۱-۲-٤- قابلیت انفجار سنگ

مقاومت سنگ در برابر انفجار را قابلیت انفجار سنگ می گویند.

این قابلیت عمدتاً تحت تاثیر وضعیت سنگ و رسوب مرحله‌ای آن قرار دارد. در سنگهای صلب و سخت، انفجارها را می توان به خوبی کنترل کرد، حال آنکه در سنگهای درزه‌دار، بخشی از انرژی ماده منفجره، در ترکهای سنگ مستهلک شده و از دست می رود ضمن آنکه این انفجارها همیشه قابل کنترل نیستند.

در دستورالعملهای حفاری و انفجار موفقیت آمیز، به نکات زیر باید توجه کرد:

- قدرت ماده منفجره باید با مقاومت سنگ مورد انفجار متناسب باشد.
- بار یا فشار باید با قدرت ماده منفجره نسبت مستقیم داشته باشد.
- استفاده از الگوهای استاندارد شده حفاری و خرج گذاری باصرفه تر است.
- از انرژی ماده منفجره اضافی (خرج گذاری ویژه) برای دانه بندی، تخلیه سنگ منفجر شده، و پرتاب شدن سنگ به اطراف نباید استفاده شود.

۱-۲-٤-۱- عوامل موثر در قابلیت انفجار سنگ

خواص انواع سنگهای مجزا و ساختمان متشکل از اتصال این سنگها، معمولاً ویژگیهای سنگ و قابلیت انفجار سنگ را در محل طبیعی آن تعیین می کنند. خواص قسمتهای سطحی توده سنگ، تا حد زیادی به جهت گیری لایه های سنگ و سطوح ناپیوستگی آن که ناشی از تغییر شکل و فرسایش است، بستگی دارند.

ویژگیهای قسمتهای سنگ زیرین، از فرآیندهائی سرچشمه می گیرد که از زمان دگرگونی و تکوین بستر سنگ آغاز می شوند:

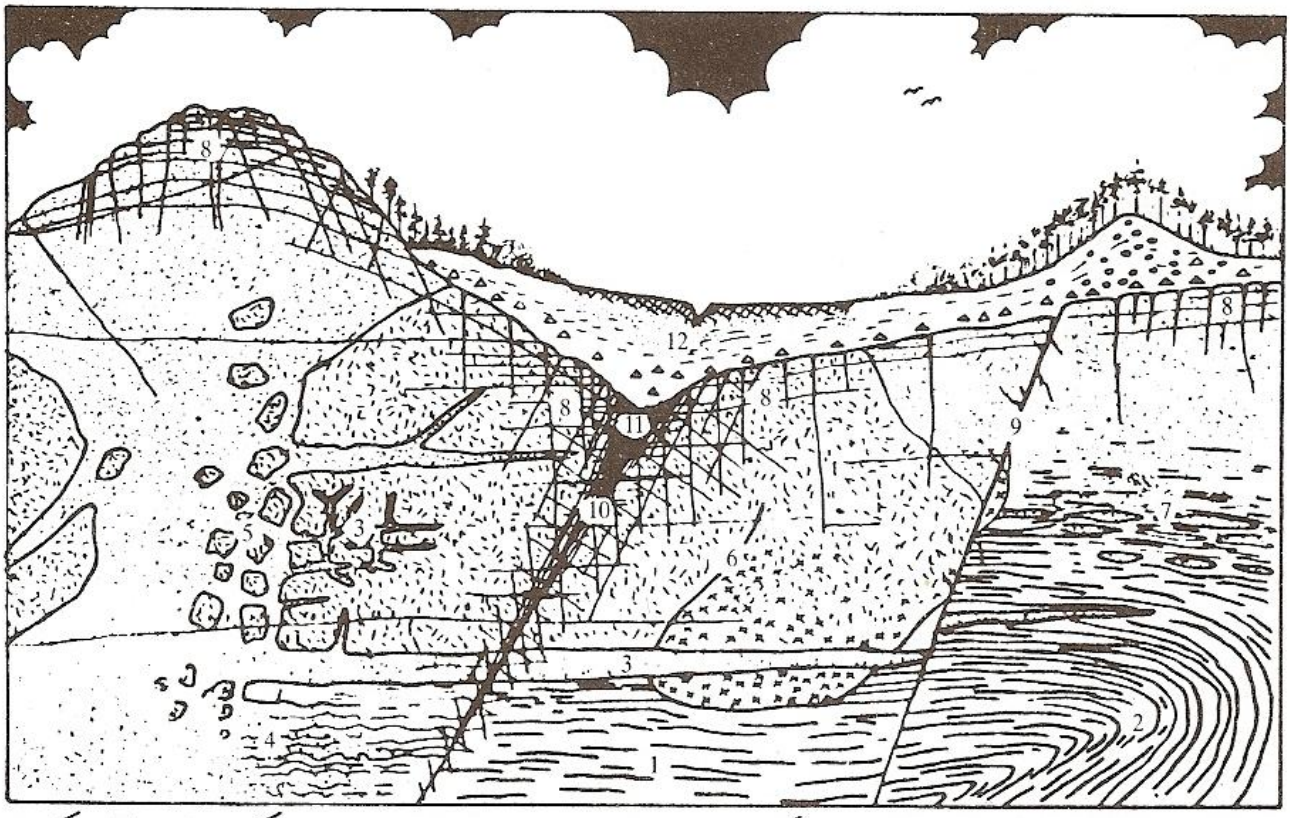
- کنتاکت های سنگها
- گسل ها
- سطوح لایه بندی و جهت گیری
- جهت و شیب ساختمان سنگی

کنتاکت سنگها

محل های برخورد سنگها، سطوح ناپیوسته را تشکیل می دهند. محل های برخورد در این سطوح یا مشخص هستند یا نامشخص، در مواردی که این سطوح با سنگهای نفوذی در ارتباط باشند، غالباً ارتباطی تدریجی دارند و باعث هیچگونه کاهشی در قدرت سنگ نمی شوند که در

این صورت سنگ، عملاً همگن است.

ولیکن مرزها یا تماسهای مشخص نمی توانند خیلی پایدار باشند و در اثر مرور زمان به درزه ها تبدیل می گردند.



شکل ۸- ساختمان تکنوتیکی سنگ بستر: (۱) شیستوزیته (۲) چین خورد گی (۳) و (٤) رگه ها (۵) برش (٦) اتصالات مشخص (۷) منطقه تماس (۸) اتصالات (۹) گسل (۱۰) منطقه شکستگی (۱۱) لایه رسی داخل سنگ (۱۲) مواد پوشاننده.

گسل ها

گسل ها معمولاً سطوحی برشی هستند که در امتداد آنها حرکت و کانی سازی تحقق می یابد.

سطوح گسل ها از مواد دانه ریزی چون رس و میلونیت تشکیل می شوند و تشکیل آنها در امتداد سطوح برش صورت می گیرد. مجریان حفاری و انفجار با این قسمتها یا بخشهای شکسته آشنا هستند. شکافهای گسلی به دلیل کند کردن سر مته و بدنه مته حفاری (راد)، باعث کاهش سرعتهای پیشروی حفاری می شوند. در طراحی نقشه حفاری و آتشباری باید تغییراتی داده شود تا از وجود گسلها حداکثر استفاده را نمود. یک چنین سنگی می تواند ناحیه‌ای را پدید آورد که مستعد اضافه خاکبرداری گسترده به هنگام انفجار باشد.

سطوح لایه‌بندی و شیستوسیته

سطوح لایه بندی و شیستوزیته در دو حالت موضعی و گسترده باعث کاهش مقاومت

سنگ می شوند. لایه بندی بر قابلیت شکست توده سنگ می افزاید. هر گاه این سطوح به یکدیگر فشرده باشند، قطعاً مفید واقع خواهند شد، ولی وقتی سطوح مزبور به تعداد کم و یا به فواصل زیاد، از یکدیگر قرار گرفته باشند، به احتمال زیاد پدیده تشکیل قله سنگ به وقوع خواهد پیوست. هر گاه لایه بندی متراکم باشد، استفاده از یک ماده منفجره سبک و آرام معمولاً کفایت خواهد کرد. ولی وقتی که لایه ها از یکدیگرجدا باشند، معمولاً استفاده از مواد منفجره متراکم و پرشتاب توصیه می شود.

هنگام حفر چال در هر سنگی بهتر است امتداد چال عمود بر سطوح موجود در سنگ باشد. این عمل باعث کم شدن احتمال کندشدگی سر مته می گردد. گذشته از این، چالها نیز مستقیم تر حفر می گردند زیرا در این حالت سنگ تاثیری در انحراف امتداد چال نخواهد داشت. تصمیم گیری درباره مسائل فنی از قبیل نقشه حفاری، شیب و امتداد چال ها و روشهای آتشباری را می توان با توجه به شیب سطوح توده سنگ انجام داد.

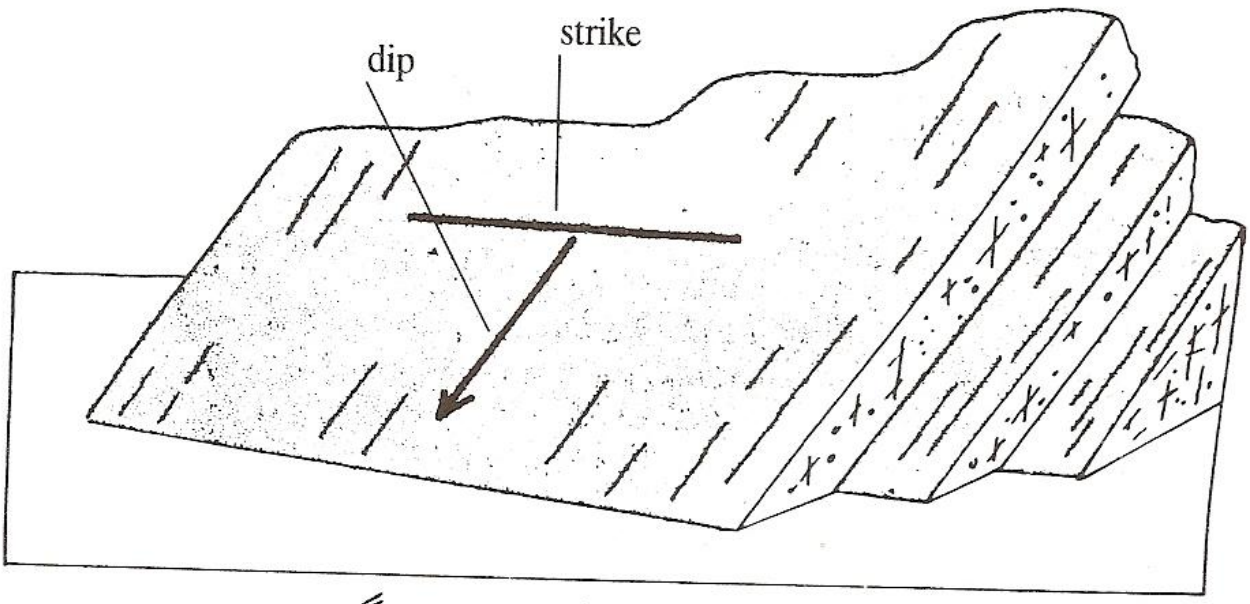
درزه ها

درزه ها معمولاً در حالت نزدیک به افق، تاثیری مشابه تاثیر لایه بندی و شیستوزیته بر حفاری و آتشباری دارند. مهمترین خاصیت هر درزه در این جا، ناتوانی آن در انتقال تنش کششی است، به عبارت دیگر مقاومت کششی در هر درزه را در مقایسه با مقاومت کششی سنگ صلب می توان معادل صفر یا عدد خیلی کوچکی در نظر گرفت. اما در حالت عمودی دیواره درزه، نماینده سطحی است که امواج تنش از آن منعکس می شوند و بدین طریق در جریان عبور امواج انفجاری از توده سنگ در مسیرشان مانع ایجاد می شود. دیواره های گسلی در حفاریهای روباز معمولاً در سنگهای پوششی و فاصله گذاری موثر واقع می شوند و بر مقدار خرج گذاری در ستون می افزایند. هر دیواره شکسته دارای درزه پر شده، در چال حفاری، نقطه ضعف است و ممکن است پیش از تکمیل حفاری چال فروریزد. گذشته از این، خرج گذاری در چال حفاری مسدود شده، حتی اگر بتوان تا حدودی آن را تخلیه کرد، بی نهایت دشوار است.

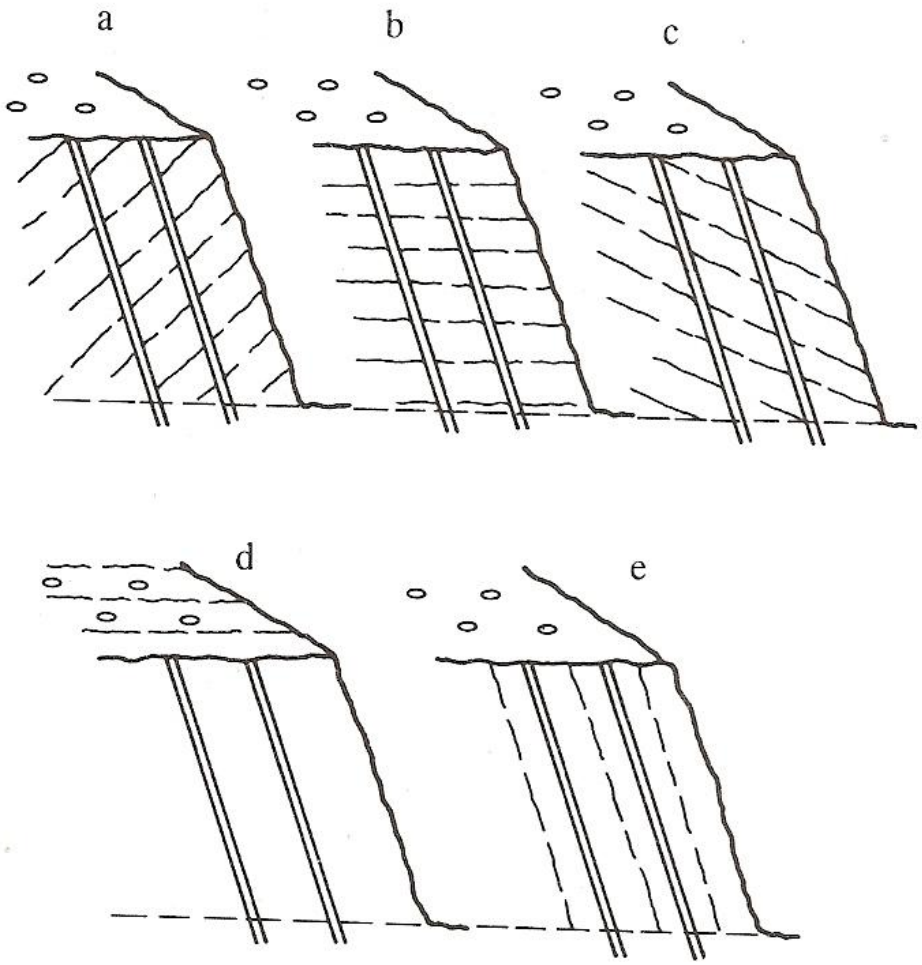
شیب و جهت ساختمان سنگی

شیب و جهت، هر دو امکان عبور چال از پیکر سنگ یا پیمایش عرضی آن را نشان می دهند. شیب و جهت هر دو نشان می دهند که سنگ بصورت توده ای، لایه ای و دارای درزه است، و آیا با تغییر جهت جبهه های انفجار، نتایج بهتری به دست خواهد آمد.

در اینجا اگر نتوان در حفاری تغییری ایجاد کرد، در انتخاب مواد منفجره بایداین عوامل را در نظر گرفت.

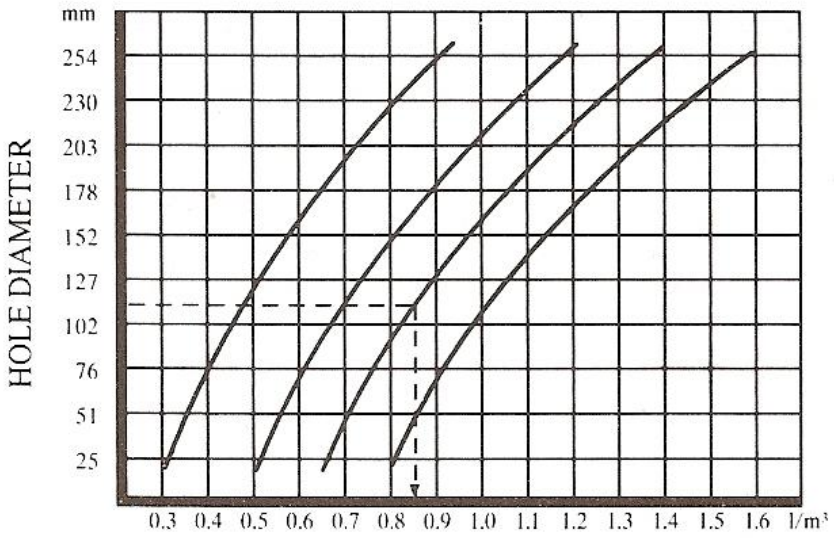


شکل ۹- شیب و جهت یک ساختمان سنگی

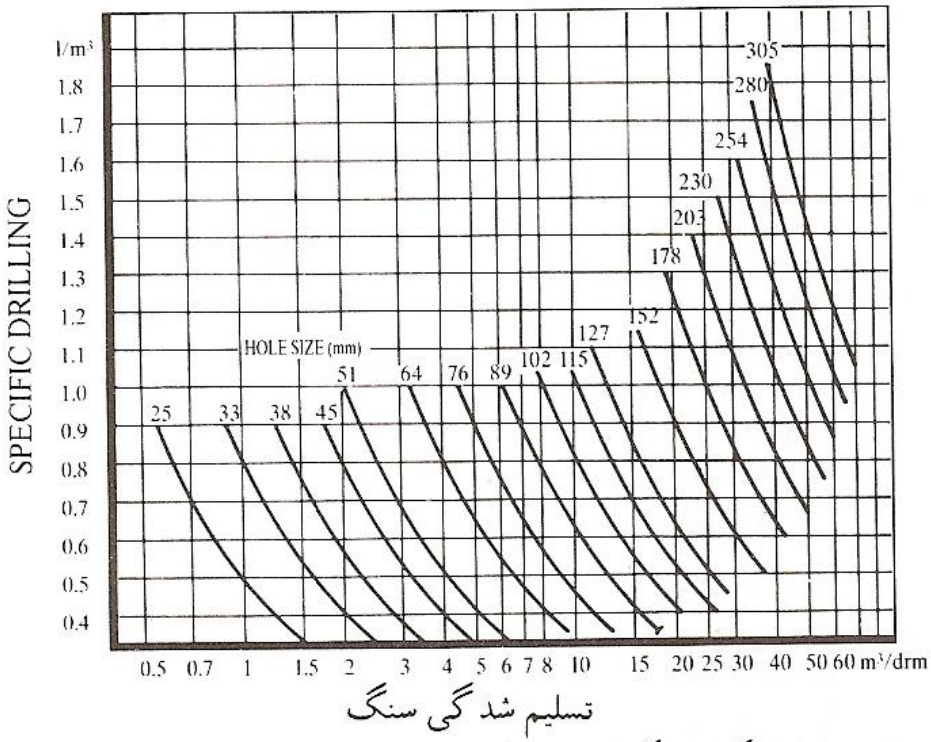


شکل ۱۰- انتخاب جهت چالهای حفاری در تودهٔ سنگ لایه لایه و درزخورده (b) (c) و (d) باعث توزیع یکنواخت تر دانه های سنگ در مقایسه با الگوهای (a) و (e) می شود.

در مثال زیر می بینیم که چگونه می توان شکلهای ۱۱ و ۱۲ را برای بر آورد سریع تسلیم شد گی سنگ در هر متر برای قطرهای متفاوت چالهای حفاری و شرایط طبیعی سنگ مورد استفاده قرار داد. در شکل ۱۱ حفاری ویژهٔ لازم برحسب عکس متر مکعب برای چالهای متفاوت داده شده است، که بعداً می توان آنها را با استفاده از شکل ۱۲ به تسلیم شد گی حداکثر تبدیل کرد. در شرایطی که نسبت k/d به صورت بهینه نیست، جدولهای ۱۱ تا ۳٤ از بخش الف ۳-۸ را باید مورد استفاده قرار داد.



شکل ۱۱- حفاری ویژهٔ لازم (عکس مترمکعب جامد برای سنگ) به صورت تابعی از قطر چال و قابلیت انفجار سنگ. ارتفاع پله ۱۲ متر.



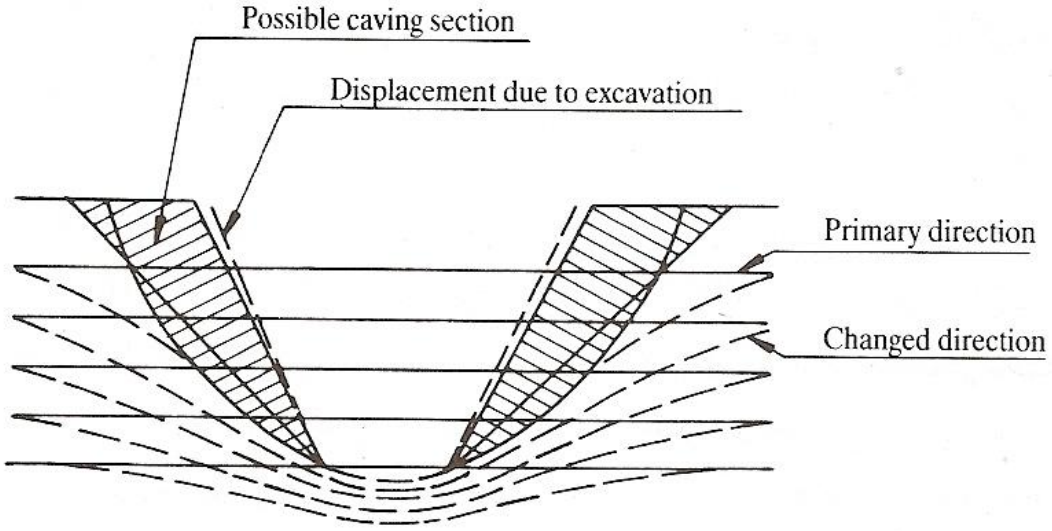
شکل ۱۲- تسلیم شد گی سنگ (مترمکعب جامد) در هر متر حفاری شدهٔ چال به صورت تابعی از قطر چال و حفاری ویژهٔ لازم (عکس مترمکعب) ارتفاع پله ۱۲ متر.

مثال	
قطر چال حفاری	۱۱۵ میلیمتر
قابلیت انفجار سنگ	متوسط
حفاری ویژه (متر ۱۲= k)	(شکل ۱۱) عکس مترمکعب ۰/۸۵۱
تسلیم شد گی درهرمتر حفاری شده (متر۱۲= k)	(شکل ۱۲) drm/ مترمکعب ۱۲/۵

۱-۲-٤-۲- پایداری پله‌های سنگی

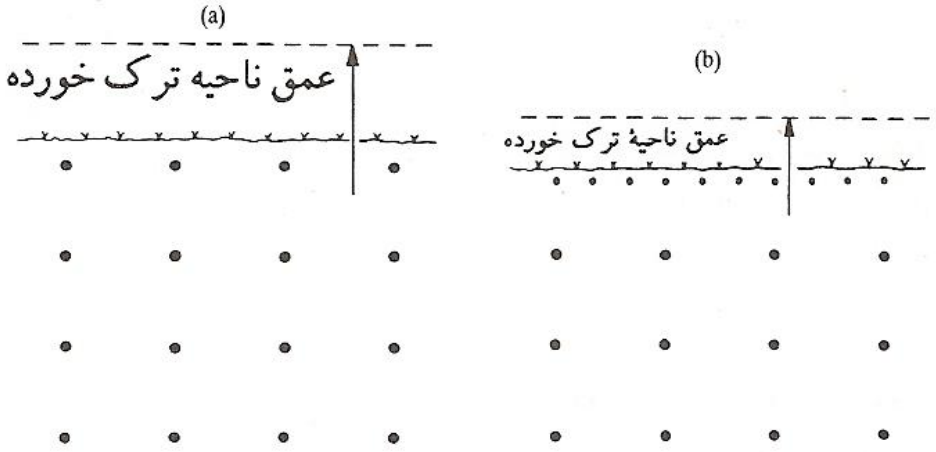
انفجار باعث برهم خوردن تعادل بستر سنگ شده و غالباً به ایجاد درزه و شکاف و سقوط سنگ و ریزشهایی در جبههٔ کار منجر می گردد (شکل ۱۳). برهم خوردن تعادل به عوامل زیر بستگی دارد:

- خواص مکانیکی و ساختاری تودهٔ سنگ.
- ابعاد خاکبرداری (مقیاس بزرگ)
- وضعیت محیطی تنشهای سنگ
- روش حفاری



شکل ۱۳ - اصل تأثیرات فضای باز حفاری شده بر تنشهای افقی

تا زمانی که تنشهای مهم از بین نرفته باشند، پایداری به دست نخواهد آمد. یکی از راههای پیشرفته پایدار نگهداشتن باقیمانده جبهه کار، یکپارچه نگهداشتن توده‌های سنگ اطراف با استفاده از حفاری و آتشباری کنترل شده است. حتی در مواردی که سطح کار خیلی صاف نباشد، با این روش می توان سنگ را پایدار نگهداشت. (شکل ١٤).



شکل ۱٤- تأثیر حفاری و آتشباری تحت کنترل بر پایداری باقیماندهٔ جبهه های سنگ.
عمق ناحیهٔ ترک خورده در جبههٔ سنگ با حفاری و انفجار سنتی (a)
از عمق همان ناحیه با حفاری و آتشباری تحت کنترل (b) بیشتر می شود.

برای دست یافتن به کیفیت مطلوب در سطح خاکبرداری روباز، استفاده از تکنیکهای حفاری و آتشباری صحیح ضرورت دارد که عبارتند از آتشباری آرام، پیش شکافتن یا کاهش مقدار خرج در چال ها، هنگام تدارک یک الگوی حفاری، خصوصیات سنگ، مخصوصاً عوامل ساختاری، پیش از انتخاب روش و شکل هندسی انفجار باید دقیقاً مورد بررسی قرار گیرند.

سطح جبههٔ کار پس از آتشباری، وضعیت تودهٔ سنگ را مشخص می سازد. اگر قرار باشد خاکبرداری سنگها با رعایت جنبه های صرفه جویانه انجام شود، جبههٔ خاکبرداری باید پایدار و یکپارچه بماند. پله های بالایی گودال خاکبرداری شده روباز، غالباً باید پایدار باشند چه بسا سقوط آنها بر روی پله های پایینی باعث وقفه های طولانی در خاکبرداری پله های پایین تر می شود. بدین ترتیب روشن می شود که آخرین حفاریها باید با احتیاط و با استفاده از روشهای مذکور اجرا شوند.

۱ـ ۳ـ شالودهٔ خاک برداریهای پله‌ای

حفاری و انفجار، هر دو نمایندهٔ روشهای خاکبرداری و شکستن تودهٔ سنگ به طریق لازم هستند.

پیش از آغاز عملیات حفاری، باید جای چال ها برای حصول بهترین نتیجه از مواد منفجرهٔ انتخاب شده دقیقاً ارزیابی گردند. گذشته از این انتخاب الگوی صحیح در جایگزینی چال ها برای کم هزینه کردن شکست سنگ، مشخصات تودهٔ سنگ و ظرفیتهای حفاری آن باید شناخته شود. از لحاظ شکسته شدن سنگ به اندازه های قابل استفادهٔ آسان و سریع، ارزش طراحی یک الگوی ویژه برای مواد منفجره وروش انتخاب شده برای شکستن سنگ را نمی توان خیلی دست بالا گرفت.

برنامه ریزی برای انتخاب الگوی حفاری مستلزم ایجاد تعادل بین چندین پارامتر مانند قطر چال حفاری، ارتفاع پله، نوع سنگ پوشش، و رابطهٔ آن با فواصل بین چال ها است. این عوامل، در نهایت، طرز توزیع مواد منفجره و درجهٔ شکست سنگ را تعیین می کنند.

۱ـ۳ـ۱ـ عوامل مؤثر در خاکبرداریهای پله‌ای

علاوه بر خواص سنگ، خاکبرداری پله‌ای نیز تحت تأثیر عوامل زیر قرار دارد:

- قطر چال
- ارتفاع پله
- خردشدگی سنگ
- شرایط پایداری پله
- وضعیت زمین
- محدودیتهای محیطی

قطر چال

انتخاب قطر چال حفاری تا حد زیادی به سرعت بازدهی مطلوب بستگی دارد. هر قدر قطر چال بزرگتر باشد، سرعت بازدهی کار نسبت به تجهیزات ثابتی که به کار می رود بیشتر خواهد شد.

عوامل محدود کننده قطر چال عبارتند از:

(۱) لزوم رعایت تامین اندازه ابعاد خاصی برای سنگهای خرد شده.

(۲) لزوم پائین نگهداشتن مقدار خرج گذاری در هر چال به علت ارتعاشات زمین.

(۳) لزوم حفاری در سنگ انتخاب شده.

هر گاه نسبت طول چال (H) به قطر چال (d) به کمتر از H/d=۶۰ کاهش یابد، اندازه ابعاد تکه سنگهای شکسته شده افزایش پیدا مینماید.

ارتفاع پله

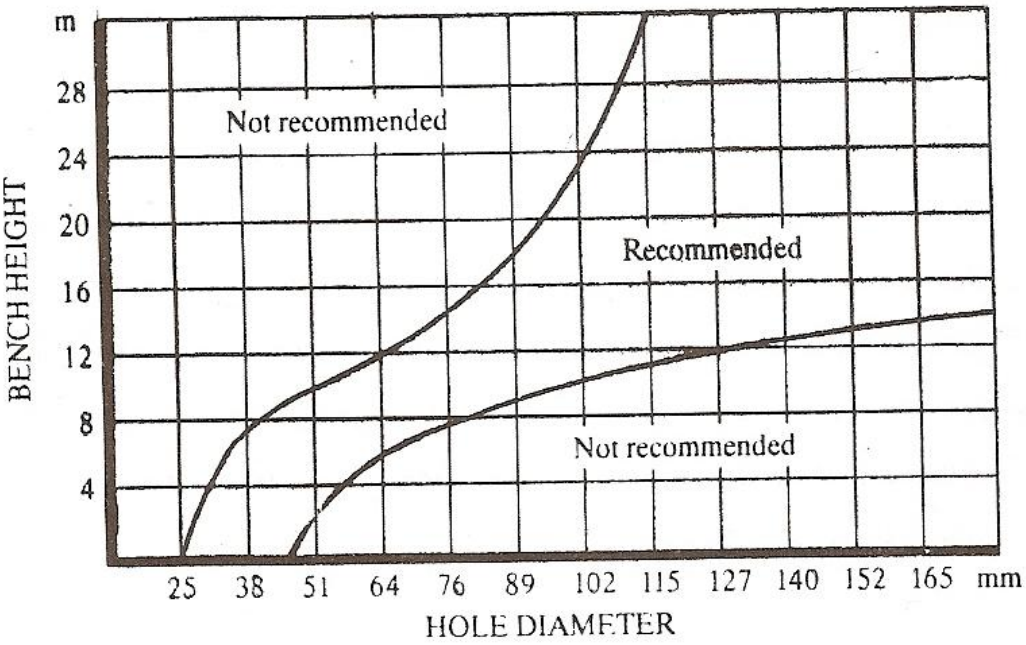
ارتفاع پله به پارامترهای دیگر بستگی دارد. این ارتفاع را می توان قبلاً تعیین کرد و سپس پارامترهای دیگر را با آن مطابقت داد، یا آنکه می توان آن را پس از بررسی جنبه های دیگر تعیین کرد. در معادن سنگ و معادن گودالی روباز، کوشش بر آن است که ارتفاع پله قبلاً تعیین شود.

حداکثر ارتفاع پله، تا حدودی تابع تجهیزات حفاری و اندازه باکت تجهیزات بارگیری موجود میباشد. در مورد چالهایی با قطر بزرگ، ارتفاع پله غالباً تابع ظرفیت ماشینهای حفاری تک محوری است و ارتفاعهای مزبور معمولاً از ۱۰ تا ۱۵ متر نوسان دارند. جنبه دیگری که در تعیین ارتفاع پله موثر است مساله ایمنی، مخصوصاً جلوگیری لغزش سنگ در جبهه کار است. استفاده از پله های بلند در مقابل پله های کوتاه، در صفحات بعدی همین بخش مورد بحث قرار می گیرد.

ارتفاع پله به هنگام تعیین نوع تجهیزات حفاری و قطر چال حفاری باید مورد توجه قرار گیرد. بطور کلی، پله های کوتاه مستلزم حفر چال کوچک هستند و برای پله های بلند نیز می توان چال های بزرگتر حفر نمود.

خردشدگی سنگ

خردشدگی سنگ، اصطلاحی کلی برای توصیف اندازه تکه های سنگ پس از آتشباری است. خردشدگی مورد نیاز، به نوع کاربرد بعدی سنگهای خرد شده و تجهیزاتی بستگی دارد



شکل ۱۴ - تعیین قطر چال حفاری برای ارتفاعهای گوناگون پله ها

که آن را جابجا خواهند کرد. برای پاره‌ای موارد تکه های بزرگتر ترجیح داده می شوند ولی در اغلب موارد به دانه بندی ریزتری نیاز است. حدود بالائی اندازه قله سنگها، معمولاً به ابعاد با کت بیلهای مکانیکی یا بارگیری سنگ در کامیونهای تخلیه سنگ و ابعاد دهانه ورودی دستگاه سنگ شکن بستگی دارد.

بطور کلی، چالهای بزرگتر باعث خرد شدن سنگ به ابعاد بزرگتر می گردند، ولی با خرج گذاری اضافی می توان از این حالت کاست.

لیکن خرج گذاری ویژهٔ بیشتر به پرت شدن تکه سنگهای بزرگتر منجر می شود. در سنگهای نرمتر و دارای درزه بیش تر، چال های حفاری کوچکتر و مقادیر مواد منفجرهٔ کمتر، همراه با حفاری متراکم تر، معمولاً به خردشدگی ریزتری می انجامد.

وضعیت زمین

وضعیت زمین در محل اجرای خاکبرداری تأثیری اساسی در انتخاب تجهیزات دارد. در کارهای ساختمانی، که معمولاً روی زمین ناهموار اجرا می شود، استفاده از دستگاههای حفاری چرخ زنجیری سطحی الزامی است. در زمینهای خیلی ناهموار، دستگاههای حفاری چرخ زنجیری به کمک وینچ به حرکت درمی آیند و در پاره‌ای موارد نیز از تجهیزات حفاری دستی استفاده می شود.

دستگاههای حفاری چرخ زنجیری نیز بیش از هر وسیلهٔ حفاری دیگری در معادن سنگ و معادن گودالی روباز مورد استفاده قرار می گیرند،ولی اگر زمین به قدر کافی هموار یا مسطح

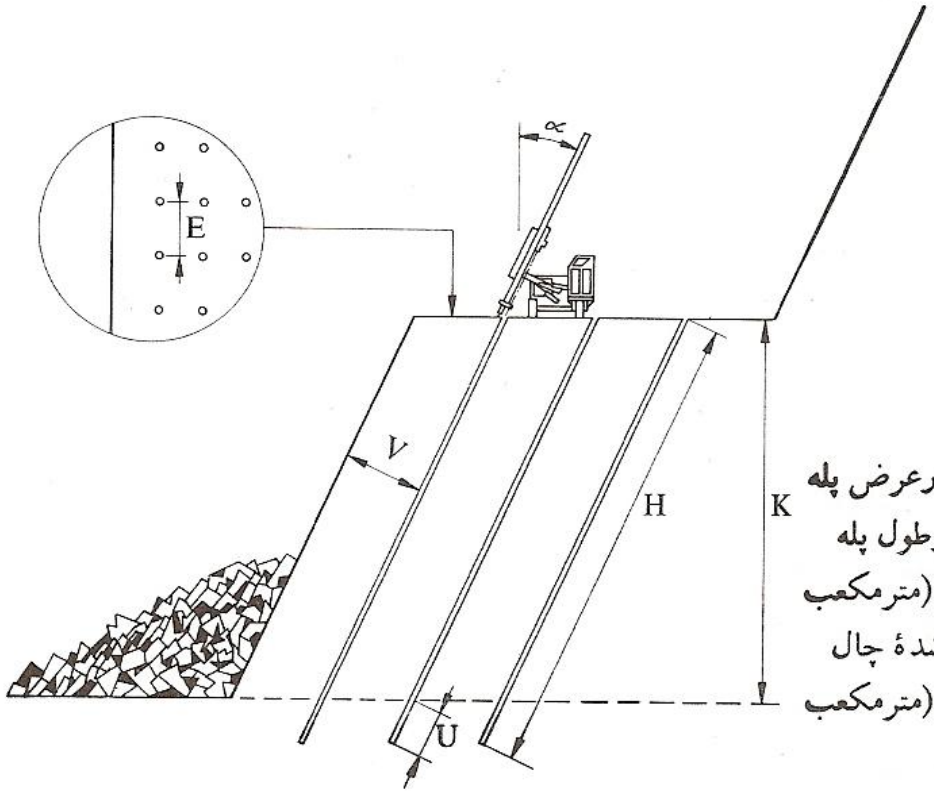
باشد و طی مسافتهای طولانی توسط دستگاههای حفاری اجباری باشد، می توان از ماشینهای چرخ لاستیکی استفاده نمود.

محدودیتهای محیطی

محدودیتهای محیطی به مسائل کار در مناطق شهری مربوطه می شوند. ساختمانها، سازه ها و تجهیزات حساس، غالباً محدودسازی ارتعاشات زمین در یک محدوده خاص را ضروری می گرداند. ممکن است محدود کردن خرج انفجار در هر چال لازم گردد و به حفر چالهائی با قطر کوچکتر بیانجامد. در این حالت مقدار حفاری در هر مترمکعب تودهٔ سنگ (حفاری ویژه) افزایش پیدا می کند و استفاده از تجهیزات پرظرفیت که مخصوص حفاری چالهائی با قطر کوچکتر طراحی شده اند ضرورت پیدا می کند.

۱-۳-۲- اصطلاحات رایج در الگوهای حفاری

مهمترین اصطلاحات رایج در عملیات خاکبرداری پله ای در شکل ۱۵ نشان داده شده است. این عوامل، همچنان که قبلاً توضیح داده شد، به یکدیگر و به نوع سنگی که باید حفاری شود، مواد منفجرهٔ مورد استفاده، درجهٔ خردشدگی لازم برای سنگ و هدف یا نتیجهٔ کلی مورد نظر بستگی دارند.



d= قطر چال (میلیمتر
k= ارتفاع پله
α= شیب چال
U= حفاری فرعی
H= طول چال
V= فواصل بین چال ها درعرض پله
E= فواصل بین چال ها درطول پله
Y_1= تسلیم شدگی سنگ (مترمکعب جامد) در هر متر حفاری شدهٔ چال
Y_2= تسلیم شدگی سنگ (مترمکعب جامد) در هر چال

شکل ۱۵ - اصطلاحات رایج در الگوهای حفاری

برای محاسبهٔ مقادیر لازم برای عوامل مختلف در خاکبرداری پله‌ای، فرمولهای نظری گونا گونی طراحی شده است. لیکن یکی از راههای قابل اطمینان، تکیه بر تجربه برای تعیین و تثبیت اطلاعات مربوط به الگوی حفاری است.

۱-۳-۳- قطر چال حفاری

قطر چال حفاری، در درجه نخست تابع خواص لایه‌های در دست آتشباری، درجهٔ خردشدگی مورد نیاز برای سنگ، تجهیزات موجود بارگیری و حمل و ظرفیت دستگاه سنگ‌شکن، و هزینه‌های نسبی و قابل مقایسهٔ انواع موجود تجهیزات حفاری است.

به عنوان راهنمایی برای انتخاب اندازهٔ ابعاد چال حفاری، پاره‌ای قواعد تجربی تدوین شده است. قطر چال حفاری، پیوند تنگاتنگی با ارتفاع (شکل ۱۴) و عرض پله دارد، و باید بین ۰/۵ تا ۲ درصد ارتفاع جبههٔ کار باشد:

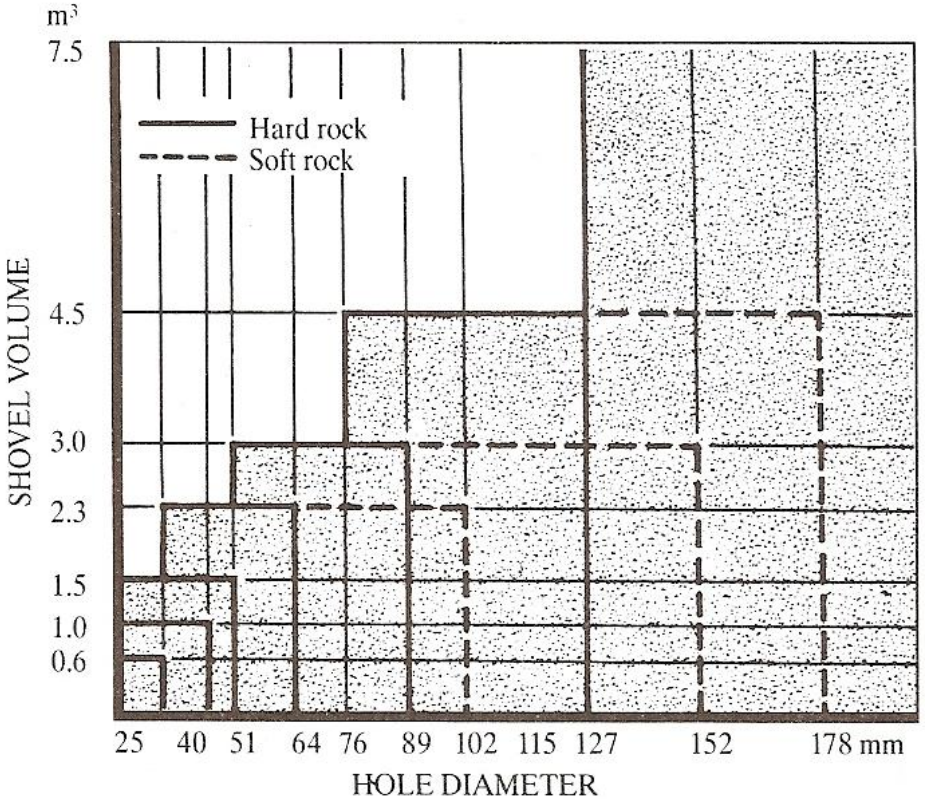
که در آن: d= قطر چال حفاری (میلیمتر) d=k (۱۰ تا ۵)

k= ارتفاع پله (متر) D=k (۰/۱۲ تا ۰/۰۶)

یا D=k (۰/۱۲ تا ۰/۰۶)

که در آن D= قطر چال حفاری (اینچ)

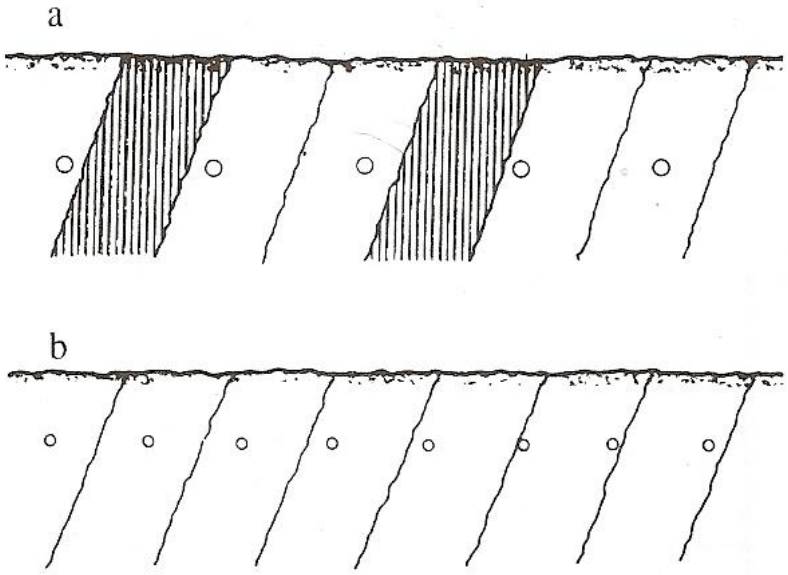
k= ارتفاع پله (فوت)



شکل ۱۶- حجم بیل مکانیکی نسبت به قطر چال حفاری

در لایه هائی از سنگ که داری ناپیوستگیهای روباز و با فاصله زیاد از یکدیگر هستند (و تعداد کمتری از چالهای حفاری با قطرهای بزرگ درصد کمتری از بلوکها را قطع می کنند)، سطح هر درزه باعث بازتاب موج ناشی از انفجار می گردد. این وضعیت، خردشدگی بهتری رابین چال و درزه میسر می گرداند، ولی در پشت درزه‌ها نیز قله سنگهائی بوجود می آورد (شکل ۱۷). بنابراین، بلوکهای فاقد چال در داخل خود، معمولاً خردشدگی ضعیف دارند. این حالت هزینه انفجار ثانویه، بارگیری و سنگ شکنی را افزایش می دهد. هزینه سنگ شکنی نیز از تمام هزینه های صرفه جوئی شده در جریان حفاری چالها با قطرهای بزرگ فراتر می رود. لیکن در مواردی که چال و الگوی حفاری بسیار کوچک است، هزینه های اضافی حفاری از تمام کاهش هزینه های بدست آمده از طریق خردشدگی بهتر برای سنگ بیشتر می گردد.

بنابراین روش بهینه حفاری و انفجار بین این دو حد قرار گرفته است. هزینه های حفاری و انفجار از یک طرف و درجه خردشدگی سنگ از طرف دیگر و حداقل مجموع هزینه های تولید، روش بهینه را تعیین می نماید.



شکل ۱۷ - تاثیر درزه ها بر خردشدگی سنگ به هنگام استفاده از چالها با قطرهای بزرگ (a) و قطرهای کوچک (b).

در قسمتهای هاشور زده خردشدگی به حد کافی مطلوب نیست.

۱-۳-٤- ارتفاع پله و طول چال حفاری

همچنان که در قسمت الف ۳-۱ گفته شد، عوامل متعددی در انتخاب ارتفاع پله موثر هستند. ارتفاع بهینه در هر مورد، با بررسی دقیق اثرات این عوامل پیدا خواهد شد.

لیکن ارتفاع پله ارتباط تنگاتنگی با انتخاب قطر چالها با قطرهای کوچک تر از نسبتهای فوق و متقابلاً محدوده های کوچک تر خردشدگی بهتری را باعث شده زمین لرزه کمتری را ایجاد می نماید. در صورتیکه آتشباری با قطرهای کوچک تر اجازه استفاده از وسائل حفاری سبک تر را نیز می دهد. نکات فوق مخصوصاً در موقعیتهای مشکل و نزدیک مناطق مسکونی قابل توجه هستند، از طرف دیگر معمولاً اگر محدودیت محلی وجود نداشته باشد، آتشباری با استفاده از چالهای با قطر زیادتر حفاری را کاهش می دهد، در صورتیکه عمق برش و خردشدگی مورد نیاز اجازه لازم را برای این کار بدهند. اگر عمق برش باندازه کافی زیاد باشد که اجازه حفر چال به هر قطری را بدهد و نزدیک ترین ساختمان باندازه کافی دور باشد که مسئله ای بوجود نیاورد، آخرین پارامتر برای تعیین قطر چال براساس وسایل بارگیری با توجه به شکل شماره ۱۶ تعیین می گردد.

مطابق قاعده عملی برای ارتفاع جبهه کار، ارتفاع مزبور در حفاری ضربه‌ای باید بشرح زیر باشد:

$$k=(۰/۱ \text{ تا } ۰/۱۵)\,d$$

که در آن: k= ارتفاع پله (متر)

d= قطر چال حفاری (میلیمتر)

یا

$$k=(۸ \text{ تا } ۱۲)\,D$$

که در آن: k= ارتفاع پله (فوت)

D= قطر چال حفاری (اینچ)

با اینحال، چون بزرگی قطر چال به کاهش هزینه حفاری در عملیات با مقیاس بزرگ می انجامد و درعین حال باعث تسهیل استفاده از مواد منفجره ارزان و قابل بارگذاری سریع بصورت فله می گردد، ممکن است پیشروی تا دورترین نقطه‌ای که در آنجا ارتفاع پله معادل ۱/۵ برابر عرض پله یا در حدود ۶۰ برابر قطر چال است اقتصادی تر باشد.

لازم به یادآوری است که کاهش نسبت k/d تا پایین تر از سطح بهینه ممکن است باعث افزایش پرتاب سنگ می گردد. در این گونه موارد، فاصله پرتاب سنگ ممکن است با مسدود کردن قسمت فوقانی چال با خاک بجای موارد ناریه در مجاورت سطح آزاد، کاهش یابد. از طرف دیگر اگر ارتفاع جبهه کار در مقایسه با قطر چال نسبتاً زیاد باشد، امکان انحراف چال حفاری افزایش خواهد یافت، مگر آنکه از مته های حفاری صلب یا مته های میله‌ای (راد) استفاده شود.

