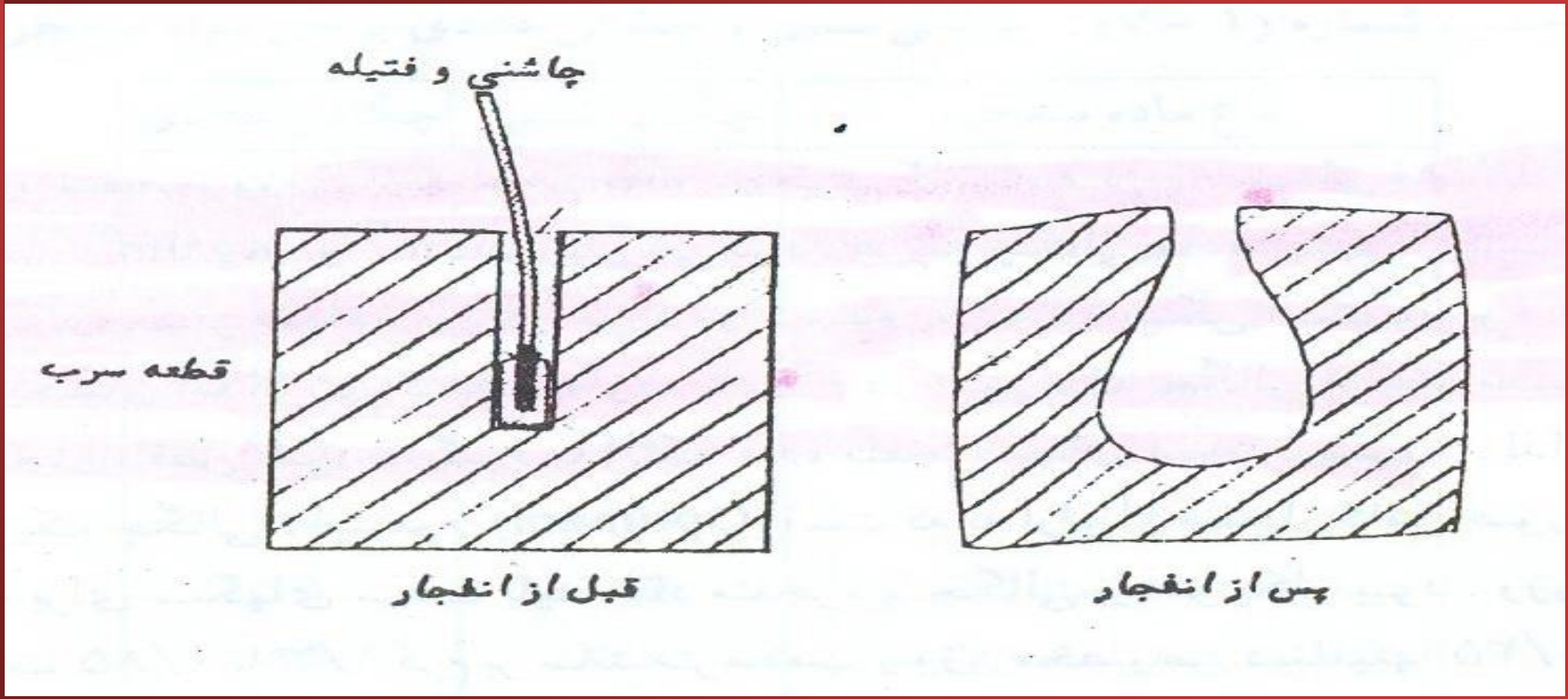
مقداری ماده منفجره در یک هاون سنگین و آویزان به صورت پاندول قرار داده ، روی آن را با سیلندر فولادی به وزن ۳۶ پوند یا ۵/۱۶ کیلوگرم می پوشانند . پس از انفجار زاویه انحراف پاندول را در نظر گرفته و آن مقدار TNT را به حساب می آورند که همین زاویه انحراف را در آزمایش مربوط به خود به دست دهد. نسبت وزن TNT به وزن ماده منفجره مصرف شده ، نماینده قدرت ماده منفجره می باشد.



هاون بالیستیکی مورد تایید کمیسیون اروپایی استاندارد آزمایش مواد منفجره

آزمایش هاون سربی

استوانه ای سربی به قطر و ارتفاع ۲۰۰ میلیمتر انتخاب کرده ، حفره ای به قطر ۲۵ و عمق ۱۲۵ میلیمتر در آن ایجاد می کنند . ده گرم ماده منفجره را در این حفره قرار داده و آن را منفجر می کنند مقدار تغییر حجم را با استفاده ظرف مدرج و آب می توان اندازه گرفت . همین آزمایش را برای همان وزن TNT تکرار کرده و تغییر حجم حفره را اندازه گیری می نمایند . نسبت این دو حجم مبین قدرت ماده منفجره نسبت به TNT است .



در جدول زیر قدرت نسبی چند نوع ماده منفجره که طی هر دو آزمایش هاون بالیستیکی و سربی تعیین شده ملاحظه می گردد.

نوع ماده منفجره	قدرت نسبت به TNT با آزمایش های		سرعت انفجار m/sec
	هاون سربی	هاون بالیستیک	
نیترات آمونیوم	۷۵	۷۵	۲۷۰۰
تی ـ ان ـ تی	۱۰۰	۱۰۰	۶۹۰۰
نیتروگلیسیرین	۱۸۵	۱۴۰	۷۷۰۰
P.E.T.N	۱۷۰	۱۴۵	۸۳۰۰
D.N.T	۶۴	۷۱	۵۹۰۰
R.D.X	۱۷۰	۱۵۰	۸۳۵۰
اسید پیکریک	۱۰۳	۱۰۹	۷۳۵۰

قدرت خرد کنندگی

خردکنندگی قابلیت ماده منفجره برای شکستن سنگ را نشان می دهد و به سرعت انفجار آن بستگی دارد . قدرت ماده منفجره ناشی از آزاد شدن مقدار گاز وحرارت آن است اما خردکنندگی ناشی از سرعت فعل و انفعال است بدیهی است که تمرکز نیرو در زمان کمتر سبب خرد شدن بیشتر می شود.

تراز اکسیژنی

- اختلاف مقدار اکسیژن موجود در ماده منفجره و اکسیژن مورد نیاز برای تحقق کامل فعل وانفعال انفجار را اکسیژن بالانس گویند .
- به طور کلی اکثر مواد منفجره ترکیبات آلی یا مخلوطی از مواد آلی هستند که شامل کربن ، هیدروژن ، اکسیژن و ازت است . بهترین ماده منفجره ، ماده منفجره ای است که تراز اکسیژنی صفر یا کمی مثبت داشته باشد . در صورت کمبود اکسیژن گاز CO و در صورت زیادی اکسیژن گاز NO و NO_2 تشکیل می شود . در محاسبه تراز اکسیژنی فرمول ماده منفجره در حالت ایده آل یعنی تشکیل CO_2 ، H_2O و Al_2O_3 در نظر گرفته می شود . ماده منفجره ای در معادن زیرزمینی استفاده می شود که کمتر گاز سمی تولید کند .

مثال :

ماده منفجره ای که از مخلوط ۱۲۰ گرم نیترات آمونیوم و ۵/۴۵ گرم T.N.T حاصل شده از نظر تعادل اکسیژنی در چه وضعیتی است؟

C	H	N	O	وزن مولکولی	جسم
-	6	3	4.5	80	NH4NO3
1.4	1	0.6	1.2	227	T.N.T C7H5(NO2)3
1.4	7	3.6	5.7		جمع

$$O-\frac{1}{2}H-2C$$

$$5.7-\frac{1}{2}\times 7-2\times 1.4=-0.6$$

مثال:

درصد اختلاط پودر Al و نیترات آمونیوم را در یک واکنش با تعادل اکسیژنی صفر محاسبه کنید:

جسم	H	O	N	Al	وزن مولکولی
NH4NO3	$0.05x$	$0.0375x$	$0.025x$	-	80
AL				$0.037(100-x)$	27

$$NH_4NO_3 + Al$$

$$O = 0.0375x$$

$$O' = \frac{1}{2}H + \frac{3}{2}Al = \frac{1}{2} \times 0.05x + \frac{3}{2} \times 0.037(100-x)$$

$$O - O' = 0 \Rightarrow 0.0375x - 0.025x - 5.55 + 0.055x = 0 \Rightarrow x = 82.2\% \rightarrow NH4NO3, y = 1 - x = 17.8\% \rightarrow Al$$

ترموشیمی انفجار

- مواد منفجره در حالات زیر ممکن است منفجر شوند و انارژی خود را آزاد کنند:

۱- در هوای آزاد:

که در این صورت فشار ثابت می ماند و محصولات انفجار به فشار جو می رسند . انرژی حاصل از انفجار به صورت حرارت و گاز نمود می کند و در این حالت کار انجام شده عقب راندن هوای محیط در اثر انبساط گازهای حاصل از انفجار می باشد .

۲-درچال که محیط بسته است و حجم ثابت می ماند :

در هر دو حالت انرژی آزاد شده که همان انرژی پتانسیل ماده منفجره است یکی است در هوای آزاد انرژی غیر مفید مصرف می شود ولی در چال انرژی به صورت مفید مصرف می شود .

انرژی حرارتی حاصل از انفجار

- وقتی که در فشار ثابت انفجار صورت می گیرد تنها کار انجام شده جابجا شدن هوای اطراف محل انفجار است در چنین حالتی انرژی حرارتی ناشی از انفجار از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Q = Q_P - Q_E$$

Q=حرارت ناشی از انفجار

Q_P=حرارت تشکیل محصولات انفجار

Q_E=حرارت تشکیل ماده منفجره

مثال:

مطلوب است تعیین مقدار انرژی حاصل از انفجار یک گرم نیترو گلیسیرین (انفجار نیتروگلیسیرین مطابق واکنش زیر صورت می گیرد) :

$$C_3H_5(NO_3)_3 \rightarrow 3CO_2 + \frac{5}{2}H_2O + \frac{3}{2}N_2 + \frac{1}{4}O_2$$

$$C_3H_5(NO_3)_3 = 82.7\frac{Kcal}{mol}$$

$$CO_2 = 94.1\frac{Kcal}{mol}$$

$$H_2O = 57.8\frac{Kcal}{mol}$$

$$N_2 = 0$$

$$O_2 = 0$$

$$Q = Q_P - Q_E = (3\times 94.1) + \frac{5}{2}(57.8) - 82.7 = 344.1\frac{Kcal}{mol}$$

$$\frac{227gr}{1} = \frac{344.1\times 1000cal}{x} \Rightarrow \frac{344.1\times 1000}{227} = 1516\frac{cal}{gr}$$

حجم گاز حاصل از انفجار

- محصولات حاصل از انفجار به صورت گاز هستند و بخشی از عملیات خرد شدن سنگ ها در اثر انبساط همین گازها صورت می پذیرد . مطالعات نشان می دهد که حجم ماده منفجره بعد از انفجار بیش از ۱۰۰ برابر می شود .

مثال :

حجم حاصل از انفجار یک گرم نیتروگلیسیرین را محاسبه کنید :

$$C_3H_5(NO_3)_3 \rightarrow 3CO_2 + \frac{5}{2}H_2O + \frac{3}{2}N_2 + \frac{1}{4}O_2$$

در اثر انفجار مولکول گرم گاز تولید می شود . $3 + 2.5 + 1.5 + 0.25 = 7.25$

حجم هر مولکول گاز طبق قانون آووگادرو در درجه حرارت صفر و فشار جو ۴/۲۲ لیتر است . (تعداد مولکول های هر مول گاز $۰۲/۶ \times ۱۰^{۲۳}$)

$$7.25 \times 22.4 = 162.4 lit$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{V_1 T_2}{T_1} = \frac{162.4(273+25)}{273} = 177.3 lit$$

$$\rho_{NG} = 1.6 \frac{gr}{cm} \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow \frac{227}{1.6} = 0.142 lit$$

حجم یک مولکول گرم ۱۲۰۰ برابر است .

کار حاصل از انبساط گازها

dW=کار جزئی انجام شده

dl= جابجایی

P= فشار جو

$$dW = f.dl$$

$$f = P.A \Rightarrow dW = P.A.dl$$

انبساط تا زمانی ادامه پیدا می یابد تا فشار به فشار جو برسد .

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV = P(V_2 - V_1) = PV_2$$

برای نمونه در مثال قبل کار انجام شده توسط یگ گرم نیتروگلیسیرین برابر است با :

$$W = 1 \times 177.3 lit.atm$$

$$W = 177.3 \times 10.33 = 1831.5 kg.m = 4.29 Kcal$$

$$1 lit.atm = 0.024202 Kcal$$

در نتیجه انرژی پتانسیل موجود در یک گرم نیتروگلیسیرین برابر است با :

$$E = Q + W = 344.1 + 4.29 = 348.4 \frac{Kcal}{mol}$$

$$\frac{348.4 \times 1000}{227} = 1534.8 \frac{cal}{gr}$$

این انرژی صرف خرد کردن سنگ ، لرزش هوا ، لرزش زمین و جابجایی سنگ می گردد .

انفجار

- برای انفجار اجزای زیر نیاز است:

۱- عامل تحریک

۲- عامل انتقال تحریک به داخل چال

۳- چاشنی

۴- ماده منفجره

انواع مواد منفجره

انتخاب مواد منفجره

- انتخاب مواد منفجره بر اساس قدرت ، چگالی ، سرعت انفجار ، حساسیت ، مقاومت در مقابل آب و گازهای حاصل از انفجار انتخاب می شود .

مواد منفجره دانه ای

۱- باروت: عمدتاً به عنوان خرج پرتابی مورد استفاده قرار می گیرد و همچنین برای انتقال آتش در فتیله اطمینان نیز استفاده می گردد . مخلوطی از نیترات سدیم یا پتاسیم ، ذغال و گوگرد است . باروت یک ماده منفجره کندسوز (۱cm/s) است . بنابراین توانایی کمی در خرد کردن سنگ ها دارد .

۲- آنفو: یکی از مواد منفجره ای است که از ترکیب نیترات آمونیوم با سوخت مایع تشکیل می وشد . به علت ارزانی و ایمنی زیاد به طور وسیعی در معادن روباز استفاده می شود . از ترکیب ۵/۱۴٪ نیترات آمونیوم و۵/۵٪ سوخت مایع (گازوئیل) استفاده می شود . در این حالت تعادل اکسیژنی صفر است و کم و زیاد شدن سوخت سبب کاهش انرژی می شود و ماکزیمم انرژی در این حالت است . وزن مخصوص آن ۸۲/۰ تا ۹/۰ است . افزودن آلومینیم به آنفو سبب افزایش انرژی حرارتی آزاد شده آنفو می گردد . معایب آنفو شامل عدم مقاومت در مقابل آب ، قطر بحرانی زیاد ، وزن مخصوص کم و قدرت نسبی کم می باشد . برای استفاده از آنفو قطر چال باید بیش از ۵۱ میلیمتر باشد .

مواد منفجره سیال

۱- ژله ای : به دلیل نقیص عمده آنفو و برای از بین بردن این خصوصیات مواد منفجره ژله ای براساس آب و نیترات آمونیوم ساخته شده است ، این مواد در محیط مرطوب قابل استفاده اند و ایمنی کار با آنها بالا می باشد . ترکیب عمده این ماده منفجره عبارت است از : نیترات آمونیوم ، TNT ، صمغ ، آب ، Al است . Al به منظور افزایش قدرت ، TNT به منظور کاهش قطر بحرانی ، آب به منظور افزایش وزن مخصوص (ولی باعث کاهش انرژی می شود) صمغ هم نیترات آمونیوم را در مقابل آب مقاوم می کند .

۲-مواد منفجره امولسیون : امولسیون مخلوطی از اکسید کننده و سوخت است به صورتی که ذرات اکسید کننده در سوخت مایع شناورند . از جمله مواد منفجره امولسیون امولیت است . این مواد منفجره ضد آب هستند و سرعت انفجار بالایی دارند .

دینامیت

۱- دینامیت استرایت : تکمیل شده اولین نوع دینامیت است که از نیترو گلیسیرین ، نیترات سدیم ، مواد سوختی ، گوگرد و کربنات کلسیم تشکیل می شود . نام گذاری این نوع دینامیت ها بر اساس درصد نیترو گلیسیرین آنهاست .(دینامیت ۴۰٪)

۲- دینامیت آمونیاکی : دینامیت آمونیاکی همان نیترات آمونیوم است که به وسیله نیتروگلیسیرین حساس شده است . دینامیت آمونیاکی ارزان تر است چون $\frac{2}{5}$ دینامیت استرایتی نیتروگلیسیرین دارد . جاذب رطوبت است و در جایی استفاده می شود که رطوبت نباشد ، سرعت و دانسیته آن کمتر از دینامیت استرایت است .

۳-دینامیت استرایت ژلاتینی : شبیه به دینامیت استرایتی است ، فرق آن با دینامیت استرایتی در این است که نیتروگلیسیرین آن توسط نیترو سلولز کلوئیدی شده و به صورت ژله در آمده است . به همین علت مقاومت آن در مقابل آب خیلی بیش از دینامیت استرایت است . این دینامیت باتوجه به قدرت خردکنندگی بالا به عنوان خرج ته چال و همچنین کارهای لرزه نگاری استفاده می شود .

۴- ژلاتین انفجاری : این نوع دینامیت از ۹۱٪ نیتروگلیسیرین و نیترو سلولز با ازت کم که ترکیبات عمده آن است تشکیل شده است . ژلاتین انفجاری قوی ترین ماده منفجره صنعتی است . مقاومت آن در برابر آب خیلی بالاست . و آن را به عنوان ماده منفجره چاه نفت می شناسند . این ماده منفجره گران است .

۵- دینامیت آمونیاکی ژلاتینی : این نوع دینامیت شبیه دینامیت آمونیاکی است با این تفاوت که ژله حاصل از انحلال نیترو سلولز در نیتروگلیسیرین به آن اضافه شده است . ولی سرعت و مقاومت آن در برابر آب بیشتر از دینامیت آمونیاکی است .

۶-دینامیت نیمه ژلاتینی : نوعی دینامیت که خواص آن بین دو نوع دینامیت ژلاتینی و دینامیت آمونیاکی است . یعنی هم خاصیت ضدآب بودن دینامیت ژلاتینی و هم وضعیت ارزانی دینامیت آمونیاکی را دارد .

۷- دینامیت مجاز : در اکثر معادن ذغال سنگ ، گاز متان آزاد می گردد . زمانی که درصد آن در هوا به ۵ یا ۶ درصد برسد در درجه حرارت ۶۵۰c° منفجر می گردد . چون درجه حرارت حاصل از انفجار بیشتر از درجه حرارت انفجار متان است . از مواد منفجره ای استفاده می شود که خیلی سریع عمل کرده و تداوم شعله آن کم باشد و در درجه حرارت کمتری منفجر گردد . برای حصول این نتیجه مقدار بیشتری ذغال به منظور احتراق ناقص اضافه می گردد . ضمناً نمک طعام و کمی رطوبت برای جذب حرارت حاصله اضافه می شود . همچنین ماده منفجره را در لفاف هایی گذاشت که قسمت اعظم آن شعله خفه کن می باشد .

روش های آتشکاری

- فتیله اطمینان + چاشنی معمولی
- فتیله انفجاری
- نانل
- آتشکاری الکتریکی

فتیله اطمینان و چاشنی معمولی

یک سر فتیله اطمینان د ر داخل چاشنی قرار گرفته و چاشنی را در داخل فشنگ دینامیت یا هر نوع خرج دیگری قرار می دهند . عامل تحریک شعله است . که به وسیله فتیله اطمینان به چاشنی منتقل می شود . چاشنی منفجر و در اثر آن خرج اصلی منفجر می گردد .