چالهای حفاری، معمولاً به طولی معادل ۰/۳ تا ۰/٤ برابر ارتفاع دیواره در پایین تر از سطح کف مورد نظر نیز اضافه حفاری می شوند تا اطمینان حاصل شود که انفجار باعث

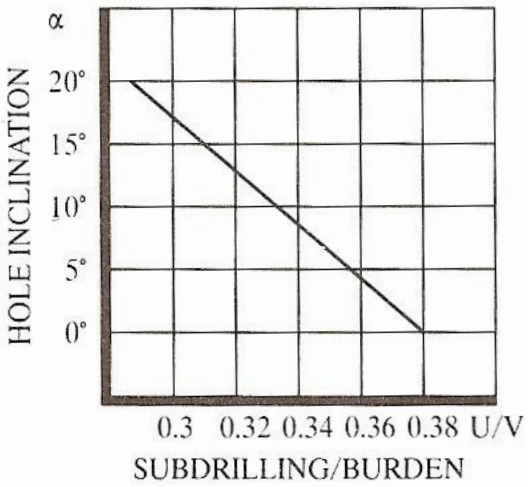
خردشد گی سنگ با دانه بندی مورد نیاز می شود. (شکل ۱۸)

$$U=(۰/۳ \text{ تا } ۰/٤)V$$

که در آن: U= اضافه حفاری در کف چال (متر یا فوت)

V= ارتفاع دیواره (متر یا فوت)

در پاره‌ای موارد، کف پله را می توان با استفاده از ناپیوستگیهای طبیعی توده سنگ حفر کرد و دیگر نیازی به اضافه حفاری در چال نخواهد بود. لیکن، اضافه حفاری در کف چال معمولاً به علت نوع شکستگی سنگ ضرورت پیدا می کند. وقتی ماده منفجره با ضربه‌ای منفجر می گردد، خرد شدن توده سنگ واقع در کف چال حفاری از خرد شدن بقیه سنگها دشوارتر می شود زیرا از همه طرف محدود است. اضافه حفاری در کف چال اساساً تابعی از شیب چال و نوع سنگ است، لیکن در مواردی که مقدار اضافه حفاری لازم در کف چال معلوم نباشد، بهتر است بیش از مقدار مورد نیاز حفاری کنیم و کف چال را بالا نگاه نداریم زیرا در غیر اینصورت ریشه در کف تولید می گردد یکی دیگر از راههای دستیابی به حفاری درست در قسمتهای تحتانی پله انفجاری، استفاده از حفاری افقی در کف پله است (مراجعه شود به بخش ۱ - ۳ - ۸).



شکل ۱۸ - اضافه حفاری عمقی به عنوان تابعی از شیب چال

نقطه بحرانی در تمام آتشباری های اولیه ایجاد ریشه در پای دیواره کارگاه می باشد.

عدم موفقیت در این قسمت برای خردشد گی بعدی سنگ و پاکسازی سطح کف، می تواند مشکل آفرین باشد و به احتمال زیاد موجب شکل گیری انبوهی از سنگ خواهد شد که چندان مطلوب نیست. شکل گیری ریشه را معمولاً می توان به عوامل زیر نسبت داد:

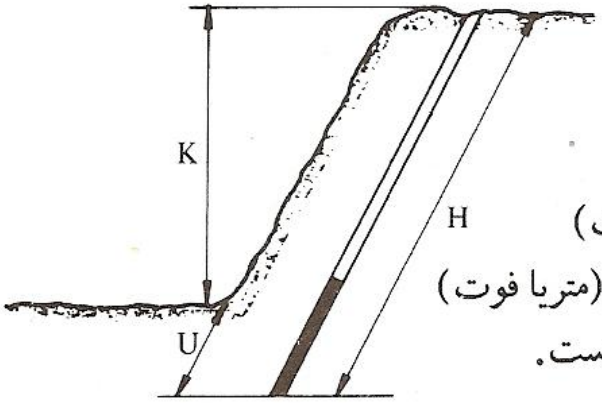
ـ اضافه پوشش سنگی در کف جبهه کار، در صورت لزوم عرض پله بدون رسیدن به پای پله اندازه گیری می گردد (چالهای عمودی)

ـ اضافه ارتفاع پله و فقدان دقت در حفاری به دنبال آن.
ـ اضافه حفاری ناکافی در کف.
ـ بارگزاری ماده منفجره کافی، در قوس پنجه چال حفاری.

این کار، اساساً مستلزم افزایش تمرکز انرژی انفجاری در کف چال حفاری است تا جابجائی خوبی از قسمت تحتانی جبههٔ کار به دست آید. با افزایش طول چال به علت شیب و اضافه حفاری عمقی در کف چال حفاری، طول چال به شرح زیر تعیین می‌شود (شکل ۱۹ و جدول ۱۰):

$$H=k+U+Hi$$

که در آن H= طول چال (متر یا فوت)
k= ارتفاع پله (متر یا فوت)
U= اضافه حفاری عمقی (متر یا فوت)
Hi= افزایش طول چال به علت شیب (متر یا فوت)
Hi= در چالهای عمودی برابر صفر است.



شکل ۱۹ - طول یک چال حفاری

شیب	زاویه با امتداد قائم	طول چال
عمودی	۰°	H=K+ ۰/۳۸V
۷:۱	۸/٤°	H= ۱/۰۱ K+ ۰/۳۵V
٦:۱	۹/۵°	H=۱/۰۱ K+ ۰/۳٤ V
۵:۱	۱۱/۳°	H= ۱/۰۲ K+ ۰/۳۳ V
٤:۱	۱٤°	H= ۱/۰۳ K+ ۰/۳۲ V
۳:۱	۱۸/٤	H= ۱/۰۵ K+ ۰/۳۰ V

جدول ۱۰ - طول چال حفاری

حفاران معادن سنگ و معادن گودالی روباز معمولاً نظرات بسیار متفاوتی درباره ارتفاع پله دارند، در حالی که برخی از ایشان از ارتفاع پله‌ها تا ۳۰ متر دفاع می‌کنند، برخی دیگر قویاً بر این اعتقادند که ارتفاع پله‌ها را باید به حدود ۱۵ متر محدود ساخت. از مطالعات و تحقیقات انجام شده برای پی بردن به اثرات تفسیر جبهه کارها از ۳۰ متر تا ۱۵ متر، نتایج زیر به

دست آمده است (با مقایسه یک جبهه کار ۳۰ متری با دو جبهه کار ۱۵ متری)

امتیازات

- دقت بیشتر در اجرای حفاری چال
- ماکزیموم فواصل چال ها در عرض و طول پله
- سرعت نسبی حفر بیشتر در قسمت های بالائی چال
- امکان بیشتر در خاک برداری انتخابی

معایب

- ساخت و نگهداری پله های بیشتر
- وقفه های طولانی در کار حفاری برای انتقال ماشین حفاری
- دوبرابر شدن اضافه حفاری های عمقی
- تولید قله سنگ بیشتر، بیشتر قله سنگهای بزرگ اندازه ظاهراً از بالای پله تولید می گردند به همین علت از دو جبهه ۱۵ متری، قله سنگهای بزرگ بیشتری به دست خواهد آمد.

چون خرج گذاری ویژه مواد منفجره کاملاً ثابت و فقط تابعی از دانه بندی یا خردشدگی مورد نیاز است، حجم سنگ حفاری شده در هر متر نیز قطع نظر از ارتفاع پله، ثابت است. بنابراین تعداد ساعات کار هر ماشین حفاری برای یک سطح معین را می توان محاسبه کرد.

تجربه نشان داده است که از لحاظ هزینه ماشین در هر ساعت و درجه بهره وری از آن و هزینه قطعات یدکی و مصالح، ارتفاع بهینه کار از ۱۵ تا ۲۰ متر خواهد بود و جبهه های دارای ارتفاع ۲۵ متر نیز همچنان به صرفه هستند. (سطح تولید سالانه ۰/۵ میلیون تن و ۱ میلیون تن).

۱-۳-۵- فواصل چال ها در عرض و طول پله

فواصل چال ها در عرض (V) و طول پله (E)، با توجه به عوامل زیر، تغییرات زیادی پیدا می کنند:

- قطر چال حفاری
- ارتفاع جبهه کار
- خواص توده سنگ
- خواص ماده منفجره
- دانه بندی (خردشدگی) سنگ، سستی کپه مواد منفجره مصرف شده و مقدار موادی که باید جابجا شود.

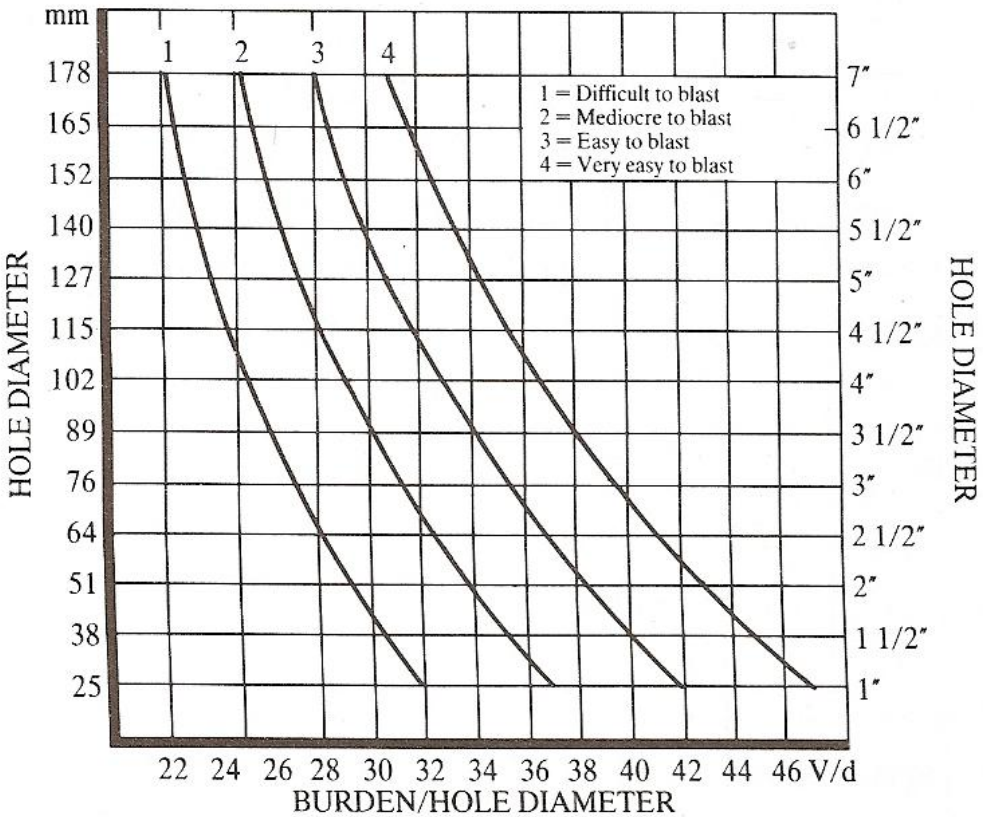
در مواردی که در زمینی ناهموار و صلب یا دارای بلوک به میزان خردشدگی زیادی نیاز باشد (شکل ۱۷)، فواصل بین چال ها در عرض و طول پله باید کم باشد. از طرف دیگر، در مواردی که خردشدگی خوب اهمیت چندانی ندارد یا هنگامی که انفجار در لایه های فوق العاده ترک خورده انجام می شود (که معمولاً دارای دانه بندی یا خردشدگی طبیعی است)، برای رسیدن به نتایج رضایت بخش باید چال های بزرگتر در توده های سنگی حجیم تر حفر نمود.

اگر سنگ بصورت توده‌ای یا یک سازند رسوبی با شیب لایه بندی تند باشد، معمولاً لازم است که برش ناشی از عمل انفجار در سطح کف سنگ بدون کمک از ناپیوستگیهای طبیعی انجام گیرد.

در اینگونه سنگها، الگوی حفاری معمولاً محوطه‌ای که در آن بتوان یک برش رضایت بخش را انجام داد مدنظر قرار می دهد نه خردشدگی بهتر را.

۱-۳-۵-۱- فاصله چالها در عرض پله

برای هر قطر معین چال حفاری، نوع سنگ و قابلیت انفجار آن، یک مقدار بهینه فاصله چال ها در عرض پله (با خردشدگی مناسب) و عدم ایجاد ریشه در پای دیواره وجود دارد.



شکل ۲۰- نسبت حداکثر فاصله چال ها در عرض پله به قطر چال حفاری (V/d) برای قطرهای مختلف چال حفاری به عنوان تابعی از فاصله چال ها در عرض پله به قطر چال حفاری قابلیت انفجار سنگ. شیب چال ها با امتداد قائم ۱۵ تا ۲۰ درجه است. برای چالهای عمودی، فاصله چال ها در عرض پله را معادل ۵ تا ۱۰ درصد کاهش دهید.

فاصله چالها در عرض پله بهینه، معمولاً در محدوده زیر درنظر گرفته می شود و مخصوصاً به خواص سنگ بستگی دارد (شکل ۲۰).

$$V=(۲۵ \text{ تا } ۴۰)\,d$$

که در آن:
V= فاصله چالها در عرض پله (میلیمتر)
d= قطر چال حفاری (میلیمتر)

یا

$$V=(۲/۵ - ۳/۵)\,D$$

که در آن:
V= فاصله چالها در عرض پله (فوت)
D= قطر چال حفاری (اینچ)

ارتفاع پله متر	قطر چال حفاری (میلیمتر)								
	۴۵	۵۱	۶۴	۷۶	۸۹	۱۰۲	۱۱۵	۱۲۷	۱۵۲
۴	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۷۳	۰/۶۶					
۵	۱	۰/۹۷	۰/۸۶	۰/۷۷					
۶	۰/۹۷	۱	۰/۹۸	۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۸۹			
۷	۰/۹۵	۰/۹۷	۱	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۳			
۸	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۸	۱	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۳
۹		۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶
۱۰		۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۹۶	۱	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۸
۱۱		۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۸	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۲		۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۹۷	۱	۱	۱	۱
۱۳			۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱
۱۴			۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۸	۱	۱
۱۵			۰/۸۲	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۹
۱۶				۰/۸۴	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۸
۱۷				۰/۸۲	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸
۱۸					۰/۸۷	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۷
۱۹					۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۶
۲۰					۰/۸۴	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۵
۲۱						۰/۹۲	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۴
۲۲						۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۳
۲۳							۰/۸۹	۰/۹۱	۰/۹۲
۲۴							۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۱

جدول ۱۱ - ضرایب تصحیح برای مقادیر فاصله چال ها در عرض پله نشان داده شده در شکل ۲۰ (به مثال زیرین مراجعه شود)

مثال

قطر چال	۸۹ میلیمتر
ارتفاع پله	۱۶ متر
شیب چال	۱:۳ (۱۸ درجه)
نوع سنگ	سنگ آهک
پایداری سنگ	خوب تا بسیارخوب
فاصله چالها در عرض پله بهینه	(شکل ۲۰) V=۳۶
	V= ۳/۲
ضریب تصحیح (متر K=۱۶)	(جدول ۱۱) V= ۰/۹۱
فاصله چالها در عرض پله (متر K=۱۶)	متر V= ۰/۹۱ x ۳/۲
	متر V= ۲/۹۰

در موارد زیر تاثیر مقادیر متغیر فواصل چالها در عرض پله نشان داده شده است:

مقادیر فاصله چالها در عرض پله پائین تر از سطح بهینه

در مواقعی که فاصله چالها در عرض پله از سطح بهینه پائین تر قرار می گیرد، با ثابت ماندن باقیمانده پارامترها، موج های برگشتی ناشی از برخورد با ترک خوردگی ها چنان سریع در مقابل چالهای انفجار به وقوع می پیوندد که بخش بزرگی از انرژی تغییر مکانی آن به شکل انفجار صوتی پیش از آنکه بتواند کاملاً در خردشدگی سنگ موثر واقع شود، در فضای اطراف از دست می رود (مخصوصاً بین چالهای حفاری) در ضمن پرت شدن و پراکنده شدن سنگ را نمی توان بطور کامل مهار کرد.

مقادیر فاصله چالها در عرض پله بالاتر از سطح بهینه

در مواردی که فاصله چالها در عرض پله از مقدار بهینه فراتر می رود، عدم توانایی موج برگشتی در فاصله های زیاد مانع بهره وری موثر از انرژی جابه جایی کافی و خردشدگی لازم می شود.

در مواردی که فاصله چالها در عرض پله خیلی زیاد باشد، گازهای منفجره تا مدتی طولانی تر از مدت بهینه در داخل چال محبوس می شوند. در اثر کاهش جابه جایی ارتعاشات زمین افزایش می یابد. گازهای خارج شده باعث افزایش طول ناپیوستگیهای طبیعی ترکهای ناشی از موج برگشتی در اطراف چالهای انفجاری می شوند.

در مواردی که فاصله چالها در عرض پله بیش از حد زیاد باشد، گازهای انبساط طوری

رفتار می کنند که گویی فقط در جبهه آزاد افقی وارد فعالیت شده اند و ضربه انفجاری به یک انفجار آتشفشانی تبدیل می شود.

مقدار انتخاب شده برای فاصله چالها در عرض پله باید اثرات عدم عملکرد، را به حداقل برساند و خردشدگی، جابه جایی و سستی توده بعد از انفجار، مصالح لازم برای پاکسازی بمنظور اجرای عملیات خاکبرداری کارآمد را با کمترین هزینه فراهم آورد. انحراف امتداد چال حفاری، خطاهای تغییر امتداد در اثر اتصال رادها و امتدادیابی نیز باید در محاسبه مقادیر برای فاصله چالها در عرض پله در نظر گرفته شوند.

در موردی که ارتفاع پله کم است (K < V.d) فاصله چالها در عرض پله را می توان با شکل ۲۱ و معادله زیر محاسبه کرد:

$$V = V\ max - ۰/۱ - ۰/۰۳\ K$$

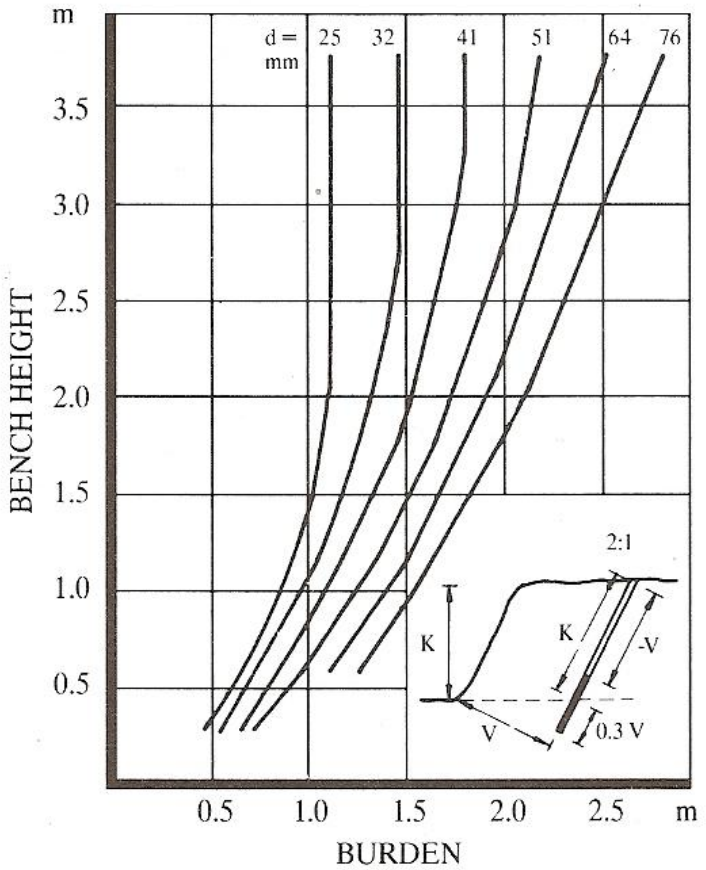
که در آن:

V= max= حداکثر فاصله چالها در عرض پله (متر)

۰/۰۳ K= خطای امتدادیابی (متر)

۰/۱= خطای تغییر امتداد در اثر اتصال رادها (متر)

K= ارتفاع پله (متر)



شکل ۲۱- حداکثر فاصله چالها در عرض پله با ارتفاع پله معادله K < 70d به عنوان تابعی از قطر چال حفاری و قابلیت انفجار خوب.

فاصله چالها در عرض پله در مواردی که $K > 70d$ است به قطر چال حفاری، دانسیته خرج گذاری نوع ماده منفجره، درجه کوبیدگی، ثابت نوع سنگ، ضریب شیب و نسبت فاصله بین چالها و فاصله چالها در عرض پله براساس معادله زیر بستگی دارد:

$$V = d/(33\sqrt{\frac{Ps}{cf(E/V)}})$$

که در آن:

d = قطر چال حفاری (میلیمتر)

P = دانسیته خرج گذاری (کیلوگرم/مترمکعب)

S = مقاومت وزنی ماده منفجره

S = ۱-۱/٤

f = ضریب شیب

f =۱ در چالهای عمودی

F = ۰/۹ شیب ۱:۳

E/V = نسبت فاصله بین چالها در طول و عرض پله

C = ثابت توده سنگی (از روی ثابت C محاسبه می شود)

ثابت توده سنگی، حداقل مقدار ماده منفجره (کیلوگرم) لازم برای خارج کردن یک مترمکعب جامد سنگ است. در حفاری روباز معمولی در سنگ سخت (با قابلیت انفجار نسبتاً آسان) C= ۰/٤ کیلوگرم/مترمکعب است، این مقدار را می توان از انفجارهای آزمایشی به دست آورد ولی تعیین آن همیشه آسان نیست. مقدار C در سنگهای نسبتاً نرمتر تا حدودی کاهش می یابد، در بخش ۱-۸-۷ روش تعیین این ضریب شرح داده شده است.

هرگاه $V \geqq 1.4\ m,\quad c = c + 0.75$ متر باشد

هرگاه $V \leqq 1.4\ m,\quad c = 0.07/V + c$ متر باشد

۱-۳-۵-۲- فواصل بین چالها در طول پله

فواصل بین چال در طول پله با توجه به ارتفاع و فاصله چالها در عرض پله محاسبه می شود. به عبارت دیگر، پیش از تعیین فواصل بین چال در طول پله، تکمیل محاسبات مربوط به فاصله چالها در عرض پله ضرورت دارد. از مدارک تئوریک و تجربی چنین نتیجه می شود که نسبت بهینه برای فواصل بین چالها در طول و عرض پله از ۱/۱ تا ۱/٤ نوسان دارد.

هنگام حفاری در سنگ معمولی، فواصل بین چال در طول پله با فرمول زیر تعیین می شود:

$E = ۱/۲۵ V$

که در آن: فواصل بین چالها در طول پله (متر یا فوت) = E

فواصل بین چال در عرض پله (متر یا فوت) = V

با استفاده از نسبت فواصل بین چالها در طول و عرض پله (E/V) می توان به نتایج کافی و مناسب در انفجار، مخصوصاً در سازندهای حجیم و سخت شکن دست یافت.

بطور کلی اگر نسبت فواصل چالها در طول و عرض پله بزرگ تر از ۱ باشد (E/V) باعث پیچش و پارگی بیشتر در سنگ، شکافتگی کمتر در امتداد خط چالها و اضافه حفاری کمتر در مقایسه با زمانی است که فواصل بین چالها در طول پله به مقدار قابل ملاحظه ای از فواصل بین چالها در عرض پله کمتر باشد و این وضع به پیش شکافتگی زودرس بین چالهای انفجاری و زودتر سست شدن اطراف چالها می انجامد. در هر دو حالت، خروج سریع گازها تا رسیدن به فضای اطراف، تسریع می شود:

اضافه حفاری، غالباً زیاد است.

در مورد حفاری ویژه ثابت و خرج گذاری ویژه ثابت، هر گاه مقادیر E/V تا ٤ افزایش یابد و از الگوی نایکنواخت استفاده شود (بخش ۱-۳-۷) دانه بندی و خردشدگی سنگ تا حدودی اصلاح خواهد شد. لیکن اگر فواصل بین چالها در طول پله خیلی زیاد باشد توده سنگ میانی آخرین ردیف ممکن است به خوبی شکسته نشده و سنگ بصورت رگه های مخروطی شکل درآمده و باعث کاهش نسبی کارآیی عمل خاکبرداری، مخصوصاً در مجاورت یا در داخل محدوده سطح شیب شوند. از طرف دیگر، اگر فواصل بین ردیفهای عقب خیلی کم باشد نواحی نیمه استوانه ای ترک خردگی پشت هر چال به مقدار بیشتری بر یکدیگر منطبق می شوند و کمربند پیوست عریض تری متشکل از سنگ گسسته تشکیل می دهند.

در مواردی که چالهای حفاری با قطر بزرگتر مورد استفاده قرار می گیرند، نسبت E/V را می توان تا رسیدن به مقدار ۱ آزاد گذاشت. در مورد انفجار ترانشه نیز که سنگ امکان تخلیه آزادانه ندارد، همین گفته مصداق پیدا می کند.

فواصل انتخاب شده برای چالها در طول پله باید حالت میانگین داشته باشند: یعنی به قدر کافی زیاد باشند تا از روی هم افتادگی ناحیه خرد شده اطراف هر چال حفاری با ناحیه خردشده چالهای مجاور جلوگیری کند و به قدر کافی کم باشند تا توزیع نسبتاً یکنواخت انرژی انفجاری را در سنگی که قرار است شکسته و برداشته شود، فراهم آورند.

۱-۳-۵-۳- کارآیی الگوی حفاری

منظور از کارآیی الگوی حفاری، مقدار سنگی است که می توان با انفجار هر چال

حفاری بدست آورد. این کار آیی را می توان با استفاده از پارامترهای الگوی حفاری زیرین تعیین کرد:

- تسلیم شدگی توده سنگ در هر متر چال حفر شده، متر حفاری / مترمکعب توده سنگ.
- حفاری ویژه مترمکعب توده سنگ / متر حفاری

این پارامترها عمدتاً به قطر چال، قابلیت انفجار سنگ و ارتفاع پله بستگی دارند. تسلیم شدگی سنگ در هر متر چال حفر شده را می توان با استفاده از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$Y_1 = KE\ V / H\cos\alpha$$

که در آن:

Y= تسلیم شدگی سنگ در هر متر چال حفر شده متر

K= ارتفاع پله (متر)

E= فواصل بین چالها در طول پله (متر)

V= فواصل بین چالها در عرض پله (متر)

H= طول چال (متر)

α= شیب چال از قائم (درجه)

از تابع عکس تسلیم شدگی در هر متر چال حفر شده - حفاری ویژه - که همان نسبت طول چال حفر شده به حجم توده سنگ (مترمکعب) است نیز برای اندازه گیری کار آیی پارامترهای الگوی انتخاب شده حفاری استفاده می شود. این تابع با افزایش قطر چال و قابلیت انفجار سنگ کاهش می یابد.

$$S = 1/y_1$$

که در آن:

S= حفاری ویژه (مترمکعب توده سنگ/ متر حفاری)

Y= تسلیم شدگی در هرمتر حفاری (مترحفاری /مترمکعب توده سنگ)

کاربرد این معادلات در بخش ۱-۳-۹- تشریح شده است.

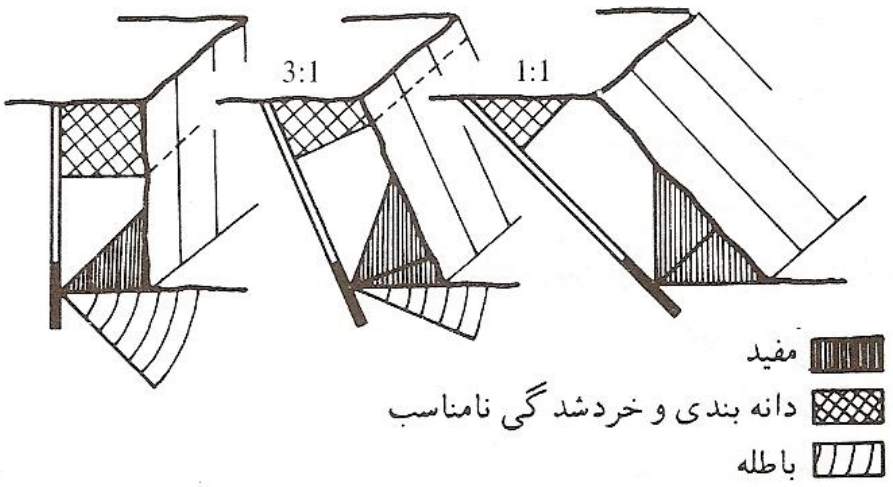
۱-۳-۶- شیب چالهای حفاری

استفاده از چالهای شیبدار در انفجار پله‌ای به عنوان کوششی برای غلبه بر مشکلات خردشدگی به سمت عقب رایج شد، و معلوم شده است که در مقایسه با چال عمودی امتیازات بسیار دارد:

- کاهش هزینه حفاری و ماده منفجره به دلیل زیاد بودن فاصله چالها در عرض پله
- بهتر بودن خطر خردشدگی به سمت عقب و مسائل تولید ریشه

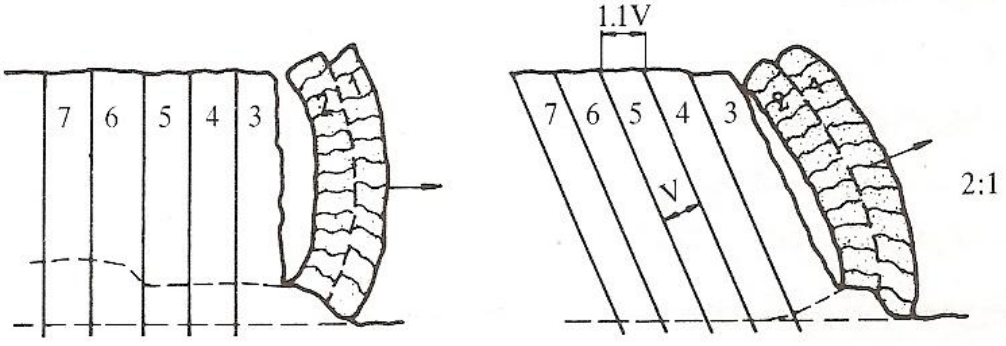
حفاری و انفجار شیبدار به ایجاد یک موج ضربه‌ای و انعکاس یافته موثرتر در قسمت ریشه بحرانی چال حفاری می انجامد، و در همان حال از مقدار مقاومت نیز کاسته می شود زیرا فشردگی ریشه کمتر است (شکل ۲۲). غالباً امکان افزایش فاصله چالها در عرض پله در روی

این گونه چالها و نتیجتاً کاهش هزینه های حفاری و مواد منفجره برای هر واحد پوشش سنگی (شکل ۲۳) وجود داشته است. از آنجا که مسیر پرتاب در انفجار با چال شیبدار در جهت عمود بر امتداد چالها می باشد، شکل و محل انباشت مواد جابه جا شده نیز برای بارگیری بالودرهای جلو عقب آسانتر می شود زیرا مواد در سطح پایین تری دپو شده و دارای پهنای بیشتر گردیده و شدیداً متراکم نیست.



شکل ۲۲- مزایای چالهای شیبدار، حفاری و انفجار شیبدار به ایجاد یک موج ضربه‌ای و انعکاس یافته موثر در قسمت ریشه بحرانی چال حفاری می انجامد.

در انفجار با چال عمودی، قسمتهای فوقانی پله غالباً در اثر شکستگی قسمت عقب، به طرز نامناسبی از حالت عادی خارج می شوند. به همین علت، در اغلب موارد، استقرار تجهیزات حفاری در نزدیکی لبه پله، خطرناک و گاهی غیرممکن است. در انفجار با چال شیبدار، خطر شکستگی قسمت عقب در بالای چالها کمتر است، ولی مهمترین نکته این است که اگر شیب چال معادل ۳: ۱ (۱۸ درجه) باشد، قسمت تحتانی حفر شده می تواند با شیب ۳: ۱ رو به پایین بلغزد تا آنکه به شکستگی سطحی مورد نظر اولیه برسد، البته در صورتی که در ردیف قبلی حفاری سنگ به آنجا نرسیده باشد. به هنگام حفاری در سنگهای بزرگ، با چالهای شیبدار، هر گاه ریشه یا پنجه‌ای وجود داشته باشد (شکل ۲۳)، سنگ های گرد خود را تا تراز شیب پایین خواهند کشید.



شکل ۲۳- با چالهای شیبدار، سنگ گرد، خود را تا تراز شیب پائین خواهد کشید.

تسلیم شدگی سنگ در هر متر چال حفر شده با چالهای شیبدار، تا حدودی از تسلیم شدگی آن با چالهای عمودی بیشتر است. اگر زاویه شیب خیلی تند نباشد، کارآیی بهتری در سنگ به دست خواهد آمد.

موارد زیر از معایب چالهای شیبدار به شمار می روند:

- افزایش خطاهای امتدادیابی.
- ضرورت نظارت دقیقتر.

دست یابی به دقت بیشتر در حفاری چالهای شیبدار مخصوصاً در پله های فوق العاده مرتفع، دشوارتر است. استقرار تجهیزات در مورد چالهای عمودی آسانتر است ولی تعداد خطاها، بیشتر شدن زاویه، تا حدودی زیادتر می شود. برای تضمین امتدادیابی دقیق برای چالهای شیبدار، نظارت دقیقتر ضروری است.

مزایای چالهای شیبدار از معایب آن بیشتر است، مشروط بر آنکه نظارت دقیقی اعمال شود و چالها دقیقاً امتدادیابی شوند. مقادیر مربوط به طول واقعی چالها (H) که از شیبهای دشوار به دست می آیند در جدول شماره ۱۰ نشان داده شده اند.

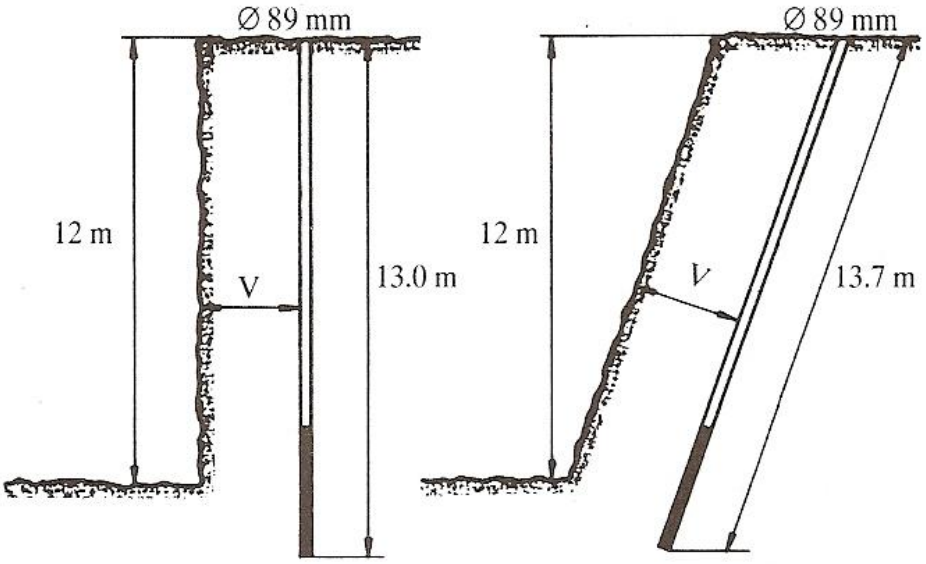
شیب چال		۳:۱	عمودی
قطر چال	میلیمتر	۸۹	۸۹
ارتفاع پله	متر	۱۲	۱۲
اضافه حفاری عمقی در کف	متر	۰/۹۵	۰۱/۱۵
طول چال	متر	۱۳/۶۰	۱۳/۱۵
فواصل بین چالها در عرض پله	متر	۳/۱۰	۲/۹۵
فواصل بین چالها در طول پله (۱/۲۵=)	مترمکعب	۳/۸۵	۳/۷۰
تسلیم شدگی در هر متر چال حفر شده	مترمکعب	۱۱/۱۰	۹/۹۶
تسلیم شدگی در هر چال حفر شده	مترمکعب	۱۵۰/۹	۱۳۱
تسلیم شدگی نسبی	٪	۱۱۵	۱۰۰

جدول ۱۰

۱-۳-۶-۱- در یک امتداد بودن چالهای حفر شده

در یک امتداد بودن چالهای حفر شده در حفاری پله ای به چهار عامل بستگی دارد.

- خواص سازه ای تودهٔ سنگ
- سختی و نوع فولادهای مورد استفاده برای حفاری



شکل ۲٤- تسلیم شد گی در هر متر چال حفر شده به نسبت شیب سنگ افزایش می یابد.

- خطاهای اتصال رادها
- خطاهای امتدادیابی

در یک امتداد بودن چال حفاری، در پاره‌ای موارد، شدیداً تحت تأثیر خواص سازه‌ای تودهٔ سنگ از قبیل سطوح شیستوزیته، درزه های سست و باز، و شکافهای پر از مواد نرم قرار می گیرد. این سطوح مخصوصاً در منحرف ساختن چال حفاری از مسیر مورد نظر به هنگامی که مسیر حفاری نسبت به آنها مایل باشد، مؤثر واقع می شود.

هنگامی که راد انتخاب شده به قدر کافی سخت نباشد یا قطر سر مته در مقایسه با قطر راد خیلی بزرگ باشد، بر انحراف چال حفاری افزوده می شود. این وضع به علت نا کافی بودن مقاومت خمشی رادها پیش می آید. هنگام انتخاب قطر راد برای یک چال حفاری خاص، این نکته را نیز باید در نظر داشت که هر قدر راد سخت تر باشد- یعنی هر قدر قطر آن بیشتر باشد- شستشوی چال با آب نیز به همان اندازه مؤثرتر واقع خواهد شد و علت آن افزایش قطر چال شستشو کننده در راد و افزایش هوای تحت فشار بین راد و دیوارهٔ چال است.

خطاهای اتصال رادها و امتدادیابی، رایج ترین علل برای حفر چالهای اشتباه در حفاریهای پله ای هستند. خطای اتصال رادها (انتخاب اشتباه آمیز محل چال در نقطهٔ حفاری) معمولاً بیش از ۵ سانتیمتر و در اکثر موارد در حدود قطر یک چال است. خطاهای امتدادیابی، معمولاً از امتداد اشتباه شروع چال ناشی می شود.

اهمیت انحراف چال حفاری

مثال زیر نشان می دهد که چگونه در یک امتداد بودن چال در هزینه های حفاری و انفجار

سختی راد حفاری		ارتفاع	عادی
انحراف چال	متر/ سانتیمتر (٪)	۳ - ۱	۵ - ۳
روش امتدایابی	متر/ سانتیمتر (٪)	دستگاه نشان دهنده	دست
خطای امتدایابی	متر/ سانتیمتر (٪)	۱- ۰/۵	٤ - ۱

جدول ۱۱ - در یک امتداد بودن چال حفاری

برای خاکبرداری در یک بزرگراه متوسط مؤثر واقع می شود.

با استفاده از ابزارهای امتدادیابی و سخت ترین راد ممکن، مـی توان به یک صرفه جویی ۱۰ تا ۱۵ درصدی دست یافت.

۱- شرایط محل کار

نوع حفاری:	خاکبرداری برای بزرگراه
پایداری سنگ:	خوب تا بسیار خوب
ارتفاع پله:	۱۲ متر
قطر چال حفاری:	۸۹ میلیمتر (۳/۵ اینچ)
شیب چال:	۱۸ درجه (۳:۱)
هزینهٔ حفاری:	٤/۸۰ دلار آمریکا بازاء هر متر چال

۲- مقایسهٔ هزینه ها

روش امتدایابی قطر راد	میلیمتر	دستی ٤۵	زاویه نما ۵۱
انحراف کلی چال	متر /سانتی متر (٪)	٤	۲
فواصل بین چالها در عرض پله	متر	۳/۱۰	۳/۳۰
فواصل بین چالها در طول پله	متر	۳/۸۵	٤/۱۰
اضافه حفاری عمقی	متر	۰/۹۵	۱
طول چال	متر	۱۳/٦۰	۱۳/٦۵
تسلیم شد گی درهر متر چال حفرشده	متر چال حفرشده /مترمکعب	۱۱/۱۰	۱۱/۵٤
تسلیم شد گی در هر چال	هر چال / مترمکعب	۱۵۰/۹	۱۷۱/۱
هزینه حفاری	مترمکعب/ دلار امریکا	۰/٤۳۲	۰/۳۸۳
ماد منفجره اولیه (دینامیت)	کیلو گرم	٤	٤
هزینهٔ مواد منفجره اولیه	دلار امریکا/ کیلو گرم	۳/۱۰	۳/۱۰

←

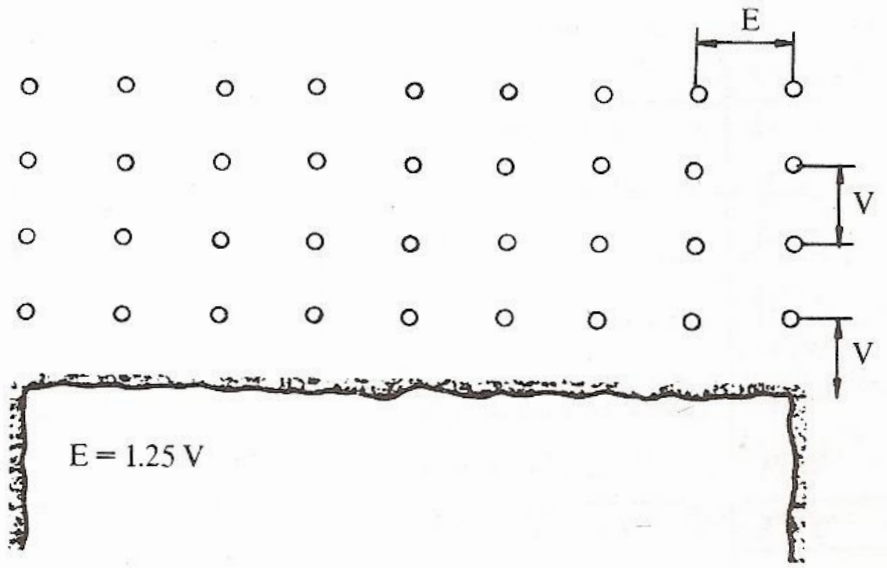
خرج Anfo	کیلوگرم	۵۵/۰	۵٤/۲
قیمت Anfo	دلار امریکا/ کیلوگرم	۱/۹۰	۱/۹۰
کل خرج (منفجره)	دلار امریکا/ چاشنی	۵۹	۵۸/۲
هزینه چاشنی Cap	کیلوگرم/ مترمکعب	۰/٤۰	۰/٤۰
خرج گذاری ویژه	دلار امریکا/ مترمکعب	۰/۳۹	۰/۳۲
هزینه نیروی کار	دلار امریکا/ مترمکعب	۰/۰۸	۰/۰۸
هزینه انفجار	دلار امریکا/ مترمکعب	۰/۸۵۷	۰/۷۵۷
هزینه کل	دلار امریکا/ مترمکعب	۱/۲۸۹	۱/۱٤۰
هزینه نسبی	دلار امریکا/مترمکعب	۱۰۰	۸۸

۱-۳-۷- هندسه الگوی حفاری

الگوهای حفاری رایج به شکل مربع مستطیل هستند و علت اصلی آن نیز سهولت علامت گذاری این شکلها بر روی زمین و اجرای حفاری بر روی آنها است.

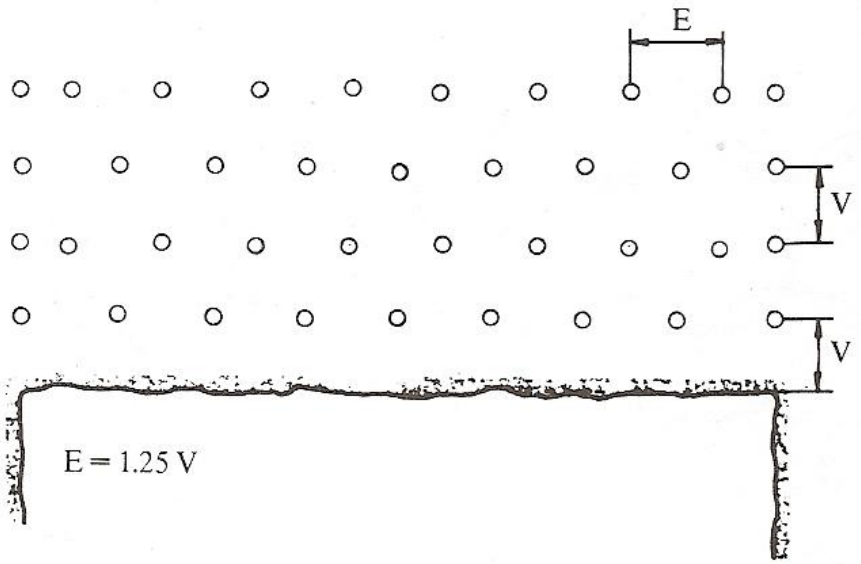
لیکن همچنان که روز به روز آشکارتر می شود، استفاده از الگوهای غیرمنتظم نتیجه بخش تر است.

در الگوی چهار گوش، فواصل بین چالها در عرض و طول برابر است چالهای واقع در هر ردیف، در پشت چال ردیف جلویی در یک امتداد قرار گرفته اند. در الگوی مستطیلی (شکل ۲۵)، فواصل بین چالها در عرض از فواصل بین چالها در طول کمتر است. چالهای واقع در هر ردیف، مجدداً به طور مستقیم در پشت چالهای ردیف جلویی امتداد یافته اند.



شکل ۲۵- الگوی حفاری مستطیلی

در الگوی غیرمنتظم، فواصل بین چالها در عرض و طول پله ممکن است برابر باشند (شکل ۲۶)، لیکن در اغلب موارد، فواصل بین چالها در عرض پله از فواصل بین چالها در طول پله کمتر است (شکل ۲۷). چالهای واقع در ردیفهای بعدی در وسط فواصل بین چالهای ردیف جلویی خودشان قرار می گیرند. الگوی غیرمنتظم، معمولاً مستلزم ایجاد چالهای اضافی برای دست یافتن به یک سکوی یکنواخت در پایان هر مرحله انفجار هستند. در بهترین حالت چالها باید به صورت شبکه هایی از مثلث متساوی الاضلاع حفر شوند، زیرا بدین ترتیب توزیع جانبی بهینه ،انرژی انفجاری در توده سنگ (شکل ۲۸) تامین می شود و در عین حال انعطاف پذیری بیشتری در ترتیب آغاز (و نتیجتاً در جهت آتشباری) فراهم می آید. در الگوهای مثلث متساوی الاضلاع، هزینه انفجار برای تامین دانه بندی یا خردشدگی، مساوی است. در حالی که بدین ترتیب وضعیت بهینه بیش از اندازه ساده تر می شود. ناحیه خردشدگی در اطراف هریک از چالهای الگوی حفاری، ناحیه های نسبتاً کوچکتری ایجاد می کنند که در داخل آنها اثری از خردشدگی ناشی از انفجار نیست.

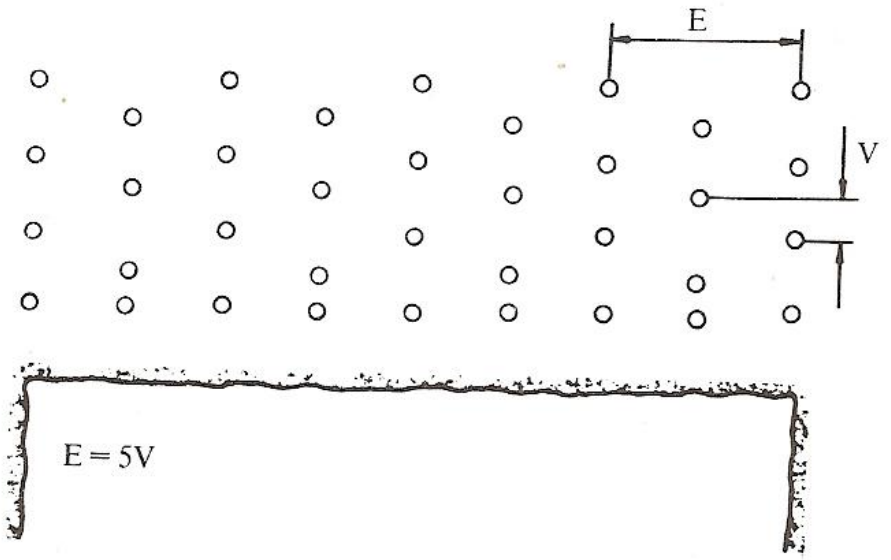


شکل ۲۶ - الگوی غیرمنتظم با فواصل بین چالها در طول پله معادل ۱/۲۵ برابر فواصل بین چالها در عرض پله.

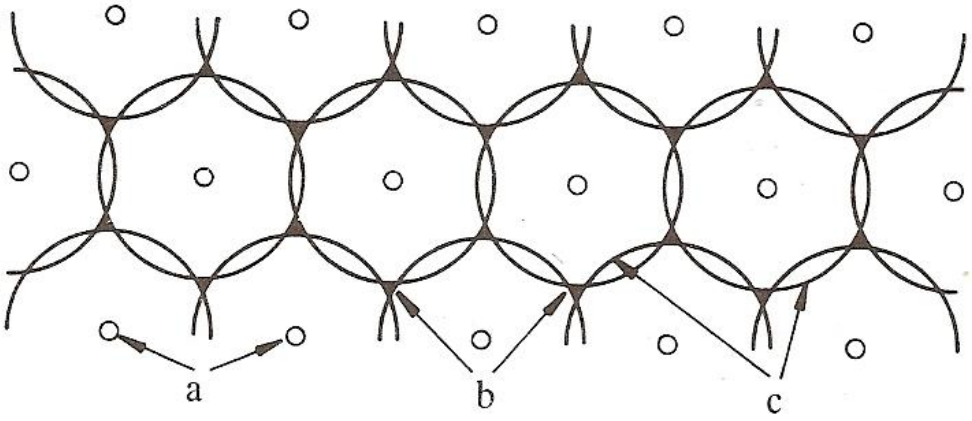
لازم به یادآوری است که فقط وقتی چالها در محل طراحی شده خود حفر شوند، مواد منفجره می توانند عملکرد بهینه‌ای داشته باشند. در موردی که حفاری دقیق نباشد، حفاری اولیه را نمی توان به صورت بهینه در آورد و هزینه و عملیات بعدی به طرز اجتناب ناپذیری افزایش می یابد. مثلاً اگر خطاهای انتخاب محل چالها تا ۱۰ درصد فواصل بین چالها برسد، نتیجه شرح زیر خواهد بود:

- حجم زیاد سنگهای نشکسته

ـ افزایش احتمال بریدگی سنگ و خطای آتشباری در اثر ناکافی بودن فواصل بین چالها در تاخیرهای مختلف.



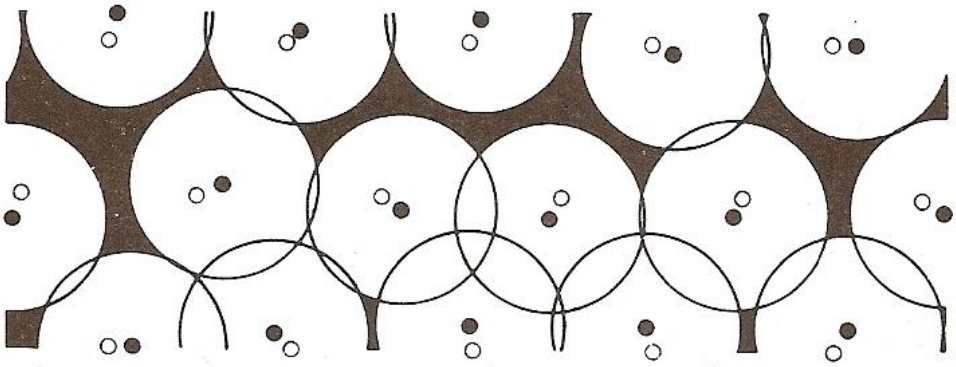
شکل ۲۷ - الگوی غیرمنتظم، با فواصل بین چالها در طول پله معادل ۵ برابر فاصله بین چالها در عرض پله.



a = چال حفاری
b = محوطه‌ای که تحت تاثیر انفجار قرار گرفته است.
c = حدود تاثیرات انفجار

شکل ۲۸ - الگوی مثلثی و توزیع انرژی انفجاری.

همچنین مشاهده شده است که اغلب انفجارها با همان طرح هندسی که حفر شده‌اند آتشباری نگردیده‌اند، به عبارت دیگر در یک انفجار واحد الگوی حفاری ممکن است با الگوی انفجار تفاوت داشته باشد. نتایج مطلوب فقط زمانی به دست خواهد آمد که الگوی حفاری تفاوتی با الگوی انفجار نداشته باشد.



ترک خوردگی ناکافی در سنگ

○ محل طراحی شده چالها

● محل واقعی چال در اثر خطای امتدادیابی.

شکل ۲۹ - اثر خطاهای امتدادیابی در تعیین محل چالهای حفاری

۱-۳-۸- چالهای افقی در حفاری پله‌ای

در حفاری پله‌ای سنتی، برش کافی توده سنگ در قسمتهای تحتانی پله، معمولاً با اضافه حفاری عمقی در کف چال و تمرکز بیشتر مواد منفجره در قسمت تحتانی چال میسر می‌شود. بدین طریق در برخی از انواع سنگ که نسبتاً همگن هستند می‌توان با نتایج خوبی حفاری کرد. لیکن مواردی نیز هست که شرایط متغیر توده سنگی برش کافی سنگ در قسمتهای تحتانی پله را محدود می‌سازد. اگر افزایش ارتفاع خرج تحتانی یا حفاری ویژه نتواند دست یابی به نتایج بهتر را ممکن سازد، طریق دیگر برای برش صحیح سنگ در قسمتهای تحتانی پله، استفاده از چالهای افقی است مخصوصاً در اروپای مرکزی از چالهای افقی به طرز موفقیت آمیزی در معادن روباز سنگ آهک، ماسه سنگ و گرانیت استفاده شده است.

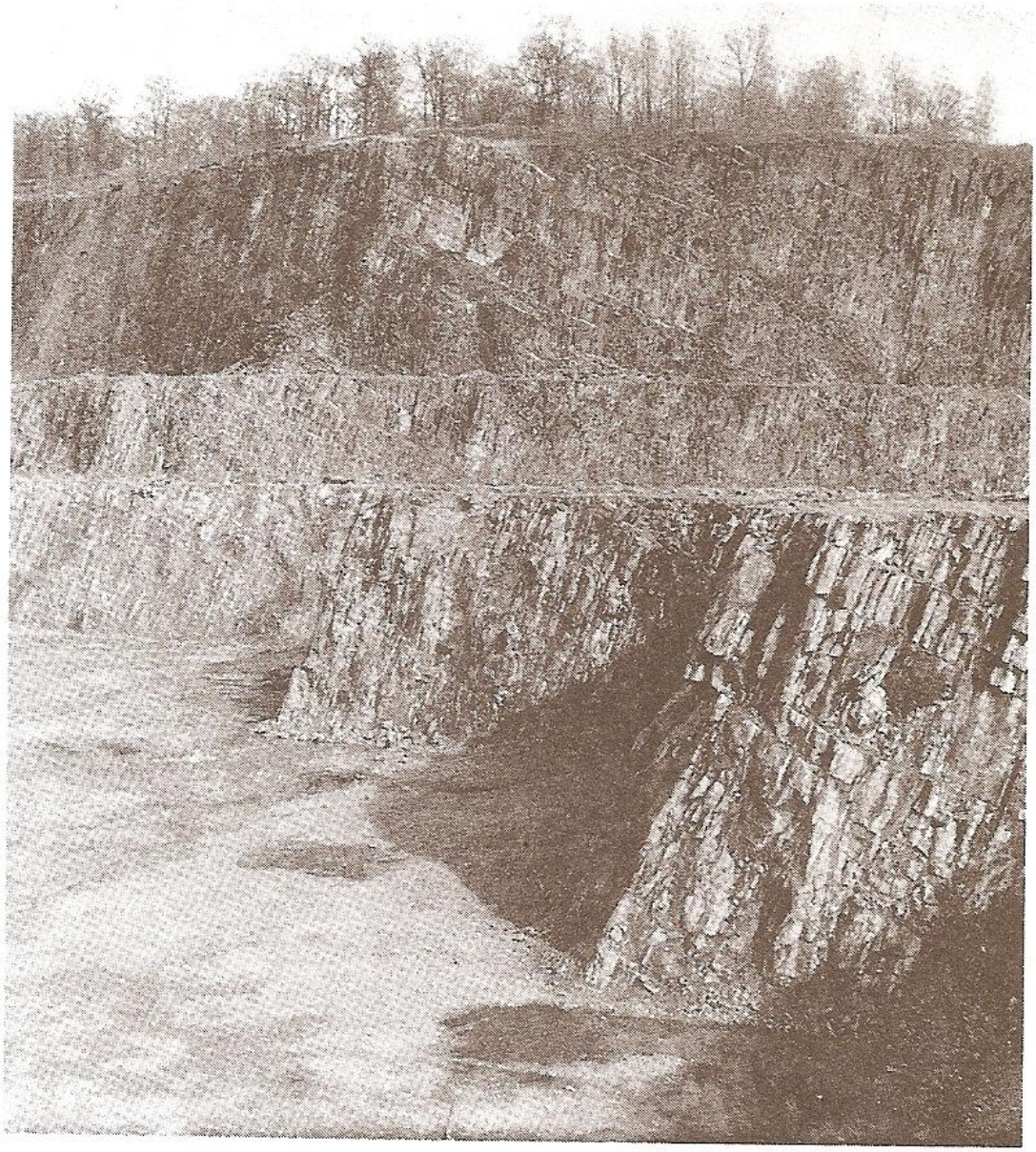
استفاده از این تکنیک، مزایای خاص زیر را در شرایط گوناگون توده سنگی دارد:

- برش کافی و یکنواخت در قسمتهای تحتانی پله.
- تمرکز سبکتر مواد منفجره در کف پله.
- کاهش ترک خوردگی در قسمتهای فوقانی پله یا برهم خوردگی در سطوح پائین.

- موارد زیر از نکات منفی حفاری افقی به شمار می‌روند:

- افزایش مقدار حفاری ویژه در برشهای سنگ
- ویژگیهای فنی خاص لازم برای دستگاههای حفاری چرخ زنجیری سطحی که مورد استفاده قرار می‌گیرند، بازوی حفاری دستگاه باید برای حفاری افقی مناسب باشد.
- حرکت بیشتر برای دستگاه حفاری بین دو سطح پله.

برای استفاده از چالهای افقی در حفاری و انفجار پله ای، دو گزینه وجود دارد: نخست در حفاری چالهای افقی و عمودی (شیدار) می توان یک قطر واحد را انتخاب و رعایت کرد.

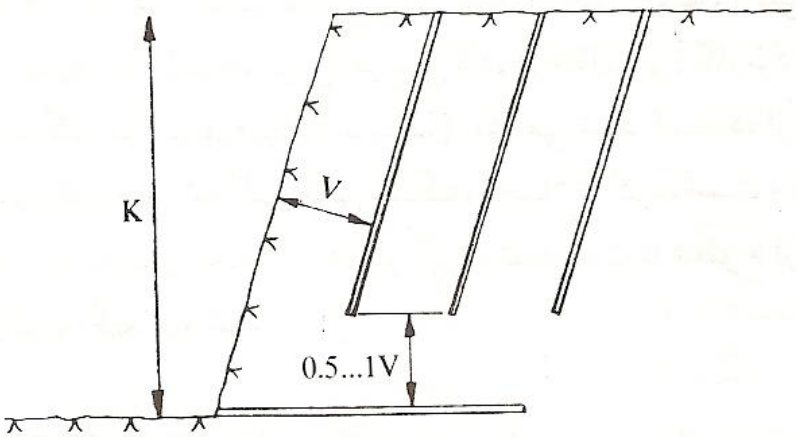


شکل ۳۰- استفاده از چالهای افقی، برش کافی و یکنواخت سنگ را تضمین می کند.

در این گزینه، روش معمول عبارت است از انتخاب قطرهای ۸۹ تا ۱۰۰ میلیمتری (۳/۵ تا $\frac{1}{4}$ ۴ اینچ) برای چالهاَ، ثانیاً، چالهائی با قطر کوچکتر یعنی ۳۸ تا ۷۶ میلیمتر (۱/۵ تا ۳ اینچ) را می توان در حفاری افقی مورد استفاده قرار داد. موفقیت در تکنیکهای حفاری و انفجار افقی تا حد زیاد به توالی صحیح آتشباری بستگی دارد. این موضوع با شرح بیشتر در بخش ۲ بررسی شده است. در زیر، اصول طراحی استقرار چالهای افقی شرح داده شده است:

فواصل بین چالها در عرض و طول پله در الگوی حفاری عمودی (یا شیبدار)، بر طبق تئوری و روشی طراحی می شوند که قبلاً در همین بخش تشریح شد. در اینجا مقدار فواصل بین

چالها در عرض پله (با الگوهای دارای طرح هندسی E= ۱/۲۵ V) به قطر چال (d)، ارتفاع پله (k)، شیب چال (a) و قابلیت انفجار سنگ بستگی دارد.



شکل ۳۱- اصول استقرار چالهای افقی در حفاری پله‌ای.

چالها در الگوی عمودی، معمولاً با عمقی از ۰/۵ تا ۱ برابر V تا سطح کف برش سنگ حفاری می‌شوند و به عبارت دیگر V_2 تحتانی در چالهای افقی به شکلی است که در شکل ۳۲ دیده می‌شود.

V_2 = ۰/۵ تا ۱ (V)

که در آن:

V_2 = فواصل بین چالها درعرض پله افقی (متر)

V = فواصل بین چالها در عرض پله عمودی (متر)

در اینجا فاصله بین کف برش سنگ تا کف چالهای عمودی به عنوان فواصل بین چالها در عرض پله در حالت افقی درنظر گرفته می‌شود. فواصل بین چالهای افقی یعنی E_2 نیز به طریق مشابه و با در نظر گرفتن فواصل بین چالها در طول پله در الگوی عمودی تعیین می‌شود، که عبارت خواهد بود از:

E_2= ۰/۵ E

که در آن:

E_2 = فواصل بین چالها در طول پله افقی (متر)

E = فواصل بین چالها در طول پله در الگوی عمودی (متر)

طول چالهای افقی H_2 به عمق برش سنگ بستگی دارد. روش معمول عبارت است از حفر چالهای افقی تا ردیف پشتی چالهای عمودی.

بنابراین:

$H_2 = nV_1$

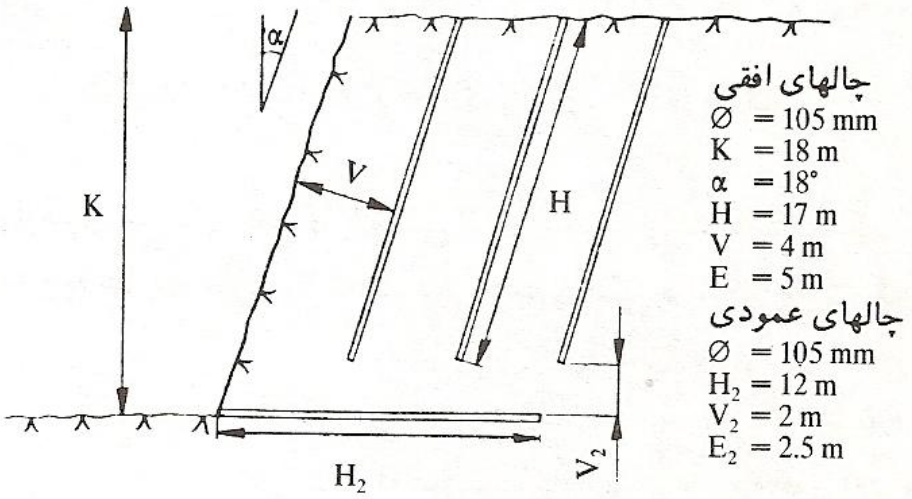
که در آن:

H_2 = طول چالهای افقی

n = تعداد در ردیفهای چالهای عمودی

V_1 = فاصله چالهای عمودی در عرض پله
سطح (متر)

به علت حفاری متراکم در قسمت تحتانی برش سنگ، تعداد چالهای افقی را می توان تا یک سوم کل طول حفاری (متر) در هر برش افزایش داد. در مثال زیر؛ کاربرد نمونهٔ چالهای افقی در یک معدن سنگ کوارتز پرفیری (بلژیک) دیده می شود. استفاده از حفاری افقی، کیفیت کف معادن روباز و خردشدگی کلی سنگ را اصلاح کرده است و بدین طریق از تمرکز مواد منفجره در قسمتهای تحتانی پله جلوگیری شده است تا سطوح ارتعاش در نقاط مسکونی در حد قابل قبول نگهداشته شود.



شکل ۳۲- کاربرد نمونهٔ چالهای افقی در یک معدن سنگ کوارتز پرفیری و یک معدن سنگ بازالت است.

۱-۳-۹-الگوهای حفاری برای انفجار پله‌ای

در معادن سنگ روباز و معادن گودالی روباز، معمولاً ارتفاعهای خاصی برای پله ها در نظر گرفته می شود که به طرز بهینه‌ای برای آن عملیات خاص طراحی شده‌اند. حال آنکه ارتفاع پله ساختمانی غالباً در امتداد زمین و طرح حفاری تغییر می یابد.

در مورد اخیر، کارگر منفجر کننده باید تغییرات زمین را معمولاً با آماده کردن الگوی جداگانه‌ای برای هر ارتفاع پله در نظر بگیرد.

الگوهای حفاری زیر برای کمک به کارگران منفجر کننده در تعیین الگوهای خاص شرایط مختلف و به عنوان تابعی از قابلیت انفجار سنگ، قطر چال و ارتفاع پله طراحی شده‌اند. از این جدولها می توان به عنوان راهنما استفاده کرد. لازم به یادآوری است که به دلیل وجود

یک سلسله عوامل بی شمار مؤثر در عملیات حفاری و انفجار، ممکن است لازم شود با توجه به نتایج انفجار آزمایشی، تغییراتی درالگوها داده شود.

جداول زیر بر اساس اطلاعات مندرج در بخش یک و نتایج صحرایی به دست آمده در کشورهای مختلف تهیه شده‌اند. اصلی که باید در استفاده از این جداول رعایت شود، ذیلاً تشریح می شود.

قابلیت انفجار سنگ

برای اغلب قطرهای مخصوص چال دو جدول در نظر گرفته شده است. جدول نخست (قابلیت انفجار سنگ خوب تا بسیار خوب) برای استفاده در سازندهایی طراحی شده است که حالتی نسبتاً سخت، فاقد ترک خوردگی و قابلیت انفجار نسبتاً آسان دارند. این گروه شامل گرانیتها، سنگهای آهک، دولومیتها و ماسه سنگها می شود. جدول دوم (قابلیت انفجار سنگ = متوسط) را می توان برای سازندهایی به کار برد که در آنها انواع سنگ و کانیهای سخت،درزخورد گیها، توده های ناهمگن سنگ، لایه بندی سنگین یا شیستوزیته سنگین وجود دارد. در این گروه، انواع نمونهٔ سنگ عبارتند از بازالتها، دیوریتها، گابروها، تاکونیتها، گنایس و شیستها، خواص سازه‌ای نوع سنگ یا اتصال آن، از قدرت موج تنش ناشی از انفجار می کاهند.

فواصل بین چالها در عرض و طول پله

جز در مواردی که مقادیر k/d به حداکثر می رسد، فواصل بین چال در عرض و طول پله در جداول براساس شکل ۲۰ و جدول ۱۱ تعیین شده است. در موردی که قطر چالها از ۲۰۰ میلیمتر ($\frac{۷}{۸}$ ۷ اینچ) کمتر باشد، الگو دارای طرحی مستطیلی و E= ۱/۲۵ V است. در مورد چالهای با قطر بزرگتر، طرح الگوها مربعی یا E=V است - در جداول مخصوص چالهای با قطر بزرگتر عمدتاً روشهای حفاری در معادن سنگ آهن، سنگ مس، سنگ آهک و استخراج دولومیت استفاده و نشان داده شده است.

اضافه حفاری عمقی

مقدار حفاری در سطح پائین تر از سطح کف پله، همچنان که در شکل ۱۸ دیده می شود، به عرض پله و شیب چال مورد استفاده بستگی دارد. تنها موارد استثنایی به الگوهای طراحی شده برای چالهای با قطر ۳۸۱ میلیمتر (۱۵ اینچ) که در آنها از اضافه حفاری عمقی استفاده می شود مربوط است.

شیب چال

الگوهای حفاری، عمدتاً برای چالهائی طراحی شده‌اند که شیب ۱۸ درجه یا ۳:۱ دارند. همچنان که در بخش۱ - ۳ - ٦ نشان داده شده است، این حالت به ۱۰ درصد تسلیم شدگی بیشتر برای تودهٔ سنگ در هر متر حفاری می انجامد و علت آن استفادهٔ مؤثرتر و کارآمدتر از مواد منفجره مخصوصاً در قسمتهای تحتانی پله است. این الگوها را با کاستن از مقدار فاصله چالها در عرض پله به مقدار ۵ تا ۱۰ درصد می توان تغییر داد و برای چالهای عمودی مورد استفاده قرار داد (به مثال زیر مراجعه شود).

این جداول با توجه به استفاده از دستگاه امتدادیاب دستی طراحی شده‌اند. در صورت استفاده از دستگاه زاویه نما همچنان که در بخش۱ - ۳ - ٦ - ۱دیده می شود، مقادیر را نیز مطابق با آن می توان تغییر داد.

مثال:

قطر چال	۸۹ میلیمتر
قابلیت انفجار سنگ	خوب تا خیلی خوب
ارتفاع پله	۱۲ متر
شیب چال	۳:۱

اضافه حفاری عمقی	U= ۰/۳ V	۰/۹۵ متر
طول چال	H= ۱/۰۵ K+U	۱۳/٦۰ متر
فواصل بین چالها در عرض پله	V= ۳۵ d	۳/۱۰ متر
فواصل بین چالها در طول پله	E= ۱/۲۵ V	۳/۸۵ متر
تسلیم شدگی در هر متر چال	Y_1= KEV/ HCosa	۱۱/۱۰ مترمکعب
تسلیم شدگی در هر متر چال	Y_2= HY_1	۱۵۰/۹ مترمکعب

الگوهای چالهای عمودی

فواصل بین چالها در عرض پله	V= ۰/۹۵×۳/۱۰ =متر ۲/۹۵
فواصل بین چالها در طول پله	E= ۱/۲۵ V= ۱/۲۵×۲/۹۵ =متر ۳/۷۰
اضافه حفاری عمقی	U=۰/۳۸ V=۰/۳۸×۲/۹۵ =متر ۱/۱۵
طول چال	H= ۱۲ متر×۱/۱۵ =متر ۱۳/۱۵
تسلیم شدگی در هر متر چال	Y_1= KEV/HCosa

$= ۱۲ \times ۳/۷ \times ۲/۹۵ \div ۱۳/۱۵ \times \text{Cos } o = ۹/۹۶ \text{ m}^۳$

$Y_2 = HY_1 = ۱۳/۵ \times ۹/۹۶ = ۱۳۱$

تسلیم شدگی در هر متر چال

چال /مترمکعب

الگوهای حفاری برای انفجار پله‌ای

قطر چالها ۳۲ میلیمتر (۱ ۱/۴ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شدگی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شدگی مترمکعب بر هر چال
۰/۴	۰/۲۵	۰/۶۵	۰/۵۰	۰/۶۰	۵/۱۴۰	۰/۱۹	۰/۱۳
۰/۶	۰/۲۵	۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۷۵	۳/۱۶۳	۰/۳۲	۰/۲۸
۰/۸	۰/۳۰	۱/۱۵	۰/۷۰	۰/۹۰	۲/۱۶۵	۰/۴۶	۰/۵۳
۱	۰/۳۰	۱/۳۵	۰/۸۰	۱	۱/۱۶۱	۰/۶۲	۰/۸۴
۱/۵	۰/۳۵	۱/۹۵	۰/۹۵	۱/۲۰	۱/۰۸۲	۰/۹۲	۱/۸۰
۲	۰/۳۵	۲/۴۵	۱/۱۰	۱/۴۰	۰/۷۵۵	۱/۳۲	۳/۲۵
۲/۵	۰/۳۵	۳	۱/۱۵	۱/۴۵	۰/۶۸۳	۱/۴۶	۴/۳۹
۳	۰/۳۵	۳/۵۰	۱/۲۰	۱/۵۰	۰/۶۱۵	۱/۶۳	۵/۶۹
۳/۵	۰/۳۵	۴/۰۵	۱/۱۵	۱/۴۵	۰/۶۵۸	۱/۵۲	۶/۱۵
۴	۰/۳۵	۴/۵۵	۱/۱۰	۱/۴۰	۰/۷۰۱	۱/۴۳	۶/۴۹

جدول ۱۲ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۳۲ میلیمتر، شیب چال ۳:۱

E= ۱/۲۵ V قابلیت انفجار= خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۳۸ میلیمتر (۱ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شدگی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شدگی مترمکعب بر هر چال
۰/۵	۰/۳۰	۰/۸۵	۰/۶۵	۰/۸۰	۳/۱۰۲	۰/۳۲	۰/۲۷
۱	۰/۳۵	۱/۴۰	۰/۹۰	۱/۱۵	۱/۲۸۴	۰/۷۸	۱/۰۹
۱/۵	۰/۴۰	۲	۱/۰۵	۱/۳۰	۰/۹۲۷	۱/۰۸	۲/۱۶

←

→

۲	۰/٤۰	۳/۰۵	۱/۲۰	۱/۵۰	۰/۵٤۰	۱/۸۵	۳/٦۵
۲/۵	۰/٤۵	۳/٦۰	۱/٤۰	۱/۷۵	۰/٤٦۵	۲/۱۵	۷/۷۵
۳/۵	۰/٤۵	٤/۱۵	۱/۵۰	۱/۹۰	۰/۳۹۵	۲/۵۳	۱۰/۵۱
٤	۰/۵۰	٤/۷۰	۱/٦۰	۲	۰/۳٤۸	۲/۸۷	۱۳/٤۹
٤/۵	۰/۵۰	۵/۲۰	۱/۵۵	۱/۹۵	۰/۳٦۳	۲/۷٦	۱٤/۳۳
۵	۰/٤۵۰	۵/۷۰	۱/۵۰	۱/۹۰	۰/۳۸۰	۲/٦۳	۱۵/۰۱
۵/۵	۰/٤۵	٦/۲۵	۱/٤۵	۱/۸۰	۰/٤۱۳	۲/٤۲	۱۵/۱۳
٦	۰/٤۵	٦/۷۵	۱/٤۰	۱/۷۵	۰/٤۳٦	۲/۳۰	۱۵/٤۹

جدول ۱۳ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۳۸ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا بسیار خوب.

قطر چالها ٤۵ میلیمتر (۱ $\frac{۳}{٤}$ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۲	۰/۳۵	۲/٤۵	۱/۲۰	۱/۵۰	۰/٦٤٦	۱/۵۵	۳/۷۹
۳	۰/٤۵	۳/٦۰	۱/٤۵	۱/۸۰	۰/٤۳٦	۲/۲۹	۸/۲۵
٤	۰/۵۰	٤/۷۵	۱/۷۰	۲/۱۵	۰/۳۰۸	۳/۲٤	۱۵/٤۱
۵	۰/۵۵	۵/۸۰	۱/۸۵	۲/۳۰	۰/۲۵۹	۳/۸۷	۲۲/٤۲
٦	۰/۵۵	٦/۸۵	۱/۸۰	۲/۲۵	۰/۲٦۷	۳/۷٤	۲۵/٦۱
۷	۰/۵۵	۷/۹۰	۱/۷۵	۲/۲۰	۰/۲۷۸	۳/٦۰	۲۸/٤۰
۸	۰/۵۰	۸/۹۵	۱/۷۰	۲/۱۵	۰/۲۹۰	۳/٤٤	۳۰/۸۲

جدول ۱٤ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ٤۵ میلیمتر، شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا بسیار خوب.

قطر چالها ۴۵ میلیمتر (۱ ۳/۴ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هـر چال
۲	۰/۳۰	۲/۴۰	۱/۰۵	۱/۳۰	۰/۸۳۴	۱/۲۰	۲/۸۸
۳	۰/۳۵	۳/۵۰	۱/۲۵	۱/۵۵	۰/۵۷۱	۱/۷۵	۶/۱۳
۴	۰/۴۵	۴/۶۵	۱/۵۰	۱/۹۰	۰/۳۸۷	۲/۵۸	۱۲/۰۱
۵	۰/۵۰	۵/۷۵	۱/۶۵	۲/۰۵	۰/۳۲۳	۳/۱۰	۱۷/۸۲
۶	۰/۵۰	۶/۸۰	۱/۶۰	۲	۰/۳۳۶	۲/۹۸	۲۰/۲۳
۷	۰/۴۵	۷/۸۵	۱/۵۵	۱/۹۵	۰/۳۵۲	۲/۸۴	۲۲/۳۰
۸	۰/۴۵	۸/۹۰	۱/۵۰	۱/۹۰	۰/۳۷۰	۲/۷۰	۲۴/۰۳

جدول ۱۵ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۴۵ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۲	۰/۵۰	۲/۶۰	۱/۳۰	۱/۶۰	۰/۵۹۳	۱/۶۹	۴/۳۸
۳	۰/۵۵	۳/۷۰	۱/۵۵	۱/۹۵	۰/۳۸۷	۲/۵۸	۹/۵۶
۴	۰/۵۵	۴/۷۵	۱/۷۵	۲/۲۰	۰/۲۹۳	۳/۴۲	۱۶/۳۲
۵	۰/۶۰	۵/۸۵	۲	۲/۵۰	۰/۲۲۲	۴/۵۰	۲۶/۳۵
۶	۰/۶۵	۶/۹۵	۲/۰۵	۲/۵۵	۰/۲۱۰	۴/۷۶	۳۳/۰۵
۷	۰/۶۰	۸	۲	۲/۵۰	۰/۲۱۷	۴/۶۱	۳۶/۸۹
۸	۰/۶۰	۹/۰۵	۱/۹۵	۲/۴۰	۰/۲۲۹	۴/۳۶	۳۹/۴۶
۹	۰/۶۰	۱۰/۰۵	۱/۹۰	۲/۳۵	۰/۲۳۷	۴/۲۱	۴۲/۳۵
۱۰	۰/۵۵	۱۱/۱۰	۱/۸۵	۲/۳۰	۰/۲۴۸	۴/۰۴	۴۴/۸۴
۱۱	۰/۵۵	۱۲/۱۵	۱/۸۰	۲/۲۵	۰/۲۵۹	۳/۸۶	۴۶/۹۵
۱۲	۰/۵۵	۱۳/۱۵	۱/۷۵	۲/۲۰	۰/۲۷۰	۳/۷۰	۴۸/۶۹

جدول ۱۶ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۵۱ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شدگی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شدگی مترمکعب بر هر چال
۲	۰/۳۵	۲/۴۵	۱/۱۵	۱/۴۵	۰/۶۹۷	۱/۴۳	۳/۵۱
۳	۰/۴۰	۳/۵۵	۱/۳۵	۱/۷۰	۰/۴۸۹	۲/۰۴	۷/۲۶
۴	۰/۴۵	۴/۶۵	۱/۵۰	۱/۹۰	۰/۳۸۷	۲/۵۸	۱۲/۰۱
۵	۰/۵۰	۵/۷۵	۱/۷۵	۲/۲۰	۰/۲۸۳	۳/۵۳	۲۰/۲۹
۶	۰/۵۵	۶/۸۵	۱/۸۰	۲/۲۵	۰/۲۶۷	۳/۷۴	۲۵/۶۱
۷	۰/۵۰	۷/۹۰	۱/۷۵	۲/۲۰	۰/۲۷۸	۳/۶۰	۲۸/۴۰
۸	۰/۵۰	۸/۹۵	۱/۷۵	۲/۱۵	۰/۲۸۲	۳/۵۴	۳۱/۷۲
۹	۰/۵۰	۱۰	۱/۷۰	۲/۱۰	۰/۲۹۵	۳/۳۹	۳۳/۸۶
۱۰	۰/۵۰	۱۱/۰۵	۱/۶۵	۲/۰۵	۰/۳۱۰	۳/۲۳	۳۵/۶۵
۱۱	۰/۵۰	۱۲/۱۰	۱/۶۰	۲	۰/۳۲۶	۳/۰۷	۳۷/۱۰
۱۲	۰/۴۵	۱۳/۱۰	۱/۵۵	۱/۹۵	۰/۳۴۳	۲/۹۲	۳۸/۲۲

جدول ۱۷ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۵۱ میلیمتر. شیب ۱:۳

V ۱/۲۵ = E قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب

قطر چالها ۶۴ میلیمتر (۲ $\frac{۱}{۲}$ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شدگی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شدگی مترمکعب بر هر چال
۳	۰/۵۵	۳/۷۰	۱/۶۰	۱/۹۵	۰/۳۷۵	۲/۶۷	۹/۸۶
۴	۰/۶۰	۴/۸۰	۱/۸۰	۲/۲۵	۰/۲۸۱	۳/۵۶	۱۷/۰۷
۵	۰/۶۵	۵/۹۰	۲/۱۰	۲/۶۰	۰/۲۰۵	۴/۸۸	۲۸/۷۷
۶	۰/۷۵	۷/۰۵	۲/۴۰	۳	۰/۱۵۵	۶/۴۶	۴۵/۵۳
۷	۰/۷۵	۸/۱۰	۲/۴۵	۳/۰۵	۰/۱۴۷	۶/۸۱	۵۵/۱۳
۸	۰/۷۵	۹/۱۵	۲/۴۰	۳	۰/۱۵۱	۶/۶۳	۶۰/۷۰
۹	۰/۷۰	۱۰/۲۰	۲/۳۵	۲/۹۵	۰/۱۵۵	۶/۴۵	۶۵/۷۵
۱۰	۰/۷۰	۱۱/۲۵	۲/۳۰	۲/۸۵	۰/۱۶۳	۶/۱۴	۶۹/۰۸

←

→

۱۱	۰/۷۰	۱۲/۲۵	۲/۲۵	۲/۸۰	۰/۱۶۸	۵/۹۶	۷۳/۰۳
۱۲	۰/۶۵	۱۳/۳۰	۲/۲۰	۲/۷۵	۰/۱۷٤	۵/۷۵	۷٦/۵۱
۱۳	۰/۶۵	۱٤/۳۵	۲/۱۵	۲/٦۵	۰/۱۸٤	۵/٤٤	۷۸/۰٦
۱٤	۰/٦۰	۱۵/۳۵	۲/۰۵	۲/٦۰	۰/۱۹۵	۵/۱۲	۷۸/٦٤
۱۵	۰/٦۰	۱٦/٤۰	۲	۲/۵۰	۰/۲۰۷	٤/۸۲	۷۹/۰٤

جدول ۱۸ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ٦٤ میلیمتر شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ٦٤ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ ۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۳	۰/٤۰	۳/۵۵	۱/٤۰	۱/۷۵	۰/٤۵۸	۲/۱۸	۷/۷۵
٤	۰/۵۰	٤/۷۰	۱/٦۰	۲	۰/۳٤۸	۲/۸۷	۱۳/٤۹
۵	۰/۵۵	۵/۸۰	۱/۹۰	۲/۳۰	۰/۲۵۲	۳/۹۷	۲۳/۰۳
٦	۰/٦۵	۷	۲/۱۰	۲/٦۰	۰/۲۰۳	٤/۹۳	۳٤/۵۳
۷	۰/٦۵	۸	۲/۱۵	۲/۷۰	۰/۱۸۷	۵/۳۵	٤۲/۸۲
۸	۰/٦۵	۹/۱۰	۲/۱۰	۲/٦۰	۰/۱۹۸	۵/۰٦	٤٦/۰۳
۹	۰/٦۰	۱۰/۱۰	۲/۰۵	۲/۵۵	۰/۲۰٤	٤/۹۱	٤۹/۵۸
۱۰	۰/٦۰	۱۱/۱۵	۲	۲/۵۵	۰/۲۰۷	٤/۸۲	۵۳/۷۵
۱۱	۰/٦۰	۱۲/۲۰	۲	۲/۵۰	۰/۲۱۰	٤/۷۵	۵۷/۹٦
۱۲	۰/٦۰	۱۳/۲۵	۱/۹۵	۲/٤۵	۰/۲۱۹	٤/۵٦	٦۰/٤۲
۱۳	۰/۵۵	۱٤/۲۵	۱/۹۰	۲/۳۵	۰/۲۳۳	٤/۲۹	٦۱/۱۷
۱٤	۰/۵۵	۱۵/۳۰	۱/۸۵	۲/۳۰	۰/۲٤٤	٤/۱۰	٦۲/۷۸
۱۵	۰/۵۵	۱٦/۳۵	۱/۸۰	۲/۲۵	۰/۲۵۵	۳/۹۲	٦٤/۰۲

جدول ۱۹ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ٦٤ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۷۶ میلیمتر (۳ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
٤	۰/۵۵	٤/۷۵	۱/۸۵	۲/۳۰	۰/۲٦۵	۳/۷۸	۱۷/۹٤
۵	۰/٦۵	۵/۹۰	۲/۱۵	۲/۷۰	۰/۱۹۳	۵/۱۸	۳۰/۵۹
٦	۰/۷۵	۷/۰۵	۲/۵۰	۳/۱۵	۰/۱٤۲	۷/۰٦	٤۹/۸۰
۷	۰/۸۵	۸/۲۰	۲/۷۵	۳/٤۵	۰/۱۱۷	۸/۵٤	٦۹/۹۹
۸	۰/۸۵	۹/۲۵	۲/۸۰	۳/۵۰	۰/۱۱۲	۸/۹۳	۸۲/٦۲
۹	۰/۸۵	۱۰/۳۰	۲/۷۵	۳/٤۵	۰/۱۱٤	۸/۷٤	۸۹/۹۹
۱۰	۰/۸۰	۱۱/۳۵	۲/۷۰	۳/٤۰	۰/۱۱۷	۸/۵۲	۹٦/۷۵
۱۱	۰/۸۰	۱۲/۳۵	۲/٦۰	۳/۲۵	۰/۱۲٦	۷/۹۳	۹۷/۹٦
۱۲	۰/۷۵	۱۳/٤۰	۲/۵۵	۳/۲۰	۰/۱۳۰	۷/۷۰	۱۰۳/۲۰
۱۳	۰/۷۵	۱٤/٤۵	۲/۵۰	۳/۱۵	۰/۱۳٤	۷/٤۷	۱۰۷/۸۹
۱٤	۰/۷۵	۱۵/۵۰	۲/٤۵	۳/۰۵	۰/۱٤۱	۷/۱۱	۱۱۰/۲۵
۱۵	۰/۷۵	۱٦/۵۵	۲/٤۰	۳	۰/۱٤۵	٦/۸۸	۱۱۳/۸۲
۱٦	۰/۷۰	۱۷/۵۵	۲/۳۵	۲/۹۵	۰/۱۵۰	٦/٦٦	۱۱٦/۹۰
۱۷	۰/۷۰	۱۸/٦۰	۲/۳۰	۲/۸۵	۰/۱۵۸	٦/۳۱	۱۱۷/٤٤

جدول ۲۰ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۷٦ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
V ۱/۲۵ = E قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب

قطر چالها ۷۶ میلیمتر (۳ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
٤	۰/۵۰	٤/۷۰	۱/٦۵	۲/۰۵	۰/۳۳۰	۳/۰۳	۱٤/۲٦
۵	۰/٦۰	۵/۸۵	۱/۹۵	۲/٤۵	۰/۲۳۲	٤/۳۰	۲۵/۱۷
٦	۰/٦۵	٦/۹۵	۲/۲۰	۲/۷۵	۰/۱۸۲	۵/۵۰	۳۸/۲٦
۷	۰/۷۰	۸/۰۵	۲/٤۰	۳	۰/۱۵۲	٦/٦۰	۵۳/۱۲

←

→

۸	۰/۷۵	۹/۲۰	۲/۴۵	۳/۰۵	۰/۱۴۶	۶/۸۵	۶۳
۹	۰/۷۰	۱۰/۲۰	۲/۴۰	۳	۰/۱۴۹	۶/۷۰	۶۸/۲۹
۱۰	۰/۷۰	۱۱/۲۵	۲/۳۵	۲/۹۵	۰/۱۵۴	۶/۴۹	۷۳/۰۶
۱۱	۰/۷۰	۱۲/۳۰	۲/۳۰	۲/۸۵	۰/۱۶۲	۶/۱۸	۷۵/۹۹
۱۲	۰/۷۰	۱۳/۳۵	۲/۲۵	۲/۸۰	۰/۱۶۸	۵/۹۷	۷۹/۶۷
۱۳	۰/۶۵	۱۴/۳۵	۲/۲۰	۲/۷۵	۰/۱۷۳	۵/۷۸	۸۲/۸۹
۱۴	۰/۶۵	۱۵/۴۰	۲/۱۵	۲/۷۰	۰/۱۸۰	۵/۵۶	۸۵/۶۵
۱۵	۰/۶۵	۱۶/۴۵	۲/۱۰	۲/۶۰	۰/۱۹۱	۵/۲۵	۸۶/۳۱
۱۶	۰/۶۰	۱۷/۴۵	۲/۰۵	۲/۵۵	۰/۱۹۸	۵/۰۵	۸۸/۱۵
۱۷	۰/۶۰	۱۸/۵۰	۲	۲/۵۰	۰/۲۰۷	۴/۸۴	۸۹/۵۸

جدول ۲۱ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۷۶ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۸۹ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ ۳ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۶	۰/۸۵	۷/۱۵	۲/۸۵	۳/۵۵	۰/۱۱۲	۸/۹۵	۶۳/۹۸
۷	۰/۹۰	۸/۳۰	۳	۳/۷۵	۰/۱۰۰	۱۰	۸۲/۹۹
۸	۰/۹۵	۹/۳۵	۳/۱۰	۳/۸۵	۰/۰۹۳	۱۰/۷۶	۱۰۰/۶۲
۹	۰/۹۵	۱۰/۴۵	۳/۱۵	۳/۹۵	۰/۰۸۹	۱۱/۲۹	۱۱۸/۰۲
۱۰	۰/۹۵	۱۱/۵۰	۳/۲۰	۴	۰/۰۸۵	۱۱/۷۳	۱۳۴/۹۰
۱۱	۰/۹۵	۱۲/۵۵	۳/۱۵	۳/۹۵	۰/۰۸۷	۱۱/۴۹	۱۲۴/۲۴
۱۲	۰/۹۵	۱۳/۶۰	۳/۱۰	۳/۸۵	۰/۰۹۰	۱۱/۱۰	۱۵۰/۹۴
۱۳	۰/۹۵	۱۴/۶۰	۳/۰۵	۳/۸۰	۰/۰۹۲	۱۰/۸۸	۱۵۸/۹۷
۱۴	۰/۹۰	۱۵/۶۵	۳	۳/۷۵	۰/۰۹۴	۱۰/۶۱	۱۶۵/۹۹
۱۵	۰/۹۰	۱۶/۷۰	۲/۹۵	۳/۷۰	۰/۰۹۷	۱۰/۳۳	۱۷۲/۵۵
۱۶	۰/۹۰	۱۷/۷۵	۲/۹۰	۳/۶۰	۰/۱۰۱	۹/۹۲	۱۷۶/۰۴
۱۷	۰/۸۵	۱۸/۷۵	۲/۸۵	۳/۵۵	۰/۱۰۳	۹/۶۷	۱۸۱/۲۶

←

۱۸	۰/۸۵	۱۹/۸۰	۲/۸۰	۳/۵۰	۰/۱۰۷	۹/۳۹	۱۸۵/۹۰
۱۹	۰/۸۵	۲۰/۸۵	۲/۷۵	۳/٤۵	۰/۱۱۰	۹/۱۱	۱۸۹/۹۷
۲۰	۰/۸۰	۲۱/۹۰	۲/۷۰	۳/۳۵	۰/۱۱۵	۸/۷۱	۱۹۰/۵٦

جدول ۲۲ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۷٦ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب

قطر چالها ۸۹ میلیمتر (۳ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
٦	۰/۷۵	۷/۰۵	۲/۵۵	۳/۲۰	۰/۱۳۷	۷/۳۲	۵۱/٦۰
۷	۰/۸۰	۸/۱۵	۲/٦۵	۳/۳۰	۰/۱۲٦	۷/۹۲	٦٤/۵۱
۸	۰/۸۰	۹/۲۵	۲/۷۰	۳/۳۵	۰/۱۲۱	۸/۲٤	۷٦/۲٦
۹	۰/۸۵	۱۰/۳۵	۲/۷۵	۳/٤۵	۰/۱۱۵	۸/٦۹	۸۹/۹۹
۱۰	۰/۸۵	۱۱/٤۰	۲/۸۰	۳/۵۰	۰/۱۱۰	۹/۰٦	۱۰۳/۲۸
۱۱	۰/۸۵	۱۲/٤۵	۲/۷۵	۳/٤۵	۰/۱۱۳	۸/۸۳	۱۰۹/۹۹
۱۲	۰/۸۰	۱۳/٤۵	۲/۷۰	۳/۳۵	۰/۱۱۸	۸/۵۰	۱۱٤/۳۹
۱۳	۰/۸۰	۱٤/۵۰	۲/٦۵	۲/۳۰	۰/۱۲۱	۸/۲٦	۱۱۹/۹۱
۱٤	۰/۷۵	۱۵/۵۵	۲/٦۰	۳/۲۵	۰/۱۲۵	۸/۰۲	۱۲٤/٦۷
۱۵	۰/۷۵	۱٦/۵۵	۲/۵۵	۳/۲۰	۰/۱۲۸	۷/۷۹	۱۲۸/۹۹
۱٦	۰/۷۵	۱۷/٦۰	۲/۵۰	۳/۱۵	۰/۱۳۳	۷/۵٤	۱۳۲/۷۹
۱۷	۰/۷۰	۱۸/٦۵	۲/٤۵	۳/۰۵	۰/۱۳۹	۷/۱۸	۱۳۳/۸۸
۱۸	۰/۷۰	۱۹/٦۵	۲/٤۰	۳	۰/۱۱٤	٦/۹۵	۱۳٦/۵۸
۱۹	۰/۷۰	۲۰/۷۰	۲/۳۵	۲/۹۵	۰/۱٤۹	٦/۷۱	۱۳۸/۸۱
۲۰	۰/۷۰	۲۱/۷۵	۲/۳۰	۲/۹۰	۰/۱۵۵	٦/٤٦	۱٤۰/۵۹

جدول ۲۳ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۸۹ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب

قطر چالها ۱۰۲ میلیمتر (٤ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
٦	۰/۹۵	۷/۳۰	۳/۲۰	٤/۰۰	۰/۰۹۰	۱۱/۰۹	۸۰/۹٤
۷	۱	۸/٤۰	۳/۳۵	٤/۲۰	۰/۰۸۱	۱۲/۳٦	۱۰۳/۸۰
۸	۱/۰۵	۹/٤۵	۳/٤۵	٤/۳۰	۰/۰۷٦	۱۳/۲٤	۱۲۵/۰۷
۹	۱/۰۵	۱۰/۵۵	۳/۵۵	٤/٤۵	۰/۰۷۰	۱٤/۲۰	۱٤۹/۸٤
۱۰	۱/۰۵	۱۱/٦۰	۳/۵۵	۳/٤۵	۰/۰۷۰	۱٤/۳۵	۱٦٦/٤۹
۱۱	۱/۱۰	۱۲/٦۵	۳/٦۰	٤/۵۰	۰/۰٦۷	۱٤/۸۵	۱۸۷/۸۰
۱۲	۰/۱۰	۱۳/۷۵	۳/٦۰	٤/۵۰	۰/۰٦۷	۱٤/۹۰	۲۰٤/۸۷
۱۳	۱/۰۵	۱٤/۷۵	۳/۵۵	٤/٤۵	۰/۰٦۸	۱٤/٦۷	۲۱٦/٤۳
۱٤	۱/۰۵	۱۵/۸۰	۳/۵۰	٤/٤۰	۰/۰۷۰	۱٤/۳۸	۲۲۷/۲۲
۱۵	۱/۰۵	۱٦/۸۵	۳/۵۰	٤/۳۵	۰/۰۷۰	۱٤/۲۸	۲٤۰/٦۸
۱٦	۰/۰۵	۱۷/۹۰	۳/٤۵	٤/۳۰	۰/۰۷۲	۱۳/۹۷	۲۵۰/۱۵
۱۷	۱/۰۵	۱۸/۹۵	۳/٤۰	٤/۲۵	۰/۰۷٤	۱۳٦٦	۲۵۸/۸۹
۱۸	۱/۰۵	۲۰	۲/٤۰	٤/۲۰	۰/۰۷٤	۱۳/۵٤	۲۷۰/۸۹
۱۹	۱	۲۰/۱۵	۳/۳۵	٤/۲۰	۰/۰۷۵	۱۳/۳۸	۲۸۱/۷۳
۲۰	۱	۲۲/۱۰	۳/۳۵	٤/۱۵	۰/۰۷۵	۱۳/۲٦	۲۹۳/۰۳
۲۱	۱	۲۳/۱۰	۳/۳۰	٤/۱۵	۰/۰۷٦	۱۳/۱۲	۳۰۳/۰۹
۲۲	۱	۲٤/۱۵	۳/۲۵	٤/۰۵	۰/۰۷۹	۱۲/٦٤	۳۰۵/۱۸

جدول ۲٤ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۷٦ میلیمتر. شیب چال ۱:۳