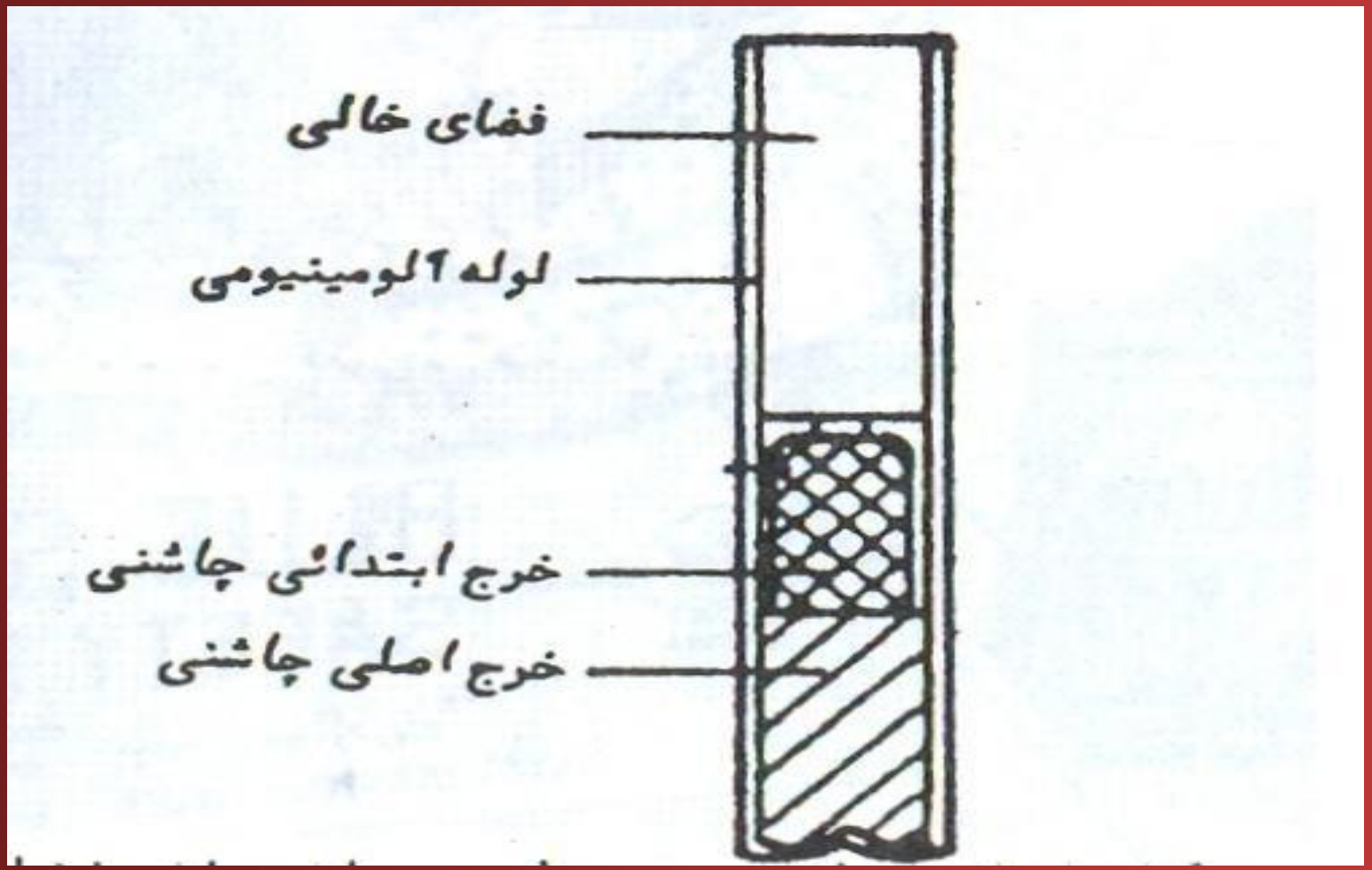
فتیله اطمینان :

از باروت که دور آن را الیاف کنف و پنبه گرفته است تشکیل شده است . برای جلوگیری از خراشیدگی و رطوبت پوششی از موم و صمغ به آن اضافه می کنند . معمولاً یک متر فتیله اطمینان در هوای آزاد بین ۸۰ تا ۱۰۰ ثانیه می سوزد . قطر فتیله اطمینان بین ۵تا ۶ میلیمتر است .

چاشنی معمولی :

چاشنی لوله ای استوانه ای شکل است (مسی یا آلومینیمی) که داخل آن فولمینات جیوه و ازتور سرب به کار می برند . چاشنی ها بر اساس وزن ماده منفجره طبقه بندی می شوند . که چاشنی شماره ۸ حاوی ۲ گرم ماده منفجره است .

چاشنی معمولی و ساختمان داخلی آن



مزایا و معایب فتیله اطمینان

- تنها مزیت آن سهولت کاربرد است .
- معایب :

۱- انفجار چال های زیر آب با فتیله اطمینان ممکن نیست .

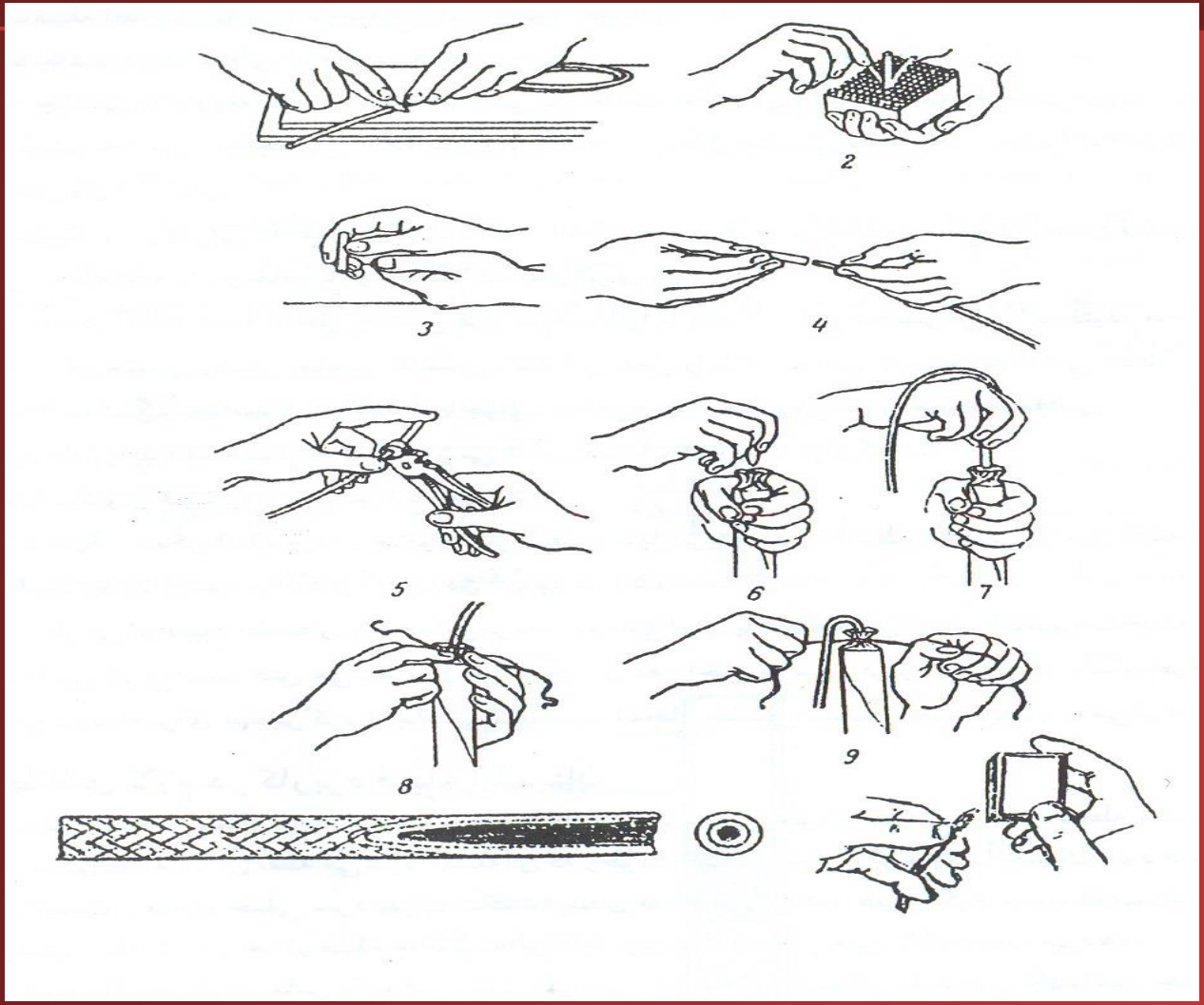
۲- در اثر سوختن مقدار زیادی گاز CO تولید می شود.

۳- تعداد چال هایی که با این روش منفجر می شوند محدود است .

۴- کنترل انفجار منحصراً با شمردن تعداد انفجارها میسر است .

۵- گاهی اوقات ممکن است دو یا چند چال با هم منفجر شوند .

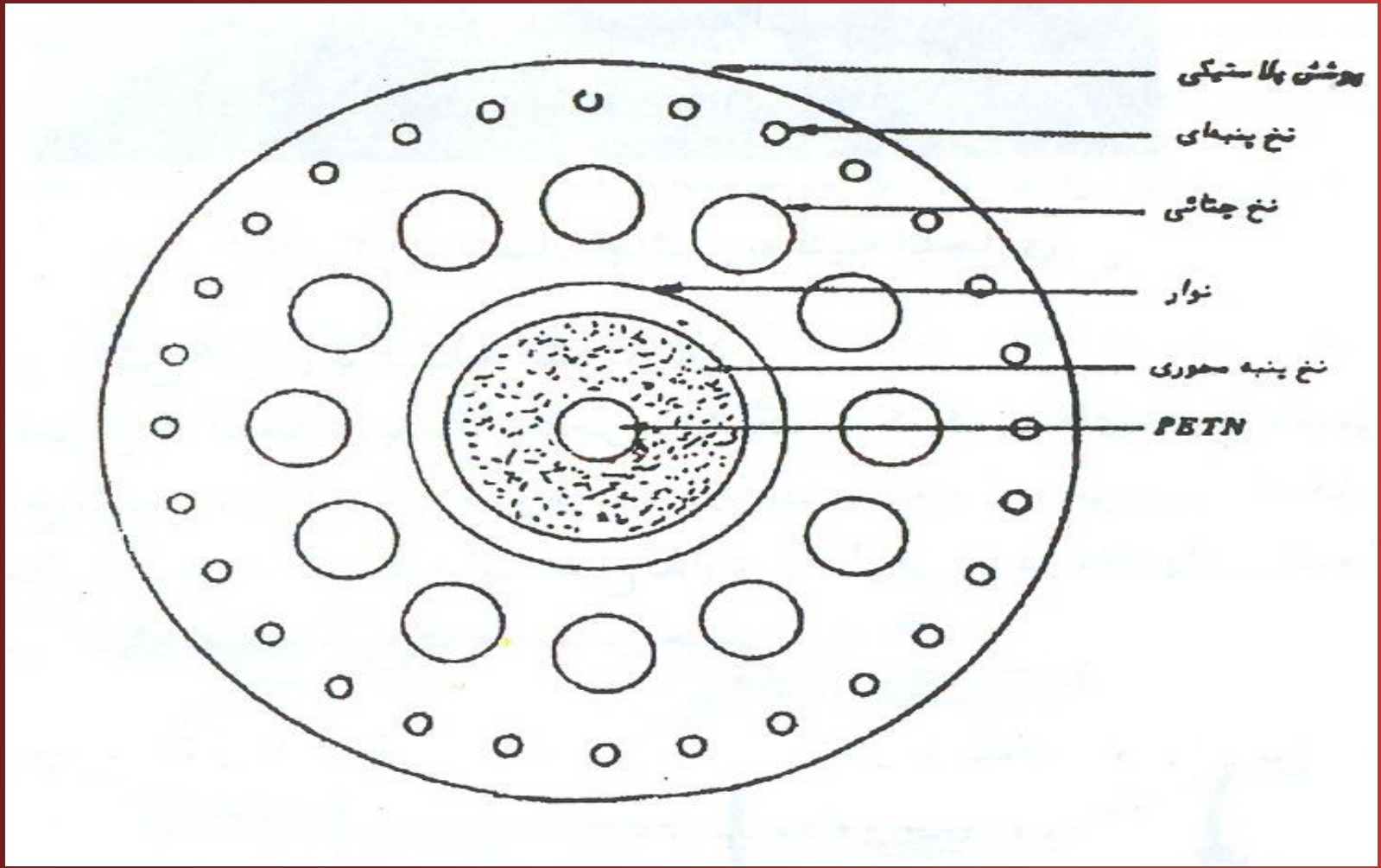
مراحل مختلف کاربرد فتیله اطمینان و چاشنی در آتشکاری



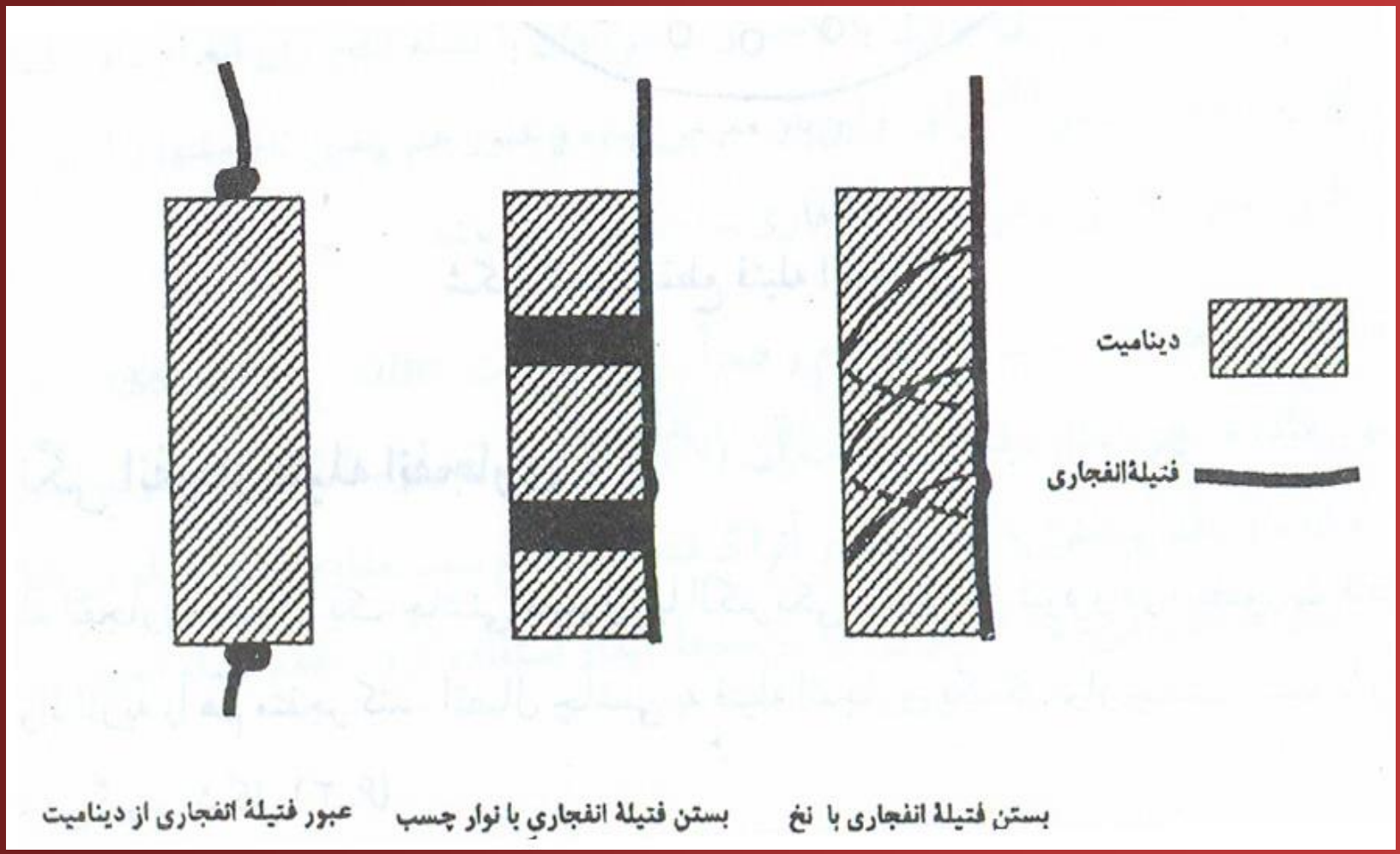
فتیله انفجاری

فتیله ای است محکم ، نرم ، ضد آب و با سرعت ۶۰۰۰ تا ۷۰۰۰ متر بر ثانیه منفجر می شود . ماده منفجره به کار رفته در آن پانتریت است که به وسیله لایه هایی از نخ پنبه پوشیده شده و یک پوشش پلاستیکی دور آن را گرفته است . فتیله انفجاری به کمک چاشنی معمولی یا الکتریکی منفجر می شود در این صورت قادر است سایر مواد منفجره را هم منفجر کند اتصال چاشنی به فتیله انفجاری به کمک چسب ، سیم یا نوار چسب صورت می گیرد . اگر چاشنی را وسط فتیله ای به طول ۲ متر ببندیم تنها یک متر آن منفجر خواهد شد و این یک متر آن قسمتی از فتیله است که انتهای چاشنی به آن سمت باشد .

مقطع فتیله انفجاری



اتصال فتیله انفجاری به فشنگ ماده منفجره

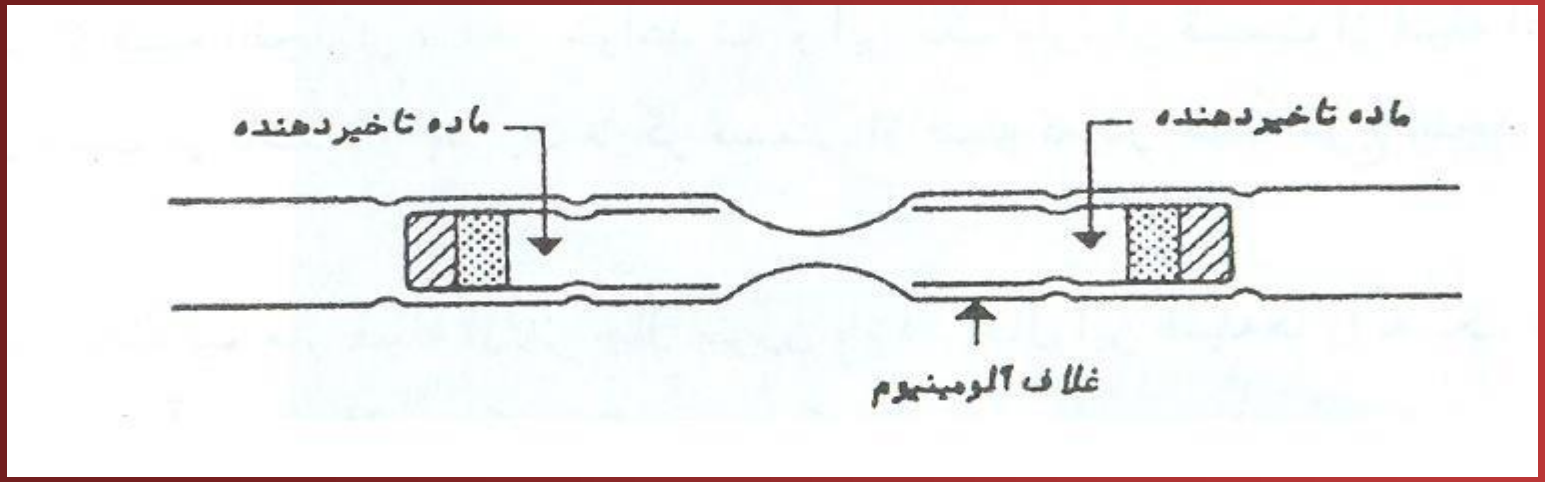


رله های تاخیری در روش فتیله انفجاری

تاخیر دهنده های فتیله انفجاری دوسره هستند یعنی از هر طرف که موج انفجار وارد شود از سمت دیگر با تاخیر خارج خواهد شد .

هرکجا که نیاز به تاخیر داشته باشد ، فتیله را قطع می کنند.

یک سمت فتیله را در یک طرف چاشنی تاخیری جا داده و با انبردست مخصوص آن را محکم می کنند . سمت دیگر فتیله را در طرف دیگر چاشنی جا داده و با انبردست آن را محکم می کنند . برای تماس کامل فتیله انفجاری با ماده منفجره آن را به کمک میله ای چوبی ،مسی، برنجی سوراخ کرده ،فتیله را از آن عبور داده و در انتهای فتبله گره می زنیم این فشنگ را به ته چال فرستاده و بقیه عملیات خرج گذاری را ادامه می دهند فتیله به بقیه چال ها تماس جانبی دارد .