E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب

قطر چالها ۱۰۲ میلیمتر (٤ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر متر چال	تسلیم شد گی **مترمکعب برهر چال**
٦	۰/۸۵	۷/۱۵	۲/۸۰	۳/۵۰	۰/۱۱۵	۸/٦۷	٦۱/۹۷
۷	۰/۹۰	۸/۲۵	۲/۹۰	۳/٦۰	۰/۱۰۷	۹/۳٤	۷۷/۰۲
۸	۰/۹۰	۹/۳۵	۳	۳/۷۵	۰/۰۹۹	۱۰/۱٤	۹٤/۸۵
۹	۰/۹۰	۱۰/٤۰	۳/۰۵	۳/۸۰	۰/۰۹۵	۱۰/۵۷	۱/۰۹/۹۳
۱۰	۰/۹۰	۱۱/٤۵	۳/۰۵	۳/۸۰	۰/۰۹٤	۱۰/٦۷	۱۲۲/۱٤
۱۱	۰/۹۵	۱۲/۵۵	۳/۱۰	۳/۸۵	۰/۰۹۱	۱۱/۰۲	۱۳۸/۳٦
۱۲	۰/۹۵	۱۳/٦۰	۳/۱۰	۳/۸۵	۰/۰۹۰	۱۱/۱۰	۱۵۰/۹٤
۱۳	۰/۹۰	۱٤/٦۰	۳/۰۵	۳/۸۰	۰/۰۹۲	۱۰/۸۸	۱۵۸/۷۹
۱٤	۰/۹۰	۱۵/٦۵	۳	۳/۷۵	۰/۰۹٤	۱۰/٦۱	۱٦۵/۹۹
۱۵	۰/۹۰	۱٦/۷۰	۳	۳/۷۰	۰/۰۹۵	۱۰/۵۱	۱۷۵/٤۷
۱٦	۰/۹۰	۱۷/۷۵	۲/٦۵	۳/۷۰	۰/۰۹٦	۱۰/۳۷	۱۸٤/۰۵
۱۷	۰/۹۰	۱۸/۸۰	۲/۹۵	۳/٦۵	۰/۰۹۷	۱۰/۲٦	۱۹۲/۹۱
۱۸	۰/۹۰	۱۹/۸۵	۲/۹۰	۳/٦۰	۰/۱۰۰	۹/۹۸	۱۹۸/۰٤
۱۹	۰/۹۰	۲۰/۹۰	۲/۹۰	۳/۵۵	۰/۱۰۱	۹/۸٦	۲۰٦/۱٤
۲۰	۰/۸۵	۲۱/۹۵	۲/۸۵	۳/۵۵	۰/۱۰۳	۹/۷۲	۲۱۳/۲۵
۲۱	۰/۸۵	۲۳	۲/۸۵	۳/۵۰	۰/۱۰٤	۹/٦۰	۲۲۰/۷٦
۲۲	۰/۸۵	۲٤/۰۵	۲/۸۰	۳/۵۰	۰/۱۰٦	۹/٤۵	۲۲۷/۲۲

جدول ۲۵ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۱۰۲ میلیمتر. شیب چال ۱:۳

E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب

قطر چالها ۱۱۵ میلیمتر (۴ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۸	۱/۱۰	۹/۲۵	۳/۶۵	۴/۵۵	۰/۰۶۶	۱۵/۱۴	۱۴۰/۰۲
۱۰	۱/۱۵	۱۱/۷۰	۳//۸۰	۴/۷۵	۰/۰۶۲	۱۶/۲۶	۱۹۰/۲۳
۱۲	۱/۲۰	۱۳/۸۰	۳/۹۰	۴/۸۵	۳۰/۰۵۸	۱۷/۳	۲۳۹/۲۱
۱۴	۱/۱۵	۱۵/۹۰	۳/۸۰	۴/۷۵	۰/۰۶۰	۱۶/۷۵	۲۶۶/۲۳
۱۶	۱/۱۵	۱۸/۰۵	۳/۸۰	۴/۷۰	۰/۰۶۰	۱۶/۶۸	۳۰۱/۱۶
۱۸	۱/۱۰	۲۰/۱۰	۳/۷۰	۴/۶۵	۰/۰۶۲	۱۶/۲۴	۳۲۶/۳۸
۲۰	۱/۱۰	۲۲/۱۵	۳/۶۵	۴/۵۵	۰/۰۶۳	۱۵/۸۰	۳۵۰/۰۵
۲۲	۱/۱۰	۲۴/۲۵	۳/۵۵	۴/۴۵	۰/۰۶۶	۱۵/۱۰	۳۶۶/۲۷
۲۴	۱/۰۵	۲۶/۳۵	۳/۴۵	۴/۳۰	۰/۰۷۰	۱۴/۲۴	۳۷۵/۲۲
۲۶	۱/۰۵	۲۸/۴۰	۳/۴۰	۴/۲۵	۰/۷۱	۱۳/۹۴	۳۹۵/۹۴

جدول ۲۶ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۱۱۵ میلیمتر. شیب چال ۳:۱

E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۱۱۵ میلیمتر (۴ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۸	۰/۹۵	۹/۴۰	۳/۲۰	۴	۰/۰۸۷	۱۱/۴۸	۱۰۷/۹۲
۱۰	۱	۱۱/۵۵	۳/۳۰	۴/۱۵	۰/۰۸۰	۱۲/۵۵	۱۴۴/۳۳
۱۲	۱/۰۵	۱۳/۷۰	۳/۴۰	۴/۲۵	۰/۰۷۵	۱۳/۳۴	۱۸۲/۷۴
۱۴	۱	۱۵/۷۵	۳/۳۵	۴/۲۰	۰/۰۷۶	۱۳/۱۸	۲۰۷/۵۹
۱۶	۱	۱۷/۸۵	۳/۳۰	۴/۱۵	۰/۰۷۷	۱۲/۹۴	۲۳۰/۹۳
۱۸	۱	۱۹/۹۵	۳/۲۵	۴/۰۵	۰/۰۸۰	۱۲/۵۲	۲۴۹/۶۹
۲۰	۰/۹۵	۲۲/۰۵	۳/۲۰	۴	۰/۰۸۲	۱۳/۲۴	۲۶۹/۷۹
۲۲	۰/۹۵	۲۴/۱۵	۳/۱۰	۳/۸۵	۰/۰۸۷	۱۱/۴۶	۶۷۶/۷۲
۲۴	۰/۹۰	۲۶/۲۰	۳	۳/۷۵	۰/۰۹۲	۱۰/۸۶	۱۸۴/۵۵
۲۶	۰/۹۰	۲۸/۳۰	۲/۹۰	۳/۶۵	۰/۰۹۸	۱۰/۲۵	۲۹۰/۰۴

جدول ۲۷ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۱۱۵ میلیمتر. شیب چال ۳:۱

E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب

قطر چالها ۱۲۷ میلیمتر (۵ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۸	۱/۲۰	۹/۶۰	۳/۹۰	٤/۹۰	۰/۰۶۰	۱۶/۷۸	۱۶۱/۱۲
۱۰	۱/۲۵	۱۱/۷۵	٤/۱۰	۵/۱۵	۰/۰۵۳	۱۸/۹٤	۲۲۲/۵۳
۱۲	۱/۲۵	۱۳/۹۰	٤/۲۰	۵/۲۵	۰/۰۵۰	۰/۰۶	۲۷۸/۸۶
۱٤	۱/۲۵	۱۶	٤/۲۰	۵/۲۵	۰/۰٤	۲۰/۳۳	۳۲۵/۳۳
۱۶	۱/۲۵	۱۸/۱۰	٤/۱۰	۵/۱۵	۰/۰۵۱	۱۹/۶۷	۳۵۶/۰٤
۱۸	۱/۲۰	۲۰/۲۰	٤/۰۵	۵/۰۵	۰/۰۵۲	۱۹/۲۱	۳۸۷/۹۸
۲۰	۱/۲۰	۲۲/۲۵	۳/۹۵	٤/۹۵	۰/۰۵٤	۱۸/۵۲	٤۱۲/۱۲
۲۲	۱/۲۰	۲٤/۳۵	۳/۹۰	٤/۹۰	۰/۰۵۵	۱۸/۲۰	٤٤۳/۰۷
۲٤	۱/۱۵	۲۶/٤۵	۳/۸۰	٤/۷۵	۰/۰۵۸	۱۷/۲۶	٤۵۶/۵٤
۲۶	۱/۱۰	۲۸/۵۰	۳/۷۰	٤/۶۵	۰/۰۶۰	۱۶/۵٤	٤۷۱/٤۳

جدول ۲۸ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۱۲۷ میلیمتر. شیب چال ۱:۳

E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۱۲۷ میلیمتر (۵ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هـر چال
۸	۱/۰۵	۹/۵۰	۳/٤۰	٤/۲۵	۰/۰۷۸	۱۲/۸۲	۱۲۱/۸۳
۱۰	۱/۰۵	۱۱/۶۰	۳/۵۵	٤/٤۵	۰/۰۷۰	۱٤/۳۵	۱۶۶/٤۹
۱۲	۱/۱۰	۱۳/۷۵	۳/۶۵	٤/۵۵	۰/۰۶۵	۱۵/۲۷	۲۱۰/۰۳
۱٤	۱/۱۰	۱۵/۸۵	۳/۶۵	٤/۵۵	۰/۰۶۵	۱۵/٤۶	۲٤۵/۰۳
۱۶	۱/۰۵	۱۷/۹۰	۳/۵۵	٤/٤۵	۰/۰۶۷	۱٤/۸۸	۲۶۶/۳۸
۱۸	۰/۰۵	۲۰	۳/۵۰	٤/٤۰	۰/۰۶۸	۱٤/۶۱	۲۹۳/۱٤
۲۰	۱/۰۵	۲۲/۱۵	۳/٤۵	٤/۳۰	۰/۰۷۱	۱٤/۱۲	۳۱۲/۶۹
۲۲	۱/۰۵	۲٤/۲۵	۳/٤۰	٤/۲۵	۰/۰۷۲	۱۳/۸۲	۳۲۵/۰۳
۲٤	۱	۲۶/۳۰	۳/۳۰	٤/۱۵	۰/۰۷۶	۱۳/۱۷	۳٤۶/۳۹
۲۶	۰/۰۹۵	۲۸/۳۵	۳/۲۰	٤	۰/۰۸۱	۱۲/۳۷	۳۵۰/۷۳

جدول ۲۹ - الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۱۲۷ میلیمتر. شیب چال ۱:۳

E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۱۵۲ میلیمتر (۶ اینچ)

ارتفاع پله متر	اضافه حفاری عمقی متر	طول چال متر	فواصل بین چالها در عرض پله متر	فواصل بین چالها در طول پله متر	حفاری ویژه مترمکعب	تسلیم شد گی مترمکعب بر هرمترچال	تسلیم شد گی مترمکعب بر هر چال
۸	۱/۳۰	۹/۷۵	٤/۳۵	۵/٤۵	۰/۰۵۹	۲۰/۵۰	۱۹۹/۸۸
۱۲	۱/٤۰	۱٤/۰۵	٤/۷۰	۵/۸۵	۰/۰٤۰	۲٤/۷۵	۳٤۷/۷۲
۱۶	۱/٤۰	۱۸/۲۵	٤/۶۰	۵/۷۵	۰/۰٤۱	۲٤/٤٤	٤٤۶/۰۰
۲۰	۱/۳۵	۲۲/٤۵	٤/٤۵	۵/۵۵	۰/۰٤۳	۲۳/۱۹	۵۲۰/۵۶
۲٤	۱/۳۵	۲۶/۶۰	٤/۳۰	۵/۳۵	۰/۰٤۶	۲۱/۸۷	۵۸۱/۸۷

جدول ۳۰- الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۱۵۲ میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E = ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالهای ۱۵۲ میلیمتر (۶ اینچ)

۸	۱/۱۵	۹/۶۰	۳/۹۰	٤/۸۵	۰/۰۶۰	۱۶/۶۱	۱۵۹/٤۷
۱۲	۱/۲۵	۱۳/۱۰	٤/۲۰	۵/۲۵	۰/۰۵۰	۲۰/۰۶۰	۲۷۸/۸۶
۱۶	۱/۲۵	۱۸/۱۰	٤/۱۰	۵/۱۵	۰/۰۵۱	۱۹/۶۷	۳۵۶/۰٤
۲۰	۱/۲۰	۲۲/۳۰	٤	۵	۰/۰۵۳	۱۸/۹۰	٤۲۱/۵۵
۲٤	۱/۱۵	۲۶/٤۵	۳/۸۵	٤/۸۰	۰/۰۵۷	۱۷/۶۷	٤۶۷/٤۲

جدول ۳۱- الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۱۵۲میلیمتر. شیب چال ۱:۳
E= ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۲۰۰ میلیمتر ($\frac{۷}{۸}$ ۷ اینچ)

۸	۱/۵۰	۵/۹۵	۹	۶/۲۵	۰/۰۳۸	۲۶/٤۸	۲۶۳/٤۷
۱۲	۱/۶۰	۱٤/۲۵	۵/۳۰	۶/۶۰	۰/۰۳۲	۲۱/۰٤	٤٤۲/۳۸
۱۶	۱/۶۰	۱۸/٤۵	۵/۳۰	۶/۶۰	۰/۰۳۱	۳۱/۹۷	۵۸۹/۸۳
۲۰	۱/۵۵	۲۲/۶۵	۵/۲۰	۶/۵۰	۰/۰۳۲	۳۱/٤۵	۷۱۲/٤۲
۲٤	۱/۵۵	۲۶/۸۵	۵/۱۰	۶/٤۰	۰/۰۳۳	۳۰/۷۵	۸۲۵/۵۷

جدول ۳۲- الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۲۰۰ میلیمتر در استخراج سنگ از معادن مس و آهن.
شیب چال ۱:۳ و E= ۱/۲۵ V قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۲۵۱ میلیمتر (۹ $\frac{۷}{۸}$ اینچ)

۸	۲/۴۵	۱۰/۴۵	۶/۷۰	۶/۷۰	۰/۰۲۹	۳۴/۳۷	۳۵۹/۱۲
۱۲	۲/۶۰	۱۴/۶۰	۷	۷	۰/۰۲۵	۴۰/۲۷	۵۸۸
۱۶	۲/۶۵	۱۸/۶۵	۷/۱۵	۷/۱۵	۰/۰۲۳	۴۳/۸۶	۸۱۷/۹۶
۲۰	۲/۶۰	۲۲/۶۰	۷	۷	۰/۰۲۳	۴۳/۳۶	۹۸۰
۲۵	۲/۵۰	۲۶/۵۰	۶/۸۰	۶/۸۰	۰/۰۲۴	۴۱/۸۸	۱۱۰۹/۷۶

جدول ۳۳- الگوهای حفاری برای چالهای ۲۵۱ میلیمتر در استخراج سنگ از معادن مس و آهن. چالها عمودی.

قطر چالها ۳۱۱ میلیمتر (۱۲ $\frac{۱}{۴}$ اینچ)

۸	۲/۹۰	۱۰/۹۰	۷/۸۰	۷/۸۰	۰/۰۲۲	۴۴/۶۵	۴۸۶/۷۲
۱۲	۳/۰۵	۱۵/۰۵	۸/۲۰	۸/۲۰	۰/۰۱۹	۵۳/۶۱	۸۰۶/۸۸
۱۶	۲/۱۰	۱۹/۱۰	۸/۴۰	۸/۴۰	۰/۰۱۷	۵۹/۱۱	۱۱۲۸/۹۶
۲۰	۳/۱۰	۲۳/۱۰	۸/۴۰	۸/۴۰	۰/۰۱۶	۱۶/۰۹	۱۴۱۱/۲۰
۲۴	۳/۰۵	۲۷/۰۵	۸/۲۰	۸/۲۰	۰/۰۱۷	۵۹/۶۶	۱۶۱۳/۷۶

جدول ۳۴- الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۳۱۱ میلیمتر در استخراج سنگ از معادن مس و آهن چالها عمودی

قطر چالها ۳۸۱ میلیمتر (۱۵ اینچ)

۸	۱/۶۵	۹/۴۵	۹/۲۰	۹/۲۰	۰/۰۱۴	۷۱/۶۵	۶۷۷/۱۲
۱۲	۱/۵۵	۱۳/۵۵	۹/۷۰	۹/۷	۰/۰۱۲	۸۳/۳۳	۱۱۲۹/۰۸
۱۶	۱/۶۰	۱۷/۶۰	۱۰/۰۵	۱۰/۰۵	۰/۰۱۱	۹۱/۸۲	۱۹۱۶۰/۰۴
۲۰	۱/۶۰	۲۱/۶۰	۱۰/۰۵	۱۰/۰۵	۰/۰۱۱	۹۳/۵۲	۲۰۲۰/۰۵

جدول ۳۵- الگوهای حفاری برای چالهای با قطر ۳۸۱ میلیمتر در استخراج سنگ از معادن مس و آهن. چالها عمودی

۲- ۵- خرج گذاری چال انفجاری در انفجار پله‌ای

تعیین اندازهٔ خرج مادهٔ منفجره در چال انفجاری، یکی از مسائل اصلی در انفجار عملی تودهٔ سنگ است. در موارد ساده، با انتخاب ترتیبی قابل تکرار به دنبال هر بار انفجار برای چالها، مقدار خرج را در صورت ناکافی بودن کوششهای قبلی، می توان به سادگی افزایش داد. لیکن نکتهٔ مهم این است که محاسبات براساس اطلاع و شناخت کافی از محل اجرای انفجار، روش انفجار و منفجره‌ها برای رسیدن به نتایج مطلوب صورت گیرد.

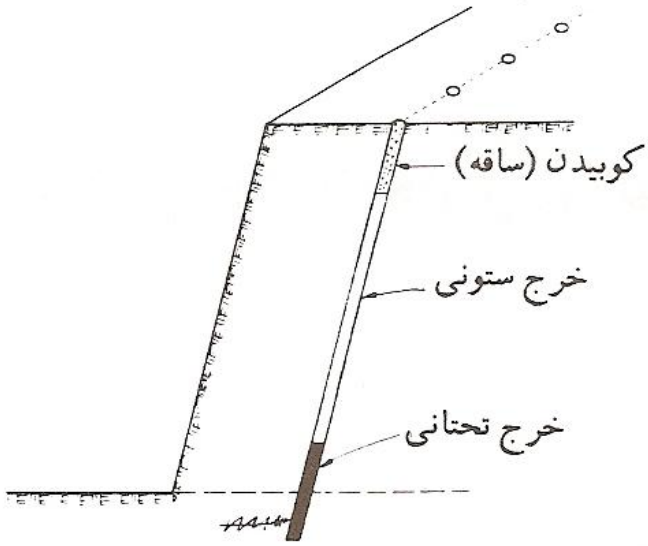
۲- ۵- ۱- تعیین خرجهای انفجاری

محاسبهٔ خرج لازم برای یک چال تنها، در درجهٔ نخست مستلزم محاسبه حداقل خرج لازم برای سست کردن تودهٔ سنگ است. این شرط باید در تمام شرایط و موارد رعایت شود. لیکن در موارد کاربردی، این به تنهایی کافی نیست و به همین علت در محاسبهٔ نهایی، تأثیر عواملی نظیر حفاری، پرتاب و تورم سنگ، خردشدگی و تأثیر بر تودهٔ سنگ اطراف یا ساختمانهای مجاور نیز باید درنظر گرفته شود.

خرجهای مورد استفاده در انفجار پله‌ای معمولی عبارتند از مادهٔ منفجره مقدم یا خرج تحتانی، و خرج ستونی. علاوه بر اینها، مقدار کوبیدن نیز در کنترل خرده‌سنگهای پرتابی مؤثر است. ماده منفجرهٔ مقدم یا خرج تحتانی، خرج ستونی و کوبیدن قسمت ساقه، به ترتیبی که در شکل ۵۱ دیده می شود در چال انفجاری قرار داده می شوند. توصیه می شود که شالوده و اصول حفاری پله‌ای (بخش ۱ - ۳) مرور شود.

۲- ۵- ۱- ۱- مواد منفجرهٔ مقدم و خرجهای تحتانی

هدف از قرار دادن مادهٔ منفجرهٔ مقدم، منفجر کردن خرج اصلی در داخل چال انفجاری است. در شرایط مطلوب و مناسب، این مادهٔ منفجره برای بریدن سنگ در عمق لازم نیز کفایت



شکل ۵۱- اصول خرج گذاری چال انفجاری.

می کند. لیکن در مواردی که تودهٔ سنگ در دست انفجار از نوع سخت و ستبر و یا دارای انواع بسیارمتنوعی از سنگ باشد، برش یا حفاری باید درخارج از ناپیوستگیهای طبیعی تودهٔ سنگ به عمل آید. در اینجا از یک خرج جداگانهٔ تحتانی برای تضمین برش و حفاری صحیح تودهٔ سنگ استفاده می شود.

نوع و اندازهٔ مادهٔ منفجرهٔ مقدم به شرایط سنگ، موجودیت مواد منفجره و ارزانی نسبی مواد منفجرهٔ موجود بستگی دارد. مواد منفجره مقدم که معمولاً مَورد استفاده هستند دینامیتها، و مخلوطهای ژلاتینی می باشند.

انتخاب بین یک مادهٔ منفجرهٔ مقدم و یک خرج تحتانی، تا حدود زیادی به وضعیت زمین شناسی سازنده تودهٔ سنگ، الگوی حفاری و هزینه های کلی انفجار بستگی دارد، به همین علت، هنگام تصمیم گیری برای انتخاب روش مناسب، باید به تجربه های قبلی در زمینهٔ انفجارهای اجرا شده در سازندهای مشابه، توجه کافی شود.

اندازهٔ خرج تحتانی جداگانه به فاصله چالها در عرض پله در الگوی حفاری، قطر چال انفجاری و دانسیتهٔ خرج گذاری مادهٔ منفجره بستگی دارد.

در موادری که طول چال (H) از دو برابر فاصله چالها درعرض پله (V) بیشتر باشد، اندازهٔ خرج تحتانی را می توان یا بر اساس جدول ۲۱ یا شکل ۵۲ محاسبه کرد بر حسب شیب چال، خرج تحتانی به عمقی برابر اضافه حفاری عمقی (U) در پائین تر از خط شیب تحتانی و فاصلهٔ

چالها در عرض پله واقع دربالای آن می رسد.

خرج تحتانی		
خرج درهرمتر	$Ib= Dd^2/ 1275$	کیلوگرم/ متر
طول	$hb= V+U$	متر
وزن	$Qb= hbIb$	کیلوگرم

که در آن:

D = دانسیتهٔ خرج گذاری مادهٔ منفجره(کیلوگرم/دسیمتر مکعب
d = قطر چال انفجاری (میلیمتر)
V = فاصله چال در عرض پله (متر)
U = اضافه حفاری عمقی (متر)

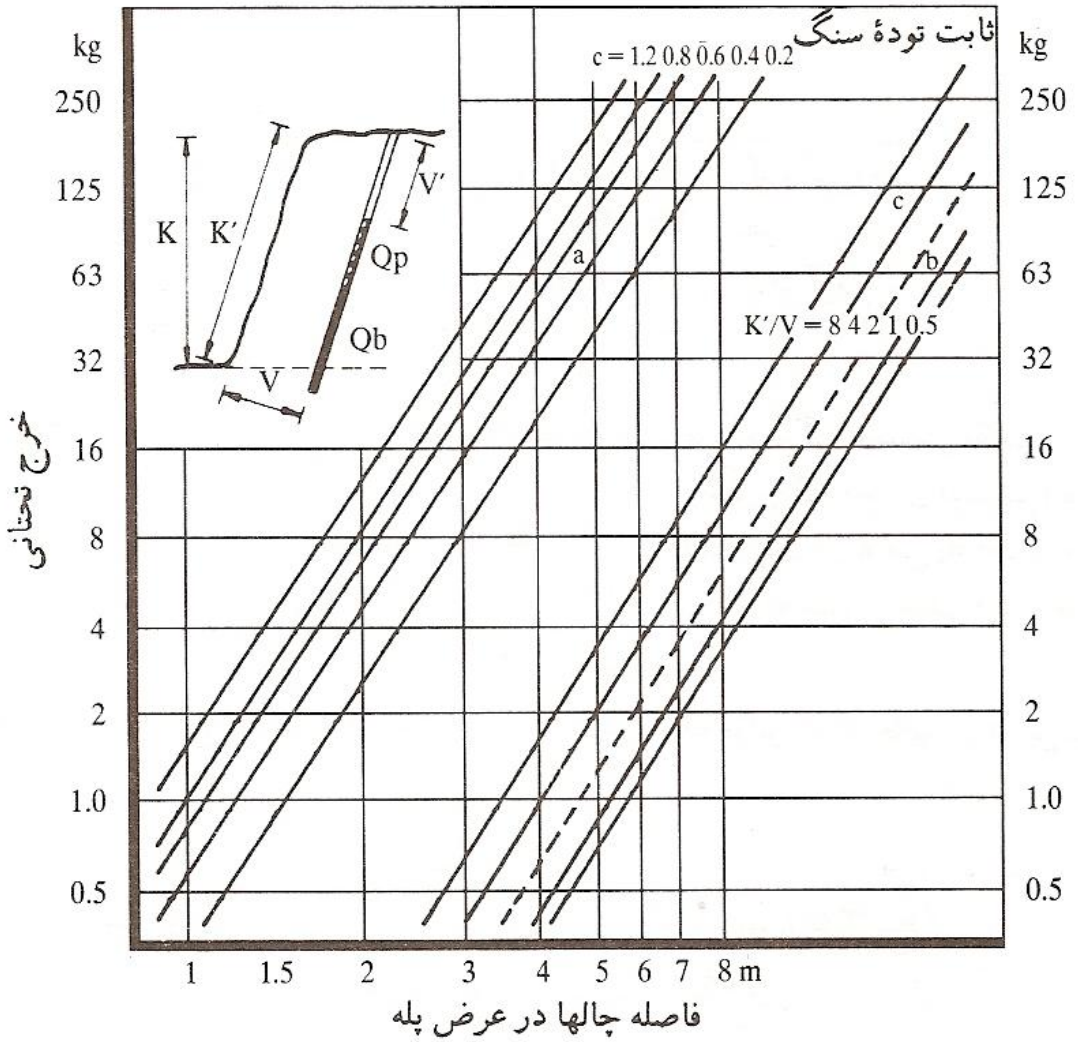
جدول۲۱- تعیین خرج تحتانی برای چالهای با طول بیش از دو برابر فاصله چالها در عرض پله.

مثال:

قطر چال	۸۹ میلیمتر (۳/۵ اینچ)
فاصله بین چالها در عرض پله	۳/۲۰ متر
اضافه حفاریی عمقی	۰/۹۵ متر
مادهٔ منفجرهٔ خرج تحتانی	دینامیت
دانسیتهٔ خرج گذاری	۱/۲ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب
خرج در هرمتر	۷/٤۵ کیلوگرم/ متر
طول	٤/۱۵ متر
وزن	۳۰/۹ کیلوگرم

در مواردی که طول چال از دو برابر فاصله چالها در عرض پله کمتر است، از یک خرج تحتانی با ارتفاع $hb = H-V$ استفاده می شود. در این حالت، چون خرج تحتانی تا حد ساقهٔ چال با فاصلهٔ چالها در عرض پله از طوقهٔ چال می رسد، عملاً از هیچگونه ستون خرج استفاده نمی شود.

در شکل ۵۲ چگونگی تعیین خرج گذاری تحتانی به عنوان تابعی از فاصله چالها در عرض پله، ارتفاع پله و تودهٔ سنگ در دست انفجار نشان داده شده است. مندرجات آن را می توان برای چالهای شیبدار مانند ۱:٤ (۱٤ درجه) یا ۱:۳ (۱۸ درجه) و دامنهٔ طولهایی برای



شکل ۵۲- تعیین خرج گذاری تحتانی به عنوان تابعی از فواصل بین چالها در عرض پله، ثابت توده سنگ و نسبت ارتفاع جبهه/ فاصله چالها در عرض پله (K/V).

چالها از ۰/۵ تا ۸ برابر فاصله چالها در عرض پله به کار بست.

مثال

فواصل بین چالها درعرض پله		۱/۵ متر	۵ متر
ثابت تودهٔ سنگ		۰/٤	۰/٤
خرج گذاری تحتانی	Qb (H=V)	۱/۲ کیلوگرم	۵۲/۰ کیلوگرم
	(H= ۲V	۱/۷ کیلوگرم	۸۰/۰ کیلوگرم
	H= ٤V	۲/۵ کیلوگرم	۱۱۵/۰ کیلوگرم

چون خرج گذاری در هر متر از کف چال انفجاری در مقایسه با ستون باید بزرگتر باشد، غالباً استفاده کردن از حجم چال درستون دشوار می شود. به همین علت، در انفجار پله ای، غالباً اضافه خرج گذاری پیش می آید.

برای بهره گیری بهتر از حجم، می توان بر دانسیتهٔ خرج گذاری در قسمت تحتانی افزود. برای اینکار می توان از ماده منفجره‌ای برای خرج گذاری تحتانی استفاده کرد که قدرت ظاهری بیشتری دارد.

۲- ۵- ۱- ۲- خرج گذاریهای ستونی

خرج گذاری ستونی، از قسمت مادهٔ منفجرهٔ مقدم یا خرج گذاری تحتانی شروع شده و تا ارتفاع ۰/۷ تا ۱ برابر فاصله چالها در عرض پله از بالای چال انفجاری ادامه می یابد. باقیماندهٔ طول چال با مواد خارج شده از حفاری، ماسه یا مواد مشابه پر می شود. در موارد استفاده از یک خرج تحتانی جداگانه، اگر طول چال از دو برابر فاصله چال در عرض پله بیشتر باشد، از یک ستون خرج استفاده می شود.

هدف از ستون خرج، شکستن توده سنگ واقع در بالا سطح کف چال است. همچنان که قبلاً گفته شد، طول ستون خرج تابع اندازهٔ مادهٔ منفجره مقدم یا خرج تحتانی و طول قسمت ساقهٔ چال است. وزن ستون خرج نیز به وزن مخصوص و دانسیتهٔ خرج گذاری مادهٔ منفجرهٔ ستون خرج بستگی دارد.

برای چالهای خشک، آنفو مادهٔ منفجرهٔ بسیارمناسبی است، ولی برای چالهای خیس، از انواع مواد منفجرهٔ مقاوم در برابر آب مانند امولسیون یا مخلوط، دوگانه مواد منفجره آنفو/مخلوط ژلاتینی، حداقل در قسمتهای خیس چال، باید استفاده شود.

طول، وزن و خرج گذاری در هرمتر ستون خرج را می توان به کمک جدول زیر محاسبه کرد.

ستون خرج

خرج گذاری درهرمتر	$Ic= Dd^2/۱۲۷۵$	کیلو گرم/ متر
طول	$Hc= H-hb-v$	متر
وزن	$Qc= hcIc$	کیلو گرم

که در آن:

D = دانسیتهٔ خرج گذاری مادهٔ منفجره (کیلو گرم/دسیترمکعب)

d = قطر چال انفجاری (میلیمتر)

hb = طول خرج گذاری تحتانی (یا مادهٔ منفجره مقدم)

V = فاصله چالها در عرض پله (متر)

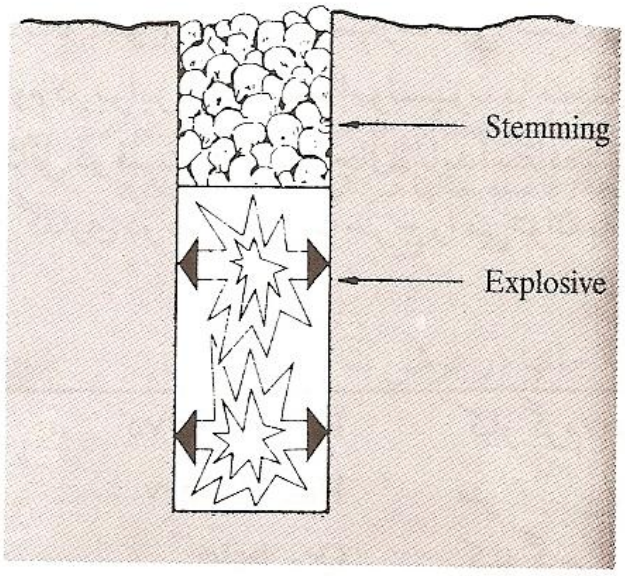
جدول ۲۲- تعیین و محاسبهٔ ستون خرج.

مثال:

قطر چال	۸۹ میلیمتر (۳/۵ اینچ)
طول چال	۱۳/٦ متر
فاصله چالها در عرض پله	۳/۲۰ متر
طول مادهٔ منفجرهٔ مقدم	۰/۳۰ متر
ماده منفجرهٔ ستون خرج	آنفو
دانسیتهٔ خرج گذاری	۰/۸۵ کیلو گرم/ دسیمتر مکعب
خرج در هر متر	۵/۳۰ کیلو گرم/ متر
طول	۱۰/۱ متر
وزن	۵۳/٤ کیلو گرم

۲- ۵- ۱- ۳- قسمت ساقه و خرج کلی در چال

قسمت ساقه از مواد غیرمنفجره‌ای تشکیل می شود که در چال انفجاری بین قسمت فوقانی ستون انفجاری و طوقهٔ دهانهٔ چال قرار داده می شود. قسمت ساقه ممکن است از ماسه، ذرات حفاری شده یا شن تشکیل شود.



شکل ۵۳- قسمت ساقه.

ارتفاع قسمت ساقه باید با توجه به اطلاعات دقیق دربارهٔ سازندسنگ خرج ویژهٔ مورد

استفاده و مقدار خرده سنگ پرتابی که قابل تحمل خواهد بود تعیین شود. به طور کلی مقدار قسمت ساقهٔ لازم از ۰/۷ تا ۱ برابر فاصله چالها در عرض پله متغیر خواهد بود.

هنگام پر کردن قسمت ساقه، همان دقت و احتیاطی را باید به خرج داد که به هنگام خرج گذاری مواد منفجره به خرج می دهیم. برای اجتناب ازصدمه زدن به سیستم آغاز انفجار، باید نهایت دقت به عمل آید. اهمیت نتیجه بخشی مواد گوناگون در قسمت ساقه و طول ستون، مخصوصاً برای چالهای با قطر بزرگتر، بسیار روشن است. لازم به تذکر است که:

ـ سنگ خردشدهٔ درشت و لبه تیز از خرده سنگ ریز به دست آمده از حفاری بهتر است.

ـ تخلیهٔ ستون در قسمت ساقهٔ همراه با کاهش مقدار رطوبت، افزایش می یابد. لیکن اگر از موادی غیر از آنچه به دنبال حفاری چالها به دست آمده است برای پر کردن قسمت ساقه استفاده شود، هزینه ها دستخوش تغییر خواهد شد. اینگونه مواد باید از نقاط دیگر به محل انفجار آورده شوند. استفاده از قسمت ساقه به طرز مؤثر، بر مقدار کار مؤثر اجرا شده در هر واحد وزن خرج می افزاید و این بدون بالا رفتن هزینه عملیات به دنبال انفجار به کاهش هزینه های انفجار می انجامد.

خرج کلی داخل چال انفجاری را می توان به کمک جدول زیر محاسبه کرد:

خرج گذاری کلی		
طول	h+= hb+hc	متر
وزن	Q+= Qb+Qc	کیلوگرم

که در آن:
hb = طول خرج گذاری تحتانی (یا مادهٔ منفجره مقدم (متر)
Qb = وزن خرج گذاری تحتانی (یا ماده منفجره مقدم) (کیلوگرم)
hc = طول ستون خرج (متر)
Qc = وزن ستون خرج (کیلوگرم)

جدول ۲۳ - تعیین و محاسبه خرج گذاری کلی.

۲ - ۵ - ۱ - ٤ - خرج گذاری ویژه

در حفاری پله‌ای، اطلاع از خرج گذاری ویژه در مرحلهٔ برنامه ریزی و تعیین اندازهٔ بلوکهای لازم، پرتاب خرده سنگها، و حتی هزینه انفجار اهمیت حیاتی دارد. خرج گذاری ویژه برای انفجارهای پله‌ای را می توان از روی معادلهٔ زیر محاسبه کرد:

$$q = Q_1 \cos a / VEK$$

که در آن:
q = خرج گذاری ویژه (کیلوگرم/مترمکعب)
v = فواصل بین چالها در عرض پله (متر)

ارتفاع پله (متر) = k

زاویهٔ شیب چال (درجه) = a

خرج گذاری ویژه در پرتاب و انتشار سنگ در هر انفجار مؤثر واقع می شود، هر گاه خرج گذاری ویژه افزایش یابد، حرکت مرکز ثقل تودهٔ سنگ در دست انفجار سریعاً افزایش می یابد (جدول ۲٤).

خرج گذاری ویژهٔ اضافی کیلوگرم / مترمکعب	حرکت مرکز ثقل) متر
۰/۰۵	۳/۵
۰/۱۰	۷/۰
۰/۱۵	۱۰/۰
۰/۲۰	۱۵/۰

جدول ۲٤- خرج گذاری ویژه اضافی و حرکت مرکز ثقل توده سنگ در دست انفجار.

۲ - ۵ - ۲ - کنترل انفجارهای پله‌ای

برنامه ریزی برای انفجارهای پله‌ای باید براساس شناخت کافی و کامل سازندسنگ استوار گردد. طراحی خرج گذاری چال انفجاری، که درجهٔ جابه جایی و خردشدگی سنگ در هر انفجار تابع آن است، باید با مقاومت و ساخت مواد مطابقت داشته باشد.

از آنجا که تودهٔ سنگ را به ندرت می توان یک ماده همگن تلقی کرد، خرج گذاری ویژه، یک عدد میانگین برای هر بار انفجار است. به همین علت، نمی توان گفت که خرج گذاری انجام شده دقیقاً همان است که برای تمام قسمتهای پله ـ مخصوصاً در ردیفهای عقبی ـ باید انجام شود.

مجری انفجار با برنامه ریزی دقیق برای خرج گذاری، می تواند تاثیر زیادی در حرکت تودهٔ سنگ پس از آتشباری آن بگذارد. از جملهٔ عوامل قابل کنترل می توان به موارد زیر اشاره کرد:

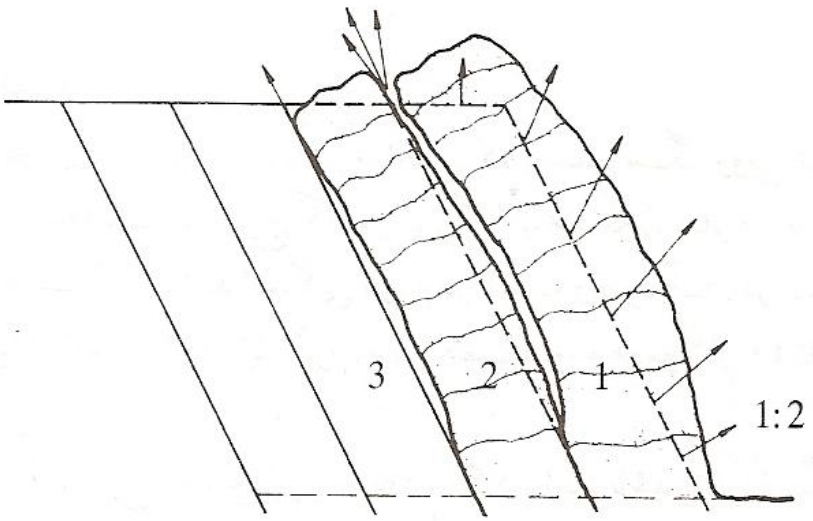
- پرتاب شدگی یا مرکز ثقل جابه جایی انفجار.
- پراکنده شدن مواد سنگی.
- متورم شدن تودهٔ سنگ.

همچنان براحتی می توان مشاهده کرد که تأثیر حرکت موفقیت آمیز یک انفجار برشی در زمانی که خرج گذاری می شود اهمیت دارد.

۲- ۵- ۲- ۱- پرتاب شدگی و انتشار سنگ:

پرتاب شدگی یا مرکز ثقل جابه جایی انفجار، متناسب با افزایش خرج گذاری ویژه افزایش می یابد. انتشار سنگ یا پرتاب زیاد خرده سنگها به اطراف، به عوامل گوناگون از جمله گازهای انفجاری ایجاد شده در جریان انفجار و توالی آغاز بستگی دارد.

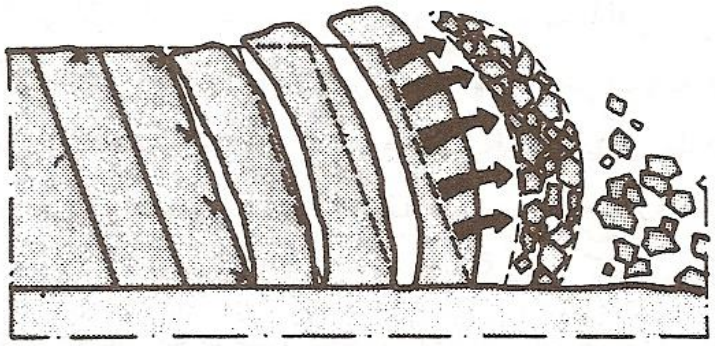
پرتاب شدگی را می توان با استفاده از طبقهٔ مناسب خرج گذاری ویژه کنترل کرد و کاهش داد، پرتاب شدگی به مسافت زیاد و پرتاب شدگیهایی که حوادثی به بارمی آورند، معمولاً از حفاری اشتباه چالها که باعث کاهش پوشش سنگ رویی و افزایش موضعی خرج گذاری ویژه شده است، ناشی می شود.



شکل ٥٤- دور انفجار چند ردیفی و جهات احتمالی پرتاب شدگی سنگ.

انتشار خرده سنگهای انفجاری، عمدتاً به این علت است که به وسیله گازهایی که با شتابهای زیاد از درون چالها یا شکافهای اطراف قطعه سنگهایی که فقط چند شکاف کوچک پیدا کرده اند عبور می کنند. حرکت گازها را خیلی ساده می توان در یک جهت واحد متمرکز ساخت، البته درصورتی که خرج گذاری نتواند پوشش سنگ رویی را سست کند وبشکند. این ممکن است از سنگینی و بزرگی زیاد تودهٔ سنگ، خطای حفاری در چالها، یا عمل نکردن چاشنی احتراقی در بعضی از چالها ناشی شود. گاهی چنین ادعا می شود که خرجهای مخصوص

ستونهای کوچک ممکن است علت انتشار خرده سنگ باشد. اهمیت استفاده از وقفه های انفجاری مناسب مخصوصاً در انفجارهای چند ردیفی بسیار زیاد است. وقفهٔ بهینه بین ردیفها، در دامنهٔ دفعاتی است که علاوه بر خردشدگی خوب، حرکت تودهٔ سنگ را نیز کنترل می کند.

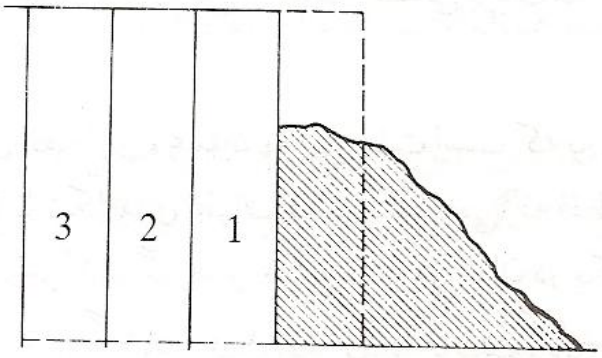


شکل ۵۵- نخستین ردیفها در یک پلهٔ انفجاری منفجر شده به روش صحیح از انتشار سنگ در ردیفهای بعدی جلوگیری خواهد کرد.

۲- ۵- ۲- ۲- تورم

در مراحل انفجاری چند ردیفی، یا در مراحلی که پوشش سنگ رویی توده سنگ از قبل منفجر و بارگذاری شده است، به خرج گذاری بزرگتر از حد مجاز نیاز می باشد برای تکمیل سست شدن تودهٔ سنگها باید اندکی تورم در آن به وجود آید. در انفجار پله‌ای با خرج گذاریهای ویژهٔ کمتر از ۰/۶ کیلوگرم/ متر مکعب، تورم معمولاً از ۴۰ تا ۵۰ درصد متغیر است.

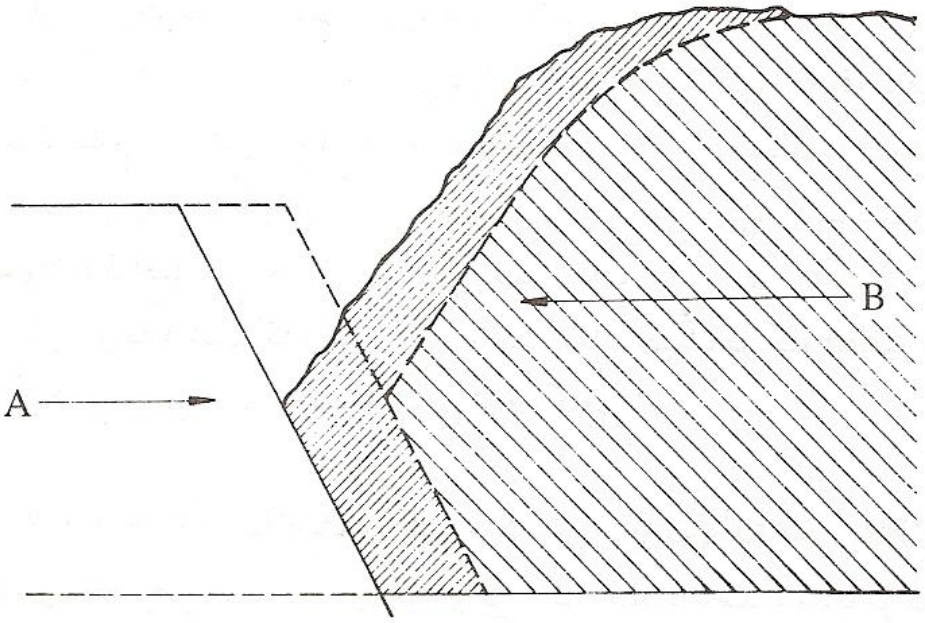
در انفجار پله‌ای، خرج تحتانی نیز باید به قدر کافی زیاد باشد تا تودهٔ سنگی را که جلوی جبههٔ آزاد را گرفته است از جا بکند (شکل ۵۶) مثلاً برای یک دور انفجار چند ردیفی با پله بندی



شکل ۵۶- هنگام انفجار در جلوی یک کپه مواد منفجرشده، خرج تحتانی باید به قدر کافی زیاد باشد تا کپهٔ مزبور را از جا بکند.

شیب دار که جهت اولیهٔ پرتاب سنگ در قسمت تحتانی ۱:۲ است، شرایط کاملاً متفاوت است. در آغاز پرتاب و تا حدود نیم ثانیه، یک حرکت رو به بالا وجود دارد به طوری که اصطکاک بین توده های سنگ و زمین ناچیز می شود.

همزمان با پیشروی انفجار در ردیفهای پشت سر هم، توده مواد انباشته درمقابل دور انفجاری تدریجاً افزایش خواهد یافت و به پوشش سنگ رویی که چیزی به انفجارش نمانده است نزدیکتر خواهد شد. در انفجار بدون پاکسازی مواد انباشته، مرکز ثقل تودهٔ سنگ باید از نقطه A به نقطه B در شکل ۵۷ بالا آورده شود، که خود مستلزم انرژی اضافی است. این کار را معمولاً می توان با کاستن از مقدار فاصله چالها در عرض پله انجام داد.



شکل ۵۷- انفجار پیوسته بدون پاک سازی مواد انفجاری انباشته.

۲-۵-۲-۳- منفجر کردن انواع گوناگون سنگ

در دستورالعملهای کاربردی زیر، چگونگی خرج گذاری سنگ در شرایط مختلف شرح داده شده است. مقادیر تجربی پیشنهادی، به انفجار موازی با سطوح لایه بندی یا درزخوردگی مربوط می شوند. هنگام اجرای انفجار عمود بر این سطوح، می توان از مقادیرعادی جدول استفاده کرد:

- در مواردی که تودهٔ سنگ نسبتاً صلب، اندکی شکاف دارد و سخت است و خود سنگ نیز منشأ آذرین دارد (گابرو، پریدوتیت، گنایس، و غیره).

ـ در ماسه سنگ، خرج گذاری ویژه به مقاومت و قدرت بافت سنگ بستگی دارد و هنگامی که درزخوردگی دانه‌ای سخت است و تودهٔ سنگ نیز شدیداً دارای درزه است. از خرج گذاری برابر با خرج گذاری مخصوص سنگهای سخت باید استفاده شود. هنگامی که سستی بافت و درزخوردگی افزایش یابد خرج گذاری را می توان تا حد خرج گذاری مخصوص گرانیت مجاز دانست.

ـ در مواردی که سنگ در دست انفجار تا حدودی شکاف خورده یا هوا زده است خرج گذاری باید با خرج گذاری مخصوص سنگهای آذرین برابر باشد.

ـ انفجار در سنگهای مس و سنگهای آهک، عموماً به راحتی صورت می گیرد و خرج گذاری آنها را با خرج گذاری مخصوص گرانیت می توان برابر گرفت.

ـ سنگهای دارای منشأ آذرین، ممکن است به خرج گذاری سنگین تری نیاز داشته باشند، مقادیر تا ۱ کیلوگرم/متر مکعب معمولاً مورد استفاده است.

در تودهٔ سنگ شکافدار، خردشدگی در امتداد درزها و شکافها به وقوع می پیوندد نه در امتداد خطوط نامنظم، گازهای تولیدشده به وسیلهٔ انفجار، در امتداد شکافها و درزها فرار می کنند و انرژی از دست می رود. سنگهای حاوی بخشهای خردشده و درزهای سست و باز به مقیاس بزرگتر، معمولاً به فواصل بین چالها در عرض و طول پله تا ۲۰ درصد بزرگتر از حد معمول نیاز دارند. لیکن باید توجه داشت که رفتار این نوع ساختمان سنگ در کار انفجار را نمی توان از قبل ارزیابی کرد. بنابراین، باید به مسأله ایمنی توجه کافی شود.

۲ - ۵ - ۳ - الگوهای خرج گذاری برای انفجار پله‌ای

جدولهای مخصوص انفجار پله‌ای که در این فصل گنجانده شده‌اند، با توجه به نکات زیر طراحی و تنظیم شده‌اند:

۱ - خواص توده سنگ در سازند مورد انفجار تعیین و شناخته شده است.

۲ - الگوی حفاری برای قطر انتخاب شدهٔ چال انفجار و ارتفاع پله طراحی شده است. این کار شامل محاسباتی برای فواصل بین چالها در عرض و طول پله، اضافه حفاری عمقی، طول چال، و تسلیم شدگی سنگ در هر متر چال و هر متر حفاری نیز می شود. این، شالودهٔ خرج گذاری برای چالها است.

۳ - خرج گذاریهای انجام شده برای چالها با در نظر گرفتن میانگین خردشدگی تودهٔ سنگ تعیین و محاسبه می شوند. این، البته به ظرفیت تجهیزات موجود خرج گذاری و اندازهٔ دهانه ورودی سنگ شکن اولیه بستگی دارد.

٤ - در نقاط مسکونی، باید توجه خاصی به ارتعاشات زمین معطوف گردد. مقدار خرج

در هر چاشنی مجهز به تأخیر زمان، ممکن است کاهش داده شود یا حتی ممکن است بر قطر چال به منظور کاستن از مقدار خرج در هر چال افزوده شود.

۵- آغاز انفجار با توجه به محدودیتهای ارتعاش زمین، خردشدگی سنگ پرتاب سنگ و شکل وسستی توده مواد انباشته پس از انفجار، طراحی می شود.

۶- سایر اقدامات ایمنی لازم نیز باید به موقع در نظر گرفته شود.

برای تعیین الگوهای خرج گذاری از معادلات زیر استفاده می شود:

فواصل بین چالها در عرض پله	متر	V= 25-40 d
فواصل بین چالها در طول پله	متر	E= 1.25 V
اضافه حفاری عمقی	متر	U= O.3-O.4 V
طول چال	متر	H= K+U+Hi
تسلیم شد گی در هر چال	مترمکعب/ چال	Y_1= KEV/ cosa
تسلیم شد گی درهرمترحفاری شده	مترمکعب/ drm	Y_2= y_1 /H
حفاری ویژه	مترمکعب/drm	S= $1/Y_2$

که در آن:

d = قطر چال (میلیمتر)

Hi= افزایش طول چال دراثر شیب چال (متر)

Hi = k/ sin a

a = زاویهٔ چال درجه

جدول ۲۵- معادلات اساسی برای الگوهای حفاری.

خرج گذاری تحتانی در هر متر	کیلوگرم/ متر	Ib= Dd^2/1275
طول خرج گذاری تحتانی	متر	hb= V+U
وزن خرج گذاری تحتانی	کیلوگرم	Qb= hbIb
ستون خرج در هر متر	کیلوگرم / متر	Ic = Dd^2/ 1275
طول ستون خرج	متر	hc= H-hb-V
وزن ستون خرج	کیلوگرم	Qc= hcIc
طول خرج کلی	متر	ht= hb+hc
وزن خرج کلی	متر	ht=hb+hc
قسمت ساقه	کیلوگرم	Qt=Qb+Qc =0.7....1V
خرج گذاری ویژه	کیلوگرم/ مترمکعب	q= Qt/Y_1

که در آن:

d = قطر چال (میلیمتر)

D = دانسیتهٔ خرج گذاری ماده منفجره (کیلوگرم/ دسیمترمکعب)

Y_1 = تسلیم شد گی در هر چال (مترمکعب)

V = فاصله چالها در عرض پله (متر)

جدول ۲۶ - معادلات اساسی برای خرج گذاری چالها.

در مورد قطرهای بیشتر چالها، در این قسمت دو سری جدول ارائه شده است: جداول سری نخست برای انواع سنگ با شرایط پایداری خوب تا خیلی خوب در نظر گرفته شده و جداول سری دوم برای سازندهای دارای شرایط پایداری متوسط تا خوب در نظر گرفته شده‌اند.

جداول نخست را می توان برای سنگهای نسبتاً صلب و اساساً فاقد ترک خورد گی مورداستفاده قرار داد، و جداول سری دوم را برای سنگهائی به کار گرفت که سست - جهت دار - درزخورده یا شکاف دار هستند. انواع نمونه سنگ در این گروه عبارتند از بازالتها، دیوریتها و گابروها. طراحی جداول زیر همچنین بر این فرض اساسی استوار است که پاک سازی و حمل مواد انفجاری در بین انفجارها انجام می شود. در مورد چالهای با قطر ۳۲ تا ۳۸ میلیمتر ($1\frac{1}{4}$ تا $1\frac{1}{2}$ اینچ) و پله های خیلی کم ارتفاع، فضایی برای ستونهای خرج در نظر گرفته نشده است.

قطر چالها ۳۲ میلیمتر ($1\frac{1}{4}$ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شد گی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژه کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۰/٤	۰/٦٥	۰/۱۰	۰/۱۰	-	-	۰/۱۰	۰/٥٥	۰/۱۳	۰/۷۷
۰/٦	۰/۹۰	۰/۲۰	۰/۲۰	-	-	۰/۲۰	۰/۷۰	۰/۲۸	۰/۷۱
۰/۸	۱/۱٥	۰/۳۰	۰/۳۰	-	-	۰/۳۰	۰/۸٥	۰/٤٦	۰/٦٥
۱/۰	۱/۳٥	۰/٥۰	۰/٥۰	-	-	۰/٥۰	۰/۸٥	۰/۸٤	۰/٦۰
۱/٥	۱/۹٥	۱/۰۰	۱/۰۰	-	-	۱/۰۰	۰/۹٥	۱/۸۰	۰/٥٦
۲/۰	۲/٤٥	۱/۳٥	۱/۳٥	-	-	۱/۳٥	۱/۱۰	۳/۲٥	۰/٤۲
۲/٥	۳/۰۰	۱/٥۰	۱/٥۰	۰/۳٥	۰/۲٥	۱/۷٥	۱/۱٥	٤/۳۹	۰/٤۰

→

۳/۰	۳/۵۰	۱/۵۵	۱/۵۵	۰/۷۵	۰/۵۰	۲/۰۵	۱/۲۰	۵/۶۹	۰/۳۶
۳/۵	٤/۰۵	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/٤۰	۰/۹۵	۲/٤۵	۱/۱۵	۶/۱۵	۰/٤۰
٤/۰	٤/۵۵	۱/٤۵	۱/٤۵	۲/۰۰	۱/۳۵	۲/۸۰	۱/۱۰	۶/٤۹	۰/٤۳

جدول ۲۷ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۳۲ میلیمتر (۱ ۱/٤ اینچ).
شیب چال ۳:۱، خرج تحتانی دینامیت (۱/۲۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب)، ستون خرج آمونیت (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب)، E = ۱/۲۵ V و قابلیت انفجار سنگ، خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۳۸ میلیمتر (۱ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژه کیلوگرم/متر مترمکعب
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۰/۵	۰/۸۵	۰/۱۵	۰/۲۰	-	-	۰/۲۰	۰/۶۰	۰/۲۷	۰/۷٤
۱/۰	۱/٤۰	۰/۵۰	۰/۷۰	-	-	۰/۷۰	۰/۹۰	۱/۰۹	۰/۶٤
۱/۵	۲/۰۰	۰/۹۵	۱/۳۵	-	-	۱/۳۵	۱/۰۵	۲/۱۶	۰/۶۳
۲/۰	۲/٤۵	۱/۲۵	۱/۸۰	-	-	۱/۸۰	۱/۲۰	۳/۷۹	۰/٤۷
۲/۵	۳/۰۵	۱/۷۵	۲/۵۰	-	-	۲/۵۰	۱/۳۰	۵/۶۵	۰/٤٤
۳/۰	۳/۶۰	۱/۸۵	۲/۶۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۳/۰۰	۱/٤۰	۷/۷۵	۰/۳۹
۳/۵	٤/۱۵	۱/۹۵	۲/۷۵	۰/۷۰	۰/۶۵	۳/٤۰	۱/۵۰	۱۰/۵۱	۰/۳۲
٤/۰	٤/۷۰	۲/۱۰	۳/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۳/۹۵	۱/۶۰	۱۳/٤۹	۰/۲۹
٤/۵	۵/۲۰	۲/۰۰	۲/۸۵	۱/۶۵	۱/۶۰	٤/٤۵	۱/۵۵	۱٤/۳۳	۰/۳۱
۵/۰	۵/۷۰	۱/۹۵	۲/۷۵	۲/۲۵	۲/۱۵	٤/۹۰	۱/۵۰	۱۵/۰۱	۰/۳۳
۵/۵	۶/۲۵	۱/۹۰	۲/۷۰	۲/۹۰	۲/۸	۵/۵۰	۱/٤۵	۱۵/۱۳	۰/۳۶
۶/۰	۶/۷۵	۱/۸۵	۲/۶۵	۳/۵۰	۳/۳۵	۶/۰۰	۱/٤۰	۱۵/٤۹	۰/۳۹

جدول ۲۸ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۳۸ میلیمتر (۱ ۱/۲ اینچ). شیب چال ۳:۱، خرج تحتانی دینامیت (۱/۲۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) ستون خرج آمونیت (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب)، E=۱/۲۵ V و قابلیت انفجار سنگ، خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۴۵ میلیمتر (۱ ۳/۴ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۲	۲/۴	۰/۶۵	۰/۷۵	۱/۰۰	۱/۳۵	۱/۶۵	۱/۰۵	۲/۸۸	۰/۵۷
۳	۳/۵۰	۰/۶۵	۱/۶۵	۲/۲۵	۱/۳۵	۲/۹۰	۱/۲۵	۶/۱۳	۰/۴۷
۴	۴/۶۵	۰/۶۵	۲/۵۵	۳/۴۵	۱/۳۵	۴/۱۰	۱/۵۰	۱۲/۰۱	۰/۳۴
۵	۵/۷۵	۰/۶۵	۳/۵۰	۴/۷۵	۱/۳۵	۵/۴۰	۱/۶۵	۱۷/۸۲	۰/۳۰
۶	۶/۸۰	۰/۶۵	۴/۶۰	۶/۲۰	۱/۳۵	۶/۸۵	۱/۶۰	۲۰/۲۳	۰/۳۴
۷	۷/۸۵	۰/۶۵	۵/۷۰	۷/۷۰	۱/۳۵	۸/۳۵	۱/۵۵	۲۲/۳۰	۰/۳۷
۸	۸/۹۰	۰/۶۵	۶/۸۰	۹/۲۰	۱/۳۵	۹/۸۵	۱/۵۰	۲۴/۰۳	۰/۴۱

جدول ۲۹- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۴۵ میلیمتر (۱ ۳/۴ اینچ) شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) E=۱/۲۵ V و قابلیت انفجار سنگ، متوسط تا خوب.

قطر چالها ۴۵ میلیمتر (۱ ۳/۴ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۲	۲/۴۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۹۰	۱/۳۵	۱/۵۵	۱/۲۰	۲/۷۹	۰/۴۱
۳	۳/۶۰	۰/۶۵	۱/۵۵	۲/۱۰	۱/۳۵	۲/۷۵	۱/۴۵	۸/۲۵	۰/۳۳
۴	۴/۷۵	۰/۶۵	۲/۴۵	۲/۳۰	۱/۳۵	۳/۹۵	۱/۷۰	۱۵/۴۱	۰/۲۶
۵	۵/۸۰	۰/۶۵	۳/۳۵	۴/۵۵	۱/۳۵	۵/۲۰	۱/۸۵	۲۲/۴۲	۰/۲۳
۶	۶/۸۵	۰/۶۵	۴/۴۵	۶/۰۰	۱/۳۵	۶/۶۵	۱/۸۰	۲۵/۶۱	۰/۲۶
۷	۷/۹۰	۰/۶۵	۵/۵۵	۷/۵۰	۱/۳۵	۸/۱۵	۱/۷۵	۲۸/۴۰	۰/۲۹

←

۸	۸/۹۵	۰/۶۵	۶/۶۵	۹/۰۰	۱/۳۵	۹/۶۵	۱/۷۰	۳۰/۸۲	۰/۳۱

جدول ۳۰- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۴۵ میلیمتر (۱ ۳/۴ اینچ) شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب)، V ۱/۲۵= E وقابلیت انفجار سنگ، خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۳	۳/۷۰	۰/۷۵	۱/۷۵	۳/۰۵	۱/۷۵	۳/۸۰	۱/۵۵	۹/۵۶	۰/۴۰
۴	۴/۷۵	۰/۷۵	۲/۶۰	۴/۵۵	۱/۷۵	۵/۳۰	۱/۷۵	۱۶/۲۳	۰/۳۳
۵	۵/۸۵	۰/۷۵	۳/۴۵	۶/۰۵	۱/۷۵	۶/۸۰	۲/۰۰	۲۶/۳۵	۰/۲۶
۶	۶/۹۵	۰/۷۵	۴/۵۰	۷/۹۰	۱/۷۵	۸/۶۵	۲/۰۵	۳۳/۰۵	۰/۲۶
۷	۸/۰۰	۰/۷۵	۵/۶۰	۹/۸۰	۱/۷۵	۱۰/۵۵	۲/۰۰	۳۶/۹۸	۰/۲۹
۸	۹/۰۵	۰/۷۵	۶/۷	۱۱/۷۵	۱/۷۵	۱۲/۵۰	۱/۹۵	۳۹/۴۶	۰/۳۲
۹	۱۰/۰۵	۰/۷۵	۷/۷۵	۱۲/۵۵	۱/۷۵	۱۴/۳۰	۱/۹۰	۴۲/۳۵	۰/۳۴
۱۰	۱۱/۱۰	۵/۷۵	۸/۸۵	۱۵/۵۰	۱/۷۵	۱۶/۲۵	۱/۸۵	۴۴/۸۴	۰/۳۶
۱۱	۱۲/۱۵	۰/۷۵	۹/۹۵	۱۷/۴۰	۱/۷۵	۱۸/۱۵	۱/۸۰	۴۶/۹۵	۰/۳۹
۱۲	۱۳/۱۵	۰/۷۵	۱۱/۰۰	۱۹/۲۵	۱/۷۵	۲۰/۰۰	۱/۷۵	۴۸/۶۹	۰/۴۱

جدول ۳۱- الگوهای خرج گذاری در چالهای با قطر ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ) شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۵۱ میلیمتر (—— ۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۳	۳/۵۵	۰/۷۵	۱/۸۰	۳/۱۵	۱/۷۵	۳/۹۰	۱/۳۵	۷/۲۶	۰/۵۴
۴	۴/۶۵	۰/۷۵	۲/۷۵	۴/۸۰	۱/۷۵	۵/۵۵	۱/۵۰	۱۲/۰۱	۰/۴۶
۵	۵/۷۵	۰/۷۵	۳/۶۰	۶/۳۰	۱/۷۵	۷/۰۵	۱/۷۵	۲۰/۲۹	۰/۳۵
۶	۶/۸۵	۰/۷۵	۴/۶۵	۸/۱۵	۱/۷۵	۸/۹۰	۱/۸۰	۲۵/۶۱	۰/۳۵
۷	۷/۹۰	۰/۷۵	۵/۷۵	۱۰/۰۵	۱/۷۵	۱۰/۸۰	۱/۷۵	۲۸/۴۰	۰/۳۸
۸	۸/۹۵	۰/۷۵	۶/۸۰	۱۱/۹۰	۱/۷۵	۱۲/۶۵	۱/۷۵	۳۱/۷۲	۰/۴۰
۹	۱۰/۰۰	۰/۷۵	۷/۹۰	۱۳/۸۵	۱/۷۵	۱۴/۶۰	۱/۷۰	۳۳/۸۶	۰/۴۴
۱۰	۱۱/۰۵	۰/۷۵	۹/۰۰	۱۵/۷۵	۱/۷۵	۱۶/۵۰	۱/۶۵	۳۵/۶۵	۰/۴۷
۱۱	۱۲/۱۰	۰/۷۵	۱۰/۱۰	۱۷/۷۰	۱/۷۵	۱۸/۴۵	۱/۶۰	۳۷/۱۰	۰/۵۰
۱۲	۱۳/۱۰	۰/۷۵	۱۱/۱۵	۱۹/۵۰	۱/۷۵	۲۰/۲۵	۱/۵۵	۳۸/۲۲	۰/۵۳

جدول ۳۲- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ). شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۶۴ میلیمتر (—— $\frac{۱}{۲}$ ۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۴	۴/۸۰	۱/۲۰	۲/۶۰	۷/۱۵	۲/۷۵	۸/۳۵	۱/۸۰	۱۷/۰۷	۰/۴۹
۵	۵/۹۰	۱/۲۰	۳/۵۰	۹/۶۵	۲/۷۵	۱۰/۸۵	۲/۱۰	۲۸/۷۷	۰/۳۸
۶	۷/۰۵	۱/۲۰	۴/۳۵	۱۱/۹۵	۲/۷۵	۱۳/۱۵	۲/۴۰	۴۵/۵۳	۰/۲۹
۷	۸/۱۰	۱/۲۰	۵/۳۵	۱۴/۷۰	۲/۷۵	۱۵/۹۰	۲/۴۵	۵۵/۱۳	۰/۲۹
۸	۹/۱۵	۱/۲۰	۶/۴۵	۱۷/۷۵	۲/۷۵	۱۸/۹۵	۲/۴۰	۶۰/۷۰	۰/۳۱

←

۹	۱۰/۲۰	۱/۲۰	۷/۵۵	۲۰/۷۵	۲/۷۵	۲۱/۹۵	۲/۳۵	۶۵/۷۵	۰/۳۳
۱۰	۱۱/۲۵	۱/۲۰	۸/۶۵	۲۳/۸۰	۲/۷۵	۲۵/۰۰	۲/۳۰	۶۹/۰۸	۰/۳۶
۱۱	۱۲/۲۵	۱/۲۰	۹/۷۰	۲۶/۷۰	۲/۷۵	۲۷/۹۰	۲/۲۵	۷۳/۰۳	۰/۳۸
۱۲	۱۳/۳۰	۱/۲۰	۱۰/۸۰	۲۹/۷۰	۲/۷۵	۳۰/۹۰	۲/۲۰	۷۶/۵۱	۰/۴۰
۱۳	۱۴/۳۵	۱/۲۰	۱۱/۹۰	۳۲/۷۰	۲/۷۵	۳۳/۹۰	۲/۱۵	۷۸/۰۶	۰/۴۳
۱۴	۱۵/۳۵	۱/۲۰	۱۳/۰۰	۳۵/۷۵	۲/۷۵	۳۶/۹۵	۲/۰۵	۷۸/۶۴	۰/۴۷

جدول ۳۲- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۶۳ میلیمتر (۲ ۱/۲ اینچ) شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ= خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۶۴ میلیمتر (۲ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۴	۴/۷۰	۱/۲۰	۲/۷۰	۷/۴۵	۲/۷۵	۸/۶۵	۱/۶۰	۱۳/۴۹	۰/۶۴
۵	۵/۸۰	۱/۲۰	۳/۵۰	۹/۶۵	۲/۷۵	۱۰/۸۵	۱/۹۰	۲۳/۰۳	۰/۴۷
۶	۷/۰۰	۱/۲۰	۴/۵۰	۱۲/۴۰	۲/۷۵	۱۲/۶۰	۲/۱۰	۳۴/۵۳	۰/۳۹
۷	۸/۰۰	۱/۲۰	۵/۴۵	۱۵/۰۰	۲/۷۵	۱۶/۲۰	۲/۱۵	۴۲/۸۲	۰/۳۸
۸	۹/۱۰	۱/۲۰	۶/۶۰	۱۸/۱۵	۲/۷۵	۱۹/۳۵	۲/۱۰	۴۶/۰۳	۰/۴۲
۹	۱۰/۱۰	۱/۲۰	۷/۶۵	۲۱/۰۵	۲/۷۵	۲۲/۲۵	۲/۰۵	۴۹/۵۸	۰/۴۵
۱۰	۱۱/۱۵	۱/۲۰	۸/۷۵	۲۴/۰۵	۲/۷۵	۲۲/۲۵	۲/۰۰	۵۳/۷۵	۰/۴۷
۱۱	۱۲/۲۰	۱/۲۰	۹/۸۰	۲۶/۹۵	۲/۷۵	۲۸/۱۵	۲/۰۰	۵۷/۹۶	۰/۴۹
۱۲	۱۳/۲۵	۱/۲۰	۱۰/۹۰	۳۰/۰۰	۲/۷۵	۳۱/۲۰	۱/۹۵	۶۰/۴۲	۰/۵۲
۱۳	۱۴/۲۵	۱/۲۰	۱۱/۹۵	۳۲/۸۵	۲/۷۵	۳۴/۰۵	۱/۹۰	۶۱/۱۷	۰/۵۶
۱۴	۱۵/۳۰	۱/۲۰	۱۳/۰۵	۳۵/۹۰	۲/۷۵	۳۷/۱۰	۱/۸۵	۶۲/۷۸	۰/۵۹

جدول ۳۴- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۶۴ میلیمتر(۲ ۱/۲ اینچ).شیب چال ۳:۱، ستون خرج نفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۷۶ میلیمتر (ـــــ ۳ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۵	۵/۹۰	۱/۵۰	۳/۴۰	۱۳/۱۰	۳/۸۵	۱۴/۶۰	۲/۱۵	۳۰/۵۹	۰/۴۸
۶	۷/۰۵	۱/۵۰	۴/۲۰	۱۶/۲۰	۳/۸۵	۱۷/۷۰	۲/۵۰	۴۹/۸۰	۰/۳۶
۷	۸/۲۰	۱/۵۰	۵/۱۰	۱۹/۶۵	۳/۸۵	۲۱/۱۵	۲/۷۵	۶۹/۹۹	۰/۳۰
۸	۹/۲۵	۱/۵۰	۶/۱۰	۲۳/۵۰	۳/۸۵	۲۵/۰۰	۲/۸۰	۸۲/۶۲	۰/۳۰
۹	۱۰/۳۰	۱/۵۰	۷/۲۰	۲۷/۷۵	۳/۸۵	۲۹/۲۵	۲/۷۵	۸۹/۹۹	۰/۳۳
۱۰	۱۱/۳۵	۱/۵۰	۸/۳۰	۳۱/۹۵	۳/۸۵	۳۳/۴۵	۲/۷۰	۹۶/۷۵	۰/۳۵
۱۱	۱۲/۳۵	۱/۵۰	۹/۴۰	۳۶/۲۰	۳/۸۵	۳۷/۵۰	۲/۶۰	۹۷/۹۶	۰/۳۸
۱۲	۱۳/۴۰	۱/۵۰	۱۰/۵۰	۴۰/۴۵	۳/۸۵	۴۱/۹۵	۲/۵۵	۱۰۳/۲۰	۰/۴۱
۱۳	۱۴/۴۵	۱/۵۰	۱۱/۶۰	۳۴/۶۵	۳/۸۵	۴۶/۱۵	۲/۵۰	۱۰۷/۸۹	۰/۴۳
۱۴	۱۵/۵۰	۱/۵۰	۱۲/۷۰	۴۸/۹۰	۳/۸۵	۵۰/۴۰	۲/۴۵	۱۱۰/۲۵	۰/۴۶
۱۵	۱۶/۵۵	۱/۵۰	۱۳/۸۰	۵۳/۱۵	۳/۸۵	۵۴/۶۵	۲/۴۰	۱۱۳/۹۲	۰/۴۸
۱۶	۱۷/۵۵	۱/۵۰	۱۴/۸۵	۵۷/۱۵	۳/۸۵	۵۸/۶۵	۲/۳۵	۱۱۶/۹۰	۰/۵۰

جدول ۳۵- الگوهای خرج گذاری چالهای با قطر ۷۶ میلیمتر (۳ اینچ). شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۷۶ میلیمتر (۳ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۵	۵/۸۵	۱/۵۰	۳/۵۵	۱۳/۶۵	۳/۸۵	۱۵/۱۵	۱/۹۵	۲۵/۱۷	۰/۶۰
۶	۶/۹۵	۱/۵۰	۴/۴۰	۱۶/۹۵	۳/۸۵	۱۸/۴۵	۲/۲۰	۳۸/۲۶	۰/۴۸
۷	۸/۰۵	۱/۵۰	۵/۳۰	۲۰/۴۰	۳/۸۵	۲۱/۹۰	۲/۴۰	۵۳/۱۲	۰/۴۱
۸	۹/۲۰	۱/۵۰	۶/۴۰	۲۴/۶۵	۳/۸۵	۲۶/۱۵	۲/۴۵	۶۳/۰۰	۰/۴۲

←

→

۹	۱۰/۲۰	۱/۵۰	۷/۴۵	۲۸/۷۰	۳/۸۵	۳۰/۲۰	۲/۴۰	۶۸/۲۹	۰/۴۴
۱۰	۱۱/۲۵	۱/۵۰	۸/۵۵	۳۲/۹۰	۳/۸۵	۳۴/۴۰	۲/۳۵	۷۳/۰۶	۰/۴۷
۱۱	۱۲/۳۰	۱/۵۰	۹/۶۵	۳۷/۱۵	۳/۸۵	۳۸/۶۵	۲/۳۰	۷۵/۹۹	۰/۵۱
۱۲	۱۳/۳۵	۱/۵۰	۱۰/۷۵	۴۱/۴۰	۳/۸۵	۴۲/۹۰	۲/۲۵	۷۹/۶۷	۰/۵۴
۱۳	۱۴/۳۵	۱/۵۰	۱۱/۸۰	۴۵/۴۵	۳/۸۵	۴۶/۹۵	۲/۲۰	۸۲/۸۹	۰/۵۷
۱۴	۱۵/۴۰	۱/۵۰	۱۲/۹۰	۴۹/۶۵	۳/۸۵	۵۱/۱۵	۲/۱۵	۸۵/۶۵	۹/۶۰
۱۵	۱۶/۴۵	۱/۵۰	۱۴/۰۰	۵۳/۹۰	۳/۸۵	۵۵/۴۰	۲/۱۰	۸۶/۳۱	۰/۶۴
۱۶	۱۷/۴۵	۱/۵۰	۱۵/۰۵	۵۷/۹۵	۳/۸۵	۵۹/۴۵	۲/۰۵	۸۸/۱۵	۰/۸۷

جدول ۳۶- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۷۶ میلیمتر (۳ اینچ) شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۸۹ میلیمتر (۳ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۶	۷/۱۵	۲/۳۰	۳/۹۰	۲۰/۷۰	۵/۳۰	۲۳/۰۰	۲/۸۵	۶۳/۹۸	۰/۳۶
۷	۸/۳۰	۲/۳۰	۴/۹۰	۲۵/۹۵	۵/۳۰	۲۸/۲۵	۳/۰۰	۸۲/۹۹	۰/۳۴
۸	۹/۳۵	۲/۳۰	۵/۸۵	۳۱/۰۰	۵/۳۰	۳۳/۳۰	۳/۱۰	۱۰۰/۶۲	۰/۳۳
۹	۱۰/۴۵	۲/۳۰	۶/۹۰	۳۶/۶۰	۵/۲۰	۳۸/۹۰	۳/۱۵	۱۱۸/۰۲	۰/۳۳
۱۰	۱۱/۵۰	۲/۳۰	۷/۹۰	۴۱/۹۰	۵/۳۰	۴۴/۲۰	۳/۲۰	۱۳۴/۹۰	۰/۳۳
۱۱	۱۲/۵۵	۲/۳۰	۹/۰۰	۴۷/۷۰	۵/۳۰	۵۰/۰۰	۳/۱۵	۱۴۴/۲۴	۰/۳۵
۱۲	۱۳/۶۰	۲/۳۰	۱۰/۱۰	۵۳/۵۵	۵/۳۰	۵۵/۸۵	۳/۱۰	۱۵۰/۹۴	۰/۳۷
۱۳	۱۴/۶۰	۲/۳۰	۱۱/۱۵	۵۹/۱۰	۵/۳۰	۶۱/۴۰	۳/۰۵	۱۵۸/۷۹	۰/۳۹
۱۴	۱۵/۶۵	۲/۳۰	۱۲/۲۵	۶۴/۹۵	۵/۳۰	۶۷/۲۵	۳/۰۰	۱۶۵/۹۹	۰/۴۱
۱۵	۱۶/۷۰	۲/۳۰	۱۳/۳۵	۷۰/۷۵	۵/۳۰	۷۳/۰۵	۲/۹۵	۱۷۲/۵۵	۰/۴۲
۱۶	۱۷/۷۵	۲/۳۰	۱۴/۴۵	۷۶/۶۰	۵/۳۰	۷۸/۹۰	۲/۹۰	۱۷۶/۰۴	۰/۴۵
۱۷	۱۸/۷۵	۲/۳۰	۱۵/۵۰	۸۲/۱۵	۵/۳۰	۸۴/۴۵	۲/۸۵	۱۸۱/۲۶	۰/۴۷

←

۱۸	۱۹/۸۰	۲/۳۰	۱۶/۶۰	۸۸/۰۰	۵/۳۰	۹۰/۳۰	۲/۸۰	۱۸۵/۹۰	۰/۴۹

جدول ۳۷- الگوهای خرج گذای برای چالهای با قطر ۸۹ میلیمتر. شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۸۹ میلیمتر (۳ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۶	۷/۰۵	۲/۳۰	۴/۱۰	۲۱/۷۵	۵/۳۰	۲۴/۰۵	۲/۵۵	۵۱/۶۰	۰/۴۷
۷	۸/۱۵	۲/۳۰	۵/۱۰	۲۷/۰۵	۵/۳۰	۲۹/۳۵	۲/۶۵	۶۴/۵۱	۰/۴۵
۸	۹/۲۵	۲/۳۰	۶/۱۵	۳۲/۶۰	۵/۳۰	۳۴/۹۰	۲/۷۰	۷۶/۲۶	۰/۴۵
۹	۱۰/۳۵	۲/۳۰	۷/۲۰	۳۸/۱۵	۵/۳۰	۴۰/۴۵	۲/۷۵	۸۹/۹۹	۰/۴۵
۱۰	۱۱/۴۰	۲/۳۰	۸/۲۰	۴۳/۴۵	۵/۳۰	۴۵/۷۵	۲/۸۰	۱۰۳/۲۸	۰/۴۴
۱۱	۱۲/۴۵	۲/۳۰	۹/۳۰	۴۹/۳۰	۵/۳۰	۵۱/۶۰	۲/۷۵	۱۰۹/۹۹	۰/۴۷
۱۲	۱۳/۴۵	۲/۳۰	۱۰/۳۵	۵۴/۸۵	۵/۳۰	۵۷/۱۵	۲/۷۰	۱۱۴/۳۹	۰/۵۰
۱۳	۱۴/۵۰	۲/۳۰	۱۱/۴۵	۶۰/۷۰	۵/۳۰	۶۳/۰۰	۲/۶۵	۱۱۹/۸۱	۰/۵۳
۱۴	۱۵/۵۵	۲/۳۰	۱۲/۵۵	۶۶/۵۰	۵/۳۰	۶۸/۸۰	۲/۶۰	۱۲۴/۶۷	۰/۵۵
۱۵	۱۶/۵۵	۲/۳۰	۱۳/۶۰	۷۲/۱۰	۵/۳۰	۷۴/۶۵	۲/۵۵	۱۲۸/۹۹	۰/۵۸
۱۶	۱۷/۶۰	۲/۳۰	۱۴/۷۰	۷۷/۹۰	۵/۳۰	۸۰/۲۰	۲/۵۰	۱۳۲/۷۹	۰/۶۰
۱۷	۱۸/۶۵	۲/۳۰	۱۵/۸۰	۸۳/۷۵	۵/۳۰	۸۶/۰۵	۲/۴۵	۱۳۳/۸۸	۰/۶۴
۱۸	۱۹/۶۵	۲/۳۰	۱۶/۸۵	۸۹/۳۰	۵/۳۰	۹۱/۶۰	۲/۴۰	۱۳۶/۵۸	۰/۶۷

جدول ۳۸- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۸۹ میلیمتر. شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر) و قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۱۰۲ میلیمتر (٤ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم‌شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۷	۸/٤۰	۳/۰۰	٤/٦٥	۳۲/۳۰	٦/۹٥	۳٥/۳۰	۳/۳٥	۱۰۳/۸۰	۰/۳٤
۸	۹/٤٥	۳/۰۰	٥/٦۰	۳۸/۹۰	٦/۹٥	٤۱/۹۰	۳/٤٥	۱۲٥/۰۷	۰/۳٤
۹	۱۰/٥٥	۳/۰۰	٦/٦۰	٤٥/۸٥	٦/۹٥	٤۸/۸٥	۲/٥٥	۱٤۹/۸٤	۰/۳۳
۱۰	۱۱/٦۰	۳/۰۰	۷/٦٥	٥۳/۱٥	٦/۹٥	٥٦/۱٥	۳/٥٥	۱٦٦/٤۹	۰/۳٤
۱۱	۱۲/٦٥	۳/۰۰	۸/٦٥	٦۰/۱۰	٦/۹٥	٦۳/۱۰	۳/٦۰	۱۸۷/۸۰	۰/۳٤
۱۲	۱۳/۷٥	۳/۰۰	۹/۷٥	٦۷/۷٥	٦/۹٥	۷۰/۷٥	۳/٦۰	۲۰٤/۸۷	۰/۳٥
۱۳	۱٤/۷٥	۳/۰۰	۱۰/۸۰	۷٥/۰٥	٦/۹٥	۷۸/۰٥	۳/٥٥	۲۱٦/٤۳	۰/۳٦
۱٤	۱٥/۸۰	۳/۰۰	۱۱/۹۰	۸۲/۷۰	٦/۹٥	۸٥/۷۰	۳/٥۰	۲۲۷/۲۲	۰/۳۸
۱٥	۱٦/۸٥	۳/۰۰	۱۲/۹٥	۹۰/۰۰	٦/۹٥	۹۳/۰۰	۳/٥۰	۲٤۰/٦۸	۰/۳۹
۱٦	۱۷/۹۰	۳/۰۰	۱٤/۰٥	۹۷/٦٥	٦/۹٥	۱۰۰/٦٥	۳/٤٥	۲٥۰/۱٥	۰/٤۰
۱۷	۱۸/۹٥	۳/۰۰	۱٥/۱٥	۱۰٥/۳۰	٦/۹٥	۱۰۸/۳۰	۳/٤۰	۲٥۸/۸۹	۰/٤۲
۱۸	۲۰/۰۰	۳/۰۰	۱٦/۲۰	۱۱۲/٦۰	٦/۹٥	۱۱٥/٦۰	۳/٤۰	۲۷۰/۸۹	۰/٤۳
۱۹	۲۱/۰٥	۳/۰۰	۱۷/۳۰	۱۲۰/۲٥	٦/۹٥	۱۲۳/۲٥	۳/۳٥	۲۸۱/۷۳	۰/٤٤
۲۰	۲۲/۱۰	۳/۰۰	۱۸/۳٥	۱۲۷/٥٥	٦/۹٥	۱۳۰/٥٥	۳/۳٥	۲۹۳/۰۳	۰/٤٥

جدول ۳۹- الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۱۰۲ میلیمتر (٤ اینچ). شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸٥ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۱۰۲ میلیمتر (٤ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم‌شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۷	۸/۲٥	۳/۰۰	٤/۹٥	۳٤/٤۰	٦/۹٥	۳۷/٤۰	۲/۹۰	۷۷/۰۲	۰/٤۹
۸	۹/۳٥	۳/۰۰	٥/۹٥	٤۱/۳٥	٦/۹٥	٤٤/۳٥	۳/۰۰	۹٤/۸٥	۰/٤۷
۹	۱۰/٤۰	۳/۰۰	٦/۹٥	٤۸/۳۰	٦/۹٥	٥۱/۳۰	۳/۰٥	۱۰۹/۹۳	۰/٤۷

←

۱۰	۱۱/۴۵	۳/۰۰	۸/۰۰	۵۵/۶۰	۶/۹۵	۵۸/۶۰	۳/۰۵	۱۲۲/۱۴	۰/۴۸
۱۱	۱۲/۵۵	۳/۰۰	۹/۰۵	۶۲/۹	۶/۹۵	۶۵/۹۰	۳/۱۰	۱۳۸/۳۶	۰/۴۸
۱۲	۱۳/۶۰	۳/۰۰	۱۰/۱۰	۷۰/۲۰	۶/۹۵	۷۳/۲۰	۳/۱۰	۱۵۰/۹۴	۰/۴۸
۱۳	۱۴/۶۰	۳/۰۰	۱۱/۱۵	۷۷/۵۰	۶/۹۵	۸۰/۵۰	۳/۰۵	۱۵۸/۷۹	۰/۵۱
۱۴	۱۵/۶۵	۳/۰۰	۱۲/۲۵	۸۵/۱۵	۶/۹۵	۸۸/۱۵	۳/۰۰	۱۶۵/۹۹	۰/۵۳
۱۵	۱۶/۷۰	۳/۰۰	۱۳/۳۰	۹۲/۴۵	۶/۹۵	۹۵/۴۵	۳/۰۰	۱۷۵/۴۷	۰/۵۴
۱۶	۱۷/۷۵	۳/۰۰	۱۴/۴۰	۱۰۰/۱۰	۶/۹۵	۱۰۳/۱۰	۲/۹۵	۱۸۴/۰۵	۰/۵۶
۱۷	۱۸/۸۰	۳/۰۰	۱۵/۴۵	۱۰۷/۴۰	۶/۹۵	۱۱۰/۴۰	۲/۹۵	۱۹۲/۹۱	۰/۵۷
۱۸	۱۹/۸۵	۳/۰۰	۱۶/۵۵	۱۱۵/۰۰	۶/۹۵	۱۱۸/۰۰	۲/۹۰	۱۹۸/۰۴	۰/۶۰
۱۹	۲۰/۹۰	۳/۰۰	۱۷/۶۰	۱۲۲/۳۰	۶/۹۵	۱۲۵/۳۰	۲/۹۰	۲۰۶/۱۴	۰/۶۱
۲۰	۲۱/۹۵	۳/۰۰	۱۸/۷۰	۱۲۹/۹۵	۶/۹۵	۱۳۲/۹۵	۲/۸۵	۲۱۳/۲۵	۰/۶۲

جدول ۴۰ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۱۰۲ میلیمتر (۴ اینچ). شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۱۱۵ میلیمتر (۴ ½ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۸	۹/۲۵	۳/۸۰	۵/۲۰	۴۶/۰۵	۸/۸۵	۴۹/۸۵	۳/۶۵	۱۴۰/۰۲	۰/۳۶
۱۰	۱۱/۷۰	۳/۸۰	۷/۵۰	۶۶/۴۰	۸/۸۵	۶۲/۶۰	۳/۸۰	۱۹۰/۲۳	۰/۳۳
۱۲	۱۳/۸۰	۳/۸۰	۹/۵۰	۸۴/۱۰	۸/۸۵	۸۷/۹۰	۳/۹۰	۲۳۹/۲۱	۰/۳۷
۱۴	۱۵/۹۰	۳/۸۰	۱۱/۷۰	۱۰۳/۵۵	۸/۸۵	۱۰۷/۳۵	۳/۸۰	۲۶۶/۳۲	۰/۴۰
۱۶	۱۸/۰۵	۳/۸۰	۱۳/۸۵	۱۲۲/۶۰	۸/۸۵	۱۲۶/۴۰	۳/۸۰	۳۰۱/۱۶	۰/۴۲
۱۸	۲۰/۱۰	۳/۸۰	۱۶/۰۰	۱۴۱/۶۰	۸/۸۵	۱۴۵/۴۰	۳/۷۰	۳۲۶/۳۸	۰/۴۵
۲۰	۲۲/۱۵	۳/۸۰	۱۸/۱۰	۱۶۰/۲۰	۸/۸۵	۱۶۴/۰۰	۳/۶۵	۳۵۰/۰۵	۰/۴۷
۲۲	۲۴/۲۵	۳/۸۰	۲۰/۳۰	۱۷۹/۶۵	۸/۸۵	۱۸۳/۴۵	۳/۵۵	۳۶۶/۲۷	۰/۵۰

جدول ۴۱ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۱۱۵ میلیمتر، شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۱۱۵ میلیمتر (۴ ۱/۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم‌شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/ متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۸	۹/۴۰	۳/۸۰	۵/۸۰	۵۱/۳۵	۸/۸۵	۵۵/۱۵	۳/۲۰	۱۰۷/۹۲	۰/۵۱
۱۰	۱۱/۵۵	۳/۸۰	۷/۸۵	۶۹/۵۰	۸/۸۵	۷۳/۳۰	۳/۳۰	۱۴۴/۳۳	۰/۵۱
۱۲	۱۳/۷۰	۳/۸۰	۹/۹۰	۸۷/۶۰	۸/۸۵	۹۱/۴۰	۳/۴۰	۱۸۲/۷۴	۰/۵۰
۱۴	۱۵/۷۵	۳/۸۰	۱۲/۰۰	۱۰۶/۲۰	۸/۸۵	۱۱۰/۰۰	۳/۳۵	۲۰۷/۵۹	۰/۵۳
۱۶	۱۷/۸۵	۳/۸۰	۱۴/۱۵	۱۲۵/۲۵	۸/۸۵	۱۲۹/۰۵	۳/۳۰	۲۳۰/۹۳	۰/۵۶
۱۸	۱۹/۹۵	۳/۸۰	۱۶/۳۰	۱۴۴/۲۵	۸/۸۵	۱۴۸/۰۵	۳/۲۵	۲۴۹/۶۹	۰/۵۹
۲۰	۲۲/۰۵	۳/۸۰	۱۸/۴۵	۱۶۳/۳۰	۸/۸۵	۱۶۷/۱۰	۳/۲۰	۲۶۹/۷۹	۰/۶۲
۲۲	۲۴/۱۵	۳/۸۰	۲۰/۶۵	۱۸۲/۷۵	۸/۸۵	۱۸۶/۵۵	۳/۱۰	۲۷۶/۷۲	۰/۶۷

جدول ۴۲ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۱۱۵ میلیمتر (۴/۵ اینچ). شیب چال ۳:۱ ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر) و قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چالها ۱۲۷ میلیمتر (۵ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم‌شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۸	۹/۶۰	۴/۵۰	۵/۳۰	۵۷/۰۰	۱۰/۷۵	۶۱/۵۰	۳/۹۰	۱۶۱/۱۲	۰/۳۸
۱۰	۱۱/۷۵	۴/۵۰	۷/۲۵	۷۷/۹۵	۱۰/۷۵	۸۲/۴۵	۴/۱۰	۲۲۲/۵۳	۰/۳۷
۱۲	۱۳/۹۰	۴/۵۰	۹/۳۰	۱۰۰/۰۰	۱۰/۷۵	۱۰۴/۵۰	۴/۲۰	۲۷۸/۸۶	۰/۳۷
۱۴	۱۶/۰۰	۴/۵۰	۱۱/۴۰	۱۲۲/۵۵	۱۰/۷۵	۱۲۷/۰۵	۴/۲۰	۳۲۵/۳۳	۰/۳۹
۱۶	۱۸/۱۰	۴/۵۰	۱۳/۶۰	۱۴۶/۲۰	۱۰/۷۵	۱۵۰/۷۰	۴/۱۰	۳۵۶/۰۴	۰/۴۲
۱۸	۲۰/۲۰	۴/۵۰	۱۵/۷۵	۱۶۹/۳۰	۱۰/۷۵	۱۷۳/۸۰	۴/۰۵	۳۸۷/۹۸	۰/۴۵
۲۰	۲۲/۲۵	۴/۵۰	۱۷/۹۰	۱۹۲/۴۵	۱۰/۷۵	۱۹۶/۹۵	۳/۹۵	۴۱۲/۱۲	۰/۴۸
۲۲	۲۴/۳۵	۴/۵۰	۲۰/۰۵	۲۱۵/۵۵	۱۰/۷۵	۲۲۰/۰۵	۳/۹۰	۴۴۳/۰۷	۰/۵۰
۲۴	۲۶/۴۵	۴/۵۰	۲۲/۲۵	۲۳۹/۲۰	۱۰/۷۵	۲۴۳/۷۰	۳/۸۰	۴۵۶/۵۴	۰/۵۳

جدول ۴۳ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۱۲۷ میلیمتر. شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۱۲۷ میلیمتر (۵ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۸	۹/۵۰	٤/۵۰	۵/۷۰	٦۱/۳۰	۱۰/۷۵	٦۵/۸۰	۳/٤۰	۱۲۱/۸۳	۰/۵٤
۱۰	۱۱/٦۰	٤/۵۰	۷/٦۵	۸۲/۲۵	۱۰/۷۵	۸٦/۷۵	۳/۵۵	۱٦٦/٤۹	۰/۵۲
۱۲	۱۳/۷۵	٤/۵۰	۹/۷۰	۱۰٤/۳۰	۱۰/۷۵	۱۰۸/۸۰	۳/٦۵	۲۱۰/۰۳	۰/۵۲
۱٤	۱۵/۸۵	٤/۵۰	۱۱/۸۰	۱۲٦/۸۵	۱۰/۷۵	۱۳۱/۳۵	۳/٦۵	۲٤۵/۰۳	۰/۵٤
۱٦	۱۷/۹۰	٤/۵۰	۱۳/۹۵	۱۵۰/۰۰	۱۰/۷٤	۱۵٤/۵۰	۳/۵۵	۲٦٦/۳۸	۰/۵۸
۱۸	۲۰/۰۰	٤/۵۰	۱٦/۱۰	۱۷۳/۱۰	۱۰/۷۵	۱۷۷/٦۰	۳/۵۰	۳۹۲/۱٤	۰/٦۱
۲۰	۲۲/۱۵	٤/۵۰	۱۸/۳۰	۱۹٦/۷۵	۱۰/۷۵	۲۰۱/۲۵	۳/٤۵	۳۱۲/٦۹	۰/٦٤
۲۲	۲٤/۲۵	٤/۵۰	۲۰/٤۵	۲۱۹/۸۵	۱۰/۷۵	۲۲٤/۳۵	۳/٤۰	۳۳۵/۰۳	۰/٦۷
۲٤	۲٦/۳۰	٤/۵۰	۲۲/٦۰	۲٤۲/۹۵	۱۰/۷۵	۲٤۷/٤۵	۳/۳۰	۳٤٦/۳۹	۰/۷۱

جدول ٤٤ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۱۲۷ میلیمتر. شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = متوسط تا خوب.

قطر چال ۱۵۲ میلیمتر (٦ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۸	۹/۷۵	٦/۵۰	۵/۰۰	۷۷/۲۵	۱۵/٤۵	۸۳/۷۵	٤/۳۵	۱۹۹/۸۸	۰/٤۲
۱۲	۱٤/۰۵	٦/۵۰	۸/۹۵	۱۳۸/۳۰	۱۵/٤۵	۱٤٤/۸۰	٤/۷۰	۳٤۷/۷۲	۰/٤۲
۱٦	۱۸/۲۵	٦/۵۰	۱۳/۲۵	۲۰٤/۷۰	۱۵/٤۵	۲۱۱/۲۰	٤/٦۰	٤٤٦/۰۰	۰/٤۷
۲۰	۲۲/٤۵	٦/۵۰	۱۷/٦۰	۲۷۱/۹۵	۱۵/٤۵	۲۷۸/٤۵	٤/٤۵	۵۲۰/۵٦	۰/۵۳
۲٤	۲٦/٦۰	٦/۵۰	۲۱/۹۰	۳۳۸/۳۵	۱۵/٤۵	۳٤٤/۸۵	٤/۳۰	۵۸۱/۸۷	۰/۵۹

جدول ٤۵ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۱۵۲ میلیمتر (٦ اینچ). شیب چال ۳:۱، ستون خرج آنفو (۰/۸۵ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب) و قابلیت انفجار سنگ = خوب تا خیلی خوب.

قطر چالها ۲۰۰ میلیمتر ($\frac{۷}{۸}$ ۷ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۸	۹/۹۵	۱۰/۰۰	٤/٦۰	۱۲۲/۸۰	۲٦/۷۰	۱۳۲/۸۰	۵/۰۰	۲٦۳/٤۷	۰/۵۰
۱۲	۱٤/۲۵	۱۰/۰۰	۸/٦۰	۲۲۹/٦۰	۲٦/۷۰	۲۳۹/٦۰	۵/۳۰	٤٤۲/۳۸	۰/۵٤
۱٦	۱۸/٤۵	۱۰/۰۰	۱۲/۸۰	۳٤۱/۷۵	۲٦/۷۰	۳۵۱/۷۵	۵/۳۰	۵۸۹/۸۳	۰/٦۰
۲۰	۲۲/٦۵	۱۰/۰۰	۱۷/۱۰	٤۵٦/۵۵	۲٦/۷۰	٤٦٦/۵۵	۵/۲۰	۷۱۲/٤۲	۰/٦۵
۲٤	۲٦/۸۵	۱۰/۰۰	۲۱/٤۰	۵۷۱/٤۰	۲٦/۷۰	۵۸۱/٤۰	۵/۱۰	۸۲۵/۵۷	۰/۷۰

جدول ٤٦ - الگوهای خرج گذاری برای چالها با قطر ($\frac{۷}{۸}$ ۷ اینچ). شیب چال ۳:۱، و E=۱/۲۵V.