مزایا و معایب فتیله انفجاری

- معایب

۱- سر و صدای زیاد هنگام انفجار

۲- آسیب زدن به گل گذاری چال قبل از انفجار خرج اصلی

۳- انفجار چال از دهانه به ته چال

۴- خرج اصلی چال به سرعت نهایی انفجار نمی رسد

۵-امکان قطع فتیله در اثر تا شدن

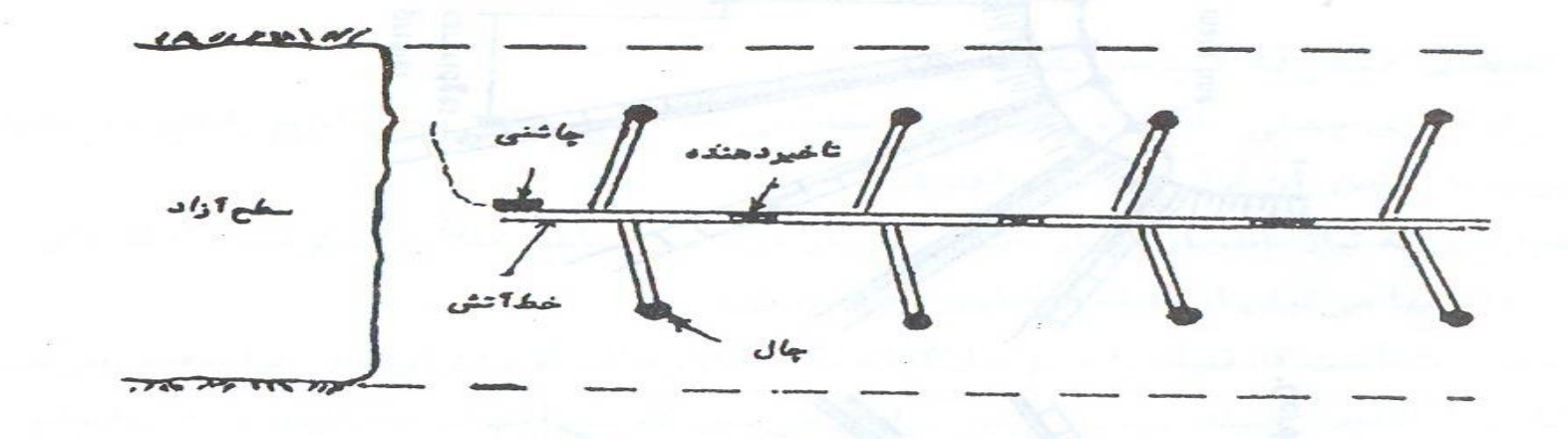
- مزایا

۱- سهولت کاربرد

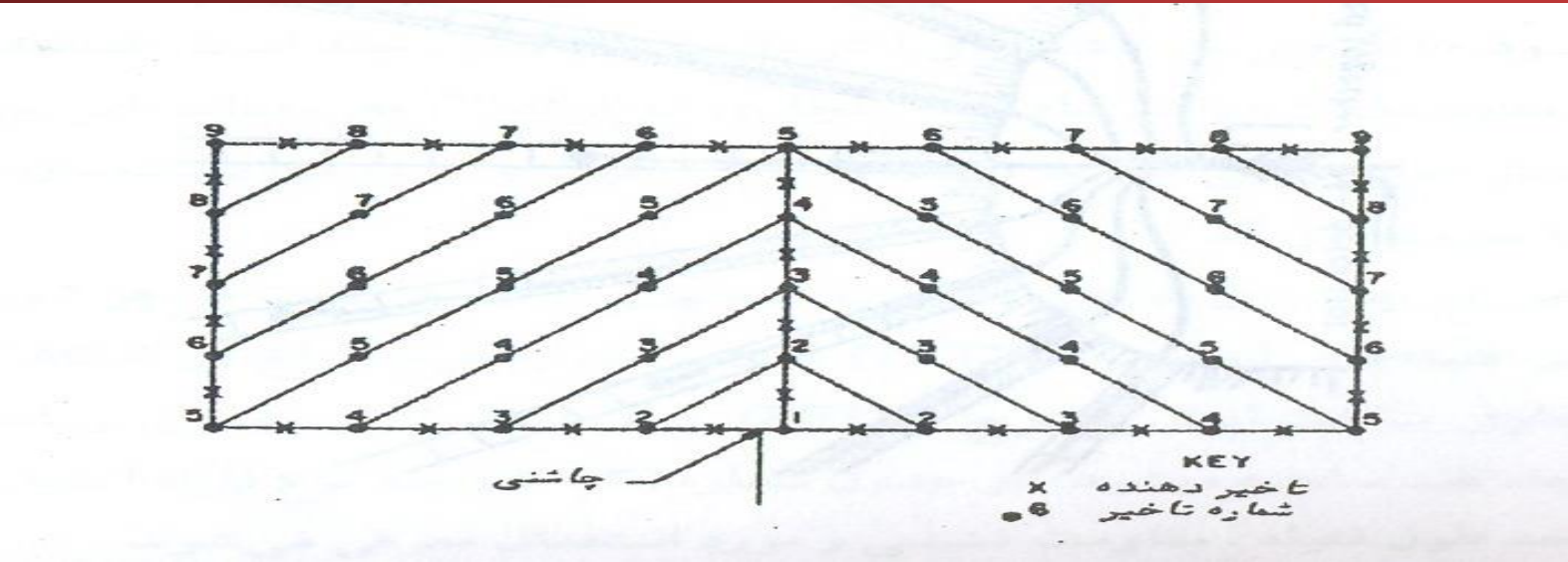
۲- هرجا که به علت وجود صاعقه و جریان های ولگرد امکان استفاده از چاشنی برقی نباشد ، فتیله اطمینان مورد استفاده قرار می گیرد.

۳- تعداد تاخیرها با چاشنی برقی محدود است در صورتی که با تاخیر دهنده فتیله انفجاری به هر تعداد و به هر شکل که لازم باشد تاخیر عملی است .

استفاده از فتیله انفجاری و تاخیردهنده در حفر ترانشه



استفاده از فتیله انفجاری در آتشباری روباز



سیستم نانل

- این سیستم روش آتشباری غیر الکتریکی است که به وسیله کمپانی نیترونوبل سوئد در سال ۱۹۷۴ ابداع شد . لوله نانل از جنس پلاستیک محکم ساخته شده است و قطر خارجی آن 3mm و قطر داخلی آن 2mm است ، داخل لوله مقداری از مواد منفجره به میزان ۰.۰۲ گرم در متر است . موج انفجار با سرعت 200m/s منتقل می شود .

چاشنی نانل

۱- نانل GT/MS : این چاشنی برای انفجار تاخیری در سطح زمین ، زیرزمین و زیر آب به کار می رود

شماره چاشنی : ۳ تا ۲۰

زمان تاخیر : ۷۵ تا ۵۰۰ میلی ثانیه

فاصله زمان تاخیر دو چاشنی متوالی: ۲۵ میلی ثانیه

۲- نانل Unidet : شامل چاشنی هایی هستند که در چال قرار داده می شوند و رابط هایی که در سطح زمین در مدار بسته می شوند و می توان تاخیرهای متعددی را در انفجار اجرا کرد .

۳- نانل GT/T : این نوع چاشنی برای آتشکاری د رتونل به کار می رود .

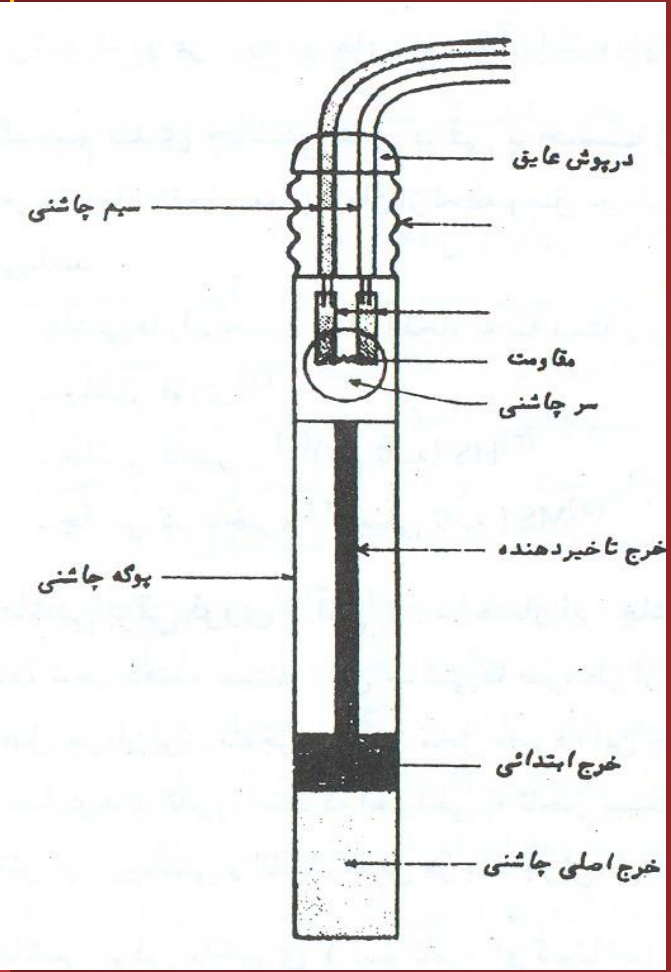
خرج گذاری و انفجار نانل

- چاشنی نانل داخل یکی از فشنگ های خرج گذاشته می شود و در ته چال قرار داده می شود لوله پلاستیکی نانل در این حالت تا خارج چال ادامه دارد .
- لوله نانل که در بیرون چال قرار دارد تا شده و داخل رابط پلاستیکی قرار داده می شود . نانل را به کمک چاشنی برقی و یا فتیله انفجاری و یا تفنگ مخصوص آن منفجر می کنند .

مزایای سیستم نانل

1. در برابر فرکانس امواج رادیویی سالم می ماند.
2. به ضربه ، شک و اصطکاک حساس نیست .
3. آتش نمی گیرد .
4. ضد آب است .
5. در مقابل خراشیدگی مقاوم است .
6. هرکجا که استفاده از چاشنی برقی مجاز نباشد کاربرد نانل اشکالی ندارد .

آتشکاری برقی



- این روش در اصول مانند سایر روش هاست و تفاوت آن در نوع چاشنی به کار رفته است . چاشنی مصرفی به کمک جریان برق فعال می شود و انفجار آن موجب انفجار خرج اصلی می گردد .

چاشنی برقی:

یک لوله استوانه ای مسی یا آلومینیمی است که یک طرفش بسته است و از طرف دیگرش دو رشته سیم خارج می شود .

اجزای چاشنی برقی

1. خرج اصلی : ماده منفجره قوی مثل PETN ، ازتور سرب ، فولمینات جیوه
2. خرج ابتدایی : مانند ازتور سرب
3. بخش تاخیری : ماده ای سوزا که برای انواع تاخیرهای مختلف دارای طول متفاوت است .
4. سر چاشنی : بخشی از چاشنی که سوختنی است و از مواد آتش زا و مقاومت الکتریکی تشکیل شده است .
5. مقاومت الکتریکی : سیمی است نازک که به دو سر سیم رابط متصل است . سیمی است که با عبور جریان برق گرم می شود . گرم شدن آن سبب آتش گرفتن مواد سوختنی سرچاشنی می شود . مقاومت سرچاشنی از ۰.۹ تا ۱.۶ اهم متغیر است و جریان به شدت نیم آمپر به مدت ۰.۰۰۱ ثانیه لازم است تا سرچاشنی آتش بگیرد .

انواع چاشنی برقی

چاشنی ها بر حسب زمان انفجار به سه دسته تقسیم می شوند :

1. چاشنی فوری
2. چاشنی تاخیری (نیم ثانیه HS)
3. چاشنی کم تاخیری (میلی ثانیه MS)

چاشنی فوری : در این نوع چاشنی بخش تاخیری وجود ندارد این نوع چاشنی بعد از وصل جریان برق منفجر می شود . این چاشنی در شکستن قطعات سنگ و آتشباری ثانویه که احتیاج به تاخیر ندارد کاربرد دارد .

چاشنی تاخیری و کم تاخیری : فاصله تاخیری دو چاشنی متوالی ۰.۵ ثانیه است . زمان سوختن آن (بخش تاخیری) زمان تاخیر چاشنی است . فاصله زمانی انفجار در چاشنی های کم تاخیری ۱۰ تا ۵۰ میلی ثانیه است . در معادن گرد ذغال دار و گاز دار بهتر است از چاشنی کم تاخیری استفاده شود .

آتشباری تاخیری و کم تاخیری دارای مزایای زیر است :

۱- لرزش کم ۲- خرد شدن خوب ۳ - کنترل پرتاب سنگ ۴- عقب زدگی کم

مکانیسم آتش گرفتن چاشنی برقی

- از لحظه اتصال جریان برق به چاشنی تا زمان عمل چاشنی دو فاصله زمانی مشخص و متمایز از یکدیگر وجود دارد :

1. وصل جریان برق تا آتش گرفتن سرچاشنی t_i
2. آتش گرفتن سرچاشنی تا انفجار چاشنی t_c

برای اینکه آتش گرفتن سرچاشنی تحقق پیدا کند لازم است که مقاومت مربوطه تا درجه حرارت معینی گرم شود . مدت زمانی برای این کار لازم است . زمان لازم برای رسیدن به درجه حرارت مورد نظر با انرژی الکتریکی نسبت مستقیم دارد .

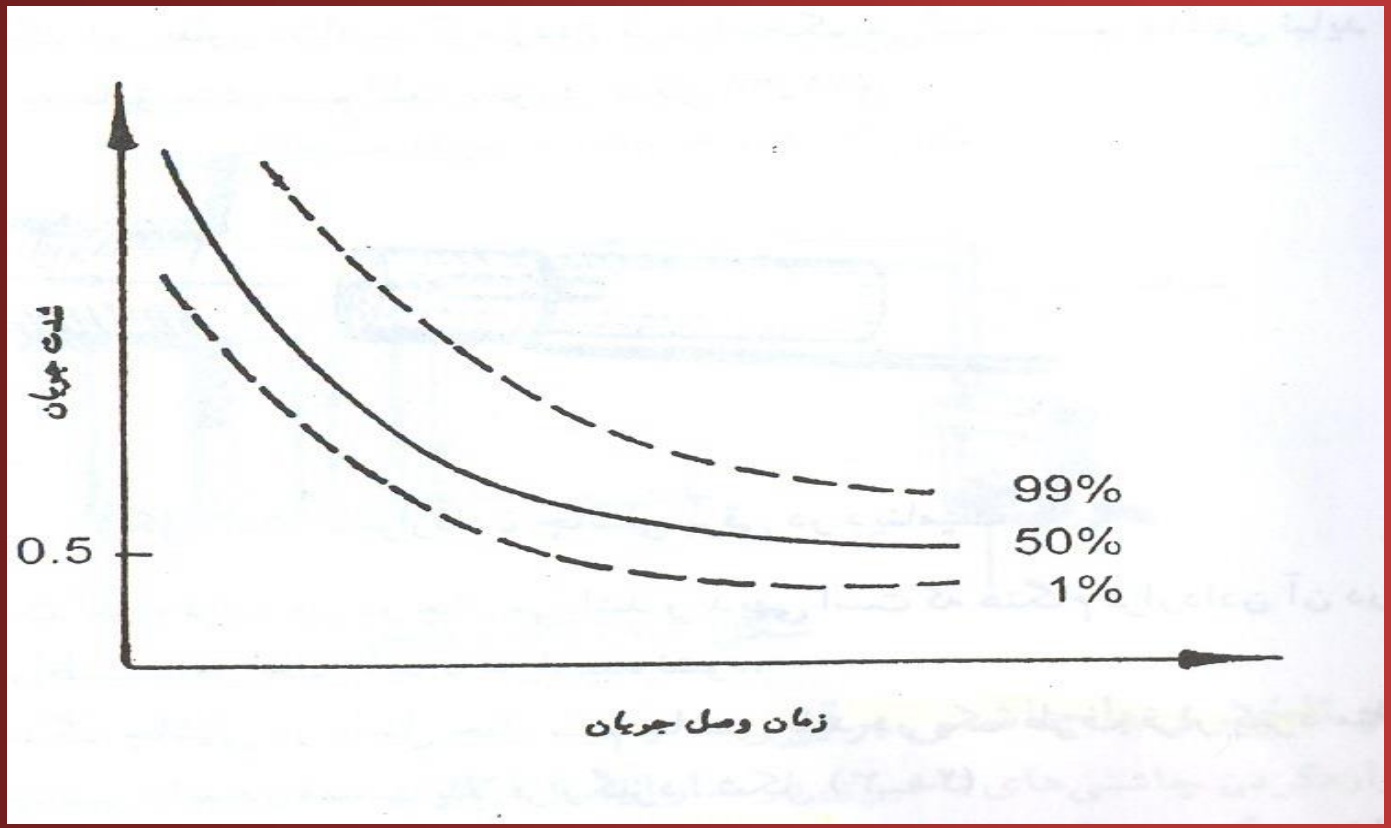
از آنجا که انرژی الکتریکی از رابطه زیر به دست می آید :

$$E = RI^2t$$

نقش شدت جریان به خوبی در آتش گرفتن چاشنی مشخص است . اگر شدت جریان به حد لازم نرسد چاشنی عمل نکرده و انفجار حاصل نمی شود.

$t_c B + t_i B \rangle t_i A$ ⟶ مشکلی نیست

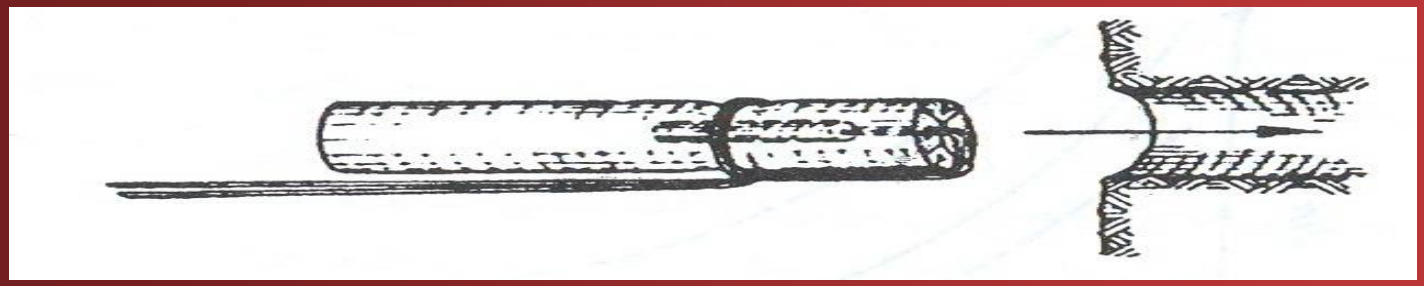
$t_c B + t_i B \langle t_i A$ ⟶ چاشنی A عمل نمی کند



احتمال انفجار چاشنی های برقی

خرج گذاری با چاشنی برقی

دینامیت را با میله چوبی سوراخ کرده و چاشنی را داخل آن می گذارند. سیم چاشنی را یک دور به دور دینامیت گره زده و گره را محکم می کنند ، این دینامیت آماده قرار دادن در چال می باشد .



قرار دادن چاشنی برقی در دینامیت

اگر چال افقی باشد سیم در قسمت بالا قرار می گیرد . پس از خرج گذاری چال ها کلیه سیم های چاشنی ها را به هم وصل کرده و به کمک دو قطعه سیم آن ها را به منبع برق وصل می نماییم .

خرج گذاری دینامیت چاشنی دار

به هم بستن چاشنی های برقی

چاشنی ها را به یکی از صورت های زیر به می بندند :

۱- سری ۲- موازی ۳- سری موازی

۱-مدار سری :

همه چاشنی ها را به صورت سری به هم وصل می کنند و این امر بسیار رایج است . در این طریقه یک سیم از چاشنی به سیمی از چاشنی مجاور و سیم دوم چاشنی اخیر به سیم اول چاشنی سوم متصل می شود و این کار ادامه پیدا می کند تا در نهایت دو رشته سیم یکی از چاشنی اول و یکی از چاشنی آخر باقی می ماند ، سپس با سیم های رابط و آتش آن را به منبع برق وصل می کنند .

$$R = n_0 r + R_1 + R_2$$

$$V = RI$$

$$P = RI^2$$

$$E = RI^2 t$$

$$e = \frac{E}{n}$$

r مقاومت چاشنی

n_0 تعداد چاشنی

R_1 مقاومت سیم رابط

R_2 مقاومت سیم آتش

V اختلاف پتانسیل الکتریکی(V)

I شدت جریان مدار (A)

E انرژی الکتریکی (mj)

t زمان اعمال جریان(ms) ، 0.004sفرض می شود.

P توان الکتریکی (وات)

e انرژی الکتریکی لازم برای یک چاشنی (میلی ژول)

توجه :

برای هر سری چاشنی ۱.۵ آمپر در نظر گرفته می شود.

معمولا تعداد چاشنی ها بیش از ۵۰ عدد در نظر گرفته نمی شود .

۲- مدار موازی :

در این حالت یک سیم چاشنی به یک طرف مدار و سیم دیگر چاشنی به طرف دیگر مدار بسته می شود .این اتصال کمتر مورد استفاده قرار می گیرد .

برای هر چاشنی ۰.۶ آمپر نیاز است . مدار موازی محافظ خوبی در برابر جریان های ولگرد است . زیرا شدت جریان باید زیاد باشد تا جریان کافی به مدار برسد .

r مقاومت چاشنی

n تعداد چاشنی

R_1 مقاومت سیم رابط

R_2 مقاومت سیم آتش

V اختلاف پتانسیل الکتریکی(V)

I شدت جریان مدار (A)

E انرژی الکتریکی (mj)

t زمان اعمال جریان(ms) ، 0.004sفرض می شود.