قطر چالها ۲۵۱ میلیمتر ($\frac{۷}{۸}$ ۹ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۱۲	۱٤/٦۰	۱۵	۷/۲۵	۳۰٤/۹۰	٤۲/۰۵	۳۱۹/۹۰	۷/۰۰	۵۸۸/۰۰	۰/۵٤
۱٦	۱۸/٦۵	۱۵	۱۱/۱۵	٤٦۸/۸۵	٤۲/۰۵	٤۸۳/۸۵	۷/۱۵	۸۱۷/۹٦	۰/۵۹
۲۰	۲۲/٦۰	۱۵	۱۵/۲۵	٦٤۱/۲۵	٤۲/۰۵	٦۵٦/۲۵	۷/۰۰	۹۸۰/۰۰	۰/٦۷
۲٤	۲٦/۵۰	۱۵	۱۹/۳۵	۸۱۳/٦۵	٤۲/۰۵	۸۲۸/٦۵	٦/۸۰	۱۱۰۹/۷٦	۰/۷۵

جدول ٤۷ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۲۵۱ میلیمتر ($\frac{۷}{۸}$ ۹ اینچ) برای استخراج سنگ در معادن مس و آهن چالهای عمودی. E= V

قطر چالها ۳۱۱ میلیمتر (۱/۴ ۱۲ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم‌شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۱۲	۱۵/۰۵	۲۰/۰	۶/۵۵	۴۲۲/۸۰	۶۴/۵۵	۴۴۲/۸۰	۸/۲۰	۸۰۶/۸۸	۰/۵۵
۱۶	۱۹/۱۰	۲۰	۱۰/۴۰	۶۷۱/۳۰	۶۴/۵۵	۶۹۱/۳۰	۸/۴۰	۱۱۲۸/۹۶	۰/۶۱
۲۰	۲۳/۱۰	۲۰	۱۰/۴۰	۹۲۹/۵۰	۶۴/۵۵	۹۴۹/۵۰	۸/۴۰	۱۴۱۱/۲۰	۰/۶۷
۲۴	۲۷/۰۵	۲۰	۱۸/۵۵	۱۱۹۷/۴۰	۶۴/۵۵	۱۲۱۷/۴۰	۸/۲۰	۱۶۱۳/۷۶	۰/۷۵

جدول ۴۸ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۳۱۱ میلیمتر (۱/۴ ۱۲ اینچ) در استخراج سنگ از معادن مس و آهن چالها عمودی.

قطر چالها ۳۸۱ میلیمتر (۱۵ اینچ)

ارتفاع پله متر	طول چال متر	خرج تحتانی		ستون خرج		خرج کلی کیلوگرم	قسمت ساقه متر	تسلیم‌شدگی در هر چال مترمکعب	خرج گذاری ویژهٔ کیلوگرم/متر
		متر	کیلوگرم	متر	کیلوگرم				
۱۲	۱۳/۵۵	۲۵	۷/۵۰	۷۲۴/۵۰	۹۶/۹۰	۷۴۹/۵۰	۵/۸۰	۱۱۲۹/۰۸	۰/۶۶
۱۶	۱۷/۶۰	۲۵	۱۱/۳۰	۱۰۹۵	۹۶/۹۰	۱۱۲۰	۶/۰۵	۱۶۱۶/۰۴	۰/۶۹
۲۰	۲۱/۶۰	۲۵	۱۵/۳۰	۱۴۸۲/۶۰	۹۶/۹۰	۱۵۰۷/۶۰	۶/۰۵	۲۰۲۰/۰۵	۰/۷۵
۲۴	۲۵/۵۵	۲۵	۱۹/۵۰	۱۸۸۹/۵۵	۹۶/۹۰	۱۹۱۴/۵۵	۵/۸۰	۲۲۵۸/۱۶	۰/۸۵

جدول ۴۹ - الگوهای خرج گذاری برای چالهای با قطر ۳۸۱ میلیمتر (۱۵ اینچ) در استخراج سنگ از معادن مس و آهن چالها عمودی. E= V

۲-۶- سیستمهای آتشباری برای انفجار پله‌ای

حفاری نتیجه بخش و سود آور در تودهٔ سنگ، با انفجار خوب آغاز می شود. ضمن تایید و شناخت اهمیت انرژی، باید به عامل زمان بندی تیز توجه شود. خردشدگی، سستی و شکل کپهٔ مواد پس از انفجار را می توان اصلاح کرد و سطوح انرژی را با استفاده از تأخیرهای درست آتشباری پائین آورد. یک تأخیر کوتاه در کنترل این عوامل نقش مهمی دارد، حال آنکه یک تأخیر بلند از پارامترهای بسیار مهم در تعیین دیواره های پایدار در امتداد حدود نهایی گودال به شمار می رود.

مزایای انفجار تأخیری، روشن است:

- انفجار تأخیری، کنترل و کاهش ارتعاشات زمین را ممکن می سازد، خرجهای تک تک چالها یا حتی بخشهایی از خرج ها را می توان به طور جداگانه منفجر کرد.
- انفجار تأخیری، به کنترل پرتاب شدگی سنگ کمک می رساند. طرح هندسی سیستم آتشباری را می توان تا حد زیادی برای دست یافتن به جهت صحیح پرتاب شدگی سنگ و نوع شکل کپه مواد انباشته پس از انفجار، تغییر داد.
- انفجار تأخیری، افزایش فواصل بین چالها در عرض و طول پله را فراهم می آورد و از طرف دیگر خرج گذاری ویژهٔ حفاری را پائین می آورد، زیرا آتشباری را می توان طوری طراحی کرد که هر ردیف چال یا حتی تک تک چالها فقط برای پوشش رویی خود مؤثر باشند.

الگوی تأخیری مورد استفاده، به نتایج موردنظر و شرایط موجود بستگی خواهد داشت. زودترین تأخیر آتشباری، در نقطه‌ای از انفجار است که باعث پرتاب سنگ خواهد شد. جز در مواردی که در آتشباری پیش شکافته به وسیله شلیک انفجاری انجام می شود، نخستین تأخیری که منفجر خواهد شد در جهت پرتاب سنگ قرار دارد، چه در جبههٔ باز و طبیعی چه جبهه‌ای که به وسیلهٔ طرح هندسی تأخیر به وجود می آید.

در یک یا دو ردیف از چالها، حرکت اول، مستقیماً در جهت مخالف جبههٔ کار است.

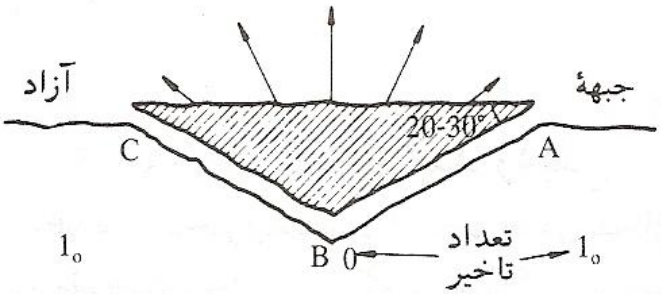
همزمان با افزایش تعداد ردیفها، حرکت سنگ به جهت عمودی متمایل خواهد شد (شکل ۵۸). این تغییر معلول سرعت اندک تودهٔ سنگ شکسته‌ای است که متوالیاً از برجستگی اش در جهت جبههٔ سنگ کاسته می شود.

۲ - ۶ - ۱ - انفجار تک ردیفی

ساده ترین ترتیب انفجار تأخیری عبارت است از یک سلسله خرج گذاری ردیفی که با وقفه های متوالی منفجر شوند. سیستم انفجار تک ردیفی معمولاً در انفجارهای با چال بزرگ در معادن سنگ و معادن گودالی روباز با قطرهای بزرگتر از ۸۹ میلیمتر (۳/۵ اینچ) برای چالها به کار بسته می شود.

شکل ۵۸ - همزمان با افزایش تعداد ردیفها، حرکت سنگ به جهت عمودی متمایل خواهد شد.

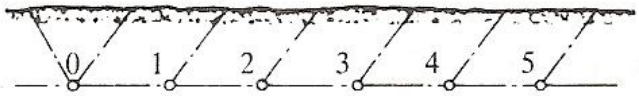
انفجارهای تک ردیفی با تأخیرهای ۱۰ تا ۶۰ هزارم ثانیه بین چالهای انفجاری مجاور، در مقایسه با انفجارهای آنی، باعث خردشدگی بهتری در تودهٔ سنگ می شوند. بهترین درجهٔ خردشدگی در انفجار تک ردیفی زمانی به دست می آید که پیش از انفجار خرج بعدی زمان کافی برای جدا ساختن بخشی از پوشش سنگ رویی در توده سنگ مربوط به آن داده شود. خرجهای دوم بعد از آن را می توان تا رسیدن به یک جبههٔ آزاد اضافی (جبهه های AB و BC (شکل ۵۹) در زمانی منفجر کرد که شدت تنش باقیمانده (ناشی از انفجار خرج قبلی) در اطراف خرجی که قرار است منفجر شود همچنان در حداکثر ممکن باشد.



شکل ۵۹- بهترین درجهٔ خردشدگی در انفجار تک ردیفی زمانی به دست می آید که به هر خرج بیش از انفجار خرج بعدی، زمان کافی برای جدا ساختن بخشی از پوشش سنگ رویی در تودهٔ سنگ مربوط به آن داده شود.

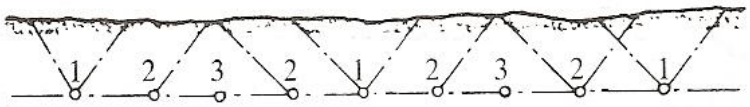
هر گاه زمان تأخیر بین چالهای مجاور خیلی طولانی باشد، نتیجه ممکن است به صورت قطعه سنگهایی بزرگتر از اندازهٔ متوسط خردشدگی در کپهٔ مواد انباشتهٔ پس از انفجارها درآید. از طرف دیگر، اگر این زمان خیلی کوتاه باشد، خرجها طوری عمل خواهند کرد که گویی تقریباً همزمان منفجر شده اند.

الگوهای آتشباری برای انفجار تک ردیفی در شکلهای ۶۰ و ۶۱ نشان داده شده اند. فواصل بین چالها در طول پله در مورد نخست معادل ۱۰ تا ۵۰ درصد از فاصله چالها در عرض پله



شکل ۶۰- الگوی آتشباری برای انفجار تک ردیفی، فواصل بین چالها ۱۰ تا ۵۰ درصد از فواصل بین چالها در عرض پله بیشترا ست.

بیشتر است. الگوی نشان داده شده در شکل ۶۱ (فواصل بین چالها در عرض پله معادل فواصل بین چالها درطول پله) خردشدگی نسبتاً بهتری به بار می آورد.



شکل ۶۱- الگوی آتشباری برای انفجار تک ردیفی، فواصل بین چالها در عرض پله با فواصل بین چالها در طول پله برابر است.

۲-۶-۲- انفجار چند ردیفی

اهمیت استفاده از وقفه های تأخیری مناسب، مخصوصاً در انفجارهای چند ردیفی، زیاد است. تأخیر بهینهٔ بین ردیفها، همان زمانی است که خردشدگی و جابه جایی خوب هر پوشش سنگ رویی را بدون برشهای کناری میسر می سازد.

انفجار با تأخیر کوتاه، در آغاز به عنوان وسیله ای برای کاهش ارتعاشات زمین مورد استفاده قرار گرفت. لیکن با استفاده از دورهای انفجار چند ردیفی، اصلاح چشمگیری در خردشدگی سنگ ایجاد شد. زیرا امکان افزایش خرج گذاری ویژه بدون خطر پرتاب مخاطره آمیز سنگ وجود داشت. از طرف دیگر تأخیر کوتاه بین ردیفها، به قدر کافی بلند است که تودهٔ سنگ یک ردیف امکان حرکت داشته و به جبههٔ آزاد ردیف بعدی نیز امکان روباز شدن پیش از انفجار خرجها را بدهد. گذشته از این، تاخیر مزبور، در عین حال به قدری کوتاه است که تودهٔ سنگ متعلق به ردیفهای قبلی را در هوا معلق نگهمیدارد و بدین ترتیب مانع حرکت قطعه سنگهای ردیفهای بعدی با سرعتی بیش از سرعت متوسط می شود. برخورد قطعه سنگهایی که با سرعتهای متفاوت، حرکت می کنند کمک بزرگی به خردشدگی آنها می کند.

مدت زمان لازم برای حرکت تودهٔ سنگ در انفجارهای چند ردیفی، تابعی از فاصله چالها در عرض پله به شرح زیر می باشد:

که در آن:

$T = KV$

T = تأخیر بین ردیفی (هزارم ثانیه)

K = ۳ - ۵

V = فواصل بین چالها در عرض پله (متر)

با استفاده از این معیار، از کپه های درهم فشرده و متراکم یا حفاری سخت، بازدهی

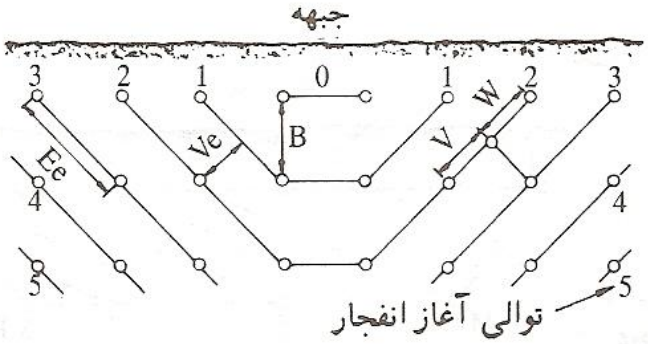
ناچیز، فرسایش و خرابی بیشتر تجهیزات بارگیری و حمل، خردشدگی قسمت پشت و کنترل ناقص جداره‌ها، سنگهای پرتابی و نقاط خالی بزرگ، کاسته خواهد شد.

هرگاه تأخیر بین ردیف‌ها خیلی کوتاه شد، پوشش سنگ رویی ردیف نخست به هنگام انفجار خرجهای ردیف دوم، اساساً در محل اولیهٔ خود باقی است در این حالت، خرجهای ردیف دوم، دارای یک جبههٔ افقی آزاد برای شکستن نمی‌باشند (که این باعث حرکت روبه بالای انفجار می‌شود) در این حالت ـ انفجار ردیف دوم باعث خردشدگی اندک و جابه جایی ناچیز در جهت جلو ولی تولید خرده سنگ زیاد و اضافه حفاری قابل توجه می‌شوند. در انفجارهای چند ردیفی که به خردشدگی نیاز هست، توالی آغاز انفجار باید طوری باشد (شکل ٦٢) که:

١ - هر خرج دارای یک جبههٔ آزاد (نزدیک و گسترده) باشد که بتواند به سوی آن شلیک کند.

٢ - نسبت Ve:Ee در حدود ٢ تا ٥ و ترجیحاً بین ٣/٩٥ و ٤ است.

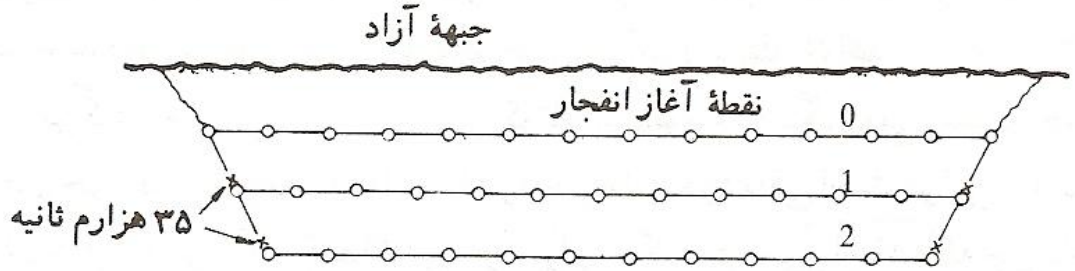
٣ - چالهای انفجاری به طرز مؤثری پراکنده‌اند و درجهٔ تعادل بیشتری دارند، یا نسبت V/W در حدود ١ در شکل ٦٢ است.



شکل ٦٢ - تعیین توالی بهینهٔ آتشباری برای انفجارهای چند ردیفی.

توالی آغاز انفجار بر زوایای بین جهات اصلی حرکت توده سنگ و مرزهای انفجار تأثیر می‌گذارد لذا این اجزا باید ثابت بمانند.

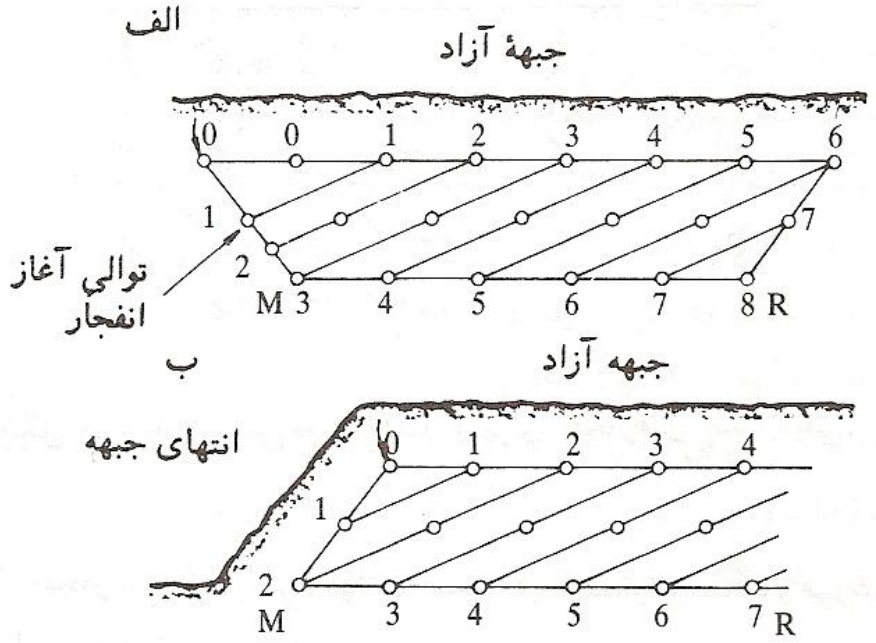
چون پهنای بیشتر انفجارهای آغازشده به طریق خطی (شکل ٦٢) حداقل ٣ برابر عمق آنهاست، تعداد زیادی از چالهای انفجاری به طور همزمان منفجر می‌شوند. ارتفاع موج کرنش حاصل در هر نقطه‌ای از جبههٔ جدید نیز به همان اندازه بالا است.



شکل ۶۳ - الگوی آغاز انفجار به طریق خطی.

با منفجر کردن یک الگوی V شکل، چه به طرف جبههٔ بازچه به انتهای باز (شکل ٦٤)، تعداد ردیفهای مؤثر افزایش می یابد و مهمتر از آن تعداد چالهای انفجاری که به طور همزمان منفجر می شوند کاهش پیدا می کند.

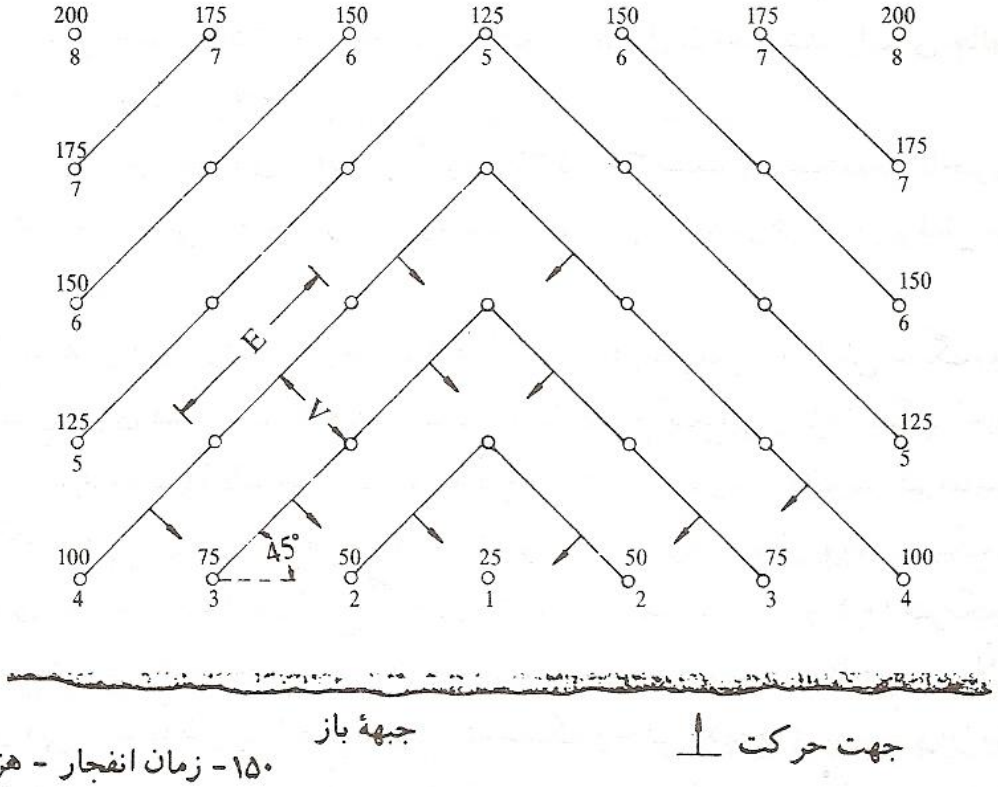
بنابراین، تغییر از الگوی انفجار خطی به الگوی V شکل، این مزیت را دارد که از وزن خرج در هر تأخیر و طولانی تر کردن زمان کلی انفجار می کاهد. این عوامل در ارتعاش کمتر زمین منعکس می شوند.



شکل ٦٤ - الگوی انفجار V شکل (الف) به یک جبههٔ باز، (ب) به یک انتهای باز

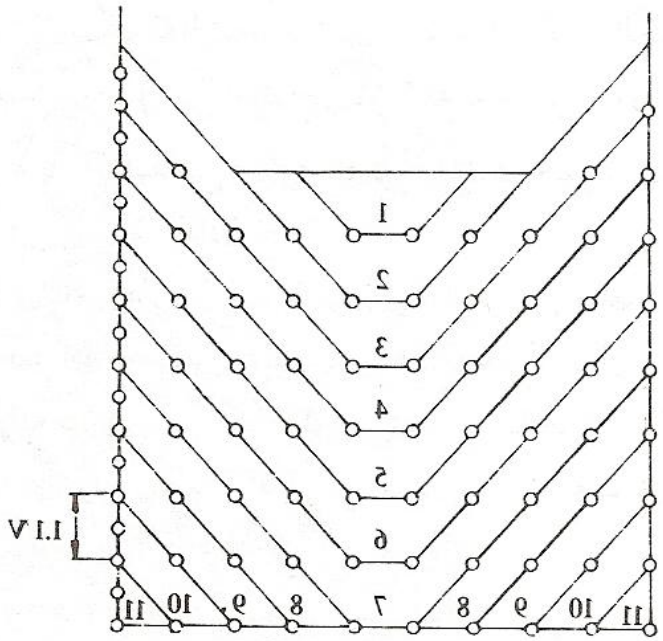
الگوی انفجاری نمونه «V» شکل (شکل ٦٥) کپه‌ای از مواد انباشته پس از انفجار به وجود می آورد که ازجلوی جبهه تا پشت محل انفجار البته در نقطه‌ای بلند و در مرکز آن کشیده شده

است. این گونه الگوی انفجار و « نوع صاف »(شکل ٦٦) به مجری انفجار کمک می کند که جهت پرتاب سنگ را کنترل کند.



١٥٠- زمان انفجار - هزارم ثانیه
٦- هزارم ثانیه زمان تأخیر

شکل ٦٥- الگوی انفجار V شکل.



شکل ٦٦- الگوی انفجار از « نوع صاف »

توالی آغاز انفجار، همچنین، انفجار همزمان با تأخیر چالهای انفجاری واقع در امتداد دیواره گودال طراحی شده راتعیین می کند. در مواردی که انفجار ردیف عقبی چالهای انفجاری به طرز مؤثری تأخیر پیدا کند اضافه حفاری کمتری راباعث می شود، حال آنکه الگوهای انفجار به طریق خطی امکان عمل تخریبی در دیواره گودال طراحی شده را برای چالهای ردیف عقبی فراهم می آورند.

برای چالهای انفجاری تا قطر بزرگتر (۲۳۰ تا ۳۸۱ میلیمتر) و سیستمهای تأخیری سطحی، تأخیر بهینهٔ درون ردیفی، معمولاً از ۸ هزارم ثانیه تا ٤ هزارم ثانیه در هر متر از پوشش سنگ رویی نوسان پیدا می کند.

تاخیرهای درون ردیفی در حدود ۸ هزارم ثانیه در هر متر از پوشش سنگ رویی، برای ستونهای دارای قسمت ساقهٔ بلند، دامنهٔ خرج گذاری ویژهٔ اندک (حدود ۰/۲۵ کیلوگرم/مترمکعب) و لایه های ضعیف و فوق العاده درز خورده با دانسیتهٔ کم مناسب هستند، حال آنکه تأخیرهای درون ردیفی در حدود ٤ هزارم ثانیه در هر متر از پوشش سنگ رویی برای طوقه های کوتاه، دامنه های خرج گذاری ویژهٔ زیاد (حدود ۰/٦ کیلوگرم/مترمکعب) و تودهٔ سنگ متراکم، فشرده و حجیم توصیه می شود. در سیستمهای تأخیری سطحی معمولاً تا حدود ٦ ردیف را می توان با شرایط اخیر برای تودهٔ سنگ و حتی ردیفهای بیشتری را با لایه های خردشونده آسان و بدون برخورد به مسائل ناشی از خردشدگی، جابه جایی و پوسته شدگی آن منفجر کرد.

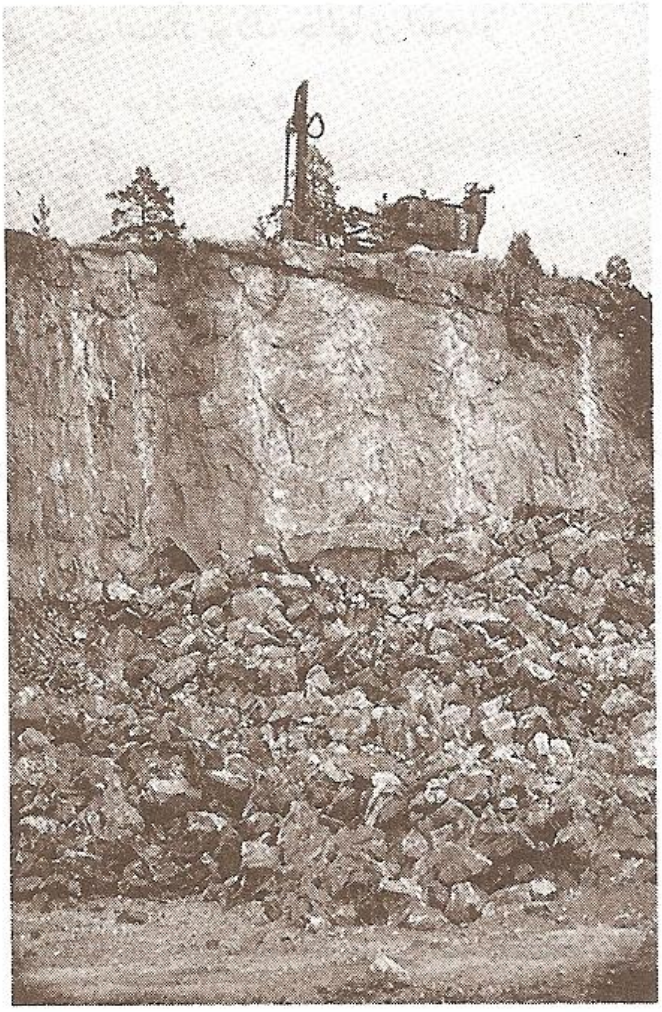
اغلب انفجارها با همان طرح هندسی که چالها حفر شده است آتشباری نمی شوند. به عبارت دیگر، در هر انفجار ممکن است الگوی حفاری با الگوی انفجار تفاوت داشته باشد. اصطلاح «پوشش سنگ فعال» به پوششی اشاره دارد که درالگوی انفجار اندازه گیری شده است. عملاً، نسبت فواصل بین چالها در طول پله به عرض پله را می توان به ساده ترین طریق ممکن و به وسیلهٔ طرح هندسی الگوی تأخیری شبکهٔ خطوط اصلی سطحی نسبت به الگوی حفاری شده مستطیل وار ـ تغییر داد.

لیکن الگوی تأخیردار را می توان بر روی فواصل بین چالها در طول و عرض پله به صورت یک الگوی نامنظم حفر و سپس ردیف به ردیف منفجر کرد. از این الگو انتظار می رود که دقیقاً همان نتایجی رابه بار می آورد که الگوی مستطیلی منفجر شده پله ای به بار می آورد و نسبت فواصل بین چالها در عرض پله به فواصل بین چالها در طول پله نیز ثابت بماند.

۲-۷- خردشدگی توده سنگ

درجهٔ خردشدگی مطلوب به کاربرد نهایی موادی بستگی دارد که از معدن استخراج می شود. دراستخراج معادن صنعتی روباز که یک سنگ معدنی از یک بستر یا ماتریس سازندی استخراج می شد، غالباً دست یافتن به حداکثر خردشدگی تودهٔ سنگ مورد نظر و مطلوب به شمار می رود.

در استخراج سنگ که مواد به دست آمده برای کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار خواهد گرفت، معمولاً تولید مواد دانه ریز در نظر نیست و کوشش می شود درصد آن زیاد نشود.



شکل ۹۷- خردشدگی تودهٔ سنگ

درجهٔ خردشدگی لازم، به نوع و اندازهٔ تجهیزات بارگیری و اندازهٔ دستگاههای سنگ شکن موجود نیز بستگی دارد. بدون تردید، بیلهای مکانیکی بزرگ، لودرها و سنگ شکنها می توانند خردشدگی درشت تر را بهتر از خردشدگی ریز تحمل کنند. لیکن صرفه جویی حاصل از تولید دانه های بزرگ را باید با مسائل اضافی مربوط به تعمیر و نگهداری ماشین آلات و نتایج ناچیز حاصل از مواد فاقد خردشدگی کافی مقایسه کرد. تجهیزات بارگیری و سنگ شکنی برای اندازه های بزرگ، طوری طراحی شده اند که حجم بزرگتری از مواد را جابه جا کنند ولی برای جابه جا کردن مواد درشت دانه (فاقد خردشدگی کافی) طراحی نشده اند. فواصل بین چالها را در طول و عرض پله، حتی با در اختیار داشتن تجهیزات بارگیری بزرگ، نمی توان زیادتر کرد. تجهیزات بارگیری و سنگ شکنی، اگر برای جابه جایی و کار با مواد دانه درشت در نظر گرفته شوند، با حداکثر ظرفیتشان قابل بهره برداری نخواهند بود.

هر عامل اجرایی در استخراج سنگ از معادن سنگ و معادن گودالی باید مسالهٔ افزایش هزینهٔ حفاری و انفجار را با سود آوری و بازده بیشتری که از اصلاح خردشدگی تودهٔ سنگ به دست می آید مقایسه کند و چگونگی کاهش هزینهٔ محصول نهایی را در هر تن به کمترین حد ممکن بررسی نماید.

عوامل چندی در خردشدگی تودهٔ سنگ مؤثرند، که مهمترین آنها به شرح زیر است:

- مشخصات تودهٔ سنگ
- در یک امتداد بودن چالهای انفجار
- خواص مواد منفجره
- خرج گذاری چالهای انفجاری
- خرج گذاری ویژه
- سیستم آتشباری

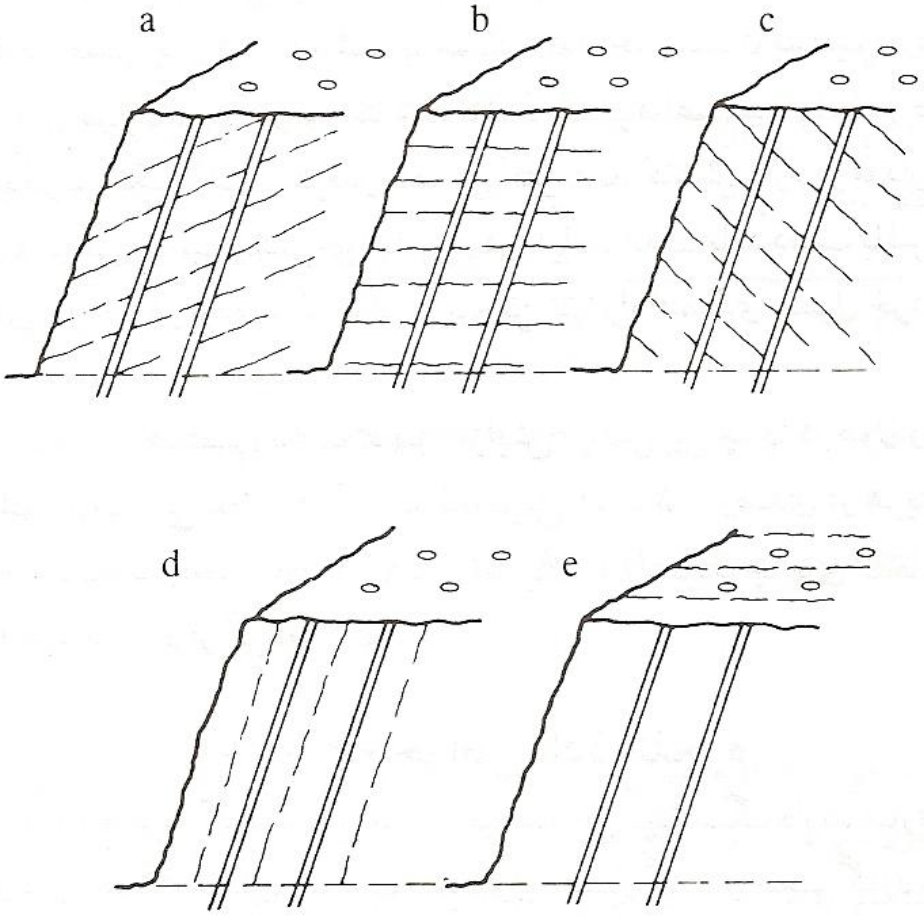
۲ - ۷ - ۱ - مشخصات تودهٔ سنگ

خردشدگی تودهٔ سنگ تا حدود زیادی به نوع سنگ بستگی دارد، یکی از مهمترین مشخصات تودهٔ سنگ، تغییرپذیری آن است. بیشتر سنگ ها برخلاف مواد عادی مهندسی، نه همگن هستند نه یکسان. بنابراین، درجهٔ تغییرپذیری در خواص مربوط به موقعیت و جهت سنگ، در انفجار اهمیت دارد.

در سنگهای فوق العاده همگن، می توان انتشار وسیع خردشدگی تودهٔ سنگ را انتظار داشت. دومین پارامتر سنگ که پیوند نزدیک با تغییرپذیری آن دارد، ساخت تودهٔ سنگ است. از این اصطلاح برای تشریح طبیعت و دامنهٔ ناپیوستگیهای ناخالص مانند تغییرات لایه بندی،

درزه ها و گسله ها استفاده می شود.

به عنوان یک اصل کلی، خردشدگی مؤثرتر، با حفاری چالهای انفجاری در داخل قطعات صلب سنگ که به وسیلهٔ این ناپیوستگیها به یکدیگر متصل شده‌اند تامین می شود نه با تلاش برای انتقال انرژی انفجاری درعرض آنها. الگوهای انفجاری را می توان برای بهره گرفتن از ساخت تودهٔ سنگ طراحی کرد، مانند طراحی یک جبههٔ آزاد موازی با سطوح درزه های عمودی علامت گذاری شده و نه قائم بر آنها، یا با عمود نگهداشتن جبههٔ آزاد برجهت شیب (شکل ٦٨) و نه موازی با آن، در توده سنگ دارای سطوح لایه بندی یا شیستوزیته مشخص. اگر سطوح مزبور به طور افقی یا شیبدار در کنار هم قرار گیرند وقرار باشد انفجار در همان جهت انجام شود شیب چالها باید طوری طراحی شود که بازده مادهٔ منفجره را به حداکثر ممکن برساند.



شکل ٦٨- سطوح درزه های افقی (b)، شیبدار (a,c) و عمودی (d,c).

اگر شیستوزیته یا درزخوردگی، عمود یا تقریباً عمود باشد، خردشدگي بهینه ایجاب می کند که جهت حرکت بر سطوح مزبور عمود باشد. درمواردی از این قبیل، ایجاد یک سطح تحتانی صاف برای گودبرداری، کار دشواری است.

۲ - ۷ - ۲ - در یک امتداد بودن چالهای انفجاری

علل در یک امتداد بودن چالهای انفجاری در انفجار پله‌ای را می توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد:

- استفاده نادرست از تجهیزات حفاری، از جمله دستگاهها و رادهای حفاری.
- خواص ساختاری تودهٔ سنگ در محل انفجار.

اگر چالها مستقیم نباشند، خردشدگی سنگ و تولید ریشه در حدپایین و پرتاب شدگی و انتشار سنگ به هنگام انفجار زیاد خواهد بود. یا قسمتهای تحتانی چالهای انفجاری خیلی به یکدیگر نزدیکند (که این باعث اضافه خرج گذاری موضعی می شود)، یا آنکه فاصله بین آنها خیلی زیاد است (که به خرج گذاری ویژه بالا منجر می شود). این دو حالت ممکن است مخصوصاً در نزدیکی کف پله، می تواند فاجعه به بار آورد.

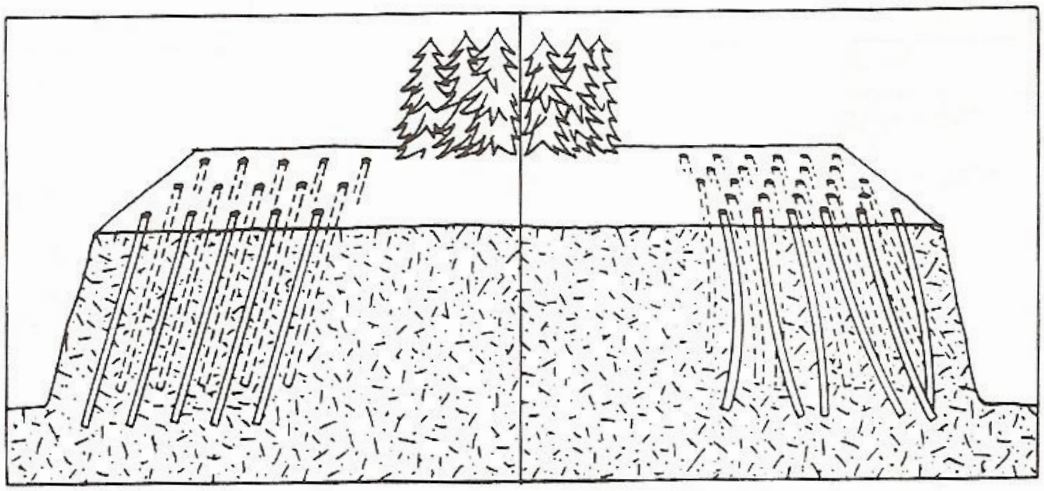
علت انفجار مسیر چال هر چه باشد، با عمیقتر شدن چال نسبت مستقیم دارد. اگر مقدار انحراف در پاره‌ای شرایط محل کار شناخته شده باشد، مقادیر فواصل بین چالها در طول و عرض پله نیز به یکدیگر نزدیک باشند - هرقدر خطا بزرگتر باشد کاهش لازم در مقدار فواصل بین چالها در طول و عرض پله نیز بیشتر خواهد بود. در پایان، هدف باید دست یافتن به توزیعی یکنواخت برای خرجها در تودهٔ سنگ باشد، زیرا این تنها راه اقتصادی کنترل خردشدگی تودهٔ سنگ است.

چالهای انفجاری مستقیم، باعث تسهیل افزایش فواصل بین چالها در طول و عرض پله تا حداکثر می شوند. این می تواند به یک صرفه جویی ۱۰ تا ۱۵ درصدی در هزینه های کلی حفاری و انفجار بیانجامد (بخش ۱ - ۳ - ۶ - ۱) در یک امتداد بودن چالهای انفجاری به تفصیل در بخش «٤» مورد بحث قرار گرفته است.

۲ - ۷ - ۳ - خواص مادهٔ منفجره

خواص مادهٔ منفجره، که بیشترین اثر بر خردشدگی تودهٔ سنگ دارند عبارتند از دانسیته خرج گذاری، سرعت انفجار، حرارت انفجاری، فشار گاز، و حجم گاز، فشار گاز از شاخصهای خوب برای نشان دادن قدرت مادهٔ منفجره برای شکستن تودهٔ سنگ سخت و صلب است. این شاخص، تقریباً با مقدار دانسیتهٔ خرج گذاری و مربع سرعت انفجار نسبت مستقیم دارد. حجم گاز رها شده در لحظهٔ انفجار نیز حداقل در مراحل نهایی خردشدگی سنگ اهمیت دارد. این اهمیت در انفجار تودهٔ سنگ سست یا ترک خورده طبیعی، بسیار زیاد می شود.

انرژی موجود در انفجار برای خرد کردن سنگ (همان که اساساً قدرت مادهٔ منفجره در



قطر چال	میلیمتر	۱۱۵	۱۱۵
ارتفاع پله	متر	۲۰	۲۰
انحراف چال	سانتیمتر/ متر	۲/۵	۱/۰
فواصل بین چالها در عرض پله	متر	۳/۳	۳/۶
فواصل بین چالها در طول پله	متر	٤/۱	٤/۵
حفاری ویژه	متر حفاری/ مترمکعب	۰/۰۷۸	۰/۰۶۵
مادهٔ منفجره مقدم	کیلوگرم	۳	۳
ستون خرج	کیلوگرم	۱۵۵	۱۵۵
خرج گذاری ویژه	کیلوگرم/ مترمکعب	۰/۵۸	۰/٤۹

شکل ۶۹- چالهای مستقیم، کاهش حفاری و خرج ویژه در یک انفجار پله‌ای را تا ۱۵ درصد ممکن می سازند.

واحد حجم نامیده می شود) از مدتها پیش به عنوان مقیاسی برای قدرت خردکنندگی به کار برده شده است. به طور کلی، انرژی موجود وفشار گاز، دوش به دوش هم پیش می روند. لیکن مواد منفجره‌ای که نتایج انفجارشان غیرعادی است یا انرژی خود را به علت احتراق نامطلوب با سرعت نسبتاً کم خارج می کنند ممکن است فشارهائی ایجاد کنند که با دیگر منفجره های دارای همان انرژی، فرق اساسی داشته باشد.

اگر دانسیتهٔ خرج گذاری یک مادهٔ منفجره را بتوان افزایش داد، خرج گذاری ویژهٔ تودهٔ سنگ (کیلوگرم/مترمکعب) نیز در صورت تغییر نیافتن تمام عوامل دیگر افزایش می یابد. این به طور طبیعی بر خردشدگی تودهٔ سنگ در قسمتهای خاصی از چال مربوطه اثر می گذارد.

نوع ماده منفجره	قدرت در واحد وزن*	قدرت در واحد حجم*
دینامیت	۱-۱/٤	۱-۱/٤
آنیتی	۰/۹-۱	۰/۸۵ -۰/۹۵
آنفو * *	۰/۸ -۰/۹	۰/٦۵ -۰/۷۵
مخلوط ژلاتینی	۱/٤ -۱/۵	۱/٦۵

* خرج گذاری دستی

* * دانه‌ای

جدول ۵۰- قدرت در واحد وزن و حجم برای منفجره‌های معمولی.

۲-۷-٤ خرج گذاری چال‌های انفجاری

خردشدگی توده سنگ، تحت تأثیر تمامی قسمتهای سه گانهٔ یک خرج پیوسته قرار دارد:

- خرج تحتانی یا مادهٔ منفجرهٔ مقدم
- ستون خرج
- قسمت ساقه

خرج قرار داده شده در داخل هر چال انفجاری باید طوری توزیع شود که نتیجه بخشی هزینهٔ صرف شده برای آن در خرد کردن و سست کردن لایه‌های سنگ به حداکثر برسد. در نقاطی که چالهای انفجاری منفجر می‌شوند، باید از خرجهای پیوسته استفاده شود زیرا بهره گیری از آنها در مقایسه با خرجهای طبقه‌ای آسانتر است. طول طبقه‌ای قسمت ساقه باید متناسب با کاهش مقاومت مؤثر تودهٔ سنگ افزایش یابد.

خرج گذاری در کف چال انفجاری باید در ارتفاع کافی باشد تا گودبرداری لازم را در کف پله انجام دهد. در سنگهای صلب، حجیم و سخت از خرجهای تحتانی جداگانه‌ای باید استفاده شود تا گودبرداری لازم تأمین گردد، ولی درسازندهای نرم و درزه‌دار، استفاده از مواد منفجرهٔ مقدم کافی خواهد بود. اضافه حفاری عمقی باید همیشه متناسب با شرایط محل انفجار تنظیم شود. در نقاطی که تنش القا شده از انفجار، از مقاومت فشاری مواد سنگی واقع در اطراف چال انفجاری تجاوز می کند، سنگ به صورت پودر درخواهد آمد. در تودهٔ سنگ سخت، صلب و نسبتاً درزخورده، گستردگی منطقهٔ خردشده در اطراف چال به قطر خرج درهر متر از چال بستگی خواهد داشت (جدول ۵۱).

خرجهای ستونی باعث سستی و خردشدگی کافی پله در بالای سطح تحتانی می‌شوند. چون تودهٔ سنگ در قسمتهای ستونی پله خیلی فشرده نیست یعنی جبههٔ آزاد وسیعی وجود دارد،

قطر چال انفجاری		خرج در هر متر*	شعاع منطقه خرد شده
میلیمتر	اینچ	کیلوگرم/متر	میلیمتر
۳۲	$1\frac{1}{4}$	۰/۹۵	۴۰
۳۸	$1\frac{1}{2}$	۱/۳۵	۵۰
۵۱	۲	۲/۴۵	۷۰
۷۶	۳	۵/۴۵	۹۰
۱۰۲	۴	۹/۸۰	۱۰۰
۱۲۷	۵	۱۵/۲۰	۱۱۰
۱۵۲	۶	۲۱/۷۵	۱۲۰

* دانسیتهٔ خرج گذاری ۱/۲ کیلوگرم/ دسیمتر مکعب.

جدول ۵۱- عمق منطقهٔ خردشده دراطراف چال انفجاری برای قطرهای مختلف چال.

ستون خرج در هر متر معمولاً معادل ۵۰ تا ۸۰ درصد خرج تحتانی است. درموارد خردشدگی ناکافی در ستون، ستون خرج را می توان ـ مثلاً با افزودن بر دانسیتهٔ خرج گذاری آن یا فقط با کاستن از پوشش سنگ رویی ـ بیشتر کرد.

خردشدگی و سست شدگی را درنتیجهٔ اتلاف و انتقال انرژی به اتمسفر، مخصوصاً از طریق ستون ساقه‌ای، می توان به مقدار قابل توجهی کم کرد. اتلاف انرژی در اثر زود بیرون پریدن قسمت ساقه، عکسبرداری سریع ثابت شده است. خوب کوبیدن قسمت ساقه باعث نگهداشتن گازهای پر فشار در داخل چالهای انفجاری تا مدتی طولانی می شود. بازده بیشتر در قسمت ساقه که با استفاده از ستونهای ساقه‌ای درازتر یا گودبرداریهای زیرتر و کارآمدتر به دست می آید، برمقدار کار مؤثر اجرا شده در واحد وزن خرج می افزاید. این باعث پائین رفتن هزینهٔ عملیات بعدی می شود.

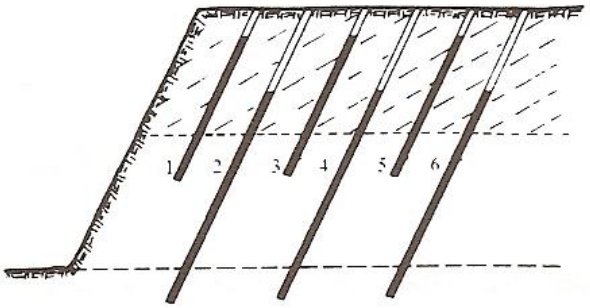
برای اصلاح خردشدگی تودهٔ سنگ با تغییر شکل هندسی خرج در هرانفجار دو راه وجود دارد:

ـ مقدار اندکی از خرج را در قسمت بالای ستون (شکل ۷۱) توزیع کنید.

ـ علاوه بر چالهای اصلی در الگوی حفاری، چالهای کوچک (از لحاظ قطر وطول) را در قسمت بالای پله قرار دهید (شکل ۷۰).

در مواقعی که قسمت بالای پله از یک «سنگ روپوش» قوی تشکیل می شود، خرجهای

کوتاه بسته‌ای باید در داخل ستون ساقه‌ای قرار داده شود. این گونه خرجها نیز در مواردی که استفاده از ستونهای ساقه‌ای بلند در چالهای انفجاری ردیف عمودی جلویی معادن روباز ضرورت پیدا می کند، ممکن است مفید واقع شوند اگرخرجهای بسته‌ای خیلی کم باشند باعث خردشدگی ناکافی خواهند شد. اگر خیلی بزرگ باشند باعث بیرون‌زدگی زودرس قسمت ساقه و اتلاف انرژی خواهند شد. این اتلاف انرژی به صورت انفجار هوا، پرتاب سنگ و گودشدگی متجلی می شود.