P توان الکتریکی (وات)

e انرژی الکتریکی لازم برای یک چاشنی (میلی ژول)

i شدت جریان هر مدار

$$R = \frac{r}{n} + R_1 + R_2$$

$$I = ni$$

$$V = RI$$

$$P = RI^2$$

$$E = RI^2 t$$

$$e = \frac{E}{n}$$

۳- مدار سری موازی یا مختلط :

در این نوع مدار چند چاشنی به صورت سری بسته می شوند و چند سری به صورت موازی به هم متصل می گردند .مقاومت ها بایستی همانند سایر مدارها با هم مساوی باشد ، شدت جریان برای هر مدار ۱.۵ تا ۲ آمپر است .

$$R = \frac{nr}{N} + R_1 + R_2$$

$$I = Ni$$

$$V = RI$$

$$P = RI^2$$

$$E = RI^2 t$$

$$e = \frac{E}{n.N}$$

$$N = \sqrt{\frac{nr}{R_1 + R_2}}$$

r مقاومت چاشنی

n تعداد چاشنی در هر مدار سری

N تعداد مدارها

R_1 مقاومت سیم رابط

R_2 مقاومت سیم آتش

V اختلاف پتانسیل الکتریکی(V)

I شدت جریان مدار (A)

E انرژی الکتریکی (mj)

t زمان اعمال جریان(ms) ، 0.004sفرض می شود.

P توان الکتریکی (وات)

e انرژی الکتریکی لازم برای یک چاشنی (میلی ژول)

i شدت جریان هر مدار

منبع برق در آتشکاری برقی

۱-پیل واکومولاتور :

با آن تعداد محدودی چال را می توان منفجر کرد . همچنین نیروی محرکه باطری به مرور زمان ضعیف می گردد .

۲-جریان برق صنعتی :

معایب : سیم کشی جداگانه ، عایق بندی و سهولت کاربرد و حمل و نقل ماشین های آتش کن را ندارد .

مزایا: امکان آتشباری از راه دور امکان پذیر است و انرژی لازم به حد کافی در اختیار خواهد بود .

۳-ماشین آتش کن :

برای مدار سری و سری موازی قابل استفاده هستند ولی برای مدار موازی کاربرد ندارد زیرا شدت جریان کافی تولید نمی کند .مکانیسم کار این ماشین ها به صورت های زیر است :

الف)در اثر حرکت یک دسته ژنراتور به کار افتاده و تا وقتی که شدت جریان به ماکزیمم خود نرسد جریان وارد مدار نمی شود . این نوع ماشین ها به علت کمی ظرفیت جای خود را به ماشین C.D داده اند .

ب) با گردش دسته مخصوص جریان برق تولید شده در یک خازن ذخیره می شود و با فشار دادن دکمه جریان وارد مدار می شود . (C.D)

ج)برق مورد نیاز از باطری تامین و در یک خازن ذخیره می گردد و با فشار دادن دکمه ای جریان برق از خازن وارد مدار می گردد . (C.D)

محاسبات مربوط به ماشین های C.D

$$E_0 = \frac{1}{2} C V^2$$

$$E_d = E_0 (1 - e^{-\frac{0.01}{RC}})$$

$$I = \sqrt{\frac{E_d}{Rt}}$$

E_0 انرژی ذخیره شده (ژول)

C ظرفیت (فاراد)

V اختلاف پتانسیل الکتریکی (ولت)

E_d انرژی وارد شده به مدار

R مقاومت کل مدار(اهم) به علاوه ماشین انفجار

I شدت جریانی که وارد مدار می شود .

آزمایش مدار انفجار

وسایل مورد استفاده برای آزمایش مدار عبارت است از:

1. مدار سنج : نوعی اهم متر است که نشان می دهد مدار در نقطه ای قطع است یا مدار بسته است . مدار سنج دارای باطری است ، جریانی را داخل مدار می فرستد که صدها بار کمتر از مقداری است که برای انفجار چاشنی لازم است . قبل از خرج گذاری یک یه یک چاشنی ها با مدار سنج آزمایش می شود اگر عبور جریان مشاهده نشود دلیل بر خرابی چاشنی است .
2. مقاومت سنج یا اهم متر: بعد از تکمیل مدار با اهم سنج مقاومت را اندازه می گیرند ، باید مقاومت سنجیده شده با آنچه از طریق محاسبه به دست آمده برابر باشد ، اختلاف تا ۵٪ قابل قبول است . اگر مقاومت اندازه گیری شده بیش از مقدار محاسبه شده باشد به این معنی است که تعداد چاشنی ها در محاسبه درست به حساب نیامده اند یا اتصالی ها قطع است . اگر مقاومت اندازه گیری شده کمتر باشد ، همه چاشنی ها وصل نشده اند .
3. نشت سنج : با این دستگاه معلوم می شود که آیا مدار نسبت به زمین عایق است یا خیر . یک میله فلزی در زمین فرو کرده و یک سر نشت سنج را به زمین و سر دیگر آن را به مدار وصل می کنند اگر جریانی به وجود آمده باشد ، نشت سنج آن را نشان می دهد .

مزایا و معایب آتشباری الکتریکی

مزایا:

1. هر چاشنی و کلیه مدار انفجار قبل از آتشکاری قابل بررسی است .
2. امکان آتشباری تاخیری و کم تاخیری وجود دارد .
3. در چال های بلند ، زیر آب ،کارهای ژئوفیزیکی و معادن ذغال سنگ توصیه می شود از چاشنی برقی استفاده شود .
4. پس از اینکه جریان وارد مدار شد کلیه چاشنی ها شروع به کار می کنند . و بر حسب شماره تاخیر به نوبت منفجر خواهدد شد . قطع جریان برق پس از آن هیچ گونه ایرادی در کار چاشنی ها نخواهد داشت .

معایب:

1. الکتریسیته ساکن
2. تشعشع الکترومغناطیسی
3. جریان ولگرد
4. صاعقه

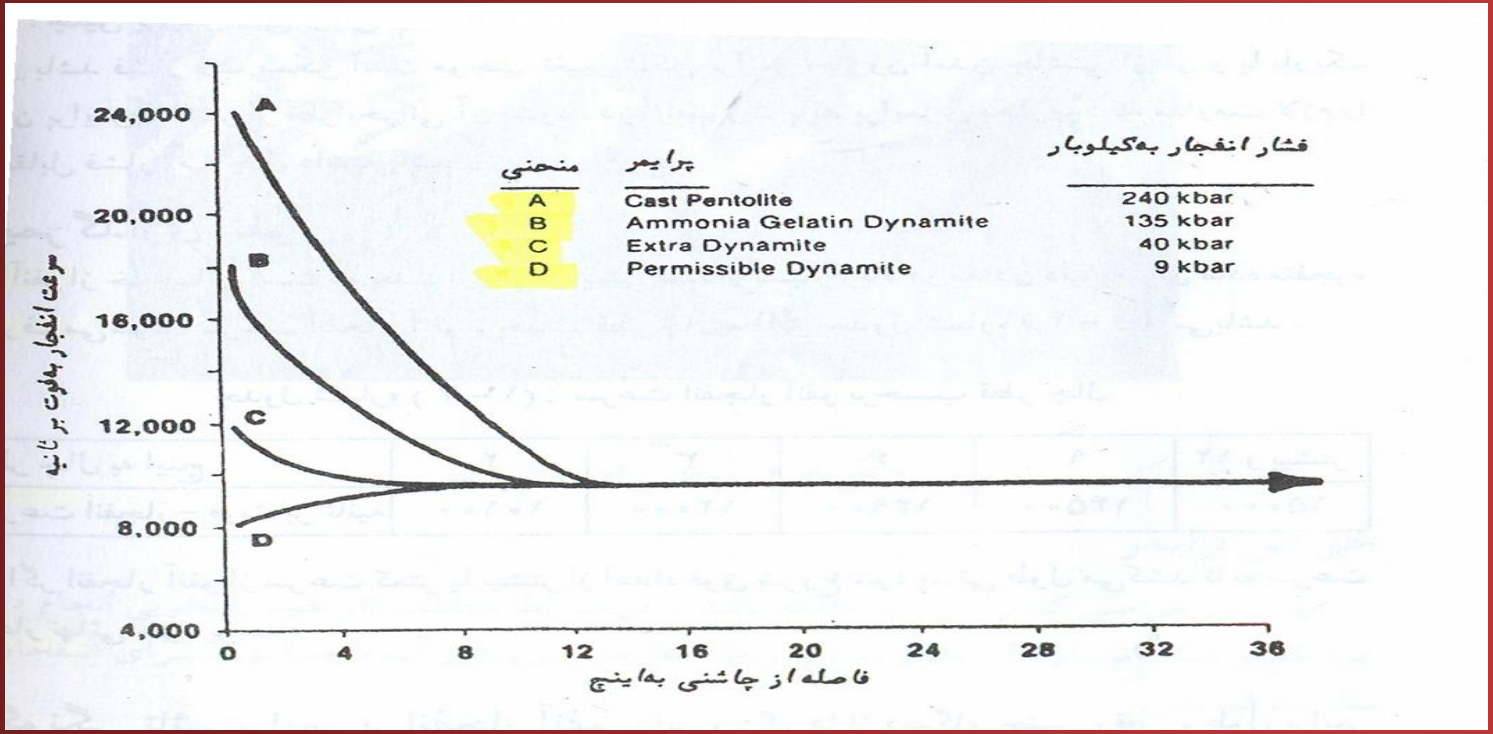
پرایمر و بوستر

- غیر از چاشنی ، فتیله و مواد منفجره صنعتی برای تقویت انفجار اجزائی به نام پرایمر و بوستر به کار می برند . هر چه چاشنی مصرف شده قوی تر باشد انفجار خرج اصلی با کیفیت بهتر صورت می گیرد .
- این موضوع در مورد ماده منفجره ای مثل آنفو مشهود است . پرایمر چاشنی تقویت شده است . نوعی ماده منفجره است که مسلح یه چاشنی است و به جای چاشنی کار گذاشته می شود . پس از اعمال تحریک چاشنی منفجر شده و موجب انفجار پرایمر می شود . انفجار پرایمر موجب نفجار خرج چال می گردد .

چگونگی تاثیر قطر ، جنس و ابعاد پرایمر بر انفجار آنفو

- جنس پرایمر

در این حالت چهار نوع پرایمر با وزن مساوی و قطر نزدیک ۳ اینچ مصرف شده و سرعت انفجار اندازه گیری شده است . ملاحظه می گردد که هرچه ماده منفجره تشکیل دهنده پرایمر قوی تر باشد فشار انفجار قوی تر و سرعت انفجار بیشتر است .

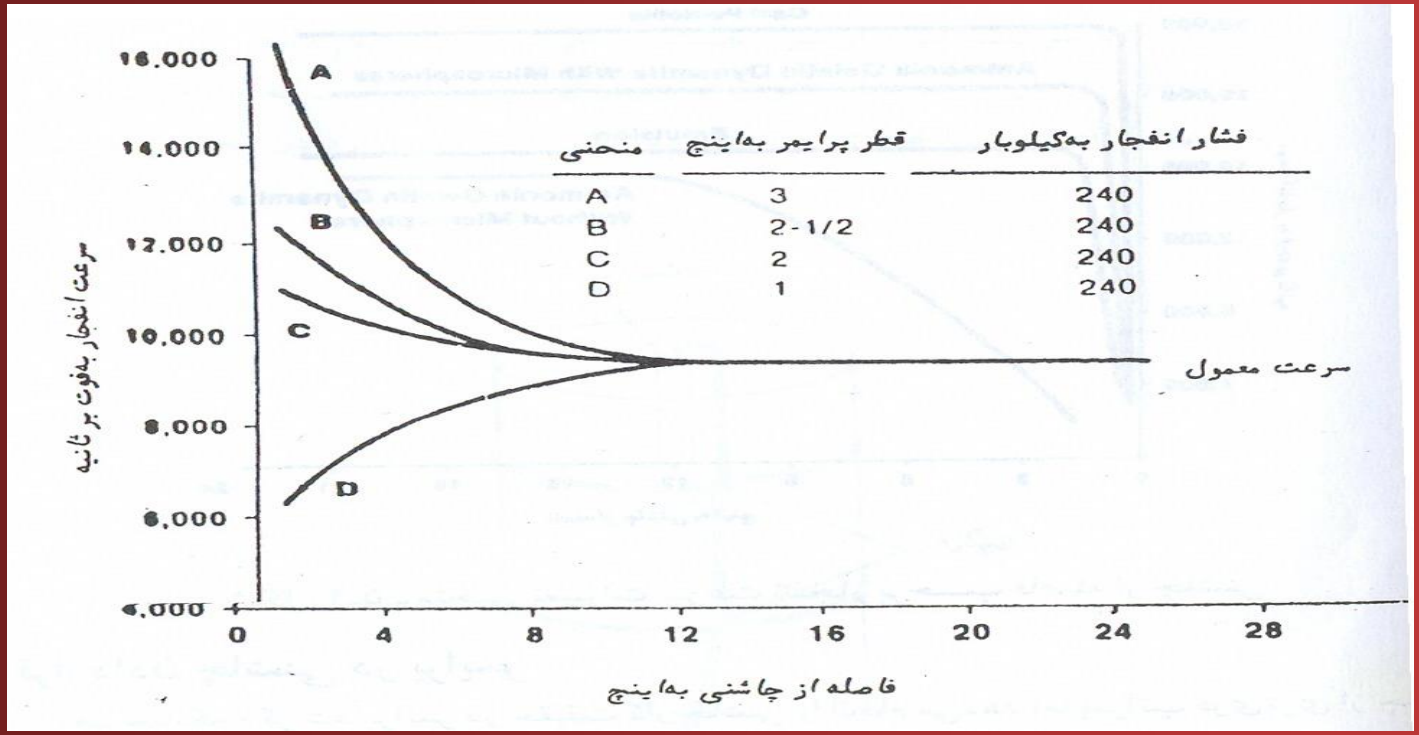


سرعت انفجار آنفو بر حسب نوع خرج پرایمر

چگونگی تاثیر قطر ، جنس و ابعاد پرایمر بر انفجار آنفو

- قطر پرایمر

قطر پرایمرهرچه به قطر چال نزدیک تر باشد انفجار اثر بهتری خواهد داشت .
برای تعیین اثر یک نوع پنتولیت با قطرهای ۳، ۲.۵،۲ و۱ اینچ در چال با قطر ۳ اینچ و خرج آنفو در نظر گرفته شده است .



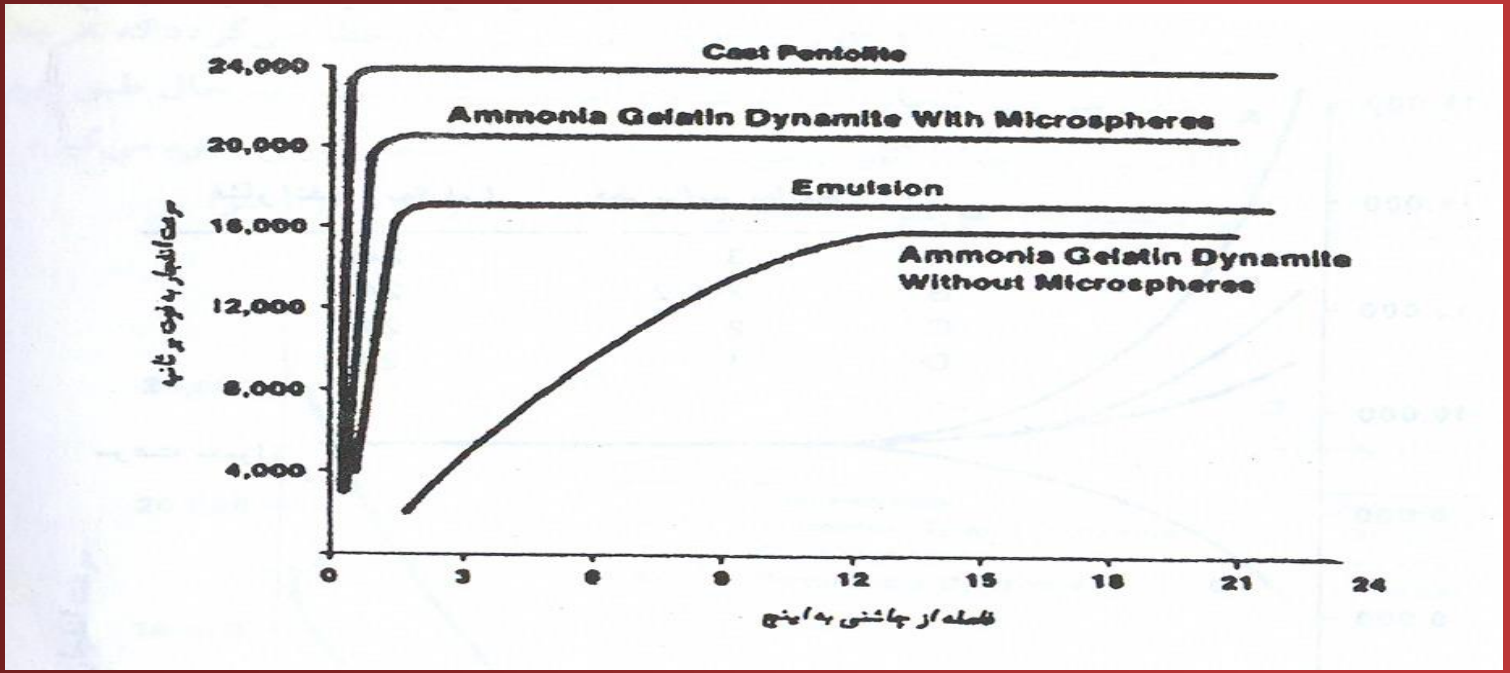
منحنی	قطر پرایمر به‌اینچ	فشار انفجار به‌کیلوبار
A	3	240
B	2-1/2	240
C	2	240
D	1	240

سرعت انفجار آنفو بر حسب قطر پرایمر

چگونگی تاثیر قطر ، جنس و ابعاد پرایمر بر انفجار آنفو

- طول پرایمر

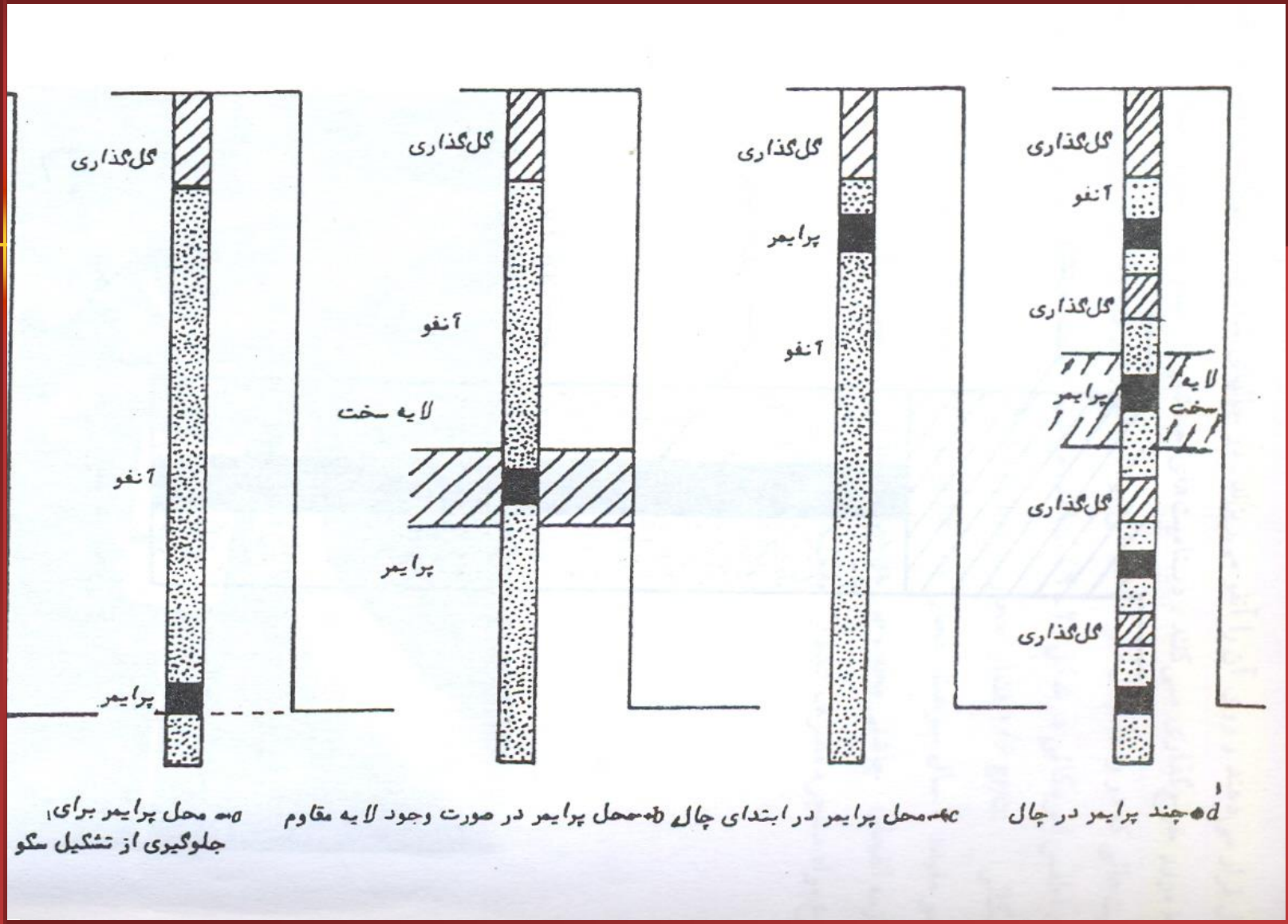
در این حالت چهار نوع ماده منفجره ی پنتولیت ، دینامیت آمونیاکی ژلاتینی با حباب هوا ، امولسیون ، و دینامیت آمونیاکی ژلاتینی بدون حباب هوا ، در سه نوع ماده منفجره اولیه در طول کمتر از ۳ اینچ به ماکزیمم سرعت انفجار خود می رسند ، در حالیکه این طول در مورد ماده منفجره آخر ۱۲ اینچ است .



منحنی تغییرات سرعت انفجار بر حسب فاصله از چاشنی

محل پرایمر در چال

- برای عملکرد مطلوب یک انفجار ، سنگ انتهای چال بیش از سایر جاها نیاز به انرژی دارد . سنگ انتهای چال بیشترین مقاومت را دارد . پرایمر گذاری صحیح سبب می شود که سکو در پای پله به وجود نیاید. چنانچه لایه مقاوم در چال موجود باشد بهتر است پرایمر در آنجا کار گذاشته شود .



محل پرایمر بر حسب شرایط چال

بوستر

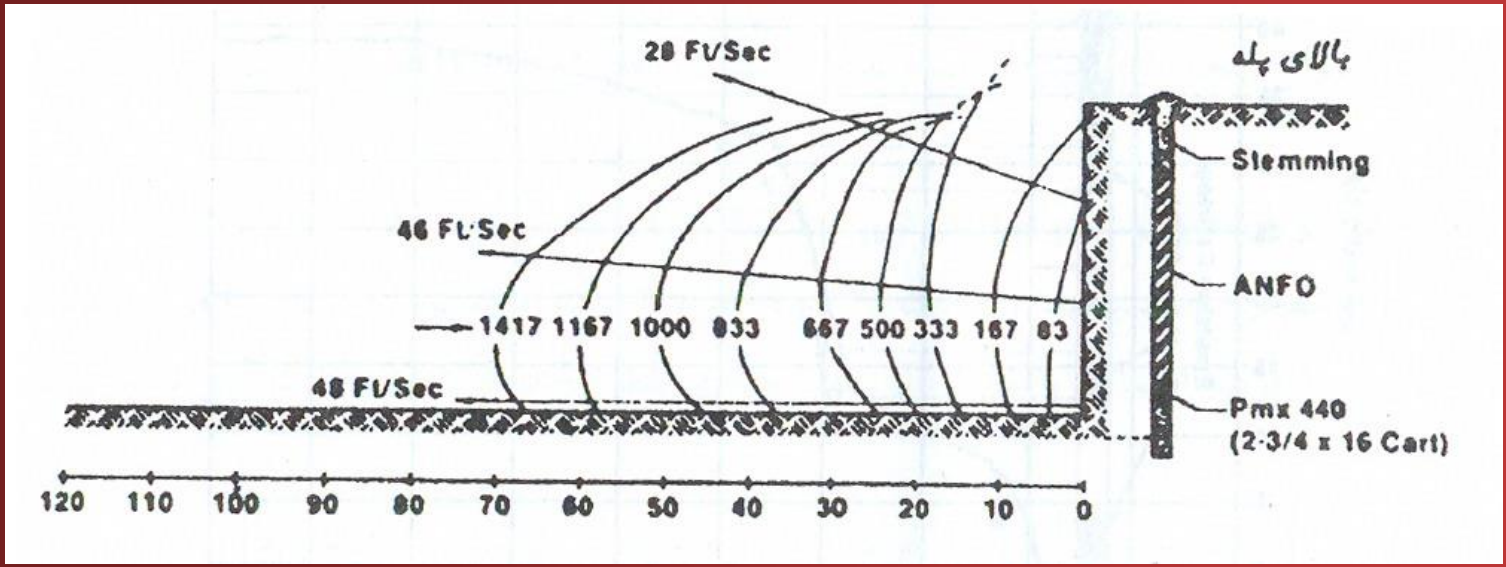
بوستر نوعی ماده منفجره است که با خرج اصلی فرق دارد و تقویت کننده خرج اصلی هر چال است . بوستر چاشنی ندارد و برحسب شرایط کار بین خرج چال معمولا در چند نقطه به کار می رود . در ایران رسم بر این است که در چال هنگام خرج گذاری مقداری دینامیت را همراه چاشنی ته چال قرار می دهند و روی آن آنفو می ریزند . در چال های بلند چند فشنگ دینامیت نیز همراه با آنفو به مرور خرج گذاری می کنند . دینامیت های چاشنی دار پرایمر و دینامیت هایی که در وسط چال کار گذاشته می شوند حکم بوستر را دارند . برای کمبود فشار چال از بوستر استفاده می شود . وجود پرایمر و بوستر سبب افزایش حرکت بار سنگ می شود ، درنتیجه عقب زدگی کمتر می شود زیرا حرکت توده بارسنگ باعث می شود که گاز موجود در چال آزاد شده و به دیواره های اطراف کمتر فشار می آورد .

اثر پرایمر و بوستر روی سرعت انفجار

- چند چال با مشخصات یکسان از قبیل نوع سنگ ، ضخامت بارسنگ ، عمق چال انتخاب و به طرق مختلف خرج گذاری و منفجر شده اند سرعت حرکت توده بارسنگ در هر مورد تعیین و منحنی های مربوط مشخص گردیده اند .

الف) پرایمر : امولسیون به قطر ۲.۷۵ اینچ و طول ۱۶ اینچ و قدرت نسبی ۱.۵

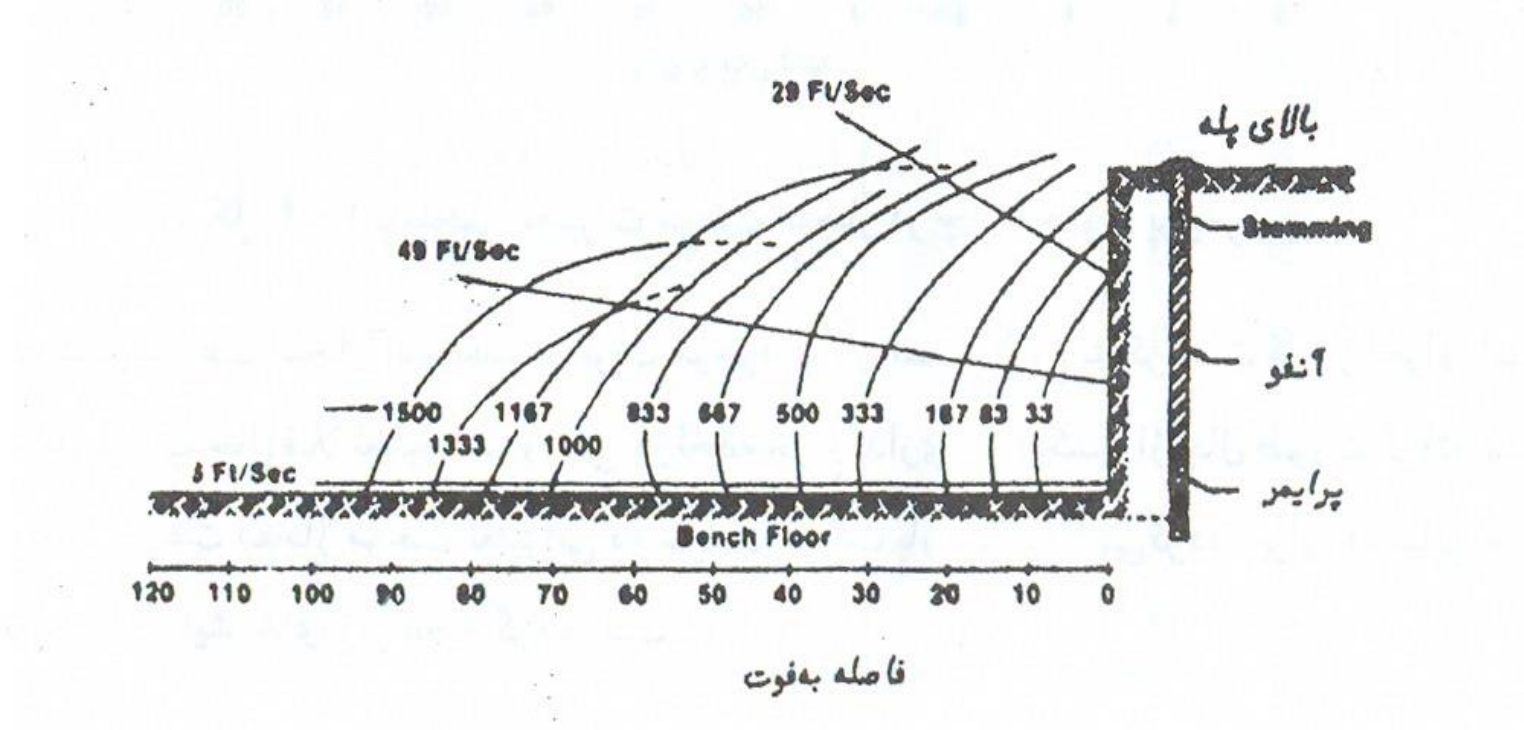
خرج اصلی :آنفو



سرعت نقاط مختلف بارسنگ پس از انفجار

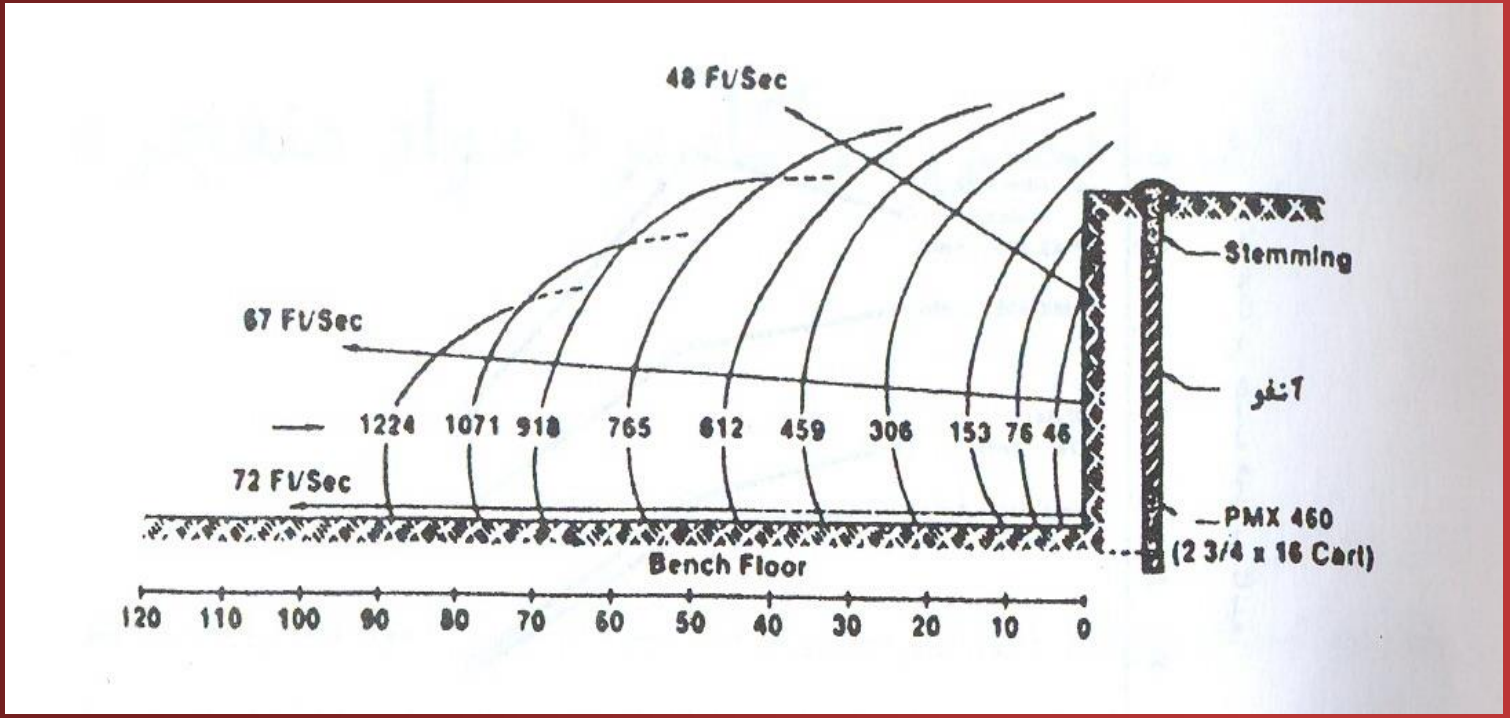
ب) پرایمر : از نوع ژله ای به قطر ۲.۷۵ اینچ و طول ۱۶ اینچ

خرج مصرفی : آنفو



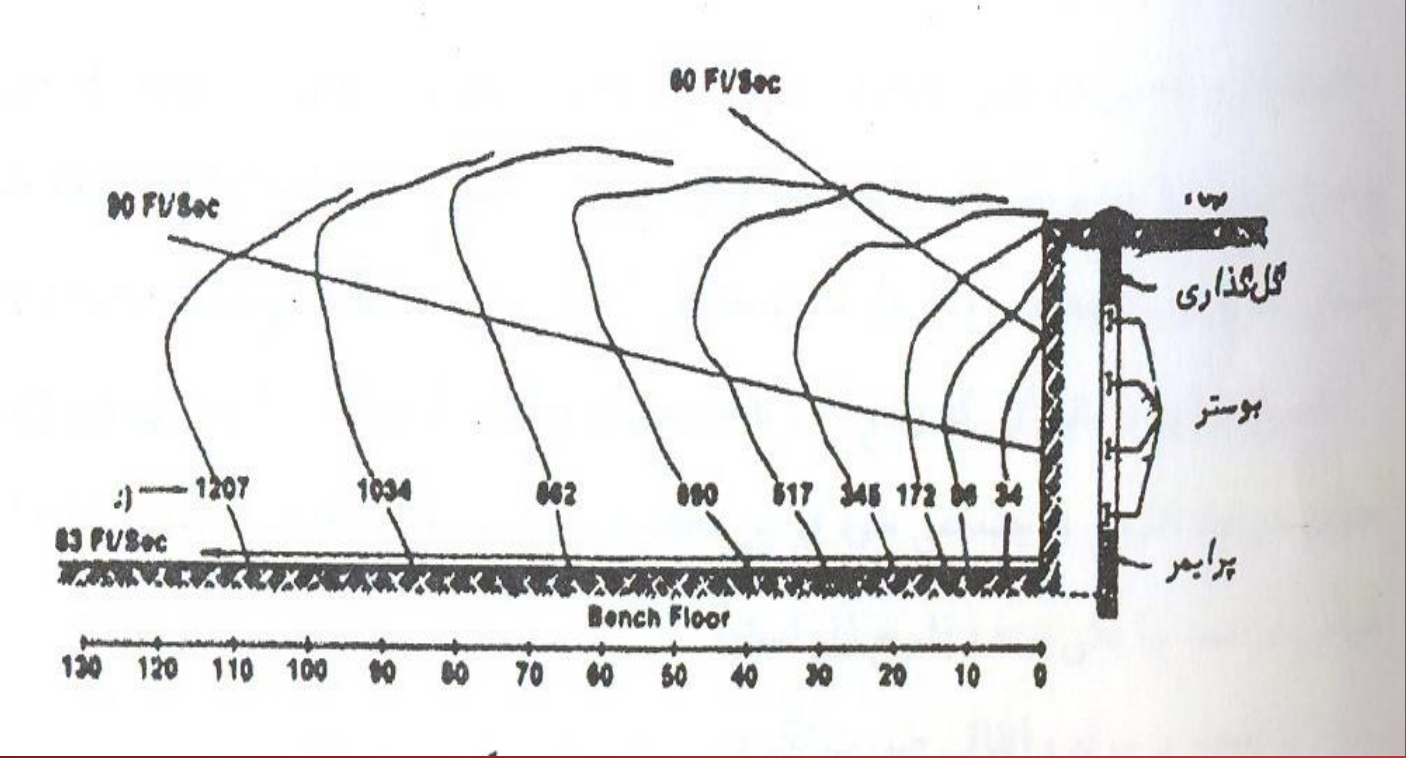
سرعت نقاط مختلف بارسنگ پس از انفجار

ج)پرایمر : امولسیون به قطر ۲.۷۵ اینچ و طول ۱۶ اینچ با قدرت نسبی ۱.۷۷
خرج مصرفی : آنفو



سرعت نقاط مختلف بارسنگ پس از انفجار

د) خرج ته چال مانند مورد قبل است ، به علاوه فشنگ هایی از همین نوع به فاصله ۶ فوت از یکدیگر در چال جا داده شده است . فشنگ ها در حکم بوستر هستند .