شکل ۷۰- اصلاح خردشدگی بالای پله با حفر چالهای اضافی کوچک در الگوی حفاری.

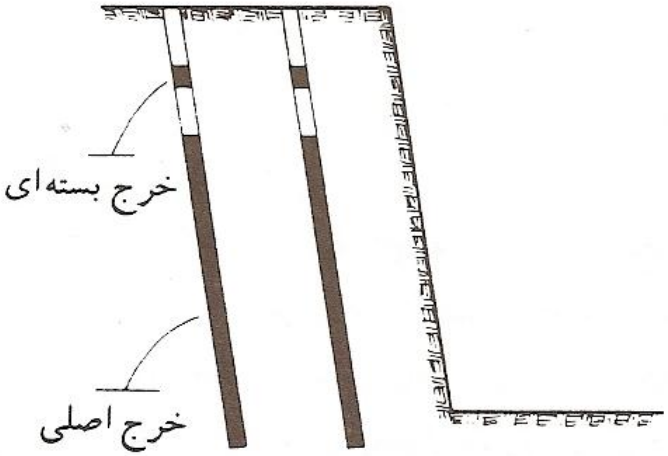
اگر نسبت طول خرج/ قطر چال مثلاً از ۲۵< lc/d چالهای انفجاری بزرگ تجاوز کند، یک خرج بسته‌ای به طول ۳ دسیمتر را می توان از آن برداشت به طوری که وزن کلی خرج در هر چال انفجار ثابت بماند. در این حالت، افزودن خرج بسته‌ای، فقط متضمن توزیع بهتر و مجدد خرج در داخل چال انفجاری خواهد بود.

اگرنسبت lc/d برای خرج اصلی از ۲۵ کمتر باشد، خرج بسته‌ای باید به صورت یک خرج اضافی تلّقی شود زیرا هر نوع کوتاه سازی خرج اصلی تا حد پائین تر از ۲۵ >lc/d > تدریجاً به کاهش قدرت این خرج در شکاندن پوشش سنگ باعث ایجاد ریشه می گردد.

در مواردی که خردشدگی در قسمتهای فوقانی پله رضایت بخش نیست، می توان چالهای اضافی کوچکتری (از لحاظ قطر وطول) بین چالهای اصلی حفر کرد. خرج گذاری این چالها طوری تنظیم می شود که به حد تعیین شده برای خردشدگی کامل تودهٔ سنگ درمقابل آنها کفایت کند این خرجها باعث هیچگونه پرتاب سنگ نمی شوند.

۲ - ۷ - ۵ - خرج گذاری ویژه

خردشدگی تودهٔ سنگ تا حد زیادی به خرج گذاری ویژه (عامل پودری) در توده سنگ بستگی دارد. همچنان که در فصل ۲ - ۵ نشان داده شد، خرج گذاری ویژه متناسب با



شکل ۷۱- خرجهای کوتاه بسته‌ای را می توان در داخل ستون ساقه‌ای یک چال انفجاری قرار داد و خردشدگی قسمت بالای آن را اصلاح کرد.

افزایش قطر افزایش می یابد. بدون تردید، تجهیزات بزرگ استخراج سنگ از معادن سنگ و معادن گودالی روباز می توانند موادی با دانه های درشت تر و زمخت تر را جابه جا کنند ولی باز طوری طراحی شده‌اند که بهره برداری از آنها برای جابه جا کردن احجام بزرگ و نه مواد دارای دانه های درشت تر مقرون بصرفه باشد.

چالهای انفجاری با قطر کوچک، باعث خردشدگی بهتری در تودهٔ سنگ می شوند زیرا پوششهای سنگ رویی و فواصلی که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند کوچکتر هستند و باعث توزیع بهتر خرج در تودهٔ سنگ می شوند.

خردشدگی سنگ را می توان با بیشتر کردن خرجهای چالها در گودبرداری اصلاح کرد و در عین حال الگوی جفاری را ثابت نگهداشت. البته با کاستن از فواصل بین چالها در طول و عرض پله ضمن استفاده از همان الگوی خرج گذاری نیز می توان به همان نتیجه رسید. خرجهای چالهای انفجاری را می توان با تغییر دادن دانسیتهٔ خرج گذاری با طول خرج، بیشتر کرد. می توان از طول قسمت ساقه کاست، ولی این کار باعث افزایش خطر پرتاب سنگ خواهد شد. متناسب با بزرگتر شدن خرج گذاری ویژه، مواد بیشتری (به نسبت درصدی) خردشده و به مواد دانه ریز تبدیل می شود.

۲ - ۷ - ۶ - سیستم آتشباری

تأثیر ایجاد یک سیستم صحیح آتشباری بر نوع خردشدگی سنگ، همچنان که قبلاً گفته شد، بسیارحساس و مهم است. خردشدگی بهینه زمانی حاصل می شود که به هر خرج، زمان

کافی برای جدا کردن کامل از پوشش سنگ رویی پیش از آغاز انفجار بعدی داده شود.

تجربهٔ کارگاهی نشان می دهد که خردشدگی بهتر را می توان در انفجار چندردیفی و با استفاده تاخیرهای (هزارم ثانیه) معادل ۱۰ برابر فواصل بین چالها در عرض پله (متر) با مقدار حداقل مطلوبی معادل ۲۵ هزارم ثانیه تأمین کرد. زمان تأخیر انفجار باید با در نظر گرفتن فواصل بین چالها در طول و عرض پله و تعداد کلی چالها انتخاب گردد. اگر تأخیر بین چالهای مجاور خیلی طولانی شود، ممکن است تأثیرات نامطلوب درزه‌ای بین چالها یا شکافهای لحظهٔ انفجار رخ دهد. در حفاری پله‌ای، حداقل زمان تأخیر باید از ٦ تا ٨ هزارم ثانیه در هر متر از فواصل بین چالها در عرض پله (که مقدار بهینه‌اش معمولاً طولانی تر است) تجاوز کند.

الگوهای دارای تأخیر کوتاه با زمان بندی بهینه، باعث پائین آوردن سطوح انرژی لازم با گسترش دادن الگوهای ثابت می شود، و در عین حال سطوح خردشدگی را در حد قابل قبول نگهمیدارد.

۲ - ۷ - ۷ - برآورد اندازهٔ قله سنگها

اندازهٔ قطعات یا قله سنگهای حاصل از انفجار، از لحاظ انتخاب تجهیزات بارگیری، حمل و سنگ شکنی و استفادهٔ ثانویه از مواد سنگی، اهمیت پیدا می کند. خردشدگی مطلوب تودهٔ سنگ در مرحلهٔ استخراج و با انتخاب صحیح الگوی انفجار تامین می شود، و این شالودهٔ به حداقل رساندن انفجارهای ثانویه است. در هر مورد، روش استخراج به تشخیص این نکته بستگی دارد که آیا هزینهٔ کلی تمام عملیات باید به حداقل رسانده شود یا فقط هزینهٔ یکی دو مرحله از کار.

کنترل خردشدگی تودهٔ سنگ مستلزم هماهنگ سازی عوامل گوناگون در الگوهای حفاری و طراحی الگوهای خرج گذاری است. فواصل بین چالها در طول و عرض پله و اضافه حفاری عمقی - یا حفاری ویژه - با طرح هندسی خرجهای تک چالی باید به خردشدگی مطلوب تودهٔ سنگ و در عین حال جبهه های لازم برای سنگ بیانجامد.

در حفاری و انفجار پله‌ای، ضرورت تامین اندازه های مطلوب برای قطعات سنگ را می توان در مرحلهٔ طراحی مورد بررسی قرار داد.

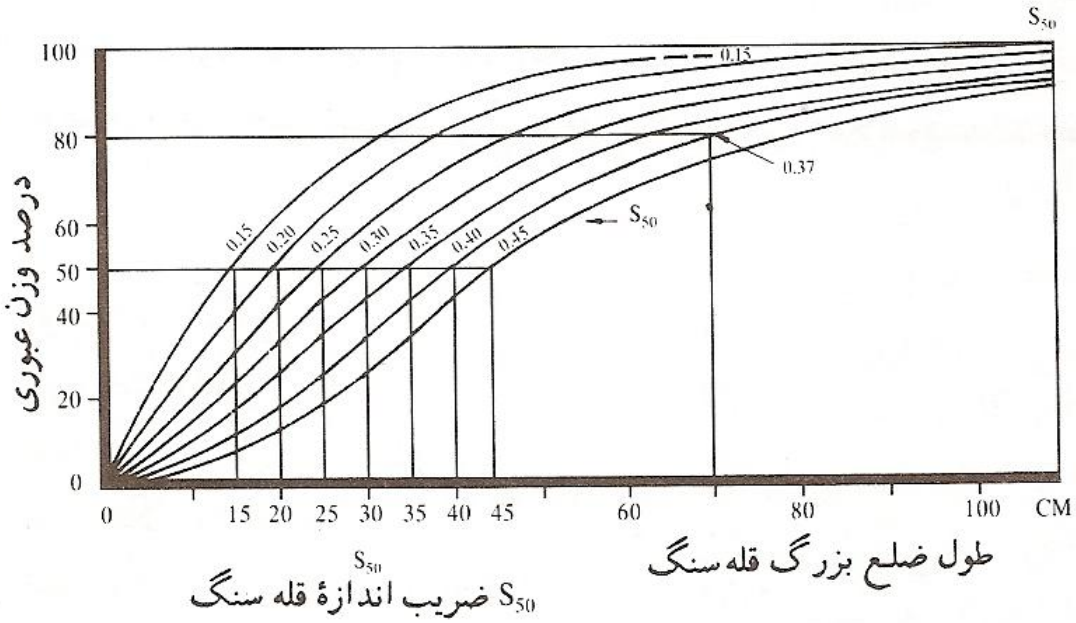
مدلهای گوناگون موجود، اساساً بر تخمین اندازهٔ قله سنگها به وسیلهٔ حفاری ویژه و خرج گذاری ویژه در هر انفجار استوار است. مدل محاسباتی زیر، براساس فرمولی استوار است که به وسیلهٔ مؤسسهٔ انفجارشناسی سوئد تهیه شده است.

تعاریف

ضریب اندازهٔ قله سنگها S50

ضریب اندازهٔ قله سنگها S50 یا میانگین خردشدگی، بازشدگی درجه دوم یک الک، بر حسب متر است، که از آنجا یک دوم تودهٔ سنگ استخراج شده (۵۰ درصد وزن کلی) اگر به طریق معمول الک شود، عبور خواهد کرد.

هر گاه مقدار S50 معلوم باشد، منحنی توزیع کلی را می توان رسم کرد و توزیع اندازهٔ قله سنگ منفجر شده را تعیین کرد. منحنی توزیع نشان می دهد که چه درصدی از مواد انفجاری از ۸۰ سانتیمتر (بزرگترین ضلع قله سنگ) بزرگتر خواهد بود یا چه درصدی از ۲۰ سانتیمتر کوچکتر خواهد بود. دقت این مدل، با نتایج رضایت بخش، در جریان آزمایشهای صحرایی ثابت شده است. در این آزمایشات ثابت شده است که توزیع اندازهٔ قله سنگ تفاوت قابل توجهی با منحنیهای نشان داده شده در شکل ۷۲ دارد.



شکل ۷۲- تعیین ضریب اندازهٔ قله سنگ S50 برای تودهٔ سنگ منفجر شده به عنوان تابعی از بزرگترین ضلع و وزن عبوری.

ثابت تودهٔ سنگ: C

منظور از ثابت سنگ، مقدار خرج گذاری (کیلوگرم/ مترمکعب) در یک دور انفجار است

که فقط برای استخراج سنگ (و نه تامین خردشدگی لازم)، کفایت می کند. این ثابت را می توان مقیاسی از مقاومت مواد سنگی نامید که معمولاً به صورت مقدار دینامیت لازم برحسب کیلوگرم برای استخراج یک مترمکعب از تودهٔ سنگ بیان می شود. ثابت سنگ بین ۰/۳ و ۰/۵ در سنگهای سخت متغیر است، ولی معمولاً برای گرانیت معادل ۰/٤ است.

خرج گذاری ویژه: q

خرج گذاری ویژه، مقدار مصرف مادهٔ منفجره (کیلوگرم/مترمکعب) را در طراحی انفجار نهایی تعیین می کند. این مقدار می تواند از ۰/۱ تا ۱ در انفجار سطحی متغیر باشد.

حفاری ویژه: S

منظور از حفاری ویژه، مقدار حفاری لازم در هر دور انفجار برای استخراج و خردشدگی یک مترمکعب سنگ (متر حفاری/مترمکعب) است.

ثابت ساخت تودهٔ سنگ:

در ثابت ساخت تودهٔ سنگ به این نکته توجه می شود که حتی در یک دور انفجار ساخت تودهٔ سنگ به مقدار قابل توجهی تغییر پیدا می کند. مقادیر ثابت زیر، عملاً سودمند تشخیص داده شده اند:

تودهٔ سنگ همگن	۰/٤
تودهٔ نسبتاً همگن	۰/٤٥
تودهٔ سنگ معمولی با ترکهای مویی	۰/۵۰
تودهٔ سنگ درز خورده	۰/۵۵
تودهٔ سنگ بسیار درزخورده و شکافدار	۰/٦۰

فرمول زیر توسط مؤسسهٔ انفجارشناسی سوئد تدوین شده و میانگین خردشدگی تودهٔ سنگ (S50) را در یک انفجار براساس برخی از عوامل فوق نشان می دهد:

که در آن: $LnL = Ln\ ۰/۲۹\ V\ V_{12} - Ln\ ۱/۱۸\ (q/c) - ۰/۸۲$

L = طول میانگینگ قله سنگ (متر)، برای تعیین مواد منفجره

V = فواصل بین چالها در عرض پله (متر)

فواصل بین چالها در عرض پله (متر) با نسبت ۱ = V_{12} = E/V

خرج گذاری ویژه (کیلو گرم/ مترمکعب) =q

ثابت توده سنگ = c

با به کار گرفتن تعریف ضریب اندازه قله سنگ S50 و افزودن مجدد عوامل مندرج در فوق، فرمول را می توان به صورت یک نمو گرام (شکل ۷۳) بیان کرد.

۲ - ۷ - ۸ - اندازه‌های بزرگ قله سنگ

یکی از هدفهای اصلی در انفجار پله‌ای، معموله تأمین یک خردشدگی یکنواخت برای تودهٔ سنگ است. لیکن، برای پاره‌ای موارد و هدفهای خاص از قبیل ساختمان موج شکنها و بندر گاهها، قله سنگهای بزرگ ترجیح داده می شوند. هنگام انفجار در تودهٔ سنگ شکسته و درز خورده، اندازهٔ قله سنگها معمولاً تابع خواص ساختاری تودهٔ سنگ است نه حفاری ویژه و خرج گذاری ویژه مورد استفاده. در سنگهای صلب و همگن، قله سنگهای بزرگ را می توان با به کار گیری تکنیکهای صحیح حفاری و انفجار (به شرح زیر) به دست آورد.

- خرج گذاری ویژهٔ کم
- نسبتهای فواصل بین چالها در طول پله/ فواصل بین چالها در عرض پله
- آتشباری آنی
- انفجار تک ردیفی

خرج گذاری ویژه در یک چنین گودبرداری باید معادل ۰/۲ تا ۰/۲۵ کیلو گرم/ مترمکعب یعنی به قدر کافی زیاد باشد تا بتواند قله سنگها را در انفجار تک ردیفی از پله جدا کند. اگر قرار باشد که از قسمت تحتانی گودبرداری نیز قله سنگهای بزرگی به دست آید در این صورت به جای بخشی از خرج گذاری باید خرج گذاری ستونی انجام شود. لیکن این کار بر خطر مسائل تولید ریشه می افزاید نسبت فواصل بین چالها در طول پله/ فواصل بین چالها در عرض پله در انفجار باید بشرح زیر باشد:

$E = ۰/۵ V$

که در آن:

V = فواصل بین چالها در عرض پله (متر)

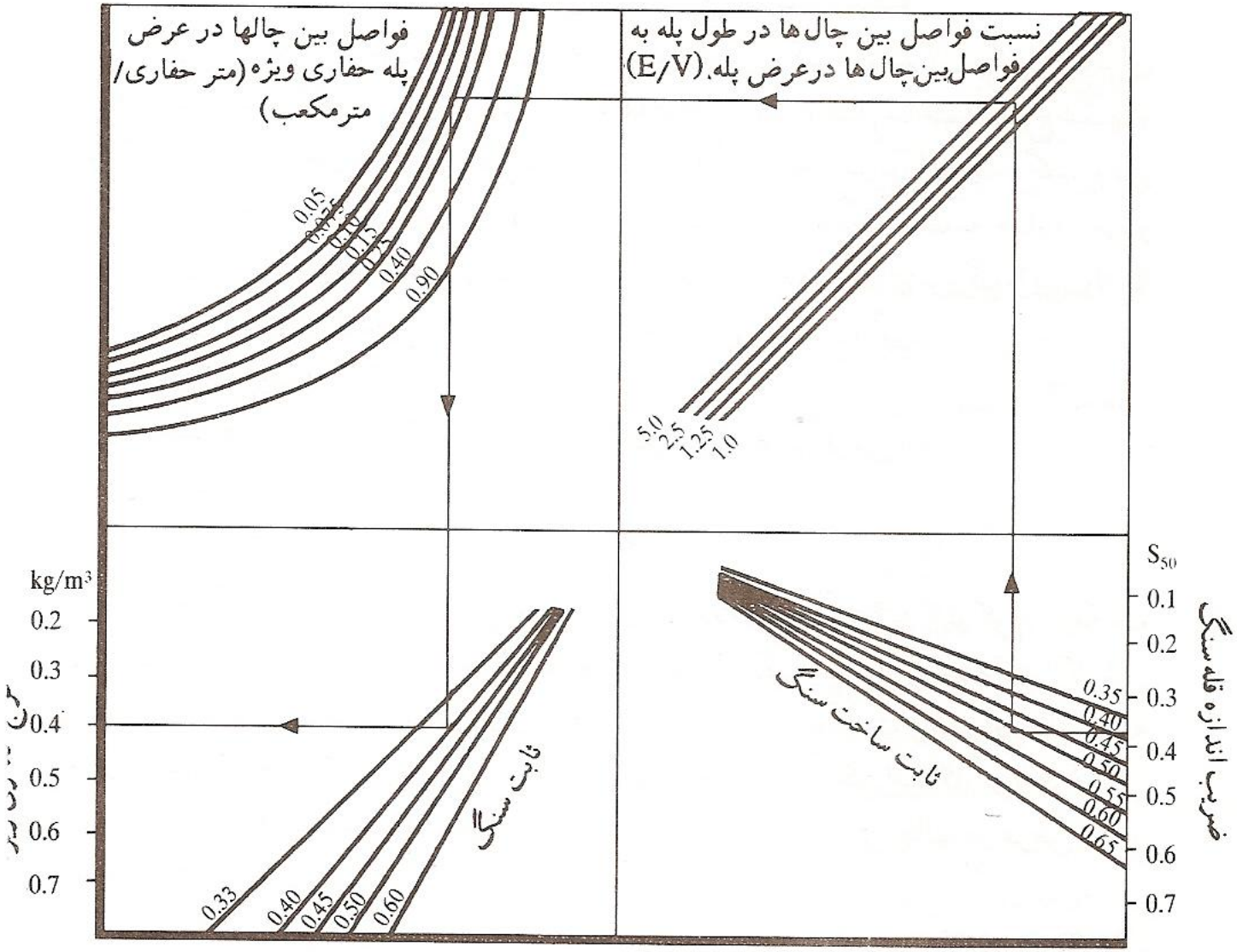
E = فواصل بین چالها در طول پله (متر)

مثال:

قطر چال	۱۰۲ میلیمتر
ارتفاع پله	۱۵ متر

نوع انفجار	انفجار پله‌ای معمولی	تولید قله سنگهای بزرگ
طرح هندسی الگو	E= ۱/۲۵V	E= ۰/۵ V
فواصل بین چالها در طول پله	متر ۳/۶ =V	متر ۵/۷ =V
فواصل بین چالها در عرض پله	متر ٤/٥ =E	متر ۲/۸ =E

اینگونه طرح هندسی معمولاً باعث پیچیدگی و پارگی کمتری در تودهٔ سنگ و شکافتگی بیشتری در امتداد خط چالهای انفجار در مقایسه با فواصل بین چالها در طول پله که از فواصل بین چالها در عرض پله بیشترهستند، خواهد شد.



شکل ۷۳- نمو گرام تعیین توزیع اندازهٔ قله سنگ در یک انفجار.

۲-۸- ایمنی انفجار

یکی از مسائل مهمی که پیمانکار انفجار معدن سنگ با آن مواجه می شود مسأله ایمنی است. با آنکه این مسأله در درجهٔ نخست یک مسأله حقوقی به نظر می رسد، راه حل آن یک ماهیت فنی دارد: سه عامل وجود دارد که در ایمنی انفجار اثر می گذارد:

- انفجار هوا
- ارتعاشات زمین
- سنگهای پرتابی

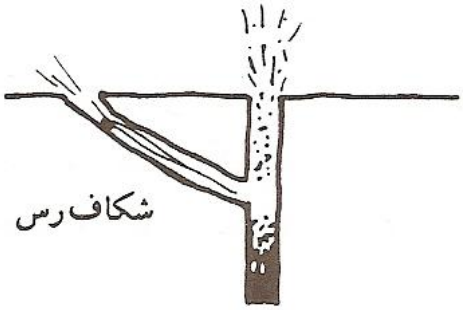
مجریان انفجار با اجرای طرح های دقیق برای انفجار با استفادهٔ مؤثر از تأخیرها، کنترل دقیق نتایج و عوارض انفجار، و ملاقات با تمام طرفین دعوی برای تشریح اقدامات احتیاطی به عمل آمده برای حفاظت از خانه های مسکونی و ایمنی آنها، می توانند بر این مسائل و شکایات مربوط به عوارض انفجار واقعی یا غیرواقعی - فائق آیند. در مواردی که شکایات ادامه می یابد، ادامه توجه به طرح انفجار و کنترل مؤثر و گردآوری دقیق گزارشها و سوابق کار می تواند اهمیت به مراتب بیشتری پیدا کند. اگر اینگونه شکایات به مقامات تسلیم شود، پرونده ها و سوابق موجود در خصوص طرح و نتایج انفجار می توانند نقش بسیار مهمی در مذاکرات داشته باشند.

۲-۸-۱- انفجار هوا

انفجار هوا یک موج پر فشار است که از هوا عبور می کند. موج پرفشار در هوا، معمولاً با عمل مستقیم مواد منفجره از یک مادهٔ منفجرهٔ محدود نشده در هوا یا عمل غیرمستقیم مواد محدودشده ای که در معرض خرج گذاری انفجار قرار گرفته اند، ایجاد می شود. صدا، بخشی از طیف انفجار هوا در محدودهٔ قابل شنود (۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتس) است، حال آنکه ضربهٔ صدا (Concussion) بخشی از هوا در محدودهٔ زیر ۲۰ هرتس است.

انفجار سطحی

کوبید گی ناقص شکاف رس



شکل ۷۴- انفجار هوا.

انفجار هوا بسیار مهم است، زیرا در بسیاری از موارد، افراد و ساکنان نزدیک به محوطهٔ انفجار نمی توانند ارتعاشات حاصله را بشنوند یا احساس کنند ولی شکایتهای رسیده حکایت از آن دارد که ایشان صدای انفجار را می شنوند و تصورمی کنند که خود انفجار را حس کرده اند.

انرژی انتقال یافته توسط امواج صوتی، رفتاری همانند رفتار انرژی لرزه ای دارد. خواص الاستیکی هوا تابعی از فشار، دما و رطوبت هوا هستند. این عوامل نیز به ارتفاع محل انفجار، ساعت یا لحظهٔ انفجار، و بادهای غالب در لحظهٔ انفجار بستگی دارند. پائین بودن رطوبت، بادهای سبک سطحی، یا فشار زیاد هوا در محل انفجار می توانند باعث تمرکز انفجار هوا دریک نقطه شوند در روزهای صاف یا نسبتاً ابری، هوای گرم، و وزش بادهای تند و تغییرجهت دهنده، امواج صوتی می توانند پراکنده شوند.

مطالعات انجام شده دربارهٔ امواج ضربه ای حاصل از مواد منفجره ثابت کرده است که پنجره ها بحرانی ترین قسمتهای سازه های معمولی هستند. پنجره ها ممکن است در اثر فشار بسیار زیادی در حدود ۵۰ تا ۱۴۰ mbar بشکنند، این رقم برای پنجره های سست، کمتر نیز می شود. سطح یک mbar برای سست کردن چهارچوب پنجره کفایت می کند.

فشار dBL	mbar	اثرات انفجار هوا
۱۸۱	۲۱۰	سازه‌ها شدیداً آسیب دیدند
۱۷۱	۷۰	بیشتر پنجره‌ها شکستند
۱۶۱	۲۰	
۱۵۱	۱۰	چند تا از پنجره‌ها شکستند
۱۴۱	-	چند تا از شیشه‌های بزرگ پنجره‌ها شکستند
۱۳۱	۱	پنجره‌های سست، شکستند

$dBL = ۲۰ \log (P/Po)$

که در آن:

p= (mbar) اضافه فشار

Po = فشار مبنا = ۰/۰۰۰۲ Ubar

L = ثابت نشانهٔ واکنش فرکانس خطی

جدول ۵۲- اثرات انفجار هوا.

در عملیات انفجار معمولی، هیچ آسیبی به پنجره‌ها وساختمانها وارد نخواهد شد به شرط آنکه خرجهای گشتاوری داخل چالهای انفجاری در سطوح مشخص شده در جدول نگهداشته شوند. سطح ارتعاش زیر رامی توان به عنوان مقایسه در نظر گرفت:

$$L = QR^{-1.5}$$

که در آن:

L = سطح ارتعاش

Q = خرج گشتاور (کیلوگرم)

R = فاصله از محل انفجار

اثرات انفجار هوا به هنگام انفجار یک خرج در داخل چال در حفاری پله‌ای، در جدول ۵۳ نشان داده شده است. در این جدول، حداکثر خرج گشتاوری نیز که باعث سرعت نوسانی معادل ۷۰ میلیمتر/ ثانیه در شرایط زمین با K=۴۰۰ می شود، گنجانده شده است.

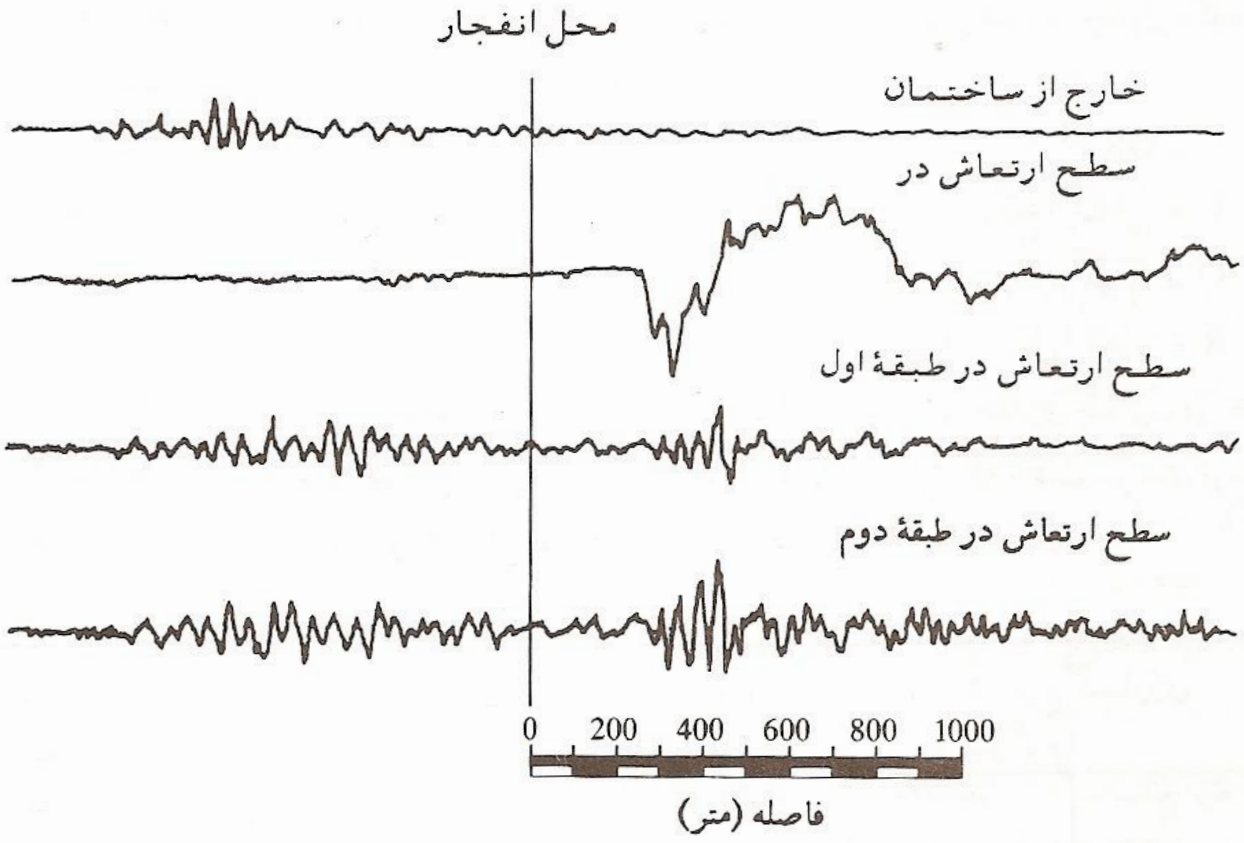
فاصله از محل انفجار (متر)	فشار هوای مجاز mbar	سرعت نوسانی قابل انتظار (میلیمتر/ثانیه	حداکثرخرج گشتاوری (کیلوگرم)	
			فشار هوا	سطح ارتعاش ۰/۰۳
۵۰	۱۰	۷۰	۷	۱۱
۱۰۰	۱۰	۷۰	۳۳	۳۳

←

۲۰۰	۵	۷۰	۹۰	۹۰
۳۰۰	۵	۷۰	۱۸۰	۱۶۰
۴۰۰	۵	۷۰	۴۴۰	۲۴۰
۵۰۰	۵	۷۰	۸۵۰	۳۴۰
۶۰۰	۵	۷۰	۱۴۸۰	۴۴۰
۷۰۰	۵	۷۰	۲۵۰۰	۵۶۰
۸۰۰	۵	۷۰	۳۵۰۰	۶۸۰
۹۰۰	۵	۷۰	۵۱۰۰	۸۲۰
۱۰۰۰	۵	۷۰	۶۸۰۰	۹۵۰

جدول ۵۳- حداکثر خرج گشتاوری به عنوان تابعی از فاصلهٔ محل انفجار.

سطوح خطرناک انفجارهوا برای ساختمانها و سازه‌ها، عمدتاً در اثر خرجهای انفجار سطحی و انفجار به وسیلهٔ فتیلهٔ انفجاری غیرمدفون ایجاد می‌شوند. در انفجار پله‌ای عادی در



شکل ۷۵- هرقدر فاصله از محل انفجار بیشتر باشد، انفجار هوا به احتمال قوی، بیشترین سرعتهای نوسانی را در سازه‌ها ایجاد می‌کند.

مجاورت ساختمانها (متر ۵۰۰) با استفاده از قسمت ساقه به طول کافی، و با در نظر گرفتن سطوح ارتعاش زمین، می توان اثرات انفجار هوا را نادیده گرفت.

اگر فاصله با محل انفجار افزایش یابد (بیش تر از ۵۰۰ متر) و خرجهای منفجرشده با یک تأخیر نیز به طور همزمان نسبت به ارتعاش زمین عمل کنند، سرعت نوسانی ایجادشده به وسیلهٔ انفجار هوا ممکن است از سرعت ایجاد شده به وسیلهٔ امواج تنش بیشترشود. در شکل ۷۵، ثبت صحرایی چنین موردی دیده می شود.

در دره های باریک، اثرات امواج فشار به مراتب خطرناکتر است تا در فضای باز، استفاده از چاشنی های تأخیری و انتخاب صحیح پارامترهای صحیح فواصل بین چالها در طول و عرض پله، می تواند به کنترل جهت موج هوا کمک کند و آن را از سوی ساختمانها و مناطق ساخته شده منحرف گرداند و سطح انفجار هوا رادر این نقاط پائین بیاورد. فتیلهٔ انفجاری، اگر در سطح زمین محترق شود، به مقدار زیادی بر شدت انفجار هوا خواهد افزود.

طرز مشاهدهٔ عملیات انفجاری توسط انسانها در مجاورت محل سکونت شان تا حد زیادی به واکنشهای روانی ایشان بستگی دارد. اینان غالباً نمی توانند حالت واقع بینانه‌ای به خود بگیرند و انفجار هوا یا اثرات صوتی را از ارتعاشها تفکیک کنند. به همین علت است که پدیده های ناخوشایند را خطرناک تلقی می کنند.

۲- ۸- ۱- ۱- چگونگی کنترل انفجار هوا:

فهرست زیر برای کمک به کنترل انفجار هوا تهیه شده است:

از به کاربردن منفجره های محدود نشده خودداری کنید:

- فتیلهٔ انفجاری را حداقل در عمق ۳۰ سانتی متری یا بیشتر در زیرزمین قرار دهید.
- از فتیلهٔ انفجاری کم خرج استفاده کنید و آن را دست کم و در صورت لزوم در عمق چندسانتیمتری زمین دفن کنید.
- از چاشنی رسی در مناطق مسکونی استفاده نکنید، مگر آنکه استفاده از آن مطلقاً ضروری باشد.

از قسمت ساقه با طول کافی استفاده کنید.

- برای محدودسازی بهتر، ازسنگ خردشده برای قسمت ساقه در چالهای خیس استفاده کنید. بدین ترتیب از سنگین شدن آب به وسیلهٔ ذرات ریز که ممکن است باعث شناورشدن خرج های کم دانسیتهٔ بالایی گردد، جلوگیری خواهد شد.

ـ اگر کف حفاری ناشی از انفجار قبلی بر جا مانده باشد، از قسمت ساقهٔ اضافی در ردیف جلویی استفاده کنید.

ـ حفاری را به دقت انجام دهید و مقدار پوشش سنگ رویی مربوط به انفجار بعدی را به طور صحیح تعیین کنید.

ـ از الگوهای حفاری با نسبتهای E>V برای فواصل بین چالها در طول پله و فواصل بین چالها در عرض پله استفاده کنید.

ـ از تأخیرهای طولانی تر بین ردیفها استفاده کنید نه بین چالهای داخل ردیفها. در انفجارهای عمیق چندردیفی، این کار باعث تسریع حرکت روبه جلوی پوشش سنگ رویی می شود نه حرکت روبه بالای آن.

ـ اطمینان حاصل کنید که انفجار با توالی صحیح پیش می رود.

مشکلات زمین شناسی را در نظر بگیرید.

ـ از طبقه های غیرمنفجره داخل شکافهای رسی و خاکی برای جلوگیری از ترکیدگی استفاده کنید.

ـ از حفاران بخواهید وجود هر گونه حفرهٔ آب دار در داخل تودهٔ سنگ را که ممکن است به وسیلهٔ منفجره های فله اضافه خرج گذاری شوند گزارش دهند.

ـ هنگام استفاده از جبهه های مرتفع، موضوع را با حفاران در میان بگذارید.

زمان بندی انفجاری

ـ انفجارها را برای مواقعی زمان بندی کنید که ساکنان منطقه مجاور یا مشغول کارند یا آنکه انتظار وقوع انفجار را دارند.

ـ از اجرای انفجار در نخستین ساعات بامداد یا آخرین ساعات شب خودداری کنید تا خطر انفجار در مواقع برگشت دما وجود نداشته باشد.

ـ شرایط اقلیمی و آب وهوا را همچنان که قبلاً گفته شده، در نظر بگیرید.

ـ از ایجاد تأخیر فوق العاده طولانی بین چالها برای جلوگیری از ایجاد چالها بدون پوشش سنگ رویی اجتناب کنید.

ـ هنگام طراحی ردیفهای انفجار، به وضعیت ستون چالها توجه کنید.

ـ سرعت انتشار انفجار در امتداد جبههٔ آزاد باید از سرعت صوت در هوا کمتر باشد.

ـ تعداد چالهای دریچه دار با زمان تأخیر یکنواخت را به حداقل برسانید.

ـ از خرجهای بلند در چالهائی که طولشان در مقایسه با فواصل بین چالها در عرض پله

زیاد است استفاده نکنید.

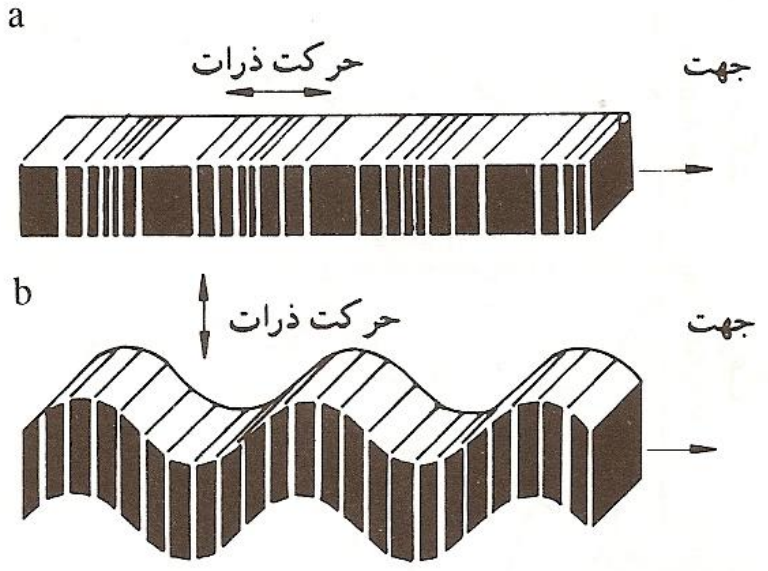
۲ - ۸ - ۲ - ارتعاشات زمین

رایج ترین نوع صدمات انفجار، از ارتعاشات زمین سرچشمه می گیرند. وقتی مادهٔ منفجره‌ای در داخل چال انفجاری منفجر می شود، موج تنش شدیدی در تودهٔ سنگ پدید می آورد. امواج تنش الاستیک ایجادشده را می توان به دو نوع اصلی تقسیم کرد:

امواج طولی (امواج p)

امواج عرضی (امواج s)

امواج p باعث ایجاد حرکت طولی ذرات در موادسنگی می شوند ولی امواج s باعث حرکت عرضی (شکل x) آن می شوند، این حرکت، تودهٔ سنگ واقع در اطراف چال حفرشده راتا حدود شعاع یک چال می شکند وباعث تغییر شکل و ترکیدگی دائمی آن تا چندین برابر قطر چال می شود.



شکل ۷۶- حرکات موجی طولی و عرضی در اثر انفجار در داخل چال انفجاری.

با آنکه شکل امواج تنش الاستیکی در زمین با تودهٔ سنگ به ندرت ممکن است با شکل موج سینوسی پایه مشابه باشد، می توان از آن در بر آورد اثرات ارتعاش زمین در انفجار پله‌ای در سطح دقت لازم برای کارهای عملی استفاده کرد.

دو اصطلاحی که معمولاً برای توصیف حرکت موجی به کار می رود عبارتند از دامنه

(A) و فرکانس (F) (شکل ۷۷). دامنه (جابه جایی) جبههٔ موج در یک ساختمان مجاور محل انفجار، تحت تأثیر چهارعمل قرار دارد:

- مقدار مواد منفجرهٔ به کار رفته برای هرچال انفجاری.
- موادی که امواج از آنها عبور می کنند.
- فاصلهٔ بین سازه و انفجار.
- نوع مواد موجود در زیر سازه.

دو فرمول مهمی که برای ارتعاشات زمین به کار می رود عبارتند از:

$V = 2FA \qquad a = 4F^2 A^2$

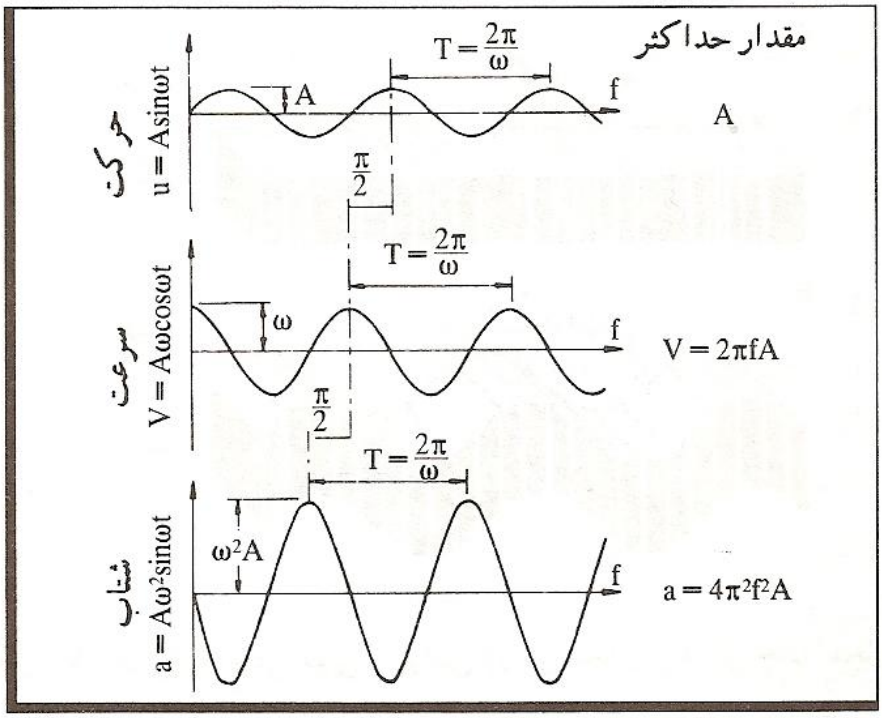
که در آن:

V= سرعت نوسانی (میلیمتر/ ثانیه)

a= شتاب (میلیمتر/ S^2)

F= فرکانس حرکت موج هرتس یا (1/s)

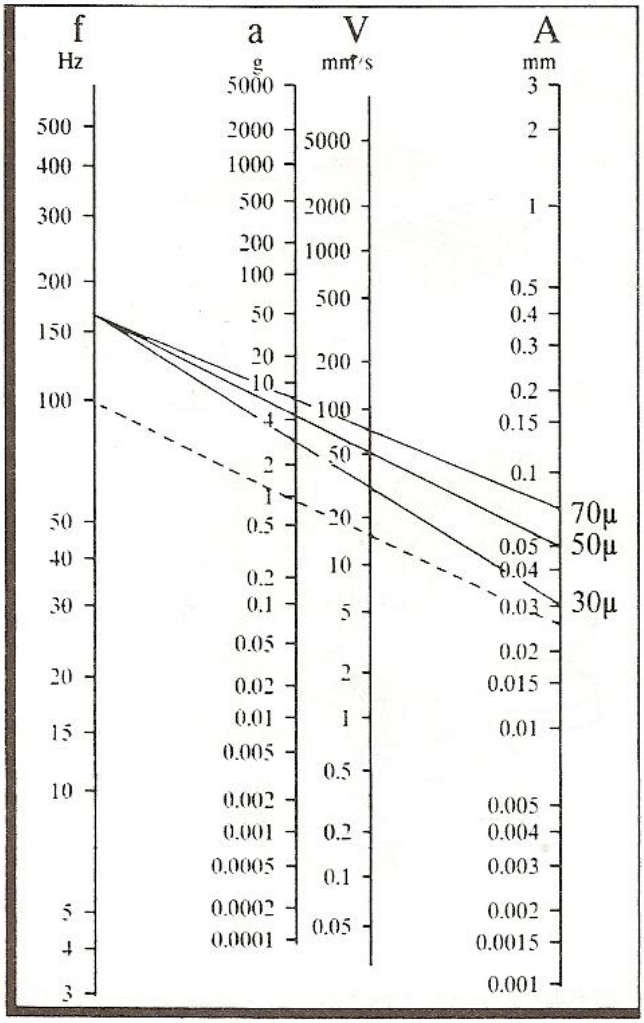
A= دامنه (میلیمتر)



شکل ۷۷- شرایط اصلی تعیین کنندهٔ حرکت موج.

برای کاربردهای اجرایی، فرقی نمی کند که کدامیک از عوامل فوق به صورت زوج اندازه گیری شوند. اگر دو تا از مقادیر معلوم باشند دو عامل دیگر را می توان با استفاده از

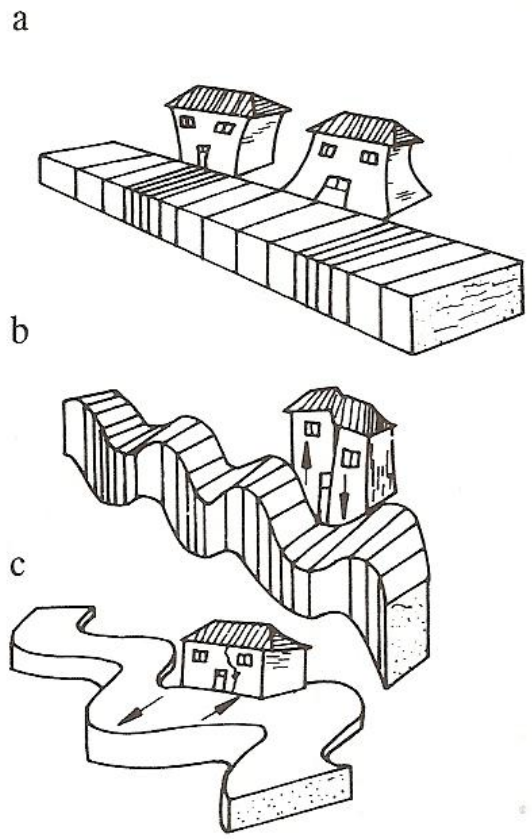
معادلات بالا یا نمو گرام شکل ۷۸ محاسبه کرد.



شکل ۷۸- نمو گرام برای تعیین رابطهٔ بین فرکانس (F)، شتاب (a) سرعت نوسانی (v) و دامنه (A).

ارتعاش زمین به علت جابه‌جایی متمایزی که بر سازه‌ها تحمیل می کند، به آنها آسیب می رساند. هرموج با گذشتن از زیر یک سازه، آن را از بالا به پائین از چپ به راست و از عقب به جلو حرکت می دهد (شکل ۷۹). شدت حرکت لرزه‌ای که انواع سازه‌ها قادر به تحملش هستند باید تعیین شود تا برنامه‌های قابل قبول خرج گذاری به فواصل مختلف از سازه، مزبور مشخص شود. تردیدی نیست که سطح حرکت لازم برای آسیب زدن به یک سازه، به ساختمان آن سازه بستگی دارد. مثلاً یک انبار اسکلت فلزی در مقایسه با یک ساختمان مسکونی با دیوارهای گچی، می تواند موج لرزه‌ای شدیدتری راتحمل کند. چون گچ ضعیف ترین مصالح ساختمانی مورد استفاده است و با توجه به فراوانی و کثرت استفاده از آن،

اغلب معیارهای آسیب دیدگی ساختمانها براساس این نوع سازه تعیین و محاسبه می شود.



شکل ۷۹- ارتعاشهای زمین می توانند باعث ایجاد سه نوع متفاوت حرکت ذرات دریک سازه شوند.

هنگام تعیین خطر آسیبهای احتمالی برای انواع مختلف سازه ها، سرعت نوسانی، عموما به عنوان عامل اندازه گیری تلقی می شود .لیکن برای ماشین ها و تجهیزات دیگر، غالباً از حدود مشخصی غیر از سرعت نوسانی استفاده می شود.

تا جایی که به ارتعاش زمین مربوط می شود، حساسترین قطعات و تجهیزات، کامپیوترها و مخصوصاً مدولهای دیسکی داخل آنها است. اطلاعات مربوط به اثرات ارتعاش بر کامپیوترها به اندازهٔ اطلاعات مربوط به ثبت سطوح ارتعاش و آسیبهای وارد بر ساختمانها و سازه ها کامل و جامع نیست، و به همین علت معمولترین روش، استفاده از سطوح توصیه شده به وسیلهٔ کارخانه های سازندهٔ کامپیوترها است.

شرکت IBM ارقام زیر را برای دامنهٔ مجاز و شتاب ناشی از موجهای الاستیکی به دست آورده است:

- برای ارتعاش های پیوستهٔ زمین (هرتس ۱۴ >F)، دامنهٔ نوک به نوک باید از ۰/۲۵ میلیمتر کمتر باشد.

- برای ارتعاشهای پیوستهٔ زمین (هرتس ۱۴ <F)، شتاب حرکت ذره نبایداز a=۰/۱ g (که در آن $Y=10\ m/s^2$ است) بیشتر باشد.

- برای ارتعاشهای گشتاوری زمین (هرتس ۷ >F) دامنهٔ نوک به نوک باید از ۲/۵ میلیمتر کمتر باشد.