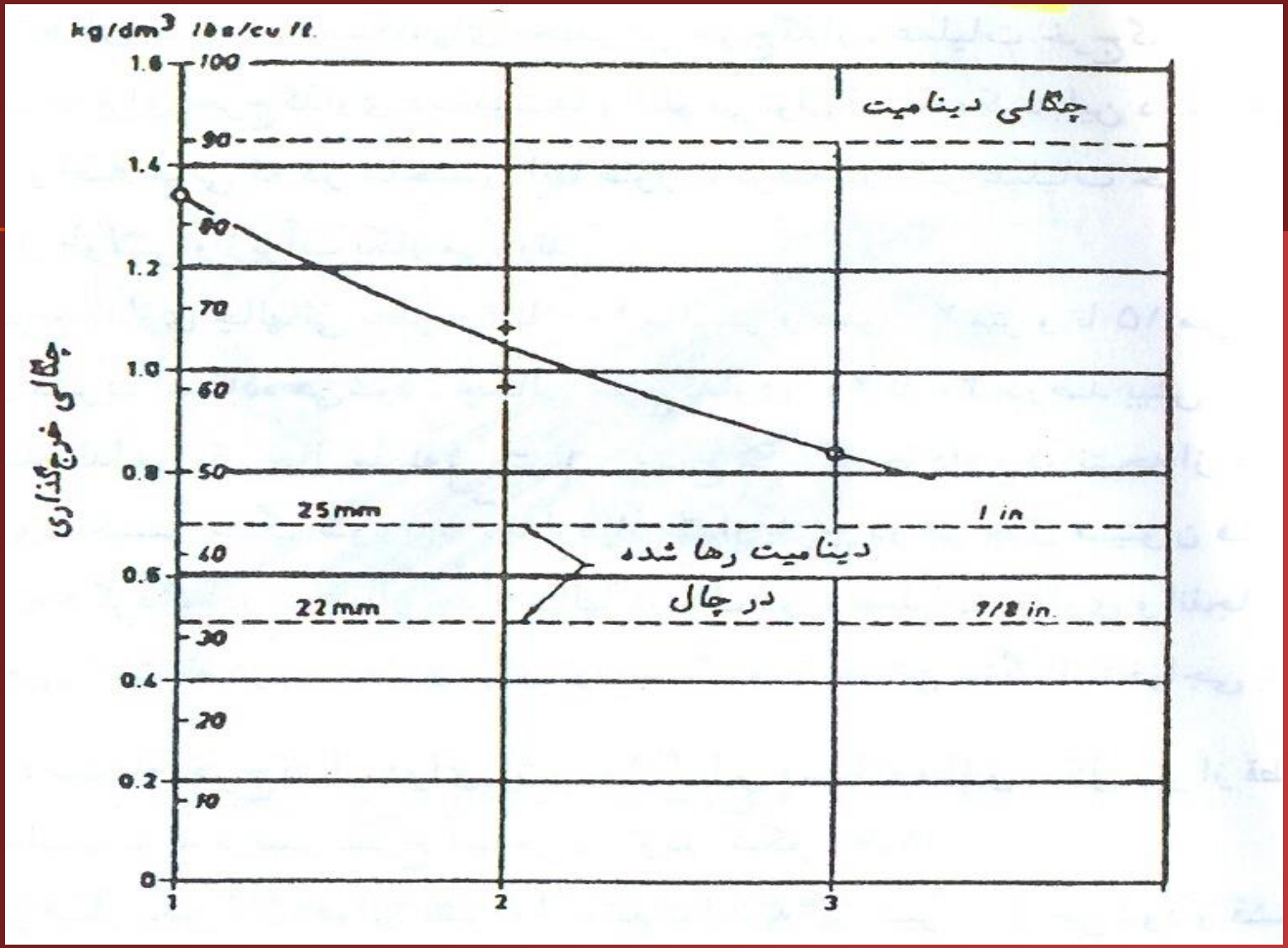


سرعت نقاط مختلف بارسنگ پس از انفجار

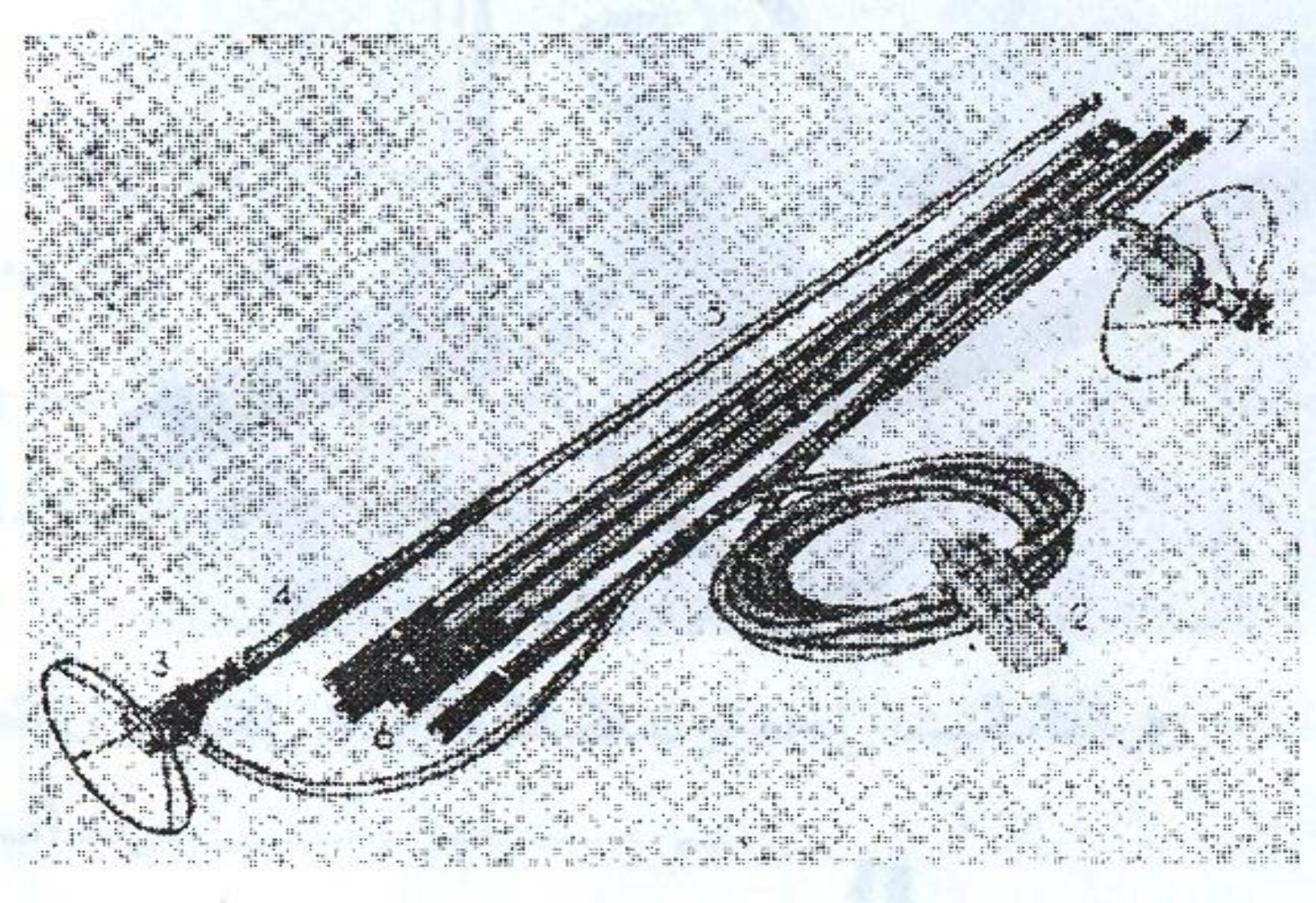
خرج گذاری

مراحل مختلف خرج گذاری عبارتند از:

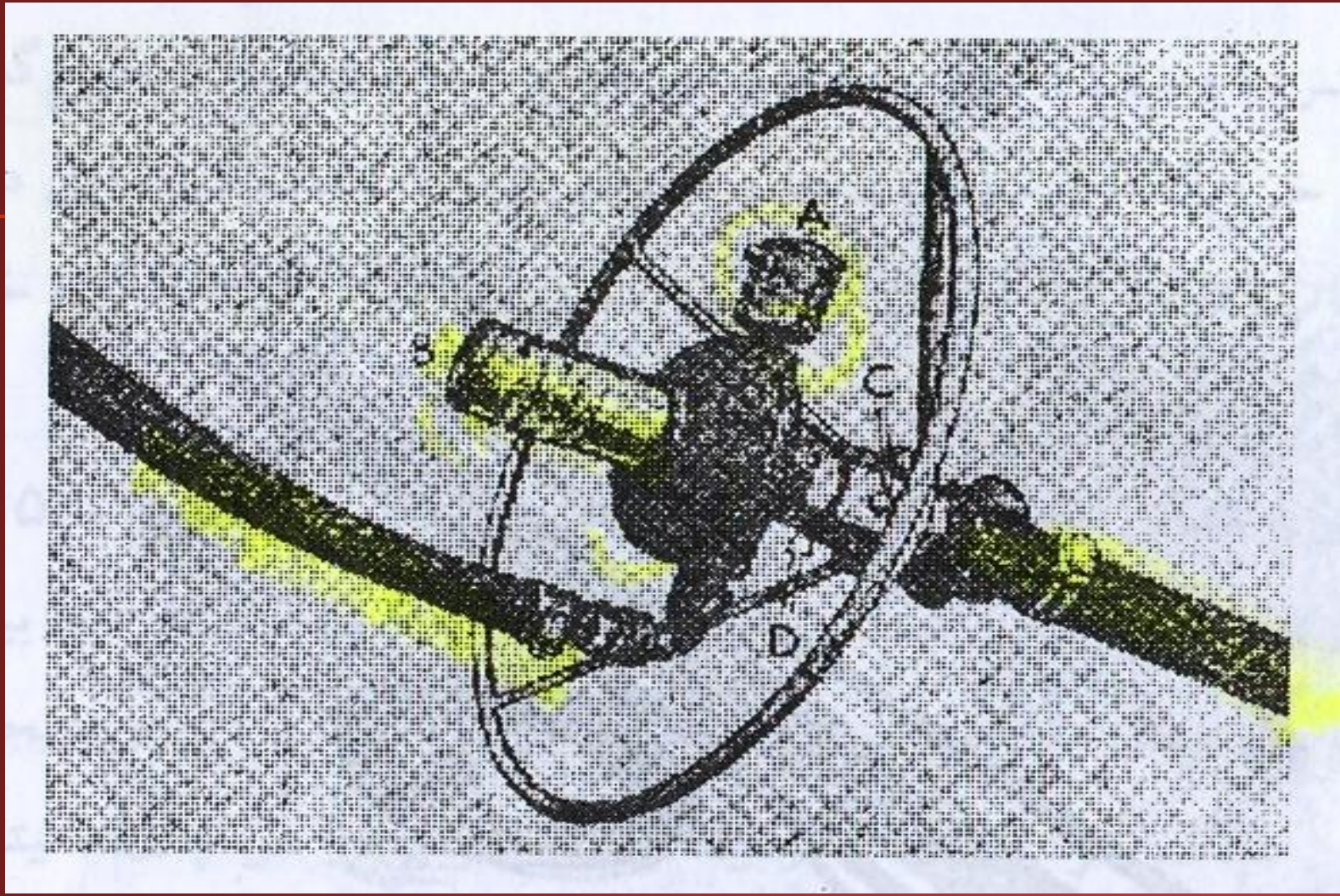
1. بررسی چال از نظر محل ، عمق و موقعیت (وجود حفره های خالی)
2. آبکشی از چال : جهت جلوگیری از تاثیر رطوبت بر ماده منفجره ، برای آبکشی از پمپ استفاده می کنند . معمولا از لوله پلی اتیلن که یک طرف این لوله ها بسته است استفاده می کنند تا آب به چال نفوذ نکند ، قطر لوله متناسب با قطر چال است . برای خرج گذاری در چال های آبدار می توان از کیسه های مخصوص استفاده کرد .
3. چاشنی گذاری
4. قرار دادن ماده منفجره در چال : خرج گذاری با سمبه چوبی ، هوای فشرده ، با ماشین ،به صورت آزاد در کیسه های پلی اتیلن . برای انفجار کنترل شده قطر خرج کمتر از قطر چال است . نباید خرج با چال در تماس باشد ، ماده منفجره دارای کلاهک هایی است که به دیواره چال گیر کرده و سبب جدایی ماده منفجره از دیواره چال می گردد .
5. پر کردن فضای خالی : برای جلوگیری از پرتاب سنگ ، کم شدن لرزش هوا ، خروج گازها انجام می گیرد . از مخلوط شن و خاک و آب استفاده می شود ، خاک رس گزینه ی مناسبی است .
6. عملیات خارج چال شامل مدار انفجار



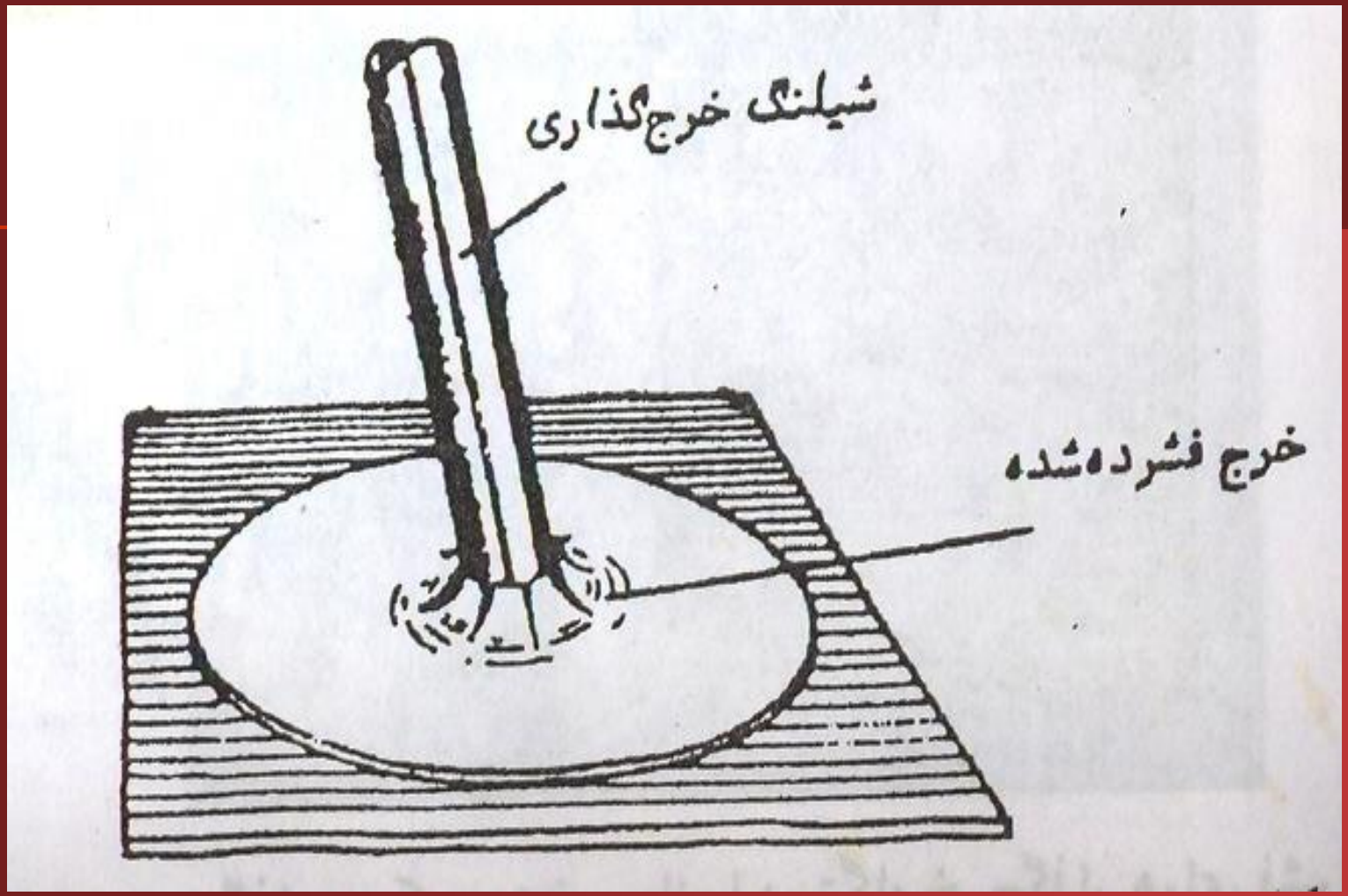
ارتباط چگالی خرج گذاری با تعداد فشنگ ها



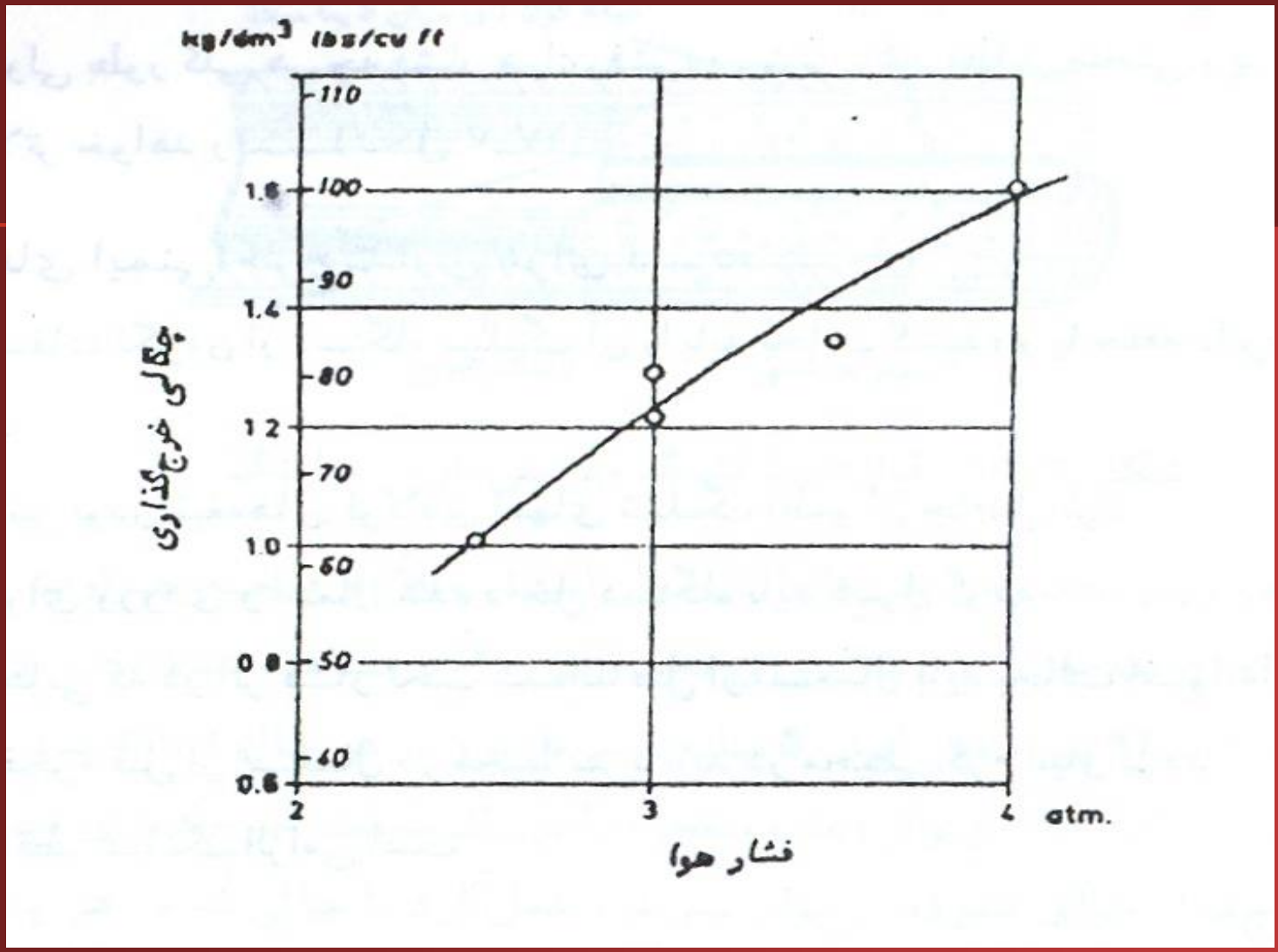
قسمت های مختلف دستگاه خرج گذار هوای فشرده



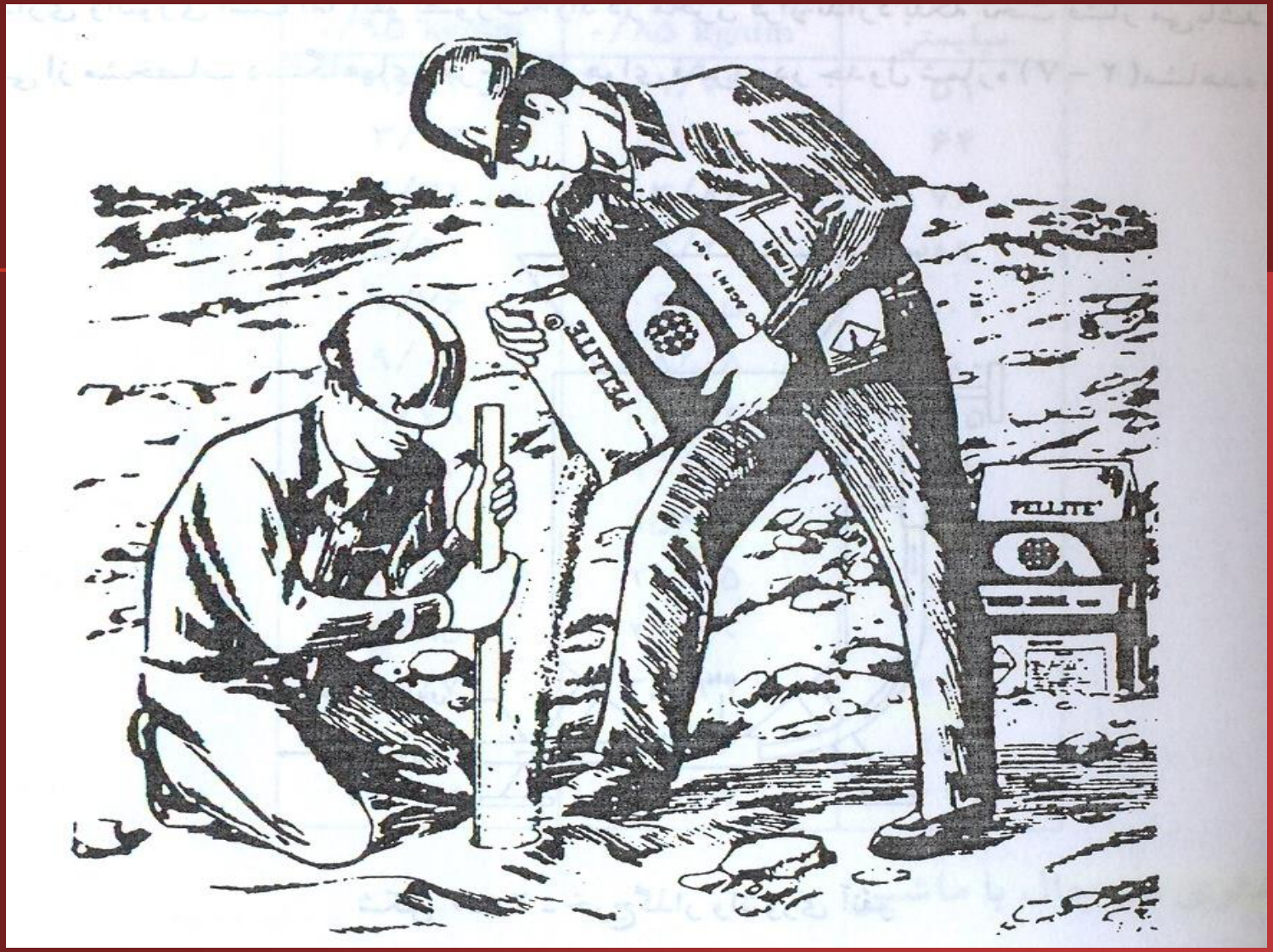
گلنگدن یا محل فشنگ گذاری



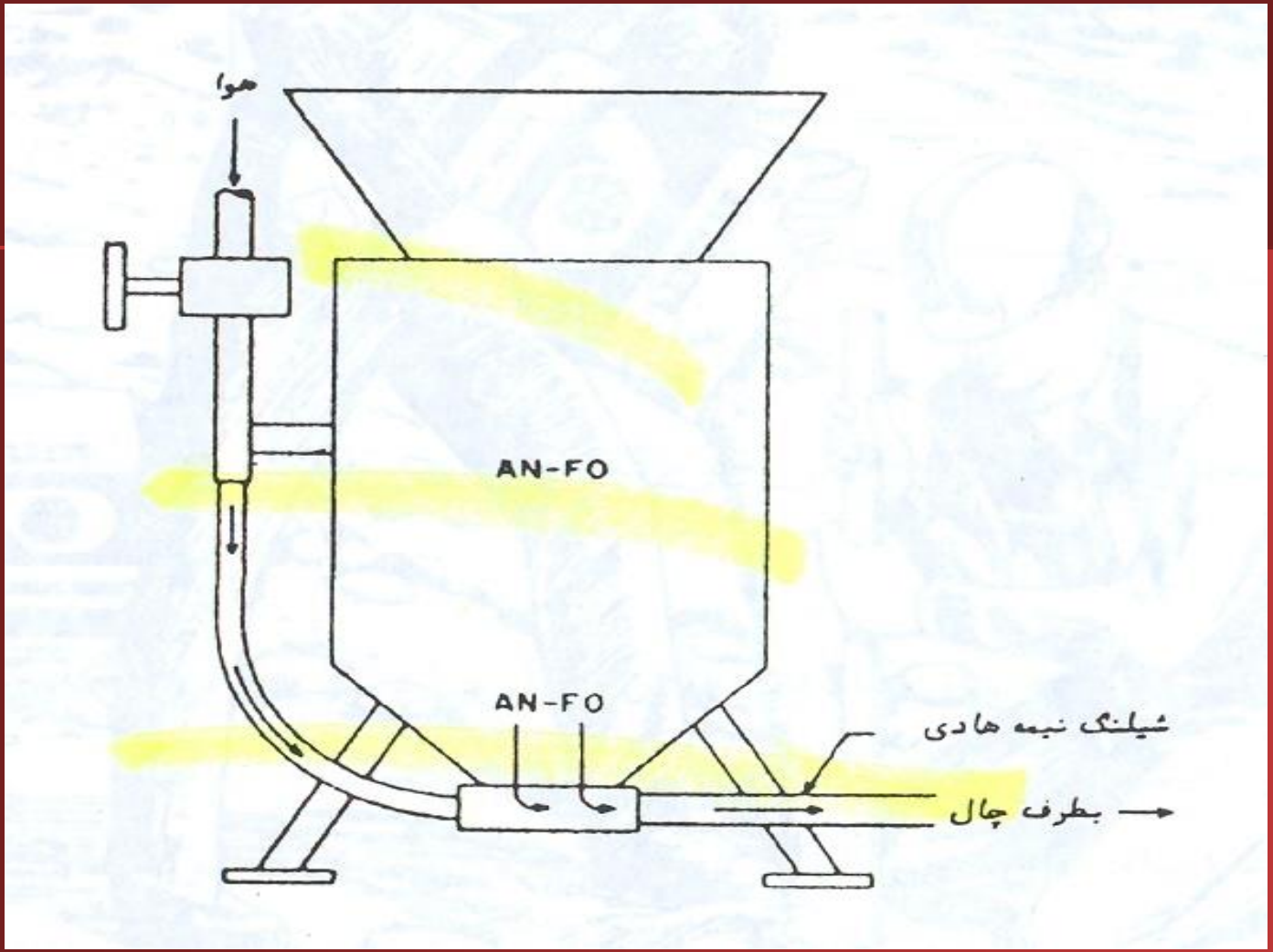
منظره فشرده شدن خرج در انتهای شیلنگ خرج گذاری



منحنی تغییرات چگالی خرج گذاری بر حسب فشار هوای دستگاه خرج گذار



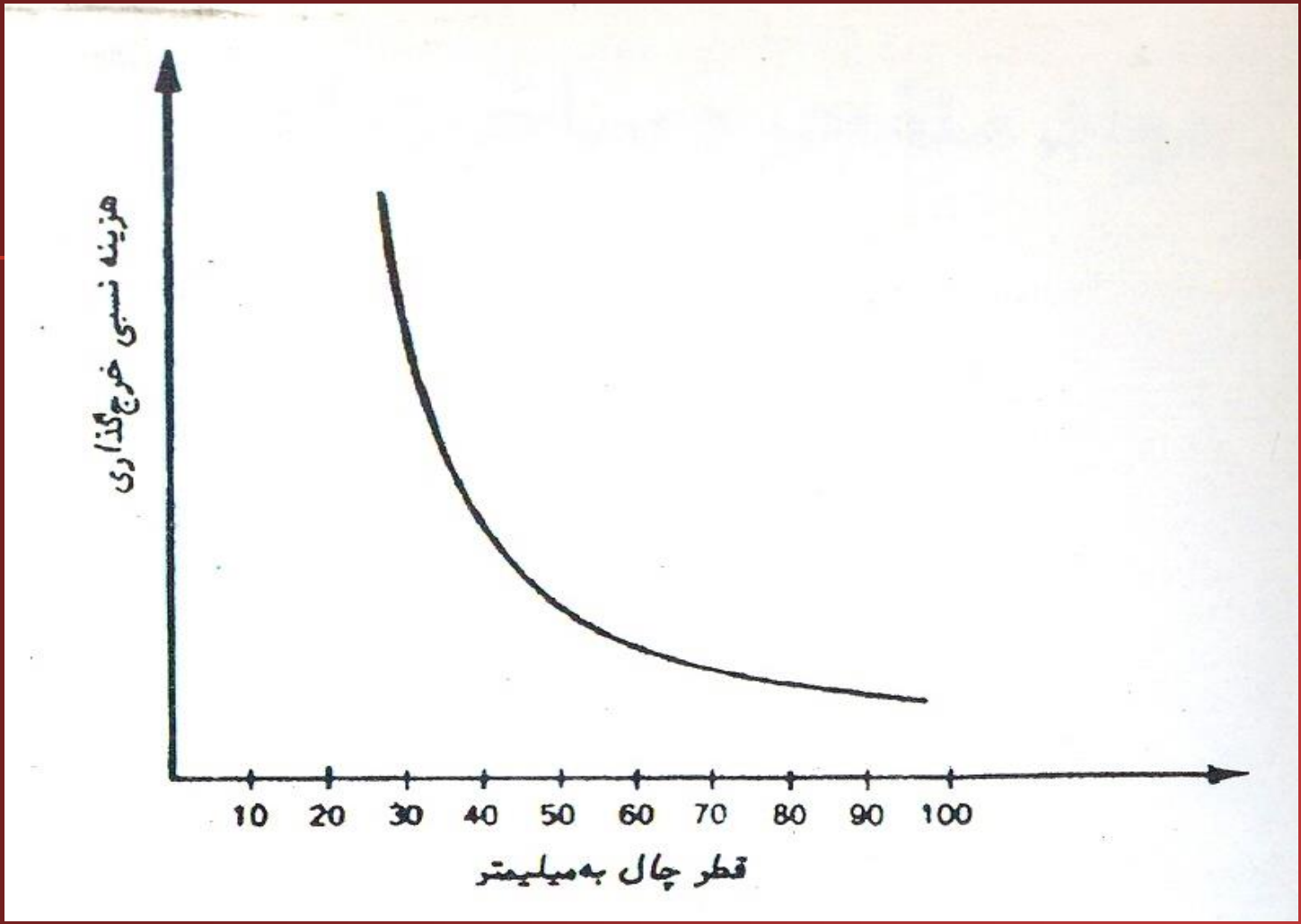
خرج گذاری فله ای آنفو



خرج گذاری وانتوری آنفو

هزینه حفاری و انفجار

برای شکستن یک توده سنگ ابتدا در سنگ چال حفر می شود سپس مواد منفجره در داخل چال قرار گرفته منفجر می شوند . برای انفجار و شکستن حجم معینی از سنگ مقدار معینی ماده منفجره لازم است . و چون مواد منفجره باید در چال قرار داده شود بایستی حجم معینی از چال وجود داشته باشد اگر قطر چال ها را بیشتر بگیریم نیاز به تعداد کمتری چال برای یک حجم معین سنگ خواهیم داشت . در نتیجه هزینه حفاری و انفجار پایین می آید .عامل دیگری که موثر است ماده منفجره مصرفی است ، در انتخاب ماده منفجره در درجه اول مسائل فنی و سپس مسائل اقتصادی بایستی مورد توجه قرار گیرد . مثلا برای سنگ سخت و مقاوم بایستی ماده منفجره قوی مورد استفاده قرار گیرد .



هزینه خرج گذاری برحسب قطر چال

تئوری انفجار

از لحظه وقوع انفجار تا شکسته شدن و جابه جایی توده سنگ اتفاقات زیر رخ می دهد :

1. انفجار
2. انتشار امواج ضربه
3. انبساط گازهای ناشی از انفجار
4. جابه جا شدن توده سنگ

۱- انفجار

ماده منفجره در اثر انفجار بلافاصله تبدیل به توده ای از گاز داغ می شود . که در این لحظه فشار بسیار زیادی نیز داراست . این فشار را فشار انفجار می نامند . مقدار آن از ۹ تا ۲۷۵ کیلوبار و درجه حرارت ۳۰۰۰ تا ۷۰۰۰ درجه فارنهایت داراست .

$$P = 4.18\times10^{-7}\,\frac{D_e V_e}{1+0.8D_e}$$

$$P = 2.325\times10^{-7} D_e V_e^{\,2}$$

P فشار انفجار (کیلوبار Kbar)

D_e چگالی ماده منفجره (gr/cm^3)

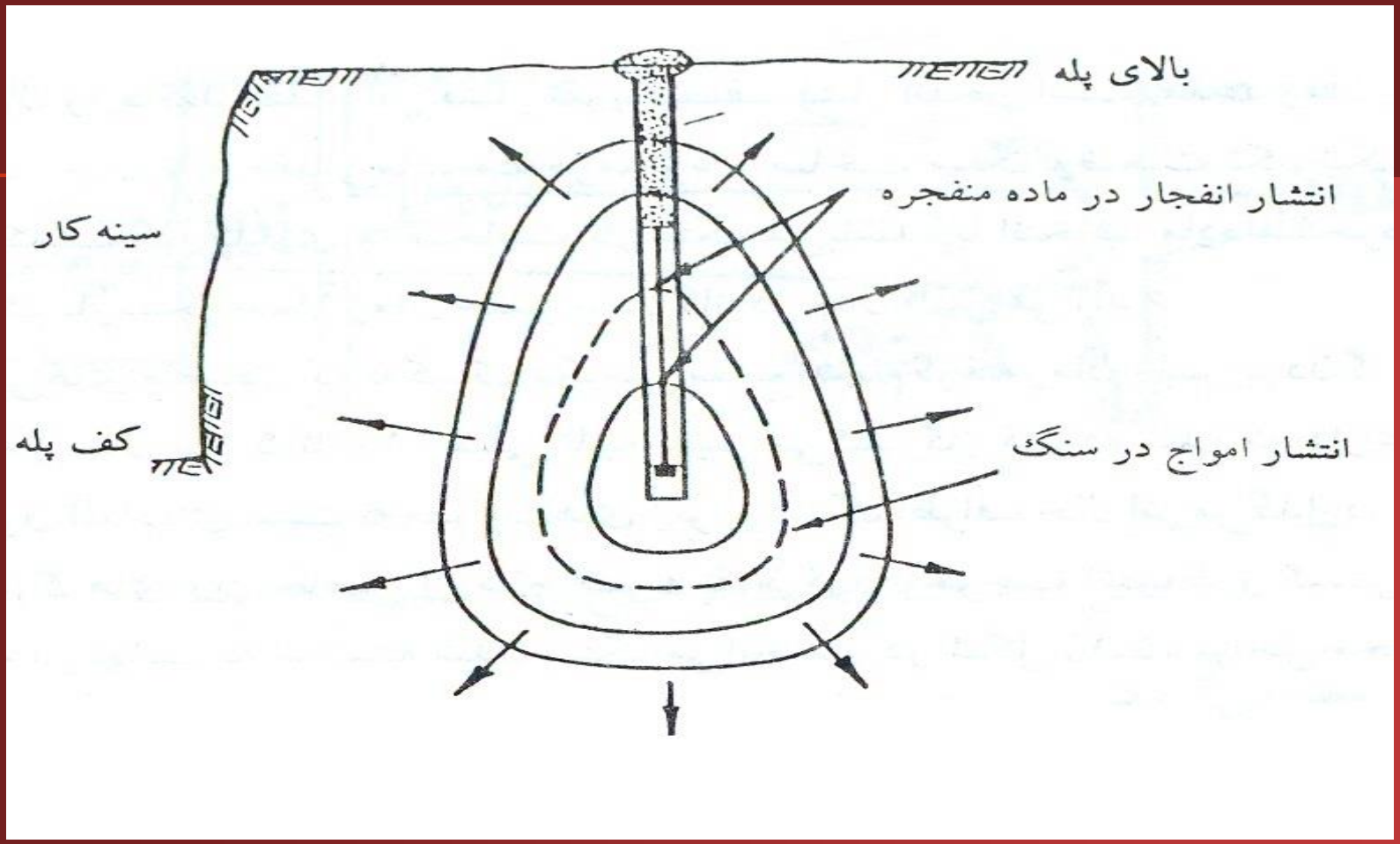
V_e سرعت انفجار ماده منفجره (ft/s)

- برای سنگ های ماسیو ، دانه ریز و مقاوم در حالتی که ضخامت بردن زیاد باشد ماده منفجره ای باید به کار برده شود که فشار انفجار آن بالا باشد . موج انفجار از نقطه شروع شدن آتش پرایمر یا چاشنی در ستون ماده منفجره با سرعت مافوق صوت حرکت می کند به هر حال برای تکمیل شدن انفجار و آزاد شدن کامل انرژی انفجار زمان لازم است . مثلا سرعت انفجار اگر 3000m/sباشد برای ستونی از این ماده منفجره به طول 9متر ، مدت 3 میلی ثانیه طول می کشد . سرعت انفجار همیشه در طول چال یکنواخت نیست عواملی از قبیل رطوبت ،تغییر نوع ماده منفجره و وجود پرایمر و بوستر در تعیین سرعت انفجار

2-انتشار موج ضربه

پرایمر در ته چال قرار دارد درحالی که امواج حاصل از انفجار در سنگ های اطراف پایین چال در حال تاثیر هستند خود ماده منفجره در حال انفجار است در نتیجه شکل انتشار امواج در سنگ گلابی شکل است . تاثیر امواج به صورت فشاری است . فشار به دیواره چال به سرعت زیاد شده به ماکزیمم خود می رسد . اندکی بعد از فشار کاسته می شود ، علت آن دو چیز است : انبساط چال و سرد شدن گازها

در مرحله فشاری موج ضربه ناشی از انفجار با سرعت ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر برثانیه عبور می کند در این حالت سنگ فشرده شده و شکاف های میکروسکوپی در آن ایجاد می گردد . موج ضربه پس از رسیدن به سطح آزاد منعکس شده و موجب به وجود آمدن تنش کششی در سنگ می گردد . سرعت در این حالت ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر برثانیه است . و موجب تولید شکاف های کوچک اولیه شعاعی در چال می گردد که از مرکز چال سرچشمه می گیرند .

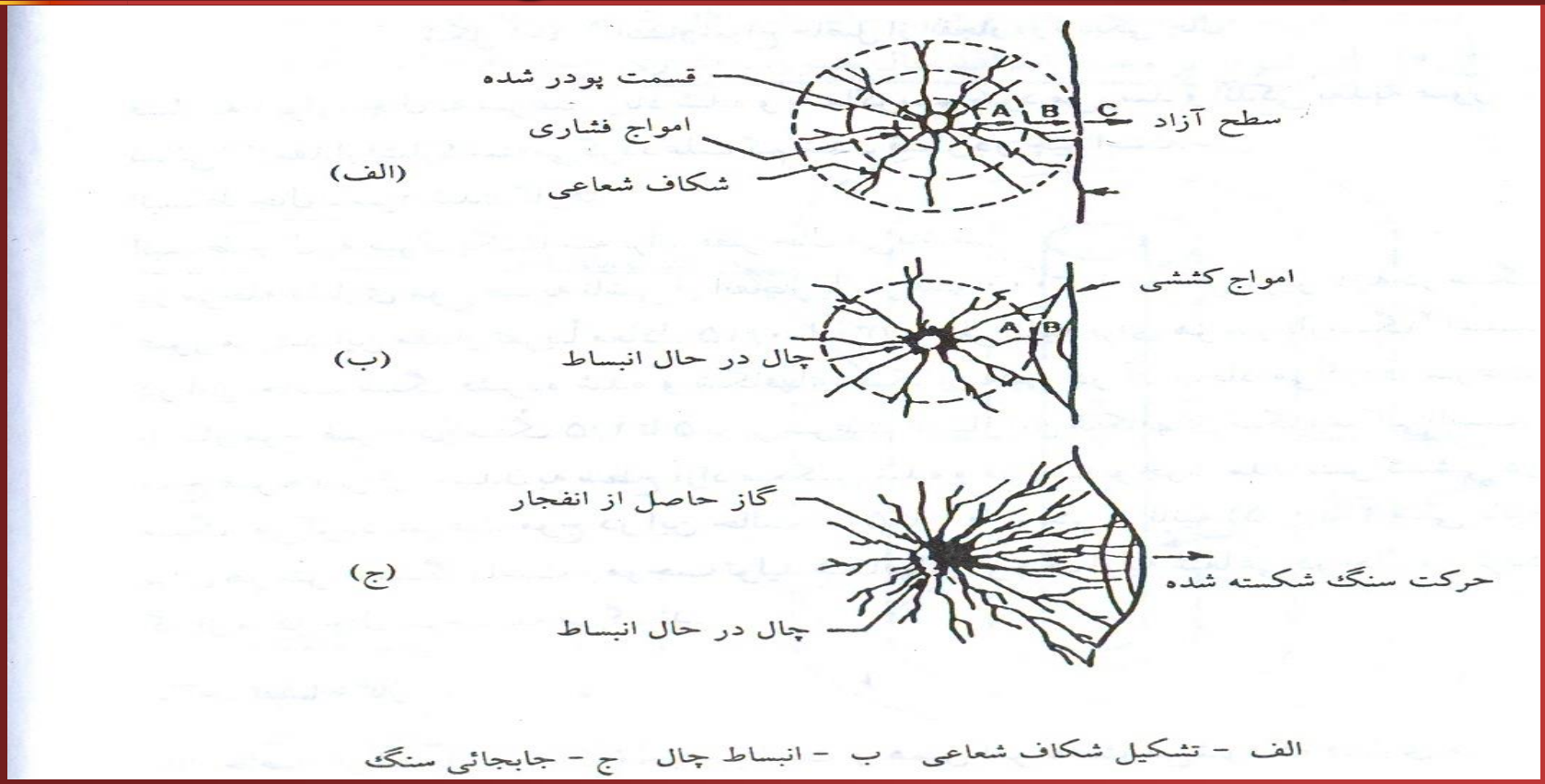


انتشار موج حاصل از انفجار در نزدیکی چال

3- انبساط گاز

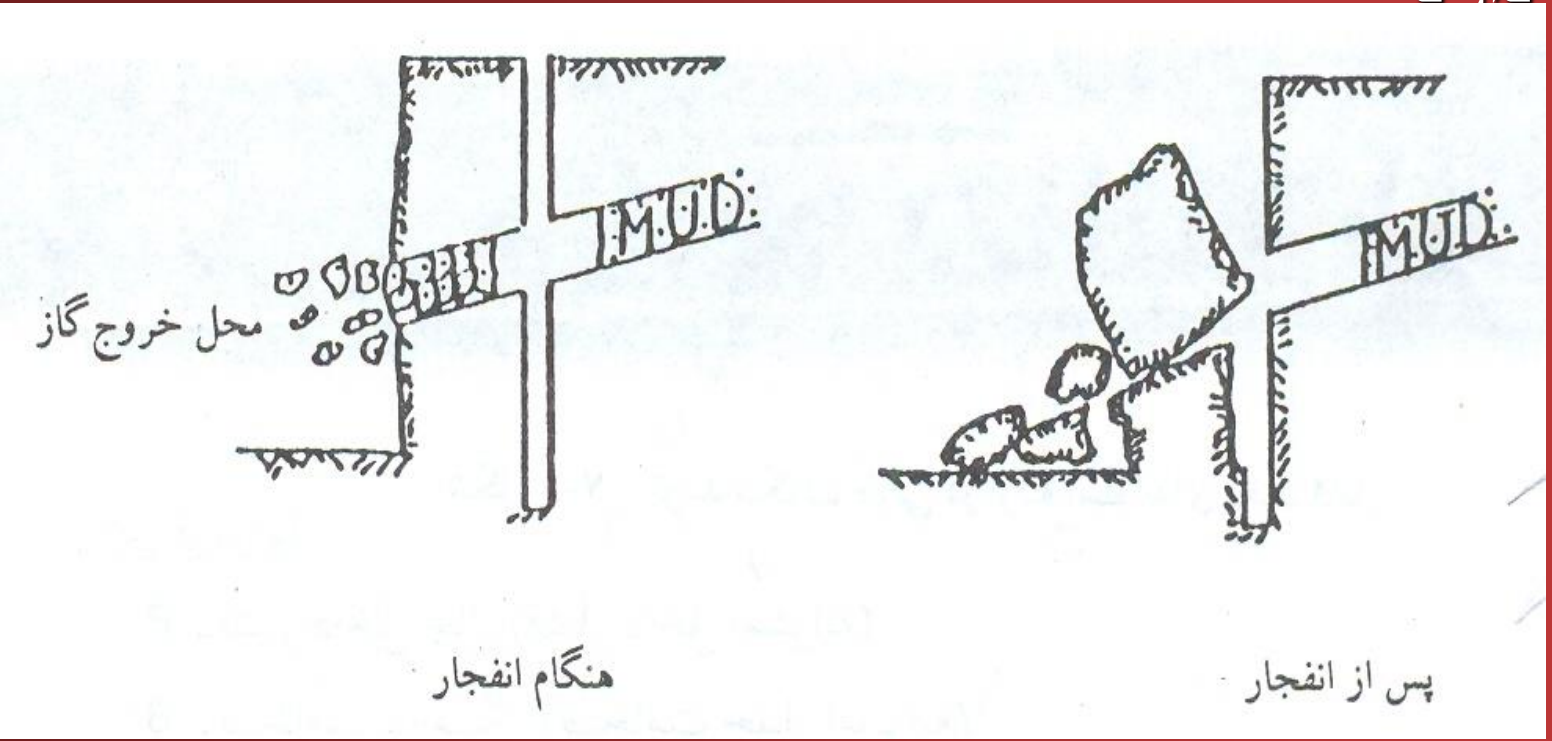
گاز حاصل از انفجار در چال محبوس است و همین امر باعث می شود که به فشاری مستمر به دیواره چال وارد کند . مقدار این فشار تقریبا نصف فشار انفجار است . مدت رمان محبوس بودن گاز در چال تابع مقدار ماده منفجره ، نوع و ساخت سنگ ، وضعیت تکتونیک سنگ ، کمیت گل گذاری و ضخامت بردن می باشد . گاز فشرده شده که دارای انرژی فوق العاده ای است و به صورت های زیر به سنگ اطراف چال تاثیر می گذارد . (زمان حبس بودن بین 5 تا 110 میلی ثانیه متغیر است)

الف)در ترک های ریز حاصل از موج ضربه نفوذ کرده ، موجب انبساط و گسترش آن ها می شود که در نهایت به شکسته شدن سنگ می انجامد .