- برای ارتعاشهای گشتاوری زمین (هرتس ۷ <F) شتاب حرکت ذره نباید از a= ۰/۲۵g بیشتر باشد.

مثال

انفجار در نزدیک تجهیزات حساس

فاصله ۱۰ متر

فرکانس ویژهٔ تودهٔ سنگ ۱۰۰ تا ۲۰۰ هرتس

مقدار حداکثر برای شتاب a = ۰/۲۵ g

متر بر مجذور ثانیه a = ۱۰

متر بر مجذور ثانیه g = ۱۰

بنابراین $a=2/5\ m/s^2$ است و حداکثر سرعت نوسانی مجاز با معادلهٔ زیرتعیین می شود:

a= 2 fv

که در آن:

f= فرکانس ویژه (هرتس)

a= شتاب

v=سرعت نوسانی میلی متر بر ثانیه

در این مورد V= ۱/۵ - ۳ m/s که محدودیت برای خرج در هر تاخیر ایجاد می کند.

قوانین سنجش مورد استفاده درمطالعات ارتعاش شناسی، سرعت ذره را به فاصلهٔ سازه از محل انفجار و به وزن خرج مادهٔ منفجره در هر تأخیرنسبت می دهند هرگاه وزن خرج در هر تأخیر افزایش یابد بر شدت ارتعاشات افزوده می شود، و با زیادتر شدن فاصله از محل انفجار، از شدت ارتعاشات کاسته می شود.

۲- ۸- ۲- ۱- ارتعاش زمین در اثریک انفجار تنها

در تعیین سطوح ارتعاشات زمین در اثر یک گودبرداری انفجاری، نکته مهم دانستن اثر

یک خرج تنها است. اثرات منفجر کردن یک خرج تنها، تا حدود زیادی به سرعت لرزه‌ای امواج تنش الاستیکی به وجود آمده و فرکانس ویژه مواد منفجرشده بستگی دارد.

شرایط گوناگون زمین و سطوح بستر، اثر قابل توجهی بر حرکت ارتعاشات زمین دارند (جدول ٥٤). عواملی که بیش از همه در انتشار و شکل گیری امواج تنش مؤثرند، عبارتند از:

- خواص دینامیکی زمین، این خواص، غالباً در سرعت امواج مؤثر واقع می شوند.
- نوع و رطوبت زمین، این عامل، تولید و فرکانس انواع گوناگون موج را تعیین می کند.
- سطوح موجود بستر و توپوگرافی زمین می توانند باعث انعکاس امواج الاستیکی شوند.
- صلب بودن و دمای زمین یا تودهٔ سنگ.

مصالح	سرعت امواج الاستیکی (متر/ ثانیه)	
	امواج s	امواج p
رس یا سیلت (خشک)	۲۰۰-	٦۰۰-٤۰۰
رس یا سیلت (خیس)	۲۰۰	۱٦۰۰-۱۳۰۰
ماسه یا شن (خشک)	٤۰۰-۲۰۰	۷۰۰-٤۰۰
رس یا سیلت (خیس)	٤۰۰-۲۰۰	۱۷۰۰-۱٤۰۰
سنگهای یخچالی (خشک)	۷۰۰-۲۰۰	۱۵۰۰-۷۰۰
سنگ یخچالی (خیس)	۷۰۰-۲۰۰	۲۰۰۰-۱٤۰۰
تودهٔ سنگ شکسته	۱۲۰۰ - ۸۰۰	۲۵۰۰-۱۹۰۰
ماسه سنگ یا شیست	۱٦۰۰-۱۲۰۰	۳٤۰۰-۲۵۰۰
گرانیت یا گنایس	۲۵۰۰-۲۰۰۰	٤۸۰۰-٤۰۰۰

جدول ٥٤- سرعت امواج تنش الاستیکی درمواد گوناگون.

موج لرزه‌ای با سرعت زیاد، دارای طول موجی کوتاهتر از موج لرزه‌ای با سرعت کمتر می باشد. (شکل ۸۰). اگر طول موج آنقدر کوتاه باشد که ساختمان «سوار» موج گردد، خطر ناشی از گسیختگی به مراتب زیادتر می شود زیرا دو انتهای آن ساختمان در معرض انواع متفاوت حرکت قرار خواهد گرفت. امواج s نیز اثرات مشابهی دارند.

فرکانس ویژهٔ خاک وتودهٔ سنگ، عمدتاً به همگنی و یکپارچگی آن بستگی دارد و در یک محدودهٔ ۵ تا ۵۰۰ هرتس نوسان پیدا می کند.

مواد	فرکانس ویژه
خاک نرم	۴۰ هرتس
تودهٔ سنگ نرم یا شکسته	۷۰- ۴۰ هرتس
سنگ سخت یا یکپارچه	۲۰۰- ۱۰۰ هرتس

جدول ۵۵- فرکانس ویژهٔ خاک و تودهٔ سنگ نرم.

در شکل ۸۰ می بینیم که چگونه فرکانسهای ویژهٔ زمین و یک ساختمان با هم کار می کنند تا سطوح ارتعاش زمین را تقویت کنند. تجربه نشان داده است که این اثرات در ساختمانهای یک یا دو طبقه‌ای که بر روی رسوبات حاوی مقادیر متفاوتی از آب ساخته شده‌اند، بسیار رایج هستند.

سرعت لرزه ای و طول موج یک جبههٔ موج و فرکانس ویژه را می توان به وسیلهٔ فرمول زیر محاسبه کرد: $\lambda = C/F$

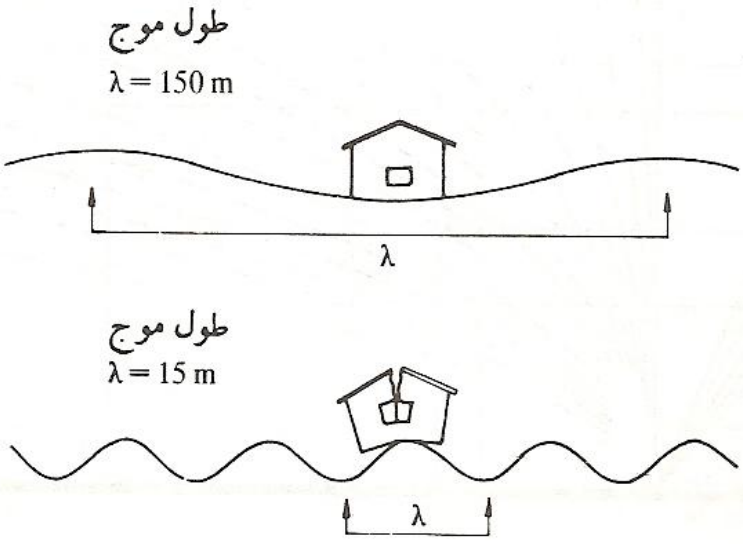
که در آن:

$\lambda =$ طول موج حرکت جبههٔ موج (متر)

$C =$ سرعت لرزه‌ای جبهه موج در مواد سنگی (متر/ بر ثانیه)

$F =$ فرکانس ویژه (هرتس)

از آنجا که طول امواج سرعتهای لرزه‌ای بالاتر کوتاه تر است، ارتعاشات ایجادشده در سنگها با سرعتهای زیادتر و طول امواج کوتاهتر، ممکن است با خطر آسیب رسانی بیشتر همراه باشند.



شکل ۸۰- اثر طول موج بر خطر آسیب رسانی.

فرمولهای بسیاری وجود دارد که در آنها اندازهٔ یک مادهٔ منفجرهٔ واحد فاصلهٔ سازه از محل انفجار و حداکثر سرعت نوسانی با هم ادغام می شود. رایج ترین فرمول، فرمولی است که به وسیله لانگفورس و کیلشتروم تدوین گردیده است:

$$V= K (Q/R^{1.5})^{0.5}$$

که در آن:

V= سرعت نوسانی (میلیمتر/ ثانیه)

K= ثابت قابلیت تودهٔ سنگ به انتشار امواج تنش

k = ۴۰۰ مخصوص سنگ سخت

k = ۲۰۰ مخصوص سنگ نرم

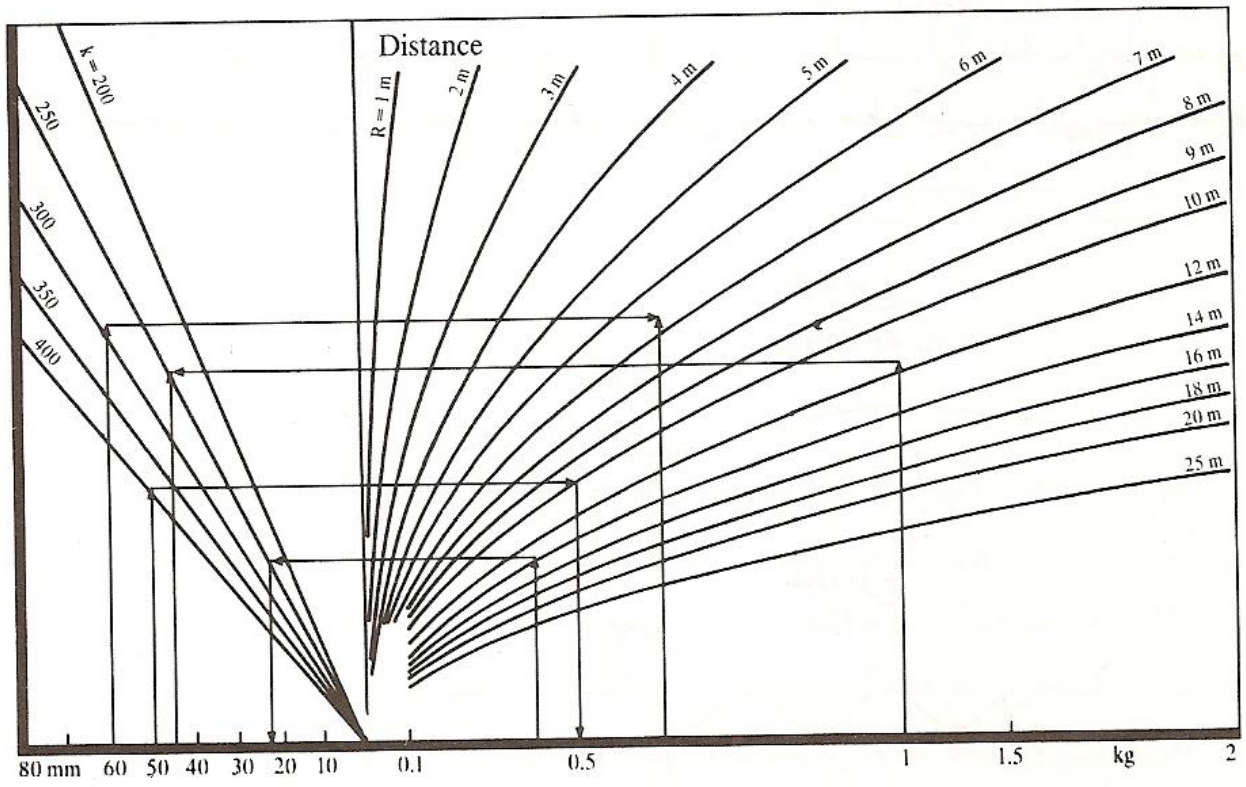
k =۱۰۰ مخصوص پوش سنگ رویی

Q= اندازهٔ مادهٔ منفجره آتشباری شده در یک لحظه (کیلوگرم)

R= فاصله از محل انفجار (متر)

در این فرمول، مقادیر دقیق سرعت نوسانی، مخصوصاً اگرمقادیر مزبور از ۱۰، میلیمتر/ ثانیه بیشتر و فاصلهٔ از محل انفجار از ۱۰۰ متر کمتر باشد، گنجانده شده است. در فواصل بیشتر، از فرمول مزبور به شکل زیر باید استفاده شود:

$$V= KQ/R^{1.5}$$



شکل ۸۱- نمو گرام تعیین حداکثر خرج مجاز لحظه‌ای در انفجار پله‌ای.

ثابت k قابلیت تودهٔ سنگ به انتشار امواج تنش را که از آن عبور می کنند نشان می دهد. برای تودهٔ سنگ شکسته و درزخورده در اطراف محل انفجار، ارقام کوچکتری برای k در نظر گرفته می شود. در سنگهای یکپارچه و نسبتاً درز نخورده و درمجاورت محل انفجار، از مقدار k=٤٠٠ می توان استفاده کرد، ولی در سازندهای شکسته معمولاً کمتر می شود و مثلاً به ٣٠٠ - ٢٠٠=k می رسد.

مثال ١: متر ١٠ = R ٤٠٠ = k میلیمتر/ثانیه ٥٠ = v

= Q ≥ ٠/٤٩ کیلوگرم

مثال ٢: میلیمتر/ثانیه ٤٥ = V متر ١٠ = R و کیلوگرم ١ = Q

مثال ٣: ٣٠٠ = K و میلیمتر/ثانیه ٦٠ = V و کیلوگرم ٠/٧ = Q

R ≥ ٦/٧ متر

مثال ٤: ٢٥٠ = K و متر ١٤ = R و کیلوگرم ٠/٤ = Q

= V ≥ 22 متر/ثانیه

معادله مندرج در صفحهٔ ١٦٥ را در عین حال می توان به صورت جدول در آورد، که در این صورت سرعت نوسانی یک جبههٔ موج در شرایط عادی زمین و اثر آن بر یک ساختمان مسکونی معمولی به دست می آید:

سرعت جبههٔ موج متر/ثانیه	ماسه،شن، رس	سنگهای یخچالی سنگ لوح، مرمر	گرانیت گنایس سنگ آهک	اثر بر یک ساختمان مسکونی معمولی	سطح خطر Q/R ١/٥
	١٠٠٠- ١٥٠٠	٢٠٠٠- ٣٠٠٠	٤٥٠٠- ٦٠٠٠		
سرعت نوسانی	١٨	٣٥	٧٠	هیچگونه شبکه ترک خوردگی قابل توجه دیده نشد.	٠/٠٣
میلیمتر/ثانیه	٣٠	٥٥	١٠٠	ترکهای کوچک، آسیب	٠/٠٦
	٤٠	٨٠	١٥٠	به گچکاری پیدایش ترک،	٠/١٢
	٦٠	١١٥	٢٥٠	خوردگی قابل توجه	٠/٢٥

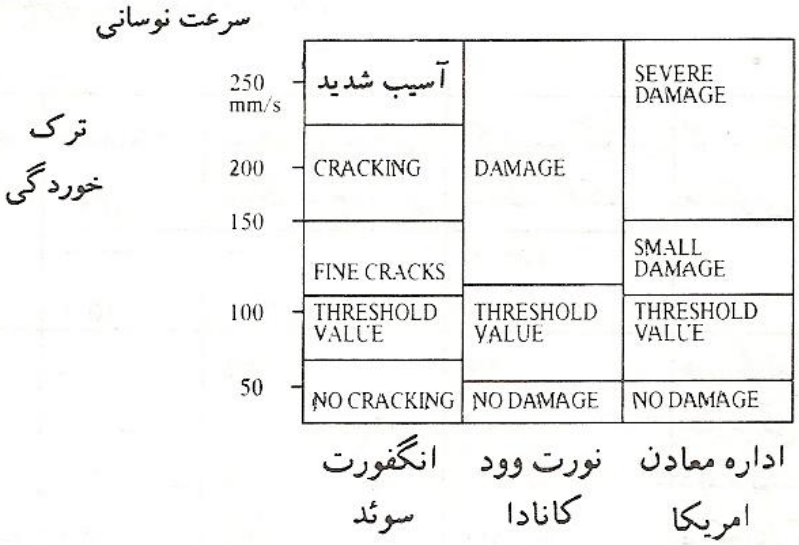
جدول ٥٦- آسیب دیدگی یک ساختمان مسکونی به عنوان تابعی از سرعت نوسانی، سرعت جبههٔ موج در مواد، و نوع موادی که ساختمان بر روی آن ساخته شده است.

هنگامی که انفجار در مناطق مسکونی اجرا می شود، می توان کا را با در نظرداشتن سطح خطری معادل $Q/R^{1.5} = 0.03$ ادامه داد. این بدان معنی است که هنگام انفجار در تودهٔ سنگهای متعلق به سازندهای سخت و نسبتاً صلب، سطوح سرعت نوسانی تا ۷۰ - ۵۰ میلیمتر/ ثانیه را می توان مجاز دانست، لیکن برای ساختمانهای قدیمی، سطوح پائین تری چون ۱۸ تا ۳۵ میلیمتر/ ثانیه توصیه می شود تا مقدار آسیب به حداقل یا هیچ برسد.

در پاره ای موارد، استفاده از مقادیری بالاتر از آنچه توصیه شده است برای حداکثر سرعت نوسانی مجاز ضرورت پیدا می کند. مخصوصاً در مواقعی که انفجار درنزدیکی سازه ها و ساختمانها انجام می شود، چنین ضرورتی پیش می آید.

اگر از مقادیر توصیه شدهٔ حداکثر برای سرعت نوسانی (جدول ۵۶) تجاوز شود، شخص انفجارگر موظف است تمام کوشش خود را به خرج دهد و مطمئن شود که طراحی و وضعیت هر یک از ساختمانهای آسیب دیده طوری است که می تواند سرعتهای بیشتر را تحمل کنند.

در شکل ۸۲ طبقه بندی سطح آسیب دیدگی ساختمانها در کشورهای سوئد، کانادا، و ایالات متحد آمریکا از نظر می گذرد.



شکل ۸۲- طبقه بندی سطح آسیب دیدگی ساختمانها در سوئد، کانادا، و ایالات متحده آمریکا.

درجدول ۵۷ حداکثر خرج لحظه‌ای مجاز به عنوان تابعی از فاصله محل انفجار و سطح خطر آسیب دیدگی نشان داده شده است. ارقام داده شده برای حداکثر خرج لحظه‌ای را در عین حال می توان با استفاده از معادلهٔ مندرج در صحفهٔ ۱۶۵ نیز محاسبه کرد.

فاصله انفجار متر	حداکثر خرج لحظه‌ای (کیلوگرم)				
	سطح خطر				
	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۲۵
۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۲۵
۲	۰/۰۲۵	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۷۰
۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۶	۰/۳۲	۰/۶۵	۱/۳۰
۴	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۵۰	۱/۰۰	۲/۰۰
۵	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۳۵	۰/۷۳	۱/۴۰	۲/۸۰
۶	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۴۷	۰/۹۵	۱/۹۰	۳/۸۰
۷	۰/۱۴	۰/۲۷	۰/۵۷	۱/۱۵	۲/۳۰	۴/۶۰
۸	۰/۱۸	۰/۳۶	۰/۷۲	۱/۴۵	۲/۹۰	۵/۸۰
۹	۰/۲۰	۰/۴۲	۰/۸۵	۱/۷۰	۳/۴۰	۶/۸۰
۱۰	۰/۲۵	۰/۵۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۴/۰۰	۸/۰۰
۱۲	۰/۳	۰/۶	۱/۳	۲/۵	۵/۲	۱۰/۵
۱۴	۰/۴	۰/۸	۱/۶	۳/۲	۶/۴	۱۳/۰
۱۶	۰/۵	۱/۰	۲/۰	۳/۹	۷/۸	۱۵/۵
۱۸	۰/۶	۱/۲	۲/۴	۴/۷	۹/۴	۱۹/۰
۲۰	۰/۷	۱/۴	۲/۸	۵/۶	۱۱/۰	۲۲
۲۵	۱/۰	۲/۰	۴/۰	۸/۰	۱۶	۳۲
۳۰	۱/۳	۲/۶	۵/۲	۱۰/۵	۲۱	۴۲
۳۵	۱/۶	۳/۲	۶/۵	۱۳	۲۶	۵۲
۴۰	۲	۴/۰	۸/۰	۱۶	۳۲	۶۴
۴۵	۲/۴	۴/۸	۹/۵	۱۹	۳۸	۷۶
۵۰	۲/۸	۵/۵	۱۱	۲۲	۴۴	۸۸
۶۰	۳/۸	۷/۵	۱۵	۳۰	۶۰	۱۲۰
۷۰	۴/۸	۹/۵	۱۹	۳۸	۷۶	۱۵۲
۸۰	۵/۸	۱۱/۵	۲۳	۴۶	۹۲	۱۸۴
۹۰	۷	۱۴	۲۸	۵۶	۱۱۲	۲۲۴
۱۰۰	۸/۵	۱۶/۵	۳۳	۶۶	۱۳۲	۲۶۴
۱۱۰	۹/۳	۱۸/۵	۳۷	۷۴	۱۴۸	۲۹۶
۱۲۰	۱۰/۵	۲۱/۰	۴۲	۸۴	۱۶۸	۳۳۶
۱۳۰	۱۱/۷	۲۳/۵	۴۷	۹۴	۱۸۸	۳۷۶
۱۴۰	۱۳/۲	۲۶/۳	۵۲/۵	۱۰۵	۲۱۰	۴۲۰

←

۱۵۰	۱۴/۵	۲۹/۰	۵۸	۱۱۶	۲۳۲	۲۶۴
۱۶۰	۱۶/۰	۳۲/۰	۶۴	۱۲۸	۲۵۶	۵۱۲
۱۷۰	۱۷/۵	۳۵/۰	۷۰	۱۴۰	۲۸۰	۵۶۰
۱۸۰	۱۹/۰	۳۸/۳	۷۶/۵	۱۵۳	۳۰۶	۶۱۲
۱۹۰	۲۰/۷	۴۱/۵	۸۳	۱۶۶	۳۳۲	۶۶۴
۲۰۰	۲۲/۵	۴۵/۰	۹۰	۱۸۰	۳۶۰	۷۲۰

جدول ۵۷- حداکثر خرج لحظه‌ای به عنوان تابعی از فاصلهٔ محل انفجار تا سطح خطر آسیب دیدگی.

اگر خرج گذاری و آتشباری بدون در دست داشتن اطلاعات لرزه شناسی محلی انجام شود، پیشنهاد می کنیم که از این معادله حتماً استفاده شود. لیکن اگر آتشباری در گودبرداریهای بزرگ غیرعادی یا خرج گذاریهای دارای درجه محدودشدگی زیاد انجام شود، این فرمول به کارنخواهد آمد.

سرعتهای موج لرزه‌ای معمولاً به وسیلهٔ ابزارهای مخصوص (لرزه نگار) اندازه گیری می‌شود. این ابزارها جابه جایی، سرعت و شتاب ذرات سازه‌ای را که تحت تأثیر جبههٔ موج ارتعاش قرار گرفته است اندازه گیری می کنند.

۲-۸-۲-۲- ارتعاش زمین در اثر انفجار چندچالی

هنگام انفجار در یک ردیف چندچالی به وسیلهٔ یک سیستم آتشباری با تأخیر کوتاه مدت ـ آغاز انفجار چندین چال در یک تأخیر چاشنی واحد یک ارتعاش ترکیبی به وجود خواهد آمد. بنابراین، سطح کلی ارتعاش یا اثر کلی ارتعاش، کاهش ویا افزایش می یابد.

شدت ارتعاش های زمین در اثر آتشباری در یک انفجار پله‌ای، به عوامل زیر بستگی دارد:

- انواع سنگ بین محل انفجار و ساختمان آسیب دیده.
- خواص سازه‌ای و توپوگرافی زمین و تودهٔ سنگ.
- ویژگیهای فنی سازهٔ آسیب دیده در اثر ارتعاش.
- فاصله از محل انفجار.
- اندازهٔ خرج منفجرشدهٔ لحظه‌ای.
- مقدار خرجهای عمل کننده به عنوان یک خرج واحد، حتی اگر با تأخیرهای متفاوت منفجر شوند.

امواج تنش الاستیکی به عنوان تابعی از مواد موجود در اطراف نقطهٔ انفجار، یا به حرکت درمی آیند یا مستهلک می شوند. سازه های تکتونیکی و خواص فنی انواع گوناگون سنگ، وسیعاً در شدت ارتعاشها مؤثر واقع می شوند.

موج تنش زمانی مستهلک خواهد شد که عمود برلایه ها، سطوح بستر یا دره ها حرکت کند ولی اگر به موازات این سطوح ناپیوستگی به حرکت درآید شدت بیشتری پیدا خواهد کرد.

اثرات ارتعاشی امواج تنش، غالباً در اثر تغییرات ناگهانی در تودهٔ سنگ یا انواع خاک زمین مستهلک می شوند، هرچند در جریان مشاهدات معلوم شده است که موجی که از یک لایهٔ رسی یا شنی عبور می کند ممکن است در اثر انعکاس تقویت شود.

عوامل مهم مؤثر در سطح ارتعاش کلی به وجود آمده عبارتند از فرکانس ویژهٔ سنگ (f)، و مقدار معکوس آن (T). اگر وقفهٔ انفجاری در سیستم آتشباری بین چالها بافرمول زیر سازگار باشد، افزایشی در اثرات ارتعاشی پدید نخواهد آمد:

$\tau \geqq ۲/۵\ T$

که در آن: $\tau =$ وقفهٔ انفجاری (هزارم ثانیه)

$T = 1/f$ (هزارم ثانیه)

هنگام انفجار در سنگهای سخت و یکپارچه (هرتس $F > ۱۰۰$)، اگر وقفهٔ انفجاری بین چاشنی های دارای تأخیر کوتاه در سیستم آتشباری $\geqq ۲۵$ هزارم ثانیه باشد، همین فرمول به کار می آید.

اگر در زمان آغاز انفجار با چاشنی های تأخیری، پراکندگی ایجاد شود عمل متقابل خرجها کاهش می یابد و نتیجتاً اثر ترکیبی ارتعاشها نیز تقلیل پیدا می کند. در این حالت، خرجها در ظرف کسری از تأخیرهای کوچک حتی اگر تعداد وقفهٔ چاشنی ها ثابت باشد، منفجر خواهند شد.

به همین علت، حرکات موجی ایجادشده، یک تفاوت فاز از خود بروز می دهد، که به کاهش اثر ترکیبی جبههٔ موج می انجامد. وقفه های پراکندگی موردنظر برای چاشنی های با تأخیر کوتاه و تأخیری، در جدول ۵۸ نشان داده، شده است.

نوع چاشنی	تعداد چاشنی	وقفهٔ پرکندگی
با تاخیر کوتاه	۰	۰ هزارم ثانیه
	۱-۵	۵ هزارم ثانیه
	۶-۱۰	۱۰ هزارم ثانیه
	۱۱-۱۸	۱۰ هزارم ثانیه
تاخیردار	-	۱۰۰ هزارم ثانیه

جدول ۵۸- وقفه های پراکندگی چاشنی.

منظور از وقفه پراکندگی چاشنی های با تأخیر کوتاه و تأخیری این است که تعداد کل خرجهایی که (کیلوگرم) با تعداد تأخیر ثابتی منفجر می شوند را می توان بدون افزایش خطر آسیب دیدگی، افزایش داد. در مواردی که حداکثر خرج لحظه ای با استفاده از معادله مندرج در صفحهٔ ۱۶۸ تعیین شد، حداکثر خرج مجاز برای هر تعداد چاشنی را می توان خیلی ساده با ضرب کردن عدد محاسبه شده در ضرایب کاهش مندرج در جدول ۵۹، محاسبه کرد.

فرکانس ویژه توده سنگ هرتس	1/F هزارم ثانیه	وقفهٔ پراکندگی	ضریب کاهش		
		وقفهٔ پراکندگی ۵ هزارم ثانیه	۱۰ هزارم ثانیه	۲۵ هزارم ثانیه	۱۰۰ هزارم	۲۰۰ هزارم ثانیه
۵	۲۰۰	۱	۱	۱	۲	۲
۱۰	۱۰۰	۱	۱	۱	۳	۳
۲۵	۵۰	۱	۱	۲	۳	۳
۵۰	۲۰	۱	۲	۳	۳	۶
۱۰۰	۱۰	۲	۳	۳	۶	۶
۲۰۰	۵	۳	۳	۳	۶	۱۲
۴۰۰	۲/۵	۳	۳	۶	۱۲	۱۲

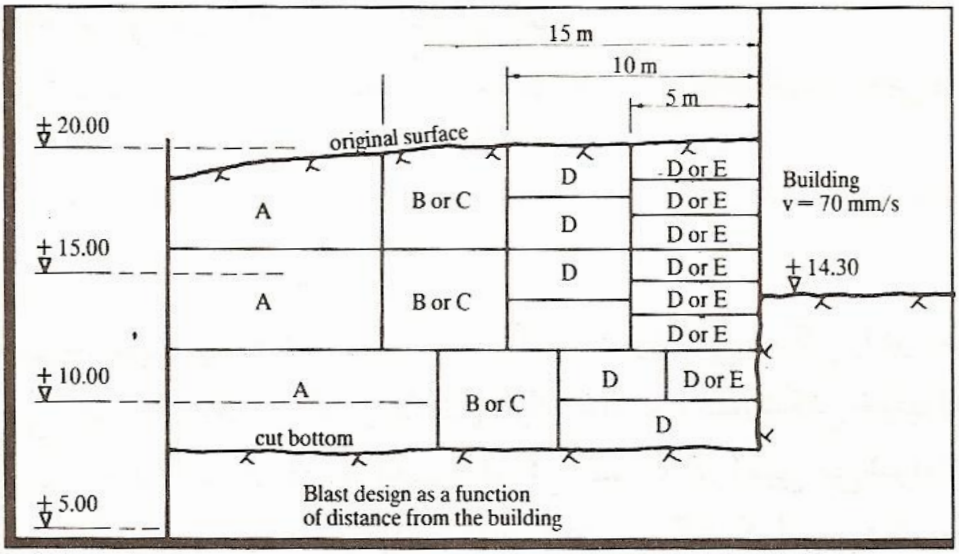
جدول ۵۹- ضرایب کاهش برای محاسبهٔ حداکثر خرجهای لحظه ای مجاز در انفجار چند چالی.

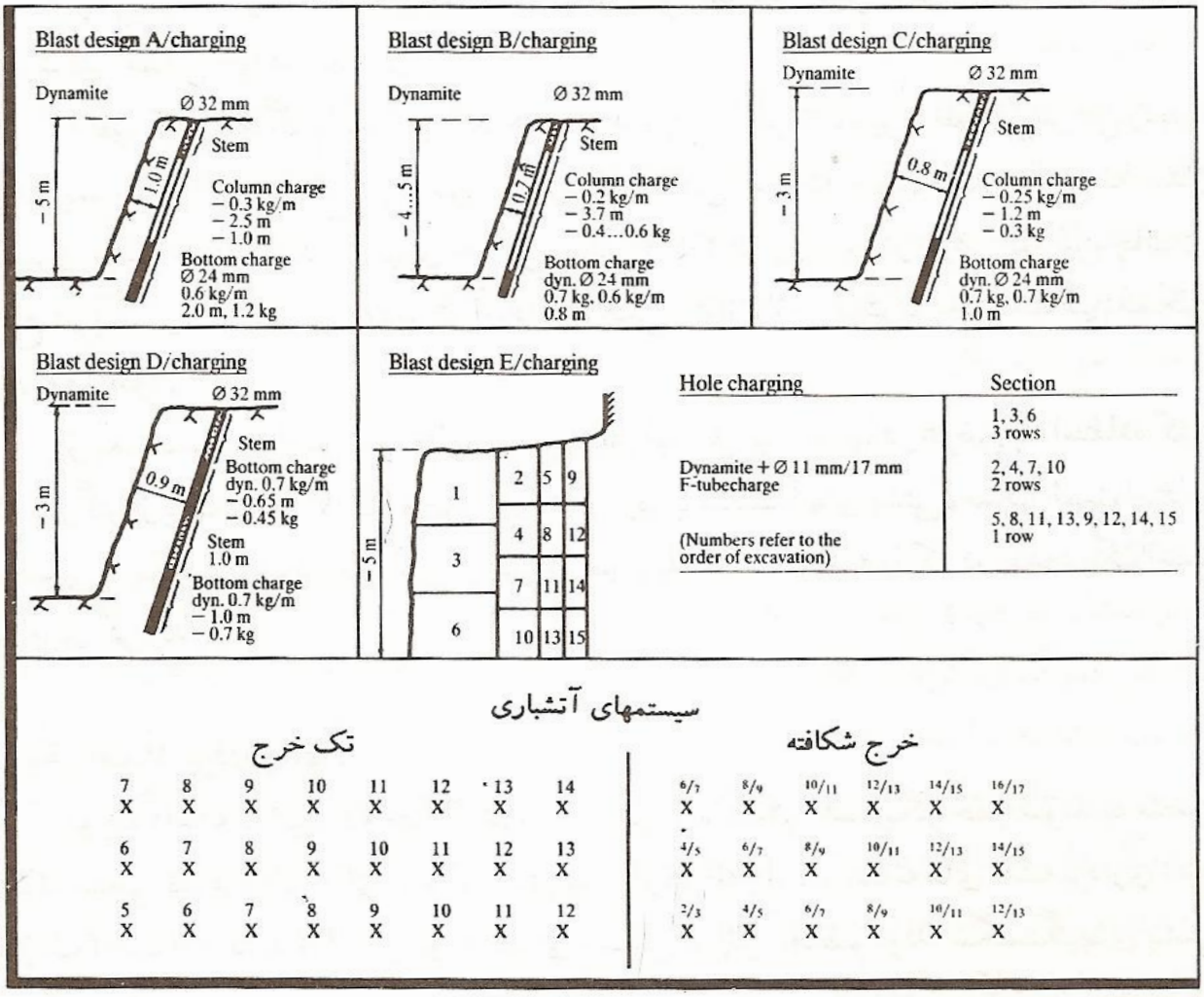
مثال

فاصله از محل انفجار	۵۰ متر
سطح خطر مجاز	۰/۰۳
حداکثر خرج لحظه ای	۱۱/۰ کیلوگرم
فرکانس ویژه سنگ	۱۰۰ هرتس
تعداد چاشنی	۷
وقفهٔ پراکندگی	۱۰ هزارم ثانیه
ضریب کاهش	۳
حداکثر خرج لحظه ای مجاز	۳۳/۰ کیلوگرم

هنگام برآورد اثرات ارتعاش زمین به فاصله ای بیش از ۱۰۰ متر از زمان انفجار، اثرات

خرجهای منفجرشده با تأخیر ثابت با هم ترکیب می شوند و هیچ کاهشی در اثر پراکندگی وقفهٔ چاشنی ایجاد نمی شود. این معلول انعکاسها و استهلاک مختصر امواج الاستیکی به هنگام عبور





سیستمهای آتشباری

تک خرج

7	8	9	10	11	12	13	14
X	X	X	X	X	X	X	X
6	7	8	9	10	11	12	13
X	X	X	X	X	X	X	X
5	6	7	8	9	10	11	12
X	X	X	X	X	X	X	X

خرج شکافته

6/7	8/9	10/11	12/13	14/15	16/17
X	X	X	X	X	X
4/5	6/7	8/9	10/11	12/13	14/15
X	X	X	X	X	X
2/3	4/5	6/7	8/9	10/11	12/13
X	X	X	X	X	X

شکل ۸۳- برنامه‌ای برای حفاری در نزدیکی ساختمان.

از زمین است. بنابراین، از ضرایب کاهشی نشان داده شده در جدول ۵۹ باید فقط برای محاسبهٔ خرجهای منفجرشده در نزدیکی سازه ها استفاده شود.

۲- ۸- ۲- ۳- چگونگی کنترل ارتعاشهای زمین

هرمجری انفجار با رعایت چندین گام عملی می تواند ارتعاشهای زمین را به حداقل برساند:

طراحی انفجار:

از یک طرح انفجاری استفاده کنید که حداکثر فشارشکنی ممکن را در یک وضعیت خاص ایجاد می کند. انفجارهایی که در چالهای دارای خاصیت فشارشکنی خوب (یعنی دارای جبه های آزاد به فاصلهٔ کم) هستند، باعث ارتعاش کمتری در زمین می شوند. استفاده از تکنیکهای انفجار تأخیری، جبهه هایی آزاد در داخل ایجاد می کند که امواج فشاربعدی حاصل از انفجار می توانند از آن انعکاس پیدا کنند. با طراحی صحیح و دقیق الگوهای انفجار، حداکثر فشارشکنی ممکن خواهد شد.

به طور کلی، هنگام انفجار با الگوهای چندردیفی، اگر از تأخیری طولانی تر بین ردیفها در مقایسه با چالهای واقع در داخل یک ردیف خاص استفاده شود، فشارشکنی به مقدار بیشتری میسر خواهد شد. تأخیری حداقل معادل ۲ تا ۳ هزارم ثانیه در عرض پله بین چالهای واقع در یک ردیف، برای به دست آوردن کاهش فشار لازم و بهترین خردشدگی ممکن توصیه می شود.

از یک نسبت فواصل بین چالها در طول پله/ فواصل بین چالها در عرض پله استفاده کنید که بزرگتر از یک باشد (E>V) وجود درزه های ریز یا شکستگیهای پشتی، ممکن است استفادهٔ موضعی از یک نسبت فواصل بین چالها در طول پله به عرض پله را که در حدود یک است ضروری گرداند.

در یک امتداد بودن چالها:

توجه داشته باشید که چالها هرچه بیشتر در نزدیکی همدیگر حفر شوند به منظور مکان سنجی تمام چالها برای انفجار بعدی پیش از هر انفجار، از نشانه های نقشه برداری (بنچ مارک) استفاده کنید تا از هرگونه خطای ممکن در اثر نامنظم بودن شکستگیهای پشتی جلوگیری شود.

اضافه حفاری عمقی:

مقدار اضافه حفاری عمقی را به سطح لازم محدود نسازید تا شرایط کف در وضعیت مناسب و خوب باقی بماند. اضافه حفاری عمقی معمول برای چالهای با شیب ۳:۱ معادل ۳۰ درصد فواصل بین چالها در عرض پله در زیرسطح کف است. عمق هر چال انفجاری را با نوار اندازه بگیرید و آن را با ارتفاع جبهۀ کار مطابقت دهید. اگر عمق چال بیش از حد لازم باشد، چال را با مواد حفاری یا سنگهای شکسته پر کنید. اضافه حفاری عمقی بیش از حد لازم، به علت نبودن یک جبهۀ آزاد در آن نزدیکی برای ایجاد امواج انعکاسی، می تواند باعث افزایش ارتعاش گردد.

خرج گذاری برای هر تأخیر

برای کاستن از وزن خرج در هر تأخیر و نتیجتاً کاهش سرعت ذرات، از تکنیکهای زیر استفاده کنید:

- با کاستن از ارتفاع پله ها و افزودن بر حفاری ویژه، از عمق چالها بکاهید.
- قطر چالها را کوچکتر بگیرید.
- خرجهای منفجره را با استفاده از طبقه های خنثی در داخل چالها به چند جزء تقسیم کنید و هر طبقۀ منفجره را به وسیلۀ آغاز کننده های انفجار و با استفاده از تأخیرهای مختلف، منفجر کنید.
- برای افزودن بر تعداد یا دورهای چاشنی های انفجار تأخیردار الکتریکی و بالا بردن انعطاف پذیری در تغییر زمانها، از تایمرهای الکترونیکی یا مکانیکی استفاده کنید. استفاده از تأخیرهای غیرالکتریکی به اضافه رابطه های تأخیر سطحی نیز می تواند انعطاف پذیری مشابهی به وجود آورد.

مواد منفجره

از انتشار خرجهای پیش بینی شده برای انفجار یا دوره های تأخیری متفاوت از یک چال به چال دیگر جلوگیری کرده یا امکان آن را از بین ببرید. از مواد منفجره‌ای چون ژله های آبی که حساسیت شان به مراتب از حساسیت دینامیت برای انتشار چال به کمتر است استفاده کنید. انتشار چال به چال زمانی رخ می دهد که خرجهای انفجاری با چالهای انفجاری، فقط چند فوت با یکدیگر فاصله داشته باشند (مانند چالهای کانالی و طبقه‌ای یا حفاری در زیر آب) یا فاصله شان زیادتر باشد مانند مواقع انفجار در تودۀ سنگ با میان لایه های نرم و سخت از قبیل سنگهای مرجانی با لایه های رسی که از آب اشباع شده‌اند.

انفجار به روش از پیش شکافتن

از چاشنی های انفجار، انفجار تأخیردار الکتریکی برای کاستن از تعداد چالها در هر دور تأخیر به هنگامی که انفجار به روش از پیش شکافتن باعث ارتعاش می شود، استفاده کنید.

۲ - ۸ - ۳ - پرتاب خرده سنگها

منظور از پرتاب خرده سنگها، پرتاب تکه سنگهای منفجرشده از محل انفجار است. اگر تکه سنگها تا مسافتی طولانی پرتاب شوند بدین معنی خواهد بود که:

الف: فاصله چالها در عرض پله یا خیلی زیاد یا خیلی کم است.

ب - کوبیدن به مقدار خیلی کم انجام شده است.

ج - ممکن است برخی کارهای خطرناک انجام شده باشد.

شکستگی پشتی ممکن است به دنبال دور انفجار قبلی، حفاری اشتباه، یا عدم توجه به بخش فوقانی پله به عنوان پوشش سنگ رویی ناشی شده باشد، زیرا این بخش عملاً در حکم یک جبهۀ آزاد است.

مطمئن شدن از اینکه قسمت ساقه با فواصل بین چالها در عرض پله برابر یا اندکی از آن بیشتر است، بسیار اهمیت دارد. گاهی، پرتاب خرده سنگها را می توان به چالهای شیبداری نسبت داد که خیلی سخت حفاری شده‌اند و به کم شدن فواصل بین چالها در عرض پله رویی جبهه درمجاورت ریشه کمک رسانده‌اند.

طراحی خوب برای انفجار، عموماً بهترین راه برای جلوگیری از پرتاب خرده سنگها است. هنگام کوشش برای به حداقل رساندن پرتاب خرده سنگها، نکات زیر باید در نظر گرفته شود:

- نقطه یابی و هم محورسازی صحیح چالهای انفجاری به اضافه در یک امتداد بودن چالها.
- استفاده از مدارهای آتشباری صحیح.
- پوشاندن قسمت گودبرداری شده‌ای که قرار است منفجر شود.
- خارج کردن افراد غیرمجاز از نقاط خطرناک.
- انتخاب زمان صحیح برای انفجار.

بارها دیده شده است که اجرای عملیات انفجار بی خطر درنقاط مسکونی مستلزم رعایت نکات زیر است:

- انتخاب قطرهای کمتر از ۴۱ میلیمتر ($1\frac{5}{8}$ اینچ) برای چالها و قطرهای کمتر از ۳۵ میلیمتر ($1\frac{3}{8}$ اینچ) برای فشنگها.

ـ انتخاب مناسب فواصل بین چالها درطول و عرض پله بطوری که خرج گذاری ویژه از ۰/۳ تا ۰/٤ کیلو گرم/ مترمکعب تجاوز نکند.

ـ برای انفجار ثانوی، استفاده از یک مقدار خرج گذاری مناسب (مثلاً ۰/۰۵ کیلو گرم/ مترمکعب). طول چال انفجاری باید معادل $\frac{۲}{۳}$ قطر قله سنگ باشد و چال نیز در مرکز ثقل قله سنگ حفاری شده باشد.

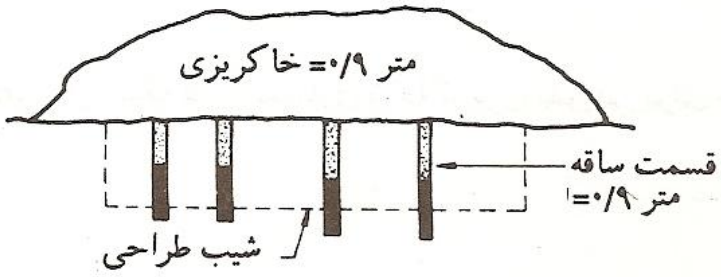
ـ خرج گذاری باید همواره با پوشش سنگ رویی متناسب باشد، مجری انفجار باید اثر شکستگی پشتی را همیشه در نظر داشته باشد.

ـ چالها نباید در داخل درزه ها یا نقاط برش حفاری شوند، بهتر است که این نقاط به عنوان مرزهای حفاری استفاده شود.

ـ آتشباری باید طوری ترتیب داده شود که تأخیرهای بین چالهای مجاور از ۲۵ تا ٤۰ هزار ثانیه تجاوز نکند.

لیکن اقدامات فوق در اغلب موارد کفایت نمی کند، و مجری انفجار مجبور است با پوشاندن میدان انفجار به وسیلهٔ شبکه های سنگین انفجار و خاکریزی تقویتی آنها مقدار پرتاب خرده سنگها را محدود سازد. از شبکه های فوق معمولاً فقط در انفجارهای ساختمانی استفاده می شود.

منظور از خاکریزی تقویتی، پوشاندن نقطهٔ انفجار با خاک و ترجیحاً با ماسه برای کنترل پرتاب نامطلوب خرده سنگها است. یکی از تجربه های باارزش برای خاکریزی تقویتی این است که عمق خاکریزی با قسمت ساقه برابرباشد، لیکن حداقل خاکریزی تقویتی باید یک متر باشد. هنگام خاکریزی تقویتی، مجری انفجار باید نهایت احتیاط به خرج دهد تا کابلهای ریشهٔ چاشنی ها را قطع نکند. خاکریزی تقویتی این امتیاز را دارد که در مقایسه با استفاده از شبکه های انفجار به تجهیزات کمتری نیاز دارد، باعث خردشدگی بهتری می شود و کل انفجار را می توان با یک بار آتشباری منفجر کرد. از طرف دیگر، استفاده از خاکریزی تقویتی برای پوشاندن نقطهٔ انفجار، معمولاً مستلزم استفاده از منفجره های بیشتراست زیرا خاکریزی، حرکت تودهٔ سنگ را مهار می سازد.



شکل ۸٤- اصل استفاده از خاکریزی تقویتی.

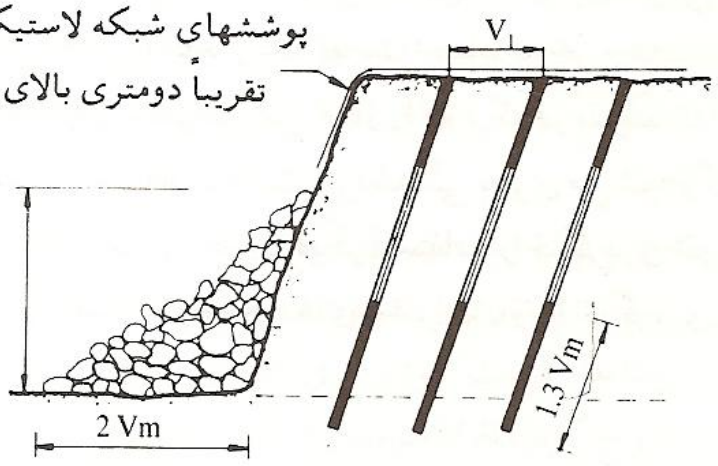
منظور از شبکه های انفجاری، بافته ها یا شبکه هایی است که از کابل یا حلقه های لاستیک ساخته می شود. این پوششها، اطراف محل انفجار را به قدر کافی در برابر پرتاب خرده سنگها محافظت می کنند. این پوششها باید محکم و سنگین باشند و تمام قطعه سنگهای منفجرشده را در محدوده انفجار نگهدارند. هنگام پوشاندن نقاط انفجار باید به اصول زیر توجه شود:

ـ نقطهٔ انفجار باید به وسیلهٔ شبکه های لاستیکی و نمدهای صنعتی پوشانده شود. این پوششها باید حداقل معادل ۲ تا ۳ متر(٦ تا ۱۰ فوت)از حدود نقطهٔ انفجار فراتر بروند. اگر قرار باشد که چال انفجار تا نزدیکی دهانه چال خرج گذاری شود (یعنی قسمت ساقه کوتاه تر شود)، دست کم باید از دو پوشش استفاده شود.

ـ از سنگهای حاصل از انفجار قبلی باید برای پوشاندن جبههٔ انفجار استفاده شود. این کار باعث کاهش خطر پرتاب خرده سنگها در اثر کوتاه بودن ارتفاع پوشش سنگ رویی در قسمت تحتانی به دنبال انحراف چالها خواهد شد.

قاعدهٔ اصلی برای شبکه های انفجاری این است که هیچگاه تعداد چالها را نباید از آنچه امکان پوشاندن آنها به طرزی بی خطر توسط این شبکه ها وجود دارد بیشتر کرد. اما در خصوص خاکریزی تقویتی، باید نهایت احتیاج به خرج داده شود که هیچ یک از کابلهای ریشه به هنگام کارگذاری پوششهای شبکه‌ای قطع نشود.

پوششهای شبکه لاستیکی و نمدهای صنعتی که در فاصله تقریباً دومتری بالای مقطع محل انفجار نصب شده‌اند.



شکل ۸۵- استفاده از شبکه های انفجاری و خاکریزی تقویتی برای جلوگیری از پرتاب خرده سنگها.

افراد غیرمجاز باید از نقاط خطرناک خارج شوند و شعاع این نقاط باید حداقل معادل ۱۰۰ متر باشد. انفجارها باید طوری برنامه‌ریزی شوند که برخوردی با مواقع پرتراکم پیش نیاید. بهترین زمانها برای انفجار در نقاط مسکونی بین ساعات ۹ تا ۱۱ صبح و ۱ تا ۳ بعدازظهر است.