نقش انبساط گار در شکستن سنگ

ب) گاز سعی می کند از راه کم مقاومت تر به بیرون چال نفوذ کند در این حالت انفجار نتیجه مطلوب ندارد ، سنگ خوب شکسته نشده و نیاز به آتشباری ثانویه دارد



نتیجه حاصل از خروج گاز از مسیر کم مقاومت

ج) استمرار فشار گاز در چال علاوه بر توسعه شکاف های ریز قبلی موجب به وجود آمدن شکاف های شعاعی جدید در بردن می گردد . شکستگی در چال مشابه شکستگی هایی است که در لوله تحت فشار تولید می شود . در چال مثل استوانه تحت فشار دو نو ع تنش وجود دارد :

$$\sigma_c = \frac{P \cdot \phi_h}{2B}$$

$$\sigma_l = \frac{P \cdot \phi_h}{4B}$$

σ_c تنش محیطی

σ_l تنش طولی

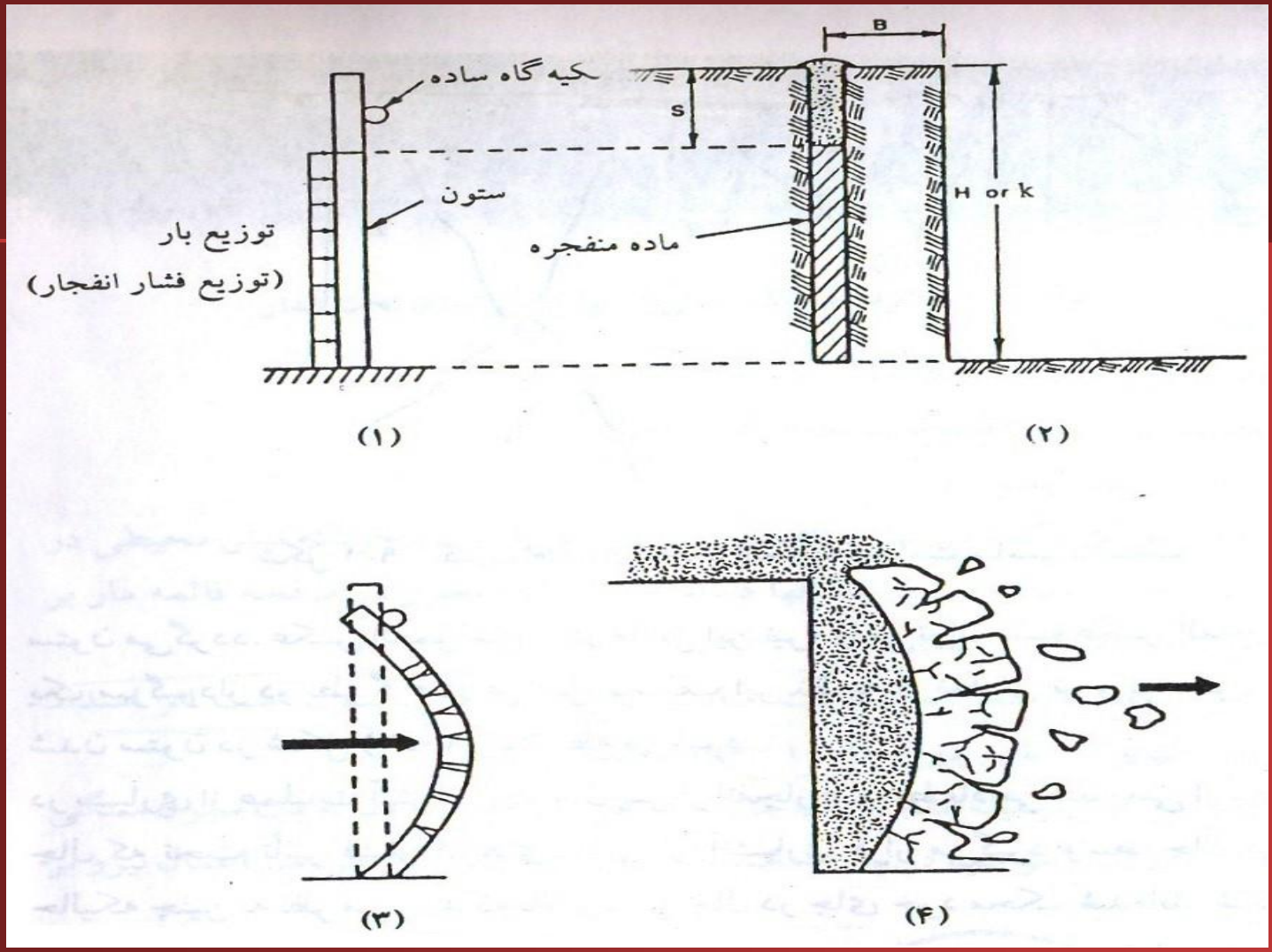
P فشار داخل چال

B ضخامت بردن

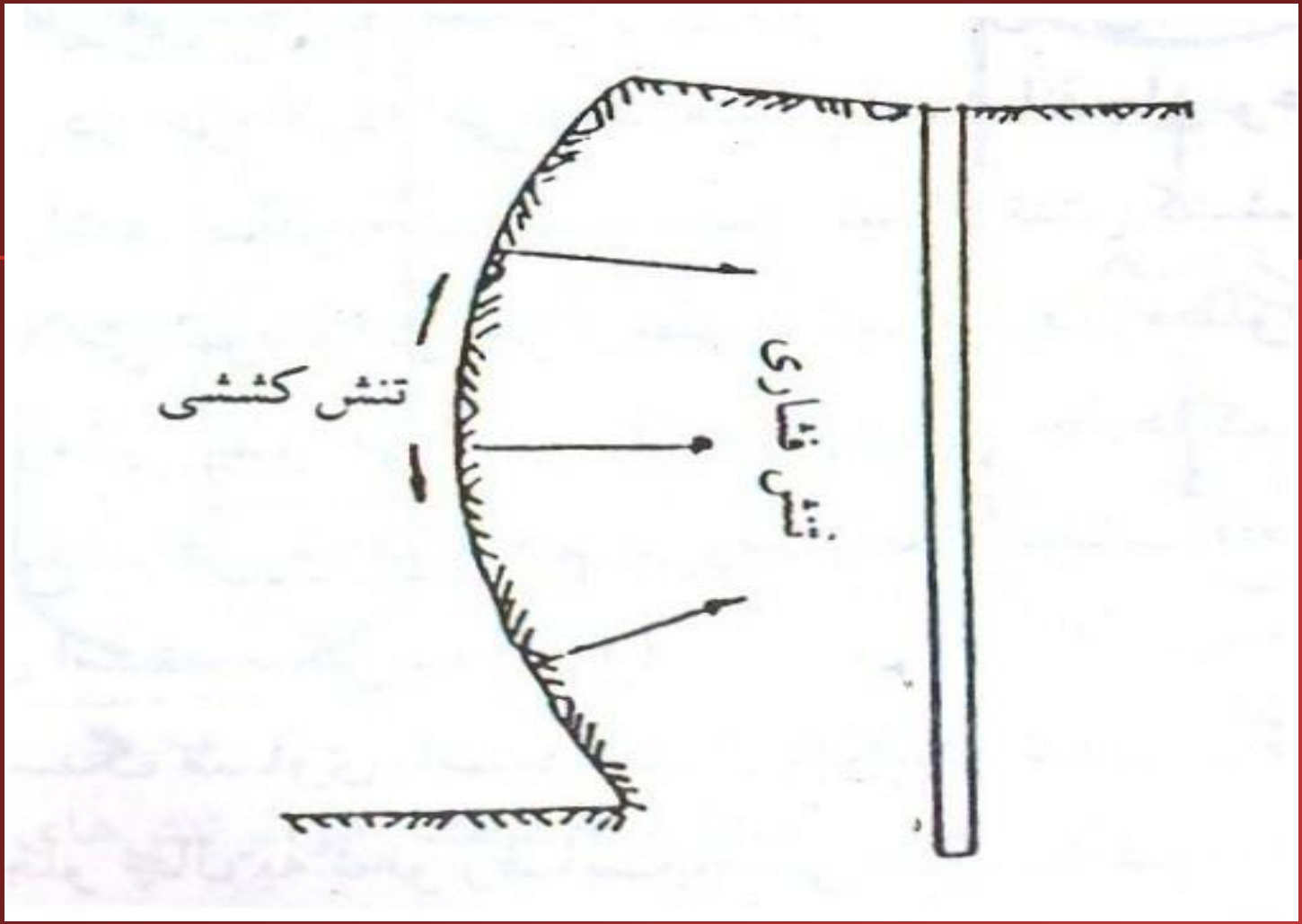
φ_h قطر چال

تنش طولی نصف تنش محیطی است . تنش محیطی سبب ایجاد شکاف هایی موازی محور می شود .

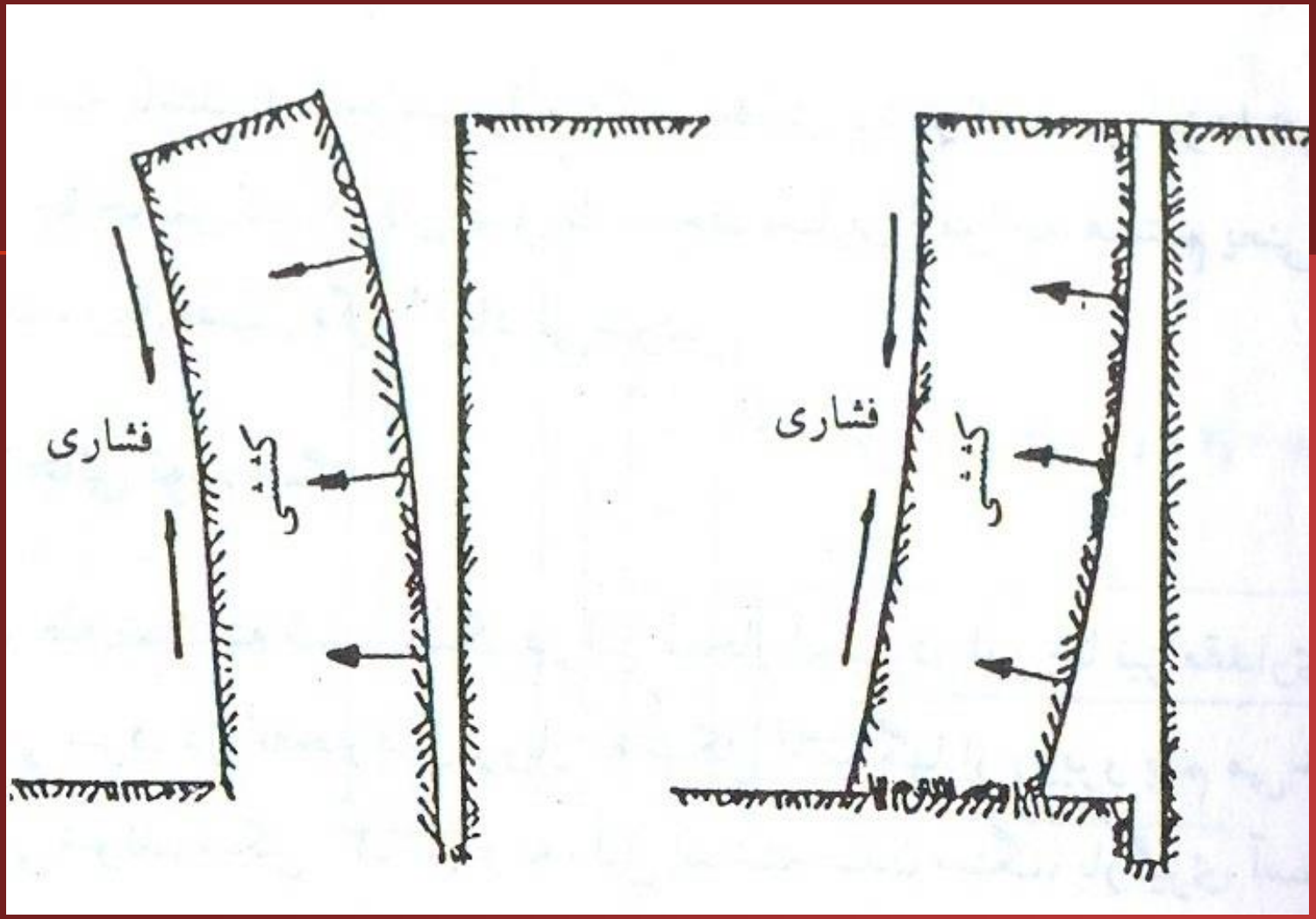
د) توده سنگی که به وسیله ماده منفجره خرد می شود را می توان به منزله یک ستون سنگی در نظر گرفت ، فشار گاز موجب اعمال نیرو بر ستون می گردد و ایجاد خمش در ستون سنگی می کند ، معمولاً چال از وسط باد می کند به نظر می رسد بالا و پایین چال در جای خود محکم شده اند در این حالت در سطح خارجی بردن تنش کششی و در نزدیکی چال تنش فشاری به وجود می آید و سنگ از بیرون به داخل می شکند ، و این مطلوب است . ممکن است انفجار نوعی انجام گیرد که انفجار از بالا یا پایین باشد ، این حالت سبب ایجاد تنش کششی در طرف چال و تنش فشاری در سطح آزاد می شود کع مطلوب نیست در زمانی که فاصله ردیفی چال ها کم باشد و شکاف بین چال ها قبل از اینکه به سطح آزاد برسند به هم می رسند .



مراحل مختلف شکسته شدن سنگ جلو چال



نمایش تنش ها در شکستن بارسنگ



شکسته شدن ستون سنگی جلو چال از یک طرف

4- جابه جایی توده سنگ

در سنگ های یک دست و شکننده که فاصله درزه ها بیشتر از بردن راست تمامی بردن با سرعت ثابت حرکت می کند .

در سنگ های نرم و ترک دار مثل ذغال سنگ و ذخایر رسوبی گسستگی اثر خمش اتفاق می افتد (در نزدیکی مرکز ماده منفجره پیش می آید) و کمترین حرکت بارسنگ در پای پله و بالای آن است .

$$V_0 = \frac{K q_C^{0.39}}{B^{1.17}}$$

V_0 سرعت حرکت توده سنگ منفجر شده (m/s)

B ضخامت بردن (m)

q_c تراکم خرج در چال (kg/m)

K عدد مربوط به سختی سنگ ها (سنگ نرم : ۱۵ ، سنگ سخت : ۳۳)

در اکثر موارد ضخامت بردن در پای پله بیش از نوک پله است ، در این صورت برن در پای پله حرکت مختصری می کند و بیشترین حرکت از نیمه چال به بالا صورت می گیرد . برای ازدیاد حرکت پای پله سه راه موجود است :

1- حفر چال شیب دار که ضخامت بردن ثابت است .

2- خرج ته چال قوی باشد .

3- ضخامت بردن کم شود . در این صورت مقدار آن در بالای پله خیلی کم می شود و در این صورت امتداد کمترین مقاومت در بالای چال خواهد بود ، درنتیجه پرتاب سنگ و لرزش هوا زیاد می گردد و پای پله حرکت نمی کند ، بنابراین راه سوم مناسب نیست .

انتقال انرژی حاصل از انفجار

قطعه سنگی را در دو حالت زیر بررسی می کنیم :

1- پس از حفر چال در قطعه سنگی خرج گذاری نموده ، دهانه چال را می بندیم و آن را منفجر می کنیم . پس از انفجار سنگ به قطعات ریز و درشت تبدیل می شود .

2- مقداری ماده منفجره روی سنگ گذاشته و آن را منفجر می کنیم . در این حالت در محل تماس مقداری از انرژی موج ضربه بر سنگ تاثیر می کند و بقیه انرژی به هدر می رود . در دو حالت نوع ماده منفجره و سنگ یکی است ، اما اختلاف در نتیجه انفجار به دلیل اختلاف در توزیع و انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ است .

انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ به دو عامل بستگی دارد :

1- کیفیت ماده منفجره و سنگ (ضریب امپدانس)

2- کیفیت خرج گذاری (ضریب جفت شدگی)

آن عامل سنگ یا ماده منفجره که کیفیت انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ را تعیین می کند امپدانس است .

امپدانس

۱- امپدانس ماده منفجره

I_e امپدانس $(kg/m^2.s)$

D_e چگالی ماده منفجره (kg/m^3)

V_e سرعت انفجار (m/s)

$$I_e = D_e \cdot V_e$$

۲- امپدانس سنگ

D_r چگالی سنگ

V سرعت امواج الاستیک در سنگ

$$I_r = D_r \cdot V$$

ضریب انتقال انرژی از ماده منفجره به سنگ

هرچه I_e به I_r نزدیک تر باشد انرژی بیشتری از سنگ به ماده منفجره منتقل می شود .

$$\eta_1 = 1 - \frac{(I_r - I_e)^2}{(I_r + I_e)^2}$$

ضریب جفت شدگی

یعنی اگر قطر چال با قطر خرج مساوی باشد ضریب η_2 یک است لذا هرچه خرج در چال فشرده شود از ماده منفجره به سنگ منتقل می شود .

$$\eta_2 = \frac{1}{e^{\varphi_h / \varphi_c} - (e-1)}$$

$$E_t = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot E_e$$

η_1 ضریب امپدانس

Φ_h قطر چال

Φ_c قطر خرج

E_t انرژی منتقل شده به سنگ

e= 2.71828

- گذر امواج حاصل از انفجار موجب ایجاد تنش فشاری و کششی در سنگ می شود . امواج فشاری ناشی از موج ضربه وقتی که به یک ناپیوستگی یا فصل مشترک دو نوع سنگ می رسند بخشی منعکس شده (E_R) و بخشی به سنگ بعدی منتقل می شود (E_t) . تقسیم انرژی تا حدود زیادی تابع امپدانس سنگ های اطراف فصل مشترک است .

$$\eta_T = 1 - \frac{(I_2 - I_1)^2}{(I_2 + I_1)^2}$$

$$\eta_R = \frac{(I_2 - I_1)^2}{(I_2 + I_1)^2}$$

I_1 امپدانس محیط (1)

I_2 امپدانس محیط (2)

η_T ضریب انرژی عبور کرده

η_R ضرییب انرژی منعکس شده

I_2-I_1 نوع موج منعکس شده را مشخص می کند :

- چنانچه I_2-I_1 منفی باشد نوع موج کششی است ، در غیر این صورت فشاری است .
- اگر $I_1<I_2$ باشد مقداری انرژی منعکس شده و مقداری از فصل مشترک دو محیط عبور کرده و هر دو فشاری است .
- اگر $I_1>I_2$ باشد مقداری انرژی به صورت فشاری عبور کرده و بخشی از انرژی به صورت کششی بر می گردد .
- اگر $I_1=I_2$ باشد همه انرژی به صورت فشاری وارد محیط 2 می شود .
- اگر $I_1/I_2=\infty$ باشد تمام انرژی به صورت کششی بر می گردد